

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

**HAYAT BOYU ÖĞRENME GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
AÇIK ÖĞRETİM DAİRE BAŞKANLIĞI**

FİZİK

6

YAZAR

SEDEF AKIN



ANKARA - 2023

MEB HAYAT BOYU ÖĞRENME GENEL MÜDÜRLÜĞÜ YAYINLARI
AÇIK ÖĞRETİM OKULLARI

Dil Uzmanı

Bülent Kenan ERKAN

Görsel Tasarım

YÜMER

Yayın Üretim Merkezi

Grafik Tasarım Uzmanı

YÜMER

Yayın Üretim Merkezi



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbin âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlahî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlahî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'sım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif ERSOY

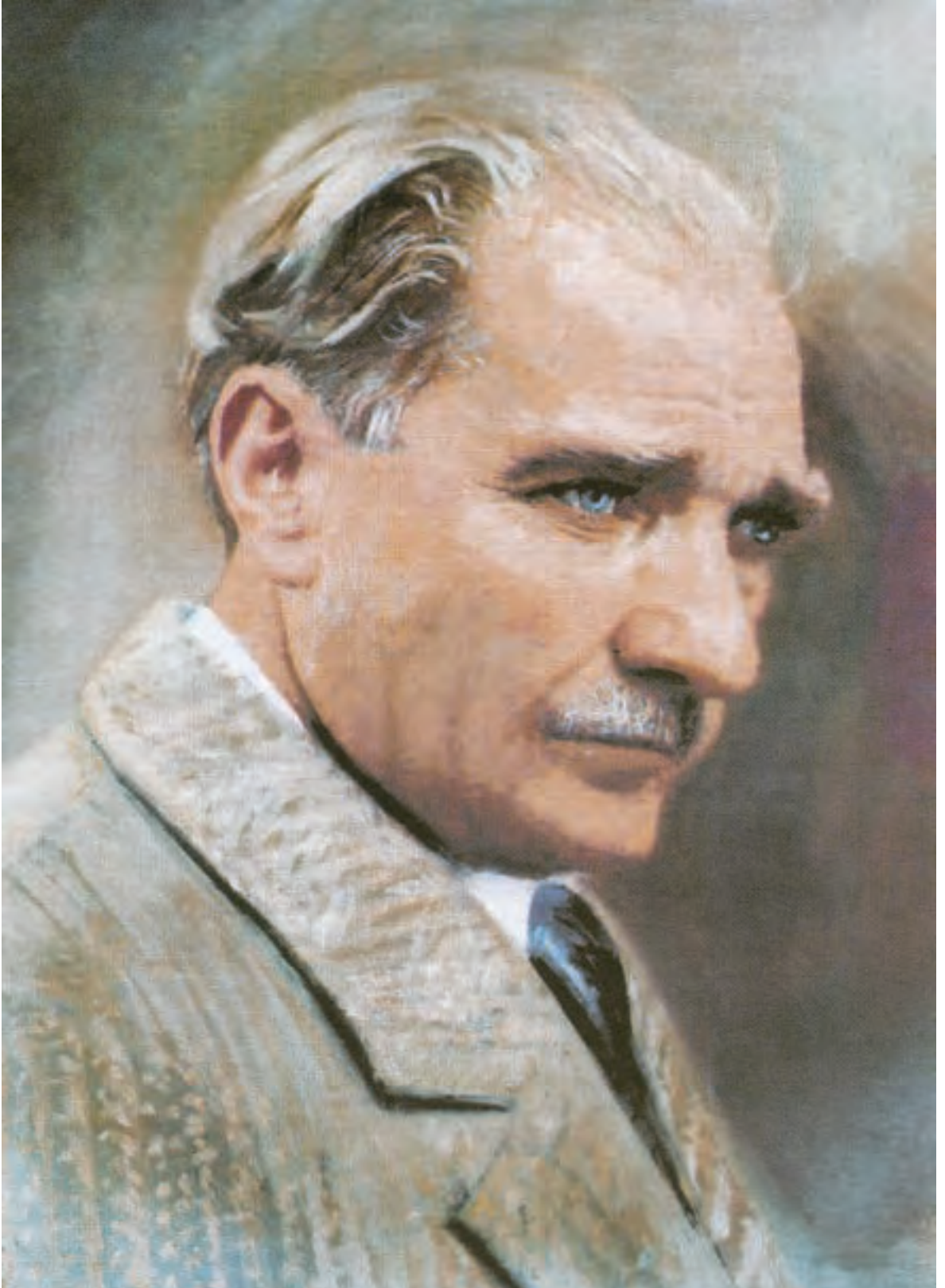
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyen dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsaıt bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



Mustafa Kemal ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

1. ÜNİTE :

1. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA.....	8
1. BÖLÜM: ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN.....	9
Elektriksel Kuvvet	10
Noktasal Yükün Elektrik Alanı.....	15
2. BÖLÜM: ELEKTRİKSEL POTANSİYEL.....	28
Noktasal Yükler İçin Elektriksel Potansiyel Enerji, Elektriksel Potansiyel, Elektriksel Potansiyel Farkı ve Elektriksel İş.....	29
Elektriksel Potansiyel Enerji, Elektriksel Potansiyel, Elektriksel Potansiyel Farkı ve Elektriksel İş Kavramlarıyla İlgili Problemler.....	35
3. BÖLÜM: DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SİĞA.....	41
Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanı ve Alan Çizgileri.....	42
Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Olduğu Değişkenler.....	43
Yüklü Parçacıkların Elektrik Alandaki Davranışı.....	44
Sığa (Kapasite).....	49
Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler.....	50
Sığacın (Kondansatör) İşlevi.....	53
4. BÖLÜM: MAGNETİZMA VE ELEKTROMANYATİK İNDÜKSİYON.....	56
Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Bir Telin Çevresinde, Halkanın Merkezinde Ve Akım Makarasının (Bobin) Merkez Ekseninde Oluşan Manyetik Alanın Şiddetini Etkileyen Değişkenler.....	57
Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Bir Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet.....	66
Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Dikdörtgen Tel Çerçeveye Etki Eden Kuvvet.....	70
Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi.....	72
Manyetik Akı.....	74
Öz- İndüksiyon Akımı.....	83
Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı.....	85
Elektromotor Kuvveti Oluşturan Sebepler.....	87
5. BÖLÜM : ALTERNATİF AKIM.....	90
Alternatif Akım.....	91
Alternatif Akım ve Doğru Akımın Karşılaştırılması.....	97
Alternatif ve Doğru Akım Devrelerinde Direncin, Bobinin ve Sığacın Davranışı.....	103
İndüktans, kapasitans, rezonans ve empedans	107
6. BÖLÜM : TRANSFORMATÖRLER.....	113
Transformatörlerin Çalışma Prensipleri.....	114
Transformatörlerin Kullanım Amaçları.....	116
ÖZET.....	119
6. DÖNEM ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI.....	131
CEVAP ANAHTARI.....	137
SÖZLÜK.....	138

ELEKTRİK VE MANYETİZMA



1. BÖLÜM: ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN
2. BÖLÜM: ELEKTRİKSEL POTANSİYEL
3. BÖLÜM: DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SIĞA
4. BÖLÜM: MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLEME
5. BÖLÜM: ALTERNATİF AKIM
6. BÖLÜM: TRANSFORMATÖRLER

1. BÖLÜM : ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN



ANAHTAR KAVRAMLAR

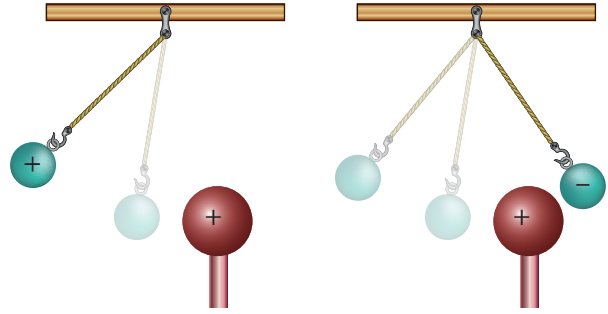
- Elektriksel kuvvet
- Elektrik alan

Bu bölümü tamamladığınızda,

1. Elektrik olayının temel kaynağı olan yüklerin hareketlerine odaklanarak elektrik yükleri arasındaki elektriksel kuvveti etkileyen değişkenleri,
2. Noktasal yük için elektrik alanı öğrenmiş olacağız.

1.1.1. ELEKTRİKSEL KUVVET

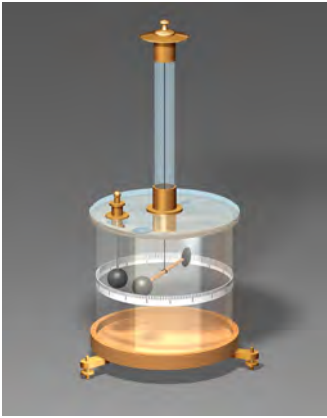
Yaşadığımız evrende iki çeşit yük vardır: Pozitif (+) ve negatif (-) yük. Bir elektrik yükü; diğer bir elektrik yükünü etkiler. Yükler arasındaki bu etkileşim, birbirleri üzerine uyguladıkları itme ya da çekme kuvvetinin sonucudur. Öyle ki evrende bulunan her şeyin var olabilmesinin nedeni, yükler arasında **elektriksel kuvvet** adı verilen bu etkileşim kuvvetidir.



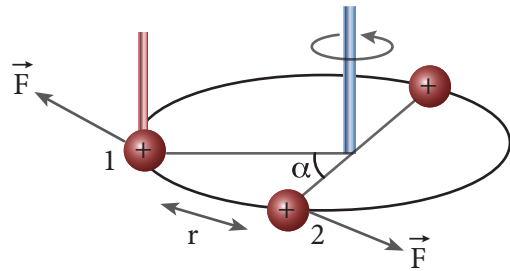
Şekil 1.1: Aynı işaretli yükler birbirini iter, zıt işaretli yükler birbirini çeker.

Peki, elektrik yükleri arasındaki bu etkileşim kuvvetinin büyüklüğü nelere bağlıdır?

Bu sorunun cevabını 1780 yılında Fransız fizikçi Charles Coulomb (Çarls Kulomp) yaptığı deney sonucunda bulmuştur. Coulomb'un yaşadığı dönemde elektrik yüklerinin değerini tam olarak ölçen bir alet yoktu. Her şeye rağmen hazırladığı deney düzeneği ile elektriksel kuvvetin, yüklerin büyüklüğüne ve aralarındaki uzaklığa bağlı olarak nasıl değiştiğini araştırdı. Resim 1.1'de görülen deney düzeneğinde Coulomb, havası boşaltılmış kabın üst metal yüzeyine yüklü bir cismi dokundurduğunda iki yüklü küreciğin bulunduğu tahta çubuğun kendi ekseninde döndüğünü gözlemledi (Şekil 1.2).



Resim 1.1: Coulomb'un deney düzeneği



Şekil 1.2: Elektriksel kuvvetin etkisiyle yüklü kürecikler birbirini iter.

Coulomb yaptığı deneyde yüklü kürecik çiftinin asılı olduğu ipin dönme miktarının elektriksel kuvvetle ters orantılı olduğunu belirledi. Böylelikle Coulomb yüklü cisimlerden her birinin üzerine etki eden kuvvetin yük miktarı ile doğru orantılı olduğu sonucuna vardı. Yüklerden biri iki katına çıkarsa kuvvet iki katına ve yüklerden her ikisi de iki katına çıkartılırsa kuvvet dört katına çıkıyordu. Bu durum yükler arasındaki uzaklık sabit kaldığında geçerliydi. Yük miktarı sabit tutulup aralarındaki uzaklık iki katına çıkarıldığında ise kuvvet ilk değerinin dörtte biri kadar oluyordu. Yaptığı denemeler sonucunda Coulomb Şekil 1.3'teki gibi aralarında d kadar uzaklık bulunan elektrik yüklü iki cismin birbirlerini yüklerinin çarpımı ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak ittiği ya da çektiği sonucuna vardı.

Coulomb Yasası olarak ifade edilen bu sonuç, aralarında d kadar uzaklık bulunan q_1 ve q_2 noktasal yüklerinin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvet matematiksel olarak,

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$$

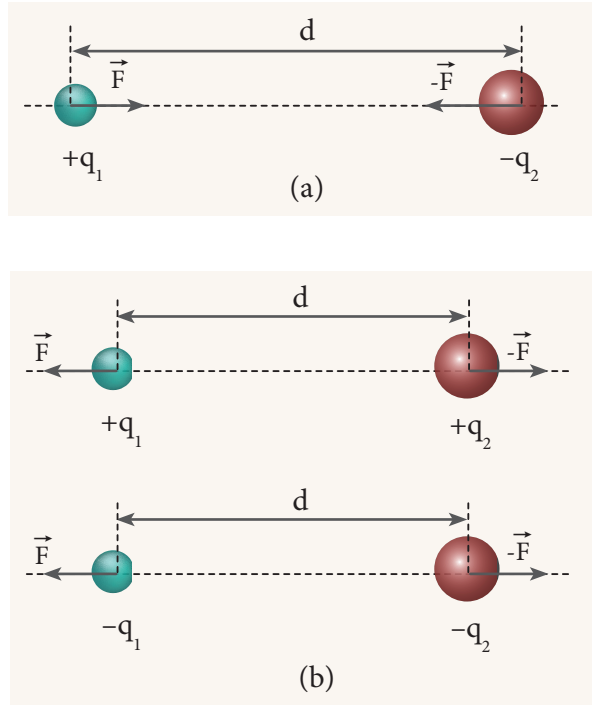
şeklinde yazılır. Bu bağıntıda,

k : Coulomb sabiti,

q_1 ve q_2 : Yük miktarı,

d : Yükler arasındaki uzaklıktır.

Coulomb'un noktasal yükler arasındaki elektriksel kuvvet için yazdığı bu bağıntıdan bulunan değer, elektrik yüklerinin birbirleri üzerine uyguladığı kuvvetin büyüklüğünü verir. Elektriksel kuvvet daima iki yükü birleştiren çizgi doğrultusundadır. İki yük zıt işaretliyse elektriksel kuvvet iki yükü birbirine yaklaştırır. Eğer iki yük aynı işaretliyse elektriksel kuvvet iki yükü birbirinden uzaklaştırır.



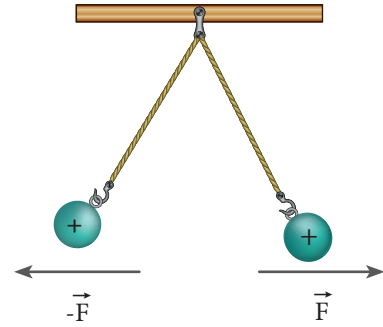
Şekil 1.3: a. zıt yüklü cisimlerin birbirine uyguladığı kuvvet.

b. aynı işaretli cisimlerin birbirine uyguladığı kuvvet.

Elektriksel kuvvetin değerini belirleyen değişkenlerin sembol ve SI'daki birimleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

	Sembol	Birim
Yük	q	C
Uzaklık	d	m
Kuvvet	F	N
Coulomb sabiti	k	N.m ² / C ²

Elektriksel kuvvet bağıntısındaki k sabit sayısı Coulomb Sabiti olarak tanımlanır ve değeri yaklaşık olarak $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ dir. Coulomb Sabiti elektrik yüklerinin etkileştiği ortamın elektriksel geçirgenliği ile ters orantılıdır. Yapılan deneylerde hava ortamında birbirini F kuvveti ile iterek dengede duran yüklü küreler, su içerisine konulduklarında daha küçük bir kuvvetle birbirini iterek dengeye geldikleri görülmüştür (Şekil 1.4).



Şekil 1.4: Hava ortamındaki yüklü küreler su ortamına konulduklarında etkileşim kuvveti azalır.

Ortamın elektriksel geçirgenliği, maddenin özelliğini karakterize eden yoğunluk, ışığı kırma indisi gibi bir sabit ile tanımlanır. Bu sabite maddenin **dielektrik sabiti** denir. Dielektrik sabiti maddenin yalıtkanlığının bir ölçüsüdür ve ϵ sembolü ile gösterilir ve birimi $\text{N.m}^2 / \text{C}^2$ dir. Ortamın dielektrik sabitinin değeri arttıkça cisimler arasındaki elektriksel kuvvetin değeri azalır. Örneğin, kuru havanın dielektrik sabiti

Madde	Dielektrik sabiti (N.m ² /C ²)
Kuru hava	1
Cam	4-7
Su	81
Porselen	6-8
Mika	2-7
Lastik	3

$\epsilon_0 = 1,00059 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ (yaklaşık $1 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ alınabilir.) dir ve bu ortamda bulunan yükler arasındaki elektriksel kuvvet en büyük değerini alır. Tablo 1.2'de bazı maddelerin dielektrik sabitlerinin değeri yaklaşık olarak verilmiştir.

Yüklü cisimlerin etkileştikleri ortamın elektrik geçirgenliği göz önüne alındığında k Coulomb sabiti $k = \frac{1}{4\pi \epsilon}$ olarak yazılır. Buna göre Coulomb Yasası ile tanımlanan

elektiriksel kuvvet yeniden

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \text{ olarak yazılır.}$$

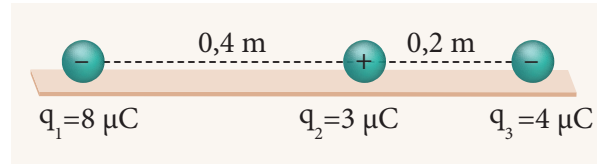
Eğer yüklü cisimler kuru hava ortamında bulunuyorsa etkileşim kuvveti

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \text{ olarak yazılır. Kuru havanın dielektrik sabiti } \epsilon_0 = 1 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2 \text{ oldu-}$$

ğundan k sabitinin değeri $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ olarak hesaplanır.

Örnek

Kuru hava ortamında yüklü üç parçacık şekildeki gibi bir doğru boyunca sıralanmıştır.

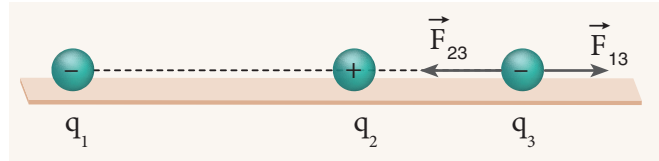


Buna göre, q_3 yüküne etki eden

elektiriksel kuvvetin büyüklüğü kaç N'dur? ($1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$, yüzey yalıtkan ve s ürtünmesizdir.)

Çözüm

q_3 yüküne etki eden elektiriksel kuvvet q_1 ve q_2 yüklerinin bileşkesidir. Bileşke kuvvetin değerini bulmak için önce q_3 yüküne etkileyen kuvvet vektörleri çizilir.



Şekilde görüldüğü gibi q_1 yükü q_3 yükünü iterken q_2 yükü çekmektedir. Buna göre bileşke kuvvet vektörel olarak $\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$ şeklinde yazılır. \vec{F}_{13} ve \vec{F}_{23} kuvvetlerinin değeri Coulomb Yasası kullanılarak bulunur.

$$F_{13} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} / (0,6)^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 32 \cdot 10^{-12} / 36 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-1} = 0,8 \text{ N}$$

$$F_{23} = k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} / (0,2)^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-12} / 4 \cdot 10^{-2} = 27 \cdot 10^{-1} = 2,7 \text{ N}$$

Kuvvetler arasındaki açı 180° olduğundan bileşke kuvvet

$$F_3 = F_{13} - F_{23} = 2,7 - 0,8 = 1,9 \text{ N olarak bulunur.}$$

Örnek

Şekildeki yükler sisteminde q_3 yüküne etki eden bileşke kuvvet kaç N'dur?

$$(\cos 53^\circ = 0,6 \quad 1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C})$$

Çözüm

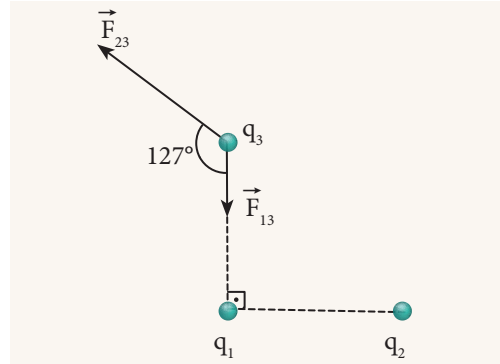
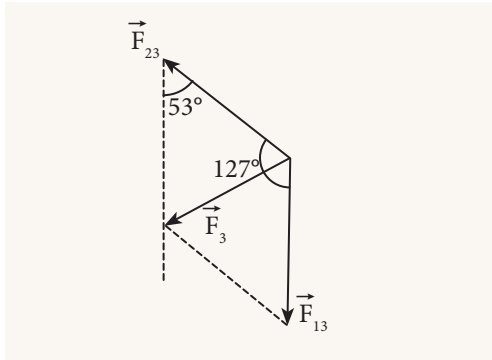
q_3 yüküne q_1 yükünden dolayı \vec{F}_{13} ve q_2 yükünden dolayı \vec{F}_{23} kuvvetleri etki eder.

q_3 yüküne etki eden kuvvetler için serbest cisim diyagramı şekildeki gibi çizilir. q_3 yüküne etki eden bileşke kuvvet

$\vec{F}_3 = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13}$ şeklinde yazılır. Bileşke kuvvetin değerini bulmak için q_3 yüküne etki eden kuvvetleri ayrı ayrı bulalım:

$$F_{13} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} / (0,06)^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-12} / 36 \cdot 10^{-4} = 50 \text{ N}$$

$$F_{23} = k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} / (0,1)^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-12} / 1 \cdot 10^{-2} = 18 \text{ N}$$



\vec{F}_{13} ve \vec{F}_{23} kuvvetlerinin bileşkesi (F_3), kuvvet vektörleri paralel kenara tamamlayarak çizilir ve bileşke kuvvetin büyüklüğü kosinüs teoremi ile hesaplanır:

$$F_3^2 = (\vec{F}_{13})^2 + (\vec{F}_{23})^2 - 2 \cdot \vec{F}_{13} \cdot \vec{F}_{23} \cdot \cos 53^\circ$$

$$F_3^2 = (50)^2 + (18)^2 - 2 \cdot 50 \cdot 18 \cdot 0,6$$

$$F_3^2 = 2500 + 324 - 1080$$

$$F_3^2 = 1744 \text{ ve buradan } F_3 \cong 42 \text{ N bulunur.}$$

Uygulama

Aşağıdaki tabloda iki negatif yüklü cismin arasındaki uzaklık ve elektriksel kuvvetin büyüklüğü verilmiştir.

Uzaklık (cm)	Elektriksel kuvvet (N)
20	0,1280
40	0,0320
60	0,0142
80	0,0080
100	0,0051

1. Tabloda verilenlere göre elektriksel kuvvetin değişimini karşılaştırarak kuvvet ile uzaklık arasındaki ilişkiyi inceleyiniz.
2. Cisimlerin sahip oldukları yük miktarları çarpımını bulunuz.
3. Kuvvetin 0,1280 N olduğu durumda cisimlerden birinin yük miktarı iki katına çıkarılırsa elektriksel kuvvetin değeri kaç N olur?
4. Kuvvetin 0,0051 N olduğu durumda her bir cismin yük miktarı iki katına çıkarılırsa bu yeni durumda elektriksel kuvvetin değeri kaç N olur?
5. Kuvvetin 0,0051 N olduğu durumda cisimlerin yük miktarını iki katına çıkarıp aralarındaki uzaklık yarıya indirildiğinde elektriksel kuvvetin yeni değeri kaç N olur?

1.1.2. NOKTASAL YÜKÜN ELEKTRİK ALANI

Elektriksel kuvvet konusunda noktasal iki yükün birbirini nasıl etkilediğini öğrendik. Peki, yüklü iki cisim temas etmeden nasıl birbirini etkiler?

Elektriksel kuvvet kavramıyla aynı ve zıt yüklü cisimlerin birbirleri üzerindeki etkisini inceledik. Coulomb Yasası'nın bize verdiği formülle yükler arasındaki etkileşimin nicel değerini hesaplayabildik. Temas gerektirmeyen bir kuvvet olan elektriksel kuvvetin etki alanını **elektriksel alan** olarak adlandırarak yeni bir kavram olarak inceleyeceğiz.

Doğada kuvvetler temas gerektiren ve temas gerektirmeyen kuvvetler olarak iki kısma ayrılır. Manyetik kuvvet, yer çekimi kuvveti ve elektriksel kuvvet temas gerektirmeyen kuvvetlerdendir.

Yer çekimi kuvveti hepimizin günlük yaşamda bildiği bir kuvvettir. Örneğin, basketbol maçı izlerken sporcunun elinden çıkan topun basket potasından geçerek yere düşüşünü izlerken temas gerektirmeyen kuvvete tanık oluruz (Resim 1.2).



Resim 1.2: Basketbol topu yere düşünceye kadar yer çekimi kuvveti etkisindedir.

Resim 1.3'teki gibi bir lastik balon saçaya da yünlü kumaşa sürtüldükten sonra musluktan akan suya yaklaştırıldığında, temas etmediği hâlde suyu çektiğini gözlemliyoruz. Balonun suya uyguladığı bu çekim kuvvetinin kaynağı ne olabilir? Balon her uzaklıkta suya bu kuvveti uygulayabilir mi?



Resim 1.3: Balon musluktan akan suya çekim kuvveti uygular.

Bilim insanları iki cisim arasında fiziksel temas olmadan birbirlerine uyguladıkları kuvvetleri, alan kuvveti olarak adlandırmışlardır. Bu tanımlamaya göre; yüklü bir cisim kendisini çevreleyen alanda elektriksel bir etki meydana getirir. Bu alana o yükün **elektriksel alanı** denir ve **E** sembolü ile gösterilir. Alan içerisinde bulunan diğer yüklü nesnelere bu alandan etkilenir.

Elektrik alan şiddeti, alanı oluşturan elektrik yükünün yük miktarına ve alanın etkisinde kalan yüke uzaklığına bağlıdır. Buradan elektrik alanın sayısal bir değeri olduğu sonucu çıkar. Elektrik alanın şiddeti ölçülebilir ve sayısal olarak da tanımlanabilir.

Elektrik alanı; vektörel bir büyüklüktür yönü, büyüklüğü, doğrultusu ve uygulama noktası vardır. Elektrik alanın büyüklüğü, elektriksel kuvvetin bir ölçüsüdür. Örneğin, bir elektrik yükünü (q) göz önüne alalım. Bu yük çevresinde bir elektrik alanı oluşturur ve q yükü elektrik alanın kaynağı olduğu için ona **kaynak yük** adı verilir. Kaynak yükün elektrik alan şiddeti, çevresinde herhangi bir yerde bulunan başka bir yükün yardımı ile ölçülebilir. Elektrik alanın şiddetini ölçmek için kullanılan bu yüke **test yükü** adı verilir ve q_0 sembolü ile gösterilir.

Test yükü (q_0), kaynak yükün elektrik alan içerisinde konulduğunda itme ya da çekme kuvvetinin etkisinde kalır. Elektrik alan şiddeti, bir test yükü başına düşen elektriksel kuvvet olarak tanımlanır. Buna göre elektrik alan şiddeti matematiksel olarak,

$$\text{Elektrik alan şiddeti} = \frac{\text{Elektriksel kuvvet}}{\text{Test yükü}}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Elektrik alan şiddeti kavramında kaynak yük ve test yükü olmak üzere iki yük olduğu unutulmamalıdır çünkü elektrik alanda itme ya da çekme kuvvetinin olması için iki yük olması gerekir. Elektrik alan şiddeti için yazılan bağıntıda q_0 sembolü test yükü üzerindeki yük miktarını temsil eder. Buna göre elektrik alan şiddetini "Elektrik alan şiddeti, test yükünün yük miktarı başına etki eden kuvvettir." şeklinde tanımlayabiliriz.

	Sembol	Birim
Elektriksel kuvvet	F	N
Yük	q	C
Elektrik alan şiddeti	E	N/C

Elektrik alan şiddetini tanımlayan değişkenlerin sembol ve birimleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

Elektrik alan şiddetini tanımlayan bağıntıyı, elektriksel kuvveti kullanarak yeniden oluşturabiliriz. Bunun için Coulomb Yasası'nın bize verdiği bağıntıyı kullanacağız:

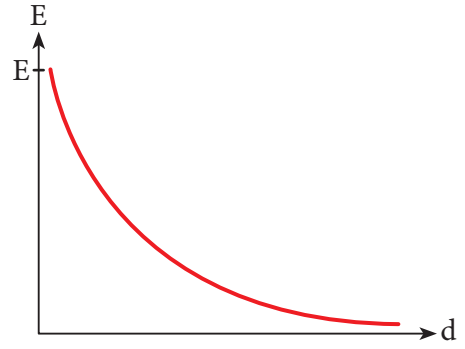
Bir q yükünün etki alanı içerisinde bulunan test yükü ile arasındaki etkileşim kuvveti Coulomb Yasası'na göre $F = k \cdot \frac{q \cdot q_0}{d^2}$ dir.

Bu bağıntı $E = \frac{F}{q_0}$ bağıntısında yerine yazılırsa

$$E = F/q = k \cdot \frac{q \cdot q_0}{d^2} / q_0 \text{ yazılır ve buradan}$$

$$E = k \cdot \frac{q}{d^2} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Elde edilen bu bağıntıya göre kaynak yükün meydana getirdiği elektrik alan şiddeti, test yükünün yük miktarından bağımsızdır. Bir noktadaki elektrik alan şiddeti, kaynak yükün yük miktarı (q) ile doğru orantılı, test yükü ile arasındaki uzaklığın (d) karesi ile ters orantılıdır. Örneğin, bir kaynak q yükünden d kadar uzaklıkta elektrik alan şiddeti E kadar iken, $2d$ uzaklıkta elektrik alan şiddeti ilk değerinin $1/4$ ü, $3d$ uzaklıkta $1/9$ u, $4d$ uzaklıkta $1/16$ s kadar olacaktır. Grafik 1. 1'de bir q kaynak yükünün meydana getirdiği elektrik alan şiddetinin uzaklığa bağlı değişimi gösterilmiştir.

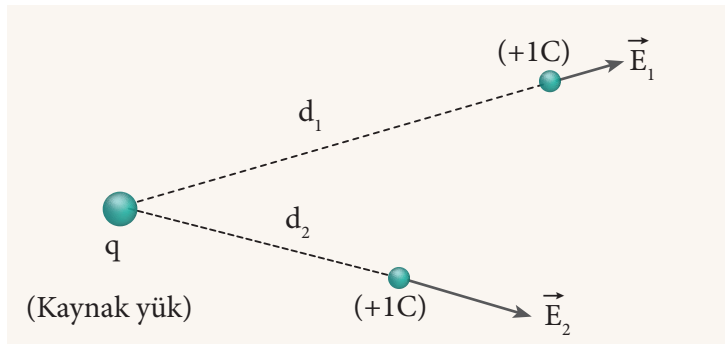


Grafik 1.1: Elektrik alan şiddetinin uzaklığa bağlı değişimi
Grafik 1. 1'de bir q kaynak yükünün meydana getirdiği elektrik alan şiddetinin uzaklığa bağlı değişimi gösterilmiştir.

Elektrik alan vektörünün yönü

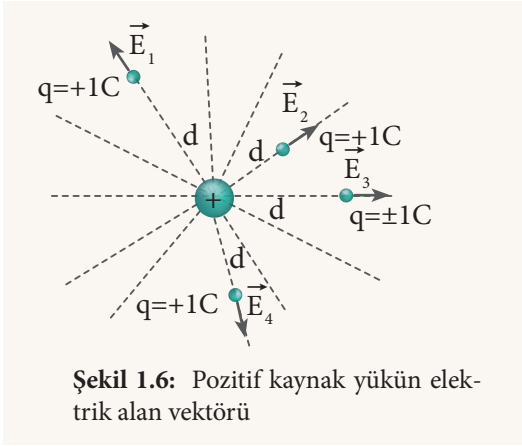
Elektrik alan, vektörel bir niceliktir. Elektrik alan şiddetinin, elektrik alan içerisinde bulunan bir kaynak yüke etki eden kuvvet olarak tanımlandık. Bu nedenle elektrik alan vektörünün yönünü elektrik kuvvet vektörünün yönü belirler. Test yüküne etki eden kuvvetin yönü onu ya kaynak yüke yaklaştıracak ya da kaynak yükten uzaklaştıracak yöndedir. Dolayısıyla elektrikselsel kuvvetin yönü kaynak yükle test yükünün aynı işaretli olup olmamasına bağlıdır. Bilim insanları bu karışıklığı ortadan kaldırmak için test yükünü pozitif birim yük ($+1C$) olarak kabul etmişlerdir. Buna göre, bir elektrik alanın varlığında, alan içerisindeki bir noktadaki elektrik alan vektörünün yönü, $+1C$ 'luk yükün kaynak yük tarafından itilme ya da çekilme yönü olarak tanımlanır.

Elektrik alan vektörel bir nicelik olduğundan bir kaynak yük (q) çevresinde herhangi bir konumda çizilen oklar, elektrik alanın yönünü gösterir (Şekil 1. 5). Okların uzunluğu ise bir noktadaki alan şiddetinin değeri ile doğru orantılıdır.

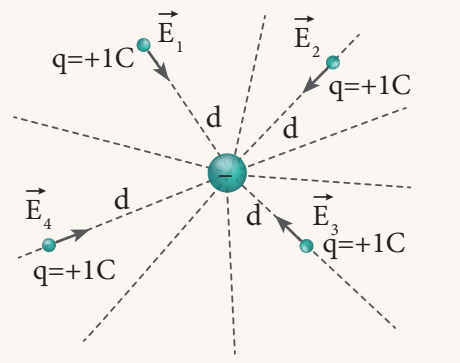


Şekil 1.5: Elektrik alan vektörü

Elektrik alanını vektörel olarak göstermek, elektrik alan kavramını görsel olarak görmemizi sağlar. Kaynak yük çevresinde sonsuz sayıda elektrik alan vektörü vardır. Bunların hepsini çizmek yerine elektrik alanı tanımlayacak birkaç vektör çizmek yeterlidir. Şekil 1.6'da pozitif (+) kaynak yükün, Şekil 1.7'de negatif kaynak yükün çevresinde meydana gelen elektrik alan vektörleri gösterilmiştir. Pozitif (+) kaynak yükün alan vektörünün yönü yükten dışarı, negatif (-) kaynak yükün alan vektörünün yönü yüke doğrudur.



Şekil 1.6: Pozitif kaynak yükün elektrik alan vektörü



Şekil 1.7: Negatif kaynak yükün elektrik alan vektörü

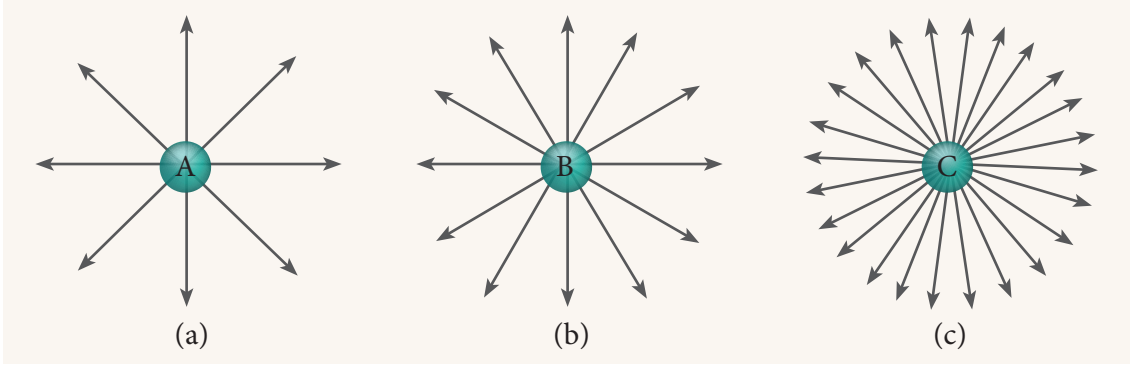
Bir kaynak yükü çevreleyen çizgi yoğunluğu kaynak yükün yük miktarı hakkında bilgi verirken aynı zamanda kaynak yükten uzaklaştıkça elektrik alanın şiddetinde de bilgi vermektedir. Şekil 1.8'de pozitif (+) işaretli q kaynak yükünün çevresinde oluşan elektrik alan çizgilerini inceleyelim:

Şekilde kaynak yüke yakın bölgelerde alan çizgileri birbirine oldukça yakın, uzak bölgelerde çizgiler arasındaki mesafe artmıştır. Bu modellemede alan çizgilerinin sık olduğu bölgelerde alan şiddetinin büyük, seyrek olduğu bölgelerde alan şiddetinin küçük olduğu sonucu çıkarılabilir.



Şekil 1.8: Elektrik alan çizgileri kaynak yükten uzaklaştıkça seyrekleşir.

Yük miktarı fazla olan cisimler çevrelerinde daha güçlü elektrikselsel alan oluşturur. Bu durum elektrik alan çizgileriyle gösterilmek istenirse yük çevresindeki çizgi yoğunluğunun fazla olması gerekir. Şekil 1.9'da bu kabullenmeye göre farklı yük miktarına sahip A, B ve C yüklerinin çevrelerinde meydana gelen elektrik alanın çizgileri gösterilmiştir.



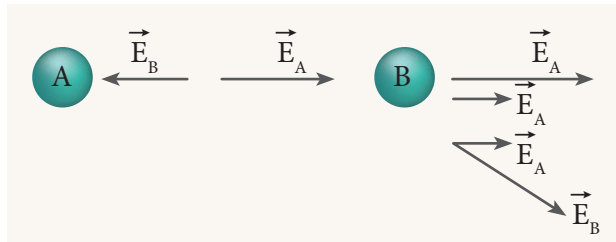
Şekil 1.9: a.b.c.Yük çevresindeki çizgi yoğunluğu elektrik alan şiddetini ifade ederken yük miktarı hakkında da bilgi verir.

Şekil 1.9.ada A yükü çevresindeki çizgi sayısı B ve C yüklerinin çevresindeki çizgi sayısından azdır. Bu nedenle yük miktarı en az olan A yüküdür. Şekil 1.9.c'de C yükü çevresindeki alan çizgisi sayısı A ve B yükünün çevresindeki alan çizgi sayısı daha fazla olduğundan, C yükünün yük miktarı A ve B'nin yük miktarından fazladır.

Peki, bir bölgede birden fazla yük varsa o noktadaki elektrik alan çizgileri nasıl çizilir?

Bu soruya cevap verebilmek için bir bölgede iki pozitif (+) yükün varlığını kabul edelim. A yükü ve B yükü. Her yük kendisini çevreleyen bölgede kendi elektrik alanını oluşturur. Yüklerin bulunduğu bölgenin herhangi bir noktasında oluşan elektrik alan şiddeti ayrı ayrı hesaplanır:

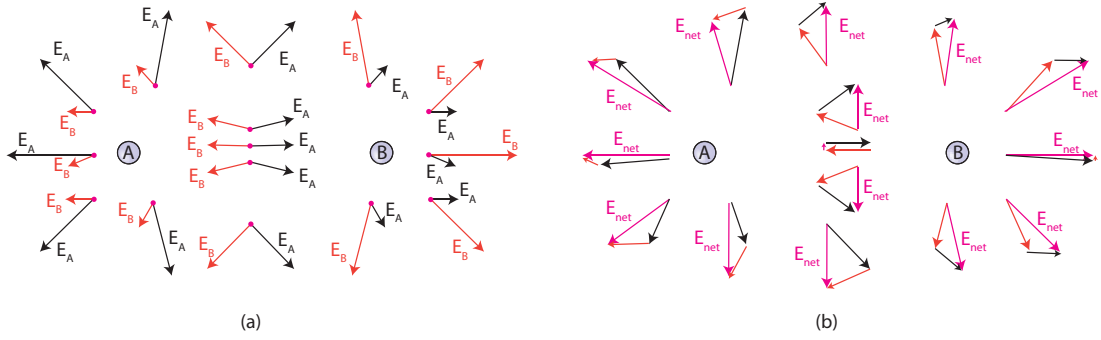
$$A \text{ yükünün belirlenen noktaya uzaklığı } d_A \text{ ise } E_A = k \cdot q_A / d_A^2$$



Şekil 1.10: İki elektrik yükünün meydana getirdiği elektrik alan vektörü

$$B \text{ yükünün belirlenen noktaya uzaklığı } d_B \text{ ise } E_B = k \cdot q_B / d_B^2$$

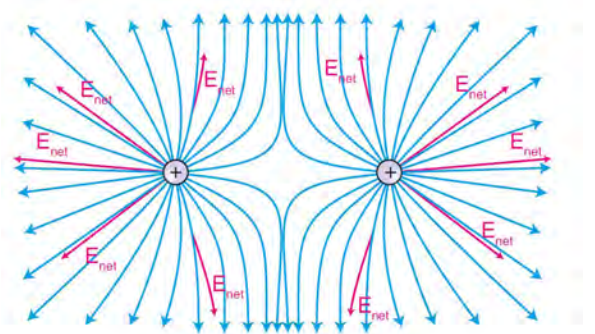
Çizilen vektörün büyüklüğü elektrik alanın şiddetini belirleyecek şekilde A ve B yüklerinin meydana getirdiği alan vektörlerinden bazıları Şekil 1.10'daki gibi çizilir. Vektörlerin bileşkesinin bulunması yöntemi uygulanarak belirlenen noktadaki bileşke elektrik alan vektörü çizilir ve büyüklüğü hesaplanır.



Şekil 1.11: **a.** Elektrik yüklerinin oluşturduğu elektrik alan vektörleri.
b. Bir noktadaki bileşke elektrik alan vektörü

Şekil 1.11.a'da A ve B yüklerinin oluşturduğu elektrik alan vektörlerinin bazıları çizilmiş, Şekil 1.11.b'de E_A ve E_B elektrik alan vektörleri uç uca eklenecek şekilde elektrik alan vektörleri çizilmiştir.

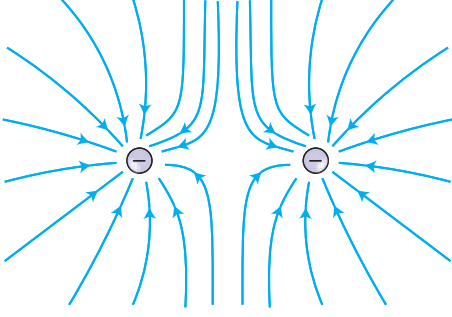
A ve B yüklerini çevreleyen alanın her bir noktasında elektrik alan vektörleri için bileşke elektrik alan vektörleri çizilirse elektrik alan vektörünün o noktalardaki büyüklüğü ve yönü belirlenecek ve sonuçta iki yükün elektrik alan çizgileri ortaya çıkacaktır. Bu çok zaman alan bir çalışma olduğundan sadece birkaç noktadaki bileşke elektrik alan



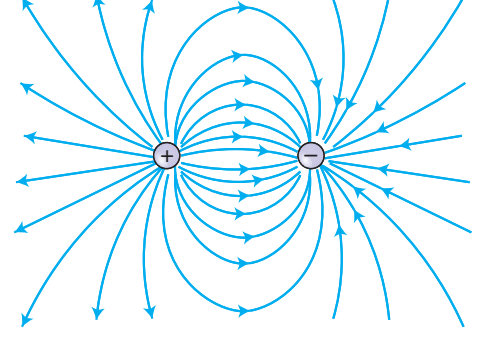
Şekil 1.12: İki pozitif yükün elektrik alan çizgileri

vektörü için alan çizgilerini çizmek yeterlidir. Alan vektörleri alan çizgilerine teğet olacak şekilde çizilirse Şekil 1.12'deki gibi bir görünüm elde edilir.

Pozitif (+) işaretli A ve B yükleri gibi negatif (-) işaretli yüke sahip iki yük bir bölgede karşılıklı olarak yerleştirilirse aynı işlem basamakları uygulanarak Şekil 1.13'teki gibi bir görünüm elde edilir. Bir negatif ve bir pozitif işaretli iki yük bir araya getirilirse Şekil 1.14'teki gibi bir görünüm elde edilir. Bileşke elektrik alan vektörü elektrik alan çizgilerine teğettir.



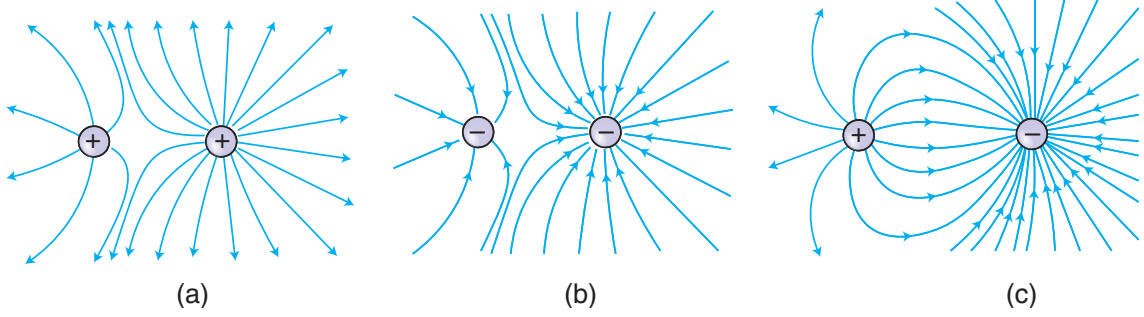
Şekil 1.13: İki negatif yükün oluşturduğu elektrik alan çizgileri



Şekil 1.14: Bir pozitif bir negatif yükün oluşturduğu elektrik alan çizgileri

Peki, kaynak yüklerin yük miktarı eşit değilse yüklerin bulunduğu bölgedeki elektrik alan çizgileri nasıl çizilir?

