

Vysoká škola: **VŠST Liberec** Fakulta: **strojní**
Katedra: **technické kybernetiky** Školní rok: **1985/86**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **s. Libora Svěhota**
obor **23-40-8 ASŘ výrobních procesů ve strojírenství**

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: **Algoritmus adaptivního regulátoru na mikropočítači SAPI 1**

Zásady pro vypracování:

1. V literatuře prostudujte problematiku číslicové a adaptivní číslicové regulace lineárních dynamických soustav.
2. Prestudujte ve výzkumné zprávě KTK-0115 algoritmus adaptivního číslicového regulátoru, který využívá dvouetapové metody identifikace soustavy v uzavřené regulační smyčce.
3. Dle pokynů vedoucího práce naprogramujte část algoritmu uvedeného adaptivního regulátoru na mikropočítači SAPI 1.
4. Spojte svůj program s dalšími programy, které poskytne vedoucí práce.

V 33. / 86 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

- 1/ Hanuš, B. a kol.: Teorie automatického řízení I. Skripta VŠST Liberec, 1982.
- 2/ Hanuš, B., Balda, M. a kol.: Základy technické kybernetiky. Skripta VŠST Liberec, 1980.
- 3/ Janeček, B.: Návrh vhodných způsobů řízení vyššího typu, zvláště pak typu adaptivního pro energetické procesy. Výzkumná zpráva KTK-0115, VŠST Liberec, 1984.

Vedoucí diplomové práce:

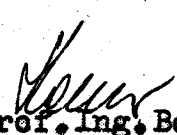
Ing. Bedřich Janeček

Datum zadání diplomové práce:

4.10.1985

Termín odevzdání diplomové práce:

23.5.1986


Prof. Ing. Bořivoj Hanuš, DrSc.

Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

V Liberci dne 30.9. 1985

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-40-8

Automatizované systémy řízení výrobních procesů
ve strojírenství

Katedra technické kybernetiky

Název diplomové práce

ALGORITMUS ADAPTIVNÍHO REGULÁTORU NA MIKROPOČÍTAČI SAPI 1

KTK ASŘ-SF-124

Jméno a příjmení autora: Libor SVĚCHOTA

Vedoucí práce: Ing. Bedřich JANEČEK, CSc., KTK VŠST LIBEREC

Rozsah práce a příloh

Počet stran : 66

Počet příloh : 3

Počet obrázků: 16

Počet tabulek: 5

Datum: 23.5.1986

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 23. května 1986



Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce a konzultantovi Ing. Bedřichu Janečkovi, CSc., pracovníkovi KTK VŠST Liberec, za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky k diplomové práci. Dále mu děkuji za poskytnutí programů, ze kterých jsem při řešení diplomové práce vycházel.

OBSAH

	strana
Úvodní list	1
Úřední zadání	2
Místopřísežné prohlášení	3
Poděkování	4
Obsah	5
Seznam použitých symbolů a pojmů	7
1. Úvod	9
2. Číslicové systémy řízení	10
3. Úvodní popis obsahu práce	12
4. Uvedení problematiky	16
5. Číslicový regulátor	21
5.1 Návrh diferenční rovnice regulátoru	25
5.2 Návrh regulátoru na poruchy vstupující do regulačního obvodu filtrem s přenosem $\frac{H}{C}$	30
6. Identifikace soustav	32
6.1 Identifikace soustavy v uzavřeném regulačním obvodu	33
6.2 Identifikace váhové funkce	34
7. Adaptivní systémy	39
7.1 Adaptivní regulátory	40
7.2 Adaptivní regulátor s identifikací váhové funkce	41

8.	SAPI 1 - systém pro automatické měření a sběr dat	43
8.1	Popis systému SAPI 1	44
8.2	Deska mikropočítače JPR 1	45
8.3	Programové vybavení SAPI 1	47
8.4	Současný stav vývoje a výroby systému SAPI 1	47
9.	Ověřovací a kontrolní výpočty	49
10.	Popis příloh	58
11.	Závěr	62
	Seznam použité literatury	64
	Seznam příloh	66

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A POJMŮ

A/Č	analogo-číslicový převodník
$\hat{b}$	koefficienty modelu soustavy
C	řídící počítač (číslicový)
Č/A	číslico-analogový převodník
d	porucha
e	chyba predikce
e	regulační odchylka (spojitá veličina)
e*	regulační odchylka (diskrétní veličina)
F	přenos soustavy
g	váhová funkce soustavy
H	tvarovač
j	celočíselná proměnná, která má charakter času
k	diskrétní dopravní zpoždění
p	Laplaceův operátor
P	porovnávač
q	kladný váhový koeficient
$\underline{R}$	matice regulátoru
s	komplexní proměnná
S	regulovaná soustava
t	čas
$\underline{T}$	transformační matice
ΔT	perioda vzorkování
T_d	dopravní zpoždění (spojitá veličina)
T_f	časová konstanta filtru
T_s	časová konstanta soustavy
u	akční veličina (spojitá)
Δu	přírůstek akční veličiny
u*	akční veličina (diskrétní)
w	žádaná veličina
$\underline{x}$	vektor stavu soustavy

y	regulovaná veličina (též se nazývá regulační odchylka, viz text)
$\hat{y}$	predikce - předpověď regulované veličiny
y^*	výstupní měřitelná veličina soustavy
y^{**}	výstupní neměřitelná veličina soustavy
z	komplexní proměnná
$\underline{z}$	vektor pozorování
$\delta(t)$	Diracova funkce (jednotkový impuls)
$\eta(t)$	Heavisideova funkce (jednotková funkce, jednotkový skok)
ν	elementární jev experimentu
λ	počet identifikovaných koeficientů polynomu $\hat{B}$
σ_d^2	rozptyl diskrétního bílého šumu
σ_e^2	rozptyl chyby predikce
σ_u^2	rozptyl ergodického stacionárního náhodného procesu ΔU nebo $\Delta U(j, \nu)$
σ_y^2	rozptyl ergodického stacionárního náhodného procesu Y nebo $y(j, \nu)$
Σ	sumátor
$\Delta \tau$	čas průchodu informace regulátorem
$\triangleq$	rovnítko ve smyslu zavedení značení

1. ÚVOD

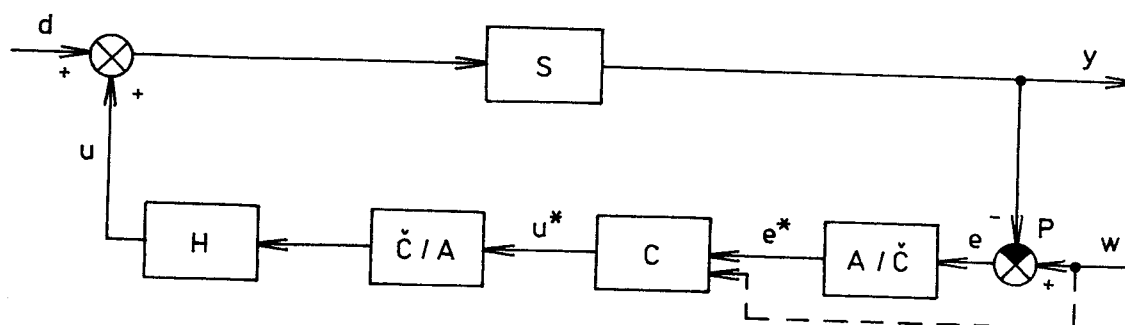
S rozvojem automatizace průmyslové výroby nabývá stále většího významu teorie automatické regulace spojitých výrobních procesů - spojitých dynamických soustav. Tato teorie se využívá při projektech a návrzích regulace spojitých dynamických soustav v energetice, chemii, hutnictví, dopravě, ve strojírenském a papírenském průmyslu a pod. Rozvoj elektroniky a mikroelektroniky vyvolává zájem o číslicové a adaptivní číslicové regulátory, které jsou schopny realizovat řízení tzv. vyššího typu. Ve srovnání s klasickými jednorázově nastavenými PID regulátory, splňují číslicové a adaptivní číslicové regulátory vyšší požadavky na kvalitu a přizpůsobivost regulace. Číslicové a adaptivní číslicové regulátory jsou realizovány na číslicových členech - na řídicích počítačích nebo na mikropočítačích, s regulovanou soustavou jsou spojeny analogo-číslícovými a číslico-analogovými převodníky.

Použití počítačů při řízení a regulaci výrobních procesů předpokládá nejen velmi spolehlivé a rychlé samočinné počítače, ale zejména též aby byly ujasněny všechny technologické, ekonomické a dynamické otázky výroby. Je samozřejmé, že samočinné počítače použijeme především k řízení velmi složitých výrobních pochodů, jestliže se řízení použitím této techniky zjednoduší nebo zkvalitní, nebo tam, kde bez samočinných počítačů nelze vyhovět náročným požadavkům na automatizaci provozu.

2. ČÍSLICOVÉ SYSTÉMY ŘÍZENÍ

Číslicové systémy řízení spojitých regulovaných soustav pracují nejčastěji jako systémy impulsní tj. v pravidelných časových intervalech získávají informaci a získanou informaci zpracovávají.

Při analýze předpokládejme blokové schéma impulsního obvodu s řídicím počítačem podle obr. 2-1 s regulovanou veličinou y , žádanou hodnotou w , akční veličinou u a poruchou d . Skutečná regulovaná veličina y se porovnává v porovnávači P s žádanou hodnotou, čímž vzniká regulační odchylka e ($e = w - y$), která se v analogo-číslicovém převodníku, pracujícím jako vzorkovač, přemění na číselnou hodnotu e^* , vstupující do počítače C .



Obr. 2-1 Blokové schéma impulsního obvodu

- S - regulovaná soustava
- C - řídicí počítač
- A/Č - analogo-číslicový převodník
- Č/A - čísluco-analogový převodník
- P - porovnávač
- H - tvarovač

Vzorkuje se na začátku každého vzorkovacího intervalu. Z matematického hlediska považujeme tuto hodnotu za velikost Diracova impulsu. Regulační odchylka se v počítači zpracuje na výstupní číselnou veličinu u^* , která opět z matematického hlediska představuje Diracův impuls. Tato veličina se v číslíco-analogovém převodníku a tvarovači H obvykle převádí na pulsy u o šířce rovné krokovacímu intervalu a výšce odpovídající hodnotě číselného výstupu počítače u^* . (Takový tvarovač je lineární a nazývá se tvarovačem nultého řádu).

Ve skutečných realizacích se žádaná hodnota w zavádí do počítače přímo (čárkovane vyznačeno na obr. 2-1). To dává i možnost různého zpracování regulované veličiny y a žádané hodnoty w a tím dosáhnout dalšího zlepšení regulace.

3. ÚVODNÍ POPIS OBSAHU PRÁCE

Předložená diplomová práce byla vypracována při řešení státního výzkumného úkolu III-8-5/04 "Adaptivní řízení tepelně technických soustav", což je dílčí úkol nadřazeného výzkumného úkolu základního výzkumu III-8-5 "Teorie a algoritmy adaptivního řízení", který je koordinován Československou akademií věd - Ústavem teorie informace a automatizace v Praze.

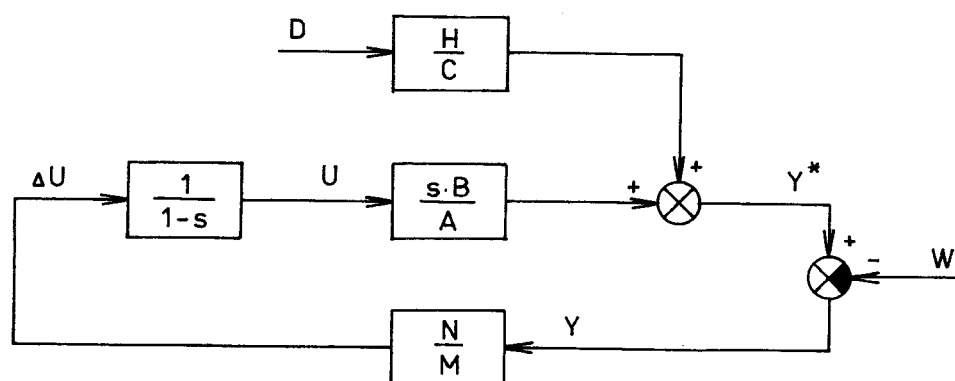
V předložené práci je diskutována číslicová a adaptivní číslicová regulace lineárních dynamických spojitých soustav. Diplomová práce využívá výsledků výzkumné zprávy KTK - 0115 vypracované na katedře technické kybernetiky na VŠST v Liberci.

Tematiku diskutovanou v předložené práci můžeme rozdělit do tří částí:

- 1) návrh diferenční rovnice regulátoru vzhledem k minimalizaci zvoleného kvadratického kritéria při použití metody dynamického programování,
- 2) identifikace modelu soustavy v uzavřeném regulačním obvodu metodou nejmenších čtverců,
- 3) spojení návrhu diferenční rovnice regulátoru a identifikace modelu soustavy do algoritmu adaptivního regulátoru.

