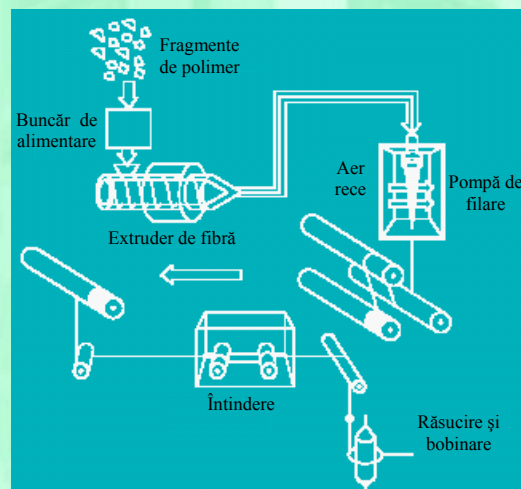


Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Perturbații de tensiune *Căderi de tensiune în procesele continue* *Studiu de caz*

5.5.1



Perturbații de tensiune

Perturbații de tensiune

Căderi de tensiune în procesele continue - Studiu de caz

Dipl-Ing Marcel Didden
Katholieke Universiteit Leuven

Iunie 2003



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.

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
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

Căderi de tensiune în procesele continue - Studiu de caz

Introducere

În această secțiune se prezintă un caz de perturbație de tensiune sub formă de cădere de tensiune studiat în Belgia. Unul dintre procesele industriale bine cunoscute pentru sensibilitatea la golurile de tensiune este extrudarea materialelor plastice în industria textilă. În acest proces, fragmentele din material plastic sunt topite, transformate în fibre și în final răsucite pe tambur. Aceste fibre pot fi folosite, de exemplu, pentru confecționarea de covoare. Belgia este un mare exportator de covoare în lume și este al doilea producător după SUA.

Pentru a înțelege pe deplin dimensiunile problemei căderilor de tensiune în companiile de extrudare din Belgia, s-a organizat o monitorizare a nouă utilizatori. În cadrul acestui studiu s-a evidențiat că numărul de întreruperi mediu anual a producției datorate căderilor de tensiune a fost patru. Se prezintă un audit la una dintre companii. Vor fi prezentate următoarele trei probleme:

- ◆ procesul de producție;
- ◆ pierderile financiare datorată opririi forțate a producției și configurația rețelei electrice;
- ◆ soluții posibile de reducere a pagubelor, considerate atât din punct de vedere tehnic cât și economic.

Analiza problemelor

Companiile analizate au trei procese sensibile la căderile de tensiune: realizarea fibrei continue (*Bulk Continuous Filament – BCF*), realizarea firului continuu (*Continuous Filament – CF*) și tratamentul termic (*Heat Set*). În acest document se va analiza regimul de lucru în procesul de realizare a fibrei.

Procesul de producție

În figura 1 sunt indicate principalele procese într-o linie de extrudare care produce fibre textile din fragmente de polimer. Se pot distinge următoarele faze:

- ◆ În *extruder* fragmentele de polimer sunt topite și transformate într-o substanță omogenă.
- ◆ Substanța omogenă este împinsă într-un dispozitiv care conține niște orificii mici (numită pompă de filare) rezultând fibra (*filare la cald*).
- ◆ În final, fibra este *întinsă*, *răsucită* și *înfășurată* în bobine.

Pentru realizarea fiecăruia dintre procesele menționate, sunt utilizate mai multe sisteme de acționare.

La o simplă privire asupra caracteristicilor sistemelor de acționare și pe baza datelor obținute de la producători, se ajunge la o serie de concluzii interesante. Toate sistemele de acționare folosite în compania de textile analizată provin de la diferiți fabricanți și au propria lor caracteristică de imunitate la căderi de tensiune. În general, acest nivel de imunitate nu trebuie să depășească semnificativ nivelul de compatibilitate de 90 % (tensiune remanentă) specificată în standardul EN 50160.

Dacă una dintre componente se oprește datorită unei căderi de tensiune tot procesul este perturbat. Aceasta înseamnă că elementul (legătura) slab determină comportarea procesului la căderi de tensiune și că toate componentele trebuie analizate separat.

