

Curs 2_2

Problema calității energiei electrice

Energia electrică este probabil cea mai importantă materie primă utilizată astăzi în comerț și industrie. Este un produs cu un caracter deosebit deoarece trebuie să constituie un flux continuu – nu poate fi stocat în cantități mari și nu poate face subiectul unui control al calității înainte de a fi utilizat. Este – de fapt – rezumatul filozofiei “*exact la timp*”, în care componentele sunt livrate unei linii de producție în punctul și la momentul în care se utilizează, de către un furnizor verificat și aprobat, fără cerințe de verificare a calității. Pentru ca principiul “*just in time*” (JIT) să aibă succes este necesar să existe un control bun al specificației componentelor, o încredere absolută că furnizorul poate produce și furniza acest produs la timp, cunoașterea comportării generale a produsului și a limitelor sale.

Pentru energia electrică situația este similară: trebuie să fie cunoscută siguranța în alimentare și trebuie înțeleasă capacitatea de revenire a procesului la perturbații. Desigur, în realitate, electricitatea este diferită de orice alt produs – ea este generată departe de punctul de consum, rețeaua este alimentată de un ansamblu de multe generatoare și ajunge la punctul de consum prin mai multe transformatoare și mulți kilometri de linie aeriană și posibil prin rețea de cabluri subterane. După privatizarea industriei, aceste rețele vor fi achiziționate și deveni proprietate privată, managementul și mentenanța fiind realizate de un număr oarecare de organizații.

Importanța economică a CEE poate fi cuantificată. Potrivit datelor EPRI (Electric Power Research Institute) problemele de CEE și întreruperile în alimentarea cu energie electrică costă, în SUA peste 119 miliarde/an.

Sarcina de a asigura calitatea energiei livrate în punctul de consum nu este una ușoară – și nu există nici o cale ca energia electrică ce nu respectă standardele să fie retrasă din lanțul de alimentare sau refuzată de către consumator.

Din punctul de vedere al consumatorului problema este și mai dificilă. Există unele limite statistic admisibile pentru calitatea energiei electrice livrată, dar nivelul de calitate acceptabil perceput de furnizor (și de reglementatorul industriei) poate fi diferit de cel necesar sau poate dorit de consumator. Defectele de calitate cele mai evidente sunt întreruperile complete (care pot fi de la câteva secunde la câteva ore) și golurile de tensiune în care tensiunea atinge o valoare redusă pentru scurtă durată. Evident, întreruperile de lungă durată constituie o problemă pentru toți consumatorii, dar multe operații sunt foarte sensibile chiar și la întreruperi foarte scurte. Exemple de operații sensibile sunt:

- Operații cu flux (proces) continuu, în care întreruperile scurte pot conduce la desincronizări în instalație și rezultă un volum mare de produs semifabricat. Un exemplu tipic îl constituie industria hârtiei unde operația de curățire (pentru reluarea procesului) este lungă și costisitoare.
- Operații succesive și continui, în multe trepte, unde o întrerupere în cursul unui proces poate distruge valoarea operațiilor anterioare. Un exemplu de acest tip este industria semiconductoarelor, unde producția unui wafer (plachete de semiconductoare) necesită o duzină de procese realizate în mai multe zile și întreruperea unui singur proces este catastrofală.
- Procesarea datelor unde valoarea tranzacției este ridicată, dar costul procesării este scăzut, ca în activitățile de schimb de acțiuni sau de schimb valutar. Imposibilitatea de a negocia poate conduce la pierderi mari care depășesc cu mult costul operației.

Într-un exemplu recent s-a cerut o compensație de 15 milioane EURO ca rezultat al unei întreruperi de 20 minute.

Aceste exemple se referă la cele mai sensibile industrii, dar este surprinzător câte operații, aparent banale, au cerințe de alimentare cu energie electrică cât se poate de critice.

Exemplele includ unitățile mari de desfacere cu amănuntul, cu puncte de vânzare informatizate și echipamente de gestiune a stocurilor, precum și întreprinderi de fabricație cu control distribuit.

Deci, ce trebuie înțeles prin calitatea energiei electrice? **O alimentare perfectă cu energie electrică este aceea care este întotdeauna disponibilă, întotdeauna cu tensiunea și frecvența în limitele admisibile și cu o curbă de tensiune perfect sinusoidală, fără „zgomote”.** Nivelul exact al abaterilor de la alimentarea perfectă, care pot fi admise, depinde de aplicația utilizatorului, de tipul de echipament instalat și de percepția sa asupra condițiilor necesare.

„Defectele” alimentării cu energie electrică – abaterile de la perfecțiune – se încadrează în cinci categorii:

Distorsiune armonică

Întreruperi (totale)

Tensiune sub sau peste valorile admisibile

Goluri și variații

Fenomene tranzitorii

Fiecare dintre aceste probleme ale calității energiei electrice are o altă cauză. Unele probleme sunt rezultatul partiționării infrastructurii. De exemplu, un incident în rețea poate conduce la un gol care să aibă un efect asupra unor consumatori, iar un incident la un nivel mai ridicat poate afecta un număr mare de consumatori. Un incident în instalațiile unui consumator poate să conducă la un fenomen tranzitoriu care afectează toți ceilalți consumatori conectați în același subsistem. Alte probleme, ca armonicile, apar din instalațiile proprii ale consumatorului și se pot propaga sau nu în rețea și astfel să afecteze și alți consumatori. Problemele legate de armonici pot fi eliminate printr-o combinație a unei bune concepții a instalației și prevederea unor echipamente de limitare adecvate.

