

DEVRE ELEMANLARININ ÖLÇÜLMESİ

Doç.Dr. Mehmet Recep BOZKURT

Direnç, kapasite, indüktans (öz-indüktans ve ortak indüktans) gibi pasif devre elemanlarının ölçümünde kullanılan yaygın yöntem **köprü yöntemidir**. Ölçme yöntemi belirlenirken ölçülmesi istenen parametrenin hangi amaç için ölçüldüğü ve ayrıca elemanın ölçülecek özel tanımının iyi yapılması gerekir.

İki kapılı bir eleman olarak gösterilen köprü devresinde bir kapiya bilinmeyen değerin ölçüldüğü eleman bağlanır. Diğer kapiya ise **algılayıcı (detektör)** olarak **galvanometre** bağlanır.

Galvanometrede okunan değer sıfır yapıncaya kadar değişken elemanlardaki gerekli ayarlar yapılarak denge şartları sağlanır ve bilinen elemanlar yardımıyla bilinmeyen elemanı değer hesaplanarak elde edilir.

Direnç, kapasite ve endüktans gibi elemanların bileşenleri, uygulanan frekansa bağlı olarak değişir. Örneğin metal tel sargılı direnç, yüksek frekansta bir endüktans özelliği, rezonans frekansından yüksek bir frekans uygulanmış endüktans ise kapasite özelliği gösterir. Ölçülen devre elemanları yardımıyla da **Q (kalite faktörü)** ve **D (kayıp faktörü)** bulunabilir.

Ölçme yöntemi belirlenirken doğruluk, hızlılık, ölçüm kolaylığı ve benzeri faktörler göz önünde bulundurulur.



Bu bölümde devre elemanlarının tanımı ve tanımına uygun olarak değerlerinin nasıl ölçüleceği üzerinde durulacaktır.

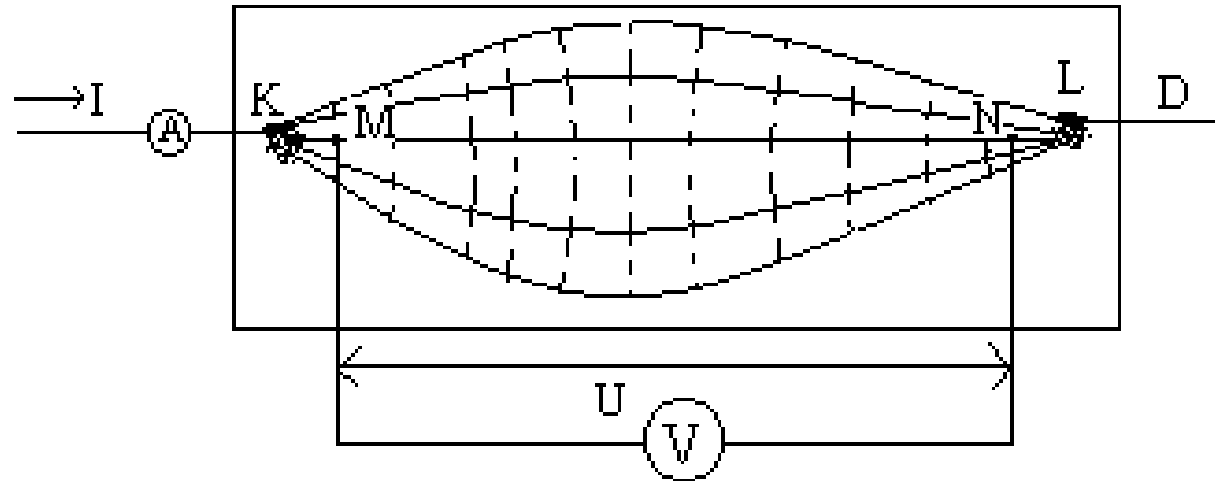
Direnç Tanımı

İletkenlik, malzemenin elektrik akımı geçirgenliğinin ölçüsüdür. Direnç ise bunun tersidir. Bir malzemenin direncinin bilinmesinde malzeme içindeki akım çizgileri ve dolayısıyla eşit potansiyel yüzeylerinin belirlenmiş olması gerekir. Örneğin ince, uzun bir telin direncinden söz edildiğinde genel olarak akım çizgilerinin tel boyuna paralel ve eşit, potansiyel yüzeylerinin de bu doğrultuya dik oldukları anlaşılır.

