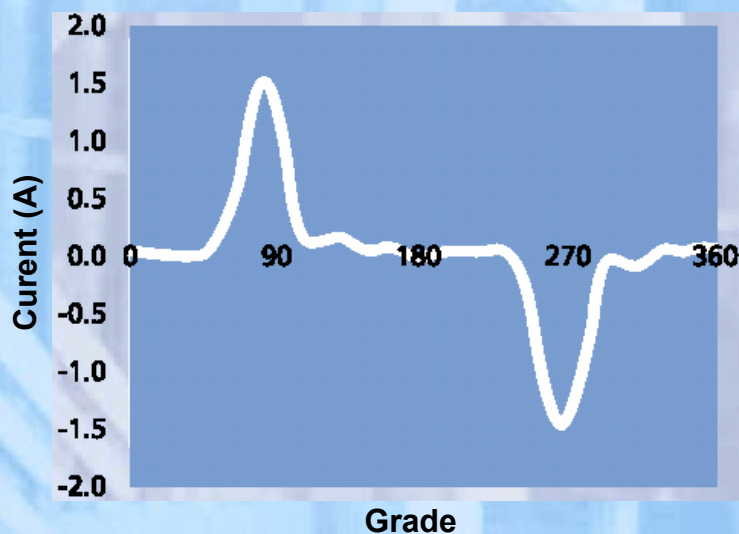


Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Armonici *Filtre active de rețea*

3.3.3



Armonici

Armonici

Filtre active de rețea

Shri Karve
MGE UPS Systems Ltd
Martie 2001

(Versiunea 0b Noiembrie 2001)

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și membrii IWCC (International Wrought Copper Council). Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de zece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit. ECI continuă eforturile întreprinse inițial de către Copper Products Development Association, apărută în 1959 și INCRA (International Copper Research Association), apărută în 1961.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER se va implica în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România.

Mulțumiri

Acest proiect a fost realizat cu suportul Comunității Europene și al International Copper Association, Ltd.

Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidentale care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Membră a
EUROPEAN

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Filtre active de rețea

În puțin peste 10 ani problema calității energiei electrice a depășit domeniul de interes al specialiștilor fiind privită în prezent ca o problemă de interes major. Societățile comerciale depind într-o măsură din ce în ce mai mare de energia electrică pentru alimentarea sarcinilor critice, în același timp însă prin creșterea numărului sarcinilor bazate pe electronică de putere, crește nivelul distorsiunii armonice în sistemul de alimentare. Echipamentele de filtrare capătă o importanță din ce în ce mai mare pentru furnizorii de energie electrică și clienții lor.

Introducere

Problemele determinate de curenții armonici în instalații și în rețeaua de alimentare au fost analizate în secțiunea 3.1. O mare parte din sarcina industrială, comercială și casnică are caracteristici neliniare și nivelul distorsiunii armonice în rețeaua de distribuție de joasă tensiune a devenit o problemă serioasă. Problemele care ar putea fi determinate de nivelul excesiv al armonicilor de tensiune în rețeaua electrică sunt cunoscute de mult timp și au fost stabilite proceduri și standarde pentru a limita aceste distorsiuni. Aceste măsuri au cunoscut un succes deosebit, atunci când problemele pe care le au consumatorii au fost determinate, aproape întotdeauna, de aspecte din interiorul societății și rareori au fost introduse de rețeaua electrică de alimentare. Dacă această situație se menține, consumatorii trebuie să-și limiteze curentul armonic absorbit din rețea. În consecință, consumatorii trebuie să se asigure că este prevăzută filtrarea armonicilor și dacă este necesar să realizeze acest lucru. În general, există trei metode disponibile, fiecare cu avantajele și dezavantajele sale. Acestea sunt:

- ◆ filtre pasive
- ◆ soluții utilizând transformatoare – de izolare, zig-zag, grupare fazorială
- ◆ filtre active.

În această secțiune sunt discutate filtrele active, numite în prezent *condiționere active de armonici* (*Active Harmonic Conditioners - AHC*). Exemplele analizate în lucrare se referă la versiunea comercială realizată de MGE UPS Systems Limited și care se comercializează sub denumirea de „SineWave”.

