

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka Řádu práce

Fakulta textilní

obor 31-20-8

Automatizované systémy řízení v spotřebním průmysle

Katedra technické kybernetiky

KTK ASR - TF 080

Overení vlastností adaptivního číslicového regulačního
obvodu.

Autor práce: Ján Nagy

Vedúci práce: Ing. Osvald Modrlák
VŠST Liberec

Konzultant: Ing. Osvald Modrlák
VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stránek: 56

Počet příloh: 10

Počet obrázků: 6

Počet tabulek: 15

V Liberci 24.5.1984

Vysoká škola: VŠST Liberec Fakulta: textilní
Katedra: technické kybernetiky Školní rok: 1983/84

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro s. Jana N a g y
obor 31-20-8 ASŘ ve spotřebním průmyslu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Ověření vlastností adaptivního číslicového
regulačního obvodu

Zásady pro vypracování:

- 1) Prostudujte z uvedené literatury /3/ návrh identifikační metody
- 2) Prostudujte z literatury /3/ návrh algoritmu
- 3) Určete vzájemnou korelační funkci $R_{u\xi}(i)$ mezi akční veličinou a chybami identifikace pomocí simulací na číslicovém počítači
- 4) Pro simulační výpočty upravte programy, které jsou již vypracovány
- 5) Proveďte rozbor získaných výsledků

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 7
F SČ 461 17

V 80/84 T

Poďakovanie.

Ďakujem svojmu konzultantovi a vedúcemu diplomovej práce Ing.Osvaldovi Modrlákovi za odborné vedenie pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

Zoznam symbolov použitých v tabuľkách.

S	- pôvodná sústava
R	- optimálny regulátor pre S
S_I	- sústava po identifikácii
R_I	- regulátor po identifikácii
S_A	- sústava po adaptácii
R_A	- regulátor po adaptácii
S_Z	- sústava po zmene
R_Z	- optimálny regulátor pre S_Z
S_{AZ}	- sústava po adaptácii po zmene
R_{AZ}	- regulátor po adaptácii po zmene
J_O	- kvadratické kritérium pre S a R
J_I	- kvadratické kritérium pre S a R_I
J_A	- kvadratické kritérium pre S a R_A
J_Z	- kvadratické kritérium pre S_Z a R_Z
J_{AZ}	- kvadratické kritérium pre S_Z a R_{AZ}
J_{ZA}	- kvadratické kritérium pre S a R_{AZ}
J_{ZI}	- kvadratické kritérium pre sústavu identifikovanú v priebehu spojitej zmeny a jej optimálny regulá- tor
O_I	- odchýlka medzi J_O a J_I v %
O_A	- odchýlka medzi J_O a J_A v %
O_{ZA}	- odchýlka medzi J_O a J_{AZ} v %
O_{AZ}	- odchýlka medzi J_Z a J_{AZ} v %
O_{ZI}	- odchýlka medzi J_Z a J_{ZI} v %

O B S A H .

1.	Úvod	7
2.	Teoretická časť	9
2.1.	Adaptívne riadenie	10
2.2.	Identifikácia parametrov modelu	11
2.2.1.	Metóda najmenších štvorcov	12
2.2.2.	Identifikácia regulovaného systému v uzatvorenej slučke	18
2.3.	Návrh optimálneho riadenia pre adaptívne systémy	24
2.3.1.	Formulácia úlohy optimálneho riadenia pre adaptívne riadiace systémy	24
2.4.	Návrh algoritmu riadenia pre optimálne vyrovnanie nemerateľnej poruchy sústav popísaných stochastickou diferenčnou rovniciou	27
2.5.	Popis riadeného systému pre konečný interval riadenia	28
3.	Simulácia	30
4.	Zhodnotenie a záver	54
	Zoznam použitej literatúry	56

1. Ú V O D

Na XVI. zjazde KSČ bol na obdobie 7.päťročného plánu uvedený ako hlavný cieľ politiky strany udržať a skvalitniť dosiahnutú vysokú životnú úroveň. Dosiahnutie tohto cieľa je možné iba dodržaním Generálnej línie budovania rozvinutej socialistickej spoločnosti. Z Generálnej línie sú odvodené aj dielčie plány a vyplývajú z nej aj úlohy vedeckotechnického rozvoja na ďalšie obdobie.

Medzi základné úlohy vedeckotechnického rozvoja patrí aj väčšie zameranie na uplatnenie vyššieho stupňa mechanizácie, automatizácie a robotizácie výrobných procesov.

V poslednom období sa intenzívne rozvíja elektronizácia a automatozácia, čo vedie k uplatňovaniu počítačov vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Zvlášť dôležité je využitie počítačov v oblasti organizačnej práce človeka, čo vedie k vytváraniu nového, kvalitnejšieho systému riadenia typu človek - stroj. Výsledkom toho je vyššia efektívnosť a kultúra výroby. Rozvoje technickej kybernetiky, automatizácie a elektronizácie dosiahol takého stupňa, že boli vypracované teórie a metódy riadenia, ktoré umožňujú využívať vyššie typy kybernetických systémov, ktoré sú schopné prispôbovať svoje vlastnosti meniacim sa pracovným podmienkam a aj sa samočinne zdokonaľovať. Tieto systémy sa nazývajú adaptívne a učiace sa systémy.

Táto diplomová práca sa zaoberá overením vlastností adaptívneho číslicového regulačného obvodu. Pre overenie vlastností boli vypracované a odladené programy v programovacom jazyku FORTRAN IV. Pre odladenie bol použitý číslicový počítač EC 1033.

2.1. Adaptívne riadenie.

Regulácia kybernetiky a teória systémov predstavujú základné oblasti riadenia. Prvý z nich sa zaoberá s konkrétnymi, fyzickými systémami, ktoré sú riadené a druhý s abstraktnými, matematickými systémami, ktoré sú riadené. V oboch prípadoch sa riadenie uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené.

Adaptívne riadenie je prispôbovanie sa systému na zmeny v jeho parametroch. Je to proces, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené. Adaptívne riadenie je prispôbovanie sa systému na zmeny v jeho parametroch. Je to proces, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené.

2. TEORETICKÁ ČASŤ.

Adaptívne riadenie je prispôbovanie sa systému na zmeny v jeho parametroch. Je to proces, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené. Adaptívne riadenie je prispôbovanie sa systému na zmeny v jeho parametroch. Je to proces, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené.

Adaptívne riadenie je prispôbovanie sa systému na zmeny v jeho parametroch. Je to proces, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené. Adaptívne riadenie je prispôbovanie sa systému na zmeny v jeho parametroch. Je to proces, ktorý sa uskutočňuje prostredníctvom algoritmov, ktoré sú riadené a ktoré sú riadené.

2.1. Adaptívne riadenie.

Rozvoj kybernetiky a teórie systémov priniesol do teórie riadenia nové prvky, preberané z vlastností živých organizmov. Vzniká a rozvíja sa teória adaptívnych a učiacich sa systémov. Adaptívne riadenie súvisí s učiacimi sa systémami.

Adaptivita je prispôsobovanie sa podmienkam, danému prostrediu alebo jeho zmenám. Je vyjadrená stratou, ktorú organizmus vynaloží na adaptáciu. Adaptívny systém pracuje v nejakom prostredí, ktorého jednotlivé prejavy x sú reprezentované množinou X . Tento systém musí dostávať informácie Ω o požadovanom chovaní. Skutočné chovanie je predstavované výstupom ω . Toto chovanie je dané rozhodovacím pravidlom

$$\omega = d(x, q)$$

kde ω je jeden z výstupných symbolov

q je premenlivý parameter systému

x je prejav prostredia

Každé priradenie $[x, \Omega]$: je sprevádzané určitou stratou $Q(x, \Omega, q)$, čo je vlastne cena, zaplatená za adaptivitu. Potom cieľom činnosti adaptívneho systému je pre každé $[x, \Omega]$ realizovať také priradenie ω , pre ktoré bude strata Q minimálna.

Optimálne riadenie je cielavedomé pôsobenie na daný objekt, výsledkom toho je dosiahnutie daného cieľa pri splnení daných podmienok a obmedzení.

2.2. Identifikácia parametrov modelu.

Aby sme mohli navrhnúť optimálny riadiaci algoritmus, musíme poznať dynamické chovanie regulovanej sústavy. Dynamické chovanie sa dá vyjadriť buď matematickým zápisom - diferenciálne alebo diferenčné rovnice, váhové alebo frekvenčné funkcie, prechodové funkcie, obrazové prenosy; alebo graficky - prechodová alebo frekvenčná charakteristika.

Pri určovaní dynamických vlastností systému sa dá postupovať dvoma spôsobmi.

1. Matematicko-fyzikálna analýza. Vychádzame pri tom z konštrukčných údajov o sústave a z matematického popisu javov. Dostaneme sústavu algebraických a diferenciálnych rovníc prvého rádu. Ak je popis úplný, rovnice usporiadame do stavových rovníc. Vstupnými veličinami sú akčné signály alebo poruchové veličiny.
2. Experimentálna analýza. Matematický model sa určuje pomocou údajov zmeraných na vstupe a výstupe. Rozlišujeme dve metódy experimentálnej analýzy;
 - a/ deterministické - predpokladáme určitý počiatočný stav a jednoduchý vstup.
 - b/ stochastické - umožňujú pripúšťať ľubovoľný, neurčený počiatočný stav a vstupný signál. Kvalitu odhadu môžeme vyjadriť štatisticky, napr. kovariančnou maticou, rozptylom.

