

Prefață

Teoria sistemelor și automatizări

Îndrumător de laborator

Prezentul îndrumător de laborator, destinat studenților de la profilul mecanic, conține un set de lucrări care completează materialul prezentat la curs și le oferă posibilitatea de a aplica practic o parte din conceptele din teoria sistemelor.

Fiecare lucrare începe cu descrierea teoretică a conceptelor abordate conținând și exemplificări pe studii de caz. Partea practică variază de la un laborator la altul, de la analiza stabilității unor sisteme și până la efectuarea de măsurători pe platforme didactice. La finalul lucrărilor, setul de întrebări are rolul de a fixa și mai bine principalele concepții studiate.

Laborator 1

Structura și funcțiile sistemelor de reglare automate

1.1 Considerații teoretice

Când ne referim la un sistem [1] vorbim de un ansamblu de elemente care interacționează atât între ele cât și cu mediul înconjurător pentru atingerea unui scop [2], legătura dintre sistem și mediul înconjurător realizându-se prin intermediul mărimilor de intrare și de ieșire.

Elementele și legăturile lor formează structura sistemului, iar funcția sistemului specifică modul în care sistemul va modifica mărimile de intrare, efectul observându-se în mărimile de ieșire.

Odată amintite noțiunile de bază putem enunța definiția unui sistem de reglare automată. Sistemele de reglare automată (SRA) sunt sisteme fizice artificiale construite pentru a impune legi de variație controlate unor mărimi fizice, parametri ai unor procese tehnologice.

Laborator 1. Structura și funcțiile sistemelor de reglare automate

1.1.1 Structura și funcțiile sistemelor de control în buclă deschisă

Un sistem în buclă deschisă este un sistem care nu primește informații de la mărimile de ieșire din proces. Structura unui astfel de sistem este prezentată în figura 1.1.

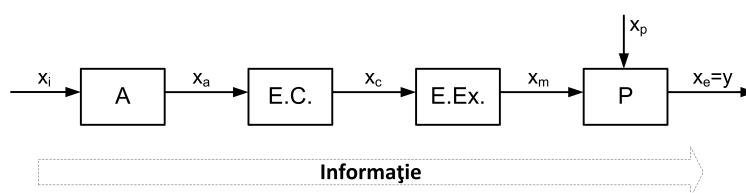


Figura 1.1: Structura sistemului în buclă deschisă

A reprezintă amplificatorul, E.C. elementul de comandă, E.Ex. elementul de execuție, iar P procesul sau instalația tehnologică.

Astfel mărimile de intrare amplificate intră în elementul de comandă care va furniza la ieșirea lui un semnal elementului de execuție (valvă, motor de c.c. etc.). Elementul de execuție va modifica starea procesului și va conduce la modificarea mărimii de ieșire din proces. Controlul se bazează exclusiv pe starea curentă și pe modelul procesului, iar datorită costurilor mici implicate ele sunt implementate în proceze simple.

Un exemplu de control în buclă deschisă este sistemul de irigații, programat să pornească la o anumită oră fără a măsura umiditatea solului. Chiar dacă va ploua sistemul de irigații se va activa la ora prestabilită, irosind apa. Aici se observă și marele dezavantaj al acestor sisteme: perturbațiile sau orice modificări din proces nu sunt observate de controler, acesta trimițând mereu aceeași comandă indiferent de starea procesului. Pentru eliminarea acestor neajusuri au fost create sistemele de control în buclă închisă.

1.1. Considerații teoretice

1.1.2 Structura și funcțiile sistemelor de control în buclă închisă

Un sistem în buclă închisă este un sistem în care informația din proces (din trecut sau din prezent) va influența starea procesului în momentul următor de timp. O reprezentare schematică a buclei se observă în figura 1.2 unde feedback-ul reprezintă calea de reacție în care semnalul de ieșire al procesului este reînțors la regulatorul automat.

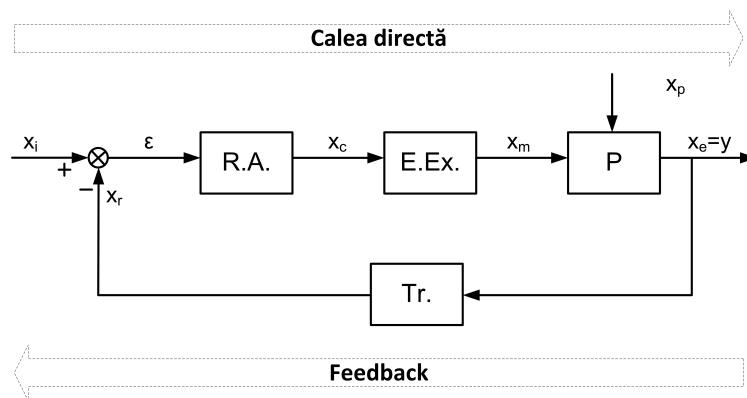


Figura 1.2: Structura sistemului în buclă închisă

În figura 1.2 R.A. reprezintă regulatorul automat, E.Ex. elementul de execuție, P procesul sau instalația tehnologică, iar Tr. reprezintă traductorul de măsură. Astfel, regulatorul automat va trimite elementului de execuție un semnal de comandă pentru a aduce la zero semnalul de eroare (diferența dintre valoarea curentă a semnalului de intrare sau referință și valoarea ieșirii procesului de la momentul anterior de timp).

Pentru exemplificarea funcționării sistemelor de control în buclă închisă vom prezenta sistemul de sincronizare al turăriei motoarelor electrice dintr-o linie continuă de prelucrare a materialelor textile [3].

Materialele textile se prelucrează sub formă de cupoane în linii continue formate din mai multe mașini care execută operații succesive. Fiecare mașină va

Laborator 1. Structura și funcțiile sistemelor de reglare automate

impune o viteza de avans care nu este mereu constantă. Astfel, pentru o trecere continuă și la o viteză constantă a cupoanelor prin întregul proces tehnologic este necesară sincronizarea avansurilor fiecărei mașini. O mașină va avea rol de conducător, iar celelalte vor trebui să se sincronizeze după ea. Un sistem ce realizează această operație este prezentat în figura 1.3.

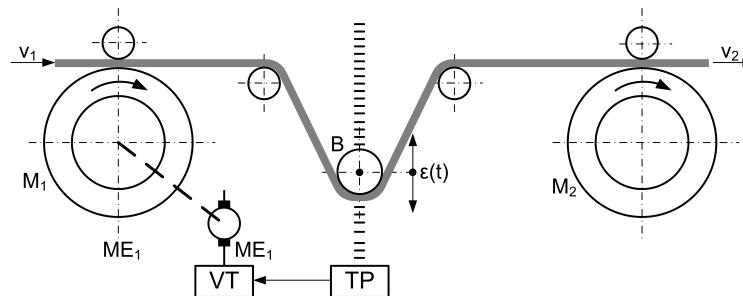


Figura 1.3: Sincronizarea turăției motoarelor dintr-o linie de prelucrare a materialelor textile

Elementele sistemului de reglare automată sunt:

- mașinile de prelucrare a țesăturii M_1 și M_2 ,
- motorul electric ME_1 ce antrenează mașina M_1 ,
- balerinul B , format dintr-o roată care se mișcă liber pe verticală,
- traductorul de poziție TP , care va transforma poziția balerinului într-un semnal electric,
- variatorul de turăție VT pentru motorul ME_1 .

Mașina M_2 va imprima țesăturii o viteza v_2 și are rolul de conducător. Dacă viteza v_1 imprimată țesăturii de M_1 este egală cu v_2 poziția balerinului va rămâne constantă, poziția centrală a balerinului corespunzând punctului optim de funcționare. Când $v_1 < v_2$ cantitatea de material dintre mașini va începe să scadă,

1.2. Desfășurarea lucrării

ceea ce va antrena ridicarea balerinului și apariția unei erori de poziție ϵ (comparativ cu poziția centrală). Dacă $v_1 > v_2$ balerinul va coborâ, iar eroarea va fi negativă. Regulatorul din variatorul de turăție va folosi semnalul ϵ pentru a elabora comenzi necesare ca turăția ME_1 să se modifice până la anularea erorii ϵ .

În acest ansamblu procesul este reprezentat de elementele care formează linia de prelucrare împreună cu cupoanele de material. Regulatorul este înglobat în VT , iar traductorul de reacție conține ca element senzitiv balerinul, la care se adaugă un sistem traductor de poziție. Elementul de execuție al sistemului este reprezentat de ME_1 .

1.2 Desfășurarea lucrării

În cadrul acestui laborator se vor determina elementele componente ale structurii de control automate precedate de o descriere amănunțită a modului de funcționare al celor două studii de caz.

Primul proces realizează reglarea mecanică a nivelului de carburant într-o cameră de nivel constant dintr-un carburator clasic [3] și este reprezentat în figura 1.4.

Q_I e debitul de intrare, Q_E debitul de ieșire, F flotorul, iar $C.P.$ e cuiul poantou. Să se explice ce se întâmplă la creșterea sau scăderea debitului de ieșire în camera de nivel constant și să se determine corespondența elementelor cu cele din bucla de reglare în circuit închis.

Al doilea proces reglează temperatura dintr-un cuptor încălzit electric [4], iar reprezentarea schematică se poate observa în figura 1.5(a)

K_1 este comutatorul de pornire al incălzirii în cuptor care funcționează la tensiunea de alimentare U . R este rezistența electrică de încălzire, iar K_2 un comutator bipozititional.

Laborator 1. Structura și funcțiile sistemelor de reglare automate

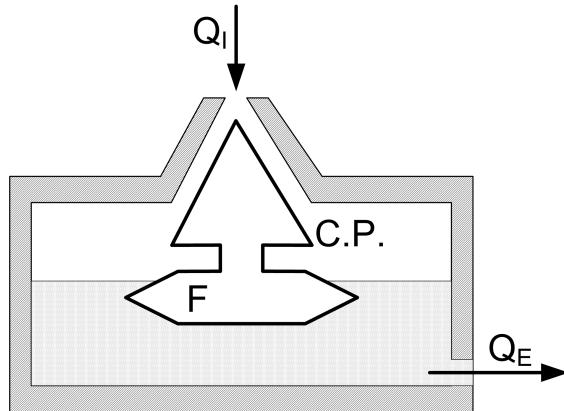


Figura 1.4: Reglarea nivelului de lichid cu ajutorul unui flotor

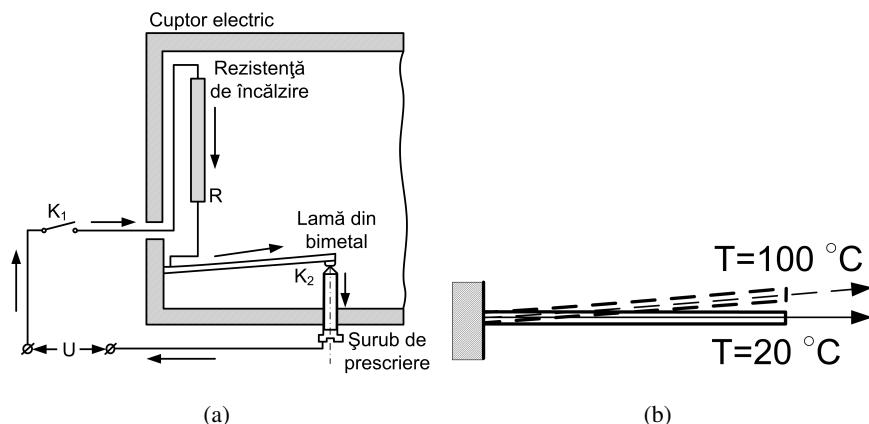


Figura 1.5: Sistem de reglare automată a temperaturii într-un cuptor electric (a) și modificarea formei lamei de bimetal cu creșterea temperaturii (b)

Să se precizeze ce se va întâmpla la închiderea comutatorului K_1 și cum va influența modificarea șurubului de prescriere temperatura din cuptor.

