

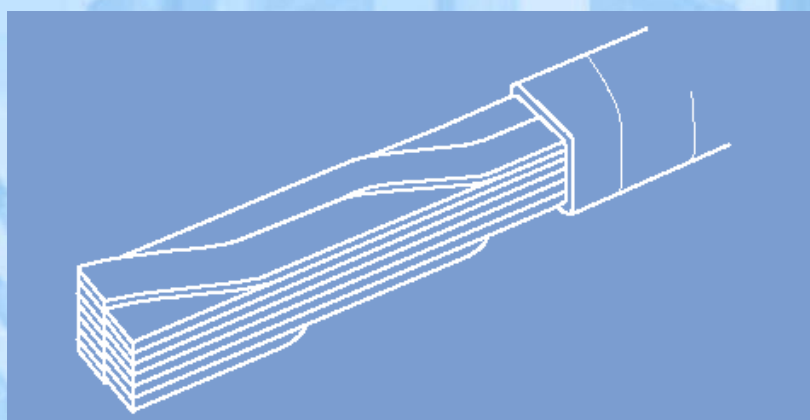
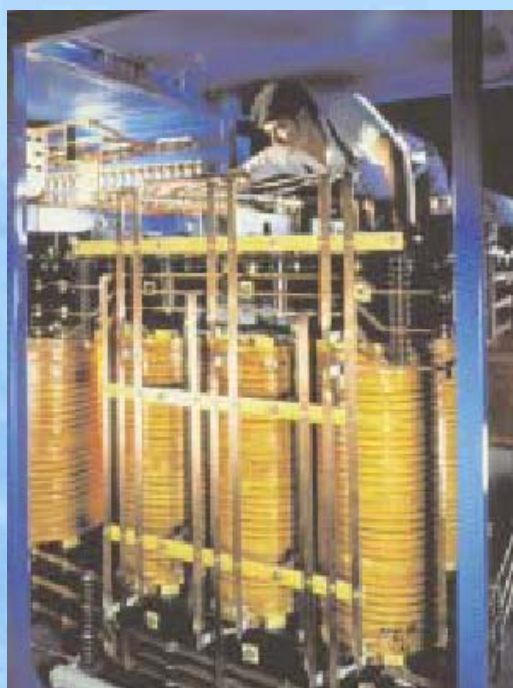
Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Armonici

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

3.5.2



Armonici

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

Prof Jan Desmet, Hogeschool West-Vlaanderen &
Gregory Delaere, Labo Lemcko
Noiembrie 2005



Acest ghid este realizat ca parte a Inițiativei Leonardo pentru Calitatea Energiei Electrice, un program european de educație și învățare, sub egida și cu suportul Comunității Europene (în programul Leonardo da Vinci) și International Copper Association. Pentru alte informații privind acest program a se vedea www.lpqi.org.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și industria europeană de fabricate. 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 unsprezece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Rusia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit.

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.

Versiunea în limba română a prezentei broșuri a fost realizată exclusiv de către membrii SIER: traducerea a fost efectuată de **Ing. Hermina Albert** iar verificarea de către **Prof. dr. ing. Nicolae Golovanov**, **Dr. ing. Fănică Vatră** și **Drd. ing. Ana Poida**.

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, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko 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, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

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



Membră a
EUREL

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

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

Introducere

Numărul sarcinilor nelineare – care determină curenți nesinusoidali chiar dacă sunt alimentate cu tensiune sinusoidală – conectate la rețeaua electrică care le alimentează este mare și continuă să crească repede. Acești curenți pot fi definiți prin componenta lor fundamentală și componentele armonice de rang superior.

La transformatoarele de putere, principala consecință a curenților armonici este creșterea pierderilor, în principal în înfășurări, datorită deformării fluxului de scăpări. Pierderi mai mari înseamnă că în transformator este generată mai multă căldură, astfel încât temperatura de funcționare crește, conducând la deteriorarea izolației și o posibilă reducere a duratei de viață.

Rezultă că este necesar să se reducă sarcina maximă a transformatorului, o practică cunoscută ca denominalizare, sau să se acorde o atenție deosebită în proiectarea transformatorului pentru reducerea acestor pierderi.

