Ingineria Reglării Automate

Partea a doua

- ✓Metode de proiectare a SRA
  - ✓Etape de parcurs
  - ✓Proiectarea SRA ca sistem de ord 2 bazată pe impunerea indicatorilor de calitate
  - ✓Proiectare bazată pe criteriile de optimizare a lui Kessler (Criteriul Modulului și Criteriul Simetriei)

Proiectarea unui SRA

- Dezvoltarea (alegerea) structurii de reglarea automată ca parte componentă a DC, în colaborare cu celelalte subsisteme ale DC
- Proiectarea algoritmică a legii (algoritmului) de reglare aferentă RG.
- Implementarea (realizarea concretă) algoritmului de reglare proiectat

Principalele etape de proiectare a SRA

1. ***Fixarea datelor inițiale relative la funcționarea și proiectarea SRA*** – presupune identificarea structurii fizice, modului de funcționare, identificarea posibilității de separare a subproceselor, stabilirea diferitelor mărimi cu rolul lor în funcționare, posibilități de modelare matematică, etc.
2. ***Alegerea principiului de conducere și a structurii SRA*** – se tine cont de cerințe referitoare la stabilitatea sistemului, performanțele de regim dinamic și permanent impuse SRA, asigurarea robusteții, a funcționării în condiții restrictive; se alege tipul RG și modul de implementare a acestuia
3. ***Proiectare algoritmică a SRA –*** se alege metoda/metodele de proiectare și se realizează proiectarea.
4. ***Verificarea rezultatelor proiectării algoritmice –*** prin simulare, pe instalații pilot, prototipuri.
5. ***Proiectare dimensional constructivă*** – alegerea echipamentelor și interconectarea lor în vederea realizării fizice a SRA (analogic, numeric sau hibrid).
6. ***Întocmirea documentației –*** detaliată.
7. ***Punerea în funcțiune*** – probe, ajustări, calibrări, actualizarea documentației, instruire personal, etc.

Metode de proiectare a SRA bazate pe MM-II ale PC (în TC)

a. ***Proiectarea bazată pe utilizarea indicatorilor intregrali*** – presupune alegerea unui indicator integral, a unui RG tipizat, formularea unei depentențe funcționale între indicator și parametrii RG (o funcție obiectiv) și minimizare.
b. ***Proiectarea bazată pe indicatori de calitate empirici (locali)*** – performanțele impuse SRA sunt exprimate fie prin indicatori empirici (suprareglaj, timp de reglare, de primă reglare, statism, etc – prin grafice, tabele, diagrame), fie analitic prin impunerea polilor sau /și zerourilor. Se aplică principiul compensării poli-zerouri.
c. ***Proiectare în domeniul frecvențelor***, bazată pe caracteristicile de frecvență ale sistemului deschis sau închis.
d. ***Proiectarea bazată pe metoda locului rădăcinilor***.
e. ***Proiectare bazată pe date experimentale*** ale PC și relații experimentale de acordare a parametrilor RG.
f. ***Proiectarea bazată pe metoda alocării polilor sistemului închis***.
g. Altele

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

- Metoda presupune realizarea unui SRA cu comportare specifică unui sistem de ordin redus, prin impunerea valorilor unor indicatori de calitate empirici;
- Se acceptă că PC poate fi aproximat cu un sistem de ordin redus;
- Metoda se bazează pe relații cunoscute între performanțele unui SRA și repartiția poli-zerouri

➢ Proiectarea SRA ca sistem de ordin 2
➢ Proiectarea SRA ca sistem cu doi poli și un zero
➢ Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 3
➢ Efecte apărute la introducerea polilor/zerourilor suplimentare în fdt a sistemului deschi. Compensarea poli-zerouri

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

1. Caracterizarea performanțelor sistemului de ord 2 (doi poli, nici un zero)

Funcția de transfer a SRA:

$$H_w(s) = \frac{k_a \omega_0^{\ 2}}{\omega_0^{\ 2} + 2\xi\omega_0 s + s^2}$$

$$H_w(s) = \frac{k_a}{s^2 T^2 + 2\xi T s + 1}$$

$$H_w(s) = \frac{k_a p_1 p_2}{(s - p_1)(s - p_2)}$$

ω_0 – pulsație naturală (proprie)

ξ – coeficient de amortizare (damping ratio)

T – constanta de timp

$P_{1/2}$ polii sistemului (în spl. Stâng al planului rădăcinilor)

Relații între parametrii diferitelor forme ale fdt:

$$T = \frac{1}{\omega_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{p_1 p_2}$$

$$\xi = \frac{p_1 + p_2}{2\sqrt{p_1 p_2}}$$

$$p_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm j\omega_0\sqrt{1 - \xi^2}$$
$$= -\alpha \pm j\omega$$

