



PROPAGATION OF HARMONIC DISTURBANCES IN POWER GRID

Oana CEAKI¹, Vasile LEU²

¹Power Engineering Faculty, University Politehnica of Bucharest

²ANRE, Republic of Moldova

Abstract – Industrial activities efficiency depend on the used power quality. Modern equipment can be affected by deviations from the power quality. Electromagnetic disturbances in the distribution system are a sensitive issue for users and harmonic disturbances can affect their efficiency, but can also cause health effects on users. Operation of an electric arc furnace connected to the medium voltage network of urban determines voltage fluctuations and harmonic distortion leading to impaired users connected to the same bars. The paper presents an application performed using specialized software to analyze power grids from a distribution system real in order to create an overview of solutions for efficient operation of the distribution system in case a user determines harmonics disturbances in the supply network.

The work consists in emphasizing the power quality problems incurred due to equipment causes disturbances in electricity distribution networks, and highlight solutions to their effective functioning.

Keywords – Harmonic disturbances, power quality

PROPAGAREA PERTURBAȚIILOR ARMONICE ÎN REȚEAUA ELECTRICĂ

¹Oana CEAKI, ²Vasile LEU

¹Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică din București

²ANRE, Republica Moldova

Rezumat – Eficiența activităților industriale depind de calitatea energiei electrice utilizate. Echipamentele moderne pot fi afectate de abateri de la calitatea energiei. Perturbațiile electromagnetice din sistemul de distribuție sunt o problemă pentru utilizatorii sensibili, iar perturbațiile armonice pot afecta atât eficiența echipamentelor acestora dar pot cauza și efecte asupra sănătății utilizatorilor. Funcționarea unui cuptor cu arc electric conectat în rețeaua de medie tensiune a unei localități urbane determină fluctuații de tensiune și distorsiuni armonice care au condus la afectarea utilizatorilor conectați la aceleași bare. În lucrare este prezentată o aplicație realizată cu ajutorul unui software specializat în analiza rețelelor electrice pornind de la un sistem de distribuție real, cu scopul de a crea o imagine generală asupra soluțiilor pentru o funcționare eficientă a sistemului de distribuție pentru cazul unui utilizator care determină perturbații armonice în rețeaua electrică de alimentare.

Lucrarea constă în scoaterea în evidență a problemelor de calitate a energiei electrice apărute datorită echipamentelor care determină perturbații în rețelele electrice de distribuție, precum și în evidențierea unor soluții în vederea funcționării eficiente a acestora.

Cuvinte cheie – Distorsiuni armonice, calitatea energiei electrice

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

¹Оана Чяки, ²Василе ЛЕУ

¹Факультет энергетика, Бухарестский политехнический университет

²НАРЭ, Республика Молдова

Реферат – Эффективность промышленных процессов зависят от качества использованной электроэнергии. На работу современного оборудования может повлиять отклонения от качества энергии. Электромагнитные помехи в системе распределения являются проблемой для чувствительных пользователей, а гармонические колебания могут повлиять на эффективность данного оборудования, а также воздействовать на здоровья пользователей. Работа электродуговой печи, подключенная в городскую сеть среднего напряжения приводят к колебаниям напряжения и гармонических помех, а также влияют на пользователей подключенных к данным шинам. В статье описывается приложение, с использованием специализированного программного обеспечения для анализа, применяемое в реальной системе распределения с целью получения общего представления о технических решениях для эффективного функционирования электрических систем для случая одного потребителя, который создает гармонические колебания в электрическую сеть. Это работа состоит в выявлении проблем качества электроэнергии появляющейся за счет оборудования генерирующая помехи в электрических сетях распределения, а также выявления решений для их эффективного функционирования.

Ключевые слова – гармонические колебания, качество электроэнергии.

