

Sıcaklık Ölçülmesi ve Kontrolü 1

Hasan PEKŞEN
Şeker Enstitüsü

ÖZET

Sıcaklık ölçmede kullanılan en çok bilinen elemanlar ve özellikleri anlatılmıştır. Karşılaştırma yolu ile de uygulama alanına göre seçim koşulları belirtilmiştir.

SUMMARY

The most commonly used temperature measuring elements are discussed with their characteristics. The choice of the element for a particular application is also indicated by a way of comparison.

1. GİRİŞ

Bugün materyal üretiminde etkin olan önemli fiziksel faktörler arasında sıcaklık gelmektedir. Bir ürünün kalitesi, kullanılan tekniklere göre, üretiminin çeşitli basamaklarında sıcaklık kontrolü ile sağlanmaktadır, örneğin şeker üretiminde şeker pancarının haşlanması kristal şekerin elde edilişine kadar bütün basamaklarda sıcaklık kontrolünün önemli yeri vardır (*). Dolayısıyla teknolojiye yararlanabileceğimiz sıcaklık ölçücülerini tanımamız yararlı olacaktır.

Genel olarak duyarlı elemanların seçiminde şu koşullar gözönüne alınır:

- Gerekli sıcaklık sınırı
- Sıcaklık ölçümünde gerekli duyarlılık ve kararlılık
- Kullanılacağı çevre
- Elemandan beklenen çıkış
- Elemamın cevap verme süresi
- Fiatı

Tablo 1 de en çok kullanılan sıcaklık ölçücü elemanların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi gösterilmiştir (1,2,3,4,5).

Bazı elemanlar, termistörler gibi, kontrol organında basit bir düzeni gerektirir.

(*) Şeker üretiminde sıcaklığın önemi için «Şeker Teknolojisi, TŞFAŞ yayını, 1971» e bakınız.

Eğer elemamın çıkışı sıcaklıkla orantılı değilse, termistörlerde ve pirometrelerde, kontrol organının kararlılığı için doğrusallaştırma gereklidir, v.b.

Sıcaklık ölçücü elemanlardan istenen koşullar ise şöyle sıralanabilir:

- Sıcaklık/çıkış karakteristiği,
 - Zamana göre
 - Elemamın çalışma sınırına göre
 - Çevre sıcaklık değişimlerine göre kararlı olmalıdır.
- Elemanın sıcaklık/çıkış ilgisi daha önceden tayin edilebilmelidir.
- Geniş bir sıcaklık sınırında çalışmalıdır.
- Çıkışı veya değişimi endüstriyel aygıtlarla ölçülebilmelidir.
- Çıkış işareti büyük olmalıdır.
- Çıkış işareti gerektiğinde duyarlılığı bozulmadan iletilebilmelidir.
- Endüstriyel koşullara dayanmalıdır.
- Maliyeti az olmalıdır.

Bu yazıda Tablo 1 de belirtilen sıcaklık ölçme elemanlarının özellikleri, yapılan ve karakteristikleri incelenerek kontrol sistemlerinde seçimi ve uygulaması yapılabilir bir halde sunulmuştur.

2. NTC TERMİSTÖRLER

Termistörler yüksek negatif katsayılı dirençlerdir. Oda sıcaklığında negatif sıcaklık katsayısı % 3-5/°C arasında değişir. Bu demektir ki sıcaklık katsayısı pozitif sıcaklık katsayılı bakınnkinden ve çoğu metallere 5-14 kat fazladır. Bu yüzden termistörler çoğu özel hallerde kolaylıkla kullanılabilir.

Çeşitli uygulamalar için ağırlıkları onda bir mg dan bir kaç grama kadar değişen termistörler yapılmaktadır.

Termistörler yüksek sıcaklıkta fırınlanmış homojen oksitli maddeden ibarettir. Diğer seramik maddelerde olduğu gibi, fırınlama mekanik daralmaya yol açar, bu yüzden boyutları tutucu metal parçalardan daha büyüktür.

2.1. Sıcaklıkta direnç değişimi

Termistörün direncinin sıcaklıkla değişimi şu eşitlikle gösterilebilir:

$$R_T = A \exp (B/T) \quad (D)$$

veya,

$$R_T = R_{T_0} \exp B \left(-\frac{1}{T} - -\frac{1}{T_0} \right)$$

Burada,

R_T : T°K deki termistör direnci

B : Termistörün sıcaklığa cevap vermesini tayin eden sabite (2000° - 5000°K arasımda)

A : Bir sabite

R_{T_0} : Termistörün T_0 sıcaklığında direnci

Eşitlik (1) den termistörün sıcaklık katsayısı, $a = -100 B/T^2 \text{ \% /}^\circ\text{C}$

Şekil 2.1 de bir NTC termistörün R_T/R_{T_0} nın sıcaklığa göre çeşitli sıcaklık katsayılarında değişimi gösterilmiştir [1].

12. Elektrik yükü altında davranışı

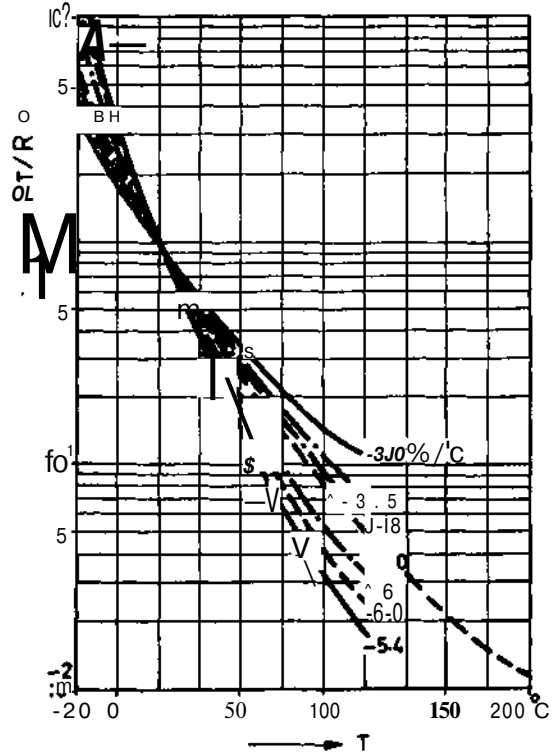
Çevre sıcaklığının etkisi: Kontrol işleminde veya sıcaklık ölçmelerinde kullanırken kendi kendine ısınmayı önlemek gerekir. Eğer AT sıcaklık fazlasına müsaade edilirse.

$$I_m = \sqrt{\frac{G_{TH} \cdot AT}{R_{TH}}} \quad (4)$$

$$V_m \approx \sqrt{G_{TH} \cdot R_{TH} \cdot \Delta T} \quad (5)$$

I_m, V_m maksimum akım ve gerilim değerleri elde edilebilir [5]. Burada R_{TH}^{TM} , kendi kendine

ısınma olmaksızın elde edilen direnci, G_{TH} sıcaklık ve dirençle ilgili bir katsayısı göstermektedir. Dolayısıyla R_{TH} , T sıcaklığına göre termistörün $R_{TH} = f(T_{TH})$ eğrisinden yararlanılarak bulunabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. R_T/R_{T_0} oranının sıcaklık katsayısı parametresiyle sıcaklığa göre değişimi.

