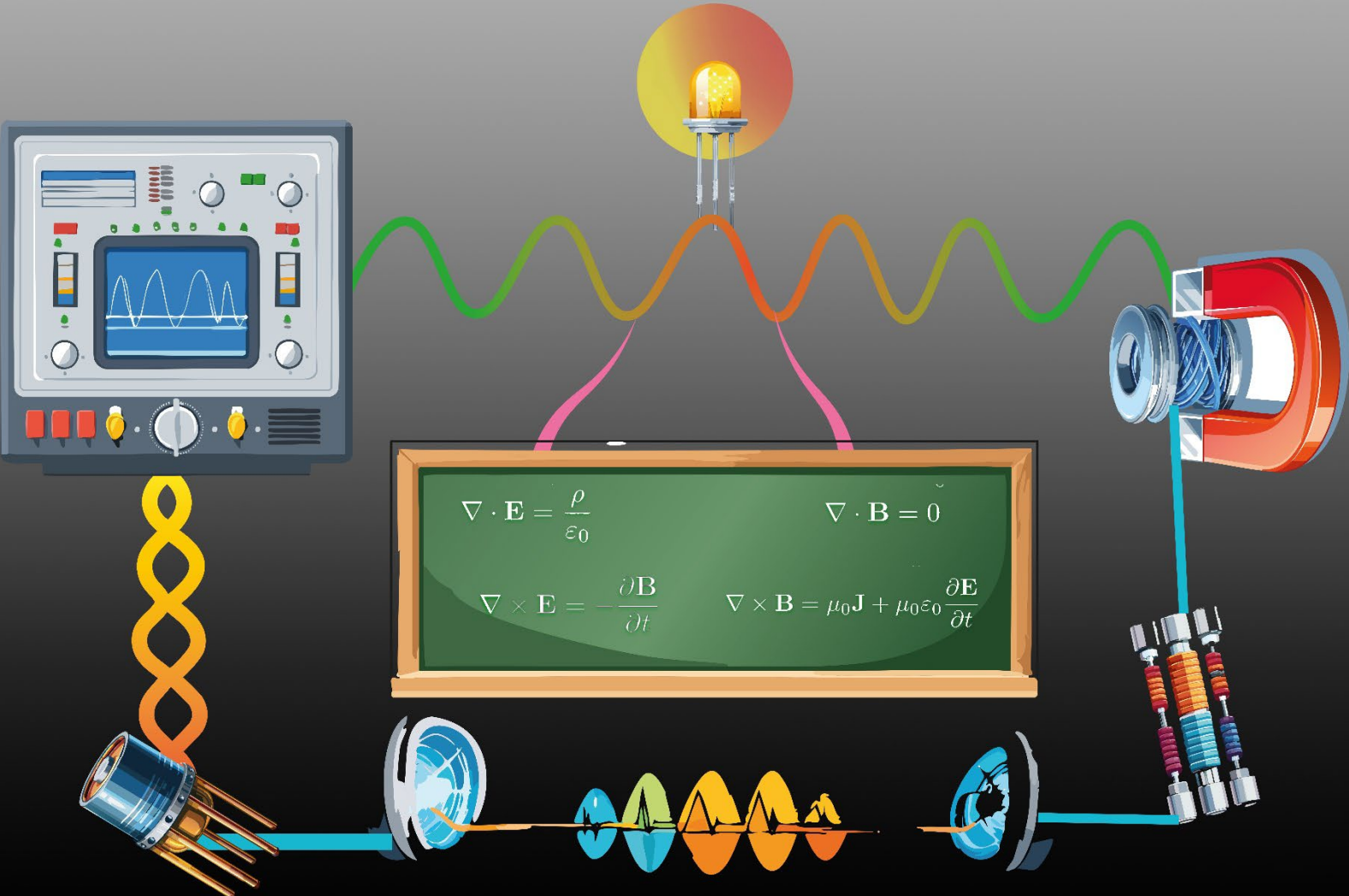


T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ FİZİK BÖLÜMÜ

Elektrik ve Manyetizma Laboratuvarı
FİZ 251



İçindekiler Tablosu

LABORATUVAR KURALLARI.....	i
1. Deney: Elektrik Alan Çizgileri ve Eşpotansiyel Yüzeyler	1
1.1. Deneyin Amacı:	1
1.2. Teorik Bilgiler.....	1
1.3. Deneyin Yapılışı	5
2.Deney: Elektrik Akımı, Ohm Kanunu ve Dirençler	8
2.1. Deneyin Amacı	8
2.2. Teorik Bilgiler.....	8
2.4.Deneyin Yapılışı	13
3.Deney : Doğru Akım Devreleri	17
3.1. Deneyin Amacı:	17
3.2. Teorik Bilgiler.....	17
3.4. Deneyin Yapılışı	21
4.Deney: Kirchhoff Kuralları ve Devre Analiz Yöntemleri.....	24
4.1. Deneyin Amacı	24
4.2 Teorik Bilgi.....	24
4.2. Deneyin Yapılışı	27
5.Deney: Manyetik Alan Çizgileri	31
5.1. Deneyin Amacı	31
5.2. Teorik Bilgiler.....	31
5.3. Deneyin Yapılışı	34
6.Deney: Manyetik Kuvvetler	39
6.1. Deneyin Amacı	39
6.2. Teorik Bilgiler.....	39
6.3. Deneyin Yapılışı:	42
7. Deney: Elektromanyetik İndüksiyon	49
7.1. Deneyin Amacı	49
7.2. Teorik Bilgiler.....	49
7.3. Deneyin Yapılışı:	53
8. Deney: Osiloskop.....	59
8.1. Deneyin Amacı	59
8.2. Teorik Bilgiler.....	59
8.3. Deneyin Yapılışı	69

LABORATUVAR KURALLARI

- Her öğrenci derse gelirken, deney föyünü, çok fonksiyonlu bir hesap makinesini, milimetrik kâğıdını ve en az 20 cm’lik bir cetvelini getirmelidir.
- **Öğrenci derse gelmeden önce, Ek-2’deki tabloda belirtildiği gibi yapacağı deneyin teorik bilgilerini boş beyaz kâğıda siyah veya mavi tükenmez veya pilot kalemle yazacaktır. Ön hazırlığı yapmadan gelen öğrencinin deney raporu 60 puan üzerinden değerlendirilecektir.**
- İlgili asistanlar, teorik bilginin hazırlanıp hazırlanmadığını paraf atarak kontrol edeceklerdir.
- Deneyin yapılışı yazılırken, kullanılan deney düzeneği çizilecektir.
- **Zaman kalması durumunda telafi deneyi yapılacaktır.**
- Belirtilen süre içinde gelmeyen raporlar değerlendirmeye alınmayacaktır.
- Öğrencinin gelmediği veya teslim etmediği deneye ait rapor notu, 0 (sıfır) olarak değerlendirilecektir.
- **Öğrenci, laboratuvar dersine gelmediği hâlde, yapmadığı deneyin raporunu veremez.**
- Öğrenci, hazırladığı deney raporunun aslını vermek zorundadır. Deney raporunun fotokopisi kabul edilmez. Öğrenciler teslim ettikleri raporlarını geri alamayacaklardır.
- **Rapor, mavi ya da siyah tükenmez veya pilot kalem ile yazılacaktır.**
- Hesaplamalar kısmında, hesaplamalarda kullanılan formüller belirtilecek, en az bir örnek hesaplama gösterilecek, bulunan değerlerin birimleri yazılacak, varsa ilgili tablo veya tablolar doldurulacaktır.
- Ek-3’te belirtilen grafik çizim kurallarına uygun olarak, grafikler, milimetrik kâğıda kurşun kalem ile çizilecektir.
- **Ara sınav haftasında, laboratuvar dersi yapılmayacaktır.**

Öğrenciler tüm rapor notlarını ve ortalamasını dönem sonunda öğrenir.

1. Deney: Elektrik Alan Çizgileri ve Eşpotansiyel Yüzeyler

1.1. Deneyin Amacı: Eşpotansiyel Yüzeylerden yararlanarak elektrik alan çizgilerinin belirlenmesi, yüklü cisimlerin geometrik şekillerine bağlı olarak elektrik alan çizgilerinin incelenmesi.

1.2. Teorik Bilgiler

Boşlukta bulunan q_1 yüklü bir parçacığın yanına, aralarında r mesafesi olacak şekilde q_2 yüklü ikinci bir parçacık yerleştirilir ise iki parçacık arasında elektriksel kuvvet doğar. Oluşan bu kuvvetin büyüklüğü, parçacıkların taşıdığı elektriksel yüklerin değerine ve aralarındaki uzaklığa, kuvvetin yönü ise yüklerin işaretine bağlıdır. Aynı işaretli yüklü parçacıklar birbirlerini iter, farklı işaretli yüklü parçacıklar ise birbirlerini çekerler. Bir atomda pozitif ve negatif olmak üzere iki farklı yük vardır. Pozitif yüklerin kaynağı atom çekirdeğinde bulunan protonlar olurken, negatif yükler ise atomun yörüngesin işgal eden elektronlardır. Elektron ve protonun genel olarak yüklerinin büyüklüğü birbirine eşittir. Elektrik yükü Coulomb (C) birimi ile ölçülür ve bir elektronda $-1,6 \times 10^{-19} C$ yük bulunur. Yükler arasındaki kuvvetin ilk doğru ve ayrıntılı ölçümleri Coulomb (1736-1806) tarafından 1785 yılında yapılmıştır. Coulomb'un yaptığı deneylere göre bu kuvvet, elektriksel yüklere ve yüklerin arasındaki mesafeye bağlı olarak değişir, başka bir ifade ile iki nokta yük arasındaki itme ve çekme kuvveti, yüklerin çarpımı ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Bu gerçekleri açıklayan bir eşitlik yazıldığında q_1 yükü üzerinde q_2 yükünden dolayı etkiyen kuvvet,

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

şeklinde olur. Burada r , yükler arasındaki uzaklık, $k = 1/4\pi\epsilon_0 (= 8,9874 \times 10^9 Nm^2/c^2)$ dir. ϵ_0 boşluktaki elektriksel geçirgenliği olup değeri $8,8542 \times 10^{-12} C^2/Nm^2$ dir.

Elektrik Alanı

Fizikte alan kavramı, uzay ve zamandaki her nokta için bir değeri olan skaler, vektör veya tensör ile temsil edilen fiziksel bir niceliktir. Bir başka deyişle alan kavramı fiziksel bir etkinin uzay ve zamanda bıraktığı etki olarak nitelendirilir. Alan kavramı birbirine doğrudan teması bulunmayan sistemlerin birbirini nasıl etkilediği açıklayan bir olgudur. Bununla beraber alan kavramı fiziksel bir sistemin uzay ve zamanda daima bir

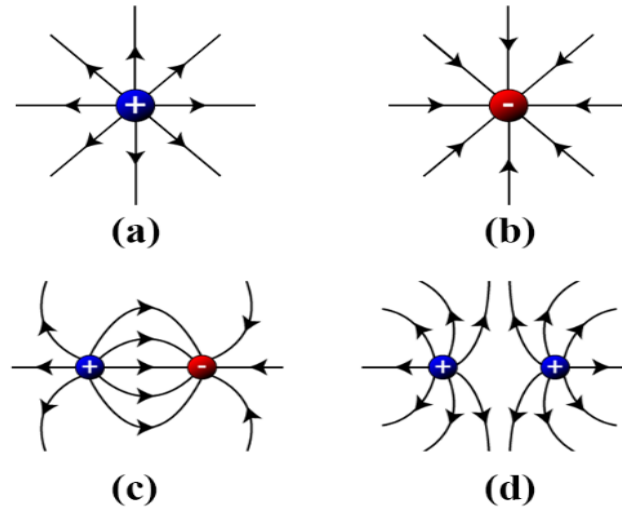
alan etkisi altında olduğunda söyler. Buna verilecek en iyi örneklerden bir tanesi elektrik alanıdır. Üç boyutlu uzayda q_0 elektrik yüklü bir deneme parçacığı konulduğunda üzerine bir elektriksel kuvvet etki ediyor ise, uzayın (xyz) konumunda bir elektrik alanının bulunduğu söylenir. Kuvvet vektörel bir nicelik olduğu için elektrik alanının da vektörel bir nicelik olması gerekir. Elektrik alanının büyüklüğü E ile gösterilir ve (xyz) konumuna yerleştirilen q_0 deneme yüküne etkiyen F kuvvetinin q_0 yüküne oranı olarak tarif edilir. Yani, elektrik alanın büyüklüğü yük birimi başına kuvvettir. Elektrik alanın herhangi bir noktadaki yönü, o noktaya yerleştirilen pozitif deneme yüküne etkiyen kuvvetin yönü ile aynıdır. Bu nedenle, elektrik alan içinde bulunan negatif yüklü bir parçacığa (elektron gibi) etki eden elektriksel kuvvet, elektrik alanın yönü ile zıt yönlüdür. Sonuç olarak elektrik alanı,

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = k \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (1.2)$$

olarak yazılır.

Eğer uzayın belirli bir bölgesindeki elektrik alanı biliniyor ise, o bölge içine yerleştirilecek herhangi bir elektrik yüklü parçacığın nasıl bir hareket yapacağı kolayca belirlenebilir. Çünkü, (1.2) bağıntısından görüldüğü gibi, yüklü bir parçacık üzerine etkiyecek elektriksel kuvvet elektrik alanı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, uzaydaki elektrik alanının belirlenmesi önemlidir.

Kuvvet çizgileri kavramı, elektrik alanını canlandırmak için **M. FARADAY** tarafından ortaya atılmıştır. Bu çizgiler gerçek olmamalarına karşın alan kavramının anlaşılmasında kullanılan son derece önemli gösterim biçimidir. Bir elektrik alanı içindeki kuvvet çizgisi öyle hayali bir çizgidir ki, herhangi bir noktasındaki doğrultusu elektrik alan doğrultusuyla aynıdır. Yalıtılmış elektrik yüklü noktasal parçacıklar için elektriksel alan çizgileri Şekil 1.1(a ve b) de gösterildiği gibidir. Zıt işaretli yüklü iki noktasal parçacık arasındaki elektrik alan çizgileri Şekil 1.1c de sunulur. Aynı işaretli yüklü iki noktasal parçacık arasındaki elektrik alan çizgileri Şekil 1.1d de görülmektedir.



Şekil 1.1. Nokta yükler etrafındaki Elektrik Alan kuvvet çizgileri.

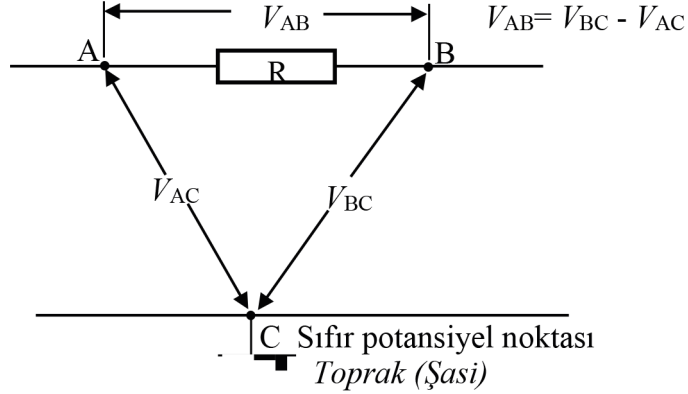
Elektriksel Potansiyel ve Potansiyel Farkı

Elektrik yüklü cisimlerin etrafında bulunan elektrik alan, skaler bir büyüklük olan elektriksel potansiyel ile de belirlenebilir. Elektriksel potansiyel V ile gösterilir ve değeri, uzaydaki sabit bir nokra referans alınarak bulunur. Bu nedenle, elektriksel potansiyelin değeri, elektrik alan içinde noktadan noktaya göre değişebilir. Elektrik alan içindeki A ve B gibi iki nokta arasındaki potansiyel farkı, elektrik alan içine yerleştirilen q_0 yüklü deneme parçacığını, denge durumunu bozmadan A dan B ye götürmek için yapılan iş olarak tanımlanır.

$$V_B - V_A = \frac{W_{A-B}}{q_0} \quad (1.3)$$

Yapılan W_{AB} işi pozitif, negatif veya sıfır değeri alabilir. Böylece B noktasının potansiyeli A noktasının potansiyeline göre sırasıyla; büyük, küçük veya aynıdır. SI birim sistemine göre potansiyel farkının birimi Volt (V) ve $1\text{ Volt} = 1\text{ Joule/Coulomb}$ olarak hesaplanır.

Elektrik devrelerini incelerken, devredeki noktaların potansiyellerini ayrı ayrı ölçmek genellikle doğru olan yoldur. Bu nedenle, bir elektrik devresindeki herhangi bir noktanın potansiyeli, referans olarak seçilen bir başka noktaya göre potansiyel farkı şeklinde belirtilir. Elektronik devrelerde referans noktası olarak toprak (şasi) olarak adlandırılan bölge bulunur. Bu bölgede metal yapıya sahiptir ve gerilim yani V elektriksel potansiyeli sıfır olarak kabul edilir. Böylece bu ölçme işlemi Şekil 1.2 de gösterilmiştir. Elektriksel devrelerde *Voltmetre* ile yaptığımız ölçümler, yukarıda tanımlanan elektriksel potansiyel farkından başka bir şey değildir.



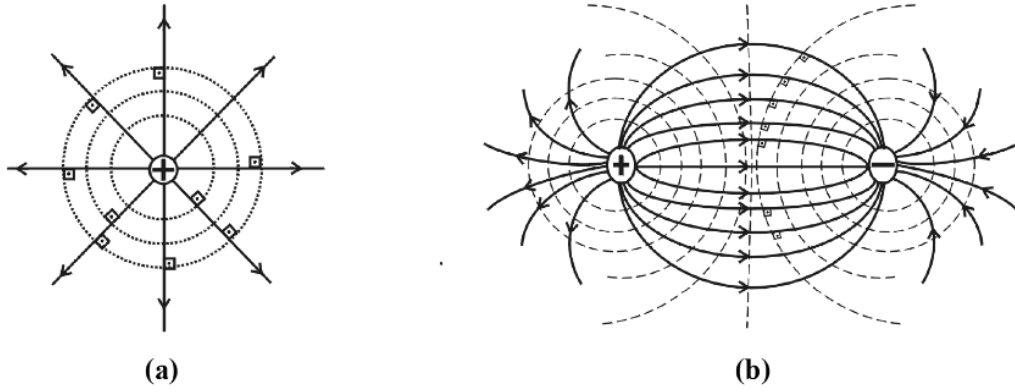
Şekil 1.2. Elektrik devresindeki bir direncin iki ucu arasındaki potansiyel farkı.

Eşpotansiyel Yüzeyler

Bir elektrik alanı içinde aynı potansiyel değerine sahip birden fazla nokta bulunabilir. Bu noktaların birleştirilmesi halinde, potansiyelin sabit kaldığı yüzeyler elde edilir. Bu yüzeylere **Eşpotansiyel Yüzeyler** adı verilir. Bir elektrik alanının her noktasından bir eşpotansiyel yüzey geçer. Ancak, bu şekildeki yüzeylerinin çizimle gösterilmesi oldukça karmaşık olacağından, birkaç eşpotansiyel yüzeyin çizilmesi yeterlidir.

Elektrik yüklü bir cismin potansiyel enerjisi, eşpotansiyel yüzeyinin bütün noktalarında aynı olacağından, yüklü bir cismi öyle bir yüzey üzerinde hareket ettirmek için elektriksel bir iş yapmak gerekmez. Bu nedenle herhangi bir noktadan geçen eşpotansiyel yüzey, elektrik alanının bu noktadaki doğrultusuna dik olmalıdır. Yani **eşpotansiyel yüzeyler elektrik alan doğrultusuna diktir**. Böylece, kuvvet çizgileri ve eşpotansiyel yüzeyler birbirlerine dik çizgiler ve yüzey ağı oluştururlar. Ayrıca yüklü bir iletken içinde elektrik alan sıfır olduğundan iletkenin içi, iletkenin yüzeyi ile aynı potansiyelde olan bir eşpotansiyel hacmidir. Şekil 1.3 de, çeşitli elektrik yükleri etrafında bulunan eşpotansiyel ve elektrik alan çizgileri görülmektedir.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

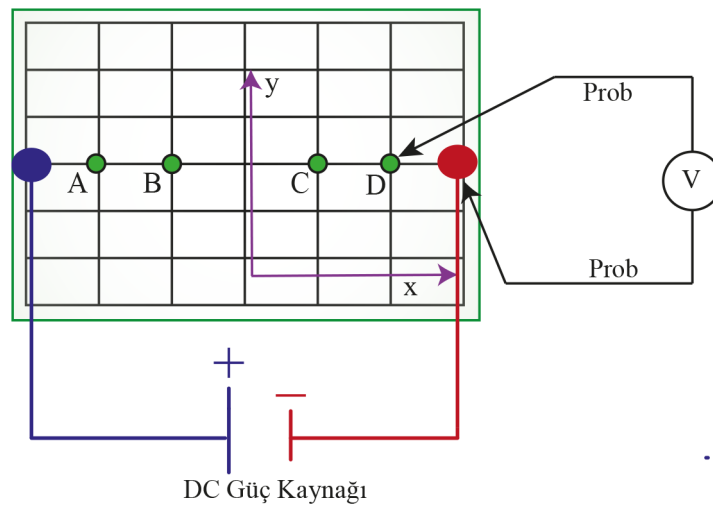


Şekil 1.3. a) Yalıtılmış noktasal bir pozitif elektrik yükü etrafında, b) pozitif ve negatif elektrik yükler etrafında oluşan eşpotansiyel ve elektrik alan çizgileri.

1.3. Deneyin Yapılışı

Potansiyel Farkının İncelenmesi

Bu deneyde; zıt yükle yüklenmiş iletken halkaların eş potansiyel çizgilerini belirleyip çizeceğiz. Deney düzeneği şekil 1.4 de gösterilmiştir. İletken halkalar siyah iletken kağıdın üzerine yerleştirilmiş olan metal iğnelerden güç kaynağına bağlayacağız. Probları kağıttaki noktalara dokundurarak herhangi iki nokta arasındaki potansiyel farkı bulacağız. Eğer iki nokta aynı potansiyele sahipse bu noktalar eş potansiyel noktaları olarak tanımlanır.

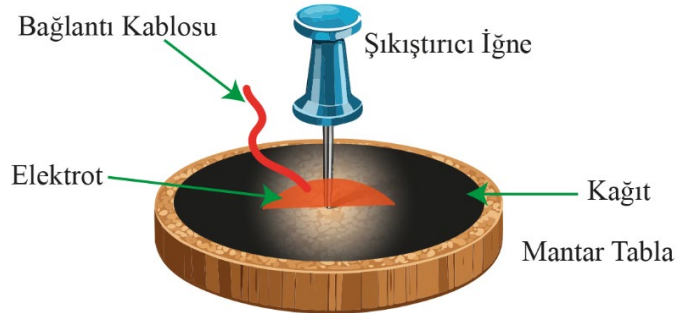


Şekil 1.4. Deney düzeneğinin kurulumu.

1. Üzerine elektrotları çizilmiş iletken kağıdı mantar tablanın üzerine yerleştirip plastik raptiyelerle sabit hale getirin.

2. Şekil 1.4 de gösterilen devreyi kurun. Bağlantı kablolarını kullanarak elektrotları DC güç kaynağına bağlayın. Bunun için iletken halka elektrotun üzerine bağlantı kablosunun ucunu yerleştirin, sıkıştırıcı iğneyi sırası ile kablo ucu, elektrot ve iletken kağıttan geçecek şekilde ve mantar tablaya bastırın. Sıkıştırıcı iğnenin, kablounun ucunu ve elektrotu sağlam bir şekilde tuttuğundan emin olun. (Şekil 1.5 de görüldüğü gibi).

3. Güç kaynağının çıkış gerilimini 5-6 volta ayarlayın ve anahtarı açın. Tam bir iletkenlik için halkaların kontrolünü yaparken halkanın üzerindeki sıkıştırıcı iğnenin yanına voltmetrorenin bir probunu bağlayın. Aynı halka üzerindeki farklı noktalara öbür proba dokunun. Eğer halka tam olarak çizilmişse halka üzerinde herhangi iki nokta arasındaki potansiyel fark, elektrotlar arasında uygulanan gerilimin %1'ini geçmeyecektir.



Şekil 1.5. Mantar tabla üzerinde iğne, elektrot, kablo ve kâğıdın bağlantısı.

4. Ölçüm yapmak için elektrot sıkıştırıcı iğnelerinden bir tanesine voltmetrorenin bir probunu bağlayın. Bu elektrot referansımız olur. Voltmetrorenin diğer probunu sadece bir noktada kâğıda dokundurarak kağıt üzerinde o noktadaki gerilimi ölçebilirsiniz. Grafik kâğıdında x-ekseni boyunca altı nokta (A, B, C, D, E ve F) seçin. Bu noktaları merkez etrafında simetrik dağılmış olarak seçin. Bu noktalardan herhangi birine probu dokundurun, referans elektroda bağlı olarak bu noktanın gerilimini ölçün ve kayıt edin. Eş potansiyeli çizmek için voltmetre aynı gerilimi gösterene kadar probu hareket ettirin. Bu noktayı yumuşak kurşun kalemle kâğıda işaretleyin. Probu hareket ettirmeyi sürdürün ama sadece voltmetroren aynı değeri okuduğunuz yönde devam ettirin. Bunun gibi on eş

potansiyel noktasını x-eksenin üstünde ve altında beşer adet olmak üzere bulun. Diğer altı referans noktası için deneyi tekrar edin.

5. Her referans noktası için eş potansiyel noktalarını birleştirerek eş potansiyel eğrilerini

çizin. Elektrik alan çizgilerinin eş potansiyel eğrilerine dik olması gerektiği gerçeğini de kullanarak halkalar arasındaki bölgede oluşan elektrik alan çizgilerini belirleyin.

6. Şimdi bu incelediğimiz durumu düzeneğe eklenmiş olan bir metal yüzüğün nasıl etkilediğini inceleyeceğiz. Bu amaçla, üzerine iletken gümüş kalemle bir halka çizilmiş olan siyah iletken kağıdı x-y düzleminin bir çeyreğindeki bir bölgede mantar tablanın üzerine bir adet sıkıştırıcı iğne kullanarak yerleştirin. Seçmiş olduğunuz üç referans noktası için halkanın bulunduğu çeyrek içerisindeki eş potansiyel noktaları araştırın. Her referans noktası için bu eş potansiyel noktalarını bulun ve verileriniz kaydedin. Daha önce almış olduğunuz verilerden farklı renk kullanarak bu yeni eş potansiyel noktalar için eş potansiyel eğrilerini çizin ve yeni elektrik alan çizgilerini de belirleyin.

