

Energia- ja yliaalto-opas

Kaikki sähkölaadusta



Teho ja tehon mittaus

Talous ja tehokkuus ovat keskeisessä osassa teollisuudessa. Energian luontiin, siirtoon ja jakeluun liittyvät kustannukset ovat korkeat. Näin ollen on kiinnostavaa pystyä tehokkaasti valvomaan sähkön kulutusta.



Sähköteollisuuden ensisijainen tavoite on aina pystyä vastaamaan asiakkaan vaihteleviin energiatarpeisiin. Energiantarve kasvaa sekä kooltaan että monimutkaisuudeltaan sähköverkkoon tehtävien muutosten sekä laajennusten myötä. Tämä tarkoittaa myös kustannusten nousua. Sähköverkoille suoritettavat mittaukset ja valvonta ovat välttämättömiä erilaisten käyttökatkosten sekä materiaalivikojen aiheuttamien korkeiden kustannusten takia.

- Sähköyhtiöt tuottavat taloudellisista syistä suhteellisen korkeajännitteistä sähköä (> 1 kV).
- Korkeajännite muutetaan kuluttajille sopivaksi matalajännitteeksi muuntajien avulla.
- Tämä takaa paremman turvallisuuden ja saatavuuden sekä kaupallisessa että teollisessa käytössä.
- Turvallisuus on energianjakelun tärkein tekijä. Turvallinen sähkönjakeluverkko vaatii tietämystä, ennaltaehkäisevää kunnossapitoa ja sähköverkon valvontaan sekä analysointiin soveltuvia mittalaitteita.

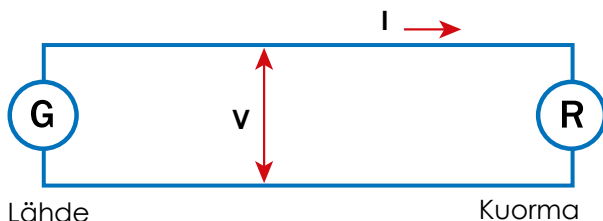
Mitä on sähköteho?

Teholla tarkoitetaan sitä energian määrää, mikä kulutetaan tai tuotetaan aikayksikköä kohden. Tehon tunnuksena käytetään usein kirjainta **P** ("power"). Tehon SI-yksikkö on watti (**W**). Joskus voi törmätä myös käsitteisiin *pätöteho*, *loisteho* ja *näennäisteho*.

- *Pätöteho (P)* on varsinaista työtä tekevä teho.
- *Loisteho (Q)* ei tee työtä. Loistehon yksikkö on **VA** (suomeksi "vari").
- *Näennäisteho (S)* on jännitteen ja virran tehollisarvojen tuote. Näennäistehon yksikkö on **VA** (volttiampeeri).

Pätöteho

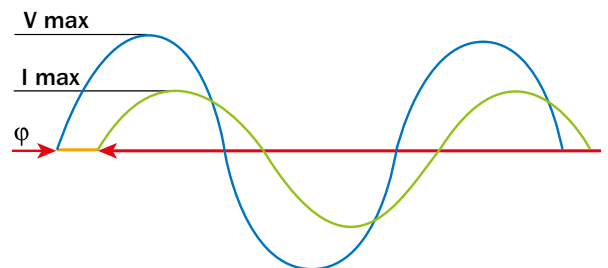
Kuorman **R** kuluttama teho on luodun jännitteen **V** ja virran **I** tuote. Lähde **G** määrittää virran suunnan (kuva 1).



Kuva 1: Virran ja jännitteen suunta

Mikäli kuorma on puhtaasti resistiivinen on pätöteho yhtä kuin näennäisteho. Jos kuorma on induktiivinen tai kapasitiivinen, saadaan **U**:n ja **I**:n välille vaihesiirtymä (Kuva 2). Tätä kulmaa kutsutaan vaihekulmaksi.

Vaihesiirtymä ϕ jännitteen ja virran välillä voi olla joko positiivinen (virta sijaitsee "edellä") kapasitiivisella kuormalla tai negatiivinen (virta sijaitsee "takana") induktiivisella kuormalla. Vaihesiirtymää ei synny (jännite ja virta ovat samanvaiheiset), mikäli kuorma on resistiivinen.



Kuva 2: Jännitteen ja virran välinen vaihesiirtymä

Sinimuotoinen jännite **V** ja virta **I** voidaan ilmaista seuraavanlaisesti:

$$V = U_{\max} \cos \omega t$$

$$I = I_{\max} \cos (\omega t - \phi)$$

Jossa ω on kulmanopeus:

$$f (\omega = 2 \cdot \pi \cdot f), T = 1/f$$

Hetkellisen vaihejännitteen arvo:

$$P = \sqrt{2} \cdot U_{\max} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\max} \cdot \sin (\omega t) \cdot \sin (\omega t - \phi)$$

Yksinkertaistamalla saadaan:

$$P(1 + \sin \cdot 2 \cdot \omega t) + Q \cdot \sin \cdot 2 \cdot \omega t$$

jossa:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ on pätöteho ja}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ on loisteho}$$

Tämä tarkoittaa, että yksivaiheinen pätöteho värähtelee keskiarvolla P ja tämä voi vaikuttaa negatiivisesti yksivaiheisiin laitteisiin. Värähtelyt kumoavat vaiheittain toisensa kolmivaiheisena ja ongelma häviää.

Näennäisteho, loisteho ja tehokerroin

Jännitteen ja virran väliselle vaihesiirtymälle φ pätee:

$$\text{Loisteho: } Q = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin \varphi$$

jonka yksikkö on **Var** (volt-ampere reactive).

$$\text{Näennäisteho: } S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

jonka yksikkö on **VA** (volttiampeeri tai kilovolttiampeeri kVA) ja joka on tehollisarvojen U_{eff} ja I_{eff} tulo.

$$\text{Tehokerroin: } \cos \varphi = P/S = P/(U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}})$$

Tehokerroin on piirissä kulutetun pätötehon ja virtalähteen tuottaman näennäistehon välinen suhde.

Mikäli P ja Q tunnetaan, voidaan näennäisteho ja tehokerroin laskea näiden perusteella:

$$\text{Näennäisteho: } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\text{Tehokerroin: } PF = P/S = P/\sqrt{P^2 + Q^2}$$

Suureiden *pätöteho*, *loisteho* ja *näennäistehon* tunteminen on olennaista, jotta sähköverkkojen ja asennusten mitoittaminen sekä vianhaku olisi mahdollista.

Energiankulutus

Sähköverkossa ajan mittaan kulutetun sähkön määrää kutsutaan *energiansiirto*ksi.

Mikäli energiansiirto on epäsäännöllistä, tulee sähkölaitoksilla olla korkeampi kapasiteetti jatkuvaan kulutukseen verrattuna. Kapasiteetin tulisi olla riittävä, jotta selviäminen nopeista nousuista energiansiirtotilanteissa olisi mahdollista.

Watt ja **Var** antaa hetkellisen kuvan tehonkulutuksesta tietyssä ajankohtana. Näiden vaihdellissa huomattavasti ajanjakson aikana on välttämätöntä, että tehonkulutus integroidaan suhteessa aikaan energiansiirtotilanteiden tarkastamiseksi. Energiansiirtotilanteiden perussuure on wattitunti (**Wh**) tai kilowattitunti (**kWh**). Tämä arvo vastaa 1000 W:n kulutusta tunnin aikana.

Tavallisia sähköverkkorakenteita

Yksivaiheverkko

Yksivaihejärjestelmä, joka toimittaa sähköä asuinalueelle, koostuu kaapelista kolmella johtimella (vaihe, nolla ja suojamaa), mikä syötetään 230 V:n jännitteellä.

Kolmivaiheverkko kolmella johtimella

Tämän tyyppisten järjestelmien syöttöjännite on 230/400 V ja niitä kutsutaan usein *kolmiokytketyiksi verkoiksi* ("deltakytkentä"). Johdinten välinen jännite on yhtä kuin pääjännite. Nämä kolme jännitteistä johdinta omaavat sisäisen vaihesiirtymän: 120°.

Kolmivaiheverkko neljällä johtimella

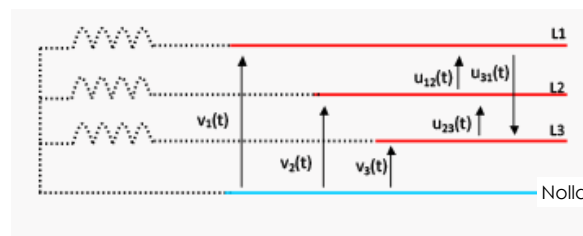
Järjestelmää kutsutaan myös *tähtikytkennäksi* ("Y-kytkentä"), jonka syöttöjännite on 230/400 V. Tämä koostuu kolmesta virrallisesta johtimesta sisäisellä 120°:n vaihesiirtymällä sekä nolajohtimella. Asunnoissa toimistoissa ja muissa pienemmissä asennuksissa kytketään laitteet vaihejohtimen ja nolajohtimen välille.

Suurin osa Suomessa sijaitsevista asennuksista ovat pääsääntöisesti kolmivaiheasennuksia vaihtovirralla.

Tyypillinen jännite:

Pääjännite = 400 V

Vaihejännite = 230 V



Kuva 3: Kolmivaihejakelujärjestelmä.

Teoriassa:

- näiden kolmen jännitteen amplitudit ovat yhtä suuria,
- vaiheiden välinen vaihekulma on 120 astetta,
- jännite on täydellinen siniaalto.

Käytännössä tämä ei pidä paikkansa. **Epätasapaino** ja **THD** (harmoninen kokonaissärsö) tulee mitata vian määrittämiseksi.

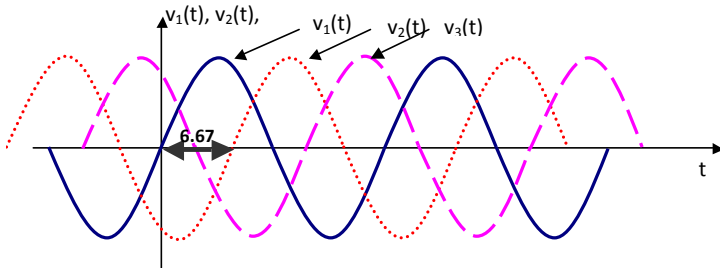
Vaiheen ja nolajohtimen välillä mitattuja jännitteitä kutsutaan vaihejännitteiksi. Vaiheiden välisten jännitteiden, pääjännitteiden ja vaihejännitteiden välinen suhde on seuraavanlainen:

$$u_{12}(t) = v_1(t) - v_2(t) = V\sqrt{2}\sqrt{3} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{23}(t) = v_2(t) - v_3(t) = V\sqrt{2}\sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$u_{31}(t) = v_3(t) - v_1(t) = V\sqrt{2}\sqrt{3} \sin(\omega t + \frac{5\pi}{6})$$

Pääjännitteiden amplitudit (ja RMS-arvot) ovat $\sqrt{3}$ suurempia kuin vaihejännitteet. Kolmen komponentin summa kolmivaihejärjestelmässä on 0.



Kuva 4: Kolmivaihejännite

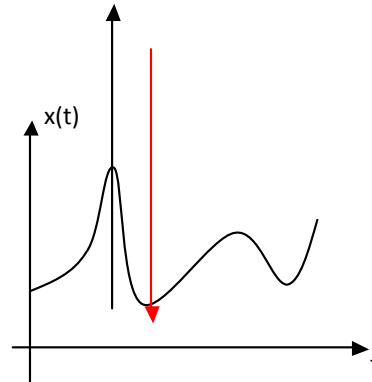
Kolmivaihejärjestelmä koostuu kolmesta peräkkäisestä sinisignaalista, joiden siirtymä on **6,67 ms** ($20 \text{ ms}/3$) (kuva 4).

