

1.

Pri kojem će naponu u [kV] doći do pojave vidljive korone na visokonaponskom vodiču polupjera 7.0 mm postavljenom na visini 27.3 m iznad zemlje ? Vodič se nalazi na nadmorskoj visini 830 m. Pretpostavimo linearan pad temperature s visinom tako da na 0 m temperatura iznosi 20 °C, a na 2000 m iznosi 0 °C. Faktor nepravilnosti vodiča iznosi 0.75.

$$r=0.7 \text{ cm}$$

$$D=2h=5460 \text{ cm}$$

$$z=830 \text{ m}$$

$$m_v= 0.75$$

$$p=p_0 e^{-z/H} = 101.3 e^{-0.83/7.4} / z \text{ u kilometre}$$

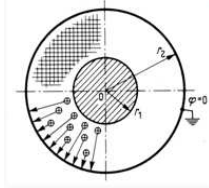
$$2000/20=1170/t > t=11.7$$

$$\rho = \frac{2.89 \times p}{273+t}$$

$$V_v = 30 \rho m r \left( 1 + \frac{0.3}{\sqrt{\rho r}} \right) \ln \frac{D}{r} = 178.268 \text{ kV}$$

2.

U izolaciji istosmjernog kabela postoji mala vodljivost. Duljina kabela je l, radius  $r_1=1\text{ cm}$ , a radijus uzemljenog metalnog plašta  $r_2=2.5\text{ cm}$ . Relativna dielektričnost izolatora je  $\epsilon_r=2.8$ . Gustoća prostornog naboja dana je funkcijom  $\rho=\rho_1(r_1/r)$ , gdje je  $\rho_1=12.9\text{ nAs/cm}^3$  gustoća naboja na površini vodiča. Na kojem potencijalu će se naći vodič nakon iskapčanja pogonskog napona? Rezultat upisati u [kV] bez upisa mjerne jedinice.



$$r_1= 1 \text{ cm}$$

$$r_2= 2.5 \text{ cm}$$

$$\epsilon_r= 2.8$$

$$\epsilon_0= 8.854 \times 10^{-14} \text{ As/Vcm}$$

$$\rho_1=12.9 \text{ nAs/cm}^3$$

$$\rho = \rho_1(r_1/r)$$

$$Q = \oint D \cdot dA = D 2\pi r l = \oint \rho dV = \int_{r_1}^r \rho_1 \left( \frac{r_1}{r} \right) 2\pi r l dr$$

$$D = \frac{\rho_1 r_1 (r - r_1)}{r}$$

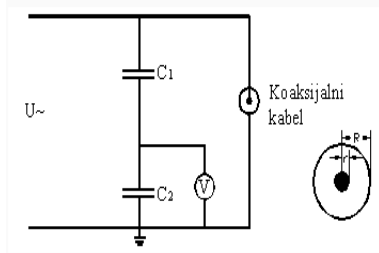
$$E = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

$$f_{i1} - f_{i2} = \int_{r_1}^r E dr = \int_{r_1}^r \frac{\rho_1 r_1 (r - r_1)}{r \epsilon_0 \epsilon_r} dr = \frac{\rho_1 r_1 ((r_2 - r_1) - r_1 \ln(\frac{r_2}{r_1}))}{\epsilon_0 \epsilon_r} = 30.373 \text{ kV} / \text{rezultat se dobije u Voltima}$$

$$f_{i2}=0, \text{uzemljeno}$$

3.

Voltmetar mjeri 227 V. Kolika je najviša efektivna jakost polja u kabelu?  $C_1=97 \text{ nF}$ ,  $C_2=14.4 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $r=0.7 \text{ cm}$ ,  $R=2.7 \text{ cm}$ . Rezultat izraziti u  $[\text{kV/cm}]$  i upisati da s dvjema decimalama bez mjerne jedinice.