Direnç, gerilimin akıma oranıdır. Bağlantı uçlarından geçen eşit potansiyel yüzeyler arasındaki gerilim, gerilim uçları ile tanımlanır. Akımın malzeme içine girdiği ve çıktığı noktalara da akım uçları adı verilir.

Bir direnç elemanı teorik olarak 2-uçlu olarak tanımlandığı halde, 2 akım ucu ve 2 gerilim ucu olmak üzere 4 ucunun belirtilmesiyle tanımlanması da mümkün olabilmektedir.

Şekilde görüldüğü gibi bağlanan ideal bir voltmetre ile ölçülen gerilimin akıma bölünmesiyle direnç değerinin bulunabileceği görülmektedir. Orta ve büyük değerli dirençlerde K-M ve N-L arasındaki belirsiz direnç M-N arasındaki belirli malzeme direnci yanında çok küçük olduğu için ihmal edilebilir. Böylece küçük değerli dirençler 4-uçlu, orta ve büyük değerli dirençlerde iki uçlu olarak gösterilebilir.



Dirençlerin Sınıflandırılması (Ölçme Tekniği Yönünden)

Ölçme teknikleri birbirinden farklı olma özellikleri göz önünde bulundurularak üç sınıfa ayrılarak incelenebilir.

- a)** 4 - uçlu dirençler (küçük değerli dirençler) (1Ω ' dan küçük)
- b)** 2 – uçlu dirençler (orta değerli dirençler) (1Ω ile $1M\Omega$ arası)
- c)** Yalıtkan malzeme dirençleri (büyük değerli dirençler) ($1M\Omega$ ' dan büyük)

Değeri 1Ω dan küçük dirençler 4 –uçlu dirençler olarak tanımlanır. Bu dirençlerin akım uçlarındaki belirsiz bağlantı ve geçiş dirençleri $0,001\Omega$ mertebelerinde olup direncin kendi değeri yanında terk edilememektedir. Bu nedenle iki akım ve iki gerilim ucu ile tanımlanmaktadırlar. Ayrıca bazı özel durumlarda, özellikle akımın geçtiği kesit alanının en ve boyunun akımın kat ettiği yol mertebesinde olduğunda, direnç değeri 1Ω dan küçük olmasa bile 4 ucu ile tanımlanması gerekir.

4 ucuyla tanımlanan bu dirençlerin ölçme yöntemleri farklı olmaktadır.

Büyük değerli dirençlerden Volt mertebesindeki gerilimler ancak sıfır aletlerinin duyabileceği kadar akım geçirebildiğinden $1\text{M}\Omega$ dan daha büyük yalıtkan malzeme dirençlerinin ölçme yöntemleri de farklıdır.

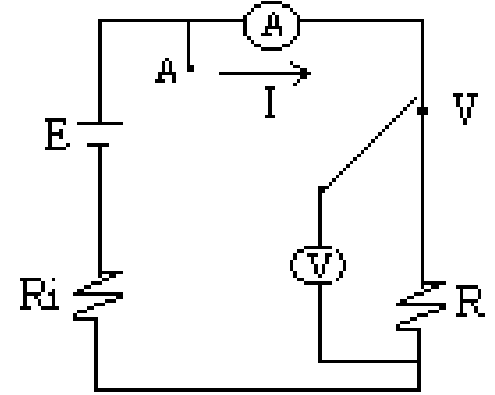
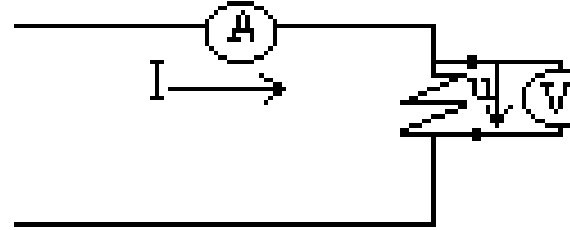
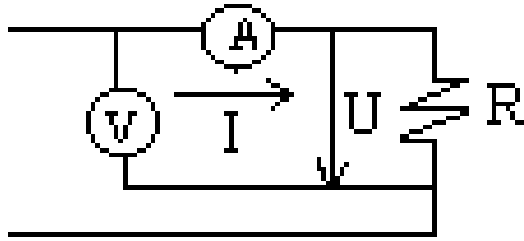
1Ω ile $1\text{M}\Omega$ arasındaki dirençlere orta değerli dirençler denir. Bunlar iki uç ile tanımlanırlar. Bu dirençler için en uygun, **en az hatalı ve doğru ölçme yöntemi, Wheatstone köprüsü yöntemidir.**