Echipamentele de limitare a armonicilor pot fi destinate pentru a satisface cerințele furnizorilor de energie (adică să corespundă condițiilor impuse de G5/4 sau altor norme locale echivalente) sau de a rezolva problemele ridicate de curentul armonic în interiorul instalației. Poziționarea și selectarea echipamentului depinde de condițiile particulare și necesită în mod obișnuit o analiză detaliată privind armonicile.

Acolo unde sunt în funcțiune echipamente informatice (IT), toate armonicile impare existente determină probleme, precum supraîncărcarea conductorului neutru cu armonici de rang multiplu de trei (respectiv multiplu de trei impare). Asemenea probleme pot să fie evitate printr-o proiectare corespunzătoare – prin dimensionarea corectă a cablurilor la instalarea lor – însă, de multe ori, modificarea funcționalităților și amenajărilor într-o clădire poate să ducă la apariția acestei probleme după un timp îndelungat după ce clădirea a fost deja dată în funcțiune. Problema este amplificată prin faptul că dotările birourilor sunt frecvent reorganizate, astfel încât circuitele care odată erau relativ „curate” devin puternic poluate. Cu alte cuvinte, se modifică profilul armonic al clădirii, odată cu aducerea de noi echipamente și relocarea celor existente. Modificările sunt, în mod obișnuit, planificate fără a se ține seama de efectul pe care acestea îl au asupra infrastructurii electrice a clădirii.

Reamplasarea cablurilor într-o clădire în funcțiune poate fi foarte scumpă și să ducă la demolări mult prea mari, astfel încât pentru a fi luate în considerare sunt necesare alte metode de limitare. Utilizarea filtrelor pasive este posibilă (a se vedea secțiunea 3.3.1 a acestui Ghid), însă este dificil de proiectat un circuit pasiv eficient, de filtrare pentru armonica de rang trei. Un filtru pasiv va răspunde numai la armonicile pentru care a fost proiectat, încât vor fi necesare noi circuite de filtrare individuale pentru alte frecvențe armonice nedorite care apar. În unele cazuri, atunci când spectrul armonic se modifică, este necesară reamplasarea sau suplimentarea filtrului pasiv. Transformatoarele în zig-zag sau transformatoarele în triunghi de izolare sunt eficiente contra armonicilor cu rang multiplu de trei, dar nu au efect asupra altor armonici. În aceste cazuri, utilizarea filtrelor active reprezintă o soluție foarte bună.

Topologia filtrelor active

Ideia care stă la baza filtrelor active este relativ veche, însă lipsa unor mijloace tehnice, la un preț competitiv, a întârziat punerea în practică pentru un număr de ani. În prezent, larga disponibilitate a semiconductoarelor IGBT (*insulated gate bipolar transistors*) și a procesoarelor numerice de semnal (*Digital Signal Processors - DSP*) au determinat ca filtrele active să devină o soluție practică.

Filtre active de rețea

Principiul unui filtru activ este simplu; electronica de putere este utilizată pentru generarea armonicilor de curent electric cerute de sarcina neliniară, astfel încât sursa normală de alimentare este destinată să asigure numai componenta fundamentală a curentului. În figura 1 este indicat principiul filtrului activ paralel.

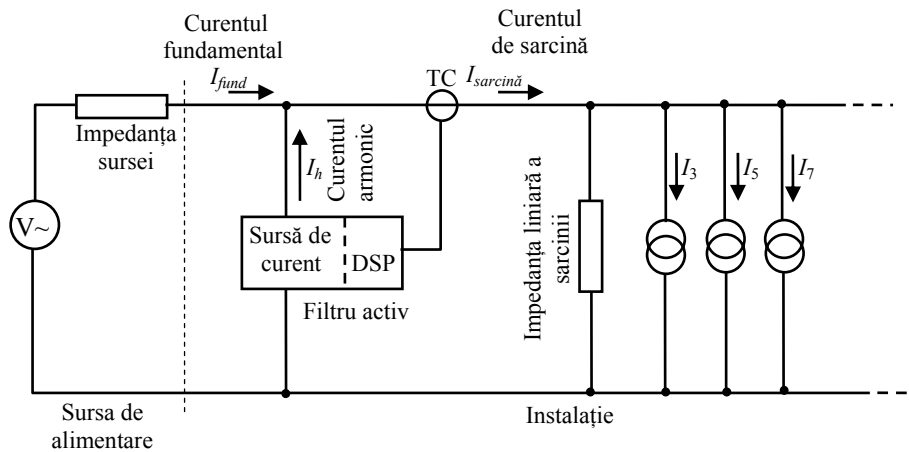


Fig. 1 – Filtru activ paralel.

