

POWER QUALITY. PAST AND FUTURE

CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE. TRECUT SI VIITOR

Stefan GHEORGHE¹, Nicolae GOLOVANOV²

Abstract: *The paper presents the evolution of the concept of Power Quality (PQ) over the last 25 years, the present situation and the perspectives for the following years, based on the experience of the authors. The contributions of the experts in the field and results of the implementation of these concepts in Romania are also included in the paper.*

Keywords: power quality, disturbance

Rezumat: *Lucrarea prezintă evoluția conceptului de Calitate a Energiei electrice (CEE) în ultimii 25 de ani, situația prezentă și perspectivele pentru următorii ani, pe baza experienței autorilor. Contribuțiile experților în domeniu și rezultate ale implementării acestor concepte în România, sunt de asemenea incluse în lucrare.*

Cuvinte cheie: calitatea energiei electrice, perturbație

1. Introducere

În România, problemele de calitate în domeniul energiei electrice au constituit preocupări ale comunității energetice cu mulți ani în urmă. Acestea se regăseau în diversele cursuri universitare ale unor facultăți tehnice cu profil electric, în preocupările științifice ale unor personalități în domeniul electrotehnic iar după anul 1995 au fost reunite într-un concept unitar sub denumirea Calitatea Energiei Electrice (CEE). Printre personalitățile cu merite deosebite în acest domeniu este necesar să fie amintite: Acad. Constantin Budeanu, Acad. Andrei Țugulea, Prof. Alexandru Poată, Prof. Arie Arie și alții.

Abordările anterioare anului 1990 au avut avantajul studiului problematicii CEE pe fiecare componentă în parte (o abordare de jos în sus),

¹ Prof.phd.eng., Dept.of Power Engineering, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania, e-mail: stgheorghe@yahoo.com

² Prof.phd.eng., Dept.of Power Engineering, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania, e-mail: nicolae_golovanov@yahoo.com

iar după acest an, abordarea globală a conceptului a avut avantajul unei abordări de sus în jos (abordare sistemică) [1].

În perioada dintre anii 1985 și 2005, interesul pentru problematica de CEE a crescut exponențial (Figura 1) [2]. Aceași evoluție a fost menținută și după anul 2005 până în prezent.

Este cunoscut faptul că a crescut numărul și puterea sarcinilor neliniare și, în același timp, a crescut gradul de sensibilitate al utilizatorilor finali (receptoarelor) la diverse perturbații introduse de alți utilizatori finali perturbatori [1][3].

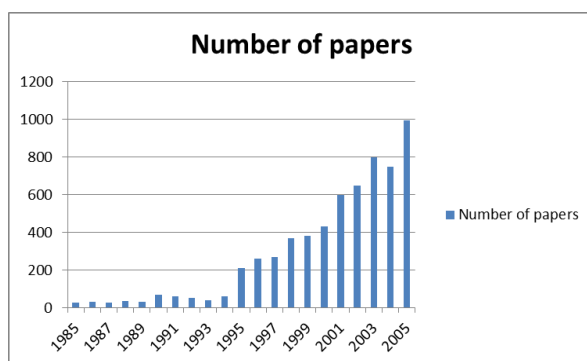


Figura 1. Numărul de articole care au utilizat termenul de CEE (Power Quality) în perioada 1985-2005 (Sursa: Mathias Bollen [2])

2. Evoluția CEE în perioada 1985 - 2005

În evoluția CEE, această perioadă a reprezentat un adevărat pilon în dezvoltarea conceptului CEE, prin activitățile de cercetare desfășurate în universități și institute de cercetare, cu contribuția autorității de reglementare și a operatorilor din domeniul energie.

În perioada 1985-1995, CEE a reprezentat tema principală în elaborarea unor teze de doctorat [4], în realizarea unor contracte de cercetare între universități de profil și agenți economici din sector și prin participarea experților la conferințele internaționale de profil [5].

Apariția în anul 1992 a rapoartelor CIGRE privind indicatorii de CEE bazați pe analiza statistică în cazul regimurilor periodice nesinusoidale, nesimetrice și flicker, cu luarea în considerare a Probabilității Cumulative CP 95% a reprezentat un moment important în creșterea gradului de

acceptabilitate a metodologiilor de calcul al indicatorilor CEE pe baza analizelor statistice, știut fiind caracterul stocastic al apariției acestor perturbații în sistemele electroenergetice [6].

