UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI, PROTECȚIEI SOCIALE ȘI PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU

Fondul Social European
POSDRU 2007-2013

Instrumente Structurale
2007-2013

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII DIN BUCUREȘTI

Sergiu Stelian ILIESCU

Ioana FĂGĂRĂŞAN

Nicoleta ARGHIRA

Iulia DUMITRU

CARTE UNIVERSITARĂ

ANALIZA ŞI PROIECTAREA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Formule, simboluri, tabele şi diagrame

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013
FONDUL SOCIAL EUROPEAN
Investește în OAMENI

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA

SC ASTI AUTOMATION SRL

CONSPRESS BUCUREȘTI

UNIUNEA EUROPEANĂ

GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI, PROTECȚIEI SOCIALE ȘI PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU

Fondul Social European
POSDRU 2007-2013

Instrumente Structurale
2007-2013

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII DIN BUCUREȘTI

Investește în oameni !
Proiect cofinanțat din FONDUL SOCIAL EUROPEAN
prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013
Axa prioritară 1: „EDUCAȚIA ȘI FORMAREA PROFESIONALĂ ÎN SPIJINUL CREȘTERII ECONOMICE ȘI DEZVOLTĂRII SOCIETĂȚII BAZATE PE CUNOAȘTERE"
Domeniul major de intervenție 1.2 „Calitate în învățământul superior"
Cerere de propuneri de proiecte: nr. 86 „Universitate pentru viitor"
Titlul proiectului: ***"Rețea națională de centre pentru dezvoltarea programelor de studii cu rute flexibile și a unor instrumente didactice la specializarea de licență și masterat, din domeniul Ingineria Sistemelor"***
Numărul de identificare al contractului: **POSDRU/86/1.2/S/63806**

Cartea se adresează celor care studiază în domeniul Ingineria Sistemelor la diferite specializări, la toate Facultățile partenere în proiect, dar nu numai.

Acest suport de curs fost editat în cadrul perioadei de implementare a proiectului **POSDRU/86/1.2/S/63806.**

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013 Investește în OAMENI

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA

SC ASTI AUTOMATION SRL

Sergiu Stelian ILIESCU *Ioana FĂGĂRĂŞAN*
Nicoleta ARGHIRA *Iulia DUMITRU*

ANALIZA ŞI PROIECTAREA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Formule, simboluri, tabele şi diagrame

EDITURA CONSPRESS
2013

EDITURA CONSPRESS
este recunoscută de
Consiliul Național al Cercetării Ştiințifice din Învățământul Superior

Lucrare elaborată în cadrul proiectului: "*Rețea națională de centre pentru dezvoltarea programelor de studii cu rute flexibile şi a unor instrumente didactice la specializarea de licență şi masterat, din domeniul Ingineria Sistemelor*"

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

ILIESCU, SERGIU STELIAN ; FĂGĂRĂŞAN, IOANA ; ARGHIRA, NICOLETA

Analiza şi proiectarea sistemelor de reglare automată : formule, simboluri, tabele şi diagrame / Sergiu Stelian Iliescu, Ioana Făgărăşan, Nicoleta Arghira, ... – Bucureşti : Conspress, 2013
Bibliogr.
ISBN 978-973-100-271-2

I. ILIESCU, SERGIU STELIAN
II. FĂGĂRĂŞAN, IOANA
III. ARGHIRA, NICOLETA
IV. DUMITRU, IULIA

62

Colecția Carte universitară

CONSPRESS
B-dul Lacul Tei nr 124, sector 2
cod 020396, Bucureşti
Tel: (021) 242 2719 / 300; Fax: (021) 242 0781

Prefață

Un rol deosebit în convergența și dezvoltarea Societății Informaționale și a celei bazate pe Cunostințe îl are domeniul Ingineriei Sistemelor.

Acest domeniu vizează dezvoltarea și implementarea într-o concepție sistemică a echipamentelor, sistemelor de comunicații și proceselor din diferite domenii de activitate.

O componentă importantă a Ingineriei Sistemelor constă în analiza și proiectarea sistemelor de reglare automată.

Lucrarea de față, în viziunea autorilor, se constituie într-o colecție minimală de formule, tabele, simboluri și diagrame din domeniul teoriei sistemelor automate necesare studenților la orele de aplicații.

Materialul este o mapă de lucrări utilă în evaluarea rapidă a performanțelor unor sisteme de reglare automată.

Lucrarea nu ar fi fost posibil de editat fără sprijinul major al domnului Gheorghe Dinu, expert logistică, autorii multumindu-i pe această cale pentru profesionalismul de care a dat dovadă.

Autorii

CUPRINS

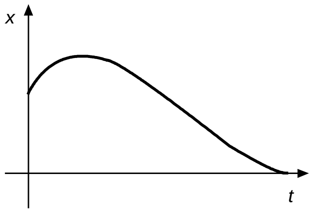
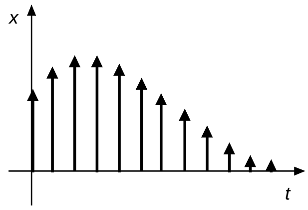
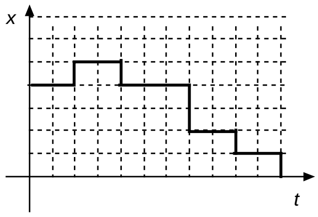
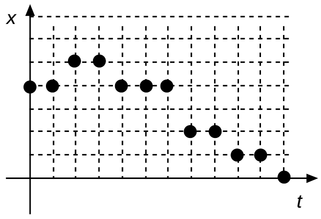
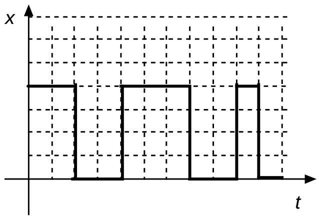
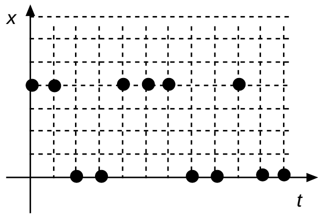
ALFABETUL GREC

Literă mare	***Literă mică***	***Transcriere clasică***	***Transcriere netă***	***Denumire***
Α	α	a	a	Alfa
Β	β	b	v	Beta
Γ	γ	g	g/j	Gama
Δ	δ	d	d	Delta
Ε	ε	e	e	Epsilon
Ζ	ζ	z	z	Zeta
Η	η	ê	i	Eta
Θ	θ	th	th	Teta
Ι	ι	i	i	Iota
Κ	κ	k	k	Kapa
Λ	λ	l	l	Lambda
Μ	μ	m	m	Mi
Ν	ν	n	n	Ni
Ξ	ξ	x/ks	x	Xi
Ο	ο	o	o	Omicron
Π	π	p	p	Pi
Ρ	ρ	r	r	Ro
Σ	σ, ς	s	s	Sigma
Τ	τ	t	t	Tau
Υ	υ	y	y	Epsilon
Φ	φ	ph	f	Fi
Χ	χ	kh	ch	Kei
Ψ	ψ	ps	ps	Psi
Ω	ω	ô	o	Omega

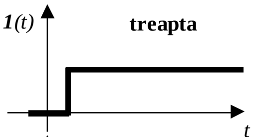
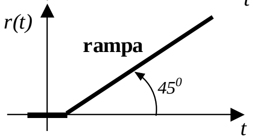
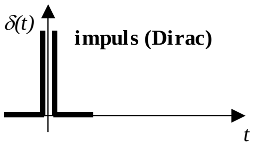
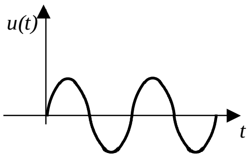
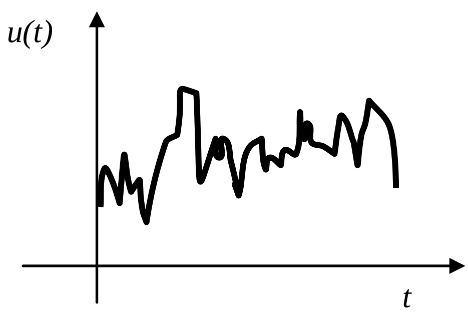
PREFIXELE și SIMBOLURILE MULTIPLILOR și SUBMULTIPLILOR ZECIMALI ai UNITĂȚII

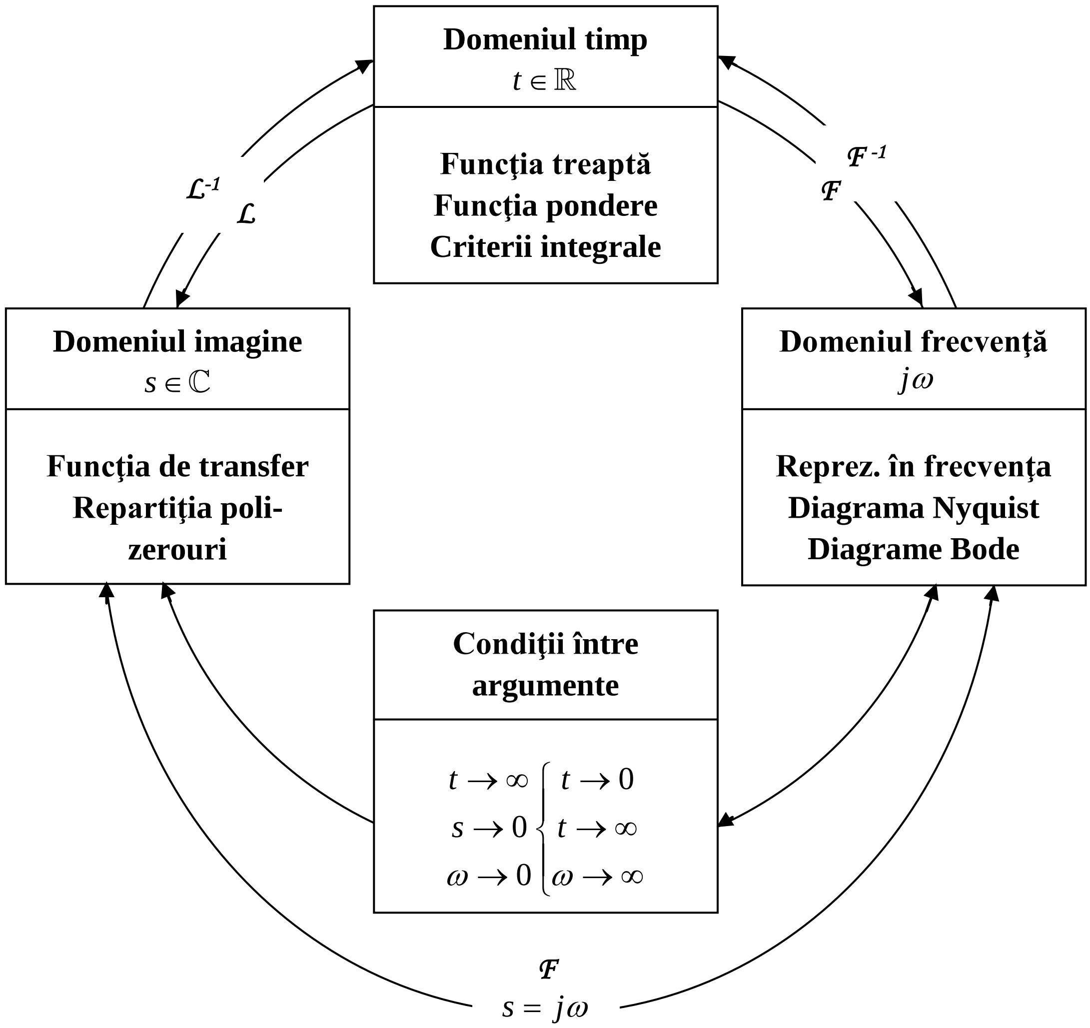
Prefixe	***Denumire***	***Simbol***	***Prefixe***	***Denumire***	***Simol***
10^{24}	Iota	Y	10^{-1}	Deci	d
10^{21}	Zeta	Z	10^{-2}	Centi	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Mili	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Micro	μ
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	Nano	n
10^{9}	Giga	G	10^{-12}	Pico	p
10^{6}	Mega	M	10^{-15}	Femto	f
10^{3}	Kilo	k	10^{-28}	Ato	a
10^{2}	Hecto	h	10^{-21}	Zepto	z
10	Deca	da	10^{-24}	Iokto	y

Tipuri de semnale

Timp (t) / ***Amplitudine (x)***	***Timp continuu***	***Timp discret***
Amplitudine continuă	*A. Sisteme continue* 	*B. Sisteme cu eşantionare* 
Amplitudine discretă	*C. Sisteme tip releu* 	*D. Sisteme de reglare numerice* 
Amplitudine binară	*E. Sisteme de comutare binare* 	*F. Sisteme de comandă digitale* 

