



# YÜKSEK GERİLİM TEKNIĞİ

Dr. Fatih SERTTAŞ





# Dersin İşleyiş Süreci

---

- Yüksek gerilim tekniği, Afyon Kocatepe Üniversitesi uzaktan eğitim sisteminde **ilk saati CANLI**, ardından **forumda** soru cevap şeklinde gerçekleştirilecektir. **Sınavlar**, belirli bir süre içinde tamamlayacağınız şekilde «**ödev gönderimi**» şeklinde yapılacaktır.
- İletişim için e-posta adreslerim: [serttasf@gmail.com](mailto:serttasf@gmail.com) , [fserttas@aku.edu.tr](mailto:fserttas@aku.edu.tr)

# Ders İçeriđi

---

- Giriş (Yüksek gerilim nedir, neden ihtiyaç vardır, temel elemanları)
- Elektrik Alan, Temel Elektromanyetik Bilgileri
- Gazlarda, sıvılarda ve katılarda boşalma olayları
- Yalıtım malzeme ve uygulamaları
- Enerji İletim Hatları
- Elektrot Sistemleri (Düzlem, Küresel ve Silindirik Elektrotlar)
- Korona Kayıpları
- Dielektrik Kayıpları ve Kapasite Ölçme
- Küresel Elektrotlar ile Ölçme

# Neden yüksek gerilim?

- Tüm dünyada elektrik enerjisi talebi gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde elektrik enerjisi insan hayatının vazgeçilmezlerindedir.
- Yüksek gerilimle iletimin yapılmasının nedenlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:
  - Ekonomik durumlar,
  - Büyük miktarlarda üretim kolaylığı,
  - Uzak mesafelere verimli ve kolay iletim,
  - Esneklik (Diğer enerji formlarına kolay dönüşüm; hareket, ısı, ışık, ...)
  - Dağıtımının kolaylığı,
  - İstenen miktar ve kalitede (frekans, gerilim, ...) kullanılabilirlik



# Neden yüksek gerilim?

---

- $S=60 \text{ MVA}$        $R=1 \text{ } \Omega/\text{faz}$
- $U_1=10\sqrt{3} \text{ kV}$        $I_1=\frac{S}{\sqrt{3}U_1} = 2000 \text{ A}$        $P_1=3 R I_1^2=12000 \text{ kW}$
- $U_2=200\sqrt{3} \text{ kV}$        $I_2=\frac{S}{\sqrt{3}U_2} = 100 \text{ A}$        $P_2=3 R I_2^2=30 \text{ kW}$
- $U_2/U_1=20$  ,    $P_1/P_2=400$
- İletim hattının gerilimini 20 kat artırmak, kayıpları 400 kat azaltmak anlamına gelmektedir.

# Yüksek Gerilim Tekniği

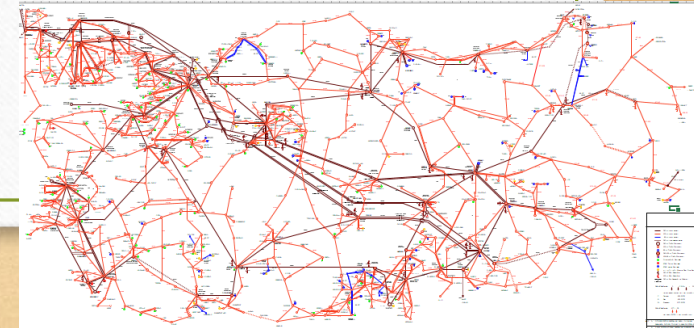
---

- Yüksek gerilimler iletim hatlarının yanı sıra laboratuvar ortamlarında, nükleer araştırmalarda elektromanyetik uygulamalarda, XR cihazlarında, endüstriyel ve otomatik ateşleme sistemlerinde kullanılabilir. Modern yüksek gerilim laboratuvarları, gerilimi 6 MV ve üzeri seviyelere yükseltip-indirgeyebilir. Yüksek gerilim ile enerjinin taşınmasını güvenli ve ekonomik bir şekilde yapılabilmesi için gerilim yükselmelerindeki istenmeyen durumlara karşı makul yalıtkanların seçilmesi, dielektrik zorlanmalar, korona boşalmaları ve diğer faktörlerin dikkate alınarak yalıtkanların seçilmesi gerekir.



