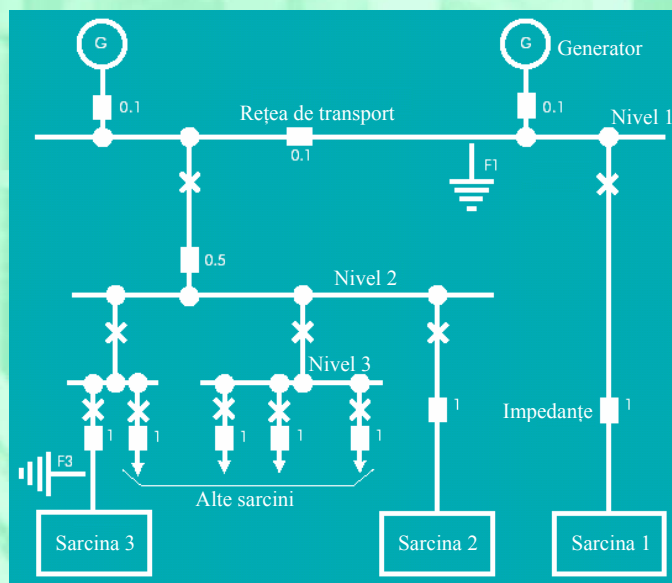
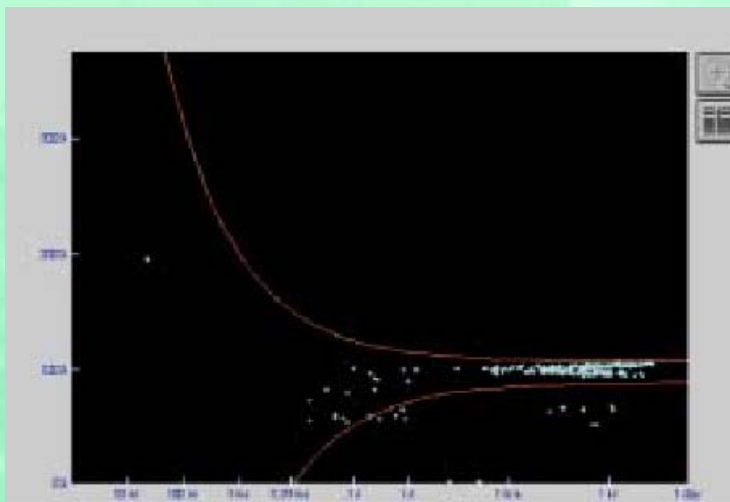


# Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



## *Goluri de tensiune* *Introducere*

5.1



*Goluri de tensiune*

# *Goluri de tensiune*

## *Introducere*

David Chapman  
Copper Development Association  
Martie 2001

(Versiunea 0b Noiembrie 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.

Mulțumiri Dlui Eric Lewis de la compania Alstom Drives and Controls Ltd pentru contribuția sa în material și sugestii utile.

### **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 și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

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



Membră a  
EURIEL

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](http://www.eurocopper.org)

# Perturbații de tensiune

## Introducere

Un gol de tensiune este o reducere a valorii efective a tensiunii sau completa dispariție a acesteia pe timp scurt. El se caracterizează prin durată și tensiunea remanentă, exprimată de regulă ca procente din valoarea efectivă a tensiunii nominale, a tensiunii remanente în punctul cel mai jos atins în timpul golului. În timpul unui gol de tensiune sarcina nu primește întreaga energie necesară funcționării, ceea ce evident poate avea consecințe grave în funcție de tipul de sarcină implicată.

Căderile (scăderile) de tensiune sunt reduceri de tensiune de o durată mai mare și sunt în majoritatea cazurilor datorate unei reduceri voite a tensiunii de către furnizor pentru a reduce puterea în momentele de sarcină maximă sau în condițiile unei alimentări slab dimensionate în raport cu sarcina.