Kolmivaiheverkko viidellä johtimella (TN-C-S-kytkentä)

Suomessa kotitalouksissa käytetään yleensä TN-C-S-järjestelmää. Tämä tarkoittaa sitä, että ryhmäkeskukseen kulkee yhdistetty suojamaa- ja nollajohdin. Johtimet jaetaan erillisiin suojamaa- ja nollajohtimiin ryhmäkeskuksissa (sähkökeskus).

Aikaan perustuva signaalin näyttö

Sähkösignaalit esitetään oskillogrammissa. Signaali koostuu sähköisten suureiden (jännite tai virta) vaihtelevista ajan funktiona. Nämä signaalit vaihtelevat jatkuvasti ajan myötä.



Kuva 5: Jännite- tai virtasignaali

Ajan funktiona näytettävä jännite- tai virtasignaali (kuva 5) voidaan ilmaista seuraavan matemaattisen funktion avulla:

$$t \rightarrow x(t)$$

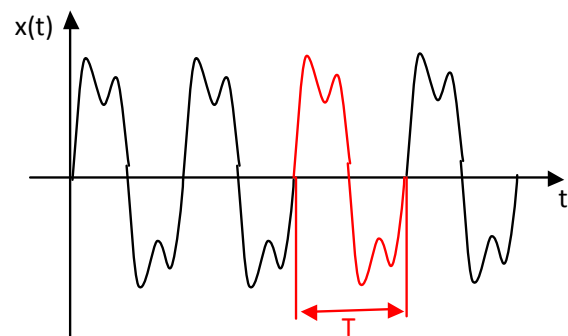
jossa $x(t)$ kuvaa signaalin arvoa joka kerta tämän yllätyössä ajan t . Tätä kutsutaan yleensä **jatkuvaksi arvoksi**.

Jaksollinen signaali

Signaali $x(t)$ on **jaksollinen** (kuva 6) kun:

$$x(t+T) = x(t)$$

Kahden ajan välistä aikaväliä (samoilla ominaisuuksilla) kutsutaan **T-jaksoksi**.



Kuva 6: Jaksollinen signaali

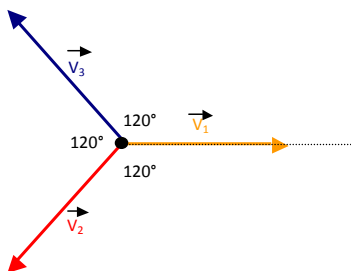
FFT (Fast Fourier Transform)

Signaalin ollessa jaksollinen mutta ei sinimuotoinen, (mikä käytännössä usein pitää paikkansa), voidaan laskennassa käyttää avuksi FFT-analyysia. Signaali jaetaan matemaattisesti eri sinisignaaleihin eri taajuuksilla ja monimutkaista signaalia voidaan tarkastella eri taajuuksisten amplituidien perusteella. Taajuudet ovat yleensä perustaajuuden (50 Hz Suomessa) kerannaisia.

Tämä helpottaa signaalille suoritettavien laskelmien sekä analyysin tekoa.

Signaalien vektoriaalinen esitys

Fresnel-kuvaajan (vaihejärjestys- tai vektorikuvaaja) avulla esitetään sini- tai kosinista signaalin amplitudi sekä vaihesiirto yksinkertaisella tavalla (kuva 7).



Kuva 7: Kolmivaihejärjestelmän vektorikuvaaja

Sinimuodon virta- ja jännitesuhteen vektoriaalinen esitys on yksinkertainen tapa tarkastella ainoastaan signaalin vaihekulmaa sekä amplitudia. Tätä tulosta voidaan myös hyödyntää käytettäessä monimutkaisia lukuja.

Vektorikuvaaja

Vaihejärjestyksen näyttö on mahdollista ainoastaan sinimuotoisille signaaleille. Sinisignaali $x(t)$ ilmaistaan seuraavaan kaavan avulla:

$$x(t) = X \sin(\omega t + \varphi)$$

jossa:

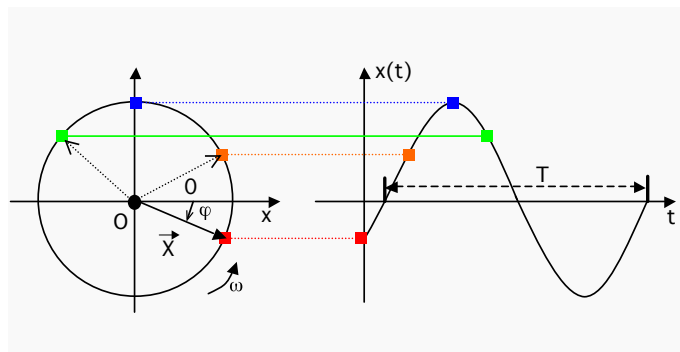
X edustaa sinimuotoisen signaalin amplitudia

ω edustaa sinimuotoisen signaalin kulmanopeutta

φ edustaa sinimuotoisen signaalin vaihesiirtymää

Kuvaaja esittää origoa kulmanopeudella ω kiertävän amplitudivektorin \vec{X} ja vastaavan aika-akselilla sijaitsevan signaalin välistä suhdetta (kuva 8).

φ on perusvaihe ($t = 0$).



Kuva 8: Vektorin \vec{X} ja signaalin $x(t)$ välinen suhde

Vektorikuvaajassa sijaitseva vaihesiirtymä φ antaa vektorin suunnan, josta voidaan saada signaalin amplitudi tietyllä hetkellä.

TRMS ja RMS

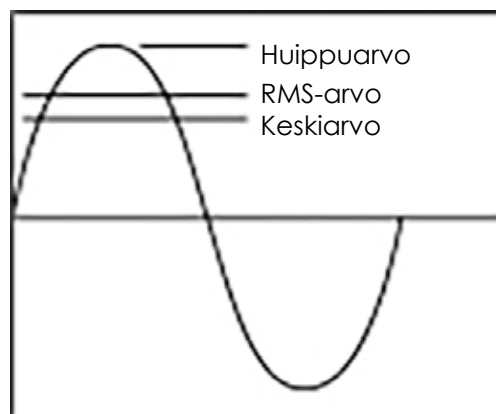
Termiä **RMS** (root-mean-square) käytetään puhuttaessa vaihtovirrasta (AC). Tämä tarkoittaa "vastavaa" tai "tehokasta" ja vastaa vastaavan arvoisen tasavirran (DC) suorittamaa työmäärää.

Termiä RMS (AC) tarvitaan kuvaamaan vaihtovirran arvoa, jonka amplitudi ja napaisuus vaihtelevat säännöllisin aikaväleihin. RMS-mittaus antaa tarkemman kuvan virta- ja jännitearvoista, mikä on erittäin tärkeää epälinearisille (vääristynyt) signaaleille.

Kuormitukset sähköverkossa olivat aikaisemmin lineaarisia. Impedanssi on vakio lineaariselle kuormitukselle ja riippumaton jännitteestä. Sähköverkossa esiintyvien epälineaaristen kuormitusten määrä on lisääntynyt huomattavasti erilaisten tietokoneiden ja moottoreiden käytön yleistyttyä.

Keskiarvon näyttö sekä RMS-mittalaite

Epäsinimuotoisen jännitteen ja virran mittaaminen vaatii TRMS-laitteen. Tavalliset mittalaitteet mittaavat käyrän amplitudin keskiarvon (kuva 9).



Kuva 9: Puolijakson Huippu-, RMS- ja Keskiarvo

Monet markkinoilta löytyvät laitteet laskevat keskiarvon ja huippuarvon kertomalla mittausarvon 1,11:lla ja vastaavasti 0,707:lla. Tämän tyyppinen laite antaa oikean kuvan käyrästä, mikäli tämä on täysin sini-muotoinen (minkäänlaista häiriötä ei saa olla läsnä). Kun häiriöitä ilmenee, muuttuu luetun RMS-arvon ja TRMS-arvon välinen suhde huomattavasti. Laite voi joissain tapauksissa ilmoittaa jopa 25-45 % alle oikean arvon. Ainoastaan TRMS-mittalaitteet antavat oikean kuvan epäsinimuotoisesta käyrästä.

RMS (TRMS)-mittalaite ottaa näytteitä signaalista useina eri ajankohtina, korkealla näytteenototaajuudella, minkä ansiosta saadaan tarkka ja luotettava kuva myös häiriintyneistä signaaleista. Sisäänrakennetut mikroprosessorit ottavat näytteitä ja moduloivat jokaisen näytteen. Arvo lisätään edelliseen näytteeseen korotettuna toiseen. Tämän jälkeen lasketaan neliöjuuri saadusta summasta. Tulokseksi saadaan TRMS-arvo, riippumatta signaalilla sijaitsevien häiriöiden määrästä.

Huippukerroin

Huippukerroin (crest factor) on signaalin huippuarvon ja RMS-arvon välinen suhde.

Huippukerroin (CF) = Huippuarvo / RMS-arvo

Huippukerroin ilmaisee laitteen kykyä käsitellä vääristynyttä signaalia ilman mittausvirheiden syntymistä. Puhtaan siniaallon huippukerroin on 1,414. Mitä korkeampia huippukertoimia laite pystyy mittaamaan, sitä paremmin se kykenee myös mittaamaan komplekseja signaaleja. Kun yliaaltoja esiintyy, voi huippukerroin (kanttiaallon huippukerroin on 1) olla pienempi tai suurempi kuin 1,414.

Symmetriset ja epäsymmetriset järjestelmät

Vaihtovirtajärjestelmä useammalla kuin kahdella johtimella on symmetrisesti kuormitettu, mikäli jokaisessa johtimessa kulkee yhtä paljon virtaa. Monet järjestelmät ovat tänä päivänä epäsymmetrisiä johtuen siitä, että jokin vaihe kuluttaa enemmän tai vähemmän virtaa kuin muut vaiheet. Tämä tapahtuu usein sähköverkon laajennustöiden yhteydessä, ottamatta huomioon vaiheiden välisiin, tasaisiin kuormituksiin tai useiden epälineaaristen kuormitusten kytkentä samaan järjestelmään.

Häiriöitä sähköverkossa

Välkyntä

Välkyntä (määritetään IEC/EN-standardin mukaisesti) on pienistä jännitevaihteluista aiheutuva vaihtelu valon voimakkuudessa.

Terveys- ja sairaanhoito-organisaatiot kiinnittivät ensimmäisinä huomion välkyntään. Välkkyvä valo, eli välkyntä, aiheuttaa ihmisille sekä fyysisiä että psyykkisiä ongelmia. Mitä lähempänä valonlähde sijaitsee häiriötä aiheuttavaa kuormitusta, sitä intensiivisempää on kyseisen valon välkyntä.

Välkynnän taso voidaan ilmaista kahden eri suureen avulla, voimassa olevan standardin mukaisesti:

- **PST** (lyhytaikaisvälkyntä):

PST:n laskentaa käytetään välkynnän tason tarkasteluun. Tämä mitataan 10 minuutin ajan.

- **PLT** (pitkäaikaisvälkyntä):

Joka on PST:n kerrannainen. Tämä mitataan 2 tunnin ajan.

Mikä aiheuttaa välkyntää ja miten tältä vältytään?

Välkynnän aiheuttajina toimivat erilaiset kuormitukset ja tämä muodostaa pysyvän muutoksen sähköverkkoon. Joissain tapauksissa on käynyt ilmi, että jotkin jänniteyliaallot aiheuttavat välkyntää. Nämä vaihtelut ovat helposti havaittavissa, näiden sijaitessa 0,5-25 Hz:n alueella.