Yük miktarı fazla olan kaynak yükün çevresinde alan çizgi sayısının daha yoğun olacağını ve çizgi sayısının yük miktarı ile doğru orantılı olduğunu ifade etmiştik. Bu koşulları göz önünde bulundurarak çizilen elektrik alan çizgileri asimetric bir görünümde olacaktır. Farklı yük miktarlarına ve işaretlerine sahip yükler için çizilen elektrik alan çizgileri Şekil 1.15.a.b.c'de gösterilmiştir.



Şekil 1.15: a.b.c. Aynı bölgede bulunan farklı yük miktarı ve işaretine sahip yüklerin oluşturduğu elektrik alanı çizgileri

Elektrik alan çizgilerinin özellikleri

1. Elektrik alan çizgileri yük miktarı fazla olan yüklerin etrafında daha sıktır.
2. Elektrik alan çizgileri asla birbirini kesmez.
3. Elektrik alan çizgileri, pozitif (+) yükten dik doğrultuda çıkarken, negatif (-) yüke dik doğrultuda girer.

4. Elektrik alan çizgileri, pozitif yükten sonsuza, sonsuzdan negatif yüke ve pozitif yükten negatif yüke doğru yönelir.

Bilim insanları önceleri aralarında mesafe olan iki yüklü cismin birbirini etkilemelerini açıklayamamışlardı. 19. yüzyılda Michael Faraday (Maykıl Faraday) ilk olarak “elektrik alan” kavramını ortaya attı. Bu görünmez elektriksel etki alanını çizgilerle modelleyerek gösterdi.

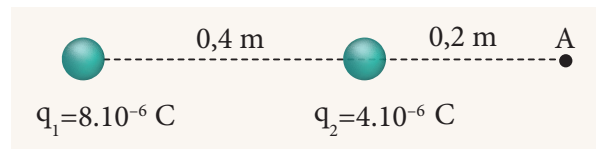
Bütün elektrik yükleri, itme ve çekme etkisi gösterebilmek için uzayda kendi elektrik alanını oluşturur. Elektrik alan çizgilerini görmesek de etkileri oldukça gerçektir. Resim 1.4.a.b.c’de içerisinde çim tohumları bulunan ve sıvı yağ ile hazırlanan deney düzeneği görülmektedir. Düzenekteki elektrik yüklü çubukların meydana getirdiği elektriksel etki ile çim tohumlarının davranışı elektrik alanın varlığını göstermektedir. Resim 1.4.a’da pozitif ya da negatif yüklü çubuğun etkisindeki çim tohumları; Resim 1.4.b’de biri pozitif diğeri negatif yüklü çubukların etki alanındaki çim tohumları; Resim 1.4.c’de aynı yük işaretine sahip yüklü çubukların etki alanındaki çim tohumlarının davranışı görülmektedir.



Resim 1.4.a.b.c. Yüklü çubukların elektrik alanında çim tohumlarının dizilişi.

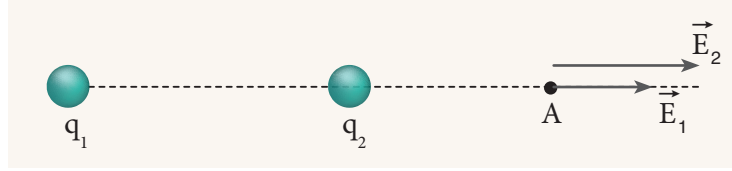
Örnek

Yüklü iki parçacık aralarında 0,4 m uzaklık olacak şekilde sabitlenmiştir. Bu iki parçacığın A noktasında meydana getirdiği elektrik alanının büyüklüğü kaç N/C’dir?



Çözüm

A noktasındaki bileşke elektrik alan her bir yükün o noktada oluşturduğu elektrik alanların vektörel toplamına eşittir. Yüklü parçacıkların A noktasındaki elektrik alan vektörlerini çizebilmek için, bu noktada +1C'luk yükün bulunduğu kabul edilir. Yüklü parçacıkların yük işareti de pozitif(+) olduğundan +1C'luk yük her ikisi tarafından itilir. A noktasındaki bileşke elektrik alan



$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Elektrik alan vektörleri arasındaki açı 0° olduğundan A noktasındaki bileşke elektrik alanın büyüklüğü her iki parçacığın oluşturduğu elektrik alanın büyüklükleri toplamına eşittir.

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Şimdi sırasıyla \vec{E}_1 ve \vec{E}_2 elektrik alanlarının değerini hesaplayalım,

$$E_1 = k \cdot q_1 / d_1^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-6} / (0,6)^2$$

$$= 2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \cdot q_2 / d_2^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} / (0,2)^2$$

$$= 9 \cdot 10^5 \text{ N/C olarak bulunur.}$$

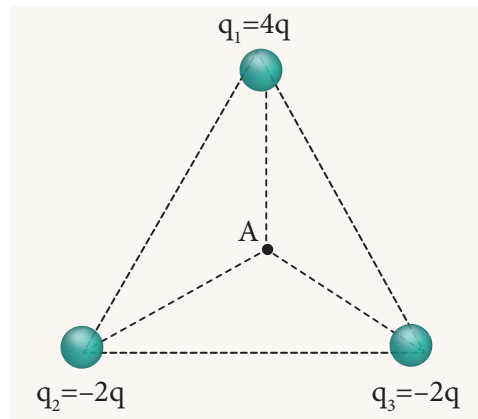
Buna göre A noktasındaki bileşke elektrik alanın büyüklüğü

$$E_A = 2 \cdot 10^5 + 9 \cdot 10^5 = 11 \cdot 10^5 \text{ N/C bulunur.}$$

Örnek

q_1 , q_2 ve q_3 yükleri şekildeki gibi bir eşkenar üçgen oluşturacak şekilde sabitlenmiştir. q_2 yükü A noktasında E şiddetinde elektrik alan meydana getirdiğine göre,

q_1 , q_2 ve q_3 yüklerinin A noktasında meydana getirdiği elektrik alan şiddeti kaç E' dir?



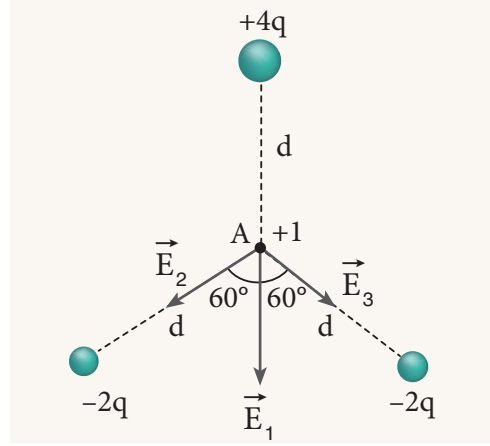
Çözüm

A noktası eşkenar üçgenin ağırlık merkezi olduğundan bütün yüklere eşit uzaklıktadır. Buna göre A noktasında pozitif birim yükün (+1C) varlığı kabul edilerek alan vektörleri şekildeki gibi çizilir.

$$E_2 = k \cdot |-2q| / d^2 = k \cdot 2q / d^2 = E \text{ dir.}$$

$$E_1 = k \cdot 4q / d^2 = 2E$$

$E_3 = k \cdot |-2q| / d^2 = k \cdot 2q / d^2 = E$ olarak yazılır.



E_1 ve E_2 elektrik alan şiddetleri eşit ve aralarındaki açı 120° olduğundan bileşkelelerinin değeri yine E kadardır (vektörlerin büyüklükleri eşit ve aralarındaki açı 120° ise bileşke vektörün büyüklüğü vektörlerin büyüklüğüne eşittir). Bu durumda E_1 ve E_3 vektörlerinin bileşkesi E_1 vektörü ile çakışıktır. Buna göre, $\vec{E}_A = \vec{E}_1 + (\vec{E}_2 + \vec{E}_3)$

Şekildeki elektrik alan vektörleri aynı doğrultuda olduğundan

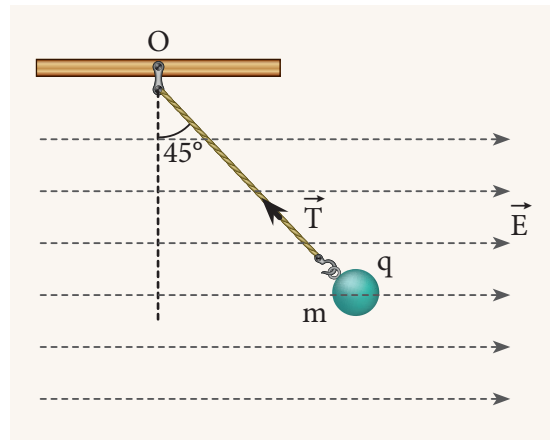
$$E_A = E_1 + E_2 + E_3 \text{ yazılır.}$$

$$E_A = 2E + E = 3E \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek

$m = 0,2 \text{ kg}$ kütleli $q = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ yüklü iletken küre düzgün bir elektrik alan içerisinde şekildeki gibi dengededir.

Buna göre, elektrik alan şiddeti kaç N/C'dur. ($\tan 45^\circ = 1$, $g = 10 \text{ N/Kg}$) ?



Çözüm

q yüküne etkiyen kuvvetler için serbest cisim diyagramını şekildeki gibi çizilir. Şekilde,

$$\tan 45 = \frac{F_e}{G} \text{ dir.}$$

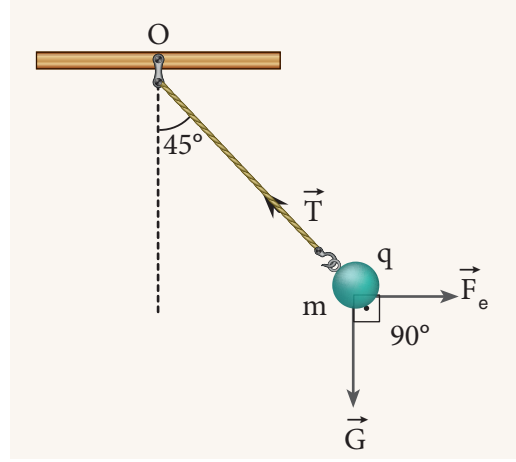
$$1 = \frac{F_e}{0,2 \cdot 10} \text{ ve buradan } F_e = 2 \text{ N olarak}$$

bulunur.

Alan içerisinde bir yüke etki eden elektriksel kuvvet elektrik alan şiddetini verir. Buna göre, $E = \frac{F_e}{q}$ bağıntısında elektriksel kuvvet

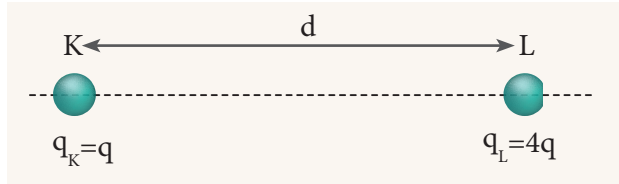
q ve yük miktarı yerine yazıldığında düzgün elektrik alan şiddeti,

$$E = \frac{2}{2 \cdot 10^{-3}} = 10^3 = 1000 \text{ N/C olarak bulunur.}$$



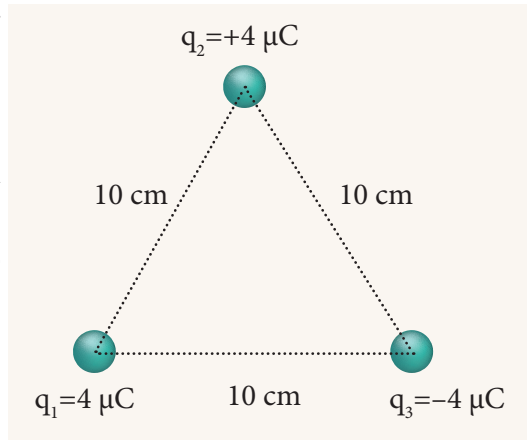
1. Uygulama

1. Aralarında d uzaklığı bulunan K ve L yüklerinin bileşke elektrik alanının sıfır olduğu nokta, L yükünden kaç d uzaklıktadır?

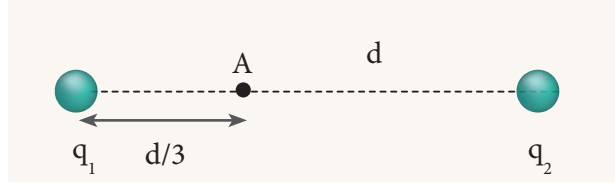


2. Yandaki şekilde üç yüklü parçacık kenar uzunluğu 10 cm olan bir eşkenar üçgenin köşelerine yerleştirilmiştir.

$q_1 = 4 \mu\text{C}$, $q_2 = -4 \mu\text{C}$ ve $q_3 = -4 \mu\text{C}$ olduğuna göre her bir yük üzerine etki eden bileşke kuvvet kaç N'dur. ($1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)?



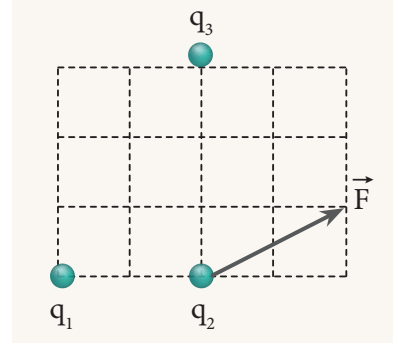
3. Yandaki şekilde q_1 ve q_2 noktasal yüklerinin arasındaki uzaklık d kadardır. İki yükü birleştiren doğru üzerinde q_1 yükünden $d/3$ uzaklıktaki bir noktada elektrik alanı sıfırdır.



Buna göre q_1 / q_2 oranı kaçtır?

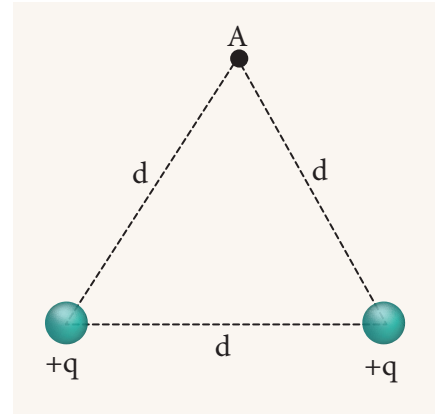
4. Sürtünmesiz yatay ve yalıtkan karelere bölünmüş düzlem üzerindeki q_2 ve q_3 yüklerinin q_1 yüküne uyguladıkları bileşke elektriksel kuvvet F şeklindeki gibidir.

Buna göre q_1 / q_3 oranı kaçtır?



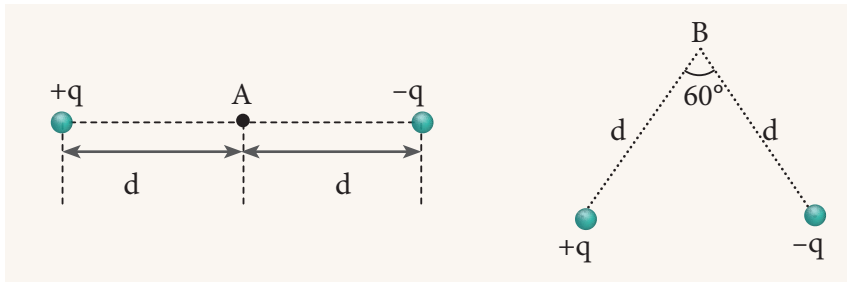
5. Yandaki şekilde $+q$ yüklerinin bir düzlemdeki konumları gösterilmiştir.

Buna göre, $+q$ yüklerinin A noktasındaki elektrik alan şiddeti kaç $\frac{k \cdot q^2}{d^2}$ dir?

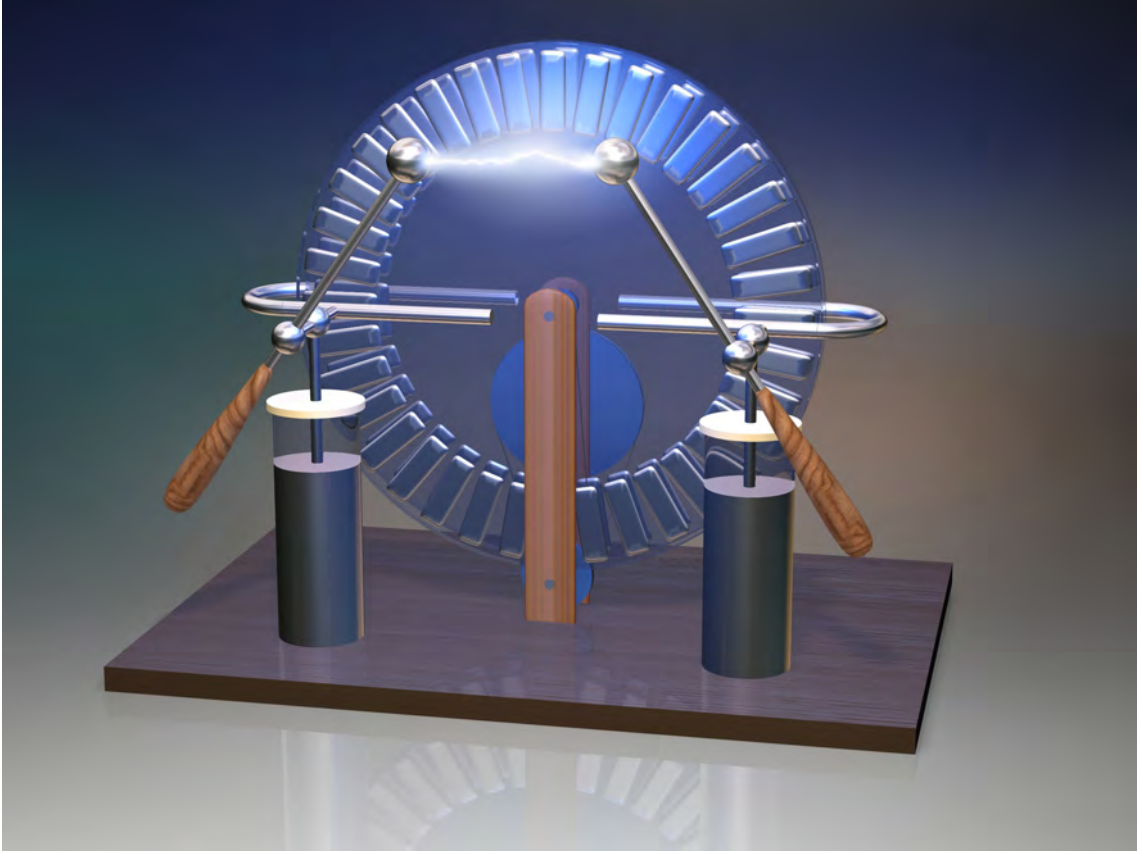


6. $+q$ ve $-q$ yükleri, ayrı ayrı şekillerdeki gibi yerleştirildiğinde A noktasındaki elektrik alanın büyüklüğü $E_A = E$ oluyor.

Buna göre B noktasındaki elektrik alanın büyüklüğü kaç E olur?



2. BÖLÜM : ELEKTRİKSEL POTANSİYEL



ANAHTAR KELİMELER

- Elektriksel potansiyel enerji
- Elektriksel potansiyel
- Elektriksel potansiyel farkı

Bu bölümü tamamladığınızda,

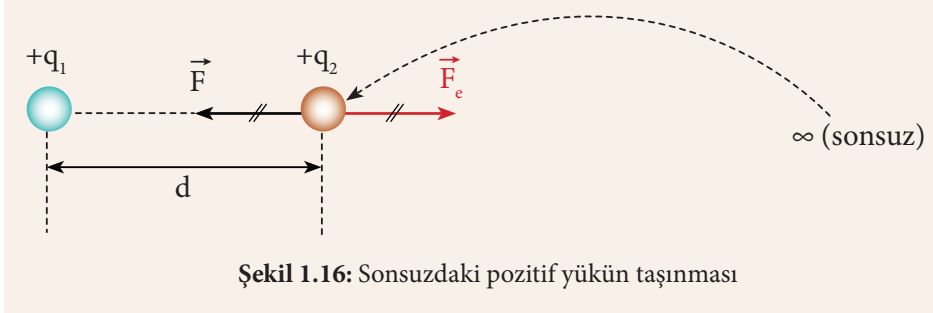
Noktasal yükler için elektriksel potansiyel enerji, elektriksel potansiyel, elektriksel potansiyel farkı ve elektriksel iş kavramlarını öğrenmiş olacağız.

1.2.1. Noktasal Yükler İçin Elektriksel Potansiyel Enerji, Elektriksel Potansiyel, Elektriksel Potansiyel Farkı ve Elektriksel İş

Enerji kavramı cisimlerin hareketinin özelliklerini ve hareketi etkileyen faktörleri açıklamada kolaylık sağlar. Soyut bir kavram olan elektrik konusunda da enerji ve enerji korunumu kavramını kullanmak, elektrik alan içerisinde bulunan yüklerin hareketini daha anlaşılır hâle getirir. Enerji korunumundan bahsedebilmek için önce bir durum enerjisi olan elektriksel potansiyel enerjiyi açıklamak gerekir.

Elektriksel potansiyel enerji

Yüklü iki cisim elektriksel kuvvet uygulayarak birbirini iter ya da çeker. Elektrik yüklerini elektrik alanı içerisinde sabit tutmak için elektriksel kuvvetlere karşı iş yapmak gerekir. Fizik biliminde iş- enerji teoremine göre yapılan iş enerjiye dönüşür. Buna göre elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş de elektriksel potansiyel enerjiye dönüşür. Şimdi bu durumu ikisi de pozitif yüklü olan iki parçacıktan birini sonsuzdan diğerinin d kadar uzağına getirilmesi işlemi inceleyelim:



Şekil 1. 16'daki gibi q_1 yükünden d kadar uzaktaki bir noktaya sonsuzdan q_2 yükü değişik yollardan getirildiğinde elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Yapılan bu işle birlikte sistemin elektrik potansiyel enerjisi artar. Elektrik potansiyel enerjisindeki bu değişim matematiksel olarak

$W = \Delta E_p$ şeklinde yazılır. Yapılan iş kuvvet ile $d - \infty$ arasında yapılan yer değiştirmenin çarpımına eşittir. Yapılan işlemler sonucunda elektriksel kuvvete karşı yapılan iş $W = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$ olarak elde edilir. Buna göre İş- Enerji Değişimi Teoremi potansiyel enerjisindeki değişim,

$$k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} = E_{P_{\text{son}}} - E_{P_{\text{ilk}}} \text{ olarak yazılır.}$$

Yükler birbirinden sonsuz uzaklıktayken aralarındaki etkileşim kuvveti yok denecek kadar az olduğundan birbirlerine göre elektrik potansiyel enerjisinin değeri sıfırdır ($E_{P_{ilk}} = 0$). Sonsuzdan itibaren F_e elektriksel kuvveti ile çekilen q_2 yükü üzerine d uzaklığına kadar yapılan iş, sisteme potansiyel enerji kazandırır. Buna göre İş-Enerji Teoremi'nde bu ifadeler yerine yazıldığında son durumdaki potansiyel enerji

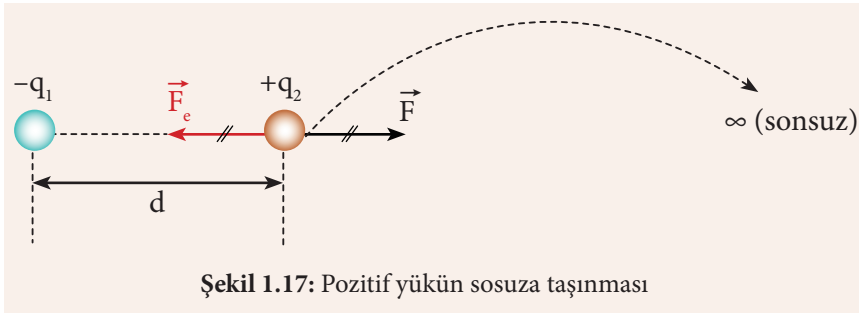
$$W = \Delta E_p = E_{P_{son}} - E_{P_{ilk}}$$

$$k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} = E_{P_{son}} - 0 \text{ ve buradan } E_{P_{son}} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} \text{ şeklinde elde edilir. Elde edilen}$$

bu sonuca göre aralarında d uzaklığı bulunan $+q_1$ ve $+q_2$ yüklerinin birbirine göre elektriksel potansiyel enerjisi,

$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$ olarak yazılır. Bu sonuç her ikisi de negatif (-) yüke sahip parçacıklar için de geçerlidir.

Aynı uygulamayı zıt işaretli yükler için yapalım:



Şekil 1.17'deki gibi $-q_1$ yükünün d kadar uzağında bulunan $+q_2$ yükünü değişik yollardan sonsuza taşıdığını düşünelim. Bu taşıma sırasında elektriksel kuvvetlere karşı iş yapıldığından sistemin potansiyel enerjisi artar. Elektrik potansiyel enerjisindeki bu değişim matematiksel olarak

$W = \Delta E_p$ şeklinde yazılır. Yapılan iş kuvvet ile $d - \infty$ arasında yapılan yer değiştirmenin çarpımına eşittir. Yapılan işlemler sonucunda elektriksel kuvvete karşı yapılan iş $W = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$ olarak elde edilir. Buna göre iş-enerji değişimi teoremi potansiyel enerjisindeki değişim,

$$k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} = E_{P_{son}} - E_{P_{ilk}} \text{ olarak yazılır.}$$

Yükler birbirinden sonsuz uzaklıktayken aralarındaki etkileşim kuvveti yok denecek kadar az olduğundan birbirlerine göre elektrik potansiyel enerjisinin değeri sıfırdır ($E_{P_{ilk}} = 0$). Sonsuzdan itibaren F_e elektriksel kuvveti ile çekilen q_2 yükü üzerine d uzaklığına kadar yapılan iş, sisteme potansiyel enerji kazandırır ($E_{P_{son}}$). Buna göre iş-enerji teoremi'nde bu ifadeler yerine yazıldığında son durumdaki potansiyel enerji

$$W = \Delta E_p = E_{P_{son}} - E_{P_{ilk}}$$

$k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} = 0 - E_{P_{ilk}}$ ve buradan $E_{P_{ilk}} = -k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$ şeklinde elde edilir. Elde edilen bu sonuca göre aralarında d uzaklığı bulunan $+q_1$ ve $+q_2$ yüklerinin birbirine göre elektriksel potansiyel enerjisi,

$$E_p = -k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} \quad \text{olarak yazılır.}$$

Sonuç:

- Bir elektrik yükü, elektrik alanı içerisinde elektrik alana zıt yönde taşınırsa değeri gittikçe artan elektriksel kuvvete karşı iş yapılır. Bunun sonucunda yük sisteminin potansiyel enerjisi artar.
- Eğer yük elektrik alanı içerisinde alan çizgileri ile aynı yönde hareket ediyorsa dışarıdan bir kuvvet uygulanmasına gerek kalmaz. Yük elektriksel alanın etkisinde hareket ettiği için sistem potansiyel enerji kaybeder.
- Birbirini iten yüklerin potansiyel enerjisi pozitif (+), birbirini çeken yüklerin potansiyel enerjisi negatif (-) işaretlidir .
- Aynı işaretli yüklerden oluşan yük sisteminde yüksek potansiyel enerjili bölge yüklerin birbirine en yakın olduğu bölgedir. Düşük potansiyel enerjili bölge ise yüklerin birbirinden en uzak olduğu bölgedir.
- Zıt işaretli yüklerden oluşan yük sisteminde yüksek potansiyel enerjili bölge yüklerin birbirine en uzak olduğu bölgedir. Düşük potansiyel enerjili bölge ise yüklerin birbirine en yakın olduğu bölgedir.
- Yük sisteminde enerji korunumludur. Potansiyel enerjinin azaldığı bölgelerde kinetik enerjinin değeri artar. Buna göre $\Delta E_p = \Delta E_k$ 'dır.

Elektriksel potansiyel

Bir elektrik yükünün etki alanı içerisinde bulunan pozitif birim yüke (+1C) etki eden kuvveti elektrik alan şiddeti olarak ifade ettik. Benzer bir tanımlama elektrik potansiyeli için de yapılabilir. Aynı elektrik alanı içerisinde pozitif birim yük başına düşen potansiyel enerjiye ise **elektrik potansiyeli** adı verilir. Bir noktanın elektrik potansiyeli, pozitif birim yükü (+1C) sonsuzdan o noktaya farklı yollardan getirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş ya da harcanan enerji olarak tanımlanır. Elektrik potansiyeli V sembolü ile gösterilir.

Şekil 1.18'de $+q$ yükünün ve Şekil 1.19'da $-q$ yükünün B noktasında oluşturduğu elektrik potansiyeli bulalım:

Şekil 1.18.de A noktasının elektrik potansiyeli, $+q$ yükünden d kadar uzakta A noktasında bulunan pozitif birim yük (+1C) ile $+q$ yükü arasındaki potansiyel enerjiye eşittir.

Buna göre,

$$E_p = V_A = k \cdot \frac{(+q)(+1)}{d} \quad \text{ve buradan A}$$

noktasının elektrik potansiyeli

$$V_A = k \cdot \frac{(+q)}{d} \quad \text{olarak bulunur.}$$

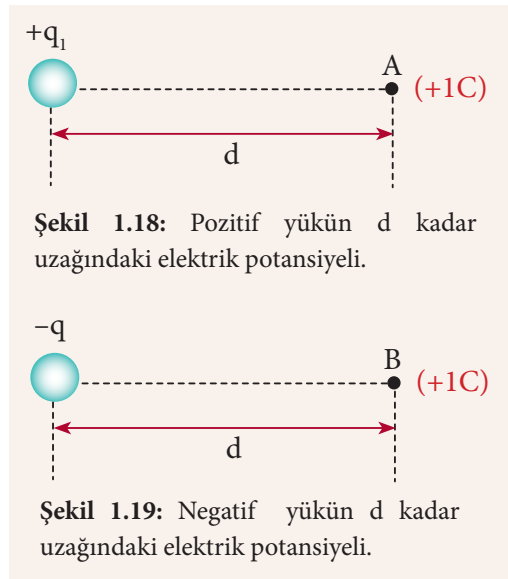
Benzer şekilde Şekil 1.19'da B noktasının elektrik potansiyeli, $-q$ yükünden d kadar uzakta B noktasındaki pozitif birim yük (+1C) ile $-q$ yükü arasındaki potansiyel enerjiye eşittir. Buna göre,

$$E_p = V_B = k \cdot \frac{(-q)(+1)}{d} \quad \text{ve buradan B noktasının elektrik potansiyeli}$$

$$V_B = k \cdot \frac{(-q)}{d} \quad \text{bulunur.}$$

Pozitif ve negatif yükler için elde edilen bu sonuçlara göre, noktasal bir yükün kendisinden d kadar uzakta bulunan bir noktada oluşturduğu elektriksel potansiyelin değeri,

$$V = k \cdot \frac{(\pm q)}{d} \quad \text{eşitliği ile bulunur.}$$



Elektrik potansiyelini oluşturan değişkenlerin sembol ve birimleri Tablo 1.4'te verilmiştir.

	Sembol	Birim
Yük	q	C
Uzaklık	d	m
Coulomb sabiti	k	N.m ² /C ²
Elektriksel potansiyel	V	J/C = Volt

Potansiyel enerji skaler bir nicelik olduğundan elektrik potansiyeli de skaler bir niceliktir. Bir elektrik alanı içerisinde birden fazla yük varsa herhangi bir noktanın elektrik potansiyeli, her bir yükün ayrı ayrı elektriksel potansiyeli toplamına eşittir. Örneğin, q₁, q₂ ve q₃ yüklerinin kendilerinden d₁, d₂ ve d₃ kadar uzaktaki bir noktada oluşturdukları toplam potansiyel

$$V = k \cdot \frac{q_1}{d_1} + k \cdot \frac{q_2}{d_2} + k \cdot \frac{q_3}{d_3} \text{ olarak yazılır.}$$

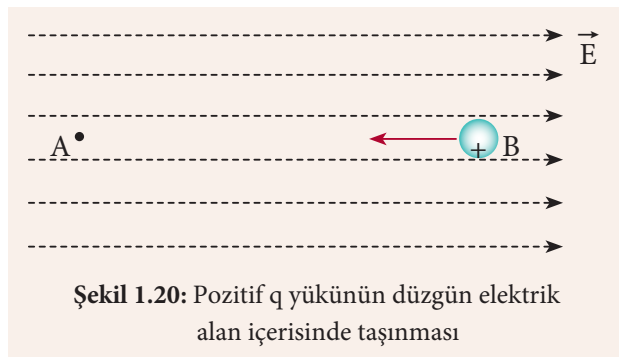
Toplam potansiyel yazılırken yük işaretleri göz önünde bulundurulur.

e

Elektriksel potansiyel farkı ve elektriksel iş

Bir elektrik alan içerisinde yükün kendisinden belirli bir uzaklıkta pozitif birim yük başına düşen enerjinin, yükün o noktadaki elektriksel potansiyelinin bir ölçüsü olduğunu öğrendik. Düzgün bir elektrik alanı içerisinde pozitif (+) yüklü bir parçacığın B noktasından A noktasına taşındığını düşünelim

(Şekil 1. 20). Pozitif yük elektriksel alan çizgilerine ters yönde taşınmak istendiği için elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılmaktadır. Daha önce ifade edildiği gibi yapılan bu iş sistemin potansiyel enerjisinde artışa neden olur. Bu durumda yük A noktasındayken potansiyel enerjisi, B noktasındaki potansiyel enerjisinden büyüktür ($E_{p_A} > E_{p_B}$).



Yapılan iş sistemin potansiyel enerjisindeki değişim olduğuna göre

$$W = \Delta E_p = E_{p_A} - E_{p_B}$$

olarak yazılabilir. Pozitif yükün elektrik alanı içerisinde iki farklı konumda bulunması, A ve B noktalarının elektrik potansiyellerinin de farklı olmasını gerektirir. Buna göre, bir q yükünü bir noktadan başka bir noktaya taşıırken elektriksel kuvvetlerce yapılan iş, elektriksel potansiyel fark olarak tanımlanır. Elektriksel potansiyel fark matematiksel olarak,

$$\text{Potansiyel fark} = \text{Son konum potansiyeli} - \text{İlkkonum potansiyeli} = \frac{\text{İş (Enerji değişimi)}}{\text{Yük}}$$

$$V_{BA} = V_A - V_B = \frac{W = (\Delta E_p)}{q} \text{ şeklinde yazılır. Bu bağıntıya göre } +1C \text{ yükün taşın-}$$

masında V_{AB} kadar iş yapılırsa $+2C$ yükün taşınmasında $2V_{AB}$, $+3C$ yükün taşınmasında $3V_{AB}$ kadar iş yapılır. Genel bir ifade ile $\pm q$ yükün taşınmasında $W = \pm q \cdot V_{AB}$ kadar iş yapılır. Buna göre, A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı,

$$V_{BA} = V_A - V_B = \frac{W}{\pm q}$$

olarak yazılır. $+q$ ve $-q$ yükünün, B noktasından A noktasına taşımakla yapılan iş

$$W = \pm q \cdot V_{BA} = \pm q \cdot (V_A - V_B)$$

eşitliğinden hesaplanır.

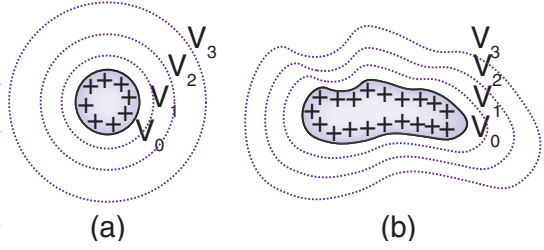
Bilgi Kutusu

$W = \pm q \cdot V_{BA} = \pm q \cdot (V_A - V_B)$ eşitliğinde,

- W işleminin sonucu pozitif ise elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılmıştır. Bu nedenle sistemin potansiyel enerjisi artmıştır.
- W işleminin sonucu negatif ise elektriksel kuvvetlerin kendisi iş yapmıştır. Bu nedenle sistemin potansiyel enerjisi azalmıştır.
- Elektrik alan içerisinde yükün taşınması sırasında yapılan iş, izlenen yoldan bağımsızdır.

Eş potansiyel yüzeyler

Bir elektrik yükünün çevresinde oluşturduğu elektriksel alanda yükten eşit uzaklıkta her bir noktanın elektrik potansiyeli eşittir. Bu durum o elektrik alanı içerisindeki eş potansiyel yüzeyleri ifade eder. Şekil 1.21. de görüldüğü gibi pozitif yüklü bir parçacığın çevresinde meydana getirdiği eş potansiyel yüzeylerinin değeri azalan ancak genişleyen halkalar şeklindedir.



Şekil 1.21: Eş potansiyel yüzeyler.

1.2.2. Elektriksel Potansiyel Enerji, Elektriksel Potansiyel, Elektriksel Potansiyel Farkı ve Elektriksel İş Kavramlarıyla İlgili Problemler

1. Yandaki şekilde eşkenar üçgenin köşelerine yerleştirilmiş olan q_1 , q_2 ve q_3 yüklerinin meydana getirdiği sistemin elektrik potansiyel enerjisi kaç $k \cdot q^2 / d$ dir?

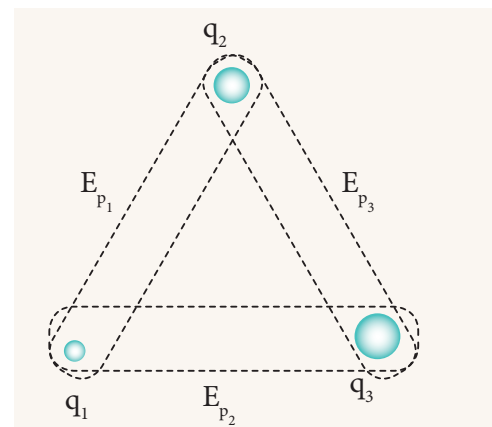
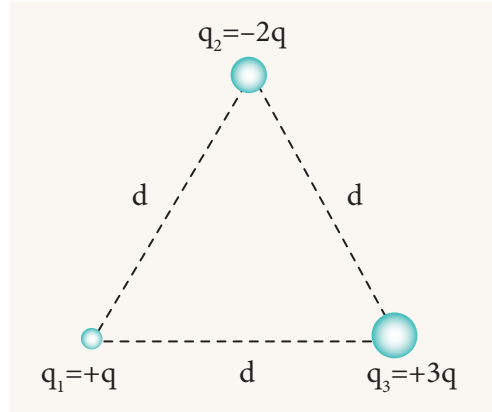
Çözüm

Elektrik yüklerini eşkenar üçgenin köşelerinde tutmakla elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır ve sistemin potansiyel enerjisi artar. Bu enerji, yüklerin ikişerli etkileşimlerinden kaynaklanan potansiyel enerjileri toplamına eşittir. Yandaki şekilde yüklerin ikişerli etkileşimleri gösterilmiştir.

$$E_{p_1} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d} = k \cdot q \cdot (-2q) / d = -k \cdot 2q^2 / d$$

$$E_{p_2} = k \cdot q_1 \cdot q_3 / d = k \cdot q \cdot 3q / d = k \cdot 3q^2 / d$$

$$E_{p_3} = k \cdot q_2 \cdot q_3 / d = k \cdot (-2q) \cdot 3q / d = -k \cdot 6q^2 / d$$



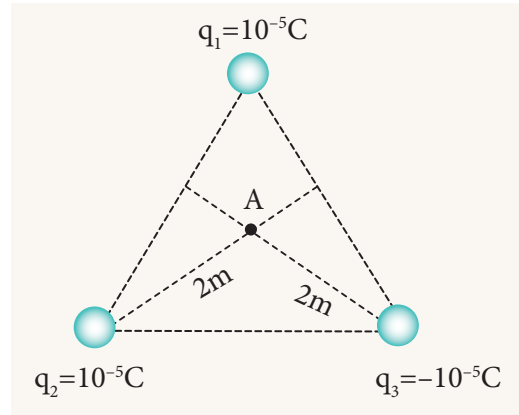
Sistemin toplam potansiyel enerjisi $E_{p_{\text{sistem}}}$;

$$\begin{aligned} E_{p_{\text{sistem}}} &= E_{p_1} + E_{p_2} + E_{p_3} \\ &= -k \cdot 2q^2 / d + k \cdot 3q^2 / d - k \cdot 6q^2 / d \\ &= -k \cdot 5q^2 / d \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

2. Şekildeki gibi eşkenar üçgenin köşelerine q_1 , q_2 ve q_3 yükleri yerleştirilmiştir.

Eşkenar üçgenin kenar ortaylarının kesişim noktası olan A noktasında toplam elektrik potansiyeli kaç volttur?

$$(k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)$$



Çözüm

Eşkenar üçgenin köşelerine yerleştirilen tüm yüklerin A noktasında var olduğu kabul edilen pozitif birim yüke (+1) olan uzaklığı eşittir. A noktasının elektrik potansiyeli her bir yükün o noktadaki oluşturduğu elektrik potansiyeli toplamına eşittir. Buna göre;

$$V_A = V_1 + V_2 + V_3$$

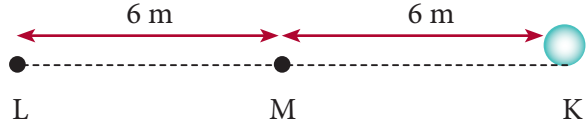
$$V_A = k \cdot \frac{q_1}{d_1} + k \cdot \frac{q_2}{d_2} + k \cdot \frac{q_3}{d_3}$$

$$V_A = \frac{k}{d} (q_1 + q_2 - q_3)$$

$$V_A = \frac{9 \cdot 10^9}{2} \cdot (10^{-5} + 10^{-5} - 10^{-5})$$

$$V_A = 4,5 \cdot 10^4 \text{ volt ya da } V_A = 45000 \text{ volt olarak bulunur.}$$

3. Yandaki şekilde yalıtkan bir düzlem üzerindeki K noktasında $6\mu\text{C}$ luk yük bulunmaktadır.



Buna göre;

a) M noktasındaki elektrik potansiyeli kaç voltur?

b) L noktasındaki elektrik potansiyeli kaç voltur?

c) M noktasına $4\mu\text{C}$ luk bir yük konulursa L noktasında oluşan elektrik potansiyeli kaç volt olur? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)

Çözüm

$$a) V_M = k \cdot \frac{q}{d} = k \cdot \frac{q}{|KM|}$$

$$V_M = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-6}}{6} = 9 \cdot 10^3 \text{ volt}$$

$$b) V_L = k \cdot \frac{q}{d} = k \cdot \frac{q}{|KL|}$$

$$V_L = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-6}}{12} = 4,5 \cdot 10^3 \text{ volt}$$

c) K ve M noktalarına konulan yüklerin L noktasında oluşturduğu toplam elektrik potansiyeli,

$$V_{KM} = k \cdot \frac{q_K}{|KL|} + k \cdot \frac{q_M}{|KM|}$$

$$V_{KM} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-6}}{12} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{6}$$

(2)

$$V_{KM} = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{6 \cdot 10^{-6}}{12} + \frac{8 \cdot 10^{-6}}{12} \right)$$

$$V_{KM} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{14 \cdot 10^{-6}}{12}$$

$$V_{KM} = \frac{42 \cdot 10^{-3}}{4} = 10,5 \cdot 10^3 = 10500 \text{ volt olarak hesaplanır}$$

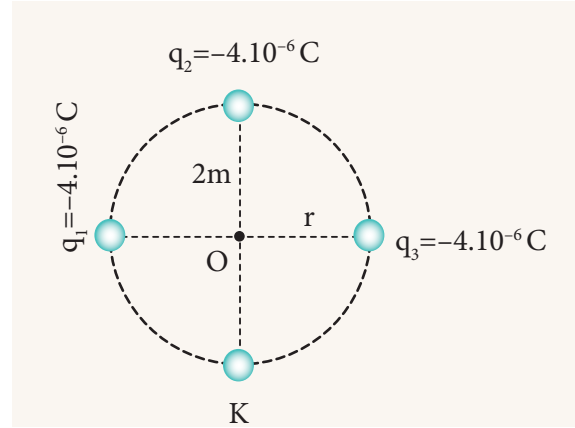
4. Yarıçapı 2m olan çember üzerine q_1 , q_2 ve q_3 noktasal yükleri yerleştirilmiştir.

