

Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas



Sisällysluettelo

1.	Johdanto	5
2.	Yliaaltoilmion perusteet.....	6
3.	Yliaaltosärön lähteet ja vaikutukset	8
4.	Yliaaltosärön laskeminen DriveSize-ohjelmalla	9
4.1	Esimerkkilaskelman piirikaavio	9
4.2	Kuormitustiedot	9
4.3	Moottorin valinta	10
4.4	Vaihtosuuntaajan valinta	10
4.5	Vaihtosuuntaajan syöttöyksikön tiedot	10
4.6	Verkon ja muuntajan tietojen syöttö	10
4.7	Laskettu yliaaltovirta ja -jännite	11
4.8	Lasketut yliaaltovirrat graafisessa muodossa	11
4.9	Osa tulostetusta raportista	11
5.	Yliaaltoja koskevat standardit	12
5.1	SFS-EN 61800-3 (IEC1800-3) Nopeussäädetyt sähköiset PDS-käytöt	12
5.2	IEC1000-2-2, Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC)	13
5.3	IEC1000-2-4, Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC)	13
5.4	IEC1000-3-2, Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC)	13
5.5	IEC1000-3-4, Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC)	13
5.6	IEEE519, IEEE Toimenpidesuosituksen ja vaatimukset sähkönjakelujärjestelmien yliaaltojen hallintaan	14
6.	Yliaaltojen arvioiminen	16
7.	Yliaaltojen vähentäminen vaihtovirtakäyttöön tehdyillä rakenteellisilla muutoksilla	17
7.1	Yliaaltoihin vaikuttavat vaihtovirtakäytön ominaisuudet	17
7.2	Taulukko: luettelo eri tekijöistä ja niiden vaikutuksista	18
7.3	6-pulssisen dioditasasuuntaajan käyttö	18
7.4	12- tai 24-pulssinen dioditasasuuntaaja	19

7.5	Verkkokommutoidun tyristoritasasuuntaajan käyttö	19
7.6	IGBT-sillan käyttö	20
7.7	Suuremman tasa- tai vaihtovirtakuristimen käyttö ..	21
8.	Muita yliaaltojen vähentämismenetelmiä	24
8.1	Yhdelle taajuudelle viritetty passiivisuodin	24
8.2	Monelle taajuudelle viritetty passiivisuodin	24
8.3	Ulkoinen aktiivisuodin	25
9.	Yhteenveto yliaaltojen vähentämisestä	26
9.1	6-pulssinen tasasuuntaaja ilman kuristinta	26
9.2	6-pulssinen tasasuuntaaja kuristimella	26
9.3	12-pulssinen tasasuuntaaja polycon-muuntajalla	26
9.4	12-pulssinen tasasuuntaaja kaksikämmisellä muuntajalla	26
9.5	24-pulssinen tasasuuntaaja kahdella kolmikämmisellä muuntajalla	26
9.6	Aktiivinen IGBT-tasasuuntaaja	27
10.	Määritelmät	28
11.	Hakemisto	30

Luku 1 - Johdanto

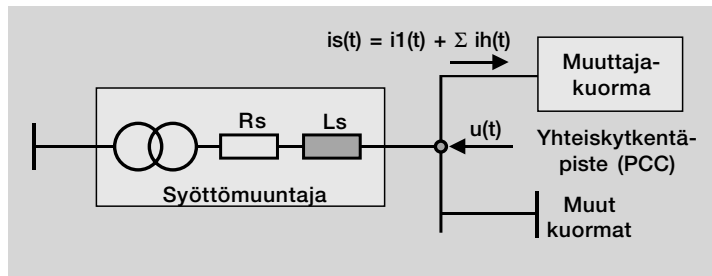
Yleistä

Tämä opas on jatkoa ABB:n teknisten oppaiden sarjaan. Oppaassa kerrotaan yliaaltosäröstä, sen lähteistä ja vaikutuksista sekä särön laskennasta ja arvioinnista. Erityisesti huomiota kiinnitetään vaihtovirtakäyttöjen yliaaltojen vähentämismenetelmiin.

Luku 2 - Yliaaltoilmion perusteet

Sähkönjakelujärjestelmään kytketyt epälineaariset kuormat synnyttävät yliaaltovirtoja ja -jännitteitä. Yliaaltosärö on yksi sähkölaitoksissa muodostuva saasteen muoto, joka voi aiheuttaa ongelmia, jos yliaaltovirrat ylittävät tietyt rajat.

Kaikki erilaisissa sähköjärjestelmissä käytetyt tehoelektroniikkamuuttajat voivat lisätä yliaaltosäröjä levittämällä yliaaltovirtoja suoraan verkkoon. Kuvassa 2.1 näkyy, kuinka tehoelektroniikkamuuttajan tulovirran (i_s) virtayliaallot (i_h) vaikuttavat syöttöjännitteeseen ($u(t)$).



Kuva 2.1 Syöttömuuntajasta, muuttajakuormasta sekä muista kuormista muodostuva sähkölaitos.

6-pulssisen kolmivaiheisen tasasuuntaajan verkkovirta voidaan laskea suorasta lähtövirrasta seuraavalla kaavalla.

$$I_1' = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_d \text{ , jossa}$$

$$I_1' = \text{RMS-kokonaisvirta ja}$$

$$I_d = \text{tasasuuntaajan lähtövirta.}$$

(pätee ideaaliseen suodatettuun tasavirtaan)

Perustaajuuden virta on siten

$$I_1 = I_1' * \frac{3}{\pi}$$

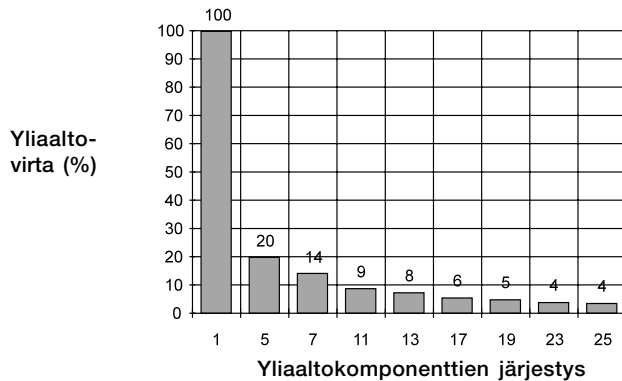
Teoreettisessa tapauksessa, jossa lähtövirta voidaan arvioida puhtaaksi tasavirraksi, 6-pulssisen kolmivaiheisen tasa-suuntaajan yliaaltovirran taajuudet ovat n kertaa perustaajuus (50 tai 60 Hz). Alla annetut tiedot ovat voimassa siinä tapauksessa, että verkon induktanssi on vähäinen verrattuna tasavirtakuristimen induktanssiin. Verkkovirta on siten symmetrinen 120° vaihekulmin. Järjestysnumerot n lasketaan alla olevan kaavan mukaan:

$$n = 6k \pm 1, \text{ jossa } k = 1, 2, 3, \dots$$

Yliaaltokomponenttien rms-arvot ovat:

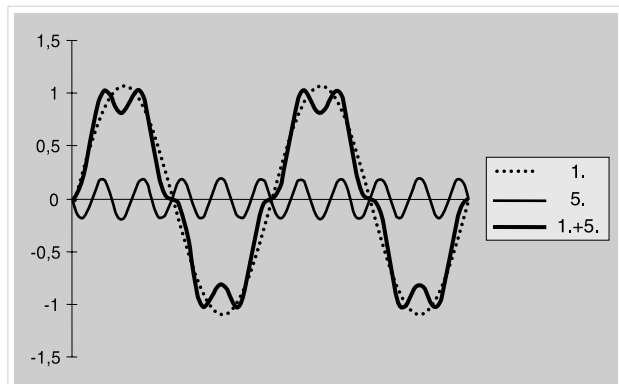
$$I_{ni} = \frac{I_1}{n}$$

ja yliaaltokomponentit ovat kuten kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Teoreettinen yliaaltosisältö 6-pulssisen tasa-suuntaajan symmetrisessä virrassa.

Yliaaltokomponenttien lisääminen perustaajuuden virtaan esitetään kuvassa 2.3, jossa näkyvissä on vain 5. yliaalto.



