

Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice

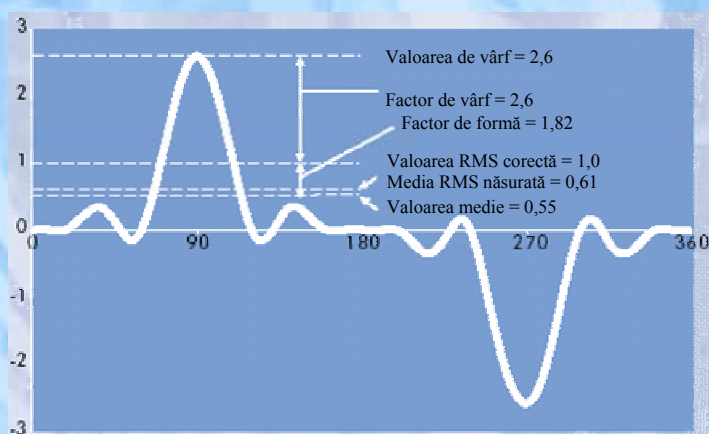


Leonardo da Vinci

Armonici

Valoarea efectivă RMS adevărată - Singura măsurătoare corectă

3.2.2



Armonici

Armonici

Valoarea efectivă RMS adevărată – Singura măsurătoare corectă

Ken West
Fluke (UK) Ltd
Martie 2001

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, Università di Bergamo & Engineering Consulting and Design 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
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

Armonici

Valoarea efectivă adevărată – Singura măsurătoare corectă

Multe instalații electrice din comerț și industrie sunt afectate de numeroasele declanșări ale întreruptoarelor. Deseori aceste declanșări apar aleatoriu și inexplicabil, însă, bine înțeles, acestea au cauze reale, dintre care două sunt cele mai întâlnite. Prima cauză posibilă ar fi curenții de pornire care apar atunci când unele sarcini, în particular calculatoare personale și alte echipamente electronice, sunt conectate la rețea; acest aspect este analizat într-o altă secțiune a acestui ghid. A doua cauză posibilă este că adevăratul curent care parcurge circuitul este subevaluat prin măsurare – cu alte cuvinte, curentul real este mai mare decât cel măsurat.

Subevaluarea valorilor reale apare foarte frecvent în instalațiile moderne – însă, de ce rezultă acest lucru atunci când instrumentele digitale sunt atât de exacte și sigure? Răspunsul constă în aceea că multe instrumente de măsurare nu sunt adecvate măsurării curenților distorsionați – iar astăzi cei mai mulți dintre curenți sunt distorsionați.

Această distorsiune se datorează curenților armonici generați de sarcinile neliniare, în special de echipamentele electronice, ca de exemplu calculatoare personale, lămpi fluorescente cu balast electronic și motoare cu viteză variabilă. Modul în care sunt generate armonicile și efectele acestora asupra sistemului electric sunt prezentate în secțiunea 3.1 a acestui ghid. În figura 3 se prezintă forma tipică a curentului electric absorbit de un calculator personal. Evident, acesta nu este un curent sinusoidal și aparatele și tehnicile uzuale de măsurare pentru mărimi sinusoidale nu pot fi utilizate în acest caz. Acest lucru indică faptul că la detectarea și înlăturarea unei defecțiuni sau la analiza performanțelor unui sistem electric, este esențial să se utilizeze aparate adecvate – aparate care pot să prelucreze curenți și tensiuni nesinusoidale.