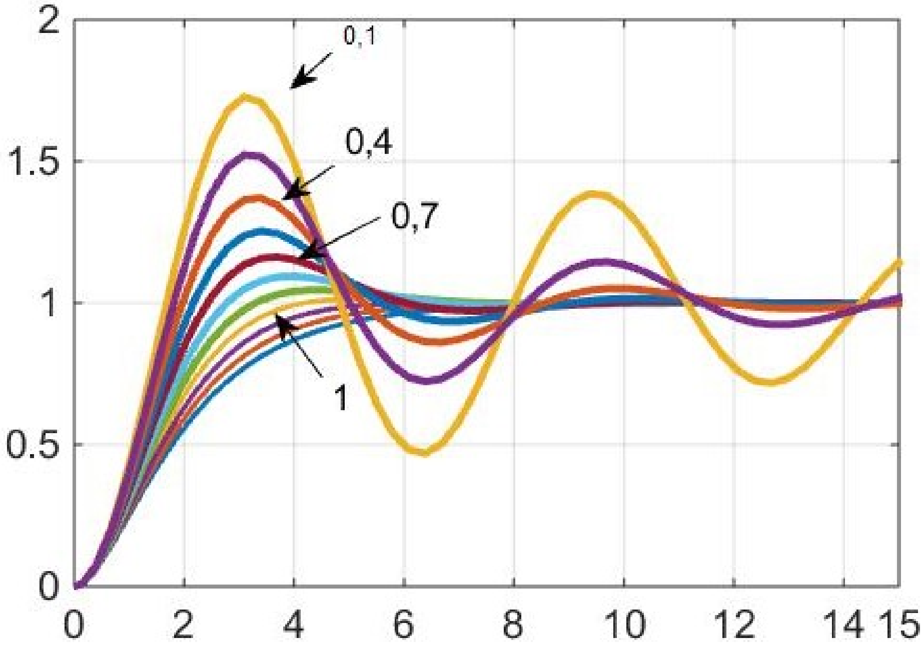
$$\omega = \omega_0\sqrt{1 - \xi^2}$$

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

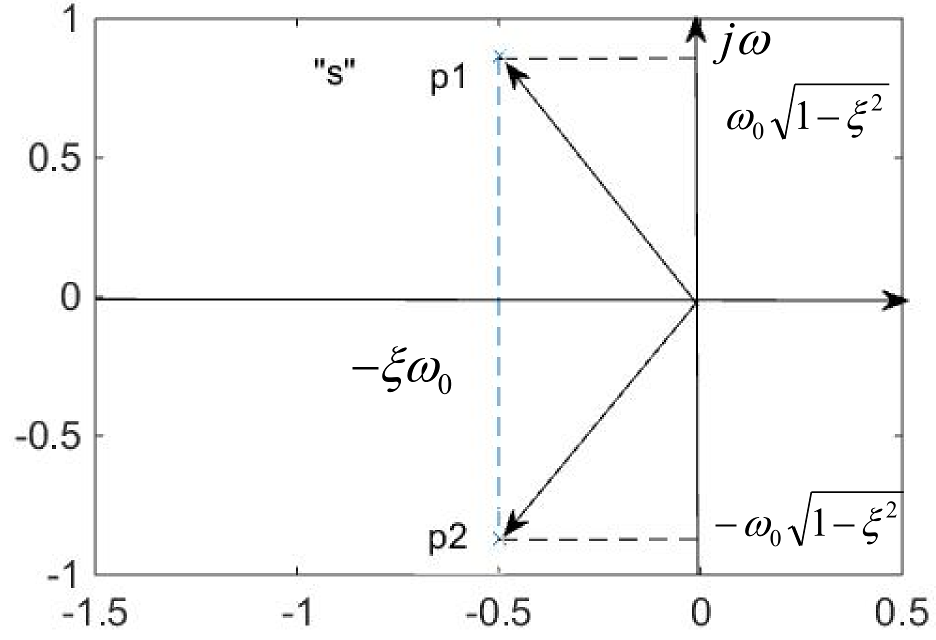
Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

1. Caracterizarea performanțelor sistemului de ord 2 (doi poli, nici un zero)

Raspunsul unui sistem de ord 2 la semnal treapta unitar:



Repartiția poli-zerouri:

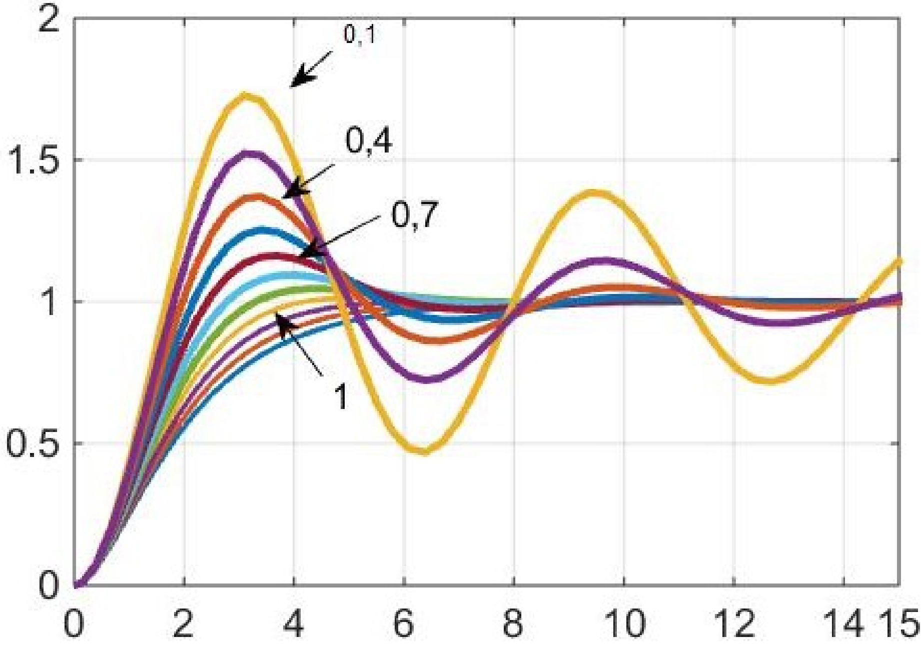


Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

1. Caracterizarea performanțelor sistemului de ord 2 (doi poli, nici un zero)

Legătura între coeficientul de amortizare și răspunsul unui sistem de ord 2 la semnal treapta unitar:



$$\boxed{0 < \xi < 1}$$

Poli complex conjugați – răspuns oscilant

$$\boxed{\xi = 1;\ p_{1,2} = -1/T}$$

Poli reali și egali– răspuns aperiodic la limită

$$\boxed{\xi > 1;\ p_1 = 1/T_1,\ p_2 = 1/T_2}$$

Poli reali și distincți – răspuns aperiodic

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

1. Caracterizarea performanțelor sistemului de ord 2 (doi poli, nici un zero)

Un SRA de ord2 poate rezulta dacă funcția de transfer a sistemului deschis este de forma:

$$H_0(s)=\frac{k_0}{s(1+s\tau)}$$

$$H_0(s)=\frac{k_0}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$$\Rightarrow \quad H_w(s)=\frac{k_a}{s^2T^2+2\xi Ts+1}$$

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

1. Caracterizarea performanțelor sistemului de ord 2 (doi poli, nici un zero)

Relațiile dintre performanțele sist de ord 2 și parametrii fdt:

$$H_w(s) = \frac{k_a}{s^2T^2+2\xi Ts+1} = \frac{k_a{\omega_0}^2}{{\omega_0}^2+2\xi\omega_0 s+s^2}$$

$$\sigma_1 = e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

$$y_{\max} = 1 + e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

$$t_r = -\frac{1}{\xi\omega_0}\ln\left[\Delta\sqrt{1-\xi^2}\right]$$

$$\Delta = [0,02 \ldots 0,05]$$

$$t_{max} = \frac{\pi}{\omega_0\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$t_{r1} \cong \frac{0.8+2.5\xi}{\omega_0} \qquad 0 < \xi < 1$$

$$t_r \cong \frac{3}{\xi\omega_0} \qquad 0.5 < \xi < 0.8$$

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

1. Caracterizarea performanțelor sistemului de ord 2 (doi poli, nici un zero)

Relațiile dintre performanțele sist de ord 2 și parametrii fdt:

$$H_w(s) = \frac{k_a}{s^2 T^2 + 2\xi T s + 1}$$

$$\varphi_r = \arccos \frac{1}{2\xi^2 + \sqrt{1 + 4\xi^4}}$$

Rezerva de fază

$$\varphi_r(\omega_t) = \angle H_0(j\omega_t) + \pi$$

$$\omega_B = \omega_0 \sqrt{\left[1 - 2\xi^2 + \sqrt{4\xi^4 - 4\xi^2 + 2}\right]}$$

