

2014

EGE ÜNİVERSİTESİ EGE MYO
MEKATRONİK PROGRAMI

SENSÖRLER VE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Yrd.Doç.Dr. Dilşad Engin

Ege Üniversitesi

6/9/2014

İÇİNDEKİLER

1	4
SÜREÇ KONTROLE GİRİŞ	4
1.1 SÜREÇ KONTROL	4
1.1.1 Giriş	4
1.1.2 Süreç Kontrolün Tanımı	4
1.1.3 Süreç Kontrol Sisteminin Elemanları	5
1.1.4 Bir Kontrol Sisteminin Temel Gereksinimleri	7
1.2 BAZI SÜREÇ KONTROL ÖRNEKLERİ	9
1.3 KONTROL DÖNGÜSÜ TASARIM KRİTERLERİ	11
1.3.1 Süreç Kontrol Kavramlarına Sezgisel Yaklaşım	11
1.3.2 ON-OFF İki Nokta Kontrol	12
1.3.3 Oransal Kontrol	14
1.3.4 Oransal-Artı-Reset (İntegral) Denetim	18
1.4 KONTROL AYGITININ AYARLANMASI	21
1.4.1 Kontrol Aygıtının Ayarlanması için Kurallar	21
1.4.2 Kontrolün İlk Yasası	21
1.4.3 Görünür Ölü Zamanın Önemi	22
1.5 STANDART SİNYALLER	23
1.5.1 Akım sinyali iletimi	23
1.5.2 Pnömatik sinyal iletimi	23
2	25
SENSÖRLER: TANIMLAR VE TERİMLER	25
2.1 SENSÖR	25
2.2 SENSÖRLERİN BAŞARIMINI BELİRLEYEN PARAMETRELER	25
2.2.1 Aralık (Range)	25
2.2.2 Açıklık (Span)	25
2.2.3 Duyarlık (Sensitivity)	25
2.2.4 Doğruluk (Accuracy)	25
2.2.5 Doğrusallık (Linearity)	26
2.2.6 Yinelenebilirlik (Repeatability)	26
2.2.7 Çözünürlük (Resolution)	26
2.2.8 Hassasiyet (Precision)	26
2.2.9 Histeresiz (Hysteresis)	26
2.2.10 Yaşlanma ve Çevresel Etkiler	27
2.2.11 Ölü Zaman (Dead Time)	28
3	29
SICAKLIK ÖLÇÜMÜ	29
3.1 CAM HAZNELİ TERMOMETRELER	29
3.2 DOLU SİSTEM TERMOMETRELER	29
3.3 BİMETAL TERMOSTAT	30
3.4 ISILÇİFT- ISIDAN ELEKTRİĞE	32
3.4.1 Isılçift Tabloları	34
3.4.2 Isılçift Geriliminin Ölçülmesi	36
3.4.3 Isılçift Koruyucu Kılıfları	41
3.4.4 Eleman Tellerinin Yalıtılması	42
3.5 RTD – SICAKLIKTAN DİRENCE	42
3.6 TERMİSTÖR – YARIİLETKEN YAKLAŞIMI	47
3.7 MONOLİTİK SICAKLIK SENSÖRÜ	50

3.7.1	Yarıiletken Sıcaklık Sensörü.....	50
3.7.2	Yarıiletken Sıcaklık Sensörü (LMXXX)	51
3.8	SICAKLIK SENSÖRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	53
4		55
KONUMUN ALGILANMASI		55
4.1	TANIM	55
4.2	BİRİMLER.....	55
4.3	KONUM ALGILAYICILARINA GENEL BAKIŞ	55
4.3.1	SINIR ANAHTARLARI (VARLIĞIN SAPTANMASI).....	55
4.3.2	FOTOELEKTRİK SINIR ANAHTARLARI	57
4.3.3	KONUMUN MANYETİK OLARAK ALGILANMASI.....	59
4.3.4	ENDÜKTİF YAKLAŞIM ANAHTARLARI.....	60
4.3.5	KAPASİTİF YAKLAŞIM ANAHTARLARI.....	61
4.4	ELEKTRİKSEL YERDEĞİŞTİRME TRANSDÜSERLERİ	62
4.4.1	Potansiyometre ile Yerdeğıştirme Ölçümü	62
4.4.2	LVDT ile Yerdeğıştirme Ölçümü	66
4.4.3	Endüktif Yerdeğıştirme Ölçümü-Değışken-Relüktanslı Yerdeğıştirme Transdüseri	69
4.4.4	Kapasitif Yerdeğıştirme Ölçümü.....	72
4.5	AÇISAL KONUM MİL KODLAYICILARI	73
5		77
AKIŞKAN BASINCI ÖLÇÜMÜ		77
5.1	BASINÇ ÖLÇÜM TEMELLERİ	77
5.1.1	Basıncın Tanımı	77
5.1.2	Basınç Birimleri	78
5.1.3	Gösterge ve Mutlak Basınç	78
5.2	BASINÇ ÖLÇME ELEMANLARI	79
5.2.1	Manometreler	79
5.2.2	Bir sıvı yüksekliğinin tabana yaptığı basınç.....	80
5.2.3	Sıvı Manometreler.....	81
5.2.4	Basınç Sensörleri	85
5.2.5	Yerdeğıştirmenin algılanması.....	87
5.2.6	Gerinmenin algılanması	88
6		97
SIVI SEVİYESİ ÖLÇÜMÜ		97
6.1	ŞAMANDIRA ANAHTARI SEVİYE ALGILAYICI	97
6.2	DİRENÇSEL SEVİYE ALGILAYICI	98
6.3	KAPASİTİF SEVİYE ALGILAYICILARI	98
6.4	İLETKENLİK PROBU	101
6.5	BASINÇ SEVİYE ALGILAYICI	102
6.6	BASINÇ FARKI İLE SEVİYE ÖLÇÜMÜ	103
6.7	ULTRASONİK SEVİYE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	104
6.7.1	Sesin Özellikleri.....	104
6.7.2	Sonik Algılama Teknikleri	106
6.7.3	Ultrasonik Sensörler	107
6.8	NÜKLEONİK SEVİYE ÖLÇÜM YÖNTEMİ	110
7		111
AKIŞKAN AKIŞI ÖLÇÜMÜ		111

7.1	AKIŞKAN AKIŞINA GENEL BİR BAKIŞ	111
7.2	AKIŞKAN AKIŞI İLE İLGİLİ İLKELER	111
7.2.1	Potansiyel Enerji.....	111
7.2.2	Kinetik Enerji	112
7.2.3	Uniform bir Borudaki Akış	112
7.2.4	Diferansiyel Basınç Akış Eşitliği	115
7.2.5	Enerjinin Korunumu (Bernoulli Teoremi).....	116
7.3	BİRİNCİL ELEMANLAR_ ΔP TİPİ AKIŞÖLÇERLER.....	117
7.3.1	Orifis Plakası.....	117
7.3.2	Venturi Tüpü	118
7.3.3	Akış Nozülleri.....	119
7.3.4	Pitot Tüpleri.....	119
7.3.5	Dirsek Akışölçer	120
7.4	ROTAMETRELER	121
7.4.1	Cam Tüpler	122
7.4.2	Metal Tüpler.....	122
7.5	HIZ AKIŞÖLÇERLERİ.....	122
7.5.1	Türbinli Sayaçlar.....	122
7.5.2	Vorteks Sayaçlar.....	124
7.6	MANYETİK SAYAÇLAR.....	125

8.....129

GERİNMENİN ÖLÇÜMÜ.....129

8.1	MEKANİK GERİNME (BİÇİM DEĞİŞİMİ)	129
8.2	ELEKTRİKSEL GERİNME	131
8.3	GÖSTERGE FAKTÖRÜ.....	131
8.4	PRATİK GERİLME GÖSTERGESİ	131
8.4.1	SENSÖR TASARIMLARI.....	132
8.5	ÇIPLAK TEL GERİLME GÖSTERGESİ	134
8.6	GÖMÜLÜ GERİLME GÖSTERGESİ.....	134
8.7	YARIİLETKEN GERİLME GÖSTERGELERİ	135
8.8	ÖLÇME DEVRELERİ	136
8.8.1	Wheatstone Köprüsü.....	136
8.8.2	Chevron Köprüsü	137
8.8.3	Dört-telli Direnç Ölçüm Devresi.....	137
8.8.4	Sabit Akım Kaynağı Devresi.....	138

9.....139

AÇISAL HIZ VE İVME ÖLÇÜMÜ.....139

9.1	AÇISAL HIZIN ÖLÇÜMÜ	139
9.2	TAKOMETRELER	139
9.2.1	Analog Yöntemler	139
9.2.2	Sayısal Yöntemler.....	144
9.3	DİNAMİK ÖLÇÜMLER İÇİN ALGILAYICILAR.....	150
9.3.1	İvme Ölçerler	150
	KAYNAKÇA.....	155

1

SÜREÇ KONTROLE GİRİŞ

1.1 SÜREÇ KONTROL

1.1.1 Giriş

Endüstriyel süreç (işlem) kontrolü temel kavramını açıklayabilmek için öncelikle süreç kontrol ilkelerinin genel olarak açıklanması gerekir. Bu bölümde endüstriyel kontrolde kullanılan tanımlar açıklanıp süreç kontrol yöntemleri ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

1.1.2 Süreç Kontrolün Tanımı

Süreç kontrolle ilişkili işlemler her zaman doğada var olmuştur. “Doğal” süreç kontrolünü yaşayan bir organizma için önemli bazı iç fiziksel özellikleri düzenleyen işlem olarak tanımlayabiliriz. Doğal düzenleme örnekleri olarak vücut sıcaklığı, kan basıncı ve kalp atış ritmi gösterilebilir.

Eski insanlar yaşamlarını sürdürebilmek için dış çevrelerindeki bazı parametreleri düzenleme gereksinimi duydular. Bu düzenleme “yapay” süreç kontrolü olarak tanımlanabilir. Bu tip süreç kontrolde parametrelerin gözlenmesi, istenen değerle karşılaştırılması ve parametrenin istenen değere mümkün olduğu kadar yaklaştırılması gerekir.

İnsanlar otomatik düzenleme yordamlarını daha verimli ürünlerin üretimine veya malzemenin işlenmesine uygunlaştırmayı öğrendiklerinde “süreç kontrol” terimi daha yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Bu yordamların otomatik olmasının nedeni bir sürecin düzenlenmesi için insan müdahalesine gerek duyulmamasıdır.

Endüstride üretilen son ürünün belirli tanımlanmış özelliklerinin bulunması gerekmektedir. Bu özellikler ürünün üretilmesindeki tepkime koşullarına ve işlemlere dayanmaktadır. Ürünün istenen özellikleri taşımaması sağlamak amacıyla bu koşullar ve işlemlerin doğruluğunun sağlanması amacıyla kontrol edilmesine **süreç kontrol** denir.

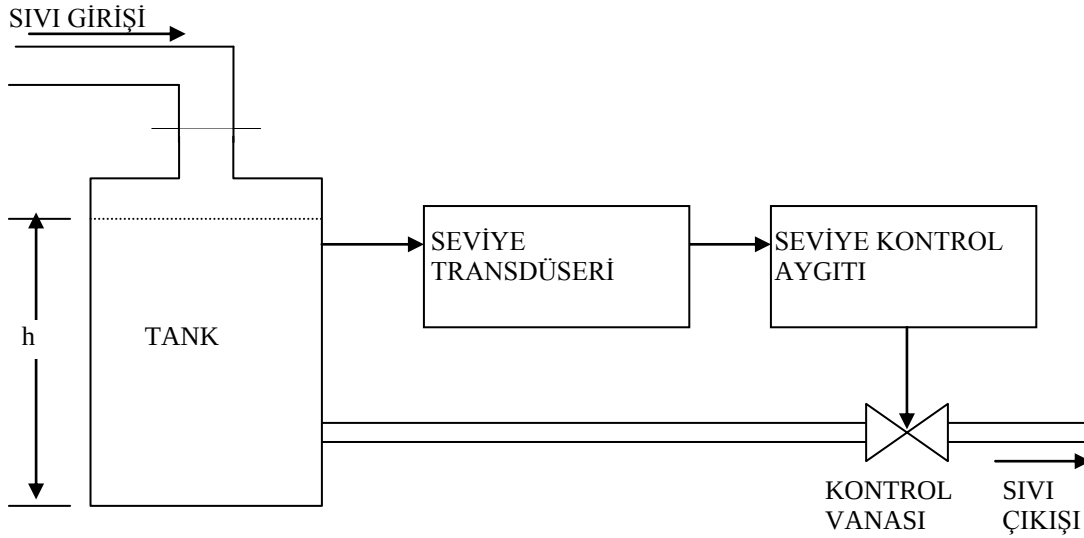
Endüstriyel süreçlerin pek çoğu üretim sürecindeki bir veya daha fazla değişkenin denetlenmesiyle otomatikleştirilebilir. Bu süreç değişkenleri konum, sıcaklık, basınç, seviye, akış, kuvvet, hız, ivme titreşim, kalınlık, ağırlık veya hacim olabilir. Süreç değişkeni ne olursa olsun bunu kontrol etme ilkeleri aynıdır.

Şekil-1.1’deki kontrol sisteminde birer seviye algılayıcı, kontrol aygıtı ve kontrol vanası tank içindeki sıvı seviyesini kontrol etmek için kullanılmış ve süreç kontrolün temel özelliklerini tanımlamak için örnek olarak verilmiştir.

Bu kontrol sisteminin amacı akışkan seviyesini tankın tabanından belirli bir h yüksekliğinde tutmaktır. Tanka sıvı akış hızının kontrolsüz olduğunu varsayıyoruz. Herhangi bir değişkenin denetimindeki ilk basamak bu değişkenin ölçülmesidir. Elektronik denetim sistemindeki bir transdüser değişkeni ölçer ve ölçümü bir elektrik işareti olarak çıkışına aktarır. Bu amaçla kullanılan seviye transdüseri tanktaki akışkan seviyesini sezinleyen ve ölçen bir cihazdır. Bir süreci denetlemek için istenen sonucu da bilmemiz gerekir. Bu *kontrol set noktası*dır; örneğin, tanktaki seviye ayarı.

Seviye kontrol aygıtı ölçümü değerlendirir, istenen set noktası ile karşılaştırır ve bir seri düzeltici çıkış üretir. Vana çıkış borusundaki akışkan debisini kontrol eder.

Şekil 1.1 Bir süreç kontrol örneği



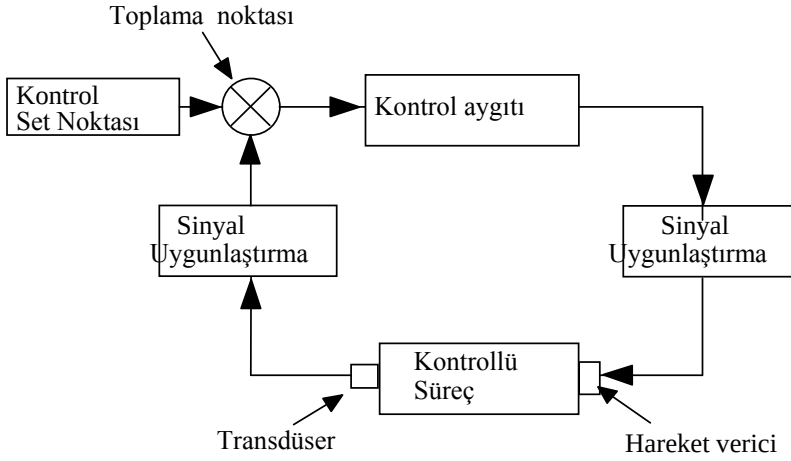
Bir kontrol sistemindeki herhangi bir noktada ölçülen değişken ve süreç set noktası bir araya getirilip karşılaştırılmalıdır. Bu noktaya *toplama noktası* denir. Karşılaştırmanın sonucu bir *hata işareti* üretilir. Hata işareti basit bir aç-kapa (on-off) işareti olabilir veya gerekli düzeltme miktarını belirtir. Sıvı seviyesi kontrol set noktasının altına düştüğünde, kontrol aygıtı kontrol vanasına bir aç-kapa tipi hata işareti üretir. Hata işareti süreci kontrol set noktasına daha yakınlaştıracak şekilde ayarlama yapma kararını veren kontrol aygıtının girişine uygulanır.

Süreç kontroldeki son basamakta değişkeni kontrol set noktasına daha yakınlaştıracak ayarlama işi yapılır. Hareket verici sistemin kalanının denetlediği işi gerçekleştirir. Seviye transdüseri kontrol vanasına bir kapat işareti gönderdiğinde, vana kapanarak sıvı seviyesini artırır. Bu örnekte, kontrol vanası aracılığıyla sıvı seviyesi ayarlanmaktadır. Bu *işlemlenen değişkendir*: Seviye kontrol set noktasına ulaştığında yapılan ölçme sonucu kontrol aygıtı kapat işaretini göndermeyi durduracak ve vananın belirli oranda açılmasını sağlayacaktır.

1.1.3 Süreç Kontrol Sisteminin Elemanları

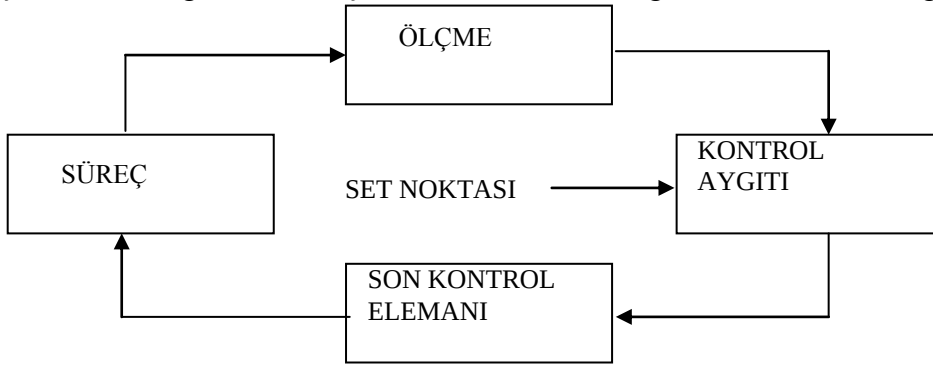
Şekil-1.2’de blok şema şeklinde süreç kontrol elemanlarının hepsi ve işaretin akış yönü gösterilmektedir. (Tüm kontrol sistemleri Şekil-1.2’deki tüm elemanları içermeyebilir.) Şekil otomatik süreç kontrolün bir kapalı döngü sistem olduğunu göstermektedir. Transdüser kontrollü değişkeni ölçer ve bir geribesleme işareti üretir. Sinyal uygunlaştırma kısmında yükselteçler, gürültüye karşı filtreler, gerilim-akım, frekans-gerilim çeviriciler, veya vuru-şekillendirici devreler bulunabilir. Sinyal uygunlaştırıcının çıkışı kontrol set noktası ile karşılaştırmanın yapıldığı toplama noktasına beslenir. Kontrol aygıtı kontrollü değişkeni ayarlayıp ayarlamama, ne kadar miktarda ve ne kadar sürede ayarlama yapılacağı konusunda karar verir.

Kontrol aygıtının çıkışı kontrollü değişkeni değiştirmek için işlenmesi gerekebilen bir kontrol işaretidir. Burada vuru şekillendirme, gerilim/akım ya da akım/basınç dönüşümü ve anahtarlama bulunabilir. İşlenmiş kontrol işareti daha sonra süreç değişkenini değiştiren hareket vericiye gönderilir. Transdüser şimdi değişikliğin etkilerini kontrol aygıtına bildirir ve işlem yinelenir.



Şekil 1.2 Süreç kontrol elemanları

Bir süreç kontrol sisteminde dört ana eleman bulunmaktadır: süreç, ölçme, değerlendirme ve kontrol. Şekil-1.3'teki gibi bir blok şema ile de kontrol döngüsündeki elemanlar gösterilebilir.



Şekil 1.3 Süreç kontrol döngüsü blok şeması

1.1.3.1 Süreç

Genelde, bir işlem herhangi bir üretim serisi ile ilgili malzeme ve donanımın birleşiminden oluşmaktadır. Endüstride süreç sözcüğü bir ürünün üretilmesi ya da geliştirilmesini sağlayan bir seri işlem olarak tanımlanır.

Şekil-1.1'deki örnekte, akışkan seviyesine göre kontrol edilecek süreç sıvı, tanka giren ve çıkan sıvı debisi ve tankın boyutları gibi değişkenleri içerir. Bir işlemde pek çok dinamik değişken bulunabilir ve bütün bu değişkenleri kontrol etmek gerekebilir.

Kimya endüstrisinde, örneğin benzin gibi bir son ürünü elde etmek için yapılan işlemlere süreç denilmektedir. Gıda endüstrisinde, yenilebilir ürünlerin elde edilmesi amacıyla hammaddenin işlenmesi işlemleri de süreç olarak adlandırılmaktadır.

1.1.3.2 Ölçme

Bir süreçteki dinamik değişkeni kontrol edebilmek için değişken hakkında bilgiye gerek vardır. Genelde ölçüm, değişkenin elektriksel gerilim ya da akım gibi analog işarete dönüştürülmesi anlamına gelir. Bir dinamik değişkenin ilk ölçümünü yapan ve enerji dönüşümünü elektriksel işaret olarak yapan aygıt bir **transdüser**dir.

Transdüserler seviye, sıcaklık, basınç, debi ve analitik tipler olarak sınıflandırılabilir. Herhangi bir ölçümün sonucu dinamik değişkenin süreç denetim döngüsündeki diğer elemanlar tarafından gereksinilen oransal bilgiye dönüştürülmesidir.

1.1.3.3 Değerlendirme

Süreç kontrol serisinde değerlendirme aşamasında ölçüm incelenir ve yapılması gereken düzeltici hareket belirlenir. Döngünün bu kısmına **kontrol aygıtı** adı verilir. Değerlendirme ya manüel olarak bir işletmeci tarafından ya da otomatik olarak elektronik sinyal işleme, bir bilgisayar veya tüm bunların birleşimi tarafından yapılabilir.

Kontrol aygıtına hem dinamik değişkenin ölçüm sonucu, hem de işlevini yerine getirebilmesi için değişkenin istenen değeri girilmelidir. Dinamik değişkenin bu istenen değerine set noktası (SN) denir. Değerlendirme, ölçüm ve set noktasının karşılaştırılması ve denetlenen değişkeni set noktasına getirmek için gerekli işleme karar verilmesinden oluşmaktadır. Bu, süreç kontrol döngüsünün temelidir.

1.1.3.4 Son Kontrol Elemanı

Bir süreç kontrol döngüsündeki son eleman sürece doğrudan etki eden bir aygıttır. Bu eleman kontrol aygıtından aldığı girişi sürece etkiyecek oransal bir işleme dönüştürür. Süreç endüstrisinde çoğu durumda bu son kontrol elemanı süreçteki akışkan debisini ayarlayan bir kontrol vanasıdır. Elektrik motorları ve pompalar da son kontrol elemanlarıdır.

1.1.4 Bir Kontrol Sisteminin Temel Gereksinimleri

Bir kontrol sisteminin başlıca gereksinimi oldukça kararlı olmasıdır. Yanıt hızı yüksek olmalı ve bu yanıt uygun bir sönümlenme özelliği göstermelidir. Bir kontrol sistemi sistem hatasını ya sıfırlamalı ya da sıfıra yakın bir değere düşürebilmelidir.

1.1.4.1 Sönümlenme: Denetim Sürecinin İnce Ayarı

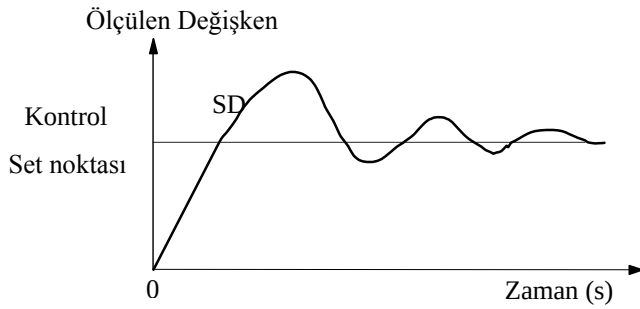
Eylemsizlik ilkesine göre hareketsiz bir cisim hareketsiz kalmaya eğilimlidir, hareket halindeki bir cisim ise hareketine devam etmeye eğilimlidir. Hiç bir fiziksel süreç anında tam hıza yanıt veremez ya da anında duramaz. Her süreç belli bir miktar eylemsizliğe sahiptir ki bu da kontrol süreci üzerinde istenmeyen bir etkiye neden olabilir.

Sönümlenmeyi açıklayabilmek için dc motorun hızını denetleyen bir sistemi inceleyelim. Motorun çıkış miline motor hızıyla doğru orantılı dc çıkış gerilimine sahip bir tako üretici bağlıdır. Bu gerilim, motoru süren akımın vuru genişliğini denetlemek için kullanılır. Vuru genişliği ne kadar uzun olursa, motor o kadar hızlı döner. Motorun çok yavaş döndüğünü varsayalım.

Tako üreticiden alınan düşük çıkış kontrol aygıtının vuru genişliğini arttırmasına neden olarak motorun hızlanmasını sağlayacaktır. Motor set noktası hızına eriştiğinde, kontrol aygıtı vuru genişliğini ayarlamak suretiyle yanıt verecektir, ancak daha önceki kontrol işaretlerinden dolayı, hala ivmeleniyor olacaktır. Kütlesinden dolayı, düzentecek etkisi (eylemsizlik) motorun kısa bir süre daha çok hızlı dönmesine neden olacaktır. Kontrol aygıtı vuru genişliğini daha da azaltarak yanıt verecek ve motorun momentumu yenildiğinden motor yavaşlamaya başlayacaktır. Motor çok yavaş bir hız ile çok hızlı bir hız arasında bir süre gidip gelecektir. Bu bir sönümsüz ya da az sönümlü (devirli) bir yanıttır.

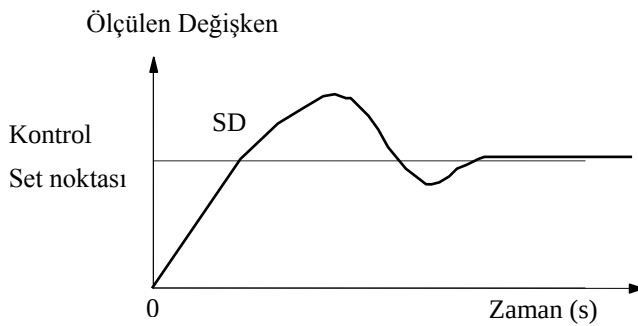
Şekil-1.4'teki az sönümlü yanıt eğrisi bir sistemin ya set noktası ya da kontrollü değişkendeki değişime verdiği yanıtı göstermektedir. Sistemdeki değişimle değişimin düzeltilmesi arasındaki zamana *yanıt süresi* denir. Set noktası ve gerçek sistem arasındaki fark *sürekli durum hatası*dır.

Tasarım sırasında sistemin istenen set noktasına ulaşma yeteneği iyileştirilebilir. Bir sayısal sistemde daha karmaşık bir yazılım ile sistemin salınma eğilimini yenebilir. Bunun yapılıp yapılmaması genellikle yararlarına karşı maliyet temeli üzerine kararlaştırılır.

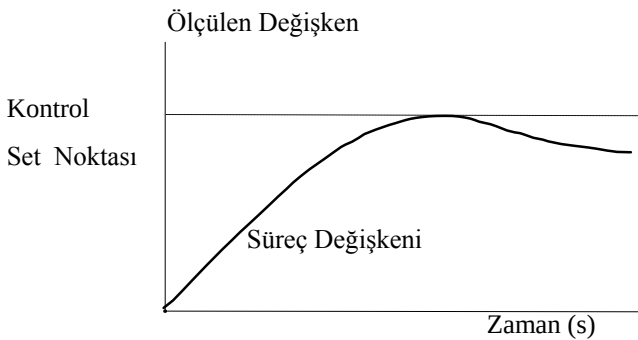


Şekil 1.4 Devirli bir yanıt eğrisi

Şekil 1.5'te farklı derecelerde sönümlemeye sahip sistemlerin yanıt eğrileri bulunmaktadır. Kritik sönümlü sistem yanıtı doğruluk ve yanıt süresi arasında en iyi uyumu sağlar. Aşırı sönümlü sistem yanıtı doğruluktaki çok az kazanç için çok yavaştır; ancak aşmanın kabul edilemez olduğu yerlerde kullanılabilir.



(a) Kritik sönümləme



(b) Aşırı sönmüleme

Şekil 1.5 Kritik sönümlenme ve aşırı sönümlenme yanıt eğrileri

1.1.4.2 Sistem Hatası

Sistem hatası, kontrollü değişken set noktası değeri ve süreç değişkeni arasındaki farkın ölçüsüdür ve

$$e(t) = SD(t) - SN(t) \quad (1-1)$$

eşitliğiyle ifade edilir.

$e(t)$ = zamanın işlevi olarak sistem hatası

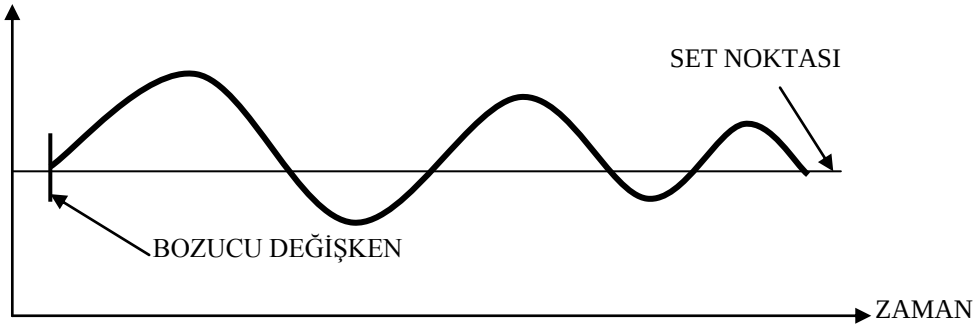
SD(t) = zamanın işlevi olarak süreç değişkeni

$SN(t)$ = zamanın işlevi olarak set noktası

1.1.4.3 Sistem Yanıtı

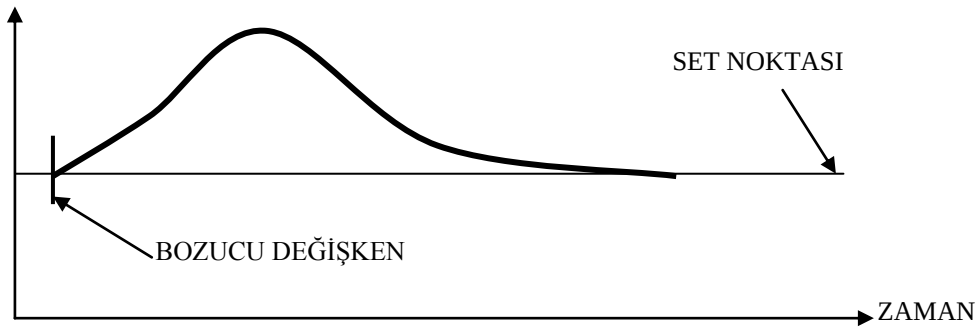
Bir kontrol döngüsünün esas amacı debi, sıcaklık, seviye gibi dinamik süreç değişkenini bir set noktasında tutmaktır. Sistem yanıtı, bir kontrol döngüsünün kontrol edilen süreç değişkeninde bir değişikliğe neden olan bozucu değişkenden kurtulma yeteneğidir. Sistem yanıtı az sönümlü, aşırı sönümlü ve kritik sönümlü olmak üzere üç genel özellik göstermektedir. Şekil-1.6’da bir bozucu değişkenden sonra set noktası civarında salınan süreç değişkeninin az sönümlü yanıt eğrisi görülmektedir. Şekil-1.7’de ise, kontrol sisteminin salınım olmadan süreç değişkenini çalışma noktasına getirdiği aşırı sönümlü yanıt eğrisi görülmektedir.

SD (SÜREÇ DEĞİŞKENİ)



Şekil 1.6 Bozucu değişkenden sonra sistemin devirli yanıt eğrisi

SD (SÜREÇ DEĞİŞKENİ)



Şekil 1.7 Bozucu değişkenden sonra sistemin aşırı sönümlü yanıt eğrisi

Bir süreç kontrol sistemi set noktasındaki değişikliği izleyerek ya devirli, ya aşırı sönümlü yada kritik sönümlü bir yanıt üretecek şekilde ayarlanabilir. Şekil-1.6’daki devirli yanıt eğrisinde, süreç değişkeninin gerçek değeri yeni set noktasını aşar ve sonra dengeye ulaşmadan önce bu nokta civarında salınır. Şekil-1.7’deki aşırı sönümlü yanıt eğrisinde, süreç değişkeni set noktasını hiçbir zaman aşmaz veya salınmaz, fakat yavaşça yeni set noktasına ulaşır.

1.2 BAZI SÜREÇ KONTROL ÖRNEKLERİ

Eski tip bacalı soba geribeslemesiz sürece klasik bir örnektir. Ev sahibi (sistem işletmecimiz) evin içindeki hava çok serin olduğunda sobayı yakar. Kısa sürede sobada bir ateş alevlenir, baca gürlür ve sobanın kenarları tatlı bir kırmızılıkla parıldar. Bir saat içinde oda çok ısınır ve ev sahibinin soba bacasındaki söndürücüyü çekişi azaltmak için ayarlaması gerekir. Ateş yavaş yavaş azalır, oda yeniden soğur ve söndürücünün yeniden ayarlanması gerekir. Sabır ve deneyimle ev sahibimiz söndürücünün optimum ayarına ulaşacaktır. Dışarıdaki rüzgâr kesilince, bacanın çekişi yeniden değişecek ve çok soğuk, çok sıcak döngüsü yinelenecektir. Koşullardaki bu değişiklik *bozucu değişken* olarak adlandırılır.

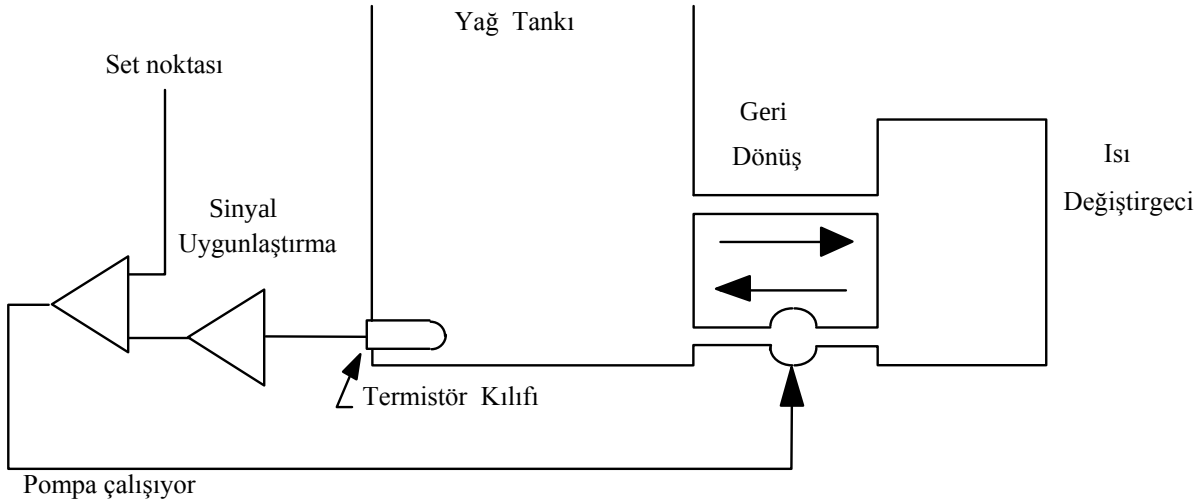
Sistemde ev sahibini bir defada algılayıcı, denetleyici ve eyleyici olarak tanımladık. Odanın soğuk olduğuna karar veren ve ateşi yakan odur. Daha sonra ev sahibi odanın çok sıcak olduğuna karar verir ve söndürücüyü ayarlar. Bir zaman süresi boyunca odadaki sıcaklığı kaydeden bir gözlemci devamlı olarak kontrol set noktasının üzerinde ve altında salınan bir sönümsüz sistem eğrisi ortaya çıkaracaktır.

Daha modern bir elektrik ev ısıtma sistemi daha etkin çalışır. Termostat helezon halka şeklinde kıvrılmış bimetal bir eleman içerir. Oda sıcaklığı arttıkça halka açılır. Halkaya bağlı bir cıvalı anahtar önceden kurulmuş sıcaklıkta bir aç işareti göndererek kapanır ki bu da ısıtıcı elemanı açan bir röleyi çalıştırır. Isıtıcı odayı ısıttıkça bimetal halka kapanır ve cıvalı şalter ısıtıcıyı kapatır.

Eğer termostat odadaki sıcaklık değişimlerine anında yanıt verseydi, devamlı olarak aç-kapa döngüsünde kalacaktı, bu da çok istenen bir durum değildir. Termostatın bimetal halkasındaki mekanik gecikmelerden ve odadaki havanın kütesinden dolayı, sistem yanıtında bir boşluk vardır. Sistem ısıtıcıyı bir sıcaklıkta açacak, daha yüksek bir sıcaklıkta kapayacaktır. Açma ayarı ve kapama ayarı arasındaki fark sistemin *histeresiz*'dir. Bu odadaki gözlemci kritik sönümlü bir sistemin eğrisini çizecektir.

Sıcaklık endüstriyel süreçte de en sık denetlenen değişkendir. Pek çok kimyasal tepkimenin sıcaklığı çok yakından denetlenir. Sıcaklık çeliği tavlama ve silisyumu saflaştırma süreçlerinde, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ve diğer pek çok süreçte denetlenir.

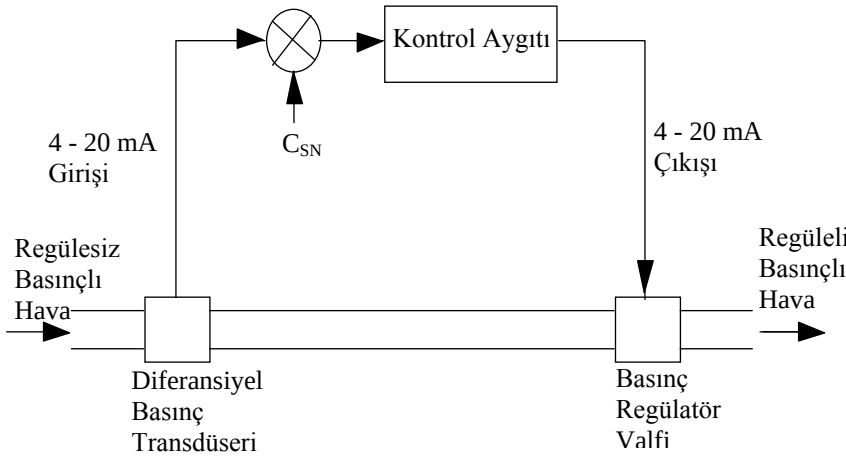
Şekil-1.8'de bir soğutma banyosunun sıcaklık denetimi için bir devre bulunmaktadır. Transdüser olarak tankın içine bir termistör probu konmuştur. Transdüser çıkışı kontrol set noktası ile karşılaştırılır ve aşırı bir sıcaklık belirlendiğinde hata gerilimi kontrol aygıtının bir pompayı çalıştırmasını sağlar. Pompa soğuk suyla dolu bir ısı değiştirgeci (eşanjör) içinden sıcak yağ dolaştırarak yağın sıcaklığını azaltır.



Şekil 1.8 Bir soğutma banyosu sıcaklık denetim sistemi

En çok kullanılan diğer bir endüstriyel değişken pnömatik basınçtır. Pek çok endüstriyel çalışma, robotik de dâhil, elektriksel yerine pnömatik hareket vericileri kullanılarak yapılmaktadır. Elektronik kontrol aygıtları pnömatik sistemlerdeki basıncı düzenlemek için kullanılır.

Şekil-1.9'daki sistem bir pnömatik hattaki basıncın denetimi için bir yaklaşımı göstermektedir. Basınç ölçümü hattaki basınçla orantılı bir akım çıkışı veren bir fark basınç transdüseri tarafından yapılır. Transdüser çıkışı set noktası ile karşılaştırılır ve elde edilen hata işareti kontrol aygıtına iletilir. Kontrol aygıtı gerekli düzeltme miktarıyla orantılı akım üreterek bir vanaya hareket veren mekanizmayı denetler. Vananın açılması ve kapanması çıkış hattındaki basıncı düzenler.

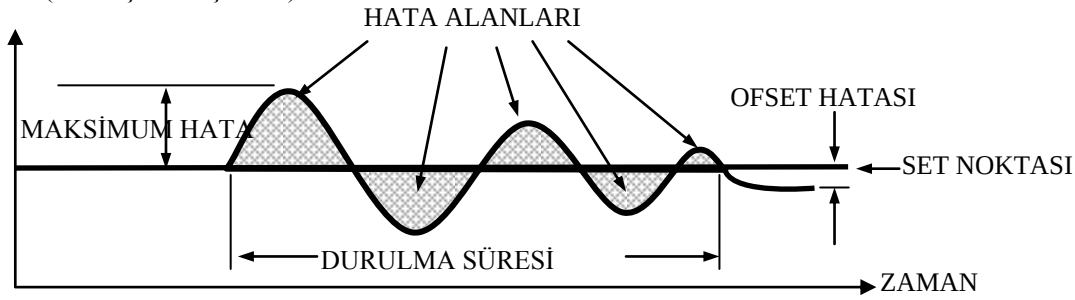


Şekil 1.9 Bir pnömatik denetim sistemi

1.3 KONTROL DÖNGÜSÜ TASARIM KRİTERLERİ

Bir süreç kontrol döngüsünde giriş değişimine verilen yanıtın değerlendirilmesinde yararlanılan çok sayıda kriter bulunmaktadır. En çok kullanılan kriterler durulma süresi, maksimum hata, sürekli durum (offset) hatası ve hata alanıdır. Bu kriterler Şekil-1.10'da gösterilmektedir.

SD (SÜREÇ DEĞİŞKENİ)



Şekil 1.10 Denetim döngüsü tasarım kriterleri

Durulma süresi, sürece bir bozucu değişken etki ettiğinde veya set noktasının değiştirildiği bir durumda, süreç kontrol döngüsünün süreç değişkenini izin verilen hata sınırları içine geri getirmesi için gereken süredir. Maksimum hata dinamik değişkenin set noktasından izin verilen maksimum sapmasıdır. Hata alanı (A_e) bozucu değişkenin etki ettiği süre boyunca hatanın mutlak büyüklüğünün integrali olarak tanımlanmıştır. Hata alanı:

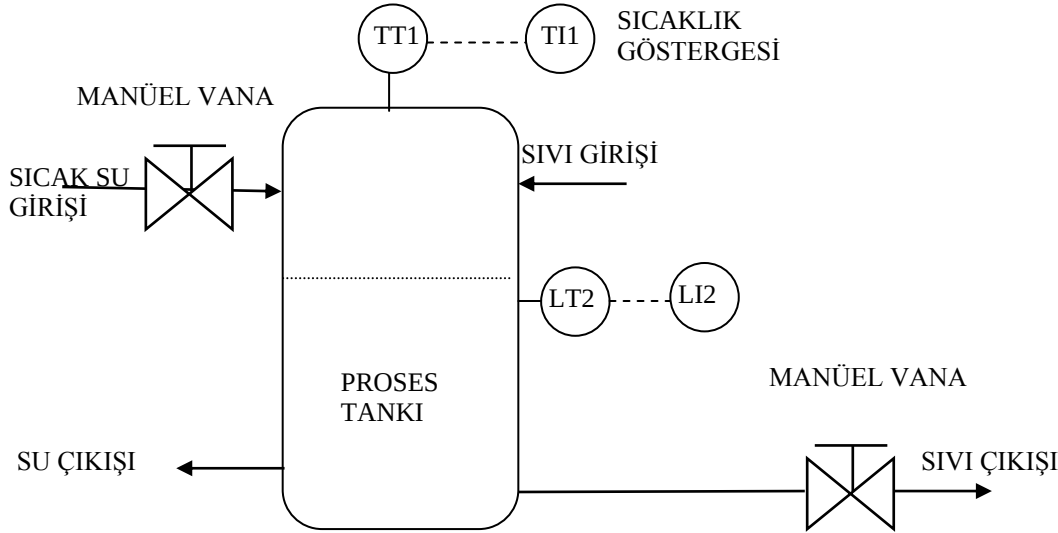
$$A_e = \int |e(t)|dt \quad (1-2)$$

Kontrol döngülerinin pek çoğunda sistemi sistemdeki bir değişikliği izleyerek süreç değişkenin set noktasına dönmekten alıkoyan, doğasında bulunan ve doğrusal olmayan belirli özellikler vardır. Buna genelde "sürekli durum hatası" denir.

1.3.1 Süreç Kontrol Kavramlarına Sezgisel Yaklaşım

Süreç kontrolün uygulaması teorisi veya çözümlemeli yöntemlerden daha önce gelişmiştir. Süreç ve kontrol aygıtları sezgi ve geniş bir süreç kontrol deneyimine dayanan empirik yöntemlerle tasarlanmıştır. Önceleri kullanılan pek çok usamlama matematiksel değildi. Bu yaklaşım bilimsel olmayan bir deneme yanılmaydı, ancak başarılı bir kontrol yöntemi idi. Bugünkü kontrol kavramları ve kullanılan donanım bu ilkel yöntemden geliştirilmiştir. Teori ve matematiksel teknikler sistemlerin nasıl ve neden bu şekilde yanıt verdiklerini açıklamak için daha sonradan gelmiştir.

Bu kısımda, kontrol bilgisinin geliştiği biçimde – ki bu gelişim manüel kontrolden artan otomatik kontrole kadar adım adım izlenen bir yoldur – kontrol terimlerini açıklanacaktır. Şekil-1.11’deki gibi bir sürecin olduğunu düşünelim.



Şekil 1.11 Manüel vana kullanılan bir süreç örneği

Besleme sıvısı kaynağı süreç düzeneğinin herhangi bir yerinden bir tankın içine değişken akış hızıyla akmaktadır. Bu besleme sıvısını istenilen T_d sıcaklığına getirmek için ısıya gereksinim vardır. Bunu yapmak için, fabrikanın başka bir kısmından alınabilecek sıcak su veya yağ sıvıyı ısıtmak için tanklar içindeki ısı değiştiricinin boruları içinden geçer. Sıcak suyun debisini denetleyerek istenilen T_d sıcaklığını elde edebiliriz.

Daha ileri bir kontrol gereksinimi tankların taşmaması ve seviyenin en alt değerinin altına düşmemesidir.

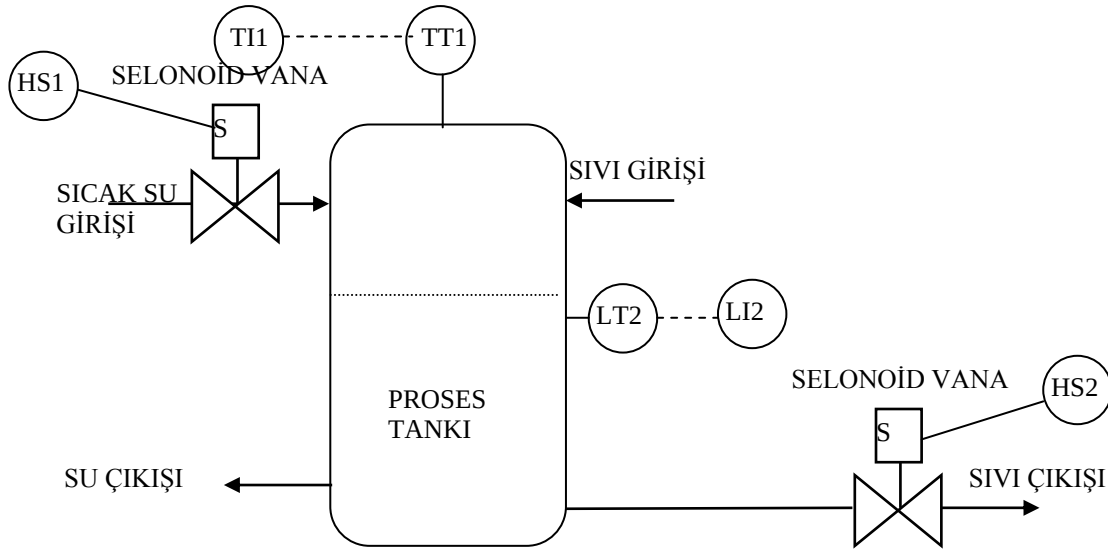
Sıcaklık denetimi için tank içindeki sıcaklık ölçülür ve sıcaklık transmiyeri TT1 bu sinyali sıcak su giriş vanasının yakınına yerleştirilmiş sıcaklık göstergesi TI1’i sürececek 4-20mA’lık doğru akım olarak iletir. Benzer şekilde, bir seviye göstergesi işletimcinin ısıtılan besleme sıvısının seviyesinin denetleyen çıkış vanası HV2’yi görebileceği yere yerleştirilmiştir.

İşletimcinin görevinin bir yandan tankın taşmasını engellemek ve diğer taraftan T sıcaklığını istenilen T_d sıcaklığı civarında tutması olduğunu varsayalım. İşletimci sıcaklığı sabit tutmak için sıcak su giriş vanasını (HV1) ve tanktaki doğru seviyeyi korumak için ara sıra çıkış vanasını (HV2) ayarlayacaktır.

İşletimci birkaç sorunla karşılaşacaktır: öncelikle, her iki gösterge de görüş alanı içinde olmalıdır ve ikinci olarak, manüel vanalar yakında olmalı ve kolayca ayarlanabilmelidir.

1.3.2 ON-OFF İki Nokta Kontrol

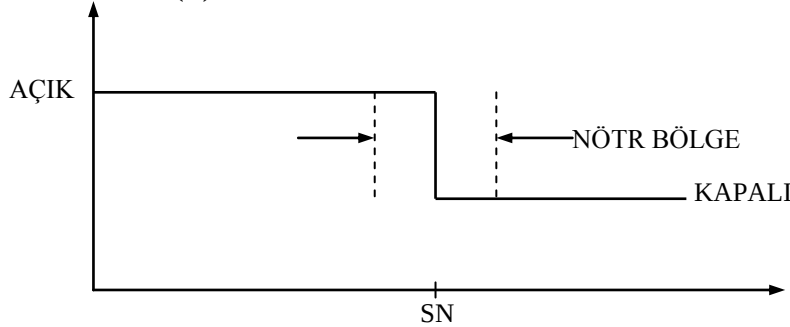
Operatörün işini kolaylaştırmak için manüel valflerin yerine elektrikselselonoid valfleri taktığımızı varsayalım (Şekil-1.12). Selonoid valfleri ortak bir yerden işletebilmek için iki adet manüel HS1 ve HS2 anahtarını monte edebiliriz. Valfler iki konumun varlığını algılar: ya tamamen açık ya da tamamen kapalı. Bu çeşit kontrole iki konumlu ya da ON-OFF kontrol denir.



Şekil 1.12 Selonoid vanalar kullanılan bir süreç örneği

Seviyenin dengede olduğunu ve yalnızca sıcaklığı denetleyeceğimizi varsayalım. Operatöre sıcaklığı 70°C'ta tutması söylenmiştir. Sıcaklık göstergesindeki değeri kafasındaki hedefle karşılaştırır ve bir kontrol stratejisi geliştirir. Buradaki kontrol kipi sıcaklık 70°C'ın üzerine çıktığında sıcak su girişi vanasını kapatmak ve 70°C'ın altına indiğinde açmak şeklinde olacaktır. Bu yöntemdeki sorun operatörün vanayı sürekli açıp kapatıyor olması ve sıcaklığın da bunun sonucu olarak salınmasıdır. Aynı zamanda, tankın içine enerji giriş ve çıkışının zaman almasından dolayı sıcaklık 70°C'ın altında ve üstünde salınacaktır. Salınımın genliği işlemin gecikmeleri ve operatörün set noktası ile tankın içindeki sıvının sıcaklığı olan süreç değişkeni arasındaki hatayı (e) belirlemesindeki dikkatine bağlıdır. Operatör set noktası etrafında nötr bir bölge koruyacaktır. Bunun bir kısmı vanayı sık açma ve kapamalardan dolayı aşınmaktan korumak için ve diğer kısmı da insandan kaynaklanan kararsızlıklardan dolayıdır. (Şekil-1.13).

VANA KONUMU (V)



Şekil 1.13 Nötr bölge, aç-kapa denetim

Bu kontrol kipi matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir:

$$e(t) = SD(t) - SN(t) \text{ olsun.}$$

$e(t)$: hata işareti

$SN(t)$: set noktası

$SD(t)$: süreç değişkeni

Vana konumu (V) :

$$e(t) + \text{ise açık}$$

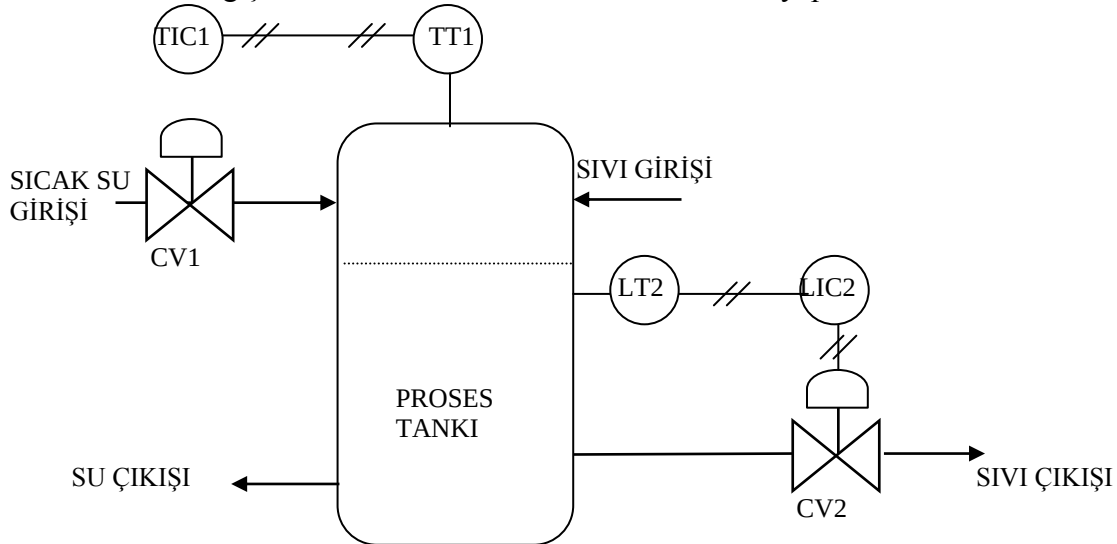
$e(t)$ – ise kapalı

olacaktır. Vana konumu (V) hata sinyalinin işaretinin (e) bir işlevidir (f) ve matematiksel olarak $V(t) = f(\text{sign } e)$ olarak yazılabilir.

1.3.3 Oransal Kontrol

Prosesi enerji girişi ve çıkışı arasındaki denge olarak tanımlarsak, AÇIK ve KAPALI arasında ani değişimler yerine daha kararlı su akışı sağlayabilirsek daha düzgün bir denetim sağlayabiliriz. Uygun bir kontrol için gerekli kararlı akışı sağlayacak doğru değerin bulunması sorun olarak karşımıza çıkacaktır. Tanka giren ve çıkan her bir besleme sıvısı akış miktarı için çıkış sıvı sıcaklığını 70°C 'de tutacak ideal olan bir giriş su debisi vardır. *Kontrol kipine* iki değişiklik uygulamamız gerekecektir. Birincisi, ortalama çalışma koşullarında, süreç değişkenini (sıcaklık) istenen değerinde veya set noktasında (70°C) tutabilecek kararlı bir sıcak su akış değeri saptamaktır. Sıcak su girişi için ortalama bir akış miktarını sağlayacak vana konumu saptandıktan sonra hata ($= SD - SN$) işaretindeki artış ve azalmaların bu su akışı normal değerinden aynı oranda artış ve azalmalara neden olması gerekir.

Bu *oransal kontrol* kavramıdır; diğer bir ifadeyle süreç değişkeninin set noktasından sapması veya hata miktarındaki değişim ile orantılı düzeltici vana hareketinin yapılmasıdır.



Şekil 1.14 Oransal kontrol süreç örneği.

Bu kavramı örnek sürece uygulamak için selonoid vanalar oransal vanalarla değiştirilmelidir. Oransal vanalar tam açıktan tam kapalıya kadar herhangi bir oranda konumlandırılabilir. Bu da bir vana hareket verici mekanizmasıyla sağlanır. Hareket verici, elektrikselsel ya da pnömatik diyaframlı tip olabilir. Pnömatik kontrol vanaları kullanan süreç Şekil-1.14'te görülmektedir.

Kontrol vanalarının sisteme eklenmesiyle, sıcaklık set noktasından saptığında kontrol aygıtı vanalara kademeli ayarlamalar yapabilmektedir. Süreç sıvısının daha kararlı akışının sağlanmasından dolayı kontrol vanalarının ayarlanma sıklığı azalacaktır.

Oransal kontrol matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir:

$$V(t) = K_c e(t) + m \quad (1-3)$$

$V(t)$: vana konumu

K_c : oransal kazanç

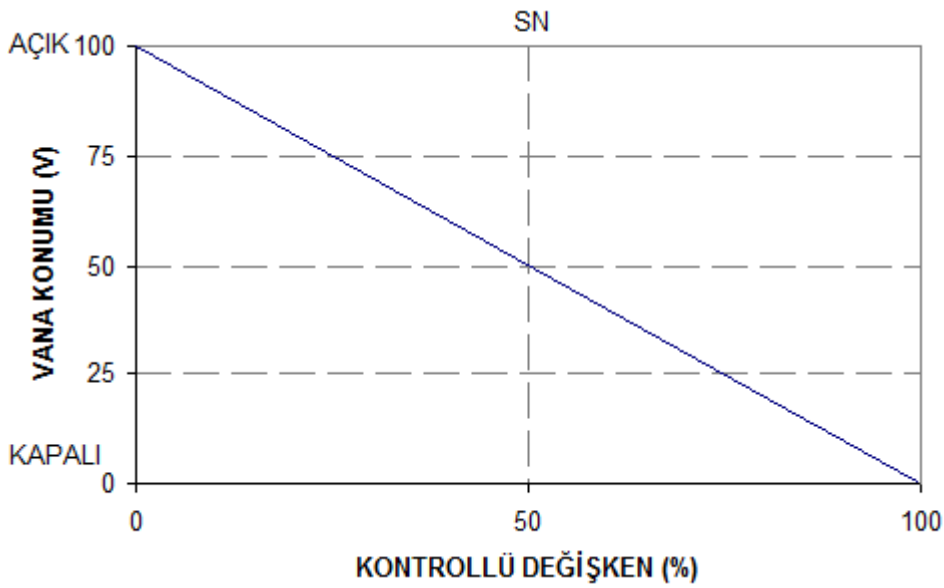
m : sabit, hata sıfır olduğundaki vana konumu (manüel reset)

$e(t)$: hata işareti

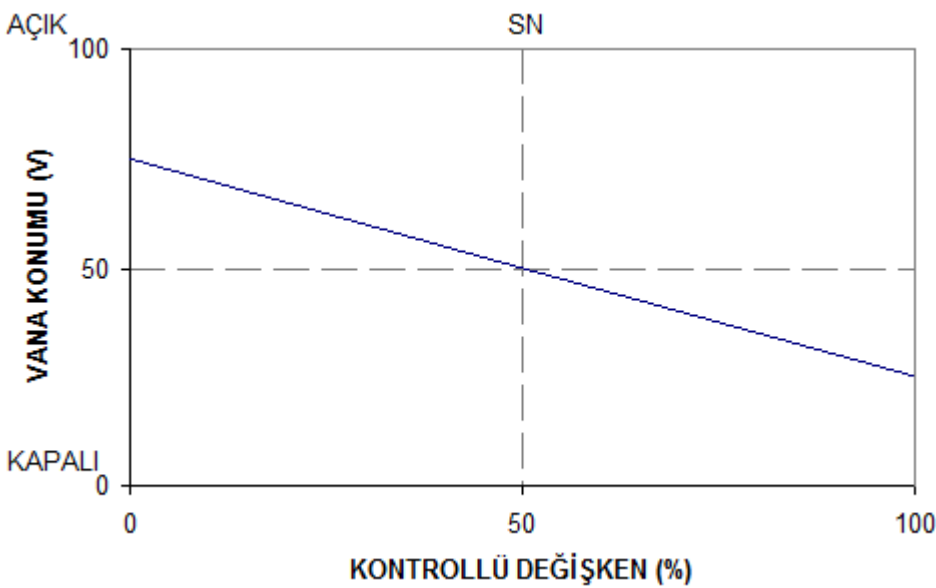
K_c faktörü belirli bir hataya karşı vanadaki değişim miktarını belirten bir ölçüdür; diğer bir deyişle duyarlılıktır ve şu şekilde yazılabilir:

$$\text{Oransal Kazanç} = \frac{\text{Vana açıklığı yüzde değişim miktarı}}{\text{Kontrollü değişken yüzde değişim miktarı}} \quad (1-4)$$

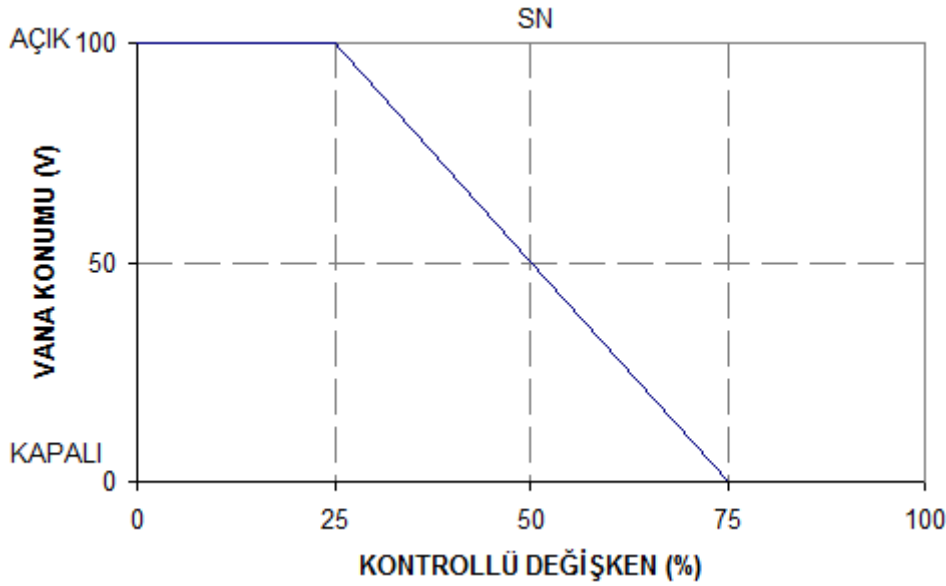
Oransal kontrol oransal kazancın üç farklı değere ayarlandığı ($K_c=1$, $K_c>1$ ve $K_c<1$) Şekil-1.15'teki grafiklerle de anlatılabilir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi, belirli bir hata için vana değişim miktarı (ΔV) değişken olabilir. Şekil-1.15a'daki gibi bire bir oranında bir değişim durumunda, hatadaki %1'lik bir değişimde toplam vana açıklığının %1'i kadar hareket edecektir. Şekil-1.15b'de düşük bir kazanç ($K_c<1$) seçildiğinden, vananın tamamen kapanabilmesi veya açılabilmesi için hatanın büyük miktarda değişmesi gerekir. Şekil-1.15c'de ise, yüksek bir kazanç ($K_c>1$) için hatadaki küçük bir değişim vana konumunda büyük bir değişime neden olacaktır.



(a) $K_c = 1$



(b) DÜŞÜK KAZANÇ, $K_c < 1$



(c) YÜKSEK KAZANÇ, $K_c > 1$

Şekil 1.15 Oransal Kontrol

“Oransal kazanç” terimi süreç kontrolde analitik yöntemlerin kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Hata ve vana hareketi arasındaki oransallığa oransal bant (OB) denilmekteydi ve şu şekilde tanımlanmaktaydı:

$$\%Oransal\ Bant = \frac{Kontrollü\ değişken\ yüzde\ değişim\ miktarı}{Vana\ açıklığı\ yüzde\ değişim\ miktarı} \times 100 \quad (1-5)$$

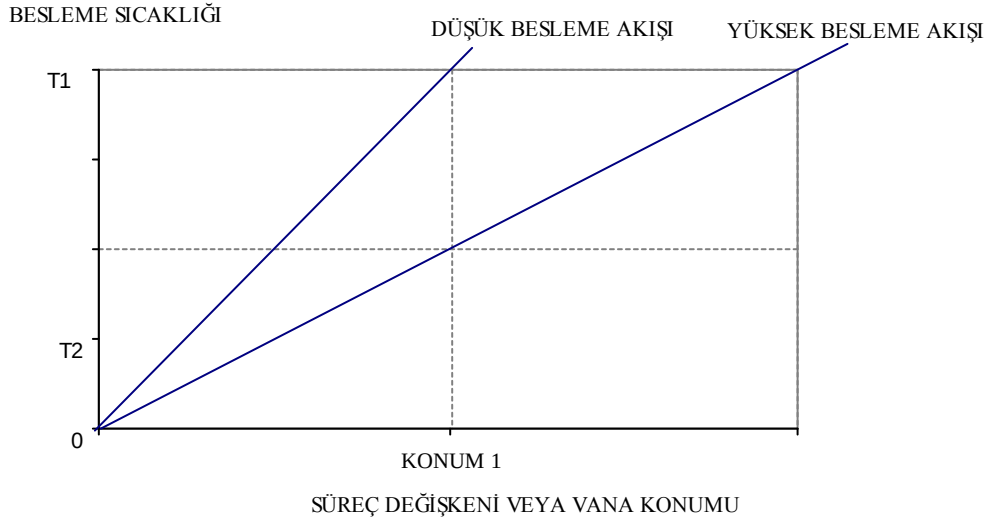
Oransal bant, vanayı %100 hareket ettirecek hata değişim yüzdesi olarak tanımlanır. Bu da operatöre ne kadarlık bir hatanın vanaya tam bir düzeltici hareket yaptıracağını tanımlar. Örneğin %10’luk bir oransal bant için SN ile SD arasındaki %10’luk hata vanayı %100 hareket ettirecektir. Oransal kazanç, K_c ile oransal bant, OB arasındaki ilişki şöyledir:

$$K_c = \frac{\%100}{\%OB} \quad (1-6)$$

Oransal denetimde *kazanç* (K_c) terimi kullanılmaktadır. Eşitlik (1-3)’teki m terimi ise, SD’ni SN’na eşitlemek için gerekli vana konumunu, diğer bir deyişle, *manüel* reset’i ifade etmektedir.

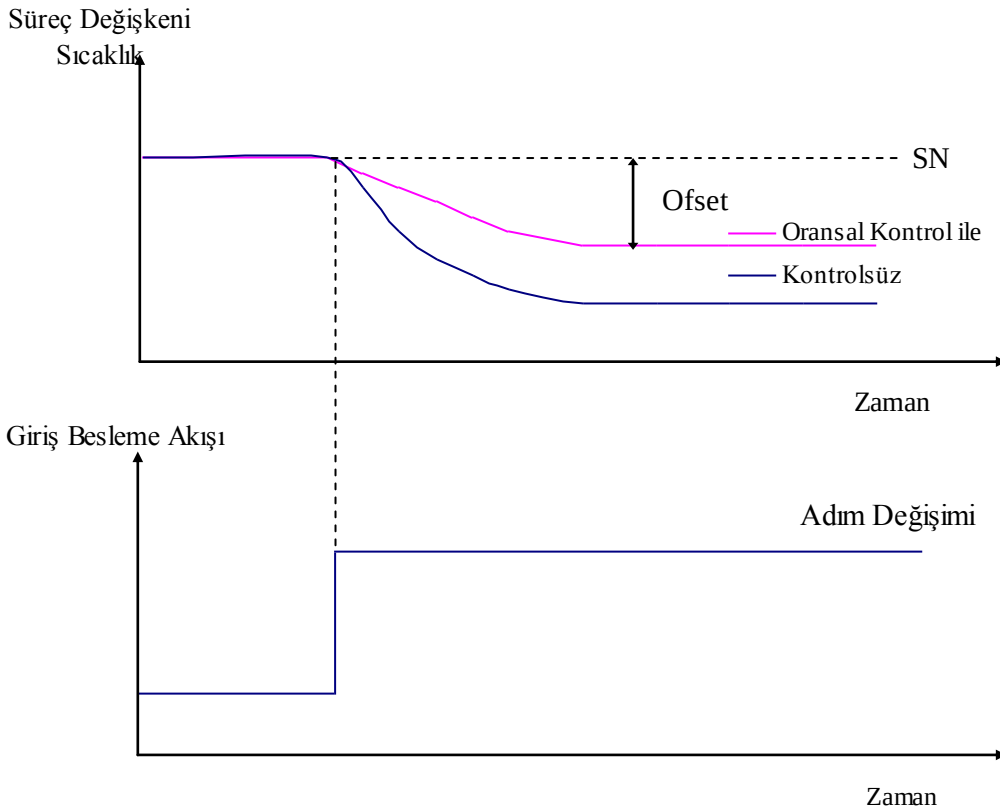
Bu kontrol modunu sağlayacak bir denetleyicide iki ayar olmalıdır, biri K_c , diğeri m terimi için. En iyi denetim için K_c ve m ’yi hangi değere ayarlamak gerektiğini bilmek gerekir.