Kuva 2.3 Kokonaisvirta perustaajuuden virran ja 5. yliaallon summana.

Luku 3 - Yliaaltosärön lähteet ja vaikutukset

Tavallisia epälineaarisia kuormia ovat moottorin käynnistimet, nopeussäädetyt käytöt, tietokoneet ja muut elektroniikkalaitteet, elektroniset valonsäätimet, hitsauslaitteet ja UPS-laitteet.

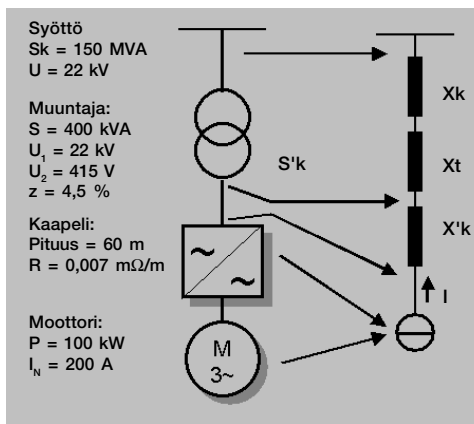
Yliaaltojen vaikutuksesta yliaaltoja synnyttävien laitteiden kanssa samaan sähkönsyöttöön kytketyt muuntajat, kaapelit, moottorit, generaattorit ja kondensaattorit voivat ylikuumeta. Elektroniset näytöt ja valot saattavat vilkkua, katkaisijat voivat laueta, tietokoneet voivat kaatua ja mittalaitteet antavat vääriä lukemia.

Jos yllä mainittujen oireiden syytä ei tiedetä, on syytä tutkia sähkönjakelujärjestelmän yliaaltosärö. Vaikutukset näkyvät todennäköisesti asiakkaan laitteissa ennen kuin ne näkyvät syöttävässä verkossa. Tämän teknisen oppaan tarkoituksena on auttaa asiakkaita ymmärtämään mahdollisia yliaalto-ongelmia ja varmistaa, ettei yliaaltosärötasoja ylitetä.

Luku 4 - Yliaaltosärön laskeminen DriveSize-ohjelmalla

Yliaaltovirrat aiheuttavat särön verkkojännitteeseen. Periaatteessa jännitteen yliaallot voidaan laskea missä tahansa verkon pisteessä, jos yliaaltovirrat ja verkon impedanssi tunnetaan. Kuvan 4.1. piirikaavioissa näkyy muuttajaa syöttävä verkko ja muut asennuksen oleelliset osat. Esimerkilaskelmassa on käytetty ABB:n DriveSize -ohjelmaa.

4.1 Esimerkki- laskelman piirikaavio



Kuva 4.1. Taajuusmuuttajan syöttöverkko on keskellä ja sitä vastaava sijaiskytkentä oikealla. Tämän esimerkin tiedot ovat vasemmassa.

4.2 Kuormitus- tiedot

Motor load

Load type

Overload type

	min	base	max
Speed [rpm]	0	1450	1500
Power [kW]	0	100	100
Overload [%]		100	100

Overload time [s] every [s]

Kuva 4.2. Tärkein kuormitustieto yliaaltojen laskennassa on perusteho (kW).

4.3 Moottorin valinta

Selected motor data M2BA 315 SMC 6	
Selection	DriveSize
Voltage [V]	415
Connection	D
Frequency [Hz]	50
Power [kW]	110
Poles	6
Speed [rpm]	992
Max mech. speed [rpm]	2300
Current [A]	197
Torque [Nm]	1060
T max/Tn	3,2
Power factor	0,82
Efficiency [%]	95,6
Insulation class	F

Kuva 4. 3. Ohjelma valitsee moottorin määritetyille kuormalle. Tarvittaessa voidaan valita jokin muu kuin DriveSizen valitsema moottori.

4.4 Vaihtosuuntaajan valinta

Selected inverter data ACS607-0140-3	
Selection	User
Selection method	Current (normal)
Voltage [V]	400
Drive power [kVA]	140
Pn [kW]	110
Normal Icont [A]	216
Normal Imax [A]	238
Phd [kW]	90
Heavyduty Icont[A]	178
Heavyduty Imax [A]	267
Pulse	6
Frame type	R8
P&F 12Nsq [A]	260

Kuva 4.4. Vaihtosuuntaajan valinta perustuu moottorin valintaan. Käyttäjällä on myös mahdollisuus valita vaihtosuuntaaja manuaalisesti.

4.5 Vaihtosuuntaajan syöttöyksikön tiedot

Supply unit data	
Pulse #	6
Lv [μH]	110
Cdc [mF]	4,95
Udc [V]	560
Idc [A]	191

Kuva 4.5. DriveSize määrittää syöttöyksikön tiedot valitun vaihtosuuntaajan mukaan.

4.6 Verkon ja muuntajan tietojen syöttö

Network and Transformer data			
Primary voltage [V]	22000	Secondary voltage [V]	415
Frequency [Hz]	50		
Network Sk [MVA]	150	<input type="checkbox"/> unknow	
Transformer Sn [kVA]	400		
Transformer Pk [kW]	3,0		
Transformer Zk [%]	3,8		
Supply cable type	<input checked="" type="radio"/> Cable	<input type="radio"/> Busbar	
Cable quantity	3	Impedance [μΩ]	70
Cable length [m]	60		

Kuva 4.6. Verkon ja muuntajan tiedot syötetään tässä. ABB:n vakimuuntajien tiedot näkyvät automaattisesti.

4.7 Laskettu yliaaltovirta ja -jännite

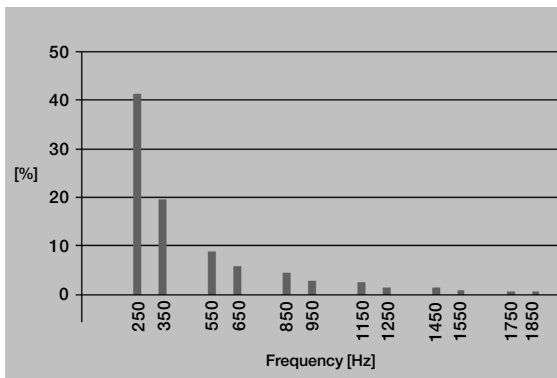
THD							
	Current	Voltage	n	f [Hz]	Current [A]	In/I1	Voltage[V]
Result	47,1%	0,2%	1	50	2,8	100,0 %	21996,6
IEEE Calc	0,2%/	0,2%/	5	250	1,2	41,2 %	32,9
IEEE Limit	15,0%	0,5%	7	350	0,6	19,5 %	21,7
			11	550	0,2	8,6 %	15,1
			13	650	0,2	5,6 %	11,7
			17	850	0,1	4,2 %	11,3
			19	950	0,1	2,7 %	8,1
			23	1150	0,1	2,3 %	8,2
			25	1250	0,0	1,4 %	5,5
			29	1450	0,0	1,2 %	5,3
			31	1550	0,0	0,8 %	3,7
			35	1750	0,0	0,5 %	3,0
			37	1850	0,0	0,6 %	3,3

Data	
<input type="radio"/>	Primary side
<input checked="" type="radio"/>	Secondary side

Show mode	
<input checked="" type="radio"/>	Table
<input type="radio"/>	Graph

Kuva 4.7. Yliaallot lasketaan tekemällä syöttöyksikön simuloituun vaihevirtaan erillinen Fourier-muunnos. Käytössä on erilaisia piirimalleja, yksi vaihtovirtainduktanssilla varustettua SingleDrivea ja yksi tasavirtainduktanssilla varustettua diodi- ja tyristorisyöttöä varten. 6-, 12- ja 24-pulssisille kytkennöille on myös omat mallit.

4.8 Lasketut yliaaltovirrat graafisessa muodossa



Kuva 4.8. Laskelmien tulokset voidaan esittää taulukkona (kuva 4.7) tai kuvaajana.