Lărgimea de bandă

Pentru valori ale lui ξ între [0.6 – 0.9] timpul de reglare poate fi aproximat cu relaţia:

$$\boxed{t_r \approx \frac{(3 \ldots 7)}{\xi \omega_0}}$$

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

2. Proiectarea RG utilizând diagrame de performanță

Etape de proiectare:

✓ Cunoscând fdt a PC (cu parametrii cunoscuţi), se alege un **RG tipizat** astfel încât fdt a sistemului deschis să fie de forma

$$\boxed{H_0(s) = \frac{k_0}{s(1+s\tau)}}$$

- ✓Performanţele impuse SRA
- ✓Aplicarea principiului de compensare poli-zerouri
- ✓Locul de acţiune a perturbaţiei şi performanţele de RSC

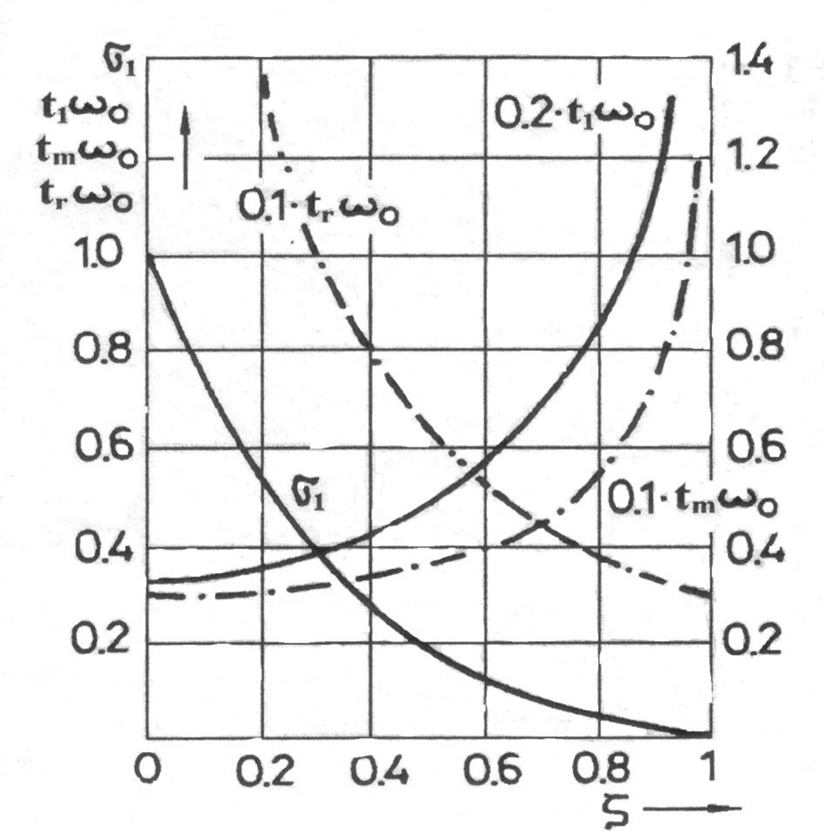
✓Cunoscând performanţele impuse **se alege una ca fiind cea mai importantă** şi **se proiectează RG în raport ce ea**; se verifică realizarea şi a celorlalte performanţe şi se pot face ajustări

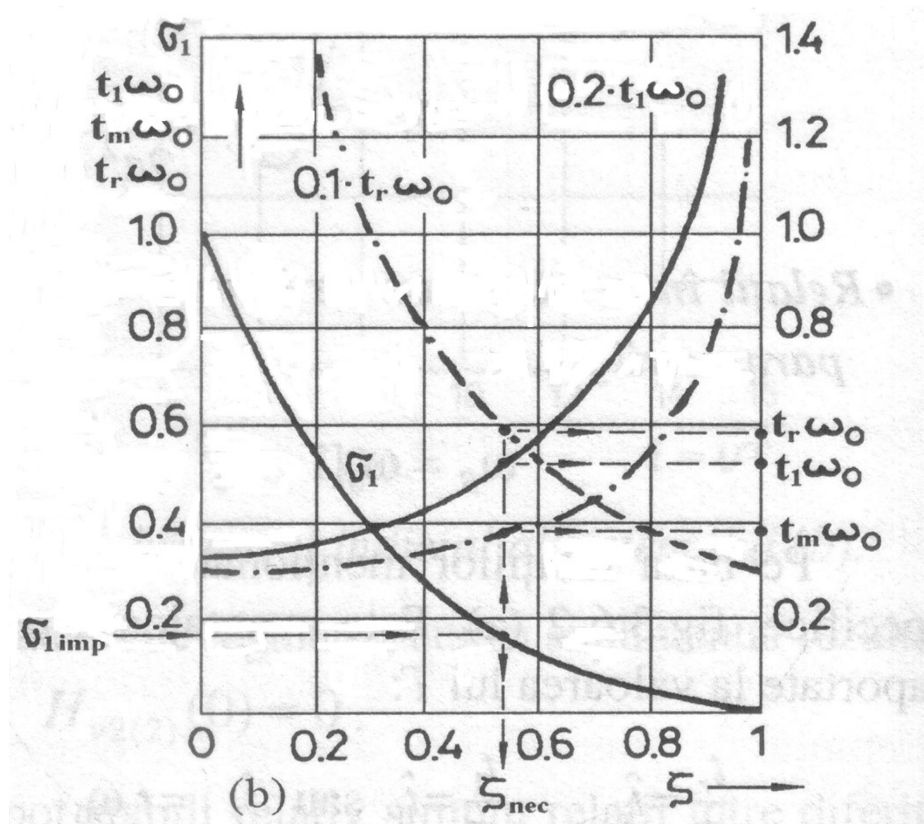
✓În raport cu indicatorul **se stabileşte valoarea factorului de amortizare necesar** pentru indeplinirea performanţelor, din diagramele de performanţă.

