

1. a) Esittele lyhyesti sähköjakeluverkoissa esiintyvät mahdolliset vikatyypit (2p)
b) Luettele sähköjohdon mitoituksessa huomioitavat tekijät (2p)
c) Selvitä lyhyesti, miten 20 kV:n keskijänniteverkon vaihejännitteet käyttäytyvät maasta erotetun verkon 1-vaiheisessa maasulussa? (2p)
d) 1000 V:n sähköjakelujärjestelmä: selvitä lyhyesti sen teknis-taloudelliset käyttökohteet ja hyödyt (4p)
e) 20 kV johtolähdölle suunnitellaan liitettäväksi 2 MW tuulivoimala. Millaisia vaikutuksia voimalaitoksella on 20 kV verkon jännitteeseen ja suojaukseen? (5p)
2. Tarkastellaan kolmivaiheista oikosulkuja sekä yksivaiheista maasulkuja maasta erotetussa keskijänniteverkossa, joka koostuu neljästä johtolähdöstä. Pääjännite on 21 kV. Seuraavassa on annettu tehtävän muut alkuarvot:

Lähtö	Johdinlaji	Pituus
1	avojohto	60 km
2	maakaapeli	20 km
3	maakaapeli	15 km
4	maakaapeli	3 km

Impedanssit:

- avojohto: $r = 0,54 \Omega/\text{km}$, $x = 0,38 \Omega/\text{km}$
- maakaapeli: $r = 0,18 \Omega/\text{km}$, $x = 0,085 \Omega/\text{km}$
- 110 kV verkon ja päämuuntajan yhteenlasketut 20 kV puolelle redusoidut impedanssiarvot: $X = 2,5 \Omega$ ja $R = 0,2 \Omega$

Kapasitanssitiedot [maakapasitanssi/vaihe]

avojohto 6,0 nF/km ja maakaapeli 230,0 nF/km

- a) Lähdöllä 1 sattuu 2-vaiheinen oikosulku 25 km päässä sähköasemalta. Laske vikavirran suuruus. (vikaimpedanssi $Z_f = 0 \Omega$) (3p)
- b) Kuinka syvä jännitekuoppa (jännösjännite prosentteina) näkyy pääjännitteissä sähköasemalla 20 kV kiskossa, jos lähdöllä 2 tapahtuu 3-vaiheinen vika (vikaimpedanssi $Z_f = 0 \Omega$) 8 km päässä sähköasemalta? (2p)
- c) Lähdön 1 alussa sattuu yksivaiheinen maasulku. Laske maasulkuvirta ja nollajännite. (Vikaresistanssi $R_f = 0 \Omega$) (3p)

3. Verkkoyhtiösi jakelualueelle on suunnitteilla uusi pienteollisuusalue ja sinun tehtäväsi on huolehtia alueen sähköistyksestä. Rakennettavan keskijännitejohdon pituus on 8 km, ja kuormituksen oletettu keskiteho 1,8 MW. Vaihtoehtoina ovat 85 mm² avojohto (Pigeon, investointikust. 20870 €/km, $r = 0,337 \Omega/\text{km}$) ja 70 mm² päällystetty avojohto (SAX 70, investointikust. 24730 €/km, $r = 0,493 \Omega/\text{km}$). Alueelle ei ole varasyöttöyhteyttä.
- a) Laskentakorko on 6 %, $\cos\phi = 1$, häviöiden hinta on 80 €/kW, ja laskentajännite johdon loppupäässä on 20 kV. Tehon oletetaan kasvavan 2 %/a koko 20 vuoden tarkastelujakson ajan. Kumpi johto kannattaa valita taloudellisin perustein? Perustele vastauksesi laskelmin. (4p)
- b) Jos keskeytyskustannuksetkin huomioidaan koko tarkasteluaajalta, niin kumpi johto kannattaa tällöin valita? Perustele vastauksesi laskelmin. Avojohtoon vikataajuus vuodessa on 5 vikaa/100 km ja PAS-johdon 2 vikaa/100 km, vian keskimääräinen korjausaika on 2 h sekä keskeytyskustannusten arvostus 1,5 €/kW ja 12 €/kW. (3p)

Talousmatematiikan kaavoja:

$$\varepsilon = \frac{(1 + r/100)^2}{1 + p/100}$$

$$\varepsilon = \frac{(1 + r/100)}{1 + p/100}$$

$$\kappa = \varepsilon \frac{\varepsilon^T - 1}{\varepsilon - 1}$$

$$a = \frac{p/100}{\left[1 - \frac{1}{\left(1 + p/100 \right)^t} \right]}$$