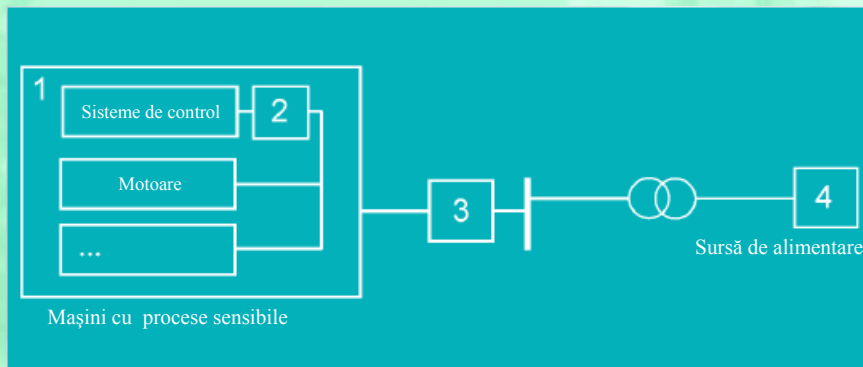


Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Perturbații de tensiune *Considerații privind alegerea* *echipamentului adecvat pentru limitarea* *golurilor de tensiune*

5.3.4



Perturbații de tensiune

Perturbații de tensiune

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Dr. ir. Marcel Didden
Laborelec
Aprilie 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 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.

Versiunea în limba română a prezentei broșuri a fost realizată exclusiv de către membrii SIER: traducerea a fost efectuată de **Drd. ing. Andreea Cristiana Vatră**, iar verificarea de către **Prof. dr. ing. Nicolae Golovanov**, **Dr. ing. Fănică Vatră** și **Drd. Ana Poida**.

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, Laborelec 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, Laborelec și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

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



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

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Introducere

În cadrul lucrării sunt comparate diferitele sisteme pentru protecția proceselor industriale la goluri de tensiune (volant, UPS-uri statice, regulator dinamic de tensiune DVR, STATCOM (compensator static), motor sincron conectat în paralel și sistem de control conectat serie fără transformator). Aceste sisteme sunt comparate în funcție de capacitatea lor de limitare a golurilor de tensiune și de alți parametri tehnici și economici.

Un gol de tensiune, după cum este definit în EN 50160, reprezintă o scădere a tensiunii de alimentare între -10 și -99 % pentru scurt timp (<1minut) [1]. Golurile de tensiune sunt cunoscute ca fiind printre cele mai costisitoare abateri ale calității energiei electrice în industrie. Există diferite soluții pentru reducerea costurilor datorate golurilor de tensiune: acestea sunt adesea structurate în cele patru categorii, enumerate în figura 1 [2].

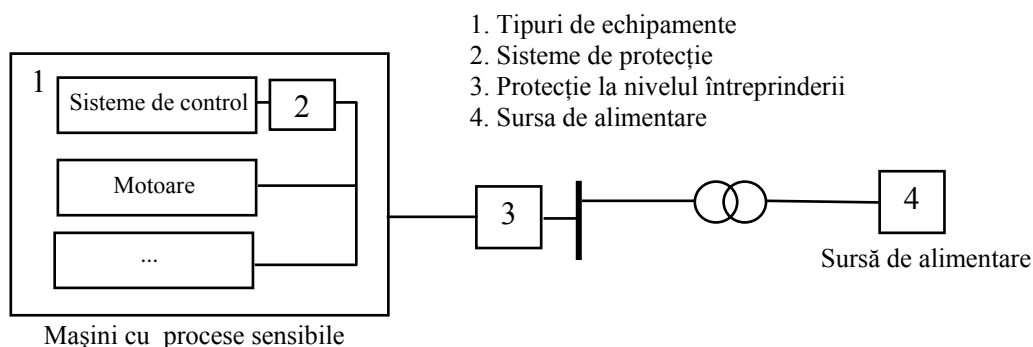


Fig.1- Metode posibile de limitare [2]

Modificările la echipamentele de proces (nr. 1 și 2 din fig.1) sunt în mod obișnuit cele mai ieftine de implementat dar nu sunt întotdeauna posibile deoarece fabricanții nu au realizat încă echipamente adecvate, rapid disponibile pe piață. (Pentru sistemele de acționare cu viteză variabilă aceste opțiuni vor fi discutate în secțiunea 5.3.3). Modificări în rețeaua electrică de alimentare, (nr. 4. din fig.1), deși o opțiune interesantă (discutată în secțiunea 5.5.1), nu este întotdeauna posibilă și după toate probabilitățile este foarte scumpă. Singurele metode care pot fi în general aplicate sunt măsurile de protecție instalate între procesele sensibile și rețea (nr. 3 din fig. 1), iar acestea sunt discutate în această secțiune.

