

4. SÄHKÖN LAATU

4.1. Sähkön laadun merkitys kuluttajalle

Sähkö ja sen laatu on merkittävä tekijä tuotantoprosessin toimivuuden kannalta. Ongelmia voi aiheutua monista eri syistä, yleisemmin jännite-/ virtapiikeistä, yliaalloista sekä jännitetason vaihteluista. Pahimmassa tapauksessa ongelmat voivat aiheuttaa totaalisen tuotannon katkeamisen, joka tuotannosta riippuen voi koitua kyseiselle yritykselle erittäinkin kalliiksi. Häiriöt voivat ilmentyä myös laatuvirheinä, viallisina ja epäluotettavina tuotteina.

Monesti sähkön laatu ja etenkin sen huonous tulee kuluttajalle esille liian myöhään. Tyypillinen tilanne syntyy, kun yritykseen hankitaan uusia laitteistoja, jotka eivät enää kestä sähköverkon nykyistä häiriötasoa ja niissä alkaa esiintyä toimintahäiriöitä. Monesti nämä uudet laitteistot (esim. ottamalla verkosta epälineaarista virtaa) voivat omalla toiminnallaan heikentää entisestään sähkön laatua niin, että kriittinen raja ylittyy. Tällaisessa tilanteessa lähdetään usein hakemaan vikaa ensin jostain muualta, kuin sähköverkosta ja näin häiriötilanteet pitkittyvät.

Yleisimmät kuluttajan sähkön laatu ongelmat

Kuluttajien yleisimmät ongelmat ovat: kohonneet loistehomaksut, laitevauriot ja toimintahäiriöt. Uutena ongelmana voidaan mainita magneettikenttien vaikutukset tietokoneiden näyttöihin. Virran aiheuttamat magneettikentät aiheuttavat näyttöjen välkkymistä. Kuluttajat havahtuvat yleensä valitettavasti vasta, kun sähkön laatu on heikentynyt ratkaisevasti. Ehdottomasti kannattavampi tapa on miettiä sähkön laatuasioita esim. hankittaessa uusia laitteistoja tai lisättäessä verkon kuormitusta.

4.2. Yleisimmät häiriöilmiöt

Häiriöt voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: *galvaanisesti- ja sähkömagneettisesti* johtuviin.

Galvaaniset häiriöt:

- pitkittäiset- ja poikittaiset transientit,
- maadoitusviat,
- yliaaltovirrat ja -jännitteet,
- jännitekatkot,
- jännitetason vaihtelut ja
- epäsymmetria.

Sähkömagneettiset häiriöt:

- virtojen aiheuttamat magneettikentät,
- jännitteiden aiheuttamat sähkökentät ja
- radiotaajuiset häiriöt.

Häiriöilmiöistä galvaanisesti johtuvat ovat helpompia mitata, todeta niiden alkuperä ja eliminoida ne. Vastaavasti sähkömagneettisesti johtuvat ovat usein hankalia ja vaativat pitempiaikaisia selvityksiä ja mittauksia.

Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Yhä lisääntymässä oleva epälineaarinen kuormitus, taajuusmuuttajat, DC-käytöt, purkauslamppuvalaisimet ja kaksimuunnostekniikan UPS-laitteet.
- Uusien herkempien laitteiden pienempi häiriönsietokyky.

- Räjähdyksmäisesti lisääntynyt tietokonekuormitus.
- Verkkojen, muuntajien, kompensointiparistojen, UPS-laitteiden ja ym. verkon osien laiminlyödyt huollot.
- Yleisesti kuormituksen kasvu sähköverkoissa.

4.3. Sähkön laadun poikkeamat kuluttajalle

Keskeytykset

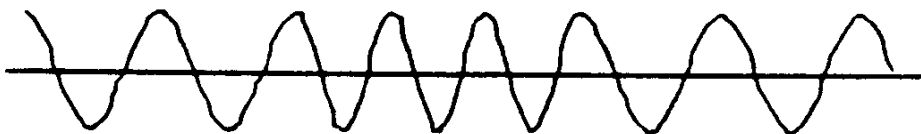
Sähkönjakelun keskeytys on edelleen yksi yleisimmistä häiriöistä etenkin keskijänniteverkon avojohtolinjoilla. Keskeytys voi olla häiriökeskeytys tai suunniteltu korjaus- tai rakennustoimenpiteen vaatima työkeskeytys. Joskus saatetaan myös joutua rajoittamaan sähköntoimitusta tuotanto- tai siirtokapasiteetti-ongelmien vuoksi. Häiriökeskeytysten aiheuttajia ovat yleensä ukkonen, myrskyt, rakenne- ja materiaalivirheet, generaattoriviat, muuntajaviat, maankaivuu, puut ja eläimet. Esimerkki jännitteen käyttäytymisestä keskeytyksen yhteydessä on esitetty kuvassa 4.3a.



KUVA 4.3a. Keskeytys (supply interruption).

Taajuuspoikkeamat

Taajuuspoikkeamat ovat melko epätavallisia suurehkojen sähkölaitosten jakelualueilla. Yleensä niitä esiintyy verkon saarekekäytössä, varavoimakonekäytössä ja pienillä jakelualueilla, kuten saarilla. Taajuuspoikkeamien pääasialliset syyt ovat nopeat kuormitusmuutokset yksittäisillä generaattoreilla, huonot generaattorin ohjaus- ja säätölaitteet sekä joskus epästabili ja ylikuormitettu maaseutuverkko. Taajuuspoikkeamaan liittyvä jännitteen tai virran käyrämuoto on esitetty kuvassa 4.3b.



