

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

Titlul proiectului

SISTEM ADAPTIV PENTRU ASIGURAREA CALITATII ENERGIEI, PRIN CORECTAREA PARAMETRILOR ELECTRICI AI RETELELOR DE JOASA TENSIUNE, INTEGRABIL IN RETELELE SMART GRID - (SAMGRID).

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

REZUMAT

Activitățile prevăzute în această etapă urmăresc determinarea condițiilor reale de funcționare a sistemelor electroenergetice actuale și identificarea caracteristicilor generale ale rețelelor electrice în care nu sunt respectate condițiile de calitate impuse de reglementările în vigoare pentru energia furnizată. Pentru aceste situații se urmărește conceperea unui sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune capabil să asigure respectarea cerințelor de calitate a energiei electrice. Analiza literaturii de specialitate și a determinărilor experimentale a condus la concluzia că microrețelele și rețelele de joasă tensiune cu putere mică de scurtcircuit, ce conțin surse regenerabile de energie și alimentează utilizatori neliniari, reprezintă exemple tipice de rețele în care nu se îndeplinesc cerințele de calitate. În cadrul etapei a fost identificată o rețea de distribuție rurală, situată în Transilvania, ce satisface condițiile menționate. Rețeaua a fost modelată pe baza datelor reale privind caracteristicile constructive, repartiția geografică, dotarea și consumul utilizatorilor, respectiv prezența unor sisteme fotoelectrice locale. Pentru rețea au fost identificate principalele perturbații electromagnetice care pot să apară, sursele acestora și modul de transmitere al celor mai semnificative dintre perturbații.

Modelarea trifazată a liniilor electrice, a principalelor receptoare existente la utilizatori și a surselor fotoelectrice a permis determinarea exactă a principalilor indicatori numerici de estimare a calității energiei electrice în toate nodurile rețelei, respectiv studierea influenței diferitelor surse de perturbații asupra indicatorilor urmăriți. Rezultatele obținute asigură o analiză detaliată a consecințelor reducerii calității asupra elementelor de rețea, a utilizatorilor liniari sau perturbatori și asupra surselor de generare locală.

Având în vedere aspectele menționate, au fost studiate principalele soluții utilizate pe plan mondial pentru reducerea sau chiar anularea perturbațiilor ce pot apărea într-o rețea, cu scopul de a

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

asigura condițiile de calitate impuse. În acest scop, au fost evidențiate diferite soluții pasive și active, în dezvoltarea istorică a acestora, fiind realizată o analiză comparativă a performanțelor obținute. Pe baza analizelor efectuate s-a impus necesitatea dezvoltării unui sistem adaptiv de corecție a parametrilor rețelei care să compenseze ansamblul principalelor perturbații electromagnetice caracteristice rețelelor de joasă tensiune menționate. Pentru identificarea topologiei optime au fost studiate mai multe configurații posibile și modul de integrare în rețea a acestora, precum și posibilitatea exploatarea avantajelor oferite de prezența sistemelor de generare locală. Pe baza acestor studii s-a stabilit o configurație finală pentru sistemul adaptiv de corecție și au fost descrise modurile de funcționare ale acestuia.

A fost elaborată documentația modelului experimental referitoare la: transformatorul adaptor serie, structura hardware achiziție și comunicație date, documentație ansamblu general inverter (sau redresor în funcție de situația funcțională a sistemului), structura hardware comandă sistem adaptiv). Elaborare proiect software comandă și reglaj sistem adaptiv. Pentru realizarea parțială a modelului experimental au fost proiectate modulele complete de forță pentru invertoarele aferente filtrelor active serie și paralel și achiziționate componentele electronice de forță și traductoarele de curent și tensiune aferente.

Rezultatele obținute în etapa de cercetare actuală reprezintă premisele necesare pentru trecerea la următoarea fază a proiectului, destinată proiectării, realizării și experimentării ansamblului sistem adaptiv propus.

DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

A 2.1 – Identificarea aplicației

Scopul sistemului electric este de a interconecta producătorii și utilizatorii, asigurând transferul energiei produse de primii către cei din a doua categorie, în condițiile menținerii unui nivel acceptabil de fiabilitate și calitate a energiei livrate, la costuri rezonabile. În ultima perioadă, evoluția sistemelor de producere, transport și utilizare a energiei electrice a determinat însă modificări majore în concepția clasică privind structura acestui sistem. Atât pe plan mondial, cât și în UE, energia viitorului vizează implementarea practică a două concepte: rețele locale (microgrid) și rețele inteligente (smart grid). Primul dintre acestea urmărește valorificarea resurselor energetice regenerabile (RER) și clasice disponibile într-un areal dat; al doilea are drept scop realizarea unui sistem energetic axat pe creșterea ponderii componentelor informatice și de control. Integrarea sistemelor de generare bazate pe RER și a tehnologiilor cu eficiență energetică (EE) ridicată presupune creșterea numărului echipamentelor electronice de putere care reprezintă, din punct de vedere energetic, o clasă largă de sarcini neliniare; pe de altă parte, dinamica consumului de energie și modificarea configurației rețelei produc schimbări în circulația de putere activă și reactivă, cu efecte negative asupra menținerii mărimilor electrice de interes în limitele de calitate impuse de normele existente. Pentru rețelele de distribuție moderne ce alimentează un mare număr de utilizatori sensibili la calitatea energiei furnizate și care pot suferi pierderi importante, financiare sau de altă natură, în cazul reducerii nivelului de calitate necesar, problemele se complică prin apariția sistemelor distribuite de generare, în special a celor ce utilizează resurse primare regenerabile.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

Rezolvarea problemelor menționate mai sus va fi complet rezolvată în rețelele inteligente ale viitorului ce vor îngloba rețele locale cu utilizatori sensibili/neliniari și sisteme distribuite de generare; o astfel de soluție este sugerată în figura 1, soluție bazată pe implementarea conceptului de Custom Power.

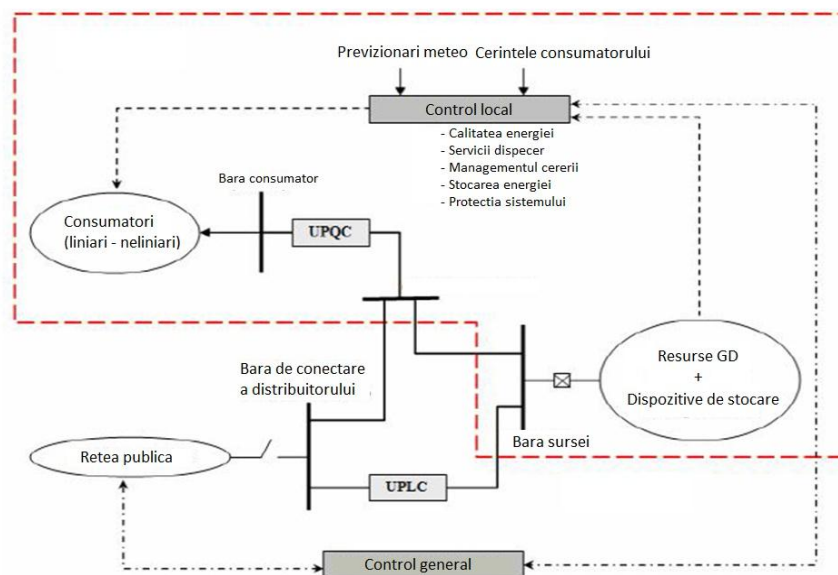


Figura 1. Configurația de bază a unei rețele inteligente cu echipamente de condiționare a calității energiei și o rețea locală (zona selectată în roșu)

Obiectivul proiectului de cercetare, respectiv realizarea unui sistem adaptiv pentru asigurarea calității energiei, se încadrează evident în categoria Custom Power Devices. Sistemul adaptiv urmărit este de fapt un echipament electronic de condiționare unificată a energiei ce va fi instalat în punctul comun de racord (PCC) al unui consumator sau al unei rețele locale, cu scopul de a realiza compensarea dinamică a factorului de putere în punctul de amplasare și eliminarea distorsiunilor curbei curentului și a tensiunii, indiferent de natura sarcinii electrice conectate la rețea. Analiza sistemului electroenergetic din România a pus în evidență următoarele situații și tipuri de rețele în care ar fi necesară implementarea unor astfel de echipamente: (i) în nodul de racordare la rețeaua publică a unei rețele locale ce alimentează utilizatori dotați cu echipamente de tehnologie ridicată sau ce conține sisteme de generare bazate pe RER la care parametrii electrici sunt perturbați de comportamentul rețelei sau de consumatorii neliniari; (ii) în punctul de racordare la rețeaua electrică de MT a unei rețele de distribuție de JT cu putere de scurtcircuit redusă, ce poate conține și sisteme locale de generare distribuită; (iii) la alimentarea altor aglomerații de utilizatori cu receptoare sensibile și/sau perturbatoare precum consumatori industriali, comerciali sau terțiari, parcuri industriale sau chiar comunități de mai mică amploare.

