

Laborator 3

Reglatoare multivariabile cu decuplarea statică a canalelor

Studiu de caz:
reglarea frecvență – putere de schimb

3.1 Tema

Studiul unor structuri de sisteme de reglare pentru procese multivariabile cu decuplarea canalelor în regim staționar. Ca exemplu reprezentativ pentru utilizarea decuplării staționare se va considera un model simplificat al sistemului de reglare frecvență – putere de schimb din rețelele electrice interconectate.

3.2 Preliminarii

Principalii parametri de calitate ai energiei electrice la consumator sunt frecvența și tensiunea electrică. Din rațiuni pe care nu le dezbatem aici, cerințele de calitate sunt puternic diferite: dacă pentru tensiune se admit variații de până la +15% și -10% din valoarea nominală, pentru frecvență sunt admise variații de cel mult $\pm 0.4\%$, i.e. în Europa ¹ în gama de $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$.

Marile probleme ale unei producții și distribuții eficiente ale energiei electrice sunt legate, pe de o parte de distribuția geografică a resurselor energetice și a consumatorilor, iar pe de altă parte de variația în timp a consumului. De exemplu, variația consumului pe parcursul unei zile prezintă, din motive evidente, două perioade de consum crescut: "vârful" de sarcină de dimineață și "vârful" de sarcină de seară. Ambele probleme au condus la necesitatea interconectării centralelor de producție în sisteme energetice naționale (și chiar internaționale) integrate. Această interconectare permite urmărirea de către producție a variațiilor de consum prin conectarea și deconectarea de la sistem a unor grupuri (de obicei din centralele hidro-electrice), asigurându-se astfel grupurilor aflate în funcțiune o încărcare cât mai apropiată de valorile nominale, unde randamentele sunt maxime.

În același timp interconectarea creează probleme de conducere și de exploatare noi, care necesită soluții specifice.

¹În America frecvența nominală este de 60Hz.

Din motive de simplitate ne vom ocupa numai de cazul interconectării (funcționării ”în paralel”) a două grupuri ² așa cum se poate vedea în figura 3.1.

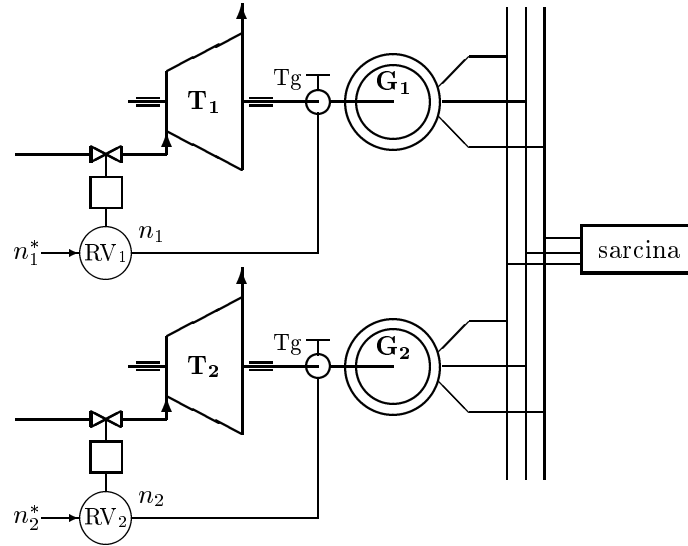


Figure 3.1: Schema simplificată a conectării în paralel a două grupuri turbină - generator.

3.3 Model matematic simplificat

În cele ce urmează vom apela la un model ultrasimplificat, dar capabil totuși să rețină aspectele esențiale ale dinamicii grupurilor turbină – generator care să permită elaborarea, la nivel de principiu, a unei soluții de automatizare fiabile.

În primul rând remarcăm faptul că între frecvența energiei electrice alternative furnizate de un grup și turația acestuia există o legătură de proporționalitate rigidă:

$$f = \frac{pn}{60}, \quad (3.1)$$

unde n este turația grupului în rotații pe minut iar p este numărul de perechi de poli ai generatorului electric sincron. În consecință, a regla frecvența este sinonim cu a regla turația grupului.

Cel mai simplu model pe care-l putem accepta pentru un grup turbină – generator pe canalul putere primară (mecanică) – turație (frecvență) provine din relația fundamentală

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_a - M_r \quad (3.2)$$

unde J este momentul de inerție al grupului, $\omega = 2\pi \frac{n}{60}$ este viteza de rotație (în radiani pe secundă) iar M_a și M_r sunt cuplurile activ și respectiv rezistent la axul grupului.

²La o altă scară, aceiași gen de probleme apar și la interconectarea a două sisteme energetice naționale.

Neglijând pierderile și admitând independența cuplurilor activ și rezistent de viteză putem admite, într-o primă aproximație, că, în aceste condiții, din relația (3.2) rezultă

$$J \frac{df}{dt} = k(P_a - P_c), \quad (3.3)$$

i.e. funcția de transfer pe canalul variație de putere (activă sau consumată) – variația de frecvență este

$$H(s) = \frac{k}{Js} \quad (3.4)$$

unde $P_a = M_a \omega$ este puterea activă iar $P_c = M_r \omega$ este puterea consumată. Variația consumului reprezintă perturbația principală a sistemului.