Buna göre,

a) $2 \cdot 10^{-6}$ C'luk yük K noktasından O noktasına götürülürse kaç J'lük iş yapılmış olur?

b) $-4 \cdot 10^{-6}$ C'luk yükü K noktasına götürmekle yapılan iş kaç J olur?

$$(k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)$$



Çözüm

a) Yüklerin K noktasına uzaklıkları şekildeki gibidir. K noktasındaki toplam potansiyel

$$V_K = k \cdot \frac{q_1}{2\sqrt{2}} + k \cdot \frac{q_2}{4} - k \cdot \frac{q_3}{2\sqrt{2}}$$

şeklinde yazılır. Buradan,

$$V_K = k \cdot \left(\frac{q_1}{2\sqrt{2}} + \frac{q_2}{4} - \frac{q_3}{2\sqrt{2}} \right)$$

$$V_K = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{4 \cdot 10^{-6}}{2\sqrt{2}} + \frac{4 \cdot 10^{-6}}{4} - \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2\sqrt{2}} \right)$$

$$V_K = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} = 9 \cdot 10^3 \text{ volt olarak bulunur.}$$

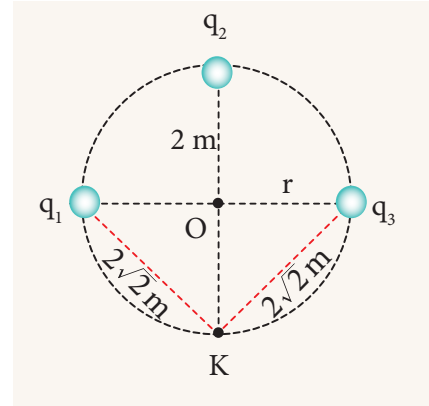
O noktasındaki toplam potansiyel,

$$V_O = k \cdot \frac{q_1}{d_1} + k \cdot \frac{q_2}{d_2} - k \cdot \frac{q_3}{d_3}$$

$$V_O = k \cdot \left(\frac{q_1}{d_1} + \frac{q_2}{d_2} - \frac{q_3}{d_3} \right)$$

$$V_O = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{4 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2} - \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2} \right)$$

$$V_O = 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 18 \cdot 10^3 \text{ volt olarak bulunur.}$$



2. 10^{-3} C'luk yükü K noktasından O noktasına getirmekle yapılan iş,

$W_{KO} = q \cdot (V_O - V_K)$ olur. Taşınan yük miktarı ve yüklerin K ve O noktasında oluşturduğu elektrik potansiyelleri yerine yazıldığında yapılan iş,

$$\begin{aligned} W_{OK} &= 2 \cdot 10^{-6} \cdot (18 \cdot 10^3 - 9 \cdot 10^3) \\ &= 18 \cdot 10^{-3} \text{ J olarak bulunur.} \end{aligned}$$

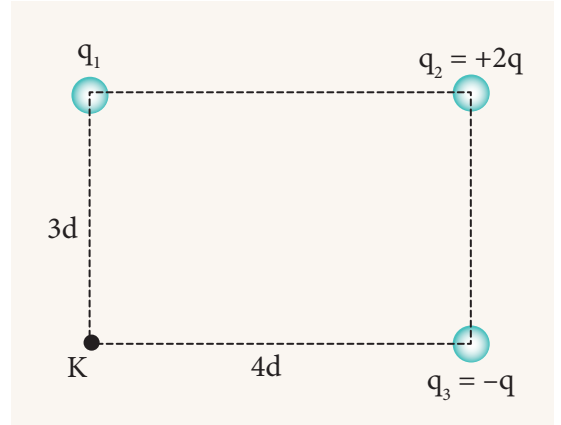
b) $-4 \cdot 10^{-6}$ C'luk yükü O noktasından K noktasına getirmekle yapılan iş,

$$\begin{aligned} W_{OK} &= q \cdot (V_K - V_O) \\ &= -4 \cdot 10^{-6} \cdot (9 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3) \\ &= -4 \cdot 10^{-6} \cdot (-9 \cdot 10^3) \\ &= 36 \cdot 10^{-3} \text{ J olarak bulunur.} \end{aligned}$$

2.Uygulama

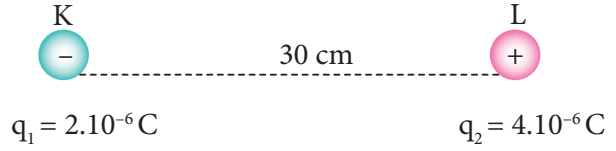
1. Elektrik yük miktarları q_1 , $q_2 = +2q$ ve $q_3 = -q$ olan noktasal üç cisim bir dikdörtgenin köşelerine şekildeki gibi yerleştirilmiştir.

q_1 , q_2 ve q_3 yüklerinin K noktasında oluşturduğu **toplam elektriksel potansiyel sıfır olduğuna göre q_1 yükü kaç q 'dur?**



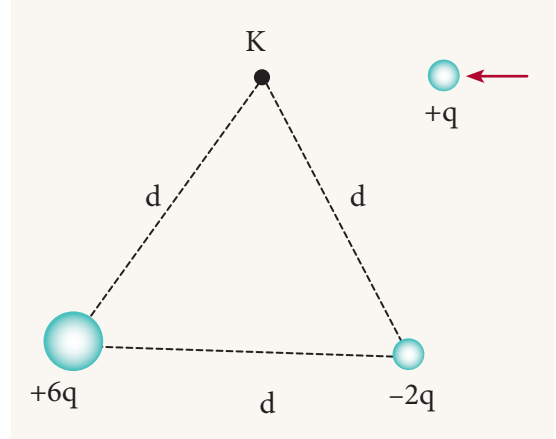
Çözüm

2. q_1 ve q_2 yükleri şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Elektrik alanının sıfır olduğu noktada elektriksel potansiyel kaç **volt**tür? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)



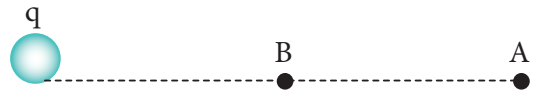
Çözüm

3. Şekildeki gibi eşkenar bir üçgenin köşelerine yerleştirilmiş yüklerin oluşturduğu elektriksel alan içinde $+q$ yükünü sonsuzdan K noktasına getirmekle yapılan iş kaç $k \cdot \frac{q^2}{d}$ dir?



Çözüm

4. Şekildeki q yükünün a noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel $V_A = 5$ volt, B noktasında oluşturduğu potansiyel 20 voltur.



Buna göre -2 C 'luk bir yükün,

- A noktasından B noktasına taşınması sırasında yapılan elektriksel iş kaç J'dür?
- B noktasından A noktasına taşınması sırasında yapılan elektriksel iş kaç J'dür?

Çözüm

3. BÖLÜM DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SİĞA



ANAHTAR KELİMELER

- Sığa (kapasite)
- Sığaç (kondansatör)
- Elektriksel potansiyel farkı
- Elektrik alan

Bu bölümü tamamladığımızda,

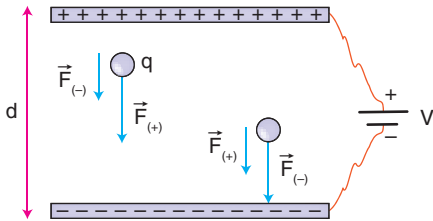
1. Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında oluşan elektrik alanı ve alan çizgilerini,
2. Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında oluşan elektrik alanının bağlı olduğu değişkenleri,
3. Yüklü parçacıkların düzgün elektrik alandaki davranışını,
4. Sığa (kapasite) kavramını,
5. Sığanın bağlı olduğu değişkenleri,
6. Yüklü levhaların özelliklerini ve sığacın (kondansatör) işlevini öğrenmiş olacağız.
4. Sığa (kapasite) kavramını,
5. Sığanın bağlı olduğu değişkenleri,
6. Yüklü levhaların özelliklerini ve sığacın (kondansatör) işlevini öğrenmiş olacağız.

1.3.1. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanı ve Alan Çizgileri

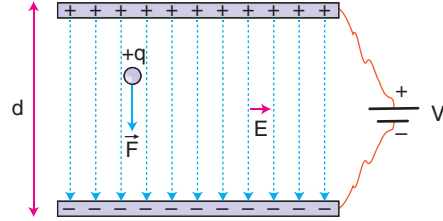
Düzgün elektriksel alan nedir ve nasıl oluşur?

Yönü ve şiddeti her yerde aynı olan elektriksel alana düzgün elektriksel alan denir. Böyle bir elektriksel alan, eşit ve zıt yüklü paralel iletken levhalar arasında oluşur.

Şekil 1.22’te düzgün bir elektriksel alan modellemesi görülmektedir. İki paralel iletken düz levha elektrik potansiyeli V kadar olan üreticinin uçlarına bağlanırsa eşit ve zıt yük ile yüklenirler. Levhalar arasına herhangi bir noktaya pozitif birim yük ($+1C$) konularak elektrik alan çizgileri çizilebilir. Pozitif birim yük ($+1C$), iletken paralel levhalardan pozitif yüklü olanı tarafından itilirken, negatif yüklü olanı tarafından çekilir. Pozitif birim yüke ($+1C$) etki eden bileşke elektriksel kuvvetin değeri alan içerisinde her yerde aynıdır çünkü levhalara olan uzaklık değiştiğinde, itme ve çekme kuvvetlerinden birinin değeri artarken diğerinin değeri aynı miktarda azalır. Levhalar arası bölgede her bir noktada bulunan pozitif birim yüke ($+1C$) bu kural uygulanırsa paralel bileşke elektriksel kuvvet çizgileri dolayısıyla elektrik alan çizgileri Şekil 1.23’teki gibi çizilmiş olur



Şekil 1.22: Elektrik yüklü paralel iletken levha arasındaki elektrik alan çizgilerinin oluşumu



Şekil 1.23: Elektrik yüklü paralel iletken levhalar arasındaki düzgün elektrik alanı

Yapılan deneylerde paralel iletken levhaların yüzeyinin çok büyük, aralarındaki uzaklığın küçük olduğunda levhalar arasında elektrik alan çizgilerinin birbirine paralel olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bu sonuç, paralel levhalar arasında düzgün bir elektriksel alan \vec{E} oluştuğunu gösterir. Levhaların uç kısımlarında alan çizgilerinin paralellliği bozulur. Paralel levhalar arasında elektrik alan çizgileri pozitif yüklü levhadan başlar, negatif yüklü levhada sonlanır.

1.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Olduğu Değişkenler

Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında düzgün bir elektrik alanı oluştuğunu ifade ettik. Şekil 1.24'teki gibi bir üretece bağlanmış iki paralel levha arasında \vec{E} elektrik alanı oluşur. Elektrik alanının şiddeti; üretcin levhalar arasında oluşturduğu gerilimin (potansiyel farkın) büyüklüğü V , levhalar arasındaki uzaklık d kadar olduğunda,

$$E = \frac{V}{d} \text{ eşitliği ile bulunur.}$$

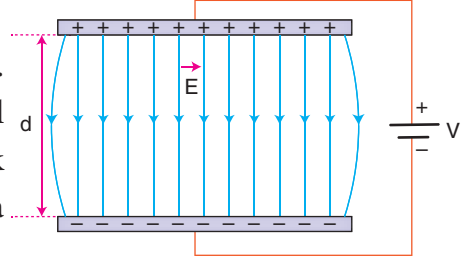
Yukarıda yazılan eşitlik levhalar arasındaki elektrikselsel alanın şiddetini, her bir noktadaki $+1C$ 'luk yüke Coulomb Yasası'nı uygulayıp vektörel işlem yapmadan bulmamızı sağlar.

Paralel levhalar arasındaki elektrik alan şiddeti ile potansiyel fark arasındaki ilişki nasıldır?

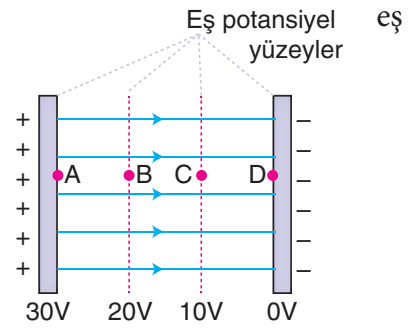
Şekil 1.25'te zıt yüklü paralel levhalar arasındaki potansiyel yüzeyler gösterilmiştir. Kesikli çizgilerle gösterilen eş potansiyel yüzeyler elektrik alan çizgilerine diktir. Eşit aralıklarla belirlenmiş A, B, C ve D noktalarının elektrik potansiyeli, negatif levhanın potansiyeli sıfır kabul edilirse 30 V, 20 V, 10 V ve 0 V olarak sıralanır. Bu sıralamaya göre elektrik alan çizgilerinin elektrik potansiyelin azalan değerlerine doğru yönelmiş olduğu görülmektedir

Şimdi A ve D noktaları arasındaki elektrikselsel potansiyeli yazalım: A ve D noktaları arasındaki potansiyel farkının büyüklüğü aynı zamanda üretcin levhalar arasına sağladığı gerilime eşittir ($V = 30 \text{ V}$). Buna göre A ve D noktaları arasındaki potansiyel fark olduğuna göre $V_{AD} = E \cdot d = 30 \text{ V}$ yazılabilir. Bu bağıntıya göre üreteç sürekli aynı gerilimi sağlayacağından levhalar arası uzaklık azaldıkça elektrik alan şiddeti artar.

Şekil 1.26'da elektrik alan şiddeti sabit büyüklükte ise eş potansiyel yüzeyleri üzerindeki A, B, C ve D noktaları arasındaki potansiyel farkı, $V_{AB} = V_{BC} = V_{CD} = 10 \text{ V}$ ve benzer şekilde $V_{AC} = V_{BD} = 20 \text{ V}$ olacaktır.



Şekil 1.24: Paralel iletken levhalar arasında düzgün elektrikselsel alan oluşur. levhalar arasındaki düzgün elektrik alanı



Şekil 1.25: Paralel yüklü levhalarda eş potansiyel yüzeyler.

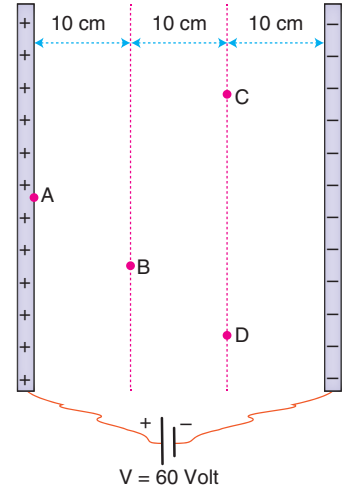
Örnek

Yandaki şekilde verilen yüklü iletken ve paralel levhalar 60 voltluk bir üretece bağlanmıştır.

Buna göre,

a) A, B, C ve D noktalarındaki elektrik alan şiddeti kaç N/C'dur?

b) V_{CD} , V_{CA} ve V_{DB} potansiyel farklarını bulunuz?



Çözüm

a) Yüklü paralel levhalar arasında her noktada elektriksel alan şiddetinin değeri eşittir. Buna göre, elektrik alan şiddeti $V = 60$ volt ve $d = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ değerleri $E = V/d$ eşitliğinde yerine yazılırsa

$$E = \frac{V}{d} = \frac{60}{0,3} = 200 \text{ V/m ya da } 200 \text{ N/C olarak bulunur.}$$

b) Düzgün bir elektriksel alan içinde levhalara paralel herhangi bir doğru üzerinde bütün noktaların elektrik potansiyeli eşittir. Bu noktaların oluşturduğu yüzeyler eş potansiyel yüzeylerdir. Eş potansiyel yüzeyler elektriksel alan çizgilerine diktir. Buna göre;

$$V_C = V_D \text{ olduğundan } V_{CD} = V_D - V_C = 0 \text{ olur.}$$

$$V_{CA} = E \cdot d = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ volt}$$

$$V_{DB} = E \cdot d = 200 \cdot 0,1 = 20 \text{ volt olarak bulunur.}$$

Verilen noktalar arasındaki potansiyel farkını, eş potansiyel yüzeylere ayırarak da bulabiliriz:

Üretecin levhalara verdiği potansiyel farkı 60 volt olduğundan her 10 cm aralıkta 20 voltluk potansiyel fark oluşur. Buna göre A ve C noktaları arasında 20 cm uzaklık olduğundan

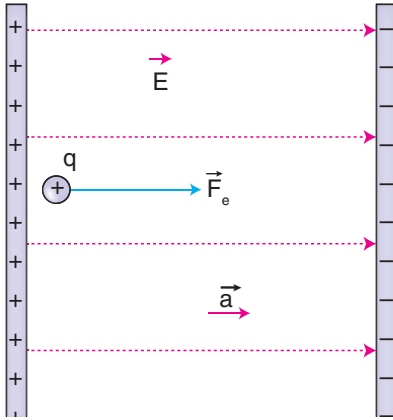
$$V_{CA} = 20 \text{ volt} + 20 \text{ volt} = 40 \text{ volt}$$

B ve D noktaları arasındaki uzaklık 10 cm olduğundan

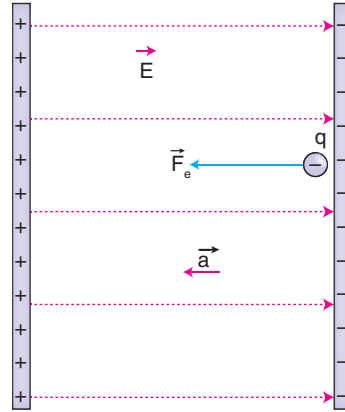
$$V_{BD} = 20 \text{ volt olarak bulunur.}$$

1.3.3. Yüklü Parçacıkların Elektrik Alandaki Davranışı

Zıt elektrik yükü ile yüklenmiş paralel iletken levhalar arasında oluşan düzgün elektriksel alan içerisinde yüklü bir parçacık bırakıldığında sabit net bir elektriksel kuvvetin etkisinde kalır. Yüklü parçacık bu kuvvetin etkisiyle sabit ivmeli hareket yapar. Düzgün elektriksel alan içine yerleştirilen parçacığın yük işareti pozitif (+) ise elektriksel alanla aynı yönlü (Şekil 1.26), negatif (-) yüklü ise elektriksel alanla zıt yönde sabit ivmeli hareket yapar



Şekil 1.26: Düzgün elektrik alan içinde pozitif (+) yüklü parçacığa alanla aynı yönde kuvvet etkir.



Şekil 1.27: Düzgün elektrik alan içinde negatif (-) yüklü parçacığa alanla zıt yönde kuvvet etkir.

Yüklü, paralel iletken levhalar arasına konulan parçacığa etki eden elektriksel kuvvetin değeri, elektriksel alana bağlı olarak;

$$F_e = q \cdot E$$

$$F_e = q \cdot \frac{V}{d}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Yüke etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü, yükün levhadan uzaklığına ya da yakınlığına göre değişmez. Düzgün elektrik alanı içerisinde her noktada yüke etki eden kuvvetin büyüklüğü sabittir.

Şekil 1.28'de yüklü, paralel ve iletken levhaların elektriksel alanı içinde ağırlığı elektriksel kuvvetlerin yanında önemsenmeyen pozitif yüklü (+q) parçacığın hareketini inceleyelim:

Pozitif levha üzerinde tutulan +q yüklü parçacık serbest bırakıldığında sabit değerdeki elektriksel kuvvetin etkisiyle alan yönünde (+x yönünde) hızlanır. Yüklü parçacık pozitif yüklü levha üzerindeyken sahip olduğu potansiyel enerji değeri, serbest bırakıldığı andan itibaren azalmaya başlar. Levhalar arası bölge sürtünmesiz kabul edilirse +q yüklü parçacık negatif yüklü levhaya çarptığında potansiyel enerji tamamen kinetik enerjiye dönüşür. Bütün bu anlatılanları matematiksel olarak yazarak +q yüklü parçacığın negatif levhaya çarpma hızını veren bağıntıyı bulabiliriz.

+q yüklü parçacığı pozitif levhadan negatif levhaya götürmekle elektrik kuvvetlerinin yaptığı iş, levhalar arasındaki potansiyel farka eşittir.

$$\frac{W}{q} = V \quad \text{ve} \quad W = q \cdot V \text{ dir.}$$

m kütleli parçacığın ağırlığı önemsenmediğinden, yüklü parçacık pozitif levhadan serbest bırakıldığında doğrusal d yolu boyunca ivmelenerek negatif levhaya çarpar. İş- Enerji Teoremi'nden

$$W = -\Delta E_p = \Delta E_k \text{ yazılabilir.}$$

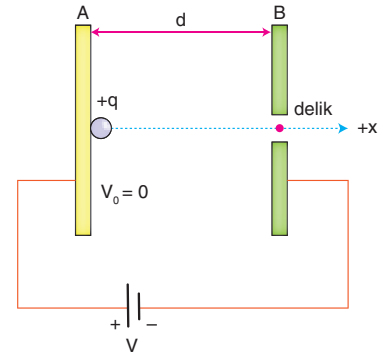
Parçacık negatif yüklü levhaya çarptığında sadece kinetik enerjiye sahip olacağından,

$$W = \Delta E_{k_{\text{son}}} = q \cdot V \text{ ve buradan}$$

$$W = E_{k_{\text{son}}} - E_{k_{\text{ilk}}} = q \cdot V \text{ yazılabilir.}$$

+q yüklü parçacık levhalar arasındaki düzgün elektrik alanı içinde ilk hızı sıfır olan düzgün hızlanan doğrusal hareket yapmaktadır. Bu nedenle parçacığın ilk kinetik enerjisi ($E \cdot K$)_{ilk} sıfır olur. Negatif yüklü levhaya çarptığında ise son kinetik enerjisi,

$$E_{k_{\text{son}}} = \frac{1}{2} m E \cdot V_{\text{son}}^2 \text{ dir.}$$



Şekil 1.28: Düzgün elektrik alanı içerisinde +q yüklü parçacığın hareketi.

Kinetik enerji değişim denkleminde ilk ve son kinetik enerji yerine yazıldığında parçacık levhaya çarptığı andaki hızını veren bağıntı

$$\frac{1}{2}m \cdot (v_{\text{son}})^2 - 0 = q \cdot V$$

$$\frac{1}{2}m \cdot (v_{\text{son}})^2 = q \cdot V$$

$$(v_{\text{son}})^2 = \frac{2qV}{m} \quad \text{ve} \quad v_{\text{son}} = \sqrt{\frac{2qV}{m}} \quad \text{olarak elde edilir.}$$

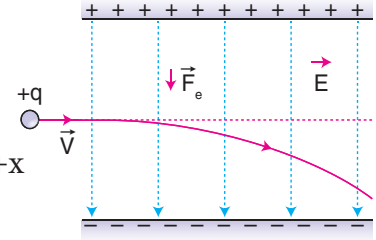
Elde edilen bu bağıntıya göre düzgün elektriksel alan içinde yüklü bir parçacığın hızı parçacığın yük miktarına, iki nokta arasındaki potansiyel farka ve parçacığın kütlesine bağlıdır. Parçacığın hareket ettiği iki nokta arasındaki potansiyel farkının değeri artarsa hızın büyüklüğü de artar.

Hareket ettiği iki nokta arasındaki potansiyel farkının değeri artarsa hızın büyüklüğü de artar.

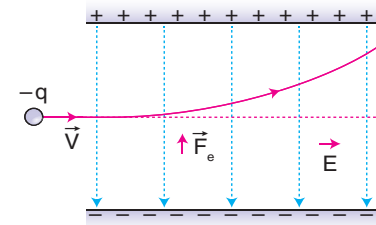
Düzgün elektriksel alana dik giren yüklü parçacıkların alan içerisindeki davranışı nasıldır?

Yüklü, paralel ve iletken levhalar arasındaki elektriksel alana dik olarak giren yüklü parçacık doğrultusundan sapar. Şekil 1.29'daki gibi yatay yerleştirilmiş yüklü, paralel iletken levhalar arasındaki elektriksel alana $+x$ doğrultusunda v hızı ile giren $+q$ yüklü parçacık elektriksel alan çizgileriyle aynı yönlü elektriksel kuvvetin (F_e) etkisinde kalır. $+q$ yüklü parçacığın sadece elektriksel kuvvetlerin etkisinde olduğu kabul edilirse parçacık F_e kuvvetinin etkisiyle doğrultusundan sapar. $+q$ yüklü parçacık aşağıya doğru parabolik bir yörünge çizerek negatif yüklü levhaya doğru hareket eder.

Şekil 1.30'deki gibi yatay yerleştirilmiş yüklü, paralel iletken levhalar arasındaki elektriksel alana $+x$ doğrultusunda v hızı ile giren $-q$ yüklü parçacık elektriksel alan çizgileriyle zıt yönlü elektriksel kuvvetin (F_e) etkisinde kalır. Yine $-q$ yüklü parçacığın sadece elektriksel kuvvetlerin etkisinde olduğu kabul edilirse parçacık F_e kuvvetinin etkisiyle doğrultusundan sapar. $-q$ yüklü parçacık yukarıya doğru parabolik bir yörünge çizerek pozitif yüklü levhaya doğru hareket eder.



Şekil 1.29: Düzgün elektriksel alana dik giren $+q$ yüklü parçacığın parabolik yörünge çizmesi.



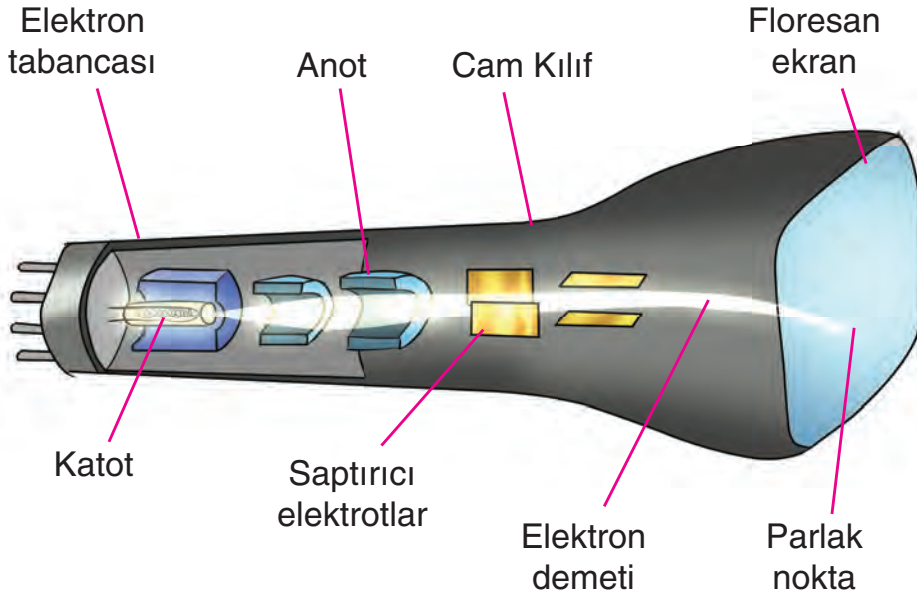
Şekil 1.30: Düzgün elektriksel alana dik giren $-q$ yüklü parçacığın parabolik yörünge çizmesi.

Yükli parçacıkların elektrik alandaki davranışının teknolojiadaki kullanım yerleri

Düzgün elektriksel alan içerisinde yüklü parçacığın hareketi teknolojide birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, günlük yaşamdaki iletişim araçlarından olan televizyonların eski modellerinde görüntü oluşumu yüklerin düzgün elektriksel alandaki hareketi sonucunda oluşur. Eski bilgisayar ve televizyonlarda kullanılan bu sistemlerin yerine bugün sıvı kristalli (LCD) ve başka tür ekranlar almıştır. Sağlık alanındaki kalp elektrografisi de yüklü parçacıkların düzgün elektrik alandaki davranışı sonucunda elde edilir. Resim 1.5'teki elektrografi cihazında bulunan ve Şekil 1.31'de katot ışınları tüpü adı verilen düzgün elektriksel alanı oluşturan levhaların bulunduğu düzenekte, yüklü parçacıklar hareketleri sonucunda ekranda iz bırakarak bir grafik oluşturur.



Resim 1.5: Elektrografi cihazı.



Şekil 1.31: Katot ışınları tüpü

Yükli, paralel iletken levhalar en basit hâliyle parçacık hızlandırıcısının temelini oluşturur. Daha önce ifade edildiği gibi düzgün elektrik alan içerisine bırakılan yüklü bir parçacık sabit değerinde bir ivme kazanarak hızlanır. İsviçre'de bulunan ve yüksek enerji fiziği çalışmalarının yapıldığı CERN Bilim Araştırma Merkezi'ndeki büyük hadron hızlandırıcısı parçacıklar hızlandırarak çarpıştırmaktadır (Resim 1.4). Yapılan deneylerden elde edilen verilerle bilim insanları evreni ve evrenin oluşumu açıklamaya çalışmaktadırlar.

1.3.4. Sığa (Kapasite)

Hacmini bildiğimiz boş bir kap alalım ve içine bir miktar su koyalım. Suyu kaba koyarken taşmaması için koyduğumuz su hacminin kabın kapasitesini aşmamasına dikkat etmeliyiz. Aksi takdirde su, kabın kenarlarından taşar. Bir iletkenin alabileceği yük miktarını kaba konulan su örneğine benzetebiliriz. Kap hacmi ile konulan su miktarını karşılaştırabiliriz. Benzer şekilde iletkenin büyüklüğü ile alabileceği yük miktarı karşılaştırılabilir mi?

Bir iletken, yük kazandığında kendi çevresinde bir elektriksel alan ve elektriksel potansiyel oluşturur. Elektriksel alanın ve potansiyelin büyüklüğünü iletkenin yüzeyinin büyüklüğüne bağlı olarak kazanacağı yük miktarı belirler. Bir iletkenin alabileceği yük miktarına o iletkenin yük alma kapasitesi ya da sığası denir

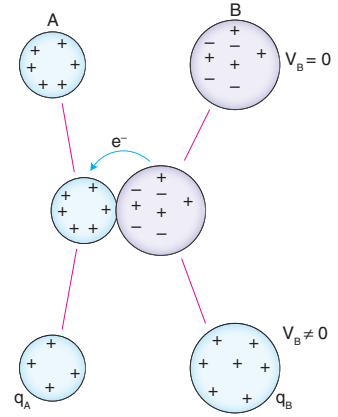
Şekil 1.32'deki gibi yüklü ve iletken A küresi nötr B küresine dokundurulup ayrıldığında toplam yük, kürelerin büyüklükleri ile doğru orantılı olarak paylaşılır. Bu şekilde B küresi yüklenmeye devam ettirilirse kazandığı yük miktarı ile kendisinden d kadar uzakta bir noktadaki elektrik potansiyelinin değeri $V = k \cdot \frac{q}{d}$ bağıntısına göre artar. Bu durumda iletken kürenin sahip olduğu yük miktarı ile elektrik potansiyeli arasında sabit bir oran vardır. Bu sabit oran iletkenin sığasına eşittir. Sığa C sembolü ile gösterilirse yük miktarı ve elektrik potansiyeli arasındaki sabit oranın matematiksel ifadesi

$$\frac{q}{V} = \text{sabit} = C$$

olarak yazılır. Sığayı oluşturan değişkenlerin birim ve sembolleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

	Sembol	Birimi
Yük	q	coulomb (C)
Elektriksel potansiyel	V	Volt (V)
Sığa	C	Coulomb (C)/volt(V) = Farad (F)

Sığa birimi farad (F) büyük bir birim ölçüsüdür. İletkenin yükü 1C arttığında elektrik potansiyeli de 1 volt artar. Buradan iletkenin çok büyük bir kapasiteye sahip olduğu görülür. Böyle bir kapasiteye sahip iletken küre $9 \cdot 10^6$ km yarıçaplıdır. Bu yarıçap



Şekil 1.32: İletken küreler arasındaki yük paylaşımı

Güneş'in yarıçapının 13 katıdır. Dünya'nın yarıçapı 6371 km olmasına rağmen kapasitesi sadece yaklaşık olarak 0,7 mili farad (mF) hesaplanmıştır. Bu nedenle elektronikte kapasite kavramı mikro farad (μF), nano farad (nF) ya da piko farad (pF) gibi daha küçük bir birimle ifade edilir. Bu birimlerin farad birimine dönüşümü aşağıdaki gibidir:

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}, \quad 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}, \quad 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

İletken bir cisim yük kazanmaya devam ettiği sürece çevresinde meydana getirdiği elektriksel alanın değeri artar. İletkende biriken yük miktarı arttıkça, elektrik potansiyelinin de arttığını ifade etmiştik. Elektrik potansiyeli, yük başına düşen potansiyel enerji miktarı olduğuna göre, iletkenin elektrik potansiyel enerjisi de artmaktadır. O hâlde sığa için yeni bir tanımlama yapılabilir:

Sığa, bir iletkenin sahip olduğu yük miktarına bağlı olarak depo ettiği elektriksel potansiyel enerjinin bir ölçüsüdür.

1.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler

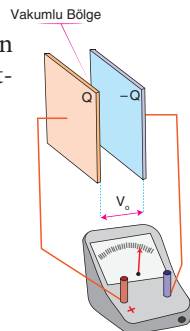
Günümüzde teknoloji hızla gelişmekte ve bu gelişmeye bağlı olarak üretilen teknolojik araçların çalışabilmesi için hızla biriken elektrik yüklerine ihtiyaç vardır. Bir elektronik devrede bu işlevi Resim 1.6'te görülen sığaçlar (kondansatör) yerine getirir. Sığaçlar çok çeşitli boyutlarda ve şekillerde bulunabilirler. Basit bir sığaç, birbirine değmeden çok yakın yerleştirilmiş ve bu nedenle yüzeylerinde zıt işaretli yük depolayabilen iletken iki levhadan oluşur. Levhalar arasında ise hava, cam, su, kâğıt gibi yalıtkan bir madde bulunur.



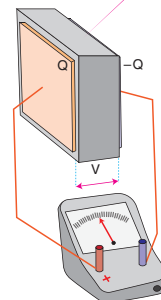
Resim 1.6: Çeşitli şekillerde sığaçlar.

Şekil 1.33'de levhalar arasında yalıtkan madde yokken ve Şekil 1.34'te levhalar arasında yalıtkan bir madde varken voltmetrede okunan değerler gösterilmiştir.

Şekil 1.34: Sığacın levhaları arasında yalıtkan madde yokken



Dielektrik madde



Şekil 1.34: Sığacın levhaları arasında yalıtkan madde varken

Bir sığacın sığasını iletken levhaların büyüklüğü, levhalar arasına konulan yalıtkan maddenin cinsi ve levhalar arası uzaklık etkiler. Şimdi sırasıyla bu değişkenleri inceleyelim:

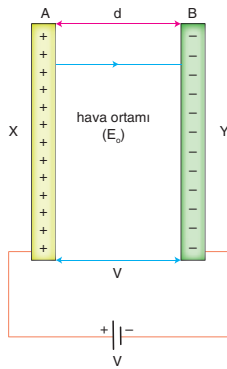
1. İletken levhaların büyüklüğü

Sığacın yüklenmesinde iletkenin geometrisinin büyük önemi vardır. Sığacın levhaları bir üretece bağlandığında, elektronlar üretecin negatif ucundan çıkıp sığacın levhasına doğru hareketlenir ve levhalar üzerine dağılır. Levhanın yüzey alanı artınca, üretecin aynı potansiyel farkı altında levha yüzeyindeki yük miktarı da artar. Bu durum sığacın her iki levhasının da yüzey alanının aynı olduğu durumlar için geçerlidir ve sığaçta toplam yük sıfırdır. Eğer sığaç levhalarının yüzey alanı farklı büyüklükte ise yine kendilerini üretece bağlayan tel boyunca elektronların hareketlenmesi ile yüklenirler. Levhalar arası potansiyel fark, üretecin potansiyel farkına eşit olduğu anda yük akışı durur. Bu durumda da sığaçtaki toplam yük sıfırdır.

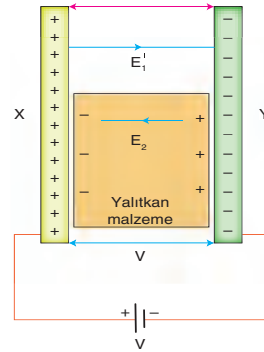
Yukarıda yapılan açıklamalara göre bir sığacın sığasının büyüklüğü levhaların yüzey alanına bağlıdır. Levhaların yüzey alanı farklı olduğunda sığacın sığasının büyüklüğünü yüzey alanı küçük olan levha belirler.

2. Levhalar arasına konulan yalıtkan

Şekil 1.35'deki gibi yüklü sığacın paralel ve iletken levhaları arasında dielektrik sabiti $\epsilon = 1$ olan hava varken oluşan durumu inceleyelim. Levhalar dışında herhangi bir noktada, zıt yüklere sahip levhaların meydana getirdiği elektrik alanının büyüklüğü sıfırdır. Levhalar arasında ise her iki levha aynı yön, doğrultu ve şiddette elektrik alanı meydana getirdiği için her noktadaki alan şiddeti sabittir (Şekil 1.36).



Şekil 1.35: Sığacın levhaları arasında hava varken oluşan elektrik alan



Şekil 1.36: Dielektrik sabiti havadan büyük olan malzeme levhalar arasındaki elektrik alan şiddetini azaltır.

Eğer levhalar arasına havadan daha büyük dielektrik sabitine sahip cam, su, mika gibi madde konursa maddenin yüklerinin levhaların alan çizgilerine ters yönde ayrışması sonucu bir elektriksel alan oluşur. Bu nedenle sığacın levhaları arasında elektriksel alan şiddeti azalır. $E = \frac{V}{d}$ bağıntısına göre levhalar arasındaki potansiyel fark da azalır. Sığaç, levhaları arasındaki potansiyel farkını üreticinin kutupları arasındaki potansiyel farka eşitleyebilmek için üreticiden yük çeker. Bu durum sığacın sığasının artmasına neden olur.

3. Levhalar arası uzaklık

Üreticinin potansiyel farkını sabit tutarak bir sığacın levhalarının büyüklüğünü ve aralarındaki dielektrik maddeyi değiştirmeden, levhalar arasındaki uzaklık (d) azaltılırsa levhalar arasındaki elektriksel çekim kuvvetinin değeri dolayısıyla elektriksel alanın değeri artar. Bu durumda levhalarda öncekine göre daha fazla yük birikir ve sığacın sığası artar.

Yukarıda yapılan açıklamalara göre bir sığacın sığası;

- Levhaların yüzey alanı ile doğru orantılıdır.
- Levhalar arası uzaklık ile ters orantılıdır.
- Levhalar arasındaki yalıtkan maddenin cinsine bağlıdır.

O hâlde sığacın sığası matematiksel olarak;

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

şeklinde yazılır. Bağıntıdaki değişkenlerin sembol ve birimleri Tablo 1.4'te verilmiştir.

	Sembol	Birim
Levha alanı	A	m ²
Levhalar arası uzaklık	d	m
Sığa	C	F
Dielektrik sabiti	ϵ	F/m

Tablo 1.4

Aşağıda genel ağ adresi verilen simülasyonu yaparak sığacın bağlı olduğu değişkenleri inceleyiniz.

https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_en.html

1.3.6. Sığacın (Kondansatör) İşlevi

Sığaçlar farklı akım ve gerilime göre farklı davranışlar gösterir. Bir sığaca doğru akım uygulanırsa sığa değerine göre çok kısa sürede üzerinden değeri azalan bir akım geçer. Bu sürede sığaçta enerji depolanır ve sonrasında akım geçmez. Eğer sığaca bağlı bir devre elemanı, örneğin bir ampul varsa akım kesildikten sonra depoladığı enerjiyi ampul üzerinden boşaltır. Bu nedenle sığaçlara aktif devre elemanı adı verilir. Eğer sığaca şehir gerilimi (alternatif akım) uygulanırsa, sığaç tamamen dolmaya fırsat bulamadığı için elektriği sürekli iletir.

Peki, bir sığaç nasıl yüklenir?

Sığaçlarda levhalardan biri pozitif (+) iken diğersinin negatif (-) yüklü olduğunu ifade etmiştik. Sığaç bir üretece bağlandığında, kendisini üretece bağlayan tel boyunca elektriksel alan oluşur. Bir iletkeninde sadece elektronların hareketli olduğunu biliyoruz. Bu nedenle levhalardan birini üreticinin negatif kutbuna bağlayan tel içindeki elektriksel alan sonucu elektronlar, elektriksel kuvvetin etkisiyle levhaya doğru hareket ederler. Elektronların bu hareketi, levhanın ve üreticinin negatif kutbunun elektriksel potansiyeli eşitleninceye kadar devam eder

Sığacın diğer levhasında da bu kez elektronlar, levhadan üretece doğru hareket ederler. Üreticinin pozitif (+) kutbuna bağlı olan levha pozitif (+) yüklenir. Bu süreç sonunda sığacın levhaları arasındaki potansiyel farkı üreticinin uçları arasındaki potansiyel farkına eşit olur. Her bir levhanın kazandığı yük miktarı (q), levhalar arasındaki potansiyel farkı (V) ile doğru orantılıdır. $C = q/V$

Sığacın levhaları yüklenmeye başladığı andan itibaren birbirlerini elektriksel kuvvetle çekme eğilimi gösterirler. Coulomb Yasası'na göre levhalardaki yük miktarı arttıkça elektriksel çekme kuvvetinin değeri de artar. Buna göre Şekil 1.38'de görülen yüklü, paralel ve iletken levhalar arasındaki d uzaklığını yükleme işlemi boyunca sabit tutmak için elektriksel kuvvete karşı yapılan işin değeri de gittikçe artar. Bu nedenle levhalar arasındaki elektriksel potansiyelin (V) değeri, sürekli ve düzgün olarak sıfırdan (levhalarda yük yokken) bir V değerine kadar artar. Levhalar arasındaki d uzaklığını sabit tutmak için yük başına yapılan iş, ortalama potansiyel farkına eşit olur. Bu durumun matematiksel ifadesi

$$V_{\text{ortalama}} = \frac{W}{q}$$

şeklinde yazılır.

$$V_{\text{ortalama}} = \frac{0 + v}{2} \text{ ve buradan } w = \frac{q \cdot v}{2} \text{ elde edilir.}$$

$q = C \cdot V$ olduğundan

$W = \frac{1}{2} C \cdot V^2$ bağıntısı elde edilir.

Bu eşitliği, sığaç üretece bağlanıp yüklenmeye başladığında sığaçta biriken yükün sığacın levhaları arasındaki potansiyel farkına bağlı değişimini ifade eden Grafik 1.1 yardımıyla da bulunabilir. Grafiğe göre sığaç yüklenirken yükü sıfır değerinden q değerine artarken levhaları arasındaki gerilim de sıfırdan bir V değerine çıkmıştır. Yükün gerilime bağlı grafiğinin eğimi sığacın sığasını, grafik çizgisi ile gerilim eksenini arasındaki alan da sığaçta depolanan elektriksel potansiyel enerjiyi verir.

$$\text{Eğim} = \tan\alpha = \frac{q}{V} = C$$

$$\text{Alan} = \frac{1}{2} q \cdot V \quad \text{ve} \quad q = C \cdot V \quad \text{olduğundan}$$

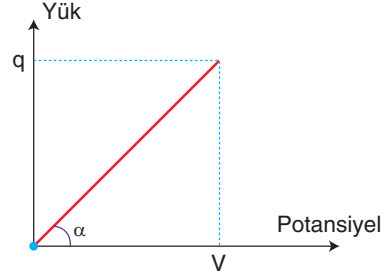
$$\text{Alan} = \frac{1}{2} (C \cdot V) \cdot V = \frac{1}{2} C \cdot V^2 = W \quad \text{elde edilir.}$$

Yapılan iş, elektriksel potansiyel enerji değişimine eşittir. Sığacın levhalarının yüklenmesi süresince elektriksel potansiyel enerji sıfırdan bir E_p değerine kadar artar. Potansiyel enerji depo edilebilen bir enerjidir. Levhalarda yük miktarının artması ile artan gerilim sonucunda ortaya çıkan bu enerji sığaçta elektriksel enerji olarak depolanır.

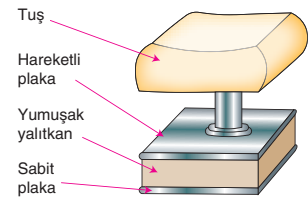
Sığaç yüklendikten sonra üreteçten ayrılmadığı sürece, levhalar arasındaki uzaklık ya da levhalar arasındaki yalıtkan ortamın değişmesi sığacın levhaları arasındaki potansiyel farkını değiştirmez. Sığacın sığa, yük ve enerjisi değişir. Sığaç yüklendikten sonra üreteçten ayrıldığında yükünü koruyabilir. Bu durumda sığacın levhaları arasındaki uzaklık ya da yalıtkan maddenin değiştirilmesi yük miktarını değiştirmez ancak sığa, levhalar arasındaki potansiyel fark ve enerjiyi değiştirir.