# Enterkonnekte Şebeke

- Elektrik enerjisinin iletimi bölgelerarasında birbiriyle bir ağ teşkil eden bir şebeke meydana getirir ki buna **enterkonnekte** şebeke adı verilir. Bir enterkonnekte şebekede, birbirleriyle enerji nakil hatlarıyla bağlanmış birçok enerji üreten santrallerle enerji tüketen çeşitli merkezler bulunur. İşte bu sistemde üretim ve tüketimin planlı bir şekilde yapılmasını «YÜK TEVZİ MERKEZİ» sağlar.
- Ülkemizde milli yük tevzi merkezi Ankara Gölbaşı'nda bulunmaktadır.



# Yüksek gerilimlerin sınıflandırılması

---

- IEC 60038'e göre 1 kV üzeri her gerilim yüksek gerilim sınıfına girmektedir. Ancak uygulamalarda elektriksel ekipmanların sınıflandırılması ve uygun elemanların seçilebilmesi için yüksek gerilimler sınıflandırılır:
  - ▶ Alçak gerilim şebekeleri (*0 - 1 kV arası*)
  - ▶ Orta gerilim şebekeleri (*1kV - 35kV arası*)
  - ▶ Yüksek gerilim şebekeleri (*35kV – 154kV arası*)
  - ▶ Çok yüksek gerilim şebekeleri (*154kV ve üzeri*)



# Coulomb Kanunu

---

- $$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

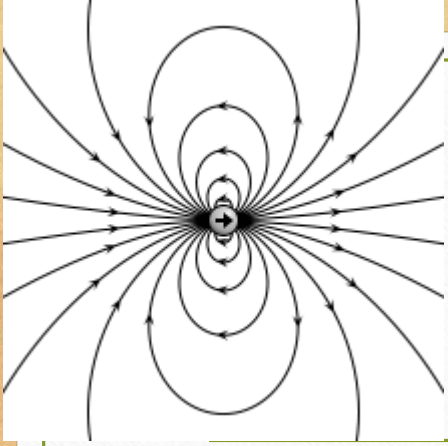
- F uygulanan gücün büyüklüğüdür,
- $q_1$  birinci yük
- $q_2$  diğer yüküdür.
- r aralarındaki mesafeyi,
- $\epsilon$  boş alanın elektriksel sabiti veya geçirgenliği veya vakumun geçirgenliğidir.  $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (ayrıca F  $\text{m}^{-1}$ )

# ELEKTRİK ALAN GERİLİMLERİ

---

- “Elektriksel zorlanma veya dielektrik zorlanma; bir yalıtkanın hasar görmeden dayanabileceği maksimum gerilim düzeyidir.”





