



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

OPTIMIZAREA ECONOMICĂ A UNEI CENTRALE ELECTRICE PE ABUR

Andreea SAVU, Ionuț MUNTEAN, Sergiu MAN, Gheorghe LAZEA

THE ECONOMIC OPTIMIZATION OF A STEAM POWER PLANT

This paper provides an Optimization System for an industrial site. The real-time system will determine the appropriate loading for various boilers and steam turbines to best meet the site's demand for steam at various pressures and generate electricity. We have intended to perform the optimization across the plant as a whole using PredictPro, although this technology usually operates on a single process unit.

To provide the system's functionality there are a number of possible approaches, including: a steady-state optimizer, utilizing a process model of the plant (in our case gains model) and the use of the optimizer functionality within the PredictPro model predictive controller.

Any power plant that can be described by a "gain matrix" with less than 40 Manipulated Variables (MV) and 80 Constraints (CV) can be treated by the application in such a configuration.

Keywords: economic optimization, control (Control) as Model Predictive (MPC), power plants, mathematical modeling

Cuvinte cheie: optimizare economică, reglare (Control) Predictivă după Model (MPC), centrală electrică, modelare matematică

1. Introducere

De-a lungul istoriei, problema energetică a fost și a rămas o prioritate. În ultima perioadă, instalațiile au fost aduse la cele mai înalte

standarde și foarte puține componente fizice mai au nevoie să fie înlocuite. Un ultim aspect care ar putea fi îmbunătățit este sistemul de control, cu ajutorul căruia se pot ajusta parametri de funcționare ai proceselor în funcție de materia primă și condițiile exterioare, astfel încât produsele finale să aibă calitatea cerută. Implementarea modelelor matematice pentru procese din industrie reprezintă elementul ce stă la baza dezvoltării sistemelor de control predictiv, bazate pe model.

Formula clasică pentru controlul predictiv după model nu constituie o soluție suficientă în ultima perioadă, deoarece sistemele de control au evoluat de la aplicații individuale cu MPC la sisteme integrate de control, folosite pentru optimizarea completă a instalațiilor. În aceasta situație, autorii articolului [1] explică necesitatea integrării complete dintre controlul avansat al proceselor și optimizarea generală (plantwide optimization), iar elementul cheie este reprezentat de coordonarea dinamică dintre controllere. Alte subiecte asemănătoare sunt abordate în lucrările [2, 3, 4 și 5].

Spre deosebire de alte sisteme de control, aplicațiile de control avansat de la DeltaV (control PID, control adaptiv, MPC, control de monitorizare a performanțelor, logică fuzzy și rețele neuronale) sunt perfect integrate în sistem, folosesc același mediu de dezvoltare și aceeași bază de date.

Conform celor afirmate în [6], pentru a opera instalațiile în așa fel încât să răspundă cerințelor pieței cât mai economic, este crucial ca sistemul de optimizare și cel de control, ambele bazate pe model, să fie compatibile.

Există o singură abordare academică privind funcționalitatea tehnologiei MPCPro, pe o coloană de distilare azeotropică și s-a concluzionat că sistemul liniar MPC are performanțe deosebite, când compoziția se folosește automat ca și variabilă controlată și regulatorul este acordat corespunzător.

2. Descrierea procesului

Instalațiile termice de generare de energie, cunoscute și sub numele de centrale electrice pe abur sunt prezente atât în industriile metalurgică, chimică, petrochimică și energetică cât și în rafinării.

Din punctul de vedere al optimizării economice, o astfel de instalație se compune din boilere, turbine și valve de reducere a presiunii. O schemă simplificată a procesului se poate vedea în figura 1.

Ca principiu, o centrală electrică produce curent electric pe baza conversiei energiei termice obținută prin arderea combustibililor.

Curentul electric este produs de generatoare electrice antrenate de turbine cu abur, energia primară a combustibilului fiind transformată în energie electrică și/sau căldură.