Teoretic, instalarea unei surse de putere neîntreruptibilă (UPS) reprezintă cel mai simplu mod de protecție a proceselor sensibile contra golurilor de tensiune. Totuși, datorită costurilor considerabile de procurare și întreținere, echipamentele de tip UPS sunt instalate în general în locuri unde daunele rezultate din probleme de alimentare cu energie electrică sunt foarte mari, precum spitalele, centre de prelucrări de date și instituții financiare. În alte cazuri, incluzând majoritatea proceselor industriale, instalarea echipamentelor de protecție trebuie să facă obiectul unei analize cost-beneficiu, care de obicei arată că instalarea unui UPS este prea costisitoare [7].

Stimulate de numărul mare al problemelor datorate golurilor de tensiune în procesele industriale cauzate de echipamentele sensibile la goluri, soluțiile de protecție a acestor echipamente împotriva golurilor sunt disponibile comercial. Datorită unei largi varietăți și numelor exotice ale firmelor de vânzare a acestor sisteme, alegerea soluției optime tehnico-economice pentru o problemă dată nu este ușoară. Această secțiune analizează un număr de sisteme care pot fi instalate în instalațiile existente care conțin procese sensibile la goluri de tensiune.

Având în vedere statisticile din diferite țări referitoare la golurile de tensiune, prezenta secțiune furnizează indicații asupra eficienței preconizate la instalarea acestor sisteme (sub formă de procente de evitare a întreruperii proceselor). Mai întâi, sunt descrise tipurile de echipamente. Ulterior sunt evaluate capacitatea de limitare a golurilor de tensiune precum și alte aspecte tehnice și economice. Ținând seama de performanța sistemelor descrise cu privire la aceste aspecte, sunt indicate reguli pentru cazurile practice .

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Tipuri de echipamente de limitare

Volant

O combinație dintre un volant și un grup motor-generator (M/G) poate proteja procesele critice contra golurilor de tensiune, acolo unde durata golurilor este mai mică decât durata activă a volantului. Atunci când apare un gol de tensiune, grupul motor-generator preia sarcina, energia fiind furnizată prin încetinirea treptată a volantului. Există diferite topologii de conectare ale volantului la M/G, pentru care în figura 2 sunt prezentate componentele principale ale unei configurații utilizând electronica de putere.

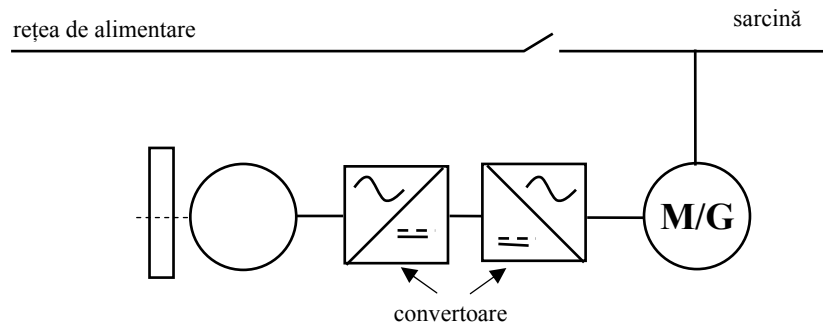


Fig.2- Diagrama bloc a unui sistem cu circuit intermediar ce utilizează un volant.

UPS static cu stocare minimă de energie

În figura 3 este prezentată topologia unui sistem UPS static, de tip VFI (*voltage frequency independent*), online sau cu dublă conversie. Aceste echipamente au ca scop menținerea, în primul rând, a alimentării cu energie electrică pe durata întreruperii legăturii la rețeaua electrică, furnizând, de exemplu, suport suficient pentru a se asigura o oprire ordonată a proceselor. În timpul unei întreruperi, sarcina este alimentată de la o baterie de acumuloare prin intermediul unui convertor tensiune continuă/tensiune alternativă. Dacă se cere numai o protecție la goluri de tensiune, necesarul de energie poate fi asigurat de un condensator; această configurație este deseori descrisă ca fiind un condiționar.

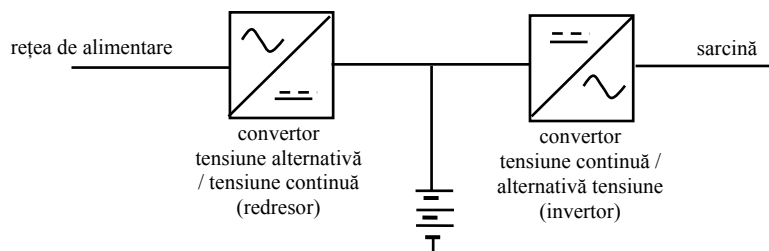


Fig.3-Schema bloc a unui UPS static de tip VFI (*voltage frequency independent*).

