

Teknisesti perusteltua vai standardien vaatimus?

Tehokertoimen korjaus

Hakkurivirtalähteet saattavat häiritä verkon muita laitteita. Häiriöiden kurissapitämiseksi standardoimisjärjestöt ovat säätäneet verkkojännitteen ja -virran aaltomuotoon liittyviä standardeja. Säädökset astuvat voimaan vuoden 2001 alussa. Jos tehonsyöttö ei tällöin täytä asetettuja vaatimuksia, on koko tuotetta mahdotonta myydä.

Tehoelektroniikkalaitteiden käyttö on yleistynyt viime vuosien aikana huomattavasti. Tähän on monia eri syitä, mutta yleinen elektroniikkalaitteiden käytön lisääntyminen ja vaatimukset pienemmästä fyysisestä koosta ovat vaikuttaneet nimenomaan hakkuriteholähteiden lisääntymiseen. Vastaavasti suuntaajasyöttöiset moottori-käytöt ovat yleistyneet erilaisissa teollisuuden prosesseissa, joissa tarvitaan yhä tarkempaa ja täsmällisempää liikkeen hallintaa ja korkeaa hyötysuhdetta.

Sähköverkosta nähtynä tehoelektroniikkalaitteet ovat epälineaarisia kuormia. Vaikka niitä syöttävä verkkojännite olisi hyvinkin sinimuotoinen, tasasuuntaajan ottama verkkovirta poikkeaa tästä huomattavasti. Toisaalta verkon impedanssi poikkeaa nolasta ja se on pääasiassa induktiivinen. Tästä seuraa se, että verkon impedanssin yli jäävä jännite ei ole sinimuotoinen ja verkkoon kytkettyjen muiden laitteiden jännite vääristyy.

Lopputuloksena on se, että vaikka tasasuuntaaja ja sen kuormana oleva elektroniikkalaitte toimisivatkin moitteettomasti, saattavat samaan pisteeseen tai muualle verkkoon kytketyt kulutuslaitteet häiriintyä, kuva 1. Yliaallot häiritsevät ja kuormittavat myös itse sähköverkkoa ja saattavat aiheuttaa ohjaus- ja valvontalaitteiden vir-



Lambdan tehokertoimen korjauksella varustettu moduuli

hetoimintoja. Lisäksi virran kolmella jaolliset yliaallot summautuvat kolmivaihejärjestelmän nolajohdossa ja kuormittavat sitä huomattavasti. Edes kuormituksen tasaaminen eri vaiheiden kesken ei tässä tapauksessa auta.

Verkkohäiriöiden kurissapitämiseksi kansalliset ja kansainväliset standardoimisjärjestöt ovat asettaneet erilaisia verkkojännitteen ja -virran käyrämuotoon liittyviä standardeja. Sähkön laadussa pääasiallinen huoli on jännitteen muodossa. Suurin osa standardeista rajoittaa kuitenkin virtayliaalloja, koska yliaaltojännitteet muodostuvat yliaaltovirtojen ja verkon impedanssin yhteisvaikutuksesta ja toisaalta virtayliaalloja on helppo mitata. Jännitteitä mitattaessa myös impedanssitason on määrättävä.

Verkkosyöttöisissä teholähteissä ensimmäinen tehtävä on verkon 50 hertsin vaihtojännitteen tasasuuntaus. Valtaosa laitteista on yksivaiheisia ja sen vuoksi tässä keskitytäänkin nii-

hin. Kolmivaihejärjestelmä on valitseva suuremmilla tehoilla ja sitä käytetään pääasiassa teollisuudessa, jossa kotitalouslaitteita koskevat standardit eivät ole voimassa. Sähkön laatu teollisuuslaitoksessa on käyttäjän omalla vastuulla.

Standardit määräävät vuonna 2001

Esimerkkeinä standardeista mainittakoon EN-61000-3-2: Limits for Harmonic Currents Emissions (equipment input current = 16 A per phase) ja IEE-519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.

Jälkimmäisessä virtayliaallojen raja-arvot on annettu suhteessa virran perusaaltoon, mutta EN-61000-3-2:n rajoista osa on absoluuttiarvoja, kuten taulukossa 1 on esitetty. Se tulee pakolliseksi lähes kaikille alle 16 ampeerin laitteille 1.1.2001. Myös yli 16 ampeerin laitteiden virtayliaalloille on olemassa standardiluonnos IEC 1000-3-4.

