ALTERNATİF AKIM KÖPRÜLERİ

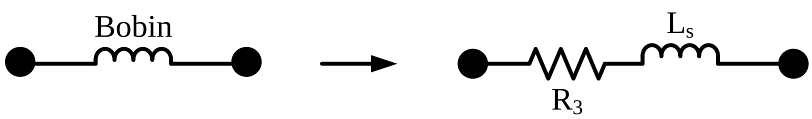
1. Hazırlık Soruları

Deneye gelmeden önce aşağıdaki soruları cevaplayınız ve deney öncesinde rapor halinde sununuz.

- Omik, kapasitif ve endüktif yük ne demektir? Açıklayınız.
- Omik bir yükün emepedensının frekansla değişimi nasıldır? Açıklayınız.
- Kapasitif bir yükün frekansla değişimi nasıldır? Açıklayınız.
- Endüktif bir yükün frekansla değişimi nasıldır? Açıklayınız.
- Kapasite ve endüktans parametreleri günümüzde nasıl ölçülmektedir? Açıklayınız.

2. Bobin Parametrelerinin Bulunması

İçinde demir bulunmayan bir bobinin alçak frekans eşdeğeri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Bobinin alçak frekans eşdeğeri

Burada R_s tel direncini ve L_s ise bobinin endüktansını göstermektedir. Alçak frekanslarda çalışıldığı sürece sarımlar arasındaki kapasiteler ihmal edilebilecek düzeyde olduğu için eşdeğerde gösterilmemiştir.

Şimdi uygun bir alternatif köprüsü kullanarak bobin parametrelerini bulalım. Bilindiği üzere alternatif akım köprülerinin dengeye gelmesi için kollarındaki empedanslar arasında (1-3) numaralı bağıntıların sağlanması gerekmektedir.

$$Z_1.Z_4 = Z_2.Z_3 \tag{1}$$

$$|Z_1|e^{j\varphi_1}.|Z_4|e^{j\varphi_4} = |Z_2|e^{j\varphi_2}.|Z_3|e^{j\varphi_3} \tag{2}$$

$$|Z_1|.|Z_4|e^{j(\varphi_1+\varphi_4)} = |Z_2|.|Z_3|e^{j(\varphi_2+\varphi_3)} \tag{3}$$

(1) numaralı eşitlik sağlandığında (4, 5) numaralı eşitlikler de sağlanmış olur.

$$|Z_1|.|Z_4| = |Z_2|.|Z_3| \tag{4}$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \tag{5}$$

Köprünün yapısını basitleştirmek amacıyla Z_2 ve Z_3 empedansları omik olursa $\varphi_2=\varphi_3=0$ olur. Böylece faz ilişkisi basitleştirilerek (6) elde edilir.

$$\varphi_1 + \varphi_4 = 0 \tag{6}$$

Bu bağlantıdan köprünün dengeye gelmesi için köprünün dördüncü kolundaki empedansın faz açısının köprünün birinci kolunda bulunan ölçmek istediğimiz elemanın faz açısının negatifine eşit olması gerekir. Ölçmek istediğimiz bobinin empedansı alçak frekanslarda şöyledir.

$$Z_1 = R + j\omega L = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}.\, e^{jarctg(\frac{\varphi L}{R})} \tag{4}$$

Bobinin açısı φ_1 pozitiftir. Bu nedenle köprüyü dengeye getirecek devrenin faz açısının negatif olması gerekmektedir. Negatif faz açısına sahip en basit devreler bir kondansatör ve bir dirençten oluşan devrelerdir.