Alla muutama konkreettinen esimerkki välkyntää aiheuttavista tekijöistä:

- toimistolaitteet
- LED-lamput
- tuuliturbiinit
- hitsauslaitteet ja valokaariuunit
- moottoreiden käynnistäminen/sammuttaminen sekä moottorit, joiden nopeus vaihtelee

Välkynnältä voidaan välttyä (tai ainakin vähentää) seuraavanlaisesti:

- vähentämällä loistehoa staattisen VAr-kompensoinnin avulla
- asentamalla kondensaattoriparistoja
- vähentämällä käynnistysvirtoja
- vähentämällä käynnistysten/sammutusten määrää

Transientit

Transientit voidaan jakaa värähteleviin ja impulsiivisiin transientteihin:

Värähtelevillä transienteilla on nopea nousuaika ja ne pienenevät eksponentiaalisesti. Näillä transienteilla on matalampi energia-arvo (verrattuna impulsiivisiin transientteihin), taajuusalue on laaja ja niiden kesto voi olla useampia millisekunteja.

Impulsiivisilla transienteilla on nopea nousu- ja laskuaika. Energiapitoisuus ja taajuus ovat korkeita. Näiden kesto voi vaihdella mikrosekunneista millisekunneihin.

Syitä & suojaustoimenpiteet

Transientit voivat syntyä salamaniskun tai sähkölaitteiden käynnistämisen/sammuttamisen seurauksena. Transientit voivat vaurioittaa sähkölaitteita. Transienteilta voidaan suojautua mm. seuraavin menetelmin:

- kunnollinen maadoitus
- transienttien vaimennus
- rinnakkain kytkettyjen epälineaaristen suojiin avulla

Yli- ja alijännite

Yli- ja alijännitteet ovat jännitteitä, jotka vaihtelevat koko ajan ja koostuvat 90-110 % referenssijännitteestä. Tämä vastaa 207-252 V ja tapahtuu 10 min intervalleissa.

Nämä jännitevaihtelut voivat johtua:

- väärin asennetuista käänkytkimistä
- väärin mitoitetusta vaihekompensoinnista
- rikkinäisistä kytkennöistä tai johtimista
- epätasapainoisista vaiheista

Jännitteen laskut ja jännitekuopat

Jännitteen laskut ja jännitekuopat ovat äkkinaisia vaihteluita pätö- tai loistehon käytössä. Nämä käsittävät yli 10 %:n laskuja verrattuna nimellisjännitteeseen. Jännitekuoppien kesto vaihtelee välillä 10 μ s - 90 s. Nämä tapahtumat ovat toisin sanoen katkoksia, joissa jännite laskee 0 V:iin.

Monet kokevat, että jännitteen laskut ja jännitekuopat ovat kaikista vakavimpia häiriöitä, näiden aiheuttaessa pahimmillaan kalliita katkoksia tuotannossa.

Syitä ja toimenpiteitä

Jännitteen laskujen ja kuoppien aiheuttajia ovat yleensä esim. salaman iskut, äkilliset muutokset kuormituksessa, tietokoneet ja sähkölaitteet (koneet, hitsauslaitteet, vialliset kaapelit, maadoitusviat).

Jännitteen laskujen ja kuoppien aiheuttamien vikojen ennaltaehkäisemiseksi voidaan suorittaa seuraavat toimenpiteet:

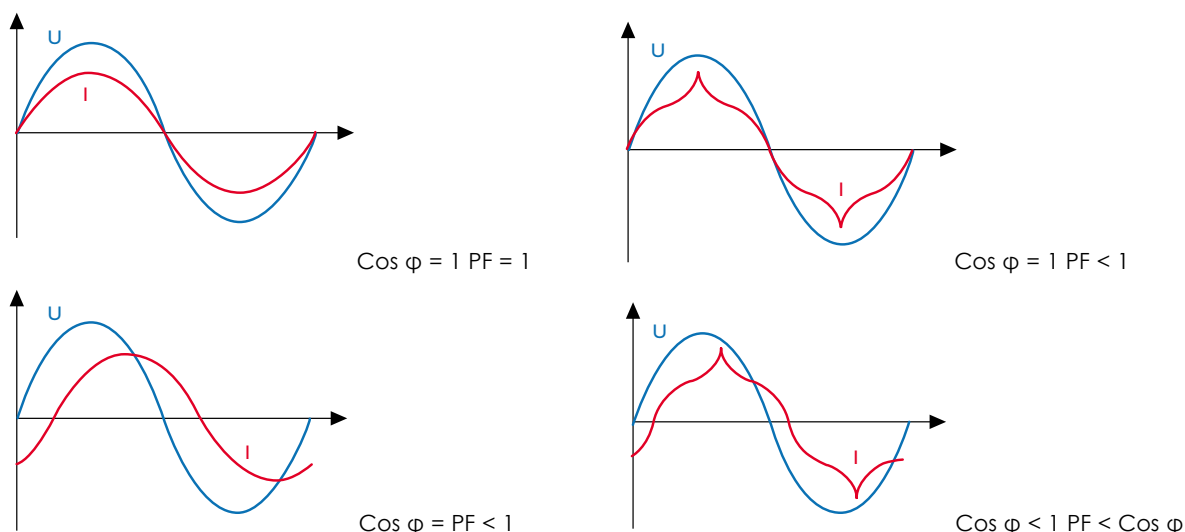
- kompensointi
- verkon vahvistaminen
- maadoituksen parantaminen
- virranrajoituksen parantaminen

Yliaallot

Aikaisemmin sähkönlaatu oli osoitus siitä, miten hyvin sähköyhtiöt toimivat sähköä asiakkailleen ilman katkoksia. Termi käsittää nykyään kaikkia siniaalloista poikkeavia tapahtumia, eli transienteja sekä jatkuvia häiriöitä.

Yliaallot ovat esimerkki jatkuvista häiriöistä ei-toivottuun seurauksiin. Yliaaltoja voi esiintyä virrassa ja/tai jännitteessä. Arvioltaan 60 % kaikista sähkölaitteista käyttää epälineaarista virtaa (kuva 10).

Sähköyhtiöt investoivat vuosittain suuria summia rahaa taatakseen, että heidän toimittama jännite on mahdollisimman sinimuotoista. Mikäli käyttäjä kytkee järjestelmään resistiivisen kuormituksen (esim. hehkulampun), tulee myös saatu virta olemaan sinimuotoista. Mikäli kuormitus on epälineaarinen, mitä se yleensä on, tulee virta kulkemaan lyhyissä pulsseissa ja virtakäyrä häiriintyy. Kokonaisvirta koostuu perustaajuudesta sekä kaikista yliaalloista.



Kuva 10: Lineaarinen ja epälineaarinen virta

Perustaajuudella sijaitsevat yliaallot aiheuttavat mm.:

- vikoja kondensaattoreissa
- sähköistä resonanssia
- ylikuumenemista sähkömoottoreissa
- vikavirtasuojakytkinten laukeamisia
- häiriöitä sähköisissä laitteissa
- tehokertoimen (PF) pienenemistä

Yliaallot voivat aiheuttaa helposti havaittavissa mutta vaikeasti diagnoitavissa olevia ongelmia.

On tärkeää ymmärtää miten yliaallot syntyvät ja näin ollen pystyä vaikuttamaan aktiivisesti niiden havaitsemiseen ja valvontaan. Yliaaltojen määrä sähköjärjestelmässä vaihtelee huomattavasti eri osien välillä. Yliaallot voivat vaikuttaa järjestelmään suorien järjestelmäkytkentöjen tai kapasitiivisten tai induktiivisten kytkennän välityksellä.

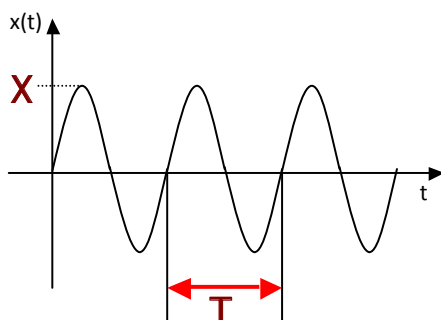
Johtuen elektroniikan lisääntyneestä käytöstä, on virtayliaalloja aiheuttavien laitteiden määrä nousut huomattavasti. Yliaalloista johtuvat ongelmat kasvavat laitteissa käytettävien diodien lisääntyneen käytön myötä. Tämän tyyppiset laitteet kuluttavat lyhyen virtapulssin ainoastaan sinikäyrän huippu-arvojen kohdalla. Kondensaattori latautuu tällä tavalla jännitteen huippuarvolla. Laitteistoon syötetään kondensaattorin kautta tasavirtaa, minkä seurauksena virtakäyrä häiriintyy. Korkeataajuuksisia yliaalloja esiintyy tämän seurauksena 50 Hz:n perustaajuudella. Nämä yliaallot ovat perustaajuuden kerrannaisia ja häiriötasolla on suora yhteys yliaallon taajuuteen ja amplitudiin.

Signaali voidaan FFT:n avulla jakaa tämän taajuuskomponentteihin ja spektri esittää näin ollen amplitudit eri taajuuksilla.

Kun kyseessä on puhdas sinisignaali (kuva 11), ilmaistaan tämä seuraavan kaavan mukaisesti:

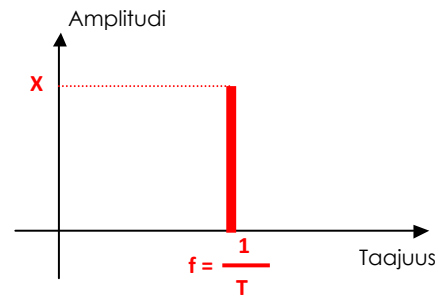
$$x(t) = X \sin \omega t$$

Alla sinisignaali, jonka amplitudi on X ja kulmataajuus ω .



Kuva 11 : Sinisignaali

Sähköverkoille tehtävän analyysin osalta olennaisen tiedon avulla voidaan signaalille suorittaa Fourier'n muunnos ja esittää tämä kuvaajassa: amplitudi y-akselilla ja taajuus x-akselilla. Signaali nimetään $x(t)$:n sijaan $X(f)$:ksi (kuva 12). Koska kyseessä on puhdas sinisignaali, näytetään ainoastaan yksi pylväs, joka edustaa amplitudeja taajuudella f .



Kuva 12: Signaalin spektri

Yliaaltojen järjestysluku

Yliaallot ovat komponentteja, joiden taajuus (f_n) on perustaajuuden kokonaisluvun kerrannainen ($f_1 = 50$ Hz). Yliaalloille osoitetaan sijanumero.

Järjestyksessään toinen yliaalto omaa taajuuden 50×2 Hz, eli 100 Hz. Kolmannen yliaallon taajuus on 150 Hz jne. alla olevan kaavan mukaisesti:

$$f_n = n \times f_1$$

Nämä yliaallot aiheuttavat säröä (vääristymää) sinisignaaliin (kuva 13). Järjestyksessään kolmas yliaalto on kaikista tavallisin ja sen aiheuttajana toimii yksivaiheiset dioditasasuuntaajat kapasitiivisella suodatuksella. Tasapainoiset kolmivaihekuormat, jotka ovat symmetrisiä mutta epälineaarisia, ilman nol-lakytkeä eivät aiheuta järjestyksessään kolmatta yliaalloa johtimessa.

Nollavirran RMS-arvo voi olla vaihevirran arvoa suurempi. Nollajohtimen pinta-ala tulee näin ollen olla kaksi kertaa suurempi kuin vaihejohtimen pinta-ala.