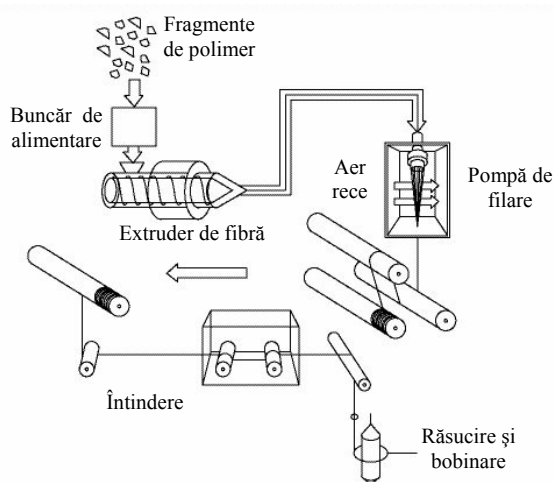


Fig. 1 – Procesul de extrudare a fibrelor textile

Căderi de tensiune în procesele continue

Fabricanții mașinilor de extrudare a fibrelor oferă și linii de producție cu imunitate explicită la căderi de tensiune. Nu vom investiga această opțiune în detaliu, deoarece cazul studiat se referă la o linie de producție existentă.

Prima componentă, extruderul, este acționată de un motor de tensiune continuă. Motorul este echipat cu un variator de viteză cu control analogic. Pentru a proteja electronica de putere din sistemul de acționare, protecția la scăderea tensiunii este reglată la un nivel foarte sensibil. Întregul proces se va bloca dacă se va înregistra o cădere de tensiune de 20 % sau mai mult, pe una sau mai multe faze.

Pompele de filare sunt echipate cu un motor cu viteză variabilă. Protecția la căderi de tensiune a acestui sistem de acționare va bloca procesul dacă tensiunea la bara de tensiune continuă va scădea cu 15 %. Bibliografia [4] arată că aceste dispozitive sunt întotdeauna sensibile la căderi de tensiune trifazate și uneori la căderi de tensiune pe una sau două faze.

Întinderea, răsucirea și bobinarea este realizată cu sisteme de acționare cu viteză variabilă care sunt alimentate de la barele comune de tensiune continuă. Motoarele sunt echipate cu volant (acumulator cinetic): motorul acționează ca un generator pe perioada căderii de tensiune și livrează energie electrică înapoi la bara de tensiune continuă.

Se poate concluziona că ambele sisteme de acționare ale extruderului și ale pompei de filare trebuie să fie luate în considerare la analiza metodelor de îmbunătățire.

Alte două posibile puncte de îngrijorare sunt controlul circuitelor de aer și controlul electronic al proceselor. Investigațiile efectuate arată că nu este necesar ca acestea să fie studiate în amănunt.

Pierderi financiare

Imediat după o cădere de tensiune care a oprit procesul, muncitorii încep repornirea succesivă a liniilor din proces. În funcție de numărul liniilor de producție (tipic 10 până la 20), întregul proces este reluat după două până la patru ore. Aceasta înseamnă că producția medie pierdută corespunde unui interval de una până la două ore. Oprirea nu conduce la o reducere a utilizării materiilor prime în timpul celor patru ore, deoarece extruderul repornește imediat după revenirea tensiunii. Dacă extruderul nu ar reporni imediat și materialul topit ar staționa în acesta, la reîncălzire acesta s-ar arde și particule arse ar ieși din extruder în timp, într-o perioadă de câteva zile, rezultând o producție de proastă calitate. Costul unei astfel de arderi ar fi deci mult mai ridicat decât cel al aruncării excesului de polipropilen după extrudare. Mai mult, muncitorii curăță ei înșiși echipamentele, astfel că nu apare o creștere sau o descreștere a costului muncii.

Un factor important care influențează pierderile financiare este dacă producția industrială este sau nu continuă. În cazul unei producții continue, așa cum este cazul acestor companii, producția pierdută în perioada de întrerupere nu poate fi recuperată lucrând suplimentar, astfel că pierderea producției se traduce direct în pierderi de profit adică, pierderea este egală cu valoarea produsului neprodus ca urmare a întreruperii.