Bibliografie selectivă [1-10]

A 2.2 – Analiza rețelei de distribuție avută în vedere

În cadrul proiectului s-a considerat o rețea de distribuție reală din Transilvania, aceasta având caracteristici constructive și de funcționare în concordanță cu obiectivele de cercetare. Figura 2 prezintă caracteristicile constructive ale rețelei considerate, precum și tipul utilizatorilor racordați la aceasta.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

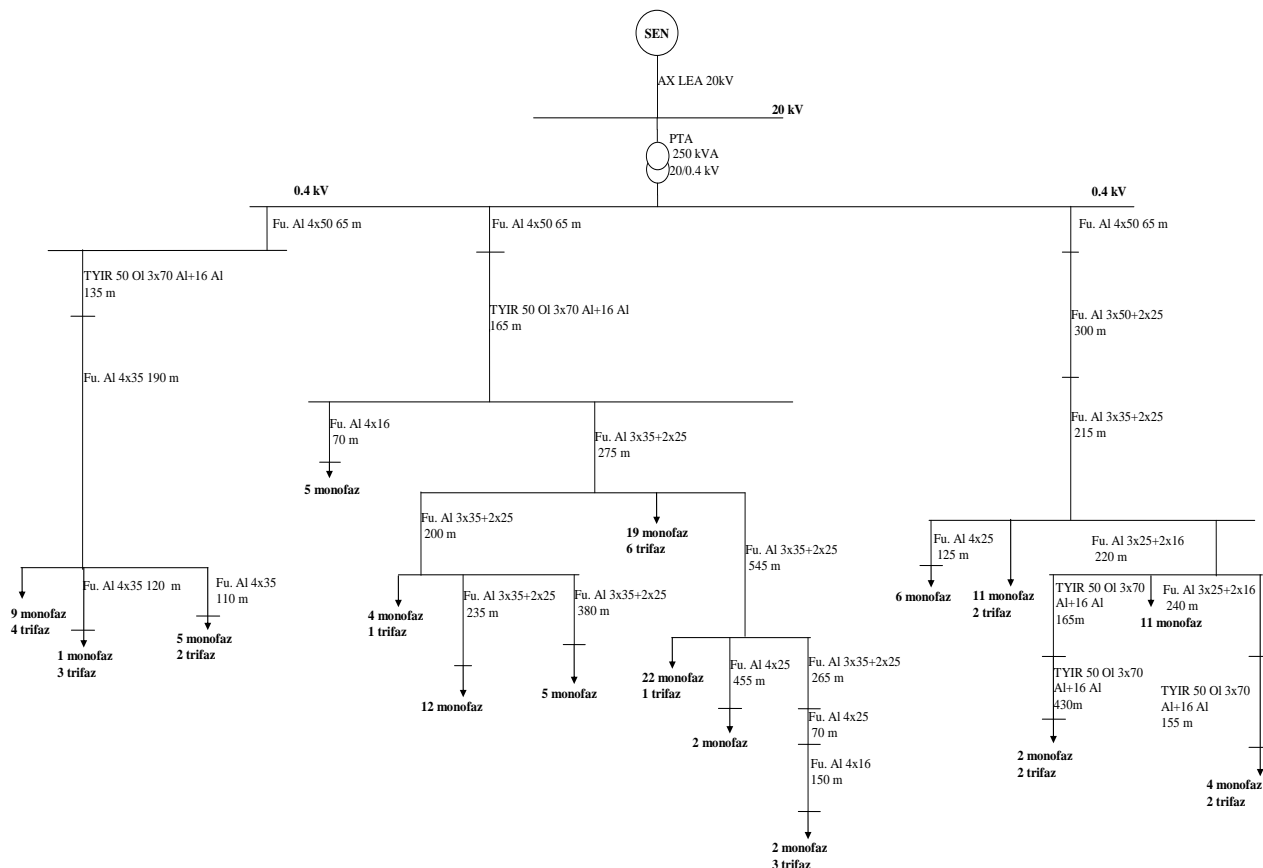


Figura 2. Schema monofilară a rețelei analizate

Analiza rețelei electrice de distribuție a fost realizată cu ajutorul modulului Simulink din mediul de programare și simulare MatLab; având în vedere scopul proiectului, toate elementele de rețea (linii electrice, generatoare, transformator, consumatori) au fost implementate ca elemente trifazate. Caracteristicile acestora corespund schemei electrice reale, fiind folosite următoarele modele: (i) liniile electrice de alimentare (aeriane și în cablu) - prin parametrii longitudinali; (ii) receptoarele neliniare și generatoarele locale – surse de armonici. Numărul și puterea consumatorilor (iluminat public și consumatori casnici) au fost preluate din datele reale iar distribuția sarcinilor pe cele trei faze a fost realizată astfel încât să determine un regim dezechilibrat de funcționare, așa cum se întâlnește în rețelele reale de distribuție.

S-a considerat că utilizatorii casnici monofazați sunt echipați cu receptoarele cele mai des întâlnite la un consumator casnic real, respectiv aparate frigorifice, de încălzit, audio-video, calculatoare personale, lămpi și încărcătoare de baterii; în studiu, consumatorii monofazați au fost considerați sarcini concentrate, având puteri în concordanță cu înregistrările de consum existente în rețeaua reală.

Pentru obținerea unei priviri cât mai ample, pentru analiză au fost elaborate 16 scenarii ce se diferențiază prin modul de repartizare al utilizatorilor și modul de consum, respectiv numărul, amplasarea și puterea sistemelor de generare locale. Rezultatele complete obținute din studiul rețelei sunt prezentate în Anexele 1-16 ale raportului.

Bibliografie selectivă [11-17]

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

A 2.3 – Identificarea perturbațiilor electromagnetice care pot să apară și a surselor acestora

Perturbația electromagnetică (PEM) reprezintă orice fenomen electromagnetic care poate degrada performanța unui dispozitiv, echipament sau sistem, sau afecta în mod negativ materia vie sau inertă. O serie de PEM pot apărea în regimuri normale de funcționare, fiind caracteristice activității diferitelor sarcinilor perturbatoare, în timp ce altele sunt caracteristice regimurilor de avarii sau post avarii. Dacă ne referim la calitatea tensiunii într-o rețea electrică, din prima categorie fac parte variațiile lente de tensiune, variațiile de frecvență, distorsiunile armonice și interarmonice, nesimetria sistemului de tensiuni și fluctuațiile de tensiune; în a doua categorie se încadrează golurile de tensiune, întreruperile de scurtă durată și supratensiunile.

În raport, pe baza documentelor tehnice elaborate de organisme naționale și internaționale, se face o amplă trecere în revistă a aspectelor teoretice privind PEM caracteristice rețelelor actuale și a indicatorilor numerici folosiți pentru a evalua mărimea acestor perturbații. Se identifică apoi principalele surse de PEM existente în rețelele de JT și, pe baza datelor indicate în literatura de specialitate și a măsurătorilor experimentale efectuate de colectivul de cercetare, se prezintă emisiile caracteristice diferitelor tipuri de echipamente; având în vedere obiectivele proiectului de cercetare, se acordă mai multă atenție consumatorilor casnici și terțiari, respectiv generării distribuite pe bază de surse regenerabile (panouri fotovoltaice și generatoarele eoliene).

Structura consumatorilor casnici și terțiari s-au schimbat față de situația din anii '90, când majoritatea dintre aceștia aveau preponderent sarcini rezistive; în prezent, datorită evoluției tehnologice și a creșterii nivelului de trai, un consumator casnic tipic are în dotare aparate electrocasnice și echipamente audio/video sau informatice care conțin dispozitive electronice sofisticate. Aceeași evoluție se constată și la consumatorii terțiari, unde echipamentele de birotică sunt bazate pe dispozitive electronice de mică putere.

Literatura de specialitate indică faptul că, în România, consumatorul casnic tipic este dotat cu aparate frigorifice, aparatură audio-video, calculatoare personale, surse de lumină, electrocasnice mari (mașini de spălat haine), aparate de aer condiționat și ventilatoare, precum și alte aparate electrocasnice mici (cafetiere, fier de călcat, cuptoare cu microunde etc.). O dotare asemănătoare se constată și la consumatorii terțiari; evident, ponderea diferitelor categorii de receptoare în puterea totală instalată diferă față de cazul consumatorului casnic mediu.

Având în vedere aspectele menționate, în raport s-au analizat principalele receptoare casnice și de birotică, fiind puse în evidență PEM emise de fiecare dintre acestea. Sunt astfel prezentate sursele electrice de lumină (lămpi cu descărcări la înaltă și joasă presiune de diferite tipuri și LED), aparate frigorifice, aparate de încălzit (cuptoare cu microunde, cuptoare cu inducție) precum și diverse dispozitive și aparate electronice (calculatoare personale, televizoare, surse de alimentare, imprimante etc.)(FIG.3,4).

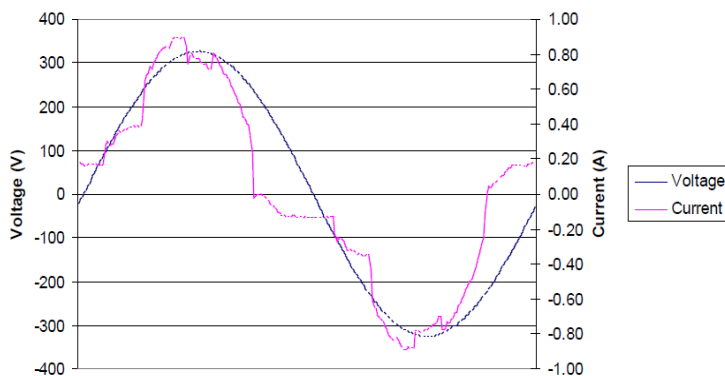


Figura 3. Curentul absorbit de un televizor cu plasmă

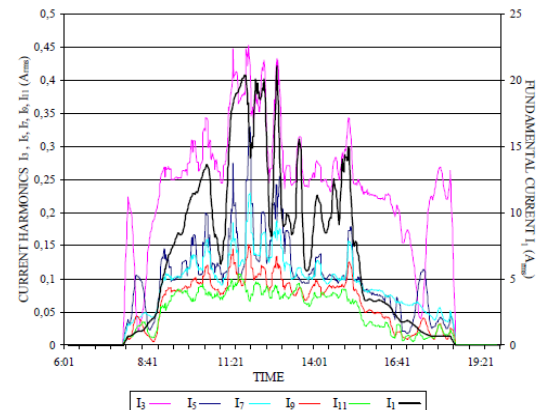


Figura 4. Ponderera curenților armonici la o unitate PV

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

De asemenea, au fost studiate PEM introduse de sistemele de generare locale, cu referire concretă la sursele fotoelectrice și la generatoarele eoliene de mică putere.

Bibliografie selectivă [18-23]

A 2.4 – Studiu privind transmiterea perturbațiilor în microrețele și în rețelele publice de distribuție la care se racordează.

Perturbațiile electromagnetice apărute în sistemele electroenergetice se propagă de-a lungul acestora, ele fiind prezente în diferite locații ale sistemului, având caracteristici identice sau diferite de cele măsurate la punctul de apariție sau în apropierea acestuia. Modificarea parametrilor caracteristici este determinată de influența elementelor rețelelor, a topologiei acestora și de tipul perturbațiilor.

