

MODEL GENERAL PENTRU CONDUCEREA AUTOMATĂ A SISTEMELOR ELECTROENERGETICE IERARHIZATE

dr. ing. Cătălin Dumitriu
dr. ing. Lucia-Cristina Dumitriu

București 25-26 septembrie 1991

REZUMAT: Sistemele electroenergetice actuale, constituite într-o clară structură ierarhizată, puternic informatizate, sînt pregătite pentru ca într-un viitor destul de apropiat să se supună legilor stricte ale conducerii automate, care să scoată cel puțin deciziile curente, operative, sub incidența impreciziei și stărilor emoționale caracteristice operatorilor umani. Programele complexe de conducere automată vizează, atît creșterea fiabilității funcționării instalațiilor electrotehnice și a manevrelor de exploatare necesare, cît și obținerea optimului economic al regimurilor de scurtă sau de lungă durată, normale și tranzitorii.

În aceste condiții, datorită complexității extreme a proceselor conduse, este necesară o ierarhizare și a sistemelor de comandă pe subsisteme și, de asemenea, a funcțiilor directe ale programelor de urmărire și previziune ale stărilor, într-o viziune de acțiune descentralizată, coordonată de Dispecerul Energetic Național.

Lucrarea reprezintă prima încercare de sinteză a problematicei conducerii automate a sistemelor electroenergetice mari, conduse descentralizat, realizată în țară sub forma unor strategii de comandă, constituite cu ajutorul facilităților oferite de calculatoarele moderne de foarte mare capacitate. De asemenea, se prezintă rezultatele de etapă într-o cercetare întreprinsă de mai mulți ani și în care se vor integra tot mai multe opțiuni tehnice realizate sau în curs de realizare în țară, în domeniul conducerii sistemelor electroenergetice interconectate.

CUVINTE CHEIE: Sisteme ierarhizate, conducere automată, comandă descentralizată, robustețe.

1. DEFINIREA PROBLEMEI

Sistemele electroenergetice (SEE), datorită proceselor electroenergetice foarte rapide pe care le găzduiesc și a puterilor foarte mari pe care le guvernează, au impus condiții foarte stricte de automatizare și cibernetizare incluse în sisteme complexe de conducere cu ajutorul calculatorului. Tot mai mult, procesul de conducere capătă un conținut de optim economic, inclusiv în timpul unor regimuri tranzitorii, în general planificate; pe de altă parte, condițiile de funcționare sigură a instalațiilor se regăsesc cu tot mai multă pondere în strategiile de conducere a SEE, în special pentru regimurile planificate de lungă durată.

Toate aceste probleme, în concepția actuală materializată, de conducere a SEE sînt generate prin intermediul operatorului - dispecer energetic - asistat de tehnica de calcul de cel mai înalt nivel, coresponsătoare stadiului de dezvoltare economică și

științifică a societății pe care aceasta o servește.

Pe plan mondial, se manifestă tot mai pregnant tendința de înlocuire a operatorului uman cu un complex automat, care să permită eliminarea impreciziei și emotivității umane, ceea ce ar avea ca o consecință principală creșterea gradului de siguranță a SEE, inclusiv la nivelul conducerii sale operative.

Modelele propuse de Calvaer, Houward și Ribbens-Pavella [1] (1992), dezvoltate mai ales de ultima [2] (1982) sau în colaborare cu Evans [3] (1985) au în vedere, în principal, obținerea unei strategii de conducere economică a SEE cu luarea în considerație a cerințelor de necesitate, mai ales în regimurile tranzitorii. Indicatorul global de stabilitate tranzitorie introdus de Ribbens-Pavella oferă un mijloc de apreciere a siguranței funcționale, a cărui valoare practică a fost pusă în evidență în [6], inclusiv sub forma unui program de calcul automat. Transferarea valorilor indicatorului de stabilitate tranzitorie în spațiul stărilor SEE permite, pe lângă dezvoltarea modelului de optimizare economică a regimului permanent de funcționare a acestuia, un sprijin direct dispecerului energetic prin realizarea unui indicator de robustețe a SEE, mijloc sintetic de supraveghere calitativă a funcționării acestuia [6], [7], [8].

