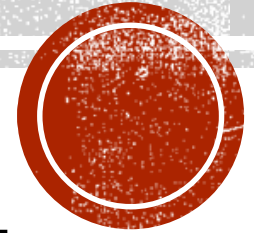


YÜKSEK GERİLİM TEKNIĞİ

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ



Statik Elektrik Alanı - Temel Elektrot Sistemleri
ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

YÜKSEK GERİLİM TEKNİĞİ - 2022 BAHAR YARIYILI

Dersi veren öğretim üyesi:
Prof. Dr. Özcan Kalenderli



2021-2022 Bahar Yarıyılı

CRN 22843	ELK 312	Yüksek Gerilim Tekniği	Özcan Kalenderli	Perşembe 08:30/11:30	Öğr. Sayısı 45
--------------	------------	------------------------	------------------	-------------------------	-------------------

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

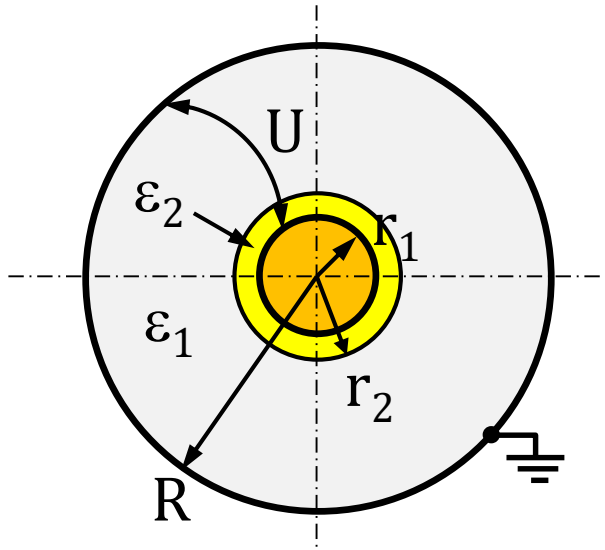
Çok Tabakalı Silindirsel Elektrot Sistemleri

Bu tür durumlarla, bazen tek yalıtkan tabakalı sistemlerde, iletken ile yalıtkan arasında veya yalıtkanla dış iletken (siper, ekran, gövde, ...) arasında kalan hava veya yağ gibi tabakalarla sistemin iki veya üç yalıtkan tabakalı olması durumlarında veya tek yalıtkan tabakayı üretmek yerine çok tabakadan sarmak veya elektriksel zorlanmayı kontrol altına almak için ya da gerilim ölçmek için yapılan uygulamalarda karşılaşılır. Örneğin ...

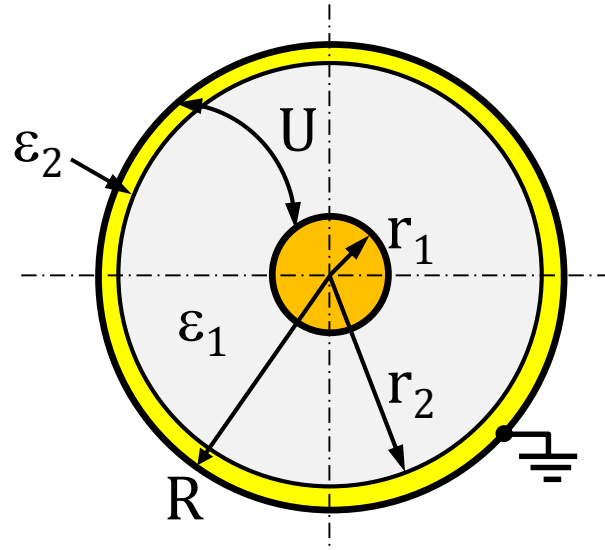
TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

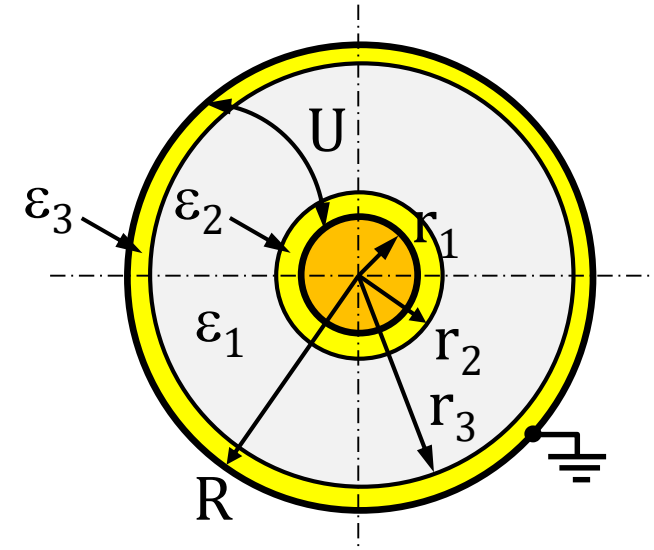
İletken - yalıtkan arası boşluklar (yağ, hava, gaz, ... boşlukları)