23. Elektriksel devrede yüklenen termistörün davranışı

Elektriksel devrede termistörde meydana gelen ısı harcaması termistörün direncinin azalmasına ve gerilim akım eğrisinde doğrusal olmayan bölgeyi meydana getirir. Şekil 22 de bir NTC direncin V—I karakteristiği görülmektedir [2]. Grafikten de anlaşıldığı gibi doğrusal bölgede çalışmak için akımın 0,4 mA den fazla olmaması gerekir.

V—I karakteristiğinin maksimum noktasını çalışma sıcaklığı ve soğuk haldeki direncinden başka, termistörün yüzey alanı da etkiler. Geniş yüzeyli termistörün büyük bir harcama katsayısı olup, küçük yüzeyliye göre aynı sıcaklık artışında daha fazla enerji harcar. Böylece maksimum gerilim ve akım değerleri artar.

V—I karakteristikleri, durağan havada geçerlidir. Zorla hava veya sıvı ile soğutmada harcama katsayısı artar. Vakumda ise tersine bir azalma görülür.

Tablo 1. Sıcaklık duyarlı elemanların karşılaştırılması.

duyucu	tipi	sıcaklık sınırı (°C)	duyarlık (S* veya A**)	sıcaklık çıkışan sınırında değişimi	°C başına çıkışın değişimi	termal zaman sabitesi	hata kaynakları	dikkat edilecek noktalar	uygulaması
yarıiletken direnç termometreler	NTC termistör	—40, < + 300	S oda sıcaklığında 3°C den 10°C ye kadar ölçülen sıcaklık oda sıcaklığından ayrıldıkça artar	eksponensiyel direnç değişimi	oda sıcaklığında % —2, %—6/*C	(9) havada 2 sn den 80 sn ye kadar	a. kendi kendine ısınma b. zamanla kayma	a. duyarlı elemandan geçen akımın kısıtlanması b. eskitilmiş tiplerinin kullanılması	ucuz kontrol sistemlerinde, teşbih tipleri yüzey sıcaklığı ölçümünde
	PTC termistör	0, + 150 veya daha aşağısı			% + 60/°C kadar yüksek olabilir				
metal direnç termometreler	platin	—250, + 850	S 0,3°C den 5X ye S 0,2X den 2,1 °C ye	yaklaşık doğrusal direnç değişimi	% + 0,39 /*C	hareketli suda 0,9 — 100 sn arası, hareketli havada 16— 620 sn arası	a. kendi kendine ısınma b. kablo direncinin sıcaklıkla değişimi	a. duyarlı elemandan geçen akımın kısıtlanması b. kabloların mümkün olduğu kadar kısa tutulması veya kompanzasyon kullanılması	Pt, yüksek duyarlık gereken sistemlerde; Ni, düşük duyarlık fakat yüksek çıkış; Cu ucuz fakat kararlı
	nikel	—60, + 200			% + 0,62 /°C				
	bakır	—200, + 100			% + 0,39 /°C				
ısıl çiftler	Cu - Konst.	—200, + 400	A % 0,75 fakat en az 3°C termo emk.nin yaklaşık doğrusal değişimi		23 _u V — 64 _u V/°C ⁽⁴⁾	hareketli suda 0,4 sn den 175 sn ye kadar hareketli havada 30 sn den 500 sn ye kadar	a. soğuk uçlardaki sıcaklık değişimi b. ısıl çiftin direncinin sıcaklıkla değişmesi	a. soğuk uç kompanzasyonu kullanılması veya soğuk uç sıcaklığının kararlı hale getirilmesi b. DA kompansatör ile ısıl çiftin yüklenmemesi	ısıl çiftlerin uygulaması çok geniştir, yüzey sıcaklığı ve küçük bölgelerin sıcaklığı ölçülebilir PtRh — Pt ve PtRh — PtRh yüksek sıcaklıkları yüksek duyarlıkta kontrolde kullanılır
	Fe - Konst.	—200, + 700			34 _u V — 65 _u V/°C ⁽⁵⁾				
	Nicr - Ni	[+ 900 (3)] 0, + 1000			39 _u V — 43 _u V/°C ⁽⁶⁾				
	Nicr - NiAL	[+ 1300 (3)] —200, + 1000			ortalama 41 _u V/°C ⁽⁷⁾				
	PtRh (%30)	0, + 1300			6 _u V — 12 _u V/°C ⁽⁸⁾				
	PtRh (%6)	[+ 1600 (3)] 0, + 1500			6 _u V — 12 _u V/°C ⁽⁹⁾				
pirometreler	(D) toplam radyasyon	+ 3000 °C ye kadar	A % 1 den % 1,5 a kadar	çıkış ∝ T ⁴		yaklaşık 1 sn den 60 sn ye kadar			çok yüksek sıcaklıkların ölçümü, kontrol sisteminde kullanmak için çıkışı doğrusallaştırılmalıdır
	(2) kısmi radyasyon	+ 5000 T ye kadar	A 1°C den 35°C ye kadar	çıkış ∝ $\frac{1}{T}$		msn sınırında			
gaz genleşmeli termometreler		(10) —212, + 800	% 0,5	doğrusal gaz genleşmesi	ideal gazın genleşme kat sayısı dolayında	30 sn den 400 sn ye kadar (11)	a. gaz tüpünün sıcaklıkla genleşmesi b. kapiler tüp ve körükte sıcaklık değişimleri	a. konpanzasyon körüğü kullanılması b. kapiler tüp koruk ünitesinin sıcaklığının sabit tutulması	elektriksel aygıtların tehlike yaratabileceği atmosfer ve çevre koşullarında

