

4 Keskpingevõrgud

Elektrit toodetakse teadupärast elektrijaamades. Sealt kantakse elektrienergia tarbijateni elektrivõrkude vahendusel. Kõrgepingevõrkude kaudu kantakse elektrit suurte vahemaade taha, kesk- ja madalpingevõrkude abil aga jaotatakse piirkonnasiseselt. Tasub meeles pidada, et ligi 50% elektrienergia maksumusest on seotud elektri jaotamisega. Seetõttu tuleb ka jaotusvõrkudele osutada asjakohast tähelepanu.

4.1 Keskpingevõrkude konfiguratsioon

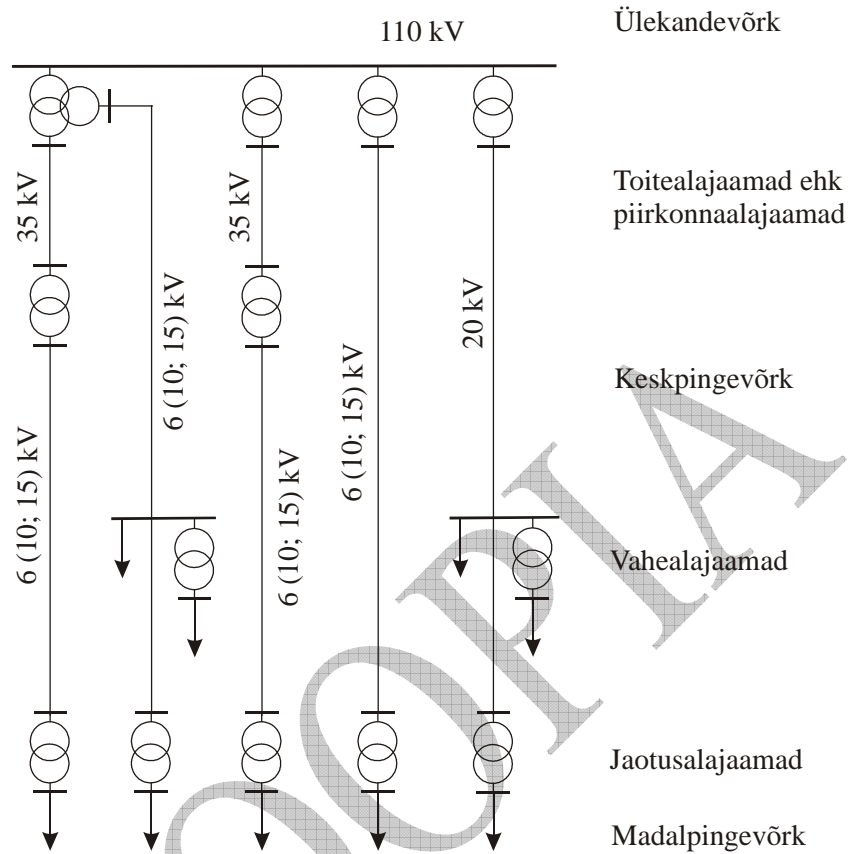
Keskpingevõrgud talitlevad peaaegu eranditult radiaalskeemi kohaselt. Võrgu täpsema konfiguratsiooni määramisel on ometigi terve rida võimalusi nii nimipingete, lahutuspunktide, reservahelate kui muude üksikasjade valikuks, mis oluliselt mõjutavad võrgu töökindlust, majanduslikku efektiivsust ja elektri kvaliteeti.

4.1.1 Elektrivõrkude liigitus

Jaotusvõrke võib liigitada tarbijate iseloomu järgi tööstusvõrkudeks, linnavõrkudeks ja maavõrkudeks. Tööstusvõrgu näol on tegemist peamiselt suur-ettevõtete sisevõrguga, mille kaudu toimub ettevõtte varustamine elektrienergiaga. Linnavõrke iseloomustavad konfiguratsiooni keerukus, tarbijate rohkus ning kaabelliinid. Maavõrkudele on omane hajutatatus, suhteliselt väike tarbijate hulk ning pikad õhuliinid.

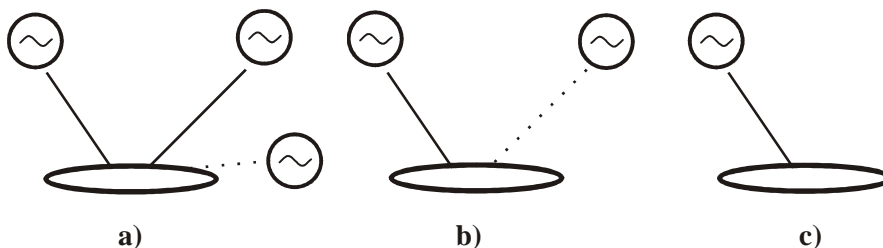
Keskpingejaotusvõrgu ehitus sõltub nimipingetest. Soovitav on valida naaber- võrkude nimipingete suhe mitte väiksem kui 2. Soome kogemustel on parimaks lahenduseks ainult üks jaotuspinge – 20 kV. Eestile iseloomulikud pingeastmed on joonisel 4.1. Pingetel 6 ja 10 kV toimub jaotamine peamiselt linnades, pingetel 15 ja 20 kV aga maapiirkondades. Pingeastmel 35 kV kantakse elektrit üle suurtesse jaotuskeskustesse, kust jaotamine toimub vastavalt kohalikele tingimustele. Tänapäeval on Eestis võetud suund pingeastmete vähendamisele. Perspektiivseteks pingeastmeteks loetakse tiheasustusega piirkonnas 10 kV ja hajaasustusega piirkonnas 20 kV. 35 kV võrk viiakse üle kas 110 kV või 20 kV pingele. 35 kV võrku ei likvideerita siiski lähiajal. Tuleb tähele panna, et elektrivõrkude ehitamine ja rekonstrueerimine nõuab suuri investeeringuid, mistõttu iga otsus peab olema tehniliselt ja majanduslikult põhjendatud. Seni jätkub alajaamade rekonstrueerimise käigus ka 35 kV jaotusseadmete uuendamine.

Elektrivõrgu konfiguratsioon on otseselt seotud tarbijate elektrivarustuskindlusega. Elektrivarustuskindluse järgi jaotatakse tarbijad kolme rühma (joonis 4.2). Esimese rühma moodustavad sellised tarbijad (haiglad, keeruka tehnoloogilise



Joonis 4.1 Keskpingevõrgu struktuuri näiteid

protsessiga ettevõtteid), mis vajavad toidet kahest sõltumatust allikast (alajaamast), võimalik, et veel lisatoidet kolmandast allikast. Teise rühma tarbijate puhul kasutatakse kas ühte eritingimustel ehitatud või kahte sõltumatut toiteallikat, kusjuures automaatikata reservallika lülitab sisse valvpersonal või operatiivbrigaad. Seda skeemi kasutab enamik tööstusettevõtteid. Kolmandasse rühma kuuluvad kõik ülejäänud objektid (nt elamud), mida varustatakse ühest toiteallikast.

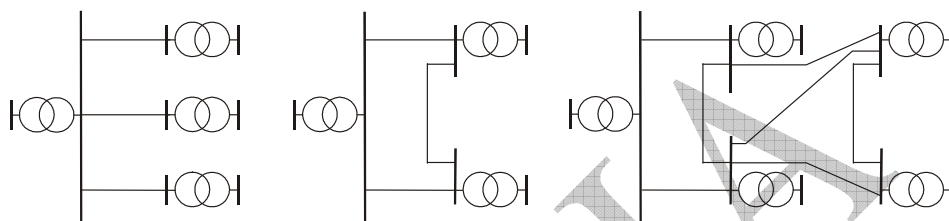


Joonis 4.2 Esimese (a), teise (b) ja kolmanda (c) rühma tarbijate elektrivarustuse põhimõtteskeemid

Elektrivõrgu ühendusskeem ehk konfiguratsioon kitsamas mõttes on määratud harude ja sõlmede vaheliste ühendustega. Elektrivõrke liigitatakse selle tunnuse järgi (joonis 4.3)

- radiaalvõrkudeks
- hargnevateks radiaalvõrkudeks
- ringvõrkudeks
- silmusvõrkudeks.

Erinevate võrguskeemide eelised ja puudused on tabelis 4.1.



Joonis 4.3 Radiaal-, ring- ja silmusvõrk

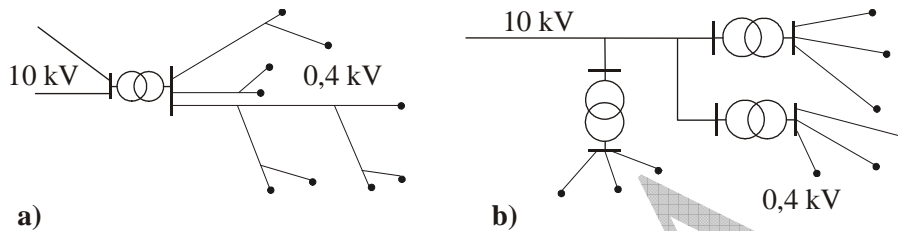
Tabel 4.1 Võrguskeemide võrdlus

Skeem	Eelised	Puudused
Radiaalvõrk	Skeemi lihtsus ja selgus Lihtne releekaitse	Madal elektrivarustuskindlus
Ringvõrk	Kõrgem elektrivarustuskindlus Parem pingepüsivus Väiksemad võimsuskaod	Keerukas releekaitse Keerukas käit
Silmusvõrk	Veelgi kõrgem varustuskindlus Veelgi parem pingepüsivus Veelgi väiksemad võimsuskaod	Keerukas ja kallis releekaitse Keerukas käit

Keerukad skeemid (silmusvõrgud) sisaldavad mitut suletut kontuuri ja on kasutusel suurt talitluskindlust nõudvates süsteemi- ja ülekandevõrkudes, alates pingest 110 kV. Ring- või silmusvõrkudena välja ehitatud jaotusvõrgud talitlevad avatuna, sest nii on releekaitse ja automaatika tunduvalt odavam ja lihtsam. Sellistes võrkudes on kasutusel **lahutuskohad** – lülituspunktid, millega võrk eraldatakse radiaalselt töötavateks osadeks, fiidriteks. Erandina töötab Eesti 35 kV jaotusvõrk kohati suletuna.

Suletuna ehitatud skeem või rööpahel võimaldab toidet reserveerida. Kasutusel on reservilülitusautomaadid, millega on võimalik taastada piirkonna elektrienergiaga varustamine peale võrguavariid. Efektiivsed on kaugjuhitavad alajaamad ja lülituspunktid, mis võimaldavad kiiresti teha tarvilikke ümberlülitusi tarbijate elektrienergiaga varustamise taastamiseks. Reserveerimata radiaalvõrgud

esinevad peamiselt madala varustuskindlusega leppivate tarbijate elektrienergiaga varustamisel. Hargnevad radiaalvõrgud on levinud maapiirkondades, kus asustus on hõre ja elektrienergiat kantakse üle suhteliselt pikkade vahemaade taha. Lihtsad avatuna talitlevad suletud võrgud (kahepoolne toide ja ringliinid) leiavad kasutamist nii maal kui linnas.

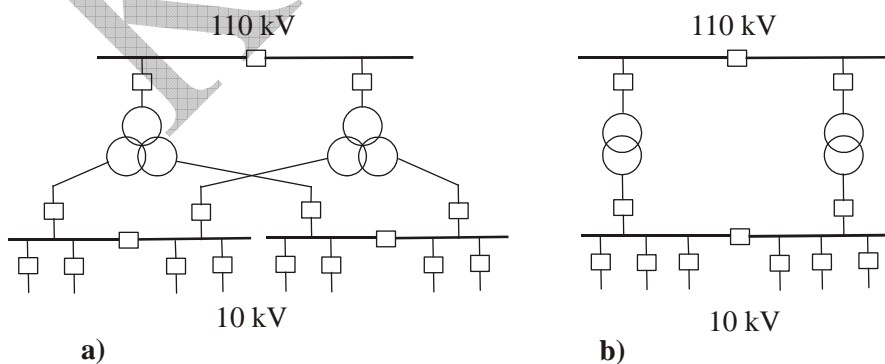


Joonis 4.4 Jaotusvõrgu jaotusfunktsioonid madal- (a) ja keskpingel (b)

Võrgu jaotusfunktsiooni seisukohalt võib täheldada kaht suunda. Kasutusel on konfiguratsioon, mille korral jäetakse elektri jaotamine enam madalpingele. Selle konfiguratsiooni korral on võrgu maksumus tavaliselt odavam (joonis 4.4a). Teise suuna korral toimub jaotamine rohkem keskpingel, mille tulemusena on võrgu maksumus küll suurem, kuid kaod on väiksemad ja elektri kvaliteet kõrgem (joonis 4.4b). Eestis lähtutakse praegusel ajal tingimusest, et madalpingefiidri pikkus ei tohiks olla üle 600 m.

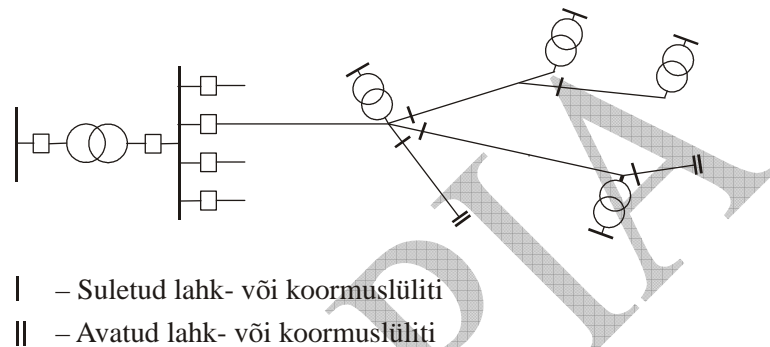
4.1.2 Keskpingefiidrid

Jaotusvõrgu tööskemi võib vaadelda koosnevana radiaalselt talitlevatest **fiidritest**. Keskpingefiidrid lähtuvad toitealajaamadest, mille primaarpinge on enamasti 110 kV ning sekundaarpinge 6...35 kV. Toitealajaamade trafode arv ja lülitusskeemid nii ülem- kui alampinge poolel sõltuvad ülekandevõrgu ja jaotusvõrgu konfiguratsioonist, tarbijatele vajalikust elektrivarustuskindlusest jm. Tavaliselt on toitealajaamades kaks või enam trafot ning keskpinge-



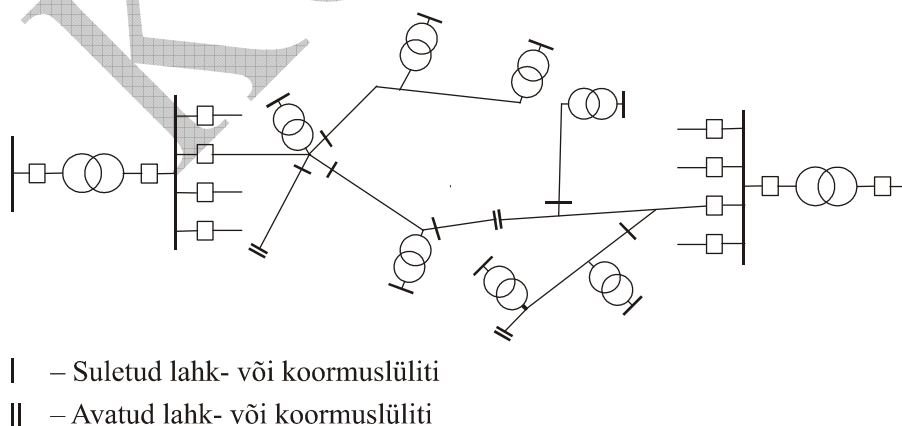
Joonis 4.5 Nelja- (a) ja kahelatisüsteemiga (b) keskpingejaotla skeem

latisüsteemi. Suurtes toitealajaamades, kus fiidreid on palju, kasutatakse kahe trafoga ja nelja latisüsteemiga skeemi (joonis 4.5a), mis tagab vajaliku elektrivarustuskindluse. Sellisesse alajaama seatakse üles kolmemähiselised trafod. Enamasti leiab kasutamist siiski odavam kahe latisüsteemiga skeem (joonis 4.5b) kahemähiseliste trafodega. Latisüsteemid töötavad tavaliselt lahus, sektsioonidevaheline lüliti on normaalolukorras väljas. Toimib sektsioonidevaheline reservilülitusautomaat, mis ühe latisüsteemi toite katkemisel ühendab pingetuks jäänud latisüsteemi teisega.



Joonis 4.6 Jaotusvõrgu keskpingefiidri skeem

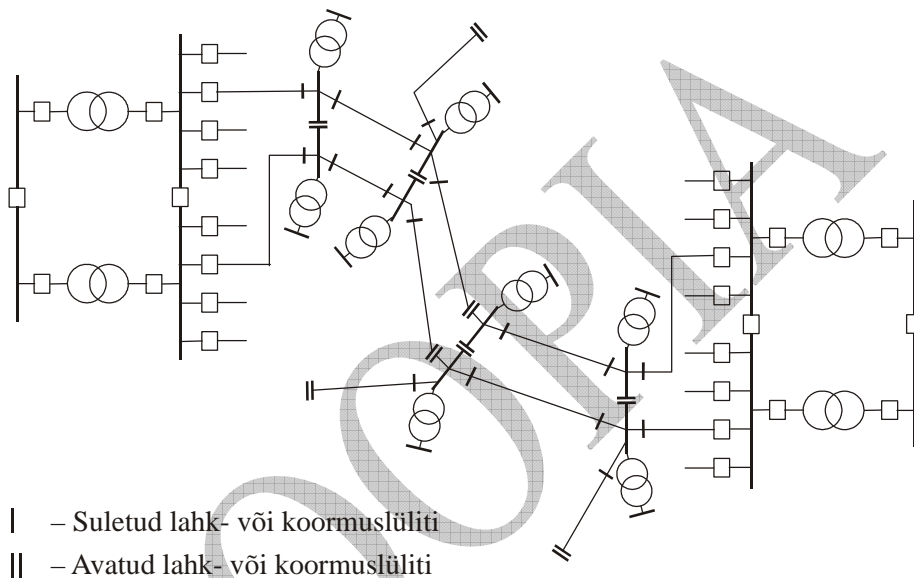
Toitealajaamast väljuvate keskpingefiidrite arv võib ulatuda mitmekümneni. Keskpingefiidri skeem on joonisel 4.6. Fiider võib koosneda ka ainult ühest harust, milles on jaotustrafo ühe tarbija toiteks. Enamasti on fiidri skeem siiski hargnev. Hargnemine toimub mast- või kioskalajaamades, mis on varustatud lahk- või koormuslülitiga võimaldamaks võrgu skeemi plaanilist või avariist tingitud muutmist. Võimalik on eraldada teatud osa võrgust hooldus- ja remonditööde tegemiseks või lahutada võrgust avariiline liinilõik. Keskpingefiidri lõpp-punktideks on jaotusalajaamad, kus toimub elektrienergia



Joonis 4.7 Keskpingevõrgu ühe kiirega skeem

muundamine keskpingelt madalpingele ja kus on ka lahutuskohad kahe erineva keskpingefiidri vahel.

Fiidrite omavahelised ühendused võimaldavad võrgu skeemi muuta. Enamasti on kasutusel ühe kiirega skeem (joonis 4.7), kus omavahel on ühendatud kahe toitealajaama või ka sama toitealajaama kaks või rohkem fiidrit, mis töötavad muidugi avatud skeemi kohaselt. Vajaduse korral on võimalik fiidrite lahutuskohti muuta. Sellise skeemi töökindlus on suurem, võrreldes radiaalsena ehitatud võrguga, kus ümberlülituste võimalused puuduvad.



Joonis 4.8 Keskpingevõrgu kahe kiirega skeem

Elektrivarustuskindlus on suurem kahe kiirega skeemi korral (joonis 4.8), kus tarbijaid on võimalik toita nii sama toitealajaam erinevate latisüsteemide kui kahe erineva toitealajaama kaudu. Skeemil on neli kaheseksioonilist jaotusalajaama, mis saavad toite lähematest toitealajaamadest. Lahutuskohad paiknevad jaotusalajaamade sektsioonidevahelistel lülititel, lisaks veel võimalikel ühendustel naaberfiidritega. Sellise skeemi korral on jaotusalajaamades tavaliselt kaks trafot, mis võimaldavad täiendavat reserveerimist. Vaadeldava konfiguratsiooni eeliseks on suurem elektrivarustuskindlus, puuduseks aga kõrgem maksumus. Võrgu tegelik konfiguratsioon valitakse piirkonna ja tarbijate eripära alusel, lähtudes töökindluse nõuetest ning muudest majanduslikest ja tehnilistest tingimustest.

Keskpingefiider on tavaliselt varustatud releekaitsega, mis toimib võimsuslülititi kaudu. Kasutusel on liigvoolukaitse erinevad astmed. Fiidri kaitselahutus tehakse toitealajaamas vankertüüpi lülitiga või lahklülititega ning maandamiseks on enamjaolt kasutusel statsionaarne maanduslülititi. Maanduslülititi puudu-

misel kasutatakse fiidri maandamiseks kantavaid maanduseid. Keskpingefiidris lahutuskohtade tekitamiseks ja alajaamade võrgust eraldamiseks kasutatakse lahk- ja koormuslüliteid, trafode eraldamiseks võrgust ja kaitseks ka lahkkaitsmeid. Vajalikud lülitamised tehakse kohapeal või kaugjuhtimise teel. Nüüdisajal on levimas lülituspunktide muutmine kaugjuhitavaks. Tavaliselt on toitealajaamade kõik võimsuslülid kaugjuhitavad, uutes ja hiljuti rekonstrueeritud toite- ja vahealajaamades on kaugjuhitavad ka muud lülid. Alajaamades, kus kaugjuhtimine puudub, teevad vajalikke lülitusi operatiivbrigaadid.

4.1.3 Linna- ja maavõrgud

Keskpingevõrkude ülesanne on elektrienergia ülekandmine piirkonna toitealajaamast jaotusalajaamadesse, kust toimub pinge transformeerimine ja elektri edasine jaotamine tarbijatele juba madalpingevõrgu kaudu. Olenevalt tarbijate paigutusest ja iseloomust võivad nii elektrivõrgu konfiguratsiooni kui võrguseadmete parameetrid oluliselt erineda. Esimeses lähenduses võib keskpingevõrke jaotada linna- ja maavõrkudeks või tiheda ja hajaasustusega piirkondade võrkudeks.

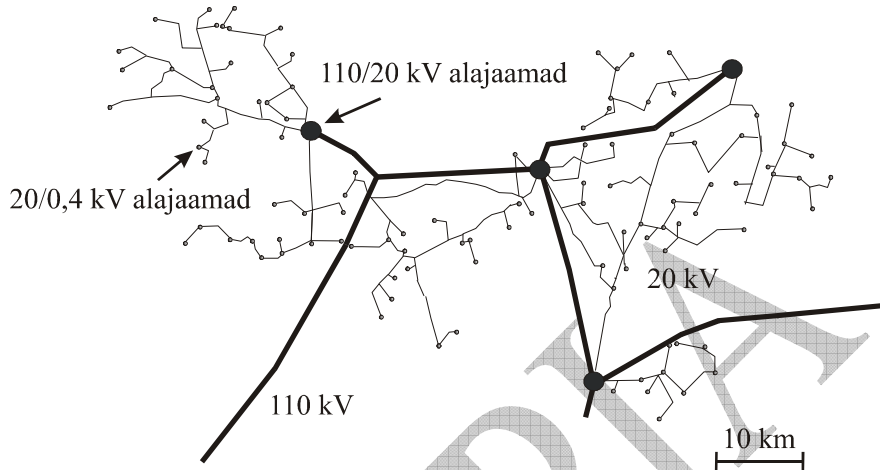
Linna- ja maavõrkudele iseloomulikud omadused on tabelis 4.2. Erineb piirkonna tarbijate hulk ning sellele vastav koormustihedus. Maapiirkondades on koormustihedus väike ja tarbijad hajutatud suurele territooriumile. Mõne tarbija tarvis võib olla rajatud küllaltki pikk keskpingeõhuliin ning paigaldatud üks trafo liini lõppu. Linnades, kus tarbijad paiknevad lähestikku, on koormustihedus tunduvalt suurem. Erineb ka võrgu konfiguratsioon. Tarbijate arv jaotusalajaamas ülesseatud trafo kohta, mis on linnades 50...1000, maapiirkonnas aga sageli vaid üks majapidamine. Sellest tulenevalt erineb ka trafode nimivõimsus, mis linnades ja tiheda asustusega piirkondades on 300...1600 kVA, maapiirkondades aga enamasti 50 kVA.

