KSU → ahmet sarıdoğan ...
Özcan Kalenderli
Enerji Böl

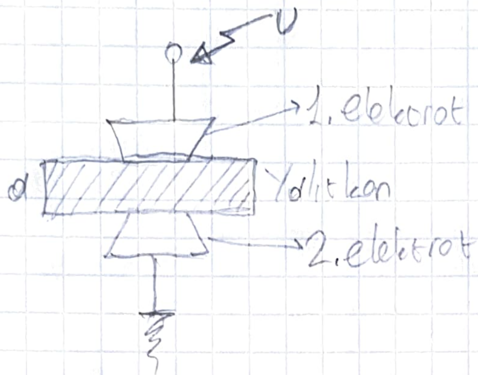
YGT

AC → 1200V
DC → 1000V

Mikro Şebeke

Yüksek Gerilimin Avantajı ve Dezavantajı
↳ Yalıtım İzolasyon

Statik Elektrik Alan



Atlama olabilir. Delinme olabilir. (U_d)

U_d → 1. elektrottan 2. elektroda boşalmaya başladığı gerilim.

Emniyet gerilimi

$$e = \frac{U_d}{U_n}$$

U_d: delinme gerilim
U_n: nominal şebeke

$e > 1$ ohalı
$e < 1$ emniyet az

Delinmeden Sonra;
Katı → sonradan kullanılmaz
Sıvı, Gaz > kalitesi düşer

Delinme Dayanımı

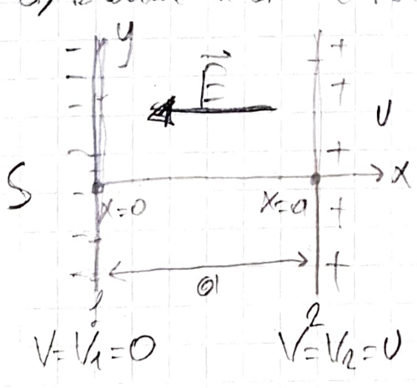
$$E_d = \frac{U_d}{d} \quad (kV/cm)$$

$$E = E_{max} \geq E_d$$

TEMEL ELEKTROT SİSTEMLERİ

1) Düzlemsel Elektrot Sistemi

a) Elektrik Alan ve Potansiyel



S: Alan
U: potansiyel

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2}$$

$$\boxed{\frac{d^2V}{dx^2} = 0}$$

Laplacian

$\vec{E} = -\nabla V$ (Vek)

$E = -\frac{dV}{dx}$ (Ska)

Genel Çözüm

$V = A + Bx$, $x=0$ $V=0$

$0 = A + 0x$

$A = 0$

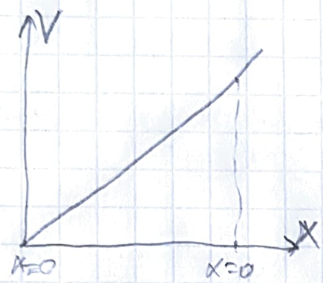
$V = A + Bx$, $x=d$ $V=U$

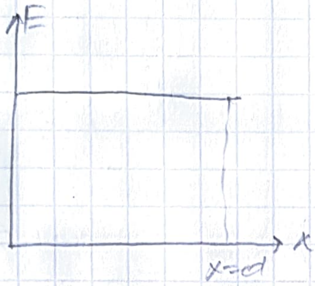
$V = 0 + B.d$

$B = U/d$

$$V = \frac{U}{d}x$$

$$E = -\frac{dV}{dx} = -\frac{U}{d} \rightarrow \text{sbt}$$





$$\oint \vec{D}\, d\vec{s} = Q$$

1 $DS = Q \longrightarrow$ Her noktada aynı ise!

2 $\vec{D} = \varepsilon . \vec{E}$

$\varepsilon \rightarrow \varepsilon_0 . \varepsilon_r$

$$\vec{E} = \frac{Q}{S\varepsilon} \quad (1 \text{ ve } 2)$$

$$V = -\int_1^2 \vec{E}\, d\vec{s}$$

Her noktada E aynı olduğundan boşluktaki alan sadece d dir

$$\boxed{E = \frac{-U}{d}}$$

$V = -\int \vec{E}\, dx + K$ $\quad$ $x=0$, $V=0$ $> K=0$

$V = -Ex$

$$\boxed{V = +\frac{U}{d}x}$$

b) Sistemin Kapasitesi

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon S \rightarrow m^2}{d \rightarrow m}$$

$\varepsilon_0 = 8{,}86 \times 10^{-12}$ F/m

$\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r$

$\varepsilon_{r_{Hava}} = 1$

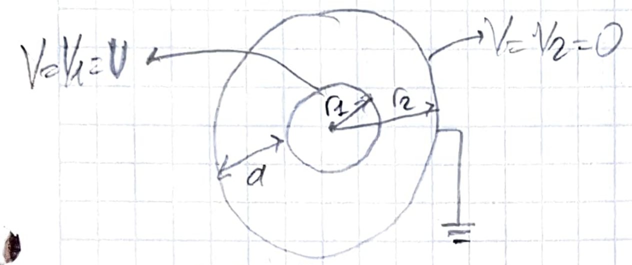
c) Sistemin Delinme (Zorlanma) Bazında incelemesi

$E \geq E_d$

$E_d = \frac{U_d}{a}$

② Küresel Elektrot Sistemi

a) Elektriksel Alan ve Potansiyel



$d = r_2 - r_1$

- $\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{dV}{dr} = 0$ (Laplace)
- $E = \frac{-dV}{dr}$

$V = A + \frac{1}{r}B$

$r = r_1 \quad V = V_1 = U$

$r = r_2 \quad V = V_2 = 0$

$A = -U\frac{r_1}{r_2 - r_1}$

$B = U\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$

$$\boxed{V = U\frac{r_1}{(r_2 - r_1)}\left(\frac{r_2}{r} - 1\right)}$$

$$\boxed{E = U\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}\frac{1}{r^2}}$$

II $\oint \vec{D}\, d\vec{s} = Q$

$DS = Q \qquad S: 4\pi r^2$

$D 4\pi r^2 = Q$

$D = \frac{Q}{4\pi r^2}$

$\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$

$\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\varepsilon} = \frac{Q/4\pi r^2}{\varepsilon}$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\frac{1}{r^2}}$$

$$V = \int_{r_1}^{r_2} \vec{E}\,dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2}$$

$$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\frac{Q}{4\pi\varepsilon} = V \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}$$

$$\boxed{E = V \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \frac{1}{r^2}} \ *$$

$$V = -\int \vec{E}\,dr + K$$

$$V = V \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \cdot \frac{1}{r} + K$$

$$0 = V \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \frac{1}{r_2} + K \qquad r = r_2 \quad V = 0$$

$$K = \frac{-r_1}{r_2 - r_1} V$$

$$V = V \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \cdot \frac{1}{r} - \frac{r_1}{r_2 - r_1} V$$

$$\boxed{V = V \frac{r_1}{r_2 - r_1}\left(\frac{r_2}{r} - 1\right)}$$

$r = r_1$ $\qquad E_{max} = V \dfrac{r_2 \cdot r_1}{r_2 - r_1} \dfrac{1}{r_1^2}$

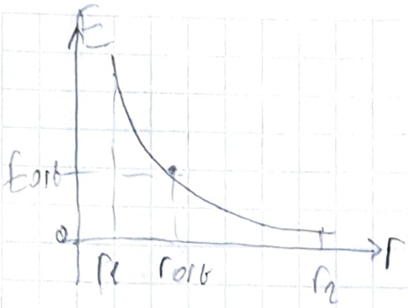
$$E_{max} = V \frac{r_2}{r_1} \frac{1}{r_2 - r_1}$$

$r = r_2$ $\qquad E_{min} = V \dfrac{r_1}{r_2} \dfrac{1}{r_2 - r_1}$

$$\boxed{E_{ort} = \frac{V}{r_2 - r_1}}$$

$$E = \frac{V \cdot r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \cdot \frac{1}{(r_{ort})^2} = \frac{V}{r_2 - r_1}$$

$$r_{ort} = \sqrt{r_1 \cdot r_2}$$



b) Sistem Kapasitesi

$$C = \frac{Q}{U} = 4\pi\varepsilon \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2} \quad (F)$$

$$\varepsilon_0 = 8{,}86 \times 10^{-12} \; (F/m)$$

c) Bazı Tanımlar

- Gerçek Açıklık (a) $\quad a = r_2 - r_1$
- Eşdeğer Açıklık (α) $\quad \alpha = \dfrac{U}{E_{max}} = \dfrac{r_1}{r_2}(r_2 - r_1)$
- Geometrik Karakteristik $\quad p = \dfrac{r_1 + a}{r_1}$

$$q = \frac{r_2}{r_1}$$

- Faydalanma Faktörü $\quad \eta = \dfrac{\alpha}{a} = \dfrac{E_{ort}}{E_{max}} \qquad \eta = \dfrac{1}{q} = \dfrac{1}{p}$

$$U = E_{max} \cdot \alpha = E_{max} \cdot \eta \cdot a$$

- Düzgünsüzlük Derecesi $\quad \dfrac{1}{\eta} = p$

d) Sistemin En Elverişli Düzeni ve Delinme Bakımında İncelenmesi

$$E_{max} = U \frac{r_2}{r_1} \frac{1}{r_2 - r_1}$$

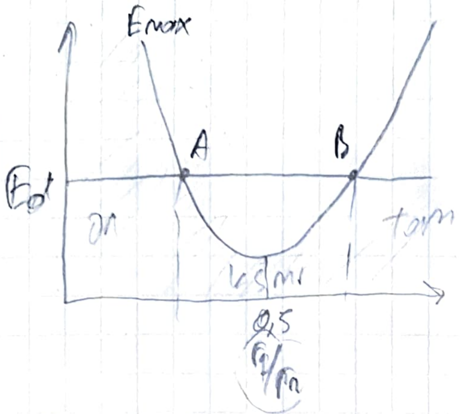
$$\frac{dE_{max}}{dr_1} = 0 \implies \frac{-(r_2 - 2r_1) r_2 \cdot U}{(r_1 r_2 - r_1^2)} = 0$$

$\dfrac{dE_{max}}{dr_1} = 0$ minimum
değer r_1/r_2 oran.