Regulator dinamic de tensiune (DVR - Dynamic voltage restorer)

Pe durata unui gol de tensiune, un regulator dinamic de tensiune (DVR) completează tensiunea remanentă cu tensiunea necesară, cu ajutorul unui transformator conectat în serie cu sarcina [5]. Sarcina rămâne conectată la rețea și DVR-ul determină partea lipsă a curbei tensiunii și o completează. În funcție de concepție, energia pentru alimentarea sarcinii în timpul golurilor este asigurată fie din rețeaua de alimentare fie de la o unitate adițională de stocare a energiei (de obicei baterii de condensatoare).

Primul tip de regulator dinamic de tensiune (denumit în cele ce urmează DVR-1) nu are stocare de energie și este în mod permanent în circuit. La apariția unui gol de tensiune, energia necesară pentru generarea diferenței de

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

tensiune este preluată din rețeaua de alimentare (ca un curent crescut), dar dispozitivul nu poate face față la tensiuni reziduale foarte scăzute. Acest tip de DVR este disponibil comercial cu posibilitatea de a crește nivelul de tensiune de până la 50 %. Totuși, o analiză ulterioară se referă la o versiune cu o posibilitate de creștere a tensiunii cu 30 %, întrucât aceasta este considerat ca fiind cea mai eficientă soluție pentru fabricanți.

Al doilea tip de regulator de tensiune (figura 4, denumit în cele ce urmează DVR-2) are stocare de energie și este mai adecvat pentru sarcini mari. Dispozitivul este dimensionat în funcție de puterea ce poate fi injectată; capacitatea de creștere a tensiunii depinde astfel de sarcina pe care o controlează. Un echipament de 2 MW poate asigura creșterea tensiunii unei sarcini de 4 MW cu 50 %, sau a unei sarcini de 8 MW cu 25 %. Spre deosebire de majoritatea altor categorii de echipamente, capacitatea de stocare a energiei reprezintă o soluție pentru depășirea golurilor de lungă durată. Echipamentul de stocare a energiei reprezintă o problemă importantă. Condensatoarele au o densitate de stocare relativ scăzută dar se reîncarcă foarte repede pentru a se pregăti pentru următorul defect în alimentare, în timp ce volanturile de mare viteză, au densitate de energie mare, dar necesită un timp mai îndelungat pentru încărcare. Aceste probleme sunt discutate în detaliu în Secțiunea 4.3.1. a acestui ghid.

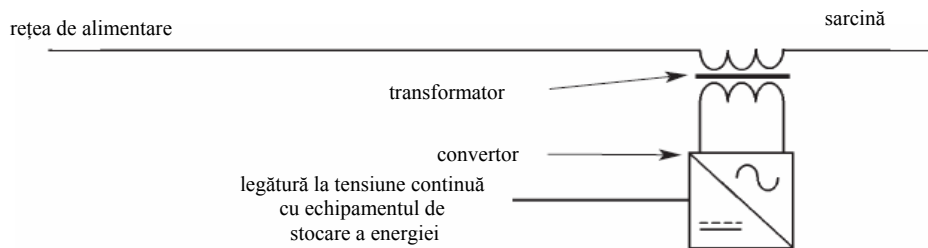


Fig.4. – Diagrama bloc a unui regulator dinamic de tensiune (DVR-2)

Mașina sincronă conectată în paralel

O mașină sincronă conectată în paralel prezintă unele asemănări cu un compensator static (statcom), dar nu conține elemente de electronică de putere. Posibilitatea unei mașini sincrone de a furniza puteri reactive mari, permite acestui sistem să crească tensiunea cu 60 % pentru cel puțin 6 secunde. În plus, un volant mic protejează sarcina împotriva unei întreruperi totale de până la 100 ms (totuși această caracteristică nu va fi folosită în analizele viitoare).

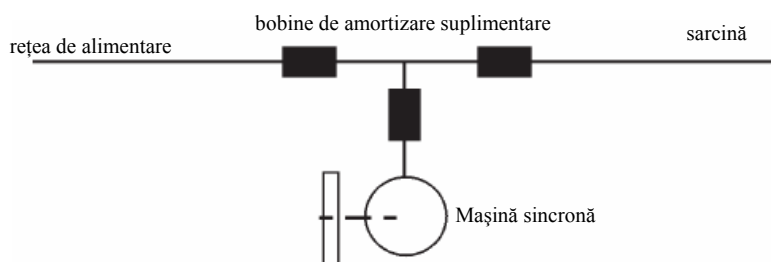


Fig.5. – Diagrama bloc a unei mașini sincrone conectate șunt și volant.