İşletmecinin oransal denetimin sorunlarıyla karşılaşması uzun zaman almayacaktır. Sürece etkiyen bozucu değişken sıklığı fazla ise, süreç değişkenini set noktasında tutmak oldukça zorlaşacaktır. Örneğin, tanka giden sıvı debisi aniden artsın. Tankın sıcaklığının bu yeni akış hızında da 40°C’ta kalması gerekiyorsa, daha fazla sıcak su sağlanması gerekir. Bu da yeni bir vana konumu demektir. Eşitlik (1-3) incelenirse, m sabit olduğuna göre, vana konumunu (V) değiştirmenin tek yolunun hata (e) miktarını değiştirmek olduğu görülür. Böylece bir hata oluşacak ve sıcak su akışı ve yeni sıvı debisi arasında bir dengeye ulaşıncaya kadar sıcaklık 40°C’ın altına düşecektir. Bu düşüşün ne kadar olacağı kontrol aygıtının ayarlandığı K_c değerine bağlıdır. K_c ne kadar büyükse bu *kalıcı durum hatası* o kadar küçük olacaktır. Ancak K_c değerini belirsizce artıramazsınız, çünkü denetim döngüsü kararsız hale girer. Bu yüzden, besleme hızı değişirse bir miktar hata kaçınılmazdır. Şekil-1.16’da bu süreç için hem düşük hem de yüksek besleme akışı için sıcak besleme sıcaklığına karşı sıcak su akış hızı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 1.16 Süreç karakteristiği.

1 nolu konumdaki vana ve düşük akış hızında gelen besleme için işlem akışkanı ısıtacak ve T_1 sıcaklığında sıvı sağlanacaktır. Besleme sıvısı debisi aniden yükselirse ve vana konumu değiştirilmezse, sıcaklık T_2 'ye düşecektir. Bu yüksek akış hızında, T_1 sıcaklığına ulaşılması için vananın 2 nolu konuma getirilmesi gerekir. Şekil-1.17'de bu düzeltmenin gerçekleştirilebilmesi için oransal denetimin nasıl olduğu gösterilmektedir.



Şekil 1.17 Oransal kontrollü sürecin yanıt eğrisi.

Bu sorunu gidermenin bir yolu m 'nin manuel olarak ayarlanmasıdır. Kontrol aygıtı üzerinden m terimini ayarladığımızda, vanayı yeni yük koşullarında SD 'ni SN 'na eşitleyecek yeni bir konuma getirmiş olacağız. Bu durumda, besleme akışındaki bir artışla, Eş.(1-3)'ten de anlaşılacağı gibi, e 'nin sıfır olması gerekiyorsa V için yeni bir değer elde etmenin tek yolu m terimini değiştirmektir. Süreçteki değişimler sık ya da büyük ise, m ayarlamalarının sıkça yapılması gerekebilir. Farklı bir

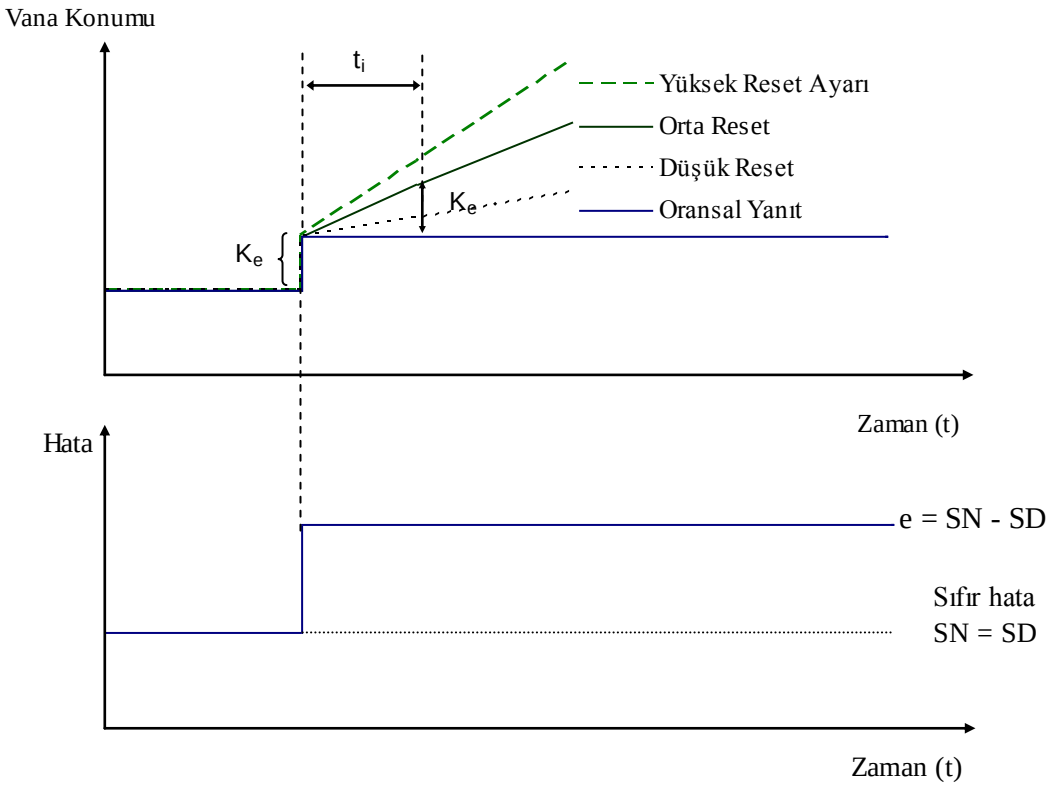
kontrol moduna gereksinim duyulduğu açıkça görülmektedir.

1.3.4 Oransal-Artı-Reset (İntegral) Denetim

Oransal denetimdeki m ayarının işletimci yerine kontrol aygıtı tarafından otomatik olarak yapıldığını varsayın. Bu, süreç değişimlerinden kaynaklanan sürekli durum hatasını giderecektir. Sorun manüel resetin hangi temele göre otomatikleştirileceğidir. Bunun için vana hata sıfır olmadığı sürece belirli bir hızda hareket ettirilir. Böylece kontrol vanası için doğru konum bulunabilir, fakat hala çok sayıda vana hareket hızı vardır.

Enstrümantasyon alanında en çok kullanılan uygulama kontrol aygıtlarını vanayı hata ile orantılı olarak hareket ettirecek şekilde tasarımılamaktır. Hata büyüdükçe vanayı daha hızlı hareket ettirmek akla uygun görülmektedir. Bu eklenen denetim kipine *otomatik reset* denilmektedir. Kalıcı durum hatasını giderdiğinden dolayı oransal denetim ile beraber kullanılmaktadır.

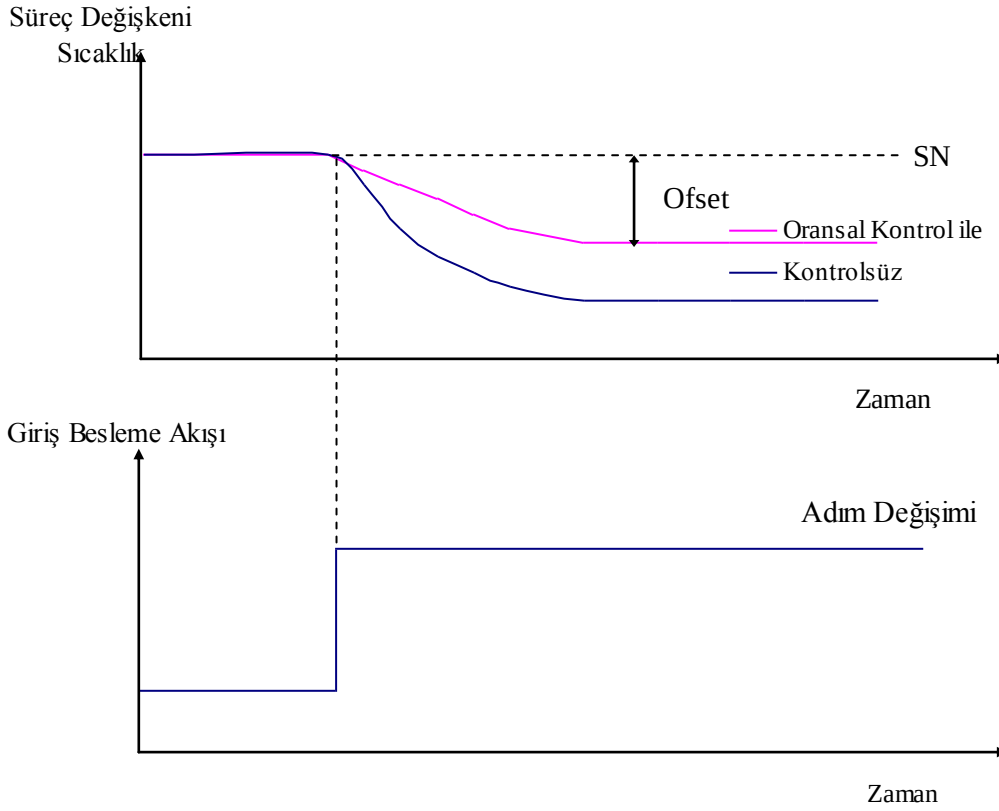
Oransal+Reset işlevleri Şekil-1.18’de görüldüğü gibi, herhangi bir zamanda set noktasında bir basamak değişimi olduğunu varsayalım. Öncelikle, vana konumunda oransal işlevden kaynaklanan $K_c e$ ’ye eşit ani bir değişim olur. Aynı anda, *reset* işlevi bir hata olduğunu algılayarak vanayı bu hata ile orantılı bir hızda hareket ettirmeye başlar. Sabit bir hata var olduğundan, vana hızı sabit olacaktır. Bir t_i zaman diliminden sonra, vana konumunda ilk olarak oransal değişime eşit bir artış gözlenecektir. Buna *reset süresi* denilmektedir. Bu ayar bir reset kontrol aygıtına uygulanan ve grafiğin reset yanıt kısmının eğimini belirleyen bir ayardır. Kesikli çizgiler düşük reset ve yüksek reset için ayarlamaları göstermektedir.



Şekil 1.18 Oransal+reset denetimli süreç.

Bu bağıntı bir kontrol aygıtının reset ayarının değişik bir ifadesidir. Reset hareketini ifade etmek için zaman kullanıldığında buna *reset süresi* denir. Genelde bunun tersi kullanılır ve buna da “dakikadaki tekrar” (rpm) cinsinden reset denir. Bu terim reset hareketinin yalnızca oransal denetim tarafından üretilen vana değişiminin dakikadaki tekrar sayısı cinsinden ifadesidir. İntegral süresi t_i olarak adlandırılır.

Reset işleminin eklenmesinden sonra denetimdeki iyileşme Şekil-1.19’da gösterilmiştir. Daha önce yalnızca oransal denetim altındaki aynı süreç değişimi kullanılmıştır. Başlangıçtaki bozulmadan sonra reset hareketi hatayı sıfırlamıştır ve kayıklık yoktur.



Şekil 1.19 Oransal+reset denetimli sürecin yanıt eğrisi.

Reset hareketinin vanayı hata ile orantılı bir hızda hareket ettirdiği göz önüne alınırsa, bu kontrol modu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$dV/dt = K_i e \quad (1-7)$$

dV/dt vana konumunun zamana (t) göre türevi ve $K_i = K_c/t_i$ 'dir.

Vananın herhangi bir andaki konumunu bulmak için yukarıdaki eşitliğin integrali alınır:

$$V = K_i \int e dt \quad (1-8)$$

Bu eşitlik, vana konumunun hatanın integrali ile orantılı olduğunu gösterir. Bu nedenle bu denetime “integral denetim” denir. Daha önce “reset süresi” denilen niceliğe de “integral süresi” adı verilebilir.

Sonuç olarak, oransal ve reset denetimin birleştirilmesi iki-kipli denetimin formülünü verir:

$$V = K_c e + K_c/t_i \int e dt + m \quad (1-9)$$

PI kontrolde önemli bir sorun vardır. Bir denetim döngüsü PI kontrol kullanıyorsa, integral (reset) modda kontrol aygıtının çalışma sınırları dışında da integral işlevine devam ederek çıkışı değiştirmesi olasılığı bulunmaktadır. Bu duruma “reset windup” denir. Örneğin, Şekil-1.20’deki ısı değiştirgeci 50 lt/dak’lık bir debide akan süreç sıvısını 35°C’tan 70°C’a kadar ısıtmak için tasarlanmıştır. Süreç sıvısı akışı aniden 100 lt/dak’ya çıkarsa, Şekil-1.21’deki gibi kontrol vanası tam açık (%100) bile olsa süreç sıvısının sıcaklığını 70°C’ta tutmaya yetecek kadar buhar sağlanması mümkün olmayacaktır. Bu durumda, reset modu, vanayı tam olarak açmış durumda hata işaretinin integralini almaya devam edecek ve kontrol aygıtının çıkışını pnömatik sistemin besleme basıncına

kadar artıracaktır. 100kPa'ı aştıktan sonra vana daha fazla açılmayacaktır ve devam eden integral alma işlemi hiçbir amaca hizmet etmeyecektir. Kontrol aygıtı maksimum çıkış değerine kurulmuş olur.

Dahası, süreç sıvısının debisi yeniden sürecin çalışma sınırları olan 50 lt/dak'ya düşerse, vana halen tam açıkken kontrollü sıcaklığın set noktasının üzerinde olduğu bir süre olacaktır. Vananın kapanmaya başlayarak süreci denetlemesinden önce integral kipinin bu “wound-up” (kurulma) koşulundan integral olarak pnömatik sinyali 100kPa'a doğru düşürmesi için bir süre gereklidir.

1.3.5 Oransal-Artı Türevsel (Rate) Kontrol

Türevsel kontrol PID kontrolde üçüncü kontrol modudur. Türevsel kontrol süreç değişkeninin (veya hata sinyalinin) değişim hızına yanıt verir. Türevsel kontrol parametresinin doğru ayarlanması ile yavaş değişen süreç değişkeninin sistemdeki bir değişime daha hızlı yanıt vermesi sağlanır. Bu kontrol modu da oransal kontrol modu ile birlikte kullanılır ve hız (rate) kontrol olarak da adlandırılır.

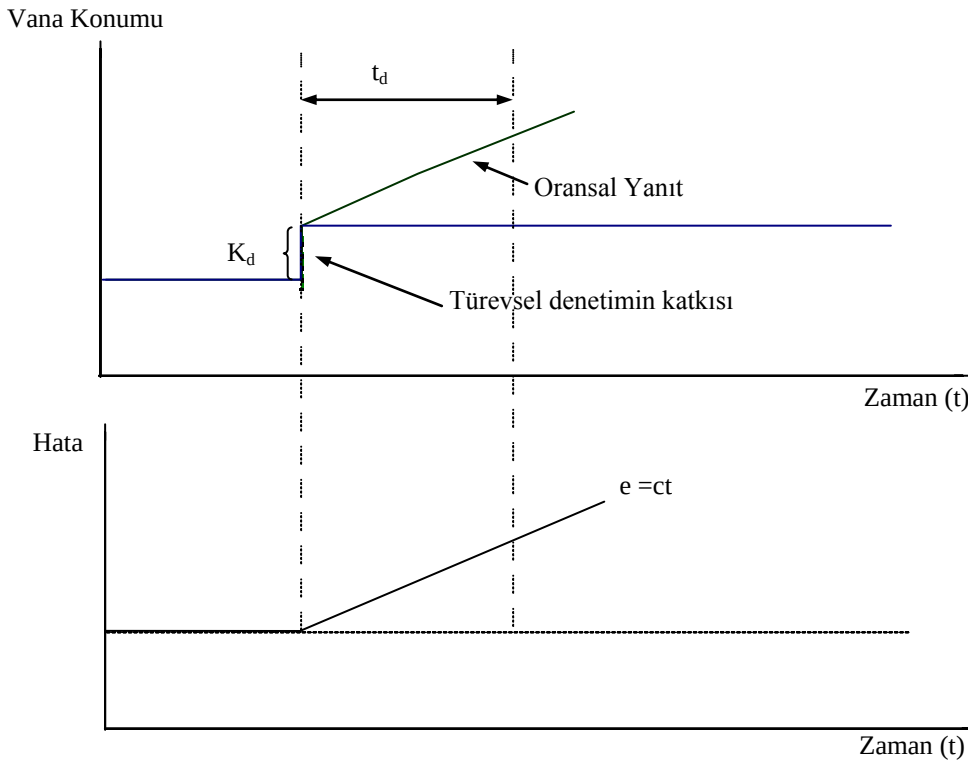
Türevsel kontrolün çıkışa sağladığı katkı matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1-10)$$

burada K_d türevsel kazanç ve $e(t)$ hata sinyalidir.

Türevsel kazanç da oransal kazancın bir işlevidir ve $K_d = K_p \cdot t_d$ şeklinde ifade edilir. Burada t_d türevsel süredir ve dakika biriminde ölçülür.

Türevsel kontrolün sistem üzerindeki etkisi oransal kontrolden kaynaklanabilen aşmaların azaltılması yönünde gerçekleşir. Aşmanın azaltılması ile geçici rejim süresince sistem çıkışı daha az salınacak ve dolayısıyla sistemin daha kısa sürede durulması sağlanacaktır.



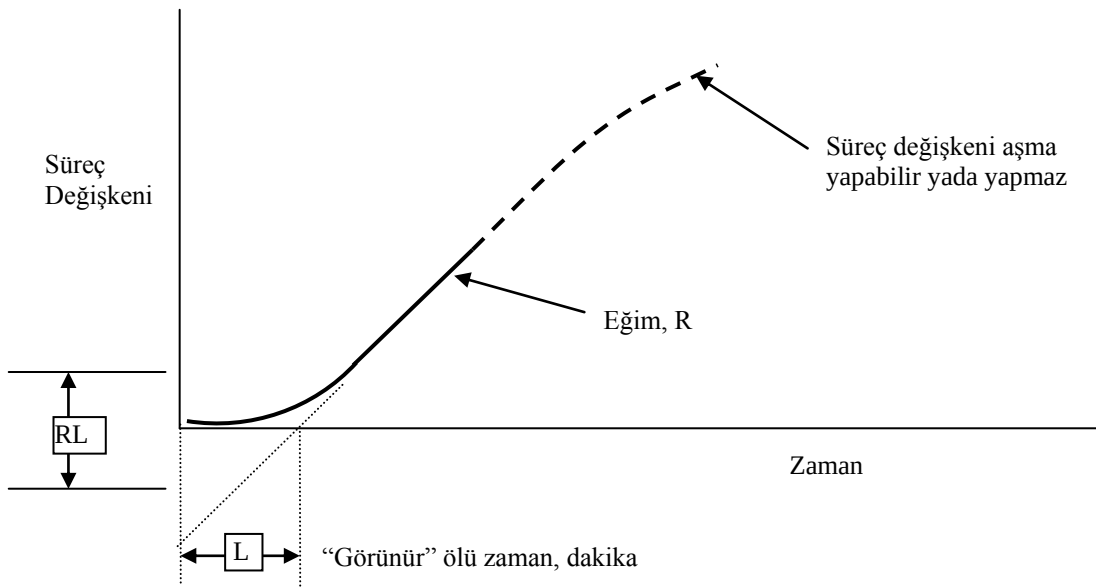
Oransal ve türevsel kontrol modlarının birlikte kullanımı Şekil 1- 19’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Vanaya gönderilen kontrol sinyali de aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V(t) = K_p e(t) + K_p t_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1-11)$$

1.4 KONTROL AYGITININ AYARLANMASI

1.4.1 Kontrol Aygıtının Ayarlanması için Kurallar

Bir kontrol aygıtını ayarlarken kapalı döngü için yapılacak işlem döngü salınımına girene kadar kazancı artırmaktır. Doğal periyot, P_n , olarak adlandırılan salınım frekansı incelenir ve kontrol aygıtı ayar değerleri için P_n ve salınımına neden olan kazanca dayandırılan formüller çıkarılır. Açık döngüde, kontrol aygıtı manuel moda alınır ve kontrol aygıtının çıkışında adım değişimi denilen küçük bir değişim yapılır. Ölçülen değişkenin bu adım değişimine yanıtı Şekil-1.20’dekine benzer olacaktır. Kontrol aygıtı ayar değerleri için formüller görünür ölü zaman, L ve eğim, R ’ye dayandırılarak çıkarılır.



Şekil 1.20 Tipik Açık Döngü Adım Tepkisi

Bir endüstriyel kontrol aygıtı oransal kazanç, integral ve türevsel (PID) işlevler için ayarlamalar da yapabilmektedir. İntegral ve türevsel işlevler zaman birimine sahiptir ve bunları ayarlama kuralları sürecin zaman parametreleri (P_n veya L) tarafından belirlenir. Diğer taraftan, oransal kazancın ayarlanması için karşılaştırmalı bir kural yoktur. Bu ayarlama sürecin hem zaman hem de kazanç parametrelerine bağlıdır.

1.4.2 Kontrolün İlk Yasası

Süreç performansını artırmak için kontrolün ilk yasağını anlamak gerekir: performans doğal frekansa bağlıdır. Doğal periyodu belirleyen etkenler yüksek matematik kullanmadan kolaylıkla anlaşılabilir. Gerçekten, doğal frekans bir kontrol aygıtını ayarlarken incelenmesi gereken temel parametredir. Şüphesiz ki, performans bozucu değişkenlerin şiddetine bağlıdır, ancak bunun pek dikkate alınmadığı da söylenebilir. Kapalı-döngü ayar yönteminde, doğal frekansı inceleyin. Ayarları yapan

kişi beklenen yaklaşık periyot hakkında bir fikre sahip olmalıdır. Bu bilgi ayarlama yaparkenki özgüveni artıracak, dolayısıyla daha az zaman harcanacak ve hata yapma eğilimi azalacaktır.

Kontrollü anlamak için gerekli ilk şey gecikme kavramını bilmektir. Bir kontrol aygıtının çıkışı değiştiğinde kontrollü değişken anında değişmez, çünkü aradaki tüm bağlayıcı elemanların değişmesini beklemek zorundadır. Kontrol aygıtının çıkışı değiştiğinde vana anında hareket etmez, fakat zaman gecikmeli olarak bu değişimi izler. Sıcaklık ölçümü gerçek sıcaklığı gecikmeli olarak izler. Daha önce belirtildiği gibi, bir kontrol aygıtı manüel moda sokulursa ve çıkışında bir adım değişimi yapılırsa, kontrollü değişkenin yanıtı Şekil-1'deki gibi olacaktır. Burada kontrollü değişkenin aşması önemli değildir. Önemli olan her zaman bir görünür ölü zamanın (L) olmasıdır.

Görünür ölü zaman çıkışta bir değişim olduktan sonra kontrollü değişkenin buna yanıt vermesi için geçen süredir. Görünür ölü zaman, L ile doğal frekans, P_n arasında bir ilişki vardır. Biri diğerini üretir. Pek çok döngü için, P_n yaklaşık olarak 4L'ye eşittir. $P_n = 4L$. Birkaç döngüde P_n 2L'ye yaklaşır ve esasen tüm döngüler için P_n 2L ile 4L arasındadır. Kontrolde hiçbir kavram bundan daha önemli değildir.

Endüstriyel kontrol döngülerinin çoğunda, kontrol döngüsünün amacı kontrollü değişkeni sabit bir değerde tutmaktır. Ancak bozucu değişkenlerin de etkisiyle hiçbir kontrol aygıtı bunu sağlayamaz. Kontrollü değişken istenen değerden sapacaktır. Tipik kurallara uyularak ayarlanmış bir kontrol aygıtı ile, kontrollü değişken kontrolsüz modda olduğu kadar, ancak yaklaşık $P_n/2$ 'ye eşit bir sürede sapacaktır. Bu demektir ki, çoğu durumda, set noktasından sapma (kontrollü değişkenin hatası) P_n azaltıldığında neredeyse doğru orantılı olarak azalacaktır. Hata süresi de P_n 'nin azaltılmasıyla göreceli olarak azalacaktır. Dolayısıyla, bozucu değişkenlerin varlığında, döngünün performansı kendisi L tarafından belirlenen P_n tarafından belirlenir.

1.4.3 Görünür Ölü Zamanın Önemi

L nereden gelmektedir? Şüphesiz ki, sistemdeki gecikmelerden kaynaklanmaktadır, ancak en büyük gecikmeden değil, küçük gecikmeler ve ölü zamanlardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla performansı iyileştirmenin (hataları azaltmanın) yollarından biri P_n 'yi azaltmaktır. Bunu yapmak için L'yi azaltın. Döngüdeki ölü zamanlar ve küçük zaman gecikmelerini azaltmaya ya da ortadan kaldırmaya çalışın. İkinci büyük gecikmeye kadar ve genellikle onu da dâhil ederek döngüdeki ölü zamanları ve küçük gecikmeleri azaltmaya ya da ortadan kaldırmaya çalışın. En büyük gecikmeyi yok etmemek bir paradokstur. Genel olarak bir bozucu değişkenden sonra sistemin eski haline gelmesi, yani toparlanması iki yada üç doğal periyot kadar sürer. Bu demektir ki, L 0.1 dakika azaltılırsa, örneğin, P_n 0.4 dakika azalacak ve toparlanma bir dakika önce olacaktır.

Görünür ölü zaman, L'nin önemini kavradıkça onu belirleyen küçük gecikmeler ve ölü zaman gibi bileşenlerini tahmin edebilirsiniz. Pek çok gecikmenin boyutunu da önceden kestirebileceksiniz. Gerekli bilgi enstrüman ve ekipman satıcılarından da temin edilebilir. Son olarak, bazı gecikmeleri hesaplamanız gerekebilir.

1.5 STANDART SİNYALLER

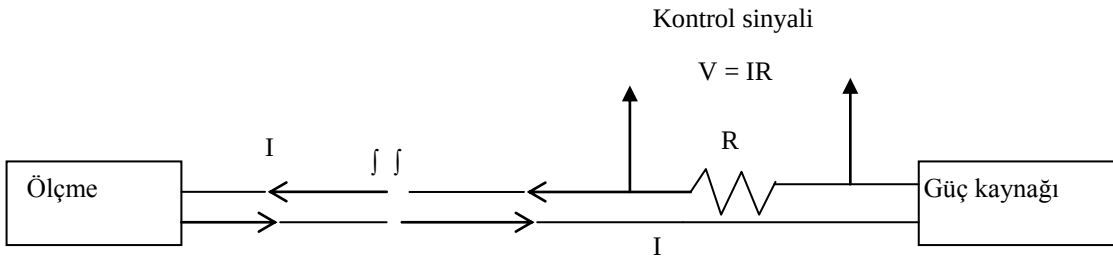
1.5.1 Akım sinyali iletimi

Bir kontrol döngüsü analog elektronik sinyalleri kullanılarak tanımlandığında genellikle analog sinyal akım olarak iletilir. Süreç kontrol döngüsü tasarımı sırasında, düzenlenecek kontrollü değişken için bir çalışma aralığı tanımlanır. Bu aralıkta bir set noktası tanımlanması gerekebilir. Genellikle sinyal iletim hattında 4...20 mA akım aralığında uygunlaştırılan sinyaller kullanılır. Kontrollü değişkeni tanımlamak için akım sinyali iletimi kullanılırken dikkat edilmesi gereken üç önemli nokta vardır.

Yük empedansı: Değişkeni ifade eden analog sinyali taşımak için akım kullanıldığında, iletim devresine farklı yükler bağlanması hataya neden olmamaktadır. Bağlantı kablosu direncini değiştirmek ya da seri direnç eklemek iletilen akımı değiştirmeyecektir. Genellikle, iletim devreleri 0Ω 'dan 1000Ω 'a kadar değişen yüklerle çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Yerine konulabilirlik (Interchangeability): Değişken aralığını ifade eden belirli bir akım aralığı kullanarak süreç kontrol döngüsündeki kontrol aygıtı için üstünlük sağlanmıştır. Dinamik değişken sabit bir akım aralığına dönüştürüldüğünde, artık tüm kontrol bu aralığın bir yüzdesi olan set noktası ve sapma üzerine yapılabilir. Böylece, kontrol aygıtı, örneğin yalnızca 4...20 mA'lık sinyali görür ve artık bunun hangi dinamik değişkeni ifade ettiği önemli değildir.

Ölçme/Güç kaynağı: Akım sinyali hatları aynı zamanda transdüser ve yerel sinyal uygunlaştırıcılara enerji sağlayan güç iletim hatlarıdır. Böylelikle, yalnızca iki kablo kullanılarak bir transdüser ve sinyal uygunlaştırıcı ölçme sistemi döngünün kalan kısmına bağlanabilir. Sinyal uygunlaştırma katı güç kaynağından dinamik değişkenin değeriyle orantılı az ya da çok akım çekecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil-1.21'de görüldüğü gibi, kontrol aygıtı sinyali hattaki seri direncin üzerindeki gerilim düşümü olarak alınmıştır.



Şekil 1.21 İki hatlı sistem hem ölçme sistemine güç taşır, hem de akım sinyali olarak ölçme hakkındaki bilgiyi taşır.

1.5.2 Pnömatik sinyal iletimi

Bir süreç kontrol döngüsünde son kontrol elemanı genellikle bir pnömatik aygıttır. Bazı durumlarda, tüm süreç kontrol döngüsü pnömatik olabilir. Her iki durumda da, standart iletim sinyali 3...15 psi aralığında bir basınç seviyesidir. 4...20 mA akım sinyalini 3...15 psi sinyale dönüştürmek için bir akım-basınç çevirici (I/P) kullanılır. Süreç kontrol endüstrisinde 3...15 psi standardı SI standardına tercih edilir.

SI'da, basınç birimi pascal (Pa)'dır. SI birim sistemine dönüşüm yapıldığında pnömatik sinyal için uygun basınç aralığı 20 kPa ile 100kPa arasındadır.

2

SENSÖRLER: TANIMLAR VE TERİMLER

2.1 SENSÖR

Sensör İngilizce “sense”, yani algılama sözcüğünden türetilmiş olup algılayıcı anlamında kullanılan bir terimdir. Bir fiziksel niceliğinin değişimini algılayan sensörler eğer bu fiziksel niceliğin önceden belirlenen sınırlar içinde olup olmadığını algılayıp bir ani etkili anahtarı harekete geçiriyor veya bir transistörü anahtarlıyorsa “anahtar” olarak adlandırılır. Örneğin, seviye anahtarı, basınç anahtarı, akış anahtarı, vb. Bir dinamik değişkenin değişimini algılayıp çıkışına oransal bir elektrik akımı ya da gerilimi olarak aktarıyorsa, “transdüser” olarak adlandırılır. Akış transdüseri, fark basınç transdüseri, ultrasonik transdüser, vb.

2.2 SENSÖRLERİN BAŞARIMINI BELİRLEYEN PARAMETRELER

Sensörlerin başarımını belirleyebilmek ve çeşitli sensörler arasından seçim yapabilmek için kullanılan bazı parametrelerin tanımlanması gerekmektedir.

2.2.1 Aralık (Range)

Bir enstrümanın aralığı giriş ya da çıkışındaki minimum ve maksimum değerler ile ifade edilir. Örneğin bir transdüserin giriş aralığı süreç değişkeninin minimum ve maksimum değerleri ile SD_{min} ile SD_{max} arasında tanımlanır. Çıkış aralığı ise, ölçülen değişkenin minimum ve maksimum değerleri ile $ÖD_{min} \dots ÖD_{max}$ biçiminde tanımlanır.

2.2.2 Açıklık (Span)

Açıklık minimum ve maksimum aralık değerleri arasındaki farktır. Örneğin bir transdüserin giriş açıklığı, $SD_{max} - SD_{min}$ ve çıkış açıklığı $ÖD_{max} - ÖD_{min}$ şeklinde hesaplanır.

2.2.3 Duyarlık (Sensitivity)

Bir enstrümanın girişindeki birim değişime karşı gösterdiği yanıt yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Transdüserler için ise, ölçülen niceliğin bir birimlik değişiminde çıkış değerindeki değişim olarak tanımlanır. Dolayısıyla, girişindeki en küçük bir değişimi çıkışına algılanabilecek büyüklükte bir değişim olarak aktarabilen transdüserin duyarlılığı yüksektir.

2.2.4 Doğruluk (Accuracy)

Ölçülen değer beklenen değerle ne kadar bağdaştığını gösteren bir ölçüdür. Beklenen (teorik) değer ile ölçülen değer arasındaki fark ise “hata” olarak tanımlanır. Aslında doğruluk, yüzde olarak

transdüserin en fazla ne kadar hata yaptığını ifade eder.

2.2.5 Doğrusallık (Linearity)

Bir transdüserin karakteristik eğrisinin bir doğruya ne kadar yakın olduğunu gösteren bir ölçüdür. İdealde, karakteristik eğrinin bir doğruyu izlemesi beklenir, ancak algılayıcıların doğasında bulunan ve onları doğrusallıktan uzaklaştıran özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle, bir transdüser ideal doğrudan sapmalar gösterir. Yüzde olarak tanımlanan doğrusallık, transdüserin ideal doğrudan en fazla ne kadar saptığını belirtir.

2.2.6 Yinelenebilirlik (Repeatability)

Aynı koşullar altında, aynı transdüser ile, aynı değişkenin değerinin ölçülmesinde alınan çeşitli sonuçların birbirine yakınlığı olarak tanımlanır. Bir transdüserin yalnızca yinelenebilirliğinin iyi olması yeterli değildir. Aynı zamanda doğruluğunun da yüksek olması gerekir ki, bu da “bileşik doğruluk” olarak tanımlanır. Yinelenebilirlik süreç kontrol sistemlerinde kullanılan algılayıcılar ve transdüserler için son derece önemlidir.

2.2.7 Çözünürlük (Resolution)

Bir değerin ölçülmesinde kademelerin belirtilmesinde kullanılan bir terimdir.

2.2.8 Hassasiyet (Precision)

Tam veya kesin olarak tanımlanmış ya da ifade edilmiş olma niteliğidir.

2.2.9 Histeresiz (Hysteresis)

Histeresiz, ölçülen değişkenin değerinin süreç değişkeninin daha önceki değerinin artırılması veya azaltılması yoluyla geçerli değerine ne kadar yaklaştığının ölçüsüdür.

Bir ölçme enstrümanının karakteristik eğrisi giderek artan ve sonra giderek azalan süreç değişkeni değerleri için çıkış sinyallerinin değerleri kaydedilerek çizilirse, aynı süreç değişkeni değeri için çıkış sinyallerinin birbiriyle uyuşmadığı gözlemlenebilir. Artan ve azalan yöndeki karakteristik eğri arasındaki en fazla sapma histeresiz olarak adlandırılır.

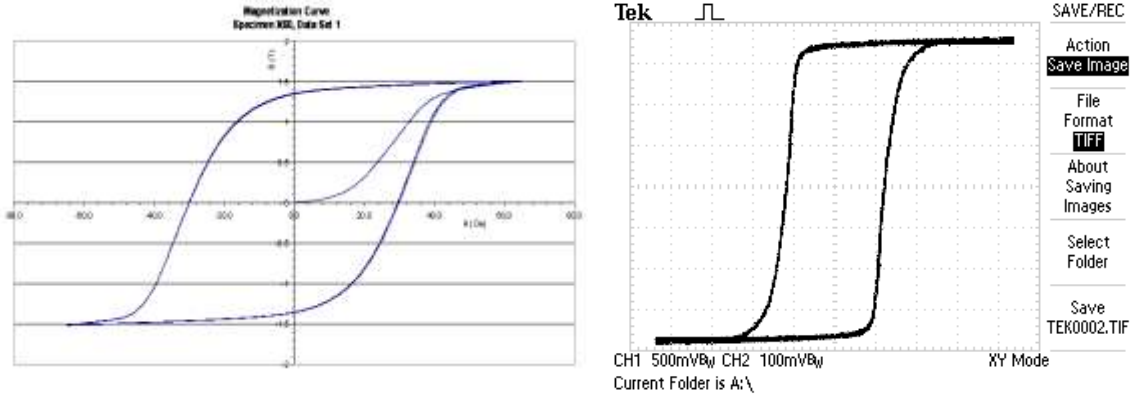
Histerezis, bir sisteminin durumunun, etken parametrelerde meydana gelen ani değişikliklere birden değiştirilememesi, sistemin yakın geçmişteki durumuna duyarlı olmasıdır. Transformatörlerde örneğin, birincil sargıda meydana gelen bir gerilim/akım değişikliği, trafo nüvesinin içerisindeki elektromanyetik alanı hemen değiştirilebilmesini engeller; nüve, mıknatıslandığı için yakın geçmişteki durumunu korumak isteyecektir. Hemen her şeyde olduğu gibi bazen istenen bazen de istenmeyen bir etkidir; trafolarda güç kaybına neden olurlarken sabit disklerle, kasetlere bilgi depolayabilmemiz histeresiz sayesinde.

Genelde manyetik/elektromanyetik sistemler için kullanılsa da bir çok başka histeresiz türü daha vardır. Örneğin, formu bozulan elastik bir cisim de elastik histeresiz gösterir. Örneğin, histeresiz bir basınç algılayıcı malzemenin esneklik özellikleri ve tasarım ilkelerine bağlıdır. Teknik ölçümler ve ayarlama ile kompanse edilebilir.

Elektronikte de bir büyüklüğü belli eşik değerleri için kontrol etmek istiyorsanız histeresiz etkileri gösteren schmitt trigger gibi devreler kullanılabilir.

Ferromanyetik cisimlerin içlerinde belirli manyetik alanlar (domain) bulunmasından kaynaklanan manyetik histeresizin Şekil 1.1'deki gibi tipik bir eğrisi vardır. Ferromanyetik bir cisim, belli bir eşik

değerine kadar mıknatıslanırsa, üzerine etkiyen elektromanteyetik kuvvet kaldırılrsa bile mıknatıslanma özelliğini korur. Cismi tekrar eski haline getirmek için tekrar bir dış alan uygulanması gerekir. Bu durum grafiklerde aralarında mesafe bulunan iki integral işaretinin uçlarından birleştirilmiş haline benzer bir kapalı alan yaratır ki genelde histeresizi göstermek için bu şekil kullanılır; scmitt trigger devrelerinin simgesi de bu şekildir.

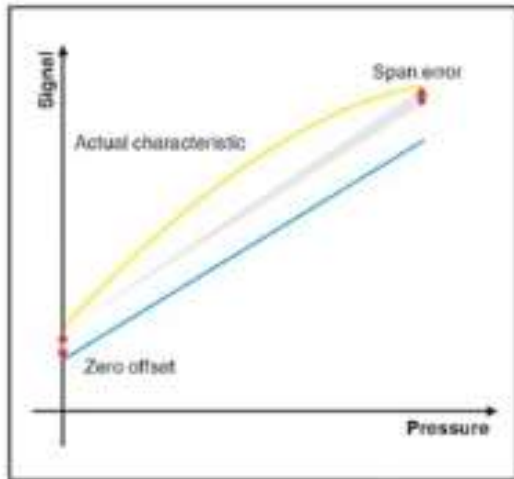


Şekil 0.1B: manyetik akı yoğunluğu, H: magnetomotive force

2.2.10 Yaşlanma ve Çevresel Etkiler

Transdüserlere ait tanımlanan teknik özellikler standart çalışma koşulları altında (standart ortam sıcaklığı, nem, uygulanan sabit gerilim, koşullandırılmış sabit hava basıncı, vb.) kalibrasyonu yeni yapılmış bir enstrüman için verilmektedir. Transdüserlerin tanımlanan doğruluk, doğrusallık, duyarlık gibi özellikleri çevresel koşullardan olumsuz yönde etkilenir. Transdüserlerde kullanılan malzemenin zamanla bozulması ile de bu özelliklerde geçici ve kalıcı olarak değişiklikler oluşur. Her iki etki de bir doğrusallıktan sapma hatası olan sıfır kayması (sıfır hatası) ve/veya duyarlıktaki değişim (açıklık hatası) olarak ortaya çıkar (Şekil 1.2).

Çevresel etkiler genel olarak bir çevresel değişmeden ileri gelen hatanın yüzdesi olarak tanımlanır.



Örneğin, bir diferansiyel basınç transmitteri statik basınçtan etkilenir.

Şekil 0.2 Sıfır ve açıklık kayması

2.2.11 Ölü Zaman (Dead Time)

İki ilgili hareket arasındaki gecikmedir. Örneğin, bir buharlı su ısıtma (eşanjör) sisteminde sıcaklık sensörü eşanjörden 3m uzakta yerleştirilmiş olsun. Eşanjör içindeki suyun boru içindeki akış hızı 3m/s ise, ölü zaman 1s'dir. Yani, eşanjörden çıkan suyun sıcaklığı değiştikten 1s sonra algılanmaktadır. Ölü zaman genellikle zaman sabiti ve diğer gecikmelerle birlikte bulunduğundan belirlenmesi güç bir faktördür.

SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

En çok ölçülen işlem değişkeni sıcaklıktır. Çeliğin işlenmesinden hassas bir kimyasal sürecin tamamlanmasına kadar değişen çok çeşitli işlemlerde sıcaklığın denetlenmesi gerekmektedir. Eğer çelik çok soğuksa yüzeyi kolaylıkla kırılabilir ve artık tasarımı olduğu iş için uygun olmaz. Eğer kimyasal işlem çok sıcak olursa sonuç korkunç bir patlamaya neden olur.

Sıcaklık meydana getirdiği bir takım etkilerin ölçülmesi ile saptanır. Örneğin sıcaklığın bazı elektrik devrelerinde gerilim oluşmasına neden olduğu keşfedildikten sonra bu gerilimin büyüklüğü ölçülerek sıcaklık miktarının ölçülmesi mümkün olmuştur. Sıcaklık bazı metallerin direncini değiştirir. Birbirine yapıştırılan uzama katsayıları farklı iki metal şeridin sıcaklık etkisi ile meydana getirdikleri şekil değişimi bimetal termometrenin esasıdır. Sıcaklık renk değişimine neden olur, ses hızını etkiler. Tüm bunlar tıp, bilim ve sanayide kullanılmaktadır.

Sıcaklık ölçümünde 5 farklı birim ve sistem kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan ikisi Fahrenheit ve Centigrade derecedir. Suyun donma ve kaynama noktaları arasındaki sıcaklık farkı Centigrade sistemde 100'e, Fahrenheit'da ise 180 dereceye bölünmüştür. Kelvin ve Rankine dereceleri mutlak sıfırdan başlar. Mutlak sıfır mükemmel gazın bulunduğu kaba sıfır basınç uygulandığı sıcaklık olarak tanımlanır.

Fahrenheit ve Centigrade sistemleri arasındaki dönüşüm aşağıdaki gibidir:

°F'dan °C'a :

$$T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32] \times 5 / 9$$

°C'tan °F'a :

$$T(^{\circ}\text{F}) = (9/5) \times T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (3-1)$$

3.1 CAM HAZNELİ TERMOMETRELER

Cam hazneli termometreler sıcaklıkla genişleyen ve hacmi büyüyen sıvının sütun şeklinde bir cam tüp içinde yükselmesi esasına göre çalışır. Sıvı olarak genellikle alkol ve cıva kullanılmıştır. Bu termometreler 1700'lü yılların başlarında geliştirilmiş olup halen en ucuz standart ölçü aleti olarak bütün dünyada kullanılmaktadırlar. Cam termometrenin kapiller (kılcal) tüpünün boyut hassasiyeti önemli bir özelliktir. Alan her kesitte aynı değilse önemli okuma hatalarına yol açar. Normalde bu enstrümanlarda doğruluk $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ile $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ arasında değişir. En az hatalı okuma -150 ile $+600^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Bir cam tüp içinde sıvının genişmesi sağlanıp yüksekliği okunmak istendiğinde iki sınırlamayla karşılaşılır: sıcaklık gözlemlenerek belirlenir ve üst sınır malzemelerin kaynama noktasından çok yukarıda olamaz, çünkü aşırı genişlemenin yaratacağı basınç tüpü patlatır. Bu nedenlerden dolayı, bu tip termometreler ölçüm yerinde okuma ile ve düşük sıcaklık aralıkları ile sınırlıdır.

3.2 DOLU SİSTEM TERMOMETRELER

Pek çok fiziksel özellik sıcaklıkla değişir. Bunların arasında bir sıvının hacmi, metal bir çubuğun uzunluğu, bir telin elektriksel direnci, sabit hacimde tutulan bir gazın basıncı, sabit basınçta tutulan bir gazın hacmi bulunmaktadır. Dolu sistem termometreler hacimsel veya doğrusal ısı genişleme fenomenini kullanmaktadır.

Hazne şeklinde bir birincil eleman, esnek bir kapiler tüp ve işaret iletim aygıtı ve/veya Bourdon tüpünden oluşan dolu tip ısıl aygıt Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu sistemde doldurma akışkanı, sıvı ya da gaz, sıcaklık arttıkça genişler ve Bourdon tüpünün açılmasını ve kalibreli bir kadran üzerinde sıcaklığın gösterilmesini sağlar.

Doldurma ya da iletim ortamı buhar, gaz, cıva veya başka bir sıvı olabilir. En çok kullanılan sıvı dolu sistemdir çünkü hazne en küçük olmakta veya enstrüman daha küçük olmaktadır.

Gaz dolu sistem ideal bir gaz için aşağıdaki ideal gaz kanununu kullanır:

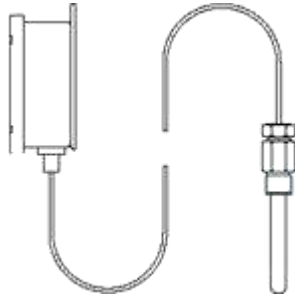
$$T = kPV \quad [PV = mRT] \quad (3-2)$$

T = sıcaklık (Kelvin cinsinden)

k = sabit

P = basınç

V = hacim



Şekil 3.1 Dolu sistem termometre

Eğer hacim sabit ve gaz da ideal ise, dolu sistemdeki basınç sıcaklıkla doğru orantılıdır. Ancak sistem hacmi Bourdon tüpünün sapmasıyla değiştiğinden sabit değildir ve gaz da ideal değildir. Mükemmel gaza en yakın iki gaz, hidrojen ve helyum sistemdeki metal parçaların içinden sızmaya eğilimlidir. Nitrojen gaz-dolu sistemlerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü enstrümandan dışarı kendiliğinden kaçmaz, fakat ideal bir gaz olmadığından, enstrüman hidrojen veya helyum dolu enstrüman kadar doğru değildir.

Bourdon tüpler orta ve yüksek basınçlar için uygundur ve binlerce kPa basınca kadar dayanır. Bourdon tüp yerine körük de kullanılabilir. Ancak körüğe uygulanan basıncın bir kaç on kPa'lı geçmemesi gerekir.

Bourdon yay tipi gösterge Fransa'da 1849'da icat edilmişti. O zamandan beri yalnızca bir malzemesi değişti. İyileştirilmiş ısıl işleme yöntemleri ve üstün üretim teknikleri ile yüksek doğruluklu, uzun ömürlü ve üstün performanslı göstergeler imal edilmektedir.

3.3 BİMETAL TERMOSTAT

Dünyadaki en bilinen otomasyon aygıtı her yerde bulunabilen bimetal termostattır. Bu basit ve etkin aygıt oda sıcaklığını gösterirken, ısıtıcıları ve klimaları açıp kapatır.

Düşük maliyetli bir termometredir, fakat sakıncası göreceli olarak doğruluğunun az, yanıt süresinin kısa olması ve histerisize sahip olmasıdır. Normalde yalnızca AÇ-KAPA denetim uygulamalarında veya tam ya da yanıt verici denetim gerektirmeyen denetim sistemlerinde kullanılır.

Bu transdüser sıcaklıkla malzemenin boyutundaki değişmeyi veya ısıl genişlemeyi kullanır. Isıl genişlemeyi anlamak için, basit bir katı modelini ele alalım. Bu katıdaki atomlar düzenli

elektiriksel kuvvetlerin yardımıyla bir arada tutulur. Mutlak sıfırın (-273.15°C) üstündeki bir sıcaklıkta katı maddenin atomları titreşmektedir. Sıcaklık arttığında, titreşimlerin genliği ve atomlar arasındaki ortalama uzaklık artar. Sıcaklık arttıkça tüm cisim genleşir. Katı maddenin doğrusal boyutundaki bu değişmeye doğrusal genleşme denir. Bu boyutun uzunluğu, l ise, sıcaklıktaki değişimden, ΔT , dolayı uzunluktaki değişim de Δl 'dir. Uzunluktaki değişim (Δl) sıcaklıktaki değişim (ΔT) ve ilk uzunluk l ile orantılıdır. Böylece, aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\Delta l = \kappa l \Delta T \quad (3-3)$$

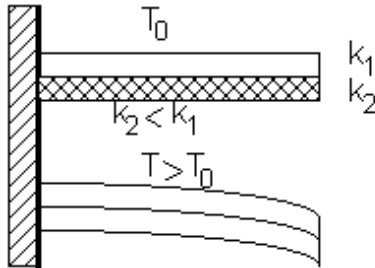
κ , doğrusal genleşme katsayısıdır.

Bu katsayı farklı malzemeler için farklı değerlere sahiptir ve Tablo 2.1'de 0°C ile 100°C arasındaki sıcaklık aralığında birkaç çok bilinen katı cismin ortalama doğrusal genleşme katsayısının deneysel olarak belirlenmiş değerleri listelenmektedir.

Tablo 2.1 Isıl genleşme katsayıları

Malzeme	Genleşme Katsayısı (κ)
Alüminyum	$25 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$
Bakır	$16.6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$
Çelik	$6.7 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$
Berilyum / bakır	$9.3 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

Bimetal termostatin çalışma ilkesi metallerin farklı hızlarda genleşmesine dayanmaktadır. Bimetal termostatin ana elemanı iki ayrı metal şeridin birbirine yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Bimetal şerit ısıtıldığında iki metal şerit genleşmeye başlayacaktır. Metallerden biri diğerinden daha hızlı genleştiğinden, sıcaklık arttıkça bimetal şerit daha yüksek genleşme katsayısı olan metalden uzaklaşacak şekilde kıvrılacak veya bükülecek. Metal soğudukça bükülme etkisi ters dönecektir. Bu etki anahtar kontaklarını kapatmada veya bir AÇ/KAPA aygıtı seçilmiş bir set noktasındaki sıcaklık değişimlerinde harekete geçirmede kullanılır. Bimetal şerit kadranlı termometrelerde de kullanılır.



Şekil 3.2 Bimetal şerit

Termostat, plastik kılıfı içindeki uzun bimetal bobinden oluşmaktadır. Bimetal şerit ne kadar uzun olursa bükülme derecesi ve duyarlılığı o kadar artar. Üretici, uzun şeridi spiral şeklinde kıvrarak denetim elemanının boyutlarını küçülmüştür. Spiralın merkezi termostatin plastik kılıfına tutturulmuştur ve dışarıdaki ucu da hareket edecek şekilde serbest bırakılmıştır. Bu bobinin hareket eden ucuna genellikle cıvalı anahtar veya mikro anahtar bağlanır.

Spiral, daha yüksek genleşme hızına sahip metal bobinin dışında kalacak şekilde düzenlenir. Sıcaklık arttıkça halka, bir SPDT cıvalı anahtarı bir yönde itecek şekilde sıkışır. Sıcaklık azaldıkça, halka açılarak cıvalı anahtarı diğer bir yönde iter.

Bimetal kullanılan diğer denetimlerde bimetalin kendisi anahtarın bir parçası olarak kullanılır. Bir anahtarlama düzeninde süpürücü veya hareketli kontak olabilir. Bimetal eleman değişik kontrol işlevleri için düz bir parça, bir spiral, helezon veya bir disk şeklinde olabilir.



(a) Düz



(b) Spiral ve helezon



(c) Disk

Şekil 3.3 Bimetal termostat örnekleri

Şekil-2.3'te değişik tipteki bimetal sıcaklık sensörlerinin bazılarını gösterilmektedir. Arabanızdaki termostat da önceden belirlenmiş sıcaklığa ulaşıldığında bir vanayı açıp soğutucuyu dolaştırmak için kullanılmaktadır. Bimetal sıcaklık sensörleri dayanıklı, ucuz ve güvenilir olmalarından dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur, ancak bazı sakıncaları da vardır. Bunlardan bazıları şunlardır:

1. Bimetal termostat iki konumlu bir aygıttır. Bimetal elemanla denetlenen anahtar ya kapalı ya da açıktır. Bu eleman aracılığıyla sıcaklığın önceden ayarlanmış değerin üzerinde mi yoksa altında mı olduğu anlaşılabilir, ancak denetim devresindeki sıcaklığın mutlak değeri ölçülemez.
2. Bimetalin kendisi devrenin bir elemanı olduğunda, üzerindeki gerilim düşümünden dolayı oluşan ısınmadan korunmak için akımın sınırlandırılması gerekmektedir. Isınmanın hesaba katılmadığı durumlarda, ısıtma kontrol elemanı süreç yeterli sıcaklığa ulaşmadan kapanacak ve soğutma kontrol elemanı süreç istenenden daha soğuk olana kadar kapanmayacaktır.
3. Bimetal, anahtarlama devresinin bir parçası olduğunda yavaş çalışan anahtar ark yaratarak anahtar kontaklarında bozulmaya neden olabilir.

Yüksek duyarlık ve yinelenebilirlik gerektiğinde bimetal eleman kullanılmamalıdır. Hatalarına rağmen bimetal yine de endüstride ve evlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.4 ISILÇİFT- ISIDAN ELEKTRİĞE

Günümüzde sıcaklık ölçümleri giderek önem kazanmaktadır. Sıcaklık tamamen temel fiziki bir konudur ve çok değişik fiziksel özellikleri etkileyen parametredir. Sıcaklığın işletmelerde özellikle de rafinerilerde hayati bir önemi bulunmaktadır.

Sıcaklık ölçümü için birçok yöntem vardır. Elektronik dünyası ve yüksek sıcaklık ölçümleri için en önemli yöntemlerden birisi ısılıçift sistemidir.

1821'de Thomas Seebeck iki farklı metalin veya metal alaşımının her iki ucunu kaynakla birleştirip bir ucunu ısıttığında ortaya çıkan küçük akım akışının iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkına bağlı olduğunu keşfetti. Eğer devre ortadan ayrılırsa, bir açık devre gerilimi ölçülebilir.

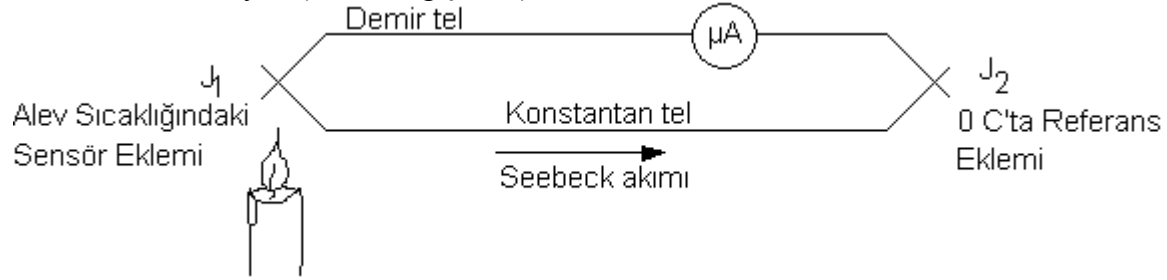
Kaynak noktası sıcak nokta veya ölçüm eklemi ve diğer açık iki uç soğuk nokta veya “referans noktası” da denir. Isılıçift olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Sıcaklık farkı devrede, Seebeck etkisi adı verilen bir elektromotor kuvvetin oluşmasına yol açar. Bu elektromotor kuvveti yaklaşık olarak iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır. Soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir.

Şekil-2.4 Seebeck etkisi ve Seebeck gerilimini göstermektedir. Sıcaklıktaki küçük değişimler için Seebeck gerilimi sıcaklıkla doğru orantılıdır. Bu olay endüstrinin tercih ettiği ölçme enstrümanlarından biri olan ısılıçiftin temelini oluşturmaktadır.

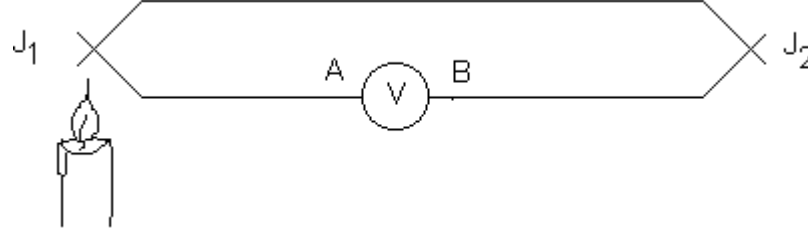
Sıcaklıktaki küçük değişimler için, Seebeck gerilimi sıcaklıkla doğru orantılıdır:

$$V_{ab} = \alpha (T_1 - T_2) \quad (3-4)$$

α = Seebeck katsayısı (orantı değişmezi)



(a) Seebeck etkisi : $T_{J1} \neq T_{J2}$ olduğunda akım akar.



(b) Seebeck gerilimi: $T_{J1} \neq T_{J2}$ olduğunda A - B üzerindeki gerilim düşümü.

Şekil 3.4 Seebeck etkisi ve Seebeck gerilimi

En çok bilinen ısılıçiftler ve bunların normal sıcaklık aralıkları Tablo 2.2'de verilmiştir. Bu tabloda ilk anılan tel ANSI standartlarına göre (+) uçtur ve rengi ısılıçift tipine göre değişmektedir ve ikinci tel (-)'dir ve rengi kırmızıdır. DIN standartlarına göre ise, tam tersidir.

Isılıçift eleman tellerinin dayanabileceği sıcaklık sınırları telin çapına bağlıdır. Çap kalınlaştıkça çıkabileceği maksimum sıcaklık artacağı gibi kalın çaplı tel ince çaplı tele nazaran daha uzun ömürlü olacaktır. Cu-Cons, Fe-Cons, NiCr-Ni gibi eleman telleri 0.5mm, 1mm, 1.6mm, 2mm, 3mm gibi çaplarda üretilirken, Pt-RhPt eleman telleri en kalın olarak 0.5mm çapta üretilmektedir.

Tablo 2.2 Standart ısılıçift tipleri ve Değerler Aralığı

Tip	Malzemeler	Normal Değerler Aralığı
J	Demir-konstantan	-200°C'tan 1190°C'a
T	Bakır-konstantan	-260°C'tan 390°C'a
K	Kromel-alumel	-260°C'tan 1370°C'a
E	Kromel-konstantan	-260°C'tan 990°C'a
S	%90 platin + %10 rodyum-platin	-40°C'tan 1760°C'a
R	%87 platin + %13 rodyum-platin	-40°C'tan 1760°C'a
B	%70 Pt + %30 Rh- platin	0°C'tan 1810°C'a
N	Nikrosil-Nisil	-260°C'tan 1290°C'a
G	Tungten-Tungten+%26Renyum	0°C'tan 2320°C'a
C	Tungten+%5Renyum-Tungten+%26Renyum	0°C'tan 2320°C'a
D	Tungten+%3Renyum-Tungten+%25Renyum	0°C'tan 2320°C'a

ÖRNEK 2.1

Problem: Eklem sıcaklıkları 40°C ve 80°C'ta olan bir ısılıçiftin Seebeck katsayısı $\alpha = 40 \mu V / ^\circ C$ 'tır. Seebeck gerilimini bulunuz.

Çözüm: Seebeck gerilimi aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$V_{ab} = \alpha (T_1 - T_2)$$

$$V_{ab} = (40 \mu V / ^\circ C) (80^\circ C - 40^\circ C) = 1.6 mV$$

3.4.1 Isılçift Tabloları

Isılçiftlerin ürettiği gerilimden yararlanmak için, pek çok ısılcift tipleri için kapsamlı gerilime karşı sıcaklık tabloları belirlenmiştir. Bu tablolar referans eklemi 0°C'ta ve ölçüm eklemi verilen bir sıcaklıkta iken belirli bir ısılcift için oluşan gerilimi verir. Örneğin, tablodan K tipi ısılcift için 0°C referansı ile 200°C'ta üretilen gerilimi buluruz:

$$V(200^{\circ}\text{C}) = 8.13 \text{ mV} \quad (\text{K tipi, } 0^{\circ}\text{C})$$

Burada soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunacaktır. Bu nedenle ısılcift mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C derecede tutulması ile elde edilmiştir.

Eğer K tipi ısılcift ile 0°C referansta 29.14 mV'luk bir gerilimi ölçersek, K tipi ısılcift tablosundan sıcaklığı da bulabiliriz:

$$T(29.14 \text{ mV}) = 700^{\circ}\text{C} \quad (\text{K tipi, } 0^{\circ}\text{C})$$

Pek çok durumda ısılcift gerilimi tablodaki değerin tam olarak aynısı olmayabilir. Bu durumlarda, istenen değeri elde etmek için tablo değerleri arasında enterpolasyon yapmak gerekir. Yaklaşık bir sıcaklık değeri aşağıdaki enterpolasyon eşitliğini kullanarak bulunabilir:

$$T_{\delta} = T_d + [(T_y - T_d) / (V_y - V_d)] (V_{\delta} - V_d) \quad (3-5)$$

Bu eşitlikte, ölçülen V_{δ} gerilimi tabloda bulunan daha yüksek bir V_y gerilimi ile daha düşük bir V_d gerilimi arasındadır. Bu gerilimlere karşılık gelen sıcaklıklar sırasıyla T_y ve T_d 'dir.

ÖRNEK 2.2

Problem: J tipi ısılcift ile 0°C referansta 6.22mV'luk bir gerilim ölçülmüştür. Ölçüm eklemindeki sıcaklığı bulunuz.

Çözüm: Tablodan $V_{\delta} = 6.22 \text{ mV}$ 'un $V_d = 6.08 \text{ mV}$ ile $V_y = 6.36 \text{ mV}$ arasında olduğunu görürüz. Karşılık gelen sıcaklıklar sırasıyla $T_d = 115^{\circ}\text{C}$ ve $T_y = 120^{\circ}\text{C}$ 'tır. Dolayısıyla, eklem sıcaklığı aşağıdaki gibi bulunur:

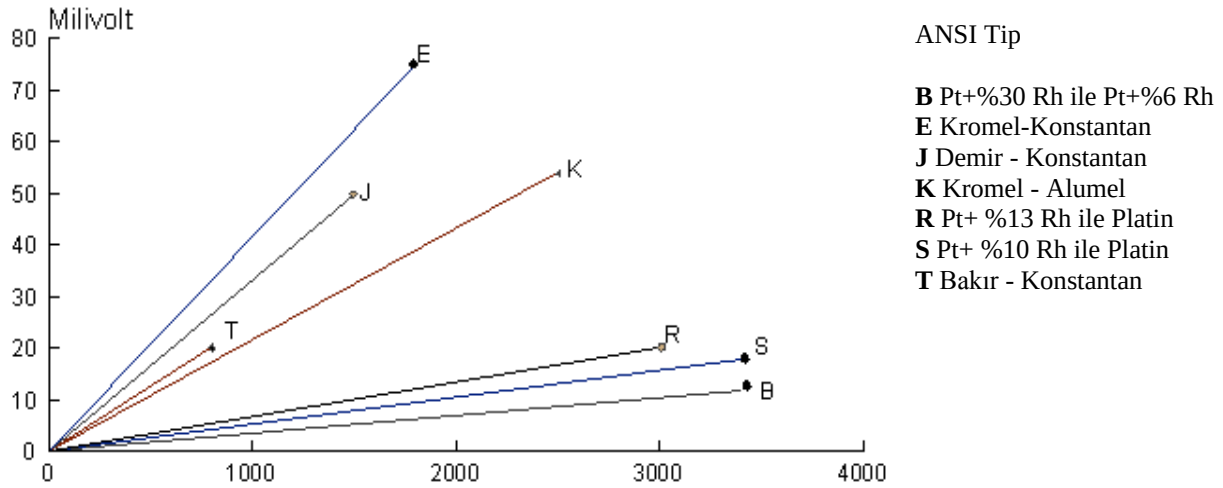
$$T_{\delta} = 115^{\circ}\text{C} + [(120^{\circ}\text{C} - 115^{\circ}\text{C}) / (6.36\text{mV} - 6.08\text{mV})] (6.22\text{mV} - 6.08\text{mV})$$

$$T_{\delta} = 115^{\circ}\text{C} + (5^{\circ}\text{C} / 0.28\text{mV}) (0.14\text{mV}) = 117.5^{\circ}\text{C}$$

Amerikan Ulusal Standartları Enstitüsü (ANSI) değişik ısılcift çeşitleri için standart performans eğrileri tanımlanmıştır. Farklı üreticilerin yaptığı ısılciftlerde birliği sağlamak amacıyla çeşitli metal alaşımları standardize edilmiştir.

Isılçift tiplerinin çeşitliliği önemlidir, çünkü tasarımcıya projesine uygun atmosfer ve sıcaklık aralığına göre ısılcift seçme olanağı tanır. Bir uygulama için uygun olan ısılcift diğer bir uygulamanın atmosfer koşulları tarafından zedelenebilir. Omega Engineering Inc. gibi üretici firmalar tasarımcılara özel bir iş için doğru ısılcifti seçmesinde yardımcı olmak amacıyla ayrıntılı bilgileri sağlamaktadır (bkz. www.omega.com).

Şekil 2.5'te çeşitli ANSI standart ısılciftlerin yanıt eğrileri görülmektedir. Isılçift için sıcaklık/mV eğrilerinin her birinde sıcaklık ölçüm açısından diğerlerine göre daha uygun olduğu bölgeler vardır. Örneğin, 0°C-800°C sıcaklıkları arasında ölçüm yapan Fe-Cons ve 0°C - 1200°C arasında sıcaklık ölçümü yapan Ni Cr-Ni eleman telleri arasında karşılaştırılırsa 300-600°C arasında Fe-Cons, NiCr-Ni ısılciftine nazaran daha doğrusaldır.



Şekil 3.5 En çok kullanılan ısıçift yanıt eğrileri

Herhangi değişik iki metal veya metal alışımlı termoelektrik etkiye yol açar. Ancak bunlardan birkaçı ısıçift olarak kullanılabilir. Aşağıdaki tablo ısıçift tasarımında en çok kullanılan alaşımların listesini vermektedir.

Tablo 2.3 ısıçift tellerinde en çok kullanılan alaşımlar ve isimleri

ADI	ALAŞIMI
CONSTANTAN	BAKIR - NİKEL
CHROMEL	NİKEL - KROM
ALUMEL	NİKEL - ALUMİNYUM
NİKROSİL	NİKEL - KROM - SİLİSYUM
NİSİL	NİKEL - SİLİSYUM

Bu alaşımlara ilaveten çeşitli platin ve Rodyum alaşımları bazı atmosfer ve sıcaklık koşulları için kullanılmaktadır. Tungsten ve renyum alaşımları ise diğer sıcaklık ölçen aygıtlara zarar verebilen çok yüksek sıcaklıktaki (3000°C) uygulamalar için kullanılmaktadır.

Standart ANSI J tipi ısıçift demir tel ile konstantan telin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Sıcaklık aralığı 0°-750° Celcius veya 32°-1400° Fahrenheit'tır. Referans eklemi 0°C'ta ve ölçüm eklemi 10°C'ta iken çıkış gerilimi 0.507mV'tur. Birleşme yeri 100°C'ta iken çıkışın 5.07 mV (10 × 0.507) olmasını bekleriz. Ulusal Standartlar Bürosu (NBS), gerçek çıkışın 5.268 mV olduğunu gösteren tablolar yayınlamıştır. Bu % 4'lük bir hatadır.

Daha dar bir aralıkta, hesaplamalar daha doğru olabilir ve sıcaklık denetimi de çoğunlukla sınırlı bir aralıkta yapılmaktadır. Örneğin 100°C ile 110°C arasındaki sıcaklık değişimine karşı gelen çıkış gerilimi değişikliği 0.054 mV/°C olarak hesaplanabilir.

$$5.812 - 5.268 = 0.544$$

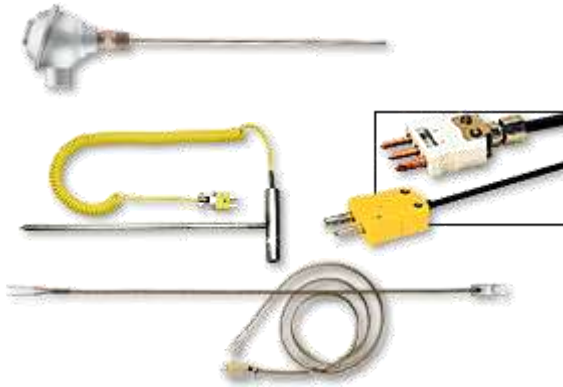
ve $0.544 / 10 = 0.054$

105°C'ta çıkış gerilimi:

$$5.268 + (5 \times 0.054) = 5.540 \text{ mV}$$

olarak bulunur. Bu değer NBS tablolarındaki gerçek değerdir.

Şekil 2.6'da ticari ısıçift çeşitlerinden birkaçı görülmektedir.



(a) Tipik endüstriyel ısıçiftler.

Şekil 3.6 Endüstriyel ve veteriner ısıçiftleri

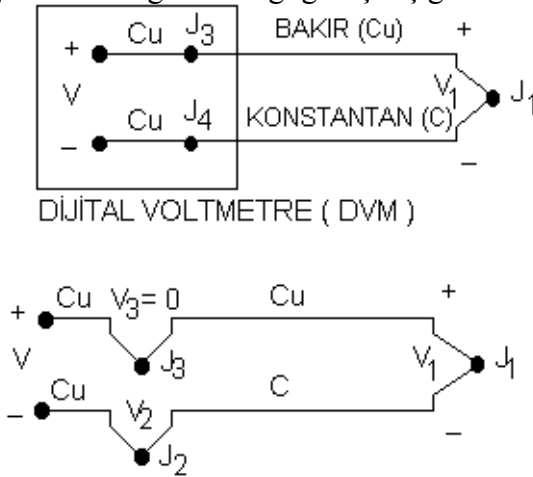


(b) Veteriner ısıçifti.

3.4.2 Isıçift Geriliminin Ölçülmesi

Belirli bir emk'ya karşılık gelen sıcaklık değeri standart tablolardan öğrenildiği gibi, ölçüm cihazı ile de ölçülebilir. Ancak, Seebeck gerilimini ölçmek için öncelikle ısıçifte bir voltmetre bağlamalıyız. Bu durumda voltmetre uçlarının kendileri yeni bir termoelektrik devre oluştururlar.

