

EGE ÜNİVERSİTESİ

EGE MYO

MEKATRONİK PROGRAMI

SENSÖRLER VE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

SICAKLIĞIN ÖLÇÜLMESİ

Sıcaklık Ölçümü

Zamandan sonra, en çok ölçülen ve denetlenen fiziksel nicelik sıcaklıktır.

Sıcaklık Algılama Teknikleri

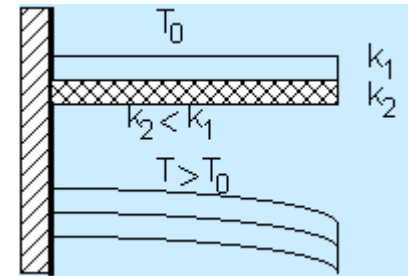
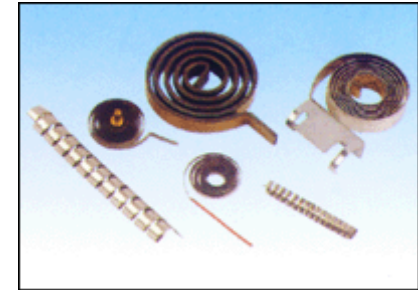
- Fiziksel Boyutlardaki Değişme
 - Bimetal Termometreler
 - Dolu-sistem ve Cam-hazneli Termometreler
- Elektriksel Özelliklerdeki Değişme
 - Tümdevre (IC) Transistörler ve Diyotlar
 - Resistance Temperature Detectors (RTD) : Dirençsel Sıcaklık Algılayıcılar
 - Termistörler
 - Isılçiftler (Thermocouples)
- Kimyasal Fazdaki Değişme
 - Quartz Kristal Termometri
- Isıl Yayınımındaki Değişme
 - Radyasyon ve İnfrared Pirometreler

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't an 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 100W @0°C	- 240 °C'tan 650 °C'a
Ni- 1000	Nikel RTD 1000 W @0°C	- 212°C'tan 315 °C'a
	Termistör	- 75°C'tan 260 °C'a
LM35	Yarı iletken tümdevre sensör	- 55°C'tan 150 °C'a
	İnfrared termometre	- 18°C'tan 1370 °C'a

Bimetal Termometre

- Farklı ısı genleşme katsayılarına sahip iki farklı metal birbirine yapıştırılır. Farklı ısı genleşme katsayılarından dolayı ısıtıldığında, bimetal şerit bükülecektir. Bir ucu sabitlendiğinde, şeridin diğer ucu sıcaklık farkından dolayı mekanik yerdeğiştirme hareketi yapar.
 - Bimetal şeritler düz, spiral, helis ve disk şeklinde üretilirler.
 - Çoğunlukla aç-kapa sıcaklık kontrolünde kullanılır (termostatlar)
- Çalışma aralığı:
 - -65 ile 430°C
- Doğruluk çalışma aralığına göre değişir:
 - ± 0.5 ile 12°C
- Üstünlükleri:
 - Düşük maliyet
 - Çok düşük bakım gereksinimi
 - Zamana göre kararlı çalışma



Cam hazneli termometreler

- Cam hazneli termometreler sıcaklıkla genişterek hacmi büyüyen sıvının sütun şeklinde bir cam tüp içinde yükselmesi esasına göre çalışır. Sıvı olarak genellikle alkol ve cıva kullanılmıştır.

Cıva dolu termometreler (“en iyi”)

- Çalışma aralığı= -37 ile 320°C , Doğruluk $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$

Alkol dolu termometreler

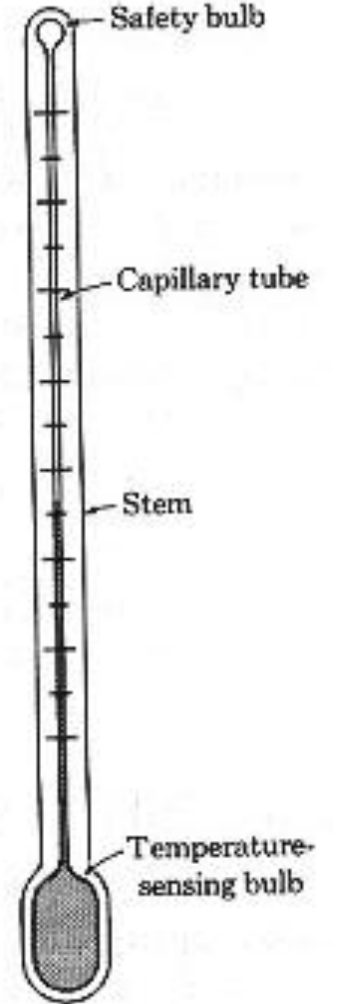
- Çalışma aralığı $= -75$ to 120°C , Doğruluk $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$

Standart termometreler

- Doğruluk: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ile $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$
- En az hatalı okuma; -150 ile $+600^{\circ}\text{C}$.

Üstünlükleri/Sakıncaları

- Düşük maliyet
- Sıcaklık gözlemlenerek belirlenir ve üst sınır malzemelerin kaynama noktasından çok yukarıda olamaz.



Dolu sistem termometreler

- Dolu sistem termometreler hacimsel ısı genleşme fenomenini kullanmaktadır.
- Hazne şeklinde bir birincil eleman, esnek bir kapiler tüp ve Bourdon tüpünden oluşur. Bu sistemde doldurma akışkanı, sıvı yada gaz, sıcaklık arttıkça genişler ve Bourdon tüpünün açılmasını ve kalibreli bir kadran üzerinde sıcaklığın gösterilmesini sağlar.
- 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:
$$T = kPV \quad [PV = mRT]$$
- 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. Nitrojen gaz-dolu sistemlerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır, fakat ideal bir gaz olmadığından doğruluğu düşüktür.
- Sıcaklık ölçümünde Bourdon tüpler veya körük kullanıldığında, ısıtıldığında ya da soğutulduğunda genişlemeye veya büzülmeye

Dolu sistem termometreler

- Akışkan dolu bir algılayıcı hazne basınç ölçme cihazına kapiler tüp ile bağlanır. Akışkan ısıtıldığında genişir ve basınç artar.
 - Basınç ile sıcaklık doğru orantılıdır.
 - Doğruluk ve çalışma aralığı kullanılan akışkana bağlıdır.
- Avantajlar/Dezavantajlar
 - Düşük maliyet
 - Kararlı çalışma
 - Endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanım.
 - Uzaktan okuma mümkün.
 - Geçici rejim tepkisi ölçme haznesinin boyutu ve kapiler tüpün uzunluğunun bir fonksiyonudur.

Figure 16.1 Sketch illustrating the essentials of a constant-volume gas thermometer

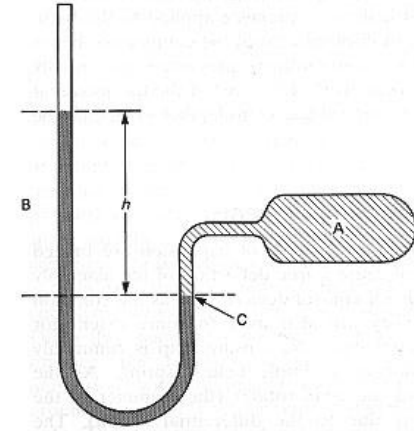
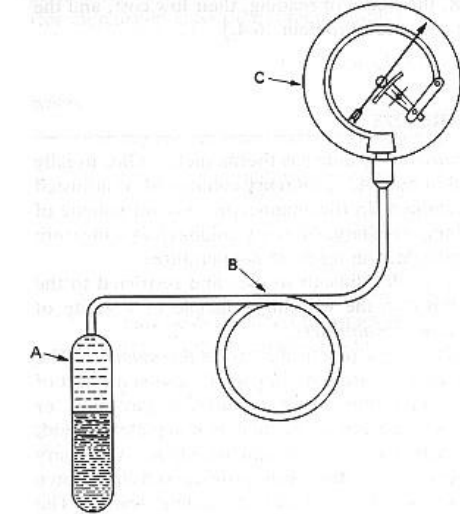


Figure 16.2 Schematic diagram showing the operation of a practical pressure thermometer



Örnek bir Gaz Dolu Sistem sıcaklık anahtarı



Kasa Malzemesi : Epoksi Kaplama
Alüminyum

Ölçme Prensibi : Gaz Dolgulu Sistem

Ölçüm Aralığı : -30/70°C 'den 0/600°C 'ye Kadar...

Elektrik Bağlantısı : 1/2" NPT Dişi

Proses Bağlantısı : 1/2" NPT Erkek

Daldırma Tipi : Doğrudan ; Kapilerli

Daldırma Çapı : Ø9,5mm ; Ø12mm

Daldırma Boyu : 60mm...2m

Kontak Sayısı : Tek veya Çift Kontak
Opsiyonu

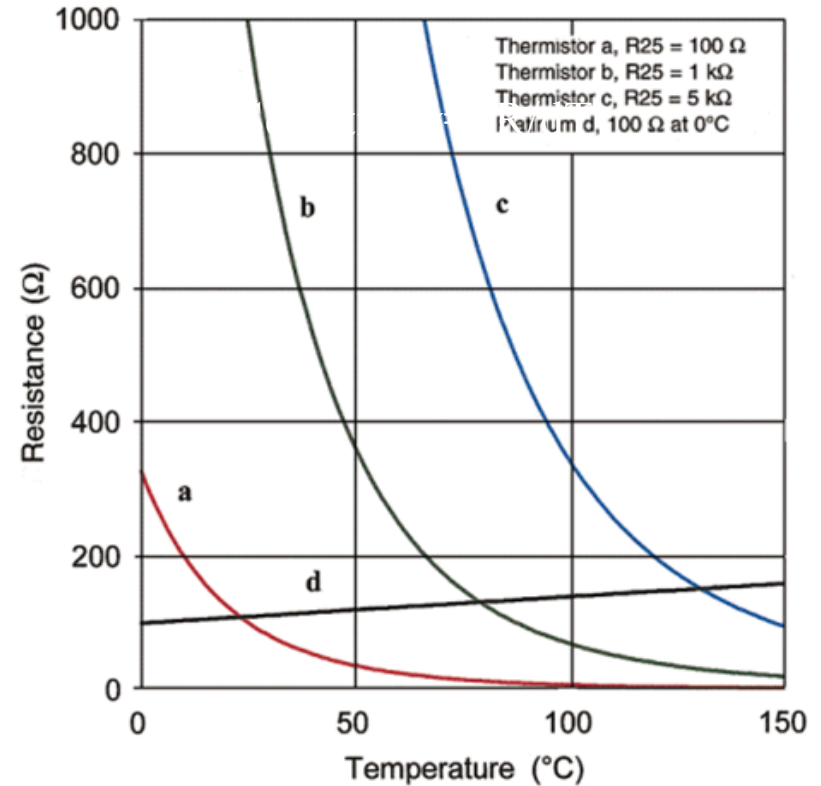
Copyright © 2009 MTM Elektrik Elektronik San. Ve Tic. Ltd. Şti.