Raja-arvot ylittyvät helposti diodi- tai tyristoritasasuuntaajalla, kun vaihevirta kasvaa ja lähestyy standardin 16 ampeerin ylärajaa. Jos vaihevirran tehollisarvo on 16 ampeeria ja tasavirta on ideaalisen tasoittunutta (erittäin harvinaista teholähteissä), yksivaiheisilla kolmannen yliaallon amplitudiksi saadaan laskemalla 4,8 ampeeria ja viidennen 2,88 ampeeria, jotka ovat huomattavasti taulukon 1 raja-arvoja suurempia.

Diodeilla ja tasajännitekondensaattorin välissä oleva suodatusinduktanssi on käytännössä paljon pienempi kuin edellinen esimerkki oletti, usein sitä ei ole lainkaan, kun teho on pieni. Verkkovirrassa on tällöin korkea pulssi verkkojännitteen huipun kohdalla. Tässä tapauksessa esimerkiksi kolmas yliaalto on paljon suurempi kuin edellisen ideaalitalanteen; se voi olla jopa kaksinkertainen.

Jos käsiteltävä teho on riittävän pieni, absoluuttinen 2,3 ampeerin raja-arvo voidaan alittaa, mutta rajoittavaksi tulee helpos-

ti suhteellinen raja-arvo. Esimerkiksi EN 61000-3-2:n luokan D tehoon kolmannen yliaallon raja-arvo on 3,4 mA/W.

Koska useissa tuotestandardissa viitataan edellä mainittuihin virtayliaalloja rajoittaviin määräyksiin, tarvitaan parempia tasasuuntaajaratkaisuja, jotta teholaite ja sen kuormana oleva elektroniikkatuote pysyisivät kilpailukykyisinä. Jos tehonsyöttö ei täytä asetettuja vaatimuksia, on koko tuotetta mahdollista myydä.

Tehokertoimen korjaus

Tasasuuntaajan verkkovirran käyrämuotoa voidaan parantaa erilaisilla passiivisilla ratkaisuilla, esimerkiksi lisäämällä suodatusinduktansseja tai yliaalto-suodattimia. Nämä ovat kuitenkin fyysisesti suurikokoisia, eivätkä välttämättä paranna tilannetta standardien vaatimalla tasolle.

Vakioratkaisuksi yksivaihesovelluksissa onkin muodostunut dioditasasuuntaajan jälkeen lisättävä jännitettä nostava katkoja (Boost), jonka piirikaavio on esitetty kuvassa 2a. Katkojan ohjauksen ensisijainen tehtävä on pakottaa tasasuunnatun virran käyrämuoto puoliaaltotasasuunnatuksi siniaalloksi. Tällöin verkkovirta on sinimuotoinen.

Tämän lisäksi ohjauksen on säädettävä myös verkosta otettu teho vastaamaan korjainpiirin kuormana olevaa tehoa. Muussa tapauksessa tasajännittekondensaattorin jännite ei pysy vakiona.

Käytetyn topologian suurimpia haittoja on se, että tasajännitteen on oltava suurempi kuin syöttävän verkon jännitteen huippuarvo. Yksivaiheisessa 230 voltin verkossa tämä tarkoittaa siis yli 330 voltin ja käytännössä lähes 400 voltin tasajännitettä. Tätä tehokertoimen korjainpiiriä käytetäänkin esiasenteena ja sen jälkeen tarvitaan yleensä jännitettä pienentävä katkoja joko galvaanisella erotuksella tai ilman.

Virran keskiarvoistettu säätö

Jännitettä nostavaan katkojaan perustuvan tehokertoimen korjainpiiriin säädön periaatteellinen lohkokaavio on esitetty kuvassa 2b ja käytännön toteutus kuvassa 3. Virran ohjearvo muodostetaan lähtöjännitteen takaisinkytkennän ja mitatun jännitteen käyrämuodon I_{ac} avulla. Syöttöjännitteen myötäkytkentänä käytetään mitattua jännitteen tehollisarvoa V_{rms} , jolla virran ohjearvo jaetaan.

Näin verkkojännitteen muutuksessa verkosta otettu teho pysyy vakiona eikä lähtöjännitettä tarvitse korjata takaisinkytkennän avulla. Ylikompensointia on kuitenkin varottava.