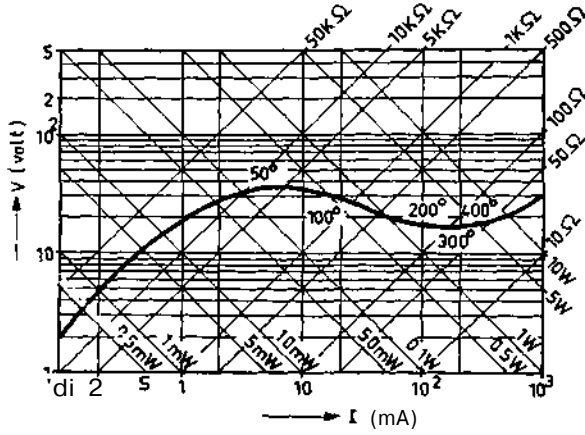
(1). Duyarlı eleman : Isıl-Çift veya termopil
(2). » » : Fotosel veya benzer bir aygıt
(3). Sınırlı peryodlarda
(4). —100°C , + 400°C sıcaklık sınırında
(5). —100°C , + 700°C » »
(6). 0°C , + 1000°C » »

(7). —200°C , + 1000°C sıcaklık sınırında
(8). 0°C , + 1500°C » »
(9). Çıplak teşbih tipi : 2 sn
Cam kaplı » » : 14 sn
Disk tipi : 60 sn — 80 sn
» » uygun bir soğuma yüzeyinde : 18 sn

(10). Tek bir tüp bu sıcaklık sınırının tamamında kullanılamaz. Tüpün boyutlarına ve gaza göre daha ufak sınırlara bölünür.
(11). Zaman gecikmesi kullanılan kapiler tüpün boya ve çevre koşullarıyla da ilgilidir.

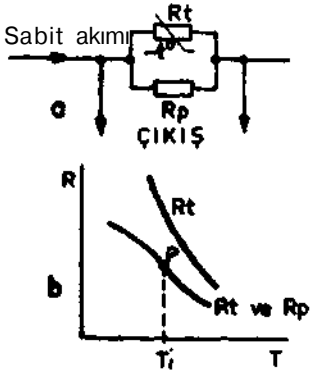
(*) S : Toleransdan dolayı ölçme sıcaklığındaki yayılma aralığı,
(**) A : ölçülen sıcaklığın % si veya °C olarak duyarlık.

40°C nin üstünde termistörü doğrusal olarak kullanmak için termistöre uygun bir seri veya paralel direnç ilâve edilmelidir.



Şekil 2.2. NTC termistörlerin V-I karakteristiği.

Paralel bağlantı ile doğrusallaştırma Şekil 2.3a da görülmektedir. Yalnız, devre sabit bir akım kaynağından beslenmelidir. Toplam direncin °C başında değişimi dönüm noktası P de (T_i ; sıcaklığında) yaklaşık olarak sabittir.



Şekil 2.3.

T_i çevresinde doğrusallaştırma için gerekli R_p direnci:

$$R_p = R_r, (B - 2T_i) / (B + 2T_i) \quad (6)$$

eşitliğinden bulunabilir [2].

Sabit bir akım kaynağından beslendikçe T_i etrafında doğrusal bir değişme beklenebilir (Şekil 2.3b). Duyurucu (Sensor) çıkışı bu eğrinin eğiminden hesaplanabilir. Bu eğimin T_i deki değeri,

$$\left(\frac{dR}{dT} \right)_{T=T_i} = - \frac{R_{i1}(B-2T_i)^2}{4 B T_i^2} \quad (7)$$

sıcaklık katsayısındaki azalma:

$$\alpha_p / \alpha_s = (B - 2T_i) / (2 B) \quad (8)$$

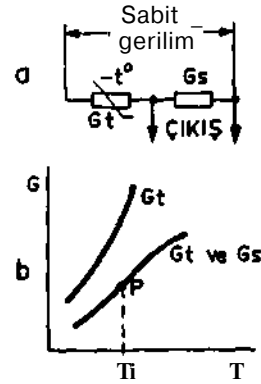
α_{ip} : Termistör ve R_{i1} kombinasyonunun T_i deki sıcaklık katsayısı

α_s : Termistörün yalnız başına sıcaklık katsayısı

Kondüktans doğrusallaştırması termistöre seri bir direnç ilâvesiyle sağlanır (Şekil 2.4a). Devre sabit bir gerilim kaynağından beslendiğinden T_i etrafında doğrusal bir değişme elde edilir. Gerekli G_s ,

$$G_s = G_{i1} (B + 2T_i) / (B - 2T_i) \quad (9)$$

eşitliğinden bulunur [2].



Şekil 2.4. Seri direnç ile doğrusallaştırma.

Burada,

G_{i1} : Termistörün T_i sıcaklığında kondüktansı

T_i : Doğrusallaştırmanın gerekli olduğu sıcaklık

T_i deki eğim,

$$\left(\frac{dG}{dT} \right)_{T=T_i} = \frac{G_{i1}(B-2T_i)^2}{4 B T_i^2} \quad (10)$$

sıcaklık katsayısındaki azalma,

$$\alpha_{is} / \alpha_s = (B + 2T_i) / (2 B)$$

α_{is} : G_s ve termistör toplamının T_i deki sıcaklık katsayısı

α_s : Termistörün yalnız başına T_i deki sıcaklık katsayısı

Köprüde kullanılan termistör sıcaklık değişimlerinde en duyarlı sonucu verir (Şekil 2.5). Doğrusallaştırma için $g_k + g_s$, (9) nolu eşitlikteki G_s değerini tutmalıdır. ($R_c + R_d$ nin $1/g_i$ dan büyük olduğu düşünülürse).

Karakteristiğinin her noktasında PTC direncin sıcaklık katsayısı,

$$*R(T) = -\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} (i^*)$$

olarak tanımlanır.

Aniden direncin yükseldiği bölgede a_R sabit sayılabilir. Böylece,

$$a_R = \frac{\ln(R_2/R_1)}{T_2 - T_1}$$

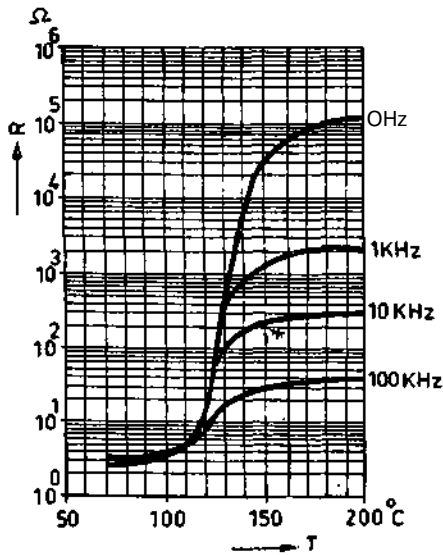
olur.