4.9 Osa tulostetusta raportista

Network check		ACS607-0140-3	
Network and Transformer data		Supply unit data	
Normal voltage [V]	22000 (primary side)	Pulse #	6
Frequency [Hz]	50	Lv [µH]	110
Network Sk [MVA]	150	Cdc [mF]	4,95
Transformer Sn [kVA]	400	Udc [V]	560
Transformer Pk [kW]	3,0	Idc [A]	191
Transformer Zk [%]	3,8		
Supply cable type	Cable		
Cable quantity	3		
Cable length	60		
Result		IEEE 519 limits calc/limit	
Cosφ	0,999	THD Current	47,1 %
Tot. power factor	0,90	THD Voltage	0,2 %
Unmax mot.	98 %	THD Current	0,2 %/15,0 %
		THD Voltage	0,2 %/5,0 %

Kuva 4.9. Syötetyt tiedot ja laskelmien tulokset voidaan tulostaa raporttina, josta osa näkyy tässä.

Luku 5 - Yliaaltorajoja koskevat standardit

Alla on kuvattu yleisimmät kansainväliset ja kansalliset yliaaltoja rajoittavat standardit.

Kuva 5.1 on esimerkkinä yliaaltosärölle asetetuista rajoista.

5.1

SFS-EN 61800-3 (IEC1800-3)

Nopeussäädetyt sähköiset PDS- käytöt

Osa 3: EMC-tuotestandardi ja erityiset testausmenetelmät

Euroopan talousalueen (ETA) jäsenmaat ovat sopineet yhteisistä vähimmäisvaatimuksista, joiden avulla varmistetaan tuotteiden vapaa liikkuminen ETA-alueella. CE-merkintä osoittaa, että tuote on sitä koskevien direktiivien mukainen. Direktiiveissä on lueteltu periaatteet, joita tuotteiden on noudatettava. Standardeissa on määritelty vaatimukset, jotka tuotteiden on täytettävä. SFS-EN 61800-3 on nopeussäädettyjen PDS-käyttöjen EMC-tuotestandardi. Standardin vaatimusten täyttäminen on vähimmäisedellytys PDS-käyttöjen vapaalle kaupalle ETA-alueella.

Standardin SFS-EN 61800-3 mukaan valmistajan on ilmoitettava (PDS-käyttöjen dokumenteissa tai pyydettyäessä) virran yliaaltotaso nimellisolosuhteissa, prosentteina liityntäpisteen nimellisestä perusvirrasta. Arvot lasketaan erikseen jokaiselle järjestysluvulle vähintään 25:n asti. Virran harmoninen kokonaissärö, THD (järjestyslukuun 40 asti) ja sen suurtaajuuskomponentti PHD (sisältää järjestysluvut 14 - 40) arvioidaan. Näissä vakiolaskelmissa PDS-käyttö oletetaan kytketyksi PCC-pisteeseen, jossa $R_{sc} = 250$ ja jonka lähtöjännitesärö on alle 1 %. Verkon sisäisen impedanssin oletetaan olevan puhdasta reaktanssia.

Julkisessa pienjänniteverkossa standardin IEC 1000-3-2 rajoitukset ja vaatimukset koskevat laitetta, jonka nimellisvirta on ≤ 16 A. IEC1000-3-4-standardin käyttöä suositellaan laitteessa, jonka nimellisvirta on > 16 A. Jos PDS-käyttöä käytetään teollisuusasennuksissa, voidaan tarkastella asennusta kokonaisuutena ottaen huomioon taloudelliset seikat. Tämä lähestymistapa perustuu tehoon, jonka verkko pystyy syöttämään kaikissa olosuhteissa. Asennuksen yliaaltojen laskemismenetelmästä sekä jännitesärön tai yliaaltovirran kokonaishäiriön rajoista on sovittu. IEC1000-2-4-standardissa annettuja yhteensopi-
vuusrajoja voidaan käyttää jännitesärön rajoina.

5.2
*IEC1000-2-2,
Sähkö-
magneettinen
yhteensopivuus
(EMC)*

Osa 2: Ympäristö - Luku 2: Yhteensopivuusrajat julkisten pienjännitteisten teholähteiden pientaajuisille johtuville häiriöille ja ohjausviesteille
Tässä standardissa annetaan yhteensopivuusrajat **julkisten pienjännitteisten teholähteiden** pientaajuisille johtuville häiriöille ja ohjausviesteille. Häiriöitä ovat yliaallot, sisäiset yliaallot, jännitevaihtelut, lyhyet katkokset ja jännite-epäsymmetria jne. Standardi sisältää suunnittelukriteerit laitevalmistajalle sekä laitteen häiriönsiedon vähimmäisvaatimukset. IEC1000-2-2 noudattaa standardissa SFS-EN 50160 annettuja rajoja, jotka koskevat laitoksen omistajan asiakkaiden syöttöliittimiin tuottaman jännitteen laatua.

5.3
*IEC1000-2-4,
Sähkö-
magneettinen
yhteensopivuus
(EMC)*

Osa 2: Ympäristö - Luku 4: Yhteensopivuusrajat teollisuuslaitosten pientaajuisille johtuville häiriöille
IEC1000-2-4 on sisällöltään samanlainen kuin IEC1000-2-2, paitsi että siinä annetut yhteensopivuusrajat koskevat **teollisia ja muita kuin julkisia verkkoja**. Standardi kattaa pienjänniteverkot sekä keskijännitelähteet lukuunottamatta laivojen, lentokoneiden, porauslauttojen ja rautateiden verkkoja.

5.4
*IEC1000-3-2,
Sähkö-
magneettinen
yhteensopivuus
(EMC)*

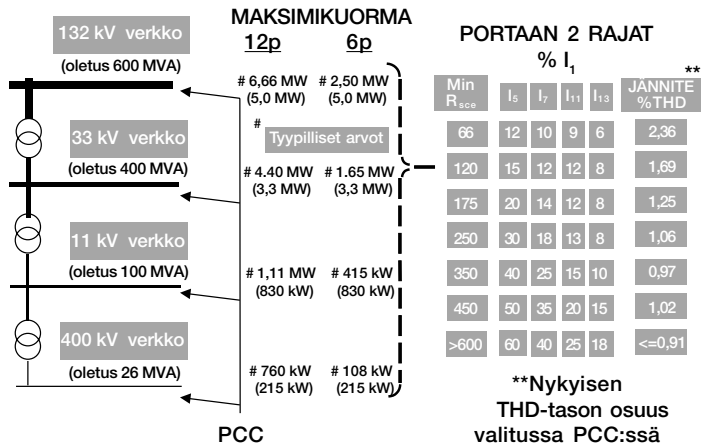
Osa 3: Rajat - Luku 2: Rajat yliaaltovirtapäästöille (laitevirta <16 A /vaihe)
Tässä standardissa käsitellään **julkisiin verkkoihin** kytkettyjen yksittäisten laitteiden yliaaltovirtapäästöjen rajoja.

5.5
*IEC1000-3-4,
Sähkö-
magneettinen
yhteensopivuus
(EMC)*

Tämä standardi on julkaistu Type II Technical report -raporttina, ja sitä ollaan muuntamassa viralliseksi standardiksi. Standardissa annetaan rajat yksittäisten laitteiden, joiden nimellisvirta on 16 A - 75 A, yliaaltovirtapäästöille. Standardi on voimassa julkisissa verkoissa, joiden nimellisjännite on 230 V yksivaiheinen - 600 V kolmivaiheinen.

Standardissa on määritetty yliaaltorajat kolmelle eri portaalle. Noudattamalla portaan 1 yksittäisiä yliaaltorajoja laite voidaan kytkeä mihin tahansa kohtaan syöttöjärjestelmässä. Portaassa 2 annetaan yksittäiset yliaaltovirtarajat sekä THD-arvot ja painotetut suurtaajuiset PWhD-arvot. Rajat luokitellaan ja taulukoidaan eri oikosulkutehoportaille. Porras 3 perustuu käyttäjän ja verkkoviranomaisen väliseen sopimukseen, joka pohjautuu tilaustehoon. Jos nimellisvirta on yli 75 A, porras 3 pätee kaikkiin tapauksiin.

Tämän standardin rakennetta on yleensä pidetty hyvänä. Voidaan silti kysyä, tulisiko yksi- ja kolmivaiheisilla laitteilla olla eri rajat portaassa 2. On hyvin todennäköistä, että standardin rakenne säilyy ennallaan, mutta sen lopullisessa versiossa on eri rajat yksi- ja kolmivaiheisille laitteille.