Sistemele de acționare cu motoare electrice incluzând variatoare de viteză, au o susceptibilitate particulară la golurile de tensiune deoarece funcționarea lor necesită energie care în aceste condiții nu mai este disponibilă, în afara celei provenind din inerția motoarelor. Într-un proces în care sunt implicate mai multe motoare este posibil ca sistemele individuale de control al motoarelor să le deconecteze la detectarea căderilor de tensiune sau la diferite valori ale decelerației, ceea ce are ca rezultat pierderea completă a controlului asupra sistemului. Echipamentele de tratare a informațiilor și comandă-control sunt de asemenea foarte sensibile la golurile de tensiune care pot conduce la pierderea datelor și la o durată de indisponibilitate prelungită. Implicațiile financiare sunt foarte serioase și sunt prezentate în secțiunea 2.

Există două cauze principale pentru apariția golurilor de tensiune: conectarea unei sarcini foarte mari locale sau la un alt consumator racordat pe același circuit precum și defecte pe alte ramuri ale rețelei.

## Goluri de tensiune determinate de sarcini mari

Când se conectează o sarcină mare, de exemplu motoarele de mare putere, curentul de pornire este mare, de mai multe ori, față de curentul nominal. Deoarece alimentarea și conductoarele instalației sunt dimensionate pentru curentul normal de funcționare, curentul de pornire determină o cădere de tensiune atât în rețeaua de alimentare cât și în instalație. Amploarea efectului depinde de „cât de puternică” este rețeaua, adică cât este de mică impedanța în punctul comun de cuplare (PCC) și de impedanța conductoarelor din instalație. Golurile determinate de curenții de pornire se caracterizează prin aceea că sunt mai puțin adânci și cu o durată mult mai mare decât cele datorate defectelor din rețea – care de regulă au o durată de una până la câteva secunde sau zeci de secunde, mai degrabă sub o secundă.

Sunt ușor de rezolvat problemele datorate unei rezistențe prea mari a conductoarelor din instalație. Sarcinile mari vor trebui racordate direct la sursa de tensiune cea mai apropiată, fie în PCC sau în secundarul transformatorului de alimentare. Dacă problema este cauzată de impedanța din PCC adică alimentarea este prea „slabă” trebuie luate alte măsuri. O soluție, dacă este posibil a fi aplicată echipamentului respectiv, este prevederea unui „soft starter” astfel încât curentul de pornire să fie limitat la o valoare mai mică, dar va necesita o durată de pornire

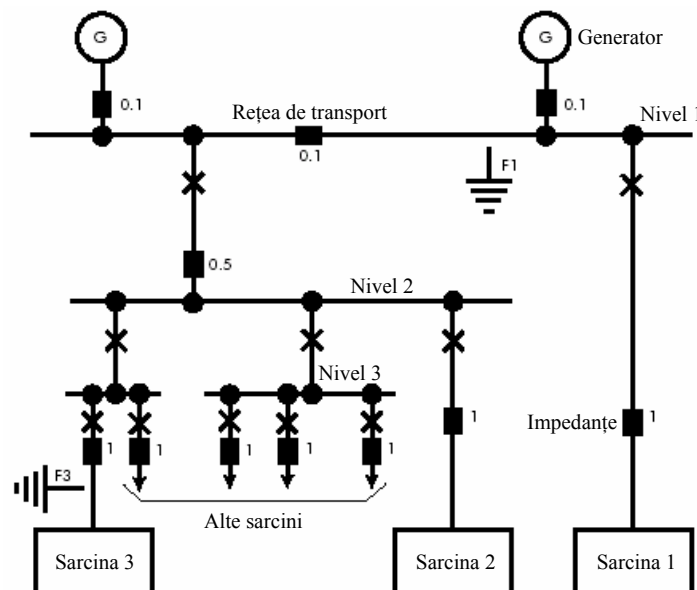


Fig. 1 – Cauze ale golurilor de tensiune

# Introducere

---

mai mare. O altă soluție constă în a negocia cu furnizorul o alimentare cu o impedanță mai mică – dar aceasta poate fi costisitoare depinzând de structura rețelelor din zonă. În cazul în care cauza reducerii de tensiune nu poate fi controlată trebuie prevăzut un echipament special pentru a o compensa. Ca echipamente indicate sunt de la stabilizatoarele de tensiune electromecanice tradiționale până la stabilizatoarele electronice și reglatoarele dinamice de tensiune. Aparatele de acest tip sunt descrise în modulul 5.3.