Muita ratkaisuja tähän ongelmaan ovat reaktanssien tai yliaaltosuodattamien asennus.

Harmoninen kokonaissärö ja särökerroin

Virran yliaaltojen ja perustaajuuden välistä suhdetta kutsutaan harmoniseksi kokonaissäröksi tai **THD**:ksi (Total Harmonic Distortion). THD-arvo mitataan prosenteissa perustaajuudesta ja tämän tulisi olla alle 10 % ollakseen hyväksyttävällä tasolla.

THD-arvo saadaan ottamalla neliöjuuri yhteenlaske-tuista yliaallotaajuuksista ja jakamalla saatu summa perustaajuudella (50 Hz). Laskelma antaa häiriöar-von prosenteissa perustaajuudesta.

THD-arvojen laskentakaavat:

$$THD-U(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n U_n^2}}{U_1} \times 100 \quad THD-I(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n I_n^2}}{I_1} \times 100$$

Toinen käytännöllinen parametri on **särökerroin**, **DF %**. DF % on matemaattisesti yliaaltojen RMS-arvojen summa ja yhdistetyn signaalin välinen suhde prosenteissa. Särökertoimen arvo ei voi koskaan olla yli 100 %. Termi on erittäin käytännöllinen ja se löytyy myös kansainvälisestä standardista IEC-555.

Yliaaltojen havaitseminen ja mittaaminen

Yliaaltoanalyysi tarkoittaa, että mittaukset suoritetaan sähkölaitteiden tuottamien virtayliaaltojen taajuuksien ja laajuuden tunnistamiseen. Useimmat epälineaarisiin yliaaltoihin liittyvät ongelmat ovat luetussa suoraan mittalaitteelta (esim. CA8336, F607). Nollajohtimessa sijaitseva korkea virta on havaittavissa TRMS-yleimittarin avulla:

Mittaa jokaisen vaiheen ja nollajohtimen virran RMS-arvo. Vertaa nollajohtimelta mitattua arvoa oletettuun virran arvoon, mikäli vaiheet ovat epätasapainoiset. Mikäli vaihevirratt ovat saman suuruiset, tulee nollavirran vektorisummaksi nolla. Mikäli nollajohtimessa on läsnä suuria määriä yliaaltoja, järjestyksessään 3:s, 9:s, 15:ta jne., voi nollavirta olla vaihevirtaa korkeampi.

Jännitteen THD-arvon mittaamisesta voi myös olla hyötyä. Erilaiset standardit määrittelevät maksimaalisen yliaaltopitoisuuden sekä suositeltavat korjaustasot.

5 %:n yliaaltopitoisuus vaikuttaa merkittävästi sähkönjakeluverkkoon.

Vaikutus järjestelmään

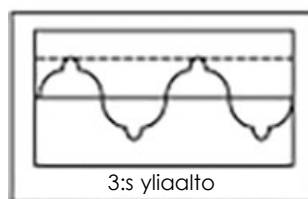
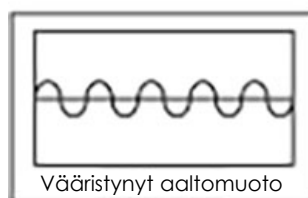
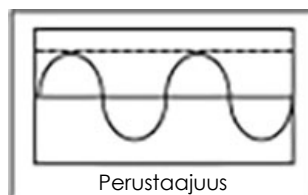
Vaiheiden välinen, sisäinen vaihesiirtymä tasapainoisissa kolmivaihejärjestelmissä on 120° ja ne kumoavat näin ollen toisensa, jolloin nollajohtimessa olevan virran arvo on erittäin matala. Kun jollakin vaiheella ilmenee häiriöitä, kasvavat yliaaltovirratt ja vaiheet eivät enää kumoa toisiansa samassa määrin. Nollajohtimessa kulkevan virran arvo nousee tämän seurauksena huomattavasti.

Nollajohdinvirta on korkein nollajohtimessa kulkeva virta ja tämä voi olla jopa 1,73 x vaihevirta. Mikäli johdinta ei mitoiteta oikein, voi tämän seurauksena tapahtua ylikuumenemista. Jos nollavirta on normaalia korkeampi, johtaa tämä tavallista korkeampaan jännitteen laskuun nollajohtimen ja maan välille. Yli neljän voltin arvo viittaa korkeaan nollavirtaan.

Virheellisesti laukeavat virtakytkimet ovat myös yksi ongelma, mikä syntyy korkeiden yliaaltotaajuuksien seurauksena. Huippuarvon tunnistavat virtakytkimet laukeavat usein, vaikka maksimaalista virran arvoa ei saavuteta. Virtayliaaltojen huippuarvo voi olla moninkertainen verrattuna sinikäyrän huippuarvoon.

Virtayliaallot vaikuttavat negatiivisesti sähköjärjestelmään. Eri taajuuksinen virta vaikuttaa kuormitusimpedanssiin ja näin ollen syntyy myös jänniteylyiaalloja Ohmin lain mukaisesti.

Kaikista epätoivotuimpia yliaaltoja ovat perustaa-juuden parittomat kerrannaiset (kolme, viisi ja seitsemän). Kolmas yliaalto (150 Hz) on se yliaalto, joka voi aiheuttaa eniten häiriöitä (kuva 13).



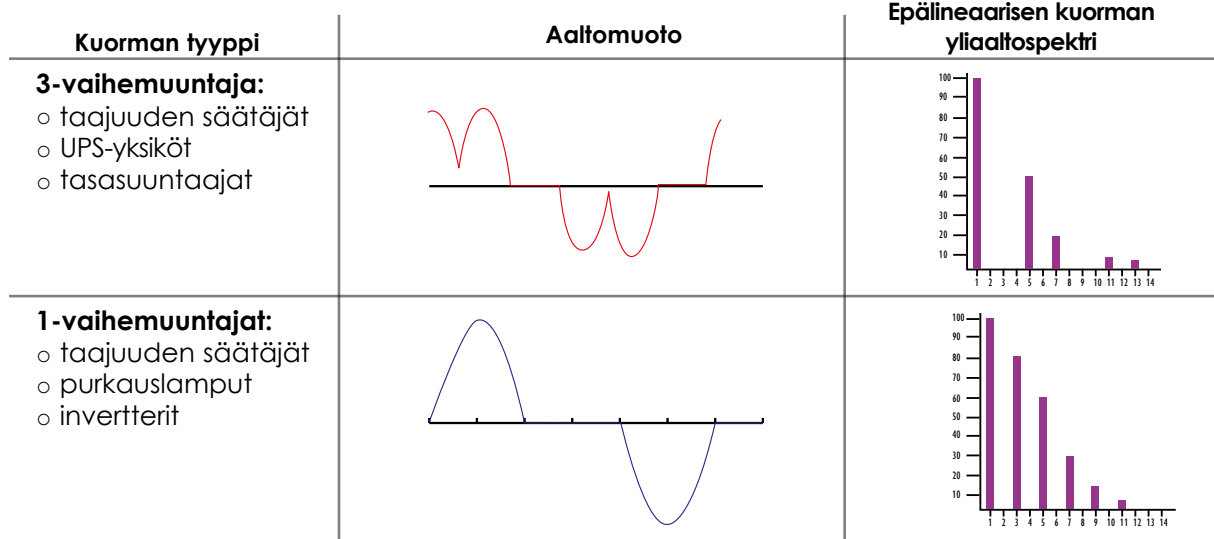
Kuva 13: Perustajaajuus + kolmas yliaalto

Yliaaltotaajuuden ollessa aina perustajaajuutta korkeampi, muodostuu näin ollen myös *pintavaikutuksesta* yksi tekijä. Pintavaikutus on ilmiö, jossa korkeampi taajuus merkitsee elektronien siirtymistä kohti johtimen pintaa. Tämä pienentää huomattavasti johtimen halkaisijaa ja näin ollen kaapelin kapasiteetti pienenee. Pintavaikutus laajenee taajuuden ja amplitudin myötä. Korkeammat yliaaltotaajuudet aiheuttavat tämän seurauksena ylikuumenemista johtimissa.

Korkeasti kuormitettuun muuntajaan vaikuttaa epälineaarista kuormitusta syöttävä piiri. Syntyneet jänniteylyiaallot voivat siirtyä saman muuntajan syöttämiin piireihin. Jänniteylyiaallot voivat aiheuttaa ongelmia järjestelmässä.

Siellä missä sijaitsee paljon epälineaarista kuormitusta, sijaitsee myös yliaaltoja sähkönjakeluverkossa. Yliaaltoja tuottavia varusteita löytyy useista eri ympäristöistä, toimistoista tehtaisiin:

Yksivaiheiset **toimistolaitteet** syötetään yleensä epälineaarilla virralla. Suurin yliaaltoja tuottava lähde toimistoympäristöissä on erilaiset *tietokone-laitteet*, jotka toimivat AC/DC-muuntajien avulla. Myös *fluoresoivat* valonlähteet sekä monet muut toimistolaitteet toimivat yliaaltoja edistävänä lähteinä.



Kuva 14: Tavallisimmat yliaallot sähköverkossa, jossa sijaitsee epälineaarisia kuormia

Vaikka THD-tasot ovat korkeampia teollisuusympäristöissä (verrattuna toimistoympäristöihin), ovat toimistolaitteet erittäin herkkiä sähkön laatua koskeville muutoksille.

Suurin yliaaltoja aiheuttava lähde **tehdas-ympäristöissä** ovat sähköiset tehomuuntajat, kuten tyristosäätimet. Ei ole epätavallista, että joidenkin tehdasympäristöjen THD-taso on jopa 25 %. Yliaallot voivat aiheuttaa suuren määrän erilaisia ongelmia. Muutamia esimerkkejä ovat *ylikuormitukset kaapelissa, muuntajissa sekä moottoreissa*.

Moottoreiden katsotaan yleensä olevan lineaarisia kuormituksia. Mikäli jännitelähde sisältää suuren määrän yliaaltoja, tulee moottori kuluttamaan yliaallollista virtaa. Moottorin käyttölämpötila nousee ja elinikä laskee tämän seurauksena.

Erlaiset yliaallot voivat aiheuttaa pyörimiskenttiä moottoreissa. Moottori tulee pyörimään vastakkaiseen suuntaan (negatiivinen vääntömomentti), ta-

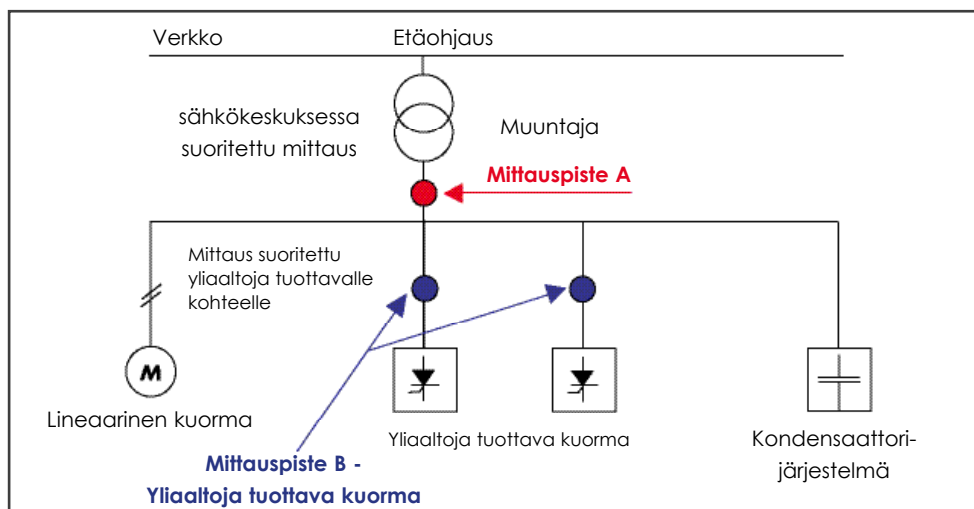
juudesta riippuen. Etenkin viidennellä yliaallolla on tällainen vaikutus moottoreihin.