Semnale test utilizate frecvent în automatică

Deterministe	***Stochastice***
• pot fi descrise analitic *x=f(t)* • caracterizează fenomenele reproductibile prin relaţii analitice  ● ***neperiodice***   ● ***periodic armonic*** 	• nu pot fi descrise analitic • caracterizează fenomenele aleatoare descrise prin legi probabilistice 



Domeniul timp
$t \in \mathbb{R}$
Funcţia treaptă
Funcţia pondere
Criterii integrale
$\mathcal{L}^{-1}$
$\mathcal{L}$
$\mathcal{F}^{-1}$
$\mathcal{F}$
Domeniul imagine
$s \in \mathbb{C}$
Funcţia de transfer
Repartiţia poli-zerouri
Domeniul frecvenţă
$j\omega$
Reprez. în frecvenţa
Diagrama Nyquist
Diagrame Bode
Condiţii între argumente
$\begin{matrix} t \to \infty \\ s \to 0 \\ \omega \to 0 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} t \to 0 \\ t \to \infty \\ \omega \to \infty \end{matrix} \right.$
$\mathcal{F}$
$s = j\omega$

TRANSFORMATA LAPLACE
Principalele teoreme și proprietăți

Denumirea teoremei	***Relația de calcul, cu notațiile:*** f – funcție original și $F(s) \equiv \mathcal{L}\{f(t)\}$ - funcție imagine
Teorema de liniaritate	$\mathcal{L}\{\alpha f_1(t) + \beta f_2(t)\} = \alpha F_1(s) + \beta F_2(s), \forall \alpha, \beta \in \mathbb{R} \; si \; \forall f_1, f_2 \in \mathcal{O}$
Teorema asemanării	$\mathcal{L}\{f(\alpha t)\} = \frac{1}{\alpha} F\left(\frac{s}{\alpha}\right), \forall \alpha \in \mathbb{R} \; si \; \alpha > 0$
Teorema deplasării argumentului complex	$\mathcal{L}\{f(t) e^{at}\} = F(s-a), \forall a \in \mathbb{R} \; si \; a > 0$
Teorema derivării imaginii	$\mathcal{L}\{t^n f(t)\} = (-1)^n \frac{d^n F(s)}{ds^n}$
Teorema integrării imaginii	$G(s) = \int_s^\infty F(s)\, ds = \mathcal{L}\left\{\frac{1}{t} f(t)\right\}$
Teorema integrării originalului	$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(\theta)\, d\theta\right\} = \frac{1}{s} F(s)$
Teorema derivării originalului	$\mathcal{L}\left\{\frac{df(t)}{dt}\right\} = sF(s) - f(0_+)$ $\mathcal{L}\left\{\frac{d^2 f(t)}{dt^2}\right\} = s^2 F(s) - sf(0_+) - f^{'}(0_+)$ $\mathcal{L}\left\{\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right\} = s^n F(s) - s^{n-1} f(0_+) - \ldots - sf^{(n-2)}(0_+) - f^{(n-1)}(0_+)$ *cu* $f^{(k)}(0_+) = \lim\limits_{\substack{t \to \infty \\ t > 0}} f^{(k)}(t), 0 \le k < n$ *si* $f^{(k)}$ *derivata de ordinul k a lui f*
Teorema valorii finale	Dacă $f \in \mathcal{O}$ este derivabilă și derivate sa este $f' \in \mathcal{O}$ și, în plus, există $f(\infty) = \lim\limits_{\substack{t \to \infty \\ t > 0}} f(t)$, atunci $\lim\limits_{s \to 0} sF(s) = f(\infty)$
Teorema valorii inițiale	Dacă $f \in \mathcal{O}$ este derivabilă și derivata sa este $f' \in \mathcal{O}$ și dacă există $f(0_+) = \lim\limits_{\substack{t \to 0 \\ t > 0}} f(t)$ și $\lim\limits_{s \to \infty} sF(s)$, atunci $\lim\limits_{t \to \infty} sF(s) = f(0_+)$
Transformata Laplace a produsului de convoluție a două semnale (Borel)	Dacă $f_1, f_2 \in \mathcal{O}$ si $f_1 * f_2 \in \mathcal{O}$, atunci $(f_1 \cdot f_2)(t) = \int_0^t f_1(\theta) f_2(t-\theta)\, d\theta \xrightarrow{\mathcal{L}} F_1(s) \cdot F_2(s)$
Teorema întârzierii	Dacă $f_1, f_2 \in \mathcal{O}, \theta > 0, f_1(t) = 0$, dacă $t < \theta$ si $f_1(t) = f_2(t-\theta)$, dacă $t \ge \theta$, atunci $F_1(s) = e^{-s\theta} F_2(s)$
Teorema produsului a două funcții original	$\mathcal{L}\{f(t) g(t)\} = \frac{1}{2\pi j} \int_{a-j\infty}^{a+j\infty} F(q) G(s-q)\, dq$

TRANSFORMATA LAPLACE

Principalele teoreme și proprietăți

Denumirea teoremei	***Relația de calcul, cu notațiile:*** f – funcție original și $F(s) \equiv \mathcal{L}\{f(t)\}$ - funcție imagine
Teoremele de dezvoltare ale lui Heaviside	**a.** $F(s)=\dfrac{P(s)}{Q(s)}$ $\partial\left[Q(s)\right]>\partial\left[P(s)\right]$ *si* $Q(s)$ are numai rădăcini reale și simple, atunci $\mathcal{L}^{-1}\{F(1)\}=\sum_{k=1}^{n}\dfrac{P(s_k)}{Q'(s_k)}\cdot e^{s_k t}$ Caz particular $F(s)=\dfrac{P(s)}{sR(s)}$ $f(t)=\dfrac{P(0)}{R(0)}+\sum_{k=1}^{n}\dfrac{P(s_k)}{s_k R'(s_k)}\cdot e^{s_k t}$ **b.** $F(s)=\dfrac{P(s)}{Q(s)}$ *si* $Q(s)=(s-s_1)^{n_1}\cdot(s-s_2)^{n_2}\cdots(s-s_k)^{n_k}\cdots(s-s_r)^{n_r}$ $n_1+n_2+\cdots n_r=\partial\left[Q(s)\right]$ $f(t)=\sum_{k=1}^{\gamma}\sum_{j=1}^{n_k}\dfrac{A_{kj}}{(n_k-j)!}t^{n_k-j}\cdot e^{s_k t}$ cu $A_{kj}=\lim_{s\to s_k}\dfrac{1}{(j-1)!}\left[\dfrac{d^{j-1}}{ds^{j-1}}\cdot\dfrac{(s-s_k)^{n_k}\cdot P(s)}{Q(s)}\right]$
Teorema rezidurilor	$f(t)=\sum_{k} rez\left\{e^{s_k t}F(s_k)\right\}$

Funcție original $f(t)$

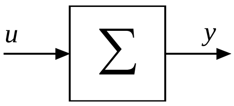
Funcție imagine $F(s)$

Funcția $f \in \mathcal{O}$ *(funcție original)*	***Transformata Laplace*** $F(s) \equiv \mathcal{L}\{f(t)\}$
$\delta(t)$ (impulsul Dirac de arie unitară, cu $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\,dt = 1$	1
$1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$ (funcție treaptă unitară)	$\frac{1}{s}$
$1(t) \cdot t$ (funcție rampă unitară)	$\frac{1}{s^2}$
$1(t) \cdot \frac{t^n}{n!}$	$\frac{1}{s^{n+1}}$
$1(t) \cdot e^{at},\ a \in \mathbb{C}$	$\frac{1}{s-a}$
$1(t) \cdot \frac{t^n}{n!} \cdot e^{at}$	$\frac{1}{(s-a)^{n+1}}$
$1(t) \cdot \sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{b-a}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$
$1(t) \cdot \cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$1(t) \cdot e^{at} \cdot \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s-a)^2 + \omega^2}$
$1(t) \cdot e^{at} \cdot \cos \omega t$	$\frac{s-a}{(s-a)^2 + \omega^2}$
$sh \cdot \omega \cdot t$	$\frac{\omega}{s^2 - \omega^2}$
$ch \cdot \omega \cdot t$	$\frac{s}{s^2 - \omega^2}$
$t \cdot \sin \omega \cdot t$	$\frac{2\omega s}{(s^2 + \omega^2)^2}$
$t \cdot \cos \omega \cdot t$	$\frac{s^2 - \omega^2}{(s^2 + \omega^2)^2}$

TRANSFORMATA LAPLACE

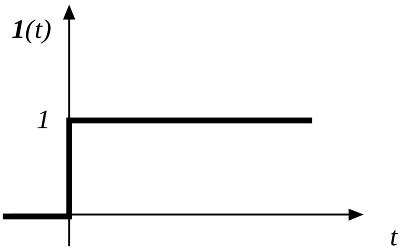
Tabel de corespondenta

Functia $f \in \mathcal{O}$ *(functie original)*	***Transformata Laplace*** $F(s) \equiv \mathcal{L}\{f(t)\}$
$e^{-at} \cdot \sin \omega \cdot t$	$\dfrac{\omega}{(s+\lambda)^2+\omega^2}$
$e^{-at} \cdot \cos \omega \cdot t$	$\dfrac{s+\lambda}{(s+\lambda)^2+\omega^2}$
$e^{-\lambda t} \cdot \dfrac{\mathrm{s}h\omega \cdot t}{\omega}$	$\dfrac{1}{(s+a)^2-\omega^2}$
$e^{-\lambda t} \cdot \mathrm{c}h\omega \cdot t$	$\dfrac{s+a}{(s+a)^2-\omega^2}$
$\dfrac{1}{\omega}\sqrt{k^2+\omega^2}\sin(\omega t+\varphi)$ $tg\varphi = \dfrac{\omega}{k}$	$\dfrac{s+k}{s^2+\omega^2}$
$\dfrac{1}{\omega}\sqrt{(k-a)^2+\omega^2} \cdot e^{-at} \cdot \sin(\omega t+\psi)$ $tg\psi = \dfrac{\omega}{k-a}$	$\dfrac{s+k}{(s+a)^2+\omega^2}$
$\dfrac{1}{(b-a)^2} \cdot e^{-bt} + \left[(b-a)t-1\right] \cdot e^{-at}$	$\dfrac{1}{(s+a)^2(s+b)}$
$\dfrac{d-b}{(a-b)^2} \cdot e^{-bt} + \left[\dfrac{a-d}{a-b} \cdot t + \dfrac{b-d}{(a-b)^2}\right] \cdot e^{-at}$	$\dfrac{s+d}{(s+a)^2(s+b)}$
$\dfrac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \dfrac{e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} + \dfrac{e^{-ct}}{(a-c)(b-a)}$	$\dfrac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
$\dfrac{(a-a)e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \dfrac{(a-b)e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} + \dfrac{(a-c)e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\dfrac{s+d}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
$\dfrac{(a^2-ea+d)e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \dfrac{(b^2-eb+d)e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} + \dfrac{(c^2-ec+d)e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\dfrac{s^2+cs+d}{(s+a)(s+b)(s+c)}$

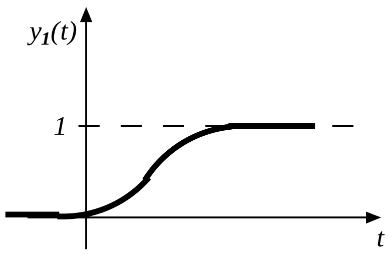


Funcţia treaptă unitară

$$1(t)=\begin{cases}1 & pentru\ t>0\\ 1/2 & pentru\ t=0\\ 0 & pentru\ t<0\end{cases}$$

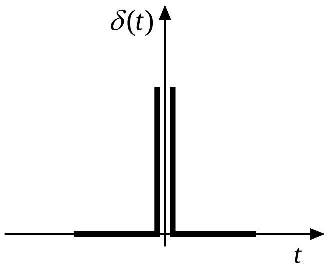


Răspuns indicial

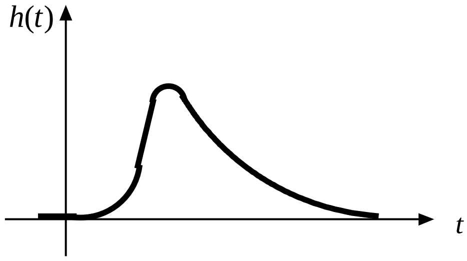


Funcţia impuls unitar (Dirac)

$$\delta(t)=\begin{cases}1/\varepsilon & pentru\ 0\le t\le\varepsilon\\ 0 & in\ rest\end{cases}$$