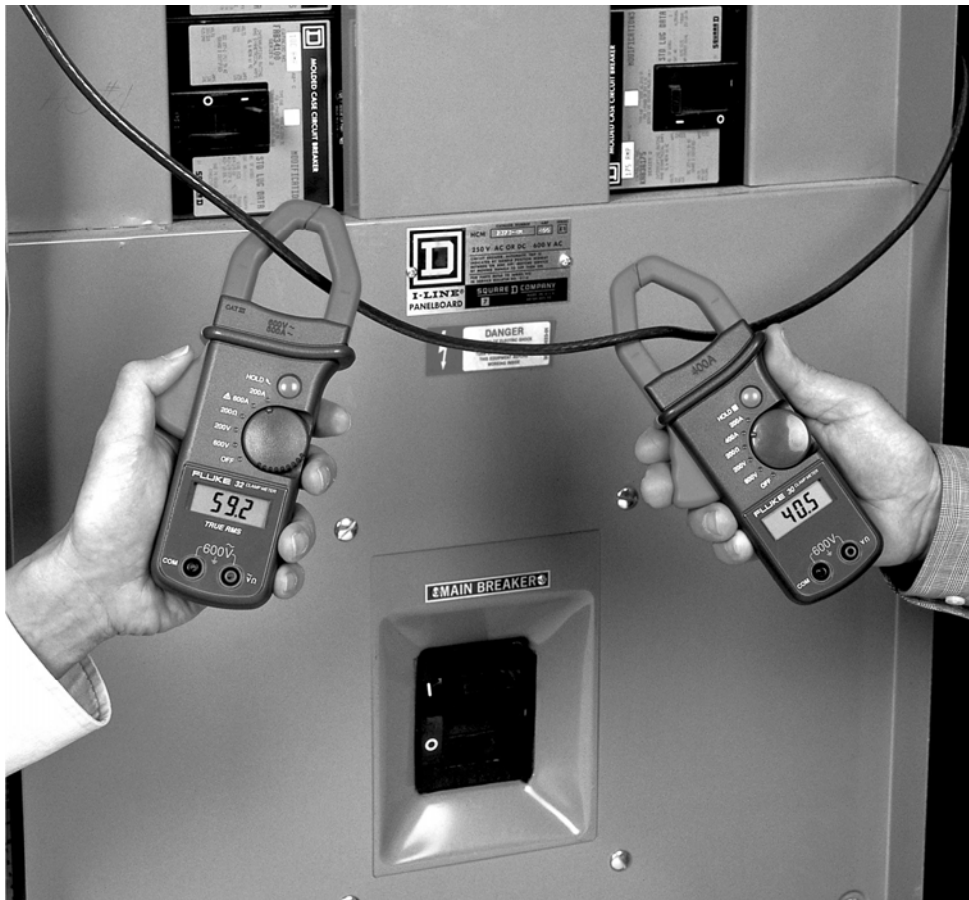


Fig. 1 – Un singur curent – două valori măsurate. Căreia îi dați crezare? Circuitul alimentează o sarcină neliniară cu curent distorsionat. Instrumentul pentru valoarea efectivă adevărată (în stânga) indică o valoare corectă, pe când instrumentul pentru valoarea medie indică o valoare cu 32% mai mică.

Valoarea efectivă RMS adevărată – Singura măsurătoare corectă

În figura 1 sunt ilustrate două aparate de măsurare pe același circuit. Ambele aparate funcționează corect și au fost calibrate conform specificației producătorului. Diferența esențială rezidă din metodele de măsurare ale acestor aparate.

Aparatul din stânga este un instrument care indică valoarea efectivă adevărată, iar cel din dreapta un aparat care indică valoarea efectivă pe baza valorii medii măsurate. Pentru a evalua corect diferențele este necesar a înțelege ce este valoarea efectivă adevărată.

Ce este valoarea efectivă (RMS - Root Mean Square) ?

Valoarea efectivă a unui curent alternativ este egală cu cea a unui curent continuu echivalent, care ar produce aceeași cantitate de căldură într-o sarcină rezistivă dată. Cantitatea de căldură generată într-un rezistor de către un curent electric alternativ este proporțională cu pătratul valorilor instantanee ale curentului electric, mediat pe o perioadă. Cu alte cuvinte, căldura produsă este proporțională cu media pătratelor valorilor instantanee ale curentului, iar curentul electric echivalent are o valoare egală cu radicalul din valoarea medie a pătratelor, ceea ce corespunde valorii efective (polaritatea este irelevantă deoarece pătratul este totdeauna pozitiv).