V tejto práci sa zaoberám stochastickou identifikáciou. Medzi najznámejšie stochastické metódy patrí metóda najmenších štvorcov a metóda maximálnej vierohodnosti.

2.2.1. Metóda najmenších štvorcov.

Hodnoty, ktoré meráme na vstupe a výstupe sústavy, nie sú presné, pretože na vstupe okrem užitočného vstupného signálu u pôsobí aj nemerateľný rušivý signál w a výstupné veličiny meráme s chybou v .

Stavové rovnice sú v tvare:

$$x/k+1/ = A.x/k/ + B.u/k/ + w/k/ \quad 2.2.1 - 1$$

$$y/k/ = C.x/k/ + D.u/k/ + v/k/ \quad 2.2.1 - 2$$

Ak uvažujeme lineárny regresný model s konečnou pamäťou, môžeme ho obecné vyjadriť v tvare:

$$y/k/ = r /k, y_{(o)}^{(k-1)}, u_{(o)}^{(k)}, v_{(o)}^{(k-1)} / + e/k/ \quad 2.2.1 - 3$$

kde

$y_{(o)}^{(k-1)}$ je postupnosť $y/0/, y/1/, \dots, y/k-1/$

$u_{(o)}^{(k)}$ je postupnosť $u/0/, u/1/, \dots, u/k/$

$v_{(o)}^{(k-1)}$ je postupnosť $v/0/, v/1/, \dots, v/k-1/$

$r/k/ = \varepsilon /y/k/ | y_{(o)}^{(k-1)}, u_{(o)}^{(k)}, v_{(o)}^{(k-1)} /$ je podmienená stredná hodnota.

$e/k/$ je náhodná zložka transformácie, vyjadrenej regresnou funkciou $r/k/$ minulej histórie vstupných a výstupných signálov na súčasný výstup $y/k/$.

Rovnicu 3.2.1 - 3 môžeme prepísať v tvare :

$$y/k/ = \sum_{i=1}^N Q_i.y/k-i/ + \sum_{i=0}^N P_i.u/k-i/+e/k/ \quad 2.2.1 - 4$$

za predpokladu, že všetky veličiny meráme od ich dlhodobých priemerov. Matice Q_i a P_i sú matice regresných koeficientov.

Túto rovnicu môžeme prepísať do tvaru;

$$y/k/ = \Theta^T \cdot z/k/ + e/k/ , k = 1, 2, \dots \quad 2.2.1 - 5$$

kde

$$\Theta^T = [P_N, Q_N, \dots, P_1, Q_1, P_0] \quad 2.2.1 - 6$$

$$z^T/k/ = [u^T/k - N/, y^T/k - N/, \dots, u^T/k - 1/, y^T/k - 1/, u^T/k/]$$

a rozmer matice Θ^T je $[p, \nu]$, kde $\nu = N./p+r/+r$,
kde r je počet vstupov a p je počet výstupov.

Rovnicu 2.2.1 - 5 transponujeme na rovnicu

$$y^T/k/ = z^T/k/ \cdot \Theta + e^T/k/ \quad 2.2.1 - 7$$

a napíšeme ju pre $k = 1, 2, \dots, K$; $K \geq \nu$

Dostávame

$$Y = Z \cdot \Theta + E_e \quad 2.2.1 - 8$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1/1/, y_2/1/, \dots, y_p/1/ \\ \vdots \\ y_1/K/, y_2/K/, \dots, y_p/K/ \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} u_1/1-N/, \dots, u_r/1-N/, y_1/1-N/, \dots, y_p/1-N/, \dots, u_1/1/, \dots, u_r/1/ \\ \vdots \\ u_1/K-N/, \dots, u_r/K-N/, y_1/K-N/, \dots, y_p/K-N/, \dots, u_1/K/, \dots, u_r/K/ \end{bmatrix}$$

Rozmery matíc sú

$$Y \quad [K, p]$$

$$Z \quad [K, \nu]$$

$$\Theta \quad [\nu, p]$$

$$E_e \quad [K, p]$$

$$\text{kde } \nu = N./p+r/ + r$$

Pretože postup identifikácie je rovnaký pre jednorozmernú i viacrozmernú sústavu, budeme predpokladať jednorozmernú

sústavu. Potom rovnicu 2.2.1 - 8 prepíšeme na tvar príslušný sústave s jedným vstupom a výstupom.

$$y + Z \cdot v + e \quad 2.2.1 - 9$$

Súčet štvorcov zložiek odhadov náhodného vektora $e / k /$ je daný výrazom

$$J = / y - Z \cdot v /^T / y - Z \cdot v / \quad 2.2.1 - 10$$

Ak matica $Z^T Z$ je regulárna matica, potom vektor hľadaných parametrov vypočítame zo vzťahu

$$\frac{\partial J}{\partial v} = 0 \quad \text{a súčasne musí platiť, že}$$

$$\frac{\partial J}{\partial v} \left[\frac{\partial J}{\partial v} \right]^T \quad \text{je pozitívne definitná matica.}$$

Dostávame vzťah pre výpočet odhadu parametrov.

$$v = \hat{v} = / Z^T Z /^{-1} Z^T y \quad 2.2.1 - 11$$

Zvyšovanie počtu parametrov.

V konkrétnych prípadoch nie je známy rád sústavy a tým ani počet koeficientov regresného modelu. Výpočet preto začíname s malým počtom koeficientov a ich počet zvyšujeme, ak sa pritom znižuje hodnota kritéria. Nové výpočty nemusíme prevádzkať celé, dajú sa použiť predchádzajúce výpočty.

Ak sa počet koeficientov regresného modelu zvýši z n_1 na n_2 , môžeme maticu Z a vektor napísať o dvoch poliach:

$$Z = [Z_1 ; Z_2] \quad 2.2.1 - 12$$

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad 2.2.1 - 13$$

Potom rovnicu 2.2.1 - 11 môžeme napísať v tvare

$$\begin{bmatrix} Z_1^T Z_1 & Z_1^T Z_2 \\ Z_2^T Z_1 & Z_2^T Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{v}_1 \\ \hat{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1^T \\ Z_2^T \end{bmatrix} y \quad 2.2.1 - 14$$

Riešením určíme odhady parametrov:

$$\begin{aligned} \hat{v}_1 &= v + P_3 Z_2^T / Z_1^T \hat{v} - y / \\ \hat{v}_2 &= P_2 Z_2^T / Z_1^T \hat{v} - y / \end{aligned} \quad 2.2.1 - 15$$

Prevedieme inverziu matice :

$$\begin{bmatrix} Z_1^T Z_1 & Z_1^T Z_2 \\ Z_2^T Z_1 & Z_2^T Z_2 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} P_1 - P_3 Z_2^T Z_1 P_1 & P_3 \\ P_3^T & P_2 \end{bmatrix} \quad 2.2.1 - 16$$

V rovniciach 2.2.1 - 15 a 2.2.1 - 16 platia vzťahy :

$$\begin{aligned} \hat{v} &= / Z_1^T Z_1 /^{-1} Z_1^T y \\ P_1 &= / Z_1^T Z_1 /^{-1} \\ P_2 &= [Z_2^T Z_2 - Z_2^T Z_1 / Z_1^T Z_1 /^{-1} Z_1^T Z_2]^{-1} \\ P_3 &= / Z_1^T Z_1 /^{-1} Z_1^T Z_2 P_2 \end{aligned} \quad 2.2.1 - 17$$

Inverziu matíc k určeniu zvýšeného počtu parametrov stačí prevádzať rádu $(n_2 - n_1)$. Účinnosť vzťahov sa však prejaví len pri veľkom n_1 a relatívne malom rozdieli $(n_2 - n_1)$.

Zvyšovanie počtu vzorkov.

V praktických prípadoch pri priebežnej identifikácii sa stáva, že počet riadkov K matice Z sa postupne zvyšuje. Bolo by teda neekonomické opakovat výpočet so staršími informáciami. Pre jeden vstup a jeden výstup zavedieme označenie :

$$y_{k+1} = \begin{bmatrix} y_k \\ y \end{bmatrix} ; z_{k+1} = \begin{bmatrix} z_k \\ z \end{bmatrix} \quad 2.2.1 - 18$$

$$z = [u/k+1-N/, y/k+1-N/, \dots, u/k/, y/k/, u/k+1/]$$

Odhad parametrov podľa najmenšieho súčtu štvorcov chýb je:

$$\hat{v}_k = / Z^T Z /^{-1} Z^T y_k \quad 2.2.1 - 19$$

Po úprave dostaneme :

$$\hat{v}_{k+1} = \hat{v}_k + M / k / (y - z \hat{v}_k) \quad 2.2.1 - 20$$

kde

$$M/k/ = / Z^T Z /^{-1} z^T [1 + z / Z^T Z /^{-1} z^T]^{-1}$$

Prvky matice $M / k /$ sú váhové koeficienty. Aby sme ich spočítali, zavedieme :

$$P / k / = \alpha / Z^T Z /^{-1} \quad 2.2.1 - 21$$

potom

$$M / k / = P / k / z^T [\alpha + z P/k/ z^T]^{-1} \quad 2.2.1 - 22$$

$$\begin{aligned} P / k+1/ &= P / k / - M/k/ z P/k/ = \\ &= [E - M/k/ z/k+1/] P/k/ \end{aligned} \quad 2.2.1 - 23$$

Odhad parametrov sústavy metódou najmenších štvorcov potom môžeme počítat podľa vzorcov :

$$M/k/ = P/k/ \ z^T/k+1/ \left[\lambda + z/k+1/ \ P/k/ \ z^T/k+1/ \right]^{-1} \quad 2.2.1 - 24$$

$$P/k+1/ = \left[E - M/k/ \ z/k+1/ \right] P/k/ \quad 2.2.1 - 25$$

$$\hat{v}/k+1/ = \hat{v}/k/ + M/k/ \left[y/k+1/ - z/k+1/ \ \hat{v}/k/ \right] \quad 2.2.1 - 26$$

Je nutné, aby matica $/ \ z^T Z /$ bola regulárna matica. Je zrejmé, že pre $k < 2N + 1$ to však neplatí. Preto musíme žiadať, aby počet meraní K bol rovný aspoň počtu hľadaných parametrov. Pri použití vzorcov 2.2.1 - 24 až 2.2.1 - 26 i na začiatku výpočtu $/$ kedy K je menšie než $2N + 1 /$, postupujeme tak, že volíme $z/k_o/$ o toľkých prvkoch, koľko je hľadaných parametrov.