Pro popis uzavřeného číslicového regulačního obvodu, tzn. i pro popis soustavy a vstupujících náhodných poruch - náhodných diskrétních procesů, je použita terminologie, která vychází z popisu soustav impulsními přenosy, nebo blokového znázornění regulačního obvodu. Problematika práce je diskutována pro soustavy s jednou vstupní a jednou výstupní veličinou.

Blokové schéma na obr. 3-1 znázorňuje diskutovaný číslicový regulační obvod. Blok s impulsním přenosem $\frac{H}{C}$ je v práci nazván filtrem, blok s impulsním přenosem $\frac{s \cdot B}{A}$ je nazván soustavou a blok s impulsním přenosem $\frac{N}{M}$ je regulátor. A, B, C, H, M, N jsou polynomy proměnné $s = z^{-1}$, kde z je komplexní proměnná Z-transformace. Písmeny $D, U, \Delta U, Y^*, Y, W$ jsou označeny veličiny, které též označujeme $d(j), u(j), \Delta u(j), y^*(j), y(j), w(j)$. Uvažujeme, že tyto veličiny jsou realizacemi diskrétních náhodných procesů $d(j, \nu), u(j, \nu), \Delta u(j, \nu), y^*(j, \nu), y(j, \nu), w(j, \nu)$, kde ν je tzv. elementární jev experimentu.



Obr. 3-1

Popišme názvy jednotlivých posloupností - veličin:

- $d(j)$ - poruchová veličina
- $u(j)$ - vstupní veličina do soustavy, nazývá se též veličina řídicí nebo akční
- $\Delta u(j)$ - přírůstek vstupní veličiny do soustavy
- $y^*(j)$ - výstupní měřitelná veličina soustavy

$y(j)$ - regulovaná veličina, nazývá se též regulační odchylkou
 $w(j)$ - žádaná hodnota výstupní veličiny soustavy

Základní úvaha, uvedená v práci, je: $w(j) = \text{konst.}$
 pro $j \in (-\infty, \infty)$ a $d(j, \delta)$ je diskretní bílý šum, $d(j, \delta)$ je myšle-
 nou - fiktivní poruchovou veličinou.

Úloha návrhu regulátoru pro obvod z obr. 3-1, do které-
 ho vstupuje diskretní bílý šum, je převedena na návrh regu-
 látoru pro tento obvod, do kterého při nulových počátečních
 podmínkách vstoupí impulsní porucha

$$d(j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } j = 0, \\ 0 & \text{pro } j \neq 0, \end{cases} \text{ a } w(j) = 0 \text{ pro } j \in (-\infty, \infty)$$

V tomto případě písmeny D , U , ΔU , Y^* , Y a W jsou na obr. 3-1
 označeny Z-transformace posloupností $d(j)$, $u(j)$, $\Delta u(j)$, $y^*(j)$,
 $y(j)$ a $w(j)$.

Filtrem do uzavřeného regulačního obvodu vstupují myšle-
 né náhodné poruchy - diskretní bílý šum. Impulsní přenos
 filtru určuje charakteristiky náhodných poruch, které vystu-
 pují z filtru a vstupují do uzavřeného regulačního obvodu.
 Náhodné poruchy a v tomto případě i všechny veličiny v uzavře-
 ném regulačním obvodu jsou náhodnými procesy. Diferenční rov-
 nice soustavy a filtru je ARMAX modelem soustavy, viz /1/.

Pro návrh regulátoru je v předložené práci použita
 metoda dynamického programování, jejíž částí je algoritmus
 LD rozkladu symetrické matice. V metodě dynamického progra-
 mování je třeba použít stavový popis soustavy. Při návrhu
 regulátoru vycházíme z diferenční rovnice soustavy. Z této
 diferenční rovnice je vytvořen stavový popis soustavy, kde
 jedna stavová veličina je výstupní veličinou soustavy
 a ostatní stavové veličiny jsou lineární kombinací hodnot
 vstupní a výstupní veličiny soustavy, viz /13/. Při tomto
 stavovém popisu soustavy je možno pro návrh regulátoru

použít kritérium váženého součtu kvadrátů regulované veličiny a kvadrátů přírůstků vstupní veličiny soustavy. V práci je uveden postup výpočtu diferenční rovnice regulátoru z rovnice regulátoru, který pracuje s uvažovaným vektorem stavu soustavy. Návrh diferenční rovnice regulátoru je proveden i pro soustavu a filtr, jejichž diferenční rovnice je ARMAX modelem soustavy.

Dále je v předložené práci diskutována identifikace váhové funkce modelu soustavy - prediktoru výstupní veličiny soustavy metodou nejmenších čtverců v uzavřeném regulačním obvodu. V práci je použita navržená metoda výpočtu diferenční rovnice modelu soustavy a filtru - ARMAX modelu soustavy ze dvou váhových funkcí, viz /5/. V první části této metody je identifikována jedna váhová funkce při zapojeném regulátoru v uzavřené zpětné vazbě. V druhé části metody je identifikována druhá váhová funkce při použití jiného regulátoru. Nakonec je v diplomové práci diskutován adaptivní regulátor s identifikací váhové funkce.

4. UVEDENÍ PROBLEMATIKY

V práci je diskutována číslicová a adaptivní číslicová regulace spojitých lineárních dynamických soustav. Spojitou lineární dynamickou soustavu budeme v následujícím textu většinou nazývat pouze soustavou, číslicový regulátor budeme nazývat pouze regulátorem. Pod pojmem regulace budeme rozumět regulaci v uzavřeném regulačním obvodu. Budeme uvažovat, že do soustavy - do regulačního obvodu, viz obr. 4-1, vstupují náhodné poruchy.

Diskutujeme nejprve základní rovnici popisující soustavu, která je zapojena v číslicovém regulačním obvodu. Uvažujme, že soustava je popsána diferenční rovnicí

$$\begin{aligned} y(j) + a_1 \cdot y(j-1) + a_2 \cdot y(j-2) + \dots + a_{v-1} \cdot y(j-v+1) = \\ = b_0 \cdot u(j-1) + b_1 \cdot u(j-2) + \dots + b_{v-1} \cdot u(j-v) , \end{aligned} \quad (4-1)$$

koefficienty $a_1, a_2, \dots, a_{v-1}$; $b_0, b_1, \dots, b_{v-1}$ jsou reálná čísla, $a_{v-1} \neq 0$ nebo $b_{v-1} \neq 0$, v je konečné číslo, j je celočíselná proměnná, která má charakter času. $y(j)$ a $u(j)$ jsou posloupnosti čísel; $y(j)$ je výstupní veličina ze soustavy; $u(j)$ je vstupní veličina do soustavy.

Uvažujme nulové počáteční podmínky $y(j) = 0$ a $u(j) = 0$ pro $j < 0$ a provedme Z-transformaci, viz /12/, rovnice (4-1). Z důvodu zjednodušení místo komplexní proměnné z^{-1} dosadíme s , $s = z^{-1}$. Z-transformace rovnice (4-1) je

$$A \cdot Y = s \cdot B \cdot U , \quad (4-2)$$

A a B jsou polynomy,

$$\begin{aligned} A &= 1 + a_1 \cdot s + a_2 \cdot s^2 + \dots + a_{v-1} \cdot s^{v-1} , \\ B &= b_0 + b_1 \cdot s + b_2 \cdot s^2 + \dots + b_{v-1} \cdot s^{v-1} . \end{aligned}$$

Y a U jsou mocninné řady s nezápornými mocninami komplexní proměnné s .

$$Y = y(0) + y(1) \cdot s + y(2) \cdot s^2 + \dots = \sum_{j=0}^{\infty} y(j) \cdot s^j \quad (4-3)$$

$$U = u(0) + u(1) \cdot s + u(2) \cdot s^2 + \dots = \sum_{j=0}^{\infty} u(j) \cdot s^j \quad (4-4)$$

Rovnice (4-1) při uvažovaných nulových počátečních podmínkách popisuje soustavu pro libovolnou vstupní posloupnost $u(j)$, $j \geq 0$. Řadu Y při znalosti řady U a při znalosti polynomů A , B a při nulových počátečních podmínkách vypočteme z rovnice

$$Y = \frac{s \cdot B}{A} \cdot U \quad (4-5)$$

Uvažujme dělení polynomů

$$\begin{aligned} s \cdot B : A &= s \cdot (b_0 + b_1 \cdot s + \dots + b_{v-1} \cdot s^{v-1}) : (1 + a_1 \cdot s + \dots + a_v \cdot s^v) = \\ &= g(1) \cdot s + g(2) \cdot s^2 + \dots = s \cdot \sum_{j=1}^{\infty} g(j) \cdot s^{j-1} = s \cdot G \end{aligned} \quad (4-6)$$

Posloupnost $g(j)$ a nekonečnou řadu $s \cdot G$ nazveme váhovou funkcí soustavy. Racionální lomenou funkcí $\frac{s \cdot B}{A}$ nazveme impulsním přenosem soustavy. Tento impulsní přenos budeme v textu označovat též podílem $\frac{Y}{U}$. Rovnici (4-5) zapíšeme

$$Y = s \cdot G \cdot U \quad (4-7)$$

kde Y , $s \cdot G$ a U jsou nekonečné řady.

Je možno ukázat, že

$$y(j) = g(1) \cdot u(j-1) + g(2) \cdot u(j-2) + \dots + g(j) \cdot u(0) = \sum_{k=1}^j g(k) \cdot u(j-k), \quad j > 0, \quad (4-8)$$

což je tzv. konvoluce při podmínce $y(j) = 0$ a $u(j) = 0$ pro $j < 0$, pro diskutovanou úlohu je $y(0) = 0$.

Předpokládejme, že do stabilní soustavy, která je popsána rovnicí (4-1) vstupuje libovolná ohraničená posloupnost $u(j)$, $j \in (-\infty, \infty)$, $|u(j)| < k$, k je zvolené reálné číslo, nebo posloupnost $u(j)$, která je realizací stacionárního náhodného procesu. Na základě předcházející diskuse můžeme říct, že soustava je popsána konvolucí

$$y(j) = g(1) \cdot u(j-1) + g(2) \cdot u(j-2) + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} g(k) \cdot u(j-k), \quad (4-9)$$

j je celé konečné číslo.

Zavedeme-li označení

$$Y = \dots + y(-2) \cdot s^{-2} + y(-1) \cdot s^{-1} + y(0) + y(1) \cdot s + y(2) \cdot s^2 + \dots = \sum_{j=-\infty}^{\infty} y(j) \cdot s^j, \quad (4-10)$$

$$U = \dots + u(-2) \cdot s^{-2} + u(-1) \cdot s^{-1} + u(0) + u(1) \cdot s + u(2) \cdot s^2 + \dots = \sum_{j=-\infty}^{\infty} u(j) \cdot s^j, \quad (4-11)$$

potom pro popis soustavy platí rovnice (4-7) ve smyslu násobení řad $s \cdot G$ a U .

Budeme uvažovat, že v číslicovém regulačním obvodu je zapojen sumátor s impulsním přenosem $\frac{1}{1-s} = \frac{U}{\Delta U}$, viz obr. 4-1, $\Delta U = (1-s) \cdot U$, $\Delta u(j) = u(j) - u(j-1)$, $u(j) = u(j-1) + \Delta u(j)$.

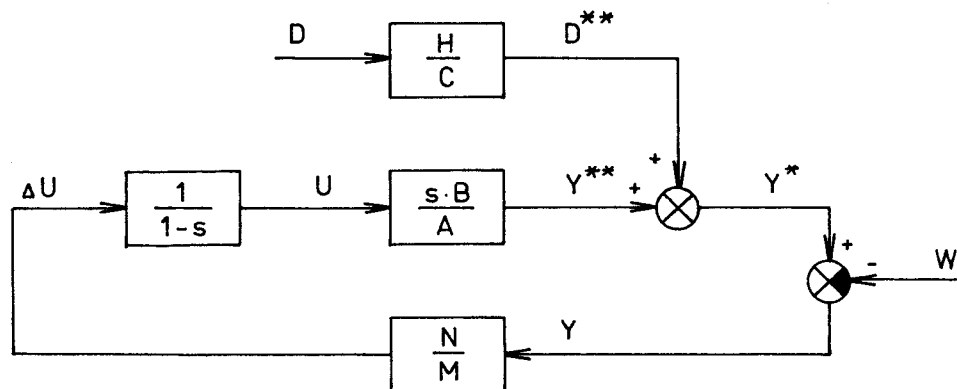
Regulátor popíšeme diferenční rovnicí, jejíž Z-transformaci při nulových počátečních podmínkách zapíšeme

$$M \cdot \Delta U = N \cdot Y, \quad \frac{\Delta U}{Y} = \frac{N}{M}, \quad (4-12)$$

M , N jsou polynomy konečného stupně. Metoda výpočtu koeficientů polynomů M , N a určení stupňů těchto polynomů bude uvedena v odst. 5. Budeme uvažovat, že koeficient u nulté mocniny s polynomu M je roven jedné. Jako příklad zapíšeme polynom M , který je 2. stupně,

$$M = 1 + m_1 \cdot s + m_2 \cdot s^2.$$

Uvažujme uzavřený regulační obvod se soustavou s jednou vstupní a jednou výstupní veličinou. Dále uvažujme, že do tohoto regulačního obvodu vstupují náhodné poruchy tak, jak je nakresleno na obr. 4-1.