Bu sıcaklık sınırında,

$$R_2 = R_1 - e^{a_R} (T_2 - T_1)$$

olarak yazılabilir. Uygulamalar için önemli olan, ani direnç artışının olduğu sıcaklık bölgesidir. Direnç, sıcaklığa bağımlılığı yanında, alan şiddeti ile de ilgilidir. Bu «varistör etkisi» eklem direncinin alan şiddetine bağımlılığı yol açar. Eklemlerin tamamen geliştiği yüksek direnç halinde meydana gelir. Maksimum direnç ve a_R nin değeri varistör etkisiyle azalır.

Belirli tiplerin direnç-sıcaklık eğrileri varistör etkisine ve kendi kendine ısınmaya yol açmayacak kadar küçük gerilimlerde (1,5 V gibi) geçerlidir. Temel yapısından dolayı kapasitif etki gösterdiğinden AA da frekansı ile direnci değişir. AA da empedans olan R_E frekans artmasıyla azalır (Şekil 32).



Şekil 32.

3.1. Sıcaklık duyucusu olarak PTC dirençler

PTC dirençler yaklaşık olarak 1V/mm alan şiddetinde çalışır. Böylece çevre sıcaklığına göre direnç değişimi karakteristiklerini tutar. Bu halde varistör ve kendi kendine ısınmanın etkisi ihmal edilebilir. Bu koşullar altında PTC direnç ölçme ve kontrol işlemleri için ani direnç artışı olan bölgede kullanılabilir.

3.2. Kendi kendine kontrollü termostat olarak PTC direnç

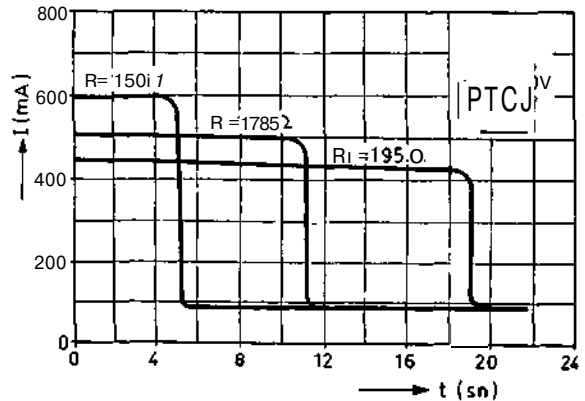
PTC direncine 10V/mm kadar bir alan şiddeti uygulanırsa, sıcaklığı anma sıcaklığının üstüne çıkar. Böylece çevre sıcaklığına bağlı olmayan dengeli bir sıcaklık çalışma noktası sağlanır.

Pozitif katsayısından dolayı sıcaklık azaldıkça PTC direnç güç harcaması artar. Bu termostat etkisi PTC dirençlerle çevrili bir odada sıcaklık kararlılığının çevre sıcaklığını, 5-10 arası bir faktörle (T_{in}/T_{out}) azaltarak sağlar. Ayrıca çalışma gerilimindeki değişimlere karşı kararlılık etkisi vardır. Çalışma gerilimi arttıkça PTC daha fazla güç harcar, sıcaklığını artırır ve akımını azaltır. Düşünülen gerilimin karesinde güç ve böylece sıcaklık geriliminin karesiyle orantılı değildir. Fakat 0,1 e yakın bir üstte artar ($Poc V < U$).

Diğer bir deyimle, güç harcaması geniş bir gerilim değişim sınırından bağımsızdır.

3.3. Akım zaman eğrisi

PTC de belirtilen olaylar anında meydana gelmez; termistörün akımla veya çevre sıcaklığıyla yeteri kadar ısınıp yeni bir çalışma noktasına geçmesi belirli bir süreyi gerektirir. Şekil 3.3 de bu gecikme ile termistörden geçen ilk akım arasındaki bağıntı görülmektedir.

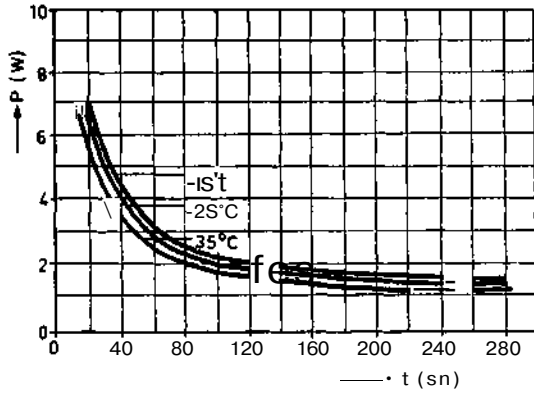


Şekil 3.3. PTC direncin yüke göre akım/zaman eğrisi.

Termistörün ortam sıcaklığından anahtarlama sıcaklığına geçmesi elde bulunan güce bağlıdır, yani belirli bir gerilimde gecikme akımının fonksiyonudur [1].

Şekil 3.4 de anahtarlama gecikmesini gücün fonksiyonu olarak, sıcaklık parametresiyle belirtmektedir. Bu eğrilerin genel fonksiyonu,

$(P - P_0) T = \text{sabitdir.}$ (P : ilk güç, P_0 : termistörü T_s anahtarlama sıcaklığına getirmesi için gerekli güçtür). Bu eğrinin asimtotları $T=0$ ve P_0 dır. Uygulanan güç P_0 ı aşmadıkça, termistör yüksek direnç bölgesine sürülemez ve dolayısıyla anahtarlama zamanı sonsuz olur.



Şekil 3.4. Sıcaklık parametresine göre güç/gecikme eğrisi.

Şekil 3.4 de de görüldüğü gibi ortam ve anahtarlama sıcaklığı arasındaki fark azaldıkça devreyi yüksek akım bölgesinden alçak akım bölgesine ulaştırmak için az güç gerekir (T nin ortam sıcaklığı arttıkça azalması [2]).

Tablo 3.1. Baryum titanat termistörler için genel bilgi.

Özgül ısı S_1	0,12 cal/g °C
Özgül direnci (soğuk)	20 — 50 Ω cm
Özgül ağırlığı	5,6 g/cm ³
Durgun havada güç harcaması	10 — 15 mW/°C
R mak/R min (yüksüz)	10 ⁵ — 10 ⁵
R mak/R min (yükte)	10 ² — 10 ³
Curic sıcaklığı, T_c	120 °C
Anahtarlama sıcaklığı, T_s	110 °C
Özgül kapasitesi	yaklaşık 1nF
Maksimum sıcaklık katsayısı yaklaşık	%60/°C
Maksimum ani yükü (s 0,15 Sn)	yaklaşık 1kW

Tablo 3.2. PTC ve NTC dirençlerin karşılaştırılması [3].