Armonicile de curent produse de funcționarea consumatorilor neliniari parcurg elementele structurale ale rețelei (linii electrice și transformatoare), determinând apariția armonicilor de tensiune ale căror caracteristici depind de tipul transformatoarelor, tipul rețelei etc. Pe de altă parte, alimentarea unor sarcini dezechilibrate este asociată cu un sistem nesimetric de curenți pe cele trei faze; acești curenți circulă prin impedanțele rețelei și determină căderi diferite de tensiune pe fazele acesteia, astfel că rețeaua este caracterizată prin existența unui sistem dezechilibrat de tensiuni. Cumularea celor două tipuri de perturbații determină un regim de funcționare dezechilibrat și nesinusoidal care influențează toate elementele rețelei, la diferite niveluri de tensiune.

În analiza propagării nesimetriilor de tensiune și/sau curent s-a folosit teoria componentelor simetrice. Conform acestei teorii, dacă se iau în considerare caracteristicile componentelor de secvență ale elementelor sistemelor electroenergetice, orice rețea electrică poate fi descompusă în trei rețele de secvență pozitivă, negativă, respectiv zero. Pe de altă parte, analiza sistemelor electroenergetice presupune determinarea modelelor matematice ale elementelor rețelei electrice; în raport, liniile electrice și transformatoarele au fost modelate pe baza componentelor de secvență, principalele aspecte fiind detaliate în lucrare.

Pentru analiza propagării armonicilor se pot utiliza mai multe metode, acestea fiind grupate în două categorii principale: (i) metode iterative (de exemplu - circulația puterilor în regim deformant), ce folosesc o reprezentare fazorială a mărimilor de interes; (ii) metode în timp, care folosesc o reprezentare în timp a elementelor rețelei și a surselor de armonici și oferă rezultate mai exacte decât metodele iterative.

Intr-o rețea în care sursele de armonici sunt constante și impedanțele liniare, propagarea armonicilor se poate analiza folosind o metodă iterativă, rezultând soluții la fel de exacte ca și în cazul metodei de analiză în timp. Ca urmare, în lucrare s-a utilizat metoda iterativă, adaptată pentru a lua în considerare regimul dezechilibrat ce caracterizează rețelele de distribuție actuale; această abordare presupune modelarea trifazată a elementelor de rețea, având în vedere faptul că mărimile electrice pot fi diferite pe cele trei faze ale rețelei. În studiul propagării s-au admis următoarele ipoteze: (i) liniile electrice și transformatoarele sunt elemente liniare; (ii) receptoarele neliniare sunt considerate surse invariante de curenți armonici; sistemul de alimentare este caracterizat printr-un sistem de tensiuni simetric și sinusoidal.

În sfârșit, în studierea propagării golurilor de tensiune s-a folosit schema echivalentă a divizorului de tensiune ce permite obținerea unor rezultate satisfăcătoare pentru rețelele radiale, așa cum este cazul rețelei test analizate.

Bibliografie selectivă [24-28]

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

A 2.5 – Determinarea severității diferitelor perturbații și a limitelor acceptate în diferite puncte (noduri) de rețea

Limitarea PEM la un nivel acceptabil, asigurând astfel un nivel normal al CEE, este una dintre preocupările importante ale specialiștilor din sectorul energetic. Practic, toate problemele privind existența unor PEM generate în sistemul public sau în instalațiile consumatorilor se reflectă în caracteristicile asociate tensiunii din rețelele electrice publice. Având în vedere acest aspect, raportul prezintă mai întâi nivelurile de compatibilitate ce trebuie respectate, în condiții normale de funcționare, pentru următoarele mărimi și fenomene privind tensiunea rețelelor electrice: frecvență, amplitudine, variații lente și rapide, nesimetrii și armonici.

Din cele 16 scenarii considerate în cadrul proiectului, în acest raport se prezintă detaliat 13, după cum urmează:

- funcționare în timpul zilei, încărcare 100 %, fără generare locală;
- idem, cu generator montat la bara B10C3 (puteri 7,5 kW; 12 kW; 22,5 kW);
- idem, cu generator montat la bara B4C3 (puteri 39 kW; 54 kW; 79 kW);
- idem, cu generator montat în PTA (puteri 49,5 kW; 100 kW);
- idem, cu generatoare de 57 kW la bara B3C2 și 26,25 kW la bara B4C3;
- idem, cu generatoare de 114 kW la bara B3C2 și 52,5 kW la bara B4C3.

Pentru fiecare scenariu s-a determinat valoarea indicatorilor numerici caracteristici diferitelor PEM în toate nodurile rețelei și, pentru tensiune, s-au formulat concluzii privind încadrarea în prevederile normelor în vigoare. În ceea ce privește curenții care parcurg rețeaua, pentru aceștia s-au analizat (i) distorsiunea armonică a formelor de undă în absența sistemelor de generare locală; (ii) distorsiunea armonică a formelor de undă în prezența sistemelor de generare fotoelectrice de diferite puteri și cu amplasare în locații diverse din cadrul rețelei; (iii) valoarea curentului prin conductorul de nul. Pentru fiecare caz s-au făcut aprecieri privind severitatea perturbațiilor de curent și circulația puterilor în rețea.

Câteva dintre concluziile rezultate sunt prezentate în continuare:

- În lipsa sistemelor de generare locală circulația de putere este unidirecțională, sistemul tensiunilor de alimentare este simetric iar profilul tensiunii depinde de configurația rețelei și caracteristicile de consum;
- La multe bare, valorile tensiunii de alimentare nu se încadrează în limitele impuse de normele în vigoare pentru nivelul tensiunii în punctele de racord ale diferiților utilizatori;
- Circulația curenților nesinusoidali determină distorsiunea tensiunilor rețelei, dar valorile factorului total de distorsiune armonică a tensiunilor se încadrează, de obicei, în limitele admise;
- Regimurile reale de funcționare determină apariția unui curent semnificativ în conductorul de nul, curent al cărui factor total de distorsiune armonică depășește valoarea de 150 %;
- Prezența generatoarelor distribuite contribuie la îmbunătățirea nivelului de tensiune în nodul în care acestea sunt racordate. În funcție de puterea generatoarelor, aceste influențe se propagă și către nodurile învecinate din rețea, zona de influență fiind dependentă de puterea injectată;
- Existența generatoarelor distribuite contribuie la amplificarea regimului deformant. Studiile efectuate au arătat că, în prezența unor generatoare de putere mare, factorul total de distorsiune armonică a tensiunii depășește, la anumite bare, valoarea maxim admisă pentru rețelele de distribuție de JT.

Rezultatele sunt prezentate într-o formă grafică ce permite o interpretare facilă, așa cum se exemplifică în continuare în Figura 5.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

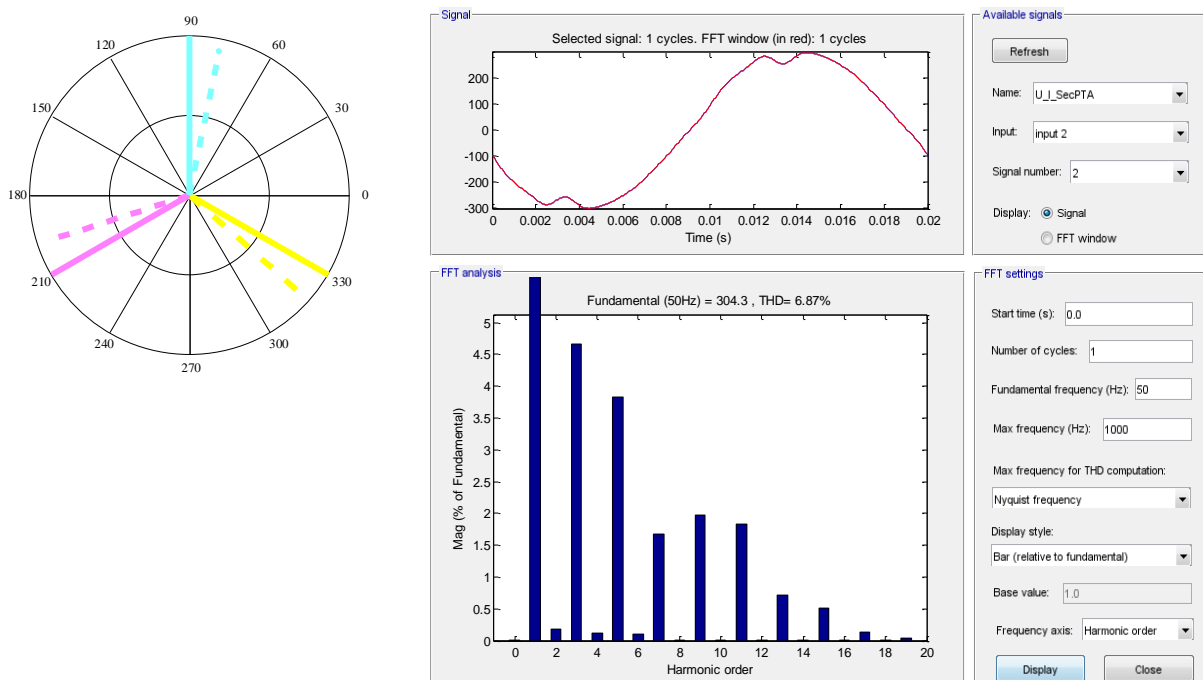


Figura 5. Diagramele fazoriale ale tensiunilor și curenților în PT, respectiv analiza armonică a curentului pe faza 2, în același nod

Bibliografie selectivă [29-31]

A 2.6 – Analiza consecințelor surselor regenerabile de energie asupra rețelei de distribuție și a utilizatorilor

Utilizarea tehnologiilor de generare a energiei electrice din resurse regenerabile este prioritară în implementarea politicilor de dezvoltare durabilă ce urmăresc asigurarea unei creșteri economice și a nivelului de trai, politică ce este cunoscută la nivel mondial și sub denumirea de *dezvoltare verde*. Din foarte multe puncte de vedere, generarea distribuită bazată pe resurse regenerabile este benefică pentru toți actorii implicați în dezvoltarea și exploatarea unui sistem energetic, așa cum se exemplifică în continuare.