## Goluri de tensiune determinate de defecte în rețea

Rețeaua de alimentare este foarte complexă. Amploarea unui gol de tensiune datorat unui defect într-o altă parte a rețelei depinde de topologia rețelei și de impedanțele surselor în punctul de defect, de impedanțele sarcinilor și ale generatoarelor la punctul lor comun de cuplare. În figura 1 se prezintă un exemplu.

Un defect în punctul F3 conduce la un gol de tensiune de 0 % la sarcina 3, de 64 % la sarcina 2 și 98 % la sarcina 1. Un defect în F1 va afecta utilizatorii cu 0 % la sarcina 1 și 50 % pentru toate celelalte sarcini. De reținut că un defect la nivelul 1 afectează mai mulți consumatori și mai sever decât un defect la nivel 3. Probabil că sarcinile conectate la nivelul 3 vor suferi mai multe goluri de tensiune decât cele conectate la nivelul 1, deoarece sunt mai multe potențiale locuri în care pot să apară defecte care să-i afecteze: nivelul 1 și nivelul 2. Sarcinile la nivelul 2 și 1 sunt – progresiv – mai puțin sensibile la defectele de la nivelul 3. În general, cu cât o sarcină este mai „aproape” de sursă cu atât va suferi mai puține goluri de tensiune și cu atât vor fi ele mai puțin severe.

Durata unui gol depinde de durata în care sistemele de protecție reușesc să detecteze și să izoleze defectul și este, în mod obișnuit, de ordinul a câtorva sute de milisecunde. Dacă defectele sunt trecătoare, ca de exemplu căderea unei crengi de copac pe o linie, defectul poate fi eliminat foarte repede după ce s-a produs. Dacă circuitul ar rămâne deconectat permanent de către echipamentul de protecție, toți consumatorii de pe circuit vor suferi o întrerupere până când circuitul va fi verificat și reconectat. Reanclanșarea automată rapidă (RAR) poate face situația mai ușoară, dar produce și o creștere a numărului de goluri. Un RAR așteaptă până să reconecteze curentul un timp scurt (sub 1 secundă) după acționarea protecției. Dacă defectul a fost eliminat, reanclanșarea va fi reușită și alimentarea restabilită. Sarcinile de pe acest circuit suferă un gol de tensiune de 100 % între deconectare și reanclanșare automată, în timp ce alte sarcini suferă un gol de tensiune mai mic și mai scurt între momentul în care defectul a apărut și momentul în care a fost eliminat, așa cum s-a arătat mai sus. Dacă defectul nu a fost eliminat când RAR a reconectat circuitul, echipamentul de protecție va acționa din nou, procesul se poate repeta conform cu modul de programare a reanclanșării. De fiecare dată când RAR va reconecta linia cu defect, va rezulta un nou gol de tensiune, astfel că unii consumatori vor suporta mai multe goluri de tensiune în serie. Performanțele societăților de distribuție a energiei electrice în piața dereglementată sunt parțial – în unele țări ca Anglia, exclusiv – evaluate după media „minute întrerupere la consumator”, luând în considerare – de regulă – întreruperile de peste un minut. Pentru a reduce aceste valori la minim dispozitivele RAR au fost utilizate pe scară largă, cu mărirea probabilității de apariție a golurilor de tensiune. Cu alte cuvinte disponibilitatea pe termen lung a fost maximizată însă în dauna calității.