Furnizorii de energie electrică argumentează că, consumatorii „sensibili” trebuie să suporte ei înșiși costurile pentru asigurarea calității energiei electrice în loc să aștepte ca furnizorii să asigure o alimentare foarte sigură pentru fiecare consumator din orice punct al rețelei.

Garantarea unei astfel de calități a alimentării ar cere investiții deosebit de mari în rețea în beneficiul unui număr relativ redus de consumatori (ca număr, nu din punct de vedere al consumului) și ar fi neeconomic. Este de asemenea îndoielnic dacă ar fi tehnic posibil în condițiile actuale, sociale și legale, în care orice consumator este autorizat să fie conectat la sursă și un constructor are dreptul de a escava drumuri cu riscul de a deteriora cabluri.

Condițiile atmosferice, ca vântul puternic sau ploile reci, conduc frecvent la deteriorări ale liniilor aeriene care, în aceste condiții, sunt greu de reparat și necesită durate mari până la repunerea în funcțiune. Este deci responsabilitatea consumatorului să ia măsuri să se asigure că *energia livrată pentru procesul său are o calitate* suficient de bună, fiind conștient însă de faptul că alimentarea ar putea avea o calitate mult mai ridicată decât cea *livrată instalației* de către furnizor.

Există o varietate de soluții ingineresti capabile să elimine sau să reducă efectele problemelor de calitate a alimentării și este un domeniu foarte activ de inovare și dezvoltare.

Astfel, consumatorii trebuie informați de evantaiul de soluții disponibile și avantajele și costurile aferente. Următoarele secțiuni ale cursului prezintă problemele particulare și soluțiile disponibile.

Utilizatorii se confruntă cu necesitatea de a lua decizii relativ la proiectul unor investiții privind tipul și cantitatea echipamentelor suplimentare pentru a obține calitatea necesară a alimentării. Din păcate, unele informații vitale lipsesc – întinderea și gravitatea problemelor de calitate a energiei electrice care ar putea apărea într-o locație oarecare sunt în mare măsură necunoscute. Deoarece sunt atât de puține statistici publicate este foarte greu pentru consumatori să stabilească costul incidentelor și să justifice costul măsurilor preventive.

În Regatul Unit, spre exemplu, unicele date disponibile dau numărul și durata medie a întreruperilor mai lungi de un minut, datorate furnizorului. În medie, pentru 1998/9, fiecare consumator a avut aproximativ o întrerupere de până la 100 minute la fiecare 15 luni reprezentând o disponibilitate de 99,98%.

Din păcate, cele 0,02% creează probleme. Performanțele raportate de cei mai mulți furnizori, referitoare la această perioadă, includ rezultate dintre cele mai bune și cele mai slabe, reprezentând variații între 50% și 200% față de media situației curente, probabil considerând că acest lucru este maximul ce se poate obține din punct de vedere economic. Trebuie reamintit că aceste cifre se referă numai la întreruperi de peste un minut și rămâne necunoscut, dar mare, numărul întreruperilor de ordinul 0,1 s până la 5 s. Efectele cauzate de una dintre aceste întreruperi pot fi la fel de costisitoare ca o întrerupere de o oră.

Problema întreruperilor scurte și a golurilor de tensiune scoate în evidență *diferența dintre punctele de vedere ale consumatorului și furnizorului*. Există prin definiție evenimente pe termen scurt, astfel încât cel puțin aici este instalată o monitorizare permanentă deoarece existența acestor evenimente este altfel greu de dovedit. Este încă și mai greu să atribuie o pierdere economică unui astfel de eveniment. *Industria energiei electrice are tendințe de a evalua întreruperile în raport cu costul energiei electrice aferente nelivrată, în timp ce consumatorul o evaluează în raport cu pierderile în producție datorate întreruperii*. Energia electrică este relativ ieftină, iar întreruperile relativ scurte, în timp ce pierderile în producție pot fi foarte importante (ca de exemplu în cazul semiconductoarelor) și durata de indisponibilitate pentru pregătirea instalațiilor în vederea reluării producției este foarte mare (ca în cazul industriei de fabricare a hârtiei). Cele două părți au deci puncte de vedere total diferite privind importanța golurilor de tensiune și nivelul justificat al investițiilor în echipamentele de limitare a acestora.

Întreruperile de lungă durată – deconectările – sunt considerate uzual ca fiind datorate furnizorului, dar pot fi datorate și defectării echipamentelor, conductoarelor sau conexiunilor locale. O proiectare atentă utilizând soluții cu o fiabilitate ridicată poate minimiza aceste efecte. Obiectivul este de a identifica punctele în care pot să apară întreruperi și acestea să fie eliminate prevăzând echipamente de rezervă (redundante) sau căi alternative de alimentare, astfel ca activitatea să poată continua în cazul unui singur incident. Sistemele proiectate în acest mod sunt mai ușor de întreținut și ca rezultat sunt mai bine întreținute. Este important ca procedurile de mentenanță să fie dezvoltate încă în prima etapă, ca o parte a conceptului de siguranță proiectată. Sursele de rezervă și sistemele UPS, necesare pentru a acoperi întreruperile de scurtă și lungă durată, sunt elemente esențiale pentru un sistem capabil să facă față variațiilor în alimentarea cu energie electrică.