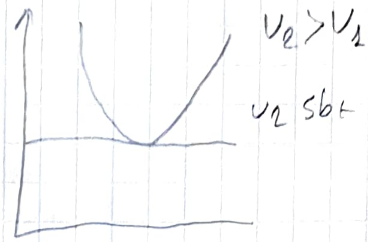
$$r_1 = r_2/2$$

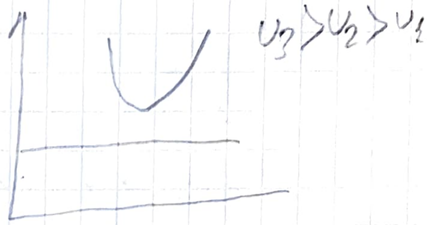
$$(E_{max})_{min} = \frac{U \cdot r_2}{r_2/2} \cdot \frac{1}{r_2 - (r_2/2)} = \frac{2U}{r_1} = \frac{4U}{r_2} = \frac{2U}{a} = 2E_{ort}$$

$P_d = \frac{r_1+d}{r_1} = \frac{r_2}{r_1} = 2$ $\qquad \eta = \frac{1}{P_d} = 0,5$



U sbt
r_2 sbt
r_1 değişk





$E_{max} \geq E_d$

NOT

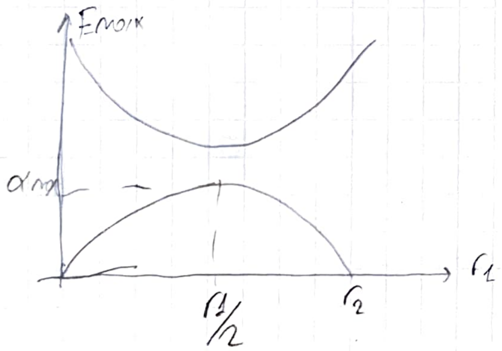
$U = E_{max}\,\alpha$

$U_{max} = E_{max}\,\alpha_{max}$

$\alpha = \frac{r_1}{r_2}(r_2 - r_1)$

$\frac{d\alpha}{dr_1} = 0 \Rightarrow 1 - \frac{2r_1}{r_2} = 0$

$r_1 = \frac{r_2}{2} \qquad \alpha_{max} = \frac{r_2}{4} = \frac{r_1}{2} = \frac{d}{2}$



• İç Küre Yarıçapı Sabit Durumu

r_1 sbt, U sbt R_2 değişken

$E_{max} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{U}{r_2 - r_1} \Rightarrow \frac{p\,U}{r_2 - r_1} \Rightarrow \frac{p}{p-1} \cdot E_{max\infty}$

$E_{max\infty} = \frac{U}{r_1}$

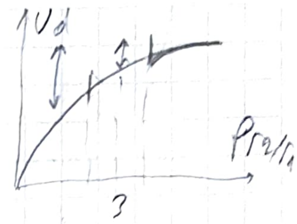
$p = r_2/r_1 \longrightarrow \infty$ değeri için $E_{max\infty}$

$U = E_{max}\frac{r_1}{r_2}(r_2 - r_1) = E_{max}\, r_1\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right)$

$\delta \rightarrow$ delinme

$E_{max} = E_d$ $\qquad$ $U_{d\infty} = E_d r_1$

$U_d = E_d r_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{p}\right) = \frac{p-1}{p} U_{d\infty}$



• Küresel Sistemin Ekonomik İncelenmesi

$G = \frac{4}{3} \pi \gamma (r_2^3 - r_1^3)$

$p = r_2/r_1$

$G = \frac{4}{3} \pi \gamma r_1^3 (p^3 - 1)$

$U = E_{max} (r_2 - r_1) \frac{r_1}{r_2} = E_{max} r_1 \frac{p-1}{p}$

$r_1 = \frac{U}{E_{max}} \frac{p}{p-1} = \alpha \frac{p}{p-1}$

$G = \frac{4}{3} \pi \gamma \alpha^3 \frac{p^3}{(p-1)^3} (p^3 - 1)$

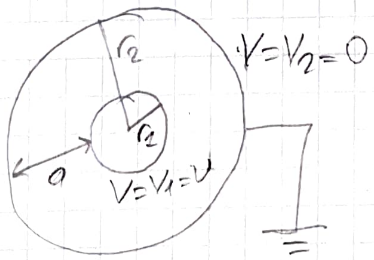
γ: özgül

$\frac{\partial G}{\partial p} = 0$ $\qquad$ $\boxed{p_e \cong 1{,}8 \mid p_d = 2}$

③ Silindirik Elektrot Sistemi

A) Eş Eksenli Silindirik Elektrot Sistemi

a) Elan Potansi



Laplacien Denklemi

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} = 0$$

$$E = -\frac{dV}{dr} \qquad \frac{dE}{dr} = -\frac{d^2V}{dr^2}$$

$$\frac{dE}{dr} + \frac{1}{r} E = 0$$

$$\frac{dE}{E} = -\frac{dr}{r}$$

$$V = A + B\ln r$$

$$A = \frac{U}{\ln\frac{r_2}{r_1}}\ln r_2 \qquad B = -\frac{U}{\ln\frac{r_2}{r_1}}$$

$$\boxed{V = \frac{U}{\ln r_2/r_1}\cdot(\ln r_2 - \ln r)}$$

$$\boxed{E = -\frac{dv}{dr} = \frac{U}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}\frac{1}{r}}$$

$E_{max} \rightarrow r = r_1$

$E_{min} \rightarrow r = r_2$

$$E_{ort} = \frac{U}{r_2 - r_1} = \frac{1}{r_{ort}}\frac{U}{\ln(r_2/r_1)}$$

$$r_{ort} = \frac{r_2 - r_1}{\ln(r_2/r_1)}$$

b) Sistem Kapasitesi

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln(r_2/r_1)}$$

$$d = r_2 - r_1$$

$$\alpha = \frac{U}{E_{max}} = r_1 \ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$p = \frac{r_1 + d}{r_1} = \frac{r_2}{r_1} = \alpha$$

$$\eta = \frac{\alpha}{d} = \frac{r_1\ln(r_2/r_1)}{r_2 - r_1} = \frac{\ln p}{p-1}$$

c) Sistemin Delinme Bakımından İncelenmesi

\# Dış yarıçap sabit

r_2 sabit U sabit E_{max}'ın r_1'e göre değişimi

$$E_{max} = \frac{U}{r_1\ln\frac{r_2}{r_1}} \qquad \frac{dE_{max}}{dr_1} = 0$$

$$\ln\frac{r_2}{r_1} = 1 \qquad \frac{r_2}{r_1} = e = 2,718$$

$$r_1 = \frac{r_2}{e}$$

$$(E_{max})_{min} = \frac{U}{r_1} = \frac{U}{r_2}\cdot e$$

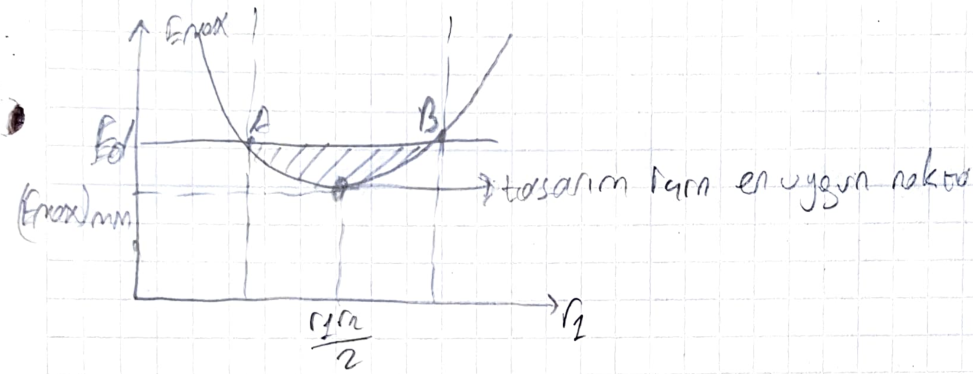
$$P_d = \frac{r_1+d}{r_1} = \frac{r_2}{r_1} = e = 2{,}718$$

$$\eta_d = \frac{\alpha_{max}}{\alpha} = \frac{r_1}{r_2-r_1} = \frac{1}{e-1} = 0{,}583$$

$$\alpha = r_1 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

$$\frac{d\alpha}{dr_1} = 0$$

$\alpha_{max} = r_1$ elde edilir



$$U_d = E_d \alpha$$

$$U_{dmax} = E_d \alpha_{max} \rightarrow r_1$$

$$U_{dmax} = E_d . r_1$$

d) Sistemin Ekonomik İncelemesi

$$G = \pi \gamma (r_2^2 - r_1^2)$$

$$= \pi \gamma r_1^2 (p^2 - 1)$$

$$v = E_d r_1 \ln p \Rightarrow r_1 = \frac{v}{E_d \ln p}$$

$$G = \pi \gamma \left(\frac{v}{E_d}\right)^2 \cdot \frac{p^2-1}{(\ln p)^2}$$

Sabit

$$G = K \frac{p^2-1}{(\ln p)^2}$$

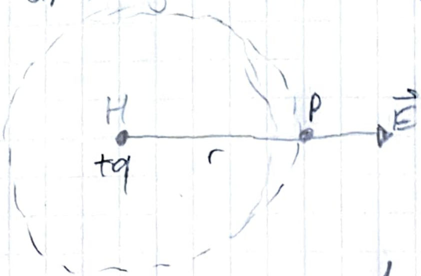
$$\frac{dG}{dp} = 0 \Rightarrow p^2 \ln p - p^2 + 1 = 0$$