Pentru a estima nivelul de denominalizare a transformatorului se poate utiliza factorul de încărcare K . Acest factor este calculat în funcție de spectrul armonic al curentului de sarcină și este o indicație referitoare la pierderile suplimentare datorate curenților turbionari. El reflectă pierderile suplimentare produse într-un transformator cu bobinaj tradițional.

Transformatoarele moderne folosesc soluții alternative, ca de exemplu bobinaj cu bandă sau bobinaj mixt conductor/bandă. Pentru aceste transformatoare, factorul K standardizat – dependent de curentul de sarcină – nu va reflecta pierderile suplimentare în sarcină, dar o creștere reală a pierderilor confirmă că acestea sunt dependente, într-o foarte mare măsură, de metoda de realizare. Este de aceea necesar să se minimizeze pierderile suplimentare încă din faza de proiectare a transformatoarelor pentru anumite date referitoare la sarcină, utilizând metode de simulare a câmpului sau tehnici de măsurare.

Pierderi în transformator

Pierderile în transformator constau din pierderile la funcționarea în gol (sau pierderi în fier) și pierderi în sarcină. Aceasta se poate exprima prin relația:

$$P_T = P_0 + P_S, \quad (1)$$

în care:

P_0 sunt pierderile în gol sau în fier;
 P_S – pierderi în sarcină;
 P_T – pierderi totale.

Pierderile în fier sau în gol sunt datorate magnetizării fierului. Deși curentul de magnetizare trebuie să includă armonice, acestea sunt extrem de mici în comparație cu curentul de sarcină și efectul lor asupra pierderilor este minim. Ca urmare, în standarde ca ANSI/IEEE C57.110 se consideră că prezența armonicilor nu conduce la creșterea pierderilor în fier.

Pierderile în sarcină sunt produse de pierderile Joule $R \cdot I^2$, pierderile datorate curenților turbionari și pierderile de dispersie:

$$P_S = R \cdot I^2 + P_{EC} + P_{SL}, \quad (2)$$

în care:

$R \cdot I^2$ sunt pierderile datorate curentului de sarcină și rezistenței înfășurării în curent continuu;
 P_{EC} – pierderi datorate curenților turbionari (Eddy Current loss) în înfășurare;
 P_{SL} – pierderi de dispersie (stray losses) în cleme, cuvă etc.

Pierderile $R \cdot I^2$ sunt datorate trecerii curentului electric prin rezistența înfășurărilor. Sunt numite și pierderi active [1] sau pierderi rezistive în curent continuu. Pierderile active sunt proporționale cu pătratul valorii efective a curentului electric, care include componentele armonice, însă sunt independente de frecvență. Acestea se

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

determină prin măsurarea rezistenței și calculul pierderilor rezultate la parcurgerea înfășurărilor de curentul maxim de sarcină.

Nu există metode disponibile pentru determinarea individuală a pierderilor datorate curenților turbionari în înfășurare, sau pentru a separa pierderile de dispersie ale transformatorului de pierderile datorate curenților turbionari. Dar suma pierderilor de dispersie și a celor datorate curenților turbionari se determină prin măsurarea pierderilor totale și scăzând pierderile rezistive calculate:

$$P_{EC} + P_{SL} = P_S - R \cdot I^2 . \quad (3)$$

Pierderile datorate efectului pelicular variază cu pătratul valorii efective a curentului și pătratul frecvenței (h rangul armonice):

$$P_{EC} = P_{EC,R} \cdot \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 \cdot h^2 , \quad (4)$$

în care:

h este rangul armonicii 1, 2, 3 etc.;

h_{\max} – rangul cel mai mare al armonice care se ia în considerare;

I_h – curentul de armonică h , [A];

I_R – curentul nominal (de dimensionare), [A];

$P_{EC,R}$ – pierderile datorate curenților turbionari la curentul și frecvența nominale.

