

3.5. UPS-laitteet

3.5.1. UPS-laitteen rakenne ja toiminta

UPS-laitteella (Uninterruptible Power Supply) tarkoitetaan nykyään staattista, tehoelektronikan laitetta, joka akkujensa turvin takaa katkottoman sähkönsyötön kriittiselle kuormalle. UPS-laitteelle voidaan asettaa kaksi päätehtävää; parantaa verkkosähkön laatu ko. kuormitukselle riittäväksi ja antaa kaksi sähkönsyöttölinjaa, pääsyöttölinja ja varasyöttölinja eli ohituslinja. Varasyöttölinjaa käytetään mikäli pääsyöttölinja on poikki esim. UPS-laite on rikki, jolloin sähkönsyöttö siirtyy staattiselle ohitukselle.

Kaikissa UPS:eissa on toiminnallisina kokonaisuuksina tasasuuntaus/varaus, akusto ja vaihtosuuntaus, sekä siinä tulisi olla staattinen ohituskytkin. Tämän lisäksi voi olla vakiona tai optiona mekaaninen, käsin ohjattava huolto-ohituskytkin. Myös UPS:n ohjaus- ja valvontajärjestelmät muodostavat oman toiminnallisen kokonaisuutensa.

Tasasuuntaaja voi olla toteutettu pienitehoisissa laiteissa diodeilla ja suuremmissa tyristöreilla tai uusimmissa UPS:eissa transistoreilla. Tasasuuntaajan tärkeimmät ominaisuudet ovat tulojännitteen toleranssit, esim. jännite U_n +/-15% ja taajuus Hz:n +/-6%, pieni särö verkkoon päin, tasajännitteen säädettävyys ja tarkkuus, paristovirran pieni sykkeisyys, automaattinen ja säädettävä pikavaraus, pehmyt käynnistys, suojaukset ja vikadiagnostiikka. Tasasuuntaajassa on varsinaisen sillan lisäksi yleensä katkaisija, LC-suodin sekä ohjaus- ja säätöpiirit. Yleisin ratkaisu on 6-pulssinen tasasuuntaaja, mutta säröä verkkoon päin voidaan merkittävästi pienentää 12-pulssisella tasasuuntaajalla.

Vaihtosuuntaussilta tehtiin aiemmin tyristöreilla mutta nykyisin pääsääntöisesti transistoreilla. Useimmat vaihtosuuntaajat tekevät lähtöjännitteen PWM-tekniikalla taajuuden ollessa 2-10 kHz. Varsinaisen sillan lisäksi vaihtosuuntaajaan kuuluu DC ja LC suotimet, muuntaja sekä ohjaus- ja säätöpiirit. Vaihtosuuntaajan tärkeimmät ominaisuudet ovat lähtöjännitteen staattinen ja dynaaminen pysyvyys (+/-1% ja +/-5%) sekä ylikuormitettavuus, vinokuormitettavuus, särö kuormaan päin, hyötysuhde, suojaukset ja vikadiagnostiikka.

Staattinen eli elektroninen ohituskytkin on useimmiten tyristöreilla tehty kytkin, joka esimerkiksi ylikuormitus- tai vikatilanteissa siirtää kuorman automaattisesti ja katkotta verkkosyötölle. Automaattisen toiminnan lisäksi tulee kytkimen toimia myös käsin ohjattaessa. Jotta kuorman siirtäminen katkotta ohitukselle olisi mahdollista, on kytkimen seurattava verkkojännitettä ja oltava tahdistettuna siihen. Mekaaninen huolto-ohituskytkin voi olla UPS-laitteet sisäinen, mutta huollon kannalta parempana ratkaisuna on ulkoinen erillinen ohituslinja. Kummassakin tapauksessa huolto-ohitus on rakennettava siten, että kuorman siirto ohitukselle voidaan tehdä katkotta.

Akustona UPS-laitteissa käytetään sekä suljettuja, että avoimia akkuja. Ensin mainitut ovat yleistyneet parempien purkausominaisuuksiensa ansioista lyhyillä purkausajoilla, jotka UPS käytöissä yleensä ovat 5 - 30 minuuttia. Suljetuilla akuilla saadaan säästöjä myös asennuskustannuksissa (ei tarvita erillistä akkuhuonetta) sen sijaan käyttöikä jää lyhyemmäksi kuin avoimilla akuilla, joilla päästään jopa 15 vuoden käyttöikään. Akustojännite pienissä laitteissa voi olla 24 - 120 VDC ja suuremmissa 220 - 400 VDC. Uusimmissa UPS:eissa käytetään jopa 2 x 400 VDC jännitettä, jolloin vaihtosuuntaajassa ei tarvita jännitteenkorotusmuuntajaa ja häviöt jäävät pienemmiksi. Akusto pidetään puskuvarauksessa ja se on heti valmis tarvittaessa syöttämään vaihtosuuntaajaa.

Ohjaus- ja valvontajärjestelmät ovat UPS:eissa viimeaikoina kehittyneet paljon ja nykyai-kainen UPS voidaan liittää aktiiviseksi osaksi tietoverkkoa esimerkiksi SNMP:n avulla. Itse UPS:n toiminnasta on kyettävä seuraamaan ainakin seuraavia asioita: tulevan sähköverkon tila, tasasuuntaajan toiminta, alhainen akustojännite, vaihtosuuntaajan toiminta, elektronisen

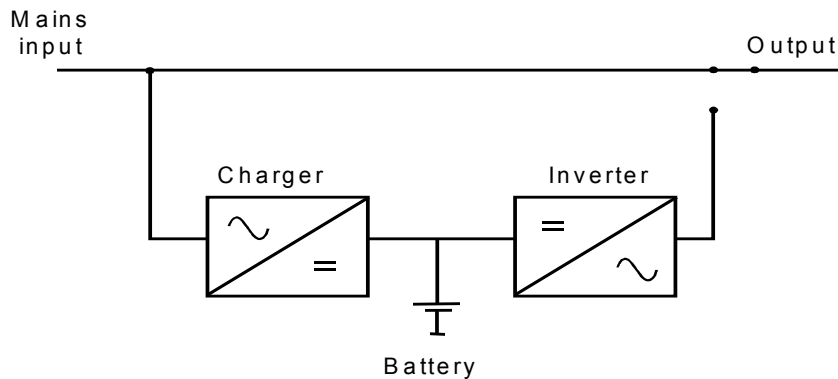
ohituskytkimen toiminta, mekaanisen ohituskytkimen toiminta, lähtevän verkon tila ja UPS:n toimintalämpötila.

3.5.2. UPS-laitteiden päätyypit ja ominaisuudet

Rakenteensa puolesta UPS-laitteet voidaan jakaa seuraaviin päätyyppeihin:

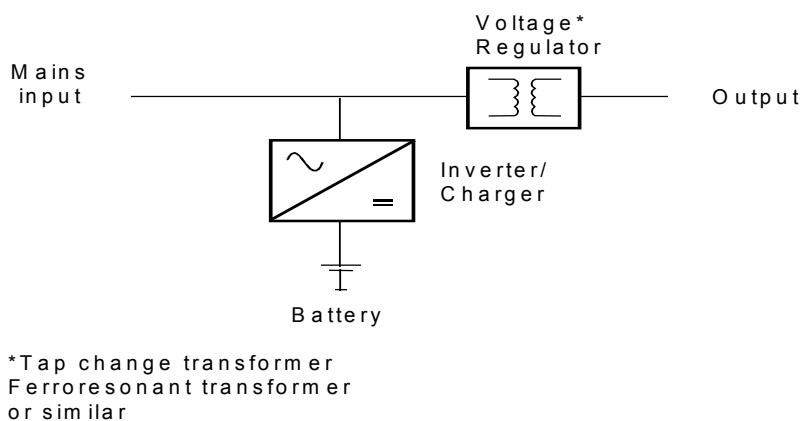
- off-line,
- line interaktiivinen,
- kaksimuunnostekniikan on-line sekä
- yksimuunnostekniikan on-line.

Näiden lisäksi on mm. hybridi ja ferroresonanssiin perustuvia ratkaisuja, mutta edellä mainitut päätyypit hallitsevat markkinoita.



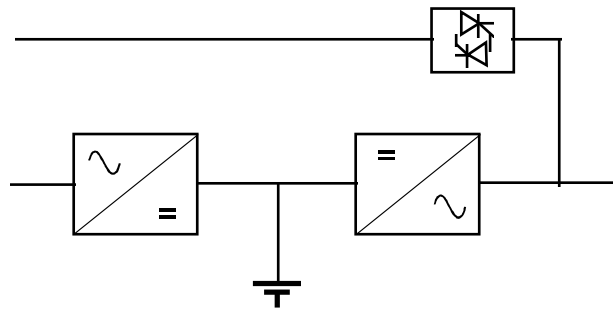
KUVA 3.5a. Off-line UPS.

Off-line tekniikkaa käytetään pienissä alle 2 kVA laitteissa. Siinä akusto kyllä pidetään puskuvaramuksessa, mutta vaihtosuuntaaja *EI aktiivisesti* tee normaalisyötössä lähtöjännitettä. Vaihtosuuntaaja kytketään syöttämään kuormaa vain, kun verkkojännite ei ole asetelluissa toleransseissa. Tästä aiheutuu n. 2-10 ms kytkentäaikaviive. Normaalisyötössä verkkojännite ohjataan suoraan kuormaan ehkä mahdollisten suodattimien läpi. Off-line tekniikan etuina voidaan pitää kevyttä ja edullista rakennetta ja hyvää hyötysuhdetta mutta puutteina verkkojännitteen heikkoa suodatusta ja korjausta sekä yleensä sopimattomuutta pidempiin varakäyntiaikoihin. Samoin kuormitusvirta menee suodattamattomana verkkoon.



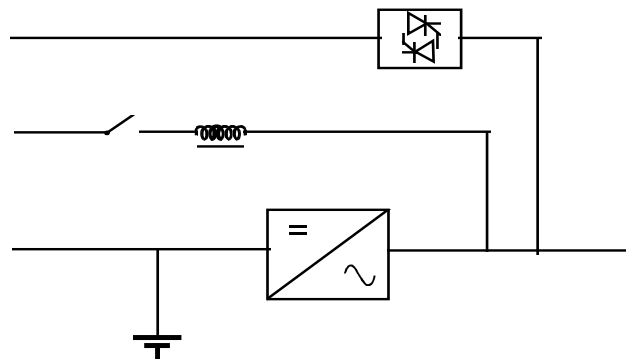
KUVA 3.5b. Line-interaktiivinen UPS.