Bir dirençle bir kondansatör seri bağlanırsa (5-6) numaralı eşitlikler ve paralel bağlanırsa (7-8) numaralı eşitlikler elde edilir.

$$Z = R_s + \frac{j}{\omega C_s} = \sqrt{R_S^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}.\, e^{-jarctg(\frac{1}{\omega C_S R_S})} \tag{5}$$

$$\varphi_4 = -arctg\left(\frac{1}{\omega RC}\right) \tag{7}$$

$$Z = \frac{\frac{R_p}{j\omega C_p}}{R_p + \frac{j}{j\omega C_p}} = \frac{R_p}{\sqrt{1 + \left(\omega C_p R_p\right)^2}}.\, e^{-jarctg(C_p R_p)} \tag{8}$$

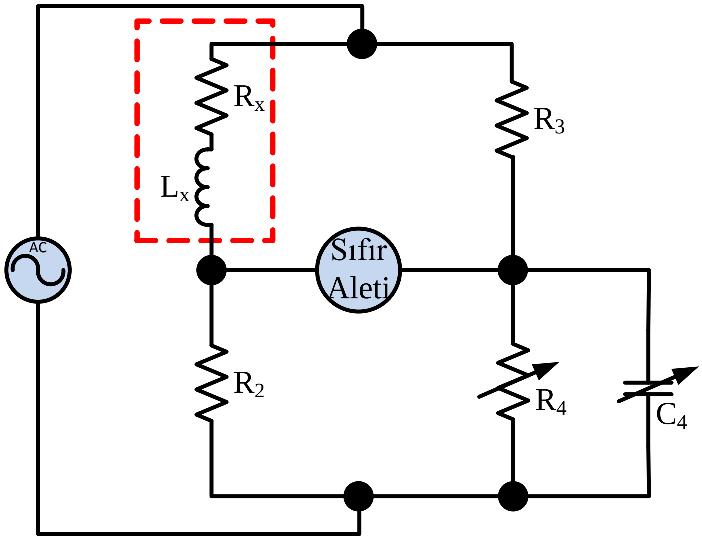
$$\varphi_4 = -arctg(RC) \tag{9}$$

Kondansatör-direnç seri devresi için (10) ve paralel devresi içinde (11) numaralı eşitlik elde edilir.

$$arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right) = arctg\left(\frac{1}{\omega C_S R_S}\right) \tag{10}$$

$$arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right) = arctg\left(\omega C_p R_p\right) \tag{11}$$

Bu bağıntılardan ikincisinde ω'lar birbirlerini götürdükleri için daha kullanışlıdır. Böylece köprünün kollarındaki empedanslar seçilmiş oldu. Şimdi köprüyü kuralım.



Şekil 2. Maxwell-Wien köprüsü ile bobin parametrelerinin bulunması

Maxwell-Wien köprüsü olarak bilinen bu köprüde bobin parametreleri bir kondansatör ve dirençle karşılaştırılarak bulunmaktadır. Z_2 ve Z_3 direnç olarak seçilerek Z_4 empedansının kondansatör ve direnç olması sağlanmıştır. Z_4 direnç olarak seçilmiş olsaydı Z_2 ve Z_3 empedanslarının birer direnç ve bobinden oluşması gerekecekti. Pratikte endüktans yapmaktan daha zordur. Köprü dengeye geldiğinde (12) numaralı eşitlikten yararlanarak bobin parametrelerini bulalım. Devredeki eleman değerleri (12) numaralı eşitlikte yerine yazılarak bobin parametreleri (13-15) numaralı eşitliklerdeki bulunur.

$$Z_1 = Z_2.Z_3.\frac{1}{Z_4} \tag{12}$$

$$R_x + j\omega L_x = R_2.R_3\left(\frac{1}{R_4} + j\omega C_4\right) \tag{13}$$

$$R_x = \frac{R_2.R_3}{R_4} \tag{14}$$

$$L_x = R_2.R_3.C_4 \tag{15}$$

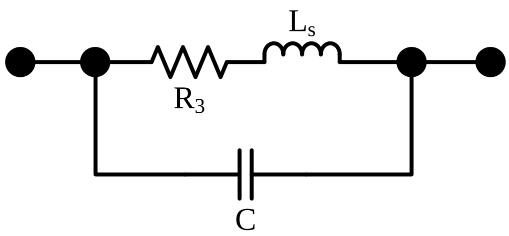
2. 1. Deneyin Yapılışı

Deneyin yapılışı şu şekildedir:

1. Şekil 2'deki devreyi kurunuz.

