

2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA

2.1 ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALANI

Elektrik yükleri cinsine bağlı olarak birbirini itme ya da çekme kuvveti uygular. Yüklerin birbirine uyguladığı kuvvet, eşit büyüklükte ve yükleri birleştiren doğrultu üzerinde zıt yönde gerçekleşir. Yükler arasındaki elektriksel kuvvetler vektörel büyüklük olup temas gerektirmeyen kuvvetlerdendir. Noktasal iki yükün yük büyüklükleri q_1 ile q_2 , yükler arasındaki uzaklık d ve ortamın cinsine bağlı olan Coulomb sabiti k ise yükler arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \text{ ile bulunur.}$$

Elektriksel kuvvet vektörel bir büyüklüktür. Birden fazla yük etkisindeki noktasal yüke etki eden elektriksel kuvvet, etrafındaki yüklerin her birinden kaynaklanan elektriksel kuvvetlerin bileşkesine eşit olur.

Bir yükün kuvvet etkisini gösterebildiği yükü saran uzay bölgesine o yükün **elektrik alanı** denir. Bir yükün pozitif birim yüke (+1C) uyguladığı elektriksel kuvvete o noktanın **elektrik alan şiddeti** denir. Coulomb sabiti k olan ortamda bulunan ve q yüküne uzaklığı d olan noktadaki elektrik alan şiddeti

$$E = k \frac{q}{d^2} \text{ ile bulunur.}$$

Elektrik alan şiddeti vektörel bir büyüklüktür. Birden fazla yük etkisinde kalan noktadaki elektrik alan şiddeti, etrafındaki yüklerin her birinden kaynaklanan elektrik alan şiddetlerinin bileşkesine eşit olur.

Elektrik alan çizgileri, elektrik alan kavramını daha somut hale getirmek amacıyla oluşturulmuş modellemelerdir. Pozitif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü yükten dışarıya doğru, negatif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü yüke doğru olur. Çizgi sayısı yükün büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Elektrik alan çizgileri herhangi bir (+) yüklü parçacıktan çıkıp herhangi bir (-) yüklü parçacıkta son bulur. Alan çizgileri yüzeye değdiği noktaya daima diktir. Elektrik alan şiddetinin arttığı yerde alan çizgileri sık, alan şiddetinin azaldığı yerde seyrek çizilir.

2.2 ELEKTRİKSEL POTANSİYEL

Bir $+q_1$ yükü sabit tutulup sonsuzdaki $+q_2$ yükü $+q_1$ yüküne yaklaştırılırken elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş yüklerin sahip olduğu **elektriksel potansiyel enerjiyi** verir. Coulomb sabiti k olan ortamdaki yükler q_1 ile q_2 ve yükler arasındaki uzaklık d ise elektriksel potansiyel enerji

$$E_p = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d} \text{ ile bulunur.}$$

Elektriksel potansiyel enerji skaler bir büyüklüktür. Birden fazla yük etkisinde kalan noktasal bir yükün elektriksel potansiyel enerjisi, etrafındaki yüklerin her birinden kaynaklanan elektriksel potansiyel enerjilerin cebirsel toplamına ile bulunur.

Bir yükün etki alanındaki pozitif birim yükün (+1C) sahip olacağı elektriksel potansiyel enerjiye, o noktanın **elektriksel potansiyeli** denir. Coulomb sabiti k olan ortamda bulunan ve q yüküne uzaklığı d olan noktadaki elektriksel potansiyel

$$V = k \frac{q}{d} \text{ ile bulunur.}$$

Elektriksel potansiyel skaler bir büyüklüktür. Birden fazla yük etkisinde kalan noktadaki elektriksel potansiyel etrafındaki yüklerin her birinden kaynaklanan elektriksel potansiyellerin cebirsel toplamına ile bulunur.

Bir elektrik alanında elektriksel potansiyelleri eşit noktaların oluşturduğu yüzeyler bulunur. Bu yüzeylere **eş potansiyel yüzeyler** denir. Yüklü bir tanecik aynı eş potansiyel yüzeydeki bir noktadan diğerine götürüldüğünde enerjisi değişmez. Bu durumda yüklü tanecik eş potansiyel yüzeydeki bir noktadan diğerine götürüldüğünde yük üzerinde iş yapılmaz. Eş potansiyel yüzeyler ile elektrik alan çizgileri her zaman birbirine dik olur.

