

## **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 1**

#### **Fundamentarea solutiilor tehnice si constructive pentru un sistem adaptiv de corectie a parametrilor electrici ai retelelor de joasa tensiune, pentru microretele clasice izolate, integrabil in retelele SMART GRID.**

### **REZUMAT**

Studiul aferent etapei și-a propus abordarea unor activități specifice care să conducă la concepția unui sistem de corecție a parametrilor rețelelor de joasă tensiune, care să respecte cerințele de calitate a energiei electrice. A fost identificată aplicația, analizată și modelată o rețea de distribuție test. S-au evidențiat perturbările care pot să apară, sursa acestora și modul de transmitere.

Estimarea variațiilor posibile în valorile indicatorilor de calitate, în cazul în care sunt integrate sisteme adaptive prin conectarea unui analizor și configurarea hartilor de perturbatii permite determinarea severității diferitelor perturbații și o analiză a consecințelor asupra rețelei de distribuție și a utilizatorilor. Au fost identificate metodele de îmbunătățire a calității energiei prin utilizarea unui sistem adaptiv de corecție a parametrilor rețelei și algoritmi de comandă ai sistemului adaptiv (pentru diferite situații de perturbare a parametrilor rețelei). Au fost stabiliți algoritmi de comandă ai sistemului adaptiv și cei referitori la achiziția, transmiterea și înregistrarea datelor. S-au analizat configurațiile cele mai performante și s-au stabilit soluțiile de integrare ale sistemului propus în rețelele electrice de distribuție de joasă tensiune. Finalizarea studiului aferent etapei a condus la stabilirea arhitecturii finale a sistemului adaptiv și descrierea modurilor de funcționare a acestuia.

Etapa de cercetare parcursă constituie o îmbinare complexă atât între diverse domenii ale științei și tehnicii moderne, cât și între teorie și practică și permite trecerea la următoarea etapă destinată proiectării și realizării sistemului propus.

## DESCRIEREA STIINTIFICA SI TEHNICA

### 1. Identificarea aplicației.

Evoluția sistemelor de producere, transport și utilizare a energiei electrice a determinat trecerea de la dominația structurii de macrorețea electrică de alimentare (în sistemul centralizat) la cea a microrețelei de alimentare cu energie electrică.

Noul concept reclamă, însă, o flexibilitate sporită atât a surselor cât și a receptoarelor. Mai mult, noile microrețele implică găsirea unor sisteme speciale de stocare a energiei produse și de gestionare a acestei energii în vederea optimizării consumului. De asemenea, noua strategie necesită și utilizarea de noi căi pentru alimentarea consumatorilor. Se pot dezvolta atât microrețele de curent alternativ, cât și microrețele de curent continuu, în funcție de specificitatea surselor de energie și a receptoarelor.

O microrețea este un sistem de distribuție la joasă sau medie tensiune cu surse de generare distribuite și sarcini electrice și termale. Poate fi conectată la rețeaua principală sau poate funcționa independent, ca un sistem energetic izolat. Atunci când funcționează în mod interconectat, deciziile privind generarea locală sunt orientate către maximizarea eficienței acestora, dar depind de disponibilitatea surselor de energie primară și de prețul energiei. Atunci când se produce un defect în rețelele de distribuție tradiționale, microrețeaua este în mod automat insulată fizic, fiind alimentată de la propriile surse. Este de dorit ca trecerea de la un mod la altul să se facă fără întreruperea alimentării cu energie electrică. În plus, în funcție de sursa de energie primară și de tehnologia utilizată pentru procesul de conversie, conectarea unităților de GD la rețeaua de energie electrică poate da naștere unor probleme care, dacă nu sunt abordate corespunzător, pot reduce calitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor. Deteriorarea calității energiei electrice poate afecta instalațiile utilizatorilor de rețea și poate împiedica operatorul de rețea să își îndeplinească sarcinile de bază.

Prin implementarea unui sistem distribuit inteligent, micro-sursele locale și controllerele locale trebuie să acționeze foarte rapid, ca un agent independent, astfel încât resursele să fie utilizate într-un mod eficient, iar funcționarea în condiții normale a sistemului să nu fie afectată.

În acest capitol sunt prezentate principalele tipuri de rețele de distribuție tradiționale, aflate în exploatare. Au fost evidențiate structurile adaptate diferitelor niveluri de tensiune și tipurilor de consumatori, care îndeplinesc cerințele de siguranță, elasticitate, economicitate și asigurare a parametrilor de calitate a energiei electrice, de tipul: rețelelor radiale simple, radiale duble sau buclate.

Capitolul introduce deasemenea conceptul de microrețele de distribuție. Sunt prezentate caracteristicile acestor microrețele, arhitectura acestora și diferite modele de structuri, fiind privite ca soluții la problemele asociate introducerii graduale a generării distribuite în sistemele de distribuție tradiționale. Microrețelele reprezintă o soluție la natura discontinuă a generării distribuite în mod special din surse de energie regenerabilă, fiind adecvate pentru zonele aflate la distanță mare de sistemul energetic principal.

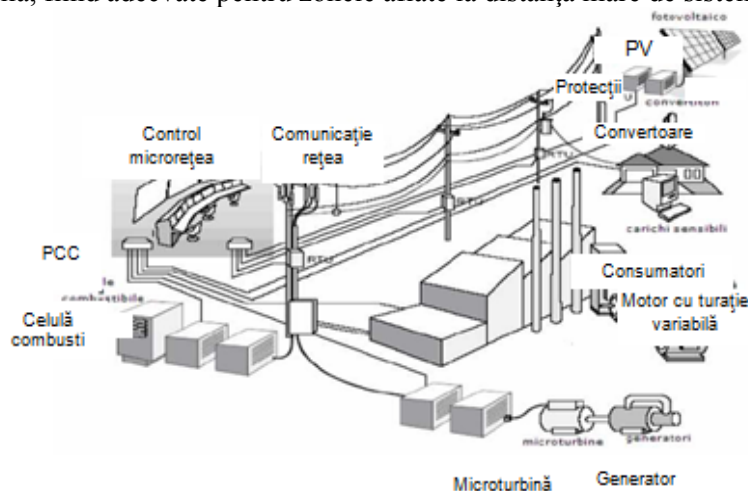


Fig.1 Structură generică microrețea

**Bibliografie selectivă [1-10]**

## 2. Analiza rețelei de distribuție.

Structurile de microrețele dezvoltate trebuie să asigure continuitatea alimentării cu energie a sarcinilor prin separarea acestora de sistemul de distribuție centralizat pe perioada funcționării perturbate a acestuia, fără a-i fi afectată integritatea structurală și funcțională. Această caracteristică a microrețelelor trebuie să asigure o creștere a siguranței în funcționare a sistemului de alimentare per ansamblul său.

Problemele cele mai importante care se remarcă odată cu introducerea generării distribuite în rețelele de distribuție sunt:

- restricții în regim permanent și la scurtcircuit
- calitatea energiei electrice
- nivelul tensiunii, puterea reactivă și reglajul tensiunii
- contribuția la serviciile de sistem
- stabilitatea și capabilitatea generatoarelor distribuite de a face față perturbațiilor
- aspecte legate de protecții,
- funcționarea insularizată,
- siguranța sistemului

Scopul științific principal al proiectului este orientat pe problemele de stabilitate și calitatea energiei electrice furnizate. În prezent, acestea sunt incluse în general în criteriile de conectare la rețea a unităților de GD ca limite sau prin referire la anumite standarde (de exemplu seriile de standarde IEC-EN 61000-3).

Analiza funcționării structurilor de microrețea care îndeplinesc criteriile impuse necesită utilizarea unor modele de componente de rețea adaptate.

O microrețea generică este compusă dintr-un număr de generatoare cu module statice de interfațare, consumatori de energie electrică la tensiune continuă sau alternativă (cu module invertoare), precum și o conexiune (prin transformatoare și module de conversie) cu rețeaua de distribuție.

În acest capitol au fost prezentate modelele generale și adaptate domeniului armonicilor superioare pentru componentele esențiale încadrate în structurile de rețea analizate:

- linii electrice
- transformatoare de putere
- mașini electrice
- convertoare statice
- surse regenerabile de energie
- elemente de stocare
- sarcini specifice sectorului casnic și terțiar
- convertoare pentru integrarea sistemelor cu surse regenerabile

Pentru modelele prezentate au fost puși în evidență parametrii în domeniul frecvență.

### **Bibliografie selectivă:[11-17]**

## 3. Modelarea rețelei

În viitor se preconizează că sistemul electroenergetic va fi împărțit între producția centralizată și producția distribuită. Generatoarele distribuite pot fi agregate și controlate astfel încât să formeze microrețele sau centrale virtuale care vor facilita integrarea acestora în sistemul fizic, dar și pe piața de energie electrică.

În acest capitol au fost prezentate caracteristicile generale pentru trei modele de rețea test tip IEEE cu consumatori casnici și terțiar cu sarcină distribuită dezechilibrat pe cele trei faze și injecții de putere de la surse regenerabile de tip panouri fotovoltaice:

- rețeaua test IEEE 13 noduri;
- rețeaua test IEEE 34 noduri;
- rețeaua IEEE 37 noduri.

A fost de asemenea configurată în vederea analizei o secțiune de rețea de joasă tensiune c.c. – c.a. cu convertor bidirecțional ce urmează a fi integrată în rețeaua de distribuție de medie tensiune.

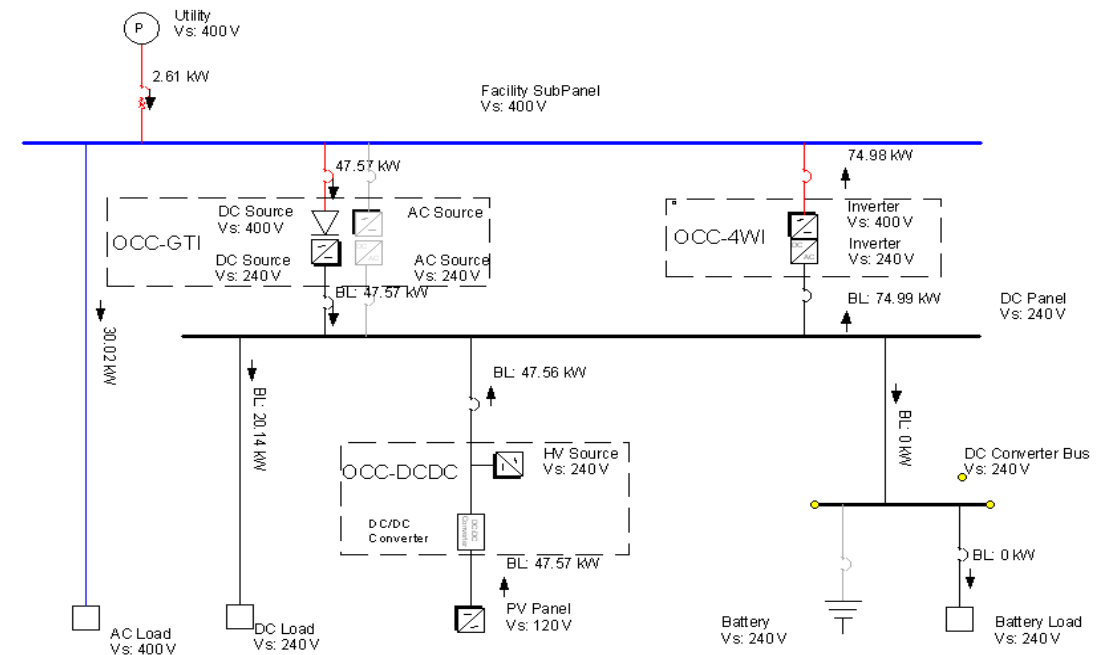


Fig.2. Structură de rețea c.c.-a. integrată în rețeaua de distribuție tradițională

Analiza rețelelor considerate și comportamentul acestora în prezența surselor de energie distribuite este asistată de pachetul de programe Paladin DesignBase S.P.5.1.