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

2. Proiectarea RG utilizând diagrame de performanță ale sit de ord 2





Diagrame de performanță antecalculate

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

3. Adăugarea unui zero suplimentar sistemului de ord 2 (doi poli, un zero)

Funcția de transfer a SRA cu comp I în H0(s):

$$H_w(s) = \frac{k_a \frac{\omega_0^2}{|z|}(s-z)}{\omega_0^2 + 2\xi\omega_0 s + s^2}$$

$$H_w(s) = \frac{k_a(1+sT_d)}{s^2T^2 + 2\xi Ts + 1}$$

Relații între parametrii diferitelor forme ale fdt:

$$k_a = 1, T = \frac{1}{\omega_0}$$

$$p_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm j\omega_0\sqrt{1-\xi^2}$$

$$z = -\frac{1}{T_d} = -\omega_d$$

De exemplu cazul PC Integrator stabilizat cu RG PI!

$$H_0(s) = \frac{k_0(1+sT_r)}{s^2}$$

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 2

3. Adăugarea unui zero suplimentar sistemului de ord 2 (doi poli, un zero)

De exemplu cazul PC Integrator stabilizat cu RG PI!

$$\boxed{H_0(s) = \frac{k_0(1+sT_r)}{s^2}} \Rightarrow \boxed{H_w(s) = \frac{1}{s^2T^2 + 2\xi Ts + 1}(1+sT_d)}$$

Efectuând calculele rezultă:

$$T_d = T_r$$

$$T = \frac{\sqrt{k_0}}{k_0}$$

$$\xi = \frac{T_r\sqrt{k_0}}{2}$$

Comportarea SRA (Re(z)<0):

-Asemănător cu comportarea sistemului de ord 2, dar mai oscilant;

-Cu cât zeroul este mai aproape de origine cu atât crește nivelul oscilațiilor;

-Se reduce eroarea de reglare în raport cu variația rampă a referinței

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 3

4. Adăugarea unui pol suplimentar sistemului de ord 2 (trei poli, nici un zero)

Funcția de transfer a SRA :

$$H_w(s) = \frac{k_a \omega_0^2 \omega_3}{(s+\omega_3)(\omega_0^2 + 2\xi\omega_0 s + s^2)}$$

$$H_w(s) = \frac{k_a}{(1+sT_3)(s^2T^2 + 2\xi Ts + 1)}$$

$$H_w(s) = \frac{k_a(-p_1)(-p_2)(-p_3)}{(s-p_1)(s-p_2)(s-p_3)}$$

Relații între parametrii diferitelor forme ale fdt:

$$T = \frac{1}{\omega_0}$$

$$p_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm j\omega_0\sqrt{1-\xi^2}$$

$$p_3 = -\frac{1}{T_3} = -\omega_3$$

Proiectarea SRA bazată pe impunerea indicatorilor de calitate empirici

Proiectarea SRA ca sistem de ordinul 3

4. Adăugarea unui pol suplimentar sistemului de ord 2 (trei poli, nici un zero)

Comportarea SRA:

-Depinde de valoarea modulului polului nou introdus;

-Cu cât polul este mai aproape de origine, mai dominant, cu atât efectul este mai nefavorabil (crește timpul de reglare);

-Crește eroarea de reglare în raport cu variația rampă a referinței;

-Singurul efect favorabil se referă la creșterea lărgimii de bandă, sensibilitate mai mică a sistemului la perturbații de frecvență ridicată.

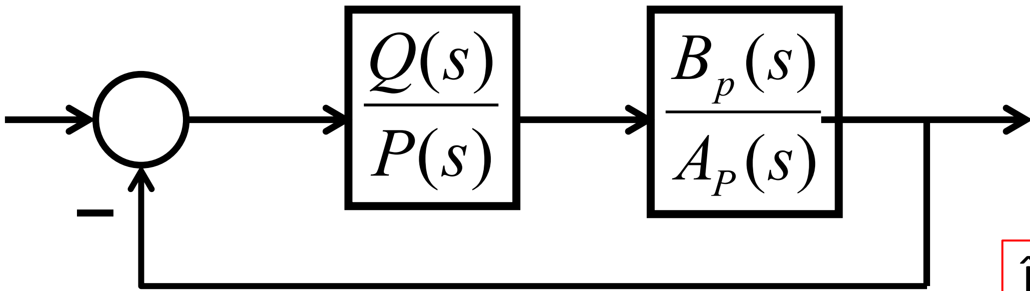
Recomandare!

Polul suplimentar în fdt a sistemului închis apare ca efect a introducerii de zerouri suplimentare în fdt a sistemului deschis.

Din acest motiv se recomandă extinderea sistemelor cu perechi de poli-zerouri, în general cu valori apropiate între ele (configurație dipol).

Compensarea poli-zerouri

1. Legătura între poli-zerouri în H_0 și H_w



$$H_0(s) = H_R(s)H_P(s) = \frac{B_0(s)}{A_0(s)} = \frac{Q(s)}{P(s)}\frac{B_p(s)}{A_P(s)}$$

$$H_w(s) = \frac{B_0(s)}{A_0(s)+B_0(s)} = \frac{Q(s)B_p(s)}{P(s)A_P(s)+Q(s)B_p(s)}$$

Într-o fdt
-rădăcinile numărătorului se numes **zerouri**,
-rădăcinile numitorului se numesc **poli**
-polii și zerourile se numesc puncte critice

Zerourile sistemului deschis se conservă, rămân aceiași și la sistemul închis!

Polii sistemului închis sunt influențați atât de polii, cât și de zerourile sistemului deschis!

La modificarea parametrilor sau structurii sistemului deschis se modifică amplasarea polilor-zerourilor sistemului închis (locul rădăcinilor)!