Problema nouă care apare, este conducerea automată continuă a sistemelor electroenergetice vaste, cu structuri de comandă ierarhizate. Desigur, această problemă este o dezvoltare a celei precedente, dar aspectul nou care apare este utilizarea a două modele principale diferite a SEE: unul de tip determinist, la nivelul dispecerului energetic teritorial (DET), care ar asigura conducerea directă a proceselor energetice și un al doilea de tip probabilist la nivelul sistemului interconectat (condus de dispecerul energetic național (DEN)). Natura matematică diferită a celor două modele, realizează prin mijloacele practice afectate celor două nivele de comandă, o separare principală a funcțiilor cu toate consecințele organizatorice și de responsabilitate.

Noul model al SEE evoluează, de la varianta clasică de comandă centralizată, unitară și strict determinată, la o nouă variantă în care dispecerii teritoriali realizează conducerea efectivă a subsistemelor, iar nivelul central supraveghează numai rețeaua de interconexiune și coordonează informațional dispecerii teritoriali [8].

În sprijinul acestui model relativ descentralizat de conducere a SEE vin și indicatorii statistici ai lui Billinton și Kuruganty [5] (1981) și teoria controlului descentralizat [4] (1980).

Toate aceste eforturi de definire a unui nou mod de gândire în conducerea sistemelor electromagnetice încep să se concretizeze într-un model general, supus cerințelor actuale, impuse de dezvoltarea tehnicii de calcul și de progresele impresionante obținute în informatizarea proceselor industriale.

2. STRUCTURA MODELELOR SEE FOLOSITE

Elementele de modelare a funcționării sistemelor electroenergetice sînt cele clasice $\dot{A}9\dot{I}, \dot{A}10\dot{I}$ cu cîteva particularități:

- modelul mașinii sincrone, luat în considerație în cadrul programelor de calcul al regimurilor permanente și tranzitorii este Olive-Potolea, cu corelațiile de flux cunoscute [9];
- consumatorul complex a fost aproximat în toate regimurile de funcționare prin puterile activă și reactivă, caracterizate de dependențele exponențiale [12]:

$$\begin{cases} P = P_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{K_p^u} \cdot \left(\frac{f}{f_n} \right)^{K_p^f} \\ Q = Q_n \left(\frac{U}{U_q} \right)^{K_q^u} \cdot \left(\frac{f}{f_n} \right)^{K_q^f} \end{cases} \quad (1)$$

sau relațiile (2):

$$\begin{cases} P = P_n(1+K_p^f \Delta f) \cdot [p_p + p_c \left(\frac{U}{U_n} \right)^{n_1} + P_z \left(\frac{U}{U_n} \right)^2] \\ Q = Q_n(1+K_q^f \Delta f) \cdot [q_p + q_c \left(\frac{U}{U_n} \right)^{n_2} + q_z \left(\frac{U}{U_n} \right)^2] \end{cases} \quad (2)$$

în care:

- K_p^f, K_q^f sînt parametrii caracteristici de frecvență ai sarcinii;
- p_p, q_p partea din sarcina totală reprezentînd sarcina de tip putere constantă;
- p_c, q_c partea din sarcina totală proporțională cu puterea a n-a a tensiunii;
- p_z, q_z partea din sarcina totală reprezentînd sarcina de tip impedanță constantă

Această ultimă reprezentare are avantajul de a putea descrie cu cea mai mică eroare comportarea sarcinilor în regimuri tranzitorii.

De asemenea, în regimuri tranzitorii și scurtcircuitele se modelează prin admitanțe de valori mari ($10^4 - 10^5$ S), ceea ce unifică modelul.

Automatizările grupurilor și sistemului sînt prezentate prin funcțiile lor de transfer în spațiu stărilor, iar efectul protecțiilor, prin limitări temporale în scenariile implementate.