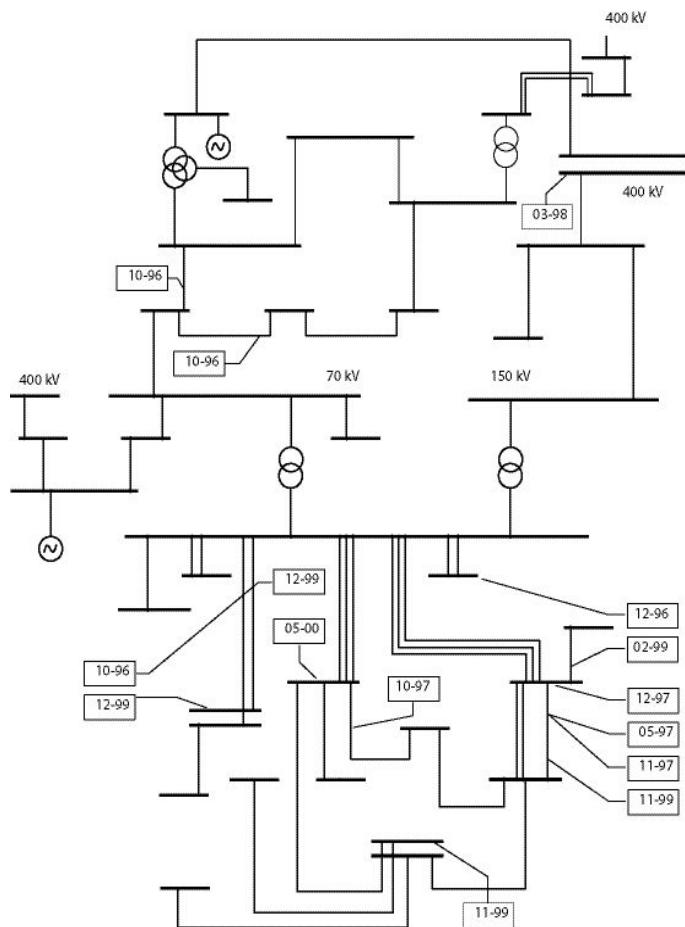


Fig. 2 – Schema monofilară a rețelei electrice (dreptunghiurile indică momentul și locul de origine a defectelor)

Căderi de tensiune în procesele continue

Într-un proces care nu este continuu, pierderea de producție poate fi recuperată printr-o activitate efectuată peste timpul normal de lucru, dar aici pot apare costuri suplimentare cu munca.

Rețeaua electrică și originea pagubelor

În figura 2 este prezentată rețeaua electrică din vecinătatea companiei de extrudare analizată.

Rețeaua electrică este modelată până la cele trei stații de 400 kV ale rețelei de transport (indicate prin bare). Etichetele indică locul și datele (lună/an) de producere a incidentelor care au condus la întreruperea procesului în perioada de monitorizare de 3,5 ani. Se poate constata că incidentele în rețeaua de distribuție de 15 kV au determinat majoritatea opririlor producției. Un echipament de înregistrare a căderilor de tensiune, instalat la intrarea în instalația electrică a companiei de extrudare a arătat că majoritatea perturbațiilor sunt defecte trifazate. Comparând întreruperile de proces cu indicațiile aparatului de înregistrare se constată că echipamentul nu este vulnerabil la defecte trifazate ce au ca rezultat goluri de tensiune cu o tensiune remanentă mai mare de 84 %. Analizând specificațiile de produs ale componentelor, se poate conchide că fără îndoială partea slabă în proces sunt motoarele cu viteză variabilă. Una din posibilele explicații ale numărului mare de defecte trifazate sunt lucrările de excavație pentru construcțiile efectuate în vecinătate.

Aria de vulnerabilitate

Conceptul de „arie de vulnerabilitate“ (de ex.[5]) este utilizat pentru a vizualiza tensiunea remanentă la compania de extrudare datorată unui scurtcircuit trifazat undeva în rețea. În figura 3 este indicată această arie de vulnerabilitate pentru scurtcircuite trifazate simetrice. Având în vedere că aceste defecte constituie majoritatea cauzelor de întrerupere a procesului, nu este necesar să se folosească o clasificare sofisticată a căderilor de tensiune de tipul celei prezentate în [1]. De exemplu: un cablu sau o bară colectoare din această rețea, situate în zona cenușie cu valoarea de 50...75%, indică faptul că un scurtcircuit pe acest cablu sau pe această bară colectoare are ca efect apariția la compania de extrudare a unei căderi de tensiune cu o tensiune remanentă cuprinsă între 50...75 %.

Deoarece sistemele de acționare ale extruderului și motoarele pompelor de filare sunt sensibile la scurtcircuitele care determină o tensiune remanentă sub 75 %, se poate concluziona faptul că o mare parte a rețelei de distribuție se situează în zona de vulnerabilitate a companiei de extrudare. De aceste aspecte trebuie să se țină seama atunci când se analizează metodele de îmbunătățire.