Aplicația permite configurarea rețelelor și calculul circulației de puteri în regim normal de funcționare în vederea determinării zonelor critice din punct de vedere al valorilor tensiunilor în noduri și perturbațiilor electromagnetice de tipul armonicilor superioare.

Cu ajutorul subrutinelor de calcul specializate ale pachetului de programe pot fi determinați indicatorii de regim nesinusoidal și repartitia acestora în secțiunile rețelei studiate, în absența și în prezența componentelor de injecție de putere de tip panouri fotovoltaice.

#### Bibliografie selectivă [18-21]

## 4. Identificarea perturbațiilor care pot să apară și a surselor acestora

Există o varietate largă de tipuri de perturbații electromagnetice care pot să apară în rețelele de alimentare cu energie electrică.

În acest capitol este prezentată o clasificare a acestora pe categorii, fiind menționate: fenomenele tranzitorii, variațiile de scurtă durată, variațiile de lungă durată, nesimetria sistemului de tensiuni, variațiile de frecvență și fluctuațiile de tensiune.

Informațiile au fost prezentate conform specificațiilor incluse în Standardul IEEE 1159-1995 -

Sinteza principalelor categorii de perturbații include:

- caracteristicile acestora: amplitudinea tensiunii, durată, spectru și timp de creștere, dar și
- cauze și surse posibile.

Este permisă astfel identificarea unor măsuri de limitare/compensare a indicatorilor perturbațiilor electromagnetice identificate în rețelele studiate.

În urma analizei literaturii de specialitate au fost identificate perturbațiile care apar în rețelele de distribuție a energiei electrice și implicit în punctele de record a micronețelelor

Din punctul de vedere al duratei, perturbațiile pot fi:

### 1. Perturbații tranzitorii

a. *Impulsurile tranzitorii* sunt de regulă unidirecționale ca și polaritate.

b. *Oscilațiile tranzitorii* constau în variații rapide ale tensiunii sau curentului cu schimbări bruște de polaritate. Cauzele posibile ale perturbațiilor tranzitorii de tip impuls sunt:

fulgerele, fire defecte, contacte ale releelor, conectarea sau deconectarea unei sarcini sau activarea dispozitivelor pentru corecția factorului de putere.

## 2. Perturbații de scurtă durată

a. *Golurile de tensiune* includ scăderile cu 10 % ale tensiunii nominale pentru o perioadă de timp care nu depășește un minut. Sunt cauzate de regulă de defecte ale sistemului de distribuție a energiei electrice sau echipamente defecte.

b. *Căderile de tensiune* sunt scăderi ale valorilor tensiunii sau ale curentului cuprinse în intervalul 2 ms – 1 minut. Ele pot fi cauzate de defecte în sistemul de alimentare cu energie electrică (o linie căzută la pământ - defect care va persista până nu va fi înlăturat), pornirea-oprirea unor sarcini foarte mari (motoare), sarcini care își modifică impedanța cu tensiunea de alimentare.

c. *Supracreșterile de tensiune* sunt creșteri ale valorii efective ale tensiunii sau ale curentului pentru intervale de timp cuprinse între 0.5 cicluri ale frecvenței fundamentale și un minut. Amplitudinea tipică a acestor perturbații este cuprinsă între 110 și 180 % din valoarea tensiunii nominale a rețelei. Cuplarea și decuplarea de la rețeaua electrică a unei sarcini mari sau a unei baterii de condensatoare poate cauza astfel de perturbații.

3. **Perturbațiile de lungă durată** se referă la variații ale valorii efective pe o perioadă de timp ce depășește un minut.

a. *Supratensiunile* sunt creșteri ale valorii efective (la frecvența nominală) pentru intervale mai lungi de un minut. Amplitudinile tipice ale acestor perturbații sunt cuprinse între 110 % și 120% din valoarea tensiunii nominale a rețelei. Printre cauzele care generează astfel de perturbații se numără: decuplarea unor sarcini mari, variații în compensarea reactivă a sistemului sau reglarea defectuoasă a reguletoarelor de tensiune.

b. *Subtensiunile* sunt scăderi ale valorii efective nominale (la frecvența nominală) pentru intervale mai lungi de un minut. Amplitudinile tipice ale acestor perturbații sunt cuprinse între 80 % și 90 % din valoarea nominală a tensiunii rețelei. Sunt produse de conectări ale unor sarcini mari, variații ale compensării reactive a sistemului, alegerea neinspirată a unui anumit tip de transformator, reguletoare de tensiune ajustate incorect, supraîncărcarea liniei de transmisie a energiei electrice.

c. *Intreruperile susținute de tensiune (golurile de tensiune)* sunt definite ca fiind scăderi la zero a valorii tensiunii de alimentare pentru o durată mai mare de un minut. Sunt provocate (cel mai frecvent) de accidente care afectează liniile de transmisie, transformatoarele sau sursele de tensiune alternativă.

4. **Dezechilibrele** se produc atunci când valoarea efectivă a diferitelor tensiuni de fază sau unghiuri de fază între faze consecutive nu sunt egale. Aceste anomalii sunt considerate severe dacă valoarea lor depășește 5 %. Sunt generate de sarcini dezechilibrate sau de pierderile excesive din conductoarele electrice ale liniei de alimentare cu energie electrică.

5. **Distorsiunile de formă** sunt deviații de la forma de undă ideală (sinusoidală) caracterizate de prezența în spectrul semnalului a componentelor spectrale ale acestor distorsiuni. Există cinci tipuri de astfel de perturbații :

a. *Componenta continuă* constă în prezența unei tensiuni suprapuse peste tensiunea liniei de alimentare. Astfel de distorsiuni pot fi cauzate de modificările geometrice ale componentelor generatoarelor (stator, rotor), pornirea și oprirea unor mașini sincrone sau prezența unor surse de alimentare în comutație. Amplitudinea componentei continue este destul de mare pe perioada pornirii – opririi mașinilor sincrone.

b. *Distorsiunile armonice* sunt perturbații sinusoidale cu frecvența multiplu întreg al frecvenței sistemului de alimentare cu energie electrică. Orice dispozitiv sau sarcină neliniară produc astfel de. Consumatorii neliniari pasivi produc, de regulă, armonici impare, armonicele pare fiind produse de către dispozitivele active, dar și de către transformatoarele saturate cu un curent continuu. În afara componentelor armonice, în rețea pot să apară și componente nearmonice: subarmonici sau interarmonici produse de convertizoarele de frecvență sau de motoarele asincrone prin fenomenul de alunecare .

c. *Intermodulațiile* sunt perturbații ale tensiunii sau curentului care au frecvențe discrete, diferite de frecvența componentelor armonice, sau un spectru bogat. Sursele principale ale acestor perturbații sunt convertoarele statice de frecvență, ciclo-convertoarele, motoarele de inducție și arcul electric.

d. *Varfurile de tensiune* sunt distorsiuni ale tensiunii de alimentare cauzate de operarea normală a dispozitivelor electrice în momentul comutării curentului de la o fază la alta .

e. *Zgomotul* include orice semnal nedorit cu componente spectrale mai mici de 200 kHz suprapuse peste tensiunea sau curentul din linia de alimentare. Zgomotele pot fi produse de echipamentele care produc arc electric, circuitele de control, surse de alimentare in comutație.

**Fluctuațiile de tensiune** (flicker) sunt variații sistematice ale anvelopei semnalului sau o serie de schimbări aleatoare ale tensiunii, magnitudinea acestora nedepășind limita de 105 % din valoarea nominală a tensiunii rețelei. Orice sarcină care prezintă variații semnificative ale curentului, respectiv a valorii elementului reactiv cum ar fi arcurile electrice, poate provoca astfel de fluctuații. Flickerul produce variații ale iluminării in cazul utilizării surselor de iluminat incandescente, efectul fiind foarte deranjant pentru ochi dacă frecvența fluctuațiilor este de 8,8 Hz.

**Variațiile frecvenței** sunt in directă legătură cu schimbările vitezei generatoarelor rotative datorită dezechilibrului între sarcină și capacitatea respectivului generator. Printre cauze poate fi amintită cuplarea/decuplarea unor sarcini foarte mari. Scăderea frecvenței rețelei are ca efect creșterea pierderilor in transformatoare și creșterea uzurii generatoarelor, ca efect al apropierii de frecvența de rezonanță a acestora.

**Evenimentele repetitive** reprezintă o serie de evenimente care se produc la intervale regulate. Printre cauzele apariției acestor perturbații se numără și dispozitivele care produc evenimente repetitive cum ar fi: dispozitive cu viteză variabilă, startere, dispozitive de sudură cu arc. In figura 3 sunt prezentate cateva dintre perturbațiile intalnite frecvent in rețelele de alimentare cu energie electrică: impulsuri tranzitorii, intreruperi de tensiune, supratensiune, căderi de tensiune, fluctuații de tensiune (flicker), variații ale frecvenței rețelei.