Termistörün cinsi	PTC	NTC
Sıcaklık katsayısı	büyük, pozitif	büyük, negatif
Sıcaklık sınırı	dar	geniş
Negatif dirençte I/V eğrisi	N şekli (dynatron kar. benzer)	S seldi (ark boşalmasına benzer)
Dinamik modeli	kapasitans	indüktans
Zaman gecikmesi uygulamasında	açma	kapama
Sınırlayıcı ve stabilizasyon uygulamasında	akım	gerilim
Yan iletkenin cinsi	n — cinsi	p — veya n — cinsi
Tercih edilen şekli	disk	çubuk
tki veya daha fazlasının en uygun bağlantı şekli	paralel	seri

4. METAL DİRENÇ TERMOMETRELER

Metal direnç termometrelerde, direnç ile sıcaklık arasındaki ilgi,

$$R_t = R_0 (1 + aT + bT^2 + cP \dots)$$

kanununa uyar ($R_t = T^\circ\text{C}$ deki direnç, $R_0 = 0^\circ\text{C}$ deki direnç genellikle 100 Ω). Belirli sıcaklık sınırları için, $a > b > c$ dir, böylece direnç değişimi hemen hemen sıcaklıkla orantılıdır. Böylece a sıcaklık katsayısını belirtir ($\Omega/^\circ\text{C}$).

Dirençli termometrelerde platin uluslararası bir standarddır. Çok saf platin için sıcaklık katsayısı 0,00392 $\Omega/^\circ\text{C}$ ve 0* - 500°C arasında eğrilişlik % 2 kadardır.

Belirli sıcaklık sınırında nikelin ortalama sıcaklık katsayısı 0,0062 $\Omega/^\circ\text{C}$ dır, dolayısıyla çıkışı platin termometrelerden fazladır. Fakat nikelin direnç sıcaklık eğrisi platinden daha eğriseldir. Nikel dirençli termometrelere paralel bir direnç ilave ederek Pt-tiplerinden daha kolay doğrusal hale getirilebilir.

Bakır ucuz ve belirli sıcaklık sınırında kararlıdır; yüksek sıcaklıklarda okside olur.

Metal dirençli termometreler Standard ısı-çiftten daha pahalıdır, fakat daha duyarlı sonuç ve daha fazla çıkış verirler.

4.1. Neden platin

Saf ve baskıdan uzak platin direnç sıcaklık (R/T) eğrisi özellikle kararlıdır ve tekrarlanabilir. Bu yüzden saf platin, 13,81°K den antimumanın donma noktasına 630,74°C, kadar uluslararası standard olarak seçilmiştir (Tablo 4.1) [5].

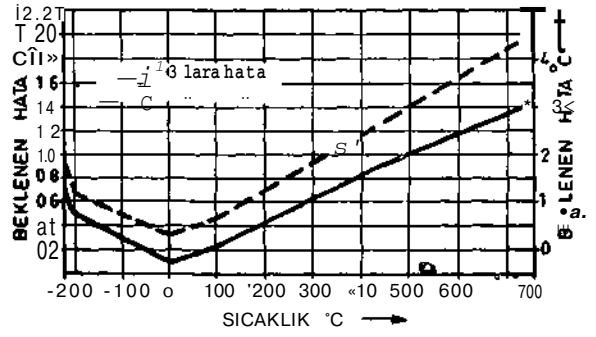
Tablo 4.1. P, dirençli termometrelerin uluslararası standartlara göre kalibrasyonu.

°C	n	°C	D.
-220	10,41	220	183,17
-200	18,53	240	190,46
-180	27,05	260	197,70
-160	35,48	280	204,88
-140	43,80	300	212,03
-120	52,04	320	219,13
-100	60,20	340	226,18
- 80	68,28	360	233,19
- 60	76,28	380	240,15
- 40	84,21	400	247,06
- 30	88,17	420	253,93
- 20	92,13	440	260,75
- 10	96,07	460	267,52
0	100,90	500	280,93
+ 10	103,90	500	280,93
20	107,79	520	287,57
30	111,67	540	294,70
40	115,54	560	300,70
50	119,40	580	307,20
60	123,24	600	313,65
80	130,89	620	320,05
100	138,50	640	326,41
120	146,06	660	332,72
140	153,57	700	345,21
160	161,04	750	360,55
180	168,47		
200	175,84		

Platin için R/T ilgisi Callender Van Düsen tarafından verilmiştir:

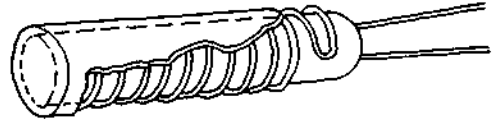
$$\frac{R_t}{R_0} = 1 + \alpha \left[1 - \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \left(\frac{t}{100} \right) - \beta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \left(\frac{t}{100} \right)^3 \right]$$

α , β , δ S tipik değerleri [9], $\alpha = 0,003920 - 0,003925$, $\beta = 0,11$ (negatif sıcaklıklarda), $\delta = 0$ (sıfır pozitif sıcaklıklarda), $\delta = 1,495$ olan sabitelerdir (Şekil 4.1).



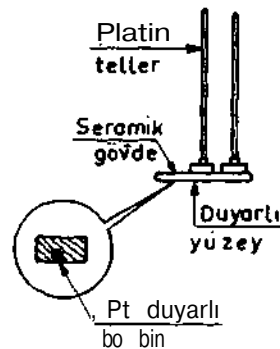
Şekil 4.1. Pt dirençte sıcaklık değişimiyle beklenen hata.

Endüstriyel uygulamalarda, yetersiz destek ve titreşim yüzünden platin termometreler kullanılamaz. Bunun için endüstriyel tiplerde yaklaşık olarak 0,025 mm çapında platin tel spiral şeklinde bir seramik çubuğa sarılır. Şekil 4.2 deki yapı, titreşimin çok fazla olduğu yerlerde yararlıdır. Ayrıca yüzey sıcaklığını ölçmek için bir plaka üzerine sarılmış platin bobin kullanılır (Şekil 4.3).

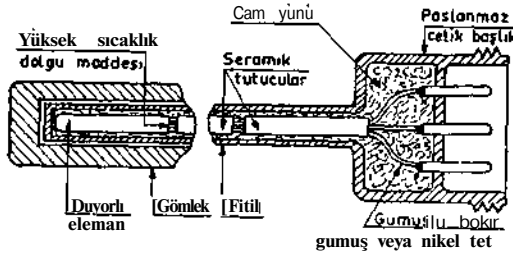


Şekil 4.2.