Pierderile datorate curenților turbionari depind de pătratul dimensiunii conductorului, perpendiculară pe câmpul fluxului de scăpări. La capetele înfășurării fluxul se curbează și dimensiunea cea mai mare a conductorului dreptunghiular este perpendiculară pe un vector component al câmpului fluxului de scăpări. Egalizarea înălțimii înfășurărilor primară și secundară - ceea ce se poate realiza la proiectarea înfășurării – reduce pierderile datorate curenților turbionari concentrate la capetele înfășurărilor. Totuși, valoarea este încă mai mare decât în mijlocul înfășurării datorită acestei curburi a fluxului de scăpări. Reducerea dimensiunilor conductorului reduce și procentul de pierderi datorate curenților turbionari, dar conduce la creșterea pierderilor rezistive. Utilizarea unor înfășurări cu mai multe conductoare (multifilare) reduce atât pierderile datorate curenților turbionari, cât și pierderile rezistive, dar, deoarece conductoarele au lungimi inegale, sunt generați curenți de circulație care conduc la un surplus de pierderi. Aceasta se poate evita utilizând o continuă transpunere a conductoarelor, cum se prezintă în figura 1, pentru înfășurări de curenți mari. Transformatoarele mici inerent au conductoare de secțiuni reduse datorită curenților mici.

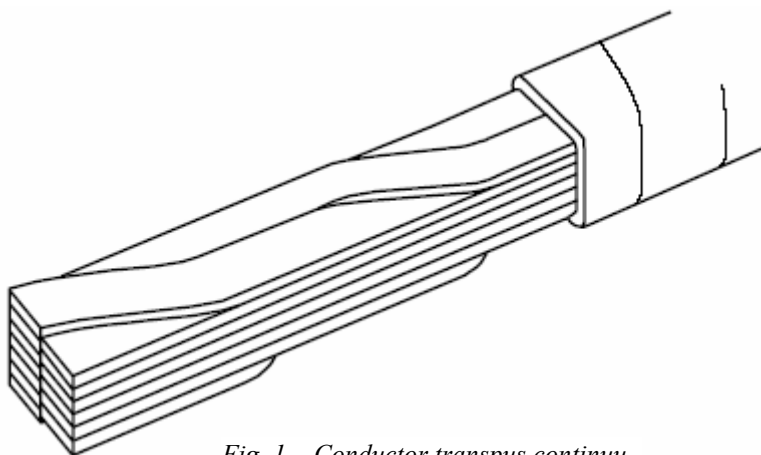


Fig. 1 – Conductor transpus continuu.

Pierderile de dispersie se produc datorită fluxului de scăpări (de dispersie) care induce pierderi în miez, cleme, cuvă și alte părți din fier. Pierderile de dispersie pot ridica temperatura părților constructive ale transformatoarelor. Pentru transformatoarele de tip uscat temperaturile crescute în aceste regiuni nu contribuie la creșterea temperaturii în zonele fierbinți ale înfășurării. Pentru transformatoarele introduse în lichid, pierderile de

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

dispersie cresc temperatura uleiului și astfel apar zone fierbinți ale înfășurărilor. Pierderile de dispersie sunt greu de calculat și este general acceptat că vor varia cu pătratul curentului multiplicat cu frecvența (rangul armonic), așa cum rezultă din relația:

$$P_{SL} = P_{SL,R} \cdot \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 \cdot h \quad (5)$$

Transformatoare și factorul K

Factorul “K” (în engleză “K-factor”)

Sunt diferite moduri de abordare pentru considerarea pierderilor adiționale la alegerea unui transformator. Primul, propus de producătorii de transformatoare împreună cu *Underwriters Laboratories* din SUA, este de a calcula un factor de creștere a pierderilor datorate curenților turbionari și să se indice un transformator proiectat pentru a le acoperi; acesta este cunoscut ca "factorul K".

$$K = \sum_{h=2}^{h=h_{max}} h^2 \cdot i_h^2 \quad (6)$$

în care:

h este rangul armonic;

i_h – este raportul dintre valoarea curentului armonic de rang h și valoarea efectivă a curentului de sarcină total.

Multe aparate de măsurare a calității energiei electrice determină direct factorul K al curentului de sarcină. Odată ce factorul de sarcină K este cunoscut, este simplu să se specifice transformatorul cu un K nominal mai mare din șirul standard 4, 9, 13, 20, 30, 40, 50.