1.3. Întrebări / Recapitulare

1.3 Întrebări / Recapitulare

1. Care este diferența dintre structurile de control în buclă deschisă și cele în buclă închisă?
2. Care este rolul sistemelor de reglare automată?
3. Ce reprezintă semnalul de intrare al regulatorului automat?
4. Determinați analogia dintre reglarea temperaturii cuptorului încălzit electric și reglarea temperaturii fierului de călcat.

Laborator 1. Structura și funcțiile sistemelor de reglare automate

Laborator 2

Modelarea sistemelor automate / Transformata Laplace

2.1 Considerații teoretice

În teoria sistemelor, un model este definit ca o reprezentare conceptuală (abstractă) a unui sistem. Este de fapt o descriere schematică a unui sistem care explică proprietățile sistemului și este creat cu rolul de a studia comportarea sistemului inițial.

Pentru crearea modelului matematic se utilizează de obicei ecuații diferențiale care descriu comportamentul sistemului. În cadrul unor sisteme complexe ordinul ecuațiilor diferențiale și interdependența variabilelor pot crea probleme când se dorește rezolvarea acestor ecuații. O alternativă, care nu necesită integrarea ecuațiilor diferențiale, este reprezentată de transformata Laplace.

Laborator 2. Modelarea sistemelor automate

2.1.1 Transformata Laplace

Dacă y este o funcție continuă în timp, astfel încât $y = f(t)$, transformata Laplace a funcției este definită prin următoarea integrală:

$$\mathcal{L}[f(t)] = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt = F(s) \quad (2.1)$$

Transformarea din domeniul timp (t) în cel complex (s) este o transformare bijectivă, iar pentru perechile $f(t)$ și $F(s)$ există tabele de corespondență, iar transformatele pentru un set de funcții des întâlnite sunt reprezentate în tabelul 2.3. Astfel, ecuațiilor diferențiale și integrale le vor corespunde ecuații algebrice. Putem rezolva ușor ecuațiile algebrice, iar apoi, prin aplicarea transformatei Laplace inverse vom obține soluția ecuațiilor diferențiale cu un efort redus. Acest proces este reprezentat schematic în figura 2.1.

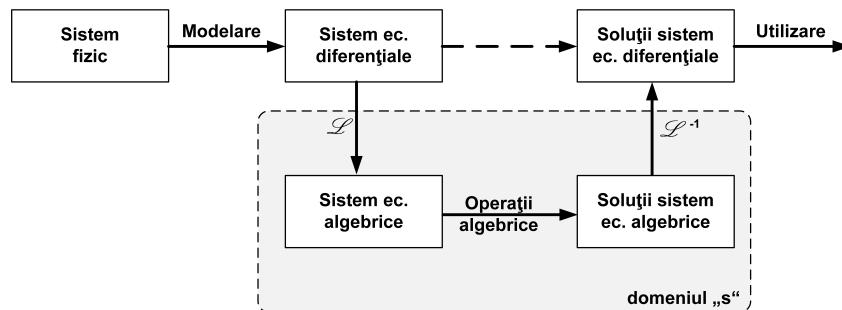


Figura 2.1: Procesul de rezolvare a ecuațiilor diferențiale prin aplicarea transformatei Laplace

2.2 Desfășurarea lucrării

Pentru început, se va aplica transformata Laplace și transformata Laplace inversă pe un set de funcții. După finalizarea acestui pas se va exemplifica modul

2.2. Desfășurarea lucrării

de aplicare a transformatei Laplace pe o aplicație practică, urmând a se rezolva o problemă similară.

2.2.1 Exerciții -partea 1

Aplicați transformata Laplace următoarelor funcții din domeniul timp și determinați funcția în domeniul "s"

$$1. f(t) = t^4$$

$$2. f(t) = e^{-at} + \sin(t)$$

$$3. f(t) = e^{-at}u(t) + \frac{du(t)}{dt}$$

$$4. f(t) = \sin(\omega_0 t)u(t) + \frac{du(t)}{dt}$$

Să se aplice transformata Laplace inversă următoarelor funcții din domeniul complex "s" și să se determine funcția echivalentă în domeniul timp

$$1. F(s) = \frac{1}{s - 1}$$

$$2. F(s) = \frac{1}{s(s + 1.5)}$$

$$3. F(s) = \frac{3}{s} + \frac{1}{s + 0.1} + \frac{1}{s^2 + 1}$$

$$4. F(s) = \frac{s^2 + as + 2a + a^2}{(s^2 + a^2)(s + 2)}$$

2.2.2 Aplicarea transformatei Laplace pe un caz practic

Pentru exemplificarea avantajelor utilizării transformatei Laplace pe o aplicație practică vom descrie modelul mișcării unui cărucior pe o suprafață plană sub influența unei forțe de tracțiune [5], sistem reprezentat în figura 2.2.

Laborator 2. Modelarea sistemelor automate

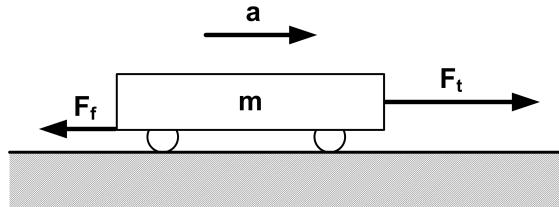


Figura 2.2: Mișcarea unui cărucior la aplicarea unei forțe de tracțiune

F_t reprezintă forța de tracțiune, F_f forța de frecare, a accelerația, iar m masa căruciorului. A doua lege de mișcare a lui Newton spune că, în cazul ideal, accelerația unui obiect depinde de două variabile: forța care acționează asupra obiectului și masa obiectului, ceea ce se reduce la:

$$F_t = m \cdot a. \quad (2.2)$$

În cazul real, va apărea și o forță de frecare $F_f = c \cdot v$ care se va opune forței de tracțiune. Astfel, ecuația precedentă devine:

$$F_t - c \cdot v = m \cdot a. \quad (2.3)$$

c reprezintă coeficientul de frecare și depinde de natura materialului din care este confectionat corpul și de gradul de prelucrare al suprafețelor aflate în contact. Valorile lui c sunt cuprinse între 0 și 1.

Prin trecerea forței de frecare din ecuația 2.4 în partea dreaptă și rescrierea accelerării ca derivată vitezei în funcție de timp ajungem la forma finală a ecuației de mișcare:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} + c \cdot v = F_t. \quad (2.4)$$

Pentru a determina viteza corpului în mișcare va trebui să rezolvăm o ecuație diferențială de ordinul 1. Nu este o problemă dificilă, dar în cazul unor

2.2. Desfășurarea lucrării

sisteme complexe, cu ecuații diferențiale de ordin superior complexitatea problemei crește. Aplicând transformata Laplace, ecuațiile diferențiale se transformă în ecuații algebrice, iar rezolvarea lor se va reduce la un set de operații algebrice simple.

Considerând $F_t = 500N$, $m = 1000kg$, $c = 50N \cdot s/m$ și $v(0) = 0$ [5], putem scrie ecuația de stare

$$m \cdot \frac{dv}{dt} + c \cdot v = F_t, \quad (2.5)$$

utilizând transformata Laplace

$$m \cdot sV(s) + cV(s) = F_t(s), \quad (2.6)$$

sau

$$V(s)(m \cdot s + c) = F_t(s). \quad (2.7)$$

Pentru a determina viteza căruciorului în domeniul s:

$$V(s) = \frac{F_t(s)}{m \cdot s + c}, \quad (2.8)$$

cu $F_t(s) = 500/s$ sau

$$V(s) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s(s + 0.05)}. \quad (2.9)$$

Pentru a reveni în domeniul timp vom aplica transformata Laplace inversă ecuației vitezei din domeniul complex

$$v(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s(s + 0.05)} \right\} = \frac{1}{2}(1 - e^{-0.05t}). \quad (2.10)$$

2.2.3 Exerciții -partea a 2-a

În continuare va trebui să determinați ecuația vitezei pentru următorul sistem

$$2 \frac{dv(t)}{dt} + 4v(t) = \frac{1}{2}u(t) \text{ cu } u(t) = 20 \text{ și } v(0) = 0. \quad (2.11)$$

Laborator 2. Modelarea sistemelor automate

2.3 Întrebări / Recapitulare

1. La ce se referă denumirea de model în teoria sistemelor?
2. Care este avantajul utilizării transformatei Laplace?
3. Ce este o transformare bijectivă?

 2.3. Întrebări / Recapitulare

Anexă: Tabel cu transformate și operații cu transformate Laplace

Tabelul 2.1: Tabel cu transformate Laplace

$f(t)$	$F(s)$
$\delta(t)$	a
k	$\frac{k}{s}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$e^{\pm at}$	$\frac{1}{s \mp a}$
$\pm \frac{1}{a} (1 - e^{\mp at})$	$\frac{1}{s(s \pm a)}$
$\sin(at)$	$\frac{a}{s^2 + a^2}$
$\cos(at)$	$\frac{s}{s^2 + a^2}$
$\int_0^t f(v)dv$	$\frac{F(s)}{s}$
$\frac{df(t)}{dt}$	$s \cdot F(s) - f(0)$
$\frac{d^{(n)}f(t)}{dt^{(n)}}$	$s^n \cdot F(s) - s^{n-1}f(0) - \dots - s \frac{d^{(n-2)}f(0)}{dt^{(n-2)}} - \frac{d^{(n-1)}f(0)}{dt^{(n-1)}}$

Laborator 2. Modelarea sistemelor automate

Tabelul 2.2: Tabel de operații cu transformate Laplace

$f(t)$	$F(s)$
$f_1(t) + f_2(r)$	$F_1(s) + F_2(s)$
$af(t)$	$aF(s)$
$e^{\pm\alpha t}f(t)$	$F(s \mp \alpha)$
$f(t - T)$	$e^{-Ts}F(s), T \geq 0$
$f(\frac{t}{a})$	$aF(as)$

Laborator 3

Algebra funcțiilor de transfer

3.1 Considerații teoretice

O funcție de transfer este reprezentată de raportul dintre transformata Laplace a mărimii de ieșire și transformata Laplace a mărimii de intrare în condiții inițiale nule sau simbolic

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_ms^m + \dots + b_1s + b_0}{a_ns^n + \dots + a_1s + a_0} \quad (3.1)$$

unde $U(s)$ este transformata Laplace a mărimii de intrare, $Y(s)$ transformata Laplace a mărimii de ieșire, iar $H(s)$ este funcția de transfer. $\{a_i, b_j\} \in \mathbb{R}$ cu $i \in [0, n]$ și $j \in [0, m]$, iar $m \leq n$.

