

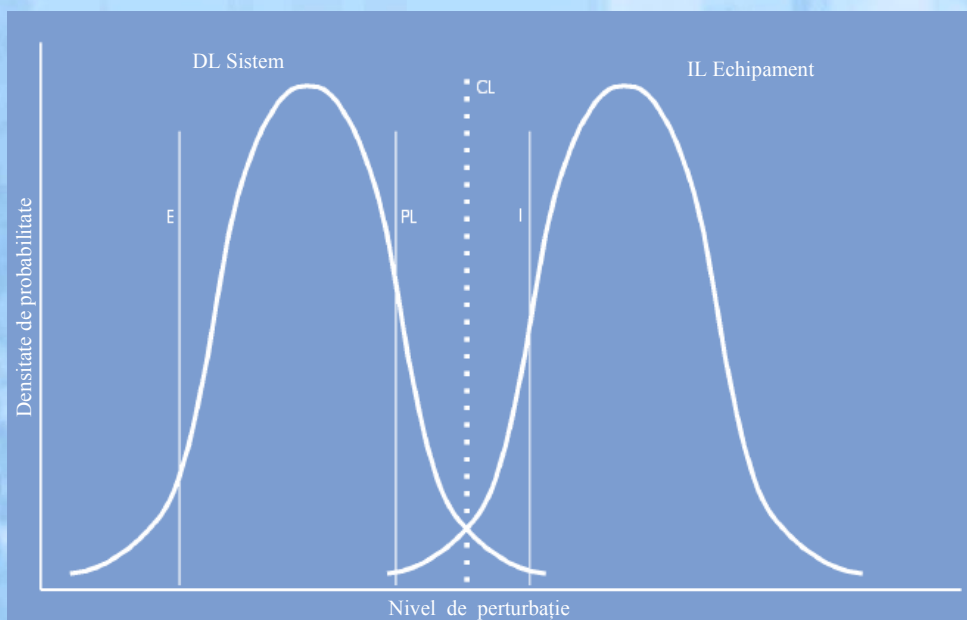
Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Armonici

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

3.4.1



Armonici

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

Rafael Asensi
Universidad Politécnica de Madrid
Martie 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.

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, Deutsches Kupferinstitut 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, Universidad Politécnica de Madrid și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

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



Membră a
EURPEL

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
Website: 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

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

Introducere

În teorie, curenții și tensiunile dintr-un sistem trifazat de distribuție a energiei electrice, au o curbă perfect sinusoidală, au factor de putere unitar, sunt echilibrați (adică toate tensiunile și toți curenții sunt identici ca mărime pe fiecare fază și fazele diferă între ele exact cu 120 grade).

În practică, natura sarcinilor consumatorilor (primari) determină distorsiuni ale curentului și tensiunii și o încărcare diferită a fazelor [1]. În ultimii 20 ani situația s-a înrăutățit și astăzi în rețele sunt tensiuni și curenți distorsionați și, chiar în regim staționar, nu se poate considera că “regimul este echilibrat sinusoidal”. Printre cauzele acestei situații sunt:

- ◆ curenți armonici introduși de sarcini nelineare ca redresoare mono sau trifazate, cuptoare cu arc, compensatoare statice de putere reactivă etc.
- ◆ curenți interarmonici produși de cuptoarele cu arc electric de tensiune alternativă sau tensiune continuă, acționări de motoare de tensiune alternativă etc.
- ◆ nesimetrii create de sarcini monofazate conectate în sistemele trifazate
- ◆ flicker produs de sarcini fluctuante
- ◆ variații ale tensiunii (goluri, întreruperi) cauzate de defecte în rețea (sistem), trăsnete etc.

Pe piața liberă de energie electrică, în care multe companii concurează pentru consumatori într-o aceeași rețea, calitatea energiei electrice este o preocupare majoră deoarece responsabilitatea de a livra „putere curată” este împărțită. Pentru a menține o calitate bună a energiei electrice în rețea este esențial să existe un set de standarde care să specifice clar limitele ce trebuie impuse sarcinilor și rețelelor.

Obiectivul este de a realiza un mediu în care se realizează compatibilitatea electromagnetică (EMC) definită de standardul CEI [2] ca:

„Abilitatea unui element al unui echipament sau a unui sistem de a funcționa satisfăcător în mediul său electromagnetic fără a produce perturbații electromagnetice intolerabile pentru orice se găsește în acest mediu”.