## Susceptibilitatea (sensibilitatea) echipamentelor

Calculatoarele sunt acum esențiale pentru toate activitățile fie ca stații de lucru, ca servere de rețea sau sisteme de control în industrie. Ele sunt indispensabile în orice operație de prelucrare a datelor la tranzacții și la numeroasele funcții de comunicații, ca cele din sistemele de mesagerie electronică și cutie vocală. Introducerea calculatoarelor a pus în evidență, pentru prima dată, amploarea problemei golurilor de tensiune (de fapt, cele mai multe probleme de calitate a energiei electrice) și primele echipamente au fost afectate de defectări aparent aleatoare ceea ce a necesitat un efort de mentenanță considerabil. Realizarea de către *Computer and Business Equipment Manufacturers Association* (CBEMA) a curbei din figura 2 este rezultatul acestei experiențe. Această curbă a fost modificată în timp și ea este cunoscută în prezent sub denumirea de curbă ITIC – *Information Technology Industry Council* (fig.3), iar o versiune a fost standardizată de American National Standards Institute (curba ANSI – referință IEEE 446, fig. 4).

Durata unui eveniment este corelată cu tensiunea raportată la tensiunea nominală a alimentării și curbele definesc înfășurătoarele în interiorul cărora echipamentul trebuie să funcționeze fără întrerupere sau pierderi de date. Dacă este vorba de goluri de tensiune este interesantă limita inferioară. Această linie reprezintă demarcația dintre goluri suportabile și cele nesuportabile.

Într-un mediu ideal ar exista o singură curbă reprezentând performanțele rețelei de alimentare la care ar trebui să se conformeze toate echipamentele. În realitate, deoarece numai o parte dintre echipamente îndeplinesc cerințele uneia sau alteia dintre curbele standard, performanțele rețelelor de alimentare scad foarte mult.