Line-interaktiivisen UPS:n vaihtosuuntaaja on päällä verkon rinnalla, kytkentäaikaviivettä ei tämän takia yleensä ole, mutta vaihtosuuntaaja *EI aktiivisesti* muodosta lähtöjännitettä. Tämän takia verkkojännitteen korjaaminen tai suodatus on vaillinaista samoin kuormitusvirran suodatus. Etuina edullinen hinta ja rakenteesta riippuen kohtuullisen hyvä hyötysuhde.



KUVA 3.5c. Kaksimuunnostekniikan on-line UPS.

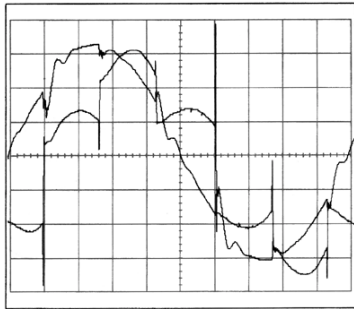
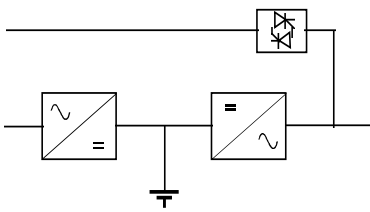
Kaksimuunnostekniikan (double conversion) on-line UPS:ssa koko sähköteho tasasuunnataan ja vaihtosuunnataan eli lähtöjännite on kokonaisuudessaan vaihtosuuntaajan muodostama. Akusto pidetään puskuvarauksessa ja on heti valmis syöttämään vaihtosuuntaajaa kun tasasuuntaaja pysähtyy. Ylikuormitus- tai UPS:n vikatilanteissa kuorma siirtyy katkotta elektronisen ohituskytkimen kautta verkkosyötölle ja palaa takaisin vaihtosuuntaajan syötölle tilanteen normalisoiduttua. Etuina ovat lähtöjännitteen täydellinen ohjaus ja hyvä suodatus verkkojännitteen häiriöille. Haittoina häviöt sekä harmonisten yliaaltojen muodostaminen tuloverkkoon, esimerkiksi 6-pulssisen tasasuuntaajan virtasäro on 33%, joka voi vielä kasvaa verkon resonanssissa. Haittana voidaan mainita myös rajoittunut kyky syöttää hyvin säröytynyttä, epälineaarista kuormaa.



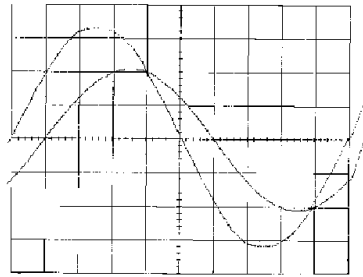
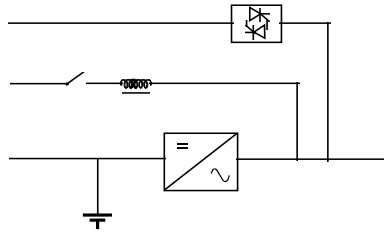
KUVA 3.5d. Yksimuunnostekniikan on-line UPS.

Yksimuunnostekniikan (single conversion) on-line UPS hyödyntää 4-kvadrantti teho-transistorisillan ominaisuutta siirtää pätötehoa kumpaan suuntaan tahansa. Pätöteholla varataan tai tarvittaessa puretaan akustoa ja loisteholla ohjataan PWM tekniikalla muodostettua lähtöjännitettä. Eli vaihtosuuntaaja muodostaa aktiivisesti lähtöjännitteen kuten kaksimuunnostekniikallakin, mutta pätötehoa ei tarpeettomasti tasasuunnata. Edellä mainitusta syystä yksimuunnostekniikalla saavutetaan hyvä hyötysuhde ja toinen merkittävä etu; sinimuotoinen tulovirta eli *yksimuunnostekniikka ei aiheuta yliaaltoja tuloverkkoon*. Myös kuormitusvirran yliaallot suodattuvat pois ja säröytyneen epälineaarisen kuorman syöttökyky on hyvä. Yksimuunnostekniikan toista sukupolvea ns. *delta conversion* tekniikkaa voidaan pitää UPS- tekniikan uusimpana ja kehittyneimpänä versiona. Siinä pääinvertterin rinnalla on deltainvertteri, joka tulokuristimen avulla säätelee virran ja jännitteen vaihekulman samaksi eli delta conversion UPS ottaa verkosta vain sinimuotoista pätötehoa kuormituksesta ja verkkojännitteestä riippumatta.

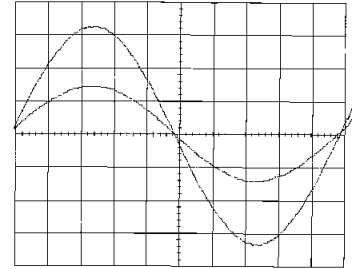
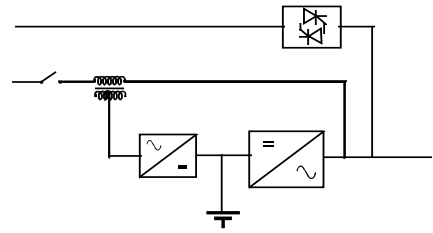
Double conversion UPS



CH1: Tulojännite
CH2: Tulovirta

DATAPOWER
Single conversion UPS

CH1: Tulojännite
CH2: Tulovirta

DATAPOWER
Delta conversion UPS

CH1: Tulojännite
CH2: Tulovirta

KUVA 3.5e. Erityyppisten on-line UPS:ien tulovirta ja -jännite.

3.5.3. UPS-laitteen valinta ja asennus

UPS-laitteen valinnassa on otettava huomioon syötettävän kuorman näennäisteho ja kokonais $\cos \varphi$, jonka määrittämiseksi täytyy tietää kuormituksen jakautuminen 1- ja 3-vaiheiseen epälineaariseen ja lineaariseen osaan. Samoin laajojen ATK- tai tietoliikenne-verkkojen sähkönsyötön suunnittelussa on huomioitava tehontarpeen risteilykerroin. Yksittäisten laitteiden kuormitustiedot saa ko.laitteen asennusohjeista, mittaamalla tai tiedustelemalla laitetoimitajalta. Isompien yksittäisten kuormien käynnistysvirtapiikit tulee ottaa huomioon, samoin UPS-laitteen kyky syöttää hyvin epälineaarista kuormitusvirtaa eli UPS:lle sallittu ns. crest factor arvo. Perinteinen kaksimuunnostekniikan UPS on mitoitettu yleensä $\cos \varphi$ arvolle 0,8, mutta sen sijaan yksimuunnostekniikan UPS antaa tarvittaessa koko nimellistehonsa päätötehona. Tehontarpeen määrittelyssä on myös huomioitava mahdolliset lähitulevaisuuden tarpeet.

Varmuuden lisäämiseksi UPS-järjestelmä voidaan rakentaa redundanttiseksi n+1 järjestelmäksi, jolloin n kpl UPS-laitteita pystyy syöttämään koko tarvittavan tehon, samoin akusto voidaan rakentaa useammasta rinnakkaisesta ketjusta. Ulkoinen huolto-ohituslinja on UPS:n sisäistä huolto-ohitusta käytännöllisempi.

UPS-laitteen asennusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon UPS:n mekaaninen koko ja paino, tarvittavien sulakkeiden ja kaapeleiden koko. Lämpöhäviöt on selvitettävä jäähdytystä suunniteltaessa ja erityisesti on huomioitava akkujen eliniän voimakas riippuvuus ympäristölämpötilasta. Mikäli asennetaan suuritehoista kaksimuunnostekniikan UPS-järjestelmää on syytä selvittää lisääntyvien harmonisten yliaaltojen vaikutus sähköverkon kompensointi- ja suodatustilanteeseen. Yksimuunnostekniikalla tätä ongelmaa ei ole. Nykyaikaisten UPS:ien hälytys- ja hallinta-ohjelmat voidaan liittää kaikkiin yleisimpiin tietoverkkoihin.

UPS-järjestelmää syöttävä varavoimakone on syytä mitoittaa vähintään 2...2,2 kertaa suuremmaksi kuin kaksimuunnostekniikan UPS, sen sijaan yksimuunnostekniikalla 1,5 kertainen mitoitus on riittävä.

UPS-järjestelmä hankitaan sähkönsyötön varmentamiseksi ja sen käyttövarmuuden on oltava hyvä. Käyttövarmuuteen vakuuttaa toimittajan asiantuntemus ja kyky UPS-järjestelmän toimittamiseen, käyttöönottoon, asiakkaan kouluttamiseen sekä huolto- ja varaosapalvelujen järjestämiseen. Hankittavalla UPS-järjestelmällä on pitkä käyttöikä ja täten tulee kiinnittää huomiota kokonaiskustannuksiin, esimerkiksi hyötysuhteeseen.

Esimerkkejä yksimuunnostekniikan (delta conversion) Data Power UPS-laitteista:

Tyyppi	DP300E-sarja
Teho	10 - 480 kW / kVA
Tulojännite	3x380 / 400 / 415 V
Tulojännitteen toleranssi	+ / -15%
Tulovirta	Sinimuotoinen, tehokerroin 0,97-0,99
Tulotaajuuden toleranssi	+ / -6%
– ohjelmoitavissa	+ / -0,5 - 8%
Lähtöjännite	3x380 / 400 / 415 V
Lähtöjännitteen toleranssi	
– staattinen	+ / -1%
– dynaaminen	+ / -5% (0 -100% kuormavaihtelu)
Lähtöjännitteen särö	3 % lineaarisella kuormalla
	5 -6% epälineaarilla kuormalla
Ylikuormitettavuus	
– verkkojännite pääsyötössä	200 % - 30 s
– akustokäytöllä	150 % - 30 s
– ohituskäytöllä	125 % - jatkuva
	1000 % - 500 ms
	850 % (DP3480E)
Mitat:	
– korkeus	1400 - 1800 mm
– leveys	600 - 1900 mm
– syvyys	800 mm
– paino	365 - 1800 kg

3.6. Maadoittaminen

3.6.1. Käsitteitä ja määritelmiä

Sanasto (A2 -94)

Sulkeissa on esitetty IEC:n International Electrotechnical Vocabulary:n vastaava englanninkielinen termi.