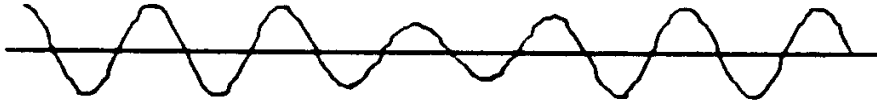
KUVA 4.3b. Taajuuspoikkeama (frequency deviation).

Jännitteen muutokset

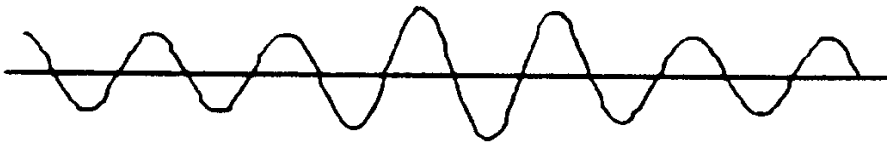
Pitkäaikaiset jännitteen muutokset keskijännitteisessä jakeluverkossa hallitaan pääasias-
sa verkon oikealla suunnittelulla ja käytöllä. Jännitteen suuruuteen ja vaihteluun vaikuttavat sähköasemilla olevat jännitteensäätäjät, verkon mitoitus ja kuormitustilanne sekä jakeluverkon liittymiskohdan sijainti siirtoverkossa.

Nopeat jännitteen muutokset, jännitekuopat ja jännitteenousu, aiheutuvat yleensä salaman linjoihin indusoimista jännitteistä, epäsymmetrisistä vioista, isojen kuormitusten

päälle- ja poiskytkemisistä ja nopeista jälleenkytkennöistä. Nopeat jännitemuutokset aiheuttavat valojen välkyntää ja joskus ongelmia herkille kuormille, kuten tietokoneille ja vastaaville laitteille. Jännitteen kuoppa ja jännitteen nopean nousun käyrämuodot on esitetty kuvissa 4.3c ja d.

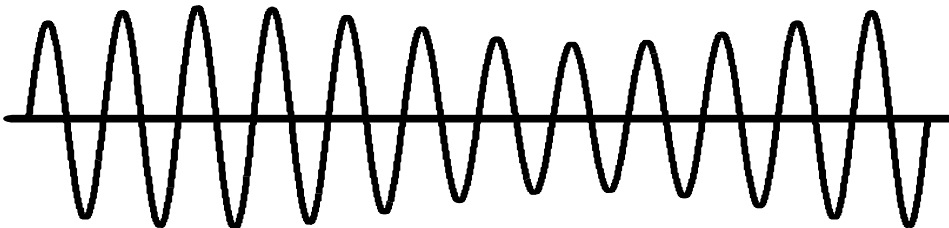


KUVA 4.3c. Jännitekuoppa (supply voltage dip, sags).



KUVA 4.3d. Nopea jännitteenousu (rapid voltage change, swells).

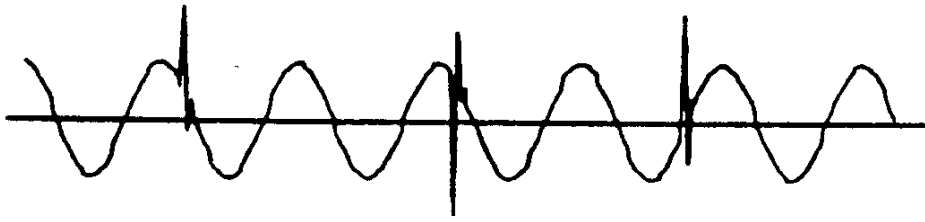
Välkyntä aiheutuu yleensä tasaisesti tai satunnaisesti vaihtelevista isoista kuormista, valokaariuuneista, pistehitsauksesta ja kuljettimien moottoreista. Se aiheuttaa valojen välkyntää sekä ongelmia tietokoneiden toiminnalle ja kommunikaatiolaitteille. Esimerkki välkyntän aiheuttavasta jännitteen käyrämuodosta on esitetty kuvassa kuvassa 4.3e.



KUVA 4.3e. Välkyntä (voltage flicker).

Transienttiylijännitteet

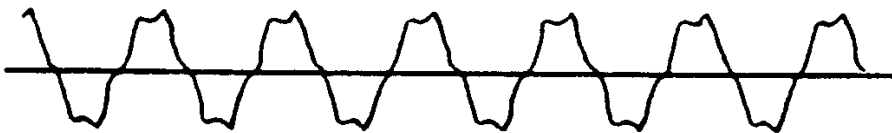
Transienttiylijännitteet jaotellaan ilmiön keston perusteella pitkiin, keskipitkiin ja lyhyisiin transientteihin. Pitkät transientit, yli 100 μs , syntyvät esimerkiksi sulakkeen palamisesta ja kompensointikondensaattorin kytkennästä. Keskipitkät, 1...100 μs , syntyvät katkaisijan toiminnasta, linjaan tai sen läheisyyteen iskeneestä salamasta. Lyhyet transientit, alle 1 μs , aiheutuvat paikallisten kuormien kytkennästä. Transientteja synnyttäviä ilmiöitä ovat myös ylijännitesuojan toimiminen ja eristeen tai eristimen läpilyönti. Transientit aiheuttavat usein ongelmia tietokoneiden käyttäjille; tietoa saattaa tuhoutua, laitteet voivat käynnistyä itsestään tai vahingoittua. Esimerkki transienttiylijännitteen käyrämuodosta on esitetty kuvassa 4.3f.



