

Riscul tehnic la sistemele automate.

Prof. dr. ing. Sorin Larionescu - UTCB

Orice sistem tehnic proiectat și executat prezintă riscul, pericolul, inconvenientul posibil, ca performanțele sale să nu coincidă cu cele prevăzute. Riscul tehnic al sistemului depinde de structura sistemului și de riscul tehnic al elementelor sale componente. O importanță aparte prezintă studiul riscului pentru sistemele automate caracterizate de o structură tip reacție negativă. Acestea prezintă caracteristica remarcabilă a unui risc mai mic decât riscul elementelor componente pe calea directă a sistemului. Un sistem automat se numește robust dacă are un risc (pericol) mic în realizarea performanțelor prevăzute în condițiile prezenței unui risc semnificativ al procesului condus.

Schema bloc a unui sistem automat modern folosit în construcții este prezentată în figura 1. Relația dintre ieșirea sa Y și cele trei intrări, referința R , perturbația P și zgomotul Z , este următoarea:

$$Y = \frac{BCF}{1+CF}R + \frac{D-FA}{1+CF}P - \frac{CF}{1+CF}Z \quad (1)$$

Se observă că dacă compensatorul perturbației are funcția sa de transfer $A=D/F$ atunci influența perturbației este nulă. Din păcate funcțiile de transfer F și în special D nu sunt cunoscute și compensatorul A nu poate fi determinat cu precizie. Tot din relația (1) se constată însă, că dacă compensatorul erorii există și are o funcție de transfer C destul de mare, efectul perturbației este dramatic scăzut chiar în prezența unui risc de necunoaștere a proceselor conduse.

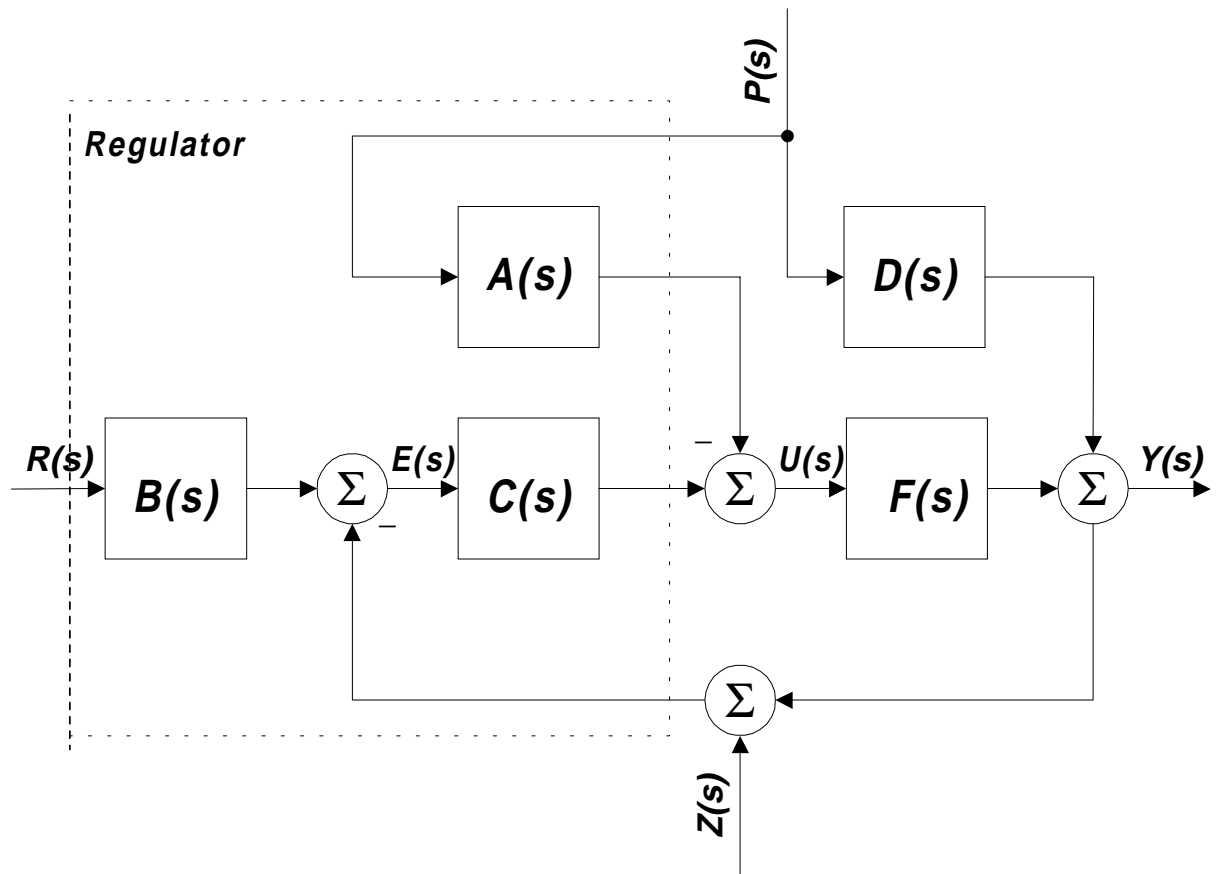
Reacția negativă joacă un rol major în micșorarea riscului tehnic și din cauza aceasta proiectarea sistemelor automate se face pe baza schemei bloc din figura 2. Pericolul datorat unui grad de incertitudine în cunoașterea instalației $F(s)$ poate fi aditiv sau multiplicativ. Riscul aditiv $a(j\omega)$ este definit astfel:

$$F(j\omega) = F_m(j\omega) + a(j\omega) \quad (2)$$

în care $F_m(j\omega)$ este modelul instalației.

Pentru înlesnirea proiectării se introduce o constantă dependentă de frecvență $a(\omega)$ astfel încât:

$$|a(j\omega)| \leq a(\omega) \quad (3)$$



Asemănător se definește riscul multiplicativ $m(j\omega)$:

$$F(j\omega) = F_m(j\omega)[1 + m(j\omega)] \quad (4)$$

în care:

$$|m(j\omega)| \leq m(\omega) \quad (5)$$

și apare din nou o constantă $m(\omega)$ dependentă de frecvență introdusă pentru specificarea sarcinilor urmărite la proiectare.

Deoarece ambele descrieri trebuie să fie echivalente este necesar ca:

$$m(\omega) = \frac{a(\omega)}{|F_m(j\omega)|} \quad (6)$$

Riscul aditiv poate fi tratat mai ușor cu ajutorul diagramei Nyquist iar riscul aditiv cu ajutorul diagramelor Bode.

Riscul tehnic la sistemele automate are mai multe componente. Cea mai importantă este riscul de instabilitate. Pentru stabilirea unui indicator a acestui risc se consideră o instalație modelată cu ajutorul funcției de transfer:

$$F(s) \approx F_m(s) = \frac{e^{-0.5s}}{1+s} \quad (7)$$

în care $F_m(s)$ este funcția de transfer a modelului adoptat pentru instalație.

Compensatorul erorii este de tip proporțional și are valoarea $C(s)=2$.

Traductorul sistemului automat prezintă un risc tehnic de 10% până la 1 rad/s. Pentru frecvențe mai mari riscul crește liniar până la 20 rad/s, iar după aceea rămâne constant și egal cu 100%. Această descriere a riscului este aditivă. Pentru folosirea diagramei Nyquist se determină riscul aditiv cu ajutorul relației (6). În figura 3 se prezintă grafic funcția de transfer a sistemului automat cu bucla deschisă. Riscul aditiv apare sub forma unor cercuri suprapuse.

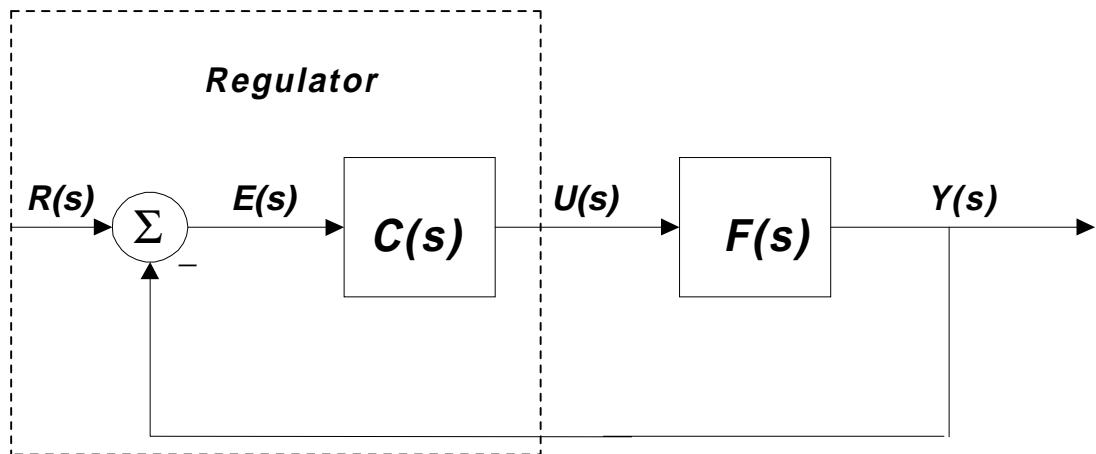


Fig. 2 Schema bloc standard pentru proiectarea unui sistem automat.

Criteriul de stabilitate Nyquist arată că dacă funcțiile de transfer posibile ale instalațiilor modelate au același număr de poli în semiplanul drept și dacă banda de cercuri nu include punctul (-1,0) atunci sistemul automat este stabil robust. Cu alte cuvinte stabilitatea este garantată dacă distanța de la punctul (-1,0) la un punct al graficului $C(j\omega)F(j\omega)$ este mai mică decât riscul tehnic reprezentat de raza cercului:

$$|1 + C(j\omega)F_m(j\omega)| > |C(j\omega)F_m(j\omega)|m(\omega) \quad (8)$$

Din figura 3 se observă că sistemul automat nu are risc de stabilitate, adică este stabil robust, deoarece relația (8) este satisfăcută.

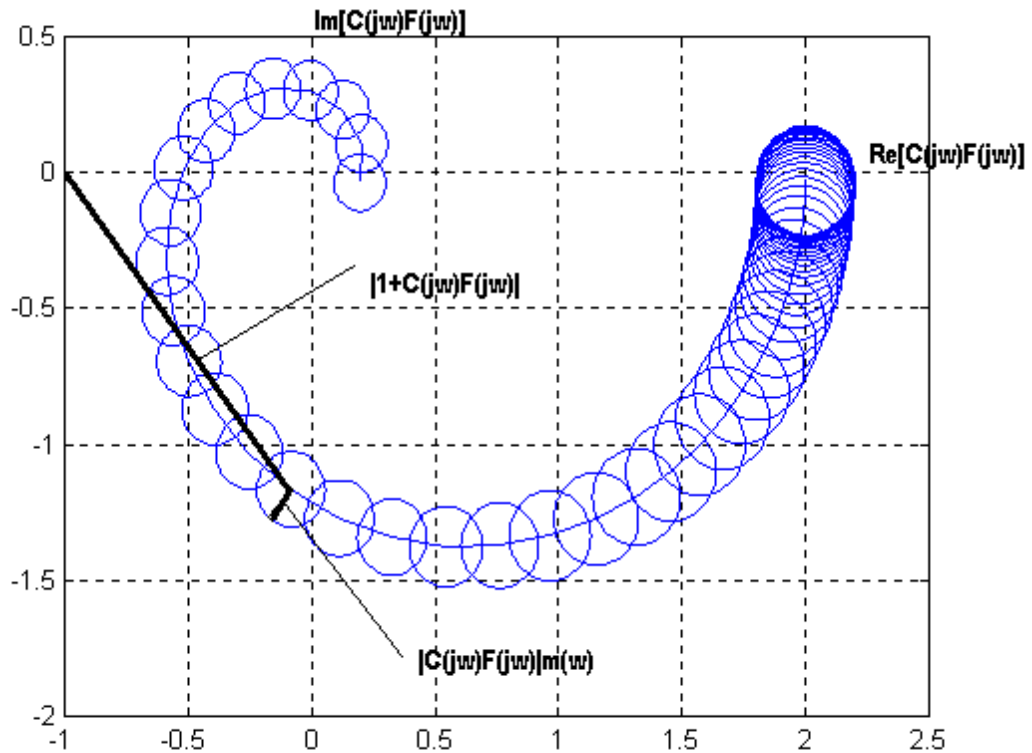


Fig. 3 Diagrama Nyquist cu parametrii riscului de stabilitate.

Dacă se consideră sensibilitatea complementară $T_m(s)$ pentru instalația nominală,

$$T_m(s) = \frac{C(s)F_m(s)}{1 + C(s)F_m(s)} \quad (9)$$

atunci criteriul neaparității riscului tehnic de stabilitate rezultă din (8) și este:

$$|T_m(j\omega)|m(\omega) < 1 \quad (10)$$

pentru toate valorile lui ω .

Riscul tehnic la sistemele automate implică în afară de riscul instabilității și riscul deteriorării performanțelor. O evaluare a robusteții performanțelor poate fi făcută dacă criteriul (10) se exprimă în modul următor:

$$\sup_{\omega} |T_m(j\omega)m(\omega)| < 1 \quad (11)$$

în care sup – supremum înseamnă că se consideră valoarea cea mai mare a modulului funcției de sensibilitate complementare $T_m(j\omega)$ ponderate cu $m(\omega)$, pentru toate valorile lui ω .

Pentru sistemul automat standard din figura 2 relația (9) reprezintă însă funcția de transfer intrare – ieșire. Dacă această funcție de transfer este de ordinul doi, așa cum se consideră la evaluarea performanțelor standard, atunci vârful M_v diagramei Bode a modulului are valoarea:

$$M_v = \sup_{\omega} |T_m(j\omega)| = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (12)$$

în care ζ este fracțiunea de amortizare critică.

Suprareglarea răspunsului indicial, o performanță importantă pentru sistemele automate, depinde și ea de ζ :

$$\sigma = e^{-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (13)$$

Din (11), (12) și (13) se poate stabili o legătură între robustețea performanțelor și indicatorii de performanță standard. Câteva valori folosite frecvent sunt următoarele:

$$\begin{aligned} M_v &= & 1,1 & \dots & 1,5 \\ \zeta &= & 0,54 & \dots & 0,36 \\ \sigma &= & 0,13 & \dots & 0,29 \end{aligned}$$

Recunoașterea faptului că la proiectarea și exploatarea sistemelor automate este necesară considerarea riscului tehnic a condus la apariția mai multor metode de proiectare, în special în domeniul frecvență, pe baza conceptelor prezentate în această lucrare. Câteva pachete de programe au fost elaborate pentru proiectarea sistemelor automate robuste și sunt accesibile în distribuția MATLAB.

Abordarea clasică a stabilității robuste impune limite pentru marginea de amplificarea ΔG , marginea de fază $\Delta\phi$ și marginea de modul ΔM . Valori comune pentru acești indicatori sunt:

$$\begin{aligned} \Delta G &\geq 2 \text{ (6 dB), minim } 1,6 \text{ (4 dB)} \\ 30^\circ &\leq \Delta\Phi \leq 60^\circ \\ \Delta M &\geq 0,5 \text{ (-6 dB), minim } 0,4 \text{ (-8 dB)} \end{aligned}$$

Valorile minime corespund între ele. O margine de modul bună garantează valori satisfăcătoare și pentru marginile de amplificarea și fază. Reciproca nu este adevărată. Marginea de modul este și de indicatorii folosiți în această lucrare, relația (8), deoarece:

$$\Delta M = |1 + C(j\omega)F_m(j\omega)|_{\min} = \left| \frac{1}{S(j\omega)} \right|_{\min} = \frac{1}{|S(j\omega)|_{\max}} \quad (14)$$

în care $S(j\omega)$ este sensibilitatea sistemului automat.

Reducerea sensibilității maxime va conduce la creșterea marginii de modul.

Marginea de modul este foarte importantă și pentru că face legătura cu criteriul cercului de stabilitate al lui Popov pentru sistemele neliniare.

Bibliografie

1. Ionescu C., Vlădeanu V., Larionescu S., Ionescu D., Automatizări, Ed. didactică și pedagogică, București, 1982.
2. Dorf R., Bishop R., Modern Control Systems, Addison-Wesley, New York, 1998.
3. Dutton K., Thompson S., Barraclough., The art of control engineering, Addison-Wesley, New York, 1997.
4. Landau I., D., Identificarea și comanda sistemelor, Ed. tehnică, București, 1997.