Resistance Temperature Dedector (RTD): Dirençsel Sıcaklık Algılayıcı

Karşılaştırmalı direnç grafiği (termistör-RTD)

- RTD (resistance temperature detector) metal iletkenlerin (ince bir platin tel sarımı veya bir taban üzerine uygulanan ince metal tabaka) kullanıldığı hassas sıcaklık algılayıcı elemanlardır ve direnç pozitif sıcaklık katsayıdır. *Positive temperature coefficient (PTC)*.
- Yani, sıcaklık arttıkça direnç de neredeyse tamamen doğrusal olarak değişir.

Thermistor vs. RTD



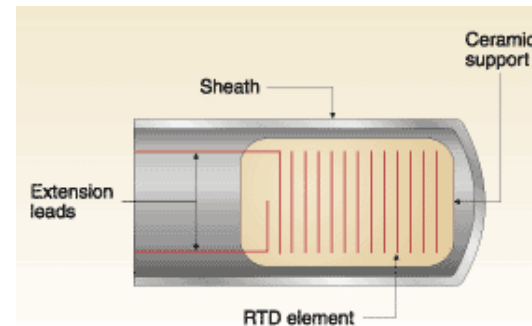
RTD'nin Çalışma İlkesi

- Metaller sıcaklıkla doğru orantılıdır.
 - Platin (yüksek maliyet, yüksek doğrusallık, en çok kullanılan)
 - Tungsten (yüksek doğrusallık)
 - Bakır (düşük sıcaklık aralığı)
 - Nikel (düşük sıcaklık aralığı, düşük maliyet, doğrusal değil)
 - Nikel alaşımları (düşük sıcaklık aralığı, düşük maliyet)
- Her metalin sıcaklıkla değişen ve deneysel olarak belirlenen bir öz direnci, ρ , vardır.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \rho_T = \rho_o [1 + a(T - T_o)]$$

L=metal tel uzunluğu

A= kesit alanı



RTD Eşitlikleri

$R = R_o \left[1 + a(T - T_o) + b(T - T_o)^2 \right]$ (Callendar - Van Dusen eşitliğinden elde edilmiştir)
burada

$R_o = T_o'$ da ölçülen referans direnci (T_o tipik değeri 0°C)

T = ölçülen sıcaklık

a ve b = kalibrasyon sabitleri

çoğunlukla düşük sıcaklıklarda kullanılan basit eşitlik

$$R = R_o \left[1 + a(T - T_o) \right]$$

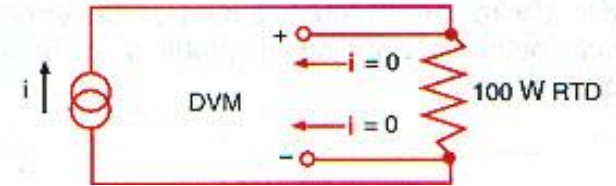
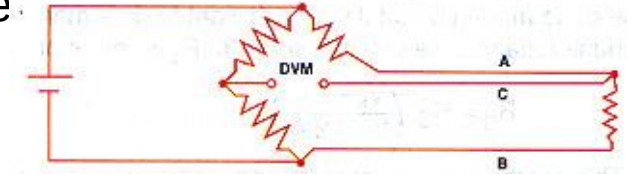
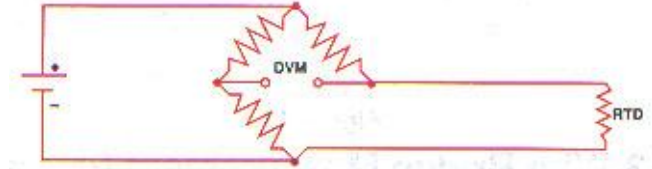
- a ve b sabitleri telin yapıldığı metal ve malzemenin saflığına bağlıdır.
 - Örnek: Platin
 - $a = 3.9083 \times 10^{-3}$
 - $b = -5.775 \times 10^{-7}$

RTD'ler

- Düşük direnç
 - $100\ \Omega$ (en çok kullanılan) ile $1000\ \Omega$ arası
- Geniş çalışma aralığı (-200°C ile 850°C arası)
- Yüksek duyarlık
 - (ısılçiftlere oranla)
- Yüksek doğruluk ($\pm 0.0006^{\circ}\text{C}$ ile 0.1°C arası)
- Yüksek Yinelenebilirlik ve Kararlılık
 - Düşük kayma ($0.0025\ ^{\circ}\text{C/yıl}$)
 - Endüstriyel modellerde kayma $< 0.1\ ^{\circ}\text{C/yıl}$

RTD Dezavantajları/Sorunları

- Bağlantı kablolarının direnci önemli olabilir.
 - 2-telli ölçüm bağlantı kablolarının olmadığı uygulamalar için uygundur.
 - 3-telli ölçüm bağlantı kablo dirençlerinin etkisini dikkate alarak yeterli doğruluk sağlar. Bununla birlikte, en iyi doğruluk 4-telli RTD ile sağlanır.
 - 4-telli RTD ile ölçüm tekniğinde bağlantı kablolarının ikisi sabit akım kaynağına bağlanır ve diğer iki bağlantı kablosu ise direnç üzerindeki gerilim düşümünün ölçülmesinde kullanılır.
- Düşük yanıt süresi
- Şok ve titreşime duyarlı
- Dahili/Kendi kendine ısınma
 - Direncin ölçülebilmesi için algılayıcı üzerinden akımın geçmesi gerekir – ki bu da ısınmaya yolaçar.
 - Isı olarak açığa çıkan enerji $= I^2R$



Termistörler

- Termistörler yüksek negatif sıcaklık katsayısına sahip yarıiletken malzemeden yapılmış dirençlerdir. Sıcaklık arttıkça termistörün direnci azalır. Bunlara Negatif Sıcaklık katsayılı (negative temperature coefficient : NTC) termistörler denir.



Özellikler

- Yüksek direnç $1\text{ k}\Omega$ ile $100\text{ k}\Omega$ arası
 - Çoğu bağlantı kablosu hatası sorununu ortadan kaldırır.
- Direnç-sıcaklık ilişkisi doğrusallığı çok kötü.
 - Çoğunlukla NTC (metal oksit) fakat PTC (baryum ve stronsiyum titanat alaşımları) modelleri de bulunur
- Küçük fiziksel boyut
 - Hızlı yanıt süresi
- RTD'lerden daha düşük maliyet, çok yüksek duyarlık ve çözünürlük
 - RTD'lerden 1000 kata kadar daha yüksek duyarlık
- Şok ve titreşime duyarlı değil

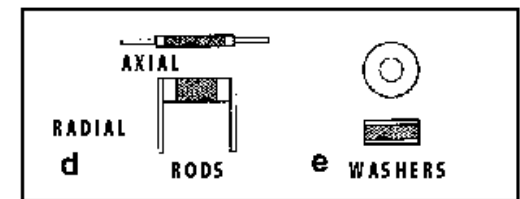
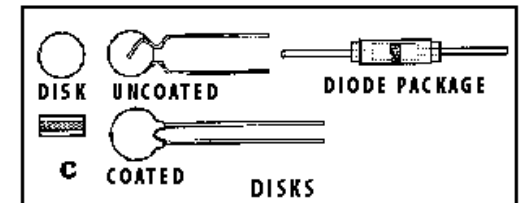
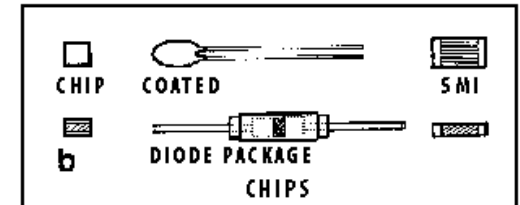
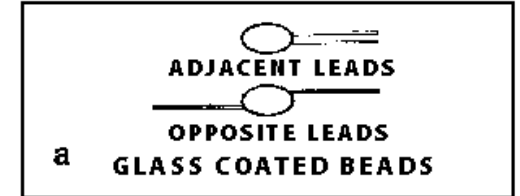
Termistörler

- RTD gibi termistör de sıcaklığa duyarlı bir dirençtir. Gerçekte, RTD'den daha duyarlıdır ve sıcaklık katsayıları yüzde dört veya daha da fazladır. Örneğin, 100Ω 'luk termistör $4/^\circ\text{C}$ 'lik direnç değişimine sahiptir. Termistörlerin direnci RTD'lerinkinden daha yüksektir ki bu da duyarlıklarını arttırıcı bir özelliktir. Genel bir termistör değeri 25°C 'ta $5\text{k}\Omega$ 'dur. Bu termistör sıcaklıktaki her bir $^\circ\text{C}$ 'lik değişim için 200 (0.045000) değişecektir. Dolayısıyla termistörü RTD veya ısı çiftleriyle ölçemeyeceğimiz kadar küçük sıcaklık değişimlerini ölçmek için kullanabiliriz. Bu duyarlığın bedeli olarak doğrusallığı feda ediyoruz. Termistörün direnç-sıcaklık ilişkisi şöyledir:

$$R = R_0 \exp\left(\frac{A}{T + B}\right)$$

Termistor Dezavantajları/ Sorunları

- Dar çalışma aralığı
 - Çalışma aralığı -40°C ile 150°C arası
- Dahili/kendi kendine ısınma sorunlarına RTD'lere göre daha yatkındır.
- RTD'lere oranla daha düşük kararlılık



