



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Fen Edebiyat Fakültesi

Fizik Bölümü

FIZ2271 FİZİK LABORATUVARI - 2

ELEKTRİK-MANYETİZMA

İSTANBUL-2022

İÇİNDEKİLER

E1 OHM VE KİRCHOFF YASALARI	1
E2 WHEATSTONE KÖPRÜSÜ.....	8
E3 KONDANSATÖRÜN YÜKLENMESİ VE BOŞALTILMASI.....	12
E4 MANYETİK İNDÜKSİYON.....	24
E5 ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ.....	33
E6 TRANSFORMATÖR.....	46
E7 OSİLOSKOPLA ÖLÇÜLER.....	58
E8 ϵ/m ORANININ TAYİNİ.....	72
E9 MANYETİK ALAN İÇERİSİNDE İLETKEN HALKANIN MANYETİK MOMENTİ.....	83
E10 AKIM TERAZİSİ, BİR İLETKEN TELDEKİ AKIM VE MANYETİK ALAN.....	93

E1 OHM VE KİRCHOFF YASALARI

Deneyin Amacı:

1. Bilinmeyen R_1 , R_2 , R_s ve R_p dirençlerinin bulunması,
2. Çok ilmekli devrelerde devre elemanlarından geçen akım şiddetinin ve bunların uçları arasındaki potansiyel farkların belirlenmesi.

Teorik Bilgi:

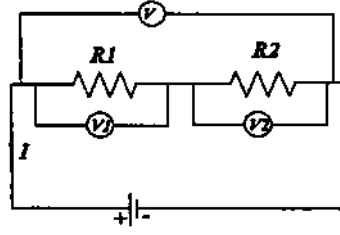
1. Ohm Yasası: Bir elektrik devresinden geçen akım, devre gerilimi ile doğru, direnç ile ters orantılıdır. Devrenin direnci uygulanan gerilimden bağımsız ise Ohm Kanunu geçerli olur.

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ohm } (\Omega) = \frac{\text{Volt (V)}}{\text{Amper (A)}} \quad (1)$$

Akımı yüklerin hareketi oluşturur ve yükler ancak potansiyel fark altında hareket ederler. Devreden geçen akımın yönü pozitif yüklerin geçiş yönü olarak kabul edilirse, akımın yönünün her zaman yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru olacağı açıktır. Devre üzerinde iki nokta arasında potansiyel farkının değerini bilmek bize akımın geçiş yönü hakkında bilgi vermez. Akımın yönünü bilmemiz için ayrıca noktaların hangisinin yüksek veya düşük potansiyelde olduğunu bilmemiz gerekmektedir. Örneğin a ile b noktaları arasındaki potansiyel farkı $\Delta V=10$ V yerine $V_a-V_b=10$ V olarak yazmak daha uygundur. Çünkü burada a noktasının potansiyelinin b noktasının potansiyelinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Buda bize akımın geçiş yönünün a noktasından b noktasına doğru olacağını söylemektedir.

2. Dirençlerin Seri ve Paralel Bağlanması: Şekil 1’de görüldüğü gibi R_1 ve R_2 dirençleri sırasıyla ucuca bağlanırsa, bu tür bağlanmaya seri bağlama denir. R_{es} devrenin eşdeğer direnci, sırasıyla I_1 ve I_2 , R_1 ve R_2 ’den geçen akımlar ve V_1 ve V_2 ise R_1 ve R_2 ’nin uçları arasındaki potansiyel farkı olmak üzere;

$$\begin{aligned} R_s &= R_1 + R_2 \\ I &= I_1 = I_2 \\ V &= V_1 + V_2 \\ V &= I \cdot R_s \end{aligned} \quad (2)$$



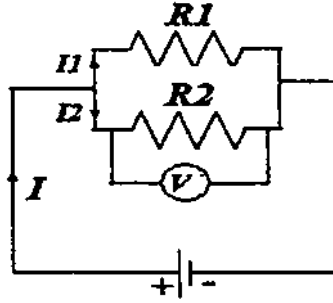
Şekil 1

Şekil 2’de görüldüğü gibi R_1 , R_2 dirençleri birer uçları A diğer uçları B noktasına gelecek şekilde bağlanırsa, bu tür bağlanmaya paralel bağlanma denir. Bu tür bağlanmada dirençler üzerinden geçen akımların toplamı devrenin toplam akımına (I) eşittir.

$$I = I_1 + I_2 \quad (3)$$

$$V = V_1 = V_2$$

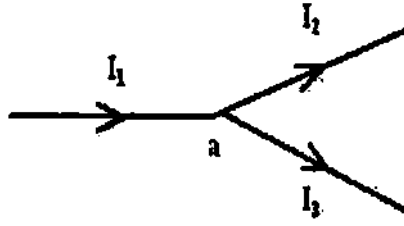
$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



Şekil 2

3. Kirchoff Yasaları: Tek ilmekli devreye indirgenmesi mümkün olan basit elektrik devreleri, Ohm yasası ve dirençlerin seri ve paralel bağlanmalarına ait kurallar kullanılarak çözümlenebilir. Yani, devrenin içerdiği dirençler ve *emk* kaynağı hakkındaki bilgiler veriliyorsa, her bir devre elemanından geçen akım ve devre elemanı üzerine düşen potansiyel farkı basitçe hesaplanabilir. Ancak bir devreyi tek bir kapalı devreye indirmek her zaman mümkün değildir. Bu gibi daha karmaşık devrelerin çözümlenmesi, Kirchoff kuralları olarak bilinen yasaların uygulanmasıyla yapılır. Bu yasaları anlayabilmek için devrenin *düğüm noktası* ve *ilmek* kavramlarını tanımlamak gerekir. Akımın kollara ayrıldığı noktaya devrenin *düğüm noktası* denir. Devrenin herhangi bir noktasında başlayıp, devre elemanları ve bağlantı telleri üzerinden geçerek, yeniden başlangıç noktasına ulaştığımız keyfi kapalı yola *ilmek* denir.

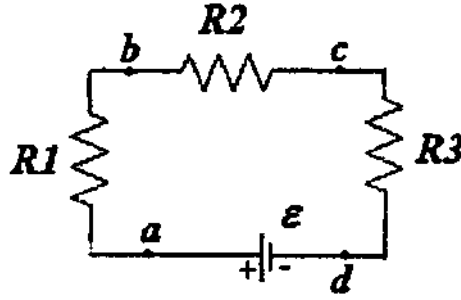
- I. *Herhangi bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, bu düğüm noktasından çıkan akımların toplamına eşit olmalıdır.* Bu, yük korunumunun bir ifadesidir. Yani, herhangi bir noktada yük birikimi olmayacağından bu noktaya birim zamanda ne kadar elektrik yükü girerse eşit miktarda yükün aynı sürede bu noktayı terk etmesi gerekir. Bu kuralı, akım yönü Şekil 3’te gösterildiği gibi belirtilmiş olan “a” düğüm noktasına uygularsak;



Şekil 3. Düğüm Noktası

$$\sum I = 0 \text{ ve } I_1 = I_2 + I_3 \quad (4)$$

II. Herhangi bir ilmek boyunca bütün devre elemanlarının uçları arasındaki potansiyel farkların cebirsel toplamı sıfır olmalıdır. Bu yasa enerjinin korunumu ilkesinin bir ifadesidir. Enerji korunumuna göre, bir devrede kapalı bir ilmek boyunca hareket eden herhangi bir yükün, harekete başladığı noktaya tekrar geldiğinde kazandığı enerjilerin toplamı, kaybettiği enerjilerin toplamına eşit olmalıdır.



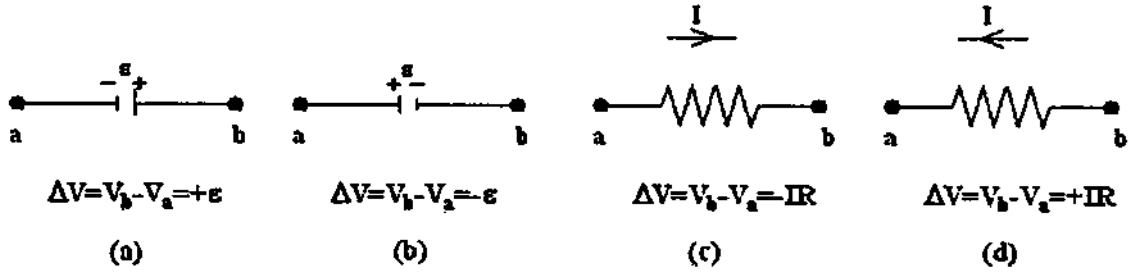
Şekil 4. İlmek Kuralı

$$\begin{aligned} \sum V &= 0 \\ \sum \Delta V &= V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} - \varepsilon = 0 \\ (V_a - V_b) + (V_b - V_c) + (V_c - V_d) - \varepsilon &= 0 \\ (V_a - V_d) &= \varepsilon \end{aligned}$$

Bu yasaların uygulanması sırasında bazı kurallara dikkat edilmelidir. Bunlar:

- Herhangi bir üreteç (*emk*) üzerinden “-“ uçtan “+” uca doğru geçiliyorsa ve güç kaynağının iç direnci ihmal ediliyorsa potansiyel değişimi $+\varepsilon$ dur (Şekil 5a).
- Herhangi bir üreteç (*emk*) üzerinden “+“ uçtan “-” uca doğru geçiliyorsa ve güç kaynağının iç direnci ihmal ediliyorsa potansiyel değişimi $-\varepsilon$ dur (Şekil 5b).
- Bir R direncinden geçen akımın şiddeti I ise ve bu direnç akım yönünde geçiyorsa, direncin uçları arasındaki potansiyel değişimi $-IR$ 'dir (Şekil 5c).

- d. Bir R direncinden geçen akımı şiddeti I ise ve bu direnç akıma ters yönde geçiyorsa, direncin uçları arasındaki potansiyel değişimi $+IR$ 'dir (Şekil 5d).



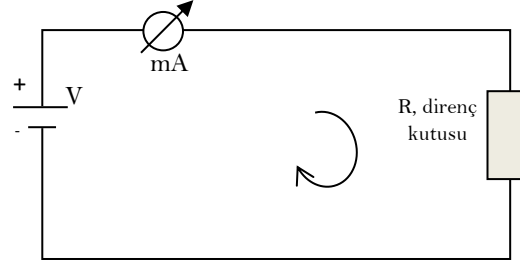
Şekil 5. Kirchoff Yasalarının Uygulama Kuralları.

Kirchoff kurallarını kullanarak çözmek için;

- 1) İlk olarak devre diyagramını çizin ve bilinen, bilinmeyen bütün niceliklerin sembollerini ve değerlerini bu diyagram üzerinde işaretleyiniz.
- 2) Devrenin her bir ilmeğindeki akımlar için keyfi bir yön belirtiniz. Bunu yaptığımızda birbirleriyle seri bağlanmış devre elemanları üzerinden geçen akımın aynı olmasına dikkat ediniz.
- 3) Düğüm kuralını (Kirchoff'un birinci kuralı) devredeki çeşitli akımlar arasında ilişki kurabileceğiniz düğüm noktalarına uygulayınız.
- 4) Elektrik devresini ihtiyacınız kadar kapalı devre ilmeklerine ayırınız ve Kirchoff'un ikinci kuralını teker teker her bir ilmeğe uygulayınız. Bu kuralı uygulamak için ele aldığınız ilmeğin herhangi bir noktasından başlayıp ilmek boyunca dolaşarak yeniden başlangıç noktasına geri dönmelisiniz. Hareket yönünü keyfi olarak seçebilirsiniz. Böylece bilinenler ve bilinmeyenler arasında elektrik devresinin ilmeklerinin sayısı kadar denklemler elde edilecektir.
- 5) Bilinmeyen değerleri hesaplamak için, elde edilen denklemler sistemi çözülmelidir.
- 6) Eğer hesaplamalar sonucunda bulduğunuz akım negatif ise devreden geçen akımın yönü seçtiğiniz yönün tam tersi yöndedir.

Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 6'daki devre kurulur. Güç kaynağının değeri $V= 2 \text{ Volt}$ 'a ayarlandıktan sonra devreye direnç kutusundan seçilen 8 değişik direnç bağlanır ve ampermetreden geçen akımlar (I) okunarak Tablo 1'e işlenir.



Şekil 6

2. R dirençleri üzerindeki potansiyel düşmeleri $V/I=R$ bağıntısı kullanılarak hesaplanır ve sonuçlar Tablo 1'e işlenir. İlk değer için hesaplama aşağıdaki gibi yapılır.

$$R=$$

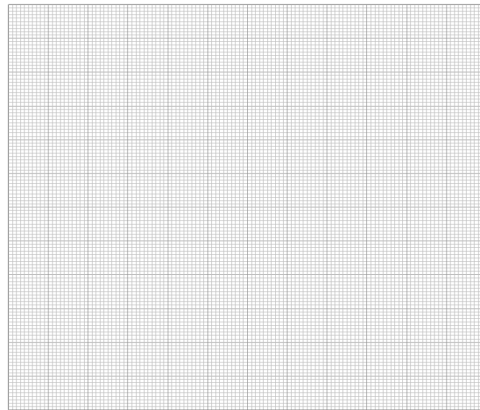
$$I=$$

$$V=I.R=$$

Tablo 1

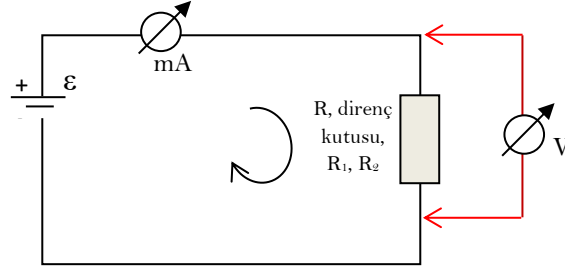
R	I	$V_{hes}=I.R$

3. Akım şiddetinin direnç değerlerine bağımlılığını gösteren $I=f(R)$ grafiği çizilir.



4. Şekil 7'deki devre, direnç kutusundan seçilen değerleri bilinmeyen R_1 ve R_2 dirençleri için ayrı ayrı kurulur. Güç kaynağının değeri $V= 2 \text{ Volt}$ 'a ayarlanarak dirençler üzerinden geçen akım değerleri (I) ve direncin uçları arasındaki potansiyel fark (V) ayrı ayrı ölçülür.

$V/I=R$ bağıntısı kullanılarak R_1 ve R_2 'nin ölçüm değerleri bulunur. Sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.



Şekil 7

Tablo 2

	I	V	$R_{ölçüm}$	R_{grafik}	R_{hesap}
R_1					*
R_2					*
R_S					
R_P					

5. R_1 ve R_2 dirençleri seri ve paralel olarak devreye bağlanarak devreden geçen akımlar ve eşdeğer direncin uçları arasındaki potansiyel farkları ölçülerek sonuçlar Tablo 2'ye işlenir. Bu ölçüm değerleri sıra ile $V/I=R$ bağıntısında yerlerine yazılarak R_S ve R_P ölçüm değerleri bulunur ve sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

6. $I=f(R)$ grafiğinden, ölçülen akımlarına karşılık gelen direnç değerleri bulunur. Sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

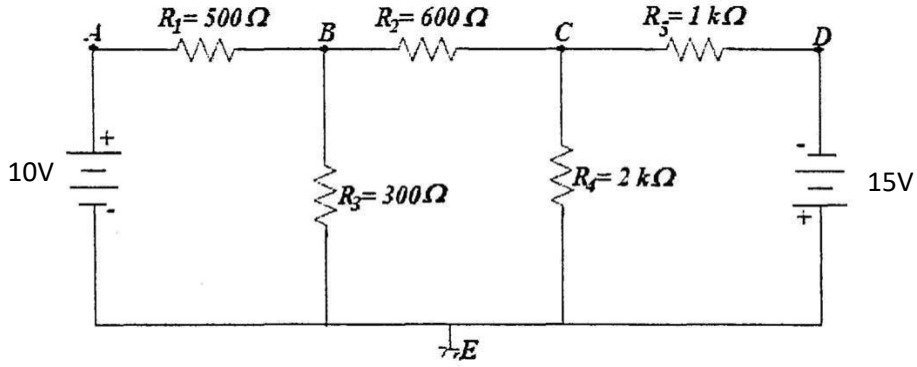
7. R_1 ve R_2 'nin grafikten bulunan değerleri, $R_1=$ $R_2=$

aşağıdaki bağıntılarında yerlerine konularak R_S ve R_P değerleri hesaplanır ve sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

$$R_S = R_1 + R_2$$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

8. Şekil 8'de görülen devre kurulur. Her bir elemandan geçen akımın şiddeti Kirchhoff kuralları kullanılarak bulunur ve Tablo 3'e işlenir.



Şekil 8

9. Her bir devre elemanının üzerindeki potansiyel fark ve üreteçten geçen akımın şiddeti ölçülür ve Tablo 3 'e işlenir. Akımın yönü belirlenir.

Tablo 3

	V_{AB}	I_{AB}	V_{BE}	I_{BE}	V_{BC}	I_{BC}	V_{CE}	I_{CE}	V_{CD}	I_{CD}
Hesap Sonucu										
Deneysel Sonuç										
Bağlı Hata										

10. Tablo 3'teki "Hesap Sonucu" ve "Deneysel Sonuç" satırlarına işlenmiş olan değerler arasında bağlı hata hesabı yapılır.

Sorular

1. Ampermetre ile voltmetre arasındaki en önemli fark nedir? Bir ampermetre voltmetre olarak kullanılabilir mi?
2. Emk, akım, direnç tanımlarını yaparak SI sisteminde birimlendiriniz.

E2 WHEATSTONE KÖPRÜSÜ

Deneyin Amacı:

1. Wheatstone köprüsü yöntemiyle direnç tayin edilmesi
2. Direncin direnç telinin kesit alanı ile orantısının incelenmesi
3. Özgül direncin belirlenmesi

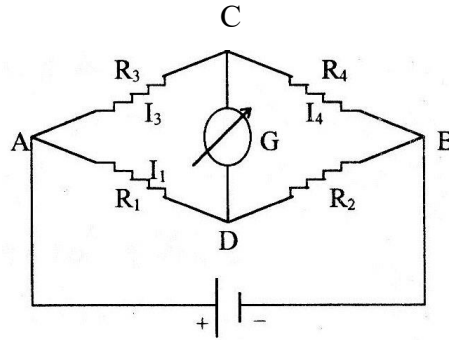
Teorik Bilgi:

1. Ohm Yasası: Bir iletkenen geçen elektrik akımının şiddeti, iletkenin uçları arasındaki potansiyel farkı ile orantılıdır. Gerilimin akımın şiddetine oranına direnç denir. Birimi *ohm* (Ω)'dur.

$$V = RI \quad (1)$$

2. Özgül Direnç: Bir telin direnci, telin uzunluğu ile doğru ve telin kesiti ile ters orantılıdır. Telin yapıldığı malzemeye bağlı olan orantı katsayısına *özell direnç* denir ve SI sisteminde birimi Ωm 'dir.

$$R = \rho l / A \quad (2)$$



Şekil 1

3. Wheatstone Köprüsü: Şekil 1'de prensibi verilmiş olan bir gerilim kaynağı ile dört direnç ve bir galvanometreden oluşan devreye *Wheatstone Köprüsü* denir. Dirençlerin değerlerinin değiştirilmesiyle galvanometrenin bulunduğu koldan akım geçmemesi ($V_{CD}=0$) sağlanabilir. Bu duruma *denge* denir.

Denge koşulu;

$$V_{AC} = V_{AD} \quad \text{ve} \quad V_{CB} = V_{DB} \quad \text{dir.}$$

O zaman;

$$I_2 = I_1 \quad \text{ve} \quad I_4 = I_3$$

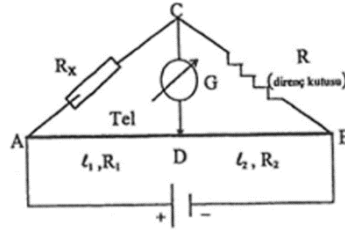
olmalıdır. Bu denge koşulu bir direncin sadece diğer direnç değerleriyle hesaplanması için elverişlidir. Zira;

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad \text{ve} \quad I_2 R_2 = I_4 R_4$$

Ancak denge koşulunda akımların eşitliğinden;

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{veya} \quad R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (3)$$

elde edilir. Pratikte A ve C noktaları arasında bilinmeyen bir R_x direnci, C ve B noktaları arasında bir direnç kutusu bulunur (Şekil 2).



Şekil 2

A ve B noktaları arasında bir direnç teli gerilidir. Direnç kutusundan seçilen uygun bir direnç değeri için D sürgüsü bu tel üzerinden kaydırılarak denge elde edilir. O zaman telde ölçülen uzunluklar l_1 ve l_2 ise, (2) bağıntısından;

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{A} \quad \text{ve} \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{A}$$

Telin özgül direnci ve kesiti bilirse R_1 ve R_2 dirençleri bulunabilir. Ancak denge koşulunda, bu iki direncin sadece oranı önemli olduğundan,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

dir. O zaman, direnç kutusundan seçilen direnç değeri R ise (3) bağıntısından;

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{R_x}{R} \quad \text{veya} \quad R_x = \frac{l_1}{l_2} R \quad (4)$$

bulunur. Dolayısıyla bilinmeyen R_x direnci denge durumunda okunan l_1 ve l_2 uzunlukları ve direnç kutusundan seçilen R direnci yardımıyla hesaplanmış olur.

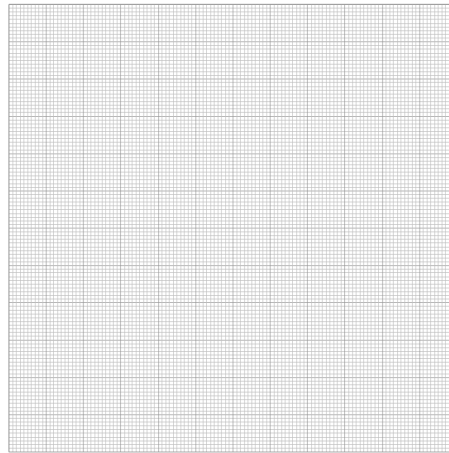
4. Şekil 2' de verilen devrede bu kez R_x direnci yerine farklı **çaplarda (d)** ve uzunlukları yaklaşık **$1m$** olan direnç telleri kullanılarak, D sürgüsü yardımıyla denge sağlanır. l_1 ve l_2 uzunlukları cetvelden okunarak telin R_d direncinin değeri (4) denklemi kullanılarak hesaplanır ve sonuçlar Tablo-2'e işlenir.

5. Tablo-2'te bulunan değerler kullanılarak V/A oranları hesaplanarak Tablo-3'e işlenir ve $R_d=f(V/A)$ eğrisi çizilir. Noktaların doğrusal olarak sıralanması beklenir, ancak direnç değerlerinin belirlenmesi sırasında yapılan hatalar sebebiyle sapmalar yaşanabilir.

Tablo-3

$R_d(...)$	$V/A(...)$	ρ (Deneysel)	ρ (Gerçek)	Bağlı Hata
			$5 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ (CuNi)	

6. Telin özgül direnci, çizilen $R_d=f(V/A)$ grafiğinin eğiminden hesaplanır.



Grafik-1: $R_d=f(V/A)$ grafiği

6. Telin özgül direncinin gerçek değeri ile deneysel olarak hesaplanan değeri arasında bağlı hata hesaplanır, Tablo-4'e işlenir.

Sorular:

1. Pratikte kullanılan dirençlerin tolerans değerleri nedir?
2. Bir iletkenin direnci nelere bağlıdır? Açıklayınız.
3. Galvanometre ne tür bir ölçü aletidir?
4. Bu deney alternatif akım kullanılarak yapılabilir mi?

E3 KONDANSATÖRÜN YÜKLENMESİ VE BOŞALTIMASI

Deneyin Amacı:

Bir devre elemanına uygulanan enerji tümüyle bir elektrik alanda toplanıyorsa **kondansatör** elemanı adı verilir. Başka bir deyişle kondansatörler elektrik yükü depo eden devre elemanlarıdır. Birimi *farad* (F) dır. Kondansatörlerin elektrik enerjisini depolama işlemine **ŞARJ (Charging)**, depolanan bu enerjinin herhangi bir yüke aktarılmasına **DEŞARJ (Discharging)** denir. Bu deneyde,

1. Kondansatör elemanı ile tanışılması,
2. Kondansatörün yüklenmesi ve boşalmasının incelenmesi ve
3. Devrenin zaman sabitinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Teorik Bilgi:

Kapasite ve Kondansatör

Noktasal bir q elektrik yükünün etkisindeki uzayın, bu yüke r uzaklığındaki herhangi bir noktadaki potansiyeli

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Bu yükten r uzaklıktaki tüm noktalar V potansiyelinde olup bir eşpotansiyel yüzey oluştururlar. Benzer olarak R yarıçaplı bir iletken kürenin dış yüzeyi bir eşpotansiyel yüzeydir ve potansiyeli de V_+ , q yükünün pozitif yük olduğunu belirtmek üzere,

$$V_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \quad (2)$$

ile verilir.

Dolayısıyla, q/V oranı, R yarıçapına bağlı olup sabittir. Bu yüklü kürenin uzağında ($>R$), yine R yarıçaplı fakat $-q$ yüklü diğer bir küre göz önüne alındığında, bu kürenin yüzeyindeki

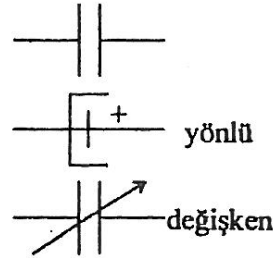
potansiyel $V_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$ ve iki küre arasındaki potansiyel farkı

$$V = V_+ - V_- = \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \quad (3)$$

şeklindedir. Dolayısıyla kürelerin belirli bir durumu için yine q/V oranı sabit olacaktır. İşte bu orana kapasite (sığa) adı verilir.

$$C = \frac{q}{V} \quad (4)$$

ile belirtilir. C kapasitesinin SI birim sistemindeki birimi Farad (F) dır. En genel halde eşit ve zıt yüklü iki iletkenin oluşturduğu sisteme kondansatör denir. Kondansatörün şematik gösterimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1

Bu iki iletken arasında boşluk veya hava yerine mika, kâğıt, yağ gibi dielektrik malzeme bulunabilir. Bu durumda kondansatörün yeni kapasitesi

$$C_d = kC \quad (5)$$

ile verilir. Burada, k dielektrik sabitidir. Kondansatörü oluşturan iletkenlerde zıt işaretli elektriksel yükler, Kondansatörün bir üretcin uçlarına bağlanması ile elde edilebilirler. Ancak bir iletkeni yüklemek için bir işe ihtiyaç vardır. Yapılan iş, bu iletkenin elektriksel potansiyel enerjisinin artmasına neden olur. Örneğin yüklü bir kondansatörün potansiyel enerjisi onu yüklemek için gerekli W işinden ileri gelir.

Uçarı arasındaki potansiyel farkı V olan yüklü bir kondansatörün q' yükünü dq' kadar arttırmak için gerekli iş;

$$W = \int dW = \int_0^q \frac{q'}{C} dq' \quad (6)$$

olur. Bu durumda kondansatörün U potansiyel enerjisinin

$$W(=U) = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (7)$$

olması gerekir. Bu bağıntı (4) nolu bağıntı ile birleştirilirse:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (8)$$

olur.

Kondansatörlerin Paralel ve Seri Bağlanmaları

Kondansatörlerin birer uçlarının Şekil-2'deki gibi bağlanması ile oluşan kondansatörler sistemine “paralel bağlanma” olarak adlandırılır. Bu durumda her bir kondansatörün uçları

arasındaki potansiyel farkları eşit olur. Böyle bir sistemin toplam yükü her bir kondansatörün yüklerinin toplamı olacağından;

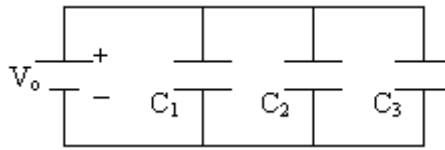
$$q = q_1 + q_2 + \dots = V (C_1 + C_2 + \dots) \quad (9)$$

olur. Dolayısıyla bu sisteme eşdeğer tek bir kondansatörün C kapasitesi;

$$C = \frac{q}{V} = C_1 + C_2 + \dots \quad (10)$$

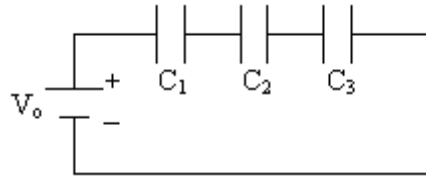
O halde paralel bağlanmış n adet kondansatörün kapasitesi;

$$C = C_1 + C_2 + \dots = \sum_n C_n \quad (11)$$



Şekil 2

İki uç arasında birçok kondansatörün Şekil 3'deki gibi birbirini izleyerek bağlanması ile oluşturulan kondansatör sistemi "seri bağlanma" olarak adlandırılır.



Şekil 3

Bu durumda sistemi oluşturan kondansatörlerin yükleri birbirine eşittir. Fakat potansiyel farkları farklıdır. Seri bağlanmış bir devrenin iki ucu arasındaki potansiyel farkı, her bir devre elemanının potansiyel farklarının toplamına eşittir.

$$V = V_1 + V_2 + \dots = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \right) \quad (12)$$

Dolayısıyla bu sistemin eşdeğer sığası;

$$C_{es} = \frac{q}{V} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots} \quad (13)$$

dir.

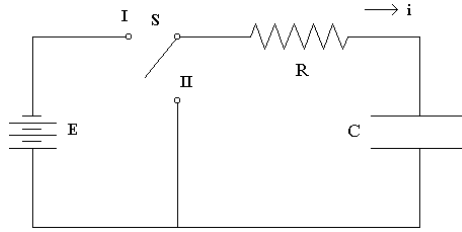
O zaman n adet seri bağlanmış bir kondansatör sisteminin eşdeğer sığası da;

$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots = \sum_n \frac{1}{C_n} \quad (14)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Kondansatörlerin Yüklenmesi

Bir direnç ve bir kondansatörden oluşan ve Şekil 4’de görülen seri RC devresindeki S anahtarı I konumunda olduğunda devreden i akımı geçer.