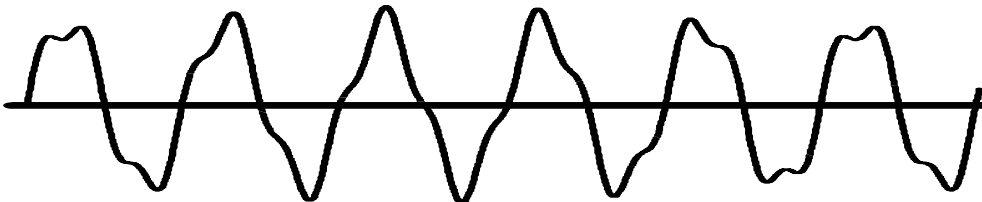
KUVA 4.3f. Transienttiyljännite (transient overvoltage).

Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Harmonisia tai epäharmonisia yliaaltojännitteitä synnyttävät pääasiassa ylikuormitetut muuntajat, epäsymmetriset kuormitukset, hakkuriteholähteet, tasasuuntaajat, taajuusmuuttajat, tyristorikäytöt ja purkauslamput. Harmonisten yliaaltojännitteiden määrä on viime vuosina kasvanut taajuusmuuttajien ja vastaavien säätölaitteiden lisääntymisen vuoksi. Yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua verkossa, muuntajien ylikuormittumista, laitteiden kuormitettavuuden alenemista, mittareiden virhenäyttämiä, suoja- ja virrhetoimintoja, äänihäiriöitä ja nollajohtimen ylikuormittumista. Esimerkit harmonisten ja epäharmonisten yliaallojen vaikutuksesta jännitteen käyrämuotoon on esitetty kuvissa 4.3g ja h.



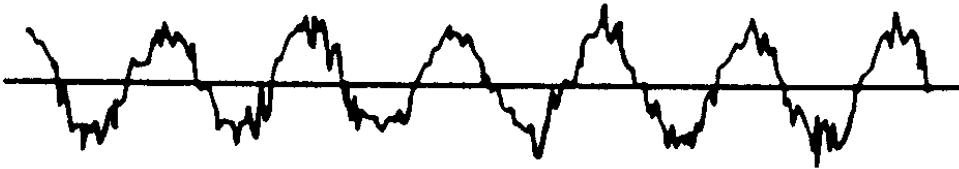
KUVA 4.3g. Jännite, joka on säröytynyt harmonisen yliaallon vuoksi (harmonic distortion).



KUVA 4.3h. Jännite, joka on säröytynyt epäharmonisen yliaallon vuoksi (non-harmonic distortion).

Verkon signaalijännitteet

Verkon perustaajuuteen summautuvat signaalijännitteet, 3...350 kHz, syntyvät viestinsiirron kanta-aaltosignaaleista, indusoituneista tutka- ja radiosignaaleista, sähköpurkauksista, valokaarilampuista, plasmaleikkureista ja purkauslampuista. Kyseiset signaalit voivat kulkeutua verkkoa pitkin häiriten radiolähettämiä, signaalinsiirtoa ja tiedonkäsittelylaitteita. Esimerkki signaalijännitteistä summautuneena perusaaltoon on kuvassa 4.3j.



KUVA 4.3j. Verkon signaalijännitteet (electric noise / mains signalling voltage).

4.4. Sähkön laadun mittarit

4.4.1. Jakelujännitteen epäsymmetria

Jännite-epäsymmetria aiheutuu yleensä verkon epäsymmetrisistä kuormista ja mahdollisesti yhden vaiheen palaneesta sulakkeesta verkossa tai kompensointiparistossa. Epäsymmetria suurentaa sähkömoottorien roottorihäviöitä ja pienentää niiden momenttia. Jotkut elektroniset laitteet, kuten tietokoneet, saattavat häiriintyä epäsymmetriasta.

4.4.2. Jännitteen tasakomponentit

Jännitteeseen tasakomponentteja synnyttävät tasasuuntaajat ja elektroninen ohjaus teollisuudessa sekä kotitalouksissa. Tasakomponenttien taso on yleensä alhainen, joten niiden käytännön merkitys on vähäinen. Mikäli tasakomponentin taso nousee jostain syystä korkeaksi, se saattaa vaurioittaa muuntajia, lisätä korroosiota liitoksissa, aiheuttaa toimintahäiriöitä maavian katkaisijoille ja muille virtaherkille piireille.