7. Problemleri kullanarak iletken halka yüzeyinin gerçekten de eş potansiyel bir yüzey olduğunu doğrulayın.

2.Deney: Elektrik Akımı, Ohm Kanunu ve Dirençler

2.1. Deneyin Amacı: Elektrik akımını ve çeşitlerini tanımak, etkilerini gözlemek, elektrik akımı ile ilgili temel kavram ve kanunları gözden geçirmek.

2.2. Teorik Bilgiler

Elektrik yüklü parçacıklarla ilgili fiziksel incelemeler temel olarak iki kısma ayrılabilir. Birinci kısımda yüklü parçacıkların durgun haldeki etkileri, ikinci kısımda ise hareketli olmaları halindeki etkileri incelenir. Durgun bir elektrik yükünün, çevresinde düzenli elektrik alan oluşturduğu ve böyle bir elektrik alan içine yerleştirilecek bir başka elektrik yükü üzerine Coulomb Kanunu ile tanımlı bir kuvvet etkileyeceğini biliyoruz. Elektrik yüklerinin hareketli olması durumunda çevrelerindeki elektrik alanın nasıl etkileyeceğini ve buna bağlı olarak çevrelerindeki diğer parçacıklarla nasıl etkileşeceğini incelenmesinde, yüklü parçacıkların hızı, sayısı ve hangi yönde hareket ettikleri gibi bazı özelliklerinin tanımlanması gerekir. Uzayın herhangi bir noktasına doğru belirli bir hızla sürüklenen ve belirli sayıdaki yüklü parçacığı tanımlamak için elektrik akımı veya basitçe akım kavramını kullanırız. Yaşantımızı kolaylaştırmak için kullandığımız bütün elektrikli cihazlarda elektrik akımı vardır. Bir elektrik lambasının düğmesini açtığımızda lambanın ışıldamasını sağlayan bir elektrik akımı akar. Bir çamaşır makinesini çalıştırdığımızda, elektrik motoru içindeki iletken tellerden bir elektrik akımı akar vs. Elektrik akımının oluşması için maddesel bir ortamın olması zorunlu değildir. Yani, elektrik akımı sadece metaller içinden akmaz. Havası boşaltılmış bir tüp içinden de (TV tüpleri gibi) akabilir.

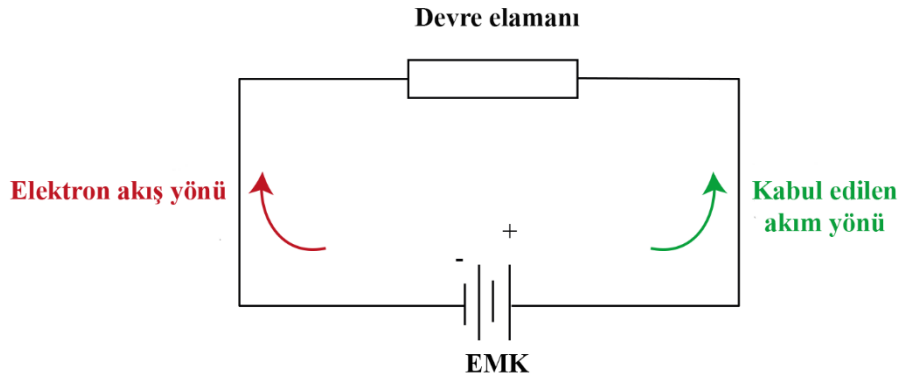
Elektrik Akımı

Bir iletken içinde elektrik alanı oluşturulduğunda iletken içindeki serbest elektrik yükleri olarak kabul edilen elektronlar üzerine $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$ kuvveti etkir eder. Bu kuvvetle yükler harekete geçmesine olanak tanır. Yüklerin düzenli olarak hareket etmesine **Elektrik Akımı** denir. Akım I ile gösterilir.

İletkenlik teorisinde, yalıtkanlara kıyasla metal malzemeler de elektron serbest olarak hareket ettiği varsayılır. Bu nedenle, metallerde elektrik akımı elektronların hareketi sonucu oluşur. Bir elektrolit içindeki serbest yükler pozitif veya negatif

iyonlardır. Yarıiletkenlerde ise hem pozitif hem de negatif yüklerin varlığından bahsedilir. Ortak bir anlaşma sağlamak amacıyla elektrik akımının yönü pozitif yükün hareket yönü olarak seçilir (Şekil 2.1). İletkene uygulanan elektrik alanının yönü ve şiddeti sabit ise, yük taşıyıcıları iletkenin bir ucundan diğer ucuna sabit bir ortalama hızla hareket ederler. Bu şekilde oluşan akıma **Doğru Akım** (DC) denir. Elektrik alanının yönü veya şiddeti zamanla değişiyor ise, yüklerin ortalama hızları da zamanla değişir. Bu durumda akıma **Alternatif Akım** (AC) denir.

SI birim sisteminde akım birimi Coulomb/saniye = Ampère dir ve kısaca Amper (A) ile ifade edilir. Uygulamada miliamper ($1\text{mA}=1\times 10^{-3}\text{A}$) ve mikroamper ($1\mu\text{A}=1\times 10^{-6}\text{A}$) gibi küçük değerler kullanılmaktadır. Elektrik akımı ampermetre adı verilen ölçü aletiyle doğrudan ölçülür. Elektrik akımı, elektrik yüklü parçacıkların, iletkenin bir ucundan diğer ucuna akış hızı olduğu için ampermetrenin devreye seri bağlanması gerekir. Ampermetrelerin devreye seri bağlanması nedeniyle, devreye herhangi bir ek yük getirmemesi için iç dirençlerinin olabildiğince küçük olması gerekir.



Şekil 2.1. Akım, elektronların akış yönünün tersi yönündedir.

Akım ile Yüklerin Hareketi Arasındaki İlişki

Şekil 2.2'deki gibi bir iletkenin Δx uzunluğunun hacmi $A\Delta x$ dir. Bu iletkenin birim hacmindeki yük sayısı n ise, $A\Delta x$ hacmindeki hareketli yük sayısı $nA\Delta x$ olur. Buna göre, $A\Delta x$ hacimdeki yük miktarı

$$\Delta Q = nA\Delta xq \quad (2.3)$$

olur. Yük taşıyıcıları, iletken içinde v_d sürüklenme hızı ile yol alıyorsa Δt süresince alacakları yol,

$$\Delta x = v_d \Delta t \quad (2.4)$$

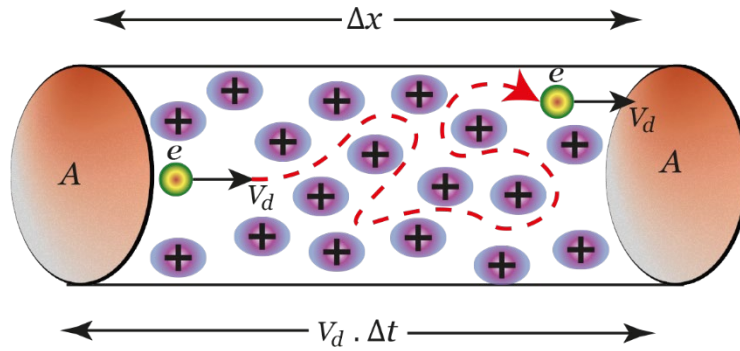
şeklindedir. Buna göre (2.2) bağıntısı

$$\Delta Q = nA v_d \Delta t q \quad (2.5)$$

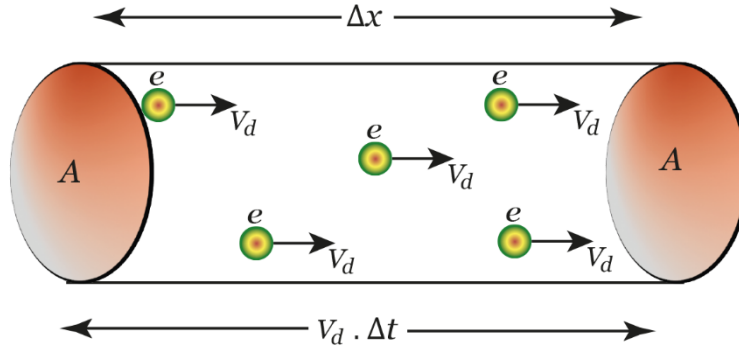
şeklinde yeniden yazılabilir. (2.5) eşitliğinin her iki tarafı Δt ile bölünürse

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nA v_d q \quad (2.6)$$

elde edilir. Elektronların hareket hızları ile, iletken içinde boyuna ilerleme hızları (sürüklenme hızları, v_d) arasında büyük bir fark vardır. Bu iki hız birbirleriyle karıştırılmamalıdır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Elektrik akımının mikroskobik açıklaması.



Şekil 2.3. Bir iletken tel içerisinde hareket eden elektronların yönü ile akımı yönü.

Elektron, iletken içinde hareket ederken yolu üzerindeki atomlarla çarpışarak, atomların denge konumları etrafında titreşmelerine neden olur. Böylece hem enerji kaybeder hem de hareket doğrultuları değişir bu nedenle, elektronun sürüklenme hızı hareket hızından daha küçüktür. Örneğin, bakırda 1 A akımın geçtiği bir 1 mm^2 kesit alanında (Akım yoğunluğu $J = 10^6 \text{ A/m}^2$) sürüklenme hızı yaklaşık olarak yani 0.1 mm/s 'dir.

Akım Yoğunluğu

A kesit alanına sahip bir iletkenin birim yüzeyinden geçen akıma **Akım yoğunluğu** denir ve J ile gösterilir.

$$J = \frac{I}{A} = \frac{nAv_dq}{A} = nv_dq \quad (2.7)$$

Gerçekte hız vektörel bir niceliktir. Bu nedenle, akım yoğunluğunun da bir vektör olması gerekir.

$$J = nv_dq \quad (2.8)$$

Akım yoğunluğu elektrik akım ile doğru orantılıdır:

$$J \propto E \Rightarrow J = \sigma E \quad (2.9)$$

Burada σ ortamın (mesela iletkenin) iletkenliğidir. Böylece, akım yoğunluğu şiddetinin ortama bağlı olarak değişeceği sonucuna ulaşılır. Bazı maddelerin iletkenlik değerleri Tablo 2.1 de verilmiştir. (2.6) ve (2.8) bağıntıları kullanılarak aşağıdaki eşitlikler türetilir:

$$\frac{I}{A} = \sigma E \Rightarrow I = A\sigma E \Rightarrow I = \frac{A\sigma V}{d} \quad (2.10)$$

Burada “ d ” akımın aktığı iletkenin uzunluğudur.

Tablo 2.1. Bazı maddelerin elektriksel iletkenlik değerleri.

Madde	İletkenlik ($\times 10^8$ (1/ Ωm))
Gümüş(Ag)	0,625
Bakır(Cu)	0,588
Alüminyum(Al)	0,357
Demir(Fe)	0,10
Karbon(C)	0,000285

Ohm Kanunu ve Dirençler

İki nokta arasındaki elektrik alan şiddeti, noktalar arasındaki potansiyel farkının noktalar arasındaki uzaklığa oranı ($E = V/d$) olarak tanımlanır. Buna göre, akım yoğunluğu $J = \sigma V/d$ şeklinde yazılabilir. Bu tanıma göre potansiyel farkı

$$V = \frac{d}{\sigma} J = \frac{d}{\sigma A} I \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada d , σ ve A terimleri birer sabit olup iletken ortamın karakteristik parametreleridir. Buna göre;

$$\frac{V}{I} = \frac{d}{\sigma A} = \text{sabit} \quad (2.12)$$

Bu oranın belirli bir madde için sabit kaldığı ilk defa Ohm tarafından gözlemlendiği için bu bağıntı *Ohm Kanunu* olarak bilinmektedir. Elde edilen sabite ise maddenin elektriksel direnci denir ve R harfi ile gösterilir. *Ohm kanununa göre, bir iletken üzerinden akan akım şiddeti değiştirildiğinde, iletkenin iki ucu arasındaki potansiyel farkı da akımla doğru orantılı olarak değişir:*

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_3}{I_3} = \dots = \frac{V_n}{I_n} = \text{sabit} = R(\text{Direnç}) \quad (2.13)$$

SI birim sisteminde direnç Ohm birimiyle tanımlanır:

$$1 \text{ Ohm } (\Omega) = 1 \text{ Volt} / 1 \text{ Amper}$$

Bir maddenin iletkenliğinin tersine *Özdirenç* denir.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2.14)$$

Böylece düzgün (homojen) bir iletken direnci ve özdirenç sırasıyla

$$R = \frac{\rho l}{\sigma A}; \rho = \frac{A}{l} R \quad (2.15)$$

olur. Ohm kanununa uyan maddelere lineer (doğrusal, çizgisel) maddeler denir. Bazı maddelerin özdirençleri Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2. Bazı maddelerin özdirenç değerleri.

Madde	Özdirenç ($10^{-8} \Omega m$)
Gümüş(Ag)	1,6
Bakır(Cu)	1,7
Alüminyum(Al)	2,8
Demir(Fe)	10
Karbon(C)	3500

Bir iletkenin direnci, ortam şartlarına bağlı olarak değişebilir. Bunlardan en çok etkili olan ortamın sıcaklığının değişmesidir. Birçok metal için direnç, sıcaklık arttıkça artar. Belirli bir sıcaklık aralığı için bir iletkenin özdirenç

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2.16)$$

ρ : Herhangi bir T (°C) sıcaklığındaki özdirenç

ρ_0 : T_0 sıcaklığındaki öz direnç (T_0 genellikle 20°C alınır)

α : Öz direncin sıcaklık katsayısı ile belirlenir.

Buna göre, bir iletkenin öz direncinin sıcaklık katsayısı

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta \rho}{\Delta T} \quad (2.17)$$

ile verilir. Burada $\Delta \rho = \rho - \rho_0$, $\Delta T = T - T_0$ dır. Öz direnç sıcaklıkla değiştiğine göre direnç de aşağıdaki denkleme uygun olarak sıcaklıkla değişecektir:

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2.18)$$

Metaller için direnç sıcaklıkla artarken, yarıiletkenler için sıcaklık arttıkça direnç azalır. Yani iletkenlik artar. İletkenlerin ve yarıiletkenlerin dirençlerinin sıcaklıkla değişmesi onların termometre gibi kullanılmalarını sağlar.

2.4. Deneyin Yapılışı

Elektrik Akımı Etkilerinin Gözlenmesi ve Ölçülmesi

Elektrik akımının etkilerini gözlemenin en kolay yolu. ince bir iletken telden ($<0,1\text{ mm}$) nispeten büyük bir akım ($>2\text{ A}$) geçirmeye çalışmaktır. Böyle bir durumda, elektrik akımının ince telden geçerken nelerin olup biteceğini kestirmeye çalışınız. Telin iki ucu araşma bir potansiyel farkı uyguladığınızda, iletken içindeki serbest elektronlar üzerine etkiyen elektrikselsel kuvvet onları hareket etmeye zorlayacaktır. Elektronların hareket yönü hangi tarafa olur? Elektronlar hareket ederken hangi fiziksel olaylara neden olurlar? Bu olayları nasıl gözleyebilirsiniz, makroskobik ve mikroskobik etkileri nelerdir? Bu soruların cevaplarını araştırmak için aşağıda verilen işlem basamaklarını sırayla yapınız:

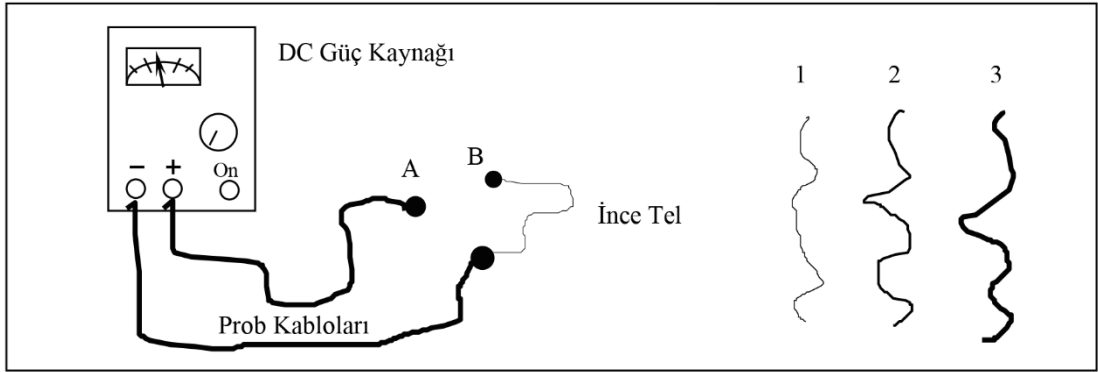
1. Masanızda bulunan DC güç kaynağını 5 V üretecek şekilde ayarlayınız ve cihazı kapatınız.
2. Şekil 4 deki deney düzeneğini kurunuz. Deney düzeneğinde A ve B ile gösterilen iletken uçlarının temasım **kesinlikle** önleyiniz. İnce tel olarak masanızda bulunan en ince teli kullanınız.
3. DC güç kaynağını açınız. **Ellerinizi ince tele dokundurmadan** A ve B uçlarını birleştiriniz.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

4. Buraya kadar yaptığınız işlemleri, aynı incelikte iletken tel kullanarak birkaç defa tekrarlayabilirsiniz.

5. Şimdi aynı işlemleri, masanızda bulunun diğer iletken teller için tekrarlayınız. Ancak, önceki ince tele göre nispeten kalın olan diğer iletken telleri kullanırken inceleme süresinin $\approx 3s$ den uzun olmamasına özen gösteriniz. Aksi halde DC güç kaynağı **arızalanabilir!!!**

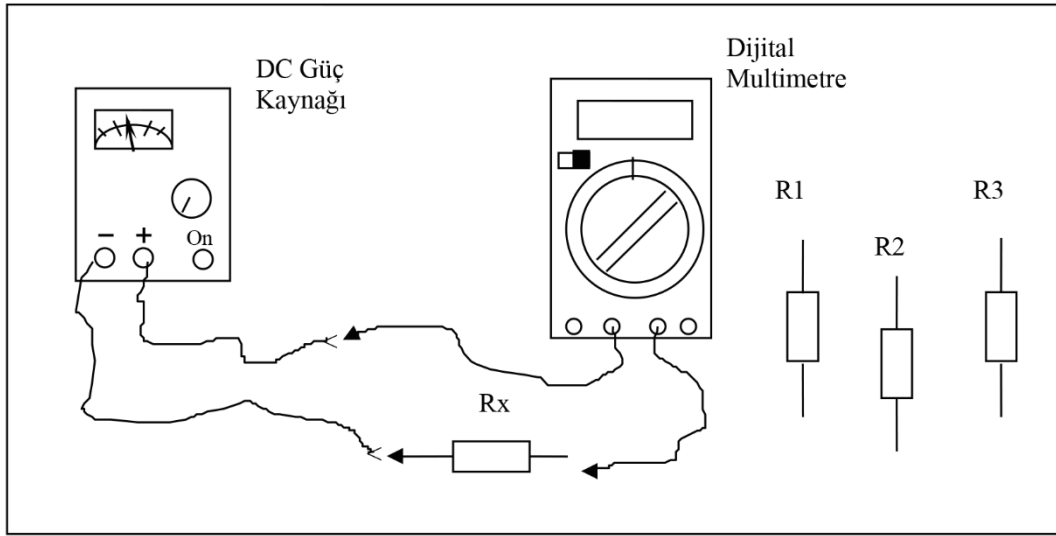
Not: Deneyin bu kısmı sizlere çok basit görünebilir. Ancak, olayları fizik açısından değerlendirmeye çalışınız. Burada yorum yapabilme yeteneğiniz oldukça önemlidir.



Şekil 2.4. Elektrik akımının etkilerini gözlemek için deney düzeneği.

Şimdi, ampermetre kullanımıyla ilgili uygulamalar yapacaksınız. Bu nedenle masanızda bulunan multimetrenin ampermetre fonksiyonlarını detaylı olarak inceleyiniz. İncelemelerinizi tamamladıktan sonra aşağıdaki adımları takip ediniz:

1. DC güç kaynağını 10V a ayarlayınız ve cihazı kapatınız.
2. Masanızda bulunan standart dirençleri, Şekil 2.4 de görüldüğü gibi sırayla ampermetreye bağlayınız ve DC güç kaynağını açınız. Ampermetrede okuduğunuz akım değerlerini not alıp inceleyiniz.
3. Standart dirençleri birbirlerinden ayırt edecek şekilde numaralayınız (1, 2, 3, ... gibi). Buna göre dirençler hakkında neler söyleyebilirsiniz? Dirence bağlı olarak akım nasıl değişmektedir? Bu arada, DC güç kaynağının sağladığı potansiyel farkının sabit kaldığından emin olunuz.



Şekil 2.5. Ampermetre kullanımı için deney düzeneği.

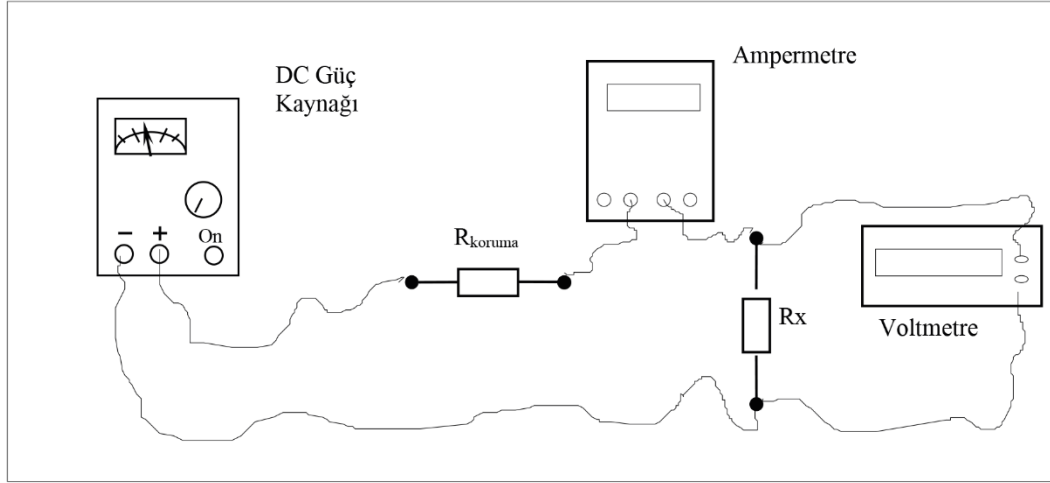
Ohm Kanunu

Ön bilgi içinde (2.13) bağıntısıyla verilen Ohm kanununu incelemek için aşağıdaki işlem basamakları takip edilebilir:

1. DC güç kaynağının çıkış potansiyelini sıfır değerine ayarlayıp cihazı kapatınız.
2. Şekil 2.5 deki devreyi kurunuz ve sorumlu öğretim elemanına doğruluğunu kontrol ettiriniz.
3. Ampermetrede 10 mA okuyacak şekilde DC güç kaynağının çıkış potansiyelini yavaşça artırınız. 10 mA lik akımı okuduğunuzda voltmetre ile ölçtüğünüz potansiyel farkını Tablo 2.3 e yazınız.
4. Ampermetrede 20 mA lik akım okuyacak şekilde DC güç kaynağını yeniden ayarlayınız ve voltmetrede okunan potansiyel farkını Tablo 2.3 e yazınız. Tablo 2.3 ü dolduruncaya kadar işlemlere devam ediniz.
5. Masanızda bulunan çeşitli dirençler (en az 3 farklı direnç, mümkünse daha önce akım ölçmede kullandığınız dirençleri kullanınız) için işlemleri tamamladıktan sonra, her bir direnç için $V = f(I)$ grafiklerini çiziniz. Elde ettiğiniz eğrilerden yararlanarak dirençlerin Ohm cinsinden değerlerini hesaplayınız. Bunun için $\tan \theta = R$ bağıntısını kullanabilirsiniz. Akım ölçümlerindeki dirençler hakkında yaptığınız yorumlar doğrulanıyor mu? Grafikleriniz (2.12) bağıntısıyla uyum içinde mi? Yorumlayınız.
6. Belirlediğiniz direnç değerlerini, multimetrenin Ohmmetre fonksiyonunu

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

kullanarak doğrudan ölçmeye çalışınız. Bu işlem için sorumlu öğretim elemanından yardım isteyiniz.



Şekil 2.6. Ohm Kanununun doğrulanması için deney düzeneği.

Tablo 2.3. Ohm kanunun incelemelerinin sonuçları.

<i>Akım</i> <i>I (mA)</i>	<i>Potansiyel Fark, V (Volt)</i>		
	R ₁	R ₂	R ₃
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
R=			

3. Deney : Doğru Akım Devreleri

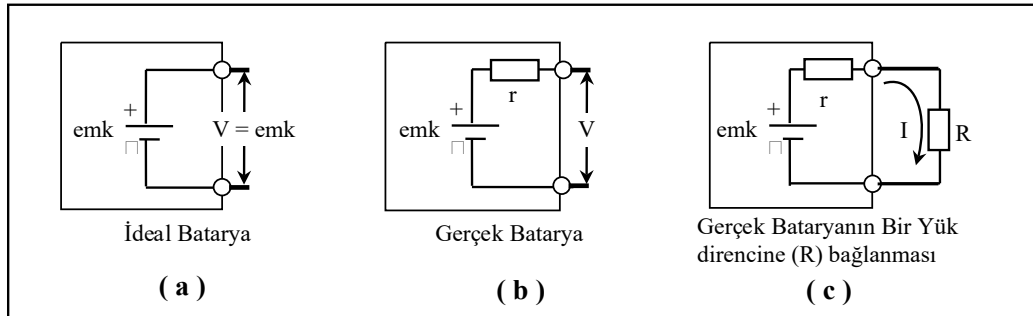
3.1. Deneyin Amacı: Doğru akım devrelerinin incelenmesi ve devre analizi yöntemlerinin temel kurallarının kavranması.

3.2. Teorik Bilgiler

Elektromotor Kuvvet (emk)

Bir elektrik devresinde negatif yük taşıyıcılarını (elektronları) harekete geçirerek elektrik akımının oluşmasına neden olan etkiye **Elektromotor Kuvvet** (emk) denir. Bir emk, yük pompası gibi düşünülebilir. Bir kaynağın emk'sı ε ile gösterilir ve birim yük başına yapılan iş olarak tanımlanır. SI birim sisteminde birimi *Volt*'tur.