1. INTRODUCERE

Stabilirea valorilor indicatorilor privind calitatea energiei electrice se face pe baza informațiilor privind daunele care pot să apară la abateri de la calitatea ideală. Valorile indicate în standarde privind nivelul de compatibilitate se bazează pe valori medii acceptate a daunelor [1]. Pentru un utilizator specific, nivelul standard al calității energiei electrice, care corespunde valorilor acceptate ale indicatorilor de calitate, poate să determine daune inacceptabile [2]. În acest sens, cunoașterea, în zona analizată, a indicatorilor de calitate a energiei electrice și efectele asupra utilizatorului, permit adoptarea unor decizii importante pentru realizarea indicatorilor economici ai acestuia, pe baza unor investiții proprii sau la furnizorul de energie electrică [3].

În ultimul timp, procesele tehnologice specifice industriei moderne foarte sensibile la abateri față de calitatea normată a energiei electrice, au adus în actualitate și calitatea curbei de tensiune [4]. În cele mai multe cazuri abaterile de la regimul sinusoidal și simetric sunt însoțite de daune la utilizator prin nerealizarea producției, reducerea calității produselor realizate, reducerea productivității, rebuturi în producție, defecte în echipamente, perturbarea procesului tehnologic pe durate mult superioare duratei întreruperii, accidente, cheltuieli suplimentare pentru salarii, materii prime, energie etc [5].

2. CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE

La dimensionarea echipamentelor din rețelele electrice se adoptă, de cele mai multe ori, ipoteza că tensiunile și curenții electrici au o formă sinusoidală. În realitate, în special curbele de curent electric prezintă abateri față de forma sinusoidală care trebuie avute în vedere la evaluarea circuitelor parcurse de acești curenți electrici [6]. Regimul deformant reprezintă un regim permanent de funcționare a rețelei electrice de tensiune alternativă în care curbele de variație în timp de tensiune și de curent electric sunt periodice și cel puțin una din ele nu este sinusoidală. Regimul deformant este datorat utilizatorilor neliniari [7, 8]. În figura 1 sunt prezentate valorile determinate experimental ale variației curentului electric absorbit de utilizatorul perturbator, iar în figurile 2 și 3 sunt indicate valorile determinate experimental ale variației factorului de distorsiune de tensiune și respectiv de curent electric la utilizatorul industrial, pe durata unei săptămâni.

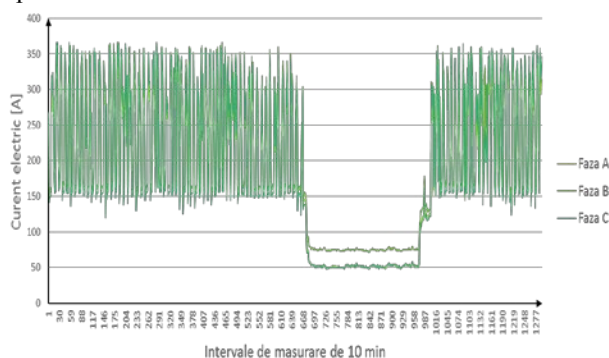


Fig. 1. Variația curentului electric absorbit de utilizatorul perturbator

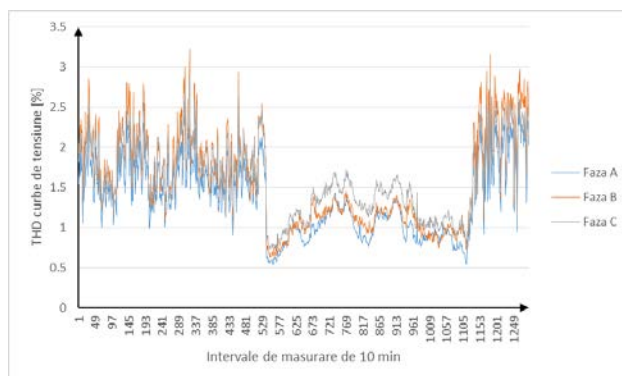


Fig. 2. Variația indicatorului THD al curbelor de tensiune [%]