Tabel 4.2 Linna- ja maavõrkude näitajad

Näitaja	Linn	Maa
Koormustihedus	$> 1 \text{ MW/km}^2$	$< 100 \text{ kW/km}^2$
Tarbijaid trafo kohta	50...1000	1...10
Madalpingefiidri pikkus	$< 300 \text{ m}$	500...1000 m
Liini tüüp	Kaabelliinid	Õhuliinid
Juhtme ristlõige (Al)	120...400 mm ²	16...50 mm ²
Trafo nimivõimsus	300...1600 kVA	16...50 kVA
Võrgu konfiguratsioon	Avatud silmusvõrk	Radiaalvõrk

Suur on elektriliinide erinevus. Linnades on peamiselt tegemist kaabelliinidega soone ristlõikega üle 120 mm². Magistraalkaablid linnades peavad olema soone

ristlõikega 240 mm^2 . Ülejäänud kaabelliinide ristlõiked valitakse võrgu arvutuste ja tehniliste soovitude alusel. Hajaasustuse korral kasutatakse õhuline juhtme ristlõikega $16 \dots 50 \text{ mm}^2$.



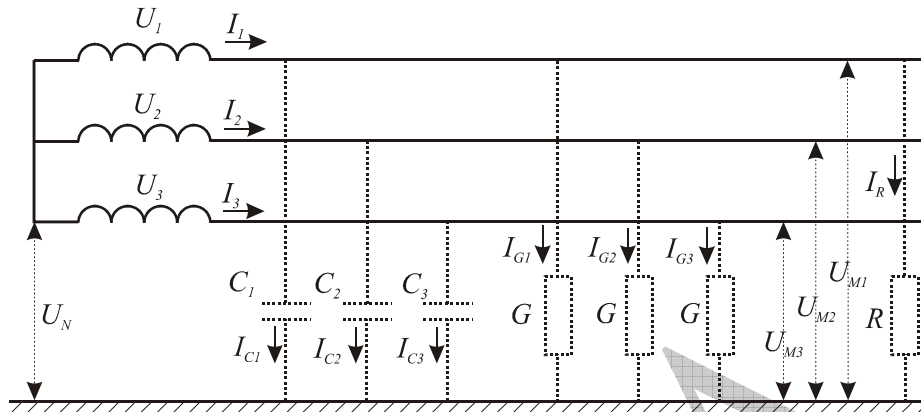
Joonis 4.9 Hajaasustusega piirkonna elektrivõrgu skeem

Hajaasustusega piirkonna elektrivõrgu konfiguratsioon on joonisel 4.9. Elektri ülekande piirkonda toimub antud juhul 110 kV ülekandevõrgu vahendusel, jaotamine keskpingel 20 kV elektrivõrgu kaudu ja tarbijateni jõuab elekter läbi 0,4 kV võrgu. Võib tähele panna maapiirkonnale iseloomulikku suhteliselt hõredat jaotusalaajaamade paiknemist.

Võrgu konfiguratsioonist tingituna on tarbijate elektrivarustuskindlus maapiirkondades tunduvalt madalam kui linnades, kuna tihti puuduvad võimalused reservtoiteks. Linnades, kus tegemist on silmusvõrguga, on ümberlülitamise võimalused suuremad ja tarbijate elektrivarustuse pikaajaline katkemine vähe tõenäoline. Sellest hoolimata võib ka linnades esineda avariisid, kus piirkond jääb elektrita paariks tunniks või isegi kauemaks. Põhilisteks võrgu avariideks linnades on kaablite vigastused või jaotusalaajaamades erinevatel põhjustel toimunud lühised. Maapiirkondade õhuline kahjustavad ennekõike tormid, mille tõttu mõni Eesti piirkond on olnud elektrita isegi pikka aega.

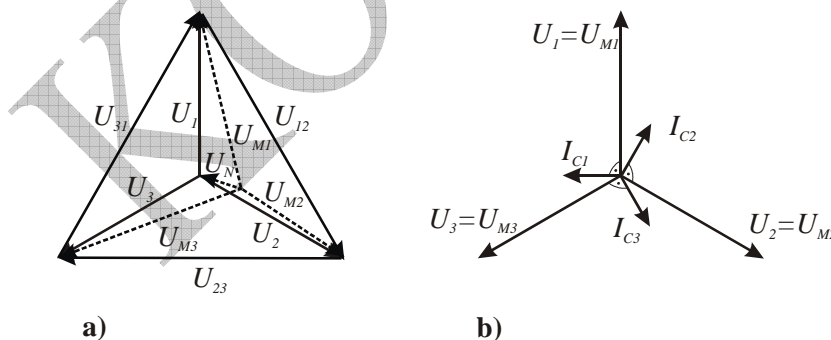
4.1.4 Keskpingevõrgu neutraali maandamine

Elektrivõrgus võib kolmefaasilise süsteemi neutraal olla maast isoleeritud (isoleeritud neutraaliga võrk), vahetult maandatud (jäikmaandatud neutraaliga võrk), läbi suure takistuse maandatud või läbi kompenseerimisreaktori ehk kaarekustutuspooli maandatud (resonantsmaandatud võrk). Neutraali maandamisviisist sõltub võrgu rikketalitluse iseloom ja isolatsioonile mõjuvad pinged. Eesti keskpingevõrkudes on elektrivõrgu neutraal maast isoleeritud või maandatud läbi kompenseerimisreaktori ehk kaarekustutuspooli.



Joonis 4.10 Isoleeritud neutraaliga elektrivõrk

Isoleeritud neutraaliga elektrivõrgu skeem on joonisel 4.10. Sellise võrgu ainsateks maaga ühendavateks elementideks on trafomähiste ja ülekandeliinide faaside mahtuvused maa suhtes C_1 , C_2 ja C_3 ja isolatsiooni juhtivus G . Elektrivõrgule rakenduvad trafo faasipinged U_1 , U_2 ja U_3 ja võrku sisenevad voolud I_1 , I_2 ja I_3 . Isolatsiooni juhtivusega tavaliselt ei arvestata, kuna selle mõju elektrivõrgu pingetele on tühine ($I_G \approx 0$). Faaside pinge maa suhtes U_{M1} , U_{M2} ja U_{M3} , samuti trafo neutraali pinge U_N , mida nimetatakse ka neutraali nihke(pinge)ks, sõltuvad mahtvuslike voolude I_{C1} , I_{C2} ja I_{C3} olemasolust. Mahtvuslike voolude erinevuse tõttu võivad faaside pinged maa suhtes olla vähesel määral ebasümmeetrilised. Olenemata sellest jäävad faasidevahelised pinged U_{12} , U_{23} , ja U_{31} samaks ning selle tõttu tarbijad neutraali nihet ei tunnetata.



Joonis 4.11 Isoleeritud neutraaliga elektrivõrgu pingete vektordiagramm (a) ja sümmeetrilise isoleeritud neutraaliga elektrivõrgu pingete ja mahtvuslike voolude vektordiagramm (b)

Isoleeritud neutraaliga elektrivõrgu pingete vektordiagramm on joonisel 4.11a. Juhul kui elektrivõrk on maa suhtes sümmeetriline $C_1 = C_2 = C_3 = C$, on pinged $\underline{U}_{M1} = \underline{U}_1$, $\underline{U}_{M2} = \underline{U}_2$ ja $\underline{U}_{M3} = \underline{U}_3$. Olukorda iseloomustab vektor-

diagramm joonisel 4.11b, kus on näidatud ka mahtuvuslikud voolud, mis edestavad pingeid 90° võrra.

Normaaltalitusel on neutraali nihe \underline{U}_N leitav võrrandisüsteemist

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_{C1} = j\omega C_1(\underline{U}_1 + \underline{U}_N) \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_{C2} = j\omega C_2(\underline{U}_2 + \underline{U}_N) \\ \underline{I}_3 &= \underline{I}_{C3} = j\omega C_3(\underline{U}_3 + \underline{U}_N) \end{aligned} \quad (4.1)$$

kus ω on nurksagedus. Peale Kirchhoffi I seadusega $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$ arvestamist ning mõningaid teisendusi võib kirjutada

$$\underline{U}_N = -\frac{\underline{U}_1 j\omega C_1 + \underline{U}_2 j\omega C_2 + \underline{U}_3 j\omega C_3}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3)} = -\underline{U}_f \frac{C_1 + a^2 C_2 + a C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (4.2)$$

kus $\underline{U}_1 = \underline{U}_f$, $\underline{U}_2 = a^2 \underline{U}_f$, $\underline{U}_3 = a \underline{U}_f$ ning $a = e^{j120^\circ}$ ja $a^2 = e^{-j120^\circ}$.

Suhet

$$\alpha = -\frac{C_1 + a^2 C_2 + a C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (4.3)$$

nimetatakse elektrivõrgu mahtuvusliku ebasümmeetria teguriks ja aktiivjuhtivuste summa suhet mahtuvuslike juhtivuste summasse.

$$d = \frac{3G}{\omega(C_1 + C_2 + C_3)} \quad (4.4)$$

elektrivõrgu sumbumisteguriks. Õhuliinidega elektrivõrgus on mahtuvuslik ebasümmeetria $\alpha = 0,5 \dots 2\%$ ning sumbumistegur $d = 2 \dots 6\%$. Kaablivõrkudes ebasümmeetria puudub $\alpha = 0$, sumbumistegur $d = 2 \dots 4\%$.

Lühise korral on pingete U_{M1} , U_{M2} ja U_{M3} ebasümmeetria tavaliselt suur ning võrgu mahtuvusliku ebasümmeetriaga ei ole tarvis arvestada $\alpha = 0$. Kui trafo faasipinged moodustavad sümmeetrilise tähe, siis saab avaldise (4.2) ümber kirjutada

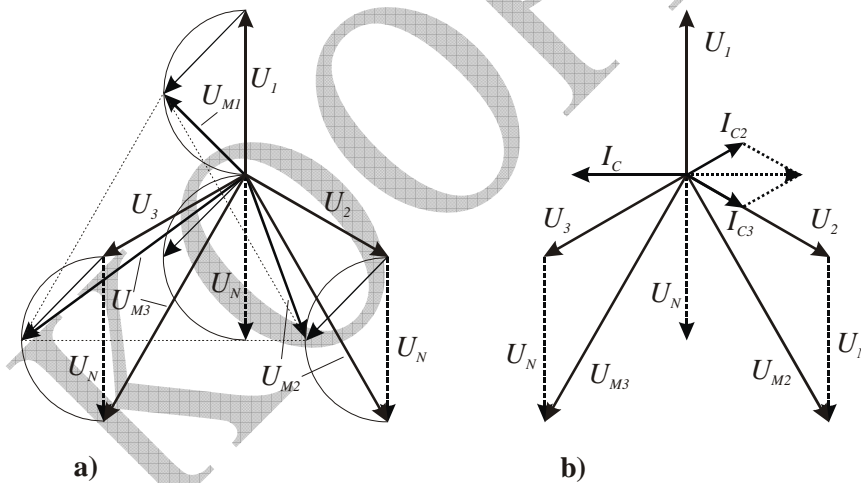
$$\underline{U}_N = -\frac{\underline{U}_1 \left(\frac{1}{R} + j\omega C \right) + \underline{U}_2 j\omega C + \underline{U}_3 j\omega C}{\frac{1}{R} + j3\omega C} = -\underline{U}_f \frac{1}{1 + jR3\omega C} \quad (4.5)$$

Pärast teisendusi avalduvad faaside pinged maa suhtes järgmiselt:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{M1} &= \underline{U}_1 + \underline{U}_N = \underline{U}_f \frac{jR3\omega C}{1 + jR3\omega C} \\ \underline{U}_{M2} &= \underline{U}_2 + \underline{U}_N = \underline{U}_f \frac{a^2(1 + jR3\omega C) - 1}{1 + jR3\omega C} \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\underline{U}_{M3} = \underline{U}_3 + \underline{U}_N = \underline{U}_f \frac{a(1 + jR3\omega C) - 1}{1 + jR3\omega C}$$

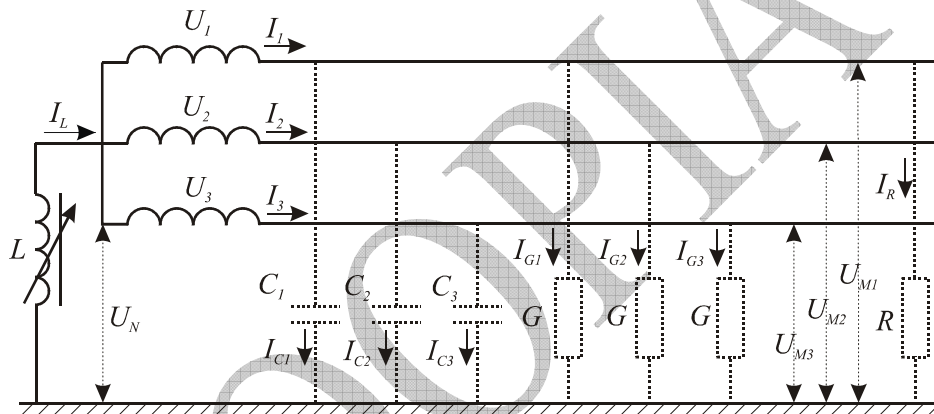
Avaldistest (4.5) ja (4.6) nähtub, et nii neutraali nihe kui ka faaside pinged maa suhtes sõltuvad korrutisest $R3\omega C$. Võrrandite (4.5) ja (4.6) alusel on joonisel 4.12a kujutatud ühefaasilise maalühise (lühis faasis $L1$) pingete vektordiagrammi. Tingimusel, et lühis on metalne $R=0$, saab kirjutada $\underline{U}_{M1}=0$ ja $\underline{U}_N = -\underline{U}_1$. Pingete \underline{U}_{M2} ja \underline{U}_{M3} absoluutväärtus on $\sqrt{3}U_f$ ning nende vektorid moodustavad omavahel 60° nurga. Rikkekohta takistuse suurenemisel libiseb neutraali nihkepungevektori otspunkt piki poolringi, kuni lõpmata suure takistuse korral saabub normaaltalitlusele vastav seisund. Jooniselt 4.12a selgub, et rikkekoha takistuse suurenemisel suureneb ka rikkefaasi $L1$ pinge maa suhtes. Tervete faaside pinge maa suhtes sõltub rikkekoha takistusest erinevalt. Faasi $L3$ pinge maa suhtes esialgu suureneb ning seejärel väheneb faasipingeni. Suurim pinge väärtus faasis $L3$ võib olla 5% suurem pinge faasidevahelisest pingest. Sellise pinge tõusuga on tarvis arvestada nii seadmete isolatsiooni konstrueerimisel kui ka liigpingepiirikute valikul. Joonisel 4.12b on metalsele maalühisele vastav pingete ja voolude vektordiagramm.



Joonis 4.12 Pingete vektordiagramm ühefaasilise maalühise korral faasis $L1$ (a) ning pingete ja voolude vektordiagramm metalse maalühise puhul (b)

Isoleeritud neutraaliga keskpingevõrgus võib suurte maaühendusvoolude puhul (6 kV võrgus üle 30 A ja 35 kV võrgus üle 10 A) maaühenduse kohas tekkida perioodiliselt süttiv ja kustuv kaar, mis indutseerib mahtuvust ja induktiivsust sisaldavas kontuuris nimipinget 2,5...3 korda ületavaid isolatsioonile ohtlikke liigpingeid. Liigpingete ja tuleohtu tõttu ei ole elektrikaare tekkimine lubatud.

Suurte mahtvuslike maaühendusvoolude kompenseerimiseks maandatakse neutraal läbi kaarekustutuspooli (joonis 4.13). Sellise resonantsmaandatud neutraaliga elektrivõrgu normaaltalitusel on neutraali pinge maa suhtes null ning poolis voolu ei ole. Ühefaasilise maaühenduse korral tekib nullpunkti ja maa vahel pinge, mis on võrdeline faasipingega. Nimetatud pinge kutsub esile maaühendusvoolu induktiivse iseloomuga komponendi I_L , mis suurelt osalt kompenseerib maaühendusvoolu mahtvusliku komponendi I_C , ning rikkekoha summaarne vool on $\underline{I} = \underline{I}_L + \underline{I}_C \approx 0$. Tulemusena pole maaühendus resonantsmaandatud neutraaliga võrgus tavaliselt enam ohtlik, see võib iseenesest mööduda ega vaja alati kiiret väljalülitamist. Tõsi, kuna mahtvus C on pidevalt muutuv, tuleks vastavalt muuta ka induktiivsust L . Selle tarvis on kaarekustutuspoolid kas automaatika abil või käsitsi reguleeritavad.



Joonis 4.13 Resonantsmaandatud neutraaliga elektrivõrk

Statistika kohaselt on 70...90 % liiniriketest ühefaasilised lühised, mis on enamuses tekkinud äikeseliigpingete tagajärjel või põhjustatud muudest ajutise iseloomuga isolatsiooniriketest. Paljasjuhtmetega elektrivõrkudes põhjustavad lühiseid sageli liinile kukkunud puud. Kui lühisvoolud ei ole suured, siis ülelöögil tekkiv elektrikaar on ebastabiilne ja võib voolu nullist läbiminekul iseenesest kustuda. Ühtlasi taastub elektrivõrgu normaaltalitus, lühise väljalülitamine võimsuslülitiga ei ole vajalik ning tarbijate elektrivarustus ei katke. Ka püsilühise korral võib võrgu talitus jätkuda, kuid ohutuse tagamiseks tuleb maaühendus kiiresti likvideerida. Nüüdisajal on hakatud ühefaasiliste maaühenduste kiiremaks kõrvaldamiseks kasutama maalühiskaitset, kuid selle rakendamisega võib maalühisvoolu madala taseme ja muutuva iseloomu tõttu tekkida probleeme.

Kokku võttes räägitakse elektrivõrgu maaühenduse korral mõistetest maalühisvool, maaühendusvool ja rikkevool. **Maalühisvoolu** tekitab isolatsioonirike ja see esineb ainult neutraali jäikmaanduse korral. Ülejäänud juhtudel on tegemist **maaühendusvooluga**. **Rikkevool** hõlmab mõlemaid mõisteid. Nagu juba

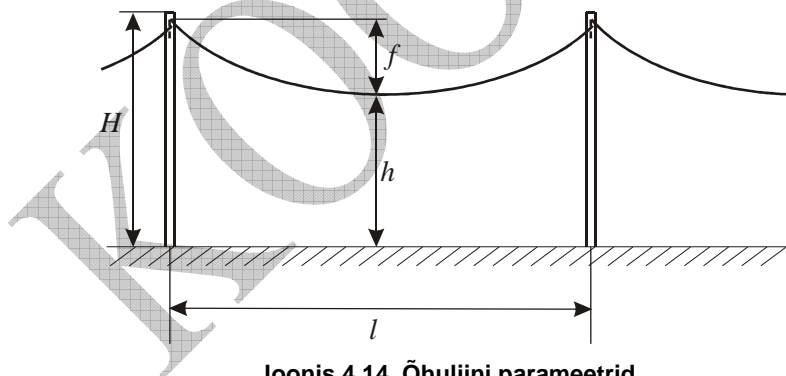
mainitud, ei mõjuta elektrivõrgu neutraali maandusviis kolmefaasilise võrgu sümmeetrilist talitlust ega ka talitluse arvutusi, kuna kolme faasi voolude summa neutraalis on sümmeetrilisel talitlusel null.

4.2 Keskpingevõrkude ehitus

Elektrivõrk koosneb põhiliselt liinidest ja alajaamadest. Elektriliinide kaudu toimub elektrienergia ülekande alajaamade vahel. Alajaamades transformeeritakse elekter vajalikule pingestmele ning jaotatakse teatud piirkonnas. Alajaamade ehitus sõltub nende ülesannetest võrgus (toite-, jaotus-, tupik-, harualajaamad). Toitealajaamad on enamasti välisjaotlatega, kuigi linnades kasutatakse ka kinniseid jaotlaid. Jaotusalajaamad võivad olla mitmesuguse ehitusega (sise-, kiosk-, mastalajaamad).

4.2.1 Õhuliinid

Elektrienergia kantakse üle õhuliinidega, õhukaabelliinidega või maakaabelliinidega. Õhuliini juhtmed paiknevad õhus ning on riputatud isolaatorite abil mastidele. Kaablid paigaldatakse maasse, vette, kaabliriiulitele ja mujale. Õhuliinide ehitamisel tuleb silmas pidada looduslikke olusid. Arvestada tuleb õhutemperatuuriga, tuule kiirusega ning jäite ja selle tekkimise ajal puhuva tuulega. Õhuliinid peavad suutma vastu pidada mehaanilistele koormustele, keemilistele mõjuritele ja temperatuuri muutustele.



Joonis 4.14 Õhuliini parameetrid

Keskpingeõhuliinid koosnevad juhtmetest, mastidest, isolaatoritest, traaversitest, tõmmitsatest ja tugedest ning kinnitusdetailidest. Õhuliinide tähtsamad parameetrid (joonis 4.14) on visangu pikkus l (õhuliini kahe naabermasti vaheline lõik), juhtmete ripe f , liini maagabariit (juhtmete minimaalkaugus maapinnast) h ja masti kõrgus H . Loetletud parameetrid määratakse liini projekteerimisel iga konkreetse juhtumi kohta eraldi, arvestades liini pinget, juhtme marki, kohalikke tingimusi, kehtivaid norme jm.

Juhtmetena kasutatakse keskpingses võrkudes paljasjuhtmeid, isoleerjuhtmeid ja universaalkaableid. Juht peaks olema hea elektrijuhtivusega, suure mehaanilise tugevusega, vastupidav keemilisele toimele ning odav. Kuna kõigile neile tingimustele ükski juhtmaterjal eraldi võetuna ei vasta, siis otsitakse sobivaid kompromisslahendusi.



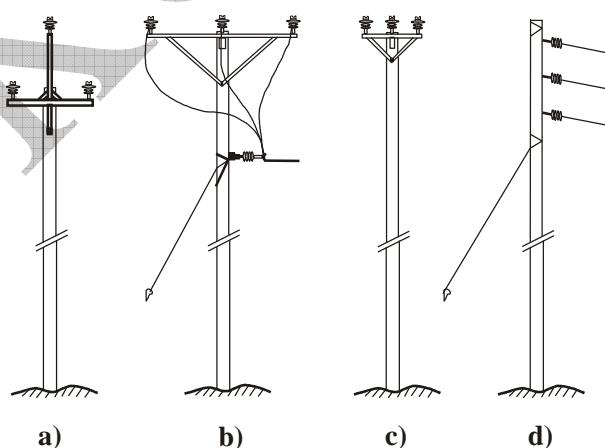
Joonis 4.15 Isoleerjuhtmetega ja paljasjuhtmetega keskpingeõhuliin

Paljasjuhtmetena on kasutusel terasalumiiniumjuhtmed, kus voolujuhtivaks materjaliks on alumiinium, mida mehaaniliselt on tugevdatud terasega. Enamasti on tegemist traatidest kihiti kokkukeerutatud köisjuhtmetega. Eelistatakse juhtmarke AS-35/6,2 (alumiiniumil ristlõige 35 mm² ja terasel 6,2 mm²), AS-50/8,0 ja AS-70/11,0. Õhuliinide töökindluse tõstmiseks kasutatakse tänapäeval ka isoleerjuhtmeid. Juhtme materjaliks on alumiiniumisulam *AlMgSi* ning isolatsiooni materjaliks riststruktureeritud polüeteen *XLPE*. Kasutatakse ristlõikeid 35, 50, 70, 95, 120 ja 150 mm². Magistraalliinidel eelistatakse ristlõikeid 70 või 95 mm² ning haruliinidel 35 või 50 mm² (*SAX*-keskpingeõhuliin). Universaalkaablid on ette nähtud paigaldada pinnasesse, õhku ja vette (*AHXAMK-WM* ehk *Multi-Wiski* ja *EXCEL*). Joonisel 4.15 näeb isoleerjuhtmetega ja paljasjuhtmetega liini looduses. Paljasjuhtmetega õhuliini gabariit on suurem. Kaheahealine liin mahub isoleerjuhtmete korral ära ühele mastile, paljasjuhtmete korral on tarvis eraldi seisvaid maste. Ka esteetilisest mõttest on isoleerjuhtmetega õhuliinid vastuvõetavamad. Eestis kasutusel olevate õhuliinide juhtmete andmed on tabelis 4.3, kus *M* tähistab vaskjuhtmeid, *A* alumiiniumjuhtmeid, *AS* terasalumiiniumjuhtmeid ja *SAX* isoleerjuhtmeid juhtmaterjalina alumiinium. Keskpingses võrkudes kasutatakse enam teral- või alumiiniumpaljasjuhtmeid, mis on võrreldes isoleerjuhtmetega või õhukaablitega odavamad. Kompaktsemate ja töökindlamate liinide rajamiseks on hakatud kasutama isoleerjuhtmeid ja ühe- või kolmefaasilisi universaalkaableid. Õhukaabelliinide maksumus on õhuliinide ja maakaabelliinide vahepealne.