Direnç Ölçülmesi

1. Voltmetre-ampermetre yöntemiyle direnç ölçülmesi

Yaklaşık değerlerle direnç ölçüm durumlarında ayrıca basit kullanım ve hızlı ölçüm yapılabilmesi gibi nedenlerle **voltmetre-ampermetre yöntemi** yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Ölçmede kullanılan ölçü aletlerinin ideal olmamaları nedeniyle bu yöntemle direnç ölçmede, yapım hatalarından başka bir de yöntem hatası bulunur.

Ölçme yöntemini ve hatalarını inceleyebilmek için üç farklı bağlantı ile üç farklı yol izlenebilir.



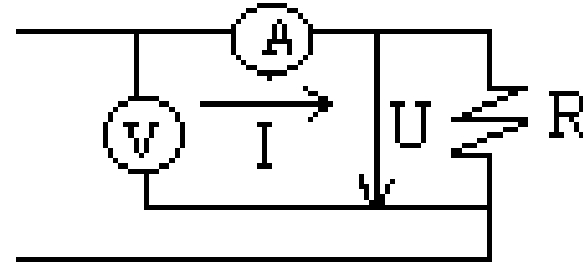
Ölçme işleminin her birinde ölçülmek istenen R direnci U geriliminin I akımına oranı olarak bulunabilir. Ancak gerilim ve akım hatasız okunsa bile voltmetre direncinin sonsuz, ampermetre direncinin sıfır olmamasından dolayı ölçülmek istenen direncin R_g gerçek değeri bu ölçmenin sonucu olan R den farklı olur.

Her 3 yöntemde de ampermetre kısa devre, voltmetre açık devre kabul edilirse direnç değeri yaklaşık olarak

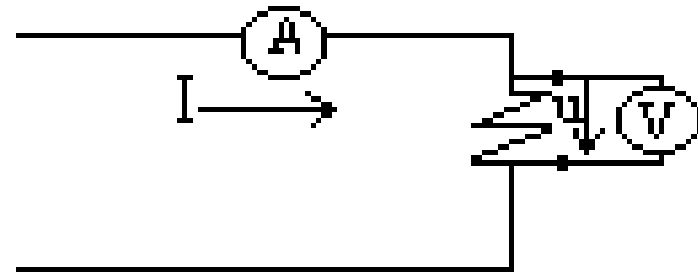
$$R = \frac{U}{I} \quad \text{formülüyle hesaplanabilir.}$$

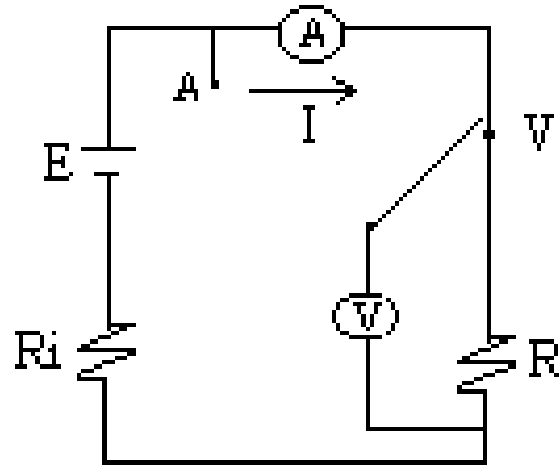
Ölçülmek istenen direncin R_g gerçek değeri ise

a yönteminde:
$$\frac{1}{R_g} = \frac{I}{U} - \frac{1}{R_v}$$



b yönteminde:
$$R_g = \frac{U}{I} - R_a$$





$$\begin{aligned}
 \text{c yönteminde: } R_g &= \frac{U}{I} \left[1 - \frac{R_i - R_g}{R_i + R_g + R_a + (R_g + R_a) \frac{R_i}{R_v}} \frac{R_a}{R_v} \right] \\
 &= \frac{U}{I} \left[1 - \frac{R_i - R_g}{R_i + R_g} \frac{R_a}{R_v} \right]
 \end{aligned}$$

Burada R_a ampermetrenin direnci, R_v voltmetrenin direnci, R_i ise kaynağın ve kaynağa seri ayar devresinin toplam eşdeğer direncini gösterir.