4.4.3. Toimitusvarmuus

Sähkönkäyttäjien kannalta tärkeimpiä sähkön laatutekijöitä on toimitusvarmuus. Sähkön toimituksen keskeytys on tilanne, jossa jännite on liittymiskohdassa alle 1 % nimellisestä. Keskeytykset jaetaan yleensä suunniteltuihin työkeskeytyksiin ja häiriökeskeytyksiin. Työkeskeytyksistä sähkönkäyttäjille yleensä ilmoitetaan etukäteen. Häiriökeskeytykset aiheutuvat pysyvistä tai ohimenevistä vioista, jotka liittyvät ulkopuolisiin tapahtumiin, laitevikoihin tai -häiriöihin. Häiriökeskeytykset jaetaan pitkiin yli kolme minuuttia kestäviin keskeytyksiin ja lyhyisiin enintään kolme minuuttia kestäviin keskeytyksiin. Pitkän keskeytyksen aiheuttaa yleensä pysyvä vika ja lyhyen keskeytyksen ohimenevä vika, joka poistuu jälleenkynnällä.

Verkon keskeytyksien seuranta perustuu vikojen tilastointiin keskeytys- ja vikatilastointiohjeiden mukaisesti. Näiden perusteella lasketaan verkon käyttövarmuutta kuvaavat, jakelualuekohtaiset tai muuntopiirikohtaiset tunnusluvut. Vertailemalla saatuja lukuja edellisten vuosien tilastoihin tai vastaavien muiden jakelualueiden keskiarvolukuihin voidaan arvioida toiminnan laatua.

Jakeluverkon haltijan tulee KTM:n päätöksen n:o 1637 mukaan toimittaa Sähkömarkkina-keskukselle tietoa toiminnan laadusta. Päätöksen mukaan ilmoitettavat tunnusluvut ovat verkon muuntopiirin keskeytysten keskinääräistä lukumäärää kuvaava indeksi T-SAIFI ja verkon muuntopiirin keskeytysten keskimääräisen yhteenlasketun kestoajan indeksi T-SAIDI. Tarkasteluun otetaan mukaan vain omasta verkosta aiheutuneet keskeytykset.

4.4.4. Jakelualuekohtaiset tunnusluvut

Jakelualuekohtaisissa tunnusluvuissa ei yleensä oteta mukaan pikajälleenkytkennän avulla nopeasti ohi meneviä häiriökeskeytyksiä. Jakelualuekohtaisten tunnuslukujen laskenta on seuraava:

SAIFI: verkon keskeytysten keskimääräisen lukumäärän indeksi, kpl / asiakas.

$$SAIFI = \frac{\sum n_j}{N_s}, \text{ missä}$$

$\sum n_j$ = asiakkailla olleiden keskeytysten kokonaislukumäärä ja

N_s = kaikkien asiakkaiden lukumäärä.

SAIDI: verkon keskeytysten keskimääräisen yhteenlaskettuun kestoajan indeksi tunteina asiakasta kohti.

$$SAIDI = \frac{\sum \sum t_{ij}}{N_s}, \text{ missä}$$

t_{ij} = asiakkaan j sähkötön aika keskeytyksen i johdosta,

i = keskeytyksien lukumäärä valitulla ajanjaksolla,

j = asiakkaiden määrä ja

N_s = kaikkien asiakkaiden lukumäärä.

CAIDI: verkon asiakkaan keskeytysten keskipituuden indeksi tunteina keskeytystä kohti.

$$CAIDI = \frac{\sum \sum t_{ij}}{\sum n_j}, \text{ missä}$$

t_{ij} = asiakkaan j sähkötön aika keskeytyksen i johdosta,

i = keskeytyksien lukumäärä valitulla ajanjaksolla,

j = asiakkaiden määrä ja

n_j = keskeytysten määrä.

4.4.5. Muuntopiiritason tunnusluvut

Muuntopiiritason tunnusluvuissa ei ole mukana pienjänniteverkon keskeytyksiä, joiden osuus kaikista keskeytyksistä on arviolta 5...15 %. Niiden tunnusluvut ja laskenta on seuraava:

T-SAIFI: verkon muuntopiirin keskeytysten keskimääräisen lukumäärän indeksi, kpl / muuntopiiri.

$$T-SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n mpk_i}{mp}, \text{ missä}$$

n = keskeytysten lukumäärä jakelualueella,

mpk_i = keskeytysten vaikutusalueella olleiden muuntopiirien lukumäärä ja

mp = muuntopiirien kokonaismäärä alueella.

T - SAIDI: verkon muuntopiirin keskeytysten keskimääräisen yhteenlasketun kestoajan indeksi, h / muuntopiiri.

$$T - SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^x mpk_{ij} \times h_{ij}}{mp}, \text{ missä}$$

- n = keskeytysten lukumäärä jakelualueella,
 x = kunkin keskeytyksen osa-alueiden lukumäärä,
 mpk_{ij} = keskeytysten vaikutusalueella olleiden muuntopiirien lukumäärä,
 h_{ij} = keskeytysten kesto aika tietyllä osa-alueella ja
 mp = muuntopiirien kokonaisluku jakelualueella.

T - CAIDI: muuntopiirin asiakkaan keskeytysten keskipituuden indeksi, h / keskeytys.

$$T - CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n mph_i}{\sum_{i=1}^n mpk_i}, \text{ missä}$$

- n = keskeytysten lukumäärä jakelualueella,
 mph_i = keskeytysten vaikutusalueella olleiden muuntopiirien yhteenlaskettu keskeytys-aika ja
 mpk_i = keskeytysten vaikutusalueella olleiden muuntopiirien yhteenlaskettu lukumäärä.