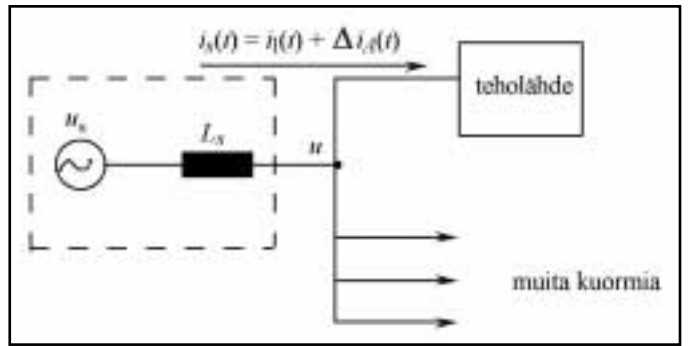
Virran säätö tapahtuu kaksipistesäätönä, jossa tehokytkin käännetään johtamattomaan tilaan, kun virran oloarvo ylittää ohjearvon $I_{av,ref}$. Kytkeäntaajuus pysyy vakiona, kun kytkin käännetään johtavaksi kiinteällä kellotaajuudella, joka useimmiten on yli 100 kHz.

Kuvan analogisen kertoijan ja jakajan tehtävänä on siis pitää jännitteen säätöpiirin vahvistus mahdollisimman vakiona. Tästä huolimatta jännitteen säätöpiirin rajataajuuden on oltava 50 hertsin verkossa pienempi kuin 100 hertsia. Tämä johtuu siitä, että lähtökondensaattorissa on väistämättä yksivaihejärjestelmän tehosta, yhtälö (1), johtuva 100 hertsin vaihtokomponentti. Se kasvaa lähtötehon kasvaessa ja pienenee kondensaattorin kapasitanssin kasvaessa.

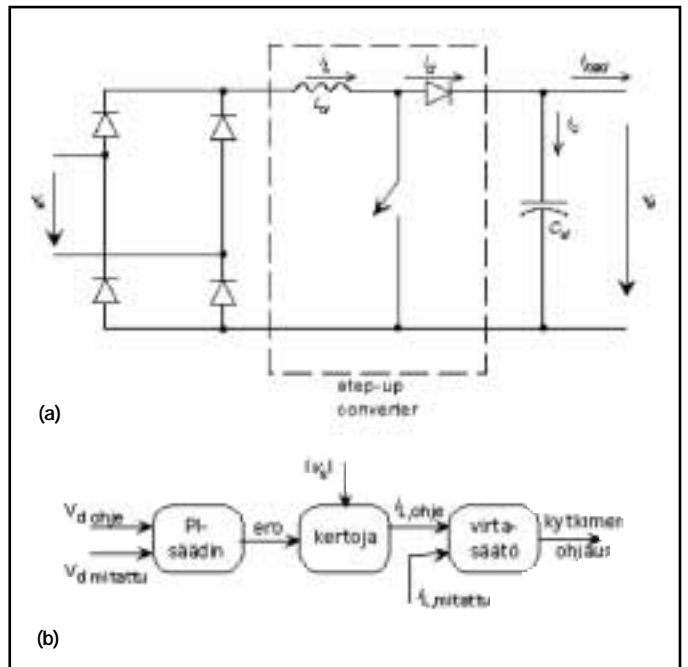
Jos rajataajuus on lähellä 100 hertsia, näkyy vaihtokomponentti erossa ja siitä johtuen huonontaa verkkovirran käyrämuotoa. Dynamiikan kannalta jännitteen säätöpiirin rajataajuuden olisi kuitenkin oltava mahdollisimman korkealla. Tyypillisesti rajataajuus on luokkaa 20 hertsia, mutta sitä voidaan nostaa esimerkiksi suodattamalla 100 hertsin komponentti pois takaisinkytkennästä.

Edellä käsitelty tehokertoimen korjainpiiriin virtasäätö perustuu virran huippuarvon säätöön, kuten hakkuritehokertoimen virtasäätö myös yleisessä tapauksessa. Tällä tavoin saavutetaan hyvä dynamiikka, sillä virtasäätösilmukan rajataajuus voi olla 1/3–1/6 osa kytkemistajuudesta. Koska tehokertoimen korjainpiirissä ulomman jännitesäädön rajataajuuden on kuitenkin oltava luokkaa 20–30 hertsia, ei virtasäädön rajataajuuden tarvitse olla 1000 hertsia suurempi.