# Introducere

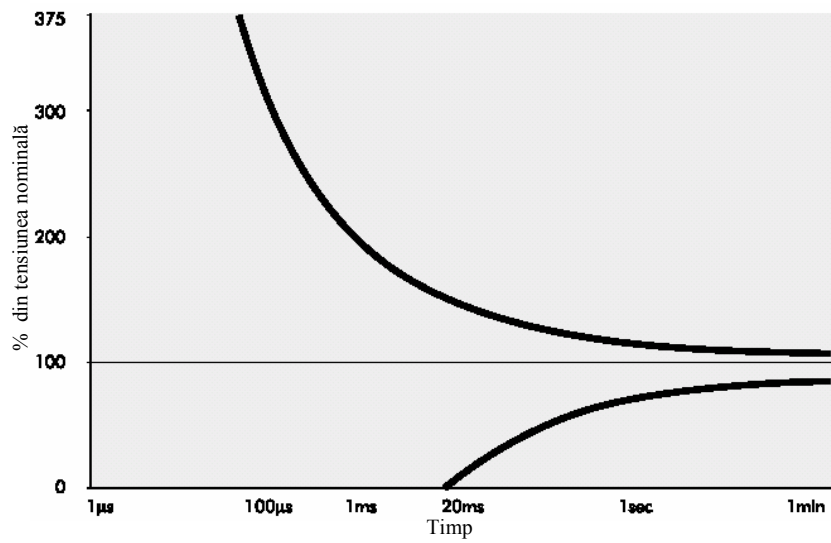


Fig. 2 - Curba CBEMA

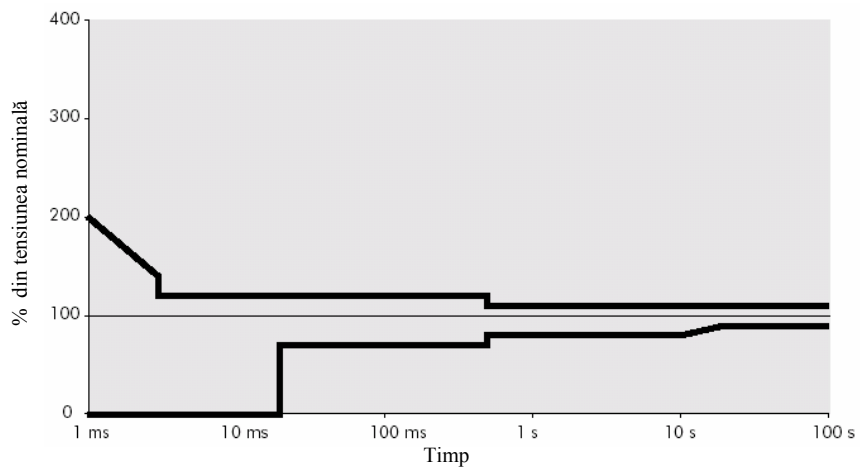


Fig. 3 - Curba ITIC

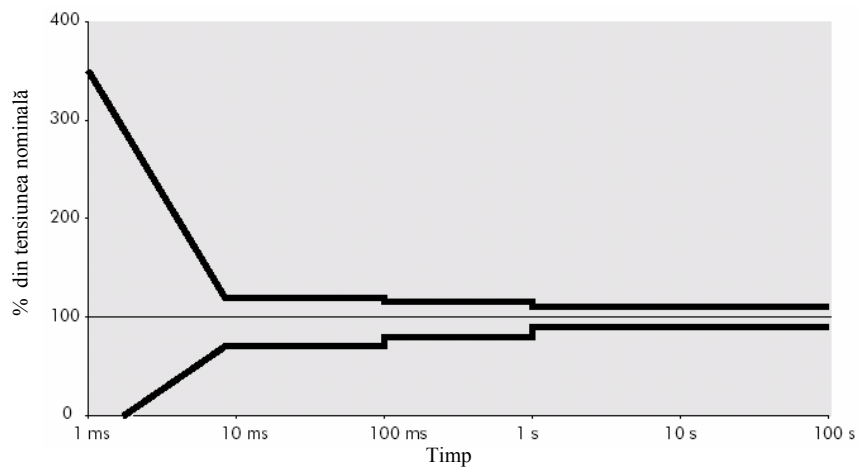


Fig. 4 - Curba ANSI

# Introducere

---

## Caracteristicile susceptibilității (sensibilității) echipamentului

Alimentările cu energie electrică a echipamentelor electronice, ca cele utilizate pentru calculatoarele personale și automatale programabile (*programmable logic controllers* – PLC) care utilizează un condensator de filtrare pentru netezirea vârfurilor curbei redresate, ar trebui să elimine integral golurile de scurtă durată. Cu cât capacitatea condensatorului este mai mare și cu cât diferența dintre tensiunea la bornele condensatorului și minimul necesar pentru funcționarea convertoarelor de tensiune este mai mare cu atât reziliența va fi mai bună. Proiectanții vor căuta întotdeauna să reducă dimensiunile capacității pentru a reduce dimensiunile, greutatea și costul, asigurându-se că sarcina electrică înmagazinată este suficientă la tensiunea minimă și sarcina maximă. Pentru a face față la golurile de tensiune este necesar un condensator mult mai mare, cel puțin dublu de mare pentru a permite echipamentului să le suporte o perioadă și de 100 ori mai mare dacă ar trebui să le suporte timp de o secundă. O altă strategie a proiectantului constă în a considera tensiunea la intrare la nivelul cel mai mic posibil pentru a maximiza durata de menținere a sistemului. Este soluția adoptată în lipsa unor echipamente destinate să funcționeze într-o bandă largă de tensiune. Durata de menținere va fi mult mai mare dacă la intrare este o tensiune de 230 V față de o alimentare de 110 V. Nu este o problemă tehnică să se realizeze o alimentare care fie imună la goluri de tensiune dar aceasta nu se realizează deoarece utilizatorii nu o discută cu fabricanții și sunt implicații de costuri. Totuși, cheltuielile necesare pentru protejarea unui calculator sau a unui automat programabil la goluri de tensiune de o secundă sunt foarte reduse în raport cu cheltuielile necesare pentru îmbunătățirea resurselor rețelei pentru evitarea golurilor de tensiune.

Acționările cu variatoare de viteză pot fi de asemenea afectate de golurile de tensiune și sunt uzual prevăzute cu detectoare de tensiune minimă care le deconectează la tensiuni cu 15 % până la 30 % sub tensiunea nominală. Acționările cu variatoare de viteză și căile pentru creșterea capabilității formează subiectul unei alte secțiuni a acestui Ghid.

