

REZUMAT al tezei

Voltage Control and Optimization of Energy Consumption in a Microgrid (Controlul tensiunii și optimizarea consumului energetic într-o micronețea)

Elaborată de ing. Cosmin KOCH-CIOBOTARU

Tematica tezei abordează problematica integrării surselor de energie regenerabilă în cadrul rețelelor de distribuție, la nivelul utilizatorilor.

Infrastructura rețelei energetice actuale este configurată pentru a asigura un flux de energie orientat, în sensul că energia este produsă la nivelul marilor centrale energetice și furnizată, cu ajutorul rețelelor de transport și de distribuție, la nivelul utilizatorului final, reprezentat de gospodării și de unități economice. În această configurație, profilul tensiunii de-a lungul cablului de distribuție care alimentează mai mulți utilizatori este descrescător, având valoarea maximă în punctul de cuplare la transformator și scăzând pe măsură ce utilizatorii conectați consumă energie.

Prin folosirea acestor surse de energie regenerabilă, alături de prezența utilizatorilor, rețeaua de distribuție locală poate fi privită ca o micronețea energetică, în care se pot identifica elementele rețelei energetice.

Problema majoră în cazul instalării și utilizării surselor de energie regenerabilă la nivelul utilizatorilor este alterarea profilului tensiunii, utilizatorii putând deveni generatori de energie pentru rețea, prin injectarea de putere la nivelul acesteia. Injectarea puterii electrice în punctul de conectare a utilizatorului la rețea duce la creșterea tensiunii electrice în acel punct, iar prin integrarea unui număr crescut de surse de energie regenerabilă, valoarea tensiunii electrice poate depăși valorile admise în unele puncte de-a lungul cablului de distribuție. Manifestarea supratensiunilor poate duce la deconectarea sau chiar deteriorarea consumatorilor electrici de la nivelul utilizatorului, dar și deconectarea, ca măsură de siguranță, a invertoarelor ce deservesc sursele de energie regenerabilă.

Teza de doctorat aduce contribuții privind controlul tensiunii electrice la nivelul unei micronețele considerate și optimizarea consumului energetic al sistemului de încălzire al unei locuințe în cazul integrării unui sistem de panouri fotovoltaice.

Cea mai mare parte a modelelor și a algoritmilor dezvoltati, prezentați în cadrul acestei teze au fost obținuți prin considerarea componentelor unei micronețele experimentale (SYSLAB) din dotarea laboratorului de cercetare RISO care aparține de Universitatea Tehnica Daneză.

Obiectivele urmărite în teză au fost următoarele:

- Dezvoltarea, implementarea și validarea, pe baza măsurărilor, a modelelor matematice pentru trei componente ale rețelei de distribuție
- Dezvoltarea, implementarea și validarea unor algoritmi de conducere pentru evitarea supratensiunilor care pot să apară în rețeaua de joasă tensiune în urma injectării în rețea a puterii produse de sursele regenerabile
- Dezvoltarea, implementarea și validarea unei metode de conducere ce permite minimizarea costului energiei preluate de la rețea de către sistemul de încălzire a unei clădiri
- Dezvoltarea, implementare și validarea unui algoritm de conducere care maximizează consumul de energie de la sursele regenerabile, minimizând consumul de la rețea, de către sistemul de încălzire al unei clădiri

Pe cuprinsul tezei, modelele și algoritmi au fost dezvoltați cu ajutorul unor softuri specializate ca Matlab-Simulink și PowerFactory, care au permis testarea și validarea atât prin simulare cât și prin experimente.

Teza de doctorat este organizată în șase capitole, dintre care ultimul conține concluziile.

În **primul capitol, "Introduction"**, se prezintă succint motivația, obiectivele cât și organizarea tezei.

Obiectivul **capitolului 2, intitulat "Distributed energy resources models"**, este dezvoltarea unor modele matematice care, implementate în softuri specializate, să surprindă funcționarea unor componente reale din cadrul laboratorului de cercetare. Acestea vor fi utilizate în capitolele următoare pentru dezvoltarea, implementarea și validarea unor algoritmi de conducere.