Problemele cele mai grele în modelare sînt introduse de realizarea zonării sistemului electroenergetic, care este un mijloc de limitare a consecințelor defecțiunilor grave. Zonare propriu-zisă intervine după eliminarea defectului, în timpul regimului tranzitoriu postavarie, cu scopul de a salva părți cît mai extinse ale SEE cu sacrificarea numai a unei părți a acestuia aflată în proximitatea locului de defect. Avantajul metodologic

al zonării constă în posibilitatea utilizării tehnicilor diacoptice de calcul a tuturor tipurilor de regimuri de funcționare a SEE.

În calculele de regimuri tranzitorii s-a folosit un program de calcul, bazat pe determinarea valorilor derivatelor de ordin superior ale unghiurilor rotorice ale mașinilor sincrone, într-o configurație de sistem supusă regimurilor diacopticii ținînd seama de efectele zonării SEE. În acest fel, se dispune o concordanță între metoda de calcul și mijlocul tehnic folosit, putîndu-se astfel urmări evoluțiile interioare ale marimilor de stare ale subsistemelor.

Prin echilibrarea forțată a producției cu consumul, subsistemele devin cvasiindependente, cel puțin în prima parte a regimului tranzitoriu și își regăsesc o stare de funcționare normală sau de prealarmă (din cauza rezervei insuficiente de stabilitate statică sau a frecvenței slabe).

Acesta este momentul cel mai dificil al echilibrului stabilit, deoarece ajustările necesare între subsisteme vor provoca noi regimuri tranzitorii, mai puțin intense, dar suprapuse unei stări posibile de prealarmă sau de alarmă. Cu cît durata refacerii unității sistemului este mai mică, cu atît securitatea acestuia este mai bună și se creează premisele unei funcționări economice.

Modelele folosite în conducerea subsistemelor sînt, în general, cunoscute și se pot simula regimuri oricît de grele. La nivelul subsistemelor (corespunzătoare ariilor de competență ale dispecerilor energetici teritoriali), modelele deterministe și urmărirea în permanență a mărimilor de stare (tensiune, puteri nodale) oferă condițiile unei conduceri continue cu posibilități de a deveni automată.

Foarte importante sînt legăturile dintre subsisteme, legături fizice de schimb de putere aflate în supravegherea DEN.

În cadrul tehnicii de calcul din dotarea DET-ului, este obligatoriu și un simulator de regimuri. Aceste regimuri sînt afectate de puterile care circulă prin rețeaua de interconexiune și necesită cunoașterea echivalențelor celorlalte sisteme.

În permanență, fiecare subsistem trebuie să comunice subsistemelor vecine valorile necesare efectuării rapide a echivalării sale funcționale.

În paralel, pe baza indicatorului de robustețe [8], trebuie efectuate calcule de apreciere a stabilității stării în fiecare subsistem.

Modelul pentru DEN (SEE interconectat) trebuie mult simplificat și esențializat, pentru a răspunde unor cerințe de apreciere rapidă a stării SEE unitar. În afara coeficienților locali de robustețe, mai sînt necesare informații privind puterile vehiculate prin rețeaua de interconexiune și, mai ales, rezerva de capacitate de transport a acesteia și a topologiei rețelei (indicii de conexitate, de centralitate, de buclare etc.).

Cu ajutorul acestor valori se determină valoarea indicatorului global de robustețe:

$$IR_g = f([IR_i], [RC_j], IT_0) \quad (3)$$

în care IR_g este indicatorul global de robustețe al sistemului;

- IR_i este indicatorul de robustețe al subsistemului i ;
- RC_j este rezerva de capacitate de transport pe linia de interconexiune j ;
- IT_0 este indicatorul topologic al rețelei de interconexiune.

Indicatorul global de robustețe depinde de valorile punctuale ale parametrilor variabili, dintre care unii pot avea caracter probabilist, pe baza unei experiențe suficiente de exploatare și a informațiilor clasate în literatura de specialitate.

