

# GERİNİM ÖLÇERLİ KUVVET DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNDE ELEKTRİK DEVRESİNİN KURULMASI VE PERFORMANSIN İYİLEŞTİRİLMESİ

Y.Müh.Hakan Özgür ÖZBAY\*, Yrd.Doç.Dr.Müh.Kenan URAL<sup>+</sup>

(\*) TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)

(<sup>+</sup>) KO.Ü. Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Mak. Müh. Böl.

## ÖZET

*Gerinim ölçerli kuvvet dönüştürücüleri, günümüz endüstriyel uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kuvvet ve yük ölçme sensörleridir. Kullanıldıkları alanlara göre yük hücresi, kuvvet transdüseri, kuvvet dönüştürücüsü, dinamometre, yük reseptörü gibi farklı isimler alan bu elemanlar; küçük terazilerden kantarlara kadar uzanan yük ölçümlerinde ve çok hassas sonuçların beklendiği metrolojik çalışmalarda yoğunlukla kullanılırlar. Bu tür dönüştürücüler, kapasitelerine bağlı olarak bir takım konstrüktif özellikleri değişen; ancak, değişmez prensip olarak kuvvet ölçüm büyüklüğünü, ölçülebilir bir başka büyüklük olan elektriksel dirence dönüştüren ölçme elemanlarıdır. Bu tebliğde, gerinim ölçerli bir kuvvet dönüştürücüsünde Wheatstone köprüsü bağlantısının kurulması ve temel devre kurulduktan sonra imal edilen kuvvet dönüştürücüsü veya yük hücresi üzerinde yapılacak devre performans iyileştirmesi ile ilgili açıklamalar yapılmıştır.*

## 1. GİRİŞ

Elektrik dirençli gerinim ölçerlerin çalışma prensibi, 1856 yılında Lord Kelvin tarafından ifade edilmiş olan şu temele dayanmaktadır: “Elektriki iletkenler mekanik olarak bir gerilime tabi tutulduklarında oluşan birim şekil değişimi ile orantılı olarak, elektrik direnç değerlerini değiştirirler. Genel olarak uzama yönünde birim şekil değişimleri elektrik direnç değerinde artışa, kısalma yönünde birim şekil değişimleri ise elektrik direnç değerinde azalmaya yol açar.”

İngiliz fizikçilerinden Charles Wheatstone, 1843 yılında kendi adıyla anılan ve bilinen dirençlerin karşılaştırılmasıyla bilinmeyen direncin bulunmasına olanak veren köprü devresini bulmuştur. Wheatstone köprüsü ile bütün koşullarda bir direncin değişimi ölçülebilir. Köprü elemanı olarak kullanılan gerinim ölçerlerin ölçüm yapılacak yerlere uygun şekilde yapıştırılmalarıyla, fiziksel boyutlarda meydana gelen değişimleri elektriki direnç değişimine dönüştürmek ve bu değişimi saptamak konunun özünü oluşturur.

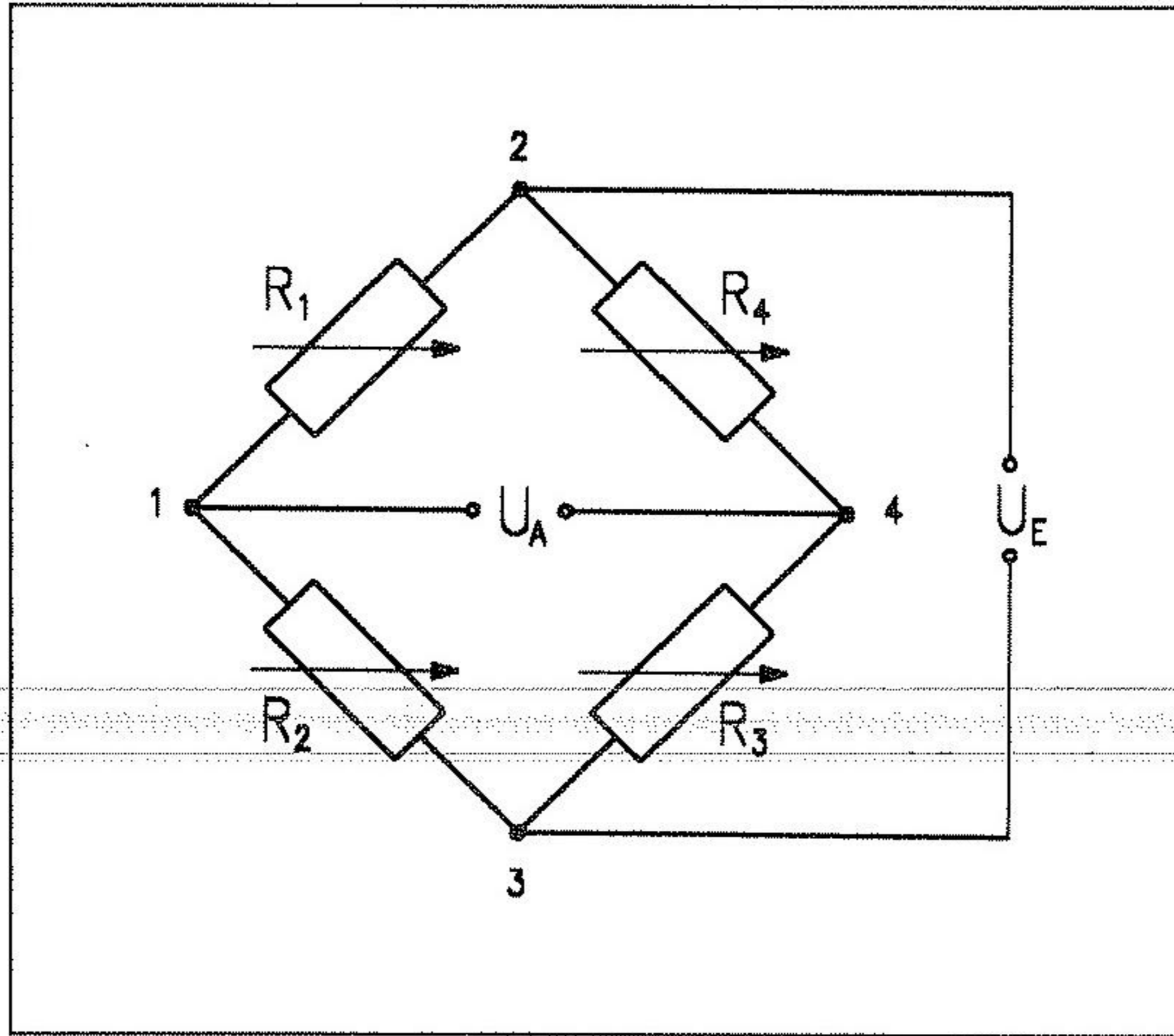
Günümüz gerinim ölçerli dönüştürücüleri, Wheatstone köprüsü oluşturmak üzere bağlantıları yapılan dört adet aktif gerinim ölçere sahiptir. Dönüştürücü tasarımına bağlı olarak, aranan sonuçların elde edilebilmesi için bu devrede kullanılan gerinim ölçer sayısı 8, 16, 32 veya daha fazla olabilir. Dört adet aktif bacağı olan en basit tam köprü devresinde minimum 12 elektrik

bağlantısı vardır. Daha karmaşık tasarımlarda bu sayı 30 ve üzerinde olabilir. Bu bağlantıların büyük bir kısmı köprü devresi dahilinde olduğundan dirençlerdeki en küçük dalgalanma tüm dönüştürücünün performansını önemli derecede etkileyebilmektedir [3], [4].