Şekil 4

Kondansatörün yükü de dt süresinde;

$$dQ = idt \quad (15)$$

kadar artar. Bu artma gerilim kaynağının bu sürede sağladığı EdQ enerji sayesinde gerçekleşir. Bu enerjinin i^2Rdt kadarı R direncinde joule ısıısını, kalanı ise bu sürede kondansatörde,

$$dW = d\left(\frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}\right) \quad (16)$$

kadar enerjinin birikimini sağlar.

Buna göre $EdQ = i^2Rdt + d\left(\frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}\right)$ olup, C kapasitesi sabit olduğuna göre

$$EdQ = i^2Rdt + \frac{Q}{C} dQ \quad (17)$$

dir. Ancak bu son bağıntı, (15) yardımıyla

$$E = iR + \frac{Q}{C} \quad (18)$$

şekline dönüşür.

Esasen bu bağıntı Şekil 4’deki devreye çizim kuralı uygulanarak da elde edilebilir. (17) bağıntısı, I. Dereceden bir diferansiyel denklem olup, genel çözümü

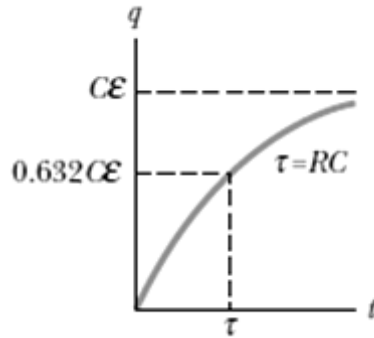
$$Q = EC - Ae^{-\frac{t}{RC}} \quad (19)$$

dir. A sabitinin fiziksel anlamı, kondansatörün ilk durumuna göre belirlenir. Örneğin başlangıçta kondansatör yüksüz ise, $t = 0$ da $Q = 0$ ilk şartı ile $A = EC$ dir. Bu takdirde son bağıntı

$$Q = EC(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (20)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denkleme göre kondansatörde toplanan Q yükünün zamana bağlı değişimi Şekil 5'deki gibidir. Bu eğriye kondansatörün yükleme (şarj) eğrisi denir.

Kolay anlaşılacağı üzere $t \rightarrow \infty$ için (20) bağıntısı $Q = EC$ şekline dönüşür. Bunun fiziksel anlamı, kondansatörde toplam yük $Q = EC$ değerine eriştiğinde $i = 0$ olur ve devreden anlık akım geçmez şeklinde ifade edilir. Kondansatör uçları arasındaki V gerilim farkı (1) bağıntısına göre Q ile doğru orantılı olduğundan,



Şekil 5

$$V = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (21)$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdaki V_0 devrede kullanılan gerilim kaynağının baştaki gerilimi, yani E_{mk} 'dir. Bu taktirde kondansatör uçlarındaki V gerilimi de zamana bağlı olarak Şekil 5'e benzer olarak değişir. Diğer taraftan Şekil 4 de verilen devreden geçen i akımı, (15) ve (20) bağıntılarından

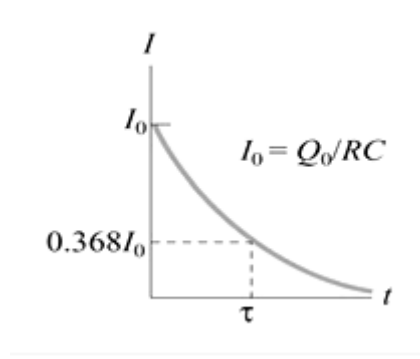
$$i = \frac{E}{C} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (22)$$

şeklinde ifade edilir. Kondansatörün yüklenmesi esnasında devreden geçen i akımının zamana göre değişimi Şekil 6 daki gibidir.

Öte yandan $\tau = RC$ süresi için, (17) ve (22) bağıntılarından,

$$Q = EC(1 - \frac{1}{e}) \cong 0.63EC \quad \text{ve} \quad i = \frac{E}{R} \frac{1}{e} \cong 0.37 \frac{E}{R}$$

değerleri elde edilir. İşte i akımının, başlangıçtaki yükünün yaklaşık % 63 artmasına kadar geçen süre kondansatörün zaman sabiti (τ) denir.



Şekil 6

$$\tau = RC \quad (23)$$

τ zaman sabiti Şekil 5 veya Şekil 6 daki eğrilerin yarı logaritmik çizilmesiyle elde edilen doğruların eğiminden deneysel olarak da belirlenebilir.

Kondansatörlerin Boşalması

Kondansatörde Q_0 yükünün toplanmasından sonra Şekil 4 deki S anahtarı I konumundan II konumuna getirildiğinde, bu yük R direnci üzerinden boşalır. Dolayısıyla devrede şarj akımı " i " nin ters yönünde bir i' akımı oluşur. Kondansatörün Q' yükü de zamanla azalır. Bu taktirde, (15) ve (17) bağıntılarından

$$\frac{dQ'}{dt} + \frac{Q'}{RC} = 0 \quad (24)$$

elde edilir. Bu homojen diferansiyel denklemin çözümü de, $t = 0$ için $Q' = Q_0$ ilk şartı ile,

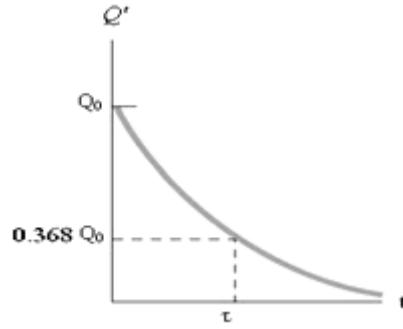
$$Q' = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (25)$$

dir. Bu denkleme göre Q' nün, başka bir deyişle başlangıçtaki Q_0 yükünün zamana bağlı değişimi Şekil 7'deki gibidir.

Bu eğri kondansatörün boşalma (deşarj) eğrisi olarak adlandırılır. Kondansatörün uçları arasındaki V' gerilimi de (1) bağıntısına göre, eğri $t = 0$ anındaki, yani kondansatörün boşalmaya başladığı anda uçları arasındaki gerilim $V_0 = Q_0/C$ ise

$$V' = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (26)$$

dir ve değişimi Şekil 7'deki gibidir.

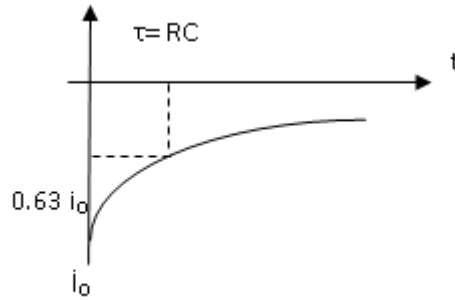


Şekil 7

Kondansatörün boşalma esnasında i' akımı, $t = 0$ için $i' = i_0 Q_0 / RC$ ise (15) ve (25) veya (26) bağıntısından

$$i' = -i_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (27)$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdaki (-) işareti i' akımının yüklenme durumundaki i ye göre ters yönde olduğunu göstermektedir. Bu akımın zamana bağlı değişimi Şekil 8 deki gibidir.



Şekil 8

Kondansatörün (23) bağıntısı ile verilen zaman sabitinin, (25) ve (27) denkleminde veya Şekil 7 ve Şekil 8 den belirlenmesi mümkündür. Ancak belirli bir seri RC devresi için, şarj veya deşarj durumlarında hesaplanan zaman sabitleri eşittir. Başka bir RC devresinde τ zaman sabiti değişmez.

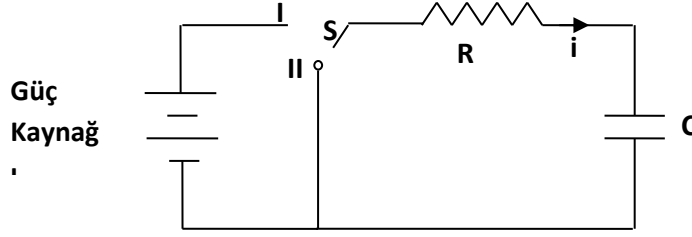
Diğer taraftan kondansatörün $t \gg \tau$ süre şarj edilmesinden, başka bir deyişle kondansatörde

$Q = EC$ yükünün toplanmasından sonra, Şekil 4 deki S anahtarı I konumundan II konumuna getirilerek kondansatör deşarj edildiğinde (25) ve (27) denkleminde $t = 0$ için;

$$Q_0 = EC \quad \text{ve} \quad i_0 = \frac{E}{R} \quad (27)$$

Deneyin Yapılışı:

Şekil 1’de gösterilen devre kurulur.



Şekil 1. R-C devresinin şeması.

Deneyde kullanılacak kondansatör ve direnç çiftinin C ve R değerleri belirlenerek **Tablo 1**’e işlenir.

Kondansatörün ve direncin uçları arasındaki gerilim farklarının tespiti için multimetre (çoklu ölçer) hem kondansatörün hem de direncin ucuna ayrı ayrı paralel olarak bağlanır. Daha sonra çoklu ölçerler ve güç kaynağı açılır. Devreye uygulanacak gerilim 9V'a ayarlanır.

Şarj durumu için, S anahtarı I konumuna getirilir ve süreölçer(kronometre) çalıştırılır.

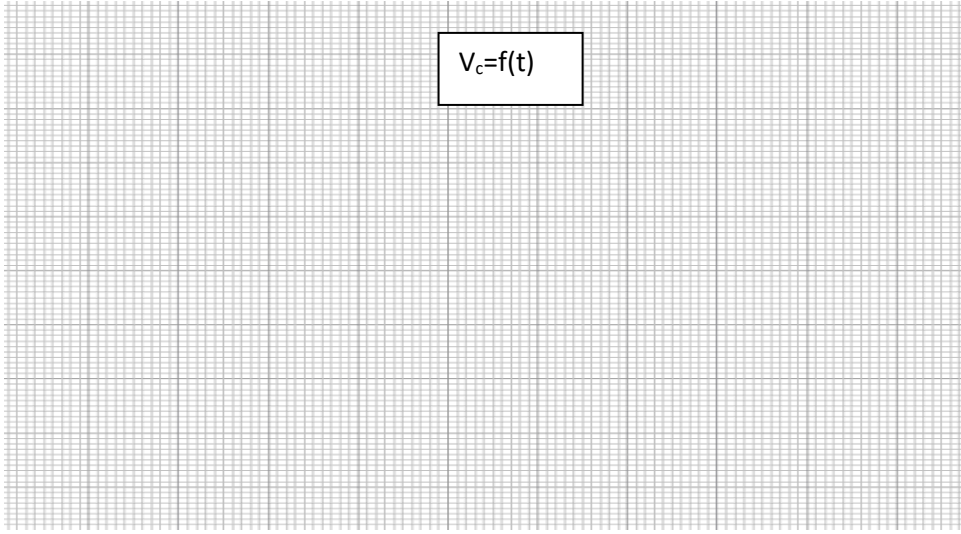
Kondansatörün uçları arasına bağlanan V_C geriliminin her $1 V'luk$ (1, 2, 3, ...) değerinde süreölçerinin gösterdiği süre ve direncin uçları arasındaki V_R değeri ölçülerek **Tablo 1**’e işlenir. Bu işleme $V_C = V$ oluncaya kadar devam edilir.

S anahtarı süreölçer kapatılmadan I konumundan II konumuna (deşarj) alınır vedeşarj durumu için $V_C = 0$ oluncaya kadar her $1 V'luk$ değişim ölçülerek, kondansatör üzerindeki gerilimin zamana bağlı değişimi incelenir ve sonuçlar **Tablo 1**’e işlenir.

Tablo 1. Şarj vedeşarj durumuna ait gerilim ve süre değerleri.

$C_1 = \dots\dots\dots()$, $R_1 = \dots\dots\dots()$						$C_2 = \dots\dots\dots()$, $R_2 = \dots\dots\dots()$					
Şarj			Deşarj			Şarj			Deşarj		
$V_C()$	$V_R()$	$t()$	$V_C()$	$V_R()$	$t()$	$V_C()$	$V_R()$	$t()$	$V_C()$	$V_R()$	$t()$
1			6			1			6		
2			5			2			5		
3			4			3			4		
4			3			4			3		
5			2			5			2		
6			1			6			1		
7			0			7			0		

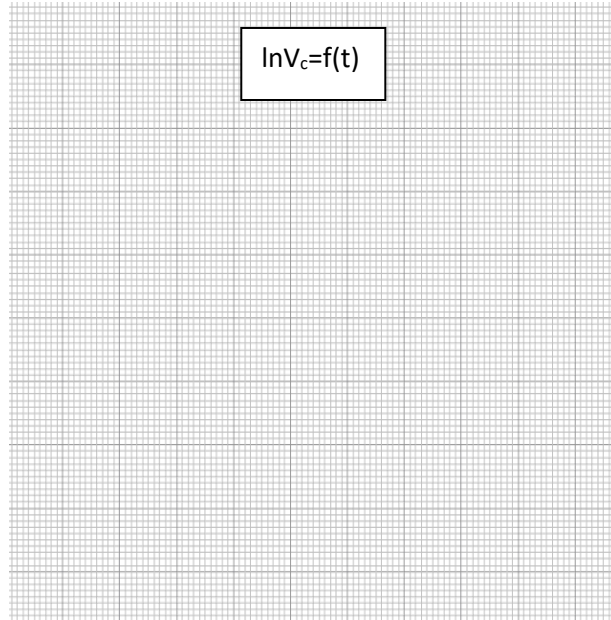
Tablo 1'deki değerlerden yararlanarak şarj ve deşarj durumlarına ait $V_C = f(t)$ eğrileri çizilir.



Tablo 1'deki herhangi bir R ve C değerinin deşarj durumlarına ait $\ln V_C = f(t)$ eğrisi çizilerek doğrunun eğiminden τ zaman sabiti belirlenir. Bu değer teorik değer ile kıyaslanarak bağıl hata hesabı yapılır.

$$R = \dots\dots\dots \quad \tau_{\text{grafik}} = \dots\dots\dots \quad \frac{|\tau_{\text{gerçek}} - \tau_{\text{deneysel}}|}{\tau_{\text{gerçek}}} \times 100 = \dots\dots\dots$$

$$C = \dots\dots\dots \quad \tau_{\text{teorik}} = \dots\dots\dots$$

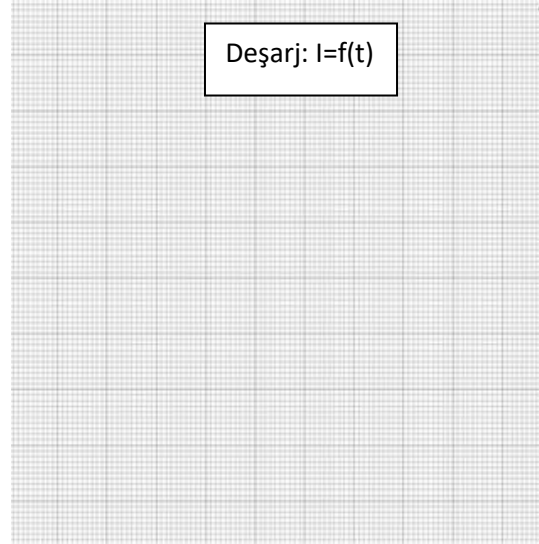
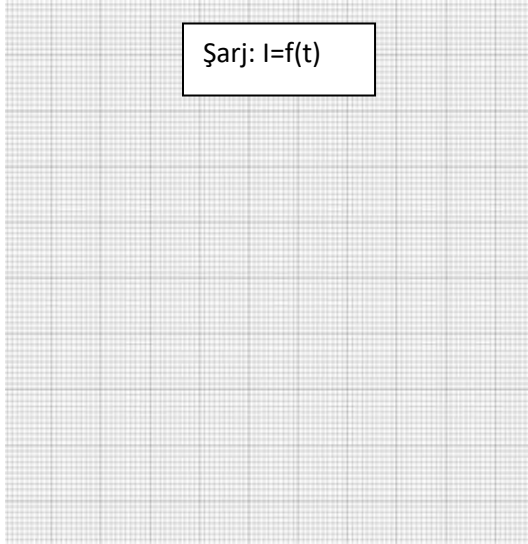


Ohm kanunu ($i = V_R/R$) kullanılarak şarj ve deşarj durumuna ait akım değerleri hesaplanarak **Tablo 2**'ye yazılır.

Tablo 2. Şarj ve Deşarj durumlarına ait akım ve süre değerleri.

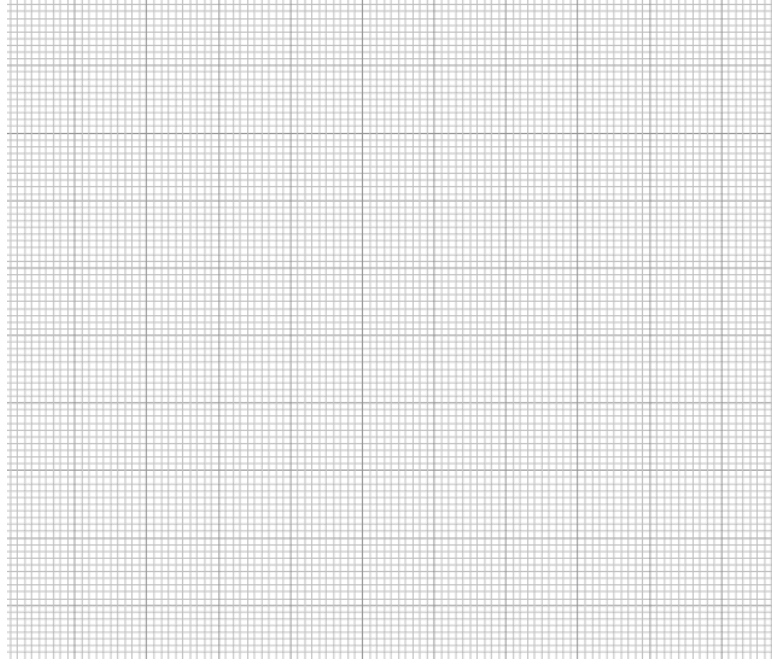
C =(), R =()									
Şarj					Deşarj				
$V_c(\dots)$	$\ln V_c$	$i(\dots)$	$\ln i(\dots)$	$t(\dots)$	$V_c(\dots)$	$\ln V_c$	$i(\dots)$	$\ln i(\dots)$	$t(\dots)$
1					6				
2					5				
3					4				
4					3				
5					2				
6					1				
7					0				

Tablo 2'deki değerlerden şarj ve deşarj durumlarına ait $i = f(t)$ eğrileri çizilir.



Şarj ve deşarj durumlarına ait akım değerlerinin logaritmik değerleri hesaplanarak sonuçlar **Tablo 2'**ye işlenir ve şarj durumuna ait değerler için $\ln i(\mu A) = f(t)$ eğrisi çizilir. Çizilen eğrinin eğiminden zaman sabiti $\tau_{deneysel}$ belirlenir. Bulunan sonuç, gerçek değer ($\tau_{teo} = R C$) ile kıyaslanarak bağıl hata hesabı yapılır.

$$\tau = R C = \dots\dots\dots (s)$$



$$\ln i (\mu A) = f(t)$$

Sorular

1. Kondansatörler hangi alanlarda kullanılır? Araştırınız.

E4 MANYETİK İNDÜKSİYON

Deneyin Amacı:

1. Bir selenoidin oluşturduğu değişken manyetik alanın incelenmesi.
2. Değişken manyetik alandaki bir bobinin uçlarında oluşan indüksiyon geriliminin bazı büyüklüklere bağlılığının araştırılması.

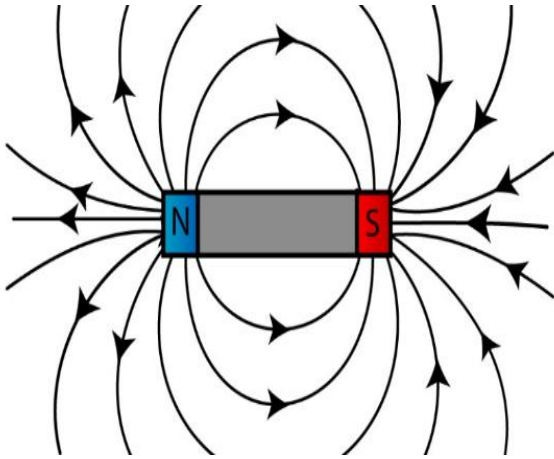
Teorik Bilgi:

Alternatif Gerilim: Uçları arasındaki potansiyel farkı zamana bağlı olarak periyodik bir değişme gösteren gerilim kaynağına alternatif gerilim kaynağı denir. Bu değişme genellikle sinüs biçimindedir. Böyle bir gerilim kaynağının uçları arasındaki potansiyel farkına alternatif gerilim denir.

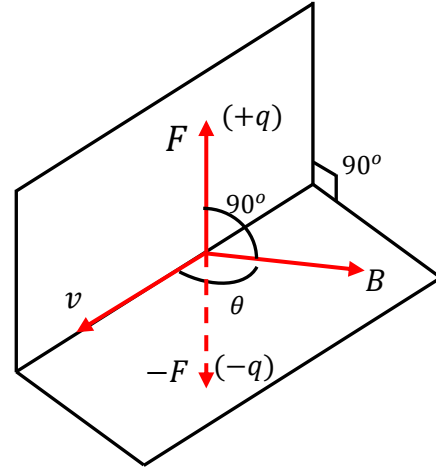
Bir mıknatıs veya hareketli elektrik yüklerinin bulunduğu ortamda bir manyetik alan oluşur. Elektrik alanın kuvvet çizgilerine benzer olarak, bir mıknatısın N kutbundan S kutbuna yönelen kapalı hayali çizgilere de manyetik alan veya manyetik indüksiyon çizgileri denir (Şekil 1). Manyetik alan içindeki kapalı bir S yüzeyinden geçen toplam çizgi sayısı "manyetik akı" olarak tanımlanır. Φ manyetik akısı

$$\Phi = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

bağıntısıyla belirlenir. Bu bağıntıdaki B , manyetik alanı tanımlayan, E elektrik alan vektörünün benzeri manyetik indüksiyon vektörü olarak adlandırılır. SI birim sistemindeki birimi Weber (Wb)'dir.



Şekil 1



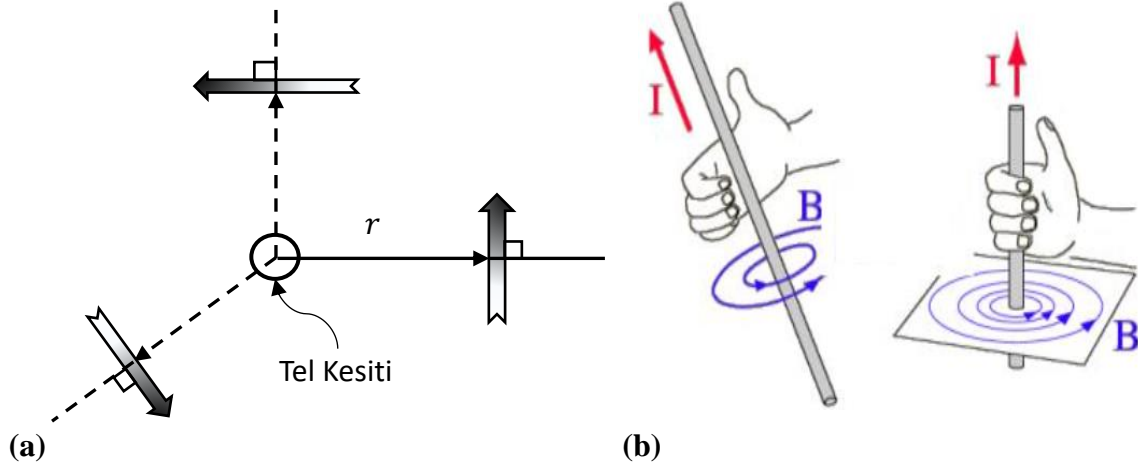
Şekil 2

Yapılan deneyler; bir manyetik alanda hareket eden q elektrik yükünün hızının doğrultusu bulunduğu düzlemde kalarak değiştiğinde, yüke etki eden manyetik kuvvetin doğrultu ve yönünün değişmediğini fakat büyüklüğünün değiştiğini, ayrıca hareket eden yükün işaretinin değişmesi halinde bu kuvvetin 180° saptığını göstermektedir. Bu takdirde q elektrik yükünün, v ortalama hızı ve B manyetik indüksiyon vektörü ile tanımlanan bir manyetik alanda hareket etmesi halinde oluşan F manyetik kuvvet (Şekil 2),

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

bağıntısıyla belirlenir. Dolayısıyla B 'nin büyüklüğü, yani şiddeti $B = F/qv\sin\theta$ 'dır, B 'nin SI birim sistemindeki birimi Wb/m^2 'dir.

Ampere Kanunu: Akım geçen bir iletkenin, örneğin bir telin yakınına getirilen bir mıknatıs ibresinin kuzey-güney doğrultusundan hemen saptığı ve telin merkezi ile mıknatıs ekseninden geçen doğruya dik bir konum aldığı görülür (Şekil 3-a).



Şekil 3

O halde, akımın bir noktada oluşturduğu manyetik alanın B manyetik indüksiyon vektörü, o noktada mıknatıs ibresinin aldığı yönde ve iletkenin merkezi ile bu noktayı birleştiren doğruya dik olmalıdır (Şekil 3-b). Başka bir deyişle B manyetik alanının yönü, merkezi tel olan eş merkezli dairelere teğettir. B 'nin yönü sağ el kuralı ile bulunabilir: Baş parmak akım yönünü gösterdiğinde, diğer parmaklar \vec{B} 'nin yönünü verir (Şekil 3-b). Yapılan deneylerde akım ne kadar büyükse oluşan manyetik alanın da o derece büyük olduğu, akım geçiren iletkenin uzaklaştıkça manyetik alanın azaldığı gözlenmiştir; yani I akım ve r uzaklık olmak üzere $B \approx I/r$ 'dir. Orantı katsayısı $\mu_0/2\pi$ ise B 'nin büyüklüğü,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (3)$$

olur. Bu bağıntıdaki μ_0 manyetik geçirgenlik olarak adlandırılır.

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{Wb}}{\text{A.m}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T.m}}{\text{A}}$$

Diğer taraftan (3) bağıntısındaki $2\pi r$ 'nin r yarıçaplı dairenin çember uzunluğu olduğuna dikkat edilirse, bu bağıntı

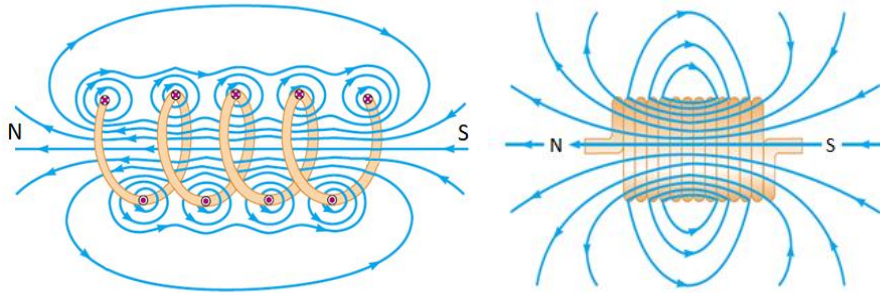
$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \cdot I \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu bağıntıya "*Ampere Kanunu*" denir. Ampere kanunu yalnızca çizgisel akım için değil, herhangi bir şekildeki iletkenen geçen akım, daha doğrusu herhangi bir kapalı alan içinde geçerlidir. Örneğin içinden akım geçen ince ve uzun bir telden R uzaklığındaki B manyetik indüksiyon vektörünün şiddeti, bu bağıntıya göre B ve dl arasındaki açı 0° olduğundan;

$$\oint B \cdot dl = B \oint dl = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

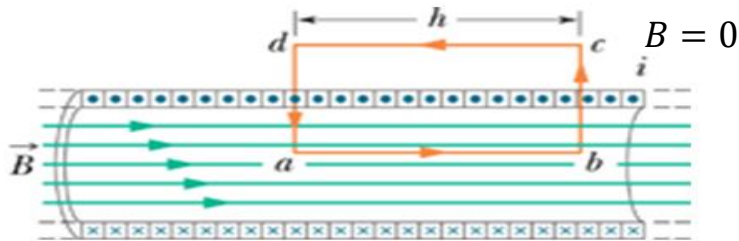
şeklindedir. Bu ise deneysel olarak elde edilmiş (3) bağıntısının aynısıdır.

Solenoidin Manyetik Alanı: Uzun bir telin genellikle birbirine değecek şekilde yan yana sarılması ile elde edilen bobin kısaca *solenoid* olarak anılır. (Pratikte dairesel kesitli solenoidler kullanılır.) Akım geçen bir solenoidin içinde ve yakın çevresinde bir manyetik alan oluştuğu, yakınına getirilen bir mıknatısın ibresinin kuzey-güney doğrultusundan hemen sapmasından kolayca anlaşılabilir. Solenoidin bu akım geçirildiğinde oluşan manyetik alan çizgileri mıknatıslardaki gibi N kutbundan çıkıp S kutbuna yönelirler ve solenoid içinden geçerek kapalı akım çizgileri oluştururlar (Şekil 4). Dolayısıyla mıknatıs gibi solenoidde de N-S kutuplarından söz edilir. Solenoidden geçen akımın yönü değiştiğinde N-S kutupları, yani manyetik alanın yönü değişir.



Şekil 4

Çok uzun olan ideal bir solenoidin yalnız içinde manyetik alan vardır, ancak pratikte solenoidin dışında da küçük de olsa bir manyetik alan mevcuttur.