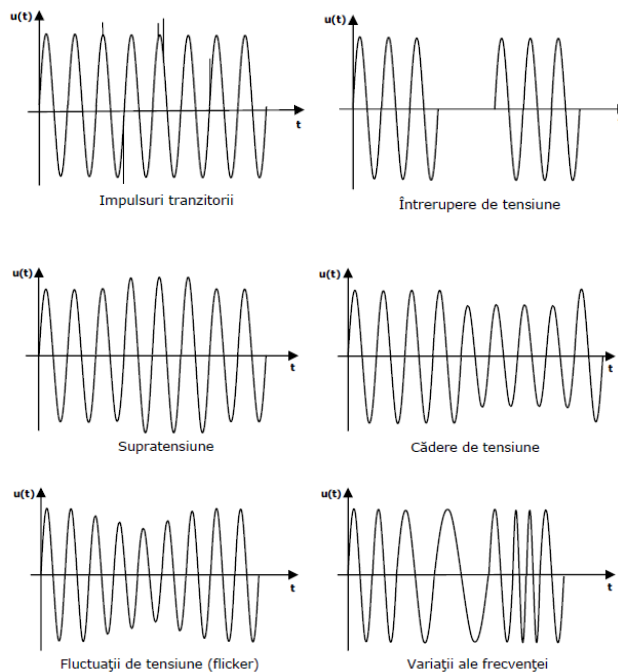


Fig.3. Tipuri de perturbatii frecvente

**Bibliografie selectivă:[22-27]**

## 5. Transmiterea perturbațiilor.

În acest capitol este prezentat algoritmul de estimare a transferului perturbațiilor electromagnetice sub forma armonicilor și fluctuațiilor de tensiune între o structură de microrețea cu surse de injecție de tip centrale fotovoltaice și rețeaua de distribuție tradițională.

Conform normativelor naționale privind calitatea energiei electrice și a codurilor rețelelor sunt specificate limitele impuse principalelor parametrilor de ce caracterizează calitatea energiei electrice (CENEL) în rețele electrice la toate nivelele de tensiune. Sunt impuse de asemenea măsurări periodice ale indicatorilor CENEL, cu echipamente de înaltă clasă de precizie și performanță. Monitorizarea parametrilor de CENEL

trebuie să fie asigurată continuu, în perfectă concordanță cu standardele europene, oferindu-se astfel asistență operatorilor de rețea în procesul de acordare a permisiunii de racordare la rețea a utilizatorilor perturbatori.

Analiza efectuată în acest capitol a avut ca scop determinarea dependenței între distorsiunile de tensiune în rețelele de tensiuni diferite, putând fi aproximată cu ajutorul unei funcții pătratice.

Valoarea factorului de transfer a distorsiunilor între rețelele de diferite tensiuni este dată (cu o corecție liniară) de valoarea factorului total de distorsiune de tensiune în rețeaua în care sunt localizate sursele de armonici dominante.

Factorul de transfer al fluctuațiilor de tensiune (flicker) dinspre rețeaua de tensiune nominală mai mare spre cea de tensiune nominală inferioară aparține unui domeniu de variație 0,8...0,9.

Evaluarea indicatorilor de calitate a energiei electrice pune în evidență modul de încadrare a valorilor determinate pentru indicatorii CENEL în domeniul prescris de standarde.

**Bibliografie selectivă:[28-34]**

## **6. Determinarea severității diferitelor perturbații și a limitelor acceptate în diferite puncte (noduri) ale rețelei**

Analiza regimurilor de operare perturbate ale rețelelor de distribuție având la bază doar o prelucrare statistică a datelor măsurate este afectată de erori și permite doar în mică măsură determinarea unor măsuri adecvate de limitare a perturbațiilor. În plus, este necesară cunoașterea detaliată a locației, tipului și puterii instalațiilor la consumatori, pe întreaga perioadă pe care se urmărește analiza și pentru care este disponibilă o estimare a evoluției sarcinii.

Însă din cauza variației permanente a sarcinii în sistem, o asemenea informație este imposibil de considerat fără asumarea unui coeficient de eroare. Nivelul de perturbație este influențat de caracteristicile sarcinii din sistemul analizat. Mai mult, orice modificare de impedanță determină o schimbare a conținutului de armonici din spectrul curentului de sarcină sau o variație a nivelului de flicker, tensiune sau chiar nesimetrie. De aceea, orice studiu de caz al propagării perturbațiilor electromagnetice într-o rețea trebuie realizat în condiții de mare precizie a măsurărilor în nodurile de interes, rezultatele fiind aplicate ulterior pentru verificarea și îmbunătățirea unor modele adaptate algoritmilor de analiză asistată.

În acest capitol sunt prezentate rezultatele măsurărilor indicatorilor de calitate a energiei electrice într-o rețea de distribuție cu RDE, organizate simultan în nodurile de interfață între rețele de nivele diferite de tensiune, pe un interval standard de 1 săptămână. Este analizată influența structurii rețelei asupra propagării perturbațiilor de tipul armonicilor și flicker-ului. Această analiză a indicatorilor de calitate a energiei electrice utilizează modelarea bazată pe măsurări.

Este introdus un algoritm care permite determinarea interacțiunii dintre sursele de perturbații (consumatori neliniari și RDE) și rețeaua care le include. Acesta presupune exportul în baza de date a pachetului software Paladin DesignBase a datelor achiziționate în urma măsurărilor efectuate într-un interval de timp standardizat în nodurile de interfață între două rețele de nivele diferite de tensiune, prelucrate statistic, precum și modelarea surselor de armonici echivalente pentru reprezentarea consumatorilor neliniari din rețeaua test analizată. Datele sunt ulterior preluate de un soft de analiză armonică care generează rapoarte complete privind modul de propagare și nivelul perturbațiilor în rețea.

În urma analizei sunt configurate hărți de perturbații și sunt alocate nivele de emisii pe zone din rețea organizate pe nivele de tensiune, geografic și funcțional, putând fi evaluată influența sistemelor adaptive care urmează a fi integrate în structurile de rețea analizate.

În acest fel, pot fi reduse efectele estimărilor eronate ale evoluției sarcinii și este posibilă o prognoză a variației nivelurilor de calitate în nodurile de interfață între rețele, considerate de interes pentru operatorii de rețea care doresc să-și optimizeze funcționarea. **Bibliografie selectivă:[35-40]**

## **7. Analiza consecințelor asupra rețelei de distribuție și a utilizatorilor**

Structura unui sistem adaptiv include două elemente diferite: un filtru activ paralel (care are rolul de a elimina curenții armonici datorăți consumatorului și de a compensa energia reactivă consumată de acesta)

și un filtru activ serie (care compensează variațiile tensiunii rețelei de alimentare și armonicile de tensiune datorate rețelei astfel încât tensiunea la bornele consumatorului să rămână de valoare normală).

Rezultatele simulărilor pun în evidență efectul pozitiv pe care îl are utilizarea unui sistem adaptiv UPQC atât asupra consumatorului cât și asupra sistemului (Fig 4,5).

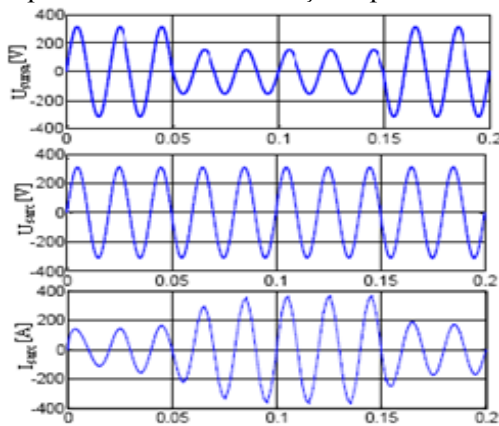


Fig.4. Efectul asupra unui gol de tensiune

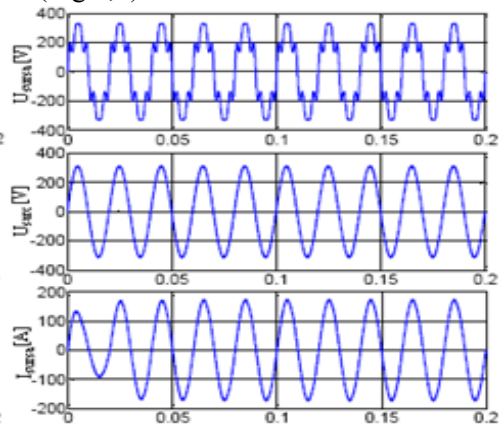


Fig.5. Efectul asupra tensiunii sursei nesinusoidală

Astfel, utilizarea sistemului permite compensarea locală a curenților de armonică superioară datorată consumatorului neliniar și puterea reactivă a acestuia, reducând influența asupra celorlalți consumatori și perturbațiile induse în sistem. Pe de altă parte se asigură compensarea unor abateri ale tensiunii aplicate consumatorului: simetrizarea tensiunilor de fază, compensarea armonicilor de tensiune superioare, limitarea urmărilor unor abateri de tipul golurilor de tensiune.

Existența mai multor strategii de comandă a elementelor active (care urmăresc determinarea curenților de referință pentru filtrul paralel și tensiunilor de compensare pentru filtrul serie) crează posibilitatea ca, prin alegerea corectă a acestora, în funcție de structura rețelei, de caracteristicile sistemului adaptiv și de tipul și amplitudinea perturbațiilor, să se asigure o îmbunătățire a parametrilor de calitate a energiei electrice.

Se observă că viteza de răspuns a unui sistem UPQC adaptiv este mult mai mare în cazul variațiilor de tensiune în punctul de alimentare în comparație cu sistemele clasice (transformatoare cu înfășurări de reglaj a tensiunii).

**Bibliografie selectivă: [ 41-45 ]**

## 8. Metode de îmbunătățire a calității energiei prin utilizarea unui sistem adaptiv de corectie a parametrilor rețelei

O comparație între diferitele metode de reducere a distorsiunilor armonice ne arată că atunci când obținem distorsiuni armonice reduse avem și un randament mai redus, excepție făcând filtrele active unde randamentul total este bun, așa cum se observă din figura 6.