Pentru o curbă perfect sinusoidală, ca de exemplu cea din figura 2, valoarea efectivă este 0,707 din valoarea de vârf (sau valoarea de vârf este de $\sqrt{2}$ ori sau 1,414 ori mai mare ca valoarea efectivă). Cu alte cuvinte valoarea de vârf a unui curent sinusoidal cu valoarea efectivă de 1 A este de 1,414 A. Dacă valorile instantanee ale curbei curentului pe o perioadă sunt simplu mediate (prin inversarea semnului alternanței negative), valoarea medie rezultă 0,636 din valoarea de vârf sau 0,9 din valoarea efectivă. Figura 2 ilustrează două relații importante:

$$\text{Factorul de varf} = \frac{\text{Valoarea de varf}}{\text{Valoarea efectivă}} = 1,414 \text{ si } \text{Factorul de forma} = \frac{\text{Valoarea efectivă}}{\text{Valoarea medie}} = 1,111$$

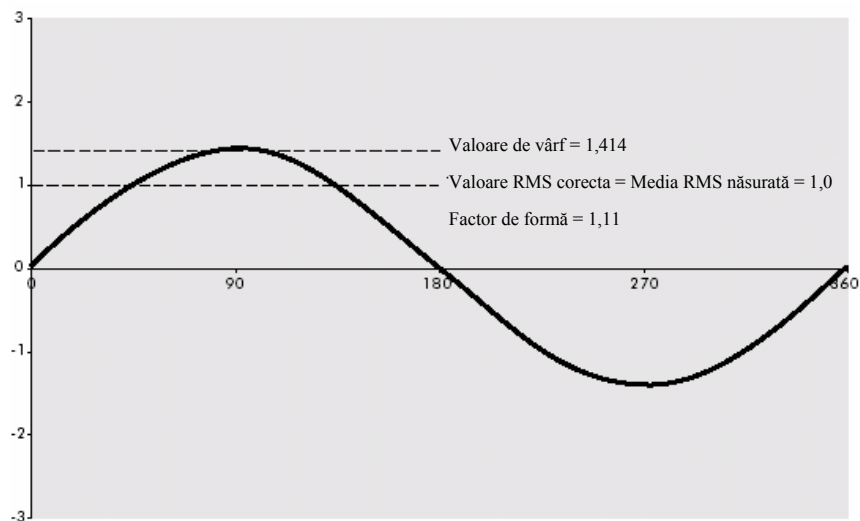


Fig. 2 – Curbă pur sinusoidală

Atunci când se măsoară o curbă pur sinusoidală – însă *numai* pentru o curbă pur sinusoidală – este absolut corect să se facă o simplă măsurătoare a valorii medii (0,636 x valoarea de vârf) și să se multiplice rezultatul cu factorul de formă 1,111 (care corespunde la 0,707 din valoarea de vârf) și se obține astfel valoarea efectivă. Acest procedeu este utilizat în toate aparatele de măsurare analogice (în care medierea este realizată de inerția și amortizarea oscilațiilor unei bobine), în toate echipamentele numerice vechi, chiar și în cele larg utilizate în prezent. Această tehnică corespunde instrumentației de valoare medie calibrată la valoarea efectivă.

Problema constă în aceea că această tehnică este corectă numai pentru curbe *pur* sinusoidale, însă aceste curbe nu se întâlnesc în realitate în instalațiile electrice. Forma curbei din figura 3 este tipică pentru curentul absorbit de un calculator personal. Valoarea efectivă este de 1 A, dar valoarea de vârf este mult mai mare atigând 2,6 A, iar valoarea medie este mult mai mică și anume 0,55 A.