Analiza statistică a curbelor de tensiune și/sau curent electric în sistemele electroenergetice se realizează cu următoarele intervale de timp standardizate:

- T_{vs} - interval de timp foarte scurt - 3 sec
- T_{sh} - interval de timp scurt - 10 min
- T_d - interval de timp zilnic - 1 zi
- T_w - interval de timp săptămânal - 1 săpt.

Valorile pe intervalul de timp foarte scurt se calculează pe baza valorilor efective măsurate pe un interval de 10 perioade ale tensiunii alternative. Valorile pe intervalul de bază de 3 s (T_{vs}) se determină ca valoarea efectivă a celor 15 valori măsurate pe intervalul de 10 perioade.

Valoarea tensiunii/curentului electric se calculează ca rădăcină medie pătratică pe fiecare armonică, cu toate cele N semnale achiziționate la 3 sec – U_{hvs} / I_{hvs} ;

Pe fiecare interval de 10 min se calculează U_{hsh} / I_{hsh} , ca valoare medie pătratică, pe fiecare armonică, a celor 200 de valori U_{hvs} , respectiv I_{hvs} ;

Pe intervalul zilnic / săptămânal se calculează *Probabilitatea Cumulativă* 95% (CP 95%), care trebuie comparat cu valorile limită admise de standarde.

În acea perioadă, reglementările din domeniu din România, privind regimurile periodice nesinusoidale, nesimetrice și de fluctuații de tensiune (cu efect de flicker), au ținut seama de aceste propuneri la nivel internațional și au inclus noile metodologii de măsurare și calcul al indicatorilor CEE [7].

Activitățile de cercetare din domeniul CEE din acea perioadă, au inclus pe lângă dezvoltarea conceptului de CEE și dezvoltarea aparaturii și a tehnicilor de măsurare în domeniul CEE. Au fost efectuate cercetări în trei direcții, după cum urmează:

- *Construcția analizatoarelor de CEE* – au fost construite primele analizoare de CEE din România (1992-1994), integrate într-un calculator PC și cu interfață de conectare la process prin transductoare LEM sau aparat dedicat [8];
- *Elaborarea documentației de achiziție a analizatoare de CEE specializate* (1996);
- *Utilizarea analizatoare performante (Ex BMI 7100) și efectuarea de măsurări în instalațiile operatorilor de distribuție de energie electrică.*

În figura 2 este prezentată schema bloc a analizorului dezvoltat pentru achiziția și prelucrarea statistică a datelor în cazul mărimilor nesinusoidale.