Curentul de sarcină este măsurat cu ajutorul transformatorului de curent TC, al cărui curent secundar este analizat de procesorul DSP pentru a determina spectrul armonic. Această informație este utilizată de sursa de curent pentru a genera exact armonicile de curent cerute de sarcină, în perioada următoare a fundamentalei. În realitate, curentul armonic cerut de la sursa de alimentare se reduce până la circa 90%.

Deoarece filtrul activ se bazează pe datele de la transformatorul de măsurare de curent electric, este adaptabil rapid la modificarea componenței spectrale a sarcinii. Deoarece procesul de analiză și generare este controlat prin soft, în fond este simplu de programat echipamentul astfel încât să asigure eliminarea numai a unor armonici în vederea realizării unei eficiențe maxime, în limitele posibile ale echipamentului.

Sunt mai multe topologii propuse pentru aceste echipamente și unele dintre acestea sunt prezentate mai jos. Fiecare topologie are condiții proprii privind dimensionarea componentelor și metode specifice de dimensionare a întregului filtru în funcție de sarcina care trebuie luată în considerare.

Filtrele active serie

Acest tip de filtru (FAT – filtru activ de tensiune) – figura 2 – conectat în serie în rețelele de distribuție, asigură compensarea atât a armonicilor de curent electric generate de sarcină cât și tensiunea deformată care există în mod obișnuit în rețeaua electrică de alimentare. Această soluție este asemănătoare din punct de vedere tehnic cu un filtru de rețea și trebuie dimensionat pentru întreaga sarcină.

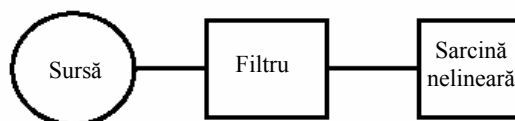


Fig. 2 – Filtru activ serie

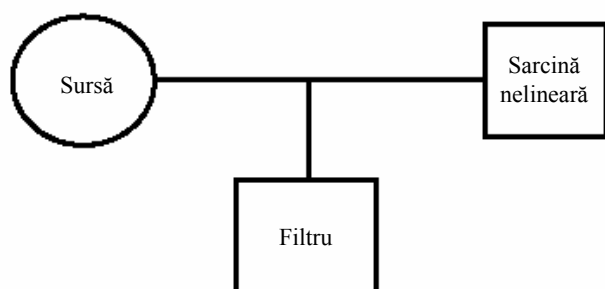


Fig. 3 – Filtru activ paralel

Filtrele active paralele

Sunt denumite filtre active paralele (FAC – filtre active de curent) – figura 3 – echipamentele conectate în paralel cu sursa de alimentare și dimensionate numai pentru *curenții armonici* absorbiți de sarcina (sarcinile) neliniară. Acest tip de filtru, este prezentat detaliat în continuare.

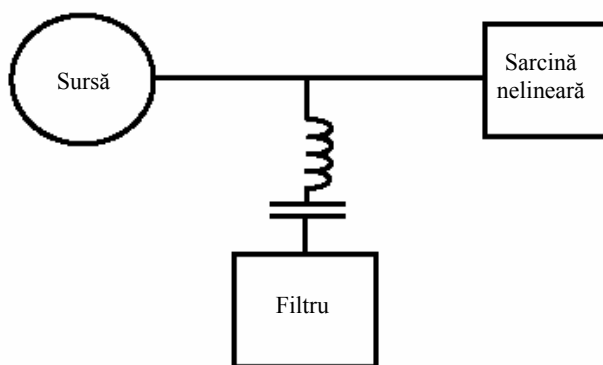


Fig. 4 – Filtru hibrid

Filtru hibrid

Această soluție, combinând un filtru activ cu unul pasiv (fig. 4) poate fi întâlnită atât la filtrul paralel cât și la cel serie. În unele cazuri este soluția cea mai eficientă economic. Filtrul pasiv realizează filtrarea armonicilor principale (de exemplu, armonica de rang 5), iar filtrul activ, determinat de exactitatea și dinamica sa, asigură filtrarea celorlalte armonici.