Compensarea poli-zerouri

2. Efectele introducerii de poli-zerouri în H_0

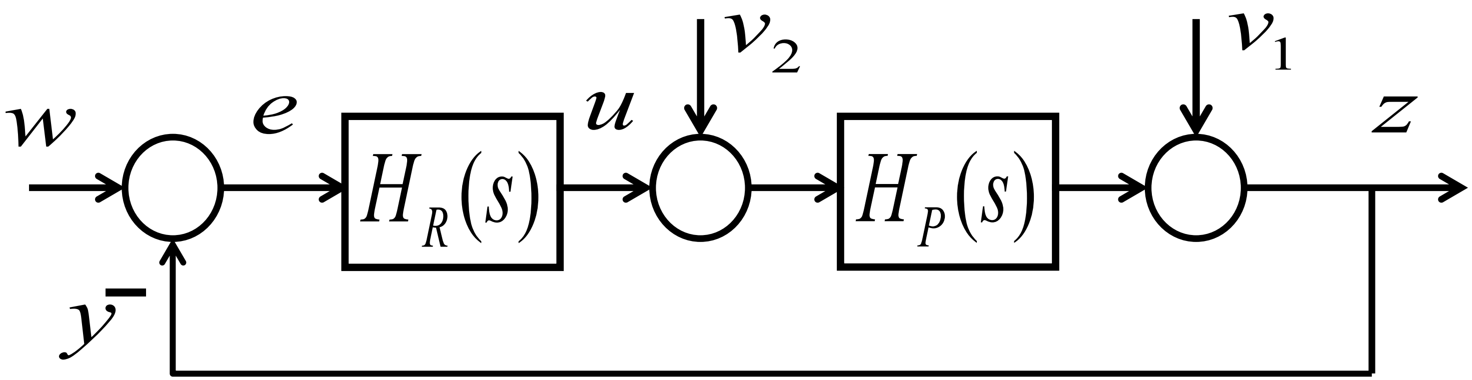
1. Introducerea unor poli suplimentari în H_0 are efecte destabilizatoare (introduce oscilații suplimentare).
2. Introducerea unor zerouri suplimentare în H_0 are efecte stabilizatoare.
3. Introducerea polilor și zerourilor suplimentari în H_0 trebuie să respecte anumite cerințe:
   - Poziționarea corespunzătoarea în raport cu celelalte pct critice existente;
   - Distanța corespunzătoare în raport cu celelalte pct critice existente.
4. Eliminarea unor pct critice din H_0 are efecte inverse decât cele menționate și se poate obține prin introducerea unui pct critic de nume contrar de aceeași valoare – tehnică numită ***compensare poli-zerouri.***
5. Compensarea poli zerouri se utilizează pentru
   - Îmbunătățirea proprietăților SRA.
   - Pentru suprimarea unor pct critice complex conjugate ale PC, prin filtre plasate pe ieșirea RG.
6. **Nu se va face compensare niciodata pentru pct. critice din semiplanul drept al planului rădăcinilor!**

Acordarea RG utilizând criterii de modul

1. Criteriul Modulului Optim - varianta Kessler (MO)

-în anii 1950-1960 au fost introduse de Kessler Criteriile de Modul – ca metode de acordarea a parametrilor RG destinate inițial aplicațiilor acționărilor electrice;

-metoda în sine se bazează pe optimizarea caracteristicii de frecvenţă modul-pulsaţie a sistemului închis



$$H_w(s) = 1; \qquad |H_w(j\omega)| = 1$$

$$H_{v1}(s) = 0; \qquad |H_{v1}(j\omega)| = 0$$

$$H_{v2}(s) = 0; \qquad |H_{v2}(j\omega)| = 0$$

Acordarea RG utilizând criterii de modul

1. Criteriul Modulului Optim - varianta Kessler (MO)

Din punctul de vedere practic, al inginerului, în aplicaţii concrete, se poate accepta că:

-***dacă*** f.t. a PC poate fi adusă la o anumită formă specifică de ordin redus, de tip benchmark, ***atunci*** există un RG, ai cărui parametrii pot fi acordaţi relativ simplu pe baza unor relaţii analitice ferme;

-soluţia asigură sistemului de reglarea automată realizarea anumitor performanţe ferme, care se dovedesc a fi foarte avantajoase.

-având în vedere că parametrii RG depind în mod direct de parametrii PC, pentru realizarea performanţelor garantate de metoda de proiectare, *MM al procesului trebuie să fie corect și complet determinat*.

1. Criteriul Modulului Optim - varianta Kessler (MO)

$$H_{0opt}(s)=\frac{1}{2T_{\Sigma}s(1+sT_{\Sigma})}$$

$$H_{wopt}(s)=\frac{1}{2T_{\Sigma}^{2}s^{2}+2T_{\Sigma}s+1}$$

T_{Σ} - constanta de timp care însumează constantele de timp mici ale PC

Tip reglare	Proces, $H_P(s)$	Regulator, $H_R(s)$		Notaţii
	Funcţia de transfer	Tip	Funcţia de transfer	
Reglare viteză (turaţie)	$\frac{k_{PC}}{1+sT_{\Sigma}}$	I	$\frac{k_r}{s}$ $k_r=\frac{1}{2k_{PC}T_{\Sigma}}$	MO-1.1
	$\frac{k_{PC}}{(1+sT_1)(1+sT_{\Sigma})}$	PI	$\frac{k_r}{s}(1+sT_r)$ $k_r=\frac{1}{2k_{PC}T_{\Sigma}},\ T_r=T_1$	MO-2.1
	$\frac{k_{PC}}{(1+sT_1)(1+sT_2)(1+sT_{\Sigma})}$ $T_1>T_2>T_{\Sigma}$	PID	$\frac{k_r}{s}(1+sT_r)(1+sT_r^{'})$ $k_r=\frac{1}{2k_{PC}T_{\Sigma}}$, $T_r=T_1,\ T_r^{'}=T_2.$	MO-3.1
Reglare poziţie	$\frac{k_{PC}}{s(1+sT_{\Sigma})}$	P	k_r $k_r=\frac{1}{2k_{PC}T_{\Sigma}}$	MO-1.2
	$\frac{k_{PC}}{s(1+sT_1)(1+sT_{\Sigma})}$, $T_{\Sigma}/T_1<0.2$	PD-T1	$\frac{k_r(1+sT_d)}{1+sT_f}$ $k_r=\frac{1}{2k_{PC}T_{\Sigma}}$, $T_d=T_1,\ T_d/T_f\approx 10$	MO-2.1
	$\frac{k_{PC}}{s(1+sT_1)(1+sT_2)(1+sT_{\Sigma})}$ $T_1>T_2>T_{\Sigma},\ T_{\Sigma}/T_1<0.2$	PD2-T2	$\frac{k_r(1+sT_{d1})(1+sT_{d2}^{'})}{(1+sT_{f1})(1+sT_{f2})}$ $k_r=\frac{1}{2k_{PC}T_{\Sigma}},\ T_{d1}=T_1,\ T_{d2}=T_2,$ $T_{d1}/T_{f1}\approx 10\ldots 20,$ $T_{d2}/T_{f2}\approx 10\ldots 20.$	MO-3.2

Acordarea RG utilizând criterii de modul

1. Criteriul Modulului Optim - varianta Kessler (MO)

Performanțe garantate în cadrul metodei:

- suprareglaj aproximativ $\boldsymbol{\sigma_1=4.3\%}$,

- timp de primă reglare $\boldsymbol{t_1=4.7T_\Sigma}$,

- timp de reglare $\boldsymbol{t_s=8.4T_\Sigma}$

- statism natural $\boldsymbol{\gamma_n=0}$ (pentru reglarea poziţie dependent de locul de acțiune a perturbației în raport cu componenta integratoare adusă de proces),

