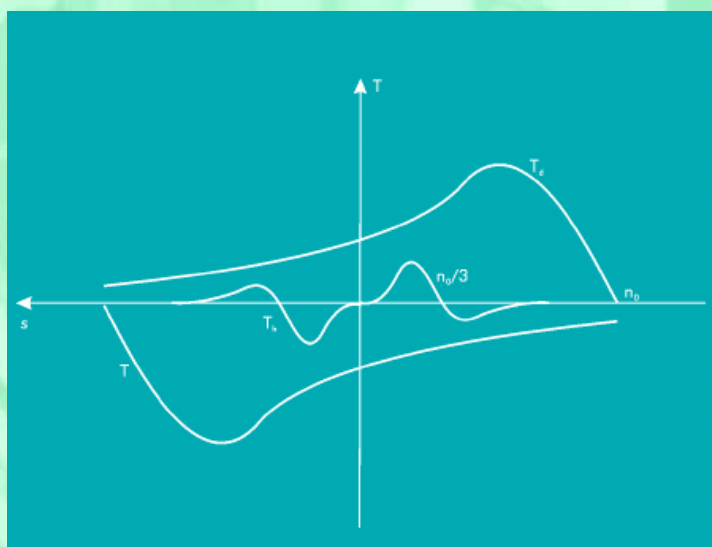
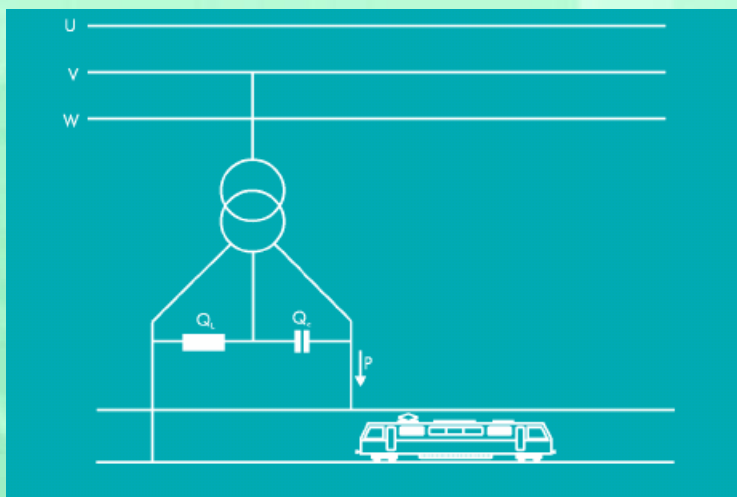


Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Perturbații de tensiune *Introducere în problema nesimetriei*

5.1.3



Perturbații de tensiune

Perturbații de tensiune

Introducere în problema nesimetriei

Dr Johan Driesen & Dr Thierry Van Craenenbroeck
Katholieke Universiteit Leuven
Mai 2002

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

Introducere în problema nesimetriei

Introducere

Textul se referă la nesimetria de tensiune și de curent electric. Deoarece curenții electrici nesimetrice sunt o cauză a tensiunii nesimetrice și deoarece nesimetria de tensiune este recunoscută ca un parametru de calitate a energiei electrice, acest text, așa cum indică și titlul, se referă în principal la nesimetria tensiunilor sinusoidale.

În primul rând este definit fenomenul. Apoi, sunt indicați unii parametri necesari pentru cuantificare. Cititorul mai puțin interesat de aspectele matematice poate omite ecuațiile și să treacă la materialul mai descriptiv care se referă la limite, cauze și efecte. În final, sunt sintetizate unele tehnici de ameliorare.

Ce este nesimetria?

Definiție

Un sistem electric trifazat este denumit simetric sau echilibrat dacă tensiunile celor trei faze și cei trei curenți au aceeași amplitudine și sunt defazate (defazați) una față de cealaltă cu 120° . Dacă una sau ambele condiții nu sunt satisfăcute, sistemul este denumit dezechilibrat sau nesimetric.

În acest text se consideră implicit că forma curbei este sinusoidală și că aceasta nu conține armonici.