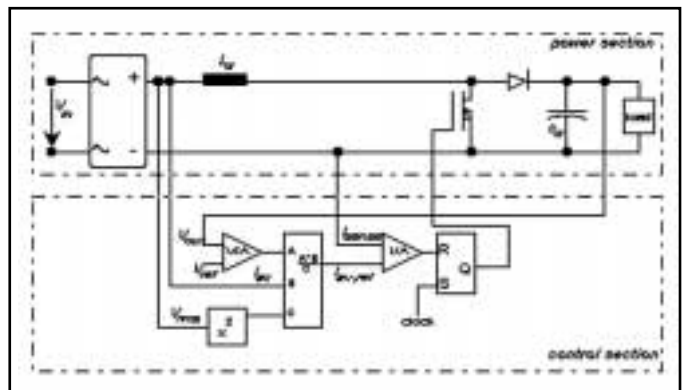
Virtasäädön rajataajuutta voidaan pudottaa lisäämällä virran mittaukseen suodatusta, joka poistaa siitä tehokkaasti kytkemistajuiset häiriöt ja parantaa myös verkkovirran tehokerrointa. Tämä voimakkaasti suodatettu oloarvo vastaa itse asiassa virran ”keskiarvoa”. Tällöin säätöpiiriin antama virran ohjearvo vastaa suodatettua virtaa eikä sitä voi käyttää edellisen kaksipistesäädön tapaan tehokytkeimen ohjaamiseen. Pulssinleveysmodulaatiota varten tarvitaan tällöin erillinen komparaattori.



Kuva 1. Teholähteen ja muiden kulutuslaitteiden kytkentä verkkoon. Verkon impedanssi yhdessä teholähteen ei-sinimuotoisen virran kanssa vääristää muiden kuormien saaman syöttöjännitteen.



Kuva 2. Tehokertoimen korjainpiiri toteutettuna jännitettä nostavalla katkojalla (a). Korjainpiiriin ohjauksessa virran ohjearvon amplitudi muodostetaan tasajännitteen virheen avulla ja virran käyrämuoto saadaan tasasuunnatusta verkkojännitteestä (b). Tämän lisäksi tarvitaan laajakaistainen virran oloarvon mittaus.

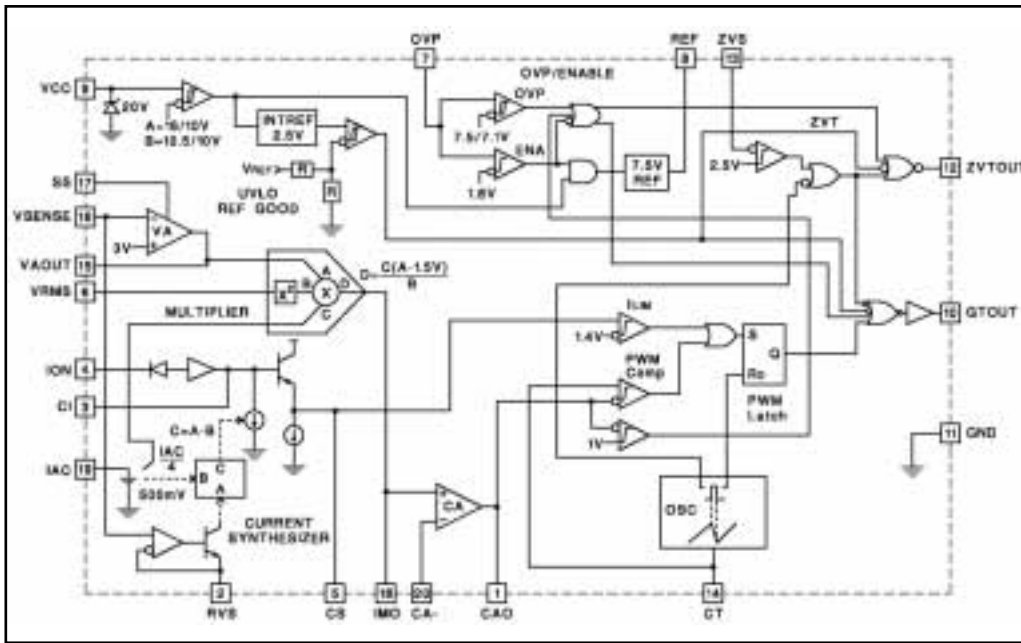


Kuva 3. Aktiivisella tehokertoimen korjauksella varustetun jännitettä nostavan katkojan teho- ja ohjainosa.