În timp ce majoritatea golurilor de tensiune și a întreruperilor își au originea în sistemul de transport și distribuție și sunt în responsabilitatea furnizorului, problemele armonicilor sunt în principal în responsabilitatea consumatorului. Curenții armonici creează probleme în instalații și când acești curenți circulă înapoi prin impedanța căii de alimentare, în punctul comun de cuplare apare o tensiune armonică. Această distorsiune a tensiunii sau cel puțin unele din componentele ei, sunt transmise în întreg sistemul și se sumează cu fondul de armonici (background) de tensiune, prezent în orice sistem de transport (de exemplu, datorită

neliniarității transformatorului). Limitând curenții armonici pe care consumatorii îi pot emite, se poate menține nivelul de distorsiune a tensiunii la alimentare în limite acceptabile.

Determinarea sursei de armonici poate fi dificilă și acest lucru determină adesea consumatorul să acuze furnizorul pentru această problemă. În fapt, este neuzual ca problemele datorate armonicilor să apară într-o instalație din cauze externe – cauza este cel mai adesea datorită echipamentelor locale și a modului lor de utilizare.

Perturbațiile tranzitorii sunt evenimente cu o frecvență ridicată cu o durată mult mai mică decât o perioadă a tensiunii de alimentare. Cauzele includ comutații sau căderi de trăsnete în rețea, precum și comutații ale sarcinii reactive la consumator sau la alți consumatori conectați pe același circuit. Perturbațiile tranzitorii pot avea amplitudini de câteva mii de volți și pot cauza deteriorări serioase atât instalației, cât și echipamentelor conectate la aceasta. Furnizorii de energie electrică și companiile de telecomunicații fac eforturi să se asigure că instalațiile lor nu permit propagarea de perturbații tranzitorii periculoase (care pot produce daune) în instalațiile consumatorului. Totuși, perturbații tranzitorii considerate nepericuloase pot determina pagube importante prin afectarea datelor. Apariția și efectele regimurilor tranzitorii sunt în mare măsură limitate și eficiența sistemelor de protecție care este sporită dacă este realizat un sistem de legare la pământ cu o fiabilitate ridicată. Un astfel de sistem de legare la pământ va avea multiple legări la pământ și multiple căi de legare la pământ în orice punct, care să asigure o integritate ridicată și o impedanță redusă într-o bandă largă de frecvență.

Aspectele privind calitatea energiei electrice pun proiectanților multe probleme, probabil cea mai importantă fiind “*Cât de bun este destul de bun?*”. La această întrebare este imposibil de răspuns. Dacă este relativ simplu să cuantifici comportarea unui anumit element al unui echipament la golurile de tensiune, determinarea incidenței unui probabil gol de tensiune într-o anumită locație, în sistemul de alimentare, este cu mult mai dificilă; situația se va modifica în timp, pe măsură ce se vor adăuga noi consumatori și unii existenți vor fi înlocuiți. Este extrem de greu să se colecteze date mediate privind sensibilitatea echipamentului la distorsiunea armonică de tensiune și chiar la distorsiunea armonică de curent cauzate de echipament. Problema reală este de compatibilitate între echipament și alimentare.

Există în prezent unele standarde internaționale care fixează limitele pentru variațiile de tensiune și distorsiune armonică sub care echipamentul ar trebui să funcționeze fără eroare.

Similar există limite standardizate pentru variațiile de tensiune și distorsiunea armonică pentru tensiunea de alimentare. Ideal, ar trebui să existe o bandă de rezervă – o limită de siguranță – între cele două limite dar, deoarece este greu de măsurat continuu calitatea alimentării, limitele pentru alimentare sunt date în termeni statistici și nu ca limite fixe.

Asigurarea unei calități bune a energiei electrice necesită o proiectare inițială bună, un echipament de corectare eficient, cooperarea cu furnizorul, monitorizarea frecventă și o mentenanță bună. Cu alte cuvinte necesită o abordare completă și o bună înțelegere a principiilor și a practicilor de îmbunătățire a calității energiei electrice.

Lista problemelor CEE este surprinzător de lungă. Problemele privind CEE sunt complexe și, de multe ori, este necesară o echipă de specialiști pentru a le identifica, a stabili cauzele și a oferi soluții. Simptome similare, ca de exemplu încălzirea echipamentelor, pot avea diferite cauze (armonici, nesimetrii, suprasarcini) și fiecare necesită o soluție diferită.

Când apar probleme de CEE ?

Dacă apar sau nu probleme de calitate a energiei electrice depinde de:

- ! calitatea tensiunii la barele de alimentare ale furnizorului;
- ! tipul sarcinii electrice în instalații.;

și susceptibilitatea/sensibilitatea echipamentului la diferitele tipuri de perturbații.

Nu există o singură soluție, general aplicabilă. O soluție optimă tehnic și economic poate fi necesară pentru fiecare locație, luând în considerare interconționarea celor trei factori de mai sus. Aceste soluții nu se adresează strict furnizorului de energie electrică, ci se focalizează asupra acelor aspecte de calitate a energiei electrice care sunt sub controlul operatorului local.

Probleme tipice

Următoarea listă oferă o vedere de ansamblu a celor mai frecvente probleme de calitate a energiei electrice care pot să apară. Conform unor studii realizate în anul 2001, în 1400 locații din 8 țări, *fiecare locație din Europa are o probabilitate de 5... 20% de a fi afectată de una sau mai multe dintre problemele listate.* În mod tipic, jumătate dintre locațiile din industria energo-intensivă sau clădirile cu sarcini critice sunt afectate de două sau mai multe probleme. Foarte puține locații nu sunt afectate de perturbații (a se vedea fig. 1).