Bakır-konstantan (T tipi) bir ısıçiftin uçları arasına bir dijital voltmetre (DVM) bağlayalım ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibi çıkış gerilimine bakalım.



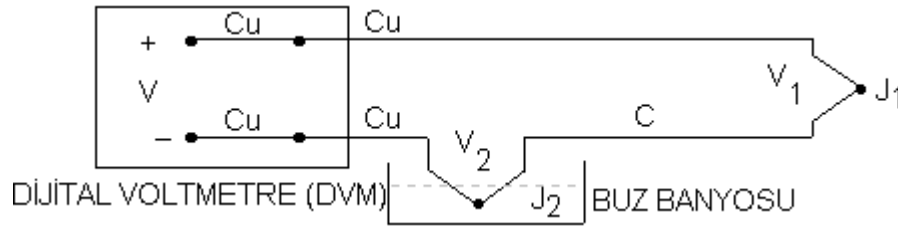
Şekil 3.7 DVM ile ısıçift geriliminin ölçülmesi

Voltmetrenin yalnızca V_1 değerini okumasını bekleriz, fakat J_1 eklemine çıkışı ölçmek için voltmetreyi bağlayarak J_2 ve J_3 gibi iki metal eklem daha oluşturduk. J_3 bakır-bakır eklemi olduğundan, ısıl gerilim oluşmaz ($V_3=0$); fakat J_2 V_1 'e zıt bir ısıl gerilim (V_2) ekleyen bir bakır-konstantan eklemidir. J_1 'deki sıcaklığı J_2 'nin sıcaklığını bulmadan bulamayız.

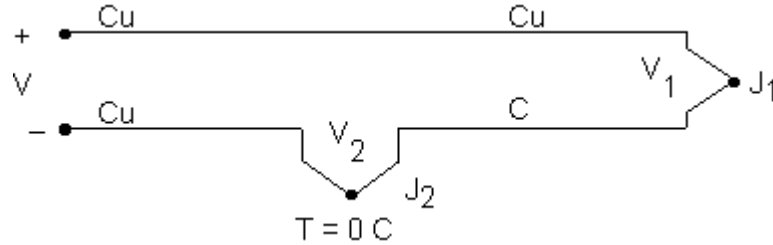
J_2 'nin sıcaklığını belirlemek için yollardan biri eklemi bir buz banyosu içine koymaktır. Böylece eklem sıcaklığının 0°C 'ta olması sağlanır ve J_2 Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, "referans eklemi" olarak belirlenir. Her iki voltmetre uç eklemi de bakır-bakır olduğundan, ısıl gerilim oluşturmazlar ve voltmetrede J_1 ve J_2 arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı "V" değeri okunur.

Şimdi voltmetreden okunan değer:

$$V = (V_1 - V_2) = \alpha (T_{J1} - T_{J2}) \text{ 'dir.}$$



(a) Buz banyosu devresi



(b) Eşdeğer devre

Şekil 3.8 Harici referans eklemi

Eğer T_{J1} 'i derece Celcius olarak tanımlarsak:

$$T_{J1} (^{\circ}\text{C}) + 273.15 = T_{J1} (\text{kelvin})$$

$$V = V_1 - V_2$$

$$V = \alpha (T_{J1} + 273.15) - (T_{J2} + 273.15)$$

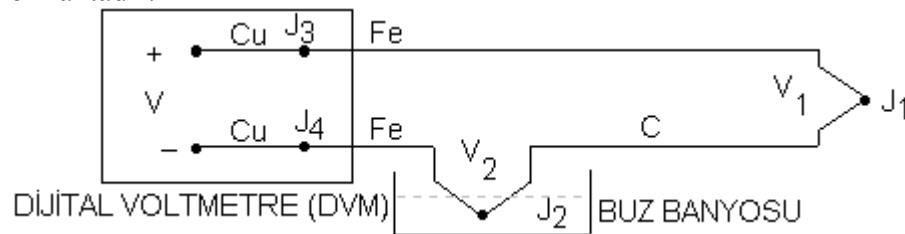
$$V = \alpha (T_{J1} - T_{J2})$$

$$V = \alpha (T_{J1} - 0)$$

$$V = \alpha T_{J1} \text{ olur.}$$

Bu hesaplamaları yapmamızın nedeni buz banyosundaki eklem çıkışı olan V_2 'nin sıfır volt değil, mutlak sıcaklığın bir işlevi olduğunu vurgulamaktır. Buz noktası referans eklemının gerilimini ekleyerek, ısılıft gerilimini (V) okumak için referans olarak aldık. Bu yöntemin doğruluğu çok yüksektir çünkü buz noktası sıcaklığı hassas olarak denetlenebilir. Buz noktası "National Bureau of Standards" (NBS) tarafından ısılıft tabloları için referans noktası olarak kullanılmaktadır ve ısılıft tablolarına bakarak V gerilimini doğrudan sıcaklığa çevirebiliriz.

Şekil 2.8'deki T tipi ısılıft nadir bir örnektir çünkü bakır tel voltmetrenin uçlarıyla aynı metaldendir. T tipi ısılıft yerine demir-konstantan ısılıftı kullanıldığında (Şekil 2.9), devredeki farklı metal eklemlerinin sayısı artmakta ve her iki voltmetre terminali de Cu-Fe ısılıft eklemleri olmaktadır.



Şekil 3.9 Demir-konstantan ısılıftı

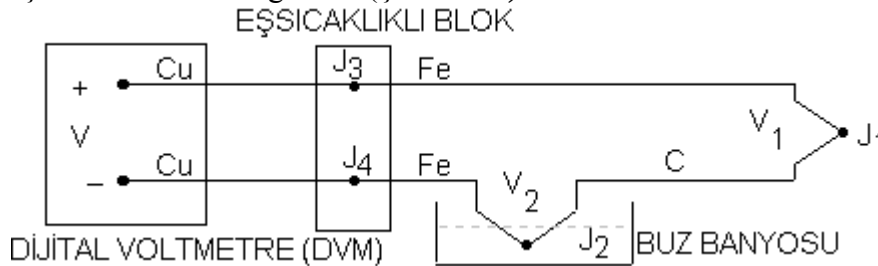
Bu devre voltmetrenin (+) ve (-) uçları (J_3 ve J_4) aynı sıcaklıkta olduğu sürece az çok doğru ölçümler sağlayacaktır, çünkü J_3 ve J_4 'ün termoelektrik etkileri zıt yönlerdedir:

eğer $V_3 = V_4$

yani, eğer $T_{J3} = T_{J4}$

$$V_1 = V \quad \text{olur.}$$

Her iki ön panel uçları aynı sıcaklıkta değilse, bir hata oluşacaktır. Daha doğru bir ölçüm için, bakır-demir eklemleri bir izotermal (eşsıcaklıklı) blok üzerinde olacak şekilde voltmetrenin bakır uçlarının uzatılması gerekir (Şekil 2.10).



Şekil 3.10 Eşsıcaklıklı blokların kullanımı

Bu eşsıcaklıklı blok yalnızca iyi bir elektriksel yalıtkan değil aynı zamanda iyi bir ısı iletkenidir ve bu da J_3 ve J_4 eklemlerini aynı sıcaklıkta tutmayı sağlar. Bloğun mutlak sıcaklığı önemli değildir çünkü iki Cu-Fe eklemının etkileri zıt yöndedir. Aşağıdaki eşitlik halen geçerlidir:

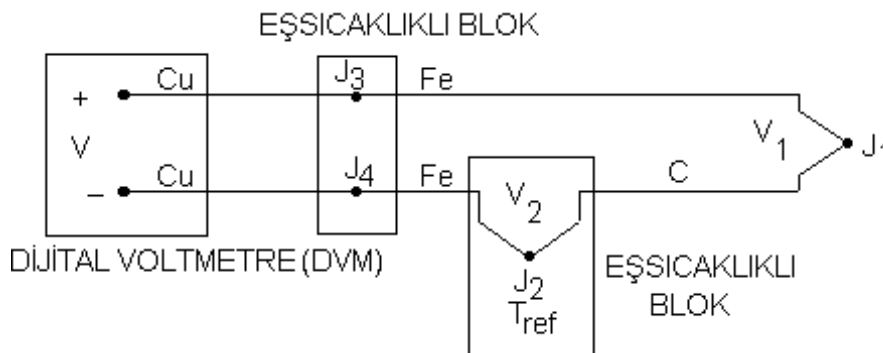
$$V = \alpha (T_1 - T_{\text{ref}})$$

Şekil 2.10'daki devre, değerlerin doğru okunmasını sağlayacaktır, ancak buz banyosunu devreden çıkararak yerine bir başka ısıtıcılıklı blok koymak daha iyi olacaktır. (Şekil 2.11).

Bu yeni bloğun sıcaklığı da T_{ref} 'tir ve J_3 ve J_4 halen aynı sıcaklıkta olduğundan yeniden

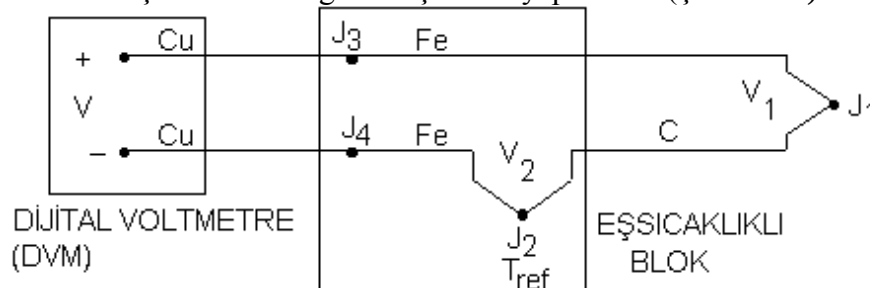
$$V = \alpha (T_{J1} - T_{ref})$$
 olduğunu gösterebiliriz.

Bu devre halen karmaşık bir devredir, çünkü iki ısılıftı bağlamamız gerekmektedir. Cu-Fe eklemine (J_4) ve Fe-C eklemine (J_{ref}) birleştirerek (-) uçtaki fazlalık Fe teli çıkaralım.



Şekil 3.11 Eşsıcaklıklı blok kullanarak buz banyosunun çıkarılması

Bunu iki eşsıcaklıklı bloğu birleştirerek yapabiliriz (Şekil 2.12).



Şekil 3.12 Eşsıcaklıklı blokların birleştirilmesi

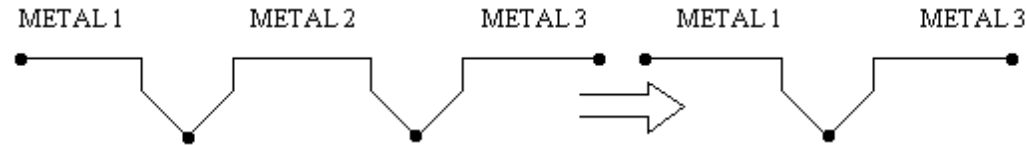
Çıkış gerilimini değiştirmedüğimizden halen

$$V = \alpha (T_{J1} - T_{ref})$$
 eşitliği geçerlidir.

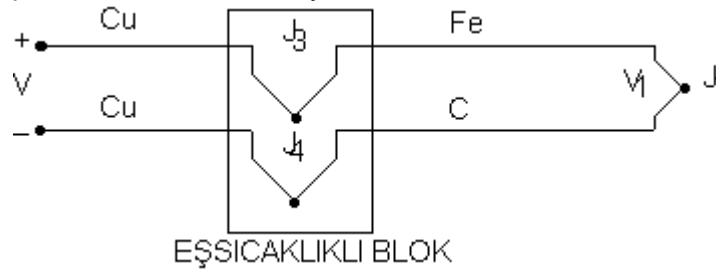
Fazlalık olan eklemi çıkarmak için aradaki metallerle ilgili yasayı hatırlayalım. Bu ampirik "yasa", bir ısılıçift eklemine iki farklı metali arasına yerleştirilen üçüncü bir metalin (bu durumda, demir), eklenen metal tarafından oluşturulmuş iki eklem aynı sıcaklıklarda olduğu sürece, çıkış gerilimi üzerinde hiçbir etkisinin olmayacağını belirtir (Şekil 2.13'e bkz).

Negatif uçtaki demir (Fe) tele gereksinimi tamamen ortadan kaldırdığından dolayı bu kullanışlı bir sonuçtur (Şekil 2.14). Burada yine $V = \alpha (T_{J1} - T_{ref})$ 'tır ve α bir Fe-C ısılıçiftinin Seebeck katsayısıdır.

J_3 ve J_4 eklemleri buz banyosunun yerini almıştır. Bu iki eklem artık "referans eklem"dir.



Şekil 3.13 Aradaki metaller yasası



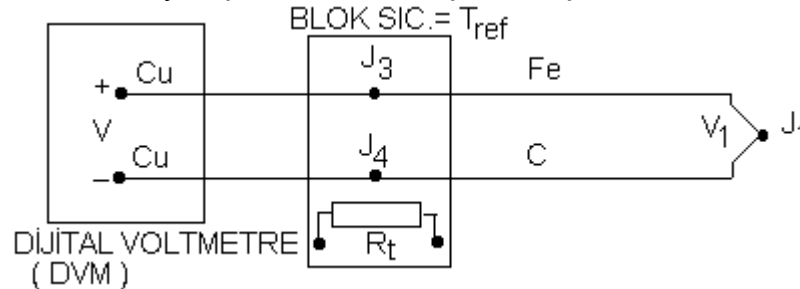
Şekil 3.14 Eşdeğer devre

Şimdi bir sonraki aşamaya geçebiliriz: eşsıcaklıklı bloğun sıcaklığını doğrudan ölçmek ve bilinmeyen T_{J1} sıcaklığını hesaplamak için bu bilgiyi kullanmak.

R_t direnci sıcaklığın bir işlevi olan bir termistör referans eklemine mutlak sıcaklığını ölçmeyi sağlayan yollardan biridir (Şekil 2.15). J_3 ve J_4 eklemleri ve termistörün eşsıcaklıklı bloğun tasarımından dolayı aynı sıcaklıkta oldukları varsayılır. Bilgisayar denetimli bir dijital voltmetre kullanarak:

1. T_{ref} 'i bulmak için R_t 'yi ölçer ve T_{ref} 'i eşdeğer referans eklem gerilimi, V_{ref} 'a dönüştürürüz.

2. V 'yi ölçer, V_1 'i bulmak için V_{ref} 'ı çıkarır ve V_1 'i T_{J1} sıcaklığına dönüştürürüz.

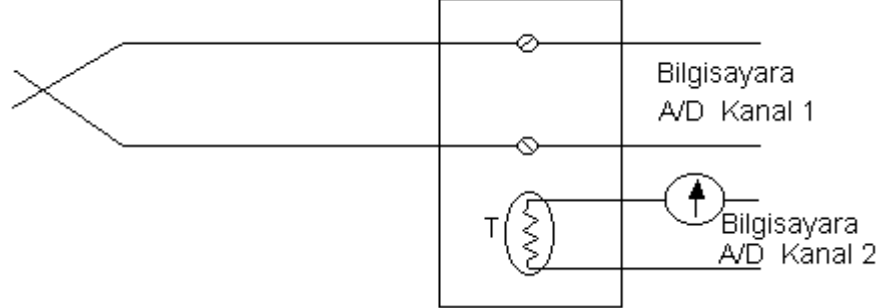


Şekil 3.15 Harici referans eklemi-buz banyosu yok

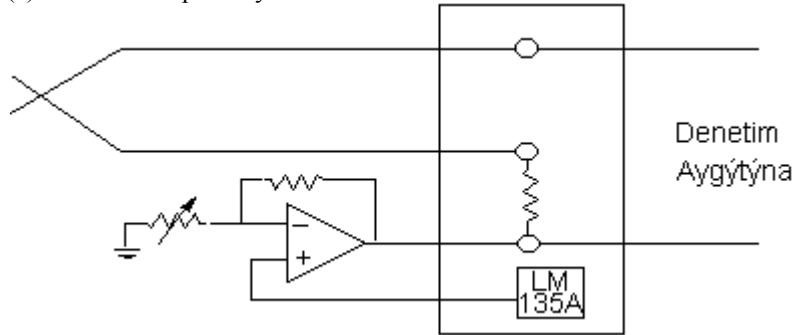
Bu işlemler "yazılım kompanzasyonu" olarak bilinir çünkü referans eklemine etkisini gidermek için bilgisayar yazılımına dayanmaktadır. Eşsıcaklıklı blok sıcaklığını ölçen sensör bir RTD, termistör veya bir tümdevre sensör olabilir.

"Eğer sıcaklığı ölçen bir sensöre sahipsek, neden referans eklemi kompanzasyonuna gereksinim duyan bir ısılıçiftle uğraşıyoruz?" gibi mantıklı bir soru sorulabilir. Bu sorunun tek ve en önemli yanıtı termistör, RTD ve tümdevre transdüserlerin yalnızca sınırlı bir sıcaklık aralığında kullanılabilir olmasıdır. Diğer tarafta, ısılıçiftler çoğunlukla metal işlem donanımına kaynakla

birleştirilir veya bir vida ile kenetlenir. Üretimleri lehimleyerek ya da kaynakla kolaylıkla yapılır. Kısaca, ısılıçiftler mevcut çok yönlü sıcaklık sensörleridir. Dahası, bilgisayarla sıcaklığın gözlemlendiği sistem, referans kompanzasyonu ve yazılımla yapılan gerilim-sıcaklık dönüşümünün tamamını gerçekleştirir, böylece işlem denetiminde bir ısılıçift kullanılması bir çift telin bağlanması kadar kolaylaşır. Tek sakıncası bilgisayarın referans eklem sıcaklığını hesaplaması için kısa bir zamana gereksinim duymasıdır ve bu da denetim döngüsünde "ölü zaman"a neden olur.



(a) Yazılım kompanzasyonu



(b) "Elektronik buz noktası" donanım kompanzasyonu

Şekil 3.16 ısılıçift kompanzasyonu

Şekil 2.16b donanım kompanzasyonunu göstermektedir. Devrede eşsıcaklıklı blok üzerine monte edilmiş sıcaklık sensörü tümdevresi vardır. LM135A sıcaklık sensörü, 10 mV/K'lık doğrusal çıkışa sahiptir. Bu çıkış, opamp ile uygun bir miktarla çarpılarak ısılıçift eklemesindeki Seebeck gerilimiyle seri olarak toplanır. Bu devreye elektronik-buz noktası referansı denir.

Her iki teknik de eşit oranda iyi çalışmaktadır. Yazılım kompanzasyonunun bilgisayar zamanına gereksinim duyması gibi bir sakıncası olmasına rağmen farklı ısılıçift çeşitleri için kullanılabilir. Elektronik-buz devresi hemen hemen anında yanıt vermesine rağmen tek bir ısılıçift için tasarlanmıştır. Ancak her çeşit ısılıçift için kazanç direncini değiştirecek anahtarlama düzenlemesi yapıldıktan sonra diğer ısılıçiftlere de hizmet verebilir.

Üretici firmalar bu kompanzasyonu J ve K tipi ısılıçiftler için yapan tümdevreler üretmişlerdir. Analog Devices firmasının AD594 ve AD595, Linear Technology firmasının LT1025 ve yükselteç ile tümleşik LTK001, Maxim firmasının dijital çıkışlı MAX6674 ve MAX6675 tümdevreleri soğuk eklem kompanzasyonu (cold junction compensation) yapmaktadır.

Modern endüstride en çok tercih edilen sıcaklık ölçerler ısılıçiftlerdir. Çok yüksek sıcaklığa ve istenmeyen atmosfer koşullarına karşı dayanıklılıkları nedeniyle, sıcaklıkla eriyen veya dumanla, buharla hemen korozyona uğrayan diğer sıcaklık sensörlerine göre daha çok kullanılırlar. ısılıçift kılıfları ısılıçiftlerin sızma tehlikesine uğramadan sıvı tanklarının dibine kadar sokulabilmesine olanak sağlar. Eşsıcaklıklı blok kullanımı ve yazılım yada donanım kompanzasyonu doğruluk, kullanım kolaylığı, kalibrasyon ve onarım kolaylığı sağlamaktadır. Sonuç olarak, pek çok endüstriyel ve laboratuvar çalışmalarının sensör seçimi ısılıçifttir.

ısılıçiftin özel bir uygulaması ise seri olarak bağlanmış bir grup ısılıçiftten oluşmuş "termopil" dir. ısılıçift çıkış gerilimleri (veya akımları) çıkış gerilimini arttırıcı yöndedir. Bunlardan elde edilen

sıcaklık birkaç sıcaklık okumasının ortalamasıdır. Seri bağlanmış bir devre daha duyarlıdır. Termopiller çoğunlukla kızılötesi enerjisini ısılıçift eklemine odaklayan ve kullanıcıya işlem sıcaklığını doğrudan okuma kolaylığı sağlayan optik sıcaklık ölçerlerde kullanılmaktadır.

3.4.3 Isılıçift Koruyucu Kılıfları

Isılıçiftler endüstrinin çeşitli kısımlarında çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadır. Isılıçift aslında iki farklı metal veya alaşımıdır. Ancak prosese çıplak olarak daldırılmazlar. Belli özel kılıfları vardır ve bunların içinde muhafaza edilirler. Çünkü çeşitli fiziki darbelere karşı korunmaları gerekir. Burada esas hem hassasiyet hem de uzun ömürlü olması gerekir. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları için birbirlerinden izolatör yardımı ile yalıtılmaktadır. İzolatör seçimi yapılırken ortamın sıcaklık sınırları göz önünde tutulmalıdır.

Eleman tellerinin proses içinde mekanik darbeler, kimyasal veya fiziksel aşınmalara karşı belli bir çalışma süresine sahiptir. Bu çalışma süresinin artması için içinde bulunduğu ortam şartlarına uygun çeşitli kılıflar kullanılır. Isılıçift eleman telleri uçları kaynaklı ve izolatörlü kılıflar içine monte edilir. Genel olarak 1200°C'ye kadar metal, 1200°C'nin üzerinde ise seramik kılıflar kullanılır. Bazı özel uygulamalarda 1200°C'nin altında da seramik kılıflar kullanılmaktadır.

3.4.3.1 Metal Kılıflar

Metal koruyucular, kullanıldığı ortamın kimyasal aşınmalarına, mekanik darbelerine ve korozyon gazlarına karşı çok çeşitli alaşımlardan üretilmektedir. Isılıçift eleman telleri uçları kaynaklı ve izolatörlü bu kılıflar içine monte edilir.

Koruyucu kılıf seçiminde bir diğer önemli husus da sıcaklık sınırlarının iyi saptanmasıdır. Burada en önemli husus çalışacağı ortama en uygun seçimi yapmaktır.

3.4.3.2 Seramik Tüpler

Isılıçift uygulamalarında genelde 1200°C üzerine çıktığı zaman seramik tüpler kullanılmaktadır. Seramik tüplerin en çok kullanılan DIN standardı tüp kod numaraları ve özellikleri şöyledir.

KER 530 Poröz seramik

Poröz özellik taşır yani gözenekli bir yapısı vardır. Ani sıcaklık değişimlerinde hücre bağları arasında boşluk olduğu için genleşmeye müsaittir. Termal şoklarda son derece dayanıklıdır. Gazlardan etkilenme olasılığı olan uygulamalarda poröz seramik için de gaz geçirmez tüp kullanılır. 1600°C'ye kadar olan ve termal şok olasılığı olan uygulamalar için en çok tercih edilen sistemdir.

KER 610 Özel porselen

Hücre yapısı gözeneksizdir. Bu yüzden gaz geçirmez özelliği vardır. 155°C'a kadar kullanılabilir. Tek başına seramik tüplü PtRh-Pt ısılıçift olarak kullanılabildiği gibi metal kılıflar içerisine gaz geçirmez tüp olarak da geniş bir kullanım alanı vardır. Tuz banyoları ve tav ocakları uygulamalarında uygun seçilen dış metal kılıflar içine yerleştirilen koruyucu metal kılıf içine yerleştirilen KER 610 seramik eleman tellerinin çalışma süresini uzatmaktadır. Termal şartlara orta derece dayanıklıdır. Bu tip koruyucular gaz geçirmez kılıflara nazaran kullanışlıdır.

KER 710 Saf alümina

Seramik tüpler içerisinde en kaliteli yapıya sahiptir. %99.97 oranında saf alümina'dan oluşur. Eleman tellerinin ve koruyucu tüplerin cinsleri, ısılıçiftlerin çalışma sürelerine doğrudan etki eder.

3.4.4 Eleman Tellerinin Yalıtılması

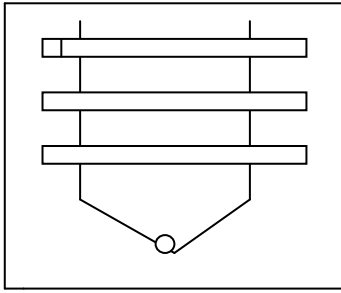
Isılçift ucu kaynaklandıktan sonra koruyucu tüp içine konulsun veya konulmasın + ve - uçlar birbirinden yalıtılmalıdır.

İzolasyon için seramik izolatörler kullanılmaktadır. İzolatörler, ortam şartları ve sıcaklık limitlerine göre seçilirler. Genel olarak DIN standartlarında KER 610 ile kodlandırılan özel porselen fincanlar çok kullanılır.

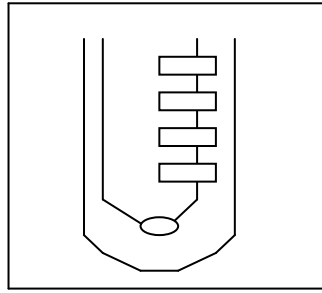
1400-1900°C sıcaklıklarında ve özel ortamlarda ise KER 710 izolatörleri en çok tercih edilenlerdir. Bunlar saf alümina izolatörlerdir.

1200°C'ın altındaki sıcaklıklarda Cu-Const, Fe-Const, NiCr-Ni gibi eleman telleri genelde parçalı olmayan yekpare izolatörler ile korunur.

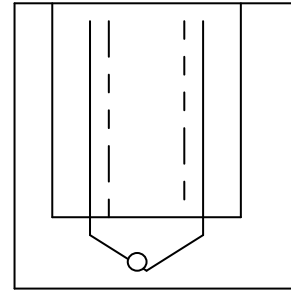
3.4.4.1 Çeşitli İzolasyon Tipleri



Çift delikli tek izolatörlü



Tek delikli izolatör



Yekpare tek izolatör

İki bacak izole edilmiş tek bacak izole edilmiş ince telli ısılçift Seramik kılıf içinde

3.5 RTD – SICAKLIKTAN DİRENCE

Bildiğiniz gibi bir metalin direnci sıcaklıkla artar. Bu basit olgu dirençsel sıcaklık detektörü RTD'nin temelini oluşturur. Saf metaller için sıcaklık-direnç ilişkisi şöyledir:

$$R_t = R_0 (1 + at + bt^2 + ct^3 + \dots) \quad (3-6)$$

R_0 : Referans sıcaklığındaki direnç (genellikle 0°C 'de), Ω

R_t : t sıcaklığındaki direnç, Ω

a: direncin sıcaklık katsayısı, $\Omega/\Omega(^{\circ}\text{C})$

b ve c: bir veya daha fazla bilinen direnç sıcaklığı (kalibrasyon) noktalarına göre hesaplanan katsayılar.

Platin RTD'nin 0°C'nin üzerindeki sıcaklıklardaki direnci aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T) \quad (3-7)$$

R_T : T derecedeki direnç (Ω)

R_0 : 0°C'teki direnç (Ω)

α : Direncin sıcaklık katsayısı ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Sıcaklık katsayısı $0.00392^{\circ}\text{C}^{-1}$ ve 0°C'de 100Ω direnci olan bir RTD'nin 50°C'deki direnci;

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T)$$

$$R_T = 100 (1 + 0.00392 \times 50) = 119.6\Omega \text{ dur.}$$

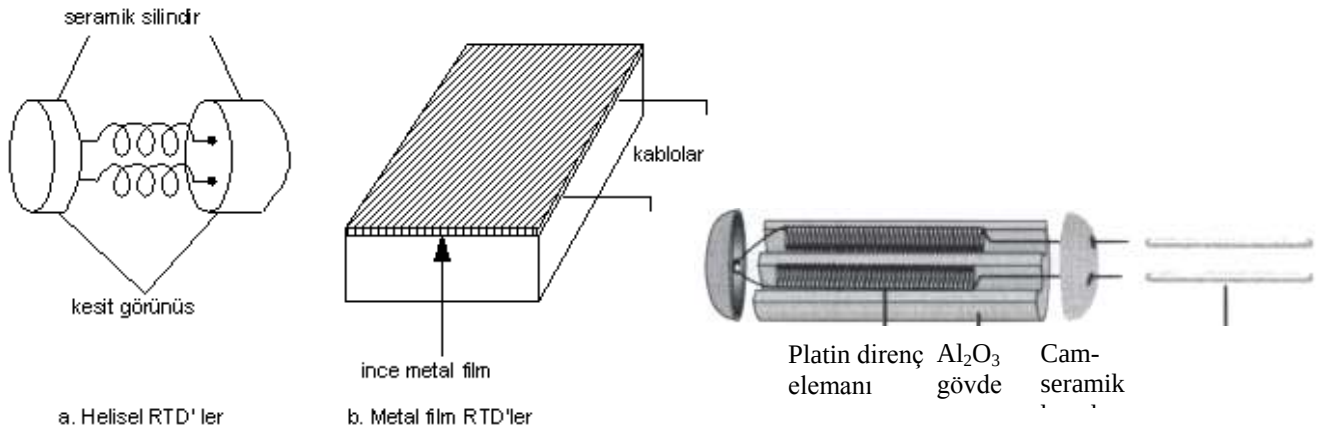
Alaşım ve yarıiletkenler için, bu ilişki kullanılan özel malzemelere bağımlı tek bir eşitlikle belirtilir. Metal iletkenlerden yapılmış pek çok eleman pozitif sıcaklık katsayılı, yani artan sıcaklıkla artan direnç gösterir iken, pek çok yarıiletken negatif sıcaklık katsayılıdır.

RTD'nin direnç değeri büyük olduğunda sistemdeki hata miktarı küçük olduğundan, pratik RTD'nin yapımında yüksek dirençli metaller kullanılır. En çok kullanılan RTD'ler demir, platin, tungsten, nikel, %70 nikel - %30 demir (Balco) veya bakır gibi malzemelerden imal edilmektedir. Daha yüksek dirençli tungsten ise çok yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılır, ancak kırılabilirliği dolayısıyla kullanımda zorluk çıkarmaktadır. RTD malzemeleri içinde en doğrusal yanıtı veren platindir. RTD kullanım aralığının tamamında ısılıftan daha fazla doğrusallık göstermektedir. Bu etki daha çok düşük sıcaklıklarda kendini göstermektedir.

Direnç uzunlukla doğru, kesit alanıyla ters orantılı olduğundan ölçülebilecek değerdeki direnci elde edebilmek için ya çok ince ya da çok uzun tel kullanmak gerekmektedir.

Şekil 2.17a'da görüldüğü gibi, laboratuarda kullanılan RTD' ler, daha uzun platin tellerden mikanın üzerine helis şeklinde sarılarak ve cam veya seramik tüp içine konularak yapılmaktadır. Bu yöntemle imal edilen RTD'lerin sakıncası hem kırılabilir olması hem de yanıt hızının düşük olmasıdır.

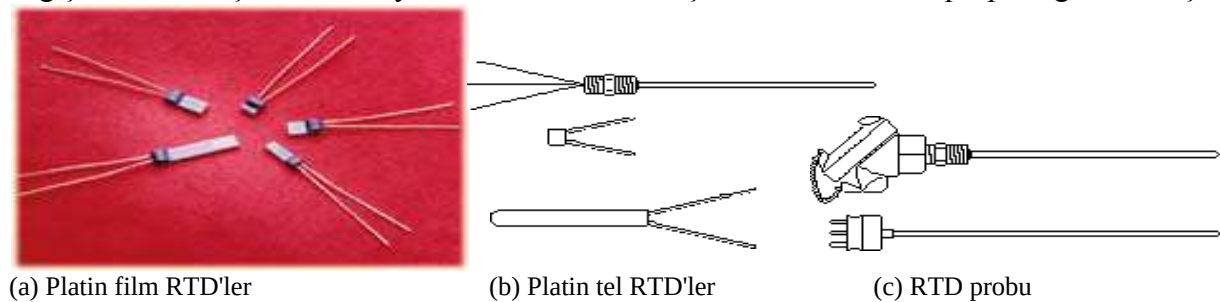
Bu RTD'ler genellikle endüktif olmayan bir sarımla seramik bir silindir etrafına sarılarak erimiş cam içine kapatılmıştır. Bu da RTD'nin titreşime karşı daha mükemmel bir konumda olmasını sağlar, ancak seramik silindirin ve platin telin ısıl genleşme karakteristiklerinin birbirlerine çok iyi uyması gerekmektedir. Ters durumda, telin direnci, sıcaklığın dışında, genleşme farkından doğan gerilmeden dolayı da değişecektir.



En gelişmiş teknikte ince bir platin film, her biri lazerle işleme küçük seramik gövde üzerine konarak cam içine kapatılır (Şekil 2.17b). oldukça yüksek dirençli, titreşime karşı dayanıklı ve üretim otomasyonla yapıldığından düşük giderli RTD elde edilir.

sistemiyle
Sonuçta,

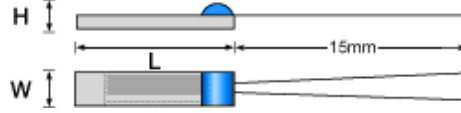
Şekil 2.18a ve b'deki ticari RTD'ler şok ve titreşime karşı daha dayanıklıdır ve sıcaklık değişimlerine karşı daha hızlı yanıt verebilmektedir. Şekil 2.18c'de RTD propları gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Ticari RTD çeşitleri

Platin RTD'lerin direnç değerleri, tel sarımlı laboratuvar RTD'lerinde 10Ω'dan, ince plakalı RTD'lerde birkaç bin Ω'a kadar değişmektedir. En çok bilinen değer 0°C'ta 100Ω'dur. Platinin sıcaklık katsayısı (alfa) 0°C'ta 0.00385Ω/°C 'dir.

Tablo 2.4'te Platin RTD'ler için çeşitli direnç ve boyutları verilmiştir.



Tablo 2.4

0 °C'ta Direnç ohm	L Uzunluk (mm)	W Genişlik (mm)	H Yükseklik (mm)
100	5.0 +/- 0.2	1.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
100	5.0 +/- 0.2	1.5 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
100	2.3 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
100	5.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
100	10.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
100	5.0 +/- 0.2	4.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.22
500	5.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
500	10.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
500	5.0 +/- 0.2	4.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
1000	4.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
1000	10.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
1000	5.0 +/- 0.2	4.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2
2000	10.0 +/- 0.2	2.0 +/- 0.2	1.3 +/- 0.2

Tablo 2.5 RTD elemanları ve kılıfları

RTD Elemanları

Eleman Seçenekleri: 2, 3, 4 telli elemanlar, tek ve ikili elemanlar, tel sarımlı veya film tipi elemanlar

Malzemeler: Platin, Bakır, Nikel, Nikel-Demir

Değerler: Platin (100, 200, 500, 1000 ohm)

Bakır (10 ohm)

Nikel (120 ohm)

Nikel-Demir (604 ohm)

Doğrulukları: Platin (± 0.12 , ± 0.1 , ± 0.03 , ± 0.01 0°C'ta)

Diğerleri (± 0.2 'den ± 0.5 'e)

RTD Kılıfları

Kılıf Seçenekleri: Sıkıştırma bağlantıları, kaynaklı izolatörler, flanşlar, bayonet bağlantıları, dirsek kılıflar ve Teflon® kaplama Ticari isim olarak E.I. DuPont

Kılıf Malzemeleri:

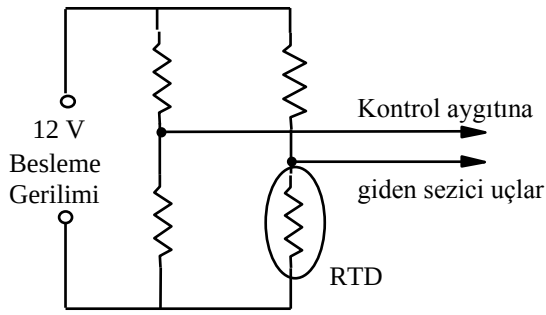
316 Paslanmaz Çelik Standart

Platin dirençli RTD'lerin direnci 10Ω'la kΩ'lar mertebesinde. Ancak en çok kullanılan direnç değeri 100Ω'dur. Çünkü daha küçük dirençli RTD'ler uzun kablolarla kullanılacak olursa

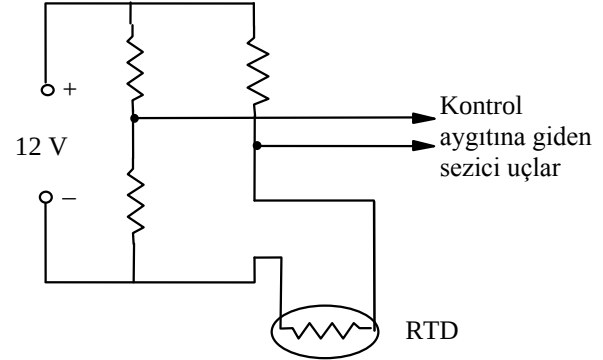
kabloların direnci RTD direncine etki eder. RTD'lerin başlangıçtaki dirençlerinin küçük olması ve buna bağlı olarak direnç değişiminin de küçük olacağı göz önüne alınırsa ölçme yapacak aletin bağlantı uçlarının ölçüm sonucu üzerinde önemli bir etkisi olur. Bu sorunu önlemenin klasik yöntemlerinden biri Wheatstone köprüsüdür. Bilindiği gibi köprü devrelerinde çapraz dirençlerin değerleri birbirine eşittir. Bu durumda ölçü aletinden hiç akım geçmez (köprü dengededir). Ölçü aletinden geçecek akım RTD'deki direnç değişikliğine bağlıdır.

Şekil 2.19 RTD'nin direncini ölçen bir köprünün kullanımını göstermektedir. Şekil 2.19a'daki köprü dirençleri de sistemi kendi direnç değişimlerinden korumak için sıfır sıcaklık katsayılı olmalıdır. Şekil 2.19b'de köprü dirençlerini RTD'nin ölçtüğü sıcaklıktan korumak için RTD'nin uzatma kabloları ile köprüden ayrıldığı görülmektedir. Sonuçta yine başlangıçtaki soruna döndük - kablo uçlarının direnci sistemde hatalara yol açabilmektedir. Şekil 2.19c'de devreye üçüncü bir tel eklenerek bu sorun çözülmüştür. A ve B telleri direnç etkileri birbirini yok edecek şekilde ölçülerek aynı boyda kesilmiştir. C teli ise önemli bir akım taşımayan sezici uçtur.

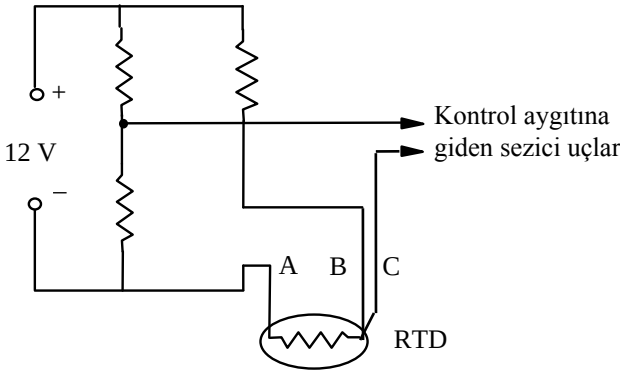
Bu durumda sıcaklık değişikliği gayet net biçimde hissedilebilir. RTD'nin sıcaklık-direnç eğrisi doğrusaldır ve sıcaklık geniş bir alanda hissedilebilir. Bunun yanında sakıncaları yavaş oluşları ve çok küçük direnç değişikliğinin yükselteçle yükseltilmesi gereği ve pahalı oluşlarıdır.



(a) Wheatstone köprüsü: V_C ölçülen sıcaklık değerine bağlıdır.



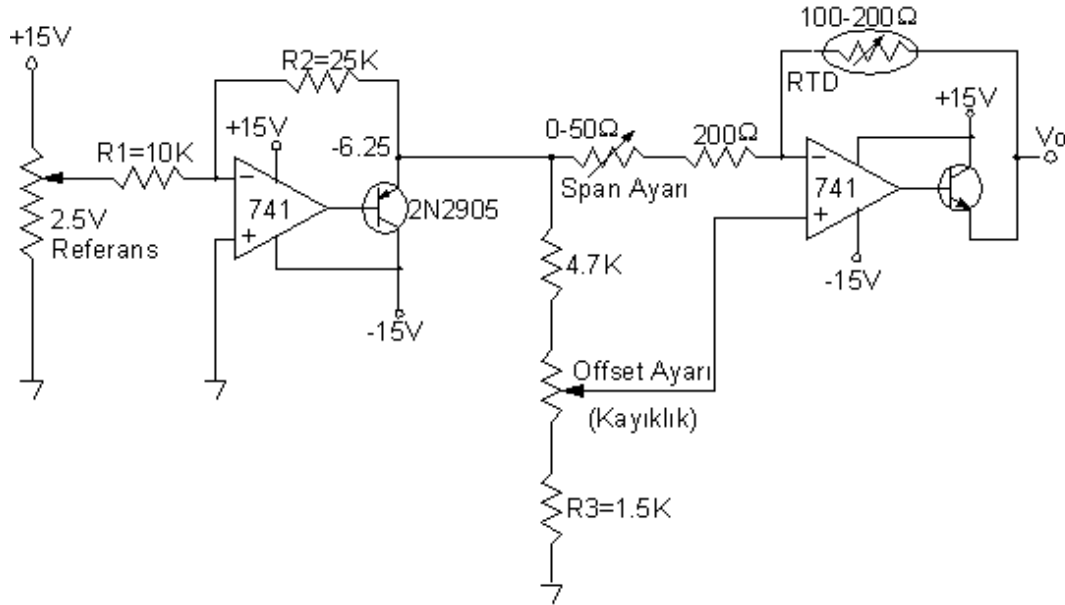
(b) Köprü dirençlerini ısı kaynağından ayırmak için RTD'nin uzaklaştırılması



(c) Üç-kablolu köprü kablo uçlarının dirençleri sorununu çözer.

Şekil 3.19 RTD'nin sıcaklığının ölçülmesinde Wheatstone köprüsünün kullanılması

Şekil 2.20'deki devre 0° - 266°C arasındaki sıcaklıkların ölçümünde kullanılan devredir. Çıkış gerilimi ise, 0 - 1.8V arasındadır.

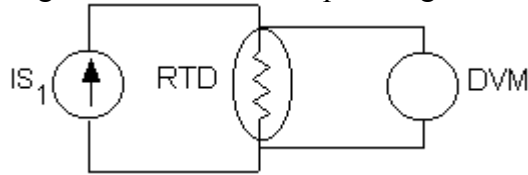


Şekil 3.20 RTD ile 0°-266°C arasındaki sıcaklıkların ölçümünde kullanılan devre

Devrede 1. Op-amp 2.5V'luk referans gerilimini 6.25V'luk gerilime yükseltir. Span-ayarı trimpotu ile 0 - 1.8V arası açıklık ayarı yapılırken ofset-ayarı trimpotu ile kayıklık ayarı yapılır.

Span-ayarı trimpotu çıkışı 266°C için 1.8V'a ayarlamaya yarar. Ofset-ayarı çıkışı 0°C'de 0V'a ayarlamaya yarar.

Üç kablolu köprü kendi doğrusal olmayan karakteristiğini RTD'ninkine eklemektedir ve uç direncinin etkisini gidermek için hesaplamalara gerek vardır. Devrenin çıkış gerilimi arttıkça doğruluk azalacaktır. Köprü denge durumuna yakinken üç tel tekniği oldukça etkili olabilir.



Şekil 3.21 Sabit akım kaynağı kablo uzunluk sorunlarının olmadığı mükemmel bir doğruluk sağlar.

Şekil 2.21 RTD'nin direncini ölçmek için daha doğru bir yöntem göstermektedir. Is1 sabit bir akım kaynağıdır, yani çıkış akımı yük direncinin geniş bir aralığı için sabittir. DVM ile ölçülen çıkış gerilimi RTD direnci ile doğru orantılıdır ve uçların uzunluğundan etkilenmez. Üç yerine dört tel kullanmakla sistemin doğruluğu artacaktır.

Isıl çiftin tersine, RTD kendinden beslemeli bir aygıt değildir. RTD'den geçen ölçüm için gerekli akım ısınmaya yol açar ki bu da sistemde bir hataya neden olur. Bu nedenle, doğru ölçümün yapılabileceği olası en küçük uyarma akımı kullanılmalıdır. Fiziksel olarak büyük RTD'ler ısınmadan daha az etkilenmelerine rağmen yanıt zamanı, daha küçük birimlerden daha yavaştır. Bu RTD'ler ölçülen sürecin sıcaklığını dağıtacak bir özellik gösterirler.

ÖRNEK 2.3

Problem: Bir Pt-100'ün 70°C'deki sıcak yağ banyosuna daldırıldığında gösterdiği direnç değerini hesaplayınız.

Çözüm: $R_0 = 100\Omega @ 0^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} R_T &= R_0 (1 + \alpha T) \\ &= 100(1 + 0.00385 \times 70) \\ &= 126.95\Omega \end{aligned}$$

ÖRNEK 2.4

Problem: Örnek 2.3'teki Pt-100'un 70°C'deki sıcak yağ banyosuna daldırıldığında ölçüm için üzerinden geçen akım 5mA ve güç tüketim katsayısı $P_D=30\text{mW}/^\circ\text{C}$ olduğuna göre, kendi kendine ısınma etkisinden dolayı gösterdiği gerçek direnç değerini hesaplayınız.

Çözüm: $P_T = I^2 R = (5 \times 10^{-3} \text{A})^2 \times 126.95 \Omega = 3.174 \text{mW}$

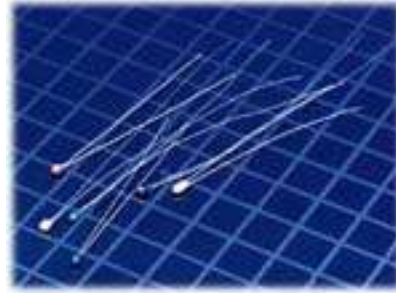
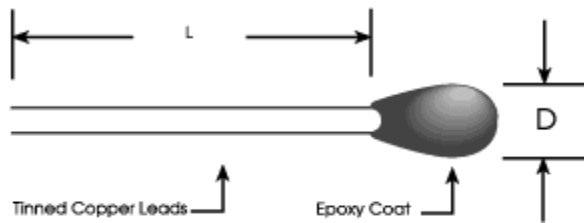
$\Delta T = P_T / P_D = 3.174 \text{mW} / 30 \text{mW}/^\circ\text{C} \approx 0.11^\circ\text{C}$

Ölçülen gerçek direnç değeri:

$T = 70^\circ\text{C} + 0.11^\circ\text{C} = 70.11^\circ\text{C}$

3.6 TERMİSTÖR – YARIİLETKEN YAKLAŞIMI

Yarıiletkenler metallerin sıcaklık katsayılarının tersi bir sıcaklık katsayısına sahiptirler, yani sıcaklık arttıkça dirençleri azalır. Bu olay termistörün temelini oluşturur. Şekil 2.22'de çeşitli termistörler görülmektedir.



Şekil 3.22 Çeşitli termistörler

RTD gibi termistör de sıcaklığa duyarlı bir dirençtir. Gerçekte, RTD'den daha hassastır ve sıcaklık katsayıları yüzde dört veya daha da fazladır. Örneğin, 100 Ω 'luk termistör 4 Ω /°C'lik direnç değişimine sahiptir. Termistörlerin direnci RTD'lerinkinden daha yüksektir ki bu da duyarlıklarını artırıcı bir özelliktir. Genel bir termistör değeri 25°C'ta 5k Ω 'dur. Bu termistör sıcaklıktaki her bir °C'lik değişim için 200 Ω (0.04×5000) değişecektir. Dolayısıyla termistörü RTD veya ısılıçiftlerle ölçemeyeceğimiz kadar küçük sıcaklık değişimlerini ölçmek için kullanabiliriz. Bu duyarlılığın bedeli olarak doğrusallığı feda ediyoruz. Termistörün direnç-sıcaklık ilişkisi şöyledir:

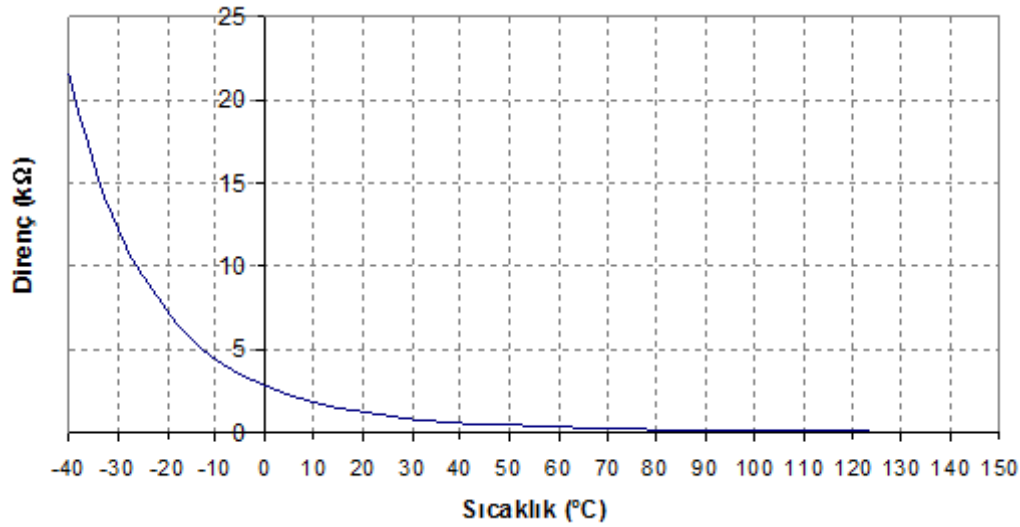
$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C(\ln R)^3 \quad (3-8)$$

T: Kelvin cinsinden sıcaklık

R: termistörün direnci, Ω

A, B, C: eğri sabitleri

Şekil 2.23te direnci 25°C'ta 1k Ω olan bir termistörün karakteristik eğrisi görülmektedir. Gördüğümüz gibi, termistörün doğrusallığı kötüdür. Herhangi bir eğrinin kısa bir bölümündeki ölçümlerde eğri parçası düzgün bir doğruya yaklaşacaktır. Ölçme aralığının sınırlı bir bölümünde, denetim bilgisayarı tarafından yapılan basit hesaplamalar termistörün doğrusal olmayan özgün eğrisini düzeltebilir. Şekil 2.24, termistörün doğrusallığının RTD ve ısılıçiftin doğrusallığı ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Gördüğümüz gibi, termistör üçüncü sıradadır.



Şekil 3.23 Termistör karakteristik eğrisi

	Thermocouple	RTD	Thermistor	I. C. Sensor
Advantages	☐ Self-powered ☐ Simple ☐ Rugged ☐ Inexpensive ☐ Wide variety ☐ Wide temperature range	☐ Most stable ☐ Most accurate ☐ More linear than thermocouple	☐ High output ☐ Fast ☐ Two-wire ohms measurement	☐ Most linear ☐ Highest output ☐ Inexpensive
Disadvantages	☐ Non-linear ☐ Low voltage ☐ Reference required ☐ Least stable ☐ Least sensitive	☐ Expensive ☐ Current source required ☐ Small ΔR ☐ Low absolute resistance ☐ Self-heating	☐ Non-linear ☐ Limited temperature range ☐ Fragile ☐ Current source required ☐ Self-heating	☐ $T < 200^\circ\text{C}$ ☐ Power supply required ☐ Slow ☐ Self-heating ☐ Limited configurations

Şekil 3.24 Çeşitli sıcaklık sensörlerinin karşılaştırılması, Omega Inc.

Termistörün daha yüksek direncinden dolayı bağlantı uçlarının dirençlerinden kaynaklanan ölçüm hatası RTD'lerinkinden çok daha küçük olur. Bu da iki telli köprü devresinin kullanılmasına olanak sağlar. Daha küçük boyutlu olmaları daha hızlı yanıt zamanına sahip olmalarına ve daha az ısı şöntlemesi yapmalarına olanak sağlar. Diğer taraftan, kullanım aralığı birkaç yüz derece ile sınırlıdır ve üst sınır sıcaklığı civarındaki sıcaklığa uzun süreli maruz kaldıklarında yeniden kalibre edilmeleri gerekir. Aynı zamanda, ısı çiftler veya RTD'lerden daha hassas olduklarından monte edilirken zarar görmemesi için gerekli özen gösterilmelidir.

Tablo 2.6'da termistör direncinin hesaplanmasında kullanılan, eğri tiplerine ait direnç çarpanları verilmiştir.

Tablo-2.6 NTC Termistör direnç çarpanları (Sensor Scientific Inc.)

Eğri	A	C	D	E	T	Y
Direnç Aralığı (R@25°C) Ω	100 - 2,000	1,000 - 25,000	10,000 - 100,000	1,000 - 50,000	2,000 - 50,000	1,000 - 50,000
alpha @ 25°C	-3.8%	-4.4%	-4.7%	-4.3%	-3.9%	-4.0%
Sıcaklık °C	Direnç Çarpanı					
-40.00	21.55	33.65	40.16	29.42	22.26	23.98
-35.00	16.21	24.25	28.65	21.60	16.70	17.93
-30.00	12.30	17.69	20.64	16.01	12.66	13.52
-25.00	9.43	13.04	15.02	11.97	9.67	10.29
-20.00	7.290	9.710	11.04	9.030	7.460	7.890
-15.00	5.680	7.291	8.180	6.873	5.800	6.100
-10.00	4.460	5.530	6.120	5.270	4.540	4.750
-5.00	3.530	4.232	4.620	4.070	3.590	3.730
0.00	2.815	3.265	3.510	3.166	2.853	2.949
5.00	2.260	2.539	2.690	2.482	2.284	2.346
10.00	1.826	1.990	2.078	1.958	1.841	1.879
15.00	1.485	1.571	1.617	1.556	1.493	1.514
20.00	1.215	1.249	1.267	1.244	1.218	1.227
25.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
30.00	0.8276	0.8056	0.7943	0.8089	0.8253	0.8196
35.00	0.6886	0.6530	0.6349	0.6580	0.6848	0.6754
40.00	0.5759	0.5325	0.5106	0.5382	0.5712	0.5594
45.00	0.4840	0.4367	0.4130	0.4425	0.4788	0.4656
50.00	0.4087	0.3601	0.3360	0.3656	0.4032	0.3893
55.00	0.3467	0.2985	0.2748	0.3036	0.3411	0.3271
60.00	0.2954	0.2487	0.2259	0.2533	0.2899	0.2760
65.00	0.2528	0.2082	0.1867	0.2122	0.2474	0.2339
70.00	0.2172	0.1752	0.1550	0.1786	0.2120	0.1990
75.00	0.1873	0.1480	0.1293	0.1510	0.1824	0.1700
80.00	0.1622	0.1256	0.1084	0.1282	0.1575	0.1458
85.00	0.1410	0.1070	0.0912	0.1092	0.1365	0.1255
90.00	0.1229	0.0916	0.0771	0.0934	0.1187	0.1084
95.00	0.1075	0.0787	0.0654	0.0802	0.1036	0.0940
100.00	0.0944	0.0678	0.0557	0.0691	0.0907	0.0817
105.00	0.0831	0.0587	0.0477	0.0597	0.0797	0.0713
110.00	0.0734	0.0510	0.0409	0.0518	0.0702	0.0624
115.00	0.0650	0.0444	0.0352	0.0451	0.0621	0.0548
120.00	0.0578	0.0388	0.0305	0.0394	0.0550	0.0483
125.00	0.0515	0.0341	0.0264	0.0345	0.0489	0.0426
130.00	0.0460	0.0300	0.0230	0.0303	0.0436	0.0377
135.00	0.0412	0.0264	0.0200	0.0267	0.0389	0.0335
140.00	0.0370	0.0234	0.0175	0.0235	0.0349	0.0298
145.00	0.0333	0.0207	0.0154	0.0208	0.0313	0.0266
150.00	0.0300	0.0185	0.0136	0.0185	0.0282	0.0238

Eğri seçimi için öneriler:

A Eğrisi düşük sıcaklık uygulamaları ve düşük direnç gereksinimlerinde önerilmektedir.

C Eğrisi genel termistör uygulamaları için en çok kullanılan eğridir.

D Eğrisi yüksek sıcaklık uygulamaları ve yüksek nominal direnç değeri gerektiği durumlarda kullanılır. D eğrisi, uzunlukların fazla olması gerektiği uygulamalarda da kullanılır. D eğrisi için, yüksek nominal direnç değerlerinden dolayı, uç direncinin etkisinin giderilmesi gerekmez.

E Eğrisi genel termistör uygulamalarında kullanılır. 30kΩ'luk değer otomotiv, ev ve HVAC/R uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

T Eğrisi ısı dağılımının iyi olduğu boncuk tipi termistör eğrisine eşdeğerdir.

Y Eğrisi genel termistör uygulamalarında kullanılır. 10k Ω 'luk değer tıp ve HVAC/R uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sensor Scientific standart yaprak termistörler düşük maliyetin birincil önem taşıdığı uygulamalar için idealdir. RTD'ler 25°C'ta 100 ile 100k Ω arasında direnç değerlerine sahip olarak üretilmektedirler. Mevcut direnç-sıcaklık eğrileri endüstri standardındadır. Direnç toleransı genellikle 25°C'ta tanımlanır. Tipik tolerans değerleri $\pm$ %1, 2, 5 ve 10'dur. Standart yaprak termistörler yaygın olarak çok çeşitli sıcaklık ölçüm ve kompanzasyon uygulamalarında kullanılırlar. Özellikleri şunlardır:

Düşük maliyet

Yüksek kararlılık

Endüstri standardında sıcaklık-direnç eğrileri

Düşük ısı kütlesi

Maksimum çalışma sıcaklığı: 150°C (1000 Ω 'un altındaki direnç değerleri için 100°C)

Güç tüketim katsayısı: Tipik değeri 1.5 mW/°C, durgun havada

Zaman sabiti: Tipik değeri 10 s, durgun havada

3.7 MONOLİTİK SICAKLIK SENSÖRÜ

Yarıiletken tümdevrelerin tasarımındaki yeni gelişmeler sonucu tümdevre sıcaklık sensörleri ve denetim aygıtları ortaya çıkmıştır.

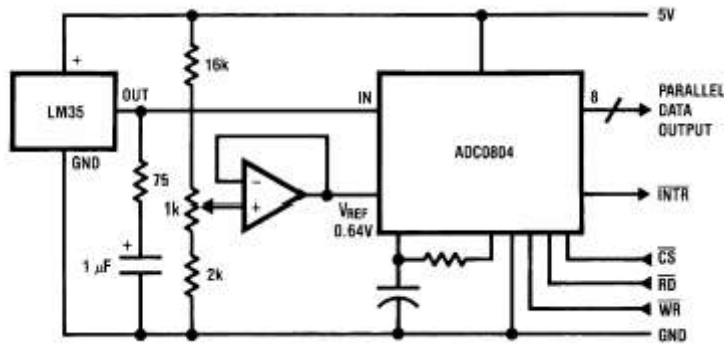
3.7.1 Yarıiletken Sıcaklık Sensörü

Son zamanlarda germanyum ve silisyum içine katıştırılan kristalden elde edilen malzemeler ısı sensörü olarak kullanılmaya başlandı. Germanyum kristal malzemenin sıcaklık-direnç grafiği NTC termistörün sıcaklık-direnç grafiğine benzer ve doğrusal değildir.

Silisyum kristal de sıcaklık sensörü olarak kullanılır. Şekil olarak mercimek kondansatöre benzerler. -55°C ile +150°C arasındaki sıcaklıkların algılanmasında başarı ile kullanılırlar ve bu aralıkta sıcaklık-direnç ilişkisi termistör ve germanyum kristal sensörün tersine pozitif sıcaklık katsayıdır. Bu sıcaklık alanının dışına çıkıldığında eğri negatif olur ve doğrusal değildir.

Bilindiği gibi normal germanyum veya silisyum PN birleşmeli diyotlarda birleşme yüzeylerinde bir nötr bölge oluşur. Bu bölgeden bir akımın geçmesi için bu bölgenin aşılması gerekir. Bunun için ya harici gerilim uygulanır, ya ışık düşürülür ya da sıcaklık artırılır. Normal olarak sıcaklık arttıkça bu noktadan geçen akım artar. İşte bu malzemelerin sıcaklık sensörü olarak kullanılmasının esası buna dayanır. Aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi bu malzeme devreye ters bağlanır. Sıcaklık arttıkça birleşme noktasından geçen akım artar. Bu akım sıcaklığa bağlı olarak değişir. CDA (Current-Differencing Amplifier) adı verilen entegrelerle girişte değişen akım çıkışa yansıtılır.

Şekil 2.25'teki devre aracılığıyla LM35 sıcaklık sensöründen alınan sıcaklık değişikliği mikroişlemciye girilir. Mikroişlemciye yazılmış olan program aracılığıyla kendisinde referans olarak bulunan sıcaklık ve sensörden gelen sıcaklık değeri karşılaştırılır. Eğer sensörden gelen sıcaklık referans sıcaklıktan daha yüksek olursa mikroişlemciden ısıtıcı kontrol devresine gönderilen bir sinyal aracılığıyla ısıtıcının enerjisi kesilir. Bu işleme otomatik olarak devam edilerek bir ortamın sıcaklığı işlemciye girilen sıcaklık değerinde sabit tutulur.



Şekil 3.25 Sıcaklıktan Dijitale Dönüştürücü (μP ile uyumlu paralel üç-durumlu çıkışlar)

3.7.2 Yarıiletken Sıcaklık Sensörü (LMXXX)

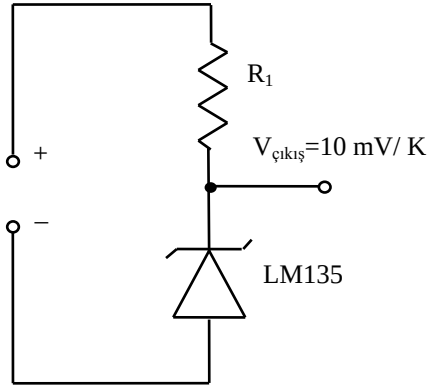
Bu malzemeler yukarıda anlatılan ilkeye göre çalışır, ancak bugün uygulamada 2 tip yarıiletken sıcaklık sensörü vardır.

- 1- Sıcaklığa bağımlı gerilim üreten yarıiletken malzemeler
3- Sıcaklığa bağımlı akım üreten yarıiletken malzemeler

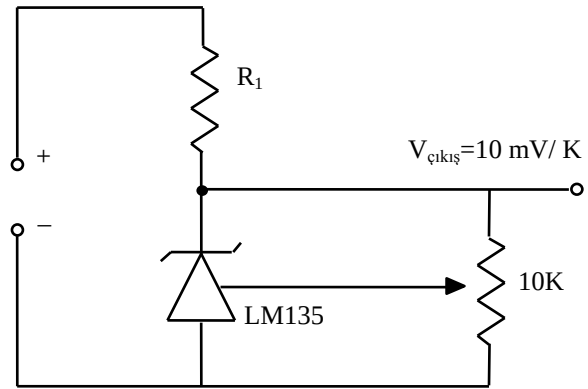
Sıcaklığa bağımlı gerilim üreten malzemelere örnek olarak National Semiconductor firmasının LM serisi malzemelerini gösterebiliriz. LM35, LM135, LM235, LM335 serisi piyasadaki monolitik sıcaklık sensörleridir. Bu ilginç aygıt devrede, kırılma gerilimi sıcaklıkla orantılı olan Zener diyot gibi görev yapmaktadır. LM135'in çıkış gerilimi 10mV/K'dir ve ölçüm sıcaklığının tüm aralığında son derece doğrusaldır.

Kalibrasyon için devre elemanı üzerinde üçüncü bir uç bulunmaktadır. Bir sıcaklık değerini doğru okuyacak şekilde kalibre edildiğinde, bütün sıcaklık değerlerini doğru okuyacaktır.

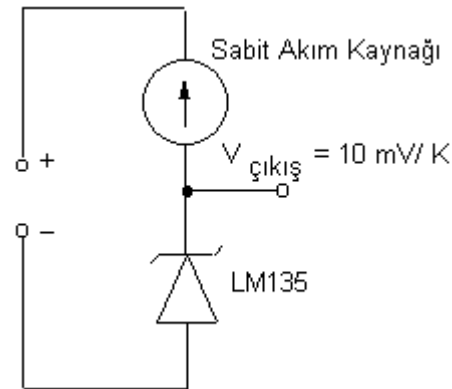
Şekil 2.26'da, LM135 serisi tümdevre üç farklı devrede görülmektedir. Şekil 2.26a'daki devre temel devredir. Devrede TD sıcaklık-duyarlı Zener diyot gibi davranmaktadır. R_1 direnci devredeki akım kaynağı görevini görecek şekilde yeterince büyük seçilmeli ve V_{CC} değeri tümdevreden geçecek akımı 5mA'den daha aza sınırlayacak şekilde yeterince küçük tutulmalıdır. Çalışılan akım değeri 400µA kadar düşük olabilir. Isınmayı azaltmak için bu değer mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Şekil 2.26b'deki devre kalibrasyon ayar ucunun nasıl kullanılacağını göstermektedir. Potansiyometre bilinen bir kalibrasyon sıcaklığında doğru çıkış gerilimini, örneğin $V_{\text{çıkış}}=2.982V @ 25^{\circ}C$, olacak şekilde ayarlandığında, sıcaklık ölçümü devre elemanının tüm çalışma aralığında doğru olacaktır. Şekil 2.26c LM135 ile sabit akım kaynağı kullanılarak uzaktan sıcaklık algılama tekniğini göstermektedir.



(a) Temel LM135 devresi.



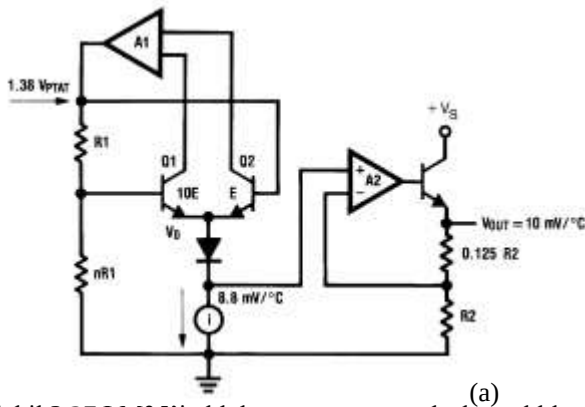
(b) LM135 kalibre edilmiş bir sensör olarak.



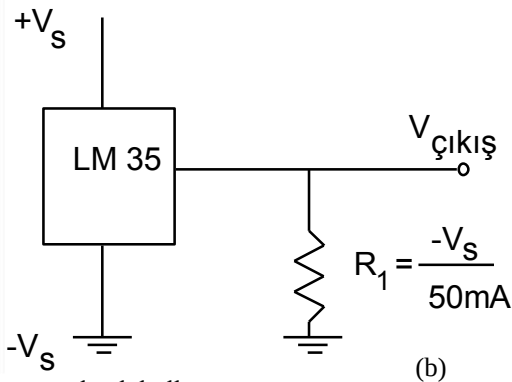
(c) Bir sabit akım kaynağı ile beslenen LM135 TD. Hattaki IR gerilim düşümü dikkate alınırsa uzaktan algılama için kullanılabilir.

Şekil 3.26 Üç farklı devre düzenlemesinde LM135 serisi tümdevre.

LM35 yarıiletken sıcaklık sensörüne ait bilgiler aşağıya çıkarılmıştır. Şekil 2.27a'da LM35a'nın blok şeması ve Şekil 2.27b'de ise tam ölçek sıcaklık sensörü olarak kullanılması gösterilmektedir.



Şekil 3.27 LM35'in blok şeması ve tam ölçek sıcaklık sensörü olarak kullanımı



LM35 ve LM35A sıcaklık sensörü -55°C ile +150°C'lik sıcaklık aralığında her bir derecelik sıcaklık artışında 10mV gerilim üretir. Elde edilen gerilim değişikliği çok küçük olduğundan bu değişikliğin bir enstrümantasyon yükseltici ya da yalıtım yükseltici ile yükseltilmesi gerekir.

LM3911 tümdevresi ise, sıcaklık sensörü ve işlemsel yükseltici bir yongada birleştiren bir tümdevredir. LM135 gibi, sıcaklık sensörünün 10 mV/K'lık çıkışı vardır. Bu çıkış bir işlemsel yükseltece bağlatılarak devre düzenlemesine göre ya bir ölçüm aygıtı ya da tam özellikli sıcaklık denetim aygıtı olarak kullanılabilir.

Termistör gibi monolitik sıcaklık sensörleri de üst sınırlarının yakınında veya üzerinde devamlı olarak çalıştırıldığında bozulabilir. LM135, LM35 ve LM35A -55°C ve +150°C arasında kullanışlı bir aralığa sahiptir. Üretici firma 150°C'nin üzerinde devamlı kullanım sonucu devre

elemanının beklenen ömrünün kısılacağını belirtmiştir. Monolitik sıcaklık sensörleri bu sıcaklık sınırları içindeki uygulamalar için en iyi seçim olarak görünmektedir. Bu uygulamalardan biri daha önce bahsedilen ısılıçiftlerin kompanzasyonu için kullanılan elektronik-buz noktasıdır.

3.8 SICAKLIK SENSÖRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 3-7’de çeşitli sıcaklık sensörlerinin çalışma aralıkları karşılaştırılmıştır.