Principiul de funcționare al filtrului activ paralel

Filtrul activ de curent este conectat în paralel cu rețeaua de alimentare și în mod constant injectează curenți armonici care corespund în mod exact componentelor armonice absorbite de sarcină. Ca rezultat curentul electric asigurat de sursa de alimentare rămâne sinusoidal.

Întregul spectrul al armonicilor de joasă frecvență, de la cea de rang doi până la cea de rang 25 este compensat.

Dacă curentul armonic absorbit de sarcină este mai mare decât valoarea de dimensionare a filtrului, acesta își limitează automat curentul de ieșire la valoarea maximă de dimensionare; filtrul nu poate fi supraîncărcat și va funcționa corect până la valoarea maximă a curentului de dimensionare. Excesul de armonici va fi absorbit de la rețeaua de alimentare; filtrul poate funcționa în mod permanent în această stare, fără a fi deteriorat.

Punctul de conectare și configurația

Filtrul activ poate fi amplasat în diferite puncte din rețeaua de distribuție:

- ◆ centralizat, în punctul comun de cuplare (PCC), pentru o compensare globală a armonicilor de curent electric (fig. 5. poziția A)
- ◆ compensare parțială a armonicilor de curent electric (fig. 5, poziția B)
- ◆ în apropierea sarcinii poluante, asigurând o compensare locală a armonicilor de curent electric (fig. 5, poziția C).

Filtre active de rețea

De subliniat faptul că filtrul răspunde numai la armonicile din aval, în cazul filtrului din poziția B de exemplu, vor fi compensate numai armonicile de curent electric din cablul de alimentare 3 și nu va răspunde la sarcinile de pe celelalte alimentări. Acest lucru permite o mare flexibilitate în proiectarea schemelor de filtrare.

Ca la toate filtrele, circuitul spre sarcină rămâne în continuare poluat cu armonici de curent electric; numai circuitul spre rețeaua de alimentare este nepoluat. De remarcat faptul că circuitul spre sarcină trebuie să fie dimensionat ținând seama de armonici și de efectul pelicular.

În mod ideal, compensarea armonicilor trebuie făcută la locul lor de apariție. Pentru a optimiza compensarea armonicilor, unele filtre pot fi conectate în diferite configurații. Aceste configurații pot fi utilizate în orice punct al rețelei de distribuție, oferind o flexibilitate totală și posibilitate largă de alegere a strategiei de compensare. Cele mai utilizate configurații sunt descrise în următoarele două paragrafe.

