

ELEKTRİK VE MANYETİZMA

ELEKTROSTATİK

1)COULOMB KANUNU:”İki yük arasındaki itme ya da çekme kuvveti yüklerin çarpımı ile doğru yükler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır”.

Bu kanun $F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$ şeklinde formulüze edilir. Burada k Coulomb sabitidir. $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ şeklinde ortamın dielektrik sabitine bağlıdır. k'nın boşluk için değeri $9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ dir.

2)ELEKTRİK ALAN:”Birim yüke etki eden kuvvete denir.” Elektrik alanla kuvvet arasında $F=q \cdot E$ bağıntısı vardır. Buna göre $E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{d^2}$ şeklindedir. Pozitif yüklü cisimlerde elektrik alan çizgileri dışa, negatif yüklü cisimlerde ise içe doğrudur. Bir cismin yükü; çizgisel ($dq=\lambda dx$), yüzeysel ($dq=\sigma ds$) ve hacimsel ($dq=\rho dv$) yük yoğunluklarına bağlı olarak tanımlanabilmektedir.

3)DİPOL:”Aynı değerlikli fakat zıt işaretli iki yük çiftinin oluşturduğu sisteme dipol denir.” Aralarındaki uzaklık $2a$ olan q ve $-q$ yükünün oluşturduğu dipolün “elektrik dipol momentı” $p=2aq$ şeklindedir. Böyle bir dipolün merkezinden geçen dik bir eksen üzerinde her hangi bir noktada oluşturduğu elektrik alan $E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{p}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$ şeklindedir. Burada r merkezden elektrik alanı

bulunan noktaya olan uzaklıktır. Bir dipol elektrik alan içerisinde ise ona alan çizgileri tarafından bir dönme momenti (tork) uygulanır. Bu tork $\vec{\tau} = \vec{P} \times \vec{E}$ vektörel çarpımı şeklindedir. Bu durumda elektrik alanın yaptığı iş $U = \int_{\theta_0}^{\theta} \tau d\theta = -\vec{P} \cdot \vec{E}$ dir.

4)ELEKTRİK POTANSİYELİ: “bir q yükünü sonsuza götürmek ya da sonsuzdan belli bir noktaya getirmek için elektrik alanına karşı yapılan işe denir.” Eğer yük bir A noktasında bir B noktasına götürülürse A ile B arasında bir potansiyel farkı oluşur. Bu fark $V_B - V_A = \frac{q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$ şeklindedir.

Buna göre bir grup yükün belirli bir noktada oluşturduğu potansiyel skaler toplamdan $V = \sum V_n$ den bulunur. Elektrik alan ile potansiyel arasında $E = -\frac{dV}{dr}$ bağıntısı vardır. Yüklü bir kürenin içinde elektrik alan sıfır, elektrik potansiyeli ise sabittir.

5)GAUSS KANUNU:”bir yüzeyden geçen elektrik akı elektrik alan şiddeti ile yüzey alanının çarpımına eşittir. Bu akı eğri yüzeyler (küresel, silindiriksel,...vb) için akı $\Phi_E = \oint E \cdot dS = \frac{q}{\epsilon}$ şeklinde Gauss kanununu oluşturur”. Yük yoğunluğu λ olan sonsuz uzunluktaki bir ince bir telin r kadar uzaklıkta oluşturduğu elektrik alan $E = \lambda / 2\pi\epsilon r$ şeklindedir. yüzey yük yoğunluğu σ olan bir siltin r uzaklıkta oluşturduğu elektrik alan ise $E = \sigma / 2\epsilon$ dur.

6)KONDANSATÖRLER VE DİELEKTRİKLER:”eşit ve zıt yüklerle yüklü ve aralarında belli bir mesafe bulunan iki levhadan oluşan sisteme kondansatör denir (değişik tipleri de vardır). Kondansatör içine yerleştirilen belli bir elektrikselsel yalıtkanlığı bulunan maddeye de dielektrik denir.” Kondansatörün bir levhasındaki yük miktarının levhalar arasındaki potansiyel farkına

oranına kapasitans ya da sığa denir ve C ile gösterilir. Bir kondansatörün sığası $C = \frac{q}{V} = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$ şeklindedir. Levhalar arasında dielektrik maddenin bulunması durumunda; serbest yüklerin alanı D, tüm yüklerin dielektrik alanı ϵE ve polarize (kutuplanmış) yük alanı P arasında $D = \epsilon E + P$ bağıntısı vardır. Belirli dielektrik materyaller için $D = \kappa \epsilon E$ ve $P = (\kappa - 1) \epsilon E$ deneysel bağıntılar mevcuttur.

