

Repartiția puterilor active între centralele unui sistem

Se consideră un sistem electroenergetic pentru care se cunoaște, pe baza unor metode de prognoză, sarcina cerută de consumatori pentru o anumită perioadă. Se pune problema repartizării puterii active între centralele sistemului astfel încât solicitările consumatorilor să fie satisfăcute (inclusiv pierderile de putere pentru transportul energiei) cu costuri minime.

Problema repartizării puterii active se poate împărți, în funcție de intervalul de timp avut în vedere, în repartizare pe termen lung, mediu sau scurt.

Rezolvarea acestei probleme se poate împărți în două: repartizarea puterilor între diferitele tipuri de centrale urmată de repartiția puterii între centralele termoelectrice.

11.1 Repartiția puterii între diferitele tipuri de centrale

Pe termen mediu repartiția puterii între diferitele tipuri de centrale se face ținând cont de anumite reguli.

Astfel, centralelor nucleare electrice li se repartizează o putere egală cu puterea disponibilă la momentul respectiv, datorită prețului scăzut al energiei produse de aceste centrale și disponibilității formei primare de energie.

Puterea repartizată centralelor hidroelectrice trebuie să țină cont de prognozele hidrologice pentru perioada respectivă, care dau cantitățile de apă care pot fi utilizate.

Astfel, problema stabilirii energiei repartizate pentru a fi produsă de centralele hidroelectrice este tratată diferit pentru intervale de timp de o săptămână sau de o zi:

- energia săptămânală repartizată fiecărei centrale se face astfel încât destocajele (diferența dintre volumul aportului de apă în lacul de acumulare și cantitatea de apă turbinată), exprimate în procente din rezerva utilă, să fie constate;

- plasarea energiei repartizate pe o săptămână pe curba de sarcină corespunzătoare fiecărei zile din cadrul săptămânii respective se face astfel încât să aibă o eficiență maximă; se ține cont că repartizarea energiei produse (cu costuri foarte mici) de către centralele hidroelectrice este cu atât mai eficientă cu cât înlocuiește o energie termică mai scumpă, deci dacă se repartizează această energie în perioadele de vârf de sarcină.

După stabilirea puterii care va fi produsă de către centralele nucleareoelectrice și hidroelectrice, restul energiei cerute de consumatori trebuie asigurat de către centralele termoelectrice de diferite tipuri.

11.2 Repartiția puterii între centralele termoelectrice

În continuare va fi analizată repartiția puterilor pe termen scurt (durata de o zi). În aceste condiții se poate considera că structura sistemului rămâne neschimbată.

Repartiția optimă corespunde unui cost minim (sau, dacă se consideră un combustibil tip) unui consum minim de combustibil în condițiile satisfacerii cererilor tuturor consumatorilor.

Pentru a repartiza puterea între centrale trebuie cunoscute funcțiile de consum de combustibil sau costurile aferente tuturor centralelor din sistem. Cu o precizie satisfăcătoare se poate considera acestea pot fi modelate prin funcții de gradul doi.

Se consideră un sistem cu n noduri în cadrul căruia întră m centrale termoelectrice ale căror caracteristici de consum sunt cunoscute:

$$B_i(P_i) = B_{2i}P_i^2 + B_{1i}P_i + B_{0i} \quad i = \overline{1, m} \quad (11.1)$$

unde B_{2i} , B_{1i} , B_{0i} sunt coeficienții care caracterizează funcția de consum a centralei din nodul i .

Se consideră cunoscute limitele minimă și maximă ale puterii active pentru fiecare centrală termoelectrică a sistemului, puterile produse de celelalte tipuri de centrale și nodurile sistemului în care acestea sunt injectate, ca și puterile cerute de consumatorii din fiecare nod al sistemului.

Modelul matematic al problemei de optimizare este următorul:

$$\begin{aligned} \min B(P_1, \dots, P_m) &= \sum_{i=1}^m B_i(P_i) \\ \sum_{i=1}^m P_i - P_C - p &= 0 \\ P_{i \text{ inf}} \leq P_i \leq P_{i \text{ sup}} \quad &i = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (11.2)$$

în care:

- P_i -puterea produsă de centrala termoelectrică instalată în nodul i ;
- P_c -puterea totală cerută, care o include și pe cea produsă de centralele nucleare și hidroelectrice (cu convenția de semn respectivă);
- p -pierderile de putere în rețeaua de transport;
- $B_i(P_i)$ -funcția de consum a centralei din nodul i , dată de (11.1);
- $P_{i \text{ inf}}, P_{i \text{ sup}}$ -limitele maximă și minimă ale puterii produsă de centrala din nodul i .