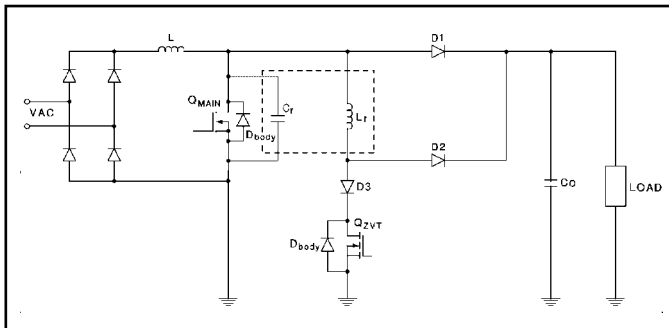
Korjaus toimii käytännössä

Esimerkin ratkaisu on toteutettu perinteisellä Nitroden UC 3854 -piirillä, joka on yksi ensimmäisistä ja vanhimmista tehokertoimen korjaimien ohjain-

piireistä, viitteet [3] ja [4]. Tasasuuntaajan kuormana oli 756 ohmin ja 300 mH kuorma, jonka saama teho on noin 210 W. Vertailun vuoksi samaa piiriä käytettiin niin, että nostavan katkojan kytkintä ohjattiin sa-



Kuva 4. Tehokertoimen korjainpiiri varustettuna ZVT-kytkennän tuottavalla resonanssiipiirillä. [4]



Kuva 5. ZVT-toiminnolla varustetun UC3855-ohjainpiirin lohkokaavio.

Virtayliaaltojen suurimmat sallitut arvot		
	Yliaallon luku	Suurin sallittu virta
Parittomat yliaallot		
	3	2,3
	5	1,14
	7	0,77
	9	0,4
	11	0,33
	13	0,21
	15–39 (n)	0,15, × 15/n
Parilliset yliaallot		
Näitä esiintyy, jos virran positiivinen ja negatiivinen puoliaalto eivät ole symmetrisiä.		
	2	1,08
	4	0,43
	6	0,3
	8–40 (m)	0,23, × 8/n

Taulukko 1. Standardin EN 61000-3-2 luokan A virtayliaaltojen raja-arvot.

Tehokertoimen korjauksen vaikutus		
	Kertoimen korjauksella	Ilman korjausta
Vs (V)	222,5	221
Is (A, tehollisarvo)	0,951	1,37
Laskettu tehokerroin, (yhtälö kaavassa (7))	0,994	0,687
Mitattu tehokerroin	0,986	0,68

Taulukko 2. Mitattuja arvoja tehokertoimen korjauksella ja ilman.

komponentteihin ja suurempiin johtohäviöihin.

Myös tehopuolijohteiden jännite- ja virtakestoisuusvaatimukset kasvavat, koska resonanssiipiirin jännitteiden tai virtojen huippuarvojen on ylitettävä muutoin käytössä olevat arvot. Näiden haittavaikutusten pienentämiseksi on kehitetty kytkentöjä, joissa ainoastaan syytymisen tai sammumisen on osa resonanssiipiirin toimintaa, [5].

Periaatteena on joko jännitteetön (ZVT, zero voltage transition) tai virraton (ZCT, zero current transition) siirtymisen tilasta toiseen, [6]. ZVT takaa tehokertoimen korjaimen pääkytkimen jännitteettömän syytymisen, mutta samalla myös diodin virrattoman sammumisen. Näin molempien komponenttien kytkentähäviöt pienentyvät samalla ratkaisulla. Diodin pehmeä sammuminen pienentää myös syntyviä sähkömagneettisia häiriöitä.