2. Sıfır aleti olarak bir kulaklık kullanılacaktır. Kulağı en duyarlı olduğu bölge 1000 Hz civarında olduğu için bu devreler, genellikle 1000 Hz'lik bir titreşimle beslenmektedir. Fakat biz buraya bobin kapasitesinin etkisini daha da azaltmak için devreyi 400 Hz ile besleyelim.
3. R_4 ce C_4'ü ayarlayarak kulaklıktaki sesin kesilmesini sağlayınız.
4. Yukarıdaki bağıntılardan R_1 ve L'yi hesaplayınız.

Frekans yükselince sarımlar arasındaki kapasiteler etkilerini arttırdıklarında bobin parametrelerini ölçmek zorlaşmaktadır. Bobinin sarım kapasitelerini içeren eşdeğer devresi şöyledir.



Şekil 3. Bobinin sarım kapasitelerini içeren eşdeğer devresi

Alçak frekansta bulunan bobinin empedansı Z_B değerine bir kapasite paralel bağlanmıştır. Kondansatörün empedansını Z_C ile gösterirsek bobinin yüksek frekanstaki empedansı Z'_B olarak (16) numaralı eşitlikteki gibi bulunur.

$$Z'_B = \frac{Z_B.Z_C}{Z_B+Z_C} = Z_B\frac{Z_C}{Z_B+Z_C} = Z_B\frac{1}{1+\frac{Z_B}{Z_C}} \quad (16)$$

Kapasite değeri genellikle küçük olduğundan frekansın fazla büyük olmaması durumunda Z_C değeri büyük olacağından yukarıdaki bağıntıyı seriye açıp ilk terimi alarak Z'_B için (17) yazılabilir.

$$Z'_B = Z_B\left(1-\frac{Z_B}{Z_C}\right) \quad (17)$$

Bu son ifadede devre parametrelerini yerine yazarak (18) elde edilir. (18) numaralı eşitliğin gerçel kısmı (19) ve sanal kısmı için de (20) yazarsak Maxwell-Wien köprüsü ile ölçeceğimiz $Z'_B = R'_s + j\omega L'$ bobin parametrelerini bulmuş oluruz. Görülüyorki frekansın artmasıyla bobinin direnç ve endüktansında bir artma olmamaktadır.

$$Z'_B = (R_s + j\omega L_s)|1-(R_s+j\omega L_s).j\omega C| = R_s + R_s\omega^2 L_s C + j|\omega L_s - R^2\omega C + \omega^3 L_s^2 C| \quad (18)$$

$$R'_s = R_s + R_s\omega^2 L_s C = R_s(1+\omega^2 L_s C) \quad (19)$$

$$\omega L' = \omega L_s + R^2\omega C + \omega^3 L_s^2 C = \omega L_s\left(1 + \omega^2 L_s C - R^2\frac{C}{L}\right) \tag{20}$$

Dirençteki bağıl artma (21) numaralı eşitlikteki gibi ve endiktastaki bağıl artma da (22) numaralı eşitlikteki gibi bulunur.

$$\Delta R = \frac{R_s' - R_s}{R_s} = \omega^2 L_s C \tag{21}$$

$$\Delta L = \frac{R_s' - R_s}{R_s} = \omega^2 L_s C \tag{22}$$

Bu bağlantıların herhangi birini kullanarak sarım kapasitesi hesaplanabilir. Yalnız frekansın yükselmesi ile deri olayından dolayı tel direnci ayrıca arttığından kapasiteyi hesaplarken endüktansın bağıl değişimi kullanılmaktadır.