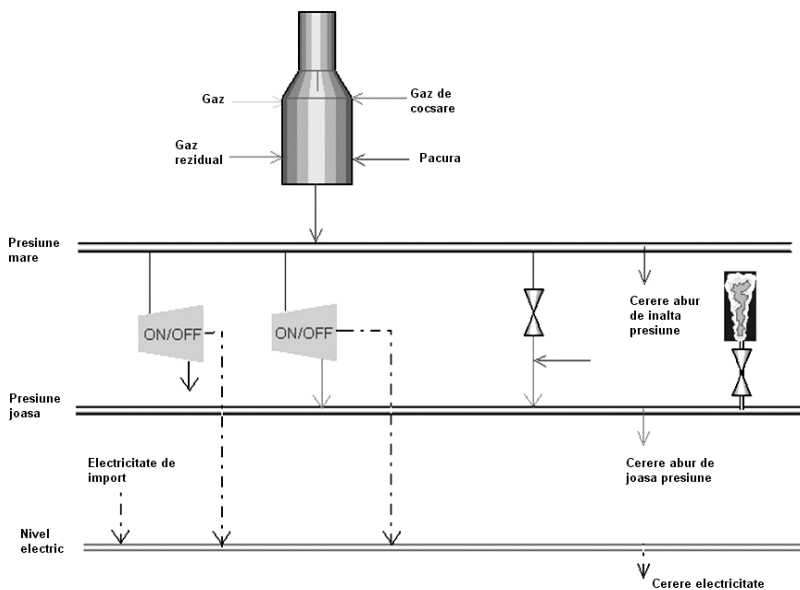


Fig. 1 Elementele de bază ale unei centrale electrice pe abur

Un exemplu de utilizare este în industria metalurgică, unde o astfel de instalație produce atât abur pentru a fi folosit în producerea de oțel cât și un minim de energie electrică folosită intern sau pentru export.

Un sistem real este compus din mai multe boilere principale sau secundare, turbine (cu condensator, „back-pressure”, cu admisie și condensator, cu admisie, extracție și condensator, turbine de putere), valve de reducere a presiunii și nivele de presiune.

Boilerele admit mai multe tipuri de combustibil gazos și lichid:

- Gaz rezidual – produs intern
- Gaz de cocsare - produs intern
- Gaz natural – produs de import
- Păcură – produs de import

Pentru a putea optima funcționarea unui sistem cu elementele de bază prezente în figura 1, avem nevoie de un model realizat în același program ca și sistemul de control. Iar pentru a putea

folosi pachetul PredictPro a trebuit creată legătura dintre intrările fizice ale instalației reale și controlerul DeltaV.

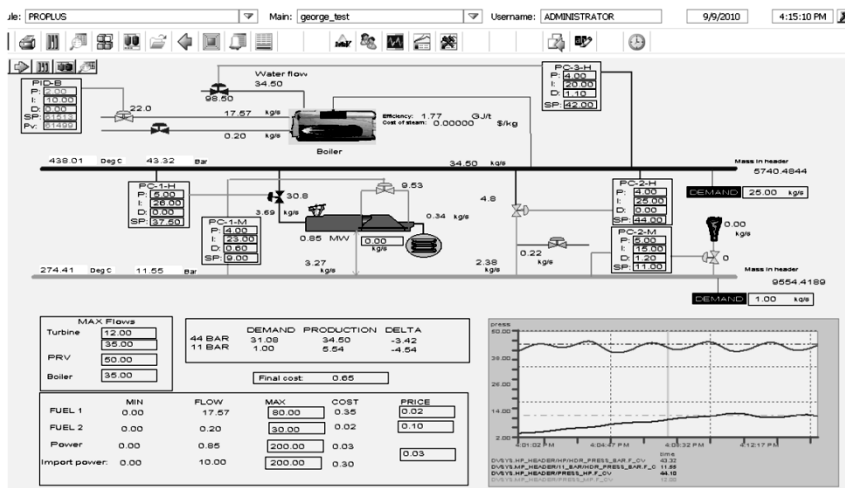


Fig. 2 Interfața grafică de test a simulatorului

Așadar, modelarea implică atât implementarea modelului matematic cât și realizarea conexiunilor dintre acesta și sistemul de control. Interfața grafică folosită pentru a testa elementele de baza ale simulatorului este prezentă în figura 2.

Pentru a simula un cuptor de generare abur am folosit un șablon BOILER care primește ca intrări presiunea și temperatura aburului la ieșirea din boiler, coeficienții curbei de eficiență, poziția valvei de siguranță, MCR (maximum continuous rating – rata maximă de evaporare care poate fi susținută timp de 24 de ore). De asemenea s-au definit timpul mort și constanta de timp ale sistemului de ordinul întâi, capacitatea boilerului, debitele de combustibil și modul de funcționare impus de nivelele de presiune. Pentru calculul căldurilor s-au folosit debitele de combustibil și parametrii CV (valoarea calorică) asociați fiecărui combustibil.