Prvý odhad :

$$P/k_o/ = \lambda \left[z^T/k_o/ \ z/k_o/ \right]^{-1}$$

$$\hat{v}/k_o/ = \left[z^T/k_o/ \ z/k_o/ \right]^{-1} z^T/k_o/ \ y/k_o/$$

Ak chceme použiť vzorce, počínajúc krokom $K = 1$, môžeme voľiť $z/o/$ a počítat $P/k/$ podľa vzorca 2.2.1 - 21. Po úprave dostávame :

$$P^{-1}/k/ = P^{-1}/o/ + \frac{1}{\lambda} z^T/k/ \ z/k/ \quad 2.2.1 - 27$$

Pre $k = 1, 2, \dots$ môžeme priamo voľiť

$$P/o/ = \frac{1}{\epsilon} E$$

Identifikácia regulovanej sústavy v uzatvorenej slučke tvorí jeden zo základných problémov adaptívnych systémov riadenia, ak bude uvažovaný prípad, že bude prevádzaná identifikácia pri pevnom regulátore po zvolenú dobu. Tento prípad identifikácie môže nastať napríklad vtedy, ak je používaný pokusne nastavený suboptimálny regulátor pre danú technológiu, alebo ak v procese adaptácie sa odhadované koeficienty sústavy už nemenia a tým sa nemení ani nastavenie regulátora. Vychádzame z predpokladu, že v uvedených prípadoch je sústava dostatočne buďená buď skokmi žiadaných hodnôt alebo šumovým signálom.

Ak je sústava buďená len nemerateľným šumom d_k , ide už o pomerne ťažkú úlohu. Sú známe všeobecné podmienky pre lineárne systémy, ktoré je nutné splniť, aby identifikácia bola úspešná. Obecné požiadavky na identifikáciu v uzatvorenej slučke je možné formulovať týmto spôsobom :

1. Zvoliť vhodnú štruktúru prediktoru.
2. Použiť vhodnú identifikačnú metódu.
3. Zaistiť vhodné budenie systému alebo zadať ďalšie informácie o sústave.

V tejto práci sú uvažované také jednoparametrové lineárne systémy, ktoré je možné popísať stochastickou diferenciálnou rovnicou v niektorej jej forme.

Uvažujeme matematický popis stochastického systému v jeho prírastkovej forme. Vytvorením spätnej diferencie

dostaneme popis sústavy pomocou prírastkového modelu.

$$A/s/\Delta y_k = s^r B/s/\Delta u_k + C/s/\Delta d_k + D/s/\Delta dm_k \quad 2.2.2 - 1$$

kde

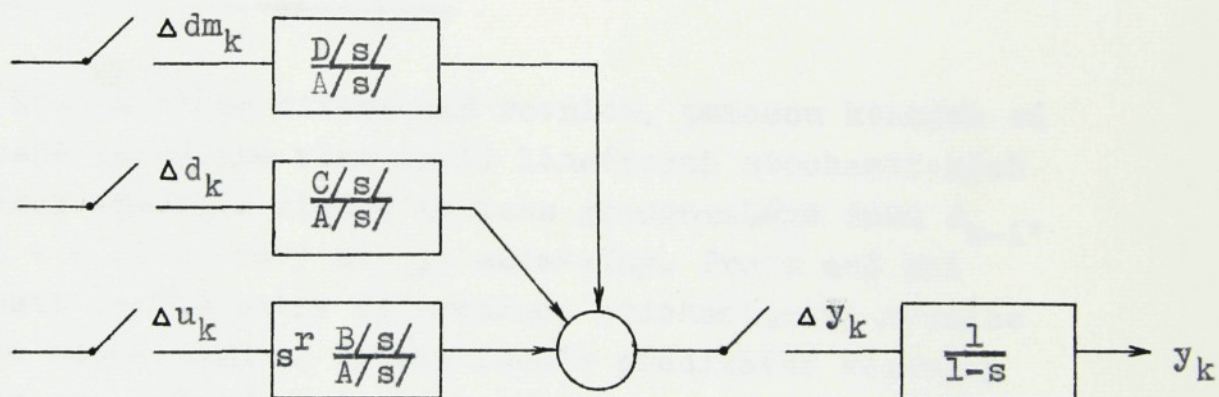
$$\Delta y_k = y_k - y_{k-1}$$

$$\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$$

$$\Delta d_k = d_k - d_{k-1}$$

$$\Delta dm_k = dm_k - dm_{k-1}$$

Štruktúra tohto systému je na obr. č. 1.

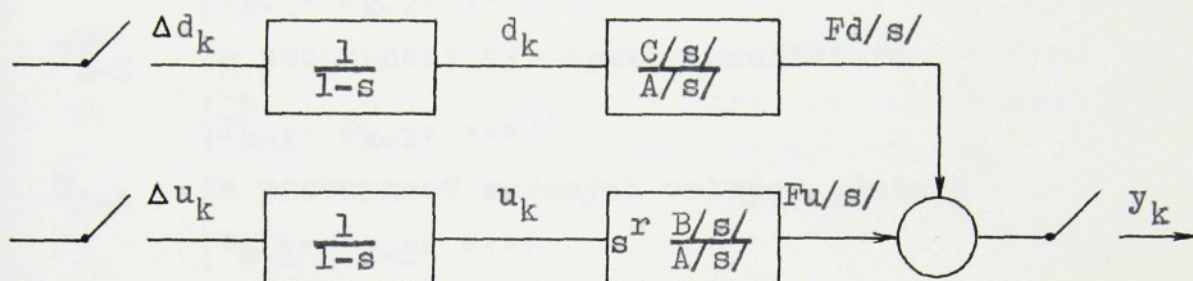


Obr.č.1

Z praktického hľadiska má veľký význam štruktúra stochastického systému, ktorého diferenčná rovnica má tvar :

$$/1-s/ A/s/ y_k = s^r B/s/\Delta u_k + C/s/\Delta d_k \quad 2.2.2 - 2$$

Štruktúra je na obr. č. 2.



Obr.č. 2

Voľba štruktúry prediktoru.

Stochastické diferenčné rovnice, pomocou ktorých sú popísané dynamické vlastnosti lineárnych stochastických systémov obsahujú zložky bieleho gaussovského šumu d_{k-i} , pre $i = 0, 1$, ktorý nie je merateľný. Preto ani pri znalosti koeficientov diferenčnej stochastickej rovnice nie je možné pomocou týchto rovníc predikovať výstupný systém pri známych hodnotách vstupu u_{k-i} a výstupu y_{k-i} , pre $i = 1, \dots$. Vzniká teda otázka, akým spôsobom pri známych koeficientoch diferenčnej rovnice je možné predikovať výstup stochastického systému y_k^r pri známych vstupoch a výstupoch. Túto úlohu rieši trieda matematických modelov, ktoré sú nazývané prediktory a ktoré majú obecné tvar:

$$y_k^p = f \left[y_{k-1}, u_{k-1}, y_{k-1}^p, d_k, k \right] \quad 2.2.2 - 3$$

kde platí

Y_{k-1} je postupnosť meraných výstupov sústavy
 $\{y_{k-1}, y_{k-2}, \dots\}$

Y_{k-1}^p je postupnosť výstupov z prediktora
 $\{y_{k-1}^p, y_{k-2}^p, \dots\}$

U_{k-1} je postupnosť meraných vstupov sústavy
 $\{u_{k-1}, u_{k-2}, \dots\}$

D_k je postupnosť nameraných porúch sústavy
 $\{d_k, d_{k-1}, d_{k-2}, \dots\}$

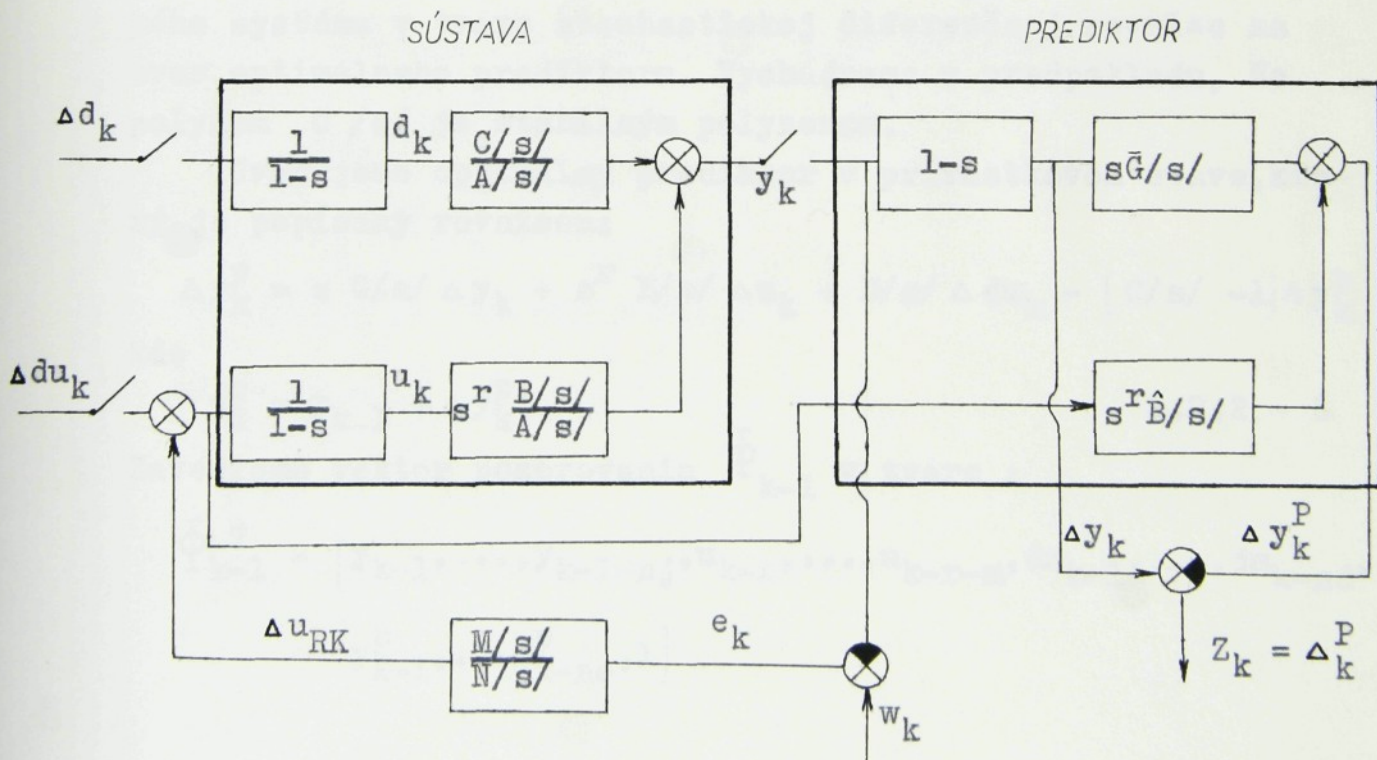
Súčasne platí rovnosť:

$$y_k = y_k^p + \Delta_k^p = f[Y_{k-1}, U_{k-1}, Y_{k-1}^p, D_k, k] + \Delta_k^p \quad 2.2.2 - 4$$

kde

Δ_k^p je chyba predikcie.

Štruktúra predikcie s meranými veličinami je na obr.č.3.



Obr.č.3

Kvalitu prediktoru je možné posudzovať podľa veľkosti chyby predikcie. Objavuje sa otázka, či existuje najlepší prediktor a akú musí mať chybu predikcie. Ak chyba predikcie bude rovná v práve diskkrétnej hodnote bieleho šumu, t.j. že bude platiť $\Delta_k^p = d_k$, potom je možné hovoriť o najlepšej alebo o optimálnej predikcii, ktorá spĺňa rovnicu :

$$y_k - y_k^p = \Delta_k^p = d_k \quad 2.2.2 - 5$$

Potom sa často hovorí o optimálnom prediktore. V literatúre existuje celá rada prediktorov umožňujúcich predikovať výstup systému, ktorý je popísaný stochastickou diferenčnou rovnicou. Naším cieľom je nájsť vhodnú štruktúru a parametre prediktoru, ktorého štruktúra a množina parametrov nám umožní identifikovať daný stochastický systém v uzatvorenej slučke a ukazuje niektoré výhody tohto identifikačného schématu.

Ukážme spôsob prevedenia matematického modelu dynamickeho systému v tvare stochastickej diferenčnej rovnice na tvar optimálneho prediktoru. Vychádzame z predpokladu, že polynom $C/s/$ je stabilným polynomom.

Uvažujeme optimálny prediktor v prírastkovom stave, ktorý je popísaný rovnicou:

$$\Delta y_k^p = s G/s/ \Delta y_k + s^r B/s/ \Delta u_k + D/s/ \Delta d m_k - [C/s/ -1] \Delta y_k^p$$

kde

$$y_k^p = y_{k-1} + \Delta y_k^p \quad 2.2.2 - 6$$

Zavedieme vektor pozorovania Φ_{k-1} v tvare :

$$\Phi_{k-1}^T = [y_{k-1}, \dots, y_{k-1-n_j}, u_{k-r}, \dots, u_{k-r-m}, d m_{k-1}, \dots, d m_{k-nd}, y_{k-1}^p, \dots, y_{k-nc}^p, 1]$$

a vektor koeficientov Θ má tvar :

$$\Theta^T = [g_0, g_1, \dots, g_{ng}, b_0, b_1, \dots, b_m, 1, 2, \dots, nd, -c_1, -c_2, \dots, -c_{nc}, \kappa]$$

Potom predikcia výstupu bude

$$y_k^p = \Theta^T \Phi_{k-1}$$

a pre výstup sústavy platí :

$$y_k = y_k^p + \Delta_k^p = \Theta^T \Phi_{k-1} + d_k \quad 2.2.2 - 7$$

podobne môžeme zaviesť vektor pozorovania a vektor koeficientov pre prediktor, ktorý je popísaný rovnicou 2.2.2 - 6.

$$\Phi_{k-1}^T = [\Delta y_{k-1}, \dots, \Delta y_{k-ny-1}, \Delta u_{k-r}, \dots, \Delta u_{k-r-m}, \Delta d_{m_{k-1}}, \dots, \Delta d_{m_{k-nd}}, \Delta y_{k-1}^p, \Delta y_{k-2}^p, \dots, \Delta y_{k-nc}^p]$$

$$\Theta^T = [g_0, g_1, \dots, g_{ng}, b_0, \dots, b_m, 1, \dots, nd, -c_1, -c_2, \dots, -c_{nc}]$$

Prediktor výstupu y_k^p bude potom daný rovnicou 2.2.2 - 7.

$$y_k^p = y_{k-1} + \Delta y_k^p \quad 2.2.2 - 8$$

kde

$$\Delta y_k^p = \Theta^T \Phi_{k-1}$$

a pre výstup zo sústavy platí :

$$y_k = y_k^p + \Delta_k^p = y_{k-1} + \Theta^T \Phi_{k-1} + \Delta d_k \quad 2.2.2 - 9$$

2.3. Návrh optimálneho riadenia pre adaptívne systémy.

Návrh optimálneho riadenia pre zvolený matematický model je vyústením problematiky adaptívneho riadenia. Dôležitou otázkou zostáva spôsob využitia informácií o sústave ob-
siahnutých v odhadoch z hľadiska adaptívneho riadiaceho sys-
tému.

2.3.1. Formulácia úlohy optimálneho riadenia pre adaptívne riadiace systémy.

Úlohou optimálneho riadenia je nájsť také prípustné riadenie pre daný dynamický systém, ktoré generuje vstup da-
ného systému a minimalizuje dané kritérium akosti riadenia. Zvolené kritérium akosti riadenia musí zaručovať také hodno-
tenie kvality riadiaceho procesu, ktoré je v súlade s po-
žiadavkami praxe. Existujú rôzne teórie akosti, ale najväč-
šie uplatnenie v syntéze riadenia dosiahlo kvadratické kri-
térium akosti riadenia, ktoré túto úlohu nielen rieši, ale
dáva aj jednoduché algoritmy riadenia, ktoré sa dobre reali-
zujú pomocou číslicovej riadiacej techniky.

V praxi existujú obmedzenia, ktoré z množiny riadenia
vytvárajú množinu prípustných riešení. Sú to hlavne dve ob-
medzenia :

1. Aby prípustná množina bola fyzikálne realizovateľná.

Je to množina, ktorú získame operáciami nad množinou dát $\mathcal{D}_k$.

$$\mathcal{D}_k^T = [y_{k-1}, u_{k-1}, d_{m_{k-1}}, y_{k-2}, u_{k-2}, d_{m_{k-2}}, \dots, w^T] \quad 2.3.1 - 1$$

kde

$y_{k-1}, y_{k-2}, \dots$ merané výstupy na sústave

$u_{k-1}, u_{k-2}, \dots$ merané vstupy na sústave

$dm_{k-1}, dm_{k-2}, \dots$ merané poruchy na sústave

w^T vektor vopred známych dát- obsahuje
žiadané hodnoty w_k pre celý interval
riadenia.

2. Aby prípustná množina zaistovala stabilitu uzavretého regulačného obvodu pre N

$$\sum_{k=1}^{\infty} (y_k - w_k)^2 < \infty \quad 2.3.1 - 2$$

Problém optimálneho riadenia.