Tabel 4.3 Juhtmete tehnilised andmed

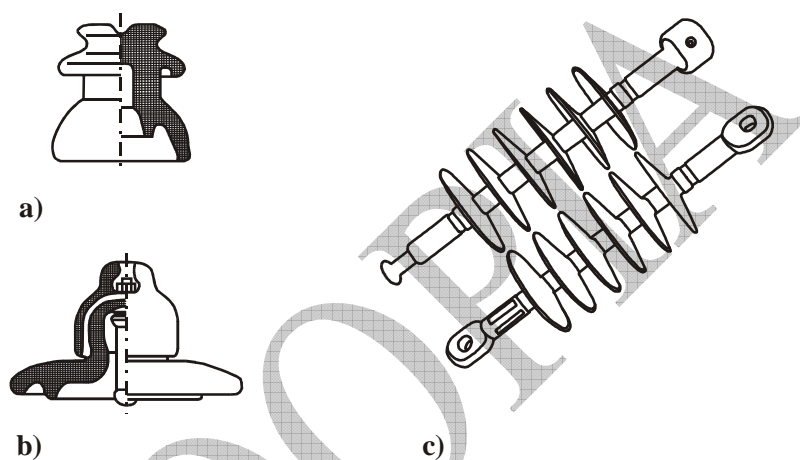
Juhtme mark	Aktiivtakistus +20 °C juures Ω/km	Reaktiivtakistus Ω/km	Lubatud vool õhu +25 °C juures A	Mass kg/km
M-16	1,20	0,411	130	140
M-25	0,74	0,397	180	221
M-50	0,39	0,375	270	439
M-70	0,28	0,365	340	618
A-25	1,28	0,391	135	68
A-50	0,64	0,369	215	136
A-70	0,46	0,355	265	191
AS-35/6,2	0,85	0,387	175	150
AS-50/8,0	0,65	0,375	210	196
AS-70/11	0,46	0,365	265	275
AS-120/19	0,27	0,348	380	492
AS-240/39	0,13	0,326	610	997
SAX-50	0,72	0,326	245	200
SAX-70	0,49	0,316	310	270
SAX-150	0,24	0,292	485	530

Õhuliinide juhtmeid hoiavad üleval mastid. Keskpingeõhuliinide mastide materjaliks on puit, raudbetoon, teras või alumiiniumisulamid. Põhiliselt on Eestis levinud puitmastid ja raudbetoonmastid. Kaitseks mädaniku ja kahjurite eest tuleb puitposte eelnevalt autoklaavis antiseptikutega immutada. Raudbetoonmastid on küll pika tööeaga, kuid nende puuduseks on haprus. Terasmastid peavad olema korrosioonikaitseks kas kuumtsingitud või värvitud. Otstarbe alusel jaotatakse maste kandemastideks, nurgamastideks, ankrumastideks, lõpumastideks, hargnemismastideks jm. Mastide näited on joonisel 4.16.



Joonis 4.16 20 kV paljasjuhtmelise õhuliini kandemast (a) ja hargnemismast (b) ning isoleerjuhtmelise õhuliini kandemast (c) ja nurgamast (d)

Elektrijuhtmeid isoleeritakse mastist isolaatoritega. Levinumateks on tugi- ehk kandeisolaatorid ja ripp- ehk tõmbisolaatorid (joonis 4.17). Isoleermaterjaliks on tavaliselt portselan või klaas. Järjest enam on keskpingevõrkudes hakatud kasutama komposiit- ehk polümeerisolaatoreid. Sellised isolaatorid on kerged, ultraviolettkiirguskindlad, hüdrofoobsete omadustega ja suure mehaanilise tugevusega. Komposiitisolaatoritel on klaasplastist südamik, mis on ümbritsetud polümeerist seelikutega (joonis 4.17c). Pingel 35 kV kasutatakse laialdaselt taldrikisolaatoritest (joonis 4.17b) koosnevaid paindühenduses isolaatorkette. Taldrikisolaatorite arv ketis on tavaliselt 2 või 3, sõltudes masti materjalist ja tüübist.

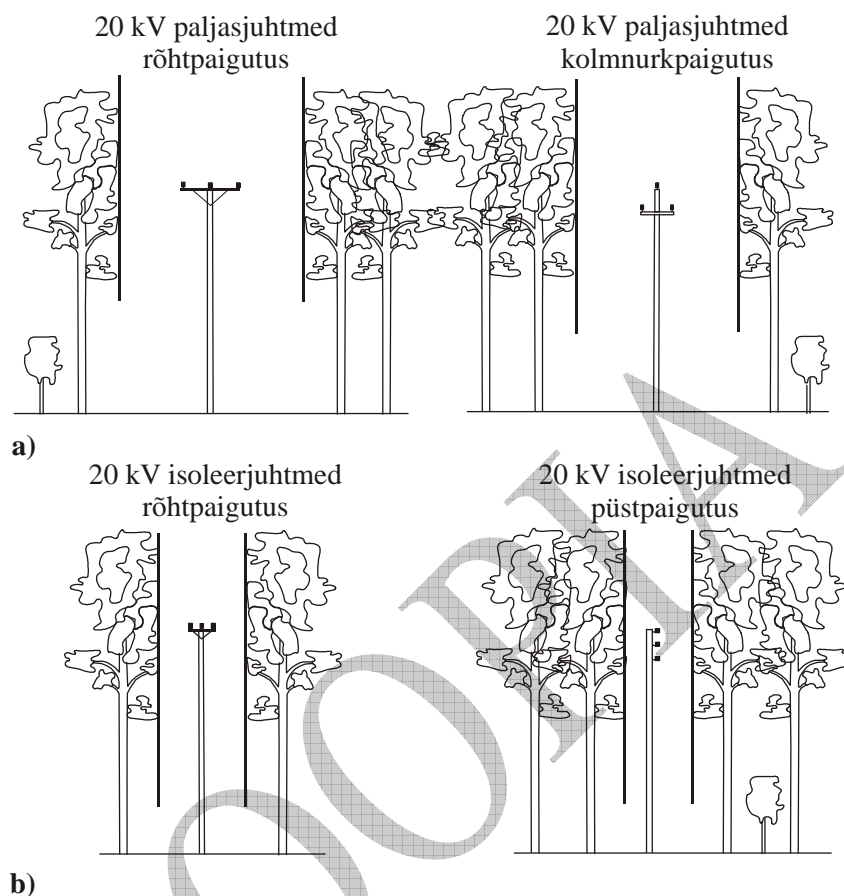


Joonis 4.17 Tõrisolaator (a), taldrikisolaator (b) ja komposiitisolaator (c)

Õhuliini mastide konstruktsiooni kuuluvad traaversid. Traaversid tagavad juhtmete nõutava vahekauguse olenevalt rippest ja visangust. Traaversid valmistatakse kuumtsingitud terasest. Traaversite konstruktsioonilisi erinevusi näeb jooniselt 4.16. Isoleerjuhtmetega õhuliini traaversid on tunduvalt kompaktsamad tingituna faasijuhtide väiksemast vahekaugusest.

Õhuliinide tarvikute hulka kuuluvad veel tõmmitsad ja toed mastide stabiliseerimiseks ning mitmesugused kinnitusdetailid. Tõmmitsad ja toed on ette nähtud mastile mõjuvate jõudude tasakaalustamiseks, kui vabalt seisva masti püsivus pole tagatud. Enamasti on tõmmitsad valmistatud teraskõisjuhtmetest ning need kinnitatakse järelpingutamist võimaldava aasaga ankruvardale.

Õhuliinide korral on olulisteks mõisteteks liini trass, liini kaitsevöönd ja liinikoridor. Liini trassiks nimetatakse liini kulgu tähistavat joont, mille valikul tuleb lähtuda nõuetekohase kaitsevööndi ja liinikoridori võimalikkusest. Liini kaitsevöönd on ala, kus tehnovõrkude ohtlikkusest ja kaitsevajadusest tulenevalt kitsendatakse kinnisvara valdaja tegevust. Kehtiva korra kohaselt ulatub liini kaitsevöönd 6...20 kV keskpingevõrgus 10 m mõlemale poole liini telge. Liinikoridoriks nimetatakse muudest rajatistest ja looduslikest takistustest vaba



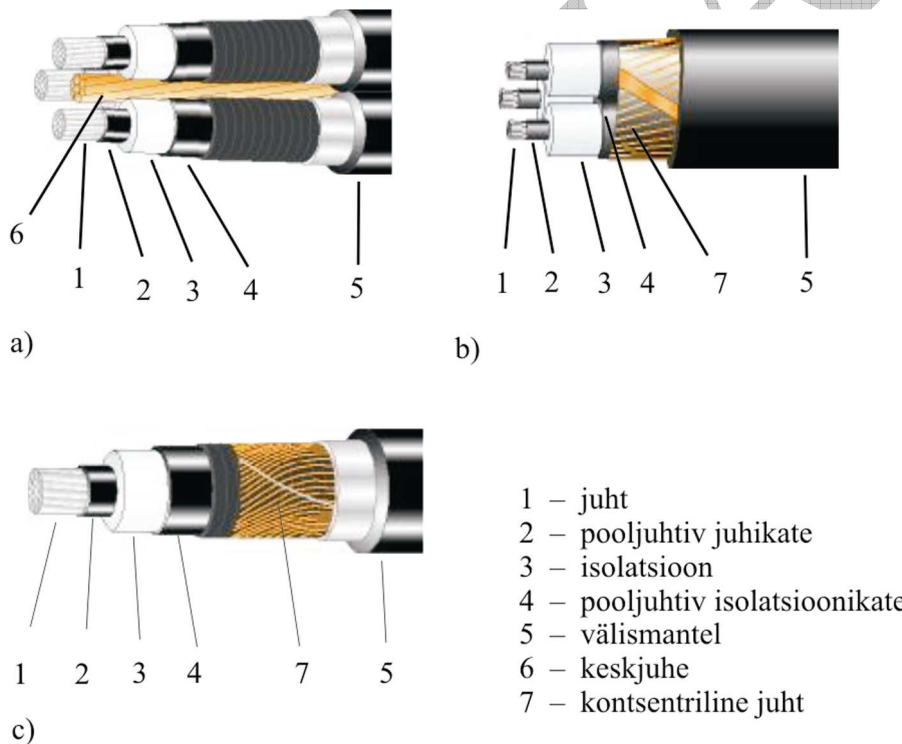
Joonis 4.18 Paljasjuhtmetega (a) ja isoleerjuhtmetega (b) keskpingeõhuliini liinikoridorid

ruumi, mis normaalolukorras tagab liini puutumatus ja ohutuse. Liinikoridori laius on määratud lubatud vahekaugustega hoonetest, puudest ja tehnoarajatistest. Isoleerjuhtmetega ja paljasjuhtmetega keskpingeõhuliinide liinikoridore näeb joonisel 4.18.

4.2.2 Kaabelliinid

Õhuliinide kõrval kantakse elektrit üle kaabelliinidega. Maakaabelliinide töökindluse tase on tunduvalt kõrgem kui tavalistel õhuliinidel. Nad nõuavad vähem ruumi, on välismõjude eest paremini kaitstud ning ohutumad. Teisalt on kaabelliinid aga kallimad ja nende remont aeganõudvam. Kaabelliine rajatakse peamiselt linnades ja muudes tiheda asustusega piirkondades, kus see on sageli ainuvõimalik lahendus. Tavaliselt mõeldakse kaabelliinide all elektriliine, mis paiknevad maa all. Kaabelliinid võivad aga asuda ka hoonete sees, väljas, vees, õhus jm.

Kaablite konstruktsioon on suhteliselt keerukas, sõltudes nimipingest, soonte arvust, materjalist ning töötingimustest. Kaablisooned, üks või mitu, paiknevad mantli sees, mis on ette nähtud kaitseks mehaaniliste vigastuste, korrosiooni ja niiskuse eest. Kaablis ei tohi niiskus levida piki- ega ristisuunas. Selleks on kaablis juhi kiudude vahel pikisuunaline ja juhtide vahel ristisuunaline veetõke. Keskpingekaablite isolatsioonimaterjaliks on ekstrudeeritud polüvinüülkloriid (PVC) ja polüeteen (PE, PEX, XLPE). Kaablimantli ülesanne on kaitsta isolatsiooni niiskuse eest ja kindlustada hermeetilisus. Mantli materjaliks on plii, alumiinium, plastmass (polüeteen) või ka kumm. Pliimantel on tavaliselt kaablitel, mida kasutatakse korrosiooniohtlikus keskkonnas ja vee all. Kaablimantlit kaitstakse vigastuste eest kaitseosusega, kaabli kaitseosust ja metallmantlit korrosiooni eest välismantliga, mis on tavaliselt valmistatud bituumeniga immutatud kiudmaterjalist või plastmassist.



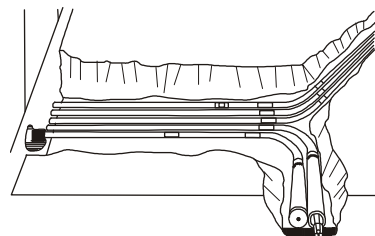
Joonis 4.19 Keskpingekaablite konstruktsiooni näited: kolmesooneline ümber keskjuhtme keerutatud keskpingekaabel (a), kolmesooneline keskpingekaabel (b) ja ühesooneline keskpingekaabel (c)

Keskpingekaablite konstruktsioone on joonisel 4.19. Joonisel 4.19a on kujutatud kolmesoonelist keskjuhtmega kaablit *AHXAMK-W*, mis on tuntud ka kui *Viski*-kaabel. Selline kaabel on ette nähtud paigaldamiseks maa alla ning kohtkindlana sise- ja välisruumidesse, riiulitele ning torudesse. Konstruktsiooni-

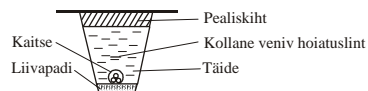
liselt on tegemist alumiiniumist valmistatud ümara, keerutatud ja tihendatud veekindla juhtmega, mida ümbritseb pooljuhtiv kopolümeerkompaund. Isolatsioonina kasutatakse võrkstruktuuriga polüeteeni (*PEX*), mida omakorda ümbritseb pooljuhtiv kopolümeerkompaund. Niiskuse levimist tõkestab nii piki- kui ristsuunaline veetõke. Kaabli väliskatteks on ilmastikukindel polüeteen. Keerutatud ja tihendatud vasest keskjuhtme otstarbeks on luua lai maandusüsteem. Keskjuhe maandatakse mõlemast otsast (alajaamades), tagades sellega madalama summaarse maandustakistuse. Maaühenduse puhul voolab vool keskjuhis, mis vähendab võimalikke uitvoole teistes metallobjektides (nt torudes) ning seega ka indutseeritud pingeid. Maaühenduskaar põleb faasi ja keskjuhi vahel ning kaare jälg püsib enam-vähem paigal, ei vigasta suures ulatuses isolatsiooni ega tekita faasidevahelist lühist. Joonisel 4.19b on kolme-sooneline keskpingekaabel *AHXCMK-WTC*, mida võib paigaldada kaablikanalisse, pinnasesse ja vette. Eriti sobib seda tüüpi kaabel pinnasesse sissekündmiseks. Kolm faasisoont on sellel kaablil omavahel kokku keerutatud ja seotud pooljuhtiva lindiga. Lisatud on kontsentriiline juht – kiht paralleelseid vasktraate ja vasest kontaktlint, mis täidab sama ülesannet kui keskjuhe eelmisel kaablil. Kaablikattena kasutatakse ilmastikukindlat polüeteeni. Kolmandana kujutatud keskpingekaabel *AXLJ-TT* on ühesooneline (joonis 4.19c). Seda kaablit võib paigaldada torudesse, pinnasesse (ka sisse künnda) või vette. Kaabel on veetihe nii piki- kui põiksuunas. Konstruksioonilt on vaadeldav kaabel sarnane joonisel 4.19b esitatud kolmesoonelise kaabliga.

Polümeerisolatsiooniga kaablite kõrval on kasutusel eelmistel aastakümnetel paigaldatud paber-õliisolatsiooniga kaablid, mille kaablisooned on isoleeritud viskoosse õliga immutatud paberiga. Paberkaablite puudusteks võrreldes polümeerkaablitega on suurem kaal, õlilekke võimalus, hooldevajadus ja kaablimuhvide väiksem töökindlus. Kasutusel on kaablimuhvid, mis võimaldavad omavahel ühendada paber- ja polümeerkaableid. See lubab välja vahetada ainult osa paberkaablist polümeerkaabli vastu, kui kaabel on lühistunud või muul viisil kahjustatud.

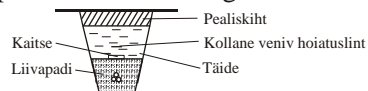
Kaabelliinide rajamisel tuleb arvestada konkreetseid olusid, eriti kaabli jahutustingimusi. Tähele tuleb panna, kas kaabeleid on paigaldises üks või enam, kas kaabel asetseb kaablikanalisis või õhus. Levinud on kaablite paigaldamine kaablikraavidesse. Selleks et vältida kaabli vigastamist, kaetakse kraavi põhi liivapadjaga või pinnasega, millele asetatakse kaabel, mis omakorda kaetakse liiva või pinnasega kaitseks veel kaitseplokid või tellised. Kaablite kaitseks kasutatakse ka plaate, renne ning terasest, betoonist, plastmassist või keraamilisest materjalist torusid. Kaablikraavi pinnas tihendatakse. 6...20 kV nimipingega kaabel paigutatakse enamasti 0,7 m sügavusele, 35 kV kaabli puhul on nõutav sügavus 1 m. Näiteid kaablite paigaldamise kohta leiab jooniselt 4.20.



Kaabli paigaldus torus

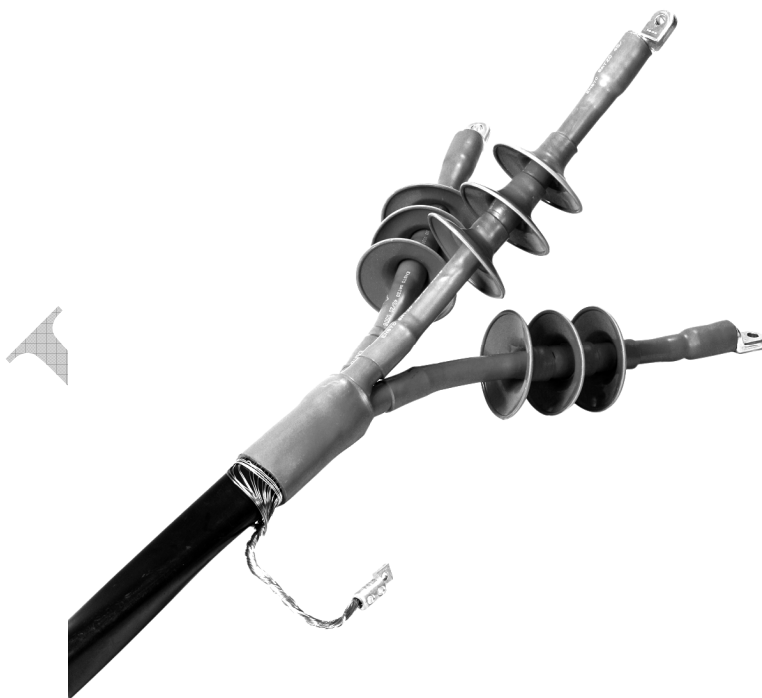


Kaabli paigaldus
plaat- või lintkaitsega



Joonis 4.20 Näiteid keskpingekaablite paigaldamisest

Kaablite jätkamiseks ja ühendamiseks teiste liinide ja seadmetega kasutatakse jätku- ja otsamuhve. Sõltuvalt kaabli margist võib muhvide konstruktsioon erineda. Jätkumuhvi konstruktsioon sõltub ennekõike sellest, kas on vaja omavahel ühendada kahte polümeerkaablit, kahte paberkaablit või paber- ja polümeerkaablit. Ka pinnases või veekogudes kasutatavate muhvide konstruktsioonid erinevad. Ensto Elekter AS-i keskpingekaabli otsamuhv välispaigalduseks on joonisel 4.21.



Joonis 4.21 Keskpingekaabli otsamuhv välispaigalduseks

Kaablite ristlõiked on enamasti $3 \times 25 \dots 3 \times 240 \text{ mm}^2$. IEC soovitatud kaabli-ristlõigete skaala on tabelis 4.4. Vähendamaks paigaldus- ja laokulusid on

eelisristlõigeteks 3×50, 3×120 ja 3×240 mm². Kaabli ristlõike valikul tuleb lähtuda lubatud pingekaost ja tagada, et kaitseaparatuuri rakendusvool ei ületaks kaablile kestvalt lubatud voole antud paigaldustingimustes. Kaitseaparaadi rakendusvoolu määramisel tuleb lähtuda konkreetse kaabli töövoolest ja vähimast kahefaasilisest ning suurimast kolmefaasilisest lühisvoolust vastavalt lubatud soojustingimustele. Soojuslikud tingimused olenevad kaablite paigalduse viisist, pinnase temperatuurist, kaabli paigalduse sügavusest, pinnase omadustest. Oluline näitaja kaabli käitu silmas pidades on lubatud koormusvool. Kaablite tehnilised andmed on tabelis 4.5.

Tabel 4.4 IEC ristlõigete skaala ja eelisristlõiked mm²

Ristlõigete skaala	3×25	3×35	3×50	3×70	3×95
	3×120	3×150	3×185	3×240	
Eelisristlõiked	3×50	3×120	3×240		

Tabel 4.5 Kaablite tehnilised andmed

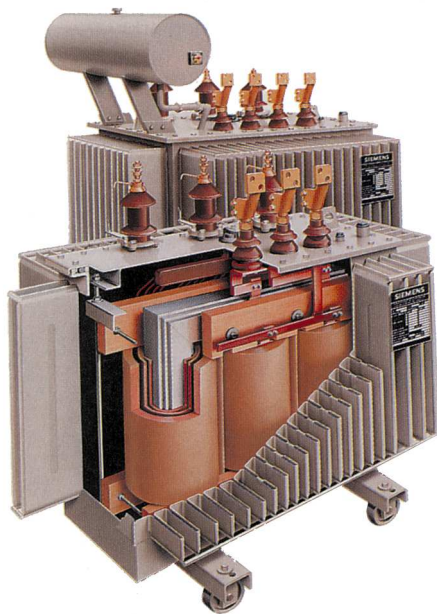
Soone ristlõige mm ²	Aktiivtakistus (+20 °C) Ω/km	Lubatud vool (+25 °C) A		Soone ristlõige mm ²	Aktiivtakistus (+20 °C) Ω/km	Lubatud vool (+25 °C) A	
		6 kV	10 kV			6 kV	10 kV
Vask				Alumiinium			
10	1,793	55	-	10	2,94	42	-
16	1,121	65	60	16	1,838	50	46
25	0,7172	90	85	25	1,176	70	65
35	0,5123	110	105	35	0,84	85	80
50	0,3586	145	135	50	0,588	110	105
70	0,2561	175	165	70	0,42	135	130
95	0,1887	215	200	95	0,3095	165	155
120	0,1494	250	240	120	0,245	190	185
150	0,1195	290	270	150	0,196	225	210
185	0,0969	325	305	185	0,1589	250	235
240	0,0747	375	350	240	0,1225	290	270

Kaabelliinide rajamisel tuleb arvestada mitmesuguste asjaoludega. Elektrivõrgu operatiivjuhtimise seisukohalt on oluline teada kaablitele lubatud voole, mille järgi on võimalik teha otsuseid kaablite koormatavuse kohta ümberlülituste tegemiseks elektrivõrgus tarbijate elektrivarustamise tagamisel ning rikete likvideerimisel. Uued keskpingekaabelliinid Eestis tehakse kaablitega, millel on kolm alumiinium- või vasksoont ning maandatav vaskekraan või keskjuhe. Paigaldatavate kaablite nimipinge valitakse 20 (või 24) kV, arvestades üleminekut sellele pingele tulevikus.

