

Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu

Mekatronik Programı

DEVRE ÇÖZÜMLEME TEMELLERİ

ALTERNATİF AKIM DEVRE ANALİZİ

İLKER ONGUN

İZMİR 2014

İÇİNDEKİLER

ELEKTRONİĞİN KISA GEÇMİŞİ 13

BÖLÜM 1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE SORUN ÇÖZME 19

İLETİŞİM YETENEKLERİ	19
GİRİŞ	19
1.1 ULUSLARARASI BİRİMLER SİSTEMİ (SI)	20
1.2 ÖNTAKILAR VE SI KULLANIMI	22
1.3 DÖNÜŞTÜRME İŞLEMLERİ	23
1.4 HASSASİYET VE SAYILARIN YUVARLANMASI	24
1.5 SORUN ÇÖZME YÖNTEMİ	25

BÖLÜM 2 MADDE, ELEKTRİK VE TEMEL ELEKTRİKSEL BİRİMLER 29

BİR SÜRÜ STATİK YARATMAK	29
GİRİŞ	29
2.1 MADDE VE YAPITAŞLARI	30
2.2 ATOMDA ELEKTRON VE PROTON DAĞILIMI	32
2.3 İLETKEN, YALITKAN VE YARIİLETKENLER	33
2.4 ELEKTRİK YÜKÜ BİRİMİ, COULOMB	34
2.5 COULOMB YASASI	34
2.6 POTANSİYEL FARK BİRİMİ, VOLT	35
2.7 AKIM, YÜK AKIŞIDIR	36
2.8 KAPALI DEVRE	37
2.9 AKIMIN YÖNÜ	39
2.10 DOĞRU AKIM (DA) VE ALTERNATİF AKIM (AA)	39
2.11 ELEKTRİK KAYNAKLARI	40

BÖLÜM-3 DİRENÇ VE İLETKENLİK 43

ELMANIN EFELEĞİ	43
GİRİŞ	44
3.1 DİRENÇ, AKIMA GÖSTERİLEN ZORLUK	44
3.2 BİR İLETKENİN DİRENCİ	45
3.3 ÜSTÜNİLETKENLİK	47

3.4 DİRENÇ TÜRLERİ	49
3.5 DİRENÇ RENK KODLARI	51
3.6 DEĞİŞKEN DİRENÇLER	54
3.7 DİRENÇLERİN GÜÇ DEĞERLERİ	55
<u>BÖLÜM 4 OHM YASASI, GÜÇ VE VERİM</u>	<u>57</u>
LOGARİTMALANMAK	57
GİRİŞ	57
4.1 OHM YASASI	58
4.2 BİRİMLER VE UYGULAMA KATLARI	59
4.3 ENERJİ, İŞ VE GÜÇ	60
4.4 ELEKTRİK DEVRESİNDE ERK	62
4.5 BİR DEVRE İÇİN DİRENÇ SEÇME	63
4.6 VERİM	64
<u>BÖLÜM 5 ARDIL DEVRELER</u>	<u>67</u>
RAKIPLERE UYARI	67
GİRİŞ	67
5.1 ARDIL DEVREDE AKIM HER NOKTADA AYNIDIR	68
5.2 ARDIL DEVREDE GERİLİM DÜŞÜMLERİ	68
5.3 KIRCHHOFF GERİLİM YASASI	69
5.4 ARDIL DEVREDE TOPLAM DİRENÇ	71
5.5 ARDIL DEVREDE GÜÇ	72
5.6 AÇIK DEVRE	72
5.7 KISA DEVRE	73
5.8 GERİLİM BÖLÜCÜLER	74
5.9 YÜKLEME ETKİSİ	75
5.10 ŞASE, TOPRAK VE GERİLİM ÖLÇME	76
5.11 BAKIŞIK BESLEME	78
<u>BÖLÜM 6 KOŞUT DEVRELER</u>	<u>81</u>
YAZI-TURA ATALIM!	81
GİRİŞ	82
6.1 KOŞUT DEVREDE KOL GERİLİMLERİ EŞİTTİR	82
6.2 KIRCHHOFF AKIM YASASI	83

6.3 KOŞUT DEVREDE EŞDEĞER DİRENÇ	83
6.4 KOŞUT DEVRELERDE GÜÇ	85
6.5 KOŞUT DİRENÇLERDE ÖZEL DURUMLAR	86
6.6 AKIM BÖLÜCÜ	86
6.7 AÇIK DEVRE VE KISA DEVRE	87
<u>BÖLÜM 7 GERİLİM KAYNAKLARI</u>	<u>89</u>
BAŞARIYI İLETMEK	89
GİRİŞ	90
7.1 BİRİNCİL PİLLER	90
7.2 İKİNCİL PİLLER	94
7.2.1 KURŞUN-ASİT BATARYALAR	95
7.2.2 NİKEL-KADMİYUM PİLLER	96
7.3 DİĞER İKİNCİL PİLLER	98
7.3.1 JEL ELEKTROLİTLİ KURŞUN-ASİT PİLLER	99
7.3.2 GÜMÜŞ-ÇİNKO VE GÜMÜŞ-KADMİYUM PİLLER	99
7.3 NİKEL-ÇİNKO VE ÇİNKO-KLORİN (HİDRAT) PİLLER	99
7.3.4 SODYUM-SÜLFÜR PİLLER	99
7.3.5 DOLDURULABİLİR ALKALİN MANGANEZ PİLLER	99
7.3.6 NİKEL METAL HİDRİT PİLLER	100
7.3.7 LİTYUM-İYON (KARBON-LİTYUM) PİLLER	100
7.3.8 LİTYUM POLİMER (PLASTİK) PİLLER	101
7.3.9 YAKITLI PİLLER (FUELL CELL)	102
7.4 BİR PİLİN İÇDİRENCİ	104
7.5 GERİLİM DÜZENLEME	106
7.6 PİLLER İLE BATARYA OLUŞTURMA	106
7.6.1 ARDIL BAĞLAMA	107
7.6.2 KOŞUT BAĞLAMA	107
7.6.3 ARDIL-KOŞUT BAĞLAMA	108
<u>BÖLÜM 8 DEVRE ÇÖZÜMLEME</u>	<u>109</u>
CHRISTIE KÖPRÜ DEVRESİ?!	109
GİRİŞ	109
8.1 ARDIL DEVRELERİN ÇÖZÜMLENMESİ	110
8.2 PARALEL DEVRELERİN ÇÖZÜMLEMESİ	112
8.3. SERİ-PARALEL DEVRELER	115
8.4 WHEATSTONE KÖPRÜSÜ	117
8.5 EN YÜKSEK GÜÇ AKTARIMI	118
<u>BÖLÜM 9 DEVRE KURAMLARI</u>	<u>121</u>

HİTLER' İN BİLGİSAYAR HATASI	121
GİRİŞ	121
9.1 KOL AKIMLARI YÖNTEMİ	122
9.2 GÖZ (ÇEVRE) AKIMLARI YÖNTEMİ	124
9.3 YILDIZ ÜÇGEN DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİ	126
9.4 BİNDİRME KURAMI	130
9.4 THÉVENİN KURAMI	134
9.5 AKIM KAYNAKLARI	135
9.6 NORTON KURAMI	137
9.7 N→T VE T→N DÖNÜŞÜMLERİ	139
9.8 DÜĞÜM ÇÖZÜMLEMESİ	140
<u>BÖLÜM 10 SIĞA VE SIĞAÇLAR</u>	<u>145</u>
TABLOLAMA SÜRESİ	145
10.1 GİRİŞ	145
10.2 DURGUN ELEKTRİK ALANI	146
10.3 SIĞA VE SIĞAÇ	147
10.4 SIĞAYI BELİRLEYEN ETMENLER	150
10.4.1 DİELEKTRİK VE BAĞIL GEÇİRGENLİK	152
10.4.2 DİELEKTRİK DAYANIMI	154
10.5 SIĞAÇLARIN ARDIL BAĞLANMASI	155
10.6 SIĞAÇLARIN KOŞUT BAĞLANMASI	156
10.7 SIĞAÇTA DEPOLANAN ENERJİ	157
<u>BÖLÜM 11 MANYETİZMA VE BOBİNLER</u>	<u>159</u>
DÜRÜST ÇOCUKLAR	159
GİRİŞ	159
11.1 MIKNATIS VE MANYETİK ALAN	160
11.1.1 MANYETİK ALAN	161
11.1.2 SOL EL KURALI	161
11.1.3 ELEKTROMIKNATIS	162
11.1.4 MANYETİK BİRİMLER	163
11.2 MANYETİK DEVRE ÇÖZÜMLEMESİ	169
11.3 BİR MIKNATISIN ÇEKİM KUVVETİ	171
11.4 ALAN İÇİNDE AKIM TAŞIYAN İLETKENE ETKİYEN KUVVET	171
11.5 ÖZ ENDÜKTANS	173
11.7 ENDÜKTANSI BELİRLEYEN ETMENLER	174

11.8 BOBİNLER	175
11.8.1 BOBİNLERİN ARDIL VE KOŞUT BAĞLANMALARI	175
11.8.2 KARŞILIKLI ENDÜKTANS	175
<u>BÖLÜM 12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ</u>	177
SORUN ÇÖZÜCÜ	177
GİRİŞ	177
12.1 ENDÜKTİF DEVREDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMESİ	178
12.2 AKIM ARTIŞINDA RL DEVRE	178
13.3 ZAMAN DEĞİŞMEZİ	181
13.4 AKIM AZALIRKEN RL DEVRE	183
13.5 SIĞAÇLI DEVRELER	185
13.6 SIĞASAL DEVREDE AKIM	186
13.7 GERİLİM ARTARKEN RC DEVRE	186
13.8 ZAMAN SABİTİ	189
13.9 GERİLİM AZALIRKEN R-C DEVRE	192
<u>BÖLÜM 13 ENDÜKSİYON VE AC ÜRETİMİ</u>	197
TRENDİ İZLE	197
13.1 GİRİŞ	197
13.2 ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON	199
13.3 LENZ YASASI	199
13.4 FARADAY YASASI	200
13.5 AC VE DC ÜRETİMİ	202
13.5.1 GENLİĞİ BELİRLEYEN ETMENLER	203
13.5.2 SIKLIĞI BELİRLEYEN ETMENLER	204
13.5.3 DC ÜRETİMİ	205
13.6 SİNÜS DALGASI	206
13.6.1 AÇISAL SIKLIK VE SİNÜS DENKLEMİ	208
13.6.2 FAZ İLİŞKİSİ VE FAZ AÇISI	209
13.6.3 ORTALAMA DEĞER	209
13.6.4 ETKİN DEĞER	210
<u>BÖLÜM 14 AC DEVRELERDE DİRENÇ, BOBİN VE SIĞAÇ</u>	213
MUTFAKTA NE PIŞIYOR?	213
14.1. GİRİŞ	214
14.2 DİRENÇSEL YÜKTE AC DALGABIÇİMLERİ	215
14.3.AC DEVREDE ENDÜKTANSIN ETKİSİ	216

14.3.1 BOBİNDE AKIM-GERİLİM-EVRE İLİŞKİSİ	216
14.3.2 ENDÜKTİF REAKTANS	217
14.3.3 ENDÜKTİF TEPKEYİ BELİRLEYEN ETMENLER	218
14.3.4 ENDÜKTİF TEPKELERİN ARDIL BAĞLANMASI	218
14.3.5 ENDÜKTİF TEPKELERİN KOŞUT BAĞLANMASI	219
14.3.6 BOBİNİN KALİTESİ (Q)	220
14.3.7 ETKİN DİRENÇ	220
14.4 AC DEVREDE SİĞANIN ETKİSİ	220
14.4.1 SİĞAÇTA AKIM-GERİLİM-EVRE İLİŞKİSİ	221
14.4.2 KAPASİTİF REAKTANS	222
14.4.4 SİĞASAL TEPKEYİ BELİRLEYEN ETMENLER	222
14.4.5 SİĞASAL TEPKELERİN ARDIL BAĞLANMASI	223
14.4.6 SİĞASAL TEPKELERİN KOŞUT BAĞLANMASI	223
14.4.7 SİĞACIN DİSİPASYON FAKTÖRÜ	223
<u>BÖLÜM 15 AC DEVRELERDE FAZÖRLER (KARMAŞIK SAYILAR)</u>	<u>225</u>
LAZER	225
15.1 GİRİŞ	225
15.2 SİNÜS DALGASININ FAZÖR İLE GÖSTERİMİ	226
15.3 RLC İÇİN AKIM VE GERİLİM FAZÖRLERİ	228
15.4 FAZÖRLERİN KARMAŞIK SAYILAR İLE GÖSTERİMİ	229
15.4.1 İŞLECI 231	
15.5 KUTUPSAL (POLAR) GÖSTERİM	231
15.6 DÖRTGENSEL (RECTANGULAR) GÖSTERİM	232
15.7 FAZÖRLER İLE DÖRT İŞLEM	233
15.8 FAZÖR DÖNÜŞÜMLERİ	234
15.9 KARMAŞIK SAYILARIN AC DEVRELERE UYGULANMASI	238
15.10 ARDIL RL DEVRE	238
15.10.1 ARDIL RL DEVREDE DİRENİM	240
15.10.2 ENDÜKTANS ÖLÇME	241
15.11 ARDIL RC DEVRE	242
15.11.1 ARDIL RC DEVREDE DİRENİM	243
15.12 ARDIL RLC DEVRE	244
15.13 TEPKİN ELEMANLARIN KOŞUT BAĞLANTILARI	245
15.13.1 KOŞUT RL DEVRE	245
15.13.2 KOŞUT RC DEVRE	246
15.13.3 KOŞUT RLC DEVRE	247
15.13.4 GERİLİM, EMPEDANS VE AKIMIN GÖSTERİMİ	248
15.14 KONDÜKTANS, SÜSEPTANS VE ADMİTANS	250
<u>BÖLÜM 16 AC DEVRELERDE GÜÇ</u>	<u>253</u>
KULAĞA ELEKTRONİK GELİYOR	253

16.1 GİRİŞ	253
16.2 GERÇEK (DİRENÇSEL) GÜÇ	254
16.3 TEPKİN GÜÇ	255
16.3.1 BOBİNSEL GÜÇ	255
16.3.2 SİĞASAL GÜÇ	256
16.4 GÖRÜNÜR GÜÇ	257
16.5 GÜÇ ÜÇGENİ	259
16.6 RLC DEVREDE GÜÇ ÜÇGENİ	260
16.7 GÜÇ KATSAYISI	261
16.8 GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ	262
16.9 MAKSİMUM GÜÇ TRANSFERİ	264
16.10 GÜCÜN KARMAŞIK SAYI İLE GÖSTERİMİ	265
16.11 KOMPLEKS GÜÇ KULLANARAK GÜÇ KATSAYISI DÜZELTME	266
<u>BÖLÜM 17 AC DEVRE ÇÖZÜMLEME</u>	<u>267</u>
PONYLER S.O.S. GÖNDERİYOR!	267
17.1 GİRİŞ	267
17.2. GÖZ AKIMLARI YÖNTEMİ	268
17.3. KOL AKIMLARI YÖNTEMİ	271
17.4. DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİ	274
17.5. BİNDİRME KURAMI	277
17.6. AC DEVRELERDE THÉVENİN KURAMI	282
17.7. AC DEVRELERDE NORTON KURAMI	285
17.8. EN YÜKSEK GÜÇ AKTARIMI	288
17.9. KÖPRÜ DEVRESİ	289
<u>BÖLÜM 18 TRANSFORMATÖRLER</u>	<u>293</u>
MANYETİK CAZİBE	293
18.1 GİRİŞ	294
18.2 DÖNÜŞTÜRME ORANI	294
18.3 AKIM, GERİLİM, GÜÇ VE VERİM	296
18.4 EMPEDANS UYGUNLAŞTIRMA	299
18.5 DÖNÜŞTÜRECİN EŞDEĞER DEVRESİ	300
18.6 K/D VE A/D DENEYLERİ	301
18.7 DÖNÜŞTÜREÇ TÜRLERİ	302
18.7.1 OTOTRANSFORMATÖR	302

18.7.2 HAVA ÇEKİRDEKLİ DÖNÜŞTÜREÇ	304
18.7.3 YALITIM DÖNÜŞTÜRECİ	304
18.8 DİĞER DÖNÜŞTÜREÇ TÜRLERİ	304
18.8.1 ÖLÇME DÖNÜŞTÜREÇLERİ	304
18.8.2 DAĞITIM TRANSFORMATÖRLERİ	305
18.8.3 GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ	305
18.8.4 ÇOK SARGILI TRANSFORMATÖRLER	305
18.8.5 EMPEDANS UYGUNLAŞTIRMA TRANSFORMATÖRLERİ	306
18.8.6 SABİT GERİLİM DÖNÜŞTÜREÇLERİ	306
<u>BÖLÜM 19 FREKANS YANITI VE REZONANS</u>	<u>307</u>
PARTİYE PİRZOLA GETİRMEK	307
19.1 GİRİŞ	307
19.2 AKTARIM İŞLEVLERİ	308
19.2.1 ÜST GEÇİREN SÜZGEÇ (HPF)	309
19.2.2 ALT GEÇİREN SÜZGEÇ (LPF)	311
19.2.3 BANT GEÇİREN SÜZGEÇ (BPS)	313
19.3 BANT GENİŞLİĞİ VE EVRE KAYMASI	313
19.4 REZONANS	315
19.4.1 SERİ ÇINLANIM DEVRESİ	316
19.4.2 SERİ DEVREDE SEÇİCİLİK	318
19.4.3 SERİ RLC DEVREDE REZONANS GERİLİM ARTIŞI	320
19.4.4 PARALEL REZONANS	321
19.4.5 PARALEL REZONANS DEVRESİNİN SÖNÜMLENMESİ	323
<u>BÖLÜM 20 ÜÇ FAZLI SİSTEMLER</u>	<u>325</u>
HUZURLU PROGRAMLAMA	325
20.1 GİRİŞ	325
20.2 ÜÇ FAZ KAYNAKLAR	326
20.3 YILDIZ VE ÜÇGEN KAYNAK BAĞLANTILARI	328
20.4 FAZ SIRASI	333
20.5 DÖRT-HAT ÜÇ-FAZ YÜKLER	335
20.6 ÜÇ-HAT ÜÇ-FAZ YÜKLER	337
20.7 DENGESİZ Y VE Δ YÜKLER	339
20.8 ÜÇ FAZLI YÜKLER VE HAT EMPEDANSI	340
20.8.1 $\Delta \rightarrow Y$ DÖNÜŞÜM	341
20.8.2 $Y \rightarrow \Delta$ DÖNÜŞÜM	342
20.9 ÜÇ FAZLI DEVRELERDE GÜÇ ÖLÇME	344

EKLER

EK-A YAYGIN ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ÇİZİM SİMGELERİ 349

**EK-B DOĞRUSAL DENKLEMLERİN DETERMİNANT KULLANARAK
ÇÖZÜMLENMESİ** 353

**EK-C MANYETİK ALANDA DEVİNER İLETKENDE İNDÜKLENEN GERİLİM
ÜZERİNE AÇININ ETKİSİ** 357

EK-D TRİGONOMETRİK ORANLAR 359

EK-E AC ÜRETEÇTE SİNÜS GENLİĞİNİ BELİRLEYEN ETMENLER 363

EK-F SIKLIK VE ZAMAN CİNSİNDEN İNDÜKLENEN GERİLİM 365

EK-G ENDÜKTİF TEPKE (X_L) FORMÜLÜNÜN ÇIKARILIŞI 367

EK-H SİĞASAL TEPKE (X_C) FORMÜLÜNÜN ÇIKARILIŞI 371

EK-I HAVA DİELEKTRİKLİ SİĞA EŞİTLİĞİNİN ÇIKARILIŞI 375

Sunuş

Ülkemizde Teknik Eğitim söz konusu olduğunda en temel yakınlardan birisi, Türkçe kaynak eksikliğidir. Bununla birlikte bizim ders işleme alışkanlıklarımız, ilginç biçimde matematiksel çözümleme tabanlı olduğundan, Devre Analizi gibi aslında sözel tabanının da çok iyi verilmesi gereken bir ders için bile, yabancı kaynaklardan fotokopi ile çoğaltılan sorular ve bir takım formül çıkarmalar yeterli görülmüştür. Elektrik ve elektronığın en temel dersi için hazırladığım bu kaynak ile, Meslek Liseleri, Teknik Eğitim Fakülteleri, Meslek Yüksekokulları ve Mühendislik Fakültelerinde görev yapan değerli meslektaşlarıma ve geleceğimizi teslim edeceğimiz sevgili öğrencilerime elimden geldiğince yarar sağlamaya çalıştım.

Bu ders kitabında kullanılan teknik dili belirlemek için, çok çaba harcadım ve çok kişiye danıştım. Sonuç olarak teknik terimler için önerilen Türkçe karşılıkları kullanmaktan kaçınmadım ama eskiden kalan alışkanlıklarımdan da etkilenerek, öğreneğeldiğim Turkish-English☺ kelimeleri de kullandım. Biliyorum ki bir ülkede bilimin gelişmesi ancak o ülke insanlarını kendi dillerini kullanarak bilim yapmaları ile mümkündür. Bu yargının aması, fakatı ve istisnası yoktur çünkü, bir kelimenin kökünü bildiğinizde, anlamını bilmeseniz bile bir fikir yürütmeniz mümkün olur. Ancak yine biliyorum ki, meslek insanlarının alışageldikleri jargonu kullanma eğilimi çok güçlüdür. Bu nedenle ben kendimi koruma altına almak için öğrencilerimden yararlanıyorum. Onlara yazılı materyalde Türkçe terimleri ulaştırıyorum, doğal olarak onlar da benimle iletişimlerini bu terimleri kullanarak sağlıyorlar. Böylece ben, gelişimi engelleyen yamalı jargonu kullanma temayülüme karşı güçlü bir destek elde etmiş oluyorum.

Dil ve kültür ilişkileri üzerine özel ilgim nedeniyle yaptığım bazı incelemelerde şunu görüyorum ki; bilimsel alanda gelişmiş ülkelerde, aynı dil ailesinden dilleri konuşuyor olsalar dahi, -bize öğretildiğinin tersine,- çok temel teknik terimler için bile yeni karşılıklar bulunmuş ve üniversiteler yoluyla bu karşılıkların yayılması ve benimsenmesi sağlanmıştır. Sözelimi televizyon A.B.D. kaynaklı bir buluştur ve Almanca'da "fernseher, fresehapparat-uzaktan görme aracı", Fransızca'da ise "le petit écran-küçük perde" olarak karşılanmıştır. Oysa Türkçe'deki karşılığı "uzgöreç", biz elektronik meslek insanları tarafından alay konusu edilmektedir. Belki de bu yüzden, televizyona "vizontele" diyen bir nesil ürettik. Bunun incelenmesi gereken bir psikoloji olduğu inancındayım. Benzer örnekler artırılabilir; voltage yerine Almanca'da "spannung, Voltzahl", Fransızca'da "tension" kullanılmaktadır. Ne mutlu ki, bizde de voltaj yerine gerilim sözcüğü oldukça yayılmış ve benimsenmiştir.

Oysa bilimsel ve akılcı yaklaşım kullanılarak "computer" gibi aslında içerik açısından kavramı karşılamayan zayıf bir söz için, "bilgisayar" gibi gerçek anlamını yakalayan karşılıklar bulunabilmiştir. Ama öte yandan, ex-or ve ex-nor gibi aceleye gelmiş☺ terimler için bulunan (ve bence çok doğru olan) zıt (girişler zıt olunca 1 veriyor) ve eş (girişler eşit olunca 1 veriyor) karşılıkları, ısrarla reddedilmektedir.

Bizde de “eğitimli” kesimin ısrarcı tutumuna rağmen bazı Türkçe(!) karşılıklar, halkımız tarafından bulunmaktadır. Örneğin inşaat terimi olan su basman nedir bilir misiniz? Fransızca yer altı kat (düpedüz bodrum) anlamına gelen “soubassement”! İnsanlar çaresizce bu anlaşılmaz lafa bir anlam yüklemeye çalışmış ve ortaya ‘su basmanın diye dökülen yüksek beton taban’ anlamında su basman çıkmıştır.

İşte halkımız kendi kuralları içinde gelişen ve klrnn en temel bileşeni olan dilini böyle korumaya çalışırken, bir kısım meslek insanı ve eğitimli kesim nerdeyse intikam alırcasına (neyin intikamı?) ekstra lar (battal boy), kartonpiyer (alçı döküm), konsensüs (uzlaşma), transformasyon (dönüşüm), rasyo (oran), forse etmek (zorlamak) gibi sözlerle konuşmayı, ilericilikmiş, ağdaşlıkmış gibi göstermeye alışıyor. Benim en son duyduğum, Fransızca köke Fransızca ek ulayarak elde edilen reklamasyon kelimesi. Bu söz herhalde reklamcılık anlamında kullanılıyor ancak ilginçtir; rclamation Fransızca’da şikayet anlamındadır. Oysa, kızartma tavası anlamındaki Fransızca “friteuse”, bizde fritz olarak kullanılırken, İngilizce’de “deep fryer” olarak adlandırılır. Benzer biçimde “coiffeur” yerine “hairdresser”, “collir” yerine “neckless”, “hauparleur” yerine “loud speaker” vardır.

Kitaptaki başka bir yaklaşım da, zaman zaman eğlenceli ve ciddiyyetten uzaklaşan ifadelere başvurmaktır. Yabancı kaynaklarda, özellikle mühendislik öncesi teknik eğitim aşamalarında kullanılan kitaplarda yaygın olarak kullanılan bu tarz, öğrencilerin dersi izlemelerinde yardımcı bir etki sağlamakta, konuların benimsenmesinde oldukça yararlı olmaktadır.

Kitapta, pek çok kaynaktan edinilebilecek olan örnek sorular ve çözümleri bulunmamaktadır. Ancak kitap sonundaki eklerde, bazı matematiksel çözüm teknikleri ve çok kullanılan bir takım eşitliğin elde edilişleri açıklanmıştır.

Elinizdeki bu kitaba deneysel destek sağlamak amacıyla, Devre Analizi Dersi Laboratuar Deneyleri adıyla, lme ve hesaplama ağırlıklı bir çok yardımcı çalışmanın bulunduğu bir kitap daha Ege niversitesi yayını olarak basılmıştır. Adı geçen Laboratuar kullanımına yönelik kaynak, Devre Analizi Kitabı ile birlikte, özellikle Meslek Yüksekokullarında; Elektrik, Endüstriyel Elektronik, Telekomünikasyon, Biomedikal, Bilgisayar Donanım ve diğer elektrik/elektronik tabanlı eğitim programları için, 2002 yılında YK ve MEB tarafından oluşturulan müfredata uygun olarak ve bir arada kullanılabilecek biçimde optimize edilmiştir.

Bu Kitap ekinde sizlere ulaşan PowerPoint sunumunu da, hem ders anlatımında tutarlılık sağlamak, hem de zaman yönetimini kolaylaştırmak için kullanabilmeniz amaçlanmıştır.

Değerli meslektaşlarım ve sevgili öğrenciler, elinizdeki bu çalışmanın sizlere yararlı olmasını diliyor, görüş, öneri ve eleştirilerinizi ongun@egemyo.ege.edu.tr adresine bekliyorum.

ELEKTRONİĞİN KISA GEÇMİŞİ

Elektrik ve elektronik üzerindeki örtünün kaldırılmasıyla yaşamlarımız inanılmaz bir değişime uğramıştır. Biraz düşündüğümüzde hepimiz günümüzde elektroniksiz bir dünyada yaşayabilmenin ne denli zor olduğunu kolayca görebiliriz. Son elli-altmış yıldaki hızı giderek artan baş döndürücü gelişmeler, yaşam, çalışma ve oyun tarzımızı tümüyle değiştirmiştir.

Elektrik ve doğanın diğer güçlerinin farkına varışımız, insanın çevresinde olup bitene karşı duyduğu sonu gelmez meraktan kaynaklanmıştır. Doğadaki manyetik malzeme olan magnetitin olağandışı özellikleri, erken Çin ve antik Yunan’ da bilinmekteydi. İlk manyetik pusulayı Çinlilerin kullandığına inanılmaktadır. Elektrik sözcüğü de amber (kehribar) için kullanılan Yunanca kelimeden gelmektedir.

Tarihimiz, 1600 yılında bir İngiliz fizikçi William Gilbert’in (1544-1603) kehribar ve lodestone gibi manyetik özdekler ile mıknatıslar üzerine yıllar süren araştırma ve deneylerini belgelemesi ile başlıyor. Gilbert’in belki de en önemli buluşu, kehribarın kumaşla ovuşturulunca hafif nesnelere çektiğini ve kaldırdığını göstermesidir. Gilbert 1601 yılında yılda \$150 maaşla Kraliçe 1. Elizabeth’in doktoru olarak atandı. William Gilbert, dünyanın büyük bir mıknatıstan başka bir şey olmadığına ve dünyanın manyetik alanı nedeniyle serbest devinebilen bir iğnenin kuzey-güney doğrultusunda hizalandığına inanan ilk insandı.

Yine bir İngiliz Stephen Gray (1693-1736), bazı malzemelerin elektrik akımını ilettiğini keşfetti. Bir Fransız deneyci Charles du Fay 1730 yılında bu buluştan yola çıkarak, *vitreous* ve *resinous* olarak adlandırdığı iki tür elektrik bulunduğunu savladı.

Onsekizinci yüzyılın ikinci yarısının en tanınmış ve takdir edilen insanlarından birisi de, Amerikalı Benjamin Franklin’dir (1706-1790). Franklin en çok yıldırımın elektrik olduğunu kanıtlayan fırtınadaki uçurtma deneyi ile tanınır. Franklin ayrıca tek bir tür elektrik olduğunu ve daha önce varlığı savlanan türlerin aslında elektriğin iki özelliği olduğunu keşfetti. *Vitreous* elektriği *pozitif yük* ve *resinous* elektriği de *negatif yük* olarak adlandırdı. Bu terimlerden başka günümüzde halen kullanılan *battery* (üreteç) ve *conductor* (iletken) terimlerinin isim babası da Benjamin Franklin’dir.

Gerilim birimi, elektrik üreticini keşfiyle ünlü İtalyan fizikçi Alessandro Volta (1745-1827) onuruna *Volt* olarak adlandırılmıştır. Volta 1801 yılında elektrik akımı deneyini sergilemek üzere Napolyon tarafından Paris’e çağırılmıştır.

Güç birimi, bilim alanında sağladığı ilerlemeler nedeniyle İskoç mühendis ve kaşif James Watt (1736-1819) onuruna *Watt* olarak adlandırılmıştır.

1819da Danimarkalı fizikçi Prof. Hans C. Oersted (1777-1851) Kopenhag Üniversitesinde kazayla ilginç bir olguyu keşfetti. Akım taşıyan bir iletkenin yakınına yerleştirilen bir pusulanın göstergesi kuzeye değil iletkene doğru yöneliyordu. Oersted hemen elektrik ile manyetizmanın ilişkili olduğunu anladı ve çalışmaları nedeniyle, manyetik alan kuvveti birimi olarak *Oersted* kullanılmaya başlandı.

Elektrik akımı birimi ampère, elektromanyetizma çalışmalarına öncülük eden Fransız fizikçi André M. Ampère (1775-1836) onuruna adlandırılmıştır. Oersted'in keşiflerini duyan Ampère, deneyleri ilerleterek akım taşıyan iki iletkenin aynı mıknatıslar gibi birbirini çektiğini ve ittiğini bulmuştur.

Elektrik devreleri için en çok bilinen yasa olan Ohm yasası, Alman fizikçi Georg S. Ohm (1787-1854) tarafından formüle edilmiştir. Yasası, çok soğuk karşılandığı için duyguları incinerek kürsü başkanlığından istifa eden Ohm, yasanın tanınmasıyla yeniden görevine getirildi. Başarılarının onuruna direnç birimi olarak *Ohm* kullanılmaya başlandı.

Michael Faraday (1791-1867) adlı İngiliz fizikçi 1831de Oersted'in elektromanyetizma buluşları üzerine daha ileri deneyler yaparak, bir manyetik alanın elektrik üretiminde kullanılabileceğini keşfetti. Bu bulgular günümüzde, Faraday elektromanyetik indüksiyon yasası olarak bilinmektedir. Faraday ayrıca durgun elektrik ve elektrik kuvvet çizgileri üzerinde de çalışmış ve bu alanda bilinen büyük katkıları nedeniyle "elektrik mühendislerinin Baş Azizi" olarak tanınmıştır. Bu değerli bilim insanının saygın anısı üzerine, sığa birimi, *Farad* olarak adlandırılmıştır.

Çalışmalarını Rusya'da sürdüren Almanya doğumlu bilim insanı Heinrich F. E. Lenz, Faraday bulgularını ilerleterek bir iletkende indüklenen akımın, kendisini yaratan manyetik alandaki değişimlere karşı koyduğunu keşfetti. Bu olgu günümüzde *Lenz* yasası olarak bilinmektedir.

Amerikalı fizikçi Joseph Henry (1797-1878), elektromanyetizma üzerine daha da ileri çalışmalar yapmıştır. Henry, manyetik bobini yalıtın ve telgraf ve motor için bobin geliştiren ilk kişidir. Self-induction (öz-endüksiyon) buluşunun 1832 yılında tanınması ile endüktans birimine *Henry* adı verildi.

İngiliz fizikçi James P. Joule (1818-1889), elektriksel, kimyasal ve mekanik etkilerin ilişkileri üzerine yoğun ve derin çalışmalar gerçekleştirmiş ve bu çalışmalar sonunda, enerjinin bir biçimden diğerine dönüştürülebileceğini keşfetmiştir. Bu başarıları nedeniyle enerji birimi *Joule* olarak adlandırılmıştır.

James C. Maxwell (1831-1879) küçük bir çocukken çok inatçı ve meraklıydı. Sekiz yaşına dek pek çok bilimsel oyuncaklar yaptı. 14 yaşında oval eğrilerin nasıl inşa edileceği üzerine bir makale yazdı ve 18 yaşında makalelerinden ikisi yayımlandı. Bu İskoç fizikçinin en başarılı çalışması, Faraday deneylerini matematiksel yazıma geçirmesidir. Maxwell denklemleri olarak bilinen bu matematiksel denklemler, elektrik ve manyetizma arasındaki ilişkileri göstermektedir.

ELEKTRONİĞİN KISA GEÇMİŞİ

Alman fizikçi Eduard W. Weber (1804-1891), çağdaş elektrik birimleri sistemine büyük katkılarda bulunmuştur ve bu katkıları sayesinde manyetik akı ölçü birimi *Maxwell* olarak adlandırıldı.

Kendi kendini yetiştirmiş bilim insanı Thomas Edison (1847-1931), en çok fonograf ve akkor telli lamba keşifleri ile tanınır. Kendisi için günümüzdeki modern endüstriyel laboratuvarlarının bir prototipini kurmuş olan Edison, yaşadığı zamanlarda “Menlo Parkı Delisi” olarak tanınırdı. Fonografin ilk sürümünün maliyeti \$18 idi ve elle çevrilen bir kasnak ile çalışıyordu. On yıl kadar sonra fonograf, motorla çalışan ve önceleri silindirli daha sonra da disk biçimli kalıplardaki kayıtları çalan bir aygıta dönüştü. 1879 yılında \$40,000 tutarındaki verimsiz deneyler sonunda karbonize pamuktan bir halka içeren bir akkor telli lamba yapmayı başardı ve bu boşluk içinde 40 saat kadar ışıladı. Bu ürün ilk lambalar arasında en iyiydi. Edison’ un hayali geniş çaplı olarak elektrik kullanılan tam bir aydınlatma sistemi oluşturmaktı. Bu sistemde dinamlar, dağıtım sistemi, duylar, sigortalar, anahtarlar, kablo ve ölçü aletleri de bulunuyordu ve tüm bir şehrin elektrik ile aydınlatılmasını amaçlıyordu. Böylece 1892 yılında General Electric şirketi kuruldu. Edison, 50 yıl içerisinde 1033 patent aldı.

Alman fizikçi Heinrich R. Hertz (1857-1894) elektromanyetik (radyo) dalgaların üretimi ve alınmasını sergileyen ilk kişidir. Bu alandaki çalışmaları onuruna sıklık birimi *Hertz* olarak adlandırılmıştır.

Maxwell ve Hertz deneyleri üzerinde çalışan Guglielmo Marconi (1874-1937), bir telgraf iletişimi uygulama dizgesi tasarımılamıştır. Marconi zengin bir İtalyan ailenin çocuğudur ve Bologne Üniversitesi giriş sınavlarını başaramadığı halde, Augusto Righi tarafından keşfedilerek, onun laboratuvarında çalışabilmiştir. Marconi evrimsel bir süreçle, 1896 yılında 2 kilometre kadar olan iletişim uzaklığını 1902 yılında 10,000 kilometreye dek artırmıştır. Marconi 1899 yılında iki Amerikan gemisini radyo ile donatmış ve Amerika Yat Kupası Yarışlarındaki gelişmeleri bu gemiler aracılığıyla Atlantik Okyanusu’ndan Amerika’ya iletmiştir.

Nobel fizik ödüllü Fransız fizikçi Jean B. Perrin (1870-1942), elektronu ilk keşfeden bilimcidir. Perrin katot ışınlarının negatif yüklü parçacıklar içerdiğini keşfetmişti. Daha sonraları elektron olarak adlandırılacak bu parçacıklar, İngiliz fizikçi Joseph Thomson (1846-1914) tarafından ölçüldü.

Edison ile yanında kısa bir süre çalışan Nikola Tesla (1856-1943) arasında büyük bir nefret doğmasıyla Tesla, çalışmalarını tek başına yürütmeye başladı. Tesla endüksiyon motorunu keşfetti ve güç iletimini geliştirmek adına pek çok çalışma yaptı. Edison dc güç dağıtımını desteklerken Tesla, ac dağıtımın doğruluğuna inanıyordu. Sonunda Tesla’ nın gerekçelendirmeleri dünya çapında kabul gördü. 1912 yılında Edison ve Tesla birlikte Nobel fizik ödülüne aday gösterildiler. Ancak Tesla’ nın Edison ile ortak hiçbir şey yapmak istememesi nedeniyle ödül üçüncü bir kişiye verildi. Tesla’ nın kuramlarından birisi, olabilirliği günümüze dek kanıtlanamamış olan, elektriksel gücün kablosuz olarak yüksek enerjili elektromanyetik yada radyan ışıma ile iletilmesi kuramıdır. Bazı bilimciler halen bunun gerçekleştirilme olasılığı üzerinde tartışmaktadırlar.

1904 yılında İngiliz bilim insanı John A. Fleming, Edison tarafından keşfedilen bir etkinin değerini gördü ancak bir uygulama amacı bulamadı. “Edison etkisi”, Fleming’ in akımı tek yönde geçiren “Fleming Valfi’ ni” keşfetmesini sağladı. Bu aygıt, değişken akımın doğru akıma dönüştürülmesinde ve radyo dalgalarının deteksiyonunda kullanılan ilk aygıt oldu.

Fleming Valfi çok büyük bir ilerleme sayılsa da bir işareti yükseltmek için kullanılamıyordu. Amerikalı kaşif Lee De Forest (1873-1961) tarafından geliştirilen ve “Audion” adı verilen triyot lambanın küçük işaretleri yükseltme yeteneği vardı ancak pek de büyük bir ticari başarı sağlayamadı. Bununla birlikte Birinci Dünya Savaşı nedeniyle gereksinilen haberleşme cihazları için vakum tüplerinin ar-ge için büyük yatırımlar yapıldı. Savaş süresince bir milyondan fazla vakum tüp kullanıldı. Böylece 1915 yılında kıtalararası telefonu, 1920 yılında izlenceli radyo yayınlarını, 1936 yılında radarı ve 1927 yılında televizyon yayınlarını başlatan “lambda elektroniği” çağı başlamış oldu.

Süperheterodin radyo 1920 yılında Edwin Armstrong tarafından patent altına alındı. Bu patent önce Westinghouse ve sonra da RCA (Radio Corporation of America) tarafından satın alındı. Radyo yayınları başladı ve üç yıl içinde izlenceli yayın yapan kuruluş sayısı, NBC, CBS ve BBC de dahil olmak üzere beşyüzü geçti.

İkinci Dünya Savaşı da elektronik teknolojisi için büyük bir ar-ge finansmanı dalgası yarattı. Sözelimi ilk CRTler, radar kullanımı için geliştirildiler. Savaş sonrasında bu buluş sayesinde televizyon keşfedildi.

Televizyonun babası Vladimir C. Zworykin, kineskop denilen ilk televizyon resim tüpünü 1920 yılında geliştirdi.

İngiliz kaşif John L. Baird (1888-1946), televizyonun öncüsüdür. İlk televizyon yayını gerçekleştiren Baird 1924 yılında nesne görüntülerini, 1925 yılında insan yüzlerini tanınabilir olarak iletmeyi başardı. 1926 yılında gerçek anlamda televizyonu ve 1939 yılında da renkli televizyonu geliştirdi.

İkinci Dünya Savaşı sırasında mikrodalga sıklıklarında çalışacak lambalara gereksinim duyuluyordu. İngiliz kaşif Henry Boot 1939 yılında magnetronu geliştirdi ve aynı yıl Amerikalı kardeşler Russel ve Sigurd Varian, klystronu keşfettiler. 1943 yılında Rudolph Kompner tüplü yürüyen dalga yükselticini keşfetti. Bu üç mikrodalga lambda günümüzde halen kullanılmaktadırlar.

1946 yılında J. Presper Eckert ve John Mauchly, yapımında 300,000 lambda kullanılmış olan ENIAC’ı tanıttılar. “Electronic Numerical Integrator and Computer” (elektronik sayısal toplayıcı, hesaplayıcı) sözcüklerinden üretilen kısaltma ile adlandırılmış olan bu aygıt, ilk geniş ölçekli elektronik sayısal bilgisayardır.

Elektronik tarihi, Walter Brattain, William Shockley ve John Bardeen olmaksızın tamamlanamaz. Shockley, ince bir yarıiletken katmanın iletkenliğinin, dışarıdan uygulanan bir alan ile değiştirilerek, yükseltme sağlanabileceğinin mümkün olduğunu düşünüyordu. Aynı zamanlarda Bardeen’ de, yarıiletken yüzeyindeki enerji düzeylerinin varlığını temel alarak, elektriksel etkilerini açıklayabilmişti. Ve Brattain, ilk “transfer resistor” yani transistorun üretimini gerçekleştirdi. 1947 yılında Bell Laboratuvarlarında

ELEKTRONİĞİN KISA GEÇMİŞİ

gerçekleştirilen bu dev keşif, “yarıiletken elektroniği” çağını başlattı. Transistörlü donanım daha küçük, daha ucuz, daha güvenilir, daha kullanışlıdır ve çok daha az güç tüketir.

1958 yılında Robert Noyce, Jean Hoerni, Jack Kilby ve Kurt Lehovec adlı bilimciler, küçük bir yarıiletken yonga üzerinde pek çok transistör ve diğer devre elemanlarını içeren ilk tümdevreyi geliştirdiler.

1961 yılında Steven Hofstein, MOS (metal oksit yarıiletken) tümdevrelerin yapımında kullanılan alan-etkili transistörü keşfetti. Aynı yıl Hughes Aircraft Company çalışanı Theodore H. Maiman adlı bilimci, türetik (synthetic) yakut kristali kullanarak ilk kullanılabilir laser aygıtını oluşturdu.

1971 yılında Intel Corporation çalışanı Ted Hoff, bir merkezi işlemcinin tüm temel birimlerini içeren bir 4004 mikroişlemcisini tasarladı. Intel 4-bit 4004 üzerinde yaptığı geliştirmelerle, iki sayıyı saniyenin 2,5 milyonda biri kadar sürede toplayabilen 8-bitlik bir mikroişlemciyi 1974 yılında piyasaya sürdü.

1977 yılında üç değişik marka kişisel bilgisayar kitle pazarına sunuldu: Apple II, Radio Shack TRS-80 ve Commodore PET.

1979 yılında Motorola Corporation, iki sayıyı saniyenin 3,2 milyarda biri kadar sürede çarpabilen güçlü ve kullanışlı 16-bitlik mikroişlemcisini yaratarak, bilgisayarlardaki gelişmeyi sürdürdü.

Günümüzde bilgisayar pazarının devi olan IBM, kişisel bilgisayar pazarına 1981 yılında IBM PC ile girdi. Aynı yıl Hewlett-Packard 32-bit işlemcisini pazara sürerek, bilgisayarların hızı ve gücündeki ilerlemeye katkıda bulundu.

Dünyanın her yanındaki bilimsel laboratuvarlarda binlerce bilim insanı, 1987 yılı başlarında bilim kurgudan bile fazla görülen yeni bir teknoloji için hırsla çalışmaya başladılar. Tıpkı 40 yıl önce ilk geliştirildiğinde transistörün tüm kullanım alanlarını kimsenin kestiremediği gibi, üstüniletkenlerin (superconductor) bütün uygulama alanları ve kullanılacakları yerler henüz tam olarak anlaşılammıştır. Bununla birlikte gelecekte tüm güç dağıtımının düşük yitimleri nedeniyle üstüniletken kablolarla yapılacağı ve tüm bilgi işaretlerinin de büyük sığa ve küçük boyutları nedeniyle fiber optik kablolar ile dağıtılacağı düşünülmektedir.

Diğer yandan Intel ve Motorola tarafından giderek artan başarımda mikroişlemciler üretilmesi ile, bir yandan bilgisayar alanında içine yazılım sektörünün de dahil olduğu baş döndürücü bir gelişim ivmesi yakalanmış, bir yandan da haberleşmenin yeni bir boyutu olarak Internetin hayatımıza katılımı ile tüm yaşam alışkanlıklarımızda 50 yıl önce hayal etmesi bile güç olan değişimler ortaya çıkmıştır.

Günümüzde dünya ekonomisini sürükleyen en büyük sektörlerden ikisi olan haberleşme ve bilgisayar sektörleri, giderek artan ar-ge yatırımları ve her geçen yıl yaklaşık iki katına çıkan ilerleme hızı ile çağımıza damgasını vurmaktadır.

BÖLÜM I

BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE SORUN ÇÖZME

İletişim Yetenekleri

Josiah Williard Gibbs 1839 yılında Connecticut, New Haven' da doğdu. 1858 yılında mezun olduğu Yale'e 1869 yılında fizik matematiği profesörü olarak atandı ve öldüğü 1903 yılına dek bu görevde kaldı. Gibbs yaşamı süresince çoktürdeş (heterogeneous) özdeklere güçler dengesi, vektör çözümlene yöntemleri ve elektromanyetik ışık kuramı üzerine pek çok çalışma yayınladı.

Pek çok bilim tarihçisi Gibbs' in, Einstein ve Newton kadar zeki olduğu konusunda görüş birliği etmişlerse de, her nasılsa insanlar tarafından pek tanınmamıştır. Bunun en büyük nedeni açık ve etkin iletişim kurabilme yeteneği olmamasıdır. Müthiş teknik dehasına karşın garip bir biçimde kendini ifade edemediği için yaşamı boyunca hep hayal kırıklıkları yaşamıştır. Yazılarında ne açıklamaya çalıştığını algılamak bilimcilerin yıllarını almıştır ve "buluşlarını yeniden keşfetmek, yazdıklarını okumaktan daha kolay" şakası doğmuştur.

Kıssadan hisse: Bir insanın teknik dehası ne denli yüksek olursa olsun, bu teknik yeterliliği iletişime koyamadığı sürece asla anlaşılmaz ve takdir edilmez.

GİRİŞ

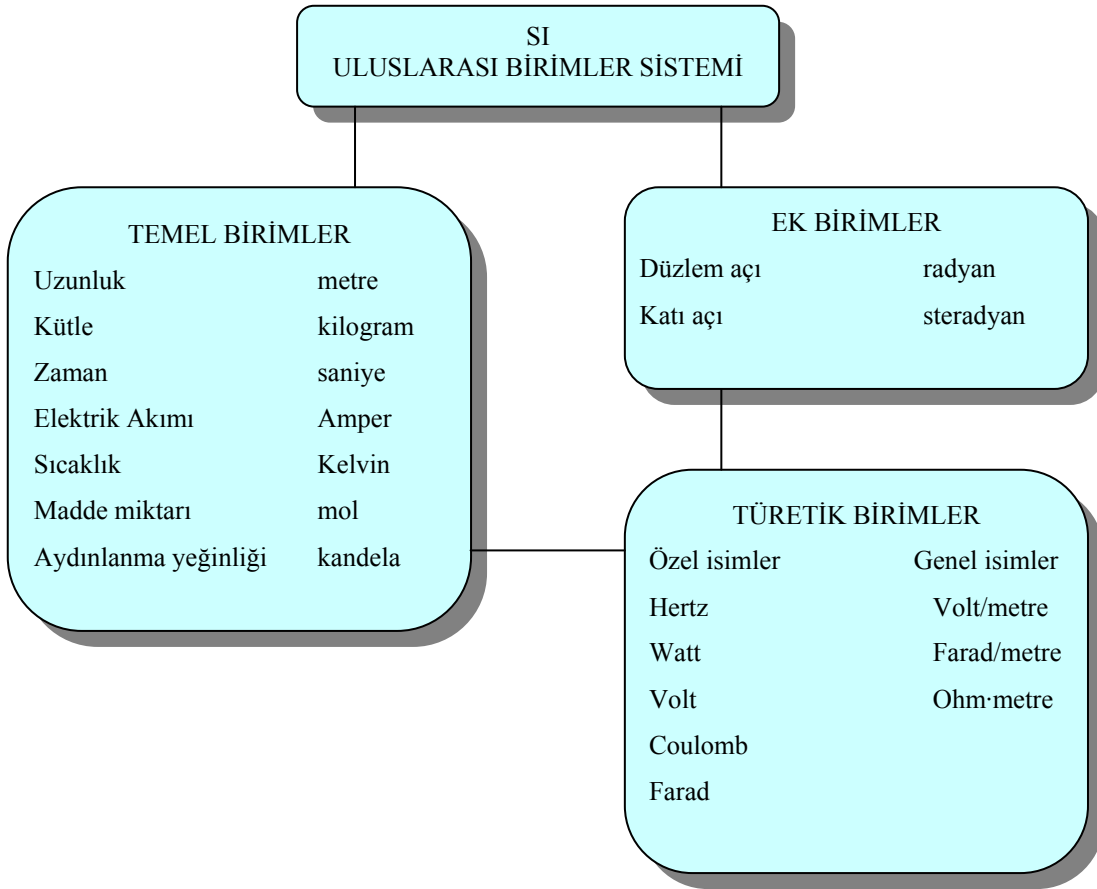
İş yaşamında yada okulda elektrik ve elektronik ile ilgili olarak çalışan herkes, derecesi basitten karmaşığa değişen ölçme ve hesaplamaları yapabilmek zorundadır. Bu ölçme ve hesaplamalar, bir konuyu anlamak için sorun çözümlerken yada denklemler yardımıyla sonuç kestirirken gereklidir.

Ölçmelerden ve hesaplamalardan elde edilecek sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olmaları için ise, sayısal ve boyutsal olarak doğru ve beklenen hassasiyette olmaları gerekir. Sözelimi “bir devreden geçen akım 5tir” denildiğinde akla hemen “5 ne?” sorusu gelir. Yada bir nesnenin uzunluğunu santimetre olarak söylemek gerektiğinde, uzunluk metre olarak ölçülmüşse bir dönüşüm yapılmalıdır.

Sayısal ve boyutsal doğruluk için birimlerin, öntakıların, dönüştürme katsayılarının ve bilimsel yazımın tam olarak bilinmesi gereklidir. Sonuçların hassasiyeti için ise belli sayıların, sayı yuvarlama tekniğinin, ve bu sayılarla matematiksel işlem yapabiliyor olmak gerekir. Bu işlerin büyük çoğunluğunu hesap aletlerine bırakmak, yükümüzü çok azaltacaktır. Bu nedenle hesap aleti ile matematiksel işlem ve dönüşümleri hızla ve doğru olarak yapabilmek çok önemlidir.

I.1 ULUSLARARASI BİRİMLER SİSTEMİ (SI)

Ölçme birimi, bir fiziksel büyüklük için standart ölçü olarak tanınmış ve kabul edilmiş belli bir büyüklüktür. Bunların bir bölümü metre, saniye, litre gibi çok bilinen birimler iken bir bölümü de pek tanınmayan mol, kandela, steradyan



Şekil 1.1: Türlü SI birimleri arasındaki ilişkiler.

BÖLÜM-1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE
SORUN ÇÖZME

gibi birimlerdir. Tüm dünyada çalışan ve üreten bilim insanları ve teknisyenler, evrenin tüm ilişkilerini kavramaya çalışırken bu ortak dili konuşmayı öğrendiklerinden beri çözümler giderek hızlanmaktadır.

Uluslar arası birimler sistemi SI (Système International d'Unites), temel olarak metre, kilogram, saniye ve Amper birimlerini kullandığı için eskiden MKSA birim sistemi olarak da adlandırılırdı. Bu sistemin temel ölçülerini oluşturan standartlar, 1960 yılında 36 ülkenin katılımı ile gerçekleştirilen 11. Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansında belirlenmiştir. SI birim sistemi ile getirilen standart ölçüler en son olarak Amerika Birleşik Devletleri tarafından, 1975 yılında benimsenmiştir. Bu ülke halen foot, pound, yard gibi birimlerden, kilogram, litre ve metre gibi birimlere geçebilmeye çalışmaktadır.

Tablo 1: Bazı türetik SI birimleri.

Büyükük	Birim	Simge	Formül
Kuvvet	Newton	N	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
Erk (enerji)	Joule	J	$\text{N}\cdot\text{m}$
Güç	Watt	W	J/s
Sıklık (frekans)	Hertz	Hz	$1/\text{s}$
Elektrik yükü	Coulomb	C	$\text{A}\cdot\text{s}$
Gerilim (elektrik potansiyel)	Volt	V	$\text{J}/\text{C},$ W/A
Elektriksel direnç	Ohm	Ω	V/A
Sığa (kapasitans)	Farad	F	C/V
Manyetik akı	Weber	Wb	$\text{V}\cdot\text{s}$
Manyetik akı yoğunluğu	Tesla	T	Wb/m^2
Endüktans	Henry	H	Wb/A
Elektrik iletkenliği	Siemens	S	$\text{A}/\text{V},$ $1/\Omega$
Elektrik alan kuvveti	metre başına Volt	\mathcal{E}	V/m
Elektrik geçirgenliği	metre başına Farad	ϵ (ipsilon)	F/m
Öziletkenlik	Ohm metre	ρ (ro)	$\Omega\cdot\text{m}$

Metre ve kilogram için kullanılan standart malzemeler, Fransa' daki Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu tarafından korunmaktadır. İkincil fiziksel standartlar ise, Birleşik Devletlerin Washington DC. Eyaletindeki Ulusal Standartlar Bürosunda bulunmaktadır.

BÖLÜM-1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE SORUN ÇÖZME

SI birimler sisteminde yedi temel, iki ek ve pek çok türetik birim bulunmaktadır. Temel birimler, boyutları uluslararası görüşmelerle tam olarak belirlenmiş ve boyutları bağımsız birimlerdir. Bu birimler bir araya getirilerek türetik birimler elde edilir. Şekil:1.1de, temel birimler ve bazı türetik birimler gösterilmiştir.

Uluslararası Birimler Sisteminin sağladığı kolaylıklar şöyle sıralanabilir:

1. Her büyüklük için tek bir birim tanıdığı için, yanlış anlaşılma olasılığı çok azdır.
2. Birimlerin tek ve iyi tanımlanmış bir simgeler seti vardır.
3. Onluk bir sistemdir. SI birimlerinin katları birbirine 10 katsayısı ile bağlıdır.
4. Kilogram dışındaki tüm temel birimler, açıklanabilir olgular olarak tanımlıdır. Örneğin Amper, boşlukta ve 1 m aralıkla koşut olarak yerleştirilmiş sonsuz uzunluk ve göz ardı edilebilecek kesitli iki iletkenin geçirildiğinde, iletkenler arasında 2×10^{-7} Newtonluk çekme kuvveti oluşturacak akım büyüklüğüdür.

I.2 ÖNTAKILAR ve SI KULLANIMI

Tablo 1.2: Öntaki simge ve çarpanları.

Adı	Simgesi	Okunuşu	Çarpan Değeri	Üs
femto	f	femto	0,000000000000001	10^{-15}
pico	p	piko	0,0000000000001	10^{-12}
nano	n	nano	0,000000001	10^{-9}
micro	μ	mikro	0,000001	10^{-6}
milli	m	mili	0,001	10^{-3}
centi	c	santi	0,01	10^{-2}
deci	d	desi	0,1	10^{-1}
deka	da	deka	10	10^1
hecto	h	hekto	100	10^2
kilo	k	kilo	1000	10^3
mega	M	mega	1000000	10^6
giga	G	giga (ciga)	1000000000	10^9
tera	T	tera	1000000000000	10^{12}
peta	P	peta	1000000000000000	10^{15}
exa	E	egza	1000000000000000000	10^{18}

BÖLÜM-1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE SORUN ÇÖZME

Tablo:1.2de ilk sütündeki büyüklüklere “öntakı” denilir ve her birisi “10”un bir kuvvetini gösterir. Örneğin kilogramdaki “kilo” öntakısı, bu birimin, gramın 1000 (yada 10^3) katı olduğunu belirtir. Benzer biçimde “Mega” öntakısı, 1.000.000 (10^6) çarpanını gösterir.

Öntakıların kullanılma gerekçeleri şöyle sıralanabilir:

1. Bir büyüklüğün daha kısa yazılmasını sağlar.
2. Yazım hatası yapma ve yanlış anlaşılma olasılığını azaltır.
3. Standart büyüklükler ile çalışılmasını sağlar.

SI Birimler Sistemine tam olarak uymak için aşağıdaki kurallar da dikkate alınmalıdır:

1. Sıcaklık derecesi birimi Celcius, büyük harfle yazılan tek birimdir.
2. Kişiler onuruna verilen isimler dışında hiçbir simge büyük harfle yazılmaz.
3. Mega (M), giga (G), tera (T), peta (P) ve egza (E) dışındaki tüm öntakılar küçük harfle yazılır.
4. Büyüklük belirtmek için öntakılar tek başına kullanılamaz. Örneğin “bir kilo elma” değil “bir kilogram elma” denilmelidir.☺
5. Tümce sonları dışında simgelerden sonra nokta kullanılmaz.
6. Sayılar ve simgeler arasında boşluk bırakılmalıdır.
7. Birimlerin bölümü olarak gösterilen türetik birimlerin simgeleri, çizgi yada bölü imi ile gösterilmelidir. “bölü” sözcüğü yalnızca birimlerin isimleri ile birlikte kullanılır. Örneğin m bölü s değil; metre bölü saniye, m/s yada $\frac{m}{s}$ kullanılmalıdır.
8. Birimlerin bölümü olarak gösterilen türetik birimlerin simgeleri, yükseltilmiş nokta imi ile gösterilmelidir. Örneğin Newton-metre için N·m yazılmalıdır.

I.3 DÖNÜŞTÜRME İŞLEMLERİ

Birimler çoğu zaman matematiksel işlemlerde kullanılacak birimlerden farklı olarak ifade edilir. Böyle durumlarda doğru işlem yapabilmek için birim sistemleri içinde yada arasında “dönüştürme” yapmak gerekir. Sistem içi dönüşüme örnek olarak, uzunluğun santimetre olarak verilip yanıtın metre olarak istendiği bir durum örnek olabilir. Bir taşıtın hızı mil/saat olarak biliniyor ve m/s olarak isteniyorsa, birim sistemleri arasında bir dönüşüm yapılması gerekir.

Aynı büyüklüğü başka bir birimle gösterebilmek için bir “dönüşüm katsayısı” kullanılmalıdır. Dönüşüm katsayısı, aynı büyüklük için kullanılan iki birim arasındaki oranı gösteren bir sayıdır. Örneğin 1 düzinede 12 kalem, 1 günde 24 saat, 1 megabaytta 1024 kilobayt vardır.

BÖLÜM-1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE SORUN ÇÖZME

Bu tür dönüşümlerde kullanılmak üzere İngiliz Sistemi ile metrik sistem arasında kullanılması gereken bazı dönüştürme katsayıları Tablo:1.3te verilmiştir.

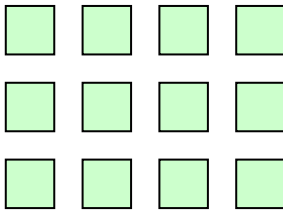
Tablo 1. 3: Metrik sistem ile İngiliz sistemi arasındaki bazı dönüşüm oranları.

Eşitlik	Oran
1 inch = 2,54 santimetre	2,54 cm/1 in.
1 foot = 0,3048 metre	0,3048 m/1 ft
1 mil = 1,609 kilometre	1,0609 km/1 mi
1 galon = 3,785 litre	3,785 l/ 1 gal
1 ons = 28,35 gram	28,35 g/1 oz
1 pound (kütle) = 0,4536 kilogram	0,4536 kg/1 lb _m
1 pound (kuvvet) = 4,45 Newton	4,45 N/1 lb _f
1 Beygirgücü = 746 Watt	746 W/1 bg

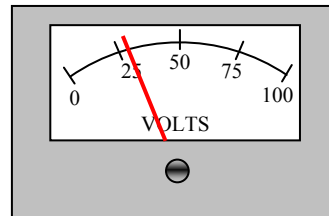
Birim katsayıları arasındaki dönüşümler ise, Tablo:1.2de verilmiş olan katsayıların oranlanması ile bulunan ve yine onluk olan katsayılar kullanılarak yapılır. Dönüştürme, çarpma işleminden başka bir şey değildir. Yalnızca nelerin çarpılacağına dikkat edilmelidir. 😊

1.4 HASSASİYET VE SAYILARIN YUVARLANMASI

Mühendislik hesaplamalarında kullanılan sayılar, **tamsayı** yada **yaklaşık sayı**lardır. Tamsayı, belirsizlik taşımaz ve genellikle birim sayısı yada tanım ile elde edilir. Sözgelimi Şekil:1.2(a) daki karelerin sayısı, kesin olarak bilinmektedir. Ne zaman ve nasıl sayılırsa sayılsın 12 sayısına ulaşılır. Yaklaşık sayılarda ise bir belirsizlik vardır ve genellikle ölçmeler yada tamsayılar ile



(a)



(b)

Şekil 1.2: Tamsayı ve yaklaşık sayı için örnekler.

BÖLÜM-1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE SORUN ÇÖZME

yapılan matematiksel işlemler sonucunda elde edilir. Şekil:1.2(b) deki gerilimölçerlerde görülen değer, her okumada büyük olasılıkla başka değerler alabileceğinden ancak bir yaklaşık sayı olarak ifade edilebilir.

Yaklaşık sayılar kullanılırken “anamlı rakamlar” dikkate alınmalıdır. Bir sayıdaki anlamlı sayılar şöyle belirlenir:

- a. Sıfır olmayan tüm rakamlar. Örneğin 1340 sayısındaki 1, 3 ve 4.
- b. En sağda olmayan sıfırlar. Örneğin 104 sayısındaki 0.
- c. Ondalık virgülden önce sıfır olmayan bir rakam varsa, ondalık virgülden sonraki sıfırlar. Örneğin 1,0 sayısındaki 0.

Bir sayıda çok fazla rakam varsa, sayının değerini değiştirmeyecek yada anlamlı olmayan sayılar atılarak **yuvarlama** yapılabilir. Yuvarlama, istenmeyen rakamlar atılarak, sayının daha yalın olarak ifade edilmesidir. Yuvarlama yapılırken ortaya çıkan en önemli sorun, **hassasiyettir**. Hassasiyet, yuvarlama sonrasında sayının özgün değerinin ne kadar korunabildiğinin ölçüsüdür. Hassasiyet genellikle $\pm\%$ yada virgülden sonraki basamak sayısı olarak belirtilir.

Yuvarlama işlemi şu biçimde yapılmalıdır. En sağ basamaktaki rakam 5 ve üzerinde ise, solundaki rakam bir artırılır. En sağ basamaktaki rakam 5 ten küçük ise, solundaki rakam değiştirilmez. Bu işlem, virgülden sonra istenilen sayıda basamak kalana dek yürütülür. Örneğin 3,162 sayısı, 3,16, 3,2 yada 3 olarak yuvarlanabilir. Seçim, virgülden sonra kaç basamağın istendiğine bağlıdır.

I.5 SORUN ÇÖZME YÖNTEMİ

Sınıfta ve endüstride elektrik devreleri ile çalışırken, devre çözümlenmesi ve sorun çözme süreçlerine girilmesi gereklidir. Okuldaki sorunlar, yazılı olarak verilir ve yine yazılı olarak çözülür. Uygulamada ise sorunlar, projelerin sonuçlarıdır ve ne yazık ki çözmek için size yardım edecek bir öğretmen bulunmaz.☺

Okulda ve iş yaşamında karşılaşılan sorunların çözülmesinde, sına-yanıma yada ezber yöntemleri yerine, düzenlice oluşturulmuş bir sıralı süreç kullanılırsa, başarı daha kolay ve çabuk yakalanır.

Sorun çözmeye dört temel adım vardır. Bunlar:

1. Sorun dikkatlice okunup, verilen ve bulunması istenilen büyüklükler not edilir. Bazı değerler doğrudan verildiği gibi, bazılarının da sorunun yapısından anlaşılması gerekebilir.
2. Gerekliyse bir devre şekli çizilerek, tüm parça ve değerleri adlandırılmalıdır.
3. İstenilen büyüklükleri bilinen büyüklüklere bağlayan ilişki yada ilişki grupları oluşturulmalıdır.
4. 3. adımda elde edilen bağımsız eşitliklerin sayısı, devredeki bilinmeyenlerin sayısına ulaşınca denklemler çözümlenmelidir.

Bu işlem sırasını, şu sorun için uygulayalım:

- Bakırın yoğunluğu $8,93 \text{ g/cm}^3$ olduğuna göre, kütlesi 50 g ve çapı 0,254 cm olan bir bakır telin uzunluğu kaç metredir?

Bilinenler doğrudan verildiğine göre, bu sorun için bir çizim yapılması gerekli değildir. Verilenler incelendiğinde, şu sıralamanın uygun bir çözüm yolu olduğu sonucuna varılır:

Öncelikle kütle ve yoğunluk verileri kullanılarak telin hacmi bulunabilir. Daha sonra çap ve daire alanı formülü yardımıyla telin kesit alanı bulunur. Son olarak kesit alan, hacim ve uzunluk arasındaki bağıntı kullanılarak telin uzunluğu bulunur. Buna göre çözüm şöyledir:

$$\text{Hacim} = \text{kütle}/\text{yoğunluk} = (50 \text{ g})/(8,93 \text{ g/cm}^3) = 5,6 \text{ cm}^3$$

$$\text{Alan} = (\pi/4)R^2 = (\pi/4)(0,254 \text{ cm})^2 = 0,051 \text{ cm}^2$$

Hacim = alan×uzunluk olduğuna göre,

$$\text{Uzunluk} = \text{hacim}/\text{alan} = (5,6 \text{ cm}^3)/(0,051 \text{ cm}^2) = 109,8 \text{ cm} = 1,1 \text{ m}$$

Görüldüğü gibi, çözüm yolu sorunun incelenmesi ile oluşturulmuştur. Benzer sorunlar için diğer bir çözüm yöntemi de, eşitliklerin kullanılması ile bulunabilir. Yazılan ilk eşitlikteki bilinmeyen, bir sonraki eşitliğin hangisi olacağını belirler. Bu ilk yöntemden daha mekanik bir yöntem olsa da işe yarar.

Uzunluk istendiğine göre ilk eşitlik, içinde uzunluk bulunan bir eşitlik olacaktır.

$$(1) \quad \text{hacim} = \text{uzunluk}/\text{alan}$$

Bu eşitlikte uzunlukla birlikte, hacim ve alan olmak üzere iki de bilinmeyen vardır. Demek ki bundan sonra içinde alan ve hacim bulunan iki eşitlik kullanılacaktır. Hacim içeren diğer eşitlik,

$$(2) \quad \text{hacim} = \text{kütle}/\text{yoğunluk}$$

ve alan içeren eşitlik de,

$$(3) \quad \text{alan} = (\pi/4)/\text{çap}^2$$

olarak belirlenir. Üç eşitlik ve üç bilinmeyen olduğuna göre çözümlene kolayca yapılabilir.

Bu iki yöntem karşılaştırıldığında görülür ki, birinci yöntemde verilenlerden istenilene doğru bir çözüm yolu kurulurken, ikinci yöntemde istenilen değeri verilenlere bağlayan bir yol kurulmaktadır. Peki bu iki yöntemden hangisi kullanılmalıdır? En iyisi her iki yöntemin bileşimi ile çalışmak en iyisidir. Bunun için çözüm yolunu zihinden belirlemeye çalışmak ve bir sonraki adımı düşünemez duruma gelince eşitliklerden yararlanmak doğru olacaktır.

Herhangi bir sorunun çözümünde, çalışmanın belgelenmesi en önemli noktalardan birisidir. Öğrenci iseniz bu, çalışmanızı incelemek ve anlamanızı kolaylaştırmak için en uygun yoldur. Tabi ki not alabilmeniz de genellikle bu iş iyi yapmanıza bağlıdır.☺ Eğer teknisyen iseniz, belli bir süreç yada çözümlenmenin belli bir zamanda gerçekleştirilmiş olduğunun kanıtı, bu

BÖLÜM-1 BİRİMLER, MATEMATİKSEL İŞLEMLER VE
SORUN ÇÖZME

belgeleme olacaktır. Bu belgeler yeri gelince işvereninizin ve hatta sizin yasal dayanaklarınız, kanıtlarınız olacaktır.

Kabul edilebilir bir dokümantasyonda düzgün çizimler, verilen ve istenilen değerler, eşitlikler, birimler, gerekli noktalarda açıklamalar ve tertipli bir sunum gereklidir. Öğrenciler bu tür dokümantasyon hazırlama alışkanlığını geliştirmeye çalışmalıdırlar.

BÖLÜM 2

MADDE, ELEKTRİK VE TEMEL ELEKTRİKSEL BİRİMLER

Bir Sürü Statik Yaratmak

Coulomb yasasına göre iki elektrik yükü arasındaki itme yada çekme kuvveti, yüklerin çarpımına eşittir ve yükler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır: $f=(Q_1 \times Q_2)/d^2$.

Gariptir ki Coulomb yasası ilk kez Coulomb tarafından değil, varlıklı bir bilimci ve düşünür olan Henry Cavendish tarafından keşfedildi. Cavendish, keşfini yayınlamadı ve bu buluştan birkaç yıl sonra Coulomb, aynı yasayı bağımsız olarak yeniden keşfetti. James Clerk Maxwell, Cavendish' in yaptığı çalışma ve deneyler ile bunların sonuçlarını açıkladığı defterlerini 1879 yılında yayınladı. Ancak geçen yaklaşık 100 yıl içinde yasa Coulomb adıyla özdeşleşmişti. Gerçeğin ortaya çıkmasıyla bir çok bilimci yasanın Cavendish yasası olarak adlandırılmasını talep ederken, diğer bir çok bilimci de, yasayı bilim dünyasına Coulomb tanıttığı için, gerçek kaşifin o olduğunu savundu. Bu tartışmanın sonucunu, hepimiz biliyoruz.

GİRİŞ

Elektrik sözcüğü, Yunanca'da reçine anlamına gelen *elektron* sözcüğünden türetilmiştir. Kuru reçine kürk ile ovalandığında, hafif parçacıkları çekme yeteneği kazanır. *Sürtünme ile elektrikleme* denilen bu süreç, elektronların kürkten reçineye aktarılması ile oluşur. Bu aktarım gerçekleştiğinde maddelerin (kürk ve reçine) *zıt* yüklendikleri yada iki madde arasında bir *potansiyel fark* olduğu söylenir. Bu potansiyel farkın, bir bataryanın iki elektrotu arasındaki etkiye benzeyen bir etkisi vardır. Bazı dillerde yanlılıkla

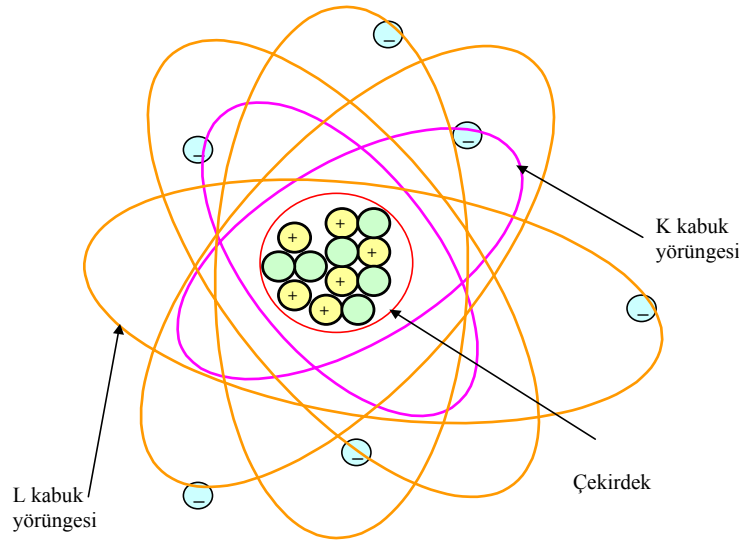
“basınç” anlamına gelen sözcüklerle açıklanan bu potansiyel fark yada elektromotiv kuvvet (emk), elektronların elektrotlar arasına bağlanan bir iletken üzerinden akmalarına neden olur. Aydınlatma ve ısıtma gibi yararlı işlevleri gerçekleştirebilen bu elektron akışına, *elektrik akımı* denilir. Ancak elektrik, Dr. Jekyll Mr. Hyde gibidir. Yararları ile birlikte gerekli önlemler alınıp belirli kurallara uyulmaz ise büyük zarar ve hasara yol açabilir. Durgun elektrik hassas elektronik elemanlara zarar verebilirken, elektrik akımı insan ölümlerine bile neden olabilir.

2.1 MADDE VE YAPITAŞLARI

Devre çözümlemesi için madde ve atomun yapısının bilinmesi gerekmesede, bu konulardaki basit bir inceleme, elektriğin doğasının anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca bir lambayı bataryaya bağlamak için neden kauçuk değil de bakır kullanıldığı yada bir kablonun dışına neden alüminyum değil de plastik kaplandığı gibi soruların yanıtları da bu biçimde açıklığa kavuşacaktır.

Boşlukta yer kaplayan ve ağırlığı olan her şeye madde denilir. Madde, sıvı, katı ve gaz durumunda bulunur. Tüm maddeler element denilen temel maddelerden bir yada birkaçının bileşiminden oluşur. Doğada 100 den fazla element vardır. Elementler, kimyasal olarak ayrıştırılmayan ve diğer elementlerin kimyasal birleşimleri ile elde edilemeyen temel maddelerdir ve diğer tüm maddelerin yapıtaşlarıdır.

Çevremizdeki çoğu madde **bileşik**dir. Bileşikler, iki yada daha çok elementin kimyasal bileşimi ile oluşurlar ve kimyasal süreçlerle bu elementlere ayrıştırılabilirler. Örneğin su, kendisini oluşturan hidrojen ve oksijen elementlerine ayrıştırılabilir.



Şekil 2.1: Elektronların ve çekirdeğin resimsel gösterimi.

BÖLÜM-2 MADDE, ELEKTRİK VE TEMEL ELEKTRİKSEL BİRİMLER

Bileşikler, molekül denilen parçacıklara bölünebilirler. **Molekül** bir bileşiğin yoğunluk, ağırlık, koku, tat ve sertlik gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini aynen taşıyan ve artık niteliklerini yitirmeden bölünemeyen en küçük parçasıdır.

Moleküller atomlardan oluşurlar. **Atom** bir elementin, diğer parçacıklarla kimyasal tepkimelere giren en küçük parçasıdır ve Yunanca'da *kesilemeyen* yada *bölünemeyen* anlamına gelen *atomos* sözcüğünden gelmektedir.

Atomlar çok küçüktürler ve yaklaşık 10^{-8} cm çaptadırlar. Bu denli küçük olmaları nedeniyle optik mikroskoplar ile gözlenememekle birlikte, elektron mikroskopları ile davranışları incelenebilmektedir.

Tablo 2.1: Atomdaki parçacıkların fiziksel özellikleri.

Parçacık	Kütle (kg)	Yük (C)
Elektron	$9,11 \times 10^{-31}$	$-1,6 \times 10^{-19}$
Proton	$1,67 \times 10^{-27}$	$+1,6 \times 10^{-19}$
Nötron	$1,67 \times 10^{-27}$	0

Atomik füzyon, fizyon ve elektron akımı kuramları oldukça yeni kuramlardır ancak atom kavramı, Yunan Filozof Democritus'un bir atom kuramı geliştirdiği İ.Ö. 500 yıllarına dek uzanmaktadır. Yine de bugün bildiğimiz atom yapısı ile sonuçlanan kuramların önerilmesi ve sınamalarının yapıp doğrulanması, 19.yy sonları ile 20.yy başlarında gerçekleşmiştir.

Atom üç temel parçacıktan oluşmuştur: **elektron, proton ve nötron**. (Tamam, kabul, mezonlar ve kuarklar da var ama bunu bir tek sen biliyorsun ses çıkarma☺) Proton ve nötronlar, mezon, nötrino ve hiperonlar ile birlikte **çekirdek** denilen merkezde bulunurlar. Elektronlar ise çekirdek çevresindeki belli yörünge veya kabuklarda dönerler. Bunun resimsel gösterimi Şekil:2.1 de verilmiştir.

Atomun çapı, çekirdeğin çapından 10^4 kat daha büyüktür. Atom içinde proton ve elektronların birbirine çekme uyguladıkları görülmüştür. Bu kuvvetler, parçacıklara elektrik yükü olarak adlandırılan bir büyüklük atanarak açıklanmıştır. Elektrik yükü elektronlara eksi (-), protonlara artı (+) olarak verilmiştir. Bu pozitif ve negatif polariteler, zıt özellikler taşırlar ve bütün fiziksel uygulamaların temelini bu zıtlık oluşturur. Mıknatıs kutuplarının Kuzey (North) ve Güney (South) olarak adlandırıldığı gibi zıt polaritedeki elektrik yükleri de negatif ve pozitif olarak adlandırılırlar. İki zıt özellik birbirini dengeleyerek değişik fiziksel etkiler yaratırlar.

Maddelerin elektriksel özellikleri, elektriğin temel parçacıkları olan elektron ve protonların dağılımlarına bağlıdır. Örneğin elinizdeki bu kağıtta çok sayıda elektron ve proton bulunmasına karşın, hiçbir elektriksel belirti yoktur çünkü, bu parçacıkların sayısı birbirine eşittir. Böylece zıt elektrik kuvvetleri birbirini dengeleyerek kağıdı elektriksel olarak yüksüz (nötr) kılmaktadır. Nötr olma

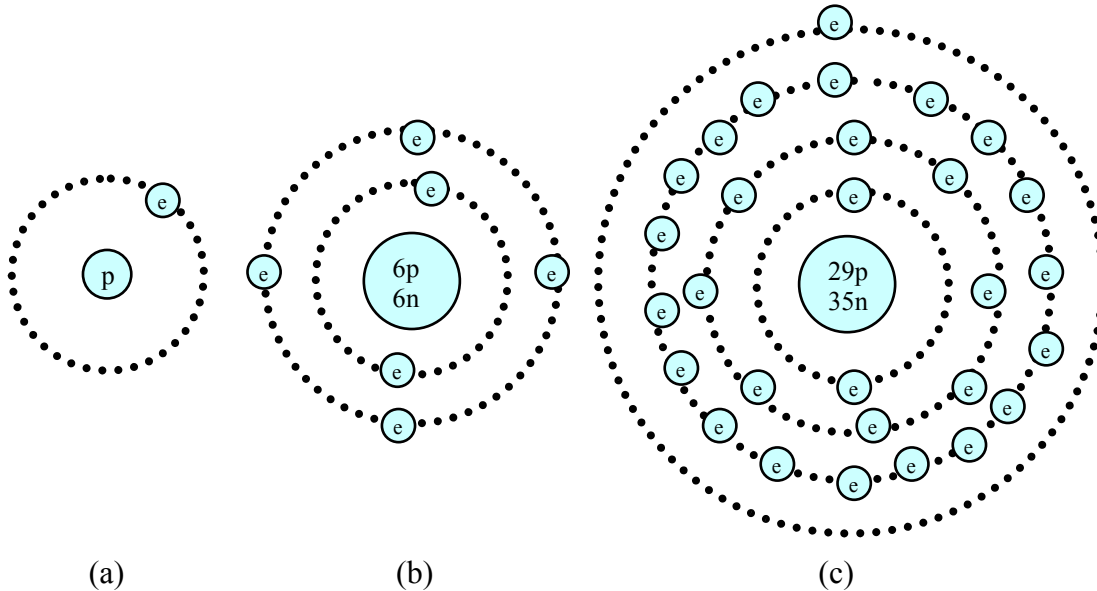
durumu, zıt kuvvetlerin tam olarak dengelenmesi ile her iki yönde de net bir etki bulunmaması durumudur.

Tablo:2.1de Bohr modeline göre atomu oluşturan parçacıkların kütle ve yükleri verilmiştir.

Negatif ve pozitif yükler ile ilişkili kuvvetleri bir olayda kullanmak istersek yapmamız gereken ilk şey, elektron ve protonları birbirinden ayırmaktır. Yükler dengesi bozulunca elektriğin etkisi gözlemlenebilir duruma gelir. Örneğin bir pil elektriksel bir iş yapabilir, çünkü kimyasal enerji yardımı ile elektrik yükleri ayrılarak negatif uçta elektron, pozitif uçta da proton fazlası yaratılır. İki uçtaki zıt yükler nedeniyle bir devreye elektrik enerjisi verilerek iş yapması sağlanabilir.

2.2 ATOMDA ELEKTRON VE PROTON DAĞILIMI

1913 yılında Fizikçi Niels Bohr, atomun, merkezdeki bir çekirdek çevresinde dönen elektronlar biçiminde bir yapısı olduğunu önermiştir. Günümüzde daha yeni kuramlar bulunuyorsa da Bohr Modeli, maddelerin elektriksel özelliklerini açıklamak için oldukça uygundur. Bu modele göre elektron ve protonların her kararlı durumu, belli bir tür atom oluşturur. Örneğin Şekil:2.2 (a) da hidrojen gazını oluşturan elektron ve proton kombinasyonu görülmektedir. Merkezde çekirdek denilen kütle ve dışında da 1 elektron bulunmaktadır. Proton elektrondan 1840 kez daha ağır olduğundan dolayı, içinde bulunduğu çekirdeği



Şekil 2.2: Hidrojen, Karbon ve Bakır atomları için Bohr modeli.

atomun kütle ve kararlılık merkezi kılar. Elektron, çekirdek çevresindeki bir yörüngede hızla döner. Bu dönüş nedeniyle oluşan merkezkaç kuvveti, çekirdekteki protonun çekimiyle dengelenir ve elektronun çekirdek çevresindeki yörüngede kalarak bir kabuk oluşturması sağlanır. Daha fazla sayıda elektron ve protonlardan oluşan atomlarda tüm protonlar çekirdekte bulunurken, elektronlar bir yada daha fazla yörüngede dönerler.

Şekil:2.2 (b) deki karbon atomunda, çekirdekte altı proton ve iki yörüngede de yine altı elektron bulunmaktadır. Nötr bir atomdaki toplam proton sayısı ile toplam elektron sayısı eşit olmalıdır.

Elektronların yörüngelere dağılımı, atomun elektriksel kararlılığını belirler. En önemlisi de çekirdekten en uzaktaki yörüngedeki elektron sayısıdır. Kararlılık için en dış yörüngedeki atom sayısı 8 olmalıdır. Bu kural yalnızca bir yada iki yörünge bulunduğu anda değişir. Çünkü ilk yörüngede ikiden, ikinci yörüngede de dörtten fazla elektron bulunamaz. Tek yörünge varken elektriksel kararlılık iki elektron ile, ikinci yörüngede de dört elektron ile sağlanır.

Karbon atomunda ilk yörüngede yalnızca iki elektron vardır çünkü ilk yörüngede bulunabilecek en fazla elektron sayısı ikidir. Kalan dört elektron da, en fazla sekiz elektron alabilen ikinci yörüngededir.

Diğer bir örnek de, sekiz elektron taşıyabilecek son yörüngesinde, yalnızca bir elektron bulunan bakır atomudur. Buna göre bakır atomunun dış yörüngesi, karbon atomuna göre daha az kararlıdır. Şekil:2.2 (c) de görülen bakır atomunun son yörüngesindeki serbest elektron, bakırın iyi bir iletken olmasını sağlamaktadır.

Milyarlarca atomun bir arada bulunduğu bakır bir telde, dış yörünge elektronları hangi atoma ait olduklarını pek bilemezler ve bütün atomlar arasında kolayca ve rasgele gezinirler. Bu biçimde atomlar arasında kayabilen elektronlara **serbest elektron** denir ve bunlar elektrik akımının iletilmesinde kullanılırlar.

Gerilim uygulanmadığında serbest elektronların oluşturduğu net etki, devinimlerinin rasgele olması nedeniyle sıfırdır. Ancak gerilim uygulandığı zaman tüm elektronlar aynı yönde hareket ederek, elektrik akımı dediğimiz elektron akışını yaratırlar.

2.3 İLETKEN, YALITKAN VE YARIİLETKENLER

Bir maddede elektronlar atomdan atoma kolayca geçebiliyorsa, bu malzeme **iletkendir**. Gümüş en iyisi ve bakır ikinci olmak üzere hemen hemen bütün metaller iyi iletkenler çünkü atom yapıları, son yörünge elektronlarının serbestçe devinmesine izin verir. Elektrik uygulamalarında, gümüşe göre çok daha ucuz olduğundan bakır tel kullanılır. İletkenlerin kullanılma amacı, elektrik akımının en az zorlukla karşılaşmasını sağlamaktır.

Elektronların kendi yörüngelerinde kalma eğiliminde olduğu atomları bulunan maddelere **yalıtkan** denir çünkü, bu tür malzemeler elektriği kolayca iletmezler. Bununla birlikte, yalıtkanlar elektriği iletkenlerden daha iyi tutabilir yada depolayabilir. Cam, plastik, kauçuk, kağıt, hava yada mika gibi

yalıtkanlar, elektrik yükünü depolayabilen anlamına gelen *dielektrik* olarak da adlandırılırlar.

Karbon, elektrik akımını iletkenlerden daha az ve yalıtkanlardan daha çok iletmesi nedeniyle *yarıiletken* olarak adlandırılabilir. Aynı grupta yer alan germanyum ve silisyum, transistor ve diğer yarıiletken elemanların yapımında yaygın olarak kullanılır. Uygulamada neredeyse tüm transistörler silikon ile yapılır.

Yarıiletkenlerin son yörüngelerinde dört elektron vardır. Bu nedenle elektron alıp vermek yerine, benzer atomlarla elektron paylaşırlar.

2.4 ELEKTRİK YÜKÜ BİRİMİ, COULOMB

Plastik bir kalem yada tarak bir süre kağıda sürtülüp, sonra da kağıdın bir köşesine yaklaştırılınca, durgun elektriğin bir göstergesi olarak kağıdı çeker. Sürtme işlemi sonucu kağıt atomlarının elektronları ayrılarak plastiğin yüzeyinde birikirler. Böylece plastiğin yüzeyinde elektron fazlalığı ve kağıdın yüzeyinde de sanal bir proton fazlalığı oluşur. Kağıt ve plastik yalıtkan olduklarından, fazlalık elektron ve protonları üzerlerinde tutarlar ve nötr durumdan çıkarak elektrik yüklü duruma gelirler. Bu elektrik yükleri kağıt ile plastik arasında mekanik bir çekim kuvveti yaratır.

Elektrik uygulamalarında milyarlarca elektron ve protonun yükleri gereklidir. Bunun için, 1736–1806 yılları arası yaşamış Fransız fizikçi Charles A. Coulomb anısına, *Coulomb* (C) adlı bir uygulama birimi tanımlanmıştır. 1C, $6,25 \times 10^{18}$ elektron yada protonun bir dielektrik malzemede depolanması sonucu oluşan yüke eşittir. Durgun yükler ve bunlarla ilgili yüklerin çözümlemesine *elektrostatik* adı verilir.

Elektrik yükünün simgesi Q yada q olarak verilir. Örnek olarak $6,25 \times 10^{18}$ elektronun yükü, $Q=1$ C olarak gösterilir.

Bir Yükün Polaritesi: Bir elektrik yükü, üzerindeki elektron yada proton fazlasına göre pozitif yada negatif olmak zorundadır ve $+q$ yada $-q$ olarak gösterilir. Nötr durum sıfır yük olarak değerlendirilir. Bir elektronun yükü $Q_e = -0,16 \times 10^{-18}$ C değerindedir.

Zıt Polariteli Yükler Birbirini Çeker: Yüklü iki hafif kütle kolayca devinebilecek biçimde ve birbirine yakın olarak asıldığında, yükleri birbirine zıt polaritede ise birbirlerini çekecek ve yaklaşacaklardır. Elektronun ağırlığı protonunkinin 1840 kat daha az olduğundan, çekim kuvveti elektronları protonlara doğru hareket ettirecektir. Şekil:2.3te, değerliklerine göre yükler arası itme ve çekme davranışları görülmektedir.

2.5 COULOMB YASASI

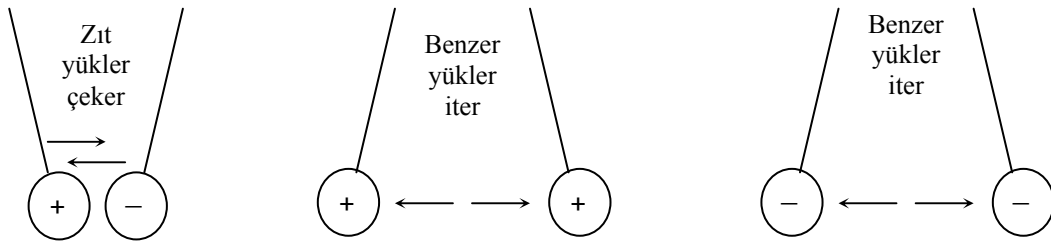
Fransız fizikçi Charles Coulomb 1785 yılında, aralarında bir uzaklık bulunan yüklü özdekler arasındaki çekim kuvvetini keşfetti. Coulomb Yasası olarak adlandırılan çekim eşitliği,

BÖLÜM-2 MADDE, ELEKTRİK VE TEMEL ELEKTRİKSEL BİRİMLER

$$F = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ Newton}$$

olarak yazılır. Burada F , Newton olarak çekme kuvveti, Q_1 ve Q_2 , Coulomb olarak özdeklerdeki yük, r , metre olarak özdekler arası uzaklık ve k , $9 \times 10^9 \text{ N}^2/\text{C}^2$ değerinde bir katsayıdır.

Buna göre yüklü özdekler arasındaki çekim kuvveti, yükler ile doğru ve özdekler arasındaki uzaklığın karesi ile terstir. Sonucun pozitif çıkması itme kuvveti, negatif çıkması da çekme kuvveti olarak değerlendirilir.



Şekil 2.3: Durgun elektriksel yükler arasında itme ve çekme ilişkileri.

2.6 POTANSİYEL FARK BİRİMİ, VOLT

Potansiyel, iş yapabilme olasılığı anlamına gelmektedir. Her yük, başka bir yükü iterek yada çekerek iş yapma potansiyeline sahiptir. Aynı olmayan iki yük arasında bir *potansiyel farkı* vardır. Burada yüklerin eksi yada artı olması değil, aralarındaki mutlak farkın değeri önemlidir. Sözelimi +3 C değerindeki bir yük ile +1C değerindeki bir yük arasındaki potansiyel fark, -1 C ve +1 C yükler arasındaki potansiyel farka eşittir.

Bir elektrik yükünün hareket ettirilmesi için gereken işin birimine, 1754–1827 yılları arasında yaşamış İtalyan bilim adamı Alessandro Volta anısına Volt (V) adı verilmiştir. Buna göre *bir Volt, Coulomb başına bir Joulelik işe eşittir*. Bu anlatımı matematiksel olarak,

$$V = \frac{W}{Q} \text{ Volt}$$

olarak gösterebiliriz. Burada V , Volt olarak potansiyel farkı, W , Joule olarak iş yada tüketilen erki ve Q , Coulomb olarak taşınan yük miktarını gösterir.

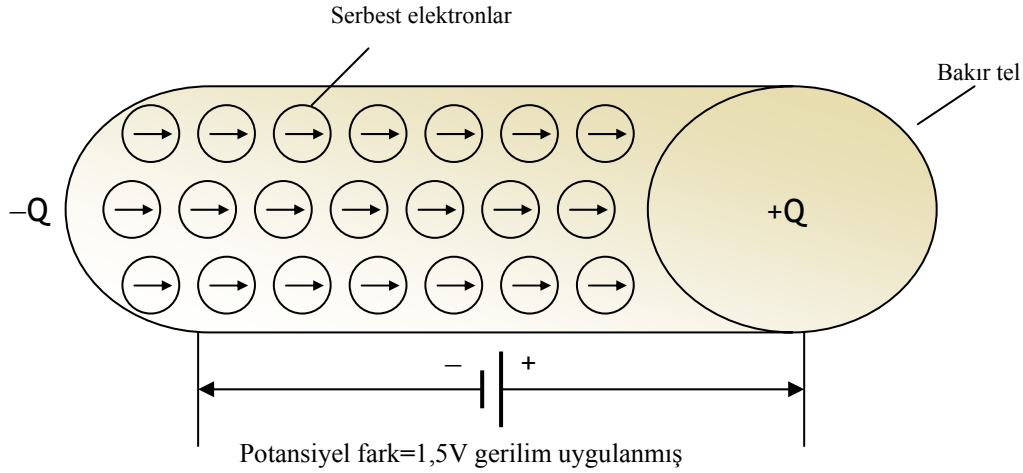
Volt biriminin çok sık kullanılması nedeniyle potansiyel fark yerine genellikle voltaj terimi kullanılmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki; gerilim/voltaj, iki

nokta arasındaki potansiyel farktır ve potansiyel farkın ölçülebilmesi için iki ayrı nokta gereklidir.

2.7 AKIM, YÜK AKIŞIDIR

İki yük arasındaki potansiyel fark, üçüncü bir yükü hareket ettirdiğinde, hareket eden yüke elektrik akımı denir. Buna göre bir akım oluşturabilmek için elektrik yükü potansiyel fark tarafından hareket ettirilmelidir. Bakır bir tel içerisinde elektrik akımının oluşması, Şekil:2.4te resimsel olarak gösterilmiştir.

Bir bakır telin uçları arasında gerilim uygulanırsa, kaynaktaki potansiyel fark bakır telin uçlarına aktarılmış olur. Bu durumda bakır tel içindeki serbest elektronlar soldaki $-Q$ yükü tarafından itilir ve sağdaki $+Q$ tarafından da çekilir. Bu elektronlar atomdan atoma geçerek bakır tel boyunca ilerlerler. Kaynağın eksi ucundan sürekli olarak sağlanan elektronlar, tel boyunca



Şekil 2.4: Bir iletkende akımın oluşması.

hareket edip kaynağın artı ucuna ulaşırlar. İşte bu devinen yük, akımdır. Tel boyunca daha çok elektron akarsa, daha çok elektronun yükü hareket edecek ve daha çok akım oluşacaktır.

Akım elektronların kesintisiz akışıdır. Yalnızca elektronlar devinir, potansiyel fark değil. Tellerin uzun hatlar olmadığı temel elektrik uygulamalarında potansiyel fark, akımı tel boyunca bir anda oluşturur. Ayrıca akım telin her noktasında aynıdır.

Akım birimi Amperé: Akımın oluşması için potansiyel fark gereklidir. Akım yük devinimi olduğuna göre akım miktarını belirten birim, yük akış hızı olarak tanımlanır. Yük, verilen bir noktadan saniyede $6,25 \times 10^{18}$ elektron hızıyla geçiyorsa akımın değeri bir *Amperé*dir ($I=1$ A) denir. Bu da saniyede bir

Coulomb yük demektir. Birimin adı, 1775–1836 yılları arasında yaşamış Fransız fizikçi André M. Amperé'in anısına verilmiştir.

Akımın matematik tanımı,

$$I = \frac{Q}{t} \quad 1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

olarak yazılabilir. Burada I , Amper olarak elektrik akımını, Q , Coulomb olarak taşınan yük miktarını ve t , saniye olarak zamanı belirtmektedir.

Buradaki eşitlikten de görüldüğü gibi akımın değeri yükün pozitif yada negatif olmasına değil, miktarına ve hareket hızına bağlıdır.

$$Q = I \cdot t \quad 1 \text{ C} = 1 \text{ A} \times 1 \text{ s}$$

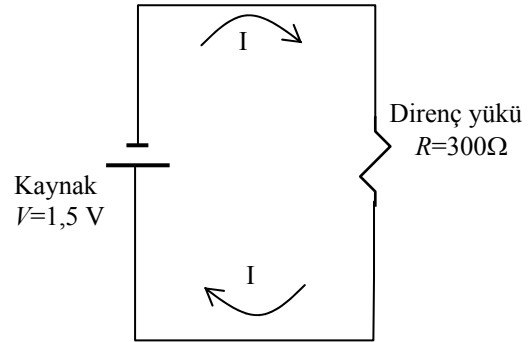
Aynı ifadenin Q için yazılmış biçimine bakarak yükün, akım ile zamanın çarpımı olarak tanımlanması mümkündür.

Akım İle Yük Arasındaki Ayrım Nedir? Yük, bir dielektrik içinde birikmiş olan elektrik miktarıdır yani durgun, devinimsiz elektriktir. Yük, genellikle bir iletken içinde, hareket ettiğinde akım (I) devinen elektriğin yeğinliğini gösterir. Bu özellik akımın temel tanımlarından birisidir.

2.8 KAPALI DEVRE

Akım gerektiren uygulamalarda elemanlar, devre biçiminde düzenlenir. Devre, akım yolu olarak tanımlanabilir.

Şekil:2.5 teki devre, bir kaynak ve bir yükten oluşan en basit elektrik devresidir. Burada kaynak uçlarındaki potansiyel fark iletken teller ile yük direncine aktarılmıştır. Bu durumda direnç üzerinde bir gerilim düşümü oluşur ve dirençten bir akım geçer. Bir elektrik devresinde üç önemli özellik bulunmalıdır:

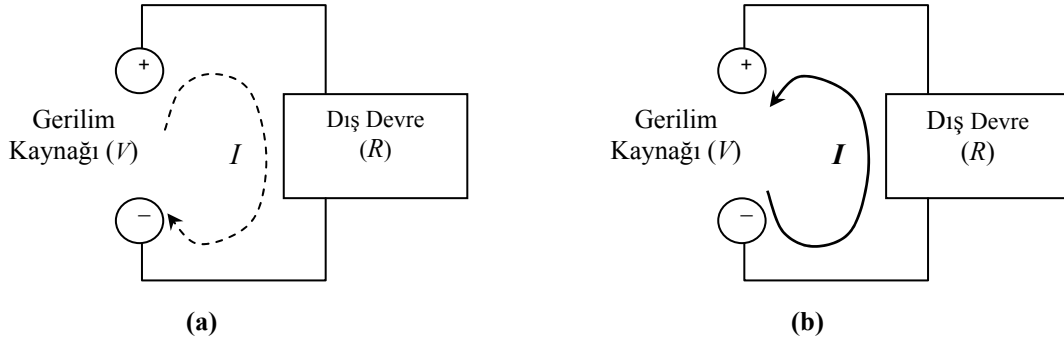


Şekil 2.5: Kapalı bir elektrik devresi.

- Bir potansiyel fark kaynağı bulunmalı. Gerilim uygulanmadan akım akmaz.
- Akım akışı için kaynağın bir ucundan çıkan ve dış devreden geçip kaynağın diğer ucuna dönen kesintisiz bir hat olmalı
- Akım yolunun direnci vardır. Devredeki direncin amacı ısı yaratmak yada geçen akımı sınırlamaktır.

Gerilim ve Akım Arasındaki Ayrım nedir? Devrede dolaşan akımdır, potansiyel farkı hareket etmez. Voltaj/gerilim, yükün/direncin uçları arasındaki potansiyel farktır. Potansiyel farkın değerini ölçmek için yük uçlarına koşut olarak bir voltmetre bağlanabilir. Buna karşın akım devrenin her noktasından geçtiği için ölçülmesi bu denli kolay değildir. Devreyi bir noktadan ayırmak ve araya ampermetre bağlamak gerekir. Gerilim devrede mutlaka iki nokta *arasında* ölçülür. Tek bir noktada potansiyel fark olamaz. Ancak akım tek bir noktada ölçülebilir. Ayrıca devreden akım geçmiyorken bile gerilim ölçülebilir ama gerilim yoksa akım geçmesi olası değildir.

Akımı Gerilim Kaynağı Sağlar: Devreden akım akarken kaynağın eksi ucundan elektronlar ayrılır ve aynı sayıda serbest elektron da artı uçtan kaynağa girer. Elektronlar eksi uçtan artı uca akarak potansiyel farkı nötrlemeye çalışırlar ancak batarya içindeki kimyasal tepkime, elektronlar ile protonları sürekli olarak ayırarak potansiyel farkı sürdürmektedir. Aksi durumda akım yükleri nötrleyecek ve potansiyel farkı sıfırlayacaktır.



Şekil 2.6: Geleneksel akım yönü (a) ve elektron akış yönü (b).

Devre, Gerilim Kaynağının Taşıdığı Bir Yüktür: Elektrikli aygıtları, gerilim kaynaklarının içlerinden akım geçirerek taşıdıkları yüklere benzetebiliriz. Buna göre batarya, kullanılacak potansiyel enerjiyi temsil eden gerilimi ile devrenin *kaynağı*, devrenin gerilim kaynağına bağlı olan diğer bölümü de gerilim ile aktarılan enerjiyi tüketen *yük direnci* olarak tanımlanabilir. Yük direncinden geçen akıma *yük akımı* denir. Yük direncinin Ω değeri azaldıkça, yük akımı artacaktır.

Özet olarak bir kapalı devre, normal devre yada sadece devre; R ile sınırlı bir I üretebilecek V kaynağı olan kapalı bir iletken yoldur diyebiliriz.

Açık Devre: İletim yolunun herhangi bir noktası açık yada kopuk ise devre açık devre olmuştur. Çünkü iletim yolu akımı taşıyacak durumda değildir. Bu tür durumlarda devreden akım geçemez

Kısa Devre: Bu durumda kaynak uçları arasında kapalı bir yol vardır ama bu yolun direnci yaklaşık sıfırdır. Kısa devrede sonuç çok fazla akımdır. Kısa devre genellikle yük direnci uçları arasındaki bir iletken yoldur.

2.9 AKIMIN YÖNÜ

Gerilim kaynağının polaritesi gibi akımın da yönü vardır. Akımın yönü gerilim kaynağının artı ve eksi uçları referans alınarak belirlenir. Esasen akımın yönü tümüyle bizim seçimimize kalmıştır ve negatif elektronların akışı yönü yada pozitif yüklerin akış yönü olarak kabul edilebilir.

Elektron Akışı: Şekil:2.6 (a) da görüldüğü gibi I akımı için elektron akışı kaynağın eksi ucundan artı ucuna doğrudur. I , R dış devresi üzerinden akar ve V kaynağının artı ucuna girer. Eksi uçtan artı uca olan bu akış dış devre için geçerlidir. Kaynak içerisindeki akış bundan farklıdır. Elektronlar eksi uca doğru giderler çünkü batarya kimyasal olarak yükleri ayırmakta ve elektronları eksi, protonları artı uca biriktirmektedir. Böylece devreye uygulanan potansiyel fark sabit tutulmaktadır. Ancak dış devre için elektronlar eksi potansiyel noktasından artı potansiyel noktasına akmaktadırlar.

Geleneksel Akım: Geleneksel fizikte kuvvet ve iş tanımlarının pozitif değerlerle yapılması nedeniyle pozitif potansiyel negatif potansiyelin üzerinde kabul edilir. Buna göre klasik akım tanımı, pozitif potansiyelden negatif potansiyele “yokuş aşağı” yuvarlanan pozitif yüklerin hareketi olarak yapılır ve Şekil:2.6 (b) de gösterildiği gibi varsayılır. Böylece geleneksel akım, pozitif yüklerin hareket yönü olarak alınır. Günümüzde elektronik fiziğin bir dalı olmaktan çok kendi başına bir bilim alanı olarak varlığını sürdürmektedir. Bu nedenle eski yayınlar ve “olgun”☺ profesörler dışında geleneksel akım yönü pek kullanılmamaktadır.

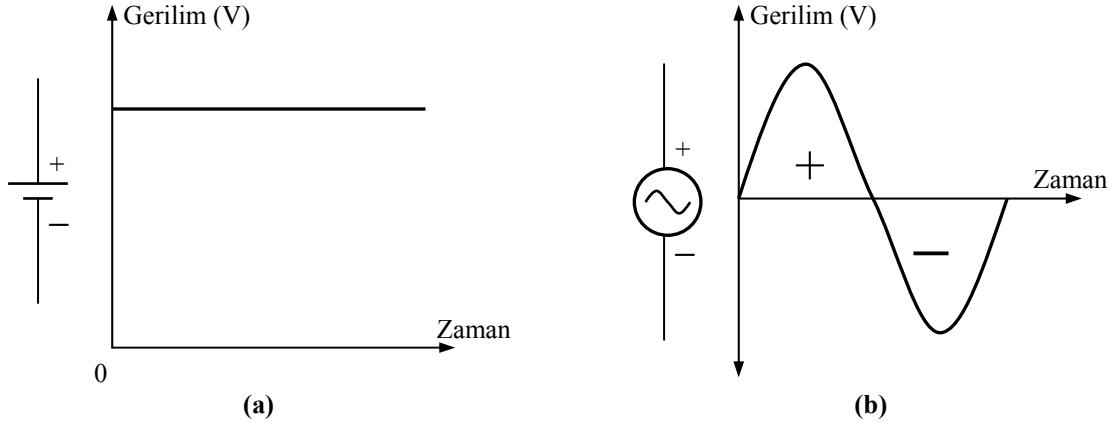
2.10 DOĞRU AKIM (DA) VE ALTERNATİF AKIM (AA)

Bir DA devresinin özellikleri, yüklerin tek yönde akışı ve uygulanan gerilimin değişmeyen polaritesidir. Akımın tek yönlü olmasının nedeni, bataryanın uçları arasında sürekli aynı polaritede gerilim olmasıdır. Gerilim değerinin değişmesi, akışın pozitif yada negatif yönde kabul edilmesi gibi ayrıntılar, akımın hep aynı yönde olması gerçeğini değiştirmez. Kaynak geriliminin dalgalı yada darbeli olması durumunda bile devre DA devresi olarak geçen akım da doğru akım olarak adlandırılır.

Bir alternatif gerilim kaynağı, uçları arasındaki gerilimin polaritesini sürekli olarak değiştirir. Böylece devreden geçen akımın yönü, kaynak polaritesinin değişimiyle sürekli olarak değişir. Evlere gelen elektrik enerjisi saniyede 50 kez yön değiştiren bir AA gerilimdir.

Bir devreye uygulanan gerilimin polaritesinin saniyede değişme sayısının birimi Hertz (Hz) olarak adlandırılmıştır. Böylece saniyede 50 devir yapan bir gerilimin sıklığı, 50 Hz olarak belirlenir.

DA ve AA gerilim kaynaklarının elektriksel simgeleri ve bu kaynakların uçları arasındaki gerilimin zamana göre değişimi Şekil:2.7 de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7: DA (a) ve AA (b) kaynaklarda uç polaritesinin zamana göre değişimi.

DA Gerilim ile AA Gerilimin Karşılaştırılması: DA ve AA gerilimin temel özellikleri ve kullanım yerleri, Tablo:2.2de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.2 : DA ve AA arasındaki benzerlik ve ayrımlar.

DA Gerilim	AA Gerilim
<ul style="list-style-type: none">• Değişmeyen polarite• Genlik değişebilir yada sabit kalabilir• Bir transformatör ile gerilimi değiştirilemez• Elektronik elemanların besleme gerilimi olarak kullanılır• Ölçülmesi kolay	<ul style="list-style-type: none">• Polaritesi değişken• Sürekli olarak değişken• Elektrik güç dağıtımı için gerilimi transformatör ile değiştirilebilir• Elektronik devrelerde örnek sel işaret olarak kullanılır• Yükseltilmesi kolay
da ve aa için ısıtma etkisi aynıdır	

2.II ELEKTRİK KAYNAKLARI

Bütün maddelerin atomlarında elektronlar ve protonlar vardır ancak yararlı bir iş yapmak için yükler, akım akışı yaratabilecek bir potansiyel fark oluşturmak için birbirinden ayrılmalıdır. Elektrik elde etmek için kullanılan bazı yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

Sürtünme ile durgun elektrik: Sürtünme, mekanik bir enerjidir ve tüm enerji türleri için olduğu gibi diğer enerji türlerine dönüştürülebilir. Bu yöntemde bir

yalıtkandaki elektronlar sürtme işlemi ile ayrılarak, dielektrik içinde kalacak zıt yükler elde edilir. Bu zıt yükler arasındaki akış ile, elektrik akımı elde edilir.

Basınçla Elektrik: Basınç biçimindeki mekanik erkin de elektrik üretmek için kullanılması olasıdır. Quartz ve Rochelle tuzu, piezoelektrik olarak adlandırılır ve üzerlerine mekanik bir basınç uygulandığında elektrik üretebilirler. Quartz, silikon dioksitten oluşan doğal yada yapay olarak elde edilebilen bir kristaldir. Rochelle tuzu ise, sodyum potasyum tartarat kristalidir. Bu yöntemle üretilen küçük miktartlı ve kısa süreli enerjiden türlü uygulamalarda (örneğin çakmak ve saatlerde) yararlanır.

Isıl Yayma: Bazı malzemeler ısıtıldıklarında, yüzeylerinden elektron yayarlar. Yayılan bu elektronlar, yararlı elektrik akımı uygulamaları yaratmak amacı ile denetlenebilirler. Elektronların yayıldığı elektrot *katot* olarak adlandırılırken, *anot* da bu elektronların toplanmasında kullanılır.

Isıyla Elektrik: Isı enerjisi, elektrik yükü yaratmak için kullanılabilir. Demir ve bakır gibi benzer metaller birbirlerine kaynaklanıp, ısıtıldıklarında bir elektrik yükü oluşur. Bu yöntemle üretilen aygıtlara ısıçift (thermocouple) denilir. Elde edilen yük miktarı ve dolayısıyla gerilim, kullanılan malzeme ve metaller arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Elektronların yayıldığı elektrot *anot* olarak adlandırılırken, *katot* da bu elektronların toplanmasında kullanılır.

Kimyasal enerji dönüşümü: Islak yada kuru piller ile akümülatörler bu yöntemin uygulamalarıdır. Burada kimyasal bir tepkime ile iki ayrı metal üzerinde zıt yüklerin birikmesi sağlanır.

Elektromanyetizma: Elektrik ve manyetizma yakın ilişkilidirler. Devinen her yük bir manyetik alan, değişen her manyetik alan da bir elektrik akımı yaratır. Buna örnek olarak motor ve jeneratör verilebilir.

Fotoelektrik: Bazı malzemeler yüzeylerine ışık düşünce elektrik üretirler. Genellikle sezyum elementi, fotoelektron kaynağı olarak kullanılır. Ayrıca güneş pillerinde, ışık girdisinden gerilim üretmek için silikon kullanılır. Işık ile ilgili başka bir etki olarak da selenyumun direnci ışık ile değişmesi gösterilebilir.

BÖLÜM-3

DİRENÇ VE İLETKENLİK

Elmanın Efeleği

Stephen Wozniak ve Steven Jobs California, Los Altos' daki liselerinde tanıştılar ve ortak ilgileri elektronik sayesinde arkadaş oldular.

Wozniak, teknoloji takıntısı sosyal ilişkilere yada çalışmaya yer bırakmayan muhafazakar bir gençti ve gerçekten de Colorado Üniversitesindeki ilk yılının sonunda tüm derslerden çakmıştı. Wozniak bu ciddi tabiatının tersine ileri teknoloji ürünü şakalarıyla tanınırdı. Bir seferinde bir arkadaşının dolabına yerleştirdiği sahte bomba nedeniyle bir gece çocuk nezarethanesinde yatmıştı. Bir başka seferinde de Vatikan'da Papa' yı bedava aramanın yolunu keşfetmiş ve kendisini İçişleri Bakanı Henry Kissinger olarak tanıtmıştı.

Öte yandan Jobs, elektronik dışında uğraşlara da sahipti. Entelektüel, duygusal ve ruhsal uyarılmalar üzerine araştırmalar yapıyordu. Reed Üniversitesinde geçirdiği bir dönemin sonunda Doğu dinlerine merak sarmış ve yaşamın anlamını aramak üzere Hindistan'daki tapınaklara gitmişti.

Wozniak' ın ürettiği ve Jobs' un sattığı ilk ürün, mavi kutu denilen ve telefon dizgesini kıran yasadışı bir aygıt idi. Bu aygıt ürettiği bir dizi ton ile bilgisayarlı telefon ayarlama dizgelerini aldatıyor ve uzun-mesafe konuşma devrelerini bedavaya açarak dünyanın telefon ağlarında uzun ve yasadışı bir eğlenceye olanak veriyordu.

Wozniak ve Jobs, bir Volkswagen van ve programlanabilir hesap aleti satarak sermayelerini \$1300'a yükselterek 1976 Nisanında şirketlerini kurdular. Şirketin adını Apple Computer koydular çünkü Jobs, Beatles hayranıydı ve Beatles plakları Apple etiketiyle çıkıyordu.

Apple Computer beş yıl içinde tarihte hiçbir şirketin büyümediği kadar hızlı bir biçimde büyüdü. İki parasız gencin evde bilgisayar yapma ortaklığı ile başlayan süreç, Jobs (27) ve Wozniak (24) adlı kurucuların her birinin yaklaşık \$200 milyon kişisel servet elde etmeleri ile sonuçlandı.

GİRİŞ

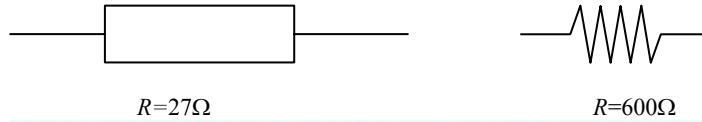
Bir iletken içinde devinen yük, iletken içindeki diğer yüklerle çarpışır ve bazen değişik yönlere savrulur ve hatta duraklamalar oluşabilir. İletken içindeki bu fiziksel olgular nedeniyle yük devinimine **direnç** olarak adlandırılan bir zorluk gösterilir. Direnç hem fiziksel olarak, hem de elektriksel olarak tanımlı ve hesaplanabilir bir büyüklüktür. Direncin uygulama birimi Ohm (Ω), 1747–1854 yıllarında yaşamış olan Alman fizikçi George Simon Ohm' un soyadından gelmektedir.

3.1 DİRENÇ, AKIMA GÖSTERİLEN ZORLUK

İçinden akım geçen bir telin ısınması, uygulanan gerilimin akım oluştururken bir zorlukla karşılaştığının göstergesidir. Uygulanan gerilimin oluşturabileceği akım miktarını sınırlayan bu zorluğa *direnç* denir. İletkenlerin direnci çok küçük, yalıtkanların ise çok büyüktür. Maddenin direnç değeri, serbest elektron sayısına bağlı olarak değişir. Serbest elektron sayısı arttıkça direnç azalır.

Ohm: Üzerinden 1 s süreyle 1 A geçen bir direnç 0,24 kalori ısı üretiyorsa direnci 1 Ω demektir. Küçük dirence örnek olarak 1m uzunlukta bir bakır telin 0,03 Ω direnç gösterdiğini söyleyebiliriz. 600 W/220 V telli ısıtıcının direnci 81 Ω ve 100 W/220 V bir lambanın tungsten fitili de 484 Ω direnç gösterir.

Direncin simgesi R , ve birim kısaltması da yunan alfabesindeki büyük omega (Ω) harfidir. Devre çizimlerinde direnç, Şekil:3.1 de görülen simgeler ile gösterilir.



Şekil 3.1: Direncin elektriksel simgeleri.

Kondüktans: Direncin tersine kondüktans (iletkenlik) denir. Direnç ne kadar düşükse iletkenlik de o kadar yüksektir. Simgesi G ve birimi de Ernest von Siemens anısına *Siemens* olarak kullanılmaktadır.

Kondüktans direncin tam olarak tersidir. $G=1/R$ olarak yazılır ve örneğin 5 Ω değerindeki bir direncin kondüktansı, $1/5=0,2$ S olarak bulunur.

Hesaplamalarda R yada G kullanılması tümüyle hangisinin yeğlendiğine bağlıdır. Genellikle ardıl devrelerde R kullanılması kolaydır çünkü seri gerilimler dirençlerle orantılıdır. Koşut devrelerde işe G kullanımı daha kolaydır çünkü koşut akımlar, kondüktanslarla orantılıdır.

3.2 BİR İLETKENİN DİRENCİ

İletken olarak adlandırılan bütün maddelerin bir direnci vardır ve bu direnç değeri;

1. iletkenin türüne,
2. iletkenin kesit alanı,
3. iletkenin toplam uzunluğu,
4. iletkenin sıcaklığına

bağlı olarak değişir.

İletkenin türü, atom yada molekül yapısındaki serbest elektron sayısını değiştirdiği için direnç değerini etkiler. Örneğin bakır atomunda, karbon atomundan daha çok serbest elektron olduğundan, bakırın direnci karbondan düşüktür. Başka bir deyişle bakırın iletkenliği karbonunkinden yüksektir.

Kullanılan iletkenin kesit alanı ile direnç arasında ters orantı vardır. Buna göre, iletken kesit alanı arttıkça direnç azalır. Bir su borusundan geçebilen su miktarının boru çapı arttıkça artması, kesit ile iletkenlik arasındaki bağlantı için iyi bir örnektir.

İletkenin uzunluğu ile direnci arasında doğru orantı vardır. Örneğin bir iletken telin 10 metresi 1 Ω ise, uzunluğu üç katına çıkarıp 30m yaptığımızda ölçülecek direnç değeri de üç kat artarak 3 Ω olur.

Bu verilere dayanarak fiziksel direnç formülünü;

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

olarak yazabiliriz. Burada R , Ω olarak iletkenin direncini, ρ $\Omega \cdot m$ olarak malzemenin öz direncini, l m olarak iletkenin uzunluğunu ve A m² olarak iletkenin kesit alanını gösterir.

Sıcaklık değişimine bağlı olarak malzemenin öz direnci ve buna bağlı olarak da direnci değişir. Metallerde sıcaklık arttıkça öz direnç artarken karbon ve silisyum gibi yarıiletken malzemelerde sıcaklığın artmasıyla öz direnç azalır. Direncin sıcaklık değişimine bağlı olarak değişme miktarı, *sıcaklık bağımlılık katsayısı* olarak adlandırılır ve α ile simgelenir. Birimi $^{\circ}C^{-1}$ olan bu katsayı, sıcaklık artışıyla direncin artması durumunda pozitif, azalması durumunda ise negatif değerlidir.

Şekil.3.2 de, metal iletkenlerin çoğu için geçerli olan sıcaklık öz direnç değişim eğrisi görülmektedir. Öz direnç değişiminin doğrusallığı, mutlak sifira yaklaşıncaya ve sıcaklık 100 $^{\circ}C$ değerini aşınca bozulur. Eğrinin doğrusal bölümü boyunca sıcaklık değişimleri kolayca hesaplanabilir. Bunun için benzer üçgenler yöntemiyle;

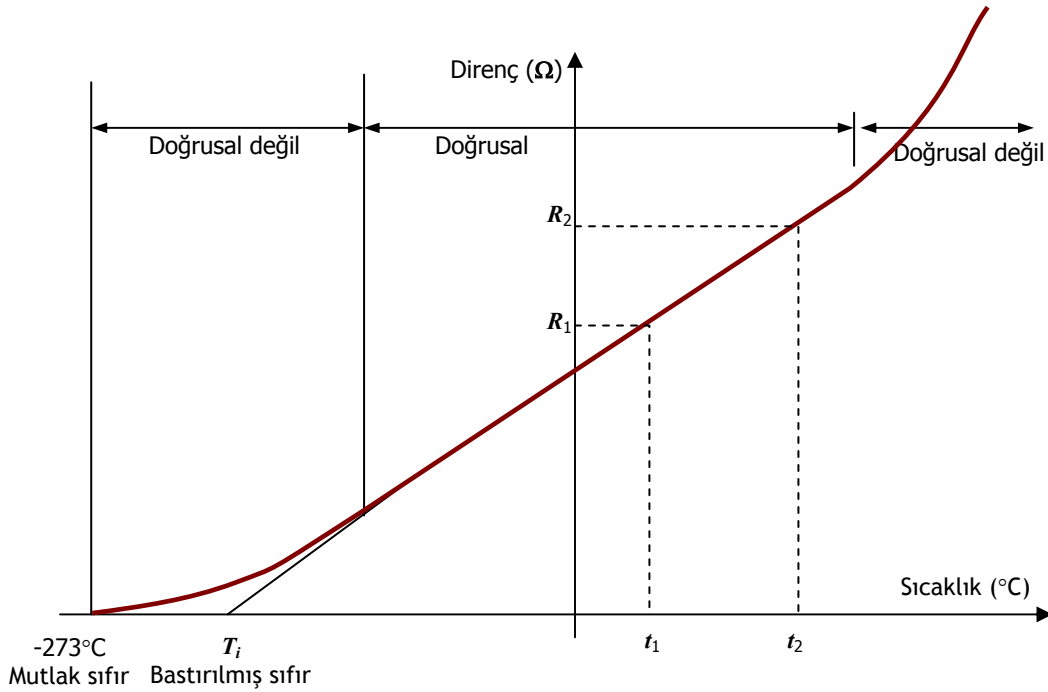
BÖLÜM-3 DİRENÇ VE İLETKENLİK

$$\frac{R_1}{|T_i| + t_1} = \frac{R_2}{|T_i| + t_2}$$

eşitliği yazılır. Bu eşitlikten yararlanarak ayrıca;

$$R_2 = R_1 + [1 + \alpha_1(t_1 - t_2)]$$

formülü de çıkarılabilir. Bu formülde t_1 °C olarak düşük sıcaklık, t_2 °C olarak yüksek sıcaklık, R_2 ve R_1 Ω olarak t_2 ve t_1 sıcaklıklarındaki direnç değerleri, α_1 °C⁻¹ olarak t_1 sıcaklığındaki sıcaklık bağımlılık katsayısıdır. Bir önceki eşitlikteki T_i değeri °C olarak bastırılmış mutlak sıfır sıcaklığıdır.



Şekil 3.2: Çoğu metalin direnci sıcaklıkla artar ve mutlak sıfır sıcaklıkta, 0 Ωdur.

Çoğu α tablosu 20°C yada 0°C için hazırlanmıştır. Ancak çözümlenelerde kullanılacak t_1 sıcaklığı her zaman 20°C yada 0°C olmayabilir. Bu durumda 20°C yada 0°C için hazırlanmış α değerleri ile işlem yapılırsa sonuçta bir miktar hata oluşur çünkü α değeri sıcaklıkla değişir. Hiç hata istenmiyorsa yada α değeri bilinmiyorsa;

$$\alpha_1 = \frac{1}{|T_i| + t_1}$$

eşitliği kullanılarak istenilen sıcaklıktaki sıcaklık bağımlılık katsayısı hesaplanabilir.

3.3 ÜSTÜNİLETKENLİK

Direnç değişim eğrisi incelendiğinde, mutlak sıfır sıcaklıkta direnç değerinin sıfır olduğu görülmektedir. Mutlak sıfır sıcaklıkta maddede hiç ısı enerjisi yoktur ve tüm atomlar (yada moleküller) devinimsizdir. Mutlak sıfır sıcaklıktaki 0Ω direnç gösterme durumuna *superconductivity* (üstüniletkenlik) denir. Süperiletkenlerin iki temel özelliği vardır:

1. elektrik akımına direnç göstermez
2. manyetik alanları geçirmez

Süperiletkenliğin ilk kez bilim dünyasına tanıtılması, 1911 yılında gerçekleşti. Hollandalı fizikçi Heike Kamerlingh Onnes, sıvı ve iletken bir metal olan cıvanın, -273°C sıcaklıkta elektrik akımına direncini yitirdiğini deneysel olarak gösterdi. Onnes, mutlak sıfır dolayındaki bir sıcaklıkta cıvadan yapılmış bir halkada elektrik akımı oluşturup, hiçbir gerilim kaynağı kullanmadan bu akımın birkaç saat akmasını sağladı. Bu sıcaklık derecesine, mutlak sıfırda sıvılaştıran helyum gazı kullanılarak ulaşılmıştı. Bu çalışması ile Fizik dalında Nobel Ödülü alan Hollandalı bilim insanı, süperiletkenlik dalının da temelini atmış oldu. Ancak sıvı helyum zor elde edilen ve pahalı bir malzeme idi. Kolayca ısınıp buharlaşıverdiği için, bu yöntemle elde dileyen üstüniletkenliğin kullanılması pek mümkün olamamıştır.