Keskeytykset käsitellään yleensä tapauskohtaisesti ja luokitellaan:

| | |
|---------------------------|---|
| Lyhyisiin keskeytyksiin : | ≤ 3 minuuttia, $U < 1\% \times U_n$ |
| Pitkät keskeytykset : | > 3 minuuttia, $U < 1\% \times U_n$ |
| Keskeytysten mittaus: | Tehollisarvot 10 ms välein. Luokittelu 0 - 1s, 1s - 3 min ja > 3 min mukaan |

4.4.6. Standardin tai suositusten mukainen laatu

Kansallisten standardien ja suositusten mukaan, niin Suomessa kuin monissa muissakin Euroopan maissa, sähkön laatu määritellään pääosin jännitteestä. Näissä maissa standardit pohjautuvat toistaiseksi pitkälti EN50160-standardiin ja sen kansallisiin sovelluksiin.

Jotta laatuhäiriöiden aiheuttajat kyettäisiin paikallistamaan, on kiinnitettävä huomiota myös virran laatuun. ANSI / IEEE-standardeissa näin jo tehdäänkin.

Laatua tarkastellaan pääosin liittymiskohdassa. Eri laatutekijöille määritellään laatuluokkia, joita voidaan käyttää mittaustulosten arviointiin.

Harmonisille jänniteylialloille, epäsymmetrialle ja nopeille jännitemuutoksille voidaan esittää tilastollisia arvoja, joiden rajoissa yritetään pysyä. Verkon haltijan on kuitenkin vaikea taata näitä arvoja, koska ongelmat aiheutuvat pääasiassa sähkönkäyttäjien laitteista.

Taajuus

Standardin EN50160 mukaan taajuudelle määritellään kriteerit taulukon 4.4a mukaan.

Taulukko 4.4a. Taajuuden laatukriteerit.

| | |
|-----------------|---|
| Hyvä laatu: | 50 Hz ± 1% |
| Normaalilaatu: | 50 Hz ± 1% |
| Standardilaatu: | 95 % mittauksista välillä 50 Hz ± 1% ja kaikki 50 Hz + 4% / -6 %. Saareke- tai varavoimakäytössä 95 % välillä 50 Hz ± 2 % ja kaikki 50 Hz ± 15 %. |
| Mittaus: | 10 s jaksoina viikon ajan. Mittausjaksoille lasketaan keskiarvo. |

Hitaat jännitetason vaihtelut

Taulukko 4.4b. Jännitteen laatukriteerit.

| | |
|-----------------|--|
| Hyvä laatu: | $U_n \pm 4\%$ ja keskiarvo $U_n \pm 2,5\%$. |
| Normaalilaatu: | $U_n \pm 10\%$ |
| Standardilaatu: | 95 % välillä $U_n \pm 10\%$ |
| Mittaus: | 10 min jaksoina viikon ajan |

Nopeat jännitemuutokset

Standardin EN50160 mukaan nopeille jännitemuutoksille määritetään kriteerit taulukon 4.4c mukaisesti.

Taulukko 4.4c. Nopeiden jännitteenmuutosten laatukriteerit.

| | |
|-----------------|---|
| Hyvä laatu: | $P_{st,3max} \leq 1$ $P_{lt,max} \leq 0,74$ |
| Normaalilaatu: | $P_{lt,max} \leq 1$ |
| Standardilaatu: | 95 % mitatuista P_{lt} -arvoista $\leq 0,74$ |
| Mittaus: | Manuaalisesti tai kuvan 9 avulla |
| Laskenta: | $P_{lt} = 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3}{12}}$ <p>P_{st} = lyhytaikainen häiritsevyyssindeksi. Mitataan kymmenen minuutin aikavälein.</p> <p>P_{lt} = Pitkäaikainen häiritsevyyssindeksi. Lasketaan kahdentoista kahden tunnin mittausaikaväliltä saadusta P_{st} - arvosta.</p> |

Harmoniset yliaaltojännitteet

Standardin EN50160 mukaan harmonisille yliaaltojännitteille määritellään taulukkojen 4.4d ja e mukaiset laatuksiteerit ja jännitearvot.

Taulukko 4.4d. Harmonisten yliaaltojännitteiden laatuksiteerit.

| | |
|-----------------|---|
| Hyvä laatu: | $THD \leq 3 \%$ |
| Normaalilaatu: | $THD \leq 3 \%$ |
| Standardilaatu: | $U_{nsh} \leq$ taulukon 4.4b arvot ja $THD \leq 6 \%$ |
| Mittaus: | Tehollisarvot U_{nsh} mitataan 1 tai 5 min jaksoina, joista jälkilaskennalla johdetaan 10 min jaksot viikon ajalle. |
| Laskenta: | $THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}$ <p>THD = harmoninen särö h = harmonisen järjestysluku U_h = yksittäisen harmonisen suhteellinen amplitudi verrattuna perustaajuiseen jännitteeseen u_1</p> |

Taulukko 4.4e. Harmonisten yliaaltojännitteiden arvot liittymiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina nimellisjännitteestä U_n .

| Parittomat yliaallot | | | | Parilliset yliaallot | |
|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| kolmella jaottomat | | kolmella jaolliset | | | |
| järjestysluku h | suhteellinen jännite | järjestysluku h | suhteellinen jännite | järjestysluku h | suhteellinen jännite |
| 5 | 6 % | 3 | 5 % | 2 | 2 % |
| 7 | 5 % | 9 | 1,5 % | 4 | 1 % |
| 11 | 3,5 % | 15 | 0,5 % | 6...24 | 0,5 % |
| 13 | 3 % | 21 | 0,5 % | | |
| 17 | 2 % | | | | |
| 19 | 1,5 % | | | | |
| 23 | 1,5 % | | | | |
| 25 | 1,5 % | | | | |

Taulukon arvot pätevät normaaleissa käyttöolosuhteissa. Lisäksi jakelujännitteen kokonaissärökertoimen, mukaanlukien kaikki harmoniset yliaallot järjestyslukuun 40 saakka, tulee olla pienempi tai yhtäsuuri kuin 8 %.