## 2. ELEKTRİK DEVRESİNİN KURULMASI VE PERFORMANSININ KRİTERLERİ

Şekil 1'de gösterilmiş olan en basit gerinim ölçerli köprü devresi, genellikle düşük doğruluk seviyesine sahip amatör uygulamalar için yeterlidir. Bunlar, otomatik ayar, düzeltme ve çıkış sinyali oranlarının kendiliğinden düzenlendiği gelişmiş elektronik cihazlarla kullanıldıklarında nispeten başarılı sonuçlar verebilir. Ancak, bu durum yüksek doğruluğun arandığı hassas dönüştürücü uygulamaları için geçerli değildir. Böylesi dönüştürücülerde aranan doğruluğun elde edilebilmesi için, sıcaklık değişimlerinin etkilerini kompanse etmek ve köprü çıkış sinyalini düzenlemek için köprü devresine ilave dirençlerin yerleştirilmesi gereklidir.

Gerinim ölçerlerin yalnızca birim şekil değişimine değil, aynı zamanda da sıcaklık değişimlerine karşı reaksiyonel oldukları iyi bilinen bir gerçektir. Sıcaklıkla, gerinim ölçer çıkış sinyalinde veya direncinde bir değişim olması, bu etkinin sıcaklık temelli zahiri gerinim veya kısaca "zahiri gerinim" olarak adlandırılmasına neden olmuştur. Sıcaklıkla gerinim ölçer direncindeki değişim hem gerinim ölçer ızgara malzemesinin ısıl genleşme katsayısından, hem de ızgara malzemesi ile yay elemanı malzemesinin sahip oldukları ısıl genleşme katsayıları arasındaki farktan kaynaklanır. Öz sıcaklık kompanzasyonuna (S-T-C) sahip günümüz gerinim ölçerleri ile bu etkinin büyük bir kısmı telafi edilebilse de, kayda değer sıcaklık değişimlerinin olduğu tüm bir aralıkta tam olarak ortadan kaldırılamazlar [7], [8].



Şekil 1. Wheatstone Köprüsü

Fiili bir dönüştürücü uygulamasında olduğu gibi, gerinim ölçerler aktif yarım veya tam köprü olarak düzenlendiklerinde, ardıl köprü bacaklarında yer alan gerinim ölçerlerin zahiri gerinimlerinin çıkartma işlemi neticesinde teorik olarak sıfırlanmaları gerekir. Çünkü, bunlar

büyükölük olarakta işaret olarakta aynı değere sahiptir. Dolayısı ile yüksüz durumda dönüştürücünün sıfır çıkış sinyali başlangıçta sıfırlanırsa; sıcaklık değişimlerinden bağımsız olarak bu değerini koruması gerekir. Ancak, uygulamada aynı üretim hattından alınmiş olsalar dahi, ne karakteristik özellikleri açısından ne de yay yüzeyine uygulanmaları açısından bire bir denk iki gerinim ölçere sahip olmak mümkün değildir. Sonuç olarak, dönüştürücüde oluşabilecek sıcaklık değişimleri “sıfır sinyalinin sıcaklık değişimi ile kayması” olarak bilinen değişimlere neden olur.

Bir gerinim ölçerden diğerine normal olarak var olan direnç farklılıkları ve gerinim ölçerin yay elemanı yüzeyine yapıştırılarak devrenin kurulması esnasında oluşan direnç değişimleri nedeni ile köprü devresi ilk kurulduğunda direnç açısından dengelenmemiş konumdadır. Gösterge cihazı olmaksızın tek başına kullanılan dönüştürücüler için, farklı cihazlarla da kullanılabilmesi bakımından köprü devresinin sıfır sinyali ayarının başlangıçta yapılması gerekmektedir. Bu tip sıradan bir dönüştürücü, yüksüz haldeki elektrik çıkış sinyalinin, tam yük çıkış sinyalinin  $\pm$  %1’inden fazla değişmeyeceği şekilde ayarlanır [10].

Tam yüke karşılık gelen çıkış sinyali, birim mekanik girişe elektriksel çıkış sinyalinin oranıdır ve genellikle tam yük üzerinden mV/V olarak verilir. Gerekli önlemlerin alınmaması halinde, bu değer genellikle sıcaklık ile değişir. Bu değişim gerinim ölçerin k-faktörünün ve yay elemanı elastisite modülünün her ikisinin de sıcaklığın fonksiyonu olmalarındandır. Çelikten mamül bir yay elemanı üzerine uygulanmiş konstantan gerinim ölçerler incelendiğinde; 55°C’lik bir pozitif değişim için k-faktöründe % 0.5 ’lik bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu durumda çeliğin elastisite modülü ise % 2 mertebesinde azalmaktadır. Sonuç olarak dönüştürücünün tam yüke karşılık gelen çıkış sinyali yaklaşık olarak % 2.5 artmıştır. Buna karşılık Karma alaşımlı gerinim ölçerler kullanıldığında, sıcaklık arttıķça gerinim ölçerin k-faktörü azalmakta, böylelikle azalmakta olan malzeme elastisite modülünün etkisini kısmen ortadan kaldırmaktadır. Dolayısı ile tam yüke karşılık gelen çıkış sinyalinin sıcaklık değişimi ile kayması azalmaktadır. Gerinim ölçer ızgaraları için özel malzemelerin seğimi ve bir takım işlemlerin ardından belirli yay elemanı malzemeleri için tam yüke karşılık gelen çıkış sinyalinin sıcaklık değişimi ile kayması problemini en aza indirebilen çözümler üretici firmalarca geliştirilmektedir [11].

