

SVT-1100 Sähköenergia

Tentti 20.4.2009



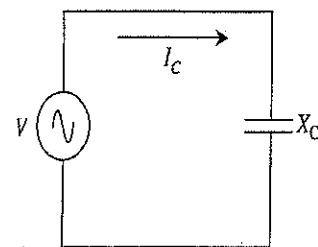
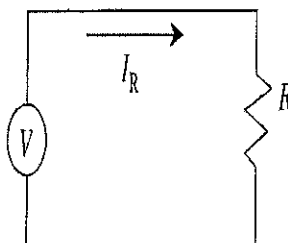
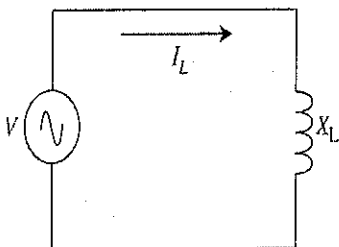
Seppo Valkealahti

toi pitää teta krossia,
mutta ei se oo teta
tentin palauttamis (vaikeu-
sen nimi on tossa)
T: Heikki K

Tentissä saa käyttää laskinta!

1. Vastaa TOTTA, jos väittämä on mielestä tosi, ja TARUA, jos se ei mielestäsi pidä paikkaansa. Oikeasta vastauksesta saat yhden pisteen, väärästä sinulta vähennetään yksi piste ja tyhjäästä vastauksesta saat nolla pistettä. (12 p)
 - a) Pohjoismaiseen sähköverkkoon kytketyn yksivaiheisen sähkömoottorin tehon taajuus on 50 Hz.
 - b) Yksi tyypillinen Suomessa käytettävä sähköenergian siirron pääjännite on 400 kV.
 - c) Tamperelainen sähkön kuluttaja voi ostaa sähköenergian siirtopalvelun miltä tahansa sähköenergian siirtotoimintaan harjoittavalta yhtiöltä.
 - d) Pika- ja aikajälleenkytkentöjä käyttämällä voidaan automaattisesti poistaa kaikki sähkön jakeluverkon viat.
 - e) Sähkön jakeluverkossa kulkee ainoastaan loistehoa, kun jännitteen ja virran välillä on vaihesiirtokulma 90° .
 - f) Ideaalinen kondensaattori (ei resistanssia) kuluttaa vaihtovirtapiirissä tehon, joka on verrannollinen sen kapasitanssiin.
 - g) Vesi- ja tuulivoimalla sekä uusiutuvalla bioenergialla pystytään yhdessä kattamaan maailman nykyinen energian käyttö.
 - h) Pienjänniteverkon vaihejännite 230 V riittää aiheuttamaan ihmiskehoon virran, mikä todennäköisesti johtaa kuolemaan.
 - i) Asuinrakennusten sähköjärjestelmissä käytetään Suomessa nykyään TN-S -järjestelmään, jossa on erillinen nolla- ja suojajohdin.
 - j) Siirrettäessä vakio teho johtimen läpi voidaan häviöitä pienentää nostamalla jännitettä.
 - k) Saman johtimen läpi voidaan viedä suurempi teho nostamalla jännitettä.
 - l) Tasavirrasta (DC) jouduttiin aikanaan siirtymään vaihtovirran (AC) käyttöön, jotta sähköenergiaa voitiin siirtää kohtuullisin häviöin pitkiä matkoja, eikä DC sovellu vieläkään pitkille siirtoyhteyksille.

2. a) Mitä primäärienergian lähteitä käytetään sähköenergian tuotantoon Suomessa, ja mikä on niiden suhteellinen osuus energia kokonaiskäytöstä? Entä Pohjoismaissa?
 - b) Piirrä oheisen kuvan kunkin kolmen vaihtovirtapiirin virran ja jännitteen arvot yhden jakson ajalta sekä virran ja jännitteen osoitinpiirrokset.
- (6 p)