Compensator static (Statcom)

Un compensator static de putere reactivă (statcom) [5] este un sursă de energie conectată în paralel cu sarcina (fig. 6). Un compensator static atenuază golurile de tensiune prin injecția de putere reactivă în rețeaua electrică. Capabilitatea de atenuare a golului poate fi mărită prin adăugarea unui echipament de stocare a energiei electrice cum ar fi un echipament magnetic superconductor de stocare a energiei (SMES – *superconducting magnetic energy storage*) [8].

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

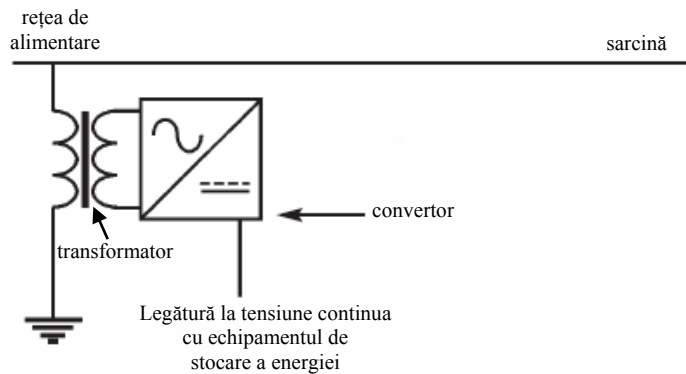


Fig.6 - Diagrama bloc a unui compensator static (statcom).

Control serie fără transformator

În eventualitatea unui gol de tensiune, întreruptorul static al acestui dispozitiv de control serie (figura 7) este deschis și sarcina este alimentată de la un inverter. Puterea la bara de tensiune continuă a inverterului este menținută prin încărcarea a două condensatoare conectate în serie. Pentru goluri cu tensiune reziduală de până la 50 %, se poate asigura sarcinii tensiunea nominală. Echipamente opționale adiționale de stocare a energiei (ex. supercondensatoare) pot evita o întrerupere completă pentru o durată limitată de timp și pot atenua goluri asimetrice mai ample, cum ar fi o întrerupere totală a unei faze. În continuare se va considera doar funcționarea de bază.

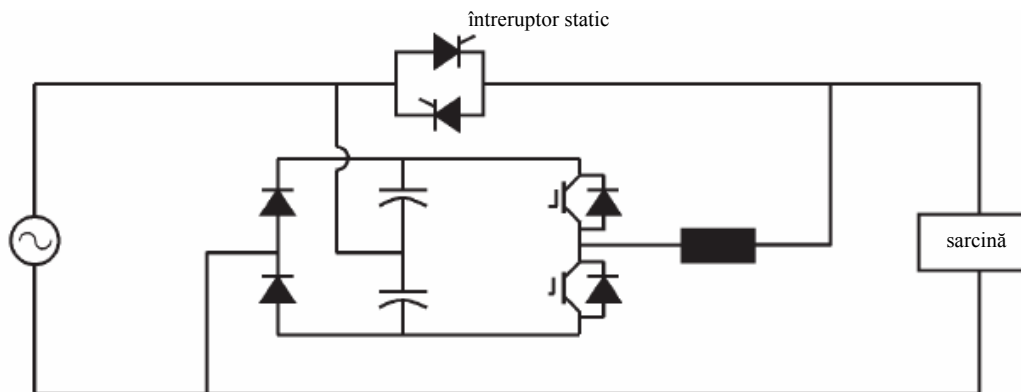


Fig.7 - Control serie fără transformator.

Capabilitatea de atenuare a golurilor

Această secțiune compară sistemele descrise mai sus în funcție de capabilitatea lor de atenuare a golurilor. Mai precis, se analizează procentul din golul de tensiune care va fi limitat de către echipamentul utilizat. Sunt necesari trei parametri importanți pentru a se realiza o analiză adecvată:

- frecvența relativă a golurilor de o anumită adâncime;
- nivelul de imunitate;
- sensibilitatea procesului.

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Frecvența relativă a golurilor de o anumită adâncime

Atunci când se compară diferitele soluții de protecție, frecvența golurilor și distribuția probabilistică a amplitudinii acestora sunt foarte importante. Desigur că o instalație în care apar 10 goluri de tensiune pe an cu o tensiune remanentă de 10 % necesită o soluție diferită față de o instalație cu același număr de goluri de tensiune dar cu o tensiune remanentă de 70 %.