Şekil 5

Şekil 5'de görülen ideal bir solenoidin herhangi bir dikdörtgen kapalı eğrisine Ampere kanunu uygulanırsa;

$$\oint B dl = \int_a^b B dl + \int_b^c B \cdot dl + \int_c^d B \cdot dl + \int_d^a B \cdot dl = \mu_0 I$$

ve sınırlı integrallerin değerleri ile,

$$Bh \cos 0^\circ + Bh \cos 90^\circ + bh \cos 180^\circ + Bh \cos 270^\circ = Bh$$

dır, bu takdirde;

$$Bh = \mu_0 I \quad (5)$$

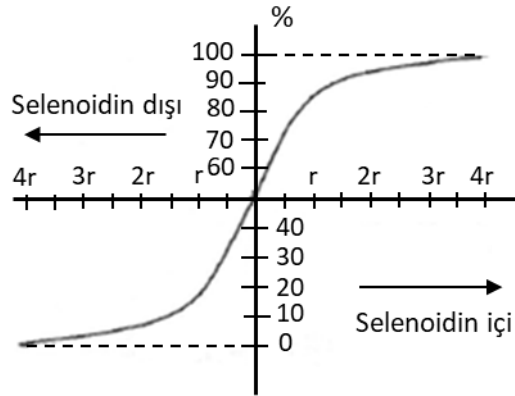
olur. Ancak bu son bağıntıdaki selenoidden geçen I_0 akımından farklıdır: zira I abcd kapalı alanından geçen akımdır. Bu kapalı alanın h uzunluğundaki birçok sarım olduğundan bir sarımdan geçen, yani selenoidi kat eden I_0 akımı ve birim uzunluk başına selenoidin sarım sayısı n ise, $I = I_0(nh)$ 'dir. Dolayısıyla ideal bir selenoidin içinde oluşan B manyetik indüksiyonunun şiddeti

$$B = \mu_0 I_0 n \text{ 'dir} \quad (6)$$

Bu takdirde uzunluğu L ve toplam sarım sayısı N olan ideal bir selenoid içindeki manyetik indüksiyon (6) yardımıyla,

$$B = \mu_0 I_0 \frac{N}{L} \quad (6')$$

bağıntısıyla ifade edilir. Her ne kadar bu son iki denklem ideal selenoidler için geçerli ise de, pratikte kullanılan çok uzun, daha doğrusu uzunlukları çaplarına göre çok büyük olan selenoidlerde de kullanılmaları çok fazla hataya neden olmaz: zira yarıçapı r olan uzun bir selenoidin ekseninde oluşan manyetik indüksiyonun, selenoidin içinde ve dışındaki % değişimi Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 6

Diğer taraftan böyle bir selenoidin I_0 doğru akımı yerine f frekanslı $I = I_m \sin 2\pi ft$ şeklinde ifade edilen bir alternatif akım geçerse selenoid içinde oluşan zamana bağlı B manyetik indüksiyon vektörünün şiddetinin (6) ve (6') yardımıyla,

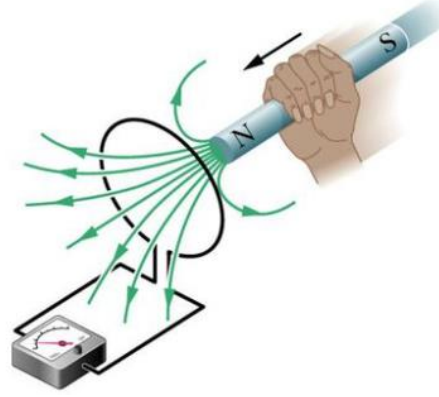
$$|\vec{B}| = \mu_0 n I = \mu_0 n I_m \sin 2\pi ft \quad (7)$$

veya

$$|\vec{B}| = \mu_0 \frac{N}{L} I = \mu_0 \frac{N}{L} I_m \sin 2\pi f t \quad (7')$$

şeklinde ifade edileceği ve uygulanan alternatif gerilimin frekansıyla değişeceği aşıkardır.

Faraday-Henry Kanunu: Kapalı bir devre oluşturan Şekil 7’de verilen çerçeveye doğru hızla yaklaştırılan bir mıknatıs devredeki ölçü aletinde bir sapma meydana getirir.



Şekil 7

Mıknatısın çerçeveden uzaklaştırılmasında da ölçü aleti sapar, fakat bu sefer sapma ters yöndedir. Ancak ölçü aletindeki bu sapma sadece hareket süresince gözlenir. Diğer taraftan ölçü aletindeki bu sapmalar mıknatıs sabit tutulup çerçevenin hızla yaklaştırılması veya uzaklaştırılmasıyla da elde edilir. Başka bir deyişle, mıknatısın veya çerçevenin hareketi süresince devreden akım geçer. Ancak, akım bir potansiyel veya bir elektromotor kuvveti ile sağlanabileceğine göre, hareket süresince kapalı devrede bir emk'nın oluşması gerekir. Çerçeveden geçen bu akıma indüksiyon akımı oluşan emk'ya da indüksiyon elektromotor kuvveti (\mathcal{E}_{emk}) denir. Kapalı devrede oluşan bu \mathcal{E}_{emk} , bu devreden geçen ve (1) bağıntısı ile belirlenen manyetik akımın değişimi sonucunda oluşur. Başka bir deyişle "bir devrede \mathcal{E}_{emk} , devreden geçen manyetik akımın zamana göre değişimine eşittir" yani \mathcal{E}_{emk} ,

$$\mathcal{E}_{emk} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (8)$$

denklemleri ile belirlenir. Buna "Faraday-Henry kanunu" denir. Bağıntıdaki (-) işareti, oluşan \mathcal{E}_{emk} 'nin manyetik alan akısının değişimini azaltacak nitelikte olduğunu belirtir. Buna "Lenz yasası" denir. Diğer taraftan N sarımdan oluşan kapalı bir devrede meydana gelen \mathcal{E}_{emk} , her bir sarımda oluşan \mathcal{E}_{emk} 'lerin toplamıdır.

$$\mathcal{E}_{emk} = -N \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(N\phi)}{dt} \quad (9)$$

SI birim sisteminde \mathcal{E}_{emk} 'nin birimi *Weber/saniye = Volt(V)*'tur.

İçinden akım geçen bir bobin veya selenoid, bir mıknatıs gibi davrandığından bunların yakınındaki veya içindeki bu kapalı devrede benzer şekilde \mathcal{E}_{emk} oluşturulabilir. Ancak bunun

için bu devreden geçen Φ akısının, dolayısıyla bobin veya selenoidin oluşturduğu B manyetik indüksiyonun zamana göre değişimi gerekir. Bu ise selenoide bir alternatif gerilimin uygulanmasıyla kolayca sağlanabilir. Örneğin uzun bir selenoidden (6') bağıntısıyla verilen I akımı geçirildiğinde, selenoid içindeki manyetik indüksiyonun şiddeti (7') bağıntısıyla değişir. Böyle bir bobin içine, sarım sayısı N' ve dik kesiti A' olan ince bir bobin yerleştirilirse bundan geçen manyetik akı, (1) ve (7') bağıntılarından,

$$\phi = \oint_A (\vec{B} \cdot d\vec{S}) = B \cdot A' = \mu_0 \frac{N}{L} A' I_m \sin 2\pi f t \text{ 'dir. Dolayısıyla bu ince bobinin iki ucu arasında}$$

oluşan ε_{emk} , yani v_i' gerilim farkı, bu son bağıntı ile (6)'den;

$$v_i' = -N' \frac{d}{dt} \left(\mu_0 \frac{N}{L} A' I_m \sin 2\pi f t \right) \quad (10)$$

veya

$$v_i' = - \frac{\mu_0 N N' A' \cdot 2\pi f \cdot I_m}{L} \cos 2\pi f t \quad (11)$$

v_i' indüklenen gerilimin ani değeridir.

Ancak $v_i = V_m \sin \alpha$ gibi bir alternatif gerilimin voltmetre ile ölçülen V etkin (efektif) değeri,

$$V = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2 d\alpha \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$K = \frac{\mu_0 N N' A' \cdot 2\pi f}{L} \quad (13)$$

$\alpha = 2\pi f t$ ise,

$$v_i' = \left[\frac{1}{2\pi} K^2 I_m^2 \int_0^{2\pi} (-\cos \alpha)^2 d\alpha \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{2\pi} K^2 I_m^2 \pi \right]^{1/2} \quad (14)$$

olduğundan,

$$v_i' = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\mu_0 N N' A' \cdot 2\pi f}{L} I_m \text{ 'dir.} \quad (15)$$

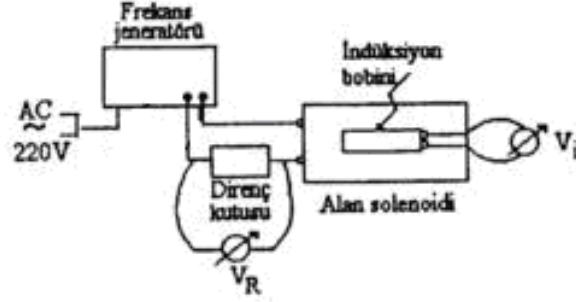
Fakat akımın I_{ef} efektif değeri $I_{ef} = I_m / \sqrt{2}$ olduğundan

$$v_i' = \frac{\mu_0 N N' A' \cdot 2\pi f}{L} I_{ef} \quad (16)$$

olur.

Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 8'deki devre kurulur.



Şekil 8

2. Belirli bir ince indüksiyon bobini, alan bobininin içine ve yaklaşık ortasında bulunacak şekilde yerleştirilir.
3. Alan bobinine belirli bir frekans ve gerilimdeki sinüzoidal (alternatif) gerilim uygulanır.
4. Devreden geçen akım, direnç kutusu yardımıyla değiştirilir ve indüksiyon bobini uçlarındaki gerilimler okunur. Bu ölçümlerde frekans jeneratörünün V çıkış geriliminin sabit bir değerde tutulmasına dikkat edilir.
5. Devreden geçen akım, direnç kutusu uçlarından okunan V_R geriliminden Ohm kanunu yardımıyla hesaplanarak sonuçlar Tablo 1'e işlenir.
6. Ölçülen V_i gerilim değerleri;

$$(V_i)_{teo} = \frac{\mu_0 N N' A' 2\pi f}{L} I_{ef}$$

bağıntısı ile hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırılarak Tablo 1'e işlenir. Burada N alan selenodinin sarım sayısı, L alan selenoidinin uzunluğu, N' indüksiyon bobininin sarım sayısı ve A' ise indüksiyon bobininin kesit alanıdır.

$N = \dots\dots\dots$

$L = \dots\dots\dots$

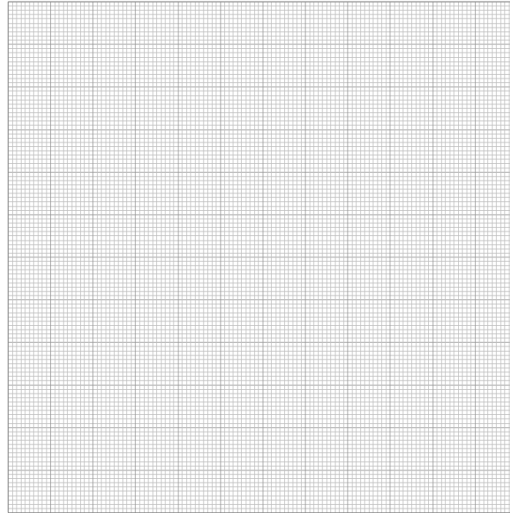
$N' = \dots\dots\dots$

$A' = \dots\dots\dots$

Tablo 1

$N' =$		$f =$		
$R (...)$	$V_R(...)$	$I(...)$	$V_i(...)$	$V_i(...)$ <i>teorik</i>

7. Tablo 1 deki değerlerden $V_i = f(t)$ grafiği çizilir.



8. Devredeki direnç kutusundan belirli bir direnç seçilerek indüksiyon bobininde oluşan V_i geriliminin frekansla değişimi incelenir. Bu ölçümlerde de devreden geçen I akımının sabit kalmasına dikkat edilir. Sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

Tablo 2

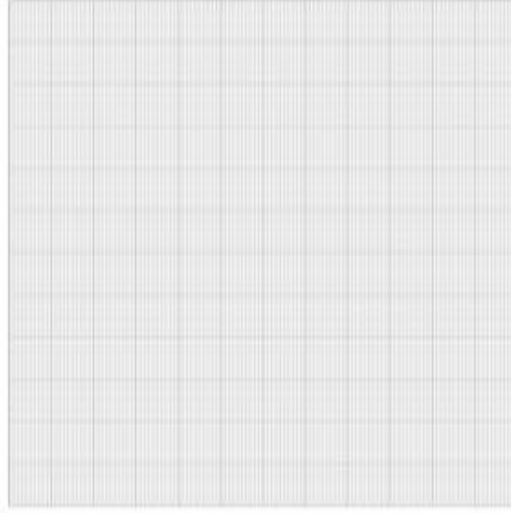
$N' =$	$R =$	$I =$
$f(\dots)$	$V_i(\dots)$	

9. İndüksiyon bobinin uçlarında oluşan V_i geriliminin, bu bobinin sarım sayısına bağlı değişiminin belirlenmesi amacıyla; belirli bir frekans ve akım şiddetinde, aynı çapta fakat çeşitli sarım sayılarına sahip bobinler selenoid içinde hemen hemen aynı yere yerleştirilerek V_i gerilimleri ölçülür; sonuçlar Tablo 3'e kaydedilir.
10. Ölçülen V_i değerleri, (1) bağıntısından hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırılır, sonuçlar Tablo 3'e kaydedilir.

Tablo 3

$f =$	$I =$	
N'	$V_i(\dots)$	$V_i(\dots)_{teorik}$

11. Tablo-3 deki değerlerden $V_i = f(N')$ grafiği çizilir.



12. İndüksiyon bobinin A' kesitinin, oluşan V_i gerilimine etkisinin belirlenmesi amacıyla belirli bir frekans ve akım şiddetinde, aynı sarım sayılarına sahip fakat çeşitli çaplardaki (d) bobinler solenoid içinde hemen hemen aynı yere yerleştirilerek V_i gerilimleri ölçülür; sonuçlar Tablo 4'e işlenir.
13. Teorik V_i değerleri (1) bağıntısı yardımıyla hesaplanarak, ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılır.

Tablo 4

$N' =$		$f =$		$I =$	
$d(\dots)$	$A' (\dots)$	$V_i(\dots)$	$V_i(\dots)_{teorik}$		

14. Tablo 4'deki değerlerden $V_i = f(d)$ grafiği çizilir.

Sorular:

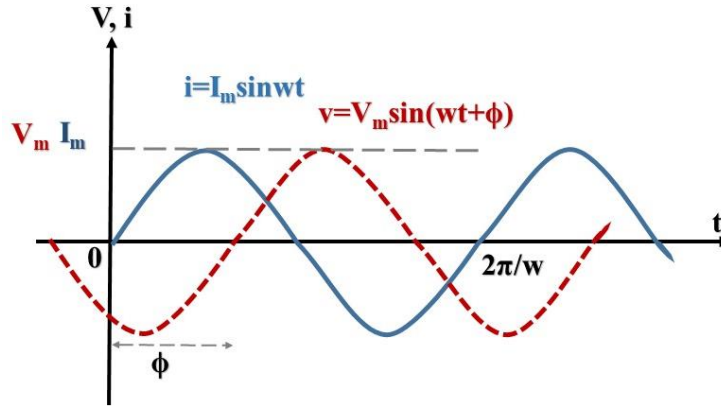
1. Magnetik dipol momentini nedir?
2. Magnetik indüksiyon vektörünün yönü nasıl belirlenir?

Deneyin Amacı:

1. Seri direnç ve bobinden oluşan alternatif akım devrelerinde bobinin sargı telinin direncinin, empedansın ve faz farkının belirlenmesi,
2. Seri direnç ve kondansatörden oluşan alternatif akım devrelerinde empedansın ve faz farkının belirlenmesi,
3. Seri direnç, bobin ve kondansatörden oluşan devrenin empedansının ve rezonans frekansının belirlenmesi.

Teorik Bilgi:

1. Alternatif Gerilim: Uçları arasındaki potansiyel farkı zamana bağlı olarak periyodik bir değişme gösteren gerilim kaynağına alternatif gerilim kaynağı denir. Bu değişim genellikle sinüs biçimindedir (Şekil 1). Böyle bir gerilim kaynağının uçları arasındaki potansiyel farkına alternatif gerilim denir.



Şekil 1. Sinüzoidal alternatif gerilim ve akımın zamana bağlı değişimi

Bir alternatif gerilim kaynağına bağlı devrede akım şiddeti de zamana bağlı olarak sinüs biçimli bir değişme gösterir. Akım şiddetli ve gerilimin zamana bağlılığı genellikle

$$i = I_m \sin \omega t \quad \text{ve} \quad V = V_m \sin \omega t \quad (1)$$

şeklinde verilir. I_m ve V_m akım şiddeti ve gerilimin maksimum değerleridir (veya genlikleridir). Ancak alternatif akım ölçerleri (alternatif ampermetre ve voltmetre) akım

şiddetinin ve geriliminin etkin değerlerini ölçerler. Sinüzoidal formda, I ve V etkin değerleri ile I_m ve V_m genlikleri arasındaki ilişki

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{ve} \quad V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

biçimindedir.

Açısal frekans ω ise;

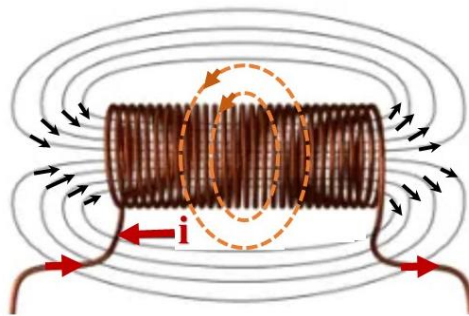
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

ile frekans ve periyoda bağlıdır. φ açısı ise gerilim ile akım şiddeti arasındaki faz farkını gösterir. $\varphi > 0$ ise, gerilim akımın ilerisinde, $\varphi < 0$ ise gerilim akımın gerisindedir. $\varphi = 0$ durumu akım ile gerilimin aynı fazda olduğunu ifade eder. Uçlarında V gerilimi bulunan ve içinden I şiddetinde akım geçen bir alternatif devre elemanının Z empedansı, gerilim ve akım şiddetlerinin genliklerinden veya etkin değerlerinin oranı olarak tanımlanır;

$$Z = \frac{V_m}{I_m} = \frac{V}{I} \quad (4)$$

Bu bağıntı Ohm yasasının alternatif akım devrelerindeki karşılığıdır. Söz konusu edilen devre elemanı R değerinde bir direnç ise $Z = R$, faz farkı da $\varphi = 0$ 'dır.

2. Bir Bobinin Self İndüksiyon Katsayısı: İçinden I akımı geçen bir bobin çevresinde bir manyetik alan oluşturur (Şekil 2). Bu alanın şiddeti (B) akım şiddeti ile doğru orantılıdır ($B \propto i$). Diğer taraftan zamana bağlı olarak değişen bir manyetik alan içinde bulunan bir bobinin uçlarında da bu değişim ile orantılı olan $\varepsilon_i \propto \frac{dB}{dt}$ şeklinde bir indüksiyon elektromotor kuvveti (emk) oluşur.



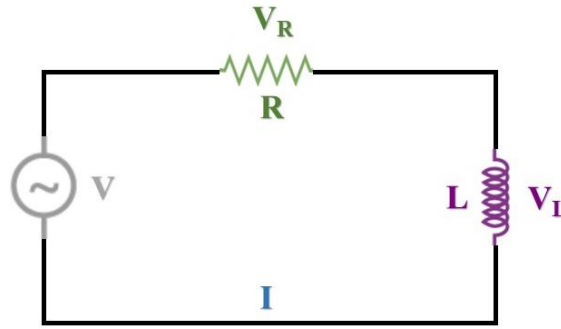
Şekil 2. İçinden I akımı geçirilen bir bobin ve çevresinde oluşan manyetik alan

Kendi içinden geçen akımın oluşturduğu bir manyetik alan içinde bulunan bir bobinin uçlarında da, akımın değişken olması durumunda bir emk ortaya çıkar. Buna self indüksiyon elektromotor kuvveti denir. Self indüksiyon elektromotor kuvveti bobinden geçen akımın zamanla değişimiyle orantılıdır. Lenz yasasına göre bu emk'nın yönünün, kendisini oluşturan nedene, yani akımın değişim yönüne karşı olduğu da göz önüne alınırsa, $\varepsilon_i \propto -\frac{di}{dt}$ şeklinde ifade edilebilir. Orantı katsayısı self indüksiyon katsayısıdır ve

$$L = -\frac{\varepsilon_L}{di/dt} \quad (5)$$

ile tanımlanır. Alternatif akım devrelerinde kullanılan bobin akıma bir direnç gösterir. Self indüksiyon katsayısı bobinin gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Devre elemanı self indüksiyon katsayısı L olan bir bobin ise, empedans $Z = \omega L$ ve faz farkı $\varphi = \pi/2$ 'dir. Bobinin $X_L = \omega L$ empedansına indüktans veya indüktif reaktans denir.

3. Seri RL Devresi: Bir R direnci ile bir L bobininin seri olarak bağlanması ile elde edilen devredir (Şekil 3).



Şekil 3. Seri RL devresinin şematik gösterimi

Devreden geçen akım şiddeti $i = I_m \sin \omega t$, direncin uçları arasındaki V_R gerilimi ise, $\varphi = 0$ olduğundan

$$V_R = V_{Rm} \sin \omega t = R I_m \sin \omega t \text{ olur.}$$

Bobinin uçları arasındaki gerilim, self indüksiyon katsayısı L ise,

$$V_L = V_{Lm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \omega L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ dir.}$$

Devrenin toplam gerilimi de

$$V = V_R + V_L = R I_m \sin \omega t + \omega L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ dir.}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (6)$$

$$\varphi = 0 = \arctg \frac{\omega L}{R} = \arctg \frac{X_L}{R} \quad (7)$$

tanımları ile devrenin toplam gerilimi;

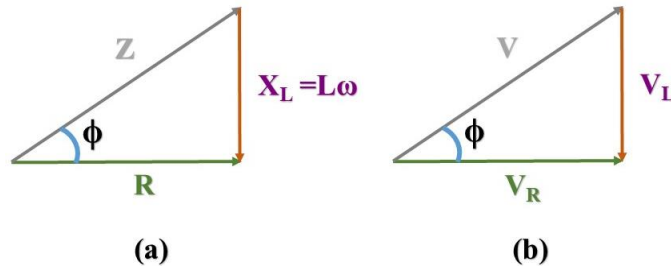
$$V = ZI_m \sin(\omega t + \varphi)$$

bağıntısı ile de ifade edilir.

(6) ve (7) bağıntıları Şekil 4a'da verilen vektör diyagramları ile temsil edilebilir. Diğer taraftan (6) bağıntısının her iki tarafı I_m ile çarpılır, (7) bağıntısında yer alan kesir de I_m ile genişletilirse, (4) bağıntısından,

$$V_m = \sqrt{V_{R_m}^2 + V_{L_m}^2} \text{ ve } \varphi = \arctg \frac{V_{L_m}}{V_{R_m}}$$

bağıntıları elde edilir. Ancak bu son bağıntıların etkin değerlerle de yazılabileceğine dikkat etmek gerekir. Bu durumda, $V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$ olur. Bu bağıntılar Şekil 4b' deki vektör diyagramı ile temsil edilebilirler.



Şekil 4. Seri RL devresine ait fazör diyagramı

Bir bobinin sargı telinin direnci yok sayılmayacağı için, kendisi de bir seri RL devresi gibi ele alınır (Şekil 5). Sargı telinin direnci R_L olan böyle bir bobine bir R direnci seri olarak bağlanması durumunda vektör diyagramları değişir (Şekil 6). Bu durumda Z_L bobinin toplam empedansı, V_L de bobinin uçlarında ölçülen gerilimin etkin değerini göstermektedir.



Şekil 5. Seri RL devresinde bobinin iç direncinin şematik gösterimi

Böyle bir seri RL devresinde (6) ve (7) bağıntıları;

$$Z = \sqrt{(R + r_L)^2 + X_L^2} \quad (8)$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R+r_L} \quad (9)$$

bağıntılarına dönüşeceklerinden,

$$V = \sqrt{(V_R + V_r)^2 + V_L^2}$$

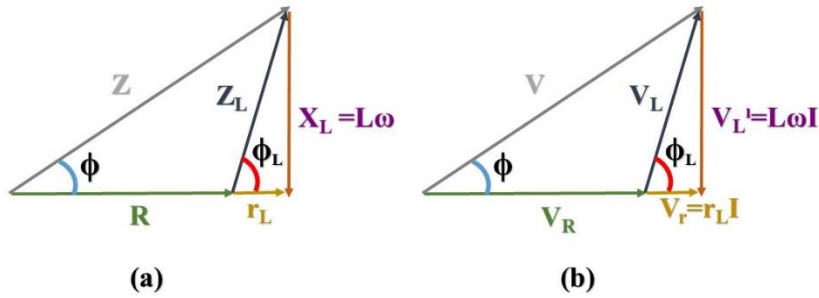
$$\varphi = \arctg \frac{V_L}{V_R+V_r}$$

olacaktır. Ayrıca Şekil 6b' den

$$V^2 = V_R^2 + V_L^2 + 2V_R V_L \cos\varphi_L$$

$$V_L = \omega LI = V_L \sin\varphi_L$$

$$V_r = r_L I = V_L \cos\varphi_L$$

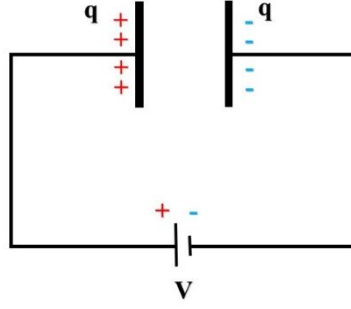


Şekil 6. Bobinin iç direncinin de dahil edildiği seri RL devresine ait fazör diyagramı

4. Bir Kondansatörün Sığası: Bir kondansatörün uçlarına V gerilimi uygulandığında, kondansatörün plakalarında, gerilim kaynağının (+) ucuna bağlı olanında pozitif ve (-) ucuna bağlı olanında negatif olmak üzere $\pm q$ yükü birikir. Kondansatörün plakalarında biriken q yükü V gerilimi ile orantılıdır. Yük ile gerilim arasındaki orana kondansatörün sığası (Kapasitesi) denir:

$$C = \frac{q}{V} \quad (10)$$

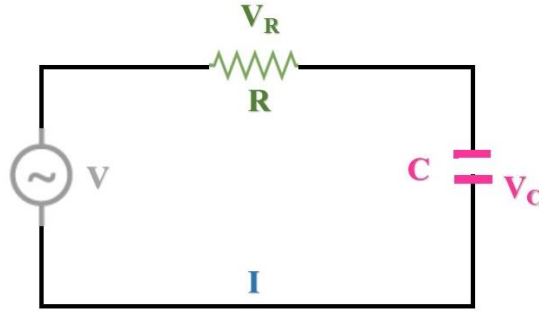
Alternatif akım devrelerinde kullanılan kondansatör akıma bir tür direnç gösterir. Kondansatörün sığası bu direncin ölçüsüdür. Bir alternatif akım devresinde kullanılan tek bir kondansatörün sığası C ise, empedansı $Z = 1/C\omega$ ve faz farkı $\varphi = \pi/2$ 'dir. Kondansatörün $X_C = 1/C\omega$ empedansına kapasitif reaktans denir.



Şekil 7. Paralel plakalı kondansatörün şematik gösterimi

5. Seri RC Devresi: Bir R direnci ile bir C kondansatörünün seri olarak bağlanmasıyla elde edilen devrenin akım şiddeti $i = I_m \sin \omega t$ bağıntısı ile verilir. Bu devredeki direncin uçlarındaki gerilim ise, seri RL devresindeki benzer olarak;

$$V = V_m \sin \omega t = R I_m \sin \omega t \text{ dir.}$$



Şekil 8. Seri RC devresinin şematik gösterimi

Kondansatörün uçları arasındaki gerilim (1) denkleminde;

$$V_C = V_{Cm} \sin(\omega t - \pi/2) = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \pi/2) \text{ dir.}$$

Devrenin toplam gerilimi de,

$$V = V_R + V_C = R I_m \sin \omega t + \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \pi/2) \text{ dir.}$$

Fakat,

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}} = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (11)$$

$$\varphi = \arctg \frac{-1/\omega C}{R} = \arctg \frac{-X_C}{R} \quad (12)$$

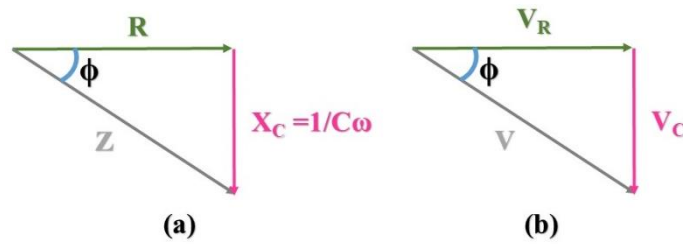
tanımları ile toplam gerilim

$$V = ZI_m \sin(\omega t + \varphi)$$

şeklinde ifade edilebilir. (11) ve (12) bağıntıları Şekil 9a'da verilen vektör diyagramı ile temsil edilebilirler. Diğer taraftan, seri RL devresinde açıklandığı gibi (11) ve (12) bağıntılarından veya Şekil 9b'den,

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \quad \text{ve} \quad \varphi = \arctg \frac{-V_C}{V_R}$$

bağıntıları da elde edilebilir.



Şekil 9. Seri RC devresine ait fazör diyagramı

Ayrıca,

$$\sin \varphi = \frac{V_C}{V} \quad \text{ve} \quad \cos \varphi = \frac{V_R}{V}$$

bağıntıları da yazılabilir.

6. Seri RLC Devresi: Bir R direnci, bir L bobini ve bir C kondansatörünün seri olarak bağlanmasıyla elde edilen devrenin empedansı,

$$Z = \sqrt{(R + r_L)^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} = \sqrt{(R + r_L)^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (13)$$

ve faz farkı da

$$\varphi = \arctg \frac{L\omega - 1/C\omega}{R + r_L} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R + r_L} \quad (14)$$

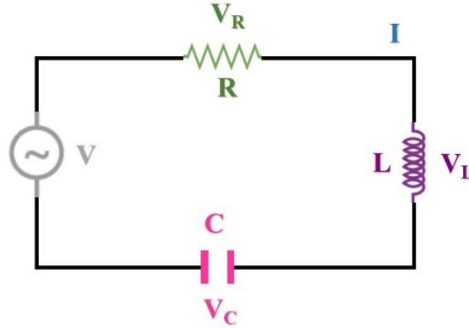
dir. (13) bağıntısından anlaşılacağı gibi, $L\omega = 1/C\omega$ için Z empedansı minimum değerdedir.