Standardin IEEE 519 mukaan alle 69 kV:n järjestelmässä yksittäisen jännitesärön on oltava pienempi kuin 3 % ja kokonaissärön pienempi kuin 5 %.

Harmoniset yliaaltovirrat

Standardi IEEE 519 määrittelee yleisten 120 V... 69 kV jakelujärjestelmien virtasärölle taulukon 4.4f mukaiset rajat. Periaatteena tässä standardissa on, että loppuasiakas vastaa virran harmonisia tuottavista teholaitteista ja sähkön jakelija tai tuottaja vastaa jännitteen laadusta.

Taulukko 4.4f. IEEE 519 mukaiset virtasärön rajat 120 V ... 69 kV jakelujärjestelmille.

| Maksimi virran harmoninen särö prosentteina kuormitusvirrasta I_L | | | | | | |
|---|----------|------------------|------------------|------------------|-------------|--------------------------|
| Yksittäisen parittoman harmonisen kertaluku | | | | | | Harmoninen kokonais-särö |
| Oikosulkusuhte, I_{scb} | $h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | |
| < 20 *) | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 5.0 |
| 20-49.9 | 7.0 | 3.5 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 8.0 |
| 50-99.9 | 10.0 | 4.5 | 4.0 | 1.5 | 0.7 | 12.0 |
| 100-999 | 12.0 | 5.5 | 5.0 | 2.0 | 1.0 | 15.0 |
| > 1000 | 15.0 | 7.0 | 6.0 | 2.5 | 1.4 | 20.0 |

Huom.
 parillisten harmonisten rajat ovat 25 % parittomista.
 • Esim. puoliaaltokonverttereista aiheutuvan DC - poikkeaman virtasäröä ei sallita.
 *) Kaikki tehoa synnyttävät laitteet rajoitetaan virtasärön näihin arvoihin huolimatta todellisesta I_{scb} arvosta.

Hiukan vastaavasti standardi IEC 61000-3-2 määrittää harmonisten virtojen rajat loppukäyttäjien nimellisvirraltaan alle 16 A laitteille. IEC 61000-3-6 puolestaan antaa yleisiä suuntaviivoja keski- ja suurjänniteverkkoon kytkettyjen kuormien harmonisten päästörajoiden määrittämiselle.

Jakelujännitteen epäsymmetria

Standardin EN50160 mukaan jännitteen epäsymmetrialle annetaan taulukon 4.4g mukaiset kriteerit.

Taulukko 4.4g. Jännitteen epäsymmetrian kriteerit.

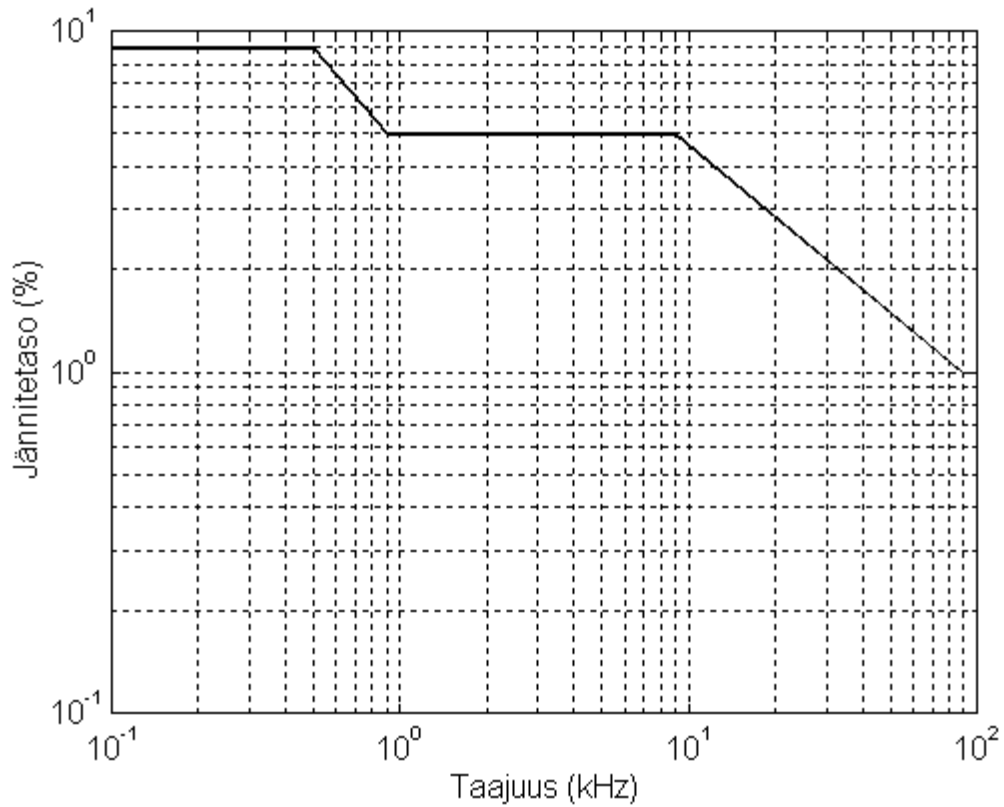
| | |
|-----------------|---|
| Hyvä laatu: | Kaikki u_{nSh} -arvot ≤ 2 %. |
| Normaalilaatu: | Kaikki u_{nSh} -arvot ≤ 2 %. |
| Standardilaatu: | Mitatuista u_{nSh} -arvot ≤ 2 %. |
| Mittaus: | 95 % vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvosta tulisi olla 0...2 % myötäkomponentista. |
| Laskenta: | $u_n = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$, missä $\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2}$ <p> u_{nSh} = näytteistä laskettu 10 minuutin arvo u_n = epäsymmetria. β = jännitekerroin U_{12} = jännite vaiheiden L1 - L2 välillä U_{23} = jännite vaiheiden L2 - L3 välillä U_{31} = jännite vaiheiden L3 - L1 välillä </p> |