Cuantificare

Pentru a cuantifica nesimetria de tensiune sau curent electric ale unui sistem trifazat se utilizează componentele simetrice definite de Fortescue. Sistemul trifazat este descompus în așa numitele componente pozitive sau de secvență directă, negativă sau de secvență inversă și homopolar sau de secvență zero, indicate cu subscriptul d, i, h (în unele texte subscriptul utilizat este 1, 2, 0 sau +, -, 0).

Ele se calculează folosind matricea de transformare a fazorilor tensiunilor sau curenților trifazați. Subscriptele u, v, w indică diferitele faze (uneori subscriptul este a, b și c etc.). Expresiile sunt formulate aici pentru tensiunea U , dar această variabilă poate fi înlocuită pentru curent, fără alte probleme.

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_h \\ \underline{U}_d \\ \underline{U}_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_u \\ \underline{U}_v \\ \underline{U}_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

în care operatorul de rotație a este:

$$a = e^{j \cdot 120^\circ}$$

Transformările au ca invariant energia electrică, astfel încât orice putere calculată cu valorile inițiale sau transformate va avea aceeași valoare.

Transformarea inversă este:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_u \\ \underline{U}_v \\ \underline{U}_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_h \\ \underline{U}_d \\ \underline{U}_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

Introducere în problema nesimetriei

Sistemul direct este asociat cu câmpul învârtitor pozitiv, iar sistemul invers cu câmpul învârtitor negativ (fig.1). În cazul unei mașini electrice de tensiune alternativă, aceasta este o interpretare corectă, din punct de vedere fizic, pentru câmpul magnetic învârtitor.

Componentele homopolare sunt în fază și doar oscilează. În sistemele fără conductor neutru, componentele homopolare – evident – nu pot circula, însă pot să apară diferențe semnificative de potențial, între potențialele „punctelor neutre” ale conexiunilor în stea (Y) ale sistemului de alimentare și ale sarcinii.

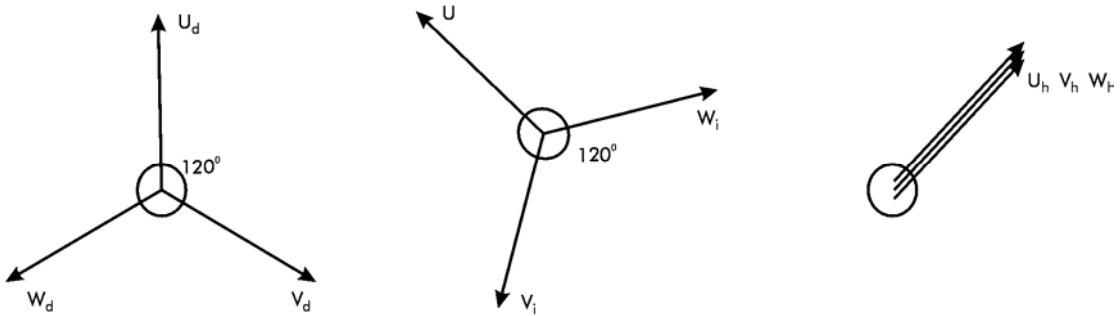


Fig. 1 – Reprezentarea grafică a componentelor simetrice; de observat etichetarea inversă a componentelor de secvență pozitivă (stânga) și a celor de secvență negativă (mijloc)