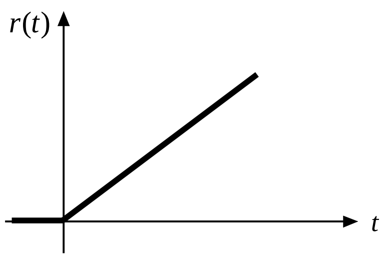


Răspunsul cauzal la impuls

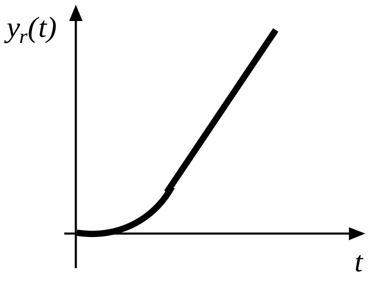


Funcţia rampă unitară

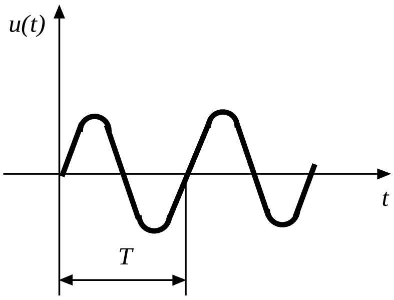
$$r(t)=\begin{cases}0 & pentru\ t<0\\ t & pentru\ t>0\end{cases}$$



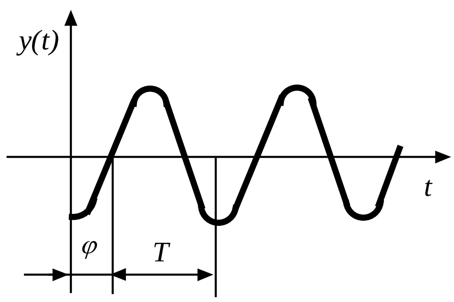
Răspunsul la funcţia rampă unitară



Semnal periodic armonic



Răspunsul la semnal periodic armonic



$\delta(t)$

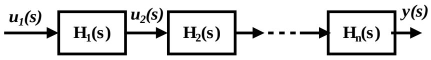
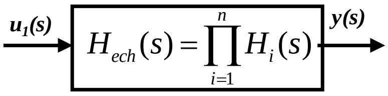
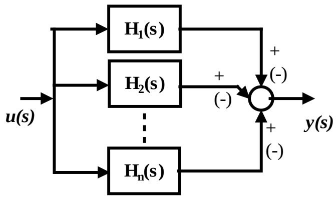
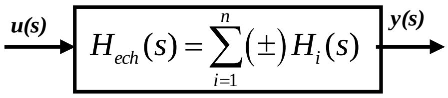
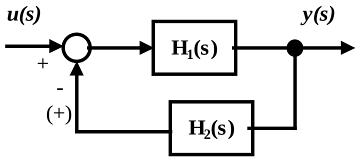
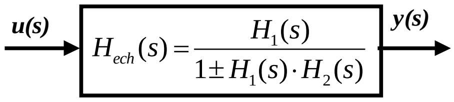
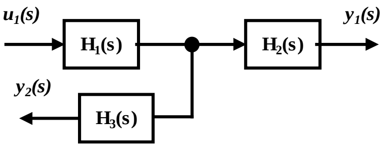
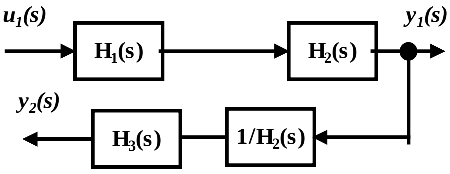
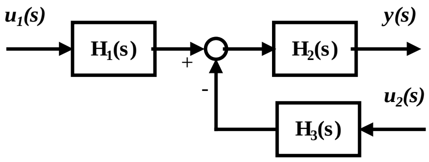
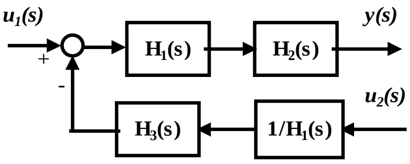
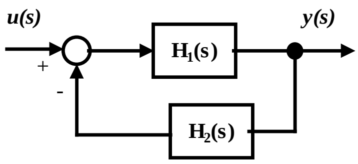
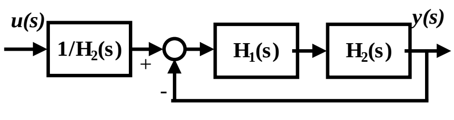
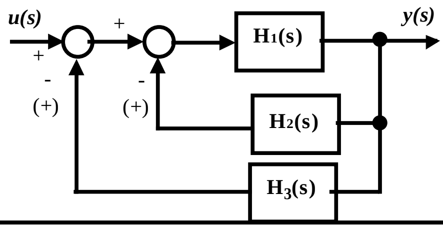
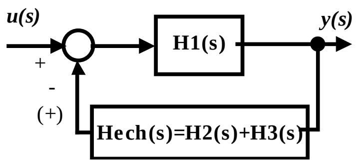
$$1(t) = \int_{\tau=-\infty}^{t} \delta(t)\,d\tau \qquad r(t) = \int_{\tau=-\infty}^{t} 1(\tau)\,d\tau \qquad \delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$$

$h(t)$

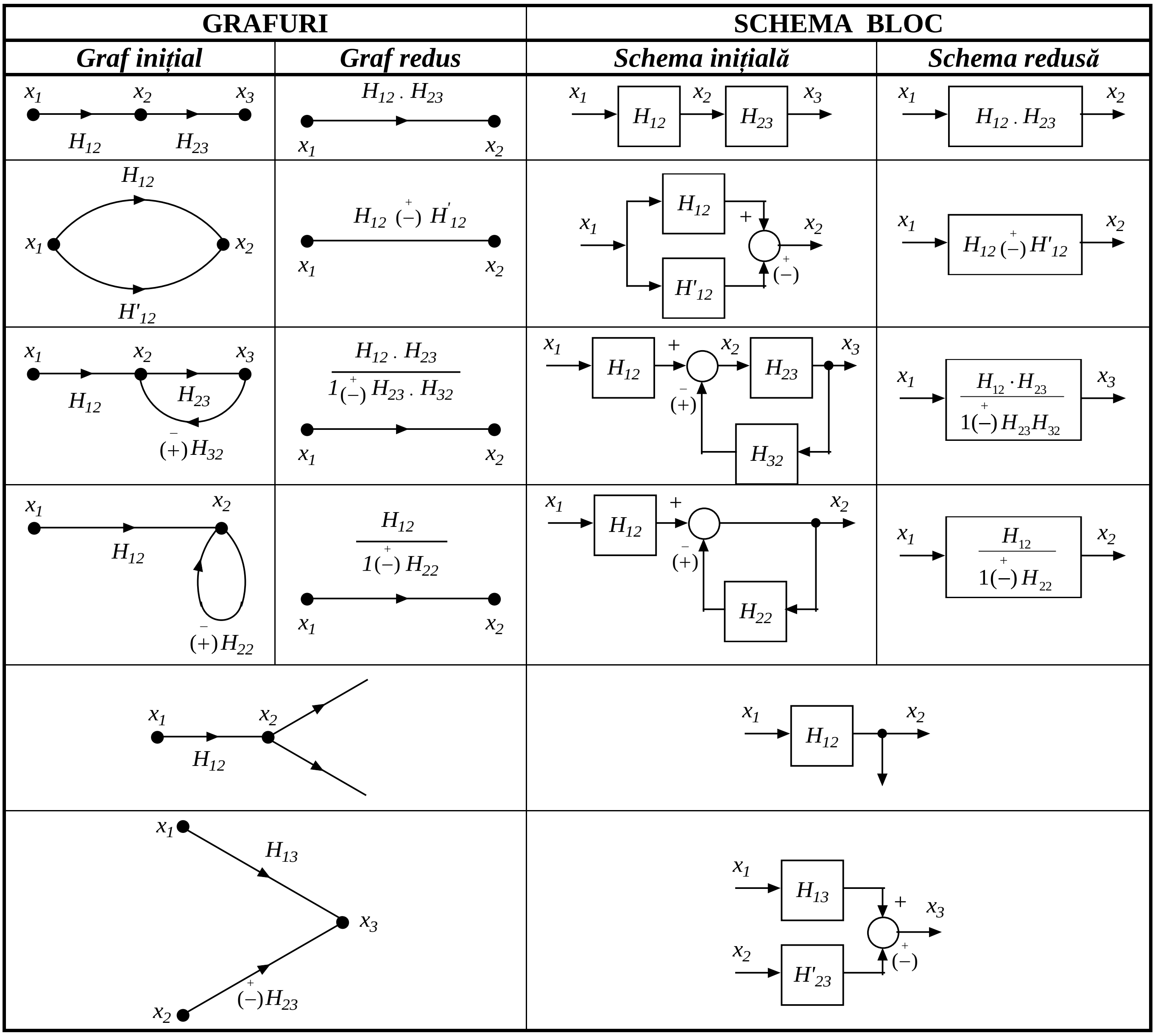
$$y_r(t) = \int_{\tau=-\infty}^{t} y_1(\tau)\,d\tau \qquad y_1(t) = \int_{\tau=-\infty}^{t} h(t)\,d\tau \qquad h(t) = \frac{dy_1(t)}{dt}$$

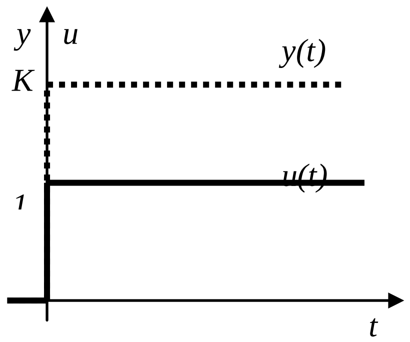
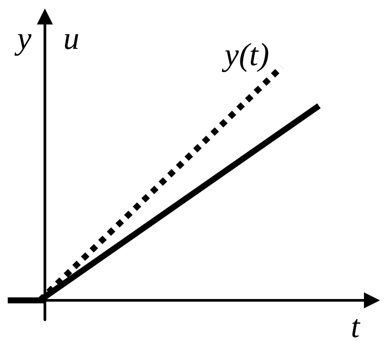
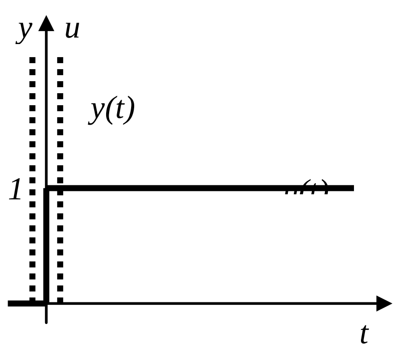
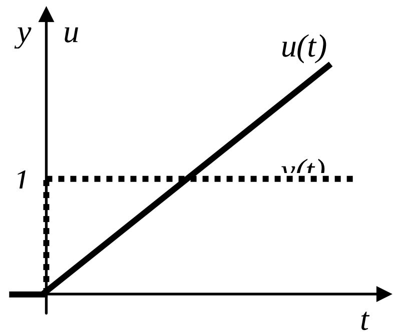
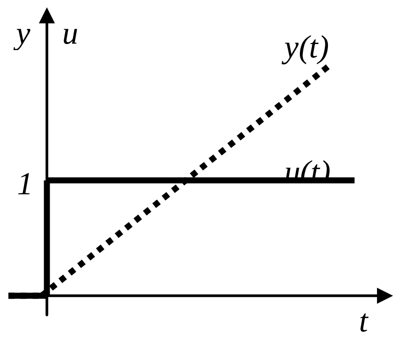
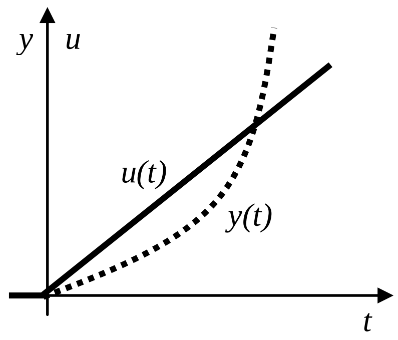
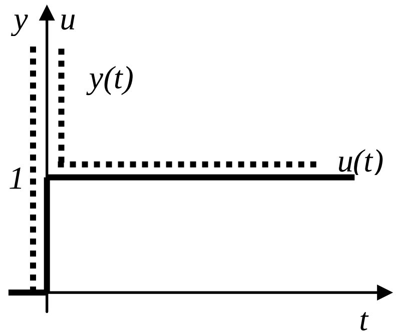
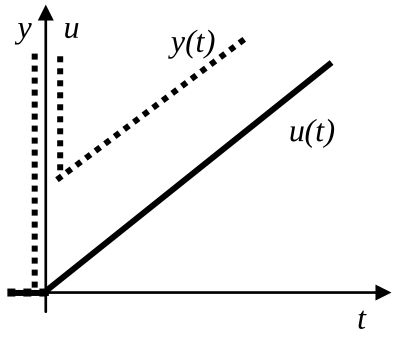
ANALIZA şi SINTEZA SISTEMELOR de REGLARE AUTOMATĂ