Elektrik alan içindeki pozitif birim yükün bir noktadan diğerine götürülmesi için yapılan işe bu iki noktanın **elektriksel potansiyel farkı** denir. Buna göre elektriksel potansiyel farkı

$$\Delta V = \frac{W}{q} \text{ ile bulunur.}$$

K ile L noktaları arasındaki elektriksel potansiyel farkı V_{KL} ile gösterilirse ve elektriksel yük elektriksel kuvvet etkisiyle K noktasından L noktasına gelirken elektriksel kuvvetler iş yapar. Elektriksel yük K noktasından L noktasına getirilirken elektriksel kuvvetler tarafından zorluk çıkarılmışsa elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılmış olur. Yapılan iş

$$W_{KL} = q \cdot V_{KL} \text{ ile bulunur.}$$

2.3 DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SIĞA

Her noktasında aynı özelliğine sahip olan elektrik alanlara **düzgün elektrik alan** denir. Yüklü paralel levhalar arasındaki elektrik alan uç kısımlarına doğru bozulur ancak problem çözümlerinde, levhalar arasındaki elektrik alan düzgün kabul edilir. Yüklü paralel levhalar arasındaki elektrik alanında bulunan q yüklü parçacığa etki eden kuvvetin büyüklüğü

$$F = q \cdot E = q \frac{V}{d} \text{ ile bulunur.}$$

Paralel levhalar potansiyel farkı V olan üretece bağlıyken levhalar arasındaki uzaklık değiştirilmeden potansiyel farkı 2V yapılırsa levhalar arasındaki elektrik alanın büyüklüğü ve levhalarda biriken yük iki katına çıkar. Paralel levhalar potansiyel farkı 2V olan üretece bağlıyken arasındaki uzaklık iki katına çıkarılırsa levhalar arasındaki elektrik alanın büyüklüğü ve levhalarda biriken yük miktarı yarıya iner.

Paralel levhalar bir üretece bağlanırsa levhaların potansiyel farkı sabitlenir. Levhalar yüklendikten sonra üreteçle bağlantısı kesilirse levhalardaki yük miktarları sabit kalır. Levhalar arasındaki elektrik alan çizgi sayısı ve elektrik alanın değeri değişmez. Üretece bağlı olmayan eşit ve zıt yüklü paralel levhalar birbirinden uzaklaştırıldığında levhaların yükü, levhalar arasındaki elektrik alan çizgi sayısı ve elektrik alanın değeri değişmez. Levhalar zıt yüklü olduğu için birbirinden uzaklaştırılırken elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Yapılan iş, sisteme elektriksel potansiyel enerji olarak aktarılır. Buna durumda levhalar arasındaki potansiyel farkı artar.

Yatay düzleme dik olarak yerleştirilen yüklü paralel levhalar arasındaki yüklü parçacık, ağırlığı ihmal edilirse elektriksel kuvvet etkisinde elektrik alan çizgilerine paralel olarak hareket eder. Parçacığın ağırlığı ihmal edilmezse ağırlık ve elektriksel kuvvetin bileşkesi doğrultusunda hareket eder.

Yatay düzleme paralel olan yüklü paralel levhalar arasına elektrik alanına dik olarak fırlatılan ağırlığı ihmal edilen yüklü parçacık, parabolik yörüngede hızlanarak ilerler. Parçacığın ağırlığı ihmal edilmezse fırlatıldığı doğrultuda sabit hızla ilerleyebileceği gibi aşağıya ya da yukarıya doğru parabolik yörüngede hızlanarak da ilerleyebilir.

İletken maddelerin yük depolayabilme ölçüsüne **siğa (kapasite)** denir. Buna göre iletkeninde biriken yük miktarı iletkenin siğası ile doğru orantılıdır.

İki paralel levhanın sığası levhaları arasına yerleştirilen yalıtkanın elektriksel geçirgenliği ve levhaların alanı ile doğru orantılı, levhaların arasındaki uzaklık ile ters orantılıdır. Levhalar arasındaki yalıtkanın elektriksel geçirgenliği (ϵ), levhaların yüzey alanı (A) ve levhalar arasındaki uzaklık (d) ise

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \text{ ile bulunur.}$$

Yük dolayısıyla elektriksel potansiyel enerjiyi depolamak için kullanılan düzeneklere **sığaç (kondansatör)** denir. Sığaç, çok hızlı bir şekilde yük depolar ve bulunduğu devrede akım kesildiğinde ani yük akışı sağlar. Elektrikli cihazların çoğunda kullanılmaktadır.