Problema principală a utilizării indicatorului de robustețe este realizarea unei scale cantitative de apreciere a stării sistemului (și a subsistemului). În acest scop, trebuie imaginate regimuri de funcționare foarte stabile (de exemplu, regimuri de funcționare în gol - putere cerută zero) față de care să se găsească o apreciere relativă a gradului de robustețe.

3. MIJLOACE TEHNICE DIN DOTAREA NIVELURILOR DE CONDUCERE

În vederea realizării conducerii automate a SEE este necesară fixarea cadrului tehnic și tehnologic în care aceasta ar putea fi implementată. Datorită vitezei foarte mari a proceselor electrice tranzitorii, o condiție esențială pentru conducerea prin calculator a SEE este existența în dotarea dispecerului a unui calculator cu o foarte mare viteză de lucru și o capacitate remarcabilă, în regim de lucru on-line, capabil să abordeze rezolvarea în paralel a problemelor. Pentru a se pregăti și implementarea o decizie în timpul unui proces electric tranzitoriu, durata totală a comenzii (cu calculul și alegerea soluției) nu trebuie să depășească câteva zecimi de secundă. La asemenea viteze de lucru foarte importante sînt canalele de transmitere a informațiilor, singura cale acceptabilă fiind fibrele optice.

Sînt necesare bănci de date cu acces multiplu la toate nivelele de conducere cuprinzînd rezultatele simulării unui număr foarte mare de regimuri de funcționare normale și tranzitorii ale SEE unitar și ale subsistemelor, curbele de variație ale indicatorilor globali de stabilitate, de robustețe, topologiei etc.

Dispecerii trebuie să fie dotați cu rețele de calculatoare proprii și cu calculator central de mare capacitate, în regim off-line, care să fie utilizate și pentru formarea băncilor de date.

De asemenea, este necesar un nivel bun de dezvoltare a sistemelor expert, utilizate pentru supravegherea sistemului electroenergetic și pentru elaborarea unor scenarii de comandă pentru regimuri de avarii.

La nivelul dispecerului energetic teritorial sînt necesare programe de supraveghere pentru:

- determinarea stării de disponibilitate a instalațiilor;

- calculul indicatorilor de siguranță ai subsistemului;
- determinarea rezervei de avarie;
- calculul indicatorilor de stabilitate statică și tranzitorie;
- estimarea stării statice și dinamice;
- calculul echivalențelor de sistem;
- calculul indicatorilor topologici ai subsistemului;
- urmărirea mărimilor de stare prin liniile de interconexiune;
- pregătirea unor scenarii de limitare a avariilor (echilibrarea sarcinii cu producția proprie, pornirea unor grupuri de intervenție etc.);
- realizarea automată a unor manevre de rutină;
- optimizarea funcționării de durată, în condiții de securitate a subsistemului;
- calculul indicatorilor de robustețe ai subsistemului;
- supravegherea funcționării regulatorului automat tensiune-putere reactivă;
- supravegherea funcționării regulatorului automat de frecvență.

La nivelul dispecerului energetic central se urmăresc:

- calculul indicatorilor globali de robustețe;
- supravegherea funcționării rețelei de interconexiune;
- calculul indicatorilor topologici, ai rețelei de interconexiune;
- supravegherea liniilor internaționale de legătură cu sistemele vecine;
- calculul echivalențelor sistemului unitar.

Acestor programe li se adaugă programe de rutină pentru calcule curente și de legătură informativă cu nivelele superioare și inferioare.

Cele mai multe dintre obiectivele enumerate mai sus trebuie rezolvate prin intermediul unor programe expert, dintre care unele trebuie să realizeze procese de recunoaștere a regimurilor de funcționare. Aceste programe necesită varianta de legătură on-line.

4. CONCLUZII

Problematika conducerii automate a sistemelor electroenergetice interconectate trebuie abordată mai susținut, deși nivelul actual de cunoștințe și experiența acumulate sînt insuficiente. Este necesar un program unitar de cercetare în acest domeniu, pentru concentrarea rezultatelor obținute în diferite probleme concrete.