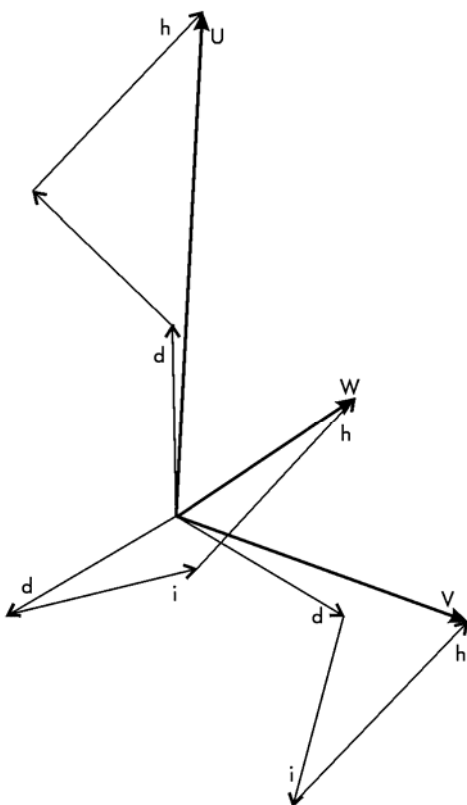


Fig. 2 – Descompunerea grafică utilizând componentele din figura 1 (contribuțiile respective pentru fiecare dintre cele trei faze sunt notate cu U, V, W și sunt adunate ca fazoni pentru a obține tensiunile reale ale sistemului nesimetric)

În figura 2 este prezentată descompunerea unui sistem nesimetric în componentele sale.

În practică nu este simplu de măsurat aceste componente, în special cele de secvență pozitivă și negativă. Utilizarea unui aparat de măsurare digital care realizează operațiile matematice prezentate anterior pentru tensiunile și curenții de probă simplifică rezolvarea în comparație cu utilizarea unui echipament clasic analogic.

Factorii de nesimetrie u_U (pentru tensiune) și u_I (pentru curent electric) ca raport între mărimile de secvență negativă și cele de secvență pozitivă ale componentelor tensiunii, respectiv curentului, sunt o măsură a nesimetriei (în %):

$$u_U = \frac{U_i}{U_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

Acești factori sunt în prezent utilizați în standardele de calitate a energiei electrice, cum ar fi EN-50160 sau seriile IEC-61000-3-x.

De asemenea este definit uneori un factor similar pentru componenta homopolară în raport cu componenta directă.

O cale mai simplă, aproximativă, de a calcula factorul de nesimetrie de tensiune, în cazul unei sarcini conectată între două faze sau între o fază și neutru este:

$$u_U \approx \frac{S_L}{S_{sc}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Introducere în problema nesimetriei

Factorul de nesimetrie folosește numai puterea aparentă a sarcinii conectată între două faze sau între o fază și neutru S_L și puterea de scurtcircuit a rețelei de alimentare S_{SC} în punctul de conectare a sarcinii.

Procedurile complete de măsurare pentru determinarea acestor parametri sunt descrise în standarde. Acestea folosesc metode statistice pentru a determina din relațiile (3) și (4) o medie, pe o anumită durată.

Limite

Standardele internaționale (de exemplu EN 50160 sau seria IEC 61000-3-x) indică drept limite pentru factorul de nesimetrie din definiția (3), valoarea $< 2\%$ pentru joasă tensiune și medie tensiune și $< 1\%$ pentru înaltă tensiune, măsurate ca valori pe un interval de 10 minute, cu un maxim instantaneu de 4% . Totuși, această limită poate fi local redusă, chiar la $0,25\%$, de exemplu pe partea britanică a tunelului de sub Canalul Mânecii, unde sistemul de transport feroviar reprezintă o sarcină monofazată foarte mare. Rațiunea unei limite mai strânse în sistemele de înaltă tensiune este că ele sunt proiectate ca să fie utilizate la capacitatea lor maximă cu o sarcină trifazată echilibrată. Orice nesimetrie conduce la o funcționare ineficientă a sistemelor de transport, adesea având o încărcare mare. În proiectarea sistemelor de distribuție (tensiuni mai joase) alimentarea unor sarcini monofazate este una din premise, astfel că sistemul și sarcinile conectate trebuie să fie proiectate și realizate cu o toleranță mai mare la nesimetrie.

Ca un exemplu, este estimată puterea de scurtcircuit necesară pentru o cale ferată dublă cu trenuri de mare viteză cu o putere nominală de două ori 15 MVA (tipic în Franța pentru TGV). Utilizând relația (4) puterea de scurtcircuit trebuie să fie de cel puțin 3 GVA pentru a menține nivelul de nesimetrie al tensiunii la 1% , ceea ce explică de ce este necesară conectarea la un sistem de foarte înaltă tensiune.

