

SÄHKÖENERGIAJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TEHONSIIRTO

Tässä esityksessä käydään läpi sähköenergiajärjestelmän rakennetta sekä sen keskeisiä komponentteja ja tehonsiirtoon vaikuttavia tekijöitä.

SISÄLTÖ

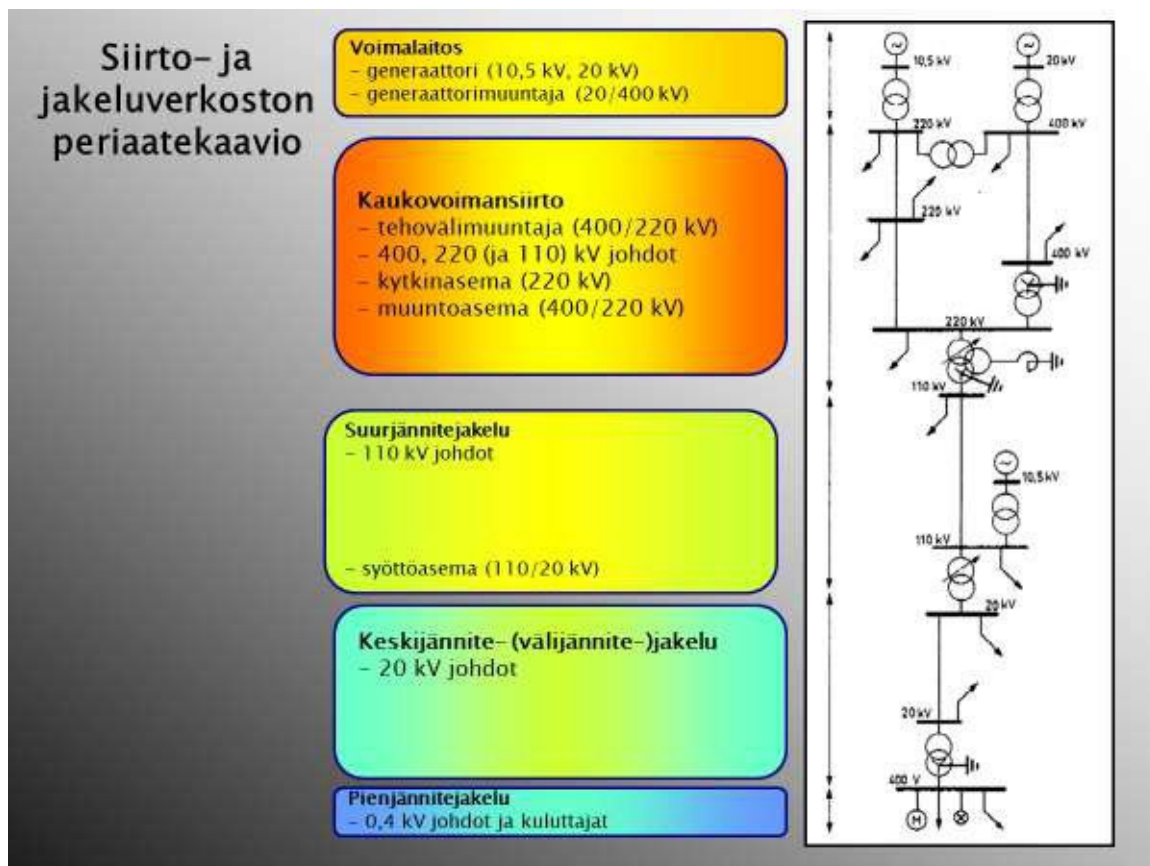
SÄHKÖENERGIAJÄRJESTELMÄ	1
SÄHKÖJOHDOT	3
VOIMAJOHTOJEN SÄHKÖINEN MALLI	4
VOIMAJOHDON TEHONSIIRTO	5
KESKIJÄNNITTEISET JAKELUJOHDOT	7
PIENJÄNNITEVERKOT	9
TEHONSIIRTO JAKELUVERKOSSA	10
TEHOMUUNTAJAT	12
SÄHKÖASEMIEN MUUT LAITTEISTOT	14
JAKELUMUUNTAMOT	17

SÄHKÖENERGIAJÄRJESTELMÄ

Sähköenergiajärjestelmä koostuu sähköverkosta sekä siihen liitetyistä sähkön tuotantoyksiköistä sekä sähkökuormista.

Suurissa voimalaitoksissa sähkö tuotetaan tavallisesti keskijännitteellä (6-20 kV) ja jännite nostetaan muuntajien avulla siirtojännitteen tasolle (220 kV tai 400 kV) ennen verkkoon syöttämistä. Korkean jännitteen käyttö on tarpeen pienten häviöiden ja pitkien siirtoetäisyyksien aikaansaamiseksi. Siirrettävä teho riippuu jännitteen ja virran tulosta, ja toisaalta virran suuruus määrittää johdolta vaadittavan poikkipinnan. Edullisin tapa lisätä siirtokapasiteettia on näin ollen nostaa jännitettä. Toinen samaan suuntaan vaikuttava tekijä on johdossa virran vaikutuksesta syntyvä jännitteenalenema. Ja mitä korkeampi on siirron jännite, sitä pienempi on myös jännitteenaleneman suhteellinen vaikutus.