Obr. 4-1

Na obr. 4-1 blok s impulsním přenosem $\frac{H}{C}$ nazveme filtrem, bloky s impulsními přenosy $\frac{s \cdot B}{A}$, $\frac{N}{M}$ a $\frac{1}{1-s}$ jsou soustava, regulátor a sumátor. A, B, C, H, M, N jsou polynomy proměnné s . Předpokládejme, že impulsní přenos filtru je stabilní, tzn. kořeny polynomu C leží vně jednotkové kružnice. Soustava je také stabilní.

Písmeny $D, D^{**}, \Delta U, U, Y, Y^*, Y^{**}, W$ jsou na obr. 4-1 označeny řady s kladnými i zápornými mocninami s , které jsou obdobně jako v (4-10) a (4-11) sestaveny z posloupností $d(j), d^{**}(j), \Delta u(j), u(j), y(j), y^*(j), y^{**}(j), w(j), j \in (-\infty, \infty)$.

D nebo $d(j)$ je diskrétní bílý šum (myšlená náhodná poruchová veličina)

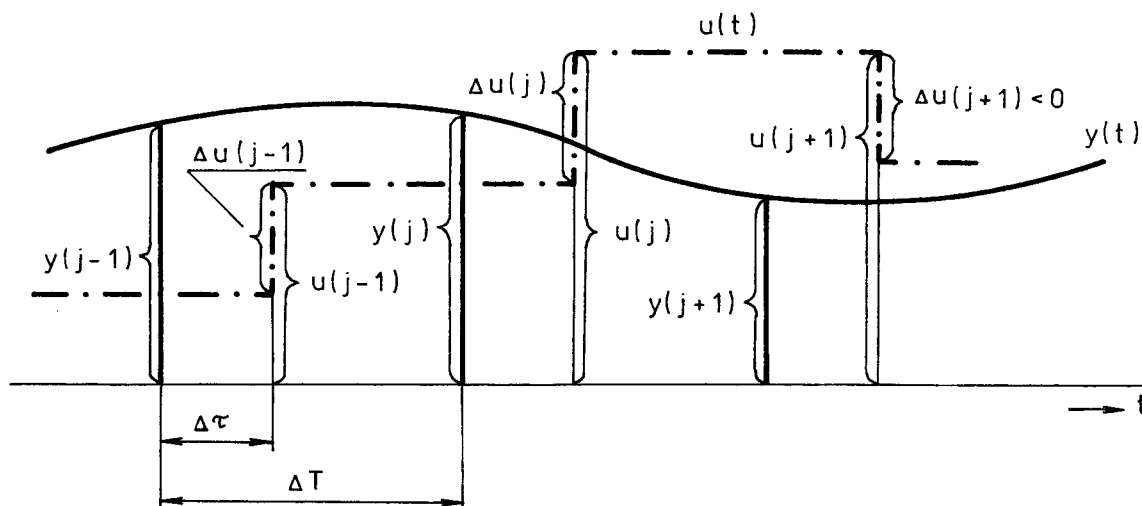
D^{**} nebo $d^{**}(j)$ je poruchová veličina

- ΔU nebo $\Delta u(j)$ je přírůstek akční veličiny
- U nebo $u(j)$ je akční veličina (vstupní veličina do soustavy)
- Y^{**} nebo $y^{**}(j)$ je výstupní neměřitelná veličina soustavy
- Y^* nebo $y^*(j)$ je výstupní měřitelná veličina soustavy, budeme jí zkráceně nazývat výstupní veličinou soustavy
- Y nebo $y(j)$ je regulovaná veličina, bývá též nazývána regulační odchylkou
- W nebo $w(j)$ je žádaná hodnota výstupní veličiny soustavy

5. ČÍSLICOVÝ REGULÁTOR

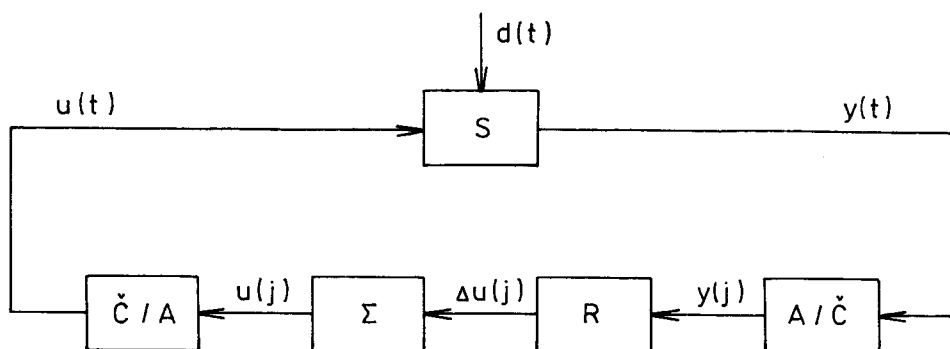
Vysvětleme činnost číslicového regulátoru, který je zapojen v regulačním obvodu. Regulátor s periodou ΔT měří spojitou vstupní veličinu $y(t)$ soustavy; ΔT je perioda měření, vzorkování a je též periodou činnosti regulátoru. Do regulátoru vstupuje posloupnost čísel $y(j) = y(j \cdot \Delta T)$, v časech $t_j = j \cdot \Delta T$, j je celočíselná proměnná, nazveme ji diskretním časem. Regulátor v čase j změří veličinu $y(j)$. Nyní pod označením $y(j)$ nechápeme posloupnost čísel, ale pouze jeden člen této posloupnosti. Regulátor vypočte $\Delta u(j)$ jako lineární kombinaci $y(j)$, $y(j-1)$, $y(j-2)$, ..., $\Delta u(j-1)$, $\Delta u(j-2)$ a vypočte též $u(j) = \Delta u(j) + u(j-1)$.

Čas potřebný pro výpočet $u(j)$ označíme $\Delta \tau$, můžeme jej nazvat časem průchodu informace regulátorem. Do regulátoru vstupuje posloupnost hodnot $y(j) = y(j \cdot \Delta T)$ a vystupuje posloupnost hodnot $u(j) = u(j \cdot \Delta T + \Delta \tau)$, viz obr. 5-1. Posloupnost hodnot $u(j)$ je přivedena na číslico-analogový převodník, jehož výstup $u(t)$ je nakreslen na obr. 5-1.



Obr. 5-1

Při návrhu impulsního regulátoru, který reguluje stabilní regulovanou soustavu, je při vstupu poruch s nenulovou střední hodnotou výhodné předpokládat, že regulátor vytváří posloupnost čísel, které udávají přírůstky akční veličiny. Schéma takového obvodu je na obr. 5-2.



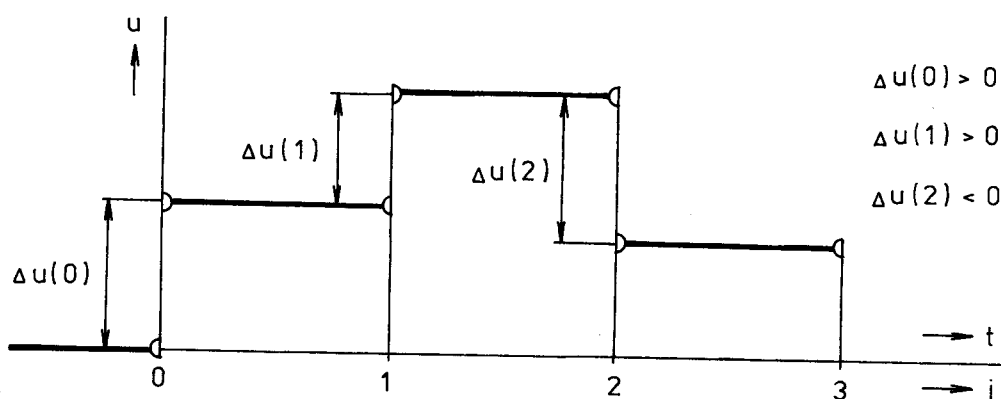
Obr. 5-2 Blokové schéma číslicového obvodu s přírůstkovým regulátorem

Činnost sumátoru Σ je popsána vztahem

$$u(k) = \sum_{j=0}^k \Delta u(j), \quad u(k) = 0, \quad \Delta u(k) = 0 \quad \text{pro } k < 0. \quad (5-1)$$

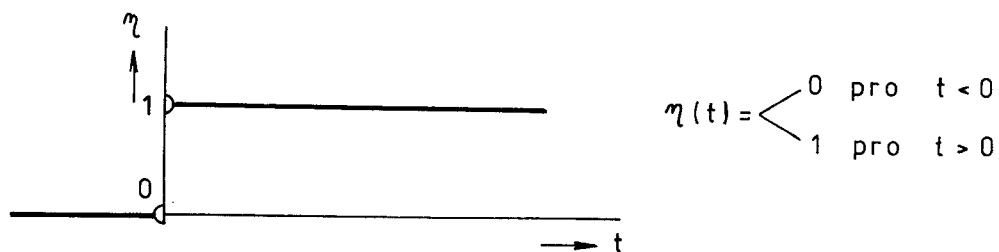
Uvažujme spojitou soustavu, která je zapojena v číslicovém regulačním obvodu, viz obr. 5-2. Posloupnost čísel $u(j)$, vystupující z regulátoru resp. sumátoru je přivedena na číslico-analogový převodník. Součástí algoritmu regulátoru je sumátor, jehož diferenční rovnice je $u(j) = u(j-1) + \Delta u(j)$. Přijde-li v čase $t_j = j \cdot \Delta T$ na číslico-analogový převodník hodnota $u(j)$, na výstupu číslico-analogového převodníku je v čase t , $j \cdot \Delta T < t < (j+1) \cdot \Delta T$, signál, který je určen hodnotou $u(j)$.

Přiřadíme-li posloupnosti čísel $\Delta u(j) = \Delta u(j \cdot \Delta T)$ posloupnost Diracových impulsů $\Delta u(j) \cdot \delta(t - j \cdot \Delta T)$, potom sumátor a číslicovo-analogový převodník tvoří integrátor, jehož přenos v Laplaceově transformaci je $\frac{1}{p}$. Jestliže na tento přenos přivedeme posloupnost Diracových impulsů $\Delta u(j) \cdot \delta(t - j \cdot \Delta T)$, pak výstup $u(t)$ je znázorněn na obr. 5-3.



Obr. 5-3 Výstup z Č/A převodníku při vstupu posloupnosti Diracových impulsů

Obloučky na obr. 5-3 je zdůrazněno, kde hodnota veličiny není určena. Veličinu $u(t)$ vytváříme složením časově posunutých jednotkových funkcí, které jsou vynásobeny hodnotami $\Delta u(j)$. Průběh jednotkové funkce je na obr. 5-4.



Obr. 5-4 Jednotková funkce

Uvažujeme-li spojitou lineární dynamickou soustavu s dopravním spožděním T_d , tj. s přenosem $e^{-T_d p} \cdot F(p)$, kde $F(p)$ je racionální lomená funkce, pak přenos soustavy, sumátoru a číslico-analogového převodníku je $\frac{e^{-T_d p}}{p} \cdot F(p)$. Označme $\frac{1}{p} \cdot F(p) = V(p)$. $V(p)$ je Laplaceovou transformací $v(t)$, $\mathcal{L}\{v(t)\} = V(p)$.

Impulsní přenos soustavy, sumátoru a číslico-analogového převodníku získáme Z-transformací posloupnosti, která

$$\text{ze spojitě funkce } g(t) = \begin{cases} v(t - T_d) & \text{pro } t \geq T_d, \\ 0 & \text{pro } t < T_d, \end{cases}$$

vznikne tak, že za t dosazujeme $t = j \cdot \Delta T$, $j = 0, 1, 2, \dots$.

Impulsní přenos soustavy, sumátoru a číslico-analogového převodníku zapíšeme

$$\frac{Y}{\Delta U} = \frac{s^k \cdot B}{(1-s) \cdot A}, \quad k \geq 1, \quad (5-2)$$

A, B jsou polynomy komplexní proměnné s ,

k je diskrétní dopravní zpoždění.