Bilim insanları bundan sonra uzun bir süre bu yeni olgunun çevresinde dolanıp, garip özelliklerini anlamaya çalıştılar. Süperiletkenlik araştırmaları çok yavaş ilerledi ve 1973 yılında, niyobyum ve germanyum kullanılarak elde edilen bir alaşım ile kritik sıcaklık yalnızca -250°C değerine yükseltilebilmişti.

1986 yılında IBM çalışanı K. Alex Müller ve J. Georg Bednorz adlı iki bilimci Zürih'te, seramik olarak bilinen metal oksit (metal ve oksijen bileşikleri) malzemelerin üstüniletken özelliği gösterebildiğini duyurdular. Metal yada yarımetal bileşiklerle gerçekleştirilen düşük sıcaklık üstüniletkenlerinin tersine, baryum, lantanyum bakır ve oksijen elementlerinden oluşturulmuş bu yeni bileşik, seramik yapıda idi ve süperiletkenlik özelliğini eskiye göre daha yüksek bir sıcaklık olan -238°C de göstermekteydi. Müller ve Bednorz bu çalışmaları ile, 1987 Nobel Fizik Ödülüne layık görüldüler.

1987 yılında Houston Üniversitesinden Paul Chu, bu buluşu bir adım daha ileriye götürmüştür. Chu' nun duyurduğu itriyum-baryum bakır oksit bileşiği, daha yüksek bir sıcaklıkta, (-179°C) üstüniletkenlik özelliklerini göstermekteydi. Bu bileşiğin keşfi, gerekli olan soğutmanın üretimi ve işletme maliyeti yüksek olan sıvı helyum yerine, oldukça ucuz ve yaygın olan sıvı nitrojen ile sağlanabilecek düzeye yükselmiş olması nedeniyle önemliydi.

Süperiletkenlik üzerine yapılan araştırmaların nihai hedefi, değişik malzemeler ile elde edilebilecek ve oda sıcaklığına yakın değerlerde süperiletkenlik gösterebilecek bileşikler keşfetmektir. Şimdilerde, -120°C sıcaklıkta üstüniletken olması umulan ve nispeten ucuz maliyetli, bizmut,

stronsiyum, kalsiyum, bakır ve oksijen karışımı ile elde edilecek bir bileşik için çalışmalar sürdürülmektedir.

Süperiletkenliğin nasıl gerçekleştiği konusunda ilk açıklama, kullanılan malzemenin son derece soğuk olması nedeniyle moleküler titreşim yapmaması üzerinden yapılmıştır. Buna göre moleküler yapı bir çeşit kristale dönüştüğü için elektronlar düz bir çizgi üzerinde ilerlemekte ve direnç oluşmamaktadır.

Bir başka açıklama da, süper iletken malzemedeki elektronların bağlanarak elektron çiftleri oluşturduğu ve her bir elektron çiftinin diğer çiftler ile eşit hızda ilerledikleri şeklindedir. Bu durumda, sıradan iletkenlerdeki elektronların çarpışmaları sonucu kaybettikleri enerjinin malzeme içinde ısı olarak kaybolması durumu ortadan kalkmaktadır.

Bu açıklamalar, BCS kuramı açıklanana dek doğru sayılmıştır. Bardeen, Cooper ve Schrieffer tarafından açıklanan BCS kuramına göre süperiletkenlik daha karmaşık bir yapıdır. Süperiletken üzerinden geçen elektronların birbirini itme etkisi, fononların (ses dalgası parçacıkları) etkisi ile yok olmakta ve elektronlar ikili “takımlar” olarak akmaktadır. Süperiletkenlik olgusunu açıklayan bu kuramın yaratıcısı üç bilim insanı Nobel ile ödüllendirilmişlerdir.

Bazı çok pahalı projelerde sıvı nitrojen tankları kullanılarak süperiletkenliğin avantajlarından yararlanılmaktaysa da, sıvı nitrojen ile çalışmanın getirdiği güçlükler nedeniyle, asıl teknolojik sıçramanın oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda süperiletken olan bileşiklerin bulunmasıyla gerçekleşeceği görülmektedir. Gelecekte bu yöntemle elde edilecek iletkenlerle yitimsiz güç dağıtımı yapılması, sürekli elektromıknatıslar ve süper hızlı bilgisayarlar üretilmesi olasıdır.

Günümüzde süperiletkenlik üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmalar özellikle, üstüniletkenliğin mutlak sıfır sıcaklığın üzerinde elde edilmesine yönelik olarak yoğunlaşmaktadır. Çünkü bazı seramik malzemelerde çok yüksek sıcaklıklarda da, elektronlar arası itmeyi engelleyecek kadar güçlü fonon üretimi sağlanabildiği gözlenmiştir.

Süperiletkenliğin geçmişteki kullanımı, sıvı helyumu soğuk tutma maliyetinin yüksekliği nedeniyle kısıtlıydı. En yaygın uygulama, Manyetik Rezonans-Görüntüleme (MRI) denilen tıpsal bir tekniktir. Bu teknikte süperiletken bobinler ile üretilen yoğun ve kararlı manyetik alanlar kullanılarak, çok daha kısa maruz kalma sürelerinde, elektromıknatıslarla elde edilebilenlerden daha keskin ve yüksek zıtlıklı resimler elde edilebilmektedir. Bu aygıtlar günümüzde, soğutma için sıvı nitrojen kullanılarak, çok daha küçük ve ucuza üretilmektedir.

Gelecekte süperiletken elektromıknatısların üretebileceği çok güçlü manyetik alanlardan yararlanılarak, Süperiletken Süper Çarpıştırıcı (Superconducting Super Collider) yapılması planlanmıştır. SSC, 80+ km çapında ve içerdiği 10.000 mıknatıs ile, dünyanın en büyük yüksek enerjili parçacık hızlandırıcısı olacaktır.

Yüksek sıcaklıklı üstüniletkenlerin kullanıma sunulmasıyla, manyetik asma raylı süper hızlı trenler üretilerek ulaşımda büyük hız kazanılacaktır. Ayrıca Meissner etkisini uygulaması olarak çok yüksek hızlı motorlar üretilebilecektir.

Günümüzde 66.000 d/d hıza ulaşılmıştır. Gelecekte, boşlukta 1.000.000 d/d hızında dönecek motorların üretilebileceği düşünülmektedir.

Enerji üretim ve dağıtımındaki ısı yitimlerin sıfıra indirilmesiyle elektrik maliyeti çok azalacak, çok daha küçük motorlar yapılabilecektir.

Elektronik alanında en yakın uygulama, çok daha hızlı çalışan bilgisayarlar olacaktır. Bugün piyasada, süper hızlı bir elektronik anahtar olan Josephson kavşağı kullanılan ve 10 ps süreli (100 GHz) yüksek hızlı osiloskoplar bulunmaktadır.

Bugün ancak bataryalar ile depolanabilen elektrik enerjisi gelecekte, harici bir kaynak olmaksızın sürekli olarak üzerinde akım dolaşan süperiletken bobinler kullanılarak, büyük miktarlarda depolanabilecektir.

Tüm bu gelişmeler göz önüne alınırsa, 21. yüzyılda süperiletkenliğin elektrik akımı kadar sıradan bir kavram olacağına inanmamak için bir neden yoktur.

3.4 DİRENÇ TÜRLERİ

Direnç, belli koşullar altında, önceden belirlenen elektriksel direnç değerini göstermek ve kullanıldığı devrede, bu değeri belli bir aralıkta korumak üzere üretilmiş pasif devre elemanıdır. Dirençlerin iki temel karakteristiği, direnç değerleri (R) ve güçleri (W) olarak verilir. Dirençler Ohm'un kesirlerinden megaohmlara dek çok geniş değer aralığında üretilirler. Güçleri de 1/10W ile bir kaç yüz Watt arasında olabilmektedir. Direncin R değeri istenen akım yada gerilim değerinin elde edilmesi için gerekirken, güç değeri de aşırı ısı yaratmadan tüketilebilecek en fazla gücü bilmek için kullanılır. Tüketim, sonuçta oluşan ısı kullanılmadığı için boşa harcanan güç olarak tanımlanabilir. Fazla ısı, direncin yanmasına neden olabilir. Direncin gücünü veren W değeri, güvenlik amacıyla genellikle gerçek güç tüketiminden biraz daha fazla seçilir. 1 W yada daha düşük güçlü karbon dirençler en fazla kullanılan elektronik malzemelerdir. Yüksek R değerli dirençler az akım geçirdikleri için genellikle düşük güçte üretilirler. Direncin gücü azaldıkça boyutu da küçülür ama R değeri ile direncin boyu arasında doğrudan bir bağlantı yoktur.

Tel Dirençler: Bu tür dirençler direnç teli denilen özel bir telin yalıtkan bir çekirdeğe sarılması ile elde edilirler. Telin uzunluğu ve yapıldığı maddeye bağlı olan öz direnç, R değerini belirler. Kullanılan tel genellikle manganin yada tungstenden, yalıtkan çekirdek ise porselen, çimento yada sıkıştırılmış kağıttan yapılırlar. Bu dirençler genellikle düşük direnç ile yüksek akım gerektiren ve fazla güç tüketimi gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. 5-100 W arasında güçlerde ve 0,1~500 Ω direnç değerlerindedirler. Bu dirençler ayrıca yüksek hassasiyetli ve kararlı direnç değerleri gerektiren yerlerde kullanılırlar. Bu tür kullanım yerleri için örnekler, ampermetre şöntleri yada hassas değer ayarı yapılan potansiyometreler olabilir. 2W ve daha aşağısı için karbon dirençler yeğlenir çünkü bunlar küçük ve ucuzdur. 2~5 W arasında her iki türde dirençler de bulunur ama 5 W üzerinde genellikle tel dirençler yeğlenir.

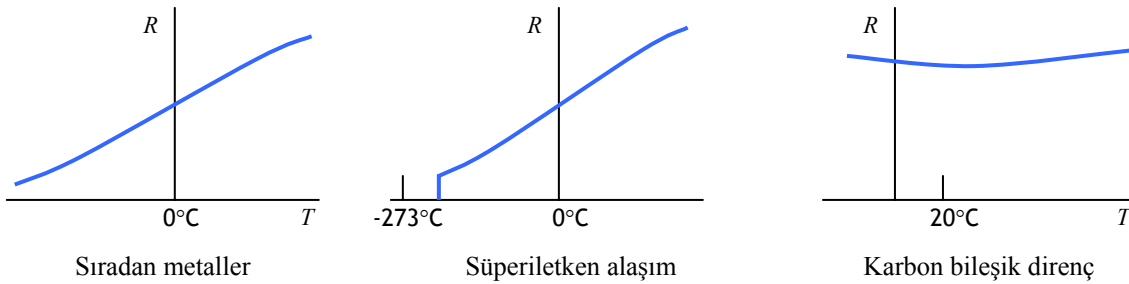
Karbon bileşikli dirençler Bu direnç türü, karbon yada grafit tozu ile yalıtkan bir malzemenin tozunun, istenilen direnç değerinin elde edilmesini sağlayacak oranlarda karıştırılıp kılıflanması ile üretilir. Bu kalıbın iki ucuna geçirilen metal şapkalarla bağlı iletken teller ile direncin devrelere montajı sağlanır. Bu tür dirençler 1-20 M Ω arasında R ve 1/10-2 W güç değerlerinde üretilirler.

Film dirençler: Bu dirençler iki türdür. Karbon-film türünde, bir yalıtkan ve çevresinde ince bir iletken kaplama vardır. Metal-film dirençlerde ise seramik bir taban üzerinde sarmal yapıda bir iletken vardır. Bu dirençlerin üstünlüğü, çok hassas direnç değerlerine sahip olmalarıdır.

Yonga dirençler: Bu dirençlerde, seramik bir taban üzerine kakılmış karbon kaplama vardır. Çok hassas ve ısıl değişimlere karşı çok kararlı olan bu direnç türü, genellikle baskılı devre kartı üzerine takılmak üzere SMD türünde üretilirler.

Doğrusal Dirençler: Sabit V/I oranına sahip dirençlere *doğrusal* direnç denir. Bir dirençten akım geçerken açığa çıkan ısı enerjisi, direncin sıcaklığını artırır ve çoğu dirençte, direnç değerinin hafifçe artmasına neden olur. Bu direnç değişiminin geniş bir sıcaklık aralığında çok küçük olduğu bakır ve alüminyum gibi malzemeler doğrusal direnç kabul edilir.

Karbon bileşikli dirençler de doğrusal direnç sayılırlar. Bu dirençlerin değeri oda sıcaklığından belirgin biçimde fazla olan sıcaklıklarda hafifçe artar. Pozitif ısıl sabite bağlı bu artış esasen “ısıl kaçış”ı önleyerek direnç değerinin sabit kalmasını sağlar. Eğer sıcaklık artınca direnç azalsa idi, düşen direnç değeri sonucu akım artarak direnç sıcaklığını daha da yükseltir ve bu döngü kaçınılmaz olarak direncin bozulması ile sonuçlanırdı. Görüldüğü gibi pozitif ısıl sabit, ısıl kararlılık sağlarken, negatif ısıl sabit, ısıl kararsızlık yaratmaktadır.

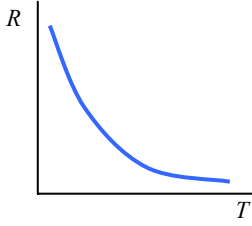


Metal film dirençler $^{\circ}\text{C}$ başına %0.005 değişim oranı ile, çok yüksek bir ısıl kararlılık sağlarlar. Çok hassas ölçme aygıtları ve benzeri kritik uygulamalarda, *konstantan* adlı bir malzeme kullanılır. Bu malzemenin ısıl katsayısı neredeyse sıfırdır ve sıcaklığa bağlı olarak ölçülebilir bir direnç değişimi göstermez.

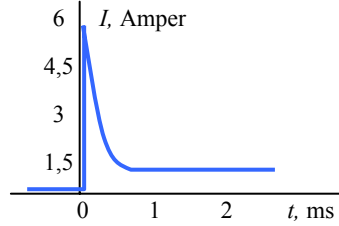
Doğrusal Olmayan Dirençler: Akkor telli bir lambanın tungsten filamanı, çalışma sıcaklık aralığında, çok büyük bir direnç değişimine uğrar. Aşağıda görüldüğü gibi, V/I eğrisi doğru bir çizgi olmaktan çok uzak olan tungsten, bu uygulamada doğrusal olmayan bir direnç özelliği göstermektedir.

BÖLÜM-3 DİRENÇ VE İLETKENLİK

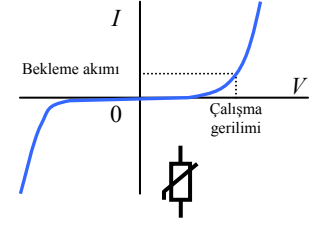
Tungstenin başlangıçtaki (soğuk) düşük direnci nedeniyle anahtar açıldığında çok yüksek bir ilk akım geçer. Filaman çok küçük olan kütlesi nedeniyle çabucak ısınarak sıcak direnç değerine yükselir ve lamba akımı sınırlanır. Ancak lambanın her açılıp kapanmasında yaşanan bu termal şok nedeniyle filaman sürekli olarak hızla genleşip daraldığı için, bir süre sonra ve genellikle de anahtar açılınca, lamba filaman kopması sonucu bozulur.



Yarıiletken (Termistör)



Akkor telli lamba akımı

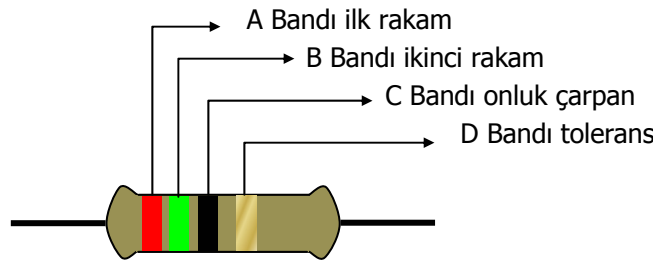


Varistör IV karakteristiği

Akkor telli lambadaki gibi ani akımları önlemek için, devreye seri olarak termistör eklenebilir. Termistör, metal oksitlerden yapılan bir yarıiletkenidir ve çok büyük bir negatif ısıl katsayısı (NTC) vardır.

Bir başka doğrusal olmayan direnç de, varistördür. VDR olarak da adlandırılan bu direncin değeri, gerilime bağlı olarak değişir. Ani olarak oluşan gerilim sıçramalarından koruma amaçlı kullanılan varistörler, korunması istenilen yüke paralel olarak bağlanırlar. Hattaki ani gerilim artışı sonucu varistörün direnci hızla azalarak, hat gerilimini dengeler.

3.5 DİRENÇ RENK KODLARI



Şekil 3.3: Renk şeritleri ile kodlama.

Karbon dirençler küçük olduklarından, direnç değerleri renklerle kodlanır. Sistem her bir rakamın bir renk ile gösterilmesi temeline dayanır. Renk kodları, Elektronik Endüstriler Birliği (EIA) tarafından Tablo:3.1 de görüldüğü gibi ölçünlü olmuştur.

Direnç renk kodlaması için Genel Amaçlı ve Hassas olmak üzere iki uygulama vardır. Genel Amaçlı kodlamada, sonucusu tolerans olmak üzere dört renk

BÖLÜM-3 DİRENÇ VE İLETKENLİK

kullanılır ve tolerans %5 ten küçük olmaz. Hassas kodlamada ise yine son renk tolerans olmak üzere beş renk vardır ve tolerans %2 yada daha küçüktür.

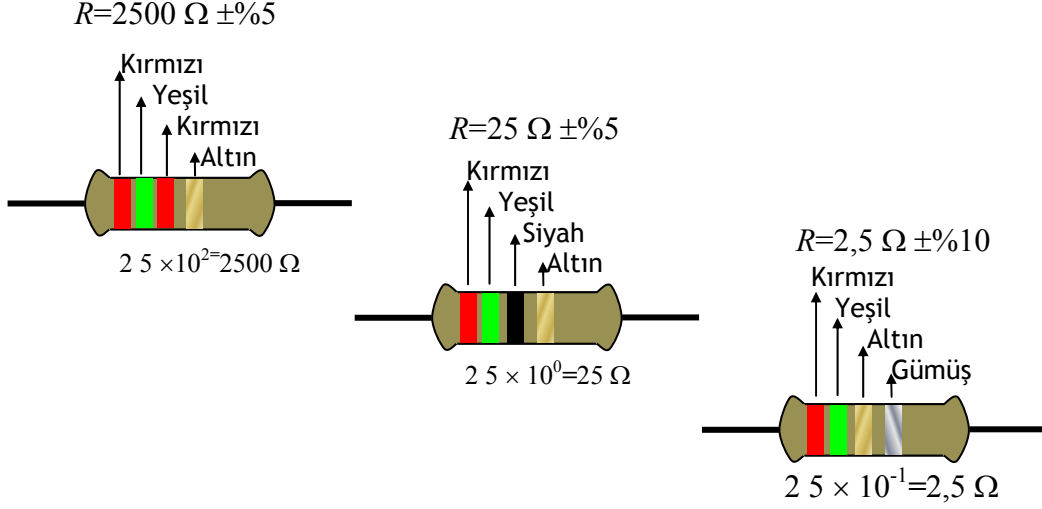
Tablo 3.1: Genel amaçlı ve Hassas dirençleri için renk kodları.

Renk	Sayı Değeri	Çarpan Değeri		Tolerans Değeri
Siyah	0	10^0	1	
Kahverengi	1	10^1	10	$\pm\%1$
Kırmızı	2	10^2	100	$\pm\%2$
Turuncu	3	10^3	1 k	-
Sarı	4	10^4	10 k	-
Yeşil	5	10^5	100 k	$\pm\%0,5$
Mavi	6	10^6	1 M	$\pm\%0,25$
Mor	7	10^7	10 M	$\pm\%0,1$
Gri	8	10^8	100 M	$\pm\%0,05$
Beyaz	9	10^9	1 G	-
Altın	-	10^{-2}	1/100	$\pm\%5$
Gümüş	-	10^{-1}	1/10	$\pm\%10$
Renk yok	-	-	-	$\pm\%20$

Renk Halkaları Karbon dirençlerin renkle kodlanmasında en çok kullanılan yöntemdir ve Şekil:3.3te gösterildiği gibi uygulanır. Renk şeritleri yalıtkan gövdenin dışına ve bir uca yakın olarak basılır. Gövdenin kenarından içeriye doğru okuma işlemi yapılır. İlk iki renk şeridi direnç değerinin ilk iki rakamını, üçüncü şerit bunların sağına eklenecek sıfırların sayısını (yada r renk değeri olmak üzere $\times 10^r$ çapanını) ve son renk şeridi de direnç toleransını gösterir. Üçüncü renk siyah yani çarpan değeri sıfır olduğunda ilk iki rakamın sağına sıfır eklenmez yada 10^0 ile çarpılır. Şekil:3.4te bu sistem ile kodlanmış dirençlere üç örnek verilmiştir.

10 Ω Altında Değeri Olan Dirençler: Bu dirençlerde üçüncü renk altın yada gümüşdür ve ondalık bir çarpan olarak işleme alınırlar. Renk altın ise ilk iki rakam 0,1 ile, gümüş ise 0,01 ile çarpılır. Bu renkler yalnızca üçüncü sırada iken çarpan olarak değerlendirilirler.

Direnç Toleransı: Gerçek R değerinin, renk kodları ile belirlenenden ne kadar değişik olabileceği genellikle yüzde olarak verilir. Sözelimi değeri 2000Ω olarak kodlanmış bir direncin toleransı %10 ise, gerçek R değeri $2000 \pm 200 = 1800 \sim 2200 \Omega$ arasında olabilir. Eğer tolerans şeridinde hiçbir renk yoksa yani direnç üç renkle kodlanmışsa tolerans değeri %20 olarak alınır.



Şekil 3.4: Genel Amaçlı kodlama ile değerleri belirtilmiş üç direnç.

Beş renkli yada hassas kodlamada değer belirleme yöntemi aynı biçimdedir. Yalnızca 3. Bandın değerinin de sayısal değer olarak eklenmesi ve tolerans için doğru değerlerin (Tablo:3.1 en sağ sütun) kullanılması gereklidir.

Tel dirençler genellikle yeterince büyük olduklarından, direnç ve tolerans değerleri üzerlerinde yazılıdır. Bu tür dirençlerde tolerans genelde %5 olmakla birlikte hassas olanlarda %1 tolerans değeri kullanılır. Bazı küçük tel dirençlerde de karbon dirençler gibi renk kodları kullanılır. Bu dirençleri karbon dirençlerden ayırt edebilmek için ilk renk şeridi diğerlerinden iki kat kalın olarak basılır.

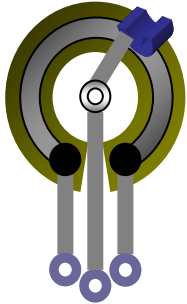
Standart Direnç Değerleri: Sınırsız sayıdaki devreler için değişik değerlerde dirençler üretmedeki sorunları en aza indirmek için bazı direnç değerleri büyük miktarlarda üretilir. Bunlar diğer direnç değerlerinden daha ucuza ve daha kolay bulunabilirler. Bu değerler seçilirken, direnç değerleri arasında toleranslar ile belirlenen aralıklar da dahil olmak üzere binişim olmamasına dikkat edilmiştir. Tolerans değeri $\pm 20\%$ bir direncin $11,1 \text{ k}\Omega$ ve $11,3 \text{ k}\Omega$ olarak üretilmesi gereksizdir. Buna karşı toleransı sözelimi $\pm 0,5\%$ olan bir direncin $100 \text{ k}\Omega$ ve $101 \text{ k}\Omega$ olarak üretilmesi gereklidir. $\pm 10\%$ toleranslı dirençlerde yeğlenmiş direnç değerleri 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 ile bunların onluk ve ondalık katlarıdır. Örneğin 4,7, 47 Ω , 470 Ω ve 4700 Ω standart değerlerdir. %20 toleranslı dirençler, ancak çok aralıklı değerlerde üretilebildiklerinden dolayı günümüz gereksinimleri içerisinde pek fazla

bulunmamakla birlikte, standartlarda halen yer almaktadırlar. En yaygın olarak %5 toleranslı dirençler kullanılırken, %2 ve %1 toleranslı hassas dirençleri bulmak da artık sorun olmaktan çıkmıştır. Yeni üretim teknolojileri ile bu tür düşük toleranslı dirençler hızla yaygınlaşmaktadır. Tablo:3.2 de dirençler için standart değerler verilmiştir. Görüldüğü gibi direnç toleransı küçüldükçe, üretilmesi gereken ayrı direnç değerler arasındaki farkın azaltılması gerekmektedir.

Tablo 3.2: Dirençler için tolerans sınıfına göre belirlenmiş standart değerler.

Tolerans	Üretilen Standart Değerler												
%20	10		15		22		33		47		68		100
%10	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82	100
%5	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82	100
	11	13	16	20	24	30	36	43	51	62	75	91	
%2	100	121	147	178	215	261	316	383	464	562	681	8258	1000
	105	127	154	187	226	274	332	407	487	590	715	66	
	110	133	162	196	237	287	348	422	511	619	750	909	
	115	140	169	205	249	301	365	442	536	649	787	953	

3.6 DEĞİŞKEN DİRENÇLER



Şekil 3.5: Bir potansiyometrenin iç yapısı.

Potansiyometre, değişken karbon direnç: Kısaca *pot* olarak da adlandırılan bu tür değişken dirençlerde, istenilen direnç değeri, eritilmiş karbon bir halka yada şerit üzerine ince bir kaplama basılarak elde edilir. Lehim uçlarından ikisi, bu birimin iki ucuna ve diğeri de direnç üzerinde gezebilen yaylı bir baskılı temas pabucuna bağlantılır. Şekil:3.5te bir potansiyometrenin iç yapısı gösterilmiştir. Ayar kolu döndürüldükçe temas pabucunun kaplamaya değme noktası ve dolayısıyla dış

devreden görülen direnç değeri değişir. Temas noktası bir uca yaklaştıkça, orta uç ile bu uç arasındaki R azalır. İki dış uç arasındaki R ise en büyük değerdedir ve hiç değişmez. Bu dirençlerin değişim eğrileri, elektronik devrelerdeki değişik gereksinimleri karşılayabilmek için değişik özelliklerde olabilirler. Genel olarak doğrusal değişim gösteren ayarlı dirençler kullanılır. Doğrusal değişim gösteren bir potansiyometrede, ayar kolu orta noktaya getirildiğinde ayar ucu ile diğer uçlar arasında, toplam direncin yarısı değerinde bir R görülür. Benzer biçimde ayar ucundan görülen tüm R değerleri, kolun fiziksel konumu ile doğrusal orantılıdır. Ancak sözgelimi bir

ses yükseltecinde ses ayarını yapacak potansiyometrenin değişimi doğrusal olmamalıdır. İnsan kulağının ses basıncı duyarlılığı logaritmik olarak değişmektedir yani düşük ses değişimlerine hassas tepki verirken yüksek değişimlere giderek daha az duyarlı olmaktadır. Bu nedenle, ses ayarında kullanılan bir potansiyometrenin değişim eğrisi logaritmik olmalıdır yani ayarın başında küçük değişimler gösterirken, değişim hızı giderek artmalıdır.

Reosta, değişken tel direnç: Reostalar genellikle güç devrelerinde kullanılan iki uçlu değişken dirençlerdir. Genellikle yüke ardıl bağlanırlar ve yüksek güç değerlerinde üretilirler. Reostalar da yada aa devrelerde akım ve gerilim değerlerini ayarlama ve sınırlama amaçları ile kullanılırlar.

Potansiyometrenin reosta gibi kullanılması: Piyasadaki reostalar genellikle güç uygulamaları için tel sarımlı yüksek güç değerli dirençlerdir. Ancak bazen elektronik devrelerde küçük ve düşük güçlü reosta kullanımı gerekebilir. Sözgelimi yükselteçlerde ton denetimi yapmak için genellikle, devreye seri bağlı ancak üzerinde çok güç harcanmayan bir ayarlı direnç gerekir. Bu durumda uygun değerli bir potansiyometrenin orta ucu ile dış uçlardan birisi birbirine bağlanarak oluşan bu yeni uç ile diğer uç ayar için kullanılır. Başka bir yöntem olarak, potansiyometre üzerinde hiçbir işlem yapmadan yalnızca ayar ucu ile diğer uçlardan birisini devreye bağlamak olasıdır. Ancak bu yöntem, devrede kayar nokta kalması nedeniyle kararlılık bakımından yeğlenmemesi gereken bir yöntemdir.

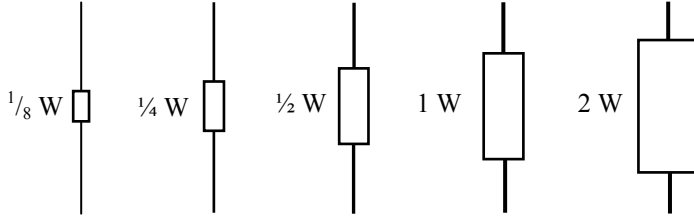
3.7 DİRENÇLERİN GÜÇ DEĞERLERİ

Bir direnç, istenilen R değerinde olmasının yanında, üzerinden geçen akım nedeniyle harcanacak gücü fazla ısınmadan tüketecek güç değerini de taşımalıdır. Karbon dirençler normal kullanımda $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa dek ısınabilirler. Tel dirençlerde ise $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ dolayında çalışma sıcaklıkları normal sayılmaktadır. Bir direnç, güç tüketimi nedeniyle çok ısınırsa R değeri toleransının ötesinde ve önemli miktarda değişebilir yada yanarak açık devre olabilir. Güç değeri direncin yapısına ve özellikle fiziksel boyuna bağlı bir özelliktir.

- Fiziksel boyun büyümesi, gücün artması demektir.
- Yüksek güç değerli dirençler, yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler.
- Tel dirençler, karbon dirençlere göre fiziksel olarak daha büyük ve daha yüksek güçlüdürler.

Karbon dirençler için standart güç değerleri, $1/8\text{ W}$ ile 2 W arasında değişmektedir. Direncin güç değeri, fiziksel boyutları ile belirlenir. Şekil:3.6 da karbon dirençlerin güçlerine göre boyutları orantılı olarak görülmektedir. Dirençlerin güç değerleri için bir renk kodlaması yoktur, belirlenmesi deneyime bırakılmıştır. Bir direncin boyutlarına bakarak gücünü belirlemek mümkündür.

2 W değerinden daha güçlü olan dirençler genellikle telden sarılarak yapılır ve çevrelerinde seramik bir kaplama bulunur. Bunlar taş direnç olarak da adlandırılmaktadır ve 300°C sıcaklıklara dek çalışırlar. Bazı durumlarda bir devrede, taş dirençlerin bile zarar görmesine neden olacak ısınmalar olabilmektedir. Ancak böyle bir durumda direncin kaplaması mutlaka renk değiştireceğinden, arızanın belirlenmesi kolay olur.



Şekil 3.6: Standart güç değerlerindeki dirençlerin gerçek boyutları.

Yüksek yoğunluklu elektronik aygıtlar ile kullanılmak üzere yüzey montaj türü (Surface Mounted Device-SMD) dirençler de üretilmektedir. Bunların güç değerleri 0,1 W altındadır. Düşük güç değerli dirençler, entegre kılıflarında (SIP yada DIP) paket olarak da üretilmektedir. Bu tür dirençler genellikle ince-film yada kalın-film teknolojileri ile laser kesme ile ve çok küçük ($\pm 0,005$ ~ $\pm 0,001$) toleranslar ile üretilirler.

BÖLÜM 4

OHM YASASI, GÜÇ VE VERİM

Logaritmalanmak

Onyedinci yüzyıl boyunca Avrupalı düşünürlerin takıntısı, matematiksel hesaplamalara yardımcı olacak herhangi bir aygıt idi. İskoç matematikçi John Napier bu gereksinimini karşılamaya karar verdi ve 1614 yılında logaritmayı keşfini açıkladı. Çoğunu sıkıcı tabloların oluşturduğu bu kitapta Napier, logaritmanın bir taban sayının üssü olduğunu söyledi. Örneğin 100, 10^2 dir, 27, $10^{1.43136}$ dir, 10, 10^1 dir, 6, $10^{0.77815}$ dir ve ne kadar büyük yada küçük olursa olsun her sayı bu biçimde gösterilebilir. Ayrıca iki sayının çarpımının toplama yoluyla nasıl gerçekleştirilebileceğini de açıkladı. Örneğin 2 sayısının logaritması olan 0,30103 ile 4 sayısının logaritması olan 0,60206 toplandığında 2 ve 4 sayılarının çarpımı olan 8 sayısının logaritması 0,90309 elde edilir. Buna göre iki sayının çarpımı için tablolarda logaritmaları bulunup toplanır ve elde edilen sayı ters logaritma tablosundan bulunarak çarpım öğrenilebilir.

Napier' in ölümünden on yıl sonra William Oughtred, hesaplamalara hız kazandırmak için, logaritma tablolarından yararlanarak, elde kullanılabilen ve kayar cetvel denilen mekanik bir hesap aleti geliştirmiştir.

Napier başarılı bir matematikçi olmasının yanı sıra, askeri silahlar tasarlamakla da ilgilenirdi. Sonuçlandırılmamış projelerinden birisi, doğru hizalandıklarında, güneş ışığını yoğunlaştırarak ölümcül bir ışın elde edebilecek ayna ve merceklerden oluşan bir ölüm ışını sistemidir. Yoksa biz bunun ne olduğunu artık biliyor muyuz?

GİRİŞ

Önceki bölümlerde incelenen temel elektriksel büyüklükler ve direnç arasında, evrensel bir orantı vardır. Bu orantı 1827 yılında Alman fizikçi Georg

Simon Ohm tarafından keşfedilmiştir. Kendi adıyla anılan yasayı bulan bilim insanı, böylece elektriğin bilimsel temelini atılmasını da sağlamış, bilime bu katkısı nedeniyle de direnç birimine soyadı verilmiştir. Ohm yasası ile belirlenen bağlantılarla, direnç üzerinde tüketilen güç, temel elektriksel birimler ile güç arasındaki ilişkiler ve diğer bazı durumlar açıklanmaktadır.

4.1 OHM YASASI

Ohm yasasına göre, sabit bir direnç için akım ile gerilim arasında doğrusal bir orantı vardır. Ohm yasası, amaca uygun olarak direnç, akım ve gerilim açısından tanımlanabilir. Aynı biçimde,

$$1. \quad I = \frac{V}{R} \quad \mapsto \quad \text{Amper} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} \quad \mapsto \quad A = \frac{V}{\Omega}$$

$$2. \quad V = I \times R \quad \mapsto \quad \text{Volt} = \text{Amper} \times \text{Ohm} \quad \mapsto \quad V = A \times \Omega$$

$$3. \quad R = \frac{V}{I} \quad \mapsto \quad \text{Ohm} = \frac{\text{Volt}}{\text{Amper}} \quad \mapsto \quad \Omega = \frac{V}{A}$$

olarak temelde aynı olan üç matematiksel eşitlikle de tanımlanabilir.

Bu eşitliklerden ilkinde, direnç uçlarındaki gerilimin direnç değerine oranının, akıma eşit olduğu belirlenmektedir. Buna göre bir direncin R değeri arttıkça, aynı gerilim (V) altında üzerinden geçebilecek akım (I) miktarı azalmaktadır.

İkinci eşitlikte ise devre geriliminin devre akımı ile toplam direncin çarpımına eşit olduğu söylenmektedir.

Üçüncü eşitlikte ise devredeki direnç değerinin, devre geriliminin ile devre akımına oranına eşit olduğu görülmektedir. Bu eşitlik, direncin elektriksel eşitliğidir ve fiziksel direnç eşitliği ile bağlantılı değildir.

Özetle şu üç önerme, elektriğin anayasasıdır ve bilinmemesi yada unutulması en büyük suçlardandır:☺

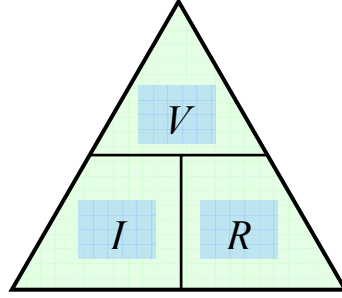
1. Akım ile gerilim doğru orantılıdır.

2. Akım ile direnç ters orantılıdır.

3. Direnç ile gerilim doğru orantılıdır.

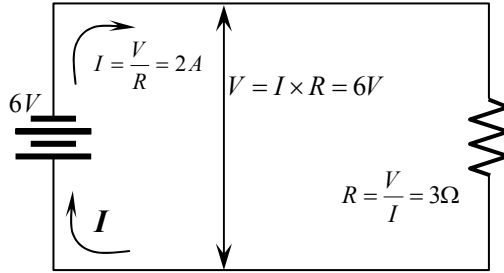
Ohm Yasası için genel olarak önerilen bir öğrenme yöntemi, Şekil:4.1 de görülen Ohm üçgenidir. Ohm üçgeni kullanılarak, karşılaşılabilecek karışıklıklar en aza indirilebilir. Burada bilinmeyen birim kapatılınca geriye kalan iki değer birbirine göre durumundan eşitlik anımsanabilir. V simgesinin eşitini

bulmak için V kapatılıp diğer iki simgeye bakılırsa, I ve R simgeleri yan yana çarpan ($I \cdot R$) durumundadır. I simgesi kapatılırsa da V ve R simgeleri alt alta bölen (V/R) durumunda olacaktır. Benzer biçimde *direnç* simgesi kapatıldığında direnç eşitliği (V/I) ortaya çıkacaktır.



Şekil 4.1: Ohm Yasası Üçgeni.

Ohm yasası yorumlanırken bazı inceliklere dikkat edilmez ise, çözümlemede yanlışlarla karşılaşılabilir. Ohm Yasası olarak bilinen üçlü orantı, bütün bir devre için yada tek bir direnç için geçerlidir. Ancak orantı kurulurken doğru değerlerin seçilmesi gerekir. Bu durum Şekil:4.2 deki devre örnek alınarak açıklanabilir.



Şekil 4.2: Temel elektrik devresinde Ohm Yasası eşitlikleri.

Bu temel elektrik devresinde direnç, doğrudan doğruya kaynağa bağlanmıştır ve bu yüzden uçlarındaki gerilim kaynak gerilimi ile aynıdır. Ohm yasasına göre bu gerilimin sayısal değeri, $I \cdot R$ çarpımına eşittir. Ancak burada $I \cdot R$ değerini her zaman kaynak gerilimi olarak almak doğru değildir. Bu değer daha çok bir tek direnç için geçerli sayılmalıdır.

4.2 BİRİMLER VE UYGULAMA KATLARI

Elektrik devrelerinin çözümlemesinde çoğunlukla temel birimler olan Amper, Ohm ve Volt kullanılırken, elektronik devrelerin pek çoğunda bu değerlerin bir kısmı çok büyük yada çok küçük olmaktadır. Genellikle direnç değerleri büyük ve akım değerleri de küçüktür. Bu değerlerin temel birimlere dönüştürülerek

kullanılması hesaplamalarda güçlük yaratacağından, genellikle alt yada üst katlarla işlem yapılır. Örneğin akım için,

$$\frac{V}{k\Omega} = mA \quad \text{ve} \quad \frac{V}{M\Omega} = \mu A$$

eşitliklerinin, gerilim içinse;

$$mA \times k\Omega = V \quad \text{ve} \quad \mu A \times M\Omega = V$$

eşitliklerinin bilinmesi, matematiksel işlemlerde önemli kolaylıklar sağlayacaktır.

4.3 ENERJİ, İŞ VE GÜÇ

Güneş, sürekli olarak ve ışık biçiminde enerji sağlayan bir kaynaktır. Kömür ve petrol ise güneşe bağlı diğer pek çok şeyin arasında, büyümüş bitkilerin kalıtılmış durumudur ve dünyamızın milyonlarca yılda depoladığı erkin bir örneğidir. Erk yaratılmaz ve yok edilemez, yalnızca bir türden diğerine dönüşür.

Erkin altı temel biçimi vardır: **ışık**, **ısı**, **manyetik**, **kimyasal**, **elektriksel** ve **mekanik**. Enerji tanımlarken **kinetik** (devinim) ve **potansiyel** (konum) terimleri kullanılır. Bir yokuşun başındaki tekerde potansiyel erk (konum erki) vardır. Bu teker yokuş aşağıya yuvarlanırken ise kinetik erkten (devinim erki) söz edilir. Bu iki erk biçimi arasındaki dönüşüm için en iyi örnek, sarkaçtır. Sarkaç en üst konumlarında iken tüm erk konum enerjisi biçimindedir. Devinim sırasında bu erk devinim ve konum erkleri arasında sürekli dönüşüm yapar.

Enerjinin bir biçimden başkasına dönüşümüne **iş** denir. Başka bir deyişle **erk**, iş yapabilme yetisidir ve birimi **Joule** (J) dür. Aslında enerji ve işin eşdeğer oldukları düşünülebilir çünkü birimleri bile aynıdır.

Enerjiyi bir biçimden diğerine dönüştüren aygıtlara transdüser denilir. Bu aygıtlar için otomobil, lamba, batarya, su pompası, TV tüpü gibi pek çok örnek verilebilir.

Bir elektrik devresinde iş, elektrik yükünün (Q) bir potansiyel fark (V) kullanılarak taşınması ile ilgilidir. Buna göre işin tanımından yola çıkılarak elektrik devresindeki iş eşitliği,

$$W = V \cdot Q \quad \text{Joule}$$

olarak yazılır. Bu eşitlikte W , Joule olarak iş, V , Volt olarak gerilim ve Q , Coulomb olarak elektrik yüküdür. Elektrik yükü yerine eşiti yazılırsa iş eşitliği,

$$W = V \cdot I \cdot t \quad \text{Joule}$$

olarak bulunabilir.

Güç, işin yapılma yada erkin dönüştürülme hızıdır. İş, kuvvetin belli bir yolu alması olarak tanımlanır. Elektrik akımı elektronların devinimidir ve elektronların devindirilmesi için de, çekirdek çekim kuvveti yenilmelidir. Buna göre elektriksel güç, elektronların atomlarında koparılıp sürüklenme hızı olarak tanımlanabilir.

Bu tanım matematiksel olarak,

$$P = \frac{W}{t} \text{ Watt}$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikte P , Watt olarak güç, W , Joule olarak iş yada erk ve t , saniye olarak zamanı göstermektedir.

Elektrik güç birimi, James Watt (1736-1819) anısına Watt (W) olarak adlandırılmıştır. 1 Wattlık güç, bir Voltluk potansiyel fark tarafından bir saniyede bir Coulombluk yükü devindirmekle yapılan işe eşittir. Saniyede bir Coulombluk yük devinimine Amper denildiğine göre, Watt olarak güç, gerilim ile akımın çarpımına eşit olacaktır.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V \times Q}{t} = \frac{V \times I \times t}{t} = V \times I \text{ Watt} = \text{Volt} \times \text{Amper}$$

buradan iki ayrı formül daha çıkarmak olasıdır.

$$I = \frac{P}{V} \text{ ve } V = \frac{P}{I}$$

Bir elektrik devresinde gücün akım, gerilim ve dirençle olan ilişkisini elde etmek için, güç eşitliğindeki akım ve gerilim yerine Ohm Yasası eşitlikleri koyularak,

$$P = V \cdot I$$

$$P = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$

$$P = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$$

eşitlikleri de yazılabilir.

İş ve Güç: İş ve enerji, birimlerine varana dek aynıdır ancak, güç bunlardan bir özelliği ile ayrılır; zaman. Güç tanımında, işin yapıldığı süre de kapsanır. Örnek olarak, 10 Kg ağırlığında bir yükün 100 m taşındığı durumu göz önüne alalım. Yapılan iş ne kadar çabuk yada yavaş olduğundan bağımsız olarak, 10

$\text{Kg} \times 100 \text{ m} = 1000 \text{ Kgm}$ olacaktır. Güç= $\text{İş}/\text{Zaman}$ olduğuna göre aynı iş bir saniyede yapılırsa $P=1000 \text{ Kgm/s}$, iki saniyede yapılırsa $P=500 \text{ Kgm/s}$ olacaktır.

Mekanik güç ile elektriksel güç arasında $1\text{hp}=746\text{W}$ bağıntısı vardır. Bir saniye süresince harcanan bir Wattlık güç, bir Joulelik iş demektir. Buna göre $1 \text{ W}=1 \text{ j/s}$ demektir. Akım ve yükler açısından tanımlandığında, $1 \text{ J}=1 \text{ VC}$ ve $1 \text{ W}=1 \text{ VA}$ olarak bulunur. Bu eşitlikteki zaman etmeni, akım biriminde $1 \text{ A}=1 \text{ C/s}$ biçiminde içerilmiştir.

4.4 ELEKTRİK DEVRESİNDE ERK

Bir elektrik devresindeki gerilim kaynağı, elektronların devinimi için gereken enerjiyi sağlar. Dirençsel bir devrede ise kaynağın sağladığı tüm erk, elektronların savrulma ve sürtünmeleri nedeniyle, tümüyle ısı erkine dönüştürülür. Bir elektrik devresinin gücü biliniyorsa, enerjisi kolayca hesaplanabilir. Çünkü bilindiği gibi güç, işin yapılma yada enerjinin üretilme/tüketilme süresi olarak tanımlıdır. Buna göre bir elektrik devresinin enerjisi için,

$$W = V \cdot I \cdot t = P \cdot t \quad \text{Joule}$$

eşitliği ile belirlidir. Burada W Joule olarak erk, P Watt olarak güç ve t saniye olarak zamandır.

SI birim sisteminde erk birimi olarak Joule kullanılıyor olsa da, elektrikli aygıtlar için daha kullanışlı ve büyük bir birim olan kilowatt-saat (kWh) kullanılır. Bu birim, bir saat içinde sağlanan bin Wattlık güç anlamına gelir ve Jouleün 3.600.000 katıdır.

Bir devredeki elektrik erki tüketimi ve bunun maliyeti hesaplanırken,

$$\text{erk tüketimi (kW)} = \text{güç (W)} \times \text{zaman (saat)}$$

eşitliği kullanılır. Gerçek uygulamalarda, değişik aygıtların değişik sürelerle çalıştığı durumlar için tüketilen toplam erk ve bunun maliyetinin hesaplanması gerekir. Böyle durumlarda tüketilen elektrik enerjisi,

$$W = P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n \quad \text{Joule}$$

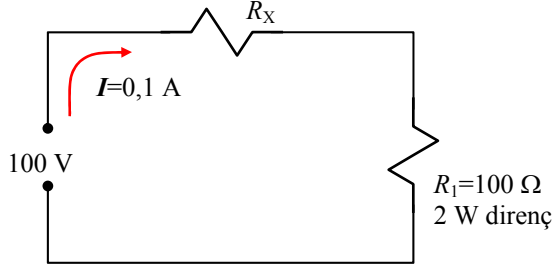
eşitliği ile, toplam maliyet ise,

$$\text{Maliyet} = \text{Enerji (kWsa)} \times \text{birim fiyatı (TL/kWsa)} \quad \text{TL}$$

eşitliği ile bulunur.

4.5 BİR DEVRE İÇİN DİRENÇ SEÇME

Bir devrede kullanılacak direnci belirlerken ilk önce direncin değeri belirlenmelidir. Şekil:4.3 teki devrede, kaynaktan ekilecek akımı 0,1 A ile sınırlayacak ve bozulmadan çalışabilecek güçte olması istenilen R_X direnci görülmektedir.



Şekil 4.3: R_1 direncinde tüketilecek güç yalnız 1 W olacaktır.

Bu devreden geçen toplam akımın 100 mA ile sınırlanması için, devredeki toplam direncin,

$$R_T = \frac{100 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = 1000 \text{ } \Omega = 1 \text{ k}\Omega$$

olması gerekir. Buna göre R_X direncinin değeri,

$$R_X = R_T - R_1 = 1000 \text{ } \Omega - 100 \text{ } \Omega = 900 \text{ } \Omega$$

olarak bulunur. R_1 direncinin güç değeri,

$$P_{R_1} = I^2 \cdot R_1 = (0,1 \text{ A})^2 \cdot 100 \text{ } \Omega = 1 \text{ W}$$

olarak hesaplanırsa da, normalde güç değeri 2 W olan bir direnç kullanılır. Direnç gücü belirlemede kullanılan bu güvenlik katsayısı, karbon dirençler için uygulamada 2 olarak hesaba katılır. Bu güvenlik katsayısı, direncin dayanması (bozulmadan tüketebilmesi) gereken en yüksek gücün iki katı gücünde bir direnç kullanılmasını sağlar. Yukarıda bulunan değere güvenlik katsayısı eklenerek direnç gücü 2 W olarak elde edilir.

Akımı sınırlamak için devreye eklenecek R_X direncinin güç değeri ise yine aynı biçimde,

$$P_{R_X} = I^2 \cdot R_X = (0,1 \text{ A})^2 \cdot 900 \text{ } \Omega = 9 \text{ W}$$

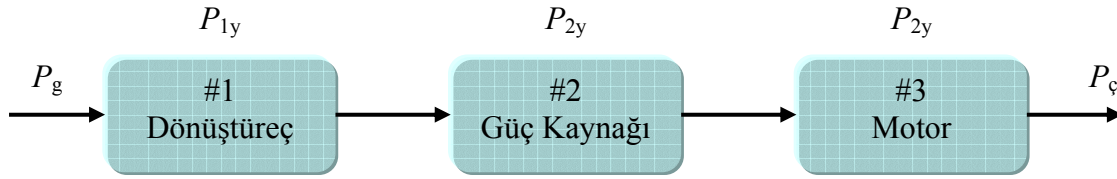
olarak bulunur. Bu direnç yüksek güç değeri nedeniyle bir taş direnç olacaktır. Güvenlik katsayısı taş dirençler için 1,5 olarak kullanılır. Buna göre akım sınırlama için kullanılacak direncin gücü 15 W olarak belirlenir. Daha yüksek güçlü bir direncin kullanılması durumunda devrenin çalışması zarar görmez. Yalnızca maliyet ve boyut ile ilgili bazı sorunlar oluşabilir.

4.6 VERİM

Verim, bir sisteme giren enerji ne kadarının yararlı enerji olarak kullanılabilirliğinin ölçüsüdür. Verim genellikle enerji değil güç terimleri ile verilir ve yüzde olarak gösterilir ve simgesi η (eta) dır. Verim eşitliği;

$$\eta = \frac{P_C}{P_G} \cdot 100$$

olarak yazılır. Burada η , yüzde olarak verim, P_C yararlı güç çıkışı ve P_G sisteme giren toplam güçtür. P_G ve P_C için herhangi bir güç birimi kullanılabilir ama ikisi için de mutlaka aynı birim kullanılmalıdır.



$$\% \eta_t = (\eta_1 \times \eta_2 \times \dots \times \eta_n) \cdot (100)$$

Şekil 4.4: Bir dizgenin toplam verimi, her bir katın verimleri çarpılarak bulunur.

Eşitlikteki $\times 100$ terimi kullanılmazsa verim ondalık olarak bulunur ve bu yazılış bazı durumlarda hesaplama kolaylıkları sağlar.

Bir aygıtın verimi her zaman “1” den küçüktür. Yararlı güç olarak elde edilen güç, ile aygıtta giren toplam güç arasında kalan güç ne olmaktadır? Bu güç, aygıtın özelliklerine bağlı olarak değişik biçimlerde kaybolan güçtür ve “yitim” olarak adlandırılır. Herhangi aygıtta çıkış gücü, giriş gücü eksi yitimler olacaktır. Buna göre verim eşitliği,

$$\% \eta = \frac{P_G - P_Y}{P_G} \cdot 100$$

yada

$$\% \eta = \frac{P_{\zeta}}{P_{\zeta} + P_{\gamma}} \cdot 100$$

olarak da kullanılabilir. Burada η , yüzde olarak verim, P_{ζ} yararlı güç çıkışı, P_{ζ} sisteme giren toplam güç ve P_{γ} , yitik gücü göstermektedir.

Pek çok sistem, birkaç aygıt yada bölümün arka arkaya bağlanmasıyla oluşturulur. Sözelimi Şekil:4.4 teki dizgede, bir motoru çalıştırmak için yapılan bağlantı gösterilmiştir. Burada her bir devre katında bir miktar güç yitimi olacak ve dizgenin toplam verimi, her bir aygıtın verimlerine bağlı olarak belirlenecektir. Birden çok katı bulunan dizgelerde toplam verimin bulunması için, her bir birimin verimleri çarpılarak,

$$\% \eta_t = (\eta_1) \cdot (\eta_2) \cdot \dots \cdot (\eta_n) \cdot (100)$$

eşitliği yazılır. Bu eşitlikte birbiriyle çarpılan her bir aygıt verimi 1'den küçük olacağına göre toplam verim, en küçük verimden ve mutlaka 1'den küçük olacaktır.

BÖLÜM 5

ARDIL DEVRELER

Rakiplere Uyarı

Nolan Bushnell, Utah Üniversitesindeki öğrencilik yıllarında, GO adlı antik Çin oyunu ile ilgileniyordu. Bu oyunda rakibinizi, sizin bir sonraki hamleniz ile oyunu kaybetme tehlikesine karşı, oyun boyunca çokça kullanılan bir sözcük ile uyarmanız gerekir.

Bushnell üniversiteyi bitirince, PONG adını verdiği ve jetonla çalışan ilk ping-pong oyununu geliştirerek ve \$500 yatırımla, günümüzde çılgınlık boyutlarına gelen video oyunları endüstrisini başlattı. Oyun piyasada neredeyse bir gün içinde inanılmaz bir başarı elde etti. Bu girişin ardından dört yıl sonra Bushnell, üniversitede rakiplerini uyarmak için kullandığı zarif Çince sözcük ATARI ile adlandırdığı şirketini, \$15 milyon karşılığında sattı.

Bushnell ATARI' den sonra tutkusunu arttırarak, Chuck E. Cheese's Pizza Time Theatre oyunu ile kitlelere yüksek teknolojiyi tanıttı.

GİRİŞ

Bir devrede elemanlar tek bir akım yolu oluşturacak biçimde bağlandıklarında, bu elemanların **ardıl** (seri) bağlandıkları söylenir. Elemanlardan bir tanesinin bozulması durumunda, bütün devrenin akımı kesilir.

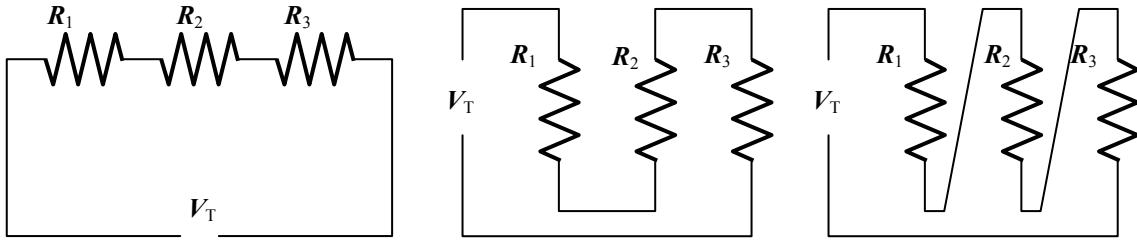
Uygulanan gerilim(ler) ile, ardıl devre elemanları üzerindeki **gerilim düşümleri** arasındaki ilişkiler, Kirchhoff Gerilim Yasası ile belirlenir. Bu yasa yardımı ile devrenin toplam akım ve/veya direnci hesaplanabilir.

Ardıl devredeki **açık devre** (sonsuz direnç) ve **kısa devre** (sıfır yada çok küçük direnç) arızaları, gerilim ölçmeleri yapılarak ve KGY uygulanarak belirlenebilir.

Ardıl devrenin gerilim bölme özelliğinden yararlanılarak istenilen değerde değişik gerilimler elde edilebilir.

5.1 ARDIL DEVREDE AKIM HER NOKTADA AYNIDIR

Elektrik akımı, uygulanan gerilim nedeniyle yüklerin iki nokta arasında hareketidir. Devre elemanları art arda bağlanırsa bir seri (ardıl) devre oluştururlar. Şekil:5.1deki devrede R_1 , R_2 ve R_3 birbirlerine ve kaynağa *seri* bağlıdır. Batarya eksi ucundaki elektronları artı ucuna akmaya zorlayan bir potansiyel fark üretmektedir. Bu akış, elemanlar ve bunları bağlayan teller üzerinden olmak zorundadır çünkü başka bir seçenek yoktur. Elemanların birbirine hangi sırada ve hangi fiziksel konumda bağlandıkları, devre akımını etkilemez. Seri elemanlar, aynı akım yolu üzerinde elemanlar olarak tanımlanırlar. Bir seri devrede, akım yolu üzerinde akımın dallanabileceği başka bir yol yada koştuk kol bulunmamalıdır. Şekil:5.1deki devrelerde görülen bağlantıların tümü, ardıl bağlantıdır.



Şekil 5.1: Ardıl bağlantı için, elemanların konumları ve bağlantı sırası önemli değildir.

Seri devrelerin en belirleyici özelliği, devredeki kaynak dahil tüm elemanlardan aynı akımın geçmesidir.

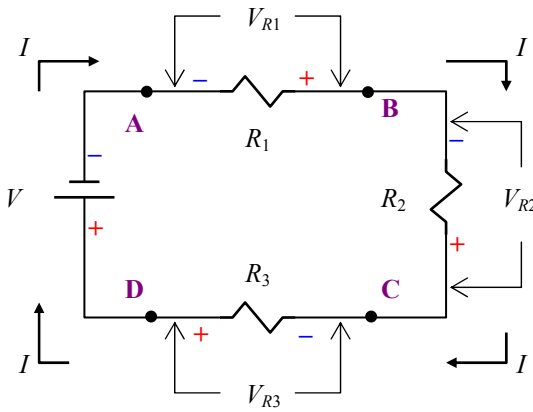
5.2 ARDIL DEVREDE GERİLİM DÜŞÜMLERİ

Şekil:5.2deki devrede üç direnç, bir gerilim kaynağına seri bağlıdır. Akım R_1 direncinden geçerken, direnç üzerinde V_{R1} olarak adlandırılan bir “gerilim düşümü” oluşur. Bu gerilim düşümü nedeniyle B noktasındaki negatif potansiyel, A noktasındaki negatif potansiyelden daha düşük olacaktır. Bu durumda B noktası, A noktasına göre pozitif potansiyeldedir ve bu durum, B noktasındaki (+) imi ile gösterilir. Bir elektron, eksi potansiyeldeki bir noktadan, nispeten artı değerli bir noktaya giderken, yapılan iş nedeniyle potansiyelde bir azalma oluşur. Bu potansiyel azalmasına **gerilim düşümü** denir. Aynı devrede benzer biçimde düşünerek, C noktasının B noktasına ve D noktasının da C noktasına göre daha artı potansiyelde oldukları söylenebilir.

Gerilim düşümlerinin imlenmesi için iki yöntem daha vardır:

1. Bir elemana akımın girdiği uca (–), akımın çıktığı uca da (+) koyulur.
2. Söz konusu uç kaynağın hangi ucuna daha yakın ise, o polarite seçilir.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, gerilim düşümü ile gerilimin, birbirlerinden farklı kavramlar olduklarıdır. Gerilim düşümü yalnızca eleman üzerinden akım geçiyorken oluşur. Bu nedenle gerilim düşümü bazen, IR düşümü olarak adlandırılır. Oysa bir kaynak uçlarında, kaynaktan akım geçmiyorken de gerilim vardır. (Bu nedenle, akım çekilmiyor diye prize parmağımızı sokmamalıyız☺.)



Şekil 5.2: Üç direnç ve bir kaynaktan oluşan ardıl devrede gerilim düşümleri ve polariteleri.

5.3 KIRCHHOFF GERİLİM YASASI

Şekil:5.2deki devrede, A, B, C, D noktaları arasındaki gerilimler ölçülürse, şu sonuçlar bulunur:

- A ve D noktaları arasındaki gerilim = V
- B ve D noktaları arasındaki gerilim = $V - V_{R1}$
- C ve D noktaları arasındaki gerilim = $V - V_{R1} - V_{R2}$
- D ve D noktaları arasındaki gerilim = $V - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3}$

Son adımda voltmetrenin her iki ucu da D noktasına bağlı olduğu için okunacak gerilim sıfır olacaktır.

Buna göre,

$$V - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0$$

yazılabilir. Bu Kirchhoff Gerilim Yasasının bir yazılışdır.

Bir kapalı devre boyunca tüm gerilimlerin toplamı sıfırdır.

Kirchhoff Gerilim Yasası (KGY) uyarınca, herhangi kapalı bir devre gözündeki gerilimlerin toplamı sıfırdır. Burada kapalı devre, bir noktadan başlayıp elemanları izleyerek yeniden aynı noktaya gelinebilen bir devredir.

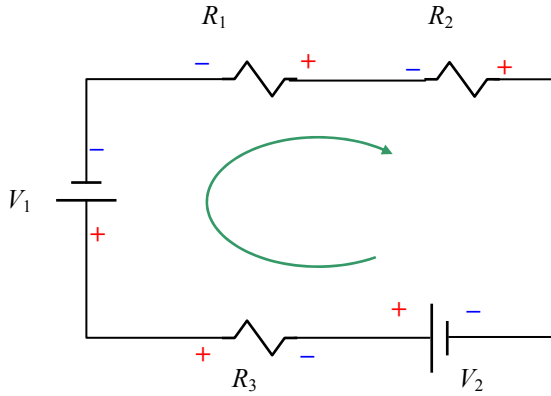
Bu kural 1842 yılında Alman bilimci Gustav Kirchhoff (1824-1887) tarafından formüle edildiği için, onun adıyla anılmaktadır.

Kirchhoff Gerilim Yasasının başka bir ifadesi de, kapalı bir devredeki gerilim düşümleri toplamının, devredeki toplam kaynak gerilimine eşit olmasıdır. Bu anlatımı matematiksel olarak,

$$V = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

gösterebiliriz.

İşaretleme: KGY için gerilimler işaretlendirilirken, önce bütün gerilimlerin polariteleri belirlenir. Daha sonra her bir göz çevresinde ilerlenerek, ilk önce negatif ucuna ulaşılan her gerilim negatif, ilk önce pozitif ucuna erişilen her gerilim de pozitif alınarak denklem oluşturulur. Bu yöntem hem $I \cdot R$ gerilim düşümleri hem de kaynaklar için geçerlidir. Saat ibresi yönü yada tersi kullanılabilir.



Şekil 5.3: Çok kaynaklı bir ardıl devrede KGY uygulanırken, kaynak yönleri önemlidir.

Bir dirence elektronların girdiği uç diğer uca göre eksi değerlidir. Bir gerilim kaynağı için ise elektronların kaynağa dönüşü artı uçtandır. Bu nedenle gerilim kaynağı, gerilim denkleminde pozitif bir terim olarak yer alır.

Bu kurallara göre Şekil:5.3teki devrede KGY denklemini;

BÖLÜM-5 ARDIL (SERİ) DEVRELER

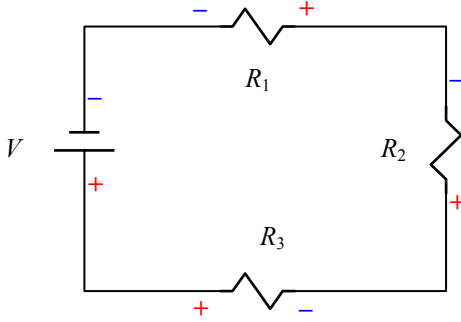
$$V_1 - V_2 = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

yada

$$V_1 - V_2 - V_{R_1} - V_{R_2} - V_{R_3} = 0$$

biçiminde yazarız.

5.4 ARDIL DEVREDE TOPLAM DİRENÇ



Şekil 5.4: Ardıl devrede eşdeğer direnç, devredeki dirençlerin cebirsel toplamına eşittir.

Şekil:5.4teki devreye KGY uygulanırsa,

$$V = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

denklemini elde edilir. Devredeki tüm dirençlere Ohm Yasası uygulanarak,

$$V_{R_1} = I \cdot R_1 \quad V_{R_2} = I \cdot R_2 \quad V_{R_3} = I \cdot R_3$$

eşitlikleri yazılabilir. Her bir gerilim düşümü için yazılan eşitlikleri KGY denkleminde yerine koyarsak,

$$\begin{aligned} V &= V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} \\ &= I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 \\ &= I \cdot (R_1 + R_2 + R_3) \\ &= I \cdot R_T \end{aligned}$$

yazılabilir. Burada R_T , eşdeğer devre direncidir. Devredeki tüm dirençler çıkarılıp, bunların yerine R_T değerinde tek bir direnç bağlanırsa, gerilim kaynağından yine aynı akım çekilir. Seri devrelerde eşdeğer direnç, kavramsal uygunluk da göz önüne alınarak, genellikle toplam direnç olarak adlandırılır.

Seri devrelerde polarite imlemesi yapılırken, elemanları birbirine bağlayan ve direnci olmadığı varsayılan tellerde hem artı hem de eksi imler bulunmaktadır. Bu, o iletken üzerinde farklı potansiyeller bulunduğu anlamına gelmez. Polarite imleri yalnızca, aynı eleman için birbirleri ile bağlantılıdır. Başka bir deyişle, elemanların polariteleri, birbirinden bağımsızdır. Bir devrede herhangi bir noktanın artı yada eksi potansiyelde olması, alınan başvuru noktasına bağlıdır.

5.5 ARDIL DEVREDE GÜÇ

Bir ardıl devrede tüketilen güç, her bir direnç üzerinde ayrı ayrı tüketilen güçlerin toplamına eşittir. Kaynaktan **çekilen güç**,

$$\begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 + P_3 \\ &= I^2 \cdot R_1 + I^2 \cdot R_2 + I^2 \cdot R_3 \\ &= I \cdot V_{R_1} + I \cdot V_{R_2} + I \cdot V_{R_3} \\ &= \frac{V_{R_1}^2}{R_1} + \frac{V_{R_2}^2}{R_2} + \frac{V_{R_3}^2}{R_3} \\ &= I^2 \cdot R_T \\ &= V \cdot I \\ &= \frac{V^2}{R_T} \end{aligned}$$

eşitliklerinin her birisi ile hesaplanabilir ve devrede **tüketilen güce** eşittir.

5.6 AÇIK DEVRE

Açık devre olarak adlandırılan arıza durumu, akım yolu üzerinde bir kopukluk olmasıyla ortaya çıkar. Böylece devrede süreklilik kaybolur ve akım akmaz.

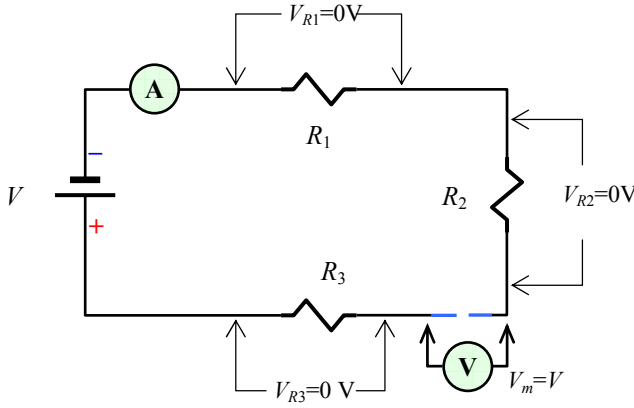
Bir devrede açık devre olup olmadığı ve bu arızanın yeri, voltmetre ile ölçmeler yapılarak bulunabilir. Açık devre durumunda devre akımı sıfır olduğuna göre, devredeki dirençlerin hiçbirisi üzerinde gerilim düşümü oluşmayacaktır. Açık devre durumunda üç dirençli bir seri devredeki akım ve gerilim değerlerinin nasıl olduğu, Şekil:5.5teki devrede gösterilmiştir. Devredende görüldüğü gibi, açık devre uçlarında, kaynak gerilimi okunmaktadır. Devredeki voltmetre gerilimini bulmak için KGY uygulanırsa,

BÖLÜM-5 ARDIL (SERİ) DEVRELER

$$\begin{aligned}V_m &= V - V_{R_1} - V_{R_2} - V_{R_3} \\ &= V - 0 - 0 - 0 \\ &= V\end{aligned}$$

olarak açık devreye bağlı gerilimölçerde okunacak gerilimin kaynak gerilimine eşit olduğu bulunur.

Seri devredeki açık devrenin yeri, dirençölçer kullanılarak da bulunabilir. Dirençölçer ile devrede ölçmeler yapılırken, açık devrenin olduğu yerde sonsuz direnç okunur. Ohmmetre ile ölçme yaparken dikkat edilmesi gereken bir nokta, devrede gerilim bulunmamasıdır. Devreye gerilim uygulanmış durumda ölçme yapılacak olursa ölçü aygıtına zarar gelebilir.



Şekil 5.5: Açık devre uçlarında kaynak gerilimi ölçülür.

5.7 KISA DEVRE

Kısa devre, sıfır yada normal devre direncine göre çok küçük bir direnç gösteren bir yol demektir. Devredeki herhangi bir kısa devre, kaynaktan çekilen akımı (az yada çok) artırır. Tek dirençli bir devrede yada kaynak uçları arasındaki bir kısa devre, ya sigortayı attırır yada gerilim kaynağına zarar verir. Devrede batarya kullanılıyorsa batarya erkinin hızla ve boşuna tüketilmesi söz konusudur.

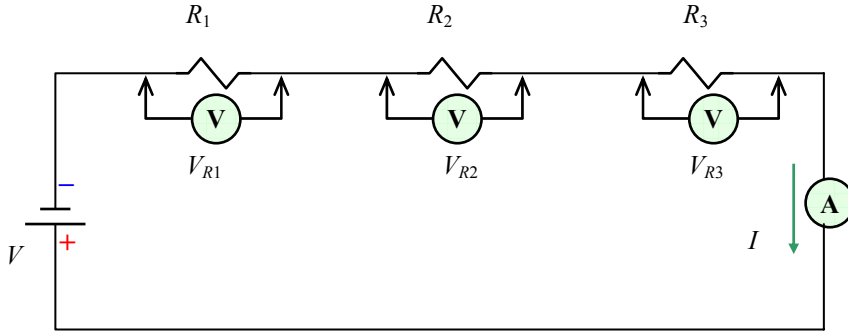
Bir devrede kısa devre bulunduğu, elemanların aşırı ısınmasıyla yada beklenenden fazla akım çekilmesi ile fark edilebilir. Kısa devrenin bulunduğu nokta gerilim ölçmeleri yapılarak belirlenebilir. Kısa devre olan eleman uçlarında gerilim düşümü olmadığı için gerilimölçerde okunacak değer sıfır olur.

Kısa devre denetimi, dirençölçer kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Bunun için devre gerilimi kesildikten sonra, eleman uçlarında direnç ölçmeleri yapılır. Kısa devre uçlarında okunacak direnç sıfır olacaktır. Çoğu dirençölçerde, kısa devre denetimi yapmak için, bir vızıldak ile donatılmış

özel bir ölçme konumu bulunmaktadır. Ölçme aygıtı bu konumda kullanılarak, gözler ölçme yapılan noktadan ayrılmadan kısa devre denetimi yapılabilir.

5.8 GERİLİM BÖLÜCÜLER

Birbirine ardıl bağlı dirençler bir *gerilim bölücü* devre oluştururlar. Bilindiği gibi toplam devre gerilimi V , KGY gereği, bölünerek seri dirençler üzerinde düşer. Her bir direnç üzerindeki gerilim, o direncin değeri ile orantılıdır.



Şekil 5.6: Bir seri devre, gerilim bölücüdür. Kaynak gerilimi devreye dağıtılır.

Şekil:5.6daki devrede devre akımı,

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

eşitliği ile belirlidir. Bu devredeki dirençlerden herhangi birisi üzerindeki gerilim düşümünü bulmak için Ohm Yasası uyarınca,

$$V_{R_2} = I \cdot R_2 = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot R_2$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlik düzenlenirse,

$$\begin{aligned} V_{R_2} &= V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \\ &= V \cdot \frac{R_2}{R_T} \end{aligned}$$

sonucu elde edilir. Bu son eşitlik, gerilim bölücü eşitliği olarak bilinir ve genel olarak,

$$V_{R_x} = V \cdot \frac{R_x}{R_T}$$

olarak gösterilir. Burada V_{R_x} , bulunmak istenilen gerilim düşümünü, V kaynak gerilimini (yada bölünen gerilimi), R_x üzerindeki gerilim düşümü bulunacak olan direncin değerini ve R_T , gerilimi üleşen dirençlerin toplamıdır.

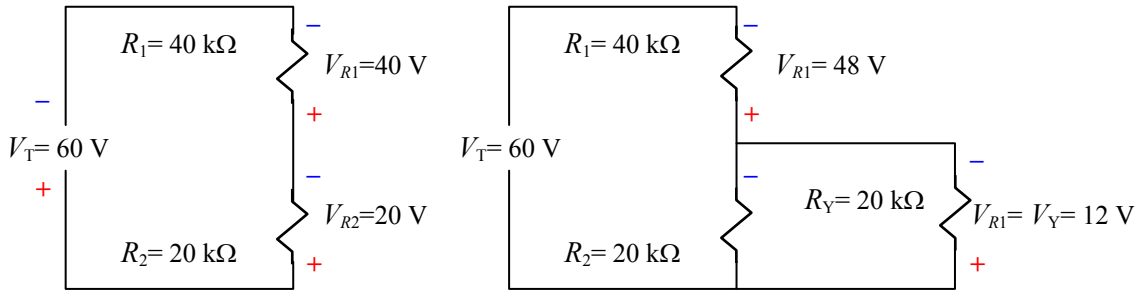
Bu eşitlik kullanıldığında, devre akımı hiç hesaplanmadan, yalnızca direnç değerleri kullanılarak her bir direnç üzerindeki gerilimin bulunması mümkündür.

Gerilim bölücü devreler, sabit ve değişken olarak iki grupta incelenebilir. İki bölücü türü için matematiksel yaklaşım aynı olmakla birlikte, kullanım alanları değişiktir. Sabit gerilim bölücüler belli bir kaynak geriliminden istenilen oranlarda sabit gerilimler elde etmek amacıyla kullanılırken, değişken gerilim bölücüler potansiyometre yada reosta yardımıyla kaynak geriliminin ayarlanması için kullanılır.

Sözelimi bir CRTnin katot ve ızgara gerilimlerinin elde edilmesi için sabit gerilim bölücü kullanılır. Bir yükseltecin ses düzeyini ayarlamak için ise, değişken bir gerilim bölücü kullanılır.

5.9 YÜKLEME ETKİSİ

Gerilim bölücü devreler ile gerilimi birkaç yüke paylaşmak olasıdır ancak uygulamada, yüklerin çok az akım çekmeleri gereklidir. Çünkü bir dizi dirençten oluşan bir gerilim bölücünün ara noktalarında elde edilen gerilim, bu noktaya bir yük bağlanmasıyla değişir. Bu değişime, yükleme etkisi denir.



Şekil 5.7: Gerilim bölücüye yük bağlandığında, bölme oranı değişir.

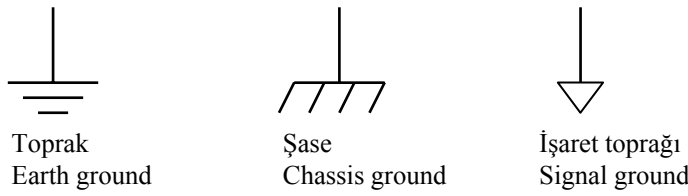
Şekil:5.7deki gerilim bölücü devresinde 60 V kaynak gerilimi, 40 kΩ ve 20 kΩ dirençler üzerinde 40 V ve 20 V olarak bölünmüştür. 20 V gerilime 20 kΩ değerinde bir yük bağlandığında, R_2 ve R_L eşdeğeri olan $R_E = 10$ kΩ üzerinde, 20 V değil $(10 \times 60) / 50 = 12$ V görülmektedir.

Bu nedenle, gerilim bölücü devre tasarımlarken, bağlanacak yüklerin yapacağı yükleme etkisi göz önüne alınmalıdır.

5.10 ŞASE, TOPRAK VE GERİLİM ÖLÇME

Elektrikli sistemlerin kararlı çalışmaları ve ölçmelerin tek başvuru noktasına göre yapılabilmesi için, devrenin bir ucu (genellikle gerilim kaynağının eksi ucu) ortak uç seçilerek, **toprak** yada **şaseye** bağlanır.

Örneğin bir otomobil elektrik sisteminde bataryanın eksi ucu, taşıtın kaportasına bağlanır. Bu bağlantı sayesinde otomobilin metal gövdesi, bütün devrelerin akımları için dönüş yolu oluşturur ve fazladan kablo kullanılması gerekmez. *Pozitif* şase bağlantısı kullanılan bazı Avrupa üretimi taşıtlar dışında, tüm otomobillerde *negatif* şase kullanılır.



Şekil 5.8: Topraklama imleri ve adları.

Eksi şase bir sistemde, tüm devrelerde şaseye göre pozitif potansiyel vardır. Artı şase bir sistemde ise devrelerdeki tüm gerilimler şaseye göre negatif potansiyelde olacaktır. İki bağlantıda akım yönleri birbirine göre terstir ancak, her iki yöntemde de metal gövde, sistemin herhangi bir noktasındaki bir gerilim değerini belirtmek için ortak bir referans oluşturur.

İşin doğrusu, metal gövde için, toprak bağlantısı terimini kullanmak doğru değildir. En iyisi *şase toprak* tanımının kullanılmasıdır. Çünkü toprak sözcüğü, metal su borusu gibi, doğruca gezegenin zeminine elektriksel bir bağlantı anlamı taşımaktadır. Oysa otomobil, lastikleri nedeniyle dünyadan yalıtılmıştır☺.

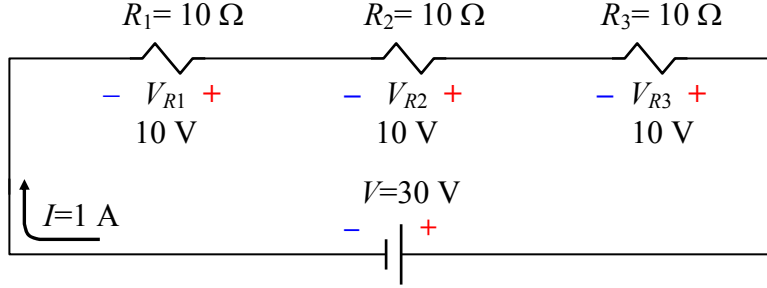
Elektronik sistemlerde başvuru noktası belirlemek hem ölçmeler hem de hesaplamalar için kolaylık sağlar. Bu nedenle çoğu elektronik sistem, elemanlara sağlam bir bağlantı noktası oluşturması ve güç kaynağının bir ucu için ortak bir dönüş noktası oluşturması için, metal bir şase üzerinde kurulur. Bu şase genellikle şebeke hattının toprak ucuna da bağlanarak, kararlı bir elektriksel durum oluşturulur.

Başka bir topraklama sistemi de *işaret toprağı*dır. Bu topraklama, baskı devreyi çepeçevre dolaşan ve sinyal dönüşü için ortak bir bağlantı yolu olabilir. Sinyal toprağının şase yada toprağa bağlanması gerekmez.

Bu referans bağlantılarının elektriksel simgeleri ve gerektiğinde bilinmesi için İngilizce isimleri, Şekil:5.8de verilmiştir. Bir batarya yada güç kaynağının topraklanması gerekiyorsa, topraklanan (yada şaseye bağlanan) ucun negatif uç olması zorunlu değildir. Pozitif ucun topraklanmasını engelleyen hiçbir neden yoktur.

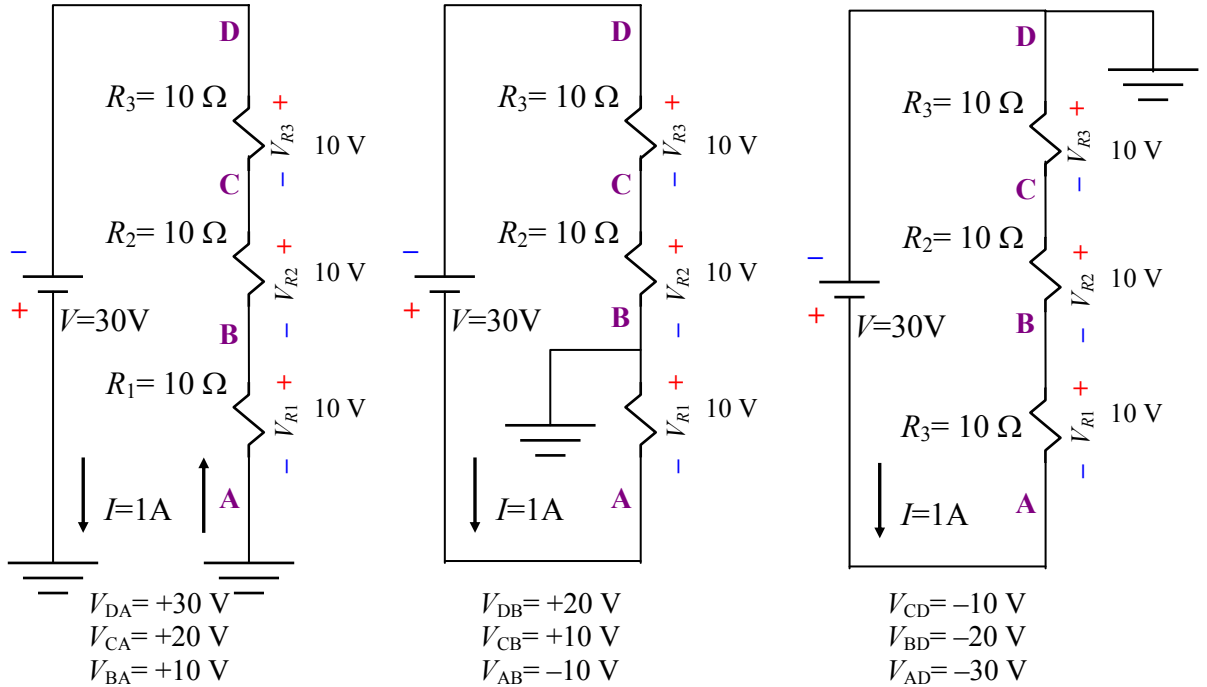
BÖLÜM-5 ARDIL (SERİ) DEVRELER

Bir devrenin ortak bir dönüş noktası (şase) varsa, devredeki tüm gerilimler bu noktaya göre ölçülür. Şaseye göre ölçme yaparken, voltmetrenin eksi ucu toprak (şase) noktasına artı ucu da gerilimi istenen noktaya bağlanır. Bu şekilde okunan gerilime şaseye göre gerilim denir ve elektronik devrelerde gerilim ölçmeleri çoğunlukla böyle yapılır.



Şekil 5.9: Bir seri devre, gerilim bölücüdür. Kaynak gerilimi devreye dağıtılır.

Şekil:5.9daki örnek devrede bir toprak bağlantısı yoktur ve eşit dirençlerden oluşan bir gerilim bölücü devresi söz konusudur. Burada 30 Voltluk kaynak gerilimi, seri olarak 10 Ωluk dirençler üzerinde eşit olarak dağılmıştır.



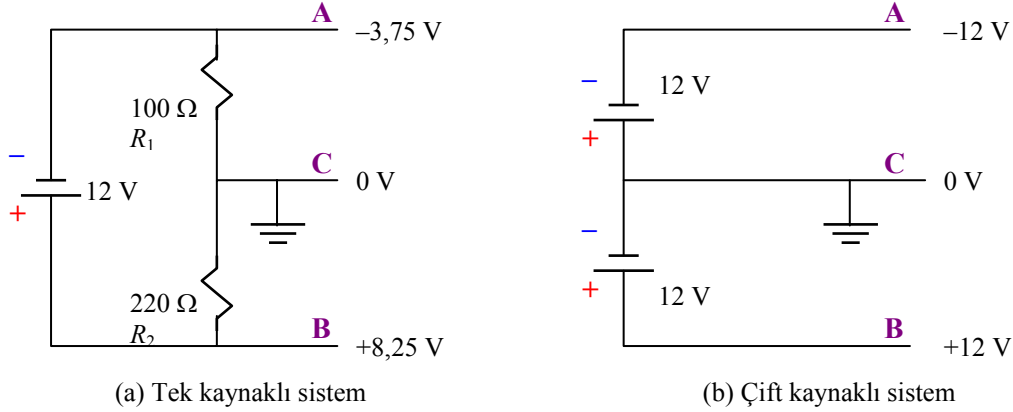
Şekil 5.10: Toprak bağlantısına göre gerilim polariteleri değişir(mi?).

Bu devre Şekil:5.10(b)de, kaynak geriliminin eksi ucunun topraklandığı haliyle, bu ilk durumdan hiç farklı değildir. Dirençlerde düşen gerilimler ve yönleri ile akım değeri ve yönü değişmemiştir. Yalnızca kaynağa dönüş şase üzerinden yapılmıştır. Toprak bağlantısının yerinin değiştirilmesi ile gerilim değerlerinin ve yönlerinin nasıl değiştiği, her bir bağlantının altında verilmiştir.

Görüldüğü gibi devre elemanlarında düşen gerilimler ve akım yönü hiç değişmemekte, yalnızca voltmetrenin eksi ucu için referans alınan uca bağlı olarak değişik potansiyel farklar gözlenmektedir.

5.II BAKIŞIK BESLEME

Bazı durumlarda bir devrede hem pozitif hem de negatif potansiyellerin kullanılması gerekebilir. Bu durumda toprak bağlantısının değişik bir biçimde yapılması gerekebilir.



Şekil 5.11: Artı ve eksi potansiyeller elde etmenin iki yöntemi.

Şekil:5.11(a)da,

$$\begin{aligned}
 V_A &= -V_{R_1} = -V \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\
 &= -12 \text{ V} \cdot \frac{100 \Omega}{100 \Omega + 220 \Omega} \\
 &= -3,75 \text{ V} \\
 V_B &= -V_{R_2} = V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 &= 12 \text{ V} \cdot \frac{220 \Omega}{100 \Omega + 220 \Omega} \\
 &= 8,25 \text{ V}
 \end{aligned}$$

gerilimleri bulunur.

Burada V_A , C noktasına göre $-3,75$ V potansiyelde iken, V_B , C noktasına göre $8,25$ V potansiyelindedir. Anlaşıldığı gibi tüm gerilimler ortak uç yada toprak ucu olarak adlandırılan C noktasına göre belirtilmektedir.

Simetrik gerilimler bu biçimde elde edilebilmekle birlikte, böyle bir sistem çok kararlı değildir ve fazla akım çekilemez. İşlemsel yükselteçler gibi bakışık besleme gerektiren tümdevrelerin besleme gerilimlerini sağlamak için, Şekil:11(b)de gösterilen çift kaynaklı sistem kullanılır.

Burada görülen her iki sistem için de, batarya yada “yüzer” güç kaynakları gereklidir. Örneğin toprak hatlı iki güç kaynağı ardıl bağlanarak bakışık gerilim elde edilemez. Denerseniz, bir daha güç kaynağı bile elde edemeyebilirsiniz☺.

BÖLÜM 6

KOŞUT DEVRELER

Yazı-Tura Atalım!

Stanford Üniversitesi mühendislik mezunları olan iki yakın arkadaş Bill Hewlett ve Dave Packard, 1938 yılında Packard' ın California Palo Alto' daki kiralık evinin tek arabalık garajında bir dükkan açtılar. İki arkadaş ömür boyu sürececek iş ortaklıklarının ilk ürünü olarak, teknolojide bir dönüm noktası olarak görülen ve özellikle ses donanımını sınamak için tasarımlanmış bir elektronik titreşken (osilatör) üzerinde çalışıyorlardı.

Yılın sonlarında, 'kulağı doldurduğu için' 200A adını verdikleri titreşken, Institute of Radio Engineers (şimdiki adı Institute of Electrical and Electronics Engineers –IEEE) batı yakası toplantısında sunuldu ve siparişler yağmaya başladı. 200A için gelen ilk siparişler arasında Walt Disney Stüdyolarından gelen ve ikiliden, değişik bir frekans aralığında benzer bir titreşken isteyen bir mektup da bulunuyordu. Disney, bundan kısa bir süre sonra ortaya çıkan Model 200B titreşkeninden sekiz adet satın aldı ve şimdi bir klasik olan Fantasia filmindeki çok özel ses dizgesini geliştirmede bunlardan yararlandı. 1940 yılında genç şirket garajdan taşmış ve yakınlarda kiralanan küçük bir binaya taşınmıştı.

Yıllar geçerken firma sürekli olarak büyüdü ve aralarında, bilgisayar dizgeleri ve çevre birimleri, sınama ve ölçme aygıtları, hesap aletleri, tıp elektroniği donanımları, kimyasal çözümlene dizgeleri de bulunan 10,000 den fazla türde ürüne imzasını attı. Çalışan sayısı ikiden 82 bine şirket yıllık \$8.1 milyar karıyla, Amerika'nın en büyük 100 endüstri firmasından birisi oldu. Kimin isminin önce geleceğine 1 Ocak 1939 tarihinde yazı tura atarak karar verildi ve ortaya Hewlet-Packard yani HP çıktı.

GİRİŞ

Paralel bağlantı, tek bir gerilimi birden çok yüke uygulamak için kullanılan bir bağlantıdır. Paralel devrede tüm kollar, akım için ayrı bir yol oluşturur ve tüm kollardan, Ohm Yasasına bağlı bir akım geçer. Koşut yükler birbirinden bağımsız çalışırlar ve diğerlerinin akımını etkilemezler.

Koşut devredeki kaynak ve yük akımları arasında, Kirchoff Akım Yasası geçerlidir. KAY, koşut bir devrede kaynak akımının, kollardan geçen akımların toplamına eşit olduğunu söyler.

Paralel devrede eşdeğer direnç, en küçük kol direncinden daha küçüktür. Eşdeğer direnç bulunurken, KAY uygulanarak bazı özel eşitlikler türetilebilir.

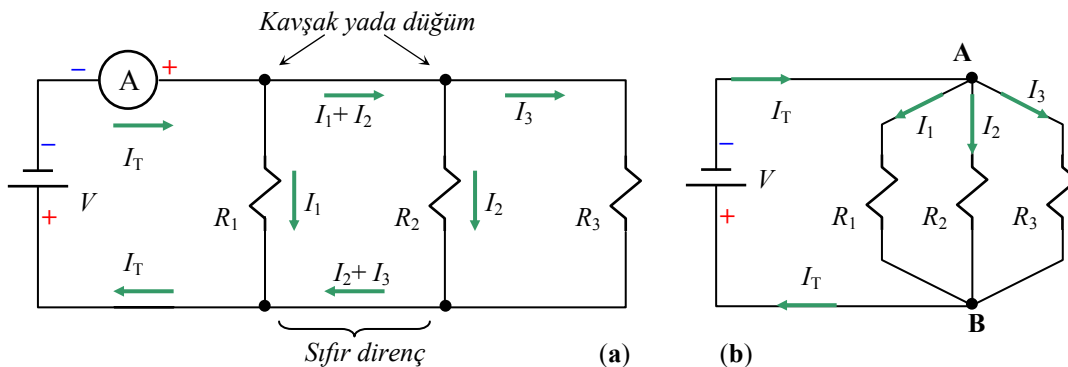
6.1 KOŞUT DEVREDE KOL GERİLİMLERİ EŞİTTİR

Seri bir devrede elemanlardan bir tanesinin bozulması, devre akımını kesmekteydi. Bu durum, sigorta yada devre kesicinin aşırı akım çekilmesi halinde devre akımını keserek kaynağı ve/veya yükleri korumak için yararlı bir özelliktir. Ama sözgelimi bir ışık kordonundaki bozuk lambayı bulmak gerekirse, seri bağlantının çok sayıda yüke erk sağlamak için en uygun yöntem olmadığı hemen☺ anlaşılır.

Paralel devrenin belirleyici özelliği, akım akışı için birden fazla yol sağlamasıdır. Ayrıca gerçek bir koşut devrede tüm elemanların uçlarında aynı gerilim vardır.

Her eleman, yük yada kolun çektiği akım, bu kolun direncine bağlı olarak, Ohm Yasası ile belirlenir.

Paralel devrede kaynaktan çekilen toplam akım (I_T), her kavşakta (düğüm) bölünür. Devrede en büyük akım, direnci en küçük olan koldan geçer. Kollara dağılan akımlar kaynağa dönerken birleşip yeniden I_T ' yi oluştururlar.



Şekil 6.1: .Paralel devrenin değişik çizilişleri. Aynı potansiyeldeki düğümler birleştirilebilir.

6.2 KIRCHHOFF AKIM YASASI

Kirchhoff akım Yasası en yalın biçimiyle, bir kavşağa (düğüm) giren akım(lar) ile, çıkan akım(lar)ın yönlü toplamı sıfıra eşittir olarak ifade edilir. Bunun başka bir söylenişi de, bir noktaya gelen akımların toplamı, giden akımların toplamına eşittir olabilir. KAY fiziksel anlamıyla, yükün korunumu yasasının bir uygulamasıdır.

Şekil:6.1(a)daki devrede kaynaktan çekilen akımın devredeki elemanlara dağılımı ve KAY uyarınca bu akımların eşitlikleri gösterilmiştir. Tüm düğümlerin ayrı ayrı gösterildiği bu devrede akımların dağılımları ayrıntılı olarak görülmektedir. Oysa bir koşut devre, Şekil:6.1(b)deki gibi de gösterilebilir. Burada A düğümünde KAY uygulanarak,

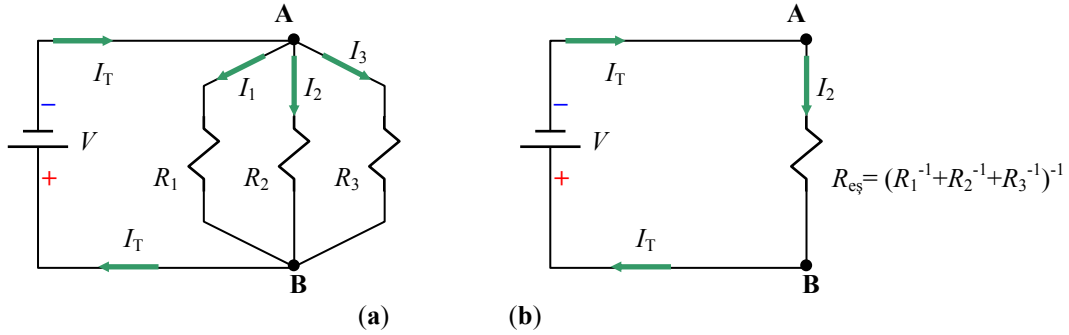
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

eşitliği yazılabilir. B düğümü için de geçerli olan aynı eşitlik,

$$I_T - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (A)$$

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_T = 0 \quad (B)$$

biçimlerinde de yazılabilir.



Şekil 6.2: Paralel devrede eşdeğer direnç.

6.3 KOŞUT DEVREDE EŞDEĞER DİRENÇ

Ardıl devrelerde olduğu gibi koşut devrelerde de, devredeki tüm dirençlerin yerine kullanılacak bir eşdeğer direnç vardır. Koşut bir devrede eşdeğer direncin değerinin belirlenebilmesi için, Şekil:6.2(a)daki devrede her koldaki dirence Ohm Yasası uygulanarak,

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V}{R_3},$$

BÖLÜM-6 KOŞUT (PARALEL) DEVRELER

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikler devrenin KAY denkleminde yerine koyularak devrenin toplam akımı,

$$\begin{aligned}I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\I_T &= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \\I_T &= V \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)\end{aligned}$$

olarak bulunur. Kaynaktan R_1 , R_2 ve R_3 dirençlerinin çektiği toplam akımı çekecek direncin değeri,

$$I_T = \frac{V}{R_{eş}} = V \cdot \left(\frac{1}{R_{eş}} \right)$$

eşitliğinden yola çıkarak,

$$\begin{aligned}V \cdot \left(\frac{1}{R_{eş}} \right) &= V \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\ \left(\frac{1}{R_{eş}} \right) &= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)\end{aligned}$$

olarak bulunur. Bu eşitlik,

$$R_{eş} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

yada

$$R_{eş} = \left(R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} \right)^{-1}$$

olarak yazılabilir.

Ardıl devrelerdekinin tersine koşut devrelerde, devreye eklenen her yeni direnç, devre akımını artırır. Başka bir deyişle eklenen her direnç, eşdeğer direnç değerini azaltır.

Eşdeğer direnç eşitliğinden çıkarılabilecek en önemli sonuçlardan birisi de, bir koşut devrede eşdeğer direnç değerinin, en küçük kol direncinden daha küçük

olduğudur. Bunun nedeni, eklenen her bir paralel kol ile devre iletkenliğinin artmasıdır.

İletkenlik (kondüktans), koşut devrelerde sağladığı hesaplama kolaylığı nedeniyle yeğlenen bir büyüklüktür. İletkenlik direncin tersidir ve G simgesi ile gösterilir. Birimi SI birimler sisteminde Siemens (S) olarak belirlenmiştir. Paralel devrede toplam iletkenlik, her bir kolun iletkenlikleri toplamı olarak yazılır. Buna göre eşdeğer (toplam) iletkenlik için,

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \dots \text{ Siemens}$$

eşitliği yazılabilir.

İletkenlik $G=1/R$ olarak tanımlı olduğuna göre devrenin eşdeğer direnci, $R_{eş}=1/G$ olarak bulunabilir.

6.4 KOŞUT DEVRELERDE GÜÇ

Seri devrelerde olduğu gibi paralel devrelerde de, devrede tüketilen güç, kaynaktan çekilen güce ve bu da, her bir eleman üzerinde tüketilen güçlerin toplamına eşittir. Buna göre Şekil:6.2 deki devrenin toplam gücü,

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \text{ Watt}$$

olarak hesaplanır. Burada P_1 ve diğerleri,

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1$$

$$P_1 = V \cdot I_1$$

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1}$$

eşitlikleri ile, toplam güç P_T de benzer biçimde,

$$P_T = I_T^2 \cdot R_{eş}$$

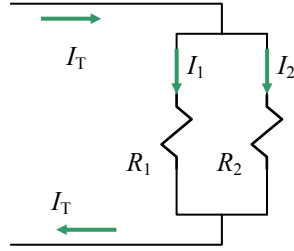
$$P_T = V \cdot I_T$$

$$P_T = \frac{V^2}{R_{eş}}$$

eşitlikleri ile belirlidir ve çözümlenmede bu eşitliklerden herhangi birisi kullanılabilir.

6.5 KOŞUT DİRENÇLERDE ÖZEL DURUMLAR

Paralel direnç devrelerinde eşdeğer direnç bulunurken, bazı durumlarda kullanılan ve hesaplama kolaylığı sağlayan özel eşitlikler vardır. Bu eşitlikler yine koşut devrede eşdeğer direnç temel eşitliğinden türetilmişlerdir. Yani aslında öğrenilmeleri zorunlu değildir ancak, sağladıkları kolaylıklar nedeniyle bilinmeleri yararlı olacaktır.



Şekil 6.3: Akım bölücü devresinde toplam akım, kollar arasında, kol dirençleri ile ters orantılı olarak paylaşılır.

Devrede yalnızca iki kol bulunması özel durumunda,

$$R_{eş} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

eşitliği geçerlidir. Bir koşut devrede aynı değerde n sayıda direnç bulunuyorsa,

$$R_{eş} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_n = \frac{R}{n}$$

eşitliği ile eşdeğer direnç bulunur. Burada n , aynı dirençli paralel kol sayısını, R direnç değerini göstermektedir.

6.6 AKIM BÖLÜCÜ

Paralel devrelerde toplam akım kollara, kol dirençleri ile orantılı biçimde dağılır. Bu gerçekten yola çıkarak, toplam akımın kollara dağılışı için, işlevi, seri devrelerdeki gerilim bölücü eşitliğinkine benzeyen bir akım bölücü eşitliği türetilir. Akım bölücü eşitliği yalnızca, akımın ikiye bölünmesi için geçerlidir ve bir devrede akımın her bölünüşü için uygulanabilir.

Şekil:6.3te kaynak gerilimi gösterilmemiştir ancak kolların gerilimi,

$$V = I_T \cdot R_{eş} = I_T \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

olarak bulunabilir. Bu eşitlikten yola çıkarak R_1 üzerinden geçen akım,

BÖLÜM-6 KOŞUT (PARALEL) DEVRELER

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{I_T}{R_1} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

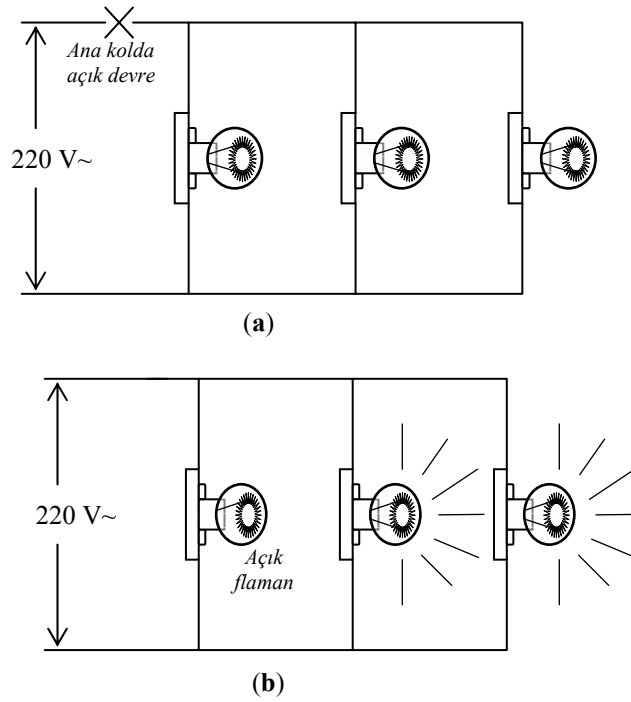
$$I_1 = I_T \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

olarak bulunur. Görüldüğü gibi, toplam akım ve kol dirençleri biliniyorsa, gerilim değerinin bilinmesi gerekmeksizin kol akımları belirlenebilir.

Akım bölücüde gerilim bölücüden farklı olarak, kol akımları ile kol dirençleri arasında ters orantı vardır. başka bir deyişle direnci yüksek olan koldan, akımın küçük kısmı geçer.

6.7 AÇIK DEVRE VE KISA DEVRE

Açık devre her bağlantı için sonsuz direnç ve sıfır akım demektir. Koşut devrelerde açık devrenin ana kolda yada koşut kol(lar)da bulunması, değişik sonuçlar oluşturur.

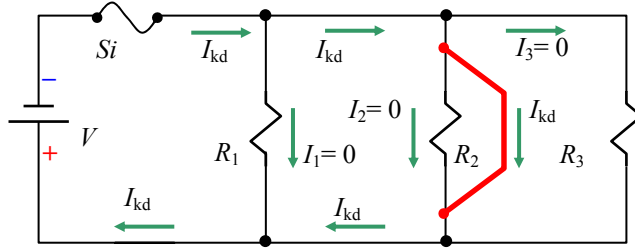


Şekil 6.4: Ana kolda ve paralel kolda oluşan açık devrenin etkileri.

Şekil:6.4(a), ana kolda açık devre oluşması durumunda devre akımının ve kaynaktan çekilen akımın sıfırlandığını açıkça göstermektedir. Şekil:6.4(b)de ise açık devrenin paralel kollardan birisinde bulunduğu durumu göstermektedir. Görüldüğü gibi bir kolda oluşan açık devre, yalnızca o kolun

akımını kesmekte, devrenin diğer bölümünün çalışması engellenmemektedir. Paralel devrenin bu özelliği nedeniyle elektrik dağıtım sistemleri, koşut devre olarak tasarlanılmaktadır.

Koşut bir devrede herhangi bir kolda kısa devre oluşması durumunda (kısa devre kolunun iletkenliği 1 olacağı için), diğer kollardan akım geçmeyecek ve kaynaktan kısa devre akımı çekilecektir.



Şekil 6.5: Bir kolda kısa devre varsa devre çalışmaz ve kaynaktan kısa devre re akımı çekilir.

Kısa devre olan devre elemanlarından hiç akım geçmeyeceğinden devre çalışmayacaktır. Şekil:6.5te kollarından birisinde kısa devre olan üç kollu bir koşut devre görülmektedir. Burada kaynaktan çekilen tüm akımın (I_{kd}) kısa devre üzerinden geçtiği ve diğer elemanlardan hiç akım geçmediği açıkça görülmektedir. Eğer ana kol üzerinde bir devre kesici yada sigorta bulunmazsa, gerilim kaynağı zarar görecektir.

BÖLÜM 7

GERİLİM KAYNAKLARI

Başarıyı İletmek

Werner von Siemens (1816-1892) Almanya Lenthe' de doğdu ve askerdeyken yeni keşfedilen telgraf ile tanıştı. 1847 yılında yetenekli bir mekanikçi olan J. G. Halske ile birlikte Siemens and Halske adlı elektrik firmasını kurdular. Bu firma Siemens' in güdümü ile dünya çapında en önemli işleri üstlendi. Siemens, kablo yalıtımını, büyük jeneratörler için armatürü ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren dinamo yada elektrik jeneratörünü keşfetti.

Werner' in kardeşi Karl Wilhelm Siemens de (1823-1883), elektrik ve ısı alanındaki çalışmaları ile tanınır. 19 yaşındayken elektrikle kaplama patentini alıp dönmek için İngiltere'ye gitti ve bir daha dönmeyip yaşamını orada sürdürdü. 1848 yılından başlayarak abisinin şirketinin Londra temsilciliğini üstlendi ve tanınmış bir otorite oldu. Şirket Britanya adasının yerüstü telgraf kablolarının çoğunu ve hatta denizaltılar kullanarak sualtı telgraf kablolarını döşemiştir. Ölümünden bir ay önce, başarıları nedeniyle Sir William Siemens unvanı ile onurlandırılmıştır.

Aile geleneği olarak kuzen Alexander Siemens (1847-1928) 1867 yılında İngiltere'ye gitmiş ve Siemens atölyelerinde çalışmaya başlayıp, 1878 yılında elektrik bölümü müdürü olarak, elektrikle aydınlatılacak ilk İngiliz kasabası olacak Surrey' deki Godalming' in elektrik dağıtım ve yerleştirme sorumluluğunu üstlenmiştir. Ailenin pek çok diğer üyesi gibi birkaç keşfine patent almış ve Sir William' ın ölümünden sonra şirketin başına geçmiştir.

Siemens ailesinin başarıları onuruna, iletkenlik (G), siemens (S) birimi ile ölçülür olmuştur.

GİRİŞ

Elektrik üretiminde kullanılan pek çok yöntem olmasına karşın, bunlar arasında şimdilik en yaygın ve ucuz olanı kimyasal yöntemlerdir. Elektriğin kimyasal yöntemlerle depolanması yada üretilmesi, günümüzde kullanılan oyuncaktan kalp piline, cep telefonundan kol saatine pek çok sayıdaki taşınabilir aygıt için çok gereklidir. Elektriğin kimyasal olarak üretilmesi süreci, iki terminal arasında yüklerin ayrılması ile gerçekleşir. Piller (bataryalar), kimyasal etkilik türüne göre iki sınıfta incelenir: Birincil piller ve ikincil piller.

Birincil tür bataryada, elektrik erki üretilirken kimyasal maddeler tüketilir. Bu piller, etkin maddeleri tükendiğinde elektrik üretmediklerinden atılırlar. İkincil tür bataryalarda yüklerin ayrılması için ise çift yönlü bir kimyasal tepkime kullanıldığından, pil başlangıçtaki kimyasal durumuna geri döndürülebilir yani “doldurulabilir”.

Birincil tür pillerin en yaygın kullanılanı, karbon-çinko kuru pillerdir. Bu pillerin maliyeti çok düşüktür ve kesintili kullanım için çok uygundur. Sürekli ve daha ağır yükleri beslemek için, karbon-çinko pillere göre çok daha uzun ömürlü ve kararlı olan “Alkaline” piller yeğlenir.

Saat yada işitme engelliler için üretilen kulaklıklar gibi küçük aygıtlarda ise, yüksek enerji yoğunluklu “düğme” piller kullanılır. Bu piller cıva-oksit, yada gümüş-oksit piller olarak adlandırılır.

İkincil piller genellikle yüksek akımlarda büyük elektrik enerjisi gerektiren durumlarda kullanılır. Bunların en yaygın türü, her bir pilinden 2 V gerilim altında yüzlerce Amper akım sağlayabilen ve otomobillerde kullanılan kurşun-asit bataryalardır.

7.1 BİRİNCİL PİLLER

Piller kimyasal tepkime ile elektrik enerjisi üretirler. Bu tepkimedeki kimyasal erk, elektrik erkine dönüştürülür. Pillerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan gerilim kaynaklarına **batarya** denilir. Pil ve batarya, büyüklüğü ve yönü değişmeyen bir gerilim sağladıkları için, **dc kaynağı**lar. Taşınabilir aygıtlar için kullanıldıkları gibi, genellikle öbekler olarak bağlanarak acil durumlarda enerjisinin kesilmemesi gereken yerlerde de kullanılırlar.

Birincil pillerin temel bileşenleri, elektrolit, elektrotlar ve kılıftır. **Elektrolit**, elektrotlar arasındaki iyonik iletimi sağlayan macun yada sıvıya verilen addır. **Elektrotlar**, elektrolit ile tepkimeye giren iletken malzemelerle yapışırlar ve eksi ve artı elektrot olarak iki türdürler. Elektrolit ile elektrotlar arasındaki kimyasal tepkime nedeniyle oluşan pozitif ve negatif iyonlar, elektrik akımını oluşturur. Pili oluşturan parçalar bir **kılıfa** yerleştirilerek, sızdırması önlenecek biçimde sıkıca kapatılır. Böylece pilin her konumda kullanılması ve taşınabilmesi sağlanır.

Birincil piller, üretildikleri maddelere göre beş gruba ayrılır:

1. **Karbon-çinko:** *LeClanché* pili olarak da adlandırılan karbon-çinko pilde kullanılan elektrolit, amonyum klorür ve çinko klorürden oluşan bir macundur (NH_4Cl). Bu piller, elektrolitin sıvı olmaması nedeniyle kuru pil olarak da adlandırılmaktadır. Artı elektrot olarak mangan dioksit macunu kullanılır. Ortasındaki karbon çubuk, bağlantı ucu olarak kullanılmıştır. En dıştaki çinko kılıf, negatif elektrotu oluşturur. Karbon çinko pillerden elektrik akımı çekilirken içeride oluşan kimyasal tepkime nedeniyle *polarizasyon* (karbon çubuğun çevresinde yalıtkan hidrojen gazı açığa çıkması) oluşur.
2. **Çinko klorür:** kuru pillerle yapıları aynı olmakla birlikte *depolarizasyon* için elektrolitine mangan dioksit (MnO_2) katılmıştır. MnO_2 oksijen açısından zengin olduğu için, karbon çubuk çevresinde açığa çıkan hidrojen bu oksijenle temizlenir (su açığa çıkar). Hidrojenin açığa çıkma hızı ile bu hidrojenin temizlenme hızı eşit olmadığı için, bu piller dinlendirilerek kullanılırlar.
3. **Alkalın-mangan dioksit:** Alkalın mangan türü kuru piller, uzun sürelerle yüksek akım sağlayabilirler. Sürekli kullanımdan sonra karbon-çinko pillerde olduğu gibi toparlanma süresi gerektirmezler. Alkalın piller, sızıntı olasılığını en aza indiren çelik bir zırh içindedir. Pilin dışındaki bu çelik kılıf, kimyasal tepkimenin bir parçası değildir ama katot kollektörü olarak görev yapar. Pil içerisinde aşırı gaz oluşursa, kılıftaki bir supap ile bu gaz fazlası dışarıya verilerek gövdenin yırtılması önlenir. Alkaline pilin katodu, sıkıştırılmış mangan dioksit ve grafitten, anodu ise çinko tozundan yapılır. Bu iki kimyasal bileşen, potasyum hidroksit elektrolitle doyurulmuş sentetik fiber bir boru ile birbirinden ayrılmıştır. Katot kollektörü olarak kullanılan çelik kılıf katot malzemesi ile pilin üstündeki artı uca bağlıdır. Pilin merkezindeki metal anot kollektörü de pilin altındaki eksi uca bağlıdır.

Alkalın mangan piller de karbon-çinko piller gibi 1,5 V gerilim üretirler bu gerilimi karbon-çinko pillerden dört kat daha uzun süre üretebilirler.

4. **Cıva oksit:** Cıvalı pillerin geliştirilmesi pek çok elektronik uygulamanın gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Cıva-oksit piller temelde alkalın-mangan piller ile aynı yapıdadır ancak, pozitif elektrot olarak mangan dioksit yerine cıva oksit (HgO) kullanılmaktadır. Cıvalı piller, belli bir oylum için alkalın pillere göre %50, karbon-çinko pillere göre ise üç kat daha fazla enerji sağlayabilir.

Cıvalı piller 1,35-1,4 V gerilim üretirler. Bu piller uzun bir süre boyunca (yıllarca) sabit küçük bir akım elde etmek için yada kısa süreli yüksek akımlar için kullanılabilir. Seri bağlanarak yüksek gerilimler elde etmek için de kullanılan cıva oksit piller, yassı diskler (düğme) biçiminde üretilirler. Çevre bilincinin artması ile üretim ve kullanımları hızla kısıtlanmaktadır.

5. **Gümüş oksit:** Gümüş oksit piller, cıvalı piller ile aynı yapıdadır ama artı elektrot olarak gümüş oksit (Ag_2O) kullanılmıştır. Gümüş oksit piller 1,5 V gerilim üretir ve karbon-çinko pillerden dört kat fazla erk üretebilir.

Gümüş oksit piller de düğme biçiminde üretilmekte ve hızla cıvalı pillerin yerini almaktadır.

6. **Lityum:** Çinko için 820A·sa/kg ve kurşun için 260A·sa/kg olan enerji sığası, lityum için 3860A·sa/kg düzeyindedir. Bu nedenle birincil piller arasında en yüksek gerilim ve enerji yoğunluğu, lityum piller ile sağlanır. Lityum piller, alkalin pillerden beş, karbon çinko pillerden ise otuz kat fazla enerji üretirler.

Lityum pillerin tümünde anot, oldukça aktif bir element olan lityumdur. Katot olarak kullanılan malzeme genellikle karbon olsa da, demir sülfid, bakır oksit gibi katkıları da kullanılabilir. Elektrolit olarak organik bir çözücü içinde lityum tuzları kullanılır. Lityum piller kullanılan elektrolit türüne göre adlandırılırlar: mangan dioksit, sülfür dioksit, thionyl klorid ve karbon monoflorid.

Elektrolit için genellikle kullanılan organik çözücü metil siyanid, ve LiSO_2 pillerdeki sülfür dioksit gibi buharları zehirli olan malzemeler nedeniyle lityum pillerin kılıfları çok sağlam yapılıdır. Ayrıca çevresel kaygılar nedeniyle parçalanmadan ve delinmeden atılmaları, ayrı olarak toplanmaları gibi önlemler alınmalıdır.

Lityum pillerin en önemli üstünlüklerinden birisi de, raf ömürlerinin diğer pillere göre çok uzun (10^+ yıl) olmasıdır. Bu nedenle uzun süreli uygulamalarda çok yeğlenen bir türdür. Örneğin standart büyük pil boyutundaki (D size) 11,5 A·sa sığalı bir lityum pil, 100.000 saat boyunca (11 yıldan fazla) 115 μ A akım sağlayabilir.

Lityum pillerin iç dirençleri çok küçük olduğu için, 50 A değerini bulabilen kısa devre akımlarına yol açabilirler. Elektrolit olarak kullanılan sülfür dioksit ve thionyl klorid, ciddi göz, gırtlak ve ciğer sorunları yaratabilir. Bu nedenle bu tür piller kullanılırken ve atılırken gerekli önlemlerin alınması doğru olur. Lityum piller, atılmadan önce kapasitelerinin yüzde biri akımla iki hafta boşaltılırsa, ev atıklarının arasına katılabilir.

7. **Çinko-hava:** Çinko-hava piller, alkalin-mangan piller gibi eksi elektrot olarak çinko ve elektrolit olarak potasyum hidroksit kullanır. Ancak katot (bir karbon, teflon ve mangan dioksit karışımı), kimyasal tepkimeyi başlatmak için havadaki oksijeni kullanır. Bunun sonucu olarak katodun, diğer pillerdeki gibi geniş olması gerekmemektedir. Bu da demektir ki, belli bir fiziksel pil boyutu için anot neredeyse iki kat büyük olabilir. Böylece alkalin pillerden üç kat yüksek ve bazı lityum pillerden daha iyi bir enerji yoğunluğu elde edilebilir.

Pilin katot tarafında içeriye hava girişinin sağlayan delikler vardır. Pil kullanıma dek bir plastik film ile kaplıdır. Hava olmayınca kimyasal tepkime olmadığı için bu piller paketli oldukları sürece raf ömürleri çok uzundur. Paketleri açılır açılmaz 1,4 V gerilim üretmeye başlarlar. Pil etkinleştikten sonra iki ay kadar kullanılabilir. Çinko-hava piller çevre için güvenli sayılmaktadırlar ve lityum piller gibi özel bakım gerektirmezler.

BÖLÜM-7 GERİLİM KAYNAKLARI

Tablo 7.1: birincil pillerin karşılaştırılması.

	Karbon-Çinko	Alkalin Manganer	Cıva	Gümüş Oksit
Eksi (anot)	Çinko	Çinko	Çinko	Çinko
Artı (katot)	Karbon	Manganer dioksit	Cıva oksit	Gümüş oksit
Elektrolit	Amonyum klorid	Potasyum hidroksit	Potasyum hidroksit	Potasyum hidroksit
Gerilim (V)	1,5	1,5	1,35~1,4	1,5
Max. Akım (A)	2-30	0,005-20	0,003-3	0,1
Erk (W·sa/kg)	48,4	77	101	110
Erk (W·sa/cm ³)	0,12	0,21	0,37	0,49
Saklama sıcaklığı (°C)	-40~50	-40~50	-40~60	-40~60
Çalışma sıcaklığı (°C)	-5~55	-20~70	-20~70	-20~70
Raf Ömrü (%80 erk için)	6~12 ay	30~36 ay	30~36 ay	30~36 ay

	Çinko-Hava	Lityum Manganer Dioksit	Lityum Sülfür Dioksit	Lityum Thionyl Klorid
Eksi (anot)	Çinko	Lityum Folyo	Lityum Folyo	Lityum Folyo
Artı (katot)	Karbon, Manganer dioksit, Teflon	Karbon	Karbon	Karbon
Elektrolit	Potasyum hidroksit	Manganer dioksit	Sülfür dioksit	Thionyl klorid
Gerilim (V)	1,4	3,0	2,8	3,4~3,6
Max. Akım (A)	2~150 mA†	2~3	2~3	100 mA
Erk (W·sa/kg)	198~308	176~242	275~330	341~396
Erk (W·sa/cm ³)	0,79~1,16	0,49	0,49	1,22~2,44
Sığa (A·sa)	0,05~6,5	1~10	0,5~35	0,8~10
Çalışma sıcaklık aralığı(°C)	0~50	-55~85	-55~85	-55~100
Raf Ömrü (%80 erk için)	120‡	120	120	120

†Sınırlama akım

‡Açıldıktan sonra iki ay

Birincil piller, doldurulmaya çalışılmamalıdır. Kılıf içerisindeki kimyasal tepkime, çok fazla gaz açığa çıkararak kılıfın yüksek basınç yüzünden patlamasına neden olabilir. Atılırken kırılıp delinmemeli, deforme edilmemeli, ısıtılmamalı ve evsel atıklara karıştırılmamalıdır.

Tablo:7.1de birincil pillerin, fiziksel ve elektriksel özellikleri arasında karşılaştırma yapılmasını sağlayacak bilgiler verilmiştir.

Burada açıklanan pillerin tümü, bazı uygulamalar için yeğlenmelerini sağlayan özellikler taşır. Sözelimi karbon-çinko piller çok ucuzdurlar ve kesintili kullanımlar için uygundurlar. Alkalın piller yüksek akım sağlayabilirler ve sürekli akım verebilirler. Çinko-hava piller zararlı kimyasallar kullanmadıkları için tıpsal uygulamalarda kullanılırlar. Lityum piller küçük boyutlu aygıtlar (saat, hesap aleti vb.) ve uzun süreli uygulamalarda (BIOS pili, akıllı kart vb.) yeğlenirler.

Tablo 7.2: Pil boyları ve alkalın piller için ortalama hizmet süresi.

<i>Çekilen akım 80 mA</i>				
Pil Boyu	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	Ağırlık (g)	Süre (sa)
AAA (Küçük)	0,95	4,45	11,62	6
AA (Kalem)	1,43	4,76	22,11	15
C (Orta)	2,54	4,45	62,94	45
D (Büyük)	3,18	5,72	125,02	105

Tablo:7.2 de birincil pillerin standart boyutları ve adları ile, alkalın pil örnek alınarak boyut ile enerji kapasitesi arasındaki bağıntı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi büyük pillerden daha çok enerji alınabilmektedir. Bunun nedeni, kullanılan elektrolit ve elektrot malzemelerinin daha fazla olmasıdır.

Karşılaştırma 80 mA için yapılmıştır ancak akım değeri değiştirildiğinde, dayanma süreleri arasındaki oran değişmeyecektir.

Birincil pillerin işletme maliyetleri ikincil pillerden daha yüksek olmasına karşın, kurulma masrafı olmaması ve kolayca yenilenebilmeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

7.2 İKİNCİL PİLLER

Bu tür piller, içlerindeki kimyasal tepkime iki yönlü olduğu için, doldurulabilen ve tekrar tekrar kullanılabilen bataryalar üretmek için kullanılır. İkincil pillerin uzun süreli maliyeti, tek kullanımlık pillerden çok daha ucuzdur. Bazı durumlarda doldurma işleminin yüzlerce kez yinelenbildiği olmaktadır.

İkincil piller arasında en yaygın olarak kullanılan türler, Kurşun-asit bataryalar ile Nikel-Kadmiyum bataryalardır. Bunların dışında, yeni malzeme ve üretim tekniklerin kullanıldığı Lityum-İyon, Lityum-Polimeri, Plastik Piller ile Yakıt-Piller de giderek yaygınlaşmaktadır.

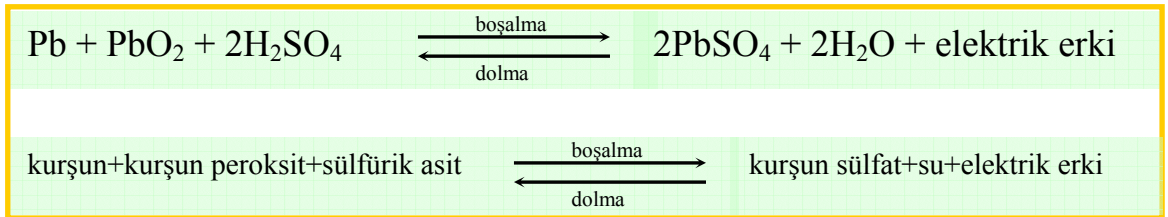
7.2.1 KURŞUN-ASİT BATARYALAR

Elektrik erkini kimyasal olarak depolamada en yaygın olarak kullanılan ikincil (doldurulabilir) tür piller, kurşun-asit pillerdir. Bu batarya türü ilk kez 1860 yılında Gaston Planté tarafından tanıtılmıştır. İçten yanmalı motorun bulunmasından önceki ilk otomobiller elektrik ile çalıştırılıyordu ve gereken enerji, Planté pilleri ile sağlanıyordu. Kurşun-asit piller (accumulator-birikeç) günümüzde de otomobillerde, telefon endüstrisinde ve kesintisiz güç kaynaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kurşun-asit bataryalarda elektrolit olarak sülfürik asit ve su çözeltisi kullanılır. Pozitif elektrot olarak rengi kırmızımsı kahverengi olan kurşun peroksit (PbO_2), negatif elektrot olarak da metalik gri renkli ve süngersi dokulu kurşun (Pb) kullanılmaktadır. Batarya yaklaşık %27'lik bir sülfürik asit (özgül ağırlığı 1,3) elektrolit ile, 2,2 V üretir. Bu gözelerden üç yada altı tanesi ardıl bağlanarak, sırasıyla 6 V ve 12 V aküler elde edilir.