Platin duyarlı eleman, Şekil 4.4 deki gibi bir yapı içine yerleştirilir. Böylece zaman sabitesi 5 sn ile 1,5 sn arasına yükselmiş olur. 1000°C ye yakın sıcaklıklarda çalışması için kuartz koruyucu ile kaplanabilir.



Şekil 4.3. Yüzey sıcaklığını ölçmek için Pt direnç.



Şekil 4.4. Pt direncin sıcaklık ölçümünde korunması.

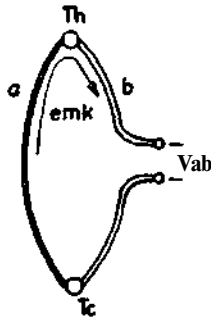
42. Direnç termometrelerle ölçme

Metal termometrelerle sıcaklık ölçümünde en önemli hata kaynağı direnç termometrenin kendi kendine ısınması ve sıcaklıkla bağlantı kablolarının direncinin değişmesidir: 100 Ω 2 dirençli bir termometre için akımın Standard değeri 10 mA veya daha azdır.

Termometre sıcaklığının kablo direncine bağlı olmaması için, çeşitli kompanzasyon köprüleri kullanılmalıdır. En çok kullanılan üç kablolu ve çift Kelvin köprüsü daha ilerki bölümlerde anlatılacaktır.

5. ISIL ÇİFTLER

İlke olarak iletkenlerde ısı değişimiyle meydana gelen Seeback etkisine dayanan ölçülerdir. Basit olarak Şekil 5.1 deki gibi farklı iki iletkenin bağlantı noktalarına farklı sıcaklıklar uygulanırsa (Şekil 5.1), devreden bir elektrik gerilimi elde edilir



Şekil 5.1.

Bu açık devre gerilimi iletken çiftini yapan maddenin özelliğine ve bağlantı noktalarındaki sıcaklığa bağlıdır [6].

$$V_{ab} = C_1 (T_h - T_c) + -S_1 (T_h - T_c) + \dots$$

ve Seeback katsayısı,

$$a_{ab} = \frac{\partial V_{ab}}{\partial T_h} = C_1 + C_2 (T_h - T_c) + C_3 (T_h - T_c)^2$$

Burada,

V_{ab} : Çiftin açık devre gerilimi

C_1 : Sıcaklıkla ilgili bir dizi katsayı

T_h : Çiftin I noktasındaki sıcaklık

T_c : Çiftin II noktasındaki sıcaklık

Elde edilen açık devre gerilimi, V_{ab} , sıcaklık farkı ile ilgili bir değer verir ($C_1, C_2, \dots$ katsayıları ve Seeback katsayısı hakkındaki bilgiler 6 nolu kaynaktan sağlanabilir).

5.1. Isıl çiftlerin özellikleri ve uygulaması

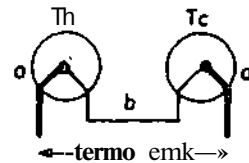
Pratik olarak Seeback etkisinden yararlanarak sıcaklık ölçümlerinde aşağıdaki çiftler belirtilen sıcaklıklarda kullanılabilir:

Tablo 5.1.

Fe-Konst. °C	Cu-Konst. °C	NiCr-Ni °C	PtRh-Pt °C
0 — 250	0 — 300	0 — 600	0—1200
0 — 400	0 — 400	0 — 900	0 — 1400
0 — 600	0 — 600	0—1000	0—1600
0 — 800		0—1200	600—1600
0 — 900		0—1300	
300 — 600		300— 600	
		600— 900	
		600—1000	

Genel olarak bütün ısı çiftlerinde ölçme ucu istenilen boyutta yapılabilir ve hızlı cevap elde etmek mümkündür. Boyutlarının küçültülebilmesi çok çeşitli yerlerde kolaylıkla uygulanmasını sağlar, yalnız uygulamada şu noktalara dikkat edilmelidir:

Seeback etkisinden yararlanabilmek için Şekil 5.2 deki gibi bir referans çifte ihtiyaç vardır ve bu referans çift sabit bir sıcaklıkta tutulmalı, diğer çift de sıcaklığı ölçülecek ortama yerleştirilmelidir.

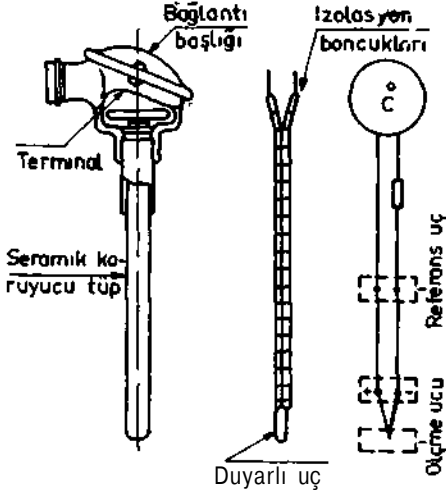


Şekil 5.2.

Uzak mesafelerde sıcaklık sinyalinin iletiminde, sıcaklıkla sinyal kablusunun gerilim üretimi etkisini kaldırmak için, Seeback katsayısı ısı çifti ile aynı olan kablo kullanılmalıdır.

Çeşitli çevre koşulları basınç, nem vb. olayların ısı çifti etkilememesi gerekir. Uygulama yerine

göre ısı çiftler ısıyı iyi ileten seramiklerle kaplanıp oksidasyondan uzak tutulurlar. Ayrıca seramiğin dışına yapılabilecek diğer bir kaplama da, basınç ve nemin etkisini kaldırır (Şekil 5.3)



Şekil 5.3.

için 1,05 mV, NiCr-Ni için 0,8 mV ve PtRh-Pt için 0,113 mV azaltılır. Parantez içindeki değerler, ısıl-çiftin Standard uygulama sınır dışında ki sonuçlardır. Belirli bir sınır olmamasına rağmen küçük çaplı tellerle düşük sınırdaki çalışmalıdır. Eğer tel çapı arttırılıp yiyici gazlardan uzak tutulursa, uygulama sınırı genişletilebilir.

6. RADYASYON PİROMETRELERİ (PYROMETER)

Radyasyon pirometreler bir cismin yüzey sıcaklığını çıkarmış olduğu ısı radyasyonla ölçen aygıtlardır. Yayılan ısı uygun bir duyucunun (fotosel veya termo-elektrik piller gibi), üzerinde toplanır ve kontrol ve ölçmede kullanılır. Pirometrelerle temassız ölçme yapılır ve böylece cisimdeki sıcaklık dağılımı bozulmaz (kontak termometrelerin tersine). Bu yüzden pirometreler temas yoluyla çalışan duyucuların kullanılamadığı yüksek sıcaklık ölçmelerinde yararlıdır.