În figura 8 se prezintă relația dintre adâncimea golurilor de tensiune în funcție de procentul de goluri, pentru valori egale sau mai mari decât o valoare dată. Sunt folosite următoarele statistici:

B1, B2:	Două bare colectoare de MT, în Belgia
F:	Bară colectoare de MT, în Franța
NL:	Bară colectoare de MT, în Olanda
US:	Studiu DPQ în SUA [1]
C:	Valoarea medie pentru bare colectoare de MT, în raportul CIGRE [4]

Nu se ține seama de durata golurilor deoarece se presupune că toate sistemele pot funcționa cel puțin pe durata maximă de 2 secunde a golului de tensiune - deși această ipoteză nu este corectă pentru echipamente neprotejate din industrie. Se presupune că distribuția relativă prezentată în figura 8 este reprezentativă pentru toate tipurile de goluri (1, 2 sau 3 faze). De exemplu, punctul P din această figură indică faptul că 47 % din golurile de tensiune din statisticile CIGRE (C) au o reducere de tensiune mai mică de 20 % (adică o tensiune remanentă mai mare de 80 %).

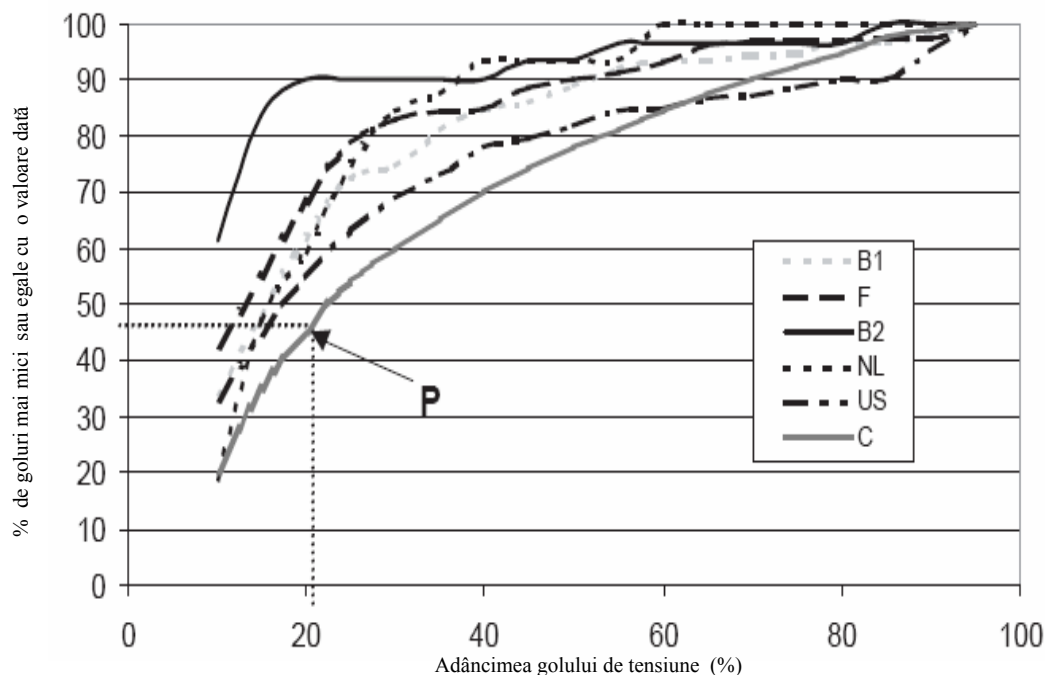


Figura 8 – Statistici privind golurile de tensiune din diferite țări, prezentând procentul de goluri mai mici sau egale cu o anumită valoare, în %.

Nivel de imunitate

Pot fi identificate trei concepte diferite pentru a crește nivelul de imunitate la goluri de tensiune:

a) Sarcina este alimentată de o sursă de energie externă

Aceste tipuri de sisteme (volanturi și UPS-uri statice) pot proteja împotriva tuturor golurilor de tensiune. Durata de timp de protecție maximă depinde doar de cantitatea de energie stocată care poate fi utilizată.

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

b) Tensiunea este mărită cu un anumit procent

Aceste sisteme (statcom și DVR) utilizează tensiunea remanentă din rețea ca punct de plecare și adaugă tensiunea lipsă. Dacă ele nu pot restabili tensiunea nominală de alimentare, își folosesc capacitatea maximă. Un gol de tensiune se consideră atenuat dacă tensiunea finală (tensiunea rețelei în timpul golului plus tensiunea adăugată) este destul de mare pentru a menține condiții normale de funcționare a sarcinii.

c) Soluția protejează sarcina împotriva unei mărimi predefinite a golului

Pentru a menține o circulație constantă de putere spre sarcină, aceste tipuri de sisteme (control serie fără transformator) compensează reducerea de tensiune prin absorbirea unui curent mai mare din rețeaua de alimentare. Din această cauză, adâncimea maximă a golului care poate fi compensată, depinde de curentul nominal al echipamentului de atenuare și de rețeaua de alimentare.