Impulsní přenos (5-2) nazveme zkráceně impulsním přenosem soustavy a sumátoru. Přenos sumátoru je $\frac{U}{\Delta U} = \frac{1}{1-s}$, (5-2) pak můžeme upravit

$$\frac{Y}{U} = \frac{s^k \cdot B}{A}, \quad k \geq 1. \quad (5-3)$$

5.1 NÁVRH DIFERENČNÍ ROVNICE REGULÁTORU

Uvažujme regulační obvod, do kterého vstupují neměřené náhodné poruchy - diskrétní bílý šum, viz obr. 4-1. Předpokládejme, že známe polynomy A, B, C, H impulsních přenosů soustavy a filtru. Máme určit stupně a koeficienty polynomů M, N regulátoru tak, aby bylo minimalizováno kritérium

$$J = \sigma_y^2 + q \cdot \sigma_u^2, \quad (5.1-1)$$

kde je σ_y^2 rozptyl ergodického stacionárního náhodného procesu Y nebo $y(j, \mathcal{V})$,

σ_u^2 rozptyl ergodického stacionárního náhodného procesu ΔU nebo $\Delta u(j, \mathcal{V})$,

q zvolený kladný váhový koeficient

0 navrhovaném regulátoru se uvažuje, že bude zapojen v uzavřeném regulačním obvodu, vzhledem k regulované soustavě bude zapojen ve zpětné vazbě. Návrh číslicového regulátoru je prováděn za předpokladu, že známe diferenční rovnici regulované soustavy - známe popis nebo model soustavy.

Z této diferenční rovnice je vytvořen stavový popis soustavy, kde jedna stavová veličina je výstupní veličinou soustavy. Této skutečnosti je využito v algoritmu návrhu regulátoru metodou dynamického programování.

Návrh regulátoru je proveden tak, aby při znalosti vektoru stavu soustavy $\underline{x}(j)$ byla tato optimálně regulována z libovolného počátečního stavu vzhledem k minimu kvadratického kritéria

$$J = \sum_{j=0}^{\mu-1} [y^2(j) + q \cdot \Delta u^2(j)] + y^2(\mu). \quad (5.1-2)$$

Navrhujeme tedy regulátor, který bude pracovat s vektorem stavu $\underline{x}(j)$ a jeho výstupem bude vektor $\Delta \underline{u}(j)$.

Dále uvažujeme, že v impulsním přenosu soustavy a sumátoru, viz (5-2), volíme $k=1$, takže

$$Y = \frac{s \cdot B}{(1-s) \cdot A} \cdot \Delta U . \quad (5.1-3)$$

Diskuse a návrh regulátoru metodou dynamického programování jsou uvedeny v práci /5/ v odst. 3.1. Při výpočtu získáme regulátor, jehož výstup je lineární kombinací složek vektoru stavu soustavy

$$\Delta u(j) = \underline{R} \cdot \underline{x}(j) . \quad (5.1-4)$$

Regulátor (5.1-4) pracuje s vektorem stavu soustavy $\underline{x}(j)$. Pro soustavu s jednou vstupní a jednou výstupní veličinou je $\underline{R}$ maticí rozměru $[1, \nu]$, viz (5.1-3), $\nu-1$ je řád soustavy. Regulátor, který pracuje s vektorem stavu soustavy je třeba doplnit estimátorem stavu, který odhaduje stav soustavy při přítomnosti poruch na soustavě.

Stav soustavy můžeme zapsat ve tvaru

$$\underline{x}(j) = \underline{I} \cdot \underline{z}(j) , \quad (5.1-5)$$

kde $\underline{z}(j)$ nazveme vektorem pozorování a $\underline{I}$ transformační maticí.

(5.1-5) dosadíme do (5.1-4) a získáme rovnici regulátoru

$$\Delta u(j) = \underline{R} \cdot \underline{I} \cdot \underline{z}(j) , \quad (5.1-6)$$

což je diferenční rovnice regulátoru. Z-transformací diferenční rovnice regulátoru zapíšeme

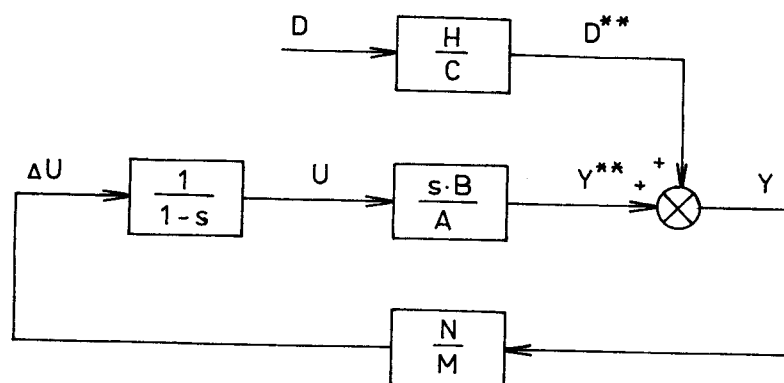
$$M \cdot \Delta U = N \cdot Y . \quad (5.1-7)$$

Rozborem postupu uvedeného výpočtu regulátoru zjistíme, že pro soustavu (5.1-3) bude

$$M = 1 + m_1 \cdot s + m_2 \cdot s^2 + \dots + m_{\nu-1} \cdot s^{\nu-1} ,$$

$$N = n_0 + n_1 \cdot s + n_2 \cdot s^2 + \dots + n_{\nu-1} \cdot s^{\nu-1} .$$

Nyní se vrátíme k původním předpokladům z odst. 4., viz popis obr. 4-1, budeme předpokládat, že do uzavřeného regulačního obvodu vstupují poruchy D - diskretní bílý šum s nulovou střední hodnotou. Regulační obvod z obr. 4-1 překreslíme, viz obr. 5.1-1, budeme uvažovat $w=0$, $w(j)=0$ pro $j \in (-\infty, \infty)$.



Obr. 5.1-1

V regulačním obvodu z obr. 5.1-1 přenos soustavy a sumátoru je $\frac{Y^{**}}{\Delta U} = \frac{s \cdot B}{(1-s) \cdot A}$. Přenos filtru je $\frac{D^{**}}{D} = \frac{H}{C}$. Předpokládejme, že filtr je stabilní (kořeny polynomu C leží vně jednotkové kružnice).

Zapišme polynomy C a H ,

$$C = 1 + c_1 \cdot s + c_2 \cdot s^2 + \dots + c_{\infty-1} \cdot s^{\infty-1},$$

$$H = 1 + h_1 \cdot s + h_2 \cdot s^2 + \dots + h_{\infty-1} \cdot s^{\infty-1}, \quad c_{\infty-1} \neq 0 \quad \text{nebo} \quad h_{\infty-1} \neq 0.$$

Předpokládejme, viz popis obr. 4-1, že poruchy D (diskretní bílý šum) jsou neměřené. Proto můžeme impulsní přenos filtru vynásobit konstantou. Tuto konstantu jsme volili tak, aby při $h_0 = 1$ (h_0 je koeficient u nulté mocniny s polynomu H) byl i koeficient c_0 polynomu C roven jedné, $c_0 = 1$.

Pro regulační obvod z obr. 5.1-1 vyjádříme impulsní přenos $\frac{Y}{D}$

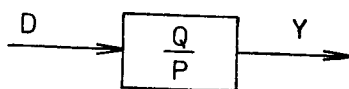
$$\frac{Y}{D} = \frac{H}{C} \cdot \frac{1}{1 - \frac{s \cdot B}{(1-s) \cdot A} \cdot \frac{N}{M}} = \frac{(1-s) \cdot A \cdot H \cdot M}{C \cdot \{(1-s) \cdot A \cdot M - s \cdot B \cdot N\}} \triangleq \frac{Q}{P} = G, \quad (5.1-8)$$

P, Q jsou polynomy,

G je řada, je jednou z váhových funkcí uzavřeného regulačního obvodu,

$$G(s) = g(0) + g(1) \cdot s + g(2) \cdot s^2 + \dots$$

Schéma regulačního obvodu z obr. 5.1-1 překreslíme, viz obr. 5.1-2.



Obr. 5.1-2

Předpokládejme, že v regulačním obvodu z obr. 5.1-1 je zapojen regulátor, pro který impulsní přenos (5.1-8) je stabilní, kořeny polynomu P leží vně jednotkové kružnice, $\lim_{j \rightarrow \infty} g(j) = 0$. Uvažujeme, že D , viz obr. 5.1-2, je diskretní bílý šum s nulovou střední hodnotou, Y nebo $y(k, \nu)$ je ergodický stacionární náhodný proces též s nulovou střední hodnotou. Výstupní veličinu $y(k)$, která je realizací diskretního náhodného procesu $y(k, \nu)$, vyjádříme

$$y(k) = \sum_{j=0}^{\infty} g(j) \cdot d(k-j), \quad (5.1-9)$$

kde $d(k)$ je realizace náhodného procesu $d(k, \nu)$ - diskretního bílého šumu.

V práci /5/, v odst. 3.2, je provedena diskuse kvadratického kritéria, které je rozptylem ergodického stacionárního náhodného procesu $y(k, \nu)$. Vychází se z tvaru

$$J = \sigma_y^2 = \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\mu + 1} \cdot \sum_{k=-\mu}^{\mu} y^2(k) . \quad (5.1-10)$$

Po provedené diskusi vyjádříme rovnost

$$\sigma_y^2 = \sigma_d^2 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} g^2(j) , \quad (5.1-11)$$

kde je σ_d^2 rozptyl diskretního bílého šumu D ,
 σ_y^2 rozptyl ergodického stacionárního náhodného procesu Y nebo $y(j, \nu)$, viz obr. 5.1-2.

Pro regulační obvod z obr. 5.1-1 vyjádříme impulsní přenos $\frac{\Delta U}{D}$

$$\frac{\Delta U}{D} = \frac{(1-s) \cdot A \cdot H \cdot N}{C \cdot \{(1-s) \cdot A \cdot M - s \cdot B \cdot N\}} . \quad (5.1-12)$$

Je-li v regulačním obvodu z obr. 5.1-1 zapojen regulátor, pro který je impulsní přenos (5.1-8) stabilní, potom i impulsní přenos (5.1-12) je stabilní. Pro uvedený regulační obvod je možno vyjádřit kvadratické kritérium, viz (5.1-1)

$$\begin{aligned} J = \sigma_y^2 + q \cdot \sigma_u^2 &= \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\mu + 1} \cdot \sum_{k=-\mu}^{\mu} \{y^2(k) + q \cdot \Delta u^2(k)\} = \\ &= \sigma_d^2 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \{g_y^2(j) + q \cdot g_u^2(j)\} , \end{aligned} \quad (5.1-13)$$

kde je $g_y(j)$ váhová funkce odpovídající přenosu $\frac{Y}{D}$ uzavřeného regulačního obvodu,

$g_u(j)$ váhová funkce odpovídající přenosu $\frac{\Delta U}{D}$ uzavřeného regulačního obvodu.

Z hlediska návrhu regulátoru pro zadanou soustavu a filtr, kterým do soustavy vstupuje diskretní bílý šum, viz obr. 5.1-1, můžeme vysvětlit rovnicí (5.1-13):

Regulátor, který minimalizuje vážený součet rozptylů ergodických stacionárních náhodných procesů $y(j, \nu)$ a $\Delta u(j, \nu)$ při vstupu diskrétního bílého šumu do uzavřeného obvodu, minimalizuje též vážený součet ploch váhových funkcí uzavřeného obvodu $g_y(j)$, $g_u(j)$, tzn. minimalizuje též vážený součet kvadrátů veličin $y(j)$ a $\Delta u(j)$, jestliže do regulačního obvodu při nulových počátečních podmínkách vstoupí impulsní porucha.

5.2 NÁVRH REGULÁTORU NA PORUCHY VSTUPUJÍCÍ DO REGULAČNÍHO OBVODU FILTREM S PŘENOSEM $\frac{H}{C}$

Poruchy vstupující do regulačního obvodu tak, jak je nakresleno na obr. 5.1-1. Pro soustavu a filtr, viz obr. 5.1-1, platí

$$Y = \frac{s \cdot B}{(1-s) \cdot A} \cdot \Delta U + \frac{H}{C} \cdot D, \quad (5.2-1)$$

$$(1-s) \cdot A \cdot C \cdot Y = s \cdot B \cdot C \cdot \Delta U + (1-s) \cdot A \cdot H \cdot D. \quad (5.2-2)$$

Přepis rovnice (5.2-1) na rovnici (5.2-2) provádíme za předpokladu, že polynomy A a C jsou nesoudělné.

Regulátor navrhujeme pro soustavu a filtr, které jsou popsány rovnicí

$$(1-s) \cdot A \cdot C \cdot Y = s \cdot B \cdot C \cdot \Delta U + (1-s) \cdot A^+ \cdot H^+ \cdot D. \quad (5.2-3)$$

V případě, že polynom A je stabilní, potom $A^+ = A$.

V práci /5/, v odst. 3.2.3, je pro uvažovanou soustavu a filtr vypočtena transformační matice $\underline{I}^*$, kterou dosadíme do (5.1-6) a získáme diferenční rovnici regulátoru.

