DEE-23060 Suurjännitetekniikka
Tentti 27.15.2016 **Kirsi Nousiainen**
Omaa, ohjelmoitavaa laskinta saa käyttää.
Hyväksyttyyn tulokseen vaaditaan vähintään 2 pistettä vähintään neljästä eri tehtävästä sekä yhteensä vähintään 12 pistettä.

1. Selosta, millaisella järjestelyllä voit selvittää Townsendin ensimmäisen ja toisen ionisaatiokertoimen. Perustele vastauksesi esim. sopivilla yhtälöillä ja matemaattisilla tarkasteluilla. Kerro myös lyhyesti, mitkä ovat ne fysikaaliset ilmiöt, joiden voimakkuutta edellä mainitut kertoimet kuvaavat. (6 p.)

2. Selosta lyhyesti ilmaeristysvälin kolmen erilaisen purkaus- ja läpilyöntimekanismin kulku. Kerro myös, mitkä tekijät kussakin tapauksessa vaikuttavat läpilyöntijännitteen suuruuteen. Jäsentele vastauksesi esim. taulukon muotoon. (6 p.)
Huom! Vastauksen selkeys vaikuttaa tehtävän pisteytykseen. Ei siis mitään tajunnanvirtaa tähän!

3. Tarkastellaan kahdesta eri materiaalista (sisäkkäin) valmistettua lieriöeristysrakennetta, jossa sisäelektrodin säde r_s on 12 mm ja ulkosäde r_u on 36 mm. Eristekerrosten paksuudet on valittu siten, että koko eristysvälin yli vaikuttava jännite jakautuu näiden kahden eri kerroksen yli suunnilleen tasan. Eristysmateriaalien suhteelliset permittiviteetit ovat 4,2 ja 2,4.
a) Millä säteen arvolla eristysmateriaali vaihtuu toiseen? (3 p.)
b) Kuinka suuri on suurin eristerakenteessa vaikuttava hetkellinen kentänvoimakkuus, jos koko eristysrakenteen yli vaikuttaa 80 kV:n vaihtojännite? (3 p.)

4. 25 mm pituisen tasoelektrodivälin kumpaankin elektrodiin (pinta-ala 10 cm^2) on kiinnitetty 10 mm paksuinen eristekerros (kummassakin elektrodissa samasta materiaalista, ε_r=4). Eristeiden väliin jäävässä 5 mm tilassa on SF_6-kaasua normaalipaineessa.
a) Millä jännitteen tehollisarvolla alkavat kaasuvälissä osittaispurkaukset elektrodien välistä vaihtojännitettä (50 Hz) nostettaessa (3 p.)
b) Osoita graafisesti tai laskelmin, mikä on osittaispurkausten toistumistaajuus jatkuvassa tilassa, kun koko eristerakenteen yli vaikuttaa 80 kV:n vaihtojännite (jäännösjännite purkausten jälkeen oletetaan nollaksi) ? (3 p.)

5. a) Selosta lyhyesti, mitä fysikaalista ilmiötä kuvaavat eristeen permittiviteetti ja tanδ. Mitkä seikat vaikuttavat niiden arvoon? (3 p.)
b) Selosta lyhyesti metallioksidisuojan toimintaperiaate. Kerro myös, mitä seikkoja on otettava huomioon, kun valitaan metallioksidisuojan nimellisarvoja. (3 p.)

Ohessa on liite, jossa on opintojaksoon sisältöön liittyvä yhtälöitä sekä Paschen-käyrät ilmalle ja SF_6-kaasulle.

DEE-23060 Suurjännitetekniikka **Kaavakokoelma toiseen välikokeeseen ja tenttiin**

$$\Psi = \int_A \overline{D} \cdot \overline{u}_{\mathrm{n}} \mathrm{d}A = \int_V \rho \,\mathrm{d}V = Q$$

$$\Phi_E = \int_A \overline{E} \cdot \overline{u}_{\mathrm{n}} \mathrm{d}A = \frac{Q}{\varepsilon}$$

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

$$\nabla \cdot \overline{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

$$\nabla \cdot \overline{D} = \rho$$

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

$$\overline{\varepsilon} = \varepsilon' - \mathrm{j}\varepsilon'' = \varepsilon \angle -\delta$$

$$\nabla \mathrm{x} \overline{E} = 0$$

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

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

$$Q_{\mathrm{c}} = \omega \varepsilon_{\mathrm{r}} C_0 U^2$$

$$P_{\mathrm{d}} = \omega \varepsilon_{\mathrm{r}} \tan\delta \, C_0 U^2$$

Normaalijakauman summafunktio:

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

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

$U_{\mathrm{p}} = U_{50\%} - ks$

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

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

$$U_{50\%,LI} = (380 + 150k)d \ kV$$

$$d_{LI} = \frac{U_{10LI}}{0{,}961 \cdot (0{,}74 + 0{,}26 \cdot k)530}$$

$[d]$ = m

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

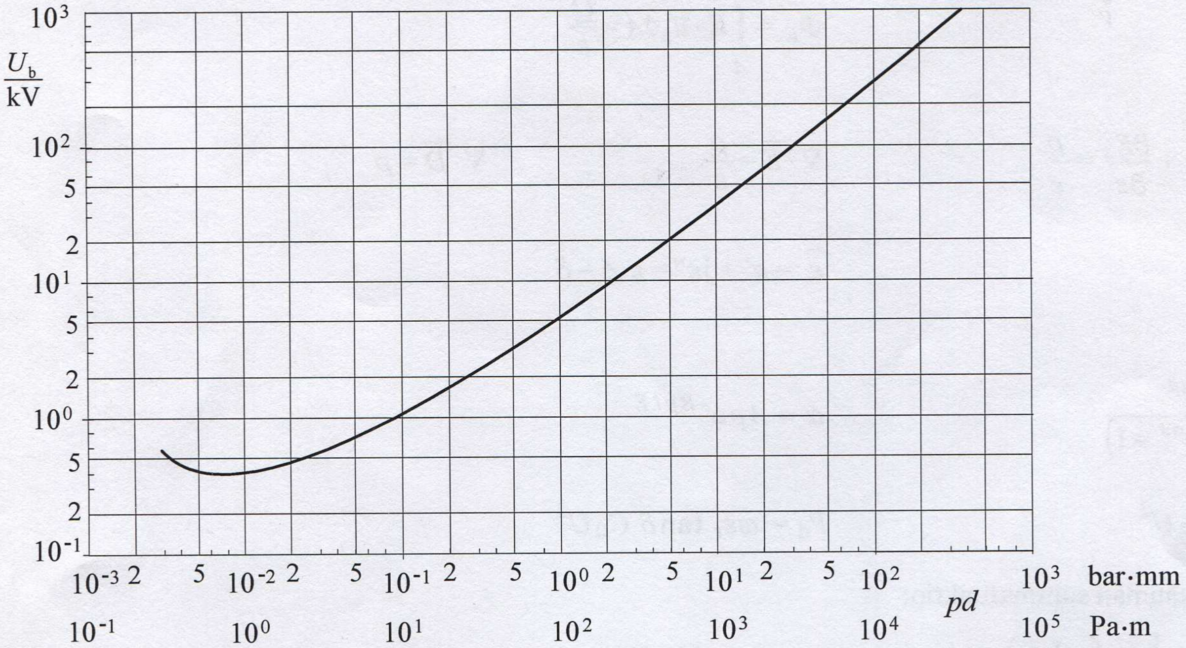
$$d_{SI} = 2{,}174 \cdot \left[\exp\left(\frac{1{,}05 U_{e2}}{0.922 \cdot k \cdot 1080}\right) - 1\right],$$

$\exp(x) = \mathrm{e}^x$

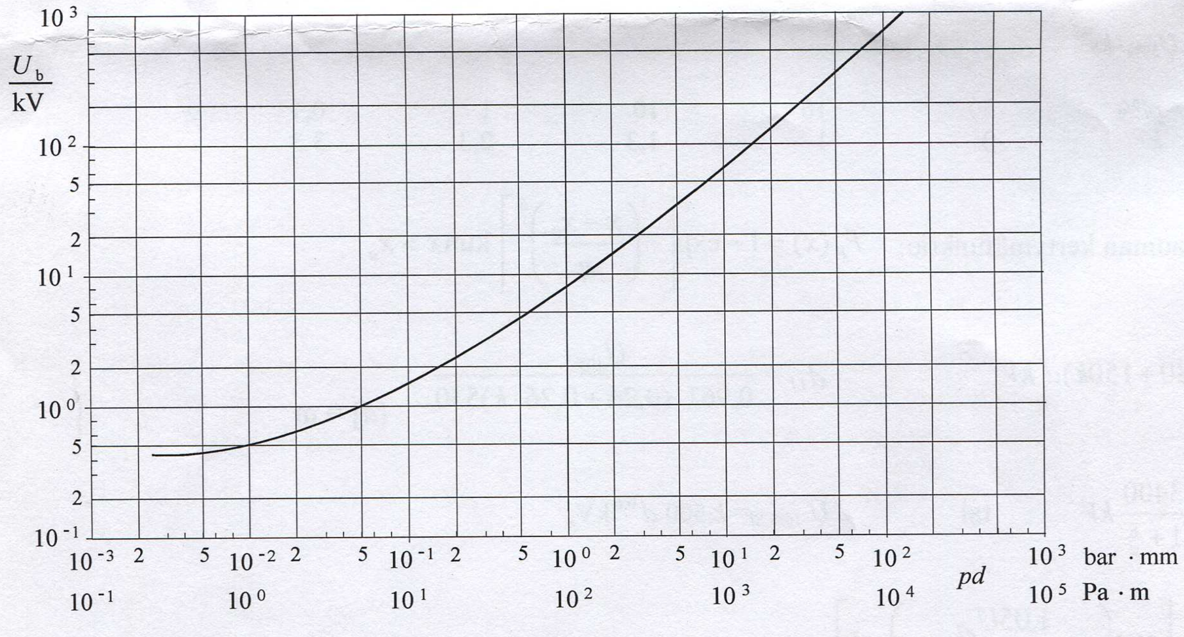
missä U_{e2} on tilastollinen 2% todennäköisyydellä esiintyvä ylijännite

$$\hat{U}_{50\%,AC} = 1{,}1 \cdot U_{50\%,SI}$$

$$d_{AC} = 1{,}64 \cdot \left[\exp\left(\frac{U_m}{750 \cdot \sqrt{3} \cdot 0{,}91 \cdot k(1{,}35 - 0{,}35k)}\right) - 1\right]^{0,83}$$



Paschen käyrä ilmalle.



Paschen käyrä SF_6-kaasulle.