$$p \cong p_e \cong \frac{r_2}{r_1} = 2{,}219$$

$$\boxed{\frac{P_e}{P_d} = 0{,}82}$$

B) Paralel Eksenli Silindirik Elektrot Sistemi

a) Çizgisel Yük Kaynağı Alanı

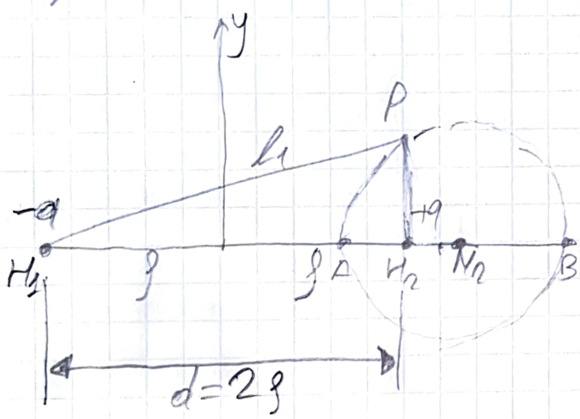


$$E_p = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \cdot \frac{1}{r}$$

$$V = -\int E\,dr + K = \frac{-q}{2\pi\varepsilon} \int \frac{dr}{r} + K$$

$$V = -\frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln r + K$$

b) Paralel Çizgisel İki Yük Kaynağı



N_2: Merkez

$$V = -\frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln r + K$$

$$V_1 = \frac{-(-q)}{2\pi\varepsilon} \ln l_1 + K_1$$

$$V_2 = \frac{-(+q)}{2\pi\varepsilon} \ln l_2 + K_2$$

$$V_p = V_1 + V_2$$

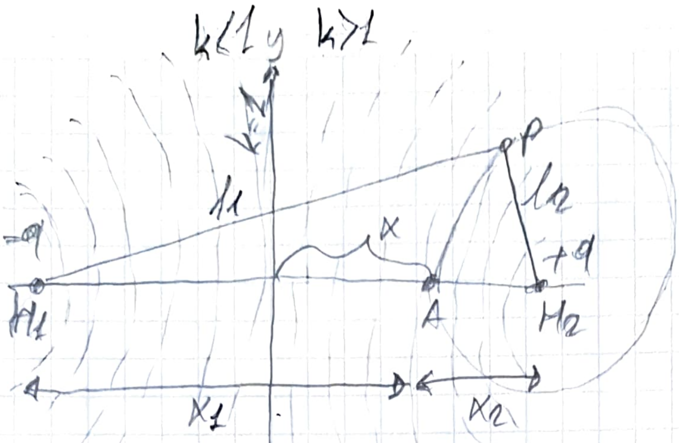
$$V_p = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{l_1}{l_2} + K$$

$l_1 = l_2 \Rightarrow V = 0$ (simetri ekseni)

$K = 0$

$$V_p = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{l_1}{l_2}\right)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \text{sbt} = k$$



$\overline{AH_2} = x_2$
$\overline{AH_1} = x_1$

$x_1 = \rho + x \qquad x_2 = \rho - x$

$$V_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{x_1}{x_2}$$

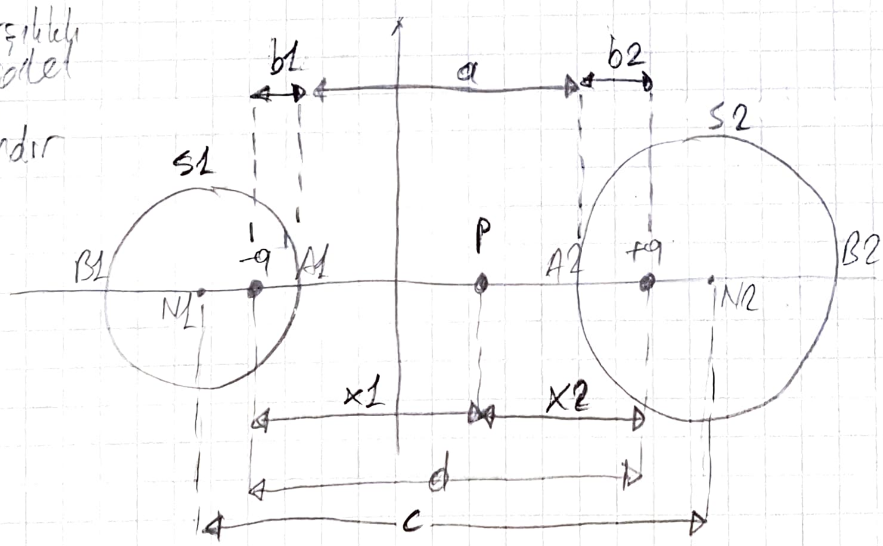
$$E_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} \right)$$

$$x_1 = \rho + x \quad ; \quad x_2 = \rho - x$$

$$V_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln \left(\frac{\rho + x}{\rho - x} \right)$$

$$E_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \frac{2\rho}{\rho^2 - x^2}$$

- Karşılıklı Paralel İki Silindir



$$(1)\quad \frac{\overline{A_1H_1}}{\overline{A_1H_2}} = \frac{\overline{B_1H_1}}{\overline{B_1H_2}} = \frac{2r_1 - b_1}{2r_1 + a + b_2}$$

$$(2)\quad \frac{\overline{A_2H_2}}{\overline{A_2H_1}} = \frac{\overline{B_2H_2}}{\overline{B_2H_1}} = \frac{2r_2 - b_2}{2r_2 + a + b_1}$$

$$a = c - (r_1 + r_2) = d - (b_1 + b_2) \quad (3)$$

(1), (2) ve (3)

$$\boxed{d = \frac{1}{c}\sqrt{m} = 2\rho}$$

$$b_1 = \frac{2r_1 c - (r_1^2 - r_2^2) - c^2 + \sqrt{m}}{2c} \qquad m = (c^2 - r_1^2 - r_2^2)^2 - 4 r_1^2 r_2^2$$

$$b_2 = \frac{2r_2 c - (r_2^2 - r_1^2) - c^2 + \sqrt{m}}{2c}$$

max E her zaman eğrilik yarı çapında

$$V_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)$$

$$V_1 = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{b_1}{d + b_2}\right)$$

$$V_2 = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d + b_1}{b_2}\right)$$

$$U = V_2 - V_1$$

$$\boxed{U = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d+b_1}{b_2} \cdot \frac{d+b_2}{b_1}\right)}$$

$$① \quad U = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \underbrace{\ln\left[\frac{c^2 - (r_1 - r_2)^2 + \sqrt{m}}{c^2 - (r_1 - r_2)^2 - \sqrt{m}}\right]}_{k}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{2\pi\varepsilon}{k}$$

$$② \quad E_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}\right) = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{\rho + x} + \frac{1}{\rho - x}\right) = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\,\frac{2\rho}{\rho^2 - x^2}$$

$$③ \quad E_A = \frac{U}{\ln\left[\frac{c^2 - (r_1 - r_2)^2 + \sqrt{m}}{c^2 - (r_1 - r_2)^2 - \sqrt{m}}\right]} \cdot \frac{2\rho}{\rho^2 - x^2} \qquad \boxed{1 + 2 = 3}$$

$X = \rho - b_1$ noktasında max E oluşuyor

$$E_A = \frac{U}{k}\,\frac{2\rho}{2\rho b_1 - b_1^2} \qquad 2\rho = \frac{1}{c}\sqrt{m} \text{ koy}$$

$$E_A = \frac{U}{k}\,\frac{\frac{1}{c}\sqrt{m}}{\frac{\sqrt{m}}{c} b_1 - b_1^2}$$

$$E_A = \frac{\left[\frac{r_1^2 - r_2^2 + c^2 + 2r_1c}{r_1^2 - r_2^2 + c^2 - 2r_1c}\right]^{1/2}}{r_1 \ln\left(\frac{c^2-(r_1-r_2)^2+\sqrt{m}}{c^2-(r_1-r_2)^2-\sqrt{m}}\right)} \cdot V$$

// bu değişkenin kendisi yazıldı

$$p = \frac{r_1+d}{r_1} \quad , \quad q = \frac{r_2}{r_1}$$

$$V = E_{max} * r_1 * \left[\ln\left[\frac{(p+q)^2-(1-q)^2+\sqrt{(q^2+1-(p+q)^2)^2-4q^2}}{(p+q)^2-(1-q)^2-\sqrt{(q^2+1-(p+q)^2)^2-4q^2}}\right]\right] * \left[\frac{1-q^2+(p+q)^2+2(p+q)}{1-q^2+(p+q)^2-2(p+q)}\right]^{-1/2}$$

$$V = E_{max} \cdot \alpha$$

$$\eta = \frac{\alpha}{d}$$

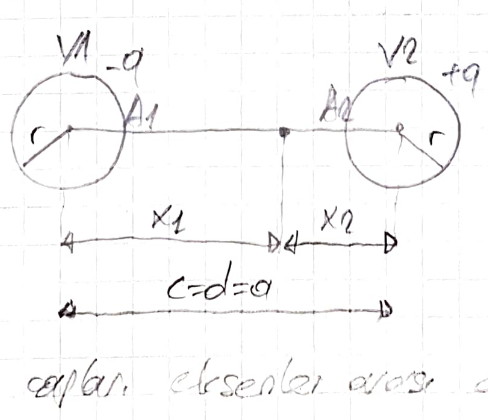
$$\eta = \frac{1}{p-1} * \left[\ln\left[(p+q)^2 \quad \ldots\right.\right.$$