Kohinaa voi esiintyä kommunikointilaitteissa ja puhelinjärjestelmissä kytkemällä ääni- tai radiotaajuudella sijaitsevat yliaallot (induktiivisesti tai kapasitiivisesti) kommunikointi- ja dataverkkoon.

Muuntajat ja k-kerroin

Useimpien muuntajien toiminta perustuu häiriöttömiin, 50 Hz:n signaaleihin. Signaalien sisältäessä paljon yliaaltoja, voi tämä johtaa huonontuneeseen toimintaan tai onnettomuuteen.

Muuntajien K-kerroin mitataan vaarallisen ylikuormentumisen ennaltaehkäisemiseksi, mikäli muuntajat syöttävät kuormituksia suurilla yliaaltomäärillä. K-kerroin kertoo muuntajan kyvystä käsitellä yliaaltoja (mitä korkeampi k-kerroin, sitä parempi).



Kuva 15: Virtayliaaltojen mittaaminen määrittelee yliaaltoja aiheuttavan kuormituksen (piste B) ominaisuudet. Virran mittaaminen tulee näin ollen suorittaa mahdollisimman lähellä kuormitusta (esim. hitsauslaitteet, tasasuuntaajat, purkauslamput, invertterit). Jänniteyliaallot määrittävät miten järjestelmä reagoi yliaaltoihin ja tämä mitataan tavallisesti sähkökeskuksesta (piste A).

Yliaaltojen aiheuttamien vaikutusten rajoittaminen

On olemassa useita erilaisia standardeja ja vaatimuksia koskien yliaaltopitoisuuksia sähköverkoissa, yliaaltoja tuottavia laitteita sekä tuotettua sähköä (jolloin vaatimukset kohdistuvat sähköä tuottaville yrityksille).

Esimerkiksi keski- ja matalajännitteen laadulle on olemassa *EN 50160-standardi* tai *erilaisia kansallisia standardeja*. Standardissa EN 50160 määritetään maksimaaliset yliaaltopitoisuudet. Standardissa lukee, että THD-U ei saa ylittää 8 %.

Suodatus on nykyään kaikkein tavallisin menetelmä yliaaltojen aiheuttamien seurausten rajoittamiseksi. Suodattimet koostuvat yleensä mukautetuista LC-piireistä, joiden impedanssi on mitätöitävissä suhteessa järjestelmän muihin osiin. Suodatin mitoitetaan ottamalla huomioon RMS- ja yliaaltovirta.

Yliaaltojen määrästä ja sijanumerosta riippuen, käytetään *aktiivisia*, *passiivisia* tai *hybridisuodattimia*. Suodattimien tehtävä on suodattaa pois häiritseviä yliaaltoja (kuva 16).

Aktiivisuodattimet

Kyseessä on eräänlainen elektroninen teholähde, joka on kehitetty kuorman aiheuttamien jännite- ja virtayliaaltojen kompensointiin. Tämä suodattintyyppi lähettää signaalin samalla taajuudella kuin yliaalto, mutta vastakkaisella napaisuudella. Virta pysyy tästä johtuen sinimuotoisena.

Passiivisuodattimet

Kyseessä on LC-piiri, joka on säädetty suodatettavalle yliaaltotaajuudelle. Kyseinen suodatin asennetaan ohituspiirille ja tämä absorboi yliaallon sekä estää tätä jatkamasta eteenpäin. THD-I ($S_n < 200$ kVA):n tuntuva vähentäminen useammalta yliaallolta vaatii useampia suodattimia.

Hybridisuodattimet

Tämä käsittää kahden yllä mainittujen menetelmien yhdistelmää, laajan tehoalueen saavuttamiseksi.

Valitaksesi parhaan asennuskohdan suodattimelle, huomioi seuraavat seikat:

- Minkälaisia häiriöitä asennus sisältää?
- Minkälainen konfigurointi?

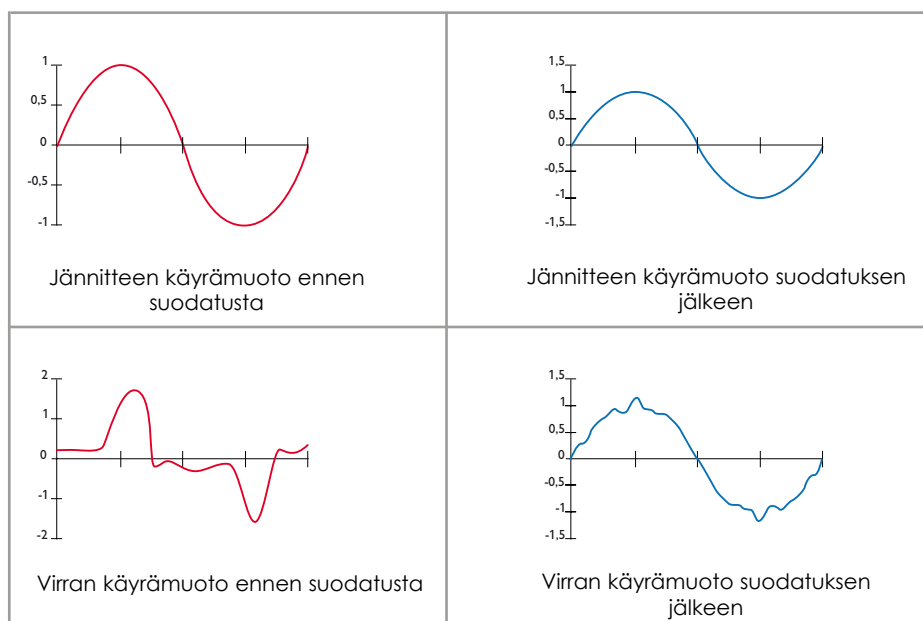
Asennuksessa on kolme kohtaa, jonne suodatin voidaan asentaa häiriöiden vähentämiseksi:

- **Matalajännitepuolella liityntäpisteeseen.** Josta häiriöt on poistettu tai vaimennettu suoraan kuormituksessa tai alakeskuksessa. Jäljellä olevat häiriöt voidaan poistaa tai vähentää kytkemällä suodatinvarustus pääkeskukseen. Tällä tavalla voidaan varmistaa, että jännitteen laatu on tarpeeksi hyvää energiantuottajalle.
- **Toiseen alakeskukseen.** Kun toisioverkkoon on kytketty useampi kuorma: Häiriöiden poistaminen estää pääkeskukseen kytkettyjen linjojen purun.
- **Yliaaltoja aiheuttavan kuorman sisääntuloille.** Kaikista paras ratkaisu on poistaa häiriöt siinä pisteessä, missä ne syntyvät.

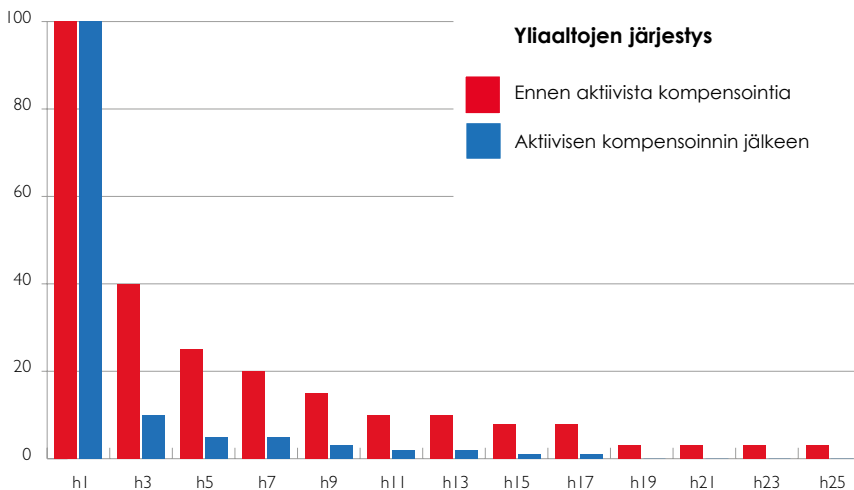
Kompensointi

Toinen tehokas rajoitusmenetelmä yliaaltoja vastaan on **kondensaattoriparistojen** käyttö (kuva. 17). Kondensaattoriparistojen tarkoitus on tehokertoimen lisääminen (= vähentää loistehoa). Mikäli kuorma on **induktiivinen**, kompensoidaan tämä **kapasitiivisella** kuormalla. Ja mikäli kuorma on **kapasitiivinen**, kompensoidaan tämä **induktiivisella** kuormalla.

Loistehon kompensointi tarkoittaa kapasitanssin (kondensaattoripariston) asentamista loistehon Q_c lähteeksi.



Kuva 16: Aktiivisen kompensoinnin vaikutus esitetään selkeästi näiden käyrien avulla: pienentynyt RMS-arvo, pienentynyt huippukerroin sekä parempi tehokerroin. Nämä kuvaajat osoittavat, että aktiivinen oikaisu vähentää myös THD-I:ta huomattavasti.



Kuva 17: Yliaaltospektri näyttää tyypillisen tilanteen ennen ja jälkeen aktiivisen yliaaltosuodattimen asennusta. Tämä parannettu spektri antaa myös parempia käyrämuotoja sekä jännittelle että virralle.

Tämä antaa useita etuja:

- **oikein mitoitettu** verkko vähentyneestä tehonkulutuksesta johtuen
- **lisääntynyt pätöteho** muuntajan toisiopuolella
- **vähentynyt jännitteen lasku** sekä pienentyneet linjahävikit
- **rahaa säästyy** loistehon pienemisen myötä

Vaihekompensointi asennetaan mahdollisimman lähelle kuormaa tehokertoimen ($\cos \varphi$) lisäämiseksi.

Loistehon kompensointi mahdollistaa sen, että matala tehokerroin voidaan nostaa mahdollisimman lähelle 1:ä.

Useimmat teolliset kuormitukset ovat *induktiivisia*, jonka myötä virta siirtyy muutamalla asteella suhteessa jännitteeseen. Tehokertoimen nostamiseksi 1:een, voidaan kondensaattori kytkeä rinnan kuorman kanssa. Koska kondensaattori ei kuluta tehoa, tulee kuormitusteho olemaan sama.

3 askelta oikean oikaisutavan löytämiseksi

① Tehon " Q_c " laskenta

Oikaisuun vaadittava loisteho Q_c , lasketaan mitattujen pätöteho- P ja $\tan \varphi$ -arvojen perusteella. Mittaukset suoritetaan muuntajan jälkeen.