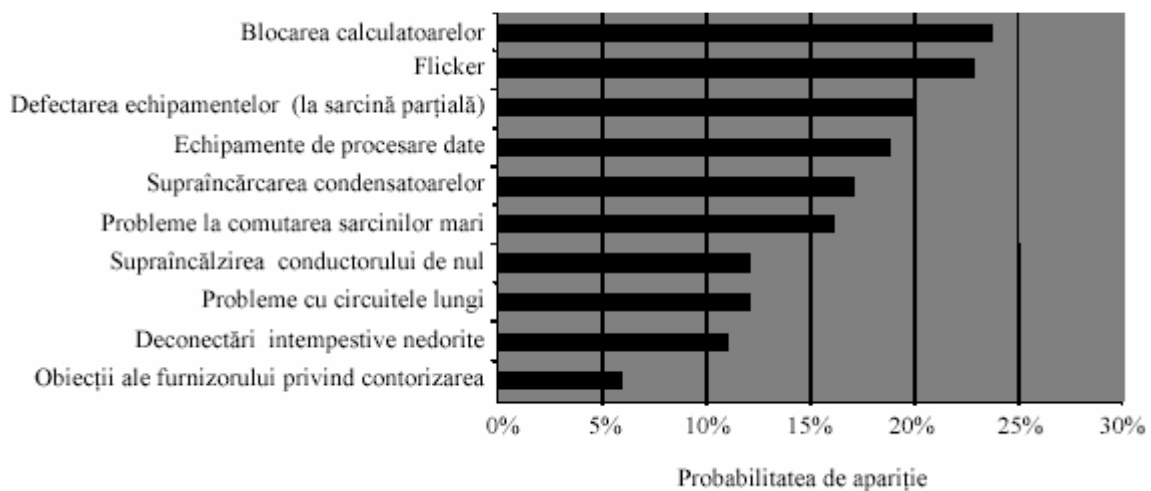


Figura 1 - Cele mai relevante probleme CEE, determinate la 1400 locații din 8 țări

Desigur că o calitate redusă a energiei electrice nu este cauza apariției oricărei probleme din listă. De exemplu, blocarea calculatoarelor poate fi legată de software. În plus, atribuirea originii unei probleme unor cauze apărute înainte de contor (ceea ce înseamnă de partea furnizorului față de punctul comun de cuplare (PCC)) sau după contor (ceea ce înseamnă de partea consumatorului față de PCC) este de multe ori dificil de făcut fără măsurători și analize detaliate.

Blocarea calculatoarelor

Curenții în circuitul de pământ, care rezultă în echipament, conduc la apariția unei diferențe de potențial între echipament și pământul adevărat. Deși redusă, această tensiune perturbatoare poate fi semnificativă în raport cu nivelul semnalelor (având câțiva volți) cu care lucrează echipamentele informatice (IT). Partea de hardware a calculatoarelor este proiectată să minimizeze susceptibilitatea la aceste tipuri de perturbații, care însă nu pot fi complet eliminate, în special datorită faptului că acestea sunt din ce în ce mai frecvente. Protocoalele moderne de comunicație cuprind algoritme de detecție și corectare a erorilor, necesitând o retransmisie a datelor eronate și în consecință, reducând viteza de transfer a datelor. Ca rezultat, calculatorul devine mai lent sau se blochează, un fenomen frecvent în birourile actuale.

În rețelele TN-C, conductorul comun de nul de lucru și de nul de protecție este parcurs în mod permanent de curent electric, determinând o cădere de tensiune. Pământul de referință

al diferitelor calculatoare de la diferitele etaje nu mai are același potențial. De exemplu, curenții circulă prin ecranele cablurilor de date, conectate la pământ la ambele capete din considerente de EMC.

Pâlpâirea ecranelor

Curenții de armonică 3 se însumează în conductorul de nul. În configurațiile TN-C conductorul de nul de lucru și de nul de protecție sunt combinate și conectate în multe puncte la structura clădirii. Ca rezultat, curentul de nul de întoarcere poate circula oriunde prin structura metalică a clădirii, determinând câmpuri magnetice necontrolate și necontrolabile. În cazuri extreme, aceste câmpuri determină pâlpâirea monitoarelor calculatoarelor. Curentul de nul trebuie să ajungă întotdeauna în punctul comun de cuplare utilizând un conductor separat ca în sistemele TN-S și TN-C-S. De fapt, practica de a avea o singură legătură între conductorul de nul și pământ, într-un singur punct al instalației îmbunătățește condițiile de siguranță și compatibilitate electromagnetică.

Pâlpâirea iluminatului

Variațiile de scurtă durată ale tensiunii, determinate de comutații, scurtcircuite și comutări de sarcină pot conduce la pâlpâirea iluminatului electric. Amplitudinea admisă a flickerului este reglementată de Standardele Internaționale, bazate pe criteriul percepției. Un nivel excesiv de flicker poate determina migrene și este responsabil, în unele cazuri, de așa numitul „sindrom rău de casă - *sick building syndrome*” .

Supraîncălzirea transformatoarelor la sarcini moderate

Armonicile determină pierderi suplimentare în transformatoare. Atunci când un transformator este aproape de sarcina maximă, aceste pierderi pot conduce la defecte timpurii determinate de supraîncălzire și la apariția de puncte calde în înfășurare. Având în vedere tendința actuală de a lucra cu echipamentul aproape de limita de funcționare, prin creșterea poluării armonice în rețelele de joasă tensiune, această problemă apare din ce în ce mai frecvent.

Pierderile în transformator sunt date de pierderile datorate fluxurilor magnetice de dispersie în circuitul magnetic, de pierderile prin curenți turbionari și de pierderile rezistive în înfășurări. Dintre acestea, pierderile prin curenți turbionari ridică cele mai mari probleme în prezența armonicilor, deoarece cresc aproximativ cu pătratul frecvenței. Pentru o sarcină tipică complexă a unei clădiri, pierderile prin curenți turbionari pot să ajungă de 9 ori mai mari față de cele de proiect, dublând aproximativ pierderile determinate de sarcina totală.