jännitteelle altis osa (exposed conductive part) (IEV 826-03-02, muutettu)	Sähkölaitteen kosketeltava osa, johon voi tulla jännite eristysvian sattuessa.
jännitteinen osa (live part) (IEV 826-03-01)	Normaalikäytössä virtapiiriin kuuluva osa, PEN-johdinta lukuun ottamatta.
maadoitusjohdin (earthing conductor) (IEV 826-04-07)	Maadoitettavan osan tai maadoituskiskon ja maadoituselektrodin välinen johdin.
muu johtava osa (extraneous conductive part) (IEV 826-03-03)	Sähköasennukseen kuulumaton johtava osa, jossa tietty potentiaali, normaalitilassa yleensä maan potentiaali, voi esiintyä.
nollajohdin (tunnus N) (neutral conductor (symbol N)) (IEV 826-01-03)	Järjestelmän keskipisteeseen yhdistetty johdin, joka kykenee osallistumaan sähköenergian siirtoon.
PEN-johdin (PEN conductor) (IEV 826-04-06)	Maadoitettu johdin, joka toimii samalla sekä suoja- että nollajohtimena. <i>Huomautus: Kirjainyhdistelmä PEN on muodostettu suojajohtimen tunnuksesta PE ja nollajohtimen tunnuksesta N</i>
potentiaalintasaus (equipotential bonding) (IEV 826-04-09) (IEV 826-04-09)	Toimenpide, jolla eri sähkölaitteiden jännitteelle alttiit kosketeltavat osat ja muut johtavat osat saatetaan suunnilleen samaan potentiaaliin.
potentiaalintasausjohdin (equipotential bonding conductor) (IEV 826-04-10)	Suojajohdin, jonka avulla potentiaalintasaus tehdään.
päämaadoitusliitin (main earthing terminal) päämaadoituskisko (main earthing bar) (IEV 826-04-08)	Kisko tai liitin, jossa suojajohtimet, mukaan luettuna potentiaalintasausjohtimet ja mahdolliset toiminnallisen maadoituksen johtimet, on tarkoitettu liitettäväksi maadoitusjohtimeen.

samanaikaisesti kosketeltavat osat
(**simultaneously accessible parts**)
(IEV 826-03-10)

Johtimet tai johtavat osat, joita ihminen tai mahdollisesti kotieläin voi samanaikaisesti koskettaa.

suojojohdin (tunnus PE)
(**protective conductor**
(**symbol PE**))
(IEV 826-04-05)

Johdin, joka tarvitaan eräissä suojausmenetelmissä seuraavien osien välisiin kytkentöihin suojaamaan sähköiskulta:

- jännitteelle alttiit osat,
- muut johtavat osat,
- päämaadoituskisko (-liitin),
- maadoituselektrodi ja
- järjestelmän maadoitettu keskipiste tai keinotekoinen nollapiste.

maadoitusjohdin
(**earthing conductor**)
(IEV 826-04-07)

Suojajohdin, joka yhdistää päämaadoituskiskon tai -liittimen maadoituselektrodiin.

3.6.2. Maadoituksen tarkoitus

Maadoituksia tehdään pääasiassa seuraavista syistä:

- a) estämään vaarallisten kosketusjännitteiden syntymistä laitteiden ja järjestelmien vika-tapauksissa,
- b) estämään häiriöiden syntymistä tele- ja elektroniikkajärjestelmissä,
- c) estämään ilmastollisten ylijännitteiden aiheuttamia vaurioita ja vaaratilanteita ja
- d) järjestämään sähköverkon vikavirralla kontrolloitu, luotettava reitti ja siten varmistamaan suojalaitteiden nopea ja selektiivinen toiminta

3.6.3. Maadoituksia koskevat määräykset

Nimellisjännitteeltään enintään 1000 V laitteistojen maadoituksia koskevat määräykset on annettu julkaisussa A2-94 (Rakennusten sähköasennukset). Maadoittamista koskevat määräykset ovat luvussa 54.

Nimellisjännitteeltään yli 1000 V laitteistojen maadoittamisessa noudatetaan julkaisussa A1 -93 (Sähköturvallisuusmääräykset) annettuja määräyksiä. Yli 1000 V laitteistoista on valmisteilla CENELEC-standardi.

Nimellisjännitteeltään yli 1000 V laitteistoissa maadoitusjännite ei saa aiheuttaa vaarallista kosketusjännitettä. Koska maadoitusjännitteestä esiintyy kosketusjännitteenä vain osa, jae-taan sallitut maadoitusjännitteet vaarallisuuden kannalta ryhmiin (a...e). Katsotaan, että kos- ketusjännitteestä ei aiheudu vaaraa alle 110 kV laitteistoissa, jos ryhmissä mainittuja arvoja ei ylitetä.

Kosketusjännitevaaraa voidaan vähentää mm.:

- pienentämällä kosketusjännitettä, parantamalla maadoituksia tai maapotentiaalın oh- jauselektrodeilla,
- estämällä jännitteelle alttiin osan koskettaminen suojaeristyksellä ja
- eristämällä alusta, jolta käsin koskettaminen voisi tapahtua

Taulukko 3.6a. Sallittuja maadoitusjännitteitä julkaisun A1-10 § 2-1 mukaan.

Ryhmä*	Maadoitusjännite V	
	Maasulku kytketään itsetoimivasti pois ajassa t	Maasulkua ei kytketä itsetoimivasti pois
a	$750 / \sqrt{t/s}$	125
b	$2000 / \sqrt{t/s}$	250
c	$3000 / \sqrt{t/s}$	400
d	$500 / \sqrt{t/s}$	100
e1	$750 / \sqrt{t/s}$	125
e2	$1000 / \sqrt{t/s}$	150

*) Ryhmien a, b, c, d, e1 ja e2 määrittelyt ks. A1-10 § 2.

Taulukon käytössä on otettava huomioon julkaisussa A1 määritellyt täsmennykset ja poikkeukset.

3.6.4. Yli 1000 V järjestelmien suoja- ja maadoitusjohtimien mitoittaminen

Annetut mitoitusperusteet koskevat kaikkia suojajohtimia mukaanluettuina kytkinlaitoksen suojamaadoituskiskot ja muut sisäiset suojajohtimet (A1-11 § 2). Suojajohdin ja maadoitusjohdin on mitoittettava järjestelmän yksivaiheisen maasulkuvirran ja sen kestoajan mukaisesti. Jos maasulku kytketään itsetoimivasti pois, sallitaan kuparissa virrantiheys

$165 / \sqrt{t/s} \quad [A/mm^2]$, jossa t tarkoittaa maasulkuvirran pisintä kestoaikaa.

Suojajohdin (A2 - 543)

Enintään 1000 V järjestelmän suojajohdin on mitoittettava siten, että jos äärijohtin on enintään 16 mm^2 , niin suojajohtimen poikkipinta on sama kuin äärijohtimen, jos äärijohtin on yli 16 mm^2 , mutta enintään 35 mm^2 , on suojajohdin 16 mm^2 ja jos äärijohtin on yli 35 mm^2 , niin suojajohdin on puolet äärijohtimesta. Arvot pätevät johtimien ollessa kuparia. Suojajohtimen poikkipinta voidaan myös laskea kaavasta:

$$A = \frac{\sqrt{(I/A)^2 \cdot t/s}}{k} \quad [mm^2], \quad (1)$$

jossa A = suojajohtimen poikkipinta,
 I = oikosulkuvirran tehollisarvo,
 t = oikosulkuvirran kesto aika ($\leq 5 \text{ s}$) ja
 k = johdinmateriaalin lämpökerroin (A2-543.1.1).

Maadoitusjohtimet

Enintään 1000 V järjestelmän maadoitusjohtimet mitoittetaan samoja periaatteita noudattaen kuin suojajohtimet (A2-543.1). Jos maadoitusjohdin on upotettu maahan ja se on korroosiolta suojaamaton, on minimipoikkipinta kuitenkin 16 mm^2 kuparia tai 35 mm^2 kuumasinkittyä terästä.

Potentiaalintasausjohtimet

Pääpotentiaalintasausjohtimen poikkipinnan on oltava vähintään puolet asennuksen suurimman suoja- tai PEN-johtimen poikkipinnasta, kuitenkin vähintään 6 mm². Poikkipinnan ei tarvitse kuitenkaan olla yli 25 mm² kuparia johtokyvyltään vastaavaa muuta metallia.

Voimakaapelit

Voimakaapelien johtavat metallivaipat on maadoitettava. Kolmivaihekaapeli, jolla on yhteinen metallivaippa, maadoitetaan yleensä molemmista päistä. Koska vaippaan indusoituu virta, joka heikentää kaapelin kuormitettavuutta, maadoitetaan suojatun yksivaiheisen ja vaihekohtaisesti suojatun kolmivaihekaapelin metallivaipat vain toisesta päästä, mikäli kaapelin kuormitettavuus sitä vaatii.

Kaapelin pituuden ollessa n. 300 m tai enemmän, on kaapeli maadoitettava molemmista päistä. (Virtajohtimen vaippaan indusoima jännite saattaa nousta yli 75 V). Samoin kaapelin suojavaippa on maadoitettava molemmista päistä mikäli kaapeli kulkee veden alla. Säättö- ja ohjauskaapelien vaippojen maadoitus tulisi suorittaa säteittäisesti vain yhdessä pisteessä. Kuitenkin MLORM-tyyppiset kaapelit maadoitetaan molemmista päistään, jos pituus on yli 100 m.