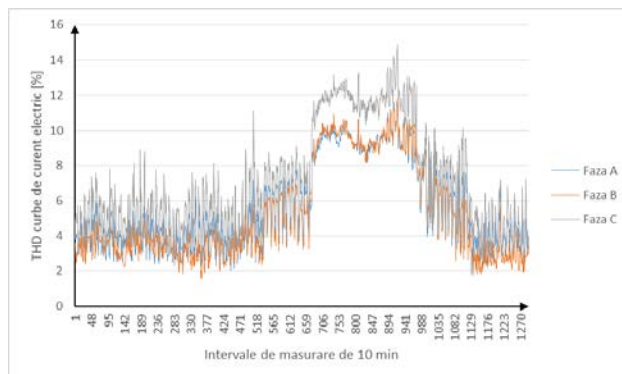


Fig. 3. Variația indicatorului THD al curbelor de curent [%]

Se observă faptul că pe durata zilelor de repaos, curba curentului electric este puternic deformată, dar valoarea acestuia este redusă astfel că efectul asupra deformării curbei de tensiune la barele de alimentare este redus. Datele din figurile 2 și 3 pun în evidență faptul că factorul total de distorsiune de curent electric nu poate caracteriza în mod univoc efectele curbelor distorsionate de curent electric asupra mărimilor electrice din sistemul electroenergetic. Factorul total de distorsiune armonică (THD – total harmonic distortion) reprezintă raportul dintre valoarea efectivă a armonice de rang h din care este eliminată fundamentală și valoarea efectivă a fundamentalei:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^H G_h^2}}{G_1},$$

în care H este rangul maxim al armonice care se ia în considerație.

Factorul total de distorsiune este calculat, în mod obișnuit pentru curbele de tensiune (THDU), dar poate fi calculat și pentru curbele de curent electric (THDI). În cazurile practice este utilizat și factorul TDD (total demand distortion) care definește nivelul armonice de curent electric raportat la curentul electric maxim din circuit și care redă mai corect efectul distorsiunii curentului electric asupra tensiunii la barele de alimentare [1,9].

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^H I_h^2}}{I_L}.$$

3. STUDIU DE CAZ

Studiul de caz are ca scop punerea în evidență a faptului că reducerea puterii de scurtcircuit în sistemele electroenergetice datorită conectării surselor regenerabile prin intermediul convertoarelor de frecvență care aduc un aport redus la puterea de scurtcircuit determină creșterea nivelului perturbațiilor, în particular a celor armonice. Studiul de caz constă în analiza perturbațiilor electromagnetice într-o rețea electrică urbană, unde avem conectate trei sarcini perturbatoare, prima sarcina este legată la bara de 110 kV, a doua sarcină la bara de 6 kV, iar a treia sarcină neliniară la bara de 0.4 kV. Analiza constă în influența utilizatorilor asupra rețelei electrice în privința distorsiunilor armonice.

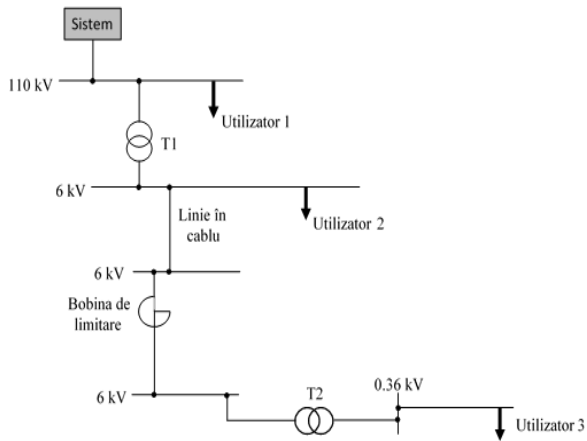


Fig. 4. Schema sistemului de distribuție

Pentru evaluarea influenței utilizatorilor neliniari asupra rețelei electrice în privința distorsiunilor armonice am simulat schema sistemului de distribuție prezentată în figura 4, iar schema sistemului de distribuție realizat în ETAP 12.6 este prezentată în Fig.5.