Pentru a determina pierderile suplimentare este necesar a cunoaște spectrul armonic al curentului de sarcină.

Motoarele de inducție

Tensiunile armonice pot determina pierderi în motoarele cu inducție (asincrone) conectate direct la rețea.

Armonica de rang 5 generează un câmp învârtitor invers, pe când armonica de rang 7 generează un câmp învârtitor suprapus peste viteza de rotație sincronă a motorului. Pulsațiile cuplului rezultat determină uzura și fisurarea elementelor de cuplare și a rulmenților. Deoarece viteza de rotație este fixă, energia corespunzătoare acestor armonici se disipă sub formă de căldură suplimentară, rezultând o îmbătrânire prematură. De asemenea, armonicile de curent induse în rotor determină o încălzire suplimentară. Încălzirea suplimentară reduce spațiul de aer dintre rotor și stator, reducându-se și mai mult eficiența.

Echipele pentru viteză variabilă determină problemele lor proprii. Tendința lor de susceptibilitate la goluri de tensiune, poate conduce la dereglarea sincronizării proceselor

la liniile de fabricație. Acestea sunt, de multe ori, plasate la o oarecare distanță de motor și determină vârfuri de tensiune la bornele motorului datorită pantelor abrupte ale tensiunii de ieșire.

Un caz special poate să apară la repornirea după un gol de tensiune atunci când motorul este încărcat în mod normal aproape de sarcina maximă. Căldura suplimentară determinată de curentul de pornire poate conduce la avarierea motorului. Dimensionarea optimă a motorului trebuie să ia în considerare:

- ca motorul să fie astfel utilizat încât să funcționeze la eficiență maximă la circa 70% din sarcina nominală;
- frecvența golurilor de tensiune și intervalul de timp până la repunerea în funcțiune a motorului.

Supraîncălzirea conductoarelor datorată efectului pelicular

Toate armonicile determină pierderi suplimentare în conductoarele de fază. Efectul pelicular, care este neglijabil la 50 Hz, începe să aibă importanță de la 350 Hz (armonica de rang 7) și mai sus. De exemplu, un conductor cu diametrul de 20 mm are o rezistență electrică aparentă cu 60 % mai mare față de rezistența sa la tensiune continuă. Creșterea rezistenței, dar și mai mult creșterea reactanței (odată cu creșterea frecvenței), conduc la creșterea căderilor de tensiune și la creșterea distorsiunii curbei de tensiune.

Funcționarea corectă a echipamentelor pentru controlul proceselor

Distorsiunile armonice importante pot determina treceri adiționale prin zero pe durata unei perioade a curbei, afectând astfel echipamentele de măsurare sensibile. Sincronizarea echipamentelor de control a proceselor în cazul proceselor continue poate fi perturbată, iar sistemele de prelucrare a datelor pot să se blocheze.

Congestia rețelelor de transfer de date

Curenții de punere la pământ determină căderi reduse de tensiune în conductoarele de legare la pământ. Într-un sistem TN-C, conductorul comun pentru nul de lucru și nul de protecție este parcurs în mod permanent de un curent semnificativ, în special de armonici de rang multiplu de 3. Având în vedere utilizarea în creștere a semnalelor de tensiune redusă în echipamentele informatice, crește eroarea de bit, până la punctul în care întregul sistem se blochează. Dintr-un motiv inexplicabil, rețeaua se blochează, nu mai funcționează serviciul e-mail și mult timp nu mai este posibil de a tipări ceva ...

Probleme cu echipamentele pentru corecția factorului de putere

Frecvențele armonice pot să coincidă cu frecvențele de rezonanță ale circuitului comun ce cuprinde inductivitățile de scăpări și echipamentul pentru corecția factorului de putere (PFC - *power factor correction*), determinând tensiuni și curenți excesivi și conducând la avarii premature. În plus, ca o problemă generală, instrumentele de măsurare nu pot să măsoare corect încărcarea PFC, deoarece acestea nu măsoară corect componența armonică a curentului.

Probleme cu linii specifice (lungi) sau la comutarea sarcinilor mari

Circuitele lungi înseamnă impedanțe mari, ceea ce conduce la importante distorsiuni armonice la curenții de pornire, de exemplu atunci când un motor mare este pornit sau când este conectat un calculator. Armonicile de curent generate de echipamentele pentru viteză variabilă sau sursele în comutație, plasate la sfârșitul liniilor de lungime mare, determină o ridicată distorsiune armonică a tensiunii. Din acest motiv, pentru a reduce căderile de tensiune, se utilizează secțiuni de arie mare la liniile electrice de lungime mare. Ca beneficiu

colateral, creșterea ariei secțiunii conductoarelor conduce la pierderi mai reduse. Atunci când încărcarea este peste 3000 ore pe an, recuperarea economică poate fi foarte scurtă.

Suprîncărcarea conductorului de nul

Circuitele trifazate cuprind trei conductoare active și conductor de întoarcere, prin care circulă curentul de nesimetrie între cele trei faze. Deoarece armonicile de rang multiplu de trei se sumează, conductorul de nul este parcurs de un curent semnificativ. Deoarece în trecut cele mai multe dintre conductoarele de nul aveau o secțiune cu arie înjumătățită, situația poate deveni critică, atunci când conductorul de fază nu lucrează suficient de departe de sarcina maximă.