Aspecte standardizate mai detaliate se pot găsi în IEC 61000-2-x ca o parte a standardelor EMC (Compatibilitate electromagnetică) și EN 50160, prezentând caracteristicile de tensiune în punctul comun de cuplare (PCC). Pe lângă acestea, diferite țări din Europa și companii de electricitate funcționând în acestea, utilizează propriile reglementări suplimentare pentru „emisii” de curenți nesimetrici.

Cum se produce nesimetria?

Operatorul de sistem încearcă să obțină un sistem de tensiuni simetric în PCC între rețeaua de distribuție și rețeaua internă a consumatorilor. În condiții normale tensiunile sunt determinate de:

- ◆ tensiunile la bornele generatoarelor;
- ◆ impedanța sistemului electric de alimentare;
- ◆ curenții determinați de sarcini prin rețelele de transport și distribuție.

Sistemul de tensiuni la bornele generatoarelor este în mare măsură simetric datorită construcției și a modului de funcționare a generatoarelor sincrone utilizate în marile centrale electrice. De aceea, generarea în unități de mare putere nu contribuie – în general – la nesimetrie. Chiar și în cazul generatoarelor de inducție (asincrone) utilizate în prezent la unele tipuri de turbine eoliene, s-a obținut un sistem de tensiuni trifazat simetric.

Totuși, acolo unde a căpătat o largă utilizare generarea distribuită de mică putere sau cea pentru acoperirea vârfului, instalată la consumatori și are o cotă semnificativă din producția de energie electrică, situația este diferită. Multe dintre aceste unități relativ mici, ca de exemplu instalațiile fotovoltaice, sunt conectate la rețeaua de joasă tensiune prin invertoare electronice monofazate. Punctul de conectare are o impedanță relativ mare (puterea de scurtcircuit relativ scăzută), ceea ce conduce la o posibilă nesimetrie de tensiune relativ mai mare (relația (4)) față de cazul conectării la înaltă tensiune.

Impedanța componentelor sistemului energetic nu este exact aceeași pe toate fazele. Configurația geometrică a liniilor electrice aeriene, de exemplu asimetrică față de pământ, determină o diferență între parametrii liniei. În general, diferențele sunt foarte mici și efectul lor poate fi neglijat cu condiția luării unor suficiente precauții, ca de exemplu transpunerea liniilor.

În cele mai multe cazuri practice, cauza principală a nesimetriei o constituie dezechilibrul sarcinilor.

La nivelul tensiunilor înalte sau medii, sarcinile sunt uzual trifazate și echilibrate, totuși pot fi conectate sarcini mari mono- sau bifazate, ca de exemplu calea ferată alimentată la tensiune alternativă (de exemplu calea ferată de mare viteză – fig.3) sau cuptoarele de inducție (sisteme mari de topire a metalelor cu canal pentru generarea căldurii).