3.6.5. Pienjännitejakelun johdinjärjestelmät

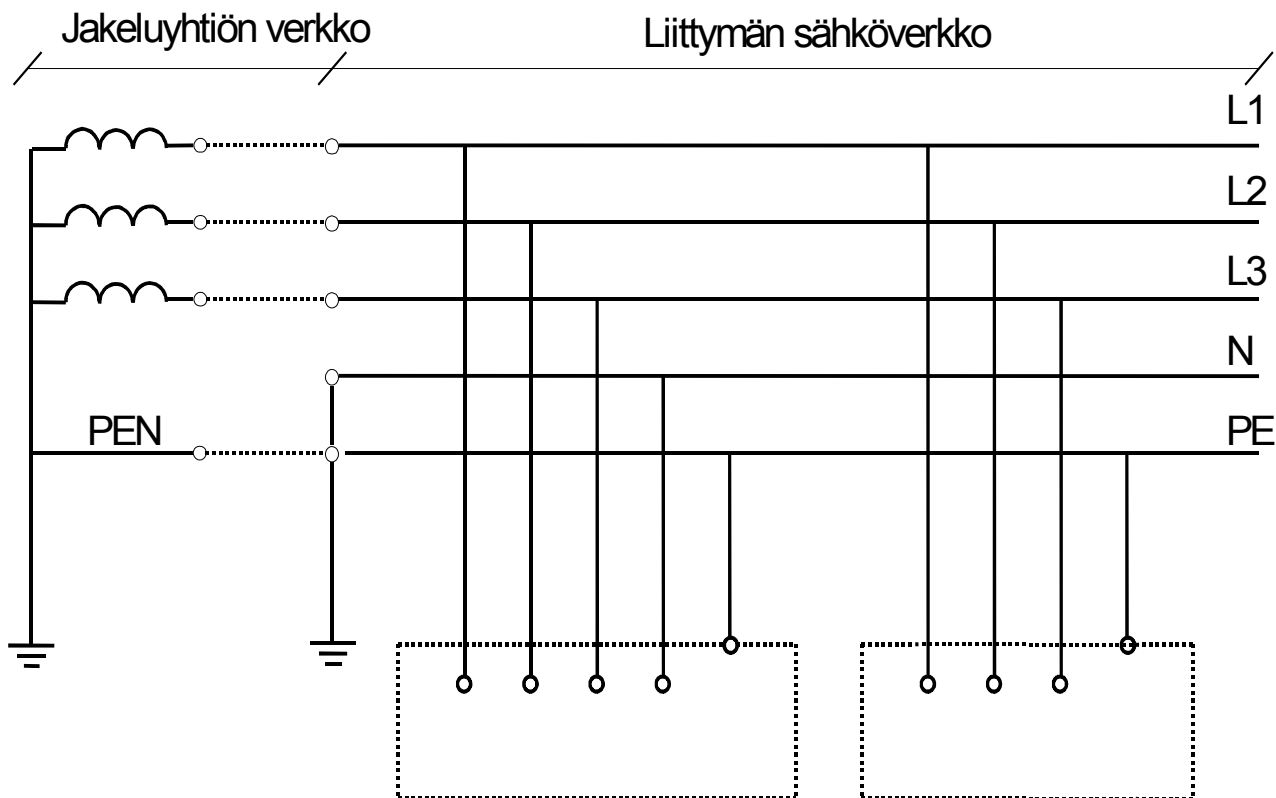
Julkaisun A2-94 (Rakennusten sähköasennukset) kohdan 312 mukaan eri jakelujärjestelmät merkitään kirjainkoodilla, jolla on seuraava merkitys:

- Ensimmäinen kirjain: jakelujärjestelmän maadoitustapa
 - T = yksi piste on yhdistetty suoraan maahan
 - I = kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta tai yksi piste on yhdistetty maahan impedanssin kautta
- Toinen kirjain: sähkölaitteiston jännitteelle alttiiden osien maadoitustapa
 - T = jännitteelle alttiit osat on yhdistetty galvaanisesti suoraan maahan riippumatta jakelujärjestelmän maadoitustavasta
 - N = jännitteelle alttiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun pisteeseen (vaihtosähköverkoissa yleensä maadoitettuun tähtipisteeseen)
- Mahdolliset lisäkirjaimet: nolla- ja suojajohtimen keskinäinen järjestely
 - S = erilliset nolla- ja suojajohtimet
 - C = nolla- ja suojajohdintoiminnot yhdistetty yhteen (PEN-) johtimeen.

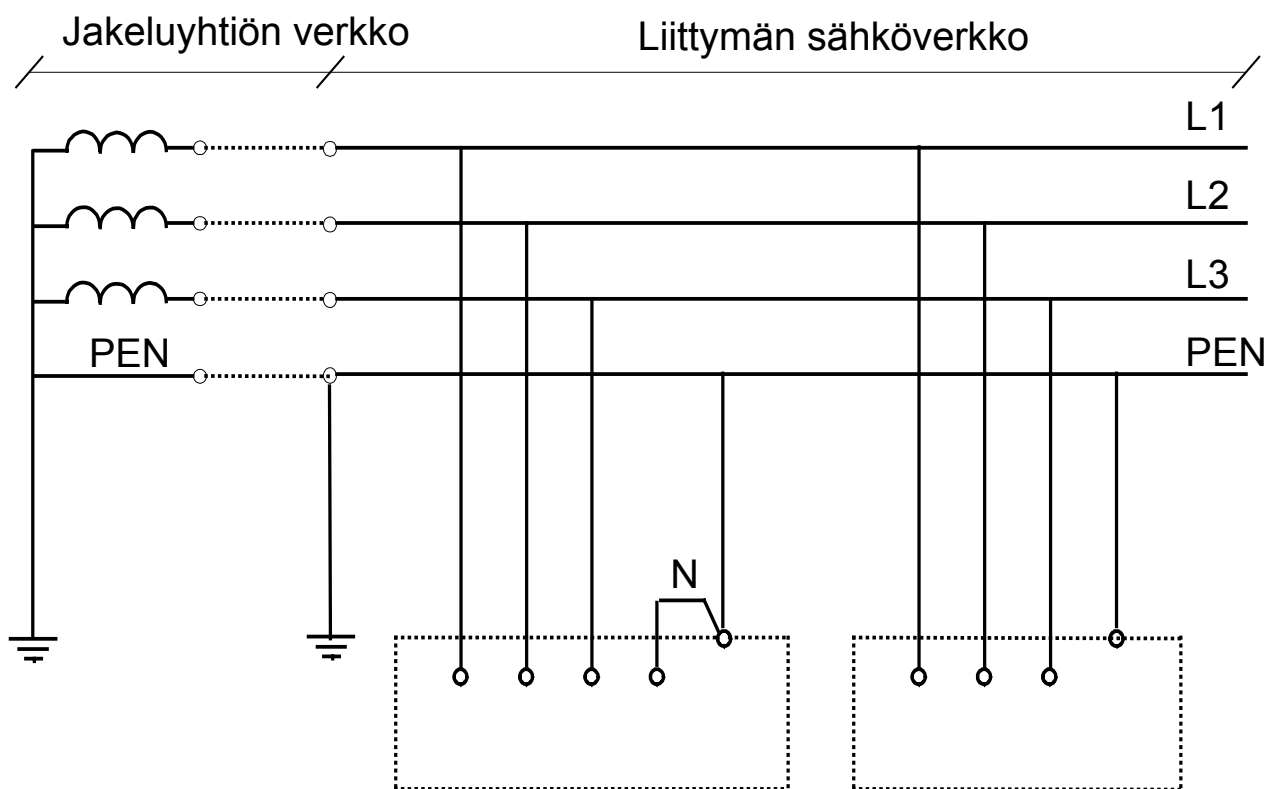
Suomessa yleiseen pienjännitejakeluun käytetään TN- järjestelmää, jossa on yksi piste suoraan maadoitettu ja sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat on yhdistetty tähän pisteeseen suoja- tai PEN-johtimella.

Nolla- ja suojajohtimien keskinäisen järjestelyn perusteella erotetaan kolme TN-järjestelmää:

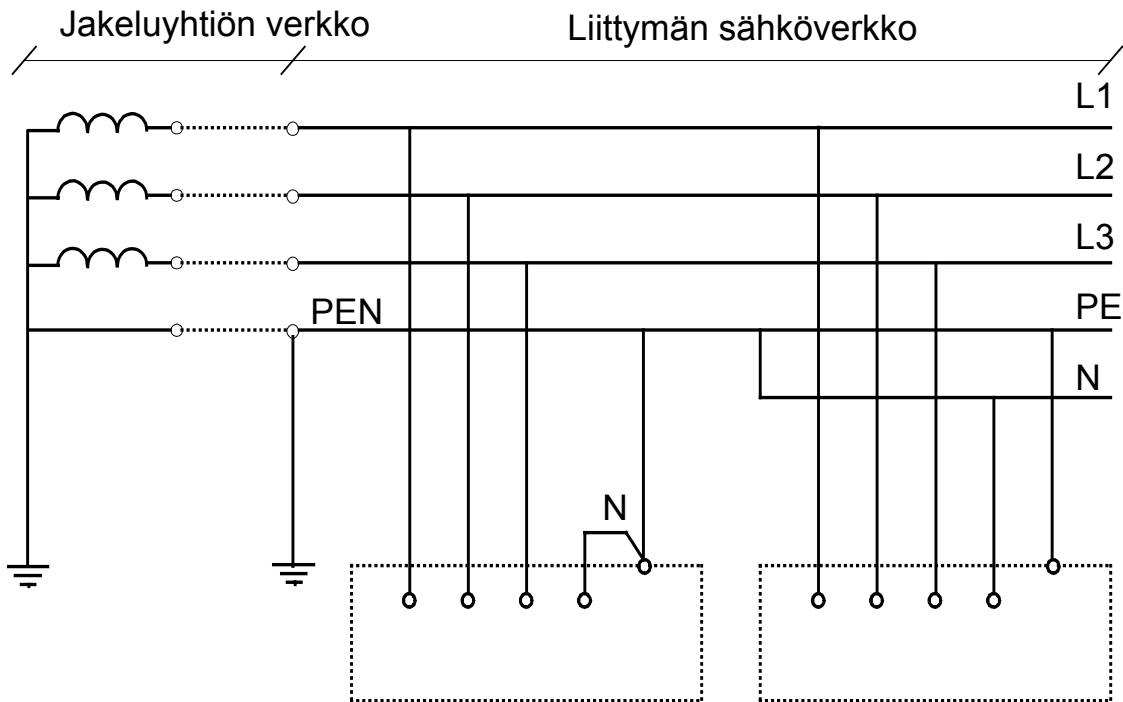
- 1) TN-S-järjestelmä
Erillinen nolla- ja suojajohdin koko järjestelmässä. Ks. kuva 3.6a.
- 2) TN-C-järjestelmä
Järjestelmässä käytetään PEN-johdinta, joka toimii sekä suoja- (PE) että nol-lajohtimena (N). Nolla- ja suojajohdintoiminnot on yhdistetty PEN-johtimeen koko järjestelmässä. Ks. kuva 3.6b.
- 3) TN-C-S-järjestelmä
Nolla- ja suojajohdintoiminnot on yhdistetty osassa järjestelmää. Ks. kuva 3.6c.



KUVA 3.6a. TN-S-järjestelmä.



KUVA 3.6b. TN-C-järjestelmä.



KUVA 3.6c. TN-C-S-järjestelmä.