- rezerva de fază $\boldsymbol{\varphi_r=60^0}$ la pulsația de tăiere $\boldsymbol{\omega_t=1/(2T_\Sigma)}$, $\boldsymbol{\omega_0=1/T_\Sigma}$

2. Criteriul Optimului simetric (SO)

$$H_{0opt}(s)=\frac{1+4T_\Sigma s}{8T_\Sigma^2 s^2(1+sT_\Sigma)}$$

$$H_{ropt}(s)=\frac{1+4T_\Sigma s}{8T_\Sigma^3 s^3+8T_\Sigma^2 s^2+4T_\Sigma s+1}$$

T_Σ - constanta de timp care însumează constantele de timp mici ale PC

Tip reglare	Proces - $H_P(s)$	Regulator - $H_R(s)$		Notaţii
	Funcţia de transfer	Tip	Funcţia de transfer / Relaţii de acordare a parametrilor	
Reglare poziţie	$\frac{k_{PC}}{s(1+sT_\Sigma)}$	PI	$\frac{k_r}{s}(1+sT_r)$	SO-1
			$k_r=\frac{1}{8k_{PC}T_\Sigma^2},\ T_r=4T_\Sigma$	
	$\frac{k_{PC}}{s(1+sT_1)(1+sT_\Sigma)},$ $T_\Sigma/T_1<0.2$	PID-T1	$\frac{k_r}{s}(1+sT_r)(1+sT_r^{'}),$	SO-2
			$k_r=\frac{1}{8k_{PC}T_\Sigma^2},\ T_r=4T_\Sigma$ $T_r^{'}=T_1$	
			$\frac{k_r}{s}(1+sT_r)\frac{(1+sT_r^{'})}{(1+sT_f)}$	
			$k_r=\frac{1}{8k_{PC}T_\Sigma^2},\ T_r=4T_\Sigma,$ $T_r^{'}=T_1,\ T_r^{'}/T_f\approx 10...20$	
	$\frac{k_{PC}}{s(1+sT_1)(1+sT_2)(1+sT_\Sigma)}$ $T_1>T_2>T_\Sigma,$ $T_\Sigma/T_1<0.2$	PID2-T2	$\frac{k_r}{s}(1+sT_r)\frac{(1+sT_r^{'})(1+sT_d)}{(1+sT_f^{'})(1+sT_f)}$	SO-3
			$k_r=\frac{1}{8k_{PC}T_\Sigma^2},\ T_r=4T_\Sigma,$ $T_r^{'}=T_2,\ T_r^{'}/T_f^{'}\approx 10...20,$ $T_d=T_2,\ T_d/T_f\approx 10...20.$	

Acordarea RG utilizând criterii de modul

2. Criteriul Optimului simetric (SO)

Performanțe garantate în cadrul metodei:

- suprareglaj aproximativ $\boldsymbol{\sigma_1=43\%}$, - mare!
- timp de primă reglare $\boldsymbol{t_1=3.1T_\Sigma}$,
- timp de reglare $\boldsymbol{t_s=16.5T_\Sigma}$
- statism natural $\boldsymbol{\gamma_n=0}$ (indiferent de locul de acțiune al perturbației datorită componentei integratoare adusă de RG),
- rezerva de fază $\boldsymbol{\varphi_r=36^0}$ la pulsația de tăiere $\boldsymbol{\omega_t=1/(2T_\Sigma)}$ – mică!

În relaţia „referinţă – mărime reglată" aceste performanţe pot fi corectate prin adoptarea şi proiectarea adecvată a unor filtre suplimentare plasate pe canalul de referinţă.

Ingineria Reglării Automate

- ✓Metode de proiectare a SRA
  - ✓Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Cazuri de aplicare a metodelor de acordare a parametrilor RG utilizând date experimentale:

- se referă în general la **procesele relativ lente** în care informațiile despre parametrii PC sunt puține și determinate experimental

- informațiile despre PC nu permit determinarea analitică a unor MM exacte, simple, de ordin relativ redus

PC lente cu autostabilizare, aperiodice:

-PC cu autostabilizare, aperiodice sunt specifice aplicațiilor în care procesele ce se desfășoară în instalația tehnologică sunt de aceeași natură fizică, fără reacții locale inverse.

-Convențional un proces este clasificat ca ***lent*** în cazul în care constantele de timp dominante sunt mai mari de ordinul de 10 secunde

-Procesele lente pot fi însoțite de ***timp mort*** natural (T_m) – în general PC care prezintă transport de energie, masă, etc.

- Exemple:

  -Instalații termice – reglarea temperaturii

  -Procese cu fluide (hidraulice/pneumatice) – reglare presiune, debit, nivel;

  -Procese chimice – reglare pH, temperatură, concentrație, etc

Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Fdt aferente Proceselor conduse:

$$H_P(s) = k_P e^{-sT_m}$$

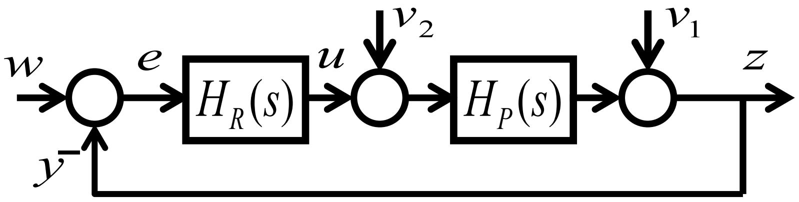
$$H_P(s) = \frac{k_P}{1+sT} e^{-sT_m}$$

$$H_P(s) = \frac{k_P}{(1+sT_1)(1+sT_2)} e^{-sT_m}$$

$$H_P(s) = \frac{k_P}{1+sT} e^{-sT_m} \approx \frac{k_P}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

$$H_P(s) = \frac{k_P}{(1+sT)^n}$$

$$H_P(s) = \frac{k_P}{s(1+sT)}$$



Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Metoda de acordare Ziegler-Nichols bazată pe atingerea limitei de stabilitate:

- Criteriul (metoda) a fost propus în 1942 de către Yohu G. Ziegler şi Mathaniel B. Nichols şi rămâne cel mai utilizat criteriu de acordare practică a regulatoarelor în instalațiile tehnice
- În ***varianta de bază***, metoda se bazează pe atingerea limitei de stabilitate a SRA în anumite condiții:

  -PC inclus în SRA acceptă dpdv tehnologic instalarea regimului oscilant permanent (chiar pentru o perioadă scurtă de timp) = ieșirea sistemului este în oscilații întreținute, la ***limita de stabilitate.***