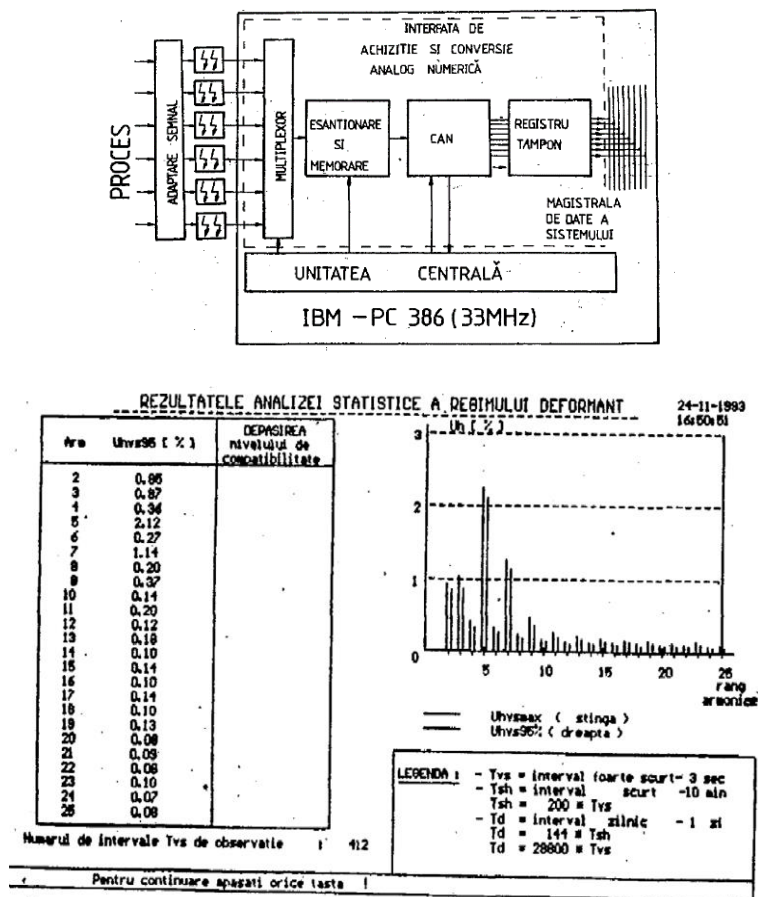


Figura 2. Sistem de achiziție a datelor și analiza a regimului deformant (1994) și rezultate obținute (1993) prin măsurători și analiza statistică conform [3], [5]

Modelul dezvoltat pe baza schemei din figura 2 a permis obținerea primelor rezultate privind distorsiunile determinate de tracțiunea electrică.

În perioada 1996-2005, sunt de remarcat câteva momente importante în evoluția CEE.

- Diversificarea echipamentelor pentru măsurări de CEE și calcul al indicatorilor de CEE
- Elaborarea și publicarea raportului CIGRE Indicatori și Obiective de CEE (Power Quality Indices and Objectives). La elaborarea

raportului publicat în CIGRE – ELECTRA nr 281/2004 a participat și un expert din România, alături de experți din alte 21 țări [9].

- Inițierea și desfășurarea la fiecare 2 ani a Simpozionului Național „Calitatea Energiei Electrice”, devenit tradițional la Târgoviște, sub organizarea Electrica SA și a universităților UPB și UVT. Acesta a ajuns în anul 2019 la a 13-cea ediție și reunește de fiecare dată experți, studenți, cadre universitare, reprezentanți ai reglementatorului și ai operatorilor economici din sectorul energie din România și uneori și lucrări din străinătate (Figura 3).
- Apariția primelor cursuri universitare dedicate CEE la universitățile de profil Inginerie Energetică / Inginerie Electrică din țara.
- Apariția suporturilor de curs pentru studenți [10];
- Dezvoltarea, împreună cu operatori din sistemul electroenergetic și specialiști din cercetare și proiectare, la care au participat și reprezentanți ai firmelor care comercializau analizoare, a unui program amplu de determinări în noduri reprezentative din sistem.



Figura 3. Simpozionul Național „Calitatea Energiei Electrice” – Edițiile 1999 – 2005

Implementarea primelor instalații eoliene în România în cadrul programului de reducerea amprente de carbon a sistemului electric a permis analiza efectelor acestora asupra indicatorilor de calitate a energiei electrice în rețeaua electrică în care sunt conectate. În figura 4 este prezentată o imagine de la studiile efectuate la o centrală eoliană din Dobrogea, pentru un interval și sunt indicate nivelurile de flicker pe termen scurt P_{lt} înregistrare pe un interval de timp de 560 minute.

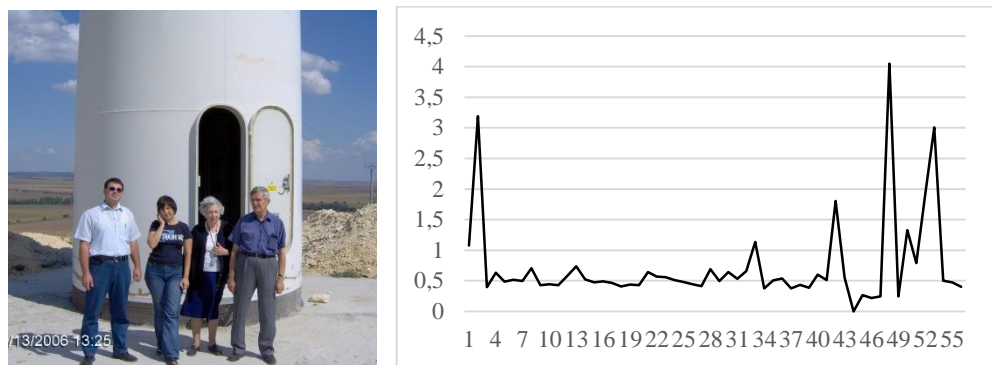


Figura 4. Determinări privind nivelul de flicker la o instalație eoliană

În figura 5 este indicat sistemul de monitorizare a indicatorilor CEE utilizat la un operator de distribuție