### 3. AYAR DİRENÇLERİ İLE ÇIKIş SİNYALİNİN DÜZENLENMESİ

Bir yük hücresi veya kuvvet dönüştürücüsünün kendine ait bir gösterge cihazı olmaksızın farklı cihazlarla da kullanılabilmesine imkan sağlamak için; profesyonel dönüştürücülerde, türüne uygun olarak gerekli ayarlama ve kompanzasyon devreleri köprü devresine dahil edilmiştir. Bu da, dönüştürücü devresinin uygun yerlerine farklı türde özel dirençlerin yerleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Belirli değerlere sahip bu bileşenlerin direnç değerleri ve direnç ısıl değişim katsayıları titizlikle belirlenmiş olup; bunlar, bobin veya kısa boylu tel dirençler, ayarlanabilir veya sabit değerli yapıştırılabilir dirençler veya küçük metal veya plastik muhafazalar içinde münferit dirençler olarak uygulanmaktadır.

Tel tipi direnç elemanlarının en büyük avantajları, düşük maliyetli olmaları ve tel boylarının değiştirilmesi yada tel çaplarının değiştirilmesi yoluyla direnç değerlerinin çok geniş bir aralıkta seğilebilmesi özellikleridir. Yapıştırılabilir türdeki direnç elemanları, yay elemanı üzerinde yer aldıklarından dönüştürücünün sıcaklık konumunu çok yakından izleyebilmektedirler. Kullanılan direnç elemanının konstrüktif özelliklerinden bağımsız olarak, doğrudan sıcaklığa duyarlı dirençler ve nispeten sıcaklığa duyarlılık gösteren dirençler olmak üzere iki temel yapı aranmaktadır. Bunlar zaman zaman “yüksek ısıl değişim katsayılı dirençler” ve “düşük ısıl değişim katsayılı dirençler” olarak adlandırılırlar. Düşük ısıl değişim katsayılı dirençler, sıfır sinyalinin başlangıç

ayar ve dönüştürücünün tam yüke karşılık gelen çıkış sinyalinin istenilen seviyeye getirilmesinde kullanılırlar. Sıfır sinyalinin sıcaklık değişimi ile kayması ve tam yüke karşılık gelen çıkış sinyalinin sıcaklık değişimi ile kayması, yüksek ısı değişim katsayılı dirençler kullanılarak kompanse edilir. Düşük ısı değişim katsayılı dirençler için kullanılan direnç alaşım malzemeleri Konstantan, Karma ve Manganin'ken; Bakır, saf Nikel ve Balco yüksek direnç ısı değişim katsayılı dirençlerde kullanılan direnç malzemeleridir.

Tam yüke karşılık gelen çıkış sinyalinin değişimi dışındaki tüm ayar ve kompanzasyon işlemleri deneysel olarak değerleri belirlenmiş dirençler ile gerçekleştirilir ve bu değerler her bir dönüştürücüde farklılıklar göstermektedir. Seri imalat yapılan uygulamalarda farklı değerlere sahip dirençlerden oluşan çok büyük bir stok varken, bir iki uygulaması olan amatör veya özel imalatlar için dönüştürücü özelliklerinin iyileştirilmesinde ayarlanabilir dirençler kullanılmaktadır.

Ayarlanabilir tip yapıştırılabilir dirençler, yay elemanı üzerine yapıştırılırlar, kablo bağlantıları yapılır ve gerinim ölçerlere uygulanan yöntemler ile ortam koşullarından korunurlar. Sıcaklık değişimlerinin optimum seviyede takibi için, yüksek ısı değişim katsayılı dirençler, gerinim ölçerlere mümkün olduğunca yakın yerleştirilirken, birim şekil değişiminin en az olduğu bölgeler seçilir. Köprü devresine bağlantıyı sağlayan kabloların uzunlukları ve yerleşimleri simetrik olup; yay elemanı ile ısı dengede kalabilecek şekilde iyi temas sağlanır [2], [5], [6], [11].

#### 4. SIFIR SİNYALİNDEKİ SICAKLIKLA SAPMANIN KOMPANZASYONU

Aynı imalat hattından alınmış ve aynı tip dört adet gerinim ölçer, bir yay elemanına yapıştırılıp, tam köprü oluşturacak şekilde bağlantıları yapıldıktan sonra besleme gerilimi uygulandığında; çıkış sinyalinin sıfır olmadığı görülür. Ancak bu değer dönüştürücülerle beraber kullanılan gösterge cihazlarının çalışma aralıkları içinde kalacak kadar küçük olması gerekmektedir. Gerinim ölçerin sıcaklığı azaltılıp veya yükseltilip; bir başka sıcaklıkta denge konumuna getirildiğinde çıkış sinyali de doğal olarak değişecektir. Kompanze edilmemiş dönüştürücülerin bu karakteristik davranımı deneysel olarak gözlenebilir. Bu amaçla farklı sıcaklıklardaki çıkış sinyalinin kaydedilmesi yeterli olacaktır.

Sıcaklıkla çıkış sinyalindeki değişim dikkatle ölçüldükten sonra, düşük ısı değişim katsayılı kompanzasyon direncinin nominal değeri doğrudan hesaplanabilir. k-Faktörü ve direnç değerleri bilinen dört adet gerinim ölçerden kurulu bir köprüde ( $R_{köprü}$ , [ $\Omega$ ]) belirli bir sıcaklık değişimi ( $\Delta T$ , [K]) köprü çıkışında tek bir gerinim ölçer üzerinden ölçülebilir bir değişime ( $\epsilon$ , [ $\mu m/m$ ]) yol açıyorsa; buna karşılık gelen direnç değişimi ( $\Delta R$ , [ $\Omega$ ]) (4.1) no'lu formül ile hesaplanabilir.