- *Pentru utilizatori:* posibilitatea acoperirii propriilor cerințe energetice, îmbunătățirea siguranței în alimentarea cu energie, soluții energetice optime pentru o locație dată, creșterea eficienței energetice pentru aplicații locale, reducerea facturilor energetice prin generare pentru consum propriu sau export pentru alți consumatori în timpul perioadelor de costuri maxime, reducerea impactului asupra mediului ambiant etc.;
- *Pentru producători și operatorii de rețea:* limitarea riscului de capital, evitarea investițiilor inutile sau majore, posibilitatea reducerii consumului propriu tehnologic etc.

Pe de altă parte, prezența GD are un impact semnificativ asupra calității energiei electrice în rețelele electrice la care se racordează, existând o relație bidirecțională între grupurile de generare și alți utilizatori alimentați din aceeași rețea. În ansamblu, efectele generării locale asupra rețelei și interacțiunea reciprocă sunt determinate în mare măsură de puterea nominală a generatoarelor, punctele de amplasare ale acestora, configurația și caracteristicile electrice ale rețelei și

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

utilizatorilor, caracteristicile de consum, raportul dintre puterea furnizată și cea consumată, respectiv de tipul dispozitivului de interfațare între sursă și rețeaua.

Dacă discutăm despre amplitudinea tensiunii, prezența surselor locale are, în majoritatea cazurilor, un impact pozitiv, în sensul că determină o reducere a căderilor de tensiune și deci încadrarea mai ușoară în limitele de variație impuse de legislația în vigoare. Dacă însă puterea generată este mai mare decât cererea locală, circulația de putere în rețea se inversează și, în anumite situații, poate exista o depășire a valorii maxim admise a tensiunii; în astfel de situații trebuie implementate măsuri specifice pentru controlul creșterii de tensiune în rețeaua de distribuție.

O altă problemă legată de prezența GD într-o rețea de distribuție este legată de posibilitatea apariției unor fluctuații inacceptabile de tensiune; fenomenul este caracteristic surselor ce utilizează resurse regenerabile, în special energia solară și cea eoliană, deoarece acestea pot suferi variații importante ale puterilor generate datorită schimbărilor meteorologice la locul de amplasare. Efectul de flicker produs de aceste fluctuații are asupra utilizatorilor un impact neglijabil în marea majoritate a rețelelor electrice; el poate deveni însă supărător în rețelele cu putere mică de scurtcircuit (așa cum sunt multe rețele rurale sau microrețele), respectiv în cele cu un nivel ridicat de penetrare al sistemelor de GD ce utilizează resurse regenerabile.

În raport se analizează pe larg și alte efecte ale prezenței grupurilor locale asupra rețelei electrice și a utilizatorilor racordați la aceasta. Atenția principală a fost canalizată spre identificarea impactului asupra rețelei electrice deoarece impactul asupra utilizatorilor este consecința modificării regimului de funcționare al sistemului de alimentare cu energie electrică. În acest sens sunt identificate principalele probleme și se prezintă relații pentru determinarea analitică a consecințelor privind: (i) creșterea pierderilor de putere activă în rețelele de JT; (ii) creșterea pierderilor de putere activă în transformatoarele de putere și (iii) creșterea pierderilor de putere activă în bateriile de condensatoare.

Pentru exemplificare, figura 6 prezintă reducerea randamentului unui transformator ce funcționează într-o rețea poluată armonic.

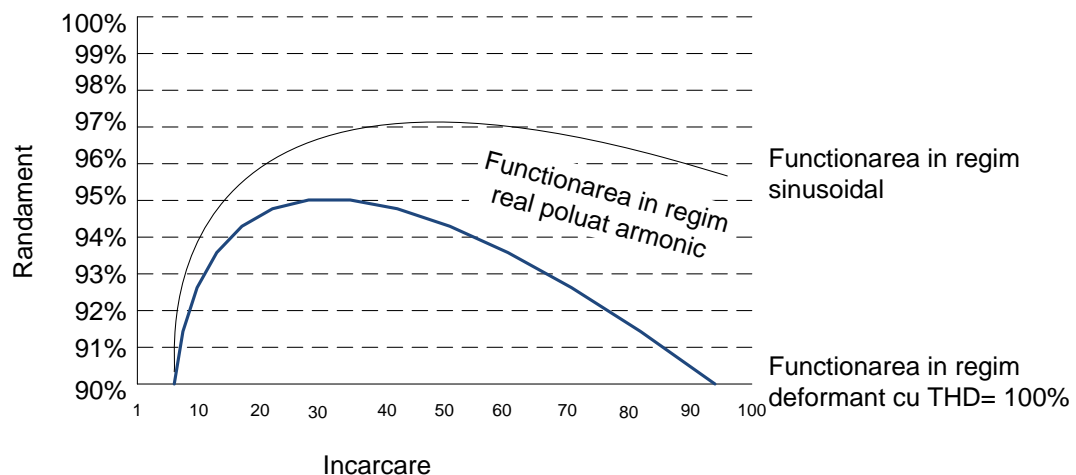


Figura 6. Funcționarea unui transformator de 112,5 kVA în regim deformant

Bibliografie selectivă [32-35]

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

A 2.7 – Metode de îmbunătățire a calității energiei prin interconectarea unui sistem adaptiv.

La momentul actual se consideră că cea mai bună abordare pentru asigurarea calității energiei electrice, atât din punct de vedere tehnic cât și financiar, este limitarea perturbațiilor la nivelul echipamentului perturbator sau în imediata apropiere a acestuia deoarece costurile necesare cresc pe măsură ce rezolvarea problemelor se face mai departe de sursa de perturbații. Soluțiile implementate urmăresc eliminarea uneia sau mai multor perturbații, locația concretă fiind stabilită, pe cât posibil, pe baza unor studii de optimizare privind caracteristicile concrete ale rețelei electrice și a nivelurilor de compatibilitate.

Pe de altă parte, abordările, soluțiile și tehnologiile existente au evoluat în ultimele decenii; această tendință a fost impusă de diversificarea perturbațiilor și creșterea severității acestora, respectiv a sensibilității sporite a instalațiilor utilizatorilor. În același timp, apariția unor noi tipuri de dispozitive electronice de forță și prelucrare a semnalelor, coroborată cu îmbunătățirea permanentă a performanțelor acestora și scăderea prețurilor de comercializare, a avut o influență pozitivă asupra dezvoltării domeniului în discuție.

Soluțiile clasice pentru reducerea regimului deformant se bazează pe utilizarea componentelor pasive pentru realizarea unor filtre ce urmăresc evitarea pătrunderii armonicilor de curent din rețeaua consumatorilor în rețeaua de alimentare și invers. În ultimii 60 de ani, filtrele pasive au fost utilizate pe scară extinsă pentru diminuarea regimului deformant datorită avantajelor pe care le prezintă. Dezavantajele caracteristice acestor soluții au fost diminuate ulterior prin apariția filtrelor active, respectiv a utilizării unor combinații de filtre active și pasive (filtre hibride).

Deoarece într-un sistem electric pot exista, la un moment dat, mai multe PEM, găsirea unor soluții pentru compensarea simultană a mai multor/tuturor perturbațiilor a devenit prioritară în ultima perioadă. Din păcate, sistemele convenționale, bazate pe componente pasive, nu sunt suficient de rapide și flexibile; rezolvarea problemei a devenit însă posibilă datorită dezvoltărilor tehnologice realizate în electronica de putere și apariției unor regulatoare cu răspuns rapid bazate pe procesoare de semnal (DSP).

Echipamentele dezvoltate pe baza acestor realizări se încadrează în categoria (conceptul) Custom Power Devices; practic, soluția propusă pentru rezolvarea problemelor create de existența simultană a perturbațiilor de tensiune și curent este cunoscută în literatura de specialitate sub denumirea de Unified Power Quality Conditioner (UPQC). Acest echipament este o combinație de filtre active (serie și paralel) interconectate prin circuitul de tensiune continuă ce compensează perturbațiile sistemelor de tensiuni (armonici, nesimetrie, flicker, goluri de tensiune și supratensiuni de scurtă durată) și curenți (armonici, nesimetrie și componenta reactivă) într-o zonă dată a unei rețele de distribuție.

Raportul conține o prezentare detaliată a soluțiilor utilizate în prezent pentru diminuarea/eliminarea PEM existente în rețelele electrice. Analiza caracteristicilor acestora indică necesitatea dezvoltării unui sistem de îmbunătățire a calității energiei, bazat pe conceptul de Custom Power, și care să aibă următoarele avantaje față de alte soluții utilizate în prezent: (i) să fie mai performant, mai flexibil în exploatare și mai ieftin decât soluțiile bazate pe utilizarea a două echipamente de compensare individuale; (ii) să elimine armonicile curentului absorbit de utilizator; (iii) să furnizeze puterea reactivă necesară sarcinii, eliminând necesitatea prezenței altor echipamente pentru corectarea factorului de putere; (iv) să mențină tensiunea la bornele sarcinii la valoarea nominală chiar și în prezența unor goluri de tensiune în rețea, în condițiile în care golul nu depășește o anumită adâncime și durată; (v) să utilizeze avantajele oferite de existența unor surse locale.

Bibliografie selectivă [36-43]

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

A 2.8. – Studiu privind arhitecturi existente și propuse pentru sistemul adaptiv.

Literatura de specialitate consideră că UPQC este în prezent cea mai atractivă structură pentru realizarea unui echipament de compensare a perturbațiilor electromagnetice întâlnite frecvent în rețelele de distribuție a energiei electrice, în special în cele de JT; ca urmare, acest echipament va fi elementul fundamental al sistemului adaptiv ce urmează a fi realizat experimental. Având în vedere configurația rețelei studiate și caracteristicile utilizatorilor, se alege topologia UPQC-R cu două invertoare surse de tensiune și circuit intermediar cu un condensator divizat. Primul inverter funcționează ca o sursă de tensiune variabilă injectată în serie cu tensiunea rețelei și compensează perturbațiile tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, fluctuații lente și rapide etc.); al doilea reprezintă o sursă variabilă de curent, legată în paralel cu rețeaua de distribuție, ce compensează perturbațiile curentului (în principal armonici și nesimetrie), furnizează puterea reactivă cerută de utilizatori și reglează tensiunea din circuitul intermediar.

