

CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE ÎN RELAȚIE CU CERINȚELE COMPATIBILITĂȚII ELECTROMAGNETICE

*Ing. Constantin BEIU, Prof.dr.ing. Cornel TOADER,
Conf.dr.ing.Radu PORUMB, Ing. Georgeta BUICA*

Universitatea „Politehnica” din București

Rezumat. În sistemele moderne, în care multe echipamente sunt controlate prin intermediul dispozitivelor electronice, rețelele de transport și de distribuție a energiei electrice se transformă din ce în ce mai mult în „rețele inteligente”. Se pune problema imunității acestor echipamente la acțiunea perturbațiilor electromagnetice generate de alte echipamente, precum și la imunitatea altor dispozitive de control și monitorizare la efectele perturbațiilor electro-magnetice generate de instalațiile cu dispozitive electronice de control. Rețelele de transport și de distribuție a energiei electrice, datorită întinderii lor reprezintă una dintre sursele cele mai importante de câmpuri electromagnetice perturbatoare. Dar, datorită complexității și dependenței de tehnologiile încorporate, la rândul lor, rețelele pot deveni „victime” ale câmpurilor electromagnetice perturbatoare, ceea ce poate influența negativ calitatea alimentării cu energie electrică.

Cuvinte cheie: compatibilitate electromagnetică, rețele inteligente, imunitate, legislație.

Abstract. In modern systems, where many equipment are controlled by electronic devices, power transmission and distribution networks are increasingly turning into “smart grids”. There is the question of the immunity of these equipment to the action of electromagnetic fields generated by other equipment, as well as the immunity of other control and monitoring devices to the action of electromagnetic fields generated by electrical installations. Transmission and distribution networks, due to their size, are one of the most important sources of disruptive electromagnetic fields. But due to their increased complexity and dependence on embedded technologies, new networks in turn can become “victims” of disruptive electromagnetic fields, which can adversely affect the reliability of the power supply.

Keywords. electromagnetic compatibility, smart grid, immunity, legislation

1.INTRODUCERE

Analiza compatibilității electromagnetice (EMC) a echipamentelor din instalațiile electrice are rolul de a asigura funcționarea acestora într-un mediu electromagnetic cu perturbații în limitele acceptate prin standarde, fără ca funcționarea lor să fie perturbată [1, 2]. Practic, echipamentul „victimă” trebuie să

fie imun la perturbațiile din mediul electromagnetic, aflate în limite acceptate iar acesta, la rândul lui, nu trebuie să genereze perturbații care să afecteze alte echipamente.

În general, aceste limite sunt stabilite pe plan internațional, iar în România, limitele admise sunt în concordanță cu aceste standarde [3, 4, 5].

Prin suprapunerea peste curbele de tensiune și de curent electric din sistemele de transport și de distribuție unele dintre perturbațiile electromagnetice pot afecta și calitatea energiei electrice furnizată utilizatorilor finali. Se consideră că nivelul calității energiei electrice poate fi afectat de perturbații cu frecvențe până la 9 kHz.

2. CALITATEA TENSIUNII ȘI EMC ÎN SMART GRID

Sistemele smart grid încorporează un mare număr de tehnologii bazate pe componente electronice și informatice, ceea ce le face sensibile la perturbațiile electromagnetice peste un anumit nivel, fiind posibilă chiar și deteriorarea acestora. Asigurarea funcționării neperturbate a acestor echipamente necesită să se acorde o atenție deosebită rezolvării problemelor legate de compatibilitatea electromagnetică [5]. În acest sens, la nivel european [6], preluate și în România, sunt elaborate proceduri clare pentru analiza aspectelor privind compatibilitatea electromagnetică în instalațiile electrice moderne.

O atenție specială se acordă echipamentelor utilizatorilor care pot să determine perturbații importante (distorsiuni armonice, nesimetrii, fluctuații de tensiune) ce pot să conducă la reducerea nivelului de calitate a energiei electrice în punctul comun de conectare (PCC) [5].

Limitele perturbațiilor indicate în standarde se referă la nodurile din rețeaua electrică publică. Cunoașterea nivelului perturbațiilor generate de echipamentele și a proceselor de propagare a acestora în rețeaua proprie a utilizatorului permite evaluarea nivelului perturbațiilor în punctul de conectare în rețeaua electrică publică dar și în noduri din rețeaua proprie pentru a evalua realizarea nivelurilor admise de perturbare, compararea nivelurilor de compatibilitate, de proiectare (ca nivel intern de performanță a furnizorului de energie) și de imunitate a echipamentelor conectate în nodul respectiv.