Bunu sağlayan,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (15)$$

$$\text{veya } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (16)$$

alternatif akım frekansına rezonans frekansı denir. Dolayısıyla rezonans frekansında devreden geçen akım maksimum değerdedir ve faz farkı da $\varphi = 0$ 'dır. Z ve φ bağıntıları vektör diyagramı ile temsil edilebilir.



Şekil 10. Seri RLC devresinin şematik gösterimi

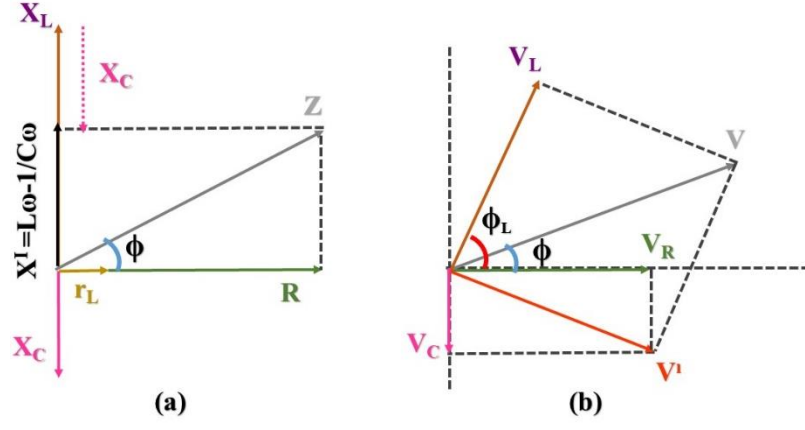
V besleme geriliminin uygulandığı seri RLC devresinde (Şekil 10) herhangi bir anda R, L ve C uçlarında zamana bağlı gerilim farkları sırasıyla V_R , V_L ve V_C ise, vektör kavramı yardımıyla

$$V = V_R + V_L + V_C \quad (17)$$

ifadesi yazılabilir. Başka bir deyişle “seri bir devrede besleme gerilimini temsil eden V vektörü devre elemanlarının uçları arasında ölçülen gerilim farklarının vektörel temsillerinin toplamıdır.” Ancak bu bağıntı (17) gerilim farklarının zamana bağlı yani ani değerleri yerine etkin değerleri için de geçerlidir. Böylece Şekil 10 da verilen devre için devre elemanlarının uçlarında ölçülen gerilim farklarının vektörel temsilleri bilinirse Şekil 11’de verilen vektör diyagramı çizilebilir. Ancak bunun için bu besleme frekansında V_L ’nin I ile yaptığı φ_L açısının bilinmesi gerekir. Bu ise selfin kullanıldığı seri RL devresine aynı frekanslı besleme gerilimi uygulayarak Şekil 6’daki vektör diyagramından veya L veya r_L ’nin bilinmesi halinde (9) bağıntısının benzeri

$$\varphi_L = \arctg \frac{X_L}{r_L} \quad (18)$$

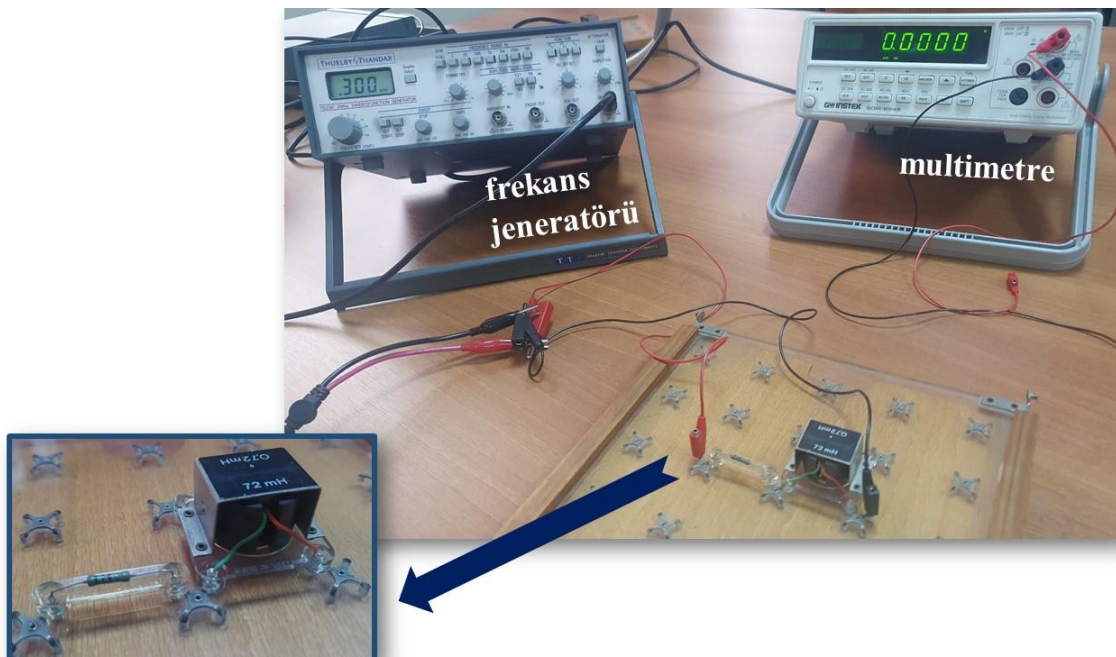
ifadesinden kolayca belirlenebilir. Diğer taraftan V ile φ açısının, φ_L ’nin bilinmesi halinde trigonometrik bağıntılar yardımıyla da belirlenebileceği açıktır.



Şekil 11. Seri RLC devresine ait fazör diyagramı

Deneyin Yapılışı:

1. Alternatif gerilim kaynağı olarak şehir şebekesinden yararlanarak Şekil 3 ve Şekil 12'deki RL devresi kurulur. Şehir şebekesinden f ve ω belirlenerek Tablo 1'e işlenir. Devrede kullanılan elemanların akıma dayanıklılıkları göz önünde tutularak devreden I akımının geçmesi sağlanır ve bir voltmetre yardımıyla V , V_R ve V_L gerilimleri ölçülür.
2. Ohm kanunu yardımıyla direnç üzerindeki gerilimden devreden geçen I akımı hesaplanır.
3. Multimetreden ölçülen etkin gerilim değerleri ile V_L , V_r , ϕ_L ve ϕ bulunarak sonuçlar Tablo 1'e işlenir.



Şekil 12. Seri RL devresi deney düzeneği

$$I = \frac{V_R}{R}$$

$$\phi_L = \cos^{-1} \left(\frac{V^2 - V_R^2 - V_L^2}{2V_R V_L} \right)$$

$$V_r = V_L \cos \phi_L$$

$$V_{L*} = V_L \sin \phi_L$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{V_r + V_R}{V} \right)$$

$$X_L = \omega L$$

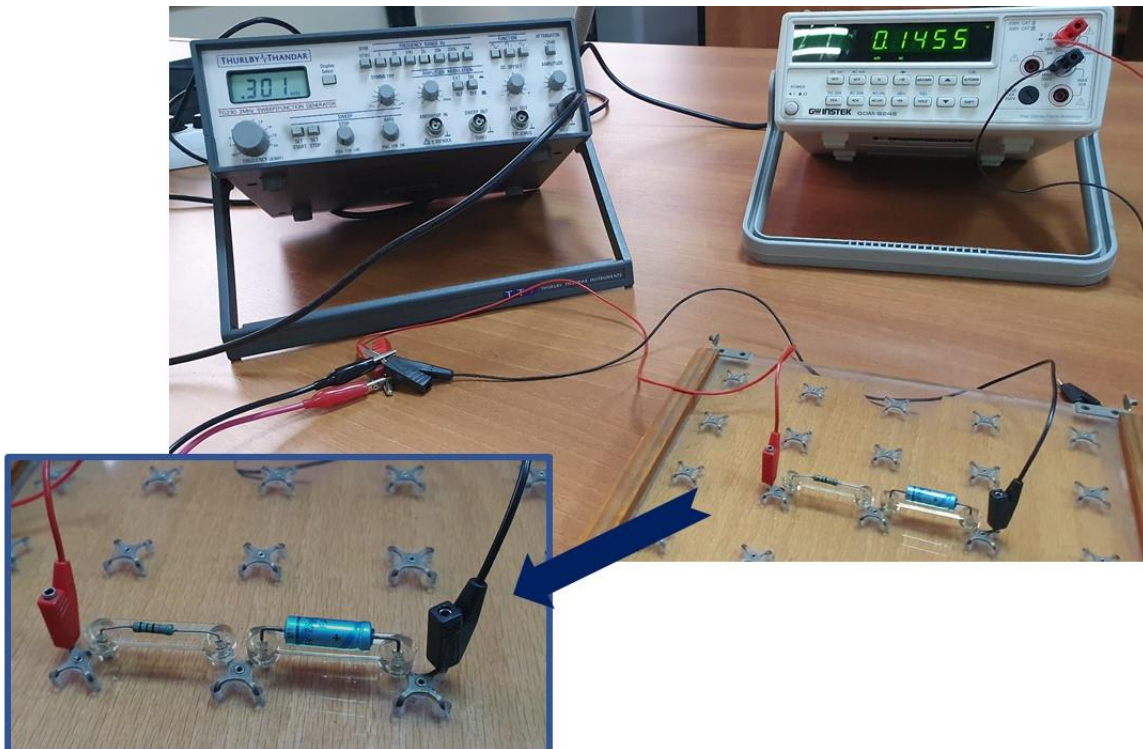
$$r_L = \frac{V_r}{I}$$

$$Z = \sqrt{(R + r_L)^2 + X_L^2}$$

Tablo 1

R (Ω)		V_R (V)		φ (°)	
L (mH)		V_L (V)		φ_L (°)	
f (Hz)		V (V)		r_L (Ω)	
ω (rad/s)		V_r (V)		X_L (Ω)	
I (A)		V_L* (V)		Z (Ω)	

- Ölçülen etkin değerlerden yararlanarak vektör diyagramı ölçekli olarak çizilir (Şekil 6b).
- Şekil 8 ve Şekil 13’de verilen RC devresi kurularak ve devreden I akımının geçmesi sağlanır. Voltmetre yardımıyla V, V_R ve V_C gerilimleri ölçülür. Bilinen R direnci ve ölçülen V_R gerilimi yardımıyla devreden geçen I akımı hesaplanarak ve sonuçlar Tablo 2’ye işlenir.



Şekil 13. Seri RC devresi deney düzeneği

$$I = \frac{V_R}{R}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(-\frac{V_C}{V_R} \right)$$

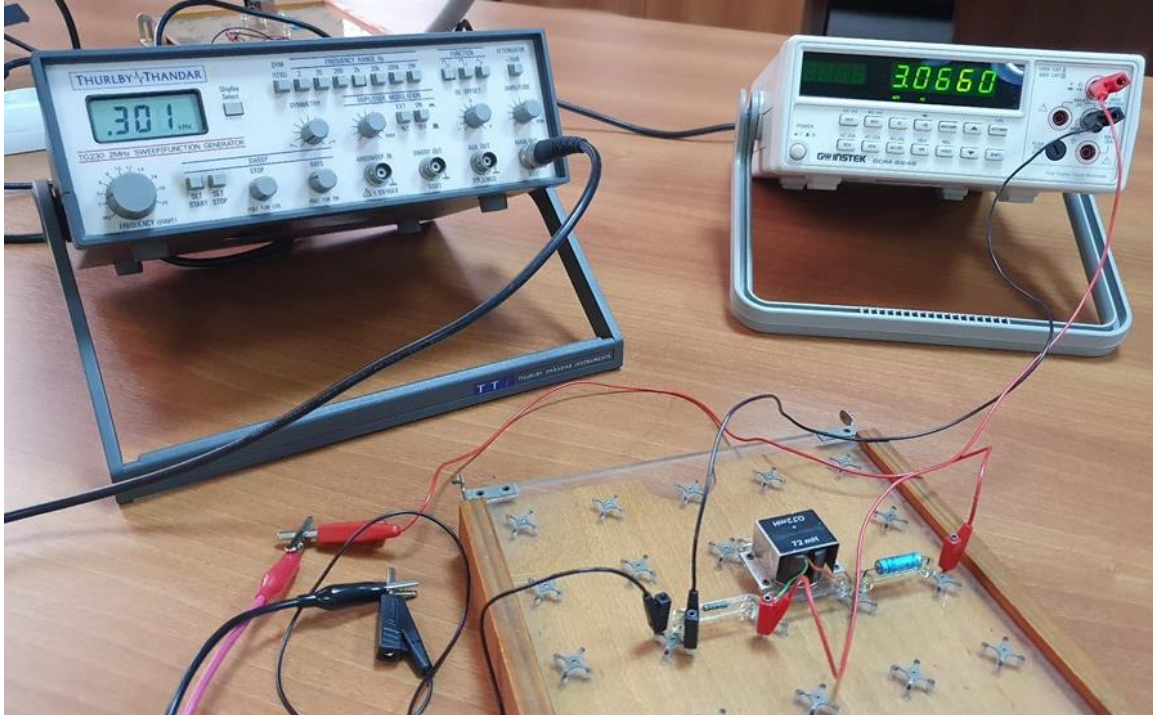
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$Z = \sqrt{(R)^2 + X_C^2}$$

Tablo 2

R (Ω)		V_R (V)		I (A)	
C (μF)		V_C (V)		X_C (Ω)	
f (Hz)		V (V)		Z (Ω)	
ω (rad/s)		φ (°)			

- Ölçülen etkin değerlerden yararlanarak vektör diyagramı ölçekli olarak çizilir (Şekil 9b).
- Şekil 10 ve Şekil 14'de verilen RLC devresi kurulur ve belli frekans değerleri için devreden I akımının geçmesi sağlanır. Voltmetre yardımıyla V_R gerilimleri ölçülür. Bilinen R direnci ve ölçülen V_R gerilimi yardımıyla devreden geçen I akımı hesaplanır. Bulunan değerler Tablo 3'e işlenir.



Şekil 14. Seri RLC devresi deney düzeneği

Tablo 3

	R (Ω)	L (mH)	C (μ F)
f (Hz)	log f	V _R (V)	I _R (A)
225			
250			
275			
300			
325			
350			
375			
400			
425			
450			
475			
500			
525			
550			
575			
600			
	f ₀ (Hz)	f ₀ grafik (Hz)	% B.H.

8. Rezonan frekansını belirlemek için devreden geçen akımın frekansa bağıllığını gösteren $I=f(\log f)$ grafiği çizilir. Grafikten interpolasyon yöntemi ile elde edilen rezonans frekansı ile teorik değer ile (16) karşılaştırılarak bağıl hata hesaplanır.

SORULAR

1. Alternatif akım nedir?

2. Alternatif akımın etkin değeri ve maksimum değeri ne demektir? Bunlar arasındaki ilişki nedir?

E6 TRANSFORMATÖR

Deneyin Amacı:

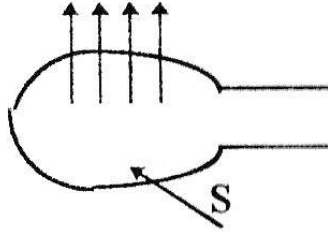
Alternatif gerilim değerinin transformatörle değiştirilmesi

Teorik Bilgi:

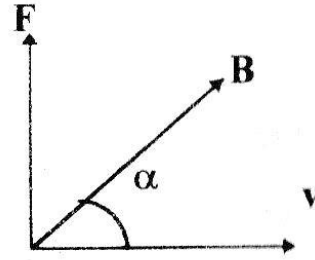
1. Manyetik Akı ve Manyetik Alan: S yüzeyini çevreleyen bir iletken halkadan, bu yüzeye dik ve düzgün bir manyetik alandan dolayı geçen manyetik akı;

$$\Phi = B.S \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır.



Şekil 1



Şekil 2

Bu bağıntıdaki B manyetik alanı, daha doğrusu bu alanı tanımlayan manyetik indüksiyonu ifade eder. En genel halde manyetik akı;

$$\Phi = \int_S B.dS \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Φ 'nin SI sistemindeki birimi *Weber* (Wb)'dir. B manyetik indüksiyon vektörü, manyetik alanda v ortalama hızı ile hareket eden q elektrik yükü ile tanımlanabilir. Bu q yüküne etki eden F kuvveti;

$$F = q.v \times B \quad (3)$$

olarak belirlenir (Şekil 2).

Dolayısıyla B vektörünün şiddeti, yani manyetik indüksiyonun büyüklüğü,

$$B = \frac{F}{q.v.\sin \alpha} \quad (3')$$

ve birimi *Tesla* (T)'dir.

2. İndüksiyon: Φ akısının zamana bağlı değişimiyle Şekil-1'deki iletken halka uçlarında

$$\varepsilon_0 = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

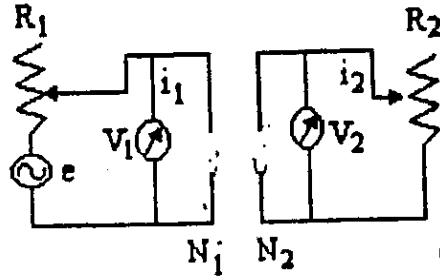
ile ifade edilen bir indüksiyon elektromotor kuvveti (emk) oluşur. Aynı akı değişiminin N sarımlı bir bobin uçlarında oluşturacağı $iemk$ ise, her sarımda oluşacak ε_0 'ların N katı olacağından,

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (4')$$

dir. emk 'nın SI sistemindeki birimi *Weber/saniye = Volt (V)*'tur.

3. Karşılıklı İndüksiyon-Self İndüksiyon: Bir iletken halkada, halkadan geçen akım şiddeti ile orantılı bir manyetik akı oluşur. Akım değişirse, akı da değişir: örneğin akım sinüs şeklinde değişirse manyetik akı da sinüs değişimi gösterir. Bu halkanın yakınında ikinci bir halka bulunursa, ilkinin oluşturduğu manyetik akının bir bölümü bu halkadan geçer; akı değişirse bu halka uçlarında (4) bağıntısıyla verilen bir $iemk$ oluşur. Birinci halkadaki değişken elektrik akımının ikinci halkada oluşturduğu bu $iemk$, karşılıklı indüksiyon elektromotor kuvveti olarak adlandırılır.

İçinden akım geçen halka, kendisinin oluşturduğu alanın içinde bulunacağından, bu halkanın uçlarında da bir $iemk$ oluşur: bu $iemk$ 'ne self indüksiyon elektromotor kuvveti denir ve (4) bağıntısıyla belirlenir.



Şekil 3

Şekil-3'de görülen N_1 sarımlı bobinden i_1 akımını geçerse, bobin çevresinde i_1 ile orantılı Φ_1 akısı oluşur. Φ_1 bu bobinden tümüyle geçeceğinden, bobin uçlarında;

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \quad (5)$$

emk 'sı yaratır. Ancak Φ_1 akısının bir bölümünü oluşturan Φ_{12} akısı, N_2 sarımlı bobinden de geçeceğinden, bu bobinin uçlarında;

$$\varepsilon_{12} = -N_2 \frac{d\Phi_{12}}{dt} \quad (6)$$

emk oluşturur. Bu ise N_2 sarımlı bobinden i_2 akımının geçmesine, dolayısıyla Φ_2 akısının oluşmasına neden olur. Bu durumda N_1 sarımlı bobindekilere benzer şekilde, bu bobinin uçlarında;

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} \quad (7)$$

emk'sı, N_1 sarımlı bobinde;

$$\varepsilon_{21} = -N_1 \frac{d\Phi_{21}}{dt} \quad (8)$$

emk oluşur. Φ_1 ve Φ_{12} , i_1 ile; Φ_2 ve Φ_{21} de i_2 ile orantılı olduklarından (5), (6), (7) ve (8) bağıntıları, yeni orantı katsayıları ile;

$$\varepsilon_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (5')$$

$$\varepsilon_{12} = -M_{12} \frac{di_1}{dt} \quad (6')$$

$$\varepsilon_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (7')$$

$$\varepsilon_{21} = -M_{21} \frac{di_2}{dt} \quad (8')$$

şeklinde yazılabilir. M_{12} ve M_{21} 'in birbirlerine eşit oldukları gösterilebilir. Bu durumda;

$$M_{21} = M_{12} = M \quad (9)$$

dir. M 'ye karşılıklı indüksiyon katsayısı; L_1 ve L_2 'ye de self indüksiyon katsayıları denir. Bunların SI sistemindeki birimleri *Henry(H)* 'dir. Şekil 3'deki iki devre için, çevrim kuralı;

$$\varepsilon - R_1 i_1 - N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} - N_1 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = 0 \quad (10)$$

$$-R_2 i_2 - N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} - N_2 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = 0 \quad (11)$$

veya yukarıdaki katsayılarla;

$$\varepsilon - L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} = R_1 i_1 \quad (10')$$

$$-L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} = R_2 i_2 \quad (11')$$

Bağıntıları yazılabilir. Diğer taraftan V_1 voltmetresi ile N_1 sarımlı bobin uçlarında okunan v_1 gerilim farkı,

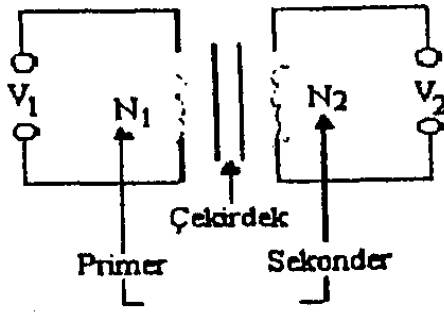
$$v_1 = \varepsilon - R_1 i_1 \quad (12)$$

V_2 ile diğerinde okunan ise,

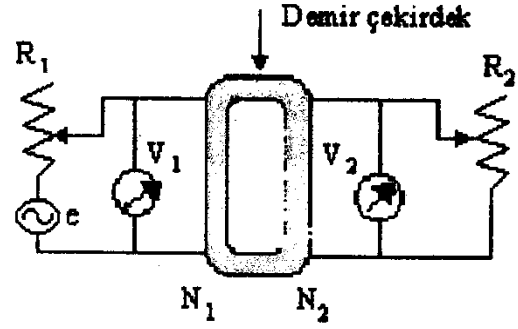
$$v_2 = R_2 i_2 \quad (13)$$

dir.

4. Transformator: Alternatif gerilimi istenilen gerilim değerine değiştiren aygıtlar transformator olarak adlandırılır. Ancak transformator gerilim değerini değiştirmekle birlikte bir empedans uyarlayıcısı işlevini de sağlayabilir. Bir transformator, örneğin demir (ferromanyetik veya paramanyetik malzeme) çekirdek üzerinde bulunan iki veya daha çok bobin veya sargıdan oluşur. Alternatif gerilim değiştiricisi olarak kullanılan en basit bir transformatorde ortak bir çekirdek üzerinde iki sargı bulunur. Böyle bir transformator Şekil 4'deki gibi gösterilir.



Şekil 4



Şekil 5

Şekil 3'deki N_1 ve N_2 sarımları Şekil 5'de gösterildiği gibi kapalı bir demir çekirdeğin kollarına sarıldığında Joule ısısı, Foucault akımları, Lenz yasası...vs. nedeniyle oluşan kayıplar önemsenmezse, Φ_1 ve Φ_2 'nin tümünün bu çekirdek içinde kalacağı söylenebilir. Dolayısıyla;

$$\Phi_{12} = \Phi_1 \text{ ve } \Phi_{21} = \Phi_2 \quad (14)$$

dir. bu takdirde (6) ve (8) bağıntıları;

$$\varepsilon_{12} = -N_2 \frac{d\Phi_1}{dt} \text{ ve } \varepsilon_{21} = -N_1 \frac{d\Phi_2}{dt} \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir. Ancak bu ε_{12} ifadesi ile (5) bağıntısından, $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{12}} = \frac{N_1}{N_2}$ elde edilir. (5'), (6') ve (9) bağıntıları yardımıyla $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{12}} = \frac{L_1}{M}$ olduğundan

$$\frac{L_1}{M} = \frac{N_1}{N_2} \quad (16)$$

olur. Benzer şekilde (15), (16), (7'), (8') ve (9) bağıntılarından;

$$\frac{L_2}{M} = \frac{N_2}{N_1} \quad (16')$$

elde edilir. Diğer taraftan V_1 voltmetresi ile ölçülen v_1 gerilimi (12), (10), (14) ve (16) bağıntıları yardımıyla;

$$v_1 = N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} + N_1 \frac{d\Phi_2}{dt}$$

Benzer şekilde v_2 gerilimi de; (13), (11), (14) ve (16') bağıntılarından;

$$v_2 = -N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} - N_2 \frac{d\Phi_1}{dt}$$

Şeklinde yazılabilir. Bu son iki bağıntıdan da $\frac{v_2}{v_1} = -\frac{N_2}{N_1}$ elde edilir. Dolayısıyla voltmetrelerden ölçülen etkin (efektif) değerler,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (17)$$

Bağıntısını sağlar. V_2/V_1 'e *transformatörün çevirme oranı* denir. Bu son bağıntıya göre, gerilim değeri değiştirilmek istenen V_1 gerilimi transformatörün giriş tarafında bulunan N_1 sarım sayılı bobine (primer sargı), çıkışta N_2 sarımlı bobine (sekonder sargı) uçlarında V_2 gerilimi oluşur.

Öte yandan, v_1 gerilimi (12) ve (11') bağıntıları yardımıyla,

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \quad (18)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Sekonder sargı uçları açıksa, yani bir akım çekilmiyorsa $i_2 = 0$ dır. Bu durumda primer sargıdan geçen i_1 akımına boşa çalışma akımı denir. Bu durumda

$$v_1 = L_1 \frac{di_1^0}{dt} \quad (19)$$

dır. i_1 akımı $i_1 = i_1^0 + i_1'$ şeklinde ifade edilirse (18) bağıntısı

$$v_1 = L_1 \frac{di_1^0}{dt} + L_1 \frac{di_1'}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

şeklinde yazılabilir: ancak bu bağıntı (19) ile karşılaştırıldığında

$$\frac{di_1'}{dt} = -\frac{M}{L_1} \frac{di_2}{dt}$$

şekline dönüşür.

Bu son bağıntıdan entegrasyonla $i_1' = -\frac{N_2}{N_1} i_2$ ya da i_1' ifadesiyle $i_1 - i_1^0 = -\frac{N_2}{N_1} i_2$ elde edilir.

i_1^0 , i_1 in yanında ihmal edilebileceğinden $\frac{i_1}{i_2} = -\frac{N_2}{N_1}$ dir. Dolayısıyla bu bağıntıya göre primer

ve sekonder sargılardan geçen akımların eşit değerleri arasında

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (20)$$

oranı vardır. $\frac{I_1}{I_2}$ oranına transformatörün *akım dönüşüm oranı* denir. Sonuç olarak bir transformatörde, (17) ve (20) bağıntılarını birleştirerek

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (21)$$

bağıntısının geçerli olduğu söylenebilir. Ancak bu son bağıntı ideal bir transformatör için geçerlidir. Pratikte bu tam olarak sağlanamadığından bu oran

$$\frac{V_1}{V_2} = k \frac{N_1}{N_2} \quad \text{veya} \quad \frac{I_1}{I_2} = k \frac{N_2}{N_1} \quad (22)$$

şeklinde ifade edilir. **Buradaki k sayısına transformatörün *idealite sabiti* denir. İdeal bir transformatör için bu değer bire eşittir. Transformatör idealden uzaklaştıkça bu sayı artar.** Bu idealden sapma nedenleri olarak magnetik akının bir kısmının demir çekirdek dışına kaçması, sargıların dirençleri nedeniyle Joule ısısının oluşması, çekirdek içinde Faucault akımlarının varlığı sayılabilir. (21) bağıntısına göre $V_1 I_1 = V_2 I_2$ dir. Başka bir deyişle ideal transformatör primer sargısındaki gücü aynen sekonder sargısına aktarır. Ancak pratikte primer sargıdaki P_1 gücünün bir kısmı, yukarıda sayılan nedenlerden dolayı harcanır ve sekonder sargıda P_2 ($P_2 < P_1$) elektriksel gücü elde edilir. Bunların oranı

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (23)$$

dir. η ya transformatörün verimi denir. η bir wattmetre ile belirlenir. Ancak (21) bağıntısına göre primer akımın sekonder akımla değişeceği dolayısıyla primer devre gücünün değişeceği unutulmamalıdır. Sonuç olarak verimin az da olsa kullanıma bağlı olarak değişeceği söylenebilir.

5. Üç Voltmetre Yöntemi: Şekil 6'daki gibi bir devrede kullanılan transformatörün primer sargısında P_1 gücü üç voltmetre yöntemi ile kolayca belirlenir. Üç voltmetre yönteminin esası matematikte sıkça kullanılan kosinüs teoremine dayanır. Primer devrenin gerilim diyagramı, eğer sargının pratikte çok küçük olan iç direnci ihmal edilirse, Şekil 7'deki gibidir;

Dolayısıyla kosinüs teoremine göre

$$V_T^2 = V_L^2 + V_R^2 - 2V_R V_L \cos(\pi - \varphi)$$

dir. Ancak $\cos(\pi - \varphi) = \cos \pi \cos \varphi - \sin \pi \sin \varphi = -\cos \varphi$ olduğundan,

$$V_T^2 = V_L^2 + V_R^2 + 2V_R V_L \cos \varphi$$

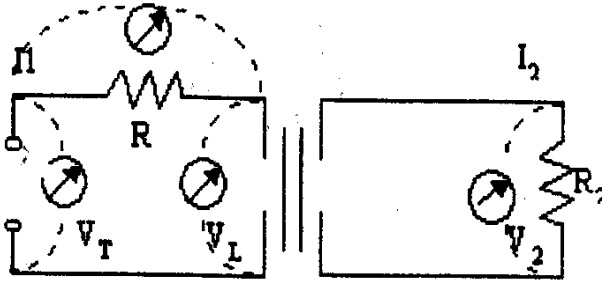
dir. Diğer taraftan Ohm yasasına göre $V_R = I_1 R_1$ ve $P_1 = V_L I_1 \cos \varphi$ olduğundan

$$V_T^2 = V_L^2 + V_R^2 + 2P_1 R_1$$

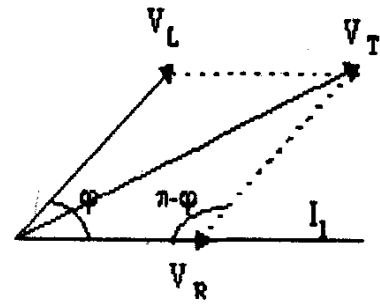
dir. Dolayısıyla primer sargıdaki P_1 gücü,

$$P_1 = \frac{V_T^2 - V_L^2 - V_R^2}{2R_1} \quad (24)$$

dir.