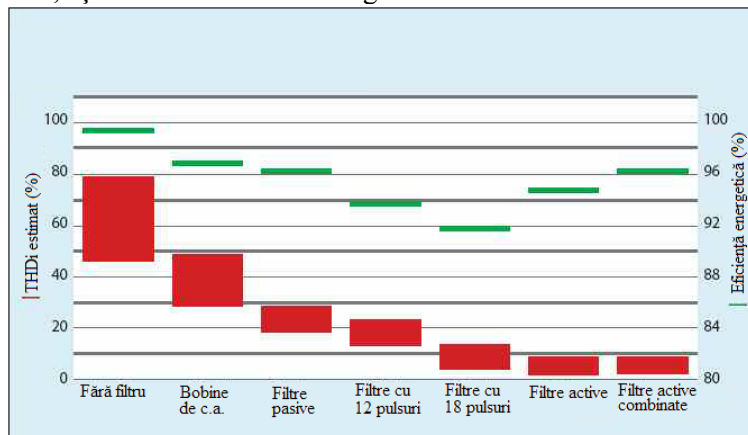


Fig. 6. Comparație privind reducerea distorsiunilor armonice de curent utilizând diferite filtre



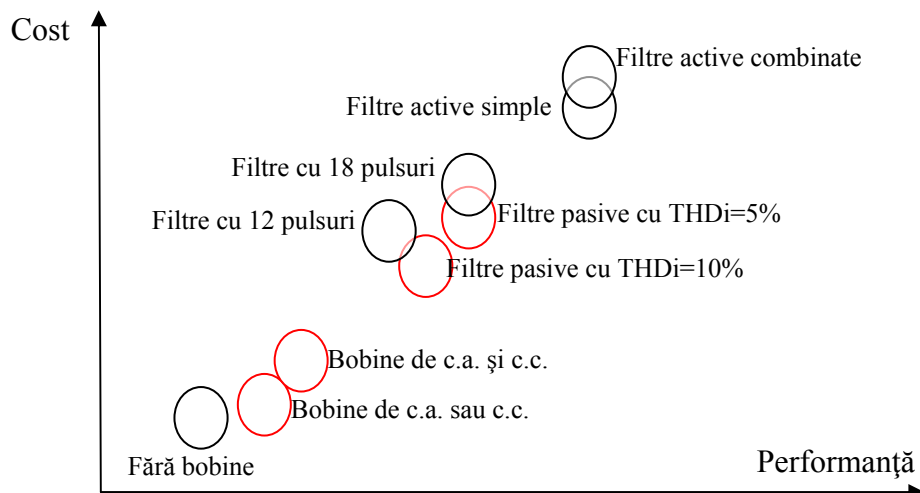


Fig.7. Comparatie cost/performanta pentru solutiile de filtrare a armonicilor de curent

Atunci când se utilizează soluții pasive, performanța soluției depinde de reglementările legate de lățimea de bandă. Ca și regulă, soluțiile pasive sunt mai avantajoase din punct de vedere al raportului preț/performanță (fig. 7).

Soluțiile active oferă cea mai bună reducere a distorsiunilor armonice și nu depinde de reglementările legate de lățimea de bandă. De asemenea soluțiile active de reducere a armonicilor oferă și un factor de putere mai bun.

Filtrele active combinate de tip serie-paralel (UPQC) reprezintă cea mai bună soluție de filtrare, deoarece diminuează atât armonicile de curent și tensiune, cât și alte mărimi electrice ce influențează calitatea energiei (goluri de tensiune, dezechilibre, componente reactive).

**Bibliografie selectivă: [ 46 - 50]**

## 9. Elaborarea algoritmilor de comandă ai sistemului adaptiv (pentru diferite situații așa cum vor rezulta din analiza rețelei)

### 9.1 Principiul filtrării active

Filtrele active sunt convertoare statice (în general invertoare trifazate de tensiune, având în construcție tranzistoare IGBT) utilizate în filtrarea componentelor armonice ale curentului (și pentru anumite configurații, ale tensiunii). Pentru aceasta, ele generează curenți egali în valoare instantanee cu cei armonici ce se dorește a fi eliminați, dar defazați cu  $180^\circ$  față de aceștia. În acest fel, sarcina va absorbi din rețeaua de alimentare doar componenta fundamentală a curentului necesar funcționării, componentele armonice fiind furnizate de către filtru.

### 9.2 Comanda filtrelor active

Comanda filtrelor active este o comandă în curent, astfel, indiferent ce metodă este folosită, comanda filtrului se referă la calculul curentului ce trebuie furnizat de către filtru sarcinii neliniare, respectiv, generarea propriu-zisă a sa. Circuitul de comandă a filtrelor active se împarte în două părți:

- circuitul de obținere a curentului prescris;
- circuitul de obținere a semnalelor de comandă pentru tranzistoarele din partea de forță a filtrului.

Prima secțiune conține două bucle de reglare: o buclă internă pentru reglarea curentului impus la ieșirea filtrului, respectiv, o buclă externă, pentru reglarea căderii de tensiune pe condensatorul din circuitul intermediar.

Cea de-a doua secțiune a comenzii primește la intrare valoarea instantanee a curentului prescris, valoare obținută la ieșirea primei secțiunii și oferă la ieșire semnalele de comandă pentru cele șase tranzistoare din partea de forță.

Există diverse metode de obținere a curentului prescris al filtrului activ, în funcție de tipul filtrului (serie, paralel, etc), respectiv, în funcție de modul concret de calcul al său. O altă diferență între diferitele metode de comandă se referă la faza curentului rezultat prin sursa de alimentare, mai exact, dacă se compensează și energia reactivă a sarcinii sau nu. Dintre metodele de calcul ce pot fi utilizate în calculul curentului compensator se pot enumera:

- Teoria puterii aparente complexe instantanee
- Teoria sistemului de referință ortogonal rotitor sincron
- Teoria componentelor fizice ale curentului
- Teoria conservativă a puterilor

Dintre strategiile de obținere a semnalelor de comandă pentru tranzistoarele din componența invertoarelor, cele mai utilizate sunt:

- modulația PWM
- utilizarea reguletoarelor cu histerezis

Studiile experimentale arată că prima metodă de comandă are performanțe superioare în cazul în care semnalul de comandă are variație sinusoidală, iar cea de-a doua metodă se recomandă atunci când semnalul de comandă are o variație oarecare. Deoarece în cazul filtrelor active, semnalul prescris are o evoluție în timp mult diferită de cea sinusoidală, reguletoarele cu histerezis au o mare răspândire în obținerea semnalelor de comandă pentru invertoarele ce intră în componența filtrelor active.

**Bibliografie selectivă: [ 51 – 56].**

## **10. Elaborarea algoritmilor de achiziție, transmitere și înregistrare a datelor**

Sistemul de achiziție dezvoltă un algoritm care permite eșantionarea și achiziționarea semnalelor de pe un canal (un curent de fază sau o tensiune de fază), două canale (un curent și o tensiune de fază), trei canale (trei curenți de fază sau trei tensiuni de fază) sau toate cele șase canale (trei curenți și trei tensiuni de fază).

Eșantioanele sunt memorate în memoria RAM a controlerului printr-o alocare dinamică a acestora în funcție de numărul de canale achiziționate. Imediat după achiziția primului punct este lansată rutina de transmisie a datelor, ce vor fi transmise în ordinea achiziționării.

Transmiterea datelor se face conform standardelor, iar modalitățile de transmisie se adaptează în funcție de topologia ariei în care se desfășoară procesul precum și de amplasarea centrului de decizie. Astfel se poate folosi pentru transmisia de date standardul RS 232, 485 etc., transmisia pe portul paralel (prin rețea), transmisia prin MODEM (pentru distanțe mari) și nu în ultimul rând transmisia radio sau GSM.

Interfața are rolul de a stabili o legătură „on-line” între sistemul de achiziție și transfer și utilizator. Ea trebuie să realizeze atât generarea și transmiterea comenzilor către sistem cât și recepționarea, prelucrarea și afișarea datelor solicitate, într-o manieră ergonomică și ușor de interpretat.

Ca mediu de dezvoltare pentru interfața utilizator, în general, pot fi utilizate diferite produse program: Visual Basic, Lookout. S-a ales însă realizarea interfeței utilizator folosind pachetul Matlab® Graphic User Interface, pentru a putea beneficia ulterior de facilitățile de calcul ale acestui produs program. Mai mult chiar, începând cu Matlab 6.5 se pot defini și obiecte capabile să comunice pe porturi seriale, în protocoale de date programabile.

Interfața trebuie să fie concepută astfel încât să fie intuitivă și ușor de utilizat, realizându-se interblocaje care elimină posibilitatea emiterii unor comenzi eronate, păstrând versatilitatea programării sistemului. De asemenea, vizualizarea a datelor se poate realiza în mai multe moduri, la alegerea utilizatorului (Fig. 8).

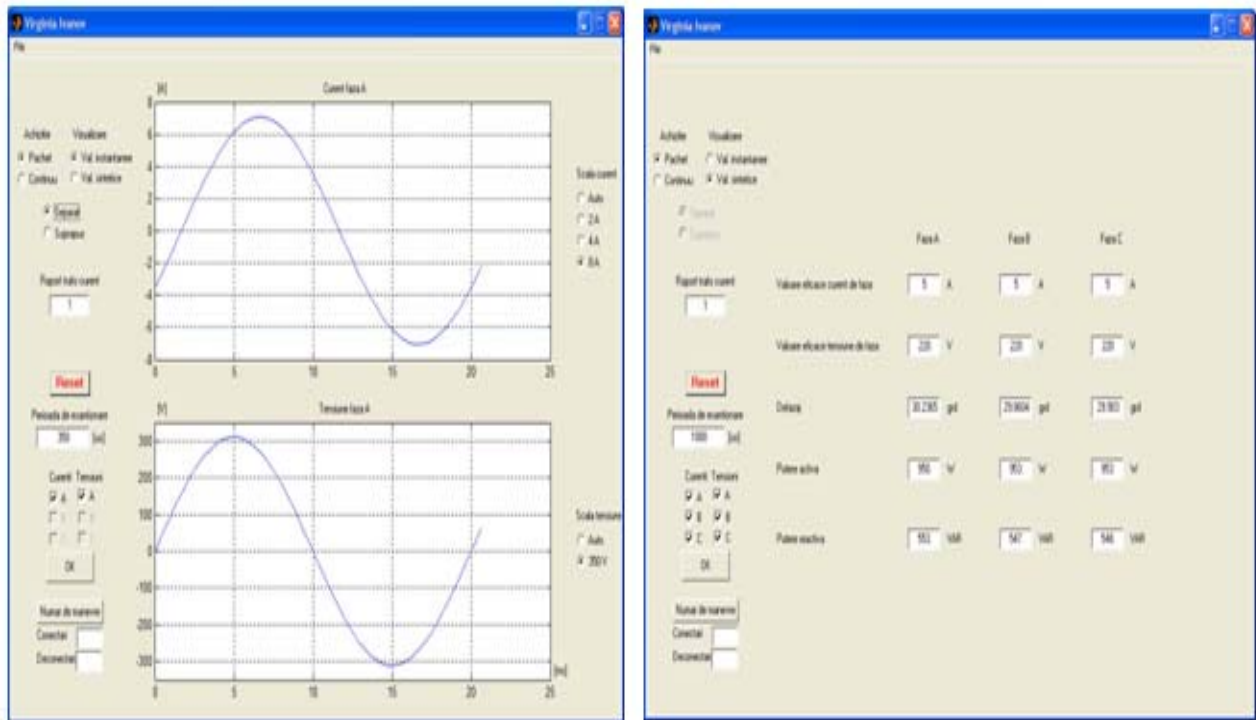


Fig.8. Interfeta pentru inregistrare si vizualizare date

Transmiterea comenzii către modulul de achiziție și transfer și prelucrarea informațiilor recepționate se realizează la apăsarea butonului „OK”. Interfața permite două tipuri de reinițializare. La acționarea butonului „Reset” se anulează selecția anterioară a canalelor, păstrându-se tipurile de achiziție și de vizualizare selectate. O reinițializare completă a interfeței utilizator se realizează în orice moment printr-un „click” al mouse-ului în orice punct liber din fereastră, caz în care se revine la fereastra de lansare.