Siirtoverkon avulla sähköä siirretään jopa tuhansia kilometrejä kunnes se tuodaan lähelle kulutuskeskittymiä, missä sen jännitettä muunnetaan edelleen muuntajien avulla pienemmäksi alueellista jakelua varten. Ensin jännite pudotetaan 110 kV tasolle aluesiirtoa, tai suurjännitejakelua varten. Siirtoetäisyydet ovat 110 kV tasolla maksimissaan muutaman sadan km luokkaa. Kaupunkien ja taajamien, kuten myös suurempien teollisuuslaitosten paikallinen sähköverkko liittyy tavallisesti 110 kV jännitetasolle 110/20 kV muuntajilla, joissakin vanhoissa kaupunkiverkoissa 110/10 kV muuntajilla.



Varsinainen sähkönjakeluverkko koostuu keskijännite- ja pienjänniteverkosta. Keskijännitteellä sähköä siirretään kaupungeissa muutaman km matkan ja haja-alueilla maksimissaan noin 40-60 km. Tämän jälkeen jännite pudotetaan jakelumuuntajilla pienkulutukselle sopivaan 0,4 kV tasoon (400 V pääjännite vaiheiden välillä, s.o. vaihejännite 230 V). Pienjänniteverkon siirtoetäisyys on muutaman sadan metrin luokkaa. Yhdyskuntien suuremmat kuluttajat, kuten pkt-teollisuus ja toimistokiinteistöt usein liittyvät jakeluverkkoon suoraan 20 kV tasolle omilla muuntamoillaan.

Suuren integroidun sähköenergiajärjestelmän etuja ovat mahdollisuus tuotannon sijoittaminen edulliseen paikkaan sekä tuotannon mittakaavaetu, joka pienentää energian tuotannon marginaalisia kustannuksia. Toinen hyöty on käyttövarmuuden ylläpito, joka on helpompaa suuressa järjestelmässä jossa voimalaitokset voivat toimia toistensa varatehon lähteinä.

Alla olevassa kuvassa on esitetty Pohjoismainen voimansiirtoverkko. Suomi liittyy Ruotsiin pohjoisessa kahdella 400 kV vaihtosähköjohdolla, sekä Olkiluodosta lähtevillä kahdella DC-merikaapelilla. Lisäksi on DC-yhteydet Viroon ja Venäjälle. Pohjoismainen yhteinen verkko mahdollistaa sähkön tuottamisen siellä missä se kulloinkin on edullisinta. Lisäksi se mahdollistaa suuremmat laitoskoot esimerkiksi ydinvoimalaitoksissa, koska varateho voidaan jakaa eri Pohjoismaiden kesken.

Pohjoismainen yhteis- käyttöverkko



SÄHKÖJOHDOT

Suomen kantaverkossa voimajohdot ovat kauttaaltaan ilmaeristeisiä n.s. avojohtoja, joissa teräsvahvisteiset alumiinijohtimet on kiinnitetty pylväisiin eristeketjujen tai riippueristimien avulla. Haja-alueella voimajohdot rakennetaan tavallisesti käyttäen harustettuja pylväitä; 400 kV johdoilla teräspylväitä ja 110 kV johdoilla usein puupylväitä. Esimerkki harustetusta pylväästä on alla olevassa kuvassa. Siirto tapahtuu kolmella vaiheella ja suuremmilla tehoilla yhdessä vaiheessa on monesti useampi johdin, jolloin puhutaan nippujohtimesta.

Nippujohtimen tavoitteena on lisätä johtimen ympäröimää, mikä pienentää sähkökentän voimakkuutta johtimen pinnalla ja sitä kautta vähentää koronapurkauksia jotka aiheuttavat radiohäiriöitä ja ylimääräisiä tehohäviöitä. Toinen nippujohtimen vaikutus on se että se pienentää johdon induktanssia ja sitä kautta suurentaa mahdollista siirtotehoa.

Kaupunkialueilla käytetään usein harustettujen pylväiden sijasta vapaasti seisovia ristikkopylväitä, koska ne varaavat vähemmän pinta-alaa. Vanhimmat johdot on rakennettu 1920-luvun lopulla.

Alla olevassa kuvassa näkyy kolmen vaihejohtimen lisäksi kaksi ukkosjohdinta, jotka on asennettu vaihejohtimien yläpuolelle. Ukkosjohtimien tarkoituksena on suojata johtoa suorilta salamankuilta. Ukkosjohtimet on kiinnitetty suoraan pylvään metalliseen runkoon, joka on edelleen yhdistetty pylvään juuresta maahan kuparisin maadoitusköysin. Tarkoituksena

on että maadoitus johtaa salamavirran maahan ilman että se aiheuttaa vahinkoa johdon eristimille tai sähköverkon muille osille.



VOIMAJOHTOJEN SÄHKÖINEN MALLI

Sähköjohdon sähköiset parametrit sekä niitä vastaava johdon malli on esitetty alla olevassa kuvassa. Johto voidaan esittää joko π -sijaiskytkennällä jolloin poikittaiskomponentit on jaettu kahteen osaan, yksi johdon molempiin päihin, taikka T-sijaiskytkennällä jossa poikittaiskomponentit on keskitetty johdon puoliväliin ja pitkittäiskomponentit on jaettu kahteen osaan.