O funcție de transfer, ca cea anterior definită, va caracteriza fiecare element al unui sistem pornind de la ecuațiile diferențiale liniare care descriu comportamentul elementului respectiv. Astfel, cu ajutorul unei funcții de transfer putem determina cuplul transmis de un motor printr-un segment al unui brat de robot. De interes este însă comportamentul sistemului complet care este dat de interacțiunea dintre elementele componente. Revenind la exemplul anterior, ne interesează valoarea cuplului de la extremitatea brațului unui robot (format din mai

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

multe segmente) generat de un motor amplasat la cealalta extremitate. Comportamentul sistemului va fi descris tot printr-o funcție de transfer determinată din funcțiile elementelor componente cu ajutorul algebrei schemelor bloc/algebrei funcțiilor de transfer, denumită funcție de transfer echivalentă.

O schema bloc este formată din patru tipuri de elemente și este o reprezentare schematică a elementelor componente ale unui sistem și a interacțiunilor dintre ele:

- Blocuri - care conțin funcții de transfer și descriu comportamentul elementului respectiv.
- Puncte de sumare - unde mai multe semnale se întâlnesc.
- Puncte de ramificație - care indică faptul că un semnal pleacă spre mai multe locuri.
- Săgeți - care indică sensul de curgere al semnalelor.

Algebra schemelor bloc se bazează pe trei tipuri de conexiuni: conexiunea serie, conexiunea paralel și conexiunea cu reacție, iar relațiile de simplificare pentru cele trei conexiuni vor fi descrise detaliat în continuare.

3.1.1 Conexiunea serie

Pentru determinarea funcției de transfer echivalente $H_{ech}(s)$ vom porni de la un caz particular reprezentat prin două funcții de transfer conectate în serie (Fig. 3.1).

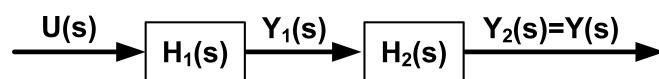


Figura 3.1: Două blocuri conectate în serie

3.1. Considerații teoretice

Din definiția funcției de trasfer $H(f) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ putem reprezenta ieșirea fiecărui bloc în funcție de intrarea blocului respectiv:

$$Y_1(s) = H_1(s) \cdot U(s), \quad (3.2)$$

$$Y_2(s) = H_2(s) \cdot Y_1(s). \quad (3.3)$$

Prin înlocuirea lui $Y_1(s)$ în ecuația lui $Y_2(s)$ obținem:

$$Y_2(s) = H_1(s) \cdot H_2(s) \cdot U(s), \quad (3.4)$$

ecuație din care putem determina funcția de transfer echivalentă a două blocuri conectate în serie, reprezentând raportul dintre transformata Laplace a ieșirii sistemului și transformata Laplace a intrării sistemului, fiind notată cu $H_{ech}(s)$:

$$H_{ech}(s) = H_1(s) \cdot H_2(s). \quad (3.5)$$

Din relația anterioară putem deduce forma funcției de transfer echivalentă pentru cazul general (n blocuri conectate în serie), reprezentând produsul funcțiilor de transfer din blocurile componente ale sistemului:

$$H_{ech}(s) = \prod_{i=1}^n H_i(s). \quad (3.6)$$

3.1.2 Conexiunea paralel

Conexiunea paralel este reprezentată printr-un set de blocuri care au aceeași intrare, iar ieșirile se însumează. Pornind din nou de la un caz particular reprezentat de două blocuri conectate ca în figura 3.2.

Putem exprima ieșirile celor două blocuri prin:

$$Y_1(s) = H_1(s) \cdot U(s), \quad (3.7)$$

$$Y_2(s) = H_2(s) \cdot U(s), \quad (3.8)$$

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

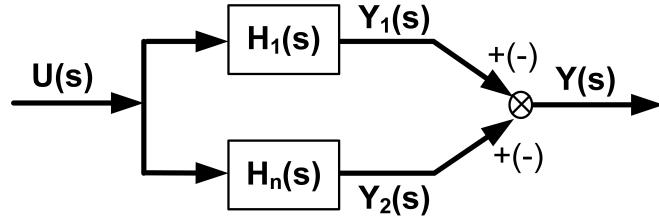


Figura 3.2: Două blocuri conectate în paralel

iar

$$Y(s) = \pm H_1(s) \pm H_2(s). \quad (3.9)$$

Prin înlocuirea lui $Y_1(s)$ și a lui $Y_2(s)$ în relația anterioară vom determina relația dintre ieșirea și intrarea sistemului:

$$Y(s) = [\pm H_1(s) \pm H_2(s)] \cdot U(s) \quad (3.10)$$

și, implicit a funcției de transfer echivalentă reprezentând suma funcțiilor de transfer ale blocurilor componente:

$$H_{ech}(s) = \pm H_1(s) \pm H_2(s). \quad (3.11)$$

Din relația anterioară putem deduce formula funcției de transfer echivalente pentru cazul general (n blocuri conectate în paralel), reprezentând suma funcțiilor de transfer conectate în paralel

$$H_{ech}(s) = \sum_{i=1}^n H_i(s). \quad (3.12)$$

Obs.: se observă că semnul din dreapta blocurilor de la intrarea din sumator se păstrează în funcția de transfer echivalentă.

3.1. Considerații teoretice

3.1.3 Conexiunea cu reacție

Două sisteme sunt conectate cu reacție dacă ieșirea unui sistem este adusă la intrarea lui printr-un alt sistem. Dacă semnul semnalului readus la intrarea primului sistem este minus conexiunea se numește cu reacție negativă, iar dacă este plus conexiunea se numește cu reacție pozitivă. Un astfel de sistem este reprezentat în figura 3.3 unde $U(s)$, $Y(s)$, $E(s)$ și $R(s)$ reprezintă semnalele de intrare, ieșire, eroare, respectiv de reacție, iar $H_d(s)$ și $H_r(s)$ reprezintă funcția de transfer de pe calea directă (de la intrare înspre ieșire), respectiv de pe reacție (de la ieșire înspre reacție).

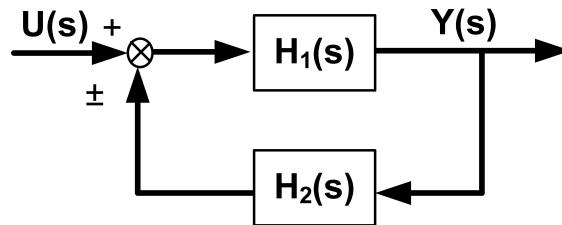


Figura 3.3: Conexiunea cu reacție

Pentru determinarea funcției de transfer echivalentă vom exprima semnalele de ieșire, reacție și eroare:

$$Y(s) = H_d(s) \cdot E(s), R(s) = H_r(s) \cdot Y(s), E(s) = U(s) \pm R(s), \quad (3.13)$$

și vom înlocui în prima relație semnalul de eroare și cel de reacție. Vom obține astfel:

$$Y(s) = H_d(s) \cdot [U(s) \pm R(s)] = H_d(s) \cdot [U(s) \pm H_r(s) \cdot Y(s)], \quad (3.14)$$

iar prin gruparea termenilor în funcție de intrare și ieșire

$$Y(s) [1 \mp H_d(s) \cdot H_r(s)] = H_d(s)U(s). \quad (3.15)$$

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

Din relația anterioară putem exprima funcția de transfer echivalentă a conexiunii cu reacție

$$H_{ech}(s) = \frac{H_d(s)}{1 \mp H_d(s) \cdot H_r(s)}. \quad (3.16)$$

3.1.4 Transformări

De multe ori, schemele bloc nu se află sub cele trei forme descrise mai sus, semnalele fiind interpuze în procesele complexe. Astfel, va fi nevoie de efectuarea unor transformări prin mutarea sumatoarelor și a punctelor de ramificație. În continuare vor fi prezentate 5 dintre cele mai întâlnite transformări:

- a) Deplasarea unui sumator în dreapta/după un bloc -Fig. 3.4
- b) Deplasarea unui sumator în stânga/înaintea unui bloc -Fig. 3.5
- c) Deplasarea unui punct de ramificație în dreapta/după un bloc -Fig. 3.6
- d) Deplasarea unui punct de ramificație în stânga/înaintea unui bloc -Fig. 3.7
- e) Deplasarea unui punct de ramificație de la ieșirea unui sumator, la intrarea acestuia -Fig. 3.8

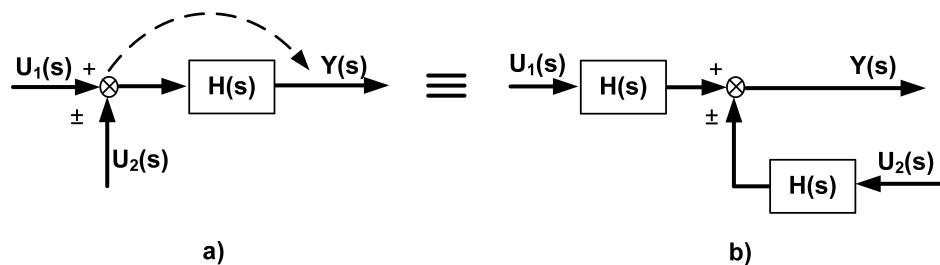


Figura 3.4: Deplasarea unui sumator la dreapta: a)schema inițială; b)schema transformată

3.1. Considerații teoretice

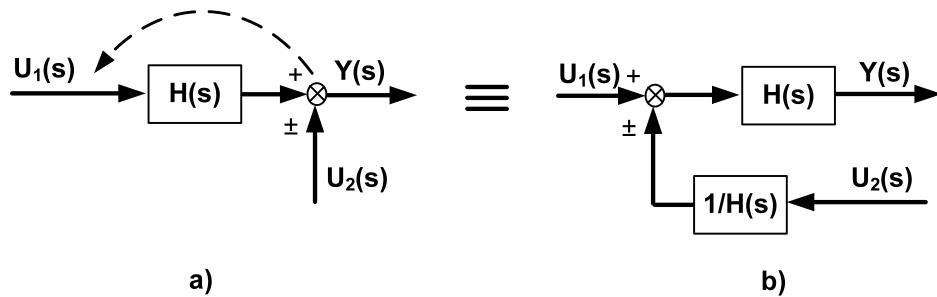


Figura 3.5: Deplasarea unui sumator la stânga: a)schema inițială; b)schema transformată

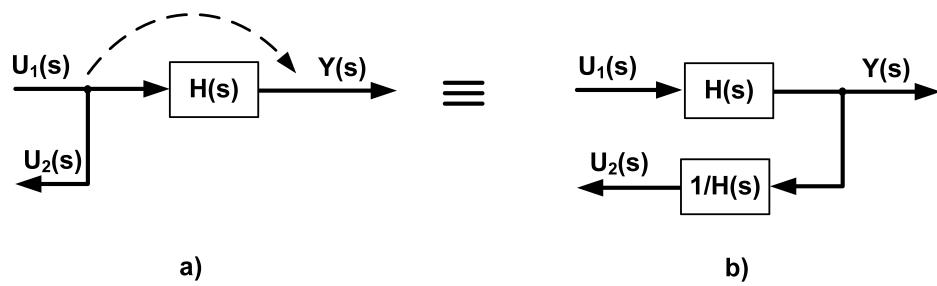


Figura 3.6: Deplasarea unui punct de ramificație la dreapta: a)schema inițială; b)schema transformată