Alueilla, joilla osa asiakkaista on yksivaiheisesti kytkettyjä, saattaa esiintyä kolmivaiheasiakkaan liittymiskohdassa aina 3 % epäsymmetrian jatkuvia arvoja. Koska epäsymmetriä johtuu näissä tapauksissa asiakkaan kuormista, ei verkkoyhtiö yleensä takaa, etteivät arvot joissakin tapauksissa ylittyisi.

Standardi IEEE 446 määrittelee kolmivaiheverkon maksimijännite-epäsymmetriaksi 3 %. Lisäksi standardi IEEE 141 ilmaisee moottorien ylikuumentumisen vaaran täydellä kuormalla epäsymmetrian ylittäessä 2 %.

4.4.7. Verkon signaalijännitteet

Standardin EN50160 mukaan signaalijännitteen kolmen sekunnin keskiarvon on oltava pienempi tai yhtäsuuri kuin kuvan 4.4a käyrän esittämät arvot 99 % vuorokaudesta. Taajuusalueella yli 9 kHz käyrä on määritelty vain pienjännitteelle.



KUVA 4.4a. Yleisessä jakeluverkossa signaalijännitteiden suositellut maksimitasot prosentteina nimellisjännitteestä U_n .

4.4.8. Sähkön laatustandardeja

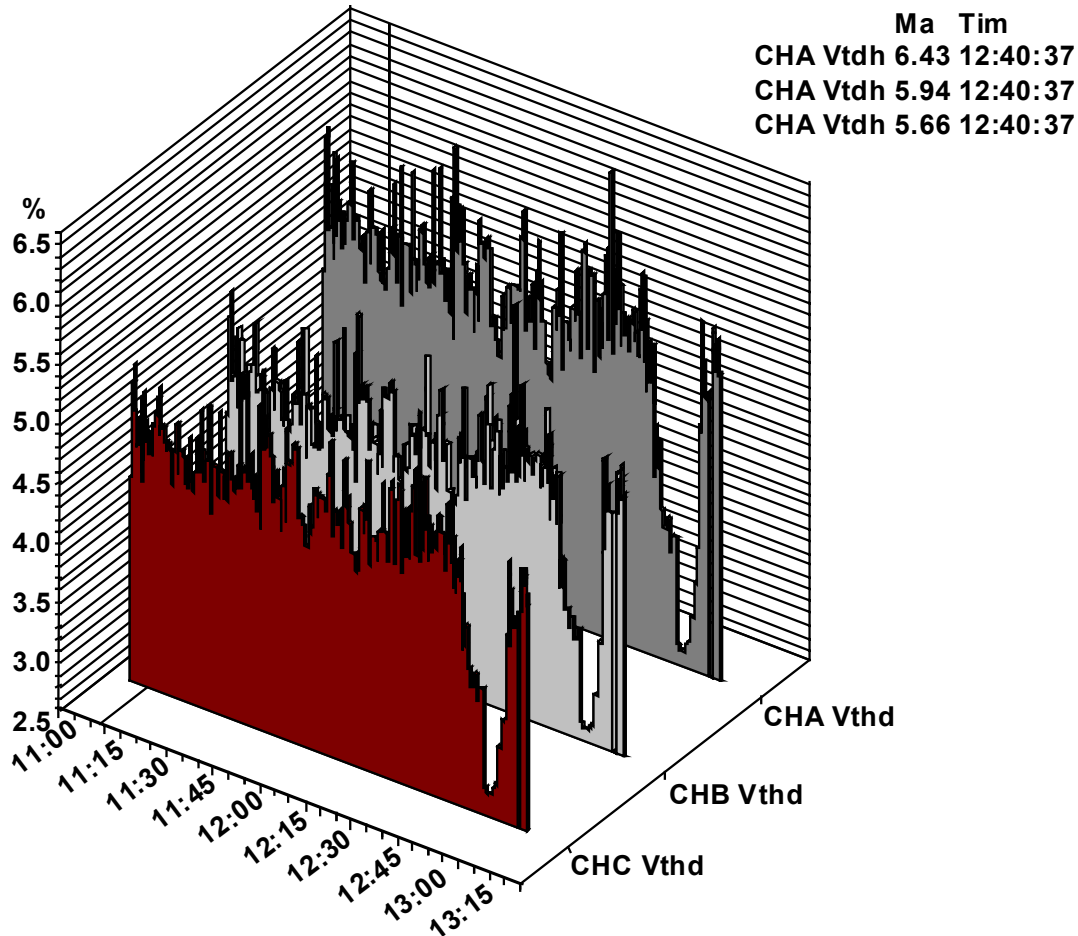
Taulukko 4.4h. Sähkön laatuun ja sen mittaamiseen liittyviä kansainvälisiä ja eurooppalaisia standardeja.