În figura 1, pentru un anumit echipament sunt indicate curba de probabilitate a nivelului perturbațiilor care pot apărea, curba de variație a imunității la perturbații și riscul de incompatibilitate [5].

Pentru a asigura veridicitatea datelor și comparabilitatea cu limitele admise de standarde, procedurile de măsurare a perturbațiilor trebuie să corespundă normelor acceptate internațional [7].

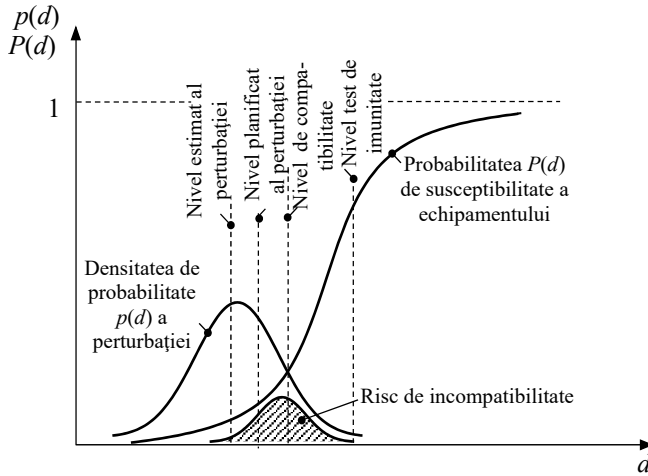


Fig. 1 – Reprezentare grafică a principiilor compatibilității electromagnetice.

3. SURSE MULTIPLE DE PERTURBAȚII

În mod obișnuit, în rețelele electrice există mai multe surse perturbatoare, astfel că în nodurile rețelei electrice sunt înregistrate valori agregate ale perturbațiilor individuale, care pot fi determinate pe baza relației generale [8, 9]

$$U = \sqrt[\alpha]{\sum_i U_i^\alpha}, \tag{1}$$

în care U este nivelul perturbației agregate, U_i – nivelul perturbației individuale iar α – exponent care depinde de caracteristicile surselor perturbatoare.

Sursa perturbațiilor poate fi un sistem agregat de perturbații (fig. 2 a)) care afectează un echipament sau este posibil ca un echipament să fie sursa perturbațiilor care se propagă în rețeaua electrică (fig.2 b)).

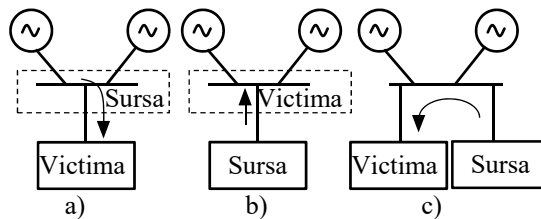


Fig.2 – Propagarea perturbațiilor din rețeaua electrică spre echipament (a), de la echipament în rețeaua electrică (b) sau între echipamente (c).

4. PROPAGAREA DISTORSIUNILOR ARMONICE

Pentru cazul concret al unui utilizator alimentat din rețeaua de medie tensiune și care include două receptoare neliniare (fig. 3) se analizează forma curentului electric absorbit de celelalte două receptoare cu caracteristică liniară care sunt afectate de forma distorsionată a curentului electric.

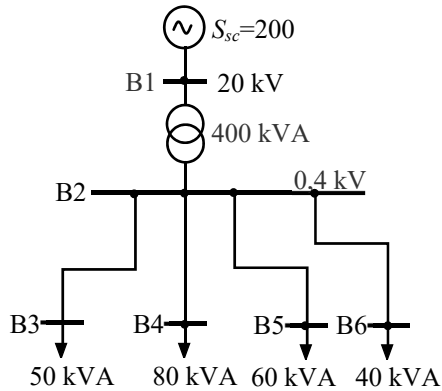


Fig. 3 – Schema de principiu a utilizatorului analizat.

La bara B3 este conectat un receptor alimentat prin intermediul unui convertor cu circuit intermediar de curent continuu (fig. 4 a)) cu $THDI = 24,9\%$ iar la bara B4 este conectat un receptor alimentat prin intermediul unui convertor de tensiune continuă (fig. 4 b)) cu $THDI = 127,2\%$.