Not: $p = \frac{r_1+d}{r_1}$

$p = 1 + \frac{d}{r_1}$

$\frac{r_1}{d} = \frac{1}{p-1}$ $\quad \eta = \frac{r_1}{d} \cdot k$

- Paralel İki İletken



Silindirin yarı çapları eksenleri arası uzaklığa göre çok küçükse,

$$V_1 = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{r}{d-r}\right) \cong \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{r}{d}\right)$$

$$V_2 = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d-r}{r}\right) \cong \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

$$U = V_2 - V_1$$

$$U = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d}{r}\right)^2$$

$$= \frac{q}{\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

$$E_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}\right)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 = d - r \\ x_2 = r \end{bmatrix} \Rightarrow E_{max} \quad (A_2 \text{ noktasındaki})$$

$$E_{max} = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{d-r} + \frac{1}{r}\right) \cong \frac{q}{2\pi\varepsilon} \cdot \frac{1}{r}$$

$$U = \frac{2q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d}{r}\right) \Rightarrow \frac{q}{2\pi\varepsilon} = \frac{U}{2\ln\left(\frac{d}{r}\right)}$$

$$\boxed{E_{max} = \frac{U}{2r\ln\left(\frac{d}{r}\right)}}$$

$$U = E_{max} \cdot 2r \ln\left(\frac{d}{r}\right) \qquad // \ \frac{U}{E_{max}} = \alpha$$

$$// \ p = \frac{r+a}{r} \cong \frac{d}{r}$$

$$\boxed{\alpha = 2r\ln(p)}$$

$$\eta = \frac{\alpha}{a} = \frac{2r\ln p}{a+r-r} = \frac{2\ln p}{\frac{a+r}{r} - 1} = \boxed{\frac{2\ln p}{p-1}}$$

- Bazı Elektrot sistemlerinde max E alanının yaklaşık olarak hesabı

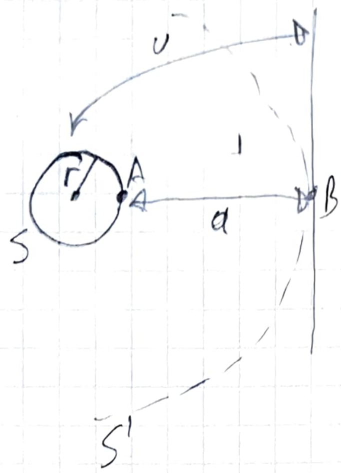
Ele alınan elektrot sisteminin basit elektrot sistemine dönüştürülmesine aşağıdaki 3 ilke göz önünde tutulur.

1) Söz konusu elektrot sistemlerinde max alan şiddetinin bulunduğu nokta genel olarak iki elektrot arasında en dar bölgededir.

2) Max alan şiddeti yarıçapı küçük olan elektrot üzerindedir.

3) Max alan şiddeti karşı elektrodun yarıçapına az bağlıdır. Bu bağlılık elektrotlar arası açıklık büyüdükçe azalır.

- Küre-Düzlem Elektrot Sistemi



$k = 0{,}88 \sim 0{,}97$

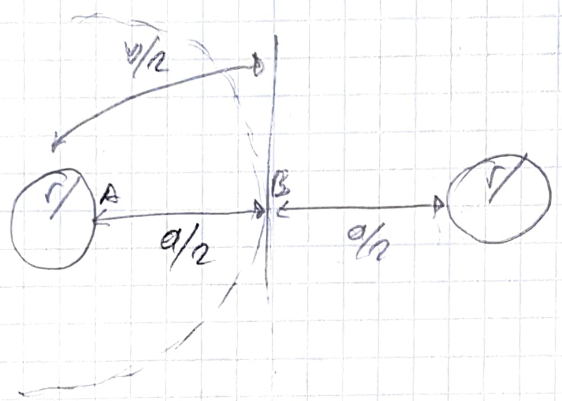
$$E_{max} = \frac{U}{a}\left(\frac{r+a}{r}\right)$$

$$\eta = \frac{r}{r+a} = \frac{1}{p} = \frac{r_1}{r_2}$$

$$E'_{max} = k\frac{U}{a}\,\frac{r+a}{r}$$

$$\eta' = \frac{1}{k}\,\frac{r}{r+a}$$

- Küre-Küre Elektrot Sistemi

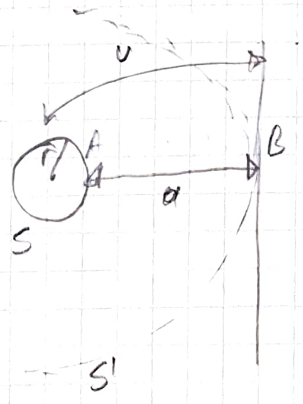


$$E_{max} = \frac{kU}{a}\,\frac{r+a/2}{r}$$

$k \cong 0{,}9$

$$\eta = \frac{r}{r+a}$$

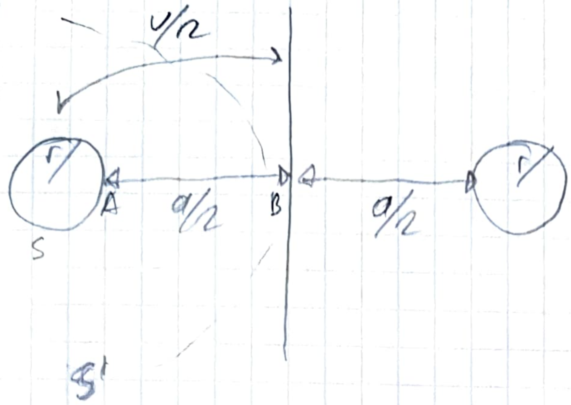
- Silindir-Düzlem Elektrot Sistemi



$$E_{max} = \frac{U}{r_1 \ln(r_2/r_1)}$$

$$E'_{max} = k\frac{U}{r\ln\left(\frac{r+a}{r}\right)}$$

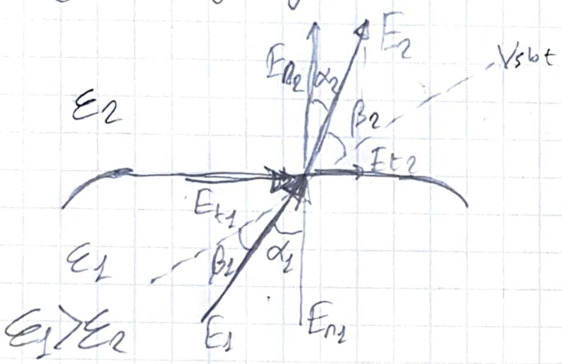
• Silindir-Silindir Elektrot Sistemi



$$E_{max} = k \frac{U}{2r \ln\left(\frac{r + a/2}{r}\right)}$$

Tabakalı Elektrot Sistemleri

① Sınır yüzeyde Kırılma



• $E_{t1} = E_{t2}$

• $\frac{E_{n1}}{E_{n2}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ $\quad \# D_{n1} = D_{n2}$

• $E_{t1} = E_1 . \sin\alpha_1$
$E_{t2} = E_2 . \sin\alpha_2$

• $\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{E_1}{E_2}$

• $E_2 = \sqrt{E_{t2}^2 + E_{n2}^2}$

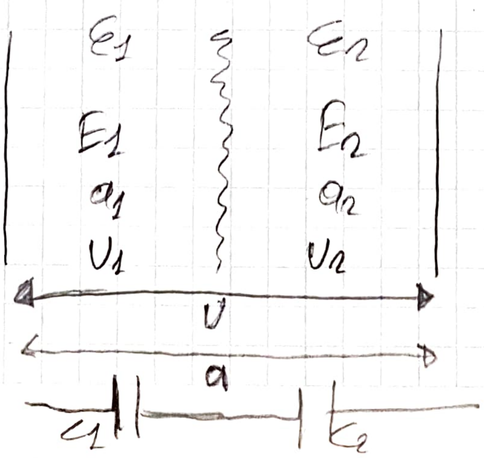
$E_2 = \sqrt{E_{t1}^2 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)^2 E_{n1}^2}$

$E_2 = E_1 \sqrt{\sin^2\alpha_1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)^2 \cos^2\alpha_1}$

② Tabakalı Düzlemsel Elektrot Sistemi

Ⓐ 2 tabakalı Sistem

ⓐ Seri Sistem



$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} \quad ; C_1 = \frac{\varepsilon_1}{d_1} S \quad , C_2 = \frac{\varepsilon_2}{d_2} S$$

$$C = \frac{S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}}$$

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$Q = C.U = C_1 U_1 = C_2 U_2$$

$$U_1 = \frac{C}{C_1} . U = \frac{d_1}{\varepsilon_1} \frac{U}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}} = \frac{d_1}{d_1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_2} U$$

$$U_2 = \frac{C}{C_2} U = \frac{d_2}{\varepsilon_2} \frac{U}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}} = \frac{d_2}{d_2 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} d_1} U$$

$$E_1 = \frac{U_1}{d_1} = \frac{U}{d_1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_2}$$

$$E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U}{d_2 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} d_1}$$

*** Özel Durumlar**

- $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 \qquad d_1 << d_2 \cong d$

$$E_1 = \frac{U}{\cancel{d_1} + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_2} = \frac{U}{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cancel{d_2}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \frac{U}{d} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} E$$

ihmal   d

$$E_2 = \frac{U}{d} = E$$

• $\varepsilon_1 \ll \varepsilon_2$: $\quad d_2 \ll d_1 = d$

$$E_1 = \frac{U}{d_1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_2} = \frac{U}{d} = E$$

$$E_2 = \frac{U}{d_2 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} d_1} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\frac{U}{d} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E$$

Uygulamada çok önemli yoktur çünkü katının elektrik alanı küçülmektedir.