Performanțele echipamentului prezentat anterior sunt însă limitate de valoarea finită a energiei stocate în circuitul de TC. Pentru eliminarea acestui dezavantaj, arhitectura sistemului adaptiv pentru asigurarea calității energiei va conține și un sistem de generare locală, bazat pe resurse regenerabile, a cărui ieșire de TC va fi legată la circuitul intermediar al UPQC-R; concret, se are în vedere utilizarea unui sistem fotoelectric dotat cu unul sau mai multe panouri fotovoltaice, în funcție de puterea necesară și de caracteristicile meteo existente la locul de amplasare. Având în vedere aspectele discutate, pentru modelul experimental al sistemului adaptiv pentru asigurarea calității energiei se propune arhitectura prezentată în figura 7, blocurile componente fiind descrise în cadrul raportului.

Principial, sistemul de control al echipamentului adaptiv propus are patru părți importante: blocul de management al funcționării, controlul inverterului paralel, controlul inverterului serie și controlul convertorului DC/DC care face legătura între UPQC-R și sistemul local de generare. Acestea li se adaugă traductoare de tensiune pentru măsurarea tensiunilor de fază de la ieșirea inverterului serie, a tensiunilor de fază în rețeaua trifazată de distribuție, a tensiunilor pe condensatoarele din circuitul intermediar și a tensiunii la ieșirea convertorului DC/DC, respectiv traductoare de curent pentru măsurarea curenților absorbiți de consumatorii neliniari și a curenților generați de către filtrul activ paralel.

Blocul de management al funcționării are rolul de a determina modul de funcționare al sistemului adaptiv, în funcție de nivelul tensiunii din rețeaua electrică de distribuție. Practic, au fost alese următoarele moduri de funcționare:

- *regim normal*: este modul uzual de funcționare, caracterizat printr-o valoare a tensiunii rețelei de $U_n \pm 10\%$;
- *regimul de gol sau supratensiune*: atunci când tensiunea rețelei are valori între 0,3 și 0,9 p.u. sau valori mai mari de 1,1 p.u.;
- *regimul de întrerupere*: dacă tensiunea scade sub 0,3 p.u.

În ceea ce privește convertorul DC/DC, acesta lucrează în modul *încărcare*, respectiv *standby*, în funcție de nivelul tensiunii generate de sursa locală, regimul de funcționare fiind stabilit tot de blocul de management. Acesta monitorizează nivelul tensiunii la bornele generatorului local și în circuitul intermediar și, cât timp tensiunea pe condensator este mai mică decât valoarea necesară, impune modul *încărcare*, respectiv convertorul asigură legătura dintre UPQC și sistemul local. Dacă tensiunea atinge valoarea maxim admisă, convertorul trece în modul *standby*, blocând transferul energetic și fiind pregătit pentru a trece în primul mod de funcționare atunci când condițiile o impun. În sfârșit, dacă tensiunea la bornele generatorului scade sub o valoare minimă fixată, convertorul DC/DC se decuplează pentru a izola sistemul local față de rețeaua de distribuție.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

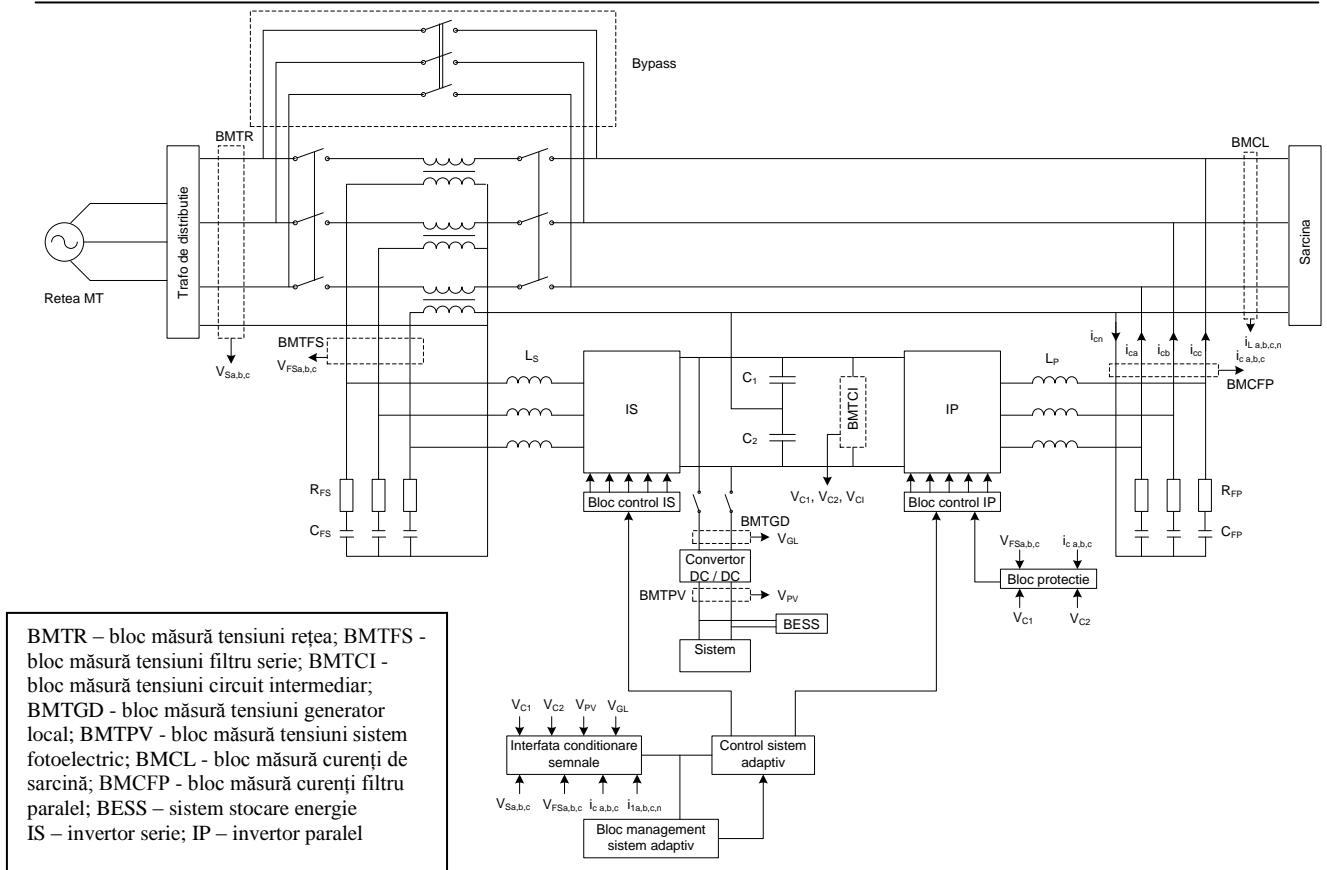


Figura 7. Schema de principiu a sistemului adaptiv pentru asigurarea calității energiei electrice

Bibliografie selectivă [44-51]

A 2.9. – Elaborarea documentatiei modelului experimental (transformator adaptor, structura hardware achizitie si comunicatie date, documentatie ansamblu general, invertor, redresor, structura hardware comanda sistem adaptiv).

In cadrul activitatii a fost elaborata documentatia de executie a transformatorului adaptor pentru filtru activ serie, Proiectarea s-a realizat pentru un transformator 1: 1 de putere 10KVA. Puterea pentru modulul experimental a fost convenita la 30 KVA. Referitor la structura hardware de achizitie si comunicatie marimi electrice s-a utilizat pentru proiectare aparatul ION 6200. Automatizarea locala realizeaza protectia sistemului si rețelei si a fost conceputa utilizand releul de monitorizare a tensiunii și frecvenței, VMD460-NA. Dacă apar valori inadmisibile ale tensiunii sau frecvenței, VMD460-NA are sarcina de deconectare a sistemului de la rețeaua de distribuție prin intermediul cate unui contactor .

Structura hardware de comanda a sistemului adaptiv consta din doua module de comanda specializata fiind pilotate fiecare de cate un DSP.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

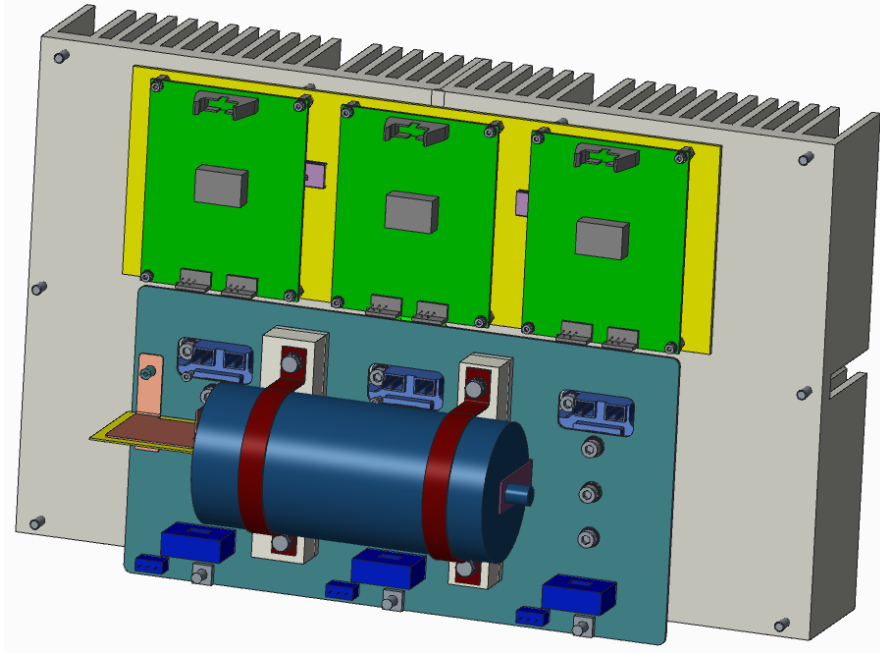


Figura 8. Ansamblu modul invertor

Bibliografie selectivă [52-55]

A 2.10. – Elaborare proiect software comanda si reglaj sistem adaptiv.