Valoarea efectivă RMS adevărată – Singura măsurătoare corectă

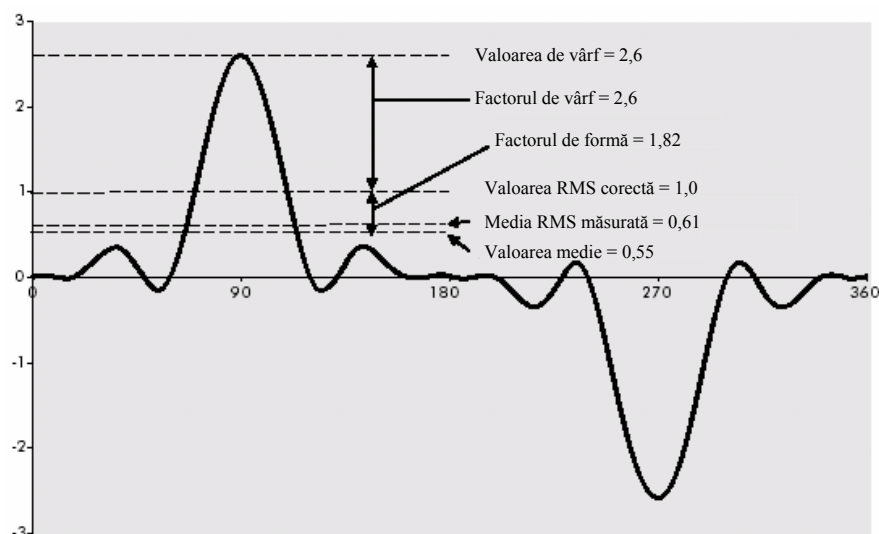


Fig. 3 – Forma tipică a curentului electric absorbit de un calculator personal

Dacă acest curent este măsurat cu ajutorul unui instrument care determină valoarea medie dar este calibrat pentru valoarea efectivă, acesta va indica 0,61 A, față de valoarea adevărată de 1A, aproape cu 40% mai puțin. În tabelul 1 sunt prezentate o serie de exemple referitoare la modul în care răspund cele două tipuri diferite de instrumente la diferite forme ale curbelor.

Aparatul de măsurare a valorii efective adevărate determină pătratele valorilor instantanee ale curentului măsurat, le mediază pe un interval de timp stabilit și apoi afișează radicalul din această valoare. Dacă procedeul este perfect implementat, rezultă o valoare absolut corectă, indiferent de forma curbei. Implementarea nu este însă niciodată perfectă, existând doi factori de care trebuie să se țină seama: răspunsul în frecvență și factorul de vârf.

La funcționarea în sistemul electroenergetic este, în mod obișnuit, suficient să se măsoare până la armonica de rang 50, adică până la frecvența de 2500 Hz. Factorul de vârf, ca raport dintre valoarea de vârf și valoarea efectivă, are o importanță mare; cu cât factorul de vârf este mai mare cu atât se impune un aparat de măsurare mai sensibil și pentru aceasta este necesară o mai mare precizie în circuitul de conversie. Este necesar un factor de vârf de cel puțin trei.

De remarcat, că deși dau indicații diferite atunci când sunt utilizate la măsurarea curbelor distorsionate, ambele tipuri de aparate de măsurare dau același rezultat dacă sunt utilizate pentru măsurarea unei unde perfect sinusoidale. Aceasta este condiția de calibrare, astfel că ambele instrumente sunt certificate ca fiind calibrate – însă numai pentru utilizare în cazul mărimilor sinusoidale.

Tip de multimetru	Răspuns la undă sinusoidală	Răspuns la undă dreptunghiulară	Răspuns la curentul unui redresor cu diode monofazat	Răspuns la curentul unui redresor cu diode trifazat
Valoarea medie	Corect	10 % mai mare	40% mai mic	5...30% mai mic
Valoarea efectivă adevărată	Corect	Corect	Corect	Corect

Tabelul 1 – Comparație între răspunsurile unui aparat de valoare efectivă adevărată și ale unui aparat de valoare medie calibrat pentru valoare efectivă

Valoarea efectivă RMS adevărată – Singura măsurătoare corectă

Aparatele care determină valoarea efectivă adevărată sunt disponibile de cel puțin 30 ani, însă sunt utilizate ca instrumente specializate și scumpe. Aparatele electromagnetice indică, prin natura lor, valoarea efectivă, deoarece la acestea acul indicator al echipamentului mobil se deplasează în funcție de pătratul curentului, identic cu căldura dezvoltată într-o sarcină. Progresele în domeniul electronicii permit în prezent să se integreze măsurarea valorii efective adevărate în numeroase multimetre portabile. Din păcate, această caracteristică este în general întâlnită la cei mai mulți producători numai la produsele de vârf, însă aceste produse sunt suficient de ieftine pentru a fi folosite ca instrumente uzuale.

Consecințele subevaluării valorilor reale

Valorile nominale limită ale celor mai multe elemente ale circuitelor electrice sunt determinate de cantitatea de căldură care poate fi disipată, astfel încât elementele sau componentele să nu se supraîncălzească.