iç iletken-yalıtkan
arası boşluk



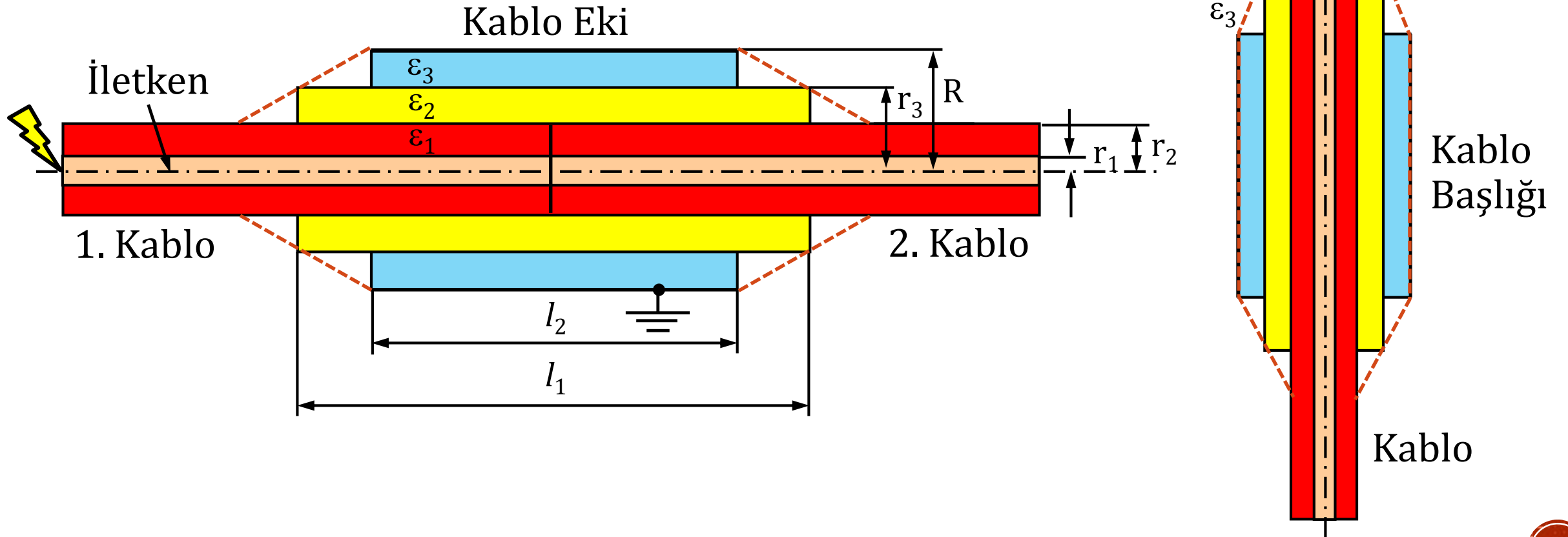
dış iletken-yalıtkan
arası boşluk



iletkenler-yalıtkan
arası boşluklar

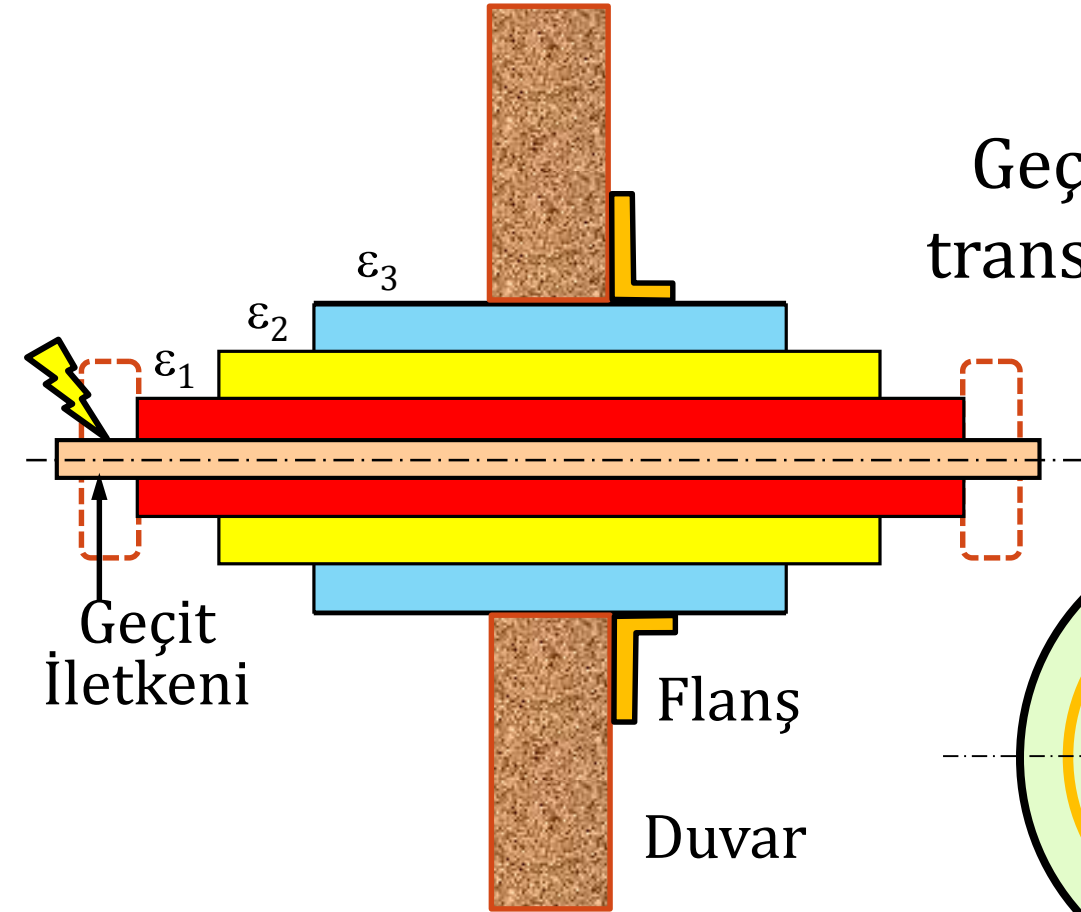
ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Kablo ekleri ve başlıkları

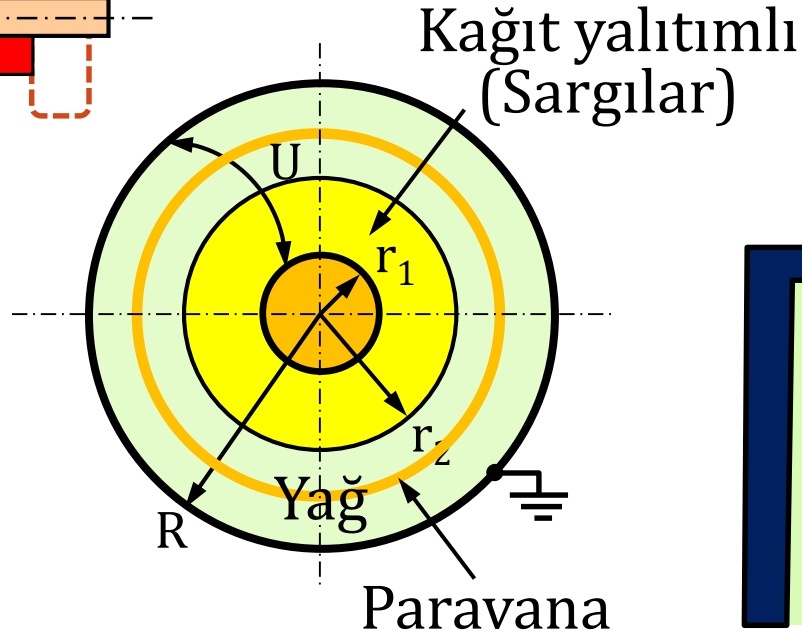


ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

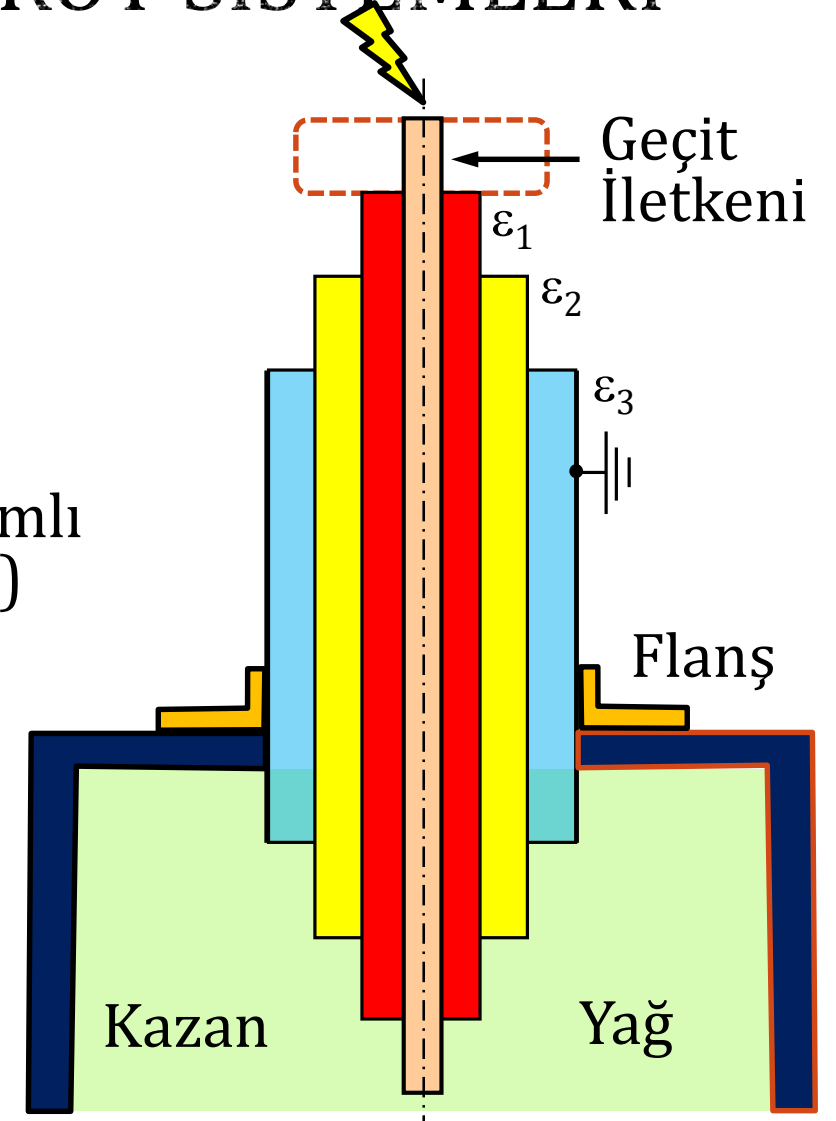
Geçit izolatörleri ve
transformatör yalıtımı



Duvar tipi geçit izolatörü



Transformatör yalıtımı

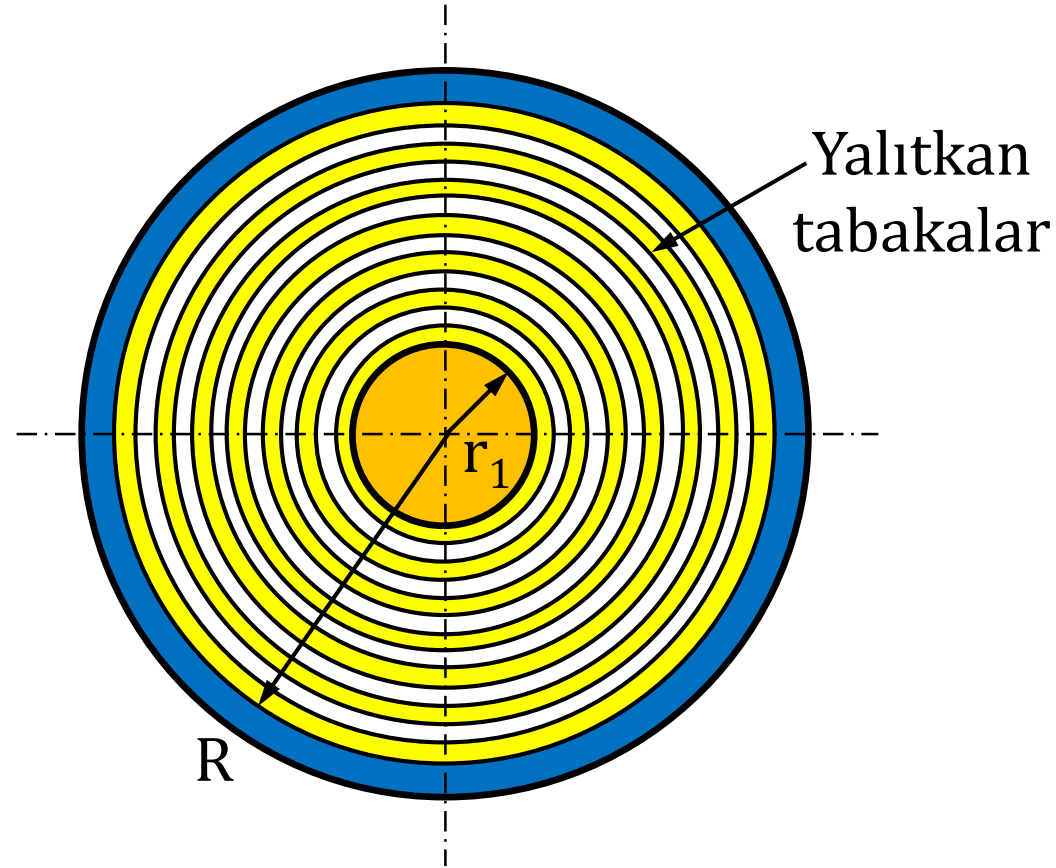


Transformatör tipi geçit izolatörü

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Kondansatörler, ...