Kuva 5.1 Yliaaltorajat ehdotetussa standardissa EN 61000-3-4.

5.6 IEEE519, IEEE Toimenpidesuosituksen ja vaatimukset sähkönsjakelu-järjestelmien yliaaltojen hallintaan

Yliaaltorajojen kehittämisen tavoitteena on rajoittaa yksittäisten asiakkaiden yliaaltojen levittämistä siten, että ne eivät aiheuta määrättyt rajat ylittävää yliaaltosäröä laitoksen normaali-jännitteessä. Tämä standardi tunnetaan myös nimellä American National Standard, ja sitä käytetään laajalti Yhdysvalloissa, etenkin kuntasektorilla.

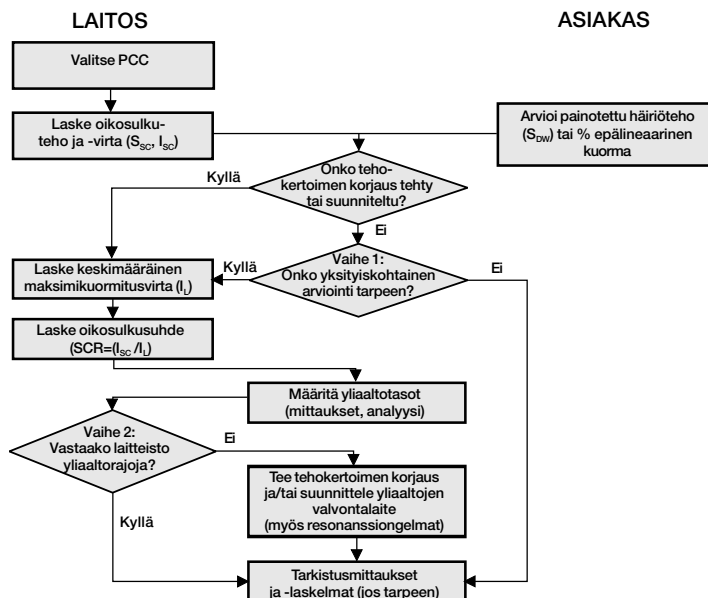
Standardissa ei anneta rajoja yksittäisille laitteille vaan yksittäisille asiakkaille. Asiakkaat on luokiteltu verkon oikosulkuvirran (Isc) ja suurimman kuormitusvirran (IL) yhteiskytkentäpisteessä lasketun suhteen perusteella. Kokonaiskuormitusvirta on lineaaristen ja epälineaaristen kuormien summa. Teollisuuslaitoksessa PCC määrittää epälineaarisen kuorman ja muiden kuormien väliseksi pisteeksi.

Sallitut yksittäiset yliaaltovirrat ja harmoninen kokonaissärö on taulukoitu verkon oikosulkuvirran ja kokonaiskuormitusvirran (Isc/IL) yhteiskytkentäpisteessä lasketun suhteen perusteella. Rajat annetaan prosentteina kokonaiskuormitusvirrasta kaikille parittomille ja parillisille yliaalloille 2:nä äärettömyyteen. Harmoninen kokonaissärö tulisi laskea äärettömyyteen asti. Monet viranomaiset rajoittavat sekä yksittäisten komponenttien että harmonisen kokonaissärön laskelmat 50:een.

Standardin taulukko 10.3 tulkitaan joskus virheellisesti siten, että siinä annetaan yhden laitteen yliaaltopäästörajat käyttämällä laitteiston Rsc-arvoa koko asennuksen Isc/IL-arvon sijaan. Taulukon rajoja ei kuitenkaan tulisi tulkita tällä tavalla vaan olisi käytettävä asennuksen oikosulkuvirran ja kokonaiskuormitusvirran välistä suhdetta.

Luku 6 - Yliaaltojen arvioiminen

Oppaassa "Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems" P519A/D6 (tammikuu 1999) on joitakin yleissääntöjä yliaaltorajojen määrittämisestä teollisuuslaitoksissa. Prosessi on kuvattu kuvan 6.1 kaaviossa.



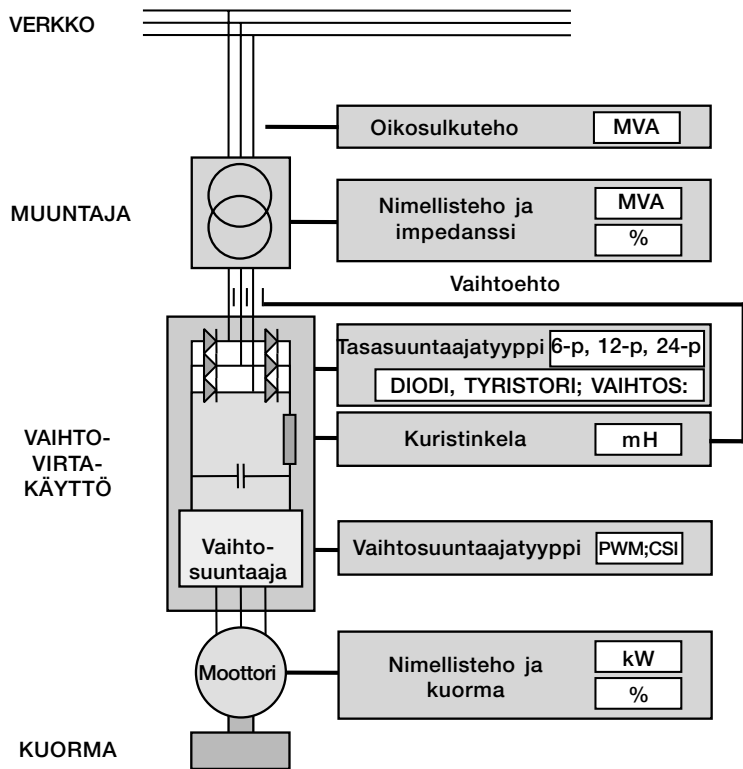
Kuva 6.1 Yliaaltosärön arvioiminen.

Luku 7 - Yliaaltojen vähentäminen vaihtovirtakäyttöön tehdyillä rakenteellisilla muutoksilla

Yliaaltoja voidaan vähentää tekemällä vaihtovirtakäyttöön rakenteellisia muutoksia tai käyttämällä ulkoista suodatusta. Rakenteellisia muutoksia ovat syötön vahvistaminen, 12- tai useampipulssisen käytön käyttäminen, säädetyn tasa-suuntaajan käyttäminen tai käytön sisäisen suodatuksen parantaminen.

7.1 Yliaaltoihin vaikuttavat vaihtovirtakäytön ominaisuudet

Kuvassa 7.1 on esitetty ne vaihtovirtakäytön ominaisuudet, jotka vaikuttavat yliaaltoihin. Virtayliaallot riippuvat käytön rakenteesta, ja jänniteyliaallot ovat syöttöimpedansseilla kerrottuja virtayliaalloja.



Kuva 7.1 Yliaaltoihin vaikuttavat vaihtovirtakäytön ominaisuudet.

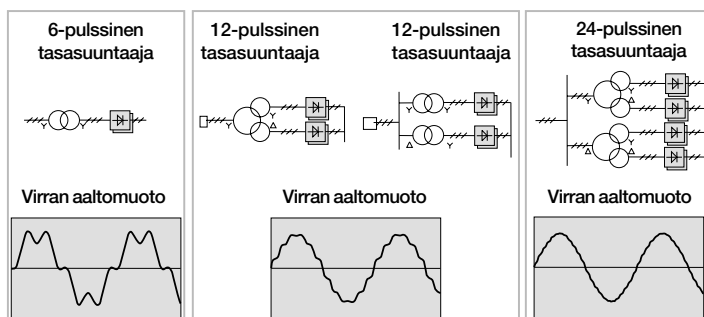
7.2 Taulukko: luettelo eri tekijöistä ja niiden vaikutuksista

Syy	Vaikutus
Mitä suurempi moottori...	sitä suuremmat virtayliaallot
Mitä suurempi moottorin kuorma...	sitä suuremmat virtayliaallot
Mitä suurempi induktanssi (AC tai DC)...	sitä pienemmät virtayliaallot
Mitä suurempi tasasuuntaajan pulssien määrä...	sitä pienemmät virtayliaallot
Mitä suurempi muuntaja...	sitä pienemmät jänniteylyliaallot
Mitä pienempi muuntajan impedanssi...	sitä pienemmät jänniteylyliaallot
Mitä suurempi syötön oikosulkukestoisuus...	sitä pienemmät jänniteylyliaallot

7.3 6-pulssisen dioditasasuuntaajan käyttö

Erilaisten tasasuuntaajarakaisujen kytkennät näkyvät kuvassa 7.2. 3-vaiheisten vaihtovirtakäyttöjen yleisin tasasuuntauspiiri on 6-pulssinen diodisilta. Se koostuu kuudesta säätämättömästä tasasuuntaajasta tai diodeista ja induktorista, joka yhdessä tasavirtakondensaattorin kanssa muodostaa alipäästösuotimen tasavirran tasoittamiseksi. Induktori voi olla tasavirta- tai vaihtovirtapuolella tai se voidaan jättää kokonaan pois. 6-pulssinen tasasuuntaaja on yksinkertainen ja edullinen, mutta se generoi suuren määrän pieniä yliaalloja 5., 7., 11., etenkin alhaisella tasoitusinduktanssilla.