Sensibilitatea procesului

Sensibilitatea procesului este complexă, fiind rezultatul sensibilităților independente - în funcție de mărimea și durata golului - a unui număr mare de elemente individuale ale echipamentelor care cooperează împreună pentru realizarea procesului. Reducerea sensibilității globale a procesului (neprotejat) la goluri de tensiune, necesită o alegere atentă a echipamentelor și o înțelegere a felului în care procesul este afectat datorită unui gol de tensiune.

Deseori se trece cu vederea faptul că sensibilitatea inițială a procesului poate avea un impact asupra ponderii din proces, evitat de a fi oprit, datorită echipamentului de protecție. Totuși, aceasta are o importanță majoră atunci când se compară sisteme din categoriile b) și c), descrise anterior, și ilustrate în figura 9.

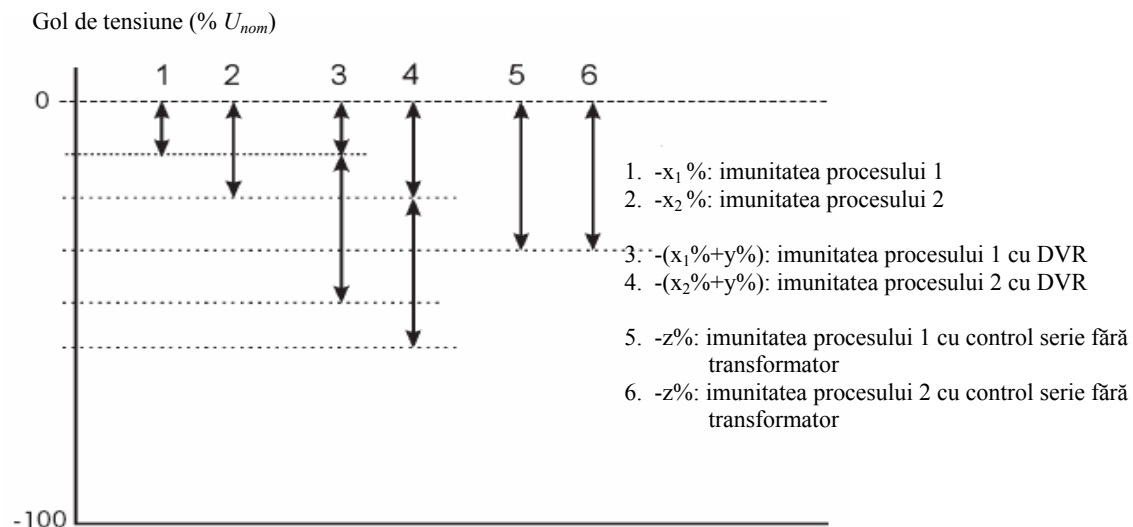


Fig.9 - Imunitatea proceselor cu diferite imunități inițiale, cu și fără echipamente de protecție adiționale

Echipamentele din categoria b) vor crește tensiunea cu un anumit procent. Dacă un proces care este imun la goluri de $-x\%$ este echipat cu un echipament de categoria b), cum ar fi un DVR având o capacitate de ridicare a tensiunii cu $+y\%$, procesul va fi imun la goluri de tensiune de $-(x + y\%)$.

Pe de cealaltă parte, echipamentele din categoria c) vor imuniza procesul împotriva golurilor de tensiune de nivel predefinit (ex. $z\%$). Prin instalarea unui echipament din categoria c) procentul de evitare a opririi procesului este mai scăzut dacă imunitatea inițială a procesului ar fi fost -30% comparată cu o imunitate inițială -10% .

Rezumat privind capabilitatea

În tabelul 1 se prezintă procentul de întreruperi ale procesului datorită golurilor de tensiune care pot fi evitate prin utilizarea sistemelor descrise, folosind statistici ale golurilor date de raportul CIGRE și pentru o bară colectoare din Belgia (curbele C și B2 în fig. 8) și ținând seama de două niveluri diferite de imunitate inițială ale

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

procesului (-10 % și -30 %). Procentul de întreruperi evitate nu este afectat de vulnerabilitatea echipamentului de proces la golurile de tensiune pe 1, 2 sau pe toate cele 3 faze deoarece în articol se presupune că:

- distribuția relativă a adâncimii golurilor este aceeași pentru toate golurile de tensiune (pe 1, 2 sau 3 faze)
- toate echipamentele de protecție pot furniza aceeași protecție relativă pentru aceste goluri.