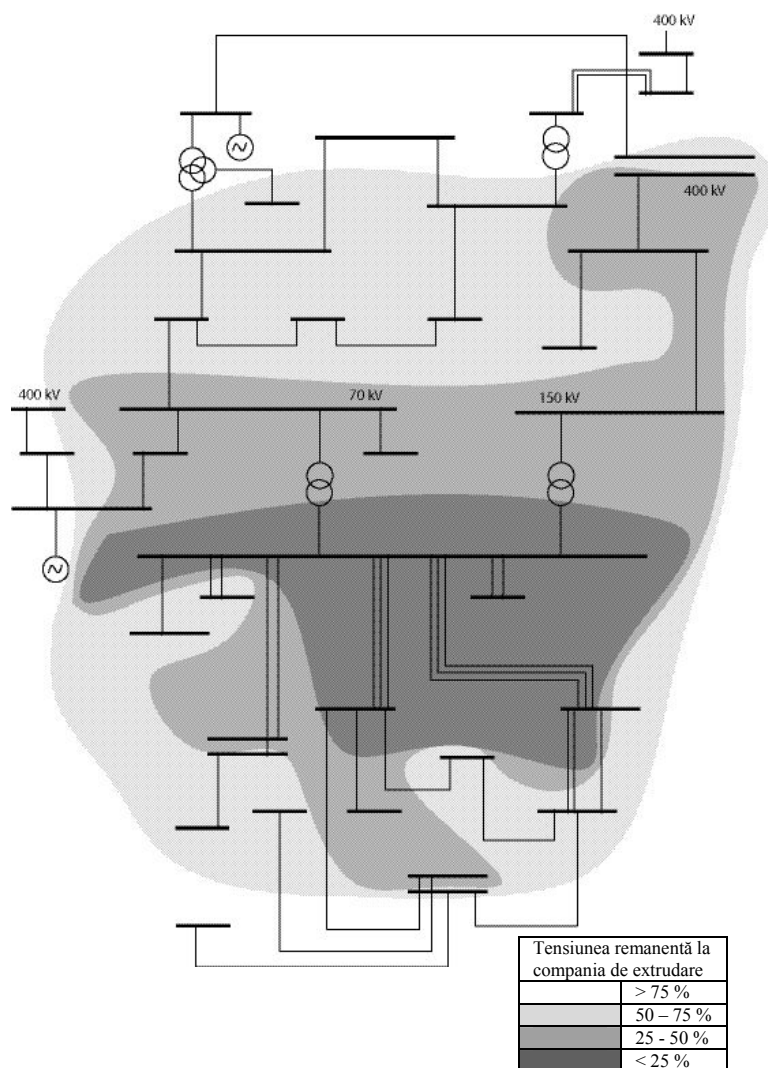


Fig. 3 – Aria de vulnerabilitate

Căderi de tensiune în procesele continue

Metode de îmbunătățire

Analizând metodele de îmbunătățire ne vom referi la diagrama bloc introdusă în [5] (fig. 4).

În secțiunile următoare vor fi analizate cele patru posibilități indicate în figură.

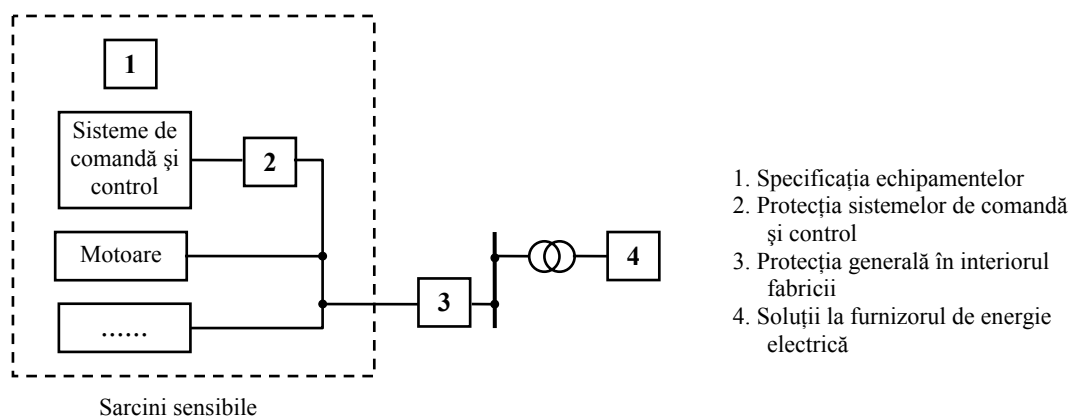


Fig. 4 – Soluții pentru reducerea costurilor datorate căderilor de tensiune [5].

Specificația echipamentului/protecția sistemelor de comandă și control

Înainte de a modifica echipamentul, este important de făcut un inventar al tuturor părților din proces care sunt vulnerabile la căderi de tensiune. Faptul că o piesă a echipamentului declanșează prima, nu indică faptul că toate celelalte dispozitive sunt imune la căderile de tensiune, existând un mare risc ca o altă piesă a echipamentului să declanșeze numai o singură dată, partea cea mai sensibilă a echipamentului fiind protejată. Din ultimul paragraf putem concluziona că trebuie cu siguranță să analizăm atât sistemele de acționare ale extruderului cât și ale pompelor de filare. Trebuie să fim conștienți că protejând numai aceste sisteme de acționare nu înseamnă că se garantează o reducere semnificativă a întreruperilor datorate căderilor de tensiune, deoarece alte părți ale instalației pot deveni elementele slabe.