Kurşun-asit bataryaların doluluk/boşluk durumu, elektrolitin özgül ağırlığı ile denetlenir. Tam dolu bir bataryada elektrolitik özgül ağırlığı ($\rho_{su}=1,0$) 1,28 olmalıdır. Özgül ağırlık değeri 1,13 olduğunda akü boşalmış demektir. Tümüyle boşalmış bir batarya, $-5^\circ C$ altındaki sıcaklıklarda donar. Tamamen dolu olan bir akü ise, $-60^\circ C$ - $60^\circ C$ sıcaklık aralığında çalışabilir. Bunun nedeni, yüksek asit yoğunluğunun, sıvının donma noktasını (saf suyun donma noktası $0^\circ C$) aşağıya çekmesidir.

Batarya boşalırken, her iki elektrot da sülfürik asit elektrolit ile tepkimeye girer. Bu tepkimede hidrojen yer değiştirerek kurşun sülfat oluşur. Beyazımsı renkte olan ve çözülmeyen kurşun sülfat, elektrot plakaları yüzeyine kaplanır. Her iki elektrodun da aynı maddeye dönüşmesi sonucu potansiyel fark azalmaya başlar. Kurşun peroksitteki oksijende elektrolitteki hidrojen ile birleşerek su açığa çıkarır. Böylece sülfürik asit çözeltisi seyrelerek özgül ağırlığı suyunkine yaklaşmaya başlar. Bu değişim sırasında dış devreye elektrik enerjisi sağlanır. Azalan potansiyel fark ve seyrelen elektrolitin toplam etkisi, üretilen gerilimin azalması olarak kendini gösterir. Boşalma sırasında elektrotların kaplanması nedeniyle bataryanın iç direnci de yükselir.



Şekil 7.1: Kurşun-asit bataryada gerçekleşen kimyasal tepkime.

Ne mutlu bize ki☺, bu tepkime geri döndürülebilir bir tepkimedir. Batarya uçlarına bir gerilim kaynağı bağlandığında (art artıya eksi eksiye), akım yönü ve iyon akışı ters döner. Böylece uygulanan elektrik erki ile kurşun sülfat ile suyun hidrojeni birleşerek sülfürik asit oluşturur. Bu süreçte elektrolitin derişimi artar ve plakalar arası potansiyel fark yeniden oluşur. Anlatılan bu geri döndürülebilir kimyasal tepkime, Şekil:7.1 deki formül ile gösterilir.

Bir bataryanın akım değeri genellikle, 8 saatlik bir boşalma süresi için Amper-saat olarak verilir. Bu süre boyunca pilin gerilimi 1,7 V değerinin altına düşmemelidir. Örneğin 60 Amper-saatlik bir otomobil aküsü, 8 saat boyunca 7,5 A sağlamalı ve bu süre boyunca gerilimi 10,2 V değerinin altına düşmemelidir. Aynı akü benzer biçimde 5 saat boyunca 12 A akım üretebilmelidir. Ancak bu bataryanın 1 saat boyunca 60 A verebilmesi pek olası değildir çünkü akülerin verimi, yüksek boşalma akımlarında azalmaktadır. Ancak sözcülemi otomobili çalıştırırken marş motorunun çektiği akım 200~400 A kadardır ve akü bu akımı (kısa süreli olarak) sağlar.

Bir otomobil aküsünü doldurmak için 14,1~15 V gerilim altında, 30 A değerine kadar akım sağlayabilecek bir kaynak kullanılmalıdır. Akülerin doldurulması işlemi genellikle **yüzer şarj** denilen bir yöntemle sağlanır. Bu yöntemde batarya ile güç kaynağı sürekli birbirine bağlıdır ve güç kaynağı (otomobilde alternatör) çalıştığı sürece akü doldurulur/dolu tutulur. Bataryanın yüksek akımlarla daha kısa sürelerde doldurulması, elektrolitin “kaynamasına” yol açar. Bu durum, sıvı düzeyinin düşmesine ve plakaların bükülüp ufalanarak akünün ömrünü azaltmasına yol açar.

Birincil pillerde olduğu gibi kurşun-asit pillerin sığası da, düşük sıcaklıklarda hızla azalır. Kurşun-asit pillerin sığası, her 1°C için yaklaşık %1,25 kadar azalır. Buna göre bir akünün 0°C sıcaklıktaki sığası, 16°C sıcaklıktaki sığasının ancak %60ı kadardır. Bu nedenle otomotiv sektöründe kullanılan aküler için, “soğuk başlatma gücü” denilen bir ölçüm vardır. Bu değer, -18°C sıcaklıkta 30 saniye boyunca çekilebilecek akımı belirtir ve 300~400 A aralığında değişen değerler alabilir.

7.2.2 NİKEL-KADMIYUM PİLLER

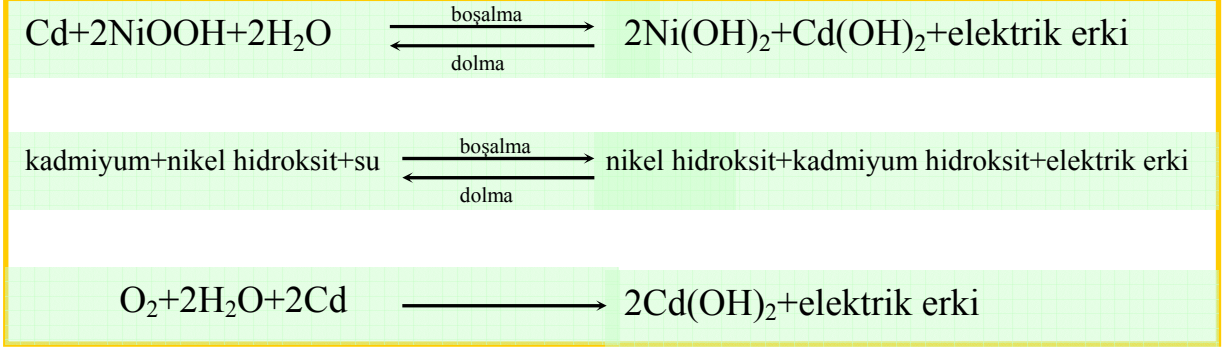
Taşınır aygıtların elektrik gereksinimi için en yaygın olarak kullanılan doldurulabilir kuru pil, nikel-kadmiyum yada nikad pillerdir. Bu pillerin bu denli yaygın kullanılmasının nedeni, yüksek akım verebilmeleri ve zarar görmeden yüzlerce kez doldurulabilmeleridir. Başlangıç maliyetleri yüksek olsa da, doldurulup yeniden kullanılabilirlikleri için (kurallara uyulursa 2000 kez) uzun zaman içinde çok ucuza gelmektedirler.

Tek bir nikad pil 1,2 V gerilim üretir ve piyasada AA, C ve D boylarında bulunurlar. Özel amaçlı olarak değişik gerilim ve boyutlarda üretilmiş nikad piller de bulunmaktadır. Nikel-kadmiyum pillerin enerjileri, eşdeğerleri karbon-çinko pillerden az ama kurşun-asit pillerden çoktur.

Nikel-kadmiyum pillerde kullanılan elektrotların temel malzemesi, nikel kaplı esnek çelik saçlardır. Pürüzlü bir yüzey elde etmek için bu saçlara yüksek sıcaklıkta nikel tozu püskürtülerek kaplanmaları sağlanır. Negatif elektrotta bu katman metalik nikel içerirken, pozitif elektrotta nikel hidroksit vardır. bu

BÖLÜM-7 GERİLİM KAYNAKLARI

plakalar arasına potasyum hidroksit ile doyurulmuş gözenekli bir ayırıcı tabaka koyulur ve tümü sıkıca sarılarak bir silindir oluşturulur. Bu silindir, yine nikel kaplı çelik bir kılıfa yerleştirilir. Bu kılıfta bulunan bir supap ile, pilin aşırı doldurulması yada ters şarj edilmesi nedeniyle oluşabilecek aşırı basıncın dışarı atılması da sağlanır.



Şekil 7.2: Nikel-kadmiyum pilde gerçekleşen kimyasal tepkimeler.

Nikad pillerde erk üretme ve depolama süreçlerinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler, Şekil:7.2de görülmektedir. Bu kimyasal denklemlerde, nikad pil içinde elektrolit olarak kullanılan potasyum hidroksit (KOH) görülmemektedir. Bunun nedeni, potasyum hidroksitin tepkimeye girmeyip, yalnızca hidroksil (OH) iyonlarını aktaran bir iletken olarak görev yapmasıdır.

Nikel-kadmiyum pilin aşırı doldurulması durumunda pozitif elektrotta açığa çıkan oksijen, yüklü negatif elektrottaki kadmiyum ile hemen tepkimeye girer ve Şekil:5.2deki son denkleme uygun olarak sürekli olarak kullanılır.

Nikel-kadmiyum pillerin güvenli olarak doldurulma hızı sekiz saat yada $C/8$ dir. Burada C , A·sa olarak pilin sığasıdır. Buna göre sözgelimi $C=4$ A·sa sığalı bir pil için en yüksek doldurma akımı, 0,5 A olmalıdır. Bu akım değeri kullanılırsa, tümüyle boşalmış bir pili tümüyle dolu duruma getirmek 12 saat (iç yitimler nedeniyle) alır. Akımın bu değeri aşmaması durumunda doldurma işlemine, pil zarar görmeden sonsuza[©] dek devam edilebilir. Piyasadaki standart piller için en yüksek sınırsız şarj akımları Tablo:7.3te de verilmiştir.

Tablo 7.3: Nikad piller için izin verilen sürekli şarj akımları.

Boy	Sığa C, (A·sa)	Max. Sürekli şarj akımı (mA)
AA	0,5	65
C	2,0	250
D	4,0	500

Nikad bataryaların normalden daha hızlı olarak doldurulmaları gereken durumlar olabilir. Böyle bir durumda, Tablo:7.4te verilen maksimum sürelerin kesinlikle aşılmaması gerekir. Tablodaki süreler pilin tam olarak boşalmış olduğu ve sıcaklığın 20-45°C aralığında olduğu varsayılarak verilmiştir.

Tablo 7.4: Nikad piller için izin verilen sürekli şarj akımları.

Şarj Akımı (A)	Normal şarj süresi	Max. şarj süresi
C/8	12 saat	sınırsız
C/4	5 saat	6 saat
C/2	2,25 saat	2,5 saat
C/1	1 saat	1,25 saat
2C	27 dk.	30 dk.
4C	12 dk.	12 dk.
8C	5 dk.	5 dk.

Görüldüğü gibi nikad pillerin hızla doldurulması olasıdır. Ancak verilen süre sınırlarına uyulsa bile, hızlı şarj pil ömrünü 100 kat kısaltmaktadır. Sözgelimi C/8 ile 2000 kez doldurulabilen bir pil, 8C ile ancak 20 kez doldurulabilir.

Nikel-kadmiyum pillerin diğer olumsuz yanları da şunlardır:

1. **Bellek etkisi.** Pil kısa ve yinelenen periyotlarda *düşük* boşalma akımları ile çalıştırılırsa, bu düzeye koşullanır ve gerçek kapasitesini *unutur*. Böylece çekilmek istenen güç artsa da, küçük bir çıkış gücü verir.
2. **Raf ömrü.** Tam dolu bir pil 20°C sıcaklıkta bekletilirse 21 günde sığasının %80ine düşer. Depolama sıcaklığı 30°C ise bu yitim 10 günde gerçekleşir.
3. **Maliyet.** Nikad piller, aynı miktar erk için kurşun-asit pilden iki kat daha pahalıdır.

7.3 DİĞER İKİNCİL PİLLER

İkincil bataryalar, endüstriyel gereksinimler doğrultusunda çeşitlenerek artmaktadır. Araştırmalar genellikle enerji yoğunluğu yüksek olan ve daha önce açıklanan pillerde kullanılan malzemeler çevresinde yapılmaktadır. Temel amaç ise daha küçük oylumlarda daha yüksek sığalar elde etmek, maliyeti düşürmek, ağırlığı azaltmak, bakımı kolaylaştırmaktır. Gelişmiş toplumlarda giderek artan ve çoğu zaman en önemli satın alma etmeni olan çevre duyarlılığı nedeniyle, üretim, kullanım ve atmada zararsızlık da, araştırmacıların üzerine düştüğü konuların başında gelmektedir.

7.3.1 JEL ELEKTROLİTLİ KURŞUN-ASİT PİLLER

Bu tür bataryalar kurşun-asit bataryaların tüm avantajlarını taşımakta ve sıvı elektrolit kullanımından kaynaklanan bakım ve kullanım sorunlarını da bir kenara atmaktadır. Kılıfları tümüyle kapalıdır ve içlerinde sıvı bulunmadığı için her konumda çalıştırılabilirler. Şarj sırasında oluşabilecek yüksek iç basıncın boşaltılması için güvenlik supapları vardır ve basınç dengelenince bu supap kapanır. Jel elektrolitli pillerin ömrünü uzatmak için, sürekli olarak şarjda tutulmamaları gerekir.

Bu tür piller, 20 saat boşalma hızı için 0,9~20 A·sa arası sızgalarda üretilirler. Çekilebilecek en yüksek akım, pilin üretim amacına göre, 40~200 A arasında değişir.

7.3.2 GÜMÜŞ-ÇİNKO VE GÜMÜŞ-KADMIYUM PİLLER

Bu pillerin birim ağırlık başına enerji kapasitesi, nikel-kadmiyum pillerin iki ila üç katıdır ve 0,1~750 A·sa arası sızgalarda üretilirler. Gümüş-kadmiyum piller 1,1 V üretirken, gümüş-çinko piller 1,5 V üretmektedirler.

Her iki tür pil de nikel-kadmiyum pillere göre daha pahalıdır ve doldurma çevrimleri daha kısadır. Bununla birlikte, nikad pillerin sorunu olan bellek etkisi bu pillerde görülmez. Bu nedenle güdümlü füze gibi askeri uygulamalarda ve profesyonel TV kameralarında kullanımları yaygındır.

7.3 NİKEL-ÇİNKO VE ÇİNKO-KLORİN (HİDRAT) PİLLER

Nikel-çinko piller eskiden bazı demiryolu uygulamalarında kullanılırdı. Yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle günümüzde elektrikli taşıtlar için yeniden üzerinde araştırmalar yapılmaya başlandı. Ürettiği gerilim 1,6 V olan bu pillerin en önemli sorunu, kısıtlı yeniden doldurma çevrimleridir.

Çinko-klorin (hidrat) piller, çinko-klorid olarak da adlandırılmaktadır. Bu pillerde elektrikli taşıtlar için uygun enerji yoğunluğuna sahiptirler ve 2,1 V üretirler. Yeniden doldurma çevrimleri de nikel-çinko pillere göre daha iyidir.

7.3.4 SODYUM-SÜLFÜR PİLLER

Bu piller, elektrikli taşıtlar için geliştirilen yeni bir teknolojiye dayanırlar. En önemli özellikleri, seramik bir elektrolit kullanmalarıdır. Uzun ömürlü, düşük maliyetli ve yüksek verimli olmaları beklenmektedir. Sodyum-sülfür piller 250~350°C sıcaklıkta çalışmak üzere tasarlanmaktadır. Zehirli olmaları nedeniyle çevrecilerin tepkileri ile karşılanmaktadır. Ancak son derece ucuz olmaları nedeniyle, üretim çalışmaları sürdürülmektedir.

7.3.5 DOLDURULABİLİR ALKALİN MANGANEZ PİLLER

Rechargeable (çinko) Alkaline Manganese dioxide piller (RAM piller), 1975 yılından beri kullanılan kuru alkalın pil teknolojisinin düzenlenmesi ile üretilmişlerdir. Alkalın pillerin kuramsal olarak yeniden doldurulabilir olmasına karşın, malzeme işleme ve yapım tekniklerindeki sınırlamalar nedeniyle piyasa da tutunabilecek bir doldurulabilir alkalın pil sürülemediğiştir.

Artık AAA, AA, C ve D boylarında üretilen bu pillerin en önemli avantajlarından birisi, bellek etkisi göstermemeleridir. Nikad pillerdeki gibi doldurmadan önce tümüyle boşaltılmaları gerekmez. Tam tersine, daha sık şarj edilmeleri durumunda, sığaları ve ömürleri artmaktadır. Örneğin bir RAM pil tümüyle boşaldıktan sonra (1,0 V yada daha az) doldurulursa sığası 20 şarj sonrasında başlangıçtaki %50 değerine iner. Ancak aynı pil, gerilimin 1,2 V altına düşmesi durumunda hemen şarj edilirse, 500 doldurma sonunda bile başlangıç sığasının ancak %80 ine düşer.

7.3.6 NİKEL METAL HİDRİT PİLLER

NiMH piller, nikad pillere benzer özellikler taşıyan yeni bir teknolojidir. Kadmiyum yerine çevresel etkisi bulunmayan hidrojen kullanılması nedeniyle güvenli bir atık yaratmaktadır. Bununla birlikte nikel-kadmiyum pillerden %40 daha yüksek erk yoğunluğuna sahiptirler. Nikel-metal hidrit piller, düğme, silindir ve prizmatik biçimlerde üretilebilir, 1,25 V gerilim üretir ve 4 A kadar akım verebilirler

7.3.7 LİTYUM-İYON (KARBON-LİTYUM) PİLLER

Negatif elektrot olarak lityum kullanılan ve akışkan olmayan bir elektrolit ile, yeniden doldurulabilir pillerin yapılabileceği 1970lerin başından beri biliniyordu. Ancak kısa dolun çevrimi ve ev kullanımındaki güvenlik sorunları nedeniyle bu teknoloji kullanılmadı.

Lityum pillerde yeniden doldurma çevriminin kısa olmasının nedeni, boşalma sırasında artı elektroda geçen lityumun, doldurma sırasında yeniden eksi elektroda kaplanmasının zorluğundan kaynaklanır. Eksi elektroda düzgünce kaplanmayan lityum, yeniden boşaltılamaz ve sonuçta sığa düşer. 1970lerin sonlarında, bu sorunun üstesinden gelmenin bir yolu olarak, negatif elektrot olarak lityum metalinin kullanılması yerine, lityumu katı bir yapıda “çözerek”, lityum atomlarının hareketine izin verecek başka malzemeler kullanılarak gelinebileceği gerçeği de bulunmuştu. Buradaki sorun ise, yük taşıyan lityum kütesinin, elektrolit kütesine oranla çok azalması nedeniyle enerji yoğunluğunun azalarak elde edilmesi beklenen sığayı düşürmesi idi.

1991 yılında Sony, lityum metali yerine, çok sayıda lityum iyonunun (altı karbon atomuna bir lityum iyonu) rahatça iki yönlü geçebileceği, katmanlı yapıda bir karbon elektrot kullanılabileceğini keşfetti. Uzun denemeler sonunda istenilen özellikte karbon elde edilerek uygun işlemlerden geçirildi ve denemeler başladı. Ancak pil gerilimi 0,3 V azalmış ve negatif elektrot kütesi büyümüşü.

Düşen pil gerilimine engel olacak katı çözelti pozitif elektrot, İngiliz Kraliyet Atom Enerjisi Kurumu tarafından bulundu. Yeni geliştirilen bu elektrot malzemesi gerilim kaybını gidermenin yanında, üretim sürecinde lityum metali yada hava ve suya duyarlı lityum-karbon bileşiğinin kullanılmasını da önleyerek, üretim zorluklarını ve maliyetini de büyük oranda azaltmıştı.

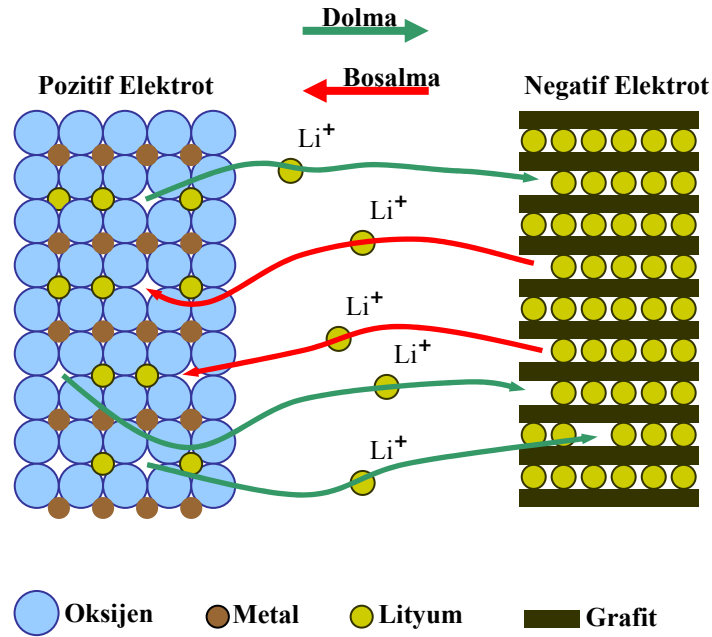
BÖLÜM-7 GERİLİM KAYNAKLARI

Lityum-karbon negatif elektrot ve katı çözelti pozitif elektrot kullanılan piller, lityum-karbon yada lityum-iyon piller olarak adlandırılırlar. Bu tür pillerin çalışması, Şekil:7.3te gösterilmiştir.

Li-ion bataryalar piyasanın yeni gözdeleleridir ve cep telefonları ve defter bilgisayarlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Lityum-iyon piller diğer bütün yeniden doldurulabilir pillerden daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptirler. 1000⁺ kez doldurulabilir ve depolanan enerji 10 yıl saklayabilirler. Lityumun kendisi, hava ve suyla teması durumunda oldukça kararsız ve tehlikeli bir element olmasına karşın, li-ion piller, hiçbir zehirli ağır metal içermezler ve bellek etkileri yoktur.

Bu süper performansın tabii ki yüksek bir maliyeti vardır. Li-ion piller, her bir kW·sa için, NiMH pillerden 5, Ni-Cd pillerden 8 kat daha pahalıdır. Ayrıca li-ion piller aşırı şarja karşı çok duyarlıdırlar ve aşırı şarj durumunda şişmeleri yok olur. Bu nedenle doldurma süreçleri çok iyi denetlenmelidir. Li-ion piller 3,6 V üretirler ve bu da pek çok aygıt için uygun değildir. Li-ion pil, yeniden doldurulabilir tek lityumlu pildir. Tek kullanımlık lityumlu piller ASLA yeniden doldurulmaya kalkışılmamalıdır. Bu pillerin şarj edilmeleri, patlama yangın ve yaralanmaya sonuçlanabilir.

Doldurulabilir lityum pillerden bir diğeri de, lityum-demir sülfid pillerdir. Ticari enerji uygulamaları için geliştirilen ve 1,6 V üreten bu pillerin, 450~500°C sıcaklıklara kadar çalışmaları beklenmektedir.



Şekil 7.3: Li-Ion (Li-C) pillerin çalışması.

7.3.8 LİTYUM POLİMER (PLASTİK) PİLLER

Li-ion pillerin çok yaygınlaşması üzerine araştırmalar bu malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır. Tasarımcılar li-ion pillerin boyut ve ağırlığını azaltıp, enerji

yoğunluğunu artıracak yeni teknolojiler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bu teknolojiler arasında en verimlisi, li-ion polimer piller yada plastik pillerdir.

Günümüzde li-ion polimer pillerde, lityumlandırılmış manganez oksit yada lityumlandırılmış kobalt oksit elektrotlar ile, akışkan olmayan elektrolitler kullanılmaktadır. Plastik piller çok ince ve düz üretilebilmekte ve esnek olmaktadır. İstenilen biçim ve boyda üretilebildikleri için, silindirli piller yerine kullanılmaları hızla yaygınlaşacak gibidir. Li-ion polimer pillerde paketleme malzemesinin aktif malzemeye oranı hem ağırlık hem de oylumsal açıdan oldukça küçük olduğu için, 90-125 W·sa/kg enerji yoğunluğuna erişilebilmektedir.

Polimer piller üzerinde birkaç yıldır çalışılmaktadır ve henüz piyasada tutulmuş bir ürün yoktur. Buna karşın, Valence, Varta, Duracell, Gould, Ultralife, ve isimsiz Japon şirketleri gibi bazı üreticiler, Bellcore şirketinin geliştirdiği ve sıvı elektrolit kullanılan teknoloji ile, telsiz haberleşmede ve taşınır bilgisayarlarda kullanılacak piller geliştirmektedirler ancak henüz piyasaya sürülen bir ürün yoktur. Bellcore şirketi, teknolojisini plastik pil diye adlandırmakta ve ısrarla polimer tanımından kaçmaktadır. Bu teknolojide kullanılan sıvı elektrolit, polimer yapı içine yedirilmeye çalışılmaktadır.

li-ion polimer teknolojisi geliştiren diğer bir kuruluş da, Johns Hopkins Üniversitesidir. Ayrıca 3M ve Hydro Quebec, elektrikli taşıtlar için polimer teknolojisi geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Battery Engineering şirketi, geliştirdiği katı elektrolit için patent almıştır. Bu elektrolit, karbonat bazlı bir plastikleştirici ile lityum tuzu ve üç monomerin, kobalt dioksit ile birlikte sentetik bir kumaşa yedirilmesi ile elde edilmektedir. Elektrolit, kullanılacağı yerde ve biçimde oluşturulduğu için küçük, ince, sağlam ve yüksek gerilimli piller oluşturulabilmektedir.

Bu piller 3,6-4,2 V üretebilmekte ve 1000 doldurmada %80 sığaya düşmektedirler. Enerji yoğunluğu pil boyuna bağlı olsa da, 125 W·sa/kg dolayında, oylumsal erk yoğunluğu da, 174-255 W·sa/l arasındadır. Doldurulduktan sonra ayda %5 şarj kaybı olmaktadır. Altı ay tam dolu olarak bekletildiğinde, %8 kalıcı sığa kaybı olmaktadır.

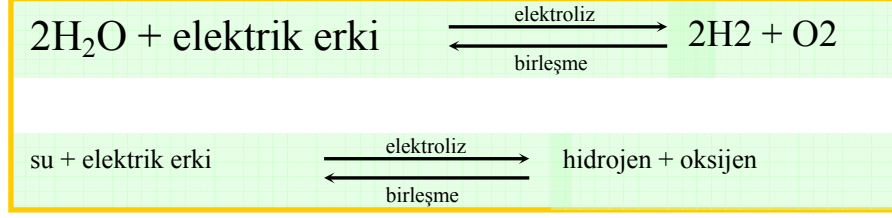
BE şirketi son olarak, kredi kartı boyutlarında (86x54x0,5 mm), 100 mA·sa sığasında bir polimer pil üretmiştir. Şirket bu teknoloji ile, 86x54x5 mm boyutlarında ürettiği başka bir pil ile, 1 A·sa sığa elde etmiştir.

7.3.9 YAKITLI PİLLER (FUELL CELL)

Yakıtlı pil, elektriksel enerji sağlayan ama depolamayan bir kimyasal kaynaktır. Yalnızca oksijen ve hidrojen yakıtları sağlandığı sürece gerilim üretir. Yakıtlı piller temiz ve verimli olmalarının yanında, ve çok çeşitli yakıt seçenekleri sunarlar. Hidrojen açısından zengin olan tüm yakıtlar, gelişen bu teknoloji için potansiyel yakıt olarak değerlendirilmektedir. Petrol ürünleri, sıvı propan, doğal gaz, etanol, metanol, hidrojen ve amonyak, yakıt olarak kullanılabilen bazı malzemelerdir.

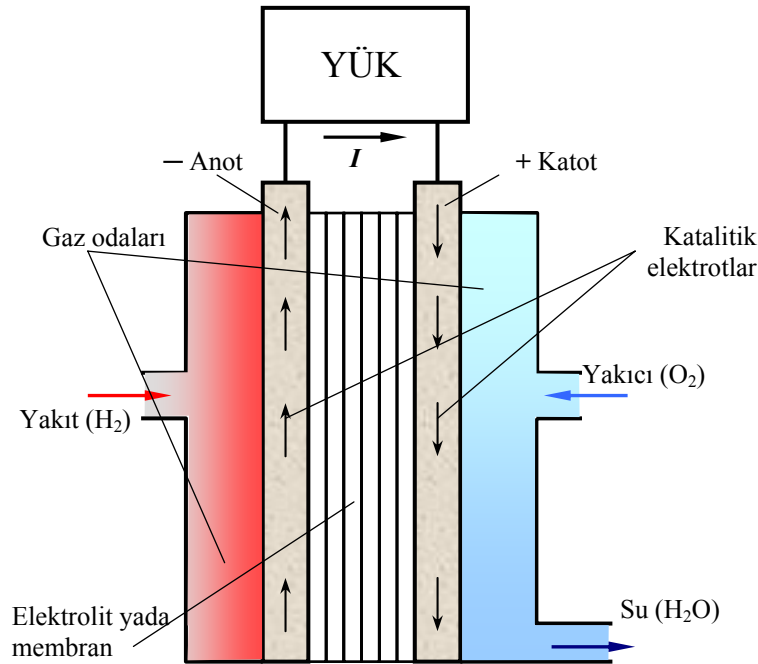
Amerika Enerji Bakanlığı Ford Motor ile gerçekleştirdiği ortak bir çalışma ile, otomotiv uygulamaları için sıfır atıklı ve kullanılabilir bir yakıtlı pil güç sistemi

projesi yürütmektedir. Laboratuvar kapsamlı bu çalışma, diğer üreticileri bu konuda yüreklendirme amacı taşımaktadır.



Şekil 7.4: Elektrolizin kimyasal denklemi. Çift yönlü olduğunu biliyor muydunuz?

Yakıtlı piller elektrik enerjisini, *elektroliz* denilen süreci ters çevirerek üretirler. Elektrolizde suya daldırılmış iki platin elektroda dc gerilim uygulanır. Elektrotlar arasında akan akım, suyu bileşenlerine (hidrojen ve oksijen) ayrıştırır. Hidrojen gazı negatif elektrot çevresinde, oksijen gazı da pozitif elektrot çevresinde toplanır. Şekil:7.4te gösterilen elektroliz denklemi, çift yönlü bir denklemdir. Buna göre hidrojen ve oksijenin uygun bir tepkime ile birleşmesi sağlanırsa, su ve elektrik erki elde edilebilir.



Şekil 7.5: Yakıtlı pilin (fuel-cell) yapısı.

Yakıtlı pillerin genel yapısı, Şekil:7.5te verilmiştir. Yakıt ve yakıcı odalarına bağlı elektrotlar arasında kalan bölgede, potasyum hidroksit elektrolit yada PEM (Proton Exchange Membrane - Proton Aktarıcı Zar) adı verilen polimer bir

malzeme kullanılmaktadır. Yakıtlı piller, elektrotlar arasında kullanılan bu malzemelere göre adlandırılırlar.

Yakıt odasına verilen hidrojen içeren yakıt, ince bir katalizör (platin yada nikel borid) ile kaplı olan anot ile temasa geçer. Hidrojen iyonlaşarak H^+ iyonları oluşur. Bu iyonlar seçici geçirgen zar yada potasyum hidroksit elektrolit tarafından katoda taşınırken, anotta biriken elektronlar da dış devre üzerinden, yine bir katalizör ile (platin yada gümüş) kaplı olan katoda aktarılırlar. Katot ucuna aktarılan H^+ iyonları (proton), dış devreden gelen elektronlar ve yakıcı olarak kullanılan oksijen ile birleşerek su oluştururlar. Bu süreç boyunca elektrolit ve elektrotlar etkilenmez, yan ürün olarak su açığa çıkar.

Bir yakıtlı pil, kullanılan teknik ve malzemelere bağlı olarak, 0,5~1 V gerilim üretebilir. Bu gerilim, pile yakıt ve oksijen sağlandığı anda üretilir. İkincil pillerdeki gibi doldurma için zaman harcanmasını gerektirmez. Pillerin uygun biçimde ardıl ve koşut bağlanmaları ile istenilen gerilim ve akım değerlerinde bataryalar elde edilir.

NASA Uzay Mekiği Orbiter için, IFC (International Fuel Cell) firmasınınca üretilen ve her biri 12kW güç sağlayabilen bu üç yakıtlı pil kullanılmaktadır. Bu pillerden her biri, mekiğin geri dönüşünü güvenli olarak sağlayabilecek güçtedir ve başka destek batarya yoktur. Pildeki elektrokimyasal tepkime ile oluşan su ise mürettebatın içme suyunu ve motorların soğutulması için kullanılmaktadır. Her bir pil $36 \times 38 \times 115 \text{ cm}^3$ hacminde ve 120 kg ağırlığındadır. Yakıt olarak kullanılan hidrojen ve oksijen ise basınçlı tüplerde bulunmaktadır. Her biri 12 kW sağlayabilen piller, kısa süreler için, 16 kW güç sağlayabilmektedirler. Bir batarya içinde potasyum hidroksit (KOH) elektrolit bulunan 96 ayrı pil gözesi vardır ve bunlar, 48 V gerilim üretecek biçimde seri-paralel bağlanmıştır. Piller 95°C sıcaklıkta ve 4 atm basınçta çalışmaktadır ve verimleri %70 ve üzerindedir. (Patlamalı motorlarda verim, %25 kadardır.)

Yakıtlı piller yakın gelecekte taşıtlar için yaygınlaşacak ve temiz elektrik kaynakları olarak nükleer santraller yerine kullanılacaklardır. Günümüzde 4,8 MW güç sağlayabilen yakıt pilli santraller vardır.

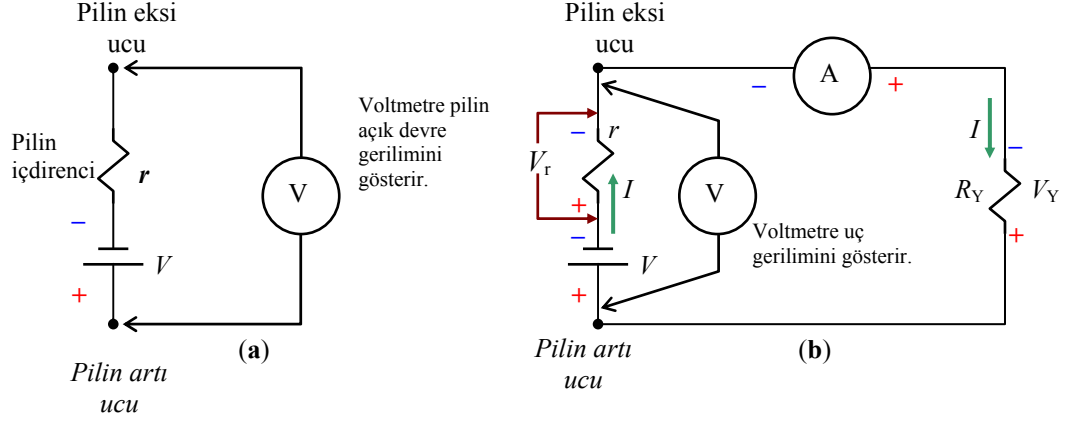
7.4 BİR PİLİN İÇDİRENCİ

İçdirenc, her gerilim kaynağı için kaçınılmaz bir özelliktir. İçdirencin etkileri gerilim düzenleyiciler ile giderilebiliyorsa da, bütün bataryaların çıkış gerilimleri, yüke bağlandıklarında (içdirenc nedeniyle) azalır. Piller kendi aralarında bağlanarak bataryalar oluşturulurken, akım, gerilim ve sızgalarının yanı sıra, toplam içdirenc de belirlenmelidir.

Bir kaynağın içdirenci, yüke aktarılabilecek maksimum güç değerini de belirler. En yüksek güç aktarımının sağlanabilmesi için, yük direnci ile kaynak içdirenci eşit olmalıdır. Maksimum güç transferi olarak bilinen bu koşulda, yükün kaynağa *uydurulduğu* söylenir.

Bütün piller, elektrotlar ve elektrolitler ile oluşturulmuşlardır. Kullanılan bütün malzemelerin elektriksel bir direnci olduğuna göre, her pilin de

boyutları ve üretiminde kullanılan malzemelerin öz dirençlerine ve üretim teknolojilerine bağlı bir iç direnç vardır. İç direnç, bütün gerilim kaynakları için kaçınılmaz bir özelliktir ve pilin içine dağılmış pek çok direncin birleşimidir.



Şekil 7.6: Pilin açık devre ve uç gerilimlerinin ölçülmesi. Uç gerilimi her zaman V_r kadar küçüktür.

Pil içinde dağıtık olarak bulunan iç direnç, dış devre için tek bir direnç olarak düşünülür ve Şekil:7.6(a)da gösterildiği gibi, pil gerilimine seri bir r direnci ile gösterilir. Pil uçlarına bağlanan bir gerilimölçer, göz ardı edilebilecek düzeyde bir akım çektiği için, pilin gerilimin gösterdiği kabul edilebilir. r üzerinde gerilim düşümü olmadan ölçülen bu gerilim değerine pilin yüksüz gerilimi denilir.

Pilin uçlarına Şekil:7.6(b)de görüldüğü gibi bir yük bağlandığında, Ohm Yasasına bağlı olarak,

$$I = \frac{V}{R_Y + r}$$

eşitliği ile belirlenen bir akım geçer.

Bu akım pilin iç direnci üzerinden geçerken,

$$V_r = I \cdot r$$

eşitliği ile hesaplanabilen iç gerilim düşümü oluşur.

Sonuç olarak pilden bir yük akımı (I) çekildiğinde, pilin uç gerilimi (V_u), açık devre geriliminin (V) altına düşer.

$$V_u = V - I \cdot r$$

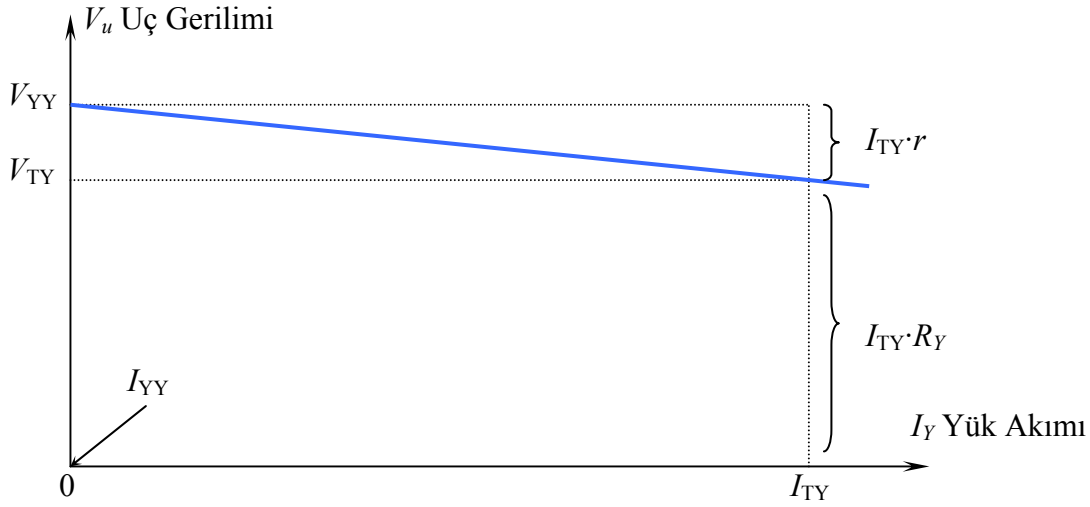
eşitliği incelenirse, yük akımının artması ile iç gerilim düşümünün de artarak, uç geriliminin iyice azalacağı görülür. Pillerin durumu denetlenirken bu durum göz önünde bulundurularak, yük altında gerilim ölçmesi yapılır. Bir pil biterken, iç direnci artar ve aynı yük akımı için daha az uç gerilimi üretmeye başlar.

7.5 GERİLİM DÜZENLEME

Yük akımına bağlı olarak pilin uç gerilimindeki değişim Şekil:7.7de gösterilmiştir. Oysa *düşüncel* bir gerilim kaynağında, uç geriliminin *asla* değişmemesi gerekir. Yüksüz durum ile yüklü durum arasındaki değişim, yüzde *gerilim regülasyonu* eşitliği ile bulunur.

$$\% \text{ gerilim regülasyonu} = \frac{V_{YY} - V_{TY}}{V_{TY}} \cdot \%100$$

Burada V_{YY} yük yokken uç gerilimi, V_{TY} tam yükteki uç gerilimi değeridir. Görüldüğü gibi ideal bir kaynakta gerilim regülasyonu sıfır olacaktır.



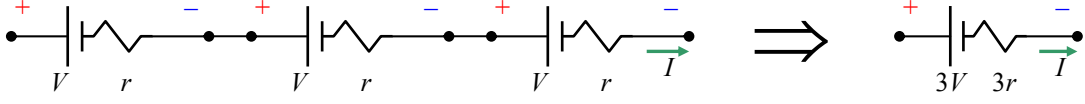
Şekil 7.7: İç direnç ve yük akımının uç gerilimine etkisi.

7.6 PİLLER İLE BATARYA OLUŞTURMA

Değişik gerilim ve güç gereksinimleri olan uygulamalar için, pillerin seri ve/veya paralel bağlanmaları ile elde edilen bataryalar, hatta bataryaların da kendi aralarında bağlanmalarıyla oluşturulan batarya grupları kullanılabilir. Pillerin seri yada koşut bağlanmalarıyla elde edilebilecek gerilim ve güç değerleri çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır ancak, ardıl ve koşut bağlantılar için bilinmesi gereken elektriksel özelliklere uyulmalıdır.

7.6.1 ARDIL BAĞLAMA

Bilindiği gibi pillerin gerilimleri 1~3 V arasında değişmektedir. Daha yüksek uç gerilimleri elde edebilmek için piller seri bağlanarak Şekil:7.8de görüldüğü gibi bataryalar oluşturulur.



Şekil 7.8: Pillerin seri bağlanmasıyla daha yüksek gerilimli bataryalar oluşur.

Görüldüğü gibi piller ardıl bağlandığında, gerilimin artmasıyla birlikte, iç direnç değeri de artmaktadır. Bağlantıda kullanılan piller türdeş ise (bu zorunlu değildir), toplam gerilim ve toplam akım değerleri, ardıl bağlı pil sayısı ile bir pilin gerilimi ve iç direnci çarpılarak bulunur. Piller özdeş değilse, pil gerilimleri ve iç dirençleri toplanarak batarya gerilimi ve iç direnci bulunur.

$$V_T = n \cdot V \quad V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$r_T = n \cdot r \quad r_T = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$$

Pillerin ardıl bağlanmasıyla elde edilen bir bataryanın sağlayabileceği akım miktarı, tek bir pilinkinden fazla değildir.

$$I = \frac{V_T}{r_T} = \frac{n \cdot V}{n \cdot r} = \frac{V}{r}$$

Batarya oluşturulurken farklı piller kullanılmışsa, bataryadan çekilen akım, akım değeri en küçük olan (iç direnci en yüksek olan) pilinkini aşmamalıdır. Bu koşula dikkat edilmezse bu pilin yüksek iç direnci nedeniyle uç geriliminin yönü ters döner ve batarya gerilimini çok azaltır. Ayrıca pil içinde tüketilen güç ve dolayısıyla ısınma da artar.

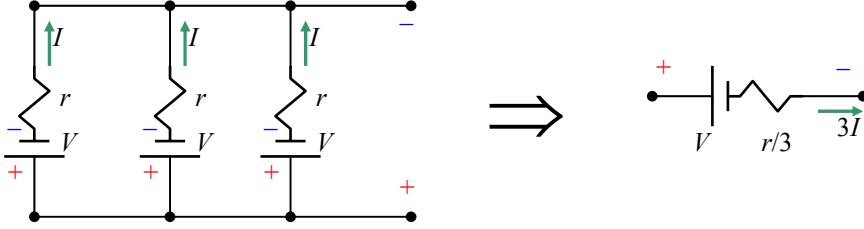
7.6.2 KOŞUT BAĞLAMA

Pillerin koşut bağlanmasıyla elde edilen bataryaların avantajı, yüksek akım verebilmeleri ve düşük iç dirençleridir. Paralel bağlamada kullanılacak pillerin özdeş olmaları gereklidir. Pillerin özdeş olmamaları durumunda iç sirkülasyon akımları oluşarak, ısınma ve erken boşalma sorunlarına yol açar. Buna göre koşut bağlamada sonuç,

$$I_T = \frac{I}{n'} \quad r_T = \frac{r}{n'}$$

olacaktır. Burada n' koşut bağlı pil sayısıdır.

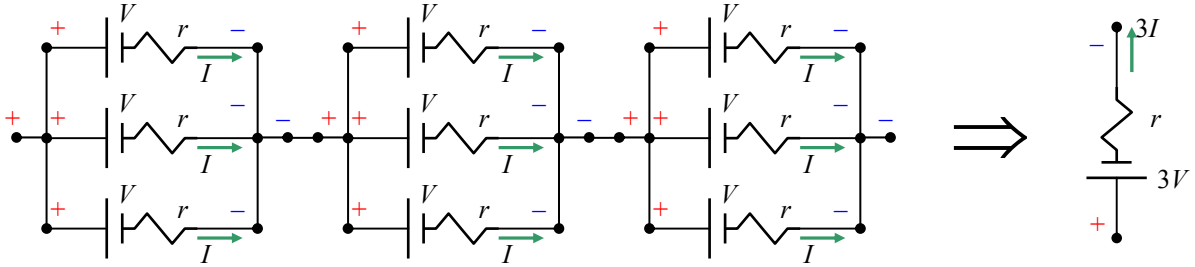
Pillerin paralel bağlanmasıyla elde edilen bataryalarda akım, kullanılan pil sayısı kadar artmakta ancak gerilim, tek bir pilinkine eşit kalmaktadır.



Şekil 7.9: Pillerin koşut bağlanmasıyla daha yüksek akımlı bataryalar oluşur.

7.6.3 ARDIL-KOŞUT BAĞLAMA

İstenilen akım ve gerilim değerlerini elde edebilmek için piller seri ve paralel gruplar olarak bağlanabilir. Bu tür bağlantılar tümüyle amaca bağlı olarak geliştirilirler. Şekil:7.10da özellikle güneş pilleri için kullanılan bir seri-paralel bağlantı ve eşdeğer batarya değerleri gösterilmiştir.



Şekil 7.10: Seri-paralel bağlantı ile istenilen gerilim ve akım değerlerine ulaşılabilir.

BÖLÜM 8

DEVRE ÇÖZÜMLEME

Christie Köprü Devresi?!

Wheatstone köprüsünü kim buldu? Tabii ki Sir Charles Wheatstone. Öyle mi acaba?

Wheatstone köprüsü aslında Woolwich' deki İngiliz Kraliyet Askeri Akademisinde görevli S. H. Christie tarafından bulundu. Christie devreyi, 28 Şubat 1833 tarihli Felsefi Etkileşimler adlı yayınında ayrıntılarıyla açıkladı. Ancak Christie adı bilinmiyordu ve buluşu göz ardı edildi.

On yıl sonra Sir Charles Wheatstone, dikkatleri Christie devresi üzerine çekti. Sir Charles Wheatstone çok tanınmış birisiydi ve o günden bu yana bu devre Wheatstone köprüsü olarak adlandırılır. Daha sonra Werner Siemens Christie devresini değiştirerek, yine Wheatstone köprüsü olarak adlandırılacak değişken kol dirençli köprü devresini buldu.

Hiç kimse bu köprü devrelerinin gerçek kaşiflerini tanımadı.

GİRİŞ

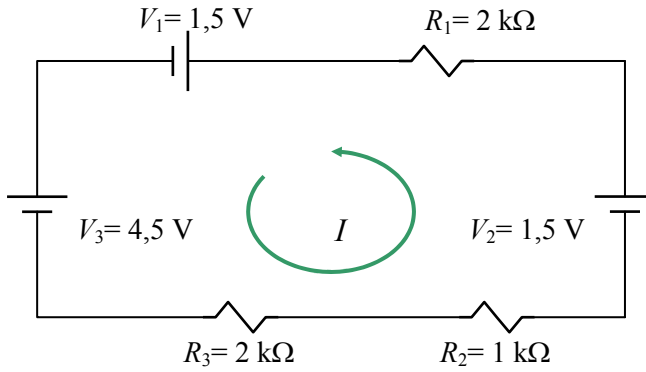
Elektrik devreleri yalnızca ardıl ve koştut bağlantılardan oluşmaz. Bu iki bağlantının bir arada bulunduğu ve ardıl-koştut biçiminde adlandırılan bağlantılar olabildiği gibi, ne ardıl ne de koştut olarak tanımlanamayan bağlantılar da vardır.

Seri yada paralel devrelerin çözümlenmesi için, yalnızca Ohm Yasasının uygulanması yeterlidir. Wheatstone Köprüsü ve Δ -Y bağlantılar gibi ardıl ve/veya koştut ilişkiler ile tanımlanamayan karmaşık devrelerin çözümlenmesinde ise, OY, KGY ve KAY birlikte ve devre kuramları olarak adlandırılan kural ve yöntemler çerçevesinde kullanılır.

Bu özel bağlantıların çözülmesi için kullanılan devre kuramları, yeni matematik denklemler yada yasalar olmayıp, Ohm Yasası, KGY ve KAY uygulamalarının düzenlenmiş biçimleridir.

8.1 ARDIL DEVRELERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Seri devrelerde çözümleme yapılırken ilk önce devredeki net gerilim değeri belirlenir. Bunun için birbirlerine doğru yönde bağlı kaynakların gerilimleri toplanır, ters yönde bağlı kaynakların gerilimleri de toplanır. Geriye kalan değer devrenin net gerilimidir ve polaritesi, büyük kaynağın polaritesi ile aynıdır.



Şekil 8.1: İki kaynak ve üç dirençli basit bir seri devre.

İkinci adımda devrenin toplam direnci bulunarak devre akım belirlenir. Bu aşamadan sonra her bir eleman için tüm elektriksel büyüklükler, Ohm Yasası kullanılarak bulunur. Şekil:8.1deki devre için yapılan örnek bir çözümleme aşağıda verilmiştir.

V_1 ve V_3 aynı yönlü ve V_2 bunlara ters yönde bağlıdır. Bu durumda devrenin net gerilimi,

$$\begin{aligned} V_1 + V_3 - V_2 &= V_{\text{net}} \\ 4,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} - 1,5 \text{ V} &= 4,5 \text{ V} \end{aligned}$$

olur. Net gerilimin polaritesi V_1 ve V_3 ile aynı yöndedir. Buna göre akım yönümüzü seçeriz. Devre gerilimini bulduktan sonra $R_{\text{eş}}$ değerini bulmak için direnç değerlerini toplarız. Buna göre,

$$\begin{aligned} R_1 + R_2 + R_3 &= R_T \\ 2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega &= 5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

olarak bulunur. Devre akımı da,

$$I = \frac{4,5 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 0,9 \text{ mA}$$

değerindedir. Bulunan bu akım tüm dirençlerde aynı olduğuna göre,

$$V_{R_1} = V_{R_3} = 0,9 \text{ A} \times 2 \text{ k}\Omega = 1,8 \text{ V}$$

ve

$$V_{R_2} = 0,9 \text{ A} \times 1 \text{ k}\Omega = 0,9 \text{ V}$$

olarak $I \cdot R$ gerilim düşümleri de bulunur. Dirençler üzerinde tüketilen güç değerleri de V^2/R yada $I^2 \cdot R$ eşitlikleri ile,

$$P_{R_1} = P_{R_3} = \frac{(1,8 \text{ V})^2}{2 \text{ k}\Omega} = 1,62 \text{ W}$$

ve

$$P_{R_2} = (0,9 \text{ A})^2 \times 1 \text{ k}\Omega = 0,81 \text{ W}$$

olarak bulunabilir.

Seri devrelerde çözümleme yapılırken, aşağıdaki ilkelere uyulması yararlı olacaktır:

- Bir elemanın akımı bulunduğu, bu değer bütün elemanların akımı olarak hesaplamalarda kullanılabilir. Ardıl devrelerde tek akım değeri vardır.
- Akım hesaplanırken toplam gerilim toplam dirence bölünebilir yada herhangi bir $I \cdot R$, ilgili direncin değerine bölünebilir.
- Devredeki tüm gerilim düşümleri bulunmuşsa, bunlar toplanarak devrenin toplam gerilimi elde edilebilir.

Seri Gerilim-Düşürme Dirençleri: Seri devrelerin yaygın uygulamalarından birisi, kaynak gerilimini daha düşük bir değere indirmektir. Bu biçimde öndirenç kullanılarak oluşturulmuş bir devre, Şekil:8.2de görülmektedir.

Bu devrede, 9 Vluk bir pil ile çalışan ve 18 mA çeken bir radyo, 12,6 Vluk bir da kaynakla çalıştırılacak olsun. Radyoya zarar vermeden bu kaynağa bağlayabilmek için bir ardıl direnç ile kaynak gerilimini 9 V değerine indirebiliriz.

Bunun için eklenecek direnç üzerinde düşmesi gereken gerilim,

$$V_R = V - V_Y = 12,6 \text{ V} - 9 \text{ V} = 3,6 \text{ V}$$

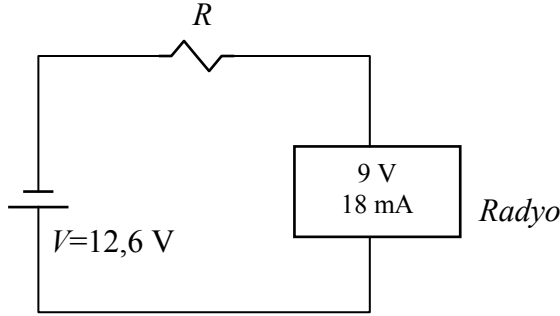
olarak bulunur. Eklenecek direnç üzerinde düşecek gerilimi ve bu gerilim altında dirençten geçecek akımı bildiğimize göre:

$$R = \frac{3,6 \text{ V}}{18 \text{ mA}} = 0,2 \text{ k}\Omega = 200 \Omega$$

olarak devreye takılacak ardıl direncin değerini buluruz. Bu direnç üzerinde tüketilecek gücü de,

$$P_R = I^2 \cdot R = (18 \text{ mA})^2 \cdot (0,2 \text{ k}\Omega) = 64,8 \text{ mW}$$

olarak belirleriz.



Şekil 8.2: Öndirenç kullanılan bir gerilim düşürme devresi.

8.2 PARALEL DEVRELERİN ÇÖZÜMLEMESİ

Bir koşt devrede kaynak gerilimi, devrenin çözümlenmesinde referans olarak alınır ve eğer bilinmiyorsa, çözümlenmenin ilk aşamasında bulunmalıdır. Devrenin toplam akım değeri de, kol akımlarının bulunması açısından önemli bir büyüklüktür. Bu temel ilkelerden yola çıkarak, koşt devrelerin çözümünde yararlı olacak iki kuralı şöyle sıralayabiliriz:

- Bir kolun gerilimi bulunduğunda, tüm kolların gerilim değeri bulunmuş olur.
- Toplam akım I_T ve kol akımlarından I_1 değeri biliniyorsa, diğer kol akımı toplam akımdan bilinen kol akımı çıkarılarak bulunabilir.

Şekil:8.3te verilen devre için, örnek bir çözümlenme aşağıdaki gibi olabilir:

İkinci kol için verilen akım değeri ve kolun direnci kullanılarak R_2 uçlarındaki gerilim ve devre gerilimi,

$$\begin{aligned} V &= V_{R_2} \\ &= I_2 \cdot R_2 \\ &= (5 \text{ mA}) \cdot (1,2 \text{ k}\Omega) = 6 \text{ V} \end{aligned}$$

olarak bulunur. Buna göre R_3 üzerinden geçen akım,

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{V}{R_3} \\ &= \frac{6 \text{ V}}{2,2 \text{ k}\Omega} = 2,73 \text{ mA} \end{aligned}$$

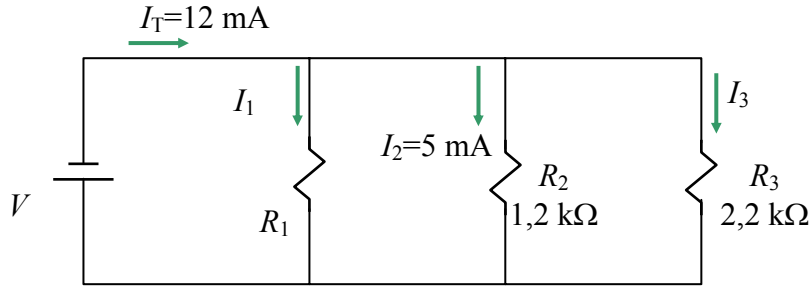
ve bulunan bu değere dayanarak birinci koldan geçen akım da,

$$\begin{aligned} I_1 &= I_T - I_2 - I_3 \\ &= 12 - 5 - 2,73 = 4,27 \text{ mA} \end{aligned}$$

olarak belirlenir. Buna göre birinci kolun direnci,

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{6 \text{ V}}{4,27 \text{ mA}} = 1,4 \text{ k}\Omega$$

olarak bulunur.

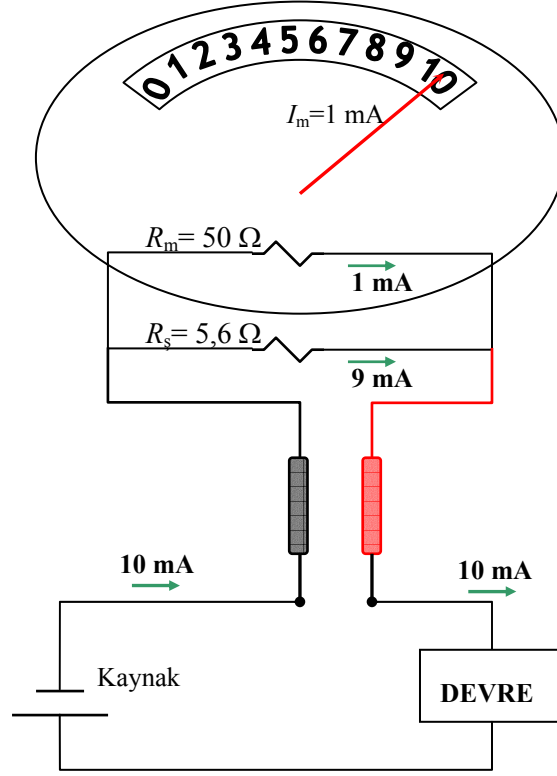


Şekil 8.3: Bir kaynak ve üç dirençten oluşan basit koşut devre. Bilinmeyen değerler OY ile bulunabilir.

Ampermetre Şönt Dirençleri: Paralel devrelerin yaygın uygulamalarından birisi, örneksel akımölçerde göstergeden geçen akımın aşamalı olarak belirlenmesi için kullanılan şönt dirençlerdir.

Çok ince teller ile sarıldıkları için, zarar görmeksizin taşıyabilecekleri akım oldukça küçük olan döner çerçeveli ölçü aletleri, daha yüksek akım değerlerini ölçmek için kullanılırlarken, devre akımının büyük bir bölümü ölçü aletine

koşut bağlanan bir dirençten geçirilir. Böylece ölçü aleti oransal olarak gerçek devre akımını gösterebilir.



Şekil 8.4: Tam sapma akımı 1 mA olan ölçü aleti ile 10 mA ölçmek için kullanılan bağlantı.

Böyle bir devreye örnek olarak Şekil:8.4teki ampermetre devresi gösterilebilir. Burada görülen döner çerçevenin içdirenç 50Ω ve üzerinden geçebilecek en yüksek akım değeri de 1 mA olarak bilinmektedir. Bu da demektir ki, alet üzerinden 1 mA geçtiğinde tam sapma (TS) oluşmaktadır.

Ölçü aletine kesin olarak zarar verecek 10 mA akım değerini ölçmek için, geriye kalan 9 mA akımın ölçü aletinden değil, koşut bir dirençten geçirilmesi gerekir.

TS için içdirenç uçlarında,

$$\begin{aligned} V_m &= I_m \cdot R_m \\ &= (1 \text{ mA}) \cdot (50 \Omega) = 50 \text{ mV} \end{aligned}$$

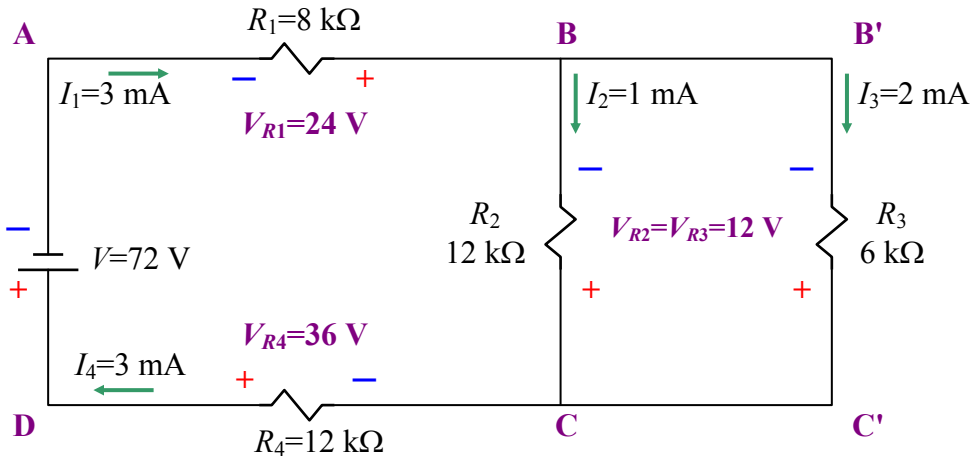
gerilim bulunduğu hesaplanabilir. Bu durumda TS sırasında 9 mA taşıması gereken koşut direncin değeri de,

$$R_s = \frac{V_m}{I_s} = \frac{50 \text{ mV}}{9 \text{ mA}} = 5,6 \Omega$$

olarak belirlenir. Eğer aynı ölçü aletiyle daha değişik akımlar da ölçülmek isteniyorsa, ölçülmek istenilen değerlere uygun olarak seçilen şönt dirençler, bir komütatör yardımı ile gerektiği gibi devreye alınabilirler.

8.3. SERİ-PARALEL DEVRELER

Elektronik devrelerde, yalnız seri yada yalnız paralel devrelerden çok, seri ve paralel bağlı elemanlardan oluşan karmaşık devreler bulunmaktadır. Bu devrelerde çözümü, birbirine seri ve paralel dirençlerin eşdeğerleri bulunarak yalınlaştırılması yolu ile yapılır. **Ardıl-koşut** devre, bir paralel direnç grubunun, bir başka direnç yada direnç grubuna seri bağlanması ile oluşur.



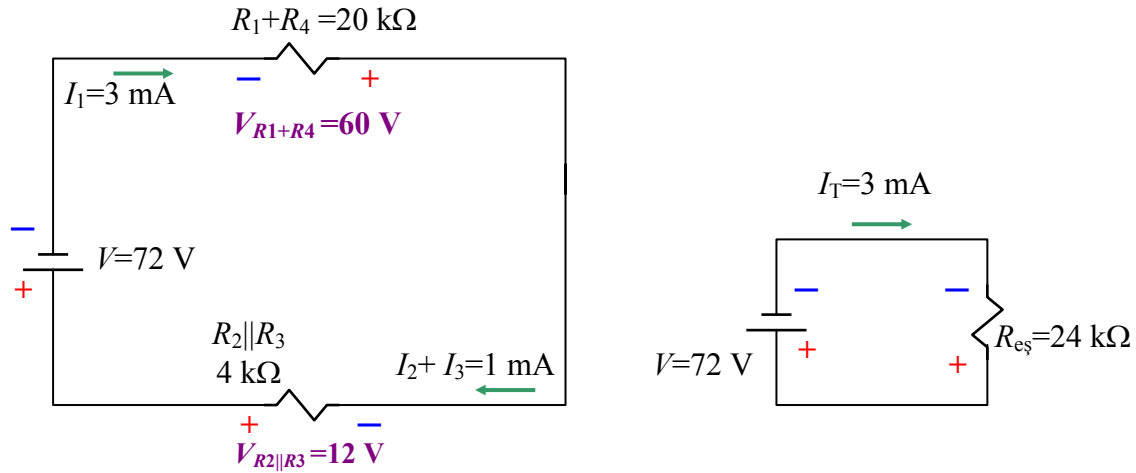
Şekil 8.5: Dört dirençli seri-paralel devrede akım ve gerilim değerleri.

Şekil:8.5teki devrede bağlantı incelenerek şu sonuçlar elde edilebilir:

1. R_1 ve R_4 , aynı akımı taşıdıkları için birbirlerine seri bağlıdır. (Bataryadan çıkıp R_1 üzerinden geçen akım, R_4 üzerinden bataryaya geri dönmektedir.)
2. Uçlarındaki gerilim aynı olduğundan, R_2 ve R_3 paraleldir. (B ve C noktaları arsına bağlanan gerilimölçer, B' ve C' uçları arsına bağlanan gerilimölçer ile aynı değeri gösterir.)
3. Paralel R_2 - R_3 grubu, R_1 ve R_4 ile seri bağlıdır. (R_2 - R_3 grubu, R_1 ve R_4 üzerinden geçen akımı taşımaktadır.)
4. R_2 ve R_3 üzerinden geçen akımlar, R_1 üzerinden geçen akımdan küçüktür. (Akım B noktasında ikiye bölünmektedir.)

5. (KAY gereğince) R_2 ve R_3 üzerinden geçen akımların toplamı, toplam devre akımına eşittir.
6. R_2 direncinden geçen akım, R_3 direncinden geçen akımın yarısı kadardır. Çünkü $R_2=2R_3$ olarak seçilmiştir.
7. Her iki çevredeki (ABCD ve AB'C'D) gerilim düşümlerinin toplamı, KGY uyarınca, kaynak gerilimine eşittir.

Böyle bir devrede akım ve gerilim değerlerinin bulunması için, 8.1 ve 8.2 de açıklanan yöntemlerin birleştirilmesi gerekir. Devrenin ardıl bölümlerine ardıl devre kuralları, koşut bölümlerine de koşut devre kuralları uygulanır.



Şekil 8.6: Seri-paralel devrede yalınlaştırma.

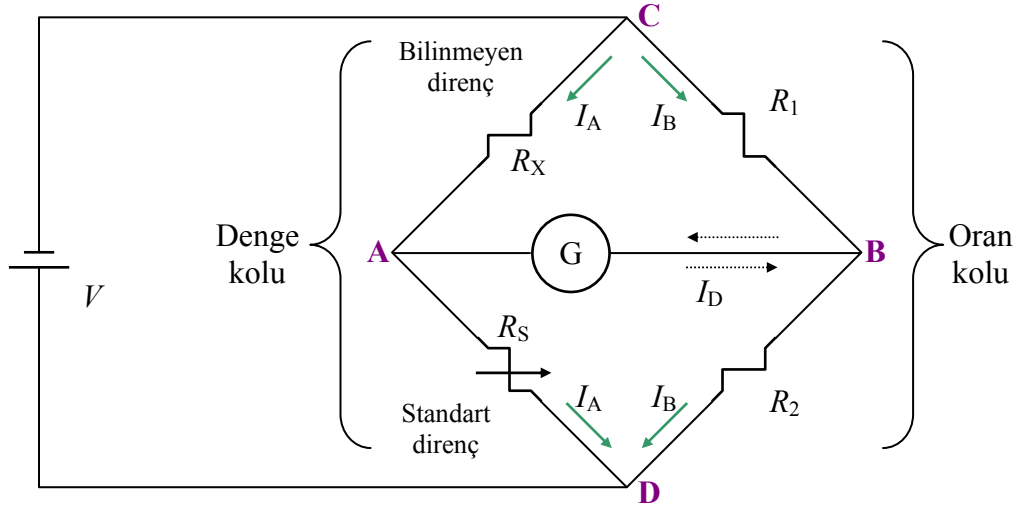
Şekil:8.5te verilen dört direnç ve bir kaynaktan oluşan devrede, eşdeğer direnci bulmak için Şekil:8.6da gösterilen yalınlaştırma yöntemi izlenmiştir. Buna göre ilkin ardıl dirençler R_1 ve R_4 toplanarak R_{1-4} ve sonra koşut dirençler R_2 ve R_3 ün eşdeğeri alınarak R_{2-3} bulunmuştur. Son olarak bu iki direnç de toplanarak toplam eşdeğer direnç bulunmuştur.

Ardıl-koşut karışık devrelerde çözümleme yaparken aşağıdaki noktaların akılda bulundurulması, kolaylıklar sağlayabilir:

- Ana hat üstündeki koşut kollarda, $R_{eş}$ bulunmaksızın, kol akımları ve I_T bulunabilir.
- Ana hat üzerinde seri dirençlerle bağlı paralel dizilerde kol akımları bilinmiyorsa, I_T değerinin bulunması için önce R_T bulunmalıdır.
- Devre toplam eşdeğer direnci uçlarına uygulanan toplam kaynak gerilimi, yalnız ana hat üzerinden I_T toplam akımı geçer.
- Her bir seri direnç üzerinde kendi IR gerilim düşümü görülür. Bu değer mutlaka kaynak geriliminin altındadır.
- Bütün kol akımları, ana kol akımından küçük olur.

8.4 WHEATSTONE KÖPRÜSÜ

Wheatstone (1802-1875 İngiliz Fizikçi Sir Charles Wheatstone) köprüsü, dört direnç ile oluşturulmuş ve genellikle karo biçiminde çizilen özel bir devredir. Bir köprü devresinde, ikisi giriş ve ikisi de çıkış için toplam dört uç vardır. Köprü devresinin kullanılma amacı, gerilim düşümlerinin dengelenmesi yoluyla girişte gerilim varken çıkışta sıfır potansiyel fark elde etmektir. Köprüler,



Şekil 8.7: Wheatstone köprü devresi ölçme amaçlı kullanılır.

karşılaştırmalı ölçme işlemlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Örneğin Şekil:8.7de görülen köprü devresinde, değeri bilinmeyen R_X direnci, değeri bilinen hassas bir R_S direncine karşı dengelenerek ölçme işlemi gerçekleştirilir. Denge durumu sıfır akım ile belirlenir.

Bu devredeki V kaynağı, köprüdeki dört dirence gerilim uygulamaktadır. Köprüyü dengelemek için, değeri belirlenmek istenen R_X bağlandıktan sonra R_S ayarlı hassas direnci yardımı ile Galvanometre sapması sıfır olana dek ayar yapılır. Denge durumu sağlandığında devredeki dirençlerin oranları aracılığıyla bilinmeyen direncin değeri hesaplanır.

Akımın sıfır olma nedeni, devre incelendiğinde anlaşılabilir. Denge (CAD) ve oran (CBD) kollarındaki $R_X R_S$ ve $R_1 R_2$ gerilim bölücülerinin bölme oranları eşit olduğunda, A ve B noktalarındaki potansiyeller eşit olur ($V_A = V_B$) ve bu noktalar arasında akım akmaz. Bu durumda V_{R_X} ile V_{R_1} ve V_{R_S} ile V_{R_2} birbirine eşit olur.

Denge durumunda Wheatstone köprüsünün iki kolundaki gerilim oranları matematiksel olarak,

$$\frac{I_A \cdot R_X}{I_A \cdot R_S} = \frac{I_B \cdot R_1}{I_B \cdot R_2}$$
$$\frac{R_X}{R_S} = \frac{R_1}{R_2}$$

biçiminde belirtilebilir. Bu eşitliğin her iki yanını R_S ile çarpılırsa,

$$R_X = R_S \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

olarak bilinmeyen direncin değeri bulunur.

Genellikle oran kolundaki R_1+R_2 direnci aynıdır ve istenilen bölme oranı sağlanacak biçimde B noktası kaydırılabilir. Burada belirlenen oran, denge anında, R_X ile R_S arasındaki orana eşit olur.

Denge durumunda A ve B noktaları arasında akım akışı olmadığı için, bu iki nokta arası açık devre sayılır ve devre, iki koşul kol olarak kolayca çözümlenebilir. Denge bozulduğunda ise köprüdeki akım ve gerilim değerleri, gözlü devre çözümlenmesi yapılarak bulunabilir.

8.5 EN YÜKSEK GÜÇ AKTARIMI

İçdirenc (r) yalnızca pillere ve bataryalara özgü bir nitelik değildir. Bütün ac ve dc güç kaynaklarında (yükselteç, anten, mikrofon, vb.), genellikle içdirencim olarak adlandırılan bir içdirenc vardır. çoğu elektrik ve elektronik uygulamasında, kaynaktan yüke aktarılabilecek en fazla gücün aktarılması istenir. Sabit açık devre gerilimi ve içdirenci olan bir kaynak söz konusu olduğunda sorun, yükün kendisine maksimum gücün aktarılabilmesi için direncinin ne olması gerektiğidir.

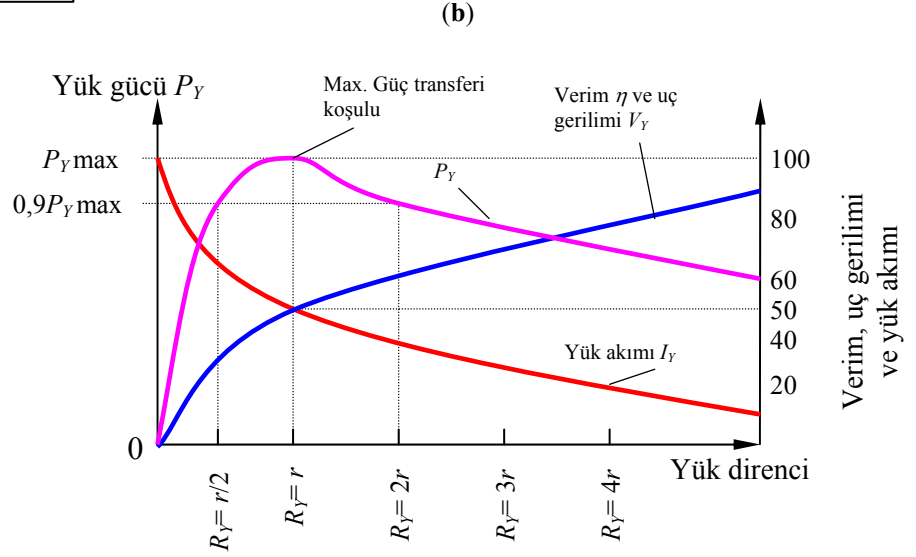
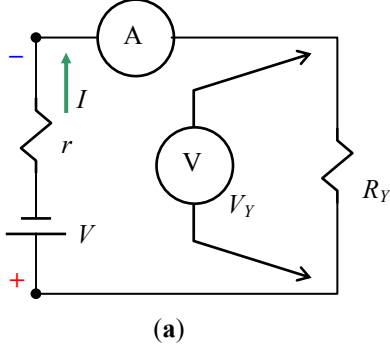
Böyle bir ölçme deneysel olarak Şekil:8.6(a)da gösterilen devre kullanılarak yapılabilir. Yük direncinin değeri sıfırdan başlayarak artırılırken, akım ve gerilim değerleri her adımda ölçülerek kaydedildikten sonra, Şekil:8.6(b)de görülen eğriler elde edilir. Burada açıkça görüldüğü gibi artan bir değer (V_Y) ile azalan bir değer (I) çarpımı, $R_Y=r$ noktasında P_{Ymax} tepesini yapmaktadır.

Maksimum güç transferi kuramına göre, bir kaynaktan yüke en yüksek güç, yük direnci kaynak içdirencine eşit olduğunda aktarılabilir. Ancak bu koşulda ($R_Y=r$), devrenin çalışma verimi en yüksek değerinde değildir. Çünkü verim,

$$\eta = \%verim = \frac{P_Y}{P_T} \cdot \%100$$
$$= \frac{P_Y}{P_Y + P_r} \cdot \%100$$

olarak tanımlıdır. Burada P_Y yüke aktarılan gücü, P_r kaynakta tüketilen gücü ve P_T kaynaktan üretilen gücü göstermektedir.

Grafikten de görülebileceği gibi en yüksek verim değerine, yük direnci açık devreye yaklaşırken ulaşılmaktadır. Bunun nedeni, içdirençte ısı olarak tüketilen gücün, yük akımının karesi ile orantılı olarak azalmasıdır.



Şekil 8.8: Pilin açık devre ve uç gerilimlerinin ölçülmesi. Uç gerilimi her zaman V_r kadar küçüktür.

En yüksek güç aktarımını sağlayan yük direnci değeri için devre verimi %50dir. Bu durumda yük gerilimi, açık devre geriliminin yarısı kadardır. Yük kaynağa uydurulmuştur.

Yük ile kaynağın uydurulması, hoparlörün yükseltece bağlanması gibi durumlarda istenilen bir özelliktir. Örneğin çıkış gerilimi 40 V ve içdirenç 8 Ω olan bir yükselteç, çıkışına bağlanacak 8 Ω dirençli bir hoparlöre 50 W aktarabilir. Hoparlörün direnci 4 Ω yada 16 Ω yapılırsa, aktarılacak güç 44,4 W değerine düşer. Yük ile kaynak arasındaki uyumsuzluk, düşük güç aktarımı ile birlikte başka sorunlar da doğurabilir. Örneğin yük kaynaktan çok daha düşük bir direnç değerinde ise, aşırı akım nedeniyle yükselteç zarar görebilir yada en azından seste bozulma oluşur.

BÖLÜM-8 DEVRE ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ

En yüksek güç aktarımı, düşük güçlü işaretler ile çalışılan elektronik sistemlerde verimden çok daha önemlidir. Ancak yüksek gerilim iletim hatları gibi güç sistemlerinde, yük ile kaynağı uyumlandırmak, uygulamada pek karşılaşılan bir durum değildir. Batarya yada şehir şebekesi gibi güç kaynaklarında, en yüksek güç aktarımı değil, verim daha çok önem taşımaktadır.



BÖLÜM 9

DEVRE KURAMLARI

Hitler' in Bilgisayar Hatası

İlk genel amaçlı bilgisayarı tasarımlayan ve gerçekleştiren Alman bilimci Konrad Zuse, II. Dünya Savaşının başlarında Alman Hükümetine, o zamanlardaki bilgisayarlardan 1000 kat hızlı çalışan bir bilgisayar yapma teklifi sundu. O zamanlar uçak ve füze tasarımıındaki mühendislik sorunlarını çözümlmek için kullanılan kendi ürettiği Z3 bilgisayarı, elektromekanik röleler yerine lambalarla yeniden düzenleyecekti. Savaşın kendisi için kesin ve çabuk bir zafer olacağına inanan Hitler, uzun vadeli bu iki yıllık proje ile ilgilenmedi. Hitler' in dar görüşlülüğü nedeniyle, İngilizlerin haberleşme kodlarını kırmak için kullanılabilecek bu güçlü bilgisayar geliştirilemedi. Ancak ne Hitler ne de Zuse, İngilizlerin Ultra denilen kod kırma bilgisayarı projesinin en büyük öncelikle ve birkaç kuruluşun rekabetiyle hızla ilerlediğini bilmiyorlardı.

GİRİŞ

Bu bölüme dek incelenen devrelerin tümü seri, paralel yada seri-paralel olarak çözümlenebilecek türden devrelerdi. Ancak uygulamadaki bir çok elektronik devrede, özellikle de birden çok kaynak içeren devrelerde, elemanlar arasındaki ilişkiler bu denli basit değildir. Bu tür devrelere (circuit) ağdevre (network) denilir ve çözümlenebilmeleri için değişik *teknikler* gereklidir. Bu bölümde bazı yararlı çözümlme yöntemleri ve bu yöntemler ile birlikte kullanılan devre kuramları açıklanmaktadır.

Ardıl koşut olarak sınıflanamayan devrelerde kullanılan iki çözümlme yöntemi, *kol akımları* ve *göz akımları* olarak adlandırılır. Bu yöntemlerde Ohm ve Kirchhoff yasalarının birlikte kullanılması ile elde edilen iki yada daha çok sayıdaki denklem birlikte çözümlenerek bilinmeyen devre değerleri elde edilir.

Bir başka yöntem de, Düğüm Analizi yöntemidir. Düğüm çözümlme yönteminde yalnızca KAY kullanımı ile çözümlme yapılır.

Son olarak açıklanacak yöntem, delta-ye (Δ -Y) dönüşümüdür. Bu dönüştürme yöntemine bağlantılara verilen adlara dayanarak, pi-te (π -T) yada yıldız-üçgen (Y- Δ) yöntemi de denilmektedir. Bu yöntem kullanılarak karmaşık bir ağdevre, seri-paralel bir devreye dönüştürülebilir.

Devre kuramlarından ilki, birden çok sayıda kaynak içeren devrelerin çözümlenmesinde kolaylık sağlamak için kullanılan superposition (bindirme) kuramıdır. Bu kuram, ağdevredeki bir eleman üzerindeki akımın, her bir kaynağın sağladığı akımların ayrı ayrı bulunup, daha sonra bu akımların yönlerine göre toplanmaları (bindirilmeleri) ile bulunabileceğini söyler.

Bir diğer devre kuramı da, *Thévenin Kuramı*dır. Bu kuram, kaynaklar ve doğrusal dirençlerden oluşan her karmaşık devrenin, tek bir kaynak ve buna ardıl bağlı bir direnç olarak gösterilebilmesini sağlar.

Üçüncü devre kuramı olan Norton Kuramı da, Thévenin kuramına benzer biçimde, kaynaklar ve doğrusal dirençlerden oluşan her karmaşık devrenin, tek bir akım kaynağı ve buna koşut bağlı bir direnç olarak gösterilebilmesine olanak sağlar.

9.1 KOL AKIMLARI YÖNTEMİ

Kol akımları yönteminde her kol akımına bir ad verilerek, her kapalı göz için KGY uygulanır. KGY, bu yöntemde kullanımına uygun olarak,

kapalı bir gözdeki gerilim düşümleri toplamı, kaynak gerilimleri toplamına eşittir

olarak yeniden düzenlenebilir.

Kol Akımları Yöntemi için izlenecek adımlar şöyledir:

1. Devre şeması, tüm bilgileri açıkça gösterebilecek kadar büyük biçimde çizilir.
2. Devredeki “pencere” sayısı belirlenir. Böylece devrede dolaşan I_1 , I_2 , I_3 gibi değişik akımların sayısı da belirlenmiş olur. Bu akımlar devre şeması üzerinde, rasgele yönler seçilerek gösterilir.
3. KAY kullanılarak devredeki diğer akımlar, I_1 , I_2 , ... cinsinden belirlenir.
4. Akımların *varsayılan* yönleri kullanılarak, eleman gerilim düşümlerinin polariteleri belirlenir.
5. Devre şemasındaki pencere sayısı kadar çevre belirlenir ve her bir çevre için yine rasgele bir yön seçilir.
6. Her çevrede, seçilen yöne göre, KGY denklemi yazılır. KGY denklemi yazılırken, çevre yönüne göre bir gerilimin önce karşılaşılan polaritesi, o gerilimin imi olarak alınır.

7. Benzer terimler toplanarak, bilinmeyen akımlar için denklemler çözülür. Denklemlerin sayısı, en azından, bilinmeyen akımların sayısı kadar olmalıdır.

8. Her bir eleman üzerinden geçen akımlar bulunur. Eksi imli çıkan akımların yönleri, başlangıçta varsayılan akım yönünü tersi olarak düzeltilir.

Şekil:9.1(a)da görülen devrenin kol akımları ile çözümlenmesi, yukarıda sıralanan aşamalar ile gerçekleştirilmiştir.

1. Devre şeması, Şekil:9.1(b)de gösterildiği gibi, seçilen akım yönleri ve gerilim düşümü polaritelerinin belirtilebileceği kadar büyük olarak çizilir.

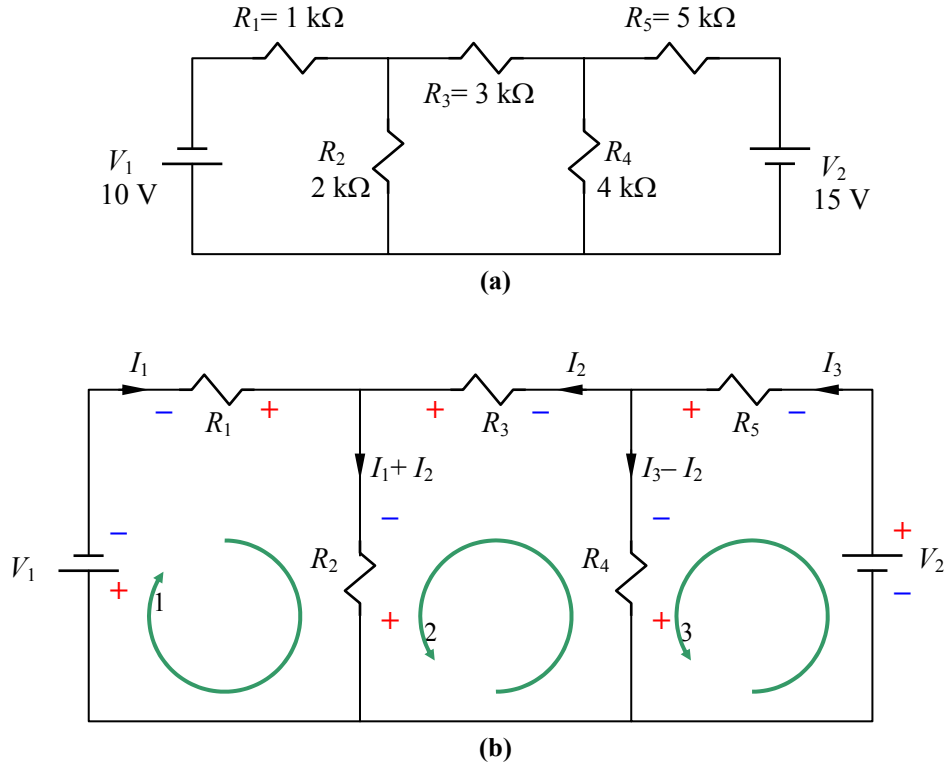
2. Görüldüğü gibi devrede üç pencere vardır ve buna göre devrede üç ayrı akım gösterilmelidir. Devredeki gözlerde, I_1 , I_2 ve I_3 akımlarının, Şekil:9.1(b)de gösterilen yönlerde geçtiği varsayılmıştır.

3. KAY uygulanarak, R_2 ve R_4 dirençleri üzerinden geçen akımlar,

$$I_{R_2} = I_1 + I_2$$

$$I_{R_4} = I_3 - I_2$$

olarak bulunur ve yönleri de kendilerini oluşturan akımlara göre belirlenir.



Şekil 9.1: İki kaynak ve beş dirençli bir gözlü devrede Kol Akımları yöntemi ile çözümleme.

4. $R_1, \dots R_5$ dirençleri üzerinde düşen gerilimlerin polariteleri, üzerlerinden geçen akımını varsayılan yönüne dayanılarak belirlenir. Bunun için akımın dirence girdiği uç eksi, çıktığı uç da artı olarak imlenmelidir. Şekil:9.1(b)de, bu kurala uygun olarak belirlenmiş gerilim düşümü polariteleri gösterilmiştir.

5. Pencere için, denklemlerin yazımında kullanılacak çevre yönleri gösterilmelidir. Çevre yönleri tümüyle rasgele seçilebilmekle birlikte, daha önceden belirlenmiş akım yönlerine uygun seçilmesi, çözümlemede kolaylık sağlayacaktır.

6. Her pencerede seçilen çevre yönünde KGY uygulanarak, çözümlemede kullanılacak denklemler elde edilebilir. Şekil:9.1(b)de görülen devre için yazılacak denklemler,

$$\text{Çevre 1 için} \Rightarrow V_1 - I_1 \cdot R_1 - (I_1 + I_2) \cdot R_2 = 0$$

$$\text{Çevre 2 için} \Rightarrow (I_3 - I_2) \cdot R_4 - I_2 \cdot R_3 - (I_1 + I_2) \cdot R_2 = 0$$

$$\text{Çevre 3 için} \Rightarrow -V_2 - I_3 \cdot R_5 - (I_3 - I_2) \cdot R_4 = 0$$

olarak yazılırlar. Bu denklemlerde sayısal değerler yerine koyulup gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra,

$$10 = 3I_1 + 2I_2 + 0I_3$$

$$0 = 2I_1 + 9I_2 + 4I_3$$

$$15 = 0I_1 + 4I_2 - 9I_3$$

denklemleri elde edilir. Üç bilinmeyen ve üç denklem elde edildikten sonra istenilen matematiksel yöntem ile $I_1, \dots I_5$ akımları bulunur.

9.2 GÖZ (ÇEVRE) AKIMLARI YÖNTEMİ

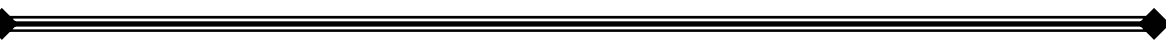
Göz akımları yöntemi ilk bakışta, kol akımları yöntemi ile çok benzerdir. Ancak bu yöntemde her kol için değil, her göz için bir akım belirlenir. Her gözde yalnızca KGY uygulanarak çözümleme yapılır.

Göz Akımları Yöntemi için izlenecek adımlar şöyledir:

1. Devre şeması, tüm bilgileri açıkça gösterebilecek kadar büyük biçimde çizilir.

2. Her pencerede rasgele yönde bir akım seçilir. Bu akımlar iki yada daha fazla sayıda pencere için ortak olabilirler. *Bağımsız* göz akımı sayısı, en az pencere sayısı kadar olmalıdır.

3. Her gözdeki dirençler üzerindeki gerilim düşümü polariteleri, göz akımının varsayılan yönüne uygun olarak belirlenir. Bir dirençten bir den çok sayıda göz akımı geçiyorsa, her bir akım için ayrı ayrı polarite belirlenmelidir. Belirlenen bu polariteler aynı yada ters yönlü olabilir.



4. Her gözde KGY uygulanır. Varsayılan akım yönüne uygun olarak gerilim düşümleri ve kaynak gerilimleri eşitlenir.

- Bir direnç üzerinden ters yönde geçen göz akımları varsa, direnç üzerindeki gerilim düşümü, direnç değeri ile akımların *farkının* çarpımına eşittir. Gerilim düşümünün polaritesi, büyük olan akımın yönüne göre belirlenir.
- Bir direnç üzerinden aynı yönde geçen göz akımları varsa, direnç üzerindeki gerilim düşümü, direnç değeri ile akımların *toplamının* çarpımına eşittir.
- Bir gözde kaynak bulunmuyor ve yalnızca gerilim düşümleri varsa, eşitliğin bir tarafı sıfır olur.

5. Eleman ve kaynakların sayısal değerleri eşitliklerde yerine koyularak çözümlenebilir. Çözümleme için göz sayısı kadar eşitlik olması gereklidir.

6. Çözümleme sonunda eksi imli çıkan akımlar varsa, bunların yönleri ters çevrilerek düzeltilir.

Bu kurallar çerçevesinde, Şekil:9.2(a)daki devrenin çözümlenmesi aşağıda verilmiştir.

Öncelikle iki göz akımı I_1 ve I_2 , Şekil:9.2(b)de gösterildiği gibi belirlenir. Bu akımların oluşturduğu gerilim düşümleri de belirlenir ve devre şeması gösterilir. Üzerinden iki ayrı akım geçen R_5 direnci için, her iki akımın oluşturduğu gerilim düşümleri de ayrı ayrı gösterilir. Bu veriler kullanılarak, her iki çevre için KGY eşitliği,

$$\text{Çevre1: } V_1 + V_2 - I_1 \cdot R_1 - I_1 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_5 + I_2 \cdot R_5 = 0$$

$$\text{Çevre2: } -V_2 - V_3 - I_2 \cdot R_3 - I_2 \cdot R_4 - I_2 \cdot R_5 + I_1 \cdot R_5 = 0$$

olarak yazılır. Bu eşitliklerde sayısal değerler yerine koyulup gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$\text{Çevre1: } 35 - 30I_1 + 5I_2 = 0$$

$$\text{Çevre2: } -30 + 5I_1 - 25I_2 = 0$$

olarak denklem takımı elde edilir. Bu iki denklem çözülerek çevre akımları,

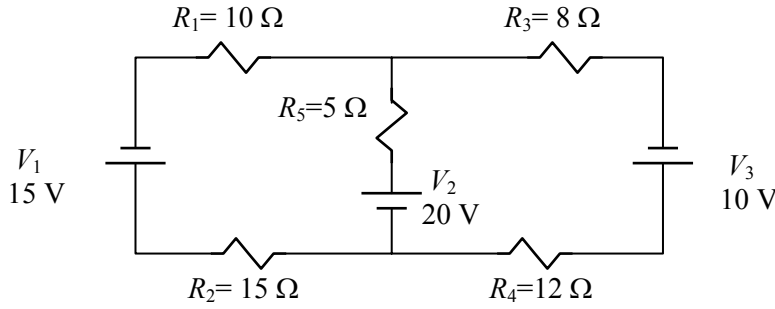
$$I_1 = 1 \text{ A}$$

$$I_2 = -1 \text{ A}$$

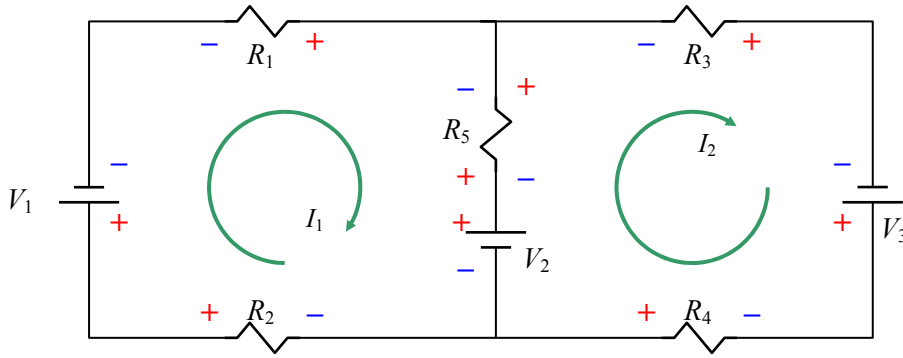
olarak bulunur. I_2 akımının eksi imli çıkması, başlangıçta seçilen yönün gerçek akım yönünü tersine olduğunu belirtmektedir. Buna göre V_2 kaynağından geçen akım değeri,

$$\begin{aligned}
 I_{V_2} &= I_1 - I_2 \\
 &= 1 \text{ A} \downarrow - (-1 \text{ A} \uparrow) \\
 &= 2 \text{ A} \downarrow
 \end{aligned}$$

olarak bulunur.



(a)



(b)

Şekil 9.2: Üç kaynak ve beş dirençli bir gözlü devrenin, Çevre Akımları yöntemi ile çözülmesi.

9.3 YILDIZ ÜÇGEN DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİ

Karmaşık ağdevrelerde devre elemanları arasında genellikle basit bir ardıl-koşut bağlantı ilişkisi bulunmayabildiği için, bu tür devrelerin çözümlenebilmeleri için özel teknikler gereklidir.

Bazı durumlarda karmaşık devreler, devredeki elemanların tümü yada bir bölümünün yerine, eşdeğer bir devre koyulması yoluyla, basit seri-paralel devrelere dönüştürülebilirler.

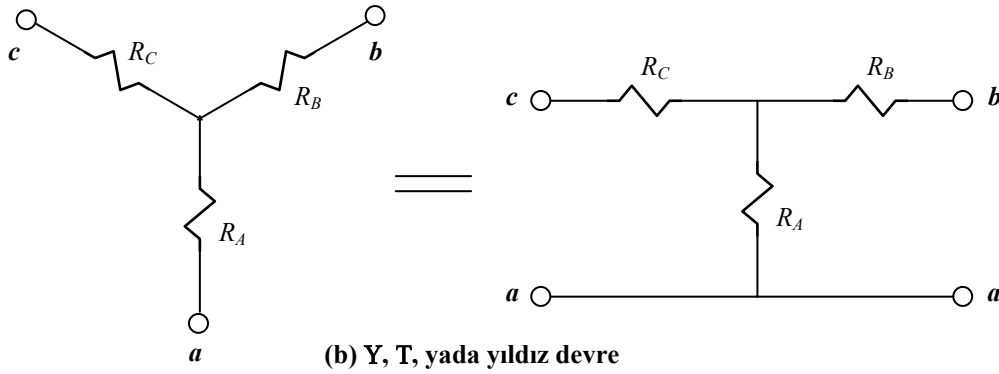
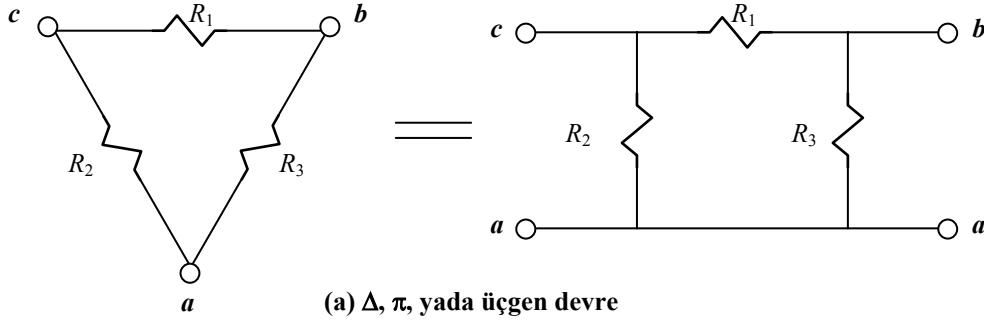
Şekil:9.3te, bu dönüşümler için temel olarak kullanılan Yıldız ve Üçgen devreler görülmektedir. Yıldız ve Üçgen devrelere sırasıyla T ve π devreler

BÖLÜM-9 DEVRE KURAMLARI

yada Delta (Δ) ve Y devreler de denilmektedir. Bu isimler devrelerin biçimlerine dayanılarak verildiğinden, anımsanmaları kolaydır.

Yıldız-Üçgen çözümlemesinin temelini, bu iki devrenin uygun eşitliklerin kullanılması ile, birbirine dönüştürülebilmesi oluşturmaktadır.

Yıldız ve üçgen devreler arasında dönüşüm yapabilmek için, aşağıdaki eşitlikler yardımı ile karşılıklı direnç değerleri hesaplanmalıdır.



Şekil 9.3: Delta-pi-üçgen devreler ile Y-T-yıldız devrelerin karşılaştırılması.

Üçgen-Yıldız ($\Delta \rightarrow Y$) dönüşümü için,

$$R_A = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \Omega$$

$$R_B = \frac{R_3 \cdot R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \Omega$$

$$R_C = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \Omega$$

eşitlikleri kullanılır. Burada R_A , R_B ve R_C yıldız bağlantı dirençleri, R_1 , R_2 ve R_3 de üçgen bağlantı dirençleridir.

Yıldız direnci eşitlikleri incelendiğinde, payın iki komşu direncin çarpımına, paydanın ise tüm dirençlerin toplamına eşit olduğu görülür. Bu nedenle, eşitlikleri ezberlemektense, yazım biçimini öğrenmek, çözümlenecek devrelere kolayca uyum sağlamak açısından daha yararlı olacaktır.

Yıldız-Üçgen ($Y \rightarrow \Delta$) dönüşümü için,

$$R_1 = \frac{R_A \cdot R_B + R_B \cdot R_C + R_C \cdot R_A}{R_A} \quad \Omega$$
$$R_2 = \frac{R_A \cdot R_B + R_B \cdot R_C + R_C \cdot R_A}{R_B} \quad \Omega$$
$$R_3 = \frac{R_A \cdot R_B + R_B \cdot R_C + R_C \cdot R_A}{R_C} \quad \Omega$$

eşitlikleri kullanılır. Burada, üçgen yıldız dönüşümü eşitliklerinde olduğu gibi, R_A , R_B ve R_C yıldız bağlantı dirençleri, R_1 , R_2 ve R_3 de üçgen bağlantı dirençleridir.

$Y \rightarrow \Delta$ dönüşüm eşitliklerinde, paydada yıldız bağlantıda karşıdaki direnç, payda ise yıldız dirençlerin ikili çarpımlarının toplamı bulunur.

Wheatstone köprüsü, yıldız üçgen dönüşümü ile çözülebilecek karmaşık devre örneklerinden birisidir.

Şekil:1.4(a)daki devrenin eşdeğer direncinin bulunarak, 12 V kaynak geriliminden geçtiği akımın belirlenmesi isteniyor olsun. Bu devrede olası dört ayrı dönüşüm vardır. Bunlar, üstteki *abc* üçgeni, alttaki *bcd* üçgeni, sağdaki *b-acd* yıldızı ve soldaki *c-abd* yıldızdır. Devrenin *abc* üçgeni yıldıza dönüştürülerek çözümlenmesi için gereken işlemler aşağıda verilmiştir:

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_5}$$
$$= \frac{1 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 0,25 \text{ k}\Omega$$
$$R_B = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$
$$= \frac{2 \text{ k}\Omega \cdot 5 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 1,25 \text{ k}\Omega$$
$$R_C = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$
$$= \frac{5 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 0,625 \text{ k}\Omega$$

BÖLÜM-9 DEVRE KURAMLARI

abc üçgeni yerine, yukarıda bulunan direnç değerleri ile oluşturulan ve Şekil:9.4(b)de görülen yıldız devre bağlanarak, Şekil:9.4(b)deki devre elde edilir. Burada görüldüğü gibi bir seri-paralel devre oluşmuştur ve bu devrenin eşdeğer direnci,

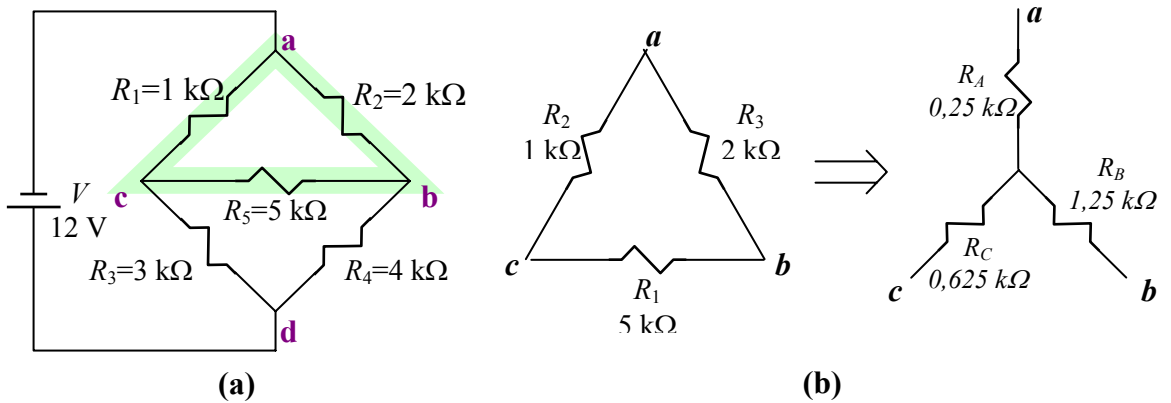
$$\begin{aligned} R_{eş} &= R_A + ((R_C + R_3) \parallel (R_B + R_4)) \\ &= 0,25 \text{ k}\Omega + \frac{3,625 \text{ k}\Omega \cdot 5,25 \text{ k}\Omega}{3,625 \text{ k}\Omega + 5,25 \text{ k}\Omega} \\ &= 2,39 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

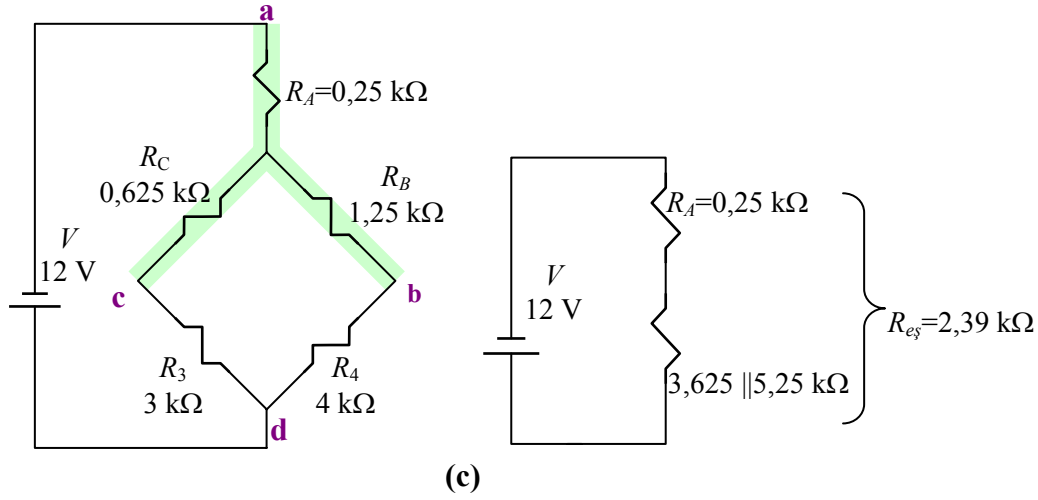
olarak bulunur. Buna göre devrenin kaynaktan çektiği akım,

$$\begin{aligned} I_T &= \frac{V}{R_{eş}} \\ &= \frac{12 \text{ V}}{2,39 \text{ k}\Omega} = 5,02 \text{ mA} \end{aligned}$$

olacaktır.

Köprü devresini ardıl-koşut bağlantıya indirgemek için, $T \rightarrow \pi$ dönüşümü de kullanılabilir. Ancak bu durumda dönüşümden sonra ortaya çıkacak çok sayıda koşut bağlantı nedeniyle, çözümü için yapılacak işlem sayısı artacaktır. Bu nedenle bir devrede hangi dönüşümün devrenin hangi noktasında gerçekleştirileceğine karar verirken, dönüştürme sonrası yapılması gereken işlemlerin az olacağı bir seçim yapılmalıdır. Bundan başka, tüm direnç değerleri aynı olan bir dönüşümün seçilmesi mümkün olursa, eşdeğer devrenin tüm kolları için aynı işlemlerin yapılması gerekeceği için, çözümlemenin kolay olması sağlanabilir.





Şekil 9.4: Wheatstone köprü devresinde π -T dönüşümü ile çözümleme aşamaları.

9.4 BİNDİRME KURAMI

Birden çok sayıda gerilim kaynağı içeren devrelerde elemanlar arasında genellikle basit ardıl-koşut ilişki bulunmaz. Böyle durumlarda çözümleme için kullanılan yöntemlerden birisi de, her bir çevre için bir denklem yazıp, bu denklemleri birlikte çözerek bilinmeyen akımları bulmaktır.

Bindirme (süperpozisyon) kuramının temel ilkesi, devredeki her hangi bir eleman üzerinden geçen akımın, devredeki her bir kaynaktan ayrı ayrı çekilen akımların üst üste bindirilmesi ile bulunabileceği biçiminde ifade edilir. Biri dışında tüm kaynakların devreden çıkarılması nedeniyle, devre ardıl-koşut bir bağlantıya dönüşeceği için, devre kolayca çözümlenerek istenilen akım değeri bulunur. Herhangi bir kaynak için, her bir kaynak tek başına devredeyken ayrı ayrı bulunan akım yada gerilim değerlerinin cebirsel toplamı, bütün kaynaklar devrede iken oluşacak değere eşittir

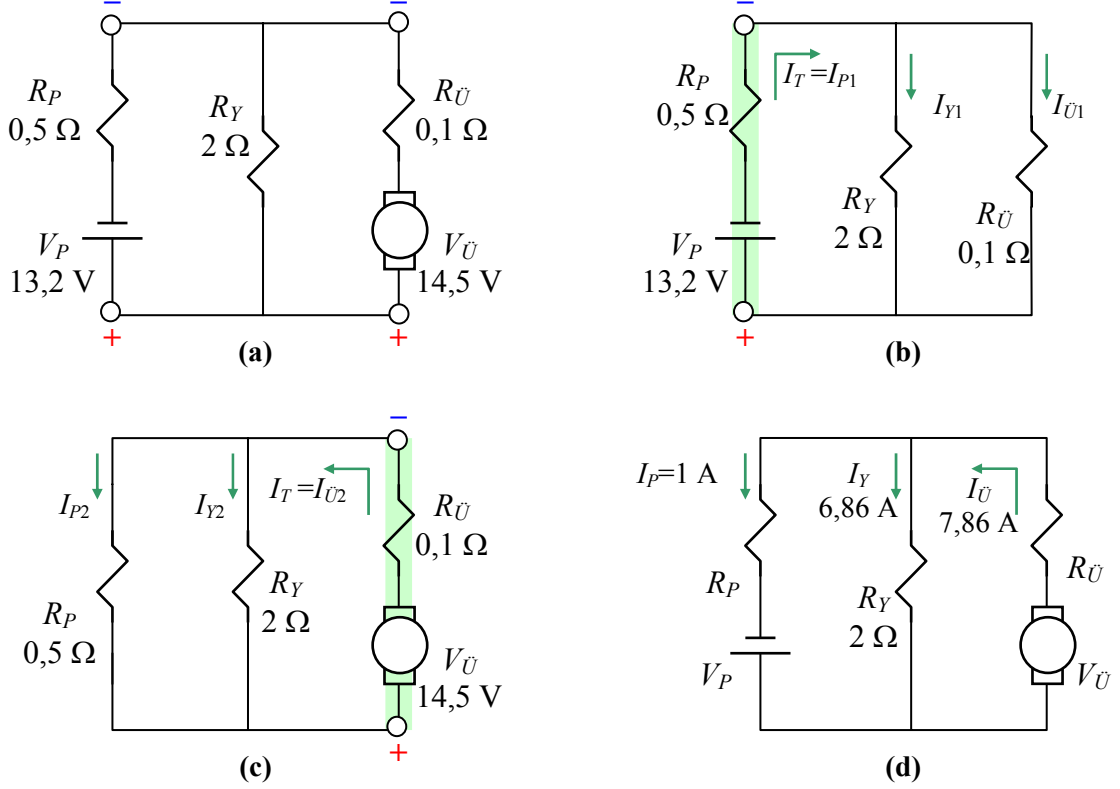
Bindirme kuramı,

çok kaynaklı devrelerde bir eleman uçlarında düşen gerilim yada üzerinden geçen akım, devredeki kaynakların bir anda biri bağliken, o eleman üzerinde düşürdüğü gerilimlerin yada üzerinden geçirdiği akımların cebirsel toplamına eşittir.

olarak tanımlıdır.

Bindirme kuramı uygulanırken biri dışında tüm kaynakların devreden ayrılması gerekir. Bu ayırma işlemi, *kaynak öldürme* olarak adlandırılır ve kaynağın devreden çıkarılıp, *yerinin* kısa devre edilmesi biçiminde gerçekleştirilir. Kaynak öldürme sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, kaynak içdirençi sıfır değil ise, içdirençin kısa devre edilmeyip kaynağın yerine bağlanması gerektiğidir.

Şekil:9.5(a)da görülen ve R_Y yük direncinin bir pil ve bir üreteç ile ortak beslendiği devredeki r_P , pilin içdirencini, r_U de üretecin içdirencini göstermektedir.



Şekil 9.5: Bindirme kuramı ile pil ve üreteçli bir devrenin çözümlenme aşamaları. Özgün devre (a), üreteç öldürülmüş durumda iken devre akımları (b), pil öldürülmüş durumda iken devre akımları (c) ve gerçek devre akımları (d) görülmektedir.

Bu devrede pil ve üreteçten geçen akımlar ile yük gerilimi ve yük akımını bulmak için Süperpozisyon Kuramı kullanılarak yapılacak çözümleme aşağıdaki gibidir.

Öncelikle üreteç gerilimi sıfırlanarak bu kaynak öldürülmüştür. Bu durumda başlangıçta gözlü bir devre olan sistem artık, ardıl koşut ilişkileri ile çözümlenebilir duruma gelmiştir. Devrede üretecin öldürülmesi sonucunda, Şekil:9.5(b)deki devre oluşur. Bu şemadan yararlanarak,

$$\begin{aligned}
 R_{eş} &= r_P + \frac{R_Y \cdot r_U}{R_Y + r_U} \\
 &= 0,5 \Omega + \frac{2 \Omega \cdot 0,1 \Omega}{2 \Omega + 0,1 \Omega} = 0,595 \Omega
 \end{aligned}$$

olarak devre eşdeğer direnci bulunur. Bu devrede pilden çekilen (toplam) akım,

$$I_T = I_{P1} = \frac{V_P}{R_{eş}} = \frac{13,2 \text{ V}}{0,595 \Omega} = 22,2 \text{ A}$$

olarak bulunur. Yük akımını yalnızca pil gerilimine bağlı olan bileşeni ise,

$$I_{Y1} = I_{P1} \cdot \frac{r_{\dot{U}}}{r_{\dot{U}} + R_Y} = 22,2 \text{ A} \cdot \frac{0,1 \Omega}{0,1 \Omega + 2 \Omega} = 1,057 \text{ A}$$

değerinde olacaktır. Üreteç üzerinden pil nedeniyle geçen akım da,

$$I_{\dot{U}1} = I_{P1} \cdot \frac{R_Y}{R_Y + r_{\dot{U}}} = 22,2 \text{ A} \cdot \frac{2 \Omega}{2 \Omega + 0,1 \Omega} = 21,143 \text{ A}$$

olacaktır.

Benzer biçimde bu kez pil iç direnci devrede bırakılıp pil gerilimi sıfırlanarak elde edilen Şekil:9.5(c)deki devrede eşdeğer direnç değeri,

$$\begin{aligned} R_{eş} &= r_{\dot{U}} + \frac{R_Y \cdot r_P}{R_Y + r_P} \\ &= 0,1 \Omega + \frac{2 \Omega \cdot 0,5 \Omega}{2 \Omega + 0,5 \Omega} = 0,5 \Omega \end{aligned}$$

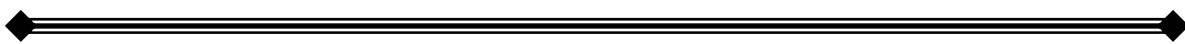
olacaktır. Buna göre üreteçten geçen (toplam) akım da,

$$\begin{aligned} I_T = I_{\dot{U}2} &= \frac{V_{\dot{U}}}{R_{eş}} \\ &= \frac{14,5 \text{ V}}{0,5 \Omega} = 29 \text{ A} \end{aligned}$$

olarak bulunur. Yük direncinden ve pilden üreteç nedeniyle geçen akımlar da,

$$\begin{aligned} I_{Y2} &= I_T \cdot \frac{r_P}{r_P + R_Y} \\ &= 29 \text{ A} \cdot \frac{0,5 \Omega}{0,5 \Omega + 2 \Omega} = 5,8 \text{ A} \end{aligned}$$

ve



BÖLÜM-9 DEVRE KURAMLARI

$$I_{P_2} = 29 \text{ A} - 5,8 \text{ A} = 23,2 \text{ A}$$

biçiminde hesaplanır. Pil üzerinden geçen gerçek akım değeri, I_{P_1} ve I_{P_2} değerlerinin cebirsel toplamıdır ve,

$$\begin{aligned} I_P &= I_{P_1} + I_{P_2} \\ &= 22,2 \text{ A} \uparrow + 23,2 \text{ A} \downarrow \\ &= 1 \text{ A} \downarrow \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Görüldüğü gibi I_{P_2} değeri I_{P_1} değerinden büyük ve iki akımın yönleri ters olduğu için, toplam akım I_{P_2} yönünde ve değeri de iki akım değerinin farkı olarak bulunmuştur. Benzer biçimde üreteç ve yük üzerinden geçen gerçek akım değerleri de,

$$\begin{aligned} I_{\bar{U}} &= I_{\bar{U}_1} + I_{\bar{U}_2} \\ &= 21,143 \text{ A} \downarrow + 29 \text{ A} \uparrow \\ &= 7,86 \text{ A} \uparrow \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} I_Y &= I_{Y_1} + I_{Y_2} \\ &= 1,057 \text{ A} \downarrow + 5,8 \text{ A} \downarrow \\ &= 6,86 \text{ A} \downarrow \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Bulunan bu değerler ile yük gerilimini hesaplamak olasıdır. Bunun için ya I_{Y_1} ve I_{Y_2} ile oluşacak gerilim düşümleri polaritelerine dikkat edilerek toplanır yada gerçek yük akımı I_Y kullanılarak,

$$\begin{aligned} V_Y &= (I_{Y_1} + I_{Y_2}) \cdot R_Y \\ &= (6,86 \text{ A} \downarrow) \cdot 2 \Omega \\ &= 13,7 \text{ V} \end{aligned}$$

biçiminde yük gerilimi hesaplanır.

Süperpozisyon yöntemi kullanılarak yapılan çözümler, —özellikle yukarıda çözümlenen daha karmaşık devreler söz konusu olduğunda— oldukça uzun sürebilirler. Ancak işlemlerin denklemsiz ve basit ardıl-koşut ilişkiler ile çözülebilmesi bir kolaylık sayılabilir. Çözümleme için bindirme kuramının seçilmesi, devrenin özelliklerine bağlı olarak yapılmalıdır.

Bindirme kuramı uygulamasında dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da, kuramın yalnızca *doğrusal* ve *çift yönel* elemanlar içeren devreler için geçerli

olduğudur. Doğrusal eleman, üzerinden geçen akım ile uçlarında düşen gerilim arasında doğrusal ilişki bir orantı bulunan bir elemandır. Bir elemanın çiftyönel olması içinse, elektriksel tepkisinin polariteye bağımlı olmaması, yani her iki yönde de aynı biçimde akım geçirmesi gereklidir. Sözgelimi bir bataryanın ucuna diyot takılmış olması, bindirme kuramının uygulanmasını engeller. Çünkü diyot ne doğrusal, ne de çiftyönel değildir. Ayrıca güç ile akım ve gerilim arasındaki ilişki doğrusal olmadığı için, bir dirençte tüketilen güç, kaynaklar tarafından ayrı ayrı sağlanan güçlerin toplamı olarak hesaplanamaz.

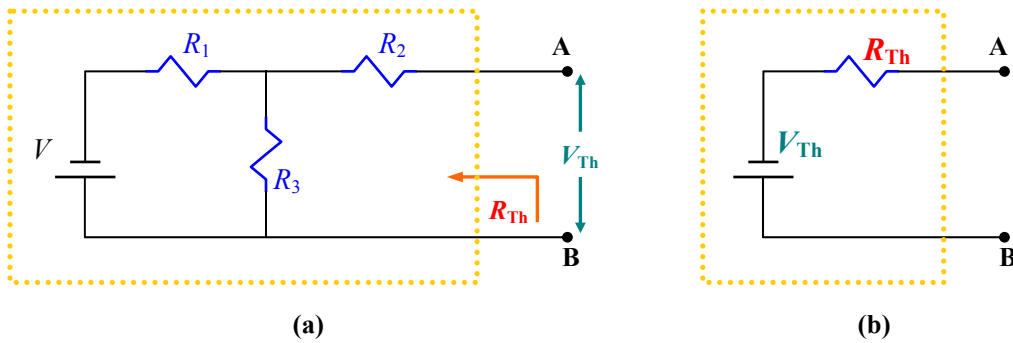
9.4 THÉVENİN KURAMI

Fransız Mühendis M. L. Thévenin tarafından geliştirilen ve onun adıyla anılan Thévenin Kuramı, kaynaklar ve doğrusal elemanlar içeren karmaşık bir devreyi, tek bir kaynak ve buna seri bir dirençten oluşan basit bir eşdeğer devreye dönüştürmek için kullanılan çok güçlü bir yöntemdir. Thévenin eşdeğer devre, özellikle tek bir elemanın değişik değerleri için tekrarlanan hesaplamalar yapılacağı durumlarda, devrenin bu elemana bağlı olan diğer bölümü, değişmeyen bir eşdeğer devre ile temsil edildiği için büyük kolaylıklar sağlar.

Thévenin Kuramı,

sabit dirençler ve gerilim kaynakları içeren iki uçlu doğrusal bir devre, tek bir gerilim kaynağı (V_{Th}) ve buna seri bağlı bir direnç (R_{Th}) ile gösterilebilir.

şeklinde ifade edilir. Bu tanımlamada söz edilen V_{Th} gerilimi, özgün devrede belirtilen iki çözümleme noktası arasındaki açık devre gerilimidir. V_{Th} direncinin değeri ise, çözümleme noktaları arasından, kaynakların yerine içdirençleri bağlanmış (kaynaklar öldürülmüş) durumda iken ölçülen eşdeğer dirence eşittir.



Şekil 9.6: İki uçlu doğrusal devrenin (a) Thévenin eşdeğeri (b).

Şekil:9.6(a)daki devrede Thévenin gerilimi (V_{Th}) deneysel olarak, çözümleme yapılacak uçlara (A ve B) bağlanan yüksek içdirençli bir gerilimölçer ile okunarak belirlenebilir. Eşdeğer direncin A-B uçlarına bağlanan bir dirençölçer

ile belirlenmesi içinse, devredeki tüm kaynakların çıkarılıp, yerleri kısa devre edilerek ölçme yapılması gereklidir. Böylelikle belirlenen Şekil:9.6(b)deki Thévenin eşdeğer devre, A-B uçları temel alındığında, başlangıçtaki devre ile tümüyle aynı elektriksel davranışları sergileyecektir.

V_{Th} ve R_{Th} değerleri, hesaplama yoluyla da bulunabilir. Örneğin Şekil:9.6(a)daki devrede $V=20$ V, $R_1=R_2=R_3=40$ k Ω olsun. R_2 direnci üzerinden bir akım geçmediği için, A-B uçları arasındaki açık devre gerilimi, R_3 direnci uçlarındaki gerilime eşit olur. Buna göre Thévenin gerilimi,

$$\begin{aligned} V_{Th} &= V_{R_3} = V \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \\ &= 20 \text{ V} \cdot \frac{40 \text{ k}\Omega}{40 \text{ k}\Omega + 40 \text{ k}\Omega} \\ &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

olarak hesaplanabilir. A ve B uçları arasından görülen R_{Th} direncinin değerini elde etmek için de kaynak uçları kısa devre edilerek oluşan devrede,

$$\begin{aligned} R_{Th} &= R_1 \parallel R_3 + R_2 \\ &= \frac{40 \text{ k}\Omega}{2} + 40 \text{ k}\Omega \\ &= 60 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

hesaplaması ile Thévenin eşdeğer direnci bulunur.

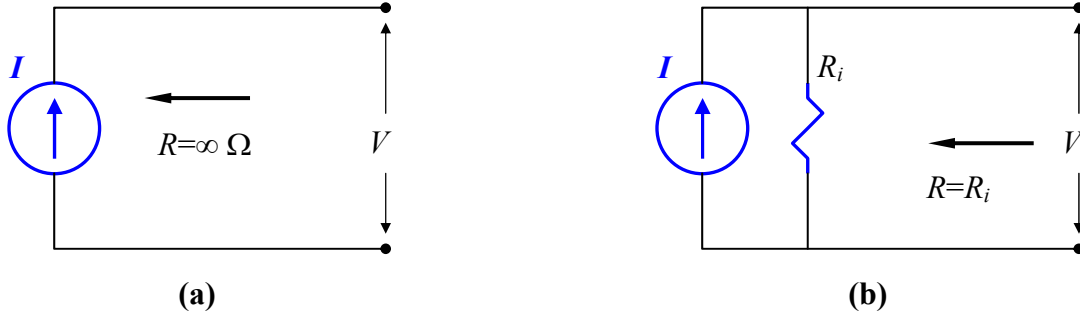
Bazı karmaşık devrelerde açık devre Thévenin geriliminin belirlenmesi için kol-göz akımları yada başka bir çözümleme yöntemi kullanılması gerekebilir. Başka bir deyişle, Thévenin eşdeğer devrenin elde edilmesi için bir elemanın çıkarılması, geriye kalan devrenin ardıl-koşut olmasının garantisi değildir☺.

9.5 AKIM KAYNAKLARI

Bazı elektronik devrelerde, yükün değişmesine karşın sabit akım veren gerilim kaynakları gereklidir. Sözelimi tersanelerdeki kaynak makineleri, pil doldurma devreleri ve yarıiletken üretiminde kullanılan fırınlar, akım kaynakları ile çalıştırılırlar. Şekil:9.7(a)da ideal bir akım kaynağının elektriksel simgesi gösterilmiştir. Gerilim kaynaklarının mükemmel olmadığını bildiğimize göre, akım kaynaklarında da ufak hatalar olabileceğini kabul edebiliriz. Gerçek bir akım kaynağının küçük☺ hatası, sağladığı akımın yüke göre değişmesidir. Bu durum düşüncel akım kaynağına Şekil:9.7(b)de görüldüğü gibi koşut bir içdirenç eklenmesiyle gösterilebilir.

Gerilim kaynaklarında olduğunun tersine akım kaynaklarında içdirençin büyük olması istenir. Çünkü içdirenç büyük olan kaynaklar daha sabit akım sağlayabilirler. Esasen bir gerilim kaynağına seri olarak bağlanan büyük bir

direnç yardımıyla basit bir akım kaynağı elde edilebilir. Eklenen seri direnç, yük direnci değişiminin etkisini azaltacaktır. Tabii ki böylelikle elde edilen akım kaynağının sağlayabileceği akım çok az olacaktır.



Şekil 9.7: Düşüncel akım kaynağı (a) ve yitimleri için eklenen içdirenç (b).