SVT-1100 Sähköenergia

Tentti 19.3.2007



1. Vastaa TOTTA, jos väittämä on mielestä tosi, ja FARUA, jos se ei mielestäsi pidä paikkaansa. Oikeasta vastauksesta saat yhden pisteen, väärästä sinulta vähennetään yksi piste ja tyhjästä vastauksesta saat nolla pistettä. (6 p)
 - a) 1900-luvun keskeisimpiä sähkötekniisiä saavutuksia oli Lee De Forestin keksimä elektroniputki.
 - b) Sähkövoima-alan diplomi-insinööri, insinööri tai teknikko saa tehdä oman tai lähisukulaisen (lapset, vanhemmat ja isovanhemmat) hallinnassa olevassa asuinrakennuksessa sähköasennustöitä.
 - c) Valaisimet ja televisiot ovat taloudellisesti merkittävimmät sähköpalojen aiheuttajat Suomessa.
 - d) Kotitalousasiakkaan sähkön kokonaishinnasta tyypillisesti noin 55 % koostuu sähköenergian tuotantokustannuksista.
 - e) Sähkön jakelun peruseriaate pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla on, että jokainen asiakas voi liittymispisteestään käsin käyttää koko maan sähköverkkoa.
 - f) Sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuva haitta teollisuusasiakkaalle on suurempi PJK:sta kuin AJK:sta, koska AJK on suunniteltu keskeytys ja asiakas voi varautua siihen etukäteen.
2. a) Kolmivaiheeseen sähköverkkoon, jonka taajuus on 50 Hz ja pääjännite 400 V, kytketään tähtikytkennällä jokaiseen vaiheeseen kuorma, jonka resistanssi on 50Ω ja kapasitanssi $60 \mu\text{F}$. Laske kuorman kuluttama pätöteho ja loisteho sekä kuorman vaihekulma. (4 p)
b) Kunkin vaiheen kuormaan kytketään vielä sarjaan $0,1 \text{ H}$:n induktanssi. Millä taajuudella kuorma ei kuluta loistehoa? (2 p)
3. a) Ihminen on kytketty osaksi virtapiiriä siten, että kummassakin kädessä on elektrodi. Piirrä ihmisen muodostaman virtapiirin osan (impedanssin) sijaiskytkentä, kun elektrodien välinen jännite on pieni (muutamia voltteja) ja suuri (satoja voltteja). Piirrä myös ihmisen impedanssin suuruus jännitteen funktiona. (3 p)
b) Kerro pohjoismaisen sähköpörssin systeemihinnan (spot-hinta) muodostumisperiaate tuotantorakenteen sekä sähköenergian kysynnän ja tarjonnan näkökulmasta. (1,5 p)
c) Miten oikosulun aiheuttama vikavirta lasketaan karkeasti ja miten vikavirta käyttäytyy vian syntymistä seuraavien muutamien sekuntien aikana? (1,5 p)
4. a) Salama iskee 400 kV :n siirtolinjaan Suomen kantaverkossa. Millainen ylijännitepulssi tyypillisesti syntyy johtimiin ja miten pulssi etenee, kehittyy ja lopulta poistuu siirtolinjasta? (3 p)
b) Mikä on eri primaarienergiälähteiden suhteellinen osuus Suomessa kulutetusta energiasta? Mitkä ovat niiden suhteelliset osuudet Suomessa tuotetusta sähköenergiasta? (3 p)
5. Eräessä paikassa Suomen rannikolla keskimääräinen tuulen nopeus on v ja ilman tiheys ρ . Johda tuulta vastaan kohtisuoran ympyrän muotoisen pinta-alan, jonka säde on r , läpi menevän tuulen kokonaistehon yhtälö. Laske tarvittava tuulivoimalan siiven pituus 5 MW :n tehon tuottamiseen, kun tuulen nopeus on 10 m/s , ilman tiheys $1,2 \text{ kg/m}^3$ ja 40% saatavilla olevasta tuulitehosta voidaan muuttaa sähkötehoksi. (6 p)