Tablo 3-7 Sıcaklık sensörlerinin çalışma aralıklarının karşılaştırılması

Tip	Malzemeler	Normal Değerler Aralığı
J	Demir-konstantan	-200°C'tan 1190°C'a
T	Bakır-konstantan	-260°C'tan 390°C'a
K	Kromel-alumel	-260°C'tan 1370°C'a
E	Kromel-konstantan	-260°C'tan 990°C'a
S	%90 platin + %10 rodyum-platin	-40°C'tan 1760°C'a
R	%87 platin + %13 rodyum-platin	-40°C'tan 1760°C'a
B	%70 Pt + %30 Rh- platin	0°C'tan 1810°C'a
N	Nikrosil-Nisil	-260°C'tan 1290°C'a
Pt-100	Platin RTD 100Ω @0°C	-240°C'tan 650°C'a
Ni-1000	Nikel RTD 1000Ω @0°C	-212°C'tan 315°C'a
	Termistör	-75°C'tan 260°C'a
LM35	Yarıiletken tümdevre sensör	-55°C'tan 150°C'a
	İnfrared termometre	-18°C'tan 1370°C'a

Değerlendirme Kriteri	Pt-RTD 100 tel sarımlı ve ince-film	Pt-RTD Ultra-7 1000Ω ince-film	Ni-RTD 1000Ω tel sarımlı	Balco-RTD 2000Ω tel sarımlı	Termistör	Isılçift	Yarıiletken aygıtlar
Maliyet	Yüksek	Düşük*	Orta	Orta	Düşük*	Düşük*	Düşük*
Sıcaklık aralığı	Geniş -240 ... +650°C	Geniş -195 ... +540°C	Orta -212 ... +315°C	Dar 40 ... 205°C	Dar ile orta arası -75 ... +260°C	Çok geniş -270 ... +2315°C	Dar -55 .. +150°C
Kararlılık	İyi*	İyi*	Orta	Orta	Kötü	Kötü ile orta arası	İyi ile orta arası
Doğruluk	Yüksek*	Yüksek*	Orta	Düşük	Orta	Orta	Orta
Yinelenebilirlik	Çok iyi [†]	Çok iyi [†]	İyi*	Orta	Orta ile iyi arası	Kötü ile iyi arası	İyi*
Duyarlık (çıkış)	Orta	Yüksek*	Yüksek*	Çok yüksek [†]	Çok yüksek [†]	Düşük	Yüksek*
Yanıt hızı	Orta	Orta ile hızlı arası	Orta	Orta	Orta ile hızlı arası	Orta ile hızlı arası	Orta ile hızlı arası
Doğrusallık	İyi*	İyi*	Orta	Orta	Kötü	Orta	İyi*
Kendi kendine ısınma	Çok düşük ile düşük arası*	Orta	Orta	Orta	Yüksek	UD [‡]	Çok düşük ile düşük arası*
Nokta duyarlılık	Orta	İyi*	Kötü	Kötü	İyi*	Çok iyi [†]	İyi*
Bağlantı ucu etkisi	Orta	Düşük*	Düşük*	Düşük*	Çok düşük [†]	Yüksek	Düşük*
Fiziksel boyut	Orta ile küçük arası	Küçük ile büyük arası*	Büyük	Büyük	Küçük ile orta arası	Küçük ile büyük arası*	Küçük ile orta arası

KONUMUN ALGILANMASI

Robotların, taşlama makinelerinin, matkapların, vb. çalışma parçasının nerede konumlandığını bilmeleri gerekir. Konum sensörleri bu bilgiyi sistem denetleyicilerine geri besler. Bu bölümde konumun algılanması için kullanılan bazı aygıtları inceleyeceğiz.

4.1 TANIM

Yerdeğiştirme bir vektörel nicelik ve zaman içinde farklı anlarda bir cisim tarafından işgal edilen iki konum arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Uzunluk veya mesafe yerdeğiştirmenin büyüklüğünü ifade eden ölçekli bir nicelik.

4.2 BİRİMLER

Doğrusal hareket için yerdeğiştirme metre cinsinden bir uzunluk iken, dönme veya açısal hareket için radyan cinsinden açı olarak ifade edilir.

Açısal yerdeğiştirmenin birimi radyandır ve radyanın tanımı yarıçapa eşit uzunluktaki bir yayın çember merkezine bakan açısıdır. $1 \text{ rad} = 57.3^\circ$.

4.3 KONUM ALGILAYICILARINA GENEL BAKIŞ

Konum algılayıcıları bir çalışma parçasının olup olmadığını sezmekten onu tam bir doğrulukla yerine yerleştirmeye, bir deliğin derinliğini hassas ölçmekten bir milin dönme açısını tam olarak ölçmeye kadar çok çeşitli amaçlarla kullanılır. Konum sensörleri de basit anahtarlardan hassasiyet potansiyometresine, doğrusal değişken fark transformatörlerine (LVDT) kadar çok çeşitlidir. Konum algılayıcılarının doğruluğu bitmiş işin hassasiyetini belirler.

Konum algılayıcısı devrelerini geliştirirken daha fazla doğruluk elde etmek için karmaşık devrelerin kullanılması gerekmektedir. Bu ise güvenilirliği arttıran basitlik ile çelişmektedir.

4.3.1 SINIR ANAHTARLARI (VARLIĞIN SAPTANMASI)

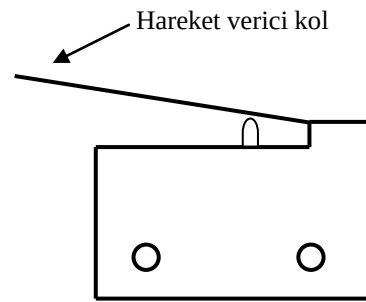
En basit ve en çok kullanılan konum belirleme yöntemi sınır anahtarıdır. Garaj kapısını açan kumandanın kapıyı izlemesi gereken hat içinde tutmasında, floppy disketlerin yazma koruma çentiğinin olup olmadığını belirlemede ve mil üzerindeki hareketin son konumunun algılanmasında sınır anahtarları kullanılmaktadır. Arabanın kapısı açıldığında lambanın yanmasını sağlayan, emniyet kemerinizi takmanız için sesle uyaran veya anahtarınızı kontakta bırakmamanızı anımsatan sınır anahtarıdır.

Şekil 4.1'de görülen sınır anahtarları boyut ve çalışma açısından farklılık gösterse de aslında hepsi de temaslı basma anahtarıdır. Şekil 3.1'deki anahtarların çoğundaki anahtar mekanizması ani-etkili yay-yüklü anahtardır. Bu mekanizma, hareket verici belirlenmiş değere ulaştığında anahtarın kapanmasına neden olan konum hareketini sağlar. Sonuçta, anahtar basit basma anahtarlarından biraz daha az sıçramayla kapanır ve anahtar kontaklarını kıvılcımdan korur.

Kolla çalışan ani-etkili sınır anahtarını ayarlamak için iki farklı yol vardır. Sınırlı doğruluk kabul edilebildiğinde, kolu dikkatli bir şekilde bükerek ayarlama yapılabilir. Çalışma parçasının kontak üzerindeki kolu eğmemesini sağlamak için dikkat ve özen gösterilmelidir. Aksi takdirde ayar bozulacaktır. Daha hassas yöntemde anahtarın konumu ayarlanmaktadır. Bu durumda, anahtar yatağında dikdörtgen şeklinde vida delikleri vardır ve bu da dakika ayarlamasının yapılmasını sağlar. Bazı durumlarda anahtar, anahtar ve hareket vericinin (actuator) konumlandırılması için ayarlanabilen metal plakanın üzerine monte edilmiştir.



(a) Temel bir ani-etkili sınır anahtarı

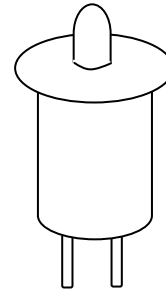


(b) Hareket verici kol uygulanan kuvveti azaltır.



(c) Makara sürtünmeyi azaltır.

Şekil 4.1 Sınır anahtarı çeşitleri (Honeywell Inc.)



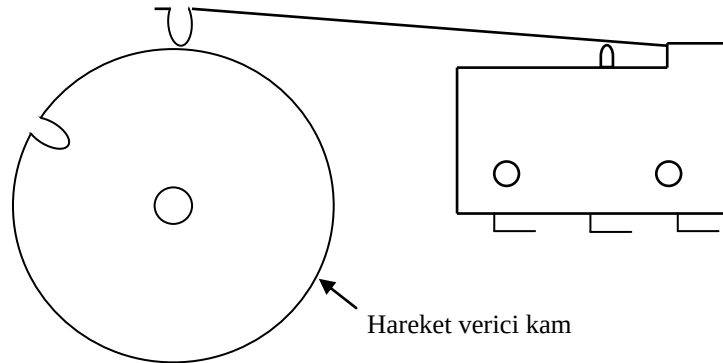
(d) Kapı ve pencere çerçevelerinde kullanılan tip

Çok çeşitli kontak tipleri olan sınır anahtarları olmakla birlikte en çok kullanılan SPDT düzenlemesidir. Anahtarın bir terminali "common" (şase) anlamında C veya COM olarak işaretlenmiştir, bir diğeri "normalde açık" anlamında NO (normally open) olarak belirlenmiş ve üçüncüsü "normalde kapalı" anlamında NC (normally closed) olarak işaretlenmiştir. Anahtarın "normal" modunda harekete geçirici kol veya buton üzerinde basınç söz konusu değildir.

Sınır anahtarları, montaj hattı üzerindeki bir parçanın varlığını algılayarak otomatik makinelerin bu parça üzerinde işlem yapmasını sağlar. Örneğin, sınır anahtarları bir

buzdolabı kapısının montaj hattı üzerinde belirli bir noktaya ulaşıp ulaşmadığını tespit edebilir. Anahtarın kapanması, bir boyacı robotunun kapıyı boyamaya başlaması için gerekli sinyali gönderir. Hat sabit hızla hareket ettiğinden robotun boyamayı düzgün bir yol boyunca tamamlaması için başka sensörlere gerek yoktur. Sınır anahtarı da sisteme eklendiğinde hat üzerindeki parçaları düzensiz olarak yerleştirmek mümkündür. Böylece robotun boyamak için bir kapı beklerken bulamayıp havayı boyaması engellenmiş olur.

Şekil-4.2'de sınır anahtarları ve tambur denetleyici ile birlikte makinelerde ne kadar hassas zamanlama yapılabildiğine dair bir örnek gösterilmektedir. Tambur düşük rpm'de çalışan senkron saat motoru ile döndürülmektedir. Tambur üzerindeki sınır anahtarının yaprak yaylarına hareket verilmiştir. Anahtarın hareket verici mekanizması bir çentikle karşılaştığında, NA kontaklar açılacak ve NK kontaklar kapanacaktır. Çentiğin sonunda, anahtar tambur tarafından yeniden harekete geçirilerek makinede zaman denetimli seri işlerin yapılmasına olanak sağlayacaktır. Evinizin ışıklarını, su ısıtıcınızı ve ışıklı işaretlerin otomatik olarak yakılmasında kullanılan yaygın zaman röleleri benzer şekilde çalışmaktadır. Anahtarlar bir çentik tarafından açılmak yerine zamanlayıcı disk üzerindeki bir çıkıntı tarafından kapatılır.

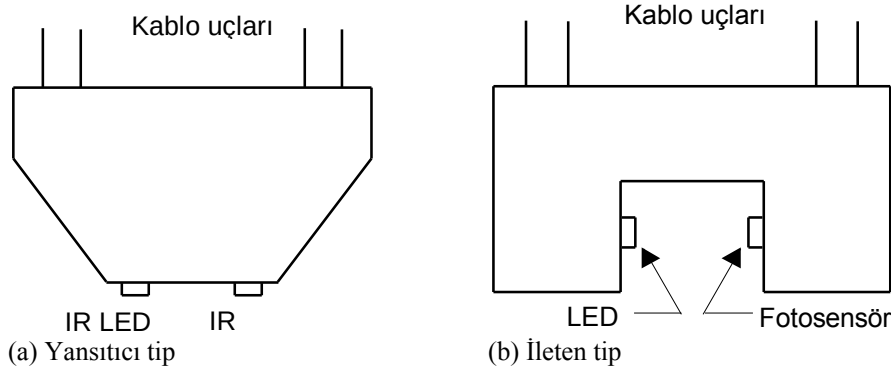


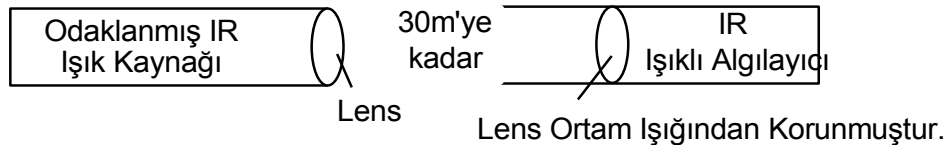
Şekil 4.2 Temel tambur denetleyici. Büyük tambur denetleyiciler her biri ayrı ayarlanabilen 20 kam ve anahtara sahiptir.

4.3.2 FOTOELEKTRİK SINIR ANAHTARLARI

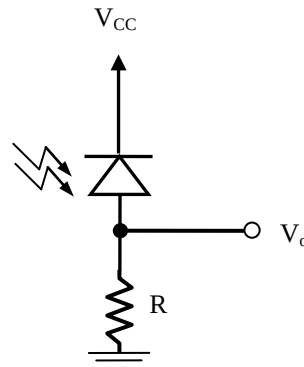
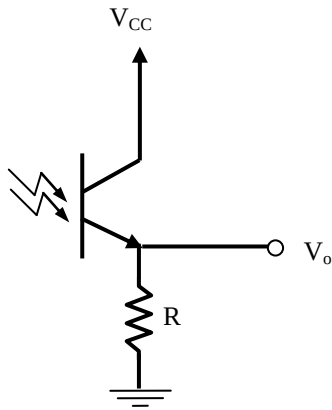
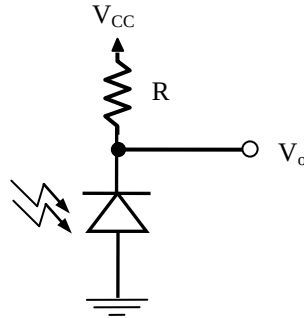
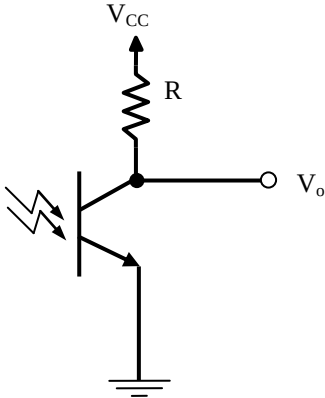
Bir diğer sınır anahtarı ışığa duyarlı hücrelerden yararlanmaktadır. Endüstride kullanılan farklı çeşitlerde ışığa duyarlı elemanlar bulunmaktadır.

Şekil-4.3'te modern endüstride kullanılan bazı ışığa duyarlı elemanlar görülmektedir. Bunlarda bazıları iletilen ışığı algırlarlar. Işık geçirmeyen bir katı madde ışık demetini kırarak şekilde fotosel ve ışık kaynağı arasına konulmalıdır. Diğer aygıtlar ise, yansıtılmış ışık ile çalışmaktadır. Bunlar açık renkli ve yansıtıcı özellikteki malzemelerin varlığını algılamakta kullanılırlar.





(c) Uzun mesafede iletim yapan tip
Şekil 4.3 En yaygın ışıklı algılayıcılar



Şekil 4.4a Fototransistör

Şekil-3.4b Fotodiyot

Şekil-3.4c CdS LDR'ler (GlobalSpec, Inc.)

Şekil-4.4'te endüstride en çok kullanılan fotosensörler görülmektedir. Şekil-4.4a'daki en popüler olan aygıttır. Fototransistör bazı karanlıkta iken özgül eğrisinin kesim bölgesinde çalışmaktadır. Beyze ışık geldiğinde, transistör iletime geçer ve beyze gelen ışık miktarı ile doğru orantılı olarak kollektörden akım akar. Transistörü sınır anahtarı olarak kullanmak için onun kesimden iletime gitmesine yetecek şekilde ışık seviyesinin arttırılması gerekmektedir. Bazı fototransistörlerde iletime geçme sınırının tam altındaki bir düzeye gerilim bölücü ile eğilendirecek şekilde dışarıdan beyz bağlantıları bulunmaktadır. Bu eğimleme de transistörün duyarlılığını arttırır.

Fototransistörler ışık duyarlılığının yanı sıra kazanç da sağlar, ancak şarj süresi tepki vermesini yavaşlatır ve harekete geçeceği frekansı sınırlar. Şarj süresi, transistörün enerjisinin kesilmesinden sonra transistörün beyzindeki akım taşıyıcıların beyz içinden geçmesi için gerekli süredir. TTL mantıkta ise yayılma gecikmesinin nedenidir ve fototransistörlerin aç-kapa anahtarlama hızını azaltmaktadır. Bu sorun mekanik olaylarla ilgilenirken fazla önem taşımazken motor hız denetimi için optik disk kullanılırken yüksek hızlı sayma gerektiğinde dikkate alınmalıdır.

Şekil-4.4b'deki fotodiyotlar fototransistör gibi güvenilir yanıt vermektedir, ancak daha yüksek hızlarda çalışabilmektedir. Bunlar yükseltme yapmaz, genellikle duyarlıklarını

arttırmak için anahtarlama transistörlerine bağlanırlar. Fotodiyotlar fototransistörlerden daha ince yarıiletken tabakaları ile yapılabilirler; dolayısıyla şarj süreleri daha kısa olduğu için daha hızlı anahtarlama yapabilirler. Fotodiyotlar devreye katodu güç kaynağının pozitif ucuna, anodu negatif ucuna ters polarmalı olarak bağlanırlar. Işık birleşme yüzeyine geldiğinde, diyodun ters kırılma gerilimi, diyodun ters yönde iletme geçtiği değere düşerek çıkışında ışığın varlığını belirten bir sinyal üretir. Şekil-4.4c'deki Kadmiyum sülfür (CdS) fotodirenç ışığı algılamak ve ölçmek için kullanılır. Bugün kullanılan fotoğraf makinelerinin pek çoğu CdS hücreleri kullanmaktadır. CdS hücrenin direnci yüzeyine çarpan ışık miktarı ile değişir. Hücrenin direnci ölçülerek ışığın varlığı algılanabilir. Ancak CdS hücrenin belleği yoktur. Hücre çok parlak ışığa maruz kaldığında birkaç saniyeye varan bir süre boyunca körleşir. Bu kör zaman süresince, onu körleştiren ışığa orantılı bir işaret üretir. Bu yüzden CdS fotoselleri kullanırken çok dikkatli olunmalıdır.

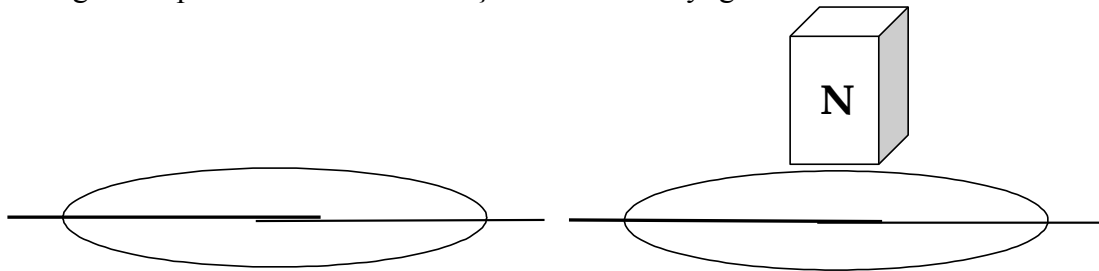
Endüstride çeşitli fotovoltaik aygıtlar kullanılmaktadır. Bu güneş pilleri ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedir. Bunlar çoğunlukla sınır anahtarı olarak değil, ışığın şiddetini ölçen ve denetleyen devrelerde kullanılırlar.

Fotosensörler sayısal devrelere bağlandığında, çıkışlarını tamamen “temizlemek” için Schmitt tetikleyici devrelerin kullanılması zorunludur. Aksi takdirde, fotosensörlerin örneksel çıkışı sayısal devrenin yarış yapması için gerekli düzeyde kalabilir. Yarışma, bir sayısal devreye mantık 1 veya mantık 0 eşik seviyesinde bir sinyal geldiğinde oluşur. Bu koşullar altında devre bir vuru saymak yerine salınım yapar.

Bazı uygulamalarda fotosensörler mekanik anahtarlara göre önemli üstünlükler sağlar. Bu elemanlarda ayarlanacak veya aşınacak hiç bir palet, makara; yanacak, zıplama veya ark yapacak, kirlenecek, paslanıp çürüyecek hiç bir kontak olmadığı gibi daha yüksek çalışma hızlarına sahiptirler. Fotosensörler engelsiz gelen ışığa, lamba üzerindeki lenslere gereksinim duyarken fotosel de temiz tutulmalıdır. Fotosensörü ortamın ışık seviyesinden korumak da önemlidir, ancak bu çoğu zaman sorun yaratmaz.

4.3.3 KONUMUN MANYETİK OLARAK ALGILANMASI

Ferromanyetik metallerin manyetik özellikleri de konum algılaması için kullanılabilir. Manyetik anahtar (reed röle) cam tüp içine kapatılmış iki manyetik anahtar kontağından oluşmaktadır. Bir manyetik alanın varlığında, manyetik çubuklar birbirini çekerek anahtar kontağının kapanmasına neden olur. Şekil-4.5 bu ilkeyi göstermektedir.



Şekil 4.5 Manyetik anahtar, manyetik alanın varlığında kapanır.

Anahtar kontaktarı tüp içine kapatılmış olduğundan, çubuk anahtarları çevreden gelen toz, yağ veya paslandırıcı ortamdan etkilenmezler. Bununla beraber bu anahtarları yerleştirirken bazı önlemler almak gerekir. Cam tüpün uçlarındaki telleri bükerek, keserken veya lehimlerken kırılma olan cam uçlarını şok veya basınçtan korumak gerekmektedir.

Şekil-4.6'da görülen Lenord+Bauer firmasının manyetik hareket detektörü hareket eden ferromanyetik metalleri algılayabilir. Sabit mıknatıs bobin içinden geçerek manyetik alanı yaratır. Manyetik alan bir süreksizliğin geçişi ile değiştirilir, örneğin bir dişlinin dişi veya metal plakanın kenarı gibi. Manyetik alandaki bu değişiklik bobin içinde akım endükler. Akımın büyüklüğü geçiş hızına bağlıdır.



Şekil 4.6 Hız ve hareket algılayıcıları (Lenord+Bauer).

4.3.4 ENDÜKTİF YAKLAŞIM ANAHTARLARI

Endüktif yaklaşım anahtarları tüm iletken malzemelerin dokunulmadan algılanmasını sağlar. Bunlar algılayıcının önüne dar bir yüksek-frekans alanı (150-250kHz) düşürülerek çalışırlar. İletken bir malzeme yaklaştığında, bu alan tarafından endüklenen eddy akımları algılama tipine bağlı olarak osilatör seviyesini yaklaşık sıfıra veya yüksüz seviyenin yaklaşık yarısına indirerek osilatörü yükler. *Killed oscillator* (sönümlemeli osilatör) tip algılayıcı daha yaygındır, fakat maksimum çalışma hızı düşürülmüştür; çünkü osilatör her defasında yeniden başlamak zorundadır. Eddy akımlarının algılanması bu aygıtlara “eddy akım detektörleri” denilmesine de neden olmuştur. Çeşitli şekil ve boyutlardaki bu algılayıcılar Şekil-4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Bazı endüktif yaklaşım anahtarları. Sağ alt köşedeki çap ölçümlerinde kullanılırken, yivli modeller kolay ve hemen hemen sonsuz ince ayar yapılmasına olanak sağlamaktadır (Omega).

Şekil-4.8’de görülen hareket algılayıcısı endüktif sensörler kullanarak hareket eden ferromanyetik metalleri algılayabildiği gibi aynı zamanda elektriksel iletkenliği olan malzemeleri de algılayabilmektedir. Bu özel aktif sensör ve devresi vuru kaybı olmadan 0 Hz’den başlayarak çok yavaş hareketlerin algılanmasından 20kHz’e kadar yüksek hızlı makinelerin ve motorların hareketlerinin algılanmasına kadar kullanılmaktadır. Bu algılayıcı endüksiyon ilkesine göre çalışmakta ve elektriksel olarak iletken hedefleri taramaktadır. Çıkış sinyalleri tek yön için kare dalga, yön belirlemek için 90° ötelenmiş iki kare dalga veya bir kare dalga ve bir yön sinyali şeklinde olabilmektedir. Fabrikada programlanarak çelik dişli tekeri algılayabildiği gibi aynı zamanda, örneğin, bir fan motoruna bağlı alüminyum bir dişli halkayı da algılayabilmektedir. Raylı araçlarda yol takibi, teker kaymasının önlenmesi, motor hızının ölçülmesi ve makine otomasyonunda makine ve motorların hızlarının ve konumlarının ölçülmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.8 Hız ve hareket algılayıcısı (MiniCoder GEL 2471, Lenord+Bauer).

4.3.5 KAPASİTİF YAKLAŞIM ANAHTARLARI

4.3.5.1 Seviye belirleme

Kapasitif sensörler kontaklız olarak iletken olan/olmayan katı, sıvı, toz haldeki nesnelerin algılanmasında kullanılır. Metal olmayan plastik ve cam gibi nesnelerin içindeki seviyelerin belirlenmesi veya farklı malzemelerden yapılmış nesnelerin sayımında kullanılabilir.



Şekil 4.9 Kapasitif yaklaşım anahtarı (Simatic PXC).

4.3.5.2 Öne çıkan özellikler

- Her çeşit materyalin algılanması (plastik, tahta, kâğıt)
- Plastik, cam içindeki sıvıların ölçümü
- Tel sarım makinelerinde tel kopma ikazı

Kapasitif sensörlerde algılanacak nesnenin dielektrik katsayısı önem taşır. Bu sabit değer ne kadar büyük olursa, çalışma aralığı da o derece büyük olur.

4.3.5.3 Farklı nesneler için bağlı dielektrik katsayıları,

- Cam 5
- Kâğıt 2,3
- Hava 1
- Su 80

4.4 ELEKTRİKSEL YERDEĞİŞTİRME

TRANSDÜSERLERİ

Daha önce bahsedilen aygıtların pek çoğu bir parçanın veya aletin varlığını algılamak için kullanılmaktadır ve konumun sabit olması gerekmektedir. Genellikle tasarım değişiklikleri veya üretim değişimleri olduğunda yeniden düzenlenmeleri gerekmektedir. Mutlak konum algılayıcıları olarak da adlandırılan elektriksel yerdeğiştirme transdüserleri aletin veya parçanın tam yerini bildirerek daha fazla esneklik sunmaktadır.

Elektriksel aygıtlar üretilen parçaların büyüklüklerini ölçmek için kullanılmaktadır.

Bu bölümde hareketin neden olduğu yerdeğiştirme ölçümü üzerinde durulacaktır. Bu tip ölçümlere örnek olarak konumunun elektriksel olarak gösterimini elde etmek için bir buhar-türbinli regülatör vanasının yerdeğiştirmesi veya test sonuçlarının u.v. kaydını elde etmek için bir dizel-motor testindeki giriş vanasının hareketinin ölçümü gösterilebilir.

4.4.1 Potansiyometre ile Yerdeğiştirme Ölçümü

Doğrusal potansiyometre hareketli bir basınç sezici elemana bağlı bir sürgü (slider) ya da hareketli kontağa sahiptir. Hareketli kontak ya da süpürücü ölçüm elemanı üzerindeki basıncın değişimiyle direnç elemanı üzerinde hareket eder. Potansiyometre direncinin değişmesine neden olan bu hareket bir köprü devresinde gerilim veya akım değişimi şeklindeki elektriksel bir değere çevrilir. Sonuç olarak, mekanik yerdeğiştirme ile orantılı elektriksel işaret elde edilir. Uygun potansiyometre bağlantıları yapılarak belirli bir yerdeğiştirme miktarı ile elektriksel işaretin azalması veya artması sağlanabilir. Çözünürlük veya dirençteki değişimin yerdeğiştirme miktarına oranı tel-sarımlı potansiyometrenin sarımlarının sıklığına bağlıdır. Film-tipi direnç elemanlarının çözünürlüğü yüksektir ve az miktarda kontak sürtünmesi sağlar – ki bu da çalışma için daha az kuvvet uygulanması demektir. Çoğu ölçme ve denetim uygulamalarında elektriksel işaret düzeyi düşüktür ve süpürücüyü hareket ettirmek için gerekli kuvvet de küçüktür.

Doğrusal potansiyometrenin üzerindeki kontak orta noktada iken köprü devresinin değişken direnç elemanı sıfır referans noktasını sağlamak için köprüyü dengeye getirecek şekilde ayarlanır. Süpürücüdeki bir hareket köprüyü dengeden saptırarak bir gerilim yada akım ölçen aygıt olan köprüdeki algılayıcı üzerindeki gerilim değerini değiştirir. Bir yöndeki yerdeğiştirme belirli bir polaritede gerilim ölçümüne neden olurken diğer yöndeki hareket sonucu gerilimin polaritesi değişecektir. Çoğu basınç ölçümleri belirli bir referans noktasının üzerinde ve bir yönde olduğundan, köprü sıfır referans noktasındaki bir basınç değeri için dengeye getirilir. Bu değer üzerindeki basınç değişimi köprü çıkışında artışa neden olur. Köprü çıkışı da bir referans noktasının üzerindeki basınçla orantılı olarak değişir.

Genellikle köprünün çıkışına algılayıcının duyarlılığı ve doğrusallığını artıran bir işlemsel yükselteç bağlanır. Yüksek kazançlı yükselteçlerle algılayıcının tüm çözünürlüğü artırılır.

Şekil-4.10'da Omega firmasına ait bir doğrusal potansiyometrik yerdeğiştirme transdüseri görülmektedir. Tek ya da çok turlu potansiyometreler ile de açısal konum algılanması yapılabilir. Omega firmasına ait böyle bir açısal yerdeğiştirme transdüseri Şekil-4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.10 Doğrusal potansiyometrik yerdeğiştirme transdüseri (LP802, Omega Inc.)

Hem doğrusal hem de açısal yerdeğiştirmeleri ölçmek için kullanılan potansiyometrik transdüserler teorik olarak büyüklüğü yerdeğiştirme ile orantılı bir çıkış gerilimi vermektedir. Dikkat edilmesi gereken iki önemli nokta şunlardır:

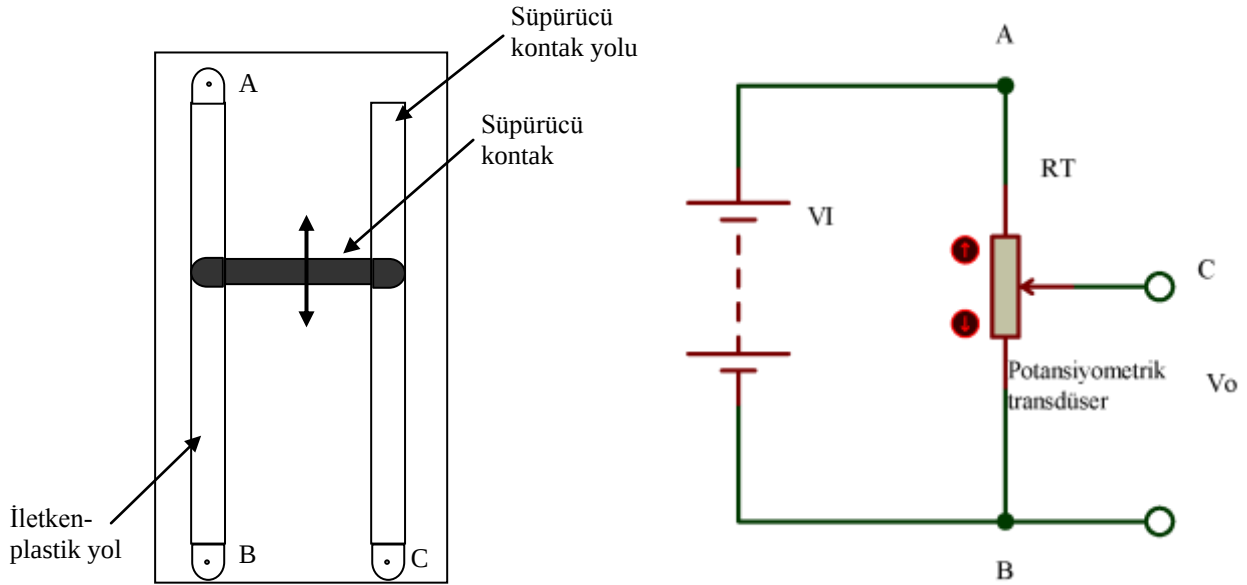
- i) doğrusallıktan aşırı sapmayı önlemek amacıyla yük direnci potansiyometre direncine oranla çok küçük olmamalıdır.
- ii) besleme gerilimi potansiyometrenin maksimum güç anma değerini aşmamalıdır.



Şekil 4.11 Açısal potansiyometrik yerdeğiştirme transdüseri (RP101, Omega Inc.)

Tercihen potansiyometre yer değiştiren cisme fiziksel olarak bağlanmalıdır, fakat bunun mümkün olmadığı durumlar vardır – örneğin, ortam sıcaklığının transdüser için çok yüksek olması gibi. O zaman, potansiyometre kolu ile ilgili bir düzenleme yapılarak yerdeğiştirme miktarının ölçümü daha serin bir konuma iletilebilir. Aynı zamanda, eğer yerdeğiştirme transdüserin ölçme aralığı için çok büyükse bir kol aracılığıyla azaltılabilir. Eğer bağlantıda bir sallantı varsa ölü bant sorunları ortaya çıkabilir ve bunu en aza indirmek için bazı adımlar izlenmelidir.

Şekil-4.12'de dirençsel eleman olarak bir iletken plastik hat kullanan doğrusal bir potansiyometrenin yapısı gösterilmektedir. Hareketli süpürücü ile elektriksel kontak sağlayan düşük dirençli ikinci bir hat vardır ve bu süpürücü konumuna bağımlı değişken bir çıkış gerilimi sağlar. Süpürücü transdüserin gövdesi içinde hareket eden bir mil mekanik olarak bağlıdır ve bu mil sırası geldiğinde yerdeğiştirmesi ölçülecek hareketli cisme bağlanır.



Şekil 4.12 Dirençsel elemanı bir iletken plastik hat olan doğrusal bir potansiyometrenin yapısı

Potansiyometre hem d.c. hem de a.c. gerilimle beslenebilir. DC besleme en basit sinyal uygunlaştırma yöntemidir ve d.c. çıkışın büyüklüğü genellikle kaydedicileri veya gösterge birimlerini doğrudan sürmek için yeterlidir. A.C. besleme değişken bir genlik, diğer bir deyişle, taşıyıcı işareti ortadan kaldırmak için bir demodülatör ve filtreye gereksinim duyan genlik-modüleli işaret üretir. Potansiyometre bir köprü devresine de bağlanabilir; potansiyometre orta konumda olduğunda köprü dengelenecektir.

Potansiyometre ile yerdeğiştirme ölçümü için çıkış gerilimi/yerdeğiştirme ilişkisini ifade eden yüklü potansiyometre eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$V_o = V_i \{ (x_T / x_i) + (R_T / R_L) [1 - (x_i / x_T)] \}^{-1} \quad (4-1)$$

R_L : yük direnci (Ω)

R_T : potansiyometrenin toplam direnci (Ω)

x_i : giriş yerdeğiştirme miktarı (mm)

x_T : maksimum olası yerdeğiştirme miktarı (mm)

Ölçme Aralığı

Doğrusal 5 mm'den 250 mm'ye kadar

Açısal Potansiyometrenin tek bir turu için 340°'ye kadar. 3, 5, 10, 15 ve 20 turluk helis potansiyometreler de bulunmaktadır.

Direnç aralığı Tel sarımlı 100 Ω 'dan 100k Ω 'a; iletken-plastik 500 Ω 'dan 50k Ω 'a, strok uzunluğuna bağlı olarak.

Teknik Özellikler (iletken-plastik doğrusal potansiyometre)

Elektriksel strok uzunluğu 50 mm

Direnç aralığı $\pm\%20$ 1 k Ω 'dan 10 k Ω 'a kadar

Standart direnç $\pm\%20$ 2 k Ω

Doğrusallık tam skalanın $\%0.1$ 'i

20°C'de güç tüketimi	2 Watt
Çalışma sıcaklığı aralığı	-30°C'den +130°C'ye
Çözünürlük	hemen hemen sonsuz

Başlıca Üstünlükleri

- Çıkış işaretinin yüksek seviyede olması nedeniyle yükselteçlerin kullanılmasına gerek yoktur.
- Diğer yerdeğiştirme transdüserlerinden daha iyi doğrusallığa sahiptir.

Başlıca Sakıncaları

- İletken-plastik pot için 80×10^6 devirlik bir ömür belirlenmiş olmasına rağmen, süpürücü kontaktaki sürtünme aşınmaya neden olur.
- Süpürücü kontak alanına giren herhangi bir toz çıkış işaretini etkileyecektir. Bu olay kısmen açık yapıdaki bazı tel sarımlı potansiyometreler için geçerlidir.

Örnek 4.1 Yüklü potansiyometre eşitliğini kullanarak çıkış gerilimi/yerdeğiştirme ilişkisini* %1'lik bir doğrusallık içinde tutacak yük direnci/potansiyometre direnci oranını belirleyin.

Çözüm: Doğrusallıktan en fazla sapma potansiyometrenin orta noktasında olur. Eş. 4-1'i kullanarak

$$\begin{aligned} \therefore V_o &= V_i [2 + (R_T / R_L) (1-0.5)]^{-1} \\ &= V_i [2 + 0.5 (R_T / R_L)]^{-1} \end{aligned}$$

Teorik olarak, orta noktada $V_o = 0.5V_i$ 'dir, ve %1'lik doğrusallık içinde tutmak için $V_o = 0.495V_i$ 'den küçük olmamalıdır,

$$\therefore 0.495 V_i = V_i [2 + 0.5 (R_T / R_L)]^{-1}$$

$$\therefore 0.495 = 1 / [2 + 0.5 (R_T / R_L)]$$

$$\text{i.e. } 2 + 0.5 (R_T / R_L) = 1 / 0.495$$

dolayısıyla $R_L / R_T = 25$ olarak bulunur.

Diğer bir deyişle, %1'lik doğrusallık için yük direncinin potansiyometre direncinin 25 katından az olmaması gerekir.

Örnek 4.2 Özellikleri yukarıda verilen bir iletken-plastik potansiyometrik yerdeğiştirme transdüseri 50mm'lik harekete sahip bir süreç kontrol vanasının yerdeğiştirme miktarını ölçmek için kullanılacaktır. D.C. beslemeli 2 kΩ'luk bir potansiyometre kullanılacaksa, a) maksimum besleme gerilimini, b) besleme gerilimini için uygun bir değeri, c) hareketin maksimum frekansı 10Hz ise uygun bir kaydediciyi ve d) transdüser doğrusallığını %1'lik sınır içinde tutmak için kaydedicinin minimum giriş empedansını bulunuz.

Çözüm: a) Özelliklerinden, en fazla güç tüketiminin 2W olduğu görülmektedir.

$$\begin{aligned} \therefore \text{maksimum izin verilen besleme gerilimi} &= \sqrt{P \times R} \\ &= \sqrt{2W \times 2000\Omega} = 63 \text{ V} \end{aligned}$$

b) Maksimum besleme gerilimi oldukça yüksek bir değer olduğundan, bu değer yarısı alındığında dahi transdüser yine de yeterli bir çıkış gerilimi üretecektir. 0-30V'luk d.c.

kaynaklar yaygındır ve 0.5V/mm'lik uygun bir transdüser hassasiyeti için 25V d.c. bir kaynak seçiniz.

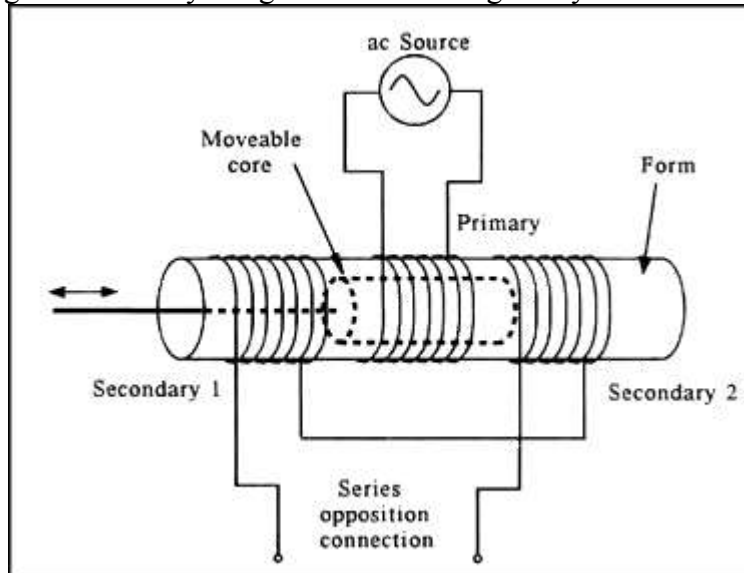
c) Frekans yanıt aralığı 0 – 30Hz olan bir kalemli kaydedici uygun olacaktır.

d) Doğrusallığı yaklaşık %1'lik sınır içinde tutmak için gerekli en az kaydedici empedansı potansiyometre direncinin 25 katı olacaktır, yani $25 \times 2k\Omega = 50k\Omega$.

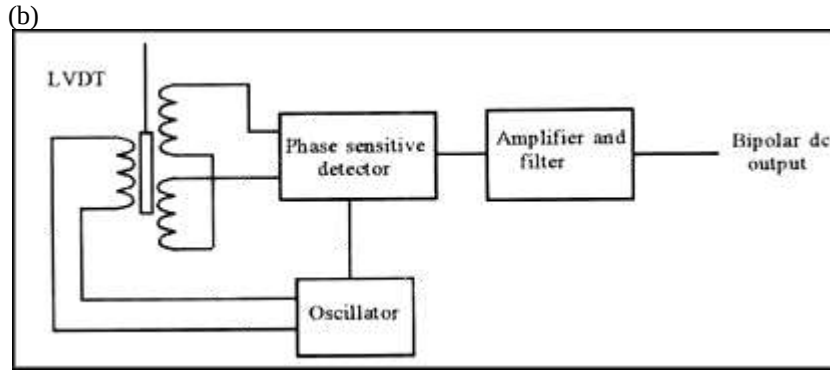
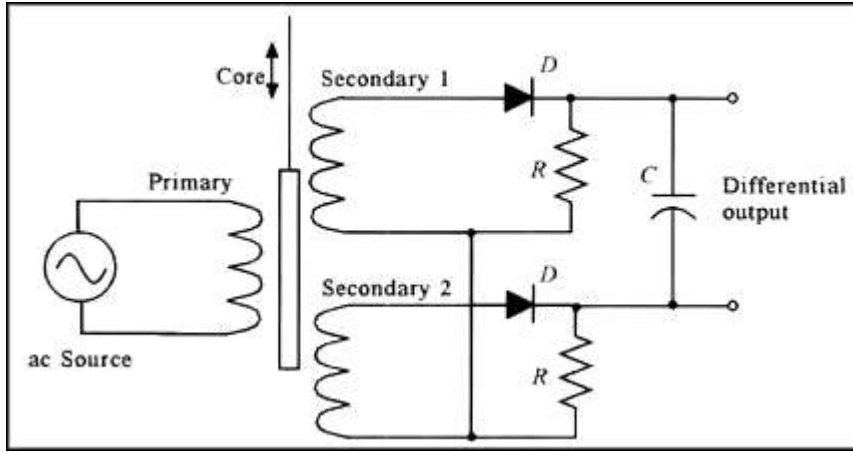
4.4.2 LVDT ile Yerdeğiştirme Ölçümü

Doğrusal değişken-fark transdüserinin (lvdt) çalışma ilkesi şöyledir: manyetik malzemeden yapılmış bir nüve birincil ve iki adet ikincil sargıları birbirine bağlayan manyetik akıyı değiştirmek için bir bobin sistemi içinde hareket eder (Şekil-4.13a). İki bobin, genliği sıfır başlangıç konumundan olan yerdeğiştirme miktarı ile orantılı olan değişken bir çıkış gerilimi üretmek için ters seri bağlanmıştır. LVDT'nin primerine genellikle pek çok kontrol devresinden elde edilebilecek 12V, 50Hz'lik uyarma gerilimi ile güç verilmektedir. Hareketli nüve iki özdeş sekonder arasında tam olarak merkezlendiğinde, sıfır konumu oluşmaktadır ve bu konumda birincil ve her iki ikincil sargılar arasındaki manyetik bağlantı eşittir, dolayısıyla çıkış gerilimleri S_1 ve S_2 aynı olmaktadır. Bu çıkış gerilimleri genellikle doğrultucularla doğrultularak toplama noktasında birleştirilirler. S_1 'in çıkışı pozitif çıkış gerilimi verecek şekilde doğrultulur ve S_2 'nin çıkışı negatif çıkış gerilimi verecek şekilde doğrultulur. $V_{S1}=V_{S2}$ olduğunda toplama noktasındaki çıkış 0V olur. LVDT'leri yerleştirirken, sıfır konumunun yerdeğiştirmenin iki sınırı arasında orta noktada oluşacak şekilde nüvenin konumlandırılması gerekmektedir.

Hareketli nüve merkezin solunda iken S_1 daha yüksek çıkışa sahip olduğundan toplama noktasında pozitif çıkış gerilimi olur. Hareketli nüve merkezin sağında iken S_2 daha yüksek çıkışa sahiptir ve toplama noktasındaki çıkış gerilimi negatif olur. Çıkış geriliminin polaritesi cismin merkezin sağında mı, solunda mı olduğunu bildirirken çıkış geriliminin büyüklüğü ise ne kadar sağda veya ne kadar solda olduğunu belirtir.



(a)



(c)
Şekil 4.13 Doğrusal değişken-fark transformatörü. (a) sargılar ve ac kaynak bağlantısı, (b) fark çıkış geriliminin doğrultulması ve filtrelenmesi, (c) osilatör, demodülatör ve fark yükselteci blok şeması

Bir genlik modülasyonlu sistem için bir a.c. yükselteç, bir faz-duyarlı demodülatör ve bir filtreden oluşan işaret uygunlaştırıcı devreler gerekmektedir (Şekil-4.13b,c). Bazı transdüserlerde tüm sinyal uygunlaştırma devreleri transdüserin üzerindedir ve lvdt'yi uyarmak için bir osilatör içermektedir. Çıkış gerilimi 0 ile $\pm 10V$ d.c. sınırları arasındadır. Bir $\pm 15V$ d.c. kaynak ile beslenmelidir. Çıkış gerilimi 0 ile $\pm 10V$ d.c. sınırları içinde olduğundan, kaydedici veya gösterge seçeneği, yerdeğiştirmenin frekansının kaydedicinin sınırları içinde olmasına bağlı olarak, çok geniştir. Şekil 4.14'te ticari olarak kullanılan bir doğrusal değişken-fark transformatörü görülmektedir.



Şekil 4.14 Doğrusal değişken-fark transformatörü (LD200, Omega Inc.)

Ölçme Aralığı

Doğrusal 0.1 mm'den 625 mm'ye kadar

Açısal 0'dan $\pm 40^\circ$ 'ye, veya daha az doğrusallıkla $\pm 60^\circ$ 'ye kadar

Teknik Özellikler (Doğrusal tip)

Doğrusal aralık	± 25 mm
Giriş gerilimi	3V r.m.s. (anma değeri)
Frekans aralığı	50 Hz'ten 10 kHz'e kadar
Sıcaklık aralığı	-55°C 'den $+150^\circ\text{C}$ 'ye kadar
Transdüser duyarlılığı	16 (mV/mm)/V, yani 3V'luk giriş için 48 mV/mm
Sistem duyarlılığı	± 10 V demodülatör çıkışı
Doğrusallık	tam ölçek değerinin $\pm 0.25\%$ 'i
Sıfır gerilimi	tam ölçek çıkışının 0.5% 'inden daha az

Başlıca Üstünlükleri

a) Nüve ve sarımlar arasında sürtünme olmadığından l.v.d.t.'nin ömrü potansiyometreninkinden daha uzundur.

b) Sonsuz çözünürlük.

Başlıca Sakıncaları

a) Besleme frekansının 0.1'ine kadar olan yerdeğiştirme frekansları ölçülebilir.

b) Şebeke frekansı dışındaki frekanslar için bir osilatör de olmak üzere sinyal uygunlaştırıcı elektronik devrelere gereksinim duyulmaktadır.

Örnek 4.3 Teknik özellikleri yukarıda verilen bir LVDT kullanılarak bir kontrol vanasının 40 mm'lik yerdeğiştirme hareketi ölçülecektir. Hareketin frekansı (a) 50Hz ve (b) 5Hz ise, uygun besleme frekansını ve kaydediciyi belirleyin.

Çözüm: 40mm'lik hareket için ± 25 mm'lik transdüser uygun olacaktır.

(a) Hareketin frekansı 50Hz olduğundan besleme frekansı bunun 10 katı yani 500Hz olmalıdır.

A.C. yükselteç, demodülatör ve filtre ± 5 V'luk çıkış gerilimi sağlayacaktır ve bu da pek çok kaydedici için uygun bir gerilim değeridir. Kaydedici seçimini frekans yanıtına göre yapacağız. 500Hz'lik galvanometreye sahip bir u.v. kaydedici bu kriteri sağlar ve uygun bir empedans uygunlaştırıcı devre tasarlanmalıdır.

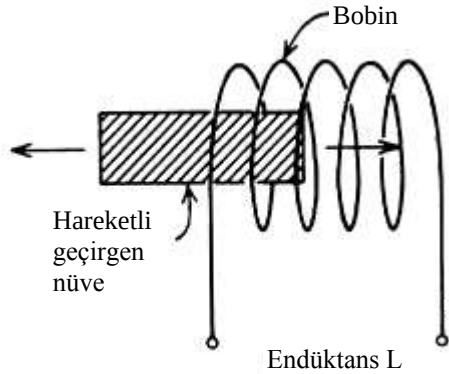
(b) Bu durumda 50Hz'lik bir besleme frekansına gereksinim duyulmaktadır ki bu da şebekeden elde edilebilir ve böylece bir osilatör gereksinimi ortadan kalkmaktadır. 3V'luk giriş gerilimini elde etmek için gerilimi düşüren tip bir transformatör kullanılmalıdır.

Frekansın düşük olması nedeniyle bir kalemli kaydedici bu iş için uygun olacaktır.

4.4.3 Endüktif Yerdeğiştirme Ölçümü-Değişken-Relüktanslı

Yerdeğiştirme Transdüseri

Şekil-4.15'teki değişken endüktör yerdeğiştirmenin algılanmasında kullanılan bir başka transdüserdir. Doğrusal hareket değişken bobini olarak da adlandırılan transdüser etrafına tel sarılmış bir bobin makarası veya nüveden oluşmaktadır. Bobin ve nüve arasındaki göreceli hareket bobinin endüktansını değiştirir. Bu değişim nüvenin bobin içindeki hareket miktarıyla orantılıdır. Algılayıcı osilatörün frekans belirleyici bölümünde kullanılmaktadır. Bobinin nüvesindeki küçük miktardaki bir hareket osilatörün frekansında kaymaya neden olur. Çıkış salınımlarında bir değişim olur. Bir frekans sayıcı kullanılarak konum yüksek doğrulukla belirlenebilir.



Şekil 4.15 Doğrusal endüktif yerdeğiştirme transdüseri

Bu tip transdüserlerle titreşim ölçümleri gibi küçük yerdeğiştirmeler ölçülebildiği gibi 2500mm'ye kadar daha büyük yerdeğiştirmeler de ölçülmektedir.

Bu transdüser bobin içinde hareket eden bir nüvenin yerdeğiştirmesine bağlı olarak bobin endüktansındaki değişmeyi kullanır. Bazı transdüserler fark yaratacak şekilde bağlanmış iki bobinden oluşmaktadır ve geniş bir aralıkta nüvenin yerdeğiştirmesi ile endüktansın doğrusal değişimini ölçmektedir. Şekil-4.16'da çeşitli endüktif yerdeğiştirme transdüserleri görülmektedir.

4.4.3.1 LD100 Doğrusal Endüktif Yerdeğiştirme Transdüseri (Omega Inc.)

LD100 Omega firmasının ürettiği bir değişken hassasiyet bobinidir. Helis bir bobin içinde sürtünmesiz hareket edebilen alüminyum ($\mu_r > 1$) veya bakır (diyamanyetik, $\mu_r < 1$) tüp şeklindeki nüveden oluşmaktadır. Sinyal uygunlaştırma devresi bobini tipik 112kHz bir akım kaynağıyla besler. 112kHz'te alüminyumda et kalınlığı 0.25mm civarında ve nüve çapı yaklaşık 10mm'dir. Dolayısıyla, 112kHz'lik manyetik alan pratik olarak nüvenin çoğundan dışlanır ve nüve bobinin içine doğru girdikçe endüktans azalır. Nüvenin bobin içine doğru hareketinin diğer bir etkisi de bobin uçlarındaki direncin artmasıdır, ancak direnç değişimi reaktans değişiminin onda biri kadardır. Nüvenin içteki ucunun bobin uçlarından birkaç çap mesafesi uzakta olması sağlandığında, basit bir helis bobinin bile 112kHz'teki empedansı yaklaşık olarak nüvenin bobin içine doğru olan hareketi ile doğrusal bir ilişki göstermektedir.



Şekil 4.16 Endüktif yerdeğiştirme transdüserleri (Micro-Epsilon)

Dolayısıyla, bobin uçlarında görülen 112kHz'lik gerilim yaklaşık olarak nüve konumunun doğrusal bir işlevidir. İşlemci bu gerilimi doğrultur, bir doğrultulmuş denge sinyalini çıkartarak bipolar bir çıkış üretir ve nüvenin sıfır konumundan hareketi ile orantılı bir gerilim çıkışı üretmek için bu farkı filtreler. Üretim birimlerinde %0.15 doğrusallığı garantileyecek ve bir transdüser uzunluğunu doğrusal ölçme aralığını yalnızca 25mm aşarak üretecek şekilde doğrusallıktan sapmayı azaltmak ve doğrusal ölçme aralığını genişletmek amacıyla geliştirilmiş LDT'ler ve işlemciler üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Sıfır kararlılığı

Önemli bir tasarım hedefi gerilim (sıfır) kararlılığıdır. Denge sinyalini işleyen devre transdüser sinyalini işleyen ile özdeştir ve her kanalda aynı işlevi yerine getiren devre elemanları yaklaşık olarak aynı sıcaklıkta olacak şekilde yerleştirilir. İşlemci tipik sıfır gerilimine %0.15'lik bir ısınma kayması ile ulaşır ve ısınmadan sonra tipik sıfır kararlılığı %0.025'tir. İşlemcinin ortam sıcaklığındaki değişimler $\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 'lik sıfır gerilimi kayması üretir.

Transdüser sıcaklığının değişmesi de sıfır gerilimini etkiler. Bunun asıl nedeni sıcaklık arttıkça nüve malzemesindeki çeper derinliğinin artması, dolayısıyla da endüktansın artmasıdır. Bu etki nüve çapını artırarak ve yüksek iletkenlikli nüve malzemesi kullanarak azaltılır. 9.5mm'lik nüve tüpü bakırdan yapıldıysa tipik olarak $130\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 'lik (toplam ölçüm aralığına göre sıfır gerilimi), alüminyumdan yapıldıysa $140\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklık katsayısına sahiptir. Kompozit nüveler $70\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 'nin altında değerlere de sahiptir.

Kazanç kararlılığı

Diğer bir önemli tasarım hedefi de kazanç faktörünün (mm cinsinden nüve hareketi başına volt, V/mm) kararlılığıdır. Kazanç doğrudan uyarma geriliminin frekansı ile orantılı olduğundan, pratik olarak frekans kaymasını gidermek için işlemcide quartz kristal kullanılmaktadır. Kazanç, transdüseri süren 112kHz'lik akımın büyüklüğü ile de orantılıdır. İşlemci, referans olarak kompanze edilmiş bir Zener diyot kullanarak bu akımı düzenler. Kazanç doğrudan transdüser sinyalini oluşturmak için çalışan yükselteç, algılayıcı ve filtre transfer fonksiyonu tarafından etkilenir. Düşük sıcaklık katsayılı

elemanlar ve negatif geribesleme kullanarak kararlı hale getirilirler. Tipik olarak işlemcinin kazanç sıcaklık katsayısı 80ppm/°C'dir.

Transdüser sıcaklığını değiştirmek artan sıcaklıkla malzemenin çeper derinliğinin artması ve dolayısıyla nüve çapının değişmesinden dolayı kazancı etkileyecektir. Nüve çapını ve/veya iletkenliği artırmak bu etkiyi azaltır. 9.5mm nüve tüpü kazanç sıcaklık katsayısı tipik olarak bakır için 90ppm/°C, alüminyum için 130ppm/°C'dir.

Endüktif transdüserler için iki olasılık vardır:

- a) genlik-modülasyonlu çıkış gerilimi üretmek için bunları a.c. beslemeli köprülere bağlamak;
- b) frekans-modülasyonlu bir işaret elde etmek için sabit bir kondansatör ile "akort etmek".

Ölçme Aralığı

0.5 mm ile 2500 mm arası hareket

Teknik Özellikleri

Elektriksel strok uzunluğu	350 mm
Giriş gerilimi	210/250 V, 50 Hz
Güç tüketimi	10 W
Çıkış gerilimi	0V'tan 1 kΩ'luk yüke en fazla 10V'a kadar
Frekans yanıtı	100 Hz'e kadar
Doğrusallık	tam skalanın $\pm 0.5\%$ 'i
Çözünürlük	Sonsuz
Plencerin(piston) maksimum hızı	5 m/s
Sıcaklık aralığı	0'dan 70°C'ye (elektronik kısmı dahil)

Başlıca Üstünlükleri

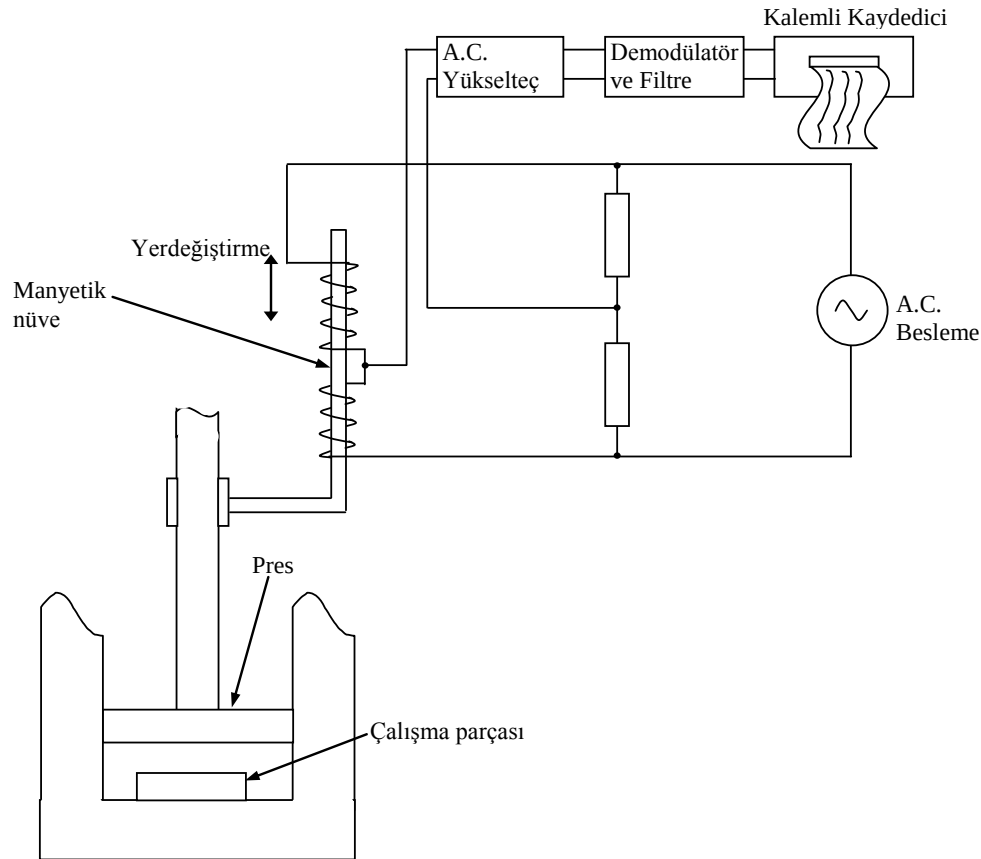
- a) Büyük miktardaki yerdeğiştirmeler ölçülebilir.
- b) Piston ve cisim arasındaki sürtünme önemsiz olduğundan ömrü uzundur.

Başlıca Sakıncaları

- a) Potansiyometre ya da l.v.d.t. kadar doğrusal değildir.
- b) Frekans aralığı a.c. köprünün besleme frekansının 0.1'i ile sınırlıdır, dolayısıyla FM sisteme uygulanamaz.

Örnek 4.4 Şekil 4.17'deki endüktif transdüser yukarıda verilen teknik özelliklere sahiptir ve maksimum çalışma aralığının %75'ine kadar çalıştırılmaktadır. Çıkış gerilimi teknik özelliklerde belirtildiği gibiyse, 20kΩ'luk giriş empedansına sahip ve duyarlılığı 5mm/V olan bir kalemli kaydedici kullanılırsa kaydedicinin kâğıt üzerindeki maksimum hareket mesafesini (iz boyutunu) belirleyin.

Bu uygulama için kullanılacak olan transdüserin frekans yanıtı ve maksimum hızı bu sistemin gereksinimlerine uygun mudur?



Şekil 4.17 Bir hidrolik presin yerdeğiştirmesinin ölçümünü yapan diferansiyel endüktif sistem

Çözüm: Maksimum yerdeğiştirme miktarının yalnızca %75'ine kadar olan hareketler ölçüleceğinden çıkış gerilimi de 0 ile 7.5V arasında değişecektir. Kalemli kaydedicinin giriş empedansı ($2k\Omega$) minimum yük gereksiniminden ($1k\Omega$) daha yüksek olduğundan çıkış gerilimi belirtildiği gibi olacaktır.

$$\text{İz boyutu} = 7.5V \times 5\text{mm/V} = 37.5\text{mm}$$

Ölçme sisteminin frekans yanıtı 100Hz'e kadardır ve hiç bir hidrolik pres bu kadar yüksek bir frekansta çalışamayacağına göre sistemin frekans yanıtı yeterli olacaktır.

5m/s'lik hızda bir hidrolik presin çalışamayacağı açıktır, fakat yine de çözümlemesini yaparsak

$$\begin{aligned} \text{pres hareketi} &= 0.75 \times 350\text{mm} \\ &= 262.5\text{mm} \\ &= 0.26\text{m} \end{aligned}$$

Pistonun 5m/s'lik sabit hızla hareket ettiğini varsayarsak hareketin süresi $(0.26\text{m})/5\text{m/s} = 0.052\text{s}$ olacaktır, ki bu da hızlı bir hidrolik pres için bile çok kısa bir süredir.

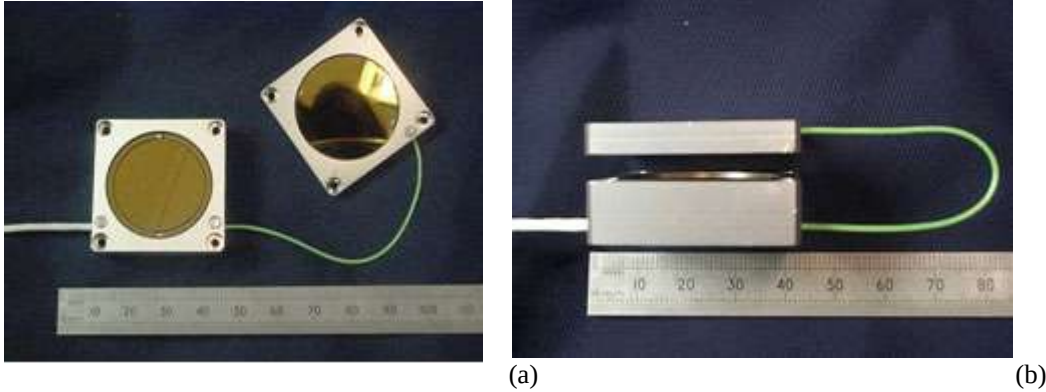
4.4.4 Kapasitif Yerdeğiştirme Ölçümü

250 mm'lik yerdeğiştirme miktarlarına kadar ölçüm yapabilen küçük yerdeğiştirmeli bir transdüser olan kapasitif yerdeğiştirme transdüserinin çalışma ilkesini anlayabilmek için öncelikle paralel plakalı bir kondansatörde kapasiteyi etkileyen etmenleri hatırlayalım.

Bir paralel plakalı kondansatörün kapasitesi

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (4-2)$$

ile bulunabilir. Burada C Farad cinsinden kapasite, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti, ϵ_r yalıtkanın bağıl dielektrik sabiti, A m² cinsinden paralel plakaların alanı ve d ise m cinsinden paralel plakalar arasındaki mesafedir. Formülden de görüldüğü gibi, kapasite plakaların alanı ile doğru, aradaki mesafe ile ters orantılıdır. Yerdeğiştirmenin ölçümünde böyle bir kondansatörün kullanılması için plakalardan biri sabit, diğeri hareketli olacaktır. Şekil-4.18'de 1.5mm ile 4.5mm arası yerdeğiştirme miktarlarını ölçebilen bir kapasitif yerdeğiştirme transdüseri görülmektedir.



Şekil 4.18 (a) Etkin alanının görüldüğü prop ve hedef sensör, (b) sensör açıklığının görüldüğü prop ve hedef sensör, Queensgate Instruments.

4.5 AÇISAL KONUM MİL KODLAYICILARI

Bahsettiğimiz bütün mutlak konum kodlayıcılarının açısal veya dönme konumunu bildiren tasarımları da bulunmaktadır. Açısal potansiyometreler küçük robotik kolların konumunu çok yüksek doğrulukla bildirirler. Hesaplama sorunlarını ortadan kaldırmak amacıyla yapılacak iş için doğrusal direnç dağılımlı potansiyometre seçilmesi gerekir.

Devamlı olarak dönen milin konumunu belirlerken adi potansiyometre hata yapar; çünkü genellikle uç noktalardan geçerken bir ölü nokta vardır. Bu sorunu gidermek için özel kaliteli “pot”lar olduğu gibi optik diskler ve çözümleyiciler bu tip dönmeyi ölçmek için daha çok kullanılmaktadır.

Arttırılmalı kodlamalı optik disk, çevresi boyunca düzenli olarak yerleştirilmiş ışığı kesen kusursuz çizgilere sahip cam veya pleksiglas diskten oluşur. Bir taraftaki ışık kaynağı (LED) ve diğer tarafına konan fotodiyot veya fototransistör sensörü tamamlamaktadır. Bu kodlayıcı Şekil-4.19'a da gösterilmiştir. Dijital devre veya bilgisayar aracılığıyla geçen vuru sayısı izlenip açısal konum basit bir aşağı-yukarı sayıcı ile hesaplanır. Aynı aygıt mega baud hızlarındaki verileri kaydedebilen veri kaydedicilerinin motor hızını denetlemek için de kullanılır. Eğer daha az çözünürlük kabul edilebilirse dikkatlice delinmiş delikleri olan bir metal disk cam diskin yerine kullanılabilir.

Arttırılmalı kodlayıcı bir dizi kare dalga üretir. Kare dalgaların sayısı gerekli mekanik arttırmaya karşılık gelecek şekilde yapılabilir. Örneğin, mil dönüşünü 1000 parçaya bölmek için, bir kodlayıcı her devir için 1000 kare dalga çevrimi sağlayacak şekilde seçilebilir. Bu çevrimleri saymak amacıyla bir sayıcı kullanılarak milin ne kadar döndüğünü belirlenebilir. 100 sayma 36 dereceye, 150 sayma 54 dereceye, vb. karşılık

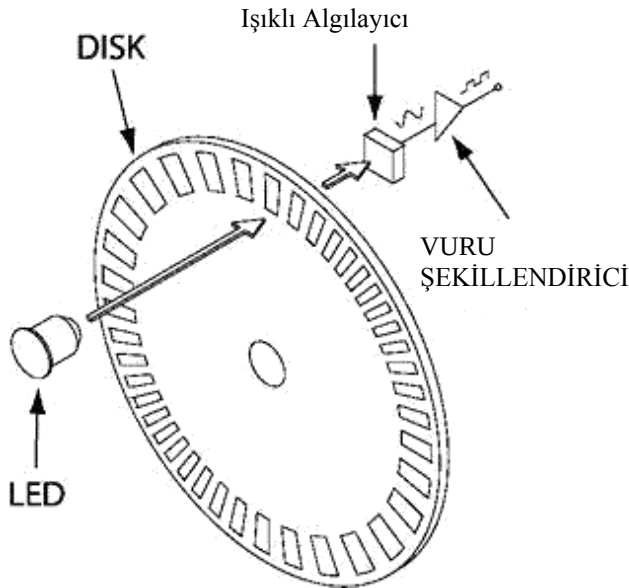
gelir. Bir devirdeki çevrim sayısı ışık iletim niteliği ve fiziksel uzaklıkla sınırlıdır.

Genellikle, artırmalı kodlayıcılar mutlak kodlayıcılardan daha yüksek çözünürlüğü daha düşük maliyetlerle sağlamaktadırlar. Daha basit bir arabirime sahiptirler çünkü daha az çıkış hattına gerek duyulur. Tipik olarak, bir artırmalı kodlayıcı 4 hatta sahiptir: 2 dördün (quadrature) (A & B) sinyali ile güç ve şase hatları.