Acest model simplificat reține un singur aspect, dar esențial, și anume faptul că echilibrul (i.e. o frecvență constantă) se atinge doar atunci când puterea activă și cea consumată sunt egale.

Dacă se iau în considerare și pierderile, precum și dependența de viteză a acestor pierderi, atunci cel mai simplu model dinamic care poate fi acceptat este cel de element de întârziere de ordinul unu

$$H(s) = \frac{k_f}{Ts + 1}, \quad (3.5)$$

unde factorul de amplificare k_f , numit și *statismul natural* al grupului, are valori uzuale în jur de 0.1 Hz/MW, iar constanta de timp T are valori uzuale de 3-5 secunde (*timpul de lansare* al grupului, evaluat la $3T$, are valori de 7-14 secunde).

La legarea în paralel a două grupuri apar o serie de probleme specifice legate de faptul că între cele două grupuri apar interacțiuni importante. În primul rând remarcăm faptul că două grupuri nu pot funcționa decât în perfect sincronism, i.e. în regim staționar frecvențele tensiunilor electromotoare alternative furnizate sunt perfect egale. Ca urmare a regimurilor dinamice pot apare însă defazaje care conduc la circulații de putere, i.e. la o putere de schimb între grupuri. De aceea una din problemele cele mai importante la funcționarea în paralel este controlul acestei puteri de schimb.

În mod natural această putere de schimb este proporțională cu defazajul $\phi = 2\pi \int \Delta f dt$ dintre tensiunile furnizate de cele două grupuri, i.e.

$$P_s = k_3 \phi = \gamma \int \Delta f dt = \gamma \delta, \quad (3.6)$$

unde am notat $\delta = \int \Delta f dt$.

Din din considerentele și ecuațiile de mai sus rezultă schema bloc reprezentată în figura 3.2, unde factorul α_{12} exprimă raportarea puterii de schimb la puterea nominală a generatoarelor³.

Alegând ca variabile de stare $x_1 = f_1$, $x_2 = f_2$ și $x_3 = P_s = \gamma \delta$, cu modelul pentru un grup dat de (3.3), (3.4), obținem ecuațiile

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = \frac{k_1}{J_1}(P_{a_1} - P_{c_1} - x_3(t)), \\ \dot{x}_2(t) = \frac{k_2}{J_2}(P_{a_2} - P_{c_2} + \alpha_{12}x_3(t)), \\ \dot{x}_3(t) = \gamma(x_1(t) - x_2(t)), \end{cases} \quad P_{c_1} + P_{c_2} = P_c, \quad (3.7)$$

³Dacă grupurile sunt de puteri nominale egale, fapt pe care, pentru simplitate, îl presupunem satisfăcut.

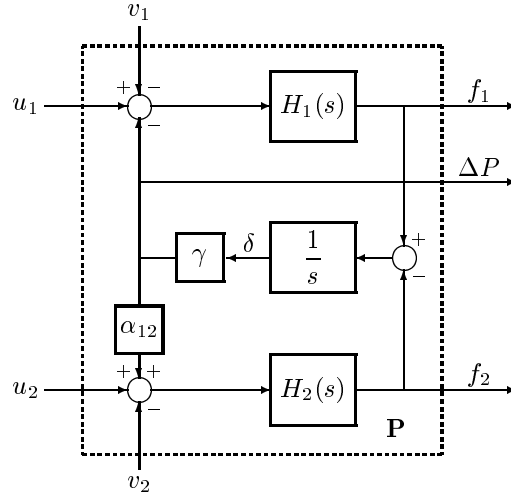


Figure 3.2: Structura modelului matematic simplificat al sistemului format din două grupuri energetice conectate în paralel.

unde puterile active dezvoltate de turbine celor două grupuri $u_1 = P_{a_1}$ și $u_2 = P_{a_2}$ sunt comenzi iar repartițiile de putere consumată sunt perturbațiile $v_1 = P_{c_1}$ și $v_2 = P_{c_2}$. Notând cu

$$\rho = \frac{P_{c_1}}{P_c}$$

fracția din puterea consumată acoperită de grupul 1, ecuațiile de mai sus se scriu sub forma

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{k_1}{J_1} \\ 0 & 0 & \alpha \frac{k_2}{J_2} \\ \gamma & -\gamma & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{k_1}{J_1} & 0 \\ 0 & \frac{k_2}{J_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{a_1}(t) \\ P_{a_2}(t) \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} \frac{k_1}{J_1} & 0 \\ 0 & \frac{k_2}{J_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho \\ 1 - \rho \end{bmatrix} P_c(t). \end{aligned} \quad (3.8)$$

Este ușor de constatat că determinantul matricei de stare este nul, i.e. matricea de stare are o valoare proprie nulă. Prin urmare, acest model de stare este instabil, exprimând faptul că la orice dezechilibru al bilanțului puterilor are loc "ambalarea" sau oprirea sistemului celor două grupuri în paralel.