Genel olarak dielektrik katsayısı büyük olan bir yalıtkan maddenin delinme dayanımı da büyüktür.

ÖRNEK: Hava ve pertinakstan oluşan ve elektrot aralığı $d=5\,cm$ olan iki tabakalı paralel düzlemsel elektrot sisteminde yalıtkan tabakaların dielektrik katsayıları, kalınlıkları ve ortalama delinme dayanımları aşağıdaki gibi verildiğine göre ve elektrotlara $100\,kV$ uygulandığına göre

a) Tabakalardaki elektrik alan şiddetlerini ve gerilimlerini

$$\left(\begin{array}{lll} \varepsilon_1 = 1 \text{ (Hava)} & d_1 = 3\,cm & E_{d1} = 30\,kV/cm \\ \varepsilon_2 = 4 \text{ (Pertinaks)} & d_2 = 2\,cm & E_{d2} = 100\,kV/cm \end{array}\right)$$

$$E_1 = \frac{U}{d_1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_2} = 28{,}57\,kV/cm$$

$$E_2 = \frac{U}{d_2 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} d_1} = 7{,}14\,kV/cm$$

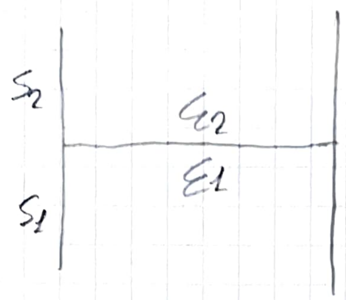
$$U_1 = E_1 . d_1 = 85{,}71\,kV$$

$$U_2 = E_2 . d_2 = 14{,}19\,kV$$

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U = \frac{d_1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{U}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}}$$

A

b) Paralel Düzen



Aybogan Özdemir
İTÜ
Okan Kalenderli

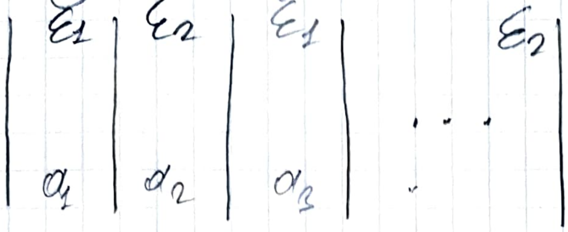
$$E_1 = E_2 = E = \frac{U}{a}$$

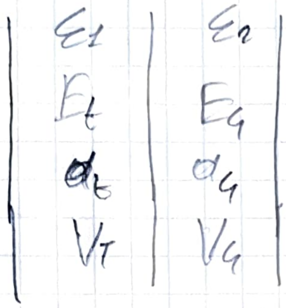
$$C = C_1 + C_2 = \frac{\varepsilon_1 S_1 + \varepsilon_2 S_2}{a}$$

Seri düzende sadece iki ortamın delinmeye karşı zorlanması söz konusu iken paralel düzende yüzeysel zorlanma da söz konusudur. Katı-Katı, Katı-Sıvı, Katı-Gaz, Sıvı-Gaz, Sıvı-Sıvı-... gibi ortamlarda yüzeysel zorlanma ve ya da yüzeysel boşalma olayları görülür.
Sadece Katı-Katı uygulamaları hava boşluğu kalmayacak şekilde yapılırsa yüzeysel zorlanma olmaz ve boşalma olayları gözlenmez. Yüzeysel boşalmalar daha küçük elektrik alanda olabilmektedirler. Örneğin; havanın delinme dayanımı 30kV/cm olmasına rağmen 10-15kV/cm elektrik alanında boşalmalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple paralel düzenler boşalma olayları bakımından en elverişsiz düzenlerdir.
Bu gibi durumlarda sistemin işletme gerilimini yükseltmek için izolatörlerdeki gibi şemsiye ve bariyerler ile yüzeysel boşalma yolu uzatılır. Elektrot başlıklarına yüzeysel şekiller verilebilir. Boş mesnet izolatörlerinin dışı şemsiyeli dış olan iç kısımları ise delinme dayanımı büyük sıvı ya da basınçlı gaz ile doldurulur. Bu sayede izolatör iç kısmında boşalma önlenmeye çalışılır.

Ⓑ Çok Tabakalı Sistem

ⓐ 2 çeşit yalıtkanlı çok tabakalı



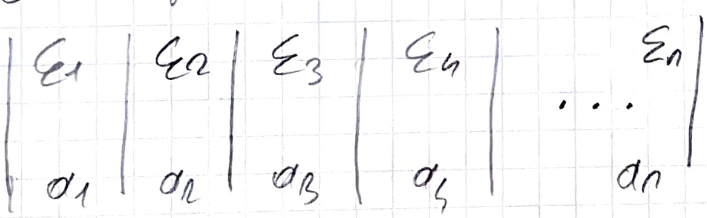


t: Tek
ç: çift

$$V_t = \frac{d_t}{d_t + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_ç} V \quad ; \quad V_ç = \frac{d_ç}{d_ç + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} d_t} V$$

$$E_t = \frac{V}{d_t + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d_ç} \quad ; \quad E_ç = \frac{V}{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} d_t + d_ç}$$

ⓑ Çok yalıtkanlı çok tabakalı



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

$$C = \frac{1}{\frac{1}{S} \sum_{k=1}^{n} \frac{d_k}{\varepsilon_k}}$$

$$Q = CU = C_1 U_1 = C_2 U_2$$

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U = \frac{d_1}{\varepsilon_1} \frac{U}{\underbrace{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \dots + \frac{d_n}{\varepsilon_n}}_{A}}$$

$$U_1 = \frac{d_1}{\varepsilon_1} \frac{U}{A}$$

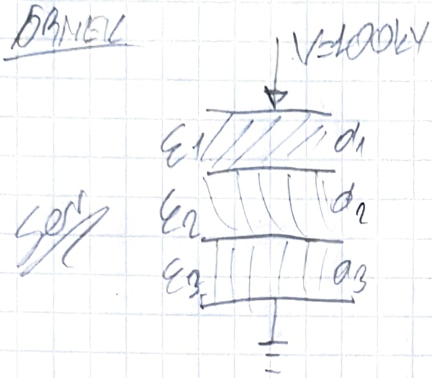
$$\vdots$$

$$\boxed{U_n = \frac{d_n}{\varepsilon_n} \frac{U}{A}}$$

$$E = U/A$$

$$E_n = \frac{U}{\varepsilon_n} \cdot \frac{1}{A}$$

ÖRNEK

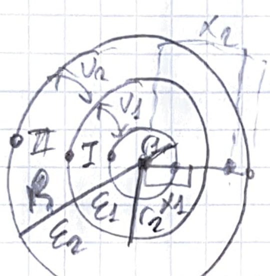


$$A = \frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \frac{d_3}{\varepsilon_3}$$

$$U_1 = \frac{d_1}{\varepsilon_1} \frac{U}{A}$$

③ Tabakalı Silindiriksel Sistemler

Ⓐ 2 tabakalı Eşeksenli Silindirik Elektrot Sisteme



$$V = U_1 + U_2$$

$$E_1 = \frac{U_1}{x_1 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} , \quad E_2 = \frac{U_2}{x_2 \ln\left(\frac{R}{r_2}\right)}$$

$r_1 \leq x_1 \leq r_2$

$r_2 \leq x_2 \leq R$

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

$$C_1 = \frac{2\pi \varepsilon_1 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$C_2 = \frac{2\pi \varepsilon_2 l}{\ln \frac{R}{r_2}}$$

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U \qquad U_2 = \frac{C}{C_2} U$$

$$C = \frac{2\pi l}{\frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R}{r_2}}$$

$$U_1 = \frac{\varepsilon_2 \ln(r_2/r_1)}{\varepsilon_1 \ln R/r_2 + \varepsilon_2 \ln r_2/r_1} \cdot U$$

$$U_2 = \frac{\varepsilon_1 \ln(R/r_2)}{\varepsilon_1 \ln R/r_2 + \varepsilon_2 \ln r_2/r_1} \cdot U$$

$$E_1 = \frac{U_1}{x_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{\varepsilon_2}{x_1 A} \cdot U$$

$$\varepsilon_1 \ln \frac{R}{r_2} + \varepsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$E_2 = \frac{U_2}{x_2 \ln R/r_2} = \frac{\varepsilon_1}{x_2 A} \cdot U$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_2 x_2}{\varepsilon_1 x_1}$$

- $x_1 = r_1 \Rightarrow E_1 = E_{1max} = \frac{\varepsilon_2}{r_1 A} U$

$x_1 = r_2 \Rightarrow E_1 = E_{1min} = \frac{\varepsilon_2}{r_2 A} \cdot U$ } I

$x_2 = r_2 \Rightarrow E_2 = E_{2max} = \frac{\varepsilon_1}{r_2 A} \cdot U$

$x_2 = R \Rightarrow E_2 = E_{2max} = \frac{\varepsilon_1}{R A} \cdot U$ } II

- $\frac{E_{1min}}{E_{2max}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$

$$\frac{E_{1max}}{E_{2max}} = \frac{\varepsilon_2 r_2}{\varepsilon_1 r_1}$$

$E_{1max} < E_{2max}$ durumu $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ olması ile sağlanır. Boşalma olayları meydana gelmesi olası bir sistemde iç silindir yüzeyi dielektrik sabiti ve delinme dayanımı ortamınkinden büyük ile kılıf ile kaplanmasıyla boşalma olaylarının önlenebileceğini gösterir.