Problema compatibilității electromagnetice

Compatibilitatea electromagnetică este o problemă care prezintă două părți. Echipamentele consumatorilor funcționând în rețea produc perturbații în rețea, iar perturbațiile rezultate afectează buna funcționare a altor echipamente din rețea. Pentru a asigura compatibilitatea este necesar să se controleze nivelul maxim de perturbații care poate exista în orice punct al rețelei și să se stabilească un nivel de perturbație la care orice element al echipamentului va fi imun.

Rețeaua este foarte mare și departe de a fi omogenă; de exemplu impedanța în punctul comun de conectare (PCC) depinde de structura și „rigiditatea” rețelei locale, iar densitatea de echipamente variază enorm. Fiecare element al unui echipament produce unele perturbații care se sumează într-un anumit fel cu cele provenind de la alte echipamente. Standardele de echipamente sunt concepute pentru a asigura că:

- ◆ nivelurile de emisie ale fiecărei clase de echipamente sunt de așa natură încât conectarea echipamentelor la rețea să nu crească excesiv nivelul general de perturbație;
- ◆ echipamentele nu vor fi susceptibile la nivelul de perturbații care sunt probabile în rețea.

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

Sunt câțiva parametri care trebuie specificați și controlați:

- ◆ nivelul de emisie (EL- emission level)
- ◆ nivelul de imunitate (IL - immunity level)
- ◆ nivelul de compatibilitate (CL - compatibility level)
- ◆ limita de emisia (E - emission limit)
- ◆ limita de imunitate (I - immunity limit)

și, pentru rețelele de MT și JT

- ◆ nivelul de planificare (PL - planning level).

Aceste limite și niveluri sunt descrise în următoarele secțiuni.

Nivelul de emisie (EL)

Nivelul de emisie este nivelul de perturbație (DL – disturbance level) produs de o anumită sarcină într-un anumit amplasament. Valoarea acestuia depinde în principal de doi factori:

- ◆ caracteristicile echipamentelor, inclusiv variantele inerente în echipamentele produse în serie și
- ◆ caracteristicile rețelei de alimentare în punctul de racordare.

Cu toate că echipamentul este proiectat și fabricat în conformitate cu un standard (care are incluse nivelul perturbațiilor permise), componentele individuale ale echipamentelor produse în serie vor avea inevitabil mici diferențe în ceea ce privește emisia lor de perturbații. Echipamentul este „testat ca tip” pentru a asigura că el satisface cerințele din standarde dar variațiile în componente și în detaliile unei exacte ansamblări vor conduce la mici variații în nivelul de emisie. Aceasta implică faptul că nivelul de perturbație produs de diferitele exemplare ale unui același tip de echipament într-o aceeași rețea va fi diferit.

Deoarece multe perturbații se manifestă ca variații sau distorsiuni ale curentului produs de echipament, perturbația rezultată, măsurată ca perturbație pe curba de tensiune, va depinde de impedanța rețelei de alimentare, exprimată uneori prin puterea de scurtcircuit.

Aspecte statistice ale nivelului de emisie

Rețeaua are un număr foarte mare de sarcini conectate la ea, fiecare cu un nivel de emisie. Datorită diferențelor între impedanțele rețelei (nivel de scurtcircuit), densității spațiale a sarcinilor și condițiile lor de funcționare, nivelul de emisie măsurat în diferite puncte ale rețelei va fi diferit. Cu alte cuvinte, valoarea măsurată a nivelului de emisie este distribuit statistic, cum este reprezentat în figura 1.

Figura indică probabilitatea (p) de a obține o anumită valoare pentru nivelul de emisie a unei anumite perturbații. Dacă un anumit nivel al emisiei este mai frecvent, probabilitatea lui de apariție este mai mare.

Fondul de perturbații (background disturbance) este dat de contribuția unui număr foarte mare de elemente ale echipamentelor. Unele perturbații sunt în principal de natură aleatoare și prin aceasta ele nu sunt corelate cu faza sau mărimea perturbațiilor produse de alte elemente ale echipamentelor. Ca rezultat, pentru aceste perturbații, efectul adăugării unui alt element de echipament la sistem nu este simplu aditiv. Totuși, sunt unele perturbații importante, ca de exemplu curenții de armonica trei și căderile de tensiune produse de acestea, care sunt aditive local.