Dacă modelul acceptat pentru un grup este de tipul (3.5), i.e.

$$H_1(s) = \frac{k_1}{T_1 s + 1}, \quad H_2(s) = \frac{k_2}{T_2 s + 1},$$

atunci, cu aceeași alegere a variabilelor de stare, ecuațiile sunt

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = -\frac{1}{T_1} x_1(t) + \frac{k_1}{T_1} (P_{a_1} - P_{c_1} - x_3(t)), \\ \dot{x}_2(t) = -\frac{1}{T_2} x_2(t) + \frac{k_2}{T_2} (P_{a_2} - P_{c_2} + \alpha_{12} x_3(t)), \\ \dot{x}_3(t) = \gamma x_1(t) - x_2(t), \end{cases} \quad P_{c_1} + P_{c_2} = P_c, \quad (3.9)$$

i.e.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} & 0 & \frac{k_1}{T_1} \\ 0 & -\frac{1}{T_2} & \alpha_{12}\frac{k_2}{T_2} \\ \gamma & -\gamma & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{k_1}{T_1} & 0 \\ 0 & \frac{k_2}{T_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{a_1}(t) \\ P_{a_2}(t) \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} \frac{k_1}{T_1} & 0 \\ 0 & \frac{k_2}{T_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho \\ 1 - \rho \end{bmatrix} P_c(t). \end{aligned} \quad (3.10)$$

Calculând polinomul caracteristic și folosind, de exemplu, criteriul Hurwitz, se constată ușor că, de această dată, modelul celor două grupuri este stabil, exprimând faptul că, în prezența pierderilor dependente de frecvență se atinge la puteri active constante și consum constant se atinge echilibrul.

Reglarea frecvenței comune presupune reglarea turației celor două grupuri cu referința comună corespunzătoare frecvenței nominale de 50 Hz. Așa cum am mai precizat, această este echivalent cu reglarea celor două frecvențe f_1 și f_2 folosind două regulatoare de viteză RV_1 și RV_2 .

În energetică, din motive de asigurare a unei eficiențe ridicate producției de energie electrică, un interes special se acordă controlului puterii de schimb și repartiției puterii consumate la cele două grupuri (i.e. controlului raportului celor două puteri active sau, echivalent, controlului lui ρ , vezi mai departe).

De aceea, pentru început vom evidenția câteva aspecte de funcționare de regim staționar.

Dacă cele două regulatoare de viteză sunt "astatice", i.e. conțin o acțiune integratoare (de exemplu, sunt de tip PI), atunci în regim staționar erorile staționare sunt nule ceea ce, pentru modelul (3.4), (3.4) conduce la ecuațiile

$$\begin{cases} P_{a_1} - \rho P_c - P_s = 0, \\ P_{a_2} - (1 - \rho)P_c + \alpha_{12}P_s = 0, \\ P_{a_1} + P_{a_2} = P_c, \end{cases} \quad (3.11)$$

care pentru P_c dat are o infinitate de soluții $P_{a_1}, P_{a_2}, \rho, P_s$. Chiar dacă puterea de schimb ar putea fi fixată (impusă, de exemplu la valoarea 0) sistemul de mai sus în necunoscutele P_{a_1}, P_{a_2}, ρ ar fi nedeterminat fiind singular. Prin urmare încărcările celor două grupuri nu pot fi ținute sub control ele rezultând aleatoriu în urma regimurilor tranzitorii care au loc la variația puterii consumate.

De aceea, în practică întotdeauna regulatoarele de viteză sunt de tip *proporțional*, i.e. "astatice". Dacă factorii de amplificare ale celor două regulatoare de viteză sunt β_1 și β_2 și referința este comună, atunci în regim staționar, întrucât $f_1 = f_2$, rezultă că erorile staționare sunt egale, i.e.

$$\frac{P_{a_1}}{\beta_1} = \frac{P_{a_2}}{\beta_2} \quad (3.12)$$

relație care, împreună cu (3.12), pentru P_c și P_s date, conduce la fixarea univocă a tripletului P_{a_1}, P_{a_2}, ρ la valorile

$$\begin{cases} P_{a_1} = \frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2} (P_c + (1 - \alpha_{12})P_s), \\ P_{a_2} = \frac{\beta_2}{\beta_1 + \beta_2} (P_c + (1 - \alpha_{12})P_s), \\ \rho = \frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2} - \frac{\beta_1 \alpha_{12} + \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} \frac{P_s}{P_c}. \end{cases} \quad (3.13)$$

În concluzie, o repartizare dorită a puterii consumate la cele două grupuri poate fi făcută prin alegerea adecvată a factorilor de amplificare ale celor două reglatoare de viteză.

Dacă pentru dinamica unui grup se acceptă modelul (3.5), (3.8), atunci concluziile sunt asemănătoare. Pentru reglatoare de viteză astatice ecuațiile de regim staționar (3.11) devin

$$\begin{cases} P_{a_1} - \rho P_c - P_s = \frac{f}{k_1} \\ P_{a_2} - (1 - \rho)P_c + \alpha_{12}P_s = \frac{f}{k_2} \\ P_{a_1} + P_{a_2} = P_c, \end{cases} \quad (3.14)$$

unde f este frecvența corespunzătoare turațiilor de regim staționar, rezultând aceeași nedeterminare a repartiției puterii consumate.