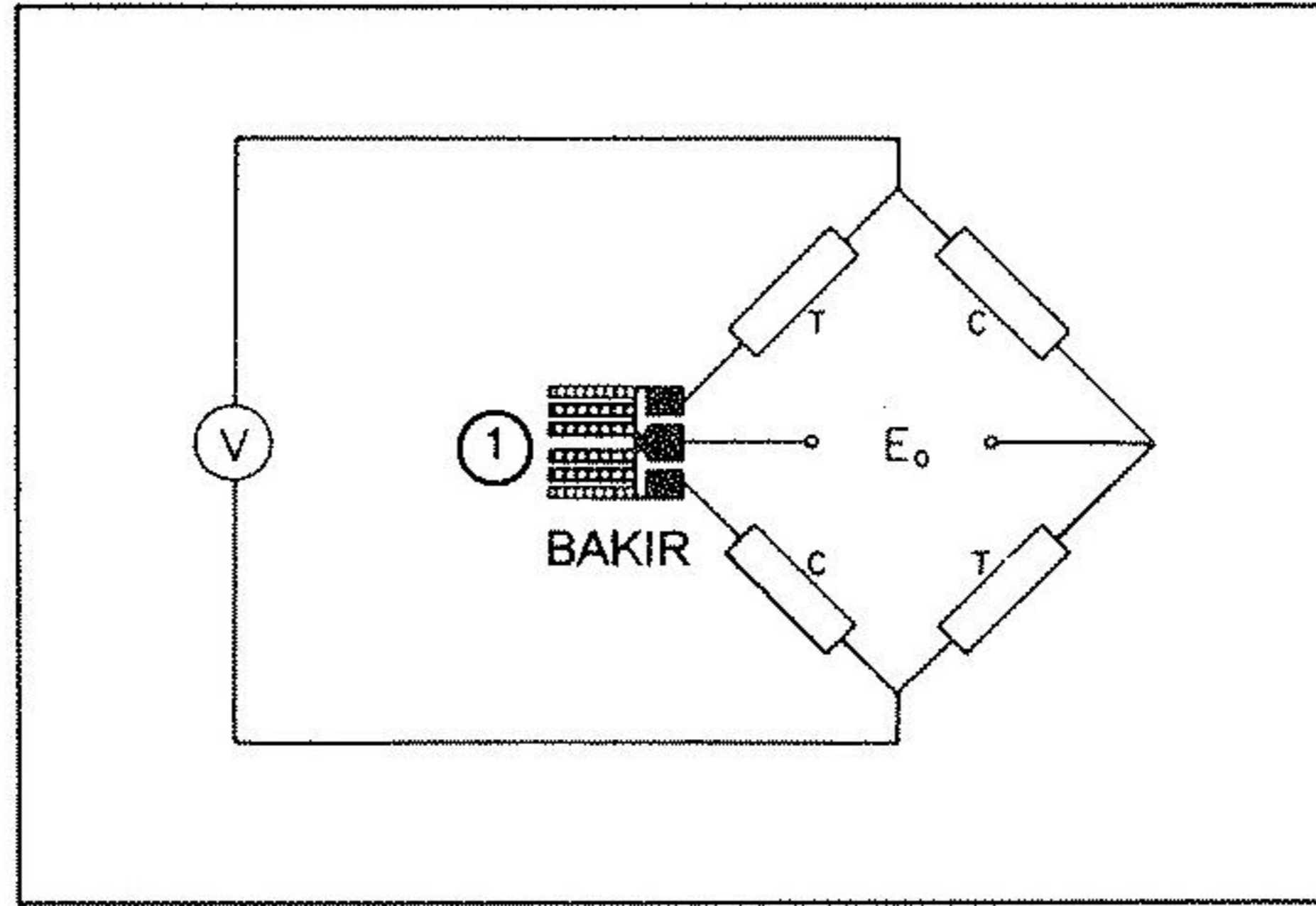
$$\Delta R = k \cdot \epsilon \cdot R_{köprü} \quad (4.1)$$

(4.1) no'lu formül uygulandığında  $\Delta T$  [K] sıcaklık değişimi için bir direnç değişimi  $\Delta R$  [ $\Omega$ ] hesaplanır. Bu sıcaklık değişimi için uygun ısı değişim katsayısına sahip bir malzeme kompanzasyon direnci olarak seçilebilir. Gerekli kompanzasyon direnç değişimi ve direncin ısı değişim katsayısı (IDK) aynı sıcaklık aralığında ifade edildiğinde; seçilen malzemenin direnci (4.2) no'lu formül aracılığı ile belirlenir.

$$R = \frac{\Delta R}{IDK} \quad (4.2)$$

Böylelikle, köprü bacaklarından birindeki gerinim ölçere seri bağlı "R" ohm'luk direnç, sıfır sinyalindeki sıcaklıkla sapmayı rahatça kompanze edecektir. Gerekli olan direnç genellikle çok küçük olduğundan uygun bir tel direncin seçilerek, yerine lehimlenmesi oldukça zor olabilir. Bu nedenle tel direnç kullanımı yerine, Şekil 2'deki gibi köprü devresinin bir köşesine yerleştirmek

üzere çift basamaklı direnç seçiminin çeşitli avantajları vardır. Başlangıçtaki kesilmemiş dirençleri çok düşüktür ve Şekil 2’de gösterilmiş olan bu düzenleme, köprünün ihtiyaç duyulan bacağında ayarlama yapma imkanı verir. Buna ilaveten, basamakların bir tarafındaki direnç kazayla büyütülürse; diğer basamaktaki direnci arttırarak; köprü devresinin ayarı yapılabilir.



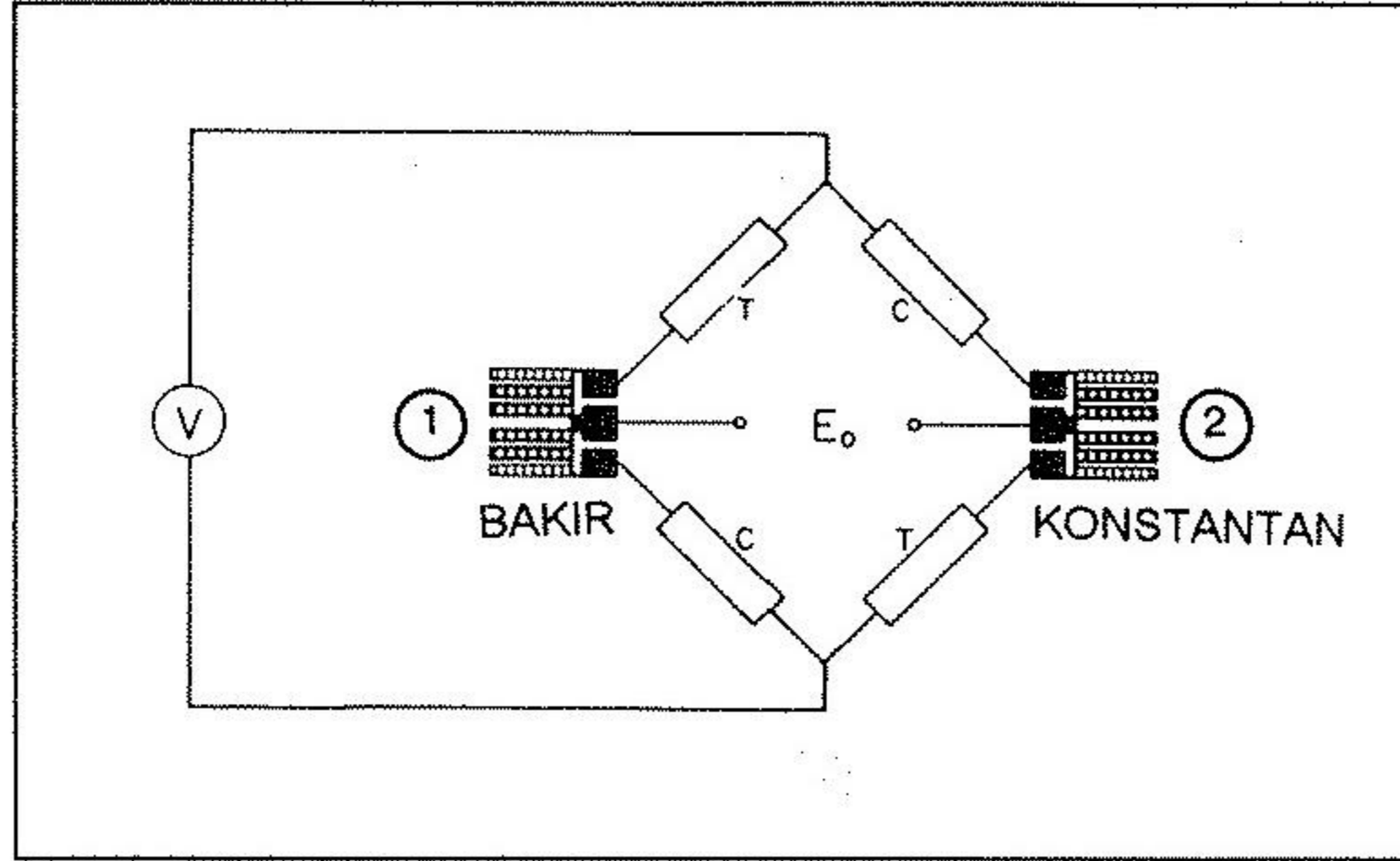
Şekil 2. Sıfır Sinyalindeki Sıcaklıkla Sapmanın Kompanzasyonu