Termistör Kalibrasyonu

$$R = R_o e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)}$$

burada

R_o = T_o 'da ölçülen referans direnci

T = ölçülen sıcaklık

β = malzeme sabiti

Tümdevre Termometre (IC)

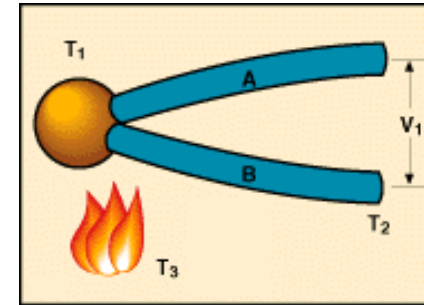
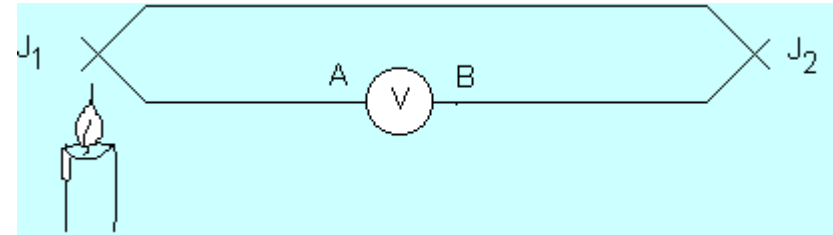
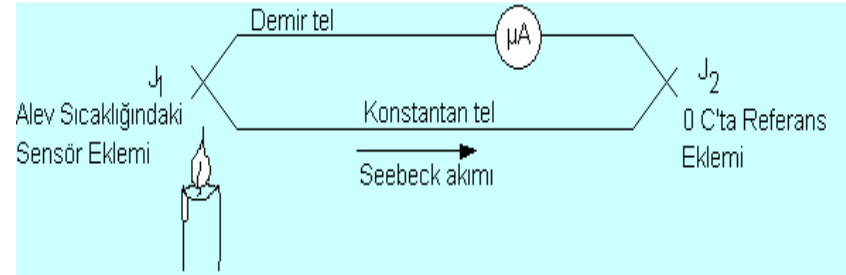
- TD sıcaklık sensörleri bir sıcaklık algılayıcı ve sinyal uygunlaştırıcı devreler içerir. Bazen sıcaklık kompanzasyon devrelerinde kullanılırlar.
- Gerilim veya akım çıkışı sıcaklıkla neredeyse doğrusal olarak değişir.
 - Algılayıcının bir gerilim kaynağı ile beslenmesi gerekir.
 - Bazıları sinyali dijitale çeviren ADC'leri kullanarak seri dijital çıkış üretirler;
- TD sıcaklık sensörlerinin analog çıkışlarının dijitale dönüştürülmesi ve dijital sinyalin yorumlanması kullanıcı tarafından tasarlanacak bir elektronik devreyle de yapılabilir.
- Doğruluk 0.5°C civarındadır
- Düşük maliyetli algılayıcı
- Elektriksel gürültüye bağışıktır ve bağlantı kabloları hataları en azdır.

Isılçiftler (Thermocouples)

- Elektriksel çıkış sinyali ile sıcaklığın ölçülmesinde en sık kullanılan yöntemdir.

Isılçift (Thermocouple)

- 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 (Seebeck gerilimi) ölçülebilir.
- Kaynak noktasına sıcak eklem ve diğer açık iki uca soğuk eklem denir. Termoelektrik etki sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Sıcaklık farkı devrede, Seebeck etkisi adı verilen bir elektromotor kuvvetin oluşmasına yol açar. Bu emk yaklaşık olarak iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır. Soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir.



Özellikler

- Ucuz, küçük boyutlu, dayanıklı ve özellikleri anlaşılabilir olarak kullanıldığında dikkat çekecek derecede doğrudur.

Isılçift Çalışma İlkesi

- Seebeck etkisi gerçekte iki diğer olgunun birleşik etkisinden oluşmaktadır, Thomson ve Peltier etkileri.
- Thomson iki farklı metalin teması ve eklem sıcaklığına bağlı olarak bir emk'nin varlığını gözlemlemiştir.
- Peltier bir devredeki iletkenler boyunca sıcaklık değişimlerinin (gradients) bir emk ürettiğini keşfetmiştir.
- Thomson etkisi normalde büyüklük olarak Peltier etkisinden çok daha küçüktür ve uygun bir ısılıft tasarımı ile en aza indirgenebilir ve yok sayılabilir.
- Aşağıdaki basitleştirilmiş doğrusal eşitlik
 - Homojen melzemeler,
 - Sadece iki tel içindir.
 - T_{ref} ve T_j sıcaklıkları arasındaki fark emk üretir.

Genellikle, ikinci derece eşitlik kullanılır.

$$E = \alpha(T - T_o) + \beta(T - T_o)^2$$

Sıcaklığa karşı Malzemenin EMK'i

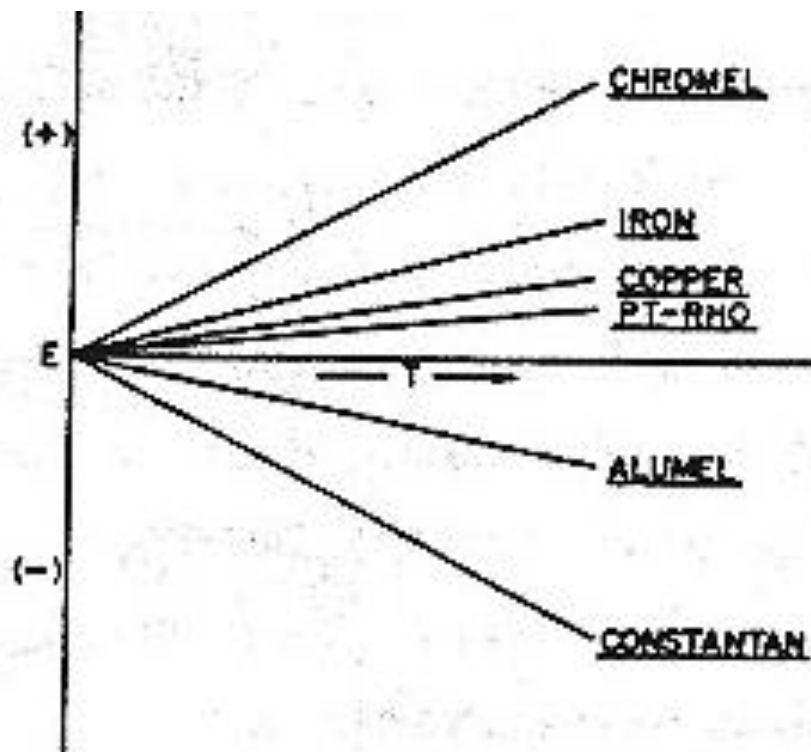
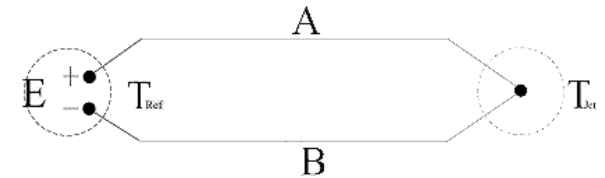
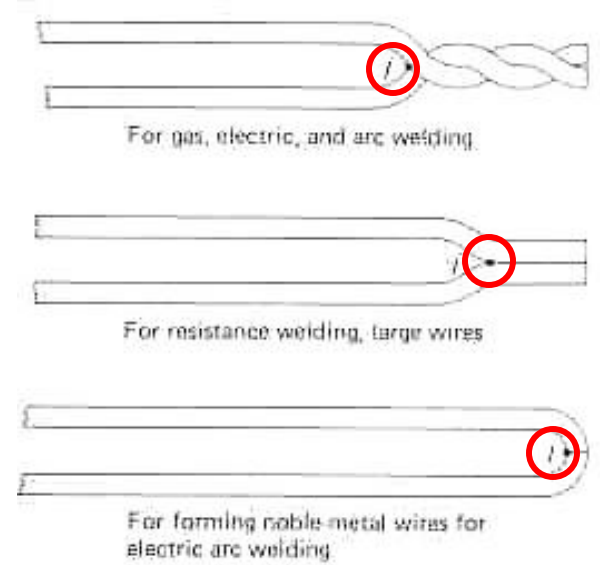


Figure 1. EMF vs. temperature calibrations for several materials.