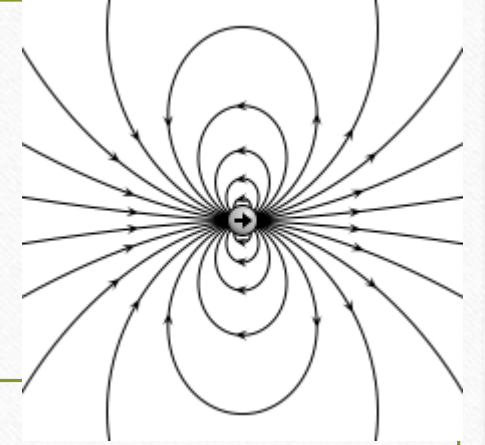
# ELEKTRİK ALANI

- Elektrik alanı ile ilgili kavramların doğru elektrot konfigürasyonu seçilmesi ve yalıtımın ekonomik boyutlandırılması için bilinmesi gereklidir. Herhangi bir elektrostatik alandaki alan yoğunluğu 'E' şu şekilde tanımlanır. Bu büyüklük bu bölgedeki (yük = 0 ' a giderken) herhangi bir Q yükü altında F kuvveti  $F=q.E$  hesaplanabilir. Elektrik akı yoğunluğu  $D=\epsilon.E$  'dir. Herhangi bir yük anında yapılan iş, potansiyel olarak tanımlanır.  $\varphi$  ile gösterilir.  $\varphi = \int_t E \cdot dl$  ile hesaplanır. Burada 'l', yükün hareket ettiği yolu göstermektedir. Elektrik alanı ile ilgili kavramlar aşağıdaki formüllerle özetlenebilir.

- $D = \epsilon E$

- $\varphi = - \int_t E \cdot dl$  yada  $E = -\nabla \cdot l$

- $E = F/q$



- $\iint_s E \cdot ds = q/\epsilon_0$  (gauss teoremi)

- $\nabla \cdot D = \rho$  (şarj yoğunluğu)

- $\nabla^2 \varphi = -\rho/\epsilon_0$  (poisson eşitliği)

- $\nabla^2 \varphi = 0$  (laplas eşitliği )

- Burada F,E elektrik alanındaki q yüküne uygulanan kuvveti gösteren ,S ise q yükünü içeren kapalı yüzeyi ifade etmektedir .



## Maxwell Denklemleri

$$\oiint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Gauss Kanunu



→ Elektrik alanını oluşturan pozitif veya negatif yükler vardır.

$$\oiint \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$$

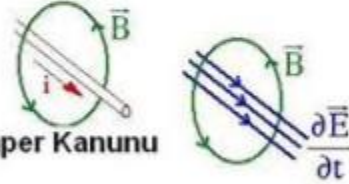
Manyetik yüklerin olmaması



→ Manyetik alanı oluşturan herhangi bir yük yoktur.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left( i + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$$

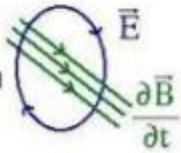
Amper Kanunu



→ Zamana göre değişen elektrik alan, manyetik alanı oluşturur.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Faraday Kanunu



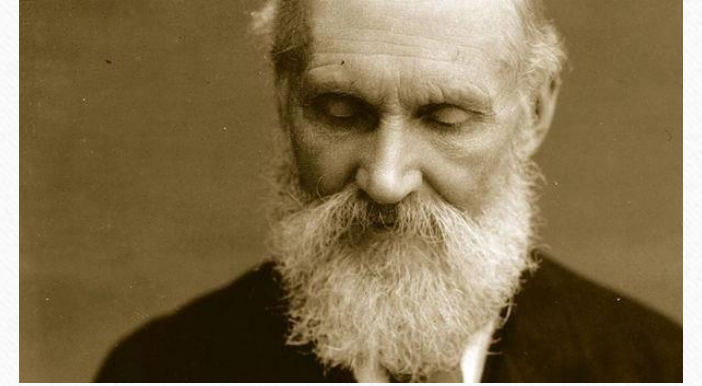
→ Zamana göre değişen manyetik alan, elektrik alanı oluşturur.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t},$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}.$$