Dynamický systém je popísaný stochastickou diferenčnou rovnicou :

$$A/s/ \ y_k = s \ B/s/ \ u_k + C/s/ \ d_k$$

kde

$$A/s/ = 1 + a_1 s + \dots + a_n s^n$$

$$B/s/ = b_0 + b_1 s + \dots + b_m s^m$$

$$C/s/ = 1 + c_1 s + \dots + c_l s^l$$

Kritérium akosti riadenia je v tvare :

$$J = \frac{1}{N} \ \varepsilon \left\{ \sum_{k=1}^N \left[/ y_k - w_k /^2 + \omega u_k^2 \right] \right\} \quad 2.3.1 - 3$$

$$J = \frac{1}{N} \ \varepsilon \left\{ \sum_{k=1}^N \left[/ y_k - w_k /^2 + \omega u_k^2 \right] \right\} \quad 2.3.1 - 4$$

kde

y_k - výstup systému v okamžiku k

w_k - žiadaná hodnota v okamžiku k

u_k - akčná veličina v okamžiku k

- Δu_k - prírastok akčnej veličiny v okamžiku k
 ω - váha akčnej veličiny
 N - interval riadenia
 $\varepsilon [\%]$ - stredná hodnota

Nájdenie optimálneho riadenia spočíva v nájdení rovníc regulátora.

$$u_k = -K_k \mathcal{D}_k$$

kde

$$K_k = [s_{1k}, r_{1k}, q_{1k}, s_{2k}, r_{2k}, q_{2k}, \dots]$$

K_k je spätnoväzobná matica koeficientov regulátora. Zaisťuje minimalizáciu kvadratického kritéria a stabilitu uzatvoreného regulačného obvodu.

Syntéza riadenia vyžaduje ešte splnenie ďalších požiadavkov, ktoré sa priamo neobjavujú v bežnej syntéze. Patria sem:

1. Odhady parametrov sú zatažené chybou, ktorá v odhade prediktora spôsobuje chybu - biely šum d_k a chybu, ktorá zodpovedá chybám odhadu parametrov. Platí:

$$y_k - \hat{y}_k = z_k = d_k + \Delta p$$

kde

y_k - výstup sústavy

$\hat{y}_k$ - predikcia výstupu

z_k - chyba odhadu predikcie

d_k - diskretná hodnota bieleho šumu

Δp - chyba spôsobená chybami odhadu koeficientov G, B, C

2. Pre ciele adaptívneho riadenia je potrebné použiť také algoritmy riadenia, ktoré budú optimálne riadiť " hneď po pripojení " - teda ktoré zaisťujú optimálne riadenie nielen stacionárnej časti regulačného procesu, ale i vlastného

prechodového deja.

- 2.4. Návrh algoritmu riadenia pre optimálne vyrovnanie nemerateľnej poruchy sústav popísaných stochastickou diferenčnou rovnicou.
-

Návrh algoritmu riadenia vychádza z predpokladu, že polynom $C/s/$ je stabilný a je možné ho riešiť dvoma spôsobmi:

1. Použitím popisu sústavy rovnicou 2.3.1 - 1 a predpokladu, že d_k je stacionárna postupnosť bieleho šumu. Tento spôsob však nie je vhodný pre adaptívne riadenie, pretože sa nepodarilo nájsť vhodný algoritmus v tvare diferenčnej rovnice.
2. Vychádzame z predpokladu, že u sústav s meranou poruchou je možné vyjadriť zákon riadenia v tvare :

$$N/s/ u_k = M/s/ y_k + Q/s/ v_k \quad 2.4 - 1$$

kde

v_k - merateľná porucha

$N/s/, M/s/, Q/s/$ - polynomystupňa $\partial N, \partial M, \partial Q$

Základný predpoklad je rovnosť $d_k = v_k$.

Ak je polynom $C/s/$ stabilný, potom platí :

$$d_k = \frac{A/s/ y_k - s B/s/ u_k}{C/s/} \quad 2.4 - 2$$

Po úprave dostaneme zákon riadenia, ktorý závisí len na vstupe a výstupe :

$$PN/s/ u_k = PM/s/ y_k \quad 2.4 - 3$$

kde

$$PN/s/ = C/s/ N/s/ + Q/s/ B/s/$$

$$PM/s/ = C/s/ M/s/ + Q/s/ A/s/$$

2.5. Popis riadeného systému pre konečný interval riadenia.

Pre určenie optimálneho riadenia sa uvažuje interval riadenia konečnej dĺžky N . Začiatok súradného systému môžeme posunúť do ľubovoľného indexu K_0 , ktorý neovplyvňuje výsledok syntézy.

Ak uvažujeme stochastickú diferenčnú rovnicu k indexu K_0 , potom model sústavy má tvar :

$$y_k + \sum_{i=1}^{\partial a} a_i y_{k-i} = \sum_{i=0}^{\partial b} b_i u_{k-i} + \sum_{i=0}^{\partial c} c_i d_{k-i} + K + \xi_k$$

2.5 - 1

kde

ξ_k - chyba matematického modelu systému

Popis vývoja dynamického systému môžeme popísať sústavou N rovníc, vyjadrenú v maticovom tvare :

$$A y = B u + C d + K + \xi \quad 3.5 - 2$$

Vektory výstupu je možné vyjadriť z rovnice 2.3.1 - 2 v tvare:

$$Y = A^{-1} B u + A^{-1} C d + A^{-1} / K + \xi / \quad 2.5 - 3$$

Matematický model riadenej sústavy obsahuje náhodné zložky d_k a ξ_k , kde d_k je postupnosť stacionárneho gaussovského šumu. Pre vzájomnú korelačnú funkciu môžeme písať :

$$R_{ud} /i/ = \varepsilon \left\{ u_k d_{k+1} \right\} = 0 \quad \text{pre } i \geq 0$$

$$R_{du} /i/ = \varepsilon \left\{ u_{k+1} d_k \right\} \neq 0 \quad \text{pre } i \geq 1$$

Pre chybu ξ_k , ktorá nemá charakter bieleho šumu platí :

$$R_{u\xi} /i/ = \varepsilon \left\{ u_k \xi_{k+1} \right\} \neq 0 \quad \text{pre } i \geq 0$$

$$R_{\xi u} /i/ = \varepsilon \left\{ u_{k+1} \xi_k \right\} \neq 0 \quad \text{pre } i \geq 1$$

Pre zjednodušenie návrhu algoritmu zavedieme predpoklad, že budúce chyby predikcie v uvažovanom intervale časových indexov nezávisí na akčných zásahoch. Matematicky to znamená :

$$R_{u\xi} /i/ = \varepsilon \left\{ u_k \xi_{k+1} \right\} = 0 \quad \text{pre } i = 0, 1, \dots, N$$

Ďalej predpokladáme, že autokorelačné funkcie $R_{\xi\xi} /i/$ a $R_{dd} /i/$ nie je možné ovplyvniť voľbou stratégie riadenia.

V tejto diplomovej práci som v rámci simulácie upravil
 hodnoty parametrov, ktoré popisujú správanie systému
 popísaného v kapitole 2. Na záver práce som vypracoval
 program, ktorý umožňuje simuláciu systému.

Program bol vypracovaný pre rôzne varianty
 simulácie:

1. Simulácia systému s parametrami $a_1, \dots, a_n$ na 1,5 sčítach v
 jednotkách času.
2. Simulácia systému s parametrami $b_1, \dots, b_n$ na dvojnásobok
 jednotky času.
3. Simulácia systému s parametrami $c_1, \dots, c_n$. Závislosť spoľi-
 telnosti parametrov je závislosť od spoľiteľnosti systému.

Pre variantu 1. platí:

3. SIMULÁCIA.

- počet krokov simulácie = 1000
- sčítach identifikácie v kroku = 5
- sčítach adaptácie v kroku = 1000
- zmena parametrov v kroku = 1000

Pre variantu 2. platí:

- počet krokov simulácie = 1000
- sčítach identifikácie v kroku = 5
- sčítach adaptácie v kroku = 1000
- sčítach spoľiteľnosti parametrov v kroku = 1000
- koniec spoľiteľnosti parametrov v kroku = 1000

V prílohe sú uvedené príklady príkladov a výsledky
 simulácie.

V tejto diplomovej práci som v rámci simulácie upravil hotové programy, ktoré potom zabezpečovali zmenu zvolených parametrov v ľubovoľnom kroku na ľubovoľný násobok. Zmena parametrov môže byť buď skoková alebo spojitá.

Upravený program bol vyskúšaný pre päť rôznych príkladov v troch variantách:

1. Skoková zmena koeficientov $a_1, \dots, a_n$ na 1,5 násobok pôvodných hodnôt.
2. Skoková zmena koeficientov $b_0, \dots, b_m$ na dvojnásobok pôvodných hodnôt.
3. Spojitá zmena koeficientov $b_0, \dots, b_m$. Závislosť spojitej zmeny parametrov je sínusová so zosilením rovným 2.

Pre varianty 1. a 2. platí:

- počet krokov simulácie - 3000
- začiatok identifikácie v kroku - 0
- začiatok adaptácie v kroku - 1000
- zmena parametrov v kroku - 2000

Pre variantu 3. platí:

- počet krokov simulácie - 4000
- začiatok identifikácie v kroku - 0
- začiatok adaptácie v kroku - 1000
- začiatok spojitej zmeny parametrov v kroku - 2000
- koniec spojitej zmeny parametrov v kroku - 3000

V ďalšej časti sú uvedené použité príklady a výsledky simulácie.

Príklad č.1

Stabilná spojitá sústava prvého rádu
s nulovým dopravným oneskorením.