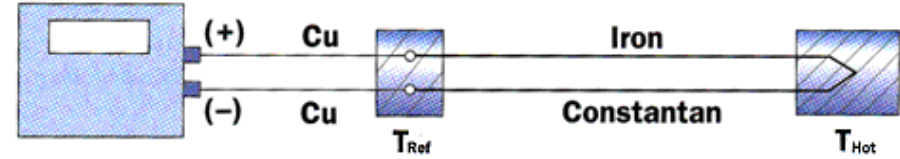
Isılçift Etkisi

- Herhangi bir farklı çift tel birleştirildiğinde oluşan eklemden bir emk gerilimi oluşur.
 - Bükülüp lehimlenen veya kaynak yapılan eklemler en yaygın olanlardır.
 - Kaynak topu veya lehim topunun tel çapının %10-15'i kadar tutulması gerekir.
 - Kaynak yapma genellikle lehimlemeden daha hızlıdır ancak her ikisi de eşit doğruluktadır.
- Üretilen gerilim veya EMK şunlara bağlıdır:
 - Kullanılan A ve B malzemelerinin çeşitleri
 - Ölçme ve referans eklemlerinin sıcaklıkları

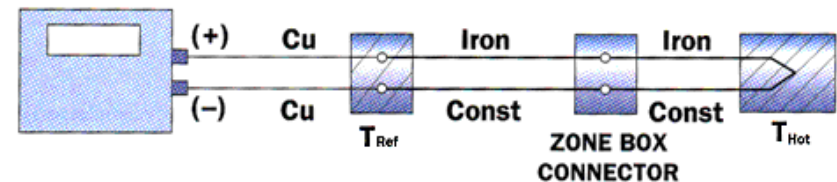


Referans Sıcaklık Sistemleri ve Zone Kutuları

- Buz Banyosu
 - Doğru ve pahalı değil



- Elektronik Kontrollü Referanslar
 - Periyodik kalibrasyona gereksinim duyarlar ve genellikle buz banyosu kadar kararlı değildir ancak daha kullanışlıdır.
- Kompanze edilmiş Referans Sıcaklık Sistemleri
 - Ana gövde içindeki bir sıcaklık algılayıcı sıcaklık hesaplanmadan önce otomatik olarak referans sıcaklığını ölçer.
- Alan (Zone) kutuları
 - Isıyı her yöne iyi ileten (izotermal: eşsıcaklıklı) blok olarak da adlandırılan ve tüm bağlantıların aynı sıcaklıkta olmasını sağlayan uniform sıcaklık bölgesidir.



Hangi ısılcıft malzemeleri kullanılmalıdır?

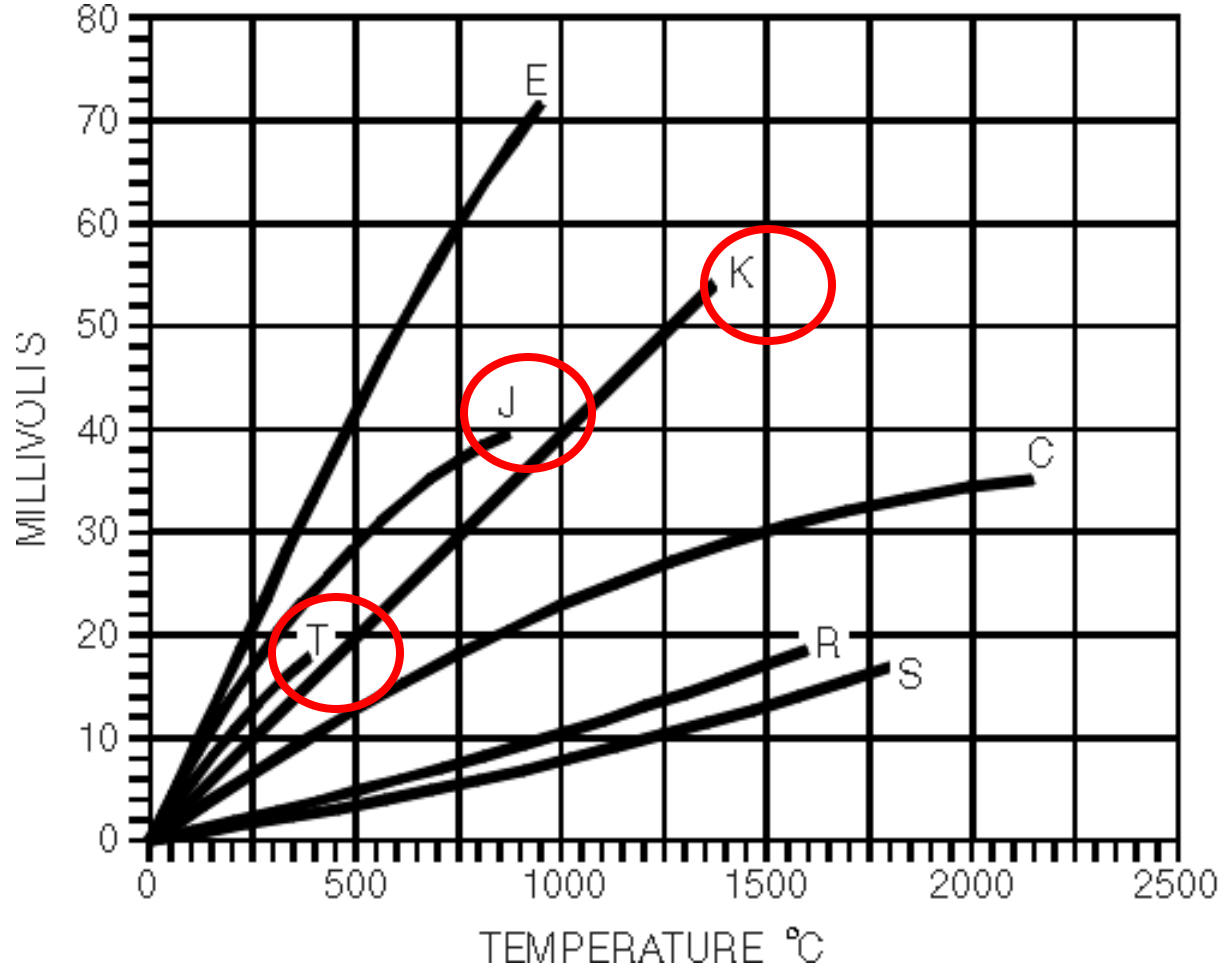
- Gereksinime göre değişir:
 - Sıcaklık çalışma aralığı?
 - Gerekli doğruluk
 - Kimyasal direnç sorunları
 - Aşınma ve titreşim direnci
 - Montaj gereksinimleri (tel boyutu)

Isılçift Malzemelerinin Renk Kodları

	 North America	 UK	 Germany	 France	 Japan	 International IEC 584-3
J						
K						
T						
E						
N						
R						
S						

Thermocouple Extension Cable Colour Codes

Isılçift Malzeme Çeşitlerine Göre Üretilen EMK



J, K ve T en çok kullanılan ısılçiftlerdir.

Isılçift Malzeme Çeşitleri

- **Bakır-Konstantan (T Eğrisi)**

- Pozitif bakır tel ve negatif Konstantan telden oluşan Bakır-Konstantan ısılciftinin 400°C'ye kadar hafif oksitleyici ve indirgen atmosferlerde¹ (ortamlarda) kullanılması önerilmektedir. Nemli ortamlarda kullanımı uygundur. Bu alaşım bileşen kablolarının homojenliği diğer temel metal tellerden daha iyi sağlanabildiği için düşük sıcaklık ölçümleri için önerilmektedir. Dolayısıyla, sıcaklık değişimlerinin olduğu bölgelerdeki homojen olmayan tellerden kaynaklanan hataları da büyük ölçüde azaltmaktadır.

- **Demir-Konstantan (J Eğrisi)**

- Pozitif demir tel ve negatif Konstantan telden oluşan Demir-Konstantan ısılcifti kadar indirgen atmosferler için önerilmektedir. Bu alaşım birleşimi en büyük tel boyutları ile 870°C'ye kadar sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Daha küçük boyutlardaki teller daha düşük sıcaklıklarda kullanılmalıdır.

- **Kromel-Alumel (K Eğrisi)**

- Pozitif Kromel tel ve negatif Alumel telden oluşan Kromel-Alumel ısılciftinin temiz oksitleyici atmosferlerde kullanılması önerilmektedir. Bu alaşım en büyük tel boyutları ile 1260°C'ye kadar sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Daha küçük boyutlardaki teller daha düşük sıcaklıklarda kullanılmalıdır.

- ¹ Bir fiziksel aygıtı çevreleyen hidrojen (veya elektron sağlayan diğer bir

Isılçift Malzemeleri

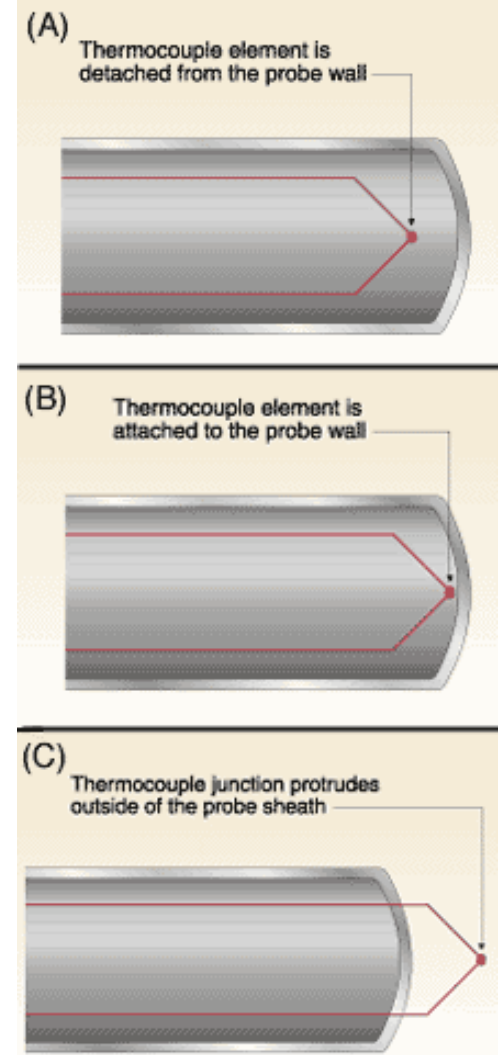
- **Kromel-Konstantan (E Eğrisi)**
 - Kromel-Konstantan ısılcifti vakum veya inert, az oksitleyici veya indirgen atmosferde 870°C'ye kadar sıcaklıklarda kullanılabilir. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda, ısılcift korozyona uğramaz. Bu ısılcift herhangi bir standart metalik ısılciftten daha yüksek emk çıkışı sağlar.
- **Platin-Rodyum (S ve R Eğrisi)**
 - En çok kullanılan üç soy-metal ısılcift çeşidi bulunmaktadır. Bunlar:
 - 1. S eğrisinde pozitif tel %90 platin ve %10 rodyum, negatif tel saf platin,
 - 2. R eğrisinde pozitif tel %87 platin ve %13 rodyum, negatif tel saf platin, ve
 - 3. B eğrisinde pozitif tel %70 platin ve %30 rodyum, negatif tel ise %94 platin ve %6 rodyumdan oluşmaktadır.
 - Oksitlenme ve korozyona yüksek direnç gösterirler. Ancak, hidrojen, karbon ve çoğu metal buharları Platin-Rodyum ısılciftini kirletebilir.
 - Platin-Rodyum alaşımları için önerilen sıcaklık çalışma aralığının 1540°C olmasına rağmen 1780°C'ye kadar sıcaklıklar Pt-30% Rh - Pt-6% Rh alaşım birleşimi ile ölçülebilir.
- **Tungsten-Renyum (C Eğrisi)**
 - Tungsten-Renyum ısılciftlerinin üç tipi 2760°C'ye kadar sıcaklıkları ölçmek için kullanılır. Bu alaşımlar doğası gereği çok zayıf oksitlenme direncine sahiptir ve vakumda, hidrojen veya inert atmosferlerde kullanılmalıdır.