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

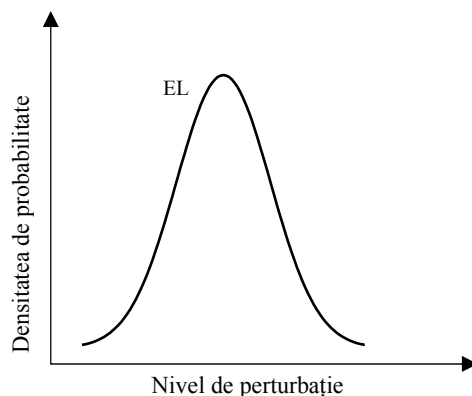


Figura 1 – Distribuția nivelului de emisie

Nivelul de imunitate (IL)

Orice element al echipamentului este proiectat și realizat după un standard care cere să fie imun la perturbații sub un anumit nivel. Nivelul de imunitate (IL) este valoarea maximă a perturbației, existentă în rețea, care nu înrăutățește (degradează) comportarea unui anumit element al echipamentului supus condițiilor de test. În practică, imunitatea echipamentului la perturbații este de asemenea afectată de alți factori. De exemplu, toleranțele componentelor și detaliile unei ansamblări exacte vor afecta nivelul de imunitate relativ la probele test și condițiile de instalare, de asemenea, lungimea cablurilor și modul de legare la pământ, pot să introducă variații.

Ca rezultat, nivelul de imunitate al echipamentului este, de asemenea, distribuit statistic în același fel ca și nivelul de emisie (figura 1).

Nivelul de compatibilitate (CL)

Perturbațiile generate de fiecare sarcină contribuie la crearea unui nivel de perturbații în toate nodurile rețelei. Nivelul de perturbații va fi mai mare în unele noduri (bare) decât în altele, în funcție de impedanțele lor și de încărcare și va varia în timpul unei zile, în zilele săptămânii și în timpul anului.

Nivelul de compatibilitate este definit ca nivelul de perturbații care nu trebuie depășit în 95% dintre măsurătorile din întreaga rețea [2]. De reținut că nivelul de compatibilitate este o valoare statistică care caracterizează starea întregii rețele – el nu poate fi utilizat să descrie situația unui anumit nod. Figura 2 este realizată pe baza măsurătorilor nivelului de perturbație (DL), pentru o anumită perturbație, în toate nodurile (barele) unei rețele timp de o săptămână.

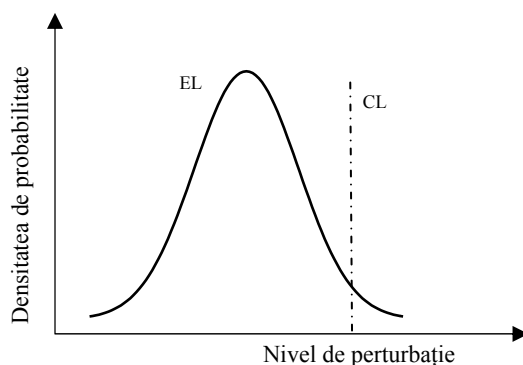


Figura 2 – Nivel de compatibilitate

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

Nivelul de compatibilitate este definit ca mărime absolută, de exemplu, nivelurile de compatibilitate pentru unele tensiuni armonice în rețelele de joasă tensiune, arătate în tabelul 1 (vezi [2]) sunt exprimate ca procent din componenta fundamentală a tensiunii. Totuși, nivelurile de perturbații la care ele sunt raportate (la un nivel de 95 %) sunt statistice, fiind rezultatul efectului unui mare număr de variabile.

Armonica	CL [%]
5	6
7	5
11	3,5
13	3

Tabelul 1 – Niveluri de compatibilitate pentru tensiuni armonice în rețele de JT

În timp ce specificarea valorii nivelului de compatibilitate este simplă, definirea standardelor de proiectare a echipamentului și a regulilor de planificare a rețelelor care îi vor permite acestuia să le respecte este o sarcină cu mult mai complexă bazându-se puternic (în principal) pe experiența de funcționare. Limita de emisie prezentată în următoarea secțiune este o componentă a acesteia .