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Çok Tabakalı Silindirsel Elektrot Sistemleri

iki ana başlıkta incelenecektir:

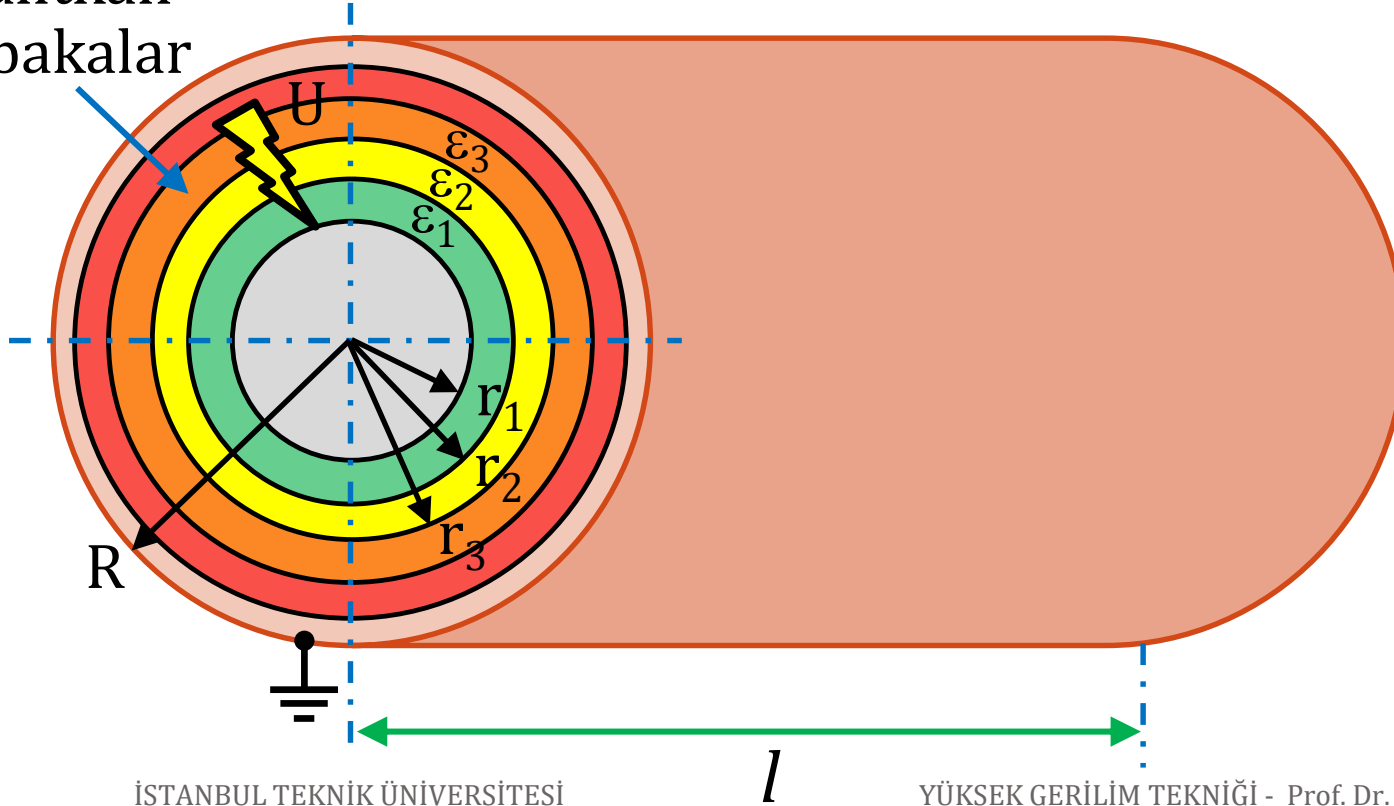
- 1) Tabaka uzunlukları eşit
çok tabakalı silindirsel elektrot sistemleri
Örneğin kondansatörler, kablolar, ...
- 2) Tabaka uzunlukları farklı
çok tabakalı silindirsel elektrot sistemleri
Örneğin geçit izolatörleri, kablo başlıkları, kablo ekleri, ...

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

1) Tabaka Uzunlukları Eşit Çok Tabakalı Eş Eksenli Silindrsel Elektrot Sistemleri

Yalıtkan
tabakalar



U : Uygulanan gerilim

r_1 : İç iletken yarıçapı

r_2 : 2. tabakanın iç yarıçapı

r_3 : 3. tabakanın iç yarıçapı

...

R : Dış iletken yarıçapı

ϵ_1 : 1. tabakanın dielektrik sabiti

ϵ_2 : 2. tabakanın dielektrik sabiti

...

l : Tabakaların uzunlukları (eşit)

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Yalıtkan tabakalar üst üste yerleşiktir ve seri bağlı kapasiteler gösterir. Seri bağlı bu kapasitelerden (tabakalardan) aynı akım akar ve aynı Q elektrik yüküne sahip olur:

$$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = C_3 \cdot U_3 = \dots = C_n \cdot U_n$$

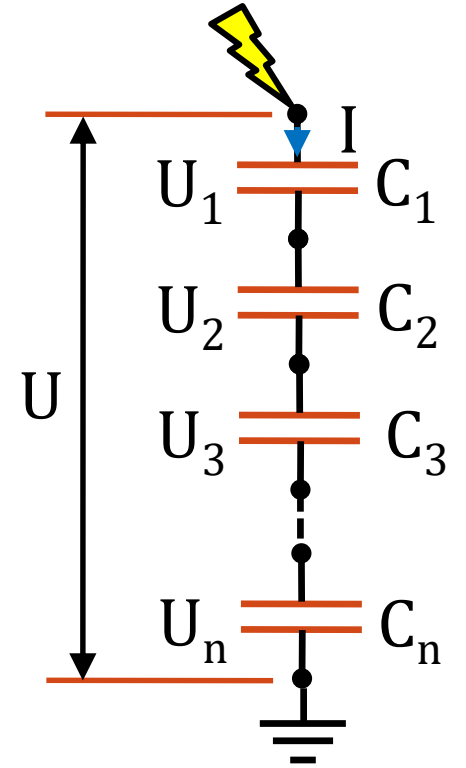
Burada

C_1, C_2, \dots, C_n : Tabakaların kapasiteleri

C : Seri bağlı kapasitelerin eşdeğeri kapasite

U_1, U_2, \dots, U_n : Tabakalara düşen gerilimler

U : Tüm sisteme uygulanan (toplam) gerilim



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Her bir eş eksenli silindirsel tabakanın kapasitesi

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l_1}{\ln(r_2/r_1)} \quad C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l_2}{\ln(r_3/r_2)} \quad , \dots , \quad C_n = \frac{2\pi\epsilon_n l_n}{\ln(R/r_n)}$$

veya genel olarak herhangi bir tabakanın kapasitesi

$$C_i = \frac{2\pi\epsilon_i l_i}{\ln(r_{i+1}/r_i)}$$

$$\epsilon_i = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{ri}$$

olur. Bu denklemlerde $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ tabakaların dielektrik sabitleri, l_1, l_2, \dots her bir tabakanın uzunluğudur. Burada **tabaka uzunlukları eşit** ($l_1 = l_2 = \dots = l_n = l$) **alınacaktır.**

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Seri bağlı kapasitelerden oluşan sistemin **eşdeğer kapasitesi**

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)}} + \frac{1}{\frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln(r_3/r_2)}} + \dots + \frac{1}{\frac{2\pi\epsilon_n l}{\ln(R/r_n)}}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2\pi l} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\epsilon_n} \ln \frac{R}{r_n} \right) = \frac{1}{2\pi l} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} = \frac{A}{2\pi l}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Sonuç olarak, sistemin eşdeğer kapasitesi

$$C = \frac{2\pi l}{A}$$

olur. Burada

$$A = \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\epsilon_n} \ln \frac{R}{r_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}$$

yerine yazılmıştır.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = C_3 \cdot U_3 = \dots = C_n \cdot U_n$ olduğu bilindiğine göre **tabakalara düşen gerilimler** hesaplanabilir:

$$U_1 = \frac{C \cdot U}{C_1} = \frac{\frac{2\pi l}{A} \cdot U}{\frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)}} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad U_2 = \frac{C \cdot U}{C_2} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2}$$

... veya genel olarak

$$U_i = \frac{C \cdot U}{C_i} = \frac{\frac{2\pi l}{A} \cdot U}{\frac{2\pi\epsilon_i l}{\ln(r_{i+1}/r_i)}} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}$$