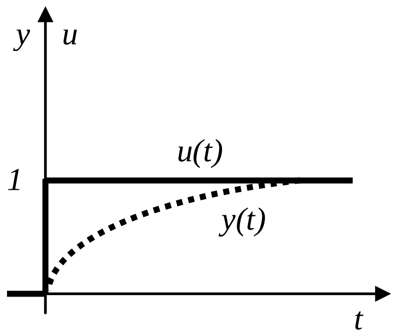
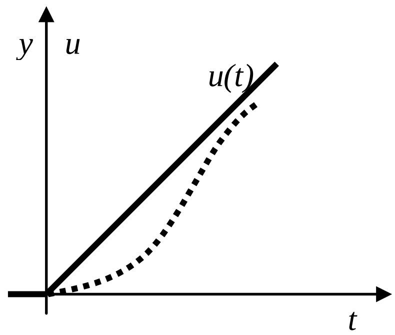
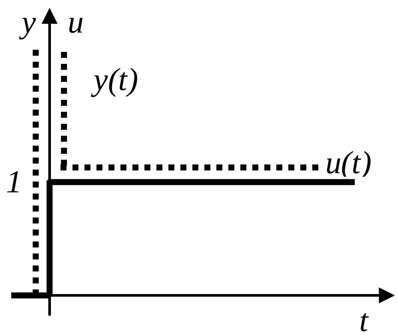
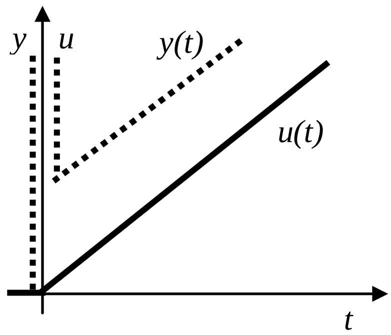
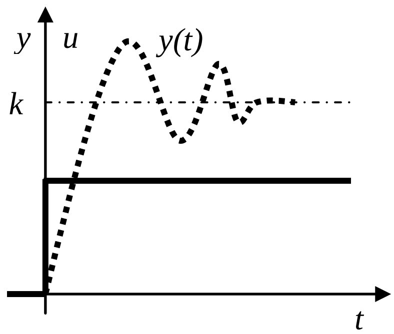
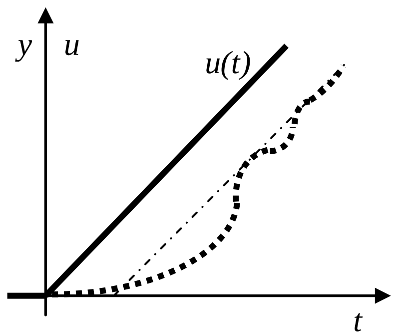
Domeniul *INGINERIA SISTEMELOR*	**PRINCIPALELE REGULI** **ALE ALGEBREI SCHEMELOR BLOC**	***7***

Nr crt	***Regula***	***Schema iniţială***	***Schema echivalentă***
1.	Legarea în serie (cascadă)		
2.	Cuplarea în derivaţie (paralel înainte)		
3.	Cuplarea în buclă (paralel înapoi)		
4.	Deplasarea unui punct de ramificaţie pe direcţia acţiunii (spre ieşire)		
5.	Deplasarea unui punct de sumare contrar direcţiei acţiunii (spre intrare)		
6.	Rigidizarea unei reacţii elastice		
7.	Sumarea unor reacţii multiple		

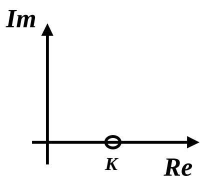
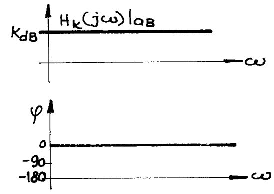
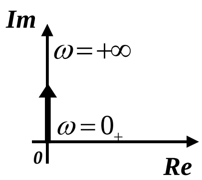
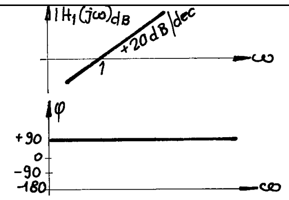
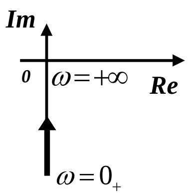
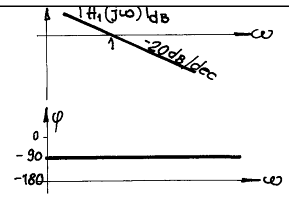
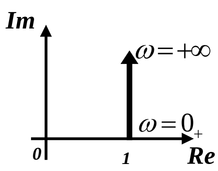
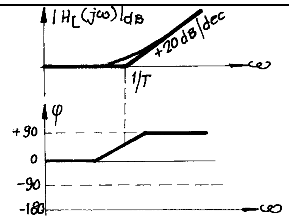
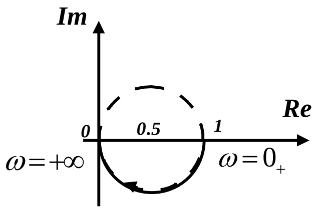
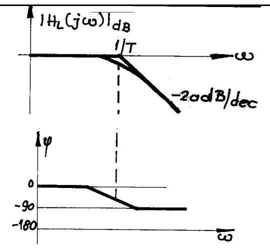
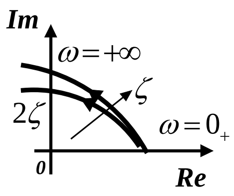
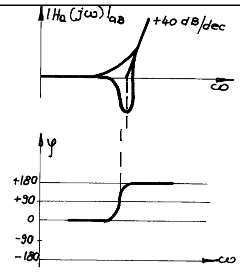
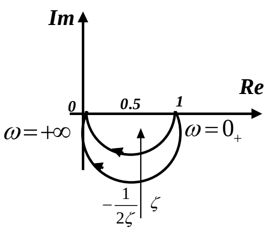
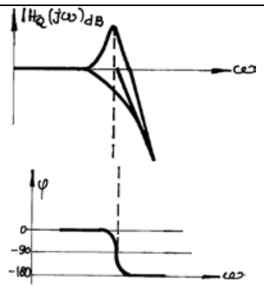
ECHIVALENȚA ÎNTRE SCHEMELE BLOC ȘI GRAFUL ATAȘAT

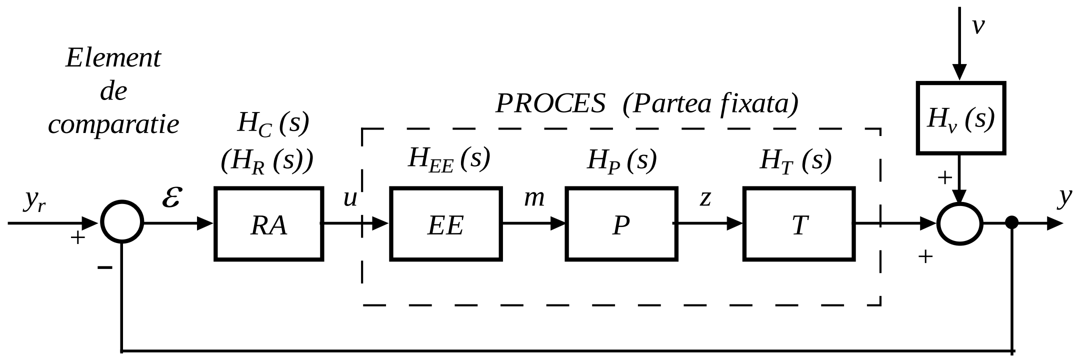


Nr crt	***Denumirea termenului tip / Funcţia de transfer***	***Răspunsul termenului***	
		1(t)	***t***
1.	Termen constant $H_K(s) = K$		
2.	Termen liber la numărător $H_D(s) = s$		
3.	Termen liber la numitor $H_I(s) = \frac{1}{s}$		
4.	Termen liniar la numărător $H_{La}(s) = 1 + sT$		

<table>
<tr><th rowspan="2">Nr crt</th><th rowspan="2">Denumirea termenului tip / Funcţia de transfer</th><th colspan="2">Răspunsul termenului</th></tr>
<tr><th>1(t)</th><th>t</th></tr>
<tr><td>5.</td><td>Termen liniar la numitor
$H_{Lî}(s)=\dfrac{1}{1+sT}$</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6.</td><td>Termen cuadratic la numărător
$H_{Qa}(s)=T^2s^2+2\xi Ts+1$</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7.</td><td>Termen cuadratic la numitor
$H_{Qî}(s)=\dfrac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}$</td><td></td><td></td></tr>
</table>

REPREZENTAREA ÎN FRECVENȚĂ A TERMENILOR TIP

nr crt	***Denumirea termenului tip*** *Funcția de transfer*	***Locul de transfer***	***Caracteristici semilogaritmice***
1	**Element constant:** $H_k(j\omega)=k$		
2	**Element derivativ** $H_{l_d}(j\omega)=j\omega$		
3	**Element integrator** $H_{l_i}(j\omega)=\frac{1}{j\omega};$		
4	**Element de anticipare de ordinul 1:** $H_{L_i}(j\omega)=j\omega T+1$		
5	**Element de întarziere de ordinul 1:** $H_{L_i}(j\omega)=\frac{1}{j\omega T+1};$		
6	**Element de anticipare de ordinul 2:** $H_{Q_i}(j\omega)=\left(1-T^2\omega^2\right)+j\omega 2\zeta T;$		
7	**Element de întarziere de ordinul 2:** $H_{Q_i}(j\omega)=\frac{k}{\left(1-T^2\omega^2\right)+j\omega 2\zeta T};$		



y_r – mărime de referință (consemn, impusă);

$\varepsilon \triangleq y_r - y$ - mărimea de eroare;

u – mărimea de comandă;
m – mărimea de execuție;
z – mărimea de calitate;
y – mărimea de măsură (de ieșire).

- Funcția de transfer a sistemului în circuit deschis:

$$H_b(s) \triangleq \frac{y(s)}{\varepsilon(s)} = H_C(s) \cdot H_{EE}(s) \cdot H_P(s) \cdot H_T(s)$$

- Funcția de transfer a erorii (elementului de comparatie):

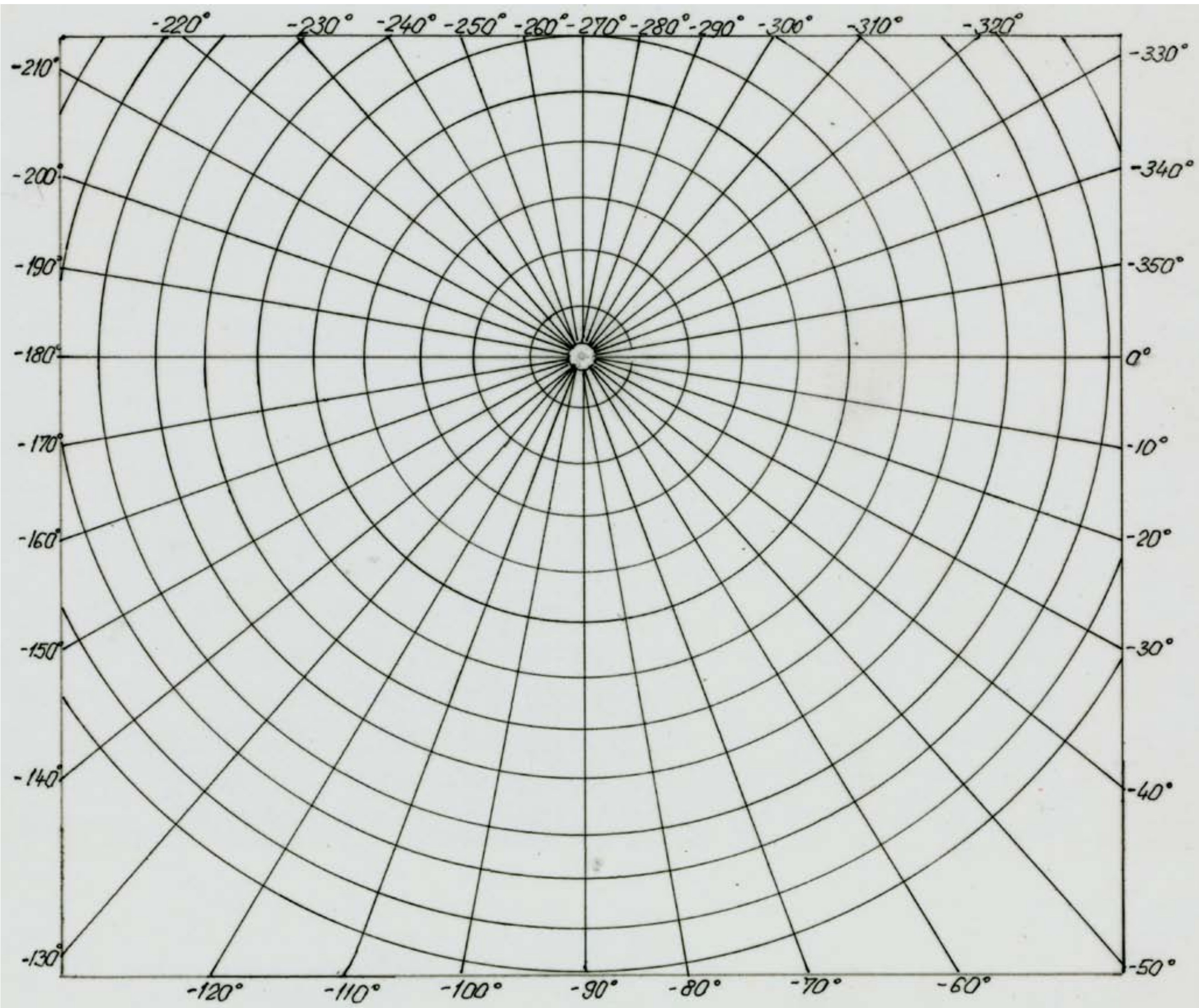
$$H_\varepsilon(s) \triangleq \frac{\varepsilon(s)}{y_r(s)} = \frac{1}{1 + H_b(s)}$$