Limita de emisie (E)

Limita de emisie este valoarea maximă permisă pentru nivelul de perturbații generat de un anumit element al echipamentului. De reținut că limita de emisie se aplică unei singure componente a echipamentului, în timp ce nivelul de compatibilitate se aplică întregii rețele. Limitele de emisie pot fi confirmate prin teste și echipamentul care nu corespunde trebuie eliminat. În practică, controlul acestui proces este lăsat pieței, rămânând fabricanților să testeze atent proiectele lor și utilizatorilor să raporteze echipamentele care nu corespund.

Limita de emisie este un nivel de perturbație puțin mai redus față de nivelul de compatibilitate. Logica acestui fapt este că perturbațiile generate de toate sarcinile în sistem se sumează într-un mod complex pentru a rezulta nivelul „global” de perturbație. Unele perturbații, ca de exemplu curenții de armonica trei, se adună simplu aritmetic local dar apoi se atenuează, de exemplu, trecând prin înfășurările triunghi ale transformatoarelor. Alte armonice de curent tind să se compună ca sume de valori efective, dar și ele se atenuează prin sumare cu cele care provin de la alte surse, datorită schimbărilor de fază care se produc când armonicele trec prin transformatoare și datorită efectelor inductivităților și capacităților rețelei. Totuși, local, pot fi creșteri neașteptate datorită efectelor de rezonanță.

Nivelurile de emisie sunt definite în valori (termeni) absolute, de exemplu limita absolută a unui curent de o anumită armonică, diferit de nivelul de perturbație al rețelei, care este descris în termeni statistici. Corespondența dintre cele două depinde de caracteristicile rețelei și derivă din mulți ani de experiență de funcționare. Reglementatori și elaboratori de standarde au specificat limitele probabile de emisie ale echipamentului care ar apărea și care ar putea conduce la niveluri de perturbație care nu vor depăși nivelurile de compatibilitate impuse.

Ca un exemplu, în tabelul 2 sunt indicate limitele de emisie pentru o serie de curenți armonici în rețelele de joasă tensiune (EN 61000-3-2)[3]. Curenții sunt în amperi.

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

Armonica	Limita [A]	
	Clasa A	Clasa B
5	1,14	1,710
7	0,77	1,155
11	0,33	0,495
13	0,21	0,315

Tabelul 2 – Limite de emisie pentru armonicile de curent în rețele de JT

Deoarece diferitele tipuri de echipament afectează diferit sistemul, în EN 61000-3-2 au fost definite mai multe clase. Pentru ilustrare sunt prezentate două exemple. Clasa A cuprinde echipamente ca sistemele trifazate echilibrate sau aparatele casnice. Clasa B sunt scule portabile (echipament cu un factor de utilizare redus).

Limita de imunitate (I)

Limita de imunitate (I) este nivelul de perturbație pe care echipamentul trebuie să-l suporte fără să-și piardă performanța. Limita de imunitate este determinată prin proiectare și este asigurată prin probele de tip, astfel încât vor fi mici variații între elementele individuale realizate pe baza aceluiași proiect. Întrucât condițiile de instalare variază, va exista o dispersie mult mai largă a performanțelor între elementele similare din diferite instalații. Va exista o distribuție a nivelurilor de imunitate ale echipamentelor în rețea.

Dacă trebuie realizată o adevărată compatibilitate electromagnetică (EMC), 95% din distribuția nivelurilor de imunitate a echipamentelor instalate trebuie să fie sub nivelul de compatibilitate, cum se arată în figura 3.

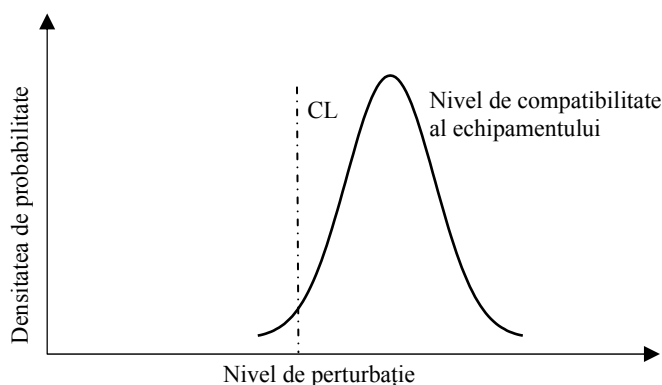


Figura 3 – Distribuția nivelului de imunitate

Soluția ideală poate fi obținută, dând o posibilitate de alegere rațională pentru nivelul de compatibilitate, prin stabilirea unor standarde corecte pentru limitele de imunitate ale echipamentului și prin folosirea unei bune experiențe de instalare.