Tabela 1- Procent de întreruperi evitate prin instalarea diferitor dispozitive de limitare, fiind seama de diferite statistici de goluri și diferite imunități inițiale ale proceselor

Procent din opriri datorate golurile care vor fi reduse		Conceptul de imunizare (secțiunea 0)	Căderea de tensiune maximă protejată, în %	Creșterea de tensiune maximă, în %	Imunitate inițială			
					Bară colectoare CIGRE (C), imunitate inițială -10 %	Bară colectoare CIGRE (C), imunitate inițială -30 %	Bară colectoare belgiană B2, imunitate inițială -10 %	Bară colectoare belgiană B2, imunitate inițială -30 %
40 - 60 %								
60 - 80 %								
80 - 100 %								
Volant	a	100	/					
UPS static	a	100	/					
DVR-1	b	/	30					
DVR-2, 200 % încărcare	b	/	50					
DVR-2, 400 % încărcare	b	/	25					
Statcom - SMES	b	/	60					
SM conectată șunt	b	/	60					
Control serie fără transformator	c	50	/					

Alte aspecte tehnice și economice

În această secțiune se analizează o serie de caracteristici comportamentale și de performanță ale categoriilor de produse disponibile pe piață. Pentru fiecare tip, fiecare caracteristică este indicată ca un avantaj (+), neutru (=), sau ca un dezavantaj (-).

Dimensiune

Unele sisteme sunt disponibile numai în dimensiuni mai mari de 1 MW (-), în timp ce altele sunt vândute și în dimensiuni mai mici sau egale cu 100 kW (+).

Costul de achiziție

Deoarece decizia de a cumpăra echipamente de atenuare pentru a se preveni pagubele datorate golurilor de tensiune este rezultatul unei analize cost-beneficiu, prețul de achiziție a sistemului este foarte important. Deși contracte sunt făcute pe bază individuală și pot varia substanțial, au fost prevăzute reguli dure în ceea ce privește costurile de cumpărare și instalare a unui dispozitiv de dimensiuni medii (între 100 kVA și 500 kVA), atunci când este disponibil.

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Sunt definite trei categorii de prețuri:

- : > 250 euro per kVA
- = : 150-250 euro per kVA
- + : < 150 euro per kVA

Întreținere

În funcție de tipul de sistem, costurile de întreținere pot diferi substanțial. Prezenta lucrare are numai scopul de a distinge dacă este necesară o întreținere anuală (-) sau nu (+).

Eficiență

Multe sisteme necesită o alimentare continuă cu energie electrică datorită utilizării electronicii de putere, utilizării de părți în mișcare (volant) sau pentru răcire (SMES), având ca efect reducerea eficienței globale. Se disting trei categorii:

- + : pierderi < 0,5 % din puterea normată;
- = : pierderi 0,5 - 2 % din puterea normată;
- : pierderi > 2% din puterea normată.

Trebuie notat că o eficiență scăzută are un impact semnificativ asupra deciziilor economice privind procesul analizat. Luând în considerare un cost al energiei de 0,05 euro/kWh și o eficiență de 97 %, pierderile anuale sunt de 13,1 euro/kW instalat.

Considerând o rată de recuperare de 10 %, valoarea actualizată a pierderilor în 10 ani pentru un kW va fi de 80,4 euro.

Timpul de răspuns

Unele dispozitive de protecție necesită detectarea golurilor de tensiune înainte ca acestea să aibă efect. Aceasta poate să fie cazul proceselor cu comportament tranzitoriu.

Timpul de răspuns (activare) al dispozitivelor de protecție este împărțit în trei categorii:

- + : răspuns tranzitoriu < 1 ms
- = : tranzitoriu 1-5 ms
- : tranzitoriu > 5 ms

Armonici de tensiune

Unele sisteme de limitare sunt capabile să controleze în mod continuu și armonicile de tensiune ce își au originea în rețeaua de alimentare (+), în timp ce altele nu influențează armonicile de tensiune (=).

Armonici de curent

În cazul în care sarcina din aval conține multe aplicații cu electronică de putere, cum ar fi variatoare de viteză, curentul va avea un caracter puternic distorsionat. Unele sisteme de atenuare a golurilor de tensiune au capacitatea de a absorbi un curent sinusoidal din rețea, chiar dacă sarcina este neliniară (+), în timp ce alte sisteme nu influențează curenții armonici (=).

Putere reactivă

Unele aplicații au capacitatea de a furniza sau absorbi în mod continuu putere reactivă (+), în timp ce altele nu pot face acest lucru (=).

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Rezumat privind aspecte tehnice și economice

În tabelul 2 sunt prezentate performanțele sistemelor descrise cu referire la acești parametri.