- Funcția de transfer în circuit închis:

$$H_0(s) \triangleq \frac{y(s)}{y_r(s)} = \frac{H_b(s)}{1 + H_b(s)}$$

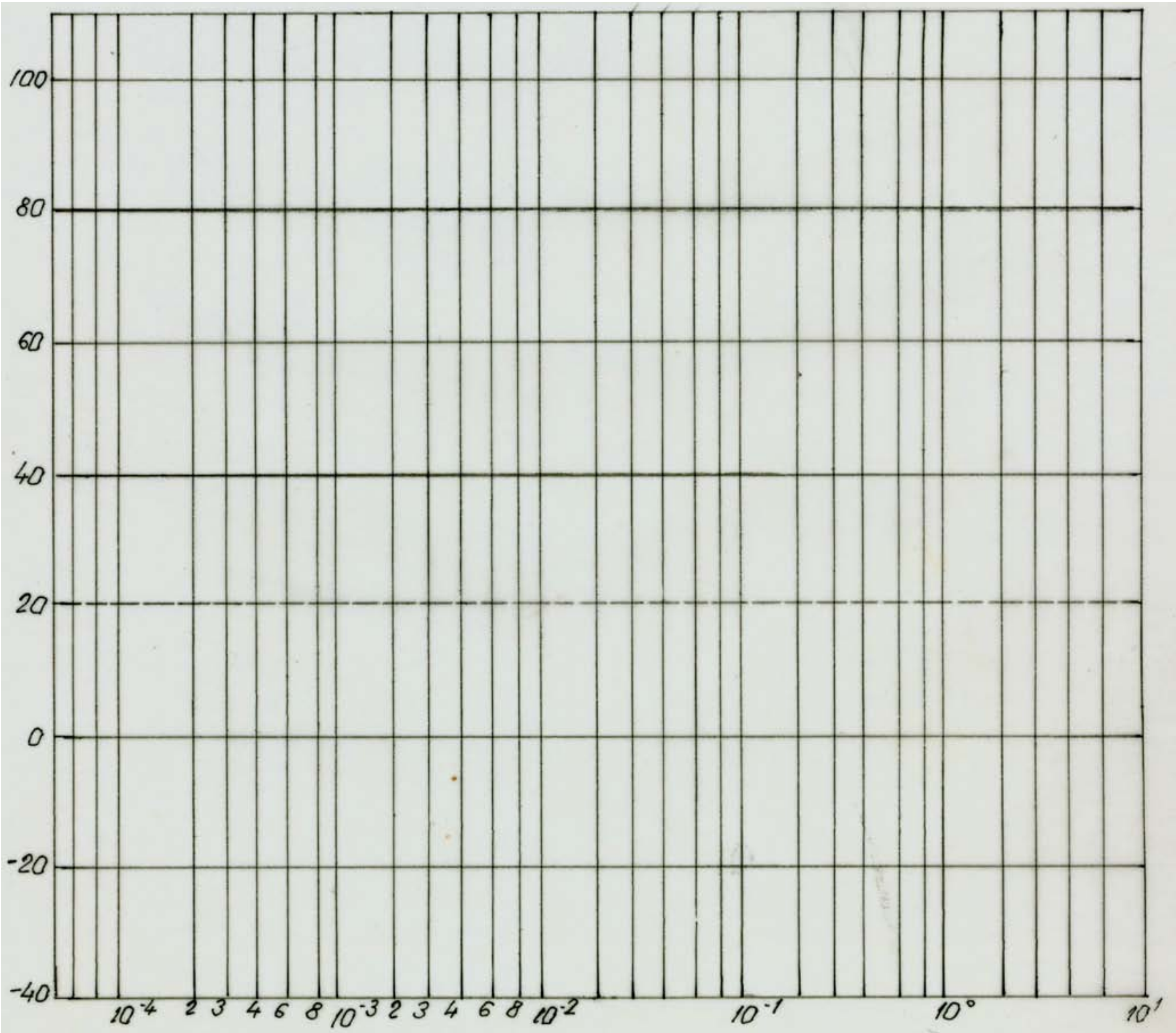
- Funcţia de transfer a perturbaţiei

$$H_v(s) = \frac{y(s)}{v(s)} = \frac{1}{1 + H_b(s)} H_v(s)$$

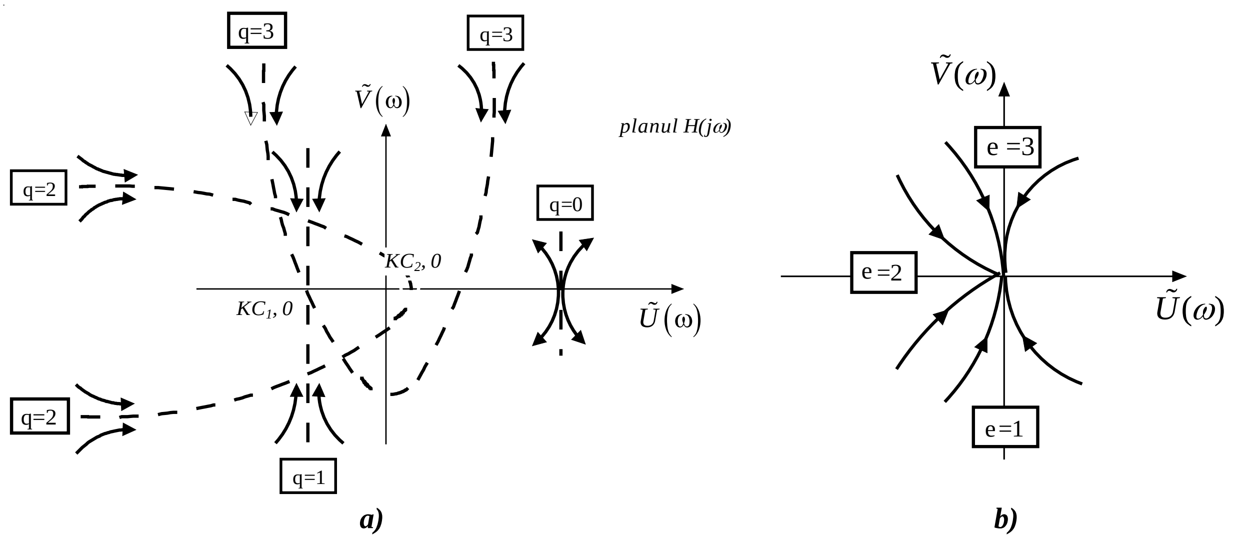


-220°
-230°
-240°
-250°
-260°
-270°
-280°
-290°
-300°
-310°
-320°
-330°
-210°
-340°
-200°
-350°
-190°
0°
-180°
-10°
-170°
-20°
-160°
-30°
-150°
-40°
-140°
-50°
-130°
-120°
-110°
-100°
-90°
-80°
-70°
-60°

CARACTERISTICA SEMILOGARITMICĂ



COMPORTAREA LOCULUI DE TRANSFER
la $\omega \to 0$ și la $\omega \to \infty$



Comportarea locului de transfer când: $a)\ \omega \to 0;\quad b)\ \omega \to \infty$

Tipul funcției de transfer	*Funcția de transfer aproximativă* $\tilde{H}(j\omega)$	*Ecuația asimptotei*
$q=0$	$\tilde{H}(j\omega)=K>0$	--
$q=1$	$\tilde{H}(j\omega)=KC_1-j\dfrac{C_0}{\omega}$	$\tilde{U}(\omega)=KC_1$
$q=2$	$\tilde{H}(j\omega)=K\left[C_2-\dfrac{C_0}{\omega}-j\dfrac{C_1}{\omega}\right]$	$\tilde{U}(\omega)=K\left[C_2-\dfrac{C_0}{K^2C_1^2}\tilde{V}^2(\omega)\right]$

EROAREA STAȚIONARĂ A UNUI S.R.A. FUNCȚIE DE TIPUL $H_b(s)$ și de $y_r(s)$

Eroarea staţionară a unui SRA la principalele intrări standard în funcţie de tipul lui $H_b(s)$

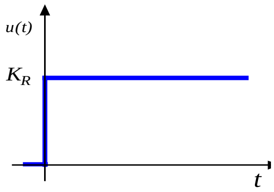
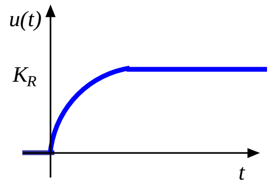
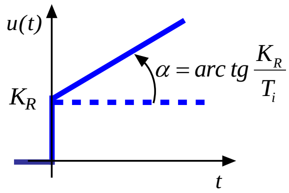
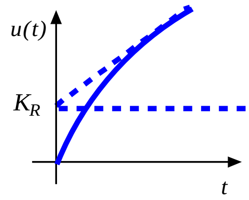
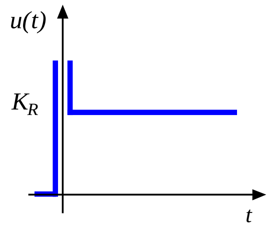
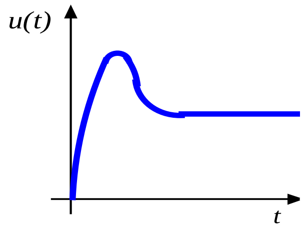
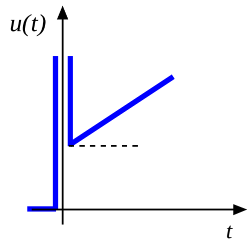
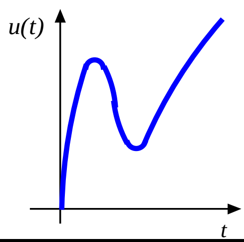
$y_r(s)$ / **Tip q**	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{1}{s^3}$
0	$1/(1+K_p)$	∞	∞
1	0	$1/K_v$	∞
2	0	0	$1/K_a$

$$H_b(s)=\frac{K}{s^q}G(s)$$

K_p - coeficientul erorii de poziție;

K_v - coeficientul erorii de viteză;

K_a - coeficientul erorii de accelerație;

Legea de comandă ideală	***Răspunsul ideal***	***Răspunsul real***
P $\varepsilon(t)\, u(t) = K_R \cdot \varepsilon(t)$		
PI $u(t) = K_R\left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i}\int \varepsilon(t)dt\right]$		
PD $u(t) = K_R\left[\varepsilon(t) + T_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}\right]$		
PID $u(t) = \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i}\int \varepsilon(t)dt + T_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}\right]$		

Fie

$$H_b(s) = K \cdot G(s) = K \frac{\prod_{i=1}^{m}(s - z_i)}{\prod_{i=1}^{m}(s - p_i)}$$

atunci polinomul caracteristic al sistemului rezultat în circuit închis va fi

$$\chi_A(s) = 1 + KG(s) = \prod_{i=1}^{m}(s - p_i) + K\prod_{i=1}^{m}(s - z_i)$$

Definim locul geometric al rădăcinilor ca locul caracteristicii polinominale a ecuaţiei caracteristice a SRA în planul s, cand $K \in \left[0, +\infty\right)$.