Nivelul de planificare (PL)

Nivelurile de planificare sunt utilizate în rețelele de MT și ÎT și reprezintă obiective interne ale operatorului de rețea. Sunt utilizate în proiectarea rețelelor, de exemplu pentru a decide cum să fie conectate noi sarcini. În multe regimuri reglementate, nivelurile de planificare se aplică consumatorilor industriali și comerciali pentru a limita curenții armonici care pot fi alocați consumatorilor din rețea. Nivelurile de planificare sunt sub nivelurile de compatibilitate, pe de-o parte deoarece sunt multe sarcini necunoscute în sistem (de exemplu consumuri casnice)

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

care nu pot fi decât estimate și pe de altă parte deoarece problema este una statistică și reglementatorii sunt excesivi de prudenți.

Interdependențe între acești parametri

În figura 4 este indicată interdependența între aceste limite.

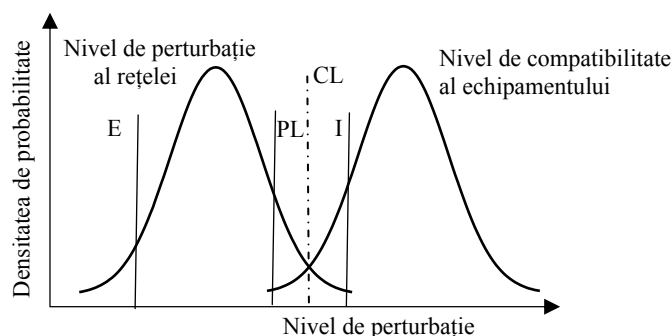


Figura 4 – Relația dintre limita de emisie, limita de imunitate, nivelul de compatibilitate și nivelul de planificare

Nivelul de compatibilitate este fixat la un nivel de perturbații care este mai mare decât 95 % din valorile măsurate în întregul sistem vreodată. Ca un rezultat, numai în 5 % din cazuri nivelul de perturbații în mediul analizat va depăși nivelul de compatibilitate.

Distribuția nivelului de perturbații este astfel controlată încât numai 5 % dintre valori sunt sub nivelul de compatibilitate. Nivelul de compatibilitate poate fi considerat ca un nivel de perturbații care este depășit numai în 5% dintre măsurătorile din rețea și la care numai 5 % dintre echipamente vor fi sensibile. Numai când problema echipamentului este legată de problema amplasării poate să apară probleme – cu alte cuvinte cerințele de compatibilitate electromagnetică (EMC) vor fi îndeplinite în marea majoritatea cazurilor.

În realitate, situația este că limitele de compatibilitate *de facto* au fost stabilite prin standardele de proiectare utilizate de Companiile de Distribuție a Energiei Electrice și de faptul că echipamentul fabricanților va fi acceptat pe piață dacă este suficient de imun și se va comporta bine funcționând împreună cu alte echipamente. Astfel de soluții sunt acum reglementate așa cum s-a descris mai sus.

Concluzii

Sunt descrise principalele limite utilizate în standardele care reglementează emisiile și imunitatea echipamentelor conectate la rețea și este explicată interdependența dintre ele.

Fixarea acestor limite este un compromis. O limită de emisie foarte joasă va determina un nivel de perturbație foarte scăzut permițând fixarea unui nivel de compatibilitate scăzut. Niveluri de imunitate scăzute ar fi acceptate, dar costul fabricării unui echipament cu un nivel de emisie scăzut va fi mai ridicat. Pe de altă parte, acceptarea unor niveluri de emisie ridicate va necesita creșterea nivelului de compatibilitate stabilit și va necesita creșterea nivelurilor de imunitate, prin creșterea costurilor de fabricație.

Înțelegerea noțiunilor de nivel de compatibilitate

Referințe și bibliografie

- [1] Bollen, Math H J, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, IEEE Press Marketing, 2000.
- [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 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current $\leq 16A$ per phase)*, IEC 61000-3-2.

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.ue.org	Università di Bergamo* www.unibq.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 www.manchester.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@unibq.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

Dr Rafael Asensi



Universidad Politécnica de Madrid
c/ José Gutiérrez Abascal 2
28006 Madrid
Spain

Tel: 00 34 913 363025
Fax: 00 34 913 363008
Email: rasensi@inel.etsii.upm.es
Web: www.etsii.upm.es



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

europaean
COPPER
institute

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