Strategia de comandă a sistemului adaptiv se bazează pe extragerea unor șabloane de fazori unitari din tensiunile de alimentare. Aceste șabloane sunt echivalentul unor unde pur sinusoidale cu amplitudine unitară .

Cele trei tensiuni de intrare în PCC distorsionate conțin atât fundamentala, cât și armonici. Pentru obținerea fazorilor unitari U_s , tensiunile de intrare sunt măsurate și multiplicare cu $1/V_m$, unde V_m este valoarea maximă a fundamentalelor tensiunilor de intrare. Fazorii unitari sunt aplicați unui PLL. Sunt generate șabloanele unitare:

$$U_a = \sin \omega t , \tag{1}$$

$$U_b = \sin(\omega t - 120^\circ) , \tag{2}$$

$$U_c = \sin(\omega t + 120^\circ) . \tag{3}$$

Înmulțind șabloanele unitare cu valoarea maximă a amplitudinii fundamentale rezultă valorile de referință ale tensiunii de sarcină

$$V_L^* = V_m \cdot U_{abc} . \tag{4}$$

Tensiunile de sarcină măsurate sunt comparate cu valorile tensiunilor de referință. Eroarea este aplicată unui comparator cu histerezis care generează semnalele de comandă pentru elementele din filtrul activ serie.

Șabloanele fazorilor unitari se pot utiliza și pentru compensarea armonicilor de curent generate de sarcina neliniară.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

Filtrul activ paralel este utilizat atât pentru compensarea armonicilor de curent generate de sarcina neliniară, cât și pentru a menține constantă, la un nivel prestabilit, tensiunea din circuitul intermediar. Pentru aceasta, tensiunea din circuitul intermediar este măsurată și comparată cu valoarea prescrisă. Eroarea este aplicată unui regulator de tip PI. Ieșirea regulatorului se înmulțește cu șabloanele unitare, rezultând valorile prescrise ale curenților absorbiți de la sursă. Curenții pe cele trei faze absorbiți de la sursă se măsoară și se compară cu valorile prescrise ale curenților absorbiți de la sursă (obținuți anterior). Eroarea este aplicată unui comparator cu histerezis care generează semnalele de comandă pentru elementele din filtrul activ paralel.

Se prezintă rezultatele analizei funcționării UPQC în regimuri staționare, în cazul scăderilor sau creșterilor de tensiune. Obiectivul sistemului este de a menține tensiunea de alimentare a sarcinii perfect sinusoidală, la valoarea nominală, indiferent de condițiile de funcționare ale sistemului. Scopul analizei este de a evidenția fluxurile de putere activă și reactivă, acestea având o importanță majoră în vederea dimensionării corecte a puterii nominale ale filtrelor serie și paralel.

Ipoteze:

Puterea transmisă pe armonici este neglijabilă în comparație cu puterea transmisă pe fundamentală. Analiza regimurilor de funcționare staționare se va face considerându-se doar componenta fundamentală.

UPQC este comandat astfel încât tensiunea la bornele sarcinii este sinusoidală și are valoarea prescrisă. Schema monofazată echivalentă a unui UPQC este cea din Fig. 9.

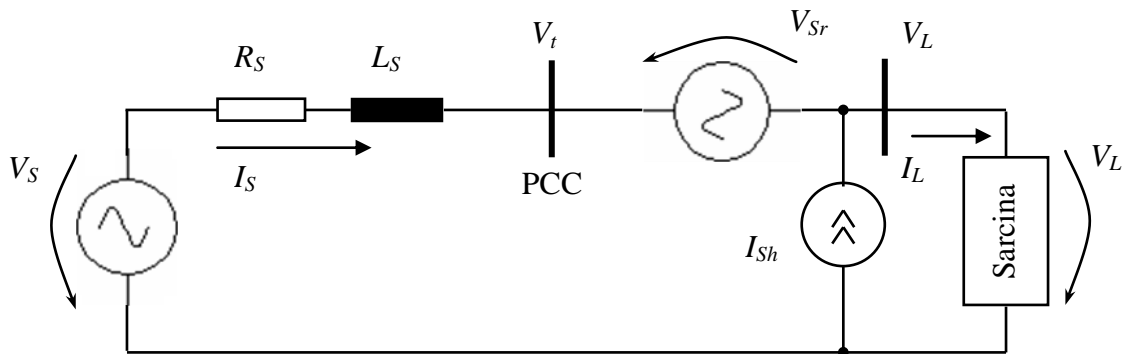


Figura 9. Schema monofazată echivalentă a unui UPQC

Semnificațiile notațiilor sunt:

V_S – tensiunea sursei;

V_t – tensiunea în Punctul de Conectare Comună (PCC – Point of Common Coupling);

V_L – tensiunea sarcinii;

V_{Sr} – tensiunea injectată de filtrul activ serie;

I_S – curentul furnizat de sursă;

I_L – curentul absorbit de sarcină;

I_{Sh} – curentul injectat de filtrul activ paralel.

Tensiunea sarcinii este considerată ca origine de fază, iar factorul de putere al acesteia este $\cos\Phi_L$, respectiv

$$\overline{V}_L = V_L \angle 0^\circ \quad (5)$$

Faza tensiunii injectate de filtrul activ serie poate varia între 0° și 360° . În funcție de tensiunea injectată de filtrul activ serie, poate apare o diferență de fază între tensiunea sursei și

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

tensiunea sursei. Prin schimbarea fazei tensiunii injectate de filtrul activ serie, amplitudinea tensiunii injectate poate crește, determinând creșterea puterii nominale [kVA] a filtrului activ serie.

Cu ipotezele considerate, se poate scrie

$$\bar{I}_L = I_L \angle -\Phi_L \quad (6)$$

$$\bar{V}_t = V_L (1+k) \angle 0^\circ \quad (7)$$

în care factorul k semnifică fluctuația tensiunii sursei, definită ca

$$k = \frac{V_t - V_L}{V_L} \quad (8)$$

Tensiunea injectată de filtrul activ serie va trebui să fie

$$\bar{V}_{sr} = \bar{V}_L - \bar{V}_t = -kV_L \angle 0^\circ \quad (9)$$

Se consideră că UPQC este fără pierderi (se neglijează pierderile interne). În acest caz, puterea activă solicitată de sarcină este egală cu puterea activă de intrare în PCC. UPQC este o sursă de curent cu factor de putere aproape unitar, iar pentru un regim dat al sarcinii, puterea activă de intrare în PCC se poate exprima:

$$P_t = P_L$$

$$V_t I_S = V_L I_L \cos \Phi_L$$

$$V_L (1+k) I_S = V_L I_L \cos \Phi_L$$

$$I_S = V_L \frac{I_L}{(1+k)} \cos \Phi_L \quad (10)$$

Curentul furnizat de filtrul activ paralel I_{Sh} trebuie să fie diferența dintre curentul sursei și curentul sarcinii, care conține și armonicile și curentul reactiv ale sarcinii.

$$\bar{I}_{Sh} = \bar{I}_S - \bar{I}_L$$

$$\bar{I}_{Sh} = I_S \angle 0^\circ - I_L \angle -\Phi_L$$

$$\bar{I}_{Sh} = I_S - (I_L \cos \Phi_L - jI_L \sin \Phi_L) \quad (11)$$

$$\bar{I}_{Sh} = (I_S - I_L \cos \Phi_L) + jI_L \sin \Phi_L \quad (12)$$

În continuare se va face o analiză a situațiilor de funcționare ale UPQC.

Situația I

Reprezentarea circulației puterilor este reprezentată în figura 10.

Dacă sistemul adaptiv (UPQC) nu este în funcțiune, toată puterea reactivă solicitată de sarcină este furnizată în totalitate de către sursă (Fig. 10.a)). După conectarea sistemului adaptiv și pornirea filtrului activ paralel, puterea reactivă solicitată de sarcină va fi furnizată în totalitate de către filtrul paralel (Fig. 10.b)). Puterea reactivă absorbită de la sursă este nulă. Deci, atât timp cât filtrul activ paralel este în funcțiune, el va furniza întreaga putere reactivă solicitată de sarcină, chiar și pe durata căderilor sau creșterilor tensiunii, inclusiv compensarea armonicilor tensiunii sursei.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

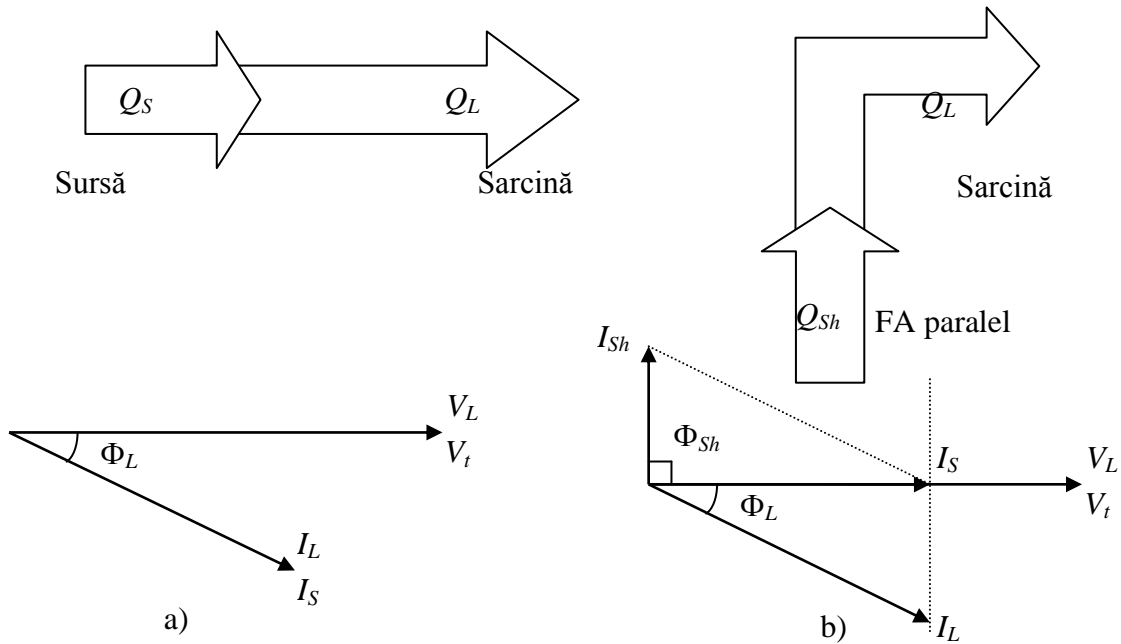


Figura 10. Circulația puterii reactive și diagramele fazoriale:
a) - fără UPQC; b) - cu filtru activ paralel

Situația II

În cazul în care $k < 0$, respectiv $V_t < V_L$, puterea activă furnizată de filtrul activ serie P_S va fi pozitivă, respectiv acesta va furniza putere activă sarcinii (Fig. 11). Această situație apare pe durata căderilor de tensiune și în consecință curentul absorbit de la sursă I_S va fi mai mare decât cel absorbit în mod normal.