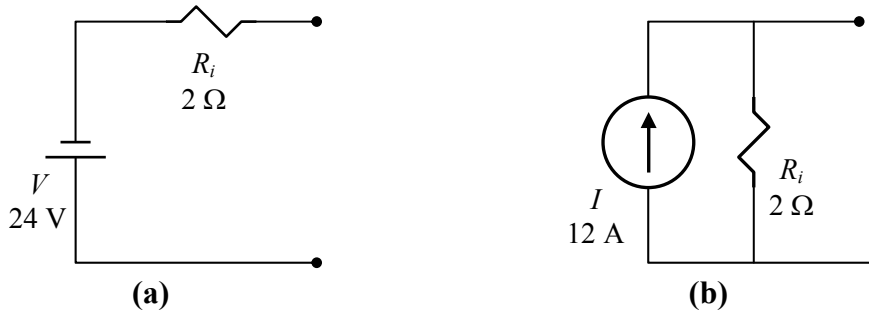
Kaynağın akım ve içdirenç değerleri, kısa devre akımı ve açık devre gerilimi olarak belirlenir. Kaynak uçları kısa devre edildiğinde üretilen bütün akım kısa devre üzerinden geçer.

$$I = I_{kd}$$

Uçlar açık devre iken tüm akım içdirenç üzerinden geçer. Buna göre içdirenç değeri,

$$R_i = \frac{V_{ad}}{I_{kd}}$$

eşitliği ile bulunabilir.



Şekil 9.8: Akım ve gerilim kaynakları birbirine dönüştürülebilir.

Akım kaynakları ile gerilim kaynakları arasında dönüşüm yapılabilir ve birisi diğerinin terimleri cinsinden gösterilebilir. Şekil:9.8deki gerilim ve akım kaynakları, tüm yük akımı değerleri için terminal gerilimleri eşit olduğu için eşdeğerdirler.

Kaynak dönüşümü için yapılan hesaplamada GK→AK dönüşümü için,

$$I = \frac{V_{ad}}{R_i}$$
$$R_i = R_i$$

AK→GK dönüşümü için de,

$$V = I_{kd} \cdot R_i$$
$$R_i = R_i$$

eşitlikleri kullanılır. Kaynak dönüşümü yapılırken akım yönleri ve gerilim polaritelerine dikkat edilmelidir. Akım kaynağındaki okun yönü, gerilim kaynağındaki eksi ucun yönü ile aynı olmalıdır.

Akım kaynaklarının koşut bağlanması durumunda, seri bağlı gerilim kaynaklarında olduğu gibi bir birleştirme söz konusu olabilir. Paralel bağlı akım kaynaklarının eşdeğerini bulmak için, Millman Kuramı kullanılır. Millman Kuramına göre, iki yada daha çok sayıdaki paralel bağlı akım kaynağı, tek bir akım kaynağı olarak gösterilebilir. Bunun için akım kaynaklarının değerleri cebirsel olarak toplanır ve içdirençleri de birbirine koşut bağlanarak eşdeğer kaynağın içdirenç olarak gösterilir.

Millman Kuramı akım kaynakları için ortaya konmuş olsa da, paralel bağlı gerilim kaynakları ile hesaplamalar yapılırken, bu gerilim kaynakları akım kaynağına dönüştürülerek MK uygulanabilir.

Kaynaklar ile işlem yaparken, seri bağlı akım kaynaklarını gerilim kaynaklarına, paralel bağlı gerilim kaynaklarını da akım kaynaklarına dönüştürmek, büyük kolaylıklar sağlar.

9.6 NORTON KURAMI

Bell Laboratuvarlarında görevli bilim insanı E. L. Norton anısına adlandırılan Norton Kuramı, Thévenin kuramının akım kaynağı temel alınarak yapılandırılması ile oluşan bir kuramdır ve, özellikle koşut devreler için kolay çözümler sağlayabilmektedir.

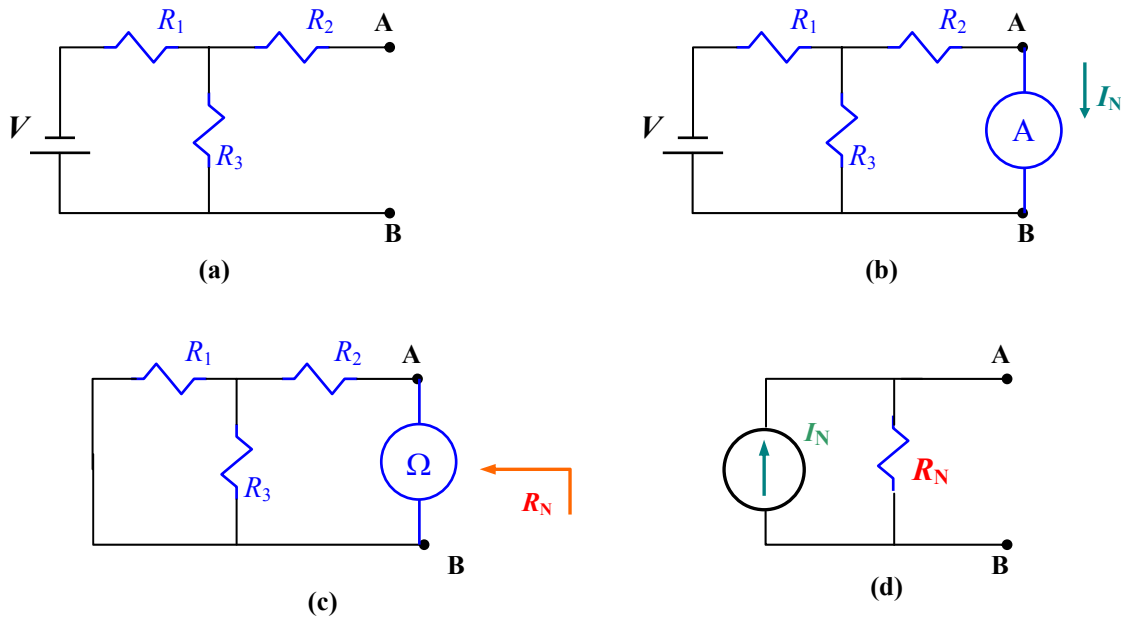
Norton kuramı,

sabit direnç ve gerilim kaynaklarından oluşan doğrusal ve iki uçlu bütün devreler, bir akım kaynağı ve buna koşut bağlı bir içdirenç ile gösterilebilir

şeklinde ifade edilmektedir.

Eşdeğer devredeki akım kaynağının değeri (I_N), hesaplama yapılan uçlar kısa devre edildiğinde buradan geçen akıma eşittir. Paralel direncin (R_N) değeri ise Thévenin eşdeğer devrede olduğu gibi, referans uçlardan görülen eşdeğer dirençtir.

Şekil:9.9da, iki uçlu doğrusal bir devrenin Norton eşdeğer bileşenlerini belirlemek için yapılan ölçmeler gösterilmiştir. Burada elde edilen değerler hesaplama yoluyla da bulunabilir.



Şekil 9.9: İki uçlu doğrusal devrenin Norton eşdeğeri için yapılan ölçmeler ve eşdeğer devre.

Şekil:9.10(a)daki devrede öncelikle yük direnci devreden ayrılmış ve yükün çıkarıldığı uçların kısa devre edildiği varsayılarak (b) buradan geçecek akım,

$$I_T = \frac{V}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

$$= \frac{13,2 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega \parallel 6 \text{ k}\Omega}$$

$$= 3 \text{ mA}$$

$$I_N = I_{R_2} = I_T \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

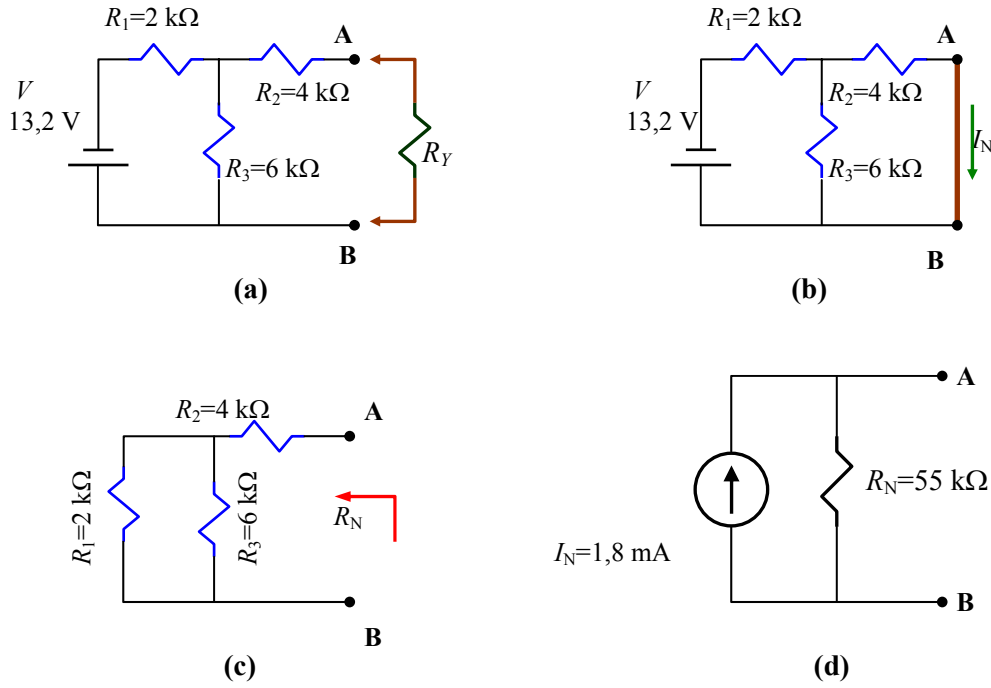
$$= 3 \text{ mA} \cdot \frac{6 \text{ k}\Omega}{4 \text{ k}\Omega + 6 \text{ k}\Omega}$$

$$= 1,8 \text{ mA}$$

olarak bulunmuştur. Daha sonra kaynak sıfırlanarak (c), Norton eşdeğer direnci,

$$\begin{aligned} R_N &= R_2 + R_1 \parallel R_3 \\ &= 4 \text{ k}\Omega \cdot \frac{2 \text{ k}\Omega \cdot 6 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega + 6 \text{ k}\Omega} \\ &= 5,5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

olarak bulunur. Bulunan bu değerlere göre özgün devrenin Norton eşdeğer devresi (d) çizilmiştir. Akım kaynağının yönü belirtilirken, başlangıçtaki gerilim kaynağının yönü dikkate alınmıştır.



Şekil 9.10: Norton eşdeğer bileşenlerinin hesaplanma aşamaları.

Thévenin kuramında olduğu gibi Norton kuramında da, herhangi bir yük için akım ve gerilim değeri kolayca bulunabilir çünkü hesaplamaların hiçbir aşamasında yük direncinin değeri kullanılmamaktadır. Bu da hesapların ve eşdeğer devrenin yük direncinden bağımsız olduğunu göstermektedir.

9.7 N → T VE T → N DÖNÜŞÜMLERİ

Millman kuramı uyarınca akım ve gerilim kaynakları arasında geçiş yapılabildiğine göre, bir devrenin Thévenin eşdeğeri ile Norton eşdeğeri arasında da dönüşüm yapılabilir. Bazı durumlarda bir devrenin Thévenin eşdeğeri bulunmuşken Norton eşdeğeri yada tersi gerekebilir.

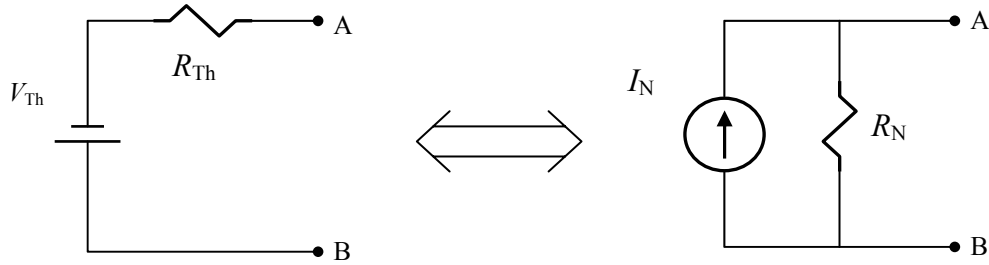
Norton ve Thévenin eşdeğer devreler arasındaki dönüşümler,

$$V_{Th} = I_N \cdot R_N$$

$$I_N = \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$

$$R_N = R_{Th}$$

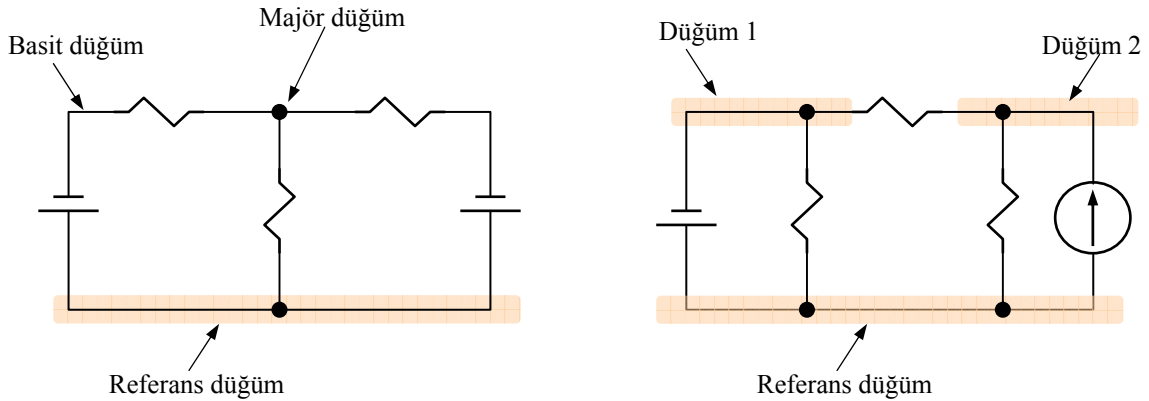
eşitlikleri kullanılarak kolayca gerçekleştirilebilir. Bu eşitliklerde, Şekil:9.11de gösterilen standart terimler kullanılmaktadır ve tüm eşitlikler, dönüşümü yapılacak devre terimleri cinsinden dönüştürülecek devre terimlerini elde etme amacına yöneliktir.



Şekil 9.11: Thévenin ve Norton eşdeğer devreler birbirine dönüştürülebilir.

9.8 DÜĞÜM ÇÖZÜMLEMESİ

Devre çözümü yöntemlerinden kol akımları yönteminde KGY ve KAY, göz akımları yönteminde ise yalnızca KGY kullanılmaktadır. Bir diğer çözümleme tekniği olan *Düğüm Çözümlemesi* yönteminde ise yalnızca KAY kullanılır.

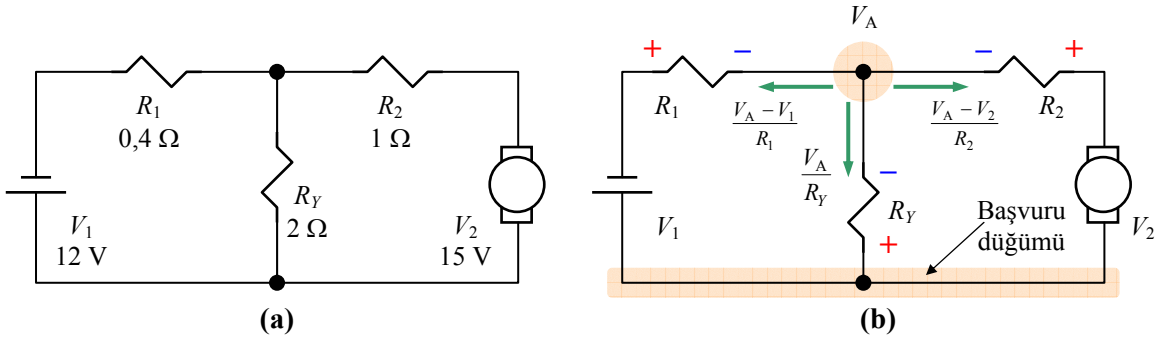


Şekil 9.12: Basit ve majör düğümler. Başvuru düğümü genellikle, en kalabalık olandır.

Düğüm çözümü yönteminde, devredeki tüm düğümler (kavşaklar) tanımlanır ve birisi başvuru düğümü olarak belirlenir. Diğer tüm düğümlerin, *düğüm gerilimi* olarak adlandırılan ve başvuru düğümüne göre negatif bir değer aldıkları kabul edilir. Her düğüme V_1, V_A, V_x gibi isimler verilir.

Düğüm, en basit anlatımıyla, iki yada daha çok sayıda elemanın birleşme noktası olarak tanımlanabilir. Çözümlemede önemli olan düğümler, ikiden fazla sayıda elemanın birleşim noktası olan ve kavşak olarak da adlandırılan *majör* düğümlerdir. Devredeki her düğüm, başvuru düğümü olarak seçilebilmekle birlikte, genellikle en çok eleman için ortak olan düğümün seçilmesi yoluna gidilir (Şekil:9.12). Böylelikle çözümleme sırasında yapılması gereken matematiksel işlem sayısı azaltılabilir.

Düğüm çözümlemesinde her düğüme giren ve çıkan akımlar, düğüm gerilimleri ve elemanların dirençleri cinsinden yazılırlar. Bundan sonra, düğüme giren akımlar ile çıkan akımlar eşitlenerek çözümleme denklem(ler)i oluşturulur. Devrede iki düğüm varsa, çözümleme için yalnızca bir denklem yeterli olur. İki düğümden sonraki her düğüm için, ek bir denklem daha yazılması gerekir. Denklemlerin çözülmesi ile, düğüm gerilimleri bulunur ve böylece tüm elemanların akımları belirlenir.



Şekil 9.13: Düğüm çözümlemesinde KAY uygulanır. Akımlar, düğüm terimleri ile yazılır.

Şekil:9.13(a)da görülen devrede düğüm çözümü için yapılan düzenleme Şekil:9.13(b)de gösterilmiştir. Devrenin alt düğümü, hem kaynakları hem de yük direncini kapsadığı için referans düğüm olarak seçilmiştir. Diğer düğümün gerilimi V_A , başvuru düğümüne göre negatif değerli sayılarak yük akımının A düğümünden çıktığı kabul edilmiştir. Benzer biçimde V_1 ve V_2 gerilimlerinin de V_A geriliminden küçük oldukları varsayılarak, I_{R1} ve I_{R2} akımlarının da A düğümünden çıktıkları düşünülmüştür. Bu varsayımlardan en az bir tanesi yanlıştır ancak çözümleme sonunda bulunacak değerlerin imleri, yanlış seçilen akım yönünü belirtecektir. Bu nedenle, çözümleme için standart yönler kullanarak matematiksel karmaşayı önlemek akıllıca bir davranıştır.

A düğümü geriliminin V_1 ve V_2 den büyük olduğu kabul edilirse,

BÖLÜM-9 DEVRE KURAMLARI

$$I_{R_1} = \frac{V_A - V_1}{R_1}$$

$$I_{R_2} = \frac{V_A - V_2}{R_2}$$

olarak kaynak akımları bulunur. Yük akımı değeri de,

$$I_Y = \frac{V_A}{R_Y}$$

biçiminde hesaplanabilir. V_A gerilimi, başvuru düğümüne göre negatif olduğuna göre yük akımının yönü aşağıya doğrudur.

Düğümüne giren akım olmadığına göre KAY denklemi,

$$I_{R_1} - I_{R_2} - I_Y = 0$$

olarak yazılır. Bu denklemde akım terimleri yerine koyularak,

$$\frac{V_A - V_1}{R_1} - \frac{V_A - V_2}{R_2} - \frac{V_A}{R_Y} = 0$$

$$\frac{V_A - 12}{0,4} - \frac{V_A - 15}{1} - \frac{V_A}{2} = 0$$

$$5V_A - 60 + 2V_A - 30 + V_A = 0$$

$$V_A = 11,25 \text{ V}$$

işlemleri ile A düğüm gerilimi bulunur. V_A değerinin artı imli çıkması, başlangıçta yapılan A noktasının referans düğümüne göre negatif olduğu varsayımının doğruluğunu gösterir. Yani V_A gerilimi negatiftir.

Yük akımının değeri,

$$\begin{aligned} I_Y &= \frac{V_Y}{R_Y} = \frac{V_A}{R_Y} \\ &= \frac{11,25 \text{ V}}{2 \Omega} = 5,625 \text{ A} \end{aligned}$$

olarak belirlenir. Pilden geçen (pile eksi uçtan giren) akımın değeri,

BÖLÜM-9 DEVRE KURAMLARI

$$\begin{aligned} I_{R_1} = I_P &= \frac{V_A - V_1}{R_1} \\ &= \frac{11,25 \text{ V} - 12 \text{ V}}{0,4 \Omega} = -1,875 \text{ A} \end{aligned}$$

olarak bulunur. Akım değerinin eksi imli çıkması, seçilen yönün ters olduğunu göstermektedir. Yani akım gerçekte, pilin esi ucundan çıkmaktadır. R_2 üzerinden geçen akım da ters yönlüdür. Buradan geçen akım, A düğümüne doğrudur.

Görüldüğü gibi, bu devrede kol yada göz akımları yöntemleri ile iki denklemle çözümlene yapılması gerekirken, düğüm gerilimleri yöntemi kullanılarak bir bilinmeyenli tek denklem ile çözümlene gerçekleştirilebilmiştir. Düğüm çözümlenmesi, süperpozisyon yöntemine göre de çok kısa bir işlem gerektirmektedir.

BÖLÜM 10

SİĞA VE SİĞAÇLAR

TABLOLAMA SÜRESİ

Herman Hollerith, Alman göçmeni bir ailenin oğlu olarak New York Buffalo'da doğdu. 1879 yılında Columbia Üniversitesindeki çalışmalarını bitirdikten sonra Washington nüfus sayım bürosunda çalışmaya başladı. 1880 sayımındaki yaklaşık 13 milyon kişinin elle tablolama için yüzlerce memurun yedi buçuk yıl çalışması gerekmişti.

Bu işin bir tablolama sistemi ile halledilebileceğine inanan Hollerith' in on yıl çalışarak 1890 yılında ürettiği çözüm, 62,5 milyona yükselmiş olan nüfusun tablolama işleminin, önceki sayımdakinin üçte biri sürede tamamlanmasını sağladı. Hollerith çizelgeleyici sisteminde cinsiyet, yaş, evlilik durumu, doğum yeri, çocuk sayısı gibi bilgiler, bir dolarlık banknot büyüklüğündeki delikli kartlar üzerinde saklanıyordu.

Hollerith, çizelgeleme keşiflerini hükümete satmak için bir çizelgeleme makinası şirketi kurdu. Hatta bu aygıtlardan bir tanesi, çağdaş bir sayım yapmanın zamanının geldiğini düşünen Çarlık Rusyası tarafından kullanıldı.

Yıllar boyunca şirket diğer şirketlerle birleşerek bir dizi ad değişikliği geçirdikten sonra son olarak Hollerith ölmeden beş yıl önce, 1924 yılında, International Business Machines Corporation adını aldı.

10.1 GİRİŞ

Endüktans gibi dirençten değişik olan bir diğer devre özelliği de sığadır. Bilindiği gibi endüktans ile direnç arasındaki temel ayrım, direnç güç tüketirken, endüktansın güç depolayabilmesidir. Sığaçlar da kullanılan diğer güç depolama aygıtıdır. Hatta uygulamada bobinlerden daha yaygın olarak bu amaçla kullanılmaktadırlar.

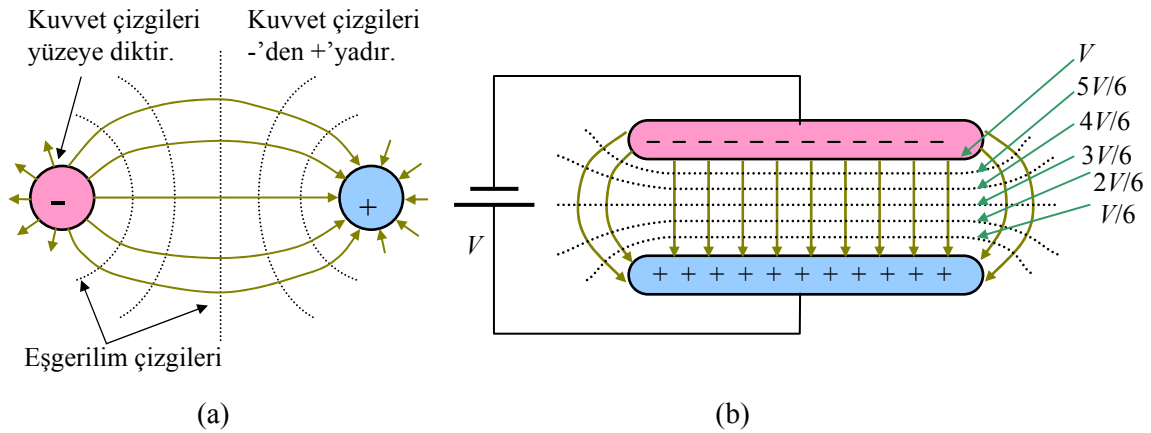
Sığaç, bir yalıtkan ile ayrılmış iki iletkenin oluşan bir elektriksel aygıttır. Sığaç uçlarına bir gerilim uygulandığında, iki iletken plaka arasında bir

elektrik alanı oluşur ve bu alanda yük depolanır. Bu depolama işlemine şarj-dolma denir ve depolanmış erk, deşarj-boşalma denilen süreçle geri alınabilir. Bunun için sığaç uçlarına bir yük bağlanarak akım çekilir.

Bir ışığın anahtar kapatıldıktan sonra dakikalarca yanık kalması, bir bilgisayarın BIOS pili değiştirilirken BIOS Setup verilerinin yitmemesi, fotoğraf makinası flaşının birkaç volt gerilim ile çok güçlü ışması, yükselteç çıkışındaki yüksek frekanslı bileşenlerin tweeter'a, düşük frekanslı bileşenlerin ise woofer'a aktarılması gibi işlemler, sığa kavramı ve sığaçlar ile gerçekleştirilebilmektedirler.

10.2 DURGUN ELEKTRİK ALANI

Sığa, elektrostatik alan ile ilgili bir fiziksel büyüklüktür. Durgun elektrik alanı yada elektrostatik alan, bir yükün çevresinde oluşan ve sınırları içerisindeki diğer yüklere kuvvet uygulanan bir bölgedir.



Şekil 10.1: Elektrostatik alan örnekleri. Zıt yüklü parçacıklar (a) ve paralel plakalar arasında oluşan eşpotansiyel çizgileri.

Ters yüklü iki küre arasındaki durgun elektrik alanı, Şekil:10.1(a) da gösterilmiştir. Negatif yükten pozitif yüke doğru kütleli bir yük akışı kabul edilir. Soldaki çizimde ise iki koşut iletken yaprak arasındaki elektrostatik alan gösterilmiştir. Her iki durumda da kuvvet çizgileri özdek yüzeylerine diktir.

Kuvvet çizgileri boyunca değişen gerilim, uygun ölçme aygıtları ile belirlenebilir. Gerilim, artı ve eksi yüklü özdekler arasındaki uzaklık boyunca değişir. Aynı gerilim değerindeki noktaları birleştiren sanal eğriler, eşgerilim eğrileri olarak adlandırılır. Eşgerilim eğrileri küreler için eşit aralıklı değilken, koşut plakalar kullanıldığında eşit aralıklı ve uçlardaki bükülme dışında birbirine paraleldir.

Elektrostatik alanın üç temel özelliği vardır:

- ↪ Çizgilerin yönü, alana giren negatif değerlikli bir yükün izleyeceği doğrultudadır,
- ↪ Çizgiler eksi yükten başlayıp artı yükte sona erer,
- ↪ Çizgiler özdek yüzeyine dik olarak girer ve çıkar.

Coulomb Yasasına göre, elektrik alanındaki yüke bir kuvvet uygulanır. Birim pozitif yüke uygulanan kuvvet, ξ ile gösterilir ve alan yeğinliği olarak adlandırılır. Alan yeğinliği birimi, volt/metre (V/m) olarak kullanılmaktadır.

Koşut plakalar arasındaki eşgerilim çizgileri eşit aralıklı dağıldığına göre, bu iletkenler arasındaki alan şiddeti tektiptir ve,

$$\xi = \frac{V}{d}$$

eşitliği ile gösterilir. Bu eşitlikte ξ V/m olarak alan şiddetini, V volt olarak iletken levhalara uygulanmış gerilimi, d metre olarak plakalar arasındaki uzaklığı gösterir.

Toplam çizgi sayısı yada başka bir deyişle akı, Coulomb olarak verilen yük miktarına eşittir. Buna göre akıyı γ ile gösterirsek,

$$\gamma = Q$$

yazabiliriz. Burada γ Coulomb olarak çizgi sayısını (akıyı) ve Q Coulomb olarak yük miktarını gösterir.

Akı yoğunluğu, birim alandan geçen kuvvet çizgisi sayısıdır ve matematiksel olarak,

$$D = \frac{\gamma}{A}$$

eşitliği ile gösterilir. Burada D C/m² olarak akı yoğunluğu, γ Coulomb olarak akı, A m² olarak çizgilerin geçtiği alanı göstermektedir.

10.3 SIĞA VE SIĞAÇ

Bir elektrik devresinden belli karakteristikler elde etmeyi sağlayan özelliklerden birisi de sığadır (capacitance). Sığa, bir yalıtkan ile ayrılmış iki iletkenin yük depolayabilme özelliğine verilen addır. Elektrik devrelerinde sığanın etkileri,

- ↪ gerilim değişimine karşı koymak,
- ↪ erk depolamak,
- ↪ dc gerilimi bloke etmek

olarak sıralanabilir.

Sığa ile yük ve gerilim arasındaki ilişki,

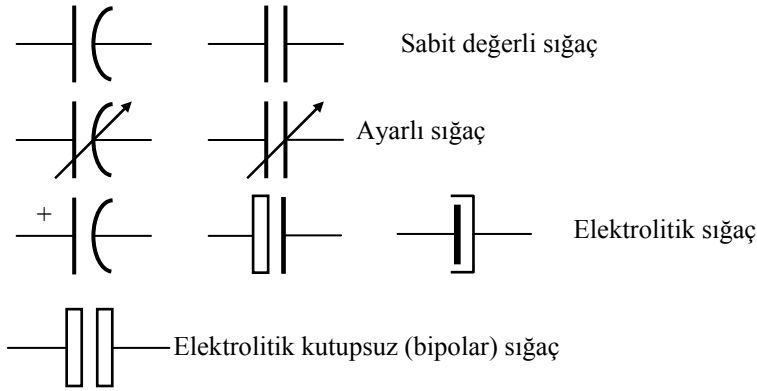
$$C = \frac{Q}{V}$$

yada,

$$Q = C \cdot V$$

eşitlikleri ile belirlenir. Burada C , Farad olarak sığayı, Q Coulomb olarak elektrik yükünü ve V , Volt olarak gerilimi gösterir. Bu eşitliğe göre, aynı sığa değeri için doldurma geriliminin artmasına bağlı olarak, biriktirilebilen yük miktarı artar. Başka bir deyişle sığaçta depolanabilen yük miktarı, uygulanan gerilim ile doğru orantılı olarak değişir.

C , belli bir doldurma gerilimi altında depolanabilen yük miktarı olarak sığayı gösteren ve fiziksel bir sabittir. Sığa birimi "Farad"dır ve bu ad, Michael Faraday anısına verilmiştir. Bir Faradlık sığa, iletken yüzeyler arasında 1 V uygulandığında 1 Coulombluk yük depolayabilmeyi sağlar. Bu birim uygulamada çok yüksek bir değer olduğu için, genellikle mikrofard (μF) yada Faradın daha küçük katları (nF, pF) olarak kullanılır.



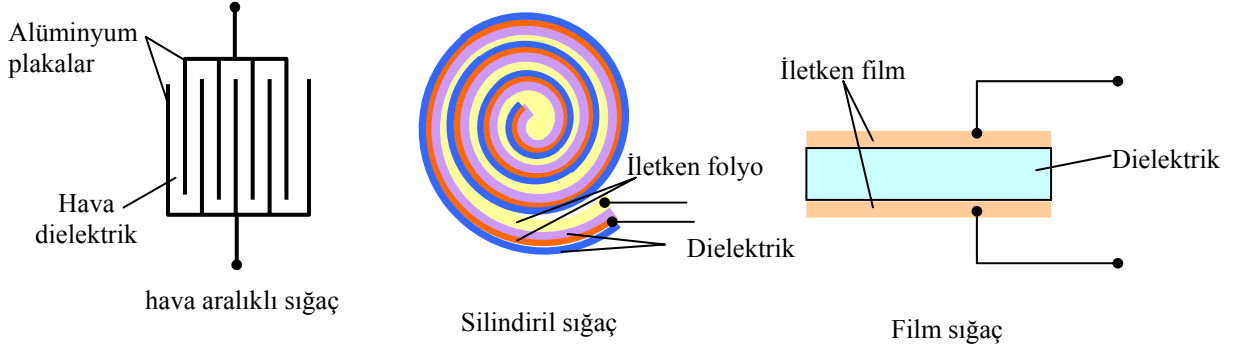
Şekil 10.2: Elektrik devrelerinde kullanılan sığaç simgeleri.

Sığaç, belli bir miktarda sığası olan bir elektrik devre elemanıdır. Sığaçlar elektrik devrelerinde Şekil:10.2de verilen simgelerle gösterilirler.

Şekil:10.3te ise sığaçların üretim biçimleri gösterilmektedir. Hava aralıklı sığaçlar ile mika sığaçların üretiminde, sığacın etkin alanını artırmak için plakaların iç içe geçirilmesi yöntemi kullanılır. Hava aralıklı sığaçlarda plakaların bir grubu sabittir ve diğer grup bu plakaların arasına geçecek biçimde devingendir. Bu tür sığaçların kapasiteleri, 1 pF ile 1 μF arasında değişmektedir ve genellikle radyoların akort katlarında ve yüksek frekans devrelerinde kullanılmaktadırlar.

Şekil:10.3te ikinci sırada görülen silindirik yapı ise, devreye uygun polariteyle bağlanması gereken *kutuplu elektrolitik* sığaçların üretiminde yaygındır. Bu tür sığaçlarda iletken levha olarak, alüminyum plakalar kullanılır. İki alüminyum folyo tabakası arasına, elektrolit macun emdirilmiş yalıtkan bir tabaka (genellikle kağıt) yerleştirildikten sonra, bir dc *biçimleme* gerilimi

uygulanır. Bu sırada elektroliz sürecinde geçen akım ile pozitif elektrot üzerinde, dielektrik olarak görev yapan moleküler bir alüminyum oksit katman oluşur. Elektrolitin geri kalan bölümü ile diğer alüminyum folyo da negatif elektrodu oluşturur. Bu yöntemde, çok ince dielektrik katman sayesinde, küçük bir hacimde binlerce μF değerinde sığaların elde edilmesi mümkün olur.



Şekil 10.3: Belli başlı sığaç türlerinin yapım biçimleri.

Elektrolitik sığaçlar devreye ters polaritede bağlanırlarsa, yalıtkan alüminyum oksit tabakası ters elektroliz yoluyla pozitif elektrottan ayrılır. Bu durumda sığaçtan yüksek bir akım geçer ve bazen patlama ile sonuçlanan bir ısı açığa çıkar. Elektrolitik sığaçların üretim değerlerine yakın gerilimlerde kullanılması gereklidir. Sözgelimi $20 \mu\text{F}$ - 400 V değerli bir elektrolitik sığaç 10 V gerilim altında kullanılırsa, alüminyum oksit kabarcıklarından oluşan dielektrik katmanı iyi durumda tutmaya yeterli gerilim değeri sağlanamayacağı için, sığa değeri değişecektir. Zaten 10 Volt luk bir devrede, gereksiz yere büyük ve pahalı bir sığaç kullanmanız durumunda da, işinizi kaybetme olasılığınız artacaktır. 😊

Şekil:10.3te gösterilen üçüncü temel üretim yapısı da, genellikle yüzey montaj (SMD) sığaç üretiminde kullanılan film tekniğidir. Burada bir dielektriğin ik yanına, iletken filmler sıvanarak sığaç elde edilir. Sığa değerinin yükseltilmesi için, dielektriğin yüzeyleri mikro işleme teknikleri yardımıyla girintili çıkıntılı duruma getirilerek dar bir alanda geniş iletken yüzey elde edilmeye çalışılır.

Sığaçlar genellikle üretimlerinde kullanılmış olan dielektrik türüne göre adlandırılırlar. Bu dielektriklerin en yaygın kullanılanları, mika, kağıt, ve seramiktir. Elektrolitik sığaçlar dışındaki tüm sığaç türleri, her iki plaka da artı yüklenebileceği için devreye istenilen yönde bağlanabilirler. Elektrolitik sığaçlarda, devrenin eksi ucuna bağlanması gereken uç belirtilmiştir. Bazı sığaçlarda pozitif uç da belirtilebilir. Bağlantının ters yapılması durumunda elektrolitik sığaç zarar görür, çoğunlukla da kaynayarak bozulur.

Tablo:10.1de sığaç türleri ve tipik sığa aralığı değerleri verilmiştir.

Tablodaki sığaç türleri, gelişen teknolojiye bağlı olarak giderek küçülen boyutlarda, daha yüksek elektriksel sınırları karşılayabilecek biçimde ve giderek azalan toleranslarla üretilebilmektedir. Elektrolitik sığaçların alüminyum yerine tantalyum yada titanyum ile üretilmeleri, çok daha küçük

boyutlarda büyük sığa değerleri ve çok küçük tolerans sınırları elde edilmesini sağlamaktadır.

Tablo 10.1: Sığaç türleri

Dielektrik	Yapısı	Sığası	
Hava	İç içe geçmeli plakalar	10~400pF	
Seramik	Tüpsel biçimli	0,5~1600pF	
	Tekercik	0,002~0,1μF	
Elektrolitik	Alüminyum	Sarmal	5~1000μF
	Tantalyum		0,01~300μF
Mika	Yığma katlar	10~5000pF	
Kâğıt yada plastik film	Sarma folyo	0,01~1μF	

Tırnak büyüklüğünde iki alüminyum folyo parçası, tırnak kalınlığı kadar aralıkla yerleştirilirse yaklaşık 1 pF sığa elde edilir. 1 Flık sığa oluşturabilmek için bu boyut, 1.000.000.000.000 kat artırılmalıdır. Farad düzeyinde sığa değerlerine erişen sığaınların üretilebilmesi için pek çok teknik geliştirilmektedir. Bunlardan en bilineni, çift yedirme (double etching) denilen bir yöntemdir. Bu yöntemde iki düz yüzey kullanmak yerine, yüzeylere karşılıklı çukur ve tepeler oyulup, bu çukur ve tepelerin üzerinde de minik çentikler oluşturulmaktadır. Bu teknikle 1F değerine halen ulaşılammakla birlikte çok küçük boyutta sığaınlar üretilebilmektedir. Etkisi ilk kez yüzyıldan fazlaca bir zaman önce Alman bilimci Hermann von Helmholtz tarafından keşfedilmiş olan çift-katman tekniğini kullanarak, 1F değerinde sığaınlar üretilmektedir. Yeniden uygulamaya alınan bu teknikte, bir sıvı ile bir katının birleşim yüzeyinde elektrik yükünün iki katman olarak bulunması ilkesinden yararlanılır. Bu üretim tekniğinde iletken olarak aktif kömür kullanılır. Tek sorun, delinme geriliminin 1V kadar olmasıdır. Ardıl bağlantı yoluyla bu sorunun önemi bir miktar azaltılmakta ise de şimdilik, ancak birkaç volta dek dayanabilen sığaınlar üretilebilmektedir.

10.4 SIĞAYI BELİRLEYEN ETMENLER

Sığayı belirleyen fiziksel büyüklükler,

- ↪ iletken yüzey alanı,
- ↪ dielektrik malzemenin türü
- ↪ iletkenler arasındaki uzaklık,

olarak sıralanabilir.

Bir sığacın kapasitansı, iletken levhaların yüzey alanı ile doğru orantılı olarak artar. Çünkü daha büyük bir alanda, daha çok yük birikimi gerçekleştirilebilir.

Dielektrik malzeme, elektrik alanının olduğu bölgeyi dolduran ve sığacın iletken yüzeyleri arasındaki mesafeyi ayarlayan bileşendir.

Sığa, kullanılan dielektrikten başka, plakalar arasındaki uzaklık ve plaka alanı ile de değişir. Bu etmenlerin sığa üzerindeki etkisi aşağıda matematiksel olarak gösterilmiştir.

Sığanın tanımından,

$$C = \frac{Q}{V}$$

yazılır. Akının sayısal olarak yüke eşit olduğu bilindiğine göre,

$$C = \frac{\gamma}{V}$$

olur. Ayrıca, $\gamma = D \cdot A$ ve $\varepsilon = D / \xi$ eşitlikleri de bilinmektedir. Bu üç eşitliğin birleştirilmesi ile,

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \xi \cdot A}{V}$$

elde edilir. ξ değerinin V/D ye eşit olduğu bilindiğine göre, sığa değerini fiziksel boyutlar cinsinden gösteren formülü,

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

olarak bulunur. bu eşitlik, dielektrik olarak hava kullanıldığı durumlarda geçerlidir. Hava yerine başka bir dielektrik malzeme kullanıldığında sığa değeri için yazılacak eşitlik,

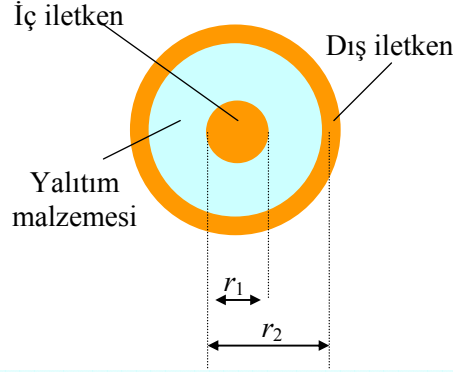
$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d}$$

olacaktır. Burada C F olarak sığayı, ε_0 boşluğun geçirgenliği olan $8,85 \times 10^{-12}$ F/m sabit sayısını, ε_r kullanılan dielektriğin geçirgenlik katsayısını, A m² olarak iki yüzeyin karşılıklı alanını ve d m olarak plakalar arası uzaklığı göstermektedir.

Sığacın fiziksel yapısına göre eşitliğin biçimi değişse de, formüldeki genel ilişki her zaman geçerlidir. Yani sığa, her zaman dielektrik, plakalar arası uzaklık ve ortak plaka yüzeyine bağlıdır. Örneğin Şekil:10.4te kesiti verilmiş olan ve yüksek sıklıklı işaretleri az yitimle taşımak amacıyla kullanılan eşeksensel bir kablonun sığası,

$$C = \frac{2,41 \times 10^{-5} \varepsilon_r}{\log_{10}(r_2 / r_1)} \quad \mu\text{F/m}$$

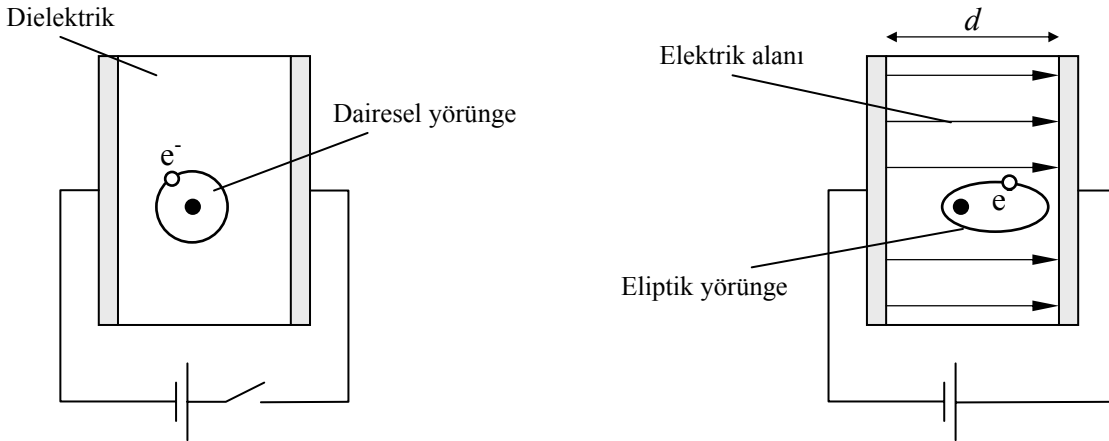
formülü ile bulunur. Bu eşitlikte C , $\mu\text{F}/\text{m}$ olarak iletkenin sığası, ϵ_r , iletkenler arasındaki dielektriğin geçirgenlik katsayısı, r_1 ve r_2 ise, metre olarak sırasıyla iç ve dış iletkenlerin yarıçaplarıdır.



Şekil 10.4: Eşksenel (coaxial) kablunun kesiti ve sığasını oluşturan katmanları.

10.4.1 DIELEKTRİK VE BAĞIL GEÇİRGENLİK

Sığanın iletken yüzeyi ile doğru orantılı olarak değiştiğini anlamak kolay olsa da, dielektriğin sığaya etkisinin anlaşılması için biraz daha açıklama gereklidir. Plakalar arası uzaklığın azalması ve hava dışındaki dielektrik malzemenin kullanılması, sığayı neden artırmaktadır? Bu soruların yanıtlanabilmesi için elektrik alanının özellikleri ve bu alana bir dielektrik malzeme koymanın etkilerinin incelenmesi gereklidir.



Şekil 10.5: Elektrik alanının, dielektrik atomu elektronuna etkisi.

Şekil:10.5te görülen çizim üzerinde, bir sığaç içinde erk depolama işlemi ve plakalar arası uzaklığın etkisi açıklanabilir. Sığaç uçlarına gerilim uygulanmadığı durumda dielektrik atomlarının elektronları, dairesel

yörüngelerde bulunurlar. Sığaç uçlarına bir potansiyel fark uygulandığında ise bu yörüngeler, elektronların pozitif plakaya yaklaşım negatif plakadan uzaklaşma eğilimi nedeniyle eliptikleşirler. Dielektrik malzeme içinde serbest elektron olmadığından devreden akım geçmez ancak, yörüngelerin eliptikleşmesi için gereken güç nedeniyle kaynaktan anlık bir şarj akımı (yer değiştirme-displacement akımı) çekilir.

İki plaka arasındaki elektrik alanının şiddeti, dielektrik malzeme atomlarının yörüngelerindeki elektronlara uygulanan kuvveti (ve sonuçta oluşan bozulma miktarını) belirler. Elektrik alan şiddeti de V/d ile belirli olduğundan, plakalar arası uzaklığın azalması, sığayı artıran bir etken olacaktır.

Geçirgenlik, elektrik alan çizgilerinin bir malzeme içinde ne denli kolay oluştuğunun bir ölçüsüdür. Geçirgenlik ϵ simgesi ile gösterilir ve birimi de Farad/metredir. Akı yoğunluğunun alan yeğinliğine oranı olarak tanımlanan geçirgenlik matematiksel olarak,

$$\epsilon = \frac{D}{\xi}$$

eşitliği ile tanımlıdır. Burada D , C/m^2 olarak akı yoğunluğunu ve ξ , V/m olarak alan şiddetini göstermektedir.

Tablo 10.2: Bazı dielektrik malzemelerin bağıl geçirgenlik değerleri.

Malzeme		Geçirgenlik Katsayısı
Boşluk		1
Hava		1,0006
Bakalit		7
Seramik	Titanyumdioksit	6~100
	Stronsiyum titanat	8000
Cam		7,5
Mika		5
Yağ		4
Kağıt		2,5
Plastik film		2,5
Porselen		6
Kauçuk		3
Teflon		2

Havanın, sığaçlarda dielektrik olarak kullanımı çok yaygın değildir. Hava dışındaki bazı dielektrikler, mika, seramik, yağ, kağıt ve cam gibi malzemelerdir. Bunların geçirgenlikleri havaninkine göre daha yüksek olduğundan, daha çok

siğa sağlarlar ve siğacın yapısını da sağlamlaştırırlar. Bir malzemenin geğirgenliğinin havanın geğirgenliğine oranına, görelı geçirgenlik yada dielektrik katsayısı denir ve ϵ_r simgesi ile gösterilir. Yukarıdaki tabloda bazı malzemelerin dielektrik katsayıları verilmiştıir. Bu tablodaki değerler yaklaştık değerlerdir ve gerđek değerler, sıcaklık, saflık ve diğer etmenlere bağlı olarak değiştiklik gösterebilir.

Bir malzemenin geğirgenliği,

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

eştıliği ile belirlenir. Burada ϵ F/m olarak dielektriğin geğirgenliğini, ϵ_r dielektrik katsayısını (birimsiz), ϵ_0 ise $8,85 \times 10^{-12}$ F/m olarak havanın geğirgenliğini gösterir.

10.4.2 DIELEKTRİK DAYANIMI

Dielektrik içindeki elektronlar, iletkenlerdeki akım taşıyan elektronlar gibi atomdan atoma geğmezler. Ancak dielektrik uçlarına uygulanan gerilim arttıka, yörengelerde bir baskı oluşur ve sonunda elektronlar atomlarından koparlar. Bu durumda dielektrik ısınıp kıvılcımlar çıkararak, delinme yada kırılma denilen sonuç oluşur. Bu andan sonra dielektrik yalıtkan değildir aygıtın siğası kaybolur.

Dielektriğin yalıtkanlığının bozulduğu potansiyel fark değerine delinme gerilimi denir. Siğaçlar genellikle ya dc çalışma gerilimleri yada ac rms değerleri ile belirtilirler. Siğacın dayanabileceği dc gerilim, rms değerden fazla olur. Çünkü siğacın dayanması gereken ac gerilimin tepe değeri, rms değerinden fazladır. Buna göre üzerinde örneğin $100V_{rms}$ yazan bir siğaç, yaklaştık $140 V_{dc}$ gerilime dayanacaktır.

Delinme gerilimi, dielektrik dayanımı ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Dielektrik dayanımı, malzemenin birim kalınlığının delinmeden dayanabileceği gerilim değeridir ve sıcaklık, katkılar ve diğer etkenlere bağlı olarak bir miktar değişeabilir. Kırılma gerilimi,

$$BV=(d) \cdot (\text{dielektrik dayanımı})$$

eştıliği ile bulunur. Bu formölde BV (breakdown voltage) Volt olarak dayanma gerilimi, d mm olarak malzeme kalınlığıdır. Dielektrik dayanımı birimi, V/mm olarak verilir.

Yukarıda anlatılanlar ışığında bakıldığında, siğaç üretiminde plakalar arasında hava yerine dielektrik kullanımının üç önemli işlevi olduğu görülecektir:

1. Dielektrik kullanımı, iki metal plakayı birbirine çok yakın aralıka ve bir arada tutmanın mekanik güçlüğünü çözümler,
2. Yalnızca hava kullanılması durumuna kıyasla, elektriksel delinme olmaksızın uygulanabilecek en yüksek gerilim değerinin artmasını sağlar,

3. Yine yalnızca hava kullanılması durumuna kıyasla, aynı boyutlar ile elde edilen sığa değerinin artmasını sağlar.

Tablo 10.3: Bazı dielektrik malzemelerin dayanma gerilimleri.

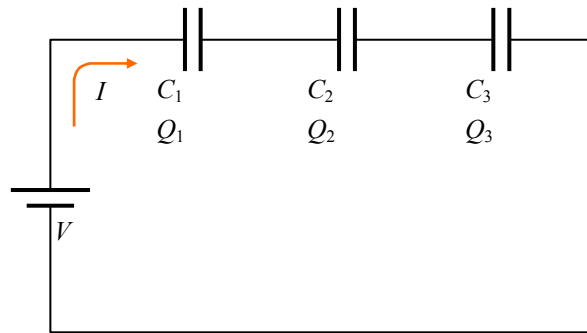
Malzeme	KV/mm
Hava	3
Bakalit	16
Seramik	3
Cam	40~120
Mika	200
Yağ	12~20
Kağıt	40~79
Plastik film	20
Porselen	4~10
Kauçuk	28~47
Teflon	60

10.5 SIĞAÇLARIN ARDIL BAĞLANMASI

Sığa, bir sığacın belirli bir yükü ne kadar zamanda biriktirebileceğinin ölçüsü olarak da tanımlanabilir. Bu tanım,

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{I \cdot t}{V}$$

matematiksel eşitliğine dayanır.



Şekil 10.6: Ardıl sığaç devresinde tek akım olması nedeniyle sığaç yükleri eşittir.

Şekil:10.6da görülen ardıl bağlı sığaçlardan oluşan devrede tek bir akım olduğu için, tüm sığaçlar üzerindeki yükler eşittir. Kaynak gerilimi ise tüm sığaçlar üzerinde düşen gerilimlerin toplamıdır. Buna göre yukarıdaki devrede gerilimler ve yükler için, $V=V_1+V_2+V_3$ ve $Q=Q_1=Q_2=Q_3$ yazılabilir. Devre gerilimi $V=Q/C$ olarak tanımlı olduğuna göre devre gerilimi,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \Rightarrow \frac{Q}{C_{eş}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

olarak belirlenir. Bu eşitlikte gerekli yalınlaştırma yapılırsa ardıl bağlı sığaçlar için eşdeğer sığa hesaplama formülü,

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

olarak elde edilir. Bu eşitlikten görüldüğü gibi, sığaçlar ardıl bağlandıklarında elde edilen eşdeğer sığa, en küçük sığacınkinden daha küçük olacaktır. Bu durum koşut bağlı dirençlerdeki eşdeğer direnç hesaplamasına benzemektedir.

Sığaçları ardıl bağlamanın, dielektrik kalınlığını artırmakla eşdeğer olduğu düşünülürse, ardıl bağlı sığaçlarda devreye uygulanabilecek toplam gerilimin, sığaçlar özdeş ise sığaç sayısı kadar artacağı söylenebilir. Dayanım gerilimi birbirinden farklı sığaçlar kullanıldığı durumda ise devrenin dayanım gerilimi yine artar ancak, her bir sığaç üzerine düşecek gerilim, bu sığacın dayanım gerilimini geçemez. İki sığacın ardıl bağlandığı bir devrede, sığaç gerilimleri, gerilim ve sığanın ters orantılı olduğuna dayanarak yazılan,

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

ve

$$\frac{C_1}{C_{eş}} = \frac{V_T}{V_1}$$

eşitlikleri yardımıyla bulunabilir. Burada C_1 ve C_2 sığaçların kapasitelerini, V_1 ve V_2 sığaçlar üzerinde düşen gerilimleri, $C_{eş}$ eşdeğer sığayı ve V_T iki sığaç üzerindeki toplam gerilimi (kaynak gerilimini) göstermektedir.

Yalnız iki sığacın ardıl bağlanması durumunda eşdeğer sığa,

$$C_{eş} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

eşitliği ile bulunabilir.

10.6 SIĞAÇLARIN KOŞUT BAĞLANMASI

Şekil:10.7deki koşut bağlı sığaçlardan kurulu devrede kaynaktan çekilen akım KAY uyarınca kollardan geçen akımların toplamına eşittir. Buna göre toplam akım değeri,

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

olarak yazılır. $I = Q/t$ olarak tanımlı olduğuna göre,

$$\frac{Q_T}{t} = \frac{Q_1}{t} + \frac{Q_2}{t} + \frac{Q_3}{t}$$

bulunur. Gerekli yalınlaştırmadan sonra devredeki toplam yük,

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

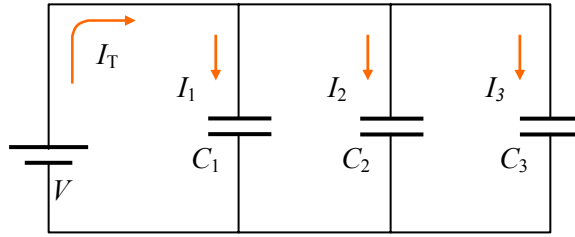
olarak belirlenir. $Q = V \cdot C$ olduğuna göre,

$$C_{eş} \cdot V = C_1 \cdot V + C_2 \cdot V + C_3 \cdot V$$

yazılabilir. Bu eşitlik gerilim değerine bölünürse koşut bağlı sığaçlarda eşdeğer sığa formülü,

$$C_{eş} = C_1 + C_2 + C_3$$

olarak bulunur. Bu eşitlikten görüldüğü gibi, sığaçlar koşut bağlandıklarında elde edilen eşdeğer sığa, en büyük sığacinkinden daha büyük olacaktır. Bu durum ardıl bağlı dirençlerdeki eşdeğer direnç hesaplamasına benzemektedir. Ayrıca koşut bağlı sığaçlarda devreye uygulanabilecek gerilim, sığaçlar özdeş ise bir tek sığacın dayanım gerilimine eşit olur. Dayanım gerilimi birbirinden farklı sığaçlar kullanıldığı durumda ise devrenin dayanım gerilimi, en küçük gerilimli sığacinkine eşit olur.



Şekil 10.7: Koşut bağlı sığaçlarda toplam yük, sığalar ile orantılı olarak dağılır.

10.7 SIĞAÇTA DEPOLANAN ENERJİ

Dielektrik içinde depolanmış yükün elektrostatik alanında, sığacı dolduran gerilim kaynağının sağladığı elektrik erki vardır. Bu enerji dielektrik içinde depolanır. Sığacın gerilim kaynağından ayrıldıktan sonra bir devreye elektrik akımı sağlayabilmesini, depolanmış olan bu erk sağlar. Bir sığaçta depolanan erk,

$$W = \frac{C \cdot V^2}{2}$$

eşitliği ile belirlenir. Bu eşitlikte W Joule olarak depolanan enerji, C Farad olarak sığa ve V volt olarak kaynak gerilimini göstermektedir.

Sığaçta depolanan enerji, sığaç kaynaktan ayrılıp bir akım yoluna bağlandığında, bir boşalma akımı oluşturur. Dolu sığaçların neden olduğu elektrik şoklarının nedeni, depolanmış bu erktir. Sığaçta depolanmış 1 J ve üzerindeki enerji değerleri, insan bedenine zarar verirler.

BÖLÜM II

MANYETİZMA VE BOBİNLER

DÜRÜST ÇOCUKLAR

23 Aralık 1947 tarihinde John Bardeen, Walter Brattain ve William Shockley, transistör adını verdikleri bir yarıiletken aygıtın yükseltme yapma amacıyla kullanılabileceğini gösterdiler. Ancak bu aygıtın gizemli sorunları vardı ve çalışma sonuçları kestirilemiyordu. Shockley araştırmalarını sürdürdü ve 1951 yılında dünyaya güvenilir ilk kavşak transistörü sundu. Üçlü, keşifleri nedeniyle 1956 yılı Nobel fizik ödülünü paylaştı. Epeyce bir zaman sonra, 1972 yılında Bardeen, Illinois Üniversitesinde üstüniletkenlik üzerine yaptığı çalışmalar nedeniyle pek de sık rastlanmayan biçimde ikinci kez Nobel ödülüne layık görüldü.

Shockley 1955 yılında Bell Laboratuvarlarından ayrıldı ve Palo Alto' daki evinin yakınında kurduğu kendi yarıiletken firmasını açarak eleman aramaya başladı. Eleman alırken çok seçiciydi ve yalnızca başarılı, genç ve yetenekli kişilere iş veriyordu. Çalışanların çoğunun Shockley'in maaşları postalama ve çalışanları derecelendirme gibi tuhafliklarına katlanamamasına karşın firma başarılı oldu. İki yıl sonra Shockley' in en yetenekli sekiz elemanı kaçtı. Shockley' in "hain sekizli" dediği elemanlar yalnızca birkaç blok ötede kendi işlerini kurdular ve şirketin adını da Fairchild Semiconductor (Dürüst Çocuk Yarıiletken) koydular.

Sabık Fairchild çalışanları tarafından elliden fazla şirket kuruldu. Bunların en büyüklerinden birisi, Robert Noyce'un sekiz hainden ikisi ile birlikte kurduğu ve "intelligence-zeka" sözcüğünün kıyası Intel olarak adlandırdığı şirkettir.

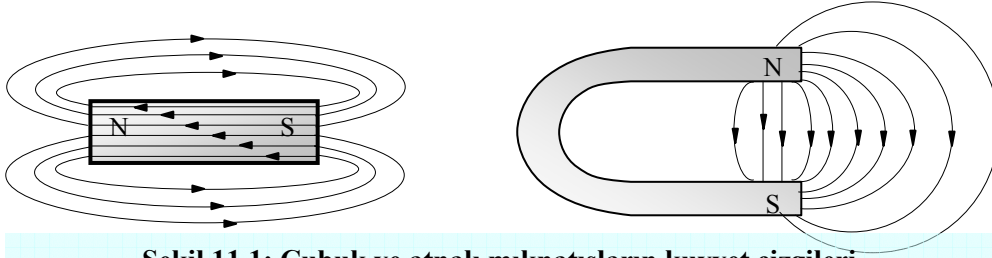
GİRİŞ

Manyetik alan görülemez ancak varlığı, elektronik iletişimdeki ve demir parçalarının çekilmesindeki etkileri ile kolayca gösterilebilir. Manyetizma,

elektriksel ölçme aygıtları, motor ve üreteçler, hoparlör, mikrofon ve solenoid gibi aygıtların çalışmasında çok önemli rol oynar.

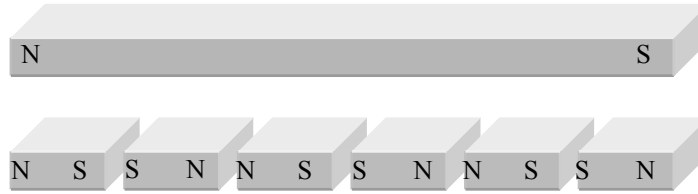
Manyetizma insan tarafından ilk kez, 1800 yıldan daha fazla zaman önce yön bulma amacıyla kullanıldı. Çinliler (lodestone-yol gösteren taş) denilen doğal mıknatısın, dünyanın kuzey-güney doğrultusundaki manyetik alanı ile kendini hizaladığını keşfettiler. Magnet-mıknatıs sözcüğü, antik Yunan Kenti Magnesia-Manisa'dan türetilmiştir. Bu yörede bulunan magnetit minerali, dünyanın manyetik alanı ile hizalanma özelliğini taşır.

1819 yılında Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted, elektrik akımının manyetizma üretmek için kullanılabileceğini buldu. Bu buluş, üzerlerinden elektrik akımı geçirildiği sürece manyetik özellikler gösteren ve "geçici" mıknatıs yada elektromıknatıs olarak adlandırılan aygıtların geliştirilmesini sağladı.



Şekil 11.1: Çubuk ve atnalı mıknatısların kuvvet çizgileri.

Bir malzemenin manyetik özellikleri, manyetizasyon kuvveti yada yeğinliği ile akı yoğunluğu arasında grafiksel olarak gösterilebilen histeresis eğrisi ile ortaya çıkar. Manyetizma ile ilgili birimler, SI birim sistemi içinde yer almaktadır ve hesaplamalar temel olarak Ohm Yasası üzerine kurulmuştur.



Şekil 11.2: Çubuk mıknatısın parçalanması durumunda elde edilen yeni mıknatıslar ve kutupları.

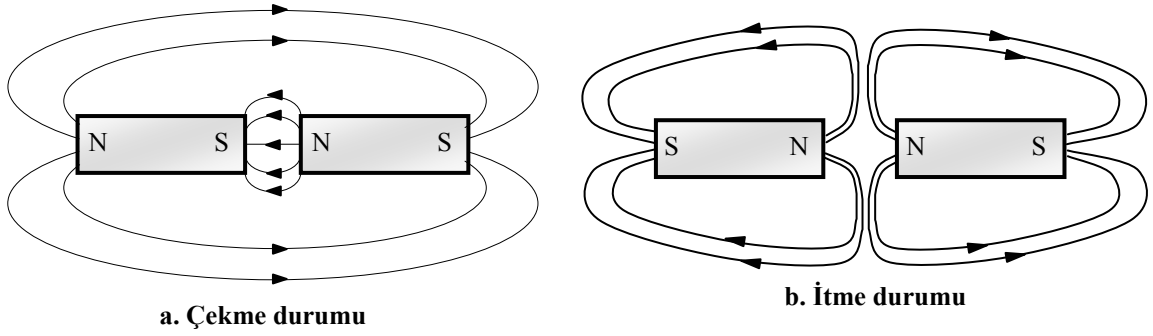
II.1 MIKNATIS VE MANYETİK ALAN

Mıknatıs, demiri çekme özelliği olan bir malzemedir. Bilinen ilk manyetik malzeme, yön taşı anlamına gelen lodestone (Fe_3O_4), bir demir oksididir. Bu malzeme ve özellikleri, elektronik alanında çok önemli aygıtların temelini oluşturmaktadır. Elektromanyetizma, röleler, solenoid vanalar, motorlar, vinçler, kapı kilitleri, ölçme aygıtlarında kullanılmaktadır. Bilgisayar disketinde veri saklamak, MC ve VT üzerine ses ve görüntü yazmak ve hatta

bilgisayarlarda manyetik çekirdekli veri depolamasında da manyetizmadan yararlanılmaktadır. Transformatörler gerilim dönüşümü ve/veya aktarımı yaparken manyetizmayı kullanmaktadır. ac alternatörler yine manyetik alanlar sayesinde enerji üretmektedir. Manyetik alan olmaksızın enerji üretim ve dağıtımını yapmak olanaksız olmasa da çok pahalı olacaktır.

II.1.1 MANYETİK ALAN

Çinli denizcilerin yön bulmak için kullandıkları ve basit bir pusula sayılabilecek lodestone, ağırlık merkezinden asılarak serbest bırakılınca, dünyanın manyetik alanına uygun olarak bir ucu kuzey kutbunu (north pole) ve diğer ucu da güney kutbunu (south pole) gösterene dek döner ve böyle kalır. Kararlı durumda kuzeyi gösteren ucu N, güneyi gösteren ucu da S olarak adlandırılır. Bütün mıknatısların N ve S uçları vardır ve gösterdikleri manyetik alan, N ucundan S ucuna giden kuvvet çizgileri ile belirtilir. Bu çizgiler birbirlerini asla kesmezler ve hiç kesintiye uğramazlar. Şekil:11.1de çubuk ve atnalı biçimli mıknatısların kuvvet çizgileri gösterilmiştir.



Şekil 11.3: Çekme ve itme durumunda kuvvet çizgileri.

Bir mıknatıs parçalara ayrılırsa elde edilen her bir parçanın N ve S uçları olur. Birbirinden ayrılan parçalar, ters kutuplara sahip olurlar. Şekil:11.2de bir çubuk mıknatısın parçalara ayrılması durumunda elde edilen yeni mıknatıs parçaları ve bunların kutupları gösterilmiştir.

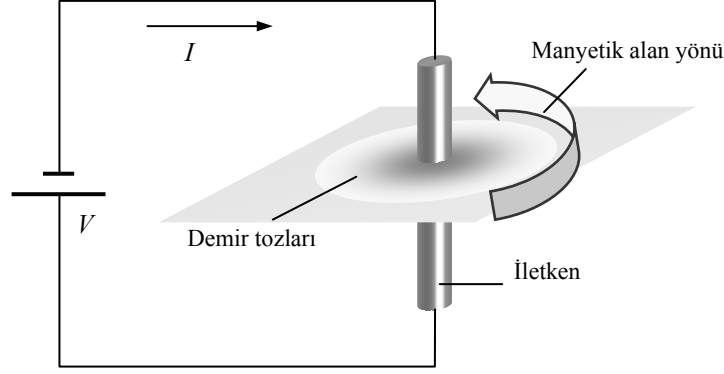
Elektriksel yüklerde olduğu gibi mıknatıslarda da ters kutuplar birbirini çeker ve benzer kutuplar birbirini iter. Şekil:11.3te gösterildiği gibi kuvvet çizgileri, itme ve çekme sırasında da kesişmeden ve kesilmeden N kutbundan S kutbuna ilerlerler.

Mıknatıs çekme etkisini yalnız mıknatıs özellikli malzeme üzerinde göstermez. Demir ve nikel gibi malzemeler de kuvvet çizgilerinin etki alanına girdiğinde mıknatısa doğru çekilirler. Kuvvet çizgileri bu çekme sırasında da kesişmeden ve kesilmeden, yollarını demir içinden tamamlayarak N kutbundan S kutbuna giderler.

II.1.2 SOL EL KURALI

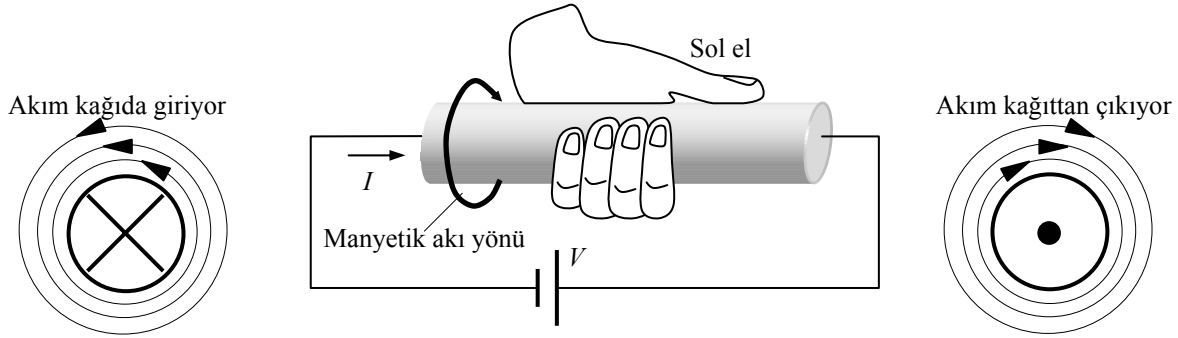
Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted 1819 yılında, elektrik akımı taşıyan bir iletkenin, yakınındaki bir pusulayı etkilediğini buldu. Tel çevresindeki alanı

pusula kullanarak incelersek, bu alanın çembersel olduğunu ve telden uzaklaştıkça da zayıfladığını görürüz. Alanın yeğinliği, iletkenin taşıdığı akım miktarı ile de doğru orantılıdır. Eğer iletkeni Şekil:11.4te gösterildiği gibi üzerinde demir tozu bulunan bir kartondan geçirirsek, alanın çembersel yapısını ve merkezden uzaklaştıkça zayıfladığını görebiliriz.



Şekil 11.4: İletkenden akım geçtiğinde oluşan manyetik alan, iletkenden uzaklaştıkça seyrelir.

Akım taşıyan iletken çevresinde oluşan manyetik alanın yönü, sol el kuralı kullanılarak bulunabilir. Sol el kuralı Şekil:11.5te gösterildiği gibi uygulanır. İletken, başparmak akım yönünü gösterecek biçimde kavrandığı zaman, diğer dört parmak oluşan manyetik alanın yönünü gösterir.

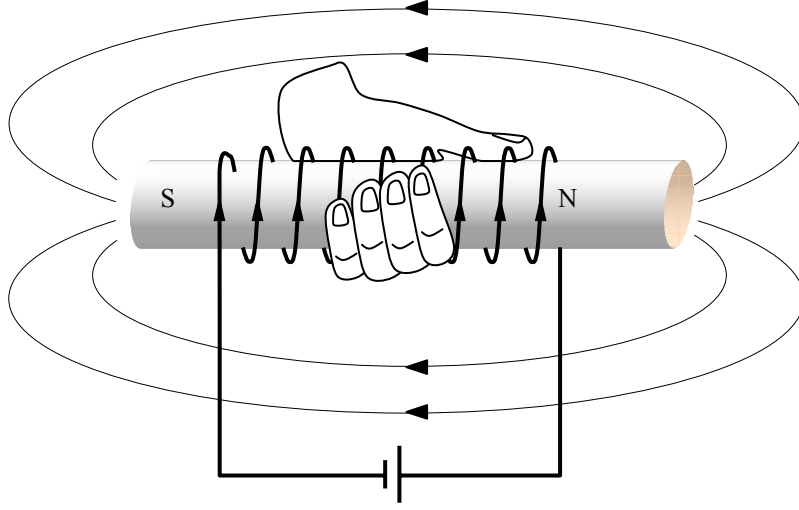


Şekil 11.5: İletken çevresinde oluşan alanın yönü sol el kuralı ile bulunur.

II.1.3 ELEKTROMİKNATIS

Bir iletken, manyetik olmayan bir çekirdeğe sarılırsa bobin elde edilir. Bobinden elektrik akımı geçirildiği zaman çevresinde, çubuk mıknatısınkine benzeyen bir manyetik alan oluşur. Bu manyetik etkinin yönü yine sol el kuralı ile bulunur.

Sol el kuralının bir bobine uygulanması Şekil:11.6da gösterilmiştir. Bobin, sol elin parmakları sarımlardaki akım yönünü gösterecek biçimde kavrandığı



Şekil 11.6: Elektromıknatısın kutupları, sol el kuralı ile belirlenir.

zaman başparmak, elektromıknatıs içindeki manyetik alan yönünü ve N kutbunu gösterir.

Elektromıknatıs geçici bir mıknatıstır. Uygulanan akım kesildiği zaman manyetik alan yok olur. Elektromıknatısın manyetik alan gücü, manyetik olmayan bir çekirdek yerine yumuşak demir gibi manyetik bir çekirdek kullanılarak, bobinin sarım sayısı yada bobinden geçen elektrik akımı artırılarak yükseltilebilir. Elektrik akımının manyetizasyon özelliği, röle, solenoid, zil, vızıldak, transformatör, hoparlör, mikrofon, motor, alternatör, ölçme aygıtı gibi gereçlerin çalışmalarında kullanılır.

II.1.4 MANYETİK BİRİMLER

Bir malzemenin manyetik özellikleri, $B-H$ eğrisi ile grafiksel olarak gösterilebilir. Temel elektriksel birimler gibi manyetik devrelerde de temel manyetik birimler vardır. Bunlar, akı (Φ), akı yoğunluğu (B), manyetomotiv kuvvet-mmf (F_m), relüktans (\mathfrak{R}), manyetik geçirgenlik (μ) olarak sıralanabilirler.

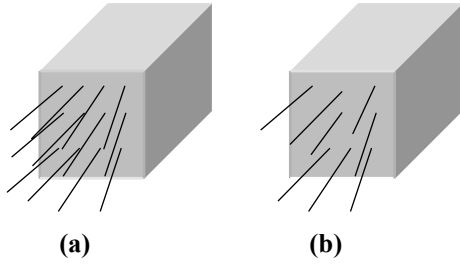
II.1.4.1 AKI VE AKI YOĞUNLUĞU

Manyetik alanı oluşturan kuvvet çizgilerine manyetik akı çizgileri yada genellikle kısaca “akı” denir. SI birim sisteminde akının birimi, Moleküler Manyetizma Kuramını geliştiren Alman fizikçi Wilhelm E. Weber anısına, Weber (Wb) olarak adlandırılmıştır. Akının simgesi Φ olarak belirlenmiştir. Weber, bir iletken değişen bir manyetik alanın etkisinde kaldığında “indüklenen” elektromotiv kuvvet cinsinden tanımlanır. Bir Weber, akının bir saniye içinde düzgün hızla sifıra indirilmesi ile bir sarımlık bobinde bir Volt

oluşturan akı değeridir. Diğer birim sistemlerinde akı, Maxwell ve çizgi sayısı olarak adlandırılır. Bunların her ikisi de 10^{-8} Wb'e eşittir.

Akı yoğunluğu ise, birim alandan geçen akı miktarıdır (Wb/m^2) ve ac endüksiyon motorunu bulan elektrik mühendisi Nikola Tesla (1856-1943) anısına Tesla (T) olarak adlandırılmıştır. Bir Tesla, bir metrekare alandan geçen bir Weberlik akıya eşittir. Akı yoğunluğu B simgesi ile gösterilir.

Şekil:11.7de kesit alanı aynı olan iki çekirdekteki akılar gösterilmiştir. (a) ile gösterilen çekirdekte (b) çekirdeğinden daha çok çizgi olduğuna göre, (a) çekirdeğindeki akı yoğunluğu daha fazladır.



Şekil 11.7: Akı yoğunluğu birim alandan geçen kuvvet çizgisi sayısıdır. (a) çok sayıda kuvvet çizgisi yüksek akı yoğunluğu sağlarken, (b) kuvvet çizgisi sayısının azalması ile akı yoğunluğu da azalır.

Bir manyetik yoldaki akı yoğunluğu,

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

eşitliği ile bulunur. Burada B , T (Wb/m^2) olarak akı yoğunluğu, Φ , Wb olarak akıyı ve A , m^2 olarak akıya dik olan kesiti göstermektedir. Bu eşitliğe göre akı yoğunluğu kesit alanı ile ters, akı miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

II.1.4.2 GEÇİRGENLİK

Geçirgenlik, manyetik akının bir malzeme içinde ne denli kolay oluştuğunun ölçüsüdür ve elektrik akımı için iletkenliğe karşılık gelir. Akı için daha kolay bir yol sağlayan malzemelerin, daha yüksek geçirgenliği olduğu söylenir.

Geçirgenlik birimi Amper-metre başına Weber ($\text{Wb}/\text{A}\cdot\text{m}$) olarak belirtilir. Manyetik alan için Amperé, bobin akımı ile sarım sayısının çarpımıdır. Geçirgenliğin simgesi olarak μ kullanılmaktadır.

Boşluğun ve manyetik olmayan malzemelerin geçirgenliği μ_0 ile gösterilir, tüm akı yoğunluğu değerleri için sabittir ve $4\pi 10^{-7} \text{Wb}/\text{A}\cdot\text{m}$ değerine eşittir. Ancak ferromanyetik malzemelerin geçirgenliği malzemeye olduğu kadar malzeme içindeki akı yoğunluğuna da bağlıdır. Akı yoğunluğu arttıkça malzemenin geçirgenliği azalır. Bu nedenle akı yoğunluğu belli bir değere ulaştıktan sonra akımın artırılması ile pek fazla artmaz. Bu noktada malzemenin “doyduğu” söylenir. Tablo:11.1de değişik malzemelerin geçirgenlikleri verilmiştir.

Uygulamada çoğu malzeme manyetik olmayan yada ferromanyetik olarak adlandırılabilir.

Tablo 11.1 : Bazı Malzemelerin Geçirgenlikleri

Malzeme	Geçirgenlik
Boşluk	$4\pi 10^{-7} \text{Wb/A}\cdot\text{m}$
<i>Nonmagnetic</i> Manyetik alana etkisi yok. Ahşap, cam vb.	$4\pi 10^{-7} \text{Wb/A}\cdot\text{m}$
<i>Diamagnetic</i> Kuvvet çizgilerine çok az zorluk gösterir. Bakır, gümüş, çinko, cıva, altın.	Boşluktan biraz az.
<i>Paramagnetic</i> Hafifçe manyetik. Paslanmaz çelik, alüminyum, oksijen, krom, manganez.	Boşluktan biraz fazla.
<i>Ferromagnetic</i> Kuvvet çizgilerini yönlendirir, yardımcı olur. Demir, nikel, kobalt, seramik ferrit manganit.	Boşluktan çok fazla, Malzemedeki akı yoğunluğuna bağlı.

Görelî geçirgenlik (μ_r), bir malzemenin geçirgenliğinin boşluğun geçirgenliğine oranıdır ve birimsizdir. Görelî geçirgenlik ferromanyetik malzemeler için 100den büyük, manyetik olmayan malzemeler için ise bire eşittir ve

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

eşitliği ile bulunur. Burada μ_r , malzemenin görelî geçirgenliği, μ , Wb/A olarak malzemenin geçirgenliği ve μ_0 , boşluğun geçirgenliğidir ($4\pi 10^{-7} \text{Wb/A}\cdot\text{m}$).

II.1.4.3 MANYETOMOTİV KUVVET (mmk)

Manyetomotiv kuvvet, manyetik devreden akı geçmesini sağlayan kuvvettir ve elektrik devrelerindeki elektromotiv kuvvete (emk) karşılık gelir. Çekirdekte belli bir akı yoğunluğunun oluşmasını beş etmen belirler. Bunlar, akım, sarım sayısı, çekirdek malzemesi, çekirdek uzunluğu (çevresi) ve çekirdek kesitidir. Akım miktarı ve sarım sayısı artırılırsa mmk değeri artar. Manyetomotiv kuvvetin birimi Amperé ve simgesi F_m dir. Mmk, çekirdek çevresine sarılan bobinden akım geçirerek oluşturulur ve değeri,

$$F_m = N \cdot I$$

eşitliği ile bulunur. Burada F_m Amperé olarak mmk, N bobindeki sarım sayısı ve I Amperé olarak akım değeridir. F_m değerinin akımın bir işlevi olması nedeniyle mıknatıslık kuvveti akımın değiştirilmesi yoluyla ayarlanabilir.

Mmk yönü, sol el kuralı ile belirlenir. Bobin, sol elin dört parmağı akım yönünü gösterecek biçimde tutulursa başparmak, akının yönünü gösterir.

II.1.4.4 RELÜKTANS (MANYETİK DİRENÇ)

Manyetik direnç olarak adlandırılabilir olan relüktans değeri, bir malzemenin manyetik alana gösterdiği zorluk olarak tanımlanabilir ve elektriksel direncin karşılığıdır. Ahşap malzemenin yüksek bir relüktans değeri varken, demirin relüktans değeri düşüktür. Relüktansın akı üzerine etkisi, direncin akım üzerindeki etkisine benzer. Aynı mmk değeri için yüksek relüktanslı bir malzeme içinde oluşturulabilecek akı, düşük relüktanslı bir malzeme içinde oluşturulabilecek akıdan daha az olacaktır.

Relüktansın simgesi \mathfrak{R} ve birimi A/Wb olarak belirlenmiştir. Manyetik malzemelerin relüktansı düşük, manyetik olmayan malzemelerin relüktansı ise yüksektir. Transformator çekirdeklerinde çeşitli çelik malzeme kullanılmasının bir nedeni de budur.

Relüktans, kullanılan malzemeye, manyetik yolun uzunluğuna ve akıya dik kesit alanına bağlı olarak belirlenir. Buna göre,

$$\mathfrak{R} = \frac{\ell}{\mu \cdot A}$$

olur. Burada ℓ metre olarak manyetik yol uzunluğu, \mathfrak{R} A/Wb olarak relüktans ve A m² olarak kesit alanını göstermektedir.

II.1.4.5 OHM YASASI

Elektrik devrelerinin çözümlenmesinde kullanılan Ohm Yasasından, manyetik devrelerin çözümlenmesinde de yararlanılabilir. Akı, mmk ve relüktans sırasıyla akım, gerilim ve dirence karşılık geldiğine göre, manyetik devrelerde kullanılabilir Ohm yasası eşitliği,

$$F_m = \mathfrak{R} \cdot \Phi$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikte F_m Amperé olarak mmk, \mathfrak{R} A/Wb olarak relüktans ve Φ Wb olarak akı değerleridir.

Şekil:11.8de manyetik devre ile elektrik devresinin karşılaştırması verilmiştir. Görüldüğü gibi $N \cdot I$ değeri (F_m), $\Phi \cdot \mathfrak{R}$ değerine eşittir.

II.1.4.6 MANYETİZASYON KUVVETİ (ŞİDDETİ)

$F_m = \Phi \cdot \mathfrak{R}$ eşitliği, manyetik olmayan malzemeler için relüktans değerinin sabit olması nedeniyle her zaman kullanılabilir ancak, manyetik malzemeler için kullanılması, geçirgenliğin doğrusal değişmemesi ve akı yoğunluğuna bağlı olması nedeniyle pek pratik değildir. Bu nedenle manyetik malzemeler için manyetizasyon kuvveti yada yeğinliği denilen bir büyüklük kullanılır. Manyetizasyon yeğinliği, 1m malzeme içinde istenilen akı yoğunluğunu

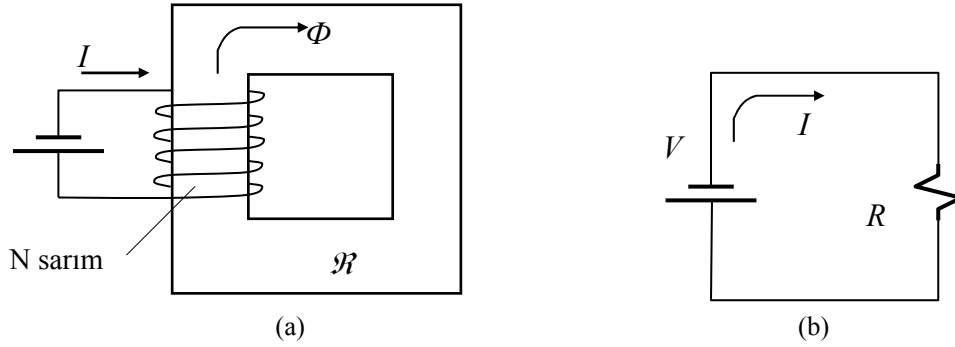
oluşturan mmk değeridir. Buna göre belli bir Amper-sarım değeri için, uzunluğu (çevresi) küçük olan çekirdekte daha büyük manyetizasyon kuvveti oluşur. Manyetizasyon yoğunluğunun simgesi H , SI birim sistemindeki birimi A/m olarak belirlenmiştir ve matematiksel gösterimi de

$$F_m = H \cdot \ell$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlik mmk için verilen Amper-sarım eşitliği ile birleştirilerek,

$$H = \frac{F_m}{\ell} = \frac{N \cdot I}{\ell}$$

olarak yazılabilir. Burada H A/m olarak manyetizasyon kuvvetini, F_m Amper olarak mmk değerini ve ℓ metre olarak manyetik yol uzunluğunu belirtmektedir.



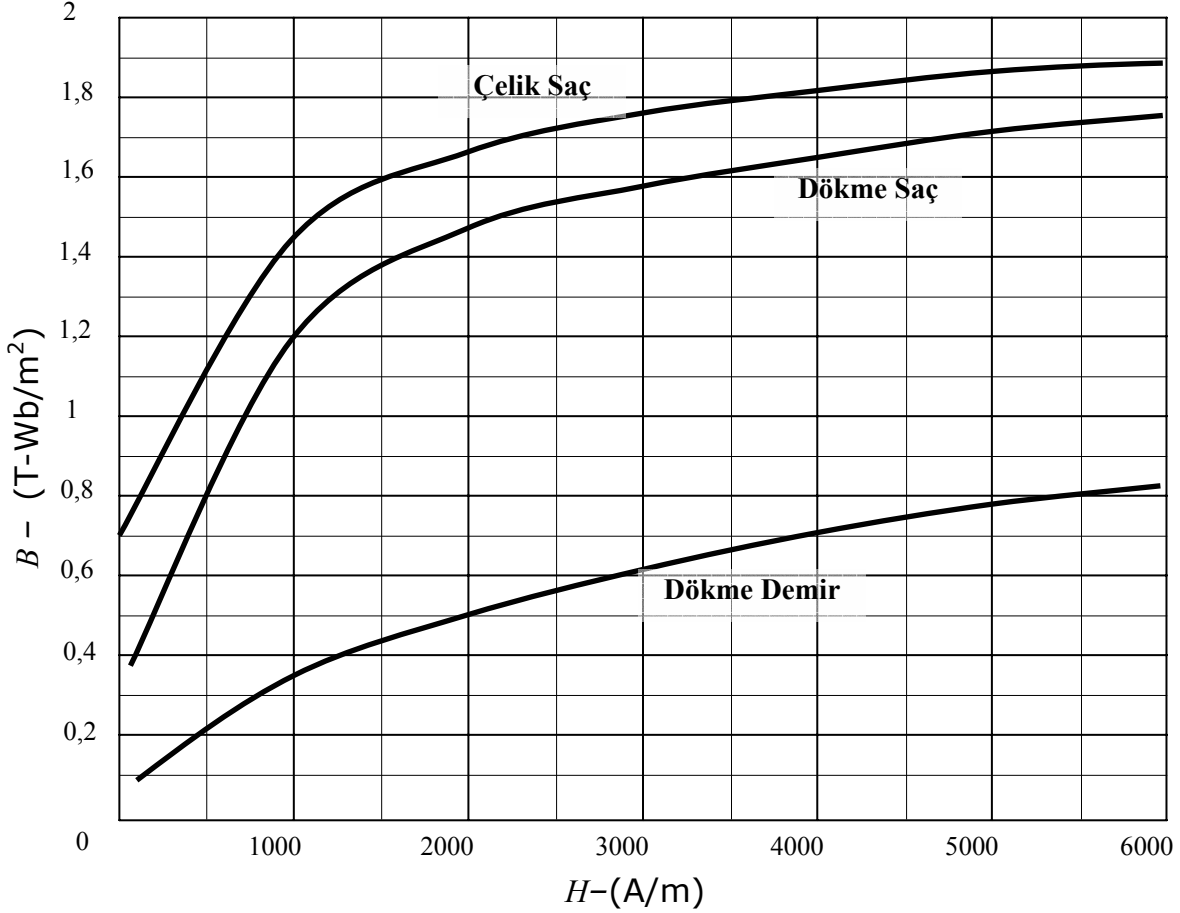
Şekil 11.8: Manyetik devre (a) ve elektrik devresi eşdeğeri.

H değerinin bilinmesi manyetik devrelerin hesaplamasında büyük kolaylık sağlar. Bununla birlikte manyetizasyon şiddeti, akı yoğunluğu ile doğrusal olmayan biçimde değişmesi nedeniyle matematiksel olarak kolayca hesaplanamaz. Bu yüzden H değeri, deneysel sonuçlara dayanarak hazırlanmış olan ve manyetizasyon eğrisi, $B-H$ eğrisi yada manyetik doyum eğrisi olarak adlandırılan eğriler yardımıyla bulunur. Bu eğriler kullanıldığı zaman μ ve \mathcal{R} değerlerinin hesaplanması gerekmez.

Şekil:11.9da dökme demir, dökme çelik ve çelik saç için manyetizasyon eğrileri verilmiştir. Eğrilerden görüleceği gibi, akı yoğunluğunun artması ile manyetizasyon kuvvetinin artışı azalmaktadır.

Manyetik devreler tasarlanırken, manyetizasyon eğrilerinin belli bölge ve noktalarındaki özellikler göz önüne alınırlar. Eğriler genel olarak dört ayrı bölüm olarak incelenebilir.

Doyum Bölgesi. Eğrinin, akı yoğunluğu değişiminin çok az olduğu bölümdür. Bu bölgede akı yoğunluğu en yüksek değerindedir. Güç transformatörleri gibi aygıtlar bu bölgede çalıştırılırlar. Böylece daha küçük çekirdekler kullanılarak daha az yitim değerleri elde edilebilir.



Şekil 11.9: Çelik sac, dökme çelik ve dökme demir için manyetizasyon eğrileri.

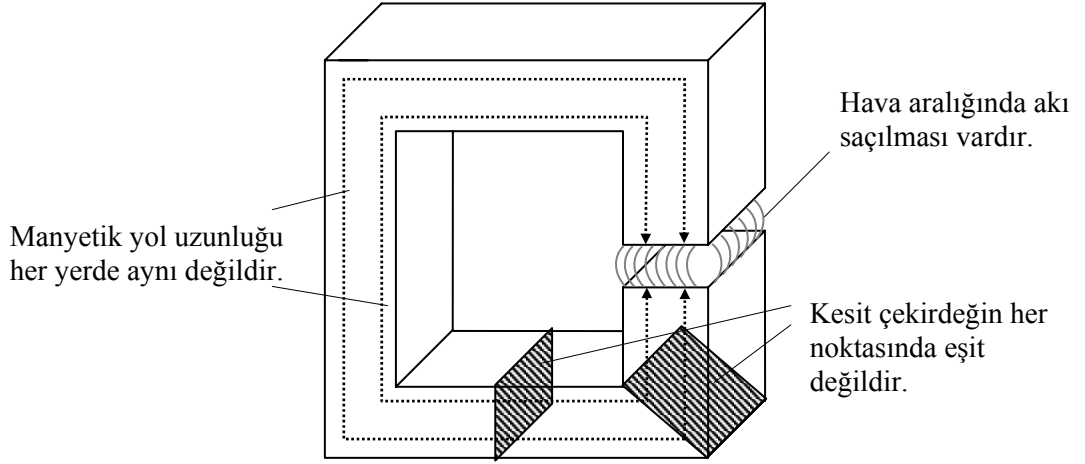
En Yüksek Geçirgenlik Artışı Bölgesi. Eğrinin en yüksek olduğu bölgedir. Bu bölgede akım değişimine bağlı akı yoğunluğu değişimi en yüksek değerindedir. Manyetik kulaklık gibi aygıtlar bu bölgede çalıştırılırlar. Böylece metal diyaframın akım değişimine bağlı olarak daha çok sapması ve daha yüksek ses verimi sağlanır.

Doğrusal Bölge. Eğrinin bu bölgesinde eğim sabittir ve akım değişimine bağlı akı değişimi doğrusaldır. Ses transformatörleri bu bölgede çalıştırılırlar. Böylece akı değişimine bağlı olarak oluşan çıkış gerilimi, giriş gerilimini doğrusal olarak izler.

En Yüksek Geçirgenlik Bölgesi. Bu bölgede belli bir mmk değeri için en yüksek akı yoğunluğu elde edilir. Eğrinin bu bölgesinde çalıştırılan aygıtlar, daha az akım gerektirirler.

II.2 MANYETİK DEVRE ÇÖZÜMLEMESİ

Manyetik devreler, elektrik devrelerindeki benzer yöntemlerle çözümlenirler. Ancak Şekil:11.10da gösterilen nedenlerle sonuçlar, elektriksel devrelerdeki kadar tam ve kesin değildir. Yine de çözümleme ile elde edilen sonuçlar, aygıt tasarım ve üretimi için geçerli bir başlangıç noktası oluşturur.



Şekil 11.10: Manyetik devrelerde hesaplamalar ile gerçek değerler arasında fark yaratan nedenler.

Burada temel, seri ve seri-paralel yapıları manyetik devrelerin çözümlenmesi açıklanacaktır. Bu devreler için verilen yöntemler, diğer manyetik devreler için de kullanılabilir.

En basit manyetik devrede, bir mmk kaynağı, ve aynı geçirgenlik değerine sahip tek bir manyetik yol bulunur. Bu tür bir manyetik devre çözümlenirken aşağıdaki adımlar izlenir:

1. Akı yoğunluğu bulunur.
2. Eğriden H değeri bulunur.
3. Ortalama manyetik yol bulunur.
4. $F_m = H \cdot \ell$ eşitliği ile mmk belirlenir.
5. $F_m = N \cdot I$ eşitliği ile sarım sayısı yada akım değeri bulunur.

Seri manyetik devrede de akı için tek bir yol vardır ancak, bu yol üzerinde temel devreden farklı olarak, iki yada daha fazla sayıda ve geçirgenlikleri birbirinden farklı bölge vardır. Geçirgenliklerin farklı olması, değişik malzemeler kullanılmasından yada farklı kesitlerden kaynaklanır.

Bu tür bir devrede KGY benzeri bir eşitlik kurularak çözümleme yapılır.

$$F_m - H_1 \cdot \ell_1 - H_2 \cdot \ell_2 - \dots - H_n \cdot \ell_n = 0$$

Bu denklemde F_m , Amper olarak seri devredeki mmk değerini, H_1, H_2, \dots, H_n A/m olarak her bir bölüm için birim uzunluk başına manyetizasyon kuvvetlerini, $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n$ ise metre olarak her bir bölümün (ortalama) uzunluklarını göstermektedir.

H değeri, manyetik malzemeler için manyetizasyon eğrilerinden, manyetik olmayan malzemeler için ise $F_m = \mathcal{R} \cdot \Phi$ eşitliği ile bulunur.

Akı değeri bilinen bir seri manyetik devrenin çözümlenmesinde aşağıdaki adımlar izlenerek sonuca ulaşılır.

1. Devredeki bölümler belirlenir.
2. Her bir bölümün ortalama akı yolu uzunluğu bulunur.
3. Manyetik malzemenin her bölümü için akı yoğunluğu hesaplanır.
4. Her bir manyetik bölüm için, ilgili malzemenin manyetizasyon eğrisi kullanılarak H değeri bulunur.
5. Manyetik olmayan bölümlerdeki mmk değerleri, $F_m = \mathcal{R} \cdot \Phi$ eşitliği ile hesaplanır.
6. Bulunan bütün değerler $F_m - H_1 \cdot \ell_1 - H_2 \cdot \ell_2 - \dots - H_n \cdot \ell_n = 0$ eşitliğinde yerine koyularak devrenin toplam mmk değeri ve buradan da sarım sayısı yada akım değeri hesaplanır.

Bir manyetik devredeki mmk değerinin çoğu, hava aralığında akı yaratmak için kullanılır. Bu bilgi hesaplamaların doğruluğunu denetlemek için kullanılabilir. Çoğu uygulama devresinde, yalnızca hava aralıkları göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar ile doyurucu sonuçlar alınabilir.

Seri-paralel devrelerin çözümlenme aşamaları yukarıdakiler ile temelde aynı olmasına karşın, biraz daha karmaşıktır. Bu tür devrelerde akı çekirdeğin kolları arasında bölünür. Bu nedenle paralel kollar için KAY benzeri

$$\Phi_T - \Phi_1 - \Phi_2 - \dots - \Phi_n = 0$$

eşitliği kullanılır. Burada Φ_T Wb olarak devreye giren toplam akıyı ve $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ değerleri de yine Wb olarak koştur kollara dağılan akı değerlerini belirtmektedir.

Çözümlemede izlenecek adımlar şu biçimde sıralanır.

1. Sol el kuralı ile akı yönü belirlenir ve akı, çekirdek üzerindeki bölümlere dağıtılır.
2. Devredeki göz sayısı ve üç yada daha çok kolun birleştiği noktalar belirlenir.
3. Değişik geçirgenlikli bölgeler belirlenir ve bunların ortalama uzunlukları bulunur.

4. Mümkün olan bütün bölümlerde akı yoğunluğu belirlenir. Manyetik malzeme kullanılmış bölümlerde $B-H$ eğrileri yardımı ile H değerleri bulunur.
5. Olabildiğince çok sayıda bölümün mmk değerleri hesaplanır.
6. Toplam göz sayısından bir eksik sayıda $F_m - H_1 \cdot \ell_1 - H_2 \cdot \ell_2 - \dots - H_n \cdot \ell_n = 0$ eşitliği yazılır.
7. Denklemdede değerler yerlerine koyularak bilinmeyen H değerleri bulunur.
8. Bulunan manyetizasyon kuvvetleri kullanılarak, çekirdeğin diğer kısımlarındaki B değerleri belirlenir.
9. $\Phi_T - \Phi_1 - \Phi_2 - \dots - \Phi_n = 0$ eşitliği yazılarak bilinmeyen akı değeri bulunur.
10. Bulunan akı değeri için akı yoğunluğu hesaplanır ve $B-H$ eğrisi ile H değeri bulunur.

II.3 BİR MIKNATISIN ÇEKİM KUVVETİ

Bazı aygıtlar manyetik alanı kullanarak çalışırken, elektrikli vinç, manyetik devre kesici, röle ve kapı kilidi gibi bazı aygıtlar da manyetik alanın çekim kuvvetini kullanırlar. Çekim kuvveti, mıknatısın bir demir parçasına uyguladığı çekme miktarı olarak tanımlanabilir.

Çekim kuvveti, akı yoğunluğuna ve iki yüzeyin ortak kesitine bağlı olarak değişir. Birbirine koşut ve boşluktaki iki manyetize yüzey arasındaki çekim kuvveti,

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0}$$

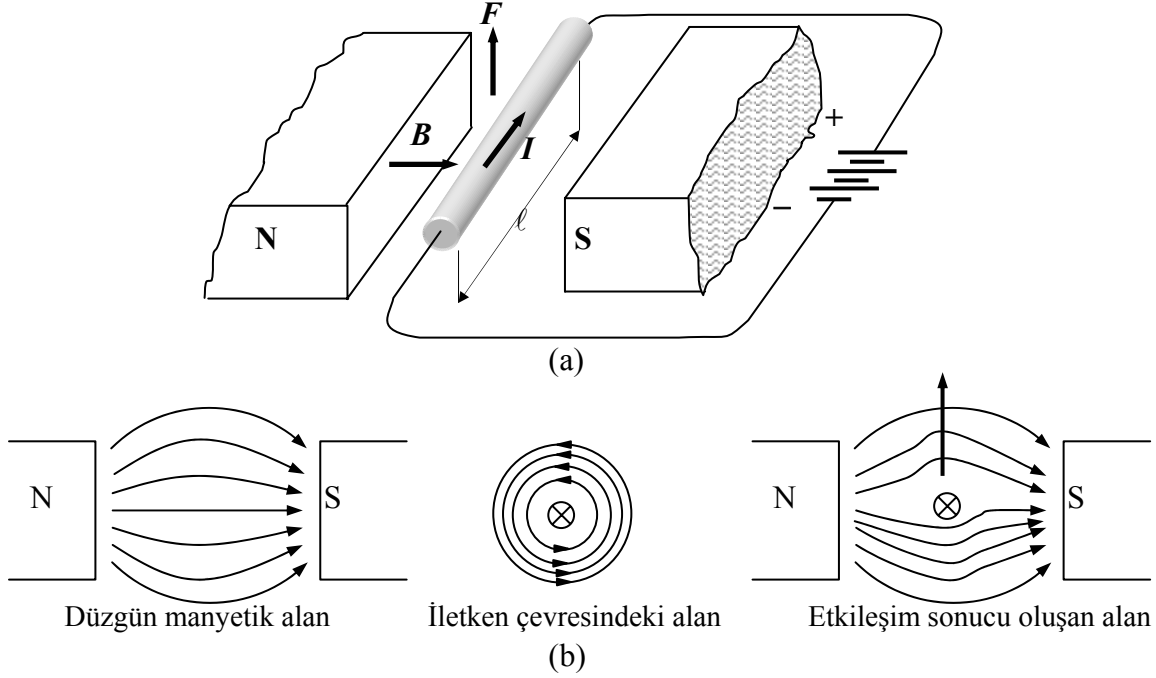
eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte F Newton olarak kuvveti, B Tesla (Wb/m^2) olarak akı yoğunluğunu, A m^2 olarak iki yüzeyin ortak kesitini ve μ_r Wb/A olarak boşluğun geğirgenliğini ($4\pi 10^{-7}$) gösterir.

II.4 ALAN İÇİNDE AKIM TAşIYAN İLETKENE ETKİYEN KUVVET

Mıknatısların oluşturduğu manyetik alanlar arasında, etkileşimden doğan bir kuvvet oluşur. Aynı etkileşim akım taşıyan bir iletken ile, bu iletkeni kuşatan ve sürekli yada geçici bir mıknatıs ile oluşturulmuş manyetik alan arasında da görölür. Akım taşıyan bir iletken çevresinde dairesel yapılı bir manyetik alan oluştuğu biliniyor. Bu iletken yada bunun bir parçası, elektrikselsel olarak yada kalıcı mıknatıs kullanarak elde edilmiş bir alana dik olarak girerse, manyetik alan tarafından iletkene bir kuvvet uygulanır.

Bu kuvvetin yönü ve oluşumu Şekil:11.11de açıklanmaktadır. Akım taşıyan iletken, N-S kutupları arasındaki alana yerleştirildiğinde, akım yönü, alan yönü ve devinim yönü arasında sol el baş, işaret ve orta parmakları ile belirlenen

açısız ilişki, (a)da görüldüğü gibidir. İletkene uygulanan kuvvetin oluşumu da (b)de gösterilmektedir. İletken çevresinde oluşan yuvarlak alanın yönü, iletkenin alt tarafında akıyı destekler yönde iken üst tarafta akıya ters yöndedir. Bu nedenle alt bölümdeki akı güçlenirken üst bölümdeki akı zayıflamakta ve böylece iletken sürekli olarak, yukarı-aşağı devinmektedir.



Şekil 11.11: Akım taşıyan iletkene etkiyen kuvvetin yönü ve oluşumu.

Burada da görüldüğü gibi alanların etkileşimi ile kuvvet doğmaktadır. Aslında bir bölgede manyetik alan bulunup bulunmadığı, bu ilkeye dayanarak yapılmış aygıtlarla belirlenir. Bir noktada, devinen bir yüke kuvvet etki ediyorsa, orada manyetik alan var demektir.

Devinen bir yüke etkiyen kuvvet,

$$F = q \cdot v \cdot B$$

eşitliği ile belirlenir. Burada F Newton olarak kuvveti, q Coulomb olarak parçacıktaki yükü, v m/s olarak alana dik hızı ve B Tesla olarak alanın akı yoğunluğunu göstermektedir. Parçacıklar alana belli $\theta=90^\circ$ den farklı açı ile deviniyorlarsa kuvvet, $\sin\theta$ kadar azalır.

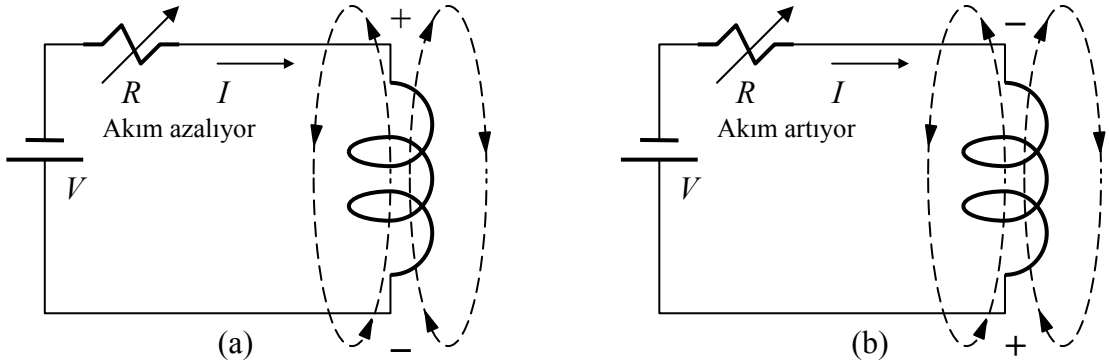
Yukarıdaki denklem kullanılarak akım taşıyan iletkene etkiyen kuvvet,

$$F = B \cdot I \cdot \ell$$

olarak bulunur. Bu eşitlikte önceki eşitlikten değişik olarak I Amperé olarak akımı ve ℓ metre olarak alana dik iletken uzunluğunu göstermektedir. Yine önceki eşitlik için olduğu gibi iletken alana $\theta=90^\circ$ den farklı bir açı yapıyorsa kuvvet, $\sin\theta$ kadar azalır.

II.5 ÖZ ENDÜKTANS

Öz endüktans, bir aygıtın akım *değişimine* direnme özelliğidir. Tüm iletkenlerin düz olsalar bile bir miktar endüktansları vardır. Bu küçük yada dağınık endüktans değerleri, düşük frekanslı devrelerde önemsiz olsalar da, yüksek frekanslarda devrenin özelliklerini ve çalışmasını etkileyebilirler.



Şekil 11.12: Akım (ve akı) değişimi sırasında indüklenen emk polariteleri.

Belli bir değerde endüktans yaratmak için tasarlanıp üretilmiş aygıtlara bobin (inductor, kangal) denir. Bunlar, gereksinilen akım ve endüktans değerlerine bağlı olarak türlü makara ve çekirdekler kullanılarak hazırlanırlar. Bobinin ferromanyetik çekirdeği varsa, endüktansı yüksek olur.

Endüktansın simgesi L , birimi ise Amerikalı fizikçi Joseph Henry anısına Henry (H) olarak belirlenmiştir. 1H değerindeki bir bobinden geçen akım 1sn içinde 1A değişirse, bobin uçlarında 1V indüklenir. Bobinler, yüksek ve düşük sıklık süzgeç, zaman geciktirme, akort ve dalga biçimlendirme devrelerinde kullanılırlar.

Bir devrede endüktansın bazı özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

1. emk, yalnızca akım değişimi varken oluşur.
2. emk polaritesi, oluşturacağı akım değişime karşı koyacak yöndedir.
3. Akım değişim hızı yükselirse, indüklenen emk değeri de artar.
4. Büyük endüktans değerleri, akımın daha yavaş değişmesine neden olur.

Şekil:11.12de bobinin çalışması açıklanmıştır. (a) V geriliminin azalması ile devre akımı azalacaktır. Bu akım değişimine bağlı olarak bir akı değişimi

doğacaktır. Oluşan akı değişimine karşı koymak için, indüklenen emk değerinin devre gerilimine eklenmesi gerekir. Böyle olması için indüklenen emk, devre gerilimine eklenecek polaritede olmalıdır. Bobinde indüklenen emk, değişime ters yönde olduğu yada karşı koyduğu için, *zıt emk* yada *zemk* olarak adlandırılır.

Benzer biçimde devre gerilimi artırılarak devre akımı artırılırsa zemk, devre gerilimini azaltıcı yönde oluşmalıdır. Bu durumda indüklenen emk değeri, (b)deki gibi olur. Her iki durumda da, indüklenen zemk tarafından oluşturulacak akım, değişimi karşılamaya çalışacaktır. Devre direncinde yapılacak değişimle sağlanacak bir akım değişimi de aynı sonuçları verecektir.

emk, akım değişimi ve endüktans cinsinden,

$$e = L \cdot \frac{di}{dt}$$

olarak ifade edilir. Burada e Volt olarak endüktansın oluşturduğu anlık zemk değerini, L Henry olarak endüktans değerini ve di/dt Amperé/sn olarak sonsuz küçüklikte bir zamandaki akım değişimini göstermektedir.

Ortalama zemk değeri, $d\Phi/dt$ için olduğu gibi, $\Delta i/\Delta t$ kullanılarak,

$$e_{\text{ort}} = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

eşitliği ile elde edilir. Burada $\Delta i/\Delta t$ Amperé/sn olarak Δt zamandaki ortalama akım değişimini göstermektedir.

II.7 ENDÜKTANSI BELİRLEYEN ETMENLER

$e=L \cdot di/dt$ ve $e=N \cdot d\Phi/dt$ olduğuna göre, $L= N \cdot d\Phi/di$ olacaktır. Buna göre endüktans değeri, bobinleri bağlayan akı miktarına göre değişmektedir. Bu bağ, bobinin uzunluğu, çapı, sarım biçimi ve bobinin içindeki ve çevresindeki malzemenin geçirgenliği ile belirlenir. Pek çok olası çeşitleme nedeniyle hiç bir endüktans eşitliği her bobin için tam sonuç vermeyecektir. Ancak, uzunluk çaptan en az on kat fazla ise ve geçirgenlik değeri de sabitse,

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

temel eşitliği, oldukça kabul edilebilir sonuçlar verir. Bu eşitlikte L Henry olarak endüktans değerini, μ Wb/A·m olarak geçirgenliği, ℓ metre olarak bobin uzunluğunu ve A m² olarak çekirdek kesit alanını (\approx bobin kesit alanı) göstermektedir.

II.8 BOBİNLER

Bobinler, belli miktarda endüktans oluşturmak için sarılırlar ve yüksek sıklıklı haberleşme devrelerinde kullanılan birkaç μ Hlık değerlerden, güç kaynağı süzgeçlerinde kullanılan bir kaç Hlık değerlere dek bulunabilirler. Bazı uygulamalarda *değişken* endüktans değerlerine gerek duyulabilir. Bu tür indüktörler, devingen çekirdekler kullanılarak üretilirler.

II.8.1 BOBİNLERİN ARDIL VE KOŞUT BAĞLANMALARI

Bobinlerin ardıl yada koşut bağlanmaları ile, istenilen bir endüktans değeri elde edilebilir. Bobinlerin ardıl bağlanması durumunda toplam endüktans,

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots L_n$$

eşitliği ile bulunur. Aralarında manyetik bağlaşım olmayan bobinlerin koşut bağlanmaları durumunda elde edilecek eşdeğer endüktansın değeri de,

$$L_{eş}^{-1} = L_1^{-1} + L_2^{-1} + \dots L_n^{-1}$$

eşitliği ile bulunur. Yalnızca iki bobinin koşut bağlanması durumunda eşdeğer endüktans,

$$L_{eş} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

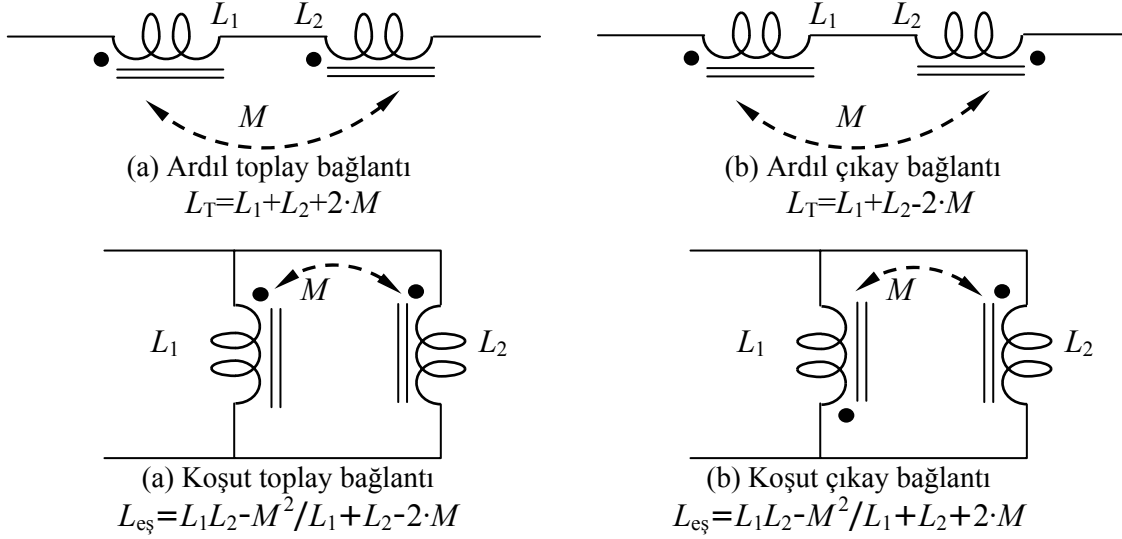
olur. Görüldüğü gibi endüktansların ardıl ve koşut bağlantıları için kullanılan eşitlikler, dirençler için kullanılan eşitlikler ile aynı biçimdedir. Ancak bu eşitlikler yalnızca, bobinler arasında akı bağı bulunmadığı yani bağlaşımın olmadığı yada çok zayıf olduğu, başka bir deyişle karşılıklı endüktans bulunmadığı zaman geçerli sonuçlar verirler. Sıfır bağlaşım koşulu, bobinler arasında fazlaca uzaklık bırakarak, bobinleri ekranlayarak yada bobinleri, alanları etkileşmeyecek biçimde yerleştirerek sağlanabilir.

II.8.2 KARŞILIKLI ENDÜKTANS

İki bobin birbirine koşut konumda ve manyetik alanları etkileşebilecek denli yakın yada aynı çekirdek üzerine sarılı iseler, eşdeğer endüktans değeri yukarıdaki eşitlikler ile bulunamaz. Çünkü her bir bobinin endüktansı, diğer bobinin alanından etkilenir. Değişen endüktanslar nedeniyle alanlar değişir ve böylece karşılıklı endüktans denilen ve M simgesi ile gösterilen zincirleme bir etki oluşur.

Karşılıklı endüktans değeri bobinlerin alanlarına bağlı olduğu için, hesaplanırken bobin alan yönlerinin bilinmesi gerekir. Bobinlerin alan yönlerinin belirtilmesi için, bobin simgesinin bir ucuna bir nokta eklenir.

Akım her iki bobinin noktalı ucundan giriyorsa (yada çıkıyorsa), karşılıklı endüktans etkisi eşdeğer endüktansa eklenir. Akım eğer noktalı uçların birinden girip diğerinden de çıkıyorsa, karşılıklı endüktans etkisi eşdeğer endüktanstan çıkarılır. Bu durumlara sırasıyla *toplay* ve *çıkay* bağlantı denilir ve Şekil:11.13te ardıl ve koşut bağlantılar için olası bağlantılar gösterilmişlerdir.



Şekil 11.13: Bobinlerin ardıl ve koşut bağlantısında olası bağlantılar ve eşitlikleri.

Seri ve paralel bağlantılarda eşdeğer endüktansları belirlerken kullanılan karşılıklı endüktans değeri,

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

eşitliği ile belirlenir. Bu eşitlikte M H olarak karşılıklı endüktansı, L_1 ve L_2 yine H olarak bobinlerin endüktanslarını gösterir. k değeri ise bağlaşım katsayısıdır ve birimsizdir.

Karşılıklı endüktans, toplay ve çıkay bağlantılar ile elde edilen eşdeğer endüktanslar ölçülerek belirlenebilir. Buna göre L_T toplay endüktansı ve $L_Ç$ çıkay endüktansı göstermek üzere karşılıklı endüktans,

$$L_T - L_Ç = 4M$$

eşitliği kullanılarak bulunabilir.

BÖLÜM 12

DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

SORUN ÇÖZÜCÜ

Charles Proteus Steinmetz (1865-1923), matematik, elektrik mühendisliği ve kimya üzerine uzmanlaşmış bir elektrik dahisi idi. Elektronığe üç büyük katkısı, hysteresis yasasını keşfi, şimşeklerle ilgili çalışmaları sonucu ürettiği yürüyen dalga kuramı ve ac devre çözümlerinin karmaşık sayıların kullanılması ile yapılabileceğini keşfidir. Sorunları çözmek onun uzmanlık alanıydı ve bir keresinde büyük bir kuruluşun sistemindeki hiç kimsenin gideremediği bir hatayı düzeltmekle görevlendirildi. Kısa bir süre belirtileri ve şemaları inceledikten sonra metal kutulardan birisinin üzerine tebeşirle “X” yazıp, sorunun burada bulunduğunu söyledi ve gitti. Haklıydı ve sorunun giderilmesi ile rahatlayan şirket yöneticileri \$1000 değerindeki faturayı aldıklarında pek de memnun olmadılar. Faturayı ayrıntılandırmasını istediklerinde Steinmetz’ den aldıkları yanıt, “\$1 işaret koymak için \$999 işaretin nereye konulacağını bilmek için” oldu.

GİRİŞ

Bilindiği gibi endüktansın özelliği, akım değişimine karşı koymaktır. Bu bölümde, direnç ve bobin içeren ardıl devreye da uygulandığı zaman akımın artış ve azalışı, ayrıntısıyla incelenecektir. Bu bağlamda, akım değişimine etki eden endüktif *zaman değişmezi* ($\tau=L/R$) tanımlanmaktadır. Zaman değişmezi devredeki direnç ve bobinin değerleri dışındaki hiçbir elektriksel büyüklükten (akım, gerilim) etkilenmez. Zaman değişmezi, *RL* devrede, kararlı duruma erişmeden önce akım ve gerilimdeki geçici değişimlerin

incelenmesini sağlar. Geçiş durumu, evrensel zaman değişme eğrilerinin kullanıldığı grafiksel çözümleme yöntemi ile incelenebilir.

Endüktif bir devrede akımı kesmek için mekanik anahtarlama kullanılıyorsa, bobinin manyetik alanında depolanan erk, yüksek gerilimler oluşmasına neden olur. Bu olgu, flüoresan lamba devrelerinde ve otomotivde ateşleme dizgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek gerilimlerin zararlı olduğu durumlarda, endüktif etkinin azaltılması yönünde önlemler alınması gerekli olabilir.

12.1 ENDÜKTİF DEVREDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMESİ

Tam dirençsel bir devrede akımın yükselişi bir anda gerçekleşir ve Ohm Yasası ile belirlenen değere hemen erişir. Direnç, akımın yükselme hızını değil, ne kadar akım geçeceğini belirler. Oysa direnç ve endüktans içeren endüktif devreler, direnç ve sığaç içeren devrelerinkine benzer bir geçiş tepkisi verirler. RL devrelerde de, sığasal devrelerde olduğu gibi, devreye gerilim uygulanması ile kararlı akım değerinin oturması arasında bir gecikme vardır. Diğer yandan bobin uçlarındaki gerilim, bobin akımı değiştirmeme çabası nedeniyle hemen oluşur.

Bobinler devrelerde tek başlarına bulunabildikleri gibi, röle gibi aygıtların içinde de bulunurlar. Yüksek sıklıklarda, baskı devre yolları bile endüktif özellikler gösterebilirler. RL devrelerin incelenmesi, RC devrelerin incelenmesine benzer biçimde yapılabilir. Bu iki tür devre arasındaki temel ayrım, sığaç gerilim değişimine direnirken, bobinin devre akımındaki değişime diremesidir.

12.2 AKIM ARTIŞINDA RL DEVRE

Şekil:12.1de, bir direnç ve bobinden oluşan temel RL devre görülmektedir. Burada gösterilen direnç bobinin iç direnci olabileceği gibi, bobin düşüncel varsayıлып, nihai akımın sınırlanması için eklenmiş bir direnç de olabilir. Ardıl RL devrede akım, üç değer alabilir:

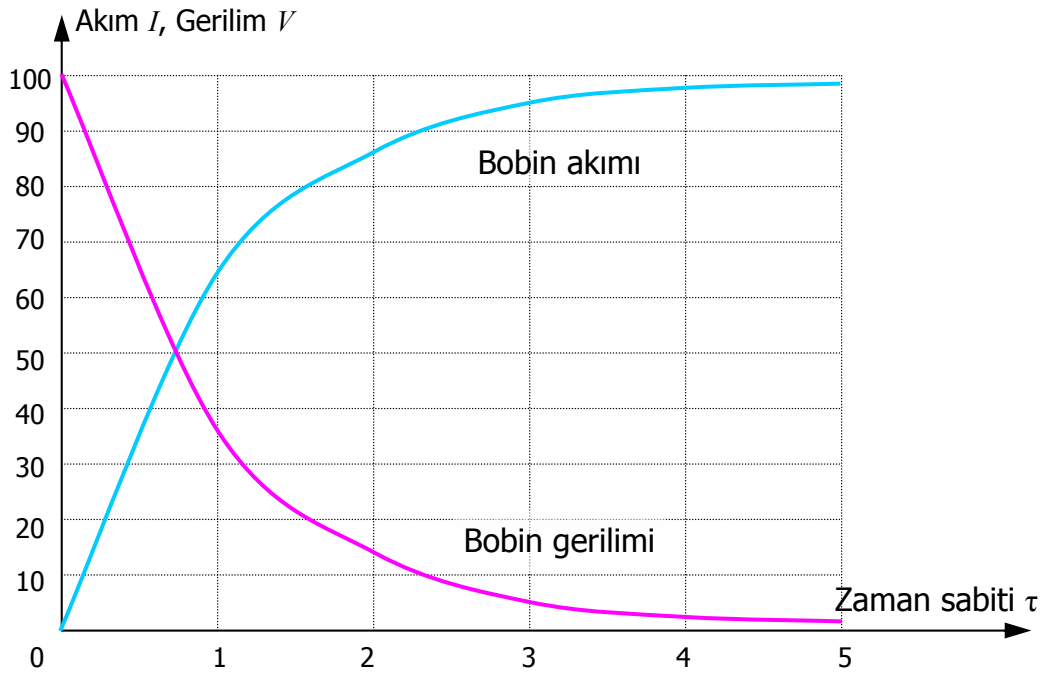
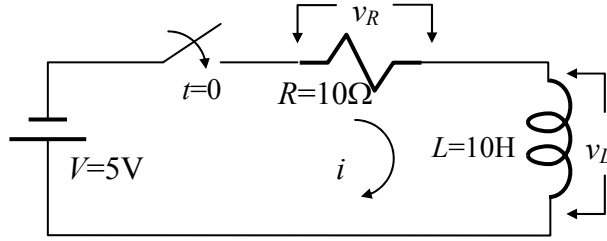
1. Anahtar açık, akım yok; bobin uçlarındaki gerilim 0V.
2. Anahtar kapalı-akım sıfırdan en yüksek değerine yükseliyor.
3. Anahtar kapalı, akım en yüksek değerinde; bobin uçlarındaki gerilim 0V.

Anahtar kapatıldığında, bobinde oluşan zerk nedeniyle akım en yüksek değerine yalnızca direnç bulunan bir devrede olduğu gibi hemen erişemez. Bunun yerine, yine Şekil:13.1de görülen ve direnç-endüktans değerlerine bağlı zaman değişme eğrisine uygun bir değişim görülür. Bobin durumunun

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

bir kararlı durumdan diğer kararlı duruma değişimi arasındaki süreye, geçiş durumu denir.

RL devrede anahtarın kapatılması ile, bir akım oluşur. Akımdaki bu



Şekil 12.1: Direnç ve endüktans içeren dc devrede, geçiş durumunda akım ve gerilim değişimi.

değişime karşı koyabilmek için bobin uçlarında da bir zembek oluşur. Akım ve gerilim değerleri değişiyor olsa da KGY herhangi bir an için geçerli olacaktır. Buna göre geçiş durumunda bobin gerilimini bulmak için devreye KGY uygulanırsa,

$$\begin{aligned} V &= v_R + v_L \\ &= i \cdot R + L \frac{di}{dt} \end{aligned}$$

yazılabilir. Anahtar kapatıldığı anda devre akımı sıfır olduğuna göre $t=0$ anında,

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

$$V = 0 \cdot R + L \frac{di}{dt}$$

olacak, buradan da $t=0$ için

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L}$$

bulunacaktır. Burada V Volt olarak devre gerilimi, L Henry olarak endüktans ve di/dt Amper/sn olarak küçük bir zaman değişimi (dt) için akım değişimini (di) gösterir.