1. Vastaa TOTTA, jos väittämä on mielestä tosi, ja TARUA, jos se ei mielestäsi pidä paikkaansa. Oikeasta vastauksesta saat yhden pisteen, väärästä sinulta vähennetään yksi piste ja tyhjästä vastauksesta saat nolla pistettä.
 - a) Vakionopeudella pyörivän kolmivaiheisen generaattorin tuottama kokonaisteho on ajan funktiona vakio (sama jokaisella ajanhetkellä).
 - b) Yksi tyypillinen Suomessa käytettävä sähköenergian siirron vaihejännite on 400 kV.
 - c) Kotitalousasiakkaan sähkön verottomasta kokonaishinnasta noin puolet koostuu sähköenergian tuotantokustannuksista ja puolet siirtokustannuksista.
 - d) Sähkötekniikan opetus aloitettiin Suomessa jo 1800-luvun.
 - e) Sähköjakeluverkossa kulkeva loisteho on yhtä suuri kuin nimellisteho, kun jännitteen ja virran välillä on 90° vaihesiirtokulma.
 - f) Ainoastaan lisäämällä maailmankaikkeuden entropiaa voidaan primäärienergia muuttaa työksi.
2.
 - a) Kerro heikkovirtatekniikan keskeinen teknologinen kehitys 1800-luvulla.
 - b) Kerro sähkövoimatekniikan keskeinen teknologinen kehitys 1800-luvulla.
3.
 - a) Osoita, että kolmivaihejärjestelmässä vaihejohtimien välinen jännite on noin 1,7 (tarkkaan ottaen $\sqrt{3}$) kertaa suurempi kuin vaihejohtimen ja nollajohtimen välinen jännite.
 - b) Mikä on oltava Carnot lämpövoimakoneen kuuman höyryn lämpötila lauhteen lämpötilan ollessa 30°C , jotta olisi mahdollista saavuttaa teoreettinen hyötysuhde $\eta = 0,75$? Lämpövoimakoneen materiaalit kestävät kuitenkin korkeintaan lämpötilan 700°C . Miten saat voimalan toimimaan halutulla teoreettisella hyötysuhteella $\eta = 0,75$, ja mihin sen voisi rakentaa?
4.
 - a) Kelassa on 280 johdinkierrosta ja sen pinta-ala on $0,2\text{ m}^2$. Kela pyöritetään homogeenisessa magneettikentässä, jonka magneettivuon tiheys on $0,8\text{ T}$. Mikä on tuotetun jännitteen amplitudi ja tehollisarvo, kun jännitteen taajuus on 50 Hz ?
 - b) Samanlainen ”generaattori” viedään USA:han, jossa vaihtovirran taajuus verkossa on 60 Hz . Miten generaattori tulee käämiä, jotta verkkoon syötettävä jännite olisi 10 kV .
5. 50 Hz taajuudella toimivalla generaattorilla tuotetaan sähköenergia kylälle, joka on kytketty verkkoon tähtikytkennällä. Kylän aiheuttama kuorma vaihetta kohden on $(75+j48)\Omega$ ja siirtolinjan yhden johtimen impedanssi on $(5+j12)\Omega$. Generaattorin napojen välinen jännite on 440 V ja niihin on kytketty kolme $15\ \mu\text{F}$:n kondensaattoria tähtikytkennällä. Laske generaattorin tuottama pätö- ja loisteho sekä sekä vaihekulma ja tehokerroin.



Kaavoja hyödynnettäväksi:

$$\sin(\alpha) \pm \sin(\beta) = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta), \quad \cos(\alpha) + \cos(\beta) = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta),$$

$$\cos(\alpha) - \cos(\beta) = -2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

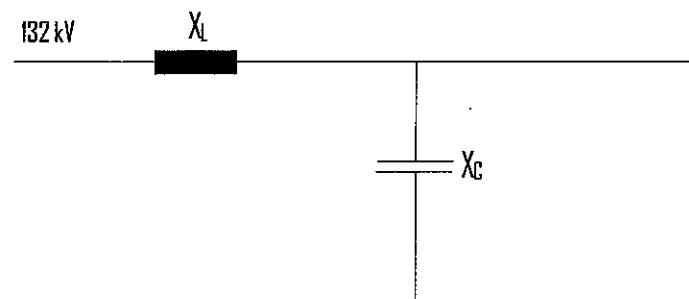
1. Valitse oikea vaihtoehto (oikeasta +1 pistettä, väärästä -1 p, tyhjästä 0 p) (0 - 6 p):
- Suomessa sähköverkoissa käytettävät vaihejännitteet ovat tyypillisesti noin 231 kV, 127 kV, 63.5 kV, 11.5 kV tai 230 V (oikein/väärin).
 - Koko pohjoismaiden sähkön tuotannosta hieman yli puolet perustuu vesivoimaan (oikein/väärin).
 - Sähkönverkon kuormituksessa tapahtuva merkittävä loistehon muutos vaikuttaa sähkönsiirtoverkon taajuuteen (oikein/väärin).
 - Erotinta (isolator) käytetään sähköasemilla vikavirtasuojana katkaisemaan verkossa kulkeva oikosulkuvirta (oikein/väärin).
 - Kosketusjännitesuojauksella tarkoitetaan suojausta jännitteiseksi tulevan jännitteelle alttiin osan koskettamiselta, kun laitteessa on eristysvika. Tärkeä osa kosketusjännitesuojausta on potentiaalintasaus (oikein/väärin).
 - Verkkoliiketoimintaan liittyvä pistetariffi (=sähkön siirrosta perittävä maksu yhden sähköyhtiön alueella) riippuu sähkön käyttöpaikasta (oikein/väärin).