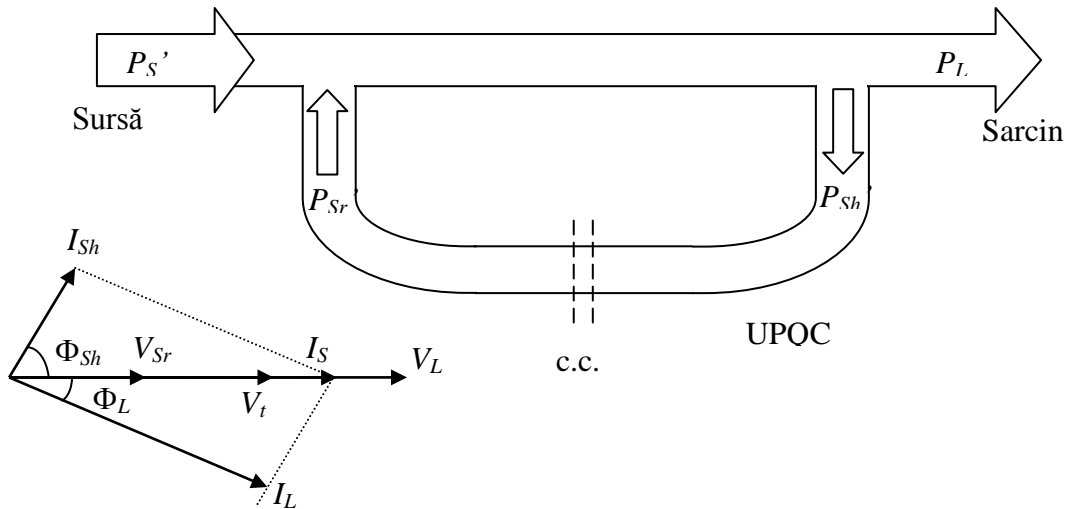


Figura 11. Circulația puterii active și diagrama fazorială pe durata căderilor de tensiune

Puterea activă necesară va fi absorbită chiar din rețea, prin absorbția unui curent mai mare pentru a menține echilibrul puterilor și pentru a păstra tensiunea din circuitul intermediar de c.c. la valoarea necesară.

În această situație, circulația puterii active se face de la sursă la filtrul activ paralel, de la acesta către filtrul activ serie prin intermediul circuitului intermediar de c.c. și apoi în final către sarcină. Astfel, sarcina va primi puterea activă necesară chiar și pe durata căderilor de tensiune.

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

În această situație, puterea activă absorbită de filtrul activ paralel este egală cu puterea activă furnizată sarcinii de către filtrul activ serie.

Situația III

În cazul în care $k > 0$, respectiv $V_t > V_L$, puterea activă vehiculată de filtrul activ serie P_S va fi negativă, respectiv acesta va absorbi putere activă de la sursă (Fig.12). Această situație apare pe durata creșterilor de tensiune și în consecință curentul absorbit de la sursă I_S va fi mai mic decât cel absorbit în mod normal. Datorită creșterii tensiunii sursei V_S , tensiunea din circuitul intermediar ar putea crește. Pentru a menține constantă tensiunea din circuitul intermediar, curentul absorbit din rețea de către filtrul activ paralel va fi mai mic.

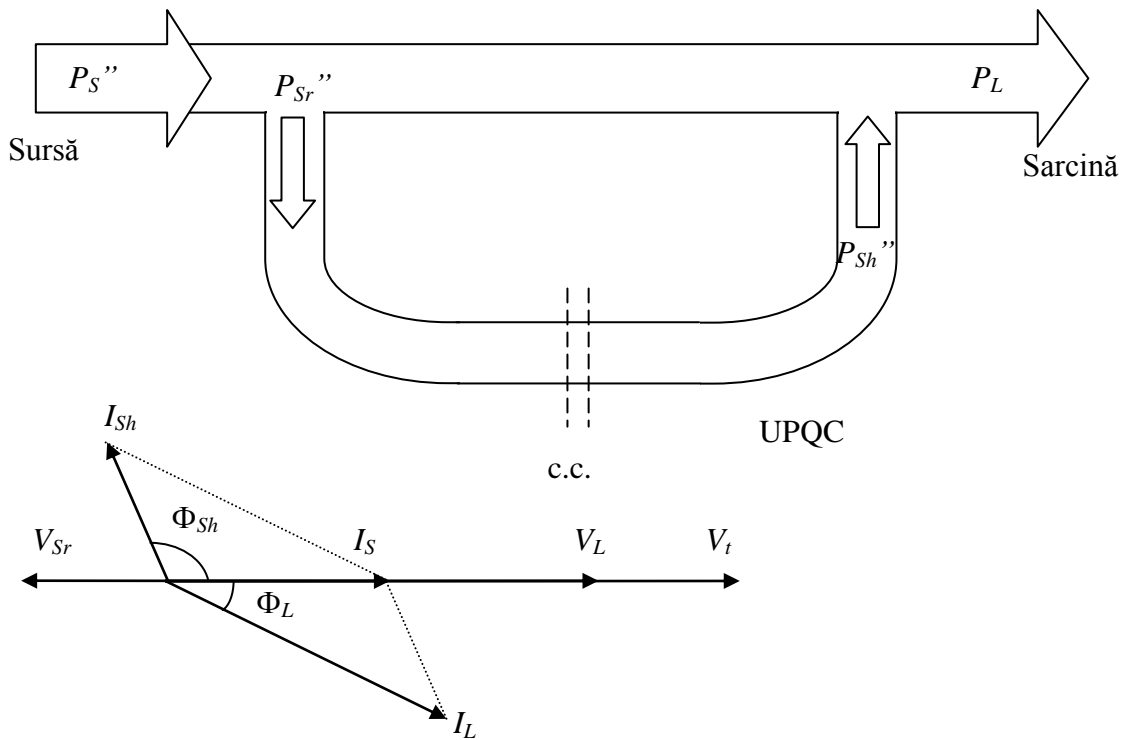


Figura 12. Circulația puterii active și diagrama fazorială pe durata creșterilor de tensiune

Situația IV

În cazul în care $k = 0$, respectiv $V_t = V_L$, nu va exista transfer de putere activă prin UPQC. Aceasta este situația normală de funcționare (Fig. 13).

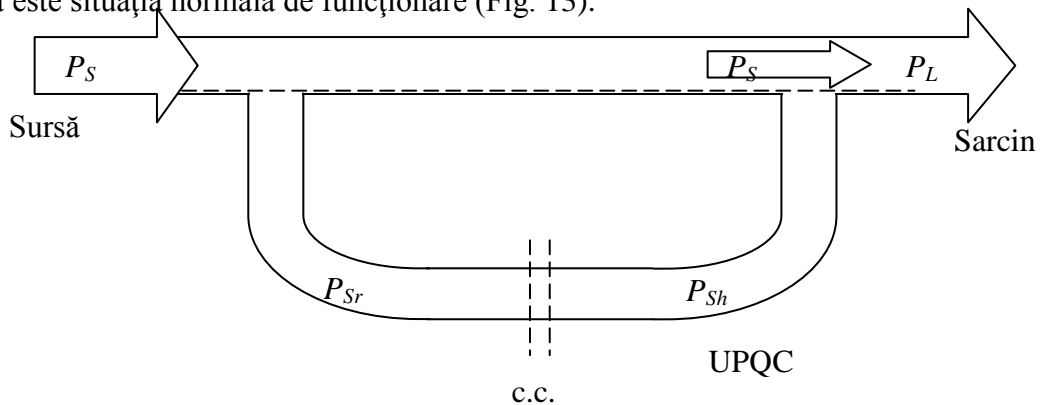


Figura 13. Circulația puterii active în situația normală de funcționare

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

Bibliografie selectivă [56-60]

A 2.11. –Realizarea partiala a modelului experimental.