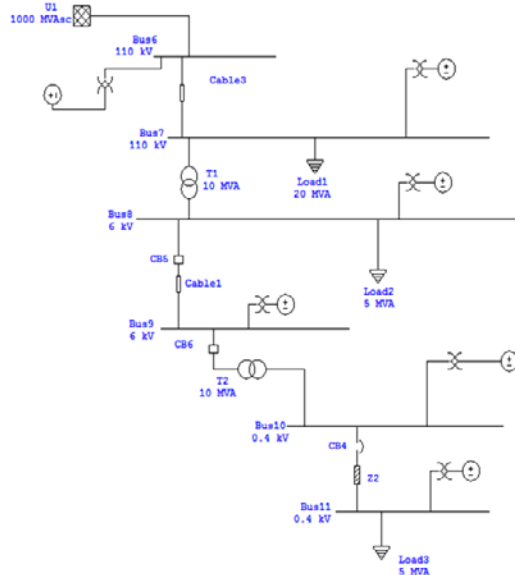


Fig. 5. Schema sistemului de distribuție în ETAP 12.6

În cadrul exemplului de calcul au fost considerate următoarele valori:

- puterea de scurtcircuit la barele de 110 kV, $S_{sc} = 1000$ MVA, primul caz;

- puterea de scurtcircuit la barele de 110 kV, $S_{sc} = 1500$ MVA, al doilea caz;
- puterea de scurtcircuit la barele de 110 kV, $S_{sc} = 2000$ MVA, al treilea caz;
- puterea nominală a transformatorului T_1 110/6 kV, $S_{T1} = 10$ MVA; lungimea liniei de 6 kV, $l = 800$ m;
- puterea nominală a transformatorului T_2 6/0.4 kV, $S_{T2} = 10$ MVA;
- puterea nominală pentru sarcina perturbatoare la barele de 100 kV, $S_{Load1} = 20$ MVA;
- puterea nominală pentru sarcina perturbatoare la barele de 6 kV, $S_{Load2} = 5$ MVA;
- puterea nominală pentru sarcina perturbatoare la barele de 0.4 kV, $S_{Load3} = 5$ MVA;

Evaluarea distorsiunilor armonice a fost simulată mai întâi pentru schema de distribuție având puterea de scurtcircuit 1000 MVA. Rezultatele simulării sunt prezentate în Fig.6.

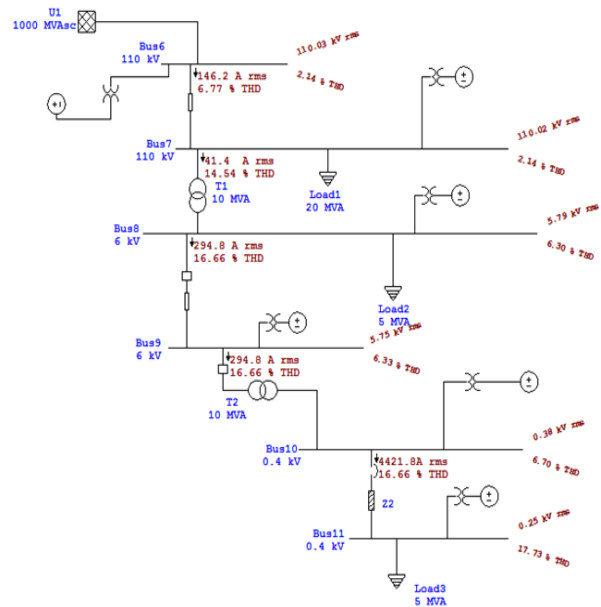


Fig. 6. Valorile indicatorului THD în sistemul de distribuție pentru primul caz în ETAP 12.6

În figura 7 se indică nivelul spectrului armonic al curbei de tensiune pentru sistemul de distribuție cu puterea de scurtcircuit 1000 MVA și se pot observa valori semnificative ale armonicilor de rang 5, 7, 11 și 13, iar în figura 8 sunt prezentate curbele de tensiune pentru sistemul de distribuție. În tabelul 1 sunt indicate valorile indicatorului THDU pe fiecare bară a sistemului de distribuție.