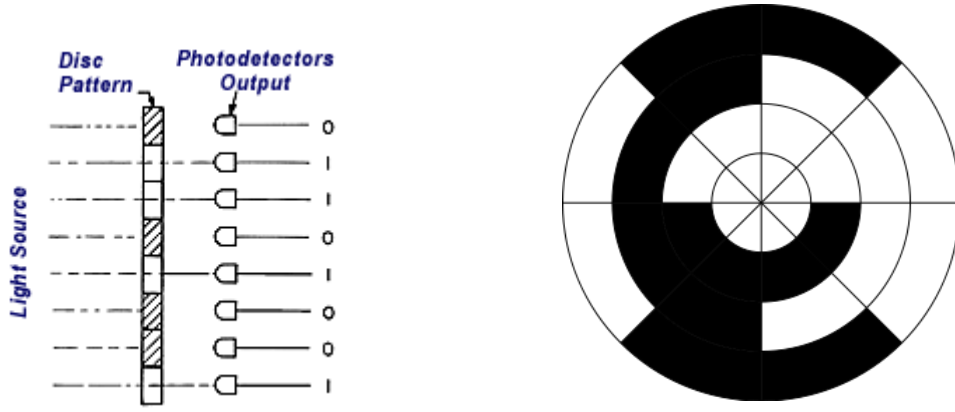
Diğer bir optik yaklaşım geçirgen ve karanlık parçalardan oluşan ortak merkezli halkalarla kodlanmış bir disk kullanmaktadır. Şekil-4.19b'de bu disk gösterilmiştir. Bir mutlak kodlayıcı her konumu ifade eden özgün bir kod örüntüsü ile “sözcük” çıkışı sağlar. Bu kod, bireysel ışıklı algılayıcılara karşılık gelen kodlayıcı disk üzerindeki bağımsız yollardan elde edilir. Bu algılayıcılardan gelen çıkışlar her özel konum için kodlanmış disk örüntüsüne bağlı olarak YÜKSEK veya DÜŞÜK olacaktır.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan 12 bitlik mutlak optik kodlayıcı (2^{12}) 4096'da bir parçaya konumsal geribesleme sağlayabilir ki bu da yaklaşık 0.09° ($360/4096$)'dir. Aynı yaklaşım doğrusal konumu belirlemek için de kullanılabilir. Ancak, bu çok doğru sonuçlar veren yaklaşım 13-bitlik doğruluk için ışık sensörleri ve dijital devre arasında 13 adet kablo yerleştirilmesini gerektirmektedir. Buna ek olarak, ışık kaynağı için ayrı bir bağlantı da gerekmektedir. Optik kodlayıcılar ayrıca endüstriyel çevrede bulunan kir, yağ buharı, makine yağı gibi etkenlerden kötü şekilde etkilenirler.

Mutlak kodlayıcılar bir aygıtın uzun süre çalışmadığı veya düşük hızda hareket ettiği sel taşkını kapağı kontrolü, teleskoplar, vinçler, vanalar, vb. uygulamalarda kullanılır.



Şekil 4.19a Artırmalı optik mil kodlayıcı. Dördün (quadrature) çıkışsız.



Şekil-4.19b Solda 8-bitlik optik konum kodlayıcı, sağda 3-bitlik için disk.

Bir çözümleyici ise, dönen LVDT gibi çalışmakta ve çok doğru bir dönme bilgisi vermektedir. Transformatörün birincil sargısı çözümleyicinin gövdesinin içine sarılırken, ikincil sargısı mil üzerine sarılır. Sekonder dönerken sekonderin konumu primere göre değişir ve çıkış mil açısının sinüsü gibi değişir. Milin üzerindeki her konuma karşılık gelen tek bir çıkış olduğundan çözümleyicinin çözünürlüğü konumu hesaplamak için kullanılan yazılım veya donanımla sınırlandırılmıştır. Çözümleyiciler için genellikle altı telli kabloya gereksinim vardır, ancak bağlantılarının yapılması optik kodlayıcılarınkinden daha ucuza gelmektedir; çünkü gürültüden daha az etkilenmektedirler. Şekil-4.20'de çeşitli çözümleyici tipleri görülmektedir.



Şekil 4.20a Mil açısının kodlanması için denetim elektroniği ile beraber kullanılan dijital mil kodlayıcıları



Şekil-4.20b Durapot "süpürücü kontaksız potansiyometre" çözümleyicisi mil açısı ile orantılı gürültüsüz örnekselel dc çıkış gerilimi sağlar (Astrosystems Inc.).

Durapot PT çözümleyicisi milin açısal dönüş konumunu çıkışında kullanılabilir bir gerilim ya da akım sinyaline dönüştüren bir seri potansiyometreden oluşur.

Özellikler

Dayanıklı endüstriyel tasarım çözümleyici tabanlı teknolojiyi kullanır.

Güç kesildikten sonra da mutlak konumunu korur.

Elektriksel gürültüye karşı bağışıklık sağlar.

Maliyetli arıza ve bakım süresini azaltır ve çok yüksek doğruluklu konum verisi sağlar.

Hassas uygulamalar için tek veya çok turlu dişli redüktör.

Saat yönünde (CW) ve saat yönünün tersinde (CCW) mil dönüşleri ile artan $V(out)$ seçimi

DC analog gerilimi veya 4-20 mA çıkışa sahiptir.

AKIŞKAN BASINCI ÖLÇÜMÜ

Modern endüstride kullanılan makinelere çeşitli şekillerde güç sağlanır. Elektriksel güçle çalışan makinelerin dışında bir fabrikada işlerin çoğu pnömatik ve hidrolik olarak akışkan gücüne dayalı şekilde yapılmaktadır. Pnömatik güçle çalışan aletler matkaplardan orta ölçüde iş yapan robotlara kadar değişirken hidrolik güç kepçelerle ağır yükleri kaldırır, presleri çalıştırır ve ağır işleri yapan yüksek hassasiyetli robotlara güç sağlar.

Akışkan, gaz veya sıvı gibi bulunduğu kabın şeklini alan bir maddedir. Gaz kabını dolduracak kadar genişir ve sıkıştırılabilir. Sıvıdaki moleküler bağlar daha sıkıdır ve sıvılar genellikle genişmez veya sıkışmazlar. Pnömatik olarak güç sağlanan makineler sıkıştırılmış gaz ile, hidrolik olarak güç sağlanan makineler ise bir pompadan gelen basınçlı sıvı ile çalışırlar. Her iki durumda, sistemdeki basınçları ölçmek ve denetlemek önem taşır. Bu bölümde, akışkan basıncını ölçmek için kullanılan bazı enstrümanları göreceğiz.

5.1 BASINÇ ÖLÇÜM TEMELLERİ

Basıncı ölçmek için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Belirli bir yöntemin seçilmesi ölçme sistemine özgü gereksinimler, gereksinilen doğruluk ve sürecin statik, dinamik ve fiziksel özellikleri gibi pek çok etmene dayanmaktadır. Bir basınç elemanı veya transdüseri her zaman basıncı bir mekanik veya elektriksel işarete dönüştürmek için kullanılır. Bu işaret, sürecin belirtimi için veya ölçekli bir iletim işareti üretmek için kullanılır.

5.1.1 Basıncın Tanımı

Basıncı bir yüzeye uygulanan veya yüzeye yayılan kuvvet olarak tanımlanır. Basıncı, kuvvet ve alan arasındaki ilişki şöyledir:

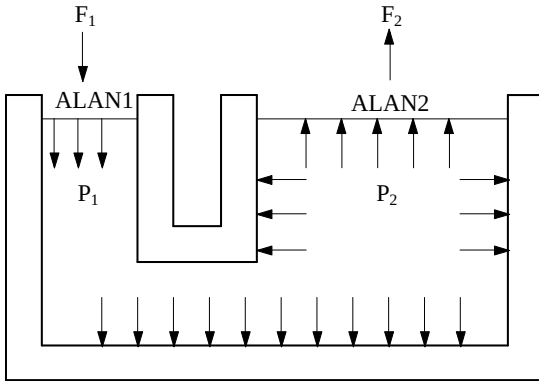
$$P = F / A \quad (5-1)$$

P = basınç; F = kuvvet; A = alan

Basıncıla ilgili bu metinde, "akışkan" terimini hem sıvılar hem de gazlar için kullanılacaktır. Her ikisi de bulundukları kabın şeklini alır; fakat eğer bir sıvı kabı tamamen doldurmazsa, bir serbest sıvı yüzeyi olacaktır. Bir gaz ise daima bulunduğu kabın hacmini doldurur. Gaz bir kabın içine kapatılmışsa, gazın molekülleri kabın duvarlarına çarparlar. Moleküllerin duvarlara çarpması sonucu kabın yüzey alanına karşı bir kuvvet uygulanmış olur. Basıncı, duvarlara uygulanan kuvvetin kuvvete dik yüzey alanına bölünmesiyle bulunur. Hareketsiz bir sıvı için herhangi bir noktada akışkan tarafından uygulanan basınç akışkanın sınırlarına dik olacaktır.

Pascal Yasası basınç ölçümlerini anlamada kolaylık sağlar. Bu yasaya göre, kapalı bir kaptaki hareketsiz akışkana dışarıdan bir basınç uygulandığında, akışkanın her noktasındaki basınç dış basıncın miktarı kadar artar.

Pascal Yasası'nın pratikteki uygulaması Şekil-4.1'de gösterilen hidrolik prestir. Bu ilkenin en çok kullanıldığı yer otomobilin hidrolik frenleridir. Pnömatik ve hidrolik enstrüman uygulamalarında da yaygın olarak kullanılır.



Şekil 5.1 Hidrolik pres

5.1.2 Basınç Birimleri

İngiliz veya "foot-pounds-second" (fps) sisteminde standart basınç birimi inç²'ye etki eden pound olarak kuvvet olup, pound/in.² (psi)'dir. International System of Units (SI)'de ise, basınç newton/m² veya Pascal (Pa) biriminde ölçülür. Tablo 4.1'de bazı basınç birimlerinin birbirine dönüşümleri verilmiştir.

Tablo 5.1

Değeri bu birimden elde etmek için

Bu katsayıyla çarpın.

	Atmos	Bar	Kg / m ²	Lb/ In ² (psi)	Pascal
Atmos	1	9.86923×10 ⁻¹	9.678 × 10 ⁻⁵	0.068046	9.869×10 ⁻⁶
Bar	1.01325	1	9.8067×10 ⁻⁵	6.8948×10 ⁻²	10 ⁻⁵
Kg / m ²	1.033227×10 ⁴	1.0197×10 ⁴	1	7.0306×10 ²	1.019×10 ⁻¹
Lb/in ² (psi)	14.695595	14.504	1.423×10 ⁻³	1	1.450×10 ⁻⁴
Pascal	1.01325 × 10 ⁵	1 × 10 ⁵	9.8067	6.8948×10 ³	1

5.1.3 Gösterge ve Mutlak Basınç

Mutlak basınç toplam vakum veya mutlak sıfırın üzerinde ölçülen basınçtır. Mutlak sıfır basıncın yokluğunu belirtir. Gösterge basıncı atmosferik veya barometrik basıncın üzerinde ölçülen basınçtır; ölçülen basınç ile var olan atmosferik basınç arasındaki pozitif farkı belirtir.

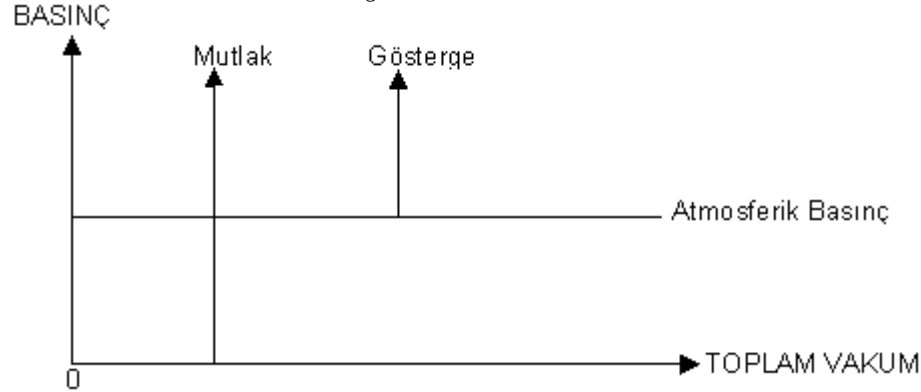
Basınç göstergeleri, transmitterler ve diğer basınç-ölçüm aygıtlarının pek çoğu ölçme noktası atmosfere açık olduğunda sıfırı gösterirler; bu gösterge basıncıdır. Bazı enstrümanlar mutlak sıfırı referans alan bir okuma için tasarlanmıştır ve ölçme noktası atmosferik basınca açık olduğunda 14.7 psi (100 kPa) civarında bir okuma elde edilir. Bu değere mutlak basınç denir. Şekil 4.2 mutlak basınç ve gösterge basıncı arasındaki ilişkiyi anlamaya yardımcı olur.

Gösterge basıncını (P_g) mutlak basınca (P_m) dönüştürmek için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$P_m = P_g + P_{atm}, P_g > P_{atm} \quad \text{olduğunda} \quad (5-2)$$

$$\text{veya} \quad P_m = P_{atm} - P_g, P_g < P_{atm} \quad \text{olduğunda} \quad (5-2a)$$

P_{atm} , atmosferik basınç ve P_g gösterge basıncıdır.



Şekil 5.2 Mutlak basınç ve gösterge basıncı arasındaki ilişki

Atmosferik basınçtaki değişim mutlak basınçta bir değişime neden olacaktır. Dolayısıyla, barometrik basınçtaki değişim mutlak basınç ölçme enstrümanının ölçümünde bir değişiklik yaratırken, gösterge basınç enstrümanında bu durum söz konusu değildir.

ÖRNEK 5.1

Problem: Yerel atmosferik basınç 100kPa ise, bir basınç göstergesinin okuduğu 200(kPa)'lık değere karşılık gelen mutlak basıncı bulunuz.

Çözüm: Eşitlik (4.2)'den,

$$P_m = 200 + 100 \quad \Rightarrow \quad P_m = 300 \text{ (kPa)}_m$$

ÖRNEK 5.2

Problem: Bir vakum tipi göstergede okunan değer 11.5 psig ve atmosferik basınç 14.6 psi ise mutlak basıncı bulunuz.

Çözüm: Atmosferik basıncın altındaki basınçla ilgilenirken, Eşitlik 5-2a kullanılmalıdır:

$$P_m = P_{atm} - P_g \text{ veya}$$

$$P_m = 14.6 - 11.5 \quad \Rightarrow \quad P_m = 3.1 \text{ psia}$$

5.2 BASINÇ ÖLÇME ELEMANLARI

5.2.1 Manometreler

Manometreler yer çekimi ile dengelenen basınç elemanları olarak sınıflandırılabilir. Sıvının basma yüksekliği yer çekimi kuvvetine karşı dengelenerek bilinmeyen bir basınç ölçülebilir. Daha çok laboratuvar aygıtları olarak düşünülmelerine rağmen süreç tesislerinde genellikle fark basıncı veya seviye ölçme aygıtı olarak kullanılırlar.

Manometreler gaz basınçlarını ölçmek için yüzlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Düşük vakumdan 1000 mm cıva yüksekliğine kadar basınç ölçümlerinde standart olarak kabul edilirler.

Manometrelerde, özgül ağırlığı 1.0'in biraz altında sıvılardan özgül ağırlığı 13.5707 olan cıvaya kadar değişik sıvılar kullanılır. Sıvı için istenen ana özellik korozif ve zehirli olmaması, dengeli olması, dış sıcaklığın donmaya neden olacağı yerler için donma sıcaklığının düşük olması ve ölçme yapılan süreç akışkanı ile manometre sıvısının teması gereken yerlerde bu akışkan ile çalışmaya uygun olmasıdır.

Manometrelerin üstünlükleri arasında basitlik, yüksek doğruluk, iyi tekrarlanabilirlik, geniş sıvı çeşidi, hem standart aygıt hem de çalışma aygıtı olarak kullanılması sayılabilir. Sakıncaları

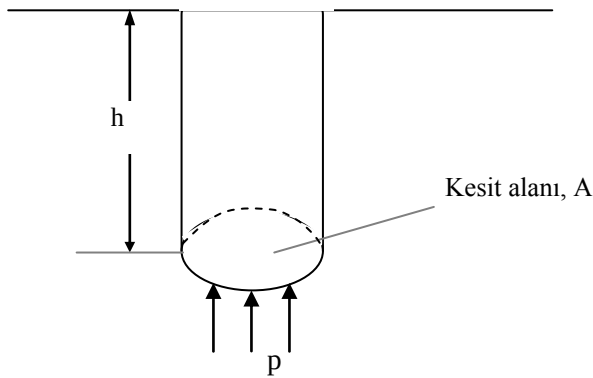
arasında ise portatif olmamak, dikey tutulma zorunluluğu ve küçük çaplı tüplerde kullanılan cıvanın dışbükey bir yüzey vermesi dolayısıyla meydana gelen okuma hataları söylenebilir.

Temelde tüm manometrelerin çalışma ilkesi bir sıvı yüksekliğinin tabana yaptığı basınç olduğundan, öncelikle bu ilke üzerinde durmakta yarar vardır.

5.2.2 Bir sıvı yüksekliğinin tabana yaptığı basınç

Bir akışkan yüksekliğinin tabana yaptığı basınç hesaplanırken göz önünde bulundurulması gereken üç önemli konu şunlardır:

- bir akışkanın herhangi bir noktasında basınç her yöne eşit etki eder;
- akışkan basıncı herhangi bir yüzeye dik etki eder; ve
- bir yüzeye etki eden herhangi bir şekilde, belirtilen yöndeki toplam kuvvet = (basınç) $\times$



(belirtilen yöne dik alan)

Şekil 5.3 Bir sıvı yüksekliğinin tabana yaptığı basınç

Şekil 5.3'teki gibi herhangi bir miktardaki silindirik bir akışkan sütununu ele alalım.

$p = h$ yüksekliğindeki basınç, A = silindirin kesit alanı, ρ = akışkanın yoğunluğu, g = yerçekimi ivmesi olsun.

Silindirin tabanı iki eşit ve zıt kuvvetin etkisinde dengededir:

yukarı etkiyen kuvvet = akışkan basıncı $\times$ alan

$$= p A$$

aşağı etkiyen kuvvet = akışkanın kütlesi üzerindeki yerçekimi kuvveti

$$= (\text{akışkanın kütlesi}) \times g$$

$$= \rho h A g$$

Dengede, yukarı kuvvet = aşağı kuvvet

$$\therefore p A = \rho h A g$$

$$p = \rho h g \quad (5-3)$$

ρ ve g sabit değerler olduğundan, bir akışkanın herhangi bir noktasındaki basınç doğrudan o noktanın akışkanın hangi derinliğinde olduğuna bağlıdır;

yani, $p \propto h$

(5-3) eşitliğini düzenleyerek aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$h = \frac{P}{\rho g}$$

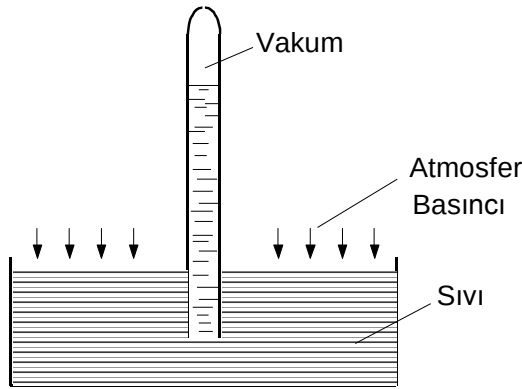
Bu ifadede h basınca neden olan sıvı sütununun yüksekliğidir ve *statik kafa (basınç yüksekliği)* olarak bilinir. En çok kullanılan h birimleri mm Hg veya cm H₂O sütunudur.

5.2.3 Sıvı Manometreler

Sıvı manometreler ekonomik, emin ve basit algılayıcılardır. İki çeşit sıvı manometre vardır. Bunlar gözle okunan ve şamandıralı manometrelerdir. Sadece yerel bir gösterge yeterli ise ve statik basınç çok yüksek değilse cam tüplü manometreler kullanılabilir. Ancak yüksek basınçlarda veya uzaktan okuma isteniyorsa şamandıralı manometrelere gereksinim vardır.

Gözle okunan tipler de 4 ayrı grup halinde sınıflandırılabilir: Sıvı barometreler, U-tüpler, hazneli tip ve meyilli manometreler.

Cıva sıvılı barometreler diğer enstrümanları kalibre etmek için kullanılan atmosfer basıncını ölçüm için standart olarak kabul etmiş enstrümanlardır. Kapalı ucu ile tam bir vakum sağlayarak mutlak basıncı ölçerler. Şekil 5.4'te atmosfer basıncındaki veya süreç basıncındaki değişiklikler ile manometre sıvısının nasıl hareket ettiği görülmektedir. Aygıtın doğruluğu sıvı seviyesinin gözle izlenebilme derecesine, tüpteki sıvının kapiler hareketine ve ortam sıcaklığına bağlıdır.



Şekil 5.4 Atmosfer basıncındaki değişimler bu basit barometrede ince tüpteki cıva seviyesinin değişimi ile okunabilir.

U-tüplü, hazneli ve meyilli manometreler esas olarak barometrelerle aynı tarzda çalışırlar.

5.2.3.1 U-tüplü manometreler

U-tüplü manometre en basit manometre çeşididir ve laboratuvarlardaki deneysel çalışmalarda fark basıncını algılamak için kullanılır; çalışma sınırları 150 inç (381 cm) su sütununa kadar olabilir. En fazla çalışma basıncı ise 400 psig (27.2 kg/cm²) kadardır.

Şekil 5.5'teki U-tüplü manometreyi ele alalım. Sıfır noktasındaki denge için, her iki koldaki basınç aynı olmalıdır:

$$p_1 + \rho_1 g h_1 + \rho g h_2 = p_2 + \rho g h_1$$

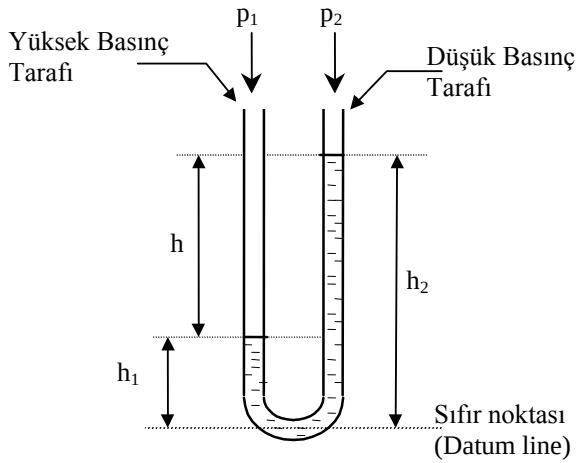
Burada ρ U-tüpünün içindeki akışkanın yoğunluğu ve ρ_1 basıncı ölçülecek akışkanın yoğunluğudur.

Buradan $p_1 - p_2 = (h_2 - h_1) \rho g - \rho_1 g h$ elde edilir.

Fakat $h_2 - h_1 =$ düzeyler arası fark, h

$$p_1 - p_2 = \rho g h - \rho_1 g h$$

veya $p_1 - p_2 = (\rho - \rho_1)gh$ (5-4)



Şekil 5.5 U-tüplü manometreler genellikle küçük basınçları veya basınç farklarını ölçmek için kullanılır. Küçük gösterge basınçları için düşük basınçlı taraf atmosfere açılır.

Manometrede kullanılan akışkan cıva ve basıncı ölçülen akışkan da hava ise, cıvanın yoğunluğu havanınkinden çok büyüktür ($\gg$),

Yani $\rho \gg \rho_1$

ve $p_1 - p_2 = \rho gh$

Ancak basıncı ölçülen akışkan su ise, yoğunluğunun göz ardı edilmesi görece büyük hatalara neden olacaktır.

ÖRNEK 5.3

Problem: Su dolu bir borudaki fark basıncının ölçülmesi için U-tüplü manometre kullanılmaktadır ve iki koldaki cıva düzeyleri arasındaki fark 40mm'dir.

Suyun yoğunluğu $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ve cıvanınki $13.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ olduğuna göre, manometre ayağındaki suyun yoğunluğunu ihmal etmekle oluşan hata yüzdesini hesaplayın.

Yerçekimi ivmesi, g 'nin yerel değeri 9.81 m/s^2 ise, ölçülen fark basıncı nedir?

Çözüm: (5-4) eşitliğinden,

$$p_1 - p_2 = (\rho - \rho_1)gh \quad \text{tır.}$$

Suyun yoğunluğunu ihmal ederek,

$$p_1 - p_2 = \rho gh \quad \text{elde edilir.}$$

$$\text{hata} = \rho_1 gh$$

$$\% \text{ hata} = \frac{\rho_1 gh}{(\rho - \rho_1)gh} \times \%100$$

$$= \frac{1 \text{ Mg / m}^3}{(13.56 - 1) \text{ Mg / m}^3} \times \%100 = \%7.96$$

(5-4) eşitliğinden,

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= 40 \times 10^{-3} \text{ m} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times (13.56 - 1) \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ &= 40 \times 9.81 \times 12.56 \text{ kg m/s}^2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{fark basıncı} = 4.93 \text{ kN/m}^2 \text{ veya } 4.93 \text{ kPa}$$

5.2.3.2 Hazneli manometreler

Hazneli manometre Şekil 5.6'da görülmektedir. Yüksek basınç tarafındaki hazne U-tüplü manometre ile aynıdır. Hazneli manometreler kullanışlı ve çok yönlü aygıtlardır. Burada U-tüplüde olduğu gibi iki seviye arasındaki fark değil doğrudan tüp tarafındaki seviye okunur. Bu okumanın sağlayacağı kolaylık açıktır. Aslında hazne tarafındaki seviyede de bir miktar değişim kaçınılmazdır. Fakat kesit alanları arasındaki fark o kadar büyüktür ki bu değişim ihmal edilebilecek orandadır. Ancak bu nedenle oluşacak ölçme hatasının giderilebilmesi için okuma ayağındaki bölümlendirmenin bu durumun göz önüne alınarak yapılması gerekir.

Şekil 5.6'daki çizimde, A_h haznenin kesit alanı, A_s sütunun kesit alanı, h_h hazne seviyesindeki azalma, h_s sütun seviyesindeki artma ve p_1 ile p_2 de uygulanan basınçlar olsun.

Haznedeki akışkanın yoğunluğunun cıvaninkinden çok daha az olduğunu varsayarak, denge için

$$p_1 = p_2 + \rho g (h_s + h_h) \text{ olmaktadır.}$$

$$\text{Yani} \quad p_1 - p_2 = \rho g (h_s + h_h) \quad (5-5)$$

hazneden çekilen sıvı miktarı = sütuna itilen sıvı miktarı

$$A_h h_h = A_s h_s$$

$$h_h = (A_s / A_h) h_s$$

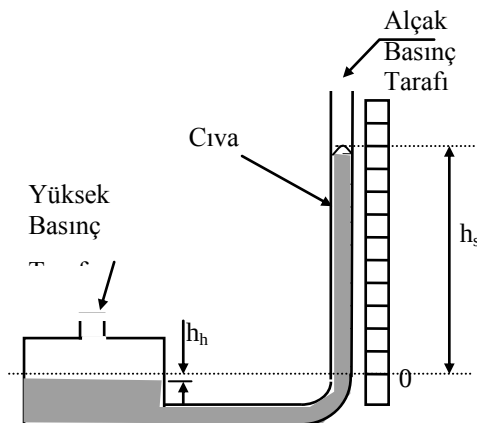
ifadesini (5-6) eşitliğine yerleştirdiğimizde,

$$p_1 - p_2 = \rho g h_s \left(1 + \frac{A_s}{A_h} \right) \quad (5-6)$$

Hazne alanı A_h sütun alanı A_s 'ye oranla daha genişletildiğinde, basınç uygulandığında sıfır düzeyi çok az kayar ve

$$p_1 - p_2 = \rho g h_s \quad \text{olur.}$$

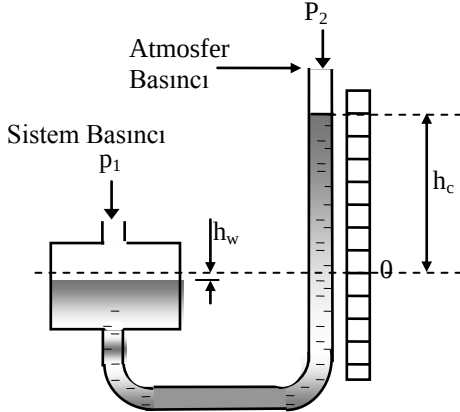
Bu küçük hata skalada okunan değer $A_h/(A_h + A_s)$ faktörüyle çarpılması ile giderilebilir. Bu pratik bir uygulama olmadığından piyasada ölçekli kadranı elle ayarlanabilen ve basınç uygulandığında değişen sıfır noktasını doğru konumlandırarak bahsedilen hatayı gideren manometreler bulunmaktadır.



Şekil 5.6 U-tüplü hazneli manometre okuma kolaylığı sağlar. Haznedeki seviye düşümünün hesaba katılması için bölümlendirmede gerekli düzeltme yapılır.

Hazneli manometreler az yer kaplaması ve montaj kolaylığı için genellikle çok tüplü olarak üretilirler. Yükseltilmiş hazneli manometreler de sıfır noktası ölçme ayağının orta noktasına getirilebilir (Şekil 5.7). Böylece aynı aygıt hem basıncı hem de vakumu ölçebilir. Vakumun

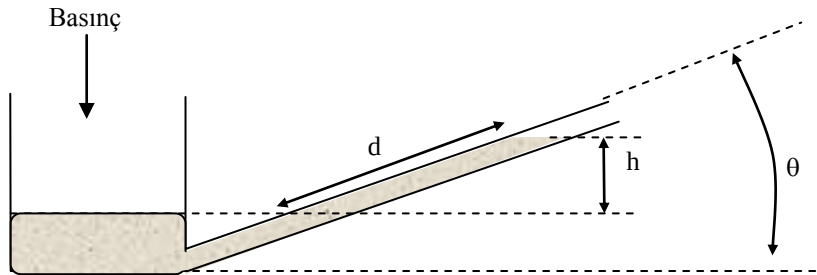
büyüklüğü sınırlıdır fakat bu amaç için uygun bir aygıttır. Sıfırın yeri seçime bağlıdır fakat genellikle bölümlendirmenin orta noktasından daha aşağıdadır. Elle veya mekanik olarak ayarlanan haznelere sahip manometreler de vardır.



Şekil 5.7 Yüksek hazneli manometrelerde 0 noktası ortada olup 0'ın altındaki atmosferik gösterge basınçlarının okunmasına olanak sağlarlar.

5.2.3.3 Meyilli manometreler

Meyilli manometreler (Şekil 5.8) daha büyük bir okuma doğruluğu sağlarlar. Düşey yükseklikte meydana gelen küçük bir değişikliğin bölümlendirmenin yerleştirildiği sıvı dolu ayakta çok büyütülmüş bir sıvı hareketine neden olacağı açıktır. Meyilli manometreler 0-12.7 mm su sütunu çalışma sınırlarından 101.7 mm su sütunu çalışma sınırına kadar cıva sıvılı olarak üretilmektedir.



Şekil 5.8 Meyilli manometreler düşey sıvı sütunundaki çok küçük değişimlerin daha kolay ve net okunmasını sağlarlar.

θ manometrenin eğim açısı, h dikey basınç yüksekliğindeki artış, d sütunun ayak boyunca hareketi olsun.

$$d = \frac{h}{\sin \theta} \quad (5-7)$$

ÖRNEK 5-4

Problem: Şekil-4.8'deki meyilli manometrenin eğim açısı 10° ise, duyarlılıktaki artışı hesaplayın.

(5-7) eşitliğini kullanarak,

$$d = \frac{h}{\sin \theta} = 5.76h \quad \text{olur.}$$

Duyarlılıktaki artış = 5.76

Sinyal uygunlaştırma

Manometrelerde, sinyal uygunlaştırma işlemi basıncın bir sütundaki sıvının hareketine dönüştürülmesiyle elde edilir. Sütun kalibre edilir ve genellikle bir işleten tarafından okunur.

Seviyenin otomatik olarak izlenmesi bir şamandıra ve fark transformatörüyle elektriksel işarete dönüştürülerek sağlanır.

Çalışma aralığı

Manometreler statik basınç ölçümlerinde kullanılırlar.

Manometre gövdeleri genellikle pirinç, çelik, alüminyum veya paslanmaz çelikten üretilir. Tüplerin malzemesi Pyrex'tir. Bölümlendirmeler genellikle cm su sütunu ya da cıva su sütununa göre yapılır. Doğrudan psig ve kg/cm²'yi gösteren bölümlendirmeler de kullanılmaktadır.

Çalışma sınırları öncelikle alt sınırdan sıvı yüksekliğinin bölümlendirme ile karşılaştırılması olanağına bağlıdır. Üst sınır ise sağlanabilen sıvı sütununun yüksekliğine göre değişir.

5.2.4 Basınç Sensörleri

Basınç sensörleri iki ana gruba ayrılabilir: basınç anahtarları ve basınç transdüserleri. Basınç anahtarını önceden ayarlanmış basınç seviyesinde harekete geçen anahtar olarak tanımlayabiliriz. Basınç anahtarlarının pek çoğu iki ana kısımdan oluşmaktadır: bunlardan biri hareket ederek veya genişleyerek basınca tepki gösteren basınç sezici eleman, diğeri ise basınç sezici eleman anahtara bastığında harekete geçen bir anahtardır. Basınç anahtarları artan ya da azalan basınca yanıt verecek şekilde önceden ayarlanabilir.

Diğer taraftan, basınç transdüseri sistem basıncını her zaman doğrudan bildirir. Sistem denetleyicisi bir kontağın kapatılıp kapatılmayacağına, kapatılacaksa ne zaman kapatılacağına veya diğer ayarlamaların yapılıp yapılmayacağına karar verir.

Her iki tip basınç sezici aygıt optimum kullanıma sahiptir. Basınç anahtarları tasarım açısından daha basittir ve pek çok gereksinimi çok iyi karşılar. Basınç transdüserleri tıp, uzay ve basıncın yakından, doğru ve devamlı olarak gözlenmesinin önemli olduğu uygulamalarda kullanılır.

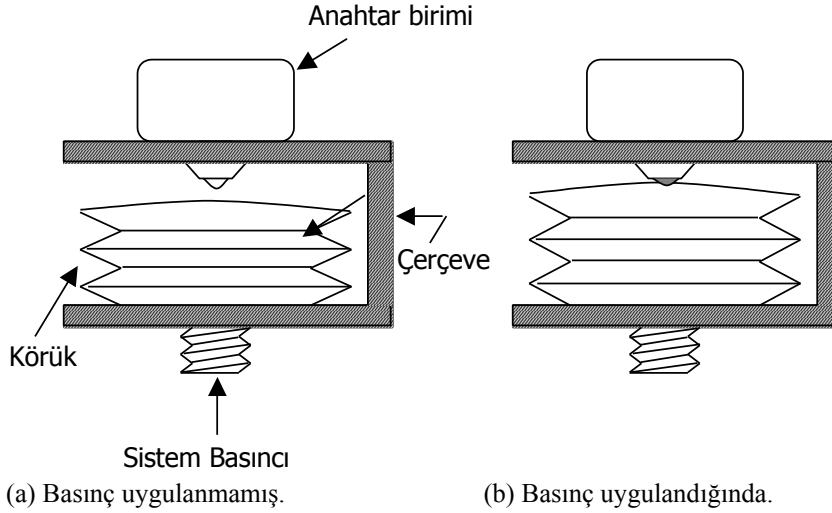
5.2.4.1 Elastik Basınç Sensörleri

5.2.4.1.1 Körük basınç transdüserleri

Körük basınç sensörü esnek malzemeden yuvarlak bir körük şeklinde yapılmıştır. Poliüretan malzemeden yapılan yeni körükler 100 PSI ($\approx 7 \text{ kg/cm}^2$)'ye kadar olan basınçlarda etkilidir. Daha yüksek basınçlarda metal malzemeden yapılan körükler kullanılmaktadır. Körük basınç sensörü yıllarca endüstride standart olarak kullanılmış güvenilir, uzun ömürlü bir aygıttır.

Şekil 5.9'un a ve b bölümlerinde körük basınç sensörünün çalışması görülmektedir. Körüğün bir ucu sistem basıncına bir düzenek aracılığıyla bağlıyken diğer ucu kapalıdır. Basınç arttıkça körük genişleyerek sınır anahtarının basınç anahtarı olarak çalışmasına veya konum algılayıcısının basınç transdüseri gibi davranmasına neden olur.

Körük ikinci bir basınç kaynağına bağlı kapalı bir hücrede çalıştırıldığında da fark basınç sensörü gibi güvenilir olarak çalışır.

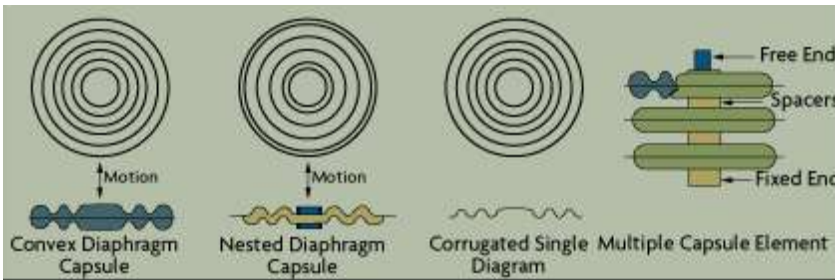
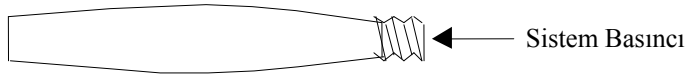
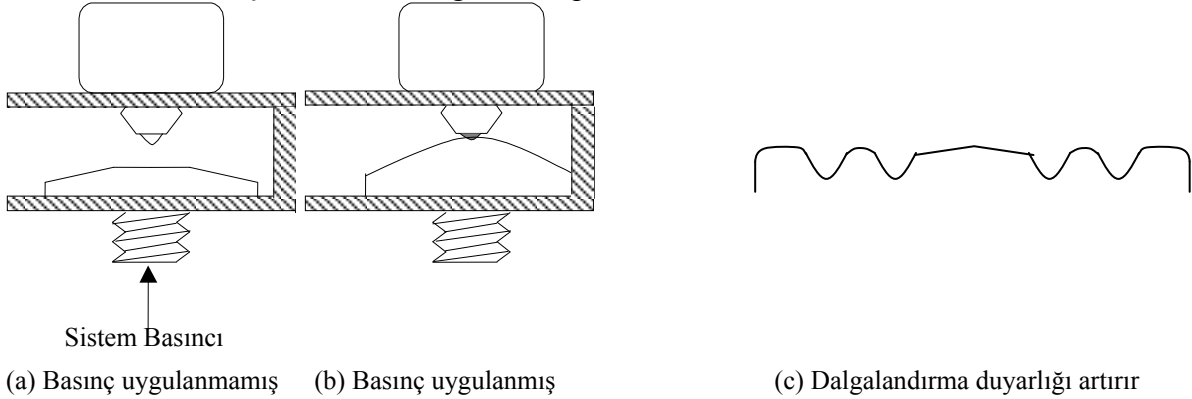


Şekil 5.9 Körük basınç sensörü

5.2.4.1.2 Diyafram basınç sensörü

Diyafram metal, silikon kauçuk veya poliüretandan yapılmış ince bir diskdir. Disk sistem basıncına bağlanmış kapalı bir gövdede korunmaktadır. Basınç arttıkça diyaframın merkezi yukarı doğru genişler. Bu hareket bir anahtarı veya mutlak konum kodlayıcısını harekete geçirmede kullanılabilir. Şekil 5.10a ve 5.10b diyafram elemanın çalışma ilkesini göstermektedir.

Diyaframlar körük basınç sensörlerinden daha az duyarlı olmalarına rağmen genellikle daha yüksek basınçlara dayanabilmektedirler ($150 \text{ PSI} \approx 10.5 \text{ kg/cm}^2$ 'ye kadar). Bu duyarlılık diyaframı Şekil 5.10c'deki gibi "dalgalandırarak" arttırabilir. Diğer bir yaklaşım, iki diyaframın Şekil 5.10d'deki gibi sırt sırta bağlanarak bir kapsül oluşturmaktır. Diyafram ve kapsül sensörleri aynı zamanda vakum ölçebilme üstünlüğüne sahiptir.



(d) Konveks, yuvalı diyafram kapsüller

Şekil 5.10 Diyafram basınç sensörü

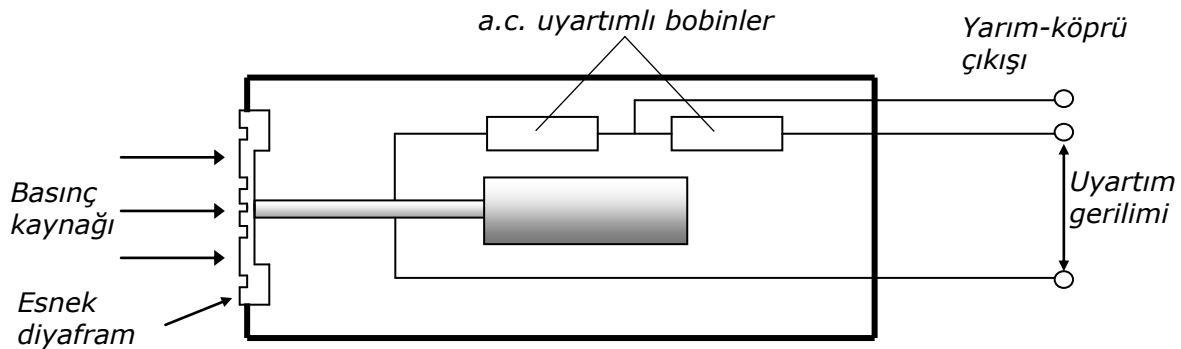
5.2.4.1.3 Diyafram Basıncı Transdüserleri

Basıncı transdüserlerinde düz diyaframlar ya diyaframın ortasındaki sapmayı ya da diyaframda endüklenen gerinmeyi yaygın olarak kullanan birincil algılama elemanlarıdır. Düz diyaframlar silme-monte (flush-mounted) algılama elemanları olarak üretilebilmekte, temiz, pürüzsüz bir yüzey sağlamak olup kirli ortamlarda ve yüzey basıncının algılanmasında kullanılmak üzere idealdir.

Yüksek basınç transdüserleri için merkezdeki sapmayı diyafram kalınlığının üçte birine sınırlandırmak için çok sert diyaframların kullanılması gerekir, aksi takdirde doğrusallıktan sapmalar olur. Birkaç bara kadar düşük basınç aralıkları için, berilyum-bakırdan imal edilen oluklu diyaframlar ve körükler gereken daha yüksek duyarlılığı sağlamak için kullanılır.

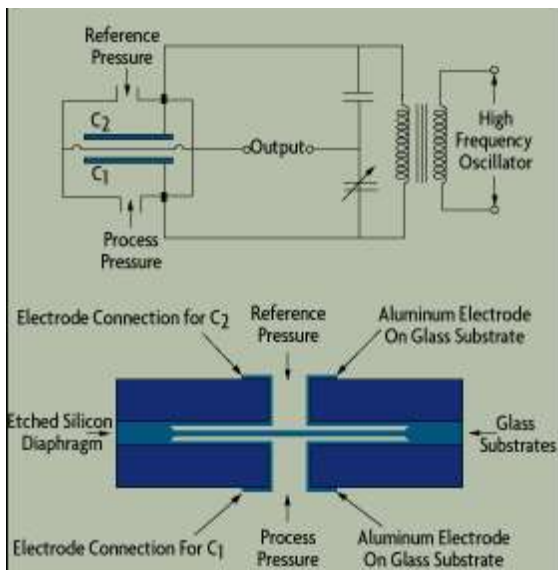
5.2.5 Yerdeğiştirmenin algılanması

Diyaframın yerdeğiştirmesini algılamak için potansiyometrik, endüktif ve kapasitif yerdeğiştirme transdüserleri kullanılmaktadır. Şekil 5.11’de endüktif bir basınç transdüserinin şematik çizimi görülmektedir.



Şekil 5.11 Endüktif basınç transdüseri

Kapasitans basınç transdüseri genellikle mikrofonlarda sesin ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 5.12’de basıncı ölçümünde kullanılan kapasitans basınç transdüseri yapım ayrıntısı ve ölçme devresi görülmektedir.



Şekil 5.12 Kapasitif basınç transdüseri

Sinyal uygunlaştırma

Kullanılan transdüser tüpüne göre değişmektedir.

Çalışma aralığı

İ.v.d.t. yerdeğiştirme ölçümleri için basınç ölçüm aralığı 200 bardır. Dinamik basınç ölçümü 0.1bar çalışma aralığına sahip düşük basınç transdüserleri için 0.5kHz'e kadar, yada 200barlık transdüserler için en fazla 15kHz'e kadar frekanslarda yapılabilir.

5.2.6 Gerinmenin algılanması

Diyafram, diyafram malzemesinde gerinmeye neden olan basıncı kuvvete dönüştüren bir kuvvet toplama aygıtı olarak çalışır. Kullanılan dört ana gerinme ölçüm konfigürasyonu şunlardır:

Şekil 5.13'te görülen çıplak tel gerilme göstergesinde gerinme doğrudan ince tele uygulanmaktadır.

Diyaframa gömülü yaprak tipi göstergeler kullanan gömülü gerilme göstergeleri. Artan sıcaklıkla göstergenin diyaframın yüzeyine yapışma özelliği değişeceğinden ve dolayısıyla konumun değişmesi sonucu hatalar oluşabileceğinden, bu tip gerilme göstergeleri 85°C'nin üzerindeki sıcaklıklar için uygun değildir.

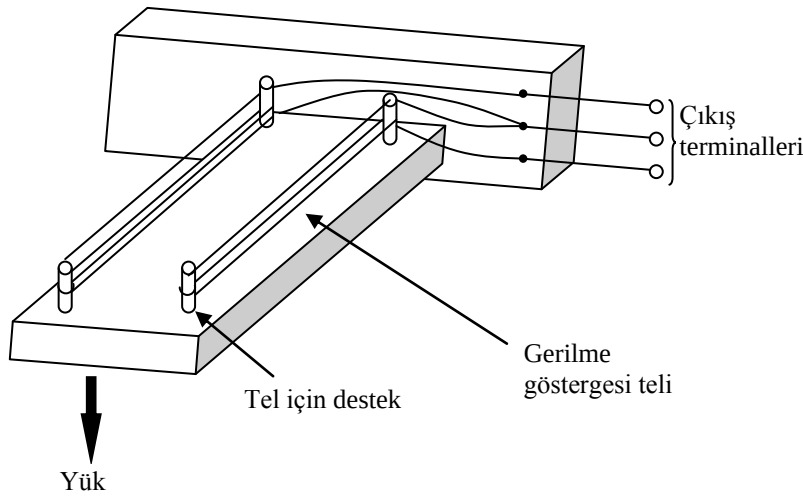
Püskürtmeli ya da buhar-biriktirmeli¹ göstergeler, yapışma özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda değişmesi ile oluşan sorunları giderir. Bu tür bir transdüserde, göstergelerin diyafram üzerine sağlamca yapışmaları, buhar-biriktirmeli yöntemle sağlanır. Püskürtmeli-gösterge basınç transdüseri, -40°C' den 120°C' ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kararlıdır.

Yarıiletken gerilme göstergeleri tek-kristal silisyum diyafram kullanırlar. Şekil 5.14'te görüldüğü gibi gerilme göstergeleri doğrudan kristale yayınmıştır. İki gerilme göstergesi diyaframın çevresine, diğer ikisi ise merkezine yerleştirilmiştir. Diyaframın çevresindeki gerilme göstergeleri basma gerinmesine, merkezdekiler ise çekme gerinmesine maruz kalmaktadır. Bu aygıtlarda gerilme düzeyleri daha düşüktür ve diğer gerilme göstergelerinden daha duyarlıdır. Şok ve titreşime karşı dayanıklı olan bu transdüserler özel p.t.f.e.² kablosu kullanılarak 40°C'den +150°C'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirler.

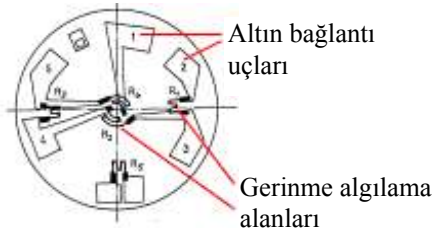
Not: Tüm sıcaklık çalışma aralıkları özel hava ya da su soğutmalı transdüserler kullanılarak artırılabilir.

¹ Bir vakum içerisinde erimiş metal buharının yoğunlaştırılması ile ince bir metal filmi biriktirme süreci.

² poli tetra flor etilen



Şekil 5.13 Çıplak tel gerilme göstergesi.



Şekil 5.14 Yarıiletken basınç transdüseri

Sinyal uygunlaştırma

Tüm gerilme algılayan transdüserlerde Wheatstone köprü devresi kullanılmaktadır ve genellikle yüksek duyarlık sağlayan tam köprü düzenlemesi kullanılarak otomatik sıcaklık kompanzasyonu sağlanır.

Şimdiki transdüserlerde tümdevre sinyal uygunlaştırıcılar sensörlerle aynı gövdede bulunmaktadır. Bu aygıtlar sıcaklık kompanzasyonu, gerilim regülasyonu ve düşük-empedanslı maksimum 10V çıkış veren işlemsel yükselteç kullanan sinyal uygunlaştırma devrelerini içermektedir.

Çalışma aralığı

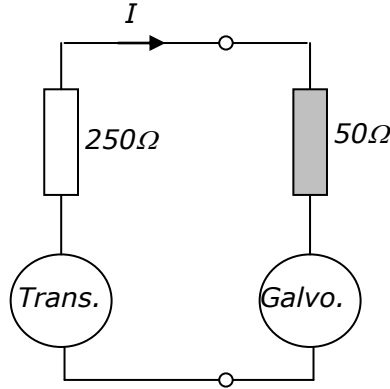
Gerilme-göstergesi basınç transdüserleri, yüksek duyarlıklı yarıiletken transdüserler için 50mbardan buhar-biriktirmeli-gösterge transdüserleri için 2000 bara kadar geniş bir çalışma aralığına sahiptir. Statik ve dinamik basınç ölçümleri için kullanılabilirler.

Not: Yüksek ivmelerin birincil algılama elemanında basınç değişimlerine benzer etkiler üretmesinden dolayı dinamik basınç ölçümü için uygun olan tüm basınç transdüserlerinin ivme etkilerine duyarlılıklarının az olması – diğer bir deyişle, “g”ye duyarlılığının az olması – gerekir. Bunun için kütlesi düşük, sıklığı yüksek birincil elemanlar kullanılır.

ÖRNEK 5-5

Bir basınç transdüserinin duyarlılığı 2.5mV/bar’ dır. Transdüserin çıkış empedansı 250Ω’ dur ve iç direnci 50Ω olan bir galvanometreye bağlanmıştır. Galvanometrenin duyarlılığı 10mm/μA ise ve galvanometre ibresi 75mm saparsa, ölçülen basıncın büyüklüğünü hesaplayın.

Çözüm: Devre Şekil 5.15’ teki gibi çizilebilir.



Şekil 5.15 Örnek 5-5 için devre şeması.

$$75\text{mm}' \text{ lik sapma için gereken } I \text{ akımı} = \frac{75\text{mm}}{10\text{mm}/\mu\text{A}}$$

$$= 7.5 \mu\text{A}$$

$$\text{Toplam devre direnci } R = 250\Omega + 50\Omega = 300\Omega$$

$$I \text{ akımını verecek } V \text{ gerilimi} = IR$$

$$= 7.5 \times 10^{-6} \text{ A} \times 300\Omega$$

$$= 2.25\text{mV}$$

$$\therefore \text{ölçülen basınç} = \frac{\text{çıkı gerilimi}}{\text{transdüser duyarlılığı}}$$

$$= \frac{2.25\text{mV}}{2.5\text{mV}/\text{bar}}$$

$$= 0.9 \text{ bar}$$

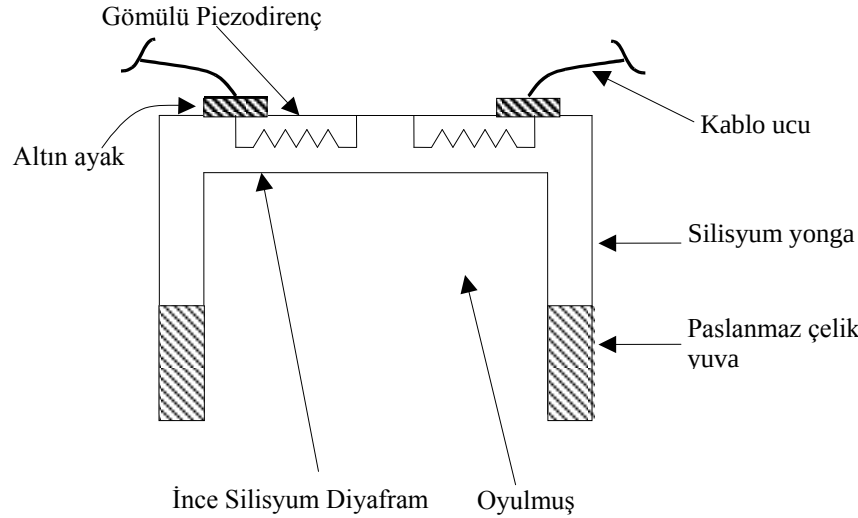
5.2.6.1.1 Piezodirençsel Basınç Transdüserleri

Bahsettiğimiz bütün basınç sensörleri temelde mekanik basınç sezici aygıtlardır ve bunlar bir kadranı, bir anahtarı veya herhangi bir mutlak konum kodlayıcıyı çalıştırmak için kullanılırlar. Silisyum sensör yongalarını kullanan basınç transdüserleri ve transmitterleri ise, sistem basıncını oransal gerilim ya da akım olarak çıkışına aktaran elektronik sensörlerdir.

Genel olarak elektronik basınç sensörleri olarak adlandırılan bu basınç transdüser ve transmitterleri, kan basıncı ölçen hassas birimlerden kötü atmosfer basınçlarında ve aşırı sıcaklık altında 10,000 PSI'a kadar çalışan çeşitli donanımlarda bulunabilir.

Elektronik basınç sensörlerinin pek çoğu piezodirenç olayından yararlanır, bu yüzden piezodirençsel basınç transdüserleri olarak da adlandırılır. Yarıiletkenin piezodirenci, yarıiletken malzemeye uygulanan gerilimin malzemede meydana getirdiği direnç değişimidir. Bu da zaten yarıiletken gerilme göstergesinin çalışma prensibidir.

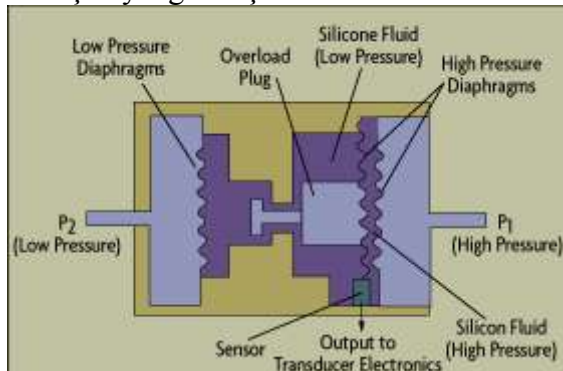
Piezodirençsel basınç sensörünün sezici elemanı ince silisyum diskin yüzeyine yayılmış dört tane özdeş piezodirençten oluşmuştur (Şekil 5.16). Silisyum yongadaki bu algılama dirençleri elektriksel olarak yalıtılmış ve 250°C sıcaklıkta çalışabilen basınç transdüserleri üretilmiştir. Elektriksel bağlantılar silisyum diskin yüzeyine gömülmüş altın ayaklar ile yapılır. Disk üzerinde dirençlerin bulunduğu yüzün ters tarafı diyafram oluşturacak şekilde oyulur.



Şekil 5.16 Silisyum diyaframın yapım ayrıntıları

Çoğu basınç ölçüm uygulamalarında iletken veya aşındırıcı (korozyif) akışkanlar kullanıldığından silisyum sensör basınç ortamından yalıtılmalıdır. Bu da ince paslanmaz çelik yalıtım diyaframı kullanılarak yapılmaktadır. Basınç bu diyaframdan silisyum yonga üzerindeki diyaframa silikon yağ aracılığı ile iletilir. Algılayıcı hücrenin üzerindeki ısı etkenlerinin en aza indirilmesi için yağ hacminin mümkün olduğu kadar az tutulması (tipik olarak < 0.1cc) gerekir. İstenen sıcaklık çalışma aralığına uygun farklı yağlar seçilir. Çoğu durumda, basınç sensörünün sıcaklık sınırlarını belirleyen silisyum yonganın değil, yağın sıcaklık çalışma aralığıdır. Şekil 5.17’de böyle bir diyafram basınç transdüserinin iç yapısı görülmektedir.

Piezodirençsel elemanlı diyafram bir gövde içine monte edilmiş ve sistem basıncına bağlantısı yapılmıştır. Diyaframın diğer yüzü atmosferik basınca açık olabildiği gibi vakum içine kapatılmış, bir referans basıncıyla kapatılmış veya diferansiyel basınç ölçümü için ikinci bir basınç kaynağına açık olabilir.

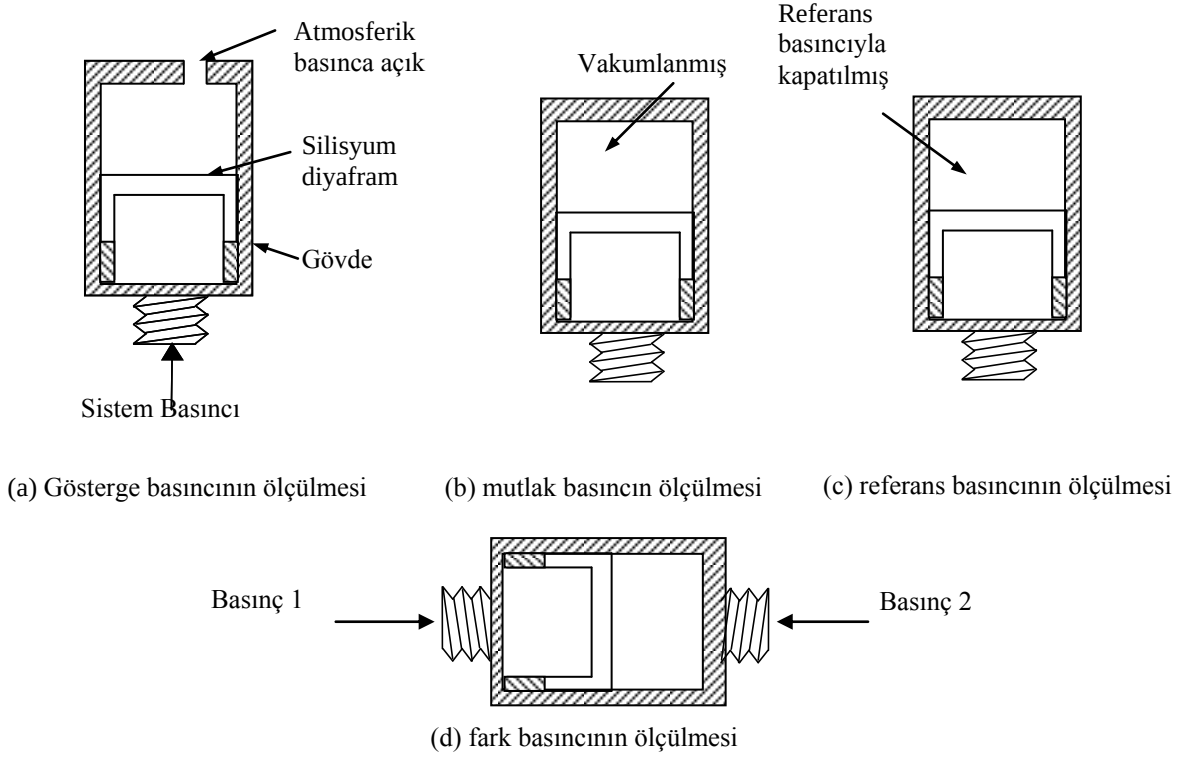


Şekil 5.17 Bir diyafram basınç transdüserinin iç yapısı (Omega Inc.)

Diyaframın diğer tarafı ortamın atmosferik basıncına açık olduğunda gösterge basıncını (psig) ölçer. Bu basınç, atmosferik basınca göre olan basınçtır - ki deniz seviyesinde 14.7psi'dir. Diyaframın ters tarafı vakum içine kapatıldığında, birim mutlak basıncı (psia) ölçer - ki bu da sıfıra göre basınçtır. psig'yi psia'ye dönüştürmek için o anki atmosferik basıncı eklemek gerekir.

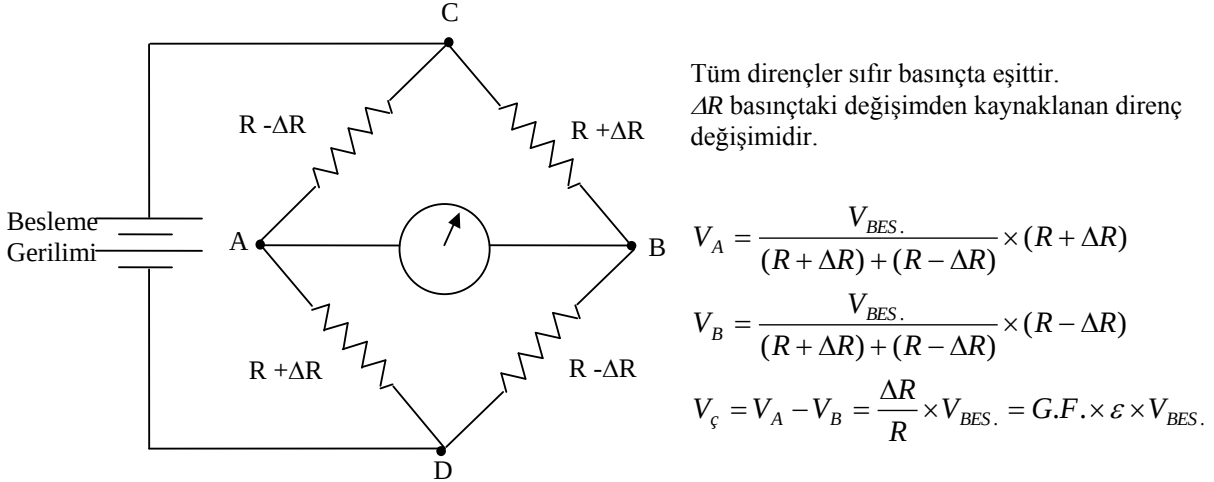
Diyaframın ters tarafı referans basıncıyla kapatıldığında birim bu özgün basınca göre basınç

değerini ölçer (PSIR). Diyaframın ters tarafı ikinci bir basınç kaynağına bağlandığında, birim iki basınç arasındaki basınç farkını okuyacaktır. Bu uygulamada, ters taraftaki basınç kaynağı genellikle kuru, kostik olmayan gazlarla sınırlandırılmıştır. Diğer fark basınç ölçümleri için iki gösterge kullanılmalıdır. Şekil 5.18’de bu farklı uygulamalar görülmektedir.



Şekil 5.18 PSIG, PSIA, PSIR ve diferansiyel basıncın ölçülmesi

Piezodirençsel basınç sensöründeki algılayıcı elemanlar bir dirençsel köprü olarak düzenlenmiştir. Diyaframa uygulanan bir basınç olmadığı zaman köprü dengede olduğundan çıkış gerilimi 0 V'tur. Gerilme altında, direnç değerleri değişir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 Elektronik basınç-sezici köprü devresi

Sıcaklık değişimleri dirençsel bir devrenin çıkış gerilimini etkiler. Pek çok basınç transdüseri, sıcaklık kompanzasyonuna sahiptir ve geniş çalışma aralıklarında doğru ölçüm yapmayı sağlarlar. Özel nedenler kullanımlarını engellemediği sürece bu birimler harici kompanzasyon veya hesaplamalar gerektiren sensörlere tercih edilirler.

Daha yüksek basınçlarda ve silikon diyaframın çürümesine neden olabilecek koşullar altında

çalışmak için gerilme göstergeleri paslanmaz çelik diyaframlara yapıştırılır. Temel çalışma prensipleri silisyum diyaframlı olanlarla aynıdır. Ek olarak, yüksek sıcaklıktaki çalışmalar için paslanmaz çelik diyaframa yapıştırılmış ince yaprak tipi gerilme göstergeleri kullanılabilir. Yaprak tipi gerilme göstergeleri sıcaklık değişimlerine daha az duyarlıdır, ancak 3 mV/V'luk uyarma geriliminde düşük çıkış gerilimi sağlarlar.

Ticari elektronik basınç sensörleri geniş duyarlılık sınırları, %0.5'lik doğruluk, onlarca milyon devir boyunca güvenilir çalışma ve mükemmel titreşim dayanımı sunmaktadır. Bu sensörler uzak yerlerden basıncın elektronik olarak okunmasını sağlamak için kullanılır ve pahalı boru döşeme, vanalar ve boru bağlantılarına olan gereksinimi ortadan kaldırır. Elektronik ve sayısal denetim devrelerindeki artışla, elektronik basınç sensörleri basınç ölçme teknolojisinde hızla ön sıraya doğru ilerlemektedir.

5.2.6.1.2 Piezoelektrik Basınç Transdüserleri

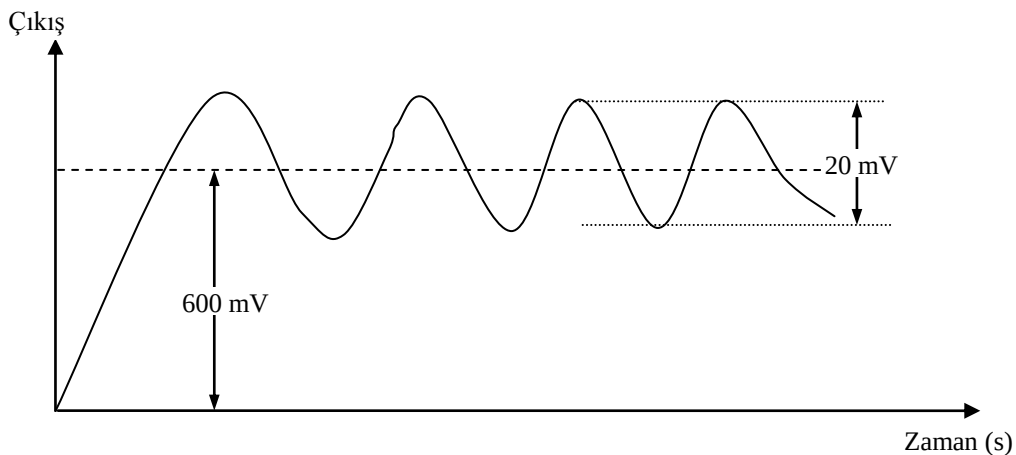
Piezoelektrik etkisini kullanan basınç transdüserleri, ölçülen basınçla doğrudan temas halindeki bir diyafram tarafından sıkıştırılan quartz disklerden oluşan yük hücrelerine benzer bir tasarıma sahiptir. Quartz-kristal modüllerin yüksek duyarlılık olması transdüserlerin çok küçük boyutlarda üretilmesini sağlar.

Quartz transdüserlerin çarpıcı bir özelliği yüksek duyarlılığıdır; örneğin, 250bar maksimum basınç için tasarlanmış bu tip bir transdüser 0.1bar'lık basınç değişiminde 7.5pC verebilir ve uygun bir sinyal işleme devresi ile 750mV'luk çıkış sinyali elde edilebilir.

ÖRNEK 5.6 Şekil 5.20'de bir piezoelektrik basınç transdüser sisteminden elde edilen dalga şekli görülmektedir. Transdüser duyarlılığı 60pC/bar ve yük-yükseltici duyarlılığı 20mV/pC ise, (a) ortalama basıncı ve (b) basınç salınımlarının tepe değerini, hesaplayın.

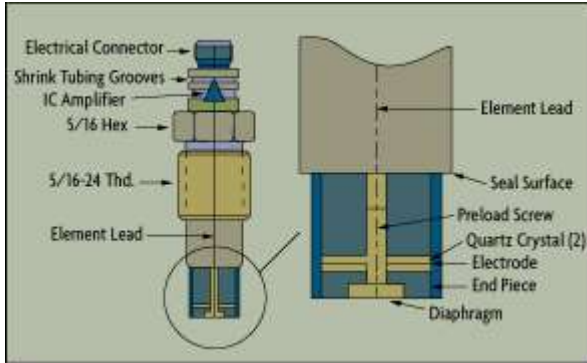
$$\begin{aligned} \text{a) Ortalama basınç} &= \frac{600mV}{\text{sistem duyarlılığı}} \\ &= \frac{600mV}{1200mV/bar} = 0.5bar \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Basınç salınımlarının tepe değeri} &= \frac{10mV}{\text{sistem duyarlılığı}} \\ &= \frac{10mV}{1200mV/bar} \\ &= 8.33mbar \end{aligned}$$



Şekil 5.20 Örnek 4-6 için basınç dalga şekli

Piezoelektrik basınç transdüserleri 240°C'ye kadar sıcaklıklarda çalıştırılabilir, ancak sıcaklıktan dolayı oluşan sıfır kaymasının kompanse edilmesi gerekir. Bu amaçla özel su soğutmalı transdüserler kullanılabilir ve bunlar yüksek sıcaklıklarda çalışmak için uygun bir seçimdir. Şekil 5.21'te bir piezoelektrik basınç transdüseri görülmektedir.



Şekil 5.21 Bir piezoelektrik basınç transdüseri ve yapım ayrıntıları (Omega Inc.)

Sinyal uygunlaştırma

Tüm piezoelektrik aygıtlarda olduğu gibi, yüksek giriş empedanslı bir yük yükseltici gereklidir.