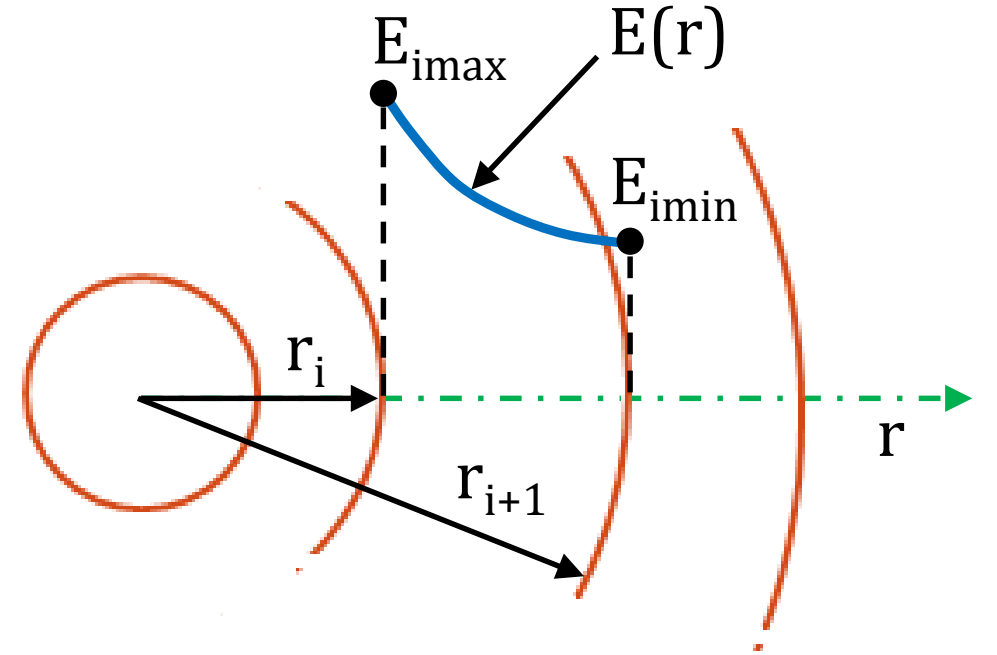
TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Sisteme uygulanan gerilim, tabakalara düşen gerilimlerin toplamına eşittir:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Tabakalardaki elektrik alanları, tabakanın iç yarıçapı üzerinde maksimum, tabakanın dış yarıçapı üzerinde minimum olacak şekilde oluşur.



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Tabakalardaki maksimum ve minimum elektrik alan şiddetleri

Birinci tabakaya düşen gerilim cinsinden maksimum elektrik alan şiddeti:

$$E_{1\max} = \frac{U_1}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)}$$

olur. Burada tabakaya düşen gerilim yerine, tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden karşılığı yazılırsa, tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden birinci tabakadaki maksimum elektrik alan şiddeti elde edilir:

$$E_{1\max} = \frac{\frac{U}{A \cdot \epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot r_1}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Birinci **tabakaya düşen gerilim cinsinden** minimum elektrik alan şiddeti:

$$E_{1\min} = \frac{U_1}{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)}$$

olur. Burada tabakaya düşen gerilim yerine, tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden karşılığı yazılırsa, **tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden** birinci tabakadaki minimum elektrik alan şiddeti elde edilir:

$$E_{1\min} = \frac{\frac{U}{A \cdot \epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot r_2}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Birinci tabaka için yazılan maksimum ve minimum elektrik alan şiddetleri, her tabaka için benzer şekilde yazılabilir. Genel olarak bir tabakadaki maksimum elektrik alan şiddeti, Tabakaya düşen gerilim cinsinden:

$$E_{i \max} = \frac{U_i}{r_i \cdot \ln(r_{i+1}/r_i)}$$

Tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden:

$$E_{i \max} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_i \cdot r_i}$$

olur.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Genel olarak bir tabakadaki minimum elektrik alan şiddeti,
Tabakaya düşen
gerilim cinsinden:

$$E_{i \min} = \frac{U_i}{r_{i+1} \cdot \ln(r_{i+1}/r_i)}$$

Tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden:

$$E_{i \min} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_i \cdot r_{i+1}}$$

olur.

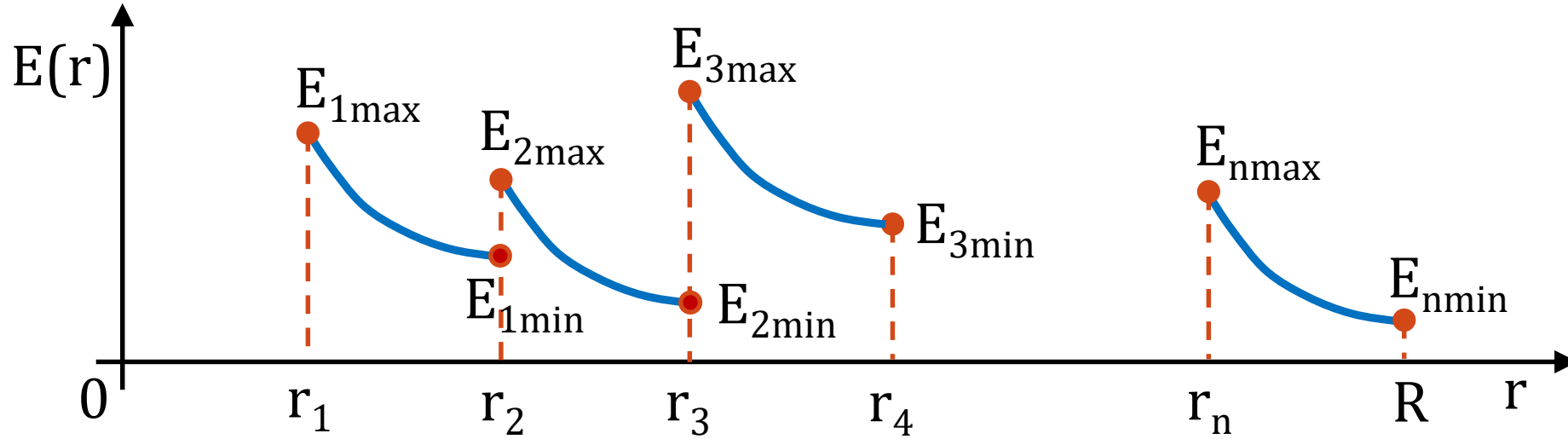
Bir tabakadaki maksimum elektrik alan şiddeti ($E_{i \max}$), o tabakanın delinme dayanımına (E_{di}) eşit veya büyük olursa, o **tabaka delinir** (kısa devre) olur.

$$E_{i \max} \geq E_{di}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Çok tabakalı eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde **elektrik alan değişimi (dağılımı)**, örneğin aşağıdaki gibi olur.



Çok tabakalı sistemlerde tabakaların düzgün zorlanması (her tabakadaki maksimum elektrik alan şiddetinin eşit olması) istenir.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Düzgün zorlanma için

$$E_{1\max} = E_{2\max} = \dots = E_{n\max} \text{ (Düzgün zorlanma koşulu)}$$

olması istendiğine göre, alan şiddeti karşılıkları yazılırsa

$$\frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot r_1} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_2 \cdot r_2} = \dots = \frac{U}{A \cdot \epsilon_n \cdot r_n}$$

olacaktır. Buradan **düzgün zorlanma koşulu**, tabakaların dielektrik sabitlerine, tabaka iç yarıçaplarına bağlı olarak ve ($l_1 = l_2 = \dots = l_n = l$) olduğunu göz önünde tutarak

$$\epsilon_1 \cdot r_1 = \epsilon_2 \cdot r_2 = \dots = \epsilon_n \cdot r_n$$

olacaktır.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Örnek 1:

Arkadaki şekildeki üç tabakalı silindrsel elektrot sisteminde, $r_1 = 1 \text{ cm}$, $r_2 = 1,5 \text{ cm}$, $r_3 = 3 \text{ cm}$, $R = 5 \text{ cm}$, $\epsilon_{r1} = 5$, $\epsilon_{r2} = 3$, $\epsilon_{r3} = 2,5$ ve $U = 100 \text{ kV}$ olmak üzere



- Tabakalardaki gerilimleri, maksimum ve minimum elektrik alan şiddetlerini hesaplayınız.
- Tabakaların delinme dayanımları $E_{d1} = 70 \text{ kV/cm}$, $E_{d2} = 42 \text{ kV/cm}$, $E_{d3} = 68 \text{ kV/cm}$ olduğuna göre sistem delinir mi?
- $R = 5 \text{ cm}$, $r_3 = 4,5 \text{ cm}$ için elektriksel zorlanmanın düzgün olması için sistemin, r_1 , r_2 yarıçaplarını ve tabaka kalınlıklarını hesaplayınız.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Çözüm 1:

Seri durumdaki tabakalardan aynı akım akacaktır. Bu nedenle tabakalardaki elektrik yükleri eşit olacaktır:

$$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = C_3 \cdot U_3$$

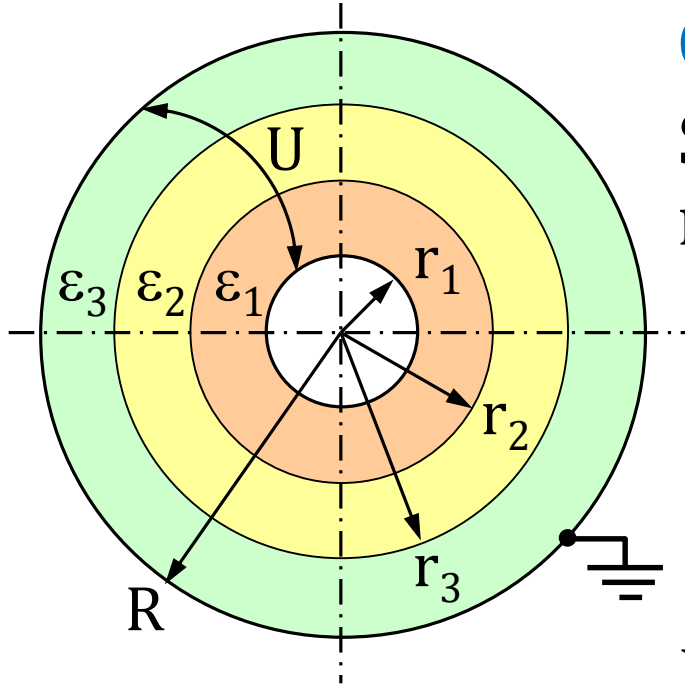
$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)}$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln(r_3/r_2)}$$

$$C_3 = \frac{2\pi\epsilon_3 l}{\ln(R/r_3)}$$

Eşdeğer kapasite:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{A}{2\pi l} \quad \rightarrow \quad C = \frac{2\pi l}{A}$$