4.2.3 Trafod

Alajaamade tähtsaimad seadmed on trafod. Trafode arv alajaamas sõltub piirkonnast, kus alajaam asub, töökindluse nõuetest ja muudest teguritest. Hajaasustusega piirkondades, kus tarbimine on väike ja kõrget elektrivarustuskindlust ei nõuta, seatakse sageli üles vaid üks trafo. Linnades ja tähtsate ning kõrget elektrivarustuskindlust nõudvate tarbijatega piirkondades on alajaamades tavaliselt kaks või enam trafot.

Keskpingevõrkude trafode nimivõimsuste jada on 50, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1600 ja 2500 kVA. Trafod on enamasti viieastmelised reguleerimisdiapasooniga $\pm 2 \times 2,5\%$. Kasutuses on ka kolmeastmelisi trafosid reguleerimisdiapasooniga $\pm 5\%$. Toitealajaamade trafodel võib reguleerimisastmeid olla



Joonis 4.22 Kolmefaasilise õlitrafo läbilõige

rohkem. Näiteks 110 kV trafo on võimalik pinget reguleerida vahemikus $\pm 9 \times 1,78\%$. Toitealajaamade trafod on koormuse all reguleeritavad, jaotustrafod aga mitte. Selliste trafode pingestet saab muuta vaid väljalülitatud olukorras. Keskpingevõrkudesse ülesseatavate uute trafode nimi- ja nimitalitluspinged on

6 – $6,3 \pm 2 \times 2,5\%$ / 0,410 kV

10 – $10,5 \pm 2 \times 2,5\%$ / 0,410 kV

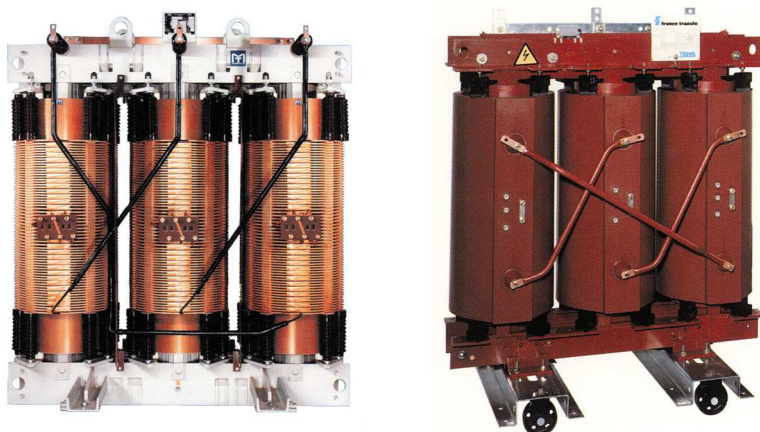
15 – $15,75 \pm 2 \times 2,5\%$ / 0,410 kV

20 – $21,00 \pm 2 \times 2,5\%$ / 0,410 kV.

Paigaldatakse ka trafosid kahe ülempingemähisega nimitalitluspingega 6,3 ja 10,5 kV. Eesmärgiks on kiirendada elektrivõrgu rekonstrueerimist tulevikus, kui toimub üleminek seniselt 6 kV pingelt pingele 10 kV.

Jaotusvõrgus kasutatakse nii õliisolatsiooniga kui ka kuvisolatsiooniga trafosid, mille hulgas moodustavad omaette rühma valuvaiktrafod, kus mähised on valatud epoksüüdvaigu sisse ning on väliskeskkonnast täielikult eraldatud. See tagab nende trafode kõrgema kaitseklassi, kuid samas on trafo mõõtmed suuremad. Valuvaiktrafod taluvad võrreldes õliisolatsiooniga trafodega paremini lühiajalist ülekoormust. Pikaajaliste ülekoormuste korral on vajalik lisajahutus. Olulist vahet valuvaiktrafode ja tavaliste kuivtrafode vahel käidu seisukohalt siiski pole. Kuivtrafod on õlitrafodega võrreldes 10...15% kallimad ning leiavad ennekõike kasutamist tuleohtlikes kohtades. Ka on kuivtrafod

väiksemate mõõtmetega, mistõttu saab neid kasutada kohtades, kuhu teised trafod oma gabariitide tõttu ei sobi. Tavaolukorras kasutatakse siiski õlitrafosid. Joonisel 4.22 on kolmefaasiline õlitrafo ning joonisel 4.23 kuiv- ja valuvaiktrafo.

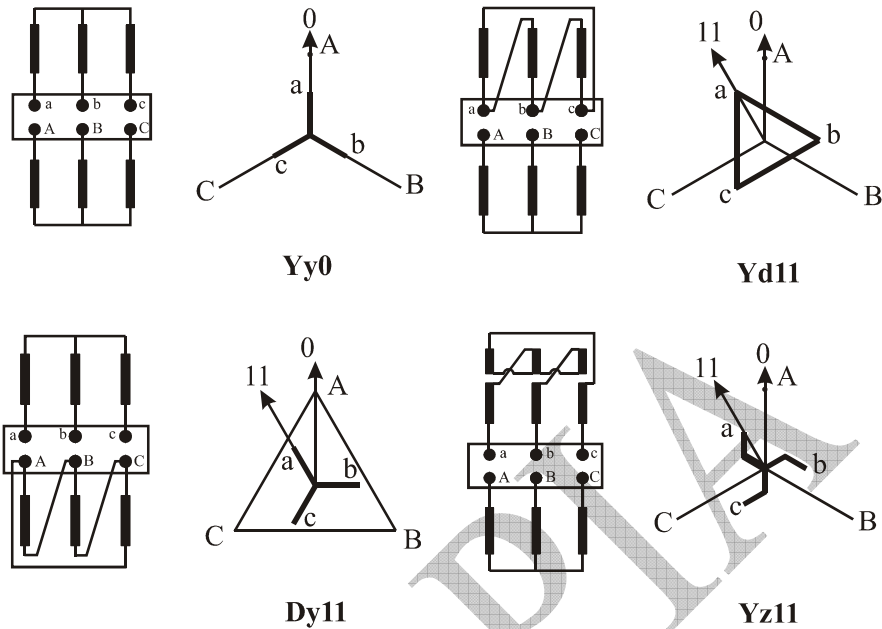


Joonis 4.23 Kolmefaasiline kuivtrafo ja valuvaiktrafo

Jaotusvõrgu, eriti aga madalpingevõrgu käidu seisukohalt on oluline trafo lülitusgrupi valik. Keskpingevõrkude trafodes kasutatakse kolme erinevat lülitusgruppi. Kuni 100 kVA trafode korral kasutatakse lülitusgruppi Yzn, trafodel 160...2500 kVA lülitusgruppi Dyn ning nende kõrval ka lülitusgruppi Yyn. Tuletame meelde, et tähed Y või y ja D või d ning Z või z osutavad vastavalt primaar- või sekundaarmähise (suur- või väiketähed) lülitusviisile – täht-, kolmnurk- või siksaklülitusele. Kui täht- või siksaklülituses mähise neutraal maandatakse (ühendus neutraaliga on toodud trafo lülituskilbile), kuulub tähisesse täht N või n. Lülitusgrupile järgnev number (nt Dyn11) näitab sama faasi sekundaarpinge vektori nihkumist primaarpinge vektori suhtes kella numbrilaua, kui primaarpinge vektor on asetatud 12-le. Tuleb tähele panna, et paralleeltoole (nt operatiivselt koormuse üleviimise ajaks) võib lülitada ainult sama lülitusgrupiga trafosid. Erinevate lülitusgruppidega trafode skeemid ja vektordiagrammid on joonisel 4.24.

Trafo ühe mähise ühendamisel tähte ja teise ühendamisel kolmnurka takistatakse kõrgemate harmoonikute levikut elektrivõrgus ning tagatakse, et trafo faaside koormus primaarpoolel on trafo sekundaarkoormuste ebavõrdsuse korral ühtlasem. Harmoonikutega tuleb arvestada ka trafo neutraaljuhtme valikul. Harmoonikute esinemisel võib vajalikuks osutuda faasijuhiga võrdne või suurema ristlõikega neutraaljuht.

Trafodel nimivõimsustega 50...100 kVA kasutatakse lülitusgruppi Yzn. Sellise lülituse eeliseks on, et asümmeetrilisel koormamisel ei teki trafo madalpingepoolel olulisi faasipingete erinevusi. Kuna siksaklülituses trafode korral



Joonis 4.24 Trafode skeemid ja vektordiagrammid

asub iga mähis trafo kahel sambal, siis asümmeetrilise koormuse korral püsib pinge sümmeetrilisena. Enam on levinud siiski lülitusgrupp Dyn. Probleemseteks on Eesti jaotusvõrkudes veel kasutatavad Yyn-lülitusgrupiga trafod. Selliste trafode asümmeetrilisel koormamisel tekivad madalpingepool suured faasipingete erinevused ning täiendavad võimsuskaod. Põhimõtteliselt sobivad sellised trafod ainult sümmeetriliste koormuste korral.

Trafode arvu ja võimsuse valimisel lähtutakse nende arvutuslikust koormusest. Arvestada tuleb ka reserveerimise ja avariilise ülekoormamise võimalusi ning müüdi majanduslikke võimalusi. Enamasti on trafosid alajaamas üks või kaks olenevalt vajalikust elektrivarustuskindluse tasemest ja perspektiivsest koormusest. Ülesseatud trafode võimsus peab normaaltalitusel vastama tingimusele

$$S_T \geq \frac{S_m}{n_T}$$

kus S_m – alajaama maksimaalkoormus

n_T – trafode arv alajaamas.

Avariijärgses talitluses on tingimuseks

$$S_T \geq \frac{S_{AV}}{k \cdot (n_T - n_V)}$$

kus $S_{AV} = S_m - S_{res}$ – alajaama koormus avariijärgsel talitusel (maksimaal- ja reservvõimsuse vahe)

n_V – väljalülitatud trafode arv

k – trafode lubatud koormatustegur avariijärgsel talitusel (tavaliselt lubatakse 5 ööpäeval kuni 6 tunni jooksul koormatustegurit $k = 1,4$).

Eelnenust järeldub, et kahe trafoga alajaamas tuleb valida

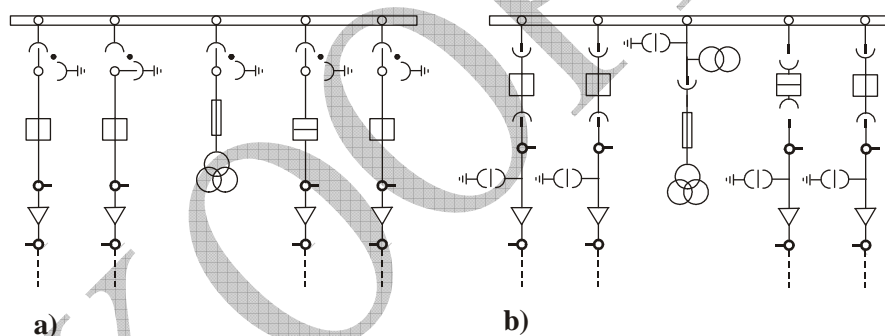
$$S_T \geq 0,7 \cdot S_{AV}$$

ning ühe trafoga alajaamas

$$S_T \geq S_m$$

4.2.4 Kommutatsiooni- ja mõõteaparatuur

Elektrienergia ülekandmise ja jaotamise kõikidel tasemetel on vaja elektri-ahelaid teineteisest eraldada hooldustööde tegemiseks, rikete likvideerimiseks ning rikkis seadmete eemaldamiseks elektrivõrgust. Seadmeid, mille ülesanne on eraldada erinevaid võrguosi teineteisest, nimetatakse kommutatsiooniseadmeteks. Kommutatsiooniseadmete valik sõltub ennekõike pingest ja jaotlate skeemist, aga ka nõutavast töökindlusest ja muudest asjaoludest.



Joonis 4.25 Toitealajaama keskpingejaotla skeemid

Keskpingevõrkude kommutatsiooniseadmeteks on võimsuslülitid, koormuslülitid, lahkülitid ja sulavkaitsmed. Tuleb tähele panna, et lülituste kõrval normaal- ja anomaaltalitusel on vajalik kaitselahutamise, kus seadmed pikemaks ajaks elektriliselt eraldatakse ning ohutuse tagamiseks ka maandamine. Joonisel 4.25 on kaks uut 110/20/10/6 kV toitealajaamades enam levinud keskpingejaotla skeemi. Joonisel 4.25a on jaotla, kus keskpinge fiidri kommuteerimiseks kasutatakse võimsus- ja lahküliti kombinatsiooni. Sellel skeemil on fiidri kaitselahutamiseks ja maandamiseks ühisajamiga kolme lülitusasendiga seade – lahküliti/maanduslüliti. Fiidri maandamine sellise skeemi korral toimub läbi võimsuslüliti, mis tähendab, et maanduslüliti ja võimsuslüliti on mõlemad sisselülitatud asendis. Joonisel 4.25b on jaotla, kus võimsuslüliti asub vankril. Sellise fiidri kaitselahutamise tekitatakse vankri väljatõmbamisega lahtrist ning maandamiseks on eraldi asetsev kohtkindel

maanduslüliti. Eriti iseloomulik on selline skeem varem ehitatud alajaamadele, kuid leiab kasutamist ka uutes alajaamades. Kaugjuhitavad on vanades toite- ja vahealajaamades vaid võimsuslülid. Uutes alajaamades on võimalik kauglülitada ka lahk- ja maanduslüliteid ning viia vankreid remondi- või tööasendisse. Kaugjuhtimine muudab võrgu dispetsjuhtimise efektiivsemaks ja võimaldab tunduvalt kiiremini avariisid likvideerida.

Elektrivõrgu tähtsaim kommutatsiooniparaat on **võimsuslüliti**. Võimsuslüliti on seade, mis on võimeline sisse ja välja lülitama nii elektriahela normaal- kui ka anormaalalitusvoolu näiteks lühiste korral. Võimsuslüliti ülesanne on ahela lahutamisel tekkiv elektrikaar kustutada. Olenevalt sellest, millises keskkonnas elektrikaart kustutatakse, liigitatakse võimsuslüliteid järgmiselt:

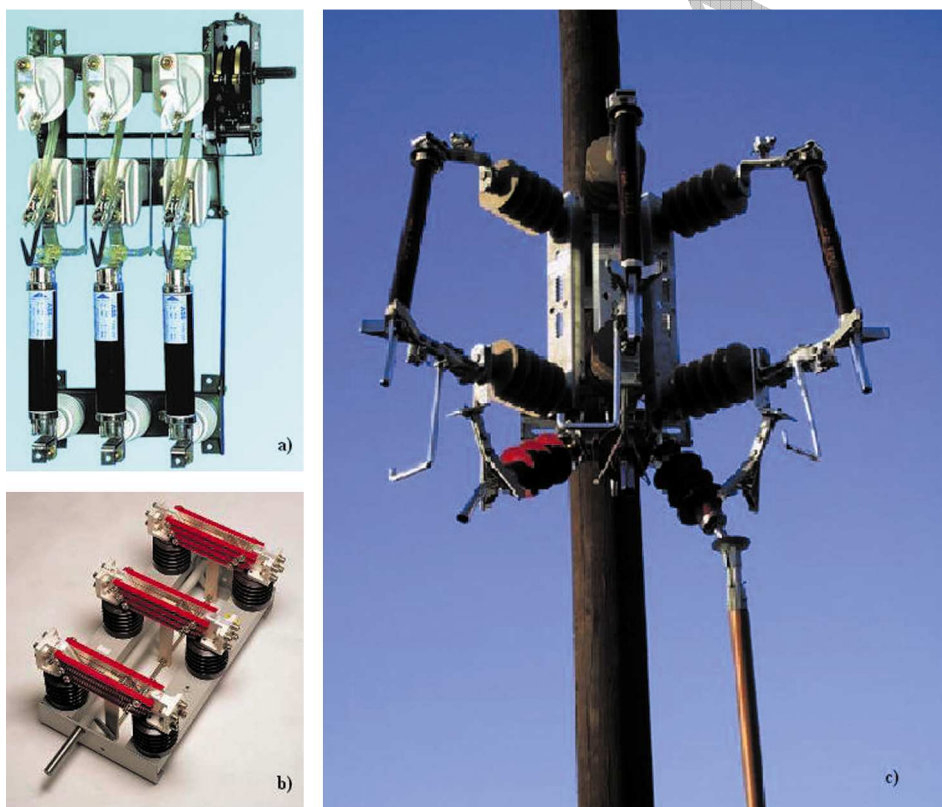
- õlivaesed lülid
- elegaas (SF_6) võimsuslülid
- vaakumlülid
- õlirikad lülid
- suruõhk võimsuslülid
- tahkegaaslülid.



Joonis 4.26 Eesti jaotusvõrkude võimsuslüliteid

Keskpingevõrkudes kasutatakse neist kolme esimest. Võimsuslülititele seatakse olulisi nõudeid. Nad peavad olema kiired, taluma lühisvoolu termilist ja elektrodünaamilist toimet, ennekõike aga olema võimelised lahutama lühisvoolu. Rekonstrueeritavatesse või uutesse keskpingealajaamadesse seatakse üles elegaas- või vaakumlülitid. Seni veel kasutatavad õlilülitid vajavad pidevat hooldust ja nende töökindlus on madalam kui nüüdisaegsetel lülititel. Eesti jaotusvõrkude võimsuslülitid näeb joonisel 4.26.

Võimsuslülitid kasutatakse peamiselt toite- ja vahealajaamades, mõnikord ka suurtes jaotusalajaamades, kui selleks on tarvidus. Mujal on elektriahelate kommuteerimiseks koormus- või lahklülitid, väiksemate trafode lülitamiseks ka lahkkaitssmed.



Joonis 4.27 Keskpingevõrkude kommutatsiooniseadmeid: koormuslülitid NALF (a), lahklülitid (b) ja GEVEA lahkkaitssmed (c)

Lahklülitid ülesanne on luua kaitselahutusvahemik. Lahklülitiga võib elektriahela avada ja sulgeda, kui katkestatakse või lülitatakse sisse tühiselt väike vool. Lahklülitid ei ole mõeldud lühis- ega koormusvoolude kommuteerimiseks, kuid on võimeline etteantud aja lühisvoolu taluma. **Koormuslülitid** on võimeline sisse ja välja lülitama ahela normaalalilitusvoolu ja ülekoormusvoolu. Koormuslülitid

sobib ka kaitselahutusvahemiku loomiseks. Ehituselt on lahküliti ja koormuslüliti sarnased, kuid koormuslülil on kaarekustutuskamber. Keskpingevõrkude kommutatsiooniseadmeid näeb joonistel 4.27 ja 4.28.



Joonis 4.28 Keskpingevõrkude kommutatsiooniseadmeid

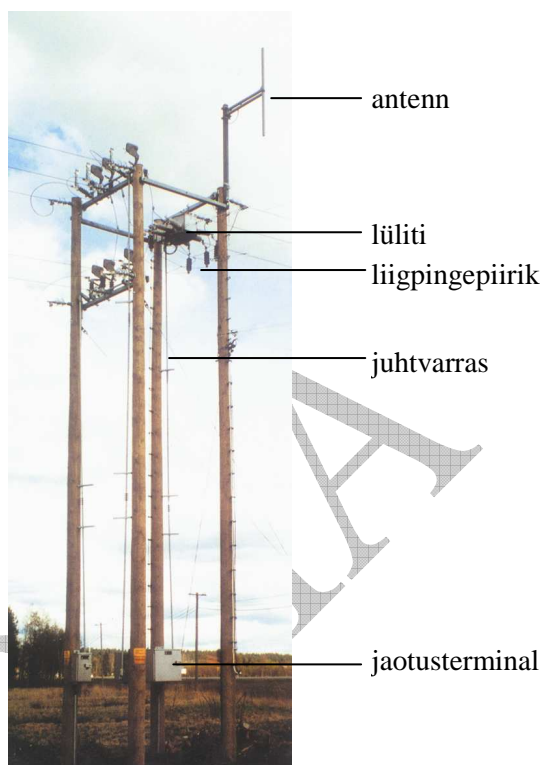
Keskpingevõrkude lülitid võivad olla käsi- või mootorajamiga, mis omakorda on või ei ole kaugjuhitav. Enamasti on kasutusel käsiajamiga seadmed, mille lülitamiseks on tarvis operatiivbrigadil minna alajaama ning teha soovitud lülitused. Tõhusamad on kaugjuhitavad seadmed, mida lülitatakse dispetšisüsteemi vahendusel. Kaugjuhtimine on kasutusel toite- ja vahealajaamades ning mõningates mastalajaamades (lahutuspunktides). Ajam paikneb enamasti kabis maapinna lähedal ja on ühendatud lülitiga juhtvarda abil. Ajamiga samasse karpis paigutatakse mõõte- ja sideaparatuur ning akumulaatorpatari ja kütteseadmed. Sidet juhtimiskeskusega peetakse tavaliselt raadio teel. Tulemuseks on **jaotusterminal** (*distribution terminal unit, DTU*), mille abil võib jaotusvõrgu talitlust efektiivselt juhtida. Joonisel 4.29 kujutatud mastlülituspunkt on varustatud firma ABB seadmetega.

Kommutatsiooniseadmeteks loetakse ka **sulavkaitsmed**, mida keskpingevõrkudes kasutatakse peamiselt väikese võimsusega trafode kommuteerimiseks koormusvabas olukorras. Kaitseelemendina koos koormus- või lahkülitiga on

sulavkaitse küllaltki levinud. Elektriabla kaitsmine sulavkaitsmetega on võrreldes releekaitsega ja võimsuslülitiga odavam ja võimaldab eraldada elektriabla rikkis elementi võrgust. Sulavkaitsmeid kasutatakse siiski rohkem madalpingevõrkudes.

Elektrimõõtmised keskpingevõrkudes lähtuvad **mõõteanduritest**, milleks on voolu- ja pingetrafid. Mõningatesse nüüdisaegsetesse võimsus- ja koormuslülititesse on sisse ehitatud ka valgusmõõteandurid. Voolu- ja pingeaandurite ülesanne on vähendada voolu ja pingeväärtusi mõõteandmeid kasutavate seadmete tarvis ning eraldada primaarahel sekundaarahelast. Mõõteanduritest saadud väärtusi kasutatakse releekaitse-, mõõte- ja juhtimiseseadmete

tarvis. Levinumad mõõteandurid on voolutrafid. Voolutrafosid jaotatakse mõõte- ja kaitsevoolutrafodeks (p 8.1.4). Mõõtevoolutrafode ülesanne on toetada täpseid mõõtmisi ning need töötavad kitsas voolude vahemikus. Mõõtevoolutrafode tähtsaim näitaja on täpsusklass. Kaitsevoolutrafod edastavad andmeid kaitseseadmetele. Seda tüüpi voolutrafo töötab laias voolude diapsoonis ning täpsusklassil pole nii suurt tähtsust. Voolutrafo nimisekundaarvooluks on IEC-standardi kohaselt 1 A või 5 A. Ka pingetrafo jaotatakse mõõte- ja kaitsepingetrafodeks ning seetõttu on nende omadused mõnevõrra teistsugused. Pingetrafo nimisekundaarpingena kasutatakse Eestis IEC-standardi kohaseid väärtusi 100 V või 200 V. Voolutrafodel on üks primaarmähis ja tavaliselt mitu eri südamikul paiknevat sekundaarmähist. Pingetrafodel on üks primaarmähis ja üks või kaks sekundaarmähist, millest üks on tavaliselt avakolmnurkmähis. Voolu- ja pingetrafo käsitlemisel tuleb silmas pidada, et voolutrafo talitus on lähedane lühistalitlusele ja pingetrafo talitus trafo tühijooksutalitlusele. Selletõttu peab voolutrafo sekundaarmähis olema lühistatud ja pingetrafo sekundaarmähis tühijooksul ning vältida tuleb igal juhul voolutrafo tühijooksutalitlust ja pingetrafo lühistalitlust.