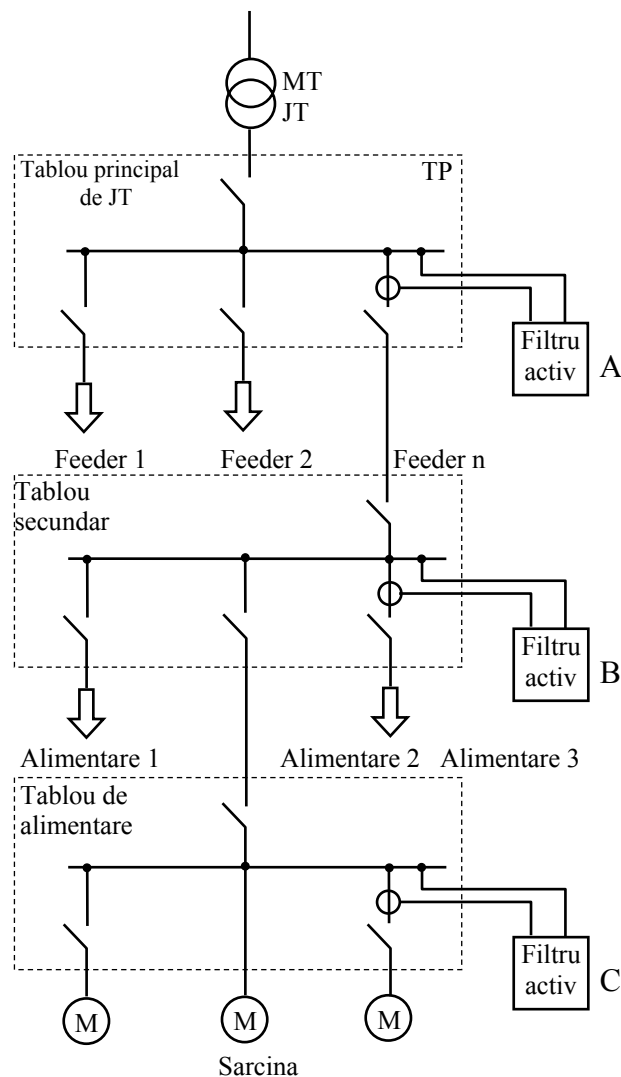


Fig. 5 – Sistem de distribuție radial în trei trepte cu indicarea punctelor în care este posibilă conectarea filtrelor active.

Configurația paralelă

Această configurație, indicată în figura 6, oferă trei posibilități diferite:

- ◆ creșterea capacității de compensare într-un punct dat al rețelei de curent alternativ prin conectarea până la patru filtre de aceeași valoare nominală;
- ◆ creșterea capacității de compensare pentru o eventuală extindere în viitor a sarcinii;
- ◆ o mai bună fiabilitate la utilizarea filtrelor de aceeași valoare nominală într-un mod redundant de funcționare.

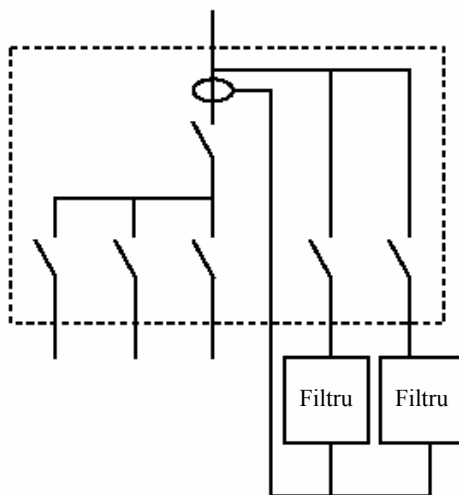


Fig. 6 – Configurație paralelă

Configurație în cascadă

Această configurație, indicată în figura 7, are următoarele avantaje:

- ◆ creșterea capacității totale de compensare utilizând filtre cu aceeași valoare nominală sau cu valori nominale diferite;
- ◆ compensarea locală a unei anumite sarcini sau a unor armonici și compensarea globală a unui grup de sarcini neliniare.

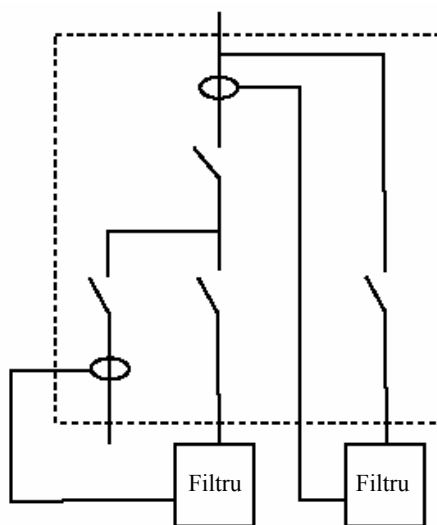


Fig. 7 – Configurație în cascadă

Rezultate ale unei aplicații test

Acest capitol prezintă unele rezultate tipice la implementarea filtrelor active la o sarcină neliniară. În figurile de mai jos sunt ilustrate nivelurile de compensare care se pot obține în cazul unor aplicații tipice în industrie și în clădirile comerciale.

Sarcină de tip calculator personal

Sarcina de tip calculator personal este caracterizată de un spectru bogat de armonici de joasă frecvență de rang impar, armonicile de rang trei, cinci, șapte și nouă având un nivel foarte ridicat. Un spectru tipic este indicat în figura 8.