Pitkittäiskomponentit muodostavat johdon sarjaimpedanssin Z , joka koostuu johtimen resistanssista sekä induktanssista. Siirtojohdoilla induktiivinen reaktanssi on voimakkaasti dominoiva osa kokonaisimpedanssia.

Vastaavasti poikittaiskomponentit muodostuvat admittansseista vaiheiden välillä ja vaiheiden ja maan välillä. Johdot pyritään eristämään hyvin, jolloin konduktanssi jää hyvin pieneksi. Admittansseja dominoi siten susceptanssi joka koostuu vaiheiden välisestä kapasitanssista sekä vaiheen ja maan välisistä kapasitansseista.

Johdot

$$\underline{Z} = (r + j\omega l) s$$

$$\underline{Y} = (g + j\omega c) s$$

$$\left\{ \begin{array}{l} s = \text{pituus} \\ r = \text{resistanssi} / s \\ l = \text{induktanssi} / s \\ g = \text{konduktanssi} / s \\ c = \text{kapasitanssi} / s \end{array} \right.$$

Suurjännitteisillä johdoilla reaktanssi $X = \omega L$ dominoi pitkittäisimpedanssia ja suskeptanssi $B = \omega C$ dominoi poikittaisadmittanssia

VOIMAJOHDON TEHONSIIRTO

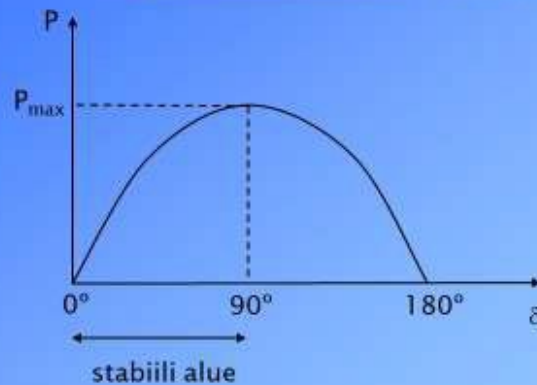
Tehonsiirtoa sarjareaktanssista muodostuvalla voimansiirtojohdolla voidaan kuvata tehokulmayhtälön avulla (kuva alla). Sen mukaan tehonsiirto riippuu suoraan johdon alku- ja loppupään jännitteistä ja niiden välisestä vaihekulmasta, sekä käänteisesti johdon reaktanssista. Siirrettävän tehon kasvaessa suurenee johdon päiden jännitteiden välinen vaihekulma aina 90 asteeseen saakka, mikä tilanne määrittelee teoriassa suurimman siirrettävän tehon kyseisellä johdolla. Jos siirtotehoa pyritään lisäämään yli tämän rajan, ei tehonsiirron lisääminen ole enää mahdollista, vaan johdon siirtokyky pienenee ja verkon stabiilisuus menetetään.

Tehokulmayhtälö määrittää verkon staattisen stabiilisuuden rajatehon, ja siten suurimman tehon joka johdon läpi voidaan siirtää. Käytännössä tämä kuitenkin teoreettinen arvo, sillä todellisissa verkoissa joudutaan varaamaan tehokulmalle varmuusmarginaalia erilaisia muutostilanteita ja tehokulmien heilahteluja varten. Käytännössä tehokulma rajoitetaan noin 45 asteeseen.

Tehonsiirto siirtojohdolla – Tehokulmayhtälö

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta$$

U1=alkupään jännite
U2=loppupään jännite
U1,U2 välinen kulma= δ
X = johdon reaktanssi



Staattisen stabiilisuuden rajateho

Tarkastellaan seuraavaksi esimerkkiä tehokulmayhtälön käytöstä johdon siirtokyvyn arvioimisessa. Esimerkki on 400 kV jännitteisestä johdosta, joita käytetään Suomen kantaverkossa. Johdon reaktanssin ollessa 0,4 ohmia/km voidaan 500 km mittaisella johdolla siirtää teoriassa enintään 800 MW teho. Siirtotehoa voidaan nostaa nostamalla jännitettä, jolloin esimerkiksi jännitteen kaksinkertaistaminen tekee siirtotehon nelinkertaiseksi. Edelleen, esimerkiksi verrattaessa 400 kV ja 110 kV johtoja toisiinsa, on 400 kV johdon siirtoteho noin 13-kertainen 110 kV verrattuna.

Toinen keino lisätä johdon siirtokykyä on pienentää sen sarjareaktanssia. Reaktanssi riippuu johdon induktanssista alla olevan yhtälön mukaisesti. Suurin osa induktanssista on johtimien välisen ilmatilan magneettivuon aiheuttamaa, ja vaikutta yhtälön hakasuluissa olevan logaritmitermin kautta. Induktanssia voidaan näin ollen pienentää suurentamalla johtimen sädettä, mikä taas voidaan tehdä käyttämällä nippujohtimia, jolloin vaihejohtimen ekvivalenttinen säde tulee suuremmaksi.