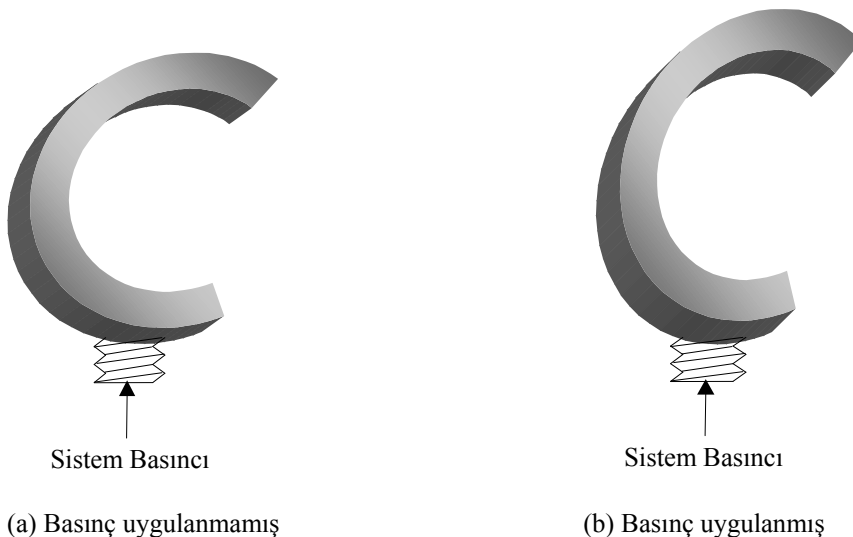
Çalışma aralığı

Kısa süreli statik basınçlar ölçülebilir, fakat piezoelektrik transdüserler 150kHz'e kadar çok yüksek frekans aralığında çalışmak için uygundur. 5000 bara kadar olan basınçlar ölçülebilir.

5.2.6.1.3 Bourdon-tüpü basınç sensörü

Büyük bir olasılıkla bütün mekanik basınç sensörleri içinde en çok kullanılanı olan Bourdon tüpü 18,000 PSI'a (1265.58 kg/cm²) kadar olan basınçlarda güvenilir olarak çalışır. Fosfor bronz, çelik, berilyum-bakır gibi metal malzemelerden yapılan Bourdon tüpü bir ucu kapatılmış ve diğer ucu sistem basıncına bağlanmış düz veya oval bir tüp şeklindedir. Tüp genellikle C şeklinde kıvrılır. Basınç arttığında tüp(ün ucu) düzleşir. Tüpün hareketi bir sınır anahtarını veya mutlak konum kodlayıcısını çalıştırarak basıncı denetim aygıtına bildirir. Bu çalışma Şekil 5.22'de görülmektedir. Doğrudan okunan basınç göstergelerinin çoğu Bourdon tüplerdir.

Bourdon tüpler yüksek basınçta iyi çalışır ve %0.5'ten daha iyi doğruluk sağlar. Genellikle basınç değişim sıklığı yüksek olan sistemler için önerilmemektedir, çünkü sık esneme sonucu metalin eskimesi nedeniyle tüpler zamanla kırılabilir. Bu nedenle Bourdon tüpler büyük sistem basınç değişimlerine sıkça maruz kalmayan sistemlerde kullanılır.



(a) Basınç uygulanmamış

(b) Basınç uygulanmış

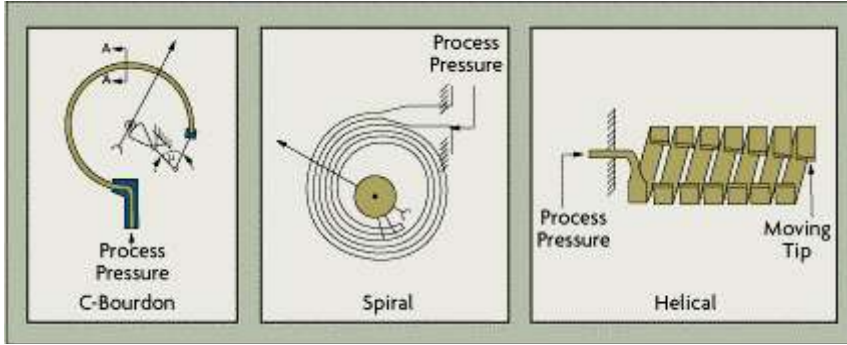
Şekil 5.22 Bourdon tüpü basınç sensörü

Sinyal uygunlaştırma

Mekanik basınç göstergesinin en basit şeklinde, yerdeğiştirme bir dişli-kol sistemiyle bir kadran üzerindeki ibrenin dairesel hareketine dönüştürülür (Şekil 5.23). Basıncın uzaktan gözlenmesi için yerdeğiştirme transdüserleri, örneğin potansiyometreler ve doğrusal değişken fark transformatörleri (LVDT) kullanılabilir.

Çalışma aralığı

Statik ve düşük frekanslı basınçlar için 5000 N/m^2 'dir. Elektriksel yerdeğiştirme transdüserleri kullanıldığında frekans aralığı Bourdon tüpünün eylemsizliği ile sınırlıdır.



Şekil 5.23 C-Bourdon tüpü, spiral ve helis şeklindeki Bourdon tüpü basınç sensörleri (Omega Inc.)

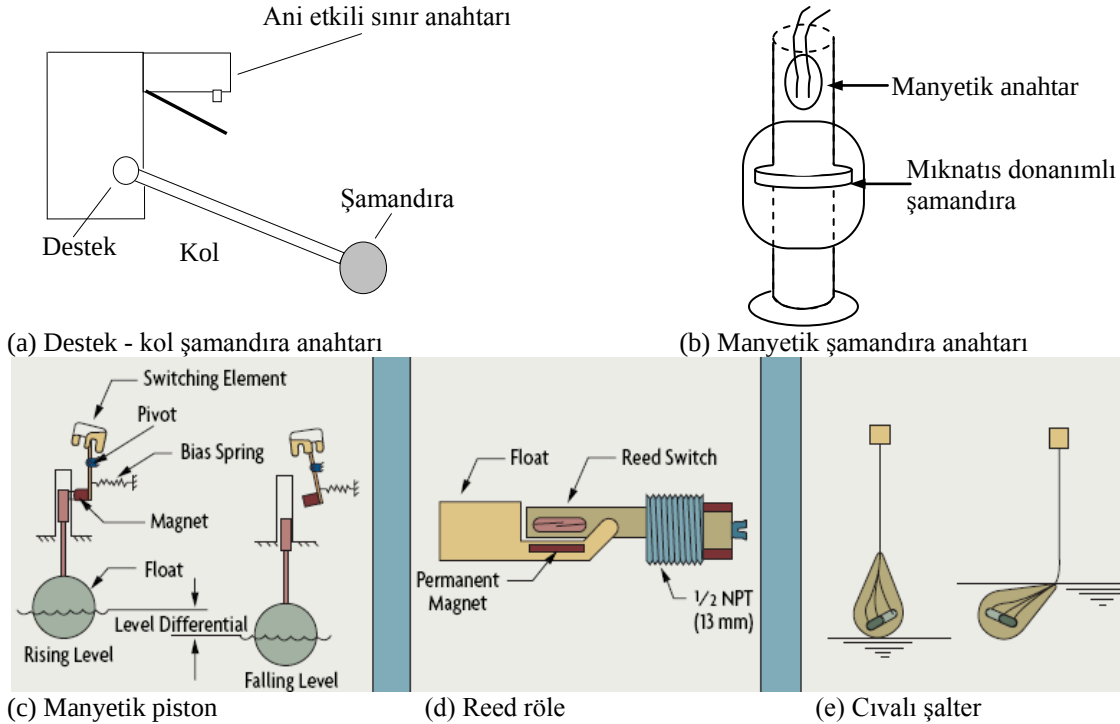
6

SIVI SEVİYESİ ÖLÇÜMÜ

Endüstrideki kapalı kaptaki sıvı seviyesinin ölçülmesi de önemlidir. Bu ölçüm envanterin denetimi, kimyasal maddelerin karıştırılması ve hatta denizaltının yüzdürme yeteneğinin denetimi için kullanılır.

6.1 ŞAMANDIRA ANAHTARI SEVİYE ALGILAYICI

Şamandıra anahtarları sınır anahtarının bir başka özel kullanımıdır. Sıvının yüzeyi ile doğrudan hareket eden şamandıra, sıvının önceden kurulmuş seviyeye ulaştığını belirtmek için sınır anahtarını harekete geçirir. İlk şamandıra anahtarları bir destek noktası aracılığıyla çalışmakta ve ani etkili sınır anahtarını çalıştırmaktaydı. Daha yeni şamandıra anahtarları reed röleye etki eden mıknatıs donanımlı şamandıralardır. Reed röle sızdırma yapmayacak şekilde kapatılmıştır ve milyonlarca defa bozulmadan çalışabilir çünkü kontaklar atmosferik toza ve aşındırıcı buğuya maruz kalmamaktadır. Şekil 6.1a ve Şekil 6.1b her iki tip şamandıra anahtarını göstermektedir.



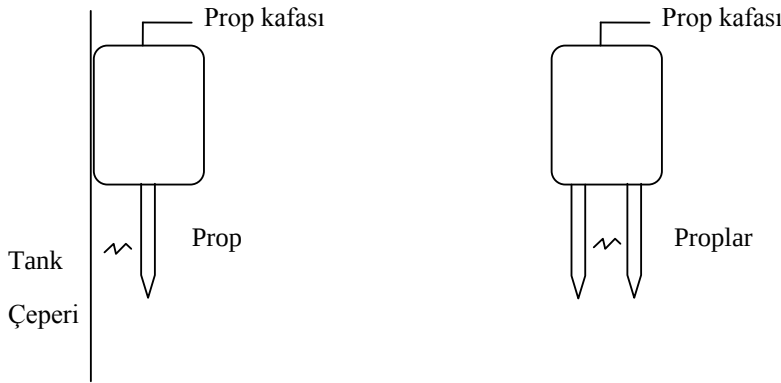
Şekil 6.1 Şamandıra anahtarları

Şamandıra anahtarları tankın içine üstten, alttan veya yanlardan takılabilir. Kolaylıkla yerleştirilebilirler ve bakıma gereksinim duymazlar. Şamandıra anahtarı basit ve güvenilirdir. Endüstride doğru ve yinelebilir ölçümler yapması nedeniyle en çok kullanılan standarttır. Her türlü sıvıya ve aşırı sıcaklığa karşı dayanabilmesi için şamandıra anahtarları çok çeşitli malzemelerden yapılır. Aç-kapa seviye kontrolü için şamandıra anahtarı tercih edilmektedir.

6.2 DİRENÇSEL SEVİYE ALGILAYICI

Dirençsel seviye algılayıcıları sıvı iletken olduğunda kullanılabilir. Bu algılayıcılar tank içindeki sıvı seviyesini tek prob ve tank arasındaki direnci (Şekil 6.2a) veya Şekil 6.2b'de gösterildiği gibi iki prob arasındaki direnci ölçerek belirler. Ölçme bir Wheatstone köprüsü aracılığıyla yapılır. Algılayıcı kafasında, direnci denetim aygıtına gönderilecek bir gerilim veya akım çıkış işaretine çeviren elektronik devre bulunmaktadır.

Dirençsel algılayıcıları kullanırken göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli konular vardır. Herhangi bir sıvı metalle yüzey temasında bulunduğu meydana gelen önemli bir başarısızlık nedeni korozyondur. Dirençsel algılayıcılarda prob ve gövde malzemeleri dikkatlice seçilmezse, önemli boyutlarda hatalı çalışmaya neden olur. Elektrolizin oluşmasına izin verilirse, sıvı metal problemlerden gelecek iyonlarla kirlenebilir. Her iki sorun da 5kHz ile 10kHz arasında bir ac uyarma gerilimi kullanılarak bastırılabilir.



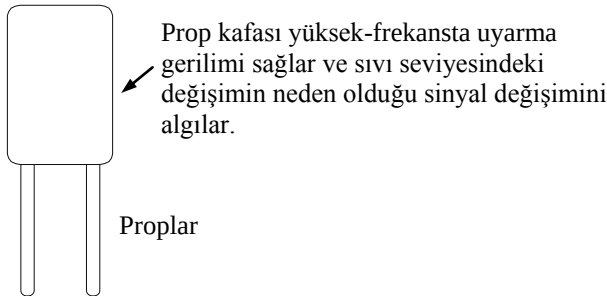
(a) Tek probta prob ile tank arasındaki iletim algılanır.

(b) Çift prob iletken olmayan tanklar içindir.

Şekil 6.2 Dirençsel seviye algılayıcı. Prop kafası algılayıcı elektronik donanıma sahiptir.

6.3 KAPASİTİF SEVİYE ALGILAYICILARI

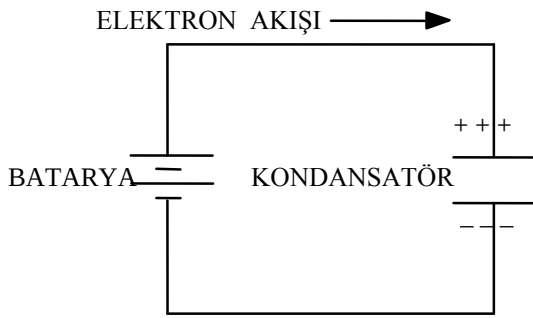
İletken olmayan sıvılar için kapasitif algılayıcı kullanılabilir. Havanın veya vakumun dielektrik sabiti birdir. Pek çok sıvının dielektrik sabiti daha yüksektir. Sıvı içindeki bir çift daldırma çubuğunun kapasitesini ölçerek sıvının kesin derinliğini belirleyebiliriz. Yüksek korozif malzemede bu yaklaşım kullanılabilir. Çubuklar çalışmayı ciddi bir şekilde etkilemeyecek ince bir tabaka koruyucu malzeme içine konulur (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Kapasitif seviye algılayıcısı

Kapasitans Problemleri Bir kondansatör bir yalıtkanla ayrılmış iki iletken oluşur. İletkenlere plaka denir ve yalıtkan da dielektrik olarak adlandırılır. Bir kondansatör elektrik yükünü kabul eder ve depolar. Bir kondansatör bir bataryaya bağlandığında (Şekil 6.4), elektronlar bataryanın negatif ucundan kondansatöre doğru akacak ve kondansatörün karşı plakasındaki elektronlar bataryanın pozitif ucuna doğru akacaktır. Bu elektron akışı kondansatör üzerindeki gerilim

uygulanan gerilime eşit olana kadar devam edecektir.



Şekil 6.4 Batarya ve kondansatör devresi

Kondansatörün kapasitesi farad cinsinden ölçülür. Bir kondansatör bir voltluk kaynağa bağlandığında bir "coulomb"luk bir yük depoluyorsa kapasitesi 1 "farad"dır. Bu çok büyük bir birim olduğundan milyonda biri olan mikrofara (μF) birimi kullanılır. Bir kondansatörün farad cinsinden elektrik büyüklüğü onun fiziksel boyutlarına ve kondansatör plakaları arasındaki malzemenin (dielektrik) cinsine bağlıdır. Paralel plakalı bir kondansatörün kapasitesi şu eşitlikle bulunabilir:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A / d \quad (5-1)$$

A = her bir plakanın m² cinsinden alanı

d = plakalar arasındaki uzaklık (m)

ε_r = dielektrik sabiti, veya bağl geçirgenlik

ε₀ = 8.85×10⁻¹² farad/metre sabiti hava veya vakumun SI birimlerinde mutlak geçirgenliğidir.

Saf maddeler için, dielektrik sabiti temel bir özelliktir. Maddelerin herhangi bir karışımının dielektrik sabiti deneysel olarak bulunabilir.

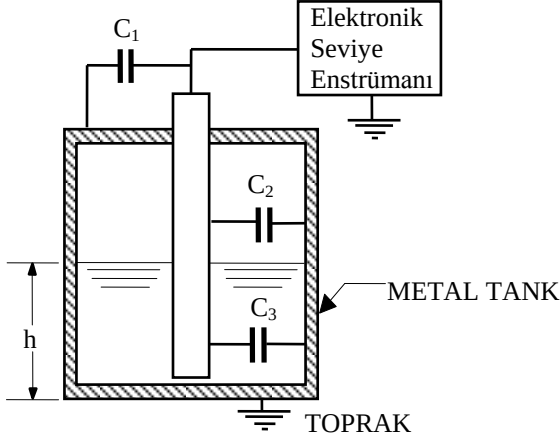
Kapasitif devrelerle ilgili bazı kuralları bilmemiz gerekir. İki veya daha fazla paralel bağlı kondansatörün kapasitesi her birinin kapasitelerinin toplamıdır (C_T=C₁+C₂+....+C_n). Seri bağlı kondansatörlerin kapasitesinin tersi (1/C_T) her bir kondansatörün kapasitesinin tersinin toplamına eşittir (yani, 1/ C_T = 1/ C₁+1/ C₂ +...+1/ C_n).

Plakalar arasındaki malzemenin karakteristiğindeki bir değişiklik dielektrik sabitinde bir değişikliğe neden olacaktır ki bu da diğer özelliklerdeki değişikliklerden daha büyük ve daha kolay ölçülebilir bir değişikliktir. Dolayısıyla dielektrik ölçümü kaplar içindeki malzemenin seviyesinin belirlenmesi için uygundur, çünkü süreç seviyesindeki değişimler dielektrik sabitini değiştirir. Bu değişiklikler malzemenin seviyesinin ölçülmesinde yardımcı iken, aynı zamanda seviye ölçümünün doğruluğunu da etkiler ve dolayısıyla dikkatlice değerlendirilmelidirler.

Malzemenin sıcaklığı arttıkça, dielektrik sabiti azalmaya yüz tutar. Sıcaklık katsayıları derece Celcius başına %1 düzeyindedir. Otomatik sıcaklık kompensatör (denkleştirgen) devreleri sıcaklık değişimlerinin etkisini gidermek için kullanılabilir. Kimyasal ve fiziksel içerik ve yapı değişiklikleri dielektrik sabitini etkiler.

Katıların dielektrik sabitleri ölçüleceği zaman, ortalama parçacık boyutundaki değişme miktarları ve sıkıştırma yoğunluğundaki değişikliklerin dielektrik sabitini etkileyeceği unutulmamalıdır. Malzeme direncinden toprağa doğru akan akım kondansatörü kısa devre yapmaya çalışır. Eğer direnç kapasitif reaktansa göre çok küçükse, ölçülen kapasitenin değişken bir direnç ile kısa devre edilmesi dielektrik ölçümünde hataya neden olabilir.

Süreç seviyesindeki değişimler seviye enstrümanındaki bir elektronik devre ile kapasitede değişimi olarak ölçülür. Şekil 6.5'te görüldüğü gibi, prob kaptan yalıtılmıştır ve kondansatörün bir plakasını oluştururken tank da diğer plakayı oluşturur. İki plaka arasındaki malzeme de dielektriktir. Seviye yükseldikçe, düşük dielektrik sabitine (1.0) sahip buharlar daha yüksek dielektrikli süreç malzemelerine yerini bırakır. Kapasite değişimleri seviye biriminde kalibre edilmiş bir elektronik enstrüman ile saptanır.



Şekil 6.5 Kapasitans probu.

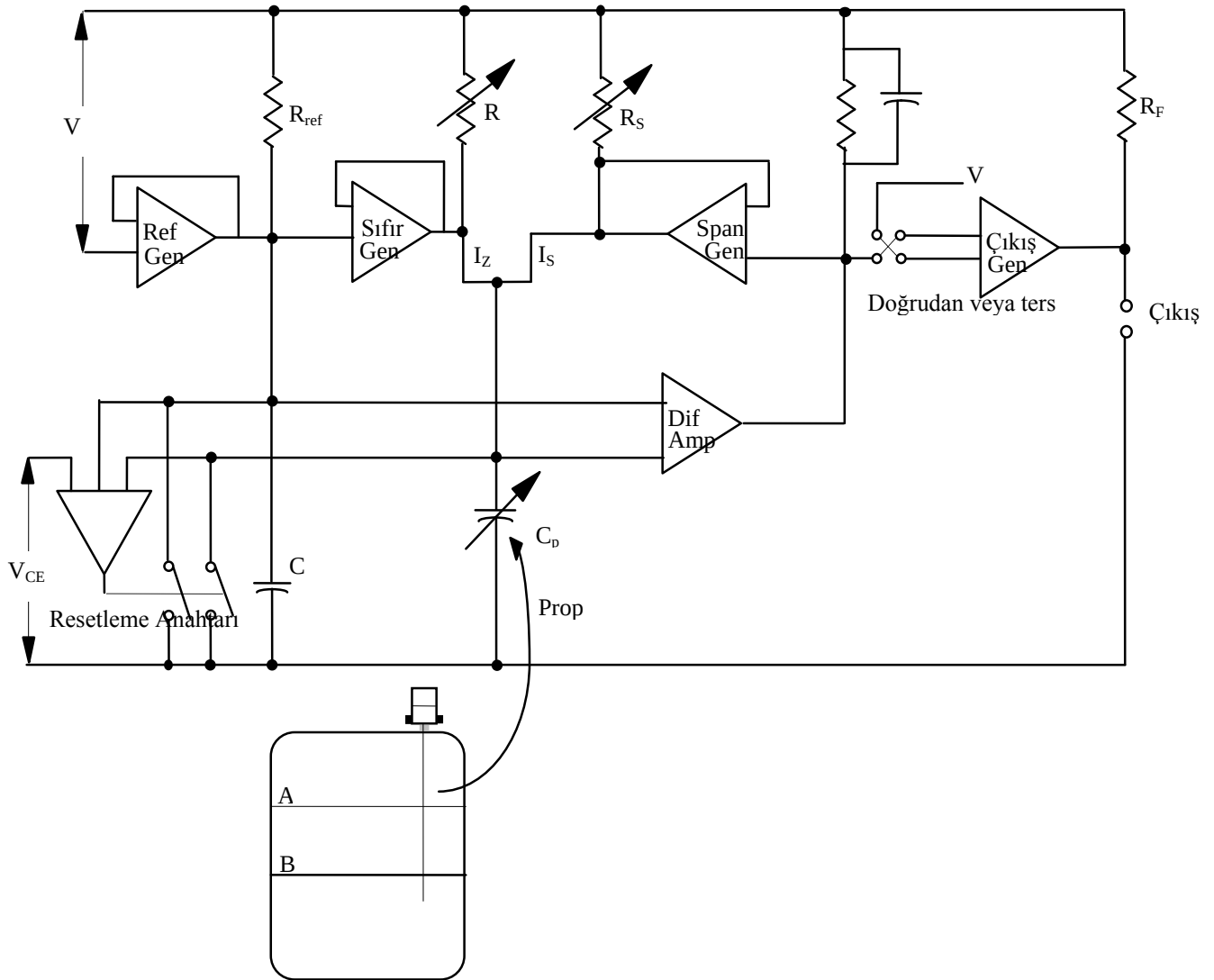
Şekil 6.5'te C_1 sistemin seviye değişikliklerinden etkilenmeyen "kaçak kapasitesi"dir. C_2 sıvıdan yukarıdaki buhardaki kapasite ve C_3 süreç malzemesinin kapasitesidir. Toplam kapasite $C_e = C_1 + C_2 + C_3$ 'tür.

İletken malzemelerin seviyesini ölçmek için, yalıtılmış (normalde Teflon™ kaplı) problar kullanılır. Bu ölçüm çoğunlukla etkin dirençten etkilenmez ve dolayısıyla, bu prob tasarımı hem iletken hem de iletken olmayan süreçlere uygulanabilir.

Eğer süreç malzemesi proba yapışır, kaptaki seviye düşümü prob üzerinde bir akışkan tabakası bırakır. Bu tabaka iletken olduğunda, probun ıslak kısmı toprağa bağlanır ve enstrüman yeni seviyeyi okumaz fakat probun kaplı olduğu seviyeyi bildirir. Süreç malzemesinin dielektrik sabitindeki değişikliklerden başka, bu olay kapasitif seviye göstergesinin kullanımını en ciddi şekilde sınırlar. Eğer probu kaplayan malzeme iletken değilse, ölçüm doğruluğundaki azalma daha azdır.

Burada kondansatör plakasının biri tank cidarı diğeri ise tankın içine batırılmış olan bir çubuktur. Seviye değişimi kapasitansı değiştirerek seviye ile orantılı bir çıkış işareti üretilmesini sağlar. Şekil 6.6'da kapasitif seviye algılayıcıdaki kapasite değişimlerini gerilim değişimlerine dönüştüren sinyal uygunlaştırma katının açık şeması görülmektedir.

Eğer tank fiberglas veya diğer yalıtkan bir malzemedan yapılmışsa, kapasitif seviye algılayıcı, bir algılayıcı prob ile probun dışındaki bir silindir şeklinde olabilir.



Şekil 6.6 Seviye ölçümünde kullanılan kapasitans tipi sistemin çalışmasını gösteren şema.

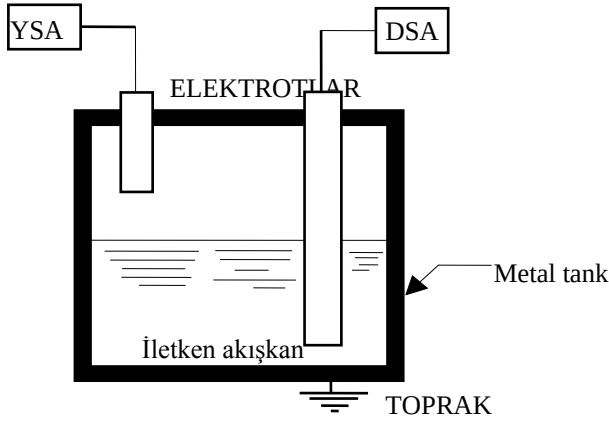
6.4 İLETKENLİK PROBU

İletkenlik probaları pek çok sıvının elektriği ilettiği gerçeğini kullanırlar. Şekil 6.7 iletkenlik seviye probunun çalışmasını göstermektedir.

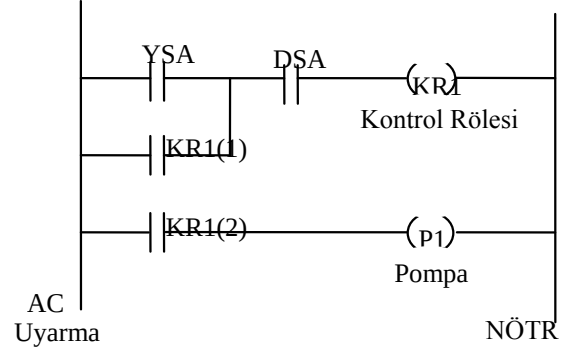
Şeklin sol tarafındaki elektrot sıvı seviyesinin üstündedir. Dolayısıyla devre açıktır ve seviye anahtarını enerjilendirecek hiç bir akım geçmemektedir. Sıvı seviyesi sağ taraftaki probun seviyesine yükselince elektrot ve topraklanmış tank arasında bir iletken yol oluşacak ve yüksek seviye anahtarını kapatacaktır. Anahtarın enerjilendirilmiş yük rölesini kapatarak, pompalar, selenoid vanalar veya diğer süreç donanımını çalıştırır.

Eğer tank fiberglas veya diğer yalıtkan bir malzemeden yapılmış ise, iletim devresi bir algılayıcı prob ile bir referans probu arasında oluşturulabilir.

YÜKSEK seviye anahtarı DÜŞÜK seviye anahtarı



Şekil 6.7 İletkenlik probu.



Şekil 6.8 Kumanda devresi

Bu anahtarlar pek çok uygulamada bir donanımın AÇ-KAPA denetimi veya bir donanımın birkaç elemanın denetimi için kullanılabilir. Şekil 6.8'deki röle merdiven diyagramı iki iletkenlik probunun bir elektromekanik denetim rölesi (KR1) ile beraber kullanılarak bir fosseptik pompasını nasıl çalıştırdığını göstermektedir.

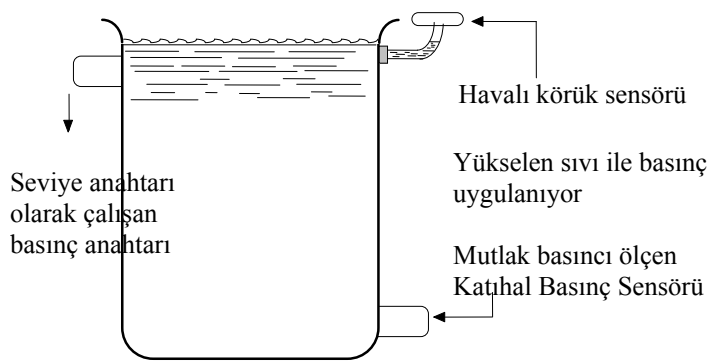
Seviye yükseldikçe, düşük seviye probu tarafından çalıştırılan DSA anahtarı kapanacaktır. KR1 denetim rölesi enerjilendirilmemiştir. Seviye daha da arttığında, YSA anahtarı kapanır, dolayısıyla KR1'i enerjilendirir ve KR1(1) kontağını kapatır. Bu bir kilitleme kontağıdır. KR1 enerjilendirildiğinde ikinci röle kontağı KR1(2) kapanır ve P1 pompasını çalıştırır. Sıvı seviyesi YSA anahtarının bağlı olduğu elektrodun altına düşecek kadar pompalandığında anahtar açılır, fakat KR1 denetim rölesi kilit kontakları halen kapalı olduğundan açık olarak kalacaktır. Seviye DSA'nın altına düştüğünde anahtar açılır, KR1'in enerjisini keser ve pompayı kapatır. Pompa fosseptik çukuru yüksek seviyeye dolana kadar çalışmayacaktır.

6.5 BASINÇ SEVİYE ALGILAYICI

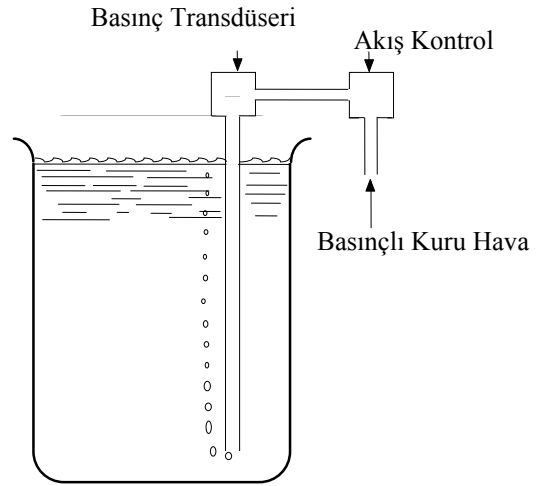
Basınç sensörleri aynı zamanda tank içindeki sıvının derinliğini ölçmede de kullanılabilir. Bu sensörler sıvı sütunun tabana yaptığı basınç ölçülerek seviyenin algılanmasına olanak sağlar.

Sensör tank içinde uygun bir yere takılır. Mutlak ölçüm için sensör tankın altına yerleştirilmiştir. Bu kapasitede kullanılan sensörlerin sıvının tüm ağırlığına dayanabilecek özellikte olması gerekir. Seviye anahtarı olarak kullanılacağı durumda sensör algılanacak seviyede veya yakınında monte edilebilir. Basınç anahtarı, hava basıncıyla çalışacak ve sıvıyla temas etmeyecek şekilde bile yerleştirilebilir. Bu uygulamalar Şekil 6.9'da görülmektedir.

Hava kabarcıklı seviye sensörleri endüstrinin kullandığı diğer bir tekniktir ve seviye ölçümünde 3 cm'den daha iyi bir doğruluğa kadar kullanışlıdır. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi, uygun bir malzemeden yapılmış daldırma tüpü sıvı içine daldırılır ve 1 psig (70 mbar) civarındaki denetimli bir akış hızı ile kuru hava tüp içinden itilerek sıvı içinde kabarcık oluşturması sağlanır. Ham petrol veya şeker pekmezi gibi viskoz sıvılar için 20 psig (1.4 bar) civarındaki daha yüksek basınçlar kullanılabilir. Sabit akışı korumak için gerekli basınç doğrudan sıvının derinliğiyle ilişkili olduğundan, bu basıncın ölçülmesi sıvının derinliğini de verecektir.



Şekil 6.9 Seviye sensörü olarak basınç sensörü



Şekil 6.10 Hava kabarcıklı seviye sensörleri

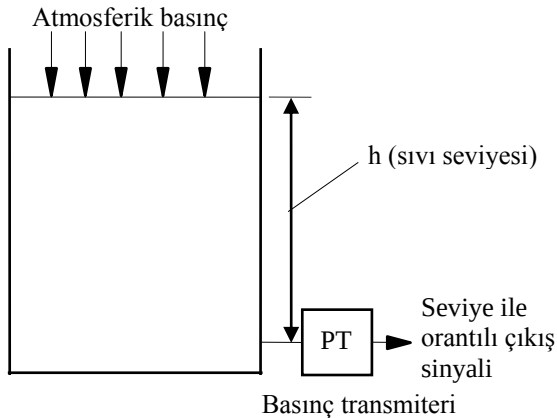
Sıvının hava ile kirleneceği durumlarda, hava kabarcıklı seviye sensörü sıkıştırılmış nitrojenle de çalışabilir. Gaz ne olursa olsun bu cihazlar 1 ile 20 psig arasında çalışırlar. Su, mürekkep, yağmı çamuru ve erimiş metal gibi çeşitli sıvılar içinde kullanılırlar.

6.6 BASINÇ FARKI İLE SEVİYE ÖLÇÜMÜ

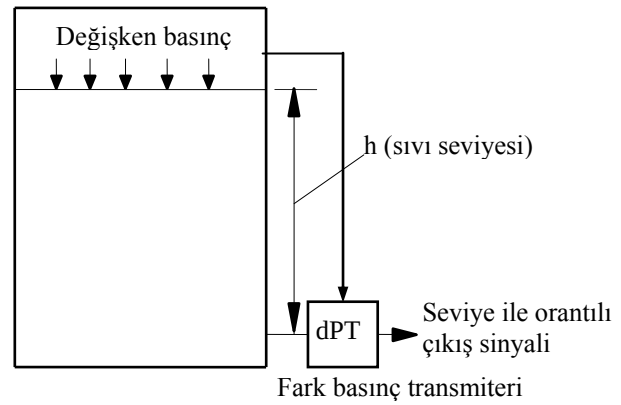
Basınç veya dP transmitterleri için çok yaygın ve pratik bir kullanım alanı seviye ölçümüdür. Bu uygulamada gerçek seviye değeri bir basınç ölçümünden elde edilir. Şekil 6.11'deki örneği ele alalım. Biliyoruz ki, bir sıvı sütununun neden olduğu hidrostatik basınç, sıvının özgül ağırlığı (ρ) ve dikey sıvı sütununun yüksekliği arasında doğrudan bir ilişki vardır. Pek çok durumda bir akışkanın özgül ağırlığı sabittir, dolayısıyla basınç (P) sıvı seviyesiyle (h) doğru orantılıdır:

$$P = \rho g h \quad (6-2)$$

Diğer bir örnek ise Şekil 6.12'deki kapalı tank seviye ölçümüdür. Bu örnekte, eğer kapalı tanktaki basınç değişirse, dP transmitterinin her iki yanına eşit bir kuvvet uygulanır. dP hücresi yalnızca basınç farkındaki değişimlere yanıt verdiği için, sıvı yüzeyindeki statik basınçtaki bir değişim transmitterin çıkışında bir değişiklik yaratmayacaktır. Böylece, dP hücresi yalnızca sıvının özgül ağırlığı sabit olduğu zaman sıvı seviyesindeki değişimlere yanıt verecektir.



Şekil 6.11 Seviye ölçümü (açık tank).



Şekil 6.12 Kapalı tankta fark basıncıyla seviye ölçümü.

6.7 ULTRASONİK SEVİYE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

6.7.1 Sesin Özellikleri

Sonik ses dalgalarının frekansı 10kHz'e kadar iken, ultrasonik (yani insan kulağının algılayamadığı) ses dalgalarının frekansı 20 kHz'in üzerindedir. Ultrasonik ses dalgaları çok düşük güç seviyesinde, bir watt'ın birkaç milyonda biri düzeyindedir. Yayılan ses dalgasının hızı iletilen dalga'nın tipi, yayıldığı ortamın yoğunluğu ve elastik sabitlerinin bir işlevidir.

Ses dalgaları titreşimlidir. Konvansiyonel akustik ölçümleri ses yeğirliğı (şiddeti) ve basıncını 1000 Hz frekansındaki en zayıf duyulabilir sesin yeğirliğı ve ortalama basınç salınımları değerlerini referans alarak yapılmaktadır. Hem yeğirlik hem de basınç seviyeleri desibel (dB) biriminde ölçülmektedir ve şu formüllerle ifade edilmektedir:

$$i = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (6-3)$$

$$p = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (6-4)$$

i = ses yeğirliğı seviyesi (dB)

I = ölçülen ses yeğirliğı (W/cm²)

I₀ = 1000 Hz 'te referans ses yeğirliğı (10⁻⁶ W / cm²)

P = ölçülen ses basıncı (dyne/cm²)

P₀ = referans ses basıncı yeğirliğı değeri (2 × 10⁻⁴ dyne/cm²)

Düzlemsel bir akustik dalga bir parçacığın dalga kaynağından bir zaman süresinde yer değıştirmesi olarak tanımlanabilir. Harmonik bir dalga'nın yol açtığı parçacık yer değıştirme hareketi şöyle tanımlanabilir:

$$\xi = \xi_0 [\cos (2\pi / \lambda)] (Ct - x) \quad (6-5)$$

x = mesafe

ξ = parçacığın yerdeğıştirme miktarı

ξ₀ = parçacığın yerdeğıştirme genliğı

C = ses hızı

λ = dalga boyu

t = hareket süresi

Düzlemsel ses dalgasının geçişinden kaynaklanan basınç salınımları şu ifade ile tanımlanır:

$$\rho = \beta \frac{\partial \xi}{\partial x} = -\beta \frac{2\pi}{\lambda} \xi_p \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Ct - x) \quad (6-6)$$

Ses yeğirliğı birim alan başına birim zamandaki enerji akısı olarak tanımlanmıştır. Ses yeğirliğı şöyle ifade edilebilir:

$$I = \frac{1}{2} \rho_a C (\xi_p)^2 = \frac{(P_{rms})^2}{\rho_a C} \quad (6-7)$$

ρ_a = havanın yoğunluğu

ω = frekans

ξ_0 = dalga'nın genliğinin hızı

P_{rms} = rms basınç salınımı

Sesi soğuran bir ortamda hareket eden bir ses dalgası bir "canlı" yüzeye, örneğin duvar veya sıvı gibi, çarptığında ses enerjisinin yalnızca bir kısmı engelle nüfuz eder ve dalga'nın çoğu yansır. Yansıyan ses dalgası bir ekodur. Eğer ses dalgası tamamen "ölü" bir ortama, gevşek kül gibi, çarparsa ses enerjisinin neredeyse tamamı soğurulur ve yansıma veya dönüş ekosü çok düşük seviyededir. Bir maddenin soğurma katsayısı şöyle tanımlanır:

$$d = \frac{\text{soğrulan ses enerjisi}}{\text{yüzeye gelen ses enerjisi}} \quad (6-8)$$

Soğurma katsayısı (d) frekansa çok bağımlıdır ve ortamın özellikleri tarafından etkilenir. Bunlar arasında yüzey pürüzlülüğü, malzemenin kalınlığı ve sertliği bulunmaktadır. Temel optik yasalarından biri şöyledir:

$$\text{geliş açısı } (\alpha_e) = \text{yansıma açısı } (\alpha_r) \quad (6-9)$$

Bu "yönlendirilmiş" yansımada hedef malzemenin yüzeyi yansıyan dalga'nın yönü için çok önemlidir. Eğimli bir yüzeye gelen "yönlendirilmiş" yansıma ekoyu düzlemsel olarak yansıtacak ve dalga'nın gerçek dönüş süresi doğru ölçülemeyecektir. Ortam özelliklerine bağlı olarak eğimli yüzeyde ya dağıtılmış yansıma ya da düzlemsel yansıtılmış ses dalgası mevcuttur.

Akustik yeğinlik mesafenin karesiyle azalır ($1/\gamma^2$). Ses basıncı ise mesafeyle ters orantılı olarak değişir (Şekil-6.13). Ses geniş bir yüzey alanında artan bir mesafeyle dağılır. Tüm frekanslarda sesin yayılma özelliği aynıdır.

Ses basıncının mesafeyle ters orantılı olarak değişimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned} p_1 / p_2 &= r_2 / r_1 \\ p_2 &= p_1 (r_1 / r_2) \end{aligned} \quad (6-10)$$

Burada:

p_1 = r_1 'deki ses basıncı 1

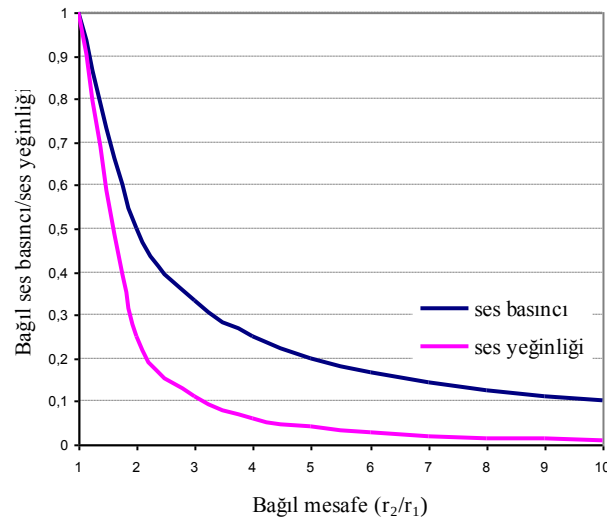
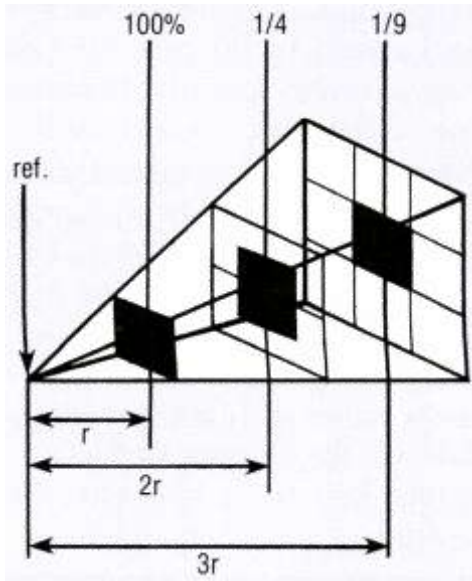
p_2 = r_2 'deki ses basıncı 2

r_1 = kaynağa olan uzaklık 1

r_2 = kaynağa olan uzaklık 2

Sesin kaynağına olan mesafenin iki katına çıkarılması ses basıncı veya ses yeğinliği seviyeleri ne olursa olsun "ses seviyesi"ni 6dB azaltacaktır. Bu da ses basıncı p'yi başlangıç değerinin $1/2$ 'sine (%50) ve ses yeğinliği I'yi $1/2^2=1/4$ 'üne (%25) düşürür.

Sesin bahsedilmeye değer diğer iki özelliği soğrulma ve sıcaklıktır. Soğrulma sesin kısmen ısı enerjisiye veya ısıya dönüşümüne neden olur. Soğrulma derecesi yayılma ortamına ve frekansa bağlıdır. 10kHz'te, 20°C'taki kuru, tozsuz bir çevrede ses dalgası 1 db ile 30 db arasındaki değişimi 50 m'de gerçeklerken, 44kHz'teki bir ultrasonik ses aynı değişime 1 m'de ulaşır. Toplam soğurma sıcaklıktan, havadaki nemden karbondioksitten, metan ve diğer gaz konsantrasyonlarından da etkilenir. Ses basıncındaki azalma uzaklık (ters kare) ve soğurma tarafından belirlenir.



Şekil 6.13 Ses dalgalarının yayılması.

Sıcaklık değışimleri ses dalgalarını sesin frekansını etkileyerek de etkiler. Özel bir uygulamada, ortamın bilinmesi ve koşulların oldukça sabit olması gerekir. Sensörün ölçüm aralığı 15 cm ile 30 m arasında değışir.

Bazı ortamlardaki ses hızları şöyledir:

Havada ses hızı 20°C'ta	344.2 m / s
100°C'ta	386 m / s
Suda ses hızı 15°C'ta	1437.2 m / s
Alkolde ses hızı 20°C'ta	1186 m / s

6.7.2 Sonik Algılama Teknikleri

6.7.2.1 Kontak (Temas) Tipi

Tek nokta ölçümler için iletici ve alıcı elemanlar tek bir birimde toplanabilir. Prop kaplı değilse, prop yüzü ultrasonik frekansta titreşime açıktır. Sıvı düz yüzü kaplandığında, titreşimler sönümlenir ve ses dalgasının genliği düşer. Kontrol sistemi bu değışimleri algılar ve çıkış rölesini çalıştırır. Bu teknikte ana sınırlama prop yüzünü kaplayıp kurduğunda sertleşecek malzemenin kullanılamamasıdır.

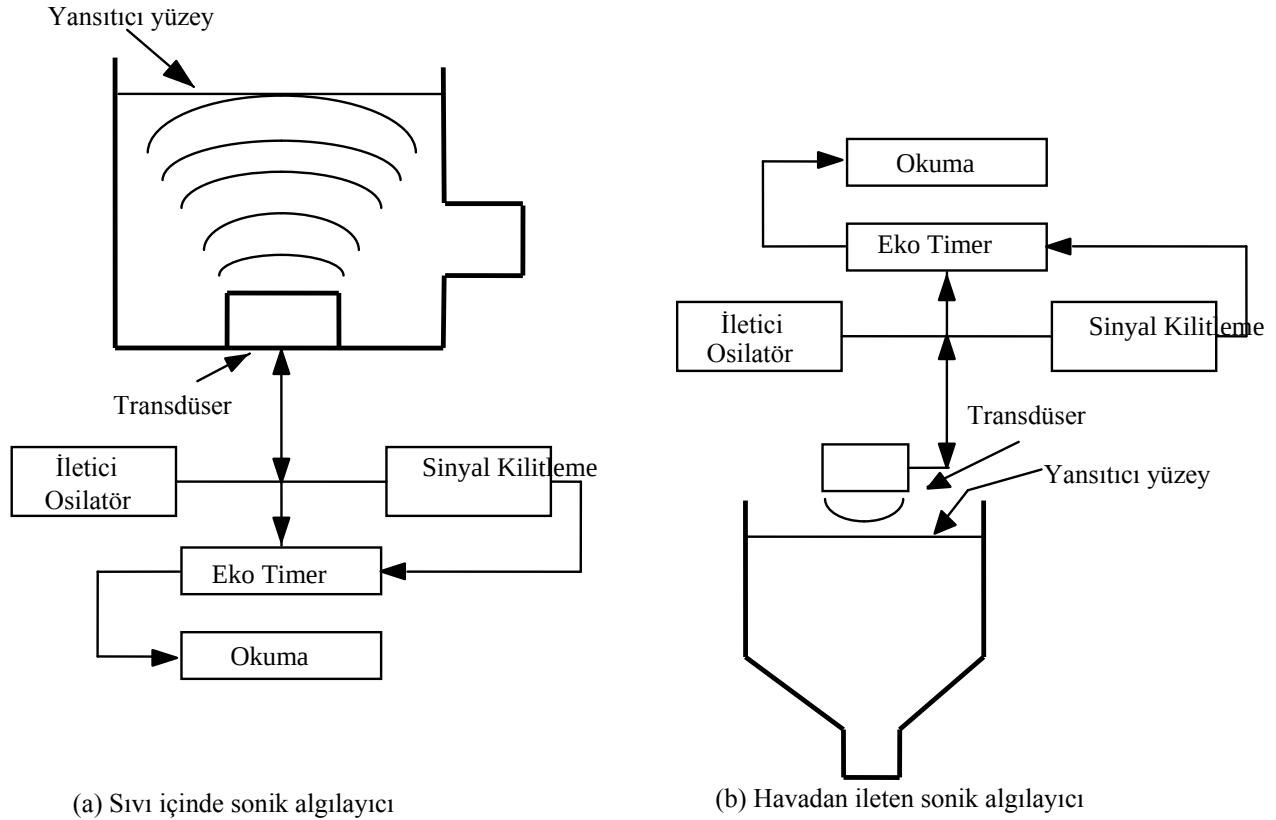
6.7.2.2 Eko (Yansıma) Tipi

Ses darbesi yayıcısı (transdüser) sıvı dolu bir tankın tabanına yerleştirilir. Sıvı yüzeyi bir akustik yansıtıcı görevi görür ve transdüser kendi ses darbesini alır. Transdüser bir ses dalgasının yaratıldığı bir transmiere ve ekonun algılandığı bir alıcıya bağlanır. Hem iletici hem de alıcı ses dalgasının yayılması ve gelen ekonun alınması arasında geçen zamanı ölçen bir zaman aralığı sayıcısına bağlanır. Geçen zaman bir kayıt ya da gösterge aygıtından okunabilen sıvı seviyesi birimine dönüştürülebilir (Şek. 6.14a).

Şekil 6.14b'de sonik işaretlerin havadan iletilmesi için kullanılabilecek bir tekniği göstermektedir. Burada, transdüser kabın yukarısına yerleştirilir ve tipik olarak 10kHz'lik belirli bir frekansta darbeler yayar; eko işaretinin dönme zamanı elektronik olarak algılanır ve sürekli

seviye ölçümü yapılır.

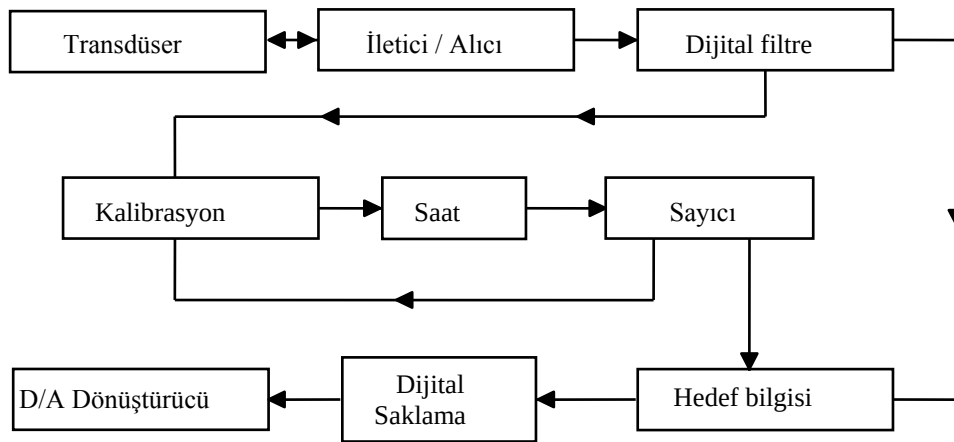
Eko-tabanlı sistemler uzaklığı ses dalgası hızı olarak ölçerler; dolayısıyla, ortam sıcaklığındaki değişimler ölçüm hatalarına yol açar. Bu hatalar $^{\circ}\text{C}$ başına % 0.18 düzeyindedir. Bu sistemler normalde sıcaklık değişimlerinin neden olduğu değişimleri gideren bir sıcaklık probuna sahiptir.



Şekil 6.14 Sonik teknikler (a) sıvıdan ve (b) havadan ileten tip

6.7.3 Ultrasonik Sensörler

Şekil 6.15'te bir ultrasonik seviye algılama sisteminin basitleştirilmiş blok şeması görülmektedir. Çalışma sırasında, iletilen ultrasonik işaret transdüser yüzünden sabit bir uzaklıkta bulunan bir "referans yansıtma ucu"ndan yansıtılır ve transdüser yüzüne dönüşünde bir elektriksel işarete dönüştürülür.



Şekil 6.15 Ultrasonik Seviye Algılayıcısı'nın blok şeması.



Şekil 6.16 Ultrasonik Seviye Algılayıcısı (Omega Inc.)

Örnek işaret daha sonra bir dijital saati kalibre etmek için bir faz-kilitleme döngü devresinde kullanılır. Gönderilen işaret referans ucu ve sıvı yüzeyi arasındaki yolu katettiğinde saat darbeleri sayılır. İletilen ultrasonik işaret sıvı yüzeyinden bir eko olarak döndüğünde, bir sayıcı kilitlenir; böylece, sayıcıda depolanan sayı transdüser ile sıvı seviyesi arasındaki gerçek mesafeyi ifade eder.

Ultrasonik seviye algılayıcıları eko kaydetme ilkesine benzer tek sensörlü sistemlerle sınırlı değildir. Daha kullanışlı sistemlerde belirli bir aralıkla yerleştirilmiş verici ve alıcı bulunmaktadır. Şekil-6.17'de bir çift sensörlü tasarım görülmektedir. Boşluk sıvıyla dolduğunda, sensör boşluğundan karşıya gönderilen ultrasonik işaret alıcı kısmında elektriksel işarete dönüştürülür ve kontrol biriminde yükseltilerek bir röleyi enerjilendirir. Sıvı sensör boşluğunun altına düştüğünde, işaret değişir; böylece, elektriksel işaret azalır ve rölenin enerjisi kesilir.



Şekil 6.17 Ultrasonik çift sensör (Omega)

Alıcı ve vericinin kısa aralıklı karşılıklı yerleştirildiği ultrasonik anahtarlar ultrasonik enerjinin varlığı algılanarak tek nokta seviye denetimi yapılır. Ultrasonik temaslı seviye algılama teknolojisinde ortam sıvı olduğunda transdüser aralığından kolaylıkla geçen, ancak aralık hava yada sıvı buharıyla dolu olduğunda zayıflayan yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılır.

Seviye denetiminde tipik olarak 44kHz'lik ultrasonik frekans kullanılmakla birlikte çeşitli proses ortamları ve uygulama koşulları için 2MHz'e kadar frekansları kullanan ultrasonik anahtarlar da mevcuttur.

Transdüserde, transdüser ucunda epoksi içine gömülü bir çift piezoelektrik kristal kullanılmaktadır. Kristaller gerilim uygulandığında belirli bir frekansta titreşim yapan seramik

bir malzemeden yapılmıştır. Gerilim uygulandığında, verici kristal titreşerek ses sinyali üretir. Transdüser arasındaki boşluk sıvı ile dolduğunda, alıcı kristal ultrasonik sinyali algılar ve bunu bir elektriksel sinyale dönüştürür. Bu sinyal elektronik devre aracılığıyla transdüser aralığında sıvının varlığını bildiren bir elektriksel çıkış üretir. Transdüser aralığında sıvı olmadığında, ultrasonik sinyal zayıflar ve alıcı kristal tarafından algılanmaz.

Bu özel sensör kalın, viskoz, köpüklü sıvılar ve yüksek sıcaklıklardaki sıvılarla çalışmak için çok iyi bir seçimdir. Çıkış işaretinin enerjilendirdiği röleler seviye göstergeleri, kaydedicileri, denetim aygıtları, pompalar ve diğer seviye bilgisi işleme donanımını çalıştırmak için elektriksel işaret sağlarlar.

Eko aygıtlarının tersine, ultrasonik sistemler genellikle sensör yüzünde sıvı birikmesinden, yapışkan damlacıklardan, köpük, buhar ve viskozite değişimlerinden etkilenmezler. Ultrasonik aygıtların çoğu sıcaklık ve basınç için otomatik kompanzasyona sahiptirler.

6.8 NÜKLEONİK SEVİYE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

1950'lerin başlarından beri kullanılmakta olan nükleer radyasyon ile seviye ölçümü diğer yöntemlerin başarısız olduğu uygulamalar için en uygun temassız seviye ölçüm yöntemidir. Nükleer radyasyonlu seviye ölçme cihazları, çok yüksek veya çok düşük sıcaklıktaki veya yapışkan, koroziv, aşındırıcı sıvılarla çalışmakta olduğu kadar çok yüksek basınçtaki kaplarda seviye ölçümünde de başarılı sonuçlar vermektedir.

Nükleer cihazların seviyeyi tespitinde kullanılan radyoizotoplar enerjiyi rastgele yayan, fakat enerjiyi yayma hızı kalibrasyon ve ortalama değer için kullanılmak üzere yeteri kadar sabit olan maddelerdir. Radyoaktif madde çözüldükçe alfa, beta ve gama ışınımı yayar. Yüksek nüfuziyet özelliğinden dolayı seviye ölçümünde gama partikülleri kullanılır. Bu partiküller yüksek enerjili, kısa dalga boyunda bir enerji kaynağı olup madde içermez. Alfa nüfuziyet özelliği olmadığından sanayide kullanılmaz. Beta partiküllerinin ise malzemelerin içinden geçme özelliğinin düşük olmasından dolayı ince malzemelerin et kalınlığının ölçümünde kullanılırlar.

Radyasyon yoğunluğunun ölçümünde kullanılan iki standart vardır. Bu birimlerden biri Curie (Ci), diğeri Bekerel (Bq)dir. Bu standartlara göre, 1 mCi = 37 MBq olur. Bir Curie'lik kaynak saniyede 3.7×10^{10} partikül oluşturur. Radyasyon ölçümünde miliCurie birimi kullanılır.

Seviye ölçümünde kullanılan radyoaktif maddeler Radium, Sezum 137 ve Kobalt 60'tır. Bu radyoaktif maddelerin karşılaştırmalı analizine göre, bir Curie radyoaktivite yaratmak için 1000mg Radium gerekli iken 0.88mg Kobalt 60 ve 11.5mg Sezum 137 yeterlidir. Tipik bir endüstriyel kaynak 500 mCi'lik (18.5 GBq) Sezum 137 olmakla beraber 5 Ci'ye kadar (185 GBq) kaynaklar da bazen kullanılmaktadır.

Radium çok pahalı olmasına rağmen küçük kaynaklara gereksinim duyulduğunda kullanılır. Doğada oluşur ve Sezum 137 ve Kobalt 60 gibi kullanılmak için Atom Enerjisi Kurumu iznine gerek duyulmaz. Ancak bu Radium'un tehlikeli olmadığı anlamına gelmez. Birçok ülkede Radium kullanılması özel izin gerektirir.

Sezum 137 genellikle küçük ve orta boy kaynaklar için seçilir. Kobalt 60 ise nüfuziyet gücü yüksek kaynaklara gerek duyulduğunda kullanılır.

Kaynak seçiminde dikkate alınması gereken diğer bir unsur da yarı ömürdür. Radyoaktif bir kaynağın kuvveti zamanla üstel olarak zayıflamaktadır. Kaynağın ilk kuvvetinin yarısına düşmesi için gereken süre "yarı ömür" olarak tanımlanır. Nükleonik seviye sensörleri bu nedenle açıklık kayması ile donatılmış olup bunun sonucu olarak periyodik olarak ayarlanması gerekir. Kobalt 60'ın yarı ömrü 5.3 yıldır ve yaklaşık olarak bir ayda %1 oranında değişim gösterir. Bu tür kaynakların açıklık ayarı yapılarak bir yarı ömür boyunca kullanılabilir. Diğer yaygın izotoplar ise Sezum 137 (yarı ömrü 37 yıl) ve Americium (yarı ömrü 458 yıl) dur.

AKIŞKAN AKIŞI ÖLÇÜMÜ

Akışkanların denetiminde debisinin (akış miktarının) ölçülmesi endüstriyel işletmelerin çoğunda önemlidir. Süreç denetiminde veya envanter denetiminde doğru ölçüm yapmak önem taşır. Bu bölümde, akışkan debisini ölçmek için kullanılan aygıtların bazılarını inceleyeceğiz.

7.1 AKIŞKAN AKIŞINA GENEL BİR BAKIŞ

Modern endüstride dört sınıf akışölçer yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar sıkıştırılmış gaz, benzin, lağım çamuru, bir sıvı içinde süspansiyon halinde bulunan zerreciklerden oluşan çamur gibi çeşitli akışkanların denetimi için kullanılan sensörlerdir.

Akışölçerler bu akışkanların kesin akış hızını bildirirler veya yalnızca akışı saptayan aygıtlar olarak kullanılabilirler. Her durumda, endüstride doğru montaj ve bakım daha çok önem taşır. Yapılacak hata işletmenin çok ciddi bir şekilde hasara uğramasına neden olabildiği gibi çalışanları da tehlikeye sokar.

Akışölçerleri yerleştirirken, akışkanların oluşturduğu kavislerin boru içinde dalgalanmalar yaratmasının neden olduğu sorunlardan kaçınmak için ölçü aletinin giriş tarafına düz bir boru yerleştirilir. Bu borunun uzunluğu kullanılan akışölçerin tipine bağlı olarak boru çapının dört ile 50 katı arasında değişmektedir. Boşaltma tarafında daha kısa düz bir borunun kullanılması da önerilir. Akışkanın karakteri, ortam sıcaklığı ve ölçü aletinin yerleştirilmesinin neden olduğu basınç kaybı dikkate alınması gereken diğer konulardır. Doğru seçimin en iyi şekilde yapılması için satıcı ile mühendis personelin yakın işbirliğine gerek vardır.

Akışölçerler diferansiyel basınç (fark basıncı) akışölçer, pozitif yer değiştirme akışölçeri, hız akışölçeri ve kütle akışölçeri olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Denetlenen akışkana bağlı olarak her bir akışölçerin üstünlükleri ve sakıncaları vardır. Bu bölümde, dört akışölçerin çalışma ilkelerini açıklayacağız.

7.2 AKIŞKAN AKIŞI İLE İLGİLİ İLKELER

Tüm akış süreçleri bir enerji değişimini içerdiğinden, enerji ve iş kavramlarına bir göz atmamızda yarar vardır. İş (enerji) ısı, kimyasal ve elektriksel enerji gibi pek çok farklı şekilde ifade edilebilir. Akış ölçümlerinde potansiyel ve kinetik enerji ile ilgileneceğiz.

$$\text{İş} = \text{Potansiyel Enerji} = \text{Kuvvet} \times \text{Yol} = F \times d$$

$$\text{ve} \quad \text{İş} = \text{Kinetik Enerji} = \left(\frac{1}{2} \right) (\text{Kütle}) (\text{Hız})^2 = \left(\frac{1}{2} \right) mv^2$$

7.2.1 Potansiyel Enerji

Potansiyel enerji, yukarı kaldırılan bir cisme yerçekimi kuvvetine karşı kazandırılan enerji olarak tanımlanabilir.

Kuvvet, kütle (m) çarpı yerçekimi ivmesi (g) olarak tanımlandığından,

$$F = mg$$

Bir kütleyi h yüksekliğine kaldırmak için gerekli iş,

$$Fh = mgh$$

mgh terimine potansiyel enerji denilmektedir çünkü bu enerji cismin h yüksekliğinden düşerken kinetik enerji olarak kazandığı enerjidir.

7.2.2 Kinetik Enerji

Yerçekimi etkisi altında h yüksekliğinden düşen cismin potansiyel enerjisini kaybederek kazandığı enerjiye kinetik enerji denir. Bir m kütesinin h yüksekliğinden düşerken potansiyel enerjisinin (mgh) kinetik enerjiye dönüştüğünü düşünelim. Enerjinin sakınımı ilkesine göre kinetik enerjinin potansiyel enerjiye eşit olması gerekir. Bu kinetik enerjiyi bularak düşme hızını hesaplamamız ve cismin enerjisini bu hız cinsinden ifade etmemiz gerekmektedir.

$$\text{Hız (} v \text{)} = \text{İvme} \times \text{Zaman}$$

$$= g \, dt = gt$$

$$\text{Mesafe} = h = (\text{Hız}) (\text{Zaman})$$

$$= v \, dt = (gt) \, dt$$

$$h = gt^2/2 = (gt)^2/2g$$

Ancak $v = gt$ dolayısıyla,

$$h = v^2/2g$$

$$\text{veya } v^2 = 2gh \quad \Rightarrow \quad h = v^2/2g$$

ki bu da düşen cismin hızıdır. Eğer $h = v^2/2g$ 'yi mg ile çarparsak,

$$mgh = mv^2/2 \text{ 'yi elde ederiz.}$$

Daha önce potansiyel enerjinin mgh 'ye eşit olduğunu görmüştük. O zaman $mv^2/2$ kinetik enerjinin hız cinsinden ifadesidir.

$$\text{Yükseklik cinsinden enerji} = mgh$$

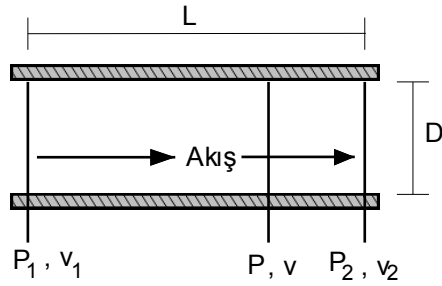
$$\text{Hız cinsinden enerji} = mv^2/2$$

7.2.3 Uniform bir Borudaki Akış

Bir süreç endüstrisindeki akışa örnek olarak Şekil-7.1'deki uniform ve sabit kesit alanlı (A) bir borudaki akış gösterilebilir. Giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı (ΔP) akışkanın boru içinden akmasını sağlar.

Akışkanın akışı giriş ve çıkış arasındaki enerji farkından kaynaklanmaktadır. Akışkan hızını boruda enerji kaybı olmadığını varsayarak giriş basıncı P_1 ve çıkış basıncı P_2 cinsinden bulalım.

Borunun kesit alanının düzgün olmasından dolayı giriş basıncı P_1 ve çıkış basıncı P_2 'dir, girişteki toplam kuvvet $F_1 = P_1 A$ ve çıkıştaki toplam kuvvet $F_2 = P_2 A$ 'dır.



Şekil 7.1 Uniform bir borudaki akış.

Akışkanın L yolu boyunca hareket etmesiyle kullanılan enerji (yapılan iş) kuvvet çarpı yoldur:

$$\begin{aligned} (F_1 - F_2) L &= P_1 AL - P_2 AL \\ &= (P_1 - P_2) AL \end{aligned}$$

AL borunun hacmi olduğundan, iş aşağıdaki formülle verilir:

$$\begin{aligned} \text{İş} &= \text{Enerji} = (P_1 - P_2) (\text{Hacim}) \\ &= \Delta P \times \text{Hacim} \end{aligned}$$

Bir akış sistem için tam enerji eşitliğinin iç enerji değişimleri de dâhil (akışkanın her bir molekülünde depolanan) tüm olası enerji terimlerini içermesi gerekir. Bu enerji moleküler enerji, moleküler rotasyonal enerji, moleküller arası bir arada tutma kuvvetleri potansiyel enerjisini içerir. Bu iç enerji yalnızca yüksek sürtünme kuvvetlerinin akışkanın sıcaklığını arttırdığı laminar akışta belirgindir. Pek çok durumda iç enerjiyi ihmal edebilmek için normalde süreç kontrolde türbülanslı akışlarla ilgileniyoruz. Şekil-6.1'deki akışın türbülanslı olduğunu varsayarak, uniform bir borudaki akış için enerji eşitliğini bulalım:

$$\text{Enerji} = \Delta P \times \text{Hacim}$$

$$\text{Enerji} = mv^2/2$$

Bu iki enerji birbirine eşit olduğundan,

$$\Delta P \times \text{Hacim} = mv^2/2$$

Kütle (m) = Hacim $\times$ Yoğunluk = (V) (ρ)'dur.

$$\Delta P \times \text{Hacim} = \text{Hacim} (\rho) v^2/2$$

$$v^2 = 2\Delta P/\rho$$

$$\text{veya } v = \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (6-1)$$

Bu eşitlik akan akışkanın hızını basınç farkı ve akışkan yoğunluğu cinsinden vermektedir.

Bu akış eşitliği bazı kitaplarda basınç farkı yerine basınç "head"i cinsinden ifade edilir. "Head" bir sıvı sütununun yüksekliğidir (z). ΔP ile z arasındaki ilişki şöyledir:

$$z = \Delta P/\rho g$$

$$\text{veya } \Delta P = \rho z g$$

Akış hızı, v, sıvı sütunu yüksekliği (z) cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v^2 = 2\Delta P/\rho = 2 (\rho z g)/\rho = 2gz$$

$$v = \sqrt{2gz} \quad (6-2)$$

Hacimsel akış miktarı (debi) olarak tanımlanan diğer bir terim Q:

$$Q = Av \quad (7-3)$$

A (m²) akış taşıyıcısının (örn. boru) kesit alanıdır.

Aynı zamanda birim zamanda akan kütle olarak bir kütleli akış miktarı (W) da tanımlayabiliriz:

$$W = \rho Q \quad (7-4)$$

W: kütleli akış hızı (kg/s)

ρ : yoğunluk (kg/m³)

Q: hacimsel akış hızı (m³/s)

ÖRNEK 7.1

Problem: Su 2.5cm çapındaki bir borudan 5m/s'lik akış hızıyla pompalanmaktadır. Hacimsel ve kütleli akış miktarını bulunuz. Suyun yoğunluğu 1 gr/cm³'tür.

Çözüm: Akış hızı 0.5 m/s olarak verildiğine göre, hacimsel akış miktarı Eş.-7.3'ten bulunabilir:

$$Q = Av$$

Alan $A = \pi d^2/4$

$$A = \pi (2.5 \times 10^{-2})^2/4$$

$$A = 4.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Hacimsel akış miktarı:

$$Q = Av$$

$$Q = (4.91 \times 10^{-4}) (5 \text{ m/s}) (60 \text{ s/dak})$$

$$Q = 0.147 \text{ m}^3/\text{dak}$$

Kütleli akış miktarı:

$$W = \rho Q$$

$$W = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.147 \text{ m}^3/\text{dak})$$

$$W = 147 \text{ kg/dak}$$

ÖRNEK 7.2

Problem: Sıkıştırılmaz bir akışkan 25 cm çapındaki borudan 180 cm'lik basınç yüksekliğiyle akmaktadır. Akışkanın hızını ve hacimsel akış miktarını hesaplayınız.