Yay elemanı üzerine gerinim ölçerler yapıştırılıp, kompanzasyon direncinin de köprü bağlantıları yapıldıktan sonra ilk köprü çıkış sinyali ölçülebilir. Ardından eleman bir fırına veya sıcaklık kontrollü bir ortama yerleştirilerek ikinci bir sıcaklıktaki çıkış sinyali belirlenir. Çıkıştaki değişimin sıcaklık değişimine göre yönü, ardıl köprü bacaklarından hangisinin, ilave sıcaklık duyarlılığına ihtiyacı olduğunu gösterir. Çeşitli tecrübelerin ardından, o köprü bacağındaki merdivenin direnci, sıfır sinyalindeki sıcaklıkla sapma için kabul edilen sınırlar içine girinceye kadar arttırılır [1], [4], [5], [9].

## 5. SIFIR SİNYALİNİN BAŞLANGIÇ AYARININ YAPILMASI

Sıfır sinyalinin başlangıç ayarının yapılmasında kullanılan yöntem, sıfır sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyonunda kullanılan yöntemle aynıdır. Ancak, farklı olarak burada konstantan gibi düşük ısıl değişim katsayılı dirençler kullanılır. Sıfır sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyonu tamamlandıktan sonra; köprü çıkışında tek bir gerinim ölçer üzerinde oluşan değişim ölçüldüğünde; (4.1) no’lu formülden köprü çıkışının sıfırlanması için bir köprü bacağındaki gerekli direnç artışı hesaplanabilir. Çıkıştaki sıfırdan sapmanın yönüne bağlı olarak, yaklaşık sıfır noktasını elde etmek için köprünün bir bacağındaki gerinim ölçere küçük bir tel seri bağlanır.

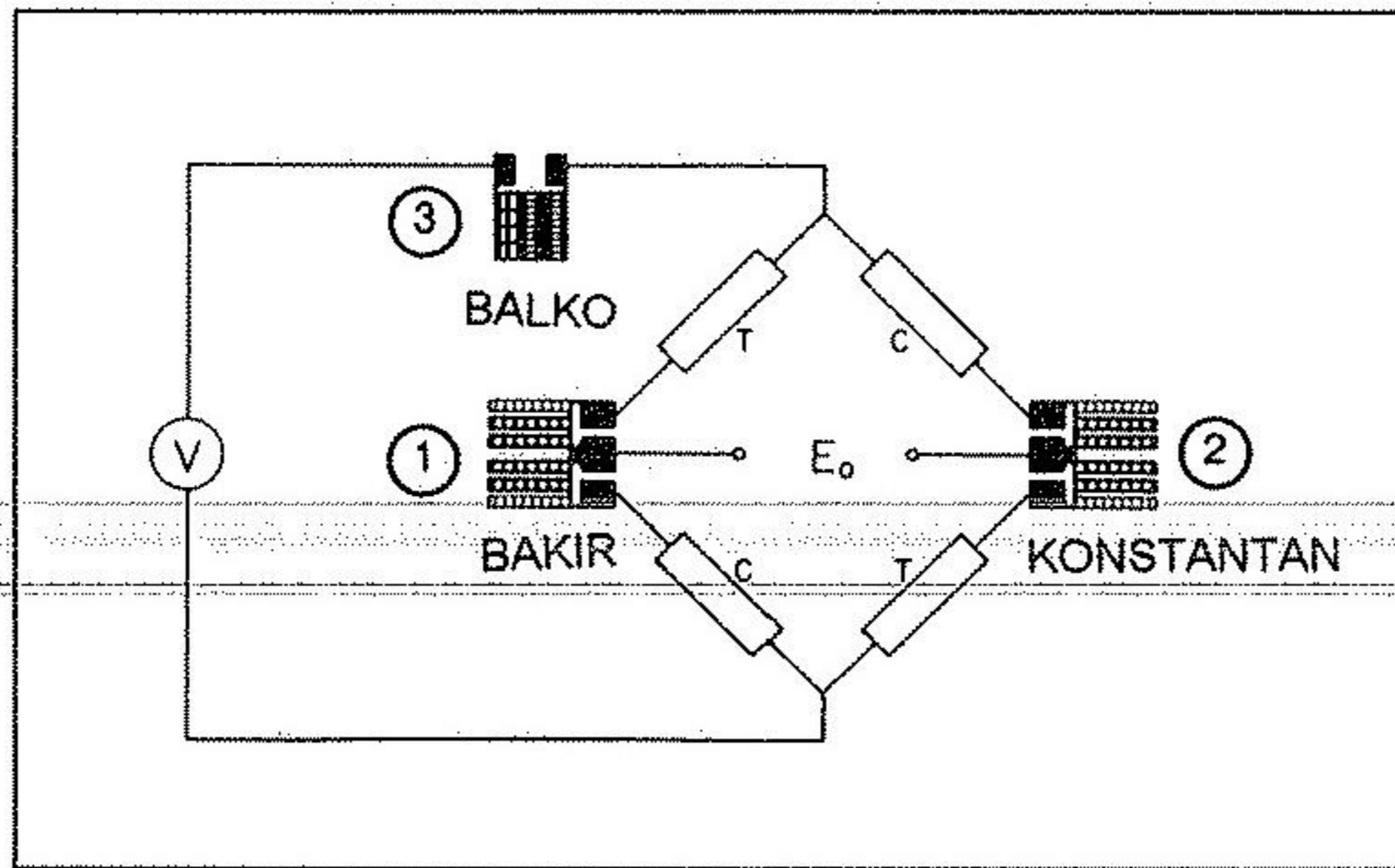
Basamaklı kompanzasyon direncinin karşı köşesine bir diğer formda çift basamaklı bir direnç yerleştirilmesi de alternatif bir yöntemdir. Şekil 3’de gösterilmiş olan bu düzenleme sıfır sinyalinin başlangıçtaki ayarının hızlı ve hassas olarak yapılmasını sağlar. Köprü devresinde kullanılan gerinim ölçerler konstantandan imal edilmişlerse; seçilen kompanzasyon dirençlerinin malzemesinde sıfır sinyalindeki sıcaklığa bağlı sapmanın en aza indirilebilmesi için Konstantan olmalıdır[1], [4], [5], [9].