Motoarele de inducție au o inerție care le permite să suporte sarcina pe perioada unui gol de scurtă durată, generând energie pe măsură ce încetinesc. Dar această energie trebuie să fie recuperată atunci când motorul reaccelerează, iar dacă viteza a scăzut la mai puțin de 95 % el va absorbi aproape echivalentul curentului de pornire; cum toate motoarele repornesc deodată, aceasta poate fi cauza altor probleme.

Releele și contactoarele sunt, de asemenea, sensibile la golurile de tensiune și adesea pot fi elementul slab al sistemului. S-a stabilit că un echipament poate fi scos din funcțiune la un gol de tensiune chiar dacă tensiunea remanentă este peste tensiunea minimă de funcționare în regim staționar. Reziliența (stabilitatea funcționării) contactoarelor la goluri depinde nu numai de tensiunea remanentă și de durată, ci și de punctul de pe curba de tensiune în care s-a produs golul, efectul fiind minim la vârful curbei.

Lămpile cu vapori de sodiu au o tensiune de amorsare mult mai ridicată dacă sunt calde decât atunci când sunt reci, astfel că o lampă caldă nu poate reporni după un gol de tensiune. Mărimea golului care va duce la stingerea lămpii poate fi mai mic de 2 % la o lampă la sfârșitul duratei ei de viață sau de peste 45 % când este nouă.

Cele mai multe dintre echipamente sau instalații încorporează unul sau mai multe elemente din cele menționate și vor ridica probleme legate de golurile de tensiune. În figura 5 este indicat faptul că este mai ieftin și mult mai sigur să se proiecteze un echipament cu reziliență la goluri, decât să încerci să faci rezilient tot procesul, toate instalațiile sau tot sistemul de distribuție. Așa cum se arată aici, costul soluției crește repede dacă punctul de rezolvare se deplasează de la echipament la întreținere și la infrastructură.

## Caracteristicile golurilor în tensiunea de alimentare

Așa cum s-a mai arătat, probabilitatea de apariție a golurilor de tensiune precum și amplitudinea lor probabilă depind de topologia rețelei din vecinătatea amplasamentului analizat. Deși s-au efectuat unele studii, limitate la regiuni restrânse în unele țări, se poate afirma că nu există o statistică cu privire la golurile de tensiune pentru un anumit amplasament. Aceasta face dificilă selectarea unui anumit amplasament din punct de vedere al siguranței. Evident, un amplasament aproape de o centrală (sau două) și conectat la medie tensiune prin cablu subteran va fi o alegere mai bună decât un amplasament depărtat racordat printr-o linie aeriană lungă; însă până unde se extind aceste principii? Este ușor să se evalueze, de exemplu, calitatea elementelor rețelei de transport și acest factor este adesea luat în considerare ca un criteriu de alegere a unui anumit amplasament, dar este mai greu de evaluat calitatea infrastructurii electrice.

Amplasamentele în zone libere prezintă probleme speciale deoarece acolo nu există instalații ca referință. Pe de altă parte ele prezintă o oportunitate de a realiza o infrastructură adecvată, atâta timp cât compania de furnizare a energiei electrice este dispusă și capabilă să realizeze această infrastructură (folosind banii dumneavoastră!).