Introducere în problema nesimetriei

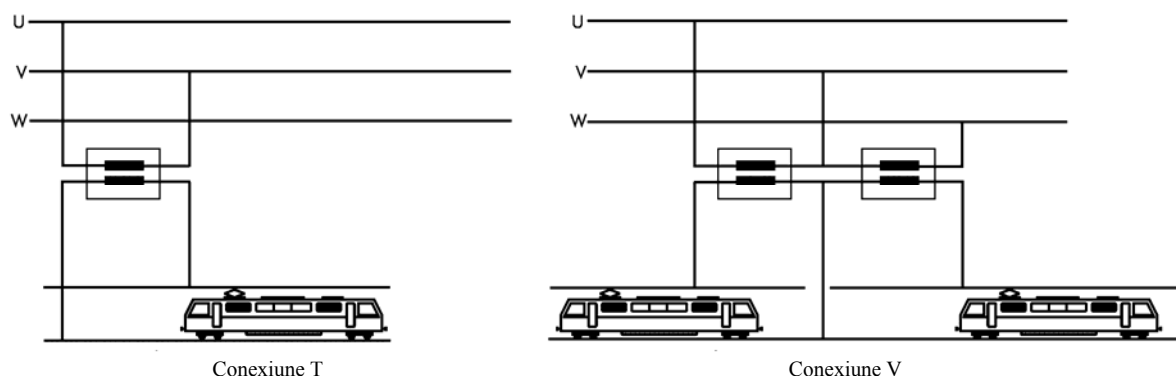


Fig. 3 – Conectarea unui sistem feroviar de tensiune alternativă ca exemplu de conectare a unei sarcini neechilibrate

Sarcinile de joasă tensiune sunt de obicei monofazate, de exemplu calculatoarele numerice sau sistemele de iluminat, și de aceea este greu de garantat o încărcare echilibrată a fazelor. În planul de pozare a conductoarelor sistemului electric care alimentează sarcinile, acestea sunt distribuite de-a lungul celor trei faze ale sistemului, de exemplu câte o fază pentru fiecare nivel al unui apartament sau a unei clădiri administrative sau alternativ în șirul de case. În plus, dezechilibrul sarcinii echivalente la transformatorul de alimentare variază, datorită dispersiei statistice a graficelor de utilizare ale diferitelor sarcini individuale.

Condițiile perturbate din rețea determină dezechilibrarea fazelor. Defectele fază – pământ, fază – fază și întreruperea unui conductor sunt exemple tipice. Aceste defecte determină goluri de tensiune în una sau două faze dintre fazele implicate și pot determina chiar indirect supratensiuni pe celelalte faze. Comportarea sistemului este atunci prin definiție nesimetrică, dar astfel de fenomene sunt clasificate uzual ca perturbații, care se analizează în partea corespunzătoare a Ghidului. Protecția prin relele a sistemului trebuie să elimine aceste defecte.

Care sunt consecințele?

Sensibilitatea echipamentului electric la nesimetrie diferă de la o situație la alta. În cele ce urmează se face o prezentare a celor mai obișnuite probleme.

Mașini de inducție

Acestea sunt mașini asincrone de tensiune alternativă, cu un câmp magnetic rotativ indus. Valoarea acestuia este proporțională cu amplitudinea componentelor directă și/sau inversă. Sensul de rotație al câmpului componentei inverse este opus câmpului componentei directe. Deci, în cazul unei alimentări nesimetrice, câmpul magnetic rotator rezultat devine „eliptic” în loc să fie circular. Mașinile de inducție au trei probleme datorate nesimetriei. În primul rând, mașina nu poate produce cuplul întreg deoarece câmpul magnetic rotator invers al sistemului de secvență negativă produce un cuplu de frânare care trebuie scăzut din cuplul de bază determinat de câmpul magnetic rotator de bază. În figura 4 sunt indicate diferite caracteristici cuplu – viteză de rotație ale unei mașini de inducție în cazul unei alimentări nesimetrice. Curba reală de funcționare este suma ponderată a acestor curbe, cu factor de ponderare egal cu pătratul factorului de nesimetrie, deoarece cuplul depinde proporțional cu pătratul curentului de sarcină. Se poate constata că în zona de funcționare normală, corespunzând zonei în care curba T_d este în cea mai mare parte dreaptă (începând din maximumul curbei și eventual până în punctul de intersecție cu axa orizontală care corespunde vitezei sincrone), T_i și T_h sunt amândouă negative. Aceste caracteristici pot fi determinate dacă motorul este conectat așa cum se arată în figura 5.

În al doilea rând, lagărele pot suferi deteriorări mecanice datorită componentelor cuplului indus având o frecvență dublă față de cea a rețelei de alimentare.

În final, statorul și, în special, rotorul se încălzesc excesiv, ceea ce poate conduce la o îmbătrânire termică mai rapidă. Această căldură este determinată de inducerea unor curenți semnificativi prin rotația rapidă (în sens relativ) a câmpului magnetic invers, așa cum este văzut de rotor. Pentru a suporta această încălzire suplimentară, motorul trebuie descărcat, ceea ce poate face necesară instalarea unei mașini cu putere nominală mai mare.

