

**DEE-23060 Suurjännitetekniikka**

**Tentti 15.12.2017**

**Kirsi Nousiainen**

**Omaa, ohjelmoitavaa laskinta saa käyttää.**

**Hyväksytyyn tulokseen vaaditaan vähintään 2 pistettä vähintään neljästä eri tehtävästä sekä yhteensä vähintään 12 pistettä.**

1. a) Kerro lyhyesti Townsendin mekanismin kulku sekä selitä ne fysikaaliset ilmiöt, joiden voimakkuutta kuvaavat Townsendin ensimmäinen ja toinen ionisaatiokerroin. (3 p.)  
b) Selosta, millaisella koejärjestelyllä voit selvittää Townsendin ensimmäisen ja toisen ionisaatiokertoimen. Perustele vastauksesi sopivilla yhtälöillä ja matemaattisilla tarkasteluilla. (3 p.)
2. Selosta lyhyesti epähomogeenisen ilmaeristysvälin mahdolliset purkaus- ja läpilyöntimekanismit. Kerro myös, mitkä tekijät vaikuttavat läpilyöntijännitteen suuruuteen. Jäsentele vastauksesi esim. taulukon muotoon. (6 p.)  
*Huom! Vastauksen selkeys vaikuttaa tehtävän pisteytykseen. Ei siis mitään tajunnanvirtaa tähän!*
3. SF<sub>6</sub>-kaasueristeisen lieriörakenteen sisäsäde on 16 mm ja ulkosäde 36 mm. Sisälieriön pinnalle on jännitelujuuden parantamiseksi lisätty 4 mm paksuinen muovieristekerros ( $\epsilon_r=3$ ). Kaasun paine on 125 kPa. Kuinka suuri jännite (tehollisarvo) saa koko eristysrakenteen yli enintään olla, ettei kaasulle sallittu kriittinen kentänvoimakkuus ylity? (6 p.)
4. 25 mm pituisen tasoelektrodivälin kumpaankin elektrodiin (pinta-ala 10 cm<sup>2</sup>) on kiinnitetty 10 mm paksuinen eristekerros (kummassakin elektrodissa samasta materiaalista,  $\epsilon_r=4$ ). Eristeiden väliin jäävässä 5 mm tilassa on SF<sub>6</sub>-kaasua normaalipaineessa.  
a) Millä koko rakenteen yli olevan jännitteen tehollisarvolla alkavat kaasuvälissä osittaispurkaukset rakenteen yli olevaa vaihtojännitettä (50 Hz) nostettaessa? (3 p.)  
b) Osoita graafisesti tai laskelmin, mikä on osittaispurkausten toistumistaajuus jatkuvassa tilassa, kun koko eristerakenteen yli vaikuttaa n. 10 kV:n suurempi vaihtojännite kuin a-kohdan tuloksena saatu jännite. Jäännösjännite purkausten jälkeen oletetaan nolaksi. (3 p.)
5. a) Selosta lyhyesti tehomuuntajan öljypaperieristyksen tärkein vanhenemismekanismi. Mitkä ominaisuudet eristyksen vanhentuessa muuttuvat? Kerro myös, mitkä seikat ja miten vaikuttavat vanhenemistä kiihdyttävästi. (3 p.)  
b) Selosta lyhyesti metallioksidisuojaan toimintaperiaate. Kerro myös, mitä seikkoja on otettava huomioon, kun valitaan metallioksidisuojaan nimellisarvoja. (3 p.)

Ohessa on liite, jossa on opintojaksoon sisältöön liittyvä yhtälöitä sekä Paschen-käyrät ilmalle ja SF<sub>6</sub>-kaasulle.

$$\Psi = \int_A \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}_n dA = \int_V \rho_v dV = Q$$

$$\Phi_E = \int_A \mathbf{E} \cdot \mathbf{u}_n dA = \frac{Q}{\varepsilon}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho_v}{\varepsilon}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_v}{\varepsilon}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$$

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

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

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon \angle -\delta$$

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

$$\alpha = Ap e^{-Bp/E}$$

$$Q_c = \omega \varepsilon_r C_0 U^2$$

$$P_d = \omega \varepsilon_r \tan \delta C_0 U^2$$

Normaalijakauman summafunktio:

$$F(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right) dz = \Phi(x), \text{ missä } x = \frac{U - U_{50\%}}{s} \quad \text{ja} \quad s = U_{50\%} - U_{16\%}$$

Normaalijakautuneella suurella todennäköisyyttä  $p$  vastaava arvo voidaan arvioida keskiarvosta ja hajonnasta  $s$  oheisen taulukon avulla.

$$U_p = U_{50\%} - ks$$

$p/\%$	50	16	10	1	0,1
$k$	0	1	1,3	2,3	3,3

Weibull-jakauman kertymäfunktio:  $P_F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{\eta}\right)^\delta\right]$  kun  $x > x_0$