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$$A = \frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{R}{r_3} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

$$A = \frac{1}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{5} \ln \frac{1,5}{1} + \frac{1}{3} \ln \frac{3}{1,5} + \frac{1}{2,5} \ln \frac{5}{3} \right) = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot 0,516$$

Eşdeğer kapasite ($l = 1$ m için)

$$C = \frac{2\pi l}{A} = \frac{2\pi}{0,516/\varepsilon_0} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{0,516} = 1,078 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

$$C = 1,078 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 107,8 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 107,8 \text{ pF}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Tabaka kapasiteleri de ($l = 1$ m için) hesaplanabilir:

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 5 \cdot 1 \text{ m}}{\ln(1,5/1)} = 685,31 \text{ pF}$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln(r_3/r_2)} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 3 \cdot 1 \text{ m}}{\ln(3/1,5)} = 240,786 \text{ pF}$$

$$C_3 = \frac{2\pi\epsilon_3 l}{\ln(R/r_3)} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 2,5 \cdot 1 \text{ m}}{\ln(5/3)} = 272,91 \text{ pF}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

a) $C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = C_3 \cdot U_3$ eşitliğinden yararlanarak tabakalara düşen gerilimler:

$$U_1 = \frac{C \cdot U}{C_1} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{100 \text{ kV}}{(0,516/\epsilon_0) \cdot \epsilon_0 \cdot 5} \ln \frac{1,5}{1} = 15,73 \text{ kV}$$

$$U_2 = \frac{C \cdot U}{C_2} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} = \frac{100 \text{ kV}}{(0,516/\epsilon_0) \cdot \epsilon_0 \cdot 3} \ln \frac{3}{1,5} = 44,77 \text{ kV}$$

$$U_3 = \frac{C \cdot U}{C_3} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_3} \ln \frac{R}{r_3} = \frac{100 \text{ kV}}{(0,516/\epsilon_0) \cdot \epsilon_0 \cdot 2,5} \ln \frac{5}{3} = 39,50 \text{ kV}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 15,73 \text{ kV} + 44,77 \text{ kV} + 39,50 \text{ kV} = 100 \text{ kV} \checkmark$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = C_3 \cdot U_3$ eşitliğine göre tabakalara düşen gerilimler, hesaplanan kapasite değerlerinden yararlanılarak ta bulunabilir:

$$U_1 = \frac{C \cdot U}{C_1} = \frac{107,8 \text{ pF} \cdot 100 \text{ kV}}{685,31 \text{ pF}} = 15,73 \text{ kV}$$

$$U_2 = \frac{C \cdot U}{C_2} = \frac{107,8 \text{ pF} \cdot 100 \text{ kV}}{240,786 \text{ pF}} = 44,77 \text{ kV}$$

$$U_3 = \frac{C \cdot U}{C_3} = \frac{107,8 \text{ pF} \cdot 100 \text{ kV}}{272,91 \text{ pF}} = 39,50 \text{ kV}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 15,73 \text{ kV} + 44,77 \text{ kV} + 39,50 \text{ kV} = 100 \text{ kV} \checkmark$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Tabakalardaki maksimum ve minimum elektrik alan şiddetleri:

$$E_{1\max} = \frac{U_1}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{15,73 \text{ kV}}{1 \cdot \ln(1,5/1)} = 38,795 \text{ kV/cm}$$

$$E_{1\min} = \frac{U_1}{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{15,73 \text{ kV}}{1,5 \cdot \ln(1,5/1)} = 25,863 \text{ kV/cm}$$

$$E_{2\max} = \frac{U_2}{r_2 \cdot \ln(r_3/r_2)} = \frac{44,77 \text{ kV}}{1,5 \cdot \ln(3/1,5)} = 43,059 \text{ kV/cm}$$

$$E_{2\min} = \frac{U_2}{r_3 \cdot \ln(r_3/r_2)} = \frac{44,77 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(3/1,5)} = 21,530 \text{ kV/cm}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$$E_{3\max} = \frac{U_3}{r_3 \cdot \ln(R/r_3)} = \frac{39,50 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(5/3)} = 25,775 \text{ kV/cm}$$

$$E_{3\min} = \frac{U_3}{R \cdot \ln(R/r_3)} = \frac{39,50 \text{ kV}}{5 \cdot \ln(5/3)} = 15,465 \text{ kV/cm}$$

b) Tabakaların delinme dayanımları $E_{d1} = 70 \text{ kV/cm}$, $E_{d2} = 42 \text{ kV/cm}$, $E_{d3} = 68 \text{ kV/cm}$ olduğuna göre

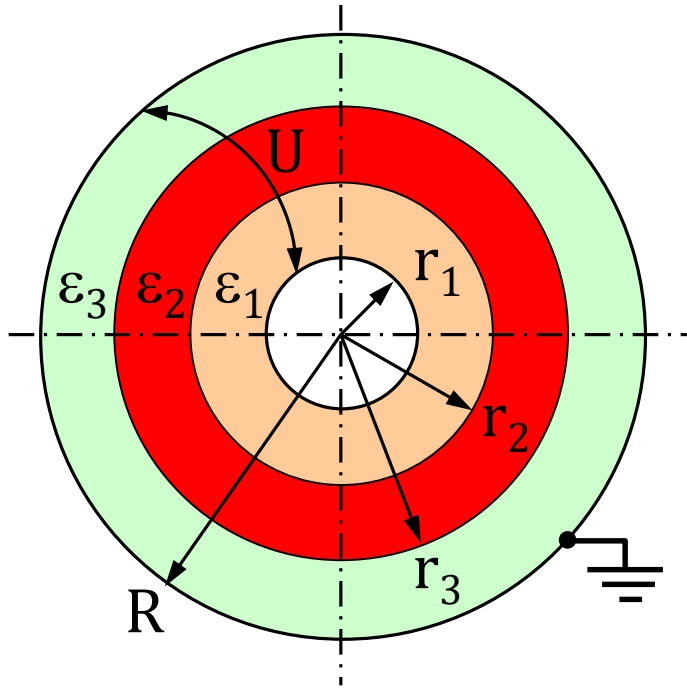
$$E_{1\max} = 38,795 \text{ kV/cm} < E_{d1} = 70 \text{ kV/cm} \rightarrow \text{1. tabaka dayanır} \checkmark$$

$$E_{2\max} = 43,059 \text{ kV/cm} > E_{d2} = 42 \text{ kV/cm} \rightarrow \text{2. tabaka delinir} \text{ ⚡}$$

$$E_{3\max} = 25,775 \text{ kV/cm} < E_{d3} = 68 \text{ kV/cm} \rightarrow \text{3. tabaka dayanır} \checkmark$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ



2. tabaka delindi!

İkinci tabaka delindikten sonra tüm gerilim, kalan iki tabakaya uygulanır. Bu durumda tabakalara düşen gerilimler:

$$A' = \frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{R}{r_3}$$

$$A' = \frac{1}{\varepsilon_0} \left(\frac{1}{5} \ln \frac{1,5}{1} + \frac{1}{2,5} \ln \frac{5}{3} \right) = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot 0,285$$

Birinci tabakadaki gerilim:

$$U_1' = \frac{U}{A' \cdot \varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{100 \text{ kV}}{(0,285/\varepsilon_0) \cdot \varepsilon_0 \cdot 5} \ln \frac{1,5}{1} = 28,454 \text{ kV}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Üçüncü tabakadaki gerilim

$$U_3' = U - U_1' = 100 \text{ kV} - 28,454 \text{ kV} = 71,546 \text{ kV}$$

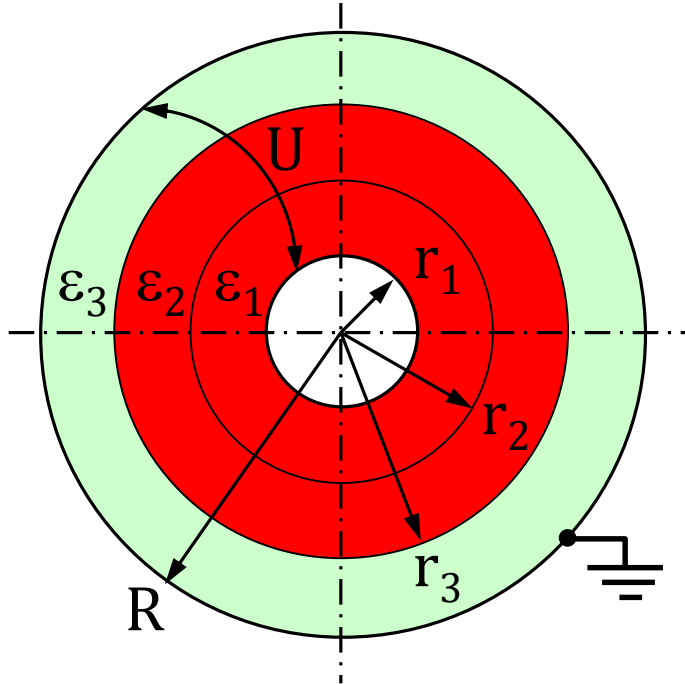
İkinci tabaka delindikten sonra kalan tabakalardaki maksimum elektrik alan şiddetleri:

$$E_{1\max}' = \frac{U_1'}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{28,454 \text{ kV}}{1 \cdot \ln(1,5/1)} = 70,176 \text{ kV/cm}$$

$$E_{3\max}' = \frac{U_3'}{r_3 \cdot \ln(R/r_3)} = \frac{71,546 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(5/3)} = 46,686 \text{ kV/cm}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