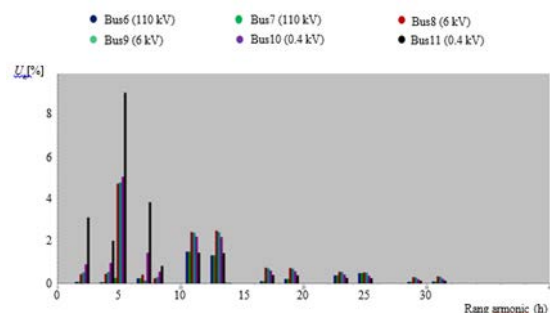


Fig. 7. Spectrul armonic al curbelor de tensiune pentru sistemul de distribuție în cazul puterii de scurtcircuit 1000 MVA

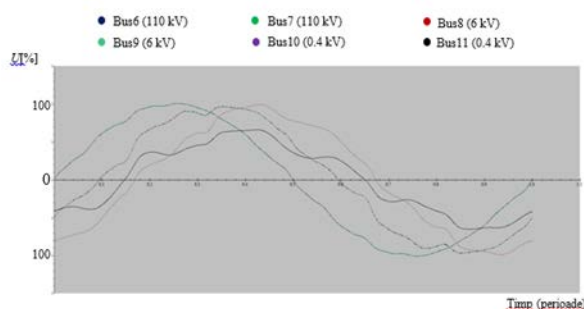


Fig. 8. Curbele de tensiune în cazul sistemului de distribuție

Tabel 1. Valorile THDU pentru $S_{sc}=1000\text{MVA}$ în ETAP 12.6

Nod	U [kV]	Valoare THD [%]
Bus 6	110.01	2.14
Bus 7	110	2.14
Bus 8	5.79	6.30
Bus 9	5.75	6.33
Bus 10	0.38	6.70
Bus 11	0.25	17.73

În a doua parte, evaluarea distorsiunilor armonice a fost simulată pentru schema de distribuție având conectate cele trei sarcini perturbatoare pe bara de 110 kV, pe bara de 6 kV și pe bara de 0.4 kV, iar având puterea de scurtcircuit 1500 MVA. Rezultatele simulării sunt prezentate în figura 9.

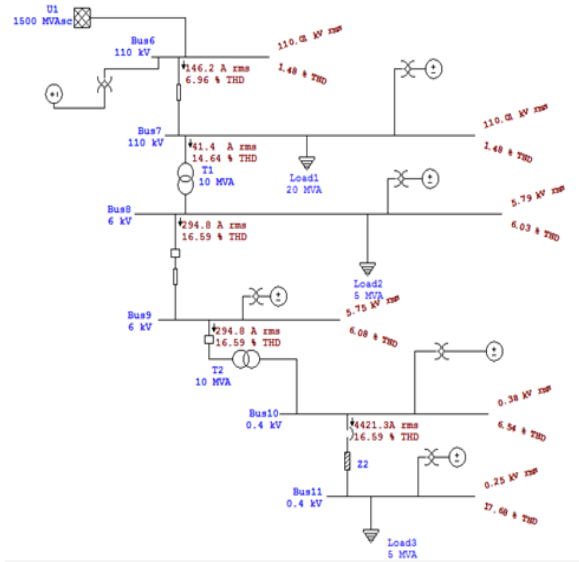


Fig. 9. Valorile indicatorului THD în sistemul de distribuție pentru al doilea caz în ETAP 12.6

În figura 10 se indică nivelul spectrului armonic al curbei de tensiune pentru sistemul de distribuție cu puterea de scurtcircuit 1500 MVA și se pot observa valori semnificative ale armonicilor de rang 5, 7, 11 și 13, iar în tabelul 2 sunt prezentate valorile indicatorului THDU pe fiecare bară a sistemului de distribuție.

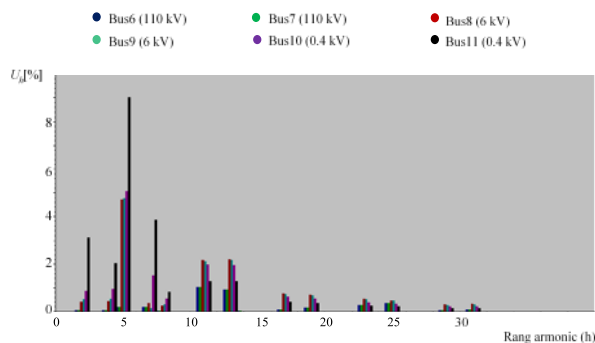


Fig. 10. Spectrul armonic al curbelor de tensiune pentru sistemul de distribuție în cazul puterii de scurtcircuit 1500 MVA