Pentru a simula o turbină cu abur, mai întâi trebuie simulate individual treptele de presiune ale acesteia. O treaptă de presiune se consideră a fi un sistem de ordinul I cu timp mort. Modulul calculează atât puterea produsă cât și temperaturile de saturație, isentropică și de ieșire ale aburului. Folosind presiunea și temperatura aburului de la intrare se calculează entalpia (H_1) și entropia aburului, apoi se

calculează entalpia (H_{extr1}) și temperatura de extracție a aburului în condiții de expansiune izentropică și în final rezultă puterea produsă.

Un nivel de presiune se poate reprezenta sub forma unui tub unde se stochează aburul produs sau extras din echipamente. În cazul nostru există două nivele de presiune: medie presiune la 44 bar (aburul ce iese din boilere) și joasă presiune - 11 bar. Se impune o anumită temperatură și o anumită presiune și se cunosc dimensiunile tubului, condițiile inițiale (presiune, temperatură și masa acumulată în tub la start) și cererea de abur la consumator. Dacă presiunea pe nivel este prea mare atunci se va deschide valva de siguranță spre consumator.

Valva de reducere a presiunii se aseamănă cu o treaptă de presiune. Ca intrări avem poziția valvei și capacitatea maximă a acesteia, temperatura aburului de la intrare și a celui din nivelul de presiune inferior, temperatura apei introduse și presiunile de intrare și ieșire. La ieșire obținem debitul și temperatura aburului.

3. Descrierea sistemului de optimizare

În DeltaV PredictPro algoritmul de control predictiv se bazează pe DMC (Dynamic Matrix Control) însă are multe modificări, cum ar fi selecția parametrilor de control ce vor fi utilizați în matricea de control, utilizarea unei optimizări LP pentru a obține anumite obiective de control, penalizarea erorii și a devierii de la traiectoria predicției, controlul intervalului de variație și altele. Robustetea controlerului este îmbunătățită substanțial prin introducerea acestor noi funcționalități.

Optimizarea proceselor se implementează folosind un optimizor integrat LP (linear program). Acesta poate fi folosit pentru a îmbunătăți funcționarea instalațiilor, minimizând sau maximizând anumite variabile de proces astfel încât constrângerile să se mențină în limitele specificate. Se pot defini până la 5 funcții obiectiv de control; algoritmul MPCPro fiind integrat în controllerul DeltaV.

Principalele module care s-au realizat în DeltaV Control Studio, care facilitează legătura dintre intrările fizice ale instalației reale/simulator și controllerul DeltaV sunt:

- Modulele de intrare - pentru fiecare variabilă manipulată
- Modulele de ieșire - folosite pentru a simula valorile constrângerilor pentru anumite valori ale variabilelor manipulate curente (valori care pot să provină de la instalația reală sau să fie introduse manual).
- Modulele de preț - calculează intervalul de variație pentru fiecare variabilă manipulată și pentru fiecare constrângere și setează costul asociat în procente, în controllerul MPCPro.

- Modulul Base-Load - când boilerelor și turbinele primesc valori de referință fixe pentru cantitățile de abur și energie.

- Modulele de cost – calculează costul combustibililor pentru fiecare boiler, costuri totale pentru fiecare combustibil folosit (4 combustibili), costul energiei electrice importate, prețul aburului de înaltă presiune - 44 bar, prețul aburului de medie presiune - 11 bar și profitul asociat fiecărei turbine.

- Modulele On/Off (Boilere/ Turbine) - conțin logica opririi și pornirii unui boiler sau scoaterea unei MV (debit de combustibil) în afara problemei optimizării, menținând valoarea curentă constantă.

- Modulul On/Off Limite - setează limitele superioare și inferioare la 0 pentru fiecare MV, când boilerelor, turbinele sau valvele (PRV) sunt oprite/închise (stare OFF). Dacă sunt doar scoase din problema optimizării, atunci limitele rămân aceleași.

- Modulul de inițializare

Pentru a optimiza economic funcționarea procesului s-a folosit modulul Optimizor, care conține blocul MPC PredictPro și modulul Mișcare_optimă. În cel de-al doilea se face calculul diferenței dintre valorile curente ale MV și cele optimizate și efectul fiecărei diferențe asupra fiecărei constrângeri.

Pentru a simula neliniaritățile procesului s-a creat un modul care schimbă modul de operare al optimizării în „pas-limitat”. La fiecare pas, matricea câștigurilor în regim staționar este adusă la punctul curent al funcționării fiecărui echipament.