Bir kondansatörün depoladığı enerji $W = \frac{1}{2} CV^2$ şeklindedir. Birim hacimde depolanmış enerji $u = W/Ad = (1/2) \kappa \epsilon E^2$ şeklindedir.

7) AKIM VE DİRENÇ: “Bir iletkenen birim zamanda geçen yük miktarına akım denir. İletkenin akıma karşı gösterdiği zora direnç denir.” Akım $i = dq/dt$ şeklinde, direnç ise $R = \rho L/A = V/i$ şeklindedir. Burada L iletkenin boyu, ρ öz direnç, A iletkenin kesit alanı, V iletkenin uçları arasındaki potansiyel farkı ve i iletkenen geçen akımdır. İletkenen geçen akım, akım yoğunluğuna $i = \int J \cdot dS$ şeklinde bağlıdır. İletkenin öz direnci ise $\rho = E/J$ şeklindedir. İletkenin öz direnci sıcaklığa $\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$ şeklinde bağlıdır. Burada T sıcaklık, α ise iletkenin ortalama sıcaklık sabitidir. Kalınlığı dx, kesit alanı A, potansiyel farkı dv ve iletkenliği σ olan bir materyalden geçen akım, onun iletkenliğine $\frac{dq}{dt} = -\sigma A \frac{dV}{dx}$ şeklinde bağlıdır. İletkendenki iletim elektronlarının sürüklenme hızı, elektronların ortalama hızına, elektrik alana ve ortalama serbest yola $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{eE\lambda}{m\bar{v}}$ şeklinde bağlıdır.

MANYETİZMA

1) MANYETİK ALAN: “elektrik yükleri hareket ettikleri zaman çevrelerinde manyetik alan oluştururlar. Bazı materyaller doğal manyetik özellik gösterir, örneğin mıknatıslar. Demir, kobalt vb gibi bazı materyaller manyetik alan içerisine konduklarında, manyetik alanla aynı yönlü etkileşerek manyetik özellik gösterirler. Bu özelliklere sahip materyallere ferromanyetik materyaller denir. Mıknatıslanan bir materyalde toplam manyetik dipol moment sıfırdan farklıdır. Manyetik alan B ile gösterilir. Bir yüzeyden geçen manyetik akı $\Phi_B = \oint B \cdot dS$ şeklindedir.

Bir q yükü B manyetik alanına V hızıyla girdiğinde yüke Lorentz kuvveti etkir. Bu kuvvet $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ şeklindedir. Üzerinden akım geçen bir telin dL kadar kısmının manyetik kuvveti $d\vec{F} = i \cdot dL \times B$ vektörel çarpımı şeklindedir. Manyetik alan içerisinde dönme momenti (tork) ise $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ şeklindedir. Manyetik dipolün manyetik alan içerisinde enerjisi ise $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$ şeklindedir.

2) HALL OLAYI: “Bir iletken elektrik ve manyetik alana maruz kaldığında iletkendeki iletim elektronları bu alanlarla etkileşerek sapmalar gösterir. Bu durumda iletken içerisinde oluşan potansiyelle Hall potansiyeli, dirence ise Hall direnci denir. Böyle bir materyalde Hall alanı $\vec{E}_H = -\vec{v}_d \times \vec{B}$ denkleminde $E_H = JB/ne$ şeklinde bulunur. Burada J akım yoğunluğu, B manyetik alan, n elektron yoğunluğu ve e elektron yüküdür. Elektrik ve manyetik alan iletkene dik olduğunda Hall direnci $R_H = 1/ne$ dir.

3) AMPER KANUNU: “Üzerinden akım geçen bir iletkenin çevresinde bir manyetik alan oluşur. Bu durumda manyetik dolanım iletkenen geçen akımla doğru orantılıdır. Buna Amper kanunu denir ve $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$ formülüyle gösterilir. Burada B manyetik alan, dl sonsuz küçük yol vektörü, μ_0 manyetik geçirgenlik sabiti, i ise akımdır. Boşluk için $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Weber/Amper.metre dir. Üzerinden i akımı geçen düz bir telin r kadar uzağındaki manyetik alan $B = \mu_0 i / 2\pi r$ dir. Genişliği a olan ince bir

iletken levhadan bir i akımı geçiyorsa, akımın levhadan R kadar uzaklıkta oluşturduğu manyetik alan $B = \frac{\mu_0 i}{\pi a} \tan^{-1} \frac{a}{2R}$ şeklindedir. N sarımlı bir solenoidin merkezindeki manyetik alan