2.4 MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLENME

Üzerinden akım geçen düz telin çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik geçirgenlik katsayısı k olan ortamda bulunan ve üzerinden I büyüklüğünde akım geçen düz tele dik olarak d kadar uzaktaki bir noktada manyetik alanın büyüklüğü

$$B = K \frac{2 \cdot I}{d} \text{ ile bulunur.}$$

Manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Başparmak akım yönünü gösterecek şekilde tutulup tel kavranırsa, teli kavrayan dört parmağın yönü manyetik alanın yönünü gösterir.

Üzerinden akım geçen düz tel bükülerek halka şekline getirildiğinde de çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik geçirgenlik katsayısı k olan ortamda bulunan ve üzerinden I büyüklüğünde akım geçen r yarıçaplı halkanın merkezinde oluşan manyetik alanın büyüklüğü

$$B = K \frac{2\pi \cdot I}{r} \text{ ile bulunur.}$$

Dışı yalıtılmış uzun, düz telin silindirik şeklinde sarılması ile oluşturulan araçlara **akım makarası** denir. Manyetik geçirgenlik katsayısı k olan ortamda bulunan ve üzerinden I büyüklüğünde akım geçen N sarımlı, uzunluğu ℓ olan akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanın büyüklüğü

$$B = K \frac{4\pi \cdot N \cdot I}{\ell} \text{ ile bulunur.}$$

Üzerinden akım geçen düz tel kendi manyetik alanıyla birlikte başka bir alan içerisinde ise tele manyetik bir kuvvet etki edebilir. B şiddetindeki düzgün manyetik alan içinde alana dik konumdaki ve ℓ uzunluğundaki telden I şiddetinde akım geçtiğinde, tele etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü

$$F = B \cdot I \cdot \ell \text{ ile bulunur.}$$

Manyetik geçirgenlik katsayısı k olan ortamda bulunan ve üzerinden I_1 ile I_2 akımları geçen ℓ uzunluğundaki teller birbirine kuvvet uygular. Tellerin birbirine uyguladığı kuvvetler eşit büyüklükte olup kuvvetin büyüklüğü

$$F = K \frac{2I_1 \cdot I_2 \cdot \ell}{d} \text{ ile bulunur.}$$

Çerçeve şeklindeki telden akım geçmesi sağlandığında kenarlarına tork oluşturacak şekilde manyetik bir kuvvet etki eder. İçinden I akımı geçen A büyüklüğünde alana sahip olan N sarımlı çerçeve, B büyüklüğündeki manyetik alan içinde ise çerçevede oluşan toplam torkun büyüklüğü

$$\tau = N \cdot B \cdot I \cdot A \text{ ile bulunur.}$$

Düzgün bir manyetik alan içinde hareket eden yüklü parçacığa manyetik kuvvet etki eder. Yüklü parçacığa etki eden kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunur. Bu kurala göre sağ elin başparmağı yükün hızının yönünü, diğer dört parmak manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içi pozitif yüke etkiyen manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Negatif yükler elektrik akımına ters yönde hareket ettiği için avuç içinin tersi negatif yüke etkiyen manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Düzgün bir manyetik alana dik olarak fırlatılan yüklü parçacığa etki eden kuvvet, parçacığın sahip olduğu yük büyüklüğü, hızının büyüklüğü ve parçacığın içinde bulunduğu manyetik alanın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Düzgün bir manyetik alana dik olarak giren yüklü parçacık çembersel bir yörünge izler.

Manyetik akı, manyetik alandaki bir yüzeyin dik kesitinden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısının bir ölçüsüdür. Çerçeve manyetik alana paralel konuma getirilirse yüzeyden çizgi geçmeyeceği için manyetik akı sıfır olur. A büyüklüğündeki alan sahip çerçeve B büyüklüğündeki manyetik alana yerleştirildiğinde çerçeveden geçen manyetik akının büyüklüğü

$\Phi = B \cdot A$ ile bulunur.

Elektriksel enerji sağlayan cihazlara **elektromotor kuvvet kaynağı** denir. İki nokta arasında elektriksel potansiyel farkı oluştuğunda elektromotor kuvvet kaynağı, elektronları düşük potansiyelden yüksek potansiyele doğru hareket ettirir. Birim yükün devreyi bir defa dolanması için gerekli enerji **elektromotor kuvvet** olarak tanımlanır.