TC tel sınıfları

- ◆ Sınıflandırma telin kalibrasyon doğruluğuna dayanır.
 - ◆ Hassasiyet sınıfı – (*okumanın $\pm \%0.5$ 'i veya 1°C*), *hangisi daha büyükse*
 - ◆ Standart sınıf -(*okumanın $\pm \% 0.75$ 'i veya 2°C*), *hangisi daha büyükse*
 - ◆ Uzatma veya Lead-wire sınıfı - (*okumanın $\pm \%1$ 'i veya 4°C*)
- ◆ Tel çapı
 - ◆ 0.001 inch ve üstü
 - ◆ Standart çaplar: 0.01", 0.02", 0.032", 0.040", 1/16", 1/8", 3/16", ve 1/4"
 - ◆ İnce tel daha iyidir ancak kırılganlık bir sorun oluşturur

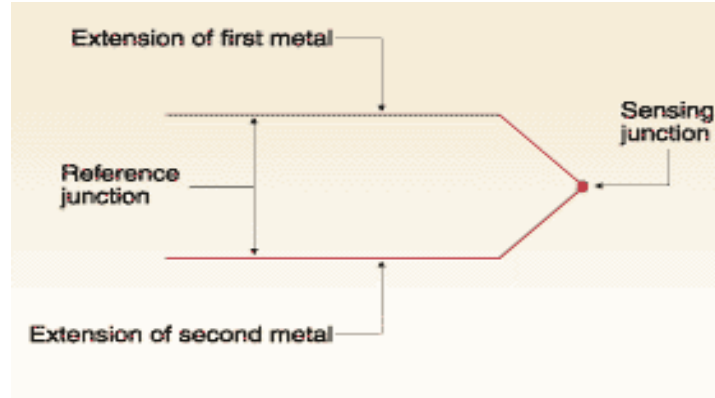
Prop çeşitleri

- Topraklanmamış
 - Eklem propdan ayrıktır. Yanıt hızı kaybına rağmen elektriksel yalıtım sağlar.
- Topraklanmış
 - Eklem prop çeğerine fiziksel olarak bağlıdır. Ekleme iyi bir ısı iletimi sağlar.
- Açıkta
 - Eklem dış çevreye açıktır. En iyi yanıt süresi, fakat korozyon olmayan ve basınçsız uygulamalarla sınırlıdır.



T_yi nasıl ölçer ve emk'yı nasıl hesaplarız?

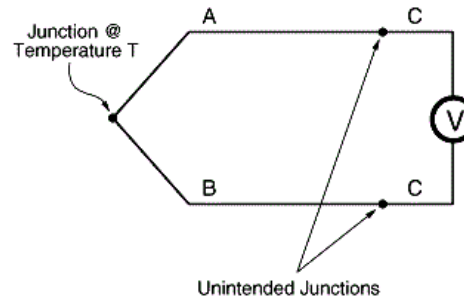
Isılçift sinyali referans eklemesinin sıcaklığına olduğu kadar ölçme eklemesinin sıcaklığına da bağlıdır. Devreyi örneğin DVM gibi bir enstrümana bağladığımızda, bağlantı noktasında ortam sıcaklığında yeni bir ısılçift (TC) devresi oluşur.



Isılçift Tabloları (EMK-Sıcaklık)

- Isılçift tabloları sıcaklıkla üretilen gerilim arasındaki ilişkiyi gösterir.
 - Isılçift tabloları genellikle 0°C olan referans sıcaklığına göre gerilim değerlerini verir. Eğer ölçme eklemi referans sıcaklığında değilse aradaki sıcaklık kanunu kullanılarak bir düzeltme uygulanmalıdır.

Ölçme Eklemi

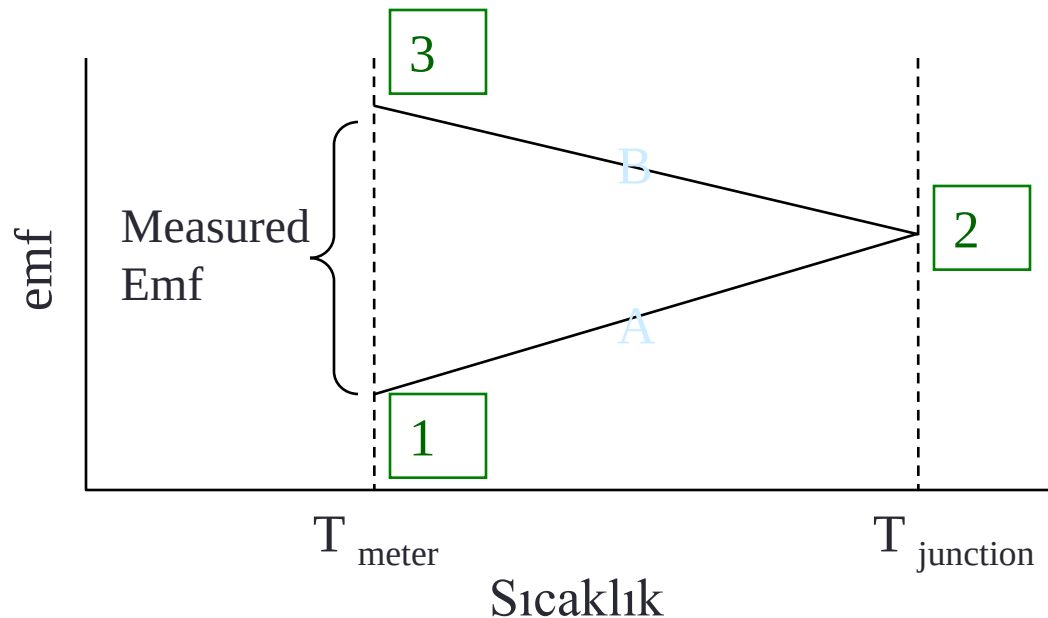
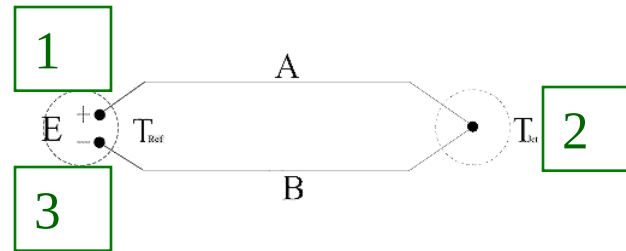


Referans Eklemi

$$e_{\text{reference-instrument}} + e_{\text{instrument-junction}} = e_{\text{reference-junction}}$$

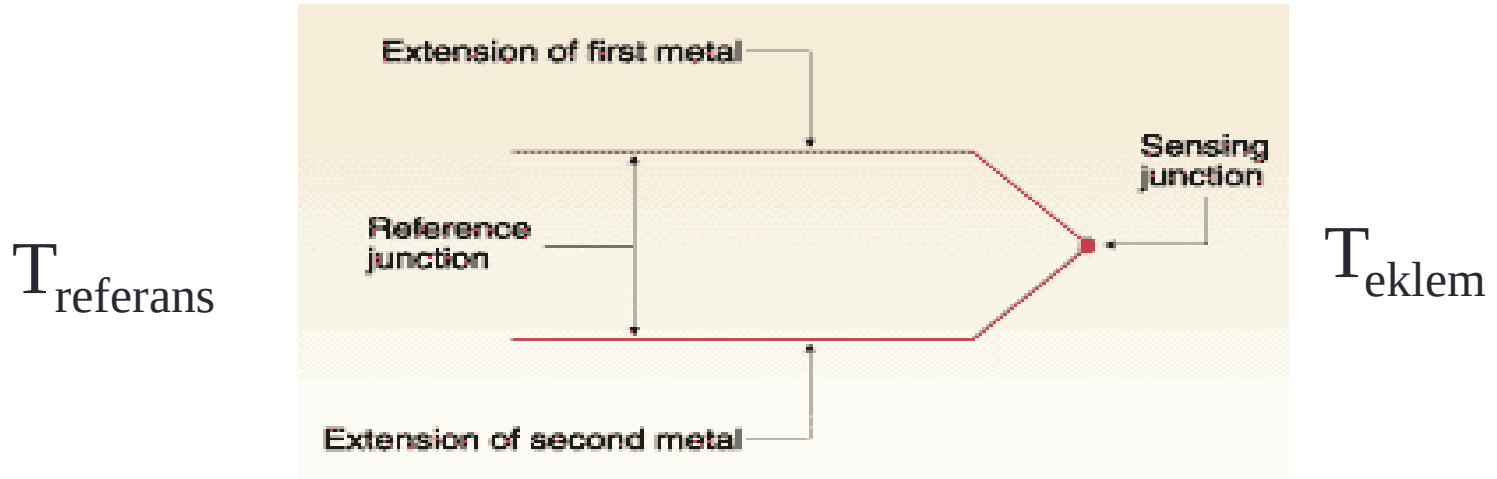
Basit TC Modeli "EMF-Sıcaklık Şeması"