Tabel 2. Valorile THDU pentru $S_{sc}=1500\text{MVA}$ în ETAP 12.6

Nod	U [kV]	Valoare THD [%]
Bus 6	110.01	1.48
Bus 7	110	1.48
Bus 8	5.79	6.03
Bus 9	5.75	6.08
Bus 10	0.38	6.54
Bus 11	0.25	17.68

În a treia parte, evaluarea distorsiunilor armonice a fost simulată pentru schema de distribuție având conectate cele trei sarcini perturbatoare pe bara de 110 kV, pe bara de 6 kV și pe bara de 0.4 kV, iar având puterea de scurtcircuit 2000 MVA. Rezultatele simulării sunt prezentate în figura 11.

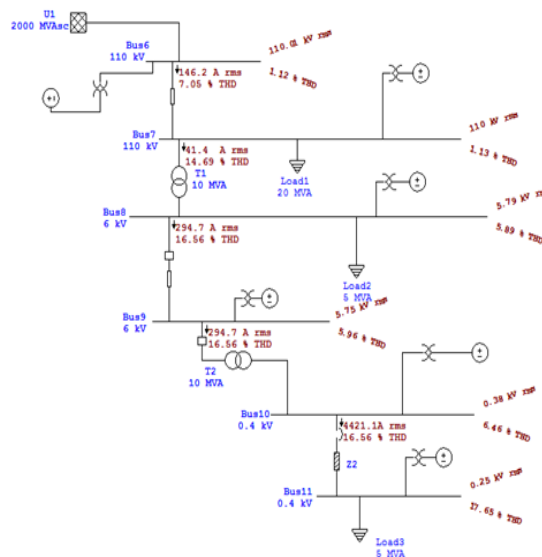


Fig. 11. Valorile indicatorului THD în sistemul de distribuție pentru al treilea caz în ETAP 12.6

În figura 12 se indică nivelul spectrului armonic al curbei de tensiune pentru sistemul de distribuție cu puterea de scurtcircuit 2000 MVA și se pot observa valori semnificative ale armonicilor de rang 5, 7, 11 și 13, iar în tabelul 3 sunt prezentate valorile indicatorului THDU pe fiecare bară a sistemului de distribuție.

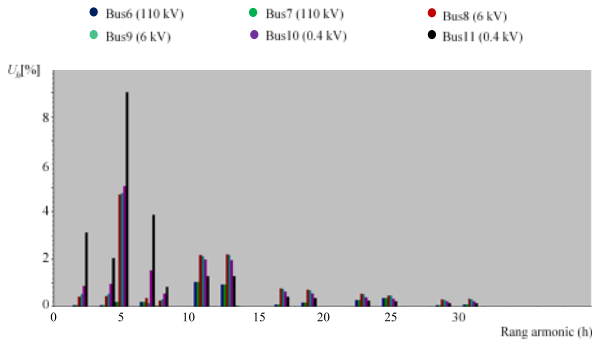


Fig. 12. Spectrul armonic al curbelor de tensiune pentru sistemul de distribuție în cazul puterii de scurtcircuit 2000 MVA

Tabel 3. Valorile THDU pentru $S_{sc}=2000\text{MVA}$ în ETAP 12.6

Nod	U [kV]	Valoare THD [%]
Bus 6	110.01	1.12
Bus 7	110	1.13
Bus 8	5.79	5.89
Bus 9	5.75	5.96
Bus 10	0.38	6.46
Bus 11	0.25	17.65

În figura 13 sunt prezentate valorile indicatorului THDU în funcție de puterea de scurtcircuit pe bara de 110 kV și este evidențiat faptul că reducerea puterii de scurtcircuit în sistemele electroenergetice datorită conectării surselor regenerabile prin intermediul convertoarelor de frecvență care aduc un aport redus la puterea de scurtcircuit determină creșterea nivelului perturbațiilor, în particular a celor armonice.