Modelele dezvoltate reprezintă: un sistem de panouri fotovoltaice, o baterie pe baza de vanadiu care funcționează pe principiul oxido-reducerii și modelul termodinamic al unei clădiri. Acestea au fost dezvoltate din perspectiva sistemelor energetice și nu a electronicii de putere, a stărilor staționare și cvasistaționare ale sistemului și nu cele tranzitorii, valorile urmărite fiind valorile medii și nu cele momentane, iar timpul de eșantionare este mai mare de o secundă, egal cu timpul de citire și preluare a mărimilor de către sistemul de achiziții.

Primul model dezvoltat este cel al sistemului de panouri fotovoltaice din dotarea laboratorului. Modelul are ca intrare datele meteo furnizate de stația meteo locală, care citește radiația în plan orizontal, temperatura aerului și componenta orizontală a vitezei vântului; ca ieșire, modelul furnizează valoarea puterii de la ieșirea inverterului care controlează funcționarea panourilor fotovoltaice prin urmărirea punctului maxim de putere. Modelul consideră ieșirea ca valoarea puterii maxime disponibile, corespunzătoare condițiilor meteo curente, prin rezolvarea ecuațiilor matematice, spre deosebire de sistemul real care urmărește punctul de maxim sub conducerea algoritmului implementat la nivelul inverterului. Această considerație se bazează pe inerțiile mici ale sistemului, inerții electrice, ceea ce permit urmărirea rapidă a punctului de maxim.

În teză se prezintă rezultatele folosirii a doua modele matematice consacrate de la care s-a pornit: modelul echivalent cu o diodă și modelul bazat pe coeficienții menționați în cartea tehnică a panourilor. Parametrii modelelor au fost identificați pe baza măsurărilor electrice citite de la panourile din dotarea laboratorului.

Literatura de specialitate menționează faptul că modelul echivalent cu o diodă prezintă rezultate satisfăcătoare pentru folosirea în cadrul simulării sistemelor energetice; un model complex aduce cu sine un cost computațional mai ridicat fără îmbunătățiri substanțiale, ca de exemplu modelul echivalent cu două diode care prezintă o caracteristică de funcționare mai apropiată de realitate în domeniul curenților mici. Calcularea punctului de maxim folosind acest model echivalent cu o diodă necesită rezolvarea unei ecuații transcendente pe baza unor algoritmilor numerici.

Prin compararea rezultatelor modelului care are la baza coeficienții menționați de către producătorul panourilor fotovoltaice și al valorilor electrice măsurate direct pe panou, se poate concluziona că acest model este precis și foarte ușor de folosit, conținând doar relații liniare și operații matematice fundamentale iar implementarea sa în orice program software este extrem de facilă.

Dotarea laboratorului de cercetare prezintă mai multe sisteme de panouri fotovoltaice distribuite în diverse locații, având fiecare o înclinare și orientare diferită. Pe de altă parte, datele

de intrare disponibile sunt furnizate de o singură stație meteo. Din aceste considerente, a fost necesară dezvoltarea unui modul de corecție care să permită estimarea valorilor radiației solare și a temperaturii la nivelul panourilor pe baza datelor meteo furnizate de stația meteo și a caracteristicilor de amplasare ale panourilor. Pentru calibrarea acestui modul de corecție sunt necesari parametri ca unghiul de orientare și de înclinare a panourilor, latitudinea și longitudinea geografică a amplasamentului.

Acest modul de corecție evidențiază efectul de încălzire a radiației solare cât și efectul de răcire a vântului asupra panourilor. S-a observat că în regiuni unde vântul are valori medii peste 2m/s, cum este și cazul microretelei studiate, efectul de răcire al acestuia trebuie considerat și inclus în calcule.

Folosirea modulului de corecție reprezintă o soluție software pentru evitarea montării, la nivelul fiecărui grup de panouri fotovoltaice, a dispozitivelor de măsură pentru radiația solară și a temperaturii la nivelul panourilor. Folosirea unui singur set de măsuratori de la stația meteo și a modulului de corecție pentru estimarea mărimilor la nivelul fiecărui sistem de panouri reduce costurile de instalare dar reduce acuratețea provenită din folosirea dispozitivelor de măsură.