$di/dt=(V-iR)$ olduğu için, akım arttıkça, di/dt değeri azalır. Geçiş durumunun sonunda eğrinin eğimi sıfır olduğu için $di/dt=0$ olur. Bu durumda $V-iR=0$ olacağından,

$$i = \frac{V}{R}$$

olarak kararlı durum devre akımı bulunabilir. Buna göre $t=0$ anında di/dt en yüksek değerinde olduğundan, $V-iR$ ve $L \cdot di/dt$ değerlerine eşit olan v_L , en yüksek gerilim değerinde olur.

Akımın kararlı durum değerine yükselmesi için gereken süre, devredeki direnç ve endüktans değerlerine bağlıdır. Büyük endüktans değerleri, daha yüksek sayıda kuvvet çizgisini destekleyebildikleri için, çizgilerin oluşması için gereken zaman daha fazla olur. Büyük direnç değerleri de daha az akım ve daha az kuvvet çizgisine neden olarak, gereken zamanı kısaltırlar.

$V=iR+L(di/dt)$ eşitliği, diferansiyel bir denklemdir ve RC devreler için kullanılan eşitliğe benzer. RL devrelerde akım değişimini incelemek için yararlı olsa da, akım değerini bulmak için bu biçimiyle kullanılamaz. Bu eşitlik, RC devrelerde gösterilen yöntemle çözümlenerek,

$$i = \frac{V}{R} \cdot (1 - e^{-t/(L/R)})$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte i Amper olarak anahtar kapatıldıktan t saniye sonra akımı, V Volt olarak kaynak gerilimini, t saniye olarak anahtar kapatıldıktan sonra geçen zamanı, L Henry olarak endüktansı ve R Ohm olarak devre direncini ve e doğal logaritma tabanı 2,71828.... sayısını göstermektedir.

Bu eşitlik, $e^{-t/(L/R)}$ terimi nedeniyle üstel bir eşitliktir ve evrensel zaman sabiti olarak adlandırılan üstel eğriyi verir. Bu tür eğrilerde değişim hızı başlangıçta yüksektir ve gittikçe azalarak sifıra ulaşır.

Yukarıdaki akım eşitliği incelenirse, düşüncel bir bobinin başlangıçta açık devre gibi davranıp, geçiş durumu sonunda kararlı duruma erişilince kısa devre özelliğine geçtiği görülür. Bu durum, sığağtakinin tam tersidir.

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

Akım değeri bulunduğuna göre, direnç ve bobin uçlarındaki gerilim değerleri bulunabilir.

Devreye Ohm Yasası uygulanarak direnç uçlarındaki gerilim,

$$\begin{aligned}v_R &= i \cdot R \\ &= \frac{V}{R} \cdot \left(1 - e^{-t/(L/R)}\right) \cdot R \\ &= V \cdot \left(1 - e^{-t/(L/R)}\right)\end{aligned}$$

olarak bulunur. Devrede KGY uygulanırsa devre gerilimi,

$$V = v_R + v_L$$

olarak yazılır. Buna göre bobin gerilimi,

$$v_L = V - v_R$$

olacaktır. Burada direnç gerilimi yerine koyulursa bobin gerilimi,

$$v_L = V - V \cdot \left(1 - e^{-t/(L/R)}\right)$$

ve buradan da,

$$v_L = V \cdot e^{-t/(L/R)}$$

olarak bulunur.

Bu eşitlik, gerçek bir bobinin uçlarındaki gerilimi vermez. Gerçek bir bobinin iç direnci olacağı için uçlarındaki gerilim, $v_r + v_L$ olacaktır.

13.3 ZAMAN DEĞİŞMEZİ

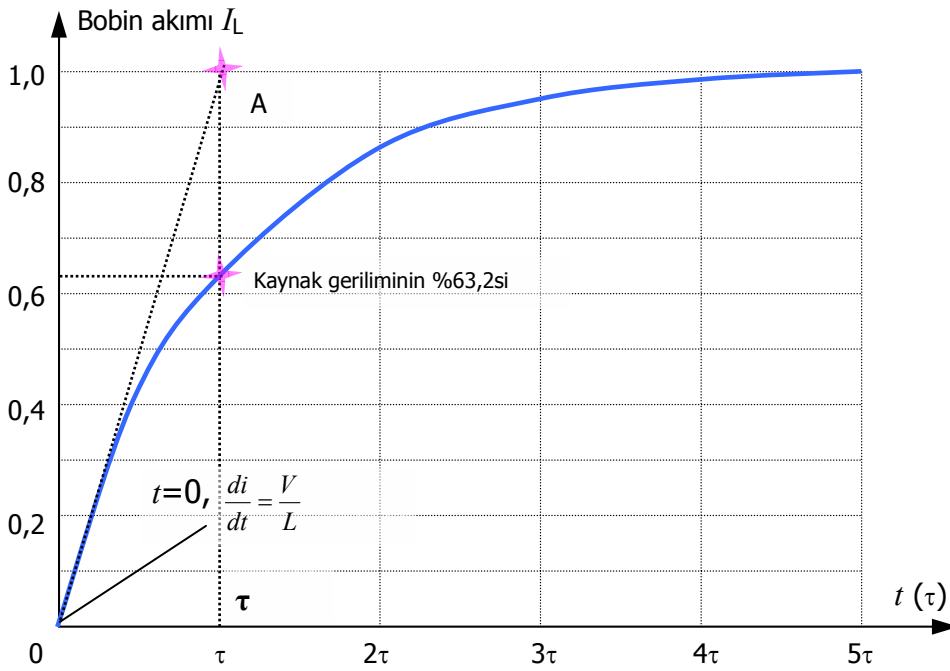
Tablo 12.1: *RL* Devrede Zaman Değişmezine Bağlı Olarak Erişilen Akım Değerleri

τ sayısı	Son değer yüzdesi
0	0
1	63,21
2	86,47
3	95,02
4	98,17
5	99,33

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

Akım eğrileri keskin olarak yükselen RL devrelerin zaman değişmezi küçüktür. Eğrileri daha yavaş yükselen devrelerin zaman sabiti ise daha büyüktür. Zaman değişmezi simgesi, RC devrelerdeki gibi τ olarak belirlenmiştir ve RL devrelerin, eğrileri çizilmeden çözümlenmesini sağlar.

Üstel eğriler kuramsal olarak asla son değere erişmezler. Uygulamada ise 5τ sürede son değerın %99,33üne erişildiği için, kararlı durumun oluştuğu varsayılır. Zaman değişimine bağlı olarak devre akımındaki değişim, Tablo:12.1de verilmiştir. Bu değerler kullanılan direnç ve endüktans değerlerinden bağımsızdır ve sonuçların denetlenmesi, kaba çizimler ve değer kestirmeleri için kullanılabilir.



Şekil 12.2: τ , başlangıç değişim hızı ile son değere erişilecek süredir.

Zaman değişmezi, devredeki R ve L değerlerine bağlıdır. Tam sonucu veren eşitlik ise, Şekil:12.2deki eğriden çıkarılabilir.

0-A doğrusu, V/L değerindeki başlangıç değişim hızını göstermektedir. Bu değişmez eğim ile son değere τ sürede erişilmektedir. 0-A doğrusunun eğimi,

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{V/R}{\tau}$$

olarak yazılabilir. Başlangıç artış hızı

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{V}{L}$$

olduğuna göre,

$$\frac{V}{L} = \frac{V/R}{\tau}$$

yazılır. Buradan da zaman değişmezi,

$$\tau = \frac{L}{R}$$

olarak bulunur.

13.4 AKIM AZALIRKEN RL DEVRE

RL devrede akım azalırken de geçiş durumu oluşur. Yükseliş ve azalış durumlarında akım büyüklüğü aynıdır ancak azalma sırasındaki zemk polaritesi, yükseliştekinin tersidir. Endüktansın oluşturduğu zemk, devre akımı artıyorken devre gerilimine ters yönde, devre akımı azalırken ise devre gerilimini destekleyecek yöndedir.

Şekil.12.3te, üstteki devreden yararlanılarak akım azalışında endüktans davranışı açıklanmıştır. Burada devre kararlı durumda iken her iki anahtarın konumları ok yönünde değiştirilirse, devredeki gerilim kaynağı, yerinde bir kısa devre bırakarak devreden ayrılır. Kaynak gidince direnç üzerinde yiten erk nedeniyle devre akımı azalır. Akım artışında olduğu gibi akım azalışında da endüktans etkisi nedeniyle hızlı bir değişim oluşmaz. Devre akımının sıfıra inişi birdenbire değil, bobin uçlarındaki zemk nedeniyle belli bir sürede gerçekleşir. Şekil:12.3te, bobin uçlarındaki gerilimin ve bobin (devre) akımının azalış eğrileri de verilmiştir. Görüldüğü gibi *RC* devredekinin tersine, akım ve gerilim aynı biçimde azalmaktadırlar.

Anahtar konumlarının değiştirilmesi ile devrede yalnızca, direnç bobin ve anahtardan oluşan göz kalır. Bu gözde KGY uygulanarak,

$$-v_R + v_L = 0$$

yazılır. $v_R=iR$ olduğuna göre,

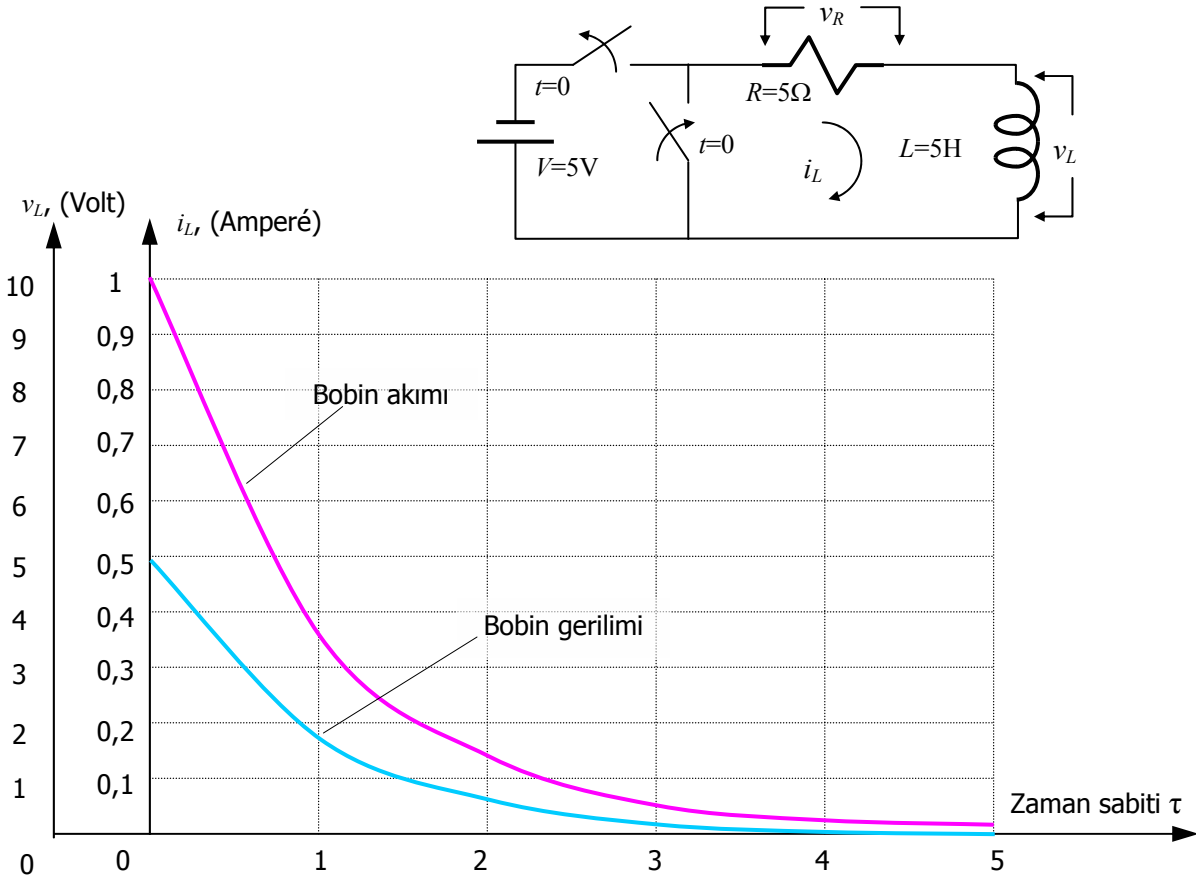
$$-i \cdot R + v_L = 0$$

yazılabilir. Anahtarın kapatıldığı anda devreden geçmekte olan akım kararlı durum akımıdır ve I_0 ile gösterilir. Buna göre anahtarın kapatıldığı anda,

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

$$v_L = I_0 \cdot R$$

yazılır. Burada v_L Volt olarak düşüşün başladığı andaki bobin gerilimini, R Ohm olarak devredeki toplam direnci (zaman değişmezini etkileyen direnç toplamını) gösterir. I_0 Amperé olarak anahtar kapatıldığında devreden geçmekte olan akımdır ve V/R değerine eşittir.



Şekil 12.3: RL Devrede akım azalırken, geçiş tepkisi.

v_L aynı zamanda akım artışındaki gibi $L(di/dt)$ değerine de eşit olduğuna göre başlangıç akım değişim hızı,

$$\frac{di}{dt} = \frac{I_0 R}{L}$$

olarak bulunur. Burada di/dt değeri A/s olarak dt zamanında görülen di akım değişimidir ve eğrinin $t=0$ saniyedeki eğimine eşittir.

Akım azalırken di/dt terimi de azalarak sıfıra inmelidir. Böylece eğim de azalarak yatay bir çizgiye dönüşecektir. $i_R - L(di/dt)$ gösterimi diferansiyel bir eşitliktir ve çözümlendiğinde,

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

$$i_L = I_0 \cdot e^{-t/(L/R)}$$

olarak RL devrede azalan akım eşitliği bulunur. Bu eşitlikte i_L Amperé olarak düşüşün başlamasından t saniye sonra bobin akımını, I_0 yine Amperé olarak düşüşün başladığı andaki bobin akımını, L Henry olarak devredeki endüktansı ve R Ohm olarak devre direncini göstermektedir. e ise doğal logaritma tabanı olan 2,71828182845904523536028747135266 sayısını göstermektedir.

Artık herhangi bir andaki direnç ve bobin gerilimi değerleri bulunabilir. $v_R = i \cdot R$ olduğuna göre herhangi bir andaki direnç gerilimi,

$$v_R = R \cdot I_0 \cdot e^{-t/(L/R)}$$

olarak bulunur. Ayrıca KGY uyarınca $v_L = v_R$ olduğuna göre herhangi bir andaki bobin gerilimi için,

$$v_L = R \cdot I_0 \cdot e^{-t/(L/R)}$$

olarak elde edilir. zerk değeri v_L , düşüş süresince kaynak gibi görüldüğü için, direnç üzerinde düşen gerilime eşit olmaktadır.

Akım azalışındaki zaman değişmezi, artışakinin aynısıdır. Yalnız bu kez değişim sifıra doğru olduğu için her bir τ aralığında akım azalacaktır. Tablo:11.3te bu azalışın başlangıçtaki akım değerinin yüzdesi olarak değişimi verilmiştir.

Tablo 12.2: RL Devrede Zaman Değişmezine Bağlı Olarak Erişilen Akım Değerleri

τ sayısı	Son değer yüzdesi
0	100
1	36,79
2	13,53
3	4,98
4	1,83
5	0,67

13.5 SIĞAÇLI DEVRELER

Siğasal bir dc devrede sürekli akım akışı olmasa da, siğaca uygulanan gerilim *değişiyorken*, *anlık* olarak geçen dolma yada boşalma akımları olacaktır. (Bu durum, yalnızca üzerinden geçen *akım* değişiyorken *gerilim* indükleyen bobinler ile karşılaştırılabilir.)

Kapasitörün dolması yada boşalması için gereken sürenin belirlenmesi için, devrenin *zaman sabitinin* (RC) bilinmesi gerekir. Bu zaman değişmezi, seri

RC devrenin *geçiş durumu* yanıtlarının incelenbilmesini ve *kararlı duruma* nasıl ulaştığının belirlenebilmesini sağlar.

RC devrelerin bu davranışları sayesinde, zaman gecikmesi, dalga biçimlendirme, süzme ve diğer pek çok işlev gerçekleştirilebilmektedir. *RC* devreler olmaksızın elektronik devrelerin çoğu gerçekleştirilemez. Ancak bu devrelerin olumsuz bir yanı da vardır. Dalgabiçimini değiştirmeleri nedeniyle, mantık devreleri ve enstrümantasyonda istenmeyen sonuçlar yaratabilirler. Bununla birlikte sığasal devrelerin özellikleri bilindiğinde, olası etkilerine karşı önlem alınabilir.

Elektronik fotoğraf flaşı, dc devrede sığacın kullanıldığı çok yaygın bir uygulamadır. Bu devrede sığaç, pil yada dc kaynaktan akımı sınırlamak için *yavaşça* doldurulduktan sonra, depolanmış erkin tümü yada bir bölümü kısa süreli parlak ışık sağlamak üzere bir lamba üzerinden *birdenbire* boşaltılır.

13.6 SİĞASAL DEVREDE AKIM

Bilindiği gibi sığaca dc uygulandığında depolanan yük, $Q = C \cdot V$ eşitliği ile belirlidir. Bu sığaca küçük bir ek yük (ΔQ) daha yüklenmesiyle, sığaç uçlarındaki potansiyel fark da küçük bir miktar artarak, $\Delta Q = C \cdot \Delta V$ olacaktır. Bu değişim küçük bir zaman aralığında (Δt) gerçekleşiyor ise,

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

yazılabilir. $\Delta Q/\Delta t$ bu kısa zaman aralığındaki ortalama akım (i) değeri olduğuna göre,

$$i = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

olacaktır. Bu değer sığaçtan geçen akım olduğunu ve sığaç uçlarındaki *değişen* gerilimi vurgulamak için eşitliğin,

$$i_C = C \cdot \left(\frac{\Delta v_C}{\Delta t} \right)$$

olarak yazılması uygun olacaktır. Burada i_C A olarak sığaçtan geçen akımı, C F olarak sığayı, Δv_C V olarak sığaç uçlarındaki gerilim değişimini, Δt s olarak zaman aralığını ve $\Delta v_C/\Delta t$ V/s olarak gerilim değişim hızını göstermektedir.

13.7 GERİLİM ARTARKEN *RC* DEVRE

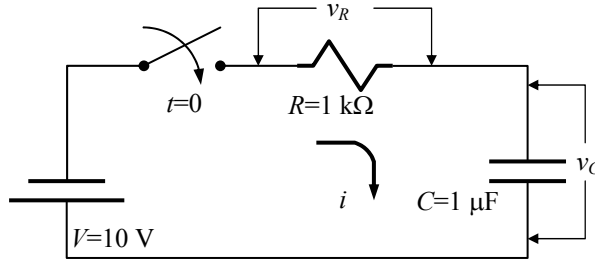
Ardıl *RC* devre, Şekil:12.4te görüldüğü gibi, bir direnç ve bir sığacın seri bağlanmasıyla elde edilir. Böyle bir devrede üç durum söz konusudur:

↪ Anahtar açık: akım yok; sığaç uçlarındaki gerilim 0V.

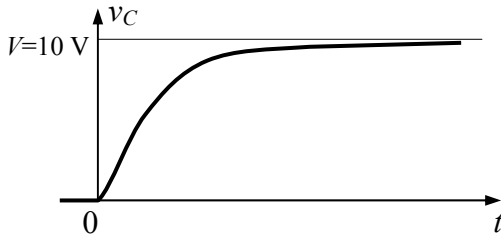
BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

- ↪ Anahtar kapalı: kısa süreli bir akım var; sığaç gerilimi artıyor, sığaç doluyor.
- ↪ Anahtar kapalı: akım yok; sığaç gerilimi V , sığaç dolu.

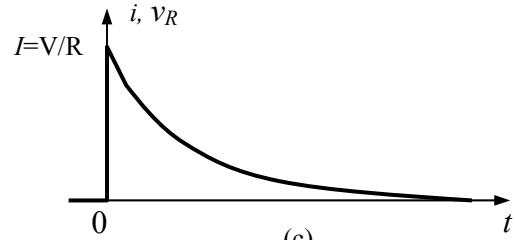
Anahtar kapatıldığında sığaç gerilimi artmaya, yani sığaç dolmaya başlar. Ancak devre akımı, dirençsel devredeki gibi sabit kalmayıp, giderek azalır.



(a) RC seri devre ve değerleri



(b) Zamana bağlı sığaç gerilimi değişimi



(c) Zamana bağlı akım ve direnç gerilimi değişimi

Şekil 12.4: Dolan bir sığaçta akım ve gerilim dalga biçimleri.

Çünkü anahtarın ilk kapatıldığı anda sığaçtaki yük sıfırdır. Elektrostatik alanda yük biriktikçe, yük birikmesine gösterilen zorluk artar ve buna bağlı olarak devre akımı azalır. En sonunda yük birikmesi durur ve devre akımı sıfıra inerek dolma süreci tamamlanmış olur. Bu anda sığaç uçlarındaki potansiyel fark, kaynak gerilimine eşitlenmiştir.

RC devrede kaynak geriliminin sığaçta oluşabilmesi için gereken süre, kullanılan sığa ve direnç değerlerine bağlıdır. Büyük direnç değerleri yük aktarımını yavaşlattığı ve büyük sığa değerleri de daha çok yük depoladıkları için dolma süresinin uzamasına neden olurlar.

RC devrelerde akım ve gerilimin tam değerlerinin bulunabilmesi için bazı eşitlikler geliştirilebilir. RC devreye KGY uygulanarak,

$$V - v_R - v_C = 0$$

yazılır. Buradan v_R yerine değeri koyularak,

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU
ÇÖZÜMLEMELERİ

$$i = \frac{V - v_C}{R}$$

eşitliği elde edilir. Dolma sürecinin başında $v_C = 0$ olduğu için bu andaki akım,

$$I_0 = \frac{V}{R}$$

olarak bulunur.

Bu eşitliğe göre düşüncel sığaç başlangıçta kısa devre özelliği göstermektedir. Bu nedenle eğer direnç değeri küçükse, başlangıçta geçecek akım çok yüksek olacaktır. Bu nedenle sığaçlı devreler tasarılırken devrede akımı sınırlayan bir direnç bulunmasına yada sigorta sınırlarının başlangıç akımını taşıyabilecek düzeyde tutulmasına dikkat edilmelidir.

Yükün, $Q = v_C \cdot C$ eşitliği ile gösterildiğini dikkate alırsak, yük kısa bir zaman aralığında (dt) küçük bir miktar değişirken (dQ), gerilimin de küçük bir miktar değişeceğini (dv) söyleyebiliriz. Buna göre,

$$\frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dv_C}{dt}$$

yazılabilir. Burada dQ ve dv_C yük ve sığaç gerilimindeki sonsuz küçüklükte değişimi gösteren ve diferansiyel denilen matematiksel gösterimlerdir. Q/t değeri akımı gösterdiğine göre, dQ/dt , anlık akım değerini verir. Buna göre yukarıdaki eşitlik, başlangıç akımı için düzenlenerek,

$$I_0 = C \cdot \left(\frac{dv_C}{dt} \right)$$

yazılabilir. $I_0 = V/R$ olduğuna göre,

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{V}{(R \cdot C)}$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlikte dv_C/dt , V/s olarak gerilim değişim hızını, V , volt olarak kaynak gerilimini, R Ω olarak seri direnç değerini ve C , Farad olarak sığayı gösterir.

Son olarak tam doluluk durumunda, $v_C = V$ ve $i_C = 0$ olduğu görülür.

Devreden geçen anlık akım ise, $i = C(dv/dt)$ eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte Δv ve Δt değerleri kullanılırsa ortalama akım değeri,

$$I_{ort} = C \frac{\Delta v_C}{\Delta t}$$

olarak bulunur. $\Delta v_C/\Delta t$ değeri, V/s olarak sığaç geriliminde çok kısa bir zamanda oluşan değişimi ve I_{ort} değeri de, Δt süresindeki ortalama akımı göstermektedir.

Bu iki eşitlik incelendiğinde, sığaç üzerinden yalnızca gerilim değişimi olduğu sürece akım geçtiği görülür. Sığaç gerilimi sabit olduğu sürece devreden akım geçmez. Kararlı duruma erişildiğinde sığaç, açık devre gibi davranır. Bu özelliği nedeniyle sığaç, dc kilidi olarak kullanılabilir.

Şarj devresinde KGY uygulanıp, $i = C(dv/dt)$ eşitliği yerine koyularak,

$$V - v_C - R \cdot \left(C \cdot \frac{dv_C}{dt} \right) = 0$$

bulunur. Bu eşitlik düzenlendiğinde, sığaç üzerindeki anlık gerilimi veren,

$$v_C = V - R \cdot C \cdot \frac{dv_C}{dt}$$

eşitliği elde edilir. Bu ifadenin tümevli alınarak, şarj boyunca sığaç üzerindeki gerilimin değişimini veren,

$$v_C = V(1 - e^{-t/RC})$$

denklemleri bulunur. Bu denklemlerde v_C volt olarak herhangi bir anda sığaç üzerindeki gerilimi, V volt olarak kaynak gerilimini, R ve C Ohm ve Farad olarak direnç ve sığayı, t , saniye olarak sığağın doluyor olduğu süreyi ve e ise doğal logaritma tabanı olan 2,71828182845904523536028747135266 sayısını belirtmektedir.

Devre akımını belirlemek için KGY uygulanarak $v_R = V - v_C$ yazıldıktan sonra, v_C yerine eşiti koyularak,

$$v_R = Ve^{-t/RC}$$

biçiminde direnç gerilimi bulunur. bu değer direnç değerine bölüdüğünde devre akımı,

$$i = \frac{V}{R} e^{-t/RC}$$

olarak bulunur.

13.8 ZAMAN SABİTİ

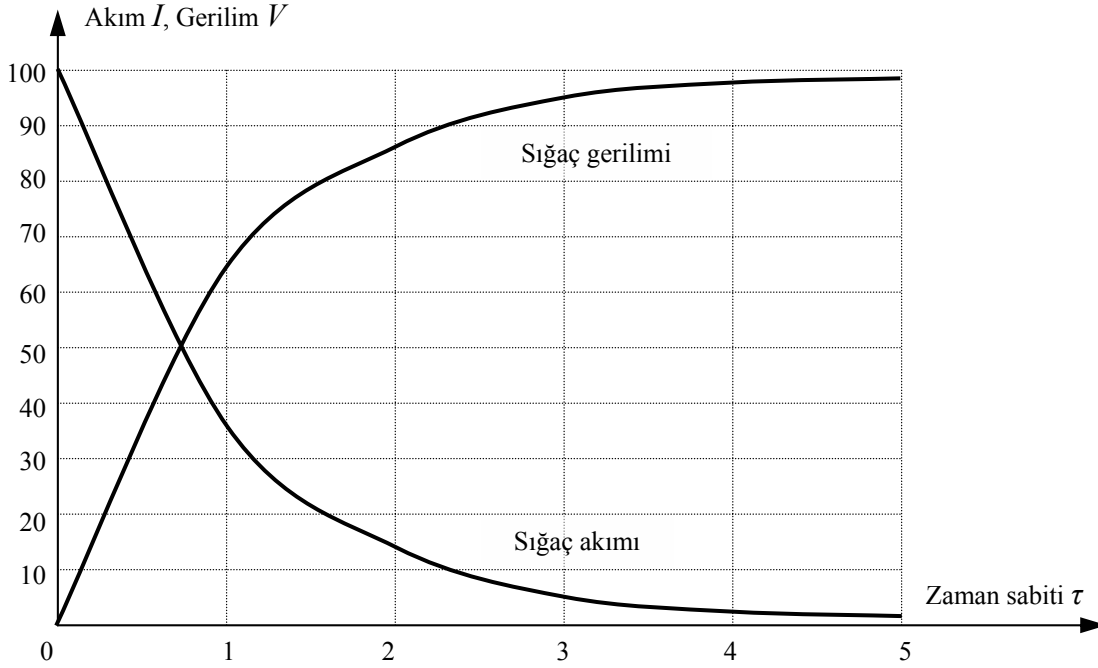
Zaman değişmezi, RC devreleri karşılaştırmada çokça kullanılan bir terimdir ve RC devrelerde akım gerilim eğrisi tümüyle çıkarılmaksızın gerekli belirlemelerin yapılmasını sağlar. Bu terim iki biçimde tanımlanabilir:

- ↳ Sığaç geriliminin son değerinin %63,2sine eriştiği süre.
- ↳ Başlangıçtaki gerilim değişim hızı sürse, gerilimin son değerine erişeceği süre.

İlk tanım uyarınca τ , Şekil:12.5te görülen evrensel zaman sabiti eğrisinden yada kronometre ile ölçülerek bulunabilir.

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

Ancak eğriler her zaman el altında bulunmadığı gibi son derece kısa süreler için bu tür ölçmelerin yapılması her zaman olası değildir. Ayrıca, bazı tasarım aşamalarında daha kesin sonuçlar gerekli olabilir. Bu nedenle ikinci tanıma göre τ değerini matematiksel yöntemlerle tam olarak belirlemek yeğlenmektedir. Bu işlem sonucunda zaman değişmezi τ , R ve C terimleri cinsinden gösterilebilir.



Şekil 12.5: Evrensel zaman değişmezi eğrileri.

Bu tanımlar, Şekil:12.6daki $R=1 \text{ k}\Omega$, $C=2 \text{ }\mu\text{F}$ ve $V=50 \text{ V}$ olan ardıl RC devre için grafiksel olarak gösterilmişlerdir.

Grafikteki $0A$ doğrusu, başlangıçtaki V/RC hızındaki gerilim değişim hızını göstermektedir. Bu doğru τ sürede V değerine erişmektedir. Buna göre, $0A$ doğrusunun eğimi, gerilim değişim hızını verecektir. Bu eğimin eşitliği matematiksel olarak,

$$\tau \frac{\Delta v_C}{\Delta t} = \frac{V}{\tau}$$

biçiminde yazılabilir. Ayrıca,

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{V}{RC}$$

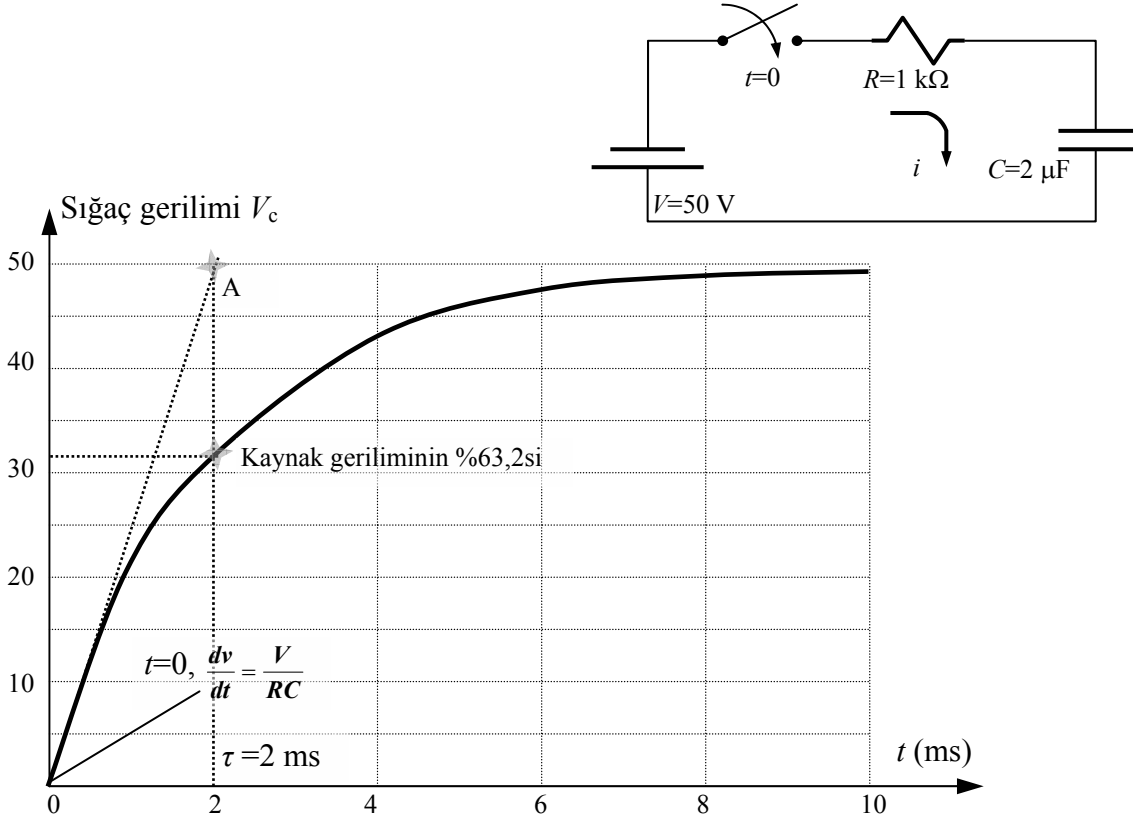
olduğu bilindiğine göre zaman sabiti,

$$\tau = R \cdot C$$

olarak bulunur. Bu formülde τ , saniye olarak zaman sabitini, R , Ω olarak devre direncini ve C , Farad olarak sığa değerini göstermektedir. Bu eşitliğe

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

göre zaman sabitinin, sığa ve direnç ile doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir.



Şekil 12.6: 1 kΩ, 2 μF ve 50 V ardıl RC devrede sığaç geriliminin zamana bağlı değişimi.

Kuramsal olarak üstel eğriler hiç bir zaman son değere erişemezler. Ancak uygulama göz önüne alındığında, 5τ sürede, nihai değere ulaşıldığını söyleyebiliriz. Aşağıdaki tabloda, zaman sabiti cinsinden geçen süreye bağlı olarak, RC devrede sığaç geriliminin kaynak gerilimine göre ne düzeyde olduğu gösterilmiştir.

Tablo 12.3: Sığaç dolarken uç geriliminin τ katları ile değişim değerleri.

Zaman sabiti olarak şarj süresi	Kaynak geriliminin yüzdesi olarak sığaç gerilimi
0	0
1	63,21
2	86,47
3	95,02
4	98,17
5	99,33

Bazı uygulama devrelerinde sığacın, bir doluluk düzeyinden bir başka doluluk düzeyine getirilmesi gerekebilir. Böyle bir durumda çözümleme yaparken, başlangıçta sığaç uçlarında bulunan gerilim hesaba katılmalıdır. Bunun için kullanılan yaklaşım, erk depolayan aygıtlar olan bobin ve sığaçlar için şarj ve boşalma için ortak olarak kullanılabilen,

$$\text{Anlık Değer} = \text{Son Değer} + (\text{İlk Değer} - \text{Son Değer}) \cdot e^{-t/\tau}$$

denkleğidir. Bu denklik sığaç devresine uygulandığında devredeki toplam gerilim, kaynak gerilimi değıil, sığaç gerilimi±kaynak gerilimi olacaktır. Buna göre şarj sırasında sığaç gerilimi,

$$v_C = \pm V_0 + (V \pm V_0) \cdot (1 - e^{-t/RC})$$

olarak bulunur. Bu eşitlikte yer alan V_0 ifadesi, sığaçta ilk anda yüklü bulunan gerilim değıerini belirtir ve devre kaynağına düz yada ters bağılı olmasına göre artı yada eksi im alır. Bu eşitlik incelenirse, olması gerektiğı biçimde, $t=0$ için $v_C=V_0$ ve $t=\infty$ için $v_C=V$ olduğı görülür.

13.9 GERİLİM AZALIRKEN R-C DEVRE

Sığacın boşalması sırasında da bir geçiş durumu söz konusudur. Sığaç gerilimi, boşalma süreci başlayınca birdenbire sıfıra inmeyip, Şekil:12.7deki eğriyi izleyerek üstel biçimde azalır. Şarj sürecinde olduğı gibi, boşalmada da durgun alan tarafından değıişime direnç gösterilmektedir.

Boşalma süresince oluşan geçici durum, Şekil:12.7deki devre üzerinde açıklanmıştır.

Sığaç üzerinde ilk anda bulunan gerilim doldurulduğı gerilimdir ve V_0 olarak adlandırılır. Devrede başlangıç akımı için,

$$V_0 - I_0 \cdot R = 0$$

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

yazılır. Sığaç gerilimi ve akım sıfıra erişene dek azalacaklardır. Her iki değıerin azalış biçimi, yukarıdaki grafikte gösterildiğı gibidir. KGY düzenlenerek,

$$V_0 - i \cdot R = 0$$

elde edilir. Akım değıeri,

$$i = C \cdot \left(\frac{dv_C}{dt} \right)$$

ve başlangıç gerilim değıeri,

$$V_0 = C \cdot \left(\frac{dv_C}{dt} \right) \cdot R$$

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

olduğuna göre $t=0$ anındaki gerilim düşüş hızı,

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{V_0}{RC}$$

olacaktır.

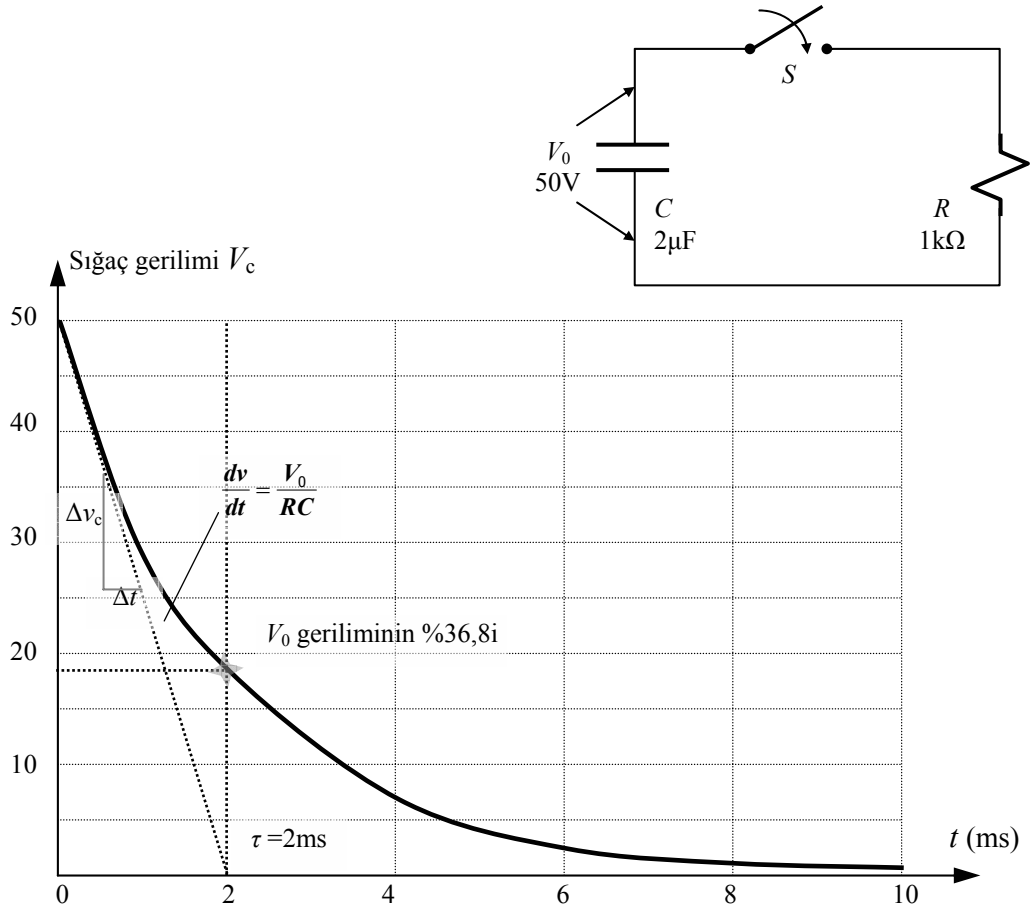
Eğer, sığaç kaynak gerilimine tam olarak doldurulmuşsa ve boşalma yolundaki toplam direnç değeri, dolma yolundaki toplam direnç değerine eşitse, deşarj başlangıcındaki gerilim düşüş hızı, şarj başlangıcındaki gerilim yükseliş hızına eşit olacaktır.

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{V_0}{RC}$$

eşitliğin tümlevi alınarak,

$$v_C = V_0 \cdot e^{-t/RC}$$

bulunur. Bu eşitlikte v_C herhangi bir andaki sığaç gerilimini, V_0 başlangıçtaki sığaç gerilimini, R boşalma yolundaki toplam direnci, C sığayı, t sığacın boşalıyor olduğu süreyi ve e , doğal logaritma tabanını (2,7183) göstermektedir.



Şekil 12.7: Boşalma süresince sığaç geriliminin azalışı.

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU ÇÖZÜMLEMELERİ

Boşalma devresi zaman değişmez, dolma devresindeki gibi tanımlanır. Buna göre boşalma zaman sabiti,

- ↳ Sığaç geriliminin, başlangıç değerinin %36,8'ine düştüğü süre yada,
- ↳ Başlangıç gerilim değişme hızı sabit kalsa, sığaç geriliminin sıfıra ineceği süre,

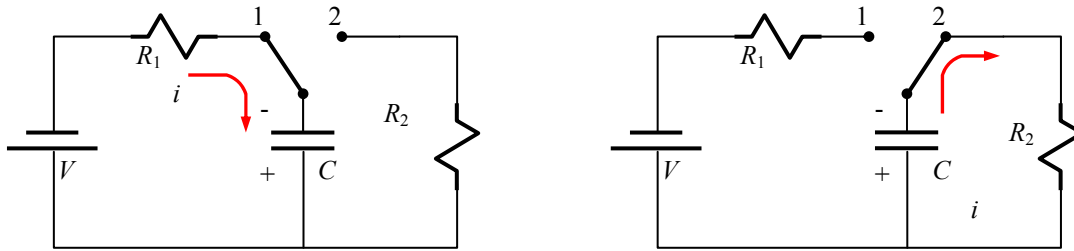
olarak tanımlanır.

Zaman sabiti, boşalma devresinde de $\tau=RC$ olarak tanımlıdır. Yine dolma devresindeki benzer biçimde, sığaç geriliminin 5τ sürede sıfıra düştüğünü söyleyebiliriz. Aşağıdaki tabloda, zaman sabiti cinsinden geçen süreye bağlı olarak, RC devrede sığaç geriliminin başlangıç gerilimine göre ne düzeyde olduğu gösterilmiştir.

Tablo 12.4: Sığaç boşalırken uç geriliminin τ katları ile değişim değerleri.

Zaman sabiti olarak şarj süresi	Kaynak geriliminin yüzdesi olarak sığaç gerilimi
0	100
1	36,79
2	13,53
3	4,98
4	1,83
5	0,67

Dolma ve boşalma devreleri arasındaki dikkate değer en büyük ayrım, sığaç geriliminin polaritesi ve akım yönleridir. Dolma ve boşalma sırasında oluşan polariteler ve akım yönleri, Şekil:12.8de gösterilmiştir.



Şekil 12.8: Şarj ve deşarj sırasında akım yönleri ve gerilim polariteleri.

Anahtar 1 konumunda iken sığaç, kaynak gerilimine dolmaya başlar. Dolma için yeterli süre geçtikten sonra ($>5\tau$) anahtar 2 konumuna alındığında sığaç, boşalma devresinin kaynağı durumuna gelir ve R_2 direnci üzerinden, gösterilen yönde akım geçirir. Görüldüğü gibi sığaç gerilimi aynı kalırken şarj ve deşarj akımları birbirine ters yöndedir. Boşalma akım dolma

BÖLÜM-12 DC DEVRELERDE GEÇİŞ DURUMU
ÇÖZÜMLEMELERİ

akımından ters yöne olduğu için matematiksel işlemlerde kullanılırken eksi olarak gösterilir.

Devrede KGY uygulanarak,

$$v_C - i \cdot R = 0$$

ve buradan da,

$$i = \frac{v_C}{R}$$

yazılır. v_C değeri yerine koyulup akım için eksi imi eklenerek,

$$i = \left(\frac{V_0}{R} \right) \cdot e^{-t/RC}$$

olarak boşalma akımı bulunur. Bu eşitlikte i sığaç boşalma akımını, V_0 başlangıçtaki sığaç gerilimini, R boşalma devresindeki toplam direnci göstermektedir.

KGY uyarınca,

$$v_C - v_R = 0$$

olduğuna göre herhangi bir andaki sığaç (ve direnç) uçlarındaki gerilim,

$$v_C = v_R = V_0 \cdot e^{-t/RC}$$

olarak bulunur.

BÖLÜM 13

ENDÜKSİYON VE AC ÜRETİMİ

TRENDİ İZLE

Joel Naive Wavetek adını verdiği şirketini 1962 yılında ve elektronik endüstrisinin temel geleneğine uygun olarak evinin garajında kurdu. Şirketin iki çalışanından ilki olan Joel teknoloji ile ilgilenirken karısı Kathy, iş danışmanlığı yapıyor ve parasal işlerle ilgileniyordu. Joel bir işaret üreticinin tasarımını ilerleterek özelliklerini artırmaya çalışıyordu. Böylece Model-101 doğdu. Aygıtın ilk örneğini eline alıp Los Angeles' a götürerek West Coast's Electronic Show (WESCON) kapsamında 1962 eylülünde sergiledi. Bu ana dek Joel'in cebinden çıkan para -LA biletleri ve karavanında uyumasına izin veren bir arkadaşına aldığı bir şişe scotch dahil- \$453 idi. Model-101 tam bir başarı oldu. Aynı serideki diğer ürünler de dünya çapında satıldı ve şirket yılda yaklaşık \$100 milyon ciro yapan uluslararası bir şirket oldu.

Aslında Joel'in mühendislik yaklaşımı çok "basit" idi. Her projesine, karatahtaya $V=I \cdot R$ yazarak başlıyordu. Daha sonra da "şimdi işin temelinden başlayalım" diyordu. Tasarım yaklaşımı ise kuramsal matematiğe ek olarak deneysel uygulamalara dayalıydı.

Joel sınama ve ölçme elektroniği yanı sıra, 1920lerin klasik otomobillerine karşı da büyük bir tutku duyuyordu. Bu tür otomobilleri alır, onarır ve rallilere katılırdı. Bu işine de normal olarak, Garaj No:2 adını veriyordu.

13.1 GİRİŞ

Bilindiği gibi elektrik akımı, içinden geçtiği iletkenin çevresinde bir manyetik alan oluşturmaktadır. Bunun tersi de doğrudur, yani *değişken* manyetik alan içinde bulunan bir iletken de akım *indüklenir*. Elektromanyetizma olarak adlandırılan bu olgu, *sabit* bir manyetik alan içinde bir iletkenin *döndürülmesi* biçiminde yorumlanarak, ac alternatörler ve dc jeneratörler (ac ve dc üreteçler) için temel çalışma ilkesi

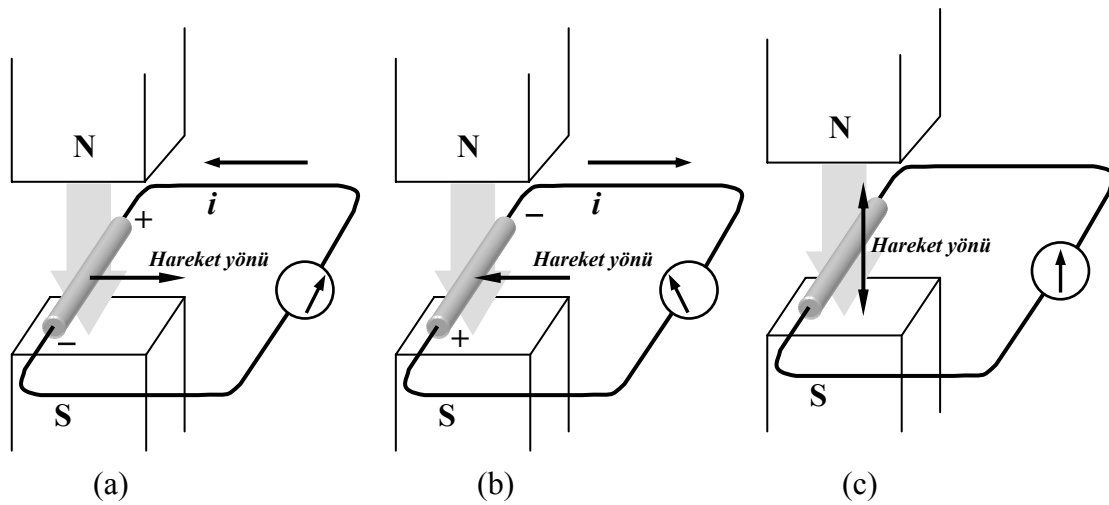
oluşturulmuştur. Bir iletkende indüklenen gerilimin *miktarı* Faraday Yasası ile, gerilimin polaritesi ise Lenz Yasası ile belirlenir.

Değişken akım ve gerilim, zamana bağlı olarak değeri dalgalanan ve polaritesi periyodik olarak dalgabiçimi denilen kalıplara göre değişen elektriksel büyüklüklerdir Alternating current sözcüklerinin baş harfleri ile kısaca ac olarak adlandırılırlar. ac gerilimler genellikle , zamana bağlı değişimlerinin grafiksel görünümü ile adlandırılırlar. Bu adlandırmalara örnek olarak, elektronik dizgelerde çokça kullanılan üçgen, yokuş, iğne, sinüs, yamuk, kare, testeredişi, merdiven dalgalar verilebilir.

ac gerilimlerin, güç üretim ve dağıtımında da çok yaygın kullanım alanları vardır. Yüksek frekanslı ac işaretlerin elektromanyetik yöntemlerle havaküreye salınması ile televizyon, radyo, radar, telefon gibi her türlü iletişim ve haberleşme dizgelerinin oluşması sağlanmıştır. Ayrıca ses ve renk gibi insan duyularının ancak ve ancak örneksel olarak algılayabildiği fiziksel olguları elektronik ortamlarda saklamak, üretmek, iletmek, işlemek için de ac kullanılmak zorundadır.

En yaygın olarak kullanılan ve ac denilince akla ilk gelen değişken akım türü, sinüs dalgasıdır. Sinüs dalgası, güç üretim ve dağıtımında sağladığı kolaylıklar nedeniyle günümüz dünyası için vazgeçilemez bir erk biçimidir. Özellikle dönüştürücüler ile gerilim ve akım değerleri istenilen değerlere getirilebildiği için dc gerilime göre büyük bir üstünlük sağlamaktadır. Neredeyse tüm elektronik aygıtlar için gereken dc gerilimlerin ac gerilimden rahatça elde edilebilmesi de çok önemli bir kullanım kolaylığı yaratmaktadır.

ac gerilimin dalgabiçimi zamana bağlı olarak değiştiğine göre, ac devrelerin tanımlanması ve çözümlenmesi için dc gerilimdekilerden değişik yeni büyüklükler öğrenilmelidir. Bu büyüklüklerden bazıları, sıklık, genlik, dönem, evre ayrımı, ortalama değer, etkin değer, tepe değer ve tepeden tepeden değer olarak sıralanabilir.



Şekil 13.1: Akım taşıyan iletkeni etkileyen kuvvetin yönü ve oluşumu.

13.2 ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON

Elektromanyetik indüksiyonun oluşması için, manyetik alan ile, üzerinde gerilim oluşması istenilen iletken arasında bağıl bir hareket bulunmalıdır. Bu devinimi oluşturmanın yollarından birisi manyetik alanı (bu alanı oluşturan düzeneği) hareket ettirmektir.

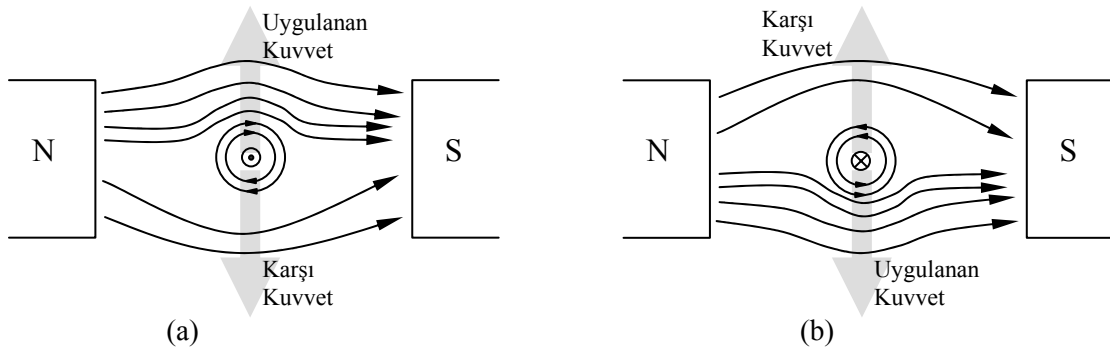
Bağıl devinimi yaratmak için kullanılan yöntem, iletkenin manyetik alan içinde hareket ettirilmesidir. Şekil:13.1de bu yöntemde gerilimin polaritesi ile akım, alan ve hareket yönleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak görülmektedir.

Görüldüğü gibi iletkenin hareket yönü değiştiğinde, iletkende indüklenen gerilimin polaritesi de değişmektedir. Değişen polariteye bağlı olarak devre akımının yönü de değişir. İletkenin manyetik alana (kuvvet çizgilerine) koşut olarak devinmesi durumunda, hiçbir kuvvet çizgisi kesilmediği için bir gerilim oluşmayacaktır. Aynı etkiler iletkenin sabit tutulup alanın hareket ettirilmesi ile de sağlanabilir.

İletkende üretilen emk değerinin kaynağı nedir? Bilindiği gibi, manyetik alan içinde hareket eden yüke bir kuvvet uygulanır ($F=q \cdot v \cdot B$). Bu ifadedeki tüm değerler birbirini doğurur. İletken hareket ettirildiğinde, iletken içindeki serbest elektronlar, manyetik alan içinde devindirilmiş olurlar. Sonuç olarak bu elektronlara bir kuvvet uygulanır ve iletkenin bir ucundan diğerine doğru taşınırlar. Böylelikle iletkenin bir ucundaki elektron yoğunluğu artar ve dış devreden akım geçirebilecek bir potansiyel fark (emk) oluşur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, Şekil:13.1deki polarite işaretlerinin bir gerilim düşümünü değil bir kaynağı belirttiğidir.

13.3 LENZ YASASI

İndüklenen gerilimin polaritesi, bu gerilimden kaynaklanan akımın ürettiği manyetik alanın, kendisini yaratan hareket yada değişime karşı koyacak yönde olmasını sağlayacak yöndedir.



Şekil 13.2: Lenz yasasına göre polarite oluşumu.

Lenz Yasası temel olarak, indüklenen gerilimin polaritesinin, kendisini yaratan etkiye karşı koyacak yönde olduğunu söyler. Bu durum iletkenin yukarıya doğru hareket ettiği Şekil:13.2(a)da görülebilir. İndüklenen gerilimin polaritesi, akımın kağıttan dışarı doğru oluşmasını sağlar (iletken içindeki nokta simgesi). Bu akım iletken çevresinde saat ibresi yönünde (sol el kuralı) bir alan oluşturur. Bu alanın sonucu olarak iletkenin altındaki alan zayıflarken, üst taraftaki alan güçlenir. Böylece iletkene, uygulanan kuvvetin ters yönünde manyetik bir çekme kuvveti uygulanmış olur. Buna göre, gerilim oluşturmak için uygulanan harici kuvvet iş yapmak zorunda kalır.

Şekil:13.2(b)de aynı işlemin bu kez ters yönde nasıl işlediği açıklanmaktadır. Uygulanan kuvvet aşağıya doğru olduğunda, yine Lenz Yasasına uygun olarak ve bu kez yukarı doğru bir karşı kuvvet oluşmaktadır.

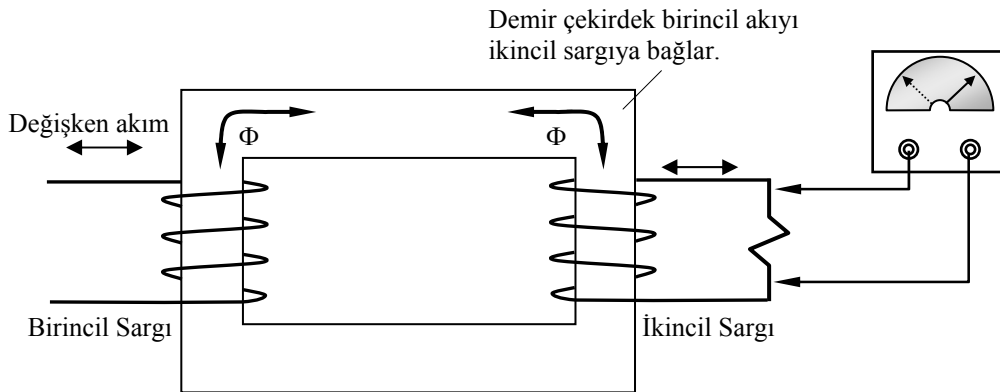
13.4 FARADAY YASASI

Bir iletkende indüklenecek gerilimin değeri, iletkenin manyetik alan içindeki devinim hızına (birim zamanda kesilen kuvvet çizgisi sayısına) doğru orantılı olarak bağlıdır. Gerilimin değeri, manyetik alan şiddeti artırılarak da yükseltilebilir. Bu iki etki Faraday Yasası ile,

$$v_{ind} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ Volt}$$

olarak bir araya getirilmiştir.

Burada v_{ind} Volt olarak iletkende indüklenen gerilimi, $\Delta\Phi$ Weber olarak iletken tarafından kesilen manyetik akıyı, Δt saniye olarak iletkenin devinim süresini, $\Delta\Phi/\Delta t$ değeri de Wb/s olarak iletkenin akıyı kesme hızını göstermektedir.



Şekil 13.3: Dönüştürücü, akı değişimi ile gerilim indüklemek için karşılıklı endüktansı kullanır.

Δ simgesi “değişim” anlamı taşıdığına göre, $\Delta\Phi$ manyetik akı değişimini, Δt değeri de zaman değişimini göstermektedir. Burada Δt değeri, t_2 son ve t_1 de ilk zamanı göstermek üzere t_1-t_2 zaman aralığını göstermektedir. Benzer biçimde $\Delta\Phi=\Phi_1-\Phi_2$ büyüklüğü de, Δt zaman aralığında kesilen akı miktarını göstermektedir.

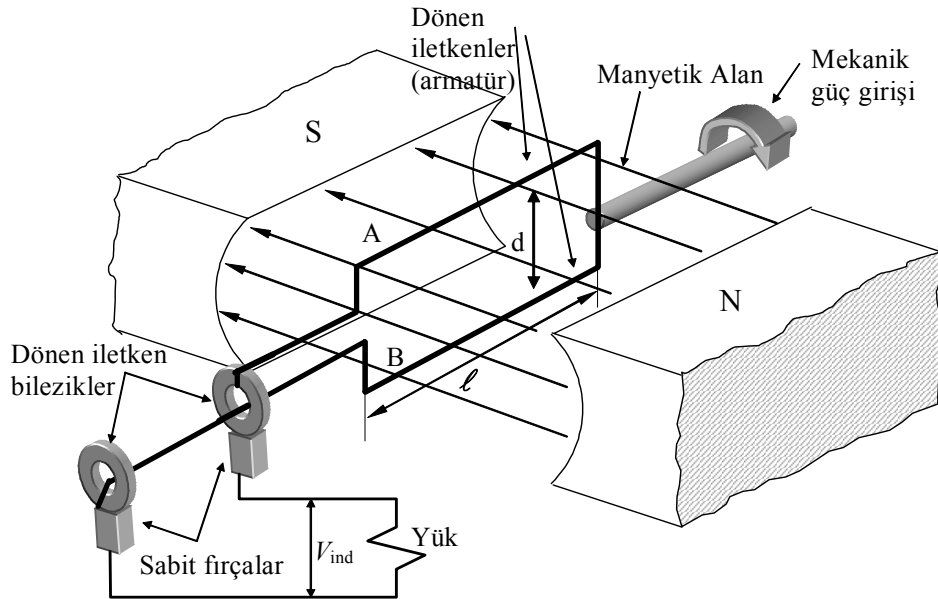
Görüldüğü gibi Faraday Yasası uyarınca bir iletkende indüklenen gerilimin değeri, manyetik akının iletken tarafından kesilme hızı ile doğru orantılıdır. İletkenin boyutları, elde edilen gerilim değerine etki etmemektedir. Buna göre gerilim değerini artırmak için ya akı yoğunluğu (alan şiddeti) yada iletkenin hızı artırılmalıdır.

Buraya dek olan anlatım, alan içinde tek bir iletken bulunmasına göre yapılmıştır. Bir iletken, alan içindeki sarımlardan oluşuyorsa yada başka bir deyişle alan içinde bir bobin döndürülüyorsa, elde edilen gerilim,

$$v_{ind} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ Volt}$$

eşitliğine uygun olarak değişir.

Burada bir önceki eşitlikten farklı olarak, N değeri bobinin sarım sayısını göstermektedir.



Şekil 13.4: Sabit manyetik alanda dönen bir iletkende indüklenen gerilimin dış devreye alınması.

Faraday Yasası, manyetik alanın kesilmediği uygulamalar için de geçerlidir. Sözelimi iki bobinin aynı çekirdek üzerine sarılması durumunda akı çekirdek içinden geçecek ve her iki bobin için de ortak olacaktır. Bu tür bir uygulamaya örnek olarak, Şekil:13.3te görülen bir dönüştürücü (transformatör) devresi gösterilebilir. İlk bobindeki akımın değeri bir ayarlı

direnç ile değiştirildiğinde, ikincil sarımda indüklenen gerilimin değişimi de bu ayarlamayı izleyecektir. Bu bağlaşımın süreç açıklaması şöyle yapılabilir:

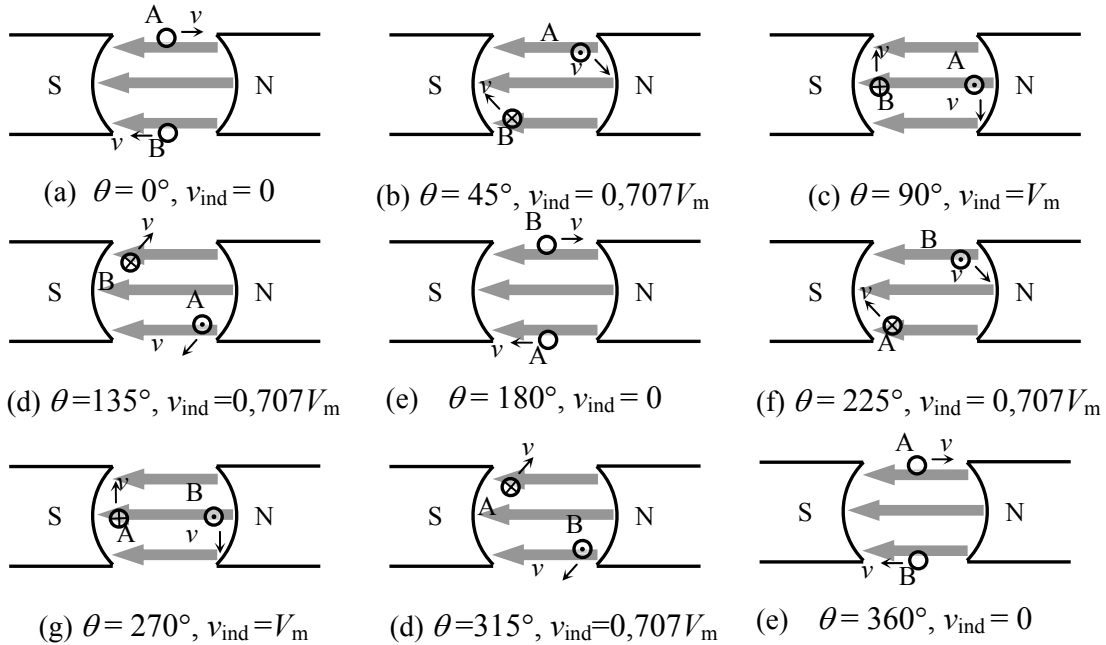
Birincil sarım akımı artarken manyetik devredeki akı da artacaktır. Akı artışı ile ikincil bobinde indüklenecek gerilim, Lenz Yasası uyarınca, bu akı artışına direnecek yönde olacaktır. Böylece birincil sargı akı artışını sürdürüebilmek için güç tüketecektir. Benzer biçimde birincil sargı akımı azaltılırsa, ikincil sargı gerilimi, yarattığı akı azalan akıyı arttıracak polaritede indüklenir. Böylece birinci sargıdaki akım azalışına karşı koyulmuş olur ve azalışı sürdürmek için birincil sargı güç tüketir.

13.5 AC VE DC ÜRETİMİ

Sürekli olarak emk üretmek için bir iletkeni manyetik alan içinde döndürmek, ileri geri hareket ettirmekten daha kolaydır. Bu amaçla kullanılan sabit manyetik alan içinde dönen bir iletken düzeneği, Şekil:13.4te verilmiştir.

Burada bobini, A ve B ardıl iletkenlerinde emk indükleyerek döndürmek için mekanik güç kullanılmaktadır. İletkenlerde oluşan gerilimler, bobin ile birlikte dönen metal bileziklere basan fırçalar yardımıyla dış devreye aktarılır.

Şekil:13.5te bobinin tam bir dönüşü için A ve B iletkenlerinin bazı konumları ve bu konumlarda elde edilen gerilim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 13.5: Basit ac üreteçte bir tur boyunca değişik açılar ve karşılık gelen gerilim değerleri.

Şekilde görüldüğü gibi armatürü oluşturan her bir iletkende indüklenen gerilim, çevresel hız vektörü ile manyetik akı arasında açığa bağlı olarak sürekli değişmektedir. Buna göre $\theta=0^\circ$ iken iletkenler manyetik alana koşut devindiklerinden hiçbir kuvvet çizgisini kesmezler ve oluşan gerilim değeri sıfır olur. $\theta=90^\circ$ konumunda ise akıyı kesme hızı ve dolayısıyla birim zamanda kesilen kuvvet çizgisi sayısı en fazla olduğu için en yüksek gerilim değeri elde edilmektedir. $\theta=180^\circ$ olduğunda hız vektörü yeniden alana paralel olur ve iletkenlerden yine akım geçmez. Bu noktadan sonra iletkenler önceki devinimlerindeki tam tersi yönde ilerledikleri için indüklenen gerilimin polaritesi de değişir ve benzer biçimde önce artarak en yüksek değere, sonra da azalarak sıfıra ulaşır. Böylece fırçalardan dış devreye alınan gerilim,

$$v_{ind} = V_m \cdot \sin \theta \text{ Volt}$$

eşitliği ile belirlenen sinüsel bir değişim gösterir.

13.5.1 GENLİĞİ BELİRLEYEN ETMENLER

Şekil:13.4teki üreteç için, fırçalardan dış devreye alınan gerilimin değerini belirleyen etkenler, armatürün dönüş hızı, armatürdeki iletken sayısı, armatür çapı ve statorun (elektromıknatıs) akı yoğunluğudur.

Her bir iletkende indüklenen gerilim değeri,

$$v_{ind} = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \theta \text{ Volt}$$

olarak bilinmektedir. A ve B iletkenlerinin ardıl bağlı olduğu düşünülürse, armatürdeki her bir sarım uçlarında oluşacak gerilim,

$$v_{ind} = 2 \cdot B \cdot l \cdot v \cdot \sin \theta \text{ Volt}$$

olacaktır. Hızı v =uzaklık/zaman olarak alırsak, bir iletkenin bir turda aldığı yol/bir tur süresi olacaktır. Bir iletkenin bir turda aldığı yol d çaplı armatürün çevresi yani πd kadardır. Bobinin dönüş hızı n devir/sn. alınırsa bir turun tamamlanma süresi n^{-1} sn. olur. Bu değerler kullanılarak armatürün çevresel hızı,

$$v = \frac{\pi \cdot d}{n^{-1}} = \pi \cdot d \cdot n \text{ m/s}$$

olarak bulunur. Buna göre N sarımlı bir bobinde indüklenecek toplam gerilim,

$$v_{ind} = 2 \cdot B \cdot N \cdot l \cdot \pi \cdot d \cdot n \cdot \sin \theta \text{ Volt}$$

olarak bulunur. $l \cdot d$ terimi, bobinin alanıdır ve A ile gösterilir. Daha önce bulunan,

$$v_{ind} = V_m \cdot \sin \theta$$

eşitliği dikkate alınarak,

$$V_m = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot B \cdot A \cdot N$$

olarak üreteç gerilimi elde edilir. Bu eşitlikte V_m volt olarak üretilen gerilimin tepe değerini, n devir/sn olarak dönüş hızını, B Tesla olarak manyetik alanın akı yoğunluğunu, A m² olarak bobin alanını ve N dönen bobindeki sarım sayısını göstermektedir. Bu gerilimin ac değeri için ise, eşitliğe açılma sıklık değerini ekleyerek,

$$v_{ind} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot B \cdot A \cdot N \cdot \sin \theta$$

biçiminde yazabiliriz.

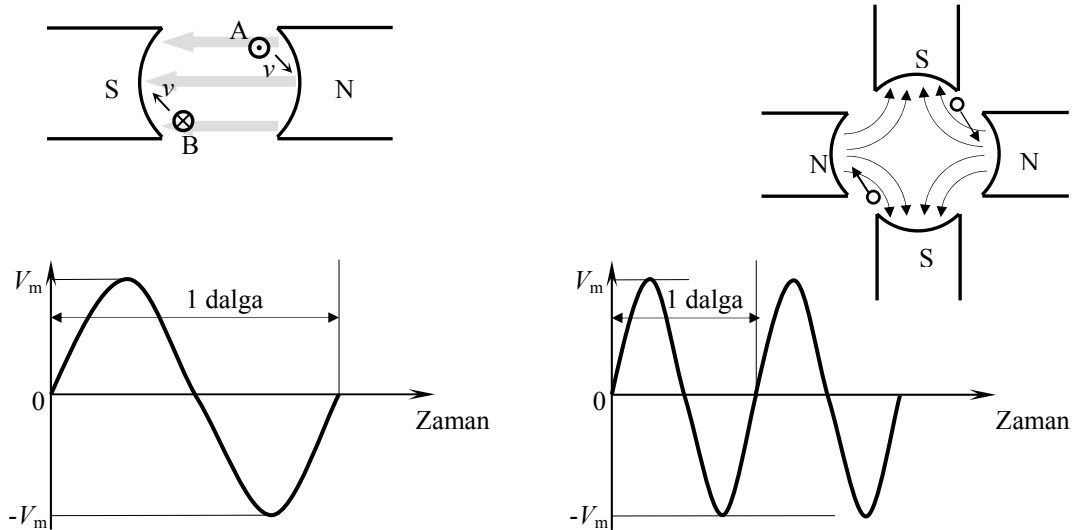
13.5.2 SIKLIĞI BELİRLEYEN ETMENLER

Şekil:13.4teki üreteçte bir çift kutup vardır ve gerilimin bir dalgasının oluşması için bir tam mekanik dönüş gerçekleştirilmesi gerekir. Buna göre bobin saniyede n tur döndürülürse, saniyede n sayıda gerilim dalgası üretilmektedir. Bir saniyede üretilen gerilim dalgası sayısına sıklık (frequency- f) denilir. Frekans birimi, Alman fizikçi Heinrich R. Hertz anısına Hertz-Hz olarak adlandırılmıştır.

Şekil:13.6da üretece ikinci bir çift kutbun eklenmesi gösterilmiştir. Bu durumda bobin her yarım dönüşte bir tam gerilim dalgası üretecektir. Bobinin tek kutuplu üreteçteki hızıyla döndüğü varsayılırsa, aynı süre içinde iki kat sıklıkta bir gerilim elde edilecektir. Buna göre hızın ve kutup sayısının etkileri birleştirilerek,

$$f = p \cdot n$$

eşitliği yazılır. Burada f Hz olarak indüklenen emk değerini, p kutup çifti sayısını ve n devir/sn olarak dönüş hızını belirtmektedir.



Şekil 13.6: Sabit hızla dönen üreteçte kutup sayısının sıklığa etkisi.

ac elde etmek için kullanılan üreteçlerin genel adı *alternatördür*. Burada açıklanmış olan üretim yöntemi tek fazlı çıkış üretir. Oysa piyasada

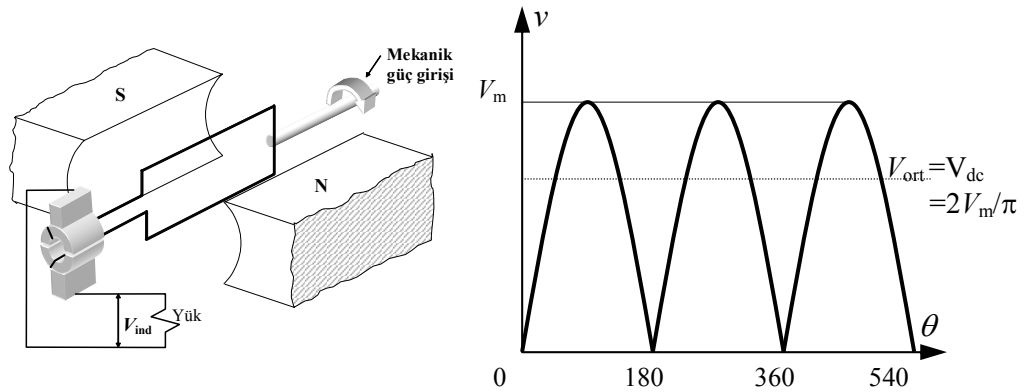
kullanılan alternatörlerin büyük çoğunluğunda üç fazlı ac üretilmektedir. Üç fazlı sistemlerin üstünlüğü, tek fazlı sistemden alınabilecek aynı güç değeri için daha az iletken gerektirmeleridir. Ayrıca üç fazlı motorlar tek fazlılara göre daha yumuşak çalışırlar ve daha küçük ve verimlidirler. Üç fazlı kaynaklar, Yıldız (Y-wye) yada Üçgen (Δ -delta) bağlantı kullanılarak üretilirler.

Delta bağlantı, genellikle üç fazlı motor gibi güç uygulamalarında kullanılan üç kablolu bir bağlantıdır. 220 V, 440 V, 550 V, ... gibi hat gerilimleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yıldız bağlantı ise, birisi genellikle topraklanmış olan nötr hattı olmak üzere toplam dört kablolu bir üç faz bağlantıdır. Bu topraklı nötr hattı sayesinde, herhangi bir faz ile nötr hattı arasına bağlanacak tek fazlı donanımın da çalıştırılması sağlanmaktadır.

13.5.3 DC ÜRETİMİ

dc üreteçler ilkesel olarak ac üreteçler ile aynı yapıdadırlar. Yalnızca üretilen gerilim dış devreye aktarılırken, mekanik bir düzenleme ile eksi yarıdalgaların da artı yönde alınması sağlanır. Böylece tek yönlü ancak vurutulu bir gerilim elde edilir. Bu üreteçlere temel yapıları alternatörler ile aynı olmasına karşın, çıkış gerilimi dc olduğu için, *jeneratör* denilmektedir.



Şekil 13.7: Basit dc üreteç ve çıkış dalgabıçımı.

Şekil:13.7de dc üreteçte doğrultma için kullanılan kesik bilezikler ve üretilen dalga biçimi gösterilmiştir. Tek bobinli bir alternatörün fırça-halka düzeni değiştirilerek elde edilmiş olan bu sistem, basit bir komütatör (anahtar) olarak çalışır. Böylece armatürdeki bobinin dış devreye bağlantısı, indüklenen gerilimin yönünün değiştiği anlarda ters çevrilmiştir. Bu anahtarlama işlemi ile dış devredeki akımın yönü hep aynı kalmakta ancak gerilimin değeri sıfır ile V_m arasında değişmektedir.

Üreteç uçlarına bağlanan bir dc voltmetrede,

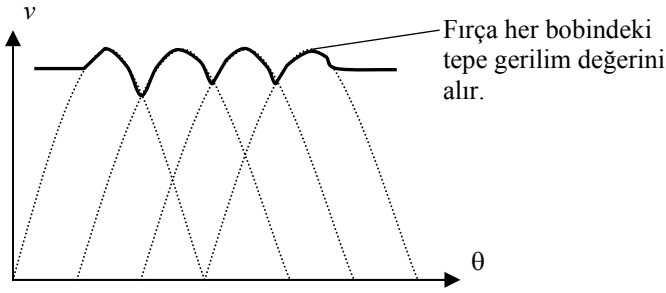
$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_m}{\pi} \approx 0,637 \cdot V_m$$

eşitliği ile gösterilen ortalama gerilim değeri okunacaktır.

Burada V_{dc} Volt olarak dc yada ortalama gerilim değerini, V_m Volt olarak indüklenen gerilimin tepe değerini, π ise periyodu (yarım tur) göstermektedir.

Buna göre örneğin 20 V tepe gerilim değeri üreten bir jeneratörün çıkış gerilimi 12,74 V olacaktır.

Piyasadaki jeneratörlerde, rotor yüzeyine eşit olarak dağıtılmış çok sayıda bobin ve eşit sayıda komütatör pabucu bulunmaktadır. Böyle bir düzenleme sonucunda fırçalar arasında elde edilecek gerilim her zaman tepe değerine yakın bir değerde tutulmuş olur. Sonuç olarak elde edilen dalgabıçımı, Şekil:13.8de görüldüğü gibi dc bir değer üzerine binmiş olan dalgacıklardan oluşacaktır. Bu dalgabıçımı de, üç fazlı bir alternatör geriliminin tam dalga doğrultulması ile elde edilen dalgabıçımı gibidir.



Şekil 13.8: bir jeneratör çıkışındaki gerilim dalgabıçımı.

Üç fazlı alternatörler otomobil elektrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada jeneratör yerine alternatörlerin yeğlenilmesinin nedeni, alternatörlerin daha düşük hızlarda daha yüksek gerilim üretebilmesidir. Otomobil alternatörleri çoğu zaman, rölantide bile, elektrik yükünü taşıyacak ve aküyü dolduracak kadar güç üretebilirler.

Günümüzde dc üreteçler özel gereksinimler yada eski sistemler dışında yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Çünkü günümüz elektronik uygulamaları, gereksinilebilecek en yüksek güçler ve gerilimler için bile istenilen özelliklerde yarıiletkenli doğrultucular üretebilecek durumdadır.

13.6 SİNÜS DALGASI

Kullanımdaki en yaygın ac türü olan sinüs dalgası, osiloskopa incelendiğinde Şekil:13.9dakine benzer bir görüntü verecektir. Sinüsel olmayan diğersinüs tüm ac işaretler, diğersinüs genlik ve sıklıktaki sinüs işaretlerinin toplamı olarak ifade edilebilirler. Sinüs dalgabıçımı olarak

adlandırılan bu görüntü, $v=V_m \sin \theta$ eşitliğine göre trigonometrik sinüs işlevini izleyen bir dalgabiçimidir. Şekil:13.9daki dalgabiçimi üzerinde, bazı önemli değerler gösterilmiştir.

Genlik: Dalganın artı yada eksi en büyük değeridir ve tepe değer olarak da adlandırılır, $\pm V_m$ yada $\pm V_t$ olarak gösterilir.

Tepeden tepeye değer: Dalganın artı ve eksi tepeleri arasındaki farktır ve V_{t-t} olarak gösterilir. Tepeden tepeye değer,

$$V_{t-t} = 2 \cdot V_m$$

eşitliği ile gösterilebilir.

Anlık değer: Herhangi bir anda sinüsün değeridir ve v ile gösterilir ve,

$$v = V_m \cdot \sin \theta$$

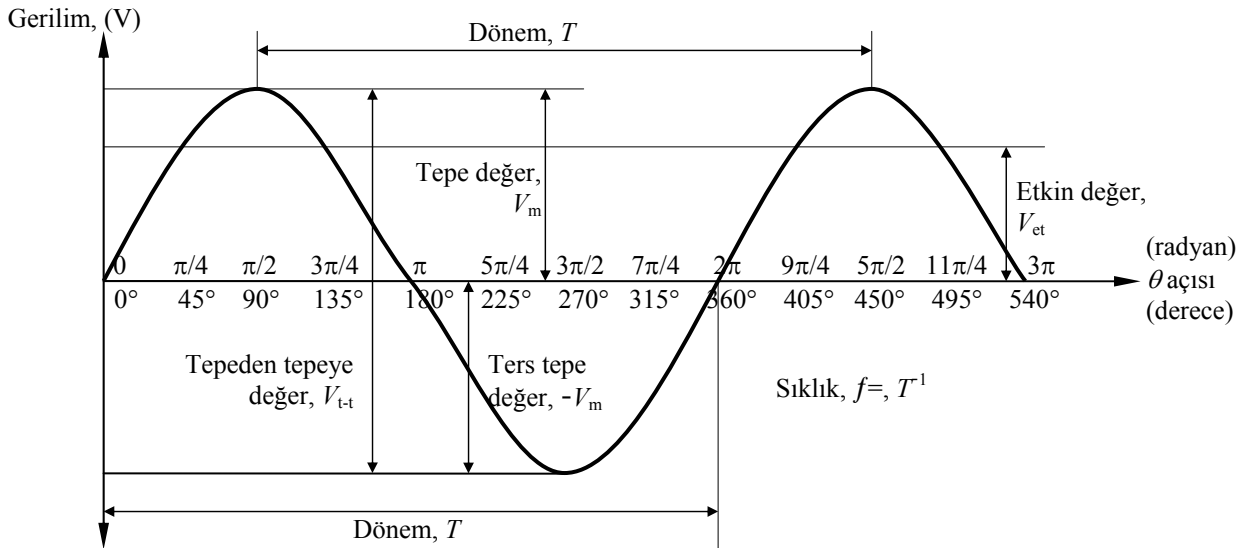
eşitliği ile bulunabilir.

Periyot (Dönem): Dalgabiçiminin yinelenmeye başladığı iki nokta arasında kalan bölümdür ve T ile gösterilir.

Sıklık (Frekans): 1 saniyede yinelenen dönem sayısıdır. Birimi, Alman fizikçi Heinrich R. Hertz anısına hertz-Hz (s^{-1}) olarak belirlenmiştir. Frequency sözcüğünün baş harfi f ile gösterilir ve,

$$f = \frac{1}{T} = T^{-1}$$

eşitliği ile tanımlıdır.



Şekil 13.9: Sinüs için derece ve radyan olarak açı değerleri ile bazı önemli elektriksel değerler.

13.6.1 AÇISAL SIKLIK VE SİNÜS DENKLEMİ

Sinüs işareti, dönme ile üretildiği için açısal olarak ifade edilir. Açı birimi olarak da derece değil, çap ve çevre orantısını kullandığı için mühendislikte yaygın olarak yeğlenen radyan birimi kullanılır. Şekil:13.10da görüldüğü gibi bir radyan, yarıçap uzunluğunda yayı gören merkez açı değeridir. Buna göre bir tam devirdeki radyan sayısı, çevre/yarıçap= 2π olacaktır. Böylece $360^\circ=2\pi$ rad. ve 1 rad. ise yaklaşık olarak $57,3^\circ$ olarak bulunur.

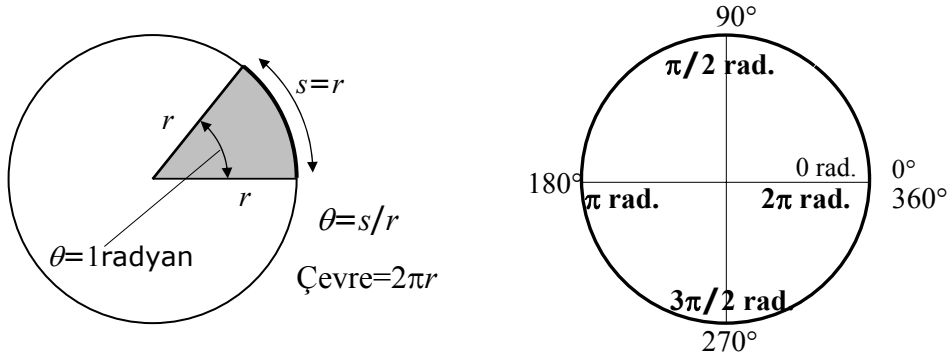
Radyan bu biçimde açıklandıktan sonra sinüs dalgasının anlık değeri,

$$v = V_m \cdot \sin \theta$$

eşitliğinden yola çıkılarak ve θ yerine radyan olarak değeri olan $2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$ kullanılarak,

$$v = V_m \cdot \sin 2\pi ft$$

olarak yazılır. Bu denklemde v , volt olarak anlık gerilim değerini, V_m volt olarak dalganın tepe gerilim değerini, f Hz olarak dalganın sıklık değerini ve t saniye olarak çözümleme anını gösterir.



Şekil 13.10: Radyanın birim çemberde gösterilişi ve bazı açı değerlerinin radyan karşılıkları.

Yukarıdaki denklemde kullanılan $2\pi f$ ifadesi ω ile gösterilir ve açısal sıklık olarak adlandırılır. ω birimi rad/s dir. Bu terim için kullanılan açısal hız ifadesi ise yalnızca tek kutuplu üreteçler için geçerlidir. ω yerine koyularak sinüs denkleminin genel yazılışı,

$$v = V_m \cdot \sin \omega t$$

olarak bulunur. Sinüs dalgası için akım denklemi de benzer biçimde,

$$i = I_m \cdot \sin \omega t$$

olarak yazılır.

13.6.2 FAZ İLİŞKİSİ VE FAZ AÇISI

Kaynak gerilimi sinüs olan bir devredeki diğer akım ve gerilim değerleri de sinüs biçimindedir. Ancak bu biçimdeşlik, bu akım ve gerilim değerlerinin 0 rad ve 0 sn noktasında kaynak gerilimi gibi sıfır değerinde olmalarını zorunlu kılmaz. Böyle bir kaymanın örneği, Şekil:13.11de gösterilmiştir. B ve C dalgaları, temel sinüs dalgası Adan, evre açısı olarak adlandırılan θ kadar kaymışlardır.

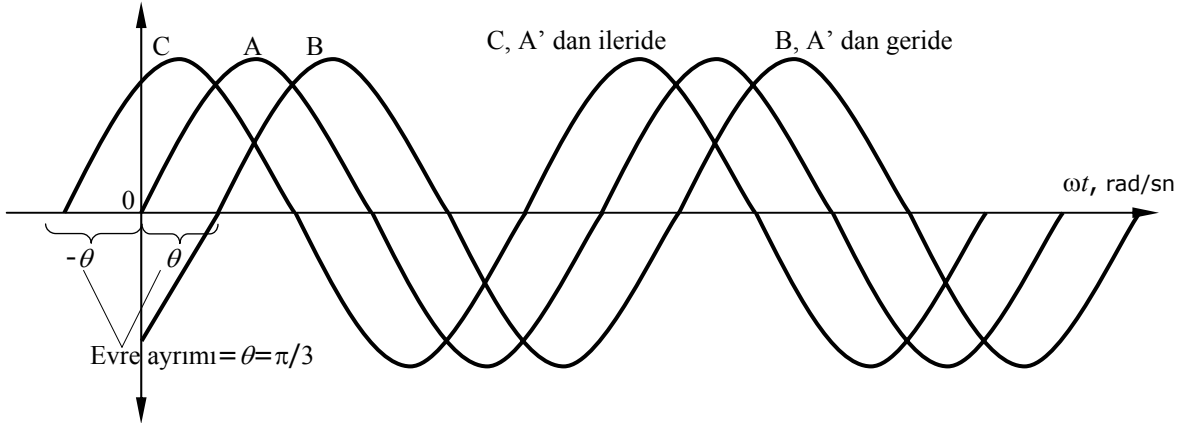
Bir dalgabiçimindeki belli bir noktanın (örneğin sıfır noktası), kendisi için başvuru olarak alınan dalgabiçiminin benzer noktasından uzaklığına evre açısı denir ve radyan yada derece ile birimlendirilir. Örneğin Şekil:13.11deki B ve C dalgaları için A dalgası başvuru olarak alınmış ve 0 noktasına göre evre açısı belirlenmiştir. Buna göre B dalgası A dalgasından $\theta=\pi/3$ rad ileride, C dalgası ise A dalgasından $\theta=\pi/3$ rad geridedir.

Evre açısı, evre ayrımı yada evre kayması olarak da adlandırılır ve,

$$v = V_m \cdot \sin(\omega t \pm \theta)$$

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t \pm \theta)$$

eşitlikleri ile gösterilir. Bu eşitliklerde v , i , V_m , I_m , ω ve t terimleri, önceden bilinen değerlerini gösterirler. θ evre açısıdır ve ileride olan dalga için “-”, geride olan dalga için de “+” değer alır.



Şekil 13.11: İleride ve gerideki dalgaların grafik görünümü ve evre açısının belirlenmesi.

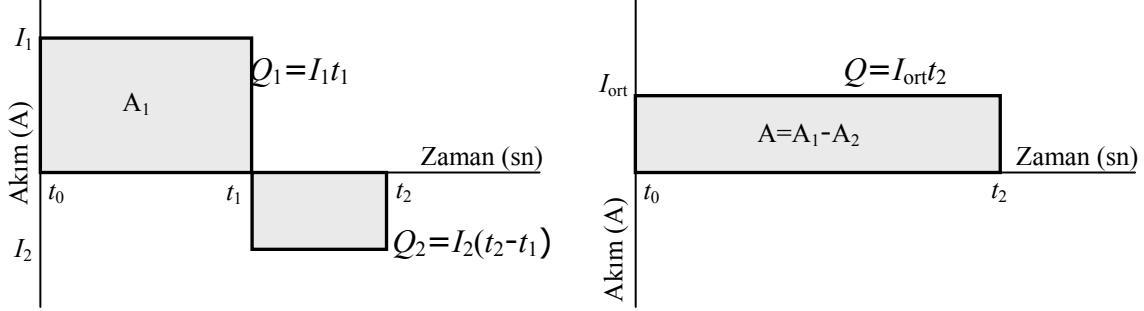
13.6.3 ORTALAMA DEĞER

Değişen bir gerilimin ortalama değeri, bu değişen gerilimle aynı yük devinimini sağlayacak *değişmeyen* gerilim değeridir ve genellikle dc değer olarak adlandırılır. Ortalama değeri belirlemenin birinci yolu, dc ölçü aygıtı ile ölçmektir. İkinci yolu ise gerilimin grafiksel görüntüsünden elde etmektir. Böylece devre kurma gereksinimi ortadan kalkar.

Şekil:13.12de bir dirençten geçen akımın eğrisi verilmiştir. $Q=I \times t$ olduğuna göre t_0 t_1 arasında taşınan yük $I_1 \cdot t_1$ ve t_1 t_2 arasında taşınan yük de $I_2 \cdot (t_2 - t_1)$ olacaktır. Ancak I_2 eksi değerli olduğu için, yük devinimi de ters yönde olacaktır. Buna göre I_{ort} ile t_0 t_2 arasında taşınacak yük,

$$I_{ort} = \frac{I_1 \cdot (t_1 - t_0) - I_2 \cdot (t_2 - t_1)}{t_2 - t_0}$$

değerinde olacaktır. Paydaki değer, eğri ile zaman eksenini arasındaki net alandır (yükseklik×genişlik) ve artı ve eksi yöndeki alanların farkına eşittir.



Şekil 13.12: Ortalama değer, değişen gerilim ile taşınan toplam yükü gösterir.

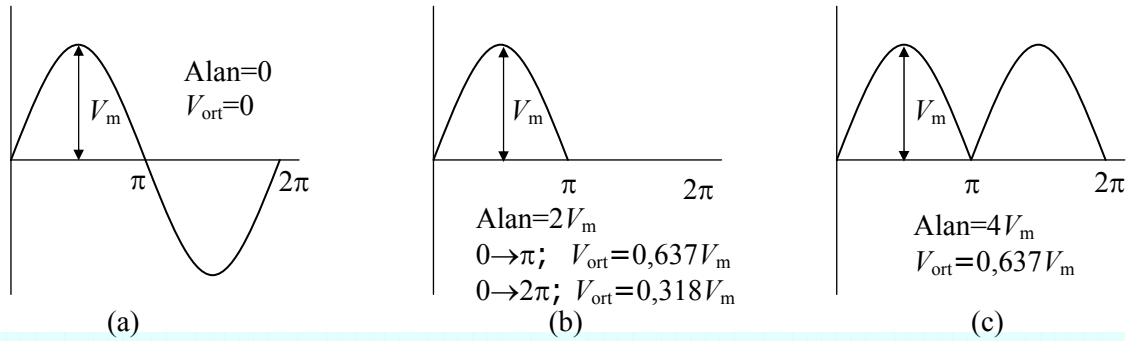
Böylece ortalama akım (yada gerilim) değeri,

$$I_{ort} \text{ yada } V_{ort} = A_1 - A_2 / t_2$$

olacaktır.

Bu eşitliğe göre net alan sıfır olursa, ortalama değer de sıfır olacaktır. Sinüs dalgası da yatay eksene göre bakışık olduğu için ortalama (yada dc) değeri sıfır olur.

Şekil:13.13te sinüs dalgası ile yarım dalga ve tam dalga doğrultulmuş gerilimlerin ortalama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 13.13: Sinüs dalgası (a) ile yarım dalga (b) ve tam dalga doğrultulduğunda elde edilen ortalama gerilim değerleri. Akım değerleri için de aynı eşitlikler kullanılabilir.

13.6.4 ETKİN DEĞER

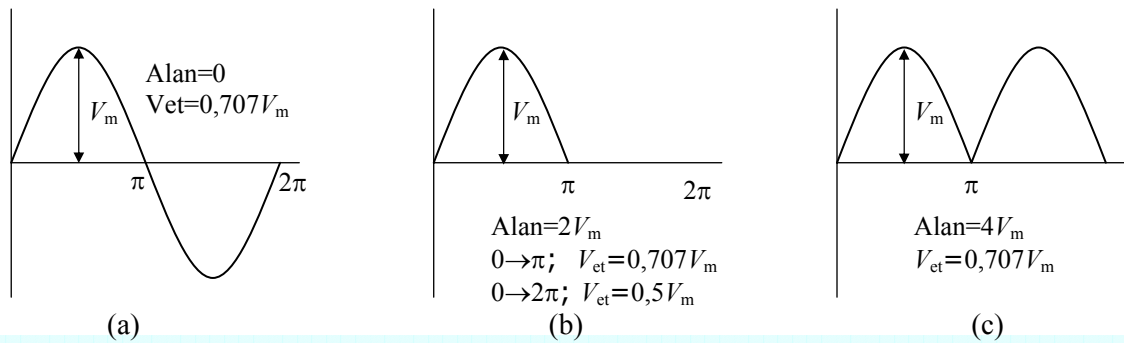
Etkin değer, ac bir işaretin *kare ortalama karekök* (root means square-rms) değerini belirtmek için kullanılır. Etkin değer, ac işaretin sağladığı erki

sağlayacak doğru gerilim yada akım değeridir. Evlerimize gelen ve endüstride kullanılan sinüsün bilinen değeri de, etkin değeridir. 220V ac ile çalışan bir ısıtıcı 220V dc ile çalıştırılırsa, elde edilecek ısı erki aynı olur.

ac bir işaretin etkin değeri, uygun bir ölçme aygıtıyla belirlenebilir. ac ölçme aygıtları etkin değeri ölçüyorlarsa da, ölçülen bu değer doğru olmayabilir. Ölçmede oluşabilecek olasılıklar aşağıda sıralanmıştır.

- ↪ Diyot doğrultmalı ve bazı sayısal ölçme aygıtları sinüs dalgabiçimine göre ayarlıdır ve sinüs dışındaki dalgabiçimleri için gösterdikleri değerden değişik olabilir.
- ↪ Ölçülen işarete sığaç yada dönüştürücü ile bağlı ac ölçme aygıtları ölçülen gerilimdeki dc bileşeni süzecekleri için ölçülen değer, yalnızca özgün işarettaki ac bileşenin etkin değeri olur.
- ↪ Demir çerçeveli ölçü aygıtları, tüm dalgabiçiminin etkin değerini ölçerler.
- ↪ Çoğu sayısal ölçme aygıtları ve gerçek rms ölçme aygıtları, dalganın etkin değerini ölçerler.

Bir sinüs dalgası ile tam ve yarım dalga doğrultulmuş dalga biçimlerinin etkin değerleri Şekil:13.14te gösterilmiştir.



Şekil 13.14: Sinüs dalgası (a) ile yarım dalga (b) ve tam dalga doğrultulduğunda elde edilen etkin gerilim değerleri. Akım değerleri için de aynı eşitlikler kullanılabilir.

Sinüsün genellikle etkin değeri verildiği için, diğer değerlerinin etkin değer yardımıyla bulunması gerekebilir. Etkin değere bağlı olarak,

$$\text{Tepe değer} \Rightarrow V_m = \sqrt{2}V_{et}$$

$$\text{Tepeden tepeye değer} \Rightarrow V_{t-t} = 2\sqrt{2}V_{et}$$

olarak bulunur. Bu eşitlikler yardımıyla sinüsün tüm değerleri arasında geçiş yapılabilir.

BÖLÜM 14

AC DEVRELERDE DİRENÇ, BOBİN VE SİĞAÇ

MUTFAKTA NE PİŞİYOR?

George R Stibitz küçüklükten beri tüm elektrikli ve elektronik aletlere meraklı, doğal bir deney insanıydı. Ailesi onun her şeyi kurcalamasından sürekli olarak kaygı duyuyorduysa da, diyanet profesörü olan babası, öğrenme hevesini kırmamak ve imgelemine engellemek için eline sık sık onu oyalayacak aygıtlar veriyordu. Bir seferinde sekiz yaşındayken, evdeki prize bağladığı bir elektrik motoru nedeniyle oluşan aşırı yüklenme yüzünden, Ohio Dayton'daki evleri neredeyse alevler içinde kalacaktı.

Artık genç bir matematikçi olan Stibitz, 1937 yılında Bell Telephone Laboratories'de (AT&T'nin araştırma bölümü) çalışırken içine doğan bir ilhamla boş zamanlarında telefon parçaları, piller ve bir sürü başka elemanlar ve bir topar kablodan oluşan bir alet yapmaya başladı. Yaptığı makine, ABD'de ikilik işlem yapmayı başarabilen ilk aygıt idi ve mutfak masasının üzerinde bir araya getirildiği için Model K adı verilmişti.

1940 yılında Bell mühendislerinden Gazi Samuel B. Williams ile gerçekleştirdikleri çok daha gelişmiş yeni sayısal hesap aygıtı, uzun mesafe telefon ağlarının tasarılmasında gereksinilen karmaşık sayı hesaplamalarını yapabiliyordu. Bell Laboratories'in New York, Manhattan'daki merkez binasına yerleştirilen dizge, American Mathematical Society'nin çok ilgisini çekti ve Stibitz, ürününü tanıtması için New Hampshire, Hannover'daki Dartmouth Üniversitesine çağırıldı. Stibitz daha sonraları yazdığı kitabında şunları yazıyor: "İşleri kendim ve başkaları için zorlaştırma konusundaki doğal deham nedeniyle karmaşık sayı hesaplayıcısını Hannover'dan telgraf hattı üzerinden çalıştırmayı önerdim ve buna karar verildi." Stibitz ve Williams gösteri için yorulmadan çalıştılar ve 11 Eylül 1940 tarihinde Stibitz'in Hanover'da klavyeden girdiği karmaşık sayı problemlerinin sonuçları bir dakika içinde New York'dan geri geliyordu.

Bu ilk uzak mesafe hesaplama gösterisiydi ve hem şirket hem de Stibitz ve Williams büyük sükse yaptılar.

Bu sunum sırasında izleyiciler arasında, bilgisayar bilimini çok etkileyen üç matematikçi vardı. John von Neumann, Norbert Weiner ve John W. Mauchly, bu sunumdan aldıkları ilhamla, birkaç yıl sonra ortaya çıkacak dünyanın ilk geniş ölçekli elektronik sayısal bilgisayarı ENIAC'ın keşfine büyük katkıda bulundular.

14.1. GİRİŞ

Dirençlerin elektriksel tepkisi zamandan bağımsız olduğu için, sinüs gerilimine gösterdikleri tepki ile doğru akıma gösterdikleri tepki arasında bir ayırım gözlenmez. Başka bir deyişle yalnızca direnç içeren ac devrelerde elektriksel bileşenler ve değerler, frekanstan bağımsız olarak, hesaplanabilir. Dirençlerin iki temel değeri olan direnç ve güç, ac devreler için de geçerlidir ve ac devrelere özel başkaca da bir tepkileri yoktur. Oysa erk depolayan elemanlar bobin ve sığaç, ac devrelerde frekansa bağlı olarak değişen tepkiler gösterirler.

Endüktif bir ac devrede akım *sürekli* olarak değiştiği için, bobin tarafından devre akıma gösterilen *etkin* bir zorluk vardır. Endüktans ve sıklık değerlerine bağlı olan bu direnime, endüktif tepke (X_L) denir.

Bobinler endüktif reaktansları nedeniyle ac akıma, dc akıma gösterdiklerinden daha büyük zorluk gösterirler. Bobin bu özelliği nedeniyle, ac dalgalık bileşenini azaltan bir dc süzgeç olarak kullanılır. Bobin ayrıca flüoresan lamba devrelerinde de, başlangıçta lambaya yüksek gerilim sağlayıp, lamba yandıktan sonra da akımı sınırlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Bir bobinin kalitesi (Q), endüktif tepkeye bağlı olarak tanımlanır ve bir bobinin *ac direnci* ile karşılaştırılınca ne denli endüktif olduğunun “değer ölçüsü”dür. Bobinin ac direnci, kısmen *deri etkisi* nedeniyle dc direncinden farklıdır.

Sığaçların da ac tepkileri, dc tepkilerinden değişiktir. Bu bölümde ikinci olarak sığağın ac gerilim ve akım ilişkileri incelenecektir. Sığaç üzerinden akım geçme koşulu, sığaç geriliminin değişmesidir. ac devrelerde dc devrelerdekinin tersine gerilim *sürekli* olarak değiştiği için, sığaç üzerinden sürekli olarak belli bir değerde rms akım geçer.

Sığaç geriliminin sığaç akımına oranına sığasal tepke (X_C) denir ve bu değer, Ohm olarak sığaç tarafından gösterilen zorluktur. Tepke, hem sıklık hem de sığa ile ters orantılıdır. Sığağın dc devrelerde açık devre özelliği gösterme nedeni de dc gerilimin sıklığının sıfır olmasıdır. Bu özellikleri nedeniyle sığaçlar, dc gerilimi durdurup, ac gerilimi geçirmek için kullanılabilirler.

Sığasal tepkelerin ardıl ve koşut bağlanmaları, dirençleri ve endüktanslarınkine benzer biçimde çözümlenir. Ancak dc devrelerde olduğu

gibi ac devrelerde de ardıl bağlı sığaçlardan *küçük* sığalı olanın uçlarında büyük gerilim düşer.

Son olarak sığaçların dağıtma katsayısı (D) tanımlanacaktır. Bu katsayı, belli bir sıklık için sığaçta oluşan tüm yitimlerin bir göstergesidir ve değişken elektrik alanı tarafından yaratılan dielektrik histerezis etkisini de içerir.

14.2 DİRENÇSEL YÜKTE AC DALGABIÇİMLERİ

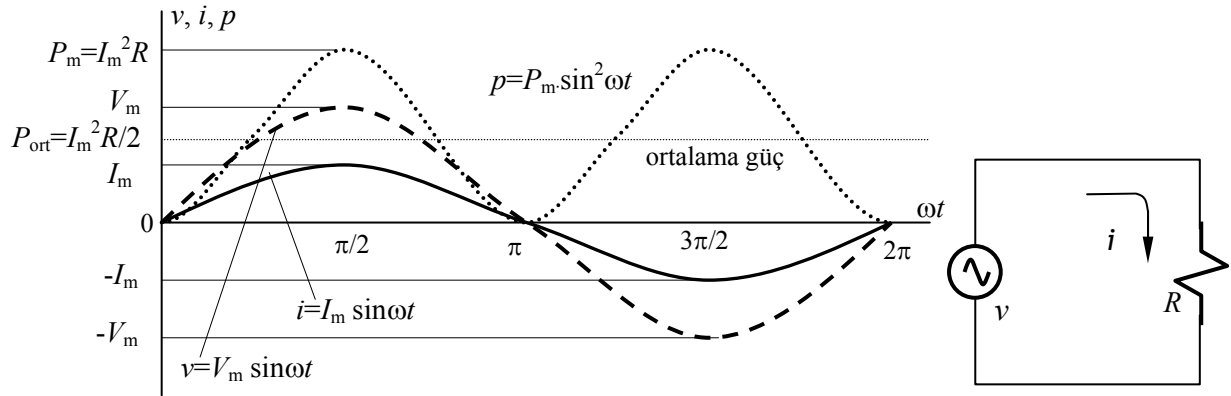
Şekil:14.1deki direnç devresine bir sinüs gerilimi uygulandığını düşünelim. Bildiğimiz bazı temel eşitlikleri kullanarak devreden geçen akımın dalgabiçimini belirleyebiliriz. Devreye uygulanan işaretin denklemi,

$$v = V_m \cdot \sin \omega t$$

olarak bilinmektedir. Bu denklemi Ohm Yasası ile kullanarak akım denklemini,

$$i = \frac{V_m}{R} \cdot \sin \omega t = I_m \cdot \sin \omega t$$

olarak yazarız.



Şekil 14.1: Dirençsel yükte gerilim akım ve güç dalgabiçimleri.

Görüldüğü gibi akım denklemi ile gerilim denkleminin faz ve frekans değerleri aynıdır. Buna göre dirençsel bir devrede akım ile gerilim arasında bir evre ayrımı yada sıklık kayması olmadığı söylenebilir.

Bir dc devrede ortalama güç,

$$P = I^2 \cdot R$$

eşitliği ile belirlenmiştir. Anlık akım değerinin değişken olduğu ac bir devrede, anlık güç değeri de,

$$p = i^2 \cdot R$$

eşitliğine göre değişir. Bu eşitlikte *i* yerine eşiti koyularak,

$$p = (I_m \cdot \sin \omega t)^2 \cdot R$$

yazılabilir. Eşitlikte işlem yapılarak,

$$p = I_m^2 \cdot R \sin^2 \omega t$$

ve burada $I_m^2 \cdot R$ değeri yerine P_m koyularak,

$$p = P_m \cdot \sin^2 \omega t$$

eşitliği bulunur. Sinüs dalgası için güç dalgabıçımı Şekil:14.1de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi güç dalgabıçımının sıklığı, akımınkinden (ve geriliminkinden) iki kat fazladır. Akım, bir dönem tamamlayana dek güç, sıfır ile tepe değer arasında değişerek iki dönem tamamlamaktadır.

Ortalama güç değeri, tepe güç değerinin yarısıdır ve en önemlisi, dirençsel bir devrede güç eğrisi dalgalansa da hep *artı* değerlidir. Bu da bir dirençten geçen değişken akımın, ne yönde akarsa aksın, güç tükettiğini gösterir. Güç eğrisinin yatay eksenini ortalama güç çizgisi oluşturur ve güç, bu eksene göre bakışıktır. Buna göre ortalama güç değeri, tepe güç değerinin yarısına eşittir ve güç dalgasının üst yarısının, alt yarıdaki boşlukları doldurarak ortalama güç değerini sağladığı düşünülebilir.

Bir dirençte tüketilen güç, direnç akımının sıklığından (frekanstan) bağımsızdır. Tüketilen güç yalnızca direnç değerine ve akımın (yada gerilimin) tepe değerine göre belirlenir.

Dirençsel bir devredeki ortalama güç, bu devrede açığa çıkan ısı erkini oluşturur ve tepe güç değerinden daha önemlidir. Ortalama güç değerini belirlemek için akımın etkin değerinin kullanıldığı,

$$P_{ort} = I_{et}^2 \cdot R = I^2 \cdot R$$

eşitliği yazılabilir. Görüldüğü gibi dc devrelerdeki eşitlik, ac devrelerde de geçerlidir. Buna göre ortalama ac gücün dc güce eşit olduğu söylenebilir.

14.3.AC DEVREDE ENDÜKTANSIN ETKİSİ

Bir bobinden geçen akımın değeri değiştiğinde, bobin uçlarında bir gerilim indüklenir. Buna göre eğer bobinden bir sinüs akımı geçirilirse, neredeyse sürekli olarak değişen bir gerilim indüklenenecektir. Bu emk akımdaki değişime direneceği için, ac akıma karşı endüktansın sürekli bir tepkisi olacaktır. Gösterilen bu zorluk, bobinin sahip olduğu tüm dirençlerden çok daha yüksektir.

14.3.1 BOBİNDE AKIM-GERİLİM-EVRE İLİŞKİSİ

İçdirenci önemsenmeyen bir endüktanstan, Şekil:14.2deki gibi bir sinüs akımı geçerse akım dalgabıçımı,

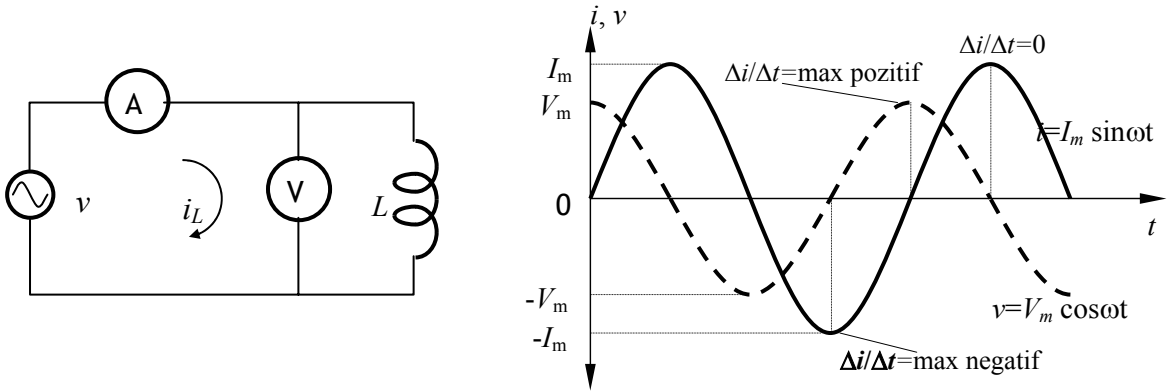
$$i = I_m \cdot \sin \omega t$$

eşitliğine göre oluşacaktır.

Aynı zamanda kaynak gerilimine eşit olması gereken bobin gerilimi de,

$$v = L \cdot \left(\frac{\Delta i}{\Delta t} \right)$$

eşitliği ile belirlenir. $\Delta i/\Delta t$ terimi akım dalgabıçımının *eğimidir* ve bu değer yalnızca I_m ve $-I_m$ tepe değerlerinde sıfır olur. Bobin gerilimi de yalnızca bu anlarda sıfır olur. Akım dalgabıçımının en büyük eğimi, zaman eksenini geçerken oluşur. Bu anlardaki bobin gerilimi de en yüksek değerdedir. Bobin uçlarındaki gerilimin polaritesi ise, akımın artıyor yada azalıyor oluşuna bağlıdır.



Şekil 14.2: Bir ac devrede endüktansın etkisi ile akım ve gerilim dalgabıçımları.

Bu verilere göre bobin geriliminin dalgabıçımını kestirmek zor değildir ancak sinüsel olduğunu *kanıtlamak* biraz matematik gerektirir. Aslında bobin gerilimi bir *kosinüs* dalgasıdır ve,

$$v = V_m \cdot \cos \omega t$$

eşitliği ile gösterilir. Kosinüs dalgası, sola kaymış (çeyrek devir yada 90° ileride) bir sinüs dalgasıdır. Gerilim dalgabıçımı kendi tepe değerine, akım dalgabıçımının akım tepe değerine ulaşmasından 90° önce ulaştığı için, bobin geriliminin bobin akımından 90° önde (yada ileride) olduğu söylenir. Aynı durumu belirtmek için, saf endüktif devrede bobin akımının bobin geriliminden 90° geride olduğunu söylemek de yanlış değildir.

14.3.2 ENDÜKTİF REAKTANS

Şekil:14.2deki akım ve gerilim dalgabıçımlarının her ikisi de sinüsel değişim gösterdikleri için etkin değerleri,

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

ve

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

olarak yazılır. Bunlar yine Şekil:14.de gösterilmiş olan gerilimölçer ve akımölçer ile okunan değerlerdir.

Dirençsel bir devrede Ohm Yasası olarak bilinen,

$$R = \frac{V_R}{I_R}$$

orantısına benzer biçimde, saf endüktansın akıma gösterdiği zorluk da V_L/I_L oranıtısı ile belirlidir. Bu gerilim/akım oranının birimi her ne kadar Ohm ise de, direnç olarak adlandırılmaz. Bunun yerine endüktif reaktans-bobinsel tepke olarak adlandırılır. Buna göre endüktif reaktans,

$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$

olarak yazılabilir. Burada X_L Ohm olarak bobinin endüktif tepkesini, V_L Volt olarak bobin gerilimini ve I_L Ampère olarak bobin akımını göstermektedir.

14.3.3 ENDÜKTİF TEPKEYİ BELİRLEYEN ETMENLER

Endüktif tepke (akıma gösterilen zorluk), bobinden geçen akımın değişmesi ile oluşan zıt emk değerine bağlı olarak oluşur. Buna göre zemk değerini artıran her şey, X_L değerini de artıracaktır.

Bobin gerilimi,

$$v_L = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

olarak bilindiğine göre, endüktans değerindeki (L) bir artış, endüktif reaktansı artıracaktır. Ayrıca akım dalgabıçımının eğimini veren $\Delta i/\Delta t$ değeri de X_L değerini artıracaktır. Devreye uygulanan gerilimin frekansına bağlı olarak eğim de artacağından, sıklık değeri de endüktif tepkeyi artıracaktır. Bu iki etki birleştirilip açısıl sıklık değeri ($\omega=2\pi f$) kullanılarak,

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$$

eşitliği yazılır. Burada X_L Ohm olarak endüktif reaktansı, f Hertz olarak sıklığı, L Henry olarak endüktansı ve ω rad/s olarak açısıl sıklık değerini göstermektedir.

Yukarıdaki eşitlik yalnızca sinüsel dalgalar için geçerlidir. Görüldüğü gibi endüktif tepke sıklık ile doğrusal olarak artmaktadır. $f=0$ olduğunda (dc) endüktif tepke değeri de sıfır olacaktır. Buna göre bir doğru akım devresinde kararlı durumda bulunan endüktansın, devre koşullarına bir etkisi yada akıma zorluğu yoktur.

14.3.4 ENDÜKTİF TEPKELERİN ARDIL BAĞLANMASI

İki yada daha çok sayıda bobin ardıl bağlandığında toplam endüktif tepke,

BÖLÜM-14 AC DEVRELERDE DİRENÇ, BOBİN VE SİĞAÇ

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + \dots + X_{L_n}$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlik, bobinler arasında karşılıklı endüktans bulunmadığı durumlarda geçerlidir. Devreden geçen akım,

$$I = \frac{V}{X_{L_T}}$$

ve her bir bobin uçlarındaki gerilim de,

$$V_{L_n} = I \cdot X_{L_n}$$

eşitlikleri ile bulunur.

Ardıl bağlı bobinler arasında karşılıklı endüktans bulunması durumunda toplam endüktans,

$$L_T = L_1 + L_2 \pm 2 \cdot M$$

eşitliği ile belirlidir. Bu bobinlerden ac akım geçmesi durumunda elde edilecek toplam endüktif reaktans ise,

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} \pm 2 \cdot X_M$$

olarak hesaplanır. Burada X_{L_1} ve X_{L_2} Ω olarak bobinlerin tepkelerini, $X_M = 2\pi fM$ Ω olarak karşılıklı tepkeyi ve M Henry olarak bobinler arası karşılıklı endüktans değerini göstermektedir.

Karşılıklı reaktans değeri, bobinlerin manyetik alanları toplay yönde ise artı, çıkay yönde ise eksi olarak alınır. Bobinlerden geçen akım ise yine,

$$I = \frac{V}{X_{L_T}}$$

ve her bir bobin uçlarında düşen gerilim değeri de,

$$V_{L_n} = I(X_{L_n} \pm X_M)$$

eşitlikleri ile bulunabilir.

14.3.5 ENDÜKTİF TEPKELERİN KOŞUT BAĞLANMASI

İki yada daha çok sayıda endüktansın koşut bağlanması ile eşdeğer tepke, en düşük reaktanslı kolunkinden daha küçük bir değere iner. Eşdeğer tepke değeri paralel dirençlerdeki gibi,

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$

eşitliği ile hesaplanır.

14.3.6 BOBİNİN KALİTESİ (Q)

Yüksek frekanslarda bir bobinin yararlılığı yalnızca endüktans değeri ile değil, endüktif tepkesinin *ac* yada *etkin* direnç değerine *oranı* ile de belirlenir. Bu orana bobinin *kalitesi* denir ve Q ile gösterilir.

$$Q = \frac{X_L}{R_{ac}}$$

Bu katsayı aynı zamanda bobinin enerji depolama yetisi ile orantılı olduğu için, *depolama* katsayısı olarak da adlandırılmaktadır.

14.3.7 ETKİN DİRENÇ

Etkin (*ac*) direnç, dirençölçer ile ölçülen dirençten (*dc* direnç) farklıdır ve daha büyüktür. Bobini oluşturan iletken tellerin içinde ve çevresinde, değişken akım tarafından yaratılan manyetik alan, en yüksek değişim hızına ($\Delta\Phi/\Delta t$) telin merkezinde erişir. Böylece indüklenen zemk ($v = \Delta\Phi/\Delta t$) ve akıma gösterilen zorluk, iletken özeğinde en yüksek değerini alır. Bu nedenle radyo frekanslarında (yüzlerce kHz ve yukarısı) akımın çoğu iletkenin yüzeyinden geçerken, eğer varsa çok küçük bir bölümü de merkezden geçer. Bir başka deyişle akım yoğunluğu iletken yüzeyine yaklaştıkça artar. Bunun sonucu olarak akım taşıyan kesit azalır ve iletkenin direnci artar. Bu olaya *deri etkisi* denir ve mikrodalga sıklıklarında bu etki o denli belirgindir ki, bu devrelerde kullanılan iletkenler, içleri boş üretilir. Radyo frekanslarda *deri etkisine* ek olarak, *erk ışımasına* bağlı bir *yitim* de oluşur. Bu iki etkinin bir araya gelmesi ile oluşan yüksek dirence *ac direnç* (R_{ac}) denir.

Yüksek frekanslarda bobinin Q değeri, sıklığa bağlı olarak neredeyse değişmez. Çünkü R_{ac} , sıklığa bağlı olarak X_L ile yaklaşık aynı hızda artar ve iki değer *oranı* olan Q , yaklaşık olarak *sabit* kalır.

Şebeke frekansında *deri etkisi* önemsiz düzeydedir ama yine de, *dc* ve *ac* dirençler arasında oldukça büyük bir fark oluşabilir. Bobin manyetik bir çekirdeğe sarılmışsa hem *histerezis* hem de *Eddy yitimleri* nedeniyle elektrik erki ısı biçiminde tüketilir. Bunun etkisi, devreye sanki bir direnç eklenmiş gibi görülebilir.

Bir devrenin toplam *ac* direnci, güçölçer ile belirlenebilir. Bunun için devrenin tükettiği güç ve çektiği akım ölçülerek,

$$R_{ac} = \frac{P}{I^2}$$

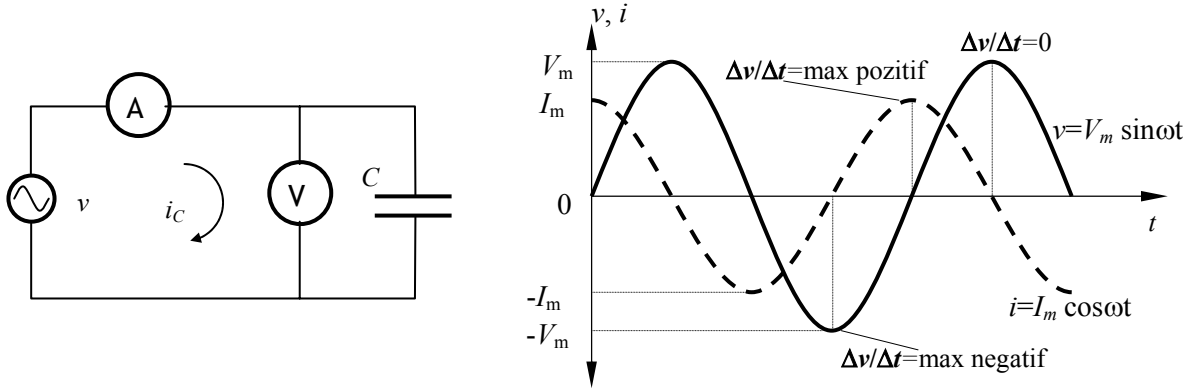
eşitliğinde yerine koyulur.

14.4 AC DEVREDE SİĞANIN ETKİSİ

Bir sığaç *ac* bir kaynak uçlarına bağlanınca, kaynağın değişen gerilimi nedeniyle sürekli olarak *dolma* ve *boşalma* tepkisi verir. Bunun sonucu olarak sığaca ardıl bağlanacak bir akımölçer sürekli olarak *etkin* bir akım

değeri gösterir. Bu durumda akım sığaç içinden akıyor gibi görünse de, aslında yalnızca bir miktar yükün bir sığaç plakasından diğerine ve tersi yönde *ac kaynak üzerinden* aktarılıp durmasından başka bir şey olmamaktadır.

14.4.1 SİĞAÇTA AKIM-GERİLİM-EVRE İLİŞKİSİ



Şekil 14.3: Bir ac devrede sığağın etkisi ile akım ve gerilim dalgabıçimleri.

Bir sığaç uçlarına Şekil:14.3teki gibi,

$$v = V_m \sin \omega t$$

eşitliğini izleyen bir sinüs gerilimi uygulanırsa akım dalgabıçimi,

$$i = C \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

eşitliğine göre oluşacaktır. Bu eşitlikte $\Delta v / \Delta t$ terimi, gerilim dalgabıçiminin eğimidir ve bu değer yalnızca V_m ve $-V_m$ tepe değerlerinde sıfır olur. Sığaç akımı da yalnızca bu anlarda sıfır olur. Gerilim dalgabıçiminin en büyük eğimi, zaman eksenini geçerken oluşur. Bu anlardaki sığaç akımı da en yüksek değerdedir. Sığaç akımının yönü ise, gerilimin artıyor yada azalıyor oluşuna bağlıdır.

Bu verilere göre sığaç akımı dalgabıçimi belirlenebilir. Aslında sığaç akımı bir kosinüs dalgasıdır ve,

$$i = I_m \cdot \cos \omega t$$

eşitliği ile gösterilir. Kosinüs dalgası, genel biçimi (ve frekansı) ile bir sinüs dalgasına benzer ama , çeyrek devir sola kaymış (yada 90° ileride) bir sinüs dalgasıdır. Akım dalgabıçimi, gerilim dalgabıçiminden 90° önce tepe değerine ulaştığı için, sığaç akımının sığaç geriliminden 90° önde (yada ileride) olduğu söylenir. Aynı durumu belirtmek için, sığaç geriliminin sığaç akımından 90° geride olduğunu söylemek de yanlış değildir. Bu evre kayması yalnızca tam kapasitif devrede ($\text{içdirenç}=0$) 90° olur. Uygulamada sığaçların

içdirençleri gerçekten de göz ardı edilecek düzeyde olduğundan, genellikle sığacın akım-gerilim evre ayrımı 90° olarak alınır.

14.4.2 KAPASİTİF REAKTANS

Şekil:14.2deki akım ve gerilim dalgabıçimlerinin her ikisi de sinüsel değişim göstermektedirler ve her ikisi için de etkin değerler,

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

ve

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

olarak yazılır. Bunlar Şekil:14.2deki gerilimölçer ve akımölçer ile okunan değerlerdir.

dc yada ac devrelerde dirençler için kullanılan,

$$R = \frac{V_R}{I_R}$$

eşitliğine benzer biçimde kapasitif devrede de akıma gösterilen güçlük,

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

olarak yazılabilir. Burada X_C Ω olarak sığacın kapasitif tepkesini, V_C Volt olarak sığaç gerilimini ve I_C Ampère olarak sığaç akımını göstermektedir.

14.4.4 SİĞASAL TEPKEYİ BELİRLEYEN ETMENLER

Sığaç uçlarına uygulanan değişken gerilime bağlı olarak geçen akım değerini veren

$$i = C \Delta v / \Delta t$$

eşitliğine göre sığaç akımı, sığa değeri ve gerilim değişim hızına bağlı olarak değişir. Buna göre belli bir gerilim ve sıklık değeri için sığanın (C) artması ile sığaç akımı artacaktır. Akımın artması, kapasitif tepkenin azalması anlamına gelir. Buna göre X_C ile C ters orantılıdır. Devredeki diğer koşullar değişmeden sıklığı artırdığımızda ise, gerilim değişim hızı $\Delta v / \Delta t$ değeri artarak sığaç akımını yükseltecek ve X_C değerini azaltacaktır. Bu iki etki birleştirilip açısal sıklık değeri ($\omega = 2\pi f$) kullanılarak,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$$

eşitliği yazılır. Burada X_C ohm olarak kapasitif reaktansı, f Hertz olarak sıklığı, C Farad olarak sığayı ve ω rad/s olarak açısal sıklık değerini göstermektedir.