# TEK BİR YALITKAN ORTAMDAKİ ELEKTRİK ALAN

- Şarjlı veya yüklü durumdaki birçok iletken bir elektrik alan içerisine yerleştirildiğinde iletkenlerin potansiyelleri arasında belirli bir ilişki meydana gelir. Bu ilişki üzerlerindeki yük ve birbirlerine göre konumlarıyla ilişkilidir.
- Bir iletkende elektronlar elektrik alanının etkisiyle serbest bir şekilde hareket edebilirler. Bu şu anlama gelir iletken içerisindeki her yerde  $E=0$  tır. Ve  $E=\nabla\phi$  olarak tanımlandığına göre  $\phi = 0$  a eşit olması gerekir. Bu nedenle iletkenler eş potansiyelli yüzeylerdir. Elektrik alanının 0'dan farklı olduğu yüzeylerde yalıtkan bir malzeme yüklerin dengede olduğu bir dizilime sahiptir.
- Bu nedenle iletken olmayan veya yalıtkan bir malzeme belirli bir sayıda elektron içerir. Bir kapasitede 2 tane iletken ve aralarında 1 yalıtkan vardır. İletkenler  $+q$  ve  $-q$  yükleri ile yüklendiklerinde aralarında  $\phi_1$  kadar bir potansiyel farkına oranı olarak da bulunur.
- $C=Q/\phi_1$



- 
- Eğer yükler iki iletken üzerinde düzgün dağılmamış ise bu durumda kapasite şu şekilde hesaplanır.

- $$C = \frac{\iint_S \rho \cdot ds}{\int_1^2 E \cdot dl}$$

- Birçok kapasite yükleriyle şu şekilde gösterilen  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  ve bu yüklere karşılık gelen potansiyeller  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$  ile gösterilsin. Yükler ile potansiyeller arasındaki bağıntı şu şekilde ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & & C_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_n \end{bmatrix}$$



- 
- Bu gösterimdeki köşegen elemanlar  $c_{11}, c_{22}, \dots, c_{ii}, \dots, c_{nn}$  kapasitans katsayıları köşegenlerin dışındaki  $C_{ij}$  elemanları ise indüksiyon katsayıları olarak bilinir. Burada  $C_{ij}$  diğer tüm kapasitelerin potansiyellerinin 0 olması durumunda i. kapasitenin j. kapasiteye birim fonksiyon ile şarj edebilmesi (yüklemesi) için gerekli olan yük miktarını göstermektedir. Bu katsayılar geometrik faktörler olup iletkenlerin konfigürasyonunda tahmin edilebilirler. Burada  $C_{ij}$  ve  $C_{ji}$  değerleri eşittir. Herhangi bir iletkenin kapasitesi  $c_{ii} = \sum_{j=1}^n c_{ij}$  ( $i \neq j$ ) Yani sayılarının toplamına eşittir. Basit durumlarda elektrik alan problemleri verilen sınır şartlarına göre  $\varphi$  potansiyelinden tahmin edilir ve böylece şarj dağılımı belirlenir.

# KARIŞIK YALITKANLAR ÜZERİNDEKİ ELEKTRİK ALAN

---

- Birden fazla yalıtkan malzeme elektrik alanın herhangi bir bölgesine yerleştirildiğinde yalıtkan malzemenin sınırlarındaki elektrik alan yoğunluğunun ifadesi şudur:

$$E_{t1} = E_{t2}; \epsilon_1 E_{n1} = \epsilon_2 E_{n2}; \text{ and } \frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$



- Burada  $E_{t1}$  ve  $E_{t2}$  elektrik alanın teğetsel bileşenleridir.  $E_{n1}$  ve  $E_{n2}$  ise elektrik alanın normal bileşenleridir.(yüzeğe dik olan )  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  ise sınırdaki eğim açısı (normal ile yapılan eğim açısı) ve yansıma açısını göstermektedir.  $\epsilon_1$  ve  $\epsilon_2$  ise iki yalıtkanın sınırlarındaki geçirgenliği ifade etmektedir. Normal olarak tüm yalıtkanlar düşük elektriksel alan içerisinde gayet yüksek yalıtkanlık gösterirler. Ancak elektrik alan arttırıldığında yalıtkanın moleküllerine bağı olan elektronlar yüksek güçlere maruz kalarak moleküller bağıdan kurtulabilirler.
- Bu elektronlar elektrik alana ters yönde hareket ederler ve böylece bir iletışim meydana getirirler . Bu kopma gazlarda geçicidir. Ancak sıvı veya katılarda kalıcı olabilir. Bu durum kullanılan maddenin saflığı, sıcaklık, nem ve maruz kalınan elektrik alanın süresi gibi faktörlere bağıdır. Bu duruma yalıtkanlığın bozulması adı verilir. Yalıtkanlığı bozacak elektrik alanın büyüklüğü ne ise dielektrik bozulma dayanımı adı verilir. Dielektrik bozulma dayanımı kV/cm veya MV/metre birimleri ile ifade edilir.