(b) Çok tabakalı eş eksenli silindirsel sistem

$$U_i = \frac{C}{C_i} U$$

$$E_i = \frac{U_i}{x \ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)}$$

$$x = r_i \Rightarrow E_{i\,max} = \frac{U_i}{r_i \ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)}$$

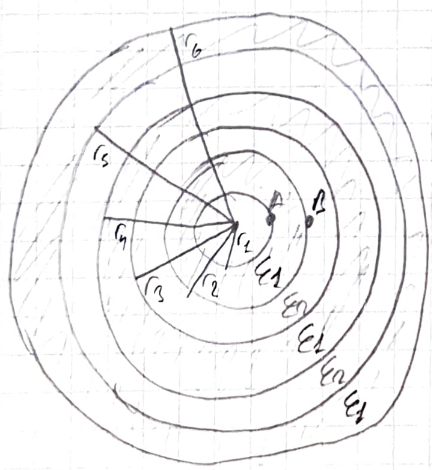
$$x = r_{i+1} \Rightarrow E_{i\,min} = \frac{U_i}{r_{i+1} \ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)}$$

$$C_i = \frac{2\pi\varepsilon_i l}{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}$$

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} = \frac{2\pi l}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)}{\varepsilon_i}} = \frac{2\pi l}{\frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R}{r_2}}$$

d) 2 tür yalıtkanlı çok tabakalı eşeksenli

Genel olarak tabakalardan biri sıvı ve ya gaz, diğeri katı tabakadan oluşur. Burada katı tabaka paravana görevi gördüğünden dolayı paravanalı sistem denir.
Uygulamada yüksek gerilim transformatörleri geçit izolatörlerinde kullanılır.



A// $$E_{1max} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{R}{r_2}}$$

B// $$E_{2max} = \frac{U_2}{r_2 \ln \frac{r_3}{r_2}}$$

$$U_2 = \frac{C}{C_2} U$$

$$C_1 = \frac{2\pi\varepsilon_1 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad C_2 = \frac{2\pi\varepsilon_2 l}{\ln \frac{r_3}{r_2}}$$

$$C_A = \frac{2\pi\varepsilon_2 l}{\ln \frac{R}{r_A}}$$

$$C=\frac{2\pi\varepsilon_1 l}{\ln\frac{r_2}{r_1}+\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\ln\frac{r_3}{r_2}+\ln\frac{r_4}{r_3}+\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\ln\frac{r_5}{r_4}+\dots+\ln\frac{R}{r_n}}$$

$$k=\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}-1\right)\left(\frac{\ln\left(\frac{r_3 r_5 r_7\dots}{r_2 r_6 r_8\dots}\right)}{\ln R/r_1}\right)$$

$$C=\frac{2\pi\varepsilon_1 l}{(1+k)\ln R/r_1}$$

$$V_2=\frac{C}{C_2}V=\frac{\varepsilon_1\ln r_3/r_2}{\varepsilon_2(1+k)\ln R/r_1}U$$

$$E_{2max}=\frac{\varepsilon_1 U}{\varepsilon_2 r_2(1+k)\ln R/r_1}$$

$$\frac{E_{2max}}{E_{1max}}=\frac{\varepsilon_1 r_1}{\varepsilon_2 r_2(1+k)}$$

$\varepsilon_1>\varepsilon_2$
$E_{2max}>E_{1max}$

Düzgün Zorlanmalı Eş Bileşenli Silindirsel Sistemler

Düzgün olmayan alanın, düzgün alana zorlanmış halidir. Elektrotlar arası gerilim dağılımını lineerleştirme yolu ile yapılır. Bu şekilde gerçekleştirilir. Kapasitelerde l sabit tutulurdu ε sabitinin r ye bağlı bir fonksiyon olarak kullanılmasını sağlar. (Düzgün zorlanmalı kablo)

l sbt $\quad \varepsilon=f(r)$

ε sabit tutularak l nin r ye bağlı fonksiyonu (geçit izolatörü)

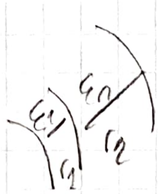
ε sbt $\quad l=f(r)$

Düzgün Zorlanmalı Kablo

$$\varepsilon=f(r)=\frac{A}{r}$$

$$\varepsilon r=A\rightarrow \text{sbt}$$

$$\varepsilon_1 r_1=\varepsilon_2 r_2=\varepsilon_3 r_3=\dots=\varepsilon_n r_n$$



Bir tabakalı Sistem – Düzgün zorlanmalı kablo Karşılaştırılması

Zorlanma ve Delinme Bakımından İnceleme

1 tabakalı $V_1 = E_{1max}\, d\, n_1$

Düzgün zorlanma $V_2 = E_{2max}\, d\, n_2$ düzgün zorlanmada $\rightarrow n_2 = 1$

$$V_1 = V_2 = U$$

$$\frac{E_{2max}}{E_{1max}} = n_1 = \ln \frac{P_1}{P_1 - 1}$$

$$0{,}582 \longrightarrow 1/e-1$$

$$E_{2max} = 0{,}582\, E_{1max}$$

$$Ud_1 = Ed_1\, d\, n_1 = Ed\, d\, n_1$$

$$Ud_2 = Ed_2\, d\, n_2 = Ed\, d\, \cancel{n_2}^{1}$$

$$\frac{Ud_1}{Ud_2} = 0{,}582 \qquad Ud_2 = 1{,}718\, Ud_1$$

Ekonomik Bakımından İnceleme

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1^2 - 1}{(1 + \ln p_1)^2 - 1} \qquad V: \text{hacim}$$

$P_1 = P_d = 2{,}718$ (1 tabakalı en elverişli sistem)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{2{,}718^2 - 1}{(1+1)^2 - 1} = 2{,}13$$

$$V_2 = 0{,}47\, V_1$$

Insulator bushing

Kondansatörlü Geçit İzolatörleri

Radyal zorlanmaya karşı boyutlandırılan geçit izolatörlerin yarıçapları yüksek gerilimlerde istenmeyecek kadar büyük değerler alırlar. Bu da aygıt boyutlarının gereksiz yere büyümesi dolayısıyla ekonomik problemlerin ortaya çıkmasına sebeb olur. Bu nedenle belirli bir işletme geriliminin üzerindeki gerilimlerde radyal yöndeki delinme dayanımları daha büyük olan, porselenli, havalı, yağlı, porselenli yağlı tiplerin; daha yüksek gerilimlerde ise kondansatörlü izolatörlerin kullanılır. Bu sayede boyut daha küçük olur.

- Radyal Zorlanma

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

$$C_i = \frac{2\pi \varepsilon_i l_i}{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}$$

$$C = \frac{2\pi}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{\varepsilon_i l_i}}$$

K. tabakadan eksenden R_x uzaklıktaki elektrik alan,

$$E_x = \frac{D_x}{\varepsilon_k} = \frac{Q}{\varepsilon_k S_x} = \frac{CU}{\varepsilon_k S_x}$$

$\to r_x$ yarıçaplı silindir yüzeyi olan,

$S_x = 2\pi r_x l_x$

$$E_x = \frac{U}{\varepsilon_k l_k r_x \overbrace{\sum_{i=1}^{n} \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{\varepsilon_i l_i}}^{A}} = \frac{A}{\varepsilon_k l_k r_x}$$

$r_x = r_1 \longrightarrow E_{1max}$

$r_x = r_2 \longrightarrow E_{2max}$

$\vdots \qquad\qquad \vdots$

$r_x = r_n \longrightarrow E_{n max}$

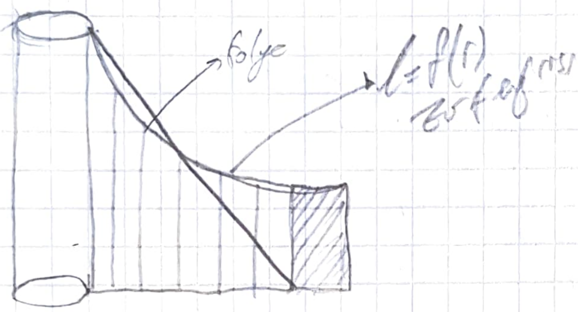
Flange

$\varepsilon_{1max} = \varepsilon_{2max} = \varepsilon_{3max} = \ldots = \varepsilon_{nmax}$

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

Radyal yönde düzgün zorlamalı bir sistemde eksende bulunan merkez ile flange arasındaki tüm alanın kısmi kondansatörlerden geçtiği kabul edilirse merkez ile flange yarıçapları arası ilişki $k = r_1 l_1 = r_F \cdot l_F$

• Eksenel Zorlanma



$V = E_r (r_F - r)$

$U = E_r (r_F - r_1)$

$$V = U \frac{r_F - r}{r_F - r_1} = f(r)$$

$l = f(r)$ eğrisi ile $V = f(r)$ potansiyel eğrisi birbirine uygunsa eksenel zorlamanın sabit bir değeri olurdu.
$l = f(r)$ hiperbolik olduğundan;

$$E_l = \frac{dV}{dl} = \frac{\partial V}{\partial r} \cdot \frac{\partial r}{\partial l}$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = -\frac{U}{r_F - r_1}$$

$$\frac{\partial l}{\partial r} = -\frac{r_1 l_1}{r^2} \Longrightarrow \frac{\partial r}{\partial l} = -\frac{r^2}{r_1 l_1}$$

$$E_l = \frac{U}{(r_F - r_1) r_1 l_1} \cdot r^2$$ → radyal yönde düzgün zorlanan bir kondansatörlü geçit izolatörün yüzeydeki eksenel zorlanması

$r=r_F$ olduğunda en büyük zorlanma olur. Boşalmaların flange da başlamasının en büyük sebebi budur. Eksenel zorlanmanında önemli olmasının sebeblerinden biri

l'yi uzun seçerek bu zorlanma azaltıla bilir. Ancak uygulamada tercih edilmez. Daha çok düzgün eksenel zorlanma yoluna gidilir.