İdeal bir bataryanın (güç kaynağının) çıkış uçları arasındaki potansiyel farkı, bataryanın emk'sına eşittir. Ancak, gerçekte bataryaların bir iç direnci vardır (Şekil 3.1). Bu nedenle, gerçek bir bataryanın üretebildiği emk, çıkış uçlarında bir miktar kayba uğrar. Gerçek bir bataryanın (mesela bir pilin) iç direnci r ile gösterilir.



Şekil 3.1. (a) İdeal batarya, (b) gerçek batarya, (c) gerçek bir bataryanın bir yük direncine (R) bağlanması.

Gerçek bataryanın bir R yük direncine bağlanması halinde batarya uçları arasındaki potansiyel farkı (gerilim)

$$V = \varepsilon - IR \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdan, açık devre için $I = 0$ olması durumunda $V = \varepsilon$ olacağı görülür. Böylece, batarya uçları arasındaki gerilim, bataryadan çekilen akıma bağlı olarak değişecektir. Bu değişim, bataryanın iç direncinin büyüklüğüne bağlıdır. (3.1) bağıntısından görüldüğü gibi, iç direnç ne kadar küçük olursa, bataryanın sağladığı gerilim

o kadar kararlı (sabit) kalacaktır. Bataryadan sağlanacak en büyük güç ise bataryaya bağlanan yük direncinin batarya iç direncine eşit olması durumunda verilecektir. Yük direncinin, batarya iç direncine eşit olması durumu **Yük Ekleşmesi** olarak tanımlanır.

(3.1) denklemi $\varepsilon = V + Ir$ şeklinde de ifade edilebilir. Ohm kanununa uygun olarak $V = I.R$ ifadesi bu denklemde yerine yazılırsa

$$\varepsilon = I(R + r) \quad (3.2)$$

elde edilir. Devreden akan I akımı, (3.2) denklemine a faydalanılarak yazılabilir

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (3.3)$$

$R \gg r$ ise (3.3) denklemi $I = \varepsilon/R$ şeklinde düzeltilebilir. Bataryanın sağladığı güç ise

$$P = I\varepsilon \Rightarrow P = I^2(R + r) \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeye göre, emk tarafından sağlanan güç yük direncinin harcadığı güç ile iç direnç tarafından harcanan gücün toplamına eşittir.

Renk Kodları

Birçok elektrik devresinde, devrenin çeşitli kısımlarındaki akım seviyelerini kontrol etmek için sabit değerli dirençler kullanılır. Sabit dirençlerin üç yaygın tipi bulunmaktadır. Bunlar; saf veya katkılı karbon ihtiva eden dirençler, metal film tekniği ile veya yarıiletken madde kullanılarak yapılan dirençler ve tel sargılı dirençlerdir. Şekil 3.2 de gösterildiği gibi, dirençlerin Ohm cinsinden değerleri, genellikle renk kodlu olarak direnç üzerinde belirtilir. Bir direncin Ohm cinsinden değeri, Tablo 3.1 de verilen renk kodlarının direnç karşılıkları kullanılarak belirlenir. Üç renkli dirençlerde, ilk iki rengin rakam karşılıkları yan yana yazılır, üçüncü renk çarpan olarak yazılır, direncin toleransı ise %20 dir. Dört renkli dirençlerde, ilk iki rengin rakam karşılıkları yan yana yazılır, üçüncü rengin rakam karşılığı çarpan olarak yazılır, dördüncü renk de tolerans olarak alınır. Beş renkli dirençlerde ise ilk üç renk yan yana yazılır, dördüncü renk çarpan olarak, beşinci renk de tolerans olarak alınır. Beş renkli kodlamalar, genellikle toleransı düşük değerli hassas dirençler üzerinde kullanılır.

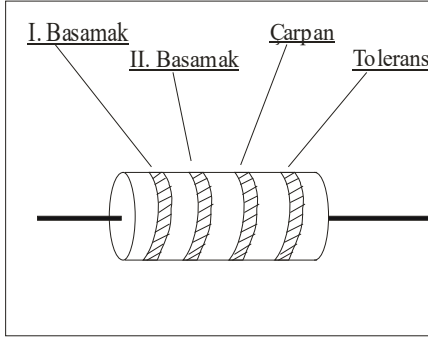
Örneğin; direnç elemanı üzerindeki ilk bant turuncu, ikinci bant gri, üçüncü bant sarı ve dördüncü bant gümüş olsun. Bu durumda, Tablo 3.1 de turuncu 3 ve gri 8 olduğuna göre iki basamaklı sayı 38 olmaktadır. Üçüncü bant sarı renkte olduğundan direnç değeri

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

$38 \times 10^4 \Omega$ ve tolerans rengi gümüş olduğundan direnç $38 \times 10^4 \pm \%10$ olur. Bir Ohmmetre ile ölçüm yapıldığında bu direnç elemanı $342 \text{ k}\Omega - 418 \text{ k}\Omega$ arasında bir değer alabilir.

NOT: Direnç okumada, direncin uç noktasına yakın olan renkten başlanır.

Tablo 3.1 Direnç renk kodları.

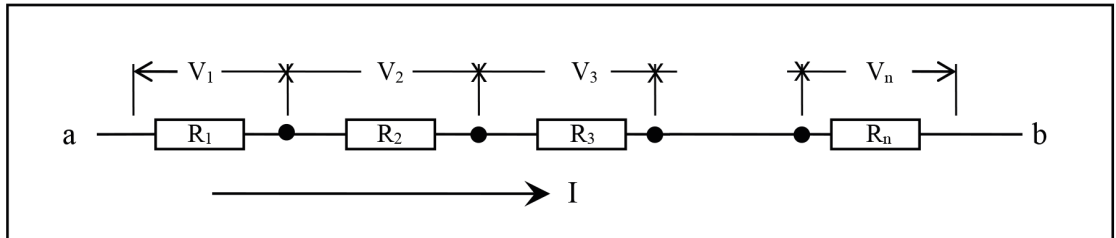


Şekil 3.2. Renk kodlarının direnç üzerinde belirlenmesi.

Renk	Sayı	Çarpan	Tolerans
Siyah	0	1	-
Kahverengi	1	10^1	$\pm\%1$
Kırmızı	2	10^2	$\pm\%2$
Turuncu	3	10^3	-
Sarı	4	10^4	-
Yeşil	5	10^5	-
Mavi	6	10^6	-
Mor	7	10^7	-
Gri	8	10^8	-
Beyaz	9	10^9	-
Altın	-	10^{-1}	$\pm\%5$
Gümüş	-	10^{-2}	$\pm\%10$
Renksiz	-	-	$\pm\%20$

Dirençlerin Seri Bağlanması

Şekil 3.3 de görüldüğü gibi birbirlerine seri olarak bağlanmış dirençlerin hepsinden aynı miktarda yük akar. Bu nedenle, dirençler üzerinden akan akımlar birbirlerine eşittir.



Şekil 3.3. Dirençlerin seri bağlanması.

Devredeki dirençlerin değerleri farklı ise, her bir direncin uçları arasındaki gerilim düşmesi

$$V_1 = IR_1 ; V_2 = IR_2 ; V_3 = IR_3 ; V_n = IR_n \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Dirençlerin tamamı üzerinde düşen (a-b arasında) gerilim,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklem Ohm kanunundan;

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer eşdeğer direnç R_{es} ise,

$$R_{es} = \frac{I}{V} \Rightarrow R_{es} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (3.8)$$

ifadesi elde edilir. Bu bağıntı genel olarak aşağıdaki gibi yazılır:

$$R_{es} = \sum_i R_i \quad (3.9)$$

Not: Seri bağlı direnç devrelerinde eşdeğer direnç, devredeki en büyük dirençten daha büyüktür.

Dirençlerin Paralel Bağlanması

Şekil 3.4 de görüldüğü gibi paralel olarak bağlanmış dirençlerin uçları arasındaki gerilimler birbirine eşittir:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (3.10)$$

Direnç değerleri farklı ise dirençler üzerinden akan akımlar da farklı olur. Bu durumda paralel kollardaki akımların toplamı devre akımına eşit olmalıdır.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (3.11)$$

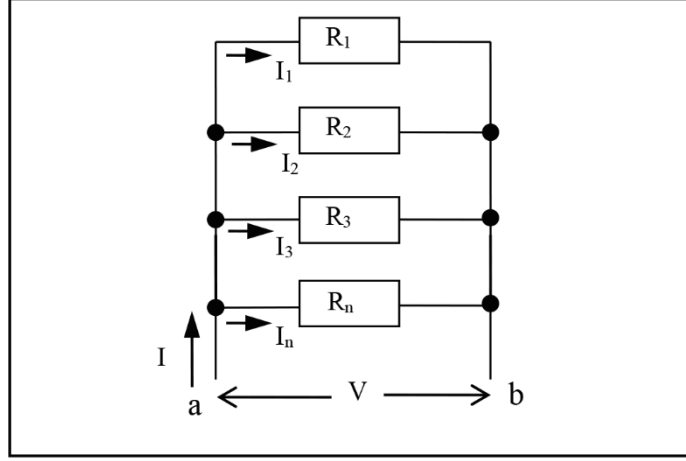
$I = V/R_{es}$, $I_1 = V/R_1$, $I_2 = V/R_2$, $I_3 = V/R_3$ ve $I_n = V/R_n$ bağıntıları (3.11) denkleminde yerine yazılır ve $V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$ olduğu göz önünde bulundurulursa

$$\frac{1}{R_{es}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (3.12)$$

elde edilir. Dirençlerin birbirlerine paralel olarak bağlandığı devrelerde eşdeğer direnç en genel haliyle

$$\frac{1}{R_{eş}} = \sum_i \frac{1}{R_i} \quad (3.13)$$

şeklinde yazılır.



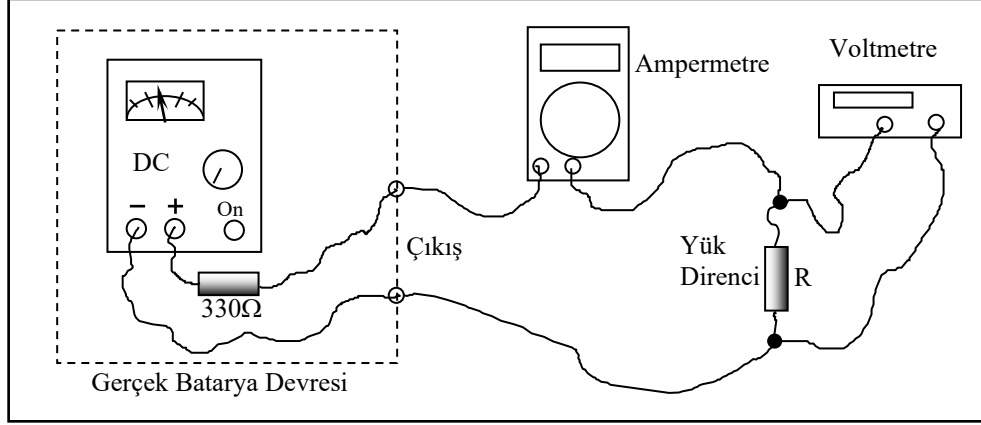
Şekil 4. Dirençlerin paralel bağlanması.

3.4. Deneyin Yapılışı

Elektromotor Kuvvet ve Yük Eşleşmesi

1. DC güç kaynağının kapalı olmasına dikkat ederek Şekil 3.5 deki devreyi kurunuz.
2. Ampermetreyi 200mA konumuna alarak AB noktaları arasına seri olarak bağlayınız.
3. DC güç kaynağının çıkış gerilimini 10 volta ayarlayınız ve deney esnasında sabit kalmasına dikkat ediniz.
4. Devreden geçen I akımını ampermetreden, R direnci üzerindeki V gerilimini ise voltmetreden okuyunuz ve Tablo 3.2 ye kaydediniz.
5. Tablo 3.2 de değerleri verilmiş olan farklı R dirençleri için bu işlemleri tekrarlayınız ve Tablo 3.2 yi doldurunuz.
6. Tablo 3.2 deki sonuçları kullanarak $P=f(V)$ grafiğini çizin ve bu grafiği yorumlamaya çalışınız. $R = r$ olduğu zaman R direnci üzerine verilen gücün maksimum olmasının nedenini tartışınız.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.



Şekil 3.5. Elektromotor kuvvet ve yük eşleşmesinin incelenmesi için deney düzeneği.

Tablo 3.2. Yük eşleşmesi.

R (Ω)	I (A)	V (Volt)	$P = I^2 R$ (Watt)
82			
100			
150			
220			
330			
470			
560			
680			
820			
1000			

Renk Kodları

1. Elinizde mevcut olan dirençlerin değerlerini, renk kodlarından faydalanarak belirleyiniz ve Tablo 3 e kaydediniz.

2. Daha sonra dirençlerin değerlerini, multimetrenin Ohmmetre fonksiyonunu kullanarak ölçünüz ve sonuçlarınızı Tablo 3 deki ilgili yerlere kaydediniz. Her bir direnç için multimetreden okuduğunuz değer, tolerans sınırları içinde kalıyor mu? Tartışınız.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

Tablo 3.3. Direnç renk kodları.

Direnç No	Renkler				$R_{\text{renk}} (\Omega)$	$R_{\text{ölçüm}} (\Omega)$
	I	II	III	IV	$R \pm \text{Tolerans}$	
1						
2						
3						
4						
5						

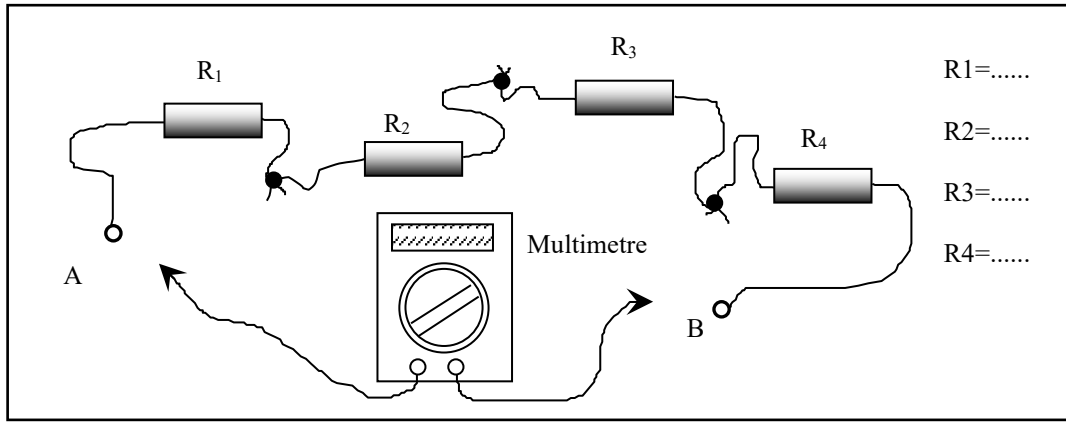
Dirençlerin Seri Bağlanması

1. Elinizde mevcut olan dirençleri Şekil 3.6 da görüldüğü gibi birbirine seri olarak bağlayınız.

2. Denklem (3.8) i kullanarak direnç takımının eşdeğer direncini ($R_{\text{eş}}$) hesaplayınız.

3. Multimetreyi kullanarak AB noktaları arasındaki eşdeğer direnci ölçünüz.

4. Hesaplama ve ölçme sonuçlarını karşılaştırınız.



Şekil 3.6. Seri bağlı dirençlerin incelenmesi için deney düzeneği.

4. Deney: Kirchhoff Kuralları ve Devre Analiz Yöntemleri

4.1. Deneyin Amacı: Kirchhoff Kurallarının temel devre düzeneklerine uygulanması ve bu kuralların kavranması.

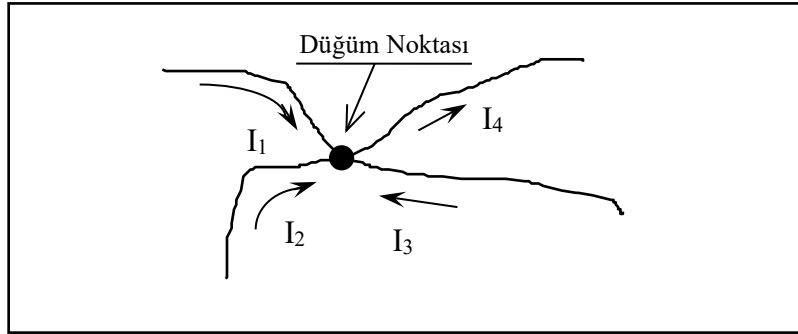
4.2 Teorik Bilgi

Kirchhoff Kuralları

Karmaşık devrelerde bulunan dirençler, seri ve paralel bağlama kurallarından yararlanılarak indirgenebilir ve devre, bir ya da daha fazla emk kaynağı ile birkaç dirençten oluşan bir devreye teorik olarak dönüştürülür. Bu işlemden sonra devrenin analizi için aşağıdaki Kirchhoff kuralları uygulanır:

1. Herhangi bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, bu düğüm noktasını terk eder, akımların cebirsel toplamına eşittir (düğüm noktası, devredeki akımın kollara ayrıldığı bir bağlantı noktasıdır). Bu kural yük korunumunu ifade eder. Başka bir deyişle düğüm noktasında yük birikmeyeceği için giren ve çıkan yükün birbirine eşit olması gerekir (Şekil 4.1).

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0 \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Kirchhoff'un akım kuralı.

2. Herhangi bir kapalı devre (ilmek) boyunca bütün devre elemanlarının uçları arasındaki gerilim düşmelerinin cebirsel toplamı sıfırdır. Bu ifadeye göre Şekil 4.2 deki devre için aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$-V + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0 \quad (4.2)$$

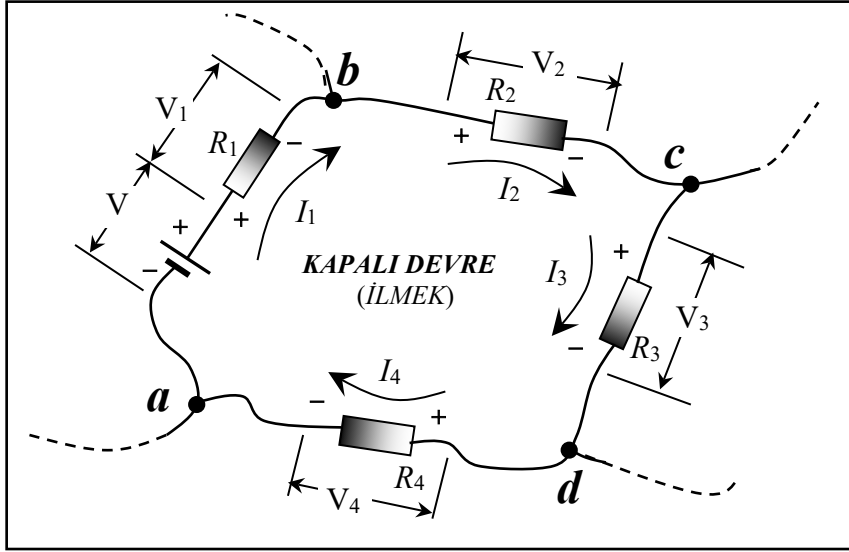
Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

$$\sum_i \Delta V_i = 0 \quad (4.3)$$

veya $V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} = 0$ ve $V_{ab} = V_1 - V$ dir. Sonuç olarak, Şekil 4.6 için

$$V_1 = V_2 + V_3 + V_4 \quad (4.4)$$

eşitliğini yazmak mümkündür.



Şekil 4.2. Kirchhoff'un gerilim kuralı.

Gerilim Bölücü Devre

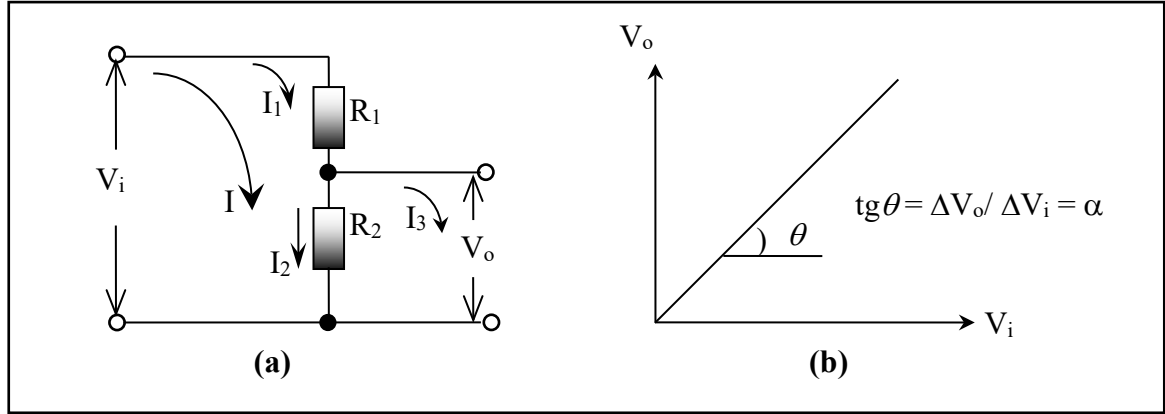
Şekil 4.3a daki devreye göre $I_3 = 0$ veya $I_3 \ll I_2 \approx I_1$ için $I = I_1 = I_2$ olarak kabul edilirse. Ohm kanununa göre $V_o = IR_2$ olur. Bu şartlar altında

$$V = \frac{V_i}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_o = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] V_i \quad (4.5)$$

elde edilir, $\left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] = \alpha$ ise $V_o = \alpha V_i$ olur. Böylece, Şekil 3b de görüldüğü gibi çıkış gerilimi (V_o), giriş gerilimine bağlı olarak doğrusal değişir. $R_1 = R_2$ özel durumu için çıkış gerilimi

$$V_o = \frac{V_i}{2} \quad (4.6)$$

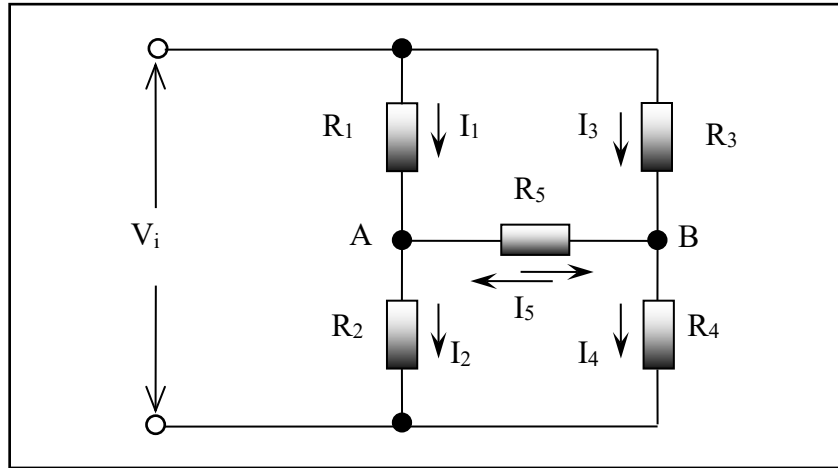
ile verilir.



Şekil 4.3. (a) Gerilim bölücü devre, (b) gerilim bölücü devrede çıkış geriliminin giriş gerilimine bağlılığı.

Wheatstone Köprüsü

Wheatstone Köprüsü aynı giriş gerilimine sahip iki gerilim bölücü devreden oluşur (Şekil 4.4). R_1 ve R_2 dirençlerinin bulunduğu kısım birinci gerilim bölücü devre, R_3 ve R_4 dirençlerinin olduğu kısım ise ikinci gerilim bölücü devredir.



Şekil 4.4. Wheatstone köprü devresi.

Şekil 4 de gösterilmiş olan A ve B noktalarının potansiyelleri aynı ($V_A = V_B$) ise A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı $V_A - V_B = 0$ olur. Bu iki nokta arasındaki potansiyel farkının sıfır olması I_5 akımının sıfır olmasına neden olur.

Devrenin A ve B noktalarının potansiyel değerleri sırası ile $V_A = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] V_i$,

$V_B = \left[\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] V_i$ olmak kaydıyla $V_A = V_B$ denge şartı için

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (4.7)$$

elde edilir.

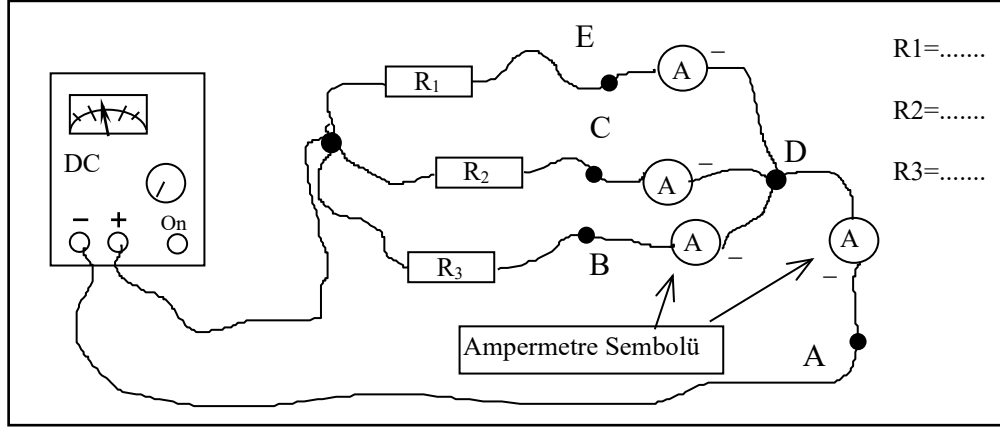
Wheatstone köprü devresi hem endüstriyel hem de bilimsel kullanım alanına sahiptir. En yaygın kullanıldığı yer, bilinmeyen dirençlerin belirlenmesidir. Eğer devredeki dirençlerden üçü biliniyorsa, bilinmeyen dördüncü direncin değeri (4.7) bağıntısından kolayca belirlenebilir. Burada bilinmeyen direnç, herhangi bir fiziksel olay sonucunda direnci değişen bir algılayıcı (sensör) olabilir. Örnek olarak bir sensörün direnci, üzerine düşen ışık şiddeti ile sensörün bulunduğu ortamın sıcaklığı ile veya sensör üzerine uygulanan kuvvet ile değişebilir. Böyle bir direnç değişimi sonucunda I_5 akımının değişeceği söylenebilir. Böylece, I_5 akımının değişim ölçüsü, sensör üzerindeki fiziksel etkinin değişim ölçüsüne özdeş olacaktır.