- İki malzeme
 - A (+) Malzemesi
 - B (-) Malzemesi
 - Artı ve eksi emk'nın sıcaklıkla nasıl değiştiğini belirtir. Örnek:
- Devrenin etrafındaki eklemlerin sayısını belirle ve çiz



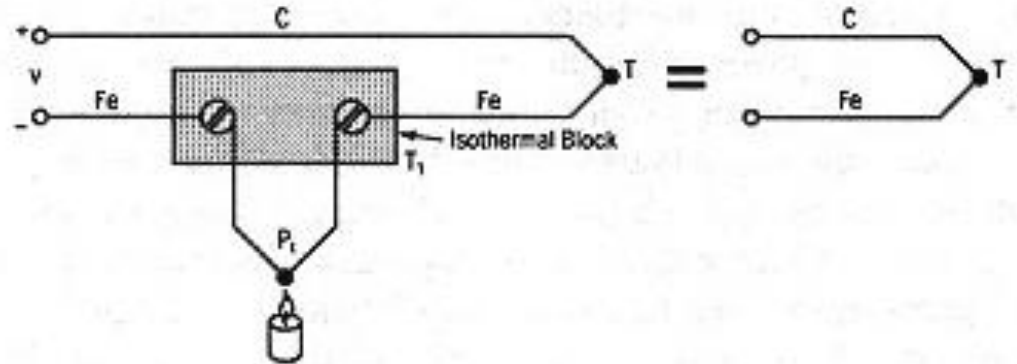
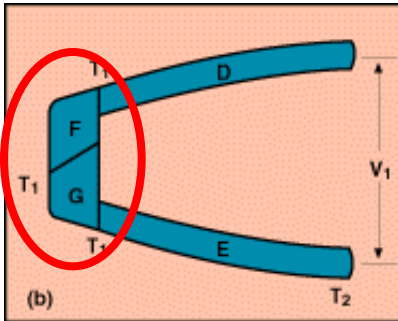
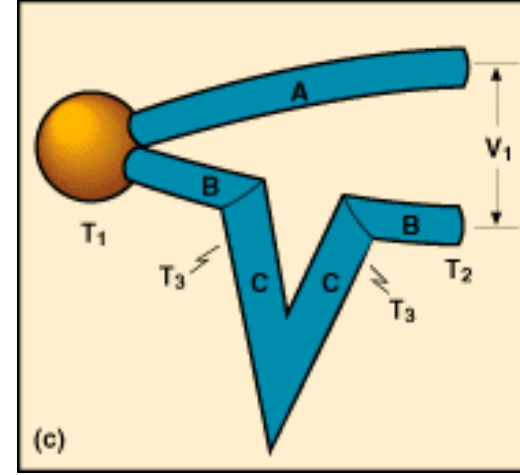
Isılçift Kanunları ve Kuralları

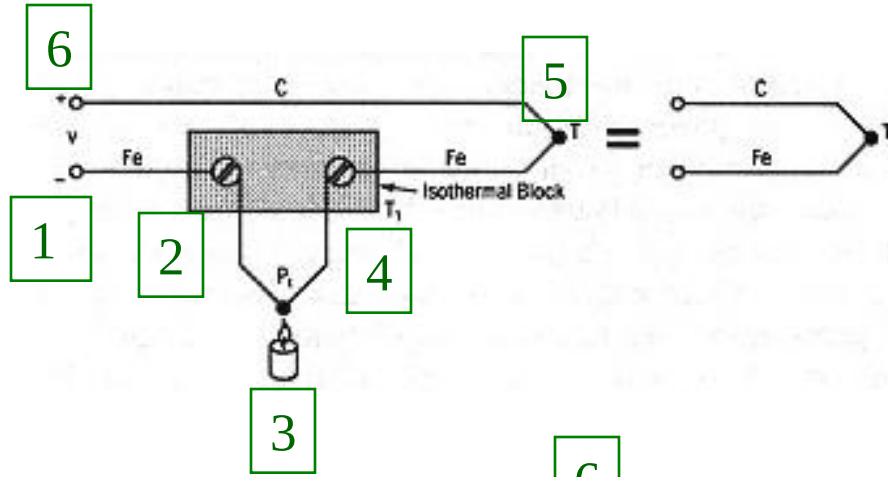
- Termoelektrik etkinin pratik uygulaması az sayıda ısılçift ilkesine dayanmaktadır:
- 1) Bir ısılçift iki farklı malzemeden ve en azından farklı sıcaklıklardaki iki eklemden oluşmalıdır ki bir emk çıkış gerilimi sağlayabilsin.



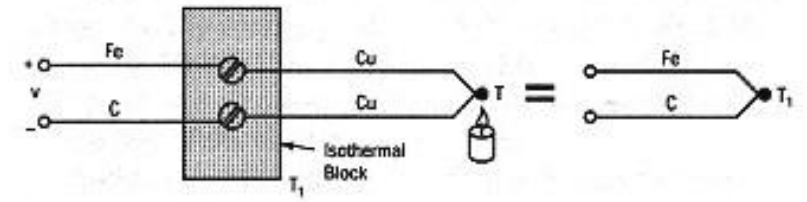
Aradaki Metaller Yasası

- 2) Isılçift devresine bir ara metal eklenmesi iki eklem aynı sıcaklıkta olduğu sürece emk gerilim çıkışını etkilemeyecektir.
 - Lehimlenmiş veya kaynak yapılmış bağlantılara izin verilmektedir.

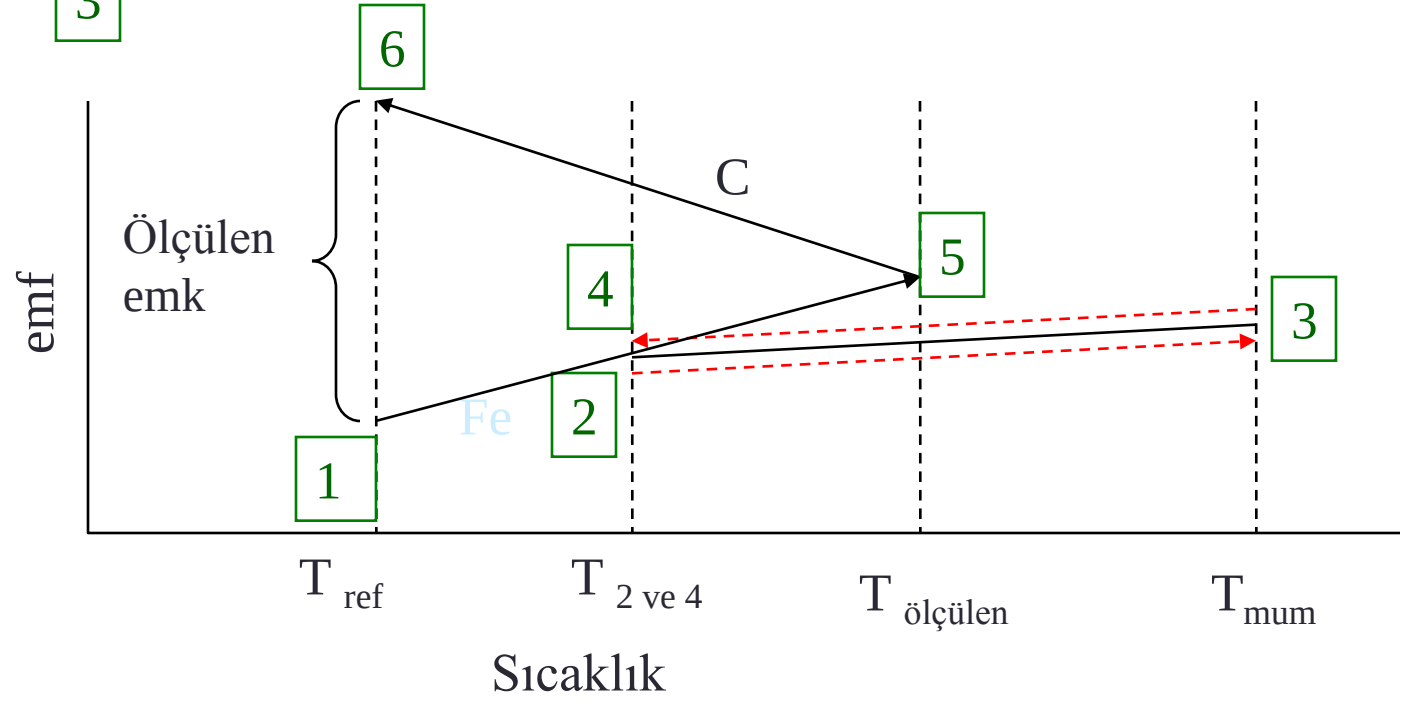




The Law of Intermediate Metals

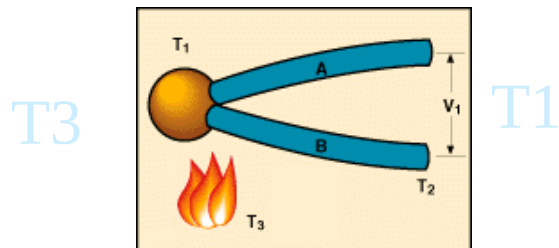
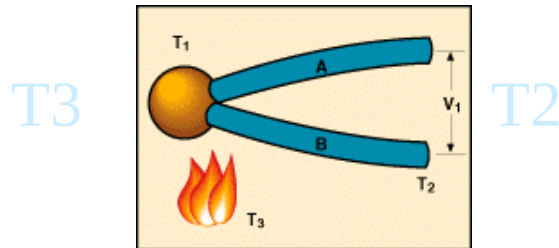
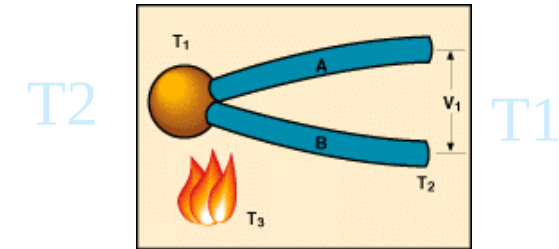