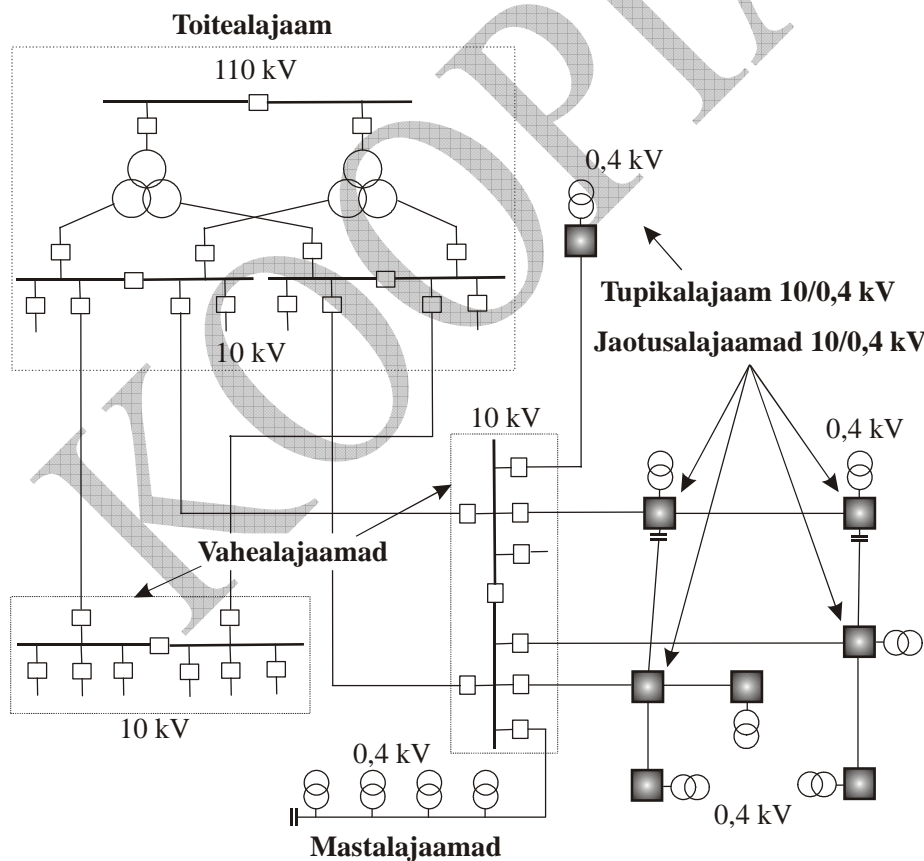


Joonis 4.29 Mastlülituspunkt

4.2.5 Alajaamad

Eestis edastatakse elektrienergiat elektrijaamadest tarbimiskeskustesse õhuliinidega pingel 330 kV ja 110 kV. Elektrit jaotatakse piirkonniti keskpingel 6...35 kV. Tarbijateni jõuab elekter tavaliselt pingel 0,4 kV. Elektri muundamine ühelt pingest teisele ning jaotamine toimub alajaamades.

Alajaam on elektrivõrku kuuluv kompleks, mis paikneb kindlal territooriumil, koosneb enamasti ülem- ja alampinge jaotusseadmetest ning trafodest. Jaotusseade ehk **jaotla** hõlmab lülitusseadmeid nende juurde kuuluvate juhtimis-, mõõte-, kaitse- ja reguleerimisseadmetega koos vajaliku juhistikuga, lisaseadmetega, kestade ja kandekonstruktsioonidega. Jaotla iseloomulikuks konstruktsioonielemendiks on kogumislattid. Trafod võivad alajaamas ka puududa. Sel juhul on tegemist lülitusalajaamaga. Kasutatakse ka mõistet lülituspunkt, mille ülesandeks on jaotusvõrgu fiidrite lahutamine või ümberlülitamine. Releekaitse seondub võimsuslülititega, mis asuvad vaid suurtes alajaamades.

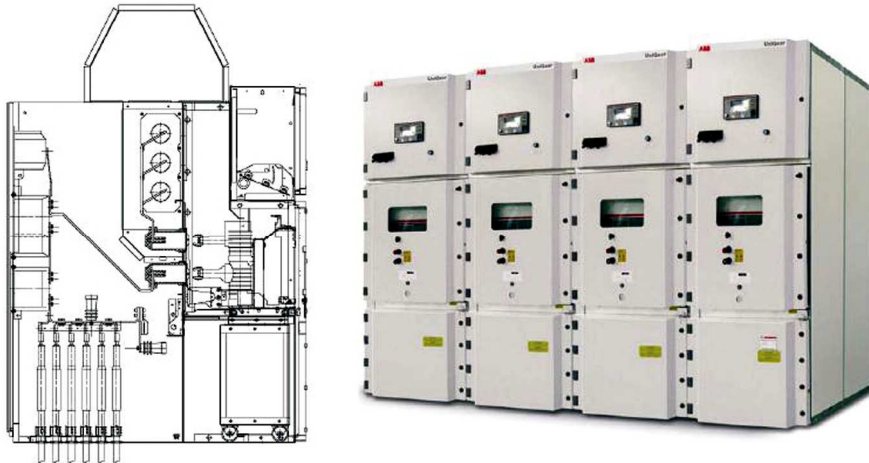


= Keskpingevõrgu lahutuspunkt

Joonis 4.30 Keskpingevõrgu alajaamade jaotamine otstarbe järgi

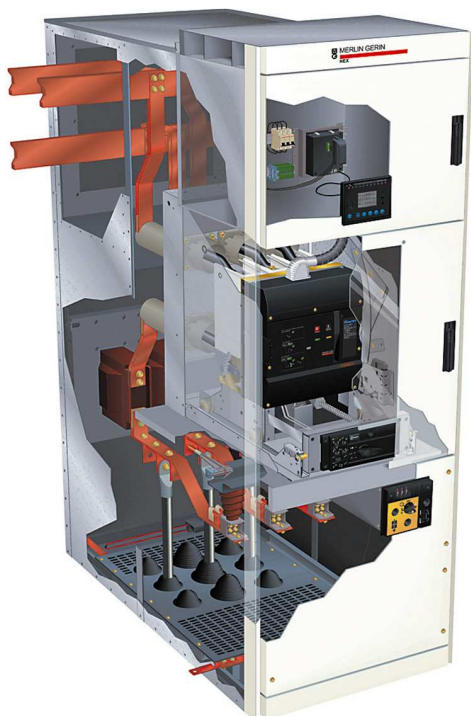
Alajaamu liigitatakse otstarbe, konstruktsiooni (sh isolatsiooni) ja muude tunnuste järgi. Otstarbest sõltuvalt võib jaotusvõrgus vaadelda toite-, vahe- ja jaotusalajaamu, täiendava liigitusena ka haru- ja tupikalajaamu. Toitealajaamade, mida nimetatakse ka piirkonnaalajaamadeks, kaudu varustatakse jaotusvõrku elektrienergiaga. Need alajaamad seovad niisiis jaotus- ja põhi-võrku. Eestis on toitealajaamade ülepingeks peaaegu eranditult 110 kV, alampingeks enamasti 6, 10 ja 35 kV, aga ka 15 ja 20 kV. Jaotusalajaamad varustavad elektriga tarbijaid enamasti madalpingel 0,4 kV. Tööstusettevõtteid toidetakse ka keskpingel. Vahealajaamad on ette nähtud elektri jaotamiseks keskpingel, võimalikult ka transformeerimiseks näiteks pingelt 10 kV pingele 6 kV.

Alajaamade jaotust otstarbe järgi on illustreeritud joonisel 4.30. Toitealajaam ja vahealajaamad on varustatud võimsuslülititega. Kasutusel on muuhulgas sektsioonidevahelised võimsuslülitid, mis rakenduvad reservilülitusautomaadi toimel. Ühe latisektsiooni pingetuks jäämisel on seda võimalik pingestada teise latisüsteemi kaudu. Selline reservilülitus on edukas, kui rikkis on latte toitev kaabel või trafo. Ka jaotusalajaamad võivad olla ühe- või kahesektsioonilised, kuid on lihtsama konfiguratsiooniga kui toite- või vahealajaamad. Kommutsiooniaparatuurina kasutatakse jaotusajaamades peamiselt lahk- ja koormuslülitid, trafoahelates ka võimsuslülitid. Skeemi kuuluvad veel lahutuskohtad, mille kaudu saab toite taastamiseks, remondiks või talitluse optimeerimiseks fiidrite koosseisu muuta.



Joonis 4.31 Õhkisolatsiooniga alajaama keskpingejaotla kambri lõige ja jaotla

Alajaamade ehitus sõltub nende suuruselt ja ülesannetest võrgus. Kõrgema pingega toitealajaamad on peamiselt suured õhkisolatsiooniga ja keeruka konfiguratsiooniga välisalajaamad. Linnades on ka kinniseid sisealajaamu, mis võtavad vähem ruumi ja on meeldivama väljanägemisega, kuid tunduvalt kallimad. Sisealajaamad võivad olla nii õhk- kui gaasisolatsiooniga (*gas*



Joonis 4.32 Gaasisolatsiooniga keskpingejaotla kambri lõige

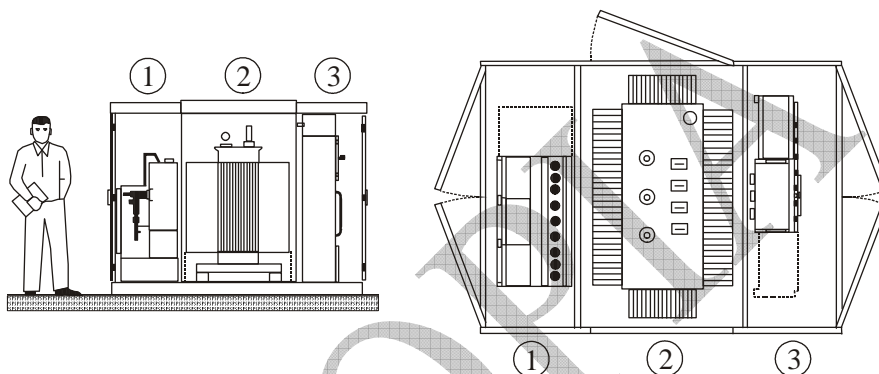
insulated switchgear, GIS) isolatsioonikeskkonnaks elegaas (*SF₆*). Selliste alajaamade seadmed on kompaktsemad ega vaja sagedast hooldust. Joonisel 4.31 on firma ABB õhkiolatsiooniga keskpingejaotla. Kambri lõikel on näha kaablisendisid, voolutrafosid, kogumislätte ja võimsuslüliti, mis on paigutatud vankrile. Kambri ülaosas on releeterminal. Joonisel 4.32 on firma Merlin Gerin gaasisolatsiooniga keskpingejaotla kambri lõige. Siin on järjestikku (alt üles) kaablisendisid, voolutrafod, võimsus- ja lahküliti ning latid. Lattide ees on releeterminal. Kaitselahutus tehakse võimsuslüliti väljatõmbamisega kambri.

Jaotusalajaamad on enamasti kinnised kiosk- ja komplektalajaamad või lahtist tüüpi mastalajaamad. Kinniseid alajaamu rajatakse linnadesse ja



Joonis 4.33 Keskpingevõrgu jaotusalajaam

tiheda asustusega piirkondadesse. Kioskalajaamadeks on tellistest või muust materjalist statsionaarsed ehitised. Sellist tüüpi alajaamu tänapäeval enam ei ehitata. Levinumaks alajaama tüübiks on teisaldatavad metallkonstruktsiooniga komplektalajaamad (*KTPN*, *KTPK*, *HEKA*, *HOLTAB*). Muidugi võivad jaotusalajaamad asetseda ka suurte ehitiste siseruumides. Nüüdisaegsed komplektalajaamad sobivad küllaltki hästi keskkonda ja sisaldavad suhteliselt hooldusvabasid seadmeid. Komplektalajaamu on võimalik kiirelt paigaldada ja seadmete vahetus neis on lihtne. Joonisel 4.33 on firma Harju Elekter AS jaotusalajaam ning joonisel 4.34 näeb komplektalajaama *HEKA* lõiget.

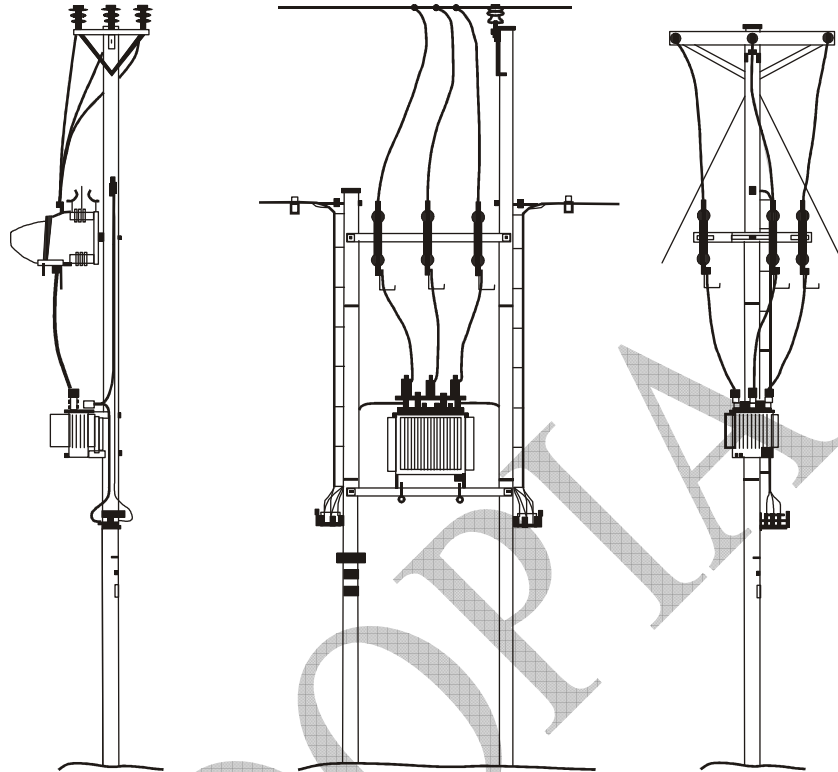


Joonis 4.34 Keskpingevõrgu komplektalajaam HEKA: keskpingelahter 1, trafolahter 2, madalpingelahter 3

Maapiirkondades on levinud mastalajaamad. Mastalajaamade konstruktsiooni valikul tuleb arvestada keskpingeliini kulgemisega, kas tegemist on tupikalajaamaga või kulgeb kõrgepingeliin edasi, samuti on tarvis arvestada mastalajaamast väljuvate madalpingefiidrite arvu ja suunda, kui suure trafoga on tegemist ning loomulikult ka kohalikke looduslikke olusid. Mastalajaamade trafod peavad olema tugevdatud isolatsiooniga, hermeetilised ja spetsiaalse konstruktsiooniga. Trafode võimsusrida mastalajaamade korral on 30, 50, 100, 200, 315 kVA, kusjuures 30 kVA võimsusega trafosid ei ole üldjuhul soovitatav kasutada. Kaitseadmeteks on keskpinge poolel enamasti lahkkaitsmed.

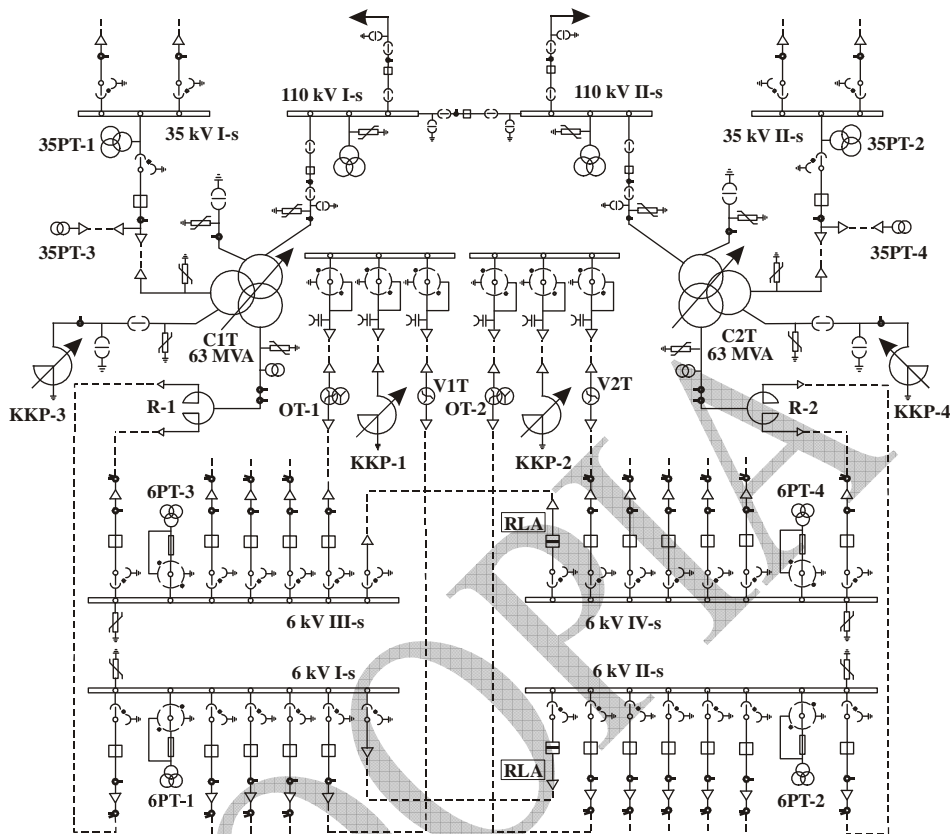
Liigpingekaitseks on 200 kVA ja väiksema võimsusega trafode korral kaksik-sädemik, mis monteeritakse trafo isolaatoritele, õhuliini tõmbeisolaatoritele või eriraamile paigaldatud tugiisolaatoritele. Üle 200 kVA võimsusega trafosid kaitstakse metalloksiidpiirikutega, mis monteeritakse trafo kaanel selleks ette nähtud raamile. Mastalajaamade konstruktsioonilisi lahendusi näeb joonisel 4.35.

Toitalajaamade skeeme on joonisel 4.36 ja 4.37. Joonistel 4.36 on kujutatud kahe 63 MVA nimivõimsusega kolmemähiselise trafoga alajaama. Trafode üks alampingemähis varustab 35 kV kogumislätte ja teine kaht 6 kV latiseksiooni.



Joonis 4.35 Mastalajaamade konstruktsioonilisi lahendusi

Normaaltalitluses lahus töötavaid latiseksioone võidakse ühendada ühes sektsioonis pinge kadumisel reservilülitusautomaadi toimel. Trafode õlgadele on 6 kV poolel paigaldatud reaktorid, mille eesmärk on vähendada võimalikke lühisvoole. Kasutusel on kaarekustutuspoolid (*KKP*), mis on ühendatud trafode 35 kV mähiste neutraaliga ning omatarbetrafodega (*OT*) 6 kV poolel. Igal 6 kV latiseksioonil on väljuvatele kaablitele lisaks pingetrafo (*PT*) lahtrid. Skeemi eripäraks on ühe kaarekustutuspooli kasutamine kahe 6 kV latiseksiooni maaühendusvoolude kompenseerimiseks. Selline skeem on odavam, kuid selle puuduseks on, et maaühendus ühel latiseksioonil mõjutab ka teist latiseksiooni. Suureneb kahekordse maaühenduse risk ning releekaitse on mõnevõrra keerukam. Selline maaühendusvoolude kompenseerimise skeem on Eesti jaotusvõrkudes küllaltki levinud. Skeemi 35 kV poolel on seadmeid minimaalselt, mis ei taga kõrget elektrivarustuskindluse taset. Tuleb siiski arvestada, millist piirkonda 35 kV liinidega varustatakse ning millised on reservilülitamise võimalused piirkonnas. Väljuvatel fiidritel kasutatakse lahküliti, maanduslüliti ja võimsuslüliti kombinatsiooni, mille korral fiidri maandus toimub läbi võimsuslüliti. Trafo *V1T* on mõeldud esimese ja *V2T* teise latiseksiooni ühendamiseks kaarekustutuspooliga. Tegemist on vahetrafodega,



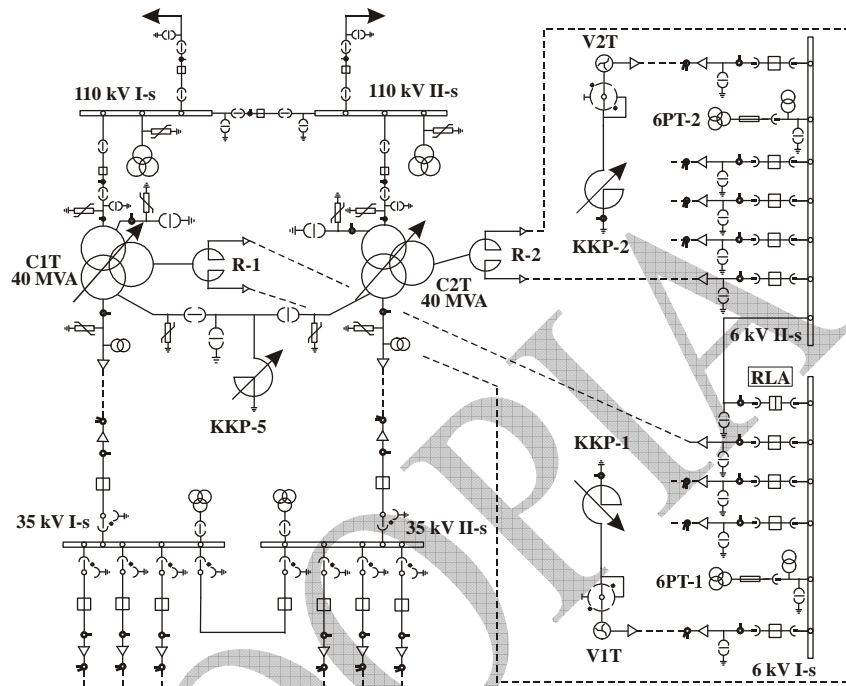
Joonis 4.36 Toitealajaama skeem

mille mähiste neutraalidest on võetud ühendused kaarekustutuspooli tarvis. Nii trafode kui erinevate latisektsioonide kaitseks liigpingete vastu on üles seatud liigpingepiirikud.

Toitealajaama mõnevõrra teistsugune lahendus on joonisel 4.37. 35 kV pingestme skeem on siin töökindlam, sest võimalik on reserveerimine läbi teise sektsiooni 6 kV poolel (neljast latisüsteemist on joonisel näidatud kaht). Võimsuslülitid on vankril. Fiider kaitselahutatakse vankri väljatõmbamisega lahtrist. Fiidri maandamiseks on eraldi maanduslülitid. Ka on igal latisektsioonil maaühendusvoolude kompenseerimiseks eraldi kaarekustutuspool. Sellistes alajaamades on enamik lüliteid kaugjuhitavad. Kaugjuhtimise teel on võimalik liigutada ka vankrit, mis vastab lahkülilite sisse- või väljalülitamisele eelmisel skeemil.

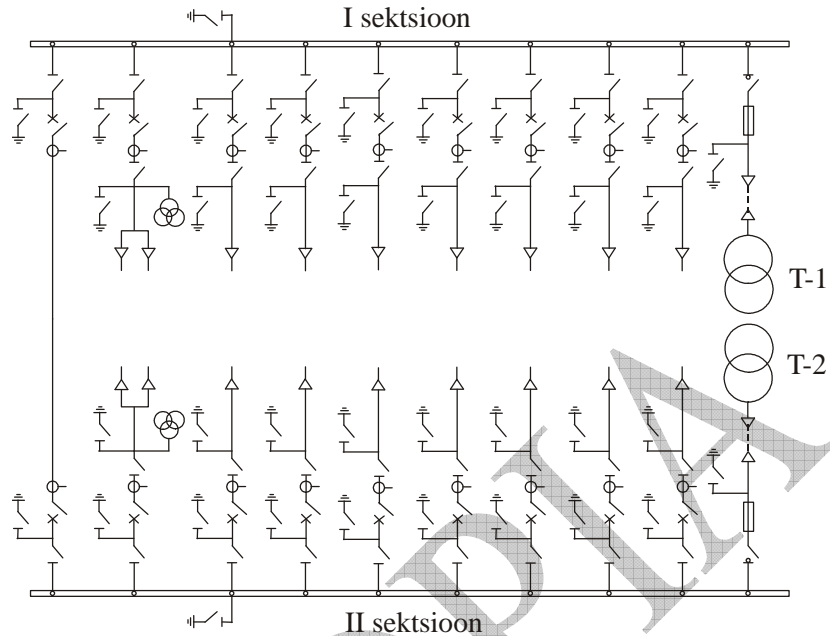
Vaadeldud skeemid on iseloomulikud suurtele koormuskeskustele, millele viitab kolmemähiseliste trafode kasutamine ja nelja tarbijafiidritega sektsiooni olemasolu. Väikese koormusega piirkondades on levinud lihtsa ehitusega toitealajaamad, kus on kaks kahemähiselist trafot, mis toidavad kahte

teineteisest lahus töötavat 6...20 kV latisektsiooni. Vajadusel ühendab latisüsteeme reservilülitusautomaat. Kui tegemist on peamiselt õhuliinidega, siis puuduvad alajaamas ka arekustutuspoolid.



