

1) Vastaa kysymyksiin (jokainen kohta 1 p)

- Määritellään osoittimet $j = 1 \angle 90^\circ$ ja $a = 1 \angle 120^\circ$. Laske osoittimen $a + j$ arvo.
- Muuntajan kytkentäryhmä on YNd11 ja muuntosuhde 10,5/20 kV. Ension symmetrinen 3-vaiheinen c-vaiheen jännite on $\underline{U}_c = 5,77 \angle 100^\circ \text{ kV}$. Laske toision a-vaiheen jännite.
- Mitkä ehdot on toteuduttava sähköverkossa, jotta osoitinlaskentaa voi käyttää?
- Miten 400 kV ja 20 kV verkon maadoituskäytännöt Suomessa eroavat toisistaan? ~58.
- Mitä tarkoittavat käsitteet katkaisija ja erotin?
- Mitä mielestäsi tarkoittavat KAH-arvot?

2) Kolmivaihemuuntajan kilpiarvot ovat:

$$S_n = 25 \text{ MVA} \quad U_{1n}/U_{2n} = 110/21 \text{ kV}$$

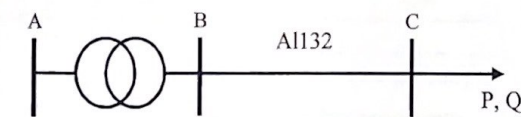
$$z_k = 10 \%$$

$$P_o = 15,5 \text{ kW} \quad P_k = 100 \text{ kW}$$

- Laske muuntajan oikosulkuresistanssin ja -reaktanssin arvot.
- Laske jännitteenaleneman kaavalla toisiojännitteen itseisarvo, kun ensiojännite on nimellisen suuruinen ja muuntajan kuormana on 19,1 MW, $\cos \varphi = 0,9_{\text{ind}}$?
- Määritä muuntajassa tapahtuvat kuormitus- ja rautahäviöt, jos muuntajan kuorma on b-kohdan mukainen ja muuntajan ensiojännite on edelleen nimellinen.

3) Kuvan 1 Al132-tyyppinen avojohto on 8 km pitkä ja sen resistanssi on 0,54 Ω/km ja reaktanssi 0,38 Ω/km . Sähköaseman alajännitepuolen jännite eli pisteen B jännite pysyy vakiona arvossa 20 kV.

- Kuinka suuri on johdon lopussa oleva kuormitus, kun jännitteenalenema on 4 %?
- Kuinka suuret ovat johdon pätö- ja loistehohäviöt?



Kuva 1.

$$U_h = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

$$P_h = 3 R I^2$$

$$Q_h = 3 X I^2$$

- Teollisuuslaitosta varten rakennetaan uusi 5 km pituinen keskijännitejohto. Johdolla siirrettävä huipputeho tulee olemaan 20 vuoden ajan 1,5 MVA ja $\cos \varphi = 0,9$. Laskentakorko on 8 % ja häviöiden hinta on 80 €/kW,a. Laskentajännite johdon loppupäässä on 20 kV. Johdinlajiksi valitaan joko Raven tai Al132. Kumpi on taloudellisin perusteiden oikea valinta ja kuinka suuri virhe tehdään, jos valitaan väärä johdinlaji?

	$r (\Omega/\text{km})$	Hinta (k€/km)
Raven	0,537	20
Al132	0,219	25

käännä sivua



- 5) Tarkastellaan yksivaiheista maasulkua maasta erotetussa keskijänniteverkossa. Pääjännite on 20,5 kV.

Lähtö	Johdinlaji	Pituus
1	avojohto	80 km
2	AHXAMK-W 3x120mm ²	14 km
3	AHXAMK-W 3x120mm ²	21 km
4	AHXAMK-W 3x120mm ²	0,5 km

$$I_L = 1036 \text{ A}$$

Kapasitanssitiedot: maakapasitanssi / vaihe

avojohto:	6 nF/km
AHXAMK-W 3x120mm ²	230 nF/km

- a) Laske maasulkuvirta, kun pieniresistanssinen ($R_f = 0$) vika tapahtuu lähdön 1 alussa.
- b) Kuinka suuri on avojohdon maakapasitanssien kautta kulkeva maasulkuvirta pituusyksikköä kohti laskettuna?
- c) Kuinka suuri on maakaapelin maakapasitanssien kautta kulkeva maasulkuvirta pituusyksikköä kohti laskettuna?
- d) Laske suurin mahdollinen maasulkuvirta silloin, kun varasyöttötilanteessa verkkoon on liitetty tilapäisesti viereisen sähköaseman alueelta 50 km avojootta ja 2 km maakaapelia.

$$96,43 \text{ } \angle 90^\circ$$

$$0,067 \frac{\text{A}}{\text{km}}$$

$$0,670 \frac{\text{A}}{\text{km}}$$

$$104,91 \text{ } \angle 90^\circ$$

Theveninin menetelmän mukainen 3-vaiheisen oikosulun vikavirta

$$\underline{I}_k = \frac{\underline{U}_v}{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_f}, \text{ jossa}$$

$\underline{U}_v$ = vikapaikan vaihejännite ennen vikaa

$\underline{Z}_{Th}$ = Theveninin impedanssi vikapaikasta katsottuna

$\underline{Z}_f$ = mahdollinen vikaimpedanssi

Johdon rajateho suuremman poikkipinnan käyttöön on

$$S_l \geq U \cdot \sqrt{\frac{K_{IA1} - K_{IA2}}{\kappa c_h (r_{A1} - r_{A2})}}$$

K_{IA1} johdinten investointikustannukset €/km

c_h häviöiden hinta €/kW,a

κ häviöiden kapitalisointikerroin

r_{A1}, r_{A2} johtojen resistanssit

Talousmatematiikan kaavoja

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

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

r = kuormituksen kasvuprosentti

p = korkoprosentti

Kapitalisointikerroin

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

Annuiteettikerroin

$$a = \frac{p/100}{1 - \frac{1}{(1+p/100)^T}}$$

p = korkoprosentti

T = aika vuosina