# BAZI GEOMETRİK SINIFLAR İÇERİSİNDE ELEKTRİK ALANIN TAHMİNİ

- Önceden gördüğümüz üzere herhangi bir elektrik alan içerisindeki elektrik alanın max değeri  $E_m$  büyük öneme sahiptir.  $V_{12}$  potansiyel farkına sahip  $d$  mesafe aralıklı yerleştirilmiş 2 iletken üzerindeki ort. Elektrik alanı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_{av} = \frac{V_{12}}{d}$$

- Düzgün dağılımlı olmayan elektriksel alanlarda elektrik alanın max değeri elektrik alanın ort. değerinden daima daha büyüktür.  $E_m > E_{av}$  bazı bilinen elektrik alan konfigürasyonundaki  $E_m$  elektrik alanı ve elektrik alan artış faktörleri aşağıda verilmiştir.
- $f = \frac{E_m}{E_{av}}$   $\Rightarrow$  elektrik alan artış faktörü



$$E_m$$

$$f = E_m/E_{av}$$

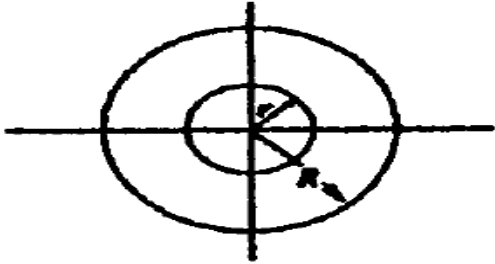
Eş merkezli plakalar



$$\frac{V}{r}$$

$$1.0$$

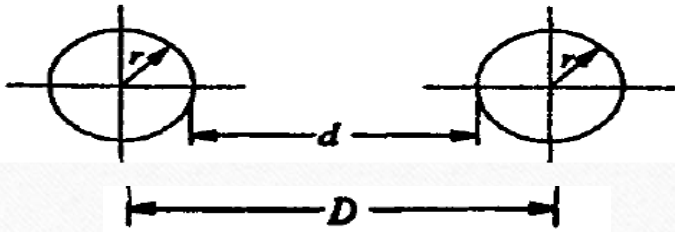
Eş merkezli silindir



$$\frac{V}{r \ln \frac{R}{r}}$$

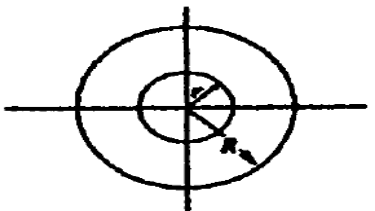
$$\frac{(R - r)}{r \ln \frac{R}{r}}$$

Eşit yarıçaplı paralel silindirler



$$\frac{V \sqrt{D^2 - 4r^2}}{2r(D - r) \cosh^{-1}(D/2r)} \approx \frac{V}{2r} \ln \frac{D}{r} \approx \frac{d}{2r \ln \frac{d}{r}}$$