Şekil 6



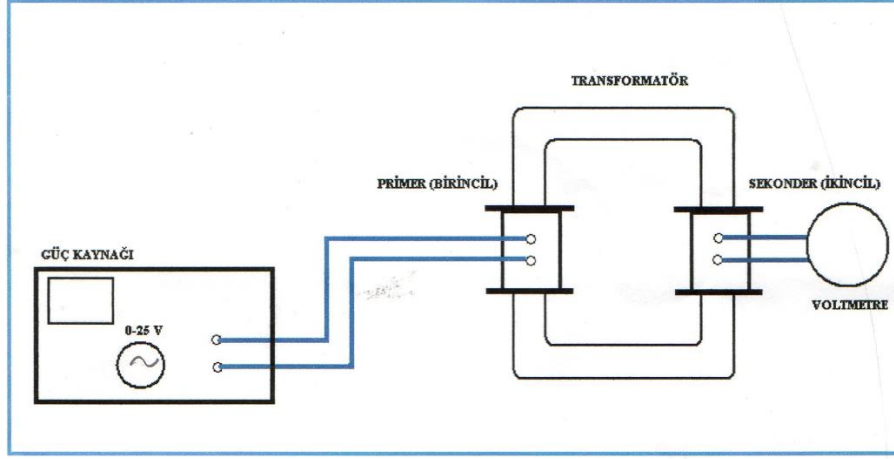
Şekil 7

Şekil 6'daki devrede sadece omik bir direncin yer aldığı sekonder sargıdaki güç, sargının iç direncinin ihmal edilmesi halinde $P_2 = RI_2^2 = V_2I_2$ olduğundan, Ohm kanunu yardımıyla P_2 aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R} \quad (25)$$

Deneyin Yapılışı:

1. İdeal transformatörün incelenmesi için Şekil-8'de şematik olarak verilen devre kurulur. Primer devre gerilimi değişken gerilim kaynağından sağlanır.



Şekil-8

2. Bu devrede sırasıyla $N_1=1200$, $N_2=600$ ve $N_1=300$, $N_2=1200$ sarım sayılı bobinler kullanılarak çeşitli V_1 giriş gerilimlerinin oluşturduğu çıkış gerilimleri ölçülerek ve sonuçlar **Tablo-1**'e işlenir.

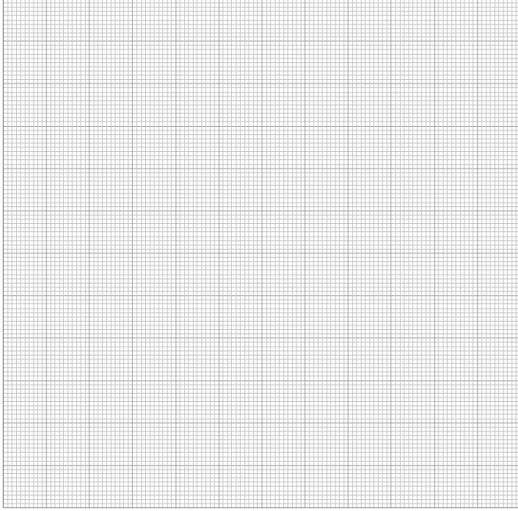
Tablo-1

V_1 (Volt)	$N_1=1200$	$N_2=600$	$N_1=300$	$N_2=1200$
	V_2		V_2	
2				
4				
6				
8				
10				
12				

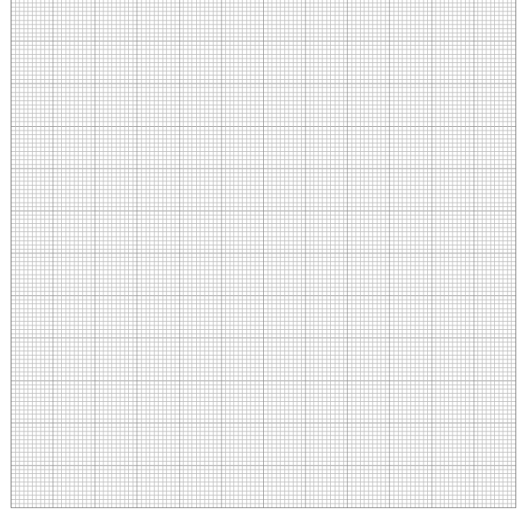
3. Bu değerler kullanılarak $V_2=f(V_1)$ eğrileri çizilir ve çizilen eğrilerin $\Delta V_1/\Delta V_2$ eğimleri belirlenerek N_1/N_2 oranlarıyla karşılaştırılır.

$$\tan \alpha = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} =$$

$$\frac{N_1}{N_2} =$$



Grafik-1: $V_2=f(V_1)$ grafiği



Grafik-2: $V_2=f(V_1)$ grafiği

4. **Tablo-1**'deki değerlerden aşağıdaki bağıntuların yardımıyla k değerleri ve bu değerlerin ortalaması k_{ort} hesaplanır. Hesaplanan k_{ort} değerleri yukarıda bulunan $\Delta V_1/ \Delta V_2$ eğimleri ile karşılaştırılır.

$$k = \frac{V_1 N_2}{V_2 N_1} ;$$

$$k_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i$$

$N_1=1200, N_2=600$

$k_1=$ $k_2=$
 $k_3=$ $k_4=$
 $k_5=$ $k_6=$
 $k_{ort}=$

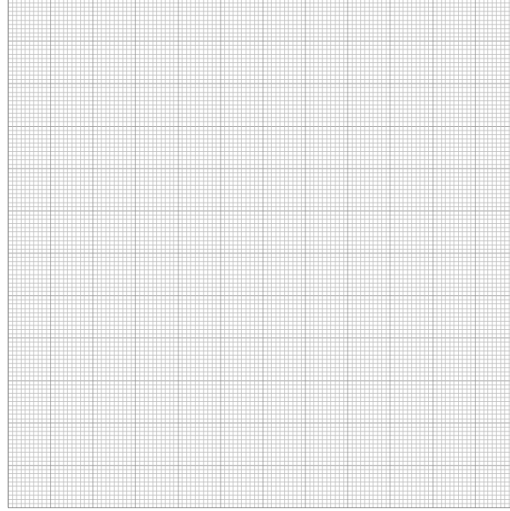
$N_1=300, N_2=1200$

$k_1=$ $k_2=$
 $k_3=$ $k_4=$
 $k_5=$ $k_6=$
 $k_{ort}=$

5. Primer ve sekonder sarguların V_2 çıkış gerilimine etkilerini saptamak amacıyla önce belirli bir primer sargı ($N_1=600$) kullanılarak, sabit V_1 gerilimi ($V_1=10$ Volt) altında sekonder sargı sayısı değiştirilerek V_2 gerilim değerleri okunarak sonuçlar **Tablo-2**' ye işlenir. Bulunan değerlere göre $V_2=f(N_2)$ eğrisi çizilir.

Tablo-2

$N_1=600$		$V_1=10$ Volt
N_2	V_2 (Volt)	
300		
600		
1200		
1800		

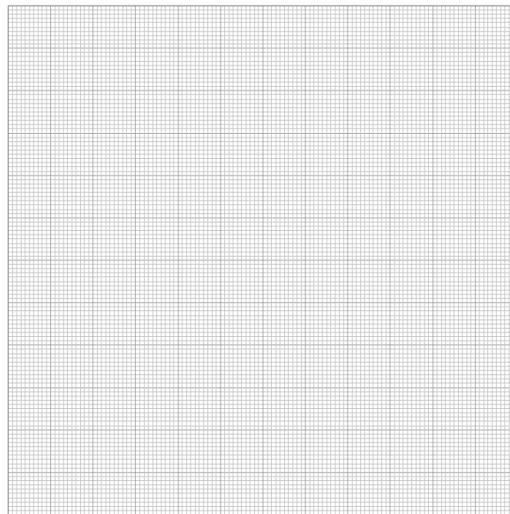


Grafik-3: $V_2=f(N_2)$ grafiği

6. Benzer şekilde belirli bir sekonder sargı ($N_2=600$) için sabit V_1 gerilimi ($V_1=10$ Volt) altında pimer sargı sayısı değiştirilerek V_2 gerilim değerleri okunarak sonuçlar **Tablo-3'** e işlenir ve $V_2=f(N_1)$ eğrisi çizilir.

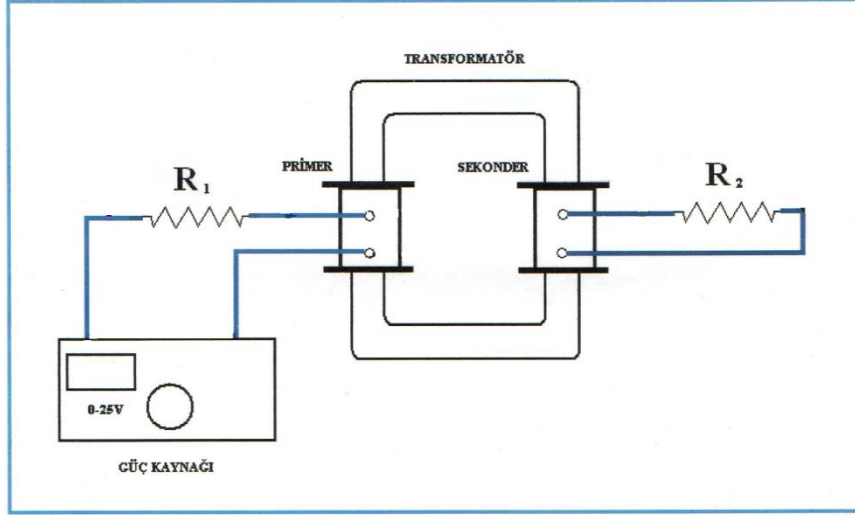
Tablo-3

$N_2=600$		$V_1=10$ Volt
N_1	V_2 (Volt)	
300		
1200		
1800		
3600		



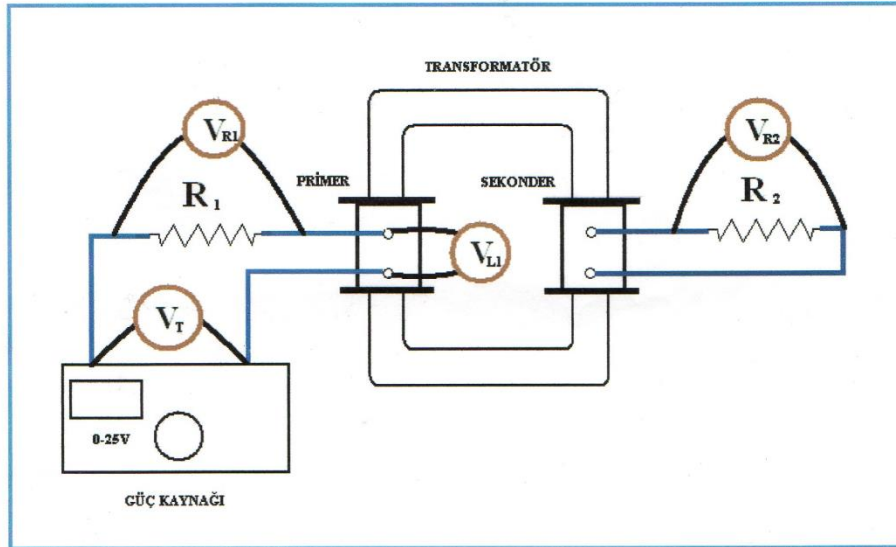
Grafik-4: $V_2=f(N_1)$ grafiği

7. Transformatorün verimini belirlemek üzere N_1 ve N_2 sarım sayılı primer ve sekonder sargılar demir çekirdek üzerine yerleştirilerek **Şekil-9'** daki devre kurulur. Devrede, güç kaynağı **10 Volt** a ayarlanır. Devrede R_1 ve R_2 dirençleri kullanılır.



Şekil-9

8. Voltmetre yardımıyla **Şekil-10'**da gösterildiği gibi V_T , V_{L1} , V_{R1} , V_{R2} gerilimleri ölçülerek sonuçlar **Tablo- 4'e** işlenir.



Şekil-10

Tablo-4

$N_1=$	$N_2=$
$V_T=$	
$V_{L1}=$	
$V_{R1}=$	
$V_{R2}=$	

Bu değerler ve aşağıdaki bağıntılar kullanılarak P_1 , P_2 gleri ve transformatörün verimi hesaplanır.

$$P_1 = \frac{V_T^2 - V_{L1}^2 - V_{R1}^2}{2R_1} =$$

$$P_2 = \frac{V_{R2}^2}{R_2} =$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} =$$

Sorular

1. Elektromotor kuvveti nedir?

2. Transformatör ekirdeğinin tek bir blok yerine yalıtılmış birçok ince plakadan yapılmasının sebebi nedir?

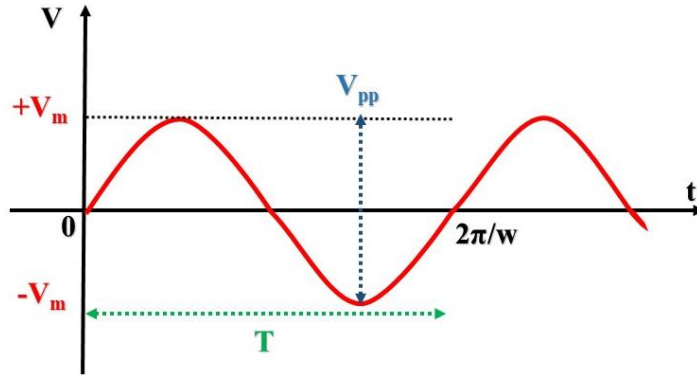
E7 OSİLOSKOPLA ÖLÇÜLER

Deneyin Amacı:

1. Bir doğru gerilimin osiloskopa ölçülmesi,
2. Alternatif gerilimin osiloskopa incelenmesi ve çeşitli büyüklüklerin belirlenmesi,
3. Direnç ve kondansatörden oluşan devrede faz farkının osiloskopa belirlenmesi.

Teorik Bilgi:

1. Alternatif Gerilim: Yönü ve şiddeti zamana bağlı olarak periyodik bir değişim gösteren potansiyel farkına alternatif gerilim denir. Şebeke geriliminde bu değişim sinüsoidal biçimdedir (Şekil 1). Alternatif gerilim çoğu zaman, AC gerilim (“Alternating Current”) olarak kısaltılırken, buna karşılık doğru gerilime de DC gerilim (Direct Current) denir.



Şekil 1. Sinüzoidal alternatif gerilim için periyot (T) ve genlik (V_m) gösterimi.

Alternatif veya şebeke gerilimin zamana bağımlılığı

$$V = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

şeklinde belirtilir. V_m gerilimin genliği (maksimum değeri), ω ise açısal frekanstır. Açısal frekans, frekans (f) ve periyoda (T)

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

ifadesi ile bağlıdır.

Sinüzoidal bir alternatif gerilimin (1) bağıntısındaki V_m maksimum değeriyle, voltmetre ile ölçülen $V=V_{\text{etkin}} (V_{\text{efektif}})$ değeri arasındaki ilişki

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

biçimindedir. Bu V gerilimine bazen, RMS (“Root Mean Square”) veya kare ortalama karekök gerilim de denir. Bu taktirde V gerilimi V_{RMS} veya V_{rms} şeklinde belirtilir. Bazen de maksimum gerilim V_m yerine bunun iki katı, yani

$$V_{\text{pp}} = 2V_m \quad (4)$$

ifadesi kullanılır: V_{pp} , “ tepeden tepeye gerilim (peak to peak)” olarak adlandırılır. Ancak (1) bağıntısının sadece sinüzoidal alternatif gerilimler için geçerli olduğuna dikkat etmek gerekir. Başka bir deyimle herhangi bir alternatif gerilim, örneğin kare dalga için (1) bağıntısı geçerli değildir. Bu bağıntı kare ortalama karekök tanımı gereğince (1) bağıntısından kolayca elde edilebilir:

$$V = V_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (V_m \sin(\omega t))^2 dt \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t) dt \right]^{1/2}$$

olduğundan $V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ dir. Herhangi bir alternatif gerilimin etkin değeri de, ilgili dalganın fonksiyonu sinüzoidal dalgaya ait olan (1) denklemi ile değiştirilerek, benzer şekilde hesaplanabilir.

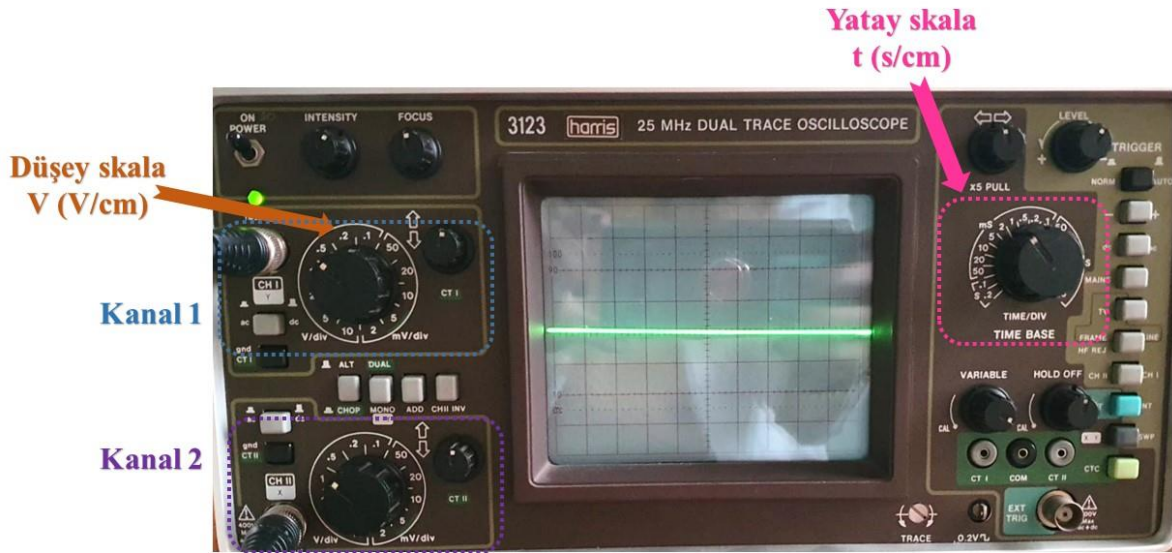
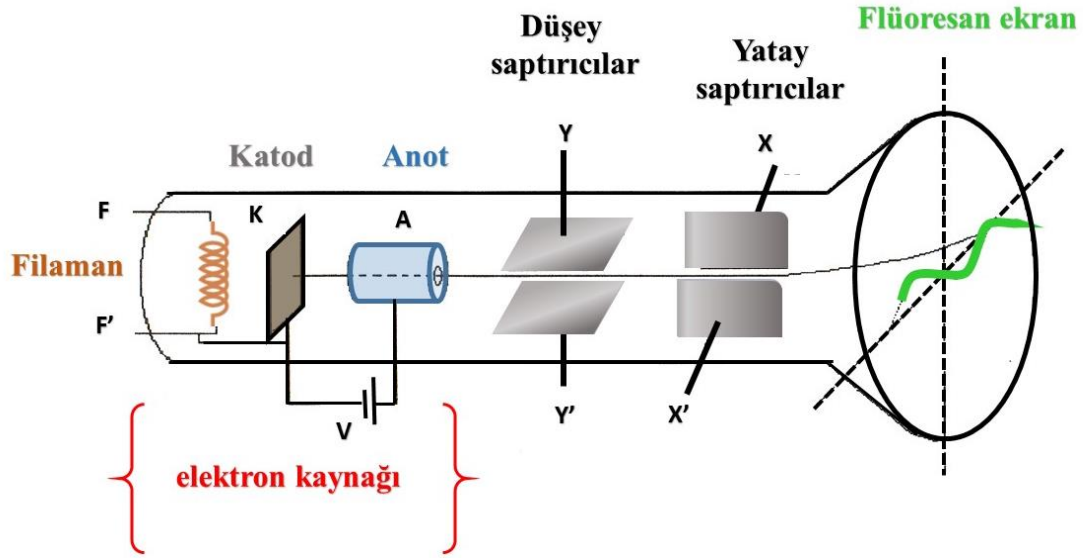
Eşit frekanslı iki alternatif gerilim eş zamanlı değişim göstermiyorlarsa bunlar arasında bir “faz farkı” olduğu söylenir. Bu takdirde gerilimlerden biri (1) bağıntısı ile verilirken diğeri,

$$V^I = V_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. φ açısı bu iki gerilim arasındaki faz farkıdır. $\varphi = 0$ ise bu iki gerilim arasında faz farkı yoktur, yani bu iki gerilim aynı fazdadır.

2. Osiloskop: Elektriksel titreşimleri incelemeye yarayan ve bunlarla ilgili ölçmelerde kullanılan osiloskobun en önemli kısmı katod ışın tüpüdür. Şekil 2’de çok basitleştirilmiş şeması görülen katod ışın tüpü, havası boşaltılmış cam tüp içinde bulunan bir elektron kaynağı ile yatay ve düşey saptırıcı paralel levha çiftlerinden oluşur. Bu tüpün ön yüzünün iç kısmı flüoresan bir madde ile kaplanarak bir ekran elde edilmiştir.

F-F' filamanın uçlarına uygulanan uygun bir gerilimle ısıtılan K katodunun saldırdığı elektronların, katod ile A anodu arasında uygulanan V gerilimi ile hızlandırılmaları sonucunda, anod çıkışında bir katod ışın demeti elde edilir. Bu elektronlar yatay saptırıcı X-X' ve dikey saptırıcı Y-Y' paralel levha çiftleri arasından geçerek çarptıkları flüoresan ekranda ışıklı bir nokta ("spot") oluştururlar.

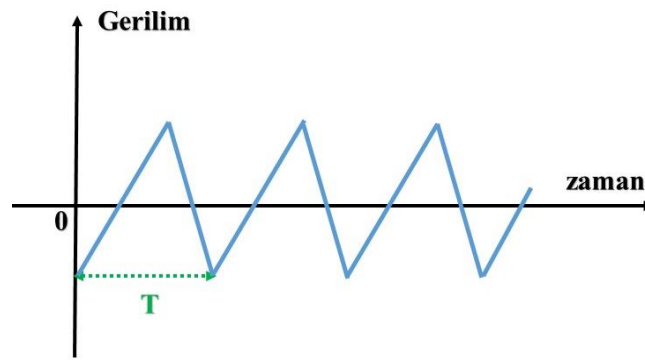


Şekil 2. Katod ışını tüpünü içeren osiloskopun şematik gösterimi ve çift kanallı osiloskop cihazının önden görünümü

Düsey konumdaki X-X' levha çiftine bir potansiyel farkı uygulanırsa oluşan elektrik alan nedeniyle elektronlar pozitif levhaya doğru çekildiklerinden spot X eksenini boyunca sapar. Bu nedenle X-X' levha çiftlerine "yatay saptırıcı" levhalar denir. Benzer şekilde, yatay

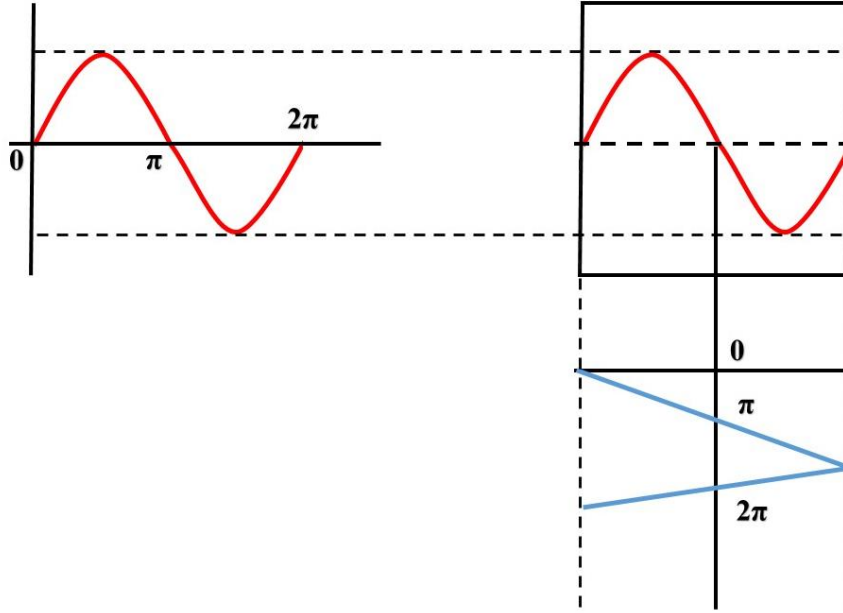
konumdaki Y-Y' levha çiftine potansiyel farkı uygulandığında da spot Y eksenı boyunca sapa: bu levhalara da “düşey saptırıcı” levhalar adı verilir. Gerek X-X', gerekse de Y-Y' levhalarına gerilimler genellikle birer yükseltici (amplifikatör) aracılığı yükseltılarak uygulanır. Bir osiloskopun duyarlılığı bu yükselticilerin niteliklerine bağılı olarak değışir.

Zamana göre değışimi incelemek istenen gerilimler düşey saptırıcı levhalara (“vertical input”) uygulanır; yatay saptırıcı levhalara (“horizontal input” veya “external input”) ise zamanla doğıru orantılı olarak artan ve başlangıç değıerine hızla geri dönen Şekil 3'deki gibi periyodik bir gerilim uygulanır. Osiloskobun kendi içindeki bir ossilatör devresinden elde edilen bu gerileme “testere dişı gerilim” veya “süpürme gerilimi” denir; bu gerilimi sağılayan devre de “zamanlayıcı (“time base”) veya “tetikleme” (“trigerring circuit”) olarak isimlendirilir.



Şekil 3. Testere dişı gerilim

Alternatif veya şebeke geriliminin osiloskobun düşey saptırıcı levhalarına, bu gerilimin frekansına uygun frekanslı bir testere dişı geriliminin ise düşey saptırıcı levhalara uygulanmasıyla osiloskop ekranında elde edilecek şekil (Şekil 4) bir sinüs fonksiyonu olacaktır. Ancak yatay saptırıcı levhalara hiç bir gerilimin uygulanmaması halinde düşey bir doğıru elde edilecektir.



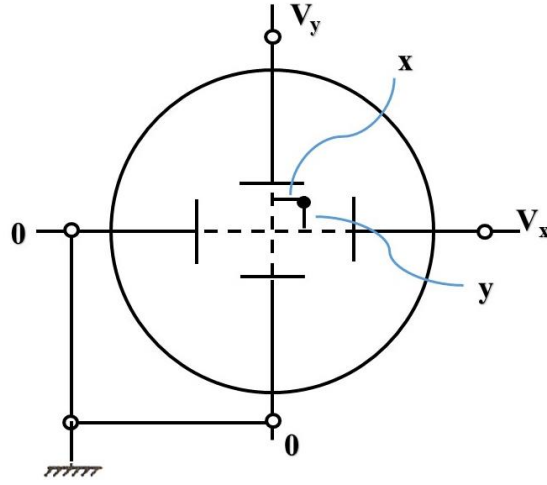
Şekil 4. Şebeke geriliminin osiloskobun düşey saptırıcı levhalarına, bu gerilimin frekansına uygun frekanslı bir testere dişi geriliminin ise düşey saptırıcı levhalara uygulanmasıyla osiloskop ekranında oluşacak sinyal (kare içerisinde)

Doğru gerilim (“DC input”) girişi olan (günümüzde tüm osiloskoplarda bu giriş mevcut) olan osiloskoplarda, düşey saptırma plakalarına uygulanan bir doğru gerilim ile ekrandaki spot pozitif elektrik yüklü levhaya doğru sapar: bu gerilim düşey saptırma levhalarına uygulanırsa, benzer şekilde spot yine pozitif yüklü levhaya doğru sapacaktır. Dolayısıyla süpürme geriliminin uygulanmaması halinde, osiloskop ekranında düşey veya yatay birer çizgi oluşacaktır. Süpürme geriliminin varlığında ise bunlar yatay çizgilere dönüşecektir.

Bazı osiloskoplarda (günümüzde kullanılan tüm osiloskoplarda) yatay saptırma plakalarına en az iki farklı gerilim uygulanarak bunların değişimlerini izlemek mümkündür; bu tür osiloskoplar genellikle “iki girişli” (“double beams”) olarak isimlendirilir. Bu osiloskoplarda, bir süpürme gerilimini kullanarak iki farklı gerilim farkı izlenebilir: dolayısıyla bunların özellikleri, en mühimi de aralarındaki faz farkı belirlenebilir.