Locul rădăcinilor va fi definit prin relaţiile:

$$\frac{1}{K} = \frac{\prod^{m}|s - z_i|}{\prod^{m}|s - p_i|}$$

$$\Sigma^{m}(s - z_i) - \Sigma^{m}(s - p_i) = (2k+1)\pi,\ k \cong \mathbb{Z}$$

a) Localizarea polilor şi zerourilor. Numărul de ramuri şi felul lor.

Curbele continue, care reprezintă ramurile locului vor pleca din fiecare pol al lui *G(s)*, pentru care *K = 0*. Ramurile locului sunt functii univoce de *K* şi ele sfârşesc în zerourile lui *G(s)*, pentru care $K = \infty$; dacă există un exces de poli în raport cu zerourile, atunci ramurile vor tinde pe direcţii asimptotice spre zerourile de la infinit.

b) Domeniul axei reale ce aparţine locului include toate punctele de pe axa reală care se găsesc la stânga unui numar impar de poli şi zerouri.

c) Unghiul făcut de asimptote cu axa reală (pentru ramurile ce tind către zerourile de la infinit) se calculează prin relaţia:

$$\theta_k = \frac{(2k+1)\pi}{n_p - n_z} \qquad k \in \mathbb{Z}$$

până se obţin toate unghiurile în intervalul $0 \div 2\pi$ in care:
n_p – numărul polilor;
n_z – numărul zerourilor.

d) Centru de greutate al configuraţiei zerourilor şi polilor (intersecţia asimptotelor cu axa reală) s_{med} se calculează prin relaţia:

$$s_{med} = \frac{\sum_i p_i - \sum_i z_i}{n_p - n_z}$$

e) Intersecţia locului rădăcinilor cu axa reala (*punctul de ramificaţie*) σ_r se calculeză prin relaţia:

$$\sum_i \frac{1}{\sigma_r - z_i} - \sum_i \frac{1}{\sigma_r - p_i} = 0$$

f) Intersecţia locului rădăcinilor cu axa imaginară

Pornind de la condiția ca determinantul Hurwitz $\Delta H_n = 0$ se determină valoarea factorului de amplificare *K* care corespunde acestor puncte de intersecție.

Determinarea efectivă a acestor puncte se face prin înlocuirea valorii lui *K* în ecuaţia caracteristică şi calcularea rădăcinilor ei.

g) Două ramuri părăsesc (din poli) sau ating (spre zerouri finite) normal (sub un unghi $\pm 90^0$ *) axa reală în punctul de ramificare*.

h) Unghiurile sub care ramurile părăsesc polii complecşi şi unghiurile de sosire ale acestora în zerourile complexe pot fi determinate scăzând 180^0 din suma unghiurilor fazorilor construiţi între polul (zeroul) complex considerat şi respectiv toţi ceilalţi poli sau zerouri.

$$\phi_i = \left[-\left(\sum^{n=1} \theta_{i_{pi}} \right) + \sum_{1}^{m=1} \theta_{i_{z_i}} \right] - 180^0 \left(2k+1\right)$$

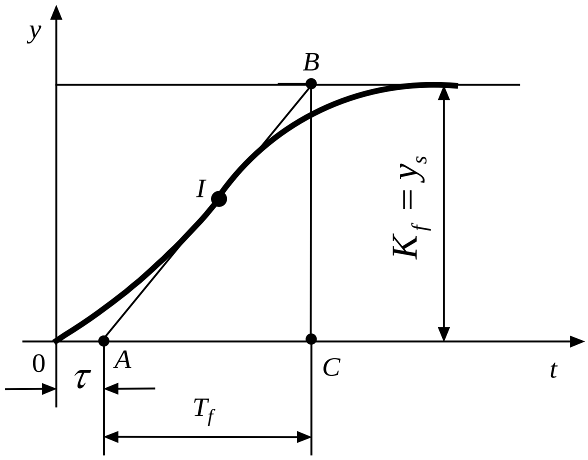
i) Gradări ale locului rădăcinilor în funcţie de valorile lui K.

Pe lângă valorile lui *K* în punctele de plecare *(K=0)* şi la intersecţia cu axele de coordonate, dacă mai interesează şi alte valori se poate proceda în modul urmator:

- Dacă se fixează una sau mai multe rădăcini se caută celelalte după ce în prealabil s-a determinat *K*.
- Grafic, utilizând relaţia:

$$K = \frac{1}{|G(s)|} = \frac{\prod |s - p_i|}{\prod |s - z_i|}$$

α) După raportul τ/T_f



Identificarea caracteristicilor procesului din răspunsul indicial

Alegerea tipului de regulator

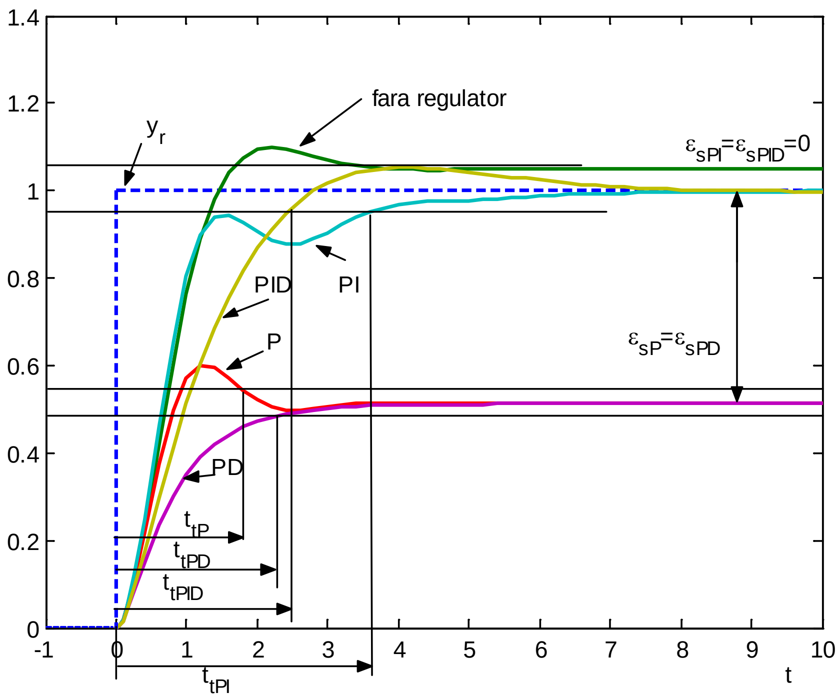
Valoarea τ / T_f	***Tipul de regulator ce se recomandă a fi utilizat***
0,2	Bipoziţional
< 1,0	RA cu acţiune continuă, cu componentele *P, I, D*.
> 1,0	RA cu caracteristici speciale sau sisteme de reglare complexe cu regulatoare avand componente *P, I, D*.

β) După parametru reglat

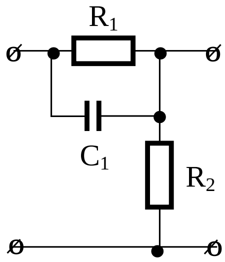
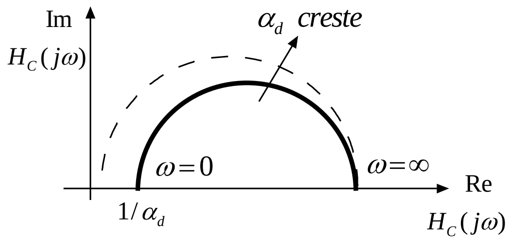
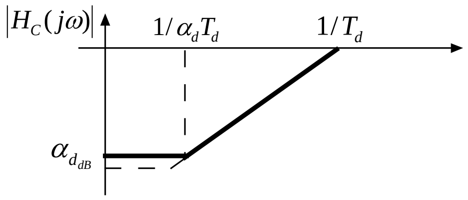
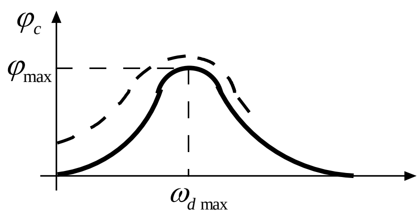
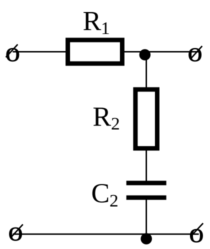
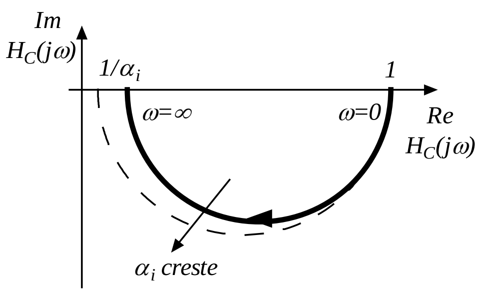
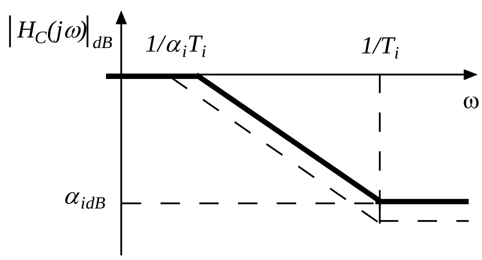
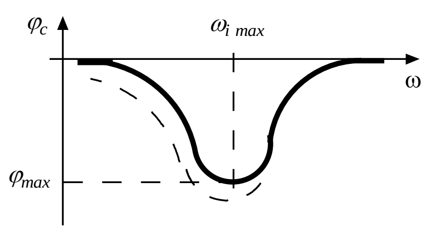
Alegerea tipului de regulator

Parametrul reglat	***Tipul regulatorului***	***Observaţii***
Nivel	*P*	τ / T_f mic, pentru KPF mare, RA cu KR mic.
	PI	pentru perturbații de debit de intrare și de ieșire la IT.
Presiune	*P*	pentru reglări simple
	PI	RA cu *BP* mare și T_I mic pentru lichide; *BP* mic și T_I mare pentru gaze.
	PID	Cazuri speciale; performanțe deosebite.
Temperatură	*PI, PID*	*IT* mare și τ / T_f mare
Debit si amestecuri	*PI*	*IT* are T_f mic și K_f mare.

γ) Influența componentelor P, I și D din legea de reglare asupra performanțelor dinamice și staționare ale unui SRA.



Răspunsurile în timp ale ieşirii unui SRA pentru diverse regulatoare continue, liniare

Tipul de reţea	*Funcţia de transfer*	*Caracteristici de frecvenţă*
Reţea cu avans de fază (Derivaţie)  	$H_C(s)=\frac{1}{\alpha_d}\cdot\frac{1+\alpha_d\cdot T_d\cdot s}{1+T_d\cdot s}$ $\alpha_d=\frac{R_1+R_2}{R_1}>1;$ $T_d=\frac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}\cdot C_1$ $\omega_{d\max}=\frac{1}{T_d\sqrt{\alpha_d}}$ $\varphi_{\max}=\arcsin\frac{\alpha_d-1}{\alpha_d+1}$	  
Reţea cu întârziere de fază (Integral)  	$H_C(s)=\frac{1+T_i\cdot s}{1+\alpha_i\cdot T_i\cdot s}$ $\alpha_i=\frac{R_1+R_2}{R_2}>1;\ T_i=R_2\cdot C_2$ $\omega_{i\max}=\frac{1}{T_i\sqrt{\alpha_i}}$ $\varphi_{\max}=\arcsin\frac{1-\alpha_i}{1+\alpha_i}$	  

CRITERIUL DE ACORDARE ZIEGLER - NICHOLS

Este un criteriu de minimizare a erorii dintre răspunsul real şi ideal.

Pentru un sistem ideal

$$\int_0^\infty (y_r - y)dt = \int_0^\infty \varepsilon \ dt = 0$$

iar pentru unul ideal

$$\int_0^\infty \varepsilon \ dt = \min.$$

Ţinând seama de o serie de particularităţi (sistem cu regim oscilant sau sistem cu $\varepsilon_s \neq 0$) Ziegler si Nichols au propus următoarea metodologie de acordare a regulatorului automat:

- se trece regulatorul pe lege de comandă *P;*
- se măreşte factorul de amplificare a acestuia (se micşoreaza *BP*) până când se ajunge la limita de stabilitate. Perioada oscilațiilor cu T_0 şi amplificarea la limita de stabilitate K_{R0} (BP_0).