$$U_v=227 \text{ V}$$

$$C_1=97 \text{ nF}$$

$$C_2=14.4 \text{ }\mu\text{F}$$

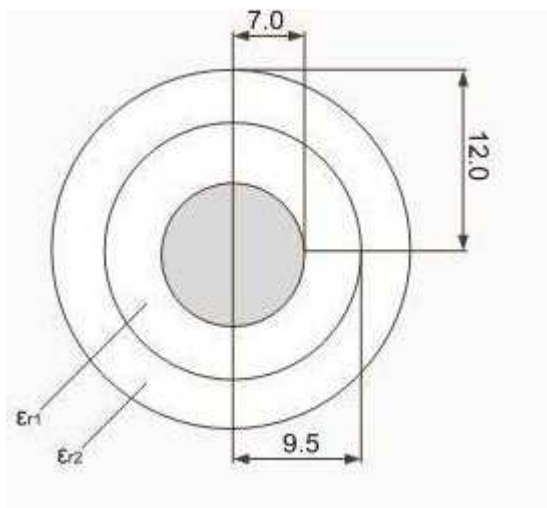
$$r=0.7 \text{ cm}$$

$$R=2.7 \text{ cm}$$

$$E_{\text{ef}} = \frac{U}{r \ln\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{U v \left(\frac{C_2}{C_1} + 1\right)}{r \ln\left(\frac{R}{r}\right)} = 35.90244529 \left(\frac{\text{kV}}{\text{cm}}\right) \quad / \text{rezultat se dobije u Voltima}$$

4.

Jednožilni energetski kabel dug 1.7 km ima dva različita dielektrika ( $\epsilon_{r1}=3.3$ ;  $\epsilon_{r2}=2.2$ ). Kut gubitaka prvog dielektrika je  $\text{tg}\delta_1=1.2 \cdot 10^{-3}$ , a drugog  $\text{tg}\delta_2=1.4 \cdot 10^{-3}$ . Koliko djelatne a koliko jalove snage troši ovaj kabel kada je priključen na napon  $10.27/\sqrt{3} \text{ kV}$ , 50 Hz.  $r_1=7.0 \text{ mm}$ ,  $r_2=9.5 \text{ mm}$ ,  $r_3=12 \text{ mm}$ .



$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{r1}l}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = 1.02197 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = 0.890616 \mu F$$

$$C_{uk} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 0.475892 \mu F$$

$$P_{duk} = P_{d1} + P_{d2}$$

$$U^2 \omega C_{uk} \operatorname{tg} \delta = U_1^2 \omega C_1 \operatorname{tg} \delta_1 + U_2^2 \omega C_2 \operatorname{tg} \delta_2$$

$$Q^2 \omega C_{uk} \operatorname{tg} \delta / C_{uk}^2 = Q^2 \omega C_1 \operatorname{tg} \delta_1 / C_1^2 + Q^2 \omega C_2 \operatorname{tg} \delta_2 / C_2^2$$

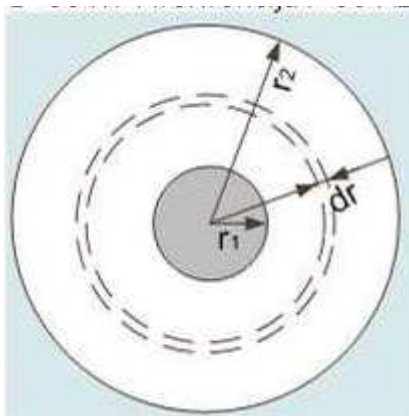
$$\operatorname{tg} \delta = C_{uk} \left( \frac{\operatorname{tg} \delta_1}{C_1} + \frac{\operatorname{tg} \delta_2}{C_2} \right) = 1.30686 \times 10^{-3}$$

$$P_{duk} = U^2 2\pi f C_{uk} \operatorname{tg} \delta = 6.87 \text{ W}$$

$$Q_{duk} = P_{duk} / \operatorname{tg} \delta = 5256.303 \text{ Var}$$

5.

Kabel duljine 1400 m ima  $r_1 = 1 \text{ cm}$ ,  $r_2 = 2.5 \text{ cm}$ . Vodič i plašt su od istog materijala, izolacija je papir impregniran uljem  $\epsilon_r = 3$ ,  $\operatorname{tg} \delta = 1.2 \times 10^{-2}$ . koliko djelatne a koliko jalove snage uzima kabel iz mreže uz narinuti napon  $36/\sqrt{3} \text{ kV}$  i  $f = 60 \text{ Hz}$ .



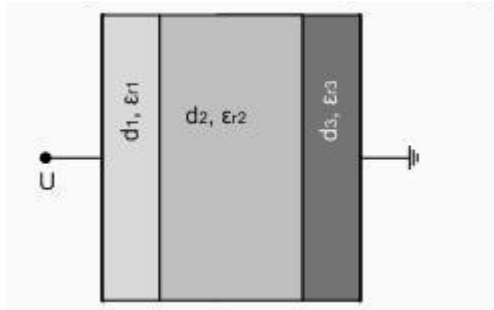
$$P_g = \int_{r_1}^{r_2} E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta dV = \int_{r_1}^{r_2} E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta 2\pi r l dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{U^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta 2\pi r l dr}{r^2 \left( \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right)^2} =$$

$$\frac{U^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta 2\pi l}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = 415.288 \text{ W}$$

$$Q_g = \frac{P_g}{\operatorname{tg} \delta} = 34\,607 \text{ kVar}$$

6.