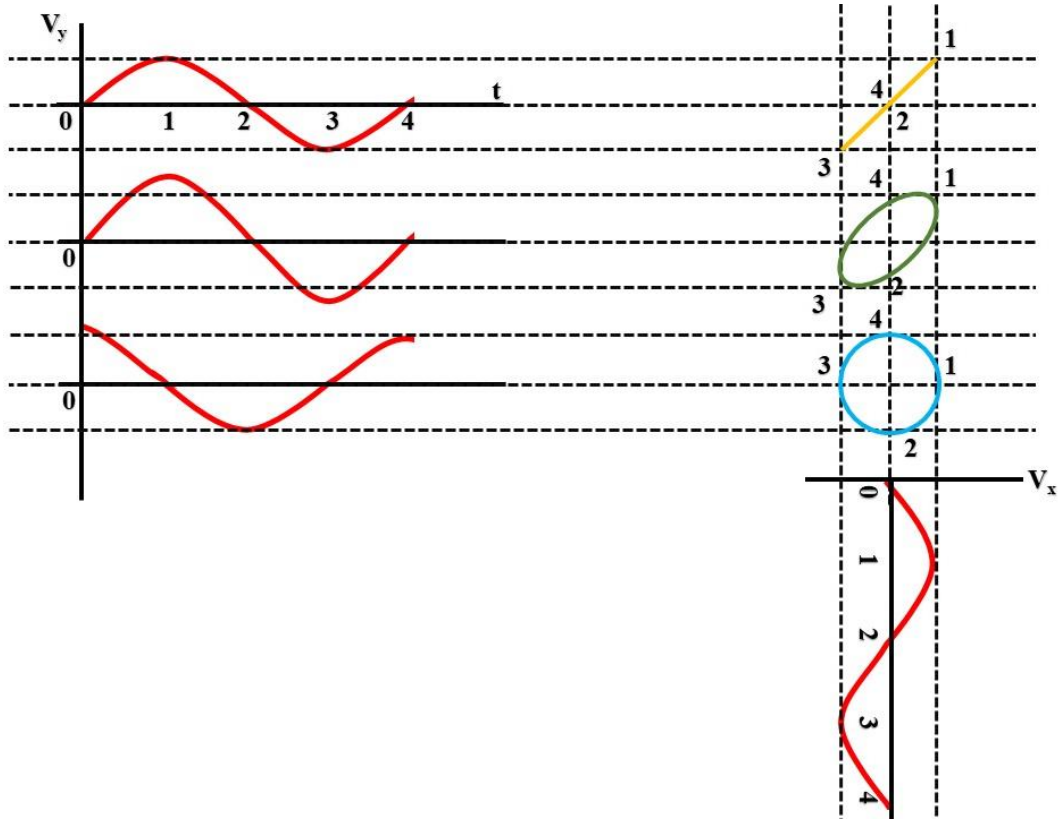
3. Lissajous Şekilleri: Osiloskopta spotun sapması levhalara uygulanan gerilimle orantılı olduğuna göre, osiloskobun yatay ve düşey saptırma levhalarına aralarında φ gibi bir faz farkı olan, eş frekanslı;

$V_x^I = V_{xm} \sin(\omega t)$ ve $V_y^I = V_{ym} \sin(\omega t + \varphi)$ gerilimleri uygulandığında (Şekil 5) spotun t anındaki konumu $x \approx V_{xm} \sin(\omega t)$ ve $y \approx V_{ym} \sin(\omega t + \varphi)$ bağıntıları ile belirlenir.



Şekil 5. Osiloskobun yatay ve düşey saptırma levhalarına aralarında bir faz farkı olan, eş frekanslı iki gerilim uygulandığında spotun t anındaki konumu

Spotun ekranda çizdiği geometrik şekil, yani yörünge en genel halde bir elipstir (Şekil 6). Ancak yatay ve düşey levhalar arasına uygulanan gerilimler arasındaki φ faz farkı 0° ise bir doğru, 90° ise bir daire elde edilir. Osiloskop ekranında elde edilebilen bu veya daha karmaşık şekillere Lissajous şekilleri denir ve iki alternatif gerilim arasındaki faz farkını belirlemek amacı ile kullanılır.



Şekil 6. Yatay ve düşey levhalar arasına uygulanan gerilimler arasındaki φ faz farkına göre oluşacak olan Lissajous şekilleri

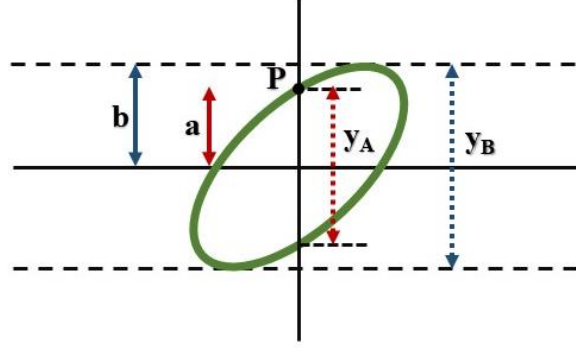
Lissajous şekilleri, farklı frekanslı iki sinüsoidal alternatif gerilimin frekanslarının karşılaştırılmalarını veya bunlardan birinin frekansının bilinmesi halinde diğerinin belirlenmesini de sağlar.

Osiloskobun yatay ve düşey saptırma plakalarına yukarıda verilen V_x ve V_y gerilimleri uygulandığında bir elips (Şekil 7) elde ediliyorsa;

$V_1 = V_{m1} \sin(\omega t)$ ve $V_2 = V_{m2} \sin(\omega t + \varphi)$ gerilimleri için P de parametrik elips denklemleri yardımıyla $V_{m1} \sin(\omega t) = 0$ ve $V_{m2} \sin(\omega t + \varphi) = a$ elde edileceğinden;

$\omega t = 0$ ve $V_{m2} \sin(\omega t + \varphi) = a$ olacaktır; ancak $V_{m2} = b$ olduğundan

$$\sin(\varphi) = \frac{a}{b} \text{ veya } \varphi = \arcsin \frac{a}{b}, \text{ dir.}$$



Şekil 7. Osiloskobun yatay ve düşey saptırma plakalarına aralarında $\varphi > 0$ olacak şekilde verilen V_x ve V_y gerilimleri uygulandığında ortaya çıkacak olan elips şekli

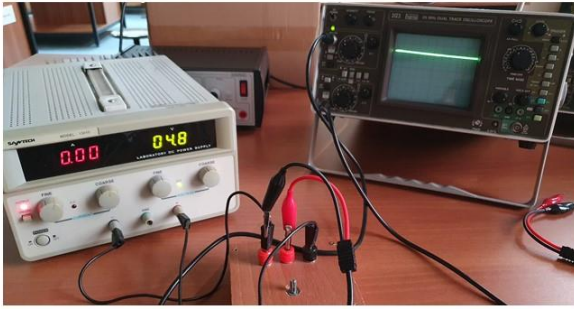
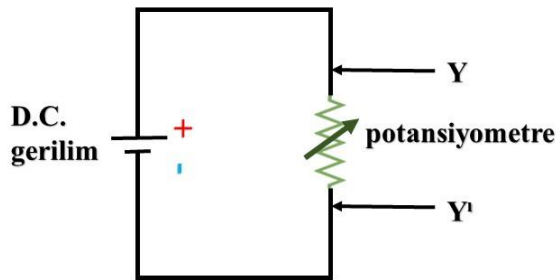
İşte osiloskop ekranında elde edilen Şekil 7'nin bir benzeri elipsin y_A ve y_B büyüklüklerinin ölçülmesi, daha doğrusu osiloskopta bu şeklin elde edildiği ayar durumunda, y_A ve y_B büyüklüklerinin belirlenmesiyle faz farkı;

$$\sin(\varphi) = \frac{y_A}{y_B} \quad \text{veya} \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{y_A}{y_B}\right) \quad (6)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Deneyin Yapılışı:

1. Doğru gerilimin ölçülmesi için bir DC gerilim kaynağı ile bir potansiyometreden oluşan Şekil 8'deki devre kurulur. Şekildeki devreden elde edilen gerilim, osiloskobun Y-Y' düşey saptırıcı levhalarına uygulanır. Potansiyometrenin çıkışındaki doğru gerilim (4 defa) değiştirilerek spotun osiloskop ekranındaki y sapma miktarı ($y_{Osiloskop}$) farklı taksimatlar (V/div) cinsinden belirlenir. Osiloskobun düşey girişinin volt/cm skalasının S değeri yardımıyla V gerilimi hesaplandır ve Tablo 1'e işlenir. Aynı işlemler gerilim kaynağının uçları ters bağlanarak farklı taksimatlar için (4 defa) tekrarlanır ve benzer şekilde hesaplanarak Tablo 1'e işlenir.



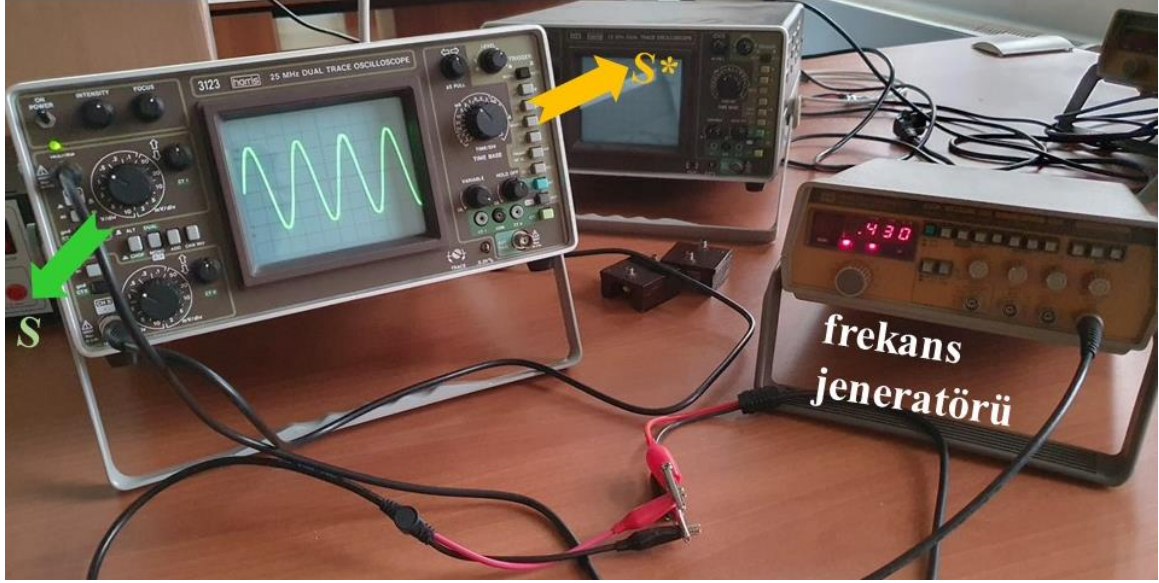
Şekil 8. Doğru gerilimin osiloskop yardımı ile belirlenmesi için şematik gösterim ve deney düzeni

2. Osiloskop ekranında görüntülenen DC geriliminin hem pozitif hem de negatif gerilim değerleri ölçülür. S; 0.2 V/cm, 0.5 V/cm, 1.0 V/cm, ve 2.0 V/cm olmak üzere $y=f(V)$ grafikleri S değerleri farklı olan 4 ayrı grafik olarak milimetrik grafik kağıdına çizilir.

Tablo 1

yOsiloskop (cm)	S (V/cm)	V (V) =yOsiloskopS
	0.2	V ₁ =+
		V ₂ =-
	0.5	V ₃ =+
		V ₄ =-
	1	V ₅ =+
		V ₆ =-
	2	V ₇ =+
		V ₈ =-

3. Şebeke geriliminin osiloskopa incelenmesi için, şebekeye bağlanan bir frekans jeneratöründen elde edilen alternatif gerilim, osiloskobun düşey saptırıcı levhalarına uygulanır (Şekil 9). Osiloskop ekranındaki “y” sapma miktarı ile bir periyotluk “x” sapma miktarı taksimat cinsinden belirlenir. Osiloskobun “S:volt/cm” ve “S*:time/cm” skalalarının S ve S* değerleri yardımıyla şebeke geriliminin periyodu, frekansı, açısal frekansı, tepeden tepeye gerilimi, genliği ve etkin değerleri hesaplanır.
4. Frekans jeneratöründen alternatif gerilimin fonksiyonu, genliği ve frekansı değiştirilerek osiloskop ekranında gözlenen üç farklı (sinüzoidal, üçgen, kare) şebeke gerilimi incelenir.
5. Bu üç farklı alternatif gerilime ait osiloskop ekranında gözlemlenen şekil milimetrik grafik kağıdına çizilir (V=f(t) olmak üzere 3 farklı grafik).

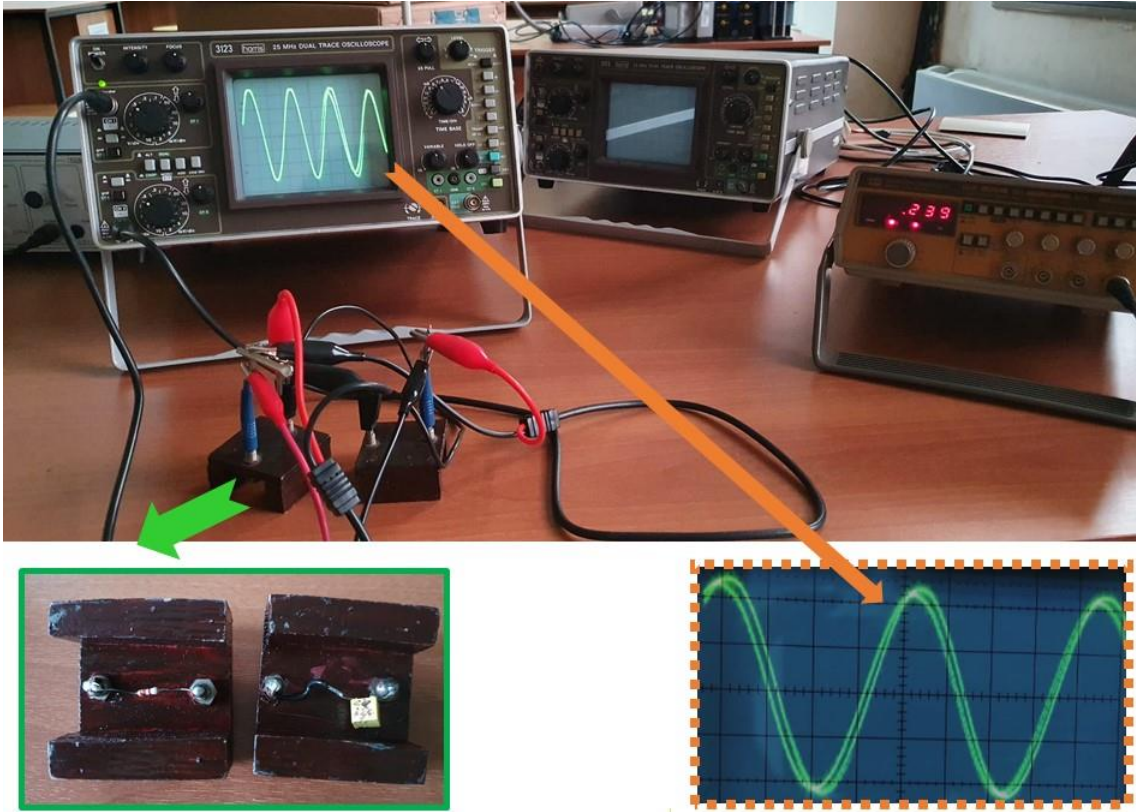
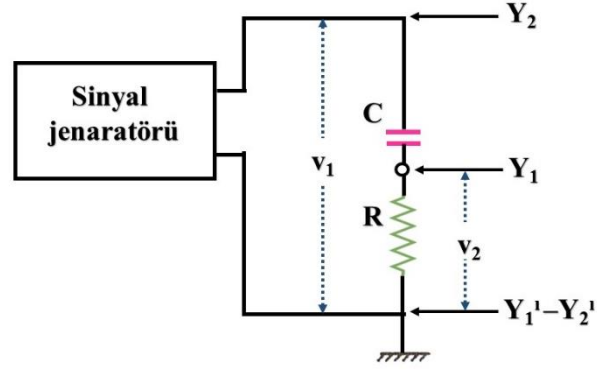


Şekil 9. Alternatif gerilimin osiloskop yardımı ile belirlenmesi için deney düzeneği

Tablo 2.

	Sinüzoidal Dalga	Üçgen Dalga	Kare Dalga
f (Hz)			
ω (rad/s)			
S (V/cm)			
S* (s/cm)			
T (s)			
V_{pp} (V)			
V_m (V)			
V_{etkin} (V)			

6. Seri bağı direnç ile kapasitör (sığaç) arasındaki faz farkının ölçülmesi için Şekil 10'daki devre kurulur. Bu durumda osiloskop ekranında iki sinüzoidal gerilim elde edilir. Bu iki gerilim arasındaki t zaman farkı osiloskobun time/cm skalasının S^* değeri yardımıyla belirlenir; benzer şekilde V gerilimlerinin T periyodu da bulunur. Bu iki değerden, bu iki gerilimin arasındaki ϕ faz farkı ($\phi^* = 360.t/T$) hesaplanarak Tablo 3'e işlenir.



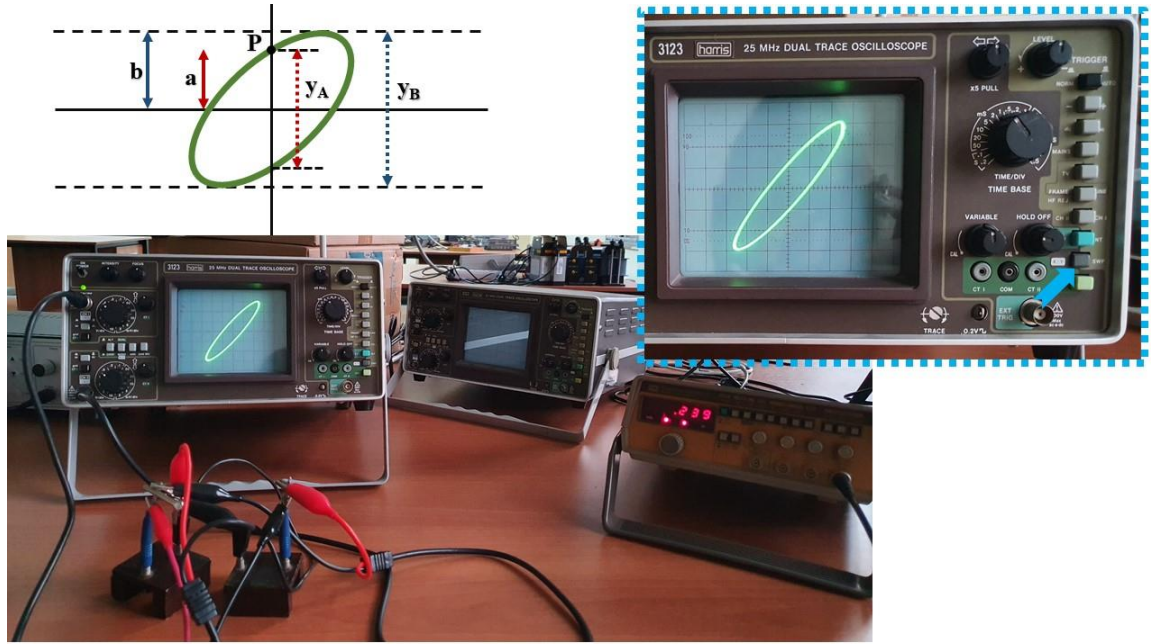
Şekil 10. Seri bağı direnç ile kapasitör arasındaki faz farkının ölçülmesi için deney düzeneği

7. Bu bölüme ait osiloskop ekranında gözlemlenen iki sinüzoidal gerilim milimetrik grafik kağıdına çizilir ($V=f(t)$).

Tablo 3.

f (Hz)	
ω (rad/s)	
S (V/cm)	
S* (s/cm)	
T (s)	
t (s)	
ϕ^* (°)	
y_A (cm)	
y_B (cm)	
$\sin \phi = y_A/y_B$	
ϕ (°)	

8. Lissajous şeklinin elde edilmesi için Şekil 10’da gösterilen V_1 ve V_2 gerilimleri osiloskoba bağlanırken, osiloskop X-Y konumuna alınarak osiloskop ekranındaki spot, düşey ve yatay konum ayarları ile ekranın merkezine getirilecek şekilde ayarlanır. Şekil 11’deki gibi osiloskop ekranında görülen elipsin y_A ve y_B değerleri ölçülerek uygun bağıntı yardımıyla faz farkı hesaplanır ($\sin \phi = y_A / y_B$, $\phi = \arcsin (y_A / y_B)$) ve tüm değerler Tablo 3’e işlenir.



Şekil 11. Faz farkının belirlenmesi için elde edilen Lissajous şeklinin şematik ve osiloskop ekranında gösterimi

SORULAR

1. Osiloskopun yatay saptırma levhalarına neden herhangi bir alternatif gerilim değil de, testere dişine benzeyen bir gerilim uygulanır?
2. Kare veya üçgen dalganın V_{RMS} gerilimleri nasıl hesaplanır? Hesaplamaları yaparak etkin değer ifadelerini bulunuz.

E8 e/m ORANININ TAYİNİ

Deneyin Amacı:

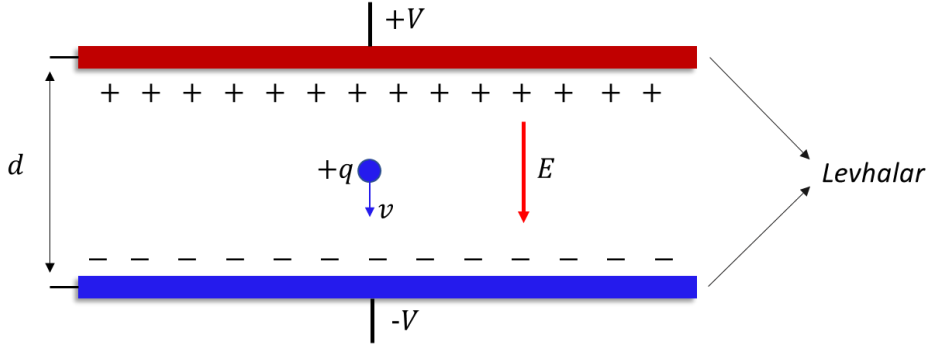
1. Elektrik alanın elektrik yüküne etkisinin araştırılması.
2. Manyetik alanda hareket eden elektrik yükünün yörüngesinin belirlenmesi.
3. Elektronun e/m oranının ölçülmesi.

Teorik Bilgi:

1. **Elektrik Alan Etkisi:** Düzgün bir E elektrik alanı içindeki q elektrik yüküne

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1)$$

ile belirlenen bir kuvvet etki eder. Düzgün bir elektrik alan en basit şekilde, birbirine yakın iki paralel iletken levhaya bir gerilim farkı uygulamakla elde edilir (Şekil 1).



Şekil 1. Paralel plaka levhalar kullanılarak elektrik alanın elde edilmesi.

Bir elektrik alandaki q yükü, (1) bağıntısıyla belirlenen bir kuvvetin etkisinde olduğuna göre a ivmesini kazanır ve yükün işaretine bağlı olarak zıt yüklü plakalardan birine doğru yönelir. Bu ivmenin büyüklüğü

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$$

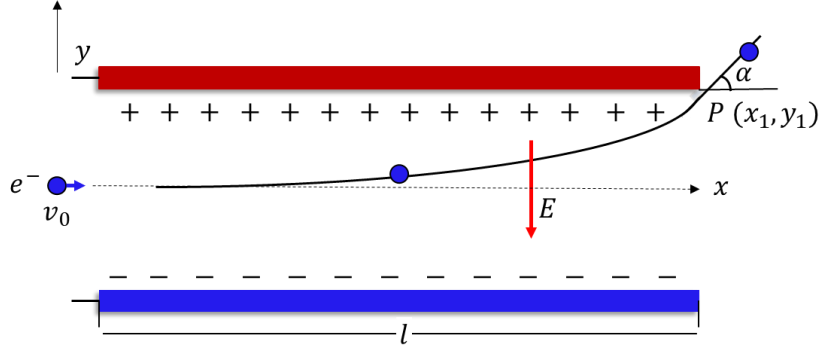
ile verilir. Dolayısıyla $t = 0$ anında durgun halde olan q yükü t anında

$$v = at = \frac{qE}{m}t$$

hızı ile hareket eder ve bu sürede

$$l = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$$

yolunu kat eder.



Şekil 2. Elektronun elektrik alan altında elektriksel kuvvet ile sapması.

Bu q yükünün, örneğin $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}$ C elektrik yüküne sahip bir elektronun, v_0 ilk hızı ile Şekil 2’de gösterildiği gibi E elektrik alanına girdiği düşünülürse, hareketi

$$x = v_0 t \quad \text{ve} \quad y = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$$

bağıntıları yardımı ile belirlenir. Burada $m_0 \cong 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg elektronun durgun kütlesidir. Elektronun hareketinin yörüngesi parabolüdür ve

$$y = \frac{eE}{2mv_0^2} x^2 \quad (2)$$

denklemleriyle belirlenir. Ancak bu elektron $P(x_1, x_2)$ noktasında elektrik alanın etkisinden kurtulur ve P noktasındaki hızı ile, x eksenine doğrultusuyla yaptığı α açısını koruyarak düzgün doğrusal hareket yapar. Bu elektronun ilk hızı, $E_k = \left(\frac{1}{2}\right) m v_0^2$ kinetik enerjisinden oluştuğuna göre $v_0^2 = 2E_k/m$ dir. Ancak pratikte, elektronlar ilk hızlarını genellikle, bir kızgın flamanda oluşturulan V_A potansiyel farkı ile hızlandırılmaları sonucu kazanırlar. Buna göre

$$eV_A = \frac{1}{2} m v_0^2$$

olduğundan

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eV_A}{m}} \quad (3)$$

ile ifade edilebilir. Dolayısıyla (2) bağıntısı da

$$y = \frac{E}{4V_A} x^2 \quad (4)$$

halini alır. İletken plakalara uygulanan gerilim farkı V_P ise, $E = \frac{V_P}{d}$ olduğundan,

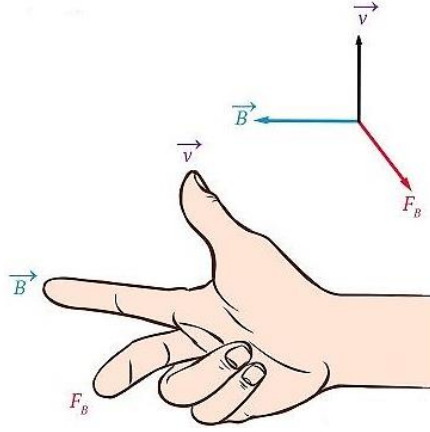
$$y = \frac{V_P}{4dV_A} x^2 \quad (4')$$

olarakta ifade edilebilir.

2. Magnetik Alanın Etkisi: q elektrik yükünün v ortalama hızı ile, düzgün bir manyetik alandaki hareketinde, bu yüke

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (5)$$

kuvveti etki eder Bu kuvvetin doğrultusu v ile B 'nin düzlemine diktir ve yönü de sağ el kuralı ile belirlenir (Şekil 3).



Şekil 3. Sağ el kuralının şematik gösterimi. (<https://www.pasco.com/products/guides/right-hand-rule>).

Ancak hareketli q yükünün v hızı B 'ye dik ise, (5) bağıntısı

$$F = qvB \quad (5')$$

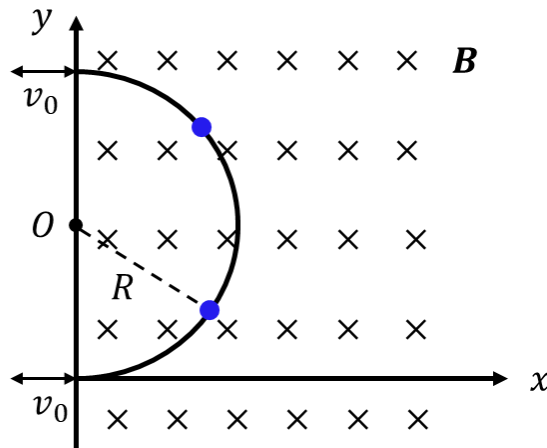
şeklinde ifade edilir. Fakat her zaman $\vec{F} \perp \vec{v}$ olduğundan q yükü manyetik alanda düzgün dairesel hareket yapar. Bu takdirde yörüngenin R yarıçapı

$$F = qvB = \frac{mv^2}{R}$$

ifadeleri kullanılarak

$$R = \frac{mv}{qB} \quad (6)$$

olarak elde edilir.



Şekil 4. Yüklü parçacıkların manyetik alan altındaki hareketi.

Şu hâlde bir q yükünün, örneğin bir elektronun v_0 ilk hızı ise, Şekil 4'te gösterilen bir manyetik alana girdiği düşünülürse, eğer manyetik alan B sayfa düzlemine dik doğrultuda ve sayfanın arkasına doğru yönelmiş ise,

$$R = \frac{mv_0}{eB} \quad (6')$$

çemberi boyunca dairesel hareket yaparak aynı v_0 hızı ile alanı terk eder. Diğer taraftan bu elektron, V_A potansiyel farkı ile v_0 hızı kazanmışsa, (3) numaralı denklem yardımıyla

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV_A}{e}} \quad (7)$$

olarak elde edilir. Dolayısıyla belirli bir V_A için R ile B çarpımları sabittir. Bu son bağıntı yardımıyla, R 'nin ölçülmesi ve B 'nin bilinmesi halinde, elektronların e/m oranları

$$\frac{e}{m} = \frac{2V_A}{R^2 B^2} \quad (8)$$

ifadesinden kolayca hesaplanabilir.

3. Elektrik ve manyetik alanın birlikte etkisi

Manyetik alanla birlikte bir elektrik alanın da etkisinde bulunan bir q yüküne

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (9)$$

bağıntısı ile belirlenen "Lorentz kuvveti" etki eder. Bu taktirde q yükünün yörüngesi bazı özel durumlar haricinde, oldukça karmaşık görünümlüdür.