Radyasyon yayan yüzeyler çoğu zaman, siyah cisim yutma (absorpsiyon) faktörünün yayma

Tablo 5.2. Termoelektrik gerilimler için kalibrasyon tablosu ve beklenen hata [5].

Isıl çift	+ — Cu-Konst.		+ — Fe-Konst.		+ — NiCr-Ni		+ — PtRh-Pt	
Termoelektrik gerilim (mV), Beklenen hata °C (±) veya ölçülen sıcaklığın % si								
Sıcaklık °C	mV	-±	mV	±	mV	±	mV	±
- 200	-5,70		-8,15					
- 100	-3,40		-4,75					
0	0		0	—	0	—	0	—
100	4,25	3°	5,37	3*	4,10	3°	0,643	3°
200	9,20	3°	10,95	3°	8,13	3°	1,436	3°
300	14,90	3°	16,56	3°	12,21	3°	2316	3°
400	21,00	3°	22,16	3°	16,40	3°	3,251	3°
500	(27,41)	0,75 %	27,85	0,75 %	20,65	0,75 %	4,221	3°
600	(34,31)	0,75 %	33,67	0,75 %	24,91	0,75 %	5,224	3*
700			39,72	0,75 %	29,14	0,75 %	6,260	0,5 %
800			(46,22)	0,75 %	3330	0,75 %	7329	0,5 %
900			(53,14)	0,75 %	3736	0,75 %	8,432	0,5 %
1000					4131	0,75 %	9,570	03%
1100					(45,16)	0,75 %	10,741	03 %
1200					<48,89)	0,75 %	11,935	03%
1300					(52,46)	0,75 %	13,138	0,5 %
1400							(14,337)	0,5 %
1500							(15330)	03%
1600							(16,716)	0,5 %

Referans sıcaklık 0°C. Referans 20°C olduğunda bu değerler Cu-Konst. için 0,8 mV, Fe-Konst.

faktörüne eşit olduğu cisim değildir ve siyah cisim ile kalibre edilmiş pirometrelerde daha

dar, veya, geniş, spektral sınırdaki hatalara yol açar [14]. Şerbest, bir şekilde radyasyon yayan yüzeyin siyah pism sıcaklığa, gerçek, sıcaklığından daima az olur. Beklenen hataların hesaplanabilmesi için, cisimlerin, radyasyon özellikleri yanında kullanılan piroetrelerin özellikleri de bilinmelidir.

Yüzeylerin yayma faktörü yalnız maddeye ve yüzey kalitesine, bağığ değil, çoğu maddeler için dalga boyu ve sıcaklıkla da değişir. Toplam yayma faktörü çıplak ve az oksitlenmiş metaller için çok azdır. Bu tip metallerde artan dalga boyu ile spektral yayma faktörü azalır [2]. Metal levhalarda ve ingotlarda oksit tabakası kalınlaştıkça, yayma faktörü artar. Bazı piroetrelerle metal levhaların ye ingotların yüzey sıcaklığı saptanabilir. > Bazı maddeler kırmızı ötesi bölgede pratik olarak siyah cisim gibi hareket ederler.

6.1. Ölçme sınırı

Kullanılan tekniklere ve termopillere göre —40°C den +5000°C ye kadar sıcakların ölçülmesi mümkündür.

+3000°C ye kadar ısı çiftleri veya termopil kullanılabilir. +3000°C +5000°C arasında duyarlı elemanın fotosel veya fotovoltaiik hücre olması gerekir.

Radyasyon piroetrelerde üzerinde durulması gereken bir nokta da, çok küçük hedeflerdeki sıcaklıkların ölçümüdür.

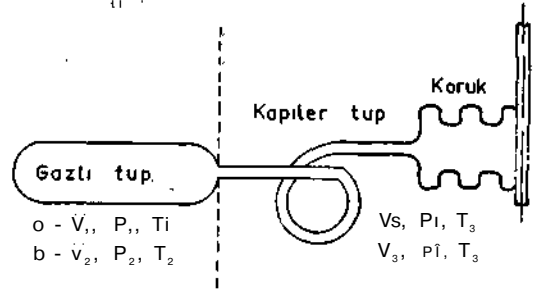
Elde edilebilecek enerjinin azlığı, piroetrenin hizalanması ve merceklerdeki hatalar yüzünden odak ayarlama zorluğu, sorunlara yol açar. Bu gibi durumlarda özel tekniklerin kullanılması gerekir [8].

7. GAZ GENLEŞMELİ SICAKLIK ÖLÇÜCÜLERİ

Temel olarak bir gazın hacminin sıcaklığa göre değişmesinden yararlanan ölçücülerdir. Sıcaklıkla genleşmesi beklenen gaz, uygun bir tüpün içine yerleştirilmiş olup, genleşme kırığ gibi bir elemanla mekanik harekete çevrilebilir.

Endüstride özellikli, elektriksel aygıtların tehlikeye yaratabileceği yerlerde, —petrol ve kimya endüstrisi gibi— emniyetle kullanılması yönünden üzerinde durulması gerekir.

Gaz genleşmesiyle yapılan sıcaklık ölçmelerinde (Şekil 7.1) hatalar, kullanılan gazın ideal gaz teorisine, uymaması, gaz tüpünün sıcaklıkla genleşmesi, sıcaklıkla ilgisi olmayan kapiler borunun bulunmasıdır. Bu noktalar daha çok eğriselliğe yol açar.



Şekil 7.1. Bir kapiler tüp ile köruk'e bağlanan ölçme elemanı.

T_1 : Tüpün çalışma- sıcaklığının en küçük değeri "K

T_2 : Tüpün çalışma sıcaklığının en büyük değeri "K

T_3 : Köruk — kapiler tüpün sıcaklığı *K

V_1 : Tüpün T_1 deki hacmi

V_2 : Tüpün T_2 deki hacmi

V_3 : Köruk — kapiler tüpün hacmi

P_1 : ölçme ünitesinin T_1 deki mutlak basıncı

P_2 : Ölçme ünitesinin T_2 deki mutlak basıncı

$$K = \frac{V_1}{V_2}$$

Kaymadaki hatalara ise köruk-kapiler tüpün, ölçülen sıcaklığa ve atmosfer basıncına bağlı olmayan, sıcaklık değişimleri sebep olur.

Farklı etkilerin yol açtığı eğriselliğin cebirsel bir toplama ile birleştirilebileceğini basit fiziksel kanunlar göstermektedir [4].