Pentru reglatoare de viteză statice cu amplificările β_1, β_2 , la ecuațiile de mai sus se adaugă relația (3.12), rezultând concluzia precedentă că repartizarea sarcinii la cele două grupuri se poate face prin alegerea adecvată a amplificărilor reglatoarelor de viteză.

3.4 Sistem de reglare frecvență – putere de schimb. Binoame de reglare

Conform celor prezentate în secțiunea precedentă, folosind reglatoare de viteză locale (i.e. la fiecare grup văzut izolat) proporționale ("astatice"), putem controla repartizarea sarcinii în regim staționar la cele două grupuri. Cum în acest caz există erori staționare nenule, reglarea frecvenței nu este de fapt atinsă. Pentru a realiza obiectivul menținerii exacte a frecvenței comune în regim staționar la valoarea de consemn este necesară introducerea unui nou nivel de automatizare, privind sistemul format din cele două grupuri conectate în paralel, împreună cu reglatoarele de viteză proporționale, ca un proces multivariabil cu două intrări de comandă reprezentate de cele două referințe de turație. Cu două comenzi considerate independente există posibilitatea de a regla două mărimi independente. Una este în mod necesar frecvența comună a energiei alternative furnizate de sistem iar cea de a doua poate fi puterea de schimb dintre cele două grupuri, vezi figura 3.3. Evident referința pentru frecvență este fixă în permanență (în Europa 50Hz, în America 60Hz) dar referința pentru puterea de schimb se fixează după necesități (de exemplu 0, dar poate fi și nenulă⁴).

Dacă adoptăm primul model dinamic (3.4), (3.7) pentru un grup (și ne vom mărgini numai la acesta), cu aceeași alegere a variabilelor de stare, ecuațiile de stare devin

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{k_1}{J_1}(\beta_1(w_1 - x_1) - P_{c_1} - x_3), \\ \dot{x}_2 = \frac{k_2}{J_2}(\beta_2(w_2 - x_2) - P_{c_2} + \alpha_{12}x_3), \\ \dot{x}_3 = \gamma x_1 - x_2, \end{cases} \quad P_{c_1} + P_{c_2} = P_c, \quad (3.15)$$

$$\begin{cases} y_1 = x_1, \\ y_2 = x_3, \end{cases}$$

unde w_1, w_2 sunt cele două referințe de turații, folosite în cele ce urmează drept mărimi de comandă, iar y_1 și y_2 sunt cele două mărimi reglate, i.e. frecvența și puterea de schimb.

⁴În viziunea mai largă a problemei în discuție, menționată într-o notă de picior anterioară, în care în locul a două grupuri avem de a face cu două sisteme energetice naționale, puterea de schimb între sisteme face obiectul unor tranzacții comerciale între companiile producătoare de energie electrică respective. În consecință, referința pentru puterea de schimb respectă acordurile respective.

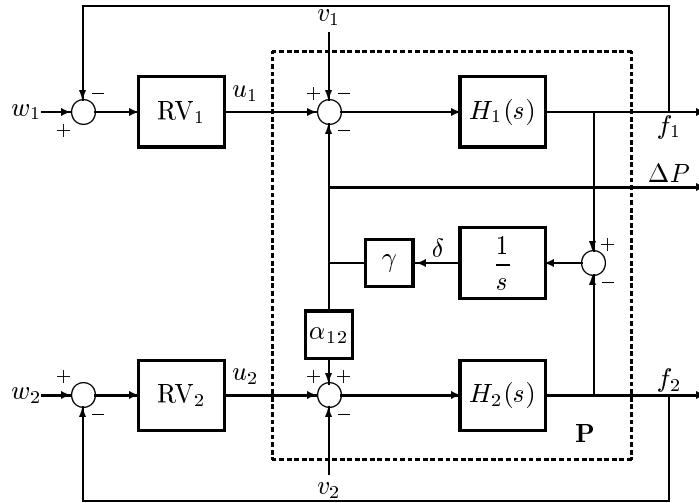


Figure 3.3: Structura modelului matematic simplificat al sistemului format din două grupuri energetice conectate în paralel prevăzută cu buclele locale de reglare a vitezei grupurilor. Cu cele două reglatoare de viteză proporționale, acest sistem prezintă două grade de libertate care permit un nou nivel de conducere cu caracter multivariabil în care se pot impune referințe pentru frecvența comună a sistemului și puterea de schimb dintre cele două grupuri.

În formă matriceală ecuațiile de mai sus se scriu:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\beta_1 \frac{k_1}{J_1} & 0 & -\frac{k_1}{J_1} \\ 0 & -\beta_2 \frac{k_2}{J_2} & \frac{k_2 \alpha_{12}}{J_2} \\ \gamma & -\gamma & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_1 \frac{k_1}{J_1} & 0 \\ 0 & \beta_2 \frac{k_2}{J_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1(t) \\ w_2(t) \end{bmatrix} + \\
 &+ \begin{bmatrix} \frac{k_1}{J_1} & 0 \\ 0 & \frac{k_2}{J_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho \\ 1 - \rho \end{bmatrix} P_c(t), \quad (3.16) \\
 \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Calculând polinomul caracteristic și aplicând, de exemplu, criteriul Hurwitz se constată imediat că sistemul de mai sus este stabil pentru orice valori pozitive ale parametrilor β_1 și β_2 .