Ancak bir q yükünün, örneğin negatif yüklü elektronun Şekil 5'te görüldüğü üzere, $\vec{E} \perp \vec{B}$ olan bir alandaki hareketinde uygun bir manyetik alan (B) ve elektrik alan (E) seçilmesi halinde $F_L = 0$ olabilir; bu taktirde, elektronun ilk hızı v_0 ise, (9) numaralı ifadede

$$eE = ev_0B \quad (10)$$

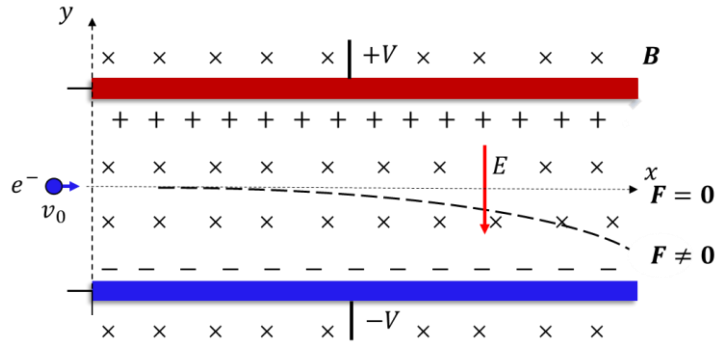
veya

$$v_0 = \frac{E}{B}$$

şeklinde ifade edilebilir. Dolayısıyla e/m oranı da $E = V_p/d$ ise (3) ve (10) bağıntılarından

$$\frac{e}{m} = \frac{v_p^2}{2d^2 B^2 V_A} \quad (11)$$

olarak elde edilir.

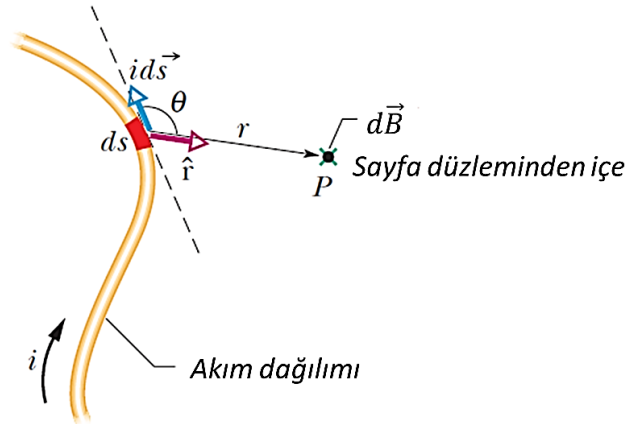


Şekil 5. Yüklü parçacıkların elektrik ve manyetik alan altındaki hareketi.

4. Biot-Savart Kanunu: İçinden i akımı geçen bir iletkenin r mesafesinde oluşturduğu manyetik alan

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i$$

bağıntısı ile verilen Ampere Kanunu ile belirlenebilir. Ancak bu integral düzgün bir kapalı eğri için kolayca hesaplanabilir. Aksi halde bunun yerine, akım taşıyan iletkeni ds akım elemanlarına bölersek bunların oluşturdukları dB manyetik alanlarının hesaplanması bazen fayda sağlar.



Şekil 6. Akım taşıyan tel (Halliday, David, Fundamentals of Physics, 9th ed.).

İçinden i akımı geçen bir ds akım elemanın, r uzaklığındaki bir P noktasında oluşturacağı dB manyetik alanı (Şekil 6)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \quad (13)$$

bağıntısı ile verilir Ancak iletkene teğet olan ds ile r arasındaki açı θ ise, (13) bağıntısı

$$dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{ds \sin\theta}{r^2} \quad (13')$$

şeklinde ifade edilebilir; (13) veya (13') bağıntıları Biot-Savart Kanunu olarak adlandırılır. Bu bağıntıdaki $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T.m/A) manyetik geçirgenlik katsayısıdır. Herhangi bir iletkenin

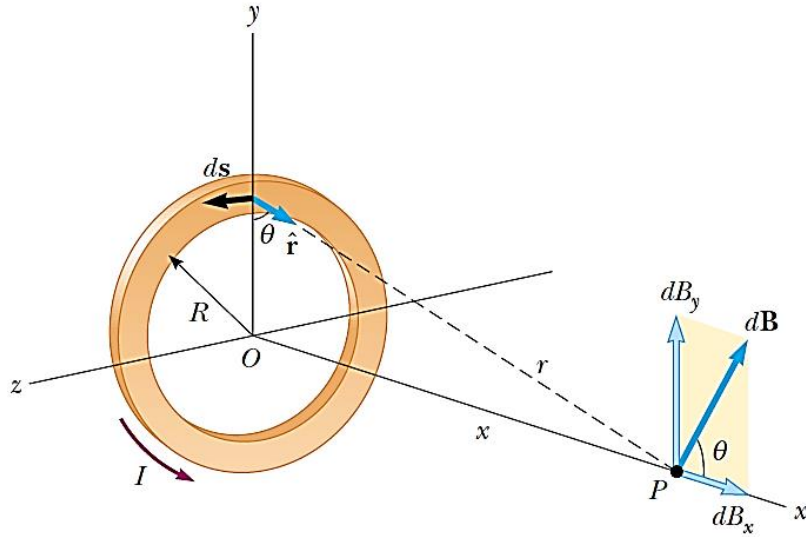
birbirlerini uç uca takip eden birçok akım elemanından oluştuğu kabul edilirse, iletkenin P noktasında oluşturduğu manyetik alan da

$$B = \int dB \quad (14)$$

şeklinde bir vektör integrali ile belirlenebilir. Örneğin; i akımının geçtiği bir dairesel çerçeve ekseninde ve merkezinden x kadar uzaklıktaki bir P noktasındaki oluşturduğu manyetik alan bu bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir. Çerçeve sayfa düzlemine dik ise, ds akım elemanı da sayfa düzlemine diktir ve sayfadan çıkan yöndedir; diğer taraftan r ile ds arasındaki açı 90° olduğundan, ds 'nin P 'de oluşturduğu elementer manyetik alanın büyüklüğü, (13') nolu ifadeye göre,

$$dB = \frac{\mu_0 I ds \sin\theta}{4\pi r^2}$$

ile verilir.



Şekil 7. Akım geçen bir dairesel çerçevenin ekseninde ve merkezinden x kadar uzaklıktaki bir P noktasındaki oluşturduğu manyetik alan (Serway. Physics for Scientists and Engineers. Belmont, CA: Thomson-Brooks/Cole, 2004).

Ancak dB 'nin, yalnızca dB_x yatay bileşeninin etkisi vardır; zira dB_y düşey bileşeni simetri nedeniyle dengelenir. Bu taktirde

$$dB = dB \cos\theta = \frac{\mu_0 I \cos\theta ds}{4\pi r^2}$$

Buna ek olarak,

$$r = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{ve} \quad \cos\theta = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

olduğundan

$$dB = \frac{\mu_0 I R}{4\pi (R^2 + X^2)^{3/2}} ds$$

olarak elde edilir. Dolayısıyla tüm akım elemanlarının P 'de oluşturduğu toplam manyetik indüksiyonda (14) numaralı denklemi kullanarak:

$$B = \int dB_x = \frac{\mu_0 IR}{4\pi(R^2 + X^2)^{3/2}} \int ds = \frac{\mu_0 IR}{4\pi(R^2 + X^2)^{3/2}} (2\pi R)$$

veya

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}} \quad (15)$$

olarak elde edilir. Ancak bu çerçeve N sarımdan oluşmuşsa bu son bağıntı,

$$B = \frac{\mu_0 NIR^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}} \quad (15')$$

şekline dönüşür.

5. Helmholtz Bobinleri: Aynı eksenli birbirinin eşi iki paralel bobin arasında a uzaklığı bırakılarak seri bağlanmasıyla elde edilen sistem ‘‘Helmholtz düzeneği’’ ve bu bobinler de ‘‘Helmholtz bobinleri’’ olarak anılır. Her ikisi de r yarıçapına ve N sarım sayısına sahip seri bağlı bu iki bobinden I akımı geçirildiğinde ve O merkezinden x uzaklığındaki bobinlerin ekseninde bir P noktasında oluşan manyetik indüksiyon, (15) bağıntısına göre;

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r} \left[\frac{1}{\left[1 + \left(\frac{x-a/2}{r}\right)^2\right]^{3/2}} + \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{x+a/2}{r}\right)^2\right]^{3/2}} \right] \quad (16)$$

şeklinde ifade edilebileceği kolayca anlaşılır. Helmholtz bobinleri arasında uygun bir a mesafesi bırakılarak, bobinler arasında, özellikle bobinlerin ekseninde boyunca nispeten düzgün bir manyetik alan oluşturulabilir; esasen Helmholtz bobinleri bu amaç için kullanılır. Bobinler arasındaki mesafenin $a = r$ olması halinde eksen boyunca kısmen düzgün bir manyetik alan sağlanabilir; başka bir deyişle bu durumda bobinler arasında B manyetik alan vektörünün şiddetinin yere bağlı değişimi minimum olur. Bu takdirde; sistemin O merkezindeki ($x = 0$) manyetik alanın büyüklüğü (16) bağıntısından

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r \left[1 + \left(\frac{r/2}{r}\right)^2\right]^{3/2}} + \frac{\mu_0 NI}{2r \left[1 + \left(\frac{-r/2}{r}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{\mu_0 NI}{2r \left(\frac{5}{4}\right)^{3/2}}$$

dir. Dolayısıyla sistemin O merkezindeki manyetik alanın büyüklüğü,

$$B = \frac{8\mu_0 NI}{r(\sqrt{5})^3} \quad (17)$$

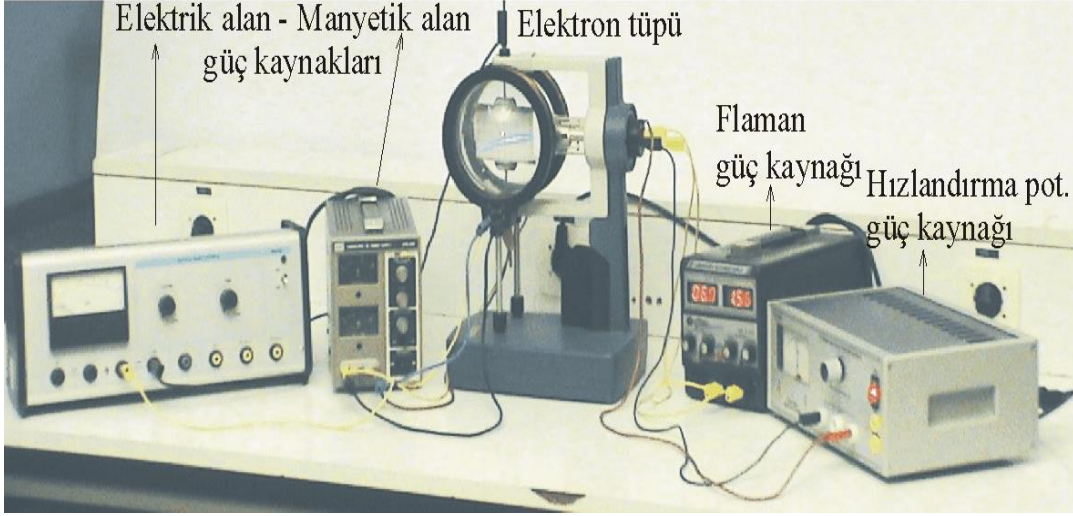
veya μ_0 'ın değeri ile

$$B = \frac{32 \cdot 10^{-7} \pi N I}{5\sqrt{5} r} \quad (17')$$

bağıntısı ile belirlenebilir.

Deneyin Yapılışı:

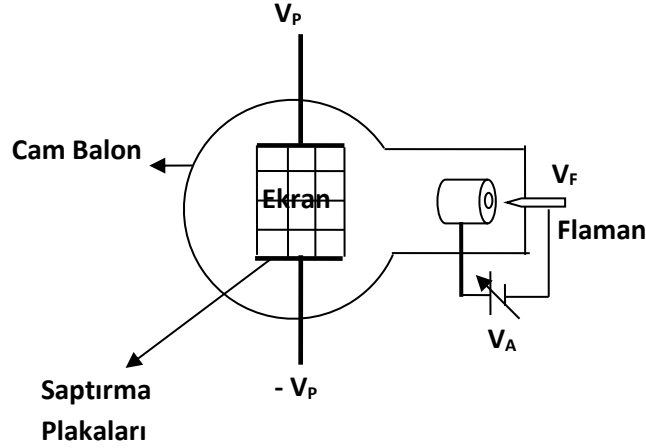
Deney düzeneğinin gerçek görüntüsü Şekil 8'deki gibidir. Deney üç aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 8. Deney düzeneğinin gerçek görüntüsü.

Elektrik Alan Etkisi:

1. Havası kısmen boşaltılmış, Şekil 9'de görülen cam balon içinde V_F gerilimiyle ısıtılan flamanda açığa çıkan elektronlar V_A gerilimiyle hızlandırılırsa elektron huzmesi görülür. Bunun için Şekil 1'de gösterilen devre kurulur. V_F ve V_A gerilimleri uygulanarak elektron hızlanması elde edilir.



Şekil 9. Katot tüpünün şematik gösterimi.

2. Hızlanan elektronlara elektrik alan etkisinin incelenmesi amacı ile cam balon içindeki düşey saptırma plakalarına (plakalar arası mesafe $d = 5,2 \text{ cm}$ 'dir) yüksek gerilim kaynağından elde edilen saptırma gerilimi (V_P) uygulanır.

3. Farklı (V_A) gerilimleri için elektron huzmesinin parabol yörüngelerinin sabit kalması sağlanır. Bu durumlara ait (V_P) gerilimleri belirlenir ve Tablo 1'e işlenir.

Tablo 1. Elektrik alan etkisine ait veri sonuçları

x (cm)	y (cm)	V_A (V)	V_P (V)
10	1	2500	
10	1	3000	
10	1	3500	
10	1	4000	

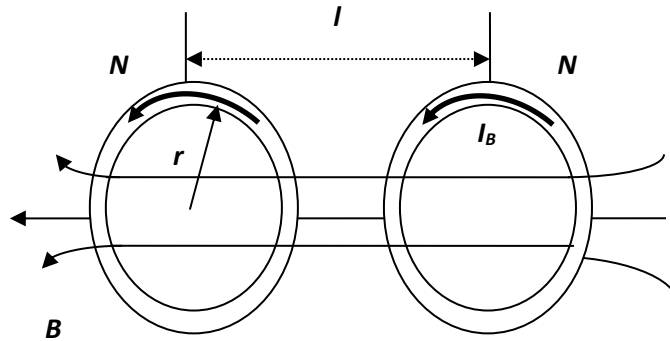
4. Tablo 1'deki değerlerden $V_A = f(V_P)$ eğrileri çizilir.

5. Çizilen eğrinin bir doğru olduğu görülür ve doğrunun eğimi hesaplanır. Bulunan sonuç aşağıda verilen denklem sonucu ile kıyaslanır.

$$\frac{V_A}{V_P} = \frac{x^2}{4yd} = \dots$$

Manyetik Alan Etkisi:

6. Elektronun huzmesine manyetik alanın etkisinin incelenmesi amacı ile seri bağlı Helmholtz bobinlerinden I_B akımı geçirilir ve elektron huzmesinin sapması sağlanır (Şekil 10).



Şekil 10. Helmholtz bobinleri için manyetik alan çizgileri.

7. Hızlandırma gerilimi sabit bir değerde tutulur ($V_A = 3500$ V). Helmholtz bobinlerinden farklı miktarda akımlar (I_B) geçirilerek elektron huzmesinin Tablo 2'de verilen (x, y) koordinatlarında sapması sağlanır.

Tablo 2. Manyetik alan etkisine ait veri sonuçları.

V_A (V)	x (cm)	y (cm)	I_B (A)	R	B	$B \times R$	e/m
3500	10	1					
	9	1					
	8	1					
	7	1					
	6	1					

8. Tablo 2'deki x ve y değerleri kullanılarak elektron huzmelerinin R yarıçapları hesaplanır. Helmholtz bobinlerinin oluşturduğu manyetik alan değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır ve sonuçlar Tablo 2'ye işlenir. Hesaplamalar için $N = 320$ sarım ve $r = 0,068$ m alınır.

$$x = \dots\dots, y = \dots\dots \text{için}; \quad R = \frac{x^2 + y^2}{2y} = \dots\dots$$

$$I = \dots\dots \text{için}, B = \frac{32 \times 10^{-7} \pi N I}{5 \sqrt{5} r} = \dots\dots$$

9. Elde edilen B ve R değerlerinden ($B \times R$) çarpımları hesaplanır ve sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

10. ($B \times R$) sabit kalması için $R = f(I_B)$ eğrisi çizilir.

11. $\frac{e}{m} = \frac{2V_A}{R^2 B^2}$ bağıntısına göre de elektronların e/m oranları tespit edilerek, sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

Elektrik ve Manyetik alan Etkisinin Birlikte İncelenmesi

12. Elektron huzmesine aynı anda elektrik ve manyetik alanların birlikte etkisinin incelenmesi amacıyla önce manyetik alan etkisi uygulanır. Bunun için elektronlar belirli bir V_A gerilimi ile hızlandırılır ve Helmholtz bobinlerinden I_B akımı geçirilerek oluşturulan manyetik alan etkisinde sapmaları sağlanır. Elektron huzmesinin sapma miktarının Tablo 3'te verilen x ve y koordinatlarına göre olması sağlanır. Sapmış olan elektron huzmesine saptırma plakaları aracılığı ile V_P gerilimi uygulanır; elektronların dairesel bir yörünge üzerinde hareket edemediği gözlenir. Uygun bir V_P seçilerek manyetik alandan ileri gelen sapma önlenir ve

$B = \frac{32 \times 10^{-7} \pi N I}{5 \sqrt{5} r}$ ve $\frac{e}{m} = \frac{V_P^2}{2 d^2 B^2 V_A}$ bağıntıları yardımı ile $\frac{e}{m}$ oranları hesaplanır ve sonuçlar Tablo 3'e işlenir.

Tablo 3

x (cm)	y (cm)	V_A	I_B	V_P	B	e/m
10	1	3500				
9	1					
8	1					
7	1					
6	1					

$$I = \dots\dots \text{için}; B = \frac{32 \times 10^{-7} \pi N I}{5 \sqrt{5} r} = \dots\dots$$

$$\frac{e}{m} = \frac{V_P^2}{2 d^2 B^2 V_A} = \dots\dots$$

Sorular

1. Elektrik ve manyetik alanların etkisindeki bir yüklü parçacığın yörüngesi nedir?
2. Elektrik alanda hareket eden elektrik yükünün, herhangi bir konumdaki hızını veren bağıntıyı belirleyiniz.

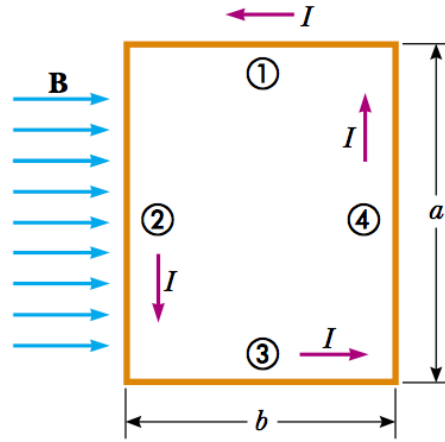
E9 MANYETİK ALAN İÇERİSİNDE İLETKEN HALKANIN MANYETİK MOMENTİ

Deneyin Amacı: Düzgün manyetik alan içerisinde akım taşıyan halkaya etkiyen torkun,

1. Dış manyetik alanın değişimi ile,
2. Akım taşıyan halkanın sarım sayısının değişimi ile,
3. Akım taşıyan halkanın alanının değişimi ile incelenmesi.

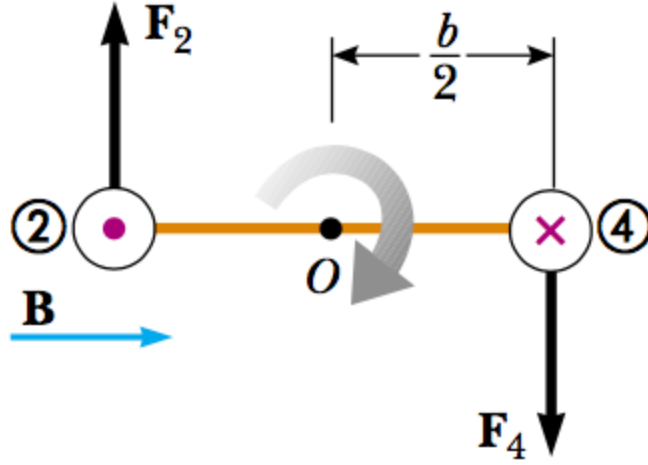
TEORİK BİLGİ

Şekil 1’de gösterildiği gibi, düzgün bir \vec{B} manyetik alan içerisine I akımı taşıyan dikdörtgen bir ilmek düşünelim. İlmeğin, 1 ve 3 numaralı tellerde, akım ve manyetik alan paralel olduğu için, bu kolları vektörel çarpım $\vec{l} \times \vec{B} = 0$ olur yani hiçbir kuvvet bu tellere etki etmez. Ancak, 2 ve 4 numaralı tellerde akım ve manyetik alan birbirine diktir. Bu kollarıdaki kuvvetin büyüklüğü $F_2 = F_4 = IaB$ olur.



Şekil 1. Düzgün bir manyetik alanda üzerinden akım geçen bir dikdörtgen ilmeğin üstten görünüşü.

Tel 2’ye uygulanan \vec{F}_2 kuvvetin yönü sayfa düzlemi dışıdır. Tel 4’e uygulanan \vec{F}_4 kuvvetin yönü ise sayfa düzlemi içindedir. \vec{F}_2 ve \vec{F}_4 kuvvetlerinin yönleri Şekil 2’de gösterilmiştir. İki kuvvet zıt yönlere, ancak ilmeğin farklı noktalarında (I akımının yönleri tel 2’de nokta ile sayfanın dışına, tel 4’de çarpı ile sayfanın içine doğru yönü göstermektedir). Bu iki kuvvetin etkisiyle O eksenine göre tork oluşur. İlmek, saat yönünde döner. Oluşan torkun büyüklüğü:



Şekil 2. Üstteki ilmeğin (Şekil 1), Tel 3 tarafından görünümü.

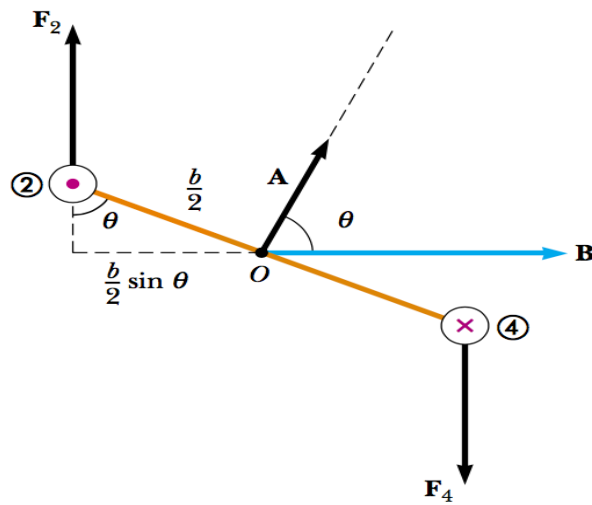
$$\tau = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2} = I(ab)B \quad (1)$$

şeklinde olur. Burada O eksenine göre moment kolu her iki kuvvet için, $b/2$ dir. İlmek alanı $A = ab$ olduğundan torkun büyüklüğünü,

$$\tau = IAB \quad (2)$$

şeklinde yazabiliriz. Bu eşitliğin sadece manyetik alanın ilmek düzlemine paralel olduğu zaman geçerli olduğuna dikkat ediniz.

Şimdi ilmeğin \vec{B} manyetik alan ile her hangi bir θ açısı yapacak şekilde döndürülmesi durumunu inceleyelim (Şekil 3).



Şekil 3. Dönme eksenine göre küçük sapma yapmış ilmeğin alttan görünümü.

2 ve 4 numaralı kollarda kuvvetler eşittir ($F_2 = F_4 = IaB$). O eksenini etrafındaki net tork,

$$\tau = F_2 \frac{b}{2} \sin\theta + F_4 \frac{b}{2} \sin\theta = (IaB) \frac{b}{2} \sin\theta + (IaB) \frac{b}{2} \sin\theta \quad (3)$$

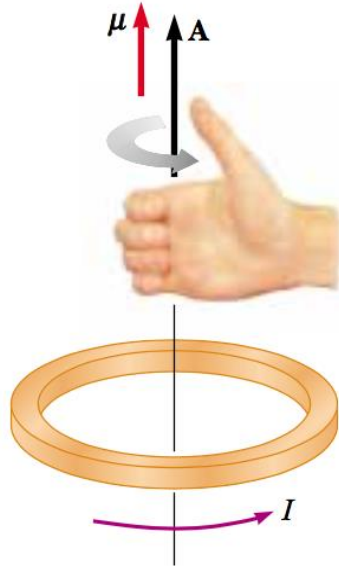
$$\tau = I(ab)B \sin\theta = IAB \sin\theta \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu formül göz önünde bulundurduğumuz sistem için torkun büyüklüğünü veren en genel formüldür.

En genel durumda düzgün manyetik alan içerisindeki akım ilmeğine (halkasına) etkiyen tork,

$$\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B} \quad (5)$$

şeklinde verilir. Burada \vec{A} ilmek düzlemine diktir ve büyüklüğü ilmeğin alanına eşittir. \vec{A} 'nın yönü Şekil 4'te gösterildiği gibi sağ el kuralı ile belirlenir. Sağ elin dört parmağı ilmekteki akım yönünde kıvrıldığı zaman, başparmak \vec{A} 'nın yönünü gösterir.



Şekil 4. Akım taşıyan kapalı ilmeğin manyetik dipol momenti yönü.

$I\vec{A}$ çarpımı ilmeğin **manyetik dipol momenti**, $\vec{\mu}$ olarak tanımlanır.

$$\vec{\mu} = I\vec{A} \quad (6)$$

Manyetik momentin SI sisteminde birimi *amper-metre*² ($A \cdot m^2$) dir. Ayrıca bu tanıımı kullanarak,

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (7)$$

yazabiliriz. Bu sonucun ortamda elektrik alan (\vec{E}) olduğu zaman elektrik dipol momente (\vec{p}) etkiyen torka ($\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$) benzerliğine dikkat ediniz.

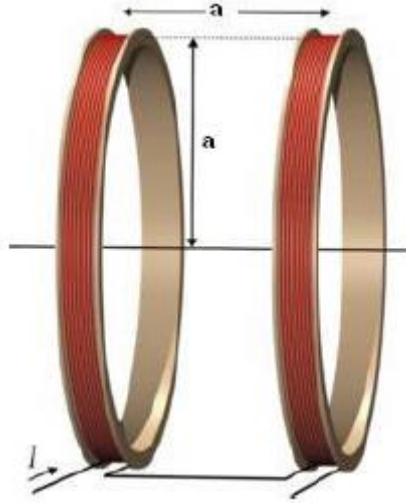
Eğer bir ilmek aynı akımı taşıyan ve aynı alanı çevreleyen n sarımdan oluşmuşsa (bobin) ilmeğin toplam manyetik momenti $\vec{\mu} = nI\vec{A}$ şeklinde verilir. Dolayısıyla n sarım sayına sahip akım halkasına etki eden torku,

$$\vec{\tau} = nI\vec{A} \times \vec{B} \quad (6)$$

şeklinde genel olarak ifade edebiliriz.

HELMHOLTZ BOBİNLERİ

Sınırlı bir bölgede düzgün bir manyetik alana gereksinim duyulduğunda, Helmholtz bobinleri adı verilen bir sistem kullanılmaktadır. Bu sistem, Şekil 5'deki gibi yarıçapları a ve birbirine paralel düzlemleri arası uzaklık da a olan iki bobinden oluşmaktadır.



Şekil 5. Helmholtz bobinleri

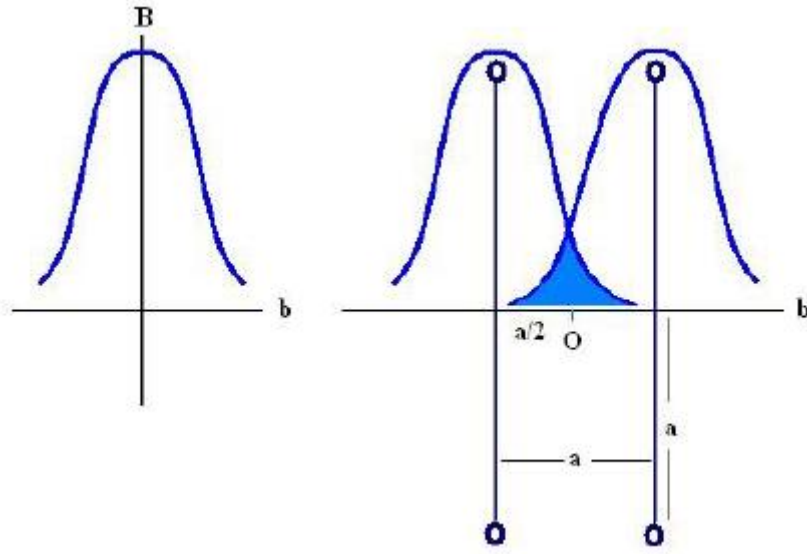
Dairesel bir iletkenin simetri eksenindeki bir noktada manyetik alan değeri Ampere yasası ile verilmektedir.

$$B = \mu_0 \frac{IR^2}{\sqrt{R^2+x^2}} \quad (7)$$

N sarımlı ve a yarıçaplı dairesel bir iletken olan bobinin simetri eksenindeki ve bobin merkezinden b uzaklıktaki manyetik alan şiddeti bobinin eksen boyunca (8) bağıntısına göre hızla azalmaktadır.

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{NIa^2}{\sqrt{a^2+b^2}} \quad (8)$$

Şekil 6'dan da görüldüğü gibi manyetik alan, bobinin merkezi yakınında çok küçük uzaklıklar için düzgün kabul edilmektedir.



Şekil 6. Bir bobinin manyetik alanı ve Helmholtz bobinlerinin manyetik alanı.