Pitkillä johdoilla voidaan turvautua siirtokyvyn suurentamiseksi myös sarjakompensointiin. Tässä johdolle asennetaan kondensaattoriyksikkö, joka kumoaa osan induktiivisesta reaktanssista, näin pienentäen kokonaisreaktanssia X.

Tehonsiirto siirtojohdolla – esimerkki

Maksimi teoreettinen siirtoteho 500 km mittaisella 400 kV johdolla, kun johdon reaktanssi on $0,4 \Omega/\text{km}$ ($= 200 \Omega$)

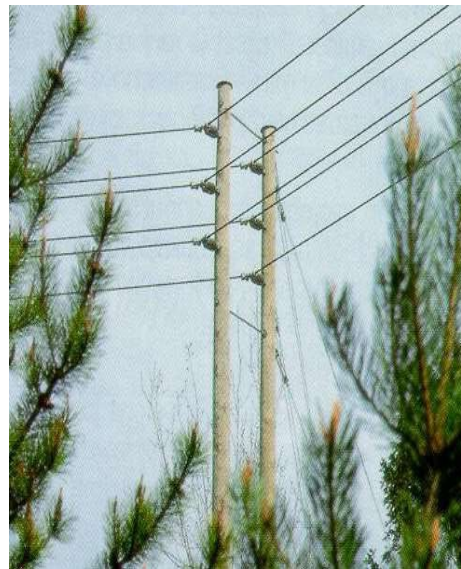
$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta = \frac{400^2}{200} \sin 90^\circ \text{ MW} = 800 \text{ MW}$$

Käytännössä kulma δ joudutaan rajoittamaan noin 45 asteeseen jolloin maksimiteho on noin 565 MW

Johdon reaktanssi/m saadaan $X = \omega L = 2\pi f L = 100\pi L$
Induktanssi/m (L) saadaan oheisesta yhtälöstä, jossa
 d =vaiheiden keskietäisyys, r =johtimen säde

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right]$$
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

KESKIJÄNNITTEISET JAKELUJOHDOT



Tarkastellaan seuraavaksi keskijännitteisiä 20 kV avojohtoja. Vasemmalla näkyy vallitseva johtotyyppi, joka on eristämättömillä johtimilla varustettu avojohto. Johtimet on valmistettu vetolujuuden lisäämiseksi joko seosalumiinista (AlMgSi) tai ne ovat teräsvahvistettuja,

jolloin johtimen sisällä on muutama terässäie jotka antavat johtimelle riittävän vetolujuuden ja ulommat kerrokset ovat alumiinia, joka vastaa virran johtamisesta. Johtimet on sidottu kiinni tavallisesti posliinista valmistettuihin eristimiin, jotka on edelleen kierretty kiinni teräsorteen. Keskijännitejohdon pylväinä käytetään Suomessa puupylväitä, joka on nykyään kyllästetty joko kuparipohjaisella kyllästysaineella tai kreosootilla (kivihiiliterva).

Avojohtojen ongelma on sen herkkyyden myrskyjen, ukkosen ja raskaan lumen aiheuttamille häiriöille. Suomessa avojohtojen on aikaisempina vuosikymmeninä rakennettu viivasuorina linjoina metsään, käyttäen melko kapeita johtokatuja. Tämä tekee johdoista alttiita sään aiheuttamille häiriöille. Nykyään johtojen käyttövarmuutta pyritään parantamaan raivaamalla niiden vierimetsiä. Uudet avojohtojen sijoitetaan teiden varsiin, jolloin niiden ympäristö on vähemmän myrskyaltis ja johtojen partioiminen ja korjaaminen on nopeampaa.

Yksi tapa parantaa keskijännitteisen ilmajohtojen käyttövarmuutta on käyttää eristettyjä johtimia. Kuva eristetystä avojohtojesta, niin sanotusta PAS-johtojesta on ylhäällä oikealla. Eristetyssä avojohtojesta johdin on päällystetty ohuella polyeteenikerroksella (XLPE) joka estää vikojen välittömän syntymisen. Eristystaso on osittainen eikä kestä vaihejohtimien keskinäistä kosketusta muutamaa tuntia pitempään. Jos puu kaatuu ja tekee kontaktin vain yhteen vaiheeseen, kestävä eristeen läpilyönnin syntyminen useita päiviä, jopa viikkoja. PAS-johtojen etuna verrattuna paljaaseen avojohtoon on se, että yksittäinen vika ei tavallisesti aiheuta välitöntä katkosta kuluttajien saamaan sähkөөn. Johto on kuitenkin partioitava ja vian aiheuttaja on poistettava johdolta ennen kuin se ehtii aiheuttaa eristysten pettämisen. Tämä tekijä on jossain määrin rajoittanut eristettyjen avojohtojen yleistymistä.