Z-transformaci této diferenční rovnice zapíšeme

$$M^* \cdot \Delta U = N^* \cdot Y + P^* \cdot D. \quad (5.2-4)$$

Z rovnice (5.2-3) vypočteme D a dosadíme do (5.2-4),

$$M^* \cdot \Delta U = N^* \cdot Y + P^* \cdot \frac{(1-s) \cdot A \cdot C \cdot Y - s \cdot B \cdot C \cdot \Delta U}{A^* \cdot H^* (1-s)} ,$$

$$\{(1-s) \cdot A^* \cdot H^* \cdot M^* + s \cdot B \cdot C \cdot P^*\} \cdot \Delta U = (A^* \cdot H^* \cdot N^* + A \cdot C \cdot P^*) \cdot (1-s) \cdot Y . \quad (5.2-5)$$

Regulátor popsaný rovnicí (5.2-5) vyreguluje optimálně, vzhledem ke zvolenému kvadratickému kritériu, neměřenou poruchu D , která vstupuje do regulačního obvodu filtrem s přenosem $\frac{H}{C}$, viz obr. 5.1-1.

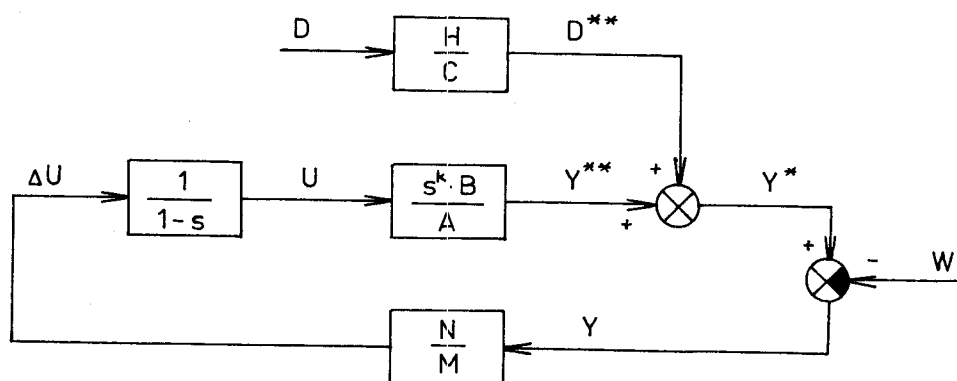
6. IDENTIFIKACE SOUSTAV

Identifikací soustav se rozumí experimentální zjištění vlastností těchto soustav. Výsledkem identifikace jsou pak obvykle statické a dynamické charakteristiky soustav, matematický či logický popis chování soustavy a pod. Výsledky slouží pak pro odhad chování soustavy za daných podmínek, pro řešení problémů optimálního řízení. Na základě výsledků identifikace je možno stanovit modely soustav a celých zařízení (fyzikální či jen matematické) a řešit potřebné problémy mimo vlastní zařízení. Např. návrh vhodného regulátoru a správné nastavení jeho parametrů závisí od chování regulované soustavy. Předběžné určení chování (na základě výpočtu a konstrukčních a projektových dat) nebývá pro účely optimalizace dostatečně přesné a proto je nutné zjistit vlastnosti soustavy přesněji identifikací. Vlastnosti soustavy se však v čase mění v důsledku změn vnějších podmínek (změny zatížení, jakosti vstupního zařízení a pod.). V těchto případech je třeba identifikaci provádět opakovaně nebo i nepřetržitě. Hovoříme proto o identifikaci jednorázové (OFF-LINE), kde se provádí nejdříve celé měření všech hodnot a pak jejich vyhodnocení a nakonec následuje využití výsledků a o identifikaci průběžné (ON-LINE), kde se měření, vyhodnocování i využívání všech výsledků provádí současně.

Pro identifikaci soustav byly vypracovány různé metody. V této práci je použita metoda nejmenších čtverců upravená do algoritmu LD-FILTRU.

6.1 IDENTIFIKACE SOUSTAVY V UZAVŘENÉM REGULAČNÍM OBVODU

Uvažujme uzavřený regulační obvod z obr. 6.1-1.



Obr. 6.1-1

Uvažujme, že D , viz obr. 6.1-1, je diskrétní bílý šum. W je žádaná hodnota výstupní veličiny Y^* soustavy. Nenulovou žádanou hodnotu $w(j)$ uvažujeme v regulačním obvodu z obr. 6.1-1 z důvodu, aby diskutovaná úloha identifikace odpovídala nejčastěji diskutovaným úlohám z praxe. Uvažujme, že v regulačním obvodu je zapojen regulátor, který zajišťuje stabilitu uzavřeného regulačního obvodu. Dále předpokládejme, že do tohoto regulačního obvodu při nulových počátečních podmínkách vstoupí skoková žádaná hodnota

$$w(j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } j \geq 0 \\ 0 & \text{pro } j < 0. \end{cases}$$

Jestliže uvažujeme, že do regulačního obvodu z obr. 6.1-1 vstupuje diskrétní bílý šum, potom pro vyhodnocování diskrétních náhodných procesů Y a ΔU postačí uvažovat impulsní přenosy $\frac{Y}{D}$ a $\frac{\Delta U}{D}$.

6.2 IDENTIFIKACE VÁHOVÉ FUNKCE

Uvažujme prediktor - model soustavy, který je popsán rovnicí

$$\hat{Y} = s \cdot \hat{B} \cdot U ,$$

$$\hat{B} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 \cdot s + \hat{b}_2 \cdot s^2 + \dots + \hat{b}_{\lambda-1} s^{\lambda-1} .$$

(6.2-1)

(6.2-1) je Z-transformací diferenční rovnice

$$\hat{y}(j) = \hat{b}_0 \cdot u(j-1) + \hat{b}_1 \cdot u(j-2) + \dots + \hat{b}_{\lambda-1} \cdot u(j-\lambda) .$$

(6.2-2)

$\hat{y}(j)$ je predikce - předpověď hodnoty regulované veličiny y soustavy v čase j na základě znalosti hodnot přírůstků vstupní veličiny Δu v časech $j-1$ až $j-\lambda$.

Volíme λ jako "velké" číslo, polynom $\hat{B}$ a koeficienty $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_{\lambda-1}$ nazveme váhovou funkcí modelu soustavy; porovnejme (6.2-1) s (4-7).

Chyba predikce $e(j) = y(j) - \hat{y}(j)$, $E = Y - \hat{Y}$. Rovnici (6.2-1) upravíme

$$E = Y - s \cdot \hat{B} \cdot U .$$

(6.2-3)

(6.2-3) je Z-transformací rovnice

$$e(j) = y(j) - \hat{b}_0 \cdot u(j-1) - \hat{b}_1 \cdot u(j-2) - \dots - \hat{b}_{\lambda-1} \cdot u(j-\lambda) .$$

(6.2-4)

Koeficienty polynomu $\hat{B}$ vypočteme metodou nejmenších čtverců, vypočteme je tak, aby bylo minimalizováno kritérium

$$J = \frac{1}{2\mu+1} \cdot \sum_{j=-\mu}^{\mu} e^2(j) , \quad \mu \gg \lambda .$$

(6.2-5)

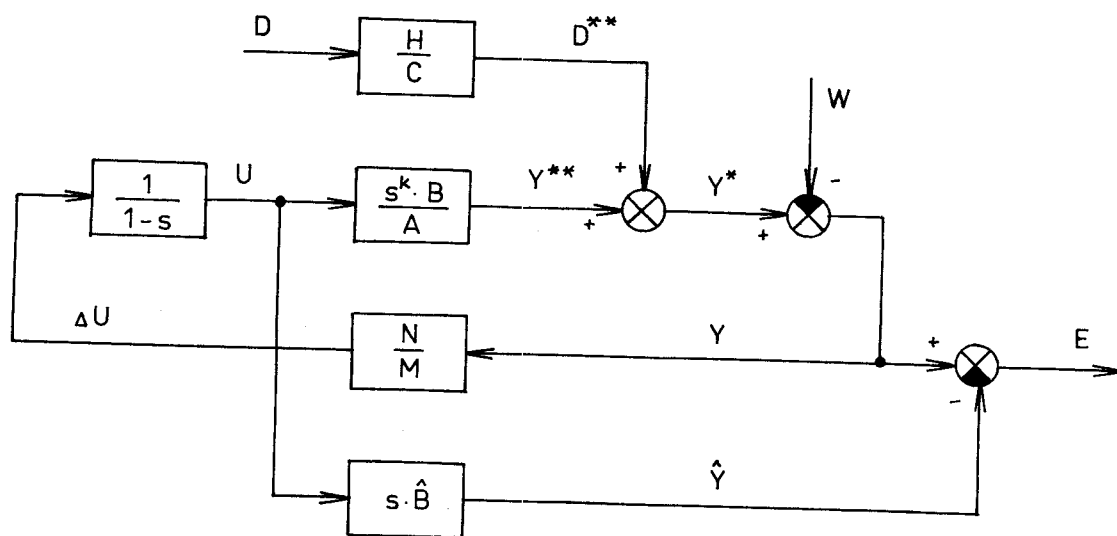
Jestliže do regulačního obvodu z obr. 6.1-1 při nulových počátečních podmínkách vstoupí impulsní porucha

$$d(j) = \begin{cases} 0 & \text{pro } j \neq 0 , \\ 1 & \text{pro } j = 0 , \end{cases}$$

pak upravíme kvadratické kritérium (6.2-5)

$$J = \frac{1}{\mu+1} \cdot \sum_{j=0}^{\mu} e^2(j) \quad (6.2-6)$$

Při znalosti polynomů A, B, C, H, M, N je možno vypočítat řadu, ke které budou při identifikaci metodou nejmenších čtverců ($\mu \rightarrow \infty$) koeficienty polynomu $\hat{B}$ konvergovat, jestliže budeme zvyšovat stupeň tohoto polynomu. Do regulačního obvodu z obr. 6.1-1 přikreslíme rovnici (6.2-3).



Obr. 6.1-2

Pro regulační obvod z obr. 6.1-2 vyjádříme impulsní přenos $\frac{E}{D}$

$$\frac{E}{D} = \frac{H}{C} \cdot \frac{1 - \frac{s \cdot \hat{B}}{1-s} \cdot \frac{N}{M}}{1 - \frac{s^k \cdot B}{(1-s) \cdot A} \cdot \frac{N}{M}} = \frac{A \cdot H}{C} \cdot \frac{M \cdot (1-s) - s \cdot \hat{B} \cdot N}{(1-s) \cdot A \cdot M - s^k \cdot B \cdot N} \triangleq G \quad (6.2-7)$$

$G = G(s) = g(0) + g(1) \cdot s + g(2) \cdot s^2 + \dots$ Řada G a posloupnost $g(0), g(1), g(2), \dots$ je jednou z váhových funkcí obvodu z obr. 6.1-2.

Uvažujme, že při identifikaci metodou nejmenších čtverců minimalizujeme kritérium

$$J = \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\mu + 1} \cdot \sum_{j=-\mu}^{\mu} e^2(j) = \sigma_e^2, \quad (6.2-8)$$

kde σ_e^2 je rozptyl chyby predikce.

Uvažujme, že diskutovaný regulační obvod je stabilní a polynom C je také stabilní. Potom chyba predikce E , viz obr. 6.1-2, je ergodickým stacionárním náhodným procesem. Obdobně, jako je upraven vztah (5.1-10), viz práce /5/ odst. 3.2, je upraven i vztah (6.2-8),

$$J = \sigma_e^2 = \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\mu + 1} \cdot \sum_{j=-\mu}^{\mu} e^2(j) = \sigma_d^2 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} g^2(j), \quad (6.2-9)$$

kde σ_d^2 je rozptyl diskretního bílého šumu, $g(j)$ pro $j \in (0, \infty)$ je váhová funkce, viz (6.2-7).

Z posloupnosti $g(j)$ je vytvořena řada G , která je též nazvána váhovou funkcí.

Nalezneme-li takový polynom nebo řadu $\hat{B}$, pro kterou

$$g(j) = 0 \quad \text{pro } j > 0, \quad (6.2-10)$$

nalezli jsme i minimum $\sum_{j=0}^{\infty} g^2(j)$, tzn. minimum kritéria

(6.2-9). Podmínku (6.2-10) vyjádříme

$$G(s) - G(0) = 0. \quad (6.2-11)$$

Uvažujme, že absolutní členy polynomů A , C , H , M jsou rovny jedné, takže

$$G(0) = 1. \quad (6.2-12)$$

Vztahy (6.2-7) a (6.2-12) dosadíme do (6.2-11):

$$\frac{H}{C} \cdot \frac{1 - \frac{s\hat{B}}{1-s} \cdot \frac{N}{M}}{1 - \frac{s^k \cdot B}{(1-s) \cdot A} \cdot \frac{N}{M}} - 1 = 0 ,$$

$$B = \left(1 - \frac{C}{H}\right) \cdot \frac{M \cdot (1-s)}{s \cdot N} + \frac{s^{k-1} \cdot B \cdot C}{A \cdot H} , \quad (6.2-13)$$

$1 - \frac{C}{H} = \frac{H-C}{H}$, z rozdílu polynomů $H-C$ je možno vytknout s .