Suomessa on käytetty tavallisissa rakennuksissa TN-C-S-järjestelmää. Vuonna 1989 voimaantulleet sähköturvallisuusmääräykset (A1-89) edellyttivät TN-S-järjestelmän käyttöä kaikilla johdinpoikkipinnoilla muissa kuin asuinrakennuksissa. Rakennusten sähköasennukset (A2-94) eivät edellytä TN-S-järjestelmän käyttöä yhtä laajasti. A2-94:n mukaan TN-järjestelmissä voidaan kiinteästi asennetuissa johdoissa, joiden johdinpoikkipinta on vähintään 10 mm^2 kuparia tai 16 mm^2 alumiinia, käyttää yhteistä johdinta sekä suoja- että nollajohtimena kaapeleissa edellyttäen, että tätä asennuksen osaa ei ole suojattu vikavirtasuojakytkimellä.

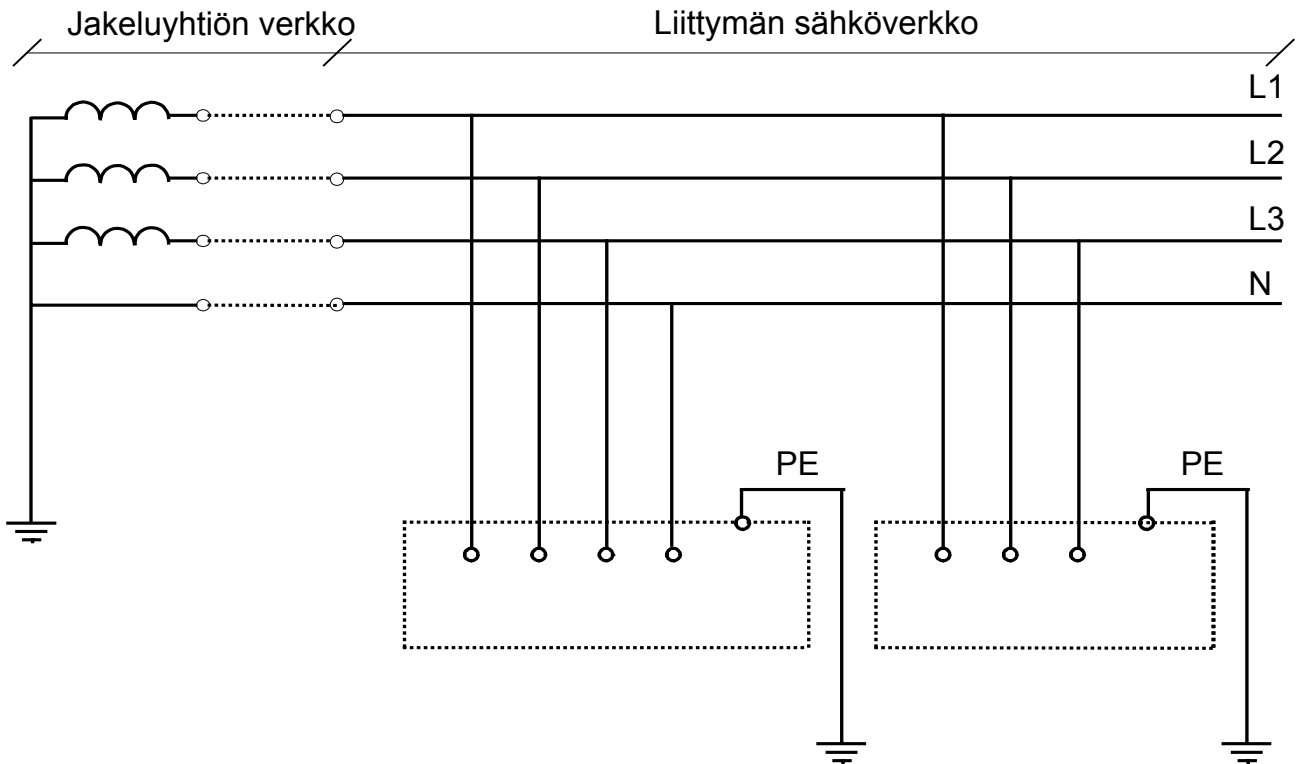
Rakennuksissa, joissa on tai joihin todennäköisesti tulee tärkeitä tietotekniikan laitteistoja, suositellaan erillisen suojajohtimen ja nollajohtimen käyttämistä syöttöpisteestä lähtien. Näin harhavirtoja ja EMC-ongelmia esiintyy mahdollisimman vähän. Tätä kohtaa sovelletaan erityisesti toimisto- tai teollisuuskäyttöön tarkoitettuihin rakennuksiin.

TN-S-järjestelmän käyttö on edelleen pakollista kaikilla johdinpoikkipinnoilla lääkintätiloissa, räjähdysvaarallisissa tiloissa, palovaarallisissa tiloissa sekä taipuisissa liitälaitteiden johdoissa. Sähköverkon aiheuttamat häiriöt ovat TN-S-järjestelmässä oleellisesti pienemmät kuin TN-C-S-järjestelmässä. Tästä syystä TN-S-järjestelmän käyttö on suositeltavaa kaikissa sellaisissa tiloissa, joissa käytetään paljon elektroniikkalaitteita, vaikka määräykset eivät sitä ehdottomasti edellytä.

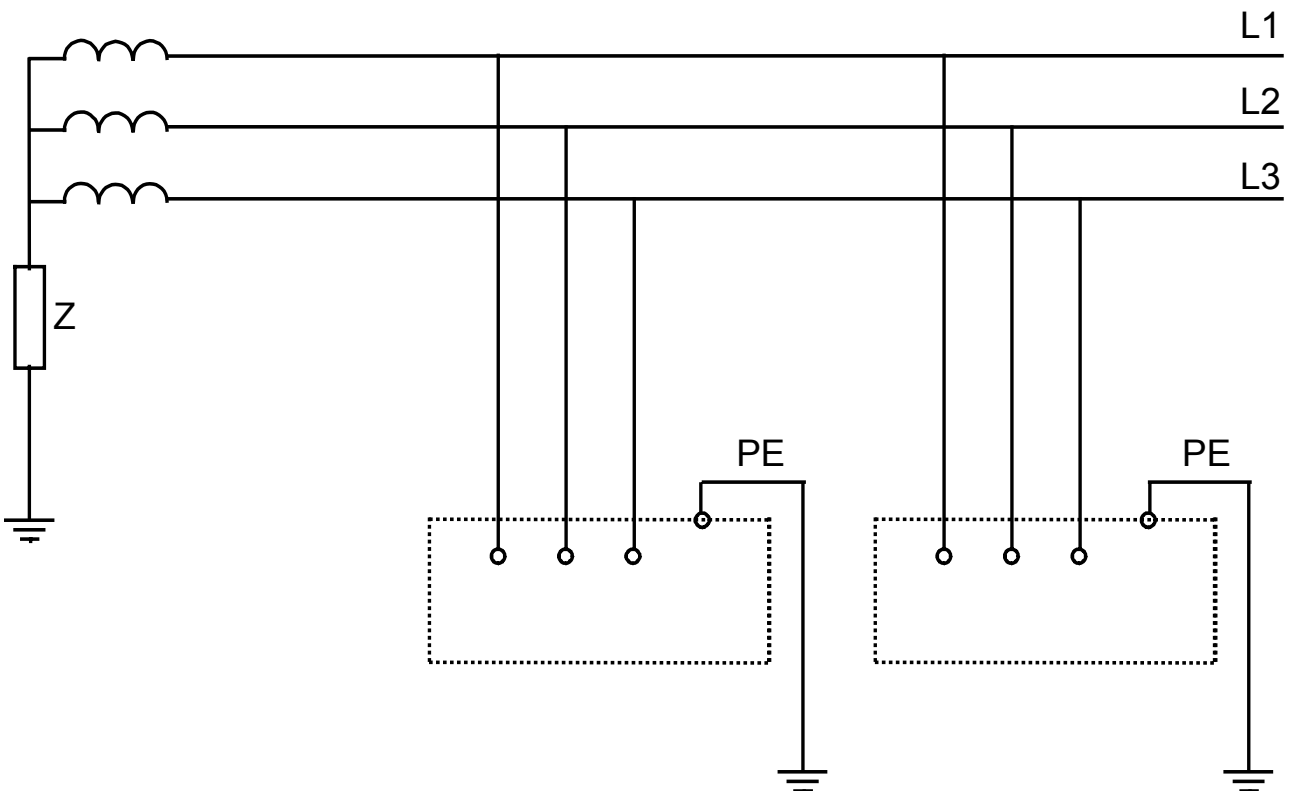
TT-järjestelmässä yksi piste (tavallisimmin muuntajan tähtipiste) on maadoitettu suoraan, ja sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoituselektrodista sähköisesti riippumattomiin erillisiin maadoituselektrodeihin.

TT-järjestelmää ei käytetä Suomessa julkisissa sähköjakelujärjestelmissä. Keski-Euroopassa sitä käytetään esimerkiksi eläinsuojissa, jolloin tarkoituksena on estää verkon vian aiheuttaman PE- tai PEN-johtimen potentiaalın pääsy eläinsuojan johtaviin rakenteisiin.

TT-järjestelmässä ei vaihejohtimien ja erillisiin maadoituselektrodeihin kytkettyjen jännitteelle alttiiden osien välisten yksivaiheisten vikojen suojaukseen voida käyttää sulakkeita, koska vikavirralla ei ole metallista paluutietä järjestelmän nollapisteeseen. Suojaukseen tulee käyttää vikavirtasuojakytkimiä tai muita pienen vikavirran tunnistavia suojalaitteita.



KUVA 3.6d. TT-järjestelmä.