Folyo uzunluklarını $V=f(r)$ yi sağlayacak şekilde yapılırsa düzgün bir eksenel zorlanma elde edilir. Ancak radyal düzgün zorlanma bozulur.

$$E_r=\frac{V}{2}\cdot\frac{l_1+l_F}{\ln\frac{r_F}{r_1}}\frac{1}{rl} \longrightarrow \text{Eksen düzgün zorlama radyal ifade}$$

Uygulamada genellikle flange ve iletken civarında meydana gelecek en büyük zorlanmalar eşit yapılmaya çalışılır.

$$E_{r_{max}}=\frac{V}{2}\frac{l_1+l_F}{\ln\frac{r_F}{r_1}}\frac{1}{r_F l_F}$$

$$r_1 l_1=r_F l_F$$

$$\frac{r_F}{r_1}=\frac{l_1}{l_F}=p$$

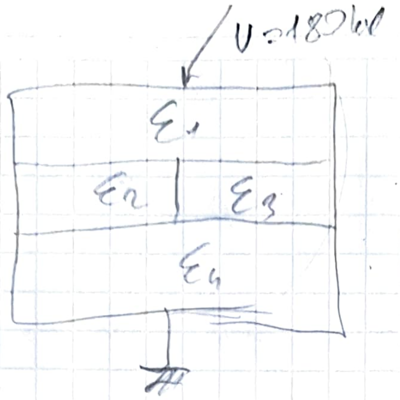
$$E_{r_{max}}=\frac{V}{2r_F}\frac{p+1}{\ln p}$$

$$\frac{dE_{r_{max}}}{dp}=0 \Rightarrow \ln p_d-\frac{1}{p_d}-1=0$$

$$p_d=3{,}6$$

$$l_F=0{,}28 l_1$$

SORU 1



$\varepsilon_0 = 8{,}854 \times 10^{-12}$ F/m

Şekildeki tabakalı düzlemsel elektrot sisteminde elektrotlara uygulanan gerilim

a) tabakalardaki gerilimler ve E=?

b) Sistemin C=?

c) Tüm sistemin delinip delinmeyeceğini göster
Sistemde herhangi bir tabakada delinme olmadan uygulanabilecek max gerilim

$d_1 = 1{,}2\,cm$, $d_2 = 2\,cm$, $d_3 = 2\,cm$, $d_4 = 1\,cm$
$\varepsilon_1 = 1$ $\varepsilon_2 = 2$ $\varepsilon_3 = 3$ $\varepsilon_4 = 4$
$E_{d1} = 40\,kV/cm$ $E_{d2} = 80\,kV/cm$
$E_{d3} = 100\,kV/cm$ $E_{d4} = 120\,kV/cm$
$2S_1 = 2S_4 = S_3 = S_2$

a)

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1}$$

$$C_4 = \frac{\varepsilon_4 S}{d_4}$$

$$C_{23} = \frac{(\varepsilon_2+\varepsilon_3)S}{2d_2}$$

$$C = \frac{S}{\underbrace{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{2d_2}{\varepsilon_2+\varepsilon_3} + \frac{d_4}{\varepsilon_4}}_{A = 2{,}25}}$$

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U = \frac{d_1}{\varepsilon_1}\frac{U}{A} = 96\,kV$$

$$U_2 = U_3 = \frac{2 d_2 U}{(\varepsilon_2+\varepsilon_3)A} = 64\,kV$$

$U_4 = 20\,kV$

$$E_1 = \frac{U_1}{d_1} = 80\,kV/cm$$

$E_2 = E_3 = 32\,kV/cm$

$E_4 = 20\,kV/cm$

b) $C_{eş} = \dfrac{S\varepsilon_0}{A}$ $\quad C_{eş} = S \cdot 3{,}935 \times 10^{-12}\,F/m^2$

c) $E_1 > E_{d1} \rightarrow$ Delinir

$A' = 1{,}05$ $\quad E_2' = E_3' = \dfrac{U_2'}{d_2} = 68{,}7\,kV/cm$

$$U_2' = U_3' = \frac{2d}{\varepsilon_2+\varepsilon_3}\frac{U}{A'} = 137{,}4\,kV$$

$E_4' = 42{,}8\,kV/cm$

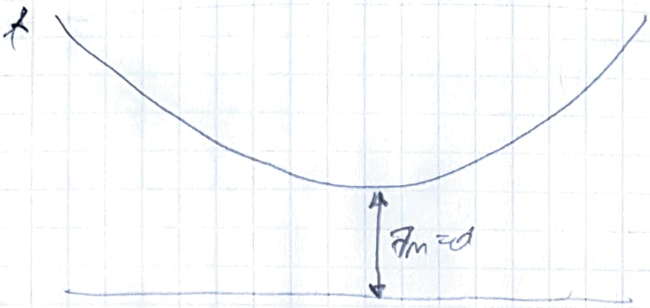
$U_4' = 42{,}85\,kV$

$E_2' < E_{d2}$
$E_3' < E_{d3}$ $\rightarrow$ delinmez
$E_4' < E_{d4}$

$U_{max} = E_{d1} d_1 = 48\,kV$
$U_1 = \dfrac{C}{C_1} U_{max}$
$U_{max} = 84{,}5\,kV$

mm	d	5	5,1	4,9	5,2	5,3	5	4,8
kV	U	40	43	38	45	45	41	39
kV/cm	Ed	75,44	79,55	79,09	81,64			

$E = \frac{U}{r_1 \ln P}$ $\frac{1}{\ln p} =$

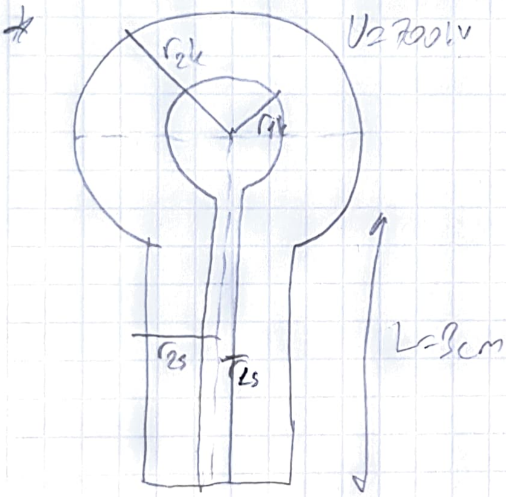


$k = 0,9$ $V = 380kV$

$S = 402 mm^2$

$S = \pi r^2$

$r = 1,131 cm$



$\varepsilon_0 = 8,86 \times 10^{-12} F/m$

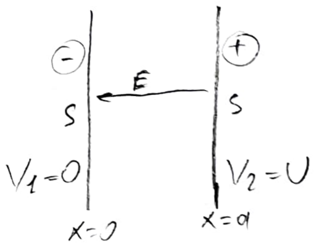
700kV gerilim eşmerkezli küresel eşme ... silindir

küre $\rightarrow$ $E = \frac{U_P}{d}$

silindir $\rightarrow$ $E = \frac{U}{r \cdot \ln(P)}$

2) Temel Elektrot Sistemleri

A) Düzlemsel Elektrot Sistemi



$V = A + Bx$

$V = \frac{U}{a}x$

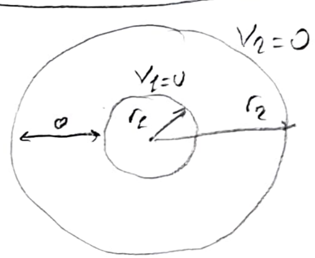
$E = -\frac{U}{a}$

$$\boxed{V = -\int E\,dx + K}$$

$C = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon S}{a}$

$U_d = E_d \cdot a$

B) Küresel Elektrot Sistemi



$V = A + \frac{B}{r}$

$V = U\frac{r_1}{a}(p-1)$

$E = U\frac{r_1 \cdot r_2}{a} \cdot \frac{1}{r^2}$

$U = \int_{r_1}^{r_2} E\,dr \quad , \quad E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\frac{1}{r^2}$

$U = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\frac{a}{r_1 \cdot r_2}$

• $V = U\frac{r_1}{a}\left(\frac{r_2}{r} - 1\right)$

$r = r_1 \quad E = E_{max} = U\frac{p}{a}$

$r = r_2 \quad E = E_{min} = U\frac{1}{p \cdot a}$

$E_{ort} = \frac{U}{a} = \frac{U}{r_2 - r_1}$

$r_{ort} = \sqrt{r_1 \cdot r_2}$

$C = \frac{Q}{U} = 4\pi\varepsilon\frac{r_1 r_2}{a}$

Gerçek açıklık $a = r_2 - r_1$

Eşdeğer açıklık $\alpha = \frac{U}{E_{max}}$

Geometrik karakteristik $p = \frac{r_1 + a}{r_2}$

$q = \frac{r_2}{r_1}$

faydalanma faktörü $\eta = \frac{\alpha}{a} = \frac{E_{ort}}{E_{max}}$

• $U = E_{max} \cdot \alpha = E_{max}\, a \cdot \eta$

• $r_2, U \rightarrow$ sbt

$(E_{max})_{min} = \frac{4U}{r_2} = \frac{2U}{r_1} = \frac{2U}{a} = 2E_{ort}$

$p_d = 2 \quad , \quad \eta = 0{,}5$

$r_1 = \frac{r_2}{2} \quad , \quad \alpha_{max} = \frac{r_2}{4} = \frac{r_1}{2} = \frac{a}{2}$

• $r_1, U \rightarrow$ sbt

$E_{max\infty} = \frac{U}{r_1}$

Delinme başlangıç gerilimi

$U_d = E_d\, r_1\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right)$

$U_{d\infty} = E_d\, r_1$

• Sistemin ekonomik incelemesi

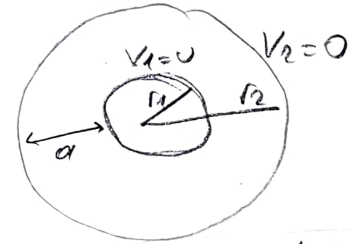
$G = \frac{4}{3}\pi\gamma\left(r_2^3 - r_1^3\right)$

$p_d = 2 \quad p_e \cong 1{,}8$

Not: $(E_{max})_{min} = \frac{dE_{max}}{dr_1} = 0$

C) Silindirsel Elektrot Sistemi

a) Eşeksenli Silindirsel E.S.