Halka içerisindeki manyetik akı değişimi halka üzerinde elektrik akımı oluşmasını sağlar. Akımın oluşması devrede bir elektromotor kuvvet oluştuğunu gösterir. Akı değişimi ile oluşan akıma **indüksiyon akımı**, oluşan elektromotor kuvvete de **indüksiyon elektromotor kuvveti** denir. Halkada Δt sürede $\Delta \Phi$ büyüklüğünde akı değişimi varsa, halkada oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü

$\mathcal{E}_{\text{indüksiyon}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ ile bulunur.

İndüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, indüksiyon akımını meydana getiren manyetik akı değişimine karşı koyacak yönde oluşur. Manyetik akı artıyorsa indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan akıyı azaltacak yönde oluşur. Manyetik akı azalıyorsa indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan akıyı arttıracak yönde oluşur.

ℓ uzunluğundaki iletken tel düzgün B manyetik alanına dik olacak şekilde hareket ettirilirse telin uçları arasında indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Düzgün B manyetik alanına dik olarak $\vec{v}$ büyüklüğündeki hızla hareket ettirilen ℓ uzunluğundaki telin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti

$\mathcal{E} = B \cdot v \cdot \ell$ ile bulunur.

Bir akım makarasından geçen akımın değiştirilmesi ile manyetik alanın şiddeti de değişir. Bu durumda akım makarasının içinde oluşan manyetik akı değişimi nedeniyle makara üzerinde bir indüksiyon akımı oluşur. Bu şekilde oluşan akıma **öz indüksiyon akımı** denir. Devreden geçen akımının şiddeti azaltılırsa makaranın içindeki manyetik alanının şiddeti de azalır. Lenz Yasası'na göre, öz indüksiyon akımı manyetik akıyı arttıracak yönde oluşur. Devreden geçen akımının şiddeti arttırılırsa makaranın içindeki manyetik alanının şiddeti de artar. Lenz Yasası'na göre, öz indüksiyon akımı manyetik akıyı azaltacak yönde oluşur

Bir akım makarasından geçen akım arttırılırsa akı da artar. Artan akıyı azaltıcı yönde bir öz indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Öz indüksiyon elektromotor kuvveti devre akımına zıt yönde bir akım oluşturarak devre akımını azaltıcı etki yapar. Devredeki akım değişiminin neden olduğu bu akıma **öz indüksiyon akımı** denir.

Yüklü parçacıkların hareket ettiği manyetik alanla birlikte aynı ortamda elektrik alan da bulunabilir. Bu durumda yüklü parçacığa hem manyetik kuvvet hem de elektriksel kuvvet etki eder. Ortamda manyetik alanla birlikte elektrik alan da bulunduğunda yüklü parçacığa etki eden net kuvvet $\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$ ile bulunur. Bu bağıntı **Lorentz kuvvetleri** olarak anılır.

Elektrik motorları elektrik enerjisini hareket enerjisine, dinamolar hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler.

2.5 ALTERNATİF AKIM

Zamanla yönü ve şiddeti değişen akıma **alternatif akım** denir. Alternatif akım üretmeye yarayan araçlara **alternatör** denir.

Alternatif akım ile elektroliz olayı ve akü şarjı yapılamaz. Doğru akımın depo edilmesi ve taşınması alternatif akıma göre daha kolaydır. Aynı gerilim altında doğru akım alternatif akıma göre can güvenliği açısından daha az tehlikelidir. Santrallerde üretilen alternatif akım, iletim hatlarıyla taşınırken elektrik enerjisinin bir kısmı iletim hatlarında ısıya dönüşerek enerji kaybına neden olur. Enerji kaybını azaltabilmek için santralde üretilen alternatif akımın gerilimi yükseltilir. Santralde üretilen elektriğin gücü sabit kalmak koşulu ile $P = i \cdot V$ ifadesine göre gerilim yükseltildiğinde akım düşeceği için enerji kaybı daha az olacaktır. Kullanım sırasında alternatif akım ve doğru akıma ait avantaj ve dezavantaj örnekleri artırılabilir.

Alternatif akımın bir dirençte belirli bir sürede sağladığı ısı miktarı, aynı dirençte ve aynı sürede doğru akımla da elde edilebilir. Bu enerjiyi sağlayan doğru akıma alternatif **akımın etkin değeri**, akımı oluşturan gerilimine alternatif **gerilimin etkin değeri** denir. Alternatif akım ile çalışan herhangi bir devre elemanında harcanan gücü bulmak için akım ve gerilimin etkin değerleri kullanılır. Alternatif akım devrelerinde kullanılan ampermetre ve voltmetrenin ölçtüğü değerler akım ve gerilimin etkin değerleridir.