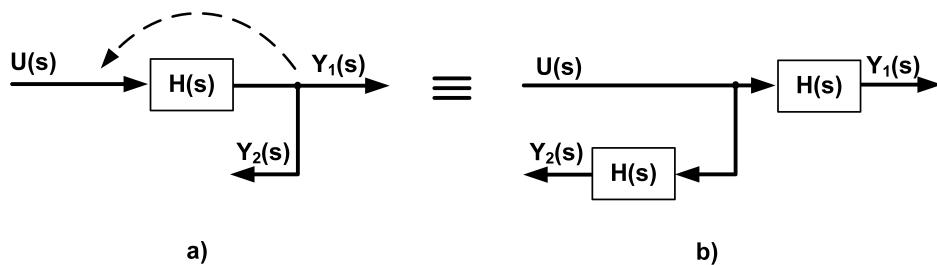


Figura 3.7: Deplasarea unui punct de ramificație la stânga: a)schema inițială; b)schema transformată

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

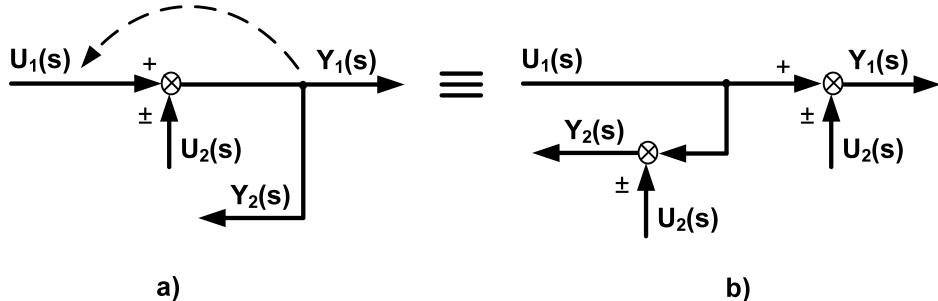


Figura 3.8: Deplasarea unui punct de ramificație de la ieșirea la intrarea unui sumator: a)schema inițială; b)schema transformată

3.2 Desfășurarea lucrării

În continuare vom prezenta modul de simplificare al schemelor bloc și de determinare al funcției de transfer echivalentă pe un exemplu. Astfel, pornind de la o schemă bloc ca cea reprezentată în figura 3.9 se cere simplificarea ei și determinarea funcției de transfer echivalente.

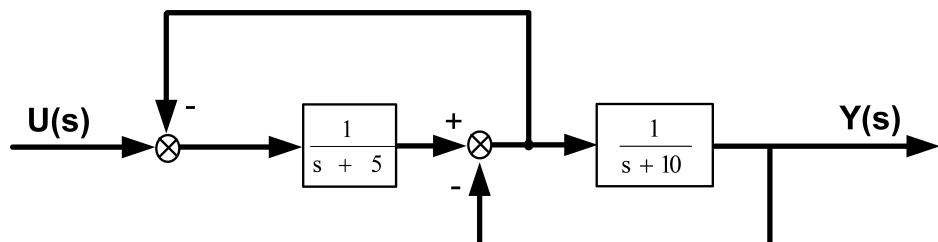


Figura 3.9: Schema bloc a unui sistem

Primul pas (pasul 0) constă în a efectua transformările impuse pentru a ajunge la o formă în care avem doar conexiuni de bază. Astfel, vom muta punctul de ramificație în dreapta blocului ce conține funcția de transfer $1/(s + 10)$, iar pentru aceasta se va adăuga pe reacție un bloc cu funcția de transfer $s + 10$ și va rezulta schema din figura 3.10.

3.2. Desfășurarea lucrării

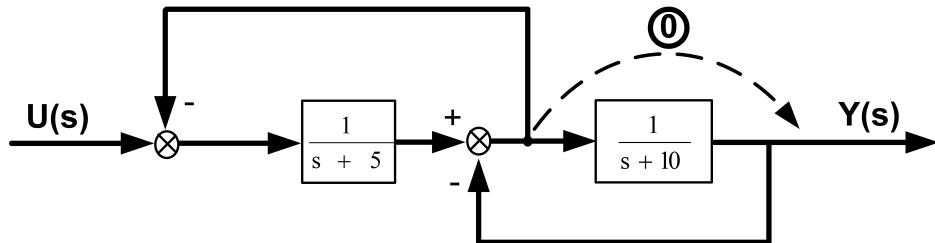


Figura 3.10: Schema bloc după efectuarea transformărilor

Vom începe apoi simplificarea schemei bloc, prin determinarea conexiunilor de bază, pornind de la buclele interne. Putem simplifica schema bloc în 3 pași ca și în figura 3.11.

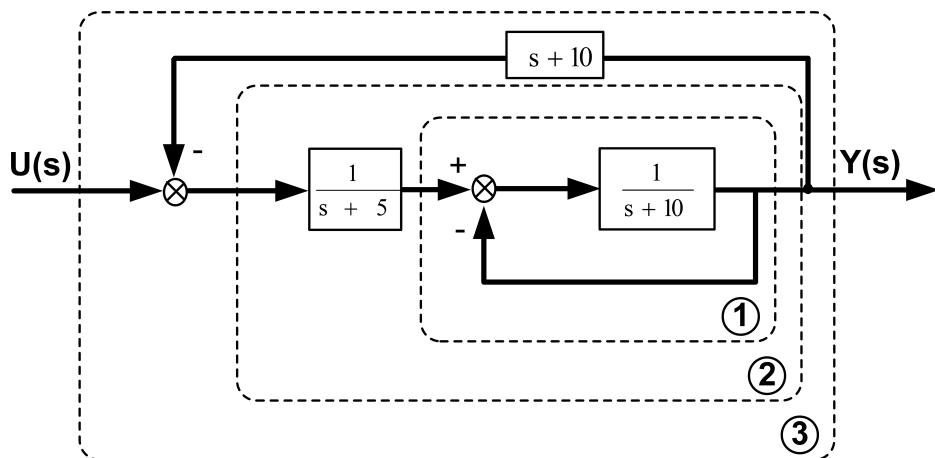


Figura 3.11: Simplificarea schemei bloc: pașii care trebuie urmați

Cei trei pași sunt:

1. Conexiune cu reacție

Funcția de transfer pe calea directă este: $H_d(s) = \frac{1}{s+10}$, iar pe reacție (reacție unitară) $H_r(s) = 1$. Putem astfel determina funcția de transfer echivalentă

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

pentru primul pas:

$$H_{ech_1}(s) = \frac{H_d(s)}{1 + H_d(s)H_r(s)} = \frac{1}{s + 11}, \quad (3.17)$$

iar schema bloc după primul pas de simplificare este prezentată în figura 3.12.

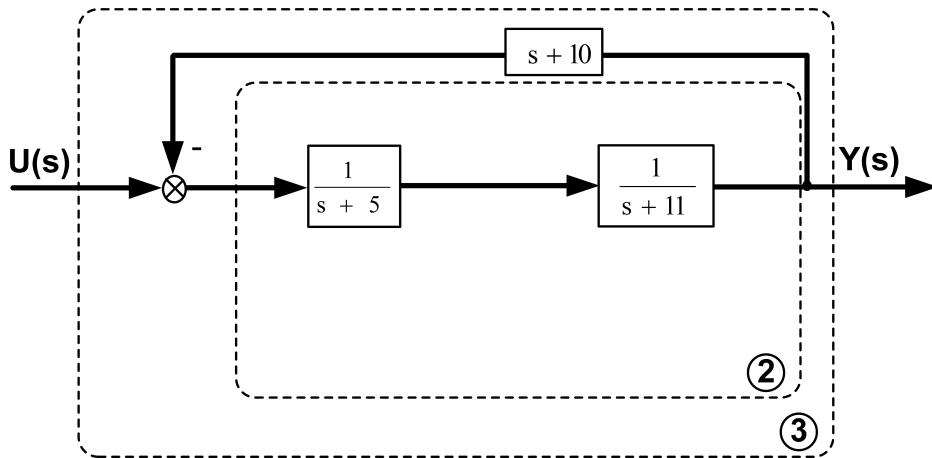


Figura 3.12: Schema bloc după primul pas de simplificare

2. Conexiune serie

Funcția de transfer echivalentă a conexiunii serie va fi egală cu produsul dintre funcția de transfer obținută la pasul 1 și funcția $\frac{1}{s+5}$:

$$H_{ech_1}(s) = \frac{1}{s + 11} \cdot \frac{1}{s + 5} = \frac{1}{s^2 + 16s + 55}, \quad (3.18)$$

iar schema bloc după al doilea pas de simplificare este prezentată în figura 3.13.

3. Conexiune cu reacție

Ultimul pas este reprezentat printr-o nouă conexiune cu reacție cu $H_d(s) = \frac{1}{s^2 + 16s + 55}$ și $H_r(s) = s + 1$. Funcția de transfer echivalentă va fi:

$$H_{ech_1}(s) = \frac{H_d(s)}{1 + H_d(s)H_r(s)} = \frac{1}{s^2 + 17s + 65}, \quad (3.19)$$

iar schema bloc simplificată este prezentată în figura 3.14.

3.3. Desfășurarea lucrării

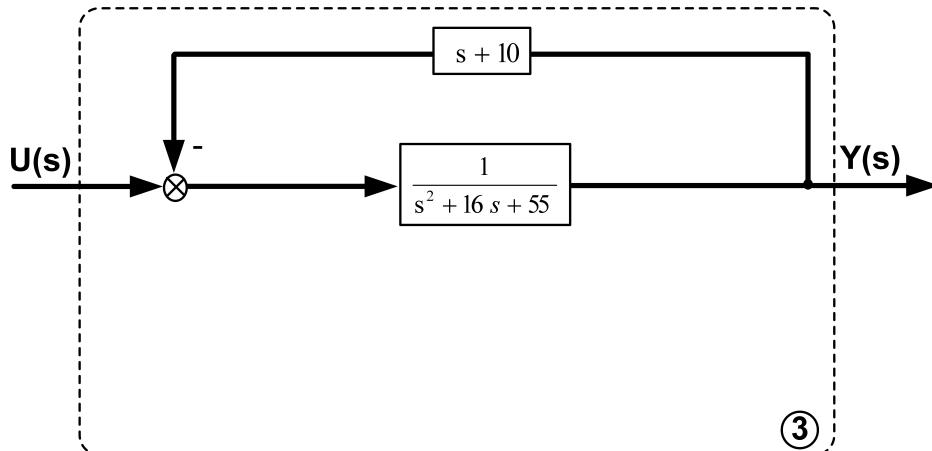


Figura 3.13: Schema bloc după al doilea pas de simplificare

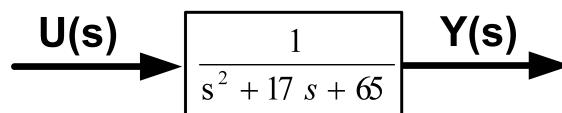


Figura 3.14: Schema bloc simplificată

3.3 Desfășurarea lucrării

Prin aplicarea regulilor algebrei funcțiilor de transfer se vor determina funcțiile de transfer echivalente pentru următoarele probleme (3.15-3.18).