Joonis 4.37 Toitealajaama skeem

Vahealajaamade ülesanne on jaotada keskpingel elektrit suurtes koormuskeskustes. Maapiirkondades, kus tarbimine on väike, vahealajaamu ei vajata. Vahealajaamad saavad toite piirkonnaalajaamadest tugevdatud ühenduste kaudu. Vahealajaamade skeem on toitealajaamadega võrreldes lihtsam. Puuduvad suured toitealajaamadele iseloomulikud pinget alandavad trafod. Keskpinge erinevaid astmeid ühendavad trafod võivad siiski olla. Võimalikud on kohalikke tarbijaid varustavad 6...20/0,4 kV trafod. Väljuvaid fiidreid on jaotusalajaamas vähem ning puuduvad kaarekustutuspoolid. Vahealajaama skeem on joonisel 4.38. Alajaam koosneb kahest 10 kV lahus töötavast latisektsioonist, sisend- ja väljundlahtritest ning trafolahtritest. Nii sisenevad kui ka väljuvad lahtrid on varustatud võimsus- ja lahküliti skeemiga. Alternatiiviks on võimsuslüliti paigutamine vankrile, mida ka sageli tehakse. Väljuvate fiidrite võimsuslülitid ja sektsioonidevahelised võimsuslülitid on varustatud releekaitsega. Reservilülitusautomaat võib vajaduse korral sektsioone ühendada. Trafode kaitseks on sulavkaitsmed ja kommutatsiooniparaadiks koormuslülitid. Nii nagu toitealajaamad, on ka vahealajaamad nüüdisajal enamjaolt kaugjuhitavad, kuigi mitte tingimata kõikide lülitite osas.

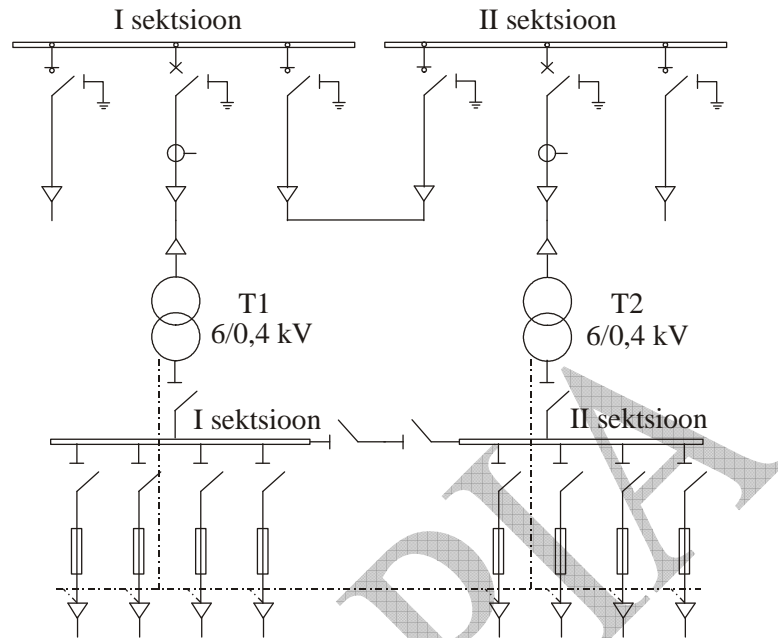


Joonis 4.38 Vahealajaama skeem

Jaotusalajaamad, mille ülesanne on toita tarbijaid madalpingel, on tihedalt asustatud piirkondades ehitatud kiosk- ja komplektalajaamadena või asetsevad suurte ehitiste sees. Maapiirkondades on aga enamasti tegemist mastalajaamadega. Tavaliselt on jaotusalajaamades paar sisenevat fiidrit keskpingel, trafo ja väljuvate fiidritega madalpingejaotusseade. Lülitusseadmeteks on koormuslülitid, lahklülitid ning trafode fiidrites vähesel määral ka võimsuslülitid, mis releekaitse vahendusel täidavad ka kaitsefunktsioone. Levinum on skeem, kus trafo lülitusseadmeks on koormuslüliti või lahklüliti ja kaitseseadmeks sulavkaitse. Mastalajaamades kasutatakse lülitusseadmetena lahkkaitsmeid, millel on ka kaitseadme funktsioon ning millega on võimalik koormusvabas olukorras trafot sisse ja välja lülitada.

Jaotusalajaama madalpingejaotla on enamasti lahtrite arvult ja mahult tunduvalt suurem kui keskpingejaotla. Suurte alajaamade jaotlad on nii kesk- kui madalpingel tavaliselt kahesektsioonilised. Normaalskeemi kohaselt töötavad kahesektsioonilises alajaamas madalpingesektsioonid lahus, kuid jääb võimalus ümberlülitusteks, mille tulemusena viiakse koormus ühelt trafolt teisele. Reservilülitusautomaati madalpingel tavaliselt ei kasutata. Vajalikud ümberlülitused teeb operatiivbrigaad. Vaid eriti tähtsate tarbijate juures, kus pikaajaline elektrikatkestus pole lubatud, võib olla ka automaatne ümberlülitus.

Madalpingejaotla lahtrite ehitus on suhteliselt lihtne. Kaitseelemendiks on kas sulavkaitse või kaitselüliti. Sulavkaitsme korral kasutatakse lisaks ka vinnaklülitit, millega on võimalik lülitada koormusvoolu. Joonisel 4.39 on alajaama



Joonis 4.39 Jaotusalajaama skeem

skeem, kus keskpingejaotusseade on kahesektsiooniline, mõlemas sektsioonis on üks liinisised, trafo lahter ja sektsioonidevaheline lahter. Liinide lülitamiseks kasutatakse koormuslüliteid, trafo lülitamiseks aga võimsuslülitit. Madalpinge jaotusseade on samuti kahe sektsiooniga, mis töötavad lahus. Väljuvate fiidrite lahtrites on jadamisi madalpinge vinnaklülitid ja sulavkaitsmed. Punktiirjoonega on joonisel 4.39 esitatud *PEN*-juht.

Eesti jaotusvõrkudes on ligemalt 20 000 alajaama, millest enamik on jaotusalajaamad pingega 10/0,4 kV. Alajaama tüüpidest on enam levinud mastalajaamad, järgnevad komplekt- ja kioskalajaamad. Trafosid on alajaamadesse paigaldatud kokku ligemalt 25 000 koguvõimsusega üle 7000 MVA.

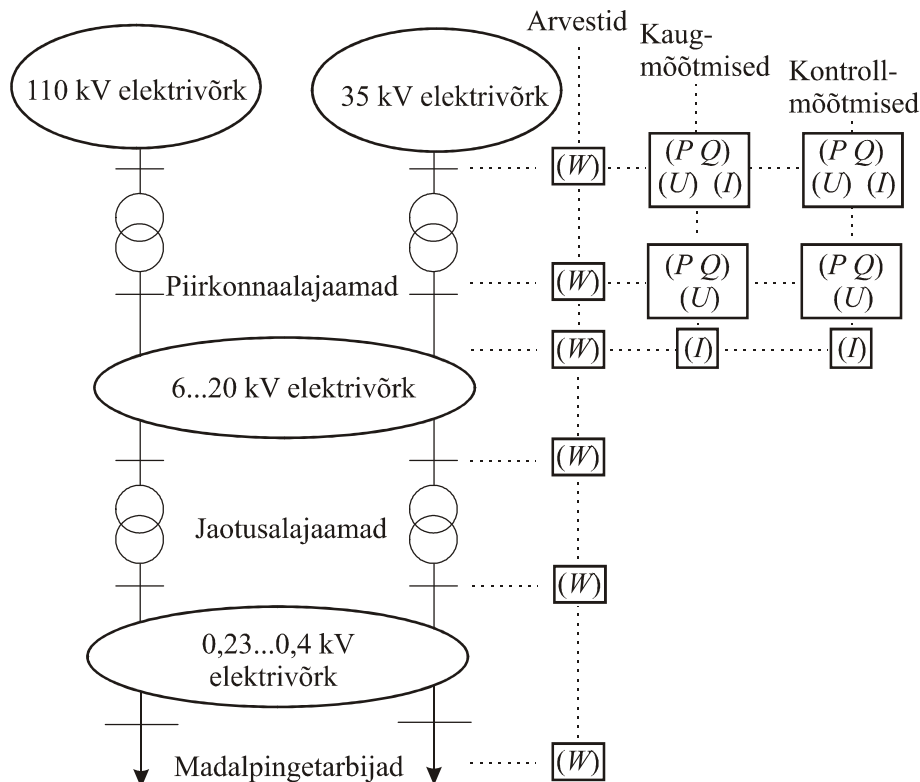
4.3 Juhtimine ja reguleerimine

Elektrivõrgu seadmete normaalse töö ning elektri kvaliteedi ja varustuskindluse tagamiseks tuleb jaotusvõrgu talitlust juhtida ja reguleerida. Vajalik on talitlusparameetrite mõõtmine, reaktiivvõimsuse kompenseerimine, pingete reguleerimine ja asjakohane operatiivjuhtimine.

4.3.1 Mõõtmised

Jaotusvõrgu talitlusparameetritest mõõdetakse pingeid, voole, aktiiv- ja reaktiivvõimsusi ning energiat (joonis 4.40). Lisaks veel elektri kvaliteedi mõõtmised, kus juba mainitud suuruste kõrval mõõdetakse spetsiifilisi kvaliteedinäitajaid,

nagu harmoonikute taset, pinge asümmeetriat, pingelohke jm. Mõõtmisi võib otstarbe järgi jaotada tehnilisteks ja kommerts mõõtmisteks. Tehniliste mõõtmiste eesmärgiks on seadmete töö seire ning jaotusvõrgu juhtimine normaal- ja avariolukorras. Kommertseesmärgil mõõdetakse ennekõike elektrienergiat.



Joonis 4.40 Jaotusvõrgu mõõtmiste skeem

Energiaarvestitega on varustatud enamasti kõik tarbijafiidrid ning alajaamade trafod. Eestis toimub toitealajaamade trafode ahelas põhi- ja jaotusvõrgu vaheline elektrienergia arveldamine. Infot kogutakse veel latiseksioonide pingete kohta, väljuvate fiidrite ja trafode voolude ja võimsuste kohta ning uutes alajaamades ka alajaama omatarbe kohta.

Jaotusvõrgus toimivad erinevad mõõtesüsteemid, mis andmeid fikseerivad, edastavad ja vajalikul viisil töötlevad. Ulatuslikum mõõtesüsteem kuulub dispetšisüsteemi (SCADA) juurde. Siin edastatakse alajaamade automaatikasüsteemide kogutud andmed andmevõrgu kaudu dispetšikeskustesse, kus need salvestatakse ja teisendatakse elektrivõrgu operatiivjuhtimiseks ja talitluse plaanimiseks sobivale kujule. Eesti Energia jaotusvõrgu dispetšisüsteemi vaadeldakse lähemalt punktis 10.2.

Ühtsed kommerts-mõõtesüsteemid haaravad tänapäeval ettevõtteid ja mõningal määral ka elektri väiketarbijaid. Tulevikus, eriti vaba elektrituru jaoks, on ette näha kõigi elektritarbijate mõõtmine ühtse süsteemi kaudu. Kommerts-mõõtesüsteem saab alguse tarbijate arvestitest. Mõõdetud andmed kogutakse lokaalsete mõõteterminalide abil ning lähetatakse andmeedastussüsteemide kaudu keskustesse, kus tulemusi töödeldakse. Dispetšisüsteemidega võrreldes esitatakse kommerts-mõõtesüsteemides mõõtetäpsusele ja töökindlusele kõrgendatud nõudeid. Eesti Energias kasutatavat kommerts-mõõtesüsteemi *Enermet AIM* on kirjeldatud punktis 10.3.

Elektri kvaliteedi mõõtmisi tehakse mõõturitega, mis on teisaldatavad või kohtkindlad. Viimased võib ühendada ühtsesse süsteemi, kus mõõteandmed edastatakse andmevõrgu kaudu keskusesse. Sel viisil saab paremini kindlaks teha elektri kvaliteedi hälvete põhjusi ja kavandada meetmeid kvaliteedi tõstmiseks. Elektri kvaliteedi mõõtmist vaadeldakse punktis 10.1.5.

Kirjeldatud mõõtesüsteemid ei haara kaugeltki kõiki elektrivõrgu alajaamu. Enamik alajaamadest, mis on küll mõõteriistadega varustatud, ei kuulu dispetšisüsteemi ning nende mõõteandmeid ei talletata ega edastata. Väikestes kioski- ja mastalajaamades puuduvad mõõteriistad üldse. Erandiks on vaid jaotusterminalidega mastalajaamad, mida seni on Eestis vaid üksikud.

Talitusparameetrite kontrollmõõtmisi tehakse alajaamades aasta kindlatel päevadel, milleks on kaks tüüpilist päeva suvel ja kaks talvel. Mõõtmisi tehakse tööpäevadel hommikuse koormustipu, öise miinimumi ja õhtuse tipu ajal. Puhkepäevadel on vaatluse all öine miinimum ja õhtune tipp. Alajaamades, kus telemõõtmine puudub, käiakse kohapeal ja kirjutatakse kellaajaliselt üles alajaama juhtimiskilbi mõõteriistade näidud. Alajaamade arvestite näite fikseerivad võrgu töötajad kord kuus. Arvestite näite, mis laekuvad võrgu elektrimüügi osakonda, esitavad ka elektritarbijad, kes ei kuulu kommerts-mõõtesüsteemi. Sellised andmed on siiski ebakindlad, kuna neid moonutavad võlgnevused, ettemaksed, näitude esitamata jätmine ja energia vargused.

4.3.2 Reaktiivvõimsuse kompenseerimine

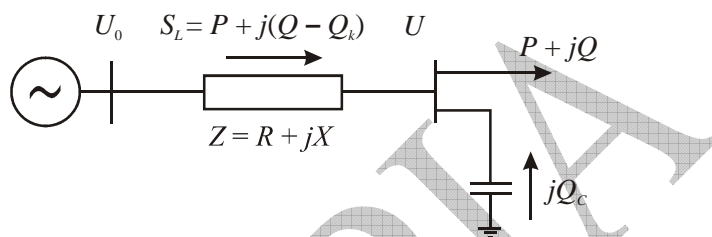
Aktiivvõimsuse kõrval vajavad paljud elektriseadmed reaktiivvõimsust, mis on vajalik elektromagnetvälja tekitamiseks. Reaktiivvõimsust tarbivad sünkroonmasinad, asünkroonmootorid, trafod, muundurid, keevitusagregaadid ja muud seadmed.

Reaktiivvõimsust edastada pole elektrivõrgus otstarbekas, kuna see suurendab energiakadusid ja pingelangu. Otstarbekam on reaktiivvõimsust toota kohapeal reaktiivvõimsuse tarbija lähedal. Kadude vähenemise kõrval suureneb sel juhul ka liinide läbilaskevõime ja trafode võimsus ning paraneb pinge kvaliteet. Reaktiivvõimsuse kohaliku kompenseerimise mõju võimsus- ja pingekaole illustreerib joonis 4.41, kus tarbija juurde on üles seatud kompenseerimisseade võim-

susega Q_C . Elektriliinis edastatav võimsus on sel juhul $S_L = P + j(Q - Q_C)$ ning võimsus- ja pingekadu avaldub valemitega

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_C)^2}{U_n^2} R, \quad \Delta U = \frac{PR + (Q - Q_C)X}{U_n}$$

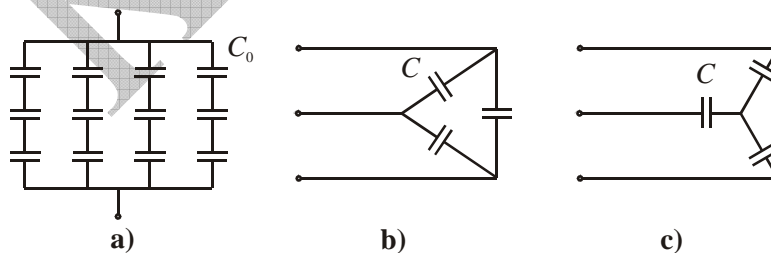
On ilmne, et kaod on minimaalsed, kui $Q_C = Q$, ehk kogu vajalik reaktiivvõimsus genereeritakse kohapeal. Vältida tuleb ülekompenseerimist, kus $Q_C > Q$. Sel juhul suureneb taas vool liinis ja suurenevad liinikaod ning seatakse ohtu koormuse stabiilsus.



Joonis 4.41 Reaktiivvõimsuse kohalik kompenseerimine

Reaktiivvõimsuse iseloomustamiseks kasutatakse tavapäraselt aktiivvõimsuse ja näivvõimsuse suhet, võimsustegurit $\cos \varphi = P/S$. Kasutamist leiab ka reaktiivvõimsuse ja aktiivvõimsuse suhe $\tan \varphi = Q/P$. Tänapäeva Eesti jaotusvõrkudes on $\tan \varphi$ 0,2...0,5, toitealajaamades 0,3 piirides.

Jaotusvõrkudes on peamisteks reaktiivvõimsuse kompenseerimise seadmeteks kondensaatorpatareid, mille valik ja otstarbekas paigutus on keerukas optimeerimisülesanne. Kriteeriumiks on kulude minimeerimine, kuhu kuuluvad nii energiakaod kui vajalikud investeeringud ja käidukulud. Kadude seisukohalt on efekt suurem, kui kompenseerimisseade on paigutatud trafode alampingepoolele. Teisalt on trafo ülempinge poolel asetsevate kompenseerimisseadmete ühikmaksumus madalam.



Joonis 4.42 Kondensaatorite ühendamiskeemid: ühe kondensaatorpatarei kondensaatorite jada- ja rööpühendused (a), kolmefaasilise kondensaatorpatarei kolmnurkühendus (b) ja tähtühendus (c)

Reaktiivvõimsust kompenseerivad kondensaatorpatareid koosnevad üldjuhul igas faasis rööbiti ja jadamisi ühendatud kondensaatoritest (joonis 4.42a). Jadamisi ühendatud elementide arvu suurendamisega saab tõsta kondensaatorpatarei lubatud pinget, rööpühendustega aga voolu ning ühtlasi võimsust. Kondensaatorpatareisid valmistatakse nii madal- kui ka keskpingele ning need on või ei ole reguleeritavad. Kondensaatorpatarei astmeline reguleerimine saavutatakse rööpselt ühendatud kondensaatorite arvu lisamisega või vähendamisega, mille tulemusena muutub patarei mahtuvus. Kondensaatorpatareide ühendamisel kasutatakse kolmnurk- või tähtühendust (joonised 4.42b ja 4.42c).

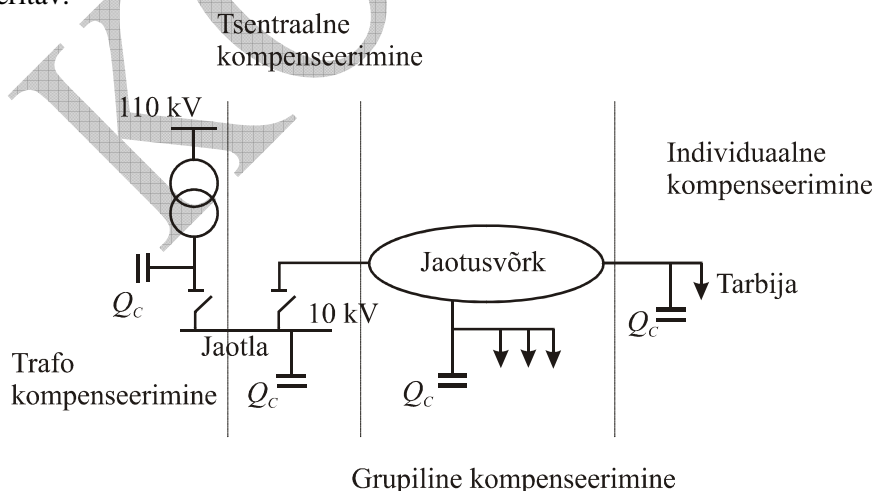
Teades ühe elemendi mahtuvust C_0 ning jadamisi ja rööbiti ühendatud elementide arvu n_j ja n_r , on võimalik leida ühes faasis oleva kondensaatorpatarei mahtuvus C avaldisest

$$C = \frac{n_r}{n_j} C_0$$

Olenevalt sellest, kas kolmefaasiline kondensaatorpatarei on kolmnurk- või tähtühenduses, kujuneb selle võimsuseks

$$Q_c = 3U^2 \omega C \quad \text{või} \quad Q_c = U^2 \omega C$$

Sõltuvalt kompenseerimisseadmete paigaldamise kohast reaktiivvõimsust tarvitavate seadmete suhtes võib eristada individuaalset, grupilist ja tsentraalset kompenseerimist (joonis 4.43). Individuaalse kompenseerimise korral on kompenseerimisseadmed üles seatud reaktiivvõimsuse tarbija juurde, võimaluse korral lülitatud tarbija klemmidele. Sellise kompenseerimisviisi puhul ei kanta reaktiivvõimsust üle tarbijani, kuid puuduseks on kompenseerimisseadme madal kasutustundide arv. Ka peaks selline seade olema automaatselt reguleeritav.



Joonis 4.43 Reaktiivvõimsuse tsentraalne, grupiline ja individuaalne kompenseerimine

Grupilise kompenseerimise korral toidetakse ühest seadmest mitut reaktiivvõimsuse tarbijat. Kuna summaarne reaktiivvõimsuse graafik on üksikgraafikutega võrreldes ühtlasem, võib kompenseerimisseade olla ka mittereguleeritav või astmeliselt reguleeritav. Ülekompenseerimise vältimiseks tuleb seadme võimsus valida reaktiivvõimsusgraafiku miinimumi järgi.

Tsentraalsel kompenseerimisel seatakse suhteliselt võimas kompenseerimisseade üles mõne suure alajaama (nt toitealajaama) keskpingelattidele. Ühtlase või peaaegu ühtlase reaktiivkoormusgraafiku puhul ei pruugi kompenseerimisseade olla reguleeritav. Siis on kompenseerimisseadme aastane kasutustundide arv kõrge ning tema käidukulud madalad.

Kompenseerimiseks kasutatavate kondensaatorpatareide valikul arvestatakse paigalduskohaga (sise- või välispaigaldus), reguleerimisvõimalusega (fikseeritud võimsusega, sisse-väljalülitatav või reguleeritav), patarei ehitusega (elementide jada- ja rööpühendus) ning seda, kas patareil on sisemisi või välimisi sulavkaitsmeid ja tühjendustakisteid. Oluline on, kas tegemist on ühe- või kolmefaasilise seadmega ning missugune on kondensaatorite ühendusviis (täht-, kolmnurk- või topelttähtühendus).

Tähelepanu tuleb pöörata kondensaatorpatarei kaitseseadmetele. Ohtlikud on pinge ja temperatuuri tõusud, mis võivad tunduvalt väheneda kondensaatori eluiga. Kondensaatorpatarei kaitsesüsteemi võivad kuuluda

- elemendisisesed sulavkaitsmed ja kondensaatori tühjendustakistid
- üle- ja alapingekaitse
- voolu ebasümmeetriakaitse
- liigvoolu- ja maaühenduskaits
- kondensaatorihoone temperatuuri jälgimissüsteem
- kaarekaitse
- kondensaatorite kaarekindel kest
- rikkeindikatsiooniga sulavkaitsmed
- maanduslülitid
- tühjendusreaktorid.

Joonisel 4.44 on jaotusalajaama paigaldatud 2 MVAr nimivõimsusega ja 6 kV nimipingega kolmefaasiline kondensaatorpatarei. Kondensaatorpatarei vasakus ääres olev väike kast sisaldab neutraali lülitatud voolutrafot kondensaatori voolude ebabalansi mõõtmiseks.

Kondensaatorpatarei ülesseadmisel tuleb arvestada võimalike kõrgemate harmoonikutega. Harmoonikute olemasolul tuleb kasutusele võtta abinõud pingeresonantsi tekkimise vastu kondensaatorpatarei mahtuvuse ja võrgu induktiivsuse vahel. Teadupärast sõltub võrgu induktiivsus võrgu konfiguratsioonist ning võib ümberlülituste tõttu muutuda. Kõige sagedamini esineb võrgus 3., 5., 7., 11. ja 13. harmoonik. Võimalikku resonantsi põhjustava harmooniku numbril võib leida ligikaudse valemiga



Joonis 4.44 Keskpingevõrgu paigaldatud kondensaatorpatarei

$$n \equiv \sqrt{\frac{x_C}{x_V}} \equiv \sqrt{\frac{S_K}{Q_C}}$$

kus x_C – kondensaatori reaktiivtakistus põhisagedusel

x_V – võrgu reaktiivtakistus põhisagedusel

S_K – võrgu lühisvõimus

Q_C – kondensaatori võimsus võrgupingel.