De exemplu, capacitatea nominală a cablurilor este determinată pentru condițiile particulare de instalare (care determină cât de repede poate fi evacuată căldura) și o temperatură maximă de funcționare. Atunci când poluarea armonică a curentului electric conduce la o valoare efectivă mai mare decât cea măsurată cu ajutorul aparatului de valoare medie, conductoarele pot să fie subdimensionate și să se încălzească mai mult decât era prevăzut; rezultând o degradare a izolației, o distrugere prematură și risc de incendiu.

Barele sunt dimensionate la proiectare calculându-se capacitatea acestora de a disipa căldura, prin radiație și convecție, și cantitatea de căldură care rezultă datorită pierderilor active. Temperatura pentru care se realizează echilibrul este temperatura de lucru a barelor și aceasta este astfel stabilită încât să fie suficient de redusă pentru a se evita îmbătrânirea prematură a izolației și a materialelor suport. Ca și în cazul cablurilor, erorile de măsurare privind valoarea efectivă adevărată conduc la o creștere a temperaturii de funcționare. Deoarece barele au, în mod obișnuit, dimensiuni mari, efectul pelicular este mai important decât în cazul conductoarelor de secțiune redusă, conducând la o creștere suplimentară a temperaturii.

Alte elemente ale rețelei electrice, de exemplu siguranțele fuzibile și elementele termice ale întreruptoarelor, sunt dimensionate pentru valoarea efectivă a curentului deoarece caracteristicile lor depind de cantitatea de căldură disipată. Aceasta este cauza principală pentru a declanșărilor intempestive, curentul în circuit este mai mare decât cel prevăzut, iar întreruptorul va funcționa într-un domeniu în care o utilizare prelungită va conduce la o declanșare. Răspunsul întreruptorului în acest domeniu este dependent de temperatură și poate conduce la deconectări intempestive. Ca la orice întrerupere a alimentării, costul daunelor datorate declanșărilor nedorite poate fi ridicat, determinând pierderi de date în sistemele informatice, perturbații în procesele de comandă și control etc. Aceste aspecte sunt prezentate în secțiunea 2 a acestui Ghid.

Desigur, numai aparatele pentru valoarea efectivă adevărată indică valori corecte, astfel încât dimensionarea conductoarelor, a barelor și a întreruptoarelor să fie corespunzătoare. O problemă importantă: „Este acesta un aparat de măsurare a valorii efective adevărate?”. În mod obișnuit, dacă aparatul este dedicat măsurării valorii efective adevărate, acest lucru este specificat în mod explicit în specificația de produs, însă aceasta nu este totdeauna accesibilă atunci când este necesar. Un răspuns la această întrebare se poate obține dacă se compară valorile măsurate cu cele determinate cu ajutorul unui instrument cunoscut, de valoare medie (în mod obișnuit cel mai ieftin aflat la dispoziție), sau cu cele determinate cu ajutorul unui instrument cunoscut ca fiind de valoare efectivă adevărată într-un circuit cu sarcină neliniară, ca de exemplu, curentul absorbit de un calculator personal sau de o lampă cu incandescență. Ambele aparate trebuie să indice aceeași valoare a curentului electric în circuitul lămpii cu incandescență. Dacă unul dintre aparate indică o valoare semnificativ mai mare (să zicem mai mare de 20%) în cazul sarcinii determinată de calculator, atunci probabil acesta este un instrument de valoare efectivă adevărată, iar dacă indicațiile sunt similare, aparatele sunt de același tip.

Concluzii

Măsurarea valorii efective adevărate este esențială în orice instalație în care există un număr semnificativ de sarcini neliniare (PC-uri, balasturi electronice, lămpi fluorescente compacte etc.). Aparatele de măsurare a valorilor efective medii pot să indice valori inferioare, cu până la 40%, ceea ce poate conduce la o subdimensionare a conductoarelor și a întreruptoarelor și, deci, la un risc de defectare și de întreruperi nedorite.

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



FLUKE

Fluke (UK) Ltd
The Metro Centre
Dwight Road
Watford WD1 8HG
United Kingdom

Tel: 00 44 1923 216400
Fax: 00 44 1923 216405
Email: industrial@uk.fluke.nl
Website: www.fluke.com

Ken West



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