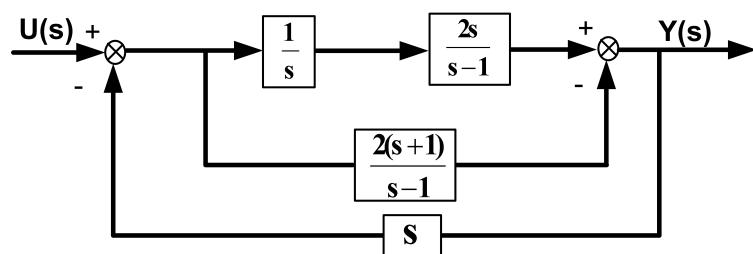


Figura 3.15: Problema 1

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

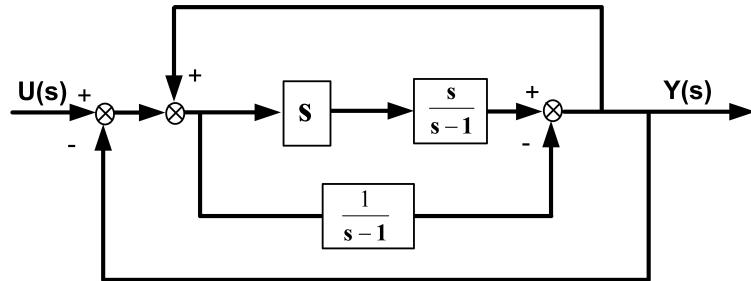


Figura 3.16: Problema 2

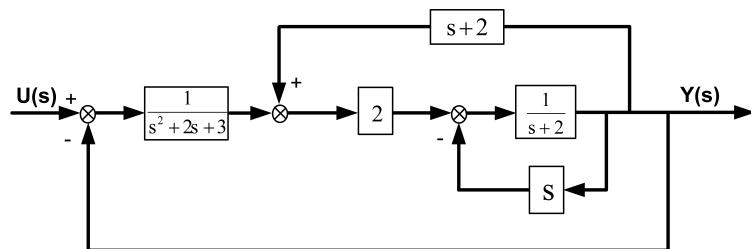


Figura 3.17: Problema 3

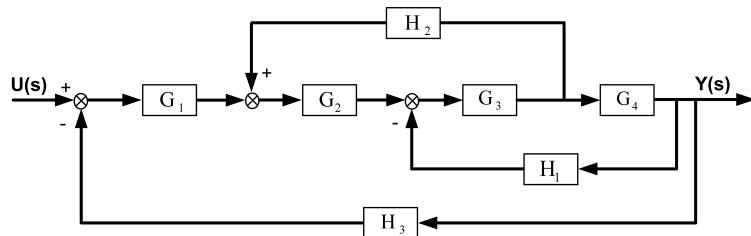


Figura 3.18: Problema 4

3.4 Întrebări / Recapitulare

1. Ce este o funcție de transfer?

3.4. Întrebări / Recapitulare

2. Pornind de la funcțiile de transfer ale elementelor componente ale unui sistem cum putem descrie comportarea întregului sistem?
3. Dați exemple de legături de reacție în aplicații practice.

Laborator 3. Algebra funcțiilor de transfer

Laborator 4

Stabilitatea sistemelor automate

4.1 Considerații teoretice

Stabilitatea este unul dintre cele mai importante proprietăți ale unui sistem. Se pot introduce două tipuri de stabilitate: stabilitatea internă (în sens Liapunov) și stabilitatea externă (de tip intrare mărginită, ieșire mărginită (BIBO)), în cadrul acestui laborator ne vom axa însă doar pe stabilitatea externă. Putem spune despre un sistem că este extern stabil dacă în urma unei acțiuni exterioare acesta revine în starea inițială sau într-o altă stare de echilibru. Pentru exprimarea stabilității vom lua ca și exemplu un sistem format dintr-o bilă situată pe o suprafață cilindrică. Astfel, dacă asupra bilei acționează, pentru o scurtă perioadă de timp, o forță exterioară care va conduce la modificarea poziției din punctul 1 în punctul 2, la eliminarea acestei forțe, bila va reveni printr-o serie de mișcări osculatorii în poziția inițială (poziția 1).

Stabilitatea externă depinde numai de polii sistemului, iar prin poli înțelegem rădăcinile numitorului funcției de transfer. Astfel, stabilitatea poate fi determinată fie prin determinarea polilor sistemului sau prin aplicarea unor alte criterii de stabilitate care nu necesită calculul direct al acestora (criterii algebrice sau

Laborator 4. Stabilitatea sistemelor automate

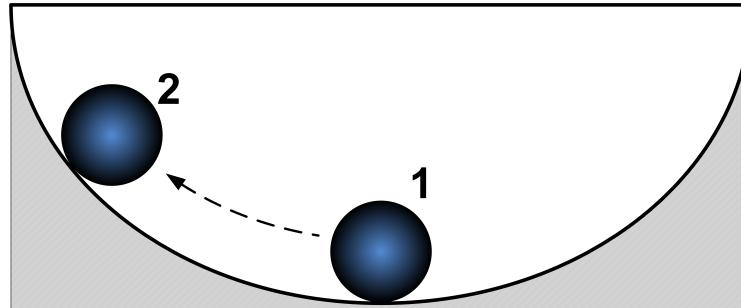


Figura 4.1: Stabilitatea unei sfere pe o suprafață cilindrică

frecvențiale).

Un sistem caracterizat prin funcția de transfer a sistemului $H(s)$ este:

- a) extern stabil \Leftrightarrow toți polii funcției $H(s)$ au partea reală ≤ 0 , iar acei poli care au partea reală $= 0$ trebuie să fie poli simpli
- b) extern strict stabil \Leftrightarrow toți polii funcției de transfer $H(s)$ au partea reală < 0

4.1.1 Criteriul de stabilitate în planul s

Considerând două funcții de transfer, una de ordinul 1 ($H_1(s)$) și cealaltă de ordinul 2 ($H_2(s)$) descrise mai jos:

$$H_1(s) = \frac{1}{(s + p)} \quad (4.1)$$

$$H_2(s) = \frac{1}{(s + p_a)(s + p_b)} \quad (4.2)$$

vom determina răspunsul sistemului la aplicarea unui semnal treaptă pe intrare în funcție de poziția polilor în planul complex "s" (Fig. 4.2).

Astfel, pentru sistemul de ordinul 1, $H_1(s)$, în funcție de polii sistemului, putem avea:

Răspuns aperiodic critic dacă polul sistemului este real negativ ($p = p_1$).

4.1. Considerații teoretice

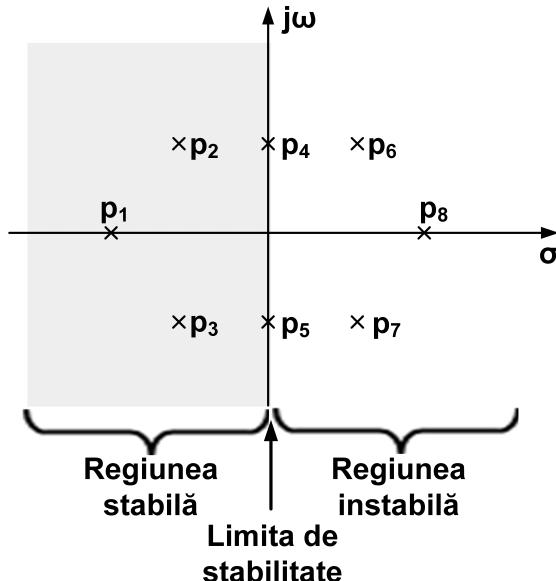


Figura 4.2: Domeniul de stabilitate

Răspuns instabil dacă polul sistemului este real pozitiv ($p = p_8$).

Pentru sistemul de ordinul 2, $H_2(s)$, avem trei tipuri de răspunsuri:

Răspuns oscilant amortizat dacă polii sistemului sunt complex conjugați cu partea reală negativă ($p_a = p_2, p_b = p_3$).

Răspuns oscilant întreținut dacă polii sistemului au partea reală egală cu zero ($p_a = p_4, p_b = p_5$).

Răspuns oscilant instabil dacă polii sistemului sunt complex conjugați cu partea reală pozitivă ($p_a = p_6, p_b = p_7$).

Grafic, răspunsurile stabile sunt reprezentate în figura 4.3, iar cele instabile în figura 4.4.

Laborator 4. Stabilitatea sistemelor automate

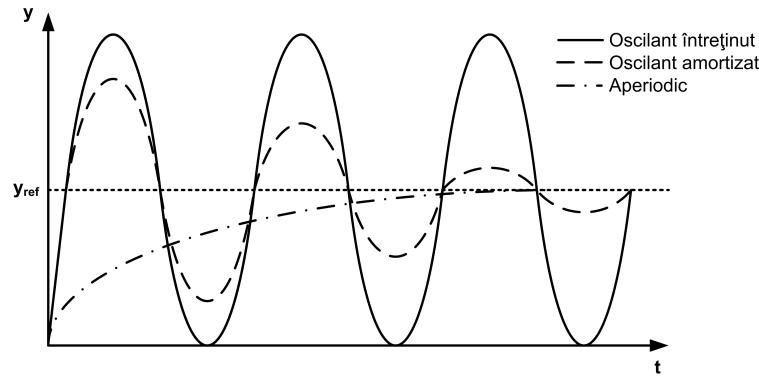


Figura 4.3: Reprezentarea grafică a ieșirii sistemelor stabile de ordinul 1 și 2 la aplicarea unei trepte pe intrare

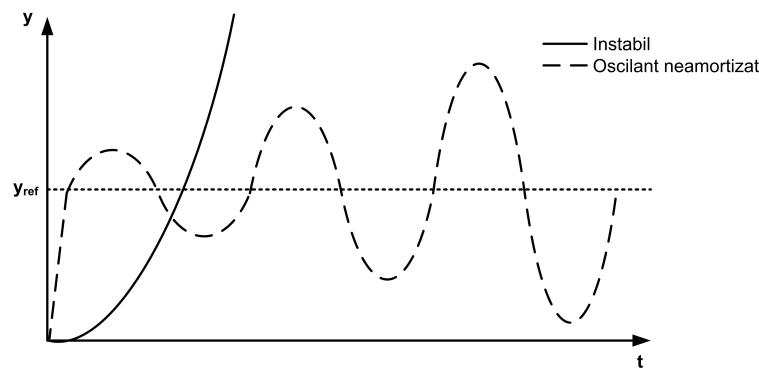


Figura 4.4: Reprezentarea grafică a ieșirii sistemelor instabile de ordinul 1 și 2 la aplicarea unei trepte pe intrare

4.2 Desfășurarea lucrării

4.2.1 Exerciții

Considerând următoarele funcții de transfer, se cere să se specifice și să se reprezinte grafic răspunsul sistemului la un semnal de tip treaptă.