4.2. Deneyin Yapılışı

Akım Kuralı:

1. Şekil 4.5'deki devreyi kurunuz.
 2. DC güç kaynağının çıkış gerilimini 10 volta ayarlayınız.
 3. Multimetreyi ampermetre konumuna alarak AD noktaları arasına seri olarak bağlayınız.
 4. 10 volta ayarlamış olduğunuz DC güç kaynağını açınız ve ampermetre yardımıyla AD noktaları arasından geçen akım değerini (negatif veya pozitif olduğuna dikkat ederek) okuyunuz ve I_{AD} olarak not ediniz.
 5. Daha sonra ampermetreyi sırası ile BD, CD, ED noktaları arasına seri olarak bağlayınız ve okuduğunuz akım değerlerini I_{BD} , I_{CD} , I_{DE} olarak kaydediniz.
 6. Ampermetre ile okuduğunuz bu akım değerlerini cebirsel olarak toplayınız ve elde ettiğiniz sonucun Kirchhoff'un akım kuralını doğrulayıp doğrulamadığını tartışınız.
- Not:** Okuduğunuz bütün akım değerleri için ampermetrenin negatif ucunun D noktasında olmasına **dikkat ediniz!!!**

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

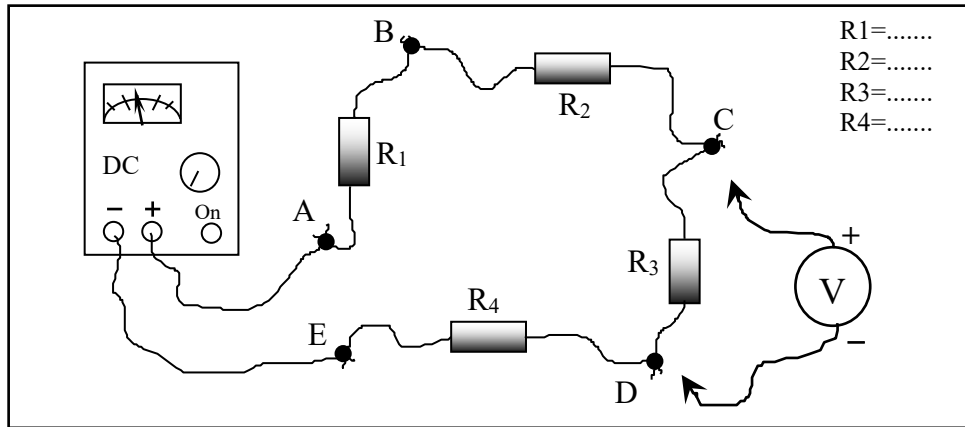


Şekil 4.5. Kirchhoff'un akım kuralının incelenmesi için deney düzeneği.

Gerilim Kuralı:

1. Şekil 4.6 daki devreyi kurunuz.
2. Multimetreyi voltmetre konumuna alarak AB, BC, CD, DE, EA noktaları arasındaki gerilim değerlerini teker teker okuyunuz ve bu gerilim değerlerini not ediniz.
3. Voltmetre ile ölçtüğünüz bu gerilim değerlerini cebirsel olarak toplayınız ve sonucunuzun Kirchhoff'un gerilim kuralına uyup uymadığını tartışınız.

Not: Gerilim okunması esnasında, voltmetrenin pozitif ucunun sırası ile A. B. C, D ve E noktalarında olmasına **dikkat ediniz!!!**



Şekil 4.6. Kirchhoff'un gerilim kuralının incelenmesi için deney düzeneği.

Gerilim Bölücü Devre

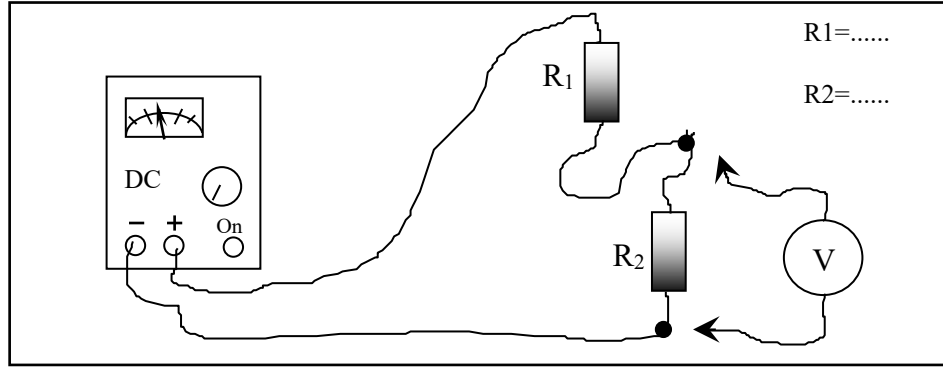
1. Şekil 4.7 deki devreyi kurunuz.
2. Giriş gerilimini uygun bir değere ($V_i = 5V$) ayarlayınız ve devreye

uygulayınız.

3. R_1/R_2 oranı sırası ile 1/2, 1, 3/2 ve 2 olacak şekilde uygun direnç değerleri kullanarak her bir oran için R_2 direnci üzerindeki gerilimi (V_o) ölçünüz ve sonuçlarınızı Tablo 4.1a ya kaydediniz. Elde ettiğiniz verileri kullanarak $V_o = f(R_1/R_2)$ grafiğini çizin ve yorumlayınız.

4. $R_1/R_2 = 1$ durumunda farklı giriş gerilimleri ($V_i = 8; 10; 12; 14V$) için çıkış gerilimini (V_o) voltmetre aracılığı ile okuyunuz ve Tablo 4.4b ye kaydediniz.

5. Tablo 4.4b deki sonuçları kullanarak $V_o = f(V_i)$ grafiğini çizin. R_1/R_2 oranının 1'e eşit olduğu durumu grup arkadaşlarınızla tartışınız.



Şekil 4.7. Gerilim bölücü devrenin incelenmesi için deney düzeneği.

Tablo 4.1. Gerilim bölücü devre.

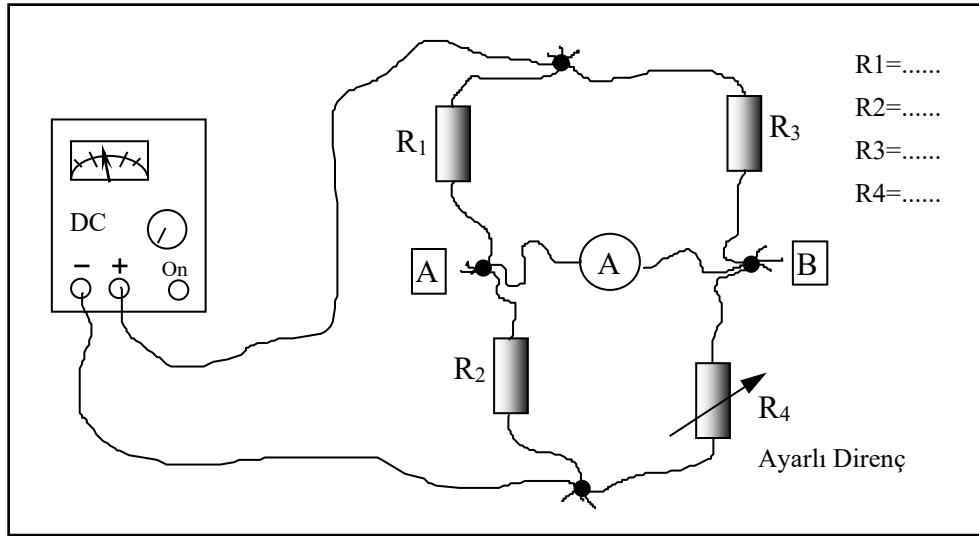
(a)		(b)	
$V_i = \dots\dots\dots V$		$R_1/R_2 = 1$	
$\frac{R_1}{R_2}$	$V_o(V)$	$V_i(V)$	$V_o(V)$
1/2		8	
1		10	
3/2		12	
2		14	

4.4.6. Wheatstone Köprüsü

1. Şekil 4.8 deki devreyi kurunuz.
2. DC güç kaynağı ile devreye uygun bir giriş voltajı ($\approx 10V$) uygulayınız.
3. Ampermetreyi, Şekil 4.8 deki gibi A ve B noktaları arasına seri olarak bağlayınız.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

4. R_4 ayarlı direncinin değerini değiştirerek ampermetreden okuduğunuz akım değerini sıfıra ayarlayınız.
5. Sıfır akım değerini okuduğunuz anda R_4 direncini devreden çıkarınız ve bir Ohmmetre yardımı ile değerini ölçünüz.
6. Denklem (4.7) i kullanarak R_4 direncinin değerini hesaplayınız ve ölçtüğünüz direnç değeri ile karşılaştırınız.



Şekil 4.8. Wheatstone köprüsünün incelenmesi için deney düzeneği.

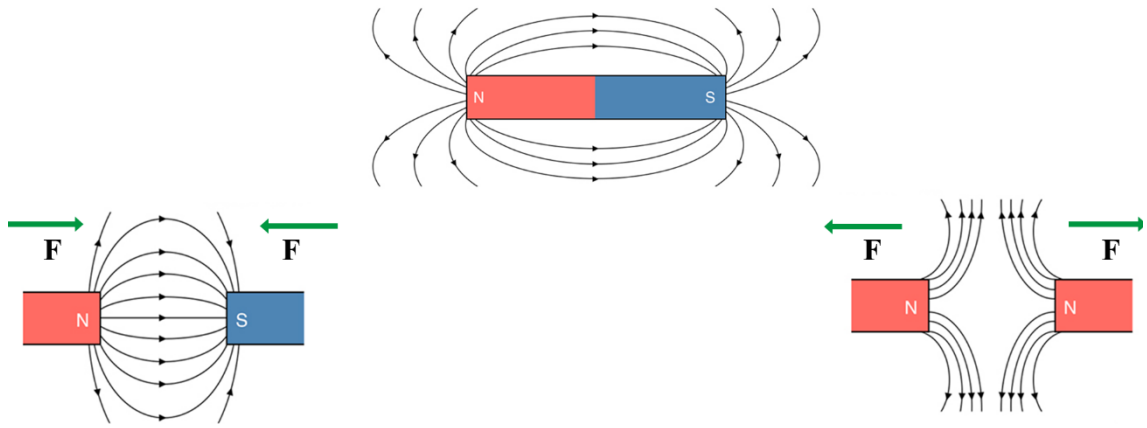
5. Deney: Manyetik Alan Çizgileri

5.1. Deneyin Amacı: İçinden akım geçen iletkenlerin etrafında oluşan manyetik alan çizgilerinin, iletkenin geometrik yapısına bağlı olarak incelenmesi.

5.2. Teorik Bilgiler

Manyetizma, doğada bulunan bazı cisimlerin demir içeren cisimleri çekmesinin gözlenmesi ile doğmuştur. Manyetizma kelimesi, bu etkiyi gösteren cisimlerin fazlaca bulunduğu **Manisa** (Magnesia) yöresinin isminden türetilmiştir. 1200' lü yıllardan bugünlere kadar yapılan bir takım deneyler sonucunda, her manyetik etkiye sahip cismin kuzey (N) ve güney (S) adı verilen iki kutba sahip olduğu ve bu kutuplar arasında, elektrik yüklü cisimler arasındaki itme ve çekme kuvvetlerine benzer kuvvetlerin bulunduğu belirlenmiştir. Şekil 5.1 de iki çubuk mıknatısın birbirlerine uyguladığı manyetik kuvvetler görülmektedir. İki manyetik kutup arasındaki kuvvet, iki elektrik yükü arasındaki kuvvete benzemekle birlikte aralarında önemli bir fark vardır: ***Doğada tek bir elektrik yükü bulunabilir*** (yani, proton ve elektron gibi), ***fakat tek bir manyetik kutup bulunamaz.*** Yani, tek başına bir kuzey veya bir güney kutbu bulmak mümkün değildir ve manyetik kutuplar her zaman çiftler halindedir. Bu nedenle, bir manyetik cisim (mıknatıs) kaç defa ve hangi geometrik şekilde parçalanırsa parçalansın, her parçası mutlaka bir kuzey ve bir güney kutbuna sahip olacaktır.

Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki, 1819' da H. OERSTED tarafından yapılan bir deney esnasında, içinden elektrik akımı geçen bir telin, yakınında bulunan bir pusula iğnesini saptırması sonucu keşfedilmiştir. Pusula iğnesinin sadece manyetik kuvvetlerden etkilendiği dikkate alınırsa bu gözlem, içinden akım geçen bir iletken etrafında bir manyetik alanın oluştuğunu göstermektedir. Oersted'in gözleminden kısa bir süre sonra A. AMPERE, akım taşıyan iletkenler arasındaki manyetik kuvvetleri nicel olarak belirlemiştir. Bu arada, iletken bir telden geçen elektrik akımının, yüklü parçacıkların hareketi sonucu oluştuğunu hatırlayınız.



Şekil 5.1. Çubuk mıknatısların birbirlerine uyguladığı manyetik kuvvetler.

Manyetik alan genel olarak şu şekilde tarif edilebilir: Uzayın belirli bir noktasında durmakta iken üzerine herhangi bir elektriksel kuvvet etkimeyen q_0 elektrik yüklü bir parçacık aynı noktadan belirli bir hızla geçerken yörüngesinden sapıyorsa, yani hareket halinde iken üzerine bir kuvvet etkiyorsa uzayın o noktasında bir manyetik alanın bulunduğu söylenir.

SI birim sisteminde manyetik alanın birimi metre kare başına Weber (Wb/m^2) dir ve buna Tesla (T) da denilmektedir. Bunun anlamı ise; 1T şiddetindeki bir manyetik alan içerisinde alana dik olarak 1m/s lik bir hızla hareket eden 1C luk elektrik yüküne sahip parçacığa 1N değerinde bir kuvvet etkir.

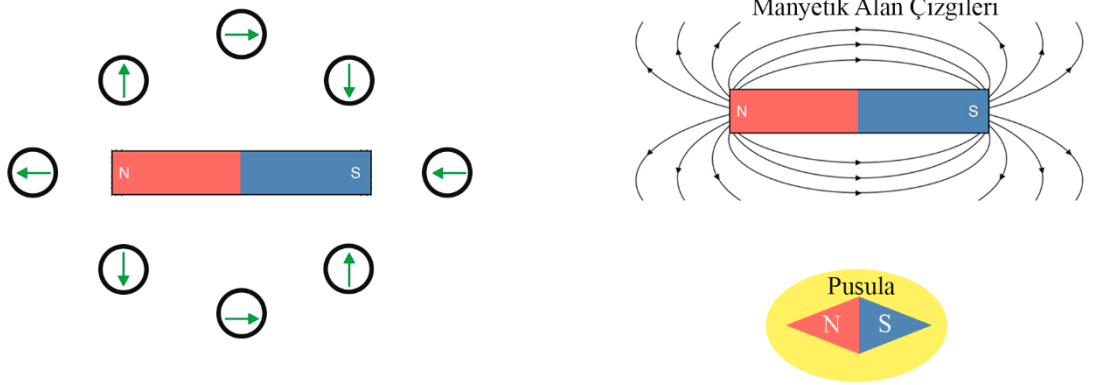
Manyetik alanın kaynağının hareket eden elektrik yükleri olduğu düşünülürse, bir elektrik akımının geçtiği iletkenin çevresinde de bir manyetik alan oluşması mantıklıdır. Bu ilişki, Biot-Savart Kanunu ile matematiksel olarak ifade edilir. Bu yasa, akım taşıyan bir iletkenin her bir küçük parçasının çevresinde bir manyetik alan oluşturduğunu ve bu alanın büyüklüğünün iletkendeki akımın şiddetine, iletken parçasının uzunluğuna ve gözlemlenen noktanın uzaklığına bağlı olduğunu belirtir. Bu durumda, içinden I akımı geçen bir telin ds uzunluğundaki küçük bir parçasının, telden r vektörü ile belirlenen uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı manyetik alanın yönü ve büyüklüğü hesaplanabilir. Biot-Savart Kanunu, akım taşıyan bir iletkenin çevresinde oluşan manyetik alanın özelliklerini ve bu alanın uzayda nasıl dağıldığını tanımlayan temel bir fiziksel yasadır. Bu kanuna göre manyetik alan

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{s} \times \mathbf{r}}{r^2} \quad (5.1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ dır ve serbest uzayın manyetik geçirgenliği adı verilir. Sonsuz uzunlukta doğrusal bir tel için (5.1) denklemi çözülür ise, telden r kadar uzaklıktaki bir noktada manyetik alan şiddeti aşağıdaki gibi elde edilir.

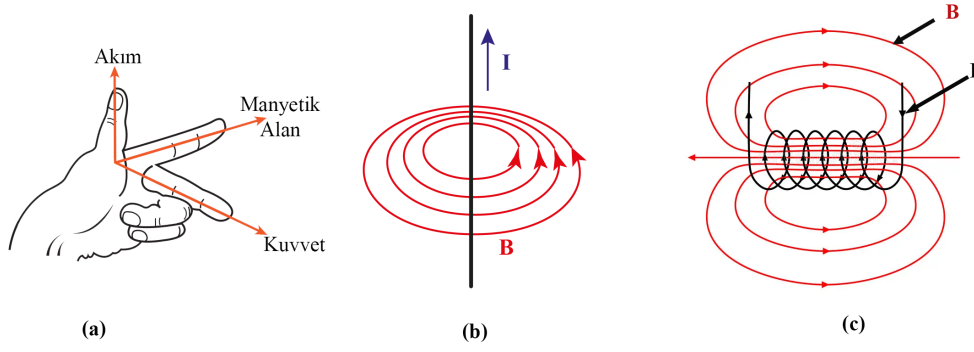
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \quad (5.2)$$

Herhangi bir yerdeki **B** manyetik alanının yönü oraya konan pusulanın gösterdiği yöndür. Şekil 5.2, bir çubuk mıknatısın manyetik alanının bir pusula yardımıyla nasıl izlenebildiğini göstermektedir. Pusula ibresinin N ucu, çubuk mıknatısın N kutbu tarafından çekilmezken S kutbu tarafından çekilmektedir.



Şekil 5.2. Bir pusula ibresi manyetik alanın yönünü belirlemede kullanılır.

İçinden akım geçen iletken bir telin etrafında oluşan manyetik alanın yönü 5.3a'da görülen sağ el kuralı ile akım sonucu oluşan manyetik alan ve kuvvet vektörlerinin yönü basit olarak belirlenebilir. Bu kuraldan yararlanarak çeşitli geometrik görünümlere sahip iletken tellerin etrafında oluşan manyetik alan yönü belirlenebilir. Örneğin, bir iletken telin etrafında oluşan manyetik alan Şekil 5.3b'da verildiği gibidir. Benzer bir biçimde selenoid (bobin) için manyetik alan Şekil 5.3c de sunulduğu gibi oluşur.



Şekil 5.3. İçinden akım geçen iletken tellerin etrafında oluşan manyetik alanlar.

Manyetik alan konusu buraya kadar özetlenmeye çalışılmıştır. Bu konuyla ilgili detayların burada verilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, çalışmalarınızı farklı elektrik ve manyetizma kitaplarından desteklemeniz yararınıza olacaktır. Manyetik alanla ilgili pek çok deneyin planlanması mümkün olmakla birlikte, burada sadece bir kaç özel deney üzerinde durulacaktır. Benzer şekilde, elektrik ve manyetizma kitaplarında çok sayıda deney tarifi bulabilirsiniz. Bu deneylerin yapılması son derece kolay ve basit araçlarla planlandığı için, laboratuvar dışında tamamen kendi uğraşlarınızla ve imkanlarınızla gerçekleştirebilirsiniz.

5.3. Deneyin Yapılışı

Doğrusal Bir İletken Telin Etrafındaki Manyetik Alan

Deneyin bu kısmında bir iletken tel, bir pusula ve bir yüksek akım DC güç kaynağı kullanılacaktır. Manyetik alan vektörleri pusula yardımıyla belirleneceği için, her şeyden önce deneyi yapacağınız masanın üzerinde bir manyetik alan kaynağının (mıknatıs vb.) bulunmamasına özen gösteriniz, dünyanın manyetik alan doğrultusu ve yönünü belirleyiniz. Deneyde kullanacağınız pusulanın Kuzey kutbu N harfi ile gösterilmiştir ve **pusula iğnesinin koyu renkli ucu Kuzey kutbunu gösterir**. Deneyin işlem basamakları aşağıda sıralanmıştır:

1. Deneyi yapmayı planladığınız bölge üzerinde, en az $0,25\text{m}^2$ 'lik bir alan (50cm x 50cm) içinde pusulanızın doğru çalıştığını kontrol ediniz.

2. Yaklaşık 20cm x 15cm boyutlarındaki bir milimetrik kağıdın ortasına 2mm çaplı bir

çember çizerek, bu çemberi merkez alan 2cm ve 3cm yarıçaplı iki çember daha çizin. Büyük çaplı çemberler üzerinde ve birbirlerine eşit uzaklıktaki en az 10 nokta belirleyiniz (Şekil-5.4a).

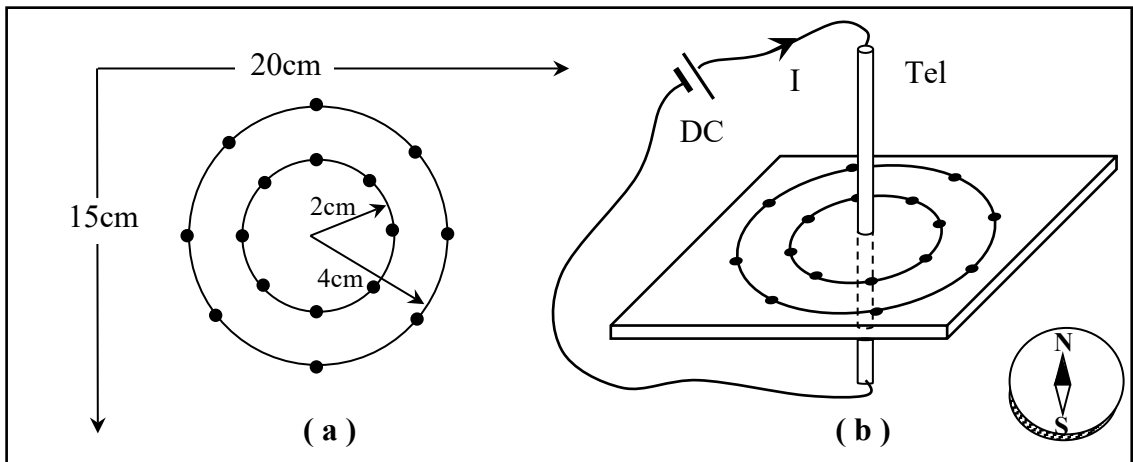
3. İletken teli, üzerinde milimetrik kağıt bulunan mukavva plakaya Şekil-4.4b de görüldüğü gibi yerleştiriniz. Daha sonra, iletken telden $\sim 4A$ lik akım geçecek şekilde güç kaynağına bağlayınız. **Uyarı:** Yüksek akımla çalıştığınız için tel biraz ısınabilir ve uzun süreli akım uygularsanız DC güç kaynağı hasar görebilir. Bu nedenle güç kaynağını, **her 5dk'lık çalışma sonunda ~ 2 dk. kapatınız.**

4. Milimetrik kağıt üzerinde belirlediğiniz 2cm yarıçaplı çember üzerindeki her noktaya pusulanızı yerleştirerek, pusula iğnesinin gösterdiği doğrultuyu ve yönü bir vektör ile göstererek milimetrik kağıt üzerinde işaretleyiniz. Aynı işlemleri 3 cm yarıçaplı çember üzerindeki noktalar için tekrarlayınız.

5. Telden geçen akım yönünü değiştiriniz ve 2cm yarıçaplı çember için işlemleri tekrarlayınız. Ayrıca, akım şiddetini yavaş yavaş azaltarak vektörün nasıl değiştiğini inceleyiniz. Bunun anlamını tartışınız.

6. Elde ettiğiniz vektörler, daha önce çizmiş olduğunuz çembere teğet oluşturuyor mu?

Bunun anlamı nedir? Elde ettiğiniz vektörler ile sağ el kuralı arasında nasıl bir ilişki vardır? Pusulanın telden yavaş yavaş uzaklaştırılması halinde vektör nasıl değişmektedir? Akım yönünün değişmesi vektörler üzerinde nasıl bir etki yapmaktadır? Çemberler üzerindeki manyetik alan şiddetlerini teorik olarak hesaplayınız.



Şekil 5.4. İletken tel etrafındaki manyetik alanın belirlenmesi.

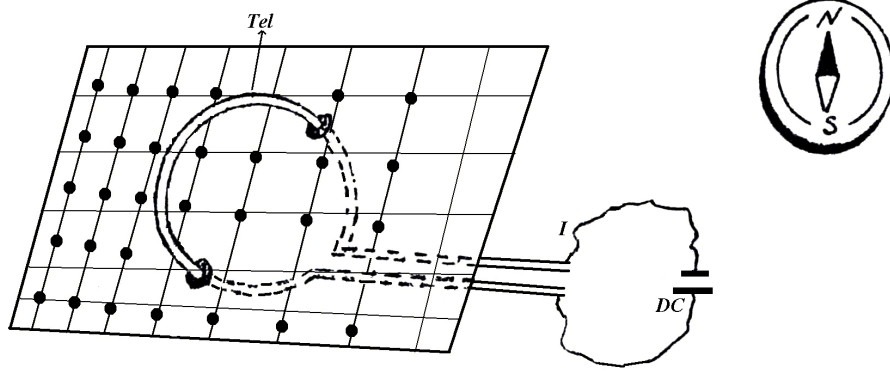
Halka Şeklindeki İletken Tel Etrafında Manyetik Alan

1. İletken bir teli Şekil 5.5 de görüldüğü gibi halka şekline getirerek milimetrik kağıda yerleştiriniz.

2. Deneyin 1. Kısımında olduğu gibi ve oradaki uyarıya dikkat ederek, DC güç kaynağının çıkış uçlarını telin uçları ile birleştiriniz ve $\sim 3A$ lik bir akım uygulayınız.

3. Milimetrik kağıt üzerindeki noktalara (Şekil 5.5 deki gibi) pusulanızı yerleştirerek vektör doğrultularını ve yönlerini belirleyiniz.