Şekil 3. Sıfır Sinyalinin Başlangıçtaki Ayarı

## 6. MAKSİMUM ÇIKIŞ SİNYALİNDEKİ SICAKLIKLA SAPMANIN KOMPANZASYONU

Maksimum çıkış sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyonu, Şekil 4’de gösterildiği gibi yüksek ısı değişim katsayılı bir direncin köprü besleme kaynağına seri bağlanması ile sağlanabilir. Direnç, uygun boyut ve sıcaklık hassasiyetine sahip ise; köprü besleme gerilimini, köprü çıkış sinyalindeki sıcaklığa bağlı değişimleri telafi edecek şekilde değiştirir. Örneğin sıcaklık yükseldikçe, belirli bir yükteki çıkış sinyalinde yükselme eğilimindedir. Bu durum, besleme hattı üzerinde yer alan ve besleme geriliminde de buna karşılık azalma yaratan bir direnç varsa kompanse edilebilir. Maksimum çıkış sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyonu, diğerleri içinde en sorunlu olanıdır. Hassas bir ayarlama yapabilmek için çok yüksek doğruluklu yüklemelerin farklı sıcaklıklarda yapılabilmesi dolayısı ile uygun teçhiz edilmiş laboratuvarlar gereklidir.



Şekil 4. Maksimum Çıkış Sinyalindeki Sıcaklıkla Sapmanın Kompanzasyonu

Maksimum çıkış sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyonu için Nikel (Ni) dirençler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, son zamanlarda nikelin yerini, oldukça yüksek ısı değişim katsayısına sahip bir nikel demir alaşımı olan Balko almaktadır. Saf nikle oranla Balko’nun bir çok üstünlüğü vardır. Çok pahalı değildir, imalatı kolaydır ve direnci nikelin sahip olduğunun

yaklaşık 2.5 katıdır. Tek kusuru ise, normal bir dönüştürücü çalışma koşullarında nikelin sahip olduğundan biraz daha küçük bir direnç ısı değişim katsayısına sahip olmasıdır.

Nikel veya Balko direnç malzemesinin ısı değişim katsayısı  $\alpha_m$ , köprü direnci  $R_B$  ve dönüştürücü çıkış sinyalinin sıcaklıkla değişim oranı  $\Delta S$  verildiğinde, maksimum çıkış sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyon direncinin nominal değeri  $R_m$ , (6.1) no'lu formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$R_m = \frac{\Delta S \cdot R_B}{\alpha_m - \Delta S} \quad (6.1)$$

Gerekli direnç miktarının bir ön değerini tahmin ederken, maksimum çıkış sinyali üzerindeki testlere başlamadan önce, maksimum çıkış sinyalindeki sıcaklıkla değişim için (6.2) no'lu formül kullanılabilir.

$$\Delta S = -\Delta E + \Delta k \quad (6.2)$$

$\Delta E$  : Yay elemanının birim sıcaklık değişimine karşılık gelen elastisite modülündeki yüzde değişim

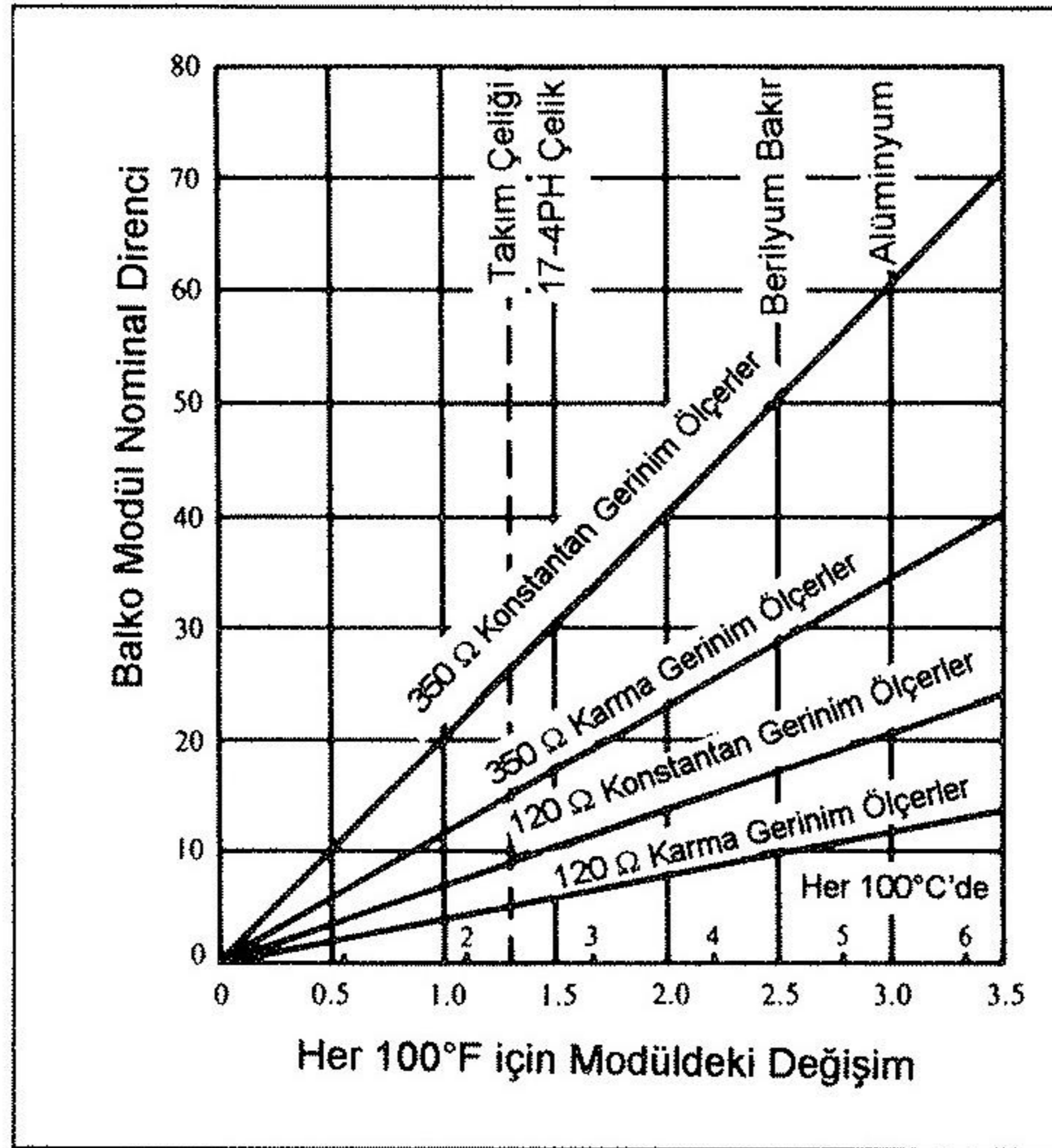
$\Delta k$  : Birim sıcaklık değişimi ile gerinim ölçer k-faktöründeki yüzde değişim