În funcţie de K_{R0} şi T_0 se poate face o acordare a regulatorului pe baza următoarelor relaţii:

a) Pentru regulator ***P***

$$K_R = 0{,}5K_{R0}; \quad BP\% = 2BP_0\%$$

b) Pentru regulator ***PI***

$$K_R = 0{,}45K_{R0}, \ T_i = 0{,}85T_0$$

sau

$$BP\% = 2{,}2BP_0\%; \quad T_I = \frac{1}{1{,}2}T_0$$

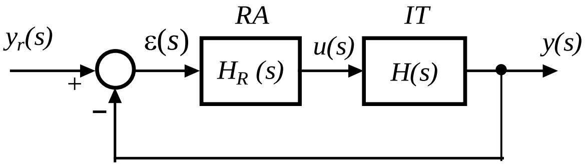
c) Pentru regulatorul ***PID***

$$K_R = 0{,}6K_{R0}, \quad T_I = 0{,}5T_0; \quad T_D = 0{,}12T_0$$

sau

$$BP\% = 1{,}6BP_0\%; \quad T_I = \frac{1}{2}T_0; \quad T_D = \frac{1}{8}T_0$$

Tipul regulatorului	***Raspuns aperiodic cu durată minimă***	***Raspuns oscilant cu*** $\sigma = 20\%$
I	$T_{i\ opt} = 4{,}5K_iT_i$	$T_{i\ opt} = 4{,}5K_iT_i$
P	$K_{0\ opt} = \frac{0{,}3}{K_f}\cdot\frac{T_f}{\tau}$	$K_{0\ opt} = \frac{0{,}7}{K_f}\cdot\frac{T_f}{\tau}$
PI	$K_{0\ opt} = \frac{0{,}6}{K_f}\cdot\frac{T_f}{\tau}$ $T_{i\ opt} = 0{,}8 + 0{,}5T_f$	$K_{0\ opt} = \frac{0{,}7}{K_f}\cdot\frac{T_f}{\tau}$ $T_{i\ opt} = \tau + 0{,}3T_f$
PID	$K_{0\ opt} = \frac{0{,}95}{K_f}\cdot\frac{T_f}{\tau}$ $T_{i\ opt} = 2{,}4\ \tau$ $T_{i\ opt} = 0{,}4\ \tau$	$K_{0\ opt} = \frac{1{,}2}{K_f}\cdot\frac{T_f}{\tau}$ $T_{i\ opt} = 2\ \tau$ $T_{i\ opt} = 0{,}4$



Se consideră un process caracterizat prin: $H(s)=\dfrac{1}{Js^2+Fs}$ cu T coeficient de inerție și F coeficient de frecare vâscoază

- ***$H_R(s) = K$ (P)***

$$H_b(s)=H_R(s)\cdot H(s)=\frac{K}{Js^2+Fs}$$

$$H_\varepsilon(s)=\frac{1}{1+H_b(s)}=\frac{Js^2+Fs}{Js^2+Fs+K}$$

$$\varepsilon(s)=\frac{Js^2+Fs}{Js^2+Fs+K}\cdot y_r(s)$$

a) $y_r(s)=\dfrac{1}{s}$

$$\varepsilon(s)=\frac{1}{s}\cdot\frac{Js^2+Fs}{Js^2+Fs+K}=\frac{Js+F}{Js^2+Fs+K}=\frac{s+\frac{F}{J}}{s^2+\frac{F}{J}s+\frac{K}{J}}$$

$$s_{1,2}=-\frac{F}{2J}\pm j\sqrt{\frac{K}{J}-\frac{F^2}{4J^2}}=-a\pm j\omega=-a\pm j\sqrt{\omega_n^2-a^2}$$

$$\omega_n=\sqrt{\frac{K}{J}}$$

$$\left|\begin{array}{l}\varepsilon(t)=\dfrac{\sqrt{a^2+\omega^2}}{\omega}\cdot e^{-at}\sin\left(\omega t+\varphi\right)\\ \varphi=arc\ tg\,\dfrac{\omega}{a}\end{array}\right.$$

Dacă $\omega=0\Rightarrow\dfrac{K}{J}-\dfrac{F^2}{4J^2}=0$ și acest lucru se întâmplă dacă constanta de amortizare ia valoare critică:

$$F_C=2\sqrt{KJ}$$

In acest caz sistemul se amortizează după un regim critic.

Se defineşte factorul de amortizare:

$$\xi = \frac{F}{F_C} = \frac{F}{2\sqrt{KJ}}$$

$$\Downarrow$$

$$a = \frac{F}{2J} = \frac{F}{2\sqrt{J}\cdot\sqrt{J}}\cdot\frac{\sqrt{K}}{\sqrt{K}} = \xi\cdot\omega_n$$

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

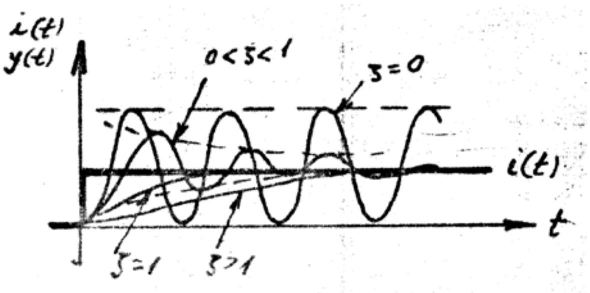
$$\varepsilon(t) = \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}\cdot e^{-\xi\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t+\varphi\right)$$

$$\varphi = arc\ tg\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$$

$$y(t) = 1-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}\cdot e^{-\xi\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t+\varphi\right)$$

Funcţie de ξ deosebim următoarele regimuri:

- $\xi = 0$ oscilatoriu întreţinut $y(t) = 1-\cos\omega_n t$
- $0<\xi<1$ oscilatoriu subamortizat $y(t) = 1-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}\cdot e^{-\xi\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t+\varphi\right)$
- $\xi = 1$ aperiodic amortizat critic $y(t) = 1-e^{-\omega_n t}\left(\omega_n t+1\right)$
- $\xi > 1$ aperiodic supraamortizat $$y(t) = 1-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}\cdot e^{-\xi\omega_n t}\,sh\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t+\varphi'\right)$$ $$\varphi' = arc\ th\frac{\sqrt{\xi^2-1}}{\xi}$$



b) $y_r(s) = \frac{1}{s^2}$

$$\left|\begin{array}{l} \varepsilon(s) = \dfrac{s+2a}{s\left[(s+a)^2+\omega^2\right]} \\ \varepsilon(t) = \dfrac{2a}{a^2+\omega^2} + \dfrac{1}{\omega} e^{-at} \sin(\omega t + \varphi) \\ \qquad \varphi = 2 arc\,tg \dfrac{\omega}{a} - \pi \end{array}\right.$$

$$\varepsilon_s = \lim_{s\to 0} s \quad \varepsilon(s) = \frac{2a}{a^2+\omega^2} = \frac{F}{K} = \frac{2\xi}{\omega_n}$$

- ***$H_R(s) = K + K_1 s$ (PD)***

$$H_b(s) = \frac{K + K_1 s}{Js^2 + Fs}$$

$$H_\varepsilon(s) = \frac{Js^2 + Fs}{Js^2 + (F + K_1)s + K} = \frac{s^2 + \frac{F}{J}s}{s^2 + \frac{F + K_1}{J} + \frac{K}{J}} = \frac{s^2 + 2r\xi\omega_n s}{s^2 + 2r\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$\xi = \frac{F + K_1}{2\sqrt{KJ}} = \frac{F}{2\sqrt{KJ}} + \frac{K_1}{2\sqrt{KJ}} = \xi_P + \xi_D$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{J}}$$

$$r = \frac{F}{F + K_1} \quad cu \quad \underset{(F=0)}{0} \le r \le \underset{(K_1=0)}{1} \Rightarrow F = \frac{rK_1}{1 - r}$$

$$\frac{F}{J} = \frac{F}{\sqrt{J}\cdot\sqrt{J}} \cdot \frac{F + K_1}{F + K_1} \cdot \frac{2}{2} \cdot \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{K}} = 2r\xi\omega_n$$

$$\frac{F + K_1}{J} = \frac{F + K_1}{\sqrt{J}\cdot\sqrt{J}} \cdot \frac{2}{2} \cdot \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{K}} = 2\xi\omega_n$$

a) $y_r(s) = \frac{1}{s}$

$$\varepsilon(s) = \frac{s + 2r\xi\omega_n}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$\left| \begin{array}{l} \varepsilon(t) = \sqrt{\dfrac{4r\xi^2(r-1) + 1}{1 - \xi^2}} \cdot e^{-\xi\omega_n t} \sin\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t + \varphi\right) \\ \varphi = arc\ tg\,\dfrac{\sqrt{1-\xi^2}}{(2r-1)\xi} \end{array} \right.$$

$$y(t) = 1 - \varepsilon(t)$$

$$La\ \ F = 0, r = 0 \Rightarrow \xi = \xi_0 \ne 0$$

Deosebim următoarele regimuri:

- $\xi = 0 \qquad \varepsilon(t) = \cos \omega_n t$
- $0 < \xi < 1$
- $\xi = 1 \qquad \varepsilon(t) = (1 + \omega_n t) e^{-\omega_n t}$
- $\xi > 1 \qquad \varepsilon(t) = \sqrt{\dfrac{4r\xi^2 (r-1) + 1}{\xi^2 - 1}} e^{-\omega_n t} sh\left(\omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} \cdot t + \varphi\right)$

$$\varphi' = arc\ th \frac{\sqrt{\xi^2 - 1}}{(2r-1)\xi}$$

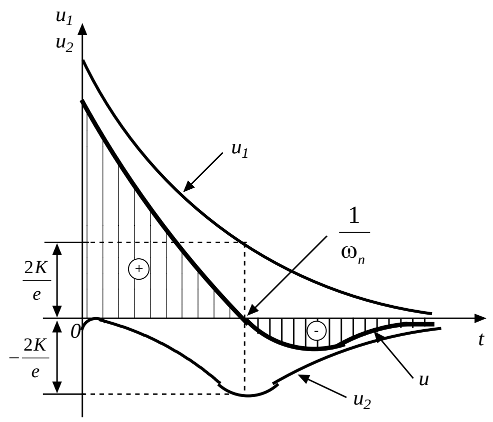
Se obține o amortizare bună și în absența lui F datorită acțiunii termenului derivativ.

Pentru a vedea modul cum dispozitivul de automatizare de tip PD acționează asupra procesului condus se va considera cazul particular de funcționare în regim critic:

$$\xi = 1 \quad si \quad F = 0\ (r = 0)$$
$$\xi = \xi_P + \xi_D = \xi_D = 1$$
$$\varepsilon(t) = e^{-\omega_n t}\left(\omega_n t + 1\right)$$

Mărimea de comandă:

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) = K\varepsilon(t) + K_1\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = K\left[\varepsilon(t) + \frac{K_1}{K}\cdot\frac{d\varepsilon(t)}{dt}\right]$$
$$\frac{K_1}{K} = \frac{K_1}{\sqrt{K}\sqrt{K}}\cdot\frac{2}{2}\cdot\frac{\sqrt{J}}{\sqrt{J}} = \frac{K_1}{2\sqrt{KJ}}\cdot 2\sqrt{\frac{K}{J}} = \xi_D\cdot 2\sqrt{\frac{J}{K}} = \frac{2}{\omega_n}$$
$$u(t) = K\left[\varepsilon(t) + \frac{2}{\omega_n}\cdot\frac{d\varepsilon(t)}{dt}\right]$$
$$u_1(t) = K\varepsilon(t) = K\left(\omega_n t + 1\right)e^{-\omega_n t}$$
$$u_2(t) = \frac{2K}{\omega_n}\left(-\omega_n^2 t e^{-\omega_n t} - \omega_n e^{-\omega_n t} + \omega_n e^{-\omega_n t}\right) = -2K\omega_n t e^{-\omega_n t}$$



b) $y_r(s)=\dfrac{1}{s^2}$

$$\varepsilon(s)=\frac{s+2r\xi\omega_n}{s\left(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2\right)}$$

$$\varepsilon(t)=\frac{2r\xi}{\omega_n}+\frac{\sqrt{2r\xi(r-1)+1}}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}e^{-\xi\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t+\varphi\right)$$

$$\varphi=arc\,tg\,\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{(2r-1)\xi}-arc\,tg\,\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{-\xi}$$

$$\varepsilon_s=\frac{2r\xi}{\omega_n}\neq 0$$

Putem să ne fixăm ε_s la valoarea dorită prin alegerea convenabilă a produsului $r\xi=r\left(\xi_D+\xi_P\right)=\dfrac{F}{2\sqrt{KJ}}$, deci alegând pe F:

$F_{imp},\xi_{imp}\Rightarrow\xi_{imp}=\dfrac{F_{imp}+K_1}{2\sqrt{KJ}}\Rightarrow K_1$ ca o consecință a alegerii erorii staționare dorite.