Funcționarea nedorită a aparatelor de protecție

Curentul de pornire poate conduce la deconectarea întreruptoarelor. Întreruptorul ar putea să nu însumeze corect curentul fundamental și curenții de diferite armonici și poate să conducă la o deconectare eronată și chiar să nu deconecteze atunci când este necesar. Curenții de scurgere pot atinge un prag la care echipamentele de protecție la curent rezidual (DDR) să deconecteze.

Remediile pentru evitarea deconectărilor eronate nu trebuie să compromită măsurile de protecție ale personalului din zonă. Soluția generală constă în reducerea curentului de pornire și a curenților de scurgere, prin divizarea echipamentului în mai multe circuite, fiecare circuit alimentând o sarcină mai redusă. Trebuie să fie utilizate întreruptoare special dimensionate, care pot face față armonicilor. Creșterea secțiunii conductoarelor nu este niciodată o soluție corectă.

Cerințele furnizorului privind armonicile care afectează alimentarea

Nu sunt mulți furnizori (până acum) care iau în considerare costurile pentru poluarea armonică, așa cum se face în mod curent pentru puterea reactivă. Totuși, în viitor pot să înceapă să facă acest lucru, deoarece armonicile conduc la o exploatare suboptimală a sistemului de distribuție a energiei electrice.

Soluții

Lista soluțiilor posibile pentru rezolvarea problemelor de calitate a energiei electrice este lungă și incompletă. În figura 2 sunt prezentate soluțiile pentru problemele de calitate a energiei electrice adoptate, relativ la 1400 locații din 8 țări.

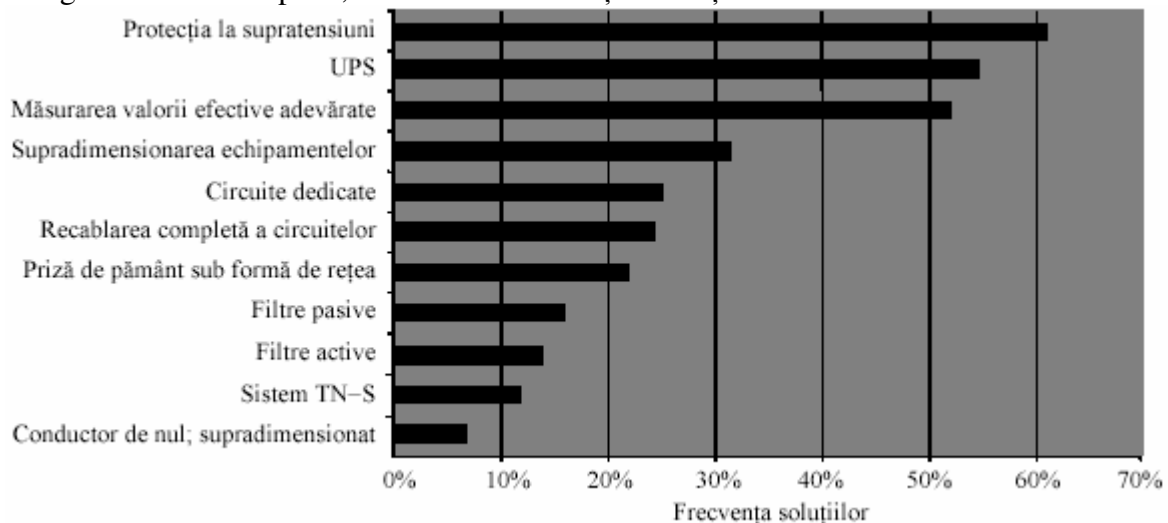


Figura 2 - Cele mai frecvente soluții pentru probleme de calitate a energiei electrice, în procente, din

datele din 1400 locații din 8 țări

Este important de subliniat faptul că nu sunt singurele soluții pentru problemele de calitate a energiei electrice. Pentru orice tip de problemă, există o gamă de posibile mijloace de limitare. În realitate, există probabilitatea ca unele probleme să coexiste, iar soluțiile adoptate trebuie să fie compatibile cu fiecare dintre ele și cu sarcinile incluse în instalație.

Proiectanții trebuie totdeauna să caute un complex optim de soluții pentru problemele care apar în exploatare sau care ar putea să apară în viitor cu privire la instalația respectivă. Aceste soluții trebuie să fie robuste.

Este de asemenea important de reținut faptul că sarcinile electrice nu sunt statice. Modificările pe durata de serviciu a echipamentului și variațiile în comenzile de producție conduc la o modificare permanentă a structurii sarcinii. O clădire mare cu birouri, de exemplu, poate avea sute de mutări pe an, astfel încât mediul armonic - spectrul agregat al armonicilor de curent - în instalație se modifică permanent. Profilul armonic al echipamentelor informatice nu se mediază ci se adună, în special pentru armonicile importante de rang 3 și 5. Funcționarea echipamentelor cu ciclu scurt de lucru, ca de exemplu, lifturile sau echipamentele de prelucrare a metalului (a se vedea locația proprie sau locația vecină) determină variații locale de tensiune care se adună la cele care rezultă în sistemul de distribuție. În consecință, problemele de calitate a energiei electrice au deseori caracter statistic și impun o monitorizare atentă pentru a le defini complet.

Costul problemelor de calitate a energiei electrice, determinat de pierderi datorate întreruperilor variază în limite largi în funcție de tipul de industrie. Totuși, costul mijloacelor de limitare, de multe ori corespund criteriilor de recuperare a investițiilor în industrie și societăți comerciale, durata de recuperare fiind de 2 ... 3 ani. Desigur, costul mijloacelor de prevenire - de evitare a problemelor încă din stadiul inițial de proiectare - este de 10 ... 20% din costul implementării mijloacelor de limitare într-o instalație în funcțiune.