Tablo 1'de kompanzasyon direncinin tahmini değerinin hesaplanmasında (6.1) ve (6.2) no'lu formüllerle kullanılacak  $\Delta E$ ,  $\Delta k$  ve  $\alpha_m$  ait nominal değerler yer almaktadır. Belirli bir gerinim ölçer türü ve yay malzemesinin direnç ısı değişim katsayısına bağlı olarak, gerekli olan direnç Şekil 5'de verilmiş olan grafikten elde edilebilir. Bu grafik, (6.1) ve (6.2) no'lu formüllerin grafik ifadesidir. Nikel direnç olarak bunun karşılığının bulunması gerektiğinde, Balko direncinin 0.8 ile çarpılması yeterlidir.

**Tablo 1. Çeşitli Malzemelerin Direnç Isı Değişim Katsayıları, [9]**

$\Delta E$ Yay Elemanı	Katsayı
17-4 PH Paslanmaz Çelik	- % 0.027 /°C
Takım Çeliği	- % 0.036 /°C
Berilyum-Bakır	- % 0.045 /°C
Alüminyum	- % 0.054 /°C
$\Delta k$ Gerinim Ölçer Alaşımı	Katsayı
Konstantan	+ % 0.0090 /°C
Karma Alaşımı (6 Bileşenli)	- % 0.0103 /°C
Karma Alaşımı (13 Bileşenli)	- % 0.0149 /°C
$\Delta\alpha_m$ Direnç Malzemesi	Katsayı
Nikel	+ % 0.59 /°C
Balko	+ % 0.43 /°C
Bakır	+ % 0.40 /°C

Yay elemanı, gerinim ölçerler ve direnç alaşımlarının hesaplamalarda kullanılan değerlerinin ve Şekil 5'deki değerlerin yaklaşık olmasından dolayı, buraya kadar açıklanmış olan yöntem, maksimum çıkış sinyalindeki sıcaklıkla sapmanın kompanzasyonunda çok kesin sonuçlar vermez. Bundan başka, bir sonraki kısımda açıklanan ayar dirençlerinin yerleştirilmesinden sonra, ikinci kompanzasyon dirençlerinin uygulanması gerekir. Bu durumda uygulanabilecek en pratik yöntem Şekil 5'den nominal direncin belirlenerek; kesilmemiş direnci bu değer altında, tam kesilmiş direnci de bu değer üstünde olan bir direncin seçilmesidir. Maksimum çıkış sinyalinin sıcaklıkla sapsınının detaylı testleri neticesinde; dirençler, maksimum çıkış sinyali değişimlerinin minimum olacağı seviyede ayarlanabilir [1], [4], [5], [9].



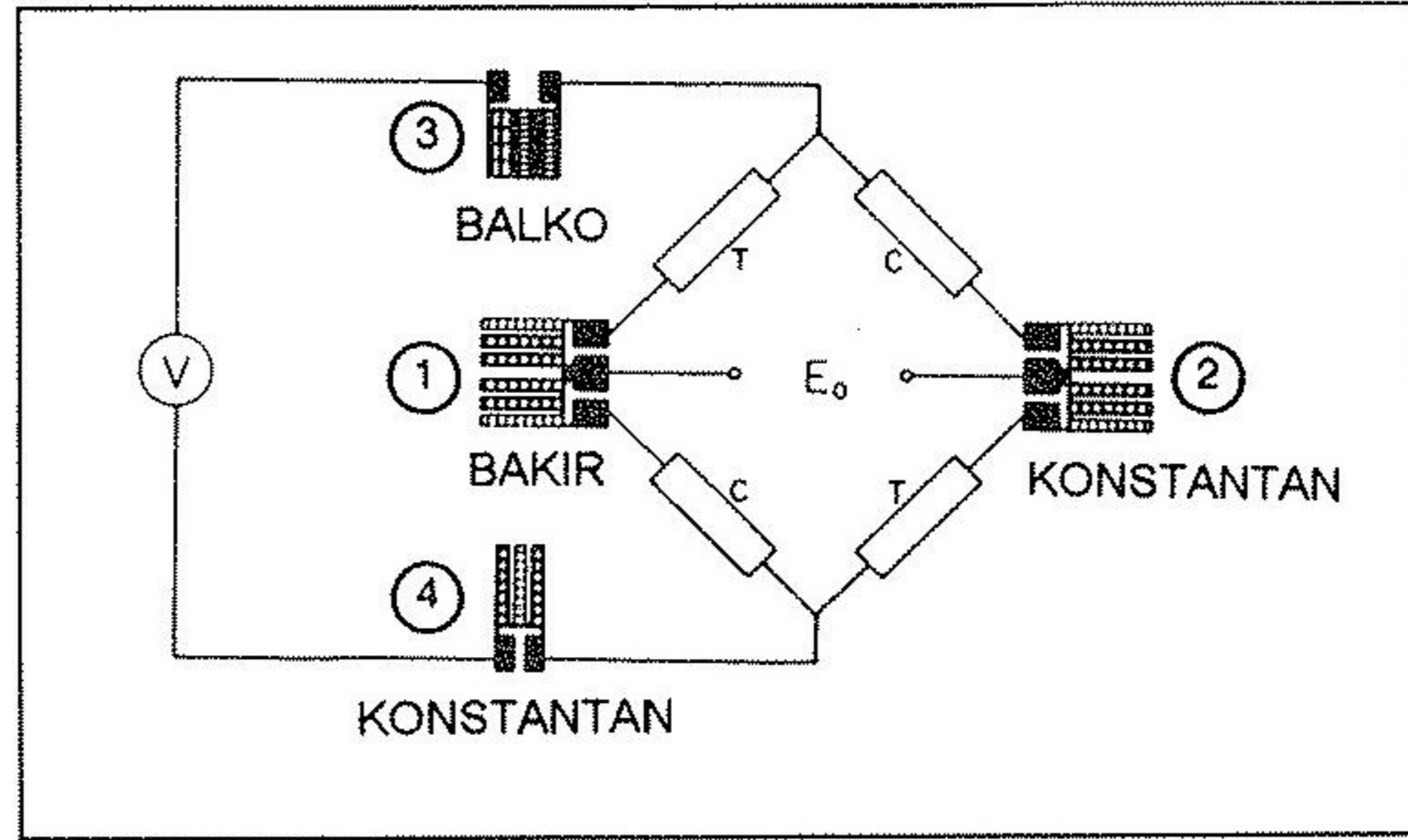
Şekil 5. Maksimum Çıkış Sinyalinin Sıcaklıkla Değişiminin Sıcaklıkla Kompanzasyonu İçin Hesaplanmış Balko Direnci, [9]