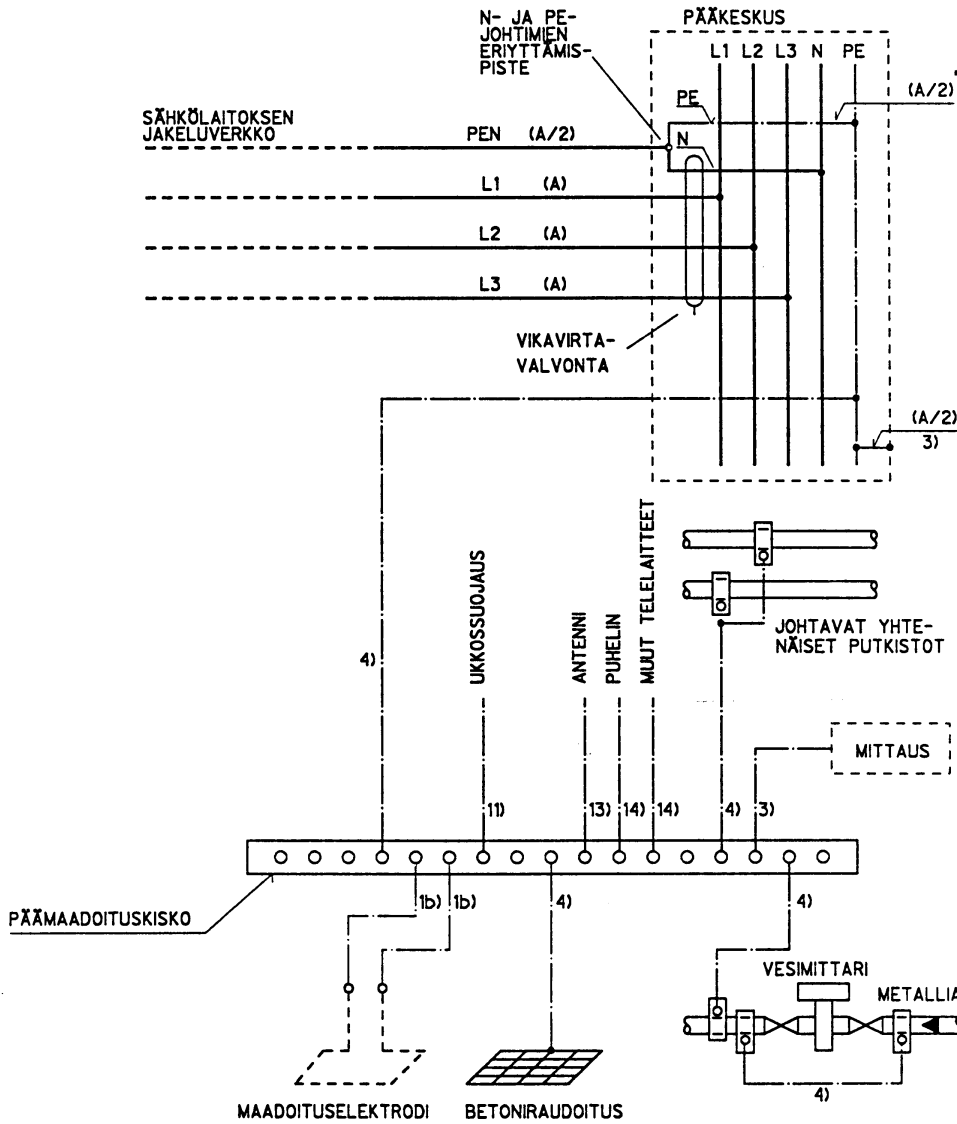


KUVA 3.6e. IT-järjestelmä.

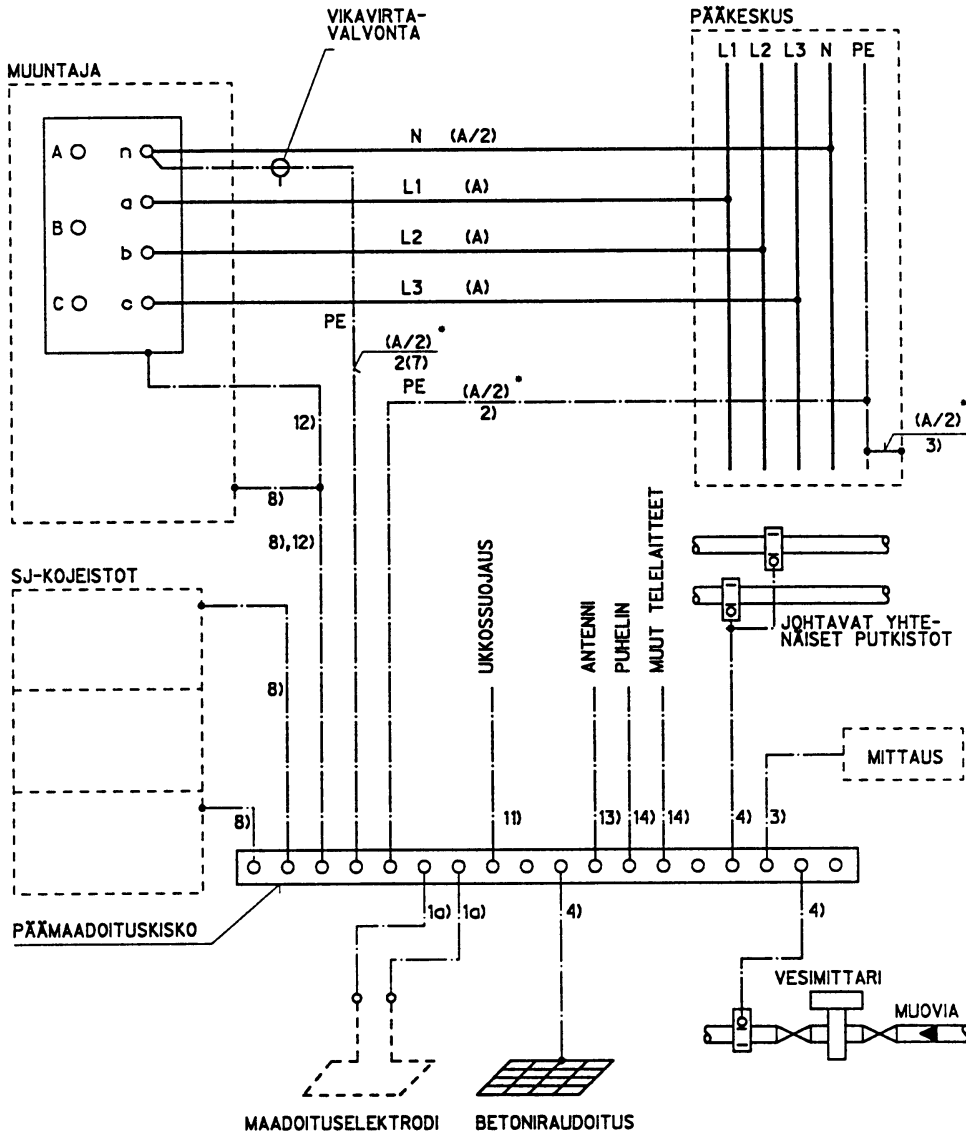
IT-järjestelmässä ei ole mitään jännitteistä osaa yhdistetty suoraan maahan. Järjestelmän yksi piste, tavallisimmin nollapiste voidaan yhdistää maahan impedanssin kautta suojaus- ja mittauksia varten. IT-järjestelmä voi olla myös varustettu nollajohtimella.

Yksivaiheinen maasulku ei aiheuta IT-järjestelmässä välitöntä käyttökeskeytystä, mistä syystä IT-järjestelmää käytetään käyttökeskeytyksille herkän prosessiteollisuuden sähkönjakelujärjestelmissä. IT-järjestelmien heikkoutena ovat yksivaiheisten vikojen paikantamisessa esiintyvät vaikeudet. Tästä syystä prosessiteollisuudessa on ruvettu käyttämään TN-järjestelmiä entistä useammin.

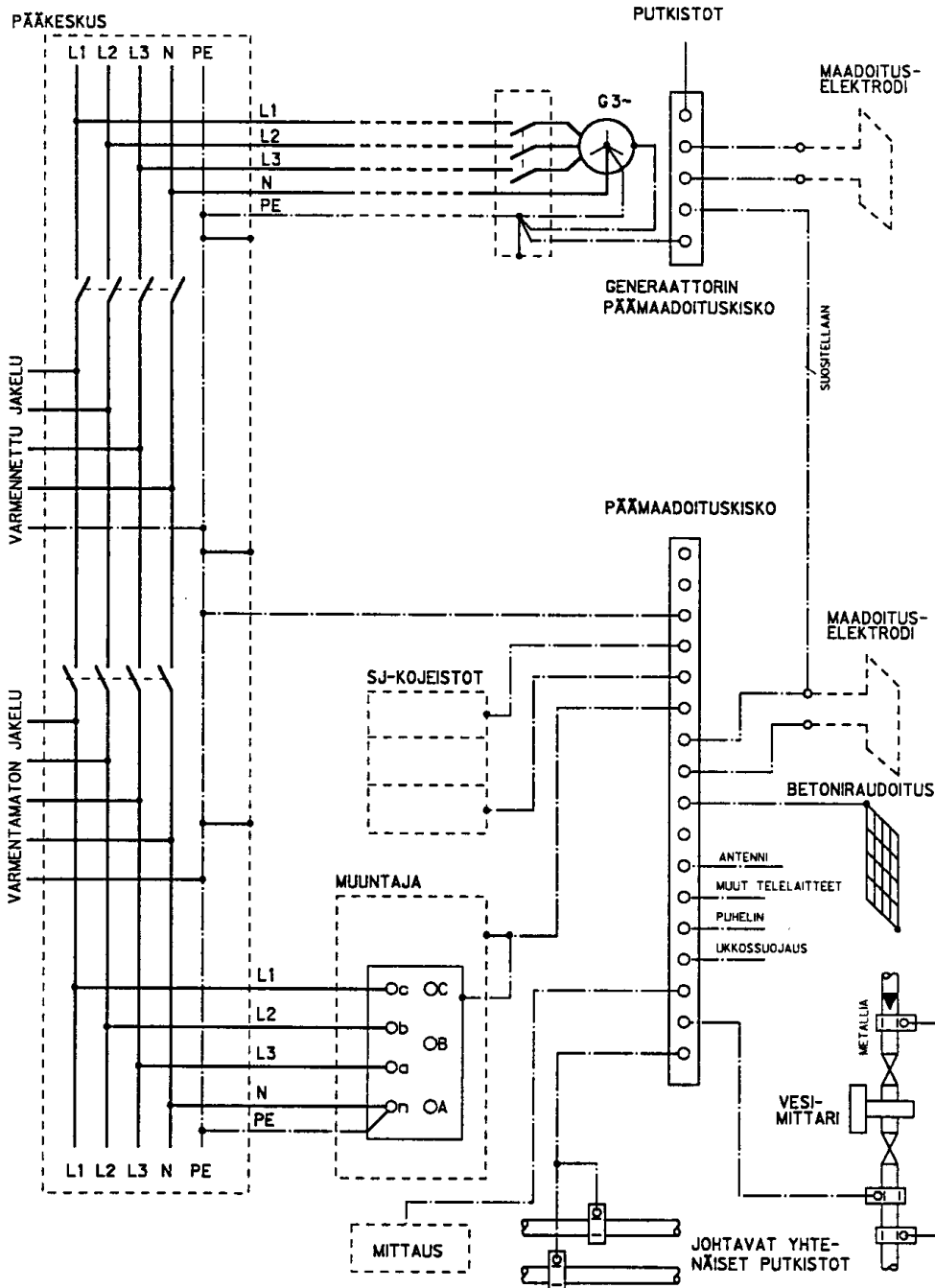
3.6.6. Esimerkkikaavioita



KUVA 3.6f. Esimerkki TN-S-järjestelmästä. Pienjänniteliittymä, liittimisjohto nelijohtiminen.