Din păcate, pentru clădirile în stadiul de proiect, natura și locul sarcinilor finale sunt în general necunoscute, astfel încât problemele potențiale de calitate a energiei electrice și costurile asociate sunt dificil de cuantificat. Investițiile în soluții privind calitatea energiei electrice în cazul clădirilor de afaceri pot reprezenta o adevărată provocare. În viitor, inginerii vor fi în stare să prevadă în mod veridic dimensiunea problemelor și vor avea experiența practică de a le rezolva. În același timp, probabil că proprietarii clădirilor vor realiza faptul că prevenirea este totdeauna mai ieftină decât remedierea.

Protecția la supratensiuni

Este prima măsură care trebuie adoptată în practică.

UPS (surse neîntreruptibile)

Sunt foarte puține locații care cuprind o mare cantitate de echipamente IT sau de control al proceselor și care nu au unele tipuri de UPS. Acestea se pot întinde de la una sau mai multe unități de putere mică, ce asigură protecția calculatoarelor individuale până la unități centrale mari cu putere normată până la 1 MVA. Strategia privind utilizarea UPS trebuie să fie bine gândită deoarece energia din UPS este o energie stocată și la realizarea acesteia rezultă substanțiale pierderi suplimentare. Aceasta este scumpă și trebuie să fie utilizată în mod selectiv. Cea mai economică soluție constă în utilizarea UPS numai pentru alimentarea serverelor, echipamentelor de control al proceselor și a echipamentelor de siguranță, pe o durată suficientă pentru a permite o oprire controlată și/sau evacuarea - astfel rămânând nealimentate calculatoarele din rețea și echipamentele auxiliare. La celălalt capăt al spectrului, UPS poate fi dimensionat pentru a asigura practic întreaga funcționalitate pentru durata necesară pentru punerea în funcțiune a sursei de intervenție. În cele mai multe situații, soluția optimă este undeva între aceste două extreme.

Generator de intervenție

Din cauza întârzierii la pornire, generatorul de intervenție este în a doua linie de protecție la o întrerupere în alimentare. Acest echipament poate să asigure alimentarea unei mari părți a sarcinii, pe un interval mare de timp.

Măsurarea valorii efective adevărate

Măsurarea înseamnă cunoaștere. Valoarea efectivă adevărată poate fi semnificativ mai mare decât valoarea incorect măsurată cu ajutorul unui aparat de valoare medie. Din fericire, cele mai multe dintre locațiile analizate au în dotare aparate de valoare efectivă adevărată. Totuși, pentru a fi siguri este necesar ca toate instrumentele de măsurare să fie de valoare efectivă adevărată.

Subîncărcarea transformatoarelor

Practica subîncărcării transformatoarelor în cazul sarcinilor cu armonici este bine documentată, în standardul CEI 61378-1 „Transformatoare pentru aplicații industriale”, dar este încă puțin înțeleasă. Trebuie reținut faptul că energia termică suplimentară determinată de poluarea armonică poate conduce la o spectaculoasă reducere a duratei de viață. Utilizarea unui transformator dimensionat pentru factorul K, special pentru a rezista la sarcini cu armonici, este de preferat față de subîncărcarea transformatorului, deoarece transformatorul dimensionat pentru factorul K este proiectat să aibă pierderi prin curenți turbionari reduse.

Transformatorul subîncărcat are pierderi mari - el este pur și simplu supradimensionat, astfel încât pierderile care rezultă să poată fi disipate. La nivel practic este dificil de a menține subîncărcarea transformatorului pe durata sa de viață - dacă sarcina crește problema subîncărcării va fi uitată și transformatorul poate ajunge să fie puternic supraîncărcat.

Subîncărcarea motoarelor

Nesimetria de tensiune și armonicile de tensiune determină pierderi suplimentare în motoarele electrice, astfel că un motor nu poate fi încărcat complet până la sarcina normată. NEMA (National Electrical Manufacturers Association) oferă unele indicații cât trebuie să fie subîncărcat motorul în prezența armonicilor de tensiune.

Motoarele de eficiență ridicată (clasa A de eficiență) economisesc nu numai energie și în acest fel și bani, dar sunt și mult mai robuste la problemele menționate mai înainte. Prin utilizarea de material mai mult și mai bun, sunt mai reci în funcționare și sunt astfel mai adecvate să transfere căldura suplimentară generată de armonici sau de curentul de pornire după un gol de tensiune.

Circuite dedicate

Sarcinile care sunt sensibile la poluarea armonică trebuie să fie alimentate prin circuite dedicate. Sarcinile mari trebuie să aibă de asemenea circuitul lor propriu, pentru a nu afecta alte sarcini pe durata punerii în funcțiune.

Conform analizei efectuate, 25 % dintre locații utilizează soluția circuitelor separate.

Cabluri multiple pentru sarcinile nelineare

În afara căldurii suplimentare generată de curentul electric prin conductorul de nul, aria secțiunii transversale a cablului se reduce datorită efectului pelicular, având efect începând cu armonica de rang 7. Utilizarea diametrelor mai mari ale cablurilor nu este o soluție, deoarece curentul va continua să fie refulat spre periferia conductorului. Prin urmare este necesar a utiliza mai multe cabluri plasate în paralel, astfel încât să se asigure alimentarea.