Eş merkezli küre



$$\frac{VR}{r(R - r)}$$

$$\frac{R}{r}$$

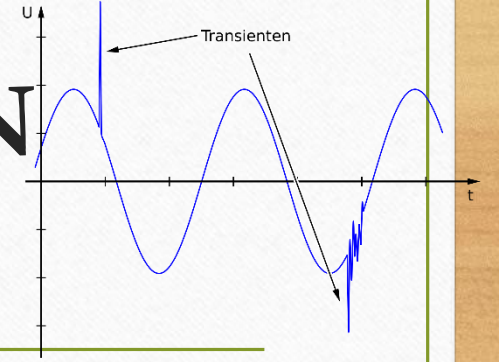
# BAZI GEOMETRİK SINIFLAR İÇERİSİNDE ELEKTRİK ALANIN TAHMİNİ

---

- Birçok elektrik iletkeni ya yüzeydedir ya yüzeyseldir veya küresel bir şekle sahiptir ya da silindriktir ya da bu şekillerden herhangi bir tanesine benzemektedir.



# ANI GERİLİM ARTIŞLARININ DAĞILIMI VE KONTROLÜ



- Özellikle yüksek gerilimde kullanılan malzemelerin tasarımları geçici durum davranışlarının iyi kontrol edilmesiyle mümkündür.
- Geçici yüksek gerilimler veya ani gerilim artışları anahtarlama veya yıldırım düşmesi gibi olaylar sonucu meydana gelir. Bu tür durumlar güç malzemelerini olumsuz etkileyebilir. Bir güç ekipmanını ani değişimi ile tepkisi sargılarındaki bobinler arasındaki kapasitelere ya da çok fazlı makinaların farklı faz sargılarına bağlıdır.
- Sargılardaki geçici gerilim dağılımları düzgün değildir ve sargılarda gerilim osilasyonlarına sebep olabilir. Yüksek gerilim cihazları tasarlanırken max. Gerilim farkları bu gerilim farklarının meydana geldiği sürelerin uzunluğu dikkate alınmalıdır.
- Yüksek gerilimde kullanılacak olan ekipmanlar ani gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimi altında test edilmelidirler. Herhangi bir elektrik cihazının tasarımı yalıtkanlık dayanımına bağlı olduğu için deneysel olarak test edilmediği sürece tam anlamıyla güvenli değildir.

# GAZLARDA İLETİM VE ARIZALAR

- En basit ve en yaygın kullanıma sahip yalıtkan malzemeler gazlardır. Gazlar üzerine herhangi bir gerilim uygulandığında yalıtkanlar üzerinde çeşitli olaylar meydana gelir.
- Uygulanan gerilim alçak ise elektrotlar arasında ,küçük akımlar oluşur ve bu durumda yalıtım bozulmaz eğer uygulanan gerilim yüksekse yalıtım üzerinden akan akım keskin bir şekilde artar ve elektrik arızası meydana gelir.
- Güçlü iletme sahip bir kıvılcım elektrotlar arasını kısa devre edebilir.
- Arıza sırasında yalıtıma uygulanan max. gerilim arıza voltajı olarak tanımlanır. Gazlardaki elektriksel boşalmalar iki şekilde gözlemlenir.
- -Devam etmeyen boşalmalar
- -Kendi kendine devam eden boşalmalar
- Kıvılcım şeklinde gözlemlenen ve bir gazda meydana gelen arıza devam etmeyen boşalmanın kendi kendine devam eden boşalmaya dönüşmesiyle ortaya çıkar. Arıza sırasında gözlemlenen yüksek akımlar ***iyonizasyon*** sonucu meydana gelir. Farklı şartlar altındaki hata mekanizmalarını açıklamak için bilinen iki teori vardır.
- ***1. Townsend Teorisi***
- ***2. Streamer Teorisi***



# İYONİZASYON PROSESİ

---

- Bir gaz normal şartlar altında iyi bir yalıtkandır. Ancak gaz ortamına daldırılmış iki elektronda YG uygulanırsa gaz iletken hale gelir ve elektrik arızası ortaya çıkar. Gazların iletken hale gelmesi çarpışma, foto iyonizasyon ve ikincil iyonizasyon süreçlerinden birisi ile meydana gelir.

# TEŞEKKÜRLER

- *YÜKSEK GERİLİM TEKNİĞİ DERSİ DERS NOTLARI*