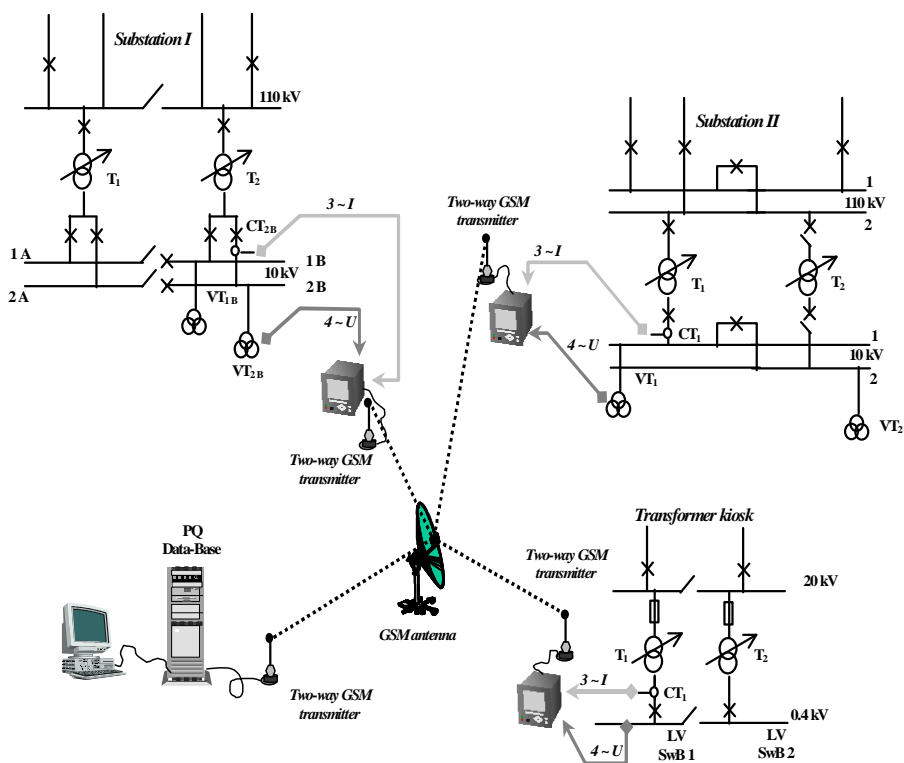


Figura 5. Schema de principiu a primului Sistem de Monitorizare on line a indicatorilor de CEE din stații și posturi de transformare ale unui OD (2002)

3. Evoluția CEE în perioada 2006 - 2020

Apariția **Standardelor de performanță (SP) și a Codurilor tehnice de rețea**, pentru activități de transport și distribuție a energiei electrice, care au fost elaborate de către ANRE pe baza documentelor elaborate și acceptate de către ENTSOE, EURELECTRIC, ACER a constituit un moment important în dezvoltarea CEE. După implementarea acestor prevederi ale legislației secundare, reglementatorul, aplicând prevederile SP privind serviciul de transport, de distribuție și de furnizare, poate lua măsuri de penalizare pentru neîndeplinirea de către operatori a prevederilor reglementărilor. SP reprezintă un cadru de reglementare adecvat creșterii performanței serviciilor energetice efectuate de către operatori în serviciul clientului – utilizatorul de energie electrică.

În figura 6 sunt prezentate câteva dintre cărțile elaborate pentru a pune la dispoziția operatorilor în domeniul CEE a instrumentelor necesare achiziției datelor, a prelucrării acestora, evaluarea nivelului de calitate și a propunerilor de soluții pentru încadrarea indicatorilor de calitate în limitele admise.

La nivelul OTS (Operatorul de Transport și Sistem) și al OD-urilor (Operatorilor de Distribuție) au fost dezvoltate **Sisteme de monitorizare a CEE**, conform conceptului „*Un singur punct pentru centralizarea și managementul datelor din CEE*”