După discuții cu fabricantul sistemului de acționare al pompei de filare, am aflat că nu este posibil să se modifice sistemul de acționare, deoarece acesta este proiectat cu control analogic și pentru a i se schimba caracteristicile, cum ar fi setarea protecțiilor, sunt necesare modificări hardware. Datorită faptului că bara de tensiune continuă a sistemului de acționare cu viteză variabilă nu este accesibilă din exterior, nu este posibil de întărit această bară, de exemplu cu un convertor funcționând în tampon [6] sau cu un redresor [7]. Mai mult, de la fabricantul întregii linii de extrudare s-au primit informații că sistemul de acționare nu poate fi schimbat cu altul din cauza incompatibilității software-ului. Se poate deci conchide că investigațiile în acest domeniu sunt inutile.

Protecția în interiorul fabricii

S-au analizat mai multe metode de protecție a sistemului industrial în totalitate sau parțial. Întregul sistem industrial are o putere aparentă de 1.625 kVA. Deoarece o putere de 955 kVA este destinată numai pentru încălzire, se analizează protecția procesului care conduce sistemul. Dacă numai o parte a sistemului este protejată, se poate instala un întreruptor static, rezultând topologia din figura 5. Vom analiza mai întâi utilizarea unei surse de putere neîntreruptibilă (UPS), realizată în formă de volant cu motor diesel.

Apoi, vom investiga alte sisteme care vor asigura protecția numai la căderi de tensiune, nu și la deconectări.

Exemple de astfel de sisteme sunt:

- ◆ *Regulator dinamic de tensiune (Dynamic Voltage Restorer – DVR)* care adaugă la tensiunea rețelei tensiunea lipsă (de exemplu [8]).
- ◆ *Compensator dinamic static (DySC)*. Un DySC este un echipament bazat pe electronică de putere care conține un corector de cădere de tensiune, conectat serie, și un convertor conectat în paralel care asigură imunitatea la căderi de tensiune cu o tensiune remanentă de minimum 50 % și pe durata a 2 s, ceea ce acoperă 92 % din căderile de tensiune care au fost raportate într-un amplu studiu sponsorizat de EPRI [3].
- ◆ *Volant*: Un volant fără generator diesel protejează echipamentul la toate căderile de tensiune atât timp cât inerția volantului poate să mențină sarcina. Majoritatea volanților pot menține sarcina nominală pentru 3...15 s, ceea ce este suficient pentru protecția la toate căderile de tensiune dar nu și la întreruperi ale alimentării.

Căderi de tensiune în procesele continue

Prețurile de achiziție pentru toate echipamentele de atenuare a căderilor de tensiune, menționate mai sus, nu diferă substanțial. Totuși trebuie luat în considerare costul anual al mentenanței și de menținere în rezervă (stand-by), și în acest caz compensatorul DySC are prețul cel mai redus. Considerând că toate căderile de tensiune înregistrate au o tensiune remanentă de peste 50 %, se poate considera că toate sistemele menționate mai sus ar proteja corespunzător procesul la aceste căderi de tensiune.

S-a analizat și utilizarea separată de UPS pentru toate sistemele de acționare. A rezultat că este de departe cea mai scumpă opțiune datorită cantității mari de echipamente de electronică de putere.

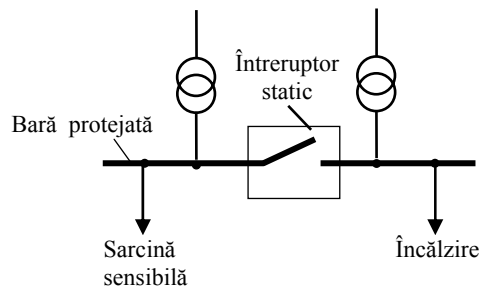


Fig.5 - Protejarea unei părți a procesului.

Soluții la furnizorul de energie electrică: modificarea rețelei electrice

Daunele în procesele tehnologice pot fi evitate și prin modificarea rețelei din zona respectivă. Se examinează două posibilități:

- ◆ adăugarea unui generator de 10 MW;
- ◆ modificarea configurației rețelei.

Adăugarea unui generator va ridica tensiunea remanentă cu [9]:

$$\Delta U = \frac{S_g}{S_k} \cdot \cos(\alpha - \phi) \cdot 100,$$

în care :

- ΔU este creșterea de tensiune, în procente din tensiunea nominală;
- S_g – puterea nominală a generatorului;
- S_k – puterea de scurtcircuit în nodul respectiv;
- α – defazajul impedanței de scurtcircuit;
- ϕ – defazajul curentului din generator.

Cea de-a doua opțiune este de a schimba configurația rețelei electrice. În această opțiune, compania ar trebui să fie racordată la un alt fider, separat de ceilalți vecini.

Ambele posibilități sunt prezentate în figura 6 .