Virran muoto näkyy kuvassa 7.2. Jos suurin osa kuormasta koostuu 6-pulssisella tasasuuntaajalla varustetuista muuttajista, syöttömuuntajan on oltava ylimitoitettu, ja standardien vaatimusten täyttäminen voi olla vaikeaa. Usein tarvitaan jonkin verran yliaaltojen suodattamista.



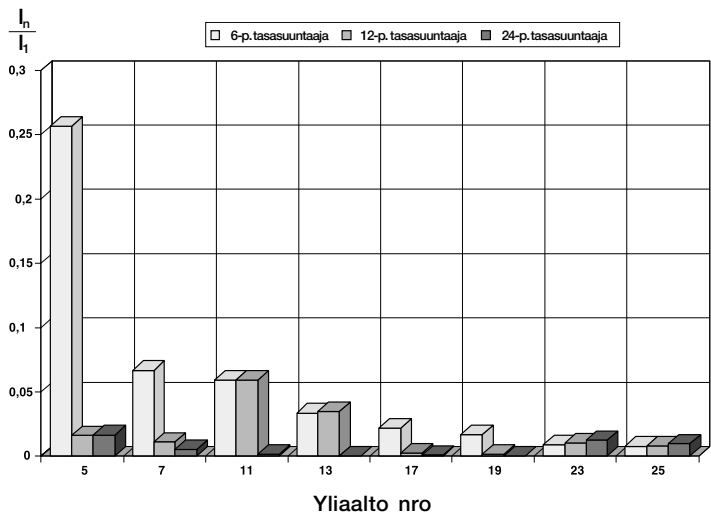
Kuva 7.2 Verkkovirran yliaallot erilaisilla tasasuuntaajarakenteilla.

7.4 12- tai 24-pulssinen dioditasasuuntaaja

12-pulssinen tasasuuntaaja muodostetaan kytkemällä kaksi 6-pulssista tasasuuntaajaa rinnan syöttämään yhteistä tasajännitevälipiiriä. Tasasuuntaajien syöttö tapahtuu yhdellä kolmikäämisellä muuntajalla tai kahdella kaksikäämisellä muuntajalla. Molemmissa tapauksissa muuntajan toisioissa on 30 ° vaihe-ero. Tämän vaihtoehdon etuna on, että jotkut syöttöpuolen yliaalloista ovat vastakkaisvaiheisia ja siten eliminoituvat. Teoriassa 11. on pienitaajuisin yliaalto-komponentti muuntajan ensiössä.

Suurimpia haittoja ovat erikoismuuntajan tarve ja 6-pulssista tasasuuntaajaa korkeammat kustannukset.

24-pulssisen tasasuuntaajan periaate näkyy myös kuvassa 7.2. Siinä on kaksi 12-pulssista tasasuuntaajaa rinnan sekä kaksi kolmikäämistä muuntajaa, joissa on ensiökäämitys 30 ° vaihe-erolla. Etuna on, että käytännöllisesti katsoen kaikki pienitaajuiset yliaallot eliminoituvat, mutta haittana korkeat kustannukset. Suuritehoisen yksittäiskäytön tai suuren ryhmäkäytön tapauksessa 24-pulssinen järjestelmä saattaa olla taloudellisin ja vähiten yliaaltosäröä aiheuttava ratkaisu.



Kuva 7.3 Yliaaltokomponentit erilaisilla tasasuuntaajilla.

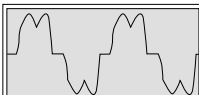
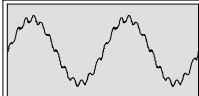
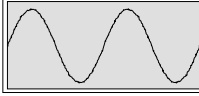
7.5 Verkkokommutoidun tyristoritasasuuntaajan käyttö

Verkkokommutoitu tasasuuntaaja muodostetaan korvaamalla 6-pulssisen tasasuuntaajan diodit tyristoreilla. Koska tyristori tarvitsee liipaisupulssin siirtyäkseen johtamattomasta tilasta johtavaan, vaihekulmaa, jossa tyristori alkaa johtaa, voidaan viivyttää. Kun syttymiskulmaa viivytetään yli 90 °, tasajännitevälipiirin jännitteestä tulee negatiivinen. Tämä mahdollistaa tehon takaisinsyötön tasajännitevälipiiristä syöttävään verkkoon.

Vakiotasajännitevälipiirin ja vaihtosuuntaajan muodostamat kokoonpanot eivät salli tasajännitteen polariteetin muutosta. Jos polariteettia halutaan muuttaa, käytetään kahta vastarinnan kytkettyä tyristorisiltaa. Tässä kokoonpanossa ensimmäinen silta johtaa tasasuuntaustilassa ja toinen takaisinsyöttötilassa.

Verkkokommutoitujen tasasuuntaajien virran aaltomuodot ovat samanlaisia kuin 6-pulssisen dioditasasuuntaajan virran aaltomuodot, mutta koska ne siirtävät tehoa muuttuvalla tehokertoimella, kokonaistehokerroin osittaisella kuormalla on melko heikko. Heikko tehokerroin aiheuttaa suuren näennäisvirran, ja absoluuttiset yliaaltovirrat ovat suurempia kuin dioditasasuuntaajan kanssa.

Näiden ongelmien lisäksi verkkokommutoidut muuttajat aiheuttavat kommutointihäiriöitä syöttöjännitteen aaltomuodossa. Häiriöiden vaihekulma vaihtelee syttymiskulman mukaan.

Syöttö	Virta TDH (%)	Jännite TDH (%) RSC=20	Jännite TDH (%) RSC=100	Virran aaltomuoto
6-pulssinen tasasuuntaaja	30	10	2	
12-pulssinen tasasuuntaaja	10	6	1,2	
IGBT-syöttöyksikkö	4	8	1,8	

Särö on %:eina RMS-arvoista

Kuva 7.4 Erialaisten syöttöyksikkötyyppien säröt. Arvot voivat vaihdella tapauskohtaisesti.

7.6 IGBT-sillan käyttö

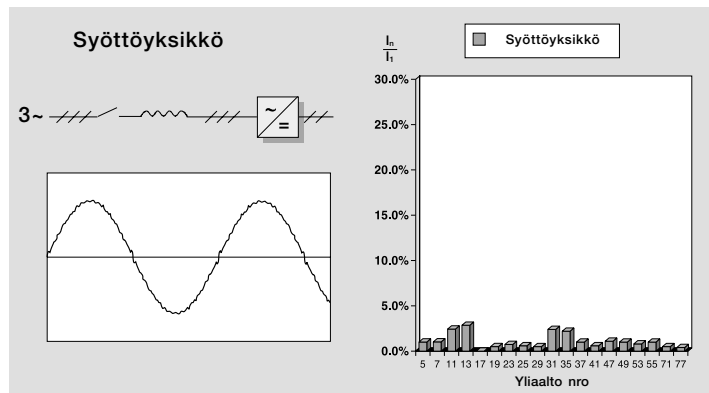
Itsekommutoituvista komponenteista kootulla tasasuuntaussillalla on useita etuja ja mahdollisuuksia verkkokommutoitua tasasuuntaajaan verrattuna. Verkkokommutoidun tasasuuntaajan tavoin sekä tasasuuntaus että takaisinsyöttö on mahdollista, mutta tässä laitteessa myös tasajännitetasoa ja tehokerrointa voidaan säätää erikseen tehon virtaus suunnasta riippumatta.