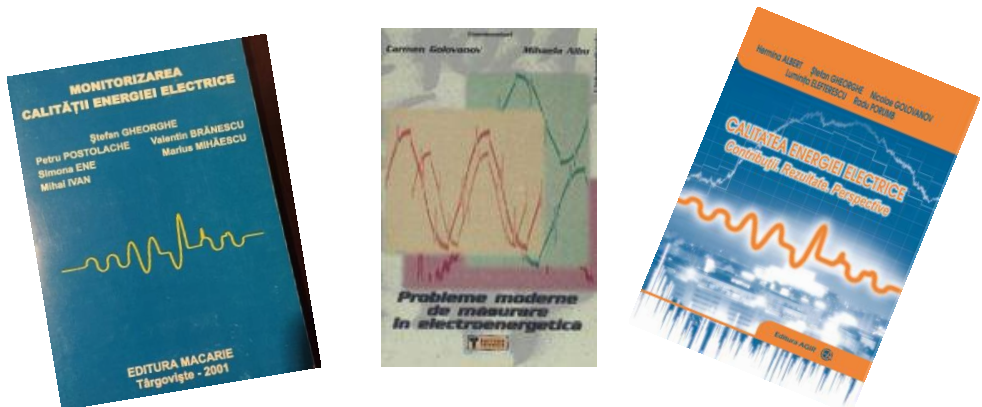


Figura 6. Cărți apărute în domeniul CEE

Studiile efectuate de colectivele mixte de cercetare din exploatare, cercetare și învățământ au permis dezvoltarea unor preocupări pentru

obținerea unei cantități importante de informații care au asigurat monitorizarea indicatorilor de performanță, din punct de vedere al calității serviciului la operatorii de distribuție. Conform cerințelor SP, anual sunt transmise la ANRE **Rapoartele anuale privind CEE** la nivelul fiecărui OD și OTS, iar reglementatorul integrează datele și elaborează un raport la nivelul țării.

În figura 7 este indicată variația indicatorilor de performanță SAIDI și SAIFI în intervalul 2011-2018, fiind pusă în evidență importanța cunoașterii acestor indicatori pentru acțiunile de îmbunătățire a serviciului de alimentare a utilizatorilor.

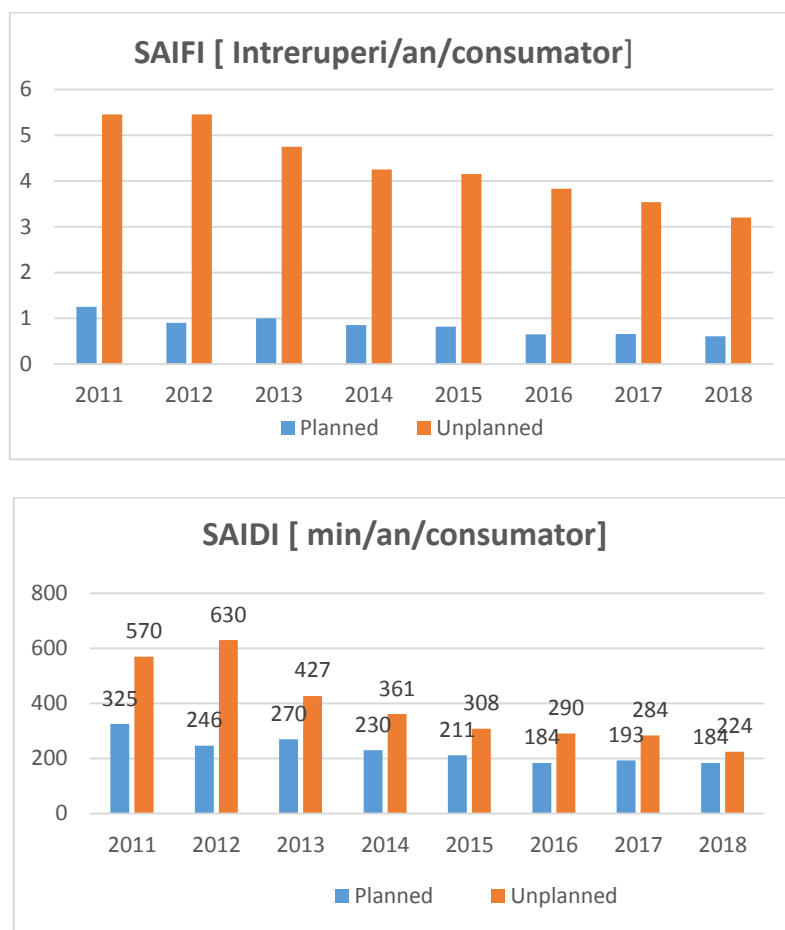


Figura 7. Evoluția indicatorilor SAIFI și SAIDI în perioada 2011 – 2018

Bazele de date cu măsurari ale indicatorilor CEE stau la baza analizelor privind elaborarea și impactul așteptat al legislației secundare de către reglementator.