**Bibliografie selectivă:[ 57-63]**

## 11. Elaborarea arhitecturii sistemului si descrierea modulelor functionale

Componentele cheie ale unui sistemului adaptiv sunt:

1. Două invertoare care actionează ca un filtru activ de putere serie (FAP serie ) si un filtru activ de putere paralel(FAP paralel)
2. Bobine de cuplare  $L_{SH}$  sunt folosite pentru a interfata FAP paralel la retea. De asemenea, ajută la netezirea formei de undă curent. Uneori un transformator de izolare este utilizat pentru a izola electric FAP paralel de retea.
3. Un circuit de curent continuu, care poate fi realizat prin utilizarea unui condensator sau a unei bobine. În figura, circuitul de curent continuu este realizat cu ajutorul unui condensator care interconectează cele două invertoare si mentine, de asemenea, tensiune auto-constanta
4. Un filtrul LC, care serveste ca un filtru pasiv trece jos (LPF) si ajută la eliminarea riplurilor de frecvență înaltă de la iesirea inverterului FAP serie .
5. Transformator de injectare, care este utilizat pentru conectarea inverterului serie în retea.

Controlerul integrat pentru comanda FAP serie si paralel al UPQC -ului va fi implementat cu un DSP pentru a furniza tensiune de referință de compensare  $V_C^*$  si curentul de compensare IC prin comanda PWM a invertoarelor aferente celor doua filtre active de putere.

Un UPQC este capabil de a rezolva multe probleme de calitate a energiei electrice simultan. Un controler DSP adecvat este de mare importantă, în scopul de a obtine o performanță de asteptat, a hardware-ului

UPQC. Controlerul trebuie să efectueze un control coordonat pentru două invertoare cuplate printr-o legătură de curent continuu.

Un controler numeric oferă flexibilitatea de reconfigurare a procesului de control. Strategii de control diferite pot fi încercate fără a schimba configurația hardware astfel încât să se obțină parametrii doriti în punctul comun de cuplare PCC.

Filtrele active funcționează pe baza tehnicii PWM și sunt conectate în rețelele de medie și joasă tensiune. Schema de forță a acestora este bazată în general pe schema clasică a inverterului de tensiune, diferențele între categoriile principale de filtre active constând în modul de conectare la rețea.

Astfel, se disting trei categorii:

- filtre active serie
- filtre active paralele
- filtre hibride

Filtrele serie funcționează ca sursă de tensiune și sunt conectate între sursa de alimentare și sarcină, iar filtrele paralele sunt conectate în paralel cu sarcina neliniară, funcționând ca sursă de curent. Filtrele hibride reprezintă o combinație între structurile pasive și cele active, având la rândul lor posibilitatea de a fi conectate în serie sau în paralel cu sarcina.

### Filtrele active serie

Fiind conectate între rețeaua de alimentare și sarcină, impedanța reglabilă prezentată de acestea le oferă posibilitatea de a fi utilizate ca regulatoare de tensiune. Rezultă imediat posibilitatea ca filtrele serie să fie utilizate pentru compensarea variațiilor tensiunii rețelei. Pot fi astfel eliminate (sau cel puțin reduse) variațiile de tensiune (creșteri sau scăderi ale acesteia), distorsiunile armonice ale tensiunii, sau dezechilibrele dintre tensiunile celor trei faze. Filtrele active serie sunt utilizate în cadrul rețelelor în care este necesară filtrarea curenților armonici, compensarea puterii reactive, filtrarea tensiunilor armonice, variații ale tensiunii rețelei, respectiv, compensarea dezechilibrului tensiunilor de alimentare.

### Filtrele active paralele

Aceste filtre reduc distorsiunile armonice introduse de sarcinile neliniare prin introducerea în rețea a unui curent de aceeași formă cu cei armonici ce trebuie eliminați, dar defazați cu  $180^\circ$ . Rezultă astfel că filtrul lucrează ca o sursă de curent, care alimentează sarcinile neliniare cu necesarul de curenți armonici. În consecință sarcinile neliniare vor absorbi din rețea numai componenta fundamentală a curentului. Filtrele active paralele sunt utilizate în cadrul rețelelor în care este necesară filtrarea curenților armonici, compensarea puterii reactive, echilibrarea nesimetriei sistemului trifazat de curenți absorbit de sarcină.

Există câteva topologii privind filtrele active dintre care se remarcă două categorii (Fig.9,10)

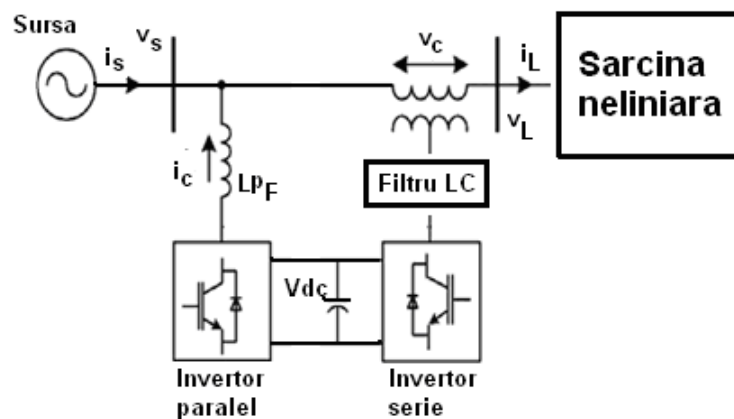


Fig.9. Topologia sistemului adaptiv cu condensator în circuitul intermediar

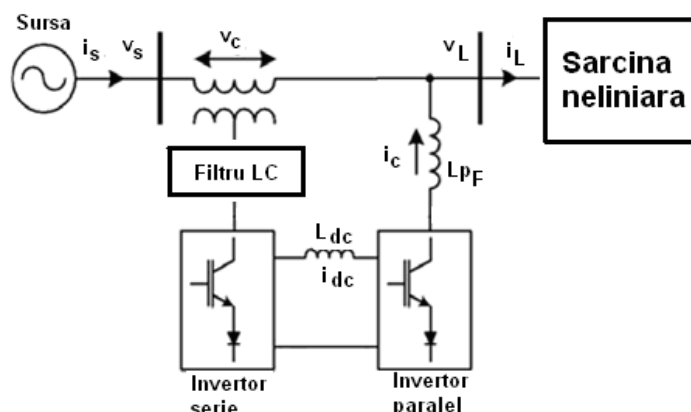


Fig.10.Topologia sistemului adaptiv cu bobina in circuitul intermediar

Din analiza literaturii de specialitate topologia bazata pe condensator in circuitul intermediar este mult mai raspandita, si acceptata in acelasi timp, datorita performantelor superioare de filtrare. Teoretic exista doua configuratii posibile privind modul de amplasare a filtrelor fata de sarcina

- cu FAP paralel in partea dreapta(Fig.11);

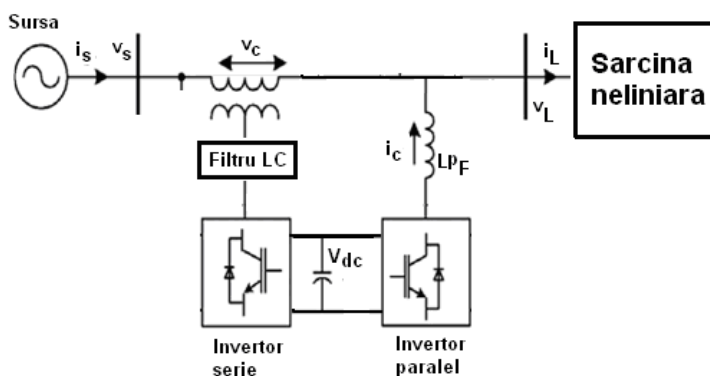


Fig.11 Sistem adaptiv cu FAP paralel in partea dreapta

- cu FAP paralel in partea stanga(Fig.12);

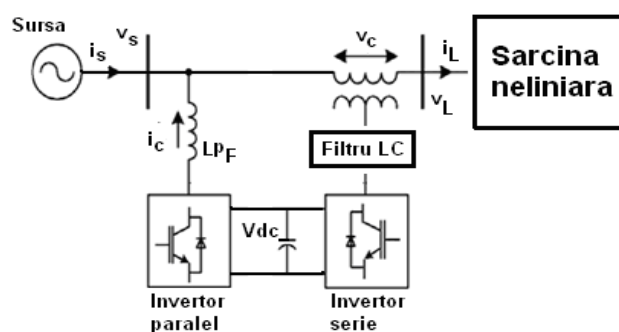


Fig.12 Sistem adaptiv cu FAP paralel in partea stanga

Dintre aceste două configuratii topologia cu FAP paralel in partea dreapta este utilizata în mod obisnuit deoarece fluxul de curent prin seria de transformator este de cea mai mare parte sinusoidal. Topologia cu FAP paralel in partea stanga este foarte rar folosit din cauza interferentelor între inverter si filtrele pasive.

**Bibliografie selectivă:[64 - 70]**

## 12. Analiza solutiilor de integrare ale sistemului propus in retelele electrice de tip smart grid

În ceea ce privește integrarea sistemelor de filtrare activă în rețelele electrice de joasă tensiune, trebuie ținut cont de faptul că nu mai pot fi utilizate transductoare de tensiune și curent clasice, de tipul transformatoarelor de măsură. Aceasta deoarece sistemul trebuind să fie capabil să gestioneze semnale de frecvențe ridicate, cel puțin egale cu frecvența corespunzătoare ordinului celei mai mari armonici ce se propune a fi compensată, rezultă necesitatea unor transductoare speciale, capabile să reproducă valorile instantanee. În plus, ținând cont de complexitatea structurii comenzii, transductoarele trebuie să asigure și separarea galvanică între punctul din circuitul de forță în care se efectuează măsura și blocul de comandă.

Conceptul SmartGrids este un program major de cercetare, dezvoltare care să conducă către o rețea care să asigure satisfacerea necesităților viitoare ale Europei.