Introducere în problema nesimetriei

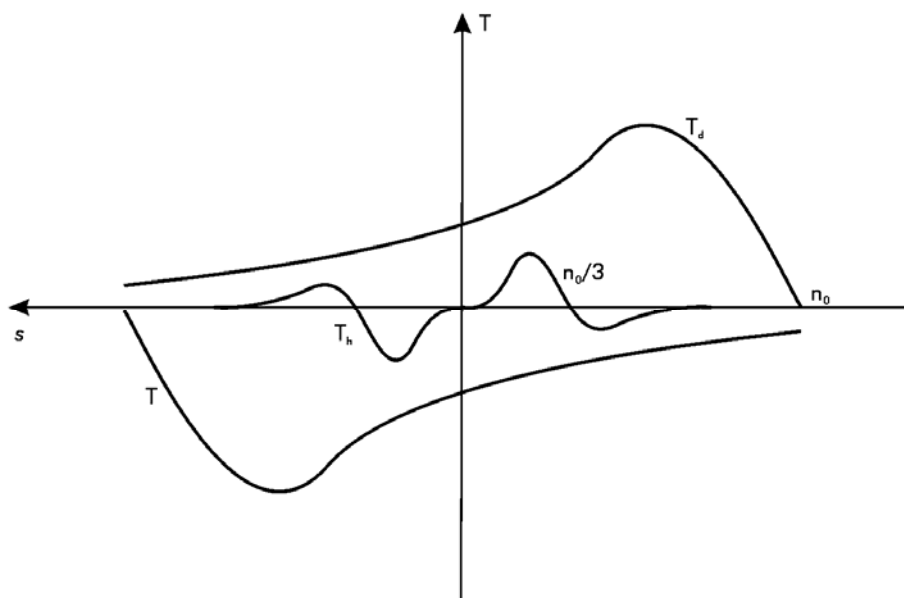


Fig. 4 – Caracteristica mecanică cuplu – viteză de rotație (alunecare) a unei mașini trifazate în cazul unei tensiuni nesimetrice de alimentare

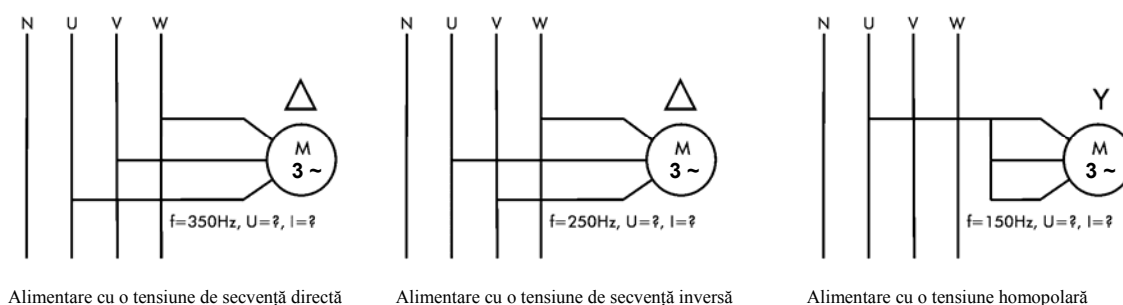


Fig. 5 – Scheme de conectare pentru un motor trifazat cu componente nesimetrice definite

Generatoare sincrone

Generatoarele sincrone sunt de asemenea mașini electrice de curent alternativ, ca cele utilizate la generarea locală (de exemplu, unitate de cogenerare). Acestea manifestă fenomene similare cu cele descrise pentru mașinile asincrone, dar suferă în principal de încălzirea suplimentară. Trebuie acordată o atenție specială la proiectarea înfășurărilor de amortizare din rotor, unde apar curenți induși de componentele inversă și homopolară.