Aceste rezultate privind modelarea panourilor fotovoltaice au fost cuprinse într-o aplicație cu interfață grafică care permite selectarea măsurătorilor efectuate într-o anumită zi și compararea ieșirii modelului cu măsurările electrice citite la nivelul inverterului panourilor fotovoltaice.

Al doilea model dezvoltat reprezintă o baterie care funcționează pe baza unei reacții chimice de oxidoreducere, substanța electrolitului fiind Vanadiu (VRB), folosită pentru stocarea energiei și controlul fluxului de putere în cadrul microretelei.

Acest tip de baterie aparține unei tehnologii apărute în anii '90 și are ca principale avantaje: numărul mare de cicluri încărcare/descărcare și abilitatea bateriei de a funcționa la putere maximă independent de starea de încărcare; un alt avantaj îl reprezintă posibilitatea de reconfigurare a bateriei, astfel încât prin creșterea cantității de electrolit se mărește capacitatea, iar prin adăugarea celulelor la nivelul cărora au loc reacțiile chimice, se mărește puterea bateriei. Aceste avantaje o propun ca un bun candidat pentru folosirea în cadrul microretelelor, pentru reglarea fluxului de putere vehiculat de-a lungul rețelei.

Dezavantajul acestei baterii îl reprezintă valoarea redusă a energiei specifice a electrolitului, ceea ce implică creșterea volumului bateriei, bateria studiată având capacitatea de 193 kWh și un volum de 13000 de litri; un alt dezavantaj este nevoia unui sistem de pompe care asigură circulația electrolitului în vederea producerii reacției de oxidoreducere, ceea ce scade randamentul bateriei.

Bateria este modelată cu ajutorul unei rezistențe interne în serie cu o sursă continuă de tensiune. Tensiunea sursei este definită ca o funcție de starea de încărcare a bateriei, funcție identificată experimental.

Pe baza unui experiment care a constatat în rularea unui ciclu complet de încărcare/descărcare, cunoscând randamentul inverterului și puterea vehiculată la bornele inverterului s-au identificat capacitatea totală a bateriei și rezistența internă. Variabila de stare a modelului, starea de încărcare a bateriei, a fost comparată cu valoarea măsurată pe parcursul experimentului când la intrarea modelului s-a prescris aceeași secvență de încărcare/descărcare, validând astfel modelul.

Ultimul model implementat în cuprinsul acestui capitol este modelul termodinamic al clădirii experimentale a laboratorului SYSLAB. Clădirea cu opt încăperi a fost echivalată cu o clădire cu o singură încăpere și modelată cu ajutorul unui circuit echivalent RC. Identificarea

parametrilor s-a efectuat într-o lucrare precedentă, citată în teza de față. Pentru implementare s-au ales două modele: cu una, respectiv cu trei variabile de stare, reprezentând temperaturi în diferite straturi ale modelului termodinamic. Dintre aceste variabile de stare, de interes este temperatura internă în interiorul clădirii. S-au ales două modele pentru a putea introduce erori de modelare la nivelul reguletoarelor folosite în capitolele următoare, când modelul termodinamic al clădirii folosit de către regulator diferă de cel folosit de proces.

Contribuțiile asumate la nivelul acestui capitol cuprind dezvoltarea, implementarea și validarea a două modele pentru sistemul de panouri fotovoltaice din dotarea laboratorului de cercetare prin identificarea parametrilor în urma experimentelor; de asemenea, dezvoltarea modulului de corecție, care estimează radiația solară și temperatura la nivelul panourilor pe baza datelor meteo primite de la stația meteo locală, este importantă.

Capitolul 3, intitulat "Voltage control", tratează problema apariției supratensiunilor electrice la nivelul punctului de conectare a utilizatorului la rețeaua de distribuție. Aceste supratensiuni apar datorită instalării și folosirii surselor de energie regenerabilă care, prin injectarea puterii electrice în rețea, produc ridicarea tensiunii electrice în acel punct. Teza propune algoritmi de conducere pentru controlul tensiunii în punctul de cuplare al utilizatorului la rețea care folosesc doar mărimile electrice măsurabile local, în punctul de cuplare, ca tensiunea și frecvența, fără a cunoaște configurația rețelei sau alți parametri.