Întreaga problemă poate căpăta noi orientări dacă se vor obține rezultate sensibile în abordarea probabilistă regimurilor de funcționare ale SEE. Sînt unele indicii de reușită în calculul regimului permanent, dar rămîne nesoluționată problema analizei statistice a regimurilor tranzitorii.

Fără o asemenea abordare, problema este deosebit de grea, punîndu-se pe primul plan viteza de calcul. Cele

mai moderne calculatoare nu pot, în acest moment, să acopere obligația de a implementa o soluție sigură și economică în intervalul de timp al desfășurării regimului tranzitoriu.

Pe de altă parte, indicatorul de robustețe poate să conducă la descentralizarea comenzii în sistemele electroenergetice, strategie prevăzută, dar care necesită sisteme de transmitere a informației foarte sigure spre principalele puncte ale sistemului (canale de fibre optice și sateliți). Se va produce o specializare a conducerii la nivel central, urmărindu-se problemele mari ale subsistemelor, conducerea operativă trecând la nivelul acestora. O nouă soluție ar putea fi separarea în frecvență a subsistemelor cu ajutorul stațiilor de curent continuu. Trebuie realizată o schimbare de optică și în ceea ce privește optimul economic al funcționării unui sistem electroenergetic, mai convenabilă și realistă fiind o abordare suboptimă la nivelul subsistemelor teritoriale și, eventual, a rețelei de interconectare.

5. BIBLIOGRAFIE

1. CALVAER, A., HORWARD, J.L., RIBBENS - PAVELLA, M. *Applications d'un critère général de stabilité transitoire des réseaux multimachines*, Raport CIGRE, 32.14, session de 1972.
2. RIBBENS-PAVELLA, M., ș.a.: *Evaluation de la stabilité transitoire et analyse de la sécurité en temps réel*, Raport CIGRE 32.19, session de 1982.
3. RIBBENS-PAVELLA, M., EVANS, F.Y.: *Direct Methods for Studying Dynamics of Large-scale Electric Power Systems*. În: *A Survey, Automatica*, vol. 21, nr.1, 1985.
4. BILLINTON, R., KURUGANTY, P.R.S.: *A probabilistic Index for Transient Stability*. În: *IEEE Transaction*, vol.PAS-99, nr.1, ianuarie/februarie 1980.
5. BILLINTON, R., KURUGANTY, P.R.S. *Probabilistic Assessment of Transient Stability in a practical multimachine systems*. În: *IEEE Transaction*, vol. PAS-100, nr.7, iulie 1981.
6. DUMITRIU, C.: *Folosirea funcțiilor Liapunev la studiul stabilității tranzitorii a sistemelor electroenergetice*, Teză de doctorat, Institutul Politehnic București, 1987.
7. DUMITRIU, C., DUMITRIU, L.C.: *Program operațional pentru conducerea automată a sistemelor electroenergetice*, Sesiunea Universității Galați, octombrie 1988.
8. DUMITRIU, C., DUMITRIU, L.C.: *Sisteme ierarhizate pentru conducerea automată a sistemelor electroenergetice*, Al 3-lea Simpozion "Optimizarea dezvoltării și exploatării instalațiilor energetice", Iași, 1991.
9. PETELEA, E.: *Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice*, Editura Tehnică, București, 1977.
10. EREMIĂ, M. ș.a.: *Analiza asistată de calculator a regimurilor sistemelor electroenergetice*, Editura Tehnică, București, 1985.
11. DIMO, P.: *Nodal Analysis of Power Systems*, Editura Academiei Abacus Press, București-Tunbridge Wells, 1975.
12. DUMITRIU, L.C.: *Contribuții la stabilirea daunelor la consumatorii industriali, propuse prin perturbarea alimentării cu energie electrică*, Teză de doctorat. Institutul Politehnic București, 1987.