Rețelele Europene de electricitate trebuie să fie:

- Flexibile: să satisfacă cerințele consumatorilor, răspunzând schimbărilor și solicitărilor;
- Accesibile: să asigure accesul de conectare tuturor utilizatorilor, în special surselor regenerabile și surselor locale cu emisii reduse sau chiar zero de carbon;
- Fiabile: să asigure și să îmbunătățească securitatea și calitatea alimentării cu energie, în concordanță cu cerințele actuale, mai ales ale tehnicii de calcul, cu evitarea incidentelor și a incertitudinilor;
- Economice: să asigure prețuri mici prin introducerea inovațiilor, a managementului energetic eficient, competitivitate și reglementări eficiente.

Elementele cheie ale conceptului sunt:

- Crearea unui pachet de soluții tehnice viabile care să poată fi aplicate rapid și cu costuri scăzute, care să permită rețelelor existente injecția de energie de la toate sursele energetice;
- Stabilirea unor standarde și protocoale comune care să asigure accesul deschis, facilitând astfel achiziționarea de echipamente de la orice producător;
- Dezvoltarea sistemelor de informare, calcul și telecomunicații, care să asigure mediului de afaceri servicii inovative, care să le determine creșterea eficienței și care să determine ameliorarea serviciilor prestate clienților;
- Asigurarea unei interfețe complete între noua și vechea arhitectură de rețele și echipamente pentru asigurarea interoperabilității automatizărilor și a controlului.

Rețelele de distribuție trebuie să devină mai active și vor trebui să permită circulația bidirecțională a energiei. Sistemele energetice europene au evoluat către o funcționare bazată pe piață, în care generatoarele sunt distribuite în funcție de piața energetică, iar centrul de control are un rol supervisor (balanța de energie activă și stabilitatea tensiunii). Pe de altă parte, rețelele de distribuție s-au schimbat foarte puțin și tind să fie radiale, cu circulație unidirecțională a energiei și funcționare “pasivă”. Rolul lor de bază este acela de a furniza energie utilizatorilor finali.

Viitoarele rețele vor trebui să facă față schimbărilor tehnologice, ale valorilor societății, ale mediului și comerciale. Astfel, securitatea, siguranța, mediul, calitatea energiei și prețul acesteia au început să fie privite într-o lumină nouă, iar eficiența energetică a sistemului a devenit foarte importantă din mai multe motive.

Pentru rețelele de distribuție de joasă tensiune din considerente de acoperire a cerințelor specifice obiectivelor proiectului am luat în considerare varianta cu capacitate în circuitul intermediar. Aceasta structura poate fi cu un condensator sau cu condensator divizat.

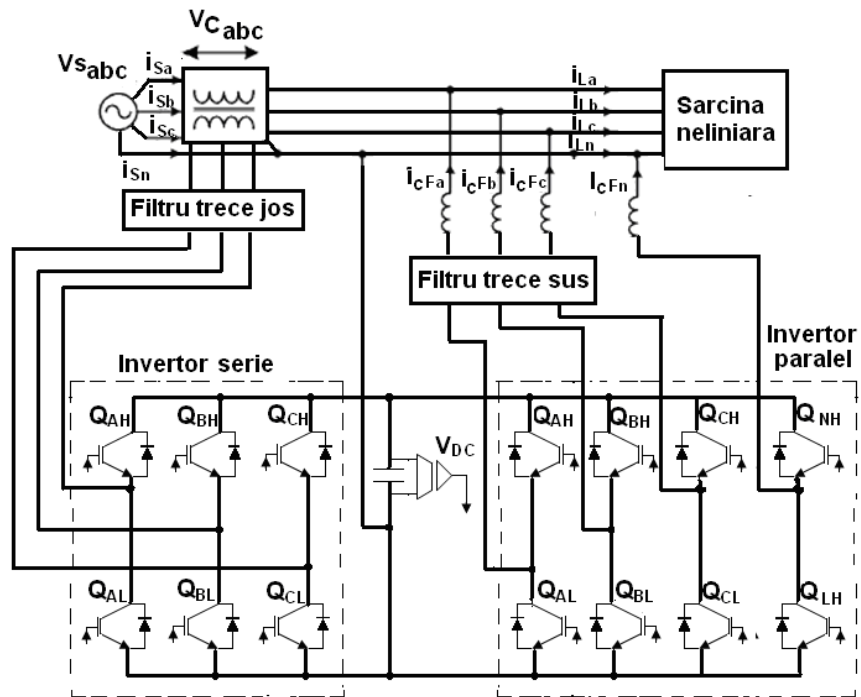


Fig.13. Topologia sistemului adaptiv cu o capacitate in circuitul intermediar de c.c.

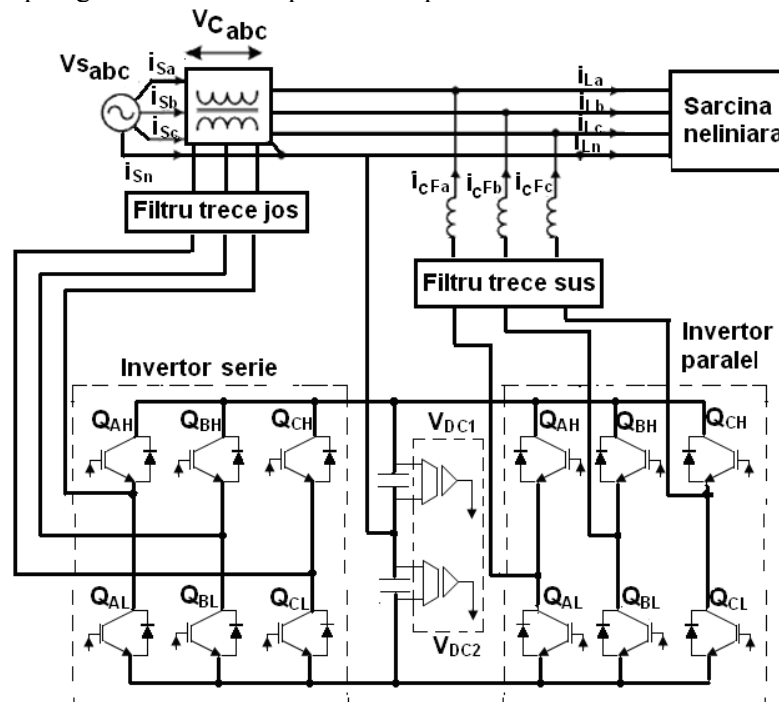


Fig.14. Topologia sistemului adaptiv cu capacitate divizata in circuitul intermediar de c.c.

Pentru realizarea sistemului adaptiv se va lua in considerare topologia cu capacitate divizata in circuitul intermediar de c.c..

**Bibliografie selectivă:**[71 - 78]

### 13. Stabilirea arhitecturii finale a sistemului adaptiv. Descrierea modurilor de functionare.

- Arhitectura propusa pe baza căreia se va proiecta si realiza modelul experimental este prezentata in figura 15.

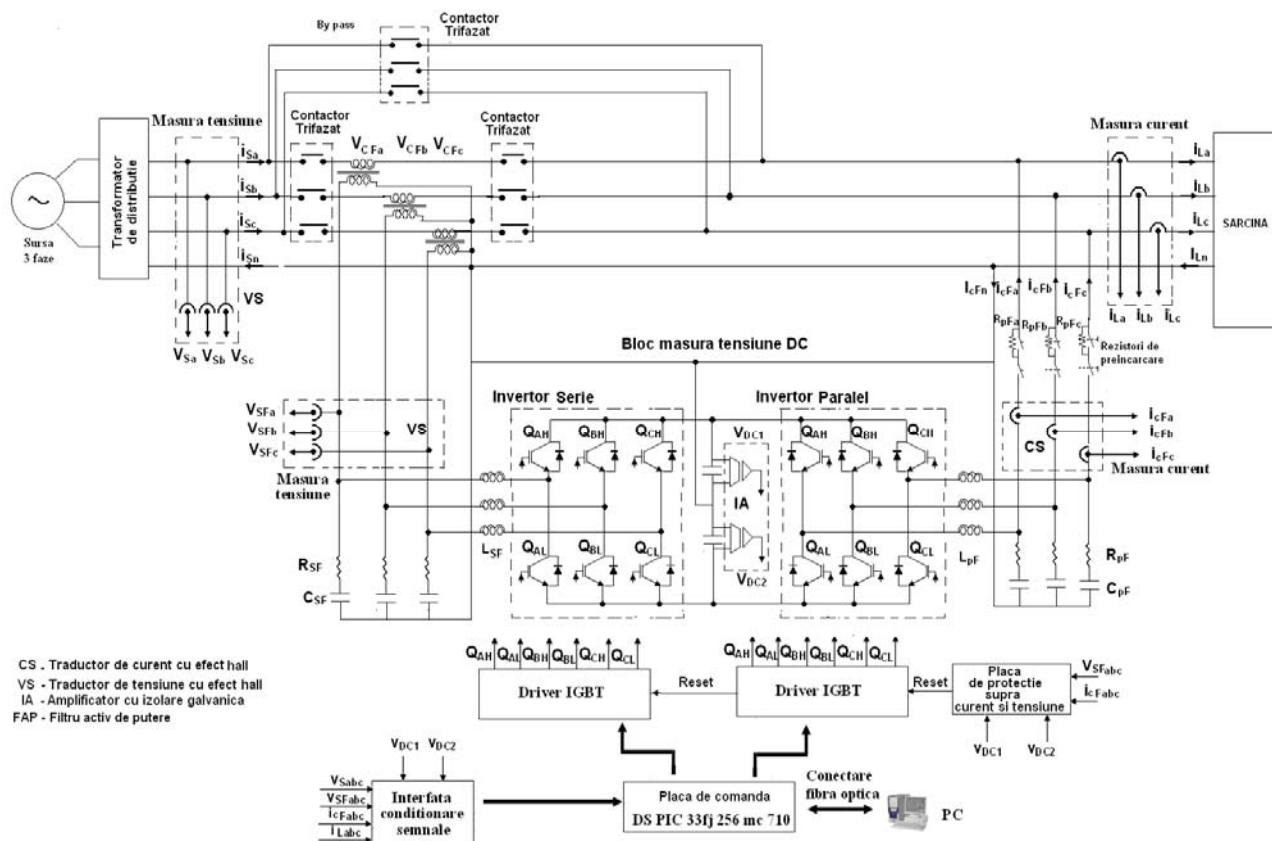


Fig. 15. Arhitectura propusa pentru sistemul adaptiv

Sistemul adaptiv de filtrare este compus dintr-un ansamblu de două filtre active distincte: un filtru activ serie, respectiv un filtru activ paralel.