Kaupunkialueilla keskijännitteiset jakeluverkot rakennetaan maisemallisista ja maankäyttöön liittyvistä syistä tavallisesti maahan asennetuilla kaapeleilla. Yllä olevassa kuvassa on esitetty 20 kV maakaapelin rakenne. Vaihejohtimet on eristetty kukin omalla XLPE-eristyksellään. Uloimman muovivaipan alla on kosteutta eristävä alumiinikerros joka toimii samalla kosketussuojana. Kosketussuojan tehtävä on kahtalainen. Yhtäältä se estää maaperän kosteutta pääsemästä kaapelin eristeeseen. Toisaalta se on maadoitettu, jolloin se toimii turvallisuustekijänä. Jos esimerkiksi kaivuri osuu kaapeliin, maadoittuu kauha kosketussuojan kautta estäen näin ylisuurien kosketusjännitteiden syntymisen.

Harmaa kerros metallisen kosketussuojan alla on pitkittäinen vesieristys. Sen tarkoituksena on vähentää veden liikettä kaapelissa pituussuunnassa, jos kaapeliin pääsee yksittäisen

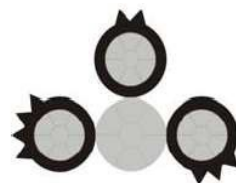
vaurion kautta vettä sisään. Varsinainen XLPE-eristys on kuvassa valkoinen kerros. Sen molemmin puolin on musta puolijohtava vyöhyke tasoittamassa sähkökentän voimakkuutta varsinaisen eristyksen yli. Yhteen kierrettyjen vaihejohtimien lisäksi kaapeliin kuuluu usein kuparinen maadoitusköysi, jota käytetään jakeluverkon maadoitusten vahvistamiseen ja johdon eri päiden maadoitusten liittämiseen toisiinsa ja myös kosketussuojaan.

Viime aikoina sähköverkkojen toimitusvarmuuskysymykset ovat alkaneet saada enemmän painoarvoa, osaltaan lisääntyneiden myrskyjen ja muiden sääilmiöiden aiheuttamien sähkökatkosten takia. Tämä on johtanut siihen, että avojohtoverkkoja omistavat sähköyhtiöt ovat alkaneet kaapeloida myös haja-alueiden verkkoja.

Suomessa keskijänniteverkot rakennetaan osittain silmukoituina, osittain säteittäisinä. Silmukoidussa verkossa on yksittäisen vian sattuessa aina varasyöttösuunta käytettävissä, jolloin syöttö saadaan palautettua asiakkaille nopeasti. Kaupunkien kaapeliverkoissa silmukointi on yleinen ratkaisu. Tavallisesti silmukka mitoitetaan niin että se on normaalissa tilassa korkeintaan 50% kuormitettu ja sitä käytetään puolivälistä erotettuna (erotinkytkin avattuna). Yksittäisen vian sattuessa voidaan koko silmukan kuorma syöttää kummalta puolelta tahansa.

PIENJÄNNITEVERKOT

Pienjänniteverkot rakennetaan joko maakaapeleilla tai pylväisiin asennetuilla ilmaaapeleilla, niin kutsutuilla riippukierrehdoilla (AMKA). Tällaisen johdon rakenne on alla olevassa kuvassa. Siinä on kolme eristettyä vaihejohtinta, jotka on kierretty paljaan kannatinjohdon ympärille. Kannatinjohto toimii samalla myös nollajohtimena ja maadoitusjohtimena (PEN-johto, katso sähköturvallisuusluento). Johto on ripustettu puupylväisiin kiinnitettyjen kannattimien varaan ja sitä käytetään pääasiassa taajamien ulkopuolella jakeluverkoissa sekä katujen, teiden ja lenkkipolkujen tms. valaistusverkoissa. Johdon korkeus maasta on yleensä vähintään 4 metriä ja tiestä 5,5 metriä.





TEHONSIIRTO JAKELUVERKOSSA

Kuten aiemmin on edellä kerrottu, tehokulma rajoittaa verkon tehonsiirtokykyä pitkillä suurjännitteisillä siirtojohdoilla. Jakeluverkoissa tilanne on toinen ja johdon siirtokyvyn määrää joko terminen kuormitettavuus (= maksimi virta) tai johdon resistanssissa ja reaktanssissa tapahtuva jännitteenalenema ($\max \Delta U$).

Kuormitusvirta aiheuttaa vaihejohtimessa tehohäviöitä kaavan $P=RI^2$ mukaan, missä R on johtimen resistanssi ja I kuormitusvirta. Tehohäviöt muuttuvat johtimessa lämmöksi, ja johtimen lämpötila riippuu häviötehon lisäksi sen eristeaineesta ja ympäristöolosuhteista. Valitettavasti hyvä sähkötekninen eriste on myös hyvä eristämään lämpöä, ja eristetty kaapelirakenne on herkempi lämpenemään kuin paljas avojohtojohdin. Viime kädessä kaapelin kuormitettavuuden määrää eristeaineelle sallittu suurin lämpötila.

Avojohtojohdoilla siirtomatkat ovat tavallisesti kaapelia pitemmät ja jäähtymisolosuhteet paremmat. Siirtotehoa rajoittavaksi tekijäksi tulee usein jännitteenalenema. Keskijännitteiselle avojohtojohdolle voidaan normaalioloissa sallia noin 5% mikä mahdollistaa esimerkiksi noin 1 MW tehon siirtämisen 40 km päähän.