Recablarea completă a instalației

Este o măsură destul de drastică (cu excepția cazului în care este parte a unei modernizări importante), dar frecvent adoptată, atunci când instalațiile vechi nu au fost proiectate pentru a face față sarcinilor moderne.

Conform analizei a 1400 clădiri, această soluție a fost adoptată în 24 % dintre cazuri.

Zonarea sarcinilor electrice

Diferitele tipuri de sarcini prezintă diferite cerințe relativ la EMC, continuitate și siguranță în alimentare. De aceea este necesară clasificarea sarcinilor electrice în diferite categorii, fiecare cu propriul traseu, legătură la pământ sau alimentare de siguranță.

Priză de pământ sub formă de rețea

Cerința de a obține o impedanță redusă a circuitului de pământ pentru un larg spectru de frecvențe necesită realizarea unei prize de pământ sub formă de rețea, pentru fiecare etaj, cu multiple legături verticale.

Filtre pasive

Este o soluție larg întâlnită, care poate fi aplicată pentru sarcini individuale sau centralizate. Atunci când filtrul este plasat cât mai aproape posibil de punctul de generare a armonicilor, se poate asigura că filtrarea va rămâne eficientă pe durata multor schimbări care intervin în mod obișnuit într-o clădire cu birouri. Dezavantajul constă în aceea că este prevăzută o capacitate de filtrare mai mare decât cea necesară în prezent (ceea ce înseamnă că nu a fost luată în considerare diversitatea sarcinilor), iar filtrele individuale de capacitate redusă sunt mai scumpe decât o unitate centralizată.

Pe de altă parte, unitatea centralizată oferă posibilitatea realizării unei combinații de filtru pasiv cu un echipament de corectare a factorului de putere. La proiectarea acestor funcțiuni în comun este necesar a adopta măsuri pentru evitarea rezonanțelor pe frecvențele armonice. În mod uzual, echipamentele combinate pentru corectarea factorului de putere și filtrare sunt plasate centralizat, asigurând economii prin limitarea diversității, reducerea volumului necesar de semnale de comandă, posibilitatea de a asigura o reglare de calitate ridicată a factorului de putere, fără riscul unei autoexcitări a motoarelor. Deoarece mediul armonic al sarcinii se modifică treptat, este necesar a se asigura că filtrele rămân funcționale.

Filtre active

Este cea mai bună soluție practică, dar are prețul ei. Totuși, este extrem de flexibilă și adaptabilă și este utilizată în special atunci când au loc modificări ale mediului armonic. De aceea este utilizată în mod selectiv.

Recablarea pentru sistem TN-S

Sistemele TN-C, cu așa numitul conductor PEN, sunt în prezent o excepție, deși în unele țări sunt încă în funcțiune. În normativele europene, conductorul PEN este în prezent considerat ca un caz special. Pentru clădirile cu sisteme informatice puternice, sistemul TN-C nu mai este permis de mult. Din punctul de vedere al EMC, sistemul TN-S este superior.

Supradimensionarea conductorului de nul

În cele mai multe normative actuale se impune utilizarea conductorului de nul cu secțiune 100 % (în raport cu conductorul de fază), cu excepția cazului în care se poate arăta faptul că o secțiune mai mică este suficientă.

Acolo unde intervin armonicile, conductorul de nul dimensionat pentru 100 % - capabil să transfere actualul curent de nul - trebuie, în unele normative de instalații, să fie protejat eficient contra supracurenților .

Concluzii

Calitatea energiei electrice este un domeniu complex, acoperind o arie numeroasă de probleme, pentru fiecare existând un mare număr de soluții. În prezent, multe locații energointensive sunt afectate într-o oarecare măsură de o calitate redusă a energiei electrice, dar multe locații au adoptat deja unele soluții. Acestea constau în mod obișnuit în procurarea de UPS, de generatoare de intervenție, adoptarea de măsurători ale valorii efective adevărate și suplimentate cu o serie de alte măsuri, de exemplu priză de pământ sub formă de rețea, recablarea în sistem TN-S, utilizarea filtrelor active etc.

Este improbabil ca o singură soluție să fie eficientă. Este necesară o proiectare atentă a unui complet de soluții, adaptate la problemele de calitate a energiei electrice care apar în exploatare și bazate pe înțelegerea în detaliu a cauzelor problemelor de calitate a energiei electrice.

Caracterizarea problemelor de CEE

Categorie		Durată	Amplitudine
Fenomene tranzitorii		Impulsuri	ns...ms
		Oscilații	3 μ s...5 ms
Fenomene de scurtă durată	Instantanee	Goluri de tensiune	0.5...30 cicluri
		Supratensiuni	0.5...30 cicluri
		Întreruperi	0.5 cicluri...3 s
	Momentane	Goluri de tensiune	30 cicluri ...3 s
		Supratensiuni	30 cicluri ...3 s
		Întreruperi	3 s...1 min
	Temporare	Goluri de tensiune	3 s...1 min
		Supratensiuni	3 s...1 min
		Întreruperi	3 s...1 min
Fenomene de lungă durată		Întreruperi	> 1 min
		Goluri de tensiune	> 1 min
		Supratensiuni	> 1 min
Nesimetrie de tensiune		Regim stabilizat	0.5...2 %
Distorsiuni ale curbelor de tensiune/curent	Componentă c.c.	Regim stabilizat	0...0.1 %
	Armonici	Regim stabilizat	0...20%
	Interarmonici	Regim stabilizat	0...2%
	Impulsuri	Regim stabilizat	-
	Zgomot	Regim stabilizat	0...1%
Fluctuații de tensiune (flicker)		Regim stabilizat	0.1...7%
Variații de frecvență		< 10 s	-