Budeme-li při identifikaci metodou nejmenších čtverců, viz (6.2-8), zvyšovat stupeň polynomu $\hat{B}$, budou koeficienty tohoto polynomu konvergovat ke koeficientům řady

$$\left(1 - \frac{C}{H^+}\right) \cdot \frac{M \cdot (1-s)}{s \cdot N^+} + \frac{s^{k-1} \cdot B \cdot C}{A^+ \cdot H^+} \triangleq \hat{B}^+ . \quad (6.2-14)$$

Polynomy A^+ , H^+ , N^+ jsou stabilní a vypočteme je z polynomů A , H , N reflexí nestabilních kořenů.

Rovnici (6.2-14) můžeme použít pro výpočet polynomů A^+ , B , C , H^+ na základě dvakrát provedené identifikace při dvou různých regulátorech, které jsou zapojeny v uzavřeném regulačním obvodu. Při zapojení dvou různých regulátorů v uzavřeném regulačním obvodu rovnicí (6.2-14) zapíšeme:

$$\hat{B}_1 = \left(1 - \frac{C}{H^+}\right) \cdot \frac{M_1 \cdot (1-s)}{s \cdot N_1^+} + \frac{s^{k-1} \cdot B \cdot C}{A^+ \cdot H^+} , \quad (6.2-15)$$

$$\hat{B}_2 = \left(1 - \frac{C}{H^+}\right) \cdot \frac{M_2 \cdot (1-s)}{s \cdot N_2^+} + \frac{s^{k-1} \cdot B \cdot C}{A^+ \cdot H^+} . \quad (6.2-16)$$

Odečtením např. (6.2-16) od (6.2-15) a úpravou vypočteme

$$\frac{C}{H^+} = 1 - \frac{1}{1-s} \cdot \frac{s \cdot (\hat{B}_1 - \hat{B}_2) N_1^+ \cdot N_2^+}{M_1 \cdot N_2^+ - M_2 \cdot N_1^+} \triangleq G^* . \quad (6.2-17)$$

Dosazením identifikovaných polynomů $\hat{B}_1$, $\hat{B}_2$ a známých polynomů regulátorů M_1 , N_1^+ , M_2 , N_2^+ vypočteme řadu G^* , viz (6.2-17). Na základě znalosti řady G^* vypočteme polynomy C a H^+ za použití metody nejmenších čtverců upravené do algoritmu LD FILTRU. Při znalosti polynomů C a H^+ a diskrétního

dopravního zpoždění k soustavě vypočteme z rovnic (6.2-15) a (6.2-16) podíl $\frac{B}{A^+}$, viz (6.2-18) a (6.2-19).

$$\frac{\hat{B}_1 \cdot H^+}{s^{k-1} \cdot C} + \frac{(C - H^+) \cdot M_1 \cdot (1-s)}{s^k \cdot N_1^+ \cdot C} = \frac{B}{A^+} \triangleq \frac{B_1}{A_1^+} \quad (6.2-18)$$

$$\frac{\hat{B}_2 \cdot H^+}{s^{k-1} \cdot C} + \frac{(C - H^+) \cdot M_2 \cdot (1-s)}{s^k \cdot N_2^+ \cdot C} = \frac{B}{A^+} \triangleq \frac{B_2}{A_2^+} \quad (6.2-19)$$

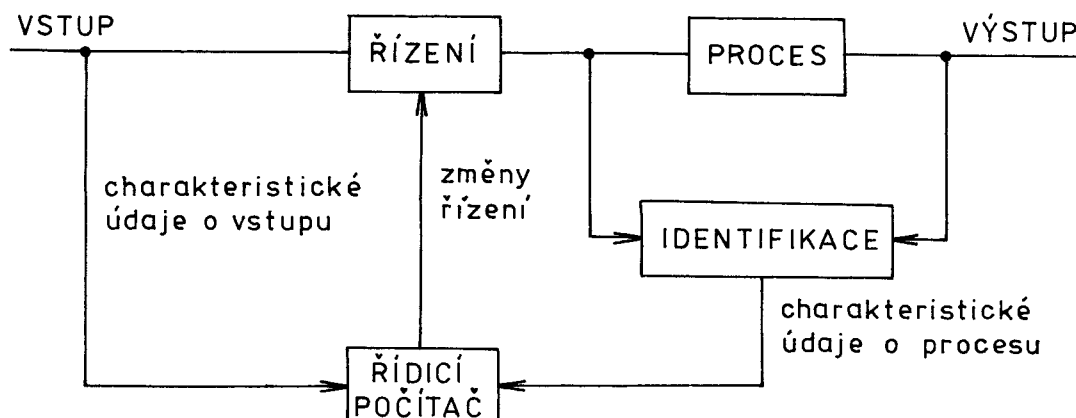
Použitím metody nejmenších čtverců upravené do algoritmu LD FILTRU vypočteme z rovnic (6.2-18) a (6.2-19) polynomy B_1 , B_2 , A_1^+ a A_2^+ a aritmetickým průměrem z nich vypočteme polynomy B a A^+ .

Tato metoda identifikace polynomů A^+ , B , C , H^+ soustavy a filtru v uzavřeném regulačním obvodu je základem algoritmu adaptivního regulátoru, který je diskutován v odstavcích 7.1 a 7.2.

7. ADAPTIVNÍ SYSTÉMY

Adaptivní systém je systém, který přizpůsobuje své vlastnosti (parametry i strukturu) měnícím se podmínkám tak, aby kvalita procesu zůstala zachována nebo aby se dokonce zvětšovala. Adaptivní systém musí vždy obsahovat část identifikační (měřicí), která shromažďuje a vyhodnocuje informace o změnách v systému. Druhá část realizuje potřebné zásahy (změny zesílení, přepínání funkcí, změnu energetických režimů a pod.) tak, aby bylo dosaženo stanoveného optima. Pokud systém pouze zachovává udanou kvalitu procesů, jde o adaptivní systém, pokud tuto kvalitu zlepšuje nad původně zadanou mez pomocí získaných zkušeností, jde o systém s učením.

Adaptivní systém vždy využívá principu zpětné vazby, i když jde o adaptaci systému řízení v otevřené smyčce. Obvyklým prostředkem pro vyhodnocení informací o procesu je číslicový počítač. Základní blokové schéma adaptivního systému je na obr. 7-1.



Obr. 7-1 Blokové schéma adaptivního systému

Řídicí počítač, který mění konstanty řídicího členu, popř. i celý algoritmus řízení, dostává jednak informace o charakteru vstupních signálů, jednak informace o charakteristických hodnotách řízeného procesu (zesílení, časové konstanty a pod.).

U mnoha adaptivních systémů se parametry procesu vyhodnocují statisticky, po uplynutí určité doby. K adaptaci pak dochází pouze v určitých časových intervalech.

7.1 ADAPTIVNÍ REGULÁTORY

V odstavci 4. jsme pod pojmem regulátor rozuměli diferenční rovnici regulátoru, viz (4-12), nebo rovnici regulátoru, který pracuje s vektorem stavu soustavy. Z-transformace diferenční rovnice regulátoru při nulových počátečních podmínkách je impulsním přenosem regulátoru.

Předpokládejme, že v uzavřeném regulačním obvodu, viz obr. 6.1-1, je zapojena neproměnná soustava a filtr. Nechť do tohoto regulačního obvodu vstupují poruchy - diskrétní bílý šum D . V regulačním obvodu je zapojen regulátor s impulsním přenosem $\frac{\Delta U}{Y} = \frac{N}{M}$. Nechť tento regulátor zajišťuje stabilitu uzavřeného regulačního obvodu, tzn. např. impulsní přenos $\frac{Y}{W}$ je stabilní. Předpokládejme, že hodnota kritéria $J = \sigma_y^2 + q \cdot \sigma_u^2$, viz (5.1-13), je při zapojení uvedeného regulátoru v regulačním obvodu "podstatně" větší, než je minimum tohoto kritéria při zadaném stupni diferenční rovnice regulátoru. Pod pojmem adaptivní regulátor rozumíme diferenční rovnici regulátoru a algoritmus, který při zadaném stupni diferenční rovnice regulátoru mění koeficienty této rovnice, tak, aby byla snižována hodnota kritéria $J = \sigma_y^2 + q \cdot \sigma_u^2$.

V odst. 6.1 jsme uvedli, že z identifikovaných dvou váhových funkcí soustavy při zapojení dvou různých regulátorů v uzavřeném regulačním obvodu je možno vypočítat polynomy A^+ , B , C , H^+ soustavy s filtrem. Při znalosti těchto polynomů můžeme navrhnout regulátor. Tato metoda je základem algoritmu adaptivního regulátoru, která je uvedena v odst. 7.2.

Uvedený algoritmus adaptivního regulátoru je možno zařadit do třídy adaptivních regulátorů, které identifikují model soustavy a na základě tohoto modelu navrhnou regulátor. Třída těchto regulátorů je v zahraniční literatuře označována jako samonastrajivější regulátory a self tuning controllers.

7.2 ADAPTIVNÍ REGULÁTOR S IDENTIFIKACÍ VÁHOVÉ FUNKCE

Identifikační část algoritmu tohoto regulátoru je popsána v odst. 6.2, viz popis (6.2-15) a (6.2-16). V identifikační části tohoto algoritmu provedeme dvakrát identifikaci váhových funkcí modelů soustavy při zapojení dvou různých regulátorů v uzavřeném regulačním obvodu. Předpokládáme, že identifikaci jedné váhové funkce provádíme "dlouhý čas". Z identifikovaných dvou váhových funkcí a na základě znalosti diskrétního dopravního zpoždění k soustavě vypočteme polynomy A^+ , B , C , H^+ soustavy a filtru, tzn. je určeno místo vstupu poruch do uzavřeného regulačního obvodu. Na tyto poruchy, viz odst. 5.1 a 5.2, navrhujeme metodou dynamického programování diferenční rovnici regulátoru. Jelikož v identifikační části adaptivního regulátoru jsme vypočítali polynom A^+ , uvedený adaptivní regulátor je použitelný pouze pro stabilní soustavy. V případě, že jsou soustava a filtr neproměnné, není třeba algoritmus identifikace a návrhu regulátoru opakovat.

Nevýhoda adaptivního regulátoru s identifikací váhové funkce modelu soustavy je, že v identifikační části algoritmu je zapotřebí "přepínat" regulátory a identifikovat "velké množství" koeficientů váhové funkce.

Výhoda diskutovaného adaptivního regulátoru je, že v případě neproměnné soustavy a filtru je po "jednom adaptačním kroku" regulátor optimálně seřízen na vstupující poruchy.

8. SAPI 1 - SYSTÉM PRO AUTOMATICKÉ MĚŘENÍ A SBĚR DAT

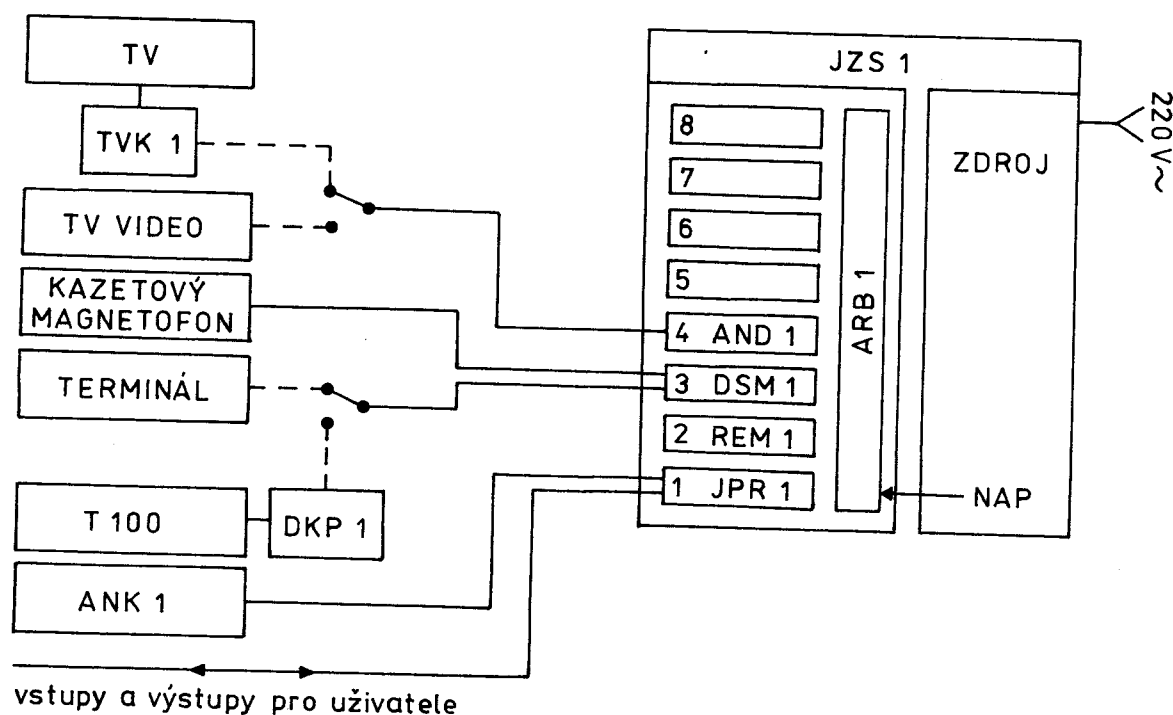
Mikroprocesorový stavebnicový systém SAPI 1 je nejmenším členem velké rodiny SAPI, jejíž nezkrácený název zní: Systémy Automatického Pořizování Informací. Rozvoj tohoto systému má za cíl odstranit negativní vliv lidského činitele při pořizování informací. Základem systému SAPI 1 je mikropočítač JPR 1. Jednodeskový mikropočítač JPR 1 může pracovat sám, bez podpory dalších desek a dílů systému SAPI 1. JPR 1 by měl přinést to, co se od mikroprocesorů a mikroelektroniky očekává: nízká cena, jednoduchost, vysoká spolehlivost, malé rozměry a univerzálnost využití. To vše JPR 1 splňuje. JPR 1 je určena pro nejjednodušší aplikace. Pro svoji funkci potřebuje JPR 1 pouze napájení, vše ostatní je na desce. JPR 1 může být náhradkou za jednočipové mikropočítače, které se připravují v ČSSR do výroby.