Au fost achizitionate urmatoarele module de comanda si forta pentru invertoarele aferente filtrelor active serie si paralel :

SUPERVISORY CIRCUIT

CONVERTOR ACR150-24S24

TRANZ FF200R17KE4

AMPLIFICATOR SKHI 10/17R

AMPLIFICATOR SKHI 23/17R

CAN TRANSCEIVER

TRADUCTOR CURENT LA 55-P

TRADUCTOR CURENT LA 100-P

TRADUCTOR CURENT LV 25-P

SINGLE SENZOR MINI

Avand aprovizionate componentele electronice fost proiectat si realizat cablajul pentru partea de forta aferenta celor 2 invertoare

Bibliografie

- [1] Müller,S. et al. *Renewable Energy. Policy Considerations for Deploying Renewables*, IEA, 2011
- [2] Saeed,M. *Improvement of power Systems Operation using smart grid technology*. Indian J. Edu. Inf. Manage., Vol. 1, No. 9, 2012
- [3] Chowdhury S. et al. *Microgrids and Active Distribution Networks*. IET RENEWABLE ENERGY SERIES 6, 2009
- [4] Bollen M. and Hager M. *Power Quality: Interactions between Distributed Energy Resources, the Grid, and Other Customers*. Electrical Power Quality and Utilisation, Magazine Vol. I, No. 1, 2005
- [5] Xiangkun, L. *Supporting PV Integration in Low-Voltage Feeders with Demand Response*. Zurich, March 3, 2014
- [6] Whitaker,C. et al. *Renewable Systems Interconnection Study: Distributed Photovoltaic Systems Design and Technology Requirements*. SAND2008-0946 P, 2008
- [7] Satyanarayana,G. and Siva,K. *Analysis of Wind Farm to Weak-Grid Connection Using Fuzzy Based Unified Power Quality Compensator (UPQC)*. Int.J.Computer Technology & Applications,Vol 3 (3), May-June 2012
- [8] Chindriș,M. ș.a. *Reducerea poluării armonice a rețelelor electrice industriale*. Editura Mediamira, Cluj-Napoca, 2003
- [9] Hingorani, N.G. *Introducing custom power*. IEEE Spectrum, 32, 6, 1995
- [10] Sannino, Ambra et al. *Power-electronic solutions to power quality problems*. Electric Power Systems Research, 66, 2003
- [11] Golovanov Carmen. *Aparate electrocasnice. Probleme de compatibilitate electromagnetica*. Ed. ICPE, București, 1997
- [12] Chindriș M. et al. *Unbalance and harmonic currents impact on electric distribution grids. Study case*. 43th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2008, 1-4 September, Padova, Italy, pp. 175-178
- [13] Einar Palmi Einarsson. *Load modelling for steady-state and transient analysis of low voltage dc systems*. Thesis for the degree of Master of Science, 2004, Departement of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Suedia
- [14] Bora Acarkan and Osman Kiliç. *Electrical Harmonics Modeling of Office Equipments Using Matlab And Simulink*
- [15] Purushothama Rao Nasini et al. *Modeling and Harmonic Analysis of Domestic/Industrial Loads*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Issue 5, September- October 2012, pp.485-491
- [16] Dolara A. and Sonia Leva. *Power Quality and Harmonic Analysis of End User Devices*. Energies 2012, 5, 5453-5466

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele

SMART GRID

- [17] Zhou Chang and Shi Tao. *Power Quality Analysis of Photovoltaic Generation Integrated in User-Side Grid*. International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 5, No. 2, April 2013, pp. 179 – 182
- [18] Miron Anca et al. *Interharmonic issue in the electric power systems*. The 7th International Power Systems Conference, 21 – 23.11.2007, Timișoara, Romania, pag. 409 – 417
- [19] Gil-de-Castro Aurora et al. *Study on harmonic emission of domestic equipment combined with different types of lighting*. Electrical Power and Energy Systems 55 (2014) 116 – 127
- [20] Rodrigues C. et al. *An Experimental Comparison Between Different Technologies Arising for Public Lighting: LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps*. 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 141-146
- [21] Angela Iagar et al. *The influence of home nonlinear electric equipment operating modes on power quality*, WSEAS Transactions on Systems, Volume 13, 2014, pp. 357 - 367
- [22] Ioulia Papaioannou et al. *Harmonic Impact of Small Photovoltaic Systems Connected to the LV Distribution Network*, 5th International Conference on European Electricity Market, 2008. EEM 2008, pp. 1 – 6
- [23] Arroyo A. et. al. *Power Quality impact of a small wind energy conversion system connected to the LV grid*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12), Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012
- [24] Chindriș M. et all. *Propagation of unbalance in electric power systems*. 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU'07, Barcelona, Spain, 9 – 11 October 2007
- [25] Miron Anca și Chindriș M. *Transmiterea perturbațiilor electromagnetice conduse în sistemele electroenergetice*, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2009
- [26] Toader D. ș.a. *Analiza nesimetriilor în rețelele electrice de medie tensiune. Metode analitice, modelare fizică și numerică*, Editura Politehnica, Timișoara, 2008
- [27] Almeida C. and Kagan N. *A Novel Technique For Modeling Aggregated Harmonic-Producing Loads*, CIRED 21st International Conference on Electricity Distribution Frankfurt, 6-9 June 2011, Paper 1217
- [28] Zhang L.D. and Bollen M.H.J. *A method for characterizing unbalanced voltage dips (sags) with symmetrical components*, IEEE Power Engineering Letters, pp. 50-52, July 1998
- [29] *** SR EN 50160:2011 (inclusiv SR EN 50160:2011/AC:2013). *Caracteristici ale tensiunii în rețelele electrice publice de distribuție*
- [30] *** *Standardul de performanță pentru serviciul de distribuție a energiei electrice*. Cod ANRE: 28.1.013.0.00.30.08.2007
- [31] Albert, Hermina ș.a. *Calitatea energiei electrice. Contribuții. Rezultate. Perspective*. Editura AGIR. București, 2013
- [32] Tran-Quoc T. et al. *Technical impacts of small distributed generation units on LV networks*. IEEE Power Engineering Society General Meeting, vol. 4, Jul. 2003, Toronto, Canada, pp. 2459 – 2464
- [33] Casavola A. et al. *Voltage regulation in distribution networks in the presence of distributed generation: a voltage set-point reconfiguration approach*. Electric Power Systems Research, vol. 81, no. 1, pp. 25 – 34, 2011
- [34] Cziker A. și Chindriș M. *Analiza pierderilor reale de putere în rețelele electrice de joasa tensiune*. Revista Energetica, anul 58, nr. 7/2006
- [35] Cziker A. ș.a. *Pierderile de putere activă în rețelele actuale de distribuție*. Revista Energetica, anul 58, nr. 7/2010
- [36] Akagi H. *Modern active filters and traditional passive filters*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. Vol. 54, No. 3, 2006
- [37] Habrouk M. E. et al. *Active Power Filters: A Review*. IEE. Proceedings Electric Power Applications, 147, 5, 2000
- [38] Vasundhara V. et al. *Improvement of Power Quality by UPQC Using Different Intelligent Controls: A Literature Review*. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Volume 2, Issue 1, March 2013
- [39] Ghosh A. and Ledwich G. *Power quality enhancement using custom power devices*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002
- [40] Hingorani N.G. *Introducing custom power*. IEEE Spectrum, vol. 32, no. 6, June 1995
- [41] Teke A. and Tumay M. *Unified power quality conditioner: A literature survey*. Journal of Electrical Systems, vol. 7, no 2, 2011
- [42] Gopal B. et al. *A Review on UPQC for Power Quality Improvement in Distribution system*. Global Journal of Research in Engineering. Electrical and Electronics Engineering. Vol.13, Issue 7, 2013
- [43] Deshpante P. et al. *Different Modeling Aspects and Energy Systems of Unified Power Quality Conditioner (UPQC): An Overview*. International Journal of Renewable Energy Research, Vol.3, No.2, 2013

Etapa 2

Fundamentarea soluțiilor tehnice și constructive pentru un sistem adaptiv de corecție a parametrilor electrici ai rețelelor de joasă tensiune, pentru microrețelele de interconectare a surselor regenerabile de energie, integrabil în rețelele SMART GRID

- [44] Ramya K. and Prakash R. *Improving Power Quality in Microgrid by Means of Using Power Quality Conditioner Devices*. International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 03 Special Issue: 07, May-2014
- [45] Vadirajacharya K. et al. *Comparative Evaluation of VSI and CSI based Unified Power Quality Conditioner*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 2, Issue 6 (Sep-Oct. 2012)
- [46] Khadem S. et al. *UPQC for Power Quality Improvement in DG Integrated Smart Grid Network – A Review*. International Journal of Emerging Electric Power Systems, Vol. 13, Iss. 1, 2012, Article 3
- [47] Benachaiba C. et al. *Smart Control of UPCQ within Microgrid Energy System*. Energy Procedia 6 (2011)
- [48] Vechiu I. et al. *Three-Phase Four-Wire Active Power Conditioners for Weak Grids*. International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 5, No. 2, April 2013
- [49] Narayanappa and K. Thanushkodi. *Photovoltaic based Improved Power Quality using Unified Power Quality Conditioner*. International Journal of Electrical Engineering, Volume 4, Number 2 (2011), pp. 227-242
- [50] Siah M. et al. *Design and Simulation of UPQC to Improve Power Quality and Transfer Power of photovoltaic array to grid*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(3): 662-673, 2011
- [51] Deshpande P. and Shrivastava A. *Comparative Aspects of Single & Multiple PV Arrays Connected With UPQC*. International Journal of Computational Engineering Research, Vol. 04, Issue, 2, Feb. 2014, pp. 42 – 49
- [52] Marcel Jufer, Electric Drives, John Wiley & Sons 2010
- [53] Marian P. Kazmierkowski, R. Krishnan, Frede Blaabjerg, Control in Power Electronics, Academic Press 2002
- [54] www.semikron.com/products Semikron , documentatie de firma
- [55] www.lemproducts.com
- [56] Roncero-Sanchez P., Acha E., Ortega-Calderon J.E., Feliu V., Garcia-Cerrada A.," *A versatile control scheme for a dynamic voltage restorer for power-quality improvement*", IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, Vol.24, No.1 , pp. 277 - 284.
- [57] N. G. Jayanti, M. Basu, M. F. Conlon and K. Gaughan, "*Optimising the rating of the UPQC for applying to the fault ride through enhancement of wind 211 generation*", Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 6-8 Sept. 2006, Vol. 1, pp 123-127.
- [58] N. G. Jayanti, M. Basu, Iurie Axente, M. F. Conlon and K. Gaughan, "*Sequence analysis based DSP controller for Dynamic Voltage Restorer (DVR)*", 39th IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC), Island of Rhodes, Greece, June 15-19, 2008, pp.3986 - 3991.
- [59] Marin D. *Cercetări privind filtrele active de putere*, teză de doctorat, Universitatea din Craiova, 2010
- [60] Mojtaba Nemati, Hesam Addin Yousefian and Rouhollah Afshari, "Recognize the Role of DVR in Power Systems", International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 2, Page(s): 13 - 15, November 2009.