Tärkeimmät edut ovat:

- Turvatoiminto verkkosyöttökatkoksen sattuessa.
- Käytön ohjauksen hyvä dynaamiikka myös kentänheikennysalueella.

- Mahdollisuus tuottaa loistehoa ja kompensoida rinnakkaisten kuormien yliaaltovirtoja.
- Lähes sinimuotoinen syöttövirta pienellä yliaaltosisällöllä. Kuvassa 7.5 on erään käytön mittaustulokset. Kuvaan 7.3 verrattuna voidaan nähdä selvä ero. IGBT:llä on erittäin pienet yliaallot pienillä taajuuksilla ja hieman suuremmat suuremmilla taajuuksilla.
- Jännitteen korotus. Jos syöttöjännite on pieni, tasajännitettä voidaan korottaa, jotta moottorijännite pysyy korkeampana kuin syöttöjännite.

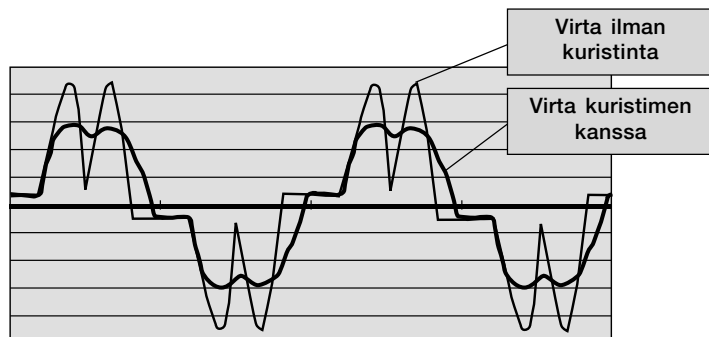
Suurimpana haittana voidaan pitää IGBT-sillan ja ylimääräisen suodatuksen aiheuttamia korkeita kustannuksia.



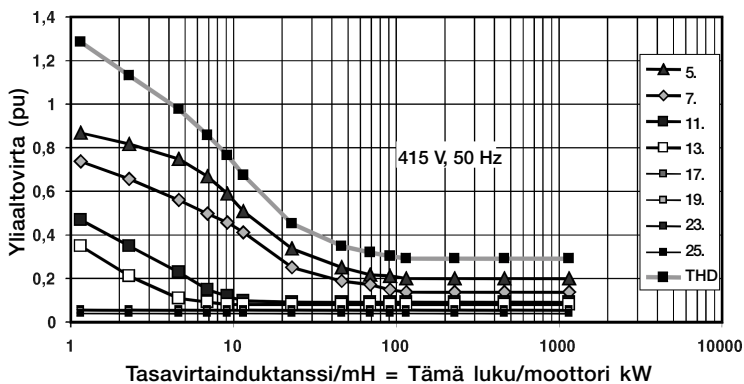
Kuva 7.5 Verkkovirran yliaallot IGBT-syöttöyksikössä.

7.7 Suuremman tasa- tai vaihtovirta- kuristimen käyttö

Jänniteohjatun vaihtovirtakäytön yliaaltoja voidaan vähentää merkittävästi kytkemällä tarpeeksi suuri kuristin käytön vaihtovirtasyöttöön tai tasajännitevälipiiriin. Yhä useammin muuttajan kokoa ja samalla kuristimen kokoa on pienennetty, tai kuristin on jätetty kokonaan huomioimatta. Seuraukset näkyvät kuvan 7.6 käyrien muodoissa.



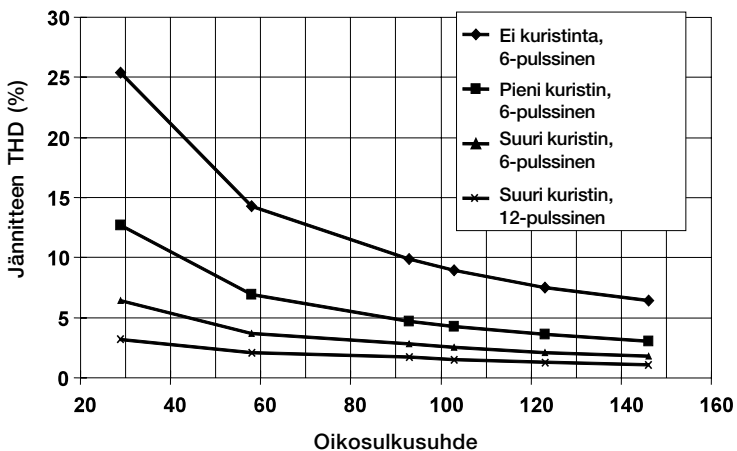
Kuvan 7.7 kaaviosta nähdään tasavirtakuristimen koon vaikutus yliaaltoihin. Ensimmäisten 25 yliaaltokomponentin teoreettinen THD-minimi on 29 %. Tämä arvo saavutetaan, kun induktanssi on 100 mH jaettuna moottorin kW:lla eli 1 mH 100 kW moottorissa (415 V, 50 Hz). Käytännössä on järkevää, jos induktanssi on noin 25 mH jaettuna moottorin kW:lla, jolloin THD-arvo on noin 45 %. 100 kW moottorissa tämä on 0,25 mH.



Kuva 7.7 Yliaaltovirta tasavirtainduktanssin funktiona.

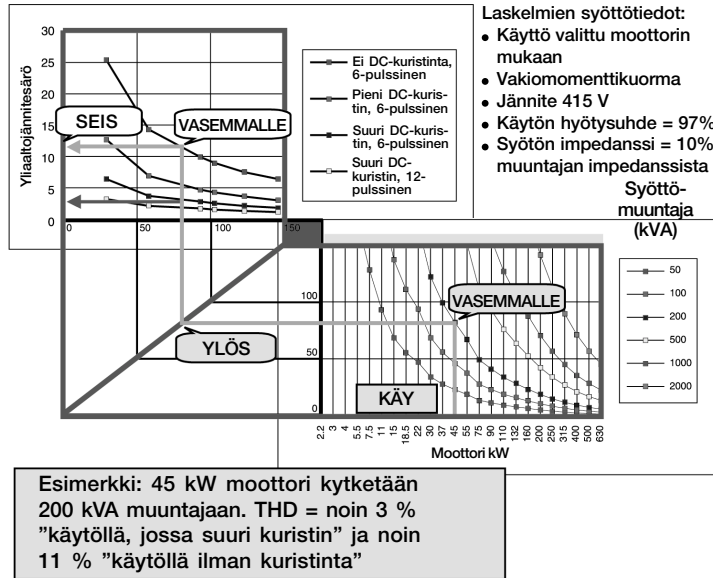
Jännitesärö tietyllä virtasäröllä riippuu syötön oikosulkusuhteesta Rsc. Mitä suurempi suhde on, sitä pienempi on jännitesärö. Tämä näkyy kuvassa 7.8.

Kuorma 60 A, Muuntajan teho 50-315 kVA, verkon vikataso 150 MVA



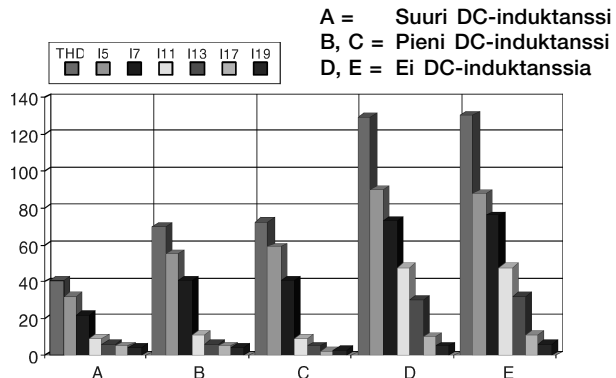
Kuva 7.8 THD-jännite vs vaihtovirtakäytön tyyppi ja muuntajan koko.