4. Elde ettiğiniz vektör doğrultularını ve yönlerini dikkate alarak onlara teğet eğriler çiziniz. Bu çizgiler manyetik alan çizgilerini göstermektedir. Elde ettiğiniz eğrileri Şekil 5.3d dekiler ile karşılaştırınız. Bu arada, deneyin iki boyutta yapıldığını unutmayınız ve üç boyut için sonucun nasıl olacağını tartışınız. Manyetik alan çizgilerini üç boyutlu elde etmek için deneyinizi nasıl geliştirirsiniz?



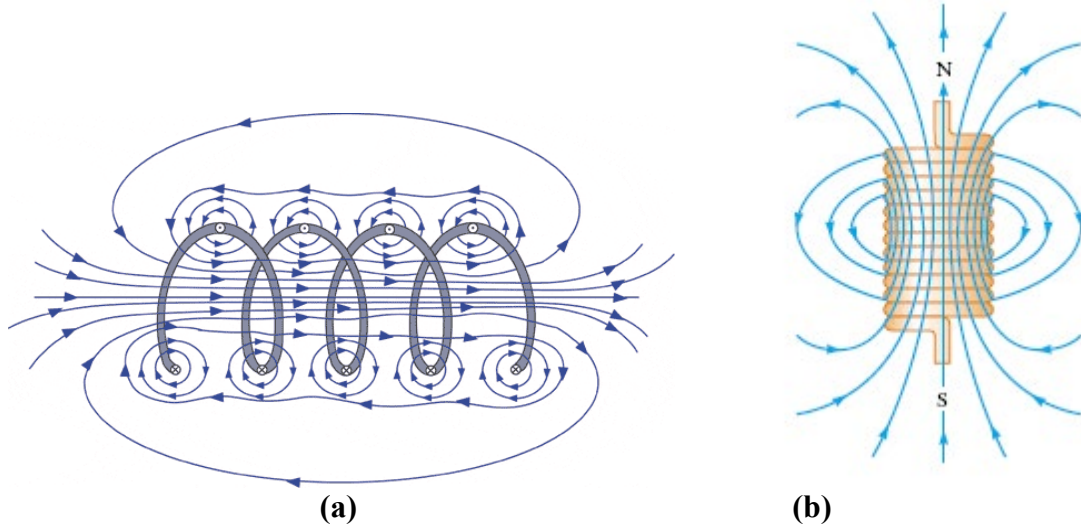
Şekil 5.5. Halka şeklindeki bir iletken tel etrafındaki manyetik alanın belirlenmesi.

Solenoid (Bobin) Etrafındaki Manyetik Alan

Solenoid, uzunca bir iletken telin belirli bir çapta dairesel olarak (helis şeklinde) sarılması sonucu elde edilen ve genellikle elektrik devrelerinde kullanılan bir elemandır. İletken telin sıkıca ve düzgün şekilde sarılması halinde, telin her bir çember parçasının oluşturacağı manyetik alan vektörü diğerlerine paralel olacağı için, solenoidin iç kısmındaki manyetik alan, çemberler tarafından oluşturulan alan vektörlerinin vektörel toplamı olacaktır. Bu nedenle, solenoidin iç bölgesindeki manyetik alan hem şiddetli hem de düzgündür. Gevşek sarılmış bir solenoid ve etrafında oluşan manyetik alan Şekil 5.6a da görülmektedir. Sarımların aralarına dikkat edilirse, manyetik alan vektörleri birbirlerine zıt yönlüdür ve böylece, bu bölgelerde alan şiddeti sıfır olur. Solenoidin dışında ise alan zayıf ve düzensizdir. Solenoid sıkıca sarılmış ise alan çizgileri Şekil 5.6b

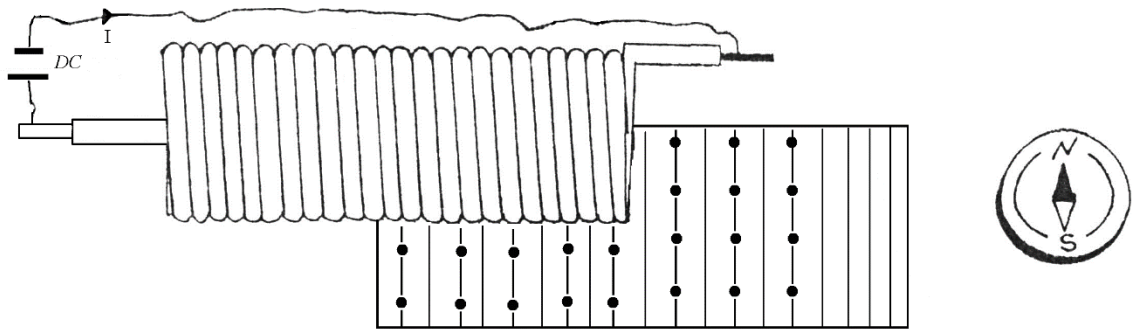
deki gibi olur. Bu şekildeki bir selenoid bir mıknatısın alan çizgilerine benzer bir manyetik alan oluşturur. Yani, selenoidin bir ucu Kuzey diğer ucu Güney kutbu gibi davranır. Bu nedenle, bu özel geometrik sarım şekli önemlidir ve elektromıknatısların (röle, kontaktör vb.) temelini teşkil eder.

1) Bir selenoid yapmak için, uzunca bir tel parçasını 3-5cm çaplı bir silindir etrafına ~25-30 tur sarınız. Bu bobini, Şekil 5.7 de görüldüğü gibi bir milimetrik kağıda yerleştiriniz. Şekil 5.6b de görüldüğü gibi bir selenoidin etrafındaki alan belirli simetrilere sahiptir. Bu nedenle toplam alanın 1/4 lük kısmını belirlemeniz yeterli olacaktır.



Şekil 5.6. Bir selenoid etrafındaki manyetik alan çizgileri.

2) Milimetrik kağıdınız üzerinde, Şekil 5.7 de görüldüğü gibi birbirlerine oldukça yakın çok sayıda nokta belirleyiniz. Bu noktaların X ve Y gibi belirli doğrultularda seçilmesi alan çizgilerinin belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 5.7. Selenoid etrafındaki manyetik alan çizgilerinin belirlenmesi.

3) Deneyin 1. Kısımında olduğu gibi ve oradaki uyarıya dikkat ederek, DC güç kaynağının çıkış uçlarını bobin uçları ile birleştiriniz ve $\sim 3A$ lik bir akım uygulayınız.

4) Milimetrik kağıt üzerinde belirlediğiniz noktalar üzerine pusulanızı yerleştirerek vektör doğrultularını ve yönlerini belirleyiniz. Bu işlemi yaparken dünyanın manyetik alanını da göz önüne almanız gerekebilir, **dikkatli olun!** Vektörleri küçük simgeler ile belirtmeniz, daha sonra yapacağınız çizim işlemlerini kolaylaştıracaktır.

5) Elde ettiğiniz vektör doğrultularını ve yönlerini dikkate alarak onlara teğet çizgiler çizin. Bu çizgileri, Şekil 5.3b deki simetri özelliklerinden yararlanarak geliştiriniz.

6) Selenoidin kutupları doğrultusunda ve buna dik doğrultuda, pusula üzerindeki etkisini gözleyemediğiniz uzaklıkları ölçünüz. Kutuplar doğrultusundaki uzaklığı R_p , buna dik doğrultudaki uzaklığı R_d simgeleri ile gösteriniz. Bu iki uzaklık arasında nasıl bir ilişki vardır? Nedenini açıklayınız. Bunu teorik olarak da ispatlayınız.

6. Deney: Manyetik Kuvvetler

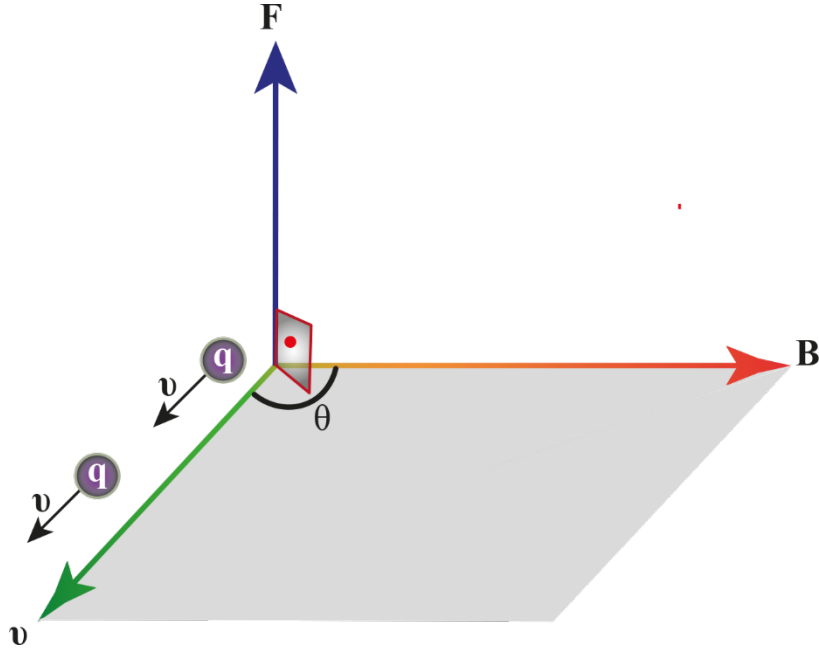
6.1. Deneyin Amacı: Manyetik kuvvetlerin özelliklerini tanımak ve etkilerini gözlemek. Manyetik kuvvetler yardımıyla çalışan makinelerin basit modellerini yaparak incelemek.

6.2. Teorik Bilgiler

Manyetik alan ile ilgili yapılan deneyler, $\mathbf{F}$ manyetik kuvvetinin kaynağının hareketli elektrik yükleri olduğunu ortaya koyar. Bu durumda, $\mathbf{B}$ manyetik alanı içerisinde, q_0 yüküne sahip ve belirli bir hızla ($\mathbf{v}$) hareket eden bir parçacığa bir manyetik kuvvet etki eder. Bu kuvvetin büyüklüğü, parçacığın yükü, hızı ve bulunduğu manyetik alanın şiddeti ile orantılıdır. Bu kuvvet

$$\mathbf{F} = q_0(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (6.1)$$

şeklinde belirlenir. Bu denklemden görüldüğü gibi manyetik kuvvet, hız vektörü ile manyetik alan vektörünün vektörel çarpımı ile elde edilen yeni vektörün doğrultu ve yönündedir. Vektörel çarpma işlemine göre, A ve B gibi iki vektörün vektörel çarpımı sonucu elde edilen yeni vektör, A ve B vektörlerinin bulunduğu düzleme diktir. Buna göre $\mathbf{F}$ kuvveti hem $\mathbf{v}$ ye hem de $\mathbf{B}$ ye dik olacaktır. Bu durum Şekil 6.1 da görülmektedir.



Şekil 6.1. Hareketli elektrik yükleri üzerine etkiyen manyetik kuvvetler.

Elektrik yükünün hareket doğrultusu ile manyetik alanın doğrultusu arasındaki açı θ ile temsil edilir ise q_0 elektrik yüküne etkiyen kuvvetin şiddeti

$$F = q_0 v B \sin \theta \quad (6.2)$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitliğe göre; $\mathbf{v}$ vektörü $\mathbf{B}$ ye paralel ise ($\theta = 90^\circ$ veya 180°) kuvvet sıfır, $\mathbf{v}$ vektörü $\mathbf{B}$ ye dik ise ($\theta = 90^\circ$) kuvvet en büyük değerinde, yani $F = q_0 v B$ olacaktır. Böylece manyetik alan doğrultusunda hareket eden bir elektrik yüküne manyetik kuvvet etkimeyecek, fakat alan doğrultusuna dik hareket eden yüklü parçacığa maksimum kuvvet etkiyecektir

Sonuç olarak manyetik kuvvetlerin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Manyetik kuvvet, elektrik yüklü parçacığın $\mathbf{v}$ hızı ve q yükü ile doğru orantılıdır
2. Manyetik kuvvetin büyüklüğü ve yönü, parçacığın hızına ve manyetik alanın büyüklüğü ve yönü, parçacığın hızına ve manyetik alanın büyüklüğü ve yönüne bağlıdır
3. Elektrik yüklü bir parçacık manyetik alan vektörüne paralel paralel olarak hareket ederse üzerine etkiyen manyetik kuvvet sıfırdır
4. Manyetik kuvvetin doğrultusu, hem hız ($\mathbf{v}$) doğrultusuna hem de manyetik alan ($\mathbf{B}$) doğrultusuna diktir
5. Pozitif elektrik yüklü bir parçacığa etkiyen kuvvet, aynı yönde hareket eden bir negatif elektrik yüküne etkiyen kuvvetle zıt yönlüdür

Elektrik yüklü parçacığın bir $\mathbf{E}$ elektrik alanında bulunması halinde üzerine manyetik bir kuvvetin etkidiği bilinmektedir. Aynı parçacığın bir $\mathbf{B}$ manyetik alanı içinde bulunması halinde üzerine manyetik bir kuvvetin etkiyeceği ise burada açıklanmıştır. Şimdi elektrik yüklü bir parçacığın, elektrik ve manyetik alanların birlikte bulunduğu bir ortamda olduğunu düşünelim. Bu durumda parçacık üzerine hem elektriksel bir kuvvet hem de manyetik bir kuvvet etkiyecektir. Bu nedenle parçacık üzerindeki toplam kuvvet bir bileşkedir ve $\mathbf{F}_E$ ile $\mathbf{F}_B$ nin vektörel toplamı olmalıdır:

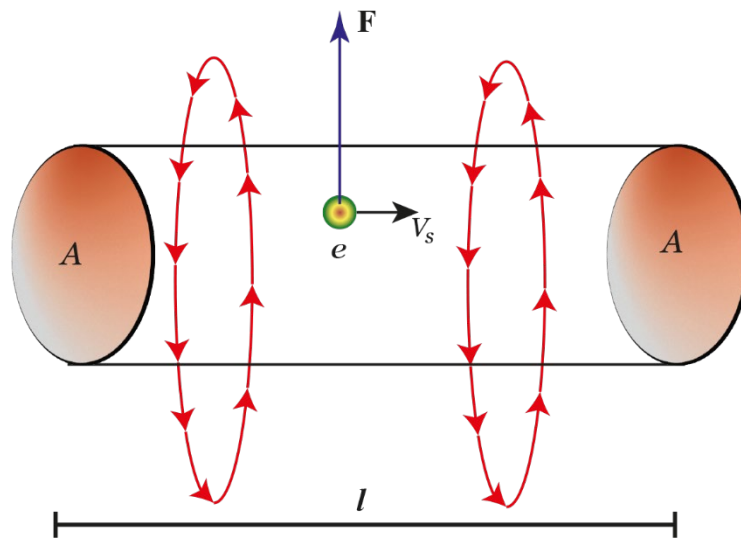
$$\mathbf{F}_E = q_0 \mathbf{E}; \mathbf{F}_B = q_0 (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \Rightarrow \mathbf{F} = q_0 (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (6.3)$$

Bu son bağıntı *Lorentz Kuvveti* olarak da bilinmektedir.

Akım Taşıyan İletken Tel Üzerine Etkiyen Manyetik Kuvvet

İletken bir tel içinden geçen elektrik akımını göz önüne alalım. Elektrik akımı, çok sayıda elektronun belirli bir doğrultu boyunca hareketi olarak tarif edilir. O halde içinden geçen bir iletkenin manyetik alan içinden akım geçen bir iletkenin manyetik alan

içine konması halinde, akımı oluşturan yüklü parçacıkların her birine bir manyetik kuvvet etkiyecektir. Bu kuvvetlerin bileşkesi ise doğrudan doğruya iletken üzerinde hissedilir bir kuvvetin oluşmasına yol açar. Bu kuvvetin oluşumu Şekil 6.2de gösterilmeye çalışılmıştır. İletkendeki akım kesilirse bu kuvvet ortadan kalkar ve akım tekrar uygulanırsa kuvvet yeniden oluşur. Bu olay günlük hayatta kullandığımız birçok makinenin ve aletin çalışma prensibini oluşturur. Bunlara örnek olarak, elektrik motorları, ses düzenlerinde kullanılan hoparlörler, yüklü parçacık demetlerini odaklamak için kullanılan manyetik mercekle vb. gösterilebilir.



Şekil 6.2. Akım taşıyan iletken bir tel üzerine etkiyen manyetik kuvvet

Akım taşıyan iletken bir tel üzerine etkiyen kuvveti nicel olarak belirlemek için Şekil 6.2'yi göz önüne alalım. İletken telin bulunduğu ortamdaki manyetik alan $\mathbf{B}$ olmak üzere, iletken içinde $\mathbf{v}_s$ sürükleme hızı ile hareket eden q elektrik yüküne sahip bir parçacığın üzerine etkiyen manyetik kuvvet, (6.1) denklemine göre $\mathbf{F} = q(\mathbf{v}_s \times \mathbf{B})$ şeklinde olacaktır. Telin birim hacmine (n) etkiyen net kuvvet, $\mathbf{F} = n[q(\mathbf{v}_s \times \mathbf{B})]$ belirlenecektir. Şekil 6.2'deki gibi l uzunluğunda ve A kesit alanına sahip bir iletken telin hacmi Al olduğuna göre telin bütünü üzerindeki manyetik kuvvet

$$\mathbf{F} = nAl[q(\mathbf{v}_s \times \mathbf{B})] \quad (6.4)$$

İfadesi ile hesaplanır. Telden geçen elektrik akımı $I = nq\mathbf{v}_s A$ şeklinde belirlendiğine göre (6.4) denklemi daha sade bir şekilde yazılabilir:

$$\mathbf{F} = I(\mathbf{l} \times \mathbf{B}) \quad (6.5)$$

Burada $\mathbf{l}$, yönü $\mathbf{l}$ akımının yönü ile aynı ve büyüklüğü tel parçasının uzunluğuna eşit bir vektördür. (6.5) denklemi, sadece düzgün bir manyetik alan içinde bulunan doğrusal bir iletken tel için geçerlidir. Manyetik alanın düzensiz olduğu veya düzgün bir manyetik alan içinde bulunan eğrisel bir tel parçası için (6.5) denklemi geçersizdir. Böyle bir durumda kuvvet ifadesinin integral formda olması gerektiğini unutmayınız ve bunun üzerinde, farklı kitaplardan yararlanarak çalışınız. Buradaki deneylerde sadece düzgün manyetik alan ve doğrusal iletken teller kullanılacağı için manyetik kuvvetler konusunun detayları verilmemiştir.

6.3. Deneyin Yapılışı:

İçinden Akım Geçen Doğrusal Bir İletken Tel Üzerine Etkiyen Manyetik Kuvvet

Düzgün bir manyetik alan içinde bulunan ve alan içinden akım geçen doğrusal bir iletken tel parçasının üzerine (6.5) denklemi ile belirlenen bir manyetik kuvvet etkir. Bu kuvvet, manyetik alanın düzgün olup olmamasına ve iletken telin doğrusal ya da eğrisel olmasına bağlı olarak değişir. Ancak, bütün hallerde problem, düzgün manyetik alan içindeki doğrusal tel parçasına etkiyen kuvvete indirgenebilir. Yani, eğrisel bir iletken tel üzerine etkiyen manyetik kuvvet, tel üzerindeki çok küçük $d\mathbf{l}$ uzunluklu doğrusal tel parçaları üzerine etkiyen manyetik kuvvetlerin vektörel toplamı şeklinde belirlenebilir. Bu durumda, eğrisel tel üzerindeki toplam kuvvet ifadesi integral formda olmalıdır. Bu nedenle, doğrusal tel üzerine etkiyen manyetik kuvvetin belirlenmesi önemlidir. Bu kuvvetin incelenmesi için birçok deney düzeneği kurulabilir. Burada sadece iki özel durum üzerinde inceleme yapılacaktır.

A-Salıncağ Sistemi :

1. Şekil 6.3a da görüldüğü gibi, iletken bir telden yararlanarak salıncak benzeri deney düzeneğini kurunuz.

2. Salıncığın tam dengede kaldığını (kımıldamadan durduğunu) gördükten sonra iletken tellerle kapalı durumdaki DC güç kaynağının çıkış uçlarını bağlayınız.

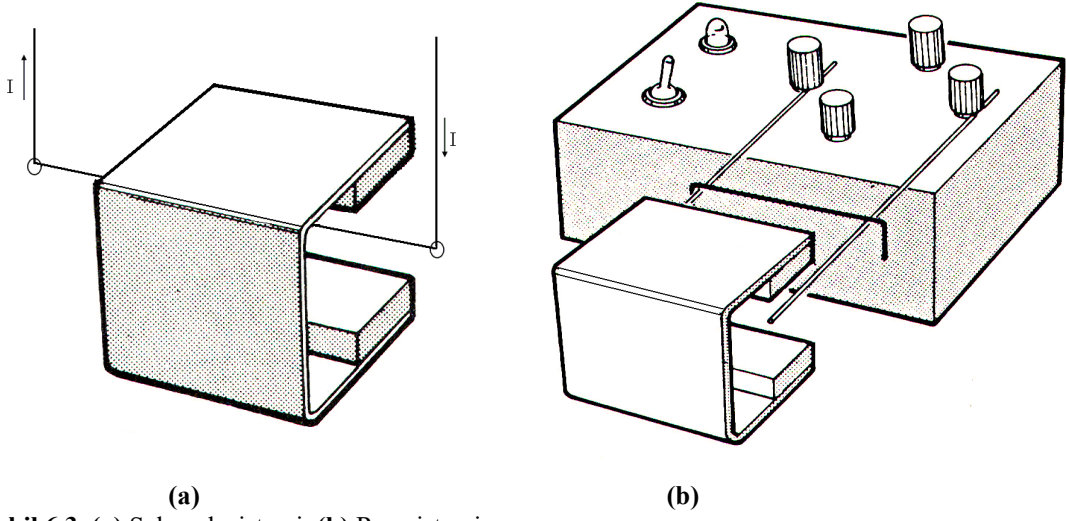
3. Devreden geçen akımı gözleyerek salıncığa $\sim 1\text{A}$ lık akım uygulayınız. Bu esnada deney düzeneğinde olup bitenleri dikkatlice izleyerek gözlemlerinizi not alınız.

4. Akımı 2A ve 3A değerlerine yükselterek her biri için gözlemlerinizi kaydediniz.

5. Bu deneyde nicel olarak ölçüm yapılmayacaktır. Bu nedenle gözlemlerinizi çok dikkatlice, hiçbir şeyi gözden kaçırmayacak şekilde yapınız ve not alınız.

6. Akım yönünü değiştiriniz ve yukarıdaki işlemleri tekrarlayınız.

7. Bu işlemler sonucunda manyetik kutupları belirleyiniz.



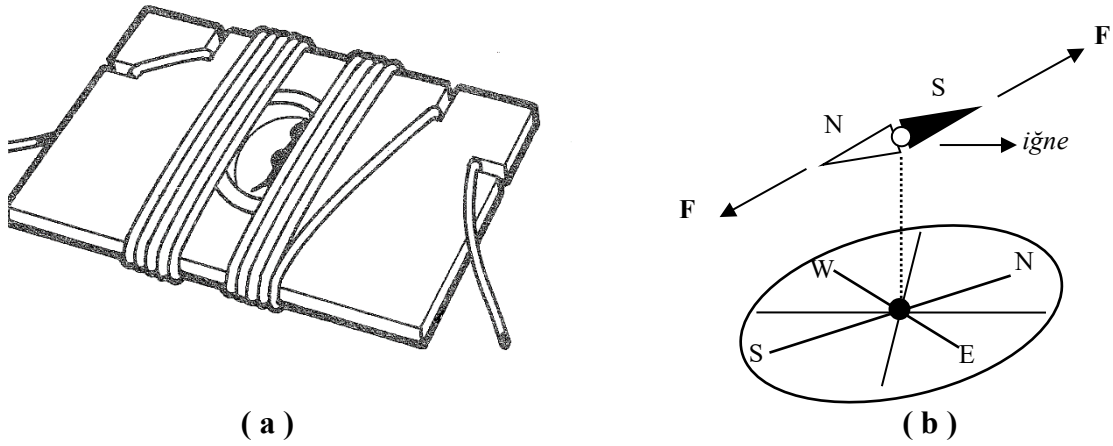
Şekil 6.3. (a) Salıncak sistemi, (b) Ray sistemi.

B – Ray Sistemi

1. Şekil 6.3b de görülen düzeneği kurunuz.
2. Devreye uygulanan akımı yavaş yavaş 5A e kadar artırarak düzenekteki değişimleri dikkatlice inceleyiniz. 3A üzerindeki akımları 30 s den fazla uygulama yapmayınız.
3. Akım yönünü değiştirerek aynı işlemleri tekrarlayınız. Gözlemlerinizi kaydediniz.
4. A ve B kısımlarında yaptığınız işlemlerin sonuçlarını karşılaştırarak tartışınız. Sonuçları teorik bilgilerinizi kullanarak yorumlayınız.

Basit Bir Galvometre

Bir elektrik akımının büyüklüğünü ölçmek ve yönünü belirlemek için yapılmış en eski ölçü aleti *Galvometre* dir. Bu ölçü aleti, elektrik akımı hakkında gerekli bilgileri sağlaması nedeniyle, potansiyel farkı ve direnç değerlerinin ölçümünde de kullanılabilir. Bu üç niceliği ölçebilen geliştirilmiş bir galvometreye AVometre (A:Akım – V:Volt – O: Ohm) adı verilir. Galvometre prensibine göre yapılmış ölçü aletlerine genel olarak Döner Çerçevesi Ölçü Aletleri de denilmektedir. Basit bir galvometre modeli Şekil 6.4’a da verilmektedir.



Şekil 6.4. (a) Basit bir galvanometre düzeneği, **(b)** Pusula tasviri.

Şekil 6.4a daki galvanometrenin çalışmasını anlamak için pusulanın çalışma prensibinin bilinmesi gerekir. Bir pusula, doğal mıknatıstan yapılmış, yön ve doğrultu gösteren bir iğneden ve bu iğnenin altında bulunan bir skaladan (kadrandan) meydana gelir (Şekil 6.4b). Pusula iğnesi, manyetik alan içinde bulunduğu zaman bir kuvvet çiftinin etkisinde kalır. Kuvvet çiftinin etki çizgileri, iğnenin dönme ekseninden geçinceye kadar (moment sıfır oluncaya kadar) pusula iğnesi dönme etkisinde bulunur. Pusula iğnesi üzerindeki moment sıfır olunca iğne dengeye gelir. Dış manyetik alanın doğrultusu veya yönü değiştiğinde iğne üzerindeki moment sıfırdan farklı hale gelerek, iğnenin yeni bir denge konumuna doğru dönmesine neden olur. Doğal bir ortamda bulunan pusula iğnesi daima dünyanın manyetik alanının yön ve doğrultusunu gösterecek şekilde dengeye gelir. Ancak pusulanın bulunduğu ortamda başka bir manyetik alan kaynağı varsa (mesela, içinden akım geçen iletken bir tel gibi) pusula farklı bir doğrultu ve yön gösterecektir. Manyetik alan kaynağı ortadan kaldırılırsa pusula tekrar dünyanın manyetik alanını gösterecek şekilde eski konumunu alacaktır. Bu durumda dünyanın manyetik alanı, pusula iğnesini geri çağırıcı manyetik kuvvetin kaynağıdır.