Fe (+) /
C (-) /
P (+) /



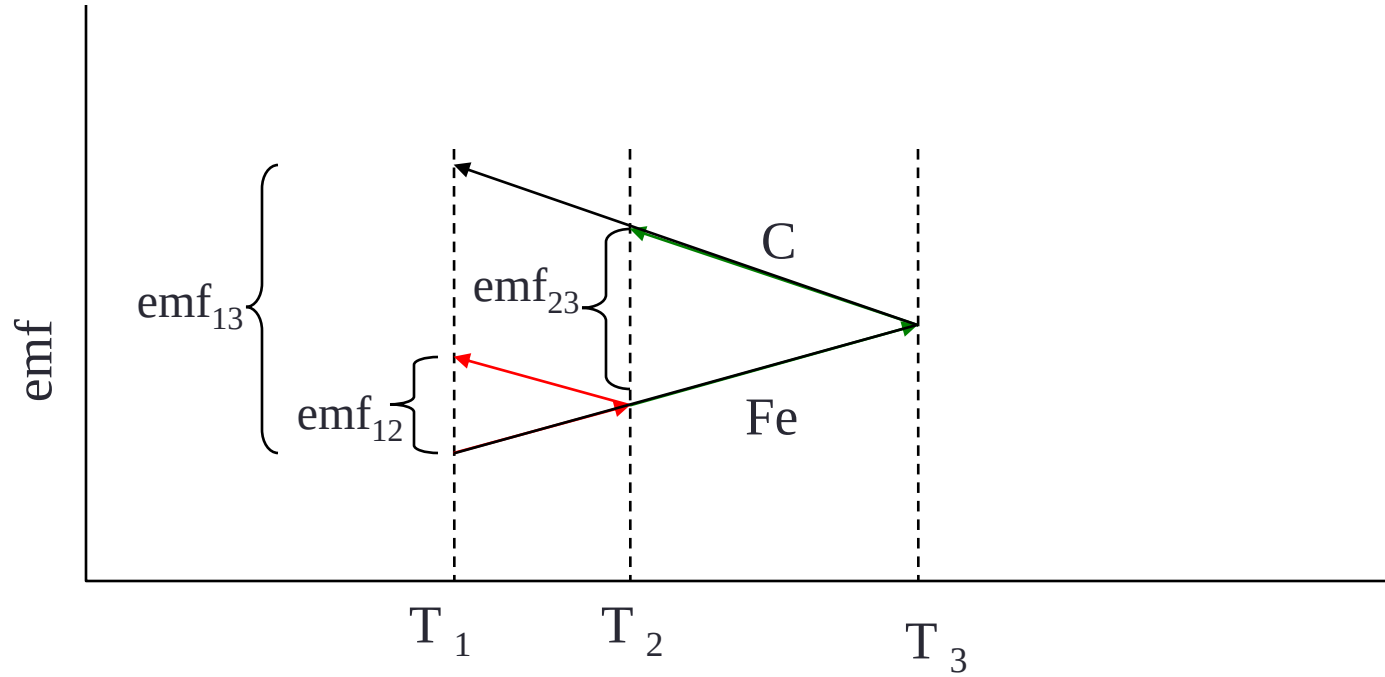
"Intermediate" Aradaki Sıcaklıklar Yasası

- 3) Eğer bir ısı çift devresi T_1 ve T_2 ölçme eklemi sıcaklıkları için net emf_{1-2} ve T_2 ve T_3 sıcaklıkları için net emf_{2-3} gerilimleri oluşturursa, eklem sıcaklıkları T_1 ve T_3 'te olduğunda $\text{emf}_{1-3} = \text{emf}_{1-2} + \text{emf}_{2-3}$ net gerilimini üretir.



- $$\text{emf}_{1-2} + \text{emf}_{2-3} = \text{emf}_{1-3}$$

$$\text{emf}_{1-2} + \text{emf}_{2-3} = \text{emf}_{1-3}$$

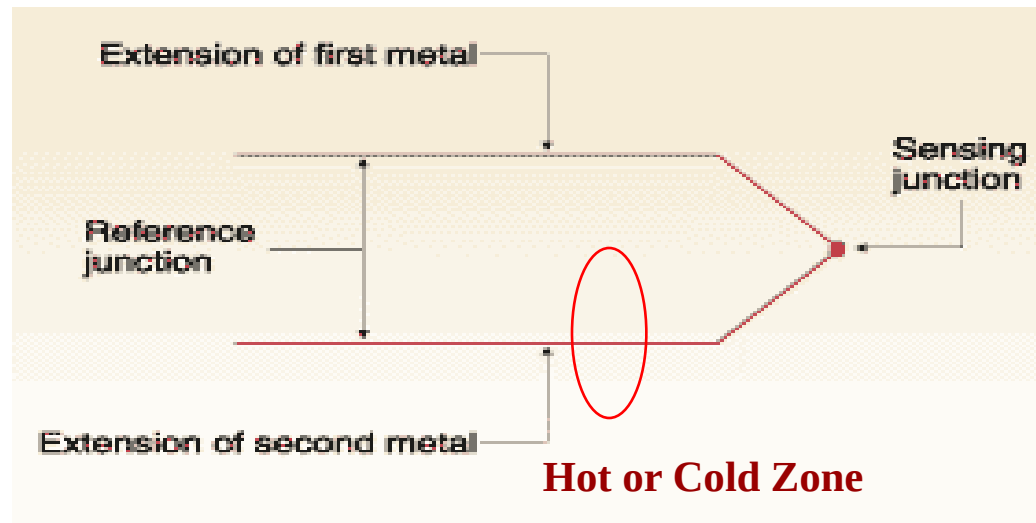


- 4) If a thermocouple circuit of materials A and C generates a net emf_{A-C} when exposed to temperatures T_1 and T_2 , and a thermocouple of materials C and B generates a net emf_{C-B} for the same two temperatures T_1 and T_2 , then a thermocouple made from materials A and B will develop a net voltage of

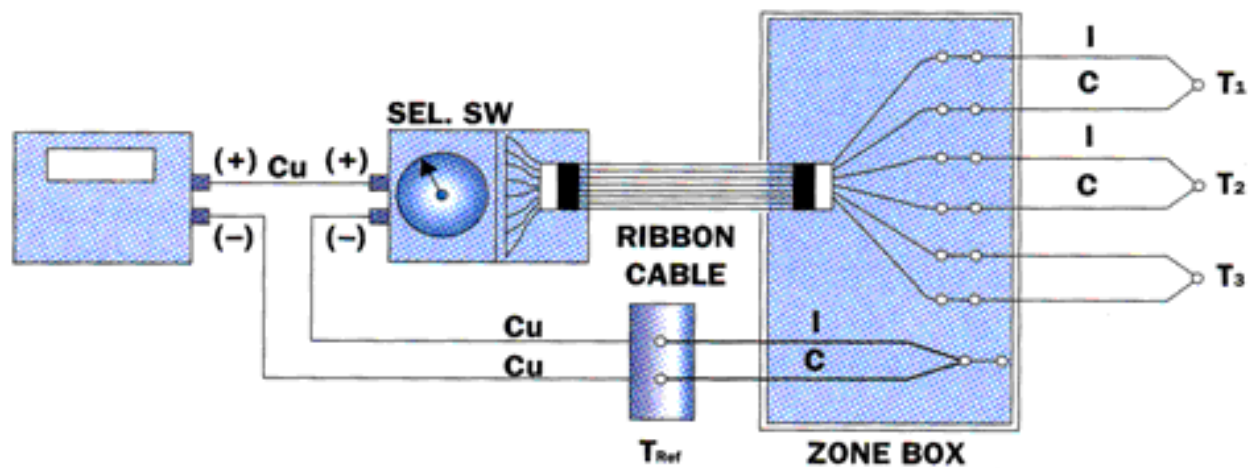
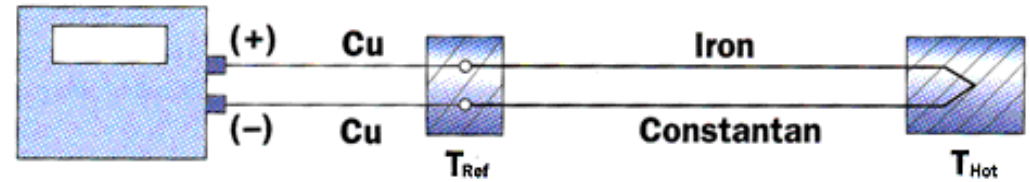
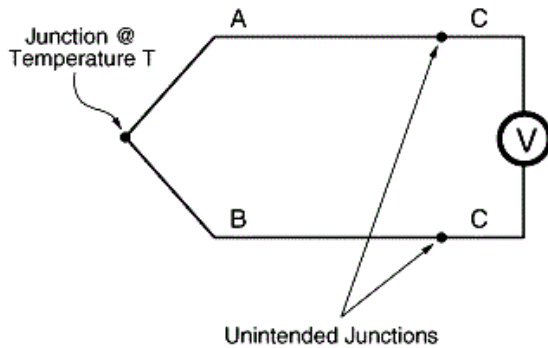
- $\text{emf}_{A-B} = \text{emf}_{A-C} + \text{emf}_{C-B}$

- between temperatures T_1 and T_2 .

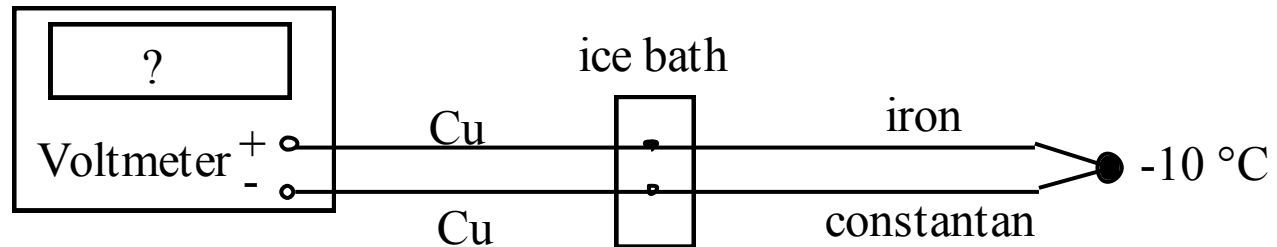
- 4) Temperature changes in the wiring between the input and output ends do not affect the output voltage, provide the wiring is of a thermocouple alloy.