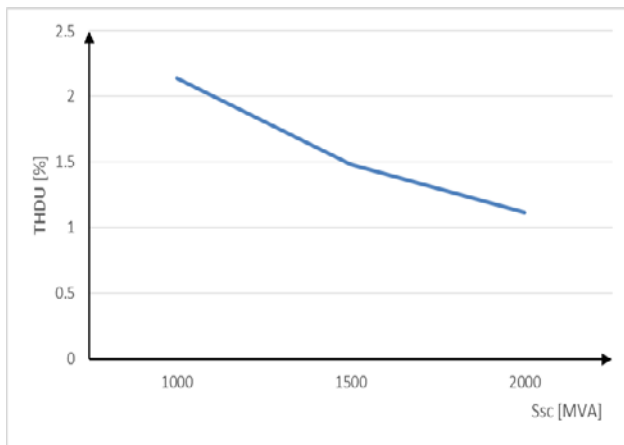


Fig. 13. Valorile indicatorului THDU în funcție de puterea de scurtcircuit pe bara de 110 kV

4. CONCLUZII

Sistemele de distribuție actuale includ receptoare care pot determina perturbații importante ce afectează calitatea

energiei electrice furnizată utilizatorilor conectați în aceeași rețea.

Funcționarea unui cuptor cu arc electric conectat în rețeaua de medie tensiune a unei localități urbane determină fluctuații de tensiune și distorsiuni armonice care au condus la afectarea utilizatorilor conectați la aceleași bare. Limitarea distorsiunilor armonice pentru asigurarea calității energiei electrice la utilizatori impune compensarea în timp real a puterii reactive și în acest sens fiind propusă utilizarea unui STATCOM. Soluția va fi analizată în detaliu în referatul următor.

Pentru rezolvarea problemelor apărute în rețeaua electrică, soluțiile se bazează pe electronica de putere, acestea fiind utilizate pentru reglarea fluxului de putere, creșterea stabilității sistemului și îmbunătățirea calității energiei electrice. Astfel, pentru încadrarea nivelului de calitate în limitele acceptate au fost identificate soluții pentru îmbunătățirea calității energiei electrice și asigurarea continuității în alimentare datorită sarcinilor neliniare ale utilizatorilor introduse în rețelele electrice de distribuție.

Propunerea integrării unui sistem de tip FACTS, în vederea obținerii formei sinusoidale a curbelor de curent electric și tensiune și valori scăzute ale indicatorului THD, dar și evidențierea faptului că există soluții tehnice eficiente pentru limitarea perturbațiilor și asigurarea nivelului de calitate a energiei electrice pentru utilizatorii conectați la aceleași bare cu utilizatorul perturbator.

BIBLIOGRAFIE

- [1] H. Albert ș.a., *Calitatea energiei electrice. Contribuții. Rezultate. Perspective*, Editura AGIR, București, 2013.
- [2] *** Standard EN 50160- *Perturbații de tensiune. Caracteristicile tensiunii în rețelele de distribuție publice*.
- [3] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - Guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*, IEC 61000-4-7/2002.
- [4] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*, IEC 61000-3-7/2008.
- [5] G. Chicco, F. Corona, R. Porumb, F. Spertino, *Experimental Indicators of Current Unbalance in Building-Integrated Photovoltaic Systems*, IEEE Journal of Photovoltaics, pag. 924-934, Vol. 3, No. 3, 2014.
- [6] R. Porumb, N. Golovanov, P. Postolache, C. Toader, *Power quality in modern electric distribution systems assessment using probabilistic approach*, Proceedings of the International Symposium Modern Electric Power Systems (MEPS), Wroclaw, Poland, Pag. 1-6, 2010.
- [7] R.C. Dugan ș.a., *Electrical power systems quality*, Second Edition, McGraw-Hill, 2002.
- [8] E. Carpaneto, G. Chicco, R. Porumb, E. Roggero, *Probabilistic representation of the distribution system restoration times*, 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, CIRED 2005, Torino, Italy, Pag. 1-5.
- [9] A. Ghosh, G. Ledwich, *Power Quality Enhancement using custom power devices*, Ed. Springer Science, Business Media, 2002.