Yukarıdaki eşitlik yalnızca sinüsel dalgalar için geçerlidir. Görüldüğü gibi sığasal reaktans sıklık ile doğrusal olarak azalmaktadır. $f=0$ olduğunda (dc) sığasal tepke değeri sonsuz (yalnızca sığaç içdirenci) olacaktır.

Sığaç bu özelliği ile dc gerilimi engelleyip ac işaretleri geçiren bir süzgeç olarak kullanılır.

14.4.5 SİĞASAL TEPKELERİN ARDIL BAĞLANMASI

İki yada daha çok sayıda sığaç ardıl bağlandığında toplam sığasal tepke,

$$X_{C_T} = X_{C_1} + X_{C_2} + \dots + X_{C_n}$$

eşitliği ile bulunur. İki yada daha çok sığaç ardıl bağlandığında toplam sığa düşer. Ancak sığasal tepke buna bağlı olarak arttığı için (tek bir sığacinkine oranla), yukarıdaki eşitlik toplama durumundadır.

Devreden geçen akım,

$$I = \frac{V}{X_{C_T}}$$

ve her bir sığaç uçlarındaki gerilim de,

$$V_{C_n} = I \cdot X_{C_n}$$

eşitlikleri ile bulunur. Devre gerilimi, dc devrelerde olduğu gibi ac devrelerde de, en küçük sığaç uçlarında en büyük gerilim düşecek biçimde bölüşülür.

14.4.6 SİĞASAL TEPKELERİN KOŞUT BAĞLANMASI

İki yada daha çok sayıda sığacın koşut bağlanması ile eşdeğer tepke, en düşük reaktanslı kolunkinden daha küçük bir değere iner. Eşdeğer tepke değeri paralel dirençlerdeki gibi,

$$\frac{1}{X_{C_T}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \dots + \frac{1}{X_{C_n}}$$

eşitliği ile hesaplanır.

14.4.7 SİĞACIN DİSİPASYON FAKTÖRÜ

Sığaç dc bir kaynak ile her doldurulduğunda, dielektriğin atomları bir yönde kutuplanır. Sığaç bir ac kaynağa bağlandığı zaman dielektrik atomları, değişen elektrik alanına uygun olarak bir o yönde bir bu yönde kutuplanırlar. Bu kutuplanma süreci, dielektrik içinde ısı biçiminde bir yitime neden olur. Bu etki, manyetik çekirdeklerdeki histerezis yitimine benzediği için *dielektrik histerezisi* olarak adlandırılır.

Sığaç plakaları arasındaki dielektrik malzemenin çok büyük de olsa bir yalıtım direnci vardır. İşte bu yalıtım direnci ve dielektrik histerezis, sığacın eşdeğer devresinde koşut bir direnç olarak gösterilir. Bu etki, bobinlerdeki ac direnç gibi ek bir ac olgu olarak düşünülebilir.

Bobindeki kalite (Q) yada *depolama* katsayısına benzer biçimde sığaçta da tüketim (D) katsayısı,

$$D = \frac{X_C}{R_p} = \frac{1}{2\pi fCR_p}$$

olarak yazılabilir. Burada D (birimsiz) sığağın disipasyon katsayısını, X_C Ohm olarak sığasal tepkeyi, R_p Ohm olarak sığaca koştur toplan ac direnci göstermektedir.

Tüketim katsayısı, adından da kestirilebileceği gibi, belli bir sıklık değeri için bir sığaçta tüketilen güç miktarının göstergesidir. Kusursuz, yitimsiz bir sığağın D katsayısı sıfırdır. Sığaç yalnızca dc altında kullanılıyorsa, güç tüketimi yalnızca yüksek değerli yalıtım direncine (sızıntı akımına) bağlı olacaktır. Sığaç ac gerilim altında çalıştırılınca bu tüketime ek olarak, sığaç uçlarındaki ac gerilime bağlı yitimler de oluşur.

Elektrolitik olamayan sığaçların D katsayıları 1 kHz için, polistiren sığaçlarda 0,0005 ve seramik sığaçlarda 0,02 kadardır. Elektrolitik sığaçlarda ise 60 Hz için 0,15-0,75 aralığındadır. Bu değer özellikle örneğin ac motor yol verme gibi güç devrelerinde kullanılan sığaçlarda aşırı ısınma oluşmaması için 0,15 (%15) değerini geçmemelidir.

Sığaçlardaki yitimler, özel durumlar dışında genellikle (bobinlerdekini tersine) önemsiz sayılabilecek düzeylerde dir.

D katsayısının tersi, Sığaçlar için kalite katsayısı olarak adlandırılır ve tıpkı bobinlerdeki gibi yüksek Q , az yitim demektir.

BÖLÜM 15

AC DEVRELERDE FAZÖRLER

(KARMAŞIK SAYILAR)

LAZER

1898 yılında H. G. Wells' in, Marslı istilacıların ölüm ışınları ile tuğlaları parçaladığı, ağaçları ateşe verdiği ve demirleri kağıt gibi deldiği ünlü kitabı *Dünyalar Savaşı – "The War of The Worlds"* yayımlandı. 1917 yılında Albert Einstein, belirli koşullar altında atom yada moleküllerin ışığı yutabileceğini ve daha sonra ödünç alınan bu erki salmak üzere uyarılabileceklerini açıkladı. 1954 yılında Columbia Üniversitesi profesörlerinden Charles H Townes ve öğrencileri ilk maser aygıtını geliştirdiler. 1958 yılında Townes ve Arthur L. Shawlow' un, uyarılmış salımın mikrodalgaları olduğu gibi ışık dalgalarını da yükseltmek için kullanılabileceğini açıklayan bir yayın çıkarmaları ile ilk laser aygıtının geliştirilmesi için yarış başlamış oldu. 1960 yılında Hughes Aircraft Company çalışanı bilimci Theodore H. Maiman bir flaş lambasının ışığını sentetik kristalden bir çubuğa ileterek, güneşi gölgede bırakacak parlaklıkta kan kırmızı bir ışık patlaması elde etti.

Bunun üzerine kimisi futbol sahası kadar büyük, kimisi de iğne başı kadar küçük yeni laserlar çığ gibi gelmeye başladı. Kızılberisi ve morötesi gibi görünmez dalgaboyları ile görünür dalgaboyunda tüm renklerde ışımalar elde edildi. Her hangi bir maddeyi nükleer bir patlamadan milyon kez hızlı ve şiddetli şekilde buharlaştırabilecek yüksek güçlü laserlar ile çocuk oyuncaklarında kullanılacak denli güvenilir düşük güçlü laserlar üretildi.

15.1 GİRİŞ

Bu bölümde akım ve gerilim dalgaböçimlerinin *evrem yazımı-fazör notasyonu* kullanılarak gösterilmesi açıklanmaktadır. Bu yöntemde saf

endüktif ve kapasitif devrelerde akım ile gerilim arasındaki faz açısı ilişkileri, aralarında dik açı bulunan fazörler ile gösterilmektedir.

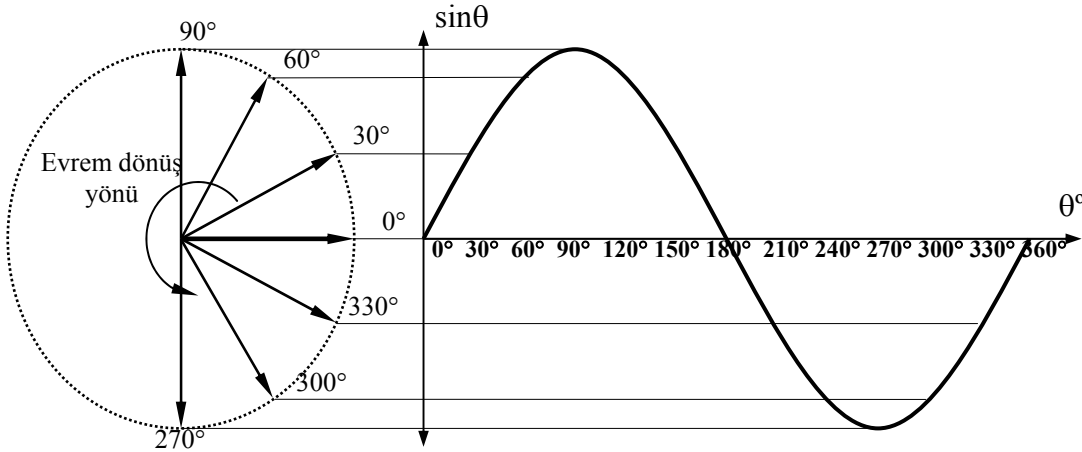
Direnç ve endüktans seri bağlandıklarında bunların gerilimleri, evre açıları dikkate alınarak toplanmalıdır. Bu biçimde yapılan toplama ile devrenin akıma gösterdiği zorluğu tanımlayan ve *direnim-empedans* (Z) olarak adlandırılan ifade elde edilir. Benzer bir ifade, akımın gerilimden ileride olduğu ardıl RC devre için de elde edilebilir.

Seri RLC devrede sığasal ve bobinsel tepkeler arasında toplam direnimin azalması ile sonuçlanan bir *götürme* etkisi oluşur. Özel bir durum olarak $X_L=X_C$ koşulunun gerçekleşmesi halinde, devrenin salt dirençsel özellik gösterdiği ve *rezonans-çınlanım* olarak adlandırılan davranış ortaya çıkar.

Direnç, bobin ve sığacın koşut bağlantısı, toplam akımın ve Ohm Yasası ile direnimin belirlenmesi ile incelenir. Son olarak bir devrenin akımı ile gerilimi arasındaki evre açısını ölçme yöntemleri incelenecektir.

15.2 SİNÜS DALGASININ FAZÖR İLE GÖSTERİMİ

Dalgabiçimlerini, devre akımı ve gerilimi arasındaki evre açısını da belirtecek biçimde göstermenin en uygun yolu, *phasor-evrem* olarak adlandırılan bir oklu bir çizgi kullanmaktır. Bu anlatıma göre evrem ile vektörün aynı şey olduğunu düşünmek mümkündür. Oysa vektörler, hız, kuvvet gibi yönlü fiziksel çoklukların yön ve büyüklüğünü göstermek için kullanılırken fazörler, zamanla *büyükülüğü* de değişen çokluklar için kullanılırlar.

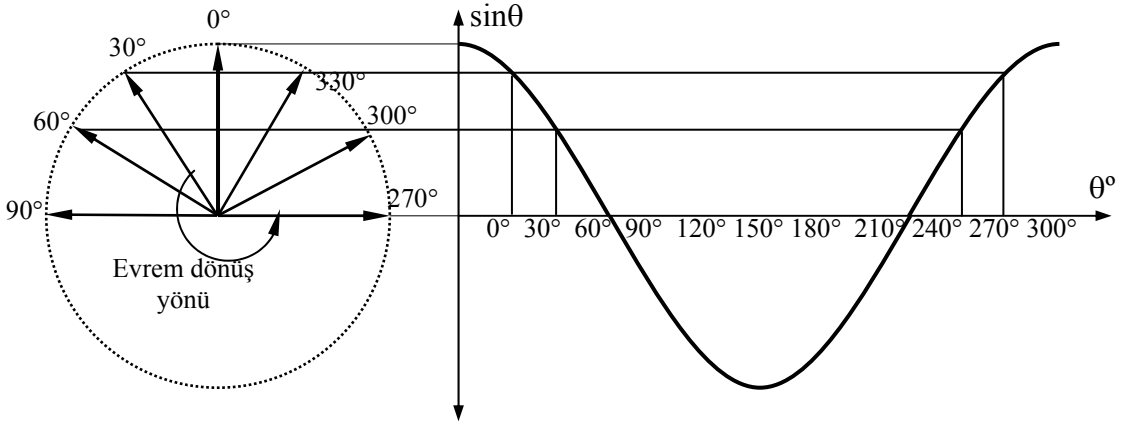


Şekil 15.1: Sinüs dalgası, saat ibresi yönünde dönen bir yarıçap evremin (fazör) yatay izdüşümlerinin bileşkesidir.

Bir sinüs dalgası, fazör (phasor-evrem) ile gösterilebilir. Evremin yönü evre açısını, büyüklüğü ise elektriksel büyüklüğün değerini gösterir. Evrem kullanımı, sinüs dalgalarını toplama yada ac çözümlemeye matematik işlem yapılması gereksinimini ortadan kaldırır. Evremler kullanılarak daha kısa ve yalın işlemlerle çözümleme olanağı kazanılır, daha doğru sonuçlar bulunur

ve en önemlisi, faz açısı diyagramlarındaki çizim zorlukları çok azaltılır. Ancak evremler, dalgabiçimlerinin gösterdiği sıklık, anlık değer ve benzeri büyüklükleri göstermez.

Şekil:15.1de bir evremin saat ibresi tersine döndürülmesi gösterilmiştir. Evremin dönüşü sırasında belirli açı aralıkları ile sağdaki koordinat eksenlerinde yatay izdüşümler işaretlenmiştir. Dik açı trigonometrisine göre, bu biçimde elde edilen noktaların x eksenine uzaklıkları, her bir noktanın çizilmesini sağlayan açının sinüs değeri ile orantılı olacaktır. Bu nedenle elde edilen bu dalganın adı sinüs dalgasıdır.



Şekil 15.2: Kosinüs dalgası için fazör 90° ileriden başlatılarak döndürülür.

Sinüs dalgası üzerindeki her nokta, saat yönü tersine dönen evremin, bu açıdaki yatay izdüşümüdür. Evremin 360° döndürülmesi ile tam bir sinüs dalgası elde edilmektedir.

Buna göre bir sinüsel dalgayı göstermek için yatay bir fazör kullanılabilir. Fazörün her zaman saat ibresi tersi yönde ve dalgabiçiminin frekansına eşit hızda döndüğü varsayılır. Fazörün uzunluğu normalde dalganın tepe değerine eşit olmalıdır. Ancak ölçü aletleriyle elde edilen değerler genellikle etkin değerler olduğu için, fazör boyu, rms değer gösterecek biçimde de seçilebilir.

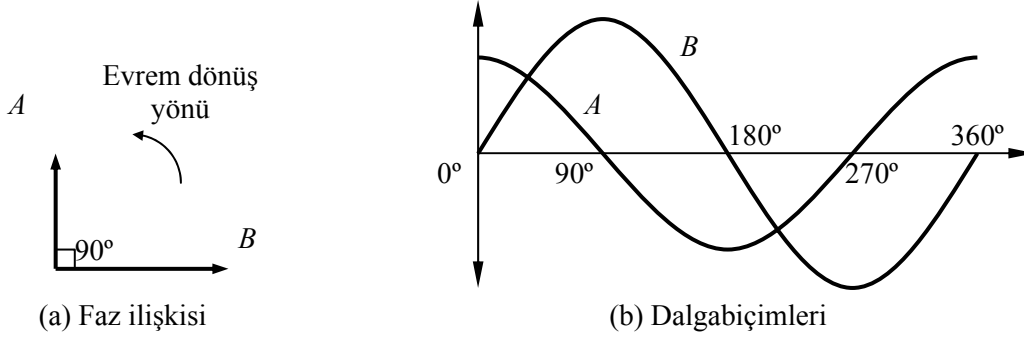
Şimdi de yönü yukarıya doğru olan bir dikey evremi saat yönü tersine tam bir tur döndürdüğümüzü düşünelim. Evremin dönmeye başladığı nokta 0° olarak kabul edildiğine göre dalgabiçim bu kez sıfırdan değil, tepe değerinden başlayacaktır. Fazörün döndüğü ilk 90° boyunca dalgabiçimi azalarak sıfıra inecektir. Bundan sonra 180° boyunca negatif yarıdalga oluşacak ve dalga biçimi yine artı tepe değerine ulaşacaktır.

Şekil:15.2de görülen biçimde elde edilen dalgabiçimi, kosinüs dalgası olarak adlandırılır. Bu dalga, sinüs dalgasının çeyrek devir ötelenmiş hali olduğu için, 90° ileride sinüs dalgası olarak adlandırılması da uygundur.

Şekil:15.3(a)da görülen A ve B fazörleri arasında 90° evre ayrımı vardır. (Bu iki fazör, sözgelimi bir sığacın akımı ile gerilimini gösteriyor olabilirler.) fazör dönüş yönü saat ibresinin tersine olduğuna göre, " A evreminin B

evreminden 90° ileride” olduğu söylenebilir. Aynı durum, “ B fazörü A dan 90° geride” olarak da ifade edilebilir.

Bu evremlerin Şekil:15.3(b)de görülen dalga diyagramı da çizildiğinde, aralarındaki genlik farkı ve faz ilişkisinin açıkça görülmesinin güçleştiğine dikkat edin. Bu çizim ve algılama güçlüğü nedeniyle dalga diyagramları pek de istenilen bir anlatım değildir.



Şekil 15.3: Aralarında 90° faz farkı olan iki evrem ve bunların gösterdiği dalgabiçimleri.

15.3 RLC İÇİN AKIM VE GERİLİM FAZÖRLERİ

Şekil:15.4te saf direnç, endüktans ve sığa kullanılan sinüsel kaynaklı devrelerde akım ve gerilim arasındaki evre ilişkisinin evremler kullanılarak nasıl gösterildiği görülmektedir.

Bütün devrelere aynı gerilim uygulandığı için gerilim evremleri, başvuru fazörü olarak yatay ekseninde gösterilmiştir. Saf direnç için gerilim ve akım aynı fazda olduğu için aralarındaki 0° evre açısını belirtmek amacıyla her ikisi de yatay ekseninde çakışık olarak çizilmiştir (a).

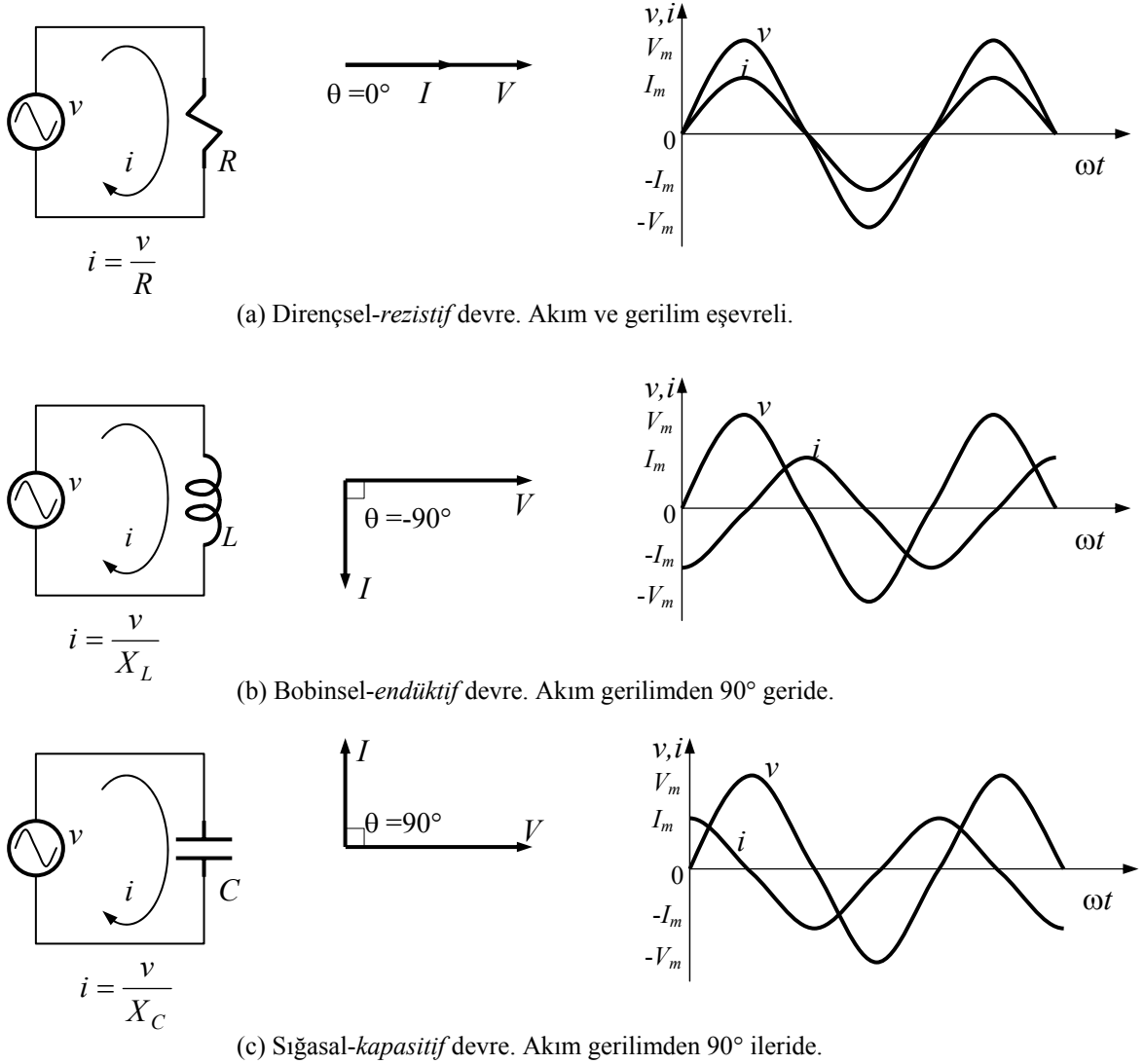
Saf endüktif devrede Şekil:15.4(b)de açıkça görüldüğü gibi akım, gerilimden 90° geridedir. Fazörlerin saat yönü tersine döndükleri varsayıldığına göre akım, gerilimin 90° ardından gelmektedir. Aynı durum için “gerilim akımdan çeyrek dönem ileride” de denilebilir.

Benzer biçimde saf kapasitif devrede de akım gerilimden çeyrek dönem öndedir. Şekil:15.4(c)de evrem çiziminde görüldüğü gibi gerilim akımdan 90° geridedir. Ancak başvuru olarak gerilim fazörü alındığı için, akımın ileride olduğunu söylemek daha anlamlı olur.

Görüldüğü gibi faz açılarını fazörlerle göstermek, dalgabiçimlerini kullanmaya göre çok daha kolaydır. Bu nedenle çözümlerinde çoğunlukla evrem çizimleri yeğlenir.

Akım fazörlerinin gerilim fazörlerinden kısa çizilmesinin özel bir amacı yoktur. Ölçekli çizimlerde akım fazörünün daha büyük görünmesi de olasıdır. Ancak çoğu zaman ölçekli çizimlerde bile evrem uzunlukları

önemsizdir çünkü fazörlerin *rms* değerleri yanlarında verilir. Evremler şekilde de görüldüğü gibi büyük harflerle belirtilirler.



Şekil 15.4: R , L ve C , için akım-gerilim faz ilişkisinin grafiksel olarak ve evremler ile gösterilişi.

15.4 FAZÖRLERİN KARMAŞIK SAYILAR İLE GÖSTERİMİ

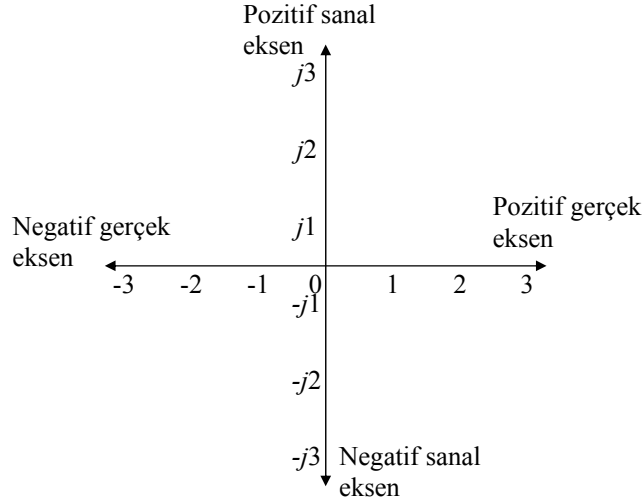
ac devreler, tepkin bileşenleri nedeniyle, akım, gerilim ve direnç değerleri arasında faz açısı özellikleri taşımaktadır. Bu nedenle ac devrelerde değerlerin büyüklükleri ile birlikte, açı değerleri de önem taşımaktadır.

Büyüklik ile birlikte açısal bilginin de içerildiği iki koordinat sistemi vardır:

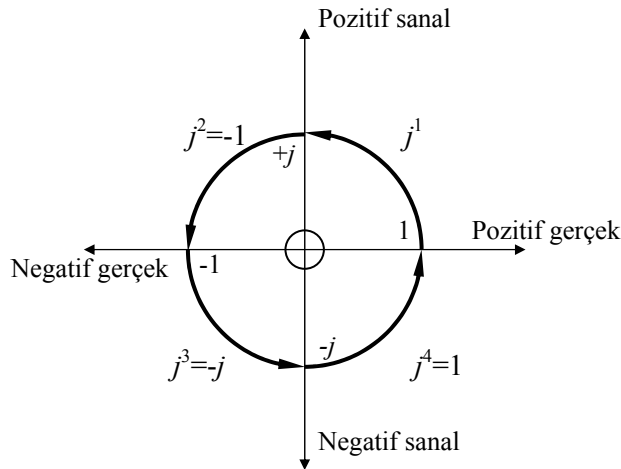
- ↪ Kutupsal (polar) koordinatlar sistemi
- ↪ Dörtgensel (rectangular) koordinatlar sistemi

Bunlardan ilki olan kutupsal sistemde *büyüklik* ve *faz açısı* doğrudan doğruya gösterilir. Büyüklik her zaman ölçü aletinde okunan pozitif işaretli bir sayıdır. Faz açısı ise, yatay sıfır derece referans konumundan ölçülen ve negatif yada pozitif işaret alabilen bir açı değeridir. Bu sistem hem büyüklik hem de açı bilgisini içeren yanıtlar ürettiği için, özellikle fazörlerin bölme ve çarpma işlemleri için kullanışlıdır.

Dörtgensel koordinatlar sisteminde bir *gerçek* eksen bir da *sanal j* eksenı vardır. Bu sistemde aralarında 90° faz farkı olan iki evremi ayırt etmek için, bir *j* “operatörü” kullanılarak, *dörtgensel* biçimde *karmaşık* sayılar üretilir.



Şekil 15.5.(a): Karmaşık sayılar düzlemi yada dörtgensel koordinatlar sistemi, sanal ve gerçek eksenlerden oluşur.



Şekil 15.5.(b): *j* işleci önüne geldiği gerçek yada sanal her sayıyı, $+90^\circ$ (sola doğru) döndürür.

Dörtgensel yazılmış karmaşık sayılar, zorlu☺ cebirsel işlemler ile çarpma ve bölme işlemleri için kullanılabilir. Ancak, özellikle toplama ve çıkarma işlemleri için çok kolaylık sağlarlar.

15.4.1 j İŞLECI

Kutupsal formdaki fazörler için toplama ve çıkarma işlemleri doğrudan doğruya yapılamaz. Bunun için başka bir yazım biçimine dönüştürülmeleri gereklidir.

$1\angle 90^\circ$ olarak verilmiş bir kutupsal fazör ele alınırsa,

$$(1\angle 90^\circ) \cdot (1\angle 90^\circ) = 1\angle 180^\circ$$

yazılabilir. $1\angle 180^\circ = -1$ olarak bilindiğine göre

$$(1\angle 90^\circ)^2 = -1$$

olacaktır. Her iki tarafın karekökü alınırsa,

$$1\angle 90^\circ = \sqrt{-1}$$

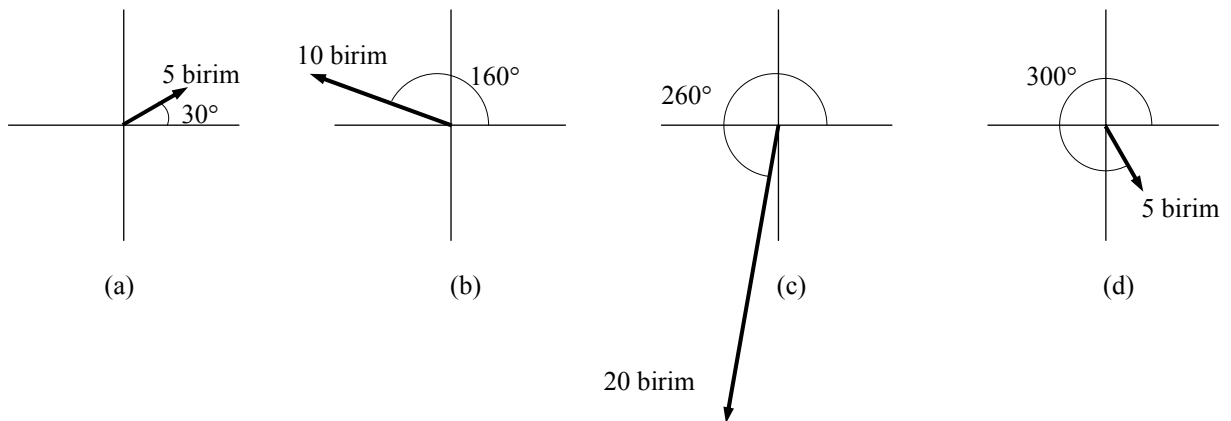
sonucu elde edilir. Matematik bilgilerimize göre, karesi alındığında -1 değerini veren *gerçek* bir sayı yoktur. Bu nedenle $\sqrt{-1}$, bir *sanal sayıdır*. Matematikte bu sayı *i* ile gösterilmekle birlikte, elektriksel çözümlerde akım simgesi ile karışmaması için, *j* simgesi kullanılmaktadır.

$j = \sqrt{-1} = 1\angle 90^\circ = j1 = j \cdot 1$ olarak gösterilen bu simge, önüne geldiği gerçek sayının, *saat ibresinin tersi yönde +90°lik bir açı kadar döndürüldüğünü* ifade eder. Bu nedenle *j* simgesine operatör - işleç adı verilmektedir.

Şekil:15.5te karmaşık sayılar düzlemi ve *j* operatörünün +90° döndürme etkisi gösterilmektedir.

15.5 KUTUPSAL (POLAR) GÖSTERİM

Evremler, *kutupsal* yada *dörtgensel* olarak yazılırlar. Bir evremi



Şekil 15.6: Kutupsal yazımları verilen fazörlerin grafik gösterimleri.

gösterebilmek için bu iki yazımdan herhangi birisi kullanılabilir ve bu iki yazım türü, matematiksel olarak birbirine dönüştürülebilirler.

Kutupsal yazımda, fazörün büyüklüğü ve sıfır eksenine yada başvuru dalgası ile arasındaki evre açısı,

$$M \angle \pm \theta$$

olarak verilir. Bu ifade, M büyüklüğünde ve (x) eksenine ile θ evre açısı yapan bir fazörü göstermektedir. Örneğin,

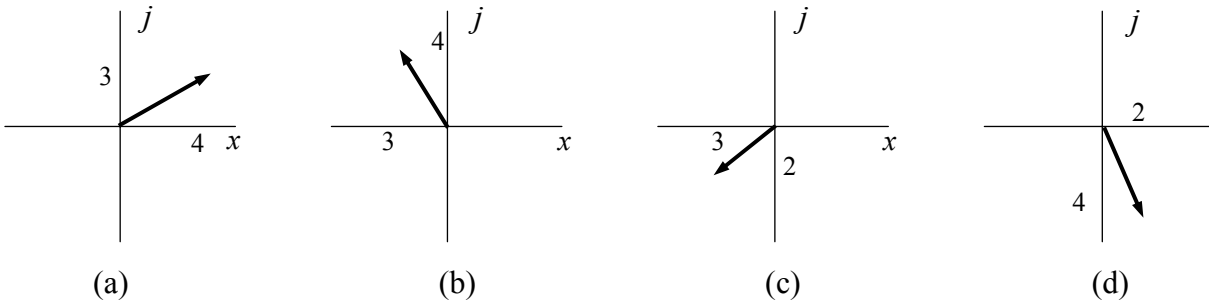
$$5 \angle 30^\circ,$$

$$10 \angle 160^\circ,$$

$$20 \angle 260^\circ,$$

$$5 \angle 300^\circ$$

yazımları, Şekil:15.6daki sırasıyla (a), (b), (c) ve (d) evrelerinin kutupsal gösterimleridir.



Şekil 15.7: Dörtgenel yazımları verilen fazörlerin grafik gösterimleri.

15.6 DÖRTGENSEL (RECTANGULAR) GÖSTERİM

Dörtgenel yazımda ise fazörün gerçek (x eksenine) ve sanal (y eksenine) bileşenleri,

$$a \pm jb$$

biçiminde verilir. Burada a değeri fazörün gerçek eksen bileşenini, b değeri ise sanal eksen bileşenini gösterir. Bu bileşenlerden herhangi biri yada ikisi birden eksi işaretli olabilir. Örneğin,

$$4+j3,$$

$$-3+j4,$$

$$-3-j2$$

$$2-j4$$

yazımları Şekil:15.7deki sırasıyla (a), (b), (c) ve (d) fazörlerinin dörtgensel gösterimleridir.

15.7 FAZÖRLER İLE DÖRT İŞLEM

Dörtgensel Yazımda Toplama ve Çıkarma:

Dörtgensel gösterilmiş fazörler ile toplama ve çıkarma yapmak oldukça kolaydır. $a + jb$ ve $c + jd$ olarak verilen iki fazör toplanırken, gerçek ve sanal bölümleri ayrı ayrı ve cebirsel olarak toplanıp, sonuç fazör elde edilir.

$$(a + jb) + (c + jd) = (a + c) + j(b + d)$$

Çıkarma işlemi için de aynı işlem sırası izlenir.

$$(a + jb) - (c + jd) = (a - c) + j(b - d)$$

Dörtgensel Yazımda Çarpma:

Dörtgensel olarak verilen $a + jb$ ve $c + jd$ evremlerini çarpmak için çarpmanın toplama üzerine dağılma özelliğinden yararlanıp, j^2 yerine de -1 koyularak bulunan,

$$(a + jb) \cdot (c + jd) = (ac - bd) + j(ad + bc)$$

eşitliği kullanılır.

Dörtgensel Yazımda Bölme:

Dörtgensel olarak verilen $a + jb$ ve $c + jd$ fazörlerini bölmek için payda sanallıktan kurtarılmalıdır. Bunun için cebirsel işlevler kullanılır ve pay ve payda paydanın eşleniği ile çarpılır.

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{a + jb}{c + jd} \times \frac{c - jd}{c - jd}$$

Bu işlemin yürütülmesi sonucu bulunan,

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}$$

eşitliği ile bölme işlemi gerçekleştirilebilir.

Kutupsal Yazımda Çarpma:

$M_1 \angle \theta_1$ ve $M_2 \angle \theta_2$ fazörlerini çarpmak için, fazörlerin büyüklükleri çarpılır ve açıları da cebirsel olarak (imleri göz önüne alınarak) toplanır.

$$(M_1 \angle \theta_1) \cdot (M_2 \angle \theta_2) = M_1 \cdot M_2 \angle (\theta_1 + \theta_2)$$

Kutupsal Yazımda Bölme:

$M_1 \angle \theta_1$ ve $M_2 \angle \theta_2$ fazörlerini bölmek için, fazörlerin büyüklükleri bölünür ve açıları da cebirsel olarak (imleri göz önüne alınarak) çıkarılır.

$$\frac{M_1 \angle \theta_1}{M_2 \angle \theta_2} = \frac{M_1}{M_2} \angle \theta_1 - \theta_2$$

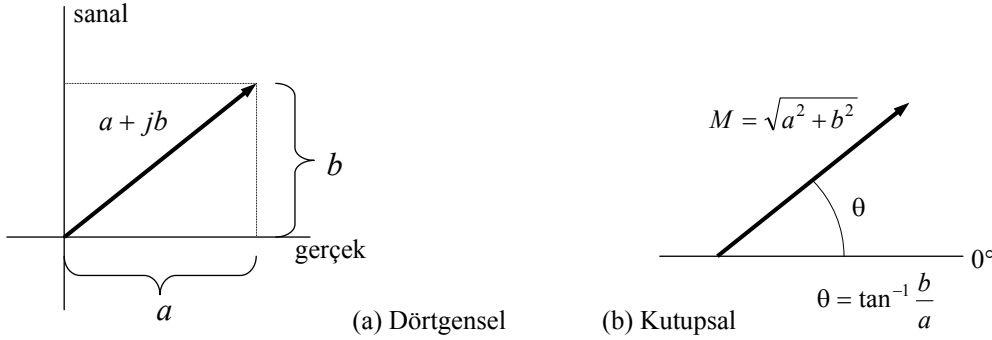
Kutupsal biçimde gösterilmiş evrelerin çarpım ve bölümleri kolayca gerçekleştirilmekle birlikte, bu gösterimde toplama ve çıkarma yapılamaz. Toplama ve çıkarma işlemleri için dörtgensel biçimde yazılmış fazörler kullanılmalıdır.

15.8 FAZÖR DÖNÜŞÜMLERİ

Görüldüğü gibi, kutupsal gösterim ile çarpma ve bölme, dörtgensel gösterim ile de toplama ve çıkarma işlemleri çok kolay yapılır. Bu nedenle çözümlenelerde zaman zaman fazörlerin bu iki gösterim arasında dönüştürülmeleri gerekebilir. Elektronik hesap aygıtları ile bu dönüşümler kolayca yapılabilir ancak, dönüşüm işlemlerinin yine de bilinmesi, sonuçların denetlenmesi için gereklidir.

15.8.1 DÖRTGENSEL → KUTUPSAL DÖNÜŞÜM (R → P)

Dörtgensel biçimde yazılmış $a + jb$ fazörünün kutupsal biçime dönüştürülmesi için Pythagorean ilişkisi kullanılır. Şekil:15.8de dönüşümün grafiksel açıklaması verilmiştir.



Şekil 15.8: Dörtgensel kutupsal dönüşüm.

Açıkça görüldüğü gibi D → K dönüşüm,

$$a + jb = \sqrt{a^2 + b^2} \angle \left(\tan^{-1} \frac{b}{a} \right)$$

olarak gerçekleştirilebilir. Bu eşitlik kullanılırken gerçekteksen değeri a eksi işaretli ise, bulunan açı değerine dikkat edilmelidir. a değeri eksi iken bulunan açı, 2. yada 3. çeyrekte olur. Bu açının gerçekteksen değerini elde etmek için, bulunan açı değerine $\pm 180^\circ$ eklenmelidir. Buna göre,

$$a \text{ artı işaretli ise } \Rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$a \text{ eksi işaretli ise } \Rightarrow \theta = \pm 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

biçiminde, gerekli düzeltme yapılabilir. Örnek olarak $-4 + j6$ ve $-4 - j6$ fazörlerinin kutupsala dönüştürülmesi için Şekil:15.9da verilen çizimler ile bu durum açıklanmıştır.

$-4 + j6$ için,

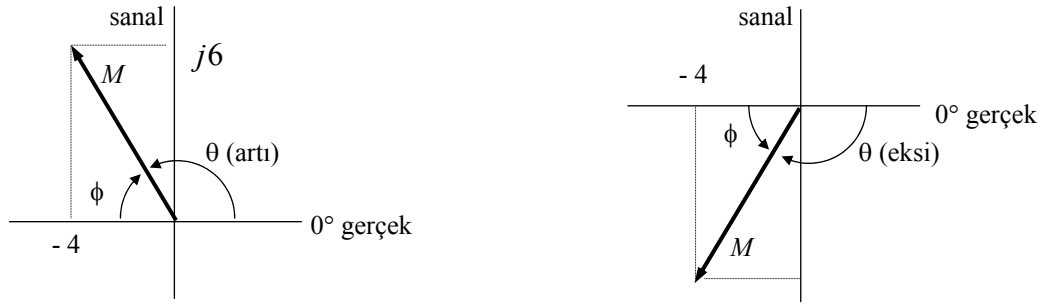
$$M = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(-4)^2 + 6^2} = 7,21$$

ve $-4 - j6$ fazörü için,

$$M = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(-4)^2 + (-6)^2} = 7,21$$

değerleri bulunur.

Görüldüğü gibi evremin büyüklüğü için sanal ve gerçek bölümlerin işaretleri



Şekil 15.9: 2. ve 3. çeyreklerdeki açıların gösterimleri.

etkili değildir. Ancak açısı 2. ve 3. çeyrekte çıkan bu fazörlerin açıları bulunurken ek işlem yapılmalıdır.

Kutupsal yazımda açı değeri eksi yada artı olabilir ancak, büyüklük her zaman artı olarak yazılır. Genellikle pozitif açı değeri 180° den fazla ise eksi olarak gösterilir. Buna göre yukarıdaki fazörlerin açıları,

$-4 + j6$ fazörü için,

$$\theta = \pm 180^\circ + \tan^{-1}(6/-4) = 180 - 56,3 = 123,7^\circ,$$

$-4 - j6$ fazörü için,

$$\theta = \pm 180^\circ + \tan^{-1}(-6/-4) = -180 + 56,3 = -123,7^\circ$$

bulunur.

$-4 - j6$ evreminin açı değeri eksi olarak yazılmak istenmezse,

BÖLÜM-15 AC DEVRELERDE FAZÖRLER

$$180^\circ + 56,3^\circ = 236,3^\circ$$

olarak da yazılabilir.

Günümüzde piyasada bulunan çoğu elektronik hesap aletinde dönüşüm için bu işlemlerin yapılması gerekmeden doğru açı değerleri bulunur.

CASIO *fx-3600P* için yukarıdaki dönüşümler için gereken tuş basmaları, aşağıdaki gibidir:

$-4 - j6$ evremi için,

4	+/-	INV	R→P	6	+/-	=	7.21110255
---	-----	-----	-----	---	-----	---	------------

INV	X↔Y	-123.690067
-----	-----	-------------

$-4 + j6$ evremi için,

4	+/-	INV	R→P	6	=	7.21110255
---	-----	-----	-----	---	---	------------

INV	X↔Y	123.6900675
-----	-----	-------------

Aynı dönüşüm işlemini Karce hesap aletleri ile gerçekleştirmek için ise aşağıdaki tuş basma sıralamaları kullanılabilir:

$-4 - j6$ evremi için,

4	+/-	a	6	+/-	b	→rθ	7.21110255
---	-----	---	---	-----	---	-----	------------

b	-123.690067
---	-------------

$-4 + j6$ evremi için,

4	+/-	a	6	b	→rθ	7.21110255
---	-----	---	---	---	-----	------------

b	123.6900675
---	-------------

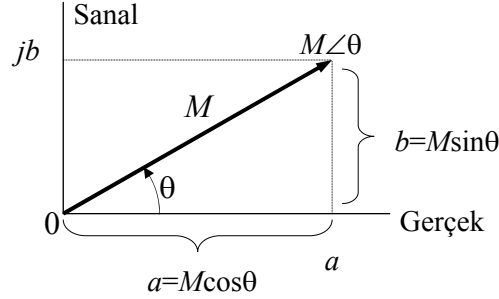
15.8.2 KUTUPSAL→DÖRTGENSEL DÖNÜŞÜM (P→R)

Kutupsal evremler ile toplama ve çıkarma işlemlerinin yapılması gerektiğinde, bu işlemlerin kolayca yapıldığı dörtgensel yazıma geçilmesi doğru olur. Kutupsaldan dörtgenसे dönüşüm, Şekil:15.10da gösterildiği gibi dik açı trigonometrisi ile gerçekleştirilir.

Kutupsal biçimde verilen bir $M\angle\theta$ karmaşık sayısını $a + jb$ biçiminde dörtgensel olarak ifade edebilmek için,

$$M\angle\theta = M \cos\theta + jM \sin\theta$$

eşitliği kullanılır.



Şekil 15.10: Kutupsaldan dörtgenlese dönüşüm.

Bu eşitlik, artı yada eksi yönde tüm açılara, hiçbir kısıtlama olmaksızın uygulanabilir. Yine de dönüşüm yaparken, açının ve fazörün doğru çeyreğe düştüğünden emin olmak için, başlangıçtaki koordinatların (kutupsal yada dörtgensel) kabaca da olsa bir çizimini yapmakta yarar vardır.

Elektronik hesap aletinde kutupsal dörtgensel dönüşüme örnek olarak CASIO $fx-3600P$ için aşağıdaki dönüşüm verilebilir.

$12\angle -60$ evremi için,

1	2	INV	P→R	6	0	+/-	=	6
								-10,3923048
								-10,3923048

tuş basmaları sonucunda,

$$6 - j10,4$$

dönüşümü yapılmış olur.

Aynı dönüşümü Karce hesap aleti ile yapmak içinse,

1	2	a	6	+/-	→ xy	=	6
							-10,3923048
							-10,3923048

tuş basma sırası izlenmelidir.

15.9 KARMAŞIK SAYILARIN AC DEVRELERE UYGULANMASI

Karmaşık elektronik ve elektrik devrelerinin çalışmalarını kavrayabilmek, tasarımı, onarım yada çözümlene yapabilmek için, önce temel devreler ve kavramlar iyice anlaşılmalıdır.

ac devre çözümlenmede kullanılan kavram ve ilişkilerin çoğu, dc devreler için kullanılanlara benzerdir. KGY, KAY, eşdeğer empedans, ohm yasası, Thévenin ve Norton kuramları bunlardan bazılarıdır. ac ve dc devrelerin çözümlenmeleri arasındaki en büyük ayrım, ac devreler için fazörlerin kullanılmasıdır. Akım ve gerilim zamana göre değişken olduğu ve aralarında evre ayrımı bulunabildiği için fazörlerin kullanılması gereklidir.

ac devrelerde bazı elemanların akım ve gerilim değerleri, şaşırtıcı biçimde, kaynak akım ve geriliminden büyük olabilir. Ayrıca devrede akım ve gerilim bulunduğu halde güç sıfır olabilir. Tüm bunların nedeni, elemanlar arasındaki faz ilişkileridir.

15.10 ARDIL RL DEVRE

Saf direnç ve saf bobinden oluşan seri bir devrede fazör gösterimi, Şekil:15.11de verilmiştir. Burada bir ardıl devre söz konusu olduğuna göre, hem direnç hem de bobin için ortak olan akım fazörünün, başvuru vektörü olarak yatay eksene çizilmesi doğru olur. Direnç gerilimini gösteren evrem (V_R), direnç akımı ile gerilimi aynı fazda olduğu için, devre akımı ile çakışık olarak çizilir.

Bobin gerilimi fazörü (V_L), akım fazöründen 90° ileride (önce başlamış) çizilir. Çünkü saf endüktansta akım her zaman gerilimden 90° geridedir.

Şekil:15.11(a)daki devrede anlatım kolaylığı açısından, kaynak gerilimi frekansında direnç değerinin (R) endüktif tepkeye (X_L) eşit olduğu kabul edilmiştir. Böylece her iki elemandan geçen akım (1,41 A) aynı olduğundan, üzerlerindeki gerilimler de eşit olacaktır.

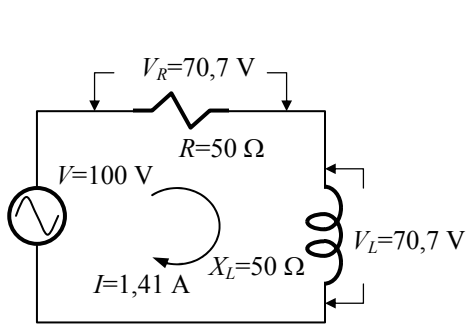
$$V_R = I_R R = 1,41 \times 50 = 70,7 \text{ V}$$

$$V_L = I_L X_L = 1,41 \times 50 = 70,7 \text{ V}$$

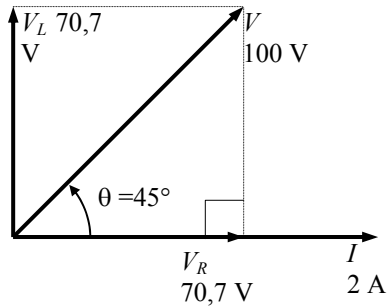
ancak büyüklükleri eşit olan bu iki gerilim arasında 90° evre ayrımı vardır. Buna göre bir seri devredeki toplam gerilim düşümü, bobin ve dirençlerin toplanmasıyla bulunamaz. (Ancak anlık değer hesaplamalarında, belli bir andaki bobin ve direnç gerilimleri toplanarak doğru sonuç bulunabilir.) Devredeki toplam gerilim düşümünü bulabilmek için, eleman gerilimleri arasındaki açı da göz önüne alınarak vektörel toplama yapılmalıdır. Direnç ve bobin gerilimleri bir diküçgenin dik kenarları olduğuna göre, bu üçgenin hipotenüsünü oluşturan devre gerilimi, Pythagoras Kuramı uyarınca,

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

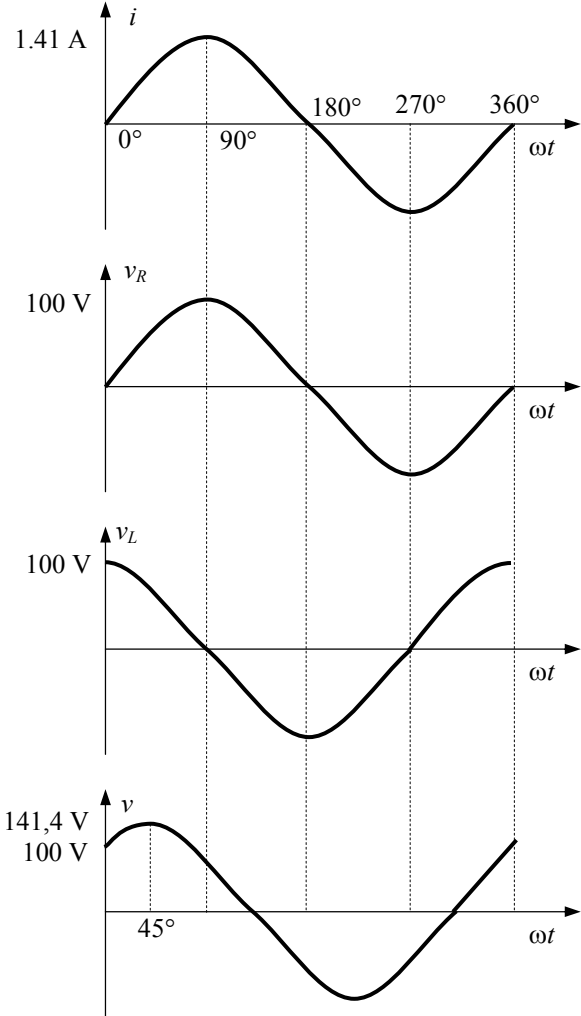
olarak bulunur. Kullanılan eşitliğin de çağrıştıracağı gibi, direnç ve gerilimlerin fazör toplamı, aritmetik toplamından küçük olacaktır.



(a) Seri RL devre



(b) Fazör diyagramı



(c) Akım ve gerilim dalgabiçimleri

Şekil 15.11: Ardıl RL devrede akım-gerilim dalgabiçimleri ve fazör diyagramı.

Yine Şekil:15.11(b)deki dik üçgen yardımıyla kaynak gerilimi ile devre akımı arasındaki açı da,

$$\tan \theta = \frac{V_L}{V_R}$$

trigonometrik eşitliğine bağlı olarak,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_L}{V_R} \text{ yada } \arctan \frac{V_L}{V_R}$$

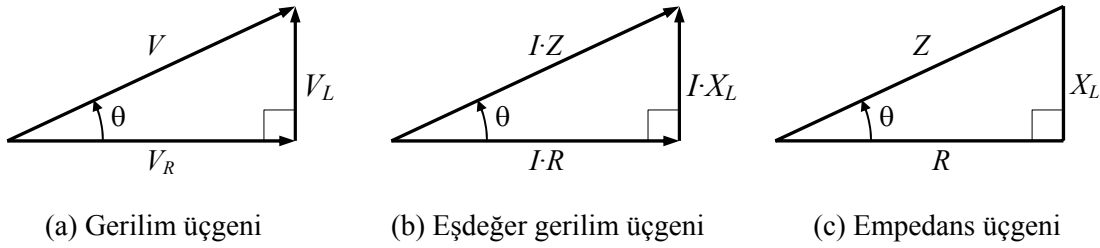
biçiminde bulunabilir.

Bu eşitlikler kullanılarak bulunacak gerilim akım ve açı değerleri, Şekil:15.11(c)de verilmiştir. Görüldüğü gibi devre gerilimi ile devre akımı arasında 45° faz farkı vardır. Bu sonuç şartıcı değildir çünkü devrede yalnızca direnç olsa 0° , yalnızca bobin olsa 90° evre ayrımı olacaktır. Devrede birbirine eşit bir direnç ve endüktif tepke bulunduğunda devre akımı ile devre gerilimi arasında, 0° ile 90° 'nin tam orta değeri olan 45° bulunması beklenir.

15.10.1 ARDIL RL DEVREDE DİRENİM

Seri bir RL devrede akıma gösterilen toplam zorluğa empedans-direnim denir ve devreye uygulanan gerilimin devreden geçen akıma oranına eşittir. Empedans, direnç ve endüktif tepke gibi Ω ile ölçülür ama direnç ve tepkenin vektörel toplamı olarak bulunur.

Seri bir RL devre için Şekil:15.12(a)daki gerilim üçgeni çizilebilir. Bu çizim, Şekil:15.11(b)de görülen evrem diyagramındaki V_L fazörünün, kapalı bir üçgen oluşturmak için direnç gerilim vektörünün ucuna kaydırılması ile elde edilmiştir.



Şekil 15.12: Seri RL devre için gerilim ve empedans üçgenleri.

Bu üçgende hipotenüs bağıntısı kullanılarak,

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

yazılabilir. Bu eşitlikte $V_R = I \cdot R$ ve $V_L = I \cdot X_L$ değerleri yerine koyularak,

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{(R^2 + X_L^2)}$$

olarak direnç eşitliği bulunur. Buna göre devre akımı da,

$$I = \frac{V}{Z}$$

olarak bulunur. Bu eşitlik, dc devrelerdeki $I = V/R$ eşitliğinin eşdeğeri olduğu için “ac devrelerde Ohm Yasası” olarak adlandırılır. Z , herhangi bir RLC birleşiminde akıma gösterilen dirençtir. Bununla birlikte faz ilişkileri nedeni ile direnç değerini bulmakta kullanılacak eşitlik, devreden devreye değişebilir.

Şekil:15.12(c)deki empedans üçgeni, oklar olmadan çizilmiştir ve bir fazör diyagram değildir. Çünkü X_L , R ve Z değerleri V_L , V_R ve V gibi zamana bağımlı olarak değişmemektedirler. Bununla birlikte faz açısı, gerilim üçgeninden olduğu gibi, empedans üçgeni ile de elde edilebilir. Buna göre evre açısı,

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R}$$

trigonometrik eşitliğine bağlı olarak,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} \text{ yada } \arctan \frac{X_L}{R}$$

biçiminde bulunabilir. Görüldüğü gibi faz açısı yalnızca endüktansla değil, direnç ile endüktif reaktansın oranı tarafından belirlenmektedir. Ayrıca endüktans ve direnç değerleri sabit kalsa bile kaynak frekansının değişmesi ile faz açısı değişebilir.

15.10.2 ENDÜKTANS ÖLÇME

Şimdiye dek yapılan incelemelerde bobinin içdirenç, endüktif tepkesi yanında hep gözardı edilebilir düzeyde kabul edildi. Yüksek frekanslarda X_L büyük olduğu için bu varsayım doğru olsa da, şebeke frekansında her zaman geçerli olmayabilir. İçdirenç gözardı edilemediği durumlarda bobin gerilimi ile bobin akımı arasındaki evre ayrımı 90° değildir. Dahası, bobinin direnç yada endüktans bölümleri üzerinde ayrı ayrı ölçme yapılması da olanaksızdır. Akım ve gerilim dalgabıçimlerini belirlemek için, bobine seri olarak küçük bir direnç eklenmesi gerekir. Bu direnç yardımı ile ve çift ışıklı bir osiloskop kullanılarak evre açısı da belirlenebilir.

Osiloskop bağlantısı Şekil:15.13(a)da gösterildiği gibi yapılırsa, 1. kanalda devreye uygulanan gerilim görülür. Bu gerilim değeri, ancak birkaç ohm değerindeki R uçlarında düşen gerilim çok küçük olacağından, hemen hemen bobin gerilimine eşittir. 2. kanalda ise değeri,

$$I_m = \frac{V_{R' \max}}{R'}$$

olan devre akımı ile orantılı ve eşevreli olan v_R görülecektir.

Bütün devrenin direnç, yaklaşık olarak bobin empedansına eşittir ve,

$$Z = \frac{V_m}{I_m} \cong Z_{\text{bobin}}$$

yazılabilir.

Evre açısı, osiloskoptaki iki dalgabıçiminin artı yada eksi sıfır geçişleri yada tepeleri arasındaki yatay uzaklıklar ölçülerek hesaplanabilir. Önce 360° 'ye karşılık gelen uzaklık bulunur ve 0° - θ° uzaklığı ile, bulunan dönem değeri oranlanarak faz açısı bulunur.

Bulunan faz açısı kullanılarak bobinin dirençsel ve endüktif bölümleri,

$$R' = Z \cos \theta$$

$$X_L = Z \sin \theta$$

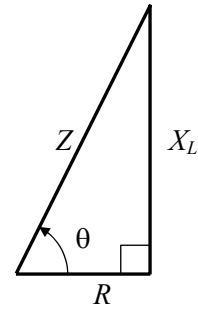
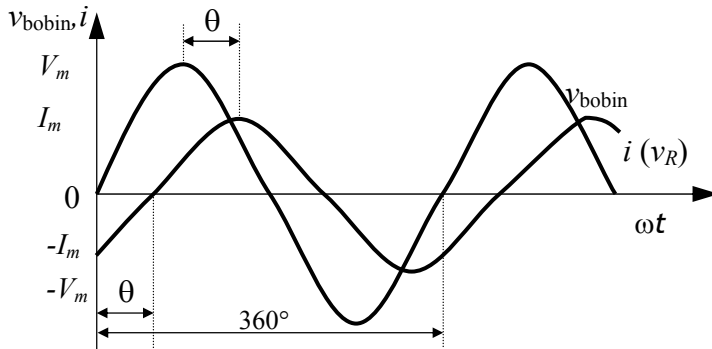
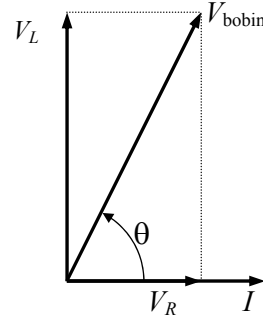
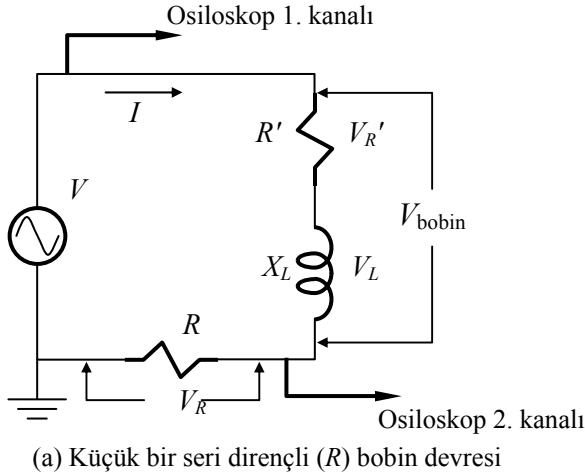
eşitlikleri ile hesaplanır. R' bobinin ac direncidir (R_{ac}) ve kalite katsayısı,

$$Q = \frac{X_L}{R_{ac}}$$

ile belirlenebilir. Bobinin endüktansı da,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

eşitliği ile hesaplanır.



Şekil 15.13: Gerçek bir bobinde gerilim ve akım arasındaki faz ilişkileri.

15.II ARDIL RC DEVRE

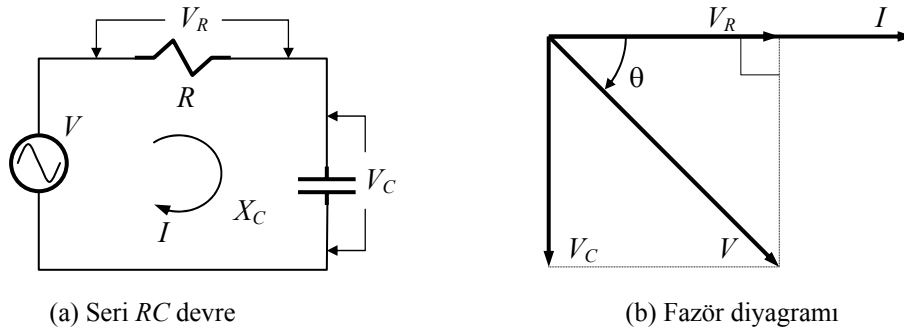
Seri RC devreler için akım gerilim fazör diyagramı Şekil:15.14te verilmiştir. Burada da RL devrelerde olduğu gibi akım evremi yatay eksene çizilmiş ve

başvuru vektörü olarak alınmıştır. Direnç gerilimi devre akımı ile eşvrelili olduğuna göre, devre akımı ile çakışık olarak gösterilmiştir. Fazör diyagramda gösterildiği gibi sığaç gerilimi, devre akımından 90° geridedir (yada devre akımı sığaç geriliminden 90° ileride) ve devre gerilimi de v_C ve v_R gerilimlerinin vektörel toplamına eşittir.

Buna göre kaynak gerilimi,

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

ve faz açısı,



Şekil 15.14: Ardıl *RL* devre (a) ve fazör diyagramı (b).

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{V_C}{V_R}$$

olarak bulunur. Endüktif devrelerden değişik olarak evre açısı burada eksi değerli çıkmaktadır. Bunun nedeni, sığasal devrede akımın gerilimden ileride olması ve başvuru vektörü olarak alınmasıdır.

15.III.1 ARDIL *RC* DEVREDE DİRENİM

Bobinde olduğu gibi bir seri *RC* devrede de akıma gösterilen zorluğa empedans denir ve Şekil:15.15te verilen fazör diyagramları ve direnım üçgenine göre,

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

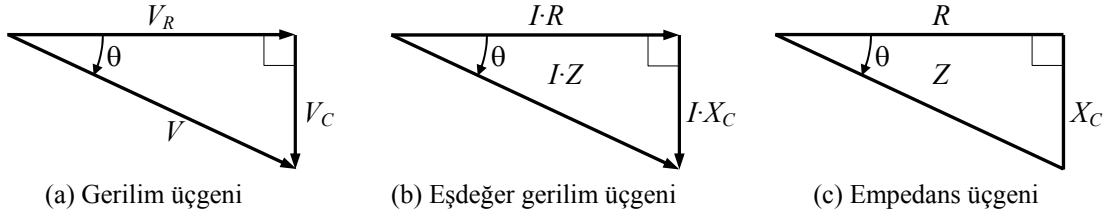
eşitliği ile bulunur. Ardıl *RL* devrede akım,

$$I = \frac{V}{Z}$$

ve faz açısı da,

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{X_C}{R}$$

olarak bulunur.



Şekil 15.15: Seri RC devre için gerilim ve empedans üçgenleri.

15.12 ARDIL RLC DEVRE

RL devrede bobin ve RC devrede sığaç nedeniyle, gerilim yada akımı geride kalmaktadır. Seri bir devrede hem sığaç hem de bobin bulunması durumunda, bir iptal etkisi oluşacaktır. Şekil:15.16daki seri RLC devre ile, bu devrenin direnimsel ve evrem çizgelerine bakılırsa, bu giderim etkisi kolayca görülür.

Şekil:15.16(b)deki evrem diyagramında, endüktif gerilim (V_L) ve kapasitif gerilim (V_C) arasında 180° evre ayrımı vardır. Bobin gerilimi bu örnekteki gibi sığaç geriliminden büyük olduğunda devredeki tepke, endüktif demektir. Devre gerilimi ile devredeki gerilim düşümleri arasındaki ilişki,

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

eşitliği ile ve gerilim ile akım arasındaki açı da,

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_L - V_C}{V_R} \right)$$

trigonometrik orantısı ile belirlenir.

Şekil:15.16(c)deki empedans üçgeni incelendiğinde, devredeki net reaktansın $X_L - X_C$ (180° faz farkı nedeniyle) olduğu görülüyor. Buna göre devrenin direnimsel,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

olarak bulunur. Diküçgende tangent denklemi uygulanarak devrenin evre açısı,

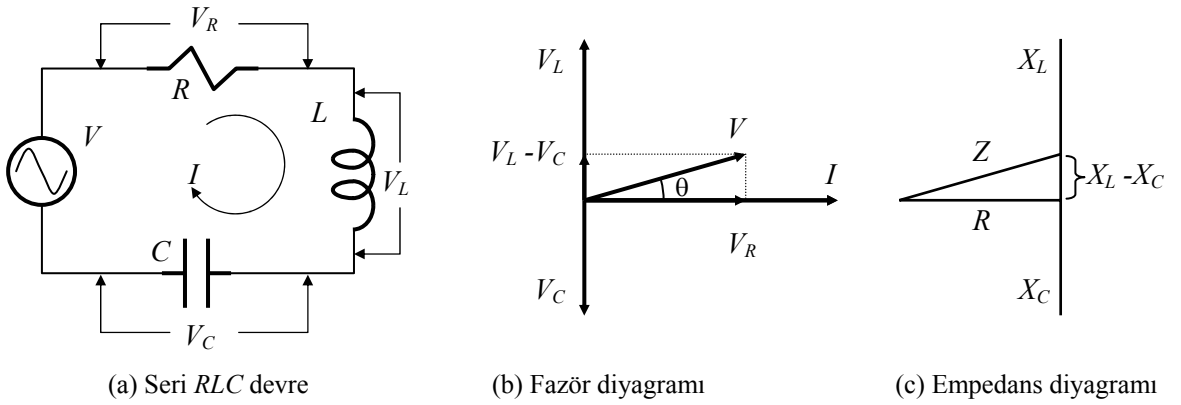
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right)$$

ve devre akımı da,

$$I = \frac{V}{Z}$$

olarak bulunur.

Seri RLC devrede, $X_L > X_C$ ise devre endüktiftir ve devre gerilimi, akımdan ileridedir. $X_L < X_C$ ise devre kapasitiftir ve devre akım gerilimden 90° ileridedir. Eğer $X_L = X_C$ ise, devre saf rezistif özellik gösterir, faz açısı 0° olur ve bu durum *resonance*-çınlanım olarak adlandırılır.



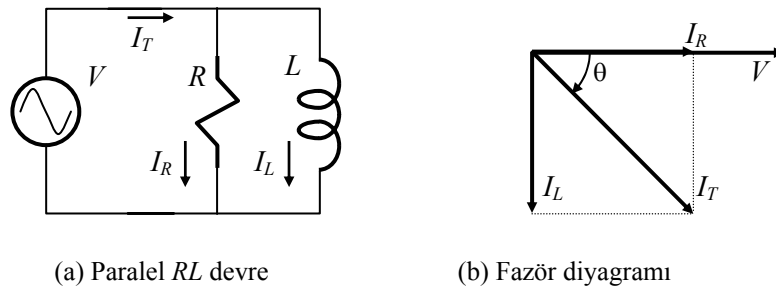
Şekil 15.16: Ardıl RLC devrede evre ve direnimsel ilişkileri.

15.13 TEPKİN ELEMANLARIN KOŞUT BAĞLANTILARI

Dirençlerle seri bağlantıları incelenen reaktif elemanlar (sığaç ve bobin), elektrik devrelerinde birbirleri yada dirençlerle paralel olarak da kullanılabilirler. Reaktif elemanların paralel bağlantılarında da saf dirençsel devrelerden değişik olarak, faz ilişkileri önemlidir. Bu bölümde, tepkin elemanların koşut bağlantılarında kullanılan eşitlikler ve evre ilişkileri açıklanmaktadır.

15.13.1 KOŞUT RL DEVRE

Bir direnç ile bir bobin, bir sinüs kaynağına paralel bağlandığında kaynaktan



Şekil 15.17: Paralel RL devre ve evre ilişkileri.

çekilen toplam akım KAY gereğince, kol akımlarının fazör toplamı olacaktır. Her iki eleman için gerilim ortak olduğu için bu kez seri devredekinin tersine gerilim evremi yatay başvuru vektörü olarak kullanılacaktır.

Paralel RL devrede kol akımları,

$$I_R = \frac{V}{R}$$

ve

$$I_L = \frac{V}{X_L}$$

eşitlikleri ile belirlidir. Devrenin toplam akımı KAY gereği, kol akımları toplamına eşittir. Devrenin endüktif olması nedeniyle kol akımları vektörel olarak toplanarak,

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

eşitliği ile toplam akım bulunur. Devre akımı bulunduğuna göre toplam devre direnimi,

$$Z = \frac{V}{I_T}$$

olarak bulunur. Devre akımı ile gerilimi arasındaki faz açısı da,

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{I_L}{I_R}$$

eşitliğine bağlı olarak oluşur. Evre açısı eşitliğindeki eksi imi, devre akımının seri RL devredeki gibi gerilimden geride olması nedeniyle kullanılmıştır.

Toplam akım denklemindeki kol akımları yerine eşitleri koyularak devre empedansı,

$$Z = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X^2_L}}$$

olarak bulunur.

15.13.2 KOŞUT RC DEVRE

Şekil:15.18de paralel RC devre ve fazör diyagramı verilmiştir. Evrem diyagramına göre toplam devre akımının,

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

olduğu açıkça görülmektedir. Devre direnimi,

$$Z = \frac{V}{I_T}$$

ve faz açısı,

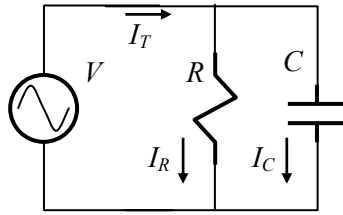
$$\theta = \tan^{-1} \frac{I_C}{I_R}$$

eşitlikleri ile bulunur. Görüldüğü gibi devre akımı, seri RC devredeki gibi gerimden ileridedir.

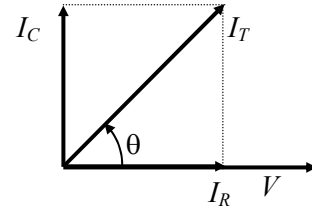
Devre empedansı da paralel RL devredekine benzer biçimde,

$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

eşitliği ile bulunabilir.



(a) Paralel RC devre

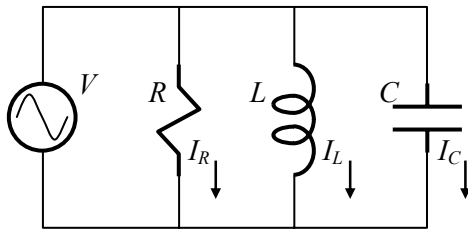


(b) Fazör diyagramı

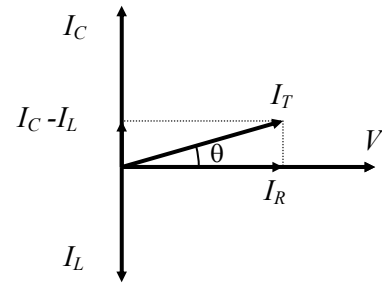
Şekil 15.18: Paralel RC devre ve akım evre ilişkileri.

15.13.3 KOŞUT RLC DEVRE

ac bir kaynağa hem sığaç hem de bobin koşut bağlandığında, seri RLC devrede olduğu gibi bir giderim etkisi görülecektir.



(a) Paralel RLC devre



(b) Fazör diyagramı

Şekil 15.19: Koşut RLC devre ve akım ilişkileri.

Paralel RLC devrede, $X_C > X_L$ olduğunda bobin akımı büyük ve devre endüktif olacaktır. Şekil:15.19daki devrede ise, sığasal tepkenin (X_C) endüktif tepkeden (X_L) küçük olduğu varsayılmıştır. Buna göre sığaç akımı bobin akımından büyük olacak ve devre kapasitif özellik gösterecektir.

Devrenin toplam akımı,

$$I_T = \sqrt{I^2_R + (I_C - I_L)^2}$$

direnimi,

$$Z = \frac{V}{I_T}$$

ve faz açısı,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{I_C - I_L}{I_R}$$

eşitlikleri ile bulunur.

15.13.4 GERİLİM, EMPEDANS VE AKIMIN GÖSTERİMİ

Görüldüğü gibi j ve $-j$ işlemcileri, bir evremi sırasıyla $+90^\circ$ ve -90° ötelemektedirler. Buna göre yatay bir fazör ile fazı bundan 90° ileride yada geride olan fazörler, j işlemcisi kullanılarak gösterilebilirler. Sözgelimi bobin geriliminin devre akımından 90° ileride olduğu bir RL devrede kaynak gerilimi,

$$V_T = V_R + jV_L$$

olarak yazılabilir. Benzer biçimde devre empedansı da,

$$Z = R + jX_L$$

biçiminde gösterilebilir. Seri bir RC devrede devre gerilimi ve direnimsizlik, RL devredeki gibi,

$$V_T = V_R - jV_C$$

ve

$$Z = R - jX_C$$

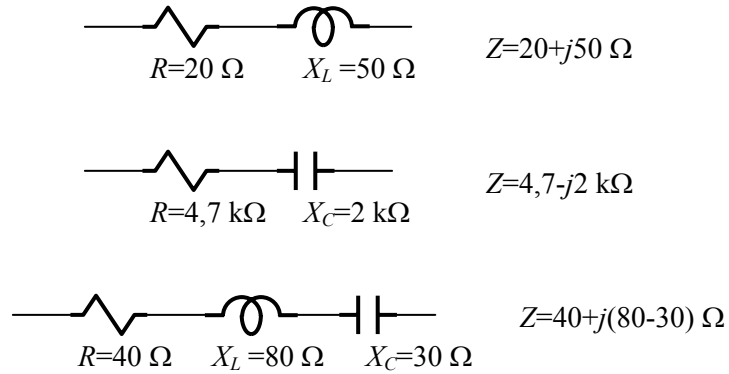
olarak gösterilir.

Yukarıdaki gibi hem gerçek hem de sanal bölümleri olan sayılara, *karmaşık sayılar* denir. Karmaşık sayılarla yapılan işlemlerde genel uygulama, önce gerçek sonra da sanal bölümün yazılmasıdır.

Görüldüğü gibi bu gösterimler, köklü yazımlardan daha yalın ve işlem yapılması daha kolaydır. Şekil:15.20de bazı seri devreler için direnimsizliklerin karmaşık sayılar ile gösterimleri verilmiştir.

Şekil:15.20deki ardıl devreler için yazılmış eşdeğer empedanslardan görüleceği gibi, j işlemcisi ile empedans belirtilmesinde bir başka kolaylık daha vardır. Sığaç direnimsizlikleri $-j$ ve bobin direnimsizlikleri j ile gösterilmektedir. Böylece birden fazla sayı ve türde reaktif eleman içeren devrelerde benzer

reaktanlar toplanıp, diğer tepke türü ile farkı alınarak devrenin kapasitif yada endüktif olduğu da kolayca belirlenebilir.

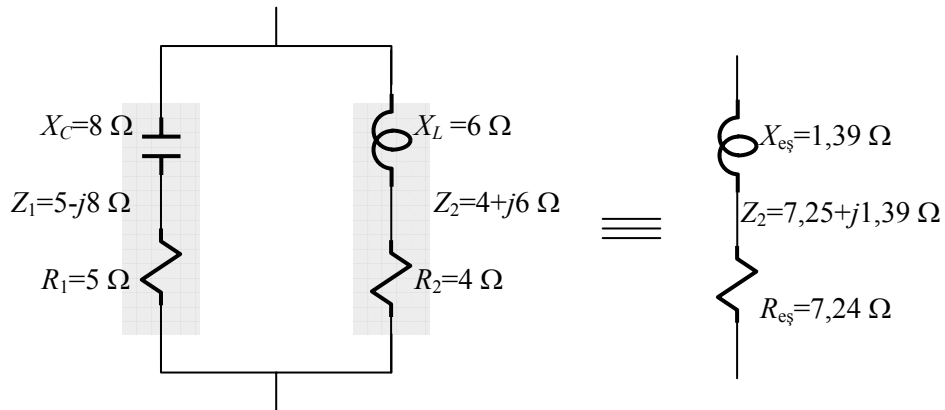


Şekil 15.20: Seri devre direnimlerinin dörtgensel gösterimleri.

Paralel bağlı empedanslar için de karmaşık sayılar kullanılabilir. Bilindiği gibi koşut bağlı iki empedans için,

$$Z = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

eşitliği yazılabilir. Koşut bağlı direnimlerin birisinin endüktif ve birisinin de sığasal olması durumunda eşdeğer direnimi bulmanın en kolay yöntemi, direnimleri karmaşık sayılar ile göstererek işlem yapmaktır.



Şekil 15.21: Koşut devrede eşdeğer direnimin dörtgensel gösterimi.

Şekil:15.21deki devrede kollarından birisi kapasitif ve diğeri de endüktif olan bir koşut devre verilmiştir. Bu devrenin eşdeğer direnimi,

$$Z_{eş} = \frac{(5 - j8)(4 + j6)}{(5 - j8) + (4 + j6)}$$

$$Z_{eş} = 7,25 + j1,39 \Omega$$

olarak bulunur. Görüldüğü gibi bu devrenin eşdeğer direnimi, bir seri RL devredir. Bir eşdeğer devredeki elemanların değerleri ve türleri, asıl devredeki eleman değer ve türlerine bağlı olarak değişir.

Karmaşık sayılarla dörtgensel olarak gösterilen bir empedans değeri, her zaman seri empedans olarak yorumlanmalıdır.

Devre çözümlemesinde akım ve gerilim değerleri zaman zaman dörtgensel olarak gösterilse de, genellikle kutupsal olarak verilirler. Bunun nedeni, gerilim ve akım için faz açısının, kutupsal yazımda kolayca belirtilebilmesidir.

Şekil:15.21deki devrenin uçlarına, $24V\angle 0^\circ$ değerinde bir gerilim uygulanmış olsun. Z_1 ve Z_2 direnimlerinden geçen akımlar,

$$I_1 = \frac{24\angle 0^\circ}{9,43\angle -57^\circ} = 1,27 \text{ A}\angle 57^\circ$$

ve

$$I_2 = \frac{12\angle 0^\circ}{7,21\angle 56,3^\circ} = 1,66 \text{ A}\angle -56,3^\circ$$

olarak bulunurlar.

15.14 KONDÜKTANS, SÜSEPTANS VE ADMİTANS

Koşut ac devrelerin çözümlenmesinde bir başka yöntem daha vardır. Bu yöntemde, direnç, tepke ve direnimin tersleri olan, kondüktans, süseptans ve admitans değerleri kullanılır. Kollarında saf tepkin elemanlar bulunan bir koşut bir devrede toplam akım dörtgensel olarak,

$$I_T = I_R - jX_L + jX_C$$

olarak belirlidir. Akımların eşdeğerleri kullanılarak,

$$\frac{V}{Z_T} = \frac{V}{R} - j\frac{V}{X_L} + j\frac{V}{X_C}$$

yazılır. Buradan da,

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{R} - j\frac{1}{X_L} + j\frac{1}{X_C}$$

olarak koşut empedans ilişkisi belirlenir. Bu eşitlikteki $\frac{1}{Z_T}$ terimi, admitans (Y) olarak adlandırılır ve bir devrenin değişken akımı geçirebilirliğinin

ölçüsüdür. $\frac{1}{R}$ terimi daha önceden de bilindiği gibi, iletkenlik (G) olarak tanımlıdır. $\frac{1}{X_L}$ ve $\frac{1}{X_C}$ terimleri sırasıyla, endüktif süseptans (B_L) ve kapasitif süseptans (B_C) olarak adlandırılır. G , B ve Y değerlerinin tümü, siemens ile ölçülür. Buna göre bir paralel RLC devrede,

$$Y = G - jB_L + jB_C$$

olarak admitans eşitliği belirlenir.

Seri empedans ifadesindeki ($Z = R + jX_L - jX_C$) tersine, endüktif süseptans değerinin önünde $-j$ ve kapasitif süseptans değerinin önünde de j vardır.

Bir paralel devrenin toplam admitansı dörtgensel yazımla belirlendiğinde, empedansı ve paralel eşdeğer elemanları bulunmuş olur. Buna göre toplam admitansı örneğin,

$$Y_T = 00,1 + j0,02 \text{ S}$$

olarak verilen bir devrenin eşdeğerinin,

$$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0,01} = 100\Omega$$

değerinde bir direnç ile buna koşut bağlı,

$$X_C = \frac{1}{B_C} = \frac{1}{0,02} = 50\Omega$$

tepkeli bir sığadan oluştuğu biliniyor demektir.

Çözümlemede admitans yada empedans kullanılacağına karar vermek için, devrenin seri yada paralel oluşu ve verilen değerlere bağlı olarak hesaplama kolaylıkları göz önüne alınmalıdır.

BÖLÜM 16

AC DEVRELERDE GÜÇ

KULAĞA ELEKTRONİK GELİYOR

New York Trumansburg’da kendi işinde çalışan bir mühendis olan Robert Moog, yakın arkadaşı besteci Herbert Deutsch için sık sık gerilim denetimli titreşkenler (osilatör) ve yükselteçler yapardı. Bu aygıtları birleştirerek ve denetimlere biraz esneklik katarak Moog, kullanıcının bir çok sesi aynı anda denetlemesini ve çalma sırasında çabucak değiştirilmesini sağlayan örneksel müzik türetecini (synthesizer) geliştirdi.

Türeteçler yıllarca bazı sesleri üretmek için kullanıldı ama genç müzisyen Walter Carlos’ un 1968 yılında, tümüyle Moog türetecini kullanarak oluşturduğu “Switched-On Bach” albümünün piyasaya çıkışına dek, elektronik müzik, pop müzik dinleyicileri arasında uzunca bir süre geniş kabul görmedi. Albüm 18. yüzyıl bestecisi Johann Sebastian Bach’ın bazı yapıtlarının yeniden yorumlanmasıyla oluşturulmuştu. Hem albüm hem de elektronik çalgı seslerinin kullanımı, elektronik müzik için bir dönüm noktası oluşturdu ve kısa bir süre içinde pek çok müzisyen özellikle Moog türeteçleri için müzik yazmaya başladı.

16.1 GİRİŞ

Bir ac devrede, üç tür güç vardır. *Gerçek güç*, *tepkin güç* ve *görünür güç*. Bunlardan ilki olan gerçek güç, elektriksel erk bir dirençte tüketildiğinde açığa çıkan güçtür ve Watt ile ölçülür. Tepkin (reaktif) güç, sığaç ve bobinlerde depolanıp, sisteme geri döndürülen güçtür ve Volt-Amper Reaktif (VAR) ile ölçülür. Üçüncü olarak sayılan görünür güç ise, devreye uygulanan toplam gerilim ile çekilen toplam akımın çarpımıdır ve volt-amper (VA) ile ölçülür.

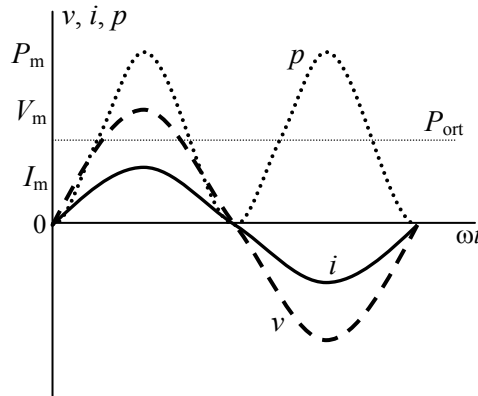
Bu üç güç türü birbiriyle bağlantılıdır ve güç üçgeni olarak adlandırılan bir dik üçgen ile gösterilebilirler. Güç fazörlerinin oluşturduğu dik üçgenin gerçek güç ile görünür güç arasındaki dar açısı, gerçek gücün görünür güce

oranı olan ve güç katsayısı olarak adlandırılan $\cos\phi$ değerini verir. Endüktif yükler için güç katsayısı *geride*, sığasal yükler içinse *ileridedir*.

Bir devrenin güç katsayısı, bu devrenin belli bir gerçek gücü üretebilmek için kaynaktan çekmesi gereken akımı belirler. Güç katsayısı düşük olan devreler, güç katsayısı birim ($\cos\phi = 1$) olan devrelere göre daha fazla akım çekerler. Buna dayalı olarak, tepkin devrelerde güç katsayısının düzeltilmesi ile kaynaktan çekilen akımın azaltılması istenir. Endüstride kullanılan endüktif yükler için (motor ve flüoresan lamba gibi) bu düzeltme, yüke koşut olarak bir sığaç bağlama yoluyla gerçekleştirilmektedir.

16.2 GERÇEK (DİRENÇSEL) GÜÇ

Dirençsel bir ac devrede yada bir ac devrenin dirençsel bir bölümünde, akım ile gerilim birbiriyle eşvrelidir. Bu eşvreliliğin devrenin fazör diyagramında tüm fazörler çakışık olur ve faz açısı sıfırdır. Eşvreliliğin akım ve gerilim için dalgabiçimi diyagramı, Şekil:16.1de gösterildiği gibi olur.



Şekil 16.1: Dirençsel yükte gerilim akım ve güç dalgabiçimleri.

Akım ve gerilim dalgabiçimlerinden iki kat hızla değişen güç dalgabiçiminin ortalama değeri,

$$P = I^2 R = V_R I_R = \frac{V_R^2}{R}$$

eşitlikleri ile belirlidir.

Bir dirençte (ısı biçiminde) tüketilen güç ile diğer güç türleri arasındaki ayrımı belirtmek amacıyla, direnç üzerinde tüketilen güç, *gerçek güç* olarak adlandırılır.

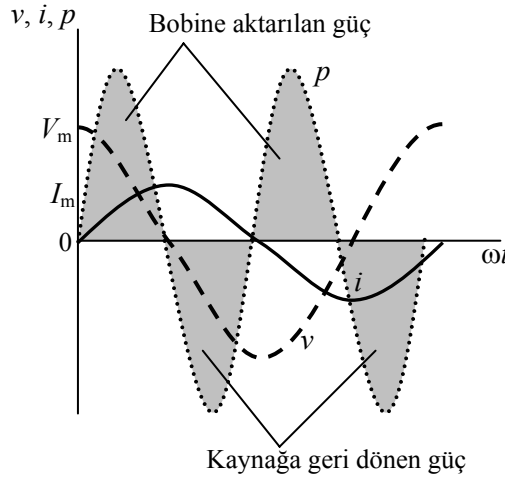
Gerçek güç, ısı, ışık, mekanik güç gibi diğer biçimlere dönüştürülen elektrik enerjisi tanımlamak için kullanılır. Gerçek gücü göstermek için ise, P simgesi (altsimgesiz olarak) ve Watt (W) birimi kullanılır. Bir devrede güç tüketim elemanı (direnç) yoksa devrede gerçek güç ölçülemez.

16.3 TEPKİN GÜÇ

Bir ac devrede reaktif elemanlar bulunuyorsa, kaynaktan çekilen gücün tümü tüketilmeyip, bir bölümü tepkin elemanlarda depolanır. İşte bobin ve/veya sığaçta depolanan ve kaynağa geri verilen bu güce tepkin güç denir. Tepkin güç, tüketilmediği ve kaynağa geri verildiği için, iş yapmayan ve ısı üretmeyen bir güçtür. Reaktif yada tepkin güç, P_q yada Q simgeleri ile gösterilip, VAR (Volt-Amper-Reactive) birimi ile ölçülür. Sığasal ve endüktif devrelerde tepkin güç benzer biçimde değerlendirilir. Bu iki eleman için reaktif güç incelemeleri aşağıda yapılmıştır.

16.3.1 BOBİNSEL GÜÇ

Bir ac devrede yalnızca endüktans bulunuyorsa, akım ile gerilim arasında 90° faz farkı bulunacağı için devredeki akım, gerilim ve güç dalgabıçimleri, Şekil:16.2deki gibi olacaktır.



Şekil 16.2: Endüktif yükte gerilim akım ve güç dalgabıçimleri.

Görüldüğü gibi güç dalgabıçiminin sıklığı, dirençsel devredeki gibi, akım ve gerilim frekanslarının iki katıdır. Bununla birlikte, güç dalgabıçimi sıfır eksenine artı ve eksi yönde bakışık olduğu için, bir dönem için ortalama güç değeri sıfır olmaktadır.

Güç dalgabıçiminin zaman ekseninin üst bölümündeki artı yarıdalgaları, kaynaktan bobine (yada yüke) ulaştırılan gücü göstermektedir. Artı güç aslında, bobinin manyetik alanında depolanan güçtür. Yatay eksenin altında gösterilen eksi güç ise bobinde depolanmış ve kaynağa geri verilen gücü göstermektedir. Eksi gücün görüldüğü aralıkta, bobinin çöken manyetik alanı nedeniyle ters yönde bir akışla, kaynağa enerji verilmektedir.

İç direnci sıfır olan bir endüktans için, bir çeyrek dönemde kaynağa geri verilen enerji, bir önceki çeyrek dönemde kaynaktan alınan enerjiye eşittir.

Buna göre saf endüktif bir devrede ortalama gerçek güç sıfır olacaktır. Yani devreye bağlanan bir ampermetre değer gösterirken, wattmetre sıfır gösterecektir. Böyle bir devredeki yük bobini, güç tüketimi olmadığı için hiç ısınmayacaktır. Bununla birlikte kaynak, bir sonraki çeyrekte geri döndürülecek olsa da, çeyrek dönemlik gücü sağlayabilecek güçte olmalıdır. Kaynağa geri verilen bu depolanmış güce, *tepkin güç* denir.

Tepkin güç P_q simgesi ile gösterilir ve VAR (volt-amper reaktif) olarak ölçülür. Saf endüktif bir devrede tepkin güç değeri,

$$P_q = Q = V_L \cdot I_L$$

eşitliği ile bulunur.

$$V_L = I_L \cdot X_L$$

olduğuna göre,

$$P_q = Q = I_L^2 \cdot X_L$$

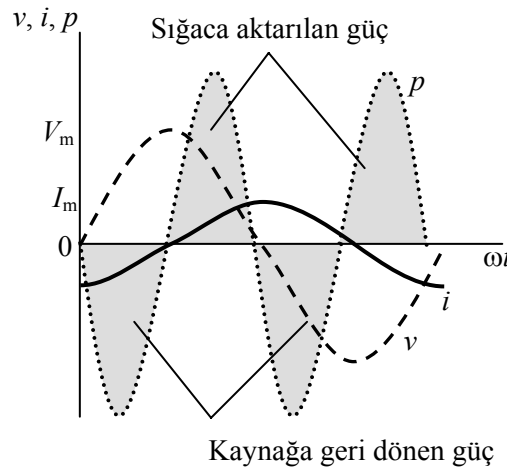
ve

$$P_q = Q = \frac{V_L^2}{X_L}$$

eşitlikleri de yazılabilir. Tepkin güç için kullanılan eşitlikler, gerçek güç için kullanılan eşitliklere benzerdirler. Yalnızca, R yerine X_L ve birim olarak da VAR kullanılmasına dikkat edilmelidir.

16.3.2 SİĞASAL GÜÇ

Saf kapasitif bir devrede de akım ile gerilim arasında 90° evre ayrımı vardır ve bu kez akım ileridedir. Akım ile gerilimin çarpımı ile Şekil.16.3teki güç dalgabiçimi oluşur. Endüktif devredesine benzer biçimde burada da sığaca



Şekil 16.3: Kapasitif yükte gerilim akım ve güç dalgabiçimleri.

ulaştırılan ve elektrik alanı içinde depolanan enerji artı güç olarak zaman ekseninin üst tarafında gösterilmiştir. Depolanan bu erk, çeyrek dönem sonra sığacın boşalmasıyla, kaynağa geri verilmektedir. Buna göre bir sığaç üzerindeki ortalama gerçek güç değeri sıfırdır. Gerçek güç değeri sıfır olduğu için saf sığada güç tüketilmez ve ısı açığa çıkmaz.

Bobin için olduğu gibi, sığaç tarafından çekilen tepkin güç, kaynak tarafından sağlanmak zorundadır. Tam sığasal bir devrede tepkin güç değeri,

$$P_q = Q = V_C I_C$$

eşitliği ile bulunur.

$$V_C = I_C X_C$$

olduğuna göre,

$$P_q = Q = I_C^2 X_C$$

ve

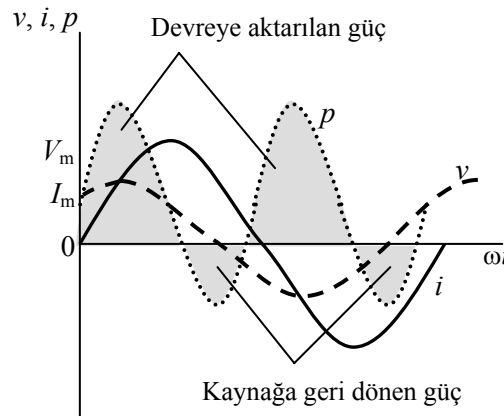
$$P_q = Q = \frac{V_C^2}{X_C}$$

eşitlikleri de yazılabilir. Bobinsel devrede olduğu gibi burada da tepkin güç için kullanılan eşitlikler, gerçek güç için kullanılanlara benzerdir. Yalnızca bu kez, R yerine X_C ve birim olarak yine VAR kullanılmaktadır.

16.4 GÖRÜNÜR GÜÇ

Görünür güç, ac bir devreye uygulanan gerilim ile devrenin çektiği akımın çarpımıdır ve gerçek güç ile tepkin gücün bileşkesidir. P_s yada S simgeleri ile gösterilen görünür güç, VA (volt-ampere) birimi ile ölçülür.

Bilindiği gibi bütün bobinlerin bir iç direnci vardır. Bu nedenle motor, üreteç, ve dönüştürücü gibi aygıtlar, her zaman hem bobin hem de buna seri



Şekil 16.4: RL devrede gerilim akım ve güç dalgabıçimleri.

bağlı bir direnç içerirler. Böylece ac bir gerilim uygulandığında aygıttan geçen akım ne gerilimle eşvrelili, ne de 90° geride olacaktır. Şekil:16.4te bir seri RL devredeki akım gerilim ve güç dalgabiçimleri verilmiştir.

Dalgabiçimlerinden de görüldüğü gibi, kaynaktan çekilen ve kaynağa geri dönen güçler, tam kapasitif ve tam endüktif yüklerde olduğunun tersine, bu devrede eşit değildir. Bu nedenle gerçek gücü veren ortalama güç değeri ne sıfır olmakta, ne de tam dirençsel yükteki gibi P_m değerine eşit olmaktadır.

Bir ac devrede görünür güç değeri,

$$P_S = S = V_T I_T$$

eşitliği ile belirlidir. Burada kullanılan T altsimgeleri, görünür gücün, uygulanan *toplam* gerilim ile akımın çarpını belirtmektedir. Yani devreye bağlı bir gerilimölçer ile bir akımölçerin gösterdiği değerlerin çarpımı, görünür gücü verecektir. Devredeki toplam akım,

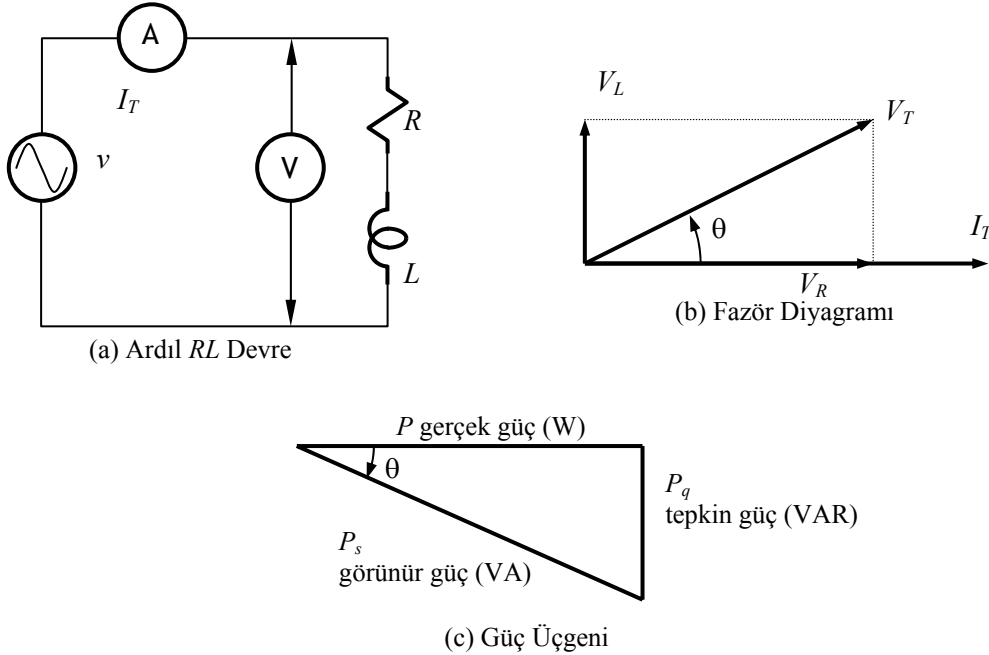
$$I_T = \frac{V_T}{Z}$$

eşitliği ile bulunabilir. Bu değer yerine koyularak görünür güç için,

$$P_S = S = I_T^2 Z$$

$$P_S = S = \frac{V_T^2}{Z}$$

eşitlikleri de yazılabilir.



Şekil 16.5: RL devrede güç üçgeni ilişkileri.

16.5 GÜÇ ÜÇGENİ

ac devrelerde tanımlanan üç güç türü, gerçek güç (watt), tepkin güç (VAR) ve görünür güç (VA) arasında, Şekil:16.5(c)de görülen üçgen ile sağlanan bir ilişki bulunmaktadır.

Bilindiği gibi bir seri RL devrede toplam gerilim,

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

ile belirlidir. Bütün terimler devre akımı ile çarpılarak güç eşitliği,

$$V_T I_T = \sqrt{(V_R I_T)^2 + (V_L I_T)^2}$$

olarak bulunur. Bu eşitlikte, görünür, gerçek ve tepkin güç değerleri,

$$P_s = S = V_T I_T \quad \text{VA}$$

$$P = V_R I_T \quad \text{Watt}$$

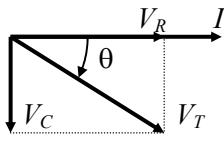
$$P_q = Q = V_L I_T \quad \text{VAR}$$

olarak belirlidir. Buna göre Şekil:16.5(c)deki güç üçgenine de uyum olarak,

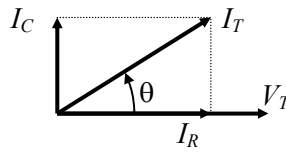
$$P_s = \sqrt{P^2 + P_q^2}$$

eşitliği yazılır.

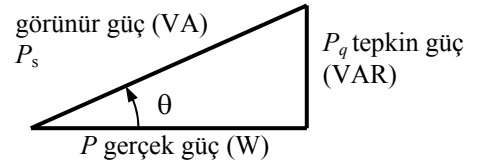
Bu eşitlik ile tanımlı olan üçgene, güç üçgeni denir. Üçgenin hipotenüsü görünür gücü gösterir. Eşvreli akım ile gerilimin çarpımı olan gerçek güç, üçgenin yatay dik kenarı olarak sağa doğru ve faz farklı reaktif güç de, üçgenin dikey dik kenarı olarak aşağıya doğru çizilir. Devrede kapasitif bir tepkin güç varsa bu yine dikey olarak ama bu kez yukarıya doğru çizilir. Güç üçgeninde okların kullanılmamasının nedeni gücün, akım ve gerilimin iki katı bir frekansta değişmesidir.



(a) Seri RC devre fazör diyagramı



(b) Paralel RC devre fazör diyagramı



(c) RC devre güç üçgeni

Şekil 16.6: Seri ve paralel RC devrede güç üçgeni.

Bir RC devre için güç üçgeni, Şekil:16.6da verilmiştir. Ardıl devrede gerilim ilişkisini veren,

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

ve koşt devrede akım ilişkisini veren,

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

eşitlikleri kullanılarak,

$$P_s = \sqrt{P^2 + P_q^2}$$

olduğu gösterilebilir.

Şekil:16.6daki güç üçgeninde, devre geriliminden ileride olan kapasitif tepkin güç, dikey olarak ve yukarıya doğru gösterilmiştir. Bunun nedeni, seri yada paralel RC devrede akımın ileride olmasıdır.

Özet olarak denilebilir ki,

$$P_s = \sqrt{P^2 + P_q^2}$$

eşitliği, seri yada paralel, RL yada RC her tür devre için kullanılabilir.

16.6 RLC DEVREDE GÜÇ ÜÇGENİ

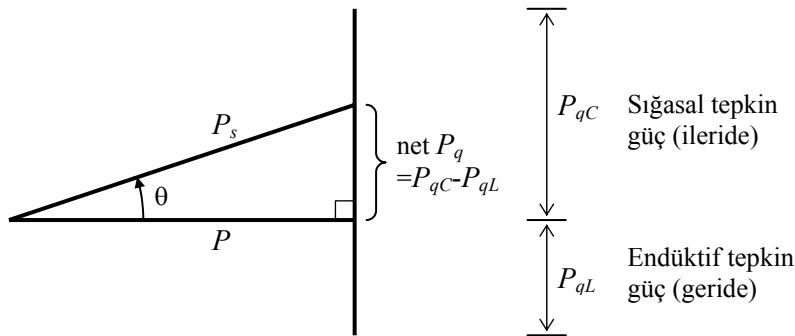
Bir devrede hem sığaç hem de bobin bulunuyorsa, tepkin gücün sığaç ile bobin arasında ileri geri aktarılması söz konusudur. Şekil:16.2 ve Şekil:16.3 incelenirse, bobine enerji aktarılan (artı güç) ilk çeyrek boyunca, sığacın da depoladığı erki kaynağa geri verdiği (eksi güç) görülecektir. Sığaç ve bobinin aynı devrede olduğu (seri yada paralel) düşünülürse, bobin ile sığaç arasındaki bu tepkin güç alışverişi, kaynak tarafından sağlanması gereken tepkin güç miktarını *azaltacaktır*.

Bir ac devredeki güçler arasındaki genel ilişki,

$$P_s = \sqrt{P^2 + (P_{qC} - P_{qL})^2}$$

eşitliği ile tanımlıdır.

Şekil:16.7de görülen güç üçgeninde sığasal tepkin güç, bobinsel tepkin güçten daha büyük seçilmiştir. $P_{qC} > P_{qL}$ olduğu için net tepkin güç,



Şekil 16.7: Seri yada paralel RLC devrede güç üçgeni.

kapasitiftir. $P_{qC} < P_{qL}$ olan devrelerde, kaynaktan çekilen net tepkin güç, endüktiftir olacaktır. $P_{qC} = P_{qL}$ olduğu durumlarda kaynaktan hiç tepkin güç çekilmez. Bu önemli bir koşuldur ve güç katsayısı düzeltmesi için kullanılır.

16.7 GÜÇ KATSAYISI

Bir ac devreye aktarılan gerçek gücün, kaynağın sağlaması gereken görünür güce oranına güç katsayısı denir.

Herhangi bir güç üçgeni incelendiğinde, gerçek gücün görünür güce oranının trigonometrik olarak,

$$\text{güç katsayısı} = \frac{P}{P_s} = \cos \theta$$

eşitliği ile belirli olduğu görülür. $\cos \theta$ katsayısı birimsizdir ve bazı kaynaklarda $\cos \varphi$ olarak da gösterilir.

Güç katsayısı eşitliği yeniden düzenlenerek,

$$P = P_s \cos \theta$$
$$P = V_T I_T \cos \theta$$

eşitlikleri elde edilir. Görüldüğü gibi güç katsayısı, bir devreye kaynaktan verilen gücün ne kadarının gerçek güce dönüştürüldüğünü belirlemektedir.

Güç üçgeni ve trigonometrik oranlar kullanılarak bir ac devredeki tepkin güç değerinin,

$$P_q = V_T I_T \sin \theta$$

eşitliği ile belirli olduğu bulunabilir. $\sin \theta = P_q / P_s$ terimine reaktif katsayı denilir.

Görüldüğü gibi bir devrede akım ile gerilim arasındaki faz açısı, aynı zamanda güç katsayısına eşittir. θ açısının değeri devre elemanları tarafından belirlendiğine göre, güç katsayısı da yükün özelliğine bağlı olarak değişecektir.

Eğer ac devre tam dirençsel ise $\theta = 0^\circ$ olacağından güç katsayısı, $\cos \theta = 1$ ve görünür güç gerçek güce eşit olur. Bu durumda $\sin \theta = 0$ olacağından tepkin güç değeri de sıfır olacaktır. Eğer devre tam reaktif ise, yine aynı bağıntılar nedeniyle gerçek güç sıfır ve tepkin güç görünür güce eşit olur.

Güç katsayısı artı değerli ve birimsiz bir katsayı olsa da, kapasitif ve endüktif yükler arasında bir ayırım yapabilmek için $\cos \theta$ değerine bir im eklenir. Güç katsayısı, endüktif yüklerde akım geride olduğu için $-\cos \theta$ olarak, kapasitif yüklerde ise gerilim geride olduğundan $+\cos \theta$ olarak yazılır. Güç katsayısı her iki durumda da 0 ile 1 arasında değişir.

Endüstride genellikle negatif güç katsayısı görülür. Çünkü uygulamaların çoğu, kullanılan çok sayıdaki endüksiyon motoru ve flüoresan lamba nedeniyle endüktiftir.

Bir sistemin verimi hesaplanırken, alınan yararlı gücün, kaynaktan çekilen gerçek güç ile oranlanması gerekir. Çünkü kaynaktan çekilen tepkin güç, iş üreten bir güç değildir. Buna göre örneğin bir motorun verimi,

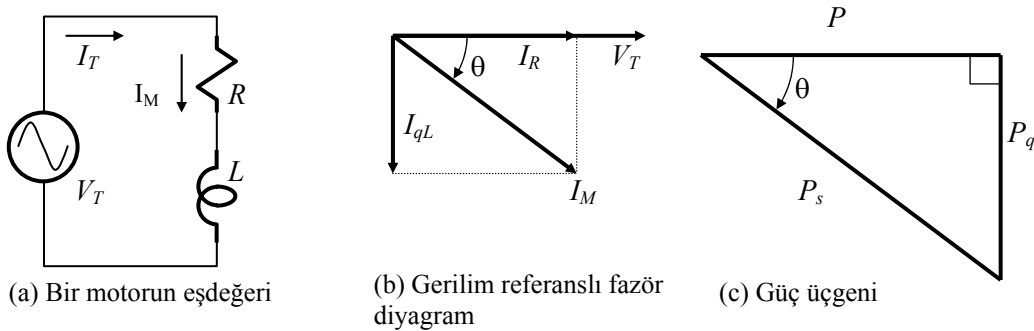
$$\eta = \frac{P_{\text{mekanik}}}{VI \cos \theta} \times 100$$

olarak bulunur.

16.8 GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

Ev kullanıcıları çoğunlukla güç katsayısı 1 olan lamba, ısıtıcı, şofben, fırın gibi dirençsel yükler kullanılırken, endüstriyel kullanıcılar, kaynak makinesi, motor, flüoresan lamba, transformatör gibi endüktif yükler kullanırlar. Bu tür endüktif yüklerin güç katsayıları 1den çok küçüktür. Güç üçgenine göre $P = VI \cos \theta$ olduğu için, belli bir miktar gerçek güç için çekilmesi gereken akım, dirençsel yüke göre daha fazla olacaktır. Fazladan çekilen bu akım, daha güçlü alternatör ve transformatörler gerektirecek ve maliyeti artıracaktır. Ayrıca çekilen yüksek akım nedeniyle tüketici geriliminde düşmeler de ortaya çıkabilir.

Tüm bu sakıncaların önlenmesi için kaynaktan çekilen tepkin gücün azaltılması gerekir. Tüketicilerin yükleri genellikle değiştirilemediğinden, çekilen tepkin akımın azaltılması, devreye giderici yönde tepkin reaktans bağlanarak gerçekleştirilir. Çoğu endüstriyel yük endüktif olduğu için, güç katsayısını düzeltmek için bu yüklerin devrelerine, sığaç(lar) eklenir. Böylece devrede tüketilen endüktif VARın bir bölümü, kapasitif VAR tarafından karşılanarak, kaynaktan çekilen toplam akım azaltılır.

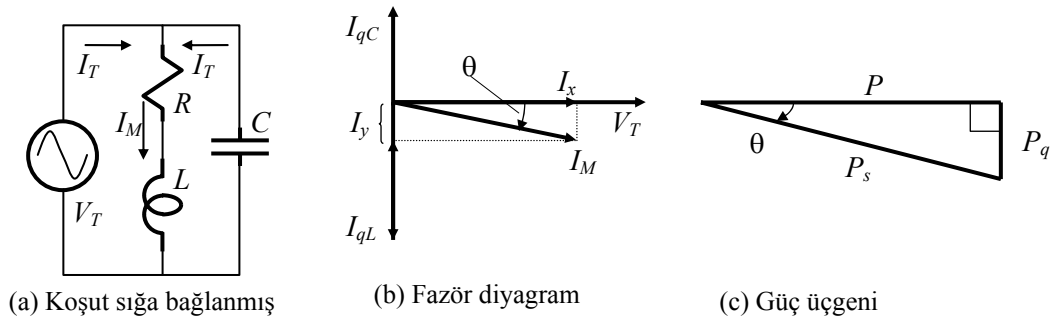


Şekil 16.8: Bir motorun eşdeğeri devresi ve güç katsayısı düzeltilmeden önce evrem diyagramı ile güç üçgeni.

Şekil:16.8de bir motorun eşdeğeri, evrem çizgesi ve güç üçgeni verilmiştir. Evrem çizgesinde yatay başvuru vektörü olarak, genellikle olduğunun tersine gerilim fazörü kullanılmıştır. Kaynak geriliminden geride olan motor

akımı I_M , yararlı gerçek gücü sağlayan I_R ve endüktif tepkin gücü oluşturmak için kullanılan ve yararlı bir amaca hizmet etmeyen I_{qL} bileşenlerine ayrılmıştır.

Bu devredeki yararsız tepkin gücü azaltmak için motora, Şekil:16.9da gösterildiği gibi, koşut olarak bir sığaç bağlandığını düşünelim. Bu durumda fazör diyagramından da görüldüğü gibi, kaynaktan çekilen toplam hat akımı azalmaktadır. Çünkü hat akımını oluşturan ve devredeki tepkin akımı simgeleyen bileşenlerden I_{qL} , sığacın tepkin akımı kadar azalmıştır. Bunun nedeni, motorun endüktif bölümünün gereksindiği tepkin gücün artık kaynaktan değil, sığaçta depolanan kapasitif tepkin güç tarafından sağlanmasıdır.



Şekil 16.9: Güç katsayısı düzeltilmiş bir motorun evrem diyagramı ile güç üçgeni.

Bir sığacın yüke seri bağlanması ile de güç katsayısı düzeltilebilir. Ancak bu işlem her zaman sığacın koşut bağlanması ile yapılır. Bunun iki nedeni vardır.

1. Sığacın ardıl bağlanması durumunda, tepkelerin giderim etkisi nedeniyle toplam devre direnimi azalacağından, hat akım azalacağı yerde artar.
2. Hat akımındaki artış nedeniyle, endüktif yük uçlarındaki gerilim, olması gereken düzeyin üzerine çıkar.

Güç katsayısı düzeltilmiş devrelerde güç ölçmesi yapılırken dikkatli olunması gerekir. Güç katsayısı sıfıra çok yakınsa, wattmetre sapması çok küçük olduğu halde aygittan çok yüksek akım geçebilir. Bu nedenle, wattmetre akım bobininin sınırının aşılması için önlem olarak, devreye seri bağlı bir ampermetre kullanılmalıdır.

Benzer nedenlere bir dönüştürecin gücü, kVA (kilovolt-amper) olarak verilir çünkü, endüktif yada kapasitif bir yük bağlandığında, çok küçük bir gerçek güç çekilmesine karşın oldukça yüksek akımlar akabilir. Sözgelimi 250 V gerilim veren 1 kVA gücünde bir dönüştüreciden, 4 A çekilebilir. Dönüştürece bağlanan yükün güç katsayısı, -0,7 ise, beslenecek gerçek güç yalnızca 700 W olduğu halde transformatör, olağan çalışma sınırına gelmiştir. Bağlanan yük tam dirençsel olmadığı sürece dönüştüreciden 100 W güç beklenmemelidir.

Bir motorun güç katsayısı, motordan alınan mekanik güce bağlı olarak değişir. Motor boşta yada hafif yükte çalışırken oldukça küçük olan güç katsayısı, yük arttıkça 0,7-0,8 değerlerine dek yükselir. Güç katsayısı düzeltmek için devreye bağlanacak sığaçların değeri genellikle tam yüke göre belirlenir. Motor yüklenmediğinde devrenin kapasitif tepkin güç çekmemesi için, güç katsayısı denetleyicileri kullanılır. Bu aygıtlar yük akımını izleyerek, düşük akımlarda kaynak gerilimini azaltır ve güç katsayısını daha da iyileştirir ve yitimleri azaltırlar.

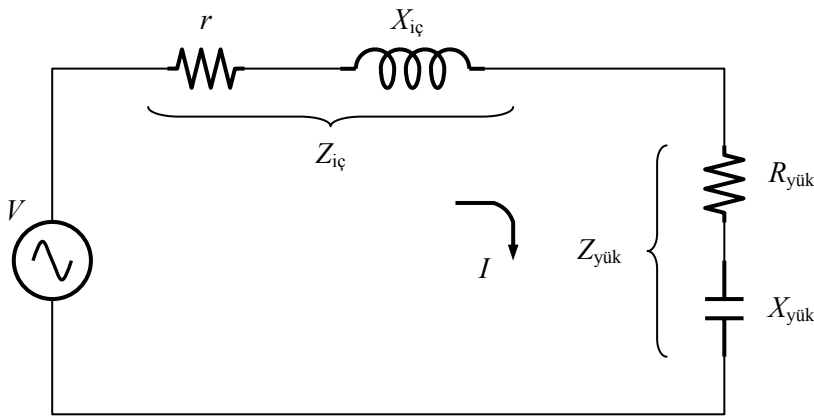
Güç katsayısı her bir endüktif yük için ayrı ayrı düzeltilebilse de, büyük endüstri kuruluşlarında genellikle, enerji hattının girişinde paralel sığa dizileri kullanılır. Hattan çekilen endüktif güç sürekli olarak izlenerek, bunu düzeltmek için gerekli miktarda sığaç devreye alınır.

Güç katsayısının düzeltilmesi için, akımı ileri fazda çalıştırılan büyük senkron motorlar da kullanılmaktadır. Bu motorlar kullanılarak, endüktif yüke karşı etki yaratılıp güç katsayısını düzeltilebilir ve aynı zamanda, yararlı iş üretilebilir.

Güç katsayısının bire eşitlenmesi ekonomik değildir. Bu nedenle yalnızca, enerji dağıtım kuruluşunun ceza sınırına kadar düzeltme yapmakla yetinilir. Bu sınır genellikle 0,85 olarak belirlenmiştir.

16.9 MAKSİMUM GÜÇ TRANSFERİ

Bilindiği gibi dc bir kaynaktan, yük direncine (R) en yüksek gücün aktarılabilmesi için, direnç değerinin kaynak iç direncine (r) eşit olması gereklidir.



Şekil 11.16: EYGA için yük empedansı, kaynak iç empedansı ile eşlenik

ac kaynaklar için de aynı ilkedan yola çıkarak, En Yüksek Güç Aktarımı (EYGA) koşulu, ortaya çıkarılmıştır. Ancak bu kez kaynak iç direnci yerine kaynak empedansı göz önüne alınarak, yük direncininin bu iç empedansın eşleniği olması koşulu aranır. Burada amaç, kaynak ile yük bağlandığında

ortaya çıkan devrenin tümüyle dirençsel olmasının sağlanmasıdır. Böylece devrede tepkin güç oluşmadan, kaynaktan yüke maksimum güç aktarılabilir.

Devrenin toplam endüktansının en aza inmesi için, yükün sığasal tepkisi ile kaynağın endüktif tepkisi eşit olmalıdır (eğer kaynak kapasitifse tersi). Bu durumda kaynaktan en yüksek akım çekilebilir. Eğer bu koşul sağlanmışken, dc devrelerdeki gibi $R_{yük} = r$ koşulu da sağlanırsa, maksimum güç transferi oluşur.

Bir direnimsiz ile aynı dirence ve zıt (ama eşit) tepkeye sahip olan diğer direnimsiz, eşlenik empedans denilir.

Eğer yük ile kaynak arasında empedans uygunlaştırması için bir transformatör kullanılacaksa, primer direnimsiz ile yük direnimsiz arasında,

$$Z_p = n^2 \cdot Z_Y$$

bağıntısı bulunmalıdır. Bu eşitlikte Z_p primere yansıtılan empedans, n transformatörün dönüştürme oranı, Z_Y sekondere bağlı yükün empedansını göstermektedir.

Bir seri devrede kapasitif ve endüktif reaktansların eşit olup birbirinin etkisini iptal ettiği duruma, seri rezonans dendiği anımsanırsa, maksimum güç transferinin, seri rezonans durumunda olduğu da söylenebilir.

16.10 GÜCÜN KARMAŞIK SAYI İLE GÖSTERİMİ

Bir ac devredeki gücün üç bileşenini belirlemek için, karmaşık sayılar kavramından yararlanılabilir.

Bir devreye verilen karmaşık güç, gerilim ile akımın eşleniğinin çarpımına eşittir. Bunu matematiksel olarak,

$$\vec{P} = V \cdot \vec{I}$$

biçiminde gösterilir. Burada \vec{P} kompleks gücü, V fazör formda *rms* devre gerilimini, \vec{I} fazör formdaki *rms* devre akımının eşleniğini belirtmektedir.

Güç fazörü kutupsal olarak,

$$\vec{P} = P_s \angle \theta \text{ VA}$$

biçiminde yazılır. Fazörün büyüklüğü, VA olarak görünür gücü (P_s) verir. Fazörün açısı, devre akımı ile gerilimi arasındaki açıdır ve kosinüsü,

$$\cos \theta = \text{güç katsayısı}$$

devrenin güç katsayısını verir.

Güç fazörü kutupsal olarak ise,

$$\vec{P} = P + jP_q$$

olarak yazılır. Bu durumda fazörün gerçek bölümü Watt olarak gerçek gücü (P), sanal bölümü de VAR olarak, güç endüktif tepkin ise artı, kapasitif reaktif ise eksi imli tepkin güç değerini (P_q) verir.

16.II KOMPLEKS GÜÇ KULLANARAK GÜÇ KATSAYISI DÜZELTME

Paralel bağlı iki yük verildiğinde toplam kompleks güç, kompleks yük güçlerinin toplamına eşittir. Bu tanıma uygun olarak,

$$\begin{aligned}\vec{P}_T &= \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ &= V \cdot \vec{I}_1 + V \cdot \vec{I}_2\end{aligned}$$

eşitliği yazılabilir. Buna göre \vec{P}_1 , geri güç katsayısı ile çalışan sözelimi motor gibi endüktif bir yük ise, bütün sistemin güç katsayısının istenilen değere gelmesi için \vec{P}_2 değerinin ne olması gerektiği bulunabilir.

BÖLÜM 17

AC DEVRE ÇÖZÜMLEME

PONYLER S.O.S. GÖNDERİYOR!

Telgraftan 30 yıl sonra telefon, 50 yıl sonra da teleks kullanılmaya başlandı. Teleks, uzaktan hesaplamanın öncüsü oldu. Onbinlerce kilometreye yayılan yüzlerce istasyon arasında mesajların iletilmesinde kullanılan ve abeceyi temsil eden elektronik vurum dizilerinden oluşan telgrafı, Samuel Morse keşfetmiştir. En sık kullanılan harflerin, olası en kısa nokta-tire kodla gösterilmesi gerekiyordu. Morse, gazeteleri tarayarak en sık kullanılan harfleri belirledi ve bu istatistiklere göre kodlarını oluşturdu. Bu nedenle İngilizce’de en sık kullanılan harflerden “e” için tek bir nokta ve “t” için de tek bir tire kullanılmaktadır.

Morse ilk uzun-mesafe telgraf servisini 1844 yılında Washington D.C. ile Maryland Baltimore arasında kurdu. Onyediyedi yıl içinde telgraf haberleşme dizgesi tüm kıtayı sardı ve eski haberleşme yöntemi olan posta arabaları (Pony Express) tarihe karıştı.

17.1 GİRİŞ

Tek kaynaklı ardıl ve koşt devrelerin, eşdeğer direnimsel kullanılarak çözümlenmeleri olasıdır. Ne yazık ki çoğu uygulama devresi bu tür devrelerden oluşmaz. Sözelimi elektronik bir yükselteçte hem bir dc kaynak, hem de ac işaretler vardır. Üç fazlı enerji dağıtım sistemleri de çok kaynaklı devrelerdendir. Dağıtım dizgelerindeki yükler de her zaman seri-paralel olmayabilirler.

Gerçek yaşamdaki bu tür devrelerin çözümlenmesi için yöntem ve kuramlar vardır. Çözümleme yöntemleri, dc devrelerden bilinen göz akımları, kol akımları ve düğüm gerilimleri yöntemleridir. *ac devrelerde yapılan çözümlenmelerin sonuçları, yalnızca hesaplandıkları sıklık değeri geçerlidir.* Frekans değeri değişirse, çözümlenmenin yenilenmesi gerekir.

Çok kaynaklı ve seri-paralel olmayan ac devrelerin çözümlenmesinde, çok sayıda denklemin birlikte çözümlenmesi gerekir. Evrelerin kullanılması nedeniyle bu çözümler, uzun ve karışık olabilir. Ancak çoğu hesap aletinde, fazör dönüşümlerini yapan programlar yüklüdür. Bu aygıtların kullanılması ile çözümler kolayca yapılması ve sonuçların denetlenmesi olasıdır.

ac devrelerde çoğu zaman dc devrelerdeki çözümler yöntem ve eşitlikleri geçerli olduğundan, dc çözümler yöntemlerinin gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

17.2. GÖZ AKIMLARI YÖNTEMİ

Bu çözümler yönteminde, her göz için varsayılan bir akım temel alınarak kurulan denklemler temel kullanılmaktadır. Bilindiği gibi göz, bir noktadan devre boyunca bir yönde gidilerek, başlangıç noktasına geri dönülen yoldur.

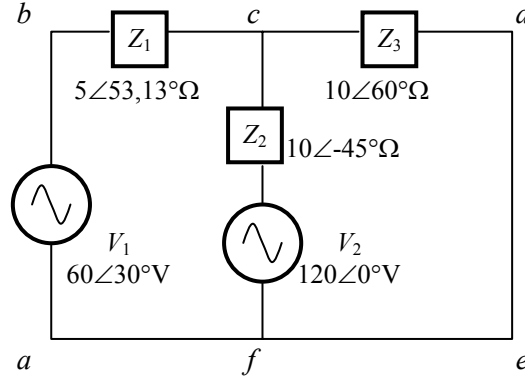
Göz akımları yönteminde, birlikte çözülmesi gereken denklem sayısı daha azdır. Göz akımlarını belirlemede kullanılacak denklemleri elde etmek için, gözlere KGY uygulanır. Belirlenen göz akımları kullanılarak kol akımları bulunur. Son olarak Ohm Yasası ve diğer elektriksel eşitlikler yardımı ile tüm bilinmeyenler bulunabilir. ac bir devrede göz akımları yönteminin uygulanma aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

1. Devredeki N sayıdaki göz belirlenir.
2. $N-1$ sayıda gözde saat ibresi yönünde akımlar seçilir.
3. Devredeki direnimleri uç polariteleri belirlenir. Bunun için akımın girdiği uç eksi (-) ve çıktığı uç artı (+) olarak işaretlenir. Bir empedanstan iki akım geçiyorsa, her ikisi için ayrı imleme yapılmalıdır.
4. $N-1$ sayıda göze, KGY uygulanır. Bunun için,
 - ↪ elemanlar üzerindeki gerilim düşümleri, akım×gerilim olarak yazılır. Bir direnimden iki göz akımı geçiyorsa, her iki akım için de gerilim düşümü yazılır,
 - ↪ gerilim düşümleri, akımın girdiği yer eksi, çıktığı yer artı olarak imlenir,
 - ↪ gerilim kaynakları, akım yönünde ilk rastlanan uçlarının polaritesi ile işaretlenir,
 - ↪ gözdeki kaynak ve gerilim düşümlerinin fazör toplamı sıfıra eşitlenir.
5. Bulunan eşitlikler çözülerek, göz akımları belirlenir.
6. Kol akımları belirlenir. Bir kol üzerinden yalnızca bir göz akımı geçiyorsa, kol akımı dal akımına eşittir. Bir koldan iki göz akımı aynı

yönde geçiyorsa kol akımı, akımların fazör toplamıdır. Eğer göz akımları ters yönde iseler, kol akımı fazör farkına eşit olur. Sonuçta elde edilen evremin yönü, çıkarmada artı olarak imlenen evreminki gibidir.