Pre polynomy tejto sústavy platí:

$$A/s/ = 1 - 0,5s$$

$$B/s/ = 0,5$$

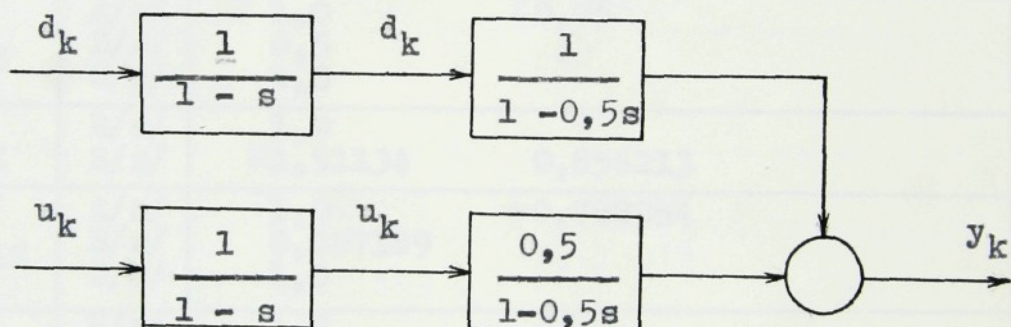
$$C/s/ = 1$$

Korene čitateľa: $s_1 = 0$

Korene menovateľa: $s_1 = 1$

$$s_2 = 2$$

Štruktúra tejto sústavy je na obr. č. 4.



Obr.č.4

Výsledky simulácie sú zhrnuté v tabuľkách 1,2,3 pre jednotlivé varianty príkladu.

Tab.č.1 Skoková zmena koeficientu a_1

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	
R	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,2079	0,50274
S_I	A/s/	1,0	-0,436573
	B/s/	0,49021	
	C/s/	1,0	
R_I	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,14874	0,428227
S_A	A/s/	1,0	-0,443228
	B/s/	0,465517	
	C/s/	1,0	
R_A	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,17506	0,445909
S_Z	A/s/	1,0	-0,75
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	
R_Z	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,51134	0,856213
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,768954
	B/s/	0,697189	
	C/s/	1,0	
R_{AZ}	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,30942	0,720833

J_o	1,01103		
J_I	1,01410	O_I [%]	0,3036
J_A	1,01286	O_A [%]	0,1810
J_Z	1,32996		
J_{AZ}	1,36846	O_{AZ} [%]	2,8948

Tab.č.2 Skoková zmena koeficientu b_0

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	
R	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,2079	0,50274
S_I	A/s/	1,0	-0,436573
	B/s/	0,49021	
	C/s/	1,0	
R_I	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,14874	0,428227
S_A	A/s/	1,0	-0,466112
	B/s/	0,489017	
	C/s/	1,0	
R_A	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,18062	0,46496
S_Z	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	1,0	
	C/s/	1,0	
R_Z	R/s/	1,0	
	S/s/	-0,900688	0,346357
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,419023
	B/s/	0,811062	
	C/s/	1,0	
R_{AZ}	R/s/	1,0	
	S/s/	-0,936613	0,320556

J_0	1,01103		
J_I	1,01410	0_I [%]	0,3036
J_A	1,01180	0_A [%]	0,0762
J_Z	2,225431		
J_{AZ}	2,26669	0_{AZ} [%]	1,8540

Tab.č.3 Spojitá zmena koeficientu b_0

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	
R	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,2079	0,50274
S_I	A/s/	1,0	-0,436573
	B/s/	0,49021	
	C/s/	1,0	
R_I	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,14874	0,428227
S_A	A/s/	1,0	-0,423973
	B/s/	0,445745	
	C/s/	1,0	
R_A	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,17003	0,429387
S_Z	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	1,0	
	C/s/	1,0	
R_Z	R/s/	1,0	
	S/s/	-0,900688	0,346357
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,468102
	B/s/	0,522035	
	C/s/	1,0	
R_{AZ}	R/s/	1,0	
	S/s/	-1,15663	0,454014

J_0	1,01103		
J_I	1,01410	O_I [%]	0,3037
J_A	1,01420	O_A [%]	0,3135
J_{ZA}	1,01261	O_{ZA} [%]	0,1563
J_Z	2,22543		
J_{ZI}	1,01675	O_{ZI} [%]	-54,312

Výsledky z počítača sú priložené v prílohách č.I. až V.

- Príloha č. I. - Optimálne regulátory.
- Príloha č. II. - Simulácia pre variantu č. 1.
- Príloha č. III.- Simulácia pre variantu č. 2.
- Príloha č. IV. - Simulácia pre variantu č. 3.
- Príloha č. V. - Kvadratické kritérium a grafický priebeh regulačného pochodu.

Príklad č. 2 Stabilná spojitá sústava prvého rádu
so spojitým dopravným oneskorením.

Pre polynomy tejto sústavy, štruktúra ktorej je na obr.č.5,
platí :

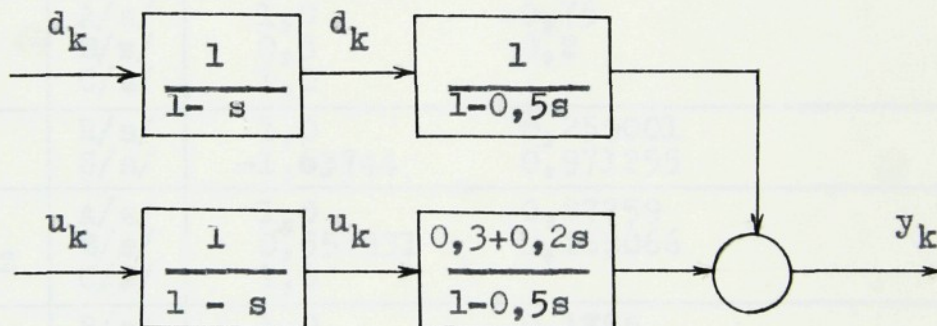
$$A/s/ = 1 - 0,5s$$

$$B/s/ = 0,3 + 0,2s$$

$$C/s/ = 1$$

Korene čitateľa : $s_1 = 0$
 $s_2 = -1,5$

Korene menovateľa : $s_1 = 1$
 $s_2 = 2$



Obr.č. 5

Výsledky simulácie pre jednotlivé varianty sú uvedené
v tabuľkách 4,5,6.

Tab.č.4 Skoková zmena koeficientu a_1

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,3	0,2
	C/s/	1,0	
R	R/s/	1,0	0,220287
	S/s/	-1,26935	0,550716
S_I	A/s/	1,0	-0,389231
	B/s/	0,247653	0,224467
	C/s/	1,0	
R_I	R/s/	1,0	0,236916
	S/s/	-1,16075	0,410818
S_A	A/s/	1,0	-0,479152
	B/s/	0,29727	0,173366
	C/s/	1,0	
R_A	R/s/	1,0	0,191532
	S/s/	-1,26214	0,52936
S_Z	A/s/	1,0	-0,75
	B/s/	0,3	0,2
	C/s/	1,0	
R_Z	R/s/	1,0	0,259001
	S/s/	-1,63744	0,971255
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,87759
	B/s/	0,557331	0,168066
	C/s/	1,0	
R_{AZ}	R/s/	1,0	0,1756
	S/s/	-1,48888	0,91693

J_O	1,03027		
J_I	1,06542	O_I [%]	3,4120
J_A	1,03375	O_A [%]	0,3378
J_Z	1,40437		
J_{AZ}	1,46399	O_{AZ} [%]	4,2450

Tab.č.5 Skoková zmena koeficientov b_0 , b_1

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,3	0,2
	C/s/	1,0	
R	R/s/	1,0	0,220287
	S/s/	-1,26935	0,550716
S_I	A/s/	1,0	-0,389231
	B/s/	0,247653	0,224467
	C/s/	1,0	
R_I	R/s/	1,0	0,236916
	S/s/	-1,16075	0,410818
S_A	A/s/	1,0	-0,480215
	B/s/	0,300579	0,1895
	C/s/	1,0	
R_A	R/s/	1,0	0,207055
	S/s/	-1,25052	0,5247
S_Z	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,6	0,4
	C/s/	1,0	
R_Z	R/s/	1,0	0,321711
	S/s/	-0,986548	0,402139
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,413753
	B/s/	0,445828	0,3632
	C/s/	1,0	
R_{AZ}	R/s/	1,0	0,315688
	S/s/	-1,00382	0,359628

J_O	1,03027		
J_I	1,06542	O_I [%]	3,4120
J_A	1,03564	O_A [%]	0,5212
J_Z	2,23098		
J_{AZ}	2,22788	O_{AZ} [%]	-0,1390

Tab.č.6 Spojitá zmena koeficientov b_0 , b_1

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,3	0,2
	C/s/	1,0	
R	R/s/	1,0	0,220287
	S/s/	-1,26935	0,550716
S_I	A/s/	1,0	-0,389231
	B/s/	0,247653	0,224467
	C/s/	1,0	
R_I	R/s/	1,0	0,236916
	S/s/	-1,16075	0,410818
S_A	A/s/	1,0	-0,478267
	B/s/	0,294516	0,159931
	C/s/	1,0	
R_A	R/s/	1,0	0,178346
	S/s/	-1,27203	0,533337
S_Z	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,6	0,4
	C/s/	1,0	
R_Z	R/s/	1,0	0,321711
	S/s/	-0,986548	0,402139
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,508402
	B/s/	0,341032	0,192516
	C/s/	1,0	
R_{AZ}	R/s/	1,0	0,205977
	S/s/	-1,24885	0,543952

J_o	1,03027		
J_I	1,06542	O_I [%]	3,4117
J_A	1,03287	O_A [%]	0,2520
J_{ZA}	1,03562	O_{ZA} [%]	0,5190
J_Z	2,23098		
J_{ZI}	1,05648	O_{ZA} [%]	-52,645

Príklad č. 3 Stabilná spojitá sústava druhého rádu
s nulovým dopravným oneskorením a komplexným koreňom .