4.2. Desfășurarea lucrării

1. $H(s) = \frac{1}{s+2}$
2. $H(s) = \frac{1}{s-3}$
3. $H(s) = \frac{s-1}{s+0.2}$
4. $H(s) = \frac{2}{s^2+s+1}$
5. $H(s) = \frac{2}{s^2+1}$
6. $H(s) = \frac{s+0.3}{s^2-2s+5}$

4.2.2 Analiza stabilității externe -exemplu practic

Se vor studia vibrațiile verticale provocate de urcarea unei roți a unui autoturism pe o bordură, proces reprezentat schematic în figura 4.5 unde m_1 reprezintă masa mașinii distribuită pe o roată, c amortizorul, k_1 constanta de elasticitate a resortului suspensiei, iar m_2 masa roții. Putem extinde modelul precedent prin descrierea roții printr-o constantă de elasticitate k_2 și prin masa m_2 . Acest model este reprezentat în figura 4.6 a). Considerând masa mașinii distribuită pe roată mult mai mare decât masa roții, vom neglija m_2 , iar constanta de elasticitate a sistemului o putem scrie ca:

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}.$$

Ajungem, astfel, la modelul simplificat al sistemului, reprezentat în figura 4.6 b).

Considerăm forța elastică F_e determinată de constanta de elasticitate a arcului

$$F_e = -kz(t)$$

Laborator 4. Stabilitatea sistemelor automate

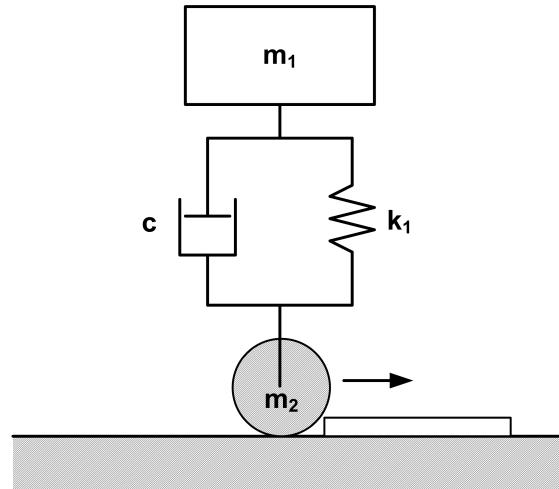


Figura 4.5: Reprezentarea schematică a suspensiei unui automobil utilizând modelul Kelvin-Voigt

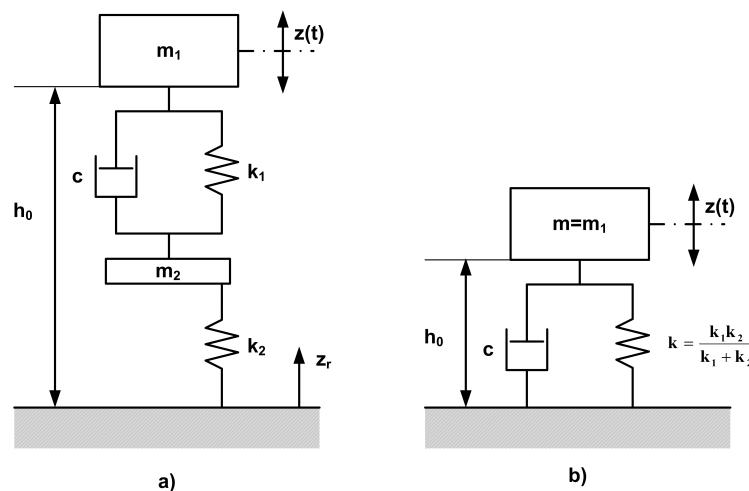


Figura 4.6: Modelul simplificat al suspensiei unui automobil

și forța de rezistență a amortizorului F_r descrisă prin coeficientul de rezistență

4.2. Desfășurarea lucrării

vâscoasă

$$F_r = -c \frac{dz(t)}{dt}.$$

dz/dt descrie viteza de deformare a sistemului.

Aplicând legea a doua a lui Newton, se poate scrie ecuația mișcării verticale a sistemului la urcarea pe o bordură considerând următoarele valori pentru parametri sistemului: $m_1 = 300 \text{ kg}$, $k_1 = 38\,000 \text{ N/m}$ constantă de elasticitate a arcului spate, $c = 1100 \text{ Ns/m}$ coeficientul de rezistență vâscoasă a punții spate, iar coeficientul de elasticitate al roții $k_2 = 190\,000 \text{ N/m}$. Ca și înălțimea a bordurii se va considera $z_r = 0.1 \text{ m}$, iar viteza inițială se va considera $v_0 = 0 \text{ m/s}$.

Astfel:

$$F_e + F_r = m * a(t), \quad (4.3)$$

cu

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{dz(t)}{dt}, \\ a(t) &= \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2z(t)}{dt^2}. \end{aligned}$$

Se poate rescrie ecuația de mișcare ca

$$-kz(t) - c \frac{dz(t)}{dt} = m \frac{d^2z(t)}{dt^2}, \quad (4.4)$$

sau, prin rearanjarea termenilor

$$m \frac{d^2z(t)}{dt^2} + c \frac{dz(t)}{dt} + kz(t) = 0 \quad (4.5)$$

ajungem la forma finală

$$\frac{d^2z(t)}{dt^2} + \frac{c}{m} \frac{dz(t)}{dt} + \frac{k}{m} z(t) = 0. \quad (4.6)$$

Laborator 4. Stabilitatea sistemelor automate

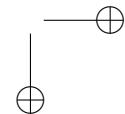
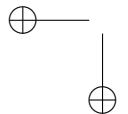
Prin aplicarea transformatei Laplace vom determina ecuația de mișcare în domeniul complex

$$s^2 (Z(s) - sz(0) - v(0)) + \frac{c}{m}(sZ(s) - z(0)) + \frac{k}{m}Z(s) = 0. \quad (4.7)$$

Sa se determine funcția de transfer a sistemului și să se specificice dacă sistemul este stabil sau nu.

4.3 Întrebări / Recapitulare

1. Ce se înțelege prin termenul de stabilitate al unui sistem?
2. Ce sunt polii unui sistem?
3. Ce influență au polii sistemului asupra stabilității?



Laborator 5

Studiul stabilității sistemelor automate - Criteriul Routh-Hurwitz

5.1 Considerații teoretice

În lucrarea anterioară s-au prezentat principalele noțiuni de stabilitate a sistemelor, poziția polilor sistemului fiind corelată cu stabilitatea. Astfel, dacă un sistem are toți polii în partea stângă a axei imaginare (partea reală negativă) atunci putem spune despre acel sistem că este stabil. Dacă însă o parte din poli au partea reală pozitivă atunci sistemul va fi instabil.

Pentru sisteme de ordin superior există alte criterii mai avantajoase din punct de vedere numeric prin faptul că nu necesită calculul rădăcinilor polinomului caracteristic. Criteriul de stabilitate Routh-Hurwitz este o condiție necesară și suficientă pentru a garanta stabilitatea sistemelor liniare cu o intrare și o ieșire.

Pentru un sistem de ordinul n ecuația caracteristică (numitorul funcției de

Laborator 5. Criteriul Routh-Hurwitz

transfer) este descrisă ca:

$$P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0. \quad (5.1)$$

Criteriul Routh-Hurwitz ne dă informații despre numărul de poli ai sistemului care au partea reală pozitivă. Aceasta este egal cu numărul de schimbări de semn din prima coloană a tabelului Routh-Hurwitz prezentat mai jos.

Tabelul 5.1: Tabelul Routh-Hurwitz

s^n	a_n	a_{n-2}	...	a_2	a_0
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	...	a_1	0
s^{n-2}	$\begin{array}{ cc } \hline & a_n & a_{n-2} \\ \hline - & a_{n-1} & a_{n-3} \\ \hline a_{n-1} & & \end{array} = b_1$	$\begin{array}{ cc } \hline & a_n & a_{n-4} \\ \hline - & a_{n-1} & a_{n-5} \\ \hline a_{n-1} & & \end{array} = b_2$...	0	0
s^{n-3}	$\begin{array}{ cc } \hline & a_{n-1} & a_{n-3} \\ \hline - & b_1 & b_2 \\ \hline b_1 & & \end{array} = c_1$	$\begin{array}{ cc } \hline & a_{n-1} & a_{n-5} \\ \hline - & b_1 & b_3 \\ \hline b_1 & & \end{array} = c_2$...	0	0
...
s^1	...	0	...	0	0
s^0	...	0	...	0	0

Ca și cazuri particulare menționăm situația în care pe prima poziție de pe o linie apare o valoare egală cu zero. Aceasta se va înlocui cu o constantă foarte mică, ϵ , de același semn cu elementul de pe prima poziție a liniei anterioare. În cazul în care o întreagă linie va fi egală cu zero atunci aceasta se va înlocui cu derivata liniei precedente.

Vom exemplifica în continuare modul de aplicare al criteriului de stabilitate Routh-Hurwitz pentru cele două cazuri particulare.

Considerând funcția de transfer

$$H_\epsilon(s) = \frac{10}{s^5 + 2s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 5s + 3} \quad (5.2)$$

să se determine numărul de poli cu partea reală pozitivă.

5.1. Considerații teoretice

Pentru determinarea stabilității sistemului se va realiza tabelul Routh-Hurwitz și apoi se vor analiza rezultatele.

Tabelul 5.2: Tabelul Routh-Hurwitz pentru $H_\epsilon(s)$

s^5	1			3	5
s^4	2			6	3
s^3	—	1 3 2 6 — 2		— 1 5 2 3 — 2	$\frac{7}{2}$ 0
s^2	—	2 6 $\epsilon \frac{7}{2}$ — ϵ	$\frac{6\epsilon - 7}{\epsilon}$	— 2 3 $\epsilon 0$ — ϵ	3 0
s^1	—	$\epsilon \frac{7}{2}$ $\frac{6\epsilon - 7}{\epsilon} 3$ — ϵ	$\frac{-6\epsilon^2 + 42\epsilon - 49}{12\epsilon - 14}$	0	0
s^0	—	$\frac{6\epsilon - 7}{\epsilon} 3$ $\frac{-6\epsilon^2 + 42\epsilon - 49}{12\epsilon - 14} 0$ — $\frac{-6\epsilon^2 + 42\epsilon - 49}{12\epsilon - 14}$	3	0	0

Considerând ϵ o valoare foarte mică, pozitivă, putem deduce că elementul de pe prima poziție corespunzând lui s^3 este pozitiv, cel corespunzând lui s^2 este

Laborator 5. Criteriul Routh-Hurwitz

negativ, iar cel corespunzând lui s va fi tot pozitiv. Avem, aşadar, două schimbări de semn de la s^3 la s^2 și de la s^2 la s care corespund la doi poli cu partea reală pozitivă, sistemul fiind instabil.

Pentru funcția de transfer

$$H_0(s) = \frac{10}{s^5 + 7s^4 + 6s^3 + 42s^2 + 8s + 56} \quad (5.3)$$

vom aplica criteriul Routh-Hurwitz și vom obține tabelul 5.3.

În cadrul tabelului Routh-Hurwitz se pot opera împărțiri pe orice linie cu numere reale pozitive neinfluențând rezultatul calculelor. Vom împărți linia corespunzătoare lui s^4 cu 7, iar din calculul elementelor liniei corespunzătoare lui s^3 se poate observa că toate sunt egale cu zero. Va trebui să înlocuim această linie cu derivata liniei precedente:

$$P'(s) = \frac{d(s^4 + 6s^2 + 8)}{ds} = 4s^3 + 12s. \quad (5.4)$$

Vom împărți noile elemente corespunzătoare liniei s^3 cu 4 și vom continua calculele.