În partea de început a capitolului se prezintă un studiu de caz al unei microrețele formată din 3 noduri. Primul nod permite conectarea microrețelei la rețeaua de distribuție, la nivelul celui de al doilea nod se conectează o baterie pentru controlul puterii vehiculate înspre rețea, iar la ultimul nod se conectează atât un sistem de panouri fotovoltaice cât și un consumator, reprezentat de clădirea dotată cu sistem electric de încălzire.

Scopul studiului îl reprezintă evaluarea profilului tensiunii electrice de-a lungul cablului de alimentare din cadrul microrețelei în diferite moduri de funcționare.

Bateria este controlată cu ajutorul unui regulator care menține constantă valoarea puterii injectate în rețeaua de distribuție din partea microrețelei. La nivelul sistemului de încălzire s-au dezvoltat doi algoritmi de conducere: primul are ca obiectiv menținerea constantă a temperaturii în interiorul clădirii prin comanda consumului radiatoarelor electrice iar al doilea, are ca obiectiv menținerea constantă a valorii tensiunii electrice la nivelul ultimului nod prin controlul consumului radiatoarelor sistemului de încălzire.

Prin compararea acestor doi algoritmi și analizarea evoluției profilului tensiunii electrice la nivelul ultimului nod al microrețelei studiate, în prezența unui sistem de panouri fotovoltaice, cât și a temperaturii în interiorul casei, este subliniată necesitatea implementării unor algoritmi avansați de conducere care să permită urmărirea concomitentă a ambelor obiective dezvoltate la nivelul celor doi algoritmi propuși, respectiv să deplaseze consumul energetic al radiatoarelor sistemului de încălzire spre momentele în care tensiunea electrică crește datorită injectării în rețea a energiei produse de sursele regenerabile, respectând în același timp, restricțiile impuse de limita de confort termic setate de către utilizator.

Pe parcursul tezei, singurul consumator la nivelul utilizatorului s-a considerat a fi sistemul de încălzire dotat cu zece radiatoare electrice, fiecare de putere 1kW. Motivația acestei alegeri este faptul că aceste radiatoare reprezintă cei mai mari consumatori la nivelul gospodăriei ai căror consum poate fi deplasat pentru un alt interval orar, în funcție de comanda algoritmului de conducere.

Algoritmii dezvoltați în teză propun noi abordări care sunt testate și validate conceptual, o implementare practică la scară largă necesitând extinderea acestora pentru mai mulți

consumatori electrocasnici. De exemplu, se pot folosi consumatori ca mașina de spălat, boilerul pentru apă, dar și automobilul electric, pentru a deplasa consumul de energie la momentul când se citesc valori mari ai tensiunii electrice.

În continuare se dezvoltă algoritmi de conducere pentru controlul tensiunii care se implementează și validează pe baza modelului microrețelei din cadrul laboratorului de cercetare. Creșterea valorii tensiunii în punctul de cuplare la rețea a gospodăriei se datorează injectării în rețea a sistemului de panouri considerat ca fiind instalat la nivelul acesteia.

Primul algoritm este dezvoltat sub forma unei mașini cu stări finite, care are la bază un regulator termostatic la care s-au definit stări adiționale pentru cazul apariției supratensiunilor. Acest algoritm folosește interiorul clădirii pentru a stoca energie sub formă termică prin folosirea radiatoarelor electrice ale sistemului de încălzire. Acest algoritm permite cuplarea consumatorilor electrici în cazul apariției supratensiunilor, pentru a reduce valoarea tensiunii prin creșterea consumului de putere. Algoritmul este validat atât prin simulare cât și prin desfășurarea unui experiment la nivelul microrețelei din laboratorul de cercetare.

Se consideră de asemenea cazul în care configurația gospodăriei cuprinde, pe lângă sistemul de panouri fotovoltaice și o baterie. La nivelul acestei baterii se dezvoltă doi algoritmi de conducere care controlează încărcarea: primul algoritm conectează bateria doar în cazul apariției supratensiunilor iar al doilea prezintă un orar prestabilit de încărcare, independent de valorile tensiunii.