Doğru akım devrelerinde yalnız omik direnç (R) varken direncin gücü $P = i^2 \cdot R$ ile alternatif akım devrelerinde direncin gücü $P = i_e^2 \cdot R$ ile bulunur.

Doğru akım üretici, bobin ve anahtardan oluşan bir elektrik devresinde anahtar kapatıldığında akım sıfırdan maksimum değere hemen yükselmez. Devrenin elektromotor kuvvetine ters yönde bir öz indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Oluşan elektromotor kuvveti akımın aniden artmasını engeller. Anahtar açıldığında ise bobindeki manyetik akı azalır ve devrenin elektromotor kuvvetiyle anı yönlü bir öz indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Oluşan elektromotor kuvveti akımın aniden azalmasını engeller.

Bir bobin alternatif akım devresine bağlandığında bobin üzerinden geçen akımın yönü ve şiddetinin sürekli değişmesi, bobinde sürekli bir akı değişimine neden olur. Öz indüksiyon akımı da sürekli olarak devre akımına zorluk çıkarır. Bu nedenle gerilim maksimum değerine ulaştığı anda akım henüz maksimum değerine ulaşamamıştır. Alternatif akım devresine bağlı bobin elektrik enerjisini merkezinde oluşan manyetik alanda depo eder ve depoladığı enerjiyi tekrar devreye verir. Bu nedenle bobinin ohmik direnci ihmal edilirse alternatif akım devresinde enerji harcanmaz. Bobinin depolayabileceği enerjinin büyüklüğünün ölçüsüne **indüktans** denir. Alternatif akım devresinde omik direnç dışında bobinin öz indüksiyon akımı nedeniyle devre akımına gösterdiği zorluğa **indüktif reaktans** denir.

Doğru akım üretici, sıgac ve anahtarlardan oluşan elektrik devresinde anahtar kapatıldığında sıgac yük depolar. Sıgac dolduğunda sıgacın gerilimi doğru akım kaynağının elektromotor kuvvetine zıt ve eşit büyüklüğe ulaşır. Bu andan itibaren devreden akım geçmez. Sıgaclar elektrik enerjisini levhaları arasında oluşan elektrik alanda depolar. Sıgactan yükün boşalması sırasında depolanan enerji tekrar devreye verilir. Fotoğraf makinaları ve kameralardaki flaş ışığı bu şekilde elde edilir.

Alternatif akım devresine bağlı sıgac akım bir yönde hareket derken dolar, akım ters yöne döndüğünde boşalır. Alternatif gerilimin yönü sürekli değiştiği için sıgac sürekli dolup boşalacaktır. Sıgacın yük depolayabilme kapasitesine **kapasitans** denir. Kapasitans, aynı gerilim altında sıgacın depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür. Alternatif akım devrelerinde sıgacın akıma karşı gösterdiği zorluğa **kapasitif reaktans** denir.

Birden fazla devre elemanının kullanıldığı alternatif akım devresinde, devre elemanlarının gösterdiği dirençlerin eş değerine **empedans** denir.

Belli bir frekans değerinde sıgacın kapasitif reaktansı ile bobinin indüktif reaktansı birbirine eşitlendiğinde **rezonans** durumu oluşur. Bu durumda devrenin empedansı en küçük değeri aldığından akım en büyük değeri alır. Bunu sağlayan frekans değerine de **rezonans frekansı** denir.

2.6 TRANSFORMATÖRLER

Kullanım amacına göre alternatif akımın gerilimini yükseltmek ve düşürmek için kullanılan araçlara **transformatör (trafo)** denir.

Transformatörün alternatif akım kaynağına bağlanan bobine primer bobin, diğer bobine ise sekonder bobin denir.

Bir transformatörde indüksiyon elektromotor kuvvetleri ile sarım sayıları doğru orantılı, akımlar ters orantılıdır.

Primer bobinin indüksiyon elektromotor kuvveti ϵ_p , sarım sayısı N_p ve sekonder bobinin indüksiyon elektromotor kuvveti ϵ_s , sarım sayısı N_s alınırsa

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{i_s}{i_p} \text{ ile bulunur}$$

Verim, çıkışta alınan gücün girişte verilen güce oranını ifade eder.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan güç (P}_s\text{)}}{\text{Verilen güç (P}_p\text{)}} \text{ ile bulunur.}$$

Gerçek hayatta verim %100'e ulaşamaz. Transformatörde çok az da olsa güç kaybı olur ve bir süre transformatör sonra ısınır.