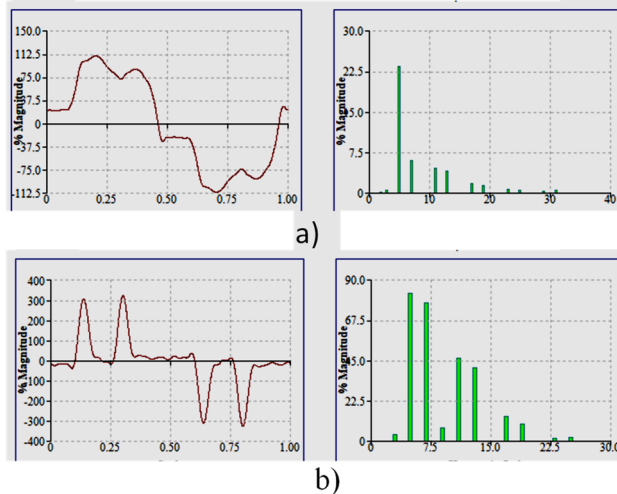


Fig. 4– Formele curentilor electrici absorbiți de receptoarele neliniare.

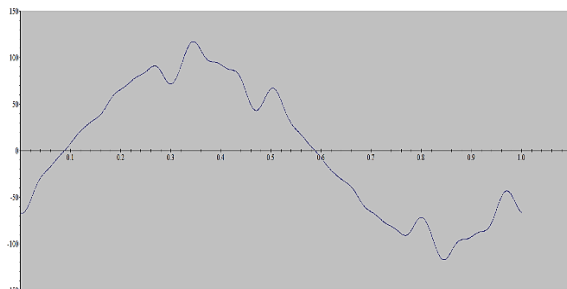


Fig. 5 – Forma tensiunii la barele de alimentare de 0,4 kV ($THDU = 13,54\%$).

Calcululele efectuate utilizând programul ETAP pune în evidență agregarea perturbațiilor armonice determinate de cele două receptoare neliniare și obținerea la bara comună de alimentare B2 a unei tensiuni deformate care va alimenta receptoarele cu caracteristici liniare. Curenții electrici absorbiți de receptoarele liniare au aceeași formă cu tensiunea la barele B2 determinând reducerea performanțelor energetice ale receptoarelor liniare.

Tensiunea la barele de alimentare B2 (fig. 5) este caracterizată de un factor total de distorsiune de tensiune $THDU = 13,54\%$ care depășește cu mult valoarea admisă de 8% caracteristică zonelor industriale.

Cazul analizat este tipic pentru transferul perturbațiilor între receptoare (cazul c) din figura 2). Perturbațiile armonice determinate de utilizator practic nu se transmit la medie tensiune ($THDU = 0,31$) având în vedere impedanța internă redusă a sistemului public ($S_{sc} = 200$ MVA).

Reducerea puterii de scurtcircuit, ceea ce este posibilă datorită creșterii în zonă a numărului surselor regenerabile de energie conectate în rețeaua electrică prin intermediul convertoarelor de frecvență, poate determina apariția unor perturbații semnificative la acest nivel de tensiune, care se pot transmite altor utilizatori conectați în rețeaua de medie tensiune. Pentru cazul analizat reducerea puterii de scurtcircuit la 100 MVA determină un factor total de distorsiune de tensiune egal cu 0,655 iar la barele de alimentare B2 factorul total de distorsiune de tensiune crește la 13,81% .

Sursele perturbatoare cu diferite caracteristici determină prin agregarea acestora la aceeași bară o reducere a nivelului de distorsiune față de suma perturbațiilor. În schema de alimentare la o sursă de medie tensiune cu puterea de scurtcircuit de 200 MVA, dacă este în funcțiune numai sursa perturbatoare conectată la bara 3, rezultă la bara 2 un factor total de distorsiune egal cu 1,32% iar dacă este în funcțiune numai sursa perturbatoare conectată la bara 4, rezultă la bara 2 un factor total de distorsiune egal cu 14,14%, funcționarea ambelor surse determină un factor de distorsiune de 13,54%.

În cazurile practice, conectarea la aceeași bară a suselor perturbatoare cu diferite caracteristici este o metodă utilizată pentru compensarea armonicilor și limitarea factorului de distorsiune.

5. PROPAGAREA PERTURBAȚIILOR SUB FORMĂ DE NESIMETRIE

Existența în rețeaua electrică a unui utilizator cu receptoare încărcate nesimetric poate conduce la transferul acestor perturbații la celelalte receptoare, chiar dacă acestea au o sarcină echilibrată. Pentru a pune în evidență transferul perturbațiilor între receptoarele unui utilizator s-a considerat schema din figura 6.

În analiza efectuată asupra transferului de perturbații în schema utilizatorului din figura 6, s-a luat în considerare încărcare inegală a fazelor receptorului conectat la bara 1 (încărcare numai pe fazele A și C) și a receptorului conectat la bara 2 (încărcare numai pe fazele B și C). Sarcinile conectate la barele 3 și 4 sunt echilibrate.