Esimerkki: kaapelin siirtokyky

Kaapelille on määritelty maksimivirta (A), jonka se kussakin asennusolosuhteessa kestää lämpenemättä liikaa (terminen raja)

Esimerkiksi, jos 20 kV kaapelin maksimivirta on 200 A ja kuorman tehokerroin $\cos\phi=0.9$ on maksimi teho vastaavasti:

$$P_{max} = \sqrt{3} UI \cos\phi = \sqrt{3} 20 \text{ kV} 200 \text{ A} 0.9 = 6235 \text{ kW} \sim 6.2 \text{ MW}$$

Huomaa: U = pääjännite & I = vaihevirta

Vaihejännitteillä: (vaihejännite = pääjännite/ $\sqrt{3}$ = 20/ $\sqrt{3}$ kV)

$$P_{max} = 3 UI \cos\phi = 3 \frac{20}{\sqrt{3}} \text{ kV} 200 \text{ A} 0.9 = 6235 \text{ kW} \sim 6.2 \text{ MW}$$

Esimerkki – keskijännitteisen avojohdon siirtokyky

Pitkillä KJ-avojohdoilla siirtokyvyn määrää jännitteenalenu: $\Delta U = |U_1| - |U_2|$ jonka likiarvo voidaan laskea pitkittäiskomponenttina $\Delta U = RI_p + XI_q$

Missä R ja X on johdon resistanssi ja reaktanssi, I_p ja I_q on pätö- ja loisvirta.

Esimerkki: 40 km 20 kV johdon impedanssi on $0,3+j0,3 \Omega/\text{km}$. Johto syöttää 1 MW kuormaa jonka tehokerroin ($\cos\phi$) on 0,9. Mikä on jännitteenalenu.

$$\text{Pätövirta: } P = \sqrt{3} UI_p \Leftrightarrow I_p = 28,9 \text{ A}$$

$$\text{Loisteho } Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ \& } S = P/\cos\phi \Leftrightarrow Q = 0,484 \text{ Mvar}$$

$$\text{Loisvirta: } Q = \sqrt{3} UI_q \Leftrightarrow I_q = 14 \text{ A}$$

$$\text{Johdon impedanssi } Z = R + jX = s(r + jl) = 40(0,3 + j0,3) = 12 + j12\Omega$$

$$\Delta U = RI_p + XI_q = 12 \times 28,9 + 12 \times 14 \text{ V} = 515 \text{ V} \text{ (~ 4,5\% vaihejännitteestä)}$$

$$20 \text{ kV verkon vaihejännite} = 20/\sqrt{3} \text{ kV} \sim 11,5 \text{ kV}$$

TEHOMUUNTAJAT

Tarkastellaan seuraavaksi tehomuuntajia. Oheisessa kuvassa on esitetty tyypillinen 110/20 kV sähköaseman päämuuntaja, joiden teho vaihtelee tavallisimmin välillä 16 ... 40 MVA.

Muuntajan aktiiviset osat, käämit on kierretty rautasydämen ympärille, joka puolestaan on upotettu muuntajaöljyyn. Öljy toimii paitsi pääasiallisena eristysaineena, myös osallistuu muuntajan jäähdyttämiseen. Lämpenevä öljy nousee ylöspäin, missä se johdetaan säiliön yläosasta jäähdytyslementteihin, radiaattoreihin. Näissä se jäähtyy ja muuttuu samalla raskaammaksi, kiertäen samalla takaisin muuntajan säiliön alaosaan. Muuntajan käämit on tavallisesti päällystetty ohuella paperinauhaeristyksellä, mikä muodostaa käämikierrosten välisen eristyksen. Kuvan muuntajassa on luonnonkiertoinen jäähdytys. Tarvittaessa jäähdytystä voidaan tehostaa lisäämällä öljynkiertoon pumppaus ja/tai radiaattoreihin puhaltimet. Näin toimitaan usein kaupunkialueilla, missä tilasta on pulaa ja muuntajan pienempi koko on etu.

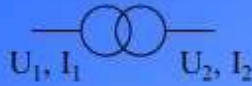
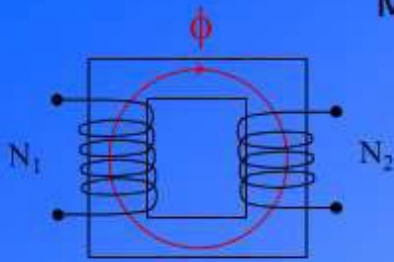
Säiliön yläpuolella on öljyn paisuntasäiliö, jonka tehtävänä on ottaa vastaan lämpölaajenemisesta johtuva öljyn liike. Lisäksi paisuntasäiliö ylläpitää säiliössä pientä ylipainetta, jolloin ilmaa ja sen mukana kosteutta ei pääse niin helposti muuntajaöljyn sekaan. Posliiniset ruskeat rakenteet ovat läpivientejä joiden avulla muuntajaan liittyvän johdon vaihevirrät ja -jännitteet viedään muuntajan sisälle. Kuvassa näkyy myös läpivientien rinnalla ylijännitesuojat (harmaa rakenne) jotka rajoittavat salamaylijännitteiden pääsyä muuntajan sisälle.