Studiile din prezentul capitol evidențiază problemele rezolvării celor două deziderate, de menținere a temperaturii interioare între anumite limite de confort și controlul tensiunii electrice prin comutarea radiatoarelor electrice. Pentru folosirea sistemului de încălzire în scopul reglării consumului energetic și al tensiunii, trebuie folosiți algoritmi avansați de conducere care țin cont de restricțiile fizice ale sistemului condus și care utilizează valori precise ale diferitelor mărimi.

Capitolul 4, intitulat "Model predictive control for an energy efficient building", prezintă dezvoltarea, implementarea și validarea prin simulări și experimente a unor algoritmi de conducere predictivă bazată pe model (MPC) pentru controlul temperaturii interioare al unei clădiri astfel încât aceasta să urmărească o referință prescrisă, prin comanda radiatoarelor electrice ale sistemului de încălzire. Perturbațiile procesului în acest caz, cele care afectează temperatura interioară a clădirii, sunt radiația solară și temperatura aerului din exterior.

Utilitatea rezolvării problemei o reprezintă faptul că, la nivel mondial, consumul gospodăriilor constituie 26.5 % din consumul total de energie; din aceasta cauză, în ultima perioadă, se efectuează studii și se dezvoltă strategii de conducere în încercarea de a realiza clădirile eficiente din punct de vedere energetic. Această eficientizare se poate realiza prin aplicarea unor tehnici și materiale speciale de construcție, așa numitele soluții pasive, dar și prin implementarea unor algoritmi avansați care să crească randamentul și să minimizeze costul consumului energetic.

Algoritmul MPC dezvoltat în cadrul acestei teze se formulează pornind de la modelul termodinamic cu o stare al clădirii și se prezintă ca o problemă de optimizare care minimizează o funcție obiectiv, respectiv minimizează diferența dintre referință și temperatura interioară a clădirii penalizând în același timp variația comenzii. Radiatoarele electrice ale sistemului de încălzire reprezintă comanda, iar radiația solară și temperatura aerului exterior reprezintă perturbațiile sistemului.

Pe baza modelului procesului, a datelor initiale ale sistemului și a datelor precise disponibile în acel moment, algoritmul calculează temperatura interioară a clădirii pe un anumit interval de timp în avans, denumit și orizont de predicție; soluția problemei de optimizare este o

secvență reprezentând numărul de radiatoare electrice folosite, la fiecare pas de eșantionare, în acest orizont de predicție, astfel încât funcția obiectiv să fie minimizată. Din aceasta soluție, doar prima valoare a secvenței se folosește la comanda radiatoarelor, urmând ca la următorul pas de eșantionare, algoritmul să se reia.

Marele avantaj al algoritmilor MPC îl constă abilitatea definirii restricțiilor de funcționare la nivelul variabilelor manipulate (în cazul acesta radiatoarele electrice) cât și al variabilelor controlate (în cazul de față, temperatura interioară a clădirii). Prin formularea algoritmului de conducere se definesc numărul de radiatoare care alcătuiesc sistemul de încălzire și limitele de comfort ale locatarilor clădirii.

Pentru a elimina efectele erorilor de modelare, a erorilor de predicție și a zgomotului procesului asupra performanțelor algoritmului de conducere s-a dezvoltat un MPC bazat pe un model extins al stărilor: s-a adăugat o stare responsabilă pentru modelarea erorii predicției, considerată constantă între doi pași de eșantionare consecutivi. De asemenea s-a considerat prezența unui zgomot alb la nivelul procesului cu covarianța cunoscută. Cele două stări ale sistemului, temperatura interioară și eroarea predicției sunt estimate cu ajutorul unui filtru Kalman.

Se prezintă o serie de simulări efectuate în diferite condiții, care prin definirea unui indice de performanță care măsoară abaterea temperaturii interioare controlate față de referința prescrisă, surprind performanțele algoritmului MPC propus. Condițiile de simulare se referă la:

- modelul folosit de către MPC, care poate fi identic sau diferit față de modelul termodinamic folosit pentru clădire,
- la disponibilitatea predicției radiației solare și a temperaturii aerului exterior, reprezentând perturbațiile sistemului, care pot fi perfecte, reale – obținute de la stația meteo locală cu un avans de 24 de ore sau pot să lipsească, caz în care se folosește o valoare medie a valorilor pe acea lună,
- la zgomotul de la nivelul sistemului care poate fi prezent sau poate lipsi și
- la comanda radiatoarelor electrice, care poate fi continuă, sau, ca în cazul real, în trepte de 1kW.