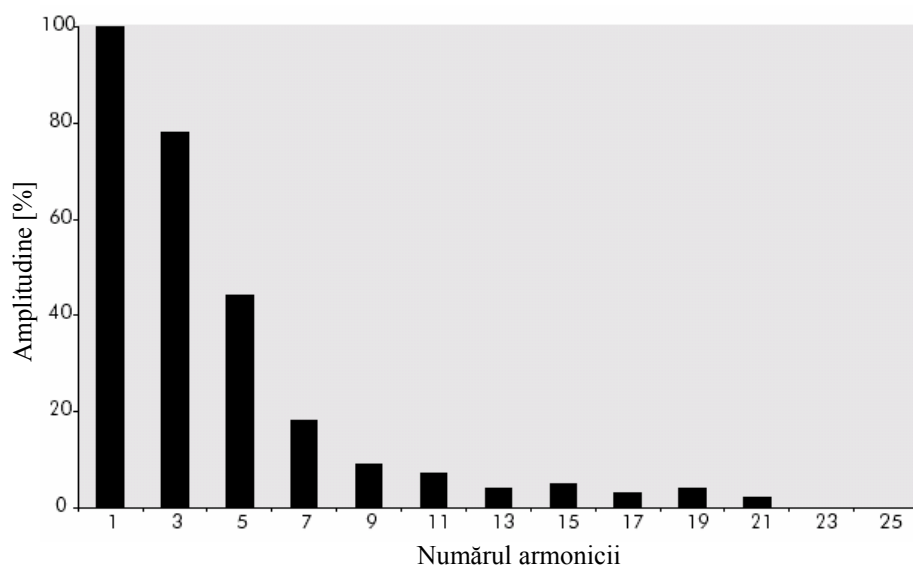


Fig. 8 – Spectru nefiltrat al unei sarcini de tip calculator personal

Sarcina de acest tip determină un mare număr de probleme, incluzând supraîncărcarea conductorului neutru, supraîncălzirea transformatoarelor și încălzirea datorată efectului pelicular, aspecte analizate în secțiunea 3.1 a acestui Ghid. Dacă se implementează un filtru activ pentru această sarcină, spectrul curentului absorbit din rețeaua de alimentare este indicat în figura 9. Îmbunătățirea este vizibilă – factorul de distorsiune total (THDI) se reduce de la 92,6% la 2,9% (de 32 de ori) și valoarea efectivă a curentului electric scade cu 21%.

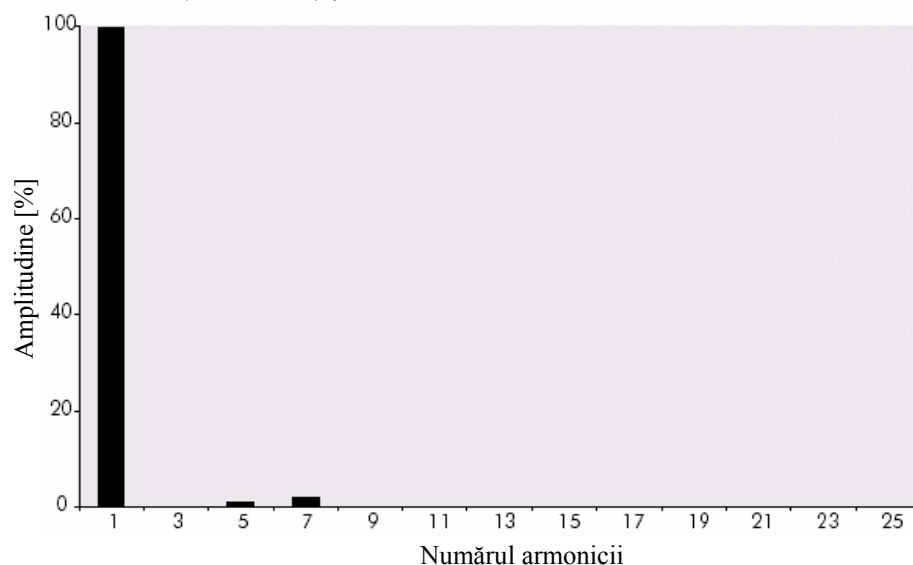


Fig. 9 – Compensarea completă a sarcinii de tip calculator personal

Filtre active de rețea

Compensarea completă, așa cum este indicată în figura 9, necesită un curent mare de la filtru. În funcție de circumstanțe, poate să nu fie necesară compensarea tuturor armonicilor de curent electric. De exemplu, ar putea apărea problema numai a armonicii de rang trei și atunci este suficient de a elimina numai această armonică. În figura 10 este indicat efectul asupra curentului din sursa de alimentare dacă se programează filtrul pentru a elimina numai armonică de rang trei.