Alla olevassa kuvassa on lyhyesti kuvattu muuntajan toimintaperiaate. Käämien jännite kierrosta kohti on sama riippumatta kierrosten lukumäärästä. Näin ollen muuntajan muuntosuhde saadaan määrättyä yksinkertaisesti valitsemalla sopiva kierrosten lukumäärä muuntajan eri puolille, ensiöön ja toisioon.

Koska muuntajan läpi menevä teho säilyy muuttumattomana, on jännitteen ja virran tulo vakio. Kun jännitettä pienennetään, kasvaa vastaavasti virta kääntäen jännitteeseen verrannollisena.

Muuntajan toiminta



Kierrosjännite sama

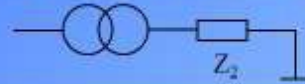
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Teho säilyy

$$S = \sqrt{3} U_2 I_2 = \sqrt{3} U_1 I_1$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Toisios impedanssi Z_2 ensiöstä nähtynä ?



toisiossa $Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$

ensiössä $Z_2' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 \cdot \frac{N_1}{N_2}}{I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot Z_2$

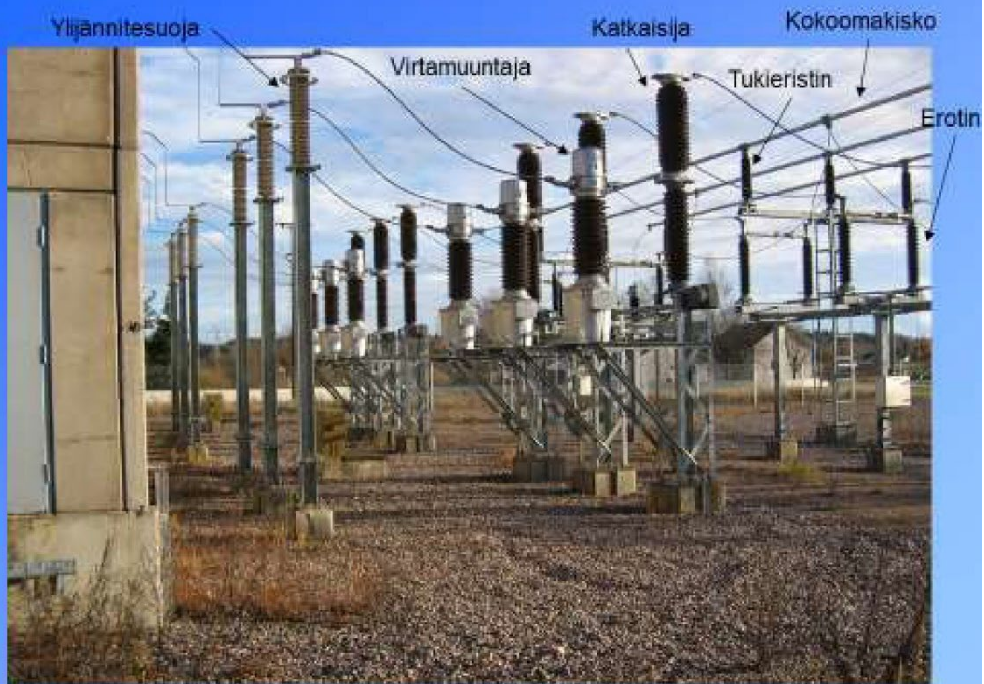
tavallisesti merkitään $\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$

SÄHKÖASEMIEN MUUT LAITTEISTOT

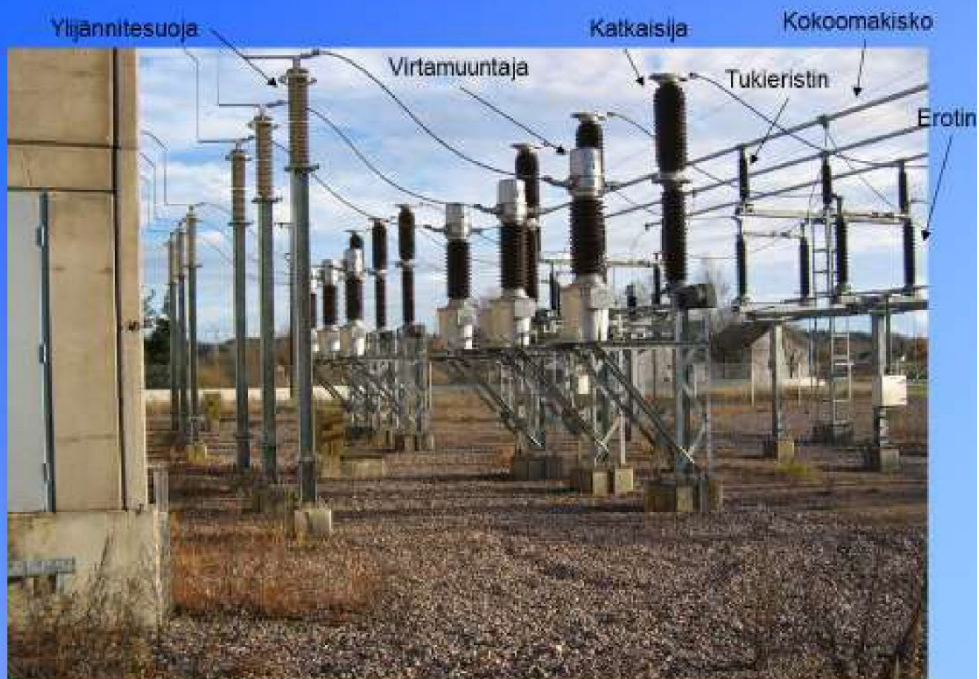
Seuraavalla sivulla olevissa kuvissa on havainnollistettu sähköaseman laitteistoja.