Sığaçların kullanım alanları

Günlük yaşamda kullanılan elektronik cihazların içerisinde sığaç bulunur. Örneğin, tuşlu telefonlarda, bilgisayar klavyelerinde paralel plakalı sığaç vardır (Şekil 1.37).

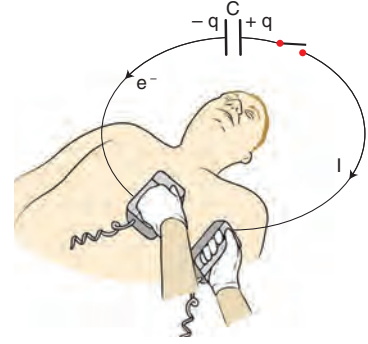


Grafik 1.1 Sığaçta biriken yükün gerilime bağlı grafiği



Şekil 1.37. Bilgisayar tuşunda sığaç bulunur.

Hastanelerde kullanılan elektroşok cihazları pek çok hastayı hayata döndürmüştür (Şekil 1.38). Elektroşok cihazı tam olarak yüklendiğinde büyük bir sığacın elektrik alan içinde 360J kadar enerji depolanır. Defibrillatör cihazı adı verilen bu cihazdan verilen ani elektrik şoku, kalp krizine eşlik eden kalpteki kasılmayı durdurur ve kalbin düzenli atış ritmini sağlar.



Şekil 1.38. Defibrillatör cihazı.

Fotoğraf makinelerinin flaşlarında da sığaç bulunur. Makinenin düğmesine basıldığında sığaçta depo edilen enerji özel ışık lambasına gönderilir ve lamba ışık verir. Böylece fotoğrafı çekilecek cisim kısa bir süre aydınlatılır (Resim 1.7).



Resim 1.7: Fotoğraf makinası flaşı.

Televizyonu kapattıktan sonra, açma-kapama düğmesi üzerindeki uyarı ışığı hemen sönmez. Bu ışık televizyonun kapatma düğmesinde bulunan sığaçta depo edilen enerji nedeniyle bir süre görülür.

3. UYGULAMA

1. Yüklü iletken iki paralel levha potansiyel farkı V olan bir üretcin uçlarına bağlandığında levhalar arasındaki elektrik alanın şiddeti E kadardır.

Üretcin potansiyel farkı iki katına çıkarılıp, levhalar arasındaki uzaklık yarıya indirilirse bu yeni durumda levhalar arasındaki elektrik alan şiddeti kaç E olur?

2. Düzgün bir elektrik alan içine, elektrik alan çizgilerine dik doğrultuda giren bir elektronun hareketinin yörüngesi nasıldır? Çiziniz.

3. Bir sığacın levhalarının yüzey alanı A , levhalar arasındaki uzaklık d iken sığası C kadardır.

Buna göre sığacın levhalarından birinin yüzey alanı iki katına çıkarılırsa bu yeni durumda sığacın sığası kaç C olur?

4. BÖLÜM: MAGNETİZMA VE ELEKTROMANYATİK İNDÜKSİYON



ANAHTAR KELİMELER

- Manyetik alan
- Manyetik kuvvet
- Manyetik akı
- Elektromotor kuvveti

Bu bölümü tamamladığınızda,

1. Üzerinden akım geçen iletken düz bir telin çevresinde, halkanın merkezinde ve akım makarasının (bobin) merkez ekseninde oluşan manyetik alanın şiddetini etkileyen değişkenleri,
2. Üzerinden akım geçen iletken düz bir tele manyetik alanda etki eden kuvvetin yönünün ve şiddetinin bağlı olduğu değişkenleri,
3. Manyetik alan içerisinde akım taşıyan dikdörtgen tel çerçeveye etki eden kuvvetlerin döndürme etkisini,
4. Yüklü parçacıkların manyetik alan içindeki hareketini,
5. Manyetik akıyı,
6. İndüksiyon akımını oluşturan sebepleri,
7. Öz-indüksiyon akımının oluşum sebeplerini,
8. Yüklü parçacıkların manyetik alan ve elektrik alandaki davranışını,
9. Elektromotor kuvveti oluşturan sebepleri öğrenmiş olacağız.

1.4.1. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Bir Telin Çevresinde, Halkanın Merkezinde Ve Akım Makarasının (Bobin) Merkez Ekseninde Oluşan Manyetik Alanın Şiddetini Etkileyen Değişkenler

Bir mıknatıs kuzey ve güney olmak üzere iki kutba sahiptir ve çevresinde bir manyetik alan oluşturur. Mıknatıstan uzaklaştıkça manyetik alan şiddeti azalır. Peki, manyetik alan sadece mıknatısın bulunduğu bölgede mi oluşur? Yapılan çalışmalar mıknatısların dışında üzerinden akım geçen iletken düz telin, halka ve akım makarasının da manyetik alan oluşturduğunu göstermiştir.

Üzerinden akım geçen iletken düz bir telin çevresinde oluşan manyetik alan

Danimarkalı bir bilim insanı olan Hans Christian Oersted (Hans Kırstin Örsted) (Resim 1.8) 1819 yılında yaptığı çalışmalar sonucunda elektrik ile manyetizma arasındaki ilişkiyi keşfetmiştir. Oersted bir gösteri deneyi sırasında üzerinden elektrik akımı geçen bir telin yakınında duran pusula iğnesinin saptığını gözlemlemiştir. Bu keşiften kısa bir süre sonra Jean Baptiste Biot (Can Basista Biyot) ve Felix Savart (Felix Sıvart) elektrik akımının pusula iğnesine uyguladığı kuvvetle ilgili deneyler yaparak nicel veriler elde etmişlerdir.



Resim 1.8: Hans Christian Oersted

Biot ve Savart yaptıkları deneylerin sonuçlarından yola çıkarak elektrik akımının meydana getirdiği manyetik alan şiddetini akım cinsinden veren matematiksel ifadeyi buldular. Biot- Savart Yasası olarak bilinen bu ifadeye göre; iletken bir telden geçen sabit akım değerinin daha büyük olması, verilen her bir noktadaki manyetik alan şiddetinin daha büyük olacağını ve telden uzaklaştıkça alan şiddetinin de azalacağını ifade eder. Buna göre üzerinden akım geçen iletken düz bir telin çevresinde oluşan manyetik alanın şiddeti matematiksel olarak;

$$B = K \frac{2i}{d}$$

şeklinde yazılır. Eşitlikteki K sabit sayısı, boşluğun manyetik geçirgenliğine

($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$) göre verilen bir orantı katsayısıdır ve değeri

$$K = \frac{\mu_0}{4r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4r} = 10^{-7} \text{ N/A}^2 \text{ dir.}$$

Manyetik alan şiddetini veren bağıntıya göre manyetik alan şiddetinin birimi;

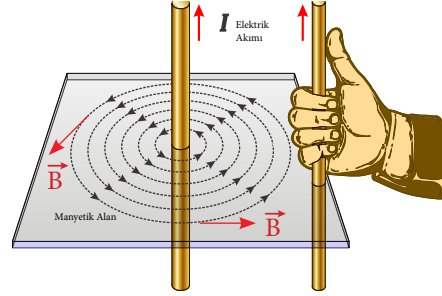
d, metre; i , amper ve K , Newton/amper² alınır;

$B = \text{Newton} / \text{amper. metre}$ ve $B = \text{Tesla (T)}$ olarak belirlenmiştir.

Deneylede iletken düz telin çevresine serpilen demir tozlarının, telden akım geçtiğinde telin çevresinde büyüyen halkalar oluşturması, manyetik alan çizgilerini halka şeklinde çizgiler olarak modellememizi sağlar (Resim 1.9). Manyetik alan vektörel bir niceliktir. Manyetik alan vektörünün yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Bu kurala göre, sağ elin baş parmağı akımın yönünü gösterecek şekilde, üzerinden akım geçen tel sağ el ile kavrandığında geri kalan dört parmağın dolanma yönü manyetik alan çizgilerinin dolanma yönünü gösterir. Manyetik alan vektörünün yönü ise alan çizgilerine her noktada teğettir. (Şekil 1.39).



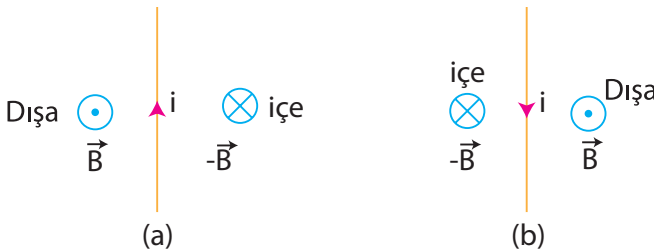
Resim 1.9: Üzerinden akım geçen düz iletken telin çevresinde demir tozları halka şeklinde dizilir.



Şekil 1.39: Sağ el kuralıyla üzerinden akım geçen düz telin çevresindeki manyetik alan yönünün bulunması.

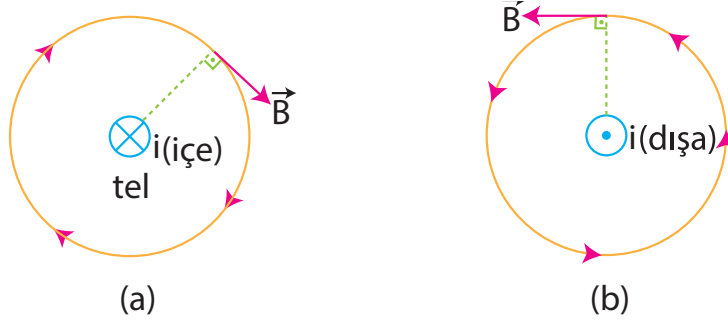
Üzerinden akım geçen düz telin çevresindeki manyetik alan bulunurken; manyetik alan vektörün yönü sayfa düzlemine dik ve dışarı doğru iken \odot , sayfa düzlemine dik ve içeri doğru iken \otimes biçiminde gösterilir. Buna göre;

- Tel sayfa düzlemine paralel ve üzerinden geçen akımın yönü yukarı doğru ise telin sağında ve solunda herhangi bir noktadaki manyetik alan vektörünün yönü Şekil 1.40.a'daki gibi olur. Eğer akımın yönü aşağı doğru ise telin sağında ve solunda herhangi bir noktadaki manyetik alanın yönü Şekil 1.40.b'deki gibi olur.



Şekil 1.40: a.b. Üzerinden akım geçen ve sayfa düzlemine paralel telin sağında ve solunda oluşan manyetik alan vektörünün yönü.

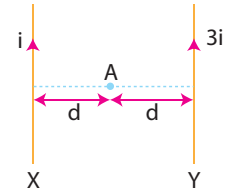
Tel sayfa düzlemine dik konulmuş ve üzerinden geçen akım sayfa düzleminden dışa (⊙) doğru olduğunda telin çevresinde oluşan manyetik alanın yönü Şekil 1.41.b'deki gibi olur. Eğer telden geçen akım içe (⊗) olduğunda telin etrafında oluşan manyetik alan vektörünün yönü Şekil 1.41.adaki gibi olur.



Şekil 1. 41: a. b. Sayfa düzlemine dik yerleştirilmiş üzerinden akım geçen telin etrafında meydana gelen manyetik alan vektörünün yönü.

Örnek

Üzerinden i ve $3i$ akımları geçen X ve Y telleri yeterli uzunluktadır. X telinden geçen akımın A noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddetinin büyüklüğü B ise A noktasındaki bileşke manyetik alan şiddeti kaç B'dir?



Çözüm

Her bir telin A noktasında oluşturduğu manyetik alan vektörünün yönü sağ el kuralı ile bulunur.

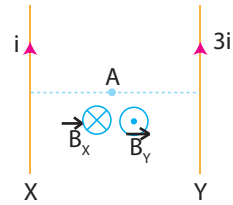
$B = K \frac{2i}{d}$ bağıntısına göre A noktasında X ve Y tellerinin meydana getirdiği manyetik alan şiddetinin büyüklüğü,

$$B_X = K \frac{2i}{d} = B (\otimes)$$

$$B_Y = K \frac{2 \cdot (3i)}{d} = 3B (\odot) \text{ elde edilir.}$$

Buna göre A noktasındaki bileşke manyetik alan $B_A = B (\otimes) + 3B (\odot) = 2B (\odot)$ elde edilir.

Sonuç olarak A noktasındaki bileşke manyetik alan düzleminden dik dışarı doğru $2B$ kadardır.



Örnek

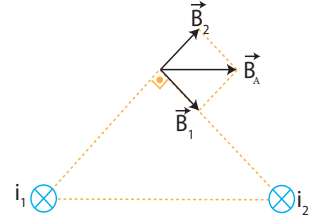
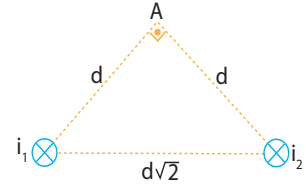
Sayfa düzlemine dik olarak yerleştirilen iki telden sayfa düzleminden içeriye doğru eşit şiddette i_1 ve i_2 akımları geçmektedir.

i_1 akımının ikizkenar dik üçgeninin dik köşesindeki A noktasında B şiddetinde manyetik alan oluşturduğuna göre A noktasındaki bileşke manyetik alan şiddeti kaç B'dir?

Çözüm

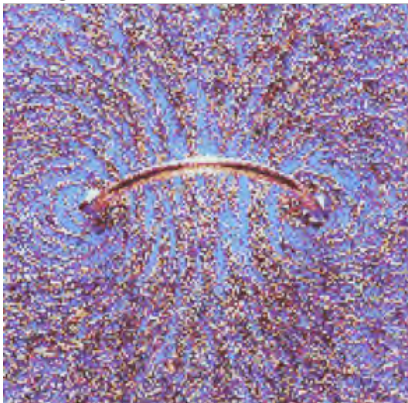
Sağ el kuralı ile i_1 ve i_2 akımlarının A noktasında oluşturduğu manyetik alan vektörünün yönü belirlenerek şekildeki gibi çizilir. Bileşke manyetik alan vektörü paralel kenar yönüne göre çizilir.

$B_1 = \frac{2i}{d} = B$ $B_2 = K \frac{2i}{d} = B$ ve iki vektör arasındaki açı 90° olduğundan vektörlerin bileşkesini bulmada özel durumlardan yararlanarak (Büyüklikleri eşit iki vektör arasındaki açı 90° olduğunda bileşke vektörün büyüklüğü vektörlerden birinin büyüklüğünün $\sqrt{2}$ katına eşittir.) A noktasındaki bileşke manyetik alan şiddeti $B_A = B\sqrt{2}$ olarak bulunur.

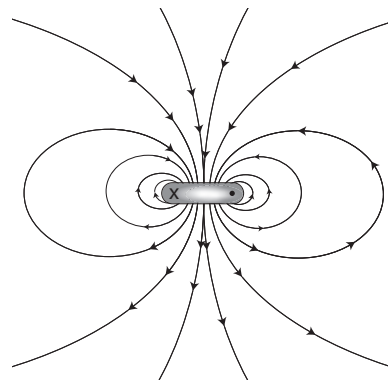


Üzerinden akım geçen halkanın merkezindeki manyetik alan

Çember şeklindeki bir iletkenin üzerinden sabit değerde akım geçtiğinde, etrafına serpilmiş demir tozlarının alacağı şekil Resim 1.10'daki gibidir. Bu görünüm çizgilerle ifade edilirse akım taşıyan bir halkanın çevresinde oluşan manyetik alan Şekil 1.42'deki gibi modellenebilir.

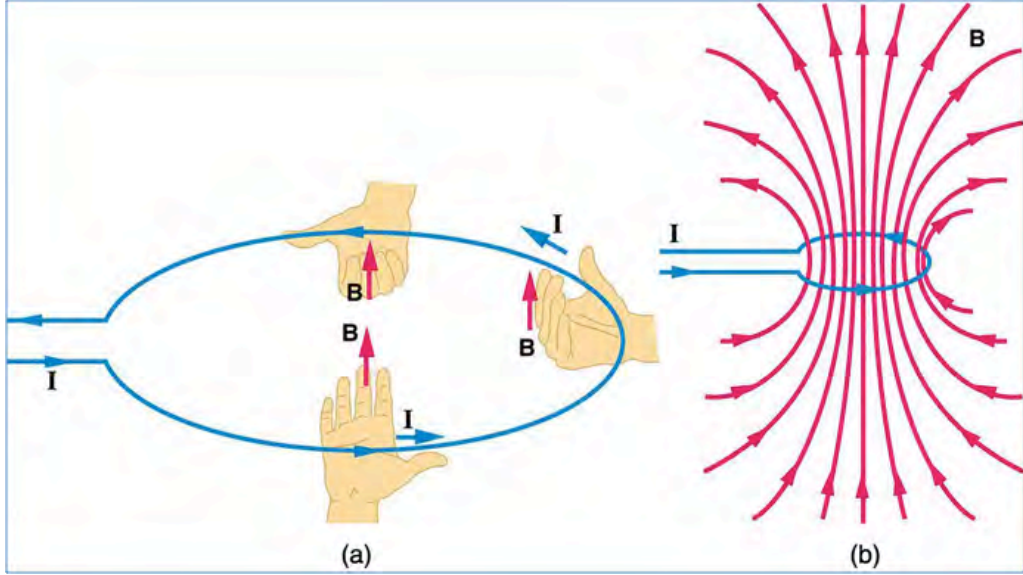


Resim 1.10: Üzerinden akım geçen tel halkanın çevresindeki demir tozlarının dizilimi



Şekil 1.42: Üzerinden akım geçen tel halkanın çevresindeki manyetik alan çizgileri.

Üzerinden akım geçen tel halkanın merkezindeki manyetik alanın yönünü bulabil-
mek için sağ el kuralından yararlanır. Buna göre sağ elin baş parmağı akımın yönünü
gösterecek şekilde tel halka kavranırsa geri kalan dört parmağın yönelimi manyetik
alan çizgilerinin dolanım yönünü gösterir (Şekil 1.43).



Şekil 1. 43. a. Üzerinden akım geçen halka telde sağ el kuralına göre manyetik alan çizgilerinin yönünün bulunması. b. Halkanın çevresinde oluşan manyetik alan çizgileri

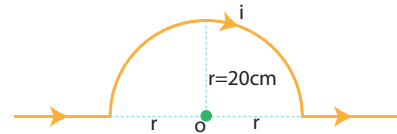
Bilim insanları yaptıkları deneyler sonucunda üzerinden akım geçen telin çevresinde
oluşan manyetik alanın büyüklüğünü düz telin manyetik alanının büyüklüğünü veren
bağıntıya benzer olarak

$$B = K \cdot \frac{2\pi \cdot i}{r}$$

şeklinde ifade etmişlerdir. Bu eşitliğe göre, üzerinden akım geçen tel halkanın
manyetik alan şiddeti, akım şiddeti ile doğru orantılıyken, halkanın yarıçapı ile ters
orantılıdır.

Örnek

Şekildeki gibi kıvrılmış ve üzerinden 2 amper
akım geçen iletken telin O noktasında oluştu-
duğu manyetik alanın şiddetini ve yönünü bu-
lunuz



$$(K = 10^{-7} \text{ N/ A}^2, \pi = 3)$$

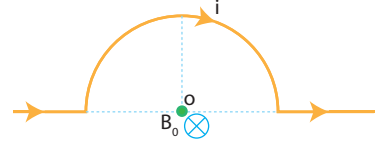
Çözüm

Sağ el kuralına göre O noktasındaki manyetik alanın yönü düzlemde içeriye (\otimes) doğru olarak belirlenir. Oluşan manyetik alanın şiddetini bulmak için;

$$i = 2A \quad r = 20\text{cm} = 0,2 \text{ m ve sabit değerleri}$$

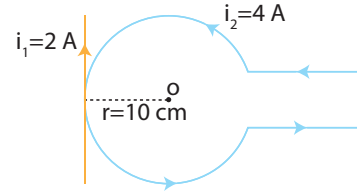
$$B = K \frac{2\pi i}{r} \text{ eşitliğinde verilenler yerine konulduğunda}$$

$B = 10^{-7} \frac{2 \cdot 3 \cdot 2}{0,2} = 6 \cdot 10^{-6}$ Tesla olarak bulunur ancak tel yarım çember şeklinde olduğundan O noktasındaki manyetik alan şiddeti bulunan değer yarısı kadar olacaktır. Buna göre yarım çember şeklindeki üzerinden akım geçen iletken telin merkezindeki manyetik alanın şiddeti $B_O = 3 \cdot 10^{-6}$ Tesla'dır.



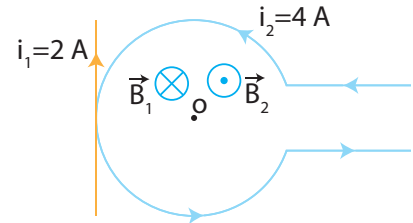
Örnek

Uzun düz bir tel, yarıçapı $r = 10 \text{ cm}$ olan halka şeklindeki tele teğet olarak yerleştirilmiştir. Halkanın merkezinde meydana gelen manyetik alanın yönünü ve şiddetini bulunuz.



Çözüm

Sağ el kuralına göre O noktasında tel ve halkadan geçen akımların oluşturduğu manyetik alanların yönü belirlenir. Telin O noktasında oluşturduğu manyetik alanın yönü düzlemde içeri ($B_1 \otimes$), halkanın O noktasında oluşturduğu manyetik alanın yönü düzlemde dışarı ($B_2 \odot$) doğrudur. Buna göre O noktasındaki bileşke manyetik alan



$$B_O = B_1 \otimes + B_2 \odot \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

$$B_1 = K \frac{2i}{r} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 2}{0,1} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Tesla}$$

$$B_2 = K \frac{2\pi i}{r} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 4}{0,1} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ Tesla}$$

Buna göre O noktasındaki bileşke manyetik alan şiddeti,

$$B_O = 4 \cdot 10^{-6} \otimes + 24 \cdot 10^{-6} \odot$$

$B_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Tesla dışarı ($B_0 \odot$) olarak bulunur.

Üzerinden akım geçen akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan

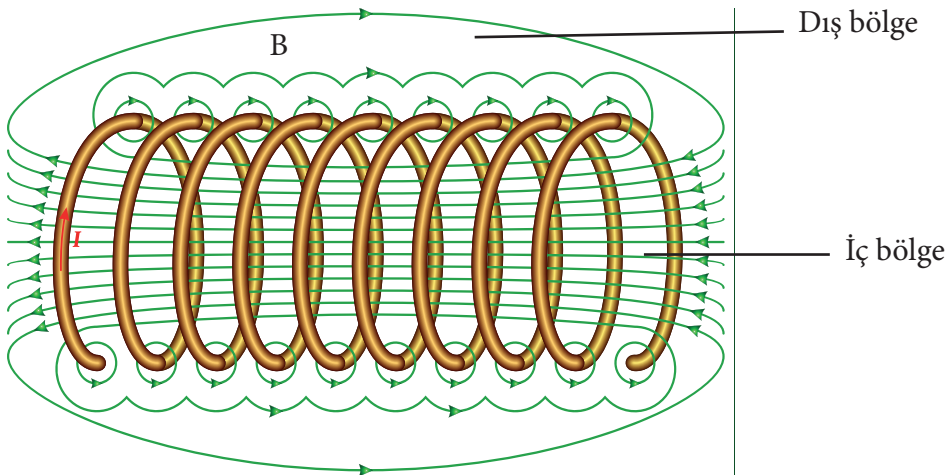
Akım makarası iletken bir telin sarmal hâle getirilmesiyle oluşturulur. Akım makarasına bobin ya da **solenoid** adı da verilmektedir.

Bir akım makarasından akım geçirildiğinde çevresine sepilmiş olan demir tozlarının görünümü Resim 1.11'deki gibi olur.

Bir akım makarasını oluşturan halkalardan her biri tek başına bir üzerinden akım geçen iletken halkadır. Şekil 1.44 te seyrek sarılmış bir akım makarasının manyetik alan çizgileri görülmektedir.



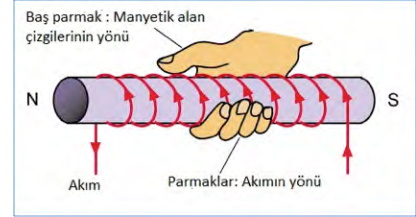
Resim 1.11. Üzerinden akım geçen akım makarasının çevresindeki demir tozlarının görünümü.



Şekil 1.44. Akım makarasının manyetik alan çizgileri.

Akım makarasını oluşturan her sarım halka şeklinde manyetik alan çizgileri oluşturur. Akım makarasının merkezinde aynı yönde yönelmiş alan çizgileri birbirine eklenerek şiddeti büyük ve birbirine paralel alan çizgileri oluşturur.

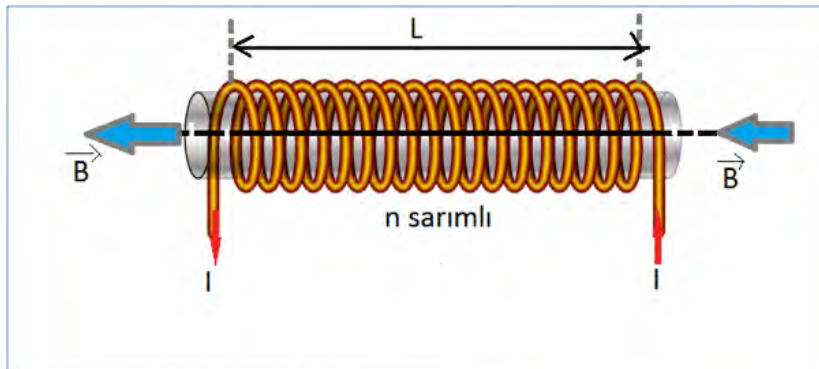
Üzerinden akım geçen akım makarasının merkez eksenindeki manyetik alanın yönünü bulabilmek için sağ el kuralından yararlanır. İletken düz tel ve halka için uygulanan sağ el kuralından farklı olarak, sağ elin dört parmağı akımın yönünü gösterecek şekilde akım makarası kavrandığında başparmağın yönelimi manyetik alan çizgilerinin yönünü gösterir (Şekil 1.45).



Şekil 1.45. Akım makarasında sağ el kuralına göre manyetik alan çizgilerinin yönünün bulunması.

Akım makarasının manyetik alan çizgileri, bir çubuk mıknatısın manyetik alan çizgilerine benzer. Bu nedenle akım makarasından manyetik alan çizgilerinin çıktığı ucu mıknatısın kuzey kutbu (N) gibi davranırken, manyetik alan çizgilerinin akım makarasına girdiği diğer ucu ise güney kutbu (S) gibi davranır.

Yapılan deneyler sonucunda Şekil 1.46'daki gibi bir akım makarasının sarım sayısının (n) artması manyetik alan şiddetinin artmasına neden olurken, akım makarasının uzunluğunun (L) artması manyetik alan şiddetinin azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1.46. Akım makarası boyunca oluşan manyetik alan

Yukarıda sıralanan bütün değişkenler göz önünde bulundurularak üzerinden akım geçen bir akım makarasının merkez ekseninde meydana gelen manyetik alan şiddeti matematiksel olarak

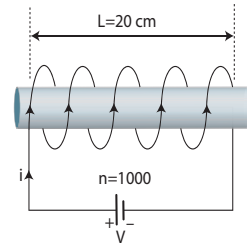
$$B = K \frac{4\pi \cdot n \cdot i}{L}$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikteki n/L oranı birim uzunluktaki sarım sayısını ifade etmektedir.

Akım makarasının iç bölgesine çekirdek adı verilir. Eğer akım makarasının içerisinde herhangi bir madde yoksa bu akım makarası hava çekirdeklidir. Akım makarasının merkez eksenindeki manyetik alan şiddetini arttırmak için manyetik geçirgenliği büyük olan malzemeler kullanılabilir. Örneğin demir akım makarası boyunca yerleştirilirse demir çekirdekli akım makarası elde edilir. Demirin manyetik geçirgenliği büyük olduğundan akım makarasının merkez ekseninden geçen alan çizgilerini sıklaştırır ve alan şiddeti artar. Bu şekilde elde edilen düzenek bir elektromıknatıstır. Akım makarasının üzerinden geçen akım kesildiğinde manyetik alan etkisi ortadan kalktığı için elektromıknatıslar geçici mıknatıslardır

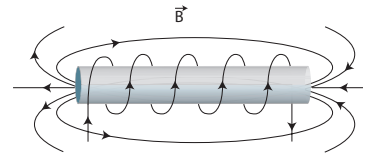
Örnek

Üzerinde 1000 sarım bulunan şekildeki akım makarasının uzunluğu 20 cm'dir. Devreden şekildeki yönde 2 amperlik akım geçtiğinde akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan şiddetini ve yönünü bulunuz. ($\pi = 3$ alınınız.)



Çözüm

Sağ elin dört parmağı akım makarasından geçen akımın yönünü gösterecek şekilde akım makarası sağ elin avuç içine alındığında yana açılan baş parmak manyetik alanın yönünü gösterir. Alan çizgilerinin yönelimi şekildeki gibidir.



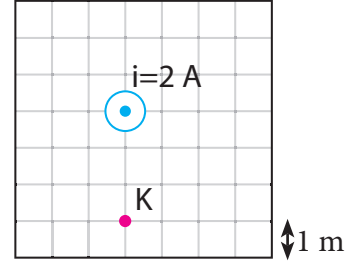
Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanın şiddeti

$B = K \frac{4\pi \cdot n \cdot i}{L}$ eşitliğinde $L = 20$ cm = 0,2 m dönüşümü yapıp verilenler yerine konulduğunda

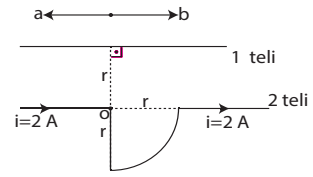
$B = 10^{-7} \cdot 4.3.1000.2/0,2 = 12 \cdot 10^{-3}$ tesla olarak bulunur.

4. UYGULAMA

1. Şekildeki düzlemde düzleme dik düz iletken telden 2 amperlik akım geçmektedir. Düzlem üzerindeki K noktasında meydana gelen manyetik alanın şiddetini ve yönünü bulunuz.

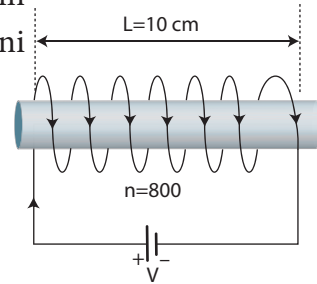


2. Sayfa düzleminde bulunan şekildedeki 1 ve 2 tellerinden geçen akımların O noktasında meydana getirdikleri toplam manyetik alan şiddeti sıfırdır. Buna göre 1 telinden geçen akımın şiddeti ve yönü nedir? ($\pi = 3$, $K = 10^{-7} \text{ N/ A}^2$)



3. Sarım sayısı 800 olan bir akım makarasından $i = 4$ amperlik akım geçmektedir. Akım makarasının merkez eksenini boyunca oluşan manyetik alanın şiddetini ve yönünü bulunuz.

$$(\pi = 3, K = 10^{-7} \text{ N/ A}^2)$$



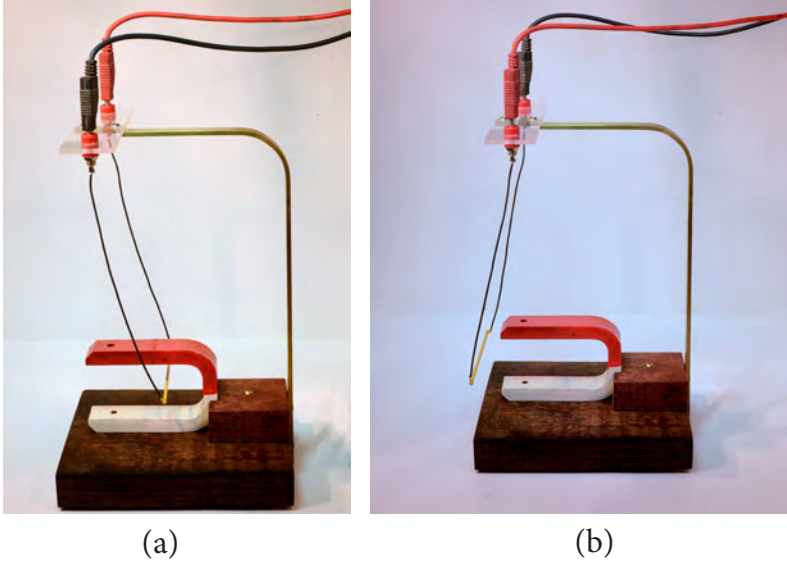
1. 4. 2. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Bir Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet

Bazı iletken maddeler mıknatıs tarafından çekilmez. Örneğin bakır tel mıknatıs tarafından çekilmez ancak bakır telden akım geçtiğinde tel mıknatısın manyetik kuvveti etkisinde itilir ya da çekilir.

Yapılan deneylerde manyetik alan içerisine yerleştirilmiş bakır telin üzerinden akım geçmediğinde telin hareketsiz kaldığı, tel üzerinden akım geçirildiğinde ise manyetik

alan içerisinde bir yöne doğru hareketlendiği gözlemlenmiştir. Hareketsiz bir cismin harekete geçmesi için üzerine bir net kuvvetin etkimesi gerekir. O hâlde manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen bakır tele etkiyen bir kuvvetin olması gerekir. İşte bu kuvvet manyetik alandan dolayı ortaya çıkan manyetik kuvvettir.

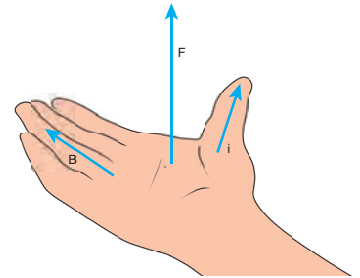
Resim 1.12'da bir U mıknatısın kutupları arasına yerleştirilmiş düz iletken telden akım geçirildiğinde telin hareket durumu verilmiştir.



Resim 1.12.a.b. Üzerinden akım geçen iletken düz telin manyetik kuvvet etkisindeki durumu

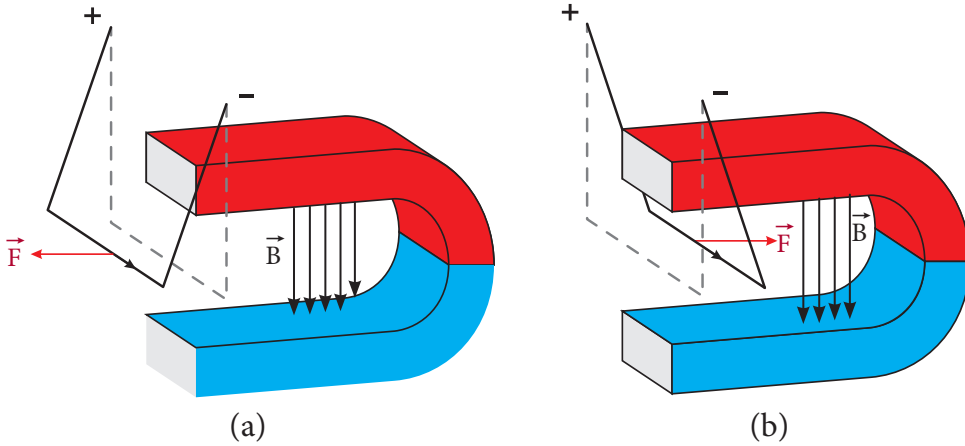
Resim 1.12.a.b. de iletken telin hareket yönüne bakıldığında, telin mıknatısın kutupları arasındaki manyetik alan çizgilerine dik bir kuvvetin etkisi altında kaldığı görülmektedir. Mıknatısın manyetik alanının ortaya çıkardığı bu manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile belirlenir (Şekil 1.47).

Manyetik kuvvet için sağ el kuralı: Sağ elin dört parmağı manyetik alan çizgilerinin yönünü, baş parmağı telin üzerinden geçen akımın yönünü gösterecek şekilde tutulursa avuç içi manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Sağ el kuralına göre manyetik alan vektörü (B), akım (i) ve manyetik kuvvet vektörü (F) birbirine diktir.



Şekil 1.47. Manyetik kuvvet için sağ el kuralı

Düz iletken teli Resim 1.12.a'daki duruma getiren manyetik kuvvetin yönünü bulmak için sağ el kuralı uygulandığında kuvvetin yönü Şekil 1.48.a'daki gibi olur. Akımın yönünü değiştirerek düz iletken telin Resim 1.12.b'deki duruma getiren manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile belirlendiğinde kuvvetin yönü Şekil 1.48.b'deki gibi olur.

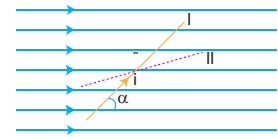


Şekil 1.48.a.b. Manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen düz iletken tele etki eden kuvvetin sağ el kuralı ile yönünün belirlenmesi

Düzgün bir manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen düz iletken tele etkiyen kuvveti belirlemek için yapılan deneylerde manyetik kuvvetin büyüklüğü telden geçen akım şiddetine, manyetik alanın büyüklüğüne ve telin manyetik alan içerisinde kalan uzunluğuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Buna göre Şekil 1.49'daki gibi düzgün bir B manyetik alanı içerisine yerleştirilmiş ℓ uzunluğunda ve üzerinden i akımı geçen düz tele etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü matematiksel olarak

$$F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$$

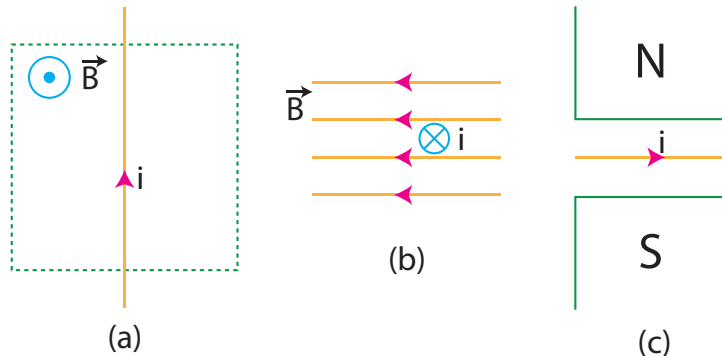
şeklinde yazılır. Eşitlikteki $\ell \cdot \sin\alpha$ ifadesi telin manyetik alan çizgileriyle yaptığı açı (α) azaldıkça (a konumundan b konumuna gelmesiyle), telin kestiği manyetik alan çizgi sayısının azalacağını ve bu nedenle manyetik kuvvetin şiddetinin de azalacağını ifade etmektedir.



Şekil 1.49. Düzgün manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen düz tel.

Örnek

Aşağıdaki şekilde verilen a, b ve c sistemlerinde üzerinden akım geçen düz iletken tele etki eden manyetik kuvvetin yönünü belirleyiniz.

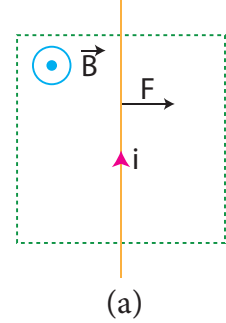


Çözüm

Manyetik kuvvetin yönünü belirlemek için sağ el kuralı kullanılır. Şimdi sırayla şekilde verilen sistemlere sağ el kuralını uygulayalım.

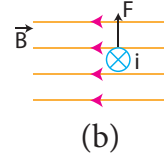
a sistemi için

Sağ elin dört parmağı manyetik alanın yönünü, başparmak akım yönünü gösterecek şekilde tutulursa avuç içi manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Buna göre manyetik kuvvetin yönü sayfa düzlemi üzerinde sağa doğrudur.



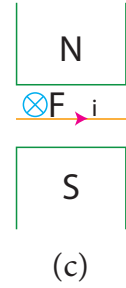
b sistemi için

Sağ el kuralı b sistemine uygulandığında manyetik kuvvetin yönü sayfa düzlemi üzerinde yukarıya doğrudur.



c sistemi için

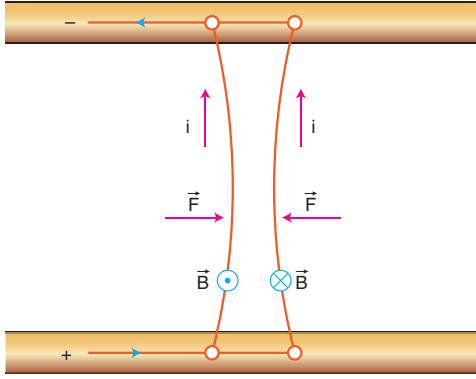
Sağ elin dört parmağı manyetik alanın yönünü (mıknatısın N kutbundan S kutbuna doğru), başparmak akım yönünü gösterecek şekilde tutulursa manyetik kuvvetin yönü sayfa düzleminde içeriye (\otimes) doğrudur.



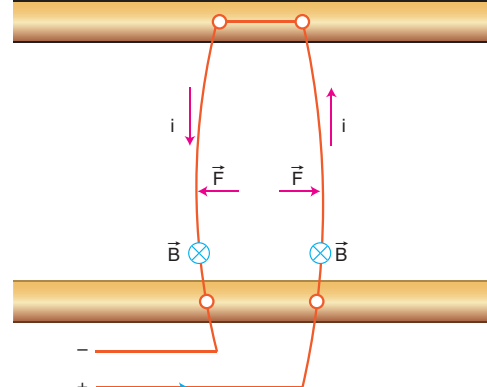
Düzgün manyetik alan içinde üzerinden akım geçen paralel iki telin birbirine uyguladığı kuvvet

Üzerinden akım geçen iki iletken düz tel paralel olarak yerleştirilirse birbirlerinin manyetik alanı içerisinde kalır. Şekil 1.50'deki gibi iki paralel telin üzerinden aynı yönde akım geçtiğinde sağ el kuralına göre teller birbirine çekme kuvveti uygular. Bu çekme kuvvetinin etkisinde teller birbirine doğru yaklaşır. Eğer Şekil 1.51'deki gibi paralel tellerden geçen akım ters yönde ise sağ el kuralı ile belirlenen kuvvetin

yönü telleri birbirinden uzaklaştıracak yöndedir. Bu itme kuvvetinin etkisinde teller birbirinden uzaklaşır.



Şekil 1.50. Düz iletken paralel tellerden aynı yönde geçen akımın oluşturduğu manyetik kuvvet



Şekil 1.51. Düz iletken paralel tellerden aynı yönde geçen akımın oluşturduğu manyetik kuvvet

Newton'un Etki- Tepki İlkesi' ne göre, tellerin birbirine uyguladığı kuvvet eşit büyüklükte olmalıdır. Birinci telin ikinci tele uyguladığı kuvvet F_{12} , ikinci telin birinci tele uyguladığı kuvvet \vec{F}_{21} olarak gösterilirse

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

şeklinde yazılır. Teller manyetik alan çizgilerine dik olarak yerleştirilmiş ise birbirlerine uyguladıkları manyetik kuvvet en büyük değerdedir. Buna göre,

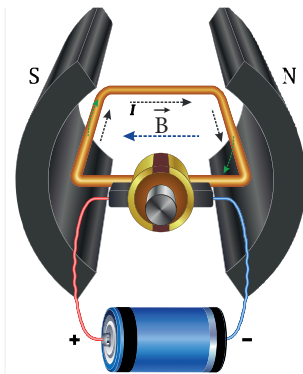
$$F_{12} = B \cdot i_2 \cdot \ell = K \frac{2i_1}{d} \cdot i_2 \cdot \ell$$

$$F_{21} = B \cdot i_1 \cdot \ell = K \frac{2i_2}{d} \cdot i_1 \cdot \ell$$

şeklinde yazılan eşitliklerden bu iki kuvvetin birbirine eşit olduğu görülmektedir. Bu eşitliğe göre düz iletken paralel iki telin birbirine uyguladığı manyetik kuvvetin büyüklüğü, akım şiddetlerinin çarpımı ile doğru, tellerin arasındaki uzaklık ile ters orantılıdır.

1.4.4. Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Dikdörtgen Tel Çerçevesine Etki Eden Kuvvet

Üzerinden akım geçen düz iletken bir tele manyetik alan içerisinde manyetik kuvvetin etkidiğini öğrenmiştik. Böyle bir manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen bir dikdörtgen çerçevesine etki eden kuvvetleri ve sonuçlarını bilmek, basit bir jeneratörün nasıl çalıştığını incelerken kolaylık sağlar.



Şekil 1.52. Üzerinden akım geçen çerçeve.