1. Şekil 6.4a daki deney düzeneğini kurunuz. Selenoidin manyetik alan doğrultusu ile dünyanın manyetik alan doğrultusu birbirine dik olacak şekilde deney düzeneğini sabitleyiniz.

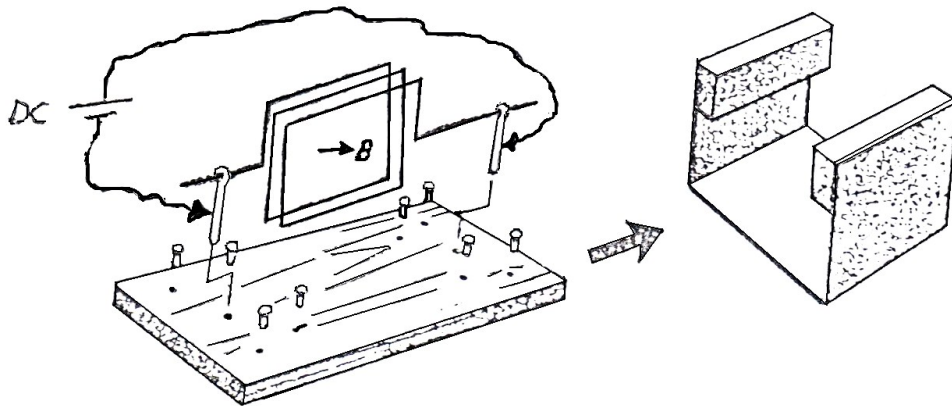
2. Selenoidi, kapalı durumdaki DC güç kaynağına bağlayınız ve selenoidten geçen akımı 0,25A'lık adımlarla (0,25 – 0,50 – 0,75 – 1,0 – 1,25 *Amper*) artırarak her artışta pusula iğnesindeki dönme açısını ve yönünü belirleyiniz.

3. Akım yönünü değiştirerek aynı işlemleri tekrarlayınız.

4. Elde ettiğiniz akım ve açı değerlerini kullanarak $\theta = f(I)$ grafiğini çizin ve bu grafikleri yorumlayınız.

Buraya kadar yaptığınız işlemler, galvonometrenin çalışma prensibi hakkında temel bilgileri öğrenmenizi sağlamış olmalıdır. Ancak, bu galvonometre modelinde ibreyi (pusula iğnesini) geri çağırıcı kuvvet dünyanın manyetik alanından kaynaklandığı için daha iyi bir model galvonometre tasarlanabilir. Yeni modelde, ibreyi geri çağırıcı kuvveti oluşturmak için bir çift esnek yaydan yararlanılabilir. Gerekli olan manyetik alan ise U biçimli doğal mıknatıstan elde edilir. Yeni galvonometre modelini gerçekleştirmeden önce aşağıdaki ön incelemeleri yapınız:

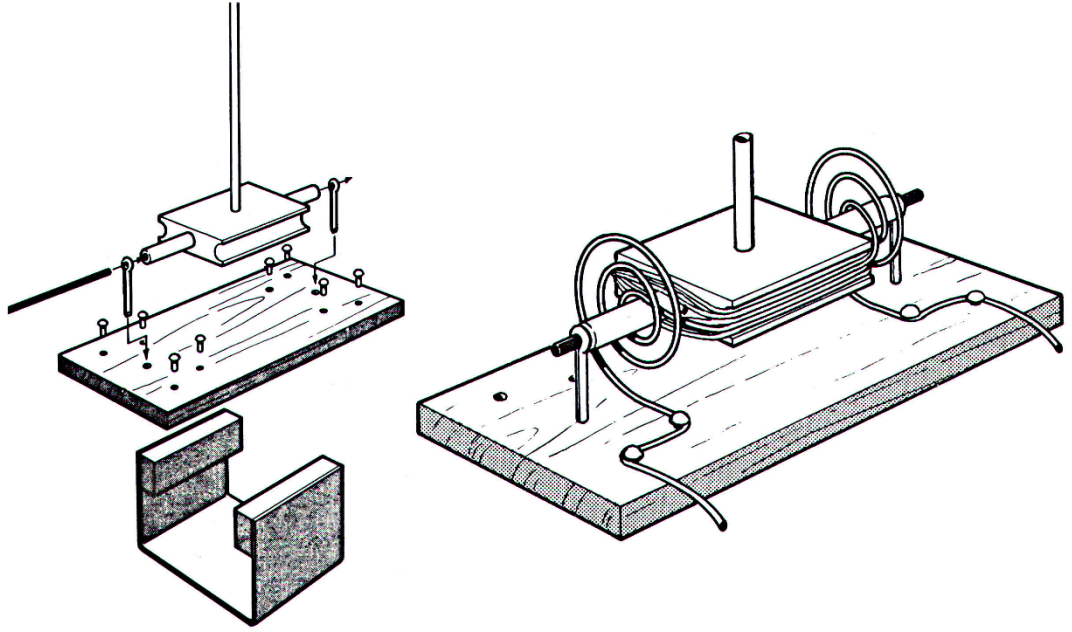
- 1- Şekil 6.5 deki düzeneği kurunuz ve dikdörtgen şeklinde sarılmış selenoide kapalı durumdaki DC güç kaynağını bağlayınız.
- 2- Selenoidden $\sim 2A$ lik akım geçerek şekilde güç kaynağını ayarlayınız ve sonra güç kaynağını kapatınız.
- 3- Dikdörtgen biçimli selenoidin, deney düzeneğinde herhangi bir yere takılmadan rahatça dönmesini sağlayınız.
- 4- Selenoidi, selenoidin manyetik alan doğrultusu ile doğal mıknatısın manyetik alan doğrultusu birbirine paralel olacak şekilde bir dönme açısına getiriniz. DC güç kaynağını açınız. Güç kaynağını açarken gözünüzü selenoidden ayırmayınız ve gözlemlerinizi kaydediniz.
- 5- Selenoidin manyetik alanı ile doğal mıknatısın manyetik alanlarını birbirine dik olacak şekilde ayarlayınız
- 6- Gözlemlerinizi teorik bilgileriniz ile karşılaştırınız.



Şekil 6.5. Manyetik alan içindeki dikdörtgen biçimli selenoide etkiyen manyetik kuvvet.

Şimdi, dikdörtgen biçimli selenoidi masanızda bulunan malzemelerden yararlanarak Şekil 6.6 ya uygun biçimde kendiniz hazırlayınız. Hazırlayacağınız bu selenoidin her iki ucunda spiral şekilli yayların bulunacağını unutmayınız! Bu yaylar selenoid telinin uzantılarından yapılacaktır, ayrıca bir yay kullanılmayacaktır.

Şu anda yapmaya çalıştığınız galvonometre modeli, tam bir döner çerçeveli ölçü aleti modelidir. Şekil 6.6'daki deney düzeneğini kurduktan sonra aşağıdaki işlem basamaklarını takip ediniz



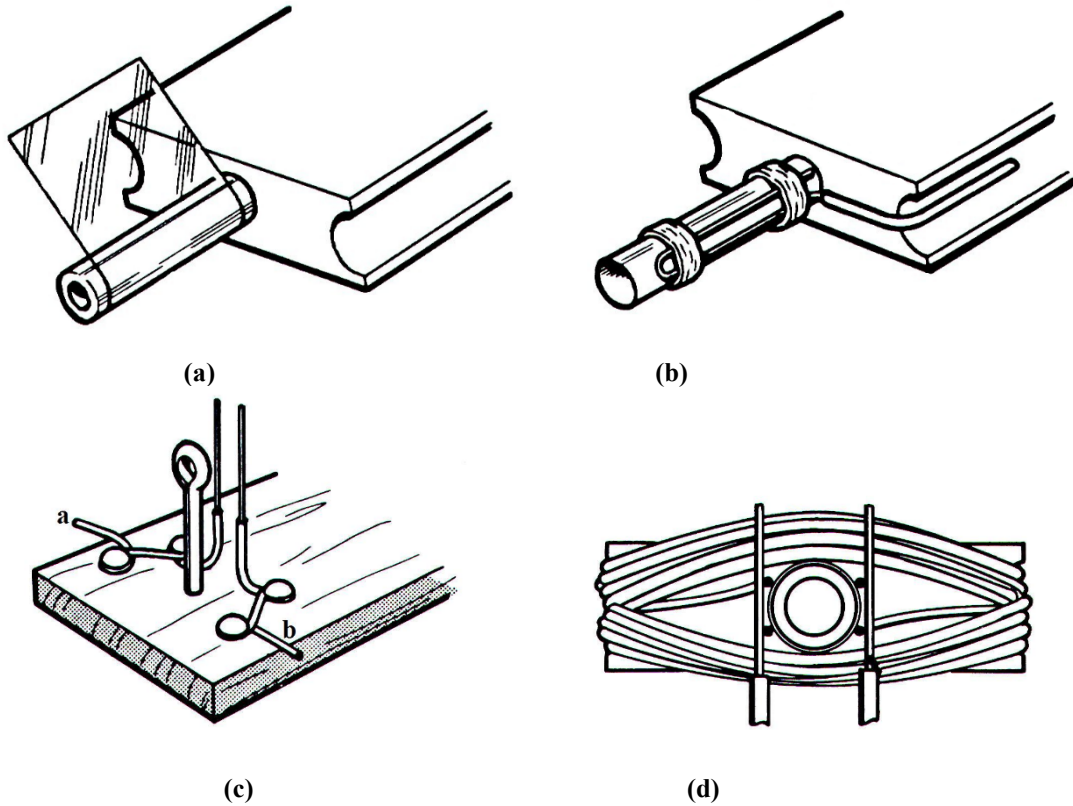
Şekil 6.6. Döner çerçeveli ölçü aleti modeli.

1. Selenoidin uçlarına kapalı durumdaki DC güç kaynağının çıkış uçlarına bağlayınız.
2. Bir ampermetre yardımıyla devreden geçecek akımı sürekli takip ederek, güç kaynağının çıkış gerilimini yavaş yavaş arttırınız. Selenoid hareket ediyor mu? Gözlemlerinizi kaydediniz. Selenoid üzerine etkiyen kuvvet çiftinin yönlerini ve doğrultusunu belirlemeye çalışınız.
3. Akım yönünü değiştirerek işlemleri tekrarlayınız.
4. Bulgalarınızı teorik bilgilerinize göre yorumlayınız. Yaptığınız bu galvonometrenin hassasiyetini arttırmak için (daha küçük akımları ölçebilmek için) neler yapabilir misiniz? Tartışınız.

Basit Bir Doğru Akım Motoru

Buraya kadar yaptığınız deneyler sonucunda elektrik akımı ile manyetik alan arasındaki ilişkileri gördünüz. Böylece, manyetik kuvvet oluşturmayı ve bu kuvvetten yararlanma konusunda birtakım bilgiler kazandınız. Bununla birlikte günlük hayatta kullandığımız, manyetik kuvvetlerden yararlanarak yapılmış pek çok araç, gereç ve makine bulunmaktadır. Ancak, elektrik motorlarının da pek çok çeşidi vardır. Burada ise sadece, doğru akımla çalışan basit motorun temel özellikleri incelenecektir.

Basit bir DC motorunun çalışma prensibi, manyetik kuvvetten yararlanma biçimi açısından bir galvometrenin çalışmasına benzetilebilir. Ancak, galvometrelerdeki dikkörtgen biçimli selenoidin dönme ekseninde tam bir devir yapması mümkün değildir. Çünkü galvometredeki selenoidin üzerine etkiyen kuvvet çifti en çok 180° lik bir açıda döndürme etkisine sahip olacaktır (bunun nedenini araştırınız). Bununla birlikte, her 180° derece dönme sonunda selenoid üzerinden akan akımın yönü bir komutatör yardımıyla değiştirilir ise 360° lik tam bir dönme gerçekleştirebilir. Böyle bir düzeneğin hazırlanması Şekil 6.7 de görülmektedir.



Şekil 6.7. Basit bir DC motorunun otomatik komutatör kısmının hazırlanması.

Deney için aşağıdaki işlemleri takip ediniz:

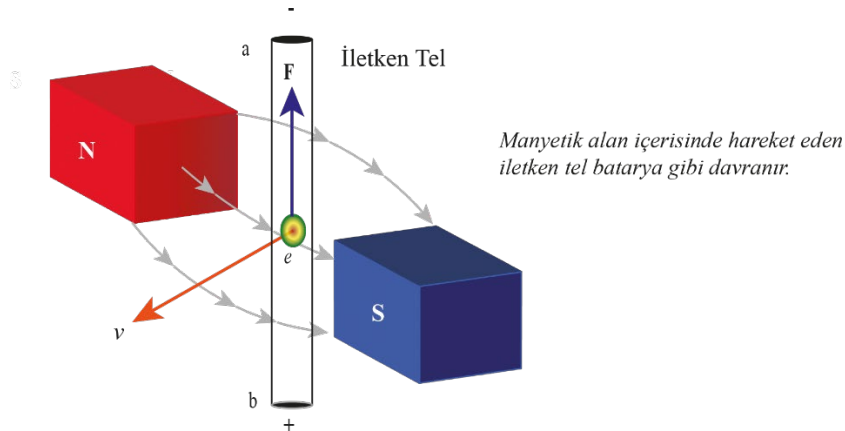
1. Galvanometrede kullandığınız selenoid parçasının yay kısımlarını düzeltiniz ve telin bu kısmındaki yalıtkanı çıkarınız. Sonra, Şekil 6.7a ve b de görüldüğü gibi, telin her iki ucunu aynı tarafa getirerek, birbirleri ile temas etmeyecek şekilde yerleştiriniz. İşlemlerinize Şekil 7c ve d deki düzeneği kurarak devam ediniz.
2. Şekil 6.7c de görülen **a** ve **b** uçlarına kapalı durumdaki DC güç kaynağının çıkış uçlarını bağlayınız. Güç kaynağını açarak yavaş yavaş akımı yükseltiniz. Bu arada elinizle yavaşça selenoidi döndürmeye çalışınız. Selenoidin kendiliğinden tam tur dönmeye başlayınca akımı daha fazla arttırmayınız.
3. Güç kaynağını kapatıp tekrar açınız. Selenoid dönmüyor ise elinizle bir miktar döndürünüz. Gerekirse akımı biraz daha arttırabilirsiniz.
4. Selenoidin kendi başına dönmesini sağladıktan sonra akımı yavaşça arttırınız. Gözlemlerinizi kaydediniz.
5. Akım yönünü değiştirerek işlemleri tekrarlayınız. Gözlemlerinizi kaydediniz. Bulgularınızı teorik bilgilerinizle destekleyerek yorumlayınız.

7. Deney: Elektromanyetik İndüksiyon

7.1. Deneyin Amacı: Faraday'ın indüksiyon kanununu incelemek ve bu kanunun sonuçlarından yararlanarak yapılmış çeşitli araçların modellerini kurarak çalışmalarını gözlemlemek.

7.2. Teorik Bilgiler

Buraya kadar yapılan manyetizma ile ilgili çalışmalarda, zamanla değişmeyen manyetik alanın oluşumu ve hareket eden elektrik yükleri üzerine etkiyen manyetik kuvvetler incelendi. Bu çalışmalarda, elektrik yüklerinin hareketini sağlamak için bir DC güç kaynağı kullanıldı. Yani elektrik yükleri, elektriksel bir potansiyel farkı içinde hareketlendirildi. Burada şu soru sorulabilir: Elektrik yüklerini hareket ettirmek için farklı bir yöntem kullanılabilir mi? Elbette kullanılabilir. Mesela, düzgün bir manyetik alan içindeki iletken bir tel parçası mekanik bir dış kuvvet yardımı ile hareket ettirilmesi, iletken tel içindeki serbest elektrik yüklerinin (elektronların) hareket etmesi anlamına gelir. Böyle bir hareketin sonucu olarak, manyetik kuvvetler konusunda incelendiği gibi, serbest elektrik yükleri üzerine bir kuvvet etkir. Bu kuvvetin etkisi altında kalan elektrik yükleri ise iletken madde içinde belirli bir bölgeye doğru sürüklenir. Böylece, iki ucu açık olan iletken telin bir ucunda negatif yük yoğunluğu, diğer ucunda ise pozitif yük yoğunluğu oluşur, yani telin iki ucu arasında bir potansiyel farkı meydana gelir (Şekil 7.1). Bu şekilde oluşan potansiyel farkına **İndüksiyon Elektromotor Kuvvet (emk)** adı verilir.



Şekil 7.1: l uzunluğundaki bir iletken telde manyetik indüksiyon sonucu elektromotor kuvvetin(emk'nın) oluşumu.

Şekil 7.1 de görülen l uzunluğundaki telin sabit bir v hızıyla manyetik alan doğrultusuna dik olarak hareket ettiğini düşünelim. Bu durumda, iletken tel içindeki serbest elektronlar, $\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ ile tanımlanan bir manyetik kuvvetin etkisinde kalırlar. Bu kuvvetin etkisinde kalan elektronlar iletkenin a ucuna doğru hareket ederler ve iletkenin b ucu pozitif yük yoğunluğuna sahip olur. Böylece, iletkenin b ucundan a ucuna doğru yönelen bir elektrik alan meydana gelir. Bu elektrik alanın oluşmasıyla birlikte elektronlar üzerine $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$ büyüklüğünde bir elektriksel kuvvet etkir. Elektronlar üzerindeki elektriksel kuvvet, manyetik kuvvetle zıt yönlüdür. Bu nedenle, iletken içindeki elektron hareketi, elektronlar üzerine etkiyen elektriksel kuvvetler ile manyetik kuvvetler dengeleninceye kadar devam eder. Kuvvet dengesi kurulunca elektronların hareketi durur ve

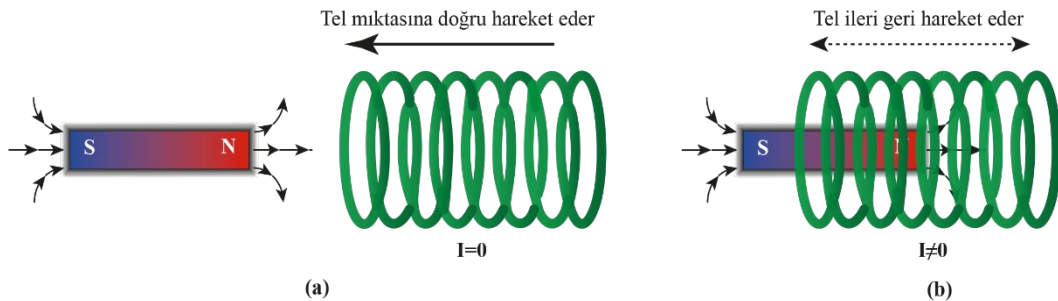
$$qE = qvB; E = vB \quad (7.1)$$

bağıntısı elde edilir. Elektrik alanı sabit olduğundan, iletkende oluşan elektrik alanı ile iletkenin uçları arasındaki potansiyel farkı, $V = El$ ifadesiyle birbirlerine bağlanır. Böylece, iletkenin uçları arasında oluşan potansiyel farkı ile manyetik alan arasında

$$V = lvB \quad (7.2)$$

Eşitliği kurulur. Bu ifadeye göre, iletkende bir hareket varsa ($v \neq 0$) potansiyel farkı oluşur. Hareket ters yönde gerçekleşirse potansiyel farkının kutupları da değişir. Bu ifadelerin, hareketin manyetik alana dik olması durumunda yazıldığını unutmayınız!

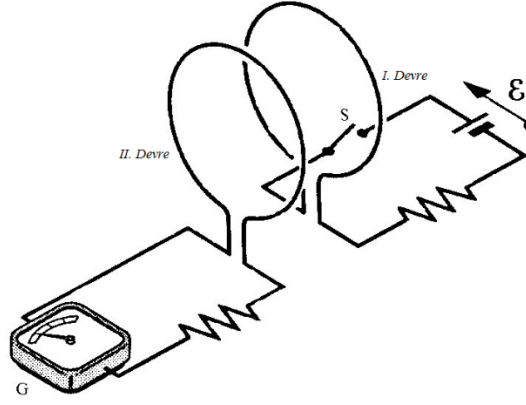
Şekil 7.2a'daki manyetik alana dik olarak hareket ettirilen iki ucu açık iletken tel, Şekil 7.2b deki gibi mıknatısa doğru hareket ettirdiğinde, tel içinde sürüklenen elektronlar bir elektrik akımı meydana getirir. Bu şekilde oluşan elektrik akımına **İndüksiyon Akımı**



Şekil 7.2. a) Manyetik alan kaynağı mıknatıs ile iletken tel **b)** Mıknatıs çevresinde hareket ettirilen iletken telin indüksiyon akımı oluşması.

adı verilir. Şekil 7.2b deki gibi tel mıknatıs içerisinde iler geri hareket ettiğindeki oluşan akım, doğrusal akımdan farklı olarak zaman bağlı olarak değişir. Bu değişim hem akım büyüklüğü hem de akımın yönü olarak ortaya çıkar. İndüksiyon akımının yönü ile manyetik kuvvet etkisinde kalan iletken içinden geçen akım yönünün birbirlerine zıt yönlü olduğu görülür. İletken telin mıknatıstaki (manyetik alandaki) hareketi nasıl ki bir indüksiyon akımı meydana getiriyor, benzer bir durum iletken telin sabit tutularak mıknatısın iletken tele doğru hareketinde de görülür. Her iki durumda da bir indüksiyon akımı oluşur. İndüksiyon akımının yönünü belirlemek için yukarıda yapılan tartışma **H.F LENZ** tarafından 1834 yılında yapılmış ve LENZ KANUNU olarak bilinen şu ifade ile sonuçlanmıştır: **İndüksiyon akımı, kendisini oluşturan etkiye karşı koyacak şekilde yönelir.** Başka bir ifade ile indüksiyon akımının yönü, iletkenin bulunduğu ortamdaki manyetik alan değişimine karşı koyacak şekilde manyetik alan oluşturan akım yönündedir.

İndüksiyon akımını oluşturmak için gerekli olan manyetik alanı doğal bir mıknatıstan sağlamak şart değildir. İletken telden akan bir elektrik akımının da tel etrafında manyetik alan oluşturduğunu daha önceki deneylerinizden hatırlayınız. Böylece, Şekil 7.3 de görüldüğü gibi, birbirlerine çok yakın yerleştirilmiş iki elektrik devresinden bir manyetik alan oluşturup diğer devrede, manyetik alanın değişmesi sonucu oluşan elektriksel tepkiler (emk) incelenebilir. Böyle bir deney, 1831 yılında **M. FARADAY** ve **J. HENRY** tarafından bağımsız olarak yapılmış ve deney sonuçları, kapalı bir elektrik devresi üzerindeki manyetik alanın değiştirilmesi sonucunda devreden bir elektrik akımının akacağını göstermiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar **FARADAY İNDÜKSİYON KANUNU** olarak bilinmektedir. **Bu kanun, kapalı bir elektrik devresinde meydana gelen emk büyüklüğünün, elektrik devresinin manyetik alan içinde kapladığı yüzeyden geçen manyetik akımın zamanla değişim hızına eşit olduğunu söyler.**



Şekil 7.3. Manyetik indüksiyonun, birbirine çok yakın yerleştirilmiş iki elektrik devresi ile incelenmesi.

Bu ifade manyetiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (7.3)$$

Burada Φ_m devrenin kapladığı yüzeyden geçen manyetik akıdır.

$$\Phi_m = \int \mathbf{B} d\mathbf{A} \quad (7.4)$$

(7.3) bağıntısındaki eksi işareti ise, Lenz kanununun bir sonucudur.

Şekil 7.4a daki gibi bir devre yüzeyi ve manyetik alan doğrultusu için (7.4) bağıntısı $\Phi_m = BA \cos \theta$ şeklinde yazılabilir. Böylece emk ifadesi

$$\varepsilon = - \frac{d}{dt} (BA \cos \theta) \quad (7.5)$$

olarak elde edilir.

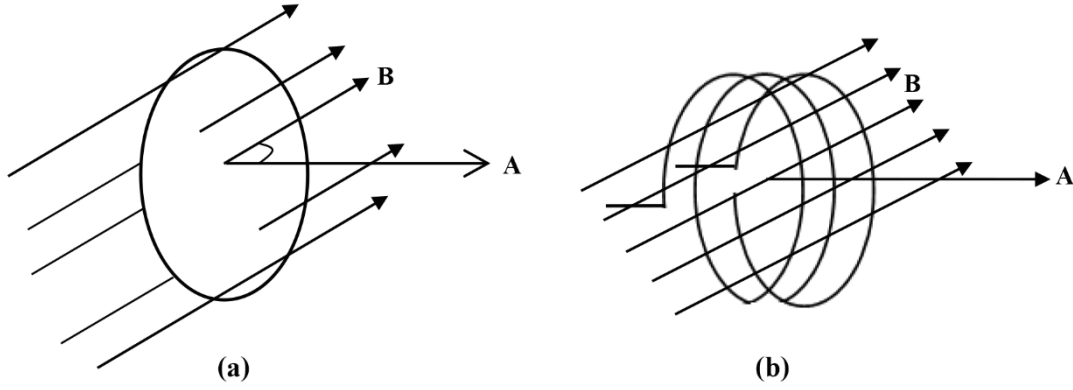
(7.3) denklemi, Şekil 7.4a'daki gibi sadece tek bir ilmekten oluşan elektrik devresi için yazılmıştır. Aynı yüzey büyüklüğüne sahip ve aynı manyetik akımın geçtiği N tane ilmekten yapılmış bir elektrik devresi için (Şekil 7.4b) toplam emk şeklinde olacaktır.

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (7.6)$$

(7.5) ve (7.6) bağıntılarından, emk oluşturmak için birden fazla yol olduğu görülür:

- 1- Manyetik alanın şiddeti (B) zamanla değiştirilebilir,
- 2- Devrenin alanı (A) zamanla değiştirilebilir,
- 3- Manyetik alan doğrultusu ile devrenin düzlem normali arasındaki açı (θ) zamanla değiştirilebilir.