7.1. Gerçek gazın davranışı

Belirli bir gaz kütlesi için PV/T niceliği basınç ve sıcaklıkla değişir, bu yüzden basınç ile sıcaklık arasındaki ilgi sabit hacimde eğriseldir. 2 atm. ve 300°K de doldurulan ve — 100°C ve +200°C arasında çalışan hidrojen gazlı tüplerde, spanm uçlarından geçen doğruya göre basınçtaki ayrılmalar negatiftir (*) ve basınç değişme sınırının % 0,01 i kadardır. Aynı koşullardaki azot için —100°C ve +200° C arasındaki ayrılmalar halâ negatif ve % 0,01 kadardır, fakat + 200°C —400°C arasında bu değerler pozitif (*) olup %0,1e ulaşır [4].

Tüp hacmindeki değişiklikleri etkisi, hacim şu eşitliğe göre değişir:

$$V_2 = V_1 [1 + \alpha (T_2 - T_1)] \quad (\alpha : \text{hacimce genleşme katsayısı})$$

Spanm iki ucunda yapılan kalibrasyon için ortalama bir noktada maksimum hata,

$$e \% = 100 \frac{\alpha}{4} (T_2 - T_1) \text{ dir.}$$

(*) Gerçek basınç teorik basınçtan daha az.
(**) » » » » » fazla.

Hata, span ve genleşme katsayısıyla orantılı olduğundan, geniş spanlarda ya genleşme katsayısı küçük bir gaz veya daha fazla genleşme katsayılı bir madde ile kompanzasyonlu tüp kullanılmalıdır.

AISI 300 paslanmaz çelik için ($\alpha = 0,54 \times 10^{-6}$) 500°C spanda hata, % 0,7 yi bulmak hatadır.

12. Kapiler tüp ve körüğün etkisi

Kapiler tüpde ve körükde bulunan gaz, tüpdeki sıcaklık değişimine uğramaz, fakat basınç değişimini azaltan bir kapasite olarak gözükür. Tüpdeki gazı ideal (sabit kütlede), kapiler tüp ve körükteki sıcaklığı sabit kabul edersek:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{K_v}{T_1} + \frac{1}{T_3}}{\frac{K_v}{T_2} + \frac{1}{T_3}}$$

Eğer kalibrasyon spanın uçlarında yapılmışsa, doğrusallık hatası ortalama noktada en büyüktür [4] :

$$e \% = \frac{\frac{1}{\frac{T_3}{T_2} K_v + 1} - \frac{1}{\frac{2T_3}{T_1 + T_2} K_v + 1}}{1 - \frac{1}{K_v \frac{T_3}{T_2} + 1}}$$

Hatayı azaltmak için tüpün hacmi büyütülmelidir.

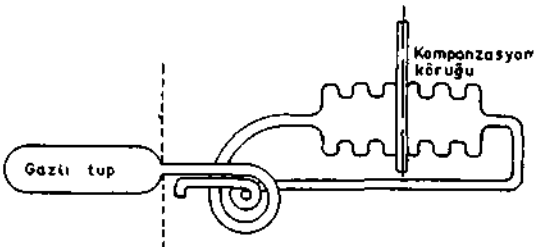
örneğin -150°C, +550°C arasımda hatayı % 0,4 den indirmek için, 200° C ye kadar $K_v = 45$; 200° -300°C de $K_v = 60$; 300°-500°C spanda $K_v = 100$ olması gerekir.

7.3. Barometrik basıncın etkisi

Barometrik basınç, P_{br} , değişiminden, ΔP_{br} doğan hata,

$$\% e = 2 \frac{\Delta P_{br}}{P_{br}} \cdot 100 \text{ dür.}$$

Barometrik basınç değişimlerinin etkisini kaldırmak için körüğe zıt olarak etki alanı eşit bir kompanzasyon körüğü kullanılmalıdır (Şekil 7.2).



Şekil 12. Hataların kompanzasyon körüğü ile kaldırılması.

7.4. Körük ve kapiler tüpdeki sıcaklık değişimlerinin etkisi

Körük ve kapiler tüpdeki sıcaklık değişimleri asıl değerden kaymalara yol açar.

Şekil 7.2 deki gibi bir kompanzasyon körük ve tüp ilâvesiyle bu hata da kaldırılabilir. Fakat bu yol pahalı olduğundan ancak fazla duyarlık gereken yerlerde uygulanır.

Körük-kapiler hatasını azaltmak için K_v artırılır. Fakat ölçücü tüpün hacminin belirli bir dereceden büyük olması gerekli yüzey-hacim ilişkisini bozacağından, K_v artmasının da bir sınırı vardır. Aynı şekilde bağlantı zorluğundan dolayı kapiler tüpün kısaltılması bazı yerlerde mümkün olmayabilir.

Körüğün alanının küçültülmesi ilerki basamaklarda küçük bir sinyale, boyunun küçültülmesi ise daha sert bir körüğe dolayısıyla eğriliğe ve kaymaya yol açar.

KAYNAKLAR

1. Philips, Components and Materials, Part 2, Holland, S. G5-G66, G67-G94, Oct. 1966.
2. Philips, Al 336, Holland, s. 15-36, Sep. 70.
3. Siemens, Electronic Components, Germany, s. 63-65, 83-85, 1972.
4. Bettoli, R., Bergamini, G.: «Gas Expansion Temperature Measuring Element», Quaderni Pignone, Italy, s. 50-54, 1967.
5. Siemens, Process Instruments, Germany, s. 140, 1972.
6. Cambion, Thermoelectric Handbook, USA, s. 9-15, 1972.
7. Philips, «PTC Resistors», Electronic Applications, Holland, s. 123-130, 1965.
8. Burley, B. W.: «Radiation Pyrometers to Measure Temperature of Small Objects», Instrument Engineer, London, s. 33-38, 1965.
9. Fallon, W.: «Resistance Thermometry», Instrument Practice, London, s. 400-403, 1971.
10. Motorola, «Circuit Applications of Triacs», USA, s. 10-15, 1971.
11. Niksarlı, Rasim: «Sıcaklık ölçülmesi», Şeker Enstitüsü (yayınlanmamış notlar), 1966.
12. Philips, Al 450, Holland, s. 1-10, 1969.
13. Schneider, Şekerin Teknolojisi, Ankara, 1971.
14. Siemens, Process Instruments, Germany, s. 50-53, 1972.

Not : Yazıda kullanılan kaynakların dışında daha geniş bilgi için başvurulabilecek kaynaklar da belirtilmiştir.