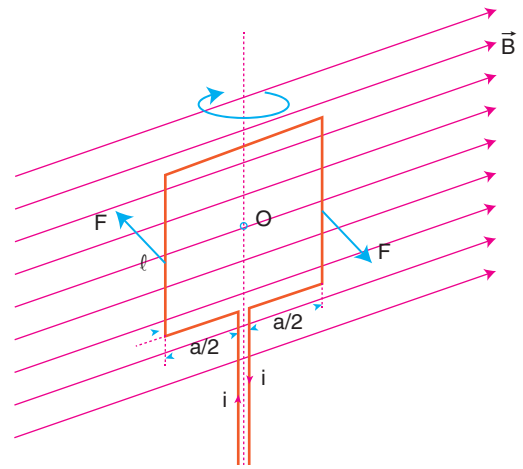
Düzgün bir manyetik alan içerisinde yerleştirilmiş olan iletken tel çerçeve üzerinden akım geçirildiğinde, manyetik kuvvetin çerçeve üzerindeki etkisi Şekil 1.52'deki gibi mıknatıs, iletken tel çerçeve ve pil kullanılarak hazırlanan basit bir deney düzeneği ile gözlemlenebilir.

Mıknatısın kutupları arasındaki B manyetik alanının içerisinde kalan iletken tel çerçeveden akım geçmeye başladığında, tel manyetik kuvvetin etkisi ile dönmeye başlar. Bu kuvvetlerin yönü sağ el kuralına göre belirlenir.

Şekil 1.53'teki gibi düzgün manyetik alan içerisinde yerleştirilmiş tel çerçevenin kenarlarına sağ el kuralını uygulayalım:

Tel çerçevenin alan çizgilerine paralel kenarlarına manyetik kuvvet etki etmez çünkü manyetik alan çizgileri ile çerçeve kenarının yaptığı açı sıfır derecedir

Manyetik kuvvet $F=B.i.\ell$. Sınα bağıntısında $\sin 0^\circ = 0$ olduğundan manyetik kuvvet $F = 0$ olur. Alan çizgilerine dik kenarlarda ise $\alpha = 90^\circ$ olduğundan manyetik kuvvet en büyük değerdedir. ($F=B.i.\ell$. $\sin 90^\circ=B.i.\ell$) Çerçevenin alan çizgilerine dik kenarlarına sağ el kuralı uygulandığında ise etki eden



Şekil 1.53. Manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen tel çerçeveye etki eden kuvvet

manyetik kuvvetlerin yönü Şekil 1.54'deki gibi olur. Manyetik kuvvetler eşit büyüklükte olduğundan bileşmeleri sıfırdır ancak çerçevenin ortasından geçen eksene göre torklarının toplamı sıfırdan farklıdır. Bu iki kuvvetin çerçevenin ortasından geçen eksene göre torku saat yönünde olduğundan, çerçeve saat yönünde dönmeye başlar. Şimdi çerçeveye etkiyen toplam tork için matematiksel modeli oluşturalım:

Tel çerçevenin alan çizgilerine dik kenarlarına etkiyen manyetik kuvvetin büyüklükleri eşittir,

$$F_1 = F_2 = B \cdot i \cdot \ell$$

Çerçevenin ortasından geçen eksene göre F_1 ve F_2 kuvvetlerinin uyguladığı torkun büyüklüğü $\tau = F \cdot d$ eşitliğinden $\tau_1 = (B \cdot i \cdot \ell) \cdot \frac{a}{2}$ ve $\tau_2 = (B \cdot i \cdot \ell) \cdot \frac{a}{2}$ olarak yazılır.

τ_1 ve τ_2 çerçevenin ortasından geçen dönme eksenine göre çerçeveyi aynı yönde döndürdüğünden çerçeveye etkiyen toplam torkun büyüklüğü

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = (B \cdot i \cdot \ell) \cdot \frac{a}{2} + (B \cdot i \cdot \ell) \cdot \frac{a}{2}$$

$$\tau = B \cdot i \cdot \ell \cdot a \text{ olur.}$$

Çerçevenin alanı $A = \ell \cdot a$ olduğundan toplam torkun büyüklüğü

$$\tau = B \cdot i \cdot A \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Toplam tork için elde edilen bu eşitliğe göre, manyetik alan ve akım şiddetinin sabit tutularak çerçeve alanının büyütülmesinin bir elektrik motorunun ya da jeneratörün gücünün daha fazla olacağını gösterir.

1. 4. 5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi

Üzerinden akım geçen iletken tel manyetik alan içerisindeyken üzerine kuvvet etkidiğini biliyoruz. Tel içerisinde akımı oluşturan hareketli yüklerdir. Buna göre “Bir manyetik alandan geçirilen elektrik yüklerine de kuvvet etki etmelidir.” çıkarımı yapılabilir.

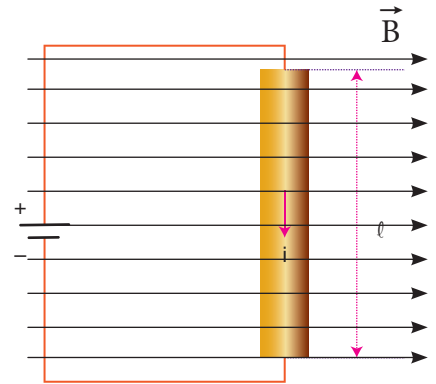
Yükü q kadar olan n tane parçacık Δt zaman aralığında belirlenen bir noktadan başka bir noktaya hareket ederse bir akım oluşur. Bu akımın değeri $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ bağıntısı ile bulunur. Şimdi Şekil 1.54'deki gibi düzgün bir manyetik alan içerisinde bulunan iletken telde i akımını oluşturan ve yükü q kadar olan n tane parçacığın hareketini sağlayan kuvvetin matematiksel modelini oluşturalım:

Yükü q kadar olan n tane parçacığın iletken telde l kadarlık yolu Δt zaman aralığında aldığı kabul edilirse l uzunluğu $l = v \cdot \Delta t$ olur. Manyetik alan içerisinde alan çizgilerine dik üzerinden akım geçen düz iletken tele etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğünü veren $F = B \cdot i \cdot l$ bağıntısında akım şiddeti ve yol eşitlikleri yerine yazıldığında n tane parçacığa etki eden manyetik kuvvet

$$F = B \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot v \cdot \Delta t$$

$$F = B \cdot n \cdot q \cdot v$$

eşitliği elde edilir. Sadece tek bir parçacık üzerine etki eden kuvvetin büyüklüğünü veren bağıntı ise $F = B \cdot q \cdot v$ şeklinde yazılır.



Şekil 1.54. düzgün manyetik alan içinde üzerinden akım geçen iletken tel.

Elde edilen bu bağıntı manyetik alana dik giren yüklü parçacıklar içindir ve kuvvetin en büyük değerde olduğunu gösterir. Eğer yüklü parçacığın hız vektörü ile alan çizgileri arasında bir α açısı varsa manyetik kuvvetin büyüklüğünü veren bağıntı

$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin\alpha$$

şeklinde yazılır. Elde edilen bu bağıntı manyetik alan içerisinde hareket eden yüklü parçacığa etki eden kuvvetin büyüklüğünün genel ifadesidir. Bu bağıntıya göre;

$v = 0$ ise yani alan içerisinde yüklü parçacık hareketsizse parçacığa manyetik kuvvet etki etmez.

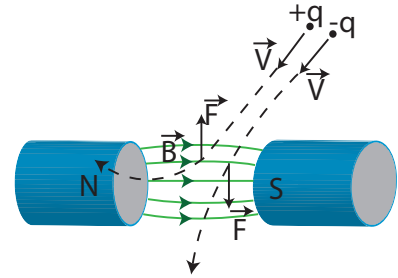
$\alpha = 0^\circ$ ise $F = 0$ dır.

$\alpha = 90^\circ$ olduğunda $F_{\max} = q \cdot B \cdot v$ olur. Parçacığın hız vektörü ile alan çizgileri arasındaki açı $90^\circ \geq \alpha > 0^\circ$ aralığında olduğunda alan içerisindeki hareketli yüklü parçacığa kuvvet etki eder.

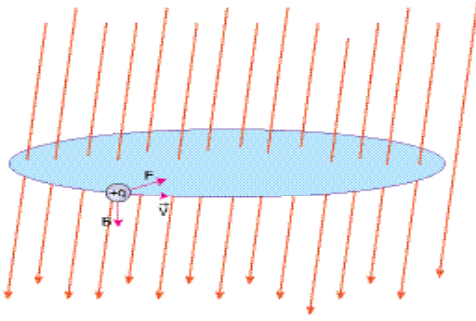
Üzerine kuvvet etki eden bir cismin hareketinde değişiklik meydana gelebilir. Şekil 1.55'teki gibi zıt kutuplu iki mıknatısın arasında oluşmuş, sayfa düzlemine paralel manyetik alan içerisine v hızı ile gönderilen $+q$ ve $-q$ yüklü iki parçacık manyetik kuvvetin etkisiyle hareket doğrultularından sapar. Yüklü parçacıklara etki eden kuvvetin yönü sağ el kuralı ile belirlenir:

Pozitif yük ($+q$) için sağ elin dört parmağı manyetik alanın yönünü, başparmak parçacığın hız vektörünün yönünü gösterecek şekilde yerleştirildiğinde avuç içi manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Negatif yük ($-q$) için ise aynı şekilde sağ el kuralı uygulanıp belirlenen kuvvet yönünün tersi alınarak etki eden manyetik kuvvetin yönü belirlenir.

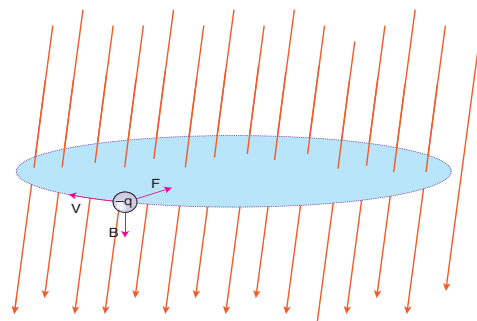
Şekil 1.57'deki gibi $+q$ yüklü parçacık düzgün manyetik alanda hızlandırılıp alan içerisinden çıkamazsa manyetik kuvvetin etkisinde yörüngesini çembere tamamlar. Yüklü parçacık alan içerisinde düzgün çembersel hareket yapar. $-q$ yüklü parçacık manyetik alan içerisinde hızlandırılır ve alan içerisinden çıkamazsa $+q$ yükünün hareketine ters yönde düzgün çembersel hareket yapar (Şekil 1.58).



Şekil 1. 55. Zıt kutuplu mıknatısın arasında oluşan düzgün manyetik alana fırlatılan yüklere etki eden kuvvet.



Şekil 1.56. Pozitif yüklü parçacığın manyetik alan içinde hareketi



Şekil 1.57. Negatif yüklü parçacığın manyetik alandaki hareketi

Şekil 1.56 ve Şekil 1.57’de görüldüğü gibi aynı yönlü düzgün manyetik alan içerisinde, zıt elektrik yüküne sahip yüklü parçacıkların çembersel yörünge üzerinde birbirine ters yönde hareket edecekleri sonucuna ulaşılır. Resim1.13’te bir elektron demetinin düzgün manyetik alan içerisinde hareketi sırasında çizdiği yörünge gösterilmiştir. Resimdeki ışıklı çember, cam balon içerisindeki gaz ortamında elektron demetinin izlediği yoldur. Yapılan bu deneyde elektronların manyetik alan içerisine giriş hızı arttırıldığında ışıklı çemberin yarıçapının büyüdüğü, manyetik alanın şiddeti arttırıldığında ise ışıklı çemberin yarıçapının küçüldüğü gözlemlenmiştir.



Resim 1.13. Elektron demetinin manyetik alandaki hareket yörüngesi

Manyetik kuvvet günlük yaşamda birçok araçta kullanılır. Akımın yönünü gösteren galvanometre, elektrik enerjisini ses enerjisine dönüştüren hoparlörler, kapı otomatları gibi pek çok alanda manyetik kuvvetten yararlanılmaktadır.

1. 4. 6. Manyetik Akı

Günlük yaşamımızı kolaylaştıran birçok cihazın çalışması için elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Barajlarda üretilen binlerce kilowatt değerindeki enerjinin üretilmesinde ve bu enerjinin yerleşim yerlerine dağıtılması sırasında, başka enerjilere dönüşmemesi manyetik akı değişimi ile gerçekleşir.

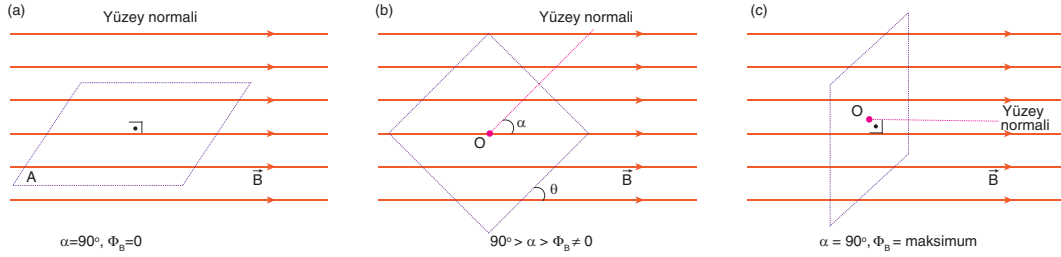
Manyetik akı, şiddeti B olan manyetik alan içerisine konmuş bir çerçeveden geçen alan çizgi sayısının bir ölçüsüdür. Çizgi sayısı, çerçevenin alan içerisindeki durumuna göre değişir. Manyetik akı Φ_B sembolü ile gösterilir ve SI’da birimi weber (wb)’dir.

Yüzey alanı A olan bir çerçeveden geçen düzgün B manyetik alanı için manyetik akının genel ifadesi ,

$$\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos\alpha$$

şeklinde yazılır. Bu bağıntıda, çerçeveden geçen manyetik alanın şiddeti; B, Tel çerçevenin yüzey alanı; A, tel çerçevenin yüzey normalinin alan çizgileri ile yaptığı açı; α ile gösterilir.

Şekil 1.58'de düzgün B manyetik alanı içerisine farklı şekillerde yerleştirilmiş tel çerçeveden geçen manyetik akı ifade edilmiştir.



Şekil 1.58. Düzgün manyetik alan içerisinde bulunan tel halkadan geçen manyetik akı.

Şekil 1.58.a'da tel alan çizgilerine paralel yerleştirildiğinden yüzey normali ile alan çizgileri arasındaki açı $\alpha = 90^\circ$ dir. $\cos 90^\circ = 0$ olduğundan manyetik akının değeri $\Phi_B = 0$ olur. Yani alan çizgilerine paralel yerleştirilen tel çerçeveden manyetik alan çizgisi geçmez. Şekil 1.58.b'de tel çerçeve alan çizgileri ile sıfırdan farklı bir açı yaptığı andan itibaren akı oluşmaya başlar. Çerçeve alan çizgilerine dik konuma gelip, yüzey normali ile alan çizgileri arasındaki açı sıfır oluncaya kadar geçen sürede manyetik akı artar. Şekil 1.58.c'deki gibi tel çerçeve alan çizgilerine dik konuma geldiğinde çerçeveden geçen alan çizgi sayısı en büyük değerde olduğundan manyetik akı da en büyük değerine ulaşır. Bu durumda, $\alpha = 0^\circ$ ve $\cos 0^\circ = 1$ olduğundan manyetik akı matematiksel olarak;

$$\Phi_B = B \cdot A$$

şeklinde yazılır.

Sonuç olarak manyetik akı,

- Ortamdaki manyetik alan şiddetine,
- Tel çerçevenin yüzeyin alanına,
- Tel çerçevenin manyetik alan içerisinde duruş şekline bağlıdır.

Örnek

Yüzey alanı $0,75 \text{ m}^2$ olan bir çerçeve $B= 4 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ değerindeki manyetik alan içinde alan çizgilerine dik olarak yerleştirilmiştir.

Çerçeve manyetik alan çizgilerine 30° açı yapacak duruma getirilirse manyetik akı değişimi kaç Wb olur? ($\cos 0^\circ = 1$, $\cos 60^\circ = 0,5$)

Çözüm

Çerçeve alan çizgilerine dik durumdayken ($\alpha = 0^\circ$) geçen akı miktarı en büyük değerindedir. Buna göre,

$$\Phi_1 = B \cdot A \cdot \cos 0^\circ$$

$$\Phi_1 = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,75 \cdot 1$$

$$\Phi_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

Çerçeve alan çizgileriyle 30° açı yapacak şekilde çevrildiğinde yüzey normalinin alan çizgileriyle yaptığı açı 60° dir.

$$\Phi_2 = B \cdot A \cdot \cos 60^\circ$$

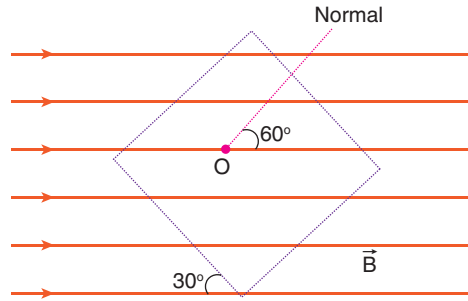
$$\Phi_2 = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,75 \cdot 0,5$$

$$\Phi_2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

Çerçevenin hareketi ile oluşan akı değişimi

$$\Delta\Phi_B = \Phi_2 - \Phi_1 = 1,5 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-2}$$

$\Delta\Phi_B = -1,5 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$ bulunur. Burada (-) işareti akının azaldığını ifade eder.

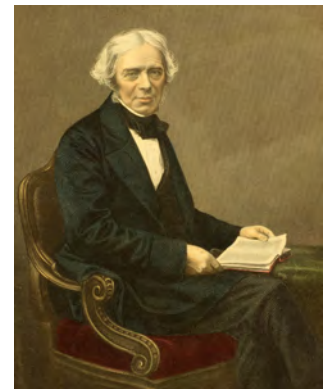


1. 4. 7. İndüksiyon Akımı

Ünitemizin buraya kadar olan kısmında elektrik ve manyetizmanın birbiri ile ilişkili olan iki durumundan bahsedildi:

- Elektrik akımı manyetik alan üretir.
- Manyetik alan hareketli yüke ve üzerinden akım geçen iletken tele kuvvet uygular.

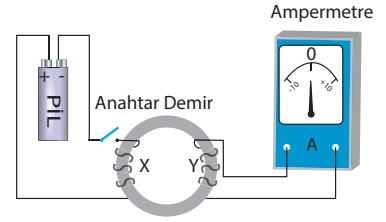
Bütün bu keşifler 1819- 1821 yılları arasında yapılmıştır.



Resim 1.14. Michael Faraday

Daha sonra bilim insanları “ Elektrik akımı bir manyetik alan üretiyorsa, manyetik alan da bir elektrik akımı üretebilir mi? Sorusuna cevap aramışlardır. 1830 yılında Amerika’da Joseph Henry (Cosip Henri) ve İngiltere’de Michael Faraday (Maykıl Ferı-day, Resim 1.14) birbirlerinden habersiz olarak bunun mümkün olabileceğini keşfettiler. Çalışma sonuçlarını ilk açıklayan Faraday olmuştur.

Faraday, manyetik alandan elektrik akımı üretmek için Şekil 1.59’daki düzeneği kurdu. Demir bir halka gövde üzerine sarılmış telden oluşan X bobinini bir pile bağladı. Faraday’ın amacı X bobinindeki sabit bir akımın aynı demir gövdeye sarılmış Y bobininde akım üretecek kadar manyetik alan üretmekti fakat pildeki doğru akımla bir sonuç elde edemedi. Faraday uzun çalışmaları sırasında X bobinine bağlı anahtarı kapattığı anda Y bobinine bağlı ampermetre ibresinin saptığını gözlemledi. Başlangıçta X bobinindeki sabit akım Y bobininin bulunduğu bölgede sabit bir manyetik alan oluşturmuş ancak akım oluşturamamıştı. X bobinine bağlı anahtarı sürekli açıp kapatarak, akımı başlatıp durdurduğunda, Y bobininde bir akımın oluşmasını sağlamıştır. Faraday yaptığı deneyler sonucunda değişen bir manyetik alanın elektrik akımı üretebileceğini keşfetti. Faraday’ın deney sonucu kısaca şöyle ifade edilebilir: Bir elektrik devresinden geçen manyetik akı zamanla değişiyorsa bu devrede bir emk ve akım meydana gelir.



Şekil 1.59. Faraday’ın deney düzeneği.

Aşağıda Genel Ağ adresi verilen simülasyonu yaparak indüksiyon akımını oluşturan sebepleri inceleyiniz.

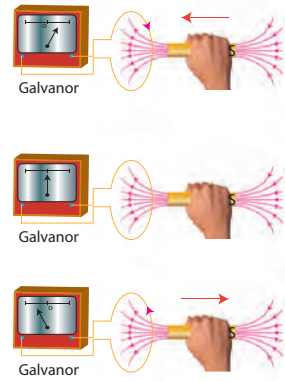
<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday>

Yukarıda Genel Ağ adresi verilen simülasyonda,

- Çubuk mıknatısı bobinin içinden geçirirken bobine bağlı ampulün mıknatısın yavaş hareketinde az, hızlı hareketinde daha fazla ışık verdiği görülmektedir. Simülasyonda voltmetre kullanıldığında voltmetre göstergesinde yine mıknatısın yavaş hareketinde az sapma, hızlı hareketinde daha çok sapma görülür. Bu durum mıknatısın hızlı hareketinde aynı miktardaki akı değişiminin kısa sürede yapılması daha çok emk oluşturduğu anlamına gelmektedir. Mıknatısı bobinin içinde hareket-siz tutarsak ampulün yanmadığı (voltmetre ibresinin saptadığı) görülür. Bu durum emk’nın oluşması için akı değişiminin olması gerektiğini gösterir.

- Mıknatısın kutup şiddetinin artması ampulün daha parlak yanmasına (voltmetre ibresinin daha fazla sapmasına) neden olur. Bu durum manyetik akı değişimi aynı sürede ne kadar çok olursa oluşan emk'nın da o kadar çok olacağını gösterir.
- Bobinin sarım sayısı arttırıldığında ampulün daha fazla ışık vermesi (voltmetrenin daha çok sapması) oluşan emk'nın daha fazla olduğunu gösterir.
- Mıknatısın kutupları ters çevrilip deney tekrarlandığında voltmetrenin ibresinin ters yöne sapması, mıknatıs hareketsizken bobinin hareket ettirilerek yine aynı etkilerin görülmesi, bobin ve mıknatısın birbirine göre hareketli olmasının akı değişimi meydana getirdiğini göstermektedir. Akı değişimi emk'nın oluşumu için gerekli şarttır.
- Bobinin yüzey alanının değişmesi ile de ampulün ışık vermesi (voltmetre ibresinin sapması) manyetik alan şiddeti değişmese bile bir akı değişimi oluşturacağını gösterir.

Manyetik alanı değiştirerek indüksiyon emk'sının dolayısıyla indüksiyon akımının nasıl oluştuğunu anlamak için Şekil 1.60'daki gibi galvanometreye bağlanmış bir tel halkayı göz önüne alalım. Bir çubuk mıknatıs halkaya doğru yaklaştırıldığında, galvanometrenin ibresi, Şekil 1.60.a.daki gibi bir miktar sağa sapar. Mıknatıs, halkadan uzaklaştırılırsa ibre, Şekil 1.60.c.deki gibi ters yönde sapar. Burada mıknatısın hareket yönünü değiştirmek, hareket yoluyla akımın yönünün değişmesini sağlar. Mıknatıs halkaya göre hareketsiz olduğunda ise (Şekil 1.60.b) hiçbir sapma gözlenmez. Son olarak, durgun hâlde tutulan mıknatısa yaklaşan ya da uzaklaşan yönde halka hareket ettirilirse ibre yine sapar.



Şekil 1.60. Mıknatısın hareketine göre indüksiyon akımının oluşması

Yukarıda yapılan açıklamalara göre, akım ile manyetik alan arasında bir ilişkinin olduğu sonucuna varılabilir. Devrede hiç üreteç olmamasına rağmen, devrede bir akımın oluşması indüklenmiş emk tarafından sağlandığı için, böyle bir akıma indüksiyon akımı denir. Genel olarak, indüklenmiş emk ve akımı içeren deneyleri özetleyen ifade Faraday'ın İndüksiyon Yasası olarak bilinir.

Faraday'ın İndüksiyon Yasası: Bir devrede indüklenen emk, devreden geçen manyetik akının zamana göre değişimi ile doğru orantılıdır.

Faraday'ın İndüksiyon Yasası matematiksel olarak;

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

şeklinde yazılır. Devre, aynı alana sahip n tane sarımdan oluşuyorsa ve Φ_B tek bir sarımdan geçen manyetik akı olursa, her sarımda bir emk oluşur. Buna göre bobinde yani devrede oluşan toplam emk,

$$\varepsilon = -n \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

şeklinde yazılır. Eşitlikte, akı değişimi ($\Delta \Phi_B$) birimi; weber, geçen süre (Δt) birimi; saniye olarak alınırsa emk (ε)'nın birimi,

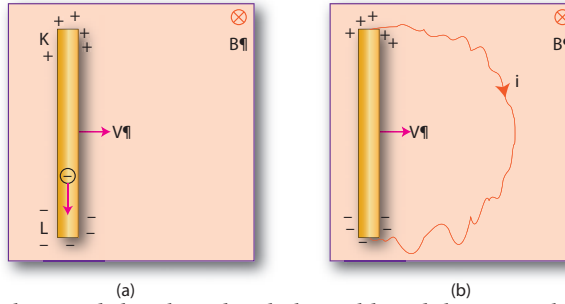
$$\varepsilon = \frac{\text{weber}}{\text{saniye}} = \text{volt olur.}$$

Denklemdaki (-) işareti Lenz Yasası ile ifade edilir.

Lenz Yasası: İndüklenmiş emk tarafından üretilen akım, oluştuğu manyetik akıdaki değişime karşı koyacak etkiyi meydana getirecek şekilde yönelir.

Şimdi akı değişimi ile emk oluşumunu manyetik kuvvet ile açıklayalım:

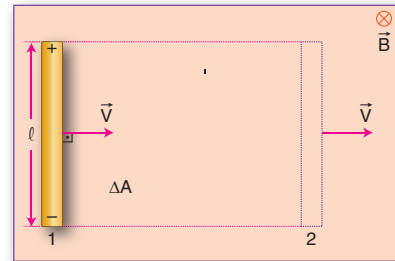
Şekil 1.61.a.daki gibi bir KL iletken çubuğu düzgün bir B manyetik alanında v hızı ile hareket ettirilirken iletken içindeki yüklere manyetik kuvvet (F) etkir. Sağ el kuralına göre; negatif(-) yükler aşağı yönlü manyetik kuvvet etkisiyle L ucuna sürüklenirken, K ucunda pozitif (+) yükler kalır. Sonuç olarak, manyetik alan içerisinde hareket eden KL iletkeni, K ucu pozitif (+), L ucu negatif (-) kutuplu olan bir üreteç hâline gelir. Eğer Şekil 1.61.b.deki gibi üreticinin kutupları iletken tel ile birleştirilerek kapalı bir devre hâline getirilirse K ve L kutupları arasında tel boyunca indüksiyon akımı oluşur.



Şekil 1.61. a. b. Manyetik alan içinde hareket eden iletken telde indüksiyon emk ve akımın oluşması

Şekil 1.62'deki gibi B şiddetindeki düzgün manyetik alan içerisinde boyu ℓ , hızının büyüklüğü v olan bir iletken telin uçları arasında oluşan indüksiyon emk'sını veren bağıntıyı bulalım:

Şekil 1.62'de iletken tel Δt sürede 1 konumundan 2 konumuna v sabit hızıyla hareket et-



Şekil 1.62. İletken bir telin düzgün manyetik alanda indüklenmesi

tiğinde $v \cdot \Delta t$ kadar bir yer değiştirir. Bu süre içerisinde meydana gelen akı değişimi bir indüksiyon emk'sının oluşmasına neden olur. Faraday'ın İndüksiyon Yasası ile verilen

$$\varepsilon = n \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \text{ eşitliğinde}$$

$$\Delta \Phi_B = B \cdot \Delta A = B \cdot (\ell \cdot v \cdot \Delta t) \text{ ve } n = 1 \text{ olarak alınırsa}$$

$$\varepsilon = \frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t} = \varepsilon = \frac{B \cdot \ell \cdot \Delta A}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = B \cdot \ell \cdot v$$

elde edilir. Eğer hız vektörü ile iletken tel arasında α açısı varsa telin uçlarında oluşan emk'nın büyüklüğü

$$\varepsilon = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha$$

olarak yazılır.

Manyetik alan çizgilerine dik yerleştirilmiş telin iki ucu, direnci R olan bir iletken tel ile birleştirilirse tel boyunca oluşan indüksiyon akım Ohm Yasası'ndan

$$\varepsilon = i \cdot R$$

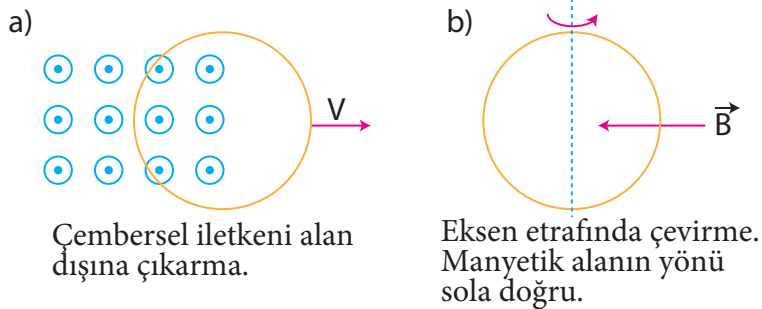
$$B \cdot \ell \cdot v = i \cdot R$$

$$i = \frac{B \cdot v \cdot \ell}{R}$$

olarak elde edilir. Bu bağıntıya göre indüksiyon akımı ortamın manyetik alan şiddeti, telin uzunluğu ve hız ile doğru orantılı iken telin direnci ile ters orantılıdır.

Örnek

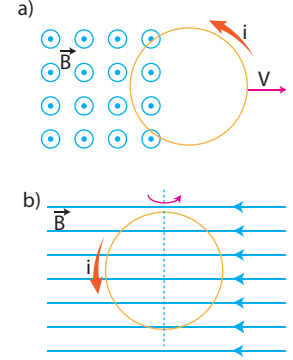
Aşağıdaki her bir durum için iletken halka üzerindeki indüksiyon akımının yönünü belirleyiniz.



Çözüm

(a) şeklinde halka sayfa düzleminde dışa doğru yönelmiş manyetik alanın dışına doğru çekildikçe, halkadan geçen alan çizgilerinin sayısı azalır. Lenz Yasası'na göre indüksiyon akımının yönü, halkanın içinde azalan akıyı arttıracak şekilde sayfa düzleminde dışarıya doğru alan oluşturmak üzere saat yönünün tersi yönünde olacaktır.

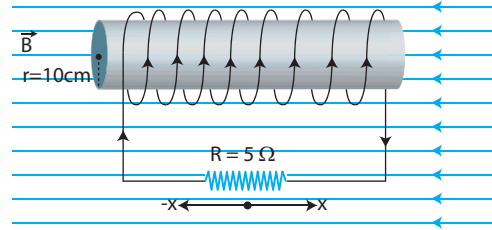
(b) şeklinde başlangıçta halka içinden alan çizgileri geçmediği için telde akım oluşmaz. Halka döndürülmeye başlandığı andan itibaren, halka içinden geçen akı artmaya başlar. Akıdaki bu artışı engellemek için indüksiyon akımının yönü, halkanın içindeki akı artışını azaltacak şekilde saat yönünün tersi yönünde olacaktır.



Örnek

Şekildeki bobin 10 sarımlıdır. Bobinin içinde bulunduğu manyetik alanın şiddeti 0,5 saniyede 1 tesla (T)'dan 0,4 tesla (T)'ya düşüyor.

Buna göre, bobinde oluşan indüksiyon akımının yönünü ve şiddetini bulunuz. ($\cos 0^\circ = 1$, $\pi = 3$)



Çözüm

İndüksiyon akımının şiddetini bulmak için önce indüksiyon emk'sını bulmak gerekir. Faraday'ın İndüksiyon Yasası'na göre emk $\varepsilon = -n \cdot (\Delta\Phi_B)/\Delta t$ eşitliği ile bulur. Bunun için önce akı değişimi hesaplanmalıdır. Bobin alan çizgilerine paralel yerleştirildiği için yüzey normalinin alan çizgileri ile yaptığı açı 0° dir

$$r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m alınarak}$$

$A = \pi \cdot r^2 = 3 \cdot (0,1)^2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ bulunur. Birinci ve ikinci durumdaki manyetik akı,

$$\Phi_1 = B_1 \cdot A \cdot \cos 0^\circ = 1 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 \cdot A \cdot \cos 0^\circ = 0,4 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ wb}$$

$$\Delta\Phi_B = \Phi_2 - \Phi_1 = 1,2 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-2} = -1,8 \cdot 10^{-2} \text{ wb}$$

$n=10$ sarım olduğuna göre Faraday'ın İndüksiyon Yasası'nda verilenleri ve bulunan

akı değişimi değeri yerine yazılırsa;

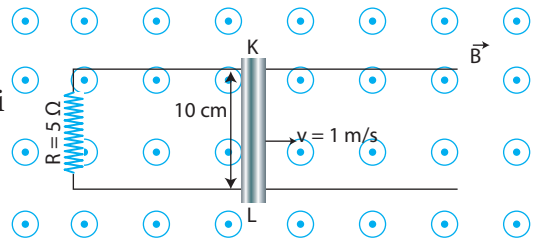
$$\varepsilon = -10 \frac{(-1,8 \cdot 10^{-2})}{0,5} = 0,36 \text{ volt}$$

İndüksiyon akımı Ohm Yasası'ndan $i = 10 \cdot \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0,36}{5} = 0,072$ amper olarak bulunur.

İndüksiyon akımının yönü ise bobinin bulunduğu manyetik alanın şiddeti azaldığından Lenz Yasası'na göre bu azalışa engel olacak şekilde olmalıdır. Buna göre, bobine sağ el kuralı uygulandığında ortamın alan çizgileri yönünde manyetik alan çizgilerinin oluşması için direnç teli üzerinden geçen akımın yönü $-x$ yönünde olmalıdır.

Örnek

Uzunluğu 10 cm olan KL iletken çubuğu şekildeki gibi sayfa düzleminden dışarı yönelmiş ve şiddeti $B = 0,5$ Tesla olan çizgileri içerisinde 1 m/s hızla hareket ettiriliyor.



Buna göre;

- Çubuğun uçları arasında oluşan indüksiyon emk kaç voltur?
- R direncinden geçen indüksiyon akımı kaç amperdir?

Çözüm

- Çubuğun uçları arasında oluşan indüksiyon emk

$\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell$ eşitliğinde verilenler yerine yazıldığında

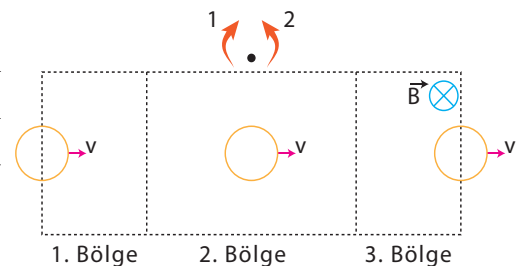
$$\varepsilon = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ volt bulunur.}$$

- R d ε enci üzerinden geçen indüksiyon akımı Ohm Yasası'ndan

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{5} = 10^{-2} \text{ amper olarak bulunur.}$$

Örnek

Sayfa düzlemine dik, içeri doğru yönelmiş B şiddetindeki manyetik alan içine sabit v hızıyla giren ve yine aynı v hızıyla çıkan iletken tel halkanın 1, 2 ve 3. bölgelerdeki konumu şekildeki gibidir.



Buna göre, 1, 2 ve 3. bölgelerde halka üzerinde oluşan indüksiyon akımının yönü nasıldır?

Çözüm

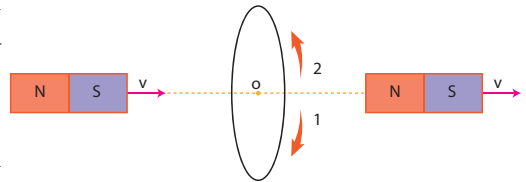
Tel halka 1.bölgeye girdiği andan itibaren merkezinden geçen manyetik alan çizgi sayısı dolayısıyla manyetik akı artar. Lenz Yasası'na göre tel üzerinden geçen akım yönü bu akı artışını azaltacak yönde olması gerekir. Bu durum göz önünde bulundurularak sağ el kuralı uygulandığında tel üzerinde oluşan indüksiyon akımının yönü 2 yönünde olmalıdır. Tel üzerinde 2 yönünde oluşan akım, telin merkezinde düzlemden dışarı yönde manyetik alan oluşturur ve akı artışı azalır.

Tel halka 2. bölgede sabit v hızıyla ilerlerken, merkezinden geçen alan çizgi sayısı değişmez, dolayısıyla akı değişimi oluşmaz. Bu nedenle tel halka 2. bölgeden geçerken üzerinde indüksiyon akımı oluşmaz.

Tel halka 3. bölgede manyetik alan içerisinde çıkarken merkezinden geçen alan çizgileri sayısı azalır, dolayısıyla manyetik akı da azalır. Lenz Yasası'na göre tel üzerinden geçen akım yönü bu akı azalışını engelleyecek yönde olması gerekir. Sağ el kuralı uygulandığında oluşan indüksiyon akımının yönü 1 yönünde olmalıdır.

5. UYGULAMA

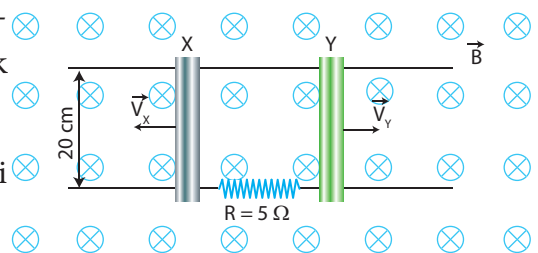
1. Bir çubuk mıknatıs iletken tel halkanın merkez doğrultusu boyunca şekildeki gibi v sabit hızı ile hareket ettiriliyor.



Mıknatıs tel halkaya yaklaşırken ve tel halkadan uzaklaşırken halka üzerinde hangi yönde indüksiyon akımı oluşur?

2. X ve Y iletken çubukları sayfa düzleminde içeriye dik olarak yönelmiş 10 Teslalık düzgün manyetik alan içinde

$v_x = 1 \text{ m/s}$ ve $v_y = 2 \text{ m/s}$ sabit hızla şekildeki gibi hareket ettiriliyor.



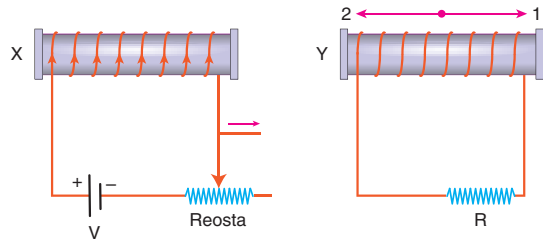
Buna göre R direnci üzerinden geçen indüksiyon akımının yönünü ve şiddetini bulunuz.

3. X ve Y bobinleri şekildeki gibi aynı düzlemde karşılıklı yerleştirilmiştir. X bobininden devre akımı geçtiğinde reostanın sürgüsü 1 yönünde çekiliyor.

Buna göre;

a) Y bobininin merkez doğrusu üzerinde hangi yönde manyetik alan oluşur?

b) Y bobinine bağlı R direnci üzerinden geçen indüksiyon akımının yönü nasıldır?

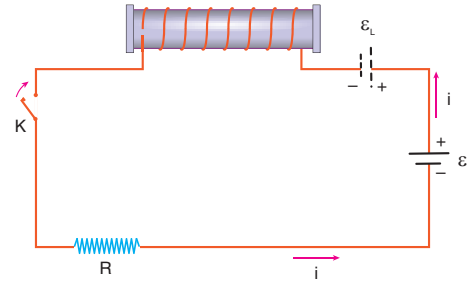


1. 4. 8. Öz- İndüksiyon Akımı

Bir elektrik devresinde batarya ve diğer kaynakların oluşturduğu akım ve emk ile değişen manyetik alanın oluşturduğu akım ve emk farklıdır. Akım ve emk oluşumunda kullanılan batarya ve pil gibi fiziksel kaynağı ifade etmek için kaynak sıfatı kullanılırken, değişen bir manyetik alanın sebep olduğu akım ve emk'yi isimlendirirken indüklenmiş sıfatı kullanılır.

Peki, bu iki farklı sığa sahip akım ve emk nasıl ayırt edilebilir?

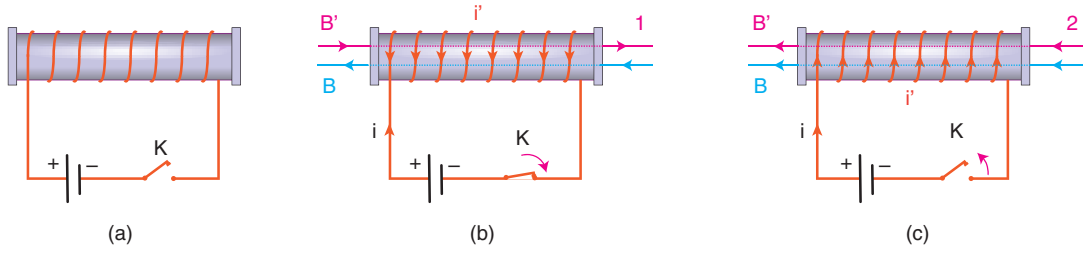
Bu soruya cevap verebilmek için Şekil 1.63'te görüldüğü gibi anahtar, direnç, bobin ve emk kaynağı (pil)'ndan oluşan bir devreyi inceleyelim:



Şekil 1.63. Devrede anahtar kapatılıncaya akım, bobinden geçen manyetik akı oluşturur. Değişken akı öz-indüksiyon emk ve öz- indüksiyon akımını oluşturur.

Devrede K anahtarı kapatıldığında akım hemen sıfırdan en büyük değeri olan $i = \varepsilon/R$ değerine ulaşmaz. Bu olay Faraday'ın İndüksiyon Yasası'na göre akım zamanla arttıkça, bu akımdan dolayı ortaya çıkan ve halkadan geçen akı da artar. Artmakta olan bu akı, devrede bir indüksiyon emk oluşturur. Bu indüksiyon emk, halkada indüksiyon akımının oluşmasına sebep olacak şekilde kutuplanır. Oluşan akım da kaynak manyetik alandaki değişime karşı koyacak yönde bir manyetik alan oluşturur. Böylece, indüksiyon emk'nin kutuplanması, kaynağın emk'nin kutuplanma yönüne terstir. Bu durum, kaynak akımının en büyük değerine ani bir artış yerine kademeli bir artış yapmasına neden olur. Bu olay, devreden geçen değişen akımın ortaya çıkardığı indüksiyon emk ve indüksiyon akımı, devrenin kendisinden kaynaklandığı için emk ve akım özindüksiyon sıfatını alır. Şekil 1.64'te kesikli çizgilerle gösterilen batarya sembolü özindüksiyon emk'ini temsil etmektedir. Özindüksiyon emk'ine kaynakla ters kutuplandığı için zıt emk da denir ve ξ ile gösterilir.

Özindüksiyon olayını Şekil 1.64'te verilen bobin üzerinde inceleyelim:



Şekil 1.64. Özindüksiyon emk'i ve özindüksiyon akımının oluşması

Şekil 1.64.a.da K anahtarı kapatıldığında, kaynak akım şiddeti (i), sıfır değerinden en büyük değerine doğru artarken manyetik alanın şiddeti (B) ve manyetik akı (Φ_B) de sıfır değerinden en büyük değerine yükselir. Bu durumda Lenz Yasası'na göre bobinden geçen akıyı azaltmak için 1 yönünde manyetik alan (B') oluşmasına neden olan özindüksiyon akımını (i') oluşturacak şekilde kutuplanan özindüksiyon emk'i oluşur (Şekil 1.64.b). K anahtarı kapalı kaldığı sürece akımın değeri sabit kaldığından bobinin merkez doğrusu üzerinde oluşan manyetik alanın şiddeti ve manyetik akı değişmez. Bu nedenle bobinin sarımlarında özindüksiyon akımı oluşmaz ($i'=0$).

Şekil 1.64.c.deki gibi K anahtarı açıldığında devredeki akım şiddeti (i), en büyük i değerinden 0 değerine doğru azalırken manyetik alan şiddeti (B) ve manyetik akı (Φ_B) de en büyük değerinden 0 değerine doğru azalır. Bu durumda Lenz Yasası'na göre manyetik akıyı arttırmak için 2 yönünde manyetik alan (B') oluşmasına neden olan özindüksiyon akımını (i') oluşturacak şekilde kutuplanan özindüksiyon emk'i oluşur.

Kısaca özetlemek gerekirse kapalı iletken bir devrenin kendi üzerinde meydana getirdiği indüksiyon olayında özindüksiyon akımı, üreteç akımı artarken ona karşı yönde; üreteç akımı azalırken onunla aynı yönde destekleyici olarak ortaya çıkar.