Pre polynomy sústavy platí :

$$A/s/ = 1 - 1,0724621s + 0,49s^2$$

$$B/s/ = 0,749495 - 0,331975s$$

$$C/s/ = 1$$

Korene čitateľa : $s_1 = 0$

$$s_2 = 2,257805$$

Korene menovateľa: $s_1 = 1$

$$s_{2,3} = 1,094349 \pm 1,799562 i$$

Výsledky simulácie pre jednotlivé varianty sú spracované v tabuľkách 7,8,9.

Tab.č.7 Skoková zmena koeficientov a_1 , a_2

S	A/s/	1,0	-1,07246	0,49
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0		
R	R/s/	1,0	-0,340542	
	S/s/	-1,50252	1,39573	-0,502669
S_I	A/s/	1,0	-0,933674	0,466322
	B/s/	0,686216	-0,279812	
	C/s/	1,0		
R_I	R/s/	1,0	-0,287466	
	S/s/	-1,39606	1,22455	-0,479075
S_A	A/s/	1,0	-0,883873	0,381592
	B/s/	0,629304	-0,216869	
	C/s/	1,0		
R_A	R/s/	1,0	-0,230365	
	S/s/	-1,40768	1,14698	-0,405341
S_Z	A/s/	1,0	1,60869	0,735
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0		
R_Z	R/s/	1,0	-0,388584	
	S/s/	-2,08685	1,43592	-0,860364
S_{AZ}	A/s/	1,0	-1,38942	0,301987
	B/s/	0,793731	0,030356	
	C/s/	1,0		
R_{AZ}	R/s/	1,0	0,0297225	
	S/s/	-1,7035	1,532	-0,293749

J_O	2,74751		
J_I	2,86614	O_I [%]	4,3177
J_A	2,68232	O_A [%]	-2,3730
J_Z	16,16310		
J_{AZ}	15,74660	O_{AZ} [%]	-2,5769

Tab.č.8 Skoková zmena koeficientov b_0 , b_1

S	A/s/	1,0	-1,07246	0,49
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0		
R	R/s/	1,0	-0,340542	
	S/s/	-1,50252	1,39573	-0,502669
S_I	A/s/	1,0	-0,933674	0,466322
	B/s/	0,686216	-0,279812	
	C/s/	1,0		
R_I	R/s/	1,0	-0,287466	
	S/s/	-1,39606	1,22455	-0,479075
S_A	A/s/	1,0	-0,878344	0,377572
	B/s/	0,626908	-0,203071	
	C/s/	1,0		
R_A	R/s/	1,0	-0,215013	
	S/s/	-1,39892	1,1344	-0,399777
S_Z	A/s/	1,0	-1,07246	0,49
	B/s/	1,49899	-0,663914	
	C/s/	1,0		
R_Z	R/s/	1,0	-0,397189	
	S/s/	-1,01535	0,867219	-0,293144
S_{AZ}	A/s/	1,0	-1,07606	0,466541
	B/s/	1,41004	-0,681862	
	C/s/	1,0		
R_{AZ}	R/s/	1,0	-0,432222	
	S/s/	-1,07014	0,905439	-0,295733

J_O	2,74751		
J_I	2,86614	O_I [%]	4,3177
J_A	2,70927	O_A [%]	-1,3918
J_Z	6,43002		
J_{AZ}	6,87345	O_{AZ} [%]	6,896

Tab.č.9 Spojitá zmena koeficientov b_0 , b_1

S	A/s/	1,0	-1,07246	0,49
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0		
R	R/s/	1,0	-0,340542	
	S/s/	-1,50252	1,39573	-0,502669
S_I	A/s/	1,0	-0,933674	0,466322
	B/s/	0,686216	-0,279812	
	C/s/	1,0		
R_I	R/s/	1,0	-0,287466	
	S/s/	-1,39606	1,22455	-0,479075
S_A	A/s/	1,0	-0,895844	0,390296
	B/s/	0,63449	-0,24674	
	C/s/	1,0		
R_A	R/s/	1,0	-0,26386	
	S/s/	-1,42664	1,17422	-0,417378
S_Z	A/s/	1,0	-1,07246	0,49
	B/s/	1,49899	-0,663914	
	C/s/	1,0		
R_Z	R/s/	1,0	-0,397189	
	S/s/	-1,01535	0,867219	-0,293144
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,901904	0,378842
	B/s/	0,672685	-0,223015	
	C/s/	1,0		
R_{AZ}	R/s/	1,0	-0,229177	
	S/s/	-1,38985	1,13441	-0,389308

J_0	2,74751		
J_I	2,86614	O_I [%]	4,3180
J_A	2,63016	O_A [%]	-4,2710
J_{ZA}	2,66181	O_{ZA} [%]	-3,1190
J_Z	6,43002		
J_{ZI}	1,84866	O_{ZI} [%]	-71,249

Príklad č. 4 Spojitá stabilná sústava prvého rádu
s nulovým dopravným oneskorením.

Polynomy tejto sústavy sú popísané rovnicami :

$$A/s/ = 1 - 0,5s$$

$$B/s/ = 0,5$$

$$C/s/ = 1 + 0,25s$$

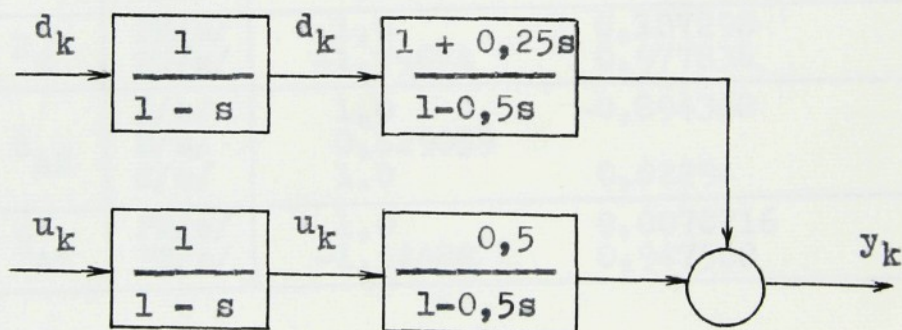
Korene čitateľa : $s_1 = 0$

Korene menovateľa: $s_1 = 1$

$$s_2 = 2$$

Korene polynomu $C/s/$: $s_1 = -4$

Štruktúra sústavy je na obr. č. 6.



Obr.č.6

Výsledky simulácie sú v tabuľkách 10,11,12.

Tab.č.10 Skoková zmena koeficientu a_1

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	
R	PM/s/	1,0	0,124315
	PN/s/	-1,45927	0,57782
S_I	A/s/	1,0	-0,404518
	B/s/	0,524026	
	C/s/	1,0	0,328357
R_I	PM/s/	1,0	0,166982
	PN/s/	-1,40044	0,453174
S_A	A/s/	1,0	-0,443561
	B/s/	0,46698	
	C/s/	1,0	0,240165
R_A	PM/s/	1,0	0,127461
	PN/s/	-1,41559	0,512132
S_Z	A/s/	1,0	-0,75
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	0,25
R_Z	PM/s/	1,0	0,107298
	PN/s/	-1,79674	0,977836
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,894308
	B/s/	0,629059	
	C/s/	1,0	0,02294
R_{AZ}	PM/s/	1,0	0,0078216
	PN/s/	-1,54488	0,947568

J_O	1,04491		
J_I	1,03235	O_I [%]	-1,2020
J_A	1,03381	O_A [%]	-1,0623
J_Z	1,33057		
J_{AZ}	1,33857	O_{AZ} [%]	0,6012

Tab.č.11 Skoková zmena koeficientu b_0

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	0,25
R	PM/s/	1,0	0,124315
	PN/s/	-1,45927	0,57782
S_I	A/s/	1,0	-0,404518
	B/s/	0,524026	
	C/s/	1,0	0,328357
R_I	PM/s/	1,0	0,166982
	PN/s/	-1,40044	0,453174
S_A	A/s/	1,0	-0,444835
	B/s/	0,50478	
	C/s/	1,0	0,289022
R_A	PM/s/	1,0	0,147091
	PN/s/	-1,42731	0,507749
S_Z	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	1,0	
	C/s/	1,0	0,25
R_Z	PM/s/	1,0	0,076821
	PN/s/	-1,07387	0,380953
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,667508
	B/s/	0,566496	
	C/s/	1,0	-0,361286
R_{AZ}	PM/s/	1,0	-0,152011
	PN/s/	-0,961762	0,547462

J_0	1,04491		
J_I	1,03235	0_I [%]	-1,2020
J_A	1,03710	0_A [%]	-0,7470
J_Z	2,35842		
J_{AZ}	2,29698	0_{AZ} [%]	-2,6050

Tab.č.12 Spojitá zmena koeficientu b_o

S	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	0,5	
	C/s/	1,0	0,25
R	PM/s/	1,0	0,124315
	PN/s/	-1,45927	0,57782
S_I	A/s/	1,0	-0,404518
	B/s/	0,524026	
	C/s/	1,0	0,328357
R_I	PM/s/	1,0	0,166982
	PN/s/	-1,40044	0,453174
S_A	A/s/	1,0	-0,442487
	B/s/	0,435139	
	C/s/	1,0	0,199009
R_A	PM/s/	1,0	0,109496
	PN/s/	-1,40485	0,515488
S_Z	A/s/	1,0	-0,5
	B/s/	1,0	
	C/s/	1,0	0,25
R_Z	PM/s/	1,0	0,076821
	PN/s/	-1,07387	0,380953
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,528505
	B/s/	0,491941	
	C/s/	1,0	0,132065
R_{AZ}	PM/s/	1,0	0,065252
	PN/s/	-1,38224	0,586495

J_o	1,04491		
J_I	1,03235	O_I [%]	-1,2020
J_A	1,03123	O_A [%]	-1,3090
J_{ZA}	1,02698	O_{ZA} [%]	-1,7160
J_Z	2,35842		
J_{ZI}	0,875249	O_{ZI} [%]	-62,8880

Výsledky z počítača sú priložené v prílohách č.VI.až X.