4- Üretilen emk'nın büyüklüğünü artırmak için Şekil 7.4b de görüldüğü gibi birden fazla iletken ilmek, geometrik olarak birbirlerine paralel, elektriksel olarak birbirlerine seri bağlanabilir.



Şekil 7.4. Elektriksel devrenin kapladığı yüzeyden geçen manyetik akı.

Yukarıda verilen belgilere göre manyetik indüksiyon olayı, emk'nın oluşturulma yöntemine bağlı olarak iki kısımda incelenebilir. Bunlardan birincisi, iletken tele veya doğal mıknatısa mekanik bir kuvvet uygulanarak emk oluşturmak, ikincisi ise bir elektrik devresi kullanarak manyetik alanı zamanla değişecek şekilde üretmek suretiyle sabit bir iletken içinde emk oluşturmaktır.

7.3. Deneyin Yapılışı:

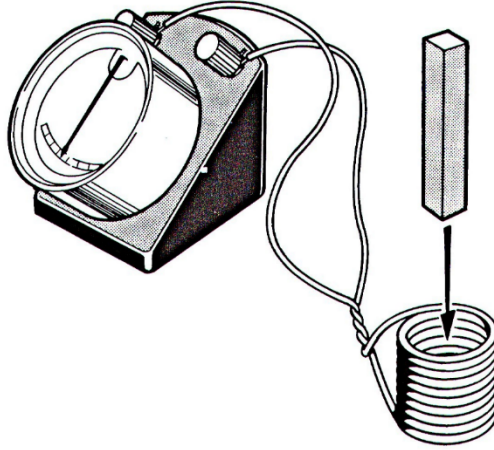
Emk'nın Mekanik Kuvvetler Yardımıyla Üretilmesi

Mekanik kuvvetler yardımıyla iletken bir telde emk oluşturmak için ya iletkenin hareket ettirilmesi ya da manyetik alan kaynağının hareket ettirilmesi gerekir. Buna bağlı olarak çok sayıda deney düzeneği tasarlanabilir. Burada sadece birkaç deney sistemi incelenecektir. Bununla birlikte, sizlerde farklı deney düzenekleri tasarlayabilirsiniz.

A. Hareketli Mıknatıslar

İlk olarak, manyetik alan kaynağını hareket ettirmek suretiyle emk oluşturulacaktır. Bunun için Şekil 7.5'teki düzeneği kurunuz. Kullanılacak selenoid (bobin), $\sim 1\text{cm}$ çapında silindir içindeki bir cisim üzerine 15 tur iletken tel sarılarak yapılacaktır. Devreyi kurduktan sonra, çubuk mıknatısı bobinin içine girecek şekilde

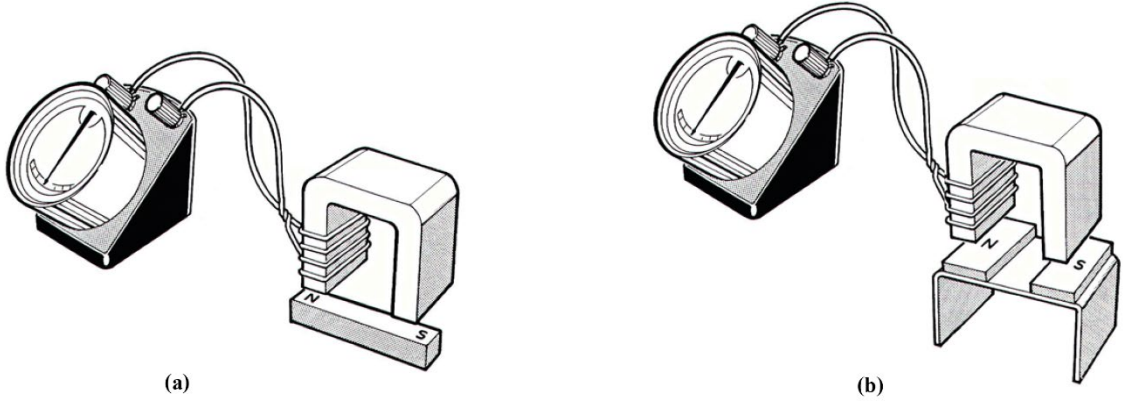
hareket ettiriniz. Mıknatısın hareket hızını ve yönünü değiştirerek galvanometredeki değişimleri gözlemleyiniz. Galvanometre ibresinde oluşacak sapmalar kısa süreli ve küçük olacağı için gözlemlerinizi dikkatlice yapınız ve gördüklerinizi kaydetmeyi unutmayınız!



Şekil 7.5. Hareketli mıknatıs kullanılarak *emk* oluşturulması.

Mıknatısın farklı hareket şekilleri için deney tekrarlanabilir. Şimdi Şekil 7.6a'daki düzeneği hazırlayınız. U şeklindeki demir çekirdek üzerine sarılan bobin 15 turdur. Şekilde görülen çubuk mıknatısı, U biçimli demir çekirdeğe yaklaştırıp uzaklaştırarak galvanometre ibresinde meydana gelen değişimleri inceleyiniz. Daha sonra mıknatısı, dönme ekseninde sağa sola çevirerek gözlemler yapınız. Şekil 7.6a ve b de görülen düzenekler, elektrik üretmek için kullanılan bir dinamonun çalışma prensiplerini teşkil eder. Bununla birlikte, bu düzenek, sabit mıknatıslı hareketli iletken teller kullanarak da gerçekleştirilebilir. Bu şekilde tasarlanacak bir dinamo daha önce bir deneyde yaptığınız basit DC motorundan ibarettir. Ancak, DC motorda elektrik enerjisi vererek mekanik bir iş yapılırken dinamoda, mekanik bir iş vererek elektrik enerjisi elde edilir.

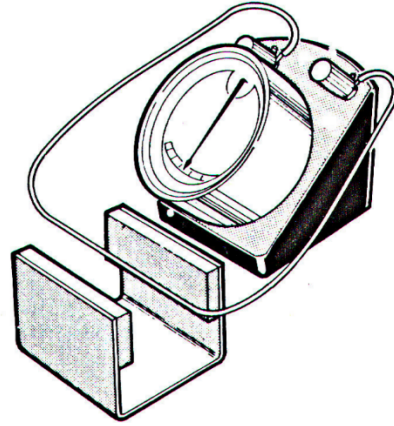
Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.



Şekil 7.6. Hareketli mıknatıs kullanılarak yapılan basit dinamo modelleri.

B. Hareketli İletken Teller

Manyetik alan içindeki iletken bir teli hareket ettirerek emk oluşturulabilir. Bunu gözlemlemek için Şekil 7.7 deki düzeneği kurunuz ve iletken teli yukarı aşağı, ileri geri yönlerde elinizle hareket ettirerek galvanometrede herhangi bir değişimin olup olmadığını inceleyiniz. Burada mümkün olduğu kadar dikkatli davranmanız gerekmektedir. Çünkü, bu şekilde oluşturulacak emk çok küçük olacaktır. Gözlediğiniz her şeyi kaydetmeyi unutmayınız!

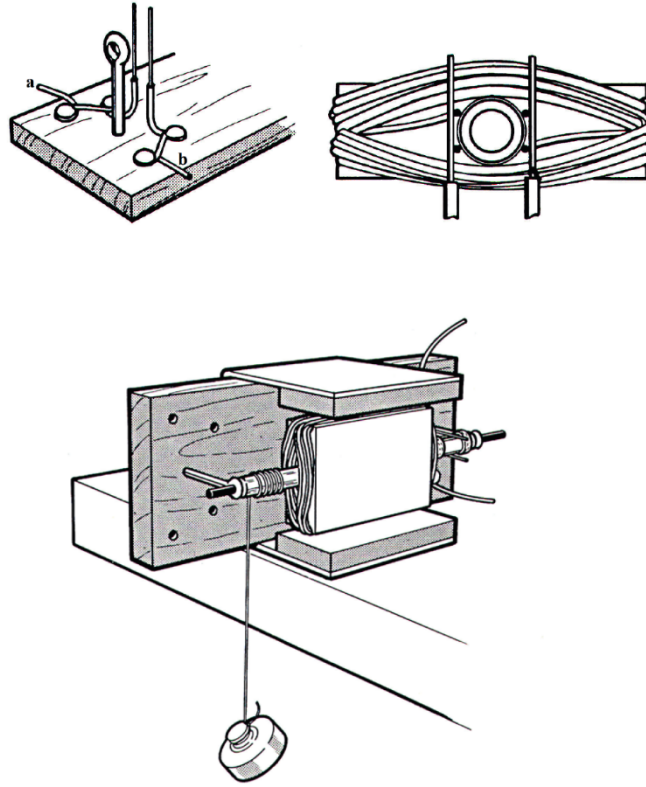


Şekil 7.7. İletken telin manyetik alan içinde hareket ettirilmesiyle emk oluşturulması.

Manyetik alan içinde bulunan iletken bir telin hareket ettirilmesiyle emk oluşumunu gözledikten sonra yeni bir dinamo modelinin çalışmasını inceleyelim. Bunun için, daha önce basit DC motor için hazırladığınız düzeneğin aynısını tekrar kurunuz.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

Ancak sistemi, Şekil 7.8 de görüldüğü gibi masanın kenarına yatay olarak yerleştiriniz. Burada, motorun hareketli kısmı (kendi ekseninde dönecek olan bobin – rotor) mekanik bir kuvvetle döndürülecektir. Bu kuvveti elinizle uygulayabileceğiniz gibi, Şekil 7.8’deki gibi bir ağırlıktan da yararlanabilirsiniz.

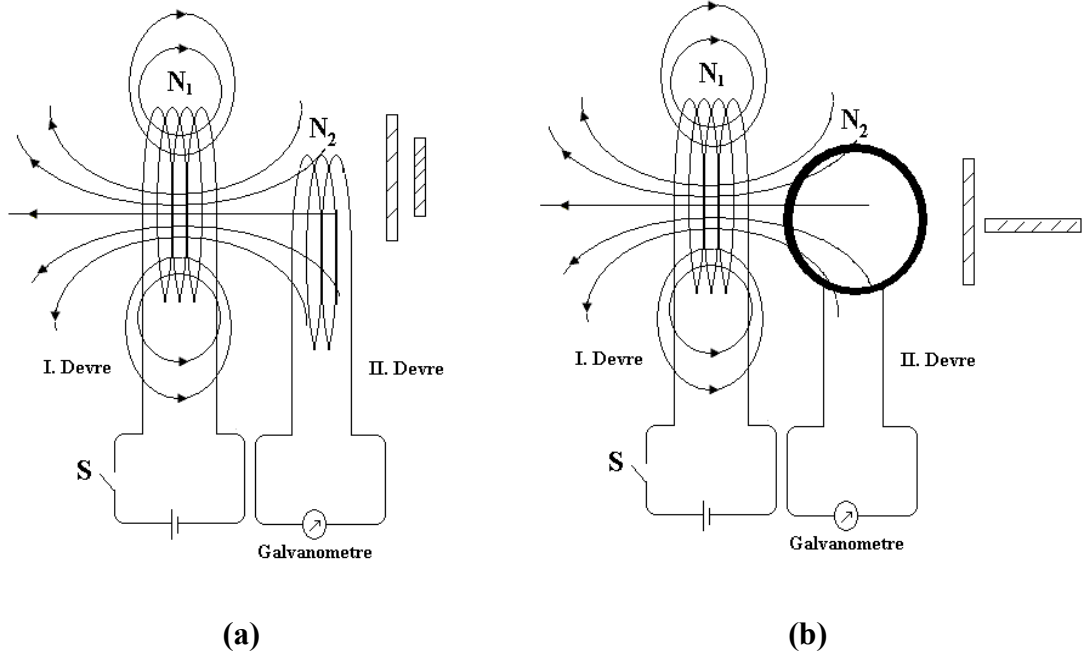


Şekil 7.8. Basit bir DC motorunun dinamo olarak kullanılması.

Şekil 7.8’ da görülen dinamo modelinde manyetik alan sabittir. Burada değişen büyüklüğün, manyetik alan doğrultusu ile ilmek yüzeyinin normali arasındaki açı olduğunu, ayrıca, emk’nın büyüklüğünü artırmak için birden fazla ilmek bulunduğunu belirtelim. Yaptığınız gözlemlere göre, üretilen emk’nın büyüklüğünü artırmak için daha başka neler yapabilirsiniz? Deney sistemindeki enerji kayıpları nelerdir? Tartışınız. Bunların dışında, şu ana kadar yaptığınız denelere göre hayatınızı kolaylaştıracak ne gibi araç gereçler yapabilirsiniz?

Emk'nın Manyetik Kuvvetler Kullanılmadan Üretilmesi

(7.5) denkleminin sonuçlarına göre, emk üretiminin yollarından birisi, manyetik alan doğrultusuna dik durmakta olan bir iletken tel üzerindeki manyetik alan şiddetini değiştirmek için, iletken bir tel üzerinden zamanla değişen elektrik akımı geçirmek gerekir. Böylece, içinden akım geçen iletken tel etrafında bir manyetik alan oluşacak ve akım zamanla değiştiği için iletken etrafında oluşan manyetik alan da zamanla değişecektir. Bu şekilde elde edilen bir manyetik alan içine bir iletken tel konacak olursa, iletken içinde emk oluşur. Bu şekilde yapılan bir deney sisteminde hareketli herhangi bir kısım bulunmayacaktır. Şimdi Şekil 7.9a'daki deney düzeneğini kurunuz.



Şekil 7.9. Zamanla değişen bir manyetik alan içinde indüksiyon akımının gözlenmesi.

Şekil 7.9a'daki 1. elektrik devresinin akım yolu üzerinde bulunan S anahtarını kapatınız, ancak, bunu yaparken galvanometre ibresindeki değişimi dikkatle izleyiniz. Sonra, anahtarı açınız ve bu sırada galvanometre ibresindeki değişimi de izleyiniz. 1. devreye uygulanan akım yönünü değiştirerek aynı işlemleri tekrarlayınız. Gözlemlerinizi kaydediniz. Elde ettiğiniz sonuçları Lenz kanununu dikkate alarak yorumlayınız. 2. devreyi Şekil 7.10b de görüldüğü gibi, 1. devre tarafından oluşturulan manyetik alan doğrultusuna paralel olacak şekilde yerleştiriniz ve yukarıda yaptığınız işlemleri tekrarlayınız. Şimdi 2. devrenin yüzey normali ile 1. devre tarafından üretilen manyetik

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

alan doğrultusu arasında $\sim 45^\circ$ açı olacak şekilde yerleştiriniz ve işlemleri tekrarlayınız. Son iki deneyinizin sonuçlarını Faraday kanunundan yararlanarak yorumlayınız.

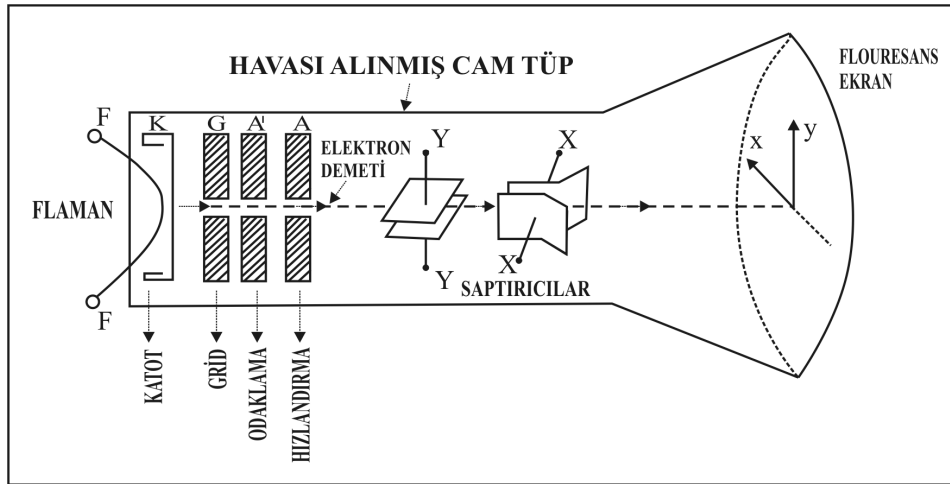
Şekil 7.9'daki deney düzenekleri ile gerçekleştirdiğimiz deneyler, **Transformatör** olarak adlandırılan ve hemen her türlü elektrik ve elektronik cihazda kullanılan bir devre elemanının çalışma ilkesini oluşturur.

8. Deney: Osiloskop

8.1. Deneyin Amacı: Osiloskopun tanınması, osiloskop yardımıyla AC ve DC gerilim, periyot ve faz farkı ölçümlerinin yapılması.

8.2. Teorik Bilgiler:

Osiloskop, elektriksel ölçümlerde geniş çapta kullanılan çok yönlü elektronik bir ölçü aletidir. Osiloskopla AC, DC gerilim ve periyot doğrudan ölçülür. Akım, frekans, faz farkı vs. ise dolaylı olarak ölçülür. Bir osiloskop; katot ışını tüpü(KIT), tüp besleme devresi, yatay ve düşey giriş yükselteçleri, zaman tarama (timebase) devresi ve tetikleme(trigger) devresinden oluşur. Osiloskopun ana elamanı Şekil 8.1 de gösterilen katot ışınları tüpüdür. Bu tüp; radar sistemleri, televizyon alıcıları, bilgisayar gibi uygulamalarda elektronik bilginin ekranda görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Katot ışınları tüpü, içinde elektronların elektrik alan etkisiyle hızlandırıldıkları ve sapıtıldıkları havası boşaltılmış bir tüptür.



Şekil 8.1. Bir katot ışınları tüpünün şeması. Sıcak C katodundan ayrılan elektronlar A anoduna doğru hızlanır. Elektron tabancası, demetin odaklanmasında da kullanılır; levhalar ise demeti saptırır.

Osiloskobu Oluşturan Bileşenlerin Tanınması

Katot Işını Tüpü

Bu tüpün yapısı, kullanılacak amaca göre değişik olmasına rağmen genel olarak Şekil 8.1'deki gibidir. Katot ışınları tüpü, içinde elektronların elektrik alanı ile

hızlandırıldıkları ve saptırıldıkları havası boşaltılmış bir tüptür. Elektron demeti, tüpün boyun kısmında bulunan ve elektron tabancası olarak tanımlanan bir mekanizmayla üretilir. F ile gösterilen flaman, küçük bir AC gerilimle ısıtılır. Isıtıcıya verilen elektrik akımı ısıtıcıyı, ısıtıcı da katodu ısıtarak sıcaklığını yükseltir. Katodun sıcaklığı, elektronları dışarı salacak kadar yükselir. Flaman yardımıyla ısınan katot (K), yoğun olarak elektron salar. Yoğun elektron salmasının nedeni, baryum ve baryum oksit maddeler kullanılarak yapılmasıdır. Grid ise katoda göre negatif olan gerilimle beslenir ve katodun saldığı elektron demetini kontrol eder. Griden çıkan demet, A anodu ile odaklanır, A anodu ile hızlandırılır. Bu elektronlar, kendi başlarına bırakıldıklarında katot ışınları tüpünün ekranına çarpıncaya kadar doğrusal bir yörünge izlerler. Demetin geçtiği yol, X ve Y plakalarına yaklaştıkça daralır. Daha sonra saptırıcılara giren demet, buradaki yüksek elektrik alanı vasıtasıyla ivmelendirilir. Elektron demetinin flouresans ekrandaki sapması, plakalar arasındaki alanın büyüklüğüne bağlıdır. Bu alan, X ve Y arasına uygulanan gerilimle kontrol edilir. Saptırıcı plakalar arası 2 cm, demetin bu plakaları geçtikten sonraki yolu 30 cm kadardır. Ancak, bu değerler mutlak standart değerler değildir.

Tüpün ekranı içten flouresans maddeyle cilalanmıştır. Ekranı çarpan demet, çarptığı yerde iz bırakır. Demetin yolu, bu iz yardımıyla kolayca takip edilebilir. Elektronların hiçbir saçılmaya uğramaması için tüpün içi hava moleküllerinden arındırılmıştır.

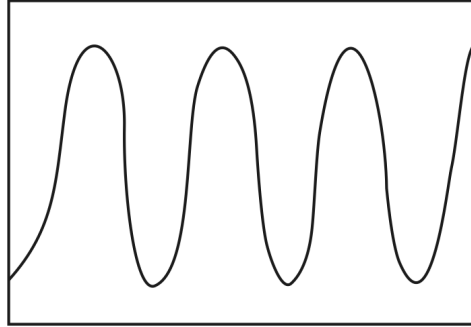
Tüpün boyun kısmında birbirine dik olarak yerleştirilmiş iki levha takımıyla elektronlar çeşitli doğrultulara saptırılırlar. Saptırma levhalarının nasıl çalıştığını anlamak için önce Şekil 1 deki yatay saptırıcı levhaları göz önüne alalım. Levhalardan birinde artı, diğerinde eksi yük bulunmak üzere, levhalardaki yük miktarını değiştirmek ve kontrol etmek için dış elektrik devreleri kullanılır. Birbirine paralel iki levha arasına bir gerilim uygulandığında ve bu levhalar arasına yüklü bir parçacık girdiğinde, bu parçacığa

$$\mathbf{F}_L = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (8.1)$$

ile verilen Lorentz Kuvvetinin etkideğini daha önceki deneylerimizden biliyoruz. Levhalar üzerindeki yük artınca, levhalar arasındaki elektrik alanı şiddetlenerek, elektron demetinin doğrusal yolundan sapmasına neden olur. Tüpün ekran yüzeyi hafifçe fosforlanmış olduğundan, ekrana çarpan elektron demeti, bir noktadan başka bir noktaya geçtiğinde ışıltıya kısa bir süre devam eder. Yatay levhalardaki yükün yavaşça

arttırılması, elektron demetinin merkezden ekran kenarlarına doğru yavaş yavaş kaymasına neden olur. Fosfor ışıldamasından dolayı ekranda ışıklı nokta hareketi yerine ekran boyunca uzayan yatay bir çizgi görülür.

Düşey saptırıcı levhalar, yatay saptırıcı levhalarla aynı tarzda çalışır. Tek farkları, dış kontrol deneyleriyle levhalardaki yükün değişmesinin tüp ekranında düşey bir çizgi oluşturmalarıdır. Uygulamada, düşey ve yatay saptırıcılar birlikte kullanılır. Osiloskobun görsel bilgiyi nasıl görüntülediğini görmek için, ses çatalından çıkan ses dalgalarını ekranda nasıl gözleyeceğimizi inceleyelim. Bu amaçla yatay levhalardaki yük, demet ekranı sabit hızla tarayacak biçimde değiştirilir. Sonra, ses çatalıyla bir mikrofona ses verilir. Mikrofon, ses işaretini elektriksel işarete dönüştürür. Bunlarda düşey levhalara uygulanır. Yatay ve düşey levhaların bir arada etkimesiyle demet yatay tarama yaparken, aynı zamanda aşağı yukarı sapar. Buradaki düşey hareket, ses çatalının işaretine karşılık gelir. Sonuçta, Şekil 8.2 dekinе benzer bir desen görülür.



Şekil 8.2. Bir dalga üretici ile oluşturulan ve osiloskopa gözlenen bir sinüs dalgası.

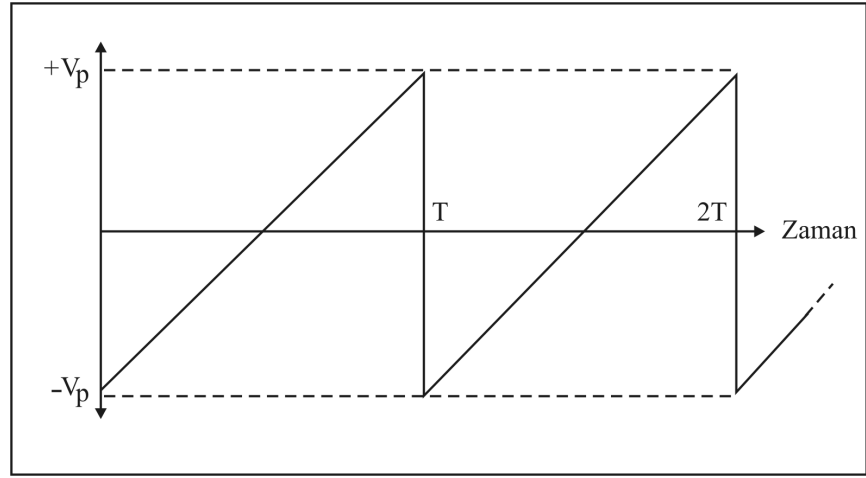
Tüp Besleme Devresi

Elektronların elde edilmesi, odaklandırılması ve hızlandırılması amacı ile tüp karakteristiğine göre hazırlanır. Flamanlar genellikle $6,3 V$ veya $12,6 V$ ile beslenir. Uygulamada grid ve hızlandırıcı potansiyelleri $500 - 2000 V$ arasında değişen tüpler kullanılmaktadır.

Zaman Tarama Devresi

Zaman tarama gerilimi, yatay saptırıcılara uygulanır. Bu gerilim testlere dişi şeklindedir. (Şekil 8.3). Tarama gerilimi lineer olarak minimumdan maksimuma doğru artarken, elektron demeti de ekranı bir uçtan diğer uca kadar yatay eksen boyunca tarar.

Testere dişinin gerilim genliği, ekran boyunca sapmaya yeterli olmalıdır. Tarama frekansı büyüdükçe ekrandaki nokta çizgi halini alır. Bu durumda yatay eksen zaman eksenine olur. Ekrandaki bölmeler zaman birimi olarak tarama periyoduna bağlıdır. Testere gerilimin periyodu, değişik kapasiteli kondansatörlerin sabit akımla yüklenmesiyle değiştirilir. Işık demeti ekranı sonuna kadar taradıktan sonra tekrar sıfır değerine düşerken ekrandaki başlama noktasına döner, dönüş sırasında ışık görülmemesi için gride uygulanan ters gerilimle elektron demeti kesilir.



Şekil 8.3. Yatay saptırıcılara uygulanan gerilim.

Giriş Yükselteçleri

İncelenecek sinyaller, bu yükselteçler yardımı ile gerektiğinde büyütülerek düşey saptırıcılara uygulanır. Düşey saptırıcılara uygulanan gerilimin frekansına bağlı olarak, elektron demeti ekranda giriş gerilimi olarak görülür. Giriş geriliminin genliği düşey eksen boyunca periyodu da yatay eksen boyuncadır.