La încheierea calculelor se poate observa că toate elementele corespunzătoare primei coloane sunt pozitive (nu există nici o schimbare de semn) rezultând că sistemul este stabil și ca nu are nici un pol în semiplanul drept.

5.2 Desfășurarea lucrării

Pe baza metodei și a exemplului prezentate anterior să se specifice dacă următoarele sisteme sunt stabile, iar dacă nu sunt atunci să se specifice numărul de poli cu partea reală pozitivă.

$$H_1(s) = \frac{s+2}{s^4 - 8s^3 + 3s^2 + 8s - 4}. \quad (5.5)$$

5.2. Desfășurarea lucrării

Tabelul 5.3: Tabelul Routh-Hurwitz pentru $H_0(s)$

s^5	1	6	8
s^4	7 1	42 6	56 8
s^3	$\begin{array}{ cc } \hline - & 1 & 6 \\ & 1 & 6 \\ \hline 1 & & \\ \hline \end{array}$ $= \emptyset \neq 1$	$\begin{array}{ cc } \hline - & 1 & 8 \\ & 1 & 8 \\ \hline 1 & & \\ \hline \end{array}$ $= \emptyset \neq 3$	$\emptyset \neq 0$
s^2	$\begin{array}{ cc } \hline - & 1 & 6 \\ & 1 & 3 \\ \hline 1 & & \\ \hline \end{array}$ $= 3$	$\begin{array}{ cc } \hline - & 1 & 8 \\ & 1 & 0 \\ \hline 1 & & \\ \hline \end{array}$ $= 8$	0
s^1	$\begin{array}{ cc } \hline - & 1 & 3 \\ & 3 & 8 \\ \hline 3 & & \\ \hline \end{array}$ $= \frac{1}{3}$	0	0
s^0	$\begin{array}{ cc } \hline - & 3 & 8 \\ & \frac{1}{3} & 0 \\ \hline \frac{1}{3} & & \\ \hline \end{array}$ $= 8$	0	0

$$H_2(s) = \frac{1}{s^5 + s^4 + 3s^3 + 2s^2 + 1s + 5}. \quad (5.6)$$

Laborator 5. Criteriul Routh-Hurwitz

$$H_3(s) = \frac{10}{s^5 + 2s^4 + 3s^3 + 6s^2 + 2s + 4}. \quad (5.7)$$

$$H_4(s) = \frac{4}{s^6 + 2s^5 + 3s^4 + 2s^3 + 5s^2 + s}. \quad (5.8)$$

Pentru realizarea lucrării se vor crea tabelurile Routh-Hurwitz pentru fiecare sistem în parte. Se vor efectua apoi calculele pentru fiecare element în parte, iar pe baza schimbărilor de semn din prima coloană se va specifica numărul de poli care au partea reală pozitivă. În cazul lui $H_1(s)$ pe lângă tabelul Routh-Hurwitz se cere să se determine și polii sistemului și să se reprezinte grafic în planul complex s.

5.3 Întrebări / Recapitulare

1. Ce avantaje are criteriul Routh-Hurwitz comparativ cu alte metode de analiză a stabilității în domeniul complex?
2. Cum se determină numărul de poli cu partea reală pozitivă din tabelul Routh-Hurwitz?
3. Precizați cum se rezolvă cele două cazuri speciale ale criteriului.

Laborator 6

Relee electronice

6.1 Considerații teoretice

Releele pot fi descrise ca întrerupătoare comandate printr-un semnal electric. Currentul care circulă prin bobina releului va crea un câmp magnetic care va atrage brațul comutatorului și va modifica poziția contactelor interne. Majoritatea releelor sunt bipozitionale (figura 6.1), o stare fiind activă în prezența curentului prin bobină (contactul normal deschis -A), iar cealaltă este activă în lipsa curentului (contactul normal închis -B).

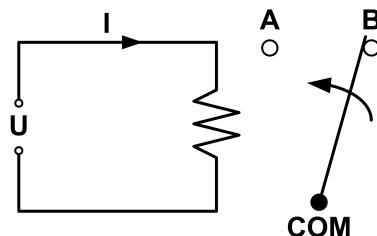


Figura 6.1: Reprezentarea funcțională a unui releu bipozitional

Rolul releelor este de a realiza separarea galvanică între circuitul de comandă

Laborator 6. Relee electronice

și cel de forță. Astfel, un circuit de comandă alimentat de la o baterie poate comuta un circuit de forță alimentat la 230 Vca. Acest lucru se poate realiza deoarece nu există nici o legătură electrică în interiorul releului, comanda fiind transmisă prin intermediul unui câmp magnetic.

Clasificarea releelor se poate face după mai multe criterii: după principiul de funcționare al elementului de receptie, a elementelor executoare, după natura mărimii de intrare etc. Avem, astfel o gamă întreagă de tipuri de releu din care, în acest laborator, ne vom axa doar pe releele electronice de timp și pe cele optice.

6.1.1 Relee electronice de timp

Releele electronice de timp [6] se pot realiza în varianta analogică sau numerică, în varianta analogică fiind larg utilizată descărcarea exponențială a unui condensator pe o rezistență. Vom analiza în continuare schema din figura 6.2.

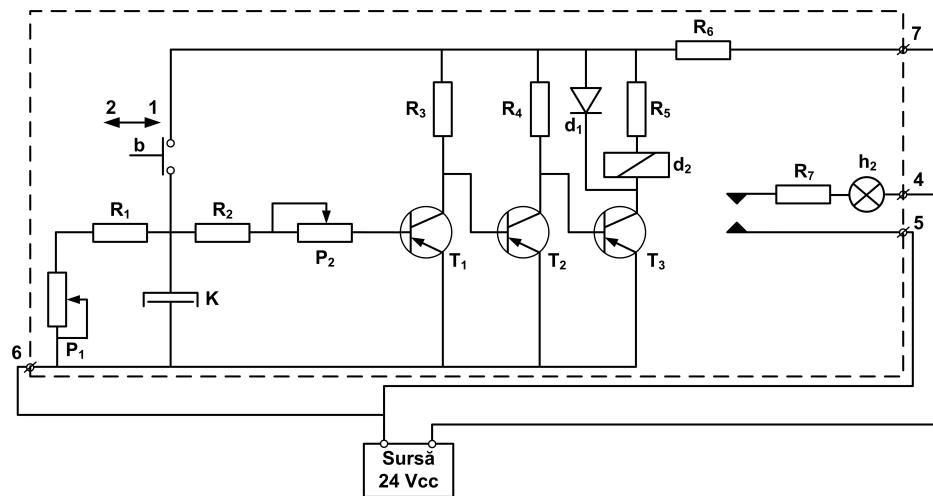


Figura 6.2: Schema montajului releului electronic de timp

În funcție de poziția comutatorului b putem face analiza circuitului. Dacă acesta închide circuitul (poziția 1), baza tranzistorului T_1 este legată la masă

6.1. Considerații teoretice

blocându-l. T_2 va comuta în starea de saturăție, iar curentul din colectorul lui T_3 este mic și insuficient pentru cuplarea releului d_2 , becul h_2 fiind stins.

La deschiderea comutatorului b (poziția 2) T_1 va funcționa în regim de amplificare ducând la blocarea lui T_2 și saturarea lui T_3 , determinând prin releu un curent de acționare și implicit aprinderea becului h_2 .

Prin acționarea comutatorului b în poziție închisă (poziția 1) condensatorul K , încărcat inițial la tensiunea de alimentare, începe să se descarce prin P_1 și, în paralel, prin P_2 și joncțiunea bază-emitor a lui T_1 , menținând aprins becul h_2 până când tensiunea pe K a scăzut într-atât încât T_1 se blochează.

6.1.2 Relee electronice optice

Releele electronice optice [6] realizează comutația prin intermediul fotodiodelor. În figura 6.3 fotodioda s-a notat cu D . La o iluminare slabă rezistența fotodiodei (R_D) are o valoare mare, iar la creșterea intensității fluxului luminos rezistența acesteia scade. Tensiunea bază-emitor a tranzistorului care realizează deschiderea circuitului este dată de relația:

$$V_{BE} = V = V_0 \frac{R_D}{R_D + R}, \quad (6.1)$$

iar valoarea rezistenței fotodiodei de

$$V(R_D + R) = V_1 R \quad (6.2)$$

$$R_D = \frac{V}{V_1 - V} R = \frac{1}{\frac{V_1}{V} - 1} R \quad (6.3)$$

unde V reprezintă tensiunea la care tranzistorul se blochează, iar R_D rezistența fotodiodei.

Când becul h_3 este stins, rezistența fotodiodei D este mare, iar T_1 funcționează în regim de amplificare; curentul în colectorul lui T_2 este mic și insuficient pentru cuplarea releului d_3 , respectiv aprinderea becului h_4 .

Laborator 6. Relee electronice

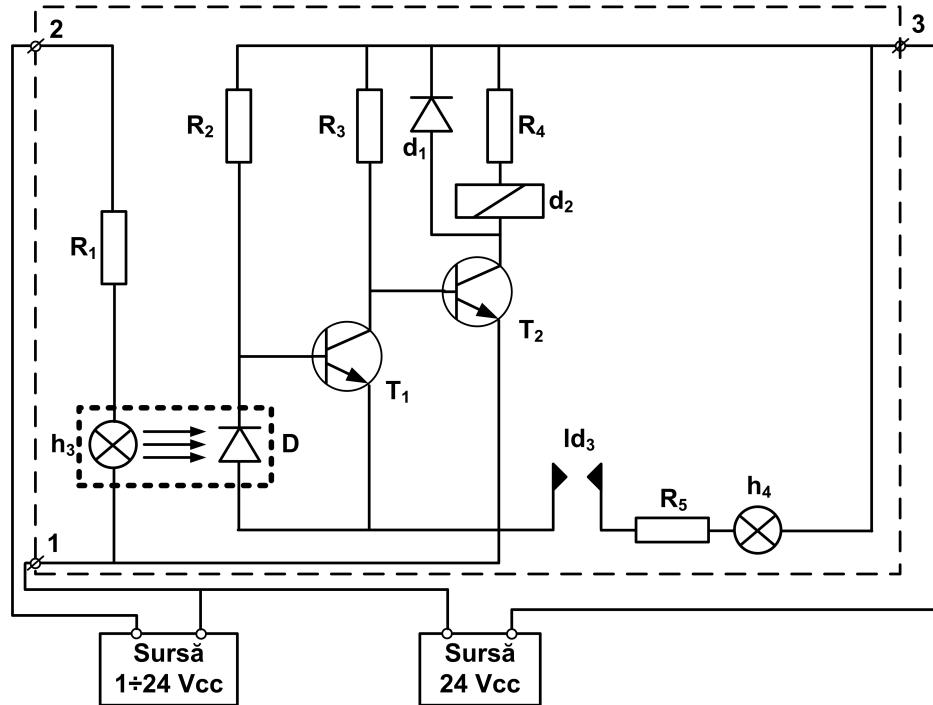


Figura 6.3: Schema montajului releului optic

La aprinderea becului h_3 rezistența fotodiodei va scădea, V_{BE} scade sub 0.6 Vcc și T_1 se blochează. În același timp, curentul în colectorul lui T_2 crește ceea ce va duce la cuplarea releului și la aprinderea becului h_4 .