4. Rezultate

Sistemul de optimizare s-a dezvoltat în etape, deoarece s-a dorit testarea capacității software-ului DeltaV PredictPro de a asimila un număr de 40 de variabile manipulate și 28 de restricții, corespunzătoare sistemului format din 7 boilerelor cu multiple debite de combustibil și 12 stagii de turbină. Precizăm încă o dată limita maximă a variabilelor manipulate de programului PredictPro fiind de 40.

Primul test s-a făcut pe un proces simplu format dintr-un boiler și două turbine (cu condensator și cu extracție), două nivele de presiune și unul de energie. Pentru a reprezenta realitatea s-a introdus și o variabilă manipulată numită Energie Importată, având un anumit cost raportat la cel al combustibililor folosiți. Modelul din interiorul MPC a fost reprezentat printr-un sistem MIMO (multi-input multi-output) compus din sisteme de ordinul 1 cu timp mort.

Următoarele etape au constat din adăugarea a câte unui nou boiler cu debitele de combustibili aferente și a unor valve de siguranță,

fiecare dintre acestea reprezentând o nouă variabilă manipulată. S-a testat funcționalitatea fiecărei configurații în parte.

Apoi s-a adăugat câte o turbină (stagiile ale turbinelor reale, de tip extracție, cu condensator sau cu admisie), încercând corelarea cu sistemul real prin atașarea restricțiilor aferente și s-a testat fiecare nou sistem obținut.

În total s-au testat 35 configurații pentru a avea certitudinea că Optimizorul funcționează corespunzător.

Testarea sistemului a dovedit validitatea lui pentru orice tip de configurație, profitul fiind întotdeauna maximizat în condițiile date. S-au testat și diferite situații când boilerule sunt oprite sau scoase din problema de optimizare.

Aceeași situație a fost testată și în cazul turbinelor, care pot să aiba stagii scoase din optimizare sau să fie oprite total.

Rezultatele au fost corespunzătoare de fiecare dată și validate prin folosirea Excel Solver pe aceleași configurații.

5. Concluzii

■ Această lucrare prezintă un sistem general de optimizare dezvoltat în DeltaV și DeltaV PredictPro. Acest sistem poate fi folosit pentru orice proces industrial care se poate descrie sub forma unei matrici de câștiguri (40X80). De asemenea, permite mai multe moduri de lucru (de bază, optimizat sau parțial optimizat), scoaterea anumitor variabile din problema optimizării (în caz de avarie sau în cazul rezolvării problemei cu un număr mai mic de variabile), simularea instalației și a neliniarităților.

■ Sistemul este compus dintr-o rutină care oferă inginerilor posibilitatea de a seta anumiți parametri, în așa fel încât funcționarea instalațiilor să fie optimă, precum și un set de module suplimentare care permit accesul la parametrii interni ai modulului MPC.

Notă: Lucrarea a fost scrisă în timpul desfășurării programului: "PRODOC" – "PROiect de dezvoltare a studiilor de DOCTORAT în tehnologii avansate" - (POSDRU 6/1.5/S/5).

BIBLIOGRAFIE

[1] Lu, J.Z., *Challenging control problems and emerging technologies in enterprise optimization*, Control Engineering Practice, vol. 11 (8)/2003, pag. 847-858.

- [2] Larsson, T., Skogestad, S., Plantwide control – *A review and a new design procedure*, Modelling, Identification and Control, vol. 21(4)/2000, pag. 209–240.
- [3] Grossman I.E., Furman, K.C., *Challenges in Enterprise-wide Optimization for the Process Industries*, Optimization and Logistics Challenges in the Enterprise, vol. 30/2009, pag. 3–61.
- [4] Zhang, N., Zhu, X.X., *Novel Modelling and Decomposition Strategy for Total Site Optimization*, Computers and Chemical Engineering, vol. 30/2006, pag. 765–777.
- [5] Souza, G., Odloak, D., Zanin, A.C., *Real-time optimization with model predictive control*, Computers and Chemical Engineering, vol. 34/2010, pag. 1999–2006.
- [6] Backx, T., Bosgra, O., Marquardt, W., *Integration of model predictive control and optimization of processes. Enabling technology for market driven process operation*, Proc. IFAC Symposium “Advanced Control of Chemical Processes”, ADCHEM 2000, Pisa, Italy, pag. 249–260.

Drd.Ing. Andreea SAVU,
Drd.Ing. Ionuț MUNTEAN, membru AGIR
Drd.Ing. Sergiu MAN,
Prof.Dr.Ing. Gheorghe LAZEA,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultatea de Automatică și Calculatoare
Catedra de Automatică
e-mail: Andreea.SAVU@aut.utcluj.ro