Influența creșterii numărului și puterii totale a surselor regenerabile de energie de puteri mici au reprezentat teme studiilor desfășurate în ultimii ani. Au fost de asemenea abordate subiecte precum: propagare perturbații, în zonele de rețea de transport și/sau de distribuție și regimurile de funcționare insularizată a zonelor de rețea electrică, având conectate surse de producere a energiei electrice distribuite.

Consecințele care apar asupra CEE prin scăderea puterii de scurtcircuit în SEN, datorate reducerii surselor de generare conventionale (generatoare sincrone, cu inerție mecanică). Aceasta situație conduce la reproiectarea sistemelor de compensare / atenuare a perturbațiilor și control al tensiunilor (STATCOM, SVC), necesitând soluții foarte clar reglementate de suportare a costurilor.

Studiile efectuate privind impactul centralelor fotoelectrice asupra calității energiei electrice furnizată utilizatorilor din zonă au stat la baza elaborării de normative privind condițiile de conectare a acestora și eliberarea avizelor de racordare.

4. Perspectivele evoluției CEE în următorul deceniu

Perspectivele domeniului CEE în perioada următorului deceniu, sunt strâns legate de *evoluția tehnologiilor IT și Comunicatii, evoluția tehnologiilor privind electronica de putere și ale cadrului de reglementare.*

Tendințele care se întrevăd pot fi următoarele:

1. **Integrarea aplicațiilor informatice în platforme comune la nivelul OD.** Aplicațiile existente de tip ERP (Enterprise Resource Planning) se vor integra cu sistemele de control al proceselor energetice de tip SCADA, sistemele de protecții, cu sistemele GIS (Geografic Information System) și Sistemele de monitorizare a indicatorilor CEE.
2. **Influențele sistemelor de stocare a energiei electrice asupra redesenării Sistemelor de transport și distribuție.** Stocarea centralizată, dar mai ales descentralizată a energiei electrice va avea un impact important asupra condițiilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice, impact care trebuie evaluat.
3. **Utilizarea tehnologiilor noi pentru creșterea Eficienței energetice.** Implementarea acestor tehnologii se va face pe baza

analizelor cost/beneficiu, luând în considerare atât avantajele acestor tehnologii dar și costul măsurilor care trebuie adoptate pentru limitarea impactului asupra indicatorilor de calitate a energiei electrice

4. ***Unificarea indicatorilor de CEE, standardizare a metodelor de măsurare***
5. ***Utilizarea soluțiilor de prognozare a indicatorilor de CEE în zone ale RED***
6. ***Studiul Interarmonicele și fenomenele tranzitorii în cadrul CEE***
7. ***Triunghiul Rețele Inteligente - Surse Regenerabile de Energie – CEE***. Sunt cunoscute deja influențe reciproce ale celor trei concepte, concept și tehnologii care sunt în dezvoltare în perioada următoare. Studiile aprofundate ale acestora constituie provocări ale cercetărilor din deceniul următor.
8. ***Apariția „agregatorilor energetici” și a „comunităților energetice”*** va necesita elaborarea unor noi reglementări privind funcționarea acestora astfel încât să asigure calitatea energiei furnizate beneficiarilor.

6. Concluzii

Câteva cercetări au prefigurat încă din anul 1994 necesitatea de stabilire a cadrului de reglementare în domeniul CEE [4] [7]. Realizarea propriu zisă a fost posibilă după mai bine de 15 ani, când au apărut SP pentru serviciile de distribuție, transport și furnizare a energiei electrice, care cuprindeau prevederi pentru CEE atât din punct de vedere al aspectelor tehnice cât și comerciale.

Evoluția reglementărilor din domeniul CEE din România a urmat evoluția tehnologiilor din sectorul energie pe plan internațional, iar implementările din România, mai ales în reglementarea autorității ANRE, au avut un rol important în creșterea calității energiei electrice furnizată utilizatorilor .

Un moment de referință, care a determinat alinierea legislativă a sectorului energie din România la prevederile Uniunii Europene (UE), l-a constituit aderarea României cu drepturi depline la UE în anul 2007.