Prin compararea indicelui de performanță pentru un număr de 19 studii de caz se poate concluziona ca algoritmul MPC bazat pe un model extins asigură performanțe mai bune și consecvente, care sunt apropiate de cazul ideal comparativ cu utilizarea algoritmului MPC care nu folosește estimarea erorii de predicție.

Acest algoritm pe baza modelului extins a fost validat și printr-un experiment în cadrul laboratorului de cercetare. Prin folosirea unei temperaturi medii a celor 8 încăperi ca reacție în bucla de reglare a algoritmului MPC dezvoltat s-a obținut urmărirea referinței.

Obiectivul **capitolului 5, "Optimizing energy consumption by using economic MPC"** este dezvoltarea unor algoritmi de conducere care să permită realizarea a două deziderate: minimizarea costului de operare al sistemului de încălzire în cazul în care energia folosită este consumată exclusiv de la rețeaua de distribuție, respectiv maximizarea utilizării energiei regenerabile produse local, la nivelul panourilor solare instalate la nivelul gospodăriei.

Prin definirea restricțiilor asupra temperaturii interne a clădirii, respectiv a intervalului termic de comfort al ocupanților clădirii, algoritmi pot folosi capacitatea termică a aerului din interior ca mediu de stocare al energiei, sub formă termică. Astfel, respectând limitele impuse, algoritmul poate cupla radiatoarele electrice, ceea ce implică creșterea consumului de energie, în intervalul de timp când prețul energiei de la rețea este scăzut, respectiv când sistemul de panouri fotovoltaice produce energie. Această acțiune implică stocarea energiei ieftine în interiorul

clădirii, prin creșterea temperaturii interioare, ceea ce permite ca în intervalul de timp când prețul energiei crește, radiatoarele să fie oprite, sistemul de încălzire micșorând consumul atât cât este permis pentru a nu încălca limitele de confort impuse.

Algoritmii dezvoltati în acest capitol se bazează pe algoritmul MPC extins, cu observator, descris anterior.

În cazul algoritmului care minimizează costul, funcției obiectiv i se adaugă un termen care penalizează prețul folosirii energiei de la rețea. Prin introducerea acestui termen, care reprezintă, privit pe întreg orizontul de funcționare, un cost, acest algoritm poartă denumirea de MPC economic.

Se prezintă un studiu comparativ între rezultatele obținute prin folosirea algoritmului MPC de urmărire a temperaturii prescrise, descris în capitolul anterior și acest nou algoritm dezvoltat, de optimizare a consumului. Obiectivul urmărit este compararea costului de operare a celor doi algoritmi pe parcursul unei simulări pe intervalul de o săptămână. Pentru a evidenția efectul optimizării consumului folosind noul algoritm, în ambele cazuri temperatura medie interioară a clădirii este aceeași. Cei doi algoritmi se testează în paralel pentru mai multe simulări, în diferite condiții.

În acest capitol, se formulează un al doilea algoritm MPC economic care are ca scop maximizarea consumului de energie produsă local, de la un sistem de panouri fotovoltaice. Acest algoritm se bazează pe un preț virtual care este folosit în cadrul funcției obiectiv; prețul virtual este definit ca o relație între prețul energiei de la rețea, a prognozei de producție a sistemului de panouri fotovoltaice și de consumul momentan necesar sistemului de încălzire. Acest consum prioritizat, unde energia provenită de la panourile fotovoltaice are o prioritate mai mare în fața energiei preluate de la rețea, are avantaje economice față de consumator dar și avantaje de stabilitate la nivelul rețelei de distribuție. Prin echilibrarea locală a consumului și a producției surselor regenerabile se previne congestiunea rețelei de distribuție și se facilitează integrarea surselor regenerabile în rețea.