Kuvassa 7.9 on yksinkertainen nomogrammi yliaaltojännitteiden arviointia varten. Valitse oikealla alhaalla olevasta kaaviosta moottorin kilowatit ja muuntajan kVA ja siirry vaakasuorassa vinoviivaan asti, käänny ylöspäin ja pysähdy sovellukseesi sopivan käyrän kohdalla. Käänny sitten vasemmalle y-akselille, josta voit lukea yliaaltojännitesärön.



Kuva 7.9 Kokonaisyliaaltosärön nomogrammi.

Eri valmistajien käytöille tekemien laboratoriotestien tuloksia on kuvassa 7.10. Suurella DC-kuristimella varustetulla käytöllä A on pienin yliaaltovirtasärö, kun taas käytöillä, joissa ei ole kuristinta, on suurin särö.

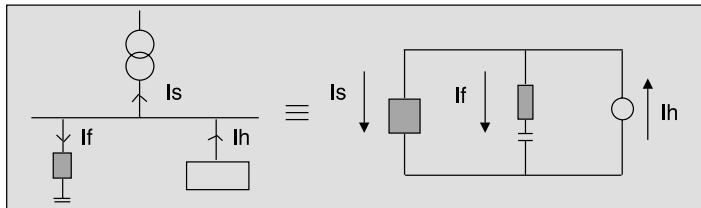


Luku 8 - Muita yliaaltojen vähentämismenetelmiä

Suodatus on menetelmä, jolla yliaaltoja voidaan vähentää teollisuuslaitoksessa silloin, kun yliaaltosärö on lisääntynyt vähitellen. Suodatusta voidaan myös käyttää uuden laitoksen kokonaisratkaisuna. Suodatukseen voidaan käyttää joko passiivisia tai aktiivisia suotimia.

8.1 Yhdelle taajuudelle taajuudelle viritetty passiivisuodin

Yhdelle taajuudelle viritetyn passiivisuotimen periaate näkyy kuvassa 8.1. Tätä suodinta tulisi käyttää pienimmässä yliaalto-komponentissa, kun järjestelmässä generoituu huomattavasti yliaaltoja. Teollisuuden kuormitusjärjestelmissä pienin yliaalto-komponentti olisi todennäköisesti 5. yliaalto. Viritetyn taajuuden yläpuolella yliaallot vaimenevat, kun taas alapuolella ne saattavat vahvistua.



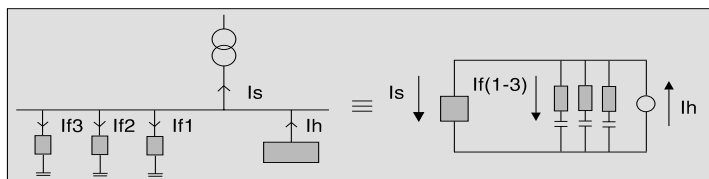
- Viritetty yhdelle taajuudelle
- Viritetyn taajuuden yläpuolella yliaallot vaimenevat
- Viritetyn taajuuden alapuolella yliaallot vahvistuvat
- Yliaaltojen vähenemistä rajoittaa mahdollinen ylikompensoituminen syöttötaajuudessa ja itse verkossa

Kuva 8.1 Yhdelle taajuudelle viritetty passiivisuodin.

Tällainen suodin koostuu kuristimesta, joka on kytketty rinnan kondensaattorin kanssa. Passiivisuotimen paras sijainti on lähellä yliaaltoja synnyttäviä kuormia. Tätä ratkaisua ei yleensä käytetä uusissa asennuksissa.

8.2 Monelle taajuudelle viritetty passiivisuodin

Tämän suotimen periaate näkyy kuvassa 8.2. Suotimella on useita haaroja viritettyinä kahteen tai useampaan yliaalto-komponenttiin, joiden tulisi olla järjestelmän pienimpiä merkittäviä yliaallotaajuuksia. Monitaajuinen suodin vaimentaa yliaallot paremmin kuin yksitaajuinen järjestelmä.



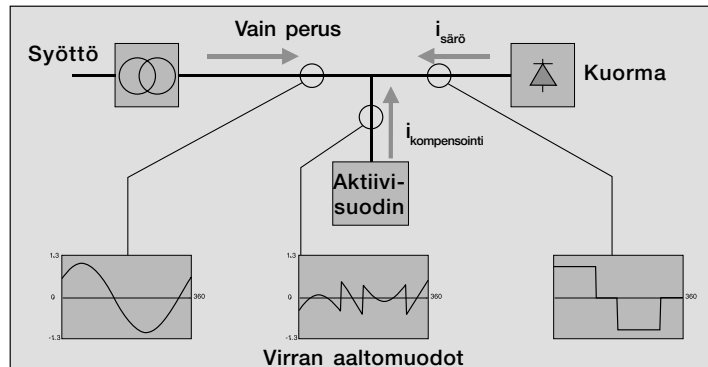
- Kapasitiivinen viritetyn taajuuden alapuolella/induktiivinen yläpuolella
- Parempi yliaaltojen vaimennus
- Suunnittelussa huomioitava yliaaltojen vahvistuminen suotimessa
- Rajoittajina KVAR ja verkko

Kuva 8.2 Monelle taajuudelle viritetty passiivisuodin.

8.3 Ulkoinen aktiivisuodin

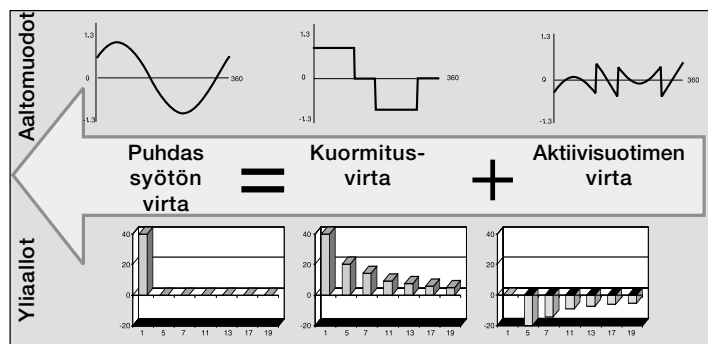
Monihaaraisia passiivisuotimia käytetään yleensä suurten tasavirtakäyttöjen asennuksissa, joissa erillinen muuntaja huolehtii koko asennuksen syötöstä.

Viritetty passiivisuodin tuo uusia resonansseja, jotka voivat aiheuttaa lisää yliaalto-ongelmia. Uusien tehoelektronikkatekniikoiden seurauksena valmistetaan tuotteita, jotka kykenevät säätämään yliaaltosäröä aktiiviohjauksella. Nämä aktiivisuotimet (kuva 8.3) korvaavat järjestelmän yliaalto-komponentit perustuen nykyiseen yliaaltotuotantoon millä tahansa hetkellä.



Kuva 8.3 Ulkoisen aktiivisuotimen pääkaavio.

Aktiivisuodin kompensoi epälineaaristen kuormien synnyttämät yliaallot generoimalla samat yliaaltokomponentit vastakkaisessa vaiheessa kuten kuvassa 8.4 näkyy. Ulkoiset aktiivisuotimet sopivat parhaiten pieniin ryhmäkäyttöihin. Ne ovat melko kalliita muihin menetelmiin verrattuna.



Kuva 8.4 Ulkoisen aktiivisuotimen aaltomuodot ja yliaallot.

Luku 9 - Yhteenveto yliaaltojen vähentämisestä

Yliaaltoja voidaan vähentää monilla eri tavoilla joko käytön sisä- tai ulkopuolella. Kaikilla tavoilla on hyvät ja huonot puolensa, ja ne kaikki vaikuttavat kustannuksiin. Paras ratkaisu riippuu kokonaiskuormituksesta, syötöstä ja pysyvistä säröistä.

Seuraavissa taulukoissa erilaisia sisäisiä toimintoja verrataan perusjärjestelmään, jossa ei ole kuristinta. Yliaaltosisältö on annettu 100 % kuormituksella. Kustannukset pätevät pieniin käyttöihin, kun taas ryhmäkäytöissä 12-pulssinen ratkaisu on edullisempi.

9.1 6-pulssinen tasasuuntaaja ilman kuristinta

Valmistuskustannukset 100 %
Tyypilliset yliaaltovirran komponentit.