De precizat faptul că o sarcină pur lineară – cea care determină curenți sinusoidali – va avea factorul K egal cu 1. Un factor K mai mare indică pierderi datorate curenților turbionari de K ori mai mare decât la frecvența fundamentală. Transformatoarele cu un K normal sunt proiectate ca să aibă, la frecvența fundamentală, pierderi datorate curenților turbionari foarte mici.

Factorul “ K_E ” (în engleză “factor K”)

Cea de a doua metodă, utilizată în Europa, este de a estima în ce măsură un transformator standard trebuie denominalizat astfel încât pierderile totale la o sarcină nesinusoidală să nu depășească pierderile proiectate pentru fundamentală; acesta este cunoscut ca "factorul K_E ".

$$K_E = \left\{ 1 + \frac{e}{1+e} \cdot \left(\frac{I_1}{I} \right)^2 \cdot \sum_{h=2}^{h_{max}} \left[h^q \cdot \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (7)$$

în care :

e este raportul dintre pierderile datorate curenților turbionari la frecvența fundamentală și pierderile rezistive, ambele calculate la aceeași temperatură;

h – rangul armonic;

I – valoarea efectivă a curentului electric incluzând toate armonicile;

I_h – valoarea efectivă a curentului de armonică h ;

I_1 – valoarea efectivă a curentului fundamental;

q – un exponent constant care depinde de tipul înfășurării și frecvență. Valori tipice sunt 1,7 pentru transformatorul cu secțiunea conductoarelor rotundă sau dreptunghiulară a ambelor înfășurări și 1,5 pentru înfășurările de joasă tensiune cu bandă.

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

Factorul pentru pierderile adiționale

Cea de a treia metodă este denumită a factorului de pierderi adiționale. Se definește un factor pentru rezistența electrică:

$$K_{\Delta R}(f) = \frac{R_{ca}(f) - R_{cc}}{R_{ca}(f_1) - R_{cc}}, \quad (8)$$

în care:

R_{cc} este rezistența echivalentă serie în curent continuu;

R_{ca} – rezistența serie în curent alternativ.

R_{ca} depinde de frecvență, datorită redistribuirii curentului în înfășurare și se determină pentru fiecare frecvență armonică. Tipul constructiv și amplasarea înfășurărilor are un efect major asupra pantei curbei de dependență între R_{ca} și frecvență.

În final, factorul de pierderi adiționale total “ $K_{\Delta P}$ ” se determină ca suma pierderilor dependente de frecvență la fiecare frecvență pentru fiecare dintre R_{ca} . Aceasta necesită cunoașterea spectrului armonic al sarcinii.

$$K_{\Delta P} = \sum_{f > f_1} K_{\Delta R}(f) \cdot \left(\frac{I_f}{I_R} \right)^2, \quad (9)$$

în care:

$K_{\Delta P}$ este factorul de pierderi adiționale;

$K_{\Delta R}$ – factorul de rezistență;

I_f – curentul armonic de frecvență f (valoare efectivă)

I_R – curentul nominal (rated current).

Pentru a determina acest factor, pentru un transformator dat, prototip sau model calculat, rezistențele serie sau rezistența de scurtcircuit vor fi determinate fie prin măsurare, fie prin simulare.

Încercări experimentale

Pierderi adiționale în prezența curenților armonici

Dacă spectrul armonic este cunoscut sau poate fi măsurat sau preliminar, pierderile adiționale se pot calcula ușor.

În principiu, procesul de calcul este următorul:

- Determinarea tuturor componentelor pierderilor adiționale datorate prezenței armonicilor;
- Determinarea spectrului armonic, fie prin măsurare fie prin estimare, luând în considerare tot echipamentul generator de armonici – în special convertoarele electronice;
- Calculul contribuției fiecărei armonici și determinarea pierderii adiționale totale.

În practică este important să se folosească valorile reale ale curenților armonic mai curând decât valorile teoretice.