Kuvassa 4 on esitetty yksi ZVT-ratkaisu. Pääkytkintä Q_{MAIN} syytettäessä ohjaus annetaan ensin resonanssiipiirin kytkimelle Q_{ZVT} . Resonanssiipiirin induktanssin L_r virran nousua lähtövirran suuruiseksi diodi D1 sammuu pehmeästi ja syntyy resonanssiipiiri, joka purkaa kytkimen Q_{MAIN} yli olevan kondensaattorin C_r . Vasta kun kondensaattori on varaukseton, pääkytkimelle Q_{MAIN} annetaan hilaohjaus ja se syyty näin jännitteettömänä. Samalla resonanssiipiirin kytkin Q_{ZVT} sammutetaan ja L_r :ään varastoitunut energia pääsee purkautumaan D2:n kautta lähtökondensaattoriin. Käänteisessä vaihtokytkennässä Q_{MAIN} sammutetaan ja C_r rajoittaa sen dv/dt -arvon. Vasta kun V_{DS} on noussut lähtöjännitteen tasolle, virta siirtyy diodille D1.

Kondensaattorin C_r varauksen purkautumisaika pääkytkintä syytettäessä riippuu resonanssiipiirin komponenttien lisäksi kuormavirran suuruudesta. Apukytkimen Q_{ZVT} syyttämisen jälkeen tarvittava viive siis muuttuu kuormituksen mukaan. Tämän vuoksi on hyvin suotavaa, että ohjainpiirissä on pääkytkimen jännitteen mittaus, jonka perusteella hilapulssi annetaan. Näin välttyään vakio- ja pitkästä viiveeltä, joka olisi laskettava minimikuormituksen avulla. Esimerkiksi kuvan 5 Unitroden UC3855-piirin liittimeen 13 lisätään pääkytkimen VDS-jännitteen mittaus, jonka perusteella pääkytkimen syyttäminen tapahtuu. Muuten piirissä on sama toimintot kuin kuvassa 3.

mallalla 100 kHz:n taajuudella kuin tehokertoimen korjausta (jatkossa PFC, Power Factor Correction) käytettäessä. Verkkovirtaa ei kuitenkaan pakotettu sinimuotoiseksi. Tällä menetelmällä lähtöjännite ja -teho ovat samoja molemmissa tilanteissa ja tulokset keskenään vertailukelpoisia. Pelkkää dioditasasuuntaajaa käytettäessä virta on usein vielä pulssimaisempaa.

Tehokerroinkorjauksella virta on hyvin sinimuotoinen ja sen mitatut vaihesiirto jännitteen perusaallon kanssa on vain kolme astetta.

Resonanssiipiirit

Hakkuriteholähteiden suurin etu on korkea hyötysuhde. Jännitteen säätö tehdään pulssinleveysmoduloinnilla, jolloin teho-kytkimen ollessa johtavassa tilassa sen yli jää vain pieneen päästöjännitteeseen ja kuormavirtaan verrannollinen tehohäviö. Tehopuolijohteiden kehityksestä huolimatta kytkinkäytössä, syytyksessä ja sammumuksessa, puolijohteen yli vaikuttaa lyhyen aikaa sekä pääpiirin jännite että virta. Kytkemistaajuuden kasvaessa myös kytkemishäviöt kasvavat.

Kytkentähäviöiden vähentämiseksi onkin esitetty lukuisia määriä erilaisia resonanssiipiireihin perustuvia ratkaisuja, joilla kytkentäilmiötä muokataan. Pääperiaate on ollut joko jännitteettömässä (ZVS, zero-voltage switching) tai virrattomassa (ZCS, zero-current switching) kytkennässä. Näissä tekniikoissa haittana on se, että itse kuormavirta on osa resonanssiipiirin virtaa ja se johtaa suurempiin

Määritelmiä

Verkkovirta voidaan hajottaa perus- ja yliaaltotermeiksi Fourier-analyysin avulla. Kun verkkojännite on puhtaasti sinimuotoinen, vain virran perusaalto I_{s1} siirtää tehoa ja siihen liittyvä tehon hetkellisarvoinen yhtälö

$$(1) p_{in}(t) = \sqrt{2} V_s \sin \omega t \cdot \sqrt{2} I_{s1} \sin(\omega t - \phi_1) = V_s I_{s1} \cos \phi_1 - V_s I_{s1} \cos 2\omega t$$

sisältää keskiarvon

$$(2) P = V_s I_{s1} \cos \phi_1$$

lisäksi kaksinkertaisella taajuudella vaihtelevan komponentin. Virran yliaallot yhdessä ideaalisen sinimuotoisen jännitteen kanssa eivät siirrä tehoa. Jännitteen väärityssä myös jännitteen ja virran saman taajuiset yliaaltokomponentit siirtävät tehoa. Nämä on kuitenkin jätetty tässä huomiotta osittain senkin takia, että jänniteyliaallot ovat pieniä ja yliaaltojen vaihe siirto usein lähellä 90 astetta.

