

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA
Facultatea de Mecanică

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

**OPTIMIZAREA SISTEMELOR
TEHNOLOGICE PENTRU
UTILIZAREA ENERGIEI DIN
SURSE REGENERABILE ÎN
PROCESUL DE ÎNCĂLZIRE A
CLĂDIRILOR**

ing. Liviu-Ioan HERMAN

Conducător științific: prof.univ.dr.ing.ec. Dumitru ȚUCU

2013

O integrare eficientă a energiei derivate din surse regenerabile în clădiri trece prin trei etape esențiale. Acestea sunt proiectarea sistemului, dimensionarea acestuia și controlul lui. În momentul actual, proiectarea sistemelor energetice ale clădirilor se realizează aproape exclusiv pe baza experienței experților. Experții oferă în general diferite configurații de sisteme, care, în opinia lor, se potrivesc cel mai bine clădirii în cauză, și apoi se evaluează aceste alternative prin intermediul simulărilor dinamice. Deși simulările dinamice oferă rezultatele cele mai realiste, practicile curente nu garantează o alegere optimă a sistemului.

Prima problemă apare în cazul clădirilor ocupate intermitent, unde există cel puțin două valori ale temperaturii de referință. Pentru a putea evalua sarcina termică a clădirii, în scopul folosirii ei la dimensionarea sistemului, în practică se consideră că temperatura interioară urmează exact valoarea de referință. Această ipoteză face ca sarcina maximă să depindă de intervalele de eșantionare din timpul simulării. Acest lucru poate duce la o dimensionare incorectă a sistemului.

O altă problemă apare în momentul în care se compară două sisteme diferite. Pentru a putea decide care sistem are o performanță mai bună, ambele sisteme trebuie optimizate (dimensionare și control optim). Din păcate, în timpul procesului de simulare, regulatoarele nu sunt optimizate; aceasta poate fi o cauză destul de importantă pentru o performanță slabă a sistemului. Se pot distinge două sisteme de control. Primul regulator manipulează sistemul multi-sursă, iar al doilea reglează temperatura interioară. Ambele sisteme au un impact important asupra performanței sistemului multi-sursă. În ceea ce privește regulatorul de reglare a temperaturii interioare, în momentul de față, soluția cea mai potrivită pare a fi Algoritmul de Control Predictiv. Însă, prin folosirea funcției clasice obiectiv folosită în controlul temperaturii în momentul de față, nu se minimizează și consumul de energie.

Pentru a evita neajunsurile care rezultă din presupunerea că temperatura interioară urmează valoarea ei de referință, am propus

transformarea problemei estimării sarcinii termice într-o problemă de control. Clădirea este considerată un sistem termic perturbat de către vreme, unde regulatorul calculează căldura necesară pentru a stabili temperatura interioară. Fluxul termic calculat de către regulator reprezintă de fapt sarcina termică a clădirii. Calculul lui se bazează pe evoluția reală a temperaturii interioare, și nu pe valoarea ei de referință. Așadar, intervalele de eșantionare nu vor influența sarcina termică rezultată, chiar dacă punctul de referință se schimbă brusc.

În cazul clădirilor ocupate intermitent, de obicei există cel puțin două valori ale temperaturii de referință într-un interval de 24 de ore. În acest caz, abilitatea sistemului de a restabili confortul termic în clădire este foarte importantă. Așadar, pentru calculul sarcinii termice am propus o strategie pe baza unui model de programare predictivă (MPP), care este o modificare a algoritmului de control predictiv (ACP). Diferența dintre cele două constă în faptul că prima este o optimizare fără constrângeri (cu excepția comenzii pozitive) și comanda este calculată o singură dată fără un *feedback* de stare. MPP propus este capabil să repornească sistemul în avans pentru a asigura confortul termic la începutul perioadei de ocupare. Folosit împreună cu tehnica de control *feedforward*, acesta poate folosi prognoza meteorologică pentru optimizarea consumului energetic.

Informațiile necesare pentru MPP sunt modelul clădirii, adaosurile libere, variația ventilației și înregistrări ale condițiilor meteorologice locale. Din moment ce acest instrument este folosit în principal în etapa de proiectare a sistemului, modelul clădirii poate fi identificat folosind date de intrare și ieșire obținute prin simulare. Înregistrările datelor meteorologice se pot găsi în cadrul programelor dedicate de simulare (în lucrarea de față au fost folosite cele aparținând programului de simulare *Energyplus*).

În ceea ce privește controlul sistemului, am propus un regulator care asigură confortul termic cu un consum minim de energie. Acesta este un regulator de tip ACP (algoritm de control predictiv) care folosește

prognoza meteorologică pentru controlul optim al temperaturii. Aici, contribuția personală este noua funcție obiectiv propusă pentru ACP, împreună cu algoritmul sugerat pentru rezolvarea problemei de optimizare.

Spre deosebire de funcția obiectiv clasică, cea propusă minimizează comanda viitoare în funcție de constrângerile la fluxul termic și la temperatura interioară. Minimizarea comenzii, în locul minimizării pătratului incrementului acesteia asigură un consum minim de energie. Constrângerile la nivelul fluxului termic (sau echivalent la nivelul temperaturii de intrare a apei în radiator) iau în considerare potențialul maxim al sistemului de încălzire pentru a asigura performanța cerută. Constrângerile la nivelul temperaturii interioare asigură confortul termic din clădire.