$B = \frac{\mu_0 iN}{2\pi r}$ dir. Manyetik alanın yönü sağ el kuralıyla bulunur. Üzerinden akım geçen ve bir birine

paralel iki düz tel için manyetik kuvvet $F = \frac{\mu_0 l i_1 i_2}{2\pi d}$ şeklindedir. Akımlar aynı yönlü ise teller birbirini çeker, zıt yönlü ise iterler. Burada i akımları, L telin alınan uzunluğunu, d ise teller arasındaki uzaklığı belirtmektedir.

4)BIOT-SAVART KANUNU:”üzerinden akım geçen eğri ya da düz tellerin herhangi bir kesiminin (dL) r kadar uzaklıktaki bir P noktasında meydana getirdiği manyetik alan(dB); akım ve dL uzunluğu ile doğru, P 'ye olan uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Elektrostatikteki coulomb kanununa benzeyen bu kanun **Biot-Savart** kanunu olarak ifade edilir. Bunun formülü

$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3}$ şeklindedir. Üzerinden i akımı geçen düz bir telden R kadar uzaklıkta oluşan toplam manyetik alan $B = \mu_0 i / 2\pi R$ kadardır. Yarıçapı R olan ve üzerinden i akımı geçen bir halkanın

merkezinden x kadar uzaktaki manyetik alan ise $B = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$ kadardır. Bir dış alan içerisinde

bulunan bir elektrik dipolünün enerjisi $U = -\vec{P} \cdot \vec{E}$ şeklinde idi. Buna benzer olarak manyetik dipolün enerjisi de $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$ şeklindedir.

5)FARADAY KANUNU:”Üzerinden akım geçen iletken bir telin çevresinde manyetik bir alanın ortaya çıktığı 1819 yılında H.C.Oersted tarafından bulunmuştur. 1831 yılında Henry ve Faraday bir devrede manyetik alanın değiştirilmesiyle de elektrik akımının meydana gelebileceğini gösterdiler. Bu sonuç elektrik ve manyetizmayı birleştiren temel ilkelerden biridir. Buna göre Faraday yasası; bir devrede indüklenen elektromotor kuvvetinin büyüklüğü, devreden geçen manyetik akımın

zamanla değişim hızına eşittir.” Bu yasa $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ şeklinde olup Faraday’ın indüksiyon yasası

olarak bilinir. İndüksiyon akımının yönü **Lenz kanunu** ile belirlenir. Lenz kanununa göre;”indüksiyon akımının yönü kendisini meydana getiren sebebe zıttır.” Faraday yasasındaki eksi işareti bunu anlatmaktadır. Sabit manyetik alan içerisinde hareket ettirilen bir tel halkaya etkileyen kuvvet $\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B}$, indüksiyon emk’sı ise $\varepsilon = -B.L.v.\sin\theta$ dır. Burada L telin(halka) hareket doğrultusuna dik uzunluğu, v hızı, θ ise B ile v arasındaki açıdır.

Manyetik alan değişimi bir elektrik alan ürettiğinden dolayı, manyetik alan içerisindeki elektriksel dolanım $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ şeklinde indüksiyon emk’sına eşittir. Manyetik alan içerisinde bağlı hareketle oluşan elektrik alan (veya tersi) birbirlerine ve hıza $\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$ şeklinde bağlıdır.

6)İNDÜKTANS:”Bir bobinden (akım makarası) akım geçtiğinde bobinde oluşan idüksiyon emk’sının büyüklüğü akımın zamanla değişim hızıyla doğru orantılıdır, $\varepsilon = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$. Buradaki orantı sabiti L bobinin indüktansı ya da indüksiyon katsayısıdır. L bobinin geometrisine bağlı olup, $L = \mu_0 n^2 l A$ şeklindedir. Burada n birim uzunluktaki sarım sayısı, l bobinin (solenoidin) boyu, A kesit alanıdır.

7)MANYETİK ENERJİ:”Bir manyetik alan içerisinde enerji yoğunluğu, yani birim hacme düşen enerji miktarı $u_B = \frac{U_B}{Al} = \frac{\frac{1}{2}Li^2}{Al} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$ şeklindedir. Burada B manyetik alanı $B=\mu_0in$ şeklindedir.