Alla oleva kaava osoittaa, että **kerroin K** kerrotaan pätötehon P :n kanssa, asennettavien kapasitanssien loistehon Q_c :n laskemiseksi. Tämän lisäksi esitetään $\tan \varphi$:n ja $\cos \varphi$:n välinen suhde:

$$Q_c = P \times \underbrace{(\tan \varphi \text{ mitattu} - \tan \varphi \text{ toivottu})}_{K} = P \times K$$

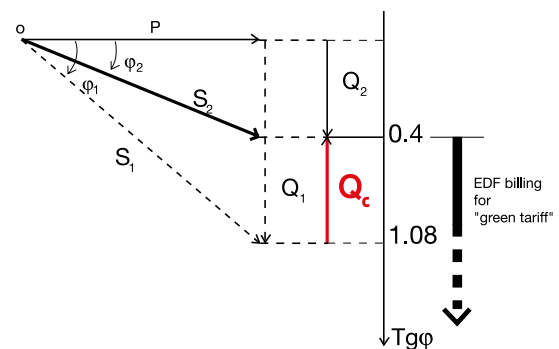
Esimerkki (kuva 18):

Ennen asennusta:

- 630 kVA muuntaja
- 500 kW pätöteho
- tehokerroin 0,75

275 kVAr kapasitanssin asennuksen **jälkeen** saadaan:

- 21 % pienempi näennäisteho
- 16 %:n nousu suhteessa muuntajan nimellisvirtaan
- 38 % pienemmät energiahävikit
- 2,6 % pienempi jännitteen lasku



Kuva 18: Teho ennen kompensointia ja kompensoinnin jälkeen

Jossa:

- P = Pätöteho
- Q_1 = Loisteho ilman kompensointia
- S_1 = Näennäisteho ennen kompensointia
- φ_1 = Vaihesiirtymä ilman kompensointia
- Q_2 = Loisteho kompensoinnilla
- S_2 = Näennäisteho kompensoinnin jälkeen
- φ_2 = Vaihesiirtymä

② Kiinteä tai automaattinen oikaisu

Alhaisilla jännitteillä voidaan käyttää molempia menetelmiä loistehon oikaisuun:

- **kiinteä oikaisu** tarkoittaa kapasitanssien asennusta kiinteillä arvoilla, mikä antaa jatkuvan loistehon.

Käytetään:

- kompensoitavan loistehon ollessa jatkuvaa, riippumatta asennuksen loistehon kulutuksesta.
- kompensoitavan loistehon ollessa pieni
- asennuksessa sijaitessa suuria kuormia, jotka vaativat yksittäistä kompensointia asennukseen toimitettavan loistehon pienentämiseksi.

Tämän tyyppistä oikaisua käytetään yleensä asynkronisille moottoreille ja muuntajille.

- **automaattinen oikaisu**, minkä suorittaa ohjauslaitteisto. Ohjauslaitteisto oikaisee kapasitanssia tehokertoimen avulla niin, että asennus saa tarvitsemansa määrän loistehoa.

Käytetään:

- kun loistehoa halutaan käyttää asennuksen loistehon kulutukseen

Kapasitanssi jaetaan useampiin tehoaskeliin, joiden valvonta tapahtuu säädettävän kondensaattorin avulla. Laitteistolla tulee olla askelkytkentä vasteajalla, joka vastaa tehon vaihteluita asennuksessa.

Mikäli teho vaihtelee alle 1 s:n sykleissä (hissit, hitsauslaitteet jne.), tulee asennus varustaa kontaktoreilla, jotka kytkevät päälle eri kondensaattoriparistot. Tämän tyyppisillä kontaktoreilla saadaan tehokkaasti pienennettyä transienttien ja käynnistysvirtatapahumien määrä.

Mikäli asennuksen tehovaihteluiden sykli on pidempi kuin 1 s, varustetaan kondensaattoriparistot yleensä tehokontaktoreilla.

Q_c : varustukselle suoritettu loistehon oikaisu kVAr:ssa

S_n : asennuksen muuntajan näennäisteho kVA:ssa

$Q_c / S_n < 15 \% >$ kiinteä oikaisu

$Q_c / S_n \geq 15 \% >$ automaattinen oikaisu

③ Edellytykset

S_n : yliaaltoja aiheuttavien laitteiden (elektroniikka yms.) näennäisteho (kVA)

S_n : asennuksen muuntajan näennäisteho kVA:ssa

$S_h / S_n < 15 \% >$ standardityyppi (jännite 400 V)

$S_h / S_n = 15 - 25 \% >$ H-tyypin

(korkeampi jännite 440 V tai 500 V)

$S_h / S_n > 25 \% >$ SAH-tyypin

(korkeampi jännite + yliaaltosuodatin)

Koska yliaaltoja esiintyy yhä enemissä määrin, on tehokertoimen oikaisu välttämätöntä yliaaltojen käsittelyyn tarkoitettujen asennusten avulla.

Vaihtoehtoina neljä eri "tyyppistä" kapasitanssia, riippuen yliaaltojen tasoista (S_h / S_n):

- Standardityyppi: jännite 400 V
- H-tyypin: korkeampi jännite 440 V tai 500 V
- SAH-tyypin: korkeampi jännite + yliaaltosuodatin
- FH-tyypin: yliaaltosuodatin sekä asennuksen jatkuva valvonta

Esimerkki:

Asennuksen pätöteho $P = 614$ kW

Mitattu $\cos \varphi$:

$\cos \varphi = 0,68$ kun $\tan \varphi = 1,08$

Oikaisuun tarvittava $\cos \varphi$:

$\cos \varphi = 0,93$ kun $\tan \varphi = 0,40$

Kerroin taulukosta: $K = 0,684$

Kompensoitava loisteho:

$Q_c = 614 \times 0,684 = 420$ kVAr

Resonanssin vaikutukset

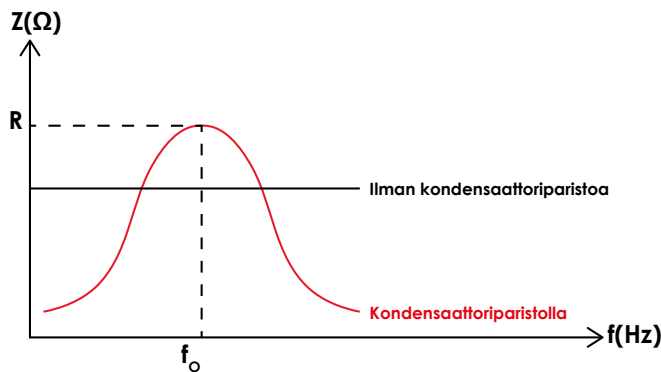
Kun sähköasennukseen asennetaan kapasitanssi (kompensaattori), voivat olemassa olevat yliaallot vahvistua. Tämä vahvistus johtuu kapasitanssin ja linjan välisestä sähköisestä resonanssista sekä lähteen induktansseista.

Näiden ongelmien ymmärtämiseksi voidaan tarkastella tyyppistä asennusta. Tätä yksinkertaista viivakaaviota (tehty virtapiiriä vastaavaksi) voidaan käyttää vahvistuksen vaikutuksen tarkasteluun kolmella eri tyyppisellä varustuksella: yliaaltoja tuottavat asennukset, häiriöitä aiheuttamattomat asennukset sekä kapasitanssit.

Asennuksen impedanssi (kuva 17) määritellään alla olevan kaavan mukaisesti:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Kuva 19: Impedanssi kompensoinnilla ja ilman kompensointia

jossa:

f_0 on resonanssitaajuus

Vahvistus on nähtävissä tarkastelemalla kuvaajaa järjestelmän *itseimpedanssilla* taajuuden funktiona. Tämä näyttää arvon verrattuna alkuperäisarvoon ilman kondensaattoriparistoa.

Tämän resonanssin suora vaikutus on yliaaltojännitteiden ja -virtojen, THD-U:n, lisääntyminen.

Syntynyt resonanssi johtuu:

- Yliaallon sijanumerosta (f_n), jolla järjestelmä resonoi, alla olevan kaavan mukaisesti:

$$f_n = f_1 \times \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}}$$

jossa:

S_{sc} : muuntajan oikosulkuteho

Q_c : kapasitanssin loisteho

f_n : yliaallon taajuus, jolla järjestelmä resonoi

f_1 : perustaajuus (50 Hz)

- Korkeampi oikosulkuteho (S_{sc}) johtaa korkeampaan resonanssitaajuuteen
- Yliaallot samalla taajuudella kuin resonanssitaajuus
- Mitä verkon muut kuormat kuluttavat (kulutettu pätöteho)

Mikäli kaksi ensimmäistä kriteeriä täyttyvät, voidaan yliaaltojen vahvistuskerroin F_a laskea seuraavan kaavan avulla:

$$F_a = \frac{\sqrt{S_{sc} \times Q_c}}{P}$$

S_{sc} : muuntajan oikosulkuteho

Q_c : kapasitanssin loisteho

P : yliaaltoja aiheuttamattoman kuorman pätöteho

Yliaaltojen vahvistuskerroin on vaimennettavissa käytämällä useampia kuormia, jotka eivät aiheuta yliaaltoja.

Asennuksilla sijaitsevat resonanssivirtayliaallot voivat olla intensiivisiä, mikä voi vahingoittaa kondensaattoriparistoja. Tähän on olemassa erilaisia ratkaisuja, häiriötasoista riippuen:

- 400 V:n standardikapasitansseja sekä vahvistettuja 400 V:n tai 500 V:n kapasitansseja suositellaan asennuksiin vähäisillä tai keskisuurilla häiriöillä.
- Huomattavasti häiriintyneisiin asennuksiin suositellaan yliaaltosuodattimilla varustettuja kapasitansseja.

Monitoimivirtapihdit

F205, F405 & F605

Kätevät ja monipuoliset F205, F405 ja F605 monitoimivirtapihdit teho- ja THD-mittauksiin. Näiden pihtien avulla saat yleiskatsauksen mitattavan sähkön laadusta.

Ergonomia

- Selkeä, taustavalaistu LCD-näyttö
- Kompaktit
- Kätevä kiertokytkin
- Käytännöllinen "1-näppäin, 1-toiminto"
- Automaattinen AC/DC-havitseminen

Mittaus

- Jännite, virta, käynnistysvirta, vastus ja diodit
- Teho: W, var, VA sekä tehokerroin PF
- Yliaallot: Harmoninen kokonaissärö THD

Turvallisuus

- Sähköturvallisuus IEC-61010-1, IEC-61010-2-30 ja IEC-61010-2-32:n mukaisesti
- Suojattu pölyä ja likaa vastaan

Käyttöjännite

- 4 x 1,5 V AA / 1 x 9 V
- Paristoaika n. 350 tuntia



F205



F405



F605

Monitoimivirtapihdit tehon mittaukseen

	F205	F405	F605
Leukojen aukeama	34 mm	48 mm	60 mm
Virta			
AC TRMS	0,15 ... 600 A (900 A huippu)	0,15 ... 1000 A (1500 A huippu)	0,15 ... 2000 A (3000 A huippu)
DC TRMS	0,15 ... 900 A huippu	0,15 ... 1500 A	0,15 ... 3000 A
AC+DC TRMS	0,15 ... 600 A (900 A huippu)	0,15 ... 1000 A (1500 A huippu)	0,15 ... 2000 A (3000 A huippu)
Mätösäkerhet	1 % lukemasta + 3 siffror	1 % lukemasta + 3 siffror	1 % lukemasta + 3 siffror
Jännite			
AC	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)
DC	0,15 ... 1400 V	0,15 ... 1400 V	0,15 ... 1400 V
AC+DC	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)
Mätösäkerhet	1 % lukemasta + 3 siffror	1 % lukemasta + 3 siffror	1 % lukemasta + 3 siffror
Teho			
Pätöteho	1 W ... 600 kW	1 W ... 1000 kW	1 W ... 2000 kW
Loisteho	1 var ... 600 kvar	1 var ... 1000 kvar	1 var ... 2000 kvar
Näennäisteho	1 VA ... 600 kVA	1 VA ... 1000 kVA	1 VA ... 2000 kVA
FP	Kyllä		
Yliaaltoanalyysi			
THDf / THDr	Kyllä/Kyllä		
Muut mittaustoiminnot			
Käynnistysvirta	Kyllä		
Andra funktioner			
Näyttö	Taustavalaistu LCD, 6000 siffror	Taustavalaistu LCD, 10 000 siffror	Taustavalaistu LCD, 10 000 siffror
Mitat/Paino	78 x 222 x 42 mm / 340 g	92 x 272 x 41 mm / 600 g	111 x 296 x 41 mm / 640 g
Käyttäjännite	1 x 9 V LF22-paristo	4 x 1,5 V AA-paristot	
Sähköturvallisuus	IEC 61010 – 1000 V CAT III / 600 V CAT IV	IEC 61010 – 1000 V CAT IV	

Tilaustiedot

- > **F205**P01120925
Mukana toimitetaan mittajohdot, paristo, laukku sekä käyttöohjeet
- > **F405**P01120945
Mukana toimitetaan mittajohdot, paristot, laukku sekä käyttöohjeet
- > **F605**P01120965
Mukana toimitetaan mittajohdot, paristot, laukku sekä käyttöohjeet



Multifunktionstänger

F407 & F607

Kätevät ja monipuoliset F407 ja F607 monitoimivirtapihdit teho- ja yliaaltomittauksella. Näiden pihtien avulla saat yleiskatsauksen mitattavan sähkön laadusta.