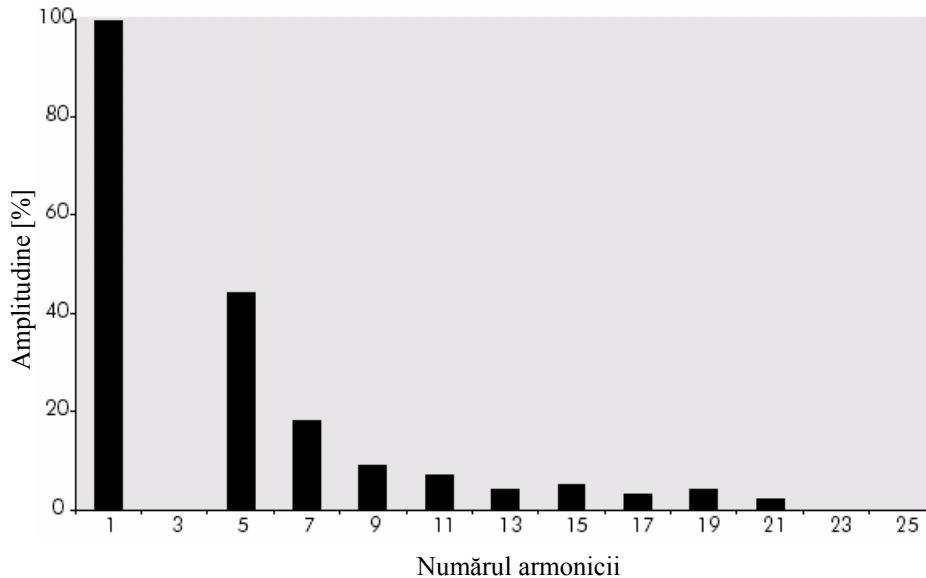


Fig. 10 – Compensarea parțială a sarcinii de tip calculator personal

Avantajul acestei soluții constă în aceea că problema poate fi rezolvată cu un curent mai redus generat de filtru, astfel încât un filtru poate răspunde unei sarcini mult mai mari.

Sarcină de tip acționare cu viteză variabilă

În figura 11 este indicat spectrul tipic al unei sarcini de tipul acționare cu viteză variabilă, cu sarcină parțială. Nivelul foarte ridicat al componentelor de rang cinci și șapte poate determina probleme serioase în instalații, ca supraîncălzirea transformatoarelor, și poate conduce la probleme serioase la limitarea armonicilor de curent electric de către furnizorul de energie electrică.

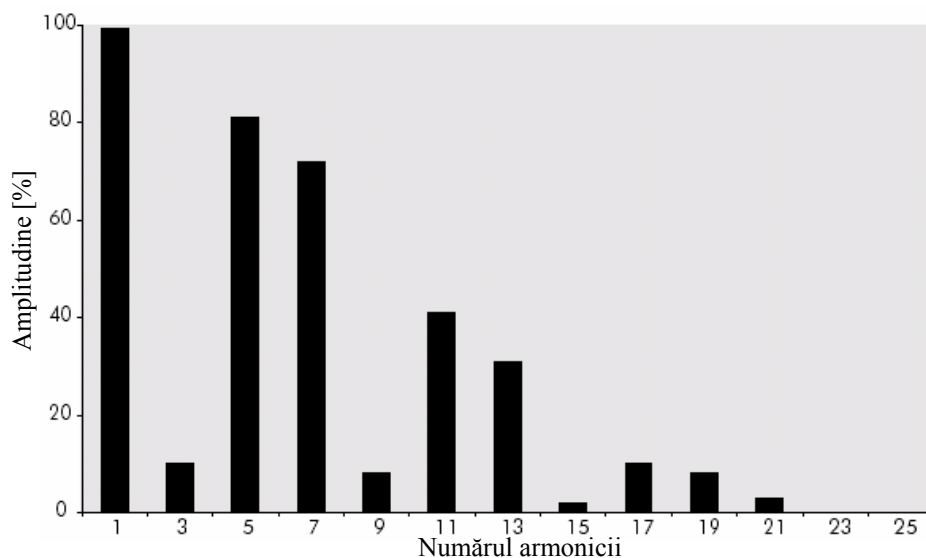


Fig. 11 – Spectrul armonic tipic, necompensat, al unei sarcini de tip acționare cu viteză variabilă

Filtre active de rețea

Implementarea unui filtru activ și acceptând o compensare completă, determină spectrul armonic indicat în figura 12. În acest caz, factorul total de distorsiune TDHI se reduce de la 124% la 13,4% (de 9,3 ori), cu o reducere de 30% a valorii efective.