KUVA 3.6g. Esimerkki TN-S-järjestelmästä. Suurjänniteliittymä, muuntajan tähtipisteen ja pääkeskuksen välillä on erikseen asennettu suojajohdin, joka kiertää päämaadoituskiskon kautta.



KUVA 3.6h. Esimerkki muuntajan ja generaattorin liitännästä. TN-S-järjestelmässä, kun generaattori sijaitsee etäällä pääkeskuksesta.

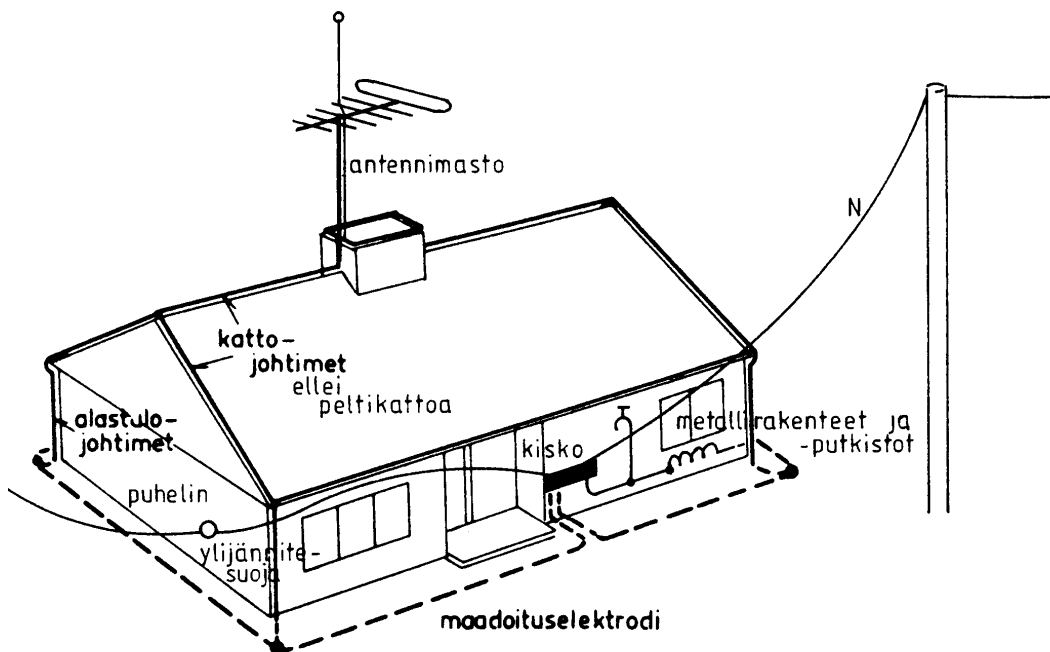
3.6.7. Rakennusten ukkossuojaus

Rakennusten suojaaminen ukkosen vaikutuksia vastaan voidaan joskus perustella taloudellisella kannattavuudella, joskin henkilöturvallisuus sekä turvallisuudentunnetekijät vaikuttavat usein ratkaisevasti asiaan. Eräät rakennukset on aina suojattava suoria salamaniskuja ja muita ukkosylijännitteitä vastaan. Kauppa- ja teollisuusministeriö on antanut määräyksiä eräiden räjähdysaineita tai polttoaineita sisältävien rakennusten ukkossuojauksesta.

Ukkossuojaukseen liittyvissä maadoituksissa tulee kiinnittää erityisesti huomiota pieneen aaltovastukseen.

Asuin- ja vastaavassa rakennuksessa ukkossuojaukseen sekä sähkö- ja televerkkojen maadoitukseen voidaan käyttää yhteistä maadoituselektrodiä. Rakennuksen ukkossuojauksen alastulojohtimet on suositeltavaa yhdistää suoraan maadoituselektrodiin, jolloin vältetään salamavirran kulkeminen päämaadoituskiskon kautta. Paras elektrodirakenne on rakennuksen perustuksen ympäri asennettu rengaselektrodi, joka suojaa tehokkaasti myös rakennukseen ulkoapäin maata pitkin pyrkiviltä, esim. lähellä olevaan puuhun osuneen salamaniskun aiheuttamilta virroilta.

Kuvassa 3.6j on esitetty pientalon ukkossuojauksen sekä taloon tulevien sähkö- ja puhelinjohtojen maadoituksen periaate.



KUVA 3.6j. Pientalon maadoitus ja ukkossuojaus, SFS-käsikirja 33.

3.6.8. Maadoitusten toteuttaminen sähköasemilla


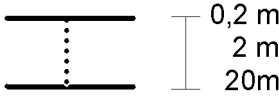






Sähköasemien perusmaadoitukseksi on yleensä rakennettava maadoitusverkko. Sillä pystytään pienentämään

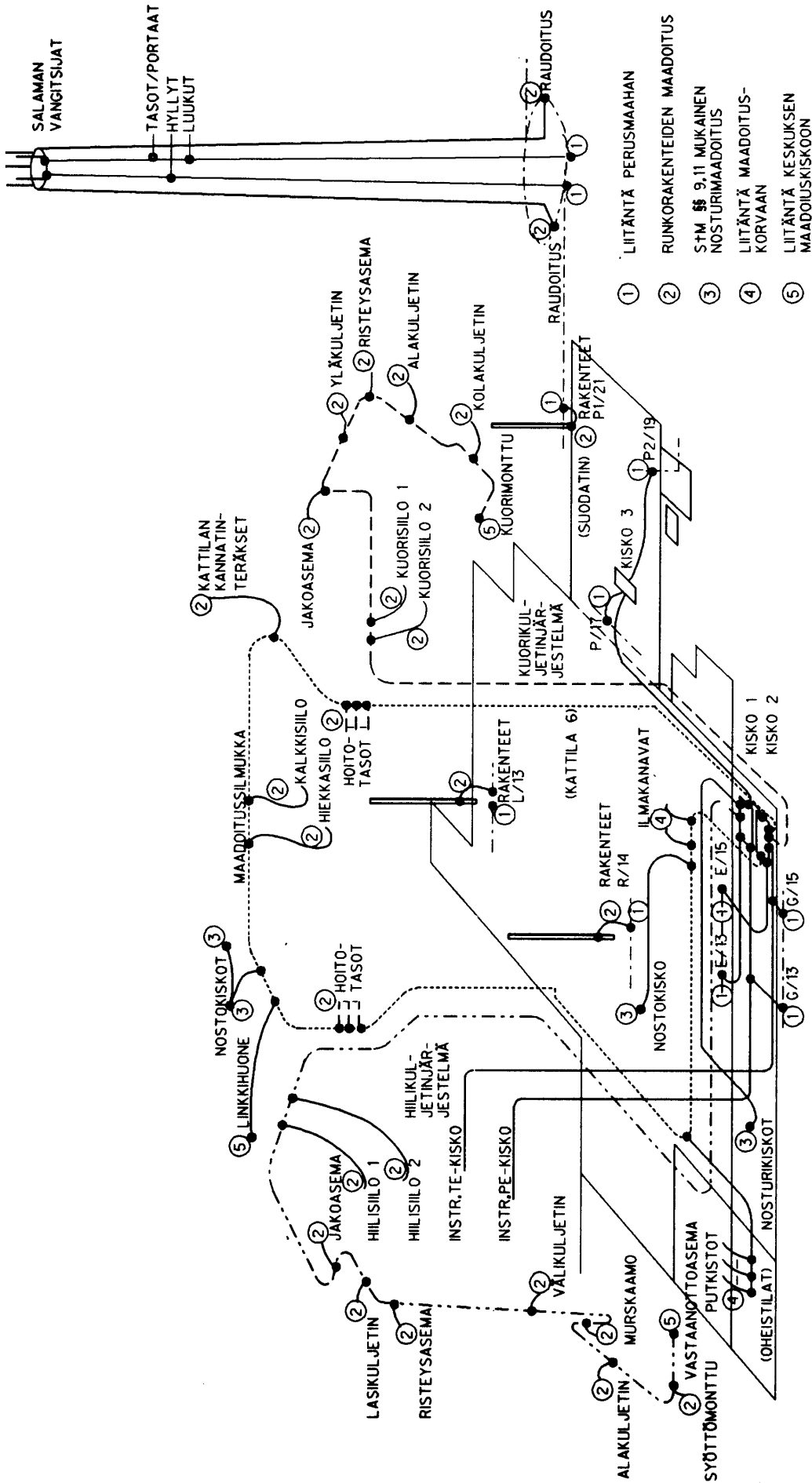
- kosketus- ja askeljännitteitä,
- maadoituksen aaltoimpedanssia syöksyaalloilla ja
- aseman maadoitusimpedanssia.

Aseman laitteet ja kojeet maadoitetaan tähän verkkoon. Lisäksi esim. aidan ja rakennusten ympärille n. 1 m päähän ulkopuolelle sijoitetaan potentiaalinen tasausrenkaat. Suomessa maadoitusolosuhteet ovat aivan rannikkoseutuja lukuun ottamatta huonoja (maan ominaisresistanssi keskimäärin $2300 \Omega \text{ m}$). Tämän vuoksi pelkällä perusmaadoituksella esim. 123 kV sähköasemalla saavutetaan harvoin riittävän hyvä maadoitus, vaan joudutaan vetämään lisämaadoituselektrodeja. Sopivia sijoituspaikkoja ovat asemalta lähtevät johtoreiitit. Yleensä 1 km pidempiä elektrodeja ei kannata tehdä, koska johdolla on reaktanssia (n. $0,9 \Omega/\text{km}$) ja resistanssia, mitä ei käyttötaajuudellakaan voi jättää ottamatta huomioon.

Edullisin kokonaistulos saavutetaankin usein säteittäiselektrodilla tällaisen näennäisestä tehottomuudesta huolimatta.