Matricea amplificărilor staționare de la vectorul w al intrărilor la vectorul y al ieșirilor este (calculați!)

$$K = -CA^{-1}B = \frac{1}{\beta_1 \alpha_{12} + \beta_2} \begin{bmatrix} \beta_1 \alpha_{12} & \beta_2 \\ \beta_1 \beta_2 & -\beta_1 \beta_2 \end{bmatrix}. \quad (3.17)$$

Această matrice este evident nesingulară ($\det K = -\beta_1 \beta_2$) iar inversa ei este (calculați!)

$$K^{-1} = \frac{1}{\beta_1 \beta_2} \begin{bmatrix} \beta_1 \beta_2 & \beta_2 \\ \beta_1 \beta_2 & -\beta_1 \alpha_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\beta_1} \\ 1 & -\frac{\alpha_{12}}{\beta_2} \end{bmatrix}. \quad (3.18)$$

Adoptând schema de reglare cu decuplarea statică a canalelor din figura 3.4 (vezi cursul) obținem următoarele relații care exprimă legile de reglare, i.e. ecuațiile compensatorului mul-

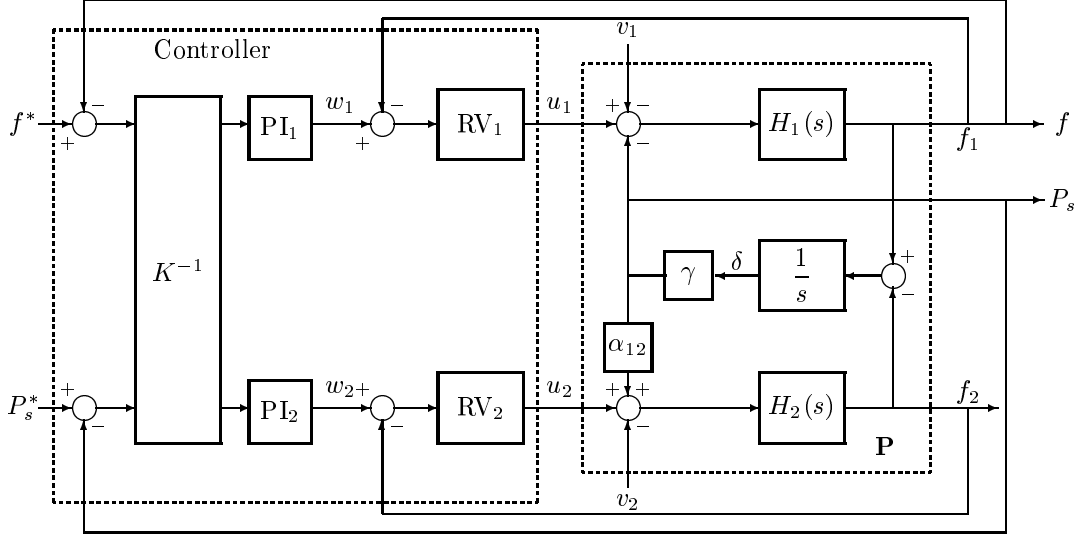


Figure 3.4: Structura sistemului de reglare a frecvenței și a puterii de schimb cu reglatoare de viteză proporționale și cu decuplarea staționară a canalelor.

tivariabil cu decuplarea canalelor.

Erorile de reglare sunt exprimate de

$$\begin{cases} \Delta f = f^* - f \\ \Delta P_s = P_s^* - P_s \end{cases} \quad (3.19)$$

Decuplarea canalelor se descrie prin relațiile:

$$\tilde{w} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \end{bmatrix} = K^{-1} \begin{bmatrix} \Delta f \\ \Delta P_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta_1}(\beta_1 \Delta f + \Delta P_s) \\ \frac{1}{\beta_2}(\beta_2 \Delta f - \alpha_{12} \Delta P_s) \end{bmatrix}. \quad (3.20)$$

Cele două reglatoare PI monovariabile din schemă realizează:

$$\begin{cases} w_1 = k_{R_1}(\tilde{w}_1 + \frac{1}{T_{i_1}} \int_0^t \tilde{w}_1(\tau) d\tau) \\ w_2 = k_{R_1}(\tilde{w}_2 + \frac{1}{T_{i_2}} \int_0^t \tilde{w}_2(\tau) d\tau) \end{cases}, \quad (3.21)$$

unde k_{R_i} , T_{i_i} sunt parametrii de acordare.

Expresiile pentru $\beta_1 \tilde{w}_1 = \beta_1 \Delta f + \Delta P_s$ și $\beta_2 \tilde{w}_2 = \beta_2 \Delta f - \alpha_{12} \Delta P_s$ se numesc *binoame de reglare* și sunt binecunoscute specialiștilor care se ocupă de automatizări energetice.

