

Liite: Opintojaksoon SVT-4300 liittyviä yhtälöitä. Kääntöpuolella on Paschen-käyrät ilmalle ja SF₆-kaasulle.

$$\Psi = \int_A \bar{D} \cdot \bar{u}_n dA = \int_V \rho dV = Q \quad \Phi_E = \int_A \bar{E} \cdot \bar{u}_n dA = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad \nabla \cdot \bar{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad \nabla \cdot \bar{D} = \rho$$

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E} \quad \bar{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon \angle -\delta$$

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

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad \alpha = A p e^{-B p / E}$$

$$Q_c = \omega \epsilon_r C_0 U^2 \quad P_d = \omega \epsilon_r \tan \delta C_0 U^2$$

Normaalijakauman summafunktio:

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

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

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

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

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

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

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

Huom! Hyväksytyyn tulokseen vaaditaan riittävän kokonaispistemäärän (12) lisäksi, että pisteitä kertyy vähintään kaksi vähintään neljästä tehtävästä.

1. Townsendin α -kertoimen määrittämiseksi tehtiin seuraava koe. Katodille synnytettiin elohopelampun avulla jatkuva $4 \cdot 10^{-12}$ A suuruinen virta. Elektrodienvälissä oli ilmaa 1,32 kPa paineessa. Anodille tuleva virta* mitattiin muutamalla elektrodivälillä siten, että sekä paine että sähkökentän voimakkuus elektrodienvälillä pidettiin vakiona. Tuloksena saatiin seuraavan taulukon mukaiset arvot.
- a) Miten voit kokeen perusteella laskea Townsendin α -kertoimen? Perustelee miksi? (2 p.)
 b) Kuinka suuri on α ? (2.)
 c) Mikä olisi kokeen perusteella Townsendin γ -kerroin? (2 p.)

d, mm	1	2	3	4	5	6
i, A $\cdot 10^{-12}$	5,9	8,7	12,9	19,3	32,4	55,3

3. Tasoelektrodivälän (levyjen pinta-ala 10 cm^2) eristys oli tarkoitus muodostaa kahdesta eristysvälissä sarjassa olevasta samanpaksuisesta eristekerroksesta ($d_1=10 \text{ mm}$, $\epsilon_{r1}=4,2$ ja $d_2=10 \text{ mm}$, $\epsilon_{r2}=3,3$). Eristelevyjen väliin on kuitenkin jäänyt n. 100 μm paksuinen ilmarako, jossa on ilmaa normaalipaineessa.
- a) Arvioi, millä jännitteen tehollisarvolla suunnilleen alkavat ilmaraossa osittaispurkaukset elektrodienvälillä vaihtojännitettä (50 Hz) nostettaessa (3 p.)
 b) Mikä on osittaispurkauksen toistumistaajuus jatkuvassa tilassa, kun eristerakenteen yli vaikuttaa 50 kV:n (tehollisarvo) vaihtojännite? Jännösjännite purkauksen jälkeen oletetaan nolaksi. (3 p.)
3. Tarkastellaan lieriösymmetrisen SF₆-kaasueristysrakenteen mitoitus. Rakente on alun perin suunniteltu siten, että sisäsäde r on 8 mm ja ulkosäde R on 24 mm. Tällöin tehollisarvoltaan 40 kV:n vaihtojännitteen vaikuttaessa eristysrakenteen yli on kaasuvälissä esiintyvä maksimi sähkökentänvoimakkuus 6,44 kV/mm (huippuarvo). Rakenteen jännitelujuutta halutaan parantaa lisäämällä sisälieriön pinnalle 4 mm paksuinen muovieristyskerros (muoville suhteellinen permittiviteetti $\epsilon_m=3$), muiden mittojen pysyessä samana. Näin syntyneessä uudessa rakenteessa halutaan rajoittaa kaasuvälissä esiintyvä suurin hetkellinen sähkökentänvoimakkuus arvoon 6 kV/mm. Kuinka suuri on näin muutetussa rakenteessa
- a) kaasuvälän yli oleva jännite (tehollisarvo) enintään? (2 p.)
 b) lisätyssä muovieristeessä esiintyvä suurin hetkellinen sähkökentänvoimakkuuden arvo? (2 p.)
 c) muovieristeen yli oleva jännite (tehollisarvo)? (2 p.)
4. Selosta, mihin kaikkiin eristerakenteissa tapahtuviin ilmiöihin permittiviteetti liittyy ja miten? (6 p.)

5. Erälle erotinrakenteelle saatiin kytkentäjännitteellä suoritettussa Up-and-Down -koetuksessa kuvan 1. mukainen tulos avausvälin pituuden d ollessa 2 m. Kuinka suuri pitäisi avausvälin pituuden olla, jotta erotin täyttäisi tilastolliselle kestoajännitteelle (läpilyöntin todennäköisyys 10%) asetetun vaatimuksen 1050 kV. Voit olettaa, että erottimen avausvälin läpilyöntijännite kytkentäjännitteellä noudattaa yhtälöä

$$U_{50\%} = k \cdot 500 \cdot d^{0,6} \text{ kV} \quad [d] = \text{m}$$

Rakenteen muotokertoimen k oletetaan pysyvän vakiona eri etäisyyksillä. Kytkentäjännitteellä ylilyöntijännitteen hajonnaksi oletetaan 8 % arvosta $U_{50\%}$. (6 p.)

U_b/kV

1100	X							X										
1050		X		X				O		X							X	
1000			O		X		O			X				X		O		X
950						O					X		O		O			O
900												O						

Kuva 1. Erottimelle tehdyn Up-and-Down -kokeen tulos.