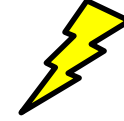


$E_{d1} = 70 \text{ kV/cm}$, $E_{d3} = 68 \text{ kV/cm}$ olduğuna göre

$$E_{1\max} = 70,176 \text{ kV/cm} < E_{d1} = 70 \text{ kV/cm}$$



1. tabaka delinir



$$E_{3\max} = 46,686 \text{ kV/cm} < E_{d3} = 68 \text{ kV/cm}$$



3. tabaka dayanır ✓


1. tabaka da delinince tüm gerilim, kalan, 3. tabakaya uygulanır. Bu durumda 3. tabakadaki zorlanma:

1. tabaka da delindi!

$$E''_{3\max} = \frac{U}{r_3 \cdot \ln(R/r_3)} = \frac{100 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(5/3)} = 65,25 \text{ kV/cm}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$E_{3\max} = 65,25 \text{ kV/cm} < E_{d3} = 68 \text{ kV/cm}$  3. tabaka dayanır ✓
1. ve 2. tabaka delinse de 3. tabaka uygulanan gerilime dayandığı için **sistem dayanır**.

c) Düzgün elektriksel zorlanma için

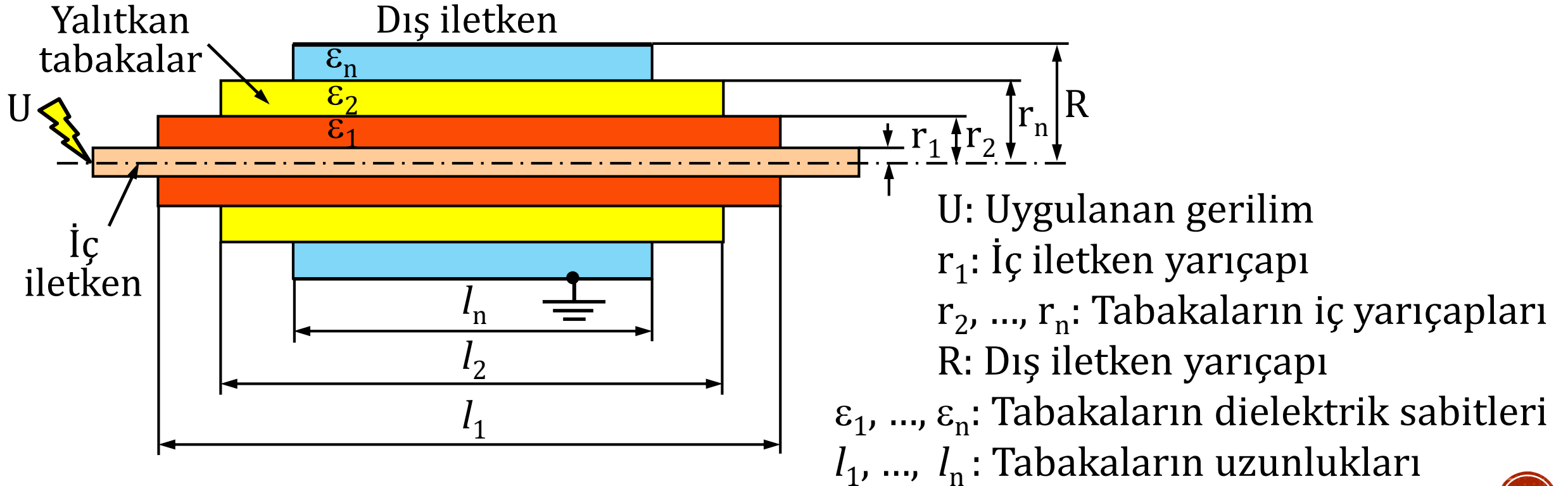
$$E_{1\max} = E_{2\max} = E_{3\max} \text{ veya } \varepsilon_1 \cdot r_1 = \varepsilon_2 \cdot r_2 = \varepsilon_1 \cdot r_3 \quad \text{koşulundan}$$
$$5 \cdot r_1 = 3 \cdot r_2 = 2,5 \cdot 4,5 \text{ yazılır ve buradan}$$
$$r_1 = 2,25 \text{ cm ve } r_2 = 3,75 \text{ cm bulunur.}$$

Bu değerlerle **tabaka kalınlıkları**: $a_1 = r_2 - r_1 = 3,75 - 2,25 = 1,5 \text{ cm}$
 $a_2 = r_3 - r_2 = 4,5 - 3,75 = 0,75 \text{ cm}$
 $a_3 = R - r_3 = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ cm}$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

2) Tabaka Uzunlukları Farklı Çok Tabakalı Eş Eksenli Silindrisel Elektrot Sistemleri



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Tabaka uzunlukları farklı, çok tabakalı eş eksenli silindirselsel elektrot sistemleri, çok yüksek gerilimlerde kablo başlıkları, kablo ekleri ve geçit izolatörleri gibi uygulamaları görülen elektrot sistemleridir. Burada, bu sistemlerdeki gerilim ve elektrik alan hesapları açıklanacaktır.

Bu sistemlerde de tabakalar birbirine seri durumdadır.

Tabakalardaki elektrik yükleri: $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

Yüklerin kapasite ve gerilim cinsinden karşılıkları:

$$C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = \dots = C_n \cdot U_n$$

olur.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Her bir eş eksenli silindirselsel tabakanın kapasitesi

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l_1}{\ln(r_2/r_1)} \quad C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l_2}{\ln(r_3/r_2)} \quad , \dots , \quad C_n = \frac{2\pi\epsilon_n l_n}{\ln(R/r_n)}$$

veya genel olarak herhangi bir tabakanın kapasitesi

$$C_i = \frac{2\pi\epsilon_i l_i}{\ln(r_{i+1}/r_i)}$$

$$\epsilon_i = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{ri}$$

olur. Bu denklemlerde $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ tabakaların dielektrik sabitleri ve l_1, l_2, \dots tabakaların uzunluklarıdır.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Seri bağlı kapasitelerden oluşan sistemin **eşdeğer kapasitesi**

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)}} + \frac{1}{\frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln(r_3/r_2)}} + \dots + \frac{1}{\frac{2\pi\epsilon_n l}{\ln(R/r_n)}}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\epsilon_1 l_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2 l_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\epsilon_n l_n} \ln \frac{R}{r_n} \right) = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i l_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} = \frac{A}{2\pi}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Sonuç olarak, sistemin eşdeğer kapasitesi

$$C = \frac{2\pi}{A}$$

olur. Burada A

$$A = \frac{1}{\epsilon_1 l_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2 l_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\epsilon_n l_n} \ln \frac{R}{r_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i l_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}$$

yerine yazılmıştır.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = \dots = C_n \cdot U_n$ olduğu bilindiğine göre **tabakalara düşen gerilimler** hesaplanabilir:

$$U_1 = \frac{C \cdot U}{C_1} = \frac{\frac{2\pi}{A} \cdot U}{\frac{2\pi\epsilon_1 \cdot l_1}{\ln(r_2/r_1)}} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot l_1} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad U_2 = \frac{C \cdot U}{C_2} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_2 \cdot l_2} \ln \frac{r_3}{r_2}$$

... veya genel olarak

$$U_i = \frac{C \cdot U}{C_i} = \frac{\frac{2\pi}{A} \cdot U}{\frac{2\pi\epsilon_i \cdot l_i}{\ln(r_{i+1}/r_i)}} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_i \cdot l_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Tabakalardaki maksimum ve minimum elektrik alan şiddetleri

Birinci tabakaya düşen gerilim cinsinden maksimum elektrik alan şiddeti:

$$E_{1\max} = \frac{U_1}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)}$$

olur. Burada tabakaya düşen gerilim yerine, tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden karşılığı yazılırsa, tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden birinci tabakadaki maksimum elektrik alan şiddeti elde edilir:

$$E_{1\max} = \frac{\frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot l_1} \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot l_1 \cdot r_1}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Birinci **tabakaya düşen gerilim cinsinden** minimum elektrik alan şiddeti:

$$E_{1\min} = \frac{U_1}{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)}$$

olur. Burada tabakaya düşen gerilim yerine, tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden karşılığı yazılırsa, **tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden** birinci tabakadaki minimum elektrik alan şiddeti elde edilir:

$$E_{1\min} = \frac{\frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot l_1} \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot l_1 \cdot r_2}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Birinci tabaka için yazılan maksimum ve minimum elektrik alan şiddetleri, her tabaka için benzer şekilde yazılabilir.