- $\boldsymbol{H_R(s) = K + \frac{K_2}{s}}$ ***(PI)***

$$H_b(s) = \frac{K + \frac{K_2}{s}}{Js^2 + Fs} = \frac{Ks + K_2}{s^2(Js + F)}$$

$$H_\varepsilon(s) = \frac{s^2(Js+F)}{Js^3 + Fs \;\; + Ks + K_2} = \frac{s^2\left(s + \frac{F}{J}\right)}{s^3 + \frac{F}{J}s^2 + \frac{K}{J}s + \frac{K_2}{J}} = \frac{s^2(s + 2\xi\omega_n)}{s^3 + 2\xi\omega_n s^2 + \omega_n^2 s + S\omega_n^3}$$

$$\frac{F}{J} = 2\xi\omega_n$$
$$\frac{K}{J} = \omega_n^2$$
$$\frac{K_2}{J} = S\omega_n^2 \Rightarrow S = \frac{K_2\sqrt{J}}{K^{3/2}}$$

$$s^3 + 2\xi\omega_n s^2 + \omega_n^2 s + S\omega_n^3 = (s + g\omega_g)(s^2 + 2h\omega_g s + \omega_g^2)$$

$$\left.\begin{aligned} 2\xi\omega_n &= 2g\omega_g \\ \omega_n^2 &= \omega_g^2(2gh+1) \\ S\omega_n^3 &= h\omega_g^3 \end{aligned}\right\} \Rightarrow S, \omega_n, \xi = f(h, g, \omega_g)$$

$$\xi = \frac{2g+h}{2\sqrt{2gh+1}}; \quad \omega_g = \frac{1}{\sqrt{2gh+1}} \cdot \omega_n; \quad S = \frac{h}{\sqrt{(2gh+1)^3}}$$

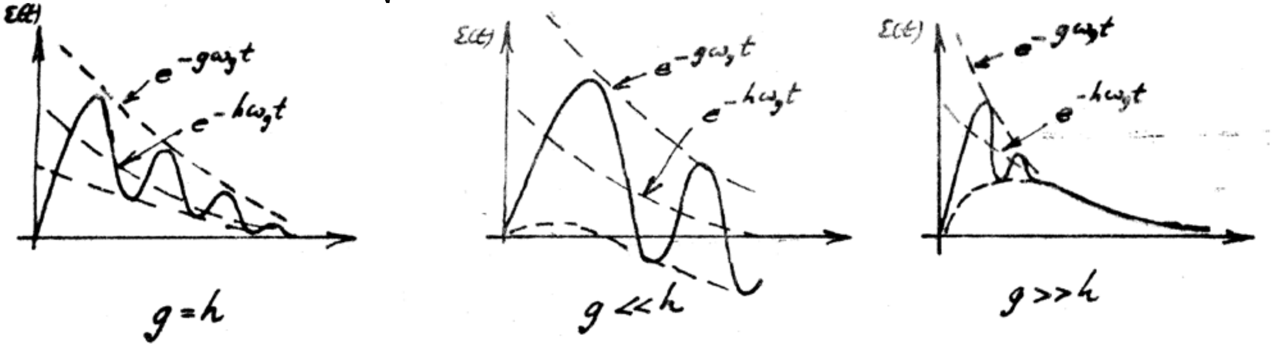
$$y_r(s) = \frac{1}{s}$$

$$\varepsilon(t) = Ae^{-h\omega_g t} + Be^{-g\omega_g t}\sin\left(\omega_g\sqrt{1-g^2}\,t + \varphi\right)$$

$$\varphi = arc\,tg\,\frac{2\sqrt{1-g^2}\left(\xi\omega_n - g\omega_g\right)}{g\left(2g^2-1\right)-2g\omega_n} - arc\,tg\,\frac{\sqrt{1-g^2}}{h-g}$$

$$A = \frac{h\left(h\omega_g - 2\xi\omega_n\right)}{\omega_g h\left(h-2g\right)+1}$$

$$B = \frac{\sqrt{\left[\omega_g g^2 - \omega_g\left(1-g^2\right)-2\xi g\omega_n\right]^2 + 4\left(1-g^2\right)\left(\xi\omega_n - g\omega_g\right)^2}}{g\sqrt{\left(1-g^2\right)\left[h\left(h-2g\right)+1\right]}}$$



Amortizarea oscilaţiilor se face după $T^{-1} = g\omega_g = \xi_{PI} = \xi\omega_n - \dfrac{S\omega_n^3}{2\omega_g^2} \le \xi\omega_n = \xi_P$ în care egalitatea se obţine la $S = 0$, deci $K_2 = 0$

- $\boldsymbol{H_R\left(s\right) = K + K_1 s + \dfrac{K_2}{s}}$ ***(PID)***

$$H_b\left(s\right) = \frac{K + K_1 s + \dfrac{K_2}{s}}{Js^2 + Fs}$$

$$H_\varepsilon\left(s\right) = \frac{s^2\left(Js+F\right)}{Js^3 + \left(F+K_1\right)s + Ks + K_2} = \frac{s^2\left(s+2\xi\omega_n\right)}{s^3 + 2\xi\omega_n s^2 + \omega_n^2 s + S\omega_n^3}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{J}}\,;\quad \xi = \frac{F+K_1}{2\sqrt{KJ}}\,;\quad r = \frac{F}{F+K_1}$$

$$\xi = \xi_P + \xi_D = \frac{F}{2\sqrt{KJ}} + \frac{K_1}{2\sqrt{KJ}}$$

Dacă punem în evidență polii:

$$s_1 = -h\omega_g$$
$$s_{2,3} = -g\omega_g \pm j\omega_g\sqrt{1-g^2}$$
$$H_\varepsilon(s) = \frac{s^2\left(s+2r\xi\omega_n\right)}{\left(s+h\omega_g\right)\left(s^2+2g\omega_g s+\omega_g^2\right)}$$
$$\left(g\omega_g\right)_{PID} = \xi\omega_n - \frac{S}{2}\cdot\frac{\omega_n^2}{\omega_g^2} = \left(\xi_P+\xi_D\right)\omega_n - \frac{S\omega_n^3}{2\omega_g^2}$$

Pentru:

$$S_D\omega_n \geq \frac{S}{2}\cdot\frac{\omega_n^3}{\omega_g^2}$$

se obține amortizarea mai bună ca la SRA de tip P, în condiții similare $\left(g\omega_g\right)_{PID} \geq \left(\xi_P\omega_n\right)_P$

Deoarece:

$$\xi_D = \frac{K_1}{2\sqrt{KJ}}\ ,$$

produsul $\xi_P\omega_n$ va fi: $\dfrac{K_1}{2\sqrt{KJ}} \geq \dfrac{K_1}{2K^{3/2}}\cdot\dfrac{\frac{K}{J}}{\omega_g^2}$ din care se poate obține valoarea raportului K_1/K_2 astfel ca să satisfacă cele două inegalități de mai sus.

Bibliografie

ILIESCU, St., S.	-	*Teoria reglării automate*, Ed. Proxima, București, 2006
SAVANT, C., J.	-	*Calculul sistemelor automate,* Ed. Tehnică, București, 1977
IONESCU, Vl.	-	*Teoria sistemelor. Sisteme liniare,* EDP, București, 1985
REUTER,M., ZACHER, S.	-	*Regelungstechnik für Ingineure. Analyse, Simulațion und Entwurf von Regelkreisen*, Vieweg, Brounschweig / Wiesbaden, 2002
ILIESCU, St., S., OLTEAN Ecaterina	-	*Regelungstechnik I. Hilfsblätter*, Ed. Printech, București, 2001
KOPELOVICI, A., P.	-	*Sisteme de reglare automată. Metode de calcul inginerești*, Ed. Tehnică, București, 1963
DUMITRACHE, I., coordonator	-	*AUTOMATICA vol.I*, Ed. Academiei Române, București, 2009

Investește în oameni !
Proiect cofinanțat din FONDUL SOCIAL EUROPEAN
prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013
Axa prioritară 1: „EDUCAȚIA ȘI FORMAREA PROFESIONALĂ ÎN SPIJINUL CREȘTERII ECONOMICE ȘI DEZVOLTĂRII SOCIETĂȚII BAZATE PE CUNOAȘTERE"
Domeniul major de intervenție 1.2 „Calitate în învățământul superior"
Cerere de propuneri de proiecte: nr. 86 „Universitate pentru viitor"
Titlul proiectului: ***"Rețea națională de centre pentru dezvoltarea programelor de studii cu rute flexibile și a unor instrumente didactice la specializarea de licență și masterat, din domeniul Ingineria Sistemelor"***
Numărul de identificare al contractului: **POSDRU/86/1.2/S/63806**

Obiectivul general al proiectului – vizează "asigurarea unui învățământ superior de calitate și performant, în domeniul fundamental de studiu "Ingineria Sistemelor" – IS, în vederea consolidării unei gândiri structurate și flexibile, ameliorării rezultatelor învățării la nivel de sistem, dobândirii de cunoștințe și competențe adaptate cerințelor pieței muncii, prin restructurarea conținuturilor programelor de studii din domeniu, și prin conștientizarea factorilor economici de utilitatea sprijinirii inserției pe piața muncii a acestor absolvenți."

Obiective specifice (OS)
OS 1 - "Identificarea necorelărilor dintre actuala curriculă și cerințele pieței muncii", sprijină intențiile promotorului proiectului de a constata care sunt eventualele necorelări între cerințele pieței muncii și oferta furnizorilor de educație în domeniul IS, în scopul identificării unor soluții și elaborării unor măsuri de implementare a acestora.
OS 2 – "Crearea unui plan de învățământ cu ajutorul unui Ghid curricular IS care va asigura formarea unor competențe compatibilizate la nivel european ale viitorilor specialiști IS", corespunde obiectivelor POS DRU prin elaborarea și adaptarea programelor de studiu pentru licență ăi masterat în domeniul IS cu ajutorul unor curricule îmbunătățite, în conformitate cu CNCIS și cu cerințele pieței muncii.
OS 3 - "Creșterea calității pregătirii studenților de la specializările IS în raport cu cerințele potențialilor angajatori, prin elaborarea și transpunerea în practica a unui proiect de curricula îmbunătățită".
OS 4 - "Promovarea parteneriatului între instituțiile de învățământ superior și actorii cheie relevanți în domeniul IS" - conduce la satisfacerea priorităților acestei cereri de propuneri de proiecte prin dezvoltarea și consolidarea unei rețele între universități, pe de o parte și actori cheie, relevanți pe piața muncii din domeniul IS (angajatori, patronate, asociații profesionale), pe de altă parte.
OS 5 – "Crearea unei rețele de 5 centre pentru cadrele didactice și studenții implicați în creșterea calității învățământului în Ingineria Sistemelor în România și în desfășurarea de bune practici la nivel național. "
OS 6 – "Realizarea unui portal *online* ca sursă de informare și documentare pentru profesorii și studenții care doresc, cât și ca un instrument modern și flexibil de comunicare, învățare și evaluare, stimularea cooperării și comunicării între studenți și chiar între studenți și elevii din licee în scopul atragerii acestora către domeniul IS"

UNIUNEA EUROPEANĂ | GUVERNUL ROMÂNIEI MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI, PROTECTIEI SOCIALE ŞI PERSOANELOR VÂRSTNICE AMPOSDRU | Fondul Social European POSDRU 2007-2013 | Instrumente Structurale 2007-2013 | MINISTERUL EDUCAŢIEI NAŢIONALE OIPOSDRU | UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCŢII DIN BUCUREŞTI

Investeşte în oameni !

Proiect cofinantat din FONDUL SOCIAL EUROPEAN prin Programul Operaţional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Axa prioritară 1: „EDUCAŢIA ŞI FORMAREA PROFESIONALĂ ÎN SPRIJINUL CREŞTERII ECONOMICE ŞI DEZVOLTĂRII SOCIETĂŢII BAZATE PE CUNOAŞTERE"
Domeniul major de intervenţie 1.2 „Calitate în învăţământul superior"
Cerere de propuneri de proiecte: nr. 86 „Universitate pentru viitor"

Titlul proiectului:

Reţea naţională de centre pentru dezvoltarea programelor de studii cu rute flexibile şi a unor instrumente didactice la specializarea de licenţă şi masterat, din domeniul Ingineria Sistemelor.

Numărul de identificare al contractului: **POSDRU/86/1.2/S/63806**
Beneficiar: Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti

Manager de proiect: prof. univ. dr. Mariana Marinescu

Editat de Beneficiar – Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti,
Editura CONSPRESS

Publicat la data : 13.05.2013

Proiect cofinanţat din Fondul Social European prin Programul Operaţional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013 | FONDUL SOCIAL EUROPEAN Investeşte în OAMENI

MINISTERUL EDUCAŢIEI NAŢIONALE | UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREŞTI | UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA | UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAŞI | UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIŞOARA | SC ASTI AUTOMATION SRL

ISBN 978-973-100-271-2