6.2 Desfășurarea lucrării

Pentru înțelegerea modului de funcționare a releelor electronice va fi utilizată platforma de experimentare. Pașii care trebuie urmați sunt descriși pentru fiecare tip de releu în parte.

6.3. Întrebări / Recapitulare

6.2.1 Releul electronic de timp

- Se va conecta montajul la sursa stabilizată de tensiune (24 Vcc),
- Se va modifica poziția comutatorului b (închis-deschis) pentru a se verifica dacă becul rămâne aprins și după închiderea acestuia, el fiind inițial pe poziția deschis (2),
- Se va regla durata de menținere aprinsă a becului din potențiometrul P_1 și se va nota durata minimă și maximă în care becul a fost aprins.

6.2.2 Releul optic

- Se va conecta montajul la cele două surse de tensiune stabilizată (24 Vcc) conform figurii 6.3,
- Se regleză sursa 1 la 24 Vcc, iar tensiunea sursei 2 se va crește de la zero până la valoarea la care becul h_4 se aprinde, valoare care se notează.
- Se va determina valoarea tensiunii sursei 2 la care se aprinde becul pentru diferite valori de tensiune ale sursei 1: 20, 15, 12, 10 (Vcc).

6.3 Întrebări / Recapitulare

1. Ce principiu stă la baza construcției releelor de timp?
2. Ce componente din schemă, în afara potențiometrului P_1 permit schimbarea duratei de aprindere a becului?
3. Cum explicați, în cazul releului optic, legătura dintre tensiunile celor două surse de alimentare și tensiunea de aprindere a becului?

Laborator 6. Relee electronice

Laborator 7

Tiristoare

7.1 Considerații teoretice

Tiristoarele sunt dispozitive semiconductoare de putere cu o structură de tip *pnpn* comandate prin “grilă” [7]. Simbolul tiristoarelor este asemănător cu cel al diodelor la care, pe lângă terminalele de forță anod (A) și catod (K) apare terminalul grilei “G” (figura 7.1). Grila tiristorului are rol numai în declanșarea

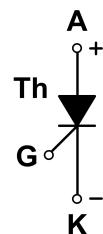


Figura 7.1: Schema tiristorului

aprinderii tiristorului, urmând ca după începerea conductionii semnalul grilei să nu mai influențeze starea tiristorului.

Tiristoarele vor conduce numai la polarizare directă și anume când anodul

Laborator 7. Tiristoare

este conectat la potențial ridicat, iar catodul la masă și doar după aplicarea unui semnal pe grilă. Prin aplicarea unui impuls pe grila tiristorului, acesta se va deschide și va rămâne deschis atât timp cât valoarea curentului anodic i_A rămâne la o valoare mai mare decât valoarea curentului de automenținere i_H . Durata de timp cât se aplica curentul de comandă i_G trebuie să fie suficient de mare pentru a permite curentului anodic i_A să depășească valoarea de automenținere i_H .

Astfel, din grilă se poate comanda doar amorsarea tiristorului, blocarea lui făcându-se în funcție de valoarea curentului anodic. Datorită acestei proprietăți tiristoarele sunt utilizate aproape exclusiv pentru comanda circuitelor de curent alternativ.

Un caz special se observă la polarizarea directă la apariția unei căderi de tensiune mari între anod și catod. Dacă această tensiune depășește valoarea tensiunii de străpungere a tiristorului u_{str} se va declanșa un proces ireversibil numit străpungere caracterizat de o cădere foarte mică de tensiune între anod și catod și o valoare a curentului care trece prin tiristor limitată doar de circuitul exterior.

Comportarea este similară unui circuit închis, tiristorul nemaiputând fi blocat indiferent de valoarea instantanea a curentului din circuitul anodic și a curentului din grilă. Este nevoie aşadar ca în permanență tensiunea la bornele tiristorului să fie sub valoarea de străpungere.

7.2 Desfășurarea lucrării

7.2.1 Ridicarea caracteristicilor tiristorului

Se va realiza montajul din figura 7.2 utilizând platforma nr. 19 (figura 7.4), fără alimentare.

Se va conecta apoi alimentarea, se va pune potențiometrul r_{11} pe maxim și se va fixa tensiunea sursei 1 la 0.5 Vcc. Cu butonul b_1 pe poziția închis, variați tensiunea sursei 2 începând de la 0 Vcc la 40 Vcc, citind câteva perechi de valori

7.2. Desfășurarea lucrării

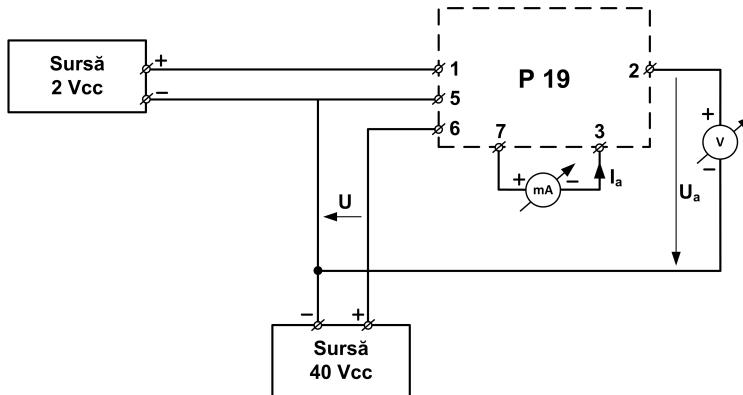


Figura 7.2: Schema montajului pentru ridicarea caracteristicilor tiristorului

$I_a - U_a$, pe care le treceți în tabelul următor:

$I_a(mA)$	
$U_a(V)$	

Aduceți tensiunea sursei 2 la zero, modificați tensiunea sursei 1 la 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 3, 5 V și pentru fiecare valoare repetați operațiile de mai sus completând un nou tabel.

Pe baza datelor obținute, desenați caracteristicile $I_a = f(U_a)$ pentru diverse tensiuni ale sursei 2.

7.2.2 Reglajul curentului de iluminare cu ajutorul unui tiristor

Se va realiza pentru început montajul din figura 7.3 , fără alimentare. După verificarea circuitului se va alimenta platforma la 220 Vca. Manevrând potențiometrul r_5 obțineți diverse intensități de aprindere a becului h_1 . Pe osciloscop se va urmări forma semnalului, iar pentru câteva poziții distincte ale potențiometrului r_5 se vor desena aceste oscilograme. Hașurați porțiunile din sinusoidă co-

Laborator 7. Tiristoare

respunzătoare perioadei cât tiristorul este deschis (becul arde). Marcați pe aceste grafice momentele când tiristorul se deschide și când se blochează și explicați de ce se întâmplă așa.

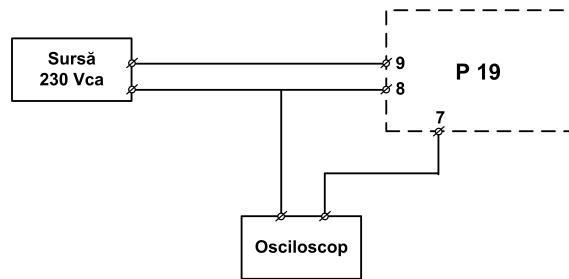


Figura 7.3: Schema montajului pentru reglarea curentului de iluminare

7.3 Întrebări / Recapitulare

1. Care este diferența dintre un tiristor și un tranzistor?
2. Cum se realizează blocarea tiristorului?
3. Cum va funcționa un tiristor într-un circuit de curent continuu?

7.3. Întrebări / Recapitulare

Anexă: Schema electrică a platformei nr. 19

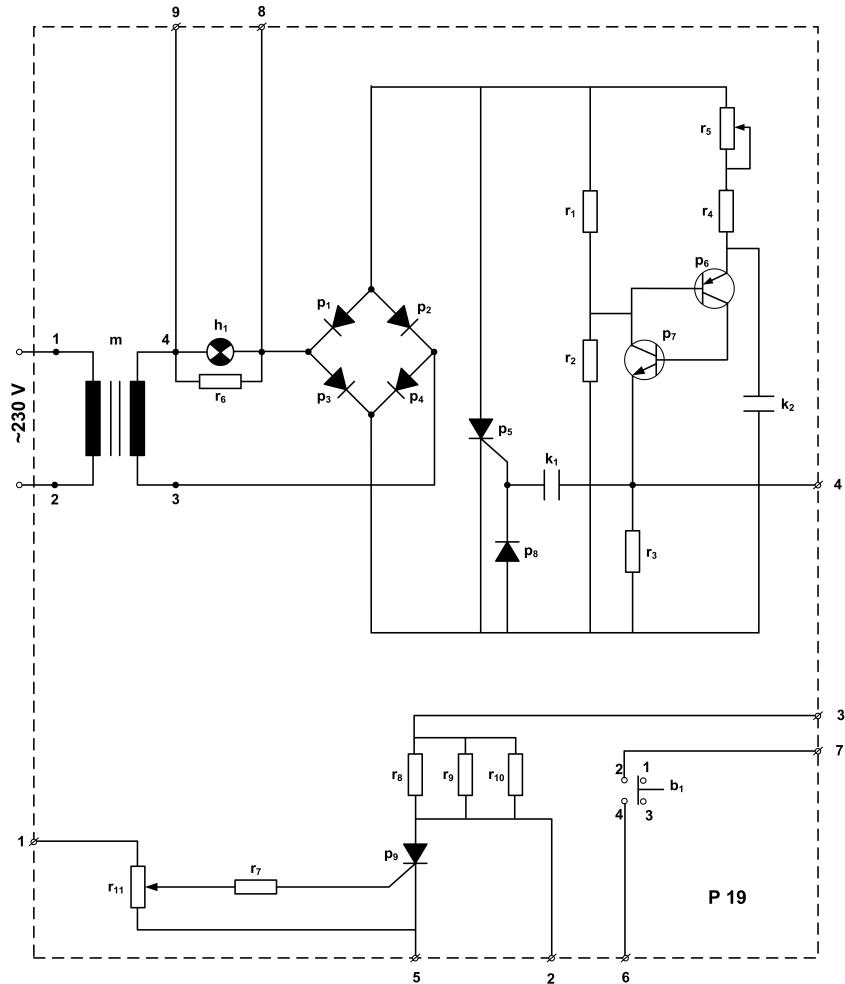


Figura 7.4: Platforma P19

Bibliografie

- [1] M. Abrudean, *Teoria sistemelor si reglare automata*. Editura Mediamira, 1998.
- [2] V. Dolga, *Mecatronica. Teoria sistemelor*. Editura Politehnica, 2010.
- [3] “Teoria sistemelor si automatizari.” <http://tad-electronics.com/files/Download/sisteme%20de%20reglare%20automata.pdf>. Ultima verificare: 25.01.2013.
- [4] G. Diaconu, *Sisteme de reglare automata, Material de predare, Partea a II-a*. 2009.
- [5] I. Barabas, *Teoria sistemelor si automatizari. Lucrari de laborator*. Manuscris. UTC-N, Facultatea de Mecanica, 2012.
- [6] T. Colosi, A. Astilean, T. Letia, M. Abrudean, D. Balan, and I. Nascu, *Dispozitive si circuite electronice*. Lito UTCN, 1995.
- [7] M. Abrudean, C. Festila, and E.-H. Dulf, *Electronica de putere in automatica*. Mediamira, 2003.