Tehnologiile progresează cu o viteză foarte mare, strategiile și scenariile Europene și Mondiale legate de schimbările climatice definesc ținte foarte ambițioase, iar domeniul CEE trebuie să se alinieze la acestea, prin cercetări privind impactul acestora asupra aspectelor tehnice, comerciale și de

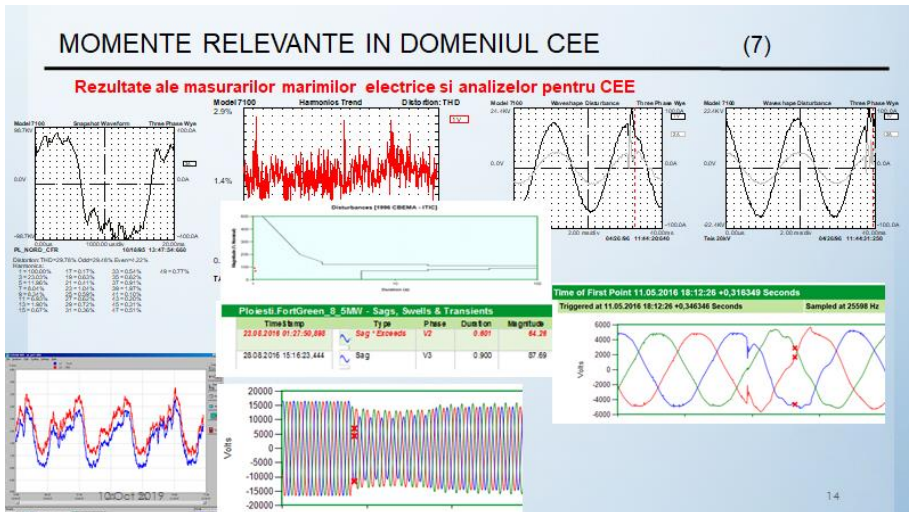
reglementare a CEE în noile structuri ale sistemelor de energie electrică. Necesitatea de a asigura utilizatorilor energia electrică la standarde de calitate din ce în ce mai înalte a rămas o cerință care trebuie respectată.

REFERENCES

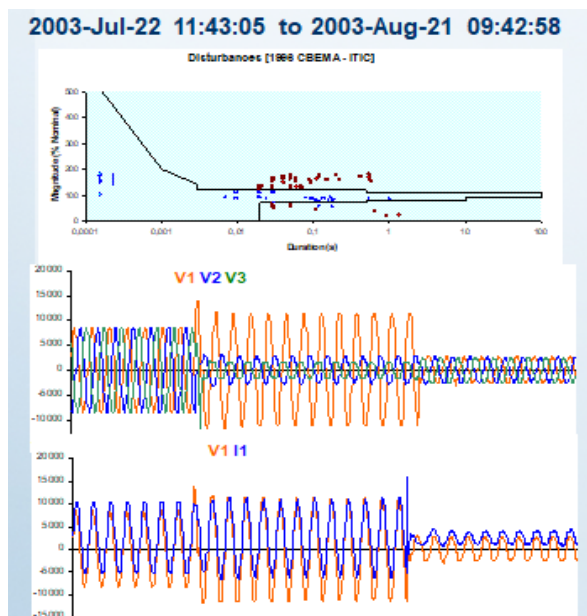
- [1] *H. Albert, S. Gheorghe, N. Golovanov, R. Porumb and L. Elefterescu*, „Power Quality. Contributions, Results and perspectives,” Ed. AGIR, Bucharest, 2013, ISBN 978-973-720-497-4.
- [2] *Math H.J. Bollen and Irene Y.H. Gu*, “Signal Processing of Power Quality Disturbances,” IEEE Press Series on Power Engineering, 2006, ISBN 10 0 – 471-73168-21.
- [3] *R.C. Dugan, M.F. McGranaghan*, “Electric Power Quality,” McGraw-Hill, New York, 1996.
- [4] *S. Gheorghe*, “Supravegherea în timp real cu microprocesoare a rețelelor electrice functionand în regim deformant,” UPB – Facultatea Energetica, Bucuresti, 1994, Teza de doctorat.
- [5] *E. Potolea, I. Conecini, S. Patrascoiu and S. Gheorghe, M. Sanduleac*, “On-line monitoring and Off-line analysis of the harmonic state,” Proceedings of CIGRE Conference, Paris, 1996, Report 36-303.
- [6] *** CIGRE / CIRED – Working Group 36.05 “Voltage quality – Assessing voltage quality with relation to harmonics, flicker and unbalance,” Paris, Session Sept 1992.
- [7] *RENEL*, “PE 143/1994 – Normativ privind limitarea regimului nesimetric si deformant în rețelele electrice,” ICEMENERG, Bucuresti, 1994.
- [8] *E. Potolea si S. Gheorghe*, “Sistem de Achizitie a Datelor si Analiza Regimului Deformant (SADARD). Realizare si rezultate ale utilizarii în rețelele electrice poluate cu armonice,” Revista ENERGETICA, vol 42, 5B, 1994.
- [9] *G. Beaulieu, G. Borloo, M. Bollen, S. Malgarotti, X. Mamo, A. Arruda, A. Baitch, R. Ball, N. Baumier-Duphil, J. Bekker, A. Botha, H. Bronzeado, G. Georgantzis, S. Gheorghe, M. Kaminaga, R. Koch, M. Lahtinen, A. McEachem, B. Moncrief, C. A. Nucci, F. Rachida, B. Rathering-Schnitzler, A. Rebolleda, J. Sinclair, B. Smith and W. Van Wyk*, “Power quality indices and objectives,” CIGRE WG C4.07/CIRED - Final Report, ELECTRA, nr 216, 2004;
- [10] *S. Gheorghe, P. Postolache, S. Ene, M. Mihaescu and M. Ivan*, „Monitoring of Power Quality,” Ed. Macarie, Targoviste, 2001, ISBN 973-9391-65-6.
- [11] *C. Golovanov, A. Calotoiu and S. Gheorghe*, “NONLINEAR LOADS IN POWER SYSTEMS. ASPECTS OF THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY,” 1998, Revue Romaine de Science & Technique - Serie Eletrotechnique and Energetique, Romanian Academy, vol 1, tom 43, pag 15-32.
- [12] *S. Gheorghe; N. Golovanov; H. Albert; C. Stanescu and Doina Ilisiu*, “The management of Power quality, Energy efficiency and the performance of the companies,” 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) Year: 2014, DOI: 10.1109/ICHQP.2014.6842801, IEEE Conference Publications.
- [13] *N. Golovanov, H. Albert, S. Gheorghe, N. Mogoreanu si G.C. Lazaroiu*, “Surse regenerabile de energie electrica în Sistemul Electroenergetic,” Editura AGIR, 2015, ISBN 978-973-720-603-9.