# Introducere

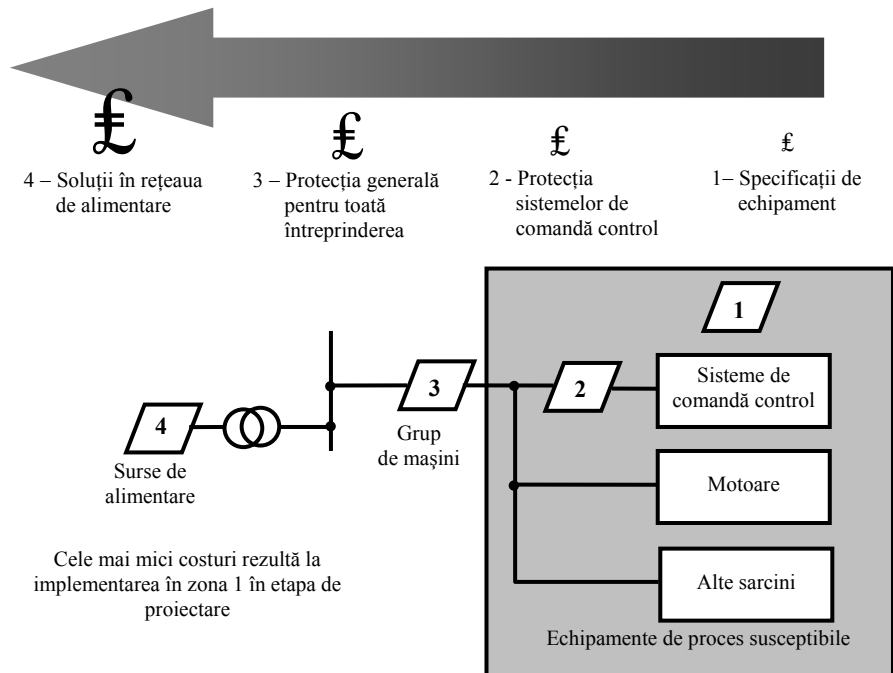


Fig. 5 – Costuri la creșterea imunității la goluri de tensiune

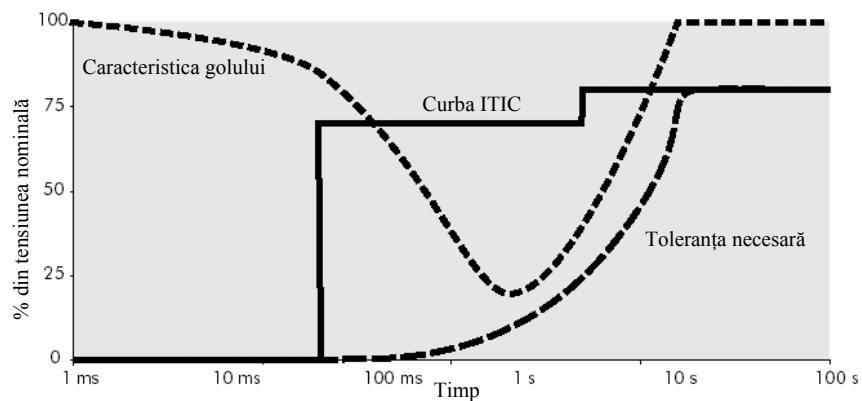


Fig. 6 – Gol de tensiune tipic în rețeaua de alimentare și curba ITIC

Studiile efectuate arată că durata golurilor de tensiune este ceva mai mare decât cea indicată în curbele de imunitate (toleranță) pentru echipamentele descrise anterior. În figura 6 este indicată durata și amplitudinea probabilă pentru golurile de tensiune dintr-o rețea tipică. Este prezentată și curba ITIC pentru a permite comparația.

Se observă în mod clar că, în realitate, echipamentele informatice trebuie să fie de 100 ori mai bune decât impune curba ITIC, așa cum rezultă din „curba de imunitate (toleranță) necesară”. Este de precizat că probabil nici un echipament nu satisface aceste cerințe!

## Soluții

Evident, în mediu de afaceri, echipamentul utilizat trebuie să fie rezilient (corespunzător) la defectele caracteristice normale ale alimentării și acesta nu este cazul echipamentului de uz general. După cum rezultă din figura 5 costul unei îmbunătățiri este mult mai mic dacă acțiunea are loc în faza de proiectare a echipamentului, dar aceasta necesită cunoașterea naturii și a probabilității defectelor. Tocmai această cunoaștere lipsește. Totuși aceasta este abordarea cu eficiență economică cea mai mare.

# Introducere

---

Unii fabricanți de echipamente recunosc problema dar concurența înseamnă ca ei să reacționeze numai la cererile clienților. Până când consumatorii înțeleg problemele și realizează că furnizorii de echipamente pot da o soluție, ei nu vor solicita o îmbunătățire a performanțelor. O excepție o constituie piața variatoarelor de viteză, unde fabricanții au promovat produse care suportă golurile de tensiune.