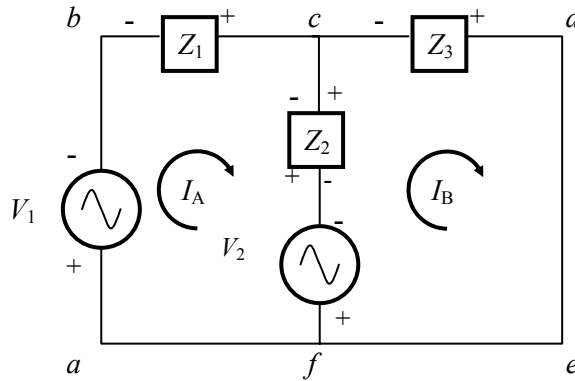
Göz akımları yöntemi kullanılarak yapılan bir örnek çözümlene aşağıda verilmiştir.

1. Bu devrede, $abcfa$, $fcdef$ ve $abcdefa$ gözleri olmak üzere üç göz vardır.



Şekil 17.1: Göz akımları çözümlenmesi için örnek devre.

2. Direnimlerdeki gerilim polariteleri ve $N-1$ sayıda gözde saat ibresi yönünde yazılması gereken göz akımları (I_A ve I_B), Şekil:17.2deki gibi



Şekil 17.2: Göz akımı yönlerinin ve polaritelerin belirlenmesi.

belirlenir.

3. A ve B gözlerinde KGY uygulanarak A gözü için,

$$-(Z_1 + Z_2)I_A + Z_2I_B + V_1 - V_2 = 0$$

ve B gözü için,

$$Z_2 I_A - (Z_2 + Z_3) I_B + V_2 = 0$$

denklemleri yazılır. Denklemler çözümlenirken, direnım ve kaynak değerleri yazılmadan simgelerle çalışmak daha kolay olduğundan, değerlerin sonradan yazılması doğru olur.

4. İki bilinmeyenli iki denklem olduğuna göre, herhangi bir yöntemle I_A ve I_B değerleri bulunabilir. Yalnızca iki denklem olduğundan, yerine koyma yöntemi yeğlenebilir. Buna göre A gözü denklemi yeniden düzenlenerek,

$$I_A = \frac{V_1 - V_2 + Z_2 I_B}{Z_1 + Z_2}$$

elde edilir. Bu denklemde empedans ve gerilimler yerine koyularak,

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{60 \angle 30^\circ - 120 + (10 \angle -45^\circ)(I_B)}{5 \angle 53,13^\circ + 10 \angle 45^\circ} \\ &= \frac{74,36 \angle 156,21^\circ + (10 \angle -45^\circ)(I_B)}{10,53 \angle -16,95^\circ} \end{aligned}$$

bulunur. Gerekli işlemler yapılarak,

$$I_A = 7,06 \angle 173,16^\circ + (0,95 \angle -28,05^\circ) I_B$$

eşitliği yazılır. Bulunan bu değer, B gözü denkleminde yerine koyularak,

$$(10 \angle -45^\circ)[7,06 \angle 173,16^\circ + (0,95 \angle -28,05^\circ) I_B] - (12,17 \angle 7,5^\circ) I_B + 120 = 0$$

elde edilir. Eşitlik I_B için çözümlürse,

$$I_B(-9,3 - j10,68) = (-76,38 - j55,51)$$

$$I_B = \frac{94,42 \angle -143,99^\circ}{14,16 \angle -131,05^\circ}$$

$$I_B = 6,67 \angle -12,94^\circ \text{ A}$$

bulunur. Buna göre A gözü akımı,

$$\begin{aligned} I_A &= 7,06 \angle 173,16^\circ + (0,95 \angle -28,05^\circ)(6,67 \angle -12,94^\circ) \\ &= -2,22 - j3,32 \\ &= 3,99 \angle -123,77^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

olacaktır.

5. Devre incelendiğinde, Z_1 den geçen akımın I_A , Z_3 ten geçen akımın ise I_B olduğu görülür. Buna göre,

$$I_1 = 3,99 \angle -123,77^\circ \text{ A}$$

$$I_3 = 6,67 \angle -12,94^\circ \text{ A}$$

olarak belirtilir. Z_2 direnıminden geçen akım ise, birbirlerine ters yönde geçtikleri için, göz akımlarının fazör farkına eşittir. Öyleyse,

$$I_2 = I_B - I_A$$

$$I_2 = 6,67 \angle -12,94^\circ - 3,99 \angle -123,77^\circ$$

$$I_2 = 8,91 \angle 11,85^\circ$$

olarak bulunabilir. I_2 'nin yönü, kendini oluşturan akımlardan, değeri büyük olan I_B 'nin yönü ile aynı olacaktır.

6. Ohm Yasası kullanılarak tüm gerilim değerleri,

$$V_1 = I_1 Z_1 = (3,99 \angle -123,77^\circ)(5 \angle 53,13^\circ)$$

$$V_1 = 19,95 \angle -70,64^\circ \text{V}$$

$$V_2 = I_2 Z_2 = (8,91 \angle 11,85^\circ)(10 \angle -45^\circ)$$

$$V_2 = 89,1 \angle -33,15^\circ \text{V}$$

$$V_3 = I_3 Z_3 = (6,67 \angle -12,94^\circ)(10 \angle 60^\circ)$$

$$V_3 = 66,7 \angle 47^\circ \text{V}$$

biçiminde bulunurlar. Son adım olarak güç değerleri hesaplanır. Devrede tüketilen toplam güç,

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

eşitliği ile bulunur. Ancak ac devrelerde gerçek güç, yalnızca dirençlerde tüketildiğinden her bir direnimin direncinde tüketilen güçler bulunarak toplanır. Buna göre,

$$P_1 = I_1^2 R_1 = I_1^2 Z_1 \cos \theta_1 = (3,99)^2 (5 \cos 53,13^\circ) = 47,86 \text{W}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = I_2^2 Z_2 \cos \theta_2 = (8,91)^2 (10 \cos 45^\circ) = 561,3 \text{W}$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = I_3^2 Z_3 \cos \theta_3 = (6,67)^2 (10 \cos 60^\circ) = 222,4 \text{W}$$

değerleri elde edilir.

dc çözümlemede akım yönünün başlangıçta yanlış seçildiği, akım değerinin eksi çıkması ile belirlenirken ac çözümlemede bu eksilik, açı değerinde 180° 'lik kayma olarak ortaya çıkar. Sözelimi yukarıdaki örnekte I_A yönü saat ibresi tersine alınsaydı sonuç, $I_A = 3,99 \angle 56,23^\circ$ olarak bulunurdu. Bu tür karışıklıklara yol açmamak için akım yönlerinin belirlenmesinde saat yönünün standart olarak belirlenmesi ve taslak biçiminde küçük fazör diyagramlarının çizilmesi yararlı olacaktır.

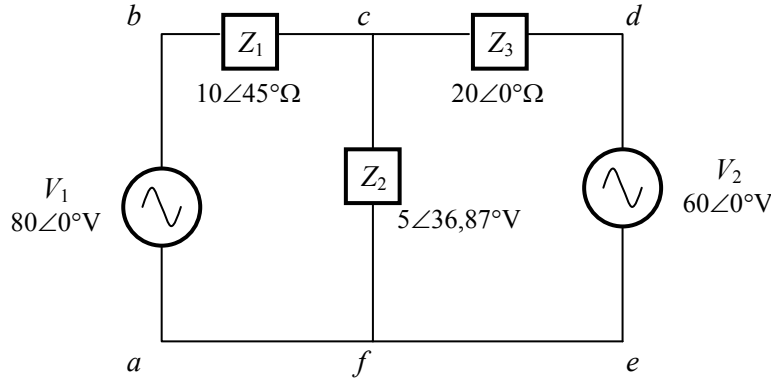
17.3. KOL AKIMLARI YÖNTEMİ

Kollardaki akım değerlerinin doğrudan doğruya bulunması istenirse, kol akımları yöntemi kullanmak doğru olur. Bu yöntem, yalnızca bir yada iki kol akımının bulunması gereken durumlarda yeğlenmelidir.

Kol akımları yönteminde göz denklemleri, göz akımları değil, gerçek kol akımları kullanılarak yazılırlar.

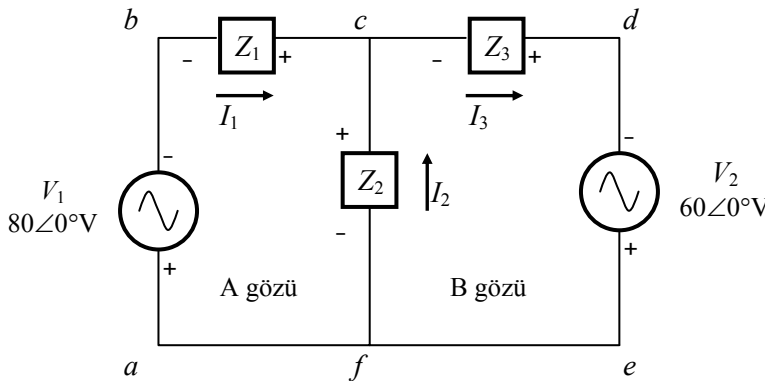
Bu yöntemin yarattığı sakınca, çözülemeye başlamadan önce, olabildiğince çok denklem yazılması gereğidir. Yöntemin olumlu yanı ise, kol akımlarını bulmak için, göz akımlarının toplanmasına gerek bırakmamasıdır.

Bu yöntemde izlenecek basamaklar da dc çözümlemedekine benzerdir. En büyük ayırım yine fazör aritmetiğidir.



Şekil 17.3: Kol akımları çözümlemesi için örnek devre.

1. Devredeki göz, düğüm ve kol sayıları belirlenir ve not edilir. Bu sayılara N denilecektir.
2. Her kol için rasgele yönde bir akım belirlenir.
3. Empedanslarda akımın girdiği uçlar eksi alınarak, direnrim ve kaynakların polariteleri belirlenir.
4. Direnrimlerde düşen gerilimler, akım×direnrim biçiminde yazılıp kaynaklar akım yönünde ilk önce karşılaşılan uçlarının polaritesi ile imlenerek, $N-1$ sayıda göze KGY uygulanır.
5. $N-1$ sayıda düğüme KAY uygulanır. Düğüme gelen akımlar artı, düğümden giden akımlar da eksi olarak alınır.



Şekil 17.4: Kol akımı yönleri ve gerilim düşümü polariteleri.

6. KGY ve KAY ile bulunan denklemler kol akımları için çözülür.

Kol akımları yöntemi kullanılarak yapılan bir çözümleme aşağıda verilmiştir.

1. Şekil.17.3teki devrede üç göz (*abcfa*, *fcdef* ve *abcdefa*), iki düğüm (*c* ve *f*) ve üç kol (V_1-Z_1 , Z_2 ve V_2-Z_3) vardır.
2. Devredeki kol akımı yönleri ve gerilim düşümü polariteleri, Şekil:17.4teki gibi belirlenmiştir.
3. *A* ve *B* gözlerinde KGY uygulanarak,

$$\begin{aligned} V_1 - I_1 Z_1 + I_2 Z_2 &= 0 \\ -V_2 - I_2 Z_2 - I_3 Z_3 &= 0 \end{aligned}$$

denklemleri yazılır. Bu iki denklemdeki üç bilinmeyen bulunabilmesi için bir denklem daha gereklidir.

4. *c* düğümünde KGY uygulanarak üçüncü denklem,

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

olarak belirlenir.

5. Denklemlere değerler koyulup düzenlenerek,

$$\begin{aligned} (10\angle 45^\circ)I_1 - (5\angle 36,87^\circ)I_2 + 0I_3 &= 80\angle 0^\circ \\ 0I_1 + (5\angle 36,87^\circ)I_2 + (20\angle 0^\circ)I_3 &= -60\angle 0^\circ \\ I_1 + I_2 - I_3 &= 0 \end{aligned}$$

denklem takımları elde edilir. Bu takımın determinant düzeyleri ve değerleri,

$$\begin{aligned} D &= \begin{vmatrix} 10\angle 45^\circ & -5\angle 36,87^\circ & 0 \\ 0 & 5\angle 36,87^\circ & 20\angle 0^\circ \\ 1 & 1 & -1 \end{vmatrix} \\ &= 339,37\angle 227,68^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_1 &= \begin{vmatrix} 80\angle 0^\circ & -5\angle 36,87^\circ & 0 \\ -60\angle 0^\circ & 5\angle 36,87^\circ & 20\angle 0^\circ \\ 0 & 1 & -1 \end{vmatrix} \\ &= 1681,07\angle 182,04^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= \begin{vmatrix} 10\angle 45^\circ & 80\angle 0^\circ & 0 \\ 0 & -60\angle 0^\circ & 20\angle 0^\circ \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} \\ &= 2068,25\angle 11,84^\circ \end{aligned}$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} 10\angle 45^\circ & -5\angle 36,87^\circ & 80\angle 0^\circ \\ 0 & 5\angle 36,87^\circ & -60\angle 0^\circ \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$= 501,20\angle 46,62^\circ$$

olarak elde edilir. Bulunan değerlere göre kol akımları,

$$I_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{1681,07\angle 182,04^\circ}{339,37\angle 227,68^\circ} = 4,95\angle -45,64^\circ \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{D_2}{D} = \frac{2068\angle 11,84^\circ}{339,37\angle 227,68^\circ} = 6,09\angle -215,84^\circ \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{D_3}{D} = \frac{501,20\angle 46,62^\circ}{339,37\angle 227,68^\circ} = 1,48\angle -181,06^\circ \text{ A}$$

olarak bulunurlar.

6. Ohm Yasası kullanılarak gerilim düşümleri,

$$V_1 = I_1 Z_1 = (4,95\angle -45,64^\circ)(10\angle 45^\circ) = 49,5\angle -0,64^\circ \text{ V}$$

$$V_2 = I_2 Z_2 = (6,09\angle -215,84^\circ)(5\angle 36,87^\circ) = 30,45\angle -178,97^\circ \text{ V}$$

$$V_3 = I_3 Z_3 = (1,48\angle -181,06^\circ)(20\angle 0^\circ) = 29,60\angle -181,06^\circ \text{ V}$$

olarak bulunurlar.

17.4. DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİ

ac devre çözümlemede kullanılan üçüncü yöntem, düğüm çözümlemesi yöntemidir. Bu yöntemde kol akımları, kol uçlarındaki düğümler arasındaki fark ve koldaki direnimsel cinsinden yazılırlar. Düğüm gerilimi terimi, düğüm ile başvuru noktası arasındaki potansiyel farkı tanımlamaktadır. Kol akımlarını bulmak için kullanılacak düğüm gerilimlerini elde etmek için KAY uygulanır. Daha sonra, Ohm Yasası ve diğer elektriksel eşitlikler ile gerekli bütün değerler hesaplanabilir.

Kol akımlarının doğrudan bulunmasını sağlayan bu yöntemin bir diğer artısı da, devredeki akım kaynaklarının gerilim kaynağına dönüştürülmesini gerektirmemesidir. Düğüm gerilimleri yönteminde kol akımları ve KAY birlikte uygulanır. Yöntemin aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

1. Devredeki düğüm ve kol sayısı belirlenir.
2. Düğümlerden birisi başvuru düğümü olarak seçilir ve toprak imi ile belirlenir. Tüm düğüm gerilimleri bu noktaya göre bulunacaktır diğer düğümler, V_A , V_B gibi adlandırılır.
3. Başvuru düğümü dışındaki tüm düğümler için, aşağıda tanımlanan terimleri içeren ifadeler yazılır.

a. düğüm terimi:

+ (düğüm gerilimi) × (düğüme bağlı tüm kollardaki admitansların terslerinin fazör toplamı)

b. komşu düğüm terimi:

- (komşu düğüm gerilimi) × (düğümler arası koldaki admitansın tersi)

c. kaynak terimleri:

gerilim kaynağı için: (kaynak gerilimi)×(koldaki admitans)

akım kaynağı için: ±kaynak akımı (düğüme gelen akım artı, düğümden giden akım eksi olarak imlenir)

a., b. ve c. deki terimler,

Düğüm terimi - komşu düğüm terim(ler)i = kaynak terim(ler)i

biçiminde yazılarak düğüm denklemleri elde edilir.

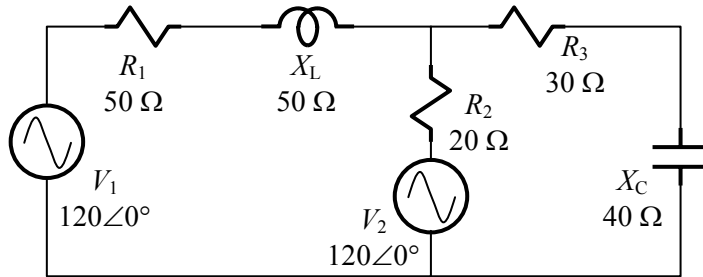
3. Aşamada bulunan düğüm denklemleri çözümlenerek düğüm gerilimleri bulunur.
- Düğüm gerilimlerinden yola çıkılarak kol akımları belirlenir. Bir koldaki akımı bulmak için, rasgele bir akım yönü seçilir ve kolda KGY uygulanır. Böylece,

$$I_2 = \frac{V_A - V_B}{Z_2}$$

biçiminde akım eşitlikleri bulunarak çözümlenebilir.

- Akımlar bulunduğundan sonra direnimsel gerilimleri ve güç tüketimi, diğer elektriksel eşitlikler kullanılarak bulunabilir.

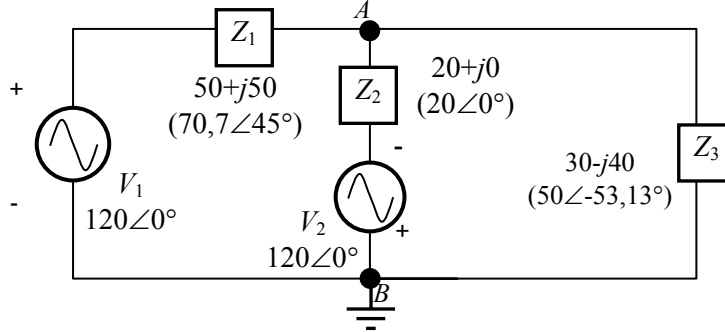
Şekil:17.5teki devre, bu aşamalar izlenerek düğüm gerilimleri yöntemi ile çözümlenmiştir.



Şekil 17.5: Düğüm gerilimleri ile örnek çözümlemede kullanılan devre.

- Devredeki iki düğüm (A ve B) ve kolların direnimleri belirlenerek, Şekil:17.6daki çözümleme devresi elde edilir.

2. a düğümünün gerilimi V_B , B düğümünün gerilimi de başvuru düğümü olması nedeniyle 0 (sıfır) olacaktır.



Şekil 17.6: Düğümler ve kol direnimleri biçimindeki çözümleme devresi.

3. Devrede iki düğüm bulunduğundan, bir düğüm denklemi çözümleme için yeterlidir. B düğümünde V_B gerilimi için yazılacak denklemin terimleri,

a. Düğüm terimi:
$$V_A \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right)$$

- b. Komşu düğüm terimi: tek diğer düğüm referans düğümü olduğundan komşu düğüm terimi yoktur (sıfırdır).

c. Kaynak terimleri: $V_1 \frac{1}{Z_1}$ ve $-V_2 \frac{1}{Z_2}$

olacaktır. Bu terimlerin bir araya getirilmesi ile devredeki tek düğüm denklemi,

$$V_A \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) = \frac{V_1}{Z_1} - \frac{V_2}{Z_2}$$

olarak bulunur. Bu denklemde bilinen değerler yerine koyularak,

$$V_A \left(\frac{1}{70,7\angle 45^\circ} + \frac{1}{20} + \frac{1}{50\angle -53,13^\circ} \right) = \frac{120}{70,7\angle 45^\circ} - \frac{120}{20}$$

eşitliği yazılır.

4. Eşitlikte tek bir bilinmeyen bulunduğundan V_A ,

$$V_A = 68,47\angle -170,67^\circ$$

olarak bulunur.

5. Akımları bulmak için KGY eşitlikleri yazılmalıdır. Düğümdeki I_1 , I_2 , ve I_3 akımlarının hepsinin düğümden dışarı olduğu varsayılarak, I_1 için,

$$V_A - I_1 Z_1 - V_1 = 0$$

$$I_1 = \frac{V_A - V_1}{Z_1}$$

$$I_1 = \frac{68,47 \angle -170,67^\circ - 120}{70,7 \angle 45^\circ}$$

$$I_1 = 2,66 \angle -221,6^\circ \text{A}$$

I_2 için,

$$V_A - I_2 Z_2 + V_2 = 0$$

$$I_2 = \frac{V_A + V_2}{Z_2}$$

$$I_2 = \frac{68,47 \angle -170,67^\circ + 120}{20 \angle 0^\circ}$$

$$I_2 = 2,68 \angle -11,95^\circ \text{A}$$

ve I_3 için,

$$V_A - I_3 Z_2 = 0$$

$$I_3 = \frac{V_A}{Z_2}$$

$$I_3 = \frac{68,47 \angle -170,67^\circ}{50 \angle -53,13^\circ}$$

$$I_3 = 1,37 \angle -117,54^\circ \text{A}$$

değerleri elde edilir. Akım yönleri ters alınsaydı, açılar 180° farklı çıkacaktı.

17.5. BİNDİRME KURAMI

Doğrusal çift yönel elemanlardan oluşan bir ac devrenin herhangi bir yerindeki akım ve gerilim değerleri, bir anda bir tek kaynak hesaba katılıp diğerlerinin yerine iç dirençleri bağlanarak, tek tek bütün kaynakların akım ve gerilim değerlerinin fazör toplamına eşittir.

Bir direnimin değeri akıma bağlı olarak değişmiyorsa doğrusal, akım yönüne göre değişmiyorsa çift yönelidir.

Gerilimlerin bindirilmesi, pek çok uygulama devresinde görülmektedir. Sözgelimi bir elektronik yükselteç devresinde dc kutuplama gerilimi ile ac işaret binişiktir. Bir vericiden yayınlanan işaret de, yüksek frekanslı bir taşıyıcı ile düşük frekanslı ses işaretinin binişimidir.

Dalgabıçimlerinin grafiksel süperpozisyonu, değişik sıklık ve biçimdeki kaynakların bileşke dalgabıçimini bulmak için yararlı bir yöntemdir. Bileşke dalgabıçimi, kaynakların anlık değerlerinin toplanıp çizilmesi ile elde edilir.

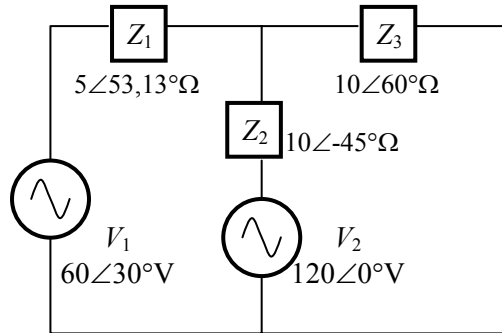
Devre çözümlemede süperpozisyon kuramının kullanılması, birlikte çözülmesi gereken denklemler olmaması nedeniyle işlemlerde büyük kolaylıklar sağlar. Diğer yandan devrenin her bir kaynak için yeniden çözümlenmesi, uzun hesaplamalar anlamına gelmektedir.

Bindirme kuramı, akım ve gerilim için kullanılabilir. Birlikte, güç için geçerli sonuçlar üretmez. Eğer iki kaynak bir dirençten I_1 ve I_2 akımlarını geçiriyorsa toplam akım I_1+I_2 olur. Bu akımın yaratacağı güç, $(I_1+I_2)^2 \cdot R$ olacaktır. Oysa gücü süperpozisyon ile elde edecek olursak $(I_1^2+I_2^2) \cdot R$ sonucunu buluruz. Görüldüğü gibi bu sonuç $(I_1+I_2)^2 \cdot R$ değerine eşit değildir. Bu nedenle güç değerini bulmak için önce akımlar toplanmalı, elde edilen değer güç hesaplamasında kullanılmalıdır.

Bindirme kuramının uygulanmasında izlenecek adımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Biri dışında tüm kaynakların yerine, kendi içdirençleri bağlanır.
2. Bu tek kaynak için akımlar ve gerilimler herhangi bir yöntemle bulunur.
3. Devredeki her kaynak için ilk iki adım yinelenir. Bu adımda bulunan değerlerin doğru ve sistematik bir biçimde adlandırılması çözümün doğruluğu için çok gereklidir.
4. Kaynaklara bağlı olarak oluşan değerler, imlerine, yönlerine ve açılarına dikkat edilerek toplanır.
5. Toplam akım ve Ohm Yasasına göre gerilimler bulunur.
6. Temel devre kavramları yardımıyla bütün diğer elektriksel büyüklükler bulunur.

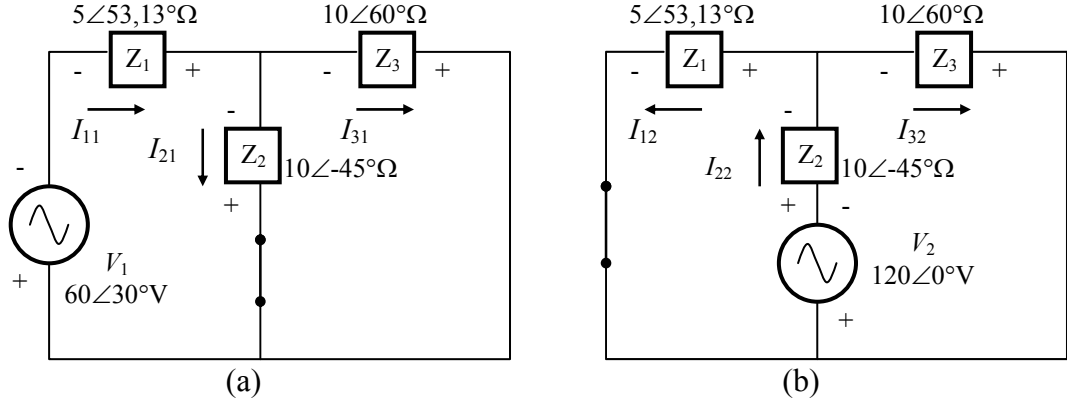
Şekil:17.7de görülen ve göz akımları için yapılan örnek çözümlemede kullanılan devre, iki çözümleme yöntemi arasında karşılaştırma yapılabilmesi için bindirme kuramı ile de çözümlenecektir.



Şekil 17.7: Süperpozisyon çözümlemesi için örnek devre.

Yukarıda sıralanan adımlar izlenerek yapılan örnek çözüm aşağıda verilmiştir.

1. V_1 kaynağının yarattığı akımların bulunması için ideal V_2 kaynağı yerine, içdirenci olan k/d bağlanmıştır. Bu yeni devre Şekil:17.8(a)da görülmektedir.



Şekil 17.8: V_1 ve V_2 kaynakları “öldürülerek” çizilen çözüm devreleri.

2. Bu devreye göre eşdeğer direnım ve kaynak akımı,

$$\begin{aligned}
 Z_{es1} &= Z_1 + Z_2 \parallel Z_3 \\
 &= 5\angle 53,13^\circ + \frac{(10\angle -45^\circ)(10\angle 60^\circ)}{10\angle -45^\circ + 10\angle 60^\circ} \\
 &= 12,24\angle 24,47^\circ \Omega \\
 I_{11} &= \frac{V_1}{Z_{es1}} \\
 I_{11} &= \frac{60\angle 30^\circ}{12,24\angle 24,47^\circ} \\
 &= 4,9\angle 5,53^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

olarak bulunur. Akım bölücü eşitliği ile,

$$\begin{aligned}
 I_{21} &= \frac{Z_3 I_{11}}{Z_2 + Z_3} \\
 &= \frac{(10\angle 60^\circ)(4,9\angle 5,53^\circ)}{10\angle -45^\circ + 10\angle 60^\circ} \\
 &= 4,02\angle 58,03^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}
 I_{31} &= \frac{Z_2 I_{11}}{Z_2 + Z_3} \\
 &= \frac{(10\angle -45^\circ)(4,9\angle 5,53^\circ)}{10\angle -45^\circ + 10\angle 60^\circ} \\
 &= 4,02\angle -46,97^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

olarak diğer akımlar da bulunur.

3. V_1 kaynağınca oluşturulan akımlar bulunduktan sonra, Şekil:17.8(b)de görüldüğü gibi, bu kez V_2 kaynağının oluşturduğu akımları bulmak için V_1 “öldürülür”. Böylelikle ikinci kaynağın gördüğü eşdeğer direnimsel ve bu kaynaktan çekilen akım,

$$\begin{aligned}
 Z_{eş2} &= Z_2 + Z_1 \parallel Z_3 \\
 &= 10\angle -45^\circ + \frac{(5\angle 53,13^\circ)(10\angle 60^\circ)}{5\angle 53,13^\circ + 10\angle 60^\circ} \\
 &= 9,96\angle -25,72^\circ \Omega \\
 I_{22} &= \frac{V_2}{Z_{eş2}} \\
 I_{22} &= \frac{120\angle 0^\circ}{9,96\angle -25,72^\circ} \\
 &= 12,05\angle 25,72^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

olarak bulunur. Akım bölücü eşitliği ile,

$$\begin{aligned}
 I_{12} &= \frac{Z_3 I_{22}}{Z_1 + Z_3} \\
 &= \frac{(10\angle 60^\circ)(12,05\angle 25,72^\circ)}{5\angle 53,13^\circ + 10\angle 60^\circ} \\
 &= 8,04\angle 28,01^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}
 I_{32} &= \frac{Z_1 I_{22}}{Z_1 + Z_3} \\
 &= \frac{(5\angle 53,13^\circ)(12,05\angle 25,72^\circ)}{5\angle 53,13^\circ + 10\angle 60^\circ} \\
 &= 4,02\angle 21,14^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

olarak diğer akımlar da bulunur.

4. Devredeki kaynaklar ayrı ayrı değerlendirildikten sonra şimdi bulunan akımlar birleştirilerek gerçek akım değerleri,

I_{11} ve I_{12} ters yönde olduklarından,

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_{11} - I_{12} \\
 &= 4,9\angle 5,53^\circ - 8,04\angle 28,01^\circ \\
 &= 4,88 + j0,47 - 7,10 - j3,78 \\
 &= 3,99\angle -123,85^\circ \text{ A } (I_{11} \text{ yönünde})
 \end{aligned}$$

I_{21} ve I_{22} ters yönde olduklarından,

$$\begin{aligned}
 I_2 &= I_{22} - I_{21} \\
 &= 12,05\angle 25,72^\circ - 4,02\angle 58,03^\circ \\
 &= 10,86 + j5,22 - 2,13 - j3,41 \\
 &= 8,92\angle 11,72^\circ \text{ A } (I_{22} \text{ yönünde})
 \end{aligned}$$

I_{31} ve I_{32} aynı yönde olduklarından,

$$\begin{aligned}
 I_3 &= I_{31} + I_{32} \\
 &= 4,02\angle -46,97^\circ + 4,02\angle 21,14^\circ \\
 &= 2,74 + j2,94 + 3,75 - j1,45 \\
 &= 6,66\angle -12,93^\circ \text{ A } (I_{31} \text{ yönünde})
 \end{aligned}$$

olarak bulunurlar. Burada bulunan değerler ile göz akımları çözümlemesindekiler arasındaki farklar, sayı yuvarlamalarından kaynaklanan küçük kaymalardır.

5. Kaynakların direnimler üzerinde düşürdükleri gerilimler de süperpozisyon ile birleştirilebilir. Ancak akım değerleri bilindiğine göre, gerilimlerin Ohm Yasası kullanılarak bulunması daha kolay olacaktır. Buna göre,

$$\begin{aligned}
 V_1 &= I_1 Z_1 \\
 &= (3,99\angle -123,85^\circ)(5\angle 53,13^\circ) \\
 &= 19,95\angle -70,72^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_2 &= I_2 Z_2 \\
 &= (8,92\angle 11,78^\circ)(10\angle -45^\circ) \\
 &= 89,2\angle -33,22^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_3 &= I_3 Z_3 \\
 &= (6,66\angle -12,93^\circ)(10\angle 60^\circ) \\
 &= 66,6\angle 47,57^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

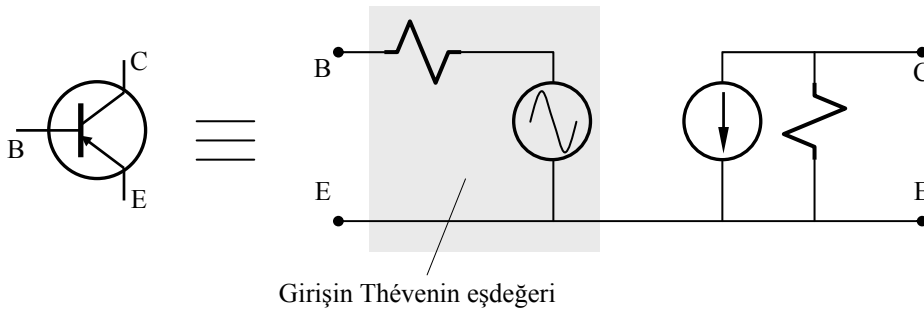
olarak tüm direnım gerilimleri bulunur.

Devrede tüketilen toplam güç,

$$\begin{aligned}
 P_T &= P_1 + P_2 + P_3 \\
 &= I_1^2 Z_1 \cos \theta_1 + I_2^2 Z_2 \cos \theta_2 + I_3^2 Z_3 \cos \theta_3 \\
 &= (3,99)^2 5 \cos 53,13^\circ + (8,92)^2 10 \cos 45^\circ + (6,66)^2 10 \cos 60^\circ \\
 &= 47,76 + 562,62 + 221,78 \\
 &= 832,16
 \end{aligned}$$

olarak bulunur.

17.6. AC DEVRELERDE THÉVENİN KURAMI



Şekil 17.9: Transistörün giriş devresi, Thévenin eşdeğer ile gösterilir

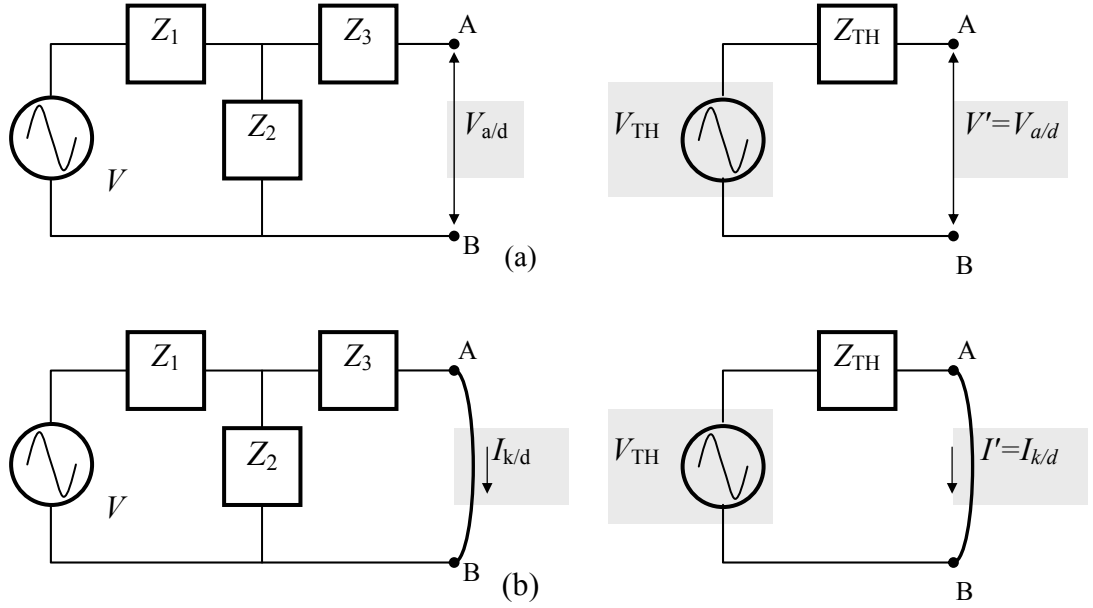
Thévenin eşdeğeri ile gösterilebilir. Thévenin kuramı, sabit empedans ve kaynaklardan oluşan iki uçlu, doğrusal ve çiftyönel ac devrelerin, bir kaynak ve seri bir empedans ile gösterilebileceğini söyler. Buna göre, çoğu ac devre ve aygıt hesaplamalar için Thévenin kuramı uyarınca, tek bir kaynak ve buna seri bir direnimden oluşan eşdeğerleri ile yer değiştirebilir. X_C ve X_L frekansa bağlı olarak değiştikleri için Thévenin eşdeğer, yalnızca çözümlemenin yapıldığı sıklık değeri için geçerlidir.

Thévenin eşdeğerinin kullanılması, yinelenmesi gereken işlemleri azaltır ve devre elemanlarının, devre kuramı kullanılarak çözümlenebilecek eşdeğer ac devreler ile değiştirilmesine izin verir. Örneğin bir transistör, Şekil:17.9da gösterilen eşdeğeri ile değiştirilerek devrede gereken hesaplamaların yapılması kolaylaştırılabilir.

Dönüşümün anlaşılmasına yardımcı olması amacıyla, gerçek bir devre ile bunun Thévenin eşdeğer devresi arasındaki karşılaştırma, Şekil:17.10da gösterilmiştir.

Devreler, $A-B$ uçları arasındaki gerilim her yük değerinde aynı ise eşdeğerdir. Devre doğrusal olduğu için, kısa devre ve açık devre durumlarında eşdeğerlik sağlanması, diğer tüm ara yük değerlerinde de eşdeğerliği tanıtlar. Açık devre durumu için eşdeğerlik, V_{TH} değerinin, $A-B$ uçları arasındaki açık devre gerilimine eşit olması koşuluyla sağlanır. Z_{TH} değeri, kaynakların yerine içdirençleri bağlandığında $A-B$ uçlarından

bakınca görülen eşdeğer direnime eşit ise, kısa devre eşdeğerliği de sağlanır.



Şekil 17.10: Bir ac devre ile bu devrenin Thévenin eşdeğerinde, açık devre gerilimi (a) ve kısa devre akımı (b) aynı olur.

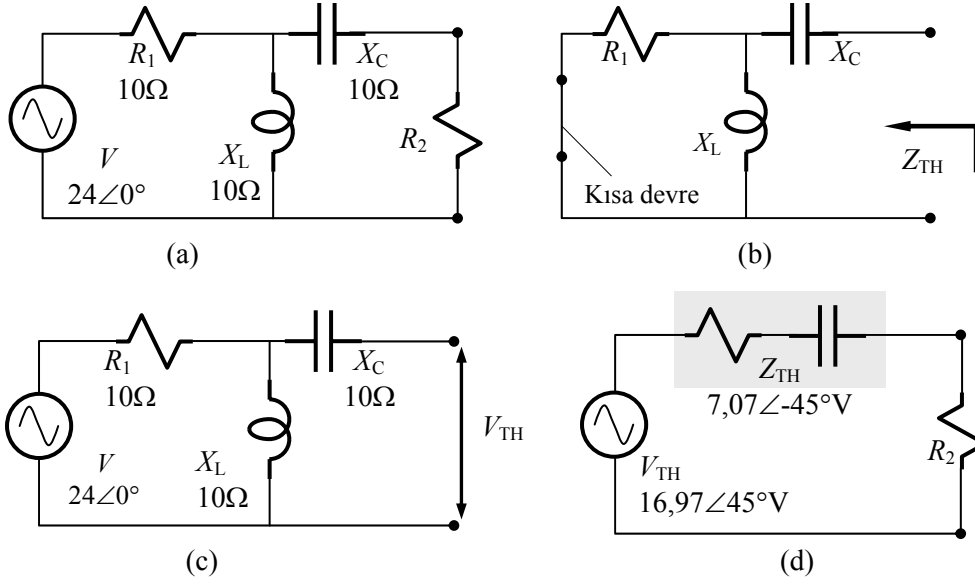
Şekil:17.10daki Thévenin eşdeğer incelendiğinde, $V_{TH} = Z_{TH} \cdot I_{k/d}$ olduğu görülür. Buna göre eşdeğer devre, a/d gerilimi ve k/d akımı ölçülerek elde edilebilir. Bu ilişki yalnızca, devrenin uçları erişilebilir durumdayken yada k/d akımı ile yapılacak hesaplama a/d gerilimi hesaplamasından daha kolay ise yararlı olacaktır.

Bir ac devrenin Thévenin eşdeğeri bulunurken izlenecek adımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Thévenin eşdeğeri çizilecek devre ve buna bağlı olan yük belirlenir. (Üzerindeki elektriksel büyüklüklerin bulunması gereken eleman yük kabul edilir).
2. Yük, eşdeğeri elde edilecek devreden ayrılır.
3. Kaynaklar yerine içdirençleri bağlanır ve devreye yükün ayrıldığı uçlardan bakarak, eşdeğer empedans (Z_{TH}) bulunur.
4. Temel elektriksel bağıntılar yardımıyla yükün ayrıldığı uçlardaki gerilim (V_{TH}) bulunur.
5. Eşdeğer devre uçlarına, asıl devreden ayrılan yük bağlanarak çözümleme yapılır.

Bu adımlar izlenerek yapılan örnek bir çözümleme aşağıda verilmiştir.

Şekil:17.11(a)daki devrede, R_2 üzerinden geçen akım sorulmaktadır.



Şekil 17.11: Thévenin eşdeğer ile çözümlenecek devrenin (a) önce yük açısından eşdeğer direnimi (b) bulunur. Daha sonra yük uçları a/d iken bu uçlar arasındaki gerilim belirlenir (c) ve son olarak bu gerilim ve direnimsel değeri seri bağlanarak Thévenin eşdeğeri (d) elde edilir.

Çözümleme için, izlenecek yol şöyle olmalıdır.

1. R_2 üzerinden geçecek akım bulunacağına göre R_2 yük kabul edilir. Thévenin eşdeğeri, direncin solundaki devre için çıkarılacaktır.
2. Gerilim kaynağının iç direnci sıfır olduğundan, V kaynağı yerine bir k/d koyulur.
3. Bu yeni devrede yük uçlarından görülen eşdeğer direnimsel,

$$\begin{aligned} Z_{TH} &= -jX_C + \frac{(R)(X_L \angle 90^\circ)}{R + jX_L} \\ &= -j10 + \frac{(10)(10 \angle 90^\circ)}{(10 + j10)} \\ &= 7,07 \angle -45^\circ \Omega \end{aligned}$$

olarak bulunur.

4. Kaynak yeniden devreye koyularak Şekil:17.11(c)deki devre elde edilir. Bu devrede a/d nedeniyle sığaç üzerinden hiçbir akım geçmediği için, V_{TH} değeri, bobin uçlarındaki gerilime eşit olacaktır. Buna göre

$$\begin{aligned}
V_{TH} &= \frac{(V)(X_L \angle 90^\circ)}{R_1 + jX_L} \\
&= \frac{(24 \angle 0^\circ)(10 \angle 90^\circ)}{10 + j10} \\
&= 16,97 \angle 45^\circ V
\end{aligned}$$

olarak Thévenin eşdeğer gerilimi bulunur.

5. Son olarak R_2 direnci yeniden çıkarıldığı yere bağlanır ve,

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_2}$$

eşitliğinde direnç değeri yerine koyularak akım bulunur.

Thévenin eşdeğer devre ile çözümlenmenin en yaygın kullanım alanı, bir devreye sürekli değişik elemanların bağlandığı tasarım aşamalarıdır. Bir kez eşdeğer elde edildikten sonra, değişik elemanlar için istenilen değerlerin bulunması kolaydır.

17.7. AC DEVRELERDE NORTON KURAMI

Norton kuramı, Thévenin kuramının akım benzeşidir ve sabit kaynak ve dirençlerden oluşan iki uçlu, doğrusal, çiftyönel bir devrenin, bir akım kaynağı ile buna koşut bir dirençle gösterilebileceğini öngörür.

Şekil:17.12deki devrenin incelenmesi, dönüşümün anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Yük geriliminin her koşulda aynı olması, iki devrenin eşdeğer olduğunu gösterir. Yine devrenin doğrusal olması nedeniyle açık devre ve kısa devre için eşdeğerlik koşulunun sağlanması, diğer tüm yük değerleri için eşdeğerlik koşulunun sağlanabileceğini belirtir.

Kısa devre durumunda, eşdeğer devredeki akım kaynağının değeri, kısa devre edildiğinde uçlar arasında akacak akıma eşit olmalıdır. Norton eşdeğer empedansı, uçlardan bakıldığında görülen empedansa eşit ise, açık devre koşulu da sağlanır.

Norton eşdeğer incelendiğinde,

$$I_N = \frac{V_{a/d}}{Z_N}$$

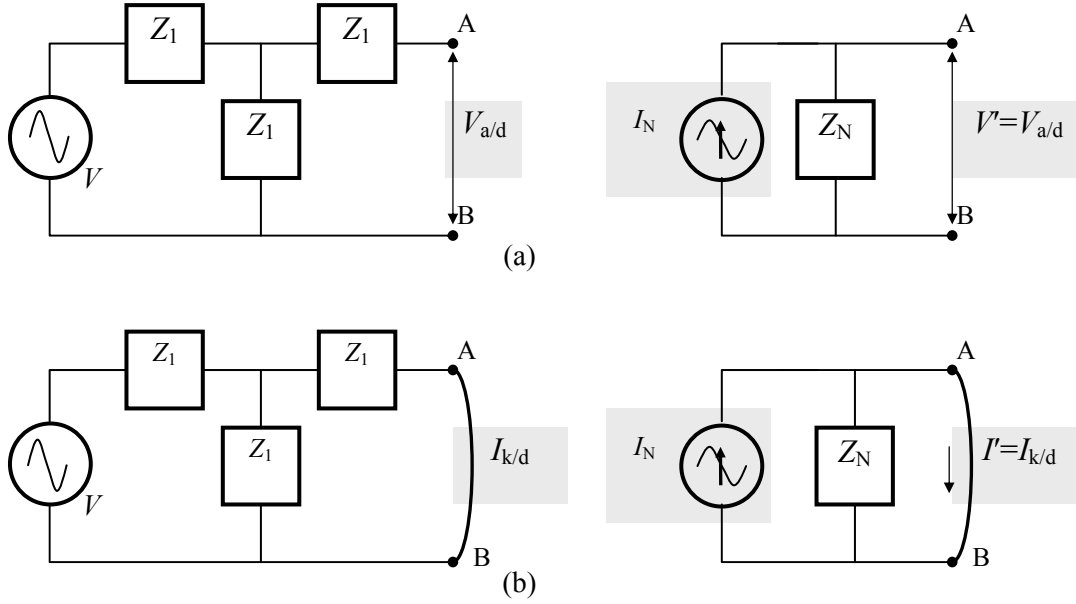
olduğu görülür. Burada $V_{a/d}$, uçlar arası açık devre iken ölçülen gerilimi göstermektedir.

Thévenin eşdeğer devrede olduğu gibi, Norton eşdeğer devrede de I_N ve Z_N değerleri sıklık ile değiştiğinden, çözümlenme yalnızca tek bir frekans için doğrudur. Kaynak frekansının değişmesi, yeni bir çözümlenme yapılmasını gerektirir.

Norton eşdeğer devrenin elde edilmesinde izlenecek yol aşağıdaki gibidir.

1. Norton eşdeğer devresi çizilecek devre ve buna bağlı yük belirlenir.

2. Yük, eşdeğeri çizilecek devreden ayrılır.
3. Yükün ayrıldığı uçlar kısa devre edilerek buradan geçecek akım (I_N) belirlenir.
4. Devrenin uçları bu kez açık devre yapılır ve kaynaklar yerine kaynakların içdirençleri bağlanır. Bu durumda yükün ayrıldığı uçlardan devreye



Şekil 17.12: Bir ac devre ile bu devrenin Norton eşdeğerinde, açık devre gerilimi (a) ve kısa devre akımı (b) aynı olur.

bakınca görülen direnım (Z_N) belirlenir.

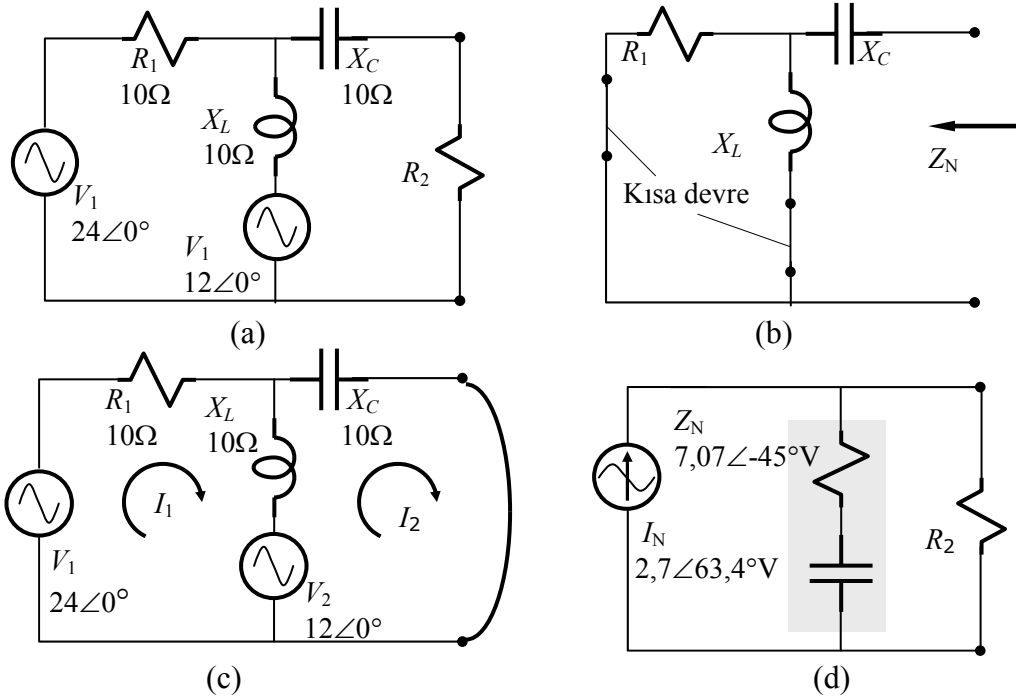
5. Son olarak ikinci adımda devreden ayrılan yük yeniden bağlanarak istenilen elektriksel büyüklüğü bulmak için çözümlene yapılır.

Sıralanan bu adımların örnek bir uygulaması Şekil:17.13te verilmiştir.

1. R_2 üzerinden geçecek akım bulunacağına göre R_2 yük kabul edilir. Norton eşdeğer, direncin solundaki devre için çıkarılacaktır.
2. Gerilim kaynaklarının içdirençleri sıfır olduğundan, V_1 ve V_2 kaynakları yerine birer k/d koyulur.
3. Bu devrede R_2 uçlarından görülen eşdeğer direnım,

$$\begin{aligned}
 Z_N &= -jX_C + \frac{(R)(X_L \angle 90^\circ)}{R + jX_L} \\
 &= -j10 + \frac{(10)(10 \angle 90^\circ)}{(10 + j10)} \\
 &= 7,07 \angle -45^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Bilindiği gibi Thévenin ve Norton eşdeğer direnimleri aynıdır. Bulunan bu sonuç da, Thévenin eşdeğerle çözülen bir önceki devrenin direnimi ile aynı çıkmıştır.



Şekil 17.13: Norton eşdeğer ile çözümlenecek devrenin (a) önce yük açısından eşdeğer direnimi (b) bulunur. Daha sonra yük uçları k/d iken bu uçlar arasından geçen akım belirlenir (c) ve son olarak bu akım ve direnım değeri koşut bağlanarak Norton eşdeğer (d) elde edilir.

4. Şimdi kaynaklar yerlerine bağlanarak, R_2 'nin ayrıldığı uçların kısa devre edilmesi durumunda buradan geçen akım bulunmalıdır. Bunun için elde edilen iki gözlü devrede çözümlenecektir.

1. gözde saat ibresi yönünde KGY uygulanarak,

$$\begin{aligned}
 -V_1 + I_1 X_L \angle 90^\circ - I_2 X_L \angle 90^\circ + V_2 &= 0 \\
 -24 + I_1(10 + j10) - I_2(10 \angle 90^\circ) + 12 &= 0 \\
 -12 + (14,14 \angle 45^\circ)I_1 - (10 \angle 90^\circ)I_2 &= 0
 \end{aligned}$$

yazılabilir. Benzer biçimde 2. Göz için de,

$$\begin{aligned} -V_2 + I_2 X_L \angle 90^\circ - I_1 X_L \angle 90^\circ + I_2 X_C \angle -90^\circ &= 0 \\ -12 + I_2(j10 + j10) - I_1(10 \angle 90^\circ) &= 0 \\ -12 + (0)I_2 + (10 \angle 90^\circ)I_1 &= 0 \end{aligned}$$

yazılır. Buradan,

$$I_1 = 1,2 \angle 90^\circ \text{ A}$$

bulunur. Devreden görülebileceği gibi I_2 , kısa devre akımına yani I_N değerine eşittir. Bulunan I_1 değeri denklemde yerine koyularak,

$$I_2 = I_N = 2,68 \angle 63,43^\circ \text{ A}$$

bulunur.

17.8. EN YÜKSEK GÜÇ AKTARIMI

Yüke bağlı bir alternatör ile, alıcıya bağlı bir antenin ortak yönleri vardır. Bu iki devrede de, bir yüke güç aktarılmaktadır. Alternatör devresinde göz önüne alınan temel düşünce yüksek verimdir. Ancak anten devresinde önemli olan, olabildiğince fazla gücün alıcıya aktarılmasıdır. Bu iki devrede iki değişik amaç güdülmesinin arkasında, alternatör devresinde çok yüksek güçler söz konusu iken, antendeki gücün ancak μW düzeyinde olmasıdır. Alternatör devresindeki küçük yitim ve verimsizlikler, çok fazla güç kaybı oluşturur. Diğer yandan antendeki güç çok az olduğundan, kayıplar önemszenmeden olabildiğince fazla gücün alıcıya iletilmesi düşünülür.

EYGA, bir kaynağın bir yüke en çok gücü aktardığı koşuldur. Bu koşul sağlandığında, yük ile kaynağın *uygunlaştırıldığı* söylenir.

Bilindiği gibi dc devrelerde maksimum güç transferi, kaynak iç direnci ile yük direnci eşit olduğunda sağlanır. ac devrelerde EYGA için olası iki durum vardır. Bunlar,

1. Kaynak ve yük direnimleri dirençsel.
2. Kaynak ve yük direnimleri karmaşık, yük faz açısı değişken.

Durum 1: Z_k ve Z_y rezistif.

Yük empedansı dirençsel olduğuna göre,

$$Z_Y = R_Y + j0$$

olmalıdır. Buna göre yükte tüketilen güç,

$$P_Y = I^2 R_Y$$

olacaktır. Devre akımı,

$$I = \frac{V}{R_K + R_Y}$$

olduğuna göre yükte tüketilen güç,

$$P_Y = \frac{V^2 R_Y}{(R_K + R_Y)^2}$$

olarak bulunur. Bu eşitlik, dc devrelerdeki maksimum güç eşitliği ile aynıdır. $R_Y=R_K$ koşulunda yüke aktarılan güç,

$$P_{\max} = \frac{V^2}{4R_Y} = \frac{V^2}{4R_K}$$

eşitlikleri ile bulunabilir.

EYGA koşulunda verim yalnızca %50 olur. Çünkü gücün yarısı, kaynak iç direnci üzerinde tüketilmektedir. Bu nedenle enerji dağıtım dizgelerinde maksimum güç transferi koşulu sağlanmaz, sağlanması istenmez.

Durum 2: Z_K ve Z_Y karmaşık, yük evre açısı değişken.

Yük direniminde tüketilen güç yine $I^2 R_Y$ ile belirlidir. Ancak bu kez akım,

$$|I| = \frac{|V|}{|Z_{eş}|} = \frac{V}{\sqrt{(R_K + R_Y)^2 + (X_K + X_Y)^2}}$$

eşitliği ile belirlidir. Buna göre yükte tüketilen güç,

$$P_Y = \frac{V^2 R_Y}{(R_K + R_Y)^2 + (X_K + X_Y)^2}$$

olacaktır. Yük direnimi, kaynak direnimine eşit ve 180° ters yapılırsa (endüktif yük kapasitif kaynak yada tersi), kaynak direnimi ile yük direniminin etkileri birbirini götürerek ve yükte tüketilen güç,

$$P_Y = \frac{V^2 R_Y}{(R_K + R_Y)^2}$$

olacaktır. Durum 1deki ile aynı olan bu eşitlikte, $R_Y=R_K$ koşulu da sağlanarak, aktarılan güç daha da artırılabilir.

Bu sonuçlara dayanılarak, yükte tüketilen gücün, kaynak empedansı ile yük empedansı eşlenik olduğunda ($Z_K=R+jX \Rightarrow Z_Y=R-jX$ yada $Z_K=R-jX \Rightarrow Z_Y=R+jX$) en yüksek olacağı görülmektedir. Aktarılan güç miktarı ve verim, Durum 1deki ile aynıdır.

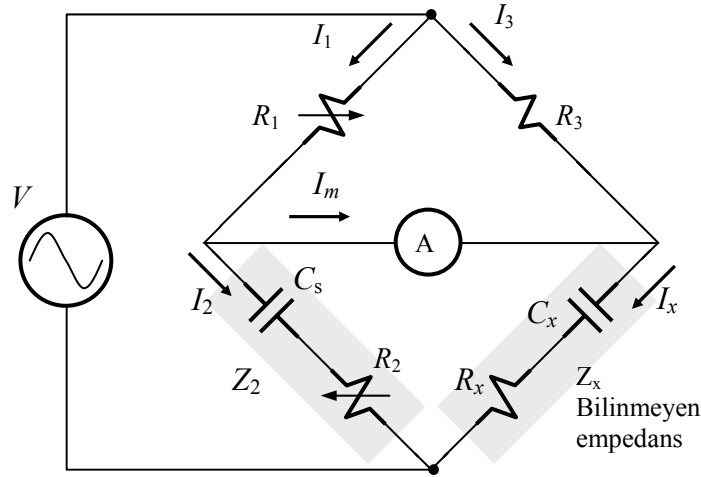
17.9. KÖPRÜ DEVRESİ

Köprü devresi, bilinmeyen bir empedans değerinin hassas olarak belirlenmesi için kullanılan bir devredir. devrenin yapısı Şekil:81de görülmektedir.

Köprü devresi ölçme için kullanılırken devredeki bir yada daha çok direnimsel değeri, akımölçerden geçen akım sıfır olana dek ayarlanır. Orta kol akımı sıfır olduğunda, köprü dengededir. Orta koldaki ölçü aleti yerine osiloskop yada kulaklık kullanılan devreler de vardır.

Bir köprü devresinde denge durumunda aşağıdaki eşitlikler sağlanmış olur:

$$\begin{aligned} I_m &= 0 \\ V_m &= 0 \\ I_1 R_1 &= I_3 R_3 \\ I_2 Z_2 &= I_x Z_x \\ I_1 &= I_2 \\ I_3 &= I_x \end{aligned}$$



Şekil 17.14: Sığaç karşılaştırma köprüsü, sığa ölçmek için kullanılır.

Son dört eşitliğin birleştirilmesi ile,

$$\frac{R_1}{Z_2} = \frac{R_3}{Z_x}$$

yada

$$Z_x = \frac{R_3 Z_2}{R_1}$$

elde edilir. Bu eşitliğin tutması için hem büyüklükler hem de açılar eşit olmalıdır. Buna göre denge için Z_x bilinmeyen direniminin gerçek bölümü, $(R_3 \cdot Z_2)/R_1$ teriminin gerçek bölümüne, tepkin bölümü de aynı teriminin tepkin bölümüne eşit olmalıdır.

$$Z_x = R_x - jX_{C_x}$$

ve

$$Z_2 = R_2 - jX_{C_s}$$

olduğuna göre,

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

$$C_x = \frac{C_s R_1}{R_3}$$

olarak eleman değerleri belirlenir. buna göre eşitliklerin sağındaki değerler bilindiğine göre, bilinmeyen empedansın değeri hesaplanabilir. Ölçme amaçlı köprü devrelerinde bu hesaplamaların yapılması gerekmez çünkü genellikle ölçekli bir kadran üzerinde yada sayısal bir göstergede ölçülen değerler görülebilir.

BÖLÜM 18

TRANSFORMATÖRLER

MANYETİK CAZİBE

André Ampère 1775 yılında Fransa'da Lyon yakınlarında doğmuştur. Babası ona özel dersler veren zengin bir ipek tüccarıydı. André onlu yaşlarına geldiğinde pek çok büyük matematikçinin eserlerini okumuştur. André, çok ileri matematik yeteneğinin yanında bir de fotografik belleğe sahipti ve bu nedenle pek çok bilim profesörü için tam bir kabustu.

1796 yılında özel matematik, kimya ve dil dersleri vermeye başladı. 1799 yılında öğrencilerinden birisi ile evlendi. 1801 yılında Bourg'da fizik profesörlüğü teklifi aldı ve karısı hasta olduğu için yalnız başına gitti. Birkaç gün sonra karısı öldü ve Ampère yaşamı boyunca bu darbeden kurtulamadı. Yaşamının sonraki yıllarında arkadaşlarından birisine, karısının ölümüyle, yaşamı boyunca çalışmalarından başka hiçbir şeyi sevmediğini fark ettiğini itiraf edecektir. 1809 yılında Paris'teki École Polytechnique'te profesör oldu ve ölene dek bu görevde kaldı.

1820 yılında, Hans Christian Oersted'in `pusula iğnesinin akım taşıyan tel tarafından saptırılması keşfi'ne tanık olan Ampère, bilimsel kafa yapısı ile elektromanyetizmaya attığı ilk temel adımdan ilham aldı ve deneylere başladı. Birkaç hafta içinde keşfi büyük adım ve sıçramalarla geliştiren Ampère, pek çok elektromanyetizma yasasını matematiksel olarak gösterdi. Ayrıca akım taşıyan bir bobinin mıknatıs gibi davrandığını ve eğer içine demir bir çubuk yerleştirilirse, bu demirin manyetize olacağını keşfetti. Bu aygıtta günümüzde elektromıknatıslar için hala kullanılan solenoid adını verdi. Elektrikteki başarıları nedeniyle temel elektrik akım birimi, Ampère olarak adlandırıldı. 10 Haziran 1836 tarihinde kendi deyişiyile "kırk bir kalp" nedeniyle Marseille'da öldü.

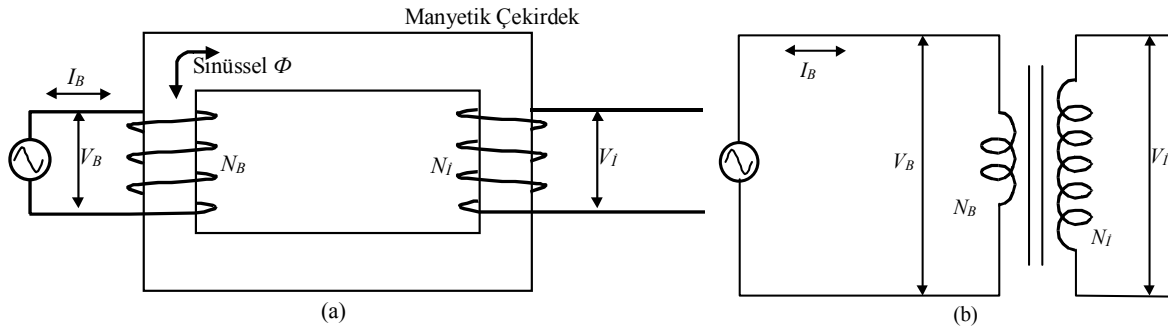
18.1 GİRİŞ

Transformatörler olmaksızın, ac kullanımı ile ilgili yararların neredeyse hiçbiri gerçekleşemez. Dönüştürücüler kullanılmadan sözgelimi güç dağıtımı yalnızca tek kaynak ile ve ancak kısa uzaklıklar için gerçekleştirilebilir. Transformatör olmasa, gerilim değiştirmek için dirençlerin kullanılması gerekeceğinden, elektronik uygulamalar olanaksız yada verimsiz duruma gelirdi. Gerilimin artırılması ise son derece verimsizleşirdi.

Dönüştürücülerin çalışma ilkesi son derece basittir. İki bobin, manyetik alan ile birbirine bağlanır. Bu dizgenin oluşturduğu karşılıklı endüktans nedeniyle, bobinlerden birine uygulanan ac, bobinlerin endüktif niteliklerine bağlı olarak diğer bobine aktarılır. Dönüştürücü oluşturan iki bobin, hava yada demir çekirdek üzerine sarılabilir. Kullanılan her çekirdek türü, değişik amaçlara yönelik değişik özellikler taşır. Bu basitlik temelinde, ses, dağıtım ve yalıtım gibi amaçlarla kullanılan özel amaçlı dönüştürücüler üretilmektedir. En yaygın kullanılan dönüştürücü türleri sırasıyla gerilim düşüren ve gerilim yükselten transformatörlerdir.

Dönüştürücü, bobinleri bağlayan manyetik alan yolu ile, bir bobinden diğerine erk aktaran bir araç olarak tanımlanabilir. Bu erk, daha düşük, daha yüksek yada aynı gerilimde aktarılabilir.

18.2 DÖNÜŞTÜRME ORANI



Şekil 18.1: Demir çekirdekli transformatör yapısı (a) ve elektriksel gösterimi (b).

İki bobin arasındaki karşılıklı endüktans, bobinlerden birisine uygulanan değişken akımın, diğer bobinde gerilim oluşturmasına neden olur. Transformatör, karşılıklı endüktans özelliğinin doğrudan bir uygulamasıdır. Şekil:18.1deki gibi aynı manyetik çekirdek üzerine sarılmış bobinler, 1'e yakın bağlaşım kazanırlar. Bobinlerden birisine (primary-birincil) ac uygulanırken diğer bobine de (secondary-ikincil) yük bağlanır. Genellikle bu iki bobinin sarım sayıları birbirinden farklıdır. Birincil bobin sarım sayısının (N_B), ikincil bobin sarım sayısına (N_I) oranı, dönüştürme oranı (n) olarak adlandırılır ve,

$$n = \frac{N_B}{N_I}$$

eşitliği ile bulunur.

Şekil:18.1deki dönüştürücüde, Faraday Yasasına göre birincil ve ikincil bobin gerilimleri,

$$V_B = N_B \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

ve

$$V_I = N_I \frac{\Delta\Phi_I}{\Delta t}$$

olarak belirlidir. Birincil ve ikincil sargılar aynı çekirdek üzerinde buldukları için akıları ortaktır. Buna göre yukarıdaki eşitliklerde akı değerleri aynı olacağından,

$$\frac{V_B}{N_B} = \frac{V_I}{N_I}$$

sonucu elde edilir. Bu eşitlik düzenlenerek,

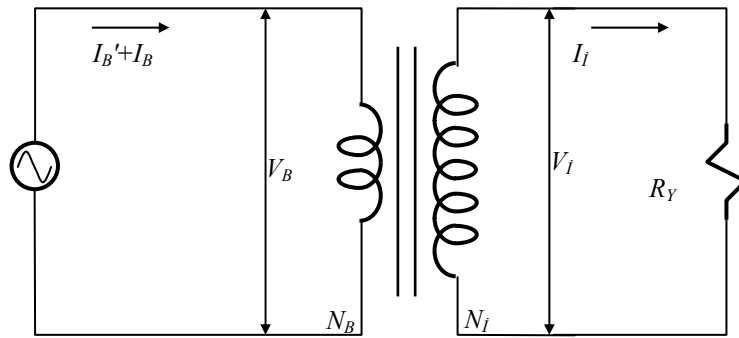
$$\frac{V_B}{V_I} = \frac{N_B}{N_I} = n$$

biçimine getirilebilir. Bu eşitliğe dönüştürme oranı denir ve sonucu birimsizdir. Buna göre ikincil gerilimi,

$$V_I = V_B \times \frac{N_I}{N_B}$$

olarak bulunur.

Buna göre eğer $N_I > N_B$ ise $V_I > V_B$ olacaktır. Bu durumda aygıt, yükselten (çıkış gerilimi girişe göre yüksek olan) dönüştürücü olarak adlandırılır. Yükselten dönüştürücüler için dönüştürme oranı 1'den küçüktür.



Şekil 18.2: Yüklü dönüştürücüde akım ve gerilim değerleri.

$N_I < N_B$ olduğunda ise $V_I < V_B$ olacak ve dönüştürücü, düşüren (çıkış gerilimi girişe göre düşük olan) dönüştürücü olarak adlandırılacaktır. Düşüren dönüştürücülerde dönüştürme oranı 1'den büyük olur.

Transformatör ikincil uçlarına yük bağlı değilken birincilden geçen akıma (I_B') uyarım yada manyetizasyon akımı denir. Bu akımın değeri çok küçüktür ama, çekirdekte değişken akı yaratmak için yeterlidir. İkincil sarıma bir yük bağlandığında oluşacak durum, Şekil:18.2de verilmiştir.

V_I ve R_Y değerlerine bağlı olarak bir I_I akımı oluşur ve bu akım N_I üzerinden, Lenz Yasası uyarınca, kendini oluşturan akıya ters yönde bir akı yaratacak yönde geçer. Yük akımı tarafından üretilen demanyetizasyon kuvveti (mmk), $N_I I_I$ eşitliği ile tanımlıdır.

Yükte tüketilen güç nedeniyle azalan akıyı artırmak ve başlangıçtaki düzeyine çıkarmak için birincil sargı, ek olarak I_B kadar daha akım çekmelidir. Bu manyetizasyon kuvveti ($N_B I_B$), demanyetizasyon kuvvetine eşit olmak zorundadır. Buna göre,

$$N_B \cdot I_B = N_I \cdot I_I$$

yazılır. Bu eşitlikte $n=N_B/N_I$ dönüştürme oranı yerine koyulursa birincil ve ikincil sarımların oranı,

$$\frac{I_I}{I_B} = \frac{N_B}{N_I} = n$$

olarak bulunabilir. Yukarıdaki iki eşitlik birleştirilirse dönüştürücü akım ve gerilimlerinin,

$$\frac{I_I}{I_B} = \frac{V_B}{V_I} = n$$

eşitliği ile birbirlerine bağlı olduğu görülür.

Buna göre dönüştürücü, gerilimi belli bir oranda yükseltiyorsa, akımı da aynı oranda düşürüyor demektir.

18.3 AKIM, GERİLİM, GÜÇ VE VERİM

Yukarıdaki eşitlikler, verimi %100 olan bir dönüştürücü için geçerlidir. Buna göre yitimsiz bir dönüştürücüde primer ve sekonder güçleri birbirine eşit olur. Transformatörlerin çıkış gücü watt yerine genellikle volt-amperé (VA) olarak verilir. Çünkü kullanılan yükler her zaman dirençsel değildir ve dirençsel olmayan yüklerde akım ve gerilim ayrı evrelidirler. $P=V.I$ eşitliği ise yalnızca akım ve gerilim eşevreli olduğunda geçerlidir.

Hesaplamalar için, tersi belirtilmedikçe, tüm yükler dirençsel ve dönüştürücü verimi%100 varsayılır. Dönüştürücünün giriş ve çıkış güçleri,

$$P_G = V_B \cdot I_B$$

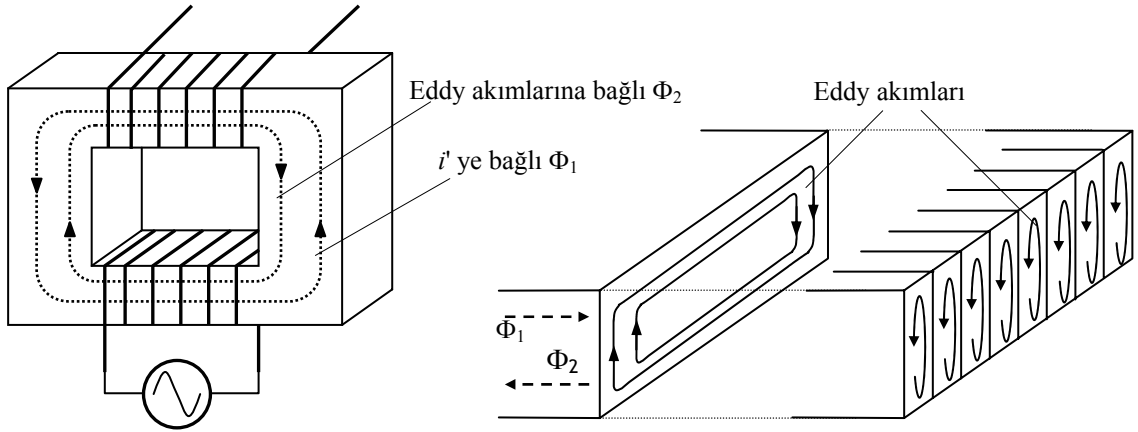
ve

$$P_{\zeta} = V_I \cdot I_I$$

olarak hesaplanır. Bir transformatör, yükselten tür olsa bile, gücü yükseltmez ve yükseltmez. Gerilimin artmasına, eşit oranda akım azalması (tersi-tersi) eşlik eder. Dönüştürücünün ikincilinden çekilebilecek güç, en iyimser varsayım ile, birincilin kaynaktan çektiği güce eşit olabilir.

Dönüştürücü kabaca, manyetik bağlaşımla enerji aktaran bir ayardır ve girişi ile çıkışı arasında (arızalı durumlar ve ototransformatörler dışında) elektriksel bir bağlantı yoktur.

Gerçek bir dönüştürücüde çıkış gücü, dönüştürücüdeki yitimlere bağlı olarak, giriş gücünden biraz daha az olur.



Şekil 18.3: Tekparça ve dilimli çekirdeklerde Eddy akımları. Anlık akı ve akım yönleri gösterilmiştir.

Bir dönüştürücüdeki yitimler üç bölümde toplanabilirler:

1. *Sarımdaki I^2R yitimleri.* Primer ve sekonder sargıların dirençleri nedeniyle giriş gücünün bir bölümü dönüştürücü içinde ısıya dönüştürülecektir. Genellikle bakır yitimleri olarak adlandırılan bu güç, $P=I^2R$ eşitliği ile hesaplanır.
2. *Histerezis yitimleri.* Demir çekirdek içindeki manyetik akı, saniyede 50 kez (besleme dönüştürücülerinde) tam tersi yöne dönmektedir. Demir çekirdek içinde akının yön değiştirmesi, ısı erki açığa çıkarır. Bu ısının miktarı ve dolayısıyla neden olacağı yitim miktarı, çekirdek yapımında kullanılmış malzemenin $B-H$ halkasının alanına bağlıdır.
3. *Eddy akım yitimleri.* Demir çekirdekteki değişken akı, kendisi de iletken olan çekirdekte bir emk oluşturur. Bu emk, çekirdek içinde akı eksenine dik olarak elektrik akımını geçmesine neden olur. Şekil:18.3te Eddy Akımları ve azaltılması için alınan önlem gösterilmiştir.

Çekirdekte dolaşan Eddy akımları, çekirdek direncine bağlı bir ısı üreterek ($P=I^2R$) çıkışa aktarılabilecek gücün azalmasına neden olurlar. İndüklenen Eddy akımları ayrıca çekirdekte ters yönde bir akı yaratıp, birincilin çekirdekteki akıyı sürdürmek için daha fazla akım çekmesine neden olarak yitimlerin daha da artmasına neden olurlar.

Eddy akımları, pirinç, alüminyum gibi manyetik olmayan iletken çekirdekleri de ısıtabilirler. Bu özellik, endüstride indüksiyon fırınlarında kullanılmaktadır.

Çekirdekler, Eddy akımı yitimlerini azaltmak için, birer yüzeyleri verniklenmiş ince katmanlar kullanılarak üretilirler. Böylece verniğin direnci çok yüksek olduğu için Eddy akımları, daha az dirençli kısa yollar izlemek zorunda kalacaklardır. Parçalı çekirdek kullanılmasıyla, çekirdekte oluşan emk azalmamakla birlikte, direnç büyüdüğü için yitimler azalmaktadır.

Yitimler sıklık ile arttığı için, yüksek frekanslarda (RF transformatörlerinde), manyetik ve aynı zamanda iyi bir yalıtkan olan ferrit nüveler kullanılmaktadır. Böylece Eddy akımları azalarak ısıtma etkileri enaza indirilmektedir.

RF transformatörlerinde, yakındaki diğer devreleri değişken manyetik akıdan korumak için bakır gibi manyetik olmayan iletken kılıflar kullanılır. Buradaki ekranlama etkisi, Eddy akımlarınca kılıf içinde yaratılan ters yönlü manyetik alan ile oluşur. Kılıf aynı zamanda dönüştürücü, dışarıdaki değişken manyetik alanların etkisinden de korur.

Diğer yandan yüksek güçlü dönüştürücülerde genellikle manyetik kılıflar kullanılır. Çünkü Eddy akımlarının ekranlama özelliği yalnızca yüksek frekanslarda etkindir. Kılıf olarak kullanılan manyetik malzeme, bakır yada alüminyumdan geçebilecek düşük-sıklıklı ve durgun (dc taşıyan kablolar gibi) manyetik alanlardan transformatörü korur. Demir kılıf aynı zamanda dönüştürücü için mekanik koruma sağlar ve dış devreleri de transformatörün sızıntı akısından korur.

Büyük güçlü dönüştürücülerde verim %98~99,5 arasında olabilir. Bu yüksek verim değerlerinde bile dönüştürücü içinde üretilen ısı önemli miktarlardadır ve uzaklaştırılması gerekir. Çok büyük dönüştürücülerde soğutma amaçlı olarak sarımlar ve çekirdek içerisinde, elektriksel olarak yalıtkan olan bir yağ dolaştırılarak soğutma sağlanır.

Herhangi bir dizgedeki giriş ve çıkış güçleri arasındaki ilişkiyi veren

$$P_{Giriş} = P_{Çıktı} + yitimler$$

ifadesine göre belirlenen

$$\eta = \frac{P_{Ç}}{P_G} = \frac{P_{Ç}}{P_{Ç} + yitimler}$$

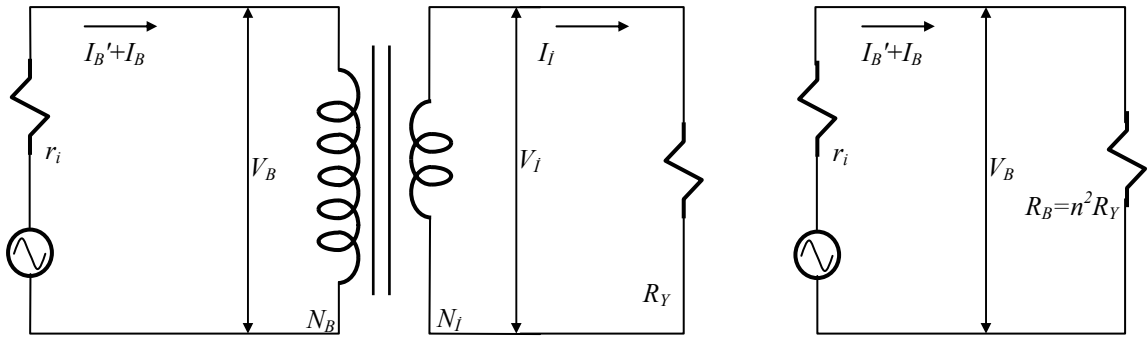
eşitliği uyarınca bir dönüştürücünün verimi,

$$\eta = \frac{P_i}{P_B} = \frac{P_i}{P_i + \text{yitimler}}$$

olur.

18.4 EMPEDANS UYGUNLAŞTIRMA

Bir dönüştürücünün ikinciline bağlanmış yük, birincilden bakıldığında, gerçek direncinden değişik olabilecek bir değerde görülür. Yansıtılmış yük değeri ile yük değeri arasındaki fark, dönüştürme oranına bağlı olarak belirlenir. Bu durum Şekil:18.4te açıklanmıştır.



Şekil 18.4: İkincile bağlanan R_Y , birincile $n^2 R_Y$ eşdeğeri ile yansıtılır.

Transformatörün sekonderine bağlanan bir yük direnci (R_Y) birincilden ek bir akım (I_B) geçmesine neden olur. Giriş gerilimi (V_B) göz önüne alındığında, bu akım, primere koşturbağlı bir yük direncinden (R_B) geçiyor denilebilir. Bu direncin değeri, dirençsel bir yük için birincil ve ikincil akımları aynı fazda oldukları için,

$$R_B = \frac{V_B}{I_B}$$

eşitliği ile belirlenir. Aynı zamanda birincil gerilimi,

$$V_B = n \cdot V_i$$

ve birincil akımı,

$$I_B = \frac{I_i}{n}$$

olduğu için yansıtılmış direnç değeri,

$$R_B = \frac{V_B}{I_B} = n^2 \frac{V_i}{I_i}$$

olarak bulunur. Sekonderin kendi direnci gözardı edilirse,

$$R_Y = \frac{V_I}{I_I}$$

olacağından, yansıtılmış yük eşitliği,

$$R_B = n^2 \cdot R_Y$$

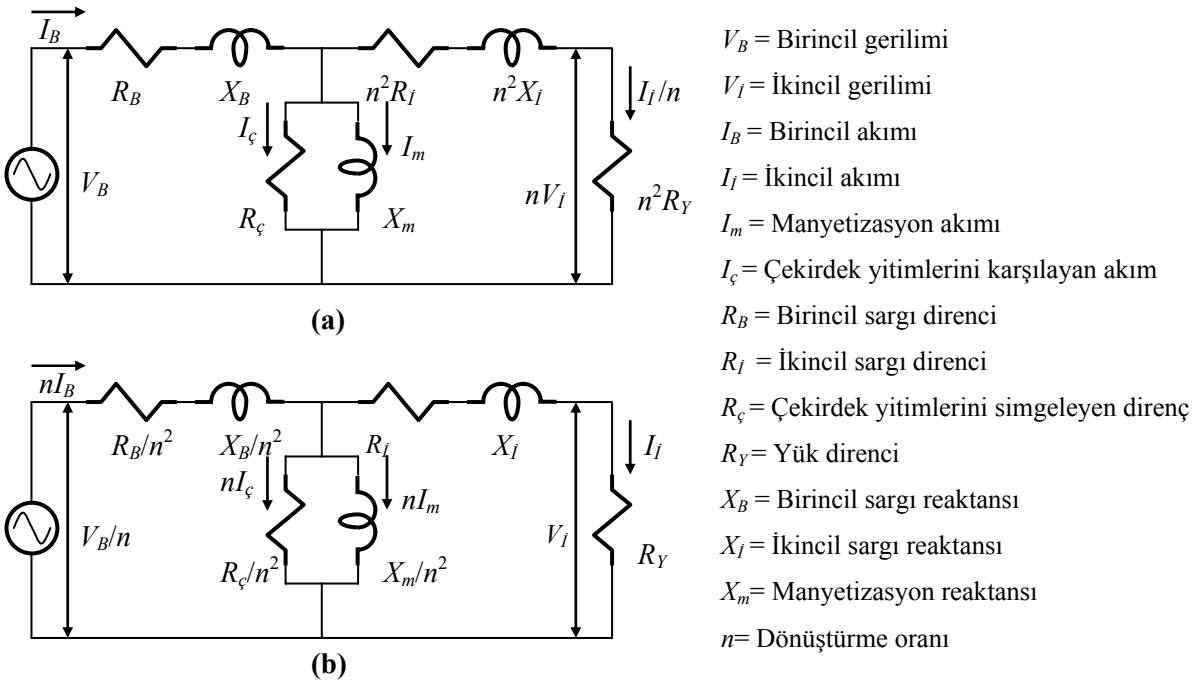
olarak bulunur. Burada R_Y ohm olarak sekondere bağlı yük direncinin değerini, R_B yine ohm olarak sekonderden birincile yansıtılan direnç değerini ve n birimsiz sayısı dönüştürme oranını göstermektedir.

Görüldüğü gibi dönüştürücü yalnızca gerilim ve akımı değil, aynı zamanda direnç değerini de dönüştürmektedir. Dönüştürücü, bu özelliğine bağlı olarak, elektronik devrelerde En Yüksek Güç Aktarımı için iki devre arasında direnç uygunlaştırmak amacıyla kullanılabilir. Bilindiği gibi EYGA için yük direnci ile kaynak içdirencinin birbirine eşit olması gerekmektedir.

Dönüştürme oranı uygun seçilmiş bir dönüştürücü, Şekil:18.4te R_Y olarak gösterilen yük direncini birincile, r ile gösterilen kaynak içdirencine eşit bir değerde yansıtır. Bu durumda kaynaktan yüke en yüksek güç aktarımı sağlanır.

18.5 DÖNÜŞTÜRECİN EŞDEĞER DEVRESİ

Görüldüğü gibi, gerçek bir transformatörde sızıntı ve yitimler vardır ve bağlaşım %100 değildir. Bu nedenle dönüştürücünün çıkış gerilimi yüke bağlı olarak değişir ve aygıt içinde bir miktar güç yitimi olur. Dönüştürücünün bu elektriksel özellikleri, Şekil:18.5teki eşdeğer devreler ile gösterilebilir.

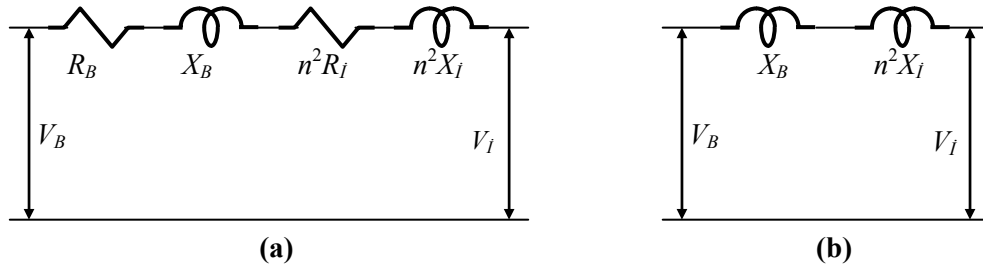


Şekil 18.5: Birincil (a) ve ikincil (b) tarafından dönüştürücünün yaklaşık eşdeğer devresi. Şebeke frekansı için kaçak sığalar göz ardı edilmiştir.

Bu eşdeğerlerden (a) ile gösterilen, primerden görülen eşdeğer devredir. Buradaki tüm bileşenler, primer terimleri cinsinden tanımlıdır. Görüldüğü gibi sürekli yitimler (çekirdek ve manyetizasyon yitimleri) birincil sargıda gösterilmektedirler. Şekil:18.5(b)de ise sekonderden görülen eşdeğer verilmiştir. Bu gösterimde tüm değerler ikincil terimleri cinsinden tanımlıdır.

Şekil:18.5teki devreler bir besleme dönüştürücünün, şebeke frekansındaki eşdeğeridir. Aslında dönüştürücünün birincil ve ikincil sargılarının kaçak sığaları ve bunlar arasındaki sızıntı sığası vardır. Ancak bu sığaların etkisi ancak yüksek frekans dönüştürücülerinde etkili olduklarından burada gösterilmemişlerdir.

İyi tasarlanmış demir çekirdekli dönüştürücülerde verim %95ten yukarıda olduğu için, bu tür dönüştürücülerde yitimlerin tümü gözardı edilerek yapılan hesaplamalar bile kabul edilebilir sonuçlar verecektir. Buna göre uyartım akımının olmadığı varsayılarak Şekil:18.6(a)da verilen yaklaşık eşdeğer devre kullanılabilir. Ancak bu yaklaşık eşdeğer kullanılarak çekirdek yitimleri hesaplanamaz. Şekil:18.6(b)de ise sarım dirençleri de gözardı edilmiş eşdeğer devre görülmektedir. Bu eşdeğer devrede dirençler bulunmadığı için verim incelemesi için kullanılamaz.



Şekil 18.6: Uyartım yitimlerinin (a) ve sarım dirençlerinin gözardı edildiği yaklaşık eşdeğer devreler.

18.6 K/D VE A/D DENEYLERİ

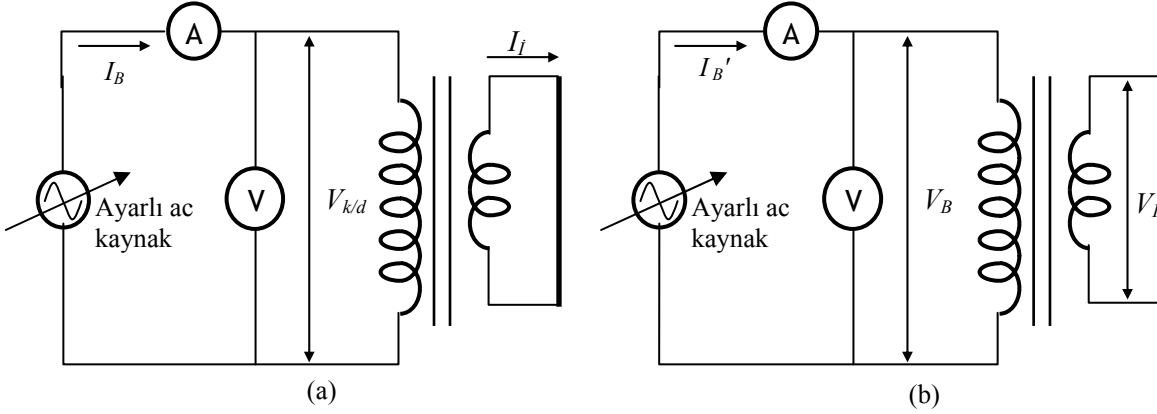
Bir transformatörün yitimlerini ve dolayısıyla verimini belirlemenin en iyi yolu, kısa-devre ve açık-devre deneyleridir. Bu yöntemin sağladığı kolaylıklardan en önemlisi, dönüştürücü gerçek gücünde çalıştıracak donanım gerektirmeyişidir. Bununla birlikte, dönüştürücünün çalıştırılmasını gerektirdiği için tasarım aşamasında kullanılamaz.

Bir dönüştürücüde kısa devre ve açık devre deneyleri için kullanılacak devre bağlantıları Şekil:18.7de görülmektedir.

Şekil:18.7(a)da bağlantısı görülen k/d deneyinde, dönüştürücünün ikincili kısa devre edilir. Birincile bağlı kaynak gerilimi, sekonderden tam yük akımı geçecek biçimde ayarlanır. Bu akım değeri tam olarak bilinmiyorsa, VA etiket değerinden hesaplanan akım değeri kullanılmalıdır. Kısa devre nedeniyle gerilim küçük olacağı için, uyartım yitimleri gözardı edilebilecek

düzeydedir. Bu nedenle, transformatörde tüketilen gücün tümü, sarımların dirençlerindeki I^2R yitimlerinden kaynaklanıyor denilebilir.

Bağlantısı Şekil:18.7(b)de verilen a/d deneyinde ise, ikincil sarım açık devre bırakılır ve birincile etiket gerilimi uygulanır. Dönüştürücü yüksüz olduğu için bu deneye boş çalışma deneyi de denir. Bu deneyde birincilden geçen akım çok küçük bir değerdedir. Akım çok küçük olduğu için bakır yitimleri gözardı edilebilecek düzeyde kalır. Bu durumda tüketilen tüm gücün, çekirdek ve uyartım yitimleri olduğu söylenebilir.



Şekil 18.7: Yitimleri belirlemek için yapılan ölçmeler. k/d (a) ve a/d deneyleri.

Görüldüğü gibi k/d deneyi ile bakır yitimleri ve a/d deneyi ile diğer yitimler bulunabilmektedir. Bu sonuçlara göre dönüştürücünün verimi,

$$\eta = \frac{P_i}{P_i + P_{k/d} + P_{a/d}}$$

eşitliği ile bulunur.

18.7 DÖNÜŞTÜRÜÇ TURLERİ

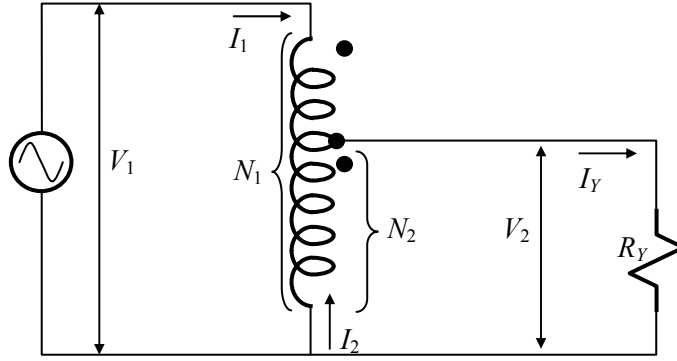
Şimdiye dek anlatılan temel dönüştürüçlere ek olarak, değişik amaçlar için kullanılan bazı başka dönüştürüç türleri de vardır. Kullanım amaçları ve üretim biçimlerine göre ayrılan bu dönüştürüçler, bu bölümde açıklanacaktır.

18.7.1 OTOTRANSFORMATÖR

Şekil:18.8deki gibi bazı dönüştürüçler, hem dönüştürme etkisiyle hem de doğrudan güç aktarımı yaparlar. Bu tür dönüştürüçlere ototransformatör denilir ve bir yada daha çok sayıda ara uçları vardır. Bu ara uçlardan birisi genellikle potansiyometre yada reostalardaki gibi kayar uçtur.

ac gerilimin ototransformatör ile ayarlanması, reosta yada potansiyometre ile ayarlanmasından çok daha verimli ve ekonomiktir. Çünkü aynı güçte çalışan normal dönüştürüçlerdekisinin tersine tek bir sarımı ve daha küçük bir çekirdeği vardır. Ancak ototransformatör yalnızca giriş ile çıkış arasında

yalıtımın önemli olmadığı durumlarda kullanılabilir. Çünkü görüldüğü gibi bir ototransformatörün girişi ile çıkışı arasında elektriksel bağlantı vardır.



Şekil 18.8: Düşüren tür ototransformatörün elektriksel gösterimi ve bağlantısı.

Şekil:18.8deki dönüştürücüde N_1 uçlarına uygulanan gerilim, N_2 uçlarında bir gerilim indüklenmesine neden olur. Bu gerilim değeri,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

eşitliğine bağlı olarak oluşur.

N_2 uçlarındaki gerilim yük direncine uygulanmıştır ve yükten I_Y akımını geçirmektedir. Yük akımı birincilden gelen I_1 ve ikincilden gelen I_2 akımlarının toplamıdır. Dönüştürücü verimi 1 sayılırsa giriş gücü ile çıkış gücü arasında,

$$I_Y \cdot V_2 = I_1 \cdot V_1$$

yada

$$\frac{I_Y}{I_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

eşitlikleri yazılabilir. Buna göre,

$$\frac{I_Y}{I_1} = n$$

olacaktır. Görüldüğü gibi primer ile sekonder arasındaki akım ve gerilim ilişkileri, iki sarımlı dönüştürücüdeki gibidir. Yük direncinde tüketilen güç,

$$P_Y = V_2 \cdot I_Y$$

olarak belirlidir. Yük akımı yerine değeri koyularak,

$$P_Y = V_2 I_1 + V_2 I_2$$

yazılabilir. I_2 ikincile endüksiyon ile aktarılan akımdır. Buna göre endüktif olarak aktarılan güç,

$$P_e = V_2 I_2$$

olarak bulunur. Yükte tüketilen gücün diğer bölümü ise primer akımı I_1 ile oluşmaktadır. Buna göre kaynaktan yüke doğrudan aktarılan güç değeri de,

$$Pd = V_2 I_1$$

olarak belirlenir.

18.7.2 HAVA ÇEKİRDEKLİ DÖNÜŞTÜREÇ

Hava çekirdekli dönüştürécin içinde demir yoktur. Bağlaşım bobinlerin birbirine yakınlığı ile sağlanır ve 1'den azdır.

Hava çekirdekli transformatörler, elektronik uygulamalarında kullanılırlar. Kullanım nedenlerinin başında, bu dönüştüréclerde histerezis ve eddy akımı yitimlerinin olmaması ve maliyetlerinin düşük olması gelmektedir. Ayrıca bu dönüştürécler, primer ve/veya sekonder sargılara koşut bir sığaç bağlanarak akort edilmişlerdir. Bu durumda dönüştüréc sarımları ile sığaçlar akort frekansında rezonansa gelerek, dönüştüréc uçlarında en yüksek gerilimin oluşmasını sağlarlar.

Bu transformatörlerin en yaygın uygulama alanlarından birisi, televizyon ve radyo alıcılarının arafrekans katlarında kullanılan IF transformatörleridir. Bu dönüştürécler, GM için 455kHz ve FM için 10,7MHz olan arafrekans değerlerinde en yüksek gerilimi sağlayacak biçimde akort edilmişlerdir.

18.7.3 YALITIM DÖNÜŞTÜRECİ

Genellikle onarım ölçmeleri için kullanılan yalıtım transformatörleri, gerilim dönüşümü yapmak amacıyla değil birincil ve ikincil devre arasında elektriksel yalıtım sağlamak amacıyla kullanılırlar. Ototransformatör dışındaki tüm dönüştürécler elektriksel yalıtım sağlarlar. Yalıtım dönüştürécini bunlardan ayıran özellik, giriş ve çıkış gerilimlerinin aynı olması yani dönüştürme oranının 1 olmasıdır.

Yalıtım transformatörü şebeke ile ölçme devreleri ve ölçü aygıtları arasında, düşük dirençli bir dönüş hattı oluşmasını engellediği için sekonder devresindeki kaçak yada hatalar, büyük zararlara yol açmadan atlatılır. Bu nedenle yalıtım transformatörlerinin en çok kullanıldığı yerlerin başında elektrik-elektronik tasarım, üretim, deney laboratuvarları gelir.

18.8 DİĞER DÖNÜŞTÜREÇ TÜRLERİ

Transformatörler genellikle içinde kullanıldıkları uygulamalara yada kullanım amaçlarına göre adlandırılırlar. Bu bölümde en yaygın olarak kullanılan bazı dönüştüréc türlerinin kısa tanımlamaları verilmiştir.

18.8.1 ÖLÇME DÖNÜŞTÜREÇLERİ

Yüksek-gerilim ac devrelerinde gerilim, akım ve güç ölçmeleri, aygıtın doğruca devreye bağlanması yoluyla yapılmaz. Bunun yerine akım ve/veya gerilimi belli oranlarda düşürüp ölçü aygıtının ölçme sınırları içine getiren,

ölçme transformatörleri kullanılır. Bu düzenleme ile, aynı zamanda işletmenlerin çok tehlikesi ve olası aygıt hasarları da azaltılmış olur. Ölçme dönüştürücüleri, *akım* transformatörü ve *gerilim* transformatörü olarak üretilirler.

Gerilim transformatörleri, küçük (50-600kVA) güç transformatörleridir. Bunlar primerlerine uygulanan gerilimi belli bir oranda düşürürler ve anma gerilimi uygulandığında sekonderinde 220V olacak biçimde tasarlanılmışlardır. Voltmetrede okunan değer in dönüştürme katsayısı ile çarpılmasıyla birincil devredeki yüksek gerilim değeri ölçülmüş olur.

Akım transformatörleri, yüksek akım taşıyan hatta seri bağlanacak biçimde tasarlanılmışlardır. Hatta eklenen direnci olabildiğince az tutmak için primerleri yalnızca bir kaç sarımdan oluşur. Akımın düşürülmesi gerektiği için ikincil sarım sayısı fazla olmalıdır. Sarım oranı genellikle, birincilden anma akımı geçiyorken sekonderde 5A geçecek biçimde seçilir. Bu dönüştürücülerin dönüştürme oranı, akım dönüştürme oranı olarak verilir. Örneğin 300A:5A yada 60:1 gibi gösterimler olabilir.

18.8.2 DAĞITIM TRANSFORMATÖRLERİ

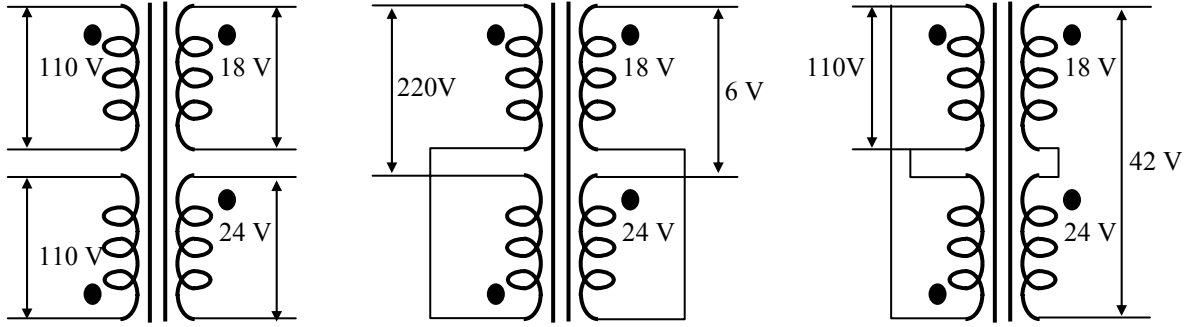
Dağıtım transformatörü, yüksek gerilimin kullanıcı gereksinimine uygun bir değere düşürülmesi için kullanılır. Genellikle 100~1000kVA dolayında güç değerlerinde üretilirler. Birincil sarımları, ülkemizde yaygın olarak kullanılan enerji iletim gerilimleri olan 6,3-10,5-34,5kVA değerlerinden birisidir. Dağıtım dönüştürücülerinin ikincil sarımları, dengesiz yüklerde gerilim düzenlemesinin bozulmamasını sağlayan zigzag bağlantı kullanılarak sarılırlar. Dağıtım transformatörlerinin sekonderleri (boşta), 400V hat, 231V faz gerilimi üretirler.

18.8.3 GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ

Bu dönüştürücüler radyo, osiloskop, televizyon, işaret üretici gibi elektronik donanım a güç sağlamak için kullanılırlar. Şebeke gerilimini, bu aygıtların gereksindiği düşük gerilim değerlerine dönüştürecek ve aygıtın çalışması için gereken toplam gücü (çoğu durumda %10-20 fazlasını) sağlayacak biçimde seçilirler. Güç transformatörlerinin sekonder sargıları genellikle orta uçlu ve/veya çok uçlu yapırlar. Böylece çok sayıda besleme gerilimi ve simetrik besleme için uygun olmaları sağlanır.

18.8.4 ÇOK SARGILI TRANSFORMATÖRLER

Bir transformatörün primer ve sekonder sarımları ara uçlu olabildiği gibi, birincil ve ikincil taraflarında birbirinden (elektriksel olarak) bağımsız birden çok sargısı da olabilir. Bu tür dönüştürücülerin değişik bağlantıları ile, farklı dönüştürme oranları ve gerilimler elde edilebilir. Şekil:18.9da böyle bir dönüştürücü gösterilmiş ve olası bazı bağlantı durumlarında elde edilebilecek gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu bağlantılarda sargıların sarım yönleri önemli olduğu için nokta gösterimi ile belirtilmişlerdir.



Şekil 18.9: Çok sarımlı bir dönüştürücüde değişik bağlantılar ile elde edilen gerilim değerleri.

18.8.5 EMPEDANS UYGUNLAŞTIRMA TRANSFORMATÖRLERİ

Bu dönüştürücüler bir devrenin çıkış empedansı ile yük empedansı arasında uygunluk sağlamak için kullanılırlar. Dönüştürücünün sekonder direncini dönüştürme oranına bağlı olarak primere yansıtma özelliğinden yararlanarak tasarlanırlar. Bu dönüştürücüler elektronik devre uygulamalarında kullanılırlar. Bu grupta yer alan örneğin Ses İşareti Transformatörleri, yükseltecin çıkış empedansı ile hoparlör empedansını uygunlaştırarak, yükselteçten hoparlöre en yüksek gücün aktarılmasını sağlarlar.

RF uygulamalarında kullanılan hava çekirdekli ve ferrit çekirdekli dönüştürücüler de empedans uygunlaştırma amacıyla kullanılırlar. Bu transformatörlerin empedans uygunlaştırmakla birlikte bir başka özellikleri de akortlu olmalarıdır. Böylece belli bir sıklık değerinde çınlanıma girip en yüksek gerilim değerini oluştururlar.

18.8.6 SABİT GERİLİM DÖNÜŞTÜREÇLERİ

Sabit gerilim dönüştürücü, yük akımı ve/veya giriş gerilimi değişimlerinde, yük gerilimini bir değerde sabit tutan bir transformatördür. Bazı sabit gerilim trafoları, orta ucu bir elektrik motoru ile sürülen ototransformatörler ile oluşturulmuşlardır. Bunların girişi ile çıkışı arasında elektriksel yalıtım yoktur. Sabit gerilim transformatörü üretiminde kullanılan bir başka yöntem de, hareketli çekirdeklerdir. Motorla sürülen çekirdek yada çekirdek parçası yardımıyla bağlaşım katsayısı ve buna bağlı olarak çıkışa aktarılan gerilim değeri ayarlanır.

BÖLÜM 19

FREKANS YANITI VE

REZONANS

PARTİYE PİRZOLA GETİRMEK

Yakışıklı ve atletik Robert Noyce, Iowa Meclis üyelerinden birisinin oğluydu. 1948 yılının ilkbaharında üniversiteye yeni başlamışken arkadaşlarına bir Hawaii partisi vermeyi kararlaştırdı. Bu bir hata değildi ama, daha hırsız bulunamamışken çaldığı domuzu kızartmak hataydı. Çok gelecek vadeden bir öğrenci olan Noyce, okuldan atıldı ve bir sigorta şirketinde çalışmaya başladı.

Kısa bir süre sonra Noyce, yalnız kendisi için değil elektronik endüstrisi için de karlı olduğu daha sonra anlaşılacak çalışmalarına dönmek istediğini ayımsadı. MIT' den takdir öğrencisi ve parlak bir fizikçi olarak mezun oldu. Yarınletken tümdevreyi bularak Ulusal Bilim Madalyası Ödülünü kazandıktan sonra Intel Corporation' ı kurdu.

Günümüzde laser, 40 yıllık parmak izlerinin belirlenmesinde, uzay araştırma ve projelerinde, CD çalarlarda, yüzbinlerce telefon görüşmesini taşıyan yer altı fiber optik kablolarda, otomobil kaportalarının kaynatılmasında, biberon emziklerini delmekte, hologram denilen üç boyutlu görüntülerin yaratılmasında, cerrahların bisturisi olarak ve daha bir çok alanda kullanılmaktadır. İlk geliştirildiğinde "sorun arayan bir çözüm" denilen bir aygıt için pek de kötü bir başlangıç sayılmaz.

19.1 GİRİŞ

Bir devre, aygıt, alet yada elektronik sistemin frekans yanıtı, başarımının önemli bir ölçüsüdür. Her devre, aygıt, alet ve dizge, belli bir frekans aralığında çalışmak üzere tasarlanır.

Sözelimi ortalama bir stereo müzik setinde sıklık aralığı, 40~20.000Hz. kadardır. Sistemi oluşturan bileşenler, bu sıklık aralığındaki işaretleri seçip yükselterek, duyacağımız müziği oluştururlar. Benzer biçimde sözelimi osiloskop gibi elektronik bir ölçme aygıtı, çalışma aralığındaki işaretleri seçmeli ve işlemelidir. Osiloskopların çalışma sıklık aralıkları, mhzlerden Ghzlere dek uzanabilmektedir.

Sistemlerin frekans yanıtları karmaşık olabilir. Ancak bunlar genel olarak alt-geçiren, üst-geçiren, bant-geçiren ve bant-durduran olmak üzere dört temel gruba ayrılmıştır.

Alt-geçiren süzgeçler adlarından da anlaşılacağı gibi, devre bileşenlerinin belirlediği bir eşik frekansının altındaki frekansları geçiren devrelerdir. Bu sıklık değerine kadar giriş işaretleri, çok az bir zayıflatma ve dalgabıçımı bozulması ile çıkışa aktarılırken, bu frekansın üzerindeki işaretler topraklanırlar.

Üst-geçiren süzgeçlerde ise AGSlerin tersine, eşik frekansının altındaki değerler topraklanırken, bu sıklık değerinin üzerindeki bileşenler, zayıflama yada evre kayması olmaksızın çıkışa iletilirler.

Bant-geçiren ve bant-durduran süzgeçlerde ise iki eşik gerilimi vardır. BGSler bu iki eşik değeri arasındaki işaretleri geçirirken, BDSler eşik frekansları arasındaki işaret bileşenlerini topraklarlar.

Bu bölümde, belli frekans aralıklarında değişik aktarım özellikleri gösteren devreler ve çözümlenmeleri incelenecektir.

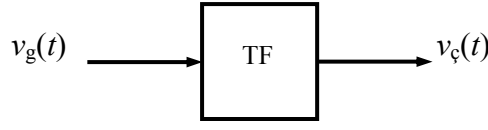
19.2 AKTARIM İŞLEVLERİ

Transfer fonksiyonu ve frekans yanıtı kavramları, bütün devre ve sistemleri kapsıyor olmakla birlikte burada yalnızca doğrusal dizgelerin aktarım işlevleri açıklanacaktır.

Bir sistem, $x(t)$ giriş işareti için aşağıdaki iki koşulu sağlıyorsa doğrusaldır.

1. $x(t)$ giriş işareti, $y(t)$ çıkış işareti yaratıyorsa, girişe uygulanan $K \cdot x(t)$ giriş işareti her K değeri için çıkışta $K \cdot y(t)$ işaretini oluşturmalıdır.
2. Girişe birden çok işaret uygulandığında, süperpozisyon özelliği sağlanmalıdır. Yani $x_1(t)$ giriş işareti $y_1(t)$ ve $x_2(t)$ giriş işareti, $y_2(t)$ çıkış işaretlerini oluşturuyorsa, $x_1(t) + x_2(t)$ giriş işareti için $y_1(t) + y_2(t)$ çıkış işareti elde edilmelidir.

Şimdi R , L ve C içeren doğrusal devrelerin davranışını ifade etmenin bir yolunu bulmaya çalışalım. Şekil:19.1deki blok diyagramda $v_g(t)$ giriş işareti kutu içindeki devre tarafından işlenerek, $v_c(t)$ çıkış işareti üretilmektedir. Devrenin giriş işaretine yanıtı, aktarım işlevi olarak adlandırılan matematiksel bir fonksiyondur.



Şekil 19.1: Bir sistem bileşenin blok

Şekil:19.1de görülen öbek çizgedeki $x(t)$, $y(t)$ ve TF arasındaki ilişkiyi tanımlamak için,

$$v_{\ç}(t) = TF \cdot v_g(t)$$

eşitliği yazılabilir. Buna göre aktarım işlevi,

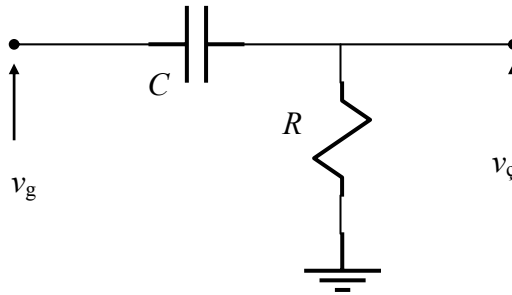
$$TF = \frac{v_{\ç}(t)}{v_g(t)}$$

olarak belirlenir.

Aktarım işlevi, birisi devrenin genlik yanıtını diğeri de evre yanıtını tanımlayan iki bölüme ayrılabilir. Genlik yanıtı, çıkış işareti genliğinin giriş işareti genliğine oranıdır. Evre yanıtı ise giriş işaretinin faz açısı ile çıkış işaretinin faz açısı arasındaki sapmayı gösterir.

Bazı bildik devreler için aktarım işlevlerinin, j işleci kullanılarak nasıl tanımlandıkları, aşağıda sırayla açıklanmaktadır.

19.2.1 ÜST GEÇİREN SÜZGEÇ (HPF)



Şekil 19.2: RC ÜGS devresi.

Şekil:19.2de devresi verilen RC üst geçiren süzgeçte (high pass filter) sığaç direnimi $-jX_C$ Ω ve direnç direnimi R Ω olarak belirlidir. Devrenin bir gerilim bölücü olduğu düşünülürse,

$$v_{\ç} = \left(\frac{R}{R - jX_C} \right) \cdot v_g$$

yazılabilir. Eşitliğin her iki yanını giriş gerilimine bölünerek aktarım işlevi,

$$TF = \frac{v_{\xi}}{v_g} = \frac{R}{R - jX_C}$$

olarak bulunur.

Bu aktarım işlevinin genlik ve faz bileşenlerinin bulunabilmesi için, eşitliğin sağındaki direnimlerin kutupsal biçimde yazılmaları gerekir. Direnç empedansı,

$$R \angle 0^\circ$$

olarak, $R - jX_C$ terimi ise,

$$\sqrt{R^2 + X_C^2} \angle -\tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

olarak yazılabilir. Kutupsal direnimler transfer fonksiyonunda yerine koyularak,

$$\frac{v_{\xi}}{v_g} = \frac{R \angle 0^\circ}{\sqrt{R^2 + X_C^2} \angle -\tan^{-1}(X_C/R)}$$

$$TF = \left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \right) \angle \tan^{-1}(X_C/R)$$

eşitliği elde edilir. Buna göre genlik yanıtı denklemi,

$$\frac{v_{\xi}}{v_g} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

olarak belirlenir. $f=0$ için X_C sonsuz olacağına göre doğru akım için genlik yanıtı,

$$\frac{v_{\xi}}{v_g} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \infty^2}} \cong \frac{1}{\sqrt{\infty^2}} \approx 0$$

ve çıkış gerilimi sıfır olur. Devre dc işaretin çıkışa ulaşmasını engeller.

Benzer biçimde $f=\infty$ için $X_C=0$ olacağından, aktarım işlevi

$$\frac{v_{\xi}}{v_g} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + 0^2}} = \frac{1}{\sqrt{R^2}} = 1$$

olarak bulunur. Bu durumda çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit demektir.

Devrenin faz yanıtı,

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

eşitliği ile tanımlandığına göre, $f=0$ ve $f=\infty$ için evre yanıtları sırasıyla,

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\infty}{R}\right)^0$$

$$\theta = +90^\circ$$

ve

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0}{R}\right)$$

$$\theta = 0^\circ$$

olarak bulunurlar.

19.2.2 ALT GEÇİREN SÜZGEÇ (LPF)

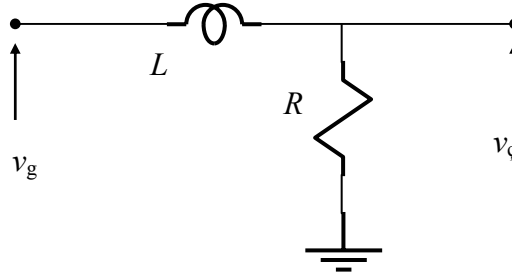
Şekil:19.3te devresi verilen RL alt geçiren süzgeçte (low pass filter) sığaç direnimi $jX_L \Omega$ ve direnç direnimi $R \Omega$ olarak belirlidir. Devrenin bir gerilim bölücü olduğu düşünülürse,

$$v_\zeta = \left(\frac{R}{R + jX_L}\right) \cdot v_g$$

yazılabilir. Eşitliğin her iki yanı giriş gerilimine bölünerek aktarım işlevi,

$$TF = \frac{v_\zeta}{v_g} = \frac{R}{R + jX_L}$$

olarak bulunur.



Şekil 19.3: RL AGS devresi.

Bu aktarım işlevinin genlik ve faz bileşenlerinin bulunabilmesi için, eşitliğin sağındaki direnimleri kutupsal biçimde yazılmaları gerekir. Direnç empedansı,

$$R \angle 0^\circ$$

olarak, $R + jX_L$ terimi ise,

$$\sqrt{R^2 + X_L^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right)$$

olarak yazılabilir. Kutupsal direnimler transfer fonksiyonunda yerine koyularak,

$$\frac{v_{\phi}}{v_g} = \frac{R \angle 0^{\circ}}{\sqrt{R^2 + X_L^2} \angle \tan^{-1}(X_L/R)}$$

$$TF = \left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \right) \angle -\tan^{-1}(X_L/R)$$

eşitliği elde edilir. Buna göre genlik yanıtı denklemini,

$$\frac{v_{\phi}}{v_g} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

biçiminde ve evre yanıtı da,

$$\theta = -\tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right)$$

olarak belirlenir. Devrenin $f=0$ ve $f=\infty$ için evre ve genlik yanıtı eşitlikleri de belirlenebilir.

$f=0$ için X_L sıfır olacağına göre doğru akım için genlik yanıtı,

$$\frac{v_{\phi}}{v_g} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + 0^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2}} = 1$$

olur. Buna göre devrenin çıkışı girişine eşit olacaktır. Faz yanıtı işlevi ise,

$$\theta = -\tan^{-1}\left(\frac{0}{R}\right) = 0^{\circ}$$

olarak belirlenebilir.

Benzer biçimde $f=\infty$ için $X_L=\infty$ olacağından aktarım işlevi,

$$\frac{v_{\phi}}{v_g} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \infty^2}} = \frac{R}{\infty} = 0$$

olarak bulunur. Bu durumda devre yüksek frekanslı işaretleri çıkışına geçirmiyor demektir.

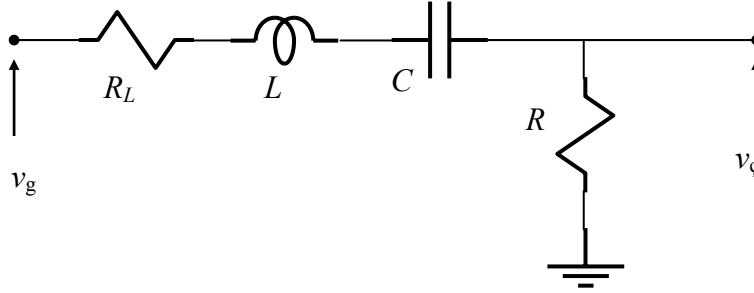
Devrenin faz yanıtı da,

$$\theta = -\tan^{-1}\left(\frac{\infty}{R}\right) = -90^{\circ}$$

olacaktır.

Bu devrede $f=0$ ve $f=\infty$ arasında, aktarım işlevi 1,0 ile 0,0 arasında, giriş çıkış arası faz açısı da, 0° ile -90° arasında değişmektedir.

19.2.3 BANT GEÇİREN SÜZGEÇ (BPS)



Şekil 19.4: RLC BGS devresi.

Şekil:19.4te devresi görülen RLC Bant Geçiren Süzgeç (Band Pass Filter) için de ÜGS ve AGS devrelerine benzer işlemler ile transfer fonksiyonu ve faz yanıtı bulunabilir.

Bobin iç direnci (R_L), bobin (L) ve sığaçtan (C) oluşan kolun eşdeğer direnci,

$$\begin{aligned} Z_{eş} &= R_L + jX_L - jX_C \\ &= R_L + j(X_L - X_C) \end{aligned}$$

olarak bulunabilir. Buna göre çıkış gerilimini bulmak için gerilim bölücü eşitliğine dayanarak,

$$v_ç = \left(\frac{R}{(R_L + R) + j(X_L - X_C)} \right) v_g$$

yazılabilir. Eşitlik giriş gerilimine bölünürse aktarım işlevi,

$$TF = \frac{v_ç}{v_g} = \frac{R}{(R_L + R) + j(X_L - X_C)}$$

biçiminde elde edilir.

19.3 BANT GENİŞLİĞİ VE EVRE KAYMASI

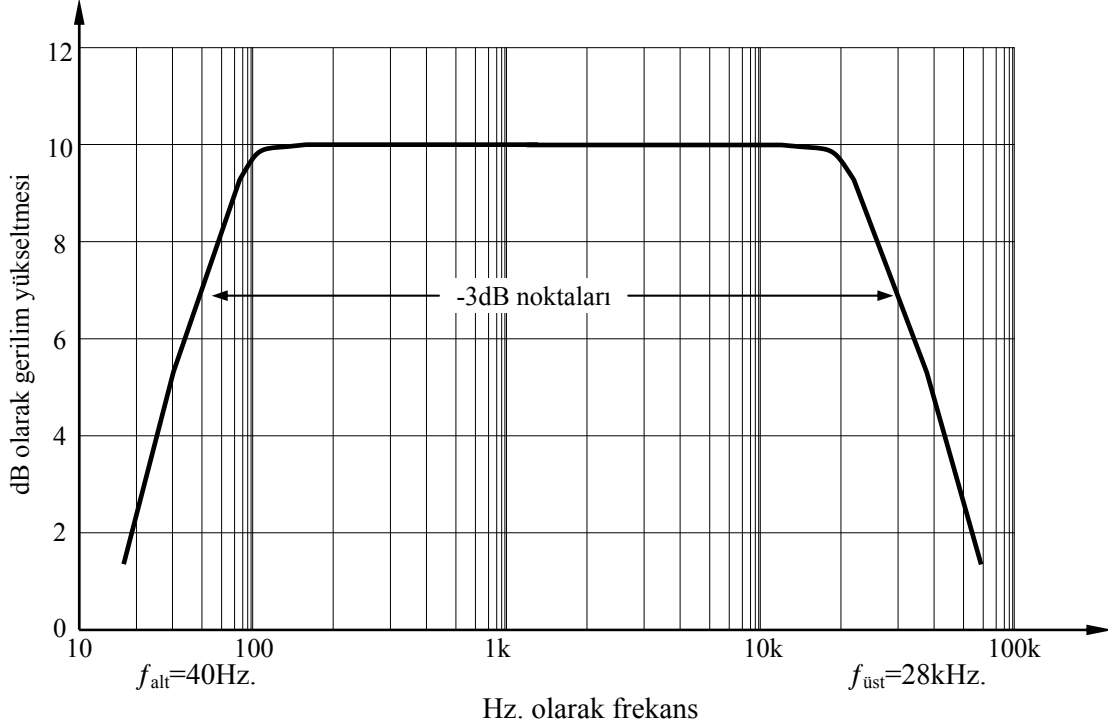
Bant genişliği pek çok devre ve sistem için önemli bir özelliktir. Örneğin bir FM radyo alıcısının bant genişliği (108-88=) 20MHz, aynı alıcının IF yükseltecinin bant genişliği 200kHz kadardır.

Bant genişliği bir devre yada dizgenin, belli özellikleri belli sınırlar içerisinde sağladığı frekans aralığı olarak tanımlanabilir. BG genellikle, referans düzeyin 3dB altına düşülen frekanslar olarak belirlenir. Şekil:19.5te bir elektronik yükseltecin sıklık yanıtı eğrisi görülmektedir. Eğri, devrenin kazancı temel alınarak çizilmiştir ve referans düzey 10dB olarak görülmektedir. -3dB noktaları, kazancın referans düzeyin 3dB altına düştüğü f_{alt} ve $f_{üst}$ noktaları olarak belirlenmiştir. 40Hz. ve 28kHz.

değerlerine denk gelen bu noktalarda kazanç, 7dB olarak görülmektedir. Bant genişliği bu iki frekansın farkı alınarak,

$$BG = \Delta f = 28\text{kHz} - 40\text{Hz} \cong 28\text{kHz}$$

olarak bulunur.



Şekil 19.5: BG ölçmesini gösteren sıklık yanıtı eğrisi.

Osiloskop gibi bazı devrelerde alt sınır dc olarak belirlenmiştir. Böyle durumlarda BG, üst -3dB noktası olarak alınır.

Frekans yanıtı eğrisinde -3dB noktasının sınır olarak seçilme nedeni, çıkış gücünün bu noktada yarıya düşüyor olmasıdır. Desibel tanımına göre,

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\xi}}{P_g} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{\xi}}{V_g} \right)$$

olduğu bilinmektedir. dB değeri -3 değerine eşitlenirse,

$$-3 = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\xi}}{P_g} \right)$$

yazılabilir. Eşitliğin her iki tarafı 10a bölünürse,

$$-0,3 = \log_{10} \left(\frac{P_{\xi}}{P_g} \right)$$

olur. Eşitliği logaritmadan kurtarmak için iki taraf da 10un kuvveti olarak yazılırsa -3dB noktasındaki çıkış gücü,

$$10^{-0,3} = 10^{(\log_{10}(P_{\zeta} / P_g))}$$

$$0,5 = \frac{P_{\zeta}}{P_g}$$

$$P_{\zeta} = 0,5P_g$$

olarak bulunur. -3dB noktalarındaki çıkış geriliminin giriş gerilim cinsinden belirlenmesi için benzer işlemler dB tanımındaki gerilim terimleri ile yapılabilir. Buna göre,

$$-3\text{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{\zeta}}{V_g} \right)$$

$$-0,15 = \log_{10} \left(\frac{V_{\zeta}}{V_g} \right)$$

$$V_{\zeta} = 0,707V_g$$

olarak yarı güç noktası gerilim(ler)i bulunmuş olur.

19.4 REZONANS

Bir radyo yada TV alıcısının anteninde, pek çok vericiden gelen farklı frekanslarda gerilimler indüklenir. Bunların arasından istenilen istasyonu seçebilmek için rezonanstan yararlanır. Rezonans (çınlanım) için, devrede sığaç ve bobinin birlikte bulunması gereklidir. Direnç, sığaç ve bobin, çınlanım devresi oluşturmak için, hem seri hem de paralel bağlanabilirler.