8)MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ:”Elektromanyetizmanın temel denklemlerinden biri Gauss’un manyetizma kanunudur. Bu kanun yalıtılmış manyetik kutupların mevcut olmadığını belirtir. Bu durumda herhangi bir kapalı bir Gauss yüzeyi için toplam manyetik akı $\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$ dır.”

Maddelerin manyetik alanla etkileşim derecelerini belirleyen bağıl manyetik geçirgenliği μ_b nin değeridir. $\mu_b=B/B_0$ şeklindedir. Bağıl manyetik geçirgenliği 1’den biraz küçük olan maddeler **diyamanyetik**, 1’den biraz büyük olan maddeler **paramanyetik**, 1’den çok büyük ($250-10^5$) olan maddelere **ferromanyetik** maddeler denmektedir. Maddelerin manyetik özellikleri, onu oluşturan elektronların hareketlerine bağlıdır. Elektronların yörüngesel ve spin hareketleri atomda bir akım, dolayısıyla bir dipol moment oluşturur. Maddedeki net dipol momentin büyüklüğü onun manyetikliğini belirler.

a)Diyamanyetiklik: Diyamanyetik maddeler bir mıknatısa yaklaştırılınca mıknatıs tarafından itilir, yani bunlar manyetik alanı zayıflatırlar. Bakır, kurşun, bizmut, karbon, gümüş, cıva... diyamanyetikdir. Bir atom içerisinde dönen bir elektron bir B dış alanına konduğunda açılal hızındaki değişme $\Delta\omega=\pm eB/2m$ olur. Burada m elektronun kütesidir. Bu durumda manyetik momentteki artma ya da azalma miktarı yaklaşık olarak $\Delta\mu=\pm e^2Br^2/4m$ kadardır.

b)Paramanyetiklik: Paramanyetik maddeler mıknatısa yaklaştırıldığında ondan çok az etkilenir, yani içine konduğu manyetik alanı biraz sıkılaştırmış olur. Platin, hava, uranyum, manganez, alüminyum, sodyum ve oksijen paramanyetik maddelere örnektir. 1895 yılında Pierre Curie paramanyetizmanın özelliklerini keşfetti. Paramanyetik maddenin manyetizasyonu uygulanan manyetik alanla doğru, sıcaklıkla ters orantılıdır. Buna göre manyetizasyon $M = C \frac{B}{T}$ dir. Burada C

Curie sabiti olup, bu kanun Curie kanunu olarak da bilinir. Bu kanun B/T’nin düşük değerleri için deneyle uyumludur. Yüksek değerlerindeki uyumsuzluk kuantum fiziği ile açıklanır.

c)Ferromanyetiklik: Ferromanyetik maddeler mıknatıs tarafından çekilirler. Bu maddelere örnek olarak, demir, permaloy, yumuşak çelik, nikel, kobalt verilebilir. Bu maddeler ısıtıldıklarında belli bir sıcaklıkta (Curie sıcaklığı) mıknatıslık özelliğini kaybederler ve aniden paramanyetik olurlar. Örneğin demir için bu sıcaklık $1043 K^0$ dir. Bu durum kristal örgü içerisindeki iyon ya da atomların komşularıyla etkileşimlerinden kaynaklanır ve kuantum fiziği ile açıklanır.

Sarımlı bir demir **Rowland çemberinden** i akımı geçtiğinde manyetik dolanım i_M olur. Burada i_M demir çekirdekten dolayı manyetizasyon akımıdır. Bu manyetik alan $B=\mu_0H+\mu_0M$ formunda da yazılabilir. Belirli manyetik materyaller için manyetizasyonun deneysel bağıntısı $M=(\kappa_M-1)H$ şeklindedir. Burada H manyetik alan şiddetidir.

9)ELEKTROMANYETİK SALINIMLAR: “Bir LC devresinde kapasitör ve indüktörde açığa çıkan toplam enerji sabit kalır, $U=U_B+U_E=\frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$. Kapasitörün enerjisi ne kadar artarsa, indüktörünki o kadar azalır, toplamı sabit kalır. Kapasitörde maksimum depolanmış enerji, indüktördeki maksimum depolanmış enerjiye eşit olduğunda titreşimin (salınımın) açılal frekansı

$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ dir. Bu frekansa **rezonans** frekansı denir. Bir RLC devresinde Direnç R nedeniyle yük,

ya da akım fonksiyonunda bir **sönüm** meydana gelir. Bu sönümü önlemek için devreye $\varepsilon=\varepsilon_m \cos\omega t$ şeklinde bir sürücü elektromotor kuvveti uygulanır.