- Príloha č. VI. - Optimálne regulátory.
- Príloha č. VII. - Simulácia pre variantu č.1.
- Príloha č. VIII. - Simulácia pre variantu č. 2.
- Príloha č. IX. - Simulácia pre variantu č. 3.
- Príloha č. X. - Kvadratické kritérium a grafický priebeh regulačného pochodu.

Príklad č. 5 Stabilná nulová sústava druhého rádu
s komplexným koreňom.

Polynomy sústavy sú popísané vzťahmi :

$$A/s/ = 1 - 1,072462s + 0,49s^2$$

$$B/s/ = 0,749495 - 0,331957s$$

$$C/s/ = 1 - 0,7s + 0,1s^2$$

Korene čitateľa : $s_1 = 0$
 $s_2 = 2,2578$

Korene menovateľa: $s_1 = 1$
 $s_{2,3} = 1,094349 \pm 1,79956 i$

Korene polynomu C/s/: $s_1 = 5$
 $s_2 = 2$

Výsledky simulácie sú usporiadané v tabuľkách 13,14,15.

Tab.č.13 Skoková zmena koeficientov a_1, a_2

S	A/s/	1,0	-1,40725	0,49
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0	-0,7	0,1
R	PM/s/	1,0	-0,513893	0,029424
	PN/s/	-1,17396	1,36525	-0,90824
S_I	A/s/	1,0	-1,44981	0,325116
	B/s/	1,39965	-0,387438	
	C/s/	1,0	-0,02099	-0,006683
R_I	PM/s/	1,0	-0,251733	-0,001055
	PN/s/	-1,26789	1,09135	-0,209825
S_A	A/s/	1,0	-0,963993	-0,077353
	B/s/	0,966072	0,086037	
	C/s/	1,0	-0,019753	-0,036076
R_A	PM/s/	1,0	0,071634	-0,008297
	PN/s/	-1,21941	0,707599	0,059019
S_Z	A/s/	1,0	-2,11087	0,735
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0	-0,7	0,1
R_Z	PM/s/	1,0	-0,484654	0,01791
	PN/s/	-1,96414	2,52354	-0,728627
S_{AZ}	A/s/	1,0	-1,91168	0,403086
	B/s/	0,749445	-0,182886	
	C/s/	1,0	0,192636	-0,069984
R_{AZ}	PM/s/	1,0	-0,177208	-0,012532
	PN/s/	-2,74483	2,78308	-0,513218

J_O	8,61517		
J_I	8,90530	O_I [%]	3,3680
J_A	6,85304	O_A [%]	-20,454
J_Z	25,94850		
J_{AZ}	26,72330	O_{AZ} [%]	2,9860

Tab.č.14 Skoková zmena koeficientov b_0 , b_1

S	A/s/	1,0	-1,40725	0,49
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0	-0,7	0,1
R	PM/s/	1,0	-0,513893	0,029424
	PN/s/	-1,17396	1,36525	-0,40824
S_I	A/s/	1,0	-1,44981	0,325116
	B/s/	1,39965	-0,387438	
	C/s/	1,0	-0,020993	-0,006683
R_I	PM/s/	1,0	-0,251733	-0,001055
	PN/s/	-1,26789	1,09135	-0,209825
S_A	A/s/	1,0	-0,780846	-0,143089
	B/s/	0,80639	0,159568	
	C/s/	1,0	-0,020117	-0,021435
R_A	PM/s/	1,0	0,131141	-0,005932
	PN/s/	-1,19778	0,576944	0,116647
S_Z	A/s/	1,0	-1,40725	0,49
	B/s/	1,49899	-0,663914	
	C/s/	1,0	-0,7	0,1
R_Z	PM/s/	1,0	-0,482392	0,016531
	PN/s/	-0,789252	0,880168	-0,253538
S_{AZ}	A/s/	1,0	-0,558987	-0,151326
	B/s/	0,512317	0,235763	
	C/s/	1,0	-0,476934	-0,261496
R_{AZ}	PM/s/	1,0	0,054246	-0,100065
	PN/s/	-0,636936	0,378246	0,096885

J_0	8,61517		
J_I	8,90530	0_I [%]	3,3680
J_A	8,31900	0_A [%]	-3,4380
J_Z	12,58300		
J_{AZ}	14,21030	0_{AZ} [%]	12,9330

Tab.č.15 Spojitá zmena koeficientov b_0 , b_1

S	A/s/	1,0	-1,40725	0,49
	B/s/	0,749495	-0,331957	
	C/s/	1,0	-0,7	0,1
R	PM/s/	1,0	-0,513893	0,029424
	PN/s/	-1,17396	1,36525	-0,40824
S _I	A/s/	1,0	-1,44981	0,325116
	B/s/	1,39965	-0,387438	
	C/s/	1,0	-0,02993	-0,006682
R _I	PM/s/	1,0	-0,251733	-0,001055
	PN/s/	-1,26789	1,09135	-0,209825
S _A	A/s/	1,0	-0,729401	-0,161554
	B/s/	0,761536	0,180223	
	C/s/	1,0	-0,020219	-0,017322
R _A	PM/s/	1,0	0,148985	-0,005046
	PN/s/	-1,19054	0,537106	0,143396
S _Z	A/s/	1,0	-1,40725	0,49
	B/s/	1,49899	-0,663914	
	C/s/	1,0	-0,7	0,1
R _Z	PM/s/	1,0	-0,513893	0,029424
	PN/s/	-1,17396	1,36525	-0,40824
S _{AZ}	A/s/	1,0	-0,482392	-0,01653
	B/s/	0,5077	0,217981	
	C/s/	1,0	-0,384405	0,04929
R _{AZ}	PM/s/	1,0	0,032381	0,01708
	PN/s/	-0,789252	0,880168	-0,253538

J ₀	8,61517		
J _I	8,90530	O _I [%]	3,3680
J _A	8,57145	O _A [%]	-0,5070
J _{ZA}	9,91904	O _{ZA} [%]	15,1420
J _Z	12,58300		
J _{ZI}	1,45654	O _{ZI} [%]	-88,424

Na konci článku v oblasti výskumu je potrebné zdôrazniť, že výsledky výskumu sú len orientačné a nie sú záväznými. V budúcnosti by bolo potrebné vykonať ďalšie výskumy, ktoré by overili, či sú tieto výsledky platné aj pre iné skupiny ľudí.

Na základe týchto výsledkov možno konštatovať, že výskum bol úspešný a že získané údaje sú veľmi cenné. Tieto údaje môžu byť použité na ďalšie výskumy a na zlepšenie kvality života ľudí. Výskum bol vykonaný v súlade s plánom a všetky úlohy boli splnené. Výsledky výskumu sú veľmi dobré a môžu byť použité na ďalšie výskumy a na zlepšenie kvality života ľudí.

4. ZHODNOTENIE A ZÁVER.

Mojou úlohou v rámci tejto diplomovej práce bolo upraviť programy na identifikáciu parametrov modelu. Zmena programu bola vyskúšaná na viacerých príkladoch, v ktorých bolo sledované chovanie modelu v závislosti na zmenách parametrov skutočnej sústavy.

Na základe získaných výsledkov možno konštatovať, že simulácia príkladov splnila očakávanie. Identifikácia parametrov modelu sa uspokojivo blížila skutočným hodnotám sústavy, aj keď presnosť bola niekedy málo dostatočná. Možno povedať, že parametre modelu sledujú aj zmenu parametrov sústavy. Väčšie priblíženie hodnôt parametrov modelu k skutočným hodnotám sústavy je možné docieliť zväčšením počtu krokov simulácie alebo zvýšením času na prispôsobenie sa novým podmienkam.

V Liberci 24.5.1984

Frany Jan

Zoznam použitej literatúry.

- / 1 / Hanuš, B. a kol.: Základy technickej kybernetiky II.
skripta VŠST Liberec 1980
- / 2 / Hanuš, B. a kol.: Teória automatického riadenia I.
skripta VŠST Liberec 1981
- / 3 / Modrlák, O.: Adaptívne riadenie tepelne technických
procesov ; kandidátska dizertačná prá-
ca, Liberec 1983
- / 4 / Strejc, V.: Stavová teória linearného diskkrétneho ria-
denia, SNTL / ALFA, 1981
- / 5 / Kotek, Z. a kol.: Adaptívne a učiace sa systémy,
SNTL / ALFA, 1980

V 80/T
84