Odredite vrijednost jakosti ele. polja u trećem dielektriku planparalelnih ploča. Jedna elektroda je priključena na napon 100 kV, a druga je uzemljena.  $d_1=2\text{cm}, \epsilon_{r1}=3$ ,  $d_2=5\text{cm}, \epsilon_{r2}=4$ ,  $d_3=2\text{cm}, \epsilon_{r3}=6$ .



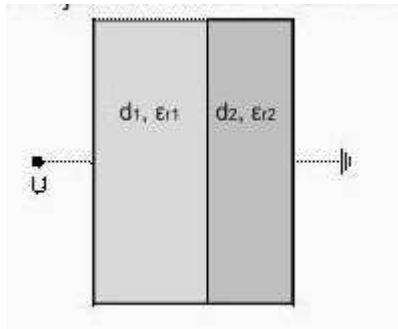
$$E_3 = U / \epsilon_{r3} k_p$$

$$k_p = d_1 / \epsilon_{r1} + d_2 / \epsilon_{r2} + d_3 / \epsilon_{r3} = \frac{9}{4} \text{ cm}$$

$$E_3 = 7.407 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

7.

Odredite vrijednost jakosti ele. polja u drugom dielektriku planparalelnih ploča. Jedna elektroda je priključena na napon 100 kV, a druga je uzemljena.  $d_1=4\text{cm}, \epsilon_{r1}=4$ ,  $d_2=3\text{cm}, \epsilon_{r2}=5.8$ ,



$$E_3 = U / \epsilon_{r2} k_p$$

$$k_p = d_1 / \epsilon_{r1} + d_2 / \epsilon_{r2} = 1.517 \text{ cm}$$

$$E_3 = 11.3636 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

8.

Višeslojni kondenzator ima tri sloja (prvi i treći isti). Ukupni kapacitet kondenzatora  $C_u = 30$  pF. kapacitet jednog sloja a je  $C_a = 100$  pF, a kut gubitaka istog sloja je  $\text{tg} \delta_a = 9 \times 10^{-3}$ . Kut gubitaka sloja b je  $\text{tg} \delta_b = 3 \times 10^{-2}$ . koliko iznosi kut gubitaka cijelokupnog kondenzatora?

$$\frac{1}{Cu} = \frac{1}{Ca} + \frac{1}{Ca} + \frac{1}{Cb}$$

$$\frac{1}{Cb} = \frac{1}{Cu} - \frac{2}{Cb} = 1.33333 \times 10^{10}$$

$$\text{tg}\delta_u = C_u(2 \text{tg}\delta_a/C_a + \text{tg}\delta_b/C_b) = 0.0174 \text{ /slično kao u zadatku 4}$$

9.

Na cilindričnom vodiču  $r_1=1.45$  cm, nalazi se sloj debljine 6.5 mm,  $\epsilon_r=3$ . Vodič se uvlači u metalnu cijev unutarnjeg radijusa  $r_3=11$  cm po centralnoj osi. Koji napon se smije nariniti na elektrode tako da najveća jakost polja u zraku ne prijeđe  $E_{MAX}=16$  kV/cm?

$$r_2=r_1+d=2.1 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{rzraka} = \epsilon_{r2} = 1$$

$$\epsilon_{r3}=3$$

$$E_{MAX}=U/r_2 \epsilon_2 k_c$$

$$k_c = \frac{1}{\epsilon r_2} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\epsilon r_3} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)$$

$$U = E_{MAX} r_2 \epsilon_2 k_c = 59.79 \text{ kV}$$

10.

Koaksijalni kabel sačinjen je od dva sloja dielektrika i to od sloja papira obavijenog oko unutrašnje elektrode polumjera  $r_1=3$  cm,  $\epsilon_{r1}=3.5$ , a ostatak do vanjske elektrode  $r_2=20$  cm ispunjeno je zrakom. odredite optimalnu debljinu namota  $r_a$  papira tako da električno polje u vanjskom dielektriku bude minimalno.

$$E_2 = \frac{U}{\epsilon r_2 r_a \left( \frac{1}{\epsilon r_1} \ln\left(\frac{r_a}{r_1}\right) + \frac{1}{\epsilon r_2} \ln\left(\frac{r_2}{r_a}\right) \right)}, \text{ polje minimalno nazivnik maksimalan.}$$

$$\frac{d}{dt} r_a \left( \frac{1}{\epsilon r_1} \ln\left(\frac{r_a}{r_1}\right) + \ln\left(\frac{r_2}{r_a}\right) \right) = 0$$

$$r_a = 15.71 \text{ cm}$$