Perus	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	63 %	54 %	10 %	6,1 %	6,7 %	4,8 %

9.2 6-pulssinen tasasuuntaaja kuristimella

Valmistuskustannukset 120 % AC- tai DC-kuristin lisätty.
Tyypilliset yliaaltovirran komponentit.

Perus	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	30 %	12 %	8,9 %	5,6 %	4,4 %	4,1 %

9.3 12-pulssinen tasasuuntaaja polycon-muuntajalla

Valmistuskustannukset 200 %
Tyypilliset yliaaltovirran komponentit.

Perus	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	11 %	5,8 %	6,2 %	4,7 %	1,7 %	1,4 %

9.4 12-pulssinen tasasuuntaaja kaksikämisellä muuntajalla

Valmistuskustannukset 210 %
Tyypilliset yliaaltovirran komponentit.

Perus	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	3,6 %	2,6 %	7,5 %	5,2 %	1,2 %	1,3 %

9.5 24-pulssinen tasasuuntaaja kahdella kolmikäämisellä muuntajalla

Valmistuskustannukset 250 %
Tyypilliset yliaaltovirran komponentit.

Perus	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	4,0 %	2,7 %	1,0 %	0,7 %	1,4 %	1,4 %

**9.6 Aktiivinen
IGBT-
tasasuuntaaja**

Valmistuskustannukset 250 %. Lisätuna saadaan sähköinen jarrutus.

Tyypilliset yliaaltovirran komponentit.

Perus	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	2,6 %	3,4 %	3,0 %	0,1 %	2,1 %	2,2 %

Luku 10 - Määritelmät

- S: Näennäisteho
- P: Pätöteho
- Q: Loisteho
- Rsc: Oikosulkusuhte on syötön oikosulkuteho yhteiskytkenäpisteessä suhteessa laitteen nimelliseen näennäistehoon.
 $R_{sc} = S_s / S_n$.
- ω_1 : Perusaaltokomponentin kulmataajuus
 $\omega_1 = 2\pi f_1$, jossa f_1 on perustaajuus (esim. 50 Hz tai 60 Hz).
- n: Järjestysluku $n = 2, 3, \dots \infty$. Yliaaltotaajuudet määritellään $\omega_n = n\omega_1$.
- In: Verkkovirran n:n harmonisen komponentin RMS-arvo.
- Zn: Impedanssi taajuudella $n\omega_1$.
- %Un: Harmoninen jännitekomponentti prosentteina perus (verkko) jännitteestä.

THD: Tulovirran yliaaltojen kokonaissärö määritellään:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

jossa I_1 on perustaajuusvirran rms-arvo. Jännitteen THD voidaan laskea samalla tavalla. Tässä on esimerkki 25 pienimmästä yliaaltokomponentista teoreettisilla arvoilla:

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14,3^2 + 9,1^2 + 7,7^2 + 5,9^2 + 5,3^2 + 4,4^2 + 4^2}}{100}$$
$$THD = 29\%$$

PWHD: Osittain painotettu yliaaltosärö määritellään:

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

PCC: Yhteiskytkeänpiste eli PCC määritellään tässä oppaassa sellaiseksi pisteeksi, joka voi olla yhteinen käytettävälle laitteelle ja muille laitteille. Yhteiskytkeänpisteellä on useita eri määritelmiä eri standardeissa, ja näitä määritelmiä on tulkittu eri teoksissa eri tavoin. Tähän valittu määritelmä on katsottu teknisesti hyväksi.

PF: Tehokerroin määritellään $PF = P/S$ (teho/ voltti-ampeeri) = $I_1 / I_s * DPF$ (sinimuotoinen virta PF on yhtäsuuri kuin DPF).

DPF: Tehokertoimeksi määritellään $\cos\phi_1$, jossa ϕ_1 on laitteen virran ja jännitteen perustaajuusten komponenttien välinen vaihekulma.

Luku 11 - Hakemisto

- kolmikäämi 26
5. yliaalto 7
6-pulssinen tasasuuntaaja 7,
18, 19, 20
6-pulssinen kolmivaiheinen
tasasuuntaaja 7
12-pulssinen tasasuuntaaja 18,
19, 20
24-pulssinen tasasuuntaaja 18,
19
- A**
ABB 5, 10
aktiivisuodin 24, 25
alipäästösuodin 18
American National Standard 14
asennus 9, 12, 14, 15, 19, 24, 25
- C**
CE-merkintä 12
- D**
DriveSize 9, 10, 11
- E**
elektroniikkalaite 8
elektroninen näyttö 8
elektroninen valonsäädin 8
EMC-tuotestandardi 12
epälineaarinen kuorma 6, 8, 15,
16
Euroopan talousalue 12
- H**
harmoninen kokonaissärö 10,
15, 23, 28
hitsauslaitteet 8
- I**
IGBT-silta 20, 21
induktanssi 17, 18, 22, 23
- J**
jännite 6, 9, 11, 12, 13, 14, 17,
18, 19, 20, 21, 22, 23
jännitteen korotus 21
- K**
katkaisija 8
kaksikääinen muuntaja 19
kolmikääminen 26
kolmikääminen muuntaja 19
kommutointihäiriö 20
kuormitustiedot 9
kuristin 18, 21, 22, 23, 24, 26
- L**
laboratoriotesti 23
laskeminen 5, 9, 11, 12, 15, 16,
23
liityntäpiste 12
loisteho 21, 28
lähde 6, 8, 9, 21
- M**
mittalaitteet 8
monitaajuinen passiivisuodin
24, 25
moottorin valinta 10
moottorin käynnistin 8
muuntaja 9, 10
muuttaja 6, 9, 12, 18, 20, 21
muuttajakuorma 6
- N**
nopeussäädetyt käytöt 8
näennäisteho 28
- O**
oikosulkusuhte 22, 28
oikosulkuteho 14, 16, 17, 28
- P**
passiivisuodin 24, 25
PDS-käyttö 12
perustaajuus 7, 28, 29
PHD 12
PWHd 14, 28
pätöteho 28

R

rakenteellinen muutos 17, 18,
19, 20, 21, 22, 23
raportti 11

S

standardi 12, 13, 14, 15, 18, 20,
29
suodatus 17, 18, 21, 24
syöttöjännite 6, 21, 29
syöttökaapeli 18
syöttömuuntaja 18
sähkömagneettinen
yhteensopivuus (EMC) 22
sähkönjakelu 6
särön laskeminen 5, 6
särönogrammi 23

T

taajuus 9, 12, 13, 14, 19, 24,
28, 29
takaisinsyöttötila 20
tasasuuntaaja 5, 6, 7, 17, 18,
19, 20, 26, 27
tasasuuntaustila 20
tasavirta 18
tasavirtakondensaattori 18
tehoeroin 16, 20, 29
teollisuusasennus 12
THD 12, 14, 22, 23, 28
tietokone 8
tyristori 17, 19, 20

U

ulkoinen suodatus 17
UPS-laitteet 8

V

vaihtosuuntaajan valinta 10
vaihtosuuntaajan
syöttöyksikön tiedot 10
vaihtovirtakuristin 21
vaikutus 5, 6, 8, 17, 18, 21, 22
valmistuskustannukset 26, 27

verkko 10

verkkokommutoitu
tasasuuntaaja 20
verkkomuuntaja 6
verkkoviranomainen 14
verkkovirta 6, 18, 21
verkon impedanssi 9
vähentämismenetelmät 5, 26

Y

yhteensopivuusraja 12, 13
yhteinen tasajännitevälipiiri 19
yhteiskytkentäpiste 15, 29
yksitaajuinen passiivisuodin
24
yliaaltoilmiö 6, 7
yliaaltojen vähentäminen 17,
24, 25
yliaaltojännite 23, 28
yliaaltokomponentti 7, 19, 22,
24, 25, 28
yliaaltoraja 12, 13, 14, 15, 16
yliaaltosärö 6, 8, 9, 12, 14, 15,
16, 19, 23, 25, 28
yliaaltovirrat 6, 7, 9, 11, 12, 13,
15, 20, 21, 22, 23, 26, 27
ylikuumentuminen 8



ABB Industry Oy

Tuotemyynti

PL 182

00381 Helsinki

Puhelin

010 222 000

Teläkopio 010 222 2913

Internet <http://www.abb.fi>