Osiloskopun ekranında birden fazla giriş sinyali aynı anda incelenebilir. Bu amaçla zaman eksenine boyunca hareket eden elektron demeti, alternatif ya da kesikli iki iz haline getirilir. Ayrı giriş sinyalleri bu izlere uyumlu olarak düşey saptırıcılara uygulanır. Böylece, giriş verilen sinyalleri çok küçük zaman farkıyla ekranda görülür.

Tetikleme Devresi

Osiloskop girişine uygulanan gerilim zaman içinde değişiyor olabilir. Dolayısıyla ekrandaki görüntü devamlı kayar. Bu durumda hızlı değişen sinyalin gözlenmesi oldukça zordur. Tetikleme devresi, giriş sinyalinin genliğiyle zaman tarama gerilimi arasında bir

uyum sağlayarak, sinyalin yatay ekseninde belirleme zamanını, yani $t=0$ anını sinyalin genliğine bağımlı hale getirir. Böylece sinyal ekranda hep aynı büyüklükte görülür.

Osiloskop Düğmelerinin Tanıtımı

Power – İntensity: Osiloskopu açmayı ve kapmayı sağlar. Ekrandaki demetin şiddetini ayarlar. Bu şiddeti fazla açmayınız ve osiloskopu çalıştırdığınızda demetin ekranda görünmesi için yarım dakika bekleyiniz.

Led Lambası: Osiloskop çalıştırıldığında yanar.

Focus: Katot ışını tüpünün grid voltajını ayarlayarak, elektron demetinin ekranda çizgi halinde toplanmasını sağlar.

Trace Rotation: Osiloskopa çalışılan yerde bir magnetik alan mevcut ise, elektron demeti çizgisi, ekrandaki yatay bölme çizgisiyle çakışmaz. Bu düğme bu eğriliği düzeltmede kullanılır. Osiloskop ile çalışırken bununla oynamayınız.

Input: CH1: 1. kanal veya X girişi, **CH2:** 2. Kanal veya Y girişi, olup X-Y işlemi sırasında CH1 yatay genlik, CH2 ise düşey genlik olur. Maksimum giriş genlikleri de DC için 30 V ve AC için V_{p-p} değeri 60 V'dir.

AC-GND-DC: CH1 ve CH2 den verilen giriş sinyallerinin doğrudan veya kapasitörle girişini sağlar. GND durumunda osiloskop girişini toprağa bağlar. AC konumunda giriş gerilimin DC bileşeni kapasitörle kesilir. DC ise direkt giriştir. Osiloskop ekranındaki gerilimin sıfır çizgisini bulmak için GND konumu kullanılır.

Position (Pull x 5 Gain): CH1 $\uparrow\downarrow$, CH2 $\uparrow\downarrow$: Herhangi bir girişten verilen sinyali ekranda istenilen genliğe ayarlar. Saatin dönme yönünde ekrandaki sinyal yukarı doğru çıkar. Saatin ters yönünde ise aşağı doğru iner.

Bu iki düşey ayar düğmesi dışa doğru çekilirse genlik beş kat artar. Yani ekranda okunan genliği 5 ile bölmek gerekir. Örneğin; VOLTS/DIV düğmesi $5mV/DIV$ de iken PULLX5 GAIN dışa doğru çekildiğinde VOLTS/DIV de okunan değer $1mV/DIV$ alınmalıdır.

Volts/Div: CH1 ve CH2 giriş yükselteçlerinin kazancının ayarlanması ile bir bölmeye (DIV) düşen gerilim değeri belirlenir. Örneğin, bu anahtar 2VOLT/DIV konumunda iken giriş geriliminin yüksekliği ekranda 6 bölme oluyorsa, gerilimin değeri bunların çarpımı, yani 12 V olur. X-Y modu durumunda CH1'in VOLTS/DIV anahtarı → Ekranda görülen yatay genliği, CH2'nin VOLTS/DIV anahtarı → Ekranda görülen düşey genliği değiştirir.

Girişe Volt basamağında bir gerilim veriliyorsa “VOLTS/DIV”, *miliVolt* basamağında bir gerilim veriliyorsa “*mV/DIV*” değerinden uygun olanı seçilmelidir. Birkaç volt değerindeki bir gerilim “*mV/DIV*” konumunda kesinlikle ölçülemez. ***Gerilim değerinin ekran dışına taşması sakıncalıdır. Osilosobun giriş yükselteçlerini bozabilir.***

Cal: Bu düğme, ok işaretinin gösterdiği yönde maksimum değerine alınır, giriş geriliminin değeri 1 ile; işaretin tersine minimum değerine alınır, giriş genliği 2,5 ile bölünmüş olur. Gerilim ölçümü yapılırken daima maksimumda olmalıdır.

Mode: CH1: Anahtar bu konumda iken ekranda sadece VH1 girişindeki sinyal görülür. Şayet bu durumda ekranda sinyal devamlı kayıyorsa bu kayma LEVEL ya da SOURCE yardımıyla önlenir.

CH2: Anahtar bu konumda iken ekranda sadece CH2 girişindeki sinyal görülür. Ekranda kayma varsa yine aynı şekilde önlenir.

DUAL: MODE anahtarı bu konumda iken her iki girişten verilen sinyallerin ikisi de ekranda görülür.

ADD: CH1 ve CH2’den verilen sinyallerin toplamını alır

DIFF: CH1 ve ters çevrilmiş CH2 sinyallerinin farkını alır.

Cal 0.5 V: V_{p-p} 0,5V ve 1kHz lik kare dalga kaynağıdır. Kalibrasyon işleminde kullanılır.

Time/Div: Osiloskobun zaman tarama (time base) komütatörüdür. Girişlerden verilen işaretlerin yatay eksen (zaman) genişliğini kontrol eder. Periyot ölçümünde kullanılır. Giriş sinyalinin bir periyodu; bu komütatör “1ms/DIV” de iken 5 bölme (DIV) ise periyot bu ikisinin çarpımıdır. Yani 5ms dir. Ayrıca X-Y işleminde anahtar en sondaki X-Y moduna alınmalıdır.

Periyot ölçülürken hemen sağındaki “SWPVAR” düğmesi “CAL” işareti yönünde maksimum açılmış olmalıdır.

Swpvar: Ekranda görülen sinyalin zaman genişliği kontrol eder. Yani ekrandaki sinyalin periyodunu değiştirir. Periyot ölçümlerinde saat yönünde maksimum konumda olmalıdır.

Position(Pull x 10Mag): Demeti sağa sola kaydırmak için kullanılır. Dışa doğru çekilirse giriş frekansını 10 ile böler. Bu durumda ekranda ölçülen periyot değeri 10 ile çarpılarak ve tersi alınarak giriş frekansı elde edilir.

Level: Tetikleme anahtarıdır. Sağa-sola hareketiyle ekranda kayan sinyali tutar. Bu anda alttaki MOD anahtarı AUTO konumunda olmalıdır. Minimum maksimuma çevrildiğinde tetiklenmiş sinyal yarım periyot kayar.

Mode: AUTO: Ekranda kayan sinyali tetiklemede kullanılır. Hiçbir giriş yokken ekranda bir yatay çizgi görülür.

NORM: Senkronizasyon gerekli olduğu zaman kullanılır. Girişe hiçbir sinyal verilmezse, ekranda yatay çizgi görülmez.

TV($\pm$): TV ve Video sinyallerinin kontrolü içindir.

Source: CH1 ve CH2: Daha önce bahsettiğimiz MODE anahtarı ile birlikte kullanılır. CH1 ve CH2 de aynı işlemi yapar.

LINE: AC güç kaynağının frekansı ile senkronize bir sinyal incelenirken kullanılır.

EXT: İncelenen sinyalden bağımsız olarak EXT INPUT'tan verilen sinyal ile senkronizasyon yapılırken kullanılır.

Osiloskopta AC-DC Gerilim ve Periyot Ölçümleri

AC Gerilim ve Etkin Değerin Tanımı

Alternatif (AC) gerilim, genellikle zamanın sinüsel bir fonksiyonudur. Bu gerilimi tanımlamak için genlik ve periyot ifadelerinin bilinmesi gerekir. AC geriliminin genel ifadesi

$$V(t) = V_p \sin \omega t \quad (8.2)$$

şeklinde dir. Burada V_p , AC gerilimin genliğidir ve tepeye (alt ve üst tepeler arasındaki yükseklik) olan V_{p-p} değerinin yarısıdır. Gerilimin frekansı da ω ile gösterilir. Frekans f olmak üzere, T ile gösterilen periyot

$$\omega = 2\pi f \quad (8.3)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.4)$$

dir. Periyot saniye olarak alınırsa frekans (*saniye*)⁻¹ veya *Hertz(Hz)*, açısal frekans ω ise *raydan/saniye* olur.

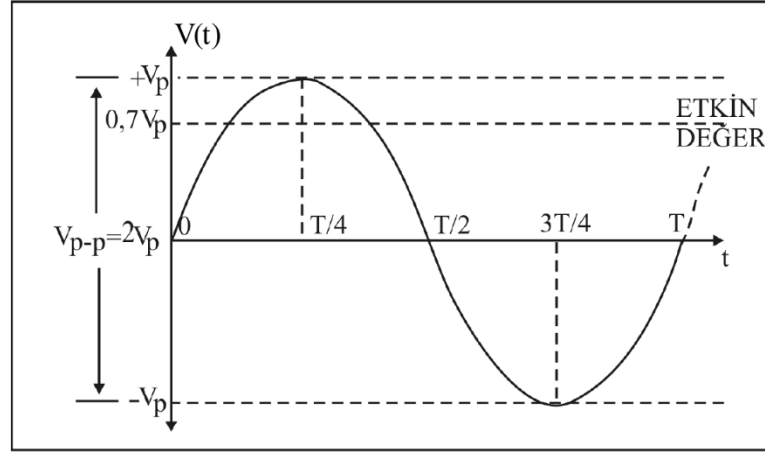
Bir alternatif geriliminin genlik ve frekansının yanı sıra uygulamada kullanılan *etkin değeri*nin de bilinmesi gerekir. Bu değer, “AC geriliminin bir tam periyot boyunca kare ortalamasının karekökü (rms)” şeklinde tanımlanır:

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (8.5)$$

Sinüsel bir alternatif gerilim için bu ifadede denklem (8.2) kullanılırsa

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (8.6)$$

bulunur. Denklem (8.6) da görüldüğü gibi etkin değer sadece AC geriliminin genliğine bağlıdır, frekansa bağlı değildir (Şekil 8.4).



Şekil 8.4. Bir AC gerilimini tanımlayan parametrelerin gösterimi.

Bir AC gerilimin etkin değeri ifadesinin kullanılması, herhangi bir gerilimin R direncine uygulanması durumunda ortaya çıkan ısı enerjisinin

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (8.7)$$

şeklinde olmasındandır. Gerilim zamanla değişiyor olmasına rağmen etkin ısıtma gücü V^2 ile orantılı olur. Bunların yanı sıra AC akım için de aynı şeyler söylenebilir. I_p ise akımın etkin değeri

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad (8.8)$$

olur. R direncinde harcanan güç

$$P = I_{rms} \cdot V_{rms} \quad (8.9)$$

şeklini alır. Burada

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} \quad (8.10)$$

dir.

AC akım ve gerilimi ölçmede kullanılan amperetreler ve voltmetreler, etkin değeri ölçecek şekilde düzenlenirler. Ancak bu cihazlar etkin değeri doğrudan ölçemezler. Örneğin, döner bobinli bir voltmetre ile AC gerilim ölçümü yapılırken, gerilim zamana bağlı olarak değiştikçe voltmetre buna uyum göstermez. Bu durumda okunan değer sıfır olur. Bunu önlemek için AC gerilim diyotlar yardımıyla doğrultulur ve DC gerilime dönüştürülerek etkin değeri okunur.

Faz Ölçümü

Aynı frekanslı iki sinyal arasındaki faz farkının var olması, bu iki sinyalin zaman içinde aynı anda sıfır olmamaları demektir. Örneğin, birinin genliği $t = 0$ anında sıfır olurken, diğerinin genliği Δt süresi sonunda sıfır oluyorsa bu ikisi arasındaki faz farkı Δt dir. Faz farkı genellikle, zaman, açı, uzunluk vs. gibi birimlerle ifade edilir.

Frekansları aynı sinyal arasındaki faz farkını ölçmenin çeşitli yolları vardır. Bunlardan biri, Şekil 8.5 teki gibi iki sinyali osiloskopun x ve y girişlerine vererek faz farkının doğrudan ölçülmesidir. İkinci yol ise, Lissajous şekilleriyle belirlemedir ve bundan sonraki bölümde incelenecektir. Osiloskopun x ve y girişlerine verilen sinyaller

$$x = x_0 \cos \omega t \quad (8.11)$$

$$y = y_0 \cos(\omega t + \theta) \quad (8.12)$$

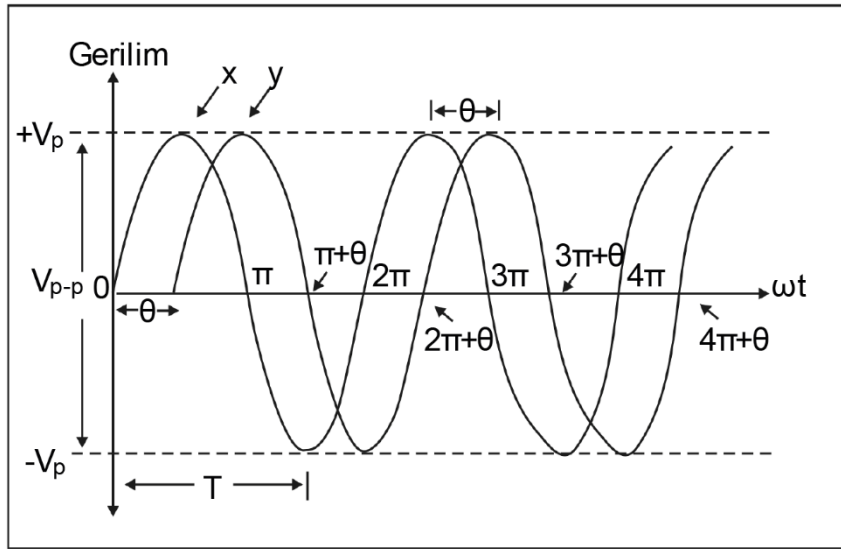
olsun. Buradaki θ faz açısıdır. Sinüs ya da Kosinüs fonksiyonlarının periyodu 2π dir. Yani 360° lik bir periyoda sahiptirler. Öyleyse osiloskop ekranında gözlenen gerilimin (x girişindeki) periyodu N bölme ise bir bölmeye düşen açı değeri $360^\circ/N$ olur. İki sinyalin en yakın maksimumları (ya da sıfır oldukları noktalar) arasındaki bölme sayısı N_θ olsun. Buna göre θ değeri derece olarak

$$\theta = \frac{360^\circ N_\theta}{N} \quad (8.13)$$

olur. Bunu zaman olarak da bulmak mümkündür. Bunun için periyodu zaman olarak bulmak yeterlidir. Periyot N bölme iken zaman taramanın değeri T_x olsun. Faz farkı da N_θ bölme ise

$$\theta = T_x N_\theta \quad (8.14)$$

olacaktır. Buradan θ değeri zaman olarak bulunur.



Şekil 5. x gerilimi y geriliminden θ faz farkı kadar önde gider.

Aralarında faz farkı bulunan iki sinyal elde etmek için seri bir RC devresi yeterlidir. Sinyal jeneratörünün çıkışı doğrudan x girişine bağlanıp, y girişine de sinyal jeneratörüne bağlı olan kapasitör ile direnç arasından alınırsa ekranda şekil 8.5 tekinde benzer iki sinyal gözlenir. Kaynağın frekansı ω değiştirildiğinde ekranda gözenen ki sinyalin aralığı değişir. Bu aralığın veya faz farkının değeri, hem ω 'ya hem de RC'ye bağlıdır. Şayet RC değeri sabit tutulursa, ω değiştirilerek θ 'nın ω 'ya göre değişimi incelenebilir.

LISSAJOUS ŞEKİLLERİ

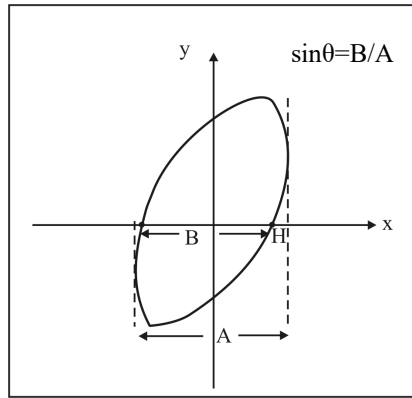
Bu terim, sinüsel iki hareketin üst üste gelmesi demektir. En basit hal genlik ve frekansların eşit olduğu durumdur. Bu durumda daha önce bahsedildiği gibi 45° eğimli bir doğru gözlenir. Osiloskobun x ve y girişlerine verilen sinyallerin frekansları farklı olduğunda ekranda Lissajous şekilleri gözlenir. Yatay girişe verilen sinyalin frekansı W_x , düşey girişe verilenin frekansı da W_y olsun. Ekranda gözlenen şekillerin yatay yöndeki tepe sayısı n_x , düşey yöndeki n_y ise

$$\frac{W_x}{W_y} = \frac{n_x}{n_y} \quad (8.15)$$

ile bilinmeyen bir frekansı bulmak mümkündür. Burada n_x ve n_y ler tamsayıdır.

Faz farkını ölçmenin bir başka yolu Lissajous şekilleri ile olur. Bunun için frekansın ve genliklerin eşit olması gerekir. İki sinyalin girişimi sağlanırsa osiloskopta

gözlenecek şekil θ açısının değerine bağlıdır. Her iki sinyalin genlikleri eşit ve faz farkı sıfır ise ekranda 45° eğimli bir doğru gözlenir. Bu doğrunun uzunluğu yatay veya düşey genliğin $\sqrt{2}$ katıdır. Şayet faz farkı θ nın değeri $\pi/2$ ise ekranda gözlenecek şekil dairedir. θ açısı 0 ile $\pi/2$ arasında bir değere sahip olduğu zaman ekranda gözlenecek şekil bir elips olur. Bu elipsin yatay ve düşey eksenleri kestikleri noktaların ölçülmesi ile faz farkı bulunabilir. Bunun için Şekil 8.6'daki gibi A ve B değerleri ölçülerek $\sin\theta$, buradan da θ bulunur. A değeri $2X_0$, B değeri de $2X_0\sin\theta$ dır. X_0 ve Y_0 genliklerinin eşit olması gerekir. Bu iki genlik eşit olacak şekilde VOLT/DIV değeri ayarlanmalıdır.



Şekil 8.6. $A = 2X_0$, $B = 2X_0\sin\theta$ ve $X_0 = Y_0$ alınmıştır. X ve Y eksenleri osiloskopun dikey ve yatay orta bölmeleri ile çakıştırılmalıdır.

8.3. Deneyin Yapılışı:

Frekans Ölçümü: Sinyal jeneratörünün çıkışını ve $V_{p-p} = 10\text{ V}$ olacak şekilde ayarlayınız. Frekans ayar düğmesini “1” e alınır. Daha sonra frekans çarpanlarını 1, 10, 100, 10k, 100k, 1M olarak Sinüs-Kare-Üçgen dalga çıkışları için frekansları ölçünüz. Ölçüğünüz frekans değerlerini jeneratörün gösterdiği değerlerle karşılaştırınız. Sizce hangisinin belirlediği değer daha doğrudur?

Üç dalga şekli için osiloskoptan ölçtüğünüz dalga değerlerini dikey eksene, jeneratörün belirlediği değerleri de yatay eksene işaretleyerek grafiği çiziniz. Frekanslar uyuşmuyorsa nedenini bu grafikten izah edebilir misiniz?

AC Gerilimin Ölçümü: Sinyal jeneratörünü kullanarak yaklaşık 500 Hz’lik sinüs dalga elde ediniz. Daha sonra çıkış genliğini V_{p-p} : 5, 10, 15, 20, 25 V değerleri için her defasında V_{p-p} değerini osiloskopa, etkin (rms) değerlerini dijital multimetre (DMM) ile

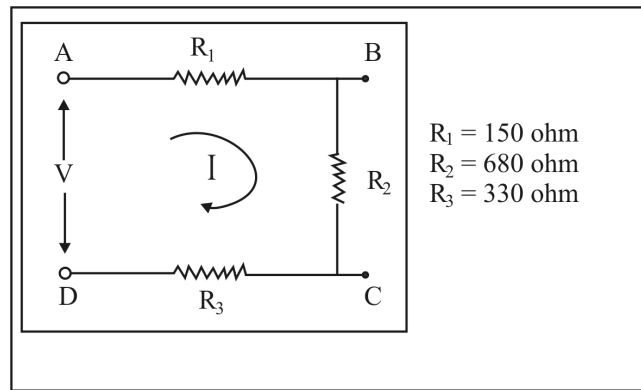
Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

ölçünüz. Daha sonra V_p ($V_{p-p}/2$) V_{rms} ye göre grafiğini çiziniz. *Bu grafiği kullanarak V_p ile V_{rms} arasında bir bağlantı kurabilir misiniz?*

Sinyal jeneratörünün frekansını, 1 kHz, 5 kHz ve 10 kHz olarak aynı işlemleri tekrarlayınız. V_p ile V_{rms} arasında aynı bağlantı mevcut oluyor mu?

Son olarak DMM'nin frekansa olan tepkisini (V_{rms} ölçümlerinde) görmek için sinyal jeneratörünün çıkışını V_{p-p} : 20 volt(sin) değerine ayarlayınız. Frekansı osiloskop ile ölçerek 1, 2, 3, 4, ..., 10 kHz için her defasında DMM ile etkin değerlerini ölçünüz. Daha sonra etkin değer frekansa göre grafiğini çiziniz. *Grafikten gözlediklerinizi açıklamaya çalışınız.*

DC Gerilim Ölçümü: Şekil 8.7'deki devreyi kurunuz. Güç kaynağının çıkışını 15 Voltu geçmeyecek şekilde gelişigüzel ayarlayınız (Osiloskop düğmesini 2 VOLT/DIV değerine alınız. Girişe hiçbir gerilim vermeden probun iki ucunu birbiriyle kısa devre yaparak, ışıklı çizgiyi ekranın en alt yatay çizgisiyle çakıştırınız. Osiloskop girişine bir gerilim uygulandığında ışıklı çizgi yukarı doğru çıkacaktır. Referans olarak aldığımız en alt çizgiyle bu ışıklı çizgi arasındaki yüksekliğin VOLT/DIV ile çarpımı giriş geriliminin değerini verir). Daha sonra osiloskop toprağını d noktasına bağlayınız. Diğer ucu kullanarak V_{AB} , V_{BC} , V_{CD} gerilimlerini ölçünüz. Bu değerleri kullanarak, **a)** Güç kaynağının çıkış gerilimini, **b)** Her dirençten geçen akımı, **c)** Güç kaynağından çekilen akımı hesaplayınız.

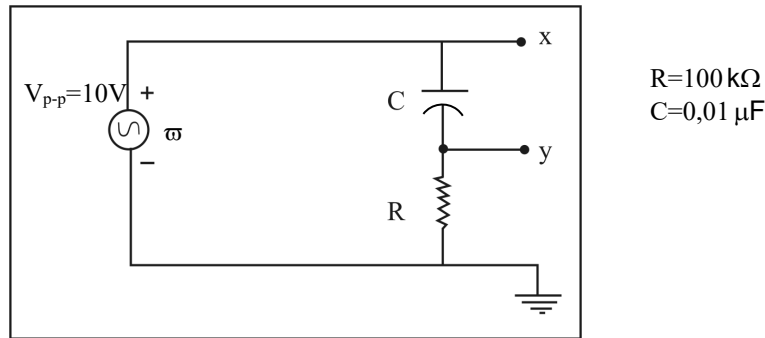


Şekil 8.7. Osiloskopta DC gerilim ölçümü.

Faz Farkı Ölçümü: Tek sinyal jeneratörü kullanarak $V_{p-p} = 10\text{ V}$ olacak şekilde ayarlayınız. Daha sonra bu sinyali x ve y girişlerine vererek TIME/DIV anahtarını x-y konumuna alarak iki sinyalin girişini sağlayınız. Ekranda bir doğru gözlemeksiniz (x ve y girişlerinin VOLT/DIV değerleri aynı olmalıdır.) Bu doğrunun esimim ve boyunu ölçünüz.

Eğim 45° oluyor mu? Doğrunun uzunluğu X ve y den verilen sinyallerin ($V_p\sqrt{2}$) katı oluyor mu? Daha sonra V_{p-p} değerini 20 V a ayarlayarak aynı ölçümleri yapınız. Sonuçlar önceki değerlere göre nasıl değişiyor?

Şekil 8.8 deki devreyi kurunuz. V_{p-p} değerini 10V ayarlayınız. x ve y uçlarını osiloskop girişine vererek ekranda iki sinüs dalga elde ediniz. Zaman tarama için uygun bir değer seçmelisiniz. Daha sonra sinyal kaynağının frekansını osiloskopla 50, 100, 150, 200, 250, 300Hz değerlerine ayarlayarak her defasında frekansa karşılık θ değerini açı olarak ölçünüz. Daha sonra $1/\tan\theta$ 'nın ω değerine göre grafiğini çiziniz. Bu grafiğin eğimini hesaplayarak RC ile karşılaştırınız. Değerler uyuyor mu?



Şekil 8.8: y çıkışından alınana sinyal x çıkışındakinden θ kadar geridedir. θ değeri ω ve RC ye bağlıdır.

Devreyi değiştirmeden frekansı osiloskopla tekrar 50 Hz değerine ayarlayınız. TIME/DIV anahtarını x-y konumuna almadan önce iki sinyalin genliği CAL düğmesini kullanarak eşitleyiniz. Daha sonra TIME/DIV anahtarını x-y konumuna alarak ekrandaki elipsin A ve B değerlerini ölçünüz. Aynı işlemleri frekansı; 100, 150, 200, 250, 300Hz olarak tekrarlayınız. $\sin\theta$ değerinden $\tan\theta$ değerine geçiniz. Bu değerleri kullanarak $1/\tan\theta$ nın ω ya karşı grafiğini çizerek eğimi RC ile ve deneyin önceki kısmında bulduğunuz eğimle karşılaştırınız. Sonuçlar uyuyor mu?

Son olarak, osiloskop fonksiyonlarını ve hangi parametreleri belirlemede kullanılabileceğini arkadaşlarınızla tartışınız, cihaz üzerinde serbest çalışmalar yapınız.