2.2. Deneyin Yapılışı

Deneyin yapılışı şu şekildedir:

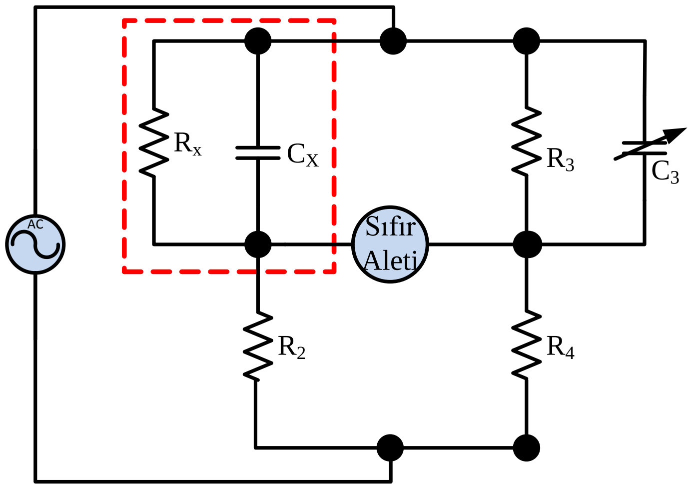
1. Şekil 2'deki köprüyü 4000 Hz'lik bir sinüs gerilimiyle besleyiniz. Endüktansın ve direncin bağıl değişimleri frekansın karesiyle arttığı için çalışma frekansının mümkün olduğu kadar yüksek seçilmesi uygun olur. Fakat daha yüksek frekanslarda kulak fazlaca duyarsızlaştığı için burada deney için 4000 Hz seçilmiştir.
2. Köprüyü dengeye getiriniz ve L_s' ile R_s'değerlerini hesaplayınız.
3. Yukarıdaki bağlantılardan sarım kapasitesini bulunuz ve bu değerlerle bobinin eşdeğer devresinden bobinin rezonans frekansını hesaplayınız.

3. Kondansatör Parametrelerinin Ölçülmesi

Kondansatörün parametrelerini ölçmek için paralel eşdeğer devresini kullanınız. Buradan kondansatör empedansı (23) numaralı eşitlikteki gibi hesaplanır.

$$Z_C = \frac{R\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} e^{-jarctg(\omega CR)} \tag{23}$$

Alternatif akım köprüsünün (5) numaralı faz bağlantısından φ_1'i ölçülecek kondansatörün faz açısı olarak alırsak ve $\varphi_2 = \varphi_4 = 0$ seçmekle dengeyi φ_3 faz açısının negatif olmasıyla gerçekleştirebiliriz. Burada da bobinde olduğu gibi negatif açıyı veren devre olarak bir kondansatörle bir direncin devresi kullanılacaktır. Böylece elde edilen köprü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Wien köprüsü ile kondansatör parametrelerinin bulunması

Bu köprü Wien köprüsü olarak bilinmektedir. Köprünün denge koşulunda (24) ifadesi bulunur. Bu ifadenin gerçel ve sanal kısımları birbirlerine eşitlenirse (25) ve (26) numaralı eşitliklerde verilen kondansatör parametreleri bulunur.

$$R_4 \frac{R_x}{1+j\omega C_x R_x} = R_2 \frac{R_3}{1+j\omega C_3 R_3} \tag{24}$$

$$R_4(1 + j\omega C_3 R_3) = R_2 R_3 (1 + j\omega C_x R_x)$$

$$R_x R_4 = R_2 R_3$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4} \tag{25}$$

$$R_x R_4 \omega C_3 R_3 = R_2 R_3 \omega C_x R_x$$

$$C_x = C_3 \frac{R_4}{R_2} \tag{26}$$

3.1. Deneyin Yapılışı

Deneyin yapılışı şu şekildedir.

1. Wien köprüsünü kurunuz.
2. Devreyi kulaklığı en duyarlı olduğu 1000 Hz'lik sinüs gerilimi ile besleyiniz.
3. Köprüyü dengeye sokarak kondansatörün paralel eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız.
4. R_3 ile C_3 elemanlarını seri bağlayınız.
5. Devreyi dengeye getirerek kondansatörün seri eşdeğer devre parametrelerini bulunuz.
6. Bu kondansatörün kayıp açısını hesaplayınız.