Analiza circulației de putere, utilizând programul de calcul ETAP pune în evidență apariția de perturbații sub forma nesimetriei de tensiune la barele comune de alimentare B2, astfel că toate receptoarele sunt alimentate cu tensiuni cu amplitudine diferită pe cele 3 faze. Factorul de nesimetrie negativă de tensiune la barele B2 rezultă egal cu 0,13. Deși valoarea este sub limita admisibilă (1%), performanțele energetice ale receptoarelor „victimă pot fi afectate.

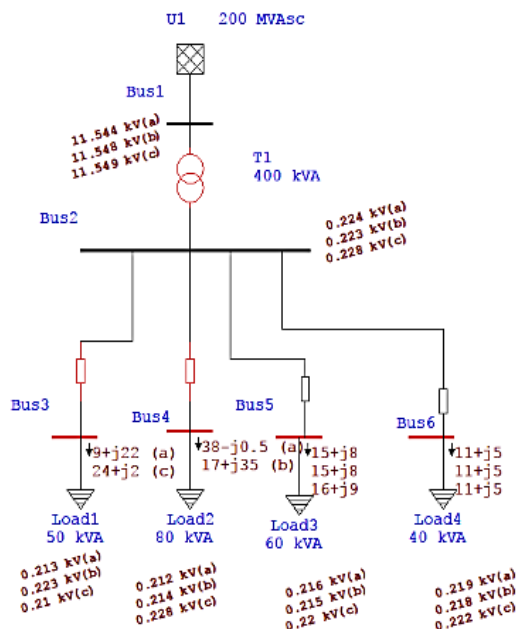


Fig. 6 – Schema electrică a utilizatorului analizat.

Cazul analizat ia în considerare utilizatorul conectat la bara de 20 kV într-un nod caracterizat de o putere de scurtcircuit de 200 MVA. Reducerea puterii de scurtcircuit odată cu creșterea în zonă a numărului surselor regenerabile de energie poate conduce la creșterea valorii factorului negativ de nesimetrie cu efecte sesizabile asupra eficienței energetice a utilizatorilor din schemă. Pentru o putere de scurtcircuit la barele de alimentare de medie tensiune de 100 MVA, factorul de nesimetrie de tensiune practic se dublează.

6. CONCLUZII

Tendința actuală de dezvoltare a sistemului electroenergetic în care sursele regenerabile de energie conectate în rețeaua electrică prin intermediul convertoarelor de frecvență iar receptoarele electrice sunt controlate și reglate utilizând circuite electronice de putere, impune o analiză atentă a compatibilității electromagnetice a echipamentelor din sistem. Sursele de emisie de perturbații și „victimele” trebuie să fie dimensionate astfel încât să nu se depășească limitele admise de emisie în punctul de conectare a altor echipamente iar echipamentele posibil a fi „victime” trebuie să aibă un nivel de imunitate la perturbații care să-i permită funcționarea normală.

Prezența surselor regenerabile de energie conectate prin intermediul convertoarelor de frecvență, prin aportul lor practic nesemnificativ la curentul electric de scurtcircuit, determină ca nodurile din rețeaua electrică să fie mai puțin „rigide” și să rezulte niveluri mai ridicate ale perturbațiilor.

Conectarea receptoarelor perturbatoare la o aceeași bară de alimentare poate fi benefică determinând un nivel de perturbație mai redus decât suma perturbațiilor determinate de fiecare dintre sursele perturbatoare.

Limitarea perturbațiilor în zona de emisie, realizarea schemelor cu inerție artificială și dezvoltarea sistemelor de stocare a energiei vor permite controlul propagării perturbațiilor în rețelele „inteligente” asigurând utilizatorilor o calitate corespunzătoare a energiei electrice furnizate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*, IEC 61000-2-2.
- [2] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-12: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems*, IEC 61000-2-12.
- [3] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-13: Limits – Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems*, IEC 61000-3-13

- [4] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-4: Environment - Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*, IEC 61000-2-4
- [5] Albert Hermina ș.a., *Calitatea energiei electrice. Contribuții. Rezultate. Perspective*, Editura AGIR, București, 2013.
- [6] *** *European Directive 2014/30/EU on the harmonisation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility*.
- [7] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 4-30 Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods*, IEC 61000-4-30
- [8] Dugan R.C.ș.a., *Electrical Power Systems Quality*, Second Edition, McGraw-Hill, 2002.
- [9] Baggini A.ș.a., *Handbook of Power Quality*, John Wiley&Sons, Chichester, England, 2008.