Funcția obiectiv propusă elimină de asemenea și neajunsurile principiului compromisului între confortul termic și consumul energetic și cele ale folosirii unei temperaturi de referință, în locul unui interval de confort termic. Prin forțarea temperaturii interioare să se apropie cât mai mult de un punct de referință în loc să fie lăsată să baleieze într-un anumit interval se consumă mai multă energie decât este necesar. Funcția obiectiv propusă permite temperaturii să varieze într-un interval de temperatură predeterminat și nu sacrifică confortul în dauna consumului energetic. Prin folosirea funcției obiectiv propuse, sistemul va lua în considerare inerția clădirii și prognoza meteorologică pentru a menține confortul minim cu un consum energetic minim.

O altă contribuție o reprezintă ideea de a folosi cunoștințe fizice pentru a îmbunătăți performanța controlului. Primul loc unde aceasta este folosită este în identificarea parametrilor modelului clădirii. Controlul optim este o tehnică bazată pe model, deci este necesară existența unui model. În această lucrare modelul clădirii este obținut în doi pași. În primul rând, este obținută o structură de grad mic a modelului din observații fizice, iar apoi, parametrii acestuia sunt obținuți prin metoda celor mai mici pătrate. Această combinație oferă o proiecție a unui sistem complex, de grad ridicat,

într-un model de grad mic, obținut prin reprezentarea fizică a comportamentului termic al clădirii. Al doilea loc unde este folosită această tehnică este în depășirea problemei neliniarității modelului. Am identificat la început caracteristica neliniară și apoi am propus o metodă de a o folosi pentru a liniariza modelul. Liniarizarea propusă a făcut ca modelul să fie valid pe întregul spectru de operare, nu doar în jurul unui punct de operare cum este în liniarizarea clasică.

Pentru sistemul multi-sursă, am propus un sistem de management energetic al clădirii (SMEC), care folosește informații de la comanda ACP. Acest lucru permite SMEC să folosească sursele de energie într-un mod mai eficient. Totuși, SMEC propus nu este un sistem de control optim, deci pot fi aduse îmbunătățiri la acest nivel.

Am testat ACP propus și i-am comparat rezultatele cu cele ale unor sisteme clasice, recunoscute. Comparăția a fost realizată în conformitate cu anumite criterii sugerate de către standardele europene în domeniu. În toate simulările, ACP a avut o performanță mai bună, asigurând un confort termic adecvat printr-un consum mai mic de energie. În plus, comanda calculată de ACP nu este atât de agresivă, lucru care duce la mărirea timpului de viață al echipamentelor folosite (unele foarte scumpe).

Totuși, aceste rezultate foarte bune au fost obținute în principal datorită modelului precis al clădirii. În viața reală, identificarea modelului nu este la fel de simplă pentru sisteme mai complexe.

Concluzii

Sistemele de control cu Algoritmi de Control Predictiv reprezintă soluții de viitor pentru utilizarea optimă a unui mix de energie din surse regenerabile și convenționale în clădirile ocupate intermitent. Sistemul de control propus, care folosește ACP, este superior celor de referință:

- a. prin reducerea drastică a disconfortului termic;

- b. prin reducerea semnificativă a numărului de cicluri de pornire/oprire;
- c. prin reducerea sensibilă a consumului de energie.

Elementele de macro-mediu (temperatura exterioară, radiația solară) influențează decisiv performanța sistemelor:

- d. diferențe semnificative între rezultatele din cele două perioade simulate în aceeași poziție geografică;
- e. diferențe semnificative între rezultatele din cele două poziții geografice simulate în aceeași perioadă.

Integrarea optimă a energiei din surse regenerabile de energie în procesul de încălzire a clădirilor se realizează printr-un Sistem de Management Energetic al Clădirilor ce folosește un sistem de control de tip ACP (algoritm de control predictiv), dacă este identificat corect modelul clădirii (sarcină dificilă în cazuri complexe)

Perspective de cercetare

Deși s-au obținut rezultate importante pe această direcție de cercetare, există multe puncte în care acestea ar putea fi continuate:

- În cazul tratat, modelul termic este bazat pe un model monozonal. Trebuie investigate și modelele multizonale. Întrebările care ar putea apărea sunt descrise mai jos.
 - > se dezvoltă algoritmi de control predictivi pentru fiecare zonă sau se identifică o nouă funcție de distribuție a fluxului termic în fiecare zonă?
 - > cum afectează performanța sistemului îmbinarea dintre două sau mai multe zone?
 - > pentru fiecare zonă, trebuie definită o funcție obiectiv care ia în considerare nevoile zonelor adiacente?

În simulările efectuate, s-a considerat că prognozele meteorologice sunt 100% precise. Trebuie verificat impactul pe care îl poate avea precizia prognozelor asupra consumului energetic și a confortului termic.

Contribuțiile personale teoretice:

- determinarea modelului dinamic al unei clădiri ocupate intermitent:
 - formularea modelului clădirii;
 - transformarea problemei estimării calcului sarcinii termice într-una de control;
 - liniarizarea modelului identificat pentru identificarea parametrilor acestuia;
 - identificarea parametrilor sistemului folosind metoda pătratelor minime;
- propunerea unui algoritm *feedforward* pentru compensarea condițiilor meteorologice și a unui algoritm de control predictiv pentru controlul temperaturii;
- propunerea unei noi funcții de cost pentru ACP, care să includă și criteriul consumului energetic;
- identificarea criteriilor de evaluare a performanței controlului termic al unei clădiri ocupate intermitent.

Contribuțiile personale practice:

- testarea soluțiilor teoretice propuse prin folosirea unor programe dedicate:
 - simularea sistemului complex în programul EnergyPlus;
 - simularea controlerului în Simulink;
 - simularea comportamentului termic al clădirii prin integrarea celor două modele cu ajutorul BCVTB;
- realizarea unor teste pentru condiții atmosferice diferite determinate de perioada din an și de localizarea geografică;

compararea sistemului propus cu sistemele de referință pe baza unor date statistice.