Yapım hataları

Voltmetrenin ve ampermetrenin yapım hataları nedeniyle akım ve gerilimin ölçülmesinde ε_a ve ε_g kadar bağıl ölçme hataları varsa, hesaplanan R direncinin değerinde de $\varepsilon_d = \varepsilon_a + \varepsilon_g$ kadar bağıl hata bulunur. $R = U / I$ formülünün logaritmik diferansiyeli

$$\frac{dR}{R} = \frac{dU}{U} - \frac{dI}{I}$$

olup, diferansiyeller yerine mutlak hataları koyarak ve terimlerin mutlak değerlerini alarak

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \quad \rightarrow \quad \varepsilon_d = \varepsilon_a + \varepsilon_g$$

olur.

Ancak hataların toplanmasını daha gerçeğe yakın olarak veren ifade

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2}$$

şeklindedir.

Kaliteli ve yüksek doğruluklu voltmetre ve ampermetre ile uygun koşullarda ölçme yapıldığında bile dirençteki bağıl ölçme hata sınırı %0,2 civarında olacaktır. Voltmetre-ampermetre yöntemiyle daha iyi bir doğruluk sağlanamaz.

Yöntem hataları

Voltmetrenin direnci R_v ampermetrenin direnci R_a olsun. Bu durumda ölçme sırasında voltmetre bir akım çektiği gibi ampermetrede de bir gerilim düşümü oluşur. Bu yüzden her 3 ölçme yönteminde de bir yöntem hatası vardır. Bağlı yöntem hatasının gerçek değeri

$$\varepsilon_y = \frac{R - R_g}{R}$$

Bu yöntemlerin bağlı yöntem hataları sırasıyla

Bu yöntemlerin bağıl yöntem hataları sırasıyla

$$\varepsilon_{ya} = -\frac{R_g}{R_v} \approx -\frac{R}{R_v}$$

$$\varepsilon_{yb} = \frac{Ra}{R} \approx \frac{Ra}{R_g}$$

$$\varepsilon_{yc} = \frac{\frac{Ra}{R_v}(Ri - R_g)}{Ri + R_g + Ra + (R_g + Ra)\frac{Ri}{R_v}} \cong \frac{Ra}{R_v} \left(\frac{Ri - R_g}{Ri + R_g} \right)$$

Eğer R_v , R_a , R_i gibi değerleri bilinirse hatanın gerçek değeri hesaplanıp düzeltme yapılabilir. Çok kere $R_a < R_g$, $R < R_v$ halinde c yönteminin bağıl yöntem hatasının mutlak değerinin

$$|\epsilon_{yc}| < \frac{Ra}{Rv} < |\epsilon_{ya}|, |\epsilon_{yb}|$$

olduğu görülür.