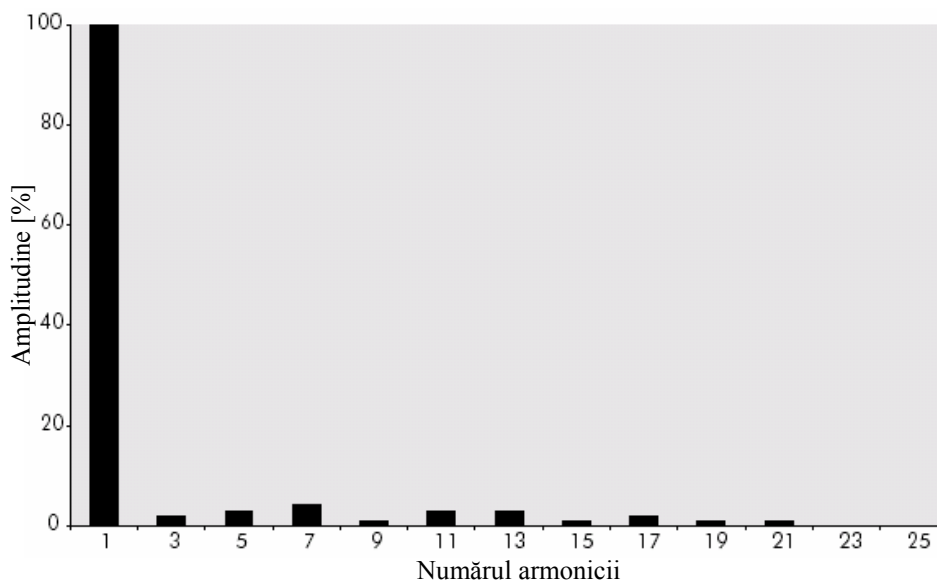


Fig. 12 – Spectrul armonic compensat al unei sarcini de tip acționare cu viteză variabilă

Avantajele filtrelor active

Filtrele active au următoarele avantaje:

- ◆ reducerea factorului de distorsiune de curent TDHI în raport de circa 10:1
- ◆ creșterea factorului de putere
- ◆ nu este afectat de variația frecvenței – de exemplu la funcționarea pe o sursă de rezervă
- ◆ nu apare riscul rezonanțelor cu o armonică oarecare
- ◆ nu poate fi supraîncărcat
- ◆ flexibilitate
- ◆ dacă este necesar, poate fi programat să răspundă la o armonică specifică.

Filtrele de armonici oferă o soluție practică și simplă pentru probleme care pot fi foarte complexe. Este o soluție foarte flexibilă, care face ca la schimbările funcționalităților și a configurației într-o clădire să se găsească o rezolvare simplă.

Parteneri

Copper Benelux

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090
Fax: 00 32 2 777 7099
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

Copper Development Association

Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonneshof 5
D-40474 Duesseldorf
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

ECD Services

Via Cardinal Maffi 21
I-27100 Pavia
Italy

Tel: 00 39 0382 538934
Fax: 00 39 0382 308028
Email: info@ecd.it
Web www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

Hevrox

Schoebroekstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420
Fax: 00 32 11 454 423
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendrixx

HTW

Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbruecken
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279
Fax: 00 49 681 5867 302
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italy

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirednet.it
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee

Belgium
Tel: 00 32 16 32 10 20
Fax: 00 32 16 32 19 85
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz

TU Bergamo

Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07
Fax: 00 39 035 56 27 79
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192
Fax: 00 48 71 32 03 596
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



Shri Karve



MGE UPS Systems Ltd
Orion House
171-177 High Street
Harrow HA3 5EA
United Kingdom

Tel: 00 44 20 8861 4040
Fax: 00 44 20 8861 2812
Website: www.mgeups.com



Membră a
EURSEL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org