$V = A + B\ln r$

$V = \frac{U}{\ln\frac{r_2}{r_1}}\ln\frac{r_2}{r} = \frac{U}{\ln p}(\ln r_2 - \ln r)$

$\boxed{E = -\frac{dV}{dr}} \quad E = \frac{U}{\ln\frac{r_2}{r_1}}\frac{1}{r}$

IV $\oint \vec{D}\, d\vec{s} = Q$, $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$

$$E = \frac{Q}{2\pi\varepsilon l}\frac{1}{r}$$

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E\, dr \Rightarrow \frac{Q}{2\pi\varepsilon l}\ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$E = \frac{U}{\ln p}\frac{1}{r}$$

• $V = -\int E\, dr + K$

$$V = -\frac{U}{\ln p}\ln r + K$$

$$V = \frac{U}{\ln\frac{r_2}{r_1}}\ln\frac{r_2}{r}$$

* $r = r_1$ $\quad E = E_{max} = \frac{U}{r_1 \ln p}$

* $r = r_2$ $\quad E = E_{min} = \frac{U}{r_2 \ln p}$

• $E_{ort} = \frac{U}{a} = \frac{U}{r_{ort}\ln p}$

$$r_{ort} = \frac{a}{\ln p}$$

• $C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln p}$

$a = r_2 - r_1$

$$\alpha = \frac{U}{E_{max}} = r_1 \ln p$$

$$p = \frac{r_1 + a}{r_1} = \frac{r_2}{r_1} = q$$

$$\eta = \frac{\alpha}{a} = \frac{\ln p}{p-1}$$

• $r_2, U \rightarrow$ sbt

$$(E_{max})_{min} = \frac{U}{r_1} = \frac{U}{r_2}e$$

$$\left[\ln\frac{r_2}{r_1} = 1 \text{ veya } \frac{r_2}{r_1} = e\right]$$

$p_d = e$, $\eta_d = \frac{\alpha}{a} = 0{,}583$

$U = E_{max}\,\alpha$

• Sistemin Ekonomik incelenmesi

$$G = \pi\gamma(r_2^2 - r_1^2) = \pi\gamma r_1^2(p^2 - 1)$$

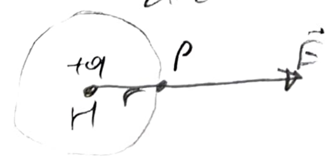
$$p = p_e = \frac{r_2}{r_1} = 2{,}21$$

b) Paralel Eksenli Silindir E.S.

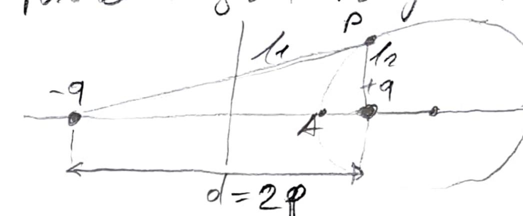
• Çizgisel Yük kaynağının alanı

$$E = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\frac{1}{r}$$

$$V = -\frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln r + K$$



• Paralel çizgisel iki yük kaynağının alanı



$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{l_1}{l_2}$$

$$V_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{x_1}{x_2}$$

$x_1 \rightarrow$ (−) ye uzaklık

$x_2 \rightarrow$ (+) ya uzaklık

$$E_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}\right)$$

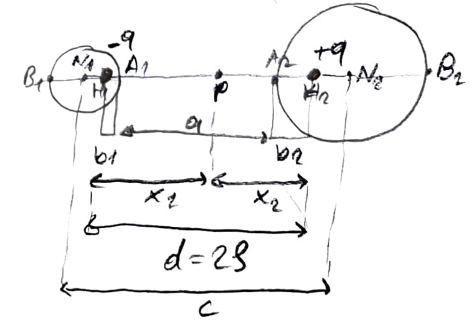
$$x_1 = \rho + x$$
$$x_2 = \rho - x$$

$$E_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\frac{2\rho}{\rho^2 - x^2}$$

$x = 0$ için $E_A = E_{min} = \frac{q}{\pi\varepsilon\rho}$

$x = \mp\rho$ için $E_A = \infty$ olur

• Karşılıklı paralel iki silindir



$$\frac{\overline{A_1H_1}}{\overline{A_1H_2}} = \frac{\overline{B_1H_1}}{\overline{B_2H_2}} = k_1$$

$$\frac{\overline{A_2H_2}}{\overline{A_2H_1}} = \frac{\overline{B_2H_2}}{\overline{B_2H_1}} = k_2$$

$$V_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{x_1}{x_2}$$

x_1 ve x_2 yerine A_1 noktası koordinatları konursa V_1 bulunur. Aynı şekilde A_2 noktası için V_2 bulunur

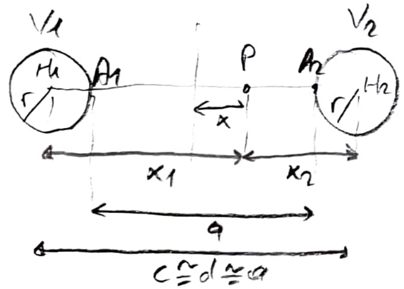
$$U = V_2 - V_1$$

$$C = \frac{q}{U}$$

$$E_A = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}\right)$$

//Sayfa 62 ve 63 Emax bulunmasını anlatıyor.

• Paralel iki İletken



$$U = E_{max}\, 2r \ln \frac{d}{r}$$

$$C = \frac{2\pi\varepsilon l}{2 \ln \frac{d}{r}}$$

$$V_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{x_1}{x_2}$$

A_1 noktası $\longrightarrow V_1$

A_2 noktası $\longrightarrow V_2$

$$U = V_2 - V_1 = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln\left(\frac{d}{r}\right)^2 \cong \frac{q}{\pi\varepsilon} \ln \frac{d}{r}$$

$$E_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}\right)$$

A_1 veya A_2 noktasında $E_x = E_{max}$'dır

$$\frac{q}{2\pi\varepsilon} = \frac{U}{2 \ln \frac{d}{r}} \quad \text{için}$$

$$E_{max} \cong \frac{U}{2r \ln \frac{d}{r}}$$

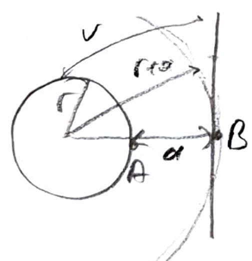
$$U = E_{max}\, 2r \ln p$$

$$\alpha = 2r \ln p$$

$$\eta = \frac{\alpha}{a} = \frac{2r \ln p}{a} = \frac{2 \ln p}{p-1}$$

(3) Bazı Elektrot Sistemlerinin Emax hesabı

(A) Küre - Düzlem Elektrot Sistemi

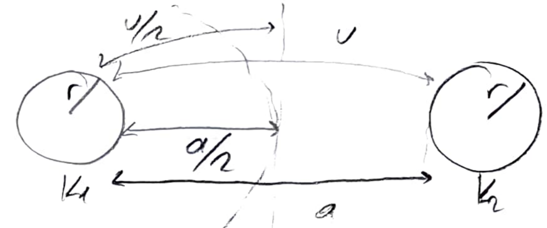


$k \cong 0{,}9$

$$E_{max} = k \frac{U}{a} \frac{r+a}{r}$$

$$\eta' = \frac{1}{k} \frac{r}{r+a} = \frac{\eta}{k}$$

(B) Küre-Küre Elektrot Sistemi

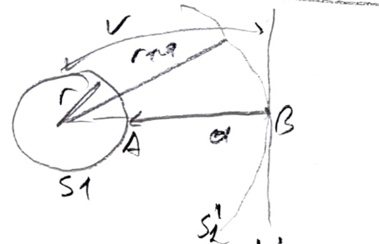


$k \cong 0{,}9$

$$\eta = \frac{r}{r+a}$$

$$E_{max} = k \frac{U}{a} \frac{r + \frac{a}{2}}{r}, \quad \eta'' = \frac{1}{k} \frac{2\eta}{\eta+1}$$

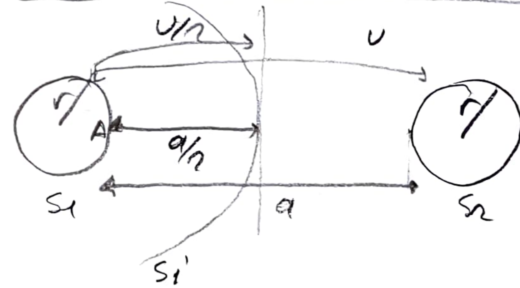
(C) Silindir - Düzlem Elektrot Sistemi



$k \cong 0{,}9$

$$E_{max} = k \frac{U}{r \cdot \ln\left(\frac{r+a}{r}\right)}$$

(D) Silindir-Silindir Elektrot Sistemi



$k \cong 0{,}9$

$$E_{max} = k \frac{U}{2r \cdot \ln\left(\frac{r + \frac{a}{2}}{r}\right)}$$