Seega on ohtliku harmooniku sagedus $f_r = nf_1$, kus f_1 on põhisagedus (50 Hz). Valemist järeldub, et elektrivõrgu lühisvõimsuse suurenedes tõuseb ka võrgu resonantssagedus. Kondensaatorid ja muu mahtuvuslik koormus mõjuvad seevastu võrgu resonantssagedust alandavalt.

Kõrgemate harmoonikute allikateks võrgus on enamasti elektritarbijad, nagu türistormuundurid, sagedusmuundurid, kaarleekahjud ja eriti jõuelektroonika-seadmed. Selliste tarbijate osakaal tänapäeval suureneb. Kõrgemad harmoonikud kuumutavad kondensaatoreid ja tekitavad nende isolatsioonis lisapingeid. Kõrgendatud pingel ja nimitemperatuurist kõrgemal temperatuuril talitlemine vähendab kondensaatorite eluiga. Harmoonikute mõju ja nende vähendamise meetmeid vaadeldakse üheksandas peatükis.

Kondensaatorpatarei paigaldamisel tuleb arvestada ka võrgupinge võimaliku tõusuga. Väikeste koormustega elektrivõrgu sõlmedes võib pinge kondensaatorpatarei paigaldamisel tõusta lubamatult kõrgeks. Võrgupinge tõusu on võimalik hinnata valemiga

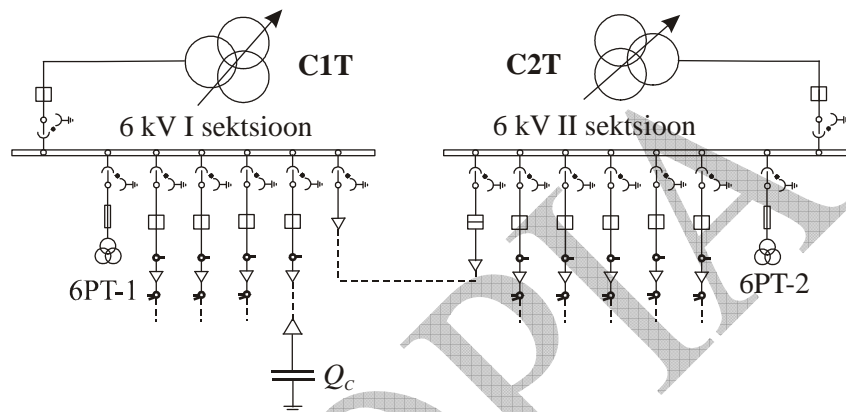
$$\Delta U = \frac{Q}{S_K} \cdot 100\%$$

kus ΔU – võrgupinge tõus protsentides

Q – kondensaatorpatarei võimsus

S_K – võrgu lühisvõimsus.

Eesti jaotusvõrkudes on reaktiivvõimsuse kompenseerimisele hakatud tähelepanu pöörama alles viimastel aastatel. Eesmärgiks on vähendada põhivõrgust ostetavat reaktiivvõimsust. Elektri tarbijate poolne reaktiivvõimsuse kompenseerimine on seni olnud väike.



Joonis 4.45 Kondensaatorpatarei ühendamise skeem toitealajaamas

Jaotusvõrgus seatakse kondensaatorpatareid üles peamiselt piirkonnaalajaama keskpingelattidele (joonis 4.45). Seega on tegemist reaktiivvõimsuse tsentraalse kompenseerimisega. Varem jaotusvõrkudesse ülesseatud kondensaatorpatareid olid mittereguleeritavad, uuemad aga on astmeliselt reguleeritavad. Piirkonnaalajaamade kondensaatorpatareid kommuteeritakse võimsuslülititega, mis on telejuhitavad ning varustatud releekaitsega.

4.3.3 Pinge reguleerimine

Kõik elektrivõrguga ühendatud tarvitid vajavad normaalseks tööks toitepinget, mille väärtus peab olema kindlas vahemikus. Kuna elektrivõrgus esinevad pingekaod, siis on toiteallika (trafo) lähedal paiknevatel tarbijatel pinge kõrgem, fiidri kaugemates punktides asetsevatel aga madalam. Mõju avaldavad ka reaktiivvõimsuse kompenseerimise- ja pinge reguleerimise seadmed. Kuna toitepinge peaks kõigil tarbijatel olema võimalikult nimipinge lähedane, on vajalik, et pinge kogu fiidri ulatuses oleks lubatud piirides. Seega on pinge reguleerimisel vaja teha kompromisse, et oleks tagatud kõigi tarvitite normaalne töö. Asjal on nii tehniline kui majanduslik taust. Elektri tarvitite töö on optimaalne nimipingel. Kui pingevahemik fiidril on suur, siis tekitatakse tarbijatele ülemääraseid kulutusi. Teisalt nõuab pinge hoidmine kitsastes piirides võrguettevõttelt lisakulutusi. Lubatud pingevahemikud ja muud elektri

kvaliteedi tingimused on sellekohases standardis (9. peatükk) ja sätestatakse lõplikult tarbija ja võrguettevõtte vahelises lepingus.

Tarbija pinge U sõltub ennekõike trafode ülekandesuhetest ja pingekadudest.

$$U = \frac{U_0 - \Delta U_{\Sigma}}{k}$$

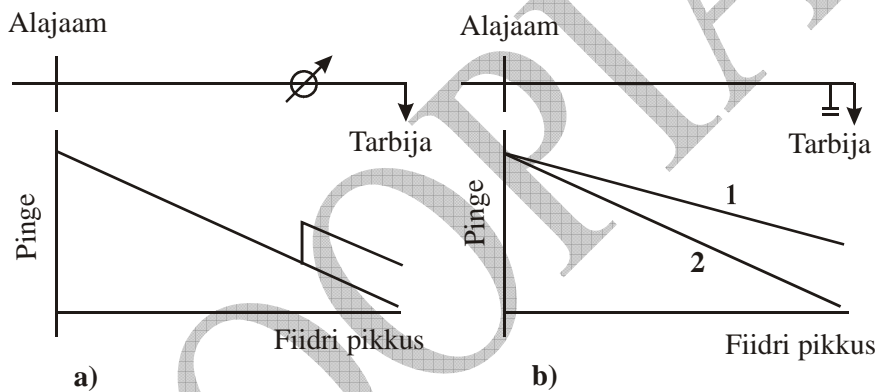
kus U_0 – toiterafo sekundaarpinge

ΔU_{Σ} – summaarne pingekadu toitealajaamast tarbijani

k – tarbija jaotustrafo ülekandesuhe.

Juhul kui tarbija asub jaotustrafost kaugel, tuleb arvestada ka pingekaoga ΔU_t tarbija madalpingevõrgus

$$U = \frac{U_0 - \Delta U_{\Sigma}}{k} - \Delta U_t$$

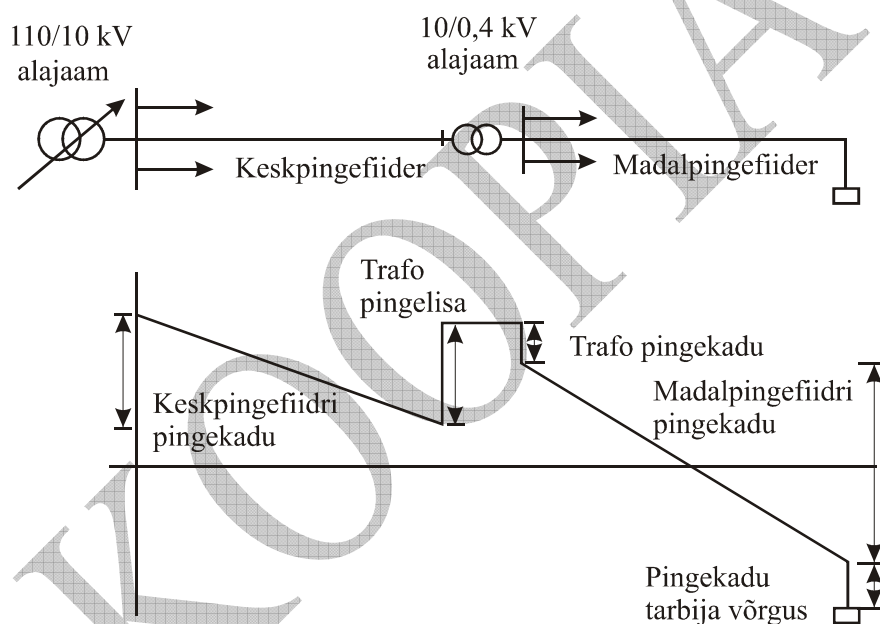


Joonis 4.46 Pingekõverad pingereguleertrafoga elektrivõrgus (a) ning võrgus, kus tarbija juures on (1) ja kus ei ole (2) üles seatud kondensaatorpatari (b)

Pinged hoitakse vajalikus vahemikus ennekõike trafode ülekandesuhete muutmise teel. Kasutusel on kahte tüüpi trafod, ühed on koormuse all reguleeritavad ja teised mitte. Koormuse all reguleeritavad trafod on toitealajaamades, mittereguleeritavad jaotusalajaamades. Jaotustrafode väljavõtteid muudetakse sesoonselt. Pingekadu sõltub elektriliinide ehitusest ja on mõjutatav reaktiivvõimsuse kompenseerimisega. Reguleeritavate trafode ja kondensaatorpatareide reguleerimiseks kasutatakse pingereguleerimiseadmeid. Võimalik on reguleerida kohalike elektrijaamade generaatorite ergutust. Fiidri pingete muutumise iseloomulikud kõverad on joonisel 4.46, kus on näidatud nii pingereguleerimise kui reaktiivvõimsuse kompenseerimise mõju.

Pingenivoo reguleerimine mõjutab ka kadusid jaotusvõrgus, võimaldades seega optimeerida võrgu talitlust. Kuna kadude põhiosa on pöördvõrdeline pingesuurendusega, siis vähendab pingeniivoo tõstmine 1% võrra võrgukadusid umbes 2%. Seega saavutatakse kadude miinimum maksimaalsel pingeniivool. Pingeniivoo

tõstmist piiravad ühest küljest isolatsiooni töötingimused, teisalt vajadus tagada tarbijatele kvaliteetne pinge. Pingeniivo optimeerimine saavutatakse toitealajaama koormuse all reguleeritavate trafode pingereguleerimissätetega ja koormuse all mittereguleeritavate jaotustrafodele sobivate astmete valikuga. Tarbijate juures on vajalik tagada pingehälvete (kõrvalekalded nimipingest) lubatavus minimaalsete võimsus- ja energiakadude korral jaotusvõrgus. Kondensaatorpatareide olemasolul lisandub veel liitusskeemi või automaatse reguleerimise korral reguleerimis-seaduste valik. Pingeniivo kujunemist kesk- ja madalpingevõrgus illustreerib joonis 4.47. Toitealajaamas reguleeritakse pingeniivo sobivale tasemele kompen-seerimaks keskpingefiidri pingelangu. Jaotusalajaamades toimub järgmine pingeniivo reguleerimine, et tagada lubatud pingeniivo madalpingetarbijatele, arvestades võimalikku pingelangu madalpingefiidri ulatuses.

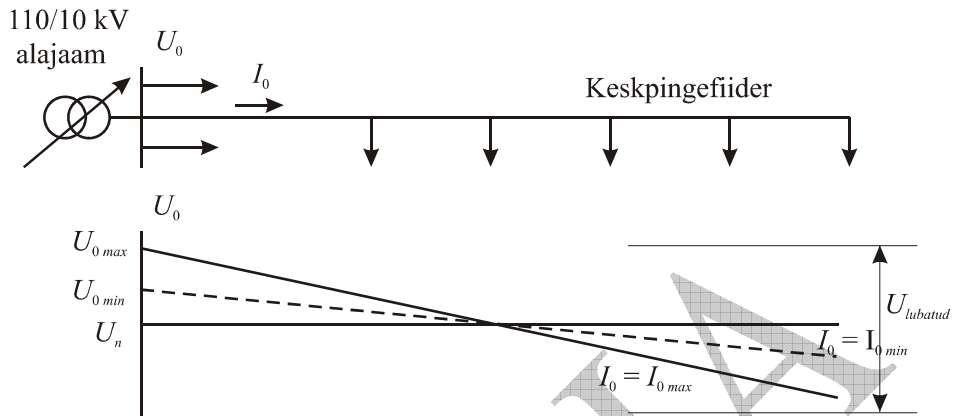


Joonis 4.47 Pinge reguleerimine kesk- ja madalpingevõrgus

Koormuse all reguleeritavate trafode pinge reguleerimisseaduste ja mittereguleeritavate trafode astmete valikul lähtutakse pingehälvete lubatavusest tarbijate juures maksimaal- ja minimaalkoormustel. Pingekadude kompenseerimiseks peaks toitealajaama pinge olema maksimaalne suurimate koormuste ajal ja minimaalne vähimate koormuste ajal, mis on tuntud kui pinge vastureguleerimine (joonis 4.48).

Jaotusalajaamades koormuse all mittereguleeritavad trafod on tavaliselt kolme- või viieastmelise reguleerimisvõimalusega. Ühe astme reguleerimisvahemikuks on viieastmelisel trafol $\pm 2,5\%$ ja kolmeastmelisel $\pm 5\%$. Toitealajaamades kasutatavad koormuse all reguleeritavatel trafodel on reguleerimisastmeid rohkem. Näiteks 110 kV trafol on võimalik pinget reguleerida $\pm 9 \times 1,78\%$,

reguleerimisvahemik seega $\pm 16\%$. Toitealajaamade trafod on varustatud automaatse pingereguleerimise seadmega.

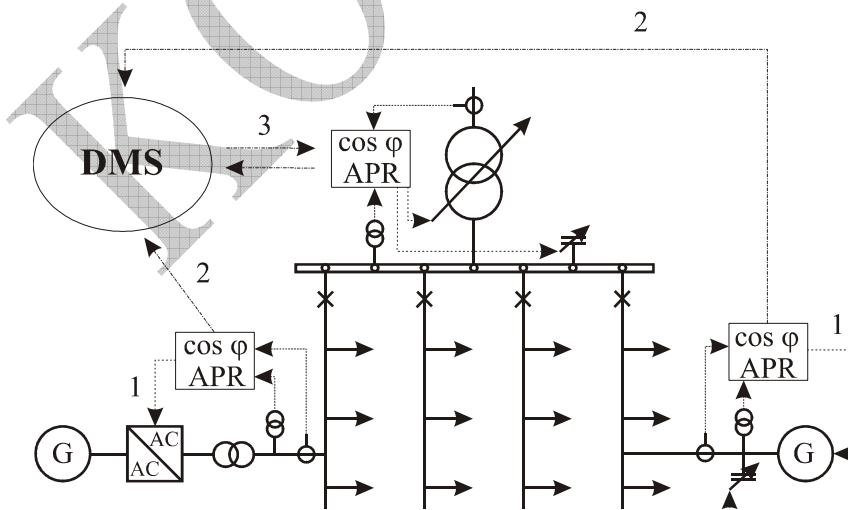


Joonis 4.48 Toitealajaama pingeniivoo vastureguleerimine elektrivõrgus

Pinget on võimalik reguleerida ka pingekao muutmise teel. Seose

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_n}$$

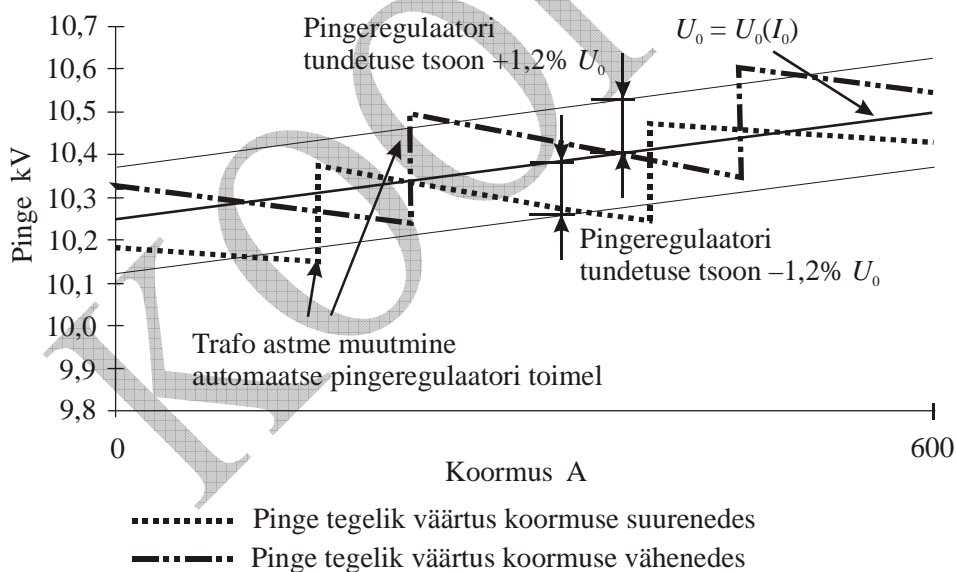
kohaselt sõltub pingekadu aktiiv- ja reaktiivvõimsusest ja takistusest. Võimsusvooge on võrgus võimalik muuta võrgu skeemi (lahutuskohtade) muutmise teel. Ülekantavat reaktiivvõimsust vähendab selle kohalik kompenseerimine. Skeemi muutustega kaasnevad takistuste ja võrgukadude muutused. Seega on vaja optimeerida võrgu skeemi, sest minimaalsetele võrgukadudele vastavad ka



Joonis 4.49 Pingereguleerimine hajatootmisega keskpingevõrgus

väiksemad pingekaod. Nii aktiiv- kui reaktiivtakistust saab oluliselt vähendada võrgu tugevdamisega, mis kuulub võrgu projekteerimis- ja renoveerimisülesannete valdkonda.

Märksa keerukam on pinget reguleerida piirkonnas, kus leidub kohalikke energiaallikaid nagu koostootmisjaamad, väikehüdrojaamad, elektrituulikud ja muud, teisisõnu, kus on tegemist elektrienergia hajatootmisega. Sel juhul ei piisa üksnes pingeregulaatorite sätete ja trafotegurite valikust, vaid sekkuma peab võrgu dispetsjuhtimine. Hajatootmisega elektrivõrgu skeem on joonisel 4.49. Esmane pingereguleerimine toimub selles toiteallikate juures (1). Geneerimisandmed (sh reaktiivvõimsuse kohta) edastatakse talitluse ohjesüsteemile *DMS* (2), mis töötleb kogu võrgu andmeid ja otsustab toitetrafo ja kondensaatorpatarei talitluse üle (3). Geneerimisseadmete ühendamiseks elektrivõrguga on mitu moodust. Võidakse kasutada nii seadme otsest ühendamist võrguga (sünkroongeneraatorid) kui ka ühendamist läbi trafode ning jõuelektronika seadmete (*AC/AC*) (päikeseelektrijaamad, elektrituulikud). Geneerimisseadmete reaktiivvõimsust reguleeritakse nii $\cos \varphi$ kui ka pinge järgi. Lisaks toimub seadmete väljundpinge reguleerimine automaatse pingeregulaatori (*APR*) toimel vastavalt etteantud reguleerimis-seadusele.



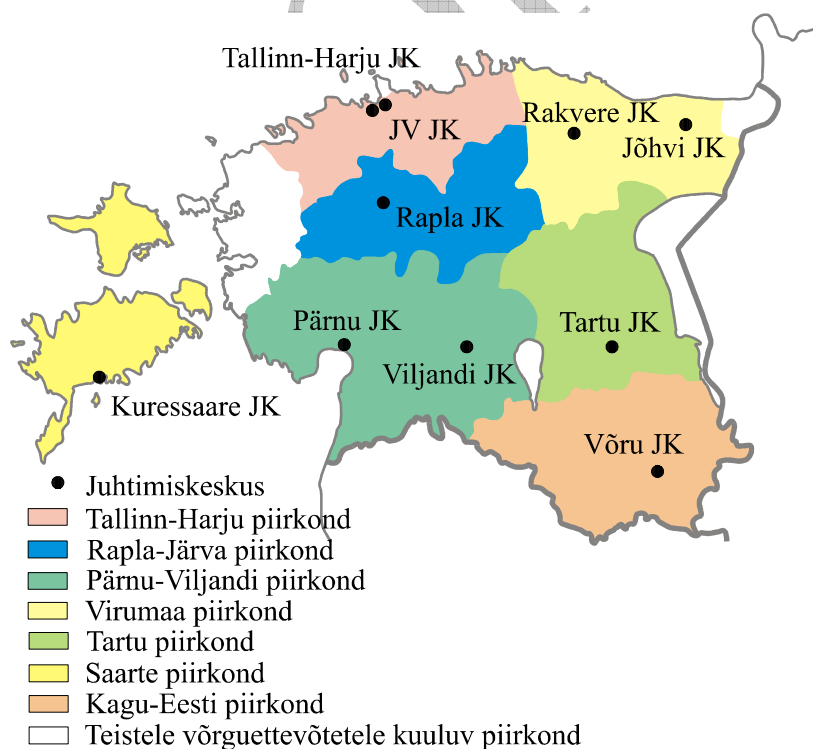
Joonis 4.50 Trafo automaatse pingeregulaatori tööpõhimõte

Pinge reguleerimisseaduse all mõeldakse väljundpinge sõltuvust koormusest. Trafo väljundpinge reguleerimise eesmärgiks on tagada pinge lubatud väärtus tarbijate juures. Vaatleme kahemähiselise trafo automaatse pingeregulaatori tööd. Reguleerimisseaduse aluseks on arvutusliku pinge ja voolu vaheline lineaarne sõltuvus $U_0 = U_0(I_0)$. Joonise 4.50 kohaselt on arvutuslikuks pingeks tühijooksul

10,25 kV ja suurima voolu korral, mis valitakse trafo talvise maksimaalkoormuse järgi, 10,50 kV. Tegelikult on karakteristiku tõus 3...4%. Trafo automaatse pingeregulaatori tundetuse tsoon ehk tsoon, kus regulaator ei toimi, on määratud trafo astme muutusest tingitud pinge suuruse muutumisega. Esitatud näites on tundetuse tsoon $\pm 1,2\%$. Koormuse tõustes hakkab pinge väärtus langema ja selle väljumisel tundetuse tsoonist muudab regulaator trafo astet ning trafo väljundpinge tõuseb. Koormuse langemisel toimub ümberlülitamine tundetuse tsooni ülemise piiri kohaselt. Sügavate pingelohkude korral (nt süsteemiavariid) pingeregulaatori töö blokeeritakse selleks, et olukorra normaliseerumisel pinge ei osutuks lubamatult kõrgeks.

4.3.4 Jaotusvõrgu operatiivjuhtimine

Jaotusvõrgu operatiivjuhtimine tagab elektrivõrgu talitluse, mis kindlustab tarbijatele töökindla ja kvaliteetse elektrivarustuse ning on vastuvõetav võrgu käidu seisukohalt. Normaallolukorras tähendab see plaanitud talitluse järgimist ja korrigeerimist ning vajalike lülituste ja muude toimingute juhtimist. Avariide, näiteks lühiste korral toimib esmalt releekaitse ja muu automaatika. Operatiivjuhtimise, kitsamalt võttes dispetšjuhtimise ülesanne on likvideerida avariid tagajärjed ja taastada kiiresti normaaltalitus, kus kõigi tarbijate toide on kindlustatud.



Joonis 4.51 Jaotusvõrgu operatiivjuhtimise piirkonnad Eestis

Eestis toimub jaotusvõrgu operatiivjuhtimine kahel tasandil – jaotusvõrgu juhtimiskeskusest ja piirkondlikest juhtimiskeskustest. Jaotusvõrgu juhtimiskeskus koordineerib 35 kV elektrivõrgu ning enamiku 6...20 kV trafode ja latisüsteemide talitlust. Muu jaotusvõrk on seitsme Eesti Energiasse kuuluva piirkondliku juhtimiskeskuse alluvuses (joonis 4.51). Jaotusvõrgu juhtimiskeskus teeb koostööd veel kahe (Haapsalu ja Narva) piirkondliku juhtimiskeskusega, mis Eesti Energia koosseisu ei kuulu, ja põhivõrgu juhtimiskeskusega, mille ülesandeks on Eesti põhivõrgu operatiivjuhtimine.