După cum se poate observa, se impune minimizarea consumului total de combustibil în condițiile satisfacerii cererii totale de putere activă și a limitelor de putere la generatoare.

Una dintre metodele de rezolvare a acestei probleme cu funcția obiectiv pătratică, o restricție de egalitate și $2m$ restricții de inegalitate presupune abordarea problemei în două etape:

- rezolvarea problemei pătratice obținute prin neglijarea restricțiilor de inegalitate;
- verificarea restricțiilor de inegalitate, fixarea celor încălcate și obținerea unei probleme derivată din cea inițială, cu un număr mai mic de variabile.

Soluția finală se obține prin repetarea celor două etape până când nici una dintre restricțiile de tip inegalitate rămase nu mai este încălcată.

Dacă se neglijează restricțiile care verifică limitele puterii produse, problemei rezultate i se poate asocia o funcție Lagrange:

$$\begin{aligned} \min L(P_1, \dots, P_m, \lambda) &= B(P_1, \dots, P_m, \lambda) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m P_i - P_c - p \right) = \\ &= \sum_{i=1}^m B_i(P_i) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m P_i - P_c - p \right) \end{aligned} \quad (11.3)$$

Condițiile de extrem pentru această problemă de optimizare fără restricții sunt:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial P_i} &= 0; \quad i = \overline{1, m} \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= 0; \end{aligned} \quad (11.4)$$

Ținând cont de expresia funcției Lagrange, se obține:

$$\begin{aligned} \frac{\partial B_i(P_i)}{\partial P_i} &= \lambda \left(1 - \frac{\partial p}{\partial P_i} \right) = \lambda \beta_i \\ \beta_i &= 1 - \frac{\partial p}{\partial P_i} \end{aligned} \quad (11.5)$$

în care β_i sunt inverșii coeficienților de penalizare.

Trebuie subliniat faptul că nu toate puterile P_i sunt independente; astfel, puterea centralei de bilanț P_1 rezultă în urma calculului de circulație de sarcină în funcție de puterile din celelalte noduri. În aceste condiții pierderile de putere p nu mai depind direct de puterea P_1 și deci:

$$\beta_1^{\text{not}} = 1 - \frac{\partial p}{\partial P_1} = 1 \quad (11.6)$$

Folosind (11.1), din (11.5) rezultă:

$$2B_{2i}P_i + B_{1i} = \lambda\beta_i; \quad i = \overline{1, m} \quad (11.7)$$

sau:

$$P_i = \lambda \frac{\beta_i}{2B_{2i}} - \frac{B_{1i}}{2B_{2i}}; \quad i = \overline{1, m} \quad (11.8)$$

de unde, prin însumare și ținând cont de a doua relație din (11.2):

$$\lambda = \frac{P_c + p + \sum_{i=1}^m \frac{B_{1i}}{2B_{2i}}}{\sum_{i=1}^m \frac{\beta_i}{2B_{2i}}} \quad (11.9)$$

Folosind această valoare a multiplicatorului lui Lagrange se poate obține din (11.7) puterea pe care trebuie să o producă fiecare centrală:

$$P_i = \lambda \frac{\beta_i}{2B_{2i}} - \frac{B_{1i}}{2B_{2i}}; \quad i = \overline{1, n} \quad (11.10)$$

11.2.1 Repartizarea puterii între centrale dacă se neglijează pierderile în rețea

Valorile pierderilor în rețeaua de transport reprezintă câteva procente din puterea produsă. În aceste condiții repartiția puterii determinată cu și fără considerarea pierderilor în rețea nu vor diferi foarte mult. Pe de altă parte, pierderile depind de puterea produsă de fiecare centrală. Din această cauză, stabilirea unei repartiții fără considerarea pierderilor va permite calculul aproximativ al acestora și, prin aceasta, vor da posibilitatea de repartizării mai exacte în etapa următoare.

Dacă se consideră pierderile p nule, din (11.5) va rezulta $\beta_i = 1$ pentru toate centralele sistemului, deci, din (11.7):

$$\frac{\partial B_1}{\partial P_i} = 2B_{2i}P_i + B_{1i} = \lambda; \quad i = \overline{1, m} \quad (11.11)$$

Derivata funcției de consum a unei centrale reprezintă consumul incremental al acesteia. Sensul fizic al consumului incremental al unei centrale $B_{incr}(P)$ corespunzător puterii produse P este reprezentat de creșterea consumului de combustibil necesară pentru a se crește puterea centralei de la valoarea P până la valoarea $P+1$.

Deoarece valoarea multiplicatorului lui Lagrange λ este unică în tot sistemul, din (11.11) va rezulta criteriul care permite repartizarea puterii între centrale.