Bağımlı sistemlerde (L ve C) olduğu gibi, ayrıık sistemlerde de enerji ve açılal frekanslar benzerlik (Klasik sistem→elektromanyetik sistem) gösterir. Boşlukta elektromanyetik salınımlar için toplam

enerji $U = U_B + U_E = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} + \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$ şeklindedir. böyle bir elektromanyetik boşluk rezonatörü için $c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$ elde edilir, ki bu ışık hızıdır. $\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{Coul}^2/\text{N.m}^2$, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Web}/\text{Amp.m}$ dir.

N sarımlı bir bobinden bir i akımı geçtiğinde bobin içerisindeki manyetik dolanım ; indüklenmiş emk'nın oluşturduğu yerdeğiştirme akımı (Displacement), gönderilen akım ve manyetik materyalden dolayı manyetizasyon akımından oluşur. Bunun denklemi

$$\oint Bdl = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i + \mu_0 i_M \text{ şeklindedir.}$$

10)MEXWELL DENKLEMLERİ:Elektrik yüklerinin ivmelenmesi manyetik alan, bu manyetik alanlar da elektromanyetik dalgalar üretirler. Elektromanyetik dalgaların varlığını ve bunların özelliklerini açıklayabilen denklemler Maxwell denklemleridir. Maxwell denklemleri, Gauss, Amper ve Faraday yasalarına göre yazılmıştır. Buna göre Maxwell denklemleri; $\epsilon_0 \oint E.dS = q$

$$\oint B.dS = 0 \quad \oint Bdl = \mu_0 (i + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}) \quad \oint E.dl = -\frac{d\Phi_B}{dt} \text{ şeklinde dört tanedir. Bu denklemler}$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 4\pi\rho \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{J} \text{ şeklinde de yazılabilmektedir.}$$

Buradaki ∇ ile skaler çarpıma divejans, vektörel çarpıma ise rotasyon denmektedir.

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \text{ şeklinde dik koordinatlarda diferansiyel ifade etmektedir.}$$

11)BOŞLUKTA ELEKTROMANYETİK DALGA DENKLEMİ: Boşlukta yayılan elektromanyetik dalga denklemleri Maxwell denklemlerinden türetilir. Buna göre boşluktaki bir

elektromanyetik dalganın Elektrik alan denklemi $\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$, manyetik alan denklemi de

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \text{ şeklindedir. Bu denklemler } E_x=E_z=0 \text{ ve } B_x=B_y=0 \text{ koşullarında çözüldüğünde}$$

$E_y=E_m \sin(kx-wt)$ ve $B_z=B_m \sin(kx-wt)$ fonksiyonları elde edilir. Burada $k=w/c$ şeklinde dalga sayısıdır. Elektromanyetik dalgalar için E ve B birbirine dik düzlemde sinüsoydal olarak hareket ederler. Yani bunlar bağıl hareket ederler. İyonosferde hareket eden elektromanyetik dalgalar için

$$\text{dalga denklemi (Klein Gordon dalga denklemi) } \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = -w_p^2 \Psi + c^2 \nabla^2 \Psi \text{ şeklindedir. Buradaki } w_p$$

plazma frekansıdır. Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar. Taşıdıkları enerjinin akı vektörüne

$$\text{Poynting vektörü denir. Bu vektör, dalganın elektrik ve manyetik alanına, } \vec{S} = \frac{c}{4\pi} \vec{E} \times \vec{B} \text{ şeklinde}$$

$$\text{bağılıdır. Buradan da boşluktaki elektromanyetik alanların enerji yoğunluğu } U = \frac{1}{8\pi} (E^2 + B^2) \text{ olarak}$$

bulunur...

KAYNAK:

1) **"Elektromanyetik"**, Joseph A.Edminister, çev:Dr M.Timur Aydemir, Dr Erkan afacan, Dr K.Cem Nakiboğlu, SCHAUM'S OUT Lines,Nobel Yayın Dağıtım, Ankara-2000

2) **"Titreşimler ve Dalgalar"**, Berkeley Fizik dizisi-3, Frank S.Crawford, California Üniversitesi, Berkeley, Çev:Rauf Nasuhoğlu, Arslan Aydınuraz, Fevzi Köksal,Güven Yay.

3) **"Optik"**, Niftali Goca, Çev:Celal Çakır, Aktif Yayınevi, İstanbul, 2.baskı, Erzurum-2000.

Mehmet TAŞKAN