Virtayliaallot kuormittavat sähköverkkoa ja suurentavat sen mitoitusta. Virtayliaaltoihin liittyvää tehoa kutsutaan usein särötehoksi ja parhaiten se näkyy kasvaneena näennäistehona, joka on jännitteen ja virran tehollisarvojen V_s ja I_s tulo

$$(3) S = V_s I_s$$

Myös perusaaltoihin liittyvä näennäisteho, $S_1 = V_s I_{s1}$, voidaan määrittellä ja se on aina pienempi tai yhtäsuuri kuin S . Tehokerroin (Power Factor) määritellään pätötehon ja näennäistehon suhteena

$$(4) PF = \frac{P}{S}$$

ja edellisten yhtälöiden avulla se voidaan kirjoittaa myös muodossa

$$(5) PF = \frac{V_s I_{s1} \cos \phi_1}{V_s I_s} = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \phi_1$$

kun jännite on oletettu sinimuotoiseksi. Jännitteenkin säröytyessä tehokertoimen määritelmää on laajennettava. Perusaallon tehokerroin, (Displacement Power Factor)

$$(6) DPF = \cos \phi_1$$

on sinimuotoisille virroille yhtä suuri kuin tehokerroin, sillä siinä tapauksessa $I_s = I_{s1}$. Usein nämä kaksi termiä sekoitetaan keskenään ja puhutaan vain

yleisesti tehokertoimesta. Niiden lukuarvoissa voi olla kuitenkin suuri ero kuten edellisistä määritelmistä nähdään.

Tehokerroin PF ilmaisee sen, kuinka hyvin laite käyttää hyväkseen syöttöverkkoa. Suuremmalla tehokertoimella samasta verkosta saadaan suurempi pätöteho. Tehokertoimen maksimoimiseksi virtayliaaltojen on oltava pieniä ja lisäksi perusaallon vaihe siirto mahdollisimman lähellä nollaa. Dioditasasuuntaajan virran perusaalto on aina lähes samanvaiheinen jännitteen kanssa. Siten tehokertoimen korjaamisessa tehollähteessä ei ole kyse vaihe siirron korjaamisesta, vaan virran yliaaltojen pienentämisestä. Itse asiassa standarditkaan eivät vaadi tehokertoimelta mitään tiettyä arvoa, vaan ne rajoittavat virran yliaaltoja.

Useissa tapauksissa on luotettavinta mitata virran yliaallot spektrianalyysaattorilla ja käyttää näin saatuja tuloksia tehokertoimen määrittämiseen. Tällöin voidaan soveltaa yhtälöitä

$$(7) PF = \frac{I_{s1}}{I_s} DPF = \frac{I_{s1}}{\sqrt{I_{s1}^2 + I_{dis}^2}} DPF, \text{ jossa } I_{dis}^2 = \sum_{n=2}^{40} I_n^2$$

Teoriassa virran särökomponenttiin I_{dis} summautuvat kaikki yliaallot, eli edellä oleva summa on päättymätön. Tässä on huomioitu vain järjestyslukultaan 40 ensimmäistä yliaaltoa, koska EN 61000-3-2:n aluekin päättyy tähän. Kyseisessä standardissa sanotaan myös ylimalkaisesti, että yliaaltojen 2-19 mittaaminen riittää, jos sitä suurempien verhoikäyrä on monotonisesti laskeva. Näinhän se yleensä on.

Joissain standardeissa käytetään myös raja-arvoja särökertoimelle (THD, Total Harmonic Distortion), jonka määritelmä (IEEE-519) virralle on

$$(8) THD(\%) = 100 \frac{I_{dis}}{I_{s1}}$$

Itse asiassa THD:hen liittyvän vaatimuksen täyttäminen saattaa olla vaikeampaa kuin yksittäisten yliaaltojen, koska THD:ssä kaikki yliaallot summautuvat. Ainakin IEEE-519:ssä on esitetty vaatimus THD:lle. Se riippuu verkon oikosulkuvirran I_{sc} ja kuorman nimellisvirran I_s suhteesta niin, että järkevässä verkossa sallitaan suurempi yliaaltopitoisuus.