Nestačí-li pro aplikace samostatná deska mikropočítače JPR 1, může se doplnit dalšími díly systému SAPI 1. Ve dvoudeskové verzi (JPR 1 a alfanumerický displej AND 1) je systém SAPI 1 již schopen komunikovat s uživatelem v jazyku BASIC. Stačí připojit jednoduchou klávesnici ANK 1 a TV přijímač a vznikne malý osobní počítač. Pro rozšiřování systému o další desky slouží jednotka zdroje a sběrnice JZS 1 s deskou sběrnice ARB 1, která umožní rozšířit systém SAPI na osm desek.

Základní idea systému SAPI 1 je jednoduchá: dát uživatelům malý systém z našich součástek použitelný jak v průmyslu, tak ve školách, ústavech i v kancelářích.

8.1 POPIS SYSTÉMU SAPI 1

Systém SAPI 1 používá standardní formát desky 150x140 mm. Desky tohoto rozměru jsou ve všech zařízeních výpočetní techniky země RVHP (tiskárna Consul 2111 - ČSSR, magnetická paměť EC 5300 - BLR, děrovač DT 105-S - PLR, počítače řady EC atd.). Desky systému SAPI používají konektoru FRB (62 pinů) pro jeho vysokou spolehlivost. Všechny desky systému SAPI 1 jsou navrženy tak, aby byly jednoduché, ale výkonné. Samotné desky a díly systému je možno použít i pro jiné mikroprocesorové systémy. Signály sběrnice jsou voleny tak, aby jednotlivé desky mohly pracovat jako náhrada za LSI řadiče mikroprocesorového systému, které se nemohou u nás v celém sortimentu vyrábět. Příkladem je deska alfanumerického displeje AND 1.



Obr. 8.1-1 Blokové schéma systému SAPI 1

Vysvětlivky k blokovému schématu SAPI 1:

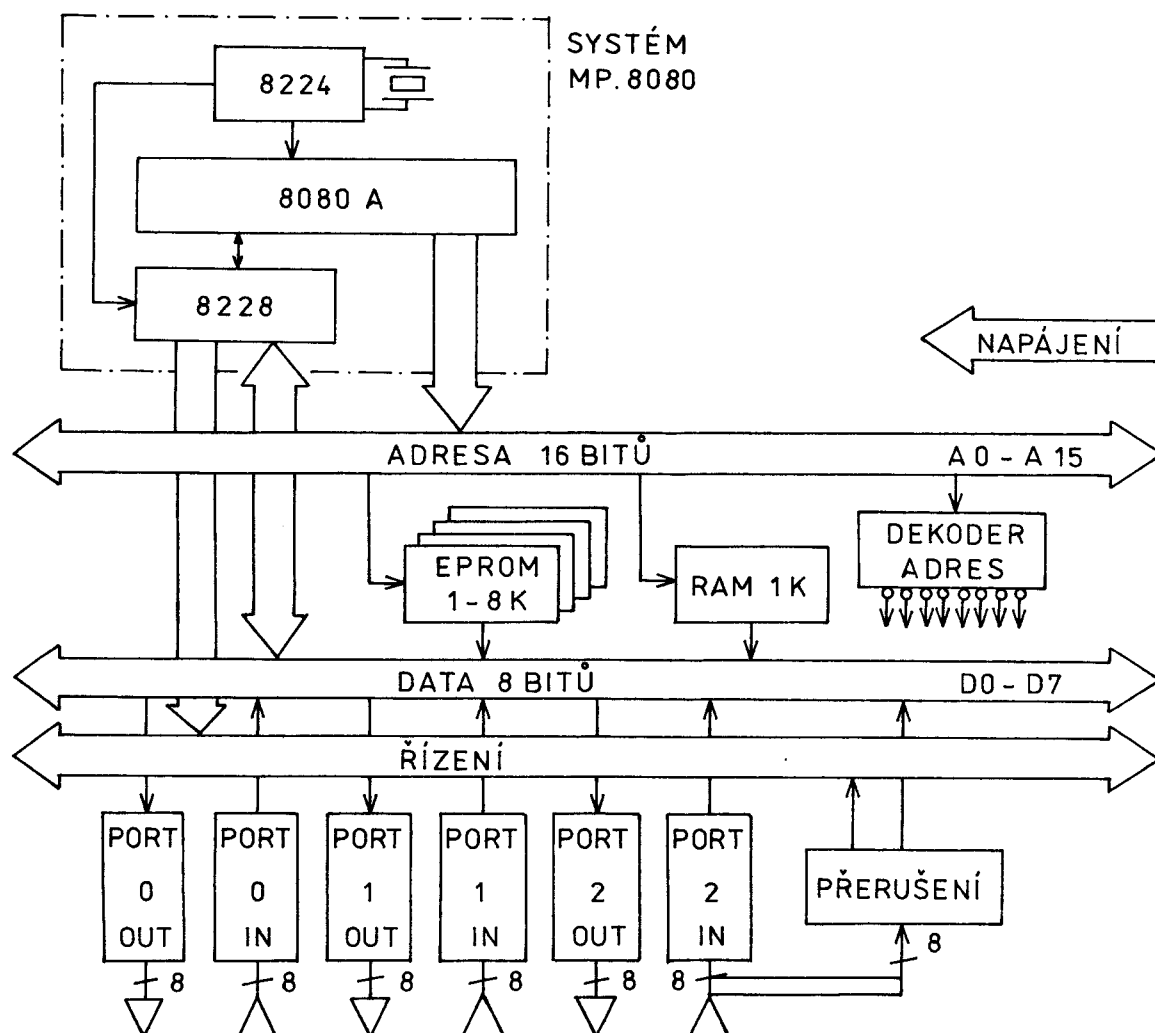
TV - televizní přijímač
TVK 1 - televizní konvertor
T 100 - dálnopis
DPK 1 - dálnopisný konvertor
ANK 1 - alfanumerická klávesnice
JZS 1 - jednotka zdroje a sběrnice
ARB 1 - deska sběrnice
AND 1 - deska alfanumerického displeje
DSM 1 - deska seriového přenosu a modemu
REM 1 - deska paměti
JPR 1 - deska mikropočítače

8.2 DESKA MIKROPOČÍTAČE JPR 1

Deska je určena buď pro samostatné použití jako jednodeskový mikropočítač a nebo jako procesor systému SAPI 1. Deska JPR 1 (Jednotka Programového Řízení) představuje jednoduchý, ale velice výkonný jednodeskový mikropočítač na bázi mikroprocesoru 8080 A. Na desce JPR 1 je mikroprocesor MHB 8080 A a jeho podpůrné obvody MH 8224 a MH 8228.

Paměť mikropočítače má kapacitu 1 KB RAM (2x MHB 2114), 1 - 8 KB EPROM (1 - 4x 2708 nebo 1 - 4x 2716). Vstupní a výstupní porty jsou adresovány jako paměť a jsou realizovány obvody MH 3212. Díky tomu, že jsou jako porty použity obvody TTL, jsou vstupy a výstupy k dispozici přímo, bez oddělovacích a zesilovacích členů. Na desce jsou 3 vstupní porty (3x8=24 vstupů) a 3 výstupní porty (3x8=24 výstupů). Vstupy a výstupy jsou vyvedeny přes dva konektory FRB (30 pinů).

Jeden 8-mi bitový port je současně zdrojem 8-mi žádostí o přerušování. Přerušovací systém je tvořen obvody MH 3214 a MH 3212. Deska JPR 1 má pro účely testování a krokování programů vyvedenu sběrnici přes konektor FRB (62 pinů). Při rozlišování systému slouží tato sběrnice jako systémová sběrnice SAPI 1. Deska JPR 1 tvoří minimální a standardně zapojený systém s mikroprocesorem 8080 A.



Obr. 8.2-1 Blokové schéma

8.3 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ SAPI 1

Základní programové vybavení využívá TV přijímače, klávesnice a magnetofonu. Programové vybavení je v pamětech ROM (4 KB) a obsahuje MIKROMONITOR pro práci v kódu HEX a zjednodušenou verzi jazyka Basic - MIKROBASIC verze 2.4. Další programové vybavení je připravováno a bude na magnetické pásce (kazeta). Bude obsahovat MONITOR, BASIC, ASSEMBLER, DISASSEMBLER, EDITOR a FORTH. Po připojení pružných disků bude dodáván kompatibilní operační systém CP/M.

8.4 SOUČASNÝ STAV VÝVOJE A VÝROBY SYSTÉMU SAPI 1

Základní směry vývoje systému SAPI 1 vycházejí ze skutečnosti, že mikropočítačové systémy se dají rozlišit na ty, jež zpracovávají data a na řídicí systémy. To, že i řídicí systém musí umět zpracovat vstupní data a komunikovat s obsluhou podporuje myšlenku, že je nejlepší vycházet u mikropočítačů ze stavebnice, která respektuje jak požadavky na zpracování dat, tak i na řízení.

Současný vývoj systému SAPI 1 se dá rozdělit do několika samostatných oblastí:

- jednotky
- procesory
- paměti
- řadiče
- desky propojení
- desky pro řízení
- systém pro rozšíření počtu desek
- různé samostatné díly systému

Ve spolupráci trojice řešitelů úkolu (TESLA Elstroj, TESLA Liberec a TESLA Eltos, závod DIZ) byl celý systém dopracován až do stavu, kdy mohla být zahájena jeho seriová výroba. Za podpory pracovníků FMEP a GŘ MLP (federálního ministerstva elektrotechnického průmyslu a generálního ředitelství TESLA, měřicí a laboratorní přístroje Brno) pokračuje uvedená trojice řešitelů ve vývoji a zvětšování výroby systému SAPI 1. Systém se ukázal jako dobře výrobitelný a levný.