Dacă se compară figura 3 cu figura 6 a, se poate concluziona clar că adăugarea unui generator de 10 MW nu va ajuta prea mult. Totuși, modificarea configurației rețelei (fig.6 b) va modifica aria de vulnerabilitate, asigurând că nu vor mai fi pagube la căderile de tensiune din rețeaua de 15 kV. Un avantaj suplimentar este și faptul că această modificare a configurației rețelei nu va proteja numai procesul de extrudare dar și celelalte două procese menționate anterior (CF și tratamentul termic).

Analiza economică

Atunci când se compară diferite opțiuni, trebuie să se țină seama de doi termeni:

- ◆ costul pierderilor ce pot fi atribuite căderilor de tensiune, având în vedere faptul că chiar și după ce s-au luat măsurile de protecție mai rămâne un risc redus;
- ◆ costul măsurilor de protecție.

Dacă o soluție este sau nu eficientă economic depinde și de criteriul de eficiență economică utilizat pentru evaluarea soluției. Aceste aspecte sunt prezentate în secțiunea 2 a acestui Ghid. Pentru acest studiu vom utiliza metoda Valorii Nete Actualizate (VNA) cu o rată de actualizare de 15 % și o durată de viață de 10 ani.

Căderi de tensiune în procesele continue

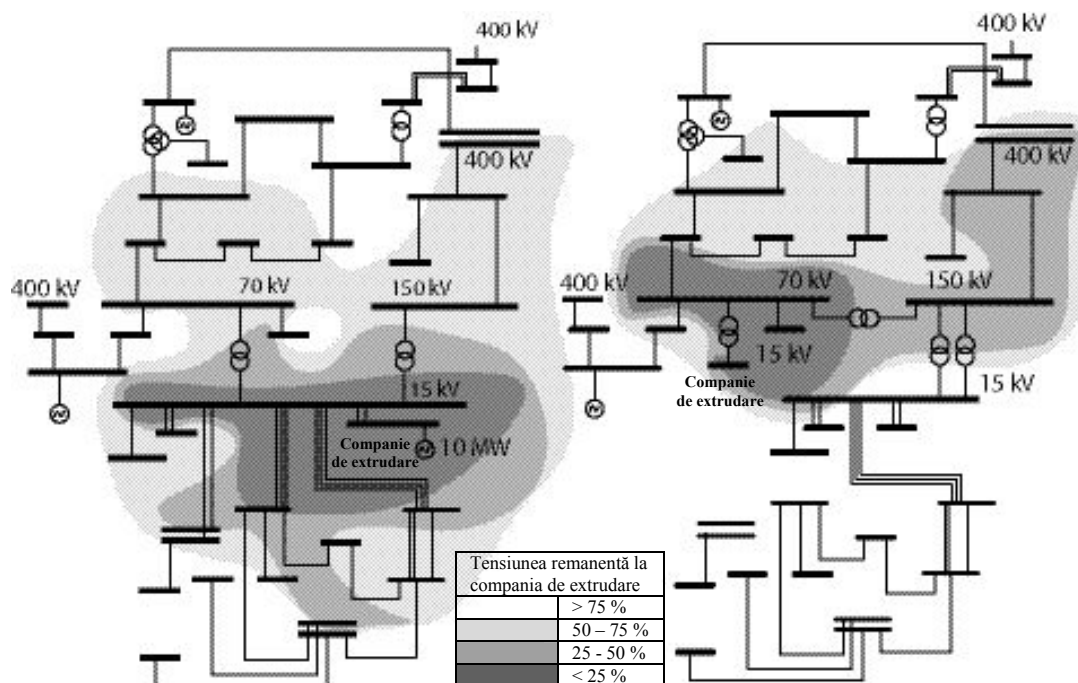


Fig. 6 – Aria de vulnerabilitate

- a) Adăugarea unui generator de 10 MW
b) Modificarea configurației rețelei

Atunci când se calculează costul total al opțiunilor descrise mai sus se obțin rezultatele din Tabelul 1 în care costul pierderilor înainte de îmbunătățire se consideră 100.

Costurile datorate calității energiei electrice (*PQ costs*) care mai rămân în varianta A pot fi explicate prin considerarea a trei incidente în rețeaua de transport (fig.2). Costurile datorate calității energiei electrice care mai rămân în variantele de la B la E rezultă ca urmare a neprotejării celorlalte două procese, CF și tratamentul termic.

	Soluție	Costul întreruperii [%]	Costul îmbunătățirii ¹⁾	Cost total
Actual	Situația actuală	100	0	100
A	Modificarea configurației rețelei	26	62	88
B	UPS pentru întreaga putere (1.625 kVA)	60	303	363
C	UPS pentru o parte (670 kVA)	60	152	212
D	DySC pentru întreaga putere (1.625 kVA)	60	109	169
E	DySC pentru o parte (670 kVA)	60	87	147

Tabelul 1 – Compararea diferitelor opțiuni de îmbunătățire (costul înainte de îmbunătățire este 100 %)

¹⁾ Aceste costuri includ costurile de mentenanță și de menținere în rezervă, anual fiind 5 % din prețul de achiziție în cazul UPS și 1 % pentru DySC.