Genel olarak bir tabakadaki maksimum elektrik alan şiddeti:

Tabakaya düşen gerilim cinsinden

$$E_{i \max} = \frac{U_i}{r_i \cdot \ln(r_{i+1}/r_i)}$$

Tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden

$$E_{i \max} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_i \cdot l_i \cdot r_i}$$

olur.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Genel olarak bir tabakadaki **minimum elektrik alan şiddeti:**

Tabakaya düşen gerilim cinsinden

$$E_{1\min} = \frac{U_i}{r_{i+1} \cdot \ln(r_{i+1}/r_i)}$$

Tüm sisteme uygulanan gerilim cinsinden olur.

$$E_{i\min} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_i \cdot l_i \cdot r_{i+1}}$$

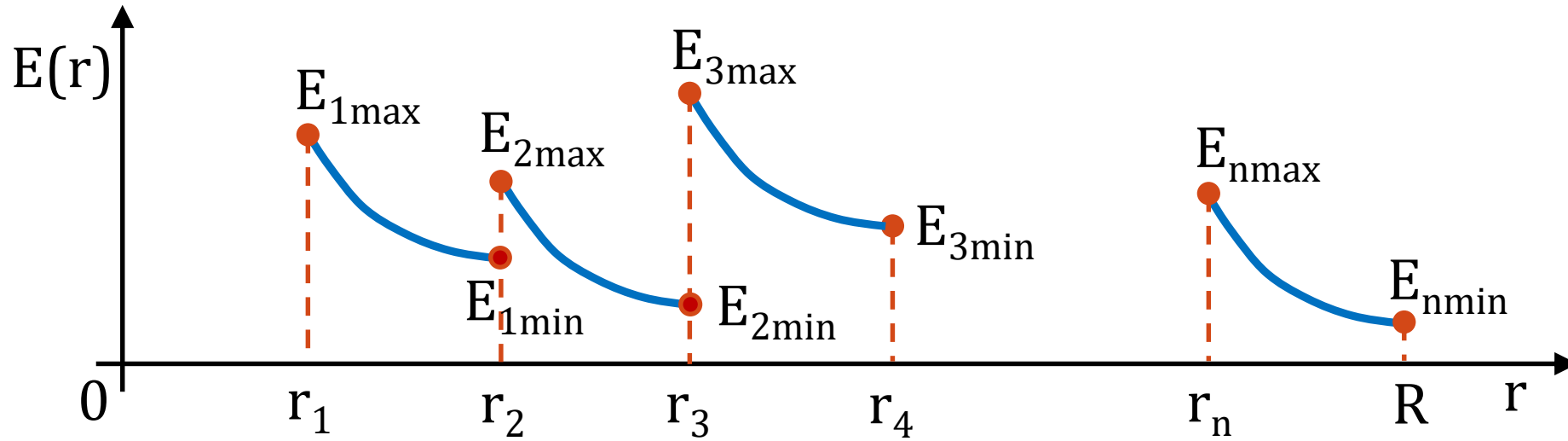
Bir tabakadaki maksimum elektrik alan şiddeti ($E_{i\max}$), o tabakanın delinme dayanımına (E_{di}) eşit veya büyük olursa, o **tabaka delinir** (kısa devre) olur.

$$E_{i\max} \geq E_{di}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Çok tabakalı eş eksenli silindirselsel elektrot sisteminde **elektrik alan değişimi (dağılımı)**, örneğin aşağıdaki gibi olur.



Çok tabakalı sistemlerde tabakaların düzgün zorlanması (her tabakadaki maksimum elektrik alan şiddetinin eşit olması) istenir.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Düzgün zorlanma için

$$E_{1\max} = E_{2\max} = \dots = E_{n\max} \text{ (Düzgün zorlanma koşulu)}$$

olması istendiğine göre, alan şiddeti karşılıkları yazılırsa

$$\frac{U}{A \cdot \epsilon_1 \cdot l_1 \cdot r_1} = \frac{U}{A \cdot \epsilon_2 \cdot l_2 \cdot r_2} = \dots = \frac{U}{A \cdot \epsilon_n \cdot l_n \cdot r_n}$$

olacaktır. Buradan **düzgün zorlanma koşulu**, tabakaların dielektrik sabitlerine, tabaka iç yarıçaplarına ve uzunluklarına bağlı olarak

$$\epsilon_1 \cdot l_1 \cdot r_1 = \epsilon_2 \cdot l_2 \cdot r_2 = \dots = \epsilon_n \cdot l_n \cdot r_n$$

olacaktır.

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$$\varepsilon_1 \cdot l_1 \cdot r_1 = \varepsilon_2 \cdot l_2 \cdot r_2 = \dots = \varepsilon_n \cdot l_n \cdot r_n$$

Bu düzgün zorlanma koşulu, en genel durumu göstermektedir.

Özel durumlar olarak

1) Tabaka uzunluklarının eşit ($l_1 = l_2 = \dots = l_n = l$) olması durumunda düzgün zorlanma koşulu:

$$\varepsilon_1 \cdot r_1 = \varepsilon_2 \cdot r_2 = \dots = \varepsilon_n \cdot r_n$$

2) Tabaka dielektrik sabitlerinin eşit ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_n = \varepsilon$) olması durumunda yani aynı malzemenin tabakalar şeklinde sarılması durumunda düzgün zorlanma koşulu:

olur.

$$l_1 \cdot r_1 = l_2 \cdot r_2 = \dots = l_n \cdot r_n$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Örnek 2:

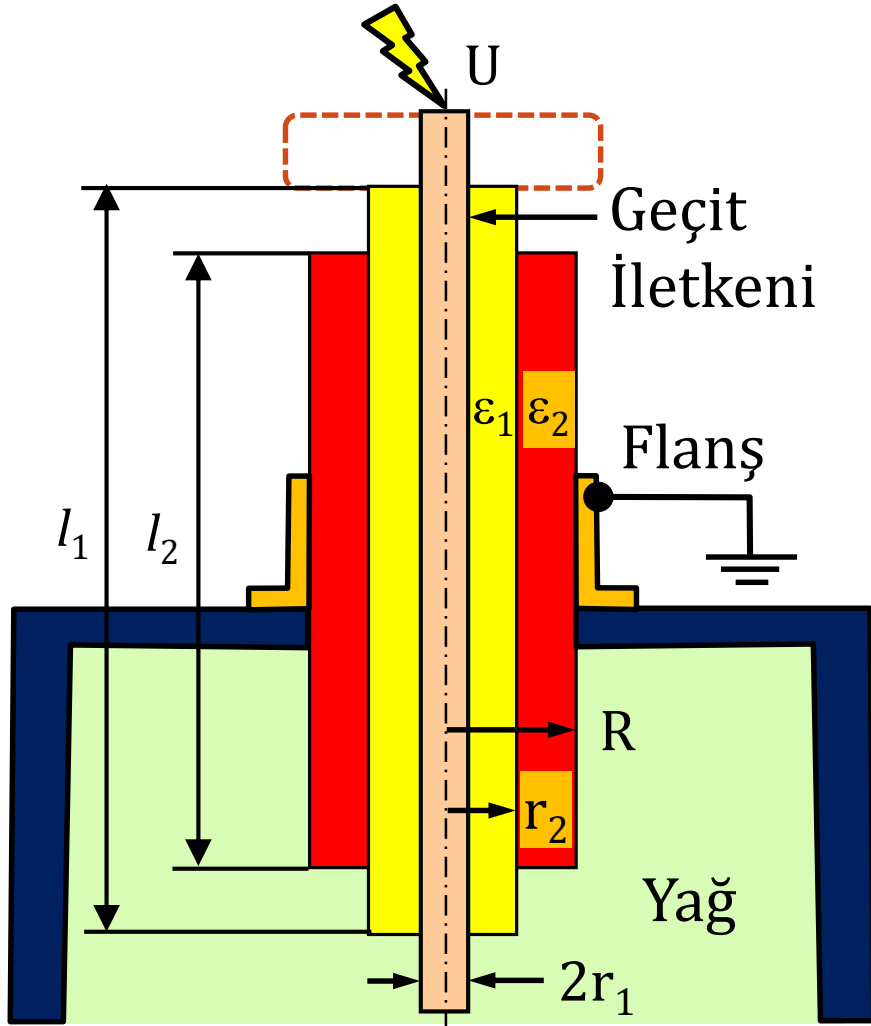
İki tabakalı bir geçit izolatöründe (çok tabakalı eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde), yarıçaplar $r_1 = 0,8 \text{ cm}$, $r_2 = 3 \text{ cm}$, $R = 5 \text{ cm}$, yalıtkan tabakaların bağıl dielektrik sabitleri $\epsilon_{r1} = 1$, $\epsilon_{r2} = 5$, uzunlukları $l_1 = 60 \text{ cm}$, $l_2 = 55 \text{ cm}$, ve uygulanan gerilim $U = 170 \text{ kV}$ olduğuna göre

- Sistemin kapasitesini hesaplayınız ($\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$).
- Tabakalardaki gerilimleri hesaplayınız.
- Tabakalardaki maksimum ve minimum elektrik alan şiddetlerini hesaplayınız.
- $E_{d1} = 30 \text{ kV/cm}$ ve $E_{d2} = 110 \text{ kV/cm}$ olduğuna göre sistemin delinip delinmeyeceğini belirleyiniz.