Din motive care sunt prezentate în curs, în energetică în locul relațiilor (3.22) sunt utilizate ecuațiile

$$\begin{cases} w_1 = k_{R_1}(\Delta f + \frac{1}{T_{i_1}} \int_0^t \tilde{w}_1(\tau) d\tau) \\ w_2 = k_{R_1}(\Delta f + \frac{1}{T_{i_2}} \int_0^t \tilde{w}_2(\tau) d\tau) \end{cases}. \quad (3.22)$$

3.5 Sarcini de lucru

Considerând cele două grupuri identice (i.e. se va lua $\alpha_{12} = 1$) descrise succesiv de funcțiile de transfer simplificate

$$H_1(s) = H_2(s) = \frac{0.02}{s} \text{ Hz/MW}, \quad (3.23)$$

și, respectiv,

$$H_1(s) = H_2(s) = \frac{0.1}{(5s + 1)} \text{ Hz/MW}, \quad (3.24)$$

se vor efectua următoarele experimente de simulare.

A. Studiul procesului

Se va studia pe cale analitică stabilitatea procesului format din cele două grupuri conectate în paralel considerând, succesiv, cele două modele dinamice simplificate propuse mai sus.

1. Se va elabora un program Lab-View pentru simularea în timp real a procesului considerând modelul matematic al unui grup care conduce la un proces multivariabil stabil.
2. Folosind programul de la punctul precedent se vor determina raspunsurile celor două frecvențe și a puterii de schimb la următoarele nivele ale celor două comenzi și a sarcinii:

$$P_1 = P_2 = 100MW, P_c = 190MW.$$

Se va considera trei situații de "repartizare" a sarcinii (i.e. a modului de aplicare a celor două perturbații din schemă)

- o repartizare "echilibrată": $P_{c_1} = P_{c_2} = P_c/2$;
 - toată sarcina la grupul 1: $P_{c_1} = P_c, P_{c_2} = 0$;
 - toată sarcina la grupul 2: $P_{c_1} = 0, P_{c_2} = P_c$.
3. În toate cele trei cazuri de mai sus de repartizare a perturbațiilor să se găsească un cuplu de valori pentru cele două comenzi de putere pentru care cele două frecvențe să fie egale în regim staționar. Cât este puterea de schimb în această situație?

B. Reglarea frecvenței

Considerând modelul matematic al fiecărui grup

$$H_1(s) = H_2(s) = \frac{0.1}{(5s + 1)} \text{ Hz/MW},$$

(alegere care conduce la un proces multivariabil stabil) se va realiza un program Lab-View pentru simularea sistemului de reglare a frecvenței tensiunii electrice prin reglarea turației celor două grupuri cu regulatoare care primesc aceeași referință de 50Hz. Se vor considera cele două soluții:

- regulatoare de turație astatică (PI);
- regulatoare de turație statică (P).

Pentru ambele soluții se cere:

1. acordarea experimentală a celor două regulatoare;
2. vizualizarea răspunsurilor celor două frecvențe (turații) și a puterii de schimb la variații treaptă ale puterii consumate ca în paragraful precedent;
3. vizualizarea evoluțiilor puterilor active (comenzilor) la variațiile treaptă ale puterii consumate de la punctul precedent și analiza repartizării puterii pe cele două grupuri;

C. Reglarea frecvenței și a puterii de schimb

Considerând modelul matematic al fiecărui grup

$$H_1(s) = H_2(s) = \frac{0.04}{s} \text{ Hz/MW},$$

se va realiza un program Lab-View pentru simularea întregului sistem de reglare a frecvenței și puterii de schimb a celor două grupuri interconectate folosind pentru reglările de turație regulatoare statice (P).

Se cere:

1. acordarea experimentală a celor două regulatoare PI;
2. vizualizarea răspunsurilor frecvenței a puterii de schimb la variații treaptă ale puterii consumate;
3. vizualizarea evoluțiilor puterilor active (comenzilor) la variațiile treaptă ale puterii consumate de la punctul precedent și analiza repartizării puterii pe cele două grupuri;
4. Răspunsul la o variație treaptă a referinței pentru puterea de schimb.

Bibliografie

- [1] **I. Dumitrache**, *Ingineria Reglării Automate*, Curs.
- [2] **Jora B.** *Sisteme automate interactive*, Curs.
- [3] **S. Călin, I. Dumitrache**, *Regulatoare Automate*, EDP, 1987.

Aplicație

1. Se va simula un sistem descentralizat format dintr-un proces 2X2 și două regulatoare PI:

$$Y_1(s) = \frac{1.6}{s+1}U_1(s) + \frac{0.4}{0.2s+1}U_2(s)$$
$$Y_2(s) = \frac{-0.1}{0.5s+1}U_1(s) + \frac{1.2}{2s+1}U_2(s)$$

unde Y_1 , Y_2 sunt cele două mărimi de ieșire ale procesului, iar U_1 și U_2 sunt comenzile provenite de la cele două regulatoare.

Cerințe:

- Să se realizeze acordarea reguletoarelor într-o ordine la alegere;
- Să se analizeze comportarea sistemului la modificări de referințe și la apariția perturbațiilor aleatoare;
- Să se introducă matricea de decuplare staționară și să se analizeze comparativ performanțele sistemului.