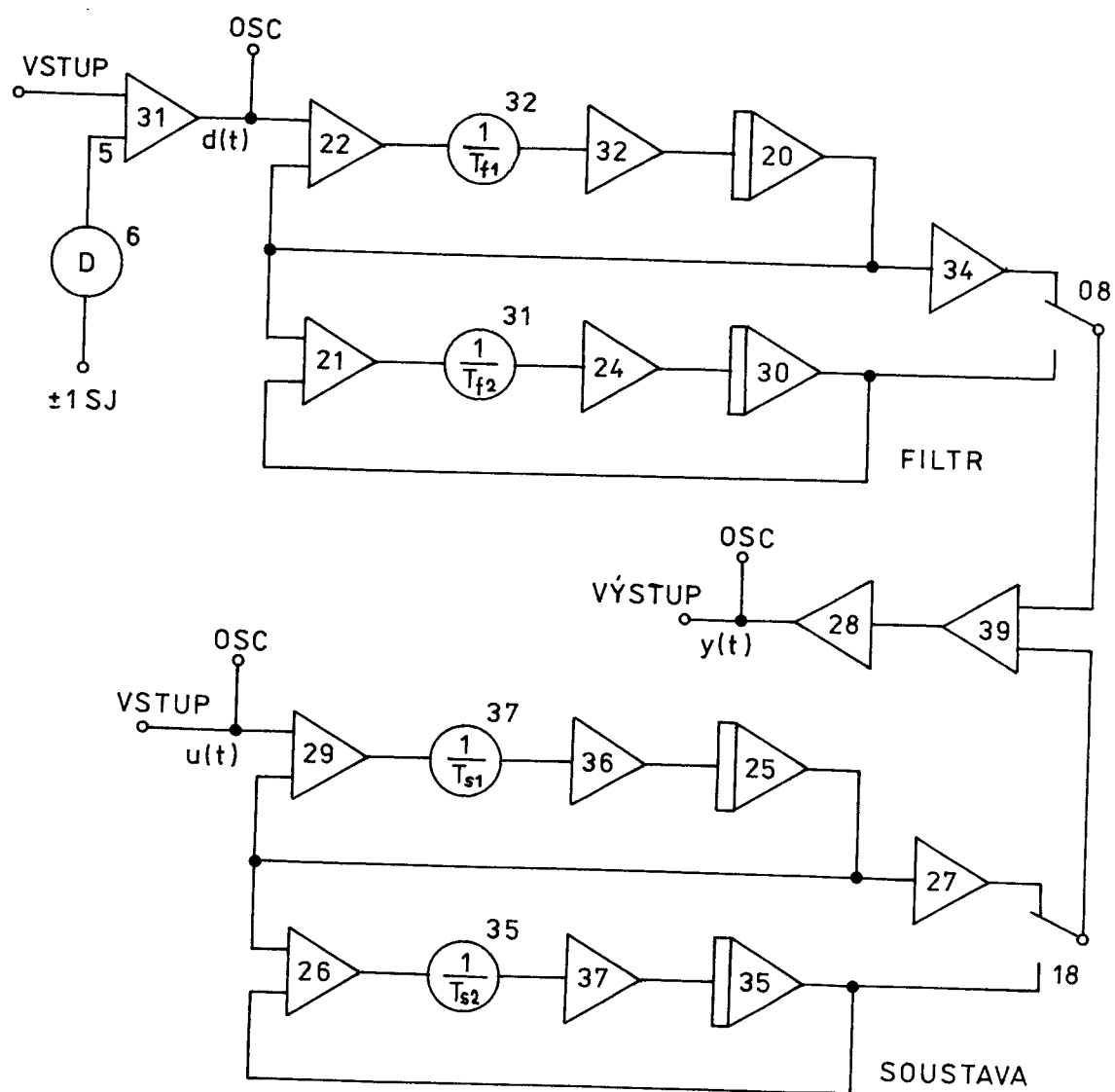
9. OVĚŘOVACÍ A KONTROLNÍ VÝPOČTY

Při vypracování diplomové práce jsem uskutečnil na hybridním spojení mikropočítače SAPI 1 a analogového počítače MEDA 43-HA následující ověřovací výpočty:

- 1) návrh regulátoru na poruchy vstupující do uzavřeného regulačního obvodu filtrem s impulsním přenosem $\frac{H}{C}$ (při známém regresním modelu soustavy),
- 2) identifikace váhové funkce v uzavřeném regulačním obvodu,
- 3) činnost adaptivního regulátoru s identifikací váhové funkce modelu soustavy. Adaptivní regulátor byl ověřován při neproměnné soustavě.

Schéma zapojení modelu soustavy a filtru na analogovém počítači MEDA 43-HA ukazuje obr. 9-1. Toto zapojení a označení veličin vychází z popisu obr. 5.1-1, kde předpokládáme $w=0$. Na analogovém počítači jsem namodeloval soustavu a filtr 1. i 2. řádu. Je-li tlačítko CP/SW 08 resp. CP/SW 18 vypnuto, pracujeme s filtrem resp. soustavou 1. řádu. V opačném případě máme k dispozici model soustavy a filtru 2. řádu.

Při ověřovacích výpočtech jsem pracoval s modelem soustavy a filtru 1. řádu, časová konstanta soustavy byla $T_s=2s$ a filtru $T_f=1s$. Poruchy jsem zadával plynule potenciometrem č.6. Chceme-li jiný charakter poruch, tak použijeme druhý vstup sumátoru č.31. Do míst, označených na obr. 9-1 zkratkou OSC, jsem připojil osciloskop a sledoval tak průběh veličin $d(t)$, $u(t)$ a $y(t)$.



Obr. 9-1 Model soustavy a filtru

V dalším jsem navrhl dvě dvojice regulátorů při známém modelu soustavy, viz tab. 9-1. Regulátory R_1 a R_2 jsou seřídzeny na skok žádané hodnoty $w(t)$ a regulátory R_3 a R_4 na poruchy vstupující filtrem s impulsním přenosem $\frac{H}{C}$.

Regulátor	Impulsní přenos $\frac{N}{M}$
R_1	$\frac{-0,2038 - (0,6982 \text{ E-1}) \cdot s}{1 + (0,3497) \cdot s}$
R_2	$\frac{-0,2585 - (0,5939 \text{ E-1}) \cdot s}{1 + (0,2806) \cdot s}$
R_3	$\frac{-0,1393 + (0,3541 \text{ E-1}) \cdot s}{1 - (0,4138 \text{ E-1}) \cdot s}$
R_4	$\frac{-0,1257 + (0,4131 \text{ E-1}) \cdot s}{1 - (0,8440 \text{ E-1}) \cdot s}$

Tab. 9-1

Krok regulace jsem volil 3, tzn., že v prvním kroku regulátor změří veličinu $y(t)$, ve druhém kroku vypočte velikost akčního zásahu $\Delta u(j)$ a v následujícím kroku provede tento akční zásah. Periodu vzorkování jsem zadal $\Delta T = 2 \text{ s}$.

Identifikaci váhové funkce v uzavřeném regulačním obvodu jsem prováděl s výše uvedenými dvojicemi regulátorů. Jeli-kož byly výsledky identifikace velice citlivé na charakter vstupujících poruch, tak jsem identifikoval model soustavy s každou dvojicí regulátorů dvakrát.

V prvním případě jsem volil rychlé změny průběhu vstupujících poruch a ve druhém případě vstupovala nová porucha až po vyregulování poruchy předchozí (pomalá změna průběhu poruch).

Následující čtyři tabulky přehledně shrnují výsledky provedených identifikací a výpočtů. Výsledky v tabulkách 9-2 a 9-3 odpovídají identifikaci v uzavřeném regulačním obvodu se zapojeným regulátorem R_1 resp. R_2 , tzn. s regulátorem seřízeným na skok žádané hodnoty $w(t)$. Výsledky v tabulkách 9-4 a 9-5 odpovídají identifikaci se zapojeným regulátorem R_3 resp. R_4 , tzn. s regulátorem seřízeným na poruchy vstupující do obvodu filtrem s impulsním přenosem $\frac{H}{C}$. Výsledky v tabulkách 9-2 a 9-4 odpovídají případu, kdy vstupující porucha rychle měnila svůj průběh a výsledky v tabulkách 9-3 a 9-5 odpovídají případu, kdy následující porucha vstupovala až po vyregulování poruchy předchozí.

Poznámky k tabulkám 9-2 až 9-5:

- označení "OVERFLOW" znamená, že vypočtená hodnota čísla je větší než je maximální možné číslo, které počítač zpracuje,
- polynomy A, B, C, H jsou vypočteny metodou nejmenších čtverců, která byla upravena do algoritmu LD FILTRU.

Identifikovaná řada $\hat{B}_1$			
- 0,9705 E+1	- 0,5171	- 0,8332	- 0,1397 E+1
- 0,4925	- 0,1426 E+1	- 0,1034 E+1	- 0,5989
- 0,5859	+ 0,1685	- 0,1012 E+1	- 0,1899 E+1
- 0,1763	+ 0,9328 E-1		
Identifikovaná řada $\hat{B}_2$			
+ 0,1159 E+2	- 0,1382 E+1	- 0,4769 E+1	- 0,2502 E+1
- 0,3342 E+1	- 0,3522 E+1	- 0,4845 E+1	- 0,3031 E+1
- 0,4390 E+1	+ 0,4722	- 0,9691	- 0,4822 E+1
- 0,5238	- 0,1309 E+1		
Váhová funkce G^* (podíl $\frac{C}{H}$)			
+ 1	- 0,2051 E+2	- 0,1997 E+2	- 0,1651 E+2
- 0,1517 E+2	- 0,1207 E+2	- 0,9978 E+1	- 0,6241 E+1
- 0,3889 E+1	- 0,8968 E-1	- 0,3238	- 0,7020
+ 0,2068 E+1	+ 0,2454 E+1		
Vypočtený polynom $\frac{B}{A}$			
+ 0,9092 E+2	+ 0,1865 E+4	+ 0,4005 E+5	+ 0,8599 E+6
+ 0,1847 E+8	+ 0,3966 E+9	OVERFLOW	
Polynom C : + 1			
		-(0,2136 E+2).s	
Polynom H : + 1			
		- 0,8510.s	
Polynom B : + 0,9091 E+2			
		-(0,8722 E+2).s	
Polynom A : + 1			
		-(0,2147 E+2).s	

Tab. 9-2

Identifikovaná řada $\hat{B}_1$			
- 0,1099 E+3	+ 0,1560 E+3	- 0,1263 E+3	+ 0,1614 E+3
- 0,1221 E+3	+ 0,7733 E+2	- 0,7178 E+2	+ 0,3237 E+2
- 0,1277 E+2	+ 0,2044 E+2	- 0,3366 E+2	+ 0,3989 E+2
- 0,2162 E+2	+ 0,2285 E+1		

Identifikovaná řada $\hat{B}_2$			
- 0,7586 E+1	+ 0,5264 E+1	+ 0,8071 E-1	- 0,2658 E+1
+ 0,1156 E+1	+ 0,2053	+ 0,7869	- 0,2028 E+1
- 0,6641 E-1	- 0,6085 E-3	- 0,7367	+ 0,1183
- 0,1793	+ 0,2268		

Váhová funkce G^* (podíl $\frac{C}{H}$)			
+ 1	- 0,9848 E+2	+ 0,4523 E+2	- 0,1120 E+3
+ 0,4714 E+2	- 0,7390 E+2	+ 0,3804 E+1	- 0,6974 E+2
- 0,3393 E+2	- 0,4872 E+2	- 0,2711 E+2	- 0,5974 E+2
- 0,2101 E+2	- 0,4210 E+2		

Vypočtený polynom $\frac{B}{A}$			
+ 0,3734 E+3	+ 0,3624 E+5	+ 0,3503 E+7	+ 0,3483 E+9
OVERFLOW			

Polynom C :	+ 1	-(0,9828 E+2).s
Polynom H :	+ 1	+ 0,2155.s
Polynom B :	+ 0,3734 E+3	-(0,3638 E+3).s
Polynom A :	+ 1	-(0,9803 E+2).s

Tab. 9-3

Identifikovaná řada $\hat{B}_1$			
- 0,1234 E+2	+ 0,1265 E+3	+ 0,8895 E+2	+ 0,5287 E+2
- 0,5415 E+2	+ 0,2655 E+2	+ 0,2632	+ 0,1233 E+2
- 0,4811 E+2	- 0,2449 E+2	- 0,3004 E+1	- 0,3173 E+2
+ 0,2536 E+2	+ 0,4925 E+1		

Identifikovaná řada $\hat{B}_2$			
- 0,2108 E+2	+ 0,1121 E+1	+ 0,2489 E+2	+ 0,9017 E+1
- 0,8486 E+1	- 0,6043 E+1	+ 0,3216 E+1	+ 0,1566 E+2
+ 0,3307 E+1	- 0,9803 E+1	- 0,2705 E+1	- 0,3476 E+1
- 0,2396 E+1	- 0,9903 E-2		

Váhová funkce G^* (podíl $\frac{C}{H}$)			
+ 1	+ 0,1318 E+3	- 0,1002 E+3	- 0,1011 E+3
- 0,1012 E+3	- 0,1622 E+2	- 0,9309 E+2	- 0,1052 E+3
- 0,8038 E+2	- 0,1682 E+2	- 0,3541 E+1	- 0,4739 E+2
- 0,9109 E+1	- 0,6269 E+2		

Vypočtený polynom $\frac{B}{A}$			
- 0,1070 E+4	+ 0,1426 E+6	- 0,1891 E+8	OVERFLOW

Polynom C :	+ 1	+(0,1314 E+3).s
Polynom H :	+ 1	- 0,4248.s
Polynom B :	- 0,1070 E+4	+(0,7823 E+3).s
Polynom A :	+ 1	+(0,1326 E+3).s

Tab. 9-4

Identifikovaná řada $\hat{B}_1$			
+ 0,3246 E+2	- 0,3388 E+2	+ 0,9871 E+1	- 0,4780 E+1
- 0,2589 E+2	- 0,6045	+ 0,2709 E+1	- 0,3998
+ 0,1414 E+1	- 0,1914 E+1	+ 0,4817 E+1	- 0,3803 E+1
+ 0,1656	+ 0,4932		
Identifikovaná řada $\hat{B}_2$			
- 0,6494 E+1	+ 0,1307 E+2	- 0,5010 E+1	- 0,3857 E+1
- 0,1136 E+1	+ 0,3935 E+1	- 0,1846 E+1	+ 0,1380 E+1
- 0,2355	+ 0,1888 E+1	- 0,2641 E+1	- 0,2396 E+1
+ 0,3212 