În tabelul 1 sunt date pierderile adiționale calculate pentru curenți armonici până la rangul 25, pentru două transformatoare la temperatura normală a mediului ambiant considerând spectrul armonic ca fiind cel reprezentat ca valori teoretice în figura 2.

Rezultatele demonstrează că un rol important în determinarea pierderilor pentru sarcini nesinusoidale îl au caracteristicile transformatorului.

Transformatoarele din acest exemplu au fost măsurate la temperaturi puțin diferite (21,5°C pentru primul și 22,8°C pentru al doilea); aceasta nu schimbă caracterul rezultatelor.

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

Tipul pierderilor	Primul transformator (21,5°C)	Al doilea transformator (22,8°C)
Pierderi adiționale la curent sinusoidal	520 W	1721 W
Pierderi adiționale la curent nesinusoidal	871 W	4351 W

Tabelul 1 - Pierderi adiționale calculate în prezența curentului nesinusoidal

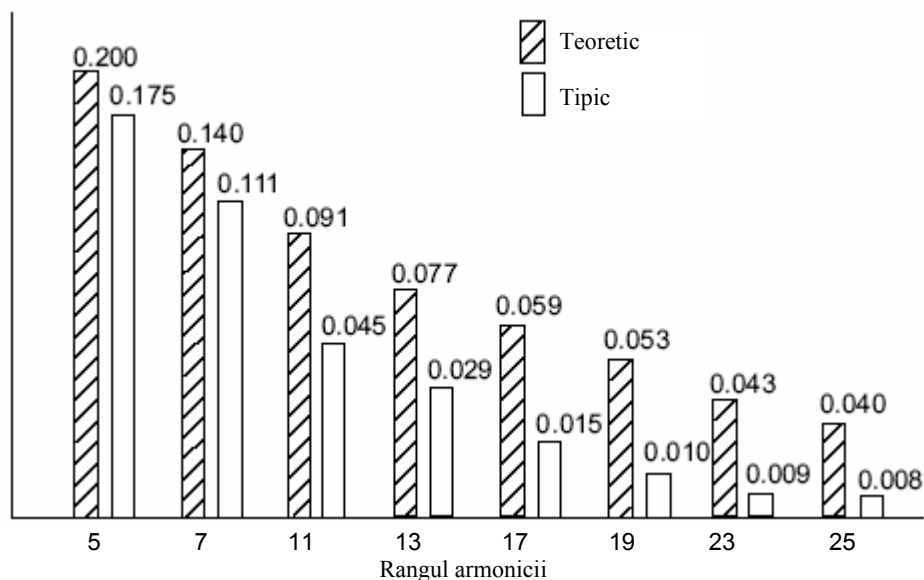


Fig. 2 – Valori teoretice și reale ale curenților armonici pentru un convertor cu 6 pulsuri.

Calculul factorului K

În tabelul 2 se indică modul de calcul al factorului K pentru spectrul armonic din figura 2, în unități relative.

Rangul armoniceii	I_h/I_1	$(I_h/I_1)^2$	I_h/I	$(I_h/I)^2$	$(I_h/I)^2 \times h^2$
1	1,000	1,0000	0,9606	0,9227	0,9227
5	0,200	0,0400	0,1921	0,0369	0,9227
7	0,140	0,0196	0,1345	0,0181	0,8862
11	0,091	0,0083	0,0874	0,0076	0,9246
13	0,077	0,0059	0,0740	0,0055	0,9426
17	0,058	0,0034	0,0557	0,0031	0,8971
19	0,056	0,0031	0,0538	0,0029	1,0446
23	0,043	0,0018	0,0413	0,0017	0,9025
25	0,040	0,0016	0,0384	0,0015	0,9227

Suma = 1,0838 8,3476

Total (valoare efectivă) = 1,0410

Factor K = 8,3476

Tabelul 2 - Calculul factorului K

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

Prima etapă de calcul constă în determinarea valorii efective a curentului total I , în acest caz 1,0410, după care poate fi calculat pătratul valorii relative a fiecărei armonice, ceea ce permite determinarea factorului K . Pentru o astfel de sarcină, un convertor cu 6 pulsuri va fi adecvat un transformator cu K nominal egal cu 9.