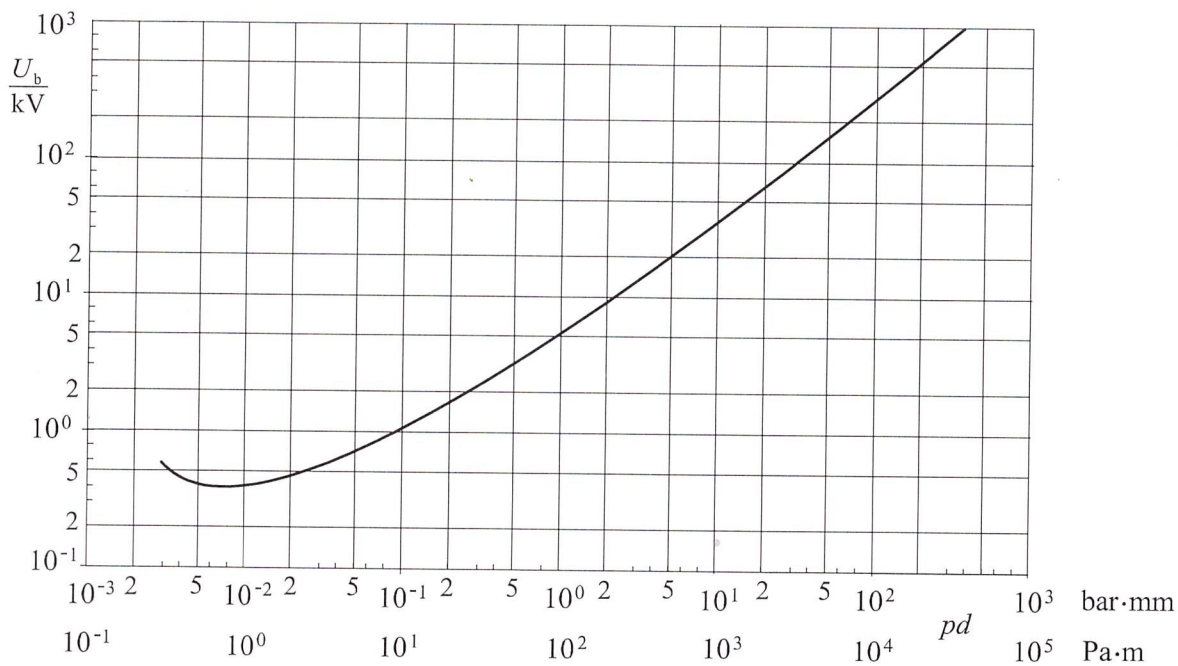
$$U_{50\%,LI} = (380 + 150k)d \text{ kV} \quad d_{LI} = \frac{U_{10LI}}{0,961 \cdot (0,74 + 0,26 \cdot k) 530} \quad [d] = \text{m}$$

$$U_{50\%,SI} = k \cdot \frac{3400}{1 + \frac{8}{d}} \text{ kV} \quad \text{tai} \quad U_{50\%,SI} = k \cdot 500 d^{0,6} \text{ kV},$$

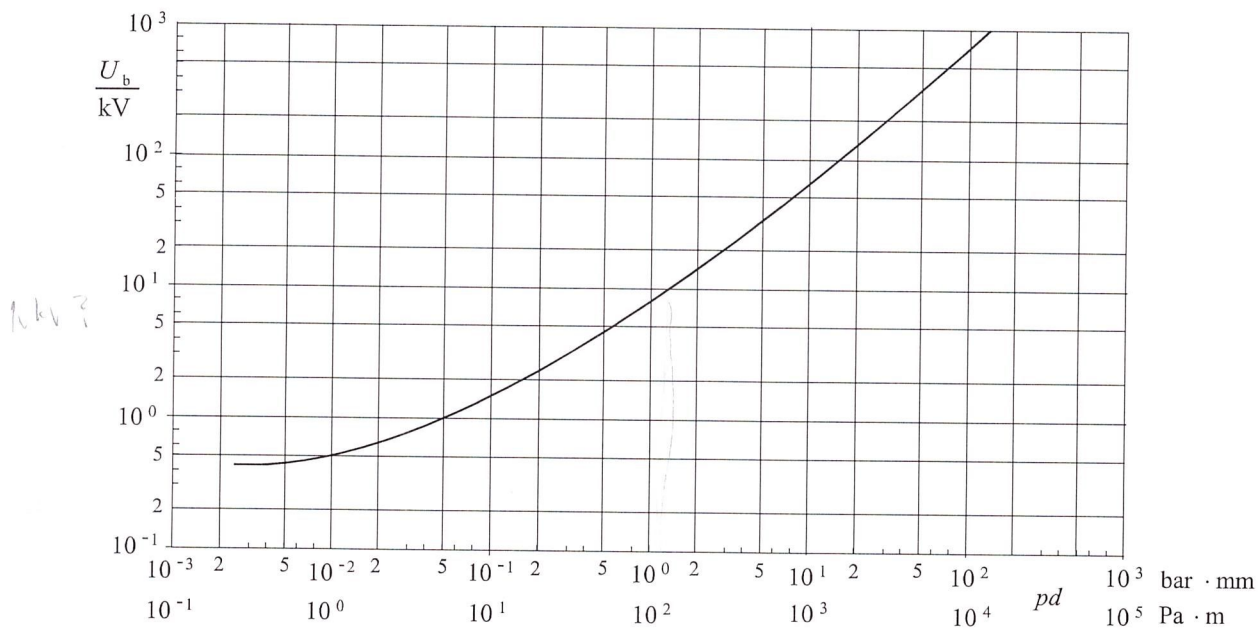
$$d_{SI} = 2,174 \cdot \left[ \exp\left(\frac{1,05U_{e2}}{0,922 \cdot k \cdot 1080}\right) - 1 \right], \quad \exp(x) = e^x$$

missä  $U_{e2}$  on tilastollinen 2% todennäköisyydellä esiintyvä ylijännite

$$\hat{U}_{50\%,AC} = 1,1 \cdot U_{50\%,SI} \quad d_{AC} = 1,64 \cdot \left[ \exp\left(\frac{U_m}{750 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,91 \cdot k(1,35 - 0,35k)}\right) - 1 \right]^{0,83}$$



*Paschen käyrä ilmalle.*



*Paschen käyrä SF<sub>6</sub>-kaasulle.*