Çözüm: Akışkan hızı Eş.- 7.2'den bulunabilir:

$$v = \sqrt{2gz}$$

z = 180 cm = 1.8 m ve g = 10 m/s²'dir.

$$v = \sqrt{2(10 \text{ m/s}^2)(1.8 \text{ m})} = 6 \text{ m/s}$$

Hacimsel akış miktarı Eş.- 7.3'ten bulunur:

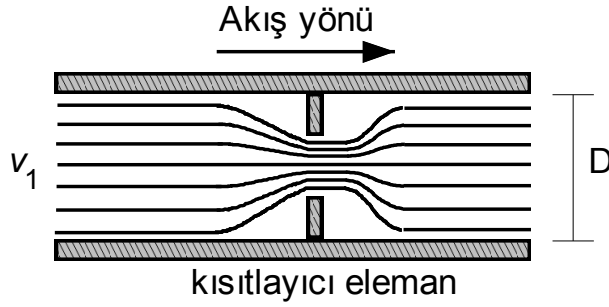
$$Q = Av$$

$$Q = \pi [(0.25 \text{ m})^2/4] (6 \text{ m/s}) \cong 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.2.4 Diferansiyel Basınç Akış Eşitliği

Sabit kesit alanlı bir borudaki durgun akış için bir eşitlik çıkarmıştık. Böyle bir borudaki akışı sağlamak için gerekli basınç farkı (ΔP) ölçülemeyecek kadar küçüktür. Eğer böyle bir borunun kesit alanı daraltılırsa bu redüksiyon bölgesindeki hız artar ve basınç azalır. Borunun içine bir yapay kısıtlayıcı eleman yerleştirilirse, bu basınç düşümünü ölçebilir ve borudaki akış miktarını elde edebiliriz. Pek çok ΔP akışölçeri (orifis, venturi, vb) bu yöntemi kullanmaktadır.

Dairesel kesit alanlı bir borunun içindeki kısıtlayıcı elemandaki v_2 akış hızı için bir eşitlik elde etmemiz gerekir. Borunun alanı $A_1 = \pi D^2/4$ ve orifisin alanı $A_0 = \pi d^2/4$ 'tür.



v_1 = giriş hızı ve v_2 = kısıtlayıcı eleman bölgesindeki hız
Şekil 7.2 Bir süreç hattındaki akış kısıtlayıcı

Borunun herhangi bir kesit alanından aynı miktarda maddenin akması gerektiğinden ($Q = \text{hacim/zaman}$), ve $(\text{alan})(\text{hız}) = \text{hacim/zaman}$ olduğundan:

$$A_1 v_1 = A_0 v_2$$

$$v_1 = v_2 A_0/A_1$$

$$v_1 = v_2 4\pi d^2/4\pi D^2 = v_2 d^2/D^2$$

Orifisteki diferansiyel basınç düşümüne (ΔP) ve hareket eden akışkanın kinetik enerjisine bağlı iki enerji terimini eşitleyelim. Diferansiyel basınç, kısıtlama bölgesindeki hız değişiminden kaynaklanır ve tam tersi de doğrudur. ΔP 'den kaynaklanan enerjinin hızdaki değişime neden olan aynı enerji olması gerekir. Hızdaki değişime neden olan enerji:

$$\Delta (\text{Kinetik Enerji}) = mv_1^2/2 - mv_2^2/2$$

L uzunluğundaki bir borudaki basınç farkından kaynaklanan Enerji ($\text{kuvvet} \times \text{yol}$):

$$\text{Enerji} = (\Delta P) AL = (\Delta P) \times (\text{hacim})$$

Bu enerjiler eşit olduğundan,

$$mv_1^2/2 - mv_2^2/2 = (\Delta P) \times (\text{hacim})$$

Ancak akışkanın kütlesi (m) hacime bağlıdır:

$$m = (\text{hacim}) (\text{yoğunluk}) = V \rho$$

$$m [v_1^2/2 - v_2^2/2] = \Delta P \times V$$

$$\Delta P = \rho [v_1^2/2 - v_2^2/2]$$

$$v_1^2 - v_2^2 = 2 \Delta P/\rho$$

(7-5)

Daha önce

$$v_1 = v_2 d^2/D^2 \text{ olduğunu göstermiştik.}$$

Eşitliğin karesini alalım:

$$v_1^2 = v_2^2 d^4/D^4 \quad \text{olur.}$$

Eş. 7-5'te yerine koyalım:

$$v_2^2 - v_2^2 (d^4/D^4) = 2 \Delta P/\rho$$

$$v_2^2 [1 - (d^4/D^4)] = 2 \Delta P/\rho$$

v_2 orifiste ölçtüğümüz hızdı, dolayısıyla $v_2 = v$ der ve v için çözersek:

$$v = \sqrt{2\Delta P/\rho [1 - (d^4/D^4)]} \quad (7-6)$$

d/D oranı çok önemlidir ve beta (β) olarak adlandırılır.

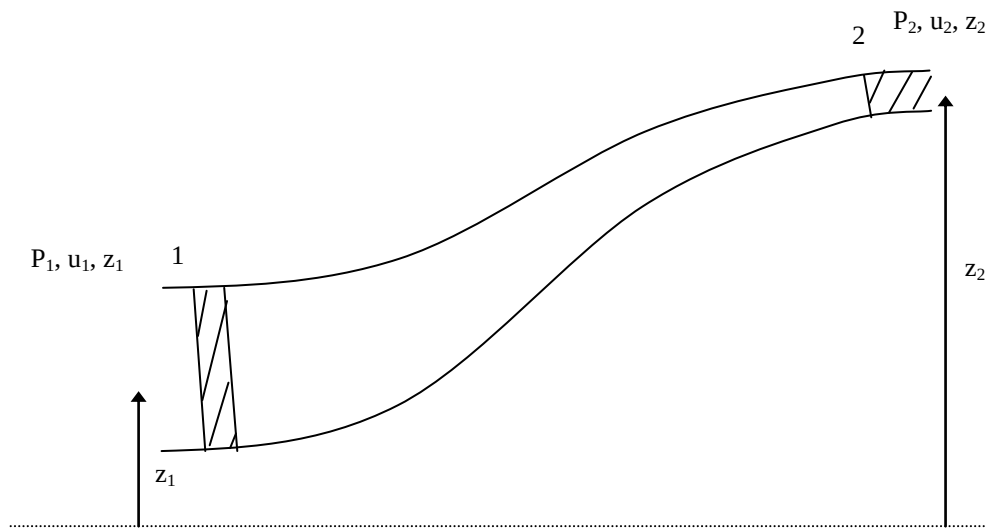
$$\beta = d/D \quad (\text{beta oranı})$$

β 'yı Eş. 7-3'te yerine koyarak:

$$v = \sqrt{2\Delta P/\rho (1 - \beta^4)} \quad \text{bulunur.} \quad (7-7)$$

Eş. 7-7'yi de $Q=Av$ eşitliğinde yerine koyarsak, iç enerji (boru kayıpları, moleküler enerji kayıpları, vb) sıfır kabul edildiğindeki akış eşitliği elde edilir.

7.2.5 Enerjinin Korunumu (Bernoulli Teoremi)



$$m_1 = \rho A_1 u_1 \Delta t$$

$$A_1 u_1 \Delta t = m/\rho$$

ρ : akışkan yoğunluğu (kg/m^3)

Kontrol hacmi içindeki akışkan üzerindeki enerji dengesi:

$$\left[\begin{array}{l} 1. \text{ durum} - 2. \text{ durum} \\ \text{arasında potansiyel} \\ \text{enerji kaybı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Basınç kuvvetleri} \\ \text{tarafından yapılan} \\ \text{iş} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Kinetik enerji} \\ \text{kazancı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Sürtünmeden} \\ \text{kaynaklanan} \\ \text{ısı kayıpları} \end{array} \right]$$

$$mg(z_1 - z_2) + [(p_1 A_1)(u_1 \Delta t) - (p_2 A_2)(u_2 \Delta t)] = \frac{1}{2} m(u_2^2 - u_1^2) + E_f \quad (7-8)$$

E_f ihmal edilerek,

$$mg z_1 - mg z_2 + [p_1 A_1 u_1 \Delta t - p_2 A_2 u_2 \Delta t] = \frac{1}{2} m u_2^2 - \frac{1}{2} m u_1^2$$

$$\frac{p}{\rho} + gz + \frac{1}{2} u^2 = \text{sabit}$$

Bernoulli Denklemi

(7-9)

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{u^2}{2g} = \text{sabit (Toplam akış yüksekliği) (m)}$$

Burada

$$p_1 - p_2 = p$$

$$z_1 - z_2 = z$$

$$u_1^2 - u_2^2 = u^2$$

7.3 BİRİNCİL ELEMANLAR_ ΔP TİPİ AKIŞÖLÇERLER

7.3.1 Orifis Plakası

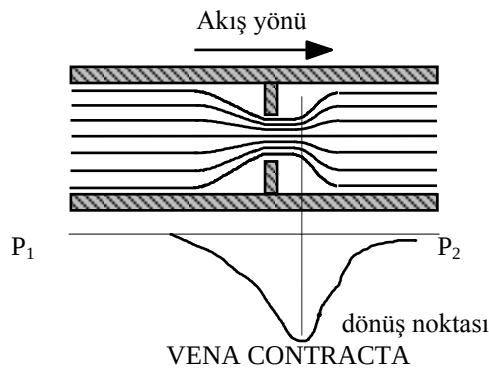
Orifis plakası en basit, en çok kullanılan ΔP-tipi akış ölçme elemanıdır ve Bernoulli ilkesine göre çalışır. Bir orifis plakası hatta boru flanşları arasına yerleştirilir ve üzerindeki basınç farkı ölçülür.

Orifis plakası önemli üstünlüklere sahiptir: Düşük maliyet, çok yakın toleranslarla imalat ve yerleştirme ve değiştirmenin kolaylığı gibi. Sıvıların, gazların ve buharların çok çeşitli koşullar altındaki ölçümlerinde çok doğru sonuçlar elde edilir. Ancak orifis plakası sistem tasarımında dikkate alınması gereken oldukça büyük basınç düşümlerine neden olur.

Standart orifis plakası genellikle paslanmaz çelikten, boyut ve akış hızına bağlı olarak 1/8 in. ile 1/2 in. arasında kalınlıkta imal edilen, ortasında bir delik (orifis) ve üst kısmında sütun şeklinde bir çıkıntı bulunan (veri plakası: tanıtım no.su, delik çapı, vb gibi bilgiler) dairesel bir disk'tir.



Şekil 7.3 Konsantrik orifis plakası



Şekil 7.4 Orifis plakası ile basınç profili

Bazı orifislerde deliğin arka tarafı 45° açılandır. Keskin veya açısız kenar sürtünmeyi en aza indirmek için akış yönüne doğru yerleştirilmiştir.

Hattın içine yerleştirildiğinde, orifis plakası akış hızının artmasına ve basıncın azalmasına neden olur. Akış örüntüsü orifis plakasının yanı sıra kesit alanında etkin bir daralma gösterir, yani "vena contracta" da maksimum hız ve minimum basınç gösterir.

Bu akış örüntüsü ve bunu üreten orifis plakasının keskin giriş kenarı çok önemlidir. Bu keskin kenar plaka ve etkin akış arasında, bu sınırda ihmal edilebilecek düzeyde akışkan-metal arası bir sürtünme ile hemen hemen saf bir çizgisel temas sağlanmaktadır. Keskin kenardaki herhangi bir çentik, oyuk veya yuvarlaklık ölçümde çok büyük hatalara neden olabilir.

7.3.1.1 Eksentrik ve Daire Parçası Orifis Plakası

Eksentrik orifis plakasının deliği Şekil-7.5'te görüldüğü gibi eksenden kaçıktır. Daire parçası orifis plakasının deliği bir daire parçasıdır.

Her iki orifis plakasının et kalınlığı, kenar keskinliği, düzgünlüğü, yassılığı gibi özellikleri konsantrik orifis ile aynıdır. Deliğin yeri katı ve yabancı maddelerin birikip bir engel oluşturmasını engeller. Katı maddeler içeren sıvılar ile su ve ıslak buhar içeren yağların ölçülmesinde kolaylık sağlar.

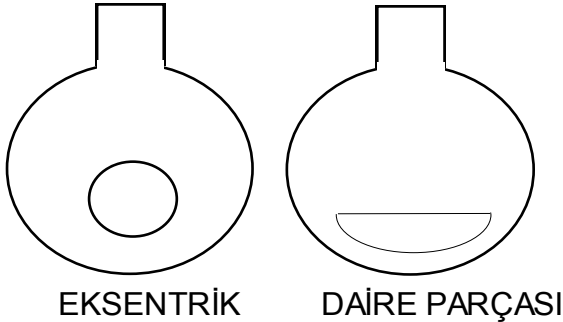
7.3.1.2 Orifis Plakası Akış Eşitliği

Temel akış eşitliği (Eş.7-3) iç enerji kayıplarının sıfır olduğu varsayımına dayanarak çıkarılmıştı. Bu kayıplar sıfır olmadığından dolayı, çeşitli boru çapları ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen empirik düzeltme faktörleri tablolar halinde sunulmaktadır.

Bu düzeltme faktörlerini orifis akış sabiti (C) adı verilen tek bir sabitle belirtirsek, bir orifis plakasındaki pratik akış hesabı aşağıdaki gibi yapılır:

$$v = C \sqrt{\Delta P / \rho} \quad (7-10)$$

$$v = C \sqrt{2gz} \quad (7-11)$$



Şekil 7.5 Eksentrik ve daire parçası orifis plakaları

ÖRNEK 7.3

Problem: Akış sabiti 0.6 olan bir orifis plakasının içinden akan bir sıvı 80 cm'lik bir basınç düşümüne neden olmaktadır. Akışkan hızını hesaplayınız.

Çözüm: Orifis ile ölçülen akışkan hızı Eş. 7.11 ile hesaplanabilir:

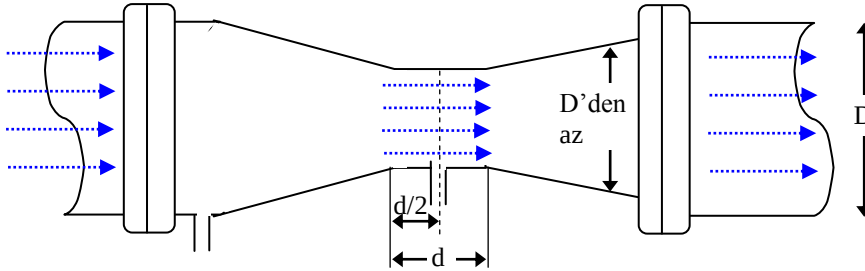
$$v = C \sqrt{2gz}$$

$$v = 0.6 \sqrt{2(10 \text{ m/s}^2)(0.8 \text{ m})} = 2.4 \text{ m/s}$$

7.3.2 Venturi Tüpü

Venturi tüpü akımın kesit alanının daraldığı ve hızın artarak basıncın düştüğü daralan bir konik giriş kısmı; akış hızının azalmadığı ya da artmadığı bir alanda bu azalan basınç için bir ölçüm noktası sağlayan silindirik bir boğaz; ve hızın azaldığı, basıncın arttığı genişleyen bir koniden oluşmaktadır. Basınç tapleri giriş konisinin yarısında ve boğazın ortasındadır.

Venturi tüpte ani şekil değişimleri, keskin köşeler ve akışkan akımında projeksiyonlar görülmez. Bundan dolayı orifis plakalarının kullanılmadığı lağım çamuru ve kirli akışkanların ölçümünde kullanılabilirler. Venturi tüpler büyük hacimlerdeki akışta orifis plakasına göre sistem basıncında daha az kayba neden olur (%10-%25). Venturi tüpün esas sakıncası pahalı olması ve daha geniş boyutlar için montaj giderinin fazla olmasıdır. Bir Venturi tüpünün yerinde incelenmesi orifis plakadan daha zordur. Birkaç nedenden dolayı, Venturi tüple ölçüm keskin kenarlı orifis plaka ile yapılan ölçümden daha az doğru olabilir. Ancak bu sorun Venturi tüpün yerinde akış için kalibre edilmesiyle giderilebilir.

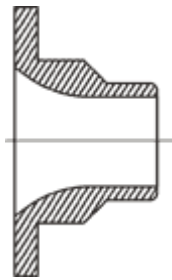


Şekil 7.6 Klasik Venturi tüpü ve boyutları.

7.3.3 Akış Nozülleri

Akış nozülü, eliptik veya eliptiğe yakın şekle sahip giriş kısmı ve buna teğet silindirik bir boğaz kısmıyla biten bir kısıtlayıcıdır.

Yüksek hızlı akışlarda kullanılırlar. Akış nozülü daha dayanıklıdır ve erozyona karşı keskin kenarlı orifisten daha uygundur. Şekli dolayısıyla katı maddelerin boğaz kısmında birikmesi söz konusu değildir. Gazlarda daha çok tercih edilir ve kullanılırlar. Maliyeti orifisten oldukça fazladır. Bakım için sökülmesinin daha zor olması önemli bir sakıncadır. İlk maliyet açısından da orifisten bir kaç misli pahalıdır. İçinde parçacık yüzdesi fazla olan akışkanların ölçümü için önerilmez.



Şekil 7.7 Standart akış nozülü

7.3.4 Pitot Tüpleri

Pitot tüpü borunun bir noktasındaki akış hızını ölçer. En önemli kullanma alanı düşük hızdaki hava akışının ölçülmesidir. Ölçme için iki girişi vardır ve iki basıncı aynı zamanda iki ayrı tüp aracılığıyla ölçer. Tüpler genellikle birbiri içine takılır. İçteki tüpün bir ucu açıktır ve akışın kaynağını işaret edecek şekilde dik açıyla kıvrılmıştır. Bu giriş tam akış yönünde ve akışa karşıdır. Akışkanın çarpma basıncını ölçer. Dıştaki tüpün ucu sızdırma yapmayacak şekilde

kapatılmıştır ve yan tarafında, 90° yönde, ise küçük bir yarık olan statik basınç girişi vardır. Pitot tüpler yalnızca temiz akışkanlar için kullanılabilir, çünkü bu küçük açıklıklar kolaylıkla tıkanabilir. Bu iki basınç arasındaki fark hız ile orantılıdır. Debi, ortalama hızın meydana getirdiği çapın hesabı ve buradaki hızın ölçülmesiyle bulunur. Eğer daha hassas bir ölçme istenirse, Pitot tüpünün bütün boru boyunca hareket ettirilmesi ve birçok noktadaki hızların ölçülmesi gerekir. Böylece gerçek ortalama hız bulunur.

Çarpma basıncını algılayan deliğin civarındaki akım hızının karesi ile orantılı olan fark basıncını bir basınç ölçme aygıtı ölçer. Pitot için hız eşitliği:

$$v = C_p \sqrt{2gz} \quad (7-12)$$

C_p = Pitot tüpü değişmezi



Şekil 7.8 Pitot tüpü boru içindeki akışın bir noktasındaki hızı ölçer.

ÖRNEK 7.4

Problem: Değişmezi 0.98 olan bir Pitot tüpü ile bir borudaki suyun hızı ölçülmek isteniyor. Basınç farkı yüksekliği 80 cm dir. Hızı hesaplayınız.

Çözüm: Eş. 7.12'den

$$v = C_p \sqrt{2gz}$$

$$v = 0.98 \sqrt{2(10 \text{ m/s}^2)(0.8 \text{ m})} = 0.98 \sqrt{16} = 3.92 \text{ m/s}$$

Daha büyük basınç farkları elde etmek için Pitot tüpünün özel uygulamalarından olan Pitot Venturi ve çift Venturi kullanılır. Bu özel ağıtlara düşük hızlı ve dolayısıyla çok düşük basınç farkları veren akımlarda gerek duyulur.

Pitot ve Pitot Venturi'nin en önemli üstünlüğü pratik olarak basınç kaybına neden olmamalarıdır. Ekonomiktirler, hatlara kolayca yerleştirilir ve sökülürler. Akış tarafındaki türbülanslara karşı hassas olup, kirli ve yapışkan sıvılarda önerilmezler. Basınç kaybı veya enerji kaybına izin verilmediği ölçme doğruluğunun (%1/2-5) çok önemli olmadığı servislerde kullanılırlar.

7.3.5 Dirsek Akışölçer

Dirsek (elbow tap) akışölçer en basit fark basınç akışölçeridir. Herhangi bir 90° 'lik dirsek boru, dirseğin merkezine iki küçük delik delerek akışölçer olarak kullanılabilir (Şekil 7.9). Kıvrımın dış tarafından geçen akışkanın basıncı iç tarafından geçen akışkanın basıncından daha büyük olacaktır. Basıncıdaki fark akış hızının bir ölçüsüdür.



Şekil 7.9 Dirsek akışölçer

7.4 ROTAMETRELER

Rotametre bir değişken alan-tipi diferansiyel basınç akışölçeridir. Aşağıya doğru daralan bir tüp ve tüp boyunca aşağı ve yukarı serbestçe hareket edebilen bir şamandıradan oluşmaktadır. Ölçülecek akışkan tüpün alt kısmından girer, şamandıranın etrafından yukarı doğru yükselir ve üst kısımdan dışarı çıkar (Şekil-7.10).



Şekil 7.10 Rotametre şamandırası konik tüp içinde debi ile doğru orantılı olarak yükselir.

Rotametreten bir akış olmadığında, şamandıra ölçme tüpünün dibinde durur. Burada şamandıranın çapıyla tüpün dar kısmının çapı yaklaşık olarak birbirine eşittir. Akışkan ölçme tüpünün içine girdiğinde, akışkanın yüzdürme etkisi şamandırayı hafifletir, ancak şamandıranın yoğunluğu akışkanınkinden fazladır ve yüzdürme etkisi onu kaldırmaya yeterli değildir. Tüp ve şamandıra arasında küçük bir halka şeklinde açıklık vardır. Şamandıradaki basınç düşümü artar ve şamandırayı bir miktar yukarı kaldırır. Şamandıra tüpün içinde akışkanın hızı ve şamandıra ve tüp arasındaki halka şeklindeki alan ile orantılı olarak aşağı ve yukarı hareket eder. Debi arttıkça şamandıra daha fazla kalkarak sıvının geçeceği kesiti büyütür. Bu bakımdan şamandıranın tüp içindeki yüksekliği akan debi ile doğru orantılıdır. Tüp konik olduğundan yükseklik debi bağlantısı doğrusaldır. Tüp üzerinde debiyi belirten bölümlendirmeler yapılırsa debiyi gösteren bir enstrüman elde edilmiş olur. Bu bölümlendirmeler verilen bir yoğunluk ve viskozitedeki bir akışkan için geçerlidir ve her bir şamandıra konumu tek bir belirli akış hızına karşılık gelir. Rotametreler bir denetleyiciye bilgi sağlamak için kullanıldığında elektronik sensörlerle birlikte kullanılır. Şamandıranın yerdeğiştirme miktarı ile orantılı akış bir elektriksel işarete dönüştürülür.

Aşağıdaki eşitlik Bernoulli Teoremi'nden bir rotametreten geçen sıvı akışı için çıkarılmıştır.

$$Q = C A_a \sqrt{(\rho_F - \rho_f) / \rho_f}$$

Q = hacimsel akış miktarı

C = ölçü aletinin akış sabiti

A_a = tüp ve şamandıra arasında kalan halka şeklinde alan

ρ_F = şamandıranın yoğunluğu

ρ_f = akışkanın yoğunluğu

Rotametre gaz akışı ölçümü için ucuz bir akışölçeridir. Basınç düşümü azdır, genellikle 1 psi'den düşük.

Rotametre kendi kendini temizleyen bir ölçü aletidir. Şamandıranın geçen akışın hızı ve şamandıranın dikey hareket serbestisi ölçü aletinin kendi kendini temizlemesini sağlar.

Rotametrelerin değişik tipleri ve şekilleri vardır. Tüpün ve şamandıranın şekli, malzemeleri ve bağlantıları, basınç ve sıcaklığa dayanıklılıkları, bölümlendirmenin boyu gibi özellikler hizmet verdikleri süreçlerin durumuna göre değişir.

7.4.1 Cam Tüpler

Cam tüpler nispeten düşük basınç ve sıcaklıklarda su ve hava gibi yanmayan akışkanlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Sayaç borularına göre cam tüp oldukça yüksek basınçlara dayanabilir. Yine de yüksek basınçlarda kullanılmazlar. İç basınçtan daha çok camın kırılma bir malzeme olması önemlidir. Cam tüpün tehlikesini biraz azaltmanın yöntemi koruyucu bir metal kılıf kullanmaktır. Koruyucu kazayla oluşabilecek durumları önlediği gibi, cam tüpün kırılması halinde akışkanın dışarı fışkırmasını veya saçılmasını önler.

7.4.2 Metal Tüpler

Metal sayaç tüpleri (zırlı tüp) cam tüpün kullanılamadığı uygulamalarda kullanılırlar. İçinin görülmesi mümkün olmadığından şamandıranın yerini belirlemek için kullanılan bir teknikle şamandıranın doğrusal hareketi dairesel bir harekete çevrilmiştir. Dairesel hareket ya bir göstergeyi çevirmekte ya da iletilecek sinyali sağlamaktadır. Hareket değişimini sağlayan mekanizma bir alüminyum silindir içindeki manyetik demir spiral olup sayaç tüpünün yanına ve ona paralel olarak yerleştirilmiştir. Sayaç şamandırası içine bir mıknatıs gömülüdür. Mıknatısın debi ile orantılı yukarı aşağı hareketi manyetik spiralın dönmesini sağlamaktadır. Böylece şamandıranın doğrusal hareketi dönme hareketine çevrilmiştir. Helezon ucuna bağlı gösterge ve uygun bölümlendirilmeden debi okunmaktadır. Helezonun ucuna bir de kam bağlanarak bu kamın pnömatik veya elektriksel sinyaller gönderen bir sistemi denetlemesi sağlanmıştır.

7.5 HIZ AKIŞÖLÇERLERİ

Hız akışölçerleri akışkan akış hızını doğrudan ölçerler. Bunlardan en çok kullanılanı türbinli sayaçlardır.

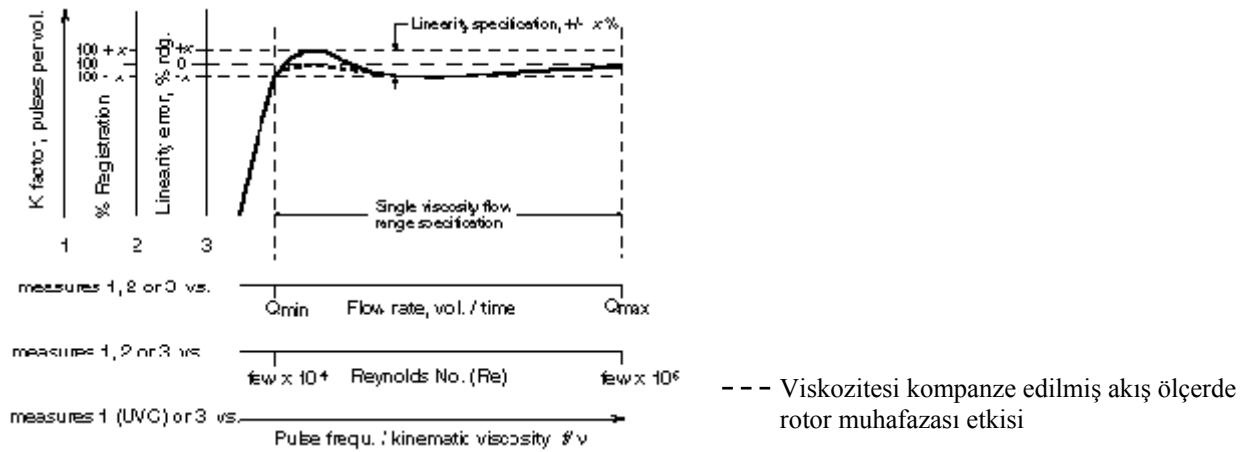
7.5.1 Türbinli Sayaçlar

Türbinli sayaçlar bir boru tüp ile bunun içinde dönen türbin veya fandan oluşur. Akış hızı türbin kanatlarını veya rotoru debi ile orantılı bir hızla döndürür. Dönme hızı bir manyetik yakınlık algılayıcı tarafından boru dışından algılanır. Rotor kanatlarının her birinin manyetik algılayıcı önünden geçişi bir adet alternatif akım darbesi meydana getirir. Her darbe bir akış miktarını belirtir.

Türbinli sayaçların önemli üstünlüklerinden biri toplam akış miktarını gösterebilecek şekilde ayarlanabilmeleridir. Elektriksel darbeler toplanabilir, bir toplamdan çıkarılabilir ve sayısal teknoloji (bilgisayar teknolojisi) ile çeşitli şekillerde kullanılabilir. Sayısal sinyaller darbe üreticiden sayısal gösterge elemanına gider. Türbinli sayacın çalışması tamamen rotor sistemine bağlıdır.

Sayaç ölçme aralığının doğrusal bölgesinde çalışırken doğru ölçme yapar. (Sayacın basınç kaybı debisinin karesi ile değişir.)

Düşük hızlarda ve ölçme aralığının küçük yüzdelğinde her miktar akış için (örneğin her litre debi için) üretilen darbe sayısı K faktörü ($K = \text{devir/hacim}$) düşüktür. Debi arttıkça bu faktör büyür. Maksimum debinin %10'undan sonra bu faktörün sabit kaldığı Şekil-7.11'de görülmektedir. K'nın sabit kaldığı bölgede ölçme doğruluğu $\pm\%1/4$ ile $1/2$ arasında değişir.



Şekil 7.11 Universal Viskozite Eğrisi

Manyetik algılayıcı sistemin çıkışı, doğrudan göstergiyi veya toplam debiyi gösteren sayacı besleyebilir. Bu çıkış diğer örneksel sistemlerin kullanacağı sinyallere çevrilebilir. Şekil-7.12'de algılayıcı sistemin şematik resmi görülmektedir. Ferromanyetik malzemeden yapılmış A bıçağı B noktasından geçerken Alnico mıknatısı tarafından üretilen manyetik alanı saptırır ve bobinde bir gerilim üretilir. Oluşan bu gerilim bıçak C'ye doğru giderken düzensiz bir dalga şeklinde azalır. Her bir gerilim darbesi belli bir hacmi temsil eder ve türbin çıkışı istenen herhangi bir hacim biriminde darbe sayısıdır. Bobinde endüklenen bu gerilimin ifadesi şöyledir:

$$E = A \cdot \omega \cdot \sin N \omega t$$

$$A = \text{sabit}$$

$$\omega = \text{açısal hız}$$

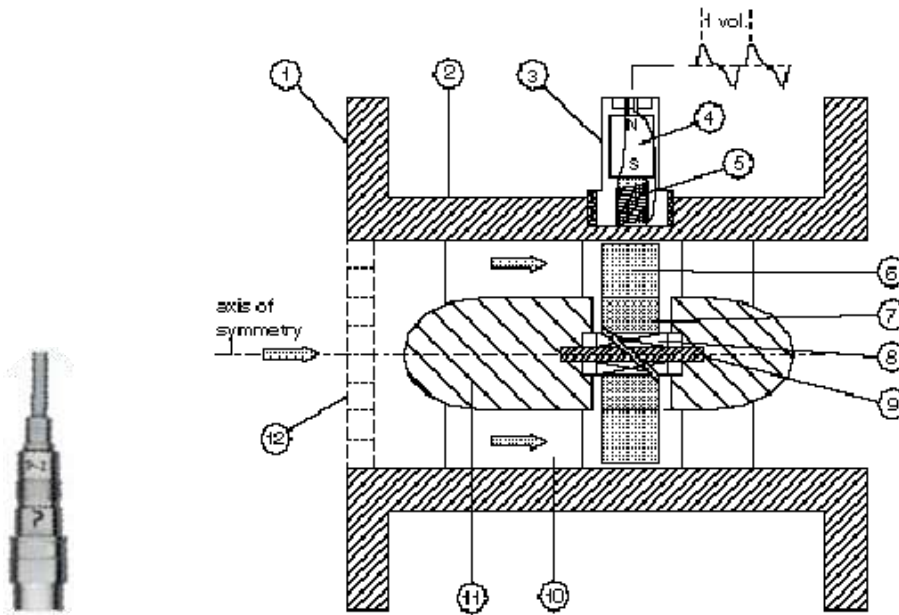
$$N = \text{türbin kanat sayısı}$$

Bu ifadeye göre, çıkış genliği ve frekans akış hızı ile orantılıdır. Türbinli sayaçlar ile akışa bağımlı akım veya gerilim çıkışı alınabilmesi için frekansa bağımlı devreler kullanılır.

Türbinli sayaçlarda tekrarlanabilme özellikleri mükemmeldir.

Bir akış hattına türbin eklenmesi bazı sorunlar yaratır. Türbinli sayacın rotoru doğrudan akışkanla temas eder ve kirli, paslandırıcı kimyasallar ve parçacıklarla teması istenmediğinden kullanımı yalnızca temiz akışkanlarla sınırlandırılmıştır. Diğer bir olası sorun ise rotor yatağının bazı sıvılar içinde çok çabuk aşınmasıdır. Periyodik bakım bu sayaç için de çok önemlidir.

Türbinli sayaçlar ticari amaçlarla giderek daha fazla tercih edilmektedir. Hem sıvı hem de gaz akışlarında kullanılırlar. Petrol sanayiinde ve diğer sanayide karıştırma sistemlerinde tercih edilmektedirler. Yüzen madde içeren sıvılar için özel tasarımlar geliştirilmiştir. Kirli servisler için uygun değildir.



Şekil 7.12 Türbinli sayacın algılayıcı sistemi ve darbe sinyallerinin dalga şekilleri (Omega Inc.)

Türbinli sayaçlar ¼-24 inç (0.635-60.96cm) boyutları arasında üretilmektedir. Kapasite olarak 0.1 - 50,000 gpm (0.3785 - 189,250 lt/dak) debilerinde kullanılırlar.

Genelde gereksinime ve kullanılan servise uygun şekilde kalibre edilirler.

7.5.2 Vorteks Sayaçlar

Vorteks sayacı olarak sınıflandırılan iki sayaç vardır. Bunlardan biri girdapmetre, diğeri ise vorteks aygıtı olarak adlandırılır.

7.5.2.1 Girdapmetre (Swirlmeter veya Vortex Precision)

Girdapmetreler sayısal sinyal veren debi ölçme aygıtlarıdır. Hareketli hiçbir parçası yoktur. Çıkış sinyalleri debi ile orantılı darbe sayısıdır. Şekil-7.22'de aygıtın kesiti görülmektedir. Girdap hareketi enstrüman içine yerleştirilmiş olan kanatlar tarafından yaratılmaktadır. Akışkan kanatlardan sonra venturi şeklinde bir tüpten geçer. Burada akış huzmesi önce daralır ve sonra genişler. Genişlemenin olduğu bölgede girdaplı akış bir salınım veya titreşim yapar. Titreşimin frekansı debi ile orantılıdır. Akışkanın titreşimi sıcaklıkta değişime neden olur. Bu alana yerleştirilmiş bir dirençli algılayıcı (termistör) sıcaklık değişimlerini gerilim darbelerine çevirir. Gerilim darbeleri bir yükselteçte yükseltılarak filtre edilir. Darbelerin frekansı bir elektronik sayıcı tarafından kolayca ölçülür veya diğer tip enstrümanlarda kullanılmak üzere gönderilebilir.

Sayacın çıkışında bulunan kanatlar, akışın sayacı terk etmeden önce düzenlenmesi, böylece aygıtı ters yönde etkilememesi görevini yaparlar.

Girdapmetrelerin $\pm\%1$ doğrusal ölçme bölgesinde doğruluğu $\pm\%0.75$ 'tir.

Bu sayaçlar 1 ile 6 inç (2.54 - 15.24 cm) boyutunda imal edilmektedir. Çalışma basınçları 10-20 bar'dır. Yangına karşı hassas atmosferde kullanılır. Ölçülen akışkanın sıcaklık sınırları -75°C ile 260°C arasındadır. Sayaçtan sonraki düz boru uzunluğu 10 çaptır. Akışkanın titreşimi basınç darbeleri olarak bir gerilme göstergesi veya piezoelektrik algılayıcı kullanılarak da algılanabilir ve gerilim darbelerine çevrilebilir.

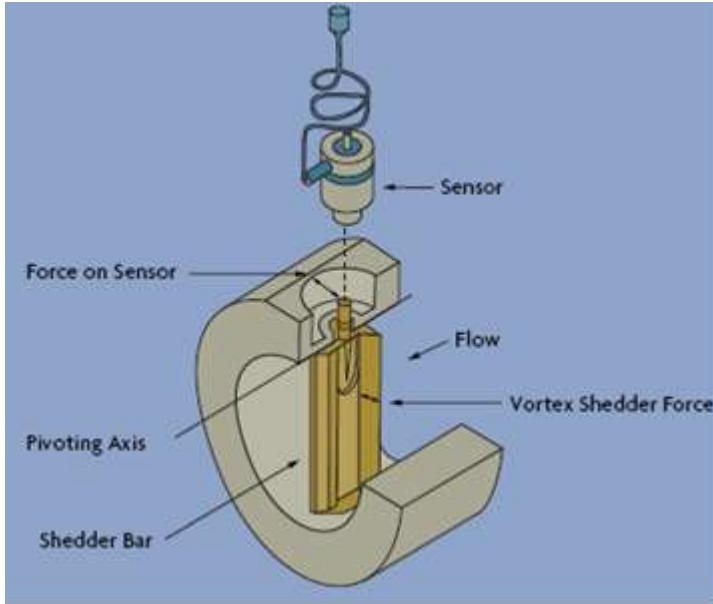
7.5.2 Vorteks Aygıtı (Vortex Shedding)

Vorteks aygıtında bulunan özel olarak şekillendirilmiş bir akış kırıcı akışı tam ortadan kırar. Akış kırıcı delta şeklinde olup bir girdap oluşmasını sağlar (Şekil-7.13). Oluşan girdaplı akımın titreşimi veya salınım frekansı debi ile orantılı olup akış kırıcının ön yüzüne yerleştirilmiş bir çift termistör tarafından algılanır. Algılayıcılar akışkan sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa elektriksel olarak ısıtılmaktadır. Girdabın oluşturduğu soğutucu etki algılayıcıdan debi ile orantılı darbe sinyallerinin elde edilmesini sağlar.

Sayısal göstergeler, sayısal sinyallerin örneksel sinyallere çevrildiği göstergeler, toplam debiyi veren sayaçlar veya akış denetim uygulamaları vardır. 2, 3, 4, ve 6 inç boyutunda 600 psig basınçta çalışan sayaçlar imal edilmektedir. Akışkanın sıcaklığı 0 ile 250°C arasında değişir.

Doğrusallık $\pm\%1/2$ ve ölçme oranı (aralık yeteneği) orifisin ölçme oranının yaklaşık üç katıdır (15:1). Maksimum sınır sıvı hızına bağlıdır. Sıvılar için verilen maksimum hız 20 ft/s (6.1 m/s), gazlar için ise 100 ft/s (30.5 m/s)'dir.

Bu sayacın da hareketli parçası yoktur. Boru donanımı için sayacın önünde ve arkasındaki düz boru boyutları ACA standartlarına uygundur.



Şekil 7.13 Vorteks aygıtında solda kesiti görülen akış kırıcı ısıtılan bir termistörde soğuma darbeleri yaratır. Bu darbelerin birim zamandaki sayısı ve frekansı debi ile orantılıdır. Sağda ise, iki girdapmetre görülmektedir (Omega).

7.6 MANYETİK SAYAÇLAR

Manyetik sayaçlar Faraday'ın endüksiyon yasasına dayanırlar. Bu yasaya göre, bir manyetik alan ve iletken arasında meydana gelen göreceli hareket endüklenmiş elektrik akımı yaratır. Bu ilke elektrik motorları ve üreteçlerin çalışma esasıdır. Elektrik motorlarında akım iletkenin hareketine, üreteçte ise iletkenin hareketi elektrik akımının oluşmasına neden olur.

Sayaç elektriksel olarak yalıtılmış bir borunun etrafında manyetik alanı meydana getiren bobin ile borunun içinde karşı karşıya yerleştirilmiş iki elektrottan oluşur. Bobinin meydana getirdiği manyetik alan boru eksenini ile elektrot eksenlerinden oluşan düzleme diktir. Sistem Şekil-7.14'te şematik olarak gösterilmiştir. Sıvı akışı bir grup iletken tel olarak düşünülebilir. Borunun kesiti boyunca akış hızı her noktada farklı olduğuna göre (boru ekseninde maksimum, cidarda minimum akış hızı), iletkenlerin hızlarının farklı olduklarını kabul etmek gerekir. Hareketli

iletkenlerin oluşturduğu toplam gerilim ortalama hızla (veya debiyle) orantılıdır. Toplam gerilimin bir andaki değeri o andaki ortalama akışkan hızı ile orantılı olduğuna göre, gerilimin debiyi gösterecek şekilde kalibre edilmesi gerekir. Gerilim debi ile orantılı olduğu için akışın laminar veya türbülanslı olması bir şeyi değiştirmez. Ölçme viskozite, yoğunluk, sıcaklık ve basınçtan bağımsızdır. Aynı şekilde sıvının iletkenlik derecesinden de bağımsızdır. Ancak sıvının minimum bir iletkenliğe sahip olması yeterlidir ($0.2 \mu\Omega^{-1} - 0.1 \mu\Omega^{-1}$).

Manyetik sayaçların başlıca üstünlükleri şunlardır:

- 1- Akışı kısıtlayan hiçbir engel yoktur.
- 2- Basınç kaybı yoktur (düz boruda oluşan kayıp dışında).
- 3- Kirlili, korozyon, aşındırıcı ve diğer sorunlu sıvıların ölçülmesinde herhangi bir sorun yoktur.
- 4- Sayaç ortalama hızı ölçtüğünden boru tesisatının şekli önemli değildir.
- 5- Bağlantılar elle veya otomatik olarak değiştirilerek ters yöndeki debinin ölçülmesi mümkündür.
- 6- Sayaç viskozite, yoğunluk, sıcaklık, basınç ve türbülansdan etkilenmez.



Şekil 7.14 Manyetik sayacın çalışmasını gösteren bu resimde alt ve üstte mıknatıslar ile manyetik alanın (B) yarattığı gerilim (E) belirtilmektedir. Boru çapı (D), akış (V) ile gösterilmiştir.

Manyetik sayaçlarda aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir:

- 1- Sıvının iletkenliği enstrüman imalatçısının belirttiği değerin altında olmamalıdır.
- 2- Sayaç dolu çalışmalıdır. Çünkü debi ortalama hıza göre kalibre edilmektedir.
- 3- Gaz kabarcıkları ölçme hatalarına neden olur.
- 4- Sayacın yarattığı düşük gerilimin yangın, patlama gibi bazı sorunlar yaratması önlenmelidir.
- 5- Elektrotların kirlenmesi ve üzerlerinde bir tabaka oluşması sinyalleri zayıflatır veya tamamen yok eder. Böyle durumlar için elektriksel veya mekanik temizleme yöntemleri geliştirilmiştir. Elektrotların temizlenmesi için bazen sayacın baypas edilip sökülmesi gerekebilir.
- 6- Sayaçlar elektrik sınıflandırmasına uygun olarak imal edilmelidir.

İlk manyetik sayaçlarda sayaç ana borusunun nonmanyetik olması gerekmiştir. Manyetik alanı yaratmak için demir plakalardan oluşan çekirdeğe sarılmış bobin kullanılmıştır. Daha sonraki modellerde ise demir çekirdek yerine manyetik özellikli ana boru kullanılmıştır. Bunlar daha hafif ve daha kısa aygıtlardır (Şekil-7.25). Manyetik bobin ile iletken akış sıvısı arasında bir yalıtım tabakası konulmuştur. Manyetik sayaçlar 1/10 inç'ten 100 inç çapına kadar farklı boyutlarda imal edilmektedir. Ölçme doğrulukları $\pm\%1/2$ ile 2 arasındadır.



Şekil 7.15 Çeşitli manyetik sayaçlar.

Tablo 7.1 Akış sensörlerinin karşılaştırılması

Sensör	Aralık yeteneği ¹	Doğruluk ²	Üstünlükler	Sakıncalar
orifis	3.5:1	%3-4 T.Ö.	-düşük maliyet -yaygın endüstriyel kullanım	- yüksek basınç kaybı -çamurlu sıvılar tıkar
venturi	3.5:1	%1 T.Ö.	-orifisten daha düşük basınç kaybı -çamurlu sıvılar tıkamaz	-yüksek maliyet - 15 cm'nin altında ölçüm
Akış nozülü	3.5:1	%2 T.Ö.	-çamurlu servisler için uygun -orta basınç kaybı	-orifis plakasından pahalı -sınırlı boru boyutları
Dirsek metre	3:1	%5-10 T.Ö.	-düşük basınç kaybı	-çok düşük doğruluk
annubar	3:1	%0.5-1.5 T.Ö.	- düşük basınç kaybı -geniş boru çapları	- kirli veya yapışkan akışkanlar ile düşük başarımlar
Türbin	20:1	Ölçümün %0.25'i	-geniş aralık yeteneği - doğruluk iyi	- yüksek maliyet - özellikle çamurlu sıvılar için filtre gerekli
Vorteks aygıtı	10:1	Ölçümün %1'i	-geniş aralık yeteneği -yoğunluk, sıcaklık basınç ve viskozitedeki değişimlerden etkilenmez	-pahalı
Pozitif yerdeğiştirme	10:1 veya daha büyük	Ölçümün %0.5'i	-yüksek aralık yeteneği - doğruluk iyi	-yüksek basınç düşümü -akıştaki çalkalanmalar veya katılardan zarar görür.

Notlar:

1. Aralık yeteneği (rangeability) bir ölçü aletinin yeteri kadar doğrulukla ölçebileceği maksimum debinin (tam ölçek) minimum debiye oranıdır.
2. Doğruluk, kalibre edilmiş enstrüman için belirtilmiştir.

8

GERİNMENİN ÖLÇÜMÜ

Mekanik gerinme doğrudan kuvvetle ilgilidir. Ağırlık ölçmek için kullanılan bir aygıt aynı zamanda titreşim ölçmek için de kullanılabilir.

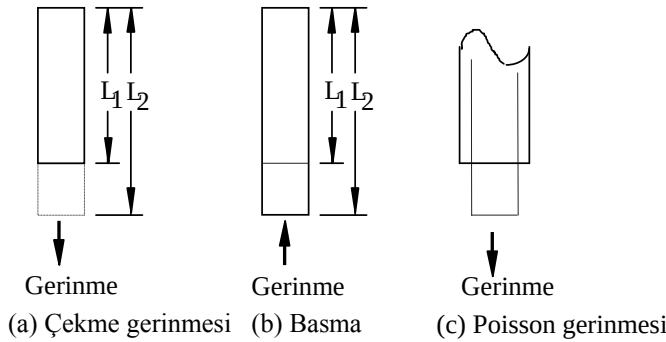
Modern dünya enerjinin verimli kullanılmasını talep etmektedir, yani kullanılan araçlar, makineler hafif olmalıdır. Aynı zamanda ürünün güvenli olması, yani zarar vermeyecek şekilde olması da istenmektedir. Bu iki zıt talepten dolayı üretim mühendisleri makinenin parçaları içinde neler olup bittiği hakkında eskisine göre daha çok şey bilmek zorundalar. Mühendis makine parçaları üzerindeki gerilmeyi ölçerek malzemenin içindeki zorlanmayı hesaplayıp güvenilirliği tahmin edebilir.

Gerinme ölçümünün en çok kullanıldığı alan bahsedilen alandır. Aynı zamanda gerinme ölçümü ağırlık ve titreşim ölçmek için de kullanılır. Şüphesiz ki çalışan makinelerde bu çeşit değişimleri mikrometre ile ölçmek pratik değildir. Bu çeşit ölçümler için gerilme göstergesi (uzama ölçer) kullanılmaktadır. Basınç transdüserlerinde diyaframdaki basıncın neden olduğu gerinmeyi ölçerek basınç bilgisini elektriksel sinyal olarak çıkışına aktarır. Gerilme göstergesi bu gerinme değişimlerini, bir ölçme aygıtının hareketiyle gözlenebilen veya bilgisayarla örneklenebilen bir elektriksel bilgiye dönüştürür.

8.1 MEKANİK GERİNME (BİÇİM DEĞİŞİMİ)

Yük altında pek çok malzeme esner; yani, malzemenin uzunluğundaki değişme belirli sınırlar içinde yükle orantılıdır ve yük ortadan kalktığında malzeme tekrar eski boyutlarına döner. Malzemedeki bu biçim değişimine gerinme denir.

Malzemenin boyundaki veya birim uzunluktaki değişimler Şekil-8.1a'da gösterilmektedir. Kuvvet uygulanmadan önceki malzeme dolu çizgiyle, kuvvet uygulandıktan sonraki hali ise kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Gerinme, çekme (pozitif) veya basma (negatif) gerinmesi olabilir. Basma gerinmesi Şekil-8.1b'de görülmektedir.



Şekil 8.1 Gerinmenin etkileri. Gerinme yüzdesi:

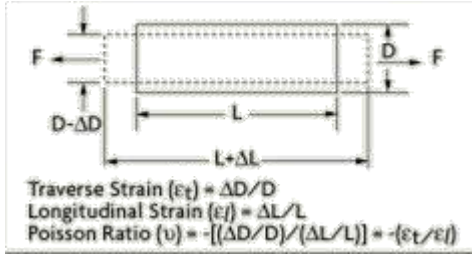
$$\frac{L_2 - L_1}{L_1} \times \%100$$

Şekil-8.1a'daki malzemenin üzerindeki gerinmeyi iki mikrometre ölçümü olarak belirleyebiliriz. Bu ölçümlerden biri kuvvet uygulanmadan önce diğeri sonra alınmalıdır. Gerinme birim uzunluktaki değişme yüzdesi olarak ifade edilebilir. Örneğin, Şekil-8.1a'daki çelik çubuğun uzunluğu kuvvet uygulanmadan önce 10 cm ve sonra 10.025 cm olarak ölçülmüşse, değişim

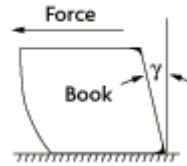
yüzdesi

$$(0.025 / 10) \times 100 = \%0.25 \text{ 'dir.}$$

Bu şekilde gerinmeye uğrayan malzemelerde başka bir değişim daha oluşur. Şekil-8.1c'deki metal çubuğu gerdiğimizde çubuğun yalnızca uzamadığı aynı zamanda daraldığı da görülmektedir. Buna Poisson gerinmesi (ν) denir (Şekil-8.2a). Şekil-8.2b'de ise örneğe uygulanan burulma gerinmesi (γ) görülmektedir.



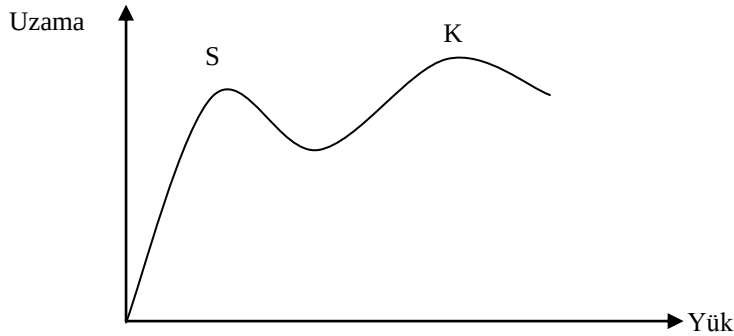
(a)



(b)

Şekil 8.2 (a)Travers (ters) gerinme (ϵ_t), uzunlamasına gerinme (ϵ_l), Poisson gerinmesi (ν) ve (b) burulma gerinmesi

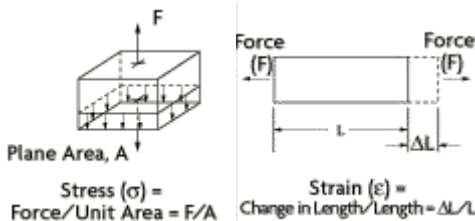
Yük arttırılarak uzunluktaki değişmeye karşı yük grafiği çizildiğinde, çelik için, Şekil-8.3'teki eğri elde edilir. Belirli bir yükleme değerine kadar uzunluktaki değişme uygulanan yükle orantılıdır. Buna malzemenin esneklik aralığı denir. Yüklemeye devam edildikçe malzemenin uzunluğunda uygulanan yükle orantılı olmayan bir değişme gerçekleşir. Şekil-8.3'te S ile işaretlenen nokta malzemenin *esneme sınır noktasıdır*, bu noktadan sonra uzama yük ile orantılı değildir. Malzemeye K noktasına kadar yük uygulanıp yük kaldırılırsa kalıcı bir biçim bozulması oluşur. Bu nedenle uygulanabilecek yükün sınırı K'dan bile az olmalıdır.



Şekil 8.3 Gerilme/Gerinme Eğrisi

Bütün malzemeler çelik ile aynı davranışı göstermezler. Örneğin alüminyumun bir esneklik sınırı yoktur.

Şekil-8.3'teki eğrinin esnek kısmı ayrıntılı olarak incelendiğinde, belirli bir malzeme ve belirli boyutlardaki örnek için yükün uzamaya oranının sabit olduğu görülür.



Şekil 8.4 Gerilme (σ) ve gerinme (ϵ)

Yükün kesit alanına oranı örneğe uygulanan *gerilme* (stress) olarak adlandırılır.

Uzamanın ilk uzunluğa oranı *mekanik gerinme*dir. Gerinme birimsiz bir orandır ve mutlak nicelik veya yüzde olarak ifade edilebilir. Bazen 10^6 ile çarpılarak mikro gerinme ($\mu\epsilon$) olarak

tanımlanır.

Gerilmenin gerinmeye oranına Young Modül'ü (ξ) denir. Belirli esnek malzeme için ξ sabittir.

8.2 ELEKTRİKSEL GERİNME

İncelenen malzemenin elektriksel özellikleri araştırıldığında elektriksel ve mekanik karakteristikler arasında bir paralellik olduğu görülür. Uzunluk δl kadar değiştiğinde dirençte δR 'lık bir değişim oluşur ve esneklik sınırları içinde δl ile δR doğru orantılıdır. δR 'ye karşı δl 'nin grafiği bir doğru çizgidir, ve bu değerler normalize edildiğinde:

$$\frac{\delta l}{l} \propto \frac{\delta R}{R} \quad (8-1)$$

$\delta l / l$ malzemenin uğradığı mekanik gerinme ve $\delta R / R$ de *elektriksel gerinme*dir.

8.3 GÖSTERGE FAKTÖRÜ

$$\frac{\text{Elektriksel gerinme}}{\text{Mekanik gerinme}} = \text{Sabit} \quad (8-2)$$

oranı *gösterge faktörü* olarak tanımlanır ve malzemeden bağımsızdır (birinci-derece yaklaşımda).

Gösterge faktörü 2 olan 120Ω 'luk bir gerilme göstergesindeki %0.5'lik uzunluk değişimine karşılık gelen direnç değişimini hesapladığınızda:

$$R = 2 \times 120\Omega \times 0.005 = 1.2\Omega$$

Gösterge faktörü 200 olan 120Ω 'luk bir gerilme göstergesindeki %0.5'lik uzunluk değişimine karşılık gelen direnç değişimini hesapladığınızda:

$$R = 200 \times 120\Omega \times 0.005 = 120\Omega$$

8.4 PRATİK GERİLME GÖSTERGESİ

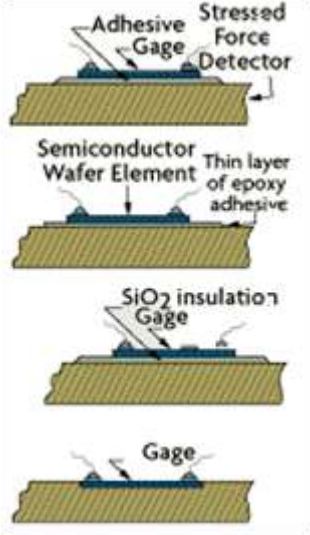
Mekanik gerinme altındaki bir teldeki direnç değişimlerinin uygulamada kullanılabilmesi için bazı koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir.

1. Gerinme altındaki malzeme ile aynı gerinmeye maruz kalması için tel malzemeye sıkıca yapıştırılmalıdır.
2. Yapıştırma malzemesi gösterge ve malzeme ile aynı gerinmeye uğramalıdır. Özelliklerinin zaman, yinelenen gerilme, veya sıcaklık değişimleri ile değişmemesi gerekmektedir.
3. Malzeme iletken ise, telin malzemeden yalıtılması gerekmektedir.
4. Dirençteki değişim ölçülebilecek kadar fazla olmalıdır. Bu da göstergede kullanılan telin olabildiği kadar uzun olması ve direncinin yüksek olması demektir.
5. Göstergede sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan direnç değişiminin olabildiği kadar az olması gerekmektedir.
6. Göstergenin yapışma sonucu sıkılık özelliğinin değişmemesi gerekir.
7. Gösterge fiziksel olarak yeteri kadar dayanıklı olmalıdır.
8. Gösterge malzemesi esneklik sınırının üzerinde yüklenmemelidir.

9. Aynı göstergeler aynı malzemelerdeki aynı gerinmelerde yinelenebilir sonuçlar vermelidir.

8.4.1 SENSÖR TASARIMLARI

Malzemedeki deformasyon mekanik, optik, akustik, pnömatik ve elektriksel olarak ölçülebilir. En eski gerilme göstergeleri gerinmeyi cismin uzunluğundaki değişimi ilk uzunluğu ile karşılaştırarak ölçen mekanik aygıtlardı. Genel olarak, mekanik aygıtlar düşük çözünürlüktedir ve hacimli ve kullanımı zordur. Gerilme göstergesi tasarımları Şekil-8.5'te görülmektedir.



A. Metalik yaprak tipi gömülü gerilme göstergesi

B. Tabana yayılmış ve ince bir yapıştırıcı tabakası ile yüzeye yapıştırılmış direnç elemanı olarak yarıiletken yaprak

C. Kuvvet algılayıcı üzerine doğrudan biriktirilerek oluşturulan bir seramik yüzeye moleküler olarak bağlanmış (yapıştırıcı yok) ince-film eleman

D. Yarıiletken eleman

Şekil 8.5 Gerilme göstergeleri tasarımlarının yapım ayrıntıları

Optik sensörler duyarlı ve doğrudur, fakat kırılğan ve bu nedenle endüstriyel uygulamalarda popüler değildirler. Gerinmenin ölçülmesi için ışık dalgalarının karışması ile üretilen koyu çizgileri (girişim çizgileri) kullanırlar. Optik sensörler en iyi laboratuvar koşullarında çalışırlar.

En çok kullanılan gerilme ile değişen karakteristik elektriksel dirençtir. Kapasite ve endüktans tabanlı gerilme göstergelerinin üretilmesine rağmen, bu aygıtların titreşim duyarlılığı, montaj gereksinimleri ve devrelerinin karmaşık olması uygulama alanlarını kısıtlamıştır. Fotoelektrik gösterge gerilme ile orantılı bir elektrik akımı üretmek için bir ışık demetini, iki ince ızgara (fine gratings) ve bir fotosel algılayıcı kullanır. Bu aygıtların gösterge uzunluğu 1/16 in. (1.5875mm) kadar kısa olabilir, fakat pahalı ve kırılğandır.

İlk yapıştırma metalik tel sarımlı gerilme göstergesi 1938'de geliştirilmiştir. Metalik yaprak tipi gerilme göstergesi yaklaşık 0.001 in. (0.025 mm) kalınlığında ızgara şeklinde ince telden (direnç) oluşur, gerinmesi ölçülecek yüzeye çok ince bir epoksi reçine ile yapıştırılır (Şekil-8.5a). Yüzeye bir yük uygulandığında, yüzey uzunluğundaki değişim dirençte de değişime neden olur ve dolayısıyla gerilme yaprak telin gerilme ile doğrusal olarak değişen elektriksel direncindeki değişim ile ölçülür. Metal yaprak diyafram ve yapıştırıcı madde gerinmenin iletimi için birlikte çalışmalıdır. Aynı zamanda yapıştırıcı da metal yaprak ızgara ile yüzey arasında elektriksel yalıtım görevini de yapmalıdır.

Bir gerilme göstergesi seçerken, yalnızca sensörün gerilme karakteristiği değil, aynı zamanda kararlılığı ve sıcaklık duyarlılığı da dikkate alınmalıdır. Ne yazık ki, kullanılabilir çoğu gerilme göstergesi malzemesi aynı zamanda sıcaklıktaki değişimlere de duyarlıdır ve yaşlandıkça dirençleri de değişir. Kısa süreli testler sırasında bu ciddi bir sorun olmayabilir, ancak sürekli endüstriyel ölçümler için, sıcaklık ve sapma için kompanzasyon yapılmalıdır.

Her gerilme göstergesi tel malzemesi kendi karakteristik gösterge faktörü, direnci, gösterge faktörü sıcaklık katsayısı, dirençsel ısıl katsayı ve kararlılığa sahiptir. Tipik malzemeler

Constantan (bakır-nikel alaşımı), Nichrome V (nikel-krom alaşımı), platin alaşımları (genellikle tungsten), Isoelastic (nikel-demir alaşımı) veya Karma-tip alaşımı teller (nikel-krom alaşımı), metal yapraklar veya yarıiletken malzemelerdir. Gerilme göstergelerinde kullanılan en popüler alaşımlar bakır-nikel alaşımları ve nikel-krom alaşımlarıdır.

1950'lerin ortalarında, Bell Laboratories'deki bilim adamları germanyum ve silisyumun piezodirençsel özelliğini keşfettiler. Bu malzemelerin önemli bir doğrusallıktan sapma ve sıcaklık duyarlılığı olmasına rağmen, metal tel veya yaprak tipi gerilme göstergelerine oranla 50 kattan fazla gösterge faktörü ve 100 kattan fazla duyarlılığa sahiptirler. Silisyum yapraklar metalik olanlardan daha esneklerdir. Gerinme altında kaldıktan sonra, ilk şekillerine daha çabuk dönerler.

1970'lerde, ilk yarıiletken (silisyum) gerilme göstergeleri otomotiv endüstrisi için geliştirilmişti. Diğer gerilme göstergeleri türlerinin aksine, yarıiletken gerilme göstergeleri silisyum veya germanyumun piezodirençsel etkilerine bağlıdır ve gerinmeyi değil, gerilmenin neden olduğu direnç değişimini ölçerler. Yarıiletken yapışmalı gerilme göstergesi, direnç elemanı silisyum tabana yayınık bir plakadan oluşur. Genellikle bu plakanın bir alt tabanı yoktur ve ince bir epoksi tabaka ile gerinme altındaki yüzeye yapıştırılırken çok dikkatli olmak gerekir (Şekil-8.5b). Metalik yaprak sensörden daha küçük boyutta ve çok daha düşük maliyetlidir. Yaprak göstergeleri yapıştırmak için kullanılan aynı epoksiler yarıiletken göstergeleri yapıştırmak için de kullanılır.

Metal yaprak gerilme göstergeleriyle karşılaştırıldığında, yarıiletken plaka sensörlerin daha yüksek direnci ve duyarlılığı belirgin üstünlükleri iken sıcaklık değişimlerine duyarlılığının yüksek olması ve sapmaya eğimli olması sakıncalarıdır. Yarıiletken gerilme göstergelerinin diğer bir sakıncası ise, gerinme-direnç ilişkisinin bir doğru eşitliğinden %10 ile 20 arasındaki oranla doğrusallıktan sapmasıdır. Bilgisayar-kontrollü enstrümantasyon ile yapılan yazılım kompanzasyonu aracılığıyla bu sınırlamaların üstesinden gelinebilir.

Daha ileri bir gelişme yapıştırmaya gereksinim duymayan ince-film gerilme göstergeleridir (Şekil-8.5c). Gösterge önce bir elektriksel yalıtım tabakasının (tipik olarak seramik) gerilme altındaki metal yüzeyin üzerine ve sonra gerilme göstergesinin bu yalıtım tabakası üzerine biriktirilmesi ile üretilir. Vakum biriktirme veya püskürtme teknikleri malzemeleri moleküler olarak bağlamak için kullanılır.

İnce-film gösterge moleküler olarak örneğe bağlandıkları için montaj daha karardır ve direnç değerleri daha az sapar. Diğer bir üstünlük ise, gerilme altındaki kuvvet algılayıcı biriktirilmiş bir seramik yalıtım tabakası üzerindeki metalik diyafram veya çubuk olabilir.

Yapıştırıcılara gereksinim duymadıkları için yayınık yarıiletken gerilme göstergeleri bu teknolojideki daha ileri bir gelişmedir. Yapıştırma maddelerini eleyerek kayma ve histerisizden kaynaklanan hatalar da ortadan kalkmış olur. Yayınık gerilme göstergesi direnç elemanlarını moleküler olarak bağlamak için 'photolithography' maskeleme teknikleri ve boronun katıhal difüzyonunu kullanır. Elektriksel uçlar yarıiletkenine doğrudan bağlanır (Şekil-8.5d).

Yayınık yarıiletken gerilme göstergesi orta-sıcaklık uygulamaları ile sınırlıdır ve sıcaklık kompanzasyonuna gereksinim duyar. Yayınık yarıiletkenler sıklıkla basınç transdüserlerinde algılayıcı elemanlar olarak kullanılır. Küçük, ucuz, doğru ve yinelenabilir olmalarının yanı sıra geniş bir basınç çalışma aralığında güçlü bir çıkış sinyali üretirler. Sınırlamalarından biri olan ortam sıcaklık değişimlerine duyarlılığı akıllı transmitter tasarımlarıyla kompanze edilebilir.

Özetle, ideal gerilme göstergesi boyut ve kütle olarak küçük, maliyeti düşük, kolay bağlanabilir ve gerinmeye duyarlılığı yüksek fakat ortam ya da süreç sıcaklığındaki değişimlere duyarsızdır.

Piyasada kullanılmakta olan üç tip gerilme göstergesi vardır:

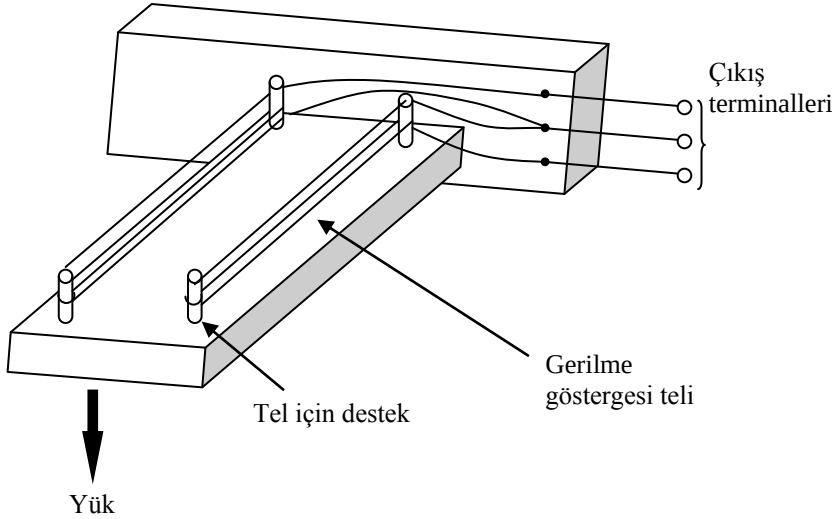
1. çıplak tel gerilme göstergesi
2. gömülü gerilme göstergesi
3. yarıiletken gerilme göstergesi

Bunlardan ilk ikisi aynı ilkeye göre çalışmaktadır: bir iletken gerildiğinde, uzunluğu artar ve çapı veya genişliği azalır, sonuçta direnci de artar. Dirençteki değişimi ölçerek telin ne kadar gerildiğini belirleyebiliriz. Eğer tel herhangi bir şekilde ölçmek istediğimiz gerinmenin kaynağına bağlanmışsa, tel o eleman ile aynı gerinmeye maruz kalacaktır.

8.5 ÇIPLAK TEL GERİLME GÖSTERGESİ

Şekil-8.6'da görülen çıplak tel gerilme göstergesi öncelikle yük hücrelerinde kullanılır. Destek çubuğundaki gerinme tele aktarılabacak şekilde destek kazıkları etrafına bir tel gerilerek sarılmıştır. Tel sarımlarının aşağı yukarı beklenen gerinme yönüne paralel olduğuna dikkat ediniz. Beklenen gerinmeye dik açılardaki gerinmeler gerilme göstergesi tarafından yok sayılacaktır.

Yük hücreleri ağırlık ölçmek için kullanılırlar. Eğer ağırlık yük hücresine asılarak ölçülürse, gerinme çekme (pozitif) gerinme olacak ve dirençteki artışla belirtilecektir. Yük hücresi ağırlığı kaldıracak şekilde kullanılırsa, gerinme basma (negatif) gerinmesi olacak ve dirençte azalma gözlenecektir. İşte bu nedenle tel yük hücresinin gövdesine sabit ve önceden belirlenmiş gerinme altında sıkıca sarılmıştır.



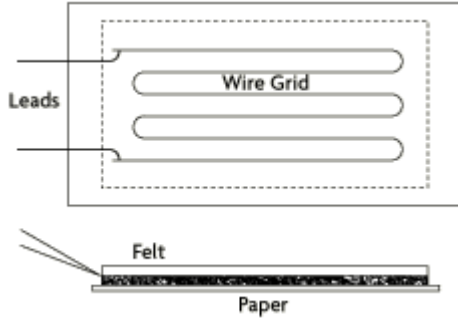
Şekil 8.6 Çıplak tel gerilme göstergesi

8.6 GÖMÜLÜ GERİLME GÖSTERGESİ

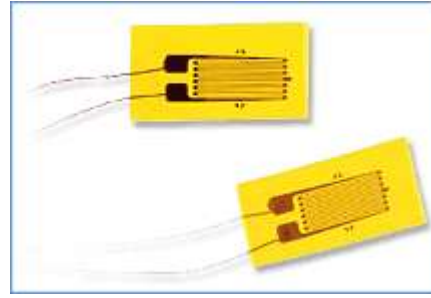
Gömülü gerilme göstergesi plastik veya kağıt bir desteğe sıkıca gömülmüş benzer telden yapılmıştır. Sonra destek gerilme altında elemana yapıştırılır, ve elemana uygulanarak gerinme ile aynı gerinmeye maruz kalır. Şimdiye kadar, gömülü gerilme göstergesi desteğe yapıştırılmış telden oluşmaktaydı, fakat bu yeni yaklaşım yaprak tipi gerilme göstergesinin yapımına olanak sağladı. Gömülü yaprak tipi gerilme göstergeleri ince bir yaprağın içine sarılmış ve arka yüzeye yapıştırılmış iletken alaşımları kullanan bir baskı devre süreciyle yapılmaktadır. Bir bakır-nikel alaşımı olan konstantan en yaygın kullanılan malzemelerden biridir.