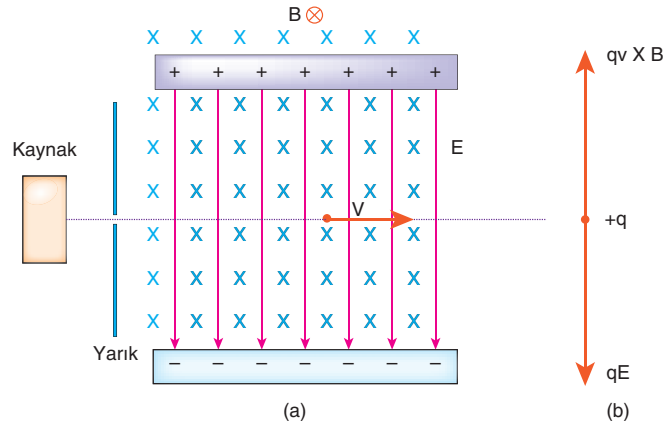
1.4. 9. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı

Hem bir elektrik alanı hem de bir manyetik alan içerisinde v hızı ile hareket eden bir yük, elektriksel kuvvet ($F_e = q \cdot E$) ve manyetik kuvvet ($F_m = q \cdot v \cdot B$) etkisindedir. Bu durumdaki yüke etki eden toplam kuvvete Lorentz Kuvveti adı verilir. Lorentz Kuvveti'nin matematiksel ifadesi

$$\vec{F} = (q \cdot \vec{E}) + (q \cdot v \cdot \vec{B})$$

şeklinde yazılır.

Hareketli yüklerin bulunduğu deneylerde yüklerin aynı hızda hareket etmeleri önemlidir. Bunu sağlamak için Şekil 1.66'daki gibi yönleri düzenlenmiş elektrik ve manyetik alan bileşimi uygulanır.



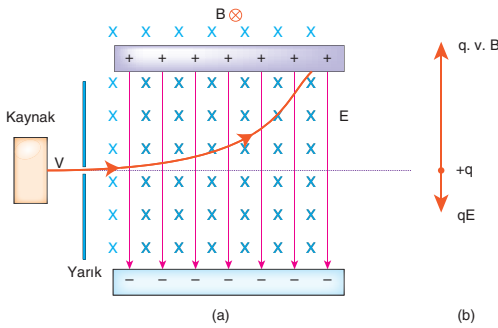
Şekil 1.65. Pozitif yüklü parçacık elektrik ve manyetik alanların aynı anda bulunduğu yerde hem aşağı yönlü elektriksel kuvvetin hem de yukarı yönlü manyetik kuvvetin etkisindedir.

Şekil 1.65.a.da yüklü iletken paralel levhaların arasında oluşan düzgün elektrik alanı düşey olarak aşağı doğru yönelmiştir. Düzgün manyetik alan ise elektrik alanına dik olarak sayfa düzleminden içeriye doğru yönelmiştir. Kaynaktan v hızı ile gönderilen pozitif (+) işaretli q yükünün davranışını inceleyelim: $+q$ yükü elektrik ve manyetik alanların içerisine girdiği anda yukarı doğru manyetik kuvvet (F_m) ve aşağı doğru elektriksel kuvvet etkir (Şekil 1.65.b). Eğer bu iki kuvvetin birbirine eşit olması ($F_m = F_e$) sağlanırsa yüklü parçacık alanların bulunduğu bölgede doğrusal bir yatay çizgi üzerinde ilerler

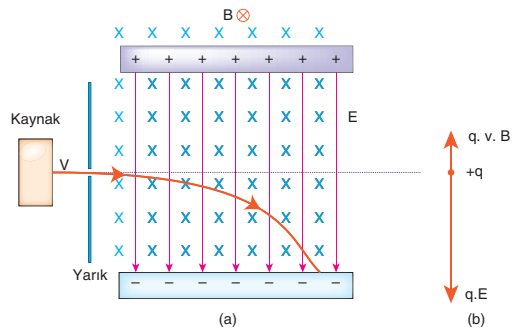
$$F_m = F_e \text{ eşitliğinde } q \cdot E = q \cdot v \cdot B$$

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

elde edilir. Yüklü parçacıklar elde edilen bu v hız değeri ile birbirine dik elektrik ve manyetik alanın içinden doğrultusundan sapmadan geçebilir. Bu değerden daha büyük hızla hareket eden parçacıklara etkiyen manyetik kuvvetin şiddeti, elektrik-sel kuvvetin şiddetinden daha büyük olacağından yukarıya doğru saptırılırlar (Şekil 1.66.a.b). Bu değerden daha küçük hızlarda ise elektriksel kuvvetin şiddeti daha büyük olacağından aşağıya doğru saptırılırlar (Şekil 1.67.a.b).

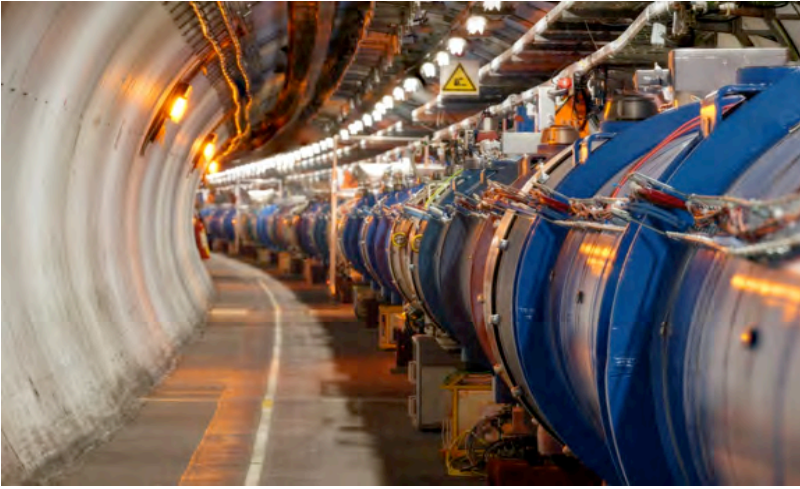


Şekil 1.66. Manyetik kuvvet elektriksel kuvvetten büyük olursa yüklü parçacık yukarı saptırılır.



Şekil 1.67. Manyetik kuvvet elektriksel kuvvetten büyük olursa yüklü parçacık aşağı saptırılır.

Lorentz Kuvveti'nin günlük yaşamdaki en önemli uygulamalarından biri parçacık hızlandırıcılarıdır. Parçacık hızlandırıcılar, elektron ve proton gibi temel yüklü parçacık demetlerini istenen kalitede ve hedeflenen enerjilere hızlandıran donanımlardır. Parçacık hızlandırıcılarının; petrol ve gaz yataklarının aranmasında, çevre atıklarının etkisiz hâle getirilmesinde, gıda sterilizasyonunda, nükleer atıkların temizlenmesinde, anjiyografide, baca gazlarının temizlenmesinde, arkeolojide, biyoteknolojide, nanoteknolojide, gen biliminde, savunma sanayi gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Günümüzde en büyük parçacık hızlandırıcı İsviçre'deki CERN Bilimsel Araştırma Merkezi'nde bulunmaktadır (Resim 1.14).



Resim 1.14. CERN Laboratuvarı'nda bulunan parçacık hızlandırıcı

1. 4. 10. Elektromotor Kuvveti Oluşturan Sebepler

Elektrik jeneratörleri elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme prensibine göre çalışan jeneratörler en basit biçimde manyetik alan içinde bazı dış etkenlerle dönen bir iletken tel çerçeveden ibarettir. Örneğin hidroelektrik santrallerinde türbin kanatlarına doğru yönlendirilen su kütlesi dönme hareketini meydana getirir (Resim 1.15). Termik santrallerde, yanan kömürün sağladığı enerji, suyun buhar hâline dönüştürülmesi ve buharın türbin kanatlarına çarparak dönme hareketini oluşturur. İletken tel çerçeve manyetik alan içinde döndükçe, çerçevenin içinden geçen manyetik akı zamanla değişir. Bu durum Faraday'ın İndüksiyon Yasası'na uygun olarak, çerçevede bir emk'i oluşturur.



Resim 1.15. Bir hidroelektrik santralinde türbinler jeneratörü döndürür.

Şekil 1.68’ de bir jeneratörün şematik gösterimi verilmiştir. Dış etkenler tarafından döndürülen tel çerçevede emk’i oluşur. Bu çerçevenin, tek bir sarım yerine, her birinin alanı A ve n tane sarıma sahip olduğu düşünülürse çerçeveden geçen manyetik akı,

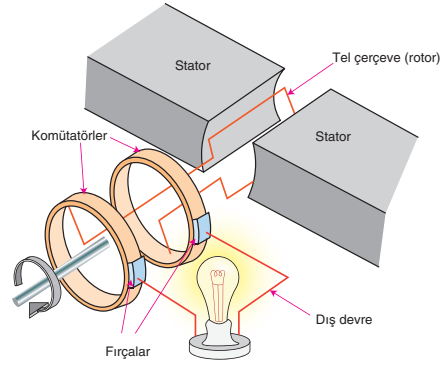
$$\Phi_B = n \cdot B \cdot A \cdot \cos\alpha$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntıya göre manyetik akı, çerçeve düzleminin normali ile manyetik alan çizgileri arasındaki açıya, alan şiddetine ve sarım sayısına bağlı olarak değişir. Buna göre, tel çerçeve alan çizgileri ile $\alpha = 0^\circ$ ya da $\alpha = 180^\circ$ açı yaptığında alan çizgilerine dik konuma geldiğinden çerçevede oluşan emk’i en büyük değerini alır. Tel çerçeve alan çizgileri ile $\alpha = 90^\circ$ ya da $\alpha = 270^\circ$ açı yaptığında ise çerçevede emk’i oluşmaz. Tel çerçeveden geçen akı değişiminin yanında manyetik alan şiddetinin ve telin sarım sayısının artması da emk’in değerini değiştiren etkenlerdir. Bir jeneratörde oluşan emk’nin zamana bağlı grafiği Grafik 1.3’teki gibi olur

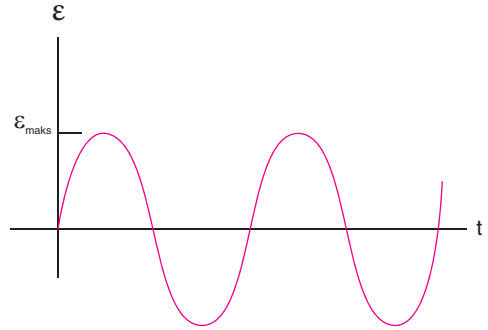
Bir jeneratörde elektrik akımı tel çerçevede oluşur. Telin iki ucu komütatörlere bağlıdır. Çerçeve ile birlikte dönen komütatörler fırça adı verilen karbon parçalara sürtünür. Böylece akım, çerçeveden komütatörler yardımıyla fırçalara geçerek dış devreye iletilir.

Elektrik motoru

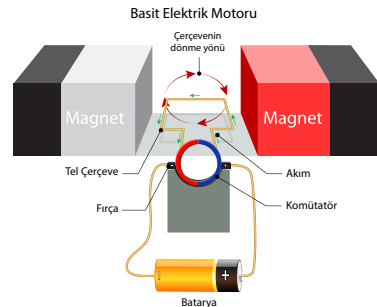
Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren aygıtlardır. Esas olarak bir motor; ters yönde çalışan bir jeneratördür. Dönen bir halka yardımıyla bir akım üretme yerine, bataryadan halkaya akım sağlanır ve akım taşıyan halkaya etkiyen tork halkanın dönmesine neden olur. Şekil 1.69’da basit bir elektrik motoru görülmektedir. Motordan geçen akımın sürekli olmasını sağlayan yarım çember



Şekil 1.68. Jeneratörün şematik gösterimi



Grafik 1.3. Tel çerçevede oluşan emk'in zamana göre değişimi

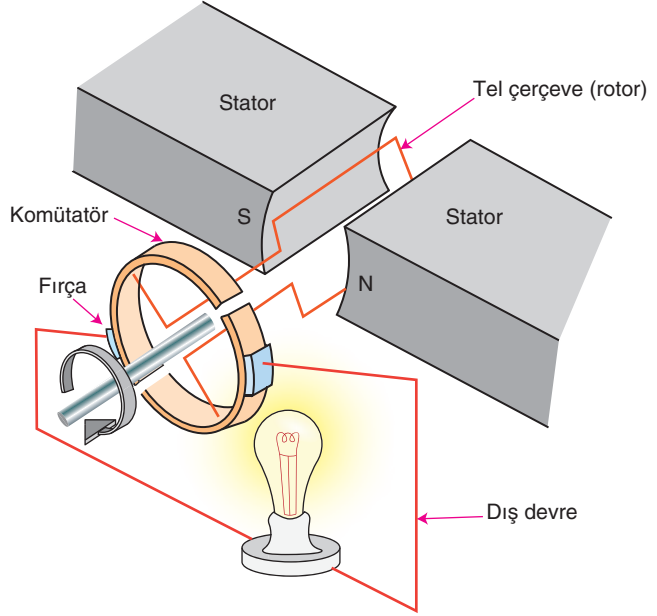


Şekil 1.69. Elektrik motorunun şematik gösterimi

şeklindeki komütatör adı verilen parçalardır. Karbon fırçalar komütatöre hafifçe sürtünerek üreteç akımını aktarır ve çerçevenin dönmesi sağlanır.

Bir elektrik motoru iki parçadan oluşur: Rotor ve stator. Rotor, motorun dönen kısmıdır. İletken tel çerçeve motorun rotorudur. Stator, motorun hareketsiz olan kısmıdır. Şekil 1.69'daki motorun statoru, kutupları görülen mıknatıslardır.

Dinamolar, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Dönen tel çerçeve ile olan temaslarını, toplayıcı olarak görev yapan tek bir komütatörle yapması dışında, kullanılan parçalar jeneratörünki ile aynıdır. Mıknatısın kutupları arasındaki tel çerçeve döndükçe meydana gelen akı değişimi değişken bir akım oluşturur. Dinamoda toplayıcı olarak tek bir komütatörün görev yapması çıkış voltajının daima + ve - kutuplu oluşmasına neden olur (Şekil 1.70). Bu nedenle dinamolara **doğru akım (tek yönlü) jeneratörleri** de denir.



Şekil 1.70 . Dinamonun şematik gösterimi

Aşağıda Genel Ağ adresi verilen simülasyonu yaparak elektromotor kuvveti oluşturan sebepleri inceleyiniz.

<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday>

Aşağıda Genel Ağ adresi verilen simülasyonu yaparak indüksiyon akımını oluşturan sebepleri inceleyiniz.

<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday>

5. BÖLÜM : ALTERNATİF AKIM



ANAHTAR KAVRAMLAR

- Alternatif akım
- İndüktans
- Kapasitans
- Empedans
- Rezonans

Bu bölümü tamamladığınızda,

1. Alternatif akımı açıklayarak farklı ülkelerin elektrik şebekelerinde kullanılan akım ve gerilim değerlerinin neden farklı olduğunu,
2. Alternatif akım ve doğru akım arasındaki farkları,
3. Alternatif akımın etkin ve maksimum değerlerini,
4. Alternatif akım ve doğru akım devrelerinde direncin, bobinin ve sığacın davranışını,
5. Alternatif akım devresinde indüktans, kapasitans, rezonans ve empedans kavramlarını öğrenmiş olacaksınız.

1. 5. 1. Alternatif Akım

Bundan önceki bölümde iletken bir tel çerçeveden geçen manyetik akı değişimi sonucunda indüksiyon akımının oluştuğu ifade edildi. Akı değişimi meydana getirmenin bir yolunun da çerçeveyi manyetik alan içinde bir eksen etrafında döndürmek olduğunu da öğrendik. Bu yolla oluşan akım, çerçevenin her 180° dönmesinde yönünü ve şiddetini değiştirir. Zamanla yönü şiddeti değişen bu akıma **alternatif akım** denir. İngilizcedeki karşılığı olan “Alternating Current”in (alternating karrıntı) baş harfleri olan **AC** sembolü ile ifade edilir. Günümüzde tıpta, sanayide, teknolojiye ve hayatımızı kolaylaştıran birçok aracın çalışması için alternatif akım kullanılır.

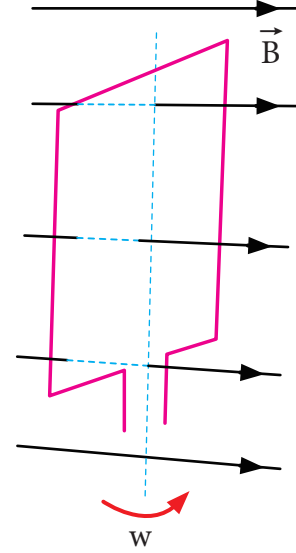
Peki, alternatif akım nasıl oluşur?

Düzgün manyetik alan içerisine konulan iletken bir tel çerçeveden geçen manyetik akı değişimi indüksiyon emk'ini oluşmasına neden olur. Şekil 1.71'deki gibi çerçeve alan içerisinde döndürülmesiyle, akımın sürekli değişmesi ve çerçevede sürekli bir indüksiyon emk'inin oluşmasını sağlar.

Alternatif akımı daha iyi kavrayabilmek için periyot, frekans ve açısal hız kavramlarının bilinmesi gerekir. Şimdi sırasıyla bu kavramları tanımlayalım:

Periyot (T) : İletken tel çerçevenin bir tam tur dönmesi için geçen zamandır. Bu süre içerisinde akım, sıfırdan başlayarak pozitif yönde en büyük değerine ulaşır ve tekrar düşerek sıfıra ve negatif yönde en büyük değerine ulaşır. SI'da periyot birimi **saniye (s)** olarak kabul edilmiştir.

Frekans (f) : İletken tel çerçevenin bir saniyedeki tam dönme sayısıdır. SI'da birimi, periyot birimi saniye alındığında, s^{-1} dir. Frekans birimi **hertz (Hz)** olarak da ifade edilir.



Şekil 1.71: Düzgün manyetik alan içinde tel çerçevenin döndürülmesi sürekli bir emk'inin oluşmasını sağlar.

Açısal hız (w) : İletken tel çerçevenin, dönme hareketi sırasında yüzey normalinin birim zamanda taradığı açıdır. Çerçeve Δt sürede α açısı taradığı düşünülürse açısal hızın büyüklüğü $w = \frac{\alpha}{\Delta t}$ eşitliği ile bulunur. Çerçeve bir tam turunda $\alpha = 2\pi$ kadar açıyı T periyotluk sürede tarayacağından açısal hız

$$w = \frac{2\pi}{T} \quad \text{ya da } w = 2\pi f$$

şeklinde yazılır.

Düzgün manyetik alan içerisinde iletken bir tel çerçevenin döndürülmesi ile oluşan indüksiyon emk'inin Faraday'ın İndüksiyon Yasası'na göre $\varepsilon = -n \cdot \frac{(\Delta\Phi_B)}{\Delta t}$ bağıntısı ile hesaplandığı ifade edilmişti. Şimdi emk'in iletken tel çerçevenin dönüş zamanına göre denklemini bulalım:

Yüzey alanının büyüklüğü A olan iletken tel çerçeve düzgün B manyetik alanı içinde döndürülürken yüzey normalinin alan çizgileri ile α açısı yaptığı konumda, çerçeveden geçen manyetik akı

$$\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos\alpha$$

eşitliği ile hesaplandığını biliyoruz. Açısal hız için yazılan $w = \frac{\alpha}{\Delta t}$ eşitliğinden α açısı yerine ($\Delta t = t - 0 = t$) yazılarak $\alpha = w \cdot t$ yazılırsa herhangi bir t anında tel çerçeveden geçen manyetik akı değeri için,

$$\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos wt$$

eşitliğine ulaşılır. Elde edilen bu bağıntı Faraday'ın İndüksiyon Yasası denkleminde yerine yazıldığında, işlem detayına girmeden, t anında tel çerçevede oluşan emk'in denklemini

$$\varepsilon = -n \cdot \frac{(\Delta\Phi_B)}{\Delta t} = -n \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos\alpha)}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = n \cdot B \cdot A \cdot w \cdot \sin wt$$

şeklinde yazılır. Denklemdaki ε , anlık ya da ani emk demektir. Denklemdaki “n. B. A. w” kısmı sabit nicelikleri içerir. Bu niceliklerin çarpımı emk'in en büyük (maksimum) değerine eşittir. Buna göre emk'in en büyük değeri,

$$\varepsilon_{\max} = n \cdot B \cdot A \cdot w$$

şeklinde yazılır.

O hâlde iletken tel çerçevede oluşan emk'in denklemi,

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \cdot \sin \omega t$$

olarak yazılabilir.

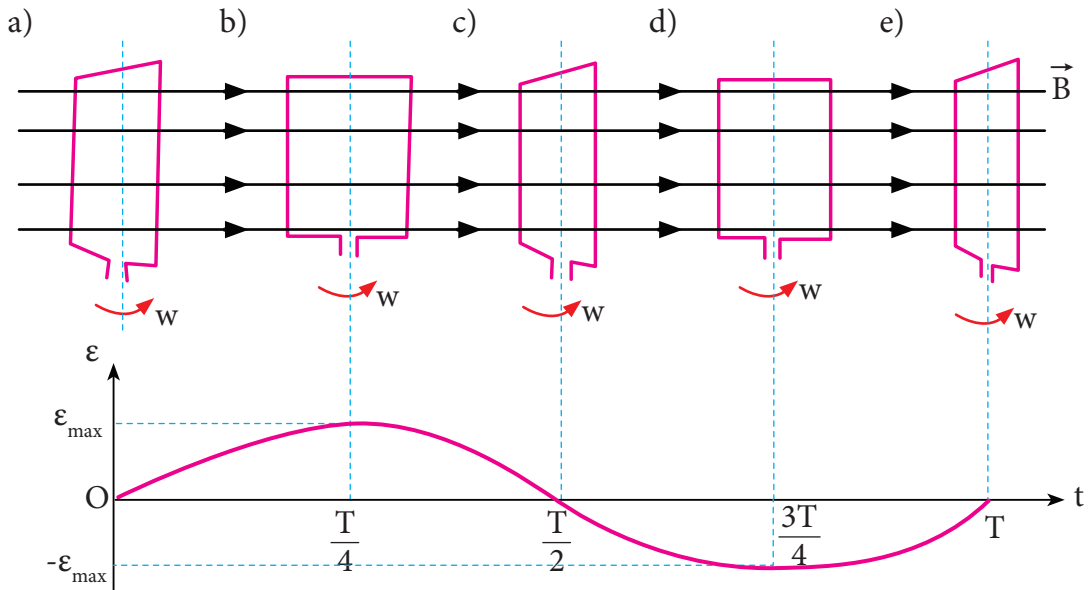
İndüksiyon emk'i için elde edilen denklem bir sinüs fonksiyonu denklemidir. Bu nedenle tel çerçevede oluşan emk değeri de bu fonksiyonun grafiğine göre değişmelidir. Çerçevenin bir tam turu için geçen süre (periyot) T olarak alındığında, $t = 0$ anından itibaren çerçevenin 90° dönüşü için geçen süre $t = T/4$, 180° dönüşü için $t = T/2$, 270° dönüşü için $t = 3T/4$ ve 360° dönüşü için $t = T$ olacaktır .

İndüksiyon emk denkleminde açısal hız yerine $\omega = 2\pi/T$ yazılırsa

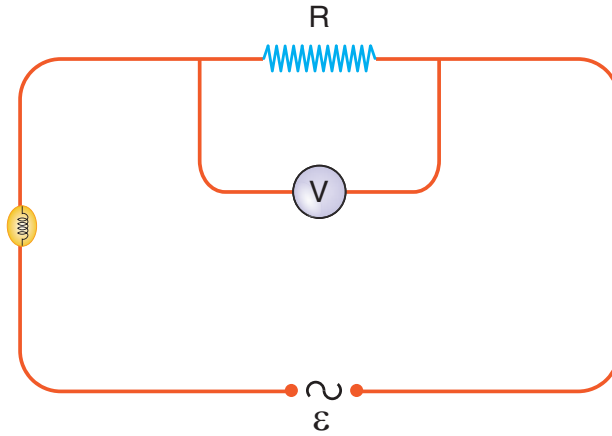
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \cdot \sin \omega t$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikte emk, $t = 0, T/4, T/2, 3T/4, T$ değerleri için işlem yapıldığında, $\sin \pi = \sin 2\pi = 0$, $\sin = 1$ ve $\sin = -1$ olduğu da göz önünde bulundurularak, $t = 0, t = T/2$ ve $t = T$ anlarında $\mathcal{E} = 0$; $t = T/4$ anında $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max}$; $t = 3T/4$ anında $\mathcal{E} = -\mathcal{E}_{\max}$ değerlerini alır.

Şekil 1.72'te düzgün bir B manyetik alanı içinde sabit açısal hız ile döndürülen bir tel çerçevede oluşan indüksiyon emk'inin zamanla nasıl değiştiği gösterilmiştir.



Şekil 1. 72: Düzgün manyetik alan içinde döndürülen iletken çerçevede oluşan emk'in zamanla değişimi



Şekil 1.73: Alternatif gerilim kaynağına bağlı direnç

Tel çerçevede oluşan emk, zamana göre değiştiği için tel uçlarının bir devreye bağlanması ile oluşacak akım da zamanla değişen nitelikte olmalıdır. Bu nedenle devreden geçen akıma **alternatif akım** denir.

Şekil 1.73'teki gibi emk'ı $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \cdot \sin\omega t$ olan bir alternatif akım kaynağının ürettiği akım, R direnci üzerinden geçerse Ohm Yasası'na göre,

$$R = \frac{\varepsilon}{i} \quad \text{ve} \quad i = \frac{\varepsilon}{R} \quad \text{yazılır.}$$

Buradan alternatif akımın zamana bağlı denklemi,

$$i = \frac{\varepsilon_{\max} \cdot \sin\omega t}{R}$$

olur. Burada $\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ akımın maksimum (i_{\max}) değerini ifade eder. Buna göre alternatif akımın denklemi,

$$i = i_{\max} \cdot \sin\omega t$$

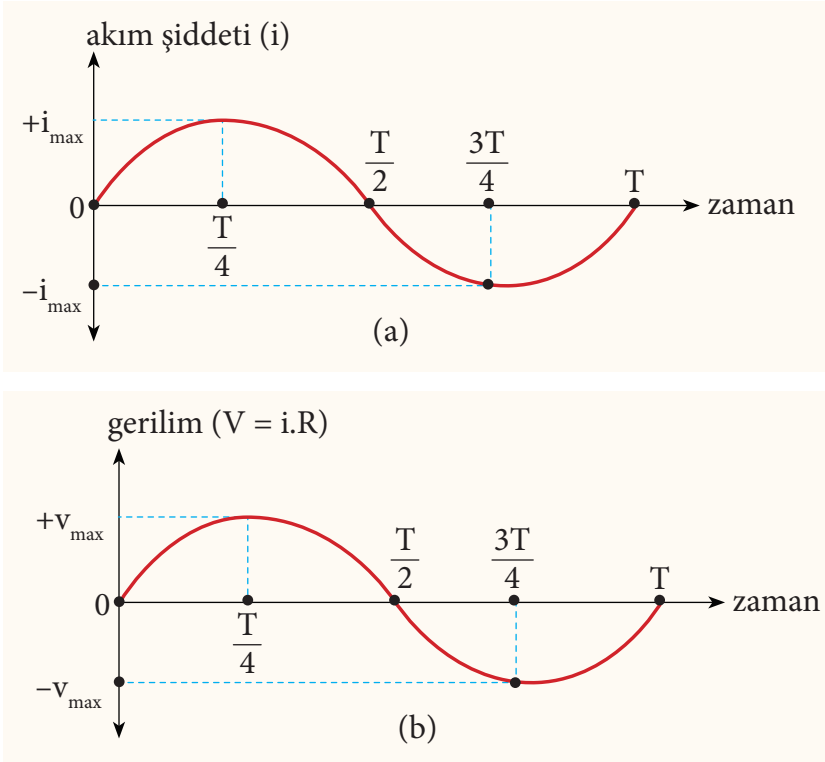
olarak yazılır. Bu denklemdeki i , anlık ya da $\bar{a}n$ akım demektir. Direncin uçları arasında oluşan gerilimin anlık değeri ise yine Ohm Yasası'ndan

$$V = i \cdot R \text{ den}$$

$$V = V_{\max} \cdot \sin\omega t$$

olarak yazılır.

Denklemdaki V_{\max} direncin uçları arasında oluşan gerilimin maksimum değeridir ve $V_{\max} = i_{\max} \cdot R$ olarak yazılır. Buna göre, bir R direnci üzerindeki akımın zamanla değişimi ve aynı direncin uçlarındaki potansiyel farkın ya da gerilimin zamanla değişimi Grafik 1.4'teki gibi olmalıdır.



Grafik 1.4: Akımın ve gerilimin zamanla değişimi

Ülkelere göre AC gerilim ve frekansları

Alternatif akım ülkelere göre gerek gerilim gerekse frekans değeri bakımından farklılık gösterebilir. Ülkemizde 220 V gerilim ve 50 Hz frekans değeri kullanılırken özellikle Amerika'da 120V ve 60 Hz ve Japonya'da 110V ve 50 Hz- 60 Hz gerilim ve frekans değeri tercih edilmektedir. Aslında 110V kullanan ülkelerin teknolojilerinin eski olması (elektrik altyapılarını bizlerden daha önce kurmuş olmaları) ve altyapıyı değiştirmenin oldukça zor olması, 110V kullanılmasında asıl etkidir.

Elektriğin ilk kez kullanılmaya başlandığı 19. Yüzyıl başlarında Tesla ile Hertz arasında bir anlaşmazlık söz konusuydu. Tesla 110V ve 60 Hz'lik dağıtımın en verimli olacağını savunurken Hertz ise 220V ve 50 Hz'i savunuyordu. Aslında bugün yapılan araştırmalar ve hesaplamalara bakıldığında sadece verimlilik açısından en uygun dağıtımın 220V ve 60 Hz olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1.5'te bazı ülkelerde kullanılan AC gerilim ve frekansları verilmiştir.

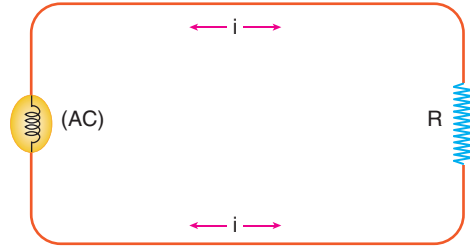
Ülke	Voltaj (V)	Frekans (Hz)
Almanya	230 - 400	50
Avusturalya	240	50
Polonya	220	60
Meksika	127	50 - 60
Fransa	230	50
İngiltere	240	50
Kanada	115	60
Yemen	250	50
ABD	120	60
Türkiye	220	50

1. 5. 2. Alternatif Akım ve Doğru Akımın Karşılaştırılması

Alternatif akımın düzgün bir manyetik alan içerisinde iletken tel çerçevesinin düzenli aralıklarla döndürülmesi sonucunda oluştuğunu öğrendik. Pil, akü, dinamometre gibi akım kaynakları da şiddeti ve yönü değişmeyen doğru akımı (DC) üretir.

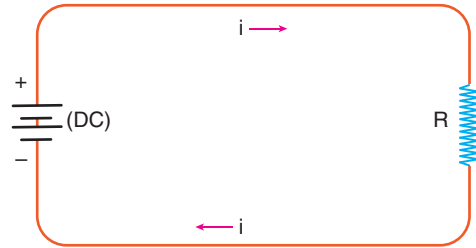
Peki, bu iki akım arasındaki benzerlik ve farklar nelerdir?

- Alternatif akım (AC) akım kaynağı bulunan bir devrede, kaynağın sabit bir pozitif (+) ve negatif (-) kutuplanışı söz konusu değildir. Kaynağın kutupları sürekli olarak değiştiğinden direnç üzerinden geçen akımın da yönü değişir (Şekil 1.74).



Şekil 1.74: AC kaynağı bulunan devre

- Doğru akım (DC) kaynağı bulunan devrede, kaynağın sabit pozitif (+) ve negatif (-) kutuplanışı vardır Bu nedenle akım, kaynağın (+) kutbundan (-) kutbuna doğru direnç üzerinden geçerek ulaşır (Şekil 1.75).



Şekil 1.75: DC kaynağı bulunan devre

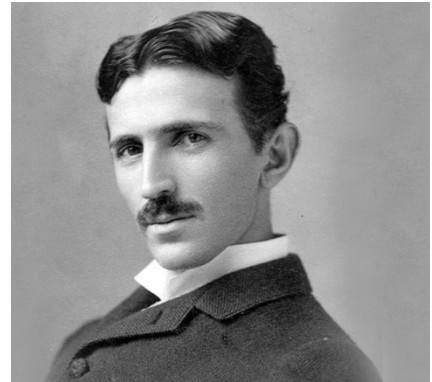
- Alternatif akım kaynağının uçlarından birinin toprağa göre potansiyeli sıfırdır. Kaynağın diğer ucu ise pozitif (+) ya da negatif (-) işaretlidir.
- Günlük yaşamda yaygın olarak kullanılan buzdolabı, çamaşır makinesi, fırın, klima, aydınlatma ve ısıtma sistemlerinde alternatif akımla çalışacak şekilde tasarlanmıştır.
- Radyo alıcıları, şarjlı el süpürgeleri, televizyon, müzik seti doğru akımla çalışır. Bunun için **regüle** adı verilen devrelerden yararlanır.
- Alternatif akım kaynaklarının verimi %95'in üzerindedir. Bu özelliği ile güçleri doğru akım kaynaklarına göre daha fazladır.
- Alternatif akım kaynaklarının yapımı daha kolay ve doğru akım kaynaklarına göre daha az maliyetlidir.

Doğru akım mı yoksa alternatif akım mı?

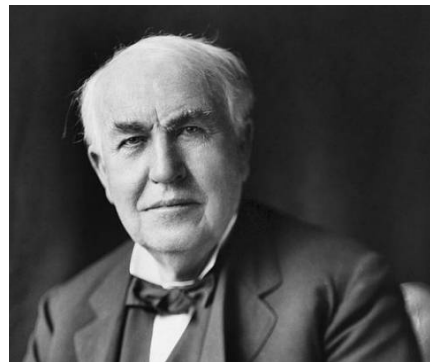
Konu başlığını oluşturan bu soru 19. Yüzyılın sonunda akımlar savaşı altında yatan bir sorundur. Sanayici George Westinghouse (Corc Vestinghaus) ile mucit Nikola Tesla (Resim 1.15), elektrik enerjisini iletmek için alternatif akımı kullanmak isterken, Thomas Edison (Resim 1.16) (Tamis Edison) doğru akımın en büyük savunucusuydu.

Trenlerde kullanılan havalı frenleri icat eden Westinghouse, Tesla'nın geliştirdiği alternatif akım dinamlar, transformatörler ve motorlarla elektriğin çok daha ucuz bir şekilde uzaklara aktarılabilceğini kavramıştı. Tesla'nın patentleri büyük ihtimalle telefonunkinden sonra en değerli olan patentlerdi. Bunların hayata geçirilmesi Edison'un elektrik dağıtımındaki tekelinin kırılması demektir. Edison alternatif akımı karalamak için bir propaganda savaşı başlattı. Her fırsatta doğru akımın güvenli olduğunu, alternatif akımın ise kontrolsüz ve tehlikeli olduğunu tekrarlıyordu.

Edison'un şirketi ve taraftarları toplantılar düzenliyor ve alternatif akımın tehlikeli olduğunu akıllara yerleştirmek için sahnede çeşitli hayvanlara alternatif akım verip öldürüyorlardı.



Resim 1.15: Nicola Tesla



Resim 1.16: Thomas Edison

Bütün bu olumsuz propagandaya rağmen Tesla ve Westinghouse pes etmedi. Kolomb'un Amerika kıtasını keşfinin 400. yılı onuruna düzenlenen Chicago Dünya Fuarı'nın ışıklandırma ihalesinde Edison'un doğru akımının karşısına çıktılar. Fuarın teması elektrikti ve kazanırlarsa Edison'un doğru akımı karşısında büyük bir zafer ve prestij kazanmış olacaktı. Westinghouse, ihaleyi kazandı. Rakipleri Edison'un şirketini devralan General Electric Company (Cenirıl elektik Kampani) idi. General Electric doğru akımı uzak mesafelere iletmenin zor olması nedeniyle çok fazla bakır tele ihtiyaç duyuyordu. Tesla ve Westinghouse ise verimli ve ucuz alternatif akım sistemi sayesinde General Electric'in teklifinin yarısına inebilmişti. Fuarın açılışı Tesla ve Westinghouse için muhteşem bir zafer olacaktı. O zamanki ABD başkanının bir düğmeyi çevirmesiyle her yer ışıkla dolacak, fuarı ziyaret eden 27 milyon kişi alternatif akımın ve Tesla'nın zaferine tanık olacaktı. Tesla tasarımlarını gururla sergilemiş ve zaferinin tadını çıkarmıştı. Ama ne yazık ki hayatının geri kalanında benzeri zaferleri çok sık tadamayacaktı.

Edison'la Tesla'nın kavgası günlük hayatta bizim için ne ifade ediyor? Elektrik akımının doğru veya alternatif olması niçin önemli? Elektrik enerjisini uzak mesafelere ekonomik olarak taşımak, bu soruların cevabının belirlenmesinde etkili oldu. Alternatif akım doğru akımdan daha az kayıpla iletilebilir. Enerji kaybı akımın artmasıyla artar. Doğru akımın iletilmesi sırasında elektrik akımının miktarını kontrol etmek çok zordur. Alternatif akım ise transformatör kullanarak akımın azaltılıp voltajın yükseltilmesine imkân verir. Bu sayede alternatif akım uzak mesafelere çok daha az kayıpla iletilebilir.



Resim 1.17: 1888 yılında Newyork'taki bir sokakta doğru akım taşıyan teller.

Akımın bu şekilde az kayıpla iletilebilmesi santrallerin şehirlerden uzakta kurulmasına olanak vermiştir. Ayrıca voltajın ve akımın ihtiyaca göre ayarlanabilmesi, farklı akımda ve güçte çalışan aletlerin aynı enerji kaynağını kullanmasını da sağlar. Kullandığımız telli (filamanlı) ampuller hem doğru akımla hem de alternatif akımla çalışabilir.

Elektronların belli bir yöne akması gerekmez, hareket etmeleri yeter. Birçok ev aleti için de durum aynı. Şu anki hâllerleriyle doğru akıma uyumsuz olsalar bile yeniden tasarlanarak doğru akıma uygun hale getirilebilirler fakat Edison'la Tesla'nın zamanında, elektrik özellikle evlerde aydınlatma amacıyla kullanıldığı için az kayıpla dağıtılabilmesi, iletilmesi ve Resim 1.17'deki gibi cadde ve sokaklardaki iletim kablolarının meydana getirdiği kazaları önlemek önemliydi. Alternatif akımla ilgili icatlarıyla bu ihtiyaçlara cevap veren Tesla, Edison'la arasındaki kavganın haklı galibiydi ve günümüzde mücadelenin galibi hâlâ Tesla'dır.

Alternatif akımın etkin ve maksimum değerleri

Bir iletken üzerinden geçen akım dirençle karşılaştığında, iletken üzerinden ısı enerjisi yayılır. Elektrik akımını oluşturan elektronların iletken içerisinde ileri geri ya da tek yönde hareket etmesinin ısı enerjisinin ortaya çıkmasında bir önemi yoktur. Alternatif akımın değeri sürekli değiştiği için ısı enerjisinin de değişmesi gerekir .

Ülkemizde şehir elektrik şebekesinin frekansı 50 s^{-1} dir yani 1 saniyelik zaman içerisinde alternatif akımın geçtiği bir ampulün direnci üzerinden yayılan ısı, 100 kez maksimum ve 100 kez sıfır değerde olacaktır. Isının bu kadar hızlı değişmesi ampulden geçen akımın doğru akım ya da alternatif akım olmasında sakınca oluşturmaz çünkü gözümüzün ışığı görebilmesi için ışığın saniyede 25 kez yanıp sönmeye gerekir ki bu alternatif akımın frekansının da en az 25 s^{-1} olması gerektiğini gösterir. Şehir elektrik şebekesinin frekansının 50 s^{-1} olmasıyla ışıktaki bu titremeyi göz algılayamaz. Bu durum, hem göz duyarlılığının yetersizliği hem de akkor hâle gelmiş ampul telinin hemen soğumamasından kaynaklanmaktadır.

Yukarıda anlatılanlardan yola çıkarak bir alternatif akım devresine, sabit değerdeki doğru akımla ölçeklendirilmiş ısıya duyarlı bir ampermetre bağlanmış olsun (Şekil 1.76). Ampermetreden alternatif akım geçerken, ampermetrenin içindeki tel ısınır ve genişerek uzar. Bu tel bir yaya bağlı başka bir tel yardımıyla gergin tutulduğundan ölçü teli ısınıp uzadıkça ikinci tel hareket eder ve göstergesi saptırır. Ampermetrenin göstergesinde okunan değer, alternatif akıma ısı bakımından eşdeğer olan doğru akım şiddeti olacaktır.



Şekil 1.76: Isıya duyarlı ampermetre

Örneğin, böyle bir devreye bağlanmış olan ampermetrenin göstergesi 5 amper bölümüne kadar sapsmış ise aynı ampermetreden alternatif akım yerine, aynı sürede 5 amperlik doğru akım geçtiğinde de yayılan ısı enerjisi aynı değerde olacağından yine gösterge 5 amperi gösterecektir.. Bu durumda, alternatif akım, ısı bakımından şiddeti 5 amper olan bir doğru akımla **eşdeğerlidir** denir. Burada karşımıza yeni bir akım şiddeti kavramı çıkıyor: akımın etkin değeri.

Bir alternatif akıma ısı bakımından eşdeğer olan doğru akımın şiddetine **alternatif akımın etkin değeri** denir. Isıya duyarlı ampermetre ile ölçülen alternatif akımın etkin değeri i_e sembolü ile gösterilir.

Bir alternatif akım devresine bağlı voltmetre ve ampermetrede okunan değer alternatif akım ya da gerilimin etkin değerleridir. Evlerde kullanılan alternatif gerilimin etkin değeri 220 voltur. Sanayide ise bu değer 310 volt civarındadır.

1. 5. 3. Alternatif ve Doğru Akım Devrelerinde Direncin, Bobinin ve Sığacın Davranışı

Alternatif akım devresinde saf direnç (R), bobin (akım makarası) (L) ve sığaç (kondansatör) (C) olmak üzere üç farklı devre elemanı bulunur. Şimdi sırasıyla bu devre elemanlarının alternatif ve doğru akımdaki davranışlarını inceleyelim:

Saf Direnç

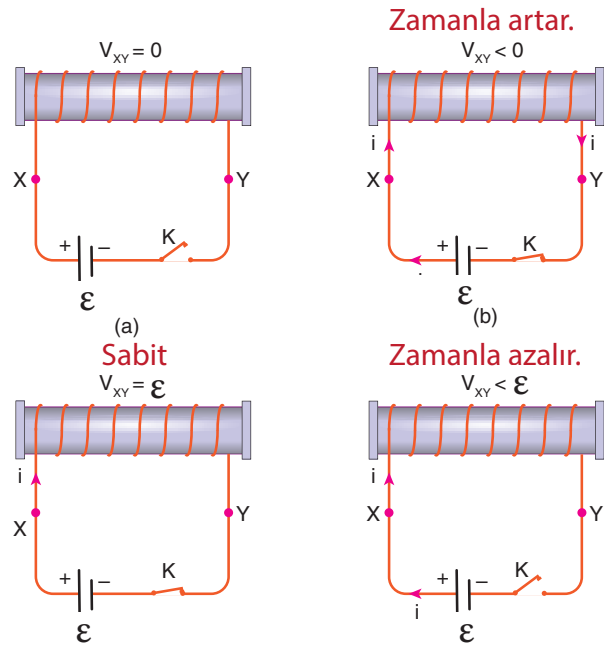
R direnci bir alternatif akım kaynağına bağlandığında iletken içerisindeki elektronlar ileri geri hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında elektronlar birbirlerine ve metal atomlarına sürtünür ve sonuçta iletken tel ısınır. Direnç üzerindeki ısı etrafa yayılır. İşte bu nedenle alternatif akım (AC) devrelerinde saf direnç (R) enerji harcayan bir devre elemanı olarak isimlendirilir.