## 7. MAKSİMUM ÇIKIŞ SİNYALİNİN AYARLANMASI

Elektrik devresi performansının iyileştirilmesinde uygulanacak olan son aşama maksimum çıkış sinyalinin önceden belirlenmiş bir değere getirilmesidir. Bu da Şekil 6'da gösterildiği gibi düşük ısıl değişim katsayılı bir direncin köprü besleme kaynağına seri bağlanması ile sağlanabilir. Bu amaca uygun direnç konfigürasyonu gerinim ölçer alaşımına bağlı olarak seçilmiş bir alaşıma sahip uygun formda bir dirençtir. Direncin nominal değeri, Şekil 4'deki devrenin toplam impedansını ölçtükten ve ardından da köprü çıkışını istenilen maksimum çıkış sinyali seviyesine getirmek için gerekli direnç hesaplandıktan sonra belirlenebilir. Şekil 6'da 4 numara ile gösterilmiş olan maksimum yük çıkış sinyali ayar direnci yerleştirildikten sonra ardıl testler ve direnç ayarlamaları ile istenilen seviyeye ulaşılabilir.



Uygulamada, Şekil 6'da 3 numara ile gösterilmiş olan maksimum çıkış sinyalinin sıcaklıkla sapma ayar direnci ve 4 numara ile gösterilmiş olan maksimum yük çıkış sinyali ayar direncinin yaklaşık değerleri hesaplandıktan sonra gerinim ölçerlerle birlikte yay elemanına bu dirençlerde yapıştırılır. İstenilen dönüştürücü performansını elde etmek için bir önceki paragrafta açıklanan yöntem uygulanır [1], [4], [5], [9].



Şekil 6. Maksimum Çıkış Sinyalinin Başlangıç Ayarı

## 8. SONUÇ

Bir dönüştürücünün sıfır sinyali ve tam yüke karşılık gelen çıkış sinyali daha tasarım aşamasında belirlenen parametrelerdir. Dönüştürücünün imalat aşamasında ise, kullanılan mekanik ve elektriki bileşenlerin sahip oldukları toleranslar nedeniyle çıkış sinyali prensip olarak sahip olması gereken değerden farklılıklar gösterir. Gösterge cihazı olmaksızın tek başına kullanılan dönüştürücüler için, farklı cihazlarla da kullanılabilmesi bakımından köprü devresinin tam yüke karşılık gelen çıkış sinyali önceden belirlenmiş bir değere tam olarak ayarlanmak durumundadır. Bunu sağlayabilmek içinse; tam yüke karşılık gelen çıkış sinyalini önceden belirlenmiş değere getirecek yardımcı dirençler Wheatstone köprüsüne dahil edilirler. Kompanzasyon ve çıkış sinyalinin ayarı için uygulanan bu yöntemler, dönüştürücü performansına birinci dereceden etki etmektedirler. Çok daha hassas ayarlamalar yapmak için köprü devresine ilave edilmesi gereken şu ana kadar açıklananlardan farklı dirençler vardır. Maksimum çıkış sinyalinin sıcaklıkla sapma ayar direncinin devreye yerleştirilmesi çıkış sinyaline bir miktar doğrusallıktan sapma kusuru katmaktadır. Bu etkinin azaltılması için ilave doğrusallık dirençleri devreye yerleştirilir.

Bu aşamaya kadar verilmiş olan bilgiler dönüştürücü elektrik devresinin kurulması ve performansının iyileştirilmesi için gerekli temelleri oluşturmaktadır. Ancak, performansın geliştirilmesi için gerekli bir çok farklı yöntem imalatçılar tarafından uygulanmaktadır. Fakat dönüştürücü tasarımına ait bir çok uygulama halen "bireysel yöntemler" formunda olup; yazılı hale getirilip basılmamıştır. Bu noktadan sonra dönüştürücü tasarımı yapan mühendis ve temel bilimcilerin üzerinde çalıştıkları uygulamaya özel araştırmalar yaparak gelişmeler elde etmeleri bir zorunluluktur.

## KAYNAKLAR

- [1] BAUMANN, E., 1976. Elektrische Kraftmeßtechnik, VEB Verlag Technik Berlin, Germany
- [2] DALLY, J.W. and RILEY, W.F., 1965. Experimental Stress Analysis, McGrawHill Book Company
- [3] ERDİLLER, B. and SARAL, A., 1982. DMS (Uzayabilir Ölçü Şeridi) ile Ölçme Esasları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları : 819, Derlemeler : 43
- [4] HBM- Hottinger Baldwin Meßtechnik GmbH.-Germany. Ürün Katalogları, 1995
- [5] HOFFMAN, K. 1976. An Introduction to Strain Gage Techniques by Practical Experiments. HBM Publication, VD 76004e, Germany
- [6] HOFFMAN, K. 1976. Applying the Wheatstone Bridge Circuit. HBM Publication, VD 72001e, Germany
- [7] HOFFMAN, K. 1973. Measuring Elementary Load Cases With Strain Gages. HBM Publication, VD 73002e, Germany
- [8] Measurements Group -Vishay-U.S.A. Technotes, 1988-1989
- [9] Modern Strain Gage Transducers, 1981-1984. Epsilonics, Measuremen Group Inc., U.S.A.
- [10] PERRY, C.C. and LISSNER, H.R.,1962. The Strain Gage Primer, McGrawHill Book Company
- [11] VAUGHAN, J., 1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements, ISBN 87-87355-08-6