Şekil-8.7'da çeşitli farklı gömülü yaprak tipi göstergeler gösterilmektedir. Bu gerilme göstergeleri makine parçaları üzerindeki, jet uçaklarının motorlarındaki ve diyafram üzerindeki gerinmeyi ölçmek için özel olarak tasarlanmışlardır. Bir mikrobilgisayar gerinme verisinden aldığı örnekleri kontrol merkezindeki bir ana bilgisayara aktarır. Burada veri okunur, çözümlenir

ve örneğin gelmekte olan arıza oluşmadan belirlenir.



(a) Doğrusal gerilme göstergeleri



(c) Diyafram gerilme göstergesi



(b) Çeşitli gerilme göstergeleri



(d) Eksenel gerilme ölçerler

Şekil 8.7 Çeşitli yaprak tipi gömülü gerilme göstergesi

Yaprak tipi gerilme göstergeleri birkaç standart direnç değerinde üretilmektedir. En çok bilineni 120Ω ve 350Ω 'dur. Aynı zamanda az bulunmakla beraber, 600Ω ve 300Ω 'luk gömülü yaprak tipi gerilme göstergeleri de vardır. Yaprak tipi gerilme göstergelerinin sakıncalarından biri metal yaprağın direncinin sıcaklıkla artmasıdır ve bu etkinin giderilmesi gerekir. Bu sorunun çözümü için ölçme göstergesine dik açılarda yerleştirilmiş ikinci bir gösterge sıcaklık kompanzasyonu için kullanılmaktadır.

Sıcaklık, göstergenin ve yapıştırıldığı malzemenin genişmesine neden olur. Bu nedenle yapıştırılacağı malzeme ile uyum içinde olması için dikkatlice denetlenmiş ısı genleşme faktörüne sahip göstergeler kullanılmalıdır.

Göstereyi makine parçasına veya yük hücresine birleştirmek için kullanılan yapıştırıcı göstergenin doğruluğuna etki eder. Yalnızca üreticinin önerdiği yapıştırıcı kullanılmalıdır. Kullanımda iki çeşit yapıştırıcı vardır. Oda sıcaklığında donan *soğuk yapıştırıcı* ve daha yüksek bir sıcaklık değerinde donan *ısı yapıştırıcı*. Yapıştırıcının kullanılamayacağı durumlarda makine parçasına kaynakla birleştirilen özel göstergeler de bulunmaktadır.

Gerilme göstergelerini nem ve fiziksel zarardan korumak için özel poliüretan vernikler vardır.

Bir başka önemli sorun tüm gerilme göstergelerinin gerinme altında düşük direnç göstermeleridir. Tipik bir 120Ω 'luk gerilme göstergesi 1Ω 'dan düşük bir direnç değişimine sahip olacaktır. Ölçme devreleri de çok doğru olmalıdır.

8.7 YARIİLETKEN GERİLME GÖSTERGELERİ

Yarıiletken gerilme göstergesi (Y.G.G.) yaprak tipi gerilme göstergesinden daha hassastır. Yarıiletken gerilme göstergesi *piezodirenç* olayını kullanır. Bu da yarıiletkene uygulanan gerinmenin dirençte yarattığı değişimdir. Bir Y.G.G. yaprak tipi ya da tel gerilme göstergesinden 100 kat daha duyarlıdır. Gösterge faktörü -100 ile 200 arasındadır. Diğer tarafta, yarıiletken gerilme göstergeleri yaprak tipi ve tel gerilme göstergelerinden daha kırılğan ve

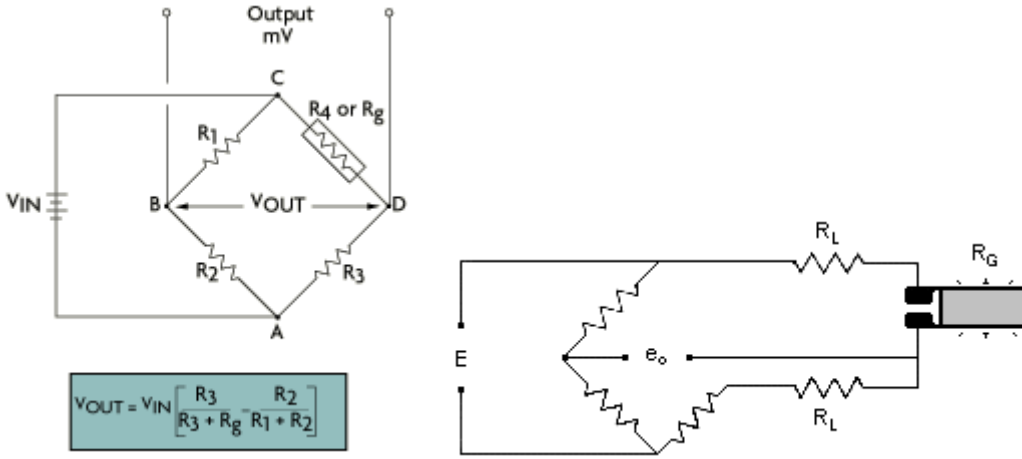
sıcaklığa daha duyarlıdır. Yarıiletken gerilme göstergeleri şok ve aşırı sıcaklıktan korundukları özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Piezodirençsel gerilme göstergesi pek çok basınç ölçme transdüserinde de kullanılmaktadır.

8.8 ÖLÇME DEVRELERİ

Gömülü dirençsel gerilme göstergesi ile gerinmeyi ölçmek için gerinmeye karşılık gelen dirençteki değişimin ölçümünü yapabilen bir elektrik devresi kullanılmalıdır. Genellikle dört gerilme göstergesi elemanından oluşan gerilme göstergesi transdüserleri bir Wheatstone köprüsü oluşturacak şekilde elektriksel olarak bağlanır (Şekil-8.8).

8.8.1 Wheatstone Köprüsü

Wheatstone köprüsü statik veya dinamik elektriksel direnç ölçümünde kullanılan bir köprü devresidir. Wheatstone köprüsünün çıkışı her bir voltluk girişe karşılık millivolt çıkışı olarak ifade edilir. Wheatstone köprüsü sıcaklık kompanzasyonu için çok uygundur.



Şekil 8.8 Wheatstone Köprü Devresi

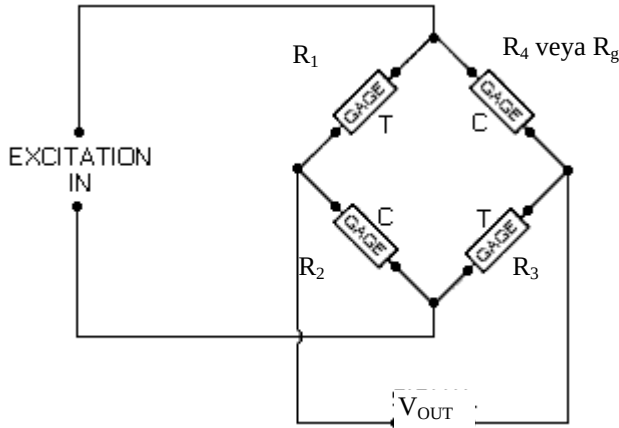
Şekil-8.8’de, R_1 , R_2 , R_3 ve R_4 eşitse ve A ile C noktaları arasına V_{IN} gerilimi uygulanırsa, B ve D noktaları arasındaki çıkışta bir potansiyel farkı oluşmayacaktır. Ancak R_4 direnci R_1 , R_2 ve R_3 dirençlerinden farklı bir değere değişirse köprünün dengesi bozulur ve çıkış uçlarında bir gerilim oluşur. G-köprüsü adı verilen düzenlemede değişken gerilme sensörünün direnci R_g ile gösterilir ve köprünün diğer kollarındaki dirençler sabit dirençlerdir. Sensör, uygulamaya bağlı olarak, köprünün bir, iki, üç ya da dört kolunda bulunabilir. Toplam gerinme veya devrenin çıkış gerilimi (V_{OUT}) R_1 ve R_4 veya R_g üzerindeki gerilim düşümü arasındaki farka eşittir. Bu gerilim farkı şöyle yazılabilir:

$$V_{OUT} = V_D - V_B$$

$R_1/R_2 = R_g/R_3$ ve dolayısıyla, V_{OUT} sıfır olduğunda köprü dengededir.

Gerilme göstergesindeki herhangi bir değişim köprünün dengeden sapmasına neden olacaktır, ki bu da gerinme ile orantılı bir değişimdir. R_g ’nin tek aktif gerilme göstergesi olarak bağlandığı bir köprüde dirençteki küçük bir değişim köprü çıkışında bir çıkış gerilimi değişimine neden olacaktır. Gösterge faktörü GF ise, R_g ’deki değişime bağlı olarak gerinme ölçümü şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Gerinme} = (\Delta R_g / R_g) / GF$$

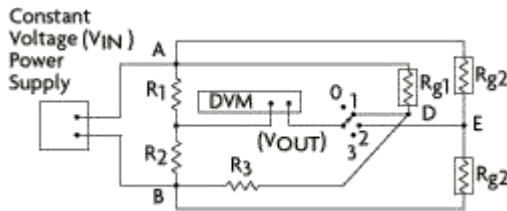


Şekil 8.9 Wheatstone Köprüsü Tam Köprü Düzenlemesi

Dört elemanlı Wheatstone köprüsünde, genellikle iki gösterge basma (compression) ve ikisi çekme (tension) gerinmesi ölçecek şekilde bağlanır. Örneğin, R_1 ve R_3 çekme (pozitif) ve R_2 ve R_4 basma (negatif) gerinmesi yönünde ise, çıkış ayrı ayrı ölçülen gerinmelerin toplamı ile orantılıdır. Komşu kollardaki göstergeler için, köprü gerinmedeki fark ile orantılı olarak dengeden sapar. Karşı kollardaki göstergeler için, köprü gerinmelerin toplamı ile orantılı olarak dengeye gelir. Bükülme gerinmesi, eksenel gerinme, burulma gerinmesi veya torsional gerinme ölçülsün, gerilme göstergesi düzenlemesi ölçülen gerinme türü ve çıkış arasındaki ilişkiyi belirleyecektir. Şekil-8.9’da görüldüğü gibi, pozitif çekme gerinmesi R_2 ve R_3 göstergelerinde oluşursa, ve R_1 ve R_4 göstergeleri de negatif gerinmeyi algılamışsa, toplam çıkış, V_{OUT} , tek bir göstergenin direncinin dört katı olacaktır. Tüm kolların gerilme göstergelerine bağlandığı montajlarda (tam köprü düzenlemesi) köprü kollarındaki sıcaklık değişimlerine bağlı direnç değişimi aynı olduğu için sıcaklık kompanzasyonu otomatik olarak yapılmıştır.

8.8.2 Chevron Köprüsü

Chevron köprüsü Şekil-8.10’da görülmektedir. Köprü kollarındaki dirençleri onları periyodik olarak anahtarlayarak dirençteki değişimleri ölçmek için tasarlanmış çok kanlı bir düzenlemedir. Burada, dört kanal konumu dijital voltmetreyi (DVM) G-köprüsü (bir aktif gösterge, çeyrek köprü) ve H-köprüsü (iki aktif gösterge, yarım köprü) düzenlemesi arasında anahtarlamak için kullanılmıştır. DVM ölçüm aygıtı her zaman güç kaynağı ve yarım köprünün sabit dirençlerini paylaşır. Bu düzenleme en çok döner makinelerin üzerindeki gerinme ölçümleri için kullanılır.

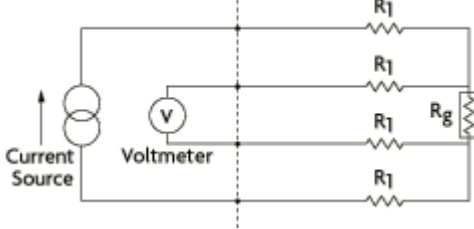


Şekil 8.10 Chevron Köprü Devresi

8.8.3 Dört-telli Direnç Ölçüm Devresi

Wheatstone köprüsü elektriksel direncin ölçümünde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmasına rağmen diğer yöntemler de kullanılabilir. Dört-telli direnç köprüsünün en önemli üstünlüğü gerilimin doğrudan gerilme göstergesi elemanı üzerinden algılanmasından dolayı bağlantı kablolarının ölçümü etkilememesidir.

Dört-telli direnç köprüsü düzenlemesinde bir voltmetre, bir akım kaynağı ve R_g gerilme göstergesine seri dört bağlantı kablosu direnci R_1 bulunmaktadır (Şekil-8.11). Dört telli gerilme göstergesinin direnç algılama uçlarına voltmetre ve kaynak uçlarına da akım kaynağı bağlanmıştır. Gerinmenin değerini ölçmek için, devreye tipik olarak 1mA'lık düşük bir akım akışı sağlanır. Voltmetre R_g üzerindeki gerilim düşümünü ölçerken mutlak direnç değeri de akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak hesaplanabilir.



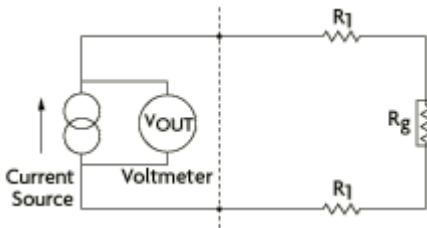
Şekil 8.11 Dört-telli Direnç Devresi

Genellikle, ilk olarak gerinmesiz durumda gösterge direnci ölçülür ve sonra gerinme altında ikinci bir ölçüm alınır. Ölçülen gösterge dirençleri arasındaki farkın gerinmesiz dirence bölümü gerinmenin kesirli değerini verir ve gösterge faktörü (GF) ile kullanılarak gerinme hesaplanır.

Dört-telli devre otomatik gerilim ofset kompanzasyonu için de uygundur. Önce akım akışı olmadığında gerilim ölçülür. Bu ölçülen değer akım akarken okunan gerilim değerinden çıkarılır. Bu gerilim farkı gösterge direncini hesaplamada kullanılır. Duyarlıklarından dolayı, dört-telli gerilme göstergeleri genellikle düşük frekanslı dinamik gerinmelerin ölçümünde kullanılır. Daha yüksek frekanslı gerinmelerin ölçümünde köprü çıkışının yükseltilmesi gerekir. Aynı devre bir yarıiletken gerilme-göstergesi sensörü ve yüksek hızlı dijital voltmetre ile birlikte de kullanılabilir. DVM duyarlılığı 100 μ V, akım kaynağı 0.44mA, gerilme göstergesi direnci 350 Ω ve gösterge faktörü 100 ise, ölçümün çözünürlüğü 6 mikro gerinme ($\mu\epsilon$) olur.

8.8.4 Sabit Akım Kaynağı Devresi

Köprüyü bir sabit gerilim veya sabit akım kaynağı ile besleyerek direnç ölçülebilir. $R = V/I$ olduğundan, V veya I sabit tutulduğunda diğerinin değeri direnç ile değişecektir. Her iki yöntem de kullanılabilir.



Şekil 8.12 Sabit Akım Kaynağı Devresi

Sabit gerilim kaynağı kullanmaya oranla sabit akım kaynağı kullanmanın teorik olarak bir üstünlüğü olmamasına rağmen (Şekil-8.12) bazı durumlarda sabit akım kaynağı kullanan sistemlerde köprü çıkışı daha doğrusal olmaktadır. Sabit akım kaynağı kullanılırsa, köprüdeki gerilim değişimini algılama gereksinimi de ortadan kalkacak ve yalnızca iki kablonun gerilme göstergesine bağlanması yeterli olacaktır.

Dinamik gerinme ölçümünde sabit akım kaynağı devresi daha etkindir. Bunun nedeni, gerilme göstergesi R_g 'de direnç değişimine neden olan bir dinamik kuvvet uygulanırsa, çıkışta (V_{OUT}) zamana bağlı olarak değişen gerilimin ölçülmesi gerekecektir. Bu düzenlemede sıcaklık değişimlerine bağlı olarak yavaş değişen bağlantı ucu direnci yaklaşık olarak ihmal edilebilir düzeylere inecektir.

AÇISAL HIZ VE İVME ÖLÇÜMÜ

9.1 AÇISAL HIZIN ÖLÇÜMÜ

Açısal hız, açısal yerdeğiştirmenin değişim hızıdır. Birim zamandaki radyan veya birim zamandaki dönüş sayısı olarak ölçülür. Kontrol sistemlerinde açısal hız ölçümü doğrusal hız ölçümlerinden daha fazla yapılır. Döner makinelerin açısal hızını ölçmek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bunlar analog ve sayısal olmak üzere sınıflandırılabilirler. Analog yöntemlerde hızölçerin çıkışı bir analog gerilim ya da mekanik yerdeğiştirme hareketidir. Sayısal yöntemlerde ise çıkış frekansı açısal hız ile orantılı kare dalgadır. Bu bölümde döner makinelerin açısal hızını ölçmede kullanılan hızölçerleri, diğer bir deyişle takometreleri inceleyeceğiz.

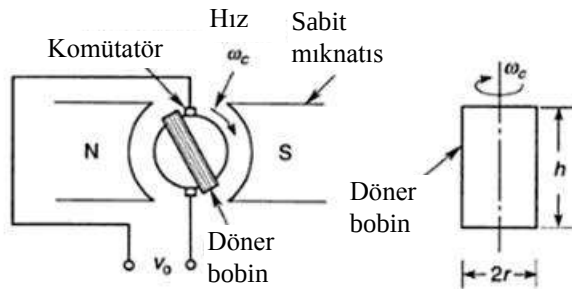
9.2 TAKOMETRELER

9.2.1 Analog Yöntemler

Analog yöntemlerde çıkış sinyalinin türüne göre d.c. takojeneratör, a.c. sabit mıknatıslı ve a.c. endüksiyon takojeneratörler bulunmaktadır. Mekanik çıkışlı olan takometre ise, sürüklenme kupası (drag-cup tachometer) ya da eddy akım takometre olarak adlandırılmaktadır.

9.2.1.1 DC Takometreler

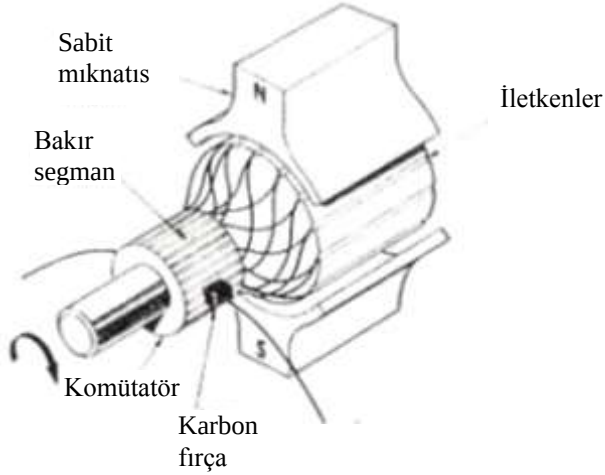
Bir takometre açısal hızın ölçülmesinde kullanılan bir elektrik üreticidir. Bir fırça tipi d.c. takometre Şekil 9.1’de gösterilmiştir. Bobin armatür (endüvi) denilen bir metal silindir üzerine yerleştirilmiştir. Endüvi iki sabit mıknatıs alan kutupları tarafından üretilen manyetik alan içinde serbestçe dönmektedir. Bobinin iki ucu komütatör (kollektör) denilen parçalı bir bağlantı halkasının zıt yarıklarına bağlanmıştır. Endüvideki her bir bobin için komütatör üzerinde iki kısım vardır (Şekil 9.1’de bunlardan yalnızca biri gösterilmiştir). Örneğin 11 bobinli bir endüvi 22 kısımlı bir komütatöre sahiptir.



Şekil 9.1 Sabit mıknatıs d.c. takometre (Mechatronics, C.W. De Silva)

Şekil 9.2’de d.c. sabit mıknatıs takojeneratörde yay yüklemeli karbon fırçalarla temas eden

yalıtlı bakır segmanlara bağlı rotor sarımlarının (endüvi) iletkenleri gösterilmiştir. İki tane karbon fırça bobin uçlarını komütatör kısımlarına bağlamaktadır. Bu komütatör aracılığıyla yapılan işlem aslında her zaman aynı konumda olan iletkenlerle çıkış terminallerinin temasını sağlamaktır. Fırçalar ve komütatör bobin bağlantılarını endüvinin her bir 180°'lik dönüşü için bir defa ters çeviren anahtar gibi çalışmaktadır. Dolayısıyla, bu anahtarlama işlemi hareketi dönen bobinde endüklenen a.c. gerilimi bir d.c. gerilime çevirir. Diğer bir deyişle, komütatör ve fırça bir a.c./d.c. çevirici görevini görür.



Şekil 9.2 Sabit mıknatıs d.c. takojeneratör yapım ayrıntıları (Engineering Instrumentation and Control, Haslam, Summers & Williams)

Takometre endüvinin açısal hızı ile orantılı bir d.c. gerilim üretir. Eş.(9.1) ve (9.2) bir d.c. takometre için sabit elektromotor kuvvetini (emk) ve çıkış gerilimini tanımlamaktadır.

$$E = K_E S = \frac{30 K_E \omega}{\pi} \quad (9.1)$$

$$K_E = \frac{2\pi RBNL}{60} \quad (9.2)$$

E : takometre çıkışı (volt)

K_E : emk sabiti (V/rpm)

S : açısal hız (rpm)

ω : açısal hız (rad/s)

R : ortalama yarıçap (m)

B : manyetik alanın akı yoğunluğu (Wb/m²)

N : iletkenlerin efektif sayısı

L : her bir iletkenin uzunluğu (m)

Kötü bir endüstriyel ortam fırça tipi takometrelere zarar verebilir. Fırçalar üzerinde parçacıkların birikmesi aşınmalara neden olur. Buhar (yağ, vb.) birikmeleri komütatörde ince bir film tabakasının oluşmasına ve dolayısıyla hatalara neden olur. Kapalı bir kaba yerleştirilmesi aşırı ısınmaya neden olur. Bu sorunları çözmek için fırçasız bir d.c. takometre kullanılabilir. Bu durumda sabit mıknatıs ve bobinin konumlarını ters çevirmek gerekir. Burada sabit mıknatıs endüvi olur ve bobin sabittir. Endüviye elektriksel bağlantı yapılmadığından fırçalar ve komütatöre gerek yoktur. Ancak endüvinin konumunu algılamak için ek bir devreye ve bir d.c. çıkış elde etmek için uygun bir katıhal anahtarlama gereklidir. Katıhal anahtarlama devresi

fırçalar ve komütatörün yaptığı görevi üstlenir.

Örnek 9.1:

Bir d.c. takometre şu özelliklere sahiptir:

$$R = 0.03m, B = 0.2Wb/m^2, N = 220, L = 0.15m$$

K_E 'yi ve aşağıdaki hızlar için çıkış gerilimi hesaplayınız.

$$S = 1000, 2500 \text{ ve } 3250 \text{ rpm}$$

Çözüm:

$$K_E = \frac{2\pi RBNL}{60} = \frac{2\pi(0.03m)(0.2Wb/m^2)(220)(0.15m)}{60} = 0.0207V/rpm$$

S=1000 rpm için:

$$E = 0.0207V/rpm * 1000rpm = 20.7V$$

Ölçme Aralığı

0 ... 8000rpm

Tipik Özellikler

Çıkış duyarlılığı 1000 rpm başına 16V

Maksimum hız 8000 rpm

Çıkış doğrusallığı 5000 rpm'ye kadar %0.5

rms dalgacığı %0.6 (3000 rpm'de 0.25ms zaman sabiti ile)

Tablo 9.1'de 2000 dev/dak'ya kadar açısal hızların ölçümünü yapabilen örnek bir d.c. takojeneratörün karakteristik özellikleri verilmiştir.

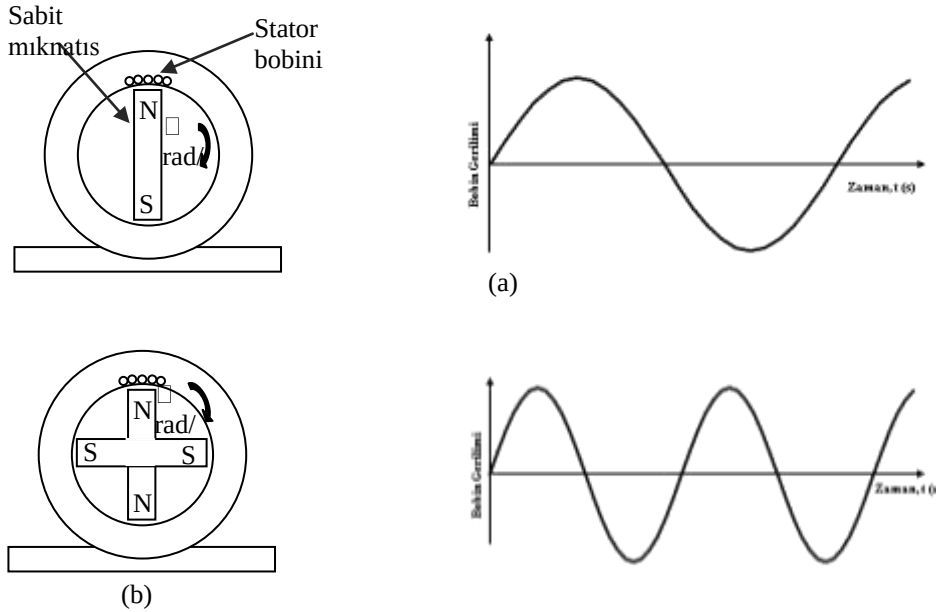
Tablo 9.1 Örnek bir d.c. takojeneratörün karakteristik özellikleri (Process/industrial instruments and controls handbook, McMillan & Considine)

1000 dev/dak'daki gerilim çıkışı	6V±%1
Doğruluk	±%1
EMK doğrusallığı	±%0.15
İzin verilen akım drain	50 mA
a.c. dalgacığın maksimum rms değeri	%2
Maksimum çalışma sıcaklığı	120°C
25°C'taki iç direnci	20Ω±%2
Fırçaların birleşimi	Palladyum-gümüş alaşımı
Endüvi	12 çubuk, 12 yarık
Sıcaklık kompanzasyonu	10°C'lik değişim başına % 1/10

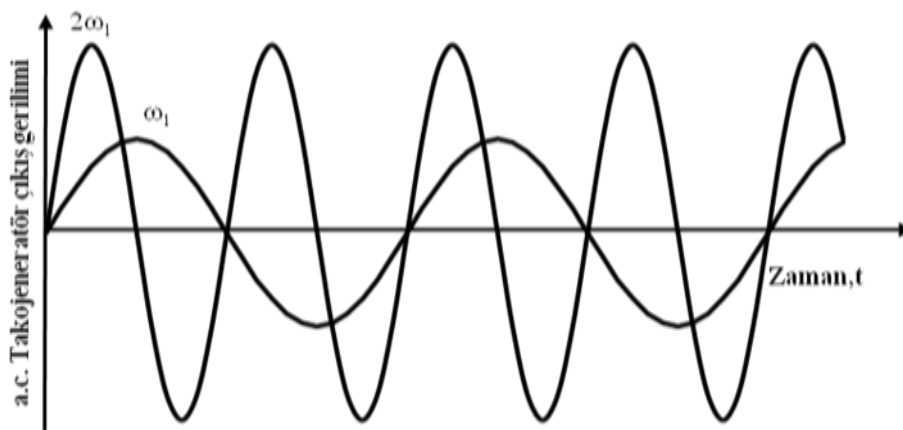
Normal sürekli hız	2000 dev/dak
Minimum üst hız sınırı	100 dev/dak
Maksimum üst hız sınırı	2000 dev/dak

9.2.1.2 AC Takometreler

Bir a.c. takometre çıkışında üç fazlı doğrultucu olan üç fazlı bir elektrik üreticidir. Şekil 9.3(a)'da büyüklüğü mıknatısın açısal hızına bağlı olan bir gerilim endükleyen stator bobin içinde dönen sabit mıknatıslı bir takojeneratör görülmektedir. Şekil 9.3(b)'de ise kutup sayısı bir öncekinin iki katı olan bir a.c. takojeneratörün çıkış genliği sabit iken frekansının iki katı olduğu görülmektedir. Hız değiştikçe gerilimin frekansı da değişecektir ve bu da Şekil 9.4'te görülmektedir (hızlardan birinin frekansı diğerinin iki katıdır). Daha yüksek hızda, hem büyüklük hem de düşük hızdakinin iki katıdır.



Şekil 9.3 Sabit mıknatıs a.c. takojeneratör ve dalga şekilleri

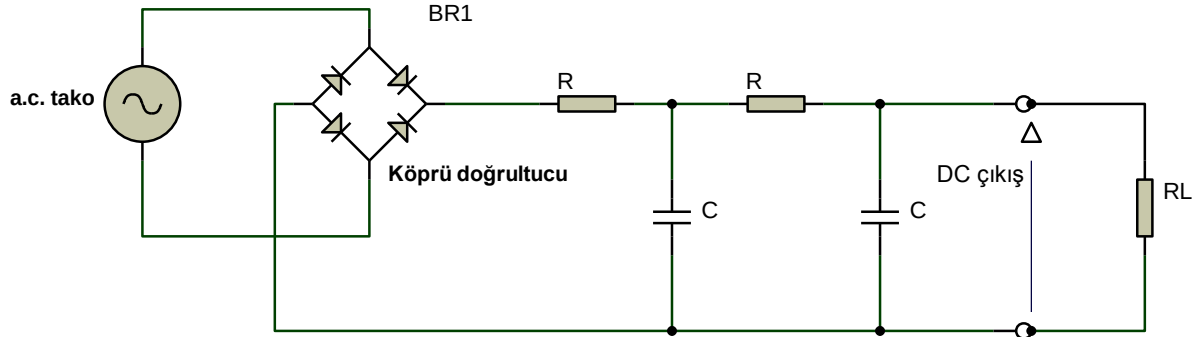


Şekil 9.4 İki farklı hız için a.c. takojeneratör dalga şekilleri

Bu frekans değişimi empedansı veya bir a.c. devredeki akıma karşı gösterilen zorluğu etkiler ve çıkış akımı/giriş hızı ilişkisinde doğrusal olmayan bir özellik gösterir. Bu etki frekansla değişmeyen büyük bir seri direncin devreye eklenmesiyle azaltılabilir. Ancak duyarlılıkta bir

azalma olacaktır.

Şekil 9.5'te görülen bir köprü diyot ve RC filtresi kullanan doğrultucu devresi örneğin bir kalemli kaydediciyi veya bir hareketli bobin ölçü aletini doğrudan sürmek için uygun bir d.c. çıkış gerilimi üretmek için kullanılabilir. Frekans arttıkça istenmeyen dalgalığin azalması daha etkin bir şekilde gerçekleşir.



Şekil 9.5 AC takojeneratör ile birlikte kullanılan doğrultucu ve filtre devreleri

AC takometre yüksek hızlarda iyi çalışır, ancak çıkışı doğrultucuların üzerindeki 0.7V'luk gerilim düşümünden dolayı düşük hızlarda doğrusal çıkış vermez. Bu nedenle, a.c. takometreler 100'e 1 oranında hız ölçme aralığıyla sınırlandırılmıştır (d.c. takometrelerde bu oran 1000'e 1'dir).

AC takojeneratörün üstünlüğü rotorun bir sabit mıknatıs olması, karbon fırçalar ve kayar bileziklerle¹ yapılan bağlantıların olmamasıdır. Dolayısıyla bir d.c. takojeneratörden daha dayanıklıdır ve beklenen devir ömrü daha uzundur. Aynı zamanda, fırçasız d.c. üreteçle aynı kirli ortam koşullarına karşı dayanıklıdır.

Ölçme Aralığı

10 ... 5000rpm

Tipik Çıkış

3000 rpm'de 60V_{rms}, yani dev/s başına 1.2V

9.2.1.3 Sürüklenme Kupası (Drag-cup Tachometer)

Şekil 9.6'daki sürüklenme kupası takometre bir alüminyum veya bakır silindir içinde dönen bir sabit mıknatıstan oluşmaktadır. Mıknatıs ve silindir arasında mekanik bir bağlantı yoktur. Mıknatıs, hızı ölçülecek mile bağlıdır. Mıknatıs döndükçe, alüminyumda eddy (fuko) akımları endüklenir ve bunlar sabit mıknatısı izlemeye çalışan bir manyetik alan yaratırlar. Oluşan elektromanyetik torka bir spiral yayın torku tarafından karşı konulur ve silindir torkların dengeye ulaştığı konuma doğru hareket eder. Eddy akımlarından kaynaklanan elektromanyetik tork

¹ Slip ring: kayar bilezik. Genel olarak dönen bir mil üzerine monte edilen fakat milden yalıtılan bir iletken bilezik; sabit bir fırça ile birlikte bir devrenin sabit ve hareket eden parçalarını birleştirmek için kullanılır. Özellikle bir a.c. makinenin rotor shaftı üzerine monte edilen ve adı geçen shaftlardan yalıtılan, sargısından akım almak için kullanılan aracı oluşturan bilezikler.

mıknatısın hızıyla ve dolayısıyla silindirin açısal hızıyla orantılıdır.

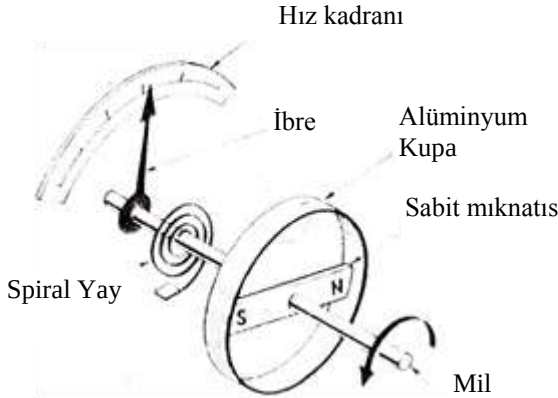
Bu çeşit bir takometrenin uygulama alanı arabadaki hızölçerdir. Bu hızölçer araba tekerleklerinin açısal hızını bir dişli mekanizması aracılığıyla ölçer.

Ölçme Aralığı

0 ... 10,000rpm

Tipik Çıkış

8000 rpm'de 270°'lik ibre hareketi



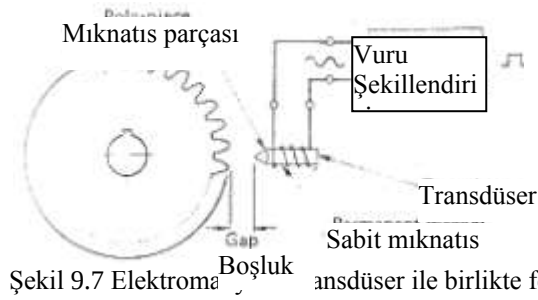
Şekil 9.6 Sürüklenme kupası (Engineering Instrumentation and Control, Haslam, Summers & Williams)

9.2.2 Sayısal Yöntemler

Sayısal yöntemlerde çıkış açısal hız ile orantılı darbe dizisidir. Bu bölümde elektromanyetik darbe tekniği ile elektro-optik takometreler incelenecektir. Bu yöntemlerin analog yöntemlere üstünlüğü sisteme mekanik bir yük getirmemesidir.

9.2.2.1 Elektromanyetik Darbe Tekniği (Değişken Relüktanslı Takometre)

Bu teknikte ferromanyetik malzemeden yapılmış normal bir vites dişlisi tekerleği gibi dişli bir tekerlek bulunmaktadır. Hall etkisi, eddy akımı ya da endüktif tip bir yaklaşım algılayıcısı ile beraber kullanılırlar. Bu sistemde algılayıcı olarak daha çok sabit mıknatıs etrafına sarılmış bir bobin bulunmaktadır (Şekil 9.7). Böyle bir sistemde transdüser tipik 1mm'lik aralık ile dişli tekerleğe çok yakın yerleştirilmiştir. Dişin ucu transdüserin kutup parçasının karşısına ulaştığında, manyetik devre en iyi durumdadır – hava aralığı minimum – ve mıknatıs tarafından üretilen akı maksimumdur. Ancak dişler arasındaki girinti transdüserin karşısına geldiğinde hava aralığı en büyüktür ve manyetik akı en azdır. Manyetik akıdaki bu değişimler bobinde normal bir dişli tekerleği için hayret verecek kadar sinüsel bir alternatif gerilim endükler. Dijital sistem için darbelere gereksinim olduğundan, sinüs dalgası vuru şekillendirici bir devreye (örneğin bir Schmitt tetikleyici devresi) beslenir ve kare dalgalar veya darbeler üretilir. Bunlar frekansı belirlemek için bir sayıcıya veya açısal hız ile orantılı gerilim çıkışına gereksinim duyuluyorsa bir frekans-gerilim (F/V) çevirici bağlanır.



Şekil 9.7 Elektromanyetik transdüser ile birlikte ferromanyetik dişlinin birlikte kullanıldığı takometre

Ölçme Aralığı

Minumumdan 120,000 devir/dak.'ya kadar. Minumum hız kullanılan diş sayısına bağlıdır. Tipik olarak minumum frekans 1 darbe/s'dir.

Tipik Transdüser çıkışı

1 mm'lik hava aralığında 2V tepeden-tepeye (geniş bir hız aralığında yaklaşık olarak sabit genlik). Daha küçük aralıklarda daha büyük gerilimler elde edilebilir.

Örnek 9.2

Bir su türbinin açısal hızını ölçmek için 60 dişli bir dişli tekerlek bir elektromanyetik transdüser ile beraber kullanılmaktadır. Eğer transdüser çıkışı bir Schmitt-tetikleyiciye ve sonra bir zamanlayıcı/sayıcı setine beslenerek frekans ölçülüyorsa 15π rad/s'lik açısal hızda zamanlayıcı/sayıcı setinde okunacak değer ne olur?

Çözüm:

$$15\pi \text{ rad/s} = 15\pi/2\pi \text{ dev/s} = 7.5 \text{ dev/s} (= 450 \text{ dev/dak})$$

$$\text{Darbesinin frekansı} = 60 \text{ darbe/dev} \times 7.5 \text{ dev/s}$$

$$\text{Zamanlayıcı/sayıcı değeri} = 450 \text{ Hz}$$

Bu değer sayısal olarak türbinin dev/dak'sına eşdeğerdir ve 60 dişli bir tekerlek bir frekans sayıcıdan açısal hızın büyüklüğünün doğrudan elde edilmesi için kullanılır.

Tablo 9.2'de bu hız sensörünün özellikleri ve uygulama alanları özetlenmiştir.

Tablo 9.2 Değişken Relüktanslı Hız Sensörü özellikleri ve uygulama alanları

Özellikler	Uygulama Alanları
- Kendinden beslemeli çalışma - Hareket vericinin hızının doğrudan frekans çıkışına dönüştürülmesi - Basit kurulum - Hareketli parça yok - Geniş bir hız aralığında çalışma için tasarım - Çok çeşitli düzenlemeler için uyarlanabilir - Özgün hız algılama uygulamaları için özelleştirilmiş VRS - Gövde çapları: 0.505 in 7/16 in, 0.292	- Araba, uçak, gemi, otobüs, kamyon ve trenlerin motor (RPM) devir hızı ölçümü - Matkap, taşlama makinesi ve otomatik vidalama makinelerinde motor RPM ölçümü - Gıda, tekstil, kâğıt, ağaç işlemciliği, baskı, tütün ve eczacılıkla ilgili endüstriyel makinelerin süreç hız ölçümü - Elektrik üretimi yapan aygıtların motor hız ölçümü - Pompalar, üfleyiciler, karıştırıcılar,

- | | |
|---|---|
| in, 1/4 in | egzoz ve havalandırma fanlarının hız ölçümü |
| <ul style="list-style-type: none"> Gövde malzemesi/stili: plastik pürüzsüz veya diş açılmış Bağlantı uçları: Klips, bacak, lehimli Çıkış gerilimleri: 10 V_{p-p} ile 190 V_{p-p} | <ul style="list-style-type: none"> Türbinli sayaçlardaki akış ölçümleri Dişli hız ölçümleri |

Omega firmasının ürettiği Hall-effect hız sensörü Şekil-9.8'de görülmektedir. SPR101 sensörü RPM takometre ölçümleri için idealdir. Basit bir Hall-effect anahtardan daha fazlasıdır. SPR101 serisi, bir köprü karşılaştırıcı devre aracılığıyla mutlak 0 Hz ile 20kHz arasında algılama yapabilecek bir sabit mıknatıs ile bağlantılı 2 Hall-effect sensör kullanır. Bu tasarım simetrik olmayan bir dişli ile kullanıldığında, aynı zamanda açısal yön algılaması da yapar. Hall-effect tasarımı yalnızca dişli olarak kullanılan demirli metaller gibi manyetik hedeflerin kullanımına izin verir. Kirli, nemli, yağlı ve paslı uygulamalar için dayanıklı yapıya sahiptir.



Şekil 9.8 SPR101-12N temassız hız sensörü (Omega Inc.)

TEKNİK ÖZELLİKLER

Besleme: 8-30 Vdc @ 20 mA, %10'dan düşük dalgacık miktarı

Çıkış: Kare dalga, genlik besleme gerilimine eşit (max. akım 40 mA)

Anahtarlama Frekansı: 0-20 kHz

Anahtar: Açık kollektör, 3-telli, normalde açık, ters polarite korumalı

Algılama Mesafesi: 0.5 mm (0.02")

Hedef: Manyetik, ferrit metaller

Çalışma Sıcaklığı: -25 ile 75°C (-13 ile 168°F)

Şekil-9.9'da görülen Hall-effect hız algılayıcıları açısal ya da doğrusal hareketi iki sensör ile ölçebilmektedir. Lenord+Bauer firmasının GEL 247 Hall-effect hız algılayıcı özellikleri Tablo-9.3'dedir. Sabit mıknatıs bobin içinden geçerek manyetik alanı yaratır. Manyetik alan bir süresizliğin geçişi ile değiştirilir, örneğin bir dişlinin dişi veya metal plakanın kenarı gibi. Manyetik alandaki bu değişiklik bobin içinde akım endükler. Akımın büyüklüğü geçiş hızına bağlıdır. Bu aygıt konvansiyonel dişli ile uyarıldığında sinüsel çıkış verir. Sinüs dalgasının frekansı dişlinin hızı ve dişli sayısı ile doğru orantılıdır. Bu uygulamada, aygıt motor hızının algılanması ve denetlenmesinde kullanılır. Yalnızca süresizliği algılama yeteneği ile sınırlı olmasına rağmen parçaları hareket ettirmeden algılama yapması ve tamamen güvenilir olması bu

aygıtı pek çok uygulamalar için mükemmel bir seçenek haline getirmektedir.



Şekil 9.9 Hall-effect hız algılayıcıları (GEL 247, Lenord+Bauer).

MiniCoder GEL 247 serisi Hall-effect sensörler motorlar, dişli kutuları ve dingil ucu muhafazasına takılabilir. Sensörler hız için tek kanallı, hız ve yön algılama için çift kanallıdır veya iki elektronik kontrol sistemi için ya da sensör hatası için elektriksel olarak yalıtılmış kanalları bulunmaktadır. Geniş bir aralıktaki ferromanyetik hedefleri algılamak için kullanılabilir.

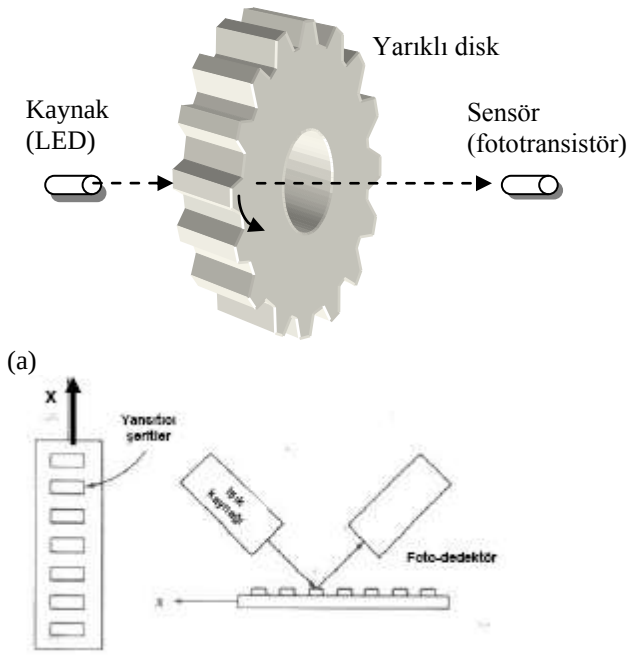
Tablo 9.3 GEL 247 Hall-effect hız algılayıcı özellikleri (Lenord+Bauer).

Tanımlama / teknik özellikler	Flanş tipi montaj ayarlama gerektirmez. Kısmen dış mekân uygulamaları için uygundur. Paslanmaz çelik yuva. 250 bar'a kadar basınca dayanıklı.
Hareket algılama	Döner, doğrusal (iki sensör ile)
Max. Hava aralığı	1.5 mm
Frekans aralığı	0...25 kHz
Ölçme skalası	Dişli teker, rot, piston kolu ölçümü
Sıcaklık aralığı	-40 ...+ 120 ° C
Kaynak gerilimi	10 ...30 V DC
Uygulama alanları	Motorlar, dişliler, lokomotif motorları ve maden ocağı arabaları, çapı çok büyük piston kollarına bağlanarak kullanılırlar.
Çıkış sinyalleri	Kare dalga 10...30 V

9.2.2.2 Elektro-optik Takometre

Fotoseller yıllardır taşıyıcı bantlar üzerinde hareket eden cisimlerin sayılması, parça algılandığında sıradaki işlemin (boyama, montaj, delme, vb.) yapılması veya ışık kesildiğinde kapıların açılması gibi endüstriyel ve günlük hayattaki uygulamalarda kullanılmaktadır. Optik elektronikteki gelişmeler ışık sensörleri olan LDR (Light Dependent Resistor), fototransistör ve fotodiyot gibi aygıtların yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Işık yayan diyotlar (LED) ışık kaynağı olarak kullanılmaktadır. Işık kaynağı ve ışık sensörünün tek bir birimde birleştirildiği optik bağdaştırıcı (opto-coupler), fotoelektrik sınır anahtarı gibi çok sayıda aygıt vardır. Bazı LED'ler görünür spektrumda çalışırken diğerleri kızılötesi bölgede çalışırlar.

Şekil 9.10(a) ve (b) ışık sensörlerinin bir milin açısal hızının ölçümünde ve taşıyıcı bantlar üzerindeki cisimlerin sayılmasında nasıl kullanıldığını göstermektedir. Şekil 9.10(a)'da dönen mile bağlı disk bir infrared LED'den gönderilen ışık demetinin kesilmesine neden olan yarıklara sahiptir. Döner diskin üzerindeki dişlerden periyodik olarak geri dönen ışık yüksek anahtarlama frekansına sahip bir fotodiyot yada fototransistör tarafından algılanır. Oluşan darbelerin frekansı açısal hız ile orantılıdır. Taşıyıcı bant örneğinde, Şekil 9.10(b), ışığın yansımaları ile her bir cisim sayma yapacak olan bir sayıcıyı tetikler.



(b)

Şekil 9.10 Bazı opto-elektronik uygulamaları

Hem kaynağı hem de sensörü içeren iki tümleşik birim Şekil 9.11(a) ve (b)'de görülmektedir. Yarıklı optik anahtarda (slotted opto-switch) kaynak ile sensör arasında 3mm'lik bir aralık vardır ve bir kıyıcı (chopper) disk ile açısal hızı veya tek bir diş ile devir sayısını ölçmek için kullanılır. Doğrusal hız Şekil 9.11(b)'de görülen yansıtıcı sensör ve hareketli cisme yapıştırılmış değişen koyu ve açık alanlardan oluşan bir çizgili örüntü ile benzer şekilde ölçülebilir. Işık demeti açık renkli bir alandan yansıtıldığında sensör açılır ve koyu renkli alandan yansıma olmadığında kapanır. Dolayısıyla, eşit uzunluklu çizgilerin frekansının doğrusal hızın ölçütü olduğu bir darbe dizisi üretilir.

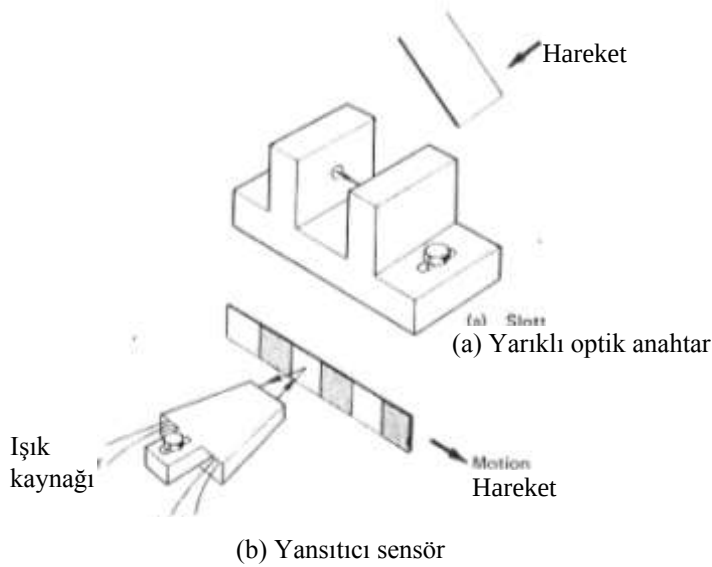
Gıda paketlerinin üzerindeki çizgili kodlama etiketleri çok kullanılmaktadır ve bu kodlanmış bilgiyi okumak için bir yansıtıcı aygıt kullanılır. Bu aygıt için 5mm'lik bir aralık tipik bir değerdir.

Ölçme Aralığı

0 ... 200,000rpm

Tipik Transdüser Çıkışı

Yarıklı optik anahtardan $4V_{t-t}$ (kaynak gerilimine bağlıdır)



Şekil 9.11

Dönen bir mile bağlı artırmalı bir kodlayıcı, bir dijital hız sinyalinin kolaylıkla elde edilebileceği bir darbe dizisi üretir. Sinyal uygunlaştırıcı bir zamanlayıcı/sayıcıdır. Örneğin artırmalı bir kodlayıcının çıkış izinde 1000 adet delik olduğunu ve sayıcının her 10ms’de yeni bir toplam ürettiğini varsayalım. 600rpm’lik bir mil hızı (saniyede 10 tur) saniyede $10 \times 1000 = 10,000$ darbe üretecektir. Sayıcı 10ms’lik aralıkta $0.01 \times 10,000 = 100$ darbe sayacaktır. 100 sayma 600rpm’lik bir açısal hıza karşılık gelmektedir. Eş. (9.3) ve (9.4) bir optik takometre için mil hızı ve zamanlı sayma arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır.

$$S = \frac{60C}{NT_c} \quad (9.3)$$

$$C = \frac{SNT_c}{60} \quad (9.4)$$

S : mil hızı (rpm: dev/dak)

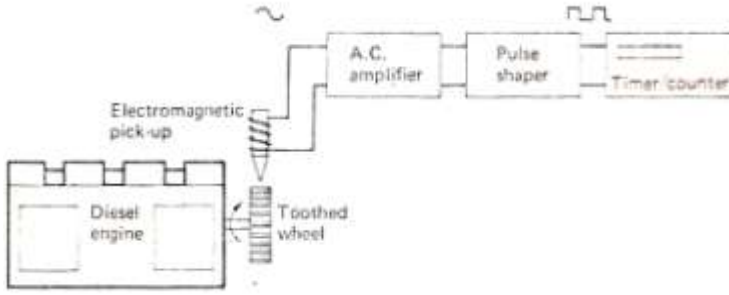
N : mil devri başına darbe sayısı

C : zaman aralığındaki toplam sayma

T_c : sayıcı zaman aralığı (s)

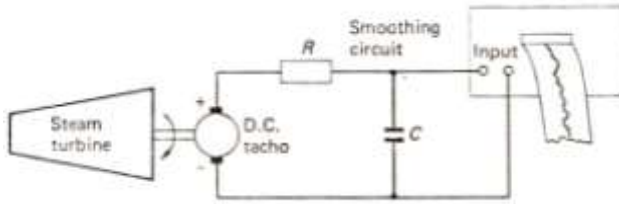
Optik kodlayıcılar, çok geniş dinamik çalışma aralıklarında çok yüksek doğruluk ve mükemmel uzun süreli kararlılıkla çalışabilirler.

Şekil 9.12’de bir dizel motorun devir hızını ölçmek için kullanılan ölçme sistemi görülmektedir. Bu dijital sistemde bir manyetik dişli tekerlek ile birlikte bir elektromanyetik algılayıcı kullanılmaktadır. Düşük genlikli ve çok düzgün sinüsel dalga şekline sahip transdüser çıkışı bir a.c. yükseltece bağlanmış ve sonra bir vuru şekillendirici devrede aracılığıyla düzgün kare dalga çıkış elde edilerek bir zamanlayıcı/sayıcıya beslenmiştir.



Şekil 9.12

Şekil 9.13'te ise, bir buhar türbininin açısal hızının ölçülmesinde kullanılan analog sistem görülmektedir. Bu sistemde kullanılan d.c. takojeneretör buhar türbinine bağlanmıştır. Komütatör ve fırçalardan kaynaklanan tako çıkışındaki dalgacık miktarının azaltılması için gerekli olan ve bir direnç ve kondansatörden oluşan filtre devresi sisteme eklenmiştir. Çıkışın yeteri kadar yüksek genlikte olmasından dolayı yükselticilere gerek yoktur ve dolayısıyla, örneğin bir kalemli kaydedicinin doğrudan bağlanması mümkündür.

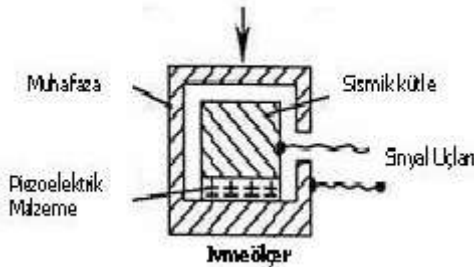


Şekil 9.13

9.3 DİNAMİK ÖLÇÜMLER İÇİN ALGILAYICILAR

9.3.1 İvme Ölçerler

İvmeölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümlerinde, ivme, şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Bir yapı ya da makinenin ömrü, çalışma sırasında maruz kaldığı ivmenin şiddeti ile orantılıdır. Bir yapının çeşitli noktalarındaki titreşimin genliği ve fazı, bir modal analiz yapılabilmesine izin verir. Yapılacak olan bu analiz sonucunda dinamik olarak çalışacak parçaların çalışma modları belirlenerek tüm sistemin dinamik karakteri ortaya konulabilmektedir. Sismik ivmeölçerler ile yer, bina, köprü üzerinde deprem, inşaat, madencilik çalışmaları, büyük nakliye vasıtalarının yol açtığı titreşimler ölçülebilir. Yüksek frekanslı ivmeölçerler ile çarpma testleri, çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir. İvmeölçerler ölçme tekniğine göre de farklı sınıflara ayrılırlar.



Şekil 9.14 Sismik kütleli ivmeölçer

Temel olarak tüm ivmeölçerlerde bir sismik kütle, yay ve damper sistemi vardır. Sismik kütlenin üzerine etkiyen atalet kuvvetinin yarattığı ivme ölçülür. Kapasitif ivmeölçerlerde de kapasitif iletim prensibi kullanılır. Sismik kütle olarak bir diyafram kullanılır. Bir ivme etkilediği zaman sabit elektrot ile sismik elektrot arasındaki mesafe değişir. Mesafenin değişmesiyle kapasitans değişir ve ivme ile orantılı bir çıkış elde edilir.

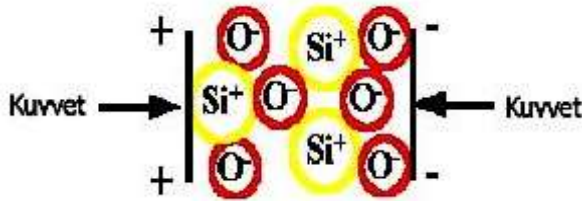
9.3.1.1 Kapasitif İvmeölçerler

Kapasitif ivmeölçerler düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri, statik ivmeleri ölçmede kullanılırlar. Karşılıklı yerleştirilmiş kondansatör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu plakalar arasındaki mesafe ve dolayısı ile kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal doğururlar. Bu tip algılayıcılar özel bir sinyal koşullama gerektirmezler. $12V_{DC}$ ya da $24V_{DC}$ ile beslenerek çalışırlar. Özellikle robotik, otomotiv sürüş kalite testleri, bina dinamiği ölçümü gibi yerlerde kullanılırlar.

9.3.1.2 Piezoelektrik İvmeölçerler

"Piezo" kelimesi Yunanca sıkamak anlamına gelmektedir. Piezoelektrik elemanlar dinamik bir dış kuvvet altında kaldıkları zaman, karşılıklı yüzeyleri üzerinde bir elektrik yükü oluşur.

Şekil 9.15'te gösterilen büyük daireler silisyum atomlarını, küçük olanlar ise oksijen atomlarını belirtmektedir. Doğal ya da işlenmiş kuartz kristali en hassas ve kararlı piezoelektrik malzemelerden biridir. Doğal malzemelerin yanı sıra yüksek teknolojilerle üretilen polikristalin ve piezoseramik gibi malzemeler de yüksek elektrik alana maruz bırakıldıklarında piezoelektrik özellik kazanmaları sağlanabilmektedir. Bu kristaller çok yüksek değerlerde yük çıkışı üretirler. Bu özellikleri sayesinde de özellikle düşük genlikli sinyallerin ölçülmesinde kullanılırlar. Tablo 9.4'te piezoelektrik malzemelerin karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 9.15 Piezokristalin içyapısı

Tablo 9.4 Kuartz kristal ile polikristalin seramik piezokristallerin karşılaştırılması

Kuartz Kristal	Polikristalin seramik
Doğal Piezoelektrik malzeme	Yapay olarak polarize edilmiş malzeme
Yüksek voltaj hassasiyeti	Yüksek yük hassasiyeti
Çelikle kıyaslanabilir sertlik	Boyut ve şekilde sınırsız kullanım
Uzun dönemde mükemmel kararlılık	540 C gibi yüksek bir sıcaklıkta çalışma
Sıcaklıkla değişmeyen özellik	Piezoelektrik özellik – geçici sıcaklık rejimlerinde değişen çıkış
Düşük sıcaklık katsayısı	Sıcaklıkla değişen özellikler

Piezoelektrik ivmeölçerler çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekansta doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpma testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılan, küçük boyutlu, yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış transdüserlerdir. Kuartz ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında picocoulomb seviyesinde elektrik yükü üretirler. Bu elektrik yükünün kristal üzerindeki değişimi yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvmeölçerlerdeki sismik kütlenin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti piezoelektrik kristale etkir ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı verir. Bir yongaya sahip piezoelektrik ivmeölçerlerin içinde sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir sinyal koşullayıcı devre vardır (Integrated Electronics Piezoelectric - IEPE). Bu tip algılayıcılar gürültüden minimum etkilenirler. Üzerinde çevirici elektronik devre olmayan (Charge Mode) algılayıcılar harici bir çevirici (yük yükseltici) ile kullanılırlar. Charge Mode Algılayıcılar yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılmak için idealdirler.

Şekil 9.16'da görüldüğü gibi piezoelektrik algılayıcılarda farklı boyut ve şekillerde piezoelektrik

malzemeler kullanılabilir.

1. Basma kuvvetini temel alan tasarım yüksek bir rijitlik göstermektedir. Bu özelliği sayesinde yüksek frekanslı basınç ve kuvvet ölçümlerinde kullanılmaktadır. Olumsuz bir özelliği sıcaklık değişimlerine gösterdiği hassasiyettir.
2. Basit bir tasarım olan eğilmeli (flexural) tasarım, düşük frekans aralığı ve düşük darbe dayanımı nedeni ile dar bir kullanım sahasına sahiptir.
3. Kayma gerilmesi (shear) tasarımı geniş frekans aralığı, düşük eksen kaçıklığı hassasiyeti, ısıl değişimlerden az etkilenmesi gibi olumlu özellikleri sayesinde ivmeölçerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

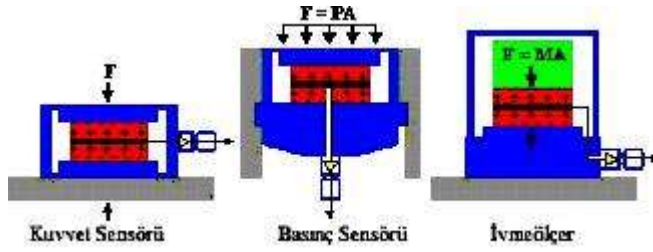


Şekil 9.16

104 E9 [N/m²] gibi birçok metale yakın bir sertlik derecesine sahip olan piezoelektrik malzemeler, çok küçük bir yerdeğişimi altında bile büyük bir çıkış verirler. Bir diğer deyişle piezoelektrik malzemeler fiziksel olarak kalıcı bir değişime uğramazlar. Bu sebeple piezoelektrik algılayıcılar çok sağlam bir kılıfta korunur ve geniş bir genlik aralığında mükemmel bir doğrusallık gösterirler. Doğru seçilmiş bir sinyal koşullama sistemi ile birlikte kullanıldığında, bu tip algılayıcılar 120 dB gibi çok geniş bir genlik aralığına sahip olmaktadır. Uygulama açısından bu özellik, aynı piezoelektrik ivmeölçer ile 0,0001g'den 100g'e kadar geniş bir aralıkta ölçüm yapılabilir anlamına gelmektedir. Piezoelektrik malzemelerden bahsederken üzerinde önemle durulması gereken diğer bir nokta da bunların sadece dinamik ya da diğer bir deyişle değişen durumları ölçebildiğidir. Piezoelektrik algılayıcılar, yerçekimi ivmesi, barometrik basınç, ağırlık kuvveti gibi statik, yani zamanla değişmeyen büyüklükleri ölçemezler. Bu sabit olaylar ilk anda bir çıkış doğururlar fakat bu sinyal, piezoelektrik malzemenin ve algılayıcının bağlı olduğu elektronik devrenin zaman sabitine bağlı olarak, zamanla yok olacaktır. Bu zaman sabiti, cihazın üzerindeki kapasitans ve direncin oluşturduğu, birinci dereceden yüksek frekans geçiren filtreden kaynaklanmaktadır. Bu filtre cihazın ölçebileceği en düşük frekansı belirlemektedir.

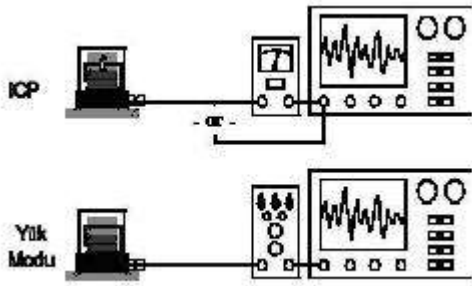
Algılayıcının yapısı

Kuvvet, basınç ve ivme algılayıcılarının yapıları Şekil 9.17'de görülmektedir. Bu şekil üzerinde gösterilen gri renkli kısımlar test edilen cismi, mavi renkli kısımlar algılayıcı muhafazasını, kırmızı kısımlar piezoelektrik malzemeyi, siyah kısımlar şekil değişimi gösteren kristalin üzerinde oluşan yükün toplandığı elektrotları ve sarı renkli kısım da elektrik yükü şeklindeki sinyalin voltaj sinyaline çevrildiği mikro-devreyi belirtmektedir. İvmeölçerlerde ayrıca yeşil renkle gösterilen sismik kütle vardır. Görüldüğü gibi, bu üç tip algılayıcının içyapıları birbirinden çok farklı değildir. Hareket ölçen ivmeölçerlerdeki kristallerin üzerine oturan sismik kütle, algılayıcının üzerine takıldığı cismin hareketini izlemek zorundadır. Kristallerin üzerine etkiyen kuvvet Newton'un İkinci Hareket Kanunu uyarınca, ($F=ma$) kolayca hesaplanır. Kuvvet ve basınç algılayıcıları neredeyse aynı özellikleri taşırlar. Aralarındaki temel fark basınç algılayıcılarının basıncı toplamak için bir diyafram kullanmasıdır.



Şekil 9.17

3.3.3 Sinyal Koşullama



Şekil 9.18

Algılayıcı eleman elektriksel bir çıkış ürettikten sonra, bu sinyalin osiloskop, analizör, kayıt edici, gibi bir cihaz tarafından okunabilmesi için koşullanması gerekmektedir. Bu sinyal koşullama temel olarak sinyalin taşınabilir ve ölçülebilir düşük empedanslı voltaj sinyaline çevrilmesi, sinyal güçlendirilmesi ve zayıflatılması, filtreleme işlevlerine sahiptir. Bu sinyal koşullama IEPE algılayıcılarda algılayıcının içindeki mikroelektronik devre yardımıyla ve yük modu algılayıcılarda algılayıcının dışında takılan bir çevirici yardımıyla olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir (Şekil 9.18). IEPE olarak tanımlanan algılayıcılar ICP® tescil markasıyla PCB Piezotronics firması tarafından 1967 yılında geliştirilmiştir. Algılayıcının içindeki minyatür devreler yük ya da gerilim yükselteçleridir. 18-30 VDC arasında değişen bir besleme gerilimi ve 2mA sabit akım kaynağı ile beslenirler. Bu sistemin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır. Algılayıcıya monte edilmiş mikroelektronik devreler, birçok sinyal okuma cihazı ile uyumlu, düşük empedanslı voltaj sinyali üretmektedir. Kanal başına maliyeti düşüren, kullanımı kolay sabit akım sinyal koşullayıcısı gerektirirler. Sinyal uzun kablolarla zorlu ortamlardan, sinyal kalitesinde bir düşme yaşanmadan aktarılabilir. Çalışma sıcaklığı tipik olarak 120°C (en fazla 155°C) ile sınırlandırılmıştır. Kolay bulunabilen koaksiyel kablolar ile çalışabilir. Ekonomiktir. Hassasiyet ve frekans aralığı gibi özellikleri besleme geriliminden bağımsız olarak her algılayıcı için sabittir.

Yük tipi algılayıcılar, mekanik ve algılayıcı eleman olarak ICP® algılayıcılardan farklı değildir. Tek farklılıkları sinyal uygunlaştırma devresinin algılayıcının dışında olmasıdır. Yük tipi algılayıcılar genellikle yüksek sıcaklığın var olduğu uygulamalarda kullanılırlar. Bu algılayıcıların özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Algılayıcının çıkışı mutlaka koşullanması gereken yüksek empedanslı bir çıkıştır. Harici bir sinyal koşullama gerekmektedir. Algılayıcının çıkışındaki sinyal, kabloların hareket etmesinden, elektromanyetik sinyallerden, radyo frekans dalga girişimlerinden kaynaklanan gürültülere açıktır. 540°C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler. Düşük gürültülü özel kablolarla ihtiyaç duyulur. Algılayıcının hassasiyet, frekans aralığı gibi özellikleri değişkendir. Bu özellikler kablo uzunluğu ya da sinyal koşullayıcının ayarları ile değişebilir.

KAYNAKÇA

1. Aydınüz, M.E., Taşçı, S.Z. Endüstriyel Kontrol, 1993, İstanbul. ss.226
2. Cho, Chun H., Measurement and Control of Liquid Level, 1982, NC USA. Instrument Society of America. ISBN: 0-87664-625-9. pp.271
3. Harrington, John. Automated Process Control Electronics, 1989. Delmar Publishers Inc. ISBN: 0-82733-508-8. pp. 459
4. Haslam, J.A., Summers, G.R., Williams, D. Engineering Instrumentation and Control, 1989. Edward Arnold A Division of Hodder, London. ISBN: 0-7131-3431-3. pp. 309
5. Hughes, Thomas A. Measurement and Control Basics, 1991. Instrument Society of America. ISBN: 1-55617-097-1. pp. 306
6. Considine, Douglas M. Process Instruments and Controls Handbook, 1985. McGraw-Hill, Inc., USA. ISBN: 0-07-012436-1. pp. 1766
7. Parr, E.A.; Endüstriyel Kontrol El Kitabı Cilt I, 1997. Milli Eğitim Bakanlığı, İstanbul. ISBN: 9-75110-888-8. ss. 296
8. De Silva, Clarence W.; Mechatronics;
9. Smith, E.; Principles of Industrial Measurement for Control Applications, 1984. Instrument Society of America. ISBN: 0-87664-465-5. pp. 433
10. Tse, Francis S., Morse, Ivan E.; Measurement and Instrumentation in Engineering;
11. Uğur, Naci; Beşergil, Birsen. Proses Ölçme Tekniği. E.Ü. Ege Meslek Yüksekokulu Yayın No:13, İzmir. ss. 410.
12. <http://www.astrosystems.com/secure/files/Durapot.pdf>
13. http://www.engineeringtoolbox.com/orifice-nozzle-venturi-d_590.html
14. <http://www.globalspec.com>
15. <http://www.honeywell.com>
16. <http://www.lenord.de/en/produkte/sensorline/inkremental/>
17. <http://www.naii.com/secure/files/Durapot%20Manual.pdf>
18. <http://www.national.com>
19. www.motion-control-info.com/encoder_design_guide.html#incremental
20. <http://www.omega.com/techref>
21. <http://www.sengpielaudio.com/calculator-distancelaw.htm>
22. <http://www-stage.corpnt.analog.com/technology/dataConverters/designTools/select.io>
23. K. Kadlec, Measurement and Control, ICT Prague. 3-M&C08_Pressure.doc:
http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/MaC/3-M&C08_Pressure.pdf
24. [http://www.e3tam.com/destek/Algilyicilar_\(Sensors-Transducers\).htm](http://www.e3tam.com/destek/Algilyicilar_(Sensors-Transducers).htm)
25. http://www.siemens.com.tr/web/1040-4083-1-1/siemens_tr/microsite_-_siemens_sc/yaklasim_sensorleri/kapasitif_sensorler