Tabelul 2. – Aspecte tehnice și economice ale diferitelor metode de atenuare

	Dimensiune	Cost de achiziție	Întreținere	Eficiență	Timp de răspuns	Armonici de tensiune	Armonici de curent	Putere reactivă
Volant	+	-	-	-	=	+	+	+
UPS static	+	-	-	-	+	+	+	+
DVR-1	+	+	+	=	=	=	=	+
DVR-2, 200 % încărcare	-	-	+	-	=	+	=	=
DVR-2, 400 % încărcare	-	=	+	-	=	+	=	=
Statcom - SMES	-	=	-	=	-	=	=	+
SM conectată șunt	+	=	-	-/=	=	+	+	+
Control serie fără transformator	+	=	+	+	=	=	=	=

Analiză cost-beneficiu a echipamentelor de atenuare

Pentru a analiza dacă reducerea preconizată a costurilor datorate întreruperilor depășește costul echipamentelor de protecție se poate utiliza următoarea versiune adaptată a metodei VNA (valoare netă actualizată):

$$f \cdot p_{prev} \geq \frac{C_{inv}}{C_{gol}} \cdot x \left(\frac{(1+i)^n (i + p_{mnt}) - p_{mnt}}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (1)$$

unde:

C_{inv}	investiția inițială pe kVA (Tabel 2)
f	întreruperi anuale datorate golurilor
p_{prev}	procentul de întreruperi evitate
$f \cdot p_{prev}$	întreruperi anuale evitate
C_{gol}	costul întreruperii pe gol și kVA
P_{mnt}	costurile de mentenanță pe kVA și ca procent din C_{inv}
i	factor de recuperare
n	timp de calcul (ani)

Prin introducerea de valori optimiste pentru un sistem de atenuare (ex. $C_{inv} = 100$ euro/kVA, $p_{mnt} = 0$, $p_{prev} = 100\%$), această formulă poate fi utilizată pentru a determina dacă scăderea pierderilor datorate golurilor de tensiune va depăși costul unuia din dispozitivele de atenuare descrise.

Considerații privind alegerea echipamentului adecvat pentru limitarea golurilor de tensiune

Concluzii

Se poate concluziona că nu există un sistem avantajos pentru toate situațiile. Totuși, pot fi date anumite reguli.

- Un DVR fără stocare de energie sau un sistem cu control serie fără transformator sunt cele mai avantajoase din punct de vedere al costurilor. Dacă armonicile și puterea reactivă creează, de asemenea, probleme, pot fi luate în considerare motoarele sincrone conectate șunt.
- De asemenea, s-a arătat că procentul de întreruperi evitate prin utilizarea unei anumite soluții depinde de diferiți parametri și nu poate fi prevăzut fără a se dispune de date statistice referitoare la golurile de tensiune. Dacă trebuie să fie atenuate toate golurile și întreruperile de scurtă durată, singurele soluții posibile sunt instalarea unui volant sau a unui UPS static.

Referințe și bibliografie

[1] CENELEC, EN 50160, Nov 1999.

[2] Dugan R., McGranaghan M., Beaty H. - *Electrical Power Systems Quality*, Knoxville/USA: McGraw-Hill, 1996.

[3] EPRI, 'DPQ study final report', 1996.

[4] Beaulieu G et al. - *Power quality indices and objectives for MV, HV and EHV systems CIGRE WG 36.07/ CIRED progress*, CIRED 2003.

[5] Hingorani N., Gyugyi L., *Understanding FACTS*, Wiley IEEE Press, ISBN 0-7803-3455-8, 1999.

[6] Van Zyl A., Spee R., Faveluke A., Bhowmik S. - *Voltage sag ride-through for adjustable-speed drives with active rectifiers*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, pp 1270-1277, Nov/Dec 1998.

[7] Didden M., Belmans R., D'haeseleer W. - *Cost-benefit analyses of voltage sag mitigation methods in textile extrusion plants*, European Transaction of Electrical Power Vol.13 No 2, Mar/Apr 2003.

[8] Nelson B. (AM Superconductor Corporation), *Improving power quality inside the fab voltage sag correction using shunt inverter technology and stored energy*, Future Fab International, Issue 13, July 2002.

Suplimentar, au fost utilizate informații publicate aparținând fabricanților.

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.unibg.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 Institute of Science and Technology (UMIST) www.umist.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 Solutions Inc. www.epri.com/eprisolutions	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@unibg.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	mmgranaghan@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 Ahmed Zobaa	Cairo University	azmailinglist@link.net



Dr ir Marcel Didden



Laborelec
Rodestraat 125
B-1630 Linkebeek
Belgium

Tel: 00 32 2 3820503
Fax: 00 32 2 3820241
Email: marcel.didden@laborelec.com
Website: www.laborelec.com



Membri 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

europa
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