Rezultate

a) Aplicația va conține două comutatoare Automat-Manual corespunzătoare celor două regulatoare PI. Procedura de acordare cuprinde următorii pași:

- Se alege o ordine de acordare a reguletoarelor. În cele mai multe cazuri ordinea de acordare contează și se pot observa diferențe în funcționarea sistemului, în funcție de ordinea în care reguletoarele sunt acordate;
- Se rulează aplicația cu ambele reguletoare pe manual și se așteaptă stabilizarea sistemului;
- În funcție de alegerea făcută la pasul întâi, se trece pe automat unul din reguletoare;
- Se alege o metodă de acordare experimentală (de exemplu Ziegler-Nichols):
 - Se pornește cu $K_r=0$, $T_i = \infty$;
 - Se mărește treptat K_r până se atinge limita de stabilitate și sistemul începe să oscileze. K_r va fi apoi coborât la jumătate din valoare de la limita de stabilitate și nu se va mai umbla asupra lui;
 - Se micșorează treptat T_i , până se atinge limita de stabilitate. T_i va lua triplul valorii de la limită și nu se va mai umbla asupra lui.
- Se trece pe automat și celălalt reguletor și se repetă procedura de mai sus, fără a se mai interveni asupra parametrilor primului reguletor.

În funcție de comportarea sistemului parametrii se pot modifica ulterior, dacă performanțele nu sunt satisfăcătoare.

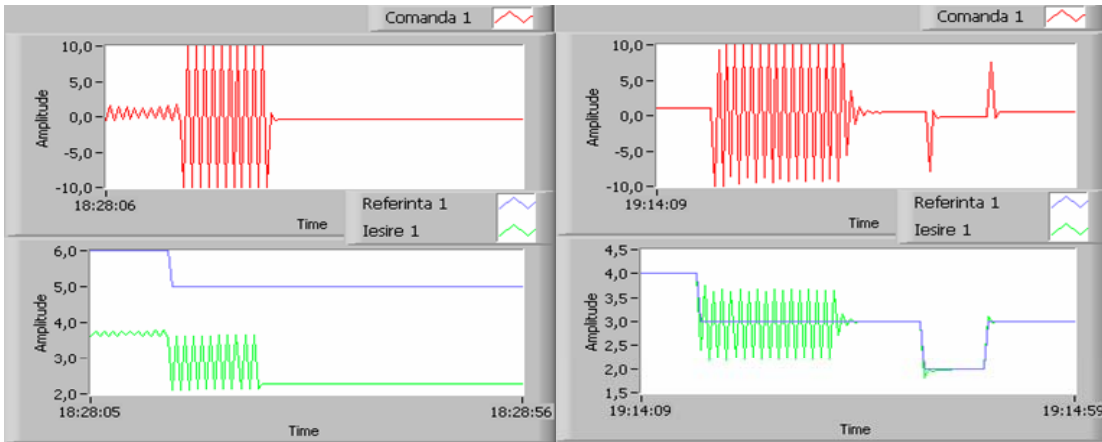


Fig. 1. Acordarea regulatorului 1.

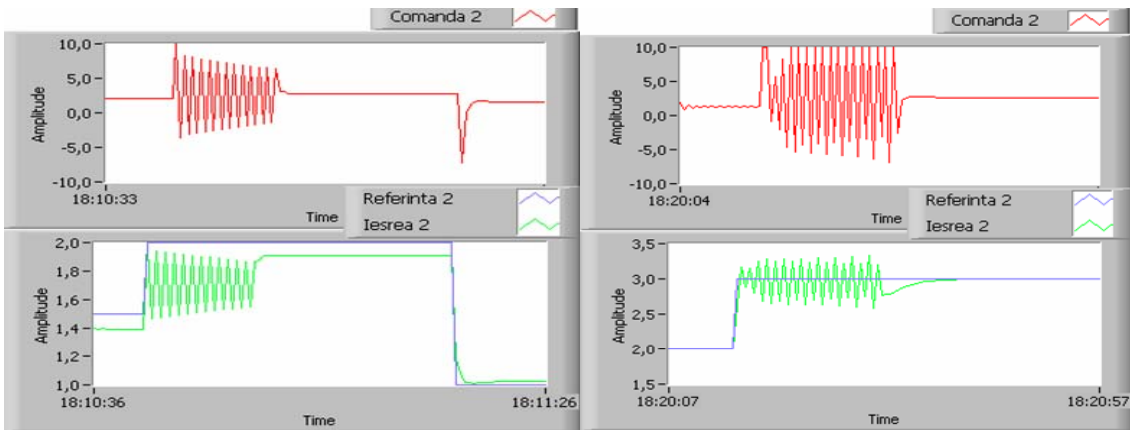


Fig.2. Acordarea regulatorului 2.

b) Se aplică trepte de referință celor două bucle de reglare și se introduc perturbațiile aleatoare pentru a analiza performanțele sistemului descentralizat.