Căderi de tensiune în procesele continue

În figura 7 se vede că, pe baza criteriului economic utilizat, este economic atractivă numai opțiunea de restructurare a rețelei.

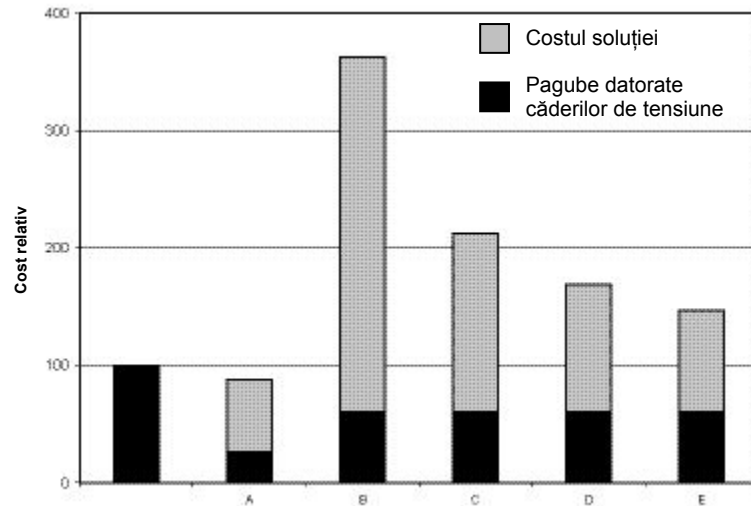


Fig. 7 – Costul total pentru diferite opțiuni în cazul procesului de extrudare din Belgia
Costurile sunt exprimate în % față de cazul „actual”. A se vedea tabelul 1 pentru definirea variantelor A...E

Deși unele companii consideră că un orizont de 10 ani pentru un proiect este prea mare pentru o astfel de investiție, compania analizată a decis să facă investiția. Ei au argumentat că unele costuri indirecte și ascunse, care sunt foarte greu de estimat, nu au fost luate în considerare în acest calcul. Aceste costuri includ, de exemplu, nemulțumirea forței de muncă datorată opririlor cauzate de căderile de tensiune și de îmbătrânirea mai rapidă a mașinilor.

Pentru a ilustra că rezultatele unui studiu privind căderile de tensiune depind foarte mult de amplasare, în figura 8 este prezentat un studiu de caz, realizat de Electrotek Concepts [2] la o fabrică de extrudare a materialelor plastice. În acest studiu de caz, în care numărul anual de întreruperi de proces era de aproape 15, nu era posibilă nici o restructurare a rețelei electrice. În acest caz, protejarea comenzilor mașinilor și a mașinilor de bobinat a rezultat a fi cea mai ieftină opțiune.

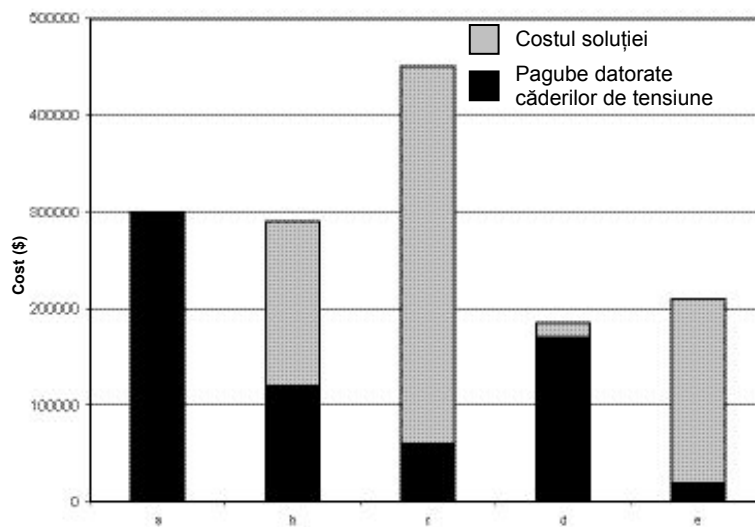


Fig. 8 Costuri pentru diferite opțiuni în studiul de caz realizat de Electrotek [2]

- a) Cazul de bază – fără schimbări b) Întreruptor static în circuitul primar
c) Sursă de rezervă la intrare (2 MVA) d) Protecția sistemului de comandă și control și a mașinilor de bobinat
e) Schemă combinată cu întreruptor static și protecția sistemului de comandă și control

Căderi de tensiune în procesele continue

Concluzii

Pe baza studiului de caz realizat pentru o fabrică de textile din Belgia, această secțiune dă linii directe cum să se elaboreze un studiu de caz pentru căderi de tensiune. Trebuie culese informații din procesul de producție, trebuie cunoscută imunitatea la căderi de tensiune, pierderile financiare datorate întreruperii procesului și date privind numărul anual de căderi de tensiune. Dacă aceste informații sunt obținute, pot fi analizate posibilitățile de reducere a costurilor aferente. Aceste posibilități pot fi clasificate în trei grupe:

- ◆ în însăși interiorul procesului;
- ◆ între proces și rețeaua de alimentare;
- ◆ în rețeaua de alimentare.