Bobin (akım makarası)

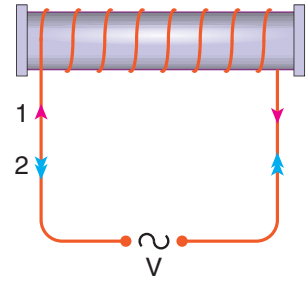
Bir bobinin doğru akımdaki davranışını Şekil 1. 77'deki iç direnci önemsenmeyen bir üretece bağlanmış bobin devresi üzerinde inceleyelim:

Şekil 1.77.a'da devredeki K anahtarı kapatıldığında, üretcin sağladığı akım (i) değeri, bobinde oluşan öz-indüksiyon etkisi nedeniyle hemen artmaz. Bu nedenle Şekil 1.77.b'deki devrede bobinin uçları arasındaki gerilim üretcin emk'inden küçüktür. Bobinden geçen akım en büyük değerine ulaştıktan sonra akımın değeri, anahtar kapalı kaldığı sürece sabit kalır . Şekil 1.77.c'deki

devrede akım sabit kaldığından bobinin uçları arasındaki gerilim, üretcin emk'ine eşit olur. Şekil 1.77.ç. de devredeki K anahtarı açıldığında üreteç akımı zamanla azalmaya başlar ve sonunda sıfır olur. Bobinin uçları arasındaki gerilim, üretcin geriliminden küçüktür ve akımın zamanla azalarak sıfır olmasıyla gerilim de sıfır olur.



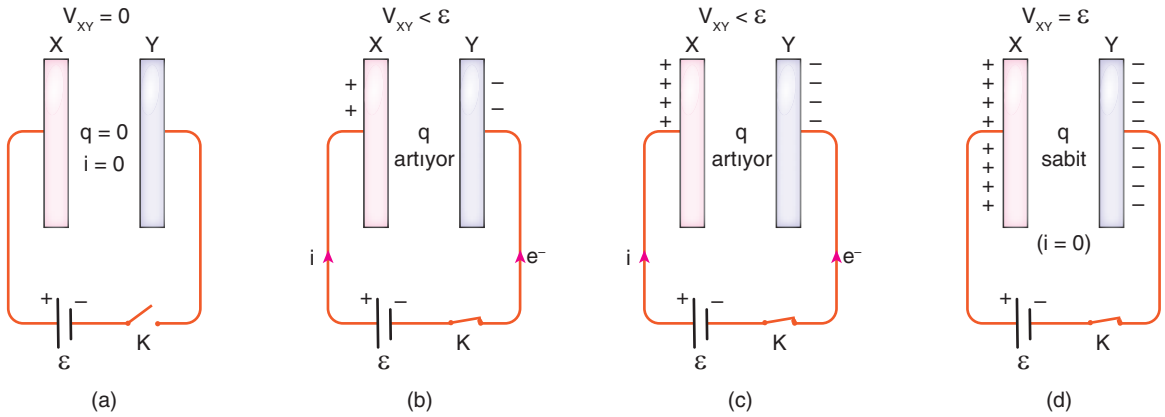
Şekil 1.78'deki bobinin uçları bir alternatif akım kaynağına bağlanmıştır. Böyle bir devrede bobinden geçen akımın önü ve şiddeti, alternatif gerilimin frekansına göre 1 ve 2 yönünde sürekli değişir. İşte bu durumda, özindüksiyon etkisi nedeniyle sabit frekansta, bobinde sabit bir direnç oluşur. Alternatif gerilimin frekansı artarsa direnç de zamanla artar. Dirençteki bu artış Ohm Yasası'na göre akımın zamanla azalarak sıfırlanmasına neden olur. Alternatif gerilimin frekansı azalırsa direnç azalır ve bobinden geçen akım artar



Şekil 1.78: Bobinin uçlarına alternatif akım uygulanması

Sığaç (kondansatör)

Sığaç (kondansatör), elektrik devresinde yük depolamaya yarayan devre elemanıdır. Bir sığacın doğru akım kaynağına bağlanarak yüklenmesini Şekil 1.79'daki devre üzerinde inceleyelim:



Şekil 1.79: a. b. c. ç. Sığacın uçlarına doğru akım uygulanması

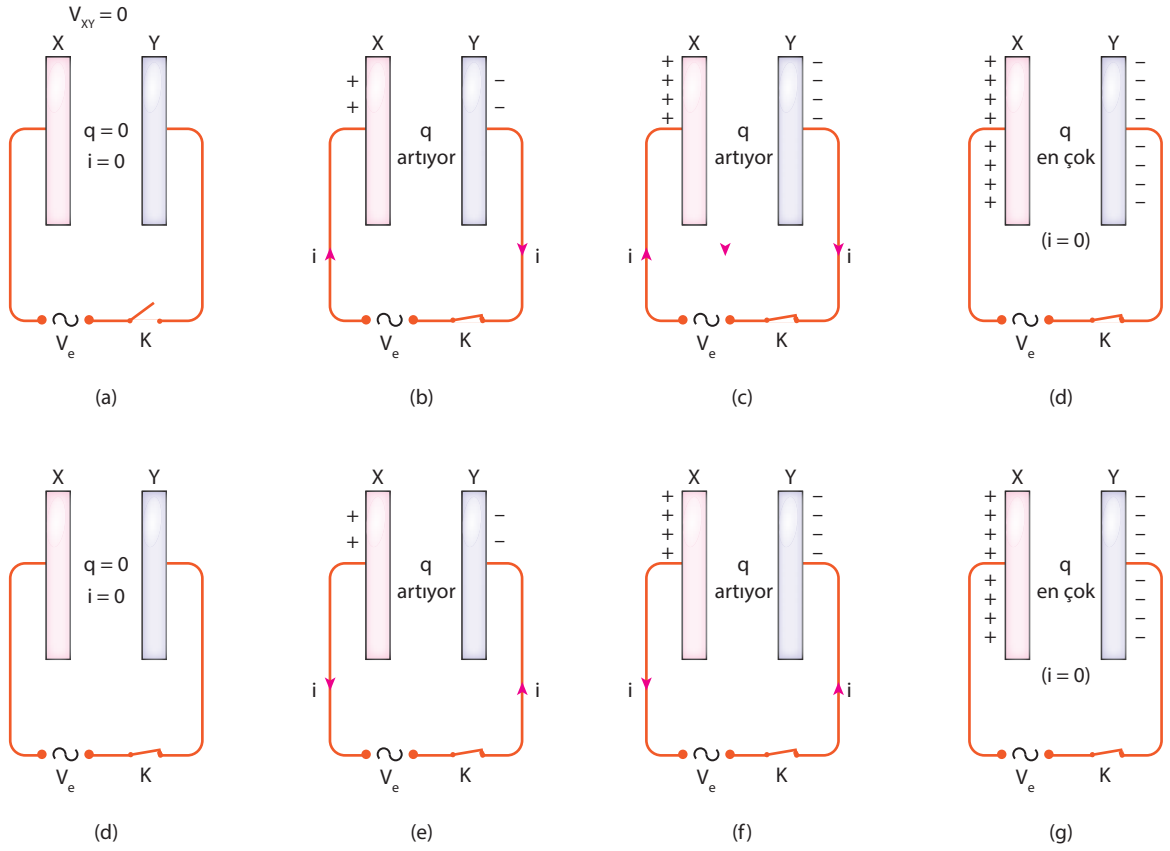
Sığaç, iç direnci önemsenmeyen bir üretece Şekil 1.80.a'daki gibi bağlanmıştır. K anahtarı açık olduğundan sığaçtaki yük miktarı sıfırdır ($q = 0$). Şekil 1.80.b. c. deki gibi K anahtarı kapatılıp devreden akım geçmeye başladığı anda sığacın levhalarında yük birikmeye başlar.

Başlangıçta sığacın levhaları arasındaki potansiyel farkı sıfırken, sığacın yüklenmesi süresince levhalar arasındaki potansiyel farkı artar. Potansiyel farkı üretcin emk'ine eşit olduğu anda sığaçta maksimum miktarda yük birikimi sağlanmış olur. Sığacın yüklenmesi sürecinde, sığaç yükü (q) artarken devre akımı azalır ve maksimum miktarda yük birikimi sağlandığında devre akımı sıfır olur (Şekil 1.80.ç).

Yapılan deneyler sonucunda sığaç yükünün en fazla, akım şiddetinin sıfır olduğu anda sığacın doğru akıma büyük bir direnç gösterdiği belirlenmiştir.

Bir sığacın alternatif akım kaynağına bağlandığında nasıl davrandığını Şekil 1.81 üzerinde inceleyelim:

Şekil 1.81.a'daki gibi alternatif bir akım kaynağına bağlanan sığacın bulunduğu devrede K anahtarı kapatıldığında Şekil 1.81.b'de gösterilen yönde akım (i) geçmeye başlar. Akım, Şekil 1.81.c.deki gibi sığaç yükü artarken azalır ve sığaç tamamen yüklenip, sığacın levhaları arasındaki gerilim üretcin emk'ine eşit olduğunda ise sıfır olur. Bu durum çok kısa bir sürede gerçekleşir ve bu anda devreden ters yönde akım geçmeye başlar. Bu anda sığaç hem boşalmaya hem de dolmaya başlar. Alternatif akım kaynağının uçları da bu anda işaret değiştirir (Şekil 1.81.ç).



Şekil 1.80: a. b. c. d. e. f. g. Sığacın uçlarına alternatif akımın uygulanması

Şekil 1.80.d'deki gibi sığaç tamamen boşaldığında tekrar yüklenme süreci başlar ancak bu kez levhalar bir önceki yüklenmeye göre zıt yükle yüklenir. Akım (i) da öncekine zıt yönde akarken şiddeti azalır (Şekil 1.80. e. f).

Sığaçtaki yük miktarının en fazla olduğu an Şekil 1.81.g'deki andır. Bu anda sığacın levhaları arasında oluşan gerilim üretcecin emk'ine eşit olurken akımın değeri sıfır olur. İşte bu anda sığaç tam dolar ve boşalmaya başlar.

Yukarıda anlatıldığı gibi alternatif akım kaynağına bağlı bir sığaç devresinde, önce bir yönde artıp sonra azalan sonra da ters yönde önce artıp sonra azalan bir akım ortaya çıkar. Bu durum sığaçların alternatif akıma (AC) karşı çok büyük bir direnç göstermediğini ortaya koyar. Yapılan deneylerde alternatif gerilimin frekansının yüksek olması sığacın dolma ve boşalma süresini kısalttığını ve akım şiddetinin arttığını göstermiştir. Bu durum bir sığacın, yüksek frekanslı alternatif akımlara karşı daha az direnç, düşük frekanslı alternatif akıma ise daha fazla direnç gösterdiğini ifade eder.

Aşağıda Genel Ağ adresi verilen simülasyonu yaparak alternatif ve doğru akım devrelerinde direnç, bobin ve sığaç (kondansatör) davranışlarını inceleyiniz.

<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>

1. 5. 4. İndüktans, kapasitans, rezonans ve empedans

İndüktans (X_L)

Bir alternatif akım kaynağına bağlanmış olan bobin (akım makarası) üzerinden geçen alternatif akımı geciktirmesi nedeniyle direnç oluşturur. Bu dirence **indüktans** denir. İndüktans X_L sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi ohm (Ω)'dur. Bobindeki özindüksiyon olayı sonucunda ortaya çıkan indüktans hem alternatif akımın frekansına hem de bobinin yapısal özelliklerine bağlıdır. Bir bobinin yapısal özelliğini gösteren katsayıya **özindüksiyon katsayısı** denir. Özindüksiyon katsayısı L sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **henry (H)**'dir. İndüktans, bobinin özindüksiyon katsayısı (L) ve kaynağın açısal hızı (ω) dolayısıyla frekansı ile doğru orantılıdır. Buna göre indüktans matematiksel olarak,

$$X_L = \omega \cdot L$$

şeklinde yazılır. Açısal hız $\omega = 2\pi \cdot f$ eşitliği ile verildiğine göre indüktans,

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

olarak da yazılır.

Kapasitans (X_C)

Bir alternatif akım kaynağına bağlanmış olan sığaç (kondansatör), akımın yön değiştirmesinden dolayı sürekli dolar ve boşalır. Sığaç bu değişken akımda bir direnç meydana getirir. Bu dirence **kapasitans** denir. Kapasitans X_C sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi ohm (Ω)'dur. Kapasitans, sığaçın sığası (C) ve kaynağın açısal hızı dolayısıyla kaynağın frekansı ile ters orantılıdır. Buna göre kapasitans matematiksel olarak,

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

olarak yazılır. Açısal hız $\omega = 2\pi \cdot f$ eşitliği ile verildiğine göre kapasitans,

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

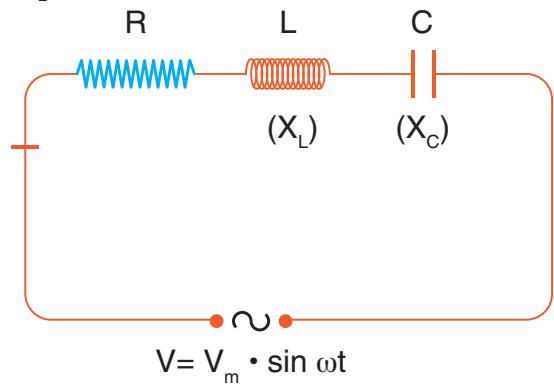
olarak da yazılır.

Rezonans Olayı

Bobin ve sığaçın bir alternatif akım devresindeki davranışı farklıdır. Akım bobinde büyük bir dirençle karşılaşırken, sığaç üzerinde daha az bir dirençle karşılaşır. Bir sistemde, rezonans olayının olması için o sistemde enerji depo edebilen elemanın olması gerekir. Alternatif akım devresinde bobin ve sığaç enerji depo eden iki devre elemanıdır. Bobin elektrik enerjisini manyetik enerji olarak depo ederken, sığaç elektrik enerjisini elektrik potansiyel enerjisi olarak depo eder.

Alternatif akımda bir rezonans devresi oluşturmak için genellikle saf direnç (R), bobin (L) ve sığaç (C) kullanılır. Bu üç devre elemanının alternatif akımda seri bağlanması ile bir RLC devresi oluşturulabilir. Böyle devrelere **rezonans devresi** adı verilir (Şekil 1. 81) .

Rezonans devresinde bobinde biriken manyetik enerji, düzenli olarak sığaçta elektrik potansiyel enerjisine dönüşür. Bu dönüşümün periyot ve frekansı, sığaçın sığası (C) ile bobinin özindüksiyon katsayısına bağlıdır. Şekil 1.82'deki devrede rezonans olayı bobinin indüktansının (X_L), sığaçın kapasitansına (X_C) eşit olduğu anda gerçekleşir.



Şekil 1.81: Seri RLC devresi (rezonans devresi)

Bu durumda rezonans frekansı f_0 ,

$$X_L = X_C$$

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$

$$(2\pi \cdot f_0)^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$

$$4\pi^2 \cdot f_0^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$

$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

olarak elde edilir. Bu frekansta bir RLC devresinde akım ve gerilim aynı anda oluşur. Devre sadece saf direnç (R)'ten oluşmuş devre gibi davranır.



Resim 1.18: Metal kapı dedektörü

Bir radyo alıcı devresi, rezonans için önemli bir uygulamadır. Bu devrede bobinin özindüksiyon etkisi sığaç ile yok edilir. Devrenin rezonans frekansı, gelen radyo dalganın frekansı ile uyduğu zaman sinyal yükseltilir ve hoparlöre verilir. Alışveriş merkezleri ve havaalanlarındaki metal kapı dedektörleri birer rezonans devresidir. Bu gibi yerlerde içinden geçilen kapı aslında büyük halkalı bir bobindir (Resim 1.18). Devrenin frekansı, bobinin içinde metal bulunmadığı hâldeki rezonansa ayarlanır.

Üzerinde herhangi bir metal parçası bulunan kişi kapıdan geçerken bobinin direnci artar yani halkadan geçen akım azalır. Bu sırada sistem, geçen kişinin üzerinde metal olduğunu bildiren bir sinyal sesi verir.

Empedans (Z)

Bir doğru akım devresinde olduğu gibi saf direnç (R), indüktansı X_L olan bobin ve kapasitansı X_C olan sığaç seri bağlanarak bir alternatif akım devresi oluşturulduğunda eş değeri bulunabilir. Bu eş değer dirence alternatif akım devresinin **empedansı** denir. Empedans Z sembolü ile gösterilir SI'da birimi ohm (Ω)' dur.

Saf direnç, bobin ve sığacın üçünden ya da herhangi ikisinden oluşan bir alternatif akım devresinin empedansı (Z), devrenin uçları arasındaki gerilimin etkin değeri (V_e) ve devreden geçen akım şiddetinin etkin değeri (i_e) arasında Ohm Yasası'na göre,

$$Z = \frac{V_e}{i_e}$$

olarak yazılır. Gerilimin maksimum değeri için,

$$V_m = i_m \cdot Z$$

gerilimin anlık değeri için de ,

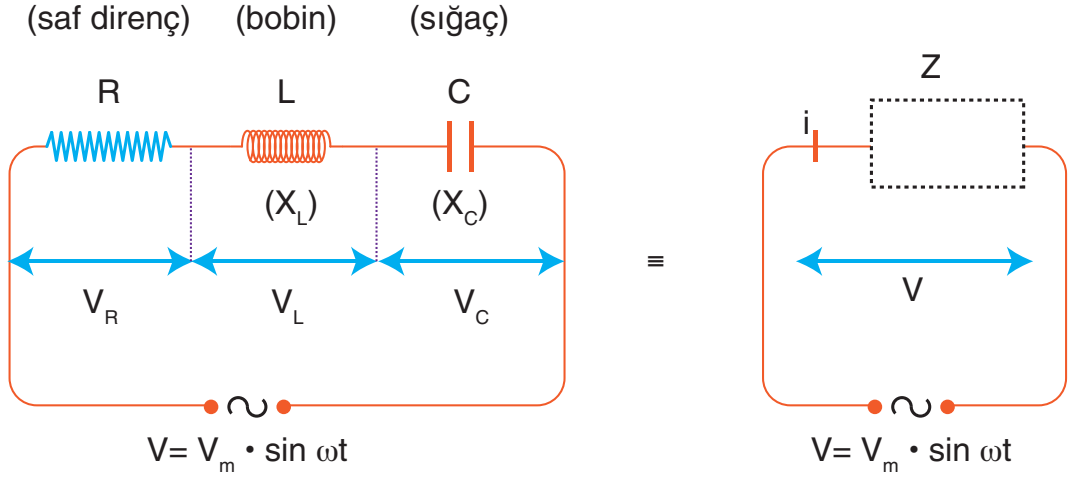
$$V = i \cdot Z$$

yazılabilir.

Her devre elemanının kendine has bir omik direnci vardır. Örneğin, bobinde manyetik kuvvetten dolayı, sığaçta elektriksel kuvvetten dolayı kendine has bir omik direnç oluşur. Şekil 1. 83'teki gibi saf direnci (R), indüktansı (X_L) ve kapasitansı (X_C) bilinen bir devrede alternatif akımın yönü sürekli değiştiğinden empedansı bulmak için vektörel işlem yapılır. Buna göre böyle bir devrenin empedansı,

$$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L + \vec{X}_C$$

şeklinde yazılır.



Şekil 1. 82: Seri RLC devresi ve eşdeğer direncin (empedansın) gösterimi

Şekil 1.82'deki devrede gerilim ve akım ilişkisi Ohm Yasası'na göre,

$V = i \cdot Z$ olarak yazılırken devre elemanlarında akım ve gerilim ilişkisi

$$V_R = i \cdot R, \quad V_L = i \cdot X_L \text{ ve } V_C = i \cdot X_C$$

olarak yazılır.

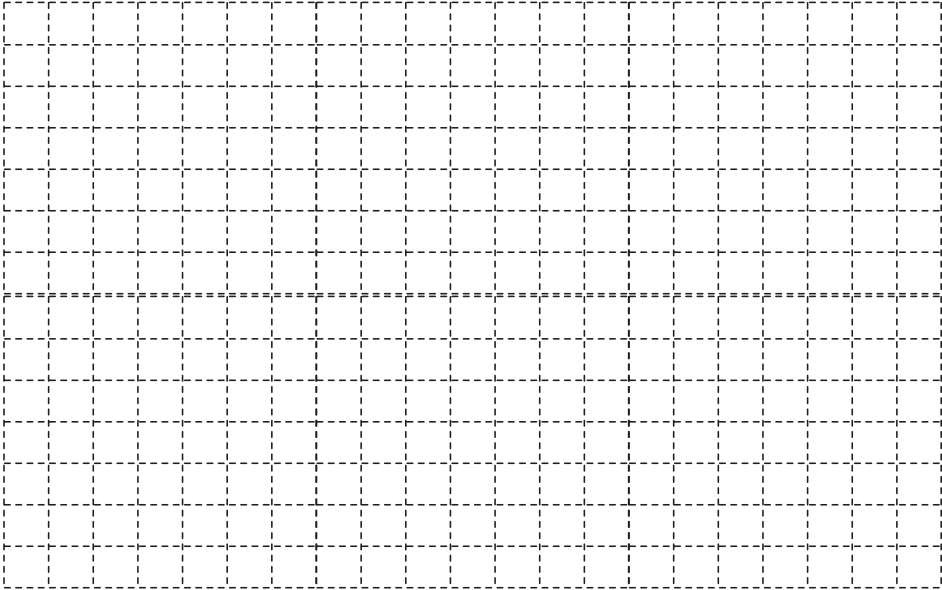
6.UYGULAMA

Bir alternatif akım kaynağında üretilen gerilimin emk'i $\varepsilon = 100 \sin 50\pi t$ denklemine göre değişmektedir.

Buna göre,

- Üretilen emk'in maksimum değeri kaç voltur?
- $t = 0$ anında $\varepsilon = 0$ olduğuna göre $t = 1/200$ saniye anında oluşan emk'i kaç voltur?
- Alternatif gerilim kaynağına bağlı 2Ω 'luk dirençten geçen akımın zamana bağlı denklemini yazınız.

Çözüm



6. BÖLÜM : TRANSFORMATÖRLER



ANAHTAR KAVRAMLAR

- Transformatör

Bu bölümü tamamladığınızda,

1. Transformatörlerin çalışma ilkesini,
2. Transformatörlerin kullanım amaçlarını öğrenmiş olacaksınız.

6. 1. TRANSFORMATÖR

Neler Öğreneceğiz?

Bu bölümü tamamladığınızda,

1. Transformatörlerin çalışma ilkesini,
2. Transformatörlerin kullanım amaçlarını öğrenmiş olacaksınız.

1. 6. 1. Transformatörlerin Çalışma Prensibi

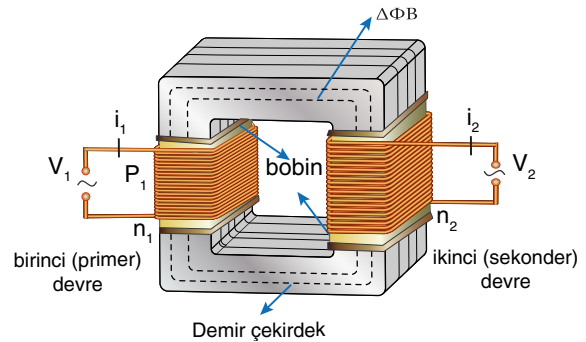
Transformatör ya da trafo, alternatif akım sistemlerinde gerilimi frekans değiştirilmeden manyetik indüksiyon yoluyla dönüştürmek için kullanılan ve hareketli parçası bulunmayan bir elektrik devre elemanıdır.

Transformatörler genellikle enerji iletiminde ve dağıtımında kullanılır. Elektrik enerjisinin santrallerden, kullanım alanlarına iletimi sırasında hatlarda ısı şeklinde güç kaybı olur ve gerilim düşer. Bu durumu asgariye indirmek için güç sabit tutulup gerilimin yükseltilmesi gerekir. Bu akımın düşürülmesi demektir. Böylece hatlarda kullanılan iletkenlerin kesitleri küçülür, kayıplar azalır ve iletken maliyeti dolayısıyla da iletim maliyetleri düşer.

Bir transformatör, demir çekirdek ve bunun üzerine sarılmış iki bobinden oluşur (Şekil 1.83). Elektrik enerjisinin üretildiği yere bağlanan bobine **primer (birincil) bobin** denir. Burası alternatif akımın giriş yeri ve alternatif gerilimin uygulandığı ilk devredir. Elektrik enerjisinin kullanıldığı yere bağlanan bobine **sekonder (ikincil) bobin** denir.

Burası alternatif akımın çıkış yeri ve dönüştürülmüş gerilimin alındığı ikinci devredir. Şimdi transformatörde gerilimin nasıl dönüştürüldüğünü inceleyelim:

Alternatif akımda, akımın yönü ve şiddeti sürekli değiştiği için birinci devrede (primer) manyetik akı değişimi ($\Delta\Phi_B$) meydana gelir. Değişen manyetik akı, demir çekirdek aracılığı ile ikinci devredeki bobine iletilir. Böylece ikinci devrede (sekonder) bobinin uçları arasında indüksiyon emk'i ve sarım tellerinin üzerinden indüksiyon akımı geçer. Primer devredeki alternatif gerilimin etkin değerine **primer gerilimi**, sekonder devrede oluşan indüksiyon emk'ine **sekonder gerilimi** denir.



Şekil 1.83: Transformatörün yapısı

Primer devredeki bobinin sarımları üzerinden geçen akıma **primer akımı**, sekonder devredeki bobinin sarımları üzerinden geçen ve indüksiyon yoluyla oluşan akıma da **sekonder akımı** denir. Bu sırada, manyetik alanın yönü ve şiddeti sürekli değiştiği için ikinci devrenin (sekonder) uçlarında oluşan gerilimin yönü ve şiddeti de değişir.

Bir bobinin n tane sarımı varsa uçlarında oluşan indüksiyon emk'i Faraday'ın İndüksiyon Yasası'na göre,

$$\varepsilon = -n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitliğe göre, transformatörün primer ve sekonderindeki bobinlerde manyetik akı değişim hızının ($\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$) eşit olduğu kabul edilirse bobinlerin uçları arasındaki gerilimler, sarım sayıları ile doğru orantılı olmalıdır. Buna göre, sarım sayısı (n) ile gerilim arasındaki ilişki transformatörün türünü belirler:

$$n_1 = n_2 \quad \text{ise} \quad V_1 = V_2$$

$$n_1 < n_2 \quad \text{ise} \quad V_1 < V_2 ; \text{ bu tür transformatöre } \mathbf{yükseltici transformatör} \text{ denir.}$$

$$n_1 > n_2 \quad \text{ise} \quad V_1 > V_2 ; \text{ bu tür transformatöre } \mathbf{alçaltıcı transformatör} \text{ denir.}$$

Bir transformatör devresinde, gerilim hangi oranda yükseltiliyorsa aynı oranda akım şiddeti düşer. Tersisi durumda da gerilim hangi oranda düşürülüyorsa akım da aynı oranda yükseltilir.

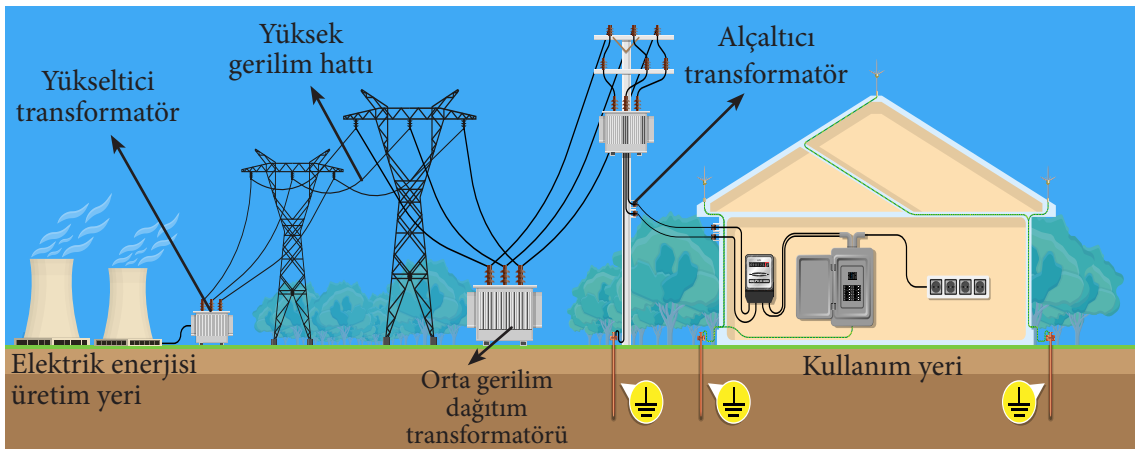
Transformatör çalışırken sarımlarındaki enerji kaybından dolayı sekonderdeki güç, primerdeki güçten daima küçüktür. Bu nedenle hiçbir transformatörde % 100 verim olmaz. Pratikte verimi % 100 kabul edilen transformatöre **ideal transformatör** denir. İdeal transformatörde güç kaybının olmadığı kabul edilir. Böyle bir transformatörde primer gücü, sekonder gücüne eşittir. Şekil 1.84'teki transformatör ideal bir transformatör olarak kabul edilirse, primer gücü (P_1), sekonder gücü (P_2)'ye eşittir ($P_1 = P_2$).

Transformatörlerin primer sargılarına doğru akım da uygulanabilir. Bu durumda yine bir manyetik alan meydana gelir ancak bu manyetik alan, sabit bir alandır. Bu alanın yönü ve şiddeti değişmeyeceğinden sekonder sargılarında bir indüksiyon emk'i oluşması söz konusu olmaz.

1. 6. 2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları

Elektrik santrallerinde elde edilen alternatif gerilim enerjisi, üretildiği anda akım şiddeti çok büyük, gerilim ise çok düşüktür. Santrallerde elde edilen enerji bu düşük değeriyle, çok uzak mesafelerdeki yerleşim yerlerine ve sanayi kuruluşlarına iletilseydi, yüksek enerji hatlarında kullanılan tellerin çok kalın olması gerekirdi. Bu durumda enerjinin taşınması sırasında çok büyük güç kaybına, buna bağlı olarak da çok büyük ısı enerjisinin ortaya çıkmasına neden olur. Hem enerji kaybının hem de maliyetin en aza indirgenebilmesi için yükseltici transformatörler kullanılır. Bu transformatörler elektrik santrallerinde üretilen düşük gerilim- yüksek akımı tersine yani yüksek gerilim- düşük akıma çevirir.

Alternatif gerilim istenilen yere ulaştıktan sonra örneğin, evler, iş yerleri, sanayi kuruluşları, hastaneler gibi düşük gerilimle çalışan cihazların bulunduğu yerlerdeki transformatörler, gerilim düşürücü olarak çalışır. Yerleşim yerlerinde aralıklı olarak yerleştirilmiş transformatörlerde 750.000 volt ile taşınan alternatif gerilim, 220 volt-380 volt değerine düşürülür (Şekil 1.84).



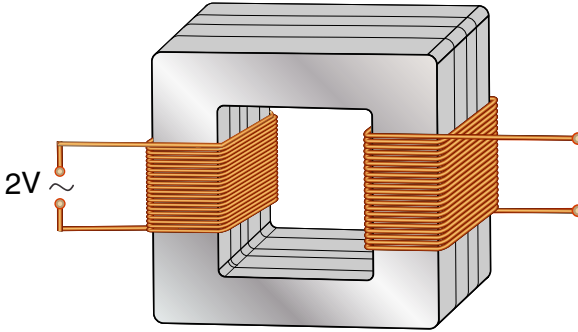
Şekil 1. 84: Elektrik üretim santralinden yerleşim yerine kadar elektrik enerjisinin taşınmasında transformatörün kullanımı

Eğer transformatörler olmasaydı, elektrik enerjisinin üretildiği yer ile tüketici arasındaki mesafenin az olması gerekirdi. Bu da yerleşim yerlerinin içerisinde güç istasyonlarının kurulması demektir ki bu durum canlı yaşamı için olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Radyo, televizyon, şarj aletleri, kapı zilleri, hoparlör gibi elektrikle çalışan ev aletlerinde gerilimi ayarlamak için küçük transformatörler kullanılır. Bunlar 220 volt olan şebeke gerilimini 12 volt gibi düşük değerlere indirir. Bu transformatörler güç istasyonlarındakilerle karşılaştırıldığında oldukça küçüktür. Bir transformatörün boyutu ne olursa olsun çalışma prensibi aynıdır. Transformatörde gerilim artıyorsa akım düşer.

1. Uygulama

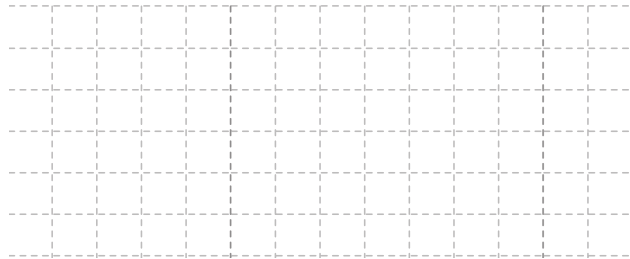
Şekildeki transformatörün primerine 2V değerinde bir alternatif gerilim uygulanıyor.



Buna göre sekonder gerilimini 4V yapmak için,

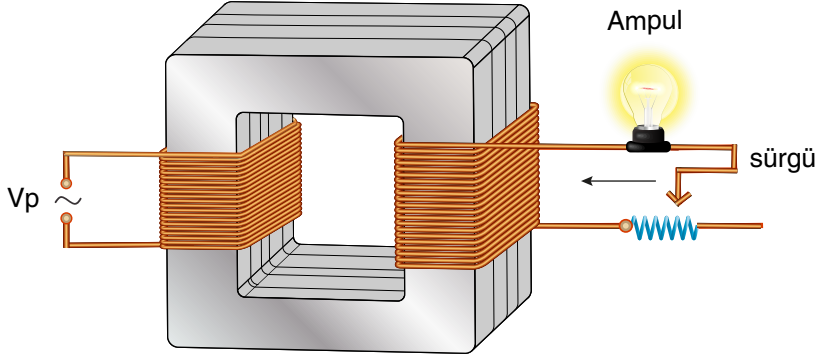
- I. Primerin sarım sayısı azaltılmalı
 - II. Sekonderin sarım sayısı arttırılmalı
 - III. Primere doğru akım uygulanmalı
- ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm



2. Uygulama

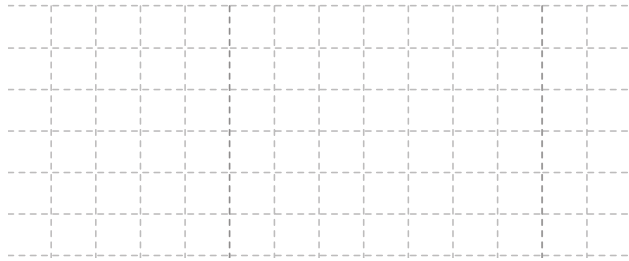
Şekildeki transformatörün primerine V_p gerilimi uygulandığında primer akımı oluşuyor ve sekonderdeki ampul ışık veriyor.



Devredeki reostanın sürgüsü ok yönünde çekildiğinde,

- I. Sekonder gerilimi azalır.
 - II. Ampulün parlaklığı azalır
 - III. Akım şiddeti artar
- ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm



ÖZET

Elektriksel Kuvvet ve Elektriksel Alan

1. Elektriksel kuvvet

Yaşadığımız evrende iki tür elektrik yükü vardır. Bu yükler elektriksel kuvvet adı verilen bir kuvvet ile birbirlerini iter ve çeker. Elektriksel kuvvetin büyüklüğü yük miktarına, yükler arasındaki uzaklığa ve yüklerin bulunduğu ortamın cinsine bağlıdır. Elektriksel kuvvetin büyüklüğü bu konuda çalışmalar yapan Charles Coulomb (Çarls Kulon)'un adı ile bilinen yasayı ifade eder.

Coulomb Yasası: Aralarında d kadar uzaklık bulunan elektrik yüklü iki cisim birbirlerini büyüklüğü, yüklerinin çarpımı ($q_1 \cdot q_2$) ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesi (d^2) ile ters orantılı olan bir kuvvetle iterler ya da çekerler.

Buna göre yüklü iki cisim arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü $F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$ eşitliği ile hesaplanır. Bağlıntıdaki k sabit sayısı (Coulomb Sabiti) elektrik yüklerinin etkileştiği ortamın elektrik geçirgenliği ile ilgili bir katsayıdır.

2. Noktasal yükün elektrik alanı

Bir elektrik yükü kendisini çevreleyen alanda elektriksel bir etki meydana getirir. Bu alana o yükün **elektriksel alanı** denir ve E sembolü ile gösterilir. Noktasal bir yükün elektrik alanının büyüklüğü $E = k \cdot q/d^2$ eşitliği ile hesaplanır.

Elektrik alanı vektörel bir niceliktir ve yönü elektriksel kuvvetin yönü ile aynıdır. Pozitif (+) yükün alan vektörünün yönü yükten dışarı, negatif yükün (-) alan vektörünün yönü yüke doğrudur. Bir düzlemde pozitif (+) ve negatif (-) iki yük bulunuyorsa elektrik alan vektörünün yönü pozitif yükten negatif yüke doğrudur.

Elektriksel Potansiyel

1. Noktasal yükler için elektriksel potansiyel enerji, elektriksel potansiyel, elektriksel potansiyel farkı ve elektriksel iş

Elektrik yüklerini elektrik alan içerisinde sabit tutmak için elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Bu iş sistemde elektrik potansiyel enerjinin depolanmasını sağlar. Aralarında d uzaklığı bulunan $+q_1$ ve $+q_2$ yüklerinin birbirine göre elektriksel potansiyel enerjisi,

$$E_p = -k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d} \text{ olarak yazılır.}$$

- Bir elektrik yükü, bir elektrik alanı içerisinde, elektrik alana zıt yönde taşınırsa değeri gittikçe artan elektriksel kuvvete karşı iş yapılır. Bunun sonucunda yük sisteminin potansiyel enerjisi artar.
- Eğer yük elektrik alanı içerisinde alan çizgileri ile aynı yönde hareket ediyorsa dışarıdan bir kuvvet uygulanmasına gerek kalmaz. Yük elektriksel alanın etkisinde hareket ettiği için sistem potansiyel enerji kaybeder.
- Birbirini iten yüklerin potansiyel enerjisi pozitif (+), birbirini çeken yüklerin potansiyel enerjisi negatif (-) işaretlidir.
- Aynı işaretli yüklerden oluşan yük sisteminde yüksek potansiyel enerjili bölge yüklerin birbirine en yakın olduğu bölgedir. Düşük potansiyel enerjili bölge ise yüklerin birbirinden en uzak olduğu bölgedir.
- Zıt işaretli yüklerden oluşan yük sisteminde yüksek potansiyel enerjili bölge yüklerin birbirine en uzak olduğu bölgedir. Düşük potansiyel enerjili bölge ise yüklerin birbirine en yakın olduğu bölgedir.
- Yük sisteminde enerji korunumludur. Potansiyel enerjinin azaldığı bölgelerde kinetik enerjinin değeri artar. Buna göre $\Delta E_p = \Delta E_k$ 'dır.

Aynı elektrik alanı içerisinde pozitif birim yük başına düşen potansiyel enerjiye ise **elektrik potansiyeli** adı verilir. Bir noktanın elektrik potansiyeli, pozitif birim yükü (+1C) sonsuzdan o noktaya farklı yollardan getirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş ya da harcanan enerji olarak tanımlanır. Elektrik potansiyeli V sembolü ile gösterilir. Pozitif ve negatif noktasal bir yükün kendisinden d kadar uzakta bulunan bir noktada oluşturduğu elektriksel potansiyelin değeri,

$$V = k \cdot \frac{(\pm q)}{d} \text{ eşitliği ile bulunur.}$$

Elektriksel potansiyel farkı ve elektriksel iş

Düzgün bir elektrik alanı içerisinde pozitif (+) yüklü bir parçacığın bir noktadan başka bir noktaya taşınması sırasında yük başına yapılan iş, bu iki noktanın elektrik potansiyelleri farkına eşittir.

$$\text{Potansiyel fark} = \text{Son konum potansiyeli} - \text{İlkonum potansiyeli} = \frac{\text{İş (enerji değişimi)}}{\text{Yük}}$$

Bu durumda $+q$ ve $-q$ yükünün, B noktasından A noktasına taşımakla yapılan iş

$$W = \pm q \cdot V_{BA} = \pm q \cdot (V_A - V_B) \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Eş potansiyel yüzeyler

Bir elektrik yükünün çevresinde oluşturduğu elektriksel alanda yükten eşit uzaklıktaki her bir noktanın elektrik potansiyeli eşittir. Bu durum o elektrik alanı içerisindeki eş potansiyel yüzeyleri ifade eder.

Düzdün elektrik alan ve Sığa

1. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanı Ve Alan Çizgileri

Yönü ve şiddeti her yerde aynı olan elektriksel alana **düzdün elektriksel alan** denir. Böyle bir elektriksel alan, eşit ve zıt yüklü paralel iletken levhalar arasında oluşur. Paralel iletken levhaların yüzeyinin çok büyük, aralarındaki uzaklığın küçük olduğunda levhalar arasında elektrik alan çizgilerinin birbirine paralel olduğu kabul edilir. Levhaların uç kısımlarında alan çizgilerinin paralellığı bozulur. Paralel levhalar arasında elektrik alan çizgileri pozitif yüklü levhadan başlar, negatif yüklü levhada sonlanır.

2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Olduğu Değişkenler

Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasındaki elektrik alanının şiddeti; $E = \frac{V}{d}$ eşitliği ile bulunur. Paralel levhalar arasında elektrik alan çizgileri elektrik potansiyelin azalan değerlerine doğru yönelir. Eğer üretcin gerilimi sabit tutulursa elektrik alan şiddeti levhalar arası uzaklık azaldıkça artar.

3. Yüklü Parçacıkların Elektrik Alandaki Davranışı

Zıt elektrik yükü ile yüklenmiş paralel iletken levhalar arasında oluşan düzdün elektriksel alan içerisine yüklü bir parçacık bırakıldığında sabit net bir elektriksel kuvvetin etkisinde kalır. Yüklü parçacık bu kuvvetin etkisiyle sabit ivmeli hareket yapar. Düzdün elektriksel alan içine yerleştirilen parçacığın yük işareti pozitif (+) ise elektriksel alanla aynı yönde, negatif (-) yüklü ise elektriksel alanla zıt yönde sabit ivmeli hareket yapar. Düzdün elektriksel alan içinde yüklü bir parçacığın hızı parçacığın yük miktarına, iki nokta arasındaki potansiyel farka ve parçacığın kütlesine bağlıdır. Parçacığın hareket ettiği iki nokta arasındaki potansiyel farkının değeri artarsa hızın büyüklüğü de artar.

Yüklü, paralel ve iletken levhalar arasındaki elektrik alana dik olarak giren yüklü parçacık doğrultusundan sapar. +q yüklü parçacığın sadece elektriksel kuvvetlerin etkisinde olduğu kabul edilirse parçacık F_e kuvvetinin etkisiyle doğrultusundan sapar. +q yüklü parçacık parabolik bir yörünge çizerek negatif yüklü levhaya doğru hareket eder. -q yüklü parçacık ise yine parabolik bir yörünge çizerek pozitif levhaya doğru hareket eder.

4. Sığa (Kapasite)

Elektriksel alanın ve potansiyelin büyüklüğünü, iletkenin yüzeyinin büyüklüğüne bağlı olarak kazanacağı yük miktarı belirler. Bir iletkenin alabileceği yük miktarına o iletkenin **yük alma kapasitesi** ya da **sığası** denir. Sığa C sembolü ile gösterilirse yük miktarı ve elektrik potansiyeli arasındaki sabit bir oran vardır. Bu sabit oranın matematiksel ifadesi

$$\frac{q}{V} = \text{sabit} = C$$

şeklinde yazılır. Sığa, bir iletkenin sahip olduğu yük miktarına bağlı olarak depo ettiği elektriksel potansiyel enerjinin bir ölçüsüdür.

5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler

Bir sığacın sığasını iletken levhaların büyüklüğü, levhalar arasına konulan yalıtkan maddenin cinsi ve levhalar arası uzaklık etkiler. Levhanın yüzey alanı artınca, üretceğin aynı potansiyel farkı altında levha yüzeyindeki yük miktarı da artar. Bu durum sığayı artırır. Levhaların yüzey alanı farklı olduğunda sığacın sığasının büyüklüğünü yüzey alanı küçük olan levha belirler. Sığaç levhaları arasına yalıtkan madde konulduğunda sığaç, levhaları arasındaki potansiyel farkını üretceğin kutupları arasındaki potansiyel farka eşitleyebilmek için üretceğinden yük çeker. Bu durum sığacın sığasının artmasına neden olur. Üretceğin potansiyel farkını sabit tutarak bir sığacın levhalarının büyüklüğünü ve aralarındaki dielektrik (yalıtkan) maddeyi değiştirmeden, levhalar arasındaki uzaklık (d) azaltılırsa levhalar arasındaki elektriksel çekim kuvvetinin değeri dolayısıyla elektriksel alanın değeri artar. Bu durumda levhalarda öncekine göre daha fazla yük birikir ve sığacın sığası artar. Sığacın sığası matematiksel olarak; $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$ bağıntısı ile verilir.