Calculul factorului K_E

Primul pas în stabilirea factorului K_E (Tabelul 3) este determinarea valorii e , ca raport între pierderile datorate curenților turbionari și pierderile totale în sarcină la frecvența fundamentală. Fabricantul transformatorului trebuie să fie capabil să ofere această valoare, altfel este ca și când s-ar plasa în domeniul 0,05 la 0,1. Exponentul q depinde în mare măsură de construcția transformatorului și trebuie să fie disponibil de la fabricant. Are valori în domeniul 1,5 la 1,7. Ca și mai înainte, calculul se bazează pe valorile teoretice din figura 2.

În practică, transformatorul va trebui denominalizat până la 84,75% (1/1,18) din puterea sa nominală atunci când alimentează un convertor cu 6 pulsuri.

Rangul armonice	I_h/I_1	$(I_h/I_1)^2$	h^q	$(I_h/I_1)^2 \times h^q$
1	1,000	1,0000	1,0000	1,0000
5	0,200	0,0400	15,4258	0,6170
7	0,140	0,0196	27,3317	0,5357
11	0,091	0,0083	58,9342	0,4880
13	0,077	0,0059	78,2895	0,4642
17	0,058	0,0034	123,5274	0,4155
19	0,056	0,0031	149,2386	0,4680
23	0,043	0,0018	206,5082	0,3818
25	0,040	0,0016	237,9567	0,3807
	Suma =	1,0838	$[a] =$	4,7511
	Valoare efectivă =	1,0410	$[a] \times (I_1/I)^2 =$	4,3839
			$e/(e+1)$	0,091
	$(I_1/I)^2 =$	0,9227		
			$K^2 =$	1,3985
			$K =$	1,18

Tabelul 3 - Calculul factorului K_E

Considerații privind proiectarea transformatorului

Introducere

Mulți fabricanți de transformatoare au dezvoltat proiecte normalizate pentru curenți de sarcină nesinusoidali cu scopul de a optimiza propriile costuri de producție. Procesul de proiectare implică o analiză a repartiției în înfășurări a pierderilor datorate curenților turbionari și calculul creșterii suplimentare de temperatură care se produce. Pierderile datorate curenților turbionari ca urmare a repartiției fluxului de scăpări sunt concentrate la capetele înfășurării. Analiza repartiției pierderilor datorate curenților turbionari se poate face utilizând metoda elementelor finite sau alt tip de program de calcul. Sunt disponibile comercial programe de calcul specializate.

Pentru transformatoarele mari, cu puteri peste 300 kVA, practic singura abordare economică poate fi o combinație între teste și analize. Studiile de încălzire se pot face utilizând termocuplele incluse în înfășurările transformatoarelor prototip testate pentru a măsura zona cu temperatură ridicată în vederea perfecționării modelelor matematice de calcul a temperaturilor acestor zone.

Selectarea și dimensionarea transformatoarelor

Analiza electromagnetică

În prezent, subiectul armonicelor a căpătat mai multă publicitate conducând la convingerea că industria abia acum a început să înțeleagă efectele armonicelor și să calculeze creșterea pierderilor datorate curenților turbionari. De fapt, studiul efectelor este destul de vechi, studiul pierderilor datorate curenților turbionari într-un câmp magnetic, datând din 1906. Multe din cercetările anterioare au fost la un nivel matematic superior și informațiile date în aceste articole erau detaliate până la fiecare amănunt și probabil ca exactitate asemănătoare celor obținute cu programele pentru calculatoarele moderne.

Având la dispoziție calculatoarele, au fost dezvoltate metode de calcul al câmpului electric și al pierderilor datorate curenților turbionari în transformatoare. Sunt curenți disponibile multe programe de calcul comerciale și o listă a acestora a fost dată în 1989 de Cendes, într-un articol publicat în IEEE Spectrum [5]. Aceste programe de calcul oferă diagrame elegante, totuși exactitatea lor nu poate fi dovedită.