Ergonomia

- Selkeä, taustavalistu LCD-näyttö
- Kompaktit
- Kätevä kiertokytkin
- Käytännöllinen "1-näppäin, 1-toiminto"
- Automaattinen AC/DC-havaitseminen

Mittaus

- Jännite, virta, käynnistysvirrat, vastut ja diodit
- Teho: W, var, VA sekä tehokerroin PF
- Yliaallot: 25:nteen asti sekä THD

Turvallisuus

- Sähköturvallisuus IEC-61010-1, IEC-61010-2-30 ja IEC-61010-2-32:n mukaisesti
- Suojattu pölyä ja likaa vastaan

Käyttöjännite

- 4 x 1,5 V AA
- Paristoaika n. 350 tuntia



F407



F607

Monitoimivirtapihdit tehon mittaukseen

	F407	F607
Leukojen aukeama	48 mm	60 mm
Virta		
AC TRMS	0,15 ... 1000 A (1500 A huippu)	0,15 ... 2000 A (3000 A huippu)
DC TRMS	0,15 ... 1500 A	0,15 ... 3000 A
AC+DC TRMS	0,15 ... 1000 A (1500 A huippu)	0,15 ... 2000 A (3000 A huippu)
Mittausepävarmuus	1 % lukemasta + 3 lukemaa	1 % lukemasta + 3 lukemaa
Jännite		
AC	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)
DC	0,15 ... 1400 V	0,15 ... 1400 V
AC+DC	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)	0,15 ... 1000 V (1400 V huippu)
Mittausepävarmuus	1 % lukemasta + 3 lukemaa	1 % lukemasta + 3 lukemaa
Teho		
Päätöteho	1 W ... 1000 kW	1 W ... 2000 kW
Loisteho	1 var ... 1000 kvar	1 var ... 2000 kvar
Näennäisteho	1 VA ... 1000 kVA	1 VA ... 2000 kVA
FP	Kyllä	
Yliaaltoanalyysi		
Yksittäiset yliaallot	25:nteen asti	
THDf / THDr	Kyllä/Kyllä	
Muut mittaustoiminnot		
Käynnistysvirta		
Muut toiminnot		
Kommunikointi	Bluetooth	
Näyttö	Taustavalaistu LCD, 10 000 lukemaa	
Mitat/Paino	92 x 272 x 41 mm / 600 g	111 x 296 x 41 mm / 640 g
Käyttöjännite	4 x 1,5 V AA-paristot	
Sähköturvallisuus	IEC 61010 – 1000 V CAT IV	

Tilaustiedot

> **F407**P01120947

Mukana toimitetaan mittajohdot, paristo, laukku sekä käyttöohjeet

> **F607**P01120967

Mukana toimitetaan mittajohdot, paristo, laukku sekä käyttöohjeet



Energia- ja tehologgerit

PEL102, PEL103 & PEL105

Kompaktit energia- ja tehologgerit magneettisella takakannella sekä suomenkielisellä konfigurointi- ja raportinluontiohjelmalla. Nämä loggerit mittaavat myös harmonisia yliaaltoja 50:nteen yliaaltoon saakka.

Ergonomia

- Kompaktit
- Magneettinen takakansi
- Suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma

Mittaus

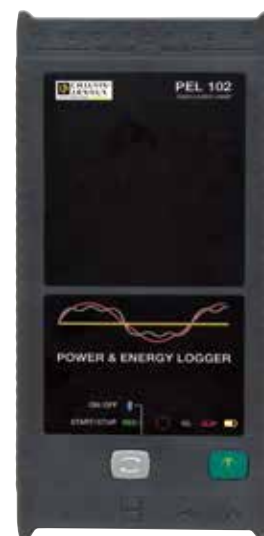
- Jännite, virta
- Teho: W, var, VA sekä tehokerroin PF
- Yliaallot: jopa 50:nteen asti, THD

Turvallisuus

- Sähköturvallisuus IEC 61010-1 ja IEC 61010-2-030:n mukaisesti

Käyttöjännite

- PEL102 ja PEL103: verkkojännite, akun kesto n.1 h



PEL102



PEL103

	PEL102	PEL103
Tulojen määrä	4 V / 3 I	
Virta		
AC+DC TRMS	0 ... 1000 V	
Jännite		
AC+DC TRMS	jopa 10 000 A, virtapihdistä riippuen	
Teho & Energia		
Tehoarvot	10 W ... 10 GW / 10 var ... 10 Gvar / 10 VA ... 10 GVA	
Energia-arvot	jopa 4EWh / 4 EVAh / 4 Evarh	
Yliaaltoanalyysi		
Yksittäiset yliaallot	jopa 50:nteen asti	
THD	Kyllä	
Muut toiminnot		
Muisti	SD-kortti jopa 32 GB (max. 4 GB / mittaus)	
Kommunikointi	Ethernet, Bluetooth, USB, SD-kortti	
Näyttö	Ei	Kolmoisnäyttö
Mitat/Paino	256 x 125 x 37 mm / 900 g	256 x 125 x 37 mm / 950 g
Käyttöjännite	110 - 250 V verkkojännite	
Sähköturvallisuus	EN 61010 - 600 V CAT IV – 1000 V CAT III	

Tilaustiedot

> PEL102.....P01157152

Toimitetaan laukussa, jossa 4 x 3 m jännitejohdot, 4 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäasetti kaapeleille, USB-kaapeli, verkkojännitekaapeli, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

> PEL103.....P01157153

Toimitetaan laukussa, jossa 4 x 3 m jännitejohdot, 4 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäasetti kaapeleille, USB-kaapeli, verkkojännitekaapeli, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

Lisätarvikkeet ja varaosat

- > MiniFLEX™ MA194, 70/250 mm.....P01120593
- > MiniFLEX™ MA194, 100/350 mm.....P01120592
- > MiniFLEX™ MA194, 300/1000 mm.....P01120594
- > MiniFLEX™ MA196, 350 mm, IP67.....P01120568
- > AmpFLEX™ A193, 450 mm..... P01120556B
- > AmpFLEX™ A193, 800 mm P01120531B
- > AmpFLEX™ A196, 610 mmP01120552
- > MN93-virtapihti..... P01120425B
- > MN93A-virtapihti P01120434B
- > PAC93-virtapihti P01120079B
- > C193-virtapihti..... P01120323B
- > AmpFLEX™ A196, 610 mm, IP67P01120554
- > AkkuP01296024
- > 230 V_{AC}-laturiP01102057
- > Jännitejohtosetti (4 x 3 m).....P01295476
- > Kaapeli- ja johtokelaP01102149
- > VerkkojännitekaapeliP01295174
- > PEL100-jänniteadapteriP01192174



Teho- ja energialoggerit

PEL104 & PEL106

Kompaktit energia- ja tehologgerit monipuolisilla toiminnolla sekä suomenkielisellä konfigurointi- ja raportinluontiohjelmalla. Nämä loggerit mittaavat myös harmonisia yliaaltoja 50:nteen yliaaltoon saakka.

Ergonomia

- Kompaktit
- Magneettinen takakansi (PEL104)
- Suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma

Mittaus

- Jännite, virta
- Teho: W, var, VA sekä tehokerroin PF
- Yliaallot: jopa 50:nteen asti, THD
- Sähkömoottorin testaus toiminto

Turvallisuus

- Sähköturvallisuus IEC 61010-1 ja IEC 61010-2-030:n mukaisesti
- PEL106 on IP67-luokiteltu

Kommunikointi

- Ethernet, Bluetooth, USB, SD-kortti, Wifi ja GPRS
- Kommunikoivat L452:n kanssa

Käyttöjännite

- PEL104: verkkojännite, akun kesto n. 1 h
- PEL106: omavarainen



PEL104



PEL106

	PEL104	PEL106
Tulojen määrä	4 V / 3 I	5 V / 4 I
Virta	10 ... 1000 V	
AC+DC TRMS	jopa 10 000 A, virtapihdistä riippuen	
Jännite	jopa 10 000 A, virtapihdistä riippuen	
AC+DC TRMS	jopa 10 000 A, virtapihdistä riippuen	
Teho & Energia	10 W ... 10 GW / 10 var ... 10 Gvar / 10 VA ... 10 GVA	
Tehoarvot	jopa 4 EWh/4 EVAh/4 Evarh (E=1018)	
Energia-arvot	jopa 4 EWh/4 EVAh/4 Evarh (E=1018)	
Yliaaltoanalyysi	jopa 50:nteen asti	
Yksittäiset yliaallot	jopa 50:nteen asti	
THD	Kyllä	
Muut toiminnot	SD-kortti jopa 32 GB (max. 8 GB / mittaus)	
Muisti	Ethernet, Bluetooth, USB, SD-kortti, Wi-Fi, GPRS	
Kommunikointi	Ethernet, Bluetooth, USB, SD-kortti, Wi-Fi, GPRS	
Näyttö	Kolmoisnäyttö	Taustavalaistu, digitaalinen näyttö
Mitat/Paino	256 x 125 x 37 mm / 950 g	245 x 270 x 180 mm / 3,4 kg
Käyttöjännite	110 - 250 V verkkojännite	Omavarainen vaiheen kautta
Sähköturvallisuus	EN 61010 - 600 V CAT IV – 1000 V CAT III	IEC 61010 - 1000 V CAT IV

Tilaustiedot

> PEL104.....P01157154

Toimitetaan laukussa, jossa 4 x 3 m jännitejohdot, 4 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäasetti kaapeleille, USB-kaapeli, verkkojännitekaapeli, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

> PEL106.....P01157165

Laukku, 5 x 3 m IP67-jännitejohdot, 5 x hauenleuat, SD-kortti 8 GB, SD-USB -adapteri, värimerkintäasetti kaapeleille, USB-kaapeli, verkkojännitekaapeli, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet



PEL104:n mukana toimitetaan jänniteadapteri

Lisätarvikkeet ja varaosat

- > MiniFLEX™ MA194, 70/250 mm.....P01120593
- > MiniFLEX™ MA194, 100/350 mm.....P01120592
- > MiniFLEX™ MA194, 300/1000 mm.....P01120594
- > MiniFLEX™ MA196, 350 mm, IP67.....P01120568
- > AmpFLEX™ A193, 450 mm.....P01120556B
- > AmpFLEX™ A193, 800 mm.....P01120531B
- > AmpFLEX™ A196, 610 mm.....P01120552
- > MN93-virtapihti.....P01120425B
- > MN93A-virtapihti.....P01120434B
- > PAC93-virtapihti.....P01120079B
- > C193-virtapihti.....P01120323B
- > AmpFLEX™ A196, 610 mm, IP67.....P01120554
- > Akku.....P01296024
- > 230 V_{AC} -laturi.....P01102057
- > Jännitejohtosetti (4 x 3 m).....P01295476
- > Kaapeli- ja johtokela.....P01102149
- > Verkkojännitekaapeli.....P01295174

Teho- ja yliaaltoanalysoijat

CA8331 & CA8333

Kannettavat, käyttäjäystävälliset teho- ja energia-analysoijat. Nämä laitteet esittävät reaaliaikaiset mittaukset suoraan laitteen näytöllä tai tallennettuina tiedostoina mukana tulevan konfigurointi- ja raportinluontiohjelman kautta. Navigointi onnistuu kätevästi suomenkielisen valikon avulla.