2. Selosta lyhyesti

- Polttokennon toimintaperiaate? (2p)
- Miten muuntajan jännitteensäätö on toteutettu sähköverkon eri jännitetasoilla käytettävissä muuntajissa. (2p)
- Mitkä tekijät pitää huomioida mitoitettaessa sähköverkon yksittäistä johtoa? (2p)

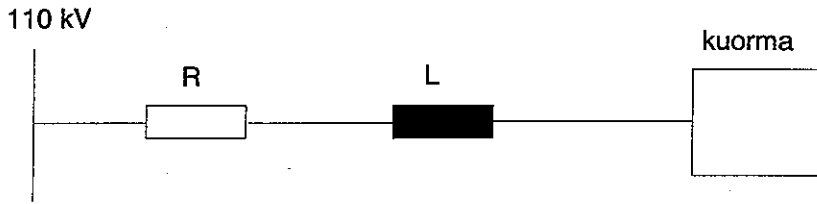


3. a) 132 kV:n siirtojohtoon jokainen vaihe voidaan kuvata alla olevan kuvan 1 mukaisesti pitkittäisellä induktiivisella reaktanssilla X_L ja poikittaisella kapasitiivisella reaktanssilla X_C . Kuvassa $X_L = 0.45 \Omega$ ja $X_C = 325 \text{ k}\Omega$. Millä vaihevirralla kuvan johto käy luonnollisella tehollaan (~johto ei tuota eikä kuluta loistehoa)? (3p)



Kuva 1

b) 110 kV:n siirtojohdon taajuus on 50 Hz Johdon pituus on 15 km ja sen loppupäähän on liitetty 75 MVA:n kuormitus. Johdon yksivaiheinen sijaistykenttä sisältää alla olevan kuvan 2 mukaisesti resistanssia $0.14 \Omega/\text{km}$ ja induktanssia $1.25 \text{ mH}/\text{km}$. (3p)



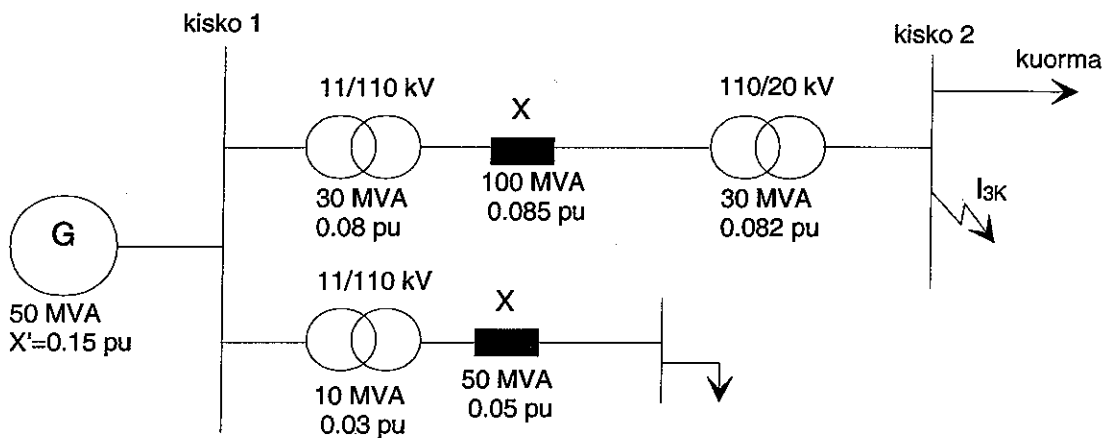
Kuva 2

Laske jännitteen alenema kun

- tehokerroin on 0.85 induktiivisella puolella.
- tehokerroin on 0.9 kapasitiivisella puolella.