Muuntajan ja ylijännitesuojien lisäksi asemalle kuuluu virta- ja jännitemuuntajat, joilla saadaan verkosta mittaustiedot verkon käyttöä ja suojaustoimintoja varten, sekä katkaisijat ja erottimet, joiden avulla voidaan ryhmitellä verkon kytkentöjä sekä suorittaa käytännössä verkon komponenttien irtikytkennät suojaustoimintojen niin vaatiessa. Verkon ryhmittelyä varten sähköasemilla on kokoojakiskot, joihin muuntajat ja lähtevät johdot liittyvät erottimien ja katkaisijoiden välityksellä.

Kytinasemalaitteet



Kytinasemalaitteet



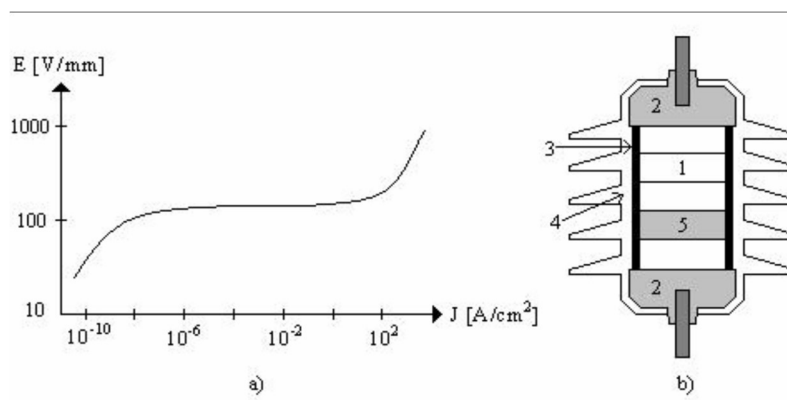
Kytkinasemalaitteet



20

Ylijännitesuojan tyypillinen ominaiskäyrä (kuva a) ja venttiilisuojan rakenne (b) on esitetty alla olevassa kuvassa, jossa 1 = metallioksidilieriö (ZnO), 2 = päätelektrodit, 3 = tukisylinteri, 4 = kuorimateriaali ja 5 = metallinen välilevy.

Ylijännitesuoja (venttiilisuoja) siirtyy ylijännitteellä johtavaksi ja siirtää ylijännitepulssin maahan rajoittaen näin jännitettä ja suojaen suojattavan kohteensa eristeitä läpilyönniltä. Venttiilisuojaa käytetään kiinteiden eristeiden yhteydessä, lähinnä suojaamaan muuntajia ja kaapeleita. Suoja palautuu ylijännitteen mentyä ohi takaisin eristävään tilaan. Venttiilisuoja toimii vain lyhytaikaisilla ylijännitteillä (salamat).



Jakeluverkon rakenne

Jakelumuuntamo

- 20 kV johdon ja muuntajan välissä yleensä erotin
 - ylijännitesuoja tai suojakipinäväli
- Muuntamorakenne + muuntaja
 - ilmajohdoissa pylväsmuuntamo, 1- tai 2-pylväsrakenne
 - kaapeliverkoissa puisto- tai kiinteistömuuntamo
- Pienjännitekeskus
 - pylväsmuuntamossa pylväsvärokekotelot
 - puistomuuntamossa 'oikea' keskus
- Muuntajan runko on suojamaadoitettu



24

JAKELUMUUNTAMOT

Yllä olevassa kuvassa on esitetty vielä 20/0.4 kV jakelumuuntamon rakenne avojohto- ja kaapeliverkossa. Avojohtoverkossa muuntamot on perinteisesti rakennettu pylväsmuuntamoina, jotka on suojattu ylijännitteitä vastaan joko venttiilisuojilla tai kipinäväleillä. Toisin kuin venttiilisuojan tapauksessa, kipinävälin toimiessa jää valokaari palamaan vaiheen ja maan välille. Valokaaren, ja niin muodoin myös vikavirran, sammuttaminen vaatii tavallisesti johdon kytkemisen lyhyeksi aikaa jännitteettömäksi. 20/0.4 kV jakelumuuntajat ovat perusrakenteeltaan hyvin samanlaisia kuin aiemmin esitetyt sähköasemien päämuuntajat. Pääeristysaineena niissäkin toimii öljy, joka samalla huolehtii aktiivisten osien jäädyttämisestä. Kaupunkialueilla muuntamot rakennetaan koppeihin (puistomuuntamo) tai rakennusten yhteyteen esimerkiksi kellarimuuntamoina.