Helmholtz bobinlerinin tam ortasındaki taralı bölgede, geniş ve düzgün bir manyetik alan oluşmaktadır. Bu nedenle N sarımlı tek bir bobin yerine, N sarımlı Helmholtz bobinleri kullanılarak, bunlarla O merkezi yakınında belli bir uzaklık boyunca düzgün bir manyetik alan elde edilebilmektedir. O noktasından itibaren iki bobinin oluşturduğu manyetik alan değeri, $b = \frac{a}{2}$ olduğundan,

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{NIa^2}{\sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}}} = \left(\frac{8}{5\sqrt{5}} \right) \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{a} \quad (9)$$

olarak bulunmaktadır.

Deneyde kullanılacak ifadeler:

Yukarıda elde ettiğimiz teorik bilgileri deneyimize uyarlamak için sembollerimizi şu şekilde tanımlayalım: Dinamometreden ölçtüğümüz kuvveti F , akım halkasının (ilmeğinin) üzerindeki akım I_R , akım halkasının yüzeyinin uygulanan manyetik alana göre açısı α , akım halkasının yarıçapı r , Helmholtz bobininin oluşturduğu manyetik alan B , Helmholtz bobini

üzerindeki akım I_H , Helmholtz bobininin yarıçapı R ve Helmholtz bobininin sarım sayısı N olsun.

Bu tanımlamaları yaptıktan sonra (6) denklemini deneyimize göre yeniden düzenleyelim.

$$|\vec{\tau}| = \tau = nI_R |\vec{A}| \times |\vec{B}| = n \cdot I_R \cdot \pi r^2 \cdot B \cdot \sin\alpha \quad (10)$$

Buradaki B manyetik alanı iki Helmholtz bobinlerinin merkezinde oluşan manyetik alandır ve (9) denklemini deneyde kullanacağımız ifadelerle değiştirdiğimizde aşağıdaki gibi şekilde verilmektedir;

$$B = \left(\frac{8}{5\sqrt{5}} \right) \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I_H}{R} \quad (11)$$

burada μ_0 ise boşluğun geçirgenliğidir. Bu deney düzeneğinde $N = 154$, $R = 20 \text{ cm}$ ve $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ olarak kullanılacaktır. Bu sayısal değerleri (11) denkleminde yazacak olursak;

$$B = \left(\frac{8}{5\sqrt{5}} \right) \frac{\mu_0 \cdot N}{R} I_H = 6.9237 \times 10^{-4} \times I_R \quad (12)$$

elde ederiz. Buradaki sabit sayıya da c denilirse, manyetik tork formülümüz,

$$\tau = c \cdot n \cdot I_R \cdot \pi r^2 \cdot I_H \cdot \sin\alpha \quad (13)$$

haline dönüşmektedir.

Deneyimizde dinamometreden ölçtüğümüz F değeri ile akım halkasının yarıçapının çarpımından $\tau_{deneyisel}$ değeri elde edilecek ve (13) bağıntısı kullanılarak τ_{teorik} değeri bulunup deneyde yapılan bağıl hata hesaplanacaktır.

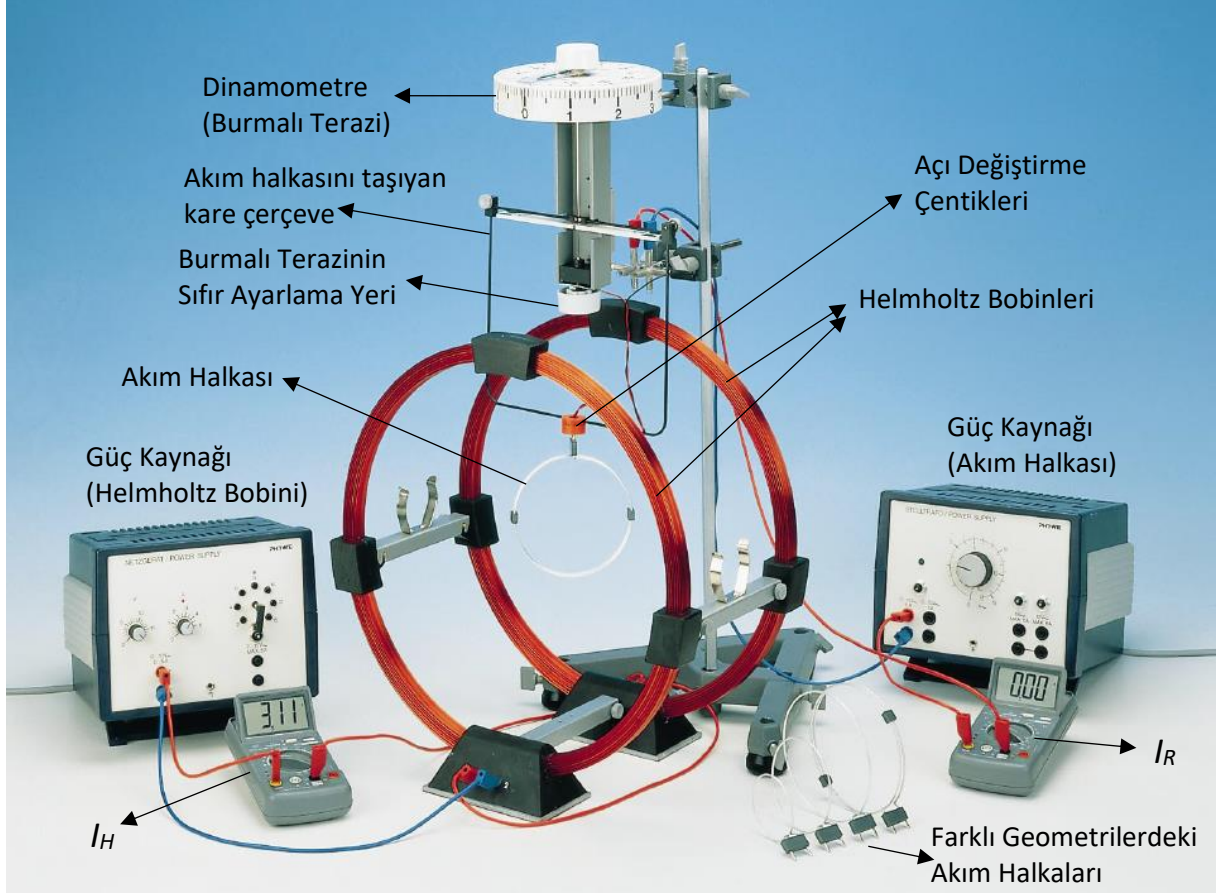
Deneyde manyetik tork, Helmholtz bobini üzerindeki akıma (I_H), akım halkasının sarım sayısına (n) ve son olarak akım halkasının alanına (A) bağlı olarak ölçülecektir.

DENEYİN YAPILIŞI

Helmholtz bobinlerinden geçen akıma (I_H) göre manyetik torkun incelenmesi

1. Deney düzeneği Şekil 6'da görüldüğü gibi kurulur. Bu düzenlemede aynı manyetik alanın her iki bobinde görünebilmesi için Helmholtz bobinleri seri bağlanmıştır.
2. Güç kaynaklarının kapalı olduğundan emin olunuz.

3. Multimetreleri DC Amper moduna getiriniz.
4. $2r = 12 \text{ cm}$ çaplı ve tek sarımlı akım halkasını Şekil 6'da görüldüğü gibi takınız ve açı değiştirme çentiklerini kullanarak akım halkasına belli bir açı (30° veya 60°) veriniz.



Şekil 6. Deney düzeneğinin görünüşü.

5. Akım halkasını taşıyan kare çerçevenin konumu Helmholtz bobinlerine paralel olacak şekilde olduğunu kontrol ediniz.
6. Burmalı terazinin sıfır ayarlama yerini sağa veya sola döndürerek teraziye dengeye getiriniz. Bu sırada dinamometre de sıfır konumunda olmalıdır.
7. Akım halkasına ait güç kaynağını açınız ve $I_R = 4A$ değerine ayarlayınız.
8. Helmholtz bobinine ait güç kaynağını açınız ve Tablo1'de belirtildiği gibi farklı I_H akım değerleri için dinamometreden döndürme kuvvetini (F) ölçünüz.
9. $\tau = r \cdot F$ formülünü ve (13) numaralı bağıntıyı kullanarak sırasıyla deneysel ve teorik tork değerlerini bulunuz. Ölçümlerde yapılan bağıl hataları hesaplayınız

10. Helmholtz bobinlerinden geçen akım değişimine göre oluşan torkları gösteren $\tau_{deneysel} = f(I_H)$ grafiğini çiziniz.

Akım halkasının sarım sayısının (n) değişimine göre manyetik torkun incelenmesi

Tablo 1

$I_H(A)$	$F(mN)$	$\tau_{deneysel}(N.m)$	$\tau_{teorik}(N.m)$	Bağıl Hata (%)
1				
2				
3				
4				

1. Deneyin bu kısmında $n = 1,2,3$ sarım sayılarına sahip $2r = 12\text{ cm}$ çaplı akım halkaları kullanılacaktır.
2. Açı değiştirme çentiklerini kullanarak akım halkasına belli bir açı veriniz.
3. Akım halkasını taşıyan kare çerçevenin konumu Helmholtz bobinlerine paralel olacak şekilde olduğunu kontrol ediniz.
4. Burmalı terazinin sıfır ayarlama yerini sağa veya sola döndürerek teraziyi dengeye getiriniz. Bu sırada dinamometre de sıfır konumunda olmalıdır.
5. Akım halkasına ait güç kaynağını açınız ve $I_R = 2A$ değerine ayarlayınız.
6. Helmholtz bobinlerine ait güç kaynağını açınız ve $I_H = 2A$ değerine ayarlayınız.
7. Dinamometreden ölçtüğünüz F kuvvetini Tablo 2'ye işleyiniz.
8. Deneysel ve teorik tork değerlerini hesaplayarak deneyde yapılan bağıl hatayı bulunuz.
9. Diğer sarım sayıları için deneyi yukarıdaki gibi tekrar ederek Tablo 2'yi doldurunuz.

Tablo 2

n	$F(mN)$	$\tau_{deneyset}(N.m)$	$\tau_{teorik}(N.m)$	Bağlı Hata (%)
1				
2				
3				

10. Akım halkasının sarım sayısındaki değişime göre oluşan torkları gösteren $\tau_{deneyset} = f(n)$ grafiğini çizin.

Akım halkasının alanının (A) değişimine göre manyetik torkun incelenmesi

1. Deneyin bu kısmında sarım sayısı 1 olan farklı çaplara ($2r = 6, 8.5$ ve 12 (cm)) sahip akım halkaları kullanılacaktır.
2. Açı değiştirme çentiklerini kullanarak akım halkasına belli bir açı veriniz.
3. Akım halkasını taşıyan kare çerçevenin konumu Helmholtz bobinlerine paralel olacak şekilde olduğunu kontrol ediniz.
4. Burmalı terazinin sıfır ayarlama yerini sağa veya sola döndürerek teraziyi dengeye getiriniz. Bu sırada dinamometre de sıfır konumunda olmalıdır.
5. Akım halkasına ait güç kaynağını açınız ve $I_R = 4A$ değerine ayarlayınız.
6. Helmholtz bobinlerine ait güç kaynağını açınız ve $I_H = 4A$ değerine ayarlayınız.
7. Dinamometreden ölçtüğünüz F kuvvetini Tablo 3'e işleyiniz.
8. Deneysel ve teorik tork değerlerini hesaplayarak deneyde yapılan bağlı hatayı bulunuz.
9. Diğer çaplı akım halkaları için deneyi yukarıdaki gibi tekrar ederek Tablo 3'ü doldurunuz.

Tablo 3

$2r(cm)$	$F(mN)$	$\tau_{deneysel}(N.m)$	$\tau_{teorik}(N.m)$	Bağlı Hata (%)
6				
8.5				
12				

10. Akım halkasının çapındaki değişime göre oluşan torkları gösteren

$\tau_{deneysel} = f(2r)$ grafiğini çiziniz.

SORULAR

1. Manyetik alan içerisindeki akım ilmeğine etkiyen torkun yönü nasıl belirlenir?
2. Helmholtz bobinleri nedir ve deneyde neden Helmholtz bobinlerini kullanılmaktadır? Açıklayınız.
3. Elektrik motorları nasıl çalışmaktadır? Kısaca açıklayınız.

E10 AKIM TERAZİSİ, BİR İLETKEN TELDEKİ AKIM VE MANYETİK ALAN

Deneyin Amacı (Akım Terazisi): 1. Düzgün ve statik bir manyetik \vec{B} alanı içerisinde I elektrik akımını taşıyan tele etkiyen bir kuvvet olduğunun gözlenmesi. 2. Bu kuvveti tel uzunluğu l ve I akımına bağlı olarak incelemek.

Deneyin Amacı (Bir İletken Teldeki Akım Ve Manyetik Alan): Manyetik alanın akıma ve iletken telden uzaklığa bağlı olarak incelenmesi. Manyetik alanın akım geçen iki paralel iletken tele olan mesafesine göre değişiminin incelenmesi.

Araç Gereç (Akım Terazisi): Dijital terazi, akım kaynağı ve ampermetre, akım devresi, döner bobin seti, mıknatıs takımı, akım tel seti (50, 25, 12,5 cm 1 turlu 50 ve 25 cm 2 turlu).

Araç Gereç (Bir İletken Teldeki Akım Ve Manyetik Alan): İletken tel, bobin, metal tutucu, güç kaynağı, teslametre, akım trafosu, dijital multimetre, metre, bağlantı kabloları.

TEORİK BİLGİ

Yüklü bir parçacık manyetik alan içerisinde geçerken manyetik kuvvete maruz kalıyor ise, üzerinden akım geçen bir tel'e de manyetik alan içerisinde bir kuvvet etki edecektir. Tel üzerindeki akımın çok sayıda yüklü parçacıktan oluştuğu düşünülür ise, tele etkiyen net manyetik kuvvet her bir yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvetlerin vektörel toplamı ile elde edilebilir.

Düzgün bir manyetik alan içerisinde I akımı taşıyan, kesit alanı A ve uzunluğu l olan bir tel parçasını ele alalım. Bir v_s sürüklenme hızı ile hareket eden yüklü bir parçacığa etki eden manyetik kuvvet $\vec{F} = q\vec{v}_s \times \vec{B}$ bağıntısı ile elde edilir. Tele etkiyen toplam kuvvet, bir yüke etkiyen $q\vec{v}_s \times \vec{B}$ manyetik kuvveti tel parçasında bulunan yük sayısı ile çarparak bulunabilir. Bu tel parçasının hacmi Al olduğu için, içerisindeki toplam yük sayısı nAl ile verilir. Sonuç olarak, tele etkiyen toplam manyetik kuvvet

$$\vec{F} = (q\vec{v}_s \times \vec{B})nAl \quad (1)$$

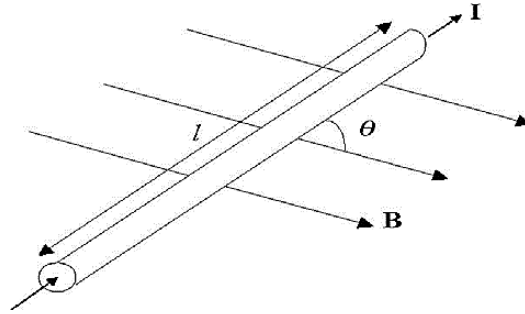
ifadesi ile hesaplanabilir. Teldeki akım $I = nqv_s A$ olduğundan, tel üzerine etki eden manyetik kuvvet

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad (2)$$

denklemlerle ifade edilir. Burada I akımı, l telin manyetik alan içinde kalan boyunu ve \vec{B} manyetik alan vektörünü göstermektedir (Şekil 1). Bu kuvvetin büyüklüğü ise;

$$F = IlB\sin\theta \quad (3)$$

denklemlerle elde edilir. Burada θ şekil 1’de de gösterildiği gibi I ve B arasındaki açıdır.



Şekil 1. Manyetik alan içine yerleştirilmiş akım taşıyan tel.

Bu deneyin ilk kısmında manyetik alanın akımın yönüne dik olduğu varsayıldığından 3 numaralı eşitlik aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir.

$$F = IlB \quad (4)$$

Akım Şekil 2’de gösterilen daha önceden hazırlanmış akım döngüleri boyunca akacaktır. Denklem 3’teki l uzunluğu mıknatısın kutupları arasındaki akım geçen telin yatay uzunluğunu göstermektedir. Buna test uzunluğu diyeceğiz. Deneyi yaparken kullandığımız test uzunluklarını ölçmemiz gerekmektedir. Akım döngüleri, üzerinde ampermetre bulunan bir doğru akım kaynağına bağlanacaktır.



Şekil 3. Farklı akım devrelerinin üstten görünüşü.

Bir İletken Teldeki Akım Ve Manyetik Alan

Akım taşıyan iletken bir tel etrafında manyetik alan oluşur. Elektrik alanın zamanla değişmediği durumda Maxwell’in ilk denklemi

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \int_A \vec{j} \cdot d\vec{a} \quad (5)$$

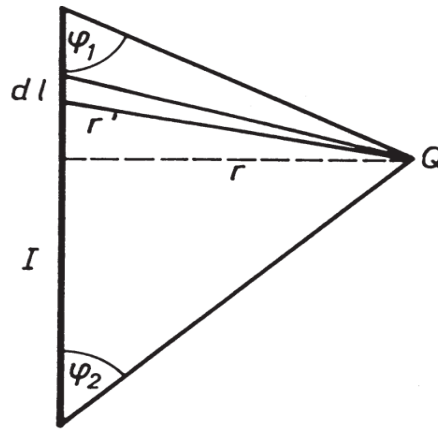
şeklinde yazılabilir. Maxwell’in 4. Denklemi olan

$$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0 \quad (6)$$

ve sabit akım ifadesi $I = \oint_A \vec{j} \cdot d\vec{a}$ kullanılarak, (5) ve (6) numaralı denklemlerden akım taşıyan düzgün bir telin manyetik alanı

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi |\vec{r}|} \quad (7)$$

olarak elde edilir. Burada, \vec{r} akım taşıyan telden manyetik alanın bulunmak istendiği noktaya olan uzaklık ve I ise telden geçen akımdır. Manyetik geçirgenlik sabiti ise $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$ dir. \vec{B} manyetik alanının yönü, \vec{r} ve \vec{j} 'ye diktir.



Şekil 4: İletken bir telin dl elemanının Q noktasındaki manyetik alanı katkısı.

Sonlu bir iletken için (bknz şekil 4), manyetik alan

$$d\vec{B} = \frac{1}{4\pi} \mu_0 \frac{I}{r^3} d\vec{l} \times \vec{r} \quad (\text{Biot-Savart}) \quad (8)$$

ve

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\phi_1 - \cos\phi_2) \quad (9)$$

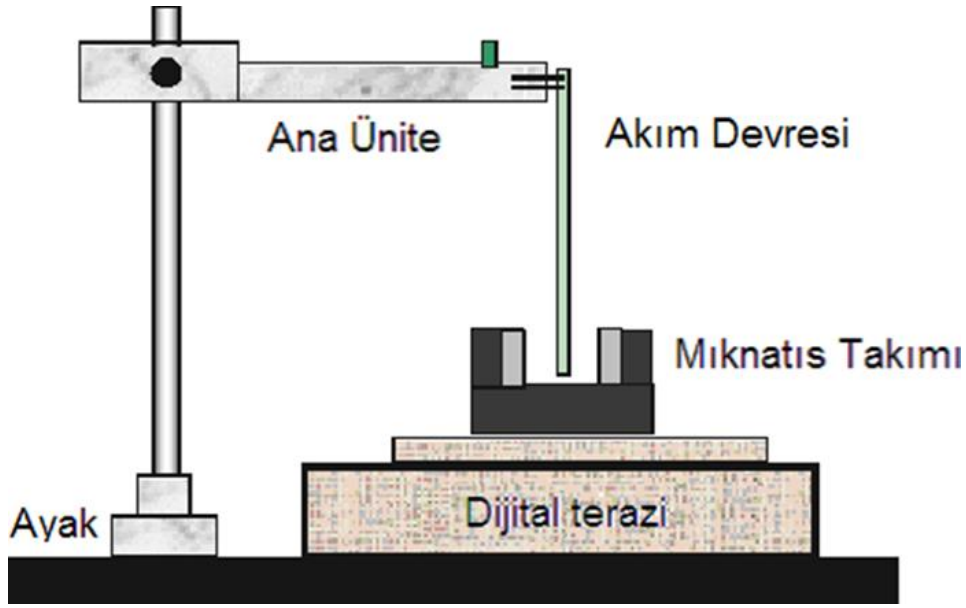
olarak elde edilir.

DENEYİN YAPILIŞI

1- AKIM TERAZİSİ

A) Manyetik kuvvetin akımla değişimi

1. 5 mm aralıklı mıknatıs gurubunu terazi üzerine yerleştiriniz.
2. En uzun l 'ye sahip akım döngüsünü seçin ve bu uzunluğu kaydedin.
3. Akım döngülerinin bulunduğu akım devresini aşağıya doğru uzayacak şekilde ana üniteye takın. Devre yüzeyinin aşağıya dönük olduğundan emin olun. (Şekil 5'e bakın)



Şekil 5. Akım terazisinin kurulumu (yandan görünüş).

4. Akım devresini alt kısmı mıknatıs grubunun kutupları arasından geçecek şekilde yerleştirin. Akım devresi düzleminin mıknatıs grubuna paralel olduğundan ve mıknatısa değmediğinden emin olun. Eğer gerekiyorsa ana ünitenin yüksekliğini ayarlayın.
5. Devrede akım yokken dijital terazinin tara "tare" butonuna basarak göstergede 0,00 gram değerini görün.
6. Akım kaynağını devreye bağlayın (Şekil 5'e bakın).
7. Devredeki akımı en fazla 5 ampere çıkana kadar 0.5 amperlik adımlar halinde artırın. Her akım değeri için mıknatıs takımının yeni kütlesini dijital teraziden okuyun. Eğer akım arttıkça mıknatıs takımının kütlesi azalıyorsa manyetik alan içerisindeki akımın yönü Şekil 2'de gösterildiği gibi değildir. Bu durumda ana üniteye bağlı bağlantıları ters çevirin.
8. Ölçümlerinizi akım değerleri ile bunlara karşılık gelen dijital teraziden okunan kütle değerlerini Tablo 1'e kaydedin.

Tablo 1. Birinci kısım için veri tablosu. $l = \text{_____ cm}$

I (A)	Ölçülen Kütle (g)	F (Manyetik Kuvvet) (N)

****DİKKAT:** Akım döngülerinden geçen akım 5 amperi geçmemelidir.

- Okunan kütle değerini $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ile çarpın. Bu manyetik kuvvet F 'i verir.
- Manyetik kuvveti (F) akımın (I) fonksiyonu olarak çizin.
- Grafiğe en uygun olan doğrunun eğimini bulun.
- En uygun doğrunun eğimi (Denklem 4'ten görüleceği gibi) IB 'ye karşılık gelmektedir (akım geçen telin uzunluğu ile manyetik alanın vektörel çarpımı). Grafiğinizin eğiminden yararlanarak mıknatısın yarattığı manyetik alanın gücünü bulun.

B) Manyetik kuvvetin tel uzunluğu ile değişimi

1. Önceki bölümde kurulan düzeneği bozmadan akımı sıfırlayın.
2. Tel uzunluğunu en kısa olacak şekilde ayarlayıp akım devresini ana üniteye bağlayın.
3. Dijital terazinin tara "tare" butonuna basarak ekranda 0.00 gramı değerini okuyun.
4. Akımı 4 ampere ayarlayarak bu tel uzunluğu için terazinin gösterdiği değeri okuyup kaydedin.
5. Akımı sıfırlayın ve akım kaynağı bağlantılarını ana üniteden çıkarın.
6. 3, 4 ve 5 no'lu adımları farklı tel uzunlukları için tekrarlayın.
7. Akım devresinde kullanılan uzunlukları ve karşılık gelen kütle değerlerini Tablo 2'ye kaydedin.

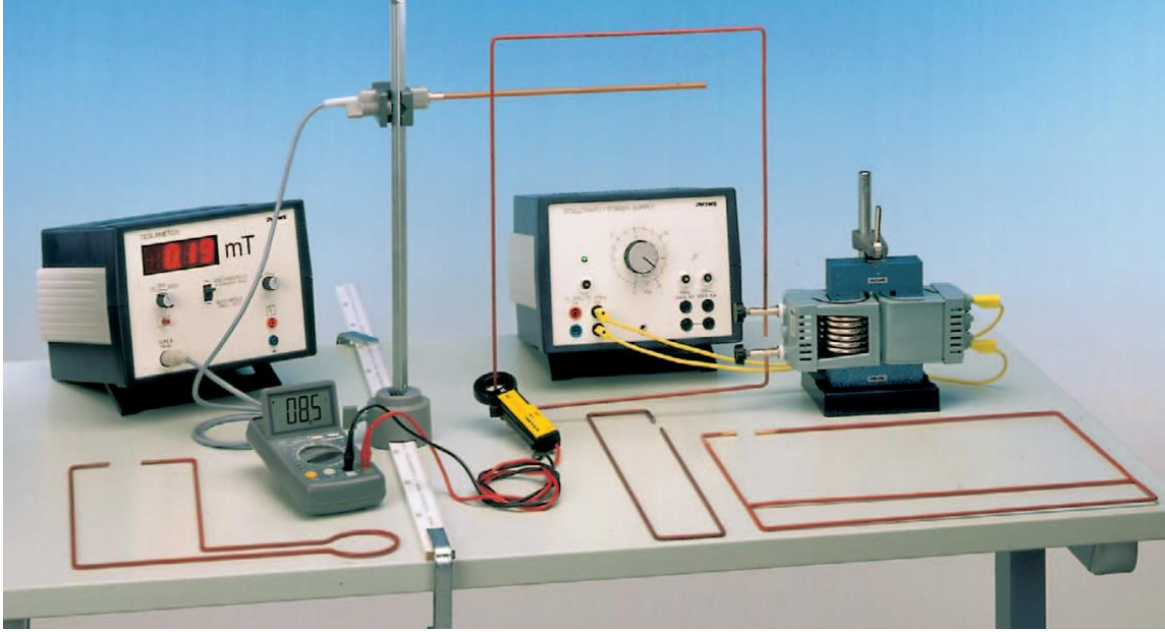
Tablo 2. İkinci kısım için veri tablosu

<i>İletken tel</i>	Uzunluk	Ölçülen Kütle (g)	F (Manyetik Kuvvet)

- Okunan kütle değerini $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ile çarpın. Bu manyetik kuvvet F 'i verir.
- Manyetik kuvveti (F) tel uzunluğunun (l) fonksiyonu olarak çizin.
- Grafiğe en uygun olan doğrunun eğimini bulun.
- Bu doğrunun eğimi (denklem 4'ten görüleceği gibi) IB çarpımına eşittir. Bu çarpım akım ile manyetik alan kuvvetinin vektörel çarpımıdır. Doğrunun eğimini kullanarak mıknatısın yarattığı manyetik alan gücünü bulun. Bu değeri Bölüm 1'de elde ettiğimiz değer ile karşılaştırın.

2- BİR İLETKEN TELDEKİ AKIM VE MANYETİK ALAN

Deney seti Şekil 2'de gösterildiği gibi hazırlanır. Akım trafosu ikincil akımı (20 A...120 A) ölçmek için kullanılır. Birincil ve ikincil akım lineer bir ilişkiye sahip olduğundan, birincil akımda ölçülebilir. Ancak, her bir iletken için birincil/ikincil akım kaydedilerek bir kalibrasyon eğrisi oluşturulmalıdır. *İletkenlerde meydana gelecek olan ısınma nedeni ile akım tekrar ayarlanmalı veya bir ısınma süresi verilmelidir.* Trafo ve manyetik alan ölçer arasında bir faz yer değiştirmesi meydana gelebilir ve bu nedenle negatif bir manyetik alan gözlemlenebilir. Bu durum birincil transformatörün polaritesinin değiştirilmesi ile ortadan kaldırılabilir. Kısa zamanlı ve yüksek ikincil akımlar sabit ve değişken bir voltaj güç kaynağının seri şekilde bağlanması ile elde edilebilir. Faz açısının düzeltilmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 6. Deney düzeneğinin görünüşü.

A. İletken teldeki manyetik alanın akıma bağlı değişiminin incelenmesi

1. Deney düzeneği Şekil 6'da gösterildiği gibi hazırlanır.
2. Uygun bir iletken tel seçilerek sisteme monte edilir.
3. Teslametre iletken telden yaklaşık 1 cm kadar uzağa yerleştirilir.
4. Güç kaynağı üzerinde bulunan voltaj değeri değiştirilerek akım miktarı artırılır ve okunan manyetik alan değerleri Tablo 3'e kaydedilir.
5. Manyetik alanın akıma bağlı değişim grafiği çizilir.
6. Grafiğin eğimi ve (7) numaralı denklem kullanılarak manyetik geçirgenlik katsayısı (μ_0) deneysel olarak hesaplanır.
7. Bulunan değer, teorik veri ile karşılaştırılarak hata hesabı yapılır.

Tablo 3:

I (A)	B(mT)

B. İletken teldeki manyetik alanın mesafeye bağı değişiminin incelenmesi

1. Deney düzeneği şekil 6'da gösterildiği gibi hazırlanır.
2. Akım ölçerdeki akım değeri 100 A'e ayarlanır ve deney süresince sabit tutulur.
3. Teslametre iletken tellerin orta noktasına yerleştirilir.
4. Teslametre 0,5 cm'lik adımlar ile iletken tele doğru yaklaştırılarak manyetik alan değeri okunur ve Tablo-4 ye kaydedilir.
5. Manyetik alanın mesafeye bağı değişimini gösteren grafik çizilir.

Tablo 4

r (cm)	B(mT)

Sorular

1. Manyetik kuvvet ve akım arasındaki ilişki lineer midir?
2. Telin uzunluğu ve manyetik kuvvet arasındaki ilişkiyi açıklayınız.
3. Sonlu bir iletken tel için (9) numaralı denklemin çıkarılışını gösteriniz.