Deci, dacă se neglijează pierderile în rețea, puterea se repartizează între centralele sistemului astfel încât consumul incremental al acestora să fie același. Cu alte cuvinte, în cazul realizării repartizării optime a puterilor între centrale, o creștere cu o unitate a puterii active produse va conduce la aceeași creștere a consumului, indiferent de centrala careia îi este repartizată această unitate suplimentară a puterii produse.

În continuare se verifică dacă nu sunt încălcate limitele superioară și inferioară ale puterilor la centralele respective.

Practic, puterea se repartizează astfel:

a. Se calculează valoarea multiplicatorului lui Lagrange prin particularizarea relației (11.9)

$$\lambda = \frac{P_c + \sum_{i=1}^m \frac{B_{1i}}{2B_{2i}}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{2B_{2i}}} \quad (11.12)$$

b. Se determină puterea fiecărei centrale din (11.10):

$$P_i = \lambda \frac{1}{2B_{2i}} - \frac{B_{1i}}{2B_{2i}}; \quad i = \overline{1, n} \quad (11.13)$$

c. Se verifică respectarea puterilor limită inferioară și superioară Pentru nodurile în care aceste limite nu sunt verificate se notează:

$$\begin{aligned} I_1 &= \left\{ i \mid i = \overline{1, m}; P_i < P_{\inf i} \right\} \\ I_2 &= \left\{ i \mid i = \overline{1, m}; P_i < P_{\sup i} \right\} \end{aligned} \quad (11.14)$$

Centralelor ai căror indici se găsesc în I_1 li se repartizează o putere produsă:

$$P_i = P_{\inf i}; \quad i \in I_1 \quad (11.15)$$

iar celor ai căror indici se găsesc în I_2 li se repartizează o putere:

$$P_i = P_{\sup i}; \quad i \in I_2 \quad (11.16)$$

și se revine la pasul a pentru următoarea problemă:

$$\min \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin I_1 \cup I_2}}^m B_i(P_i)$$

$$\sum_{i=1}^m P_i + \sum_{i \in I_1} P_{\inf i} + \sum_{i \in I_2} P_{\sup i} - P_C - p = 0 \quad (11.17)$$

$$P_{i \inf} \leq P_i \leq P_{i \sup} \quad i = \overline{1, m}$$

Acești pași se repetă până se repartizează toată puterea cerută între centrale fără să se mai încalce nici o limită.

11.2.2 Repartizarea puterilor cu luarea în considerare a pierderilor

Luarea în considerare a pierderilor impune calculul coeficienților de penalitate. Deoarece valoarea acestora depinde de regimul de funcționare al sistemului, deci de puterile repartizate centralelor, rezolvarea problemei impune efectuarea unui calcul iterativ.

Se pornește de la regimul rezultat la etapa anterioară.

a. Se inițializează regimul de funcționare cu cel rezultat în urma repartizării cu neglijarea pierderilor.

b. Se calculează pierderile:

$$p = \sum_{i=1}^m P_i - P_C \quad (11.18)$$

coeficienții de penalitate și, după aceasta, coeficienții β_i .

c. Se calculează valoarea multiplicatorului lui Lagrange prin folosirea relației (11.9).

d. Se determină puterea fiecărei centrale cu (11.10).

e. Se verifică respectarea puterilor limită inferioară și superioară

Pentru nodurile în care aceste limite nu sunt verificate se notează:

$$\begin{aligned} I_1 &= \left\{ i \mid i = \overline{1, m}; P_i < P_{\inf i} \right\} \\ I_2 &= \left\{ i \mid i = \overline{1, m}; P_i < P_{\sup i} \right\} \end{aligned} \quad (11.19)$$

Centralelor ai căror indici se găsesc în I_1 li se repartizează o putere produsă:

$$P_i = P_{\inf i}; \quad i \in I_1 \quad (11.20)$$

iar centralelor ai căror indici se găsesc în I_2 li se repartizează o putere:

$$P_i = P_{\sup i}; \quad i \in I_2 \quad (11.21)$$

și se revine la pasul b pentru următoarea problemă:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin I_1 \cup I_2}}^m B_i(P_i) \\ \sum_{i=1}^m P_i + \sum_{i \in I_1} P_{\inf i} + \sum_{i \in I_2} P_{\sup i} - P_C - p &= 0 \\ P_{\inf} \leq P_i \leq P_{\sup} \quad & i = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (11.22)$$

și pentru regimul rezultat la pasul curent.

Acești pași se repetă până se repartizează toată puterea cerută între centrale fără să se mai încalce nici o limită și fără să se producă o modificare importantă a regimului de funcționare considerat.