În final se efectuează un studiu comparativ între patru algoritmi de conducere folosiți pentru controlul temperaturii interioare a unei clădiri:

- control termostatic bipozitional
- algoritmul MPC de urmărire dezvoltat în capitolul 4
- algoritmul MPC de minimizare a costului funcționării, utilizând exclusiv energie de la rețea
- algoritmul MPC de maximizare a folosirii energiei generate de panourile fotovoltaice amplasate în gospodărie

Pentru fiecare algoritm s-au considerat aceleași condiții de simulare, respectiv cele mai defavorabile, care cuprind erori de modelare, erori de predicție și zgomot de proces, iar pentru o comparație corectă, s-a considerat aceeași temperatură interioară medie pe intervalul de simulare.

Acest studiu a urmărit compararea rezultatelor folosirii diversilor algoritmi de conducere din perspectiva cantității de energie consumată de la rețea de către sistemul de încălzire, a costului acestui consum și cantitatea de energie consumată de către sistemul de încălzire de la sistemul de panouri fotovoltaice instalate la nivelul gospodăriei. Se observă că algoritmii propuși, în special MPC economic reduc consumul energiei preluate de la rețea și maximizează folosirea energiei produse local de către sursele regenerabile.

Acest capitol reia problema din capitolul 3 și combină cele două obiective, controlul temperaturii interioare și controlul tensiunii la punctul de cuplare prin controlul puterii

consumate. Acest algoritm de conducere cu predicție pe baza de model este foarte potrivit și flexibil în obținerea mai multor obiective respectând totodată restricțiile impuse de proces.

Prin formularea algoritmilor și folosirea predicțiilor asupra mărimilor din sistem se pot obține reduceri de cost privind folosirea energiei electrice de la rețea.

Formularea algoritmilor poate fi extinsă la folosirea și altor consumatori din cadrul gospodăriei, adiționali sistemului de încălzire, care să permită utilizarea energiei regenerabile, atunci când ea e produsă. De asemenea formularea poate fi extinsă și la alte surse regenerabile de energie.

Capitolul 6, "Conclusions", concluzionează activitatea științifică cuprinsă în teză, prezintă contribuțiile aduse și prezintă direcțiile viitoare de cercetare.

Printre contribuțiile majore ale tezei se menționează:

- dezvoltarea, implementarea și validarea unor modele de simulare pentru un sistem de panouri fotovoltaice, o baterie și un model termodinamic al unei clădiri, pornind de la modele matematice existente prin identificarea parametrilor
- dezvoltarea unui modul de corecție care estimează radiația solară și temperatura panourilor fotovoltaice pornind de la măsurătorile disponibile de la stația meteo, particularitățile fiecărui amplasament al sistemului de panouri, respectiv unghiul de înclinație și orientarea.
- dezvoltarea, implementarea și validarea prin simulări și experimente a unui regulator termostatic care include stări care tratează posibile supra- și sub- tensiuni care apar în punctul de cuplare la rețea a clădirii.
- dezvoltarea, implementarea și validarea prin simulări și experimente a unui algoritm de conducere predictivă bazată pe modelul termodinamic al clădirii, care urmărește referința prescrisă a temperaturii interioare și care, prin introducerea în model al unor stări care tratează perturbațiile, prezintă o evoluție robustă în prezența erorilor de modelare, a perturbațiilor necunoscute, a zgomotului alb și a disponibilității prognozei meteo.
- dezvoltarea, implementarea și validarea unui algoritm de conducere predictivă bazată pe modelul termodinamic al clădirii, care optimizează costul de funcționare al sistemului de încălzire al clădirii în cazul folosirii exclusive a energiei de la rețea.
- dezvoltarea, implementare și validarea unui algoritm de conducere predictivă bazată pe modelul termodinamic al clădirii care, considerând existența unui sistem de panouri fotovoltaice care deservește clădirea studiată prin furnizarea energiei produse, maximizează consumul energiei regenerabile produse local și minimizează consumul energiei preluate de la rețeaua de distribuție.

Rezultatele obținute pe parcursul elaborării tezei de doctorat au fost diseminate prin 8 lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice naționale și internaționale, dintre care: 5 ca prim autor, 1 articol indexat ISI, 2 articole în curs de indexare ISI, 1 capitol de carte indexată ISI în editura Springer, respectiv 4 articole indexate în baze de date internaționale.

Timișoara
1.10.2012

Ing. Cosmin KOCH-CIOBOTARU