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ



Çözüm 2:

a) Seri durumdaki tabakalarda akım ve elektrik yükleri eşit olacaktır:

$$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2$$

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l}{\ln(r_2/r_1)} \quad C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l}{\ln(R/r_2)}$$

Eşdeğer kapasite:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{A}{2\pi} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{2\pi}{A}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$$A = \frac{1}{\epsilon_1 \cdot l_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2 \cdot l_2} \ln \frac{R}{r_2} \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$$A = \frac{1}{\epsilon_0} \left(\frac{1}{1 \cdot 0,60} \ln \frac{3}{0,8} + \frac{1}{5 \cdot 0,55} \ln \frac{5}{3} \right) = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot 2,38868$$

Eşdeğer kapasite:

$$C = \frac{2\pi}{A} = \frac{2\pi}{2,38868/\epsilon_0} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{2,38868} = 23,29 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$C = 23,29 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 23,29 \text{ pF}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Tabaka kapasiteleri de hesaplanabilir:

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l_1}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 1 \cdot 0,60 \text{ m}}{\ln(3/0,8)} = 25,253 \text{ pF}$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l_2}{\ln(r_3/r_2)} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 5 \cdot 0,55 \text{ m}}{\ln(5/3)} = 299,488 \text{ pF}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

b) $C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2$ eşitliğinden yararlanarak tabakalara düşen gerilimler:

$$U_1 = \frac{C \cdot U}{C_1} = \frac{U}{A \cdot \varepsilon_1 \cdot l_1} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{170 \text{ kV}}{(2,38868/\varepsilon_0) \cdot \varepsilon_0 \cdot 1 \cdot 0,6} \ln \frac{3}{0,8} = 156,78 \text{ kV}$$

$$U_2 = \frac{C \cdot U}{C_2} = \frac{U}{A \cdot \varepsilon_2 \cdot l_2} \ln \frac{R}{r_2} = \frac{170 \text{ kV}}{(2,38868/\varepsilon_0) \cdot \varepsilon_0 \cdot 5 \cdot 0,55} \ln \frac{5}{3} = 13,22 \text{ kV}$$

$$U = U_1 + U_2 = 156,78 \text{ kV} + 13,22 \text{ kV} = 170 \text{ kV} \checkmark$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

$C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2$ eşitliğine göre tabakalara düşen gerilimler, hesaplanan kapasite değerlerinden yararlanılarak ta bulunabilir:

$$U_1 = \frac{C \cdot U}{C_1} = \frac{23,29 \text{ pF} \cdot 170 \text{ kV}}{25,253 \text{ pF}} = 156,78 \text{ kV}$$

$$U_2 = \frac{C \cdot U}{C_2} = \frac{23,29 \text{ pF} \cdot 170 \text{ kV}}{299,488 \text{ pF}} = 13,22 \text{ kV}$$

$$U = U_1 + U_2 = 156,78 \text{ kV} + 13,22 \text{ kV} = 170 \text{ kV} \checkmark$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

c) Tabakalardaki maksimum ve minimum elektrik alan şiddetleri:

$$E_{1\max} = \frac{U_1}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{156,78 \text{ kV}}{0,8 \cdot \ln(3/0,8)} = 148,269 \text{ kV/cm}$$

$$E_{1\min} = \frac{U_1}{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{156,78 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(3/0,8)} = 39,538 \text{ kV/cm}$$

$$E_{2\max} = \frac{U_2}{r_2 \cdot \ln(r_3/r_2)} = \frac{13,22 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(5/3)} = 8,626 \text{ kV/cm}$$

$$E_{2\min} = \frac{U_2}{r_3 \cdot \ln(r_3/r_2)} = \frac{13,22 \text{ kV}}{5 \cdot \ln(5/3)} = 5,176 \text{ kV/cm}$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

b) Tabakaların delinme dayanımları

$E_{d1} = 30 \text{ kV/cm}$, $E_{d2} = 110 \text{ kV/cm}$ olduğuna göre

$E_{1\max} = 148,269 \text{ kV/cm} > E_{d1} = 30 \text{ kV/cm}$ → 1. tabaka delinir. ⚡

$E_{2\max} = 8,626 \text{ kV/cm} < E_{d3} = 110 \text{ kV/cm}$ → 2. tabaka dayanır. ✓

Birinci tabaka delindikten sonra tüm gerilim, kalan ikinci tabakaya uygulanır. Bu durumda 2. tabakadaki maksimum zorlanma:

$$E'_{2\max} = \frac{U}{r_2 \cdot \ln(R/r_2)} = \frac{170 \text{ kV}}{3 \cdot \ln(5/3)} = 110,931 \text{ kV/cm} > E_{d2} = 110 \text{ kV/cm}$$

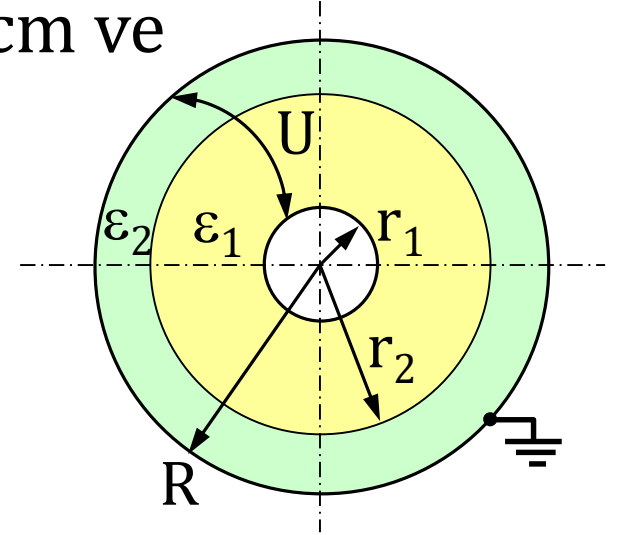
olur. Böylece hem 2. tabaka da delinir hem de tüm sistem delinir. ⚡

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Çalışma Soruları

1. Bağıl dielektrik sabitleri $\epsilon_{r1} = 1$ ve $\epsilon_{r2} = 6$ olan, uzunlukları eşit iki farklı yalıtkan tabakadan oluşan 36 kV'luk bir geçit izolatöründe iç iletken çapı 2 cm ve dış iletken (flanş) çapı 18 cm'dir.
 - a) Birinci tabakada (hava, $E_{d1} = 30$ kV/cm) herhangi bir boşalma olayı olmayacak şekilde maksimum hava tabakası kalınlığını bulunuz.
 - b) Bu durumda tabakalara düşen gerilimleri ve maksimum ve minimum alan şiddetlerini hesaplayınız.



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

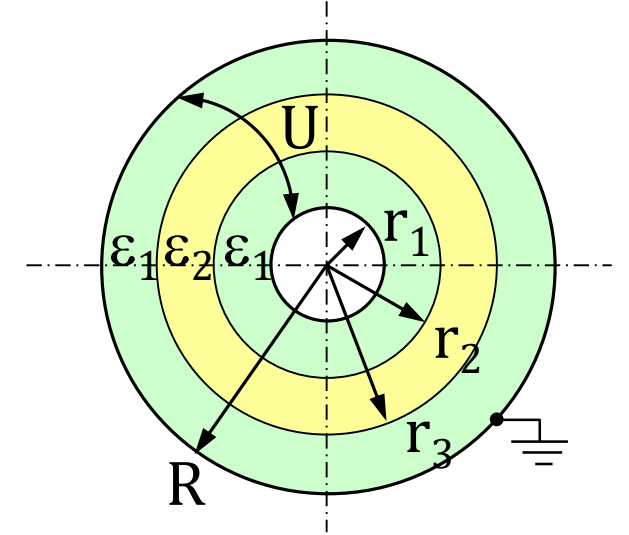
ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ



Çalışma Soruları

2. Şekilde gösterilen üç tabakalı silindrsel elektrot sisteminde, $U = 22 \text{ kV}$, $r_1 = 2 \text{ cm}$, $r_2 = 2,4 \text{ cm}$, $r_3 = 2,6 \text{ cm}$, $R = 3,2 \text{ cm}$, $\epsilon_{r1} = 2,2$ (yağ), $\epsilon_{r2} = 4$ (sert kağıt, paravana) olmak üzere

- Tabakalara düşen gerilimleri ve tabakalardaki maksimum alan şiddetlerini hesaplayınız.
- Eğer ikinci tabaka (paravana) kullanılmamış olsaydı yağ içindeki maksimum elektrik alan şiddeti ne oranda değişirdi? Hesaplayınız.
- Sistem elektrik alan bakımından düzgün zorlanıyor mu? Açıklayınız.



TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

ÇOK TABAKALI SİLİNDİRSEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

Çalışma Soruları



3. Tabakalarının bağıl dielektrik sabitleri $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = \epsilon_{r3} = 4$ olan üç tabakalı eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde, $r_1 = 2,5 \text{ cm}$, $r_2 = 3,25 \text{ cm}$, $r_3 = 4 \text{ cm}$, $R = 4,75 \text{ cm}$, $l_3 = 20 \text{ cm}$ olduğuna göre, elektrik alanının düzgün olması koşulundan yararlanarak
- a) Tabakaların uzunluklarını,
 - b) Tabakaların kapasitelerini ve eşdeğer kapasiteyi
 - c) $U = 200 \text{ kV}$ olarak tabakalardaki gerilimleri ve maksimum alan şiddetlerini hesaplayınız.