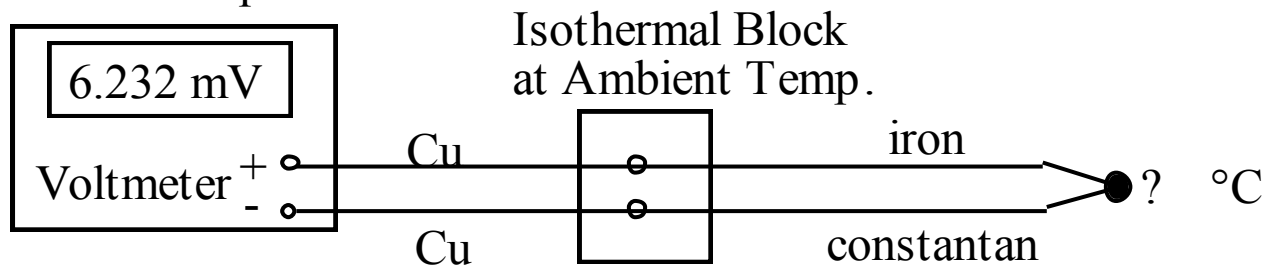
Örnek problemler



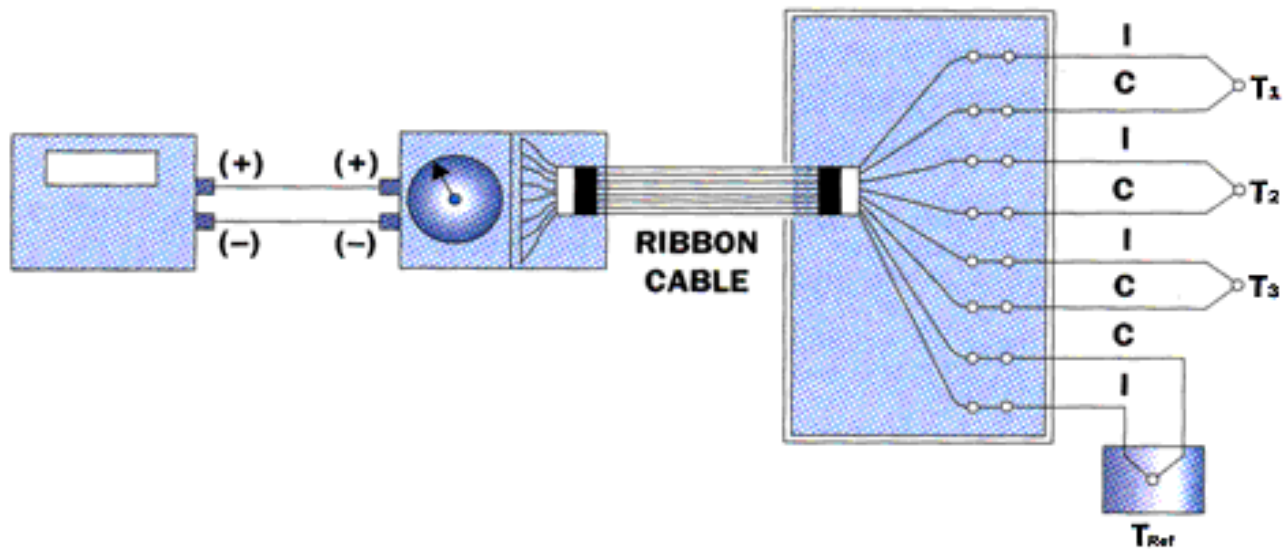
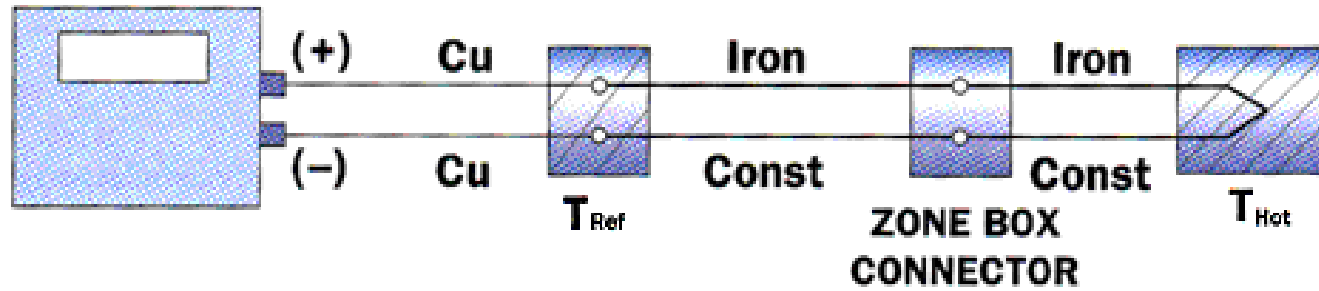
Ambient Temp. = 24 °C



Ambient Temp. = 24 °C

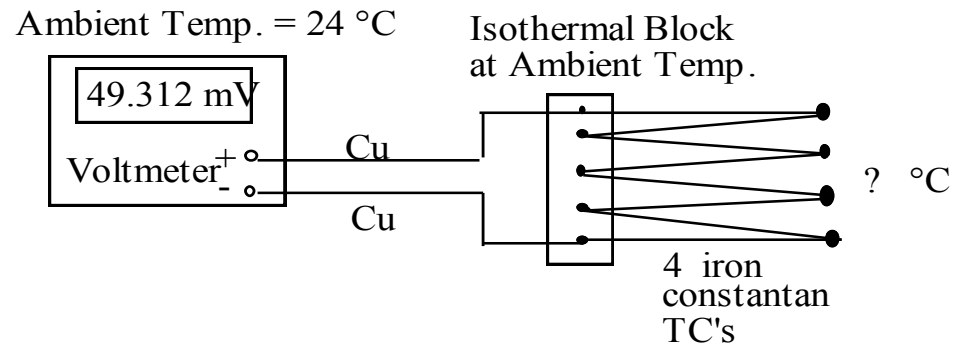


Örnekler

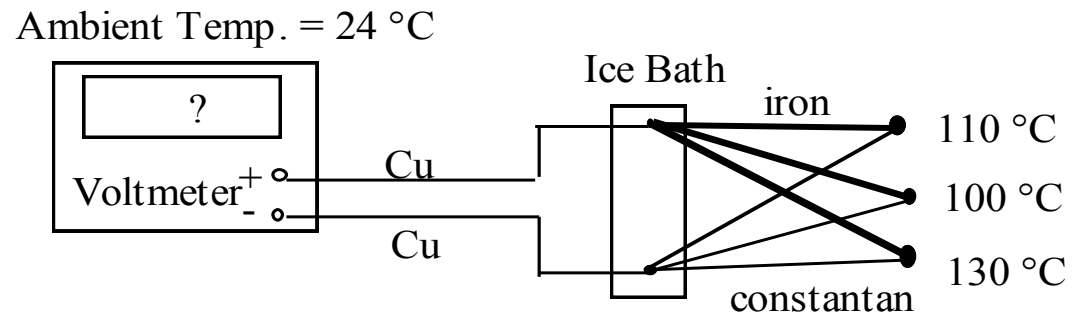


Özel Isılçift Devreleri

- Termopil- İki sıcaklık bölgesi arasında seri bağlı ısılciftlerdir.
 - Küçük sıcaklık değişimlerini algılamak için uygun
 - Yükseltme etkisi



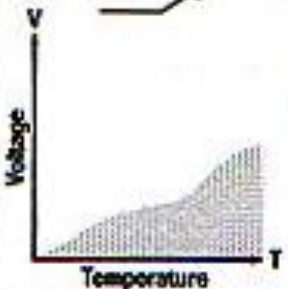
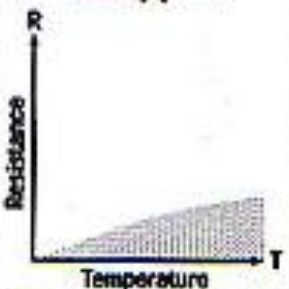
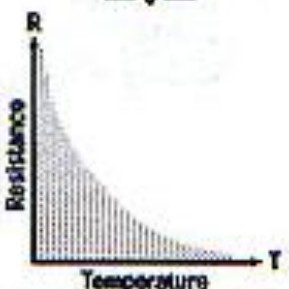
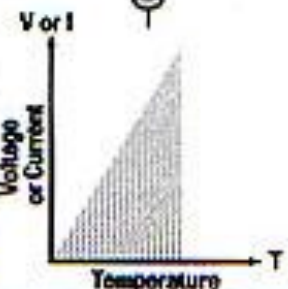
- Ortalama Sıcaklık Devresi- İki sıcaklık bölgesi arasında paralel bağlı ısılciftlerdir.



Sıcaklık Ölçme Hataları

- İletim
- Yayılım
- Işınım
- Yanıt Süresi
- Gürültü
- Topraklama sorunları ve kısa devreler, özellikle metal yüzeylerde

Isılçift, RTD, Termistör ve Tümdevre Algılayıcıların Karşılaştırılması

	Thermocouple  	RTD  	Thermistor  	I. C. Sensor  
Advantages	• Self-powered • Simple • Rugged • Inexpensive • Wide variety of physical forms • 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 • Slow • Current source required • Small resistance change • Four-wire measurement	• Non-linear • Limited temperature range • Fragile • Current source required • Self-heating	• $T < 250^{\circ}\text{C}$ • Power supply required • Slow • Self-heating • Limited configurations