4. a) Alla olevan kuvan 3 mukaisessa generaattorin syöttämässä verkossa tapahtuu kolmevaiheinen symmetrinen oikosulku kiskossa 2 salaman osoittamassa paikassa. Laske oikosulkuvirta ja oikosulkuteho. (4p)



Kuva 3

- b) Miten 20 kV:n sähköjakoverkko suojataan ukkosen aiheuttamilta ylijännitteiltä. (2p)

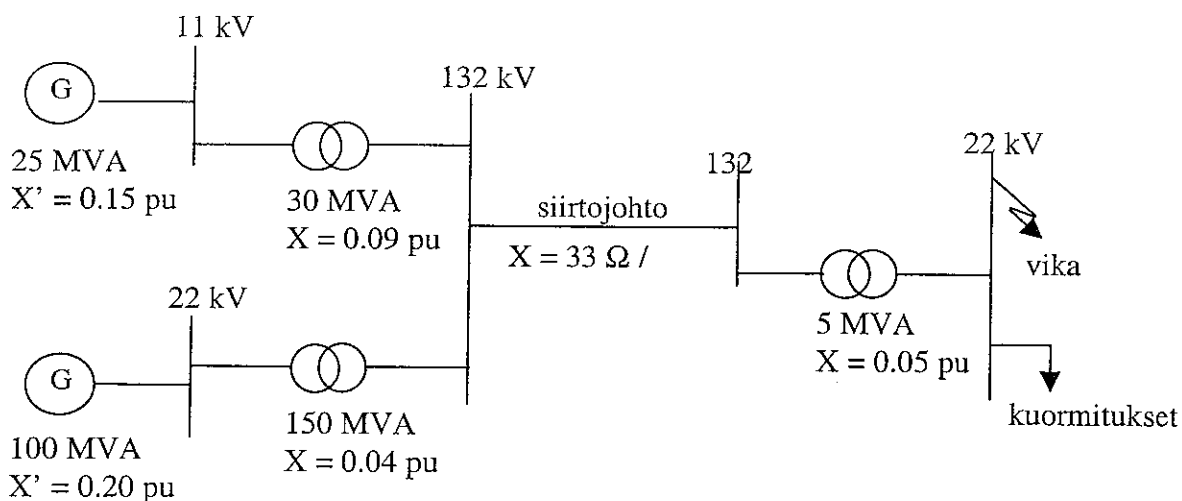
3. a) 10 kilometriä pitkän 132 kV:n johdon loppupäähän on kytketty 100 MVA:n kuormitus. Johdon yhden vaiheen resistanssi on 0.16 ohm/km ja reaktanssi 0.408 ohm/km. Miten paljon johdolla syntyvä jännitteenalenema pienenee, jos kuormituksen tehokerrointa kasvatetaan 0.8:sta 0.95:een (kuormitus induktiivista, tehokerroin "lagging"). (3p)

b) Vertaile pätötehohäviöitä 150 km pitkällä 400 kV:n johdolla seuraavissa siirtotilanteissa:

- johdolla siirretään ainoastaan 1 GW pätötehoa
- johdolla siirretään 1 GW:n pätötehon lisäksi 750 MVar loistehoa.

400 kV:n johdon resistanssi on 0.020 Ω /km ja reaktanssi 0.278 Ω /km. (3p)

4. a) Kuvan 1 verkossa tapahtuu symmetrinen kolmivaiheinen oikosulku 22 kV:n kuormituskiskossa. Laske oikosulkuvirta 22 kV:n kiskossa. (4p)



Kuva 1

- b) Selitä lyhyesti keskijännitejohdon suojareleenä toimivan kennoterminaalien toiminnot (2p)