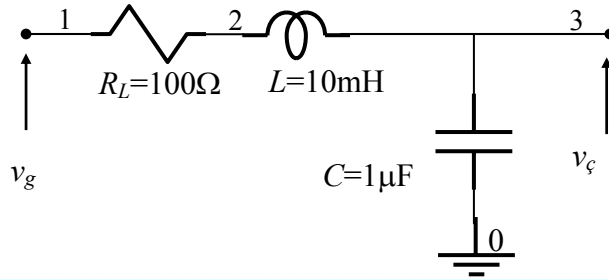
Çınlanım devreleri tek bir *merkez* yada *taşıyıcı* frekansı seçebilmekle kalmayıp, bu frekans çevresinde, devredeki elemanların değerlerine bağlı olarak belirlenebilen bir bant genişliğine de duyarlıdırlar.

Rezonans devresinde, bobinin ve sığacın baskın özellikte olduğu iki frekans aralığı ve sığaç ve bobinin eşdeğer tepkili olduğu bir frekans değeri olarak toplam üç değişik çalışma bölgesi vardır. Devredeki bobinin baskın olduğu frekans aralığında devre direnimi endüktifken, sığacın baskın olduğu aralıkta da kapasitif olacaktır. Bu iki durumdan farklı olarak, devredeki kapasitif ve endüktif tepkelerin eşit olduğu ve karşılıklı olarak birbirlerinin etkilerini yok ettikleri bir çalışma durumu da vardır. Bu çalışma durumu, çınlanım-*rezonans* olarak adlandırılır ve rezonanstaki bir devrenin direnimi tümüyle rezistiftir. Bir *RLC* devrede $X_L = X_C$ koşulunu sağlayan ve devreyi çınlanıma götüren sıklık değerine rezonans frekansı denir.

Seri *RLC* devrede, tepkin elemanların uçlarında çoğu zaman (devre Q değeri yüksekse) kaynak geriliminden yüksek değerde bir gerilim düşümü oluşur. Benzer biçimde çınlanımdaki koşul bir *RLC* devrede de, *hat* akımından çok daha büyük değerde olabilen bir *tank* akımı değeri gözlenebilir. Bu etkiler sıklık değişimi ile oluştuğu için, rezonans devreleri, istenilen bir frekansı seçmek amacıyla kolayca kullanılabilirler. Zaten en yaygın kullanım amaçları da budur.

19.4.1 SERİ ÇIPLANIM DEVRESİ

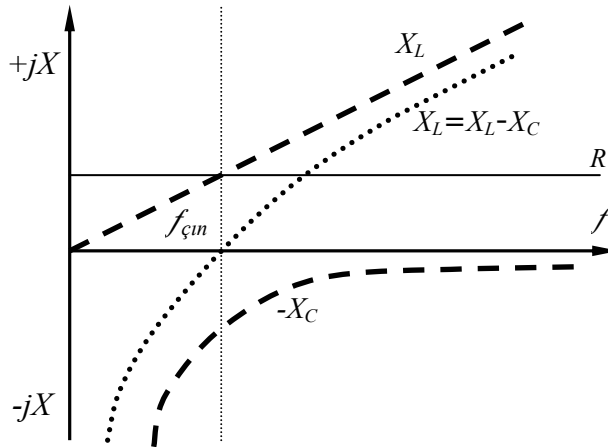
Direnç bobin ve sığacın ardıl bağlanmalarıyla, ardıl çınlanım devresi elde edilir. Şekil:19.6daki gibi bir seri rezonans devresinde, giriş işaretinin frekansı değiştirildiğinde, devredeki sığasal tepke ve endüktif tepke değerleri de değişecektir. Devredeki direncin değeri ise bütün frekans değerleri için aynı kalacaktır.



Şekil 19.6: Seri çınlanım devresi.

Bilindiği gibi bobinsel tepke jX_L , frekansın artması ile doğrusal olarak artar. Diğer yandan sığasal tepkenin sıklığa bağlı değişimi, yatay ve dikeye asimptot bir paraboldür. Bu iki direnimsiz değişimi aynı eksen üzerinde çizilerek, Şekil:19.7de görülen seri rezonans devresi direnimsiz eğrisi elde edilir.

Görüldüğü gibi devrenin eşdeğer direnimsiz, çınlanım sıklığının altında sığasal üstünde ise endüktiftir. Tam rezonans frekansında devre direnimsiz rezistif olmaktadır.



Şekil 19.7: Seri RLC devre empedans grafiği.

Rezonans frekansında sığasal tepke ve endüktif tepke eşit birbirine eşittir. Bu direnimsizleri birbirine eşitlersek,

$$X_L = X_C$$

$$2 \cdot \pi \cdot f_{res} \cdot L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{res} \cdot C}$$

bulunur. Bu eşitlik çınlanım sıklığı için çözümlenerek,

$$f_{res}^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

elde edilir.

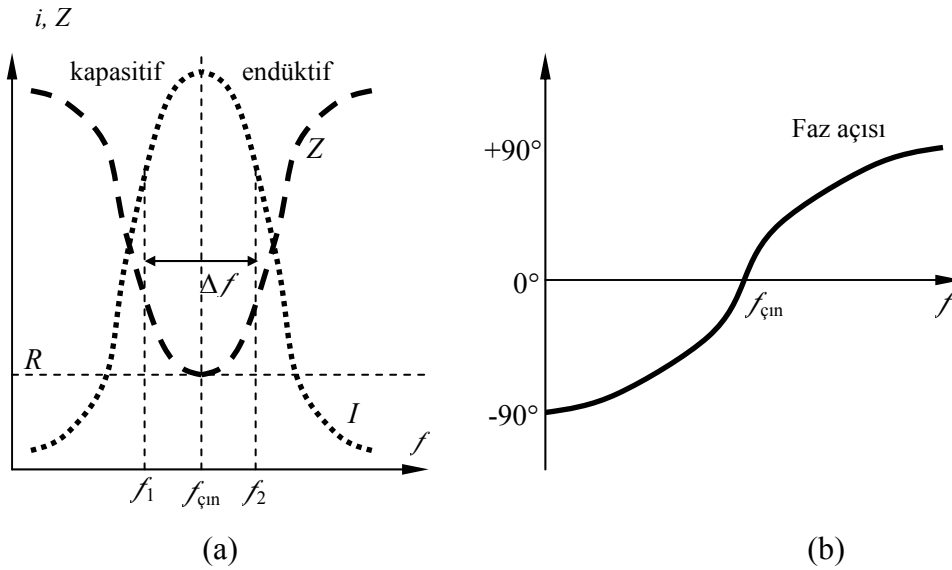
Seri *RLC* devredeki empedans matematiksel olarak,

$$Z = R + jX_L - jX_C$$

biçiminde belirtilir. Empedansın büyüklüğü,

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitliğe göre, tepke teriminin sıfır olduğu rezonans frekansında, devre direnimi dirence eşit olur.



Şekil 19.8: Seri rezonans devresinde empedans, akım (a) ve faz (b) ilişkileri.

Çınlanım sıklığında direnım en küçük değerindedir. Devre akımı direnım ile ters orantılı olduğu için rezonans frekansında devre akımı en yüksek değerinde olur. Şekil:19.8(a)da seri rezonans devresi için akım ve empedans ilişkisi görölmektedir.

Çınlanım frekansında devre direnimi tam dirençsel olduğu için, devre akımı ile devre gerilimi eşvrelidir. Rezonans frekansının altındaki işaretlerde

devrenin kapasitif etkisi nedeniyle akım ileri giderken, rezonans frekansının üstündeki değerlerde bobin direniminin etkinleşmesi yüzünden akım geri kalır. Devre faz açısının, uygulanan işaretin sıklığına bağlı değişimi aşağıdaki gibidir.

1. Çok düşük sıklıklarda ve dc için devre evre açısı 90° olur.
2. $X_C=R$ olduğunda, $\tan^{-1}(X_{net}/R)$ ile belirlenen devre açısı, -45° olur.
3. $X_C=X_L$ olan rezonans frekansında devrenin faz açısı 0° olur.
4. $X_L=R$ olduğunda, $\tan^{-1}(X_{net}/R)$ ile belirlenen devre açısı, 45° olur.
5. Çok yüksek sıklıklarda ve $f=\infty$ için devre faz açısı 90° olur.

19.4.2 SERİ DEVREDE SEÇİCİLİK

Çınlanım devreleri BGS yada BDS olarak kullanıldıkları için, devrenin seçiciliği, en önemli özelliğidir. Seçicilik, sıklık yanıtındaki tepe yada vadi kenarlarının diklikleri ile ilgili bir değerdir.

Şekil:19.8de görüldüğü gibi, Δf (BG), yarıgüç frekansları arasındaki uzaklık olarak tanımlıdır. Güçteki %50 değişim, büyük bir değişim sayılmadığından (bir yükselteç çıkışındaki 3dB değişim pek ayırmsanmaz), f_1 ve f_2 arasındaki devre yanıtı düz sayılır. f_1 den aşağıda ve f_2 den yukarıda güç, hızla düşer. Seri bir rezonans devresi, f_1 ve f_2 noktaları dışındaki frekansları reddeder, f_1 ve f_2 arasındaki sıklık değerlerini seçer. Görüldüğü gibi seçme bandı, rezonans devresinin bant genişliğidir. Öyleyse uygun bobin ve sığaç değerleri seçilerek, istenilen frekans aralığına “akortlu” bir devre yapılabilir. Çoğu yüksek-frekans iletişim devreleri için dönüm frekansları, rezonans frekansının altında ve üstünde eş aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Buna göre dönüm frekansları,

$$f_1 = f_{\text{çin}} - \frac{\Delta f}{2}$$

$$f_2 = f_{\text{çin}} + \frac{\Delta f}{2}$$

olarak bulunur.

Bir rezonans devresinin bant genişliği ve rezonans frekansı arasında,

$$\Delta f = \frac{f_{\text{çin}}}{Q}$$

bağıntısı vardır. Bu eşitlikte Δf Hz. olarak bant genişliğini, $f_{\text{çin}}$ yine Hz. olarak rezonans frekansını gösterir. Q ise devrenin kalitesidir ve birimsizdir.

Bilindiği gibi bir bobinin kalitesi,

$$Q = \frac{X_L}{R_{ac}}$$

olarak belirlidir. Bu eşitlikteki R_{ac} , seri RLC devredeki toplam direnç değeridir. Görüldüğü gibi direnç, seri devrenin çınlanım frekansını belirlemese de, bant genişliğini etkilemektedir.

Q çok büyükse bant genişliği çok dar ve devrenin seçiciliği çok yüksek olur. Benzer biçimde Q çok küçük olduğunda BW büyür seçicilik azalır. Uygulamada özel devreler dışında, bu söylenen iki durum da istenmez. Çünkü sözcüğü bir radyo alıcısı devrelerinde Δf çok küçük olursa, işlenmesi gereken tüm ses bilgisi devreden geçmeyebilir. Ters durumda yani bant genişliğinin çok büyük olması durumunda, komşu kanallar, dinlenmek istenilen yayına karışabilir. Bu sorunların oluşmaması için her haberleşme dizgesinin, kendine özgü rezonans frekansı ve bant genişliği gereksinimleri vardır.

Örneğin bir AM alıcının arafrekans yükselteçlerinin 455 kHz merkez frekansında olması ve yaklaşık 10 kHzlik bir bant genişliği sağlaması beklenir. Bir FM alıcının arafrekans yükselteçlerinin de, 10,7 MHz rezonans frekansında 200 kHz bant genişliği ile çalışması gerekir.

Bir rezonans devresinde kalite faktörü Q , rezonansta gerçek gücün sığaç yada bobindeki tepkin güce oranı olarak tanımlıdır ve,

$$Q = \frac{P_q}{P} = \frac{I^2 X_L}{I^2 R_{ac}}$$

eşitlikleri ile gösterilebilir. Seri devrede bobin ve direnç akımı aynı olduğu için,

$$Q = \frac{X_L}{R_{ac}} = \frac{2\pi f_{çin} L}{R_{ac}} = 2\pi f_{çin} \frac{L}{R_{ac}}$$

yazılabilir. Rezonansta

$$f_{çin} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$2\pi f_{çin} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

olduğu için seri devrenin kalitesi,

$$Q = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{L}{R_{ac}}$$

$$Q = \frac{1}{R_{ac}} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

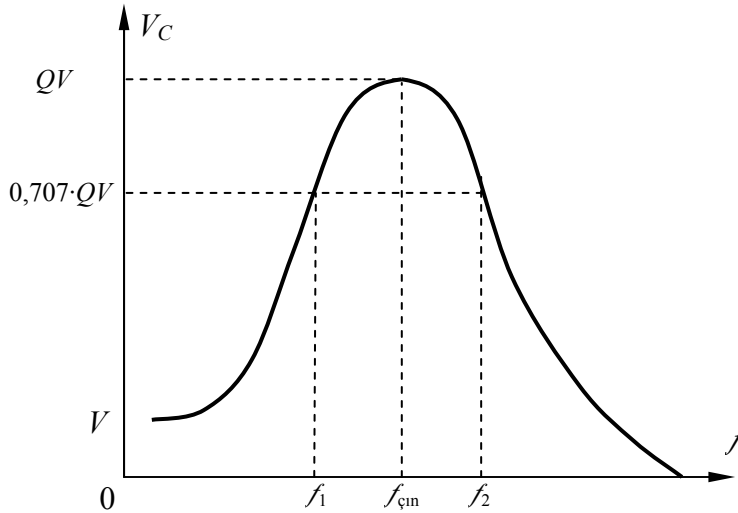
biçiminde bulunur. Görüldüğü gibi bant genişliği, rezonans frekansı değiştirilmeden yalnızca devre direnci değiştirilerek ayarlanabilmektedir.

Bir seri çınlanım devresinde L/C oranı artırılırsa, endüktif ve kapasitif reaktans eğrileri dikleşeceği için, rezonans frekansına daha *çabuk* erişilir. L/C oranının azalması ise benzer nedenlerle, seçicilik eğrisi düzleşecektir.

19.4.3 SERİ RLC DEVREDE REZONANS GERİLİM ARTIŞI

Seri RLC devresinin en yararlı özelliklerinden birisi, rezonans frekansına erişildiğinde sığaç ve bobin uçlarında oluşan *rezonans gerilim artışı*dır. Çınlanım anında devredeki net tepke sıfır ve devre akım en yüksek değerinde ise de, sığaç ve bobin tepkeleri tek başlarına oldukça yüksek değerdendirler. Bu tepkeler üzerinde düşen gerilimler, kaynak geriliminden daha büyük değerlere ulaşabilir. Ancak gerilimler arasındaki 180° faz farkı nedeniyle devrede KGY yine de sağlanmaktadır.

Seri RLC devrede sığaç (ve bobin) gerilimini frekansa bağlı değişimi, Şekil:19.9da gösterilmiştir.



Şekil 19.9: Seri rezonans devresinde empedans, akım (a) ve faz (b) ilişkileri.

Görüldüğü gibi sığaç gerilimi eğrisi bakışık değildir. Çok düşük sıklık değerlerinde sığaç açık devre olarak, uçlarındaki gerilim kaynak gerilimine yaklaşmaktadır. Çok yüksek frekanslardaki sığaç gerilimi ise sıfırdır. Eğrinin asimetrikliğine karşın yüksek Q değerli ($Q > 10$) devrelerde f_1 ve f_2 noktalarının, çınlanım sıklığının altında ve üstünde eşit aralıklı olarak yer aldıkları söylenebilir.

Çınlanımda sığaç (ve bobin) gerilimini veren eşitlik aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$V_C = I \cdot X_C$$

olduğu bilinmektedir. Ancak çınlanımda,

$$I = \frac{V}{R}$$

ve

$$X_L = X_C$$

olacağı için,

$$V_C = \frac{V}{R} \cdot X_L$$

$$V_C = \frac{X_L}{R} \cdot V$$

$$V_C = Q \cdot V$$

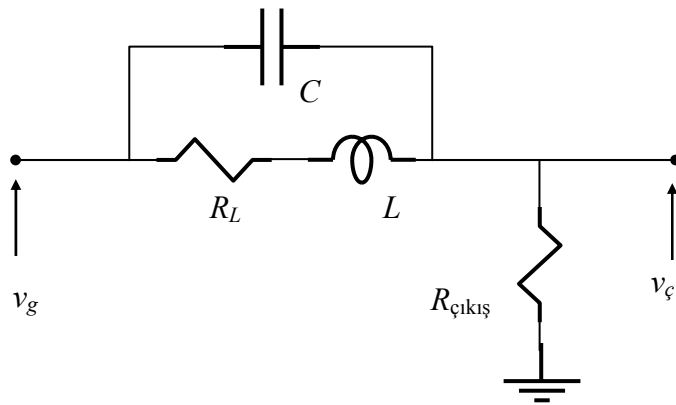
olarak sığaç gerilimi bulunur.

Devrenin kalitesi Q genellikle 1den çok büyük olduğu için, çınlanımda sığaç gerilimi önemli miktarda yükselir. Bobin gerilimi ise, bobinin içdirenç nedeniyle sığaç gerilimi kadar yükselmez ve yukarıdaki eşitlik ile bulunamaz.

Rezonans gerilim artışı, bazı durumlarda tehlikeli olabildiği gibi, çoğu zaman oldukça yararlı sonuçlar üretmektedir.

19.4.4 PARALEL REZONANS

Uygulamada içdirenç sıfır olan bir bobin bulunmadığından, koşut rezonans devresi yalnızca kuramsal olarak vardır ve seri rezonans devresi gibi incelenemez. Bu nedenle uygulamada, paralel rezonans devresi olarak adlandırılan ancak aslında iki kollu koşut RLC devre olan ve Şekil:19.10da bir örneği görülen devreler kullanılır.



Şekil 19.10: “Paralel” çınlanım devresi.

BDS ve BGS olarak, paralel rezonans devreleri de kullanılırlar. Bir koşut çınlanım devresinin dirençimi,

$$Z_{eş} = \frac{Z_L Z_C}{Z_L + Z_C} = \frac{(R_L + jX_L)(-jX_C)}{R_L + jX_L - jX_C}$$

eşitlikleriyle gösterilebilir.

Seri yada paralel çınlanım koşulları,

$$1. \quad P_{q_L} = P_{q_C}$$

$$2. \quad \cos \theta = 1 \quad (\theta = 0^\circ)$$

$$3. \quad Z=R$$

olarak sıralanır.

Direnim eşitliğinden görülebileceği gibi, kaynak frekansı $X_L=X_C$ olacak biçimde ayarlandığında, bobinden geçen akım, bobinin içdirenici nedeniyle sığaç akımından az olacaktır. Bu yüzden sığaç ve bobindeki tepkin güçler eşit olmayacağından, devrede gerçek bir rezonans durumu söz konusu olmayacaktır. $P_{q_L} = P_{q_C}$ koşulunu sağlamak için, kaynak sıklığı çınlanım frekansından biraz daha düşük bir değere ayarlanmalıdır. Böylece X_L azalıp I_L artarak $I_L^2 X_L = I_C^2 X_C$ koşulu sağlanır. Bu durumda devrenin frekans değeri,

$$f_{çın} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{Q^2}{1+Q^2}}$$

eşitliğine göre oluşur. Görüldüğü gibi koşul çınlanım devresinde rezonans frekansı, aynı eleman değerleri ile kurulu bir seri çınlanım devresinden daha küçüktür. Koşut çınlanım devresinde seri çınlanımdan değişik olan bir durum da, beklendiği gibi, direnç değerinin rezonans frekansını etkilemesidir. Bununla birlikte, yüksek Q değerli bobinler kullanılan ($Q > 10$) koşul bir çınlanım devresinde rezonans frekansı $\pm\%0,5$ hata göze alınırsa,

$$f_{çın} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

eşitliği ile yaklaşık olarak bulunabilir.

Yine $Q > 10$ için rezonansta,

$$Z_{eş} = \frac{|X_L||X_C|}{R_L}$$

olduğuna göre,

$$Q_{çın} = \frac{X_L}{R_L}$$

ve

$$\Delta f = \frac{f_{\text{çin}}}{Q_{\text{çin}}}$$

eşitlikleri de yazılabilir. Rezonansta $X_L=X_C$ alınarak,

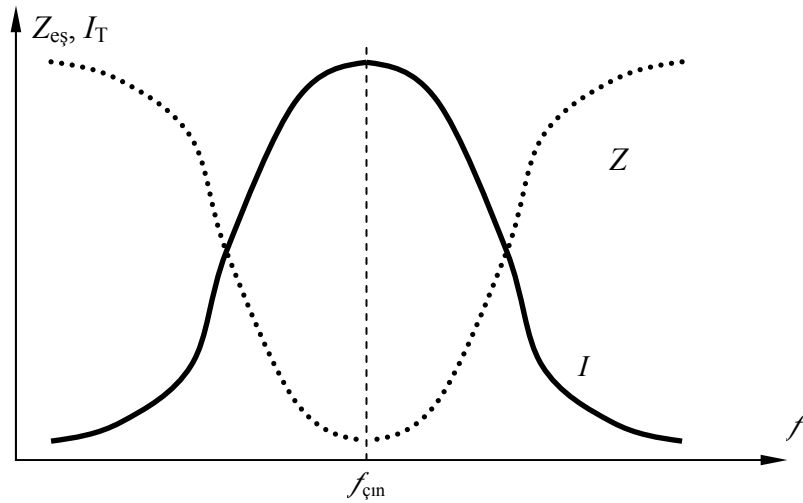
$$Z_p = \frac{X_L^2}{R_L}$$

$$Z_p = \frac{X_L^2}{R_L^2} R_L$$

$$Z_p = Q_{\text{çin}}^2 R_L$$

bulunabilir. Buna göre paralel rezonans devresinde de bir çınlanım akım artışı söz konusudur. Devredeki toplam çınlanım akımı, sığaç ve bobin akımlarından çok küçük olur.

Paralel rezonans devresinde devre direnimi ve akımının frekansa bağlı değişimleri, Şekil:19.11deki eğrilerdeki gibidir. Görüldüğü gibi seri çınlanım devresindeki tersine, rezonans frekansında devre direnimi en yüksek değerine çıkmakta, merkez frekanstan uzaklaşınca hızla azalmaktadır.



Şekil 19.11: Koşut rezonans devresinde direnimsizlik ve akım değerlerinin sıklıkla değişimi.

19.4.5 PARALEL REZONANS DEVRESİNİN SÖNÜMLENMESİ

Bir paralel çınlanım devresine Q değerini azaltmak için direnç eklenmesine sönümlenme denir. İki kollu paralel rezonans devresinde sönümlenmeyi gerçekleştirmek için, iki yol vardır.

1. Dirence seri bağlı direncin değeri artırılarak Q azaltılır. Direncin eklenmesi ile çınlanım sıklığında da,

$$f_{\text{çin}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{CR_s^2}{L}}$$

eşitliğine bağlı bir değişiklik oluşur. R_s , $\frac{CR_s^2}{L} \geq 1$ olana dek artırılırsa, TV alıcıları gibi yüksek frekans devrelerinde kullanılan kritik sönümlenme gerçekleşir. Kritik sönümlenme kullanılarak, bobin endüktansının, sarımların kaçak sığası ile oluşturduğu istenmeyen çınılama engellenir.

2. Devreye koştut direnç eklenebilir. Eklenen direnç nedeniyle $Z_{eş}$ azalır ve buna bağlı olarak Q değeri de azalır. Bu yöntem koştut sönümlenme denir. Böylece rezonans devresinin, zayıf bir işarete, çok darbantlı bir devre ile seçilmesi gerekmeden akortlanabilir. Ancak akort işleminden sonra, komşu kanalları bastırmak için darbantlı bir seçme devresi yine de kullanılmalıdır.

BÖLÜM 20

ÜÇ FAZLI SİSTEMLER

HUZURLU PROGRAMLAMA

En çok satan bilgisayar yazılımları, çok değişik kaynaklardan gelebilir. Bir bölümü büyük kentlerin merkezlerindeki gösterişli araştırma şirketleri tarafından geliştirilirken, bir bölümü de dağ başındaki bir kulübede yazılabilir.

Apple bilgisayarlar için en çok satılan programlardan pek çoğunu yaratan Paul Lutus, korkunç derecede bağımsız birisiydi. Lutus, bir kelime işlem programı geliştirmek üzere çok uzun bir süre, Oregon dağlarının tepesindeki el yapımı 4 metreye 5 metrelik kulübede, yaşadı ve çalıştı. 1979 yılında pazara çıkmasıyla Apple Writer, bir anda en çok satan yazılım oldu ve huzur, sükunet ve çalışma, günde \$7500 dolayında telif ödemesi olarak geri döndü.

20.1 GİRİŞ

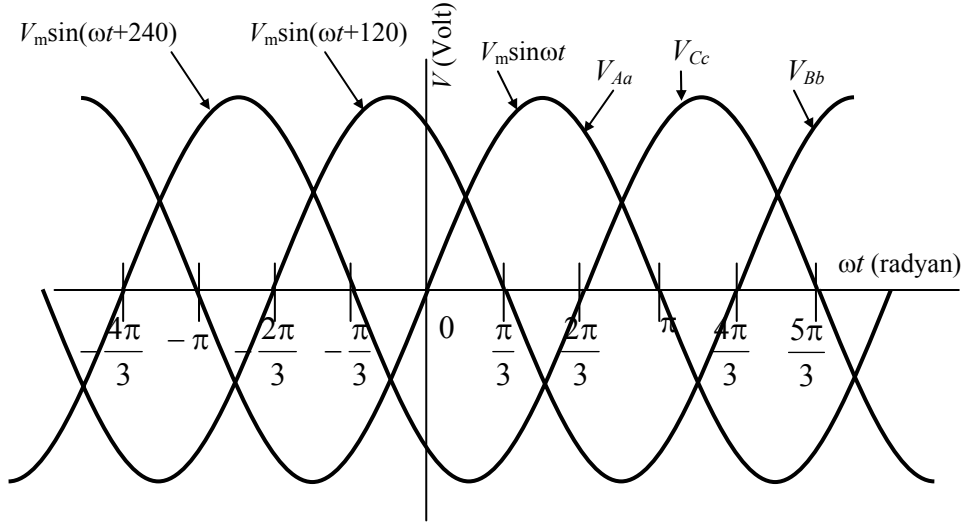
Elektrik uygulamalarının sayısı arttıkça, motorlar, aydınlatma yükleri, ve diğer yükler giderek büyüdüler. Teknoloji ve endüstrinin genişleyen talepleri karşısında motor güçleri yüzlerce hatta binlerce beygir gücüne kadar yükseldi.

Tek fazlı ac ve dc kaynaklar, hatlarda ve alternatörlerde çok büyük yitimlere neden olmadan, (hatta neden olarak bile☺) bu güçleri sağlayabilecek yapıda değildirler. Bu sorunun sonucu olarak, üç fazlı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemde aralarında 120° faz farkı olan üç gerilim vardır. Günümüzdeki enerji dağıtım sistemleri, tek fazlı yükler için bu fazlardan birini ve motor ve büyük ısıtma birimleri gibi üç fazlı yükler için de tümünü kullanır. Günümüzde enerji tüketim talebini karşılayabilmek için evlere bile üç fazlı elektrik enerjisi ulaştırılmaya başlamıştır. Üç fazlı sistemde dört kablo ile aktarılabilen gücü tek fazlı kaynaklar kullanılarak altı kablo ile aktarmak mümkündür. Bu nedenle üç fazlı bir sistemde, tek fazlı eşdeğerine göre daha az hat yitimi ve gerilim düşümü oluşur.

Bu bölümde üç fazlı kaynaklar, üç fazlı yükler, üç fazlı sistemlerde güç ve çözümleme incelenecektir.

20.2 ÜÇ FAZ KAYNAKLAR

Elektriğin kullanımı arttıkça, üç fazlı ($3\sim$, \approx) bir kaynak kullanılması durumunda, üretim dağıtım ve kullanımının daha verimli ve ekonomik olduğu görüldü. $3\sim$ sistemde, frekansı ve gerilimi (genellikle) aynı olan ve aralarında 120° faz farkı bulunan üç kaynak kullanılır. Üç kaynaktan daha fazlasını kullanan bazı özel uygulamalar bulunmakla birlikte, bunlar üç fazlı sistem kadar verimli değildir. Üç fazlı bir sistemde kaynak gerilimlerinin dalgabiçimleri ve fazörleri, Şekil:20.1de görülmektedir.



Şekil 20.1: Üç fazlı alternatörler, 120° faz farklı üç sinüs gerilimi üretirler.

Sistemdeki gerilimlerin denklemleri,

$$\Rightarrow V_m \cdot \sin \omega t$$

$$\Rightarrow V_m \cdot \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$\Rightarrow V_m \cdot \sin(\omega t + 240^\circ)$$

ve bunların evrem yazımları da,

$$\Rightarrow V \angle 0^\circ$$

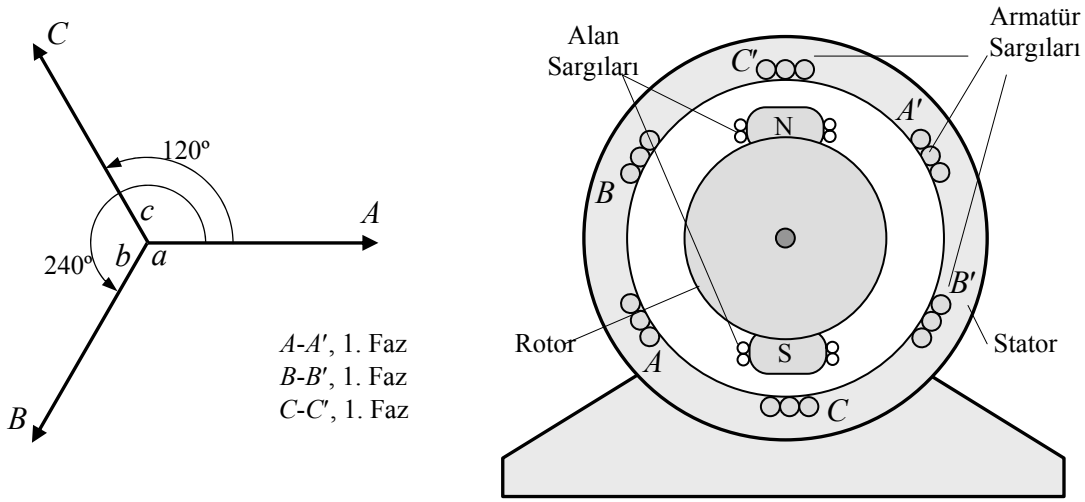
$$\Rightarrow V \angle 120^\circ$$

$$\Rightarrow V \angle 240^\circ$$

olarak verilir. Üç fazlı gerilimin evrem gösterimi, Şekil:20.2de verilmiştir.

Tek fazlı sistem yerine üç fazlı sistemin kullanılmasının bazı önemli nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Belli bir yük değeri için hatta oluşan güç yitimi daha azdır. Böylece kullanılan kabloların çapları daha düşük tutulabilmektedir.
2. Üç faz, tek faza göre daha verimli ve ekonomik olarak elde edilebilmektedir.
3. Üç faz gerilimde daha az vuruş olduğundan, alternatörlerdeki titreşim daha az olur.
4. Üç fazlı motorlar daha verimli ve küçük ve hafiftirler. Ayrıca yol verme için özel devreler gerektirmezler.
5. Üç faz motorların ürettiği mil torku daha sabit olduğundan, daha az değişim ve titreşim yaratırlar.
6. Doğrultulmuş üç faz, tek fazın gerektirdiği kadar çok filtreleme gerektirmez.
7. Üç fazlı kaynak, üç fazlı yükleri, tek fazlı yükleri ve bunların değişik bileşimlerini beslemek üzere kullanılabilir.



Şekil 20.2: Üç fazlı gerilimin evrem gösterimi ve üç fazlı alternatörün temel yapısı.

Üç faz kaynak kullanımına örnek olarak, modern otomobil alternatörleri verilebilir. Yukarıda sıralanan bazı özellikleri nedeniyle, dc jeneratörlerin yerini almıştır.

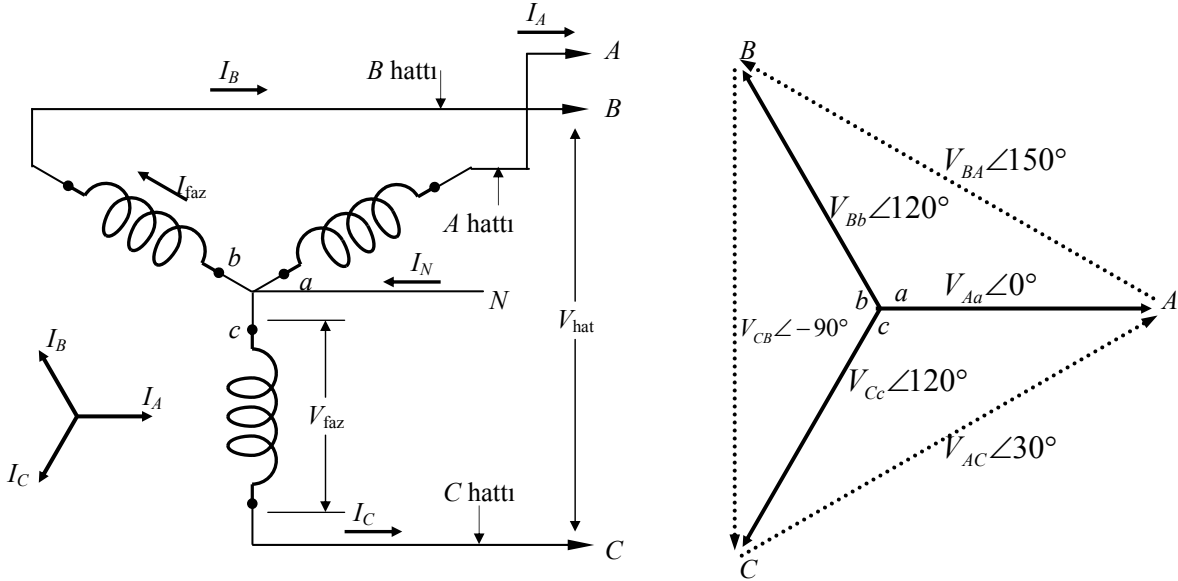
Dünyada kullanılan üç faz gücün çoğu, üç fazlı alternatörler tarafından üretilmektedir. Alternatörler, jeneratörler gibi, bir iletken ile manyetik alanın

bağlı hareketi ile oluşan manyetik endüksiyon ile gerilim üretirler. Küçük üç fazlı üreteçlerde, sabit bir manyetik alan içinde dönen üç bobin seti bulunur. büyük alternatörlerde ise, mıknatısı döndüren sabit bobinler kullanılmaktadır. Şekil:20.2de görülen bu yapı sayesinde alternatörler, büyük bobin kütlelerinin döndürülmesinin neden olduğu sorunlardan kurtulmuş olmaktadır. Bu yöntemle ayrıca, rotor ile stator arasında kayar halkalar üzerinden taşınması gereken akım miktarı da önemli ölçüde azaltılmış olmaktadır.

Rotor bütün sargılardan aynı açısal hız ile geçtiği ve manyetik alan şiddeti aynı olduğu için, her üç sarımda da aynı genlik ve frekansta gerilim indükleneyecektir. Sarımlar stator üzerinde kalıcı olarak tutturulmuş olduklarından, bu üç gerilim arasında da her zaman 120° faz farkı olacaktır. Bu düzeneğe, Şekil:20.1de gösterilen dalgabıçimini üretecektir.

20.3 YILDIZ VE ÜÇGEN KAYNAK BAĞLANTILARI

Üç fazlı kaynaklarda en yaygın kullanılan bağlantılar, $3\sim Y$ kaynak ve $3\sim\Delta$ kaynak bağlantıdır. Bunlardan birincisi olan $3\sim Y$ bağlantı da gerilim bobinleri (armatür sarımları), “Y” harfi biçiminde bağlanır. Şekil:20.3te görülen bu bağlantıda, bobinlerin orta ucu da, nötr hattı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 20.3: 4-hat 3-faz Y bağlantıda faz ve hat gerilimleri ile hat=faz akımları için fazör

Yıldız bağlantı, 4-hat ve 3-hat olarak iki biçimde kullanılabilir. 4-hat bağlantı, tek faz ve üç faz için ikiye ayrı gerilim sağladığı için daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir. 3-hat yıldız bağlantı, tek faz ve üç faz için birer gerilim sağlar.

Sarımların üzerinde indüklenen $V_{Aa} \angle 0^\circ$, $V_{Bb} \angle 120^\circ$ ve $V_{Cc} \angle -120^\circ$ gerilimleri, *faz gerilimi* olarak adlandırılırlar. İki hat arasından ölçülen V_{AB} , V_{BC} , ve V_{CA} gerilimlerine de *hat gerilimi* denilir. Sarımlar Şekil:20.3teki gibi uygun

polarite ilişkisi ile bağlandığında, üç faz gerilimleri arasında 120° faz farkı bulunması nedeniyle, faz ve hat gerilimleri arasında $\sqrt{3}$ katsayılı bir ilişki olacaktır.

Şekil:20.3te görülen temel 3-faz Y bağlantıda hat $A-C$ hat gerilimi,

$$V_{AC} = -V_{Cc} \angle -120^\circ + V_{Aa} \angle 0^\circ$$

yada genel olarak hat gerilimi,

$$V_{\text{hat}} = -V_\phi \angle -120^\circ + V_\phi \angle 0^\circ$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikte düzenleme yapılarak,

$$V_{\text{hat}} = V_\phi \angle 60^\circ + V_\phi \angle 0^\circ$$

ve

$$V_{\text{hat}} = V_\phi (\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ + 1)$$

yazılır. Burada parantez içindeki değerler toplamı $\sqrt{3}$ olduğu için,

$$V_{\text{hat}} = \sqrt{3} \cdot V_\phi$$

olarak hat gerilimi değeri elde edilmiş olur. Bu eşitliğe göre sistemin gerilim çıkışı, sarım geriliminden daha yüksektir. Yani 100 Voltluk sarımlar kullanılarak 173 Volt hat gerilimi elde edilebilir.

Sarımlar doğru polaritelerde bağlanmadıkları zaman, eşitlikte gösterilen değer tutturulamadığı gibi, hat gerilimleri arasındaki açı da 120° olmaz.

Hat ve faz gerilimleri ile bunlar arasındaki açısal ilişki, Şekil:20.3teki fazör diyagramlarda görülmektedir. Gerilimler eşit ve 120° ($2\pi/3$ rad.) faz farklıdır.

Faz gerilimleri, hat gerilimi evrelerinin oluşturduğu üçgeninin açılı ortaylarıdır ve başlangıç noktaları, üçgenin merkezinde birleşir.

Faz akımı, alternatördeki bir sarımdan geçen akımdır. *Hat akımı* ise, üç-faz sistemin bir hattından geçen akımdır. Nötr hattındaki akım da *nötr akımı* olarak adlandırılır. Yıldız bağlantı da her hat tek bir faza bağlı olduğu için, hat akımı ile faz akımı eşittir.

$$I_h = I_f$$

Bu nedenle yıldız sistemden çekilebilecek maksimum hat akımı değeri, alternatör sarımının akım kapasitesi ile sınırlıdır.

3-faz Y bağlantısının düğüm noktasında KAY uygulanırsa,

$$I_A + I_B + I_C - I_N = 0$$

denklemi elde edilir. Eğer yük dengeli ise, $I_A = I_B = I_C$ olacağı için, $I_N = 0$ olacaktır. *Dengeli yük*, her bir fazındaki direnimler eşit olan yük anlamında kullanılmaktadır. Hat akımları arasındaki faz farkı da, yine Şekil:20.3te görüldüğü gibi 120° olmalıdır.

Üç-faz Δ bağlantıda kaynak gerilim sargıları, Şekil:20.4te görüldüğü gibi üçgen oluşturacak biçimde bağlanırlar. Bu bağlantı türünde yük, sargı uçlarına bağlandığı için, faz gerilimi büyüklüğü ile hat gerilimi değeri, eşit olur ve,

$$V_h = V_f$$

biçiminde gösterilir. Şekil:20.4te görülen kapalı üçgen devredeki kaynak gerilimlerinin evrem toplamları,

$$V_{Aa} + V_{Bb} + V_{Cc} = 0$$

yada

$$V_\phi \angle 120^\circ + V_{Bb} \angle -120^\circ + V_{Cc} \angle 0^\circ = 0$$

olarak yazılır. Toplamların sonucunun sıfıra eşit olmasının nedeni, üçgendeki net gerilim değerinin sıfır olmasıdır. Net gerilim değerinin sıfır olması nedeniyle, döner akım (sirkülasyon akımı) değeri de sıfır olmak zorundadır. Üçgen bağlantıya dengeli bir yük bağlandığında, I_{AB} , I_{BC} ve I_{AC} akımlarının değerleri birbirine eşit olur. Üçgen bağlantıda hat ve faz akımları arasındaki ilişki Şekil:20.4ten,

$$I_A = I_{CA} \angle 120^\circ - I_{AB} \angle -120^\circ$$

yada genel olarak,

$$I_{\text{hat}} = I_\phi \angle 120^\circ - I_\phi \angle -120^\circ$$

biçiminde belirlenebilir. Bu eşitlik düzenlenerek,

$$I_{\text{hat}} = I_\phi \angle 120^\circ + I_\phi \angle 60^\circ$$

ve

$$I_{\text{hat}} = I_\phi (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ + \cos 60^\circ + j \sin 60^\circ)$$

olarak yazılabilir. Parantez içindeki büyüklüğün değeri yerine koyularak,

$$I_{\text{hat}} = \sqrt{3} \cdot I_\phi$$

olarak hat akımı ile faz akımı arasındaki ilişki bulunur. buna göre üçgen bağlantı kullanıldığında hat akımı, alternatör sarımlarının akım değerinden daha yüksek olabilmektedir.

Üçgen kaynak bağlantısı için,

$$I_A = I_{CA} - I_{AB}$$

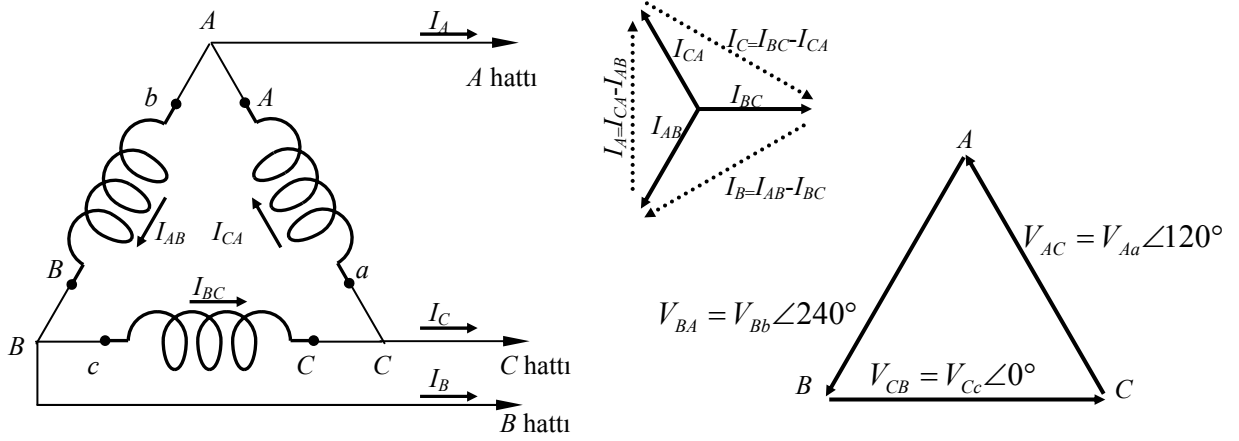
$$I_B = I_{AB} - I_{BC}$$

$$I_C = I_{BC} - I_{CA}$$

denklem takımı yazılarak,

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

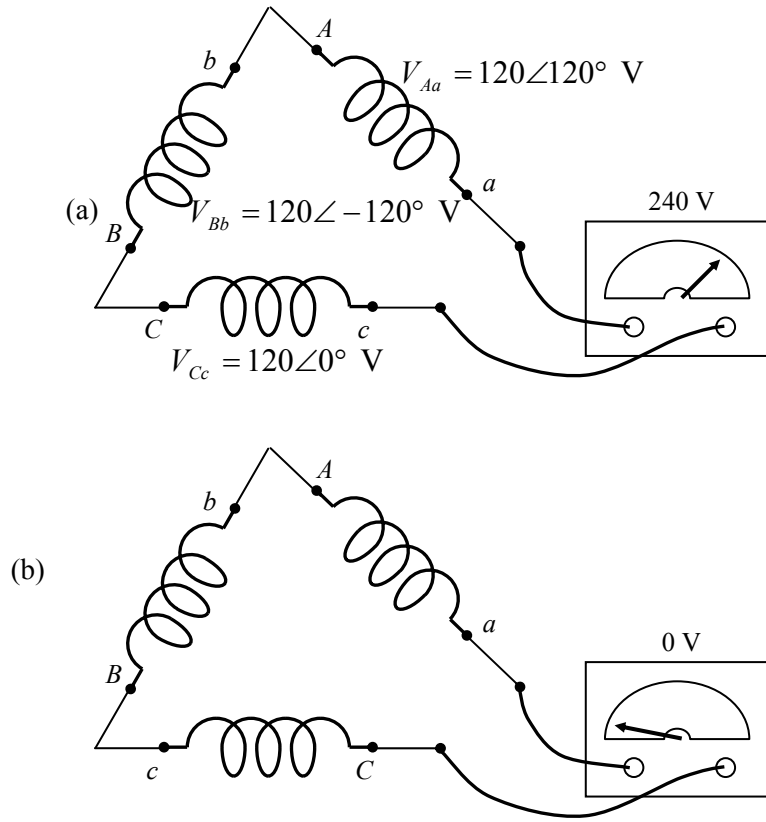
sonucu elde edilebilir. Buna göre üçgen bağlı kaynakta dengeli yük kullanılması durumunda ($I_A = I_B = I_C$), hat akımlarının fazör toplamı sıfıra eşit



Şekil 20.4: 3-faz Δ bağlantıda faz=hat gerilimleri ile hat ve faz akımları için fazör

olmak zorundadır. Fazör toplamın sıfıra eşit olmasının tek yolu, bu akımlar arasında 120° faz farkı bulunmasıdır. Şekil:20.4te üçgen bağlantının akım ve gerilimleri arasındaki açı ilişkileri, dengeli dirençsel yük için verilmişlerdir.

Üçgen bağlantıda sarım polaritelerinin yanlış olması, yıldız bağlantıdan daha ciddi etkiler yaratır. Yanlış polaritede yapılan bağlantıda son iki terminal



Şekil 20.5: Δ bağlantı kapatılmadan önce doğru faz ilişkisini denetlemek için gerilim

birleştirilirken ark çıkması yada sarımların yanması olasıdır.

Örnek olarak cC sarımının Şekil:20.5(a)daki gibi ters bağlandığı durumda a ve c bağlanacak son iki uçtur. Bu durumda,

$$V_{ca} = V_{Aa} + V_{Bb} + V_{cC}$$

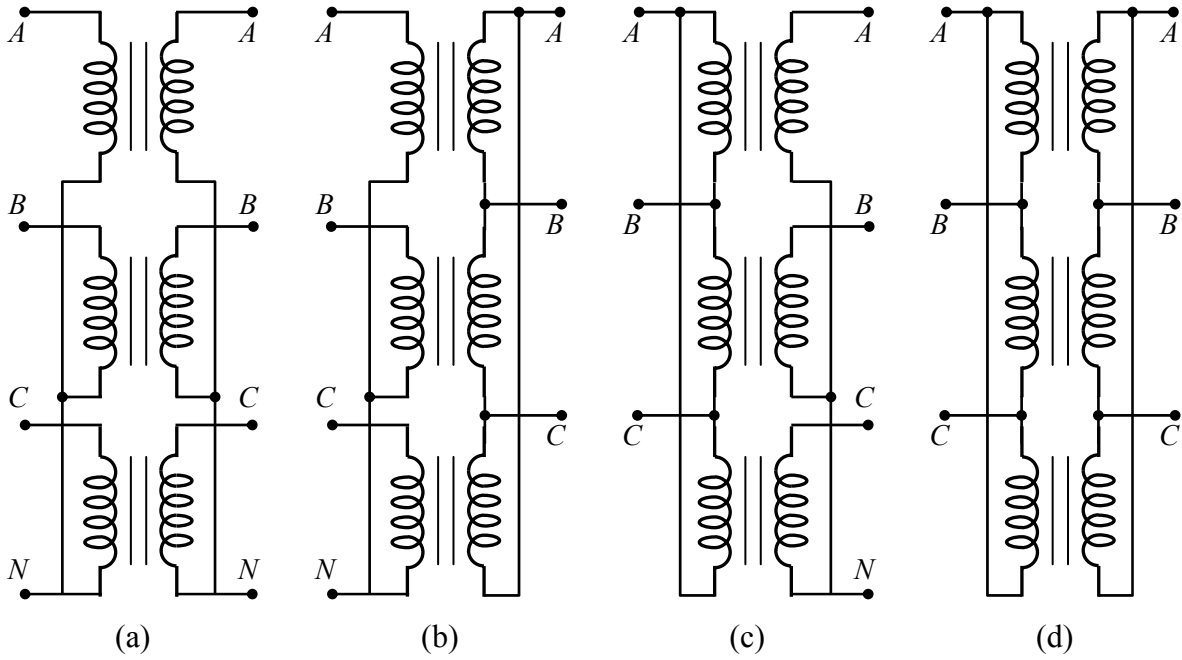
olacaktır. Ancak,

$$V_{cC} = -V_{Cc}$$

olduğu için,

$$\begin{aligned} V_{ca} &= V_{Aa} + V_{Bb} - V_{Cc} \\ &= V_{\phi} \angle 120^{\circ} + V_{\phi} \angle -120^{\circ} - V_{\phi} \angle 0^{\circ} \\ &= 2 \cdot V_{\phi} \angle 180^{\circ} \end{aligned}$$

olarak bulunacaktır. Bu bağlantı tamamlanacak olursa ciddi bir ark oluşacak ve çok yüksek bir sirkülasyon akımı geçecektir. Faz gerilimlerinin büyüklük ve faz açıları arasındaki farklar da, son iki uç arasında bir gerilim okunmasına yol açabilirler. Ancak bu durumlar, yanlış faz ilişkisi kadar büyük bir sapma yaratmayacaklardır.



Şekil 20.6: Dönüştürücüler de üç fazlı bağlanabilirler. Y-Y (a), Y-Δ (b), Δ-Δ (c) ve Δ-Y (d) dönüştürücü bağlantıları.

Son iki ucun güvenlice bağlanabilmesi için, Şekil:20.5(b)de görüldüğü gibi, son iki uç arasında sıfır Volt (birkaç Volt olabilir) gerilim okunması gereklidir. Burada okunabilecek birkaç Voltluk gerilim, sarımlar arasındaki küçük farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Yıldız ve üçgen bağlantılar, alternatörlerde olduğu gibi transformatörlerde de kullanılır.

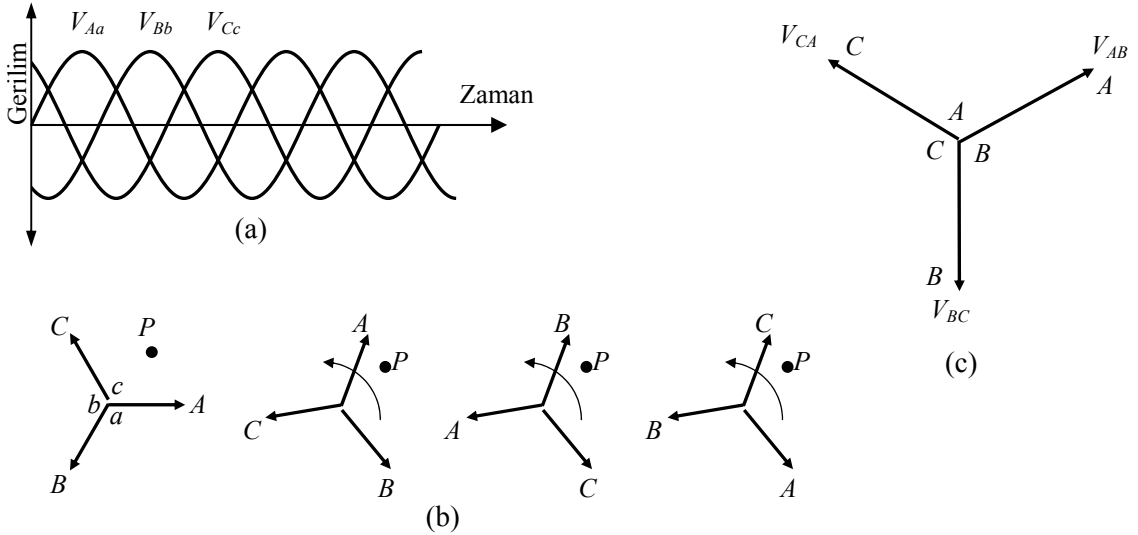
Dönüştürmelerin üç fazlı bağlantıları için olası dört temel bağlantı, Şekil:20.6da görülmektedir.

Bunlardan ilki olan yıldız-üçgen bağlantı (a), gerilimi azaltıp akım sığasını yükselten bir bağlantı türüdür. Üçgen-yıldız bağlantı (c) ise tam tersine, gerilimi artırıp akımı düşüren bir bağlantı seçeneğidir. Bu bağlantı ayrıca üçgen bağlantıdan, 4-hatlı Y sistem için dördüncü hattın elde edilmesini de sağlar. Y-Y (b) ve Δ - Δ (d) bağlantılar, eşit sarım sayılı transformatörlerdeyalıtım amaçlı birebir dönüştürme sağlarlar. Dönüştürme oranı birden farklı olan transformatörler ise, bilinen dağıtım amaçları için kullanılmaktadırlar.

Şekil:20.6da görülenlerden başka bağlantı türleri de bulunmakla birlikte, en yaygın olarak kullanılan üç faz bağlantı türleri, burada verilmiştir.

20.4 FAZ SIRASI

Alternatörün rotoru dönerken, sargılarda indüklenen gerilimler, birbiri ardına yükselir ve düşerler. Faz gerilimlerinin oluşma sırasına, *faz sırası* denilir. Alternatör fazları, *A*, *B* ve *C* olarak adlandırıldığında faz sırası, rotorun dönüş yönüne bağlı olarak *ABC* yada *ACB* olabilir. Yükteki faz sırası, yüke gelen iki fazın bağlantısı karşılıklı olarak değiştirilerek düzenlenebilir. Bu durumda hatların faz sırası değişmeden kalır.



Şekil 20.7: Faz sırası, dalgaların tepe değerlerine erişme sırasını göstermektedir. Bu örnekte, dalga biçimi (a), evrem çizgisi (b) ve faz gerilimleri sırası (c) hep ABC sırasını göstermektedir.

Faz sırası ayrıca, hangi dalga yada fazörün önde olduğunu belirtmenin bir başka yöntemidir.

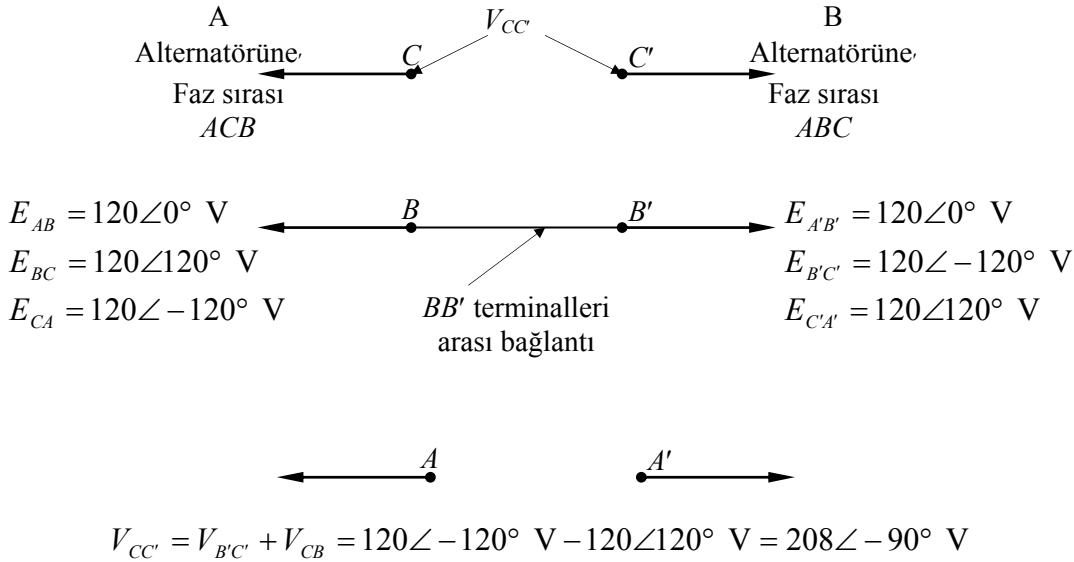
Şekil:20.7(a)da V_{Aa} , V_{Bb} geriliminden ve V_{Bb} de V_{Cc} geriliminden ileridedir. Bu nedenle dalgaların sırası, V_{Aa} , V_{Bb} ve V_{Cc} olacaktır.

Faz sırası fazör diyagramı ile bulunacaksa, fazörler bir noktadan (burada P) saat yönünün tersine döndürülerek geçirilir. Şekil:20.7(b)de bu işlem gerçekleştirildiğinde, P noktasını önce V_{Aa} , sonra V_{Bb} en son da V_{Cc} gerilimleri geçer, sıralama yine ABC olarak gerçekleşir.

Şekil:20.7(c)de (b)deki faz gerilimleri için hat gerilimleri gösterilmektedir. Bu fazör diyagramı döndürüldüğünde de, P noktasından geçiş sırası, V_{AB} , V_{BC} , V_{CA} olur. Bu gerilimlerin ilk altsimgeleri kullanılarak sıralamanın yine ABC olduğu görülebilir.

Üç fazlı bir motor içindeki manyetik alanın dönüş yönü, faz sırası ile belirlendiği için, faz sırası üç fazlı bir motorun dönüş yönünü belirler. Bağlantılardan ikisini karşılıklı değiştirmekle motorun dönüş yönü tersine çevrilebilir.

Elektrik işletmelerinde yüksek güç gereksinimini karşılamak için alternatörler paralel bağlanırlar. Alternatör çıkışlarının koşut bağlanmaları için aynı faz sırası, frekans, büyüklük ve faz açısında olmaları gereklidir. Bu koşullar sağlanmadığı durumda terminaller arasında bulunabilecek büyük gerilim farkları nedeniyle çıkışlar koşutlandığında hasar oluşması mümkündür. Faz sırasının alternatör uçları arasındaki gerilimi nasıl etkilediği Şekil:20.8de gösterilmiştir. Hesaplamadan da görüldüğü gibi bu etki ile oluşan potansiyel fark, oldukça büyük olabilir.

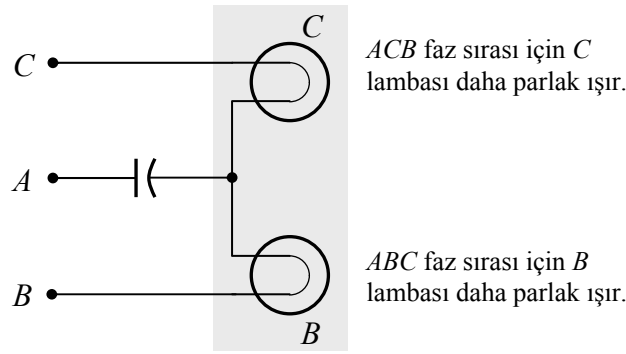


Şekil 20.8: Üç faz kaynaklar koşut bağlanırken, aynı gerilim, frekans, faz açısı ve faz sırasında olmalıdırlar

Faz sırasını belirlemede kullanılacak iki pratik gereçten ilki bir 3-faz motor, diğeri de faz sırası göstergesidir.

3-faz motor ile faz sırası belirleyebilmek için öncelikle motor faz sırası bilinen bir kaynaktan çalıştırılıp, dönüş yönü gözlenmelidir. Bu motor daha sonra faz sırası bilinmeyen sisteme bağlanarak dönüş yönü belirlenir. Motorun dönüş yönü değişmemişse, sistemlerin faz sırası aynıdır. Eğer motor ikinci sistemde birincidekinin tersi yönde dönüyorsa, ikinci sistemin faz sırası, bilinen sistemdekinin tersidir.

Faz sırası göstergesi, sistemin faz sırasını sayısal olarak yada bir lamba ile gösteren bir göstergedir. Böyle bir göstergenin devresi, Şekil:20.9da görülmektedir. Bu devrenin kullanıldığı sistemde faz sırası *ABC* ise *B* lambası, *ACB* ise *C* lambası daha parlak yanacaktır. Faz sırasını sayısal olarak çıktılan daha gelişmiş FSGler varsa da, genel olarak kullanılan aygıt yapısı budur.



Şekil 20.9: Bu devrede faz sırasını belirtmek için lamba parlaklıkları kullanılır

20.5 DÖRT-HAT ÜÇ-FAZ YÜKLER

3~ sistemler kaynak açısından incelendiği gibi, yükler açısından da incelenmelidir. 3~ yükler üç yada dört hatlı, üçgen yada yıldız bağlantılı, dengeli yada dengesiz olabilirler. Şekil:20.10da, 4-Hat 3~ Y yük görülmektedir. Bu yükte birer uçları birbirine ve birleşim noktaları da nötr hattına bağlı üç direnimsiz (empedans) vardır. Böyle bir yük yalnızca, 4 hatlı yıldız bir kaynağa bağlanabilir. Yük faz direnimleri, kaynağın fazlarına koşul olarak bağlıdır. Yükün dengeli olması halinde, hat akımları birbirine eşit olacaktır.

3~ sistemlerde çalışılırken genellikle gerilim ve akım değerlerinin bilinmesi yeterli olur. Üç fazlı sistemlerde listelerde ve etiketlerde verilen değerler, tersi belirtilmedikçe hat değerleridir. Örneğin etiketinde 380 V/5 A yazan bir motorun hat akımı 5 A, hat gerilimi de 380 V olarak alınacak demektir. 3~ sistemlerin analizinde çoğu zaman açılardan göz önünde bulundurulması gerekiyorsa da, uygulamada açılara gereksinilmediği durumlar çoğunluktadır.

Şekil:20.10daki akım yönleri, aynı anda tüm akımların aynı yönde olamayacağı açık olduğuna göre, rasgele seçilmişlerdir. ancak akım fazörlerinin hesaplanabilmeleri için bir başvuru oluşturması için başlangıçta akım yönlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle, çözümlemeden önce rasgele

bir akım yönü seçilmelidir. Karışıklık doğurmaması için tüm akım yönlerinin aynı seçilmesi, bu tür çözümler için yaygın uygulamadır.

3~ kaynak tarafından sağlanan gücün, yükte tüketilen güce eşit olması gereklidir. Buna göre dengeli ve dengesiz yükler için,

$$P_T = V_\phi I_{\phi A} \cos\theta_{\phi A} + V_\phi I_{\phi B} \cos\theta_{\phi B} + V_\phi I_{\phi C} \cos\theta_{\phi C}$$

yazılabilir. Burada P_T kaynağın sağladığı toplam güç, V_ϕ faz gerilimi, I_ϕ faz akımı ve θ_ϕ faz empedansının evre açısıdır.

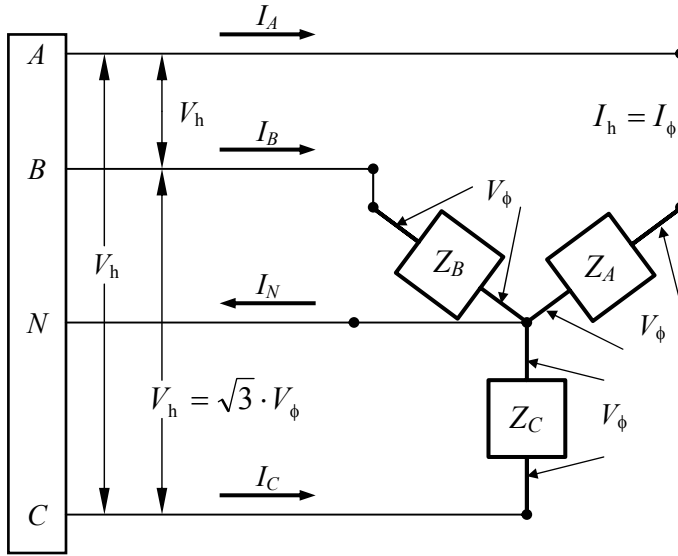
Dengeli bir yükte,

$$Z_A = Z_B = Z_C$$

olacaktır. Faz gerilimleri eşit olduğuna göre faz akımları da eşit olacaktır. Buna göre her faz için güçler de eşit olacağından,

$$P_T = 3 \cdot V_\phi I_\phi \cos\theta_\phi$$

olarak bulunur.



Şekil 20.10: 4-hat 3~ Y yükte bir nötr hattı

Uygulama bilgilerinin genellikle hat verilerini içerdiği göz önüne alınarak, güç ifadesinin hat verileri olarak yazılmasının daha uygun olduğu görülür. Bunun için,

$$V_\phi = \frac{V_h}{\sqrt{3}}$$

ve

$$I_\phi = I_h$$

değerleri yerlerine koyularak,

$$P_T = \sqrt{3} \cdot V_h I_h \cos \theta_\phi \quad W$$

eşitliği elde edilir. Buna göre tepkin ve görünür güçler de,

$$Q_T = \sqrt{3} \cdot V_h I_h \sin \theta_\phi \quad \text{VAR}$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \quad \text{VA}$$

biçiminde belirlenmiş olur.

Yük dengeli ise,

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z_\phi$$

olur ve nötr hattı akımı,

$$I_N = \frac{1}{Z_\phi} (V_\phi \angle 0^\circ + V_\phi \angle -120^\circ + V_\phi \angle 120^\circ)$$

olarak belirlenir. Parantez içindeki terim dengeli yük için sıfır olacağı için, dengeli yüklerde,

$$I_N = 0$$

olur.

Yük dengeli olduğunda nötr hattı bağlantısı, devre etkilenmeksizin kesilebilir. Bu durumda 3-hatlı Y yük devresi elde edilmiş olur. Buna göre, dengeli 3-hatlı sistem ile dengeli 4-hatlı sistem arasında bir fark yoktur.

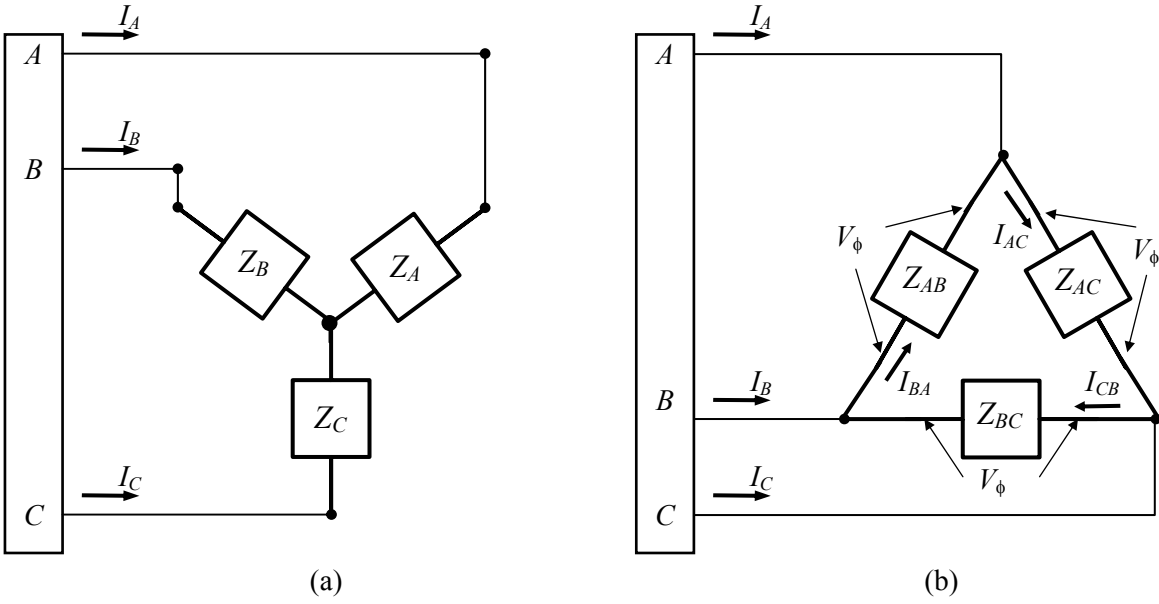
Nötr hattının görevi dengesiz yüklerde açığa çıkar. Sözelimi Şekil:20.10 daki devrede nötr hattı bağlantısını kestikten sonra, Z_A direnimini azaltıp, yükü dengesiz kıldığımızı varsayalım. Bu durumda gerilimler, $V_A \approx 0 \text{ V}$, $V_B \approx 380 \text{ V}$ ve $V_C \approx 380 \text{ V}$ olacaktır. Nötr hattının bağlanması, yükün n noktası ile kaynağın N noktasındaki potansiyel farkı eşitleyerek, faz gerilimindeki bu değişmeyi engeller. Sonuç olarak hat gerilimi, kaynağın faz gerilimleri değişmediği sürece, dengesiz bir yük için bile $\sqrt{3}V_\phi$ değerinde kalır.

Nötr hattı bağlıyken faz yüklerinde oluşan bir dengesizlik, nötr hattından bir nötr akımı geçmesine neden olur. Dengesizlik durumunda nötr hattı bağlı olmazsa nötr akımı oluşmaz ama bu kez, faz yüklerindeki gerilimler kayar. Bu kayma, faz akımları fazör toplamı sıfır olacak biçimde gerçekleşir.

Dağıtım sistemlerindeki nötr hattı, kullanıcı yüklerindeki gerilimin değişmesini engeller. Nötr hattı normalde diğer hatlar kadar akım taşımadığı için, daha küçük çaplı iletkenler ile çekilir.

20.6 ÜÇ-HAT ÜÇ-FAZ YÜKLER

Üç-hat üç-faz yükler, yıldız yada üçgen bağlanabilirler. Şekil:20.11(a)da görülen üç-hat üç-fazlı Y yük devresinde, birer uçları birbirine bağlanmış üç empedans bulunmaktadır. Direnimlerin diğer uçları da, üç fazlı kaynağın



Şekil 20.11: 3-hat 3~ Y (a) ve 3-hat 3~ Δ (b) yük bağlantıları.

uçlarına bağlanmıştır. Yük dengeli ise ($Z_A = Z_B = Z_C$) devre, nötr hattı bağlanmamış 4-hat 3-faz yük ile eşdeğerdir. Bu durumda akım, gerilim ve diğer özellikler, 4-hat yüklerdeki ile aynı yöntemlerle belirlenebilir.

Şekil:20.11(b)de görülen üç-hat üç-fazlı Δ yük devresinde ise, üçgen biçiminde bağlanmış üç empedans bulunmaktadır. Bu direnimleri bağlantı noktaları da, üç fazlı kaynağın uçlarına bağlanmıştır. Yükün dengeli olması durumunda Δ kaynakta olması gerektiği gibi, $V_h = V_\phi$ ve $I_h = \sqrt{3}I_\phi$ koşulları oluşur.

Dengeli yada dengesiz olması fark etmeksizin, bütün üçgen yükler için hat akımlarının fazör toplamı,

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

olarak yazılır.

Yükün dengeli olması durumunda akımların büyüklükleri eşit ve aralarında 120° evre ayrımı olur. Yükün dengesiz olması durumunda akım büyüklükleri eşit olmaz ve faz akımları arasındaki açı da, yük özelliklerine göre, 120° den başka değerler de olabilir.

Yükteki toplam güç, faz empedanslarındaki güçlerin toplamına eşittir. Buna göre üçgen yükler için güç eşitliği,

$$P_T = V_\phi I_{\phi A} \cos\theta_{\phi A} + V_\phi I_{\phi B} \cos\theta_{\phi B} + V_\phi I_{\phi C} \cos\theta_{\phi C}$$

olarak yazılabilir.

Dengeli bir yük için faz akımları ve faz gerilimleri eşit olacağından,

$$P_T = 3 \cdot (V_h I_\phi \cos\theta_\phi)$$

yazılabilir. Yine dengeli yük için,

$$I_{\phi} = \frac{I_h}{\sqrt{3}}$$

olduğuna göre yük eşitliği,

$$P_T = \sqrt{3} \cdot (V_h I_h \cos \theta_{\phi}) \text{ W}$$

olarak elde edilir.

Görüldüğü gibi bu eşitlik yıldız yükler için yazılmış olan güç eşitliği ile aynıdır. Buna ek olarak,

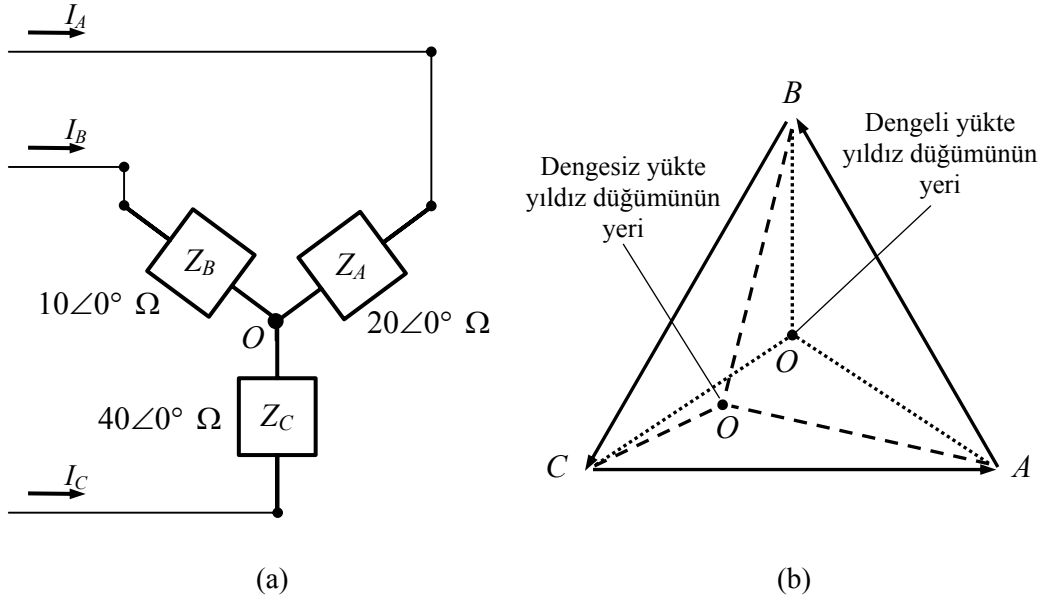
$$Q_T = \sqrt{3} \cdot V_h I_h \sin \theta_{\phi} \text{ VAR}$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \text{ VA}$$

biçiminde bulunmuş olan tepkin ve görünür güç eşitlikleri de üçgen yük devrelerinde geçerlidir.

20.7 DENGESİZ Y VE Δ YÜKLER

Nötr hattı tüm faz gerilimlerini kaynak faz gerilimine eşitlediği için, dört hatlı dengesiz yüklerin çözülmesi kolaydır. Karmaşık göz çözümlenmeleri yerine Ohm Yasası ile işin içinden çıkılabilir.



Şekil 20.12: 3-hat dengesiz Y yükün (a), fazör diyagrama (b) etkisi.

Üç-hat üç-faz üçgen yükler de, dengeli yada dengesiz olmalarından bağımsız olarak, yine Ohm Yasası ile kolayca çözümlenirler. Çünkü yük direnimleri, hatlar arasında bağlıdır ve hat gerilimleri de bilinmektedir. Yükün faz direnimi biliniyorsa, Ohm Yasası ile faz akımı kolayca bulunabilir.

Şekil:20.12(a)daki gibi dengesiz üç-hat yıldız yüklerde ise, yüzer nötr noktası nedeniyle bazı hesaplama güçlükleri vardır. Bu tür yüklerde faz empedansı uçlarındaki gerilim artık

$$\frac{V_h}{\sqrt{3}}$$

değerinde değildir ve fazör diyagramının ortak noktası, Şekil:20.12(b)de gösterildiği gibi kayar.

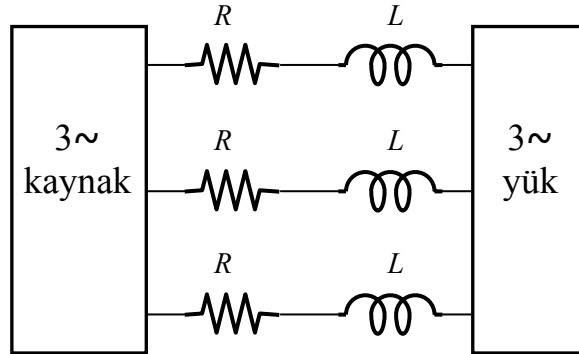
V_ϕ bilinmediğine göre, dört-hat yıldız ve üç-hat delta yüklerde olduğu gibi, Ohm Yasası kullanılarak basit bir çözümlenmesi yapılması olası değildir.

Çözümlemenin yöntemlerinden birisi, yıldız bağlantı yerine üçgen eşdeğerinin koyulmasıdır. Burada elde edilen üçgen eşdeğer de asıl devre gibi dengesiz olmakla birlikte, nötr noktası bulunmadığı için bir sorun çıkarmayacaktır. Ancak dönüştürme süreci ve üçgen bileşenleri ile yıldız bileşenlerini ilişkilendirmek, uzun ve çoğu zaman yanlışlıklara yol açabilen bir süreçtir.

Bunun yerine kullanılan başka bir yöntem, doğrudan doğruya düğüm gerilimleri ile çalışarak, akımları, empedans uçlarındaki gerilimler cinsinden yazmaktır. Başka bir deyişle Ohm Yasası, her bir direnime ayrı ayrı uygulanır. Daha sonra yıldız düğümüne KAY uygulanarak faz gerilimleri hesaplanır. Bulunan bu faz gerilimleri ile yükün faz direnimleri kullanılarak akım değerleri bulunabilir.

20.8 ÜÇ FAZLI YÜKLER VE HAT EMPEDANSI

Yük uçlarındaki gerilim değerleri şimdiye dek, hat empedansı değeri göz ardı edilerek incelendi. Ancak elektrik dağıtım dizgelerinde iletim hatları, direnç, sığa ve endüktans içeren ve *hat empedansı* olarak adlandırılan direnimsel değerlerine sahiptirler. Hat empedansı, kaynak ile yük arasında gerilim düşümlerine, farklı hat gerilimlerine ve fazlar arasında 120°den farklı değerlerdeki açılara yol açabilir.



Şekil20.12: Hat empedansı iletim yolunda gerilim düşümü ve güç yitimi

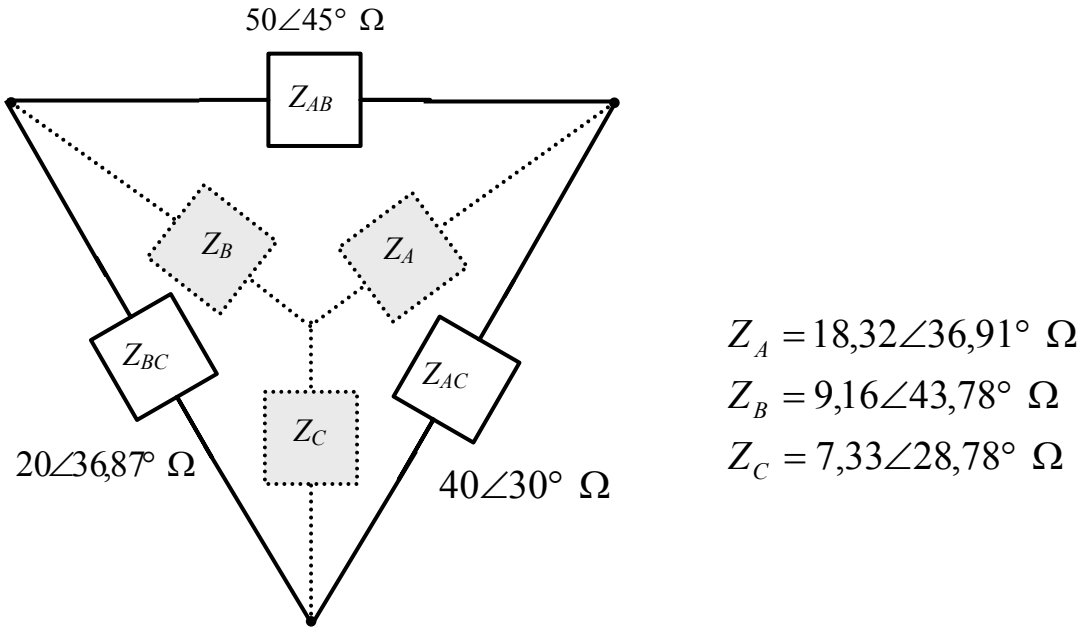
Hat direnimi çözümlemesinde hat direnci ve endüktansı hesaba katılırken, hat kapasitansı göz ardı edilir. Çünkü X_C , şebeke frekansında (50 Hz) çok yüksek bir değer alır ve çok uzun mesafeli hatlar dışında, sisteme pek bir etkisi olmaz.

Bu veriler ışığında, pratikte kullanılan bir iletim hattı, Şekil:20.12de gösterildiği gibidir. Burada R değeri iletim hattının ac direncini ve L değeri de iletim hattının endüktansını göstermektedir. 50 Hertzdeki ac direnç, dc direnç değerinden yaklaşık olarak yüzde 5~10 kadar daha yüksek olur. Endüktans ise hat uzunluğu ve hatlar arası uzaklık ile değişmekle birlikte, bu büyüklükler ile doğru orantılı değildir.

Hat empedansı hesaba katılırken, yükün yıldız eşdeğerine dönüştürülmesi uygun bir seçim olacaktır. Bu şekilde hat direnimi, Y bacağındaki direnime ile kolayca toplanarak, doğrudan kaynağa bağlı bir bileşik yük (hat empedansı+yük empedansı) elde edilir.

3~ çözümlemelerde hat empedansı çözümlemesi yapma dışında başka yerlerde de gerekli $Y \rightarrow \Delta$ ve $\Delta \rightarrow Y$ dönüşümler için, yıldız ve üçgen devreler arasındaki fiziksel ilişki, Şekil:20.13te gösterilmiştir. Aşağıda verilen dönüşüm eşitlikleri de doğru akım devrelerinde dirençler için kullanılan eşitliklere benzer özellikler taşımaktadırlar.

20.8.1 $\Delta \rightarrow Y$ DÖNÜŞÜM



Şekil 20.13: Üçgen devrenin yıldız bileşenlerinin bulunması.

Şekil:20.13teki notasyona göre,

$$Z_A = \frac{Z_{AB}Z_{AC}}{Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}}$$

$$Z_B = \frac{Z_{AB}Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}}$$

$$Z_C = \frac{Z_{BC}Z_{AC}}{Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}}$$

olarak üçgen devrenin yıldız bileşenleri belirlenir. Eğer devrede,

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{AC}$$

koşulu sağlanıyorsa yıldız bileşenleri için,

$$Z_A = Z_B = Z_C = \frac{Z_{AB}}{3}$$

eşitliği geçerli olur.

20.8.2 Y→Δ DÖNÜŞÜM

Yine Şekil:20.13teki notasyona göre,

$$Z_{AB} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_C}$$

$$Z_{BC} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_A}$$

$$Z_{AC} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_B}$$

olarak yıldız devrenin üçgen bileşenleri belirlenir. Eğer devrede,

$$Z_A = Z_B = Z_C$$

koşulu sağlanıyorsa üçgen bileşenleri için,

$$Z_{AB} = Z_{AC} = Z_{BC} = 3 \cdot Z_A$$

eşitliği geçerli olur.

Bu dönüşümler yapılırken, aşağıda verilen adımların izlenmesi kolaylık sağlayacaktır:

1. Yıldız yada üçgen devre belirlenip A , B ve C uçları imlenir.
2. İstenilen devre, olanın üzerine bindirilerek çizilir.
3. Direnim değerleri eşitlikler kullanılarak hesaplanır.
4. Başlangıçtaki devre çıkarılarak yeni devre yerinde bırakılır.

Dönüşümün en önemli bölümü, empedansların konumları arasındaki ilişkinin uygun biçimde belirlenmesidir. Dönüşüm eşitlikler incelendiğinde bu genel ilişkiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

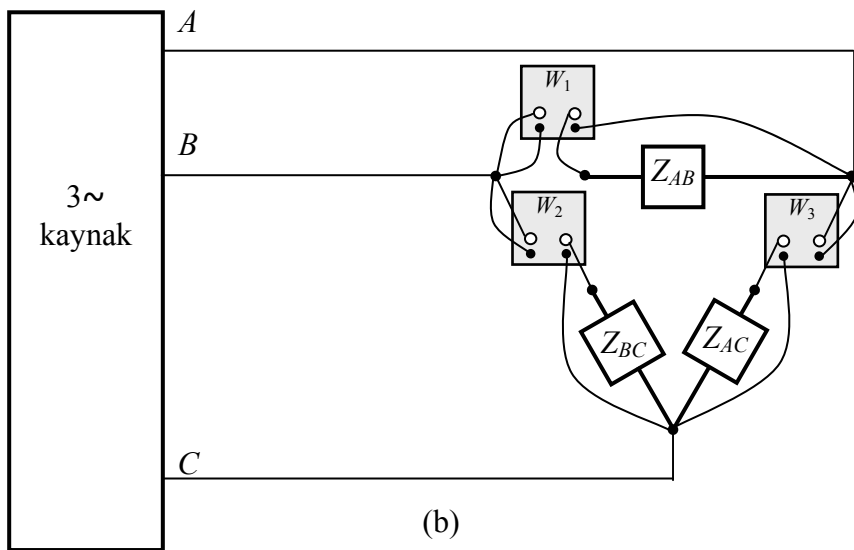
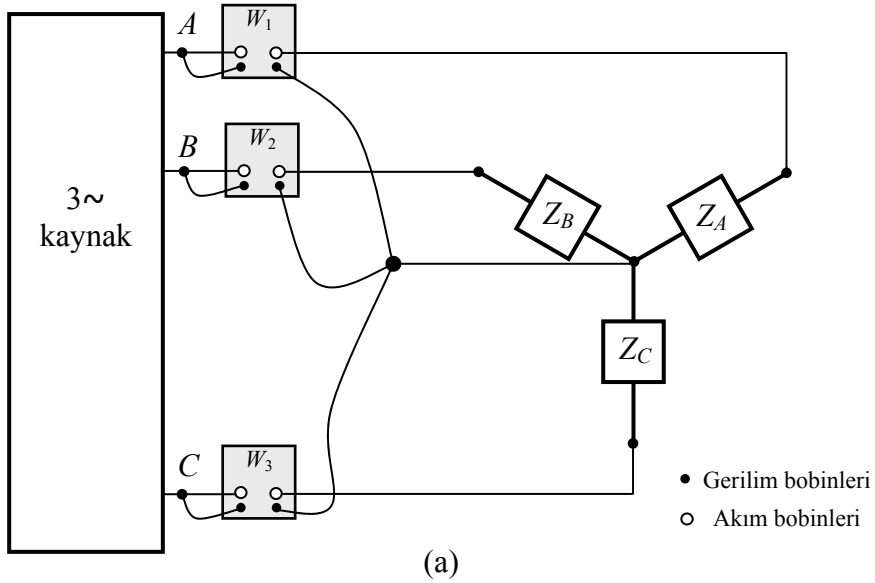
Üçgen → Yıldız:

Bir yıldız bacağıının direnimi, üçgendeki komşu direnimler çarpımının, üç delta direniminin fazör toplamına bölümüne eşittir.

Yıldız → Üçgen:

Bir üçgen kolunun direnimi, yıldız kolu empedanslarının ikili çarpımlarının toplamının, karşı yıldız koluna bölümüne eşittir.

Üç fazlı sistemlerdeki yükler her zaman dengeli olmasalar da, dengede yada dengeye yakın tutulmaya çalışılırlar. Bu nedenle burada verilen örnekler denge durumu ile sınırlıdır.



Şekil 20.14: Her faz için bir güçölçer kullanarak ölçme yaparken, yıldız yük (a) ve üçgen yük (b) için kullanılması gereken Wattmetre bağlantıları.

20.9 ÜÇ FAZLI DEVRELERDE GÜÇ ÖLÇME

Üç fazlı bir sistemde güç ölçmenin en uygun ve kolay yöntemi, çok fazlı bir güçölçer kullanmaktır. Ancak uygulamada çoğu zaman, tek fazlı güçölçerler ile bu işlemin gerçekleştirilmesi gerekir.

Akla gelebilecek ilk yöntem, her faz için bir adet olmak üzere üç güçölçer kullanılarak ölçme yapmaktır. Bunun için üç Wattmetre, Şekil:11:14(a)da görüldüğü gibi bağlanır. Bu ölçme sonucunda sistemin gücü, güçölçerlerde okunan değerlerin toplamına eşittir.

Üç güçölçer bağlantısı ancak, fazlarının her iki ucu da erişilebilir olan yükler için kullanılabilir. Bunlar da genellikle dört hatlı yıldız yüklerdir. Güç ölçmesi yapmak için başka bağlantı olasılıkları da vardır ve bunlardan bir bölümü, Tablo:20.1de sıralanmıştır.

Tablo 20.1: 3~ güç ölçmeleri için Wattmetre bağlantıları.

Yöntem	Gerekli Aygıt sayısı	Dengeli yük	Dengesiz yük	Notlar
1. Üç güçölçer yöntemi	3	Evet	Evet	Her iki faz ucu da erişilebilir olmalı
2. Tek güçölçer yöntemi	1	Evet	Hayır	Her iki faz ucu da erişilebilir olmalı
3. Yüzer nötr yöntemi	3	Evet	Evet, nötr hattı varsa	Faz uçlarının erişilebilir olması gerekmez
4. Gerilim bölücü yöntemi	1	Evet	Hayır	Eşit değerde iki direnç gereklidir
5. Yapay nötr yöntemi	1	Evet	Hayır	Eşit değerde üç direnç gereklidir
6. İki güçölçer yöntemi	2	Evet	Evet	Güç katsayısı değişen yükler için uygun değildir. Nötr ucu gerekmez

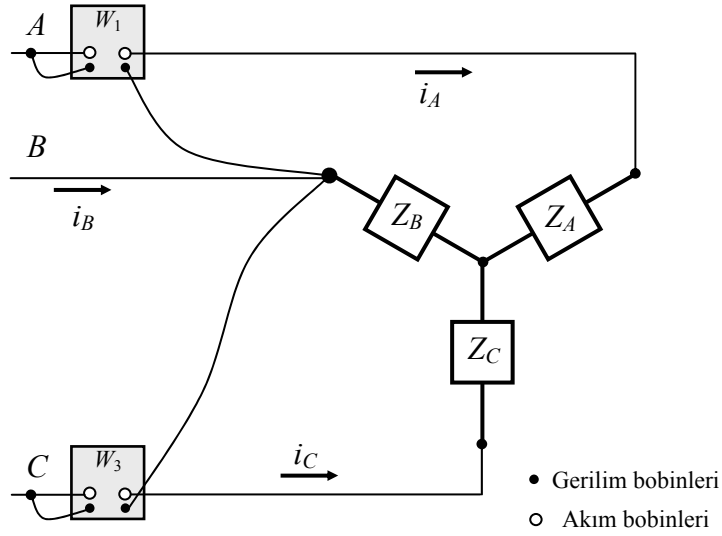
Bu ölçme yöntemlerinin ayrıntıları ölçme el kitaplarında bulunmaktadır. Burada en yaygın olarak kullanılan iki Wattmetre yöntemi açıklanacaktır.

Bu yöntemin yaygın olarak kullanılma nedenlerinden bazıları, ölçme sırasında faz empedanslarının iki ucuna da gerek duyulmaması ve ölçmenin ek bir direnç devresi gerektirmemesidir. Bununla birlikte yöntemin sakıncası olarak da, yük güç katsayısı 0,5 değerinden geçerken, ölçü aleti sapmasının yön değiştirmesi

söylenbilir. Bu durumda uçların yer değiştirilmesi gerekir. Yöntem, dengeli ve dengesiz yükler için hem üçgen hem de yıldız bağlantılarda kullanılabilir.

İki güçölçer yöntemi ile ölçme yapmanın adımları aşağıda sıralanmıştır:

1. Wattmetrelerin akım bobinleri, Şekil:20.15te görüldüğü gibi, iki hatta bağlanır.
2. Wattmetrelerin gerilim bobinleri, Şekil:20.15te görüldüğü gibi, iki hatta bağlanır. Her iki güçölçerde de doğru yönde sapma görülüyorsa bağlantılar ters çevrilir.
3. Düşük değer gösteren güçölçerin gerilim bobini ucu akım yolunda wattmetre olmayan hattan ayrılıp, diğer wattmetrenin bulunduğu hatta bağlanır.
4. 3. adımda düşük değer gösteren güçölçerin ibresi doğru yönde saparsa, göstergelerde okunan değerler toplanır. Eğer sapma ters yönde olursa, düşük değer büyük olandan çıkarılarak devrenin gücü belirlenir.



Şekil 20.15: İki Wattmetre ile güç ölçme devresi.

Güçölçerlerde okunan değerler kullanılarak, yükün güç katsayısını belirlemek için,

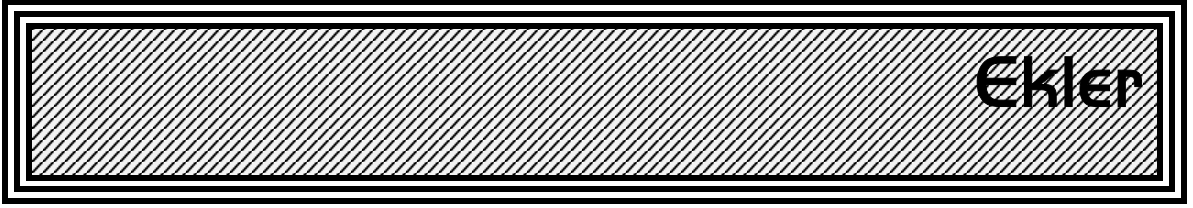
$$\cos \varphi = \cos \left[\arctan \sqrt{3} \cdot \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right) \right]$$

eşitliği kullanılır. Burada $\cos \varphi$ güç katsayısını, P_1 ve P_2 değerleri de wattmetrelerde okunan değerleri göstermektedir. Ölçmenin üçüncü adımında ters yönde sapma görülürse, bu değer eşitliğe negatif olarak girilmelidir.

Wattmetre değerlerinden yararlanılarak devrenin tepkin gücü de bulunabilir. Bunun için,

$$Q = \sqrt{3} \cdot (\text{büyük okuma} \pm \text{küçük okuma})$$

eşitliğinden yararlanır. Tepkin gücü doğru olarak hesaplayabilmek için, 3. adımdaki sapma ters yönde ise (+), doğru yönde ise (-) kullanılmalıdır.

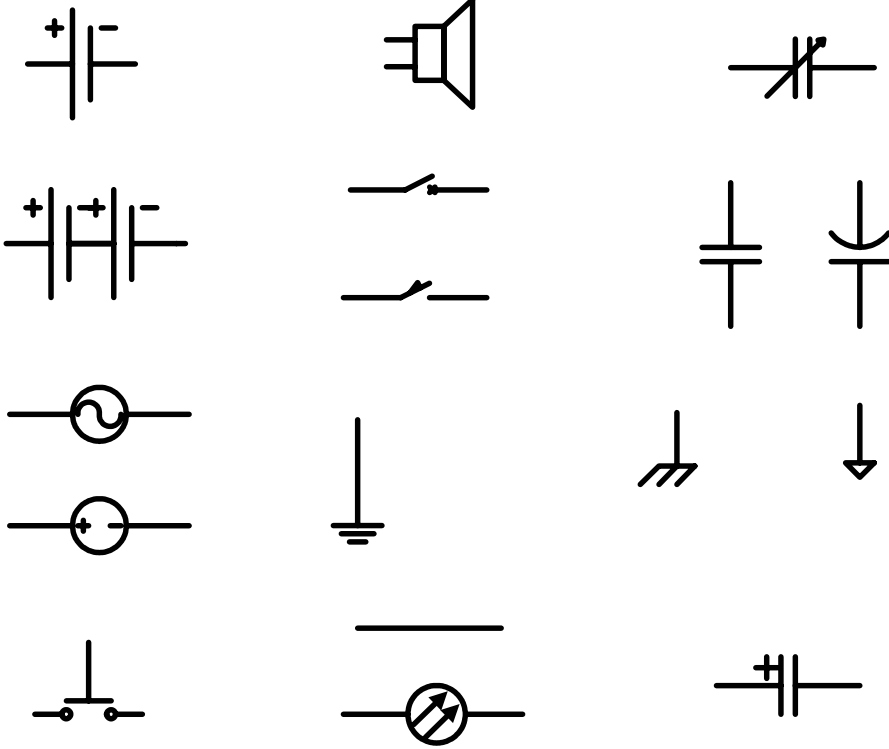


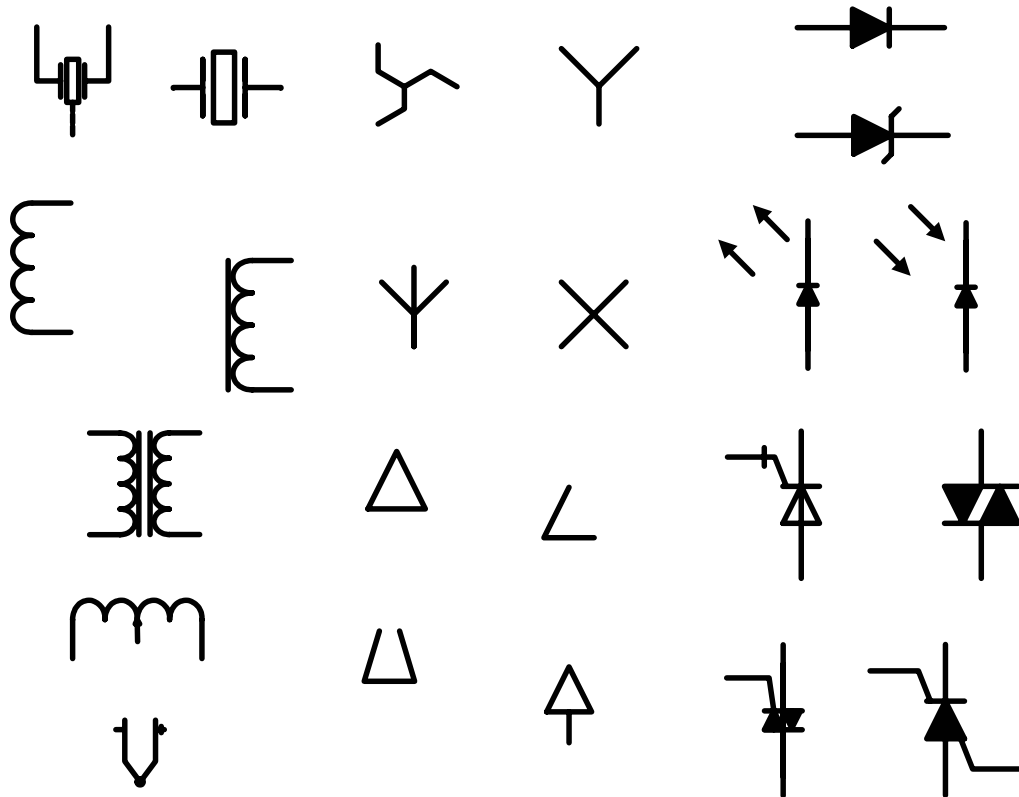
Ekler



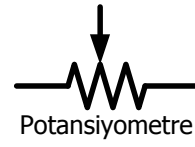
EK-A

**YAYGIN ELEKTRİK VE
ELEKTRONİK ÇİZİM SİMGELERİ**

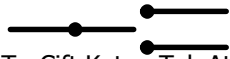




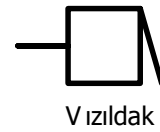
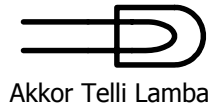
SPST- Tek Kutup Tek Atım

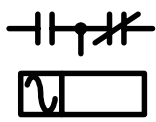


SPDT- Çift Kutup Tek Atım

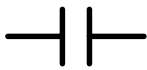


DPDT- Çift Kutup Çift Atım





N



EK-B

DOĞRUSAL DENKLEMLERİN DETERMINANT KULLANARAK ÇÖZÜMLENMESİ

İki yada daha çok sayıda değişken içeren bir doğrusal denklem takımını çözmek, determinantlar kullanılarak tümüyle basit bir işlem dizisine indirgenebilir.

Bir determinant oluşturmak için, bilinmeyenlerin katsayıları, satırlar ve sütunlar halinde yazılır. Aşağıda bir 2×2 determinant örneği görülmektedir.

$$\begin{vmatrix} 4 & -5 \\ 3 & 7 \end{vmatrix}$$

Böyle bir determinant,

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 \times b_2 - a_2 \times b_1$$

kuralı gereğince,

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} 4 & -5 \\ 3 & 7 \end{vmatrix} &= 4 \times 7 - 3 \times (-5) \\ &= 28 - (-15) \\ &= 43 \end{aligned}$$

olarak gibi değerlendirilir.

Determinant çözümlemesini bir denklem takımında uygulamak için öncelikle denklem takımındaki bütün denklemler, her bir denklemde bütün bilinmeyenlere yer verilerek, aynı biçimde düzenlenir.

$$\begin{aligned}a_1x + b_1y &= c_1 \\ a_2x + b_2y &= c_2\end{aligned}$$

Bu düzenleme sonrasında Cramer kuralı uygulanarak bilinmeyenler;

$$x = \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} \quad y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}}$$

eşitlikleri kullanılarak belirlenir.

Görüldüğü gibi paydada yer alan determinant, her iki bilinmeyen için de aynıdır ve x ve y değişkenlerinin sabitlerinin, denklem takımında görüldükleri sırada yazılmalarıyla oluşturulmuştur.

Paydaki determinant ise aynı determinantın, çözümlenmekte olan değişkenin katsayıları yerine, denklem sabitlerinin yazılması ile oluşturulmuş halidir. Buna göre denklemlerin sabitleri olan c_1 ve c_2 , x için çözümlene yapıyorken a_1 ve a_2 yerine, y için çözümlene yapıyorken de b_1 ve b_2 yerine yazılmıştır.

Cramer kuralı, bilinmeyen sayısı ne olursa olsun geçerlidir. Ancak 3×3 determinantların değerlendirilmesinde kullanılan aşağıdaki basit yöntem, daha yüksek dereceli determinantlar için geçerli değildir.

Örnek olarak,

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

determinantı verilmiş olsun.

Bu determinantın değeri, ilk iki sütunun yinelenmesi ve belirtilen çarpımların yapılması ile belirlenebilir.

$$\begin{array}{cccccc}
 a_1 & b_1 & c_1 & a_1 & b_1 & \\
 a_2 & b_2 & c_2 & a_2 & b_2 & \\
 a_3 & b_3 & c_3 & a_3 & b_3 & \\
 \end{array}
 \quad
 \text{sonuç} = a_1b_2c_3 + b_1c_2a_3 + c_1a_2b_3 - a_3b_2c_1 - b_3c_2a_1 - c_3a_2b_1$$

Aynı sonuç başka bir biçimde, bu kez ilk iki satırın yinelenmesi ve belirtilen işlemlerin yapılması ile de elde edilebilir.

$$\begin{array}{ccc}
 a_1 & b_1 & c_1 \\
 a_2 & b_2 & c_2 \\
 a_3 & b_3 & c_3 \\
 a_1 & b_1 & c_1 \\
 a_2 & b_2 & c_2
 \end{array}
 \quad
 \text{sonuç} = a_1b_2c_3 + a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - c_1b_2a_3 - c_2b_3a_1 - c_3b_1a_2$$

Bunlardan hangisinin kullanılacağı seçime kalmıştır.

Örnek olarak

$$\begin{aligned}
 3I_1 + 0I_2 + 2I_3 &= 10 \\
 2I_1 - 4I_2 + 9I_3 &= 0 \\
 0I_1 + 9I_2 - 4I_3 &= -15
 \end{aligned}$$

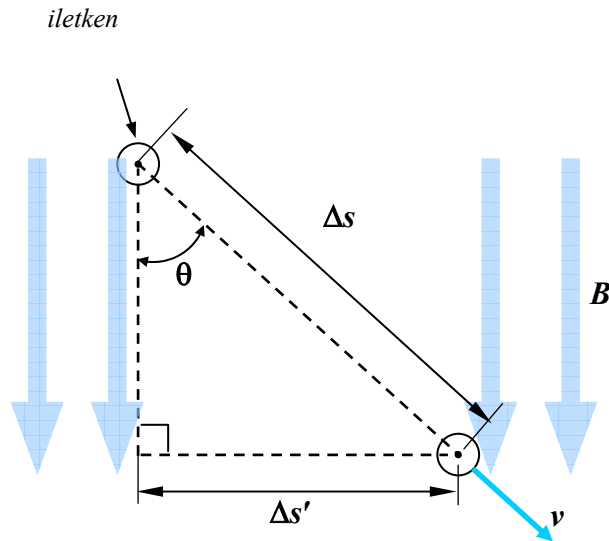
denklem takımında Cramer yöntemi yardımı ile I_1 değerini bulalım.

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 0 & 2 \\ 0 & -4 & 9 \\ -15 & 9 & -4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & 0 & 2 \\ 2 & -4 & 9 \\ 0 & 9 & -4 \end{vmatrix}} = \frac{160 - 930}{84 - 243} = \frac{-770}{-159} = 4,84 \text{ A}$$

Burada I_2 değeri, -2,67 A ve I_3 değeri de -2,26 A olarak bulunmalıdır.

EK-C

MANYETİK ALANDA DEVİNEN
İLETKENDE İNDÜKLENEN
GERİLİM ÜZERİNE AÇININ
ETKİSİ



Şekil E-1: İletken B alanında, alana θ açısı yaparak v hızıyla hareket ettiriliyor.

Şekil: E-1de gösterildiği gibi bir iletkenin B şiddetindeki bir manyetik alanda v hızıyla ve θ açısıyla hareket ettirildiğini düşünelim.

Δt süresi sonunda iletken Δs yolunu kat etmiş olacaktır. Ancak bu yolalmanın indüklenen gerilime katkısı olan kısmı, $\Delta s'$ ile gösterilen ve alanı asıl kesen yatay bileşenidir. Δs ile $\Delta s'$ arasındaki ilişki, θ açısıyla bağlantılıdır (Ek-D'yi inceleyin) ve,

$$\frac{\Delta s'}{\Delta s} = \sin \theta$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Buna göre,

$$\Delta s' = \Delta s \sin \theta$$

olacaktır. Bu yatay bileşen değerini

indüklenen gerilim eşitliğinde yerine koyarak,

$$\begin{aligned} v_{ind} &= B \times l \times \frac{\Delta s'}{\Delta t} \\ &= B \times l \times \frac{\Delta s}{\Delta t} \times \sin \theta \quad \text{V} \end{aligned}$$

değerini buluruz. Öte yandan,

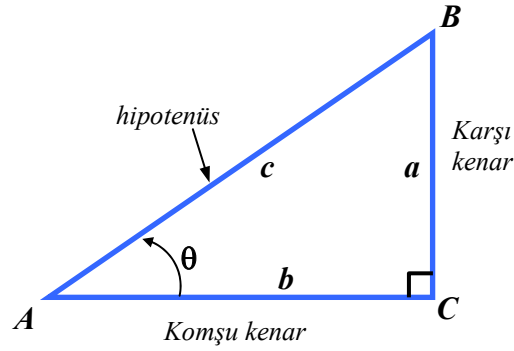
$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = v$$

olarak tanımlı olduğuna göre,

$$v_{ind} = Blv \sin \theta = V_m \sin \theta \quad \text{V}$$

olarak hareket açısı ve V_m cinsinden indüklenen gerilim değerini buluruz.

TRİGONOMETRİK ORANLAR

Şekil D-1: Diküçgende kenarların θ açısı ile ilişkisi

Herhangi bir diküçgende, kenarlar uzunluklarından birinin diğerine oranı, üçgenin boyutlarından bağımsız olarak, yalnızca θ açısına bağlı olan belli bir değere eşittir.

Şekil:D.1deki diküçgende gösterildiği gibi, dik açının karşısındaki kenar hipotenüs olarak adlandırılır. θ açısına göre konuşulursa, a kenarı karşı, b kenarı da komşu (dik)kenar olarak adlandırılırlar.

Bu kenarlar ve θ açısı arasında,

$$\sin \theta = \frac{a}{c}, \quad \cos \theta = \frac{b}{c}, \quad \tan \theta = \frac{a}{b}$$

olarak gösterilen ve trigonometrik oran yada fonksiyonlar olarak adlandırılan bağıntılar vardır. Bu üç işlevin, verilen bir açı için sabit değerleri vardır. Tablo:D-1de radyan ve derece olarak bazı açılar için değerleri verilmiş olan bu değerler, bilimsel hesap aletleri ile kolayca hesaplanabilmektedir.

Tablo D-1: Bazı temel açılar için trigonometrik değerler

Açı, θ		$\sin\theta$	$\cos\theta$	$\tan\theta$
Derece	Radyan			
0°	0	0	1	0
30°	$\pi/6$	0,5	0,866	0,577
45°	$\pi/4$	0,707	0,707	1
60°	$\pi/3$	0,866	0,5	1,732
90°	$\pi/2$	1	0	∞

0° ile 90° arasındaki açılar dar açı olarak adlandırılır. Bu aralıktaki açılarının tüm trigonometrik oranları pozitif değerlidir. 90° ile 360° arasındaki açılara geniş açı denilir ve, her ne kadar üçgen kenarları ile doğrudan ilgili olmasa da☺, bu açılar için de trigonometrik işlevler geçerlidir. 360° den büyük açılar için trigonometrik oranlar, 0° den 360° ye kadar olanların tekrarıdır. Bilimsel hesap aletleri, derece yada radyan olarak verilen bütün açılarının işaret (+/-) ve değerini hesaplayabilirler. Aşağıda verilen ve diğer açılarının değerini kendi hesap aletinizle bulmayı deneyin:

$$\sin 270^\circ = -1$$

$$\cos 390^\circ = 0,866$$

$$\tan 120^\circ = -1,732$$

$$\sin 2rad = 0,909$$

TERS TRİGONOMETRİK FONKSİYONLAR

Bir açının sinüsü (yada başka bir trigonometrik değeri) biliniyorsa, ters-inverse trigonometrik işlevler ile açının değerini bulmak mümkündür. Örneğin

$$\sin \theta = 0,5$$

eşitliği verilmişse, θ için, sinüsü 0,5 olan açı diyebiliriz. Bunu matematiksel olarak ifade etmek içinse;

$$\theta = \arcsin 0,5$$

yada

$$\theta = \sin^{-1} 0,5$$

yazımı kullanılır. Bu yazımlardan her ikisi de ters sinüs fonksiyonu olarak adlandırılır. Dikkat edilirse burada kullanılan üs durumundaki -1, çarpmaya göre terslik (bir bölü sinüs) ifade etmemektedir. Aşağıdaki eşitliklerde, diğer trigonometrik oranlar için ters trigonometrik fonksiyonların yazılışı gösterilmiştir:

$$\theta = \tan^{-1} 1 = \arctan 1 = 45^\circ$$

$$\theta = \arccos 0,8 = \cos^{-1} 0,8 = 36.87^\circ$$

EK-E

AC ÜRETEÇTE SİNÜS GENLİĞİNİ BELİRLEYEN ETMENLER

Bkz. Şekil:13.14

Herbir iletkende indüklenen gerilim= $Blv\sin\theta$ ve seri bağlı A ve B iletkenlerinde indüklenen gerilim= $2Blv\sin\theta$ olacaktır.

Hız eşitliğinin,

$$v = \frac{\text{yol}}{\text{zaman}}$$

olduğunu bildiğimize göre, üreteçteki iletkenlerin hızı

$$v = \frac{\text{iletkenin bir turdaki yolu}}{\text{bir tur için gereken zaman}}$$

olarak belirlidir. Alınan yol çemberin çevresi, hız da devir sayısının (n) tersi olduğuna göre hız,

$$v = \frac{\pi d}{1/n} = \pi dn$$

olarak bulunur. Buna göre indüklenen gerilim,

$$\begin{aligned}v_{ind} &= 2Blv \sin \theta \\ &= 2Bl\pi dn \sin \theta \\ &= 2\pi nBA \sin \theta \quad \text{V}\end{aligned}$$

olacaktır. Burada A , bobinin alanıdır ($d.l$). rotorun sarım sayısının da N olduğu düşünülürse üreteçten alınacak gerilim değeri,

$$v_{ind} = 2\pi nBAN \sin \theta \quad \text{V}$$

olarak belirlenir.

EK-F

SIKLIK VE ZAMAN CİNSİNDEN İNDÜKLENEN GERİLİM

Bir sinüs dalgasının gerilimi, $v = V_m \sin \theta$ olarak ifade edilir. Bu eşitlikteki θ açısı, daha iyi bilinen sıklık-frekans (f) cinsinden yazılabilir.

Üretecın bir çift kutbu olduğunu düşünelim. Bilindiği gibi dalğanın her bir periyodu, 360° lik bir tura karşılık gelmektedir. (Bu durum elektriksel açılar kullanıldığında, bütün kutup sayıları için geçerli olur.)

Saniyede f çevrimlik gerilim üreten bir bobin tarafından süpürülen (yada geçilen) açı, saniyede $360 f$ derecedir.

Eğer $t=0$ da açı (ve indüklenen gerilim değeri) sıfırsa, t süresi sonunda bobinin taradığı açı, $\theta = 360 ft$ derece olacaktır. Buna göre gerilim değeri,

$$v = V_m \sin(360 ft)^\circ$$

olur. $360 = 2\pi$ rad. olduğuna göre,

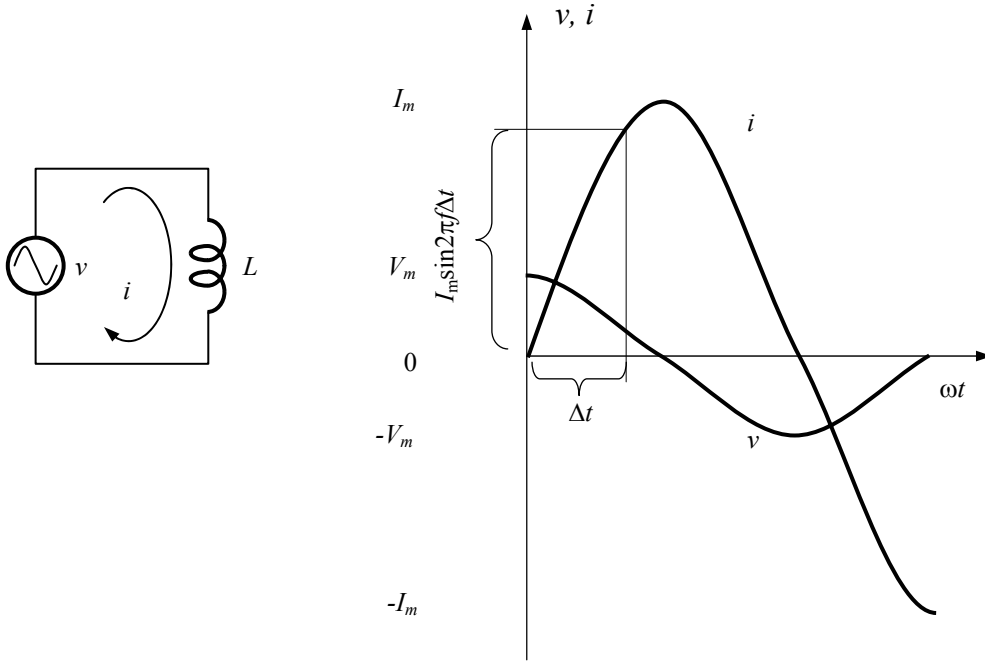
$$v = V_m \sin 2\pi ft$$

açısal frekansa $2\pi f = \omega$ atamasını yaparsak sinüs geriliminin eşitliğini,

$$v = V_m \sin \omega t \quad \text{V}$$

olarak buluruz.

EK-G ENDÜKTİF TEPKE (X) FORMÜLÜNÜN ÇIKARILIŞI



Şekil G-1: Akım eğrisinin başlangıç eğimi $i/\Delta t$ değerindedir.

Akım değişim hızının en yüksek olduğu noktada, bobinde indüklenen gerilim en yüksek değerine ulaşacaktır.

$$v_L = L \left(\frac{\Delta i}{\Delta t} \right)$$

eşitliğinde L değeri sabit olduğuna göre en yüksek gerilim değeri için,

$$V_m = L \left(\frac{\Delta i}{\Delta t} \right)_{\max}$$

koşulu sağlanmalıdır. Akım eğrisinin en yüksek pozitif eğimi, eğrinin sıfır geçişindedir. Eğrinin başlangıç eğimi için bir ifade yazmaya çalışalım. $i = I_m \sin 2\pi f t$ ve $t = 0$ anında $i = 0$ verilmiş olsun. Kısa bir zaman aralığında,

$$i = I_m \sin 2\pi f \Delta t$$

olacaktır. Ancak Δt değerinin çok küçük (sıfıra yakın) olması durumunda, $2\pi f \Delta t$ değeri de sıfıra yakın olacaktır. Bu durumda,

$$\sin 2\pi f \Delta t \approx 2\pi f \Delta t$$

olduğu söylenebilir. $\left[\text{Deneyin} \rightarrow \sin 1^\circ = \sin \left(\frac{\pi}{180} \text{ rad} \right) \approx \frac{\pi}{180} \right]$ Buna göre sıfıra yakın çok kısa bir zaman aralığı için,

$$i = I_m \sin 2\pi f \Delta t = I_m 2\pi f \Delta t$$

yazılabilir. Şekil:G-1deki akım eğrisinin başlangıç eğimi,

$$\text{eğim} = \frac{\text{yükseliş}}{\text{zaman}} = \frac{i}{\Delta t} = \frac{I_m 2\pi f \Delta t}{\Delta t} = 2\pi f I_m$$

olarak bulunur. Buna göre indüklenecek en yüksek gerilim değeri için,

$$V_m = L \times 2\pi f I_m = 2\pi f L I_m$$

eşitliği elde edilir. Bobin uçlarındaki etkin gerilim değeri (kaynak gerilimi),

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f L I_m}{\sqrt{2}}$$

ve etkin akım değeri de,

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

olduğuna göre, ac akıma gösterilen zorluk Ohm Yasası gereğince;

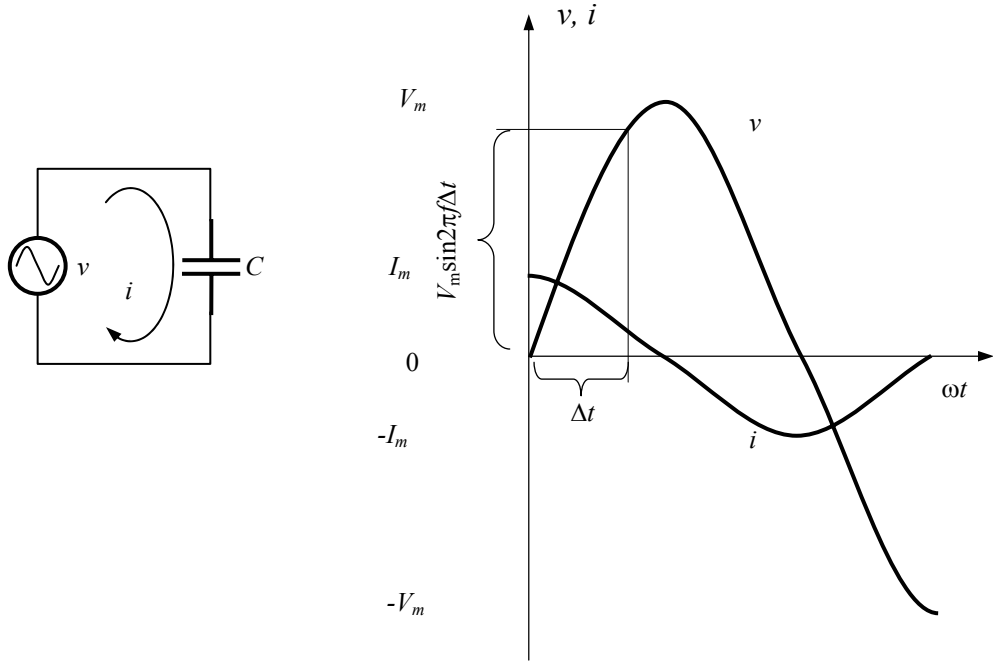
$$\begin{aligned} X_L &= \frac{V}{I} = \frac{\frac{2\pi f L I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} \\ &= \frac{2\pi f L I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{I_m} = 2\pi f L \\ X_L &= \omega L \end{aligned}$$

olur.

EK-H

SİĞASAL TEPKE (X_C)

FORMÜLÜNÜN ÇIKARILIŞI



Şekil H-1: Gerilim eğrisinin başlangıç eğimi $v/\Delta t$ değerindedir.

Gerilimin en hızla arttığı başlangıç noktasında, sığaçtan geçen akım en yüksek değerine ulaşacaktır.

$$i = C \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)$$

eşitliğinde C değeri sabit olduğuna göre en yüksek akım değeri için,

$$I_m = C \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\max}$$

koşulu sağlanmalıdır. Gerilim eğrisinin en yüksek pozitif eğimi, eğrinin sıfır geçişindedir. Eğrinin başlangıç eğimi için bir ifade yazmaya çalışalım. $v = V_m \sin 2\pi f t$ ve $t = 0$ anında $v = 0$ verilmiş olsun. Kısa bir zaman aralığında,

$$v = V_m \sin 2\pi f \Delta t$$

olacaktır. Ancak Δt değerinin çok küçük (sıfıra yakın) olması durumunda, $2\pi f \Delta t$ değeri de sıfıra yakın olacaktır. Bu durumda,

$$\sin 2\pi f \Delta t \approx 2\pi f \Delta t$$

olduğu söylenebilir. Buna göre sıfıra yakın çok kısa bir zaman aralığı için,

$$v = V_m \sin 2\pi f \Delta t = V_m 2\pi f \Delta t$$

yazılabilir. Şekil:H-1deki akım eğrisinin başlangıç eğimi,

$$\text{eğim} = \frac{\text{yükseliş}}{\text{zaman}} = \frac{v}{\Delta t} = \frac{V_m 2\pi f \Delta t}{\Delta t} = 2\pi f V_m$$

olarak bulunur. Buna göre geçecek en yüksek akım değeri için,

$$I_m = C \times 2\pi f V_m = 2\pi f C V_m$$

eşitliği elde edilir. Etkin sığaç akımı devre akımına eşittir ve,

$$V = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f C V_m}{\sqrt{2}}$$

olarak yazılabilir. Sığaç gerilimi de,

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

olduğuna göre, ac akıma gösterilen zorluk Ohm Yasası gereğince;

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{V}{I} = \frac{\frac{V_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2\pi f C V_m}{\sqrt{2}}} \\ &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2\pi f C V_m} = \frac{1}{2\pi f C} \\ X_C &= \frac{1}{\omega C} \end{aligned}$$

olur.

EK-1

HAVA DİELEKTRİKLI SIĞA EŞİTLİĞİNİN ÇIKARILIŞI

Yüklü bir sığacın plakaları arasındaki elektrik alan şiddeti,

$$E = \frac{V}{d} \text{ Volt/metre}$$

eşitliği ile belirlidir. Bu eşitlikte E , V/m olarak elektrik alan yeğinliğini; V , Volt olarak plakalar arasındaki potansiyel farkı ve d , metre olarak plakalar arası uzaklığı göstermektedir. Elektrik alan yeğinliği aynı zamanda,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ Newton/Coulomb yada V/m}$$

eşitliği ile de tanımlıdır. Bu eşitlikte E , V/m olarak elektrik alan yeğinliğini; σ C/m² olarak plakaların birim alanına düşen yük miktarını ve ϵ_0 , 8,85x10⁻¹² C²/Nm² olarak boşluğun geçirgenliğini göstermektedir.

$$\sigma = \frac{\text{plakadaki yük}}{\text{plaka alanı}} = \frac{Q}{A}$$

olduğuna göre,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \text{ ve } Q = \epsilon_0 AE$$

yazılabilir. Ayrıca

$$E = \frac{V}{d}$$

eşitliğinden

$$V = dE$$

elde edilir.

Bu eşitlikler

$$C = \frac{Q}{V}$$

eşitliğinde yerine koyularak,

$$C = \frac{\epsilon_0 AE}{dE} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

olarak sığa eşitliği bulunmuş olur. Eğer sığaçta hava dışında K dielektrik katsayılı bir malzeme kullanılmışsa sığa eşitliği,

$$C = K \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

olarak değişmiş olur.