Filtrul activ serie se compune din:

- inverterul de tensiune *Serie*;
- filtrul de interfață de tip LC ce înglobează inductanțele  $L_{SF}$ , condensatoarele  $C_{SF}$ , respectiv, rezistențele de amortizare  $R_{SF}$ ;
- transformatoarele monofazate de cuplare cu rețeaua;
- contactoare trifazate pentru: cuplarea inverterului de tensiune la sarcina acestuia (transformatoarele monofazate), scurtcircuitarea secundarelor transformatoarelor monofazate pentru scoaterea din circuit a filtrului activ serie;
- traductoare de tensiune pentru: măsurarea tensiunilor de fază de la ieșirea inverterului, măsurarea tensiunilor de fază ale rețelei trifazate de distribuție.

Rolul filtrului activ serie este de a compensa variațiile tensiunii rețelei. Pot fi astfel eliminate (sau cel puțin reduse) variațiile de tensiune (creșteri sau scăderi ale acesteia), distorsiunile armonice ale tensiunii, sau dezechilibrele dintre tensiunile celor trei faze. În lipsa filtrului pasiv, filtrul activ serie poate compensa doar distorsiunile de tensiune.

Pentru a compensa eficient distorsiunile armonice ale curentului absorbit din rețea de către sarcinile neliniare în sistemul adaptiv de filtrare este prevăzut un alt filtru activ și anume un filtru activ paralel. Acesta



poate compensa aproape orice tip de sarcină neliniară, iar printr-o comandă adecvată poate compensa inclusiv energia reactivă absorbită din rețea.

Filtrul activ paralel se compune din:

- inverterul de tensiune *Paralel*;
- filtrul de interfață de tip LC ce înglobează inductanțele  $L_{pF}$ , condensatoarele  $C_{pF}$ , respectiv, rezistențele de amortizare  $R_{pF}$ ;
- Bobine de cuplare sunt folosite pentru a interfața FAP paralel la rețea. De asemenea, ajută la netezirea formei de undă curent. Uneori un transformator de izolare este utilizat pentru a izola electric FAP paralel de rețea;
- traductoare de curent pentru măsurarea curenților generați de către filtrul activ;
- traductoare de curent pentru măsurarea curenților absorbiți de către sarcina neliniară;
- Rezistențele de limitare a curentului de încărcare a condensatoarelor din circuitul intermediar de curent continuu;
- Contactoare trifazate pentru: cuplarea filtrului activ paralel la rețea, scurtcircuitarea rezistențelor de limitare a curentului de încărcare;
- Circuitul intermediar de curent continuu ce conține două condensatoare de capacitate mare cu priză mediană pentru conectarea firului de nul al rețelei trifazate de distribuție; Circuitul intermediar de curent continuu este comun celor două filtre active astfel că ambele vor utiliza energia înmagazinată în condensatoare dar doar filtrul activ serie va răspunde de încărcarea și menținerea tensiunii pe condensatoare la valoarea prestabilită;
- Traductor de tensiune pentru măsurarea tensiunii din circuitul intermediar.

Deoarece filtrul activ paralel introduce în rețea curenți de aceeași formă cu cei armonici ce trebuiesc eliminați, dar defazați cu  $180^\circ$  rezultă că acesta va prelua rolul filtrului pasiv din schema filtrului activ serie. Avantajul constă în faptul că, filtrul activ paralel este un sistem adaptiv capabil să compenseze distorsiunile armonice ale curentului adaptându-se la modificările sarcinii neliniare totale, astfel că prin funcționarea în tandem cu filtrul activ serie ce va prezenta impedanță ridicată între rețea și sarcină pentru exact acei curenți ce trebuie compensați, funcționarea în ansamblu a sistemului va fi superioară topologiei clasice. Controlerul integrat pentru comanda FAP serie și paralel al UPQC –ului va fi implementat cu un DSP pentru a furniza tensiune de referință de compensare  $V_C$  și curentul de compensare  $I_C$  prin comanda PWM a invertoarelor aferente celor două filtre active de putere.

Sistemul propus este capabil de a rezolva probleme actuale de calitate a energiei electrice. Un controler DSP adecvat este de mare importanță, în scopul de a obține o performanță de așteptat, a hardware-ului UPQC. Controlerul trebuie să efectueze un control coordonat pentru două invertoare cuplate printr-o legătură de curent continuu.

Un controler numeric oferă flexibilitatea de reconfigurare a procesului de control. Strategii de control diferite pot fi încercate fără a schimba configurația hardware astfel încât să se obțină parametrii doriti în punctul comun de cuplare PCC.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Hatziargyriou, N.D. , Asano, H. , Iravani, R. and Marnay, C. , *Microgrids*. IEEE Power & Energy, 5, 78 -94. <http://dx.doi.org/10.1109/MPAE.2007.376583>, 2007.
- [2] Hatziargyriou, N.D. *Microgrids*. IEEE Power & Energy, 6, 26-29, 2008.
- [3] Venkataramanan, G.; Marnay, C., *A Larger Role for Microgrids*. IEEE Power & Energy, 6, 78-82. <http://dx.doi.org/10.1109/MPE.2008.918720>, 2008.
- [4] Asmus, P. *Microgrids, Islanded Power Grids and Distributed Generation for Community, Commercial, and Institutional Applications*. Navigant Research, Boulder. <http://www.navigantresearch.com>, 2009.
- [5] Lasseter, R.H. *Microgrids*. IEEE PES Winter Meeting, New York City, 27 -31 January 2002, 305 -306, 2002
- [6] Kojima, T.; Fukuya, Y. *Microgrid System for Isolated Islands*. Fuji Electric Review, 57, 125 -130, 2011.
- [7] Ackermann, T. *Wind Power in Power Systems*. Wiley, Hoboken, 55-59, <http://dx.doi.org/10.1002/0470012684>, 2005.

- [8] Prull, D. S. *Design and Integration of an Isolated Micro Grid with a High Penetration of Renewable Generation*. Doctor's Thesis, University of California, Berkeley, 2008.
- [9] Freris, L.; Infield, D.; *Renewable Energy in Power Systems*. John Wiley & Sons, Hoboken, 2011.
- [10] Chae, W. *SCIG Type Wind Turbine's Characteristic in Island MicroGrid*. ISGC& E, Jeju, 2013.
- [11] Arrilaga, J.; Bradley, D.A.; Bodger, P.S. *Power System Harmonics*. John Wiley & Sons, 1985.
- [12] Arrilaga, J.; Arnold, C.P., *Computer analysis of power systems*, John Wiley, New York, 1990.
- [13] Arrilaga, J.; Watson, N.R.; Chen, S., *Power System Quality Assessment*, John Wiley & Sons 2001.
- [14] Buta, A.; Milea, L.; Pană, A., *Impedanța armonică a rețelelor sistemelor electroenergetice*, Ed. Tehnică, București 2000.
- [15] Heydt, G.T. *Electric Power Quality*. Stars in a Circle Publ., Chelsea Michigan, 1994.
- [16] Osowski, S., *SVD Technique for Estimation of Harmonic Components in a Power System, a Statistical Approach*. IEE Gener. Transm. Distrib., 2001, Vol. 141 No. 5, pp. 473-479.
- [17] Teng, J.H.; Chang, C.Y., *A fast harmonic load flow method for industrial distribution systems*, Proceedings. PowerCon 2000, International Conference on Power System Technology, 2000, vol.3, pp.1149-1154.
- [18] \*\*\*EDSA Technical 2004. User Guide. EDSA MicroCorporation, USA, 2005.
- [19] \*\*\*LPQI Power Application Guide, *Voltage Disturbances Standard EN 50160 / Voltage Characteristics in Public Distribution Systems*, Copper Development Association IEE Endorsed Provider 2004.
- [20] Rușinaru, D. *Regimul dezechilibrat al rețelelor electrice*. Editura Universitaria, Craiova 2005.
- [21] \*\*\*IEEE PES Distribution System Analysis Subcommittee's Distribution Test Feeder Working Group, *Distribution Test Networks*, <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders>.
- [22] \*\*\*IEEE Std 1159, *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, (1995), 2001.
- [23] \*\*\* IEEE Std 1459-2000 *IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*.
- [24] \*\*\* LPQI Power Application Guide, *Voltage Disturbances Standard EN 50160 / Voltage Characteristics in Public Distribution Systems*, Copper Development Association IEE Endorsed Provider 2004.
- [25] Targosz, R.; Manson, J., *Pan European LPQI Power Quality Survey*, Proc. 19<sup>th</sup> IEE International Conference on Electricity Distribution, Italy, 2007, paper no 0263.
- [26] J. Arrilaga, N.R. Watson, S. Chen, "Power System Quality Assessment", John Wiley & Sons 2001.
- [27] \*\*\* IEEE Interharmonic Task Force, Cigré36.05/CIRE2CC02 Voltage Quality Working Group, *Interharmonics in Power Systems*, <http://grouper.ieee.org/groups/harmonic/iharm/docs/ihfinal.pdf>.
- [28] Pawelek, R.; Kepinski, W.; Gburczyk, P.; Mienski, R.; Wasiaik, I., *Assessment of electromagnetic disturbances transfer between networks*, Proceedings of 9th International Conference Electrical Power Quality and utilisation, Barcelona, 2007.
- [29] Rusinaru, D.; Popescu, D.; Merfu, M.; Manescu, L.G.; Anghelina, V., *Ranking of the Power Quality Level at Boundary between Transmission and Distribution Networks*, Proceedings of 2nd International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment (EEETE '13), Brasov, Romania, 2013, ISSN: 2227-4359, ISBN: 978-1-61804-188-3, pp.201-206.
- [30] Xu, W.; Bahry, R.; Mazin, H. E., *A Method to determine the Harmonic Contributions of Multiple Loads*, Power & Energy Society General Meeting, 2009.
- [31] D. Rușinaru, S. Digă, M. Duță, *Evaluation of Power Quality Factors on the Boundaries between Networks*, ISEEE-2010 The 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering Galați, Romania 2010, pg.7-13
- [32] Mircea, I.; Merfu, M.; ș.a., *Studiu privind monitorizarea parametrilor de calitate a energiei electrice din ST CNTEE Transelectrica SA*, Cod CPV 71335000-5, Contract de servicii nr.381/22/09.06.2011, Beneficiar: C.N. Transelectrica, S.T.Craiova.
- [33] Eteyadi-Amoli, M.; Florence, T. *Voltage and Current Harmonic Content of a Utility System – A Summary of 1120 Test Measurements*. IEEE Trans. on Power Delivery, vol.5, no.3, 1990, pp.1552-1557.
- [34] Golovanov, C.; Albu, M.; Golovanov, N.; Todos, P.; Chindriș, M.; Chiciuc, A.; Ștefănescu, C.; Calotoiu, A.; Sănduleac, M.; Gheorghe, Șt. *Probleme moderne de măsurare în electroenergetică*. Ed. Tehnică, București 2001.
- [35] Rusinaru, D.; Popescu, D.; Merfu, M.; Manescu, L.G.; Anghelina, V., *Ranking of the Power Quality Level at Boundary between Transmission and Distribution Networks*, Proceedings of 2nd International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment (EEETE '13), Brasov, Romania, 2013, ISSN: 2227-4359, ISBN: 978-1-61804-188-3, pp.201-206.
- [36] \*\*\* IEC 61000-4-30, *Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4 30: Testing and measurement technique Power quality measurement methods*, 2007.
- [37] \*\*\* IEC 61000-4-7 ed2.1 *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*, [IEC Standards- 61000-4-7:2009](http://www.iec.ch/standards/61000-4-7).
- [38] Mircea, I.; Merfu, M.; ș.a., *Studiu privind monitorizarea parametrilor de calitate a energiei electrice din ST CNTEE Transelectrica SA*, Cod CPV 71335000-5, Contract de servicii nr.381/22/09.06.2011, Beneficiar: C.N. Transelectrica, S.T.Craiova.