6. Sığacın (Kondansatör) İşlevi

Sığaçlar farklı akım ve gerilime göre farklı davranışlar gösterir. Bir sığaca doğru akım uygulanırsa sığa değerine göre çok kısa sürede üzerinden değeri azalan bir akım geçer. Bu sürede sığaçta enerji depolanır ve sonrasında akım geçmez. Eğer sığaca bağlı bir devre elemanı, örneğin bir ampul varsa akım kesildikten sonra depoladığı enerjiyi ampul üzerinden boşaltır. Bu nedenle sığaçlara **aktif devre elemanı** adı verilir. Eğer sığaca şehir gerilimi (alternatif akım) uygulanırsa sığaç tamamen dolmaya fırsat bulamadığı için elektriği sürekli iletir.

Manyetizma ve Elektromanyetik İndükleme

1. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Bir Telin Çevresinde, Halkanın Merkezinde ve Akım Makarasının (Bobin) Merkez Ekseninde Oluşan Manyetik Alanın Şiddetini Etkileyen Değişkenler

Üzerinden elektrik akımı geçen telin meydana getirdiği manyetik alan şiddeti, akım şiddetine ve telden uzaklığa bağlıdır. Buna göre; iletken bir telden geçen sabit akım değerinin daha büyük olması, verilen her bir noktadaki manyetik alan şiddetinin daha büyük olacağını ve telden uzaklaştıkça alan şiddetinin de azalacağını ifade eder. Üzerinden akım geçen iletken düz bir telin çevresinde oluşan manyetik alanın şiddeti matematiksel olarak, $B = K \frac{2i}{d}$ şeklinde yazılır.

Manyetik alan vektörel bir niceliktir. Manyetik alan vektörünün yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Bu kurala göre, sağ elin baş parmağı akımın yönünü gösterecek şekilde üzerinden akım geçen tel sağ el ile kavrandığında geri kalan dört parmağın dolanma yönü manyetik alan çizgilerinin dolanma yönünü gösterir. Manyetik alan vektörünün yönü ise alan çizgilerine her noktada teğettir.

Üzerinden akım geçen tel halkanın merkezindeki manyetik alanın yönünü bulabilmek için sağ el kuralından yararlanılır. Buna göre sağ elin baş parmağı akımın yönünü gösterecek şekilde tel halka kavranırsa geri kalan dört parmağın yönelimi manyetik alan çizgilerinin dolanım yönünü gösterir. üzerinden akım geçen telin çevresinde oluşan manyetik alanın büyüklüğünü düz telin manyetik alanının büyüklüğünü veren bağıntıya benzer olarak $B = K \frac{2\pi i}{r}$ eşitliği ile verilir. Bu eşitliğe göre, üzerinden akım geçen tel halkanın manyetik alan şiddeti, akım şiddeti ile doğru orantılıyken, halkanın yarıçapı ile ters orantılıdır.

Akım makarasını oluşturan her sarım halka şeklinde manyetik alan çizgileri oluşturur. Akım makarasının merkezinde aynı yönde yönelmiş alan çizgileri birbirine eklenerek şiddeti büyük ve birbirine paralel alan çizgileri oluşturur. Akım makarasının merkezindeki manyetik alan çizgilerinin yönü sağ el kuralı ile bulunur: Sağ elin dört parmağı akımın yönünü gösterecek şekilde akım makarası kavrandığında başparmağın yönelimi manyetik alan çizgilerinin yönünü gösterir. Bir akım makarasının sarım sayısının (n) artması manyetik alan şiddetinin artmasına neden olurken, akım makarasının uzunluğunun (L) artması manyetik alan şiddetinin azalmasına neden olur. Buna göre akım makarasının merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti $B = K \frac{4\pi in}{L}$ bağıntısı ile hesaplanır.

2. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Bir Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet

Mıknatısın zıt kutupları arasına yerleştirilmiş ve üzerinden akım geçen iletken düz tel üzerine mıknatısın manyetik alan çizgilerine dik bir manyetik kuvvet etki eder. Mıknatısın manyetik alanının ortaya çıkardığı bu manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile belirlenir: Sağ elin dört parmağı manyetik alan çizgilerinin yönünü, baş parmağı telin üzerinden geçen akımın yönünü gösterecek şekilde tutuluşa avuç içi manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Sağ el kuralına göre manyetik alan vektörü (B), akım (i) ve manyetik kuvvet vektörü (F) birbirine diktir. Manyetik kuvvetin büyüklüğü telden geçen akım şiddetine, manyetik alanın büyüklüğüne ve telin manyetik alan içerisinde kalan uzunluğuna bağlıdır. Düzgün bir B manyetik alanı içerisine yerleştirilmiş ℓ uzunluğunda ve üzerinden i akımı geçen düz tele etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü matematiksel olarak $F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ şeklinde yazılır.

Düzgün manyetik alan içinde üzerinden akım geçen paralel iki telin birbirine uyguladığı kuvvet

Üzerinden akım geçen iki iletken düz tel paralel olarak yerleştirilirse birbirlerinin manyetik alanı içerisinde kalır. İki paralel telin üzerinden aynı yönde akım geçtiğinde sağ el kuralına göre teller birbirine çekme kuvveti uygular. Eğer paralel tellerden geçen akım ters yönde ise sağ el kuralı ile belirlenen kuvvetin yönü telleri birbirinden uzaklaştıracak yöndedir. Teller manyetik alan çizgilerine dik olarak yerleştirilmiş ise birbirlerine uyguladıkları manyetik kuvvet en büyük değerdedir.

4. Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Dikdörtgen Tel Çerçeveye Etki Eden Kuvvet

Mıknatısın kutupları arasındaki B manyetik alanının içerisinde kalan iletken tel çerçeveden akım geçmeye başladığında, tel manyetik kuvvetin etkisi ile dönmeye başlar. Bu kuvvetlerin yönü sağ el kuralına göre belirlenir. Düzgün bir manyetik alan içerisinde tel çerçeveye etki eden toplam torkun büyüklüğü $\tau = B \cdot i \cdot A$ eşitliği ile hesaplanır.

5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi

Zıt kutuplu iki mıknatısın arasında oluşmuş, sayfa düzlemine paralel manyetik alan içerisine v hızı ile gönderilen $+q$ ve $-q$ yüklü iki parçacık manyetik kuvvetin etkisiyle hareket doğrultularından sapar. Yüklü parçacıklara etki eden kuvvetin yönü sağ el kuralı ile belirlenir: Pozitif yük ($+q$) için sağ elin dört parmağı manyetik alanın yönünü, başparmağı parçacığın hız vektörünün yönünü gösterecek şekilde yerleştirildiğinde avuç içi manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Negatif yük ($-q$) için ise aynı şekilde sağ el kuralı uygulanıp belirlenen kuvvet yönünün tersi alınarak etki eden manyetik kuvvetin yönü belirlenir. Yüklü parçacık düzgün manyetik alanda hızlandırılıp alan içerisinden çıkamazsa manyetik kuvvetin etkisinde yörüngesini çembere tamamlar. Parçacık alan içerisinde düzgün çembersel hareket yapar.

6. Manyetik Akı

Manyetik akı, şiddeti B olan manyetik alan içerisine konmuş bir çerçeveden geçen alan çizgi sayısının bir ölçüsüdür. Çizgi sayısı, çerçevenin alan içerisindeki durumuna göre değişir. Manyetik akı Φ_B sembolü ile gösterilir. Yüzey alanı A olan bir çerçeveden geçen düzgün B manyetik alanı için manyetik akının genel ifadesi, $\Phi_B = B \cdot A$ Cosa şeklinde yazılır. Manyetik akı, ortamdaki manyetik alan şiddetine, tel çerçevenin yüzeyin alanına, tel çerçevenin manyetik alan içerisinde duruş şekline bağlıdır.

7. İndüksiyon Akımı

Bir elektrik devresinden geçen manyetik akı zamanla değişiyorsa bu devrede bir emk ve akım meydana gelir. Oluşan emk'ine **indüksiyon emk'i**, akıma ise **indüksiyon akımı** adı verilir. Genel olarak, indüklenmiş emk ve akımı içeren deneyleri özetleyen ifade Faraday'ın İndüksiyon Yasası olarak bilinir.

Faraday'ın İndüksiyon Yasası: Bir devrede indüklenen emk, devreden geçen manyetik akının zamana göre değişimi ile doğru orantılıdır.

Faraday'ın İndüksiyon Yasası matematiksel olarak $\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ şeklinde yazılır. Denklemdaki (-) işareti Lenz Yasası ile ifade edilir:

Lenz Yasası: İndüklenmiş emk tarafından üretilen akım, oluştuğu manyetik akıdaki değişime karşı koyacak etkiyi meydana getirecek şekilde yönelir.

8. Öz-İndüksiyon Akımı

Kapalı bir devrede değişen akının ortaya çıkardığı indüksiyon olayına **özindüksiyon olayı** denir. Bu olayda kapalı iletken bir devrede öz- indüksiyon akımı, üreteç akımı artarken ona karşı yönde; üreteç akımı azalırken onunla aynı yönde destekleyici olarak ortaya çıkar.

9. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı

Hem bir elektrik alanı hem de bir manyetik alan içerisinde v hızı ile hareket eden bir yük, elektriksel kuvvet ($\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$) ve manyetik kuvvet ($\vec{F}_m = q \cdot v \cdot \vec{B}$) etkisindedir. Bu durumdaki yüke etki eden toplam kuvvete **Lorentz Kuvveti** adı verilir. Lorentz kuvvetinin matematiksel ifadesi

$$\vec{F} = (q \cdot \vec{E}) + (q \cdot v \cdot \vec{B})$$

şeklinde yazılır. Yüklü bir parçacık elektrik ve manyetik alanların içerisine girdiği anda elektriksel kuvvet (F_e) ve yönü sağ el kuralına göre belirlenen manyetik kuvvet (F_m)'in etkisinde kalır. Eğer bu iki kuvvetin birbirine eşit olması ($F_m = F_e$) sağlanırsa yüklü parçacık alanların bulunduğu bölgede doğrusal bir yatay çizgi üzerinde ilerler. Yüklü parçacığa etki eden etkiyen manyetik kuvvetin şiddeti, elektriksel kuvvetin şiddetinden daha büyük olursa parçacık manyetik kuvvetin yönünde sapar. Eğer elektriksel kuvvetin şiddeti daha büyük olursa parçacık elektriksel kuvvetin yönünde sapar.

10. Elektromotor Kuvveti Oluşturan Sebepler

İletken tel çerçeve, manyetik alan içinde döndükçe, çerçevenin içinden geçen manyetik akı zamanla değişir. Bu durum Faraday'ın İndüksiyon Yasası'na uygun olarak, çerçevede bir emk'i oluşturur. $\Phi_B = n \cdot B \cdot A \cdot \cos\alpha$ bağıntısına göre manyetik akı, çerçeve düzleminin normali ile manyetik alan çizgileri arasındaki açıya, alan şiddetine ve sarım sayısına bağlı olarak değişir. Buna göre, tel çerçeve alan çizgileri ile $\alpha = 0^\circ$ ya da $\alpha = 180^\circ$ açı yaptığında alan çizgilerine dik konuma geldiğinden çerçevede oluşan emk'i en büyük değerini alır. Tel çerçeve alan çizgileri ile $\alpha = 90^\circ$ ya da $\alpha = 270^\circ$ açı yaptığında ise çerçevede emk'i oluşmaz. Tel çerçeveden geçen akı değişiminin yanında manyetik alan şiddetinin ve telin sarım sayısının artması da emk'in değerini değiştiren etkenlerdir.

Alternatif Akım

1. Alternatif Akım

Zamanla yönü ve şiddeti değişen bu akıma **alternatif akım** denir. Düzgün bir manyetik alan içerisinde sabit açısal hızla döndürülen bir tel çerçevede oluşan indüksiyon emk'i zamanla değişir. Bu durumda oluşan indüksiyon emk'i $\varepsilon = n \cdot B \cdot A \cdot w \cdot \sin wt$ denklemi ile verilir. Denklemdaki ε , anlık ya da ani emk demektir. Denklemdaki "n. B. A. w" kısmı sabit nicelikleri içerir. Bu niceliklerin çarpımı emk'in en büyük (maksimum) değerine eşittir. Buna göre emk'in en büyük değeri,

$$\varepsilon_{\max} = n \cdot B \cdot A \cdot w$$

şeklinde yazılır. O hâlde iletken tel çerçevede oluşan emk'in denklemi,

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \cdot \sin wt \text{ olarak yazılır.}$$

Ohm Yasası'na göre, $R = \frac{\varepsilon}{i}$ ve $i = \frac{\varepsilon}{R}$ yazılır. Buradan alternatif akımın zamana bağlı denklemi, $i = \frac{\varepsilon_{\max} \cdot \sin wt}{R}$ olur. Burada akımın maksimum (i_{\max}) değerini ifade eder. Buna göre alternatif akımın denklemi, $i = i_{\max} \cdot \sin wt$ olarak yazılır. Bu denklemdaki i , anlık ya da ani akım demektir. Direncin uçları arasında oluşan gerilimin anlık değeri ise yine Ohm Yasası'ndan $V = i \cdot R$ den $V = V_{\max} \cdot \sin wt$ olarak yazılır. Denklemdaki V_{\max} direncin uçları arasında oluşan gerilimin maksimum değeridir ve $V_{\max} = i_{\max} \cdot R$ olarak yazılır.

2. Alternatif Akım ve Doğru Akımın Karşılaştırılması

- Alternatif akım (AC) akım kaynağı bulunan bir devrede, kaynağın sabit bir pozitif (+) ve negatif (-) kutuplanması söz konusu değildir.
- Doğru akım (DC) kaynağı bulunan devrede, kaynağın sabit pozitif (+) ve negatif (-) kutuplanması vardır. Bu nedenle akım, kaynağın (+) kutbundan (-) kutbuna doğru direnç üzerinden geçerek ulaşır.
- Alternatif akım kaynağının uçlarından birinin toprağa göre potansiyeli sıfırdır. Kaynağın diğer ucu ise pozitif (+) ya da negatif (-) işaretlidir.
- Günlük yaşamda yaygın olarak kullanılan buzdolabı, çamaşır makinesi, fırın, klima, aydınlatma ve ısıtma sistemlerinde alternatif akımla çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

- Radyo alıcıları, şarjlı el süpürgeleri, televizyon, müzik seti doğru akımla çalışır. Bunun için **regüle** adı verilen devrelerden yararlanılır.
- Alternatif akım kaynaklarının verimi %95'in üzerindedir. Bu özelliği ile güçleri doğru akım kaynaklarına göre daha fazladır.
- Alternatif akım kaynaklarının yapımı daha kolay ve doğru akım kaynaklarına göre daha az maliyetlidir.

Alternatif akımın etkin ve maksimum değerleri

Bir alternatif akıma ısı bakımından eşdeğer olan doğru akımın şiddetine **alternatif akımın etkin değeri** denir. Isıya duyarlı ampermetre ile ölçülen alternatif akımın etkin değeri i_e sembolü ile gösterilir. Akımın maksimum değeri i_m ve akımın etkin değeri i_e olmak üzere, $i_e = \frac{i_m}{\sqrt{2}} = 0,707 i_m$ şeklinde yazılır. Benzer ilişki alternatif gerilimin maksimum ve etkin değerleri arasında da vardır. Alternatif gerilimin etkin değeri, akımın etkin değeri gibi yazılabilir. Ohm Yasasına göre gerilim $V = i \cdot R$ dir. Bu ifade akımın etkin değeri cinsinden yazılırsa $V_e = \frac{i_m}{\sqrt{2}} \cdot R$ ve $i_m \cdot R = V_m$ olduğundan alternatif gerilimin etkin değeri $V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ olarak yazılır.

3. Alternatif ve Doğru Akım Devrelerinde Direncin, Bobinin ve Sığacın Davranışı

Alternatif akım devresinde saf direnç (R), bobin (akım makarası) (L) ve sığaç (kondansatör) (C) olmak üzere üç temel devre elemanı bulunur.

R direnci bir alternatif akım kaynağına bağlandığında iletken içerisindeki elektronlar ileri geri hareket etmesiyle, metal yüzeyine sürtünme ve elektronların çarpışması sonucunda ısı enerjisi açığa çıkar. Bu nedenle direnç AC devresinde ısı kaybına neden olan bir devre elemanıdır.

Bobin bir doğru akım kaynağına bağlandığında, meydana gelen öz- indüksiyondan dolayı bobinin sarımlarından geçen akım hemen artmaz. Akım en büyük değerine ulaştığında bobinin uçları arasındaki gerilim üreticinin gerilimine eşit olur. Bobin bir alternatif gerilim kaynağına bağlanırsa bobinden geçen akımın önü ve şiddeti, alternatif gerilimin frekansına göre sürekli değişir. İşte bu durumda, öz-indüksiyon etkisi nedeniyle sabit frekansta, bobinde sabit bir direnç oluşur. Alternatif gerilimin frekansı artarsa direnç de zamanla artar.

Dirençteki bu artış Ohm Yasası'na göre akımın zamanla azalarak sıfırlanmasına neden olur. Alternatif gerilimin frekansı azalırsa direnç azalır ve bobinden geçen akım artar.

Alternatif akım kaynağına bağlı sığaç devresinde, önce bir yönde artıp sonra azalan sonra da ters yönde önce artıp sonra azalan bir akım ortaya çıkar. Bu durum sığaçların alternatif akıma (AC) karşı çok büyük bir direnç göstermediğini ortaya koyar. Yapılan deneylerde alternatif gerilimin frekansının yüksek olması sığacın dolma ve boşalma süresini kısalttığını ve akım şiddetinin arttığını göstermiştir. Bu durum bir sığacın, yüksek frekanslı alternatif akımlara karşı daha az direnç, düşük frekanslı alternatif akıma ise daha fazla direnç gösterdiğini ifade eder.

4. İndüktans, kapasitans, rezonans ve empedans

İndüktans (X_L): Bir alternatif akım kaynağına bağlanmış olan bobin (akım markası) üzerinden geçen alternatif akımı geciktirmesi nedeniyle direnç oluşturur. Bu dirence **indüktans** denir. İndüktans X_L sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi ohm (Ω)'dur. İndüktans $X_L = \omega \cdot L$ şeklinde yazılır.

Kapasitans (X_C): Bir alternatif akım kaynağına bağlanmış olan sığaç (kondansatör), akımın yön değiştirmesinden dolayı sürekli dolar ve boşalır. Sığaç bu değişken akımda bir direnç meydana getirir. Bu dirence **kapasitans** denir. Kapasitans X_C sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi ohm (Ω)'dur. Kapasitans $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ şeklinde yazılır.

Rezonans olayı, bobinin indüktansının (X_L), sığacın kapasitansına (X_C) eşit olduğu anda gerçekleşir. Rezonans hâlinde devre sadece saf dirençten oluşmuş gibi davranır.

Rezonans frekansı (f_0) $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ şeklinde yazılır.

Empedans (Z): Bir doğru akım devresinde olduğu gibi saf direnç (R), indüktansı X_L olan bobin ve kapasitansı X_C olan sığaç seri bağlanarak bir alternatif akım devresi oluşturulduğunda eş değeri bulunabilir. Bu eş değer dirence alternatif akım devresinin **empedansı** denir. Empedans Z sembolü ile gösterilir SI'da birimi ohm (Ω)'dur.

Transformatörler

1. Transformatörlerin Çalışma Prensibi

Transformatör ya da trafo, alternatif akım sistemlerinde gerilimi frekans değiştirilmeden manyetik indüksiyon yoluyla dönüştürmek için kullanılan ve hareketli parçası bulunmayan bir elektrik devre elemanıdır. Alternatif akımda, akımın yönü ve şiddeti sürekli değiştiği için birinci devrede (primer) manyetik akı değişimi ($\Delta\Phi_B$) meydana gelir. Değişen manyetik akı demir çekirdek aracılığı ile ikinci devredeki bobine iletilir. Böylece ikinci devrede (sekonder) bobinin uçları arasında indüksiyon emk'i ve sarım tellerinin üzerinden indüksiyon akımı geçer.

Bir transformatör devresinde, gerilim hangi oranda yükseltiliyorsa aynı oranda akım şiddeti düşer. Tersisi durumda da gerilim hangi oranda düşürülüyorsa akım da aynı oranda yükseltilir.

2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları

Elektrik enerjisinin üretildiği elektrik santrallerinden elektrik enerjisinin kullanılacağı yerlere iletimi sırasında enerji kaybının hem de maliyetin en aza indirgenebilmesi için yükseltici transformatörler kullanılır. Bu transformatörler elektrik santrallerinde üretilen düşük gerilim-yüksek akımı tersine yani yüksek gerilim-düşük akıma çevirir.

Eğer transformatörler olmasaydı, elektrik enerjisinin üretildiği yer ile tüketici arasındaki mesafenin az olması gerekecekti. Bu da yerleşim yerlerinin içerisinde güç istasyonlarının kurulması demektir ki bu durum canlı yaşamı için olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabilir.

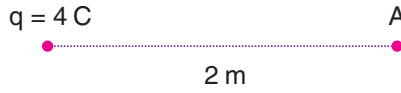
6. DÖNEM ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

1. İki noktasal yüklü cisim aralarındaki uzaklık d kadarken birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvet F kadardır.

Yüklü cisimler arasındaki uzaklık yarıya indirildiğinde elektriksel kuvvet kaç F olur?

- A) $1/2$ B) 2 C) 4 D) 6

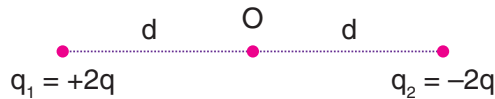
2. Aşağıdaki şekilde $q = 4 \text{ C}$ değerindeki noktasal yük bir düzlem üzerine yerleştirilmiştir.



Yükün düzlem üzerinde oluşturduğu elektrik alanın kendisinden 2 m uzakta bulunan A noktasındaki değeri kaç N/C 'dir? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$)

- A) $4 \cdot 10^9$ B) $5 \cdot 10^9$ C) $8 \cdot 10^9$ D) $9 \cdot 10^9$

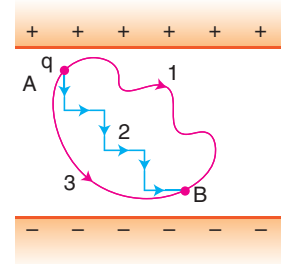
3. Noktasal q_1 ve q_2 elektrik yükleri düzlem üzerine şekildeki gibi yerleştirilmiştir.



q_1 yükünün O noktasında oluşturduğu elektrik alan şiddeti E kadar olduğuna göre, q_1 ve q_2 yüklerinin O noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan şiddeti kaç E dir?

- A) 0 B) E C) $2E$ D) $4E$

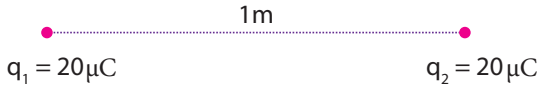
4. Yüklü iletken levhalar arasında bir q yükü sırasıyla şekildeki 1, 2 ve 3 yollarını izleyerek A noktasından B noktasına taşıyor.



Yükün taşınması sırasında yapılan elektriksel işin büyüklük sıralaması aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $W_1 > W_2 > W_3$ B) $W_2 > W_1 > W_3$
 C) $W_1 > W_2 > W_3$ D) $W_1 = W_2 = W_3$

5.



Noktasal q_1 ve q_2 elektrik yüklerini şekildeki gibi aralarında 1m uzaklık olacak şekilde yatay düzlem üzerine yerleştirmek için yapılması gereken elektriksel iş kaç J'dür? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$, $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$)

- A) 3,6 B) 36 C) 40 D) 180
6. Noktasal q yükü düzlem üzerine şekildeki gibi yerleştirilmiştir.



q yükünün A noktasındaki elektrik potansiyeli 20 volt olduğuna göre, B noktasındaki elektrik potansiyeli kaç voltur?

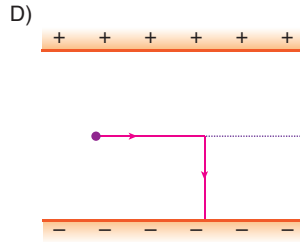
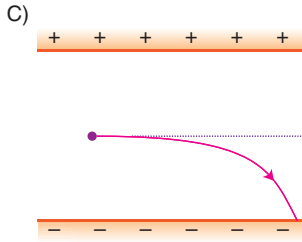
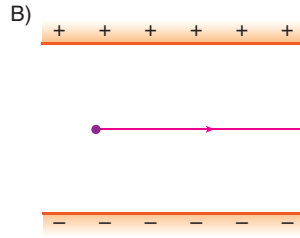
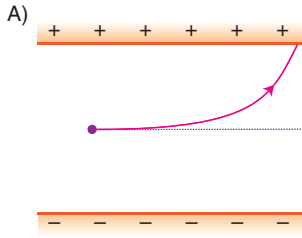
- A) 20 B) 10 C) 5 D) 2
7. Sığaç elektrik yükü depolamaya yarayan bir devre elemanıdır.

Sığası 2 C kadar olan bir sığacın levhalarının yüzey alanı (A) iki katına çıkarılırsa yeni durumda sığası kaç C olur?

- A) 4 C B) 2 C C) C D) C/2

8. Pozitif yüklü bir parçacık v hızı ile yüklü levhalar arasına alan çizgilerine dik olarak şekildeki gibi gönderiliyor.

Buna göre parçacığın levha içinde izleyeceği yol aşağıdakilerden hangisidir?

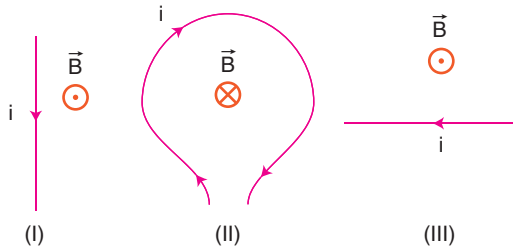


9. Üzerinden i akımı geçen iletken telden r kadar uzakta B şiddetinde manyetik alan oluştuğu tespit ediliyor.

Buna göre, iletken telden geçen akım şiddeti iki katına çıkarılırsa telden r kadar uzakta oluşan manyetik alan şiddeti kaç B olur?

- A) B B) $2B$ C) $3B$ D) $4B$

10. Aşağıda iletken tellerden geçen i şiddetindeki akımların oluşturduğu manyetik alan vektörlerinin yönü gösterilmiştir.



Buna göre, I, II ve III numaralı şekillerden hangisinde manyetik alan vektörünün yönü doğru olarak gösterilmiştir?

- A) I ve II B) I ve III C) II ve III D) I, II ve III

14. Düzgün manyetik alan içinde bulunan bir iletken tel çerçevede indüksiyon emk'i oluşturmak için,

- I. Çerçeve manyetik alan çizgilerine paralel hareket ettirilmeli.
- II. Manyetik alan şiddeti değiştirilmeli.
- III. Manyetik alan vektörünün yönü değiştirilmeli.

İşlemlerinden sadece birinin yapılması yeterlidir?

- A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III D) I, II ve III

15. Direnci 50Ω olan bir iletken telden geçen alternatif akım $i = 5 \sin 100 \pi t$ denklemleri ile verilmektedir.

Buna göre, verilen akım denklemleri ve direnç değeri kullanılarak

- I. Akımın anlık değeri,
- II. Akımın maksimum değeri,
- III. Alternatif gerilimin maksimum değeri niceliklerinden hangileri bulunabilir?

- A) I ve II B) I ve III C) II ve III D) I, II ve III

16. Günümüzde elektrik enerjisinin neredeyse tamamı alternatif akım olarak üretilmektedir.

Bu durumun nedeni ile ilgili olarak aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) Elektrik enerjisinin uzak mesafelere iletilebilmesi.
- B) Elektrik hattı sayısının azaltılması
- C) Ekonomik kazanç sağlanması.
- D) Üretilen elektrik enerjisinin artırılması

17. Bir alternatif akım devresine bağlı ampermetrede akımın hangi değeri ölçülür?

- A) Anlık değeri
- B) Maksimum değeri
- C) Minimum değeri
- D) Etkin değeri

18. Bir alternatif akım devresin bobin, sığaç ve dirençten oluşmaktadır. Devreye alternatif gerilim uygulandığında devre elemanlarının davranışı aşağıdaki gibidir.

I. devre elemanı: Alternatif gerilimin frekansına bağlı olarak direnci değişmez.

II. Devre elemanı: Alternatif gerilimin frekansı arttığında direnci artar.

III. Devre elemanı: Alternatif gerilimin frekansı arttığında akım şiddeti artar.

Buna göre I, II ve III devre elemanları hangi seçenekte doğru olarak eşleştirilmiştir?

<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>
A) Bobin	Direnç	Sığaç
B) Sığaç	Bobin	Direnç
C) Direnç	Bobin	Sığaç
D) Bobin	Sığaç	Direnç

19. Aşağıda indüktans, kapasitans ve empedans kavramları ile ilgili verilen bilgilerden hangisi yanlıştır?

- A) Alternatif akıma karşı bobinin gösterdiği zorluğa indüktans adı verilir.
- B) Alternatif akıma karşı sığacın gösterdiği zorluğa kapasitans adı verilir.
- C) Alternatif akıma karşı direncin gösterdiği zorluğa empedans adı verilir.
- D) Alternatif akım devresindeki toplam dirence empedans denir.

20. Bir transformatörün girişine 360 volt değerinde alternatif gerilim uygulanıyor. Bu transformatörün çıkışında 180 volt değerinde gerilim elde etmek için,

- I. Primer sarım sayısının azaltılması
- II. Sekonder sarım sayısının azaltılması
- III. Sekonder sarım sayısının arttırılması

İşlemlerinden hangilerinin yapılması gerekir?

- A) Yalnız II
- B) Yalnız III
- C) I ve II
- D) I ve III

CEVAP ANAHTARI

1. UYGULAMA

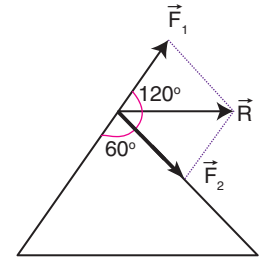
1. Elektrik alan şiddetinin sıfır olduğu noktada K ve L yüklerinin elektrik alan şiddetlerinin eşit olması gerekir ($E_K = E_L$). Bileşke elektrik alan şiddetinin sıfır olduğu nokta L yükünden x kadar uzakta olsun. Bu durumda

$$k \cdot q / (d-x)^2 = k \cdot 4q / x^2 \text{ yazılır. Buradan } x = 2d/3 \text{ bulunur.}$$

2. Yük miktarları eşit olan q_1 , q_2 ve q_3 yükleri eşkenar üçgenin köşelerine yerleştirilmiştir. Bu nedenle, yükler üzerine etki eden kuvvet eşit büyüklüktedir.

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot (4 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}) / (1 \cdot 10^{-1})^2 = 14,4 \text{ N}$$

Kuvvetler arasındaki açı 120° ve kuvvetlerin büyüklükleri eşit olduğundan q_2 ve q_3 yüküne etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü de 14,4 N'dır.



3. Elektrik alan şiddetinin sıfır olduğu noktada K ve L yüklerinin elektrik alan şiddetlerinin eşit büyüklükte olması gerekir ($E_1 = E_2$)

$$k \cdot q_1 / (d/3)^2 = k \cdot q_2 / d^2$$

$$q_1 / q_2 = 1/9$$

4. Verilen şekle göre F kuvvetinin bileşenler olan F_1 ve F_2 kuvvetlerinin değeri

$$F_1 = 2 \text{ N ve } F_2 = 1 \text{ N'dır.}$$

$$2 = k \cdot q_1 \cdot q_2 / (2)^2$$

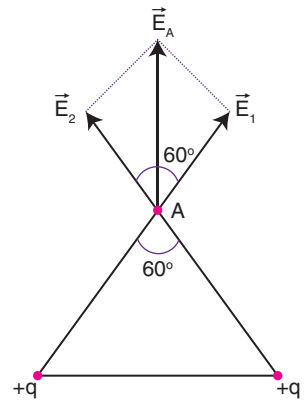
$$1 = k \cdot q_3 \cdot q_2 / (3)^2 \text{ buradan } k \cdot q_1 \cdot q_2 = 8 \text{ ve } k \cdot q_3 \cdot q_2 = 9 \text{ elde edilir.}$$

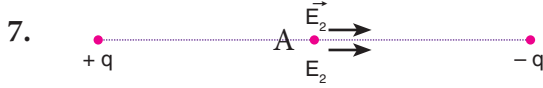
Bu iki eşitlik taraf tarafa oranlanırsa $q_1 / q_3 = 8/9$ bulunur.

5. Her bir cisim A noktasından eşit uzaklıktadır. Cisimlerin yük miktarları da eşit olduğundan yüklü cisimlerin A noktasında oluşturduğu elektrik alanın şiddeti eşit olmalıdır.

$$E_1 = E_2 = E \text{ dir.}$$

Elektrik alan şiddeti eşit ve aralarındaki açı 60° olduğundan A noktasındaki bileşke alan vektörü E_A nın şiddeti $\sqrt{3} E$ olur.



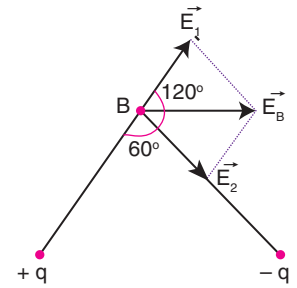


A noktasındaki elektrik alan şiddeti $E_A = E_1 + E_2$ dir. Yükler A noktasından eşit uzaklıkta bulunduğundan $E_1 = E_2$ yazılır. Buna göre $E_A = E$ olduğuna göre $E_1 = E_2 = E/2$ olur.

Yükler Şekil -2 deki gibi yerleştirildiğinde B noktasındaki elektrik alan vektörleri şekildeki gibi çizilir.

Yüklerin B noktasına olan uzaklığı d kadar, elektrik alan vektörleri arasındaki açı 120° ve şiddetleri eşit olduğundan B noktasındaki elektrik alan şiddeti

$E_B = E/2$ olur.



2. UYGULAMA

- $V_K = 0 = V_1 + V_2 + V_3$ olmalı
 $0 = k.(q_1/3) + k.(2q/5) - k.(q/4)$
 $-k.(q_1/3) = k.(2q/5) - k.(q/4)$ ve buradan $q_1 = 9q/20$ elde edilir.
- Elektrik alan şiddetinin sıfır olduğu noktada K ve L yüklerinin elektrik alan şiddetlerinin eşit olması gerekir ($E_K = E_L$). Yük miktarları eşit yük işaretleri pozitif olduğundan elektrik alan şiddetinin sıfır olduğu nokta iki yükü birleştiren doğru üzerinde ve yüklerden 15 cm uzaktadır.

Buna göre bu noktadaki toplam elektrik potansiyeli

$$V_{\text{toplam}} = V_1 + V_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 10^{-6} / 0,15) + 9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 10^{-6} / 0,15) = 5400 \text{ volt bulunur.}$$

- Yapılan iş ayrı ayrı elektrik potansiyel enerjileri toplamına eşittir.
 $W = k.(6q \cdot q/d) + k.(-2q \cdot q/d) = 4 \cdot k \cdot q^2/d$ bulunur.
- a) $W = q \cdot (V_B - V_A) = -2 \cdot (20 - 5) = -30 \text{ J}$
b) $W = q \cdot (V_A - V_B) = -2 \cdot (5 - 20) = 30 \text{ J}$

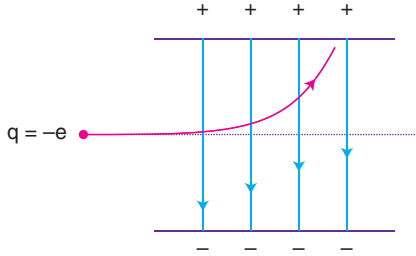
3. UYGULAMA

1. $E = V/d$

$$E' = 2V / (d/2) = 4V / d$$

$$E' = 4E$$

2.



3. Değişmez, çünkü sığaç yüzey alanı küçük olan levhaya göre yüklenir.

4. UYGULAMA

1. $B = K \cdot 2i/d$

$$B = 10^{-7} \cdot (2 \cdot 2/3) = 4 \cdot 10^{-7} / 3 \text{ tesla}$$

2. O noktada bileşke manyetik alanın sıfır olması için tel ve halkanın manyetik alanlarının eşit büyüklükte olması gerekir. Halkanın dörtte birinden akım geçtiği göz önünde bulundurularak

$$B_{\text{tel}} = B_{\text{halka}} \cdot 1/4 \text{ yazılır.}$$

$$K \cdot (2 \cdot i/r) = K \cdot (2\pi \cdot 2/r) \cdot 1/4$$

$i = 6$ amper bulunur.

Halkanın manyetik alan vektörü dışa doğru olduğuna göre telin manyetik alan vektörünün yönü içeri doğru olmalıdır. Akımın yönü de B yönündedir.

3. $B = K \cdot (4\pi \cdot n \cdot i) / L$

$$B = 10^{-7} (4 \cdot 3 \cdot 800 \cdot 4 / 0,1) = 3,84 \cdot 10^{-2} \text{ tesla sağa doğrudur.}$$

5. UYGULAMA

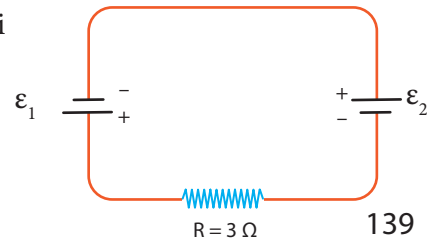
1. Yaklaşırken halkadan geçen akı miktarı artacağından 2 yönünde, uzaklaşırken halkadan geçen akı miktarı azalacağından 1 yönünde indüksiyon akımı oluşur.

2. Sağ el kuralına göre indüksiyon emk'lerin yönleri

belirlendiğinde devre şekildeki gibi olur.

$$\epsilon_1 = B \cdot v \cdot \ell = 10 \cdot 1 \cdot 0,2 = 2 \text{ volt}$$

$$\epsilon_2 = B \cdot v \cdot \ell = 10 \cdot 2 \cdot 0,2 = 4 \text{ volt}$$



Direnç üzerinden geçen akım, emk'ler düz seri bağlı üreteçler gibi davrandığından

$$i = (\varepsilon_2 + \varepsilon_1) / R$$

$$i = (4+2)/3 = 2 \text{ amper bulunur.}$$

3. Reostanın sürgüsü 1 yönünde çekildiğinde direncin değeri artar akım şiddeti azalır. X bobininden geçen manyetik akı da azalır.
- a) Y bobininden akı azalışını destekleyecek yönde akım oluşur. Manyetik alanın yönü 2 yönündedir.
- b) R direnci üzerinden geçen akımın yönü 2 yönündedir.

6. UYGULAMA

1. $\varepsilon = 100 \cdot \sin 50\pi t$ denkleminde $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ olduğundan,

a) $\varepsilon_{\max} = 100 \text{ volt}$

b) $t = 1/200$ saniyede oluşan emk

$\varepsilon = 100 \cdot \sin 50\pi t$ denkleminde verilenler yerine yazıldığında

$$\varepsilon = 100 \cdot \sin 50 \cdot \pi \cdot (1/200)$$

$$\varepsilon = 100 \cdot \sin \pi/4 = 50\sqrt{2} \text{ volt bulunur.}$$

c) $i = i_{\max} \cdot \sin 50\pi t$

$R = 2\Omega$ olduğuna göre $i_{\max} = \varepsilon_{\max} / R$ yazılır.

$$i_{\max} = 100/2 = 50 \text{ amper olur. Alternatif akımın denklemleri}$$

$$i = 50 \cdot \sin 50\pi t \text{ olarak yazılır.}$$

2. $V = \sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t$ gerilim denkleminde $V_{\max} = \sqrt{2}$ voltur.

a) $V_e = V_{\max} / \sqrt{2} = \sqrt{2} / \sqrt{2} = 1 \text{ volt}$

b) $i_{\max} = V_{\max} / R$

$$i_{\max} = \sqrt{2} / 10 \text{ amper}$$

c) $i_e = i_{\max} / \sqrt{2} = (\sqrt{2} / 10) / \sqrt{2} = 1/10 \text{ amper}$

7. UYGULAMA

1. Sekonderin sarım sayısının artması çıkış gerilimini artırır. Doğru cevap yalnız II dir.
2. Reostanın sürgüsü ok yönünde çekildiğinde akım şiddeti artar. Doğru cevap yalnız III tür.

ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI CEVAP ANAHTARI

- 1.C 2.D 3.C 4.D 5.A 6.B 7.A 8.C 9.B 10.A 11.B 12.D 13.A
14.C 15.C 16.D 17.D 18.C 19.C 20.A

SÖZLÜK

A

akım : Bir iletkenin herhangi bir kesitinden geçen yük miktarı.

alan : Uzay içerisinde belli bir bölgede kuvvet etkisinin olması.

alternatif akım : Bir iletkeninden geçen ve yönü zamana göre değişen elektrik akımı.

C

Coulomb Yasası : İki noktasal elektrik yükü arasındaki itme ya da çekme kuvvetini matematiksel olarak ifade eden yasa.

D

devre elemanı : AC ve DC elektrik devrelerinde kullanılan, enerji harcayan, enerji üreten ya da enerji depolayan araçlar.

dinamo : Mekanik enerjiyi kullanarak elektrik üreten devre elemanı.

doğru akım : Bir iletkeninden geçen ve yönü zamana göre değişmeyen elektrik akımı.

E

elektrik alan şiddeti : Birim yüke etkileyen elektrik kuvveti.

elektriksel potansiyel : Birim yüke sağlanan elektriksel potansiyel enerji.

elektromotor kuvveti : Bir elektrik devresinde elektronları harekete geçirerek elektrik akımını oluşmasına neden olan etki, üreticinin sağladığı enerji.

F

frekans : Birim zamanda tekrarlanan olayların sayısı.

İ

iletken : İçinde elektrik yükünün ya da ısının kolayca taşındığı madde.

indüksiyon akımı : Manyetik alan çizgilerini kesecek şekilde hareket ettirilen tel içinde sürüklenen elektronların oluşturduğu akım.

M

manyetik akı : Düzgün manyetik alan içine konulan madde yüzeyinden dik olarak geçen manyetik alan çizgisi sayısı.

N

net tork : Bir cisim üzerinde birden fazla kuvvetin döndürme etkisinin toplamı.

P

periyot : Bir tam oluşum için geçen süre.

R

rezonans : enerji alışverişinde sistemler arası uyumluluk.

S

sığa : Bir iletkenin yükünün potansiyeline oranı.

T

tork : Bir kuvvetin bir cisimi, bir eksen etrafında döndürme eğilimi.

transformatör : Herhangi bir devredeki AC gerilimini, amacına uygun olarak yükseltmek ya da düşürmek için kullanılan araç.

Y

yük : yüklü cisimlerin birbirleri ile elektriksel etkileşimi sağlayan nicelik.

KAYNAKÇA

- BALKAN, Naci, Ayşe EROL, Çevremizdeki Fizik, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 2012.
- CUTNELL, John D., W. Johnson KENNETH, Physics, John Wileyand Sons, Inc., USA, 2007.
- GIANCOLI, Douglas C., Fen Bilimcileri ve Mühendisleri İçin Fizik, 4. Baskı, çev.: Gülsen ÖNENGÜT, Pearson Education Yayıncılık, Ankara, 2009.
- Haber, Schaim, Cross, Dodge, W., PSSC Physics, D., C., Heath and Co., USA, 1971.
- Hewitt, P., G., Conceptual Physics, Harper Collins College Publishers, Tenth Edition, New York, 2005.
- MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı, Ankara, 2018.
- Sears, Zemansky, Young, University Physics, Addison Wesley Publishing Co., USA, 1987.
- Serway, Beichner, Fizik-2, Beşinci Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.
- Serway, A., R. - Beichner, R., J., Fizik 1, 2, 3, (çev. K. Çolakoğlu), Palme Yayıncılık, Ankara, 2009.
- TDK, Türkçe Sözlük, Türk Dil Kurumu Yayınları, Ankara, 2013.
- TDK Yazım Kılavuzu, TDK Yayınları, Ankara, 2012.
- YOUNG, Hugh D.; Roger A. FREEDMAN, Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği, Cilt 1, 12. Baskı, çev.: ÜNLÜ, Hilmi (Editör), GİZ, Ahmet T., HORTAÇSU, Mahmut Ö. ve diğerleri, Person Education Yayıncılık, Ankara, 2011.
- YOUNG, Hugh D.; Roger A. FREEDMAN, Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği, Cilt 2, 12. Baskı, Çev.: ÜNLÜ, Hilmi(Editör), GİZ, Ahmet T., HORTAÇSU, Mahmut Ö. ve diğerleri, Person Education Yayıncılık, Ankara, 2011.

GÖRSEL KAYNAKÇA

Kitabımızda yer alan görseller Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü'nce temin edilen tasarımcı firma tarafından www.shutterstock.com ve <https://tr.123rf.com> adreslerinden indirilmiştir.