Abordarea tradițională constă în a introduce echipament adițional pentru a ajuta sarcina în timpul golurilor, tipul de echipament este prezentat în alte secțiuni ale acestui Ghid. În cazul sarcinilor mici, ca echipamentele informatice, sunt utilizate surse neîntreruptibile (UPS) pentru a le proteja atât de goluri cât și de întreruperi de scurtă durată. Stocarea energiei se realizează uzual într-o baterie reîncărcabilă și deci ele nu sunt corespunzătoare pentru durate mari. Puterea este asigurată pe durata necesară unei opriri corecte a aparatelor, datele sunt astfel salvate, dar în același timp repornirea necesită o durată mare. Uneori se utilizează UPS-uri care să asigure puterea până la pornirea unui generator rotativ.

Pentru goluri puțin adânci, în care tensiunea remanentă este ridicată, există regulatoare automate de tensiune cu dispozitive electromecanice și electromagnetice. Deoarece aceste echipamente nu necesită stocarea energiei, pot fi utilizate în evenimente de lungă durată inclusiv creșteri sau reduceri ale tensiune. Regulatoarele automate de tensiune sunt prezentate în secțiunea 5.3.1 a acestui Ghid.

În cazul unor sarcini mari sau a unor goluri adânci (mari) se poate utiliza un regulator dinamic de tensiune (*Dynamic Voltage Restorer – DVR*). Acest dispozitiv va fi cuplat în serie cu sarcina și va compensa abaterile din tensiunea de alimentare: dacă golul de tensiunea ajunge la 70 %, DVR generează partea de 30 % care lipsește. DVR-urile sunt concepute să ajute sarcina pentru o perioadă scurtă și pot utiliza diferite forme de stocare a energiei. DVR-urilor nu pot fi folosite pentru a corecta creșteri sau scăderi de tensiune pe perioade lungi.

## Concluzii

Îmbunătățirea performanțelor unei alimentări cu energie electrică pentru eliminarea completă a golurilor de tensiune este foarte costisitoare și probabil imposibilă. În cazuri speciale, în care necesitățile justifică cheltuielile, este posibil să se recurgă la două alimentări, provenind din puncte ale rețelei suficient de îndepărtate pentru a putea fi considerate independente.

Pentru cea mai mare parte a activităților industriale sunt suficiente echipamente care atenuează golurile de tensiune, alegerea este vastă și va fi în funcție de tipul de sarcină care trebuie să le suporte.

Soluția cea mai puțin costisitoare constă în specificarea (alegerea) unui echipament cu o reziliență necesară la golurile de tensiune, dar această opțiune nu este încă implementată de către producătorii de echipamente.

## 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](mailto:mail@copperbenelux.org)  
Web: [www.copperbenelux.org](http://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](mailto:copperdev@compuserve.com)  
Webs: [www.cda.org.uk](http://www.cda.org.uk) & [www.brass.org](http://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](mailto:sfassbinder@kupferinstitut.de)  
Web: [www.kupferinstitut.de](http://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](mailto:info@ecd.it)  
Web [www.ecd.it](http://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](mailto:eci@eurocopper.org)  
Web: [www.eurocopper.org](http://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](mailto: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](mailto: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](mailto:ist-rame@wirednet.it)  
Web: [www.iir.it](http://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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl)

Contact: Prof Dr H Markiewicz



*David Chapman*

 **Copper Development Association**

Copper Development Association  
Verulam Industrial Estate  
224 London Road  
St Albans AL1 1AQ  
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731200  
Fax: 00 44 1727 731216  
Email: [copperdev@compuserve.com](mailto:copperdev@compuserve.com)  
Websites: [www.cda.org.uk](http://www.cda.org.uk)  
[www.brass.org](http://www.brass.org)



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](mailto:office@sier.ro)  
Websites: [www.sier.ro](http://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](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)