Imunizarea între proces și rețeaua de alimentare se poate aplica în orice situație, în timp ce posibilitatea de imunizare în cadrul procesului sau în cadrul rețelei de alimentare trebuie studiate separat în fiecare caz în parte.

În studiul nostru de caz a rezultat că opțiunile de imunizare în cadrul procesului nu erau posibile, opțiunile de imunizare între proces și rețeaua de alimentare au rezultat ca fiind prea scumpe, restructurarea rețelei electrice fiind singura opțiune viabilă economic. Un alt studiu de caz pentru un proces de extrudare a plasticului, realizat la Electrotek Concepts, a aratat că protecția comenzilor și a mașinilor de bobinat este opțiunea cea mai eficientă economic.

Din studiile de caz menționate mai sus și din discuții cu fabricanții mașinilor de extrudare, s-au conturat câteva concluzii suplimentare interesante:

- ◆ Produsele standard ale fabricanților de mașini de extrudare asigură cu foarte mare greutate o imunitate la căderi de tensiune peste nivelul impus de reglementările legale obligatorii.
- ◆ Retehnologizarea liniilor de extrudare a fibrelor de textile după instalarea lor este uneori posibilă. De aceea, noi recomandăm utilizatorilor de mașini de extrudare a fibrelor de textile să ia legătura cu furnizorul lor de energie electrică și/sau operatorul de rețea cu privire la numărul și caracteristicile căderilor de tensiune din ultimii câțiva ani. Pe baza acestei informații, ei pot să instaleze mașini cu imunitate corespunzătoare la căderile de tensiune în loc să cumpere unele care au o toleranță mică sau deloc la căderile de tensiune.

Bibliografie

- [1] D Dorr, M Hughes et al, 1997; *Interpreting recent power quality surveys to define the electrical environment*; IEEE transactions on industry applications vol. 33 no. 6 pp. 1480-1487
- [2] M McGranaghan, C Melhorn, 1998; *Economics of different plant ride-through improvement solutions for power system problems*; *The Machinery Reliability Conference, Charlotte, USA*
(<http://www.pqstore.com/supp/pdf/RideThroughImprovementSolutions.pdf>)
- [3] W Brumsickle, R Schneider et al. 2001; *Dynamic Sag Correctors: cost-effective industrial power line conditioning*; IEEE Transactions on Industry Applications, vol.37, no.1, Jan/Feb 2001, pp.212-217
- [4] R Epperly, F Hoadley, R Piefer, 1997; *Considerations when applying ASDs in continuous processes*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no.2, March 1997, pp.389-396
- [5] R Dugan, M McGranaghan, H Beaty, 1996; *Electrical Power Systems Quality*; McGraw-Hill, Knoxville, USA
- [6] L Morgan, J Dougherty 2001; *Embedded energy solutions in CNC-Machines, PQA 2001*, Pittsburgh
- [7] A Van Zyl, R Spee, A Faveluke, S Bhowmik, 1998; *Voltage sag ride-through for adjustable speed drives with active rectifiers*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, No. 6, Nov/Dec
- [8] M Bollen, 1999; *Understanding power quality problems, voltage sags and interruptions*; IEEE press series on power engineering, Piscataway, USA (ISBN 0-7803-4713-7)
- [9] VDEW, 1994; *Technische Richtlinie, 'Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens'*

Parteneri de Referință & Fondatori*

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Provinciale Industriële Hogeschool (PIH) Web: www.pih.be
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) www-citcea.upc.es	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	Università di Bergamo* www.unibg.it
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	International Union for Electrotechnology Applications (UIE) www.ue.org	University of Bath www.bath.ac.uk
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) www.umist.ac.uk
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) Web: www.etsii.upm.es	

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
Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Gregory Delaere	Lemcko	gregory.delaere@howest.be
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
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Reiner Kreutzer	HTW	rkreutzer@htw-saarland.de
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
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN

University of Leuven, Energy Institute
Celestijnenlaan 300a
3001 Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 25 08
Fax: 00 32 16 32 29 85
Email
marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
Web: www.kuleuven.ac.be

Dipl-Ing Marcel Didden



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

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