Ergonomia

- Iso, selkeä TFT-väri näyttö
- Suora pääsy kaikkiin toimintoihin
- Suomenkielinen valikko

Mittaus

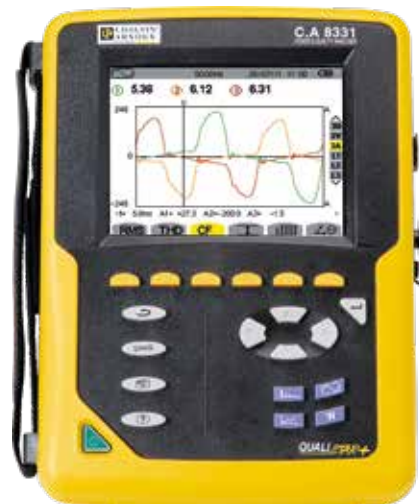
- Jännite, virta
- Teho: W, var, VA sekä tehokerroin PF
- Yliaallot: jopa 25:nneen sekä THD

Turvallisuus

- Sähköturvallisuus IEC 61010-1, IEC 61010-031 ja IEC 61010-2-032:n mukaisesti
- Suojatut pölyä ja likaa vastaan

Käyttöjännite

- 9,6 V NiMH-akku
- Akun kesto jopa 13 h



CA8331



CA8333

	CA8331	CA8333
Tulojen määrä	4 V / 3 I	
Jännite		
AC+DC TRMS	jopa 10 000 A, virtapihdistä riippuen	
Virta		
AC+DC TRMS	2 ... 1000 V	
Teho & Energia		
Tehoarvot	W, VA, var, VAD, PF, DPF, cos ϕ , tan ϕ	
Energia-arvot	Wh, varh, VAh, VADh	
Yliaaltoanalyysi		
Yksittäiset yliaallot	Jopa 50:nteen asti	
THD	Kyllä	
Muut mittaustoiminnot		
Transientit	Ei	50
Muut toiminnot		
Tallennus	4 h ... 2 viikkoa	muutamasta päivästä useampaan viikkoon
Kommunikointi	USB	
Näyttö	Väri-TFT	
Mitat/Paino	240 x 180 x 55 mm / 1,9 kg	
Käyttöjännite	9,6 V NiMH-akku	
Sähköturvallisuus	IEC 61010 - 1000 V CAT III / 600 V CAT IV	

Tilastiedot

> CA8331P01160511

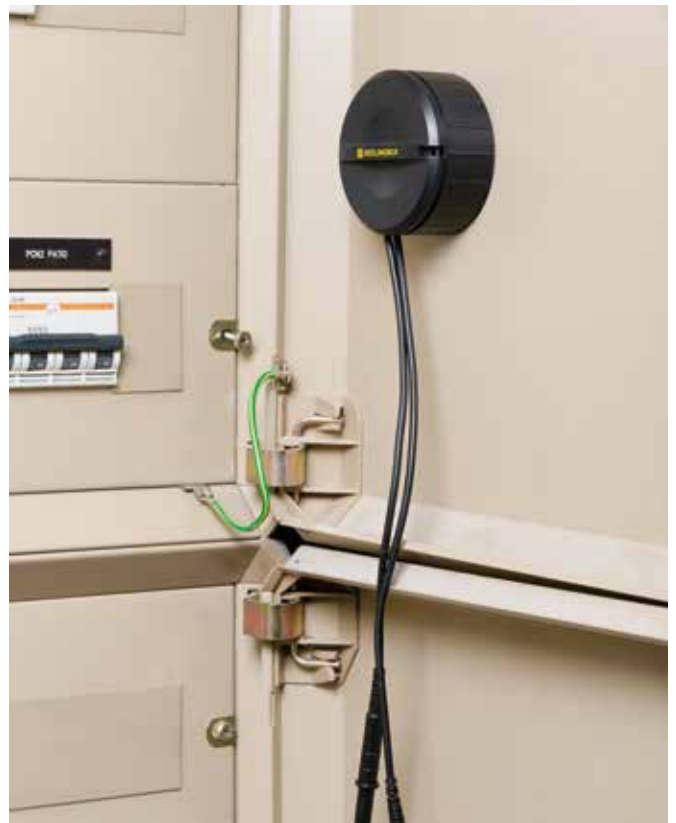
Toimitetaan laukussa, jossa 4 x 3 m jännitejohdot, 4 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäsetti kaapeleille, USB-kaapeli, laturi, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

> CA8333P01160541

Toimitetaan laukussa, jossa 4 x 3 m jännitejohdot, 4 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäsetti kaapeleille, USB-kaapeli, laturi, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

Lisätarvikkeet ja varaosat

- > MiniFLEX™ MA193, 200 mmP01120580
- > MN93-virtapihti P01120425B
- > MN93A-virtapihti P01120434B
- > AmpFLEX™ A193, 450 mm P01120526B
- > AmpFLEX™ A193, 800 mm P01120531B
- > PAC93-virtapihti P01120079B
- > C193-virtapihti P01120323B
- > AkkuP01296024
- > 230 V_{AC}-laturiP01102057
- > Näytön suojakalvoP01102059
- > Jännitejohtosetti (4 x 3 m).....P01295476
- > Kaapeli- ja johtokelaP01102149



Kaapeli- ja johtokela

Teho- ja yliaaltoanalysoijat

CA8336 & CA8436

Kannettavat, käyttäjäystävälliset teho- ja energia-analysoijat. Nämä laitteet esittävät reaaliaikaiset mittaustiedot suoraan laitteen näytöllä tai tallennettuina tiedostoina mukana tulevan konfigurointi- ja raportinluontiohjelman kautta. Navigointi onnistuu kätevästi suomenkielisen valikon avulla.

Ergonomia

- Iso, selkeä TFT-näyttö
- Suora pääsy kaikkiin toimintoihin
- Suomenkielinen valikko

Mittaus

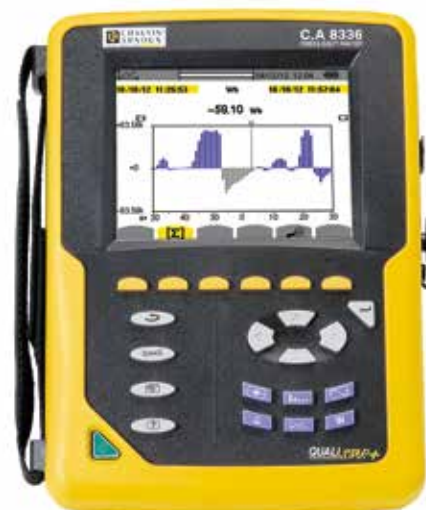
- Jännite, virta, transientit, käynnistysvirta, välyntä
- Teho: W, var, VA sekä tehokerroin PF
- Yliaallot: jopa 25:n asti sekä THD

Turvallisuus

- Sähköturvallisuus IEC 61010-1, IEC 61010-031 ja IEC 61010-2-032:n mukaisesti
- Suojatut pölyä ja likaa vastaan (CA8436 on IP67-luokiteltu)

Käyttöjännite

- 9,6 V NiMH-akku
- Akun kesto jopa 13 h



CA8336



CA8436

	CA8336	CA8436
Tulojen määrä	5 V / 4 I	
Jännite		
AC+DC TRMS	jopa 10 000 A, virtapihdistä riippuen	
Virta		
AC+DC TRMS	2 ... 1000 V	
Teho & Energia		
Tehoarvot	W, VA, var, VAD, PF, DPF, cos φ, tan φ	
Energia-arvot	Wh, varh, VAh, VADh	
Yliaaltoanalyysi		
Yksittäiset yliaallot	upp till den 50:e	
THD	Ja	
Muut mittaustoiminnot		
Transientit	210	
Välkyntä	Pst / Plt	
Käynnistysvirrat	> 10 min	
Muut toiminnot		
Tallennus	kahdesta viikosta useampaan vuoteen	
Kommunikointi	USB	
Näyttö	Väri-TFT	
Mitat/Paino	240 x 180 x 55 mm / 1,9 kg	270 x 250 x 180 mm / 3,7 kg
Käyttäjännite	9,6 V NiMH-akku	
Sähköturvallisuus	IEC 61010 - 1000 V CAT III / 600 V CAT IV	

Tilaustiedot

> CA8336P01160591

Toimitetaan laukussa, jossa 5 x 3 m jännitejohdot, 5 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäasetti kaapeleille, USB-kaapeli, laturi, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

> CA8436P01160595

Toimitetaan laukussa, jossa 5 x 3 m jännitejohdot, 5 x hauenleuat, SD-kortti, värimerkintäasetti kaapeleille, USB-kaapeli, laturi, suomenkielinen konfigurointi- ja raportinluontiohjelma sekä käyttöohjeet

Tillbehör och reservdelar

- > MiniFLEX™ MA193, 200 mmP01120580
- > MiniFLEX™ MA196, 350 mm IP67P01120568
- > MN93-virtapihti P01120425B
- > MN93A-virtapihti P01120434B
- > AmpFLEX™ A193, 450 mm P01120526B
- > AmpFLEX™ A193, 800 mm P01120531B
- > AmpFLEX™ A196, 610 mm IP67P01120554
- > PAC93-virtapihti P01120079B
- > C193-virtapihti P01120323B
- > AkkuP01296024
- > 230 V_{AC}-laturiP01102057
- > IP67-latausjohto (CA8436)P01295477
- > Näytön suojakalvoP01102059
- > Jännitejohtosetti (4 x 3 m).....P01295476
- > Kaapeli- ja johtokelaP01102149



MUISTIINPANOJA

MUISTIINPANOJA

Eurooppalainen mittalaittevalmistaja

Maailmanlaajuisesti!

Chauvin Arnoux on Ranskan johtava mittalaittevalmistaja. Valmistamme mittalaitteita sähkön ja energian valvontaan sekä erilaisia testi- ja mittalaitteita sähköasennusten kunnossapitomittauksiin. Valmistamme tämän lisäksi korkeiden vaatimusten mukaisia lämpöantureita mm. ydinvoimaloille.

Kehitämme uusia ja parempia ratkaisuja tulevaisuuden mittauksiin!

Työntekijätiimimme on meidän hienoin resursimme, alkaen tuotteiden valmistusprosessista aina yksittäisiin asiakaskohtaamisiin. Löydämme joka päivä uusia ratkaisuja asiakkaidemme mittausteknisiin ongelmiin. Meidän teknisesti osaava asiakaskunta koostuu teollisuusyrityksistä, verkkoyhtiöistä, huoltohenkilöistä sekä sähköasentajista.

► Lue lisää:

www.chauvin-arnoux.fi