Elektrivõrgu vahetu operatiivjuhtimine on juhtimiskeskustes töötavate dispetšerite ülesanne, kelle koordineerida ja vastutada on elektrivõrgu talitlus pidevalt seitse päeva nädalas ning kaksikümmend neli tundi ööpäevas. Dispetšerite ülesannete hulka kuulub

- elektrivõrgu normaaltalitluse tagamine ja juhtimine
- rikete ja avariide likvideerimine
- elektrivõrgu plaaniliste hooldus- ja remonditööde ettevalmistamine ja juhtimine
- koostöö teiste piirkondade juhtimiskeskustega.

Võrgu talitlus peab vastama normaalskeemile, mis tagab elektrienergia ülekande ja jaotamise minimaalsete kadudega ning kindlustab tarbijate toite kvaliteedi ja töökindluse. Jaotusvõrgu optimaalne talitlus saavutatakse võrgu lahutuskohtade ja trafode lülituse asjakohase valikuga ning võrgupinge otstarbeka reguleerimisega. Elektrivarustuskindlus tagatakse võrgu töökindla skeemiga, kus tarbijate toidet võib vajaduse korral reservilülitusautomaadi abil ümber lülitada. Kuna Eesti 6...35 kV jaotusvõrk on enamjaolt välja ehitatud suletud konfiguratsiooniga, siis on erinevad toiteskeemid võimalikud. Varustuskindlust tõstavad omalt poolt ka taasülülitusautomaadid, mis taastavad toite mööduvate lühiste korral. Osa 35 kV võrgust võib töötada ka silmusskeemi kohaselt. Tingimuseks on, et liinid on varustatud selektiivselt toimiva releekaitsega.

Pinge reguleerimisel on kontrollpunktideks alajaamade 6...35 kV latid. Dispetšer jälgib lattide pingeid ja vajaduse korral korrigeerib neid kaugjuhtimise teel, lähtudes etteantud pingegraafikutest ja lubatud pingehälvetest. Seal, kus trafod on varustatud automaatsete pingeregulaatoritega, reguleeritakse pinget nende abil. Juhul kui automaatne pingeregulaator ei hoiu pinget õiges vahemikus, tuleb see välja lülitada ja reguleerida pingeid etteantud pingegraafiku järgi. Lattidel, mille pingegraafikuid pole ette antud, tuleb pingeid hoida tabelis 4.6 toodud piirides.

Tarbijale on toitepinge tase üks olulisemaid elektri kvaliteedi näitajaid. Tarbija liitumispunktis nõutud pinge väärtused normaaltingimustel on sätestatud standardis. Enamasti nõutakse, et pingetase oleks piirides $U_n \pm 10\%$. Kuna jaotusalajaamade trafod ei ole koormuse all reguleeritavad, tuleb vajalik

pingetase saavutada vastureguleerimise teel toitealajaamades, mille keskpingelattide pingehälve peab olema suurim koormusmaksimumi ajal ja vähim koormusmiinimumi ajal. Jaotusalajaamades muudetakse trafode ülekandesuhteid enamasti sesoonselt, arvestades oodatavat koormust ja toitealajaama reguleerimisvõimalusi. Tähele pannakse ka reaktiivvõimsuse kompenseerimiseks nii tarbijate juurde kui ka jaotusvõrku üles seatud kondensaatorpatareide reguleerimisvõimalusi. Kuna jaotusalajaamade talitluse kaugmõõtmine tavaliselt puudub, tehakse alajaamade madalpingelattide ja kaugemate tarbijate liitumispunktides pinge ning koormuse kontrollmõõtmisi.

Tabel 4.6 Alajaama lattide pinged

Nimipinge kV	Nimitalitluspinge kV	Reguleerimisvahemik kV
6	6,2	$\pm 0,1$
10	10,4	$\pm 0,2$
15	15,6	$\pm 0,3$
20	21,5	$\pm 0,4$
35	36,7	$\pm 0,7$

Elektrivõrgu operatiivjuhtimisel võib mõnikord tekkida vajadus seadmeid üle koormata. Võimalikud on ka ülepinged. Tavaliselt ei ole ühegi seadme koormamine üle tema nimiväärtuste lubatud. Lühikeseks ajaks võib ülekoormus esineda avariijärgsel talitlusel reservide töösse viimiseks ning viga saanud liinide või alajaama seadmete normaalse töö taastamiseks. Vool õhuliinides võib ületada nimivoolu kuni 120% kestusega mitte üle ühe ööpäeva. Seejuures ei tohi ületada juhtmetele tegelikul välisõhu temperatuuril kestvalt lubatud voolu. Kaabelliine ei tohi üldjuhul üle koormata. Vajaduse korral määratakse konkreetse kaabli võimalik ülekoormatavus kaabli tüübi ja paigaldustingimuste alusel. Trafode ülekoormatavus selgub valmistaja andmetest. Eestis varem paigaldatud õlitrafodele lühiajaliselt lubatud ülekoormused on tabelis 4.7. Tuleb tähele panna, et nii elektriliine kui trafosid ei ole lubatud koormata üle releekaitsevadmete ja sulavkaitsmete nimivoolu.

Tabel 4.7 Trafodele lubatud avariilised ülekoormused

Protsenti nimivoolust	30	45	60	75	100
Kestus minutites	120	80	45	20	10

Avariitalitlusel tuleb arvestada ka seadmete pingetõusuga. Tabelis 4.8 on elektriseadmetele isolatsiooni seisukohalt kestvalt lubatud maksimaalse tööpinge väärtused.

Tabel 4.8 Elektriseadmetele kestvalt lubatud maksimaalsed pinged

Võrgu nimipinge kV	6	10	15	20	35	110
Maksimaalselt lubatud tööpinge kV	7,2	12,0	17,5	24	40,5	123

Operatiivjuhtimise tähtsaim ülesanne on kõrvaldada elektrivõrgus avariid ja rikked. Dispetšeri kohus avariide korral on

- vältida avarii laienemist
- kõrvaldada oht inimestele ja loomadele ja tagada seadmete säilimine
- lokaliseerida ja eraldada vigastatud võrguosa või elektriseade
- tagada töösse jäänud seadmete normaalne talitlus
- organiseerida vigastatud elektriseadmete remont või asendamine
- taastada pärast remonti tarbijate elektrivarustus ja elektrivõrgu normaalskeem.

Teavet avariide ja rikete kohta saadakse ennekõike dispetšisüsteemi vahendusel. Dispetšisüsteem edastab juhtimiskeskustesse andmed lülitite sisse- ja väljalülitumise ning releekaitse ja muu automaatika toimimise kohta. Õhu- ja kaabelliinide korral antakse ka võimalik rikkekoha kaugus. Edastatakse talitluse põhiparameetrite väärtused ning info alajaama omatarbe puudumise või olemasolu kohta. Kui talitlusparameetrid on väljunud lubatud piiridest, moodustab dispetšisüsteem alarmiteate. Lisainformatsiooni saab dispetšer tarbijatelt, kes teatavad toite katkemisest.

Peale esmase ülevaate saamist avariijärgsest talitlusest hakatakse taastama tarbijate elektrivarustust. Alustatakse nendest liinidest või alajaama seadmetest, mis on põhjustanud elektrikatkestuse suurele piirkonnale, tarbijate grupile või tähtsatele tarbijatele. Esmalt taastatakse elektrienergia edastamine toitealajaamast ning seejärel avariipiirkonnas. Piirkonna sees kantakse esmalt hoolt tähtsate tarbijate ja seejärel vähem oluliste tarbijate elektrienergiaga varustamise eest. Vajalikud lülitustoimingud tehakse võimaluse korral dispetšisüsteemi vahendusel. Võimalikeks lülitustoiminguteks on koormuse üleviimine reservtrafole või reservliinile, liinide proovipingestamine jm. Lülituste tulemusel taastub elektrivarustus piirkonnas tervikuna või osaliselt. Alajaamadesse, mis ei ole kaugjuhitavad, tuleb vajaduse korral saata operatiivbrigaadi lülitajad.

Jaotusvõrgu avariisid ja rikkeid võib liigitada järgmiselt:

- keskpingevõrgu õhuliinide väljalülitused
- keskpingevõrgu kaabelliinide väljalülitused
- maaühendused keskpingevõrgus
- lülitusseadmete rikked ja muud rikked alajaamades
- trafode rikked
- toitealajaama lattide väljalülitused.

Keskpingevõrgu õhuliinide väljalülituste korral toimivad taaslülitusautomaadid. Eduka taaslülitamise korral taastub tarbijate elektrivarustus kiirelt. Mitteeduka taaslülituse puhul võib teha proovipingestamise dispetšer, kuna rike võib mööduda ka pikema aja jooksul, kui seda on taaslülitusautomaadi voolupaus. Proovipingestamised on vajalikud siis, kui puudub rikke asukoha automaatne määramine. Selleks lahutatakse rikkis fiidri liinilõigud ja proovipingestatakse neid järgemööda. Eelnevalt viiakse töösse reservtrafo ja lülitatakse välja sektsioonidevaheline võimsuslülit, kui alajaamas on normaaltalitusel töös vaid üks trafo. Rikkis liinilõigu määramise ning lokaliseerimise võtete üle otsustab juhtimiskeskuse dispetšer, kes juhib rikke kõrvaldamist, arvestades väljalülitunud tarbijate tähtsust, võrgu konfiguratsiooni, ülevaatuste organiseerimise võimalusi ja muid tingimusi.

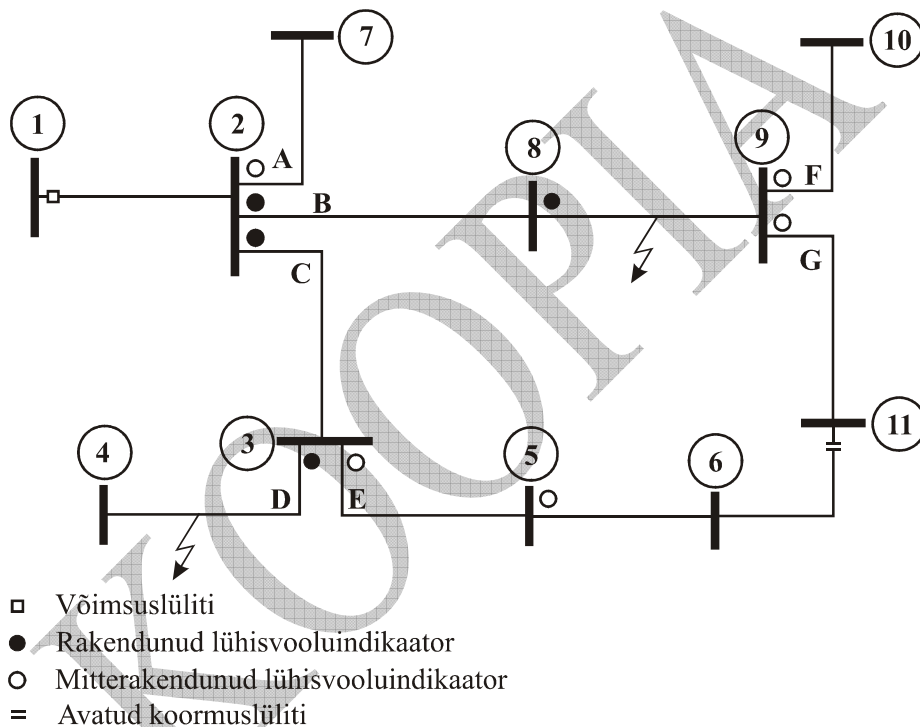
Kaabelliinide korral on rikkekoha leidmise võtted üldjoontes samad kui õhuliinide puhul. Proovipingestamist ei tehta siiski enne, kui võrk on osadeks jaotatud ja võimalik rikkekoht lokaliseeritud. Rikkis liini võib leida kaabli vigastuskoha määrajaga. Jaotusvõrku on üles seatud ka lühisvoolu indikaatoreid, mille näitused saab vigase kaabelliini kindlakstegemisel kasutada. Täiendavaks informatsiooniks on lühisekoha kaugus, mille määrab releekaitse-süsteem ning mis edastatakse alajaamast dispetšisüsteemi vahendusel.

Jaotusvõrgus suhteliselt sagedasti esinevaks rikketuübiks on maaühendused. Maaühenduse tunnuseks on faasipingete erinevused, maaühenduskaitsede rakendumine, kaarekustutuspooli signaalrelee rakendumine jm. Maaühenduskaitsede võib rakendada signaalile või liini välja lülitada. Maaühenduse likvideerimist alustatakse kohe ning rike kõrvaldatakse võimalikult lühikese aja jooksul välistamiseks ühefaasilise maaühenduse üleminekut faasivaheliseks lühiseks ning likvideerimaks inimestele ja loomadele ohtlikke potentsiaale maaühenduskoha lähedal ning ohtlikke elektromagnetilisi mõjusid sisedeadele. Infot maaühenduse paiknemise kohta saab fiidriterminalidelt.

Avariid toimuvad ka alajaamades. Enamasti esinevad seal lülitusseadmete rikked, mille tulemusena ei ole võimalik teha sisse- ega väljalülitamisi. Võimalikud on sulavkaitsmete läbipõlemine trafoahelatel, võimsuslülitite madal õlitase jm. Juhul kui rikki on läinud mõne õhuliini lahklülit, on erandkorras lubatud seda sillata.

Raskemateks juhtumiteks jaotusvõrgus on trafode rikked. Suured 35 kV ülempingega trafod on varustatud sisevigastuse kaitsetega (diferentsiaalkaitse, gaasikaitsede või voolulõige ülempinge poolel) ja reservkaitsel, milleks on maksimaalvoolukaitsed. Juhul kui gaasikaitsede rakendub signaalile, tehakse trafo väline ülevaatus ning ilmsete rikketunnuste ilmnemisel lülitatakse trafo välja. Võimaluse korral lülitatakse koormus ümber reservtrafole või viiakse üle mõnda teise alajaama.

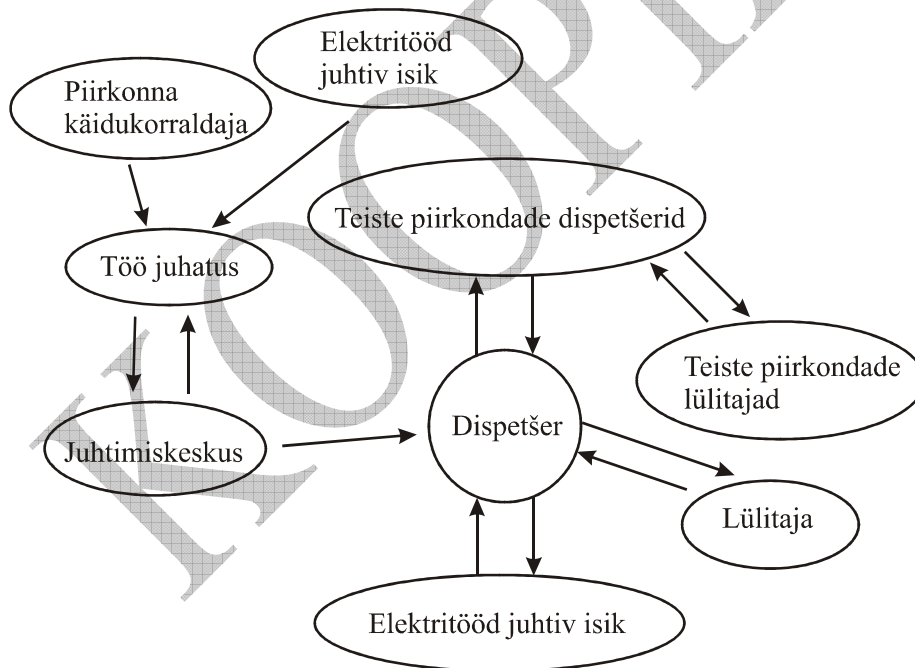
Võimalikud on rikked alajaama lattidel. Kui välja lülitub toitealajaama keskpinge jaotusseadme latiseksioon, võib toiteta jääda suur piirkond paljude tarbijatega. Toitealajaamade jaotusseadmed on varustatud lattide kaitsega (voolulõige), kaarekaitsega, võimsuslüliti tõrkekaitsega ja latte toitva trafo keskpingepoolse maksimaalvoolukaitsega. Kaarekaitse on ette nähtud latiseksiooni või fiidri kiireks väljalülitamiseks, kui elektriseadme vigastusest tekib kaarleek. Kaarekaitse rõhu- või valgusandurid paiknevad tavaliselt iga fiidri võimsuslüliti lahtris, voolutrafo lahtris ja sektsiooni kogumislattide piirkonnas. Kaarekaitse rakendumisel on enne lattide pingestamist tarvis paigaldis üle vaadata ja avarii võimalikud tagajärjed likvideerida.



Joonis 4.52 Keskpingevõrgu rikke likvideerimine

Rikke likvideerimist illustreerib joonis 4.52, kus tegemist on kaablivõrguga. Toitealajaamas 1 on kasutusel võimsuslüliti, ülejäänud alajaamades koormuslülitid. Elektrivõrku on üles seatud lühisvooluindikaatorid. Lühise korral rakendub alajaamas 1 fiidri releekaitse ning piirkonda elektriga varustav liin lülitub välja. Toimunust antakse dispetšisüsteemi vahendusel teade juhtimiskeskusesse ning dispetšer alustab rikke kõrvaldamist. Kuna tegemist on kaablivõrguga, siis proovilülitamisi alajaamas 1 oleva võimsuslülitiga esialgu ei tehta, vaid piirkonda saadetakse operatiivbrigaad, kellega koostöös rike likvideeritakse. Lülitaja on esialgu otstarbekas saata alajaama 2, kuna seal toimub hargnemine ja liinid on varustatud lühisvooluindikaatoritega. Alajaamast 2

teatab lülitaja, et rakendunud on lühisvooluindikaatorid liinidel *B* ja *C*. Liinide *B* ja *C* koormuslülitid lülitatakse välja ning alajaamas 1 tehakse telejuhtimise teel proovilülitus. Proovilülitus on edukas ning alajaamade 2 ja 7 elektrivarustus taastub. Järgnevalt suundub lülitaja alajaamadesse 8 ja 9, kus selgub, et alajaamas 8 on indikaator rakendunud, alajaamas 9 aga mitte. Seega on rike alajaamade 8 ja 9 vahelises kaabelliinis, mis eraldatakse võrgust ning taastatakse alajaama 8 elektrivarustus. Nüüd kontrollitakse alajaama 3, kus on rakendunud liini *D* lühisvooluindikaator. Seega on rike alajaamade 3 ja 4 vahelises kaabelliinis. Vastav lüliti lülitatakse välja ning pingestatakse koormuslüliteid kasutades alajaamad 3, 5 ja 6. Alajaamas 11 asuva lahutuskoha (koormuslüliti) sisselülitamisega saab pingestada ka alajaamad 9, 11 ja 10. Ainsana jääb pingetuks alajaam 4, kuna sellel puudub reservtoide teistest alajaamadest. Selle alajaama tarbijate toite saab taastada alles pärast vigase kaabelliini remonti. Vaadeldud kahe üheaegse rikke tekkimise tõenäosus ei ole suur, kuid siiski võimalik tingituna kaablite seisukorrast ja võimalikest liigpingetest.



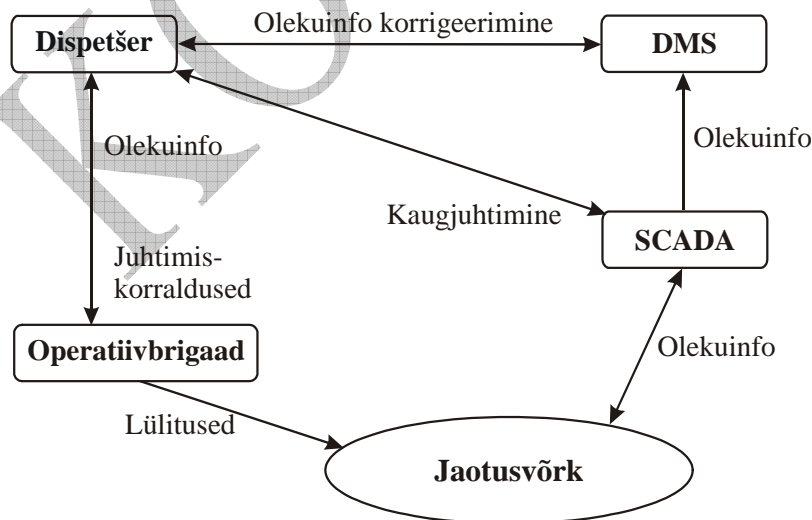
Joonis. 4.53 Pingevabade tööde plaanimine ja korraldamine

Õhuliinidega elektrivõrgus tehakse toitealajaama võimsuslülitiga proovipingestamisi, sest tegemist võib olla mööduva lühisega. Proovipingestamised on vajalikud ka kaabelliinide korral, kui lühisvooluindikaatorid puuduvad. Lisainformatsiooni annavad dispetšerile olustikulised seigad. Sagedased on kaablite vigastused kaevetööde piirkonnas, tugeva tuule korral võivad õhuliinidele, mis

on tuule suunaga risti, langeda puud jms. Rikkekohta lokaliseerimine ja toite taastamine kiireneb oluliselt, kui alajaamad on muudetud kaugjuhitavaks (p 8.5.3). Sel juhul edastatakse juhtimiskeskusesse ka teave lühisvooluindikaatoritelt ning dispetšer võib lühikese ajaga teha kõik vajalikud lülitused operatiivbrigaadi rakendamata.

Normaaltalitluse korrigeerimise ja avariide likvideerimise kõrval tuleb dispetšeril juhtida elektrivõrgu hooldus- ja remonditöid. Dispetšerite ülesanne on juhtida vajalikke lülitamisi (seadmete kaitselahutamine, maandamine, töökohtade tähistamine), edastada töötajatele nõutav dokumentatsioon ning taastada võrgu normaalskeem. Remondi- ja hooldustööde maht on suur vanade seadmete korral. Uued seadmed on küllaltki hooldevabad ning nende töökindlus suur. Peamisteks töödeks elektrivõrgus on alajaamade jaotusseadmete, lülitite ja trafode hooldused, lühiste tagajärgede likvideerimine, kommutatsiooniseadmete reguleerimine, seadmete vahetamine ja uute lisamine olemasolevale skeemile, visangute reguleerimine jm.

Remondi- ja hooldustöödele eelneb nende kavandamine. Selles protsessis osaleb nii elektriseadmete eest vastutaja (käidukorraldaja) kui ka töö otsene tegija, kes lepivad omavahel kokku tööde mahus ja iseloomus. Käidukorraldaja koos elektritööd juhtiva isikuga koostavad ja saadavad juhtimiskeskusesse nõudeavalduse, kus on näidatud kaitselahutamiste ja maandamiste ulatus ning muud tööks olulised tingimused. Juhtimiskeskusega kooskõlastatud nõudeavaldus antakse edasi dispetšerile, kes teeb vajalikud toimingud, kasutades vajaduse korral lülitajate abi (joonis 4.53). Tööde lõpust informeerib elektritööd juhtiv isik dispetšerit, kes seejärel taastab normaalskeemi.



Joonis 4.54 Elektrivõrgu operatiivjuhtimise info ja korralduste liikumise skeem

Info ja korralduste liikumist jaotusvõrgu operatiivjuhtimisel näeb jooniselt 4.54. Esmase teabe saab operatiivpersonal dispetšisüsteemi (*SCADA*) vahendusel. Dispetšisüsteem edastab alajaamadest juhtimiskeskustesse oleku- ja mõõteandmed, nagu lülitite asendid, releekaitse toimingud, lattide pinged, liinide voolud ja võimsused. Vastassuunas edastab dispetšisüsteem dispetšeri antud juhtimiskorraldused. Teiseks oluliseks töövahendiks on jaotusvõrgu talitluse tugisüsteem (*DMS*), mis võimaldab teha vajalikke talitlusarvutusi ning vahendab infot kogu jaotusvõrgu kohta. Eesti Energia jaotusvõrgus toimiv talitluse tugisüsteem kuulub Soome firma Tekla infosüsteemi *Xpower*, mille kaudu on võimalik saada informatsiooni võrgu skeemide, tarbijate ja teostatavate tööde kohta. Jaotusvõrgu mittekaugjuhitavas osas täidavad dispetšeri korraldusi avariibrigaadide lülitajad, kes ühtlasi kontrollivad, et lülitustoimingud oleksid ohutud ning vastaksid eeskirjadele. Lülitajatelt saab dispetšer teavet olukorra kohta alajaamas, nagu lülitite asendid, pinge olemasolu ja väärtus lattidel, tööseivate seadmete koormused, releekaitse toimimine, omatarbe toite olemasolu, lühiste tundemärgid. Saadud info alusel kujundab dispetšer edasised toimingud ja realiseerib need koostöös lülitajatega.