Tuokimmillaan se on 5,0 prosenttia 120 V - 69 kV verkossa tilanteessa, jossa $I_{sc}/I_s < 20$, jolloin se on 5,0 prosenttia. Eurooppalaisessa kirjallisuudessa särökerroin tavallisimmin määritellään särövirran I_{dis} suhteena virran tehollisarvoon I_s ja koska $I_s \geq I_{s1}$, näin määritelty kerroin on aina pienempi tai yhtäsuuri kuin yksi. Yhtälön (8) tulos sen sijaan voi olla suurempi kuin yksi. Särökerrointa käytettäessä olisi syytä tarkistaa käytetty määritelmä ikävien yllätysten välttämiseksi.

Korjaus teknisesti perusteltua

Edellä ollutta voi pitää vain lyhyenä katsauksena laajaan aihealueeseen. Käsiteltynä läheisesti liittyviä aiheita ovat vielä galvanisen erotuksen toteuttaminen ja yksiastetopologiat. Niissä pyritään yhdellä tehoasteella tuottamaan sekä tehokertoimen korjaus että säädetty tasajännite. Kolmivaihejärjestelmät ovat oma luku sinänsä. Niissä voidaan käyttää moottorikäyttöistä tuttua kolmivaiheista vaihtosuuntaajaa, mutta tehollähdessovelluksiin se on yleensä liian kallis ratkaisu.

Otsikossa esitettyyn retoriiseen kysymykseen voi vastata,

että tehokertoimen korjaus on sekä teknisesti perusteltua että standardien vaatimus. Vaikka tehokertoimen korjaus lisää tehoasteen komponenttien lukumäärää, niin mitoituksessa voidaan hyötyä vakiona pysyvistä tasajännitteistä sekä syöttöverkon pienemmästä kuormituksesta. Ilmeisesti standardin vaatimukset ovat liian tiukkoja tai niiden toteuttaminen vielä liian kallista. Tähän johtopäätökseen tulee, koska EN 61000-3-2:n voimaantulopäivää on siirretty useamman kerran. Tällä hetkellä se on 1.1.2001.

Avoimia kysymyksiä on vielä runsaasti. Teknillisen korkeakoulun Älykkään tehoelektron-

niikan instituutissa onkin käynnistynyt aihealueeseen liittyvä laajakohtainen tutkimushanke osana TEKESin ETX-ohjelmaa. Tavoitteena on yksinkertainen ja halpa tasa-suuntaajaratkaisu. Tutkimuksen tuloksia tullaan julkaisemaan tieteellisten lehtien lisäksi myös kansallisilla foorumeilla. Tällainen on esimerkiksi 26-27 elokuuta Otaniemessä pidettävä NORPIE/98 konferenssi (IEEE Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics), joka jatkaa onnistuneen FINPIE/97-tapahtuman perinnettä. ●



Jorma Kyyrä hoitaa sähkökäytön ja tehoelektronikan professorin virkaa. Hän on myös Älykkään tehoelektronikan instituutin johtaja.

ENGLISH SUMMARY

Power factor correction

Use of electrical equipment has expanded enormously during the last decade. This means that at the same time the number of power supplies increases. Power electronic converters are non-linear loads when seen from the ac supply side. For example the input current of a diode rectifier is not sinusoidal although supply voltage is.

The demands in power supply systems have been rising because various international and national standards, which require lower current harmonics, have come or will come into force. The aim of PFC (Power Factor Correction) is to force the input current to follow the waveform of input ac voltage.

Aiheesta enemmän

- EN 61000-3-2: Limits for Harmonic Current Emissions (equipment input current = 16 A per phase), (IEC-1000-3-2)
- IEEE 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems
- Schaffeler Peter, Kyyrä Jorma: Active Power Factor Correction of a Single-Phase Rectifier, Stockholm PowerTech, 1995.
- Unitrode: Product and Application Guide CD-ROM, 1996 ja <http://www.unitrode.com/>
- G. C. Hua, C. S. Leu, Y. M. Jiang, and F. C. Lee, Novel Zero-Voltage - Transition PWM Converters, IEEE Power Electronics Specialist konferenssijulkaisussa, 1992
- Grigore V., Kyyrä J.: A New Zero-Voltage-Transition PWM Switching Cell, FINPIE/97 konferenssijulkaisussa, Espoo, 1997.
- NORPIE/98: <http://www.hut.fi/Units/PowerElectronics/norpie98.html>