Capacitatea de încărcare a transformatoarelor, cablurilor și liniilor

Capacitatea de încărcare a transformatoarelor, cablurilor și liniilor este redusă datorită componentei de secvență inversă. Limita de funcționare este determinată de valoarea efectivă a curentului total, cuprinzând parțial componentele „nefolositoare” ale curenților de altă secvență decât cea directă. Acest fapt trebuie luat în considerare când se stabilesc reglajele protecțiilor care acționează la curentul total. Capacitatea maximă de încărcare poate fi determinată utilizând un factor de descărcare, dat de fabricant, și care să poată fi folosit pentru alegerea unui element cu parametri mai mari, capabil să suporte sarcina.

Transformatoare

Transformatoarele cărora li se aplică tensiuni de secvență inversă, le transformă în același mod ca și tensiunile de secvență directă. Comportarea la tensiunile de secvență homopolară depinde de conexiunile înfășurărilor

Introducere în problema nesimetriei

primare și secundare și, mai mult, de existența conductorului neutru. Dacă, de exemplu, o parte are conexiune trifazată cu patru conductoare, pot circula curenți prin neutru. Dacă înfășurarea de pe partea cealaltă are conexiunea în triunghi, curentul homopolar este transformat într-un curent circulatoriu în cele trei înfășurări (și produce încălzire). Fluxul magnetic homopolar asociat circulă prin părțile constructive ale transformatorului cauzând pierderi parazite în elemente precum cuva, astfel că uneori este necesară o reducere a puterii transformatorului.

Convertoare electronice

Convertoarele electronice sunt prezente în multe instalații ca de exemplu în sistemele de acționare cu viteză variabilă, surse de alimentare a calculatoarelor numerice, sisteme de iluminat eficient etc. Acestea pot determina armonici suplimentare, necaracteristice deși, în general, factorul total de distorsiune rămâne mai mult sau mai puțin constant. La proiectarea unor filtre pasive pentru limitarea armonicilor trebuie să se ia în considerare și acest fenomen. Subiectul este abordat într-o altă secțiune a Ghidului.

Echipamentele analizate anterior sunt evident sarcini trifazate. Desigur, sarcinile monofazate pot fi de asemenea afectate de variațiile tensiunii de alimentare rezultate din efectele nesimetriei.

Cum poate fi limitată nesimetria?

Pentru reducerea efectelor nesimetriei se pot lua o serie de măsuri, cu diferite grade de complexitate tehnică.

Prima soluție și cea de bază este rearanjarea și redistribuirea sarcinilor astfel încât sistemul să devină mai puțin dezechilibrat.

Pentru unele aplicații, există posibilitatea de reducere a nesimetriei prin schimbarea parametrilor de funcționare.

Pentru a reduce influența curenților de succesiune inversă, care determină căderi de tensiune de secvență negativă în tensiunea de alimentare, este necesară o impedanță internă redusă a rețelei de alimentare. Aceasta se poate realiza prin conectarea sarcinilor nesimetrice în puncte cu o putere de scurtcircuit ridicată, sau prin alte măsuri de sistem pentru reducerea impedanței interne.

Alte tipuri de tehnici de limitare constau în utilizarea unor transformatoare speciale ca cele tip Scott sau Steinmetz:

- ◆ „Transformatorul Scott” constă din două transformatoare monofazate, cu un anumit raport între înfășurări, cuplat la un sistem trifazat. Ele sunt astfel conectate ca la ieșire să fie generată o tensiune bifazată ortogonală care permite conectarea a două sisteme monofazate. Această conexiune prezintă pentru sistem o sarcină trifazată echilibrată.
- ◆ Un „transformator Steinmetz” este în fapt un transformator trifazat cu o schemă suplimentară de echilibrare a sarcinii, constând dintr-un condensator și o bobină dimensionate proporțional cu sarcina monofazată (fig. 6). Când puterea reactivă determinată de bobină și cea determinată de condensator sunt egale și egale cu puterea activă a sarcinii împărțită la $\sqrt{3}$, rețeaua trifazată vede o putere echilibrată. Puterea nominală trifazată a transformatorului este egală cu puterea activă monofazată a sarcinii. De precizat că această echilibrare este perfectă numai pentru sarcinile cu o putere activă egală cu valoarea considerată la proiectarea sistemului.