| IEC | CENELEC | SFS | Standardin sisältö |
|----------------------------|--------------|----------------------|---|
| IEC 60050(301) | | | Sähkön mittaukseen liittyviä yleisiä käsitteitä |
| | EN 50160 | SFS-EN 50160 | Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet |
| IEC 60060 | EN 60060 | SFS-EN 60060 | Suurjännitetestaustekniikat |
| IEC 60068 | EN 60068 | SFS-EN 60068 | Ympäristötestaus |
| IEC 60085 | | | Sähköisen eristeen terminen arviointi ja luokittelu |
| IEC 60186 ja IEC 60186A | | | Jännitemuuntajat |
| IEC 60255 | EN 60255 | SFS-EN 60255 | Apureleet |
| IEC 60529 | EN 60529 | SFS-EN 60529 | Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi) |
| IEC 60695 | EN 60695 | SFS-EN 60695 | Palavuustestaus |
| IEC 60868 | EN 60868 | SFS-EN 60868 | Välkyntämittaus |
| Amendment 1 | | | |
| IEC 60801-2 | EN 60801-2 | SFS-EN 60801-2 | Sähköstaattisiin purkauksiin liittyvät vaatimukset |
| IEC 61000 | | | Sähkömagneettinen yhteensopivuus |
| IEC 61000-1 | | | Yleistä sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta |
| IEC 61000-1-1 | | | Peruskäsitteiden soveltaminen ja tulkinta |
| IEC 61000-2 | | | Sähkömagneettinen ympäristö |
| IEC 61000-2-1 | | | Sähkömagneettinen ympäristö sähkönjakelujärjestelmässä, erilaiset häiriötyypit |
| IEC 61000-3 | | | Häiriöiden päästörajat |
| IEC 61000-4 | | | Häiriönsietotestaus ja häiriöiden mittaus |
| IEC 61000-4-7 | EN 61000-4-7 | SFS- EN 61000-4-7 | Yleisiä ohjeita harmonisten ja epäharmonisten yliaaltojen mittaamiseen sekä sähkönjakelujärjestelmien ja niihin liittyvien laitteiden instrumentointiin |
| IEC 61036 | EN 61036 | SFS-EN 61036 | Staattiset pätöenergiamittarit (luokat 1 ja 2) |
| CISPR 22 | EN 55022 | SFS-EN 55022 | Tietotekniikan laitteiden radiohäiriöiden raja-arvot ja mittausmenetelmät |

Taulukko 4.4j. Sähkön laatuun ja sen mittaamiseen liittyviä ANSI/IEEE -standardeja.

| | |
|------------------------|---|
| ANSI/IEEE C57.110-1986 | Suosittelut käytäntö muuntajan tehonsyöttökäyvyyden määrittämisessä epäsinimuotoisilla kuormitusvirroilla |
| IEEE Std 1159-1995 | Suosittelut käytäntö sähkön laadun seurannassa |
| IEEE Std 519-1992 | Suosittelut käytäntö ja vaatimukset sähköjärjestelmien harmonisten hallinnassa |
| IEEE Std 141-1993 | Suosittelut käytäntö teollisuuslaitosten sähkönjakelussa |
| IEEE Std 446-1987 | Suosittelut käytäntö teollisuuden ja kaupan hätä- ja varavoimajärjestelmistä |

4.5. Sähkön laadun mittaus



KUVA 4.5a. Jännitesäröt.

Kuvassa 4.5a voidaan todeta kompensointikondensaattoreiden vaikutus jännitteen kokonaissäröön THD. Kondensaattoreiden ollessa kytkettyneenä on jännitesärö n. 6 % ja poiskytkettynä n. 2,5 % (ks. kuvassa näkyvä kuoppa). Jännitesärölle on annettu eri standardisointikeskusten välillä eri arvoja, mutta 5 % PJ-verkossa voidaan yleisesti pitää hyvän ja huonon laadun rajana.

ABB :n mittauspalvelu

Mittauspalvelu sisältää:

- kenttämittaukset,
- tarvittavat mittalaitteet,
- raportoinnin parannusehdotuksineen,
- laitteistotoimitukset ja
- korjatun sähköverkon tarkistusmittaukset.

Mittauksilla saadut hyödyt

- yliaaltopitoisuuksien kartoitus,
- yliaaltosuodatuksen suunnittelu,
- loistehon kompensoinnin optimointi = loistehomaksujen minimointi,
- transienttien mittaus ja häiriötilanteiden selvitys,
- em. tilanteiden eliminointi,
- mahdollisten laitevaurioiden paikallistaminen,
- sähkömagneettikenttien paikallistaminen ja niiden eliminointi ja
- verkon laajennettavuuden toteaminen ja suunnittelu.