Analiză termică

Deși temperatura în zona fierbinte este un important parametru de performanță pe care trebuie să-l realizeze fabricantul, nu sunt definite metode curențe de testare, nici ca o cerință de măsurare a acestui parametru la transformatoarele în producție, nici pentru prototip. Acest fapt este important deoarece temperatura este fundamentală în determinarea duratei de viață a echipamentului.

Temperatura în zona fierbinte a transformatoarelor uscate este uneori un rezultat discutabil. Zonele fierbinți, locurile în care apar cele mai mari temperaturi, rezultă natural datorită generării neuniforme a căldurii și a faptului că transferul căldurii spre mediul înconjurător nu este uniform; transformatoarele uscate au caracteristici specifice de transfer a căldurii care nu sunt înțelese pe deplin. Cei mai mulți fabricanți de transformatoare uscate adaugă simplu 30°C la supratemperatura medie (calculată utilizând relații empirice) și declară că aceasta este în concordanță cu standardele. În fapt, IEEE Standard C57.12.01 - 1989 cere ca ambele, atât supratemperatura medie a înfășurărilor, cât și temperatura în zonele fierbinți să fie limitate pentru a corespunde puterii normate (kVA). Diferența dintre aceste două limite se întâmplă să fie 30°C, dar utilizarea celor 30°C ca o "regulă" nu a fost avută în vedere.

Concluzii

Curenții nesinusoidali produc o încălzire suplimentară în transformatoare ca urmare a creșterii pierderilor, în principal datorită pierderilor datorate curenților turbionari.

Acolo unde pentru alimentarea sarcinilor nelineare sunt utilizate transformatoare existente sau standard, ele vor trebui denominalizate într-un mod corespunzător construcției lor.

Pentru instalațiile noi, dacă este posibil, vor fi selectate transformatoarele special construite (sau K normate), altfel va trebui utilizată o denominalizare corespunzătoare.

Bibliografie

- [1] Ravot J. F., Kreuzer J., *Losses in rectifier transformers: Factory test losses in comparison with actual operating losses*, Proc. CIGRE, Paper 12-06, 1988.
- [2] Blume L. F., Boyajian A., Camilli G., Lennox T. C., Minneci S., Montsinger V. M., *Transformer Engineering*, 2nd edition, New York: Wiley, 1951, p. 55 ... 65.
- [3] Bewley L. V., *Two-Dimensional Fields in Electrical Engineering*, New York: Dover Publications, 1963, p. 83 ... 90.
- [4] Kennedy S. P., Ivey C. I., *Application design and rating of transformers containing harmonic currents*, Conf. Rec. 1990, IEEE Pulp, Paper Ind. Tech. Confl., p. 19 ... 31.
- [5] Cendes Z. J., *Unlocking the magic of Maxwell's equations*, IEEE Spectrum, Vol. 26, No. 4, p. 29 ... 33, April 1999.

Note

Parteneri de Referință & Fondatori*

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid www.etsii.upm.es	LEM Instruments www.lem.com
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Fluke Europe www.fluke.com	MGE UPS Systems www.mgeups.com
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) www.citcea.upc.es	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg www.uni-magdeburg.de
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH www.pih.be	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	International Union for Electricity Applications (UIE) www.uei.org	Università di Bergamo* www.unibg.it
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Bath www.bath.ac.uk
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) www.umist.ac.uk
Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
EPRI PEAC Corporation www.epri-peac.com	Laborelec www.laborelec.com	

Consiliul de redacție

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	LEM Instruments	sho@lem.com
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI PEAC Corporation	mmcgranaghan@epri-peac.com
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



Prof Jan Desmet



Hogeschool West-Vlaanderen
Graaf Karel de Goedelaan 5
8500 Kortrijk
Belgium

Tel: 00 32 56 24 12 39
Fax: 00 32 56 24 12 34
Email: jan.desmet@howest.be
Web: www.pih.be

Gregory Delaere



Labo Lemcko
Graaf Karel de Goedelaan 5
8500 Kortrijk
Belgium

Tel: 00 32 56 24 12 35
Fax: 00 32 56 24 12 34
Email: lemcko@howest.be
Web: www.lemcko.be



Membră a
EUREL

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