-
- [14] *** „Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems,” EN50160, 2010+A1:2015+A2:2019+A3:2019.
- [15] *** *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3.7.*, “Limits –Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations of MV, HV and EHV in power systems,” IEC 61000-3-7/2008.
- [16] *** *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30.*, “Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods,” IEC 61000-4-30, 2015+COR1:2016.
- [17] *** „Caracteristici ale tensiunii în rețelele electrice publice de distribuție,” SR EN 50160/2011+A1:2015+A2:2015+A3:2015.
- [18] *M. Costea, N. Golovanov, I.M. Grințescu, E.L. Stănciulescu and S Gheorghe*, “Human exposure to electromagnetic fields produced by distribution electric power installations,” *Advances in Electrical and Computer Engineering*, Suceava, 2014.
- [19] *S. Gheorghe, N. Golovanov, G.C. Lazaroiu, C. Stanescu and G. Gheorghe*, “The Connection of Renewable Sources to the Grid. Influences and Power Quality Issues,” THE 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING (ATEE), 2017, Bucharest, Romania.
- [20] *S. Gheorghe, N. Golovanov, G.C. Lazaroiu, G. Gheorghe, O. Ceaki and L. Elefterescu*, “Compensation of Voltage Fluctuations to Industrial Customer,” 2017, Joint International Conference OPTIM – ACEMP - Optimization of Electrical & Electronic Equipment - Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics, May 25-27, 2017, (OPTIM – ACEMP), Brasov.
- [21] *S. Gheorghe si N. Golovanov*, “Evolutia Calitatii Energiei Electrice in ultimii 25 de ani si perspectivele pentru urmatoorii 10 ani,” al XIII-lea Simpozion National “Calitatea Energiei Electrice”, CEE 2019 Proceedings ISSN 2247–773X, Târgoviște, 09-11oct 2019, pag.6-22.

ANEXA



Rezultate – 1 ale monitorizarii indicatorilor de CEE [21]



Rezultate - 2 ale monitorizarii indicatorilor de CEE [21]