- [39] Mircea, I.; Merfu, M.; ș.a., *Studiu privind monitorizarea parametrilor de calitate a energiei electrice din stațiile CEZ Distribuție*, Contract de servicii nr.60.1.DJ.24946/01.07.2013, Beneficiar: CEZ Distribuție.
- [40] \*\*\*ANRE Norma tehnică *Condiții tehnice de racordare la rețelele electrice de interes public pentru centralele electrice fotovoltaice* / 17.05.2013.
- [41]Rahmouni, A., Benachaiba, C. *Compensation de la puissance reactive et deformante par l'UPQC avec une nouvelle methode d'identification des courants perturbateurs*, Revue internationale d'héliotechnique N° 44 (2012) 30-34, <http://www.comples.org>.
- [42]Alali, M.A.E. *Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension*, teză de doctorat Université Luis Pasteur Strasbourg, 2002.
- [43]Boyra, M. *Power-ow control and power-quality enhancement in interconnected distribution networks*, teză de doctorat Ecole Supérieure d'Electricité, 2012.
- [44]Defay, F. *Commande Prédictive Directe d'un Convertisseur Multicellulaire Triphasé Pour Une Application de Filtrage Actif*, Teza de doctorat, INP Toulouse, 2008.
- [45]Moreno, V., Pigazo, A., Liserre, M., Dell'Aquila, A. *Unified Power Quality Conditioner (UPQC) with Voltage Dips and Over-voltages Compensation Capability*, <http://www.researchgate.net/publication/228899656>, 2013.
- [46] Dughir Ciprian, *Contribuții la monitorizarea calității energiei electrice*, teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2010.
- [47] Mohamad Alali, *Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension*, teză de doctorat Université Luis Pasteur Strasbourg, 2002.
- [48] Mihai Cătălin, *Îmbunătățirea calității energiei electrice și a eficienței energetice în sisteme electrice de distribuție*, teză de doctorat Universitatea Transilvania din Brașov, 2013.
- [49]Dr. Malabika Basu, Mr. Kevin Gaughan, Dr. Michael Conlon, School of Electrical Engineering Systems Dublin Institute of Technology Kevin Street, Dublin 8 IRELAND - *Unified power quality conditioner for grid integration of wind generators*, Dublin Institute of Technology ARROW@DIT, 2008-01-01.
- [50] \*\*\* [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com) – filtre active de putere.
- [51] Asiminoaei L, Blaaajberg F, Hansen S – *Evaluation of Harmonic Detection Methods for Active Power Filter Applications*.
- [52] Bitoleanu A, Popescu Mh, Suru V - *p-q Power Theory: Some Theoretical and Practical Aspects*, Proceedings of 10th International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation 2010 (ISNCC 2010), pp. 10-15, June 15-18, Lagow, Poland, ISBN 978-1-4244-7894-1.
- [53] Casaravilla G, Salvia A, Briozzo C, Watanabe E - *Control Strategies of Selective Harmonic Current Shunt Active Filter*.
- [54] Chaoui A, Gaubert J P, Krim F, Champenois G - *PI Controlled Three-phase Shunt Active Power Filter for Power Quality Improvement*, Electric Power Components and Systems, Vol. 35, Issue 12, 2007, pag.1331 – 1344.
- [55] Fujita H, Akagi H - *The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series- and Shunt-Active Filters*, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 13, NO. 2, MARCH 1998.
- [56] Zainal S, Tan P C, Awang J – *Harmonics Mitigation Using Active Power Filter: A Technological Review*.
- [57] Albu, M., *Prelucrarea numerică a semnalelor din sistemele de măsurare*, Editura Printech, București, 2000.
- [58] Ghinea, M., Fireșteanu, V., *Matlab – Calcul numeric. Grafică. Aplicații*, Editura Teora, București, 1999.
- [59] Golovanov, C., Albu, M. ș.a., *Probleme moderne de măsurare în electroenergetică*, Editura Tehnică, București, 2001.
- [60] Ivanov, V., *Sisteme integrate de monitorizare și control pentru echipamente electrice*, Editura Universitaria Craiova, Editura Universitaria Craiova, 2008.
- [61] Vlaicu C., *Sisteme de măsurare informatizate*, Editura ICPE, București, 2000.
- [62] Vlaicu, C., *Magistrale de comunicații pentru sistemele de măsurare*, Editura Electra, București, 2003.
- [63] Guo, Y., Lee, H. C., Wang, X., *A Multiprocessor Digital Signal Processing System for Real-time Converter Applications*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 7, No. 2, May 1992.
- [64]B. Gopal, Pannala Krishna Murthy & G.N. Sreenivas, *A Review on UPQC for Power Quality Improvement in Distribution System*, Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering, Volume 13 Issue 7 System 1.0 Year 2013 Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal Publisher: Global Journals Inc. (USA), Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861.
- [65] Byung-Moon Han, Bo-Hyung Cho, Seung-Ki Sul and Jae-Eon Kim – *Unified Power Quality Conditioner for Compensating Voltage Interruption*, Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 1, No. 4. pp.503 ~512, 2006.
- [66] M. Tarafdar Haque, S. H. Hosseini Electrical Engineering Department, Tabriz Universitytabriz, Iran - *A Control Strategy For Unified Power Quality Conditioner (UPQC) Using Instantaneous Symmetrical Components Theory*, Tabriz Universitytabriz, Iran, 2009.

- [67] Assistant Professor T.Varaprasad, Pg Student P.Chaithanyakumar Department Of Electrical & Electronics Engineering Sri Venkatesa Perumal College Of Engineering & Technology - *Design Of Unified Power Quality Conditioner (UPQC) To Improve The Power Quality Problems By Using P-Q Theory* - P.Chaithanyakumar, T.Varaprasad/ International Journal Of Engineering Research And Applications (Ijera) Issn: 2248-9622 Www.Ijera.Com Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, Pp.1088-1094.
- [68] K.Sandhya Research Scholar, Dr.A.Jayalaxmi Associate professor, Dr.M.P.Soni Professor and Head, Department of Electrical and Electronics Engineering, MJ college of Engineering and Technology, Banjarahills, Hyderabad, AP, INDIA - *Design of Unified Power Quality Conditioner (UPQC) for Power Quality Improvement in Distribution System*, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) ISSN: 2278-1676 Volume 4, Issue 2 (Jan.-Feb. 2013), PP 52-57.
- [69] S. Srinath, M. P. Selvan, and K. Vinoth kumar, "Comparative performance of different control strategies on UPQC connected valuation of distribution system," in Proc. Int.Conf. Ind. Inf. Syst., Jul. 29–Aug. 1, 2010, pp. 502–507.
- [70] Saleha Tabassum<sup>1</sup>, B.Mouli Chandra<sup>2</sup> (Department of Electrical & Electronics Engineering KSRM College of Engineering, Kadapa.) (Asst. Professor Dept of Electrical & Electronics Engineering KSRM College of Engineering, Kadapa.) - *Power Quality Improvement By UPQC Using ANN Controller*, Saleha Tabassum, B.Mouli Chandra / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 2, Issue4, July-August 2012, pp.2019-2024
- [71] Smriti Dey Assistant Professor, Department of Electrical and Electronics Engineering, Don Bosco College of Engineering and Technology, Guwahati, India - *Performance of DVR under various Fault conditions in Electrical Distribution System* - IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331, Volume 8, Issue 1 (Nov. - Dec. 2013), PP 06-12
- [72] K. Vijay Kumar PROFESSOR Dadi Institute Of Engineering And Technoogy, Anakapalli Visakhapatnam, B. Santhosh Kumar PG Research Student Dadi Institute Of Engineering And Technoogy, Anakapalli Visakhapatnam - *UPQC Controlled Capable Of Mitigating Unbalance In Source Voltage And Load Current* - B. Santhosh Kumar et al Int. Journal of Engineering Research and Applications ISSN : 2248-9622, Vol. 3, Issue 6, Nov-Dec 2013, pp.06-14.
- [73] RVD Rama Rao Associate Professor Dept of EEE, Narasaropeta Engineering College Narasaraopet, Guntur Dt, A.P, India; Dr.Subhransu.Sekhar.Dash Professor & Head, Dept of EEE, College of Engineering, SRM University Chennai, India - *Power Quality Enhancement by Unified Power Quality Conditioner Using ANN with Hysteresis Control*, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 6– No.1, September 2010.
- [74] C. Prakash PG Scholar, N. Suparna, Assistant Professor, Department of EEE, SNS College of Technology, Coimbatore - *Power Quality Improvement of Unified Power Quality Conditioner Using Reference Signal Generation Method*, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) www.ijmer.com Vol.2, Issue.3, May-June 2012 pp-682-686 ISSN: 2249-6645
- [75] Yash Pal Akhilesh Swarup Electrical Engineering Department, National Institute Of Technology, Kurukshetra-136119, Haryana, India, Bhim Singh Electrical Engineering Department, Indian Institute Of Technology, Newdelhi, India - *A Control Strategy Based On Utt And Pbt Of Three-Phase Four-Wire UPQC* - Journal Of Electrical Engineering.
- [76] H. Fujita and H. Akagi, "The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series Active Filters and Shunt Active Filters", PESC' 96 Record, 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conf. 1996, Vol. 1, pp. 494-501.
- [77] Metin Kesler Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Üniversitesi, Gölümbe 11200, Bilecik Ve Engin Özdemir Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe 41380, Kocaeli - *3-Fazlı 4-Telli Sistemlerde Bgkd İle Güç Kalitesinin İyileştirilmesi* - Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 4, 681-691, 2010, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Vol 25, No 4, 681-691, 2010.
- [78] Hideaki Fujita, Member, IEEE, and Hirofumi Akagi, Fellow - *The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series- and Shunt-Active Filters* - IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 13, NO. 2, MARCH 1998.