Taulukko 3.6b. Samalla kokonaispituudella saavutettavan maadoitusvastuksen suhde suoran 16 mm² johtimen maadoitusvastukseen (upotussyvyys 70 cm).

l m	20	60	200	500
Elektrodin muoto	Maadoitusvastuksen suhde suoran johtimen maadoitusvastukseen %			
	100	100	100	100
 0,2 m 2 m 20m	133	144	155	159
	109	123	135	143
	92	96	109	119
	103	103	102	102
	107	106	106	105
	116	115	114	112
	136	135	132	129
	159	158	154	148
	109	108	107	106



KUVA 3.6k. Esimerkki teollisuuslaitoksen maadoitusten yleiskaaviosta.

Taulukko 3.6c. Maadoitusrakenteiden aaltoimpedansseja.

Johdin	Aaltoimpedanssi Ω	Aallon nopeus m/ μ s
Salamaura (10...100 kA)	400...800	150...250
Yksinkertainen virtajohdin	430	250
Parivirtajohdin	330	265
Ukkosjohdin	470	240
2 ukkosjohdinta	280	240
Maajohdin	170	100

Sähköasemien maadoituspotentiaalia voidaan vähentää myös varustamalla lähtevät johdot ukkosjohtimilla.

Taulukko 3.6d. Ukkosjohtimen reduktiokertoimia.

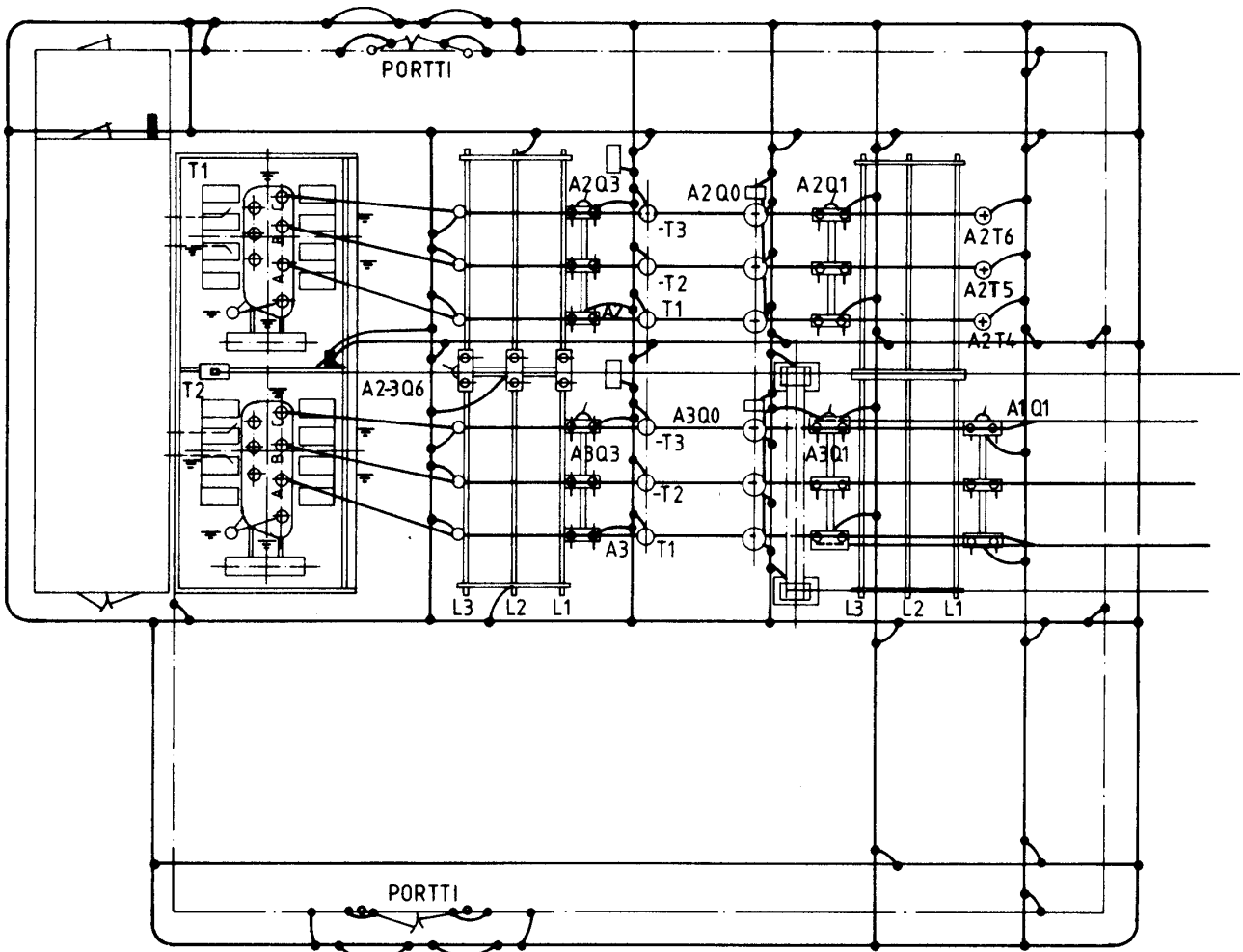
Ukkosjohtimet	Reduktiokerroin k_r
2 x 35 St	0,951 / - 7,1°
2 x 50 St	0,904 / - 10,0°
2 x Savo	0,534 / - 25,0°
2 x Imatra	0,393 / - 16,5°
2 x Suursavo	0,382 / - 14,6°
2 x Ostrich	0,360 / - 10,7°

Taulukossa mainitulla reduktiokertoimella (k_r) tarkoitetaan maan kautta palaavan virran suhdetta vaihejohtimien summavirtaan, kun johto on niin pitkä, että virran jakautuminen ukkosjohtimia myöten naapuripylväillä ei ulotu vikapaikasta syöttöpisteeseen. Jos asemalta lähtee useita ukkosjohtimellisia suurjännitejohtoja, on

$$U_m = Z_m (k_{r1} I_{e1} + k_{r2} I_{e2} \dots + k_{rn} I_{en}) \quad , \quad (2)$$

jossa $I_{e1} \dots I_{en}$ ovat johtoja myöten tulevat maasulkuvirtaosuudet.

Uuden aseman paikkaa valittaessa kannattaa huomioida myös maadoitusolosuhteet. Taulukon 3.6e pohjalta voidaan arvioida saavutettavia maadoitusvastuksen arvoja. Tarkempi suunnittelu perustuu kuitenkin paikan päällä tehtäviin maan ominaisvastusmittauksiin.



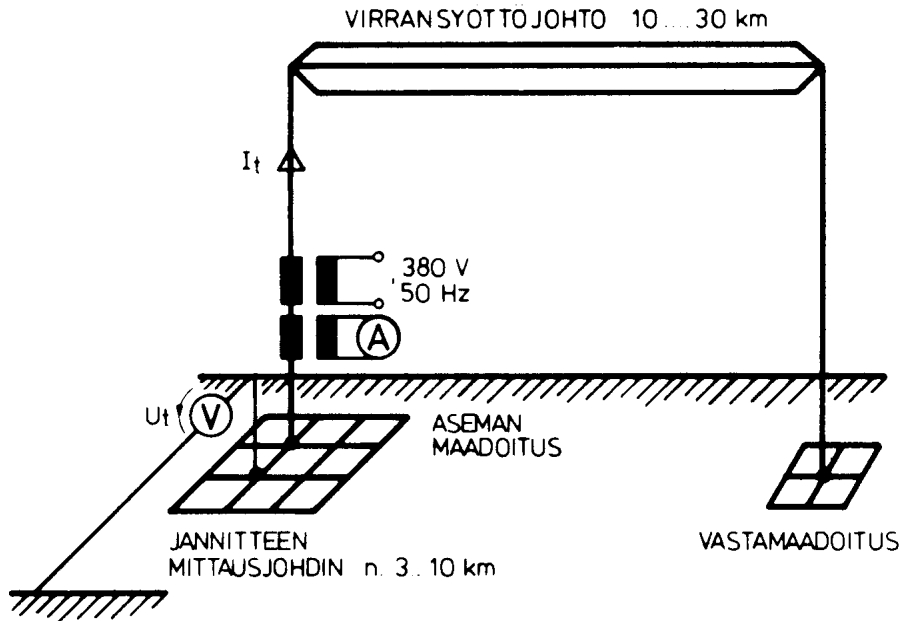
KUVA 3.6l. Kytinkentän maadoitus rakennetaan verkon muotoiseksi. Metalliaidan ja porttien maadoitukset on tehtävä huolella, koska ne muodostavat osan suoja- ja maadoitusjohtimesta.

Taulukko 3.6e. Maan ominaisvastuksia Suomessa.

Aine	Ominaisvastus keskimäärin $\Omega \text{ m}$	Tavallisimmat vaihtelurajat
Savi	40	25 ... 70
Saven sekainen hiekka	100	40 ... 300
Lieju, turve, multa	150	50 ... 250
Hiekka, hieta	2000	1000 ... 3000
Moreenisora	3000	1000 ... 10000
Harjusora	15000	3000 ... 30000
Graniittikallio	25000	10000 ... 50000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50 ... 500
Betoni kuivana	100000	2000 ... 100000
Järvi- ja jokivesi	250	100 ... 400
Pohja-, kaivo- ja lähdevesi	50	10 ... 150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1 ... 5

Selvitettäessä täyttääkö maadoitus määräysten vaatimukset on maadoitusimpedanssi mitattava. Mittausmenetelmä riippuu maadoitusjärjestelmän laajuudesta. Ns. laajat maadoitukset on tarkastettava erityisesti. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07

tukset (esim. 110 kV sähköasemat) voidaan luotettavasti mitata vain voltti-ampeeri-mittarimenetelmällä.



KUVA 3.6m. Maadoitusimpedanssin mittaus.

Kuvan mukaisesti mitataan aseman maadoituksen kautta menevä virta ja mittausvirran maadoituksessa aiheuttama jännitehäviö. Maadoitusimpedanssi saadaan kaavasta

$$Z_m = \frac{U_t}{k_r \cdot I_t} \quad , \text{ jossa} \quad (3)$$

k_r = mahdollisten virransyöttöjohdon ukkosköysien reduktiokerroin.

Tärkein edellytys mittauksen suorittamiselle on, että mitattavalta asemalta saadaan mittauksen ajaksi käyttöön vähintään yksi jännitteetön avojohto. Maadoitusten mittausta on tehtävä ennen käyttöönottoa ja määräaikaistarkastukset A1 53 § mukaisesti. Toisinaan joudutaan suorittamaan myös vaara-, askel- ja kosketusjännitemittauksia. Suppeat maadoitukset (esim. Pylväsmaadoitukset) voidaan yksinkertaisesti mitata ns. siltamittarimenetelmällä maavastusmittaria käyttäen.