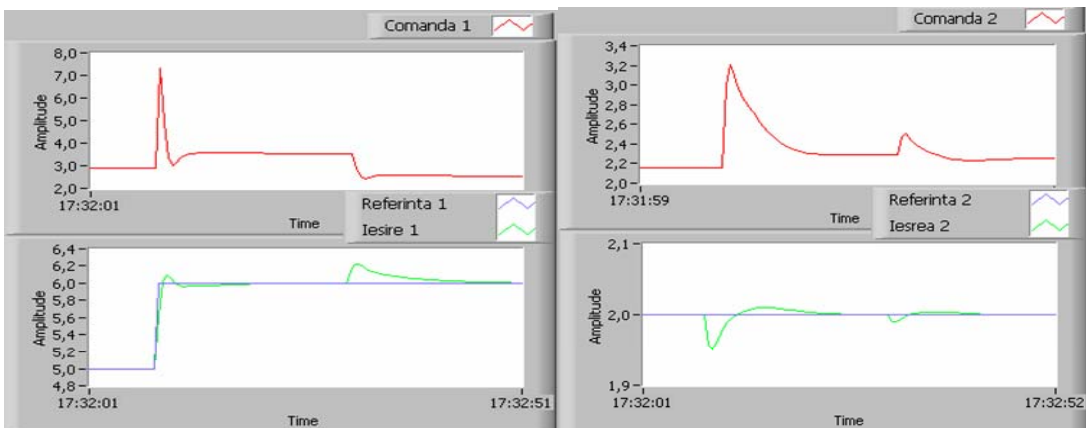


Fig. 3. Bucla 1: Urmărirea referinței; Rejecția perturbațiilor.

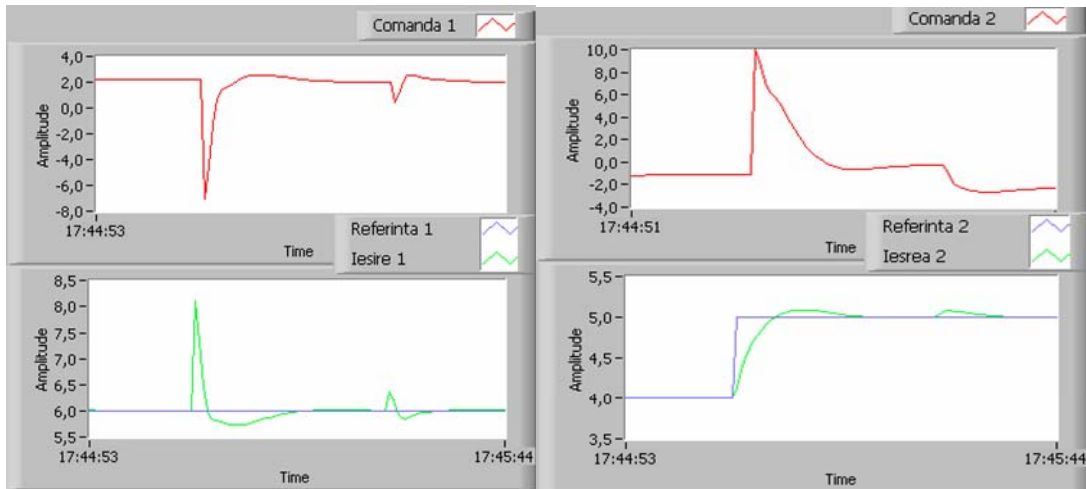


Fig. 4. Bucla 2: Urmărirea referinței; Rejecția perturbației

Să analizăm figurile de mai sus. Figurile reprezintă evoluția sistemului la introducerea treptelor de referință și, apoi, la apariția perturbațiilor. Se observă că dinamica sistemului este bună, referința este urmărită, perturbația este rejectată, timpul tranzitoriu este mic. Interesant este că se poate vedea influența între cele două bucle de reglare, mai ales a buclei 2 asupra buclei 1.

c) Se introduce matricea de decuplare staționară K_d :

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11d} & k_{12d} \\ k_{21d} & k_{22d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix},$$

unde K_d este inversa matricei amplificărilor staționare:

$$K = \begin{bmatrix} 1,6 & 0,4 \\ -0,1 & 1,2 \end{bmatrix}$$

După realizarea decuplării staționare se analizează comportarea sistemului la modificări de referință și la apariția perturbațiilor. Se va observa că influența între cele două canale ale buclelor de reglare este mult mai mică.

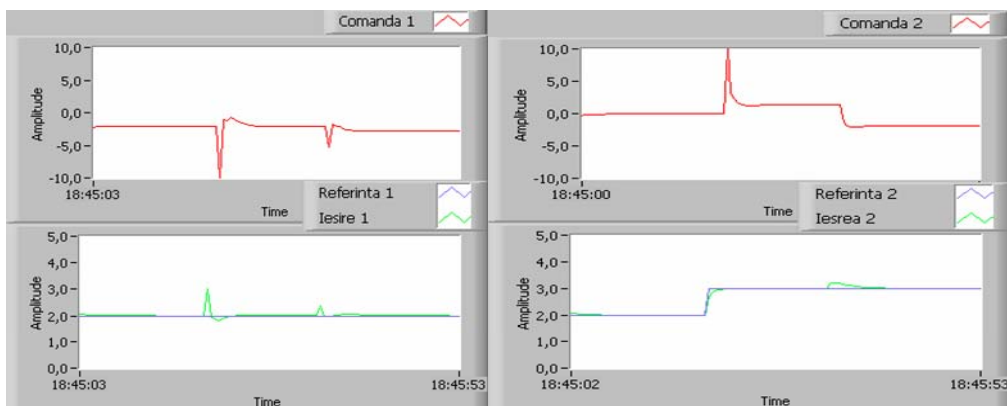


Fig. 5. Comportarea sistemului după decuplarea staționară.