Buradan en uygun ölçme yönteminin

$R_g < R_a$ ise a yöntemi

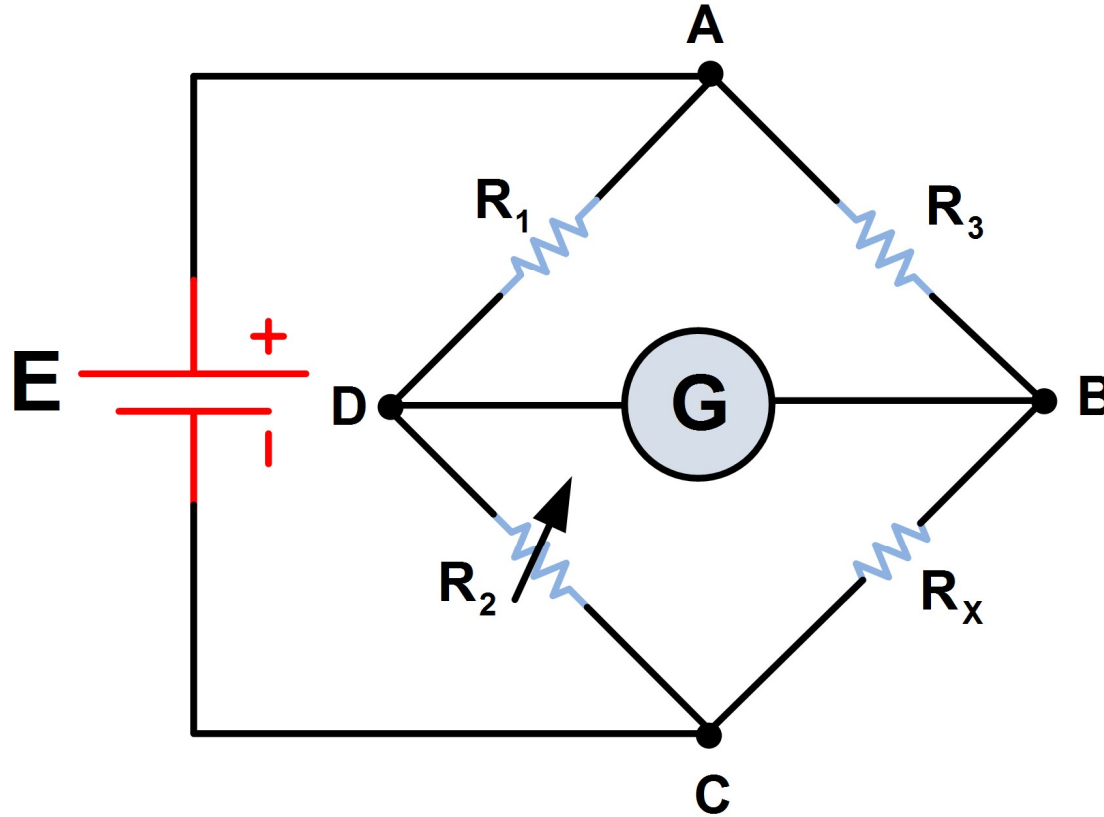
$R_a < R_g < R_v$ ise c yöntemi

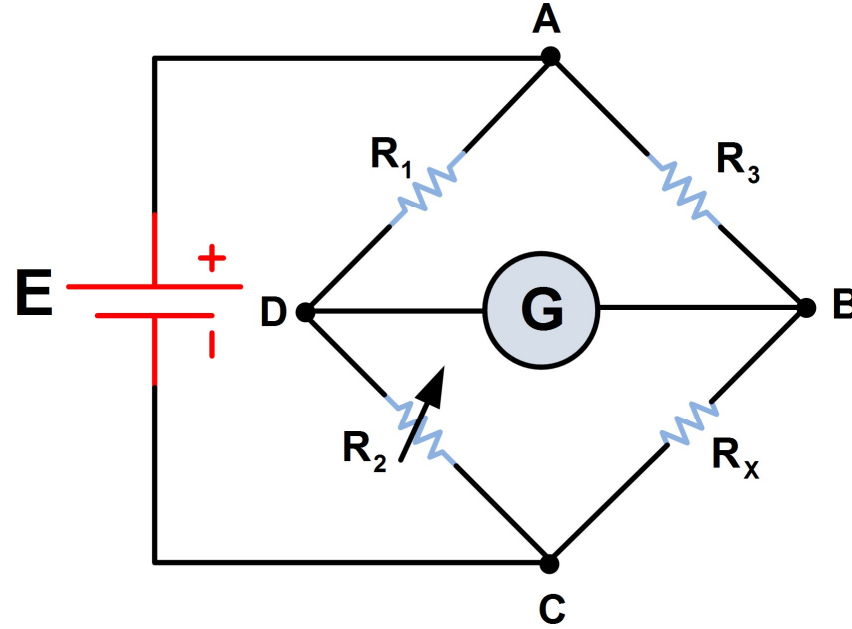
$R_v < R_g$ ise b yöntemi olduğu sonucuna varılır.

Böylelikle bağıl yöntem hatası hep R_a / R_v den küçük tutulmuş olur.

Wheatstone köprüsü ile direnç ölçülmesi

Wheatstone köprüsünün basit şekli doğru gerilim ile beslenir ve dört köprü kolundan her birinde Şekilde gösterildiği gibi birer direnç vardır. Her bir koldaki R_1 , R_2 , R_3 , R_4 dirençleri öyle ayarlanır ki galvanometre uçlarındaki potansiyel fark sıfır olur.