  -Metoda este agresivă față de PC;

  -Rezultatele obținute cu ajutorul acestei metode sunt bune, dar nu optime;

Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

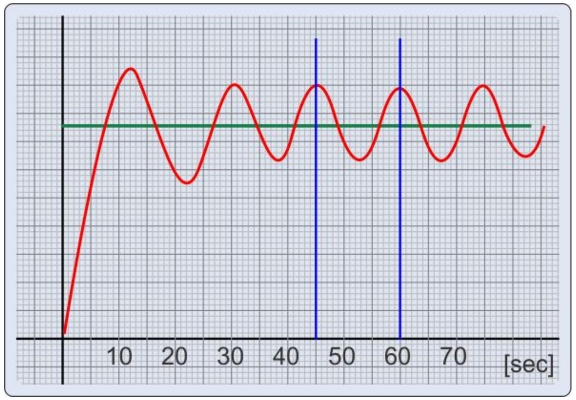
Metoda de acordare Ziegler-Nichols bazată pe atingerea limitei de stabilitate – Etape

1. Introducerea PC într-o SRA cu RG tip P, cu fdt

$$\boxed{H_R(s) = k_R = k_C}$$

2. Creșterea lui k_R până la atingerea limitei de stabilitate, până la obținerea de oscilații întreținute.
3. Reținerea ***valorilor experimentale*** relativ la funcționarea SRA la limită, prin reținerea valorii coeficientului de amplificare și a valorii perioadei oscilațiilor:

$$\boxed{\begin{array}{l} k_{\lim} = k_{R0} \\ T_{\lim} \end{array}}$$



4. Ajustarea parametrilor RG pe baza unor relații antecalculate bazate pe valorile experimentale (Tabel Z-N 1 și 2).

Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Metoda de acordare Ziegler-Nichols bazată pe atingerea limitei de stabilitate – Etape

4. Ajustarea parametrilor RG pe baza unor relații antecalculate bazate pe valorile experimentale (Tabel Z-N 1 și 2).

Regulator	K_c	T_I	T_D
P	$0.5 \cdot K_{lim}$	-	-
PI	$0.45 \cdot K_{lim}$	$T_{lim}/1,2$	-
PID	$0.6 \cdot K_{lim}$	$T_{lim}/2$	$T_{lim}/8$

$$\boxed{u_R(t) = k_C(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt})}$$

Regulator	K_p	K_I	K_D
P	$0.5 \cdot K_{lim}$	-	-
PI	$0.45 \cdot K_{lim}$	$0.54 \cdot \frac{K_{\lim}}{T_{\lim}}$	-
PID	$0.6 \cdot K_{lim}$	$1.2 \cdot \frac{K_{\lim}}{T_{\lim}}$	$0.075 \cdot K_{lim} \cdot T_{lim}$

$$\boxed{u_R(t) = k_P e(t) + k_I\int e(t)dt + k_D\frac{de(t)}{dt}}$$

Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Metoda de acordare Ziegler-Nichols bazată pe atingerea limitei de stabilitate – Performanțe

În raport cu referința – performanțele sunt slabe (suprareglaj 40%)
- metoda se aplica pentru referință constantă sau care variază foarte lent

În raport cu perturbația de tip V_2 – performanțe bune

Dezavantaje

-Timp de experimentare mare – consum mare de energie
-Agresivitate față de instalația tehnologică
-Intrarea PC în zone neliniare (cu limitare) poate duce la falsificarea rezultatelor experimentale și implicit la proiectarea greșită a RG (SRA)

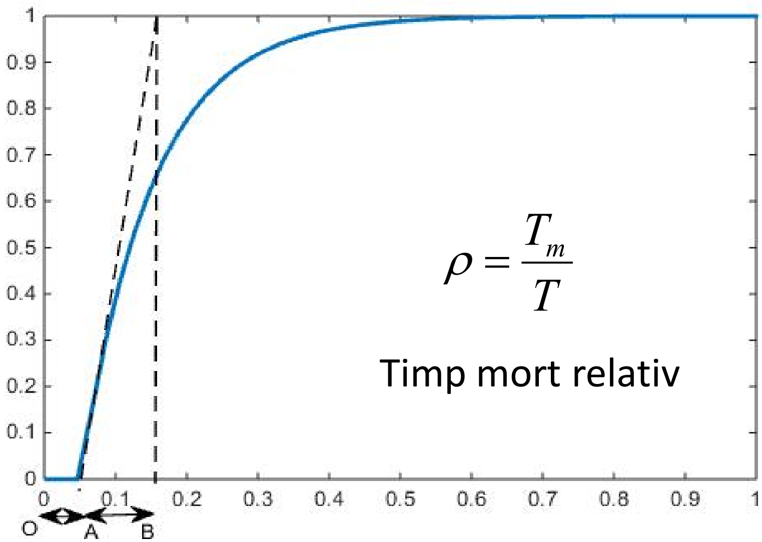
Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Metoda de acordare datorate lui Oppelt

-Se presupune ca MM al PC poate fi determinat experimental prin răspuns la semnal treaptă unitar și aproximat cu o fdt de tipul PT1-Tm:

$$H_P(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta u(s)} = \frac{k_P}{1+sT} e^{-sT_m}$$

$$k_P = \frac{\Delta y_\infty}{\Delta u_\infty} = \frac{y_\infty - y_0}{u_\infty - u_0}$$



	Parametrii de acordare			
	P	PI	PID	PD-T1
$K_R K_P \rho$	<=1	<=0.8	1.2	<=1.2
Ti/Tm	∞	>3	>2	∞
Td/Tm	0	0	<0.42	0.25

$$[OA] = T_m [\sec]$$

$$[AB] = T [\sec]$$

Acordarea parametrilor RG utilizând date experimentale

Metoda de acordare datorate lui Oppelt

Performanțe

În raport cu referința – performanțele sunt slabe - suprareglaj mare

- metoda se aplica pentru referință constantă sau care variază foarte lent

În raport cu perturbația de tip V_2 – performanțe bune

Dezavantaje

-Identificarea experimentală este strâns legată de punctul de funcționare staționar constant (u_0,y_0) și are valabilitate restrânsă în jurul acestuia

-Determinările experimentale sunt, în general, afectate de perturbații.