În final, circuite electronice de putere cu acționare rapidă, ca „Static VAR Compensators” (SVC) pot fi utilizate pentru limitarea nesimetriei. Acestea se comportă ca și cum ar determina schimbări rapide de impedanțe complementare, compensând în acest fel modificările impedanțelor de sarcină pe fiecare fază. De asemenea, ele sunt capabile să compenseze puterea reactivă nedorită. Totuși, acestea sunt instalații scumpe și sunt utilizate numai pentru sarcini mari (de exemplu, cuptoare cu arc electric), atunci când alte soluții nu sunt eficiente.

Alte tipuri de instalații de condiționare care pot asigura atât limitarea nesimetriei dar pot rezolva și alte probleme de calitate a energiei, sunt în curs de dezvoltare dar nu sunt încă disponibile pentru o utilizare generalizată.

Introducere în problema nesimetriei

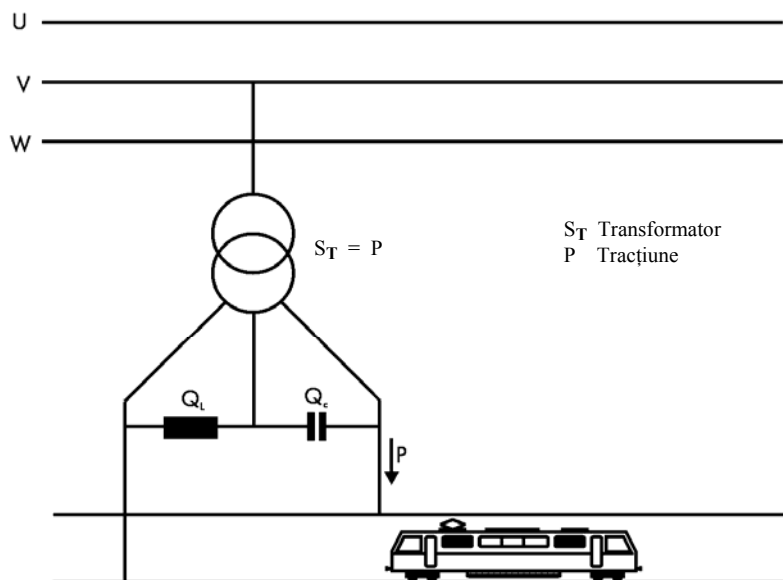


Fig. 6 – Sarcină monofază conectată într-un sistem trifazat utilizând o configurație cu transformator Steinmetz

Concluzii

Nesimetria este o problemă serioasă de calitate a energiei electrice, afectând în principal sistemele de distribuție de joasă tensiune, ca de exemplu cele întâlnite în clădirile administrative cu multe calculatoare și sisteme moderne de iluminat. Totuși, ea poate fi cuantificată printr-o metodă relativ simplă, rezultând parametri care pot fi comparați cu valori standardizate.

În text sunt expuse principalele cauze de nesimetrie precum și cele mai importante consecințe. Se acordă o atenție specială mașinilor rotative, în principal mașinile de inducție precum și transformatoarelor.

Sunt rezumate – pe scurt – principalele tehnici de ameliorare pentru această problemă.

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

Schoebroeckstraat 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

Dr Johan Driesen

Katholieke Universiteit Leuven
Electrical Engineering
Kasteelpark Arenberg 10
3001 Leuven
Belgium
Tel: 00 32 16 321020
Fax: 00 32 16 321985
E-mail: johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Web: www.esat.kuleuven.ac.be

Dr Thierry Van Craenenbroeck

Katholieke Universiteit Leuven
Electrical Engineering
Kasteelpark Arenberg 10
3001 Leuven
Belgium
Tel: 00 32 16 321020
Fax: 00 32 16 321985
Web: www.esat.kuleuven.ac.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