Potansiyel farkı sıfır olduğunda B deki potansiyel D ye eşittir. Bu R_3 uçlarındaki V_{AB} geriliminin, R_1 uçlarındaki V_{AD} gerilimine eşit olduğunu ifade eder. Böylece $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_3$ olur. BD arasından akım akmadığından, R_2 den I_1 akımı, R_x ten I_2 akımı geçer.

Böylece $I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_x$ olur.

Bundan dolayı

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_3 = R_3 \frac{I_1 \cdot R_2}{R_x}$$

$$I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_x = R_2 \frac{I_2 \cdot R_3}{R_1}$$

Denge şartları besleme gerilimine bağlı değildir. Sadece köprü kollarındaki dirençlere bağlıdır.

Şayet R_1 ve R_3 bilinen sabit dirençler ise R_x bilinmeyen direnç hemen R_2 ile potansiyel farkı sıfır olacak bir değere ayarlanır ve R_x bilinmeyen direnci R_2 , R_3 ve R_4 bilinen değerleri yardımıyla belirlenir.

R_x 'in küçük değişimlerinde R_1 / R_3 oranı uygun seçilerek büyük R_2 direnç değişim değerleri vasıtasıyla belirlenebilir.

Wheatstone köprüsü 1Ω ile $1M\Omega$ arasındaki doğru direnç ölçümleri için kullanılabilir. Galvanometreden nanoamperler mertebesinde akım geçtiği için köprü kollarından en az mikroamperler mertebesinde bir akım geçmelidir ki doğru ölçüm yapılabilsin yani $M\Omega$ 'lardan büyük dirençlerde Wheatstone köprüsünün pek doğru sonuç vermediği söylenebilir.

Ölçmenin doğruluğu sıfır detektörünün hassasiyeti ve köprüde kullanılan dirençlerin doğruluğu tarafından belirlenir. Diğer ölçüm yöntemlerinde görülen yapım hataları köprü yönteminde de bulunmaktadır. Ayrıca köprüde dengeyi sağlayan değerin tam olarak belirlenememesinden dolayı bu yöntemle ölçmede belirtme hatasının bulunması gerekir.

Wheatstone köprüsüyle ölçmede voltmetre, ampermetre yöntemindeki ölçmede görülen **bir yöntem hatası yoktur**. Ancak bu yöntemin başka kusurları bulunmaktadır. Bu yöntemin en önemli kusurlarından biri ancak 2-Uçlu olarak tanımlanabilen dirençlerin ölçülebilmesidir. Diğer bir kusuru köprü kollarından geçen akımların galvanometrenin duyabileceği akımların yanında yeteri kadar büyük olmasının istenmesidir. Bu yüzden yalıtım dirençleri gibi Megaohm mertebesindeki büyük değerli dirençlerin köprü yöntemiyle ölçülmesi uygun olmamaktadır. Ayrıca bütün direnç ölçme yöntemleri için söz konusu olan aşağıdaki yöntem kusuru köprü yöntemleri için de geçerlidir. **Bu kusur ısıl elektromotor kuvvetlerin doğurduğu hatalardır.**

Devrede farklı madenlerin bağlantıları vardır. Devrenin her tarafı eşit sıcaklıkta da değilse, ısı elektromotor kuvvetler farkı dirençlerde omik gerilim düşümleri gibi etkiyerek direnç değerlerinin yanlış hesaplanmasına neden olur. Ayrıca elemanların bağlantı noktalarında oluşan bağlantı dirençleri de bir başka yöntem kusuru olarak sayılabilir.

Örnek:

Bir wheatstone köprüsünde R_2 / R_4 oranı $1/100$ 'dür. R_3 denge şartlarını sağlayacak şekilde (akımın sıfır olması) ayarlanmıştır. Başlangıçta $R_3 = 1000,3\Omega$ 'a ayarlanmıştır. Sıcaklık değişimleri sonucu olarak R_1 direnci değişir ve $R_3 = 1002,1\Omega$ olur yani denge şartları oluşur. R_1 'deki değişim nedir?

Çözüm:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} = \frac{1.1000,3}{100}$$

$$R_1^t = \frac{1.1002,1}{100}$$

$$\Delta R_1 = R_1^t - R_1 = \frac{1(1002,1 - 100,3)}{100} = 0,018\Omega$$

R_1 'deki değişim $0,018\Omega$ 'luk değişim R_3 'de $1,8\Omega$ 'luk değişime neden olmaktadır.