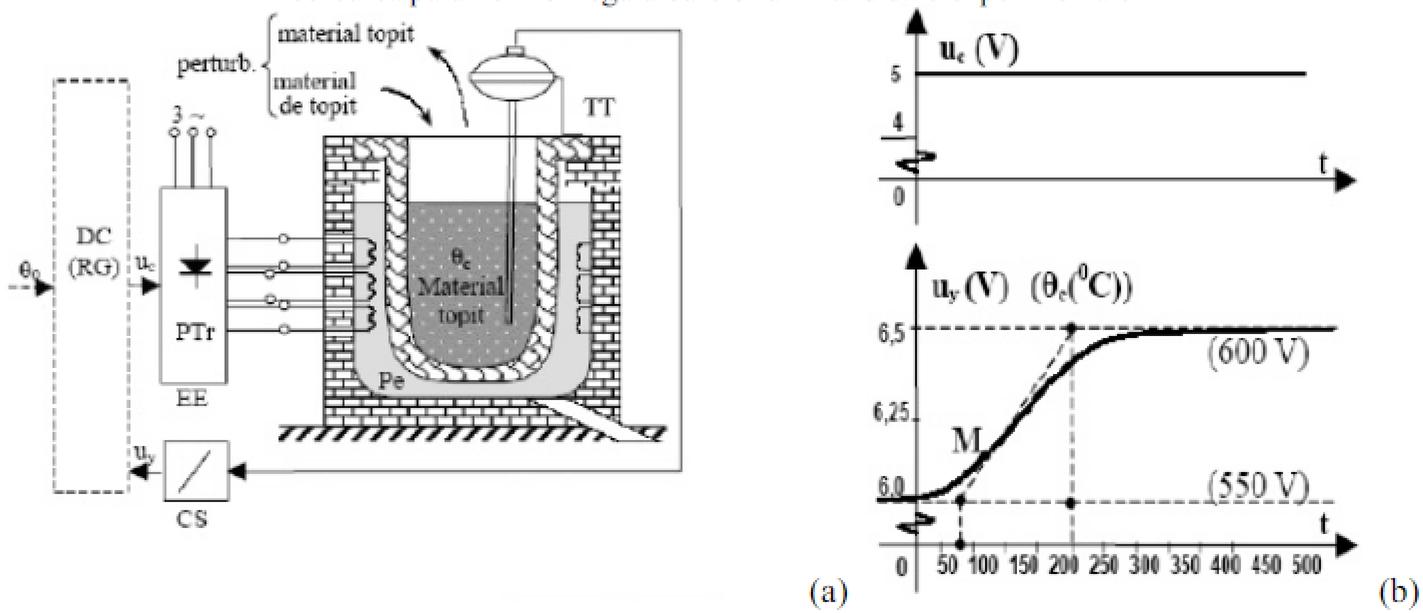
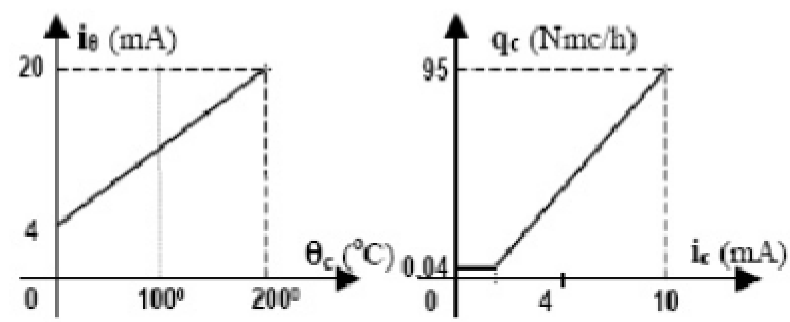


Fig.6.4-2. Reglarea temperaturii într-un cuptor de menținere în stare lichidă a aluminiului.



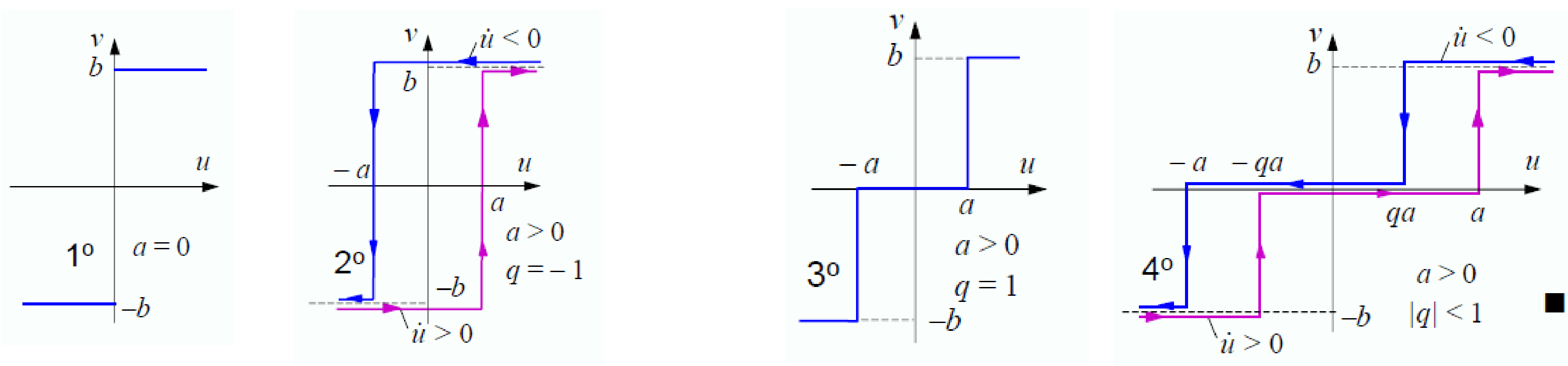
(a) (b)

Caracteristici statice aferente elementului de măsură (a) și elementului de execuție (b).

RG neliniare

- Regulatoare neliniare bipoziţionale sau tripoziţional, mult mai simple și mai ieftine decât regulatoarele cu acţiune continuă din categoria **PID**
- Regulatoarele de tip releu se caracterizează prin natura booleană a comenzii generate
- Se utilizează în multe cazuri, atunci când nu sunt necesare precizii deosebite

Neliniaritatea de tip releu:
1° bipoziţional (ideal): $q=1,\ a=0,\ b>0$;
2° bipoziţional cu histerezis: $q=-1,\ a>0,\ b>0$;
3° tripoziţional (ideal): $q=1,\ a>0,\ b>0$;
4° releu tripoziţional cu histerezis: $|q|<1,\ a>0$.



RG neliniare

Cei doi parametri de ajustare se raportează la

- ✓ mărimile de ieşire (valorile ieşirii pentru cele două sau trei stări) şi la
- ✓ cea de intrare (pragul de acţionare), respectiv cele două praguri în cazul existenţei unei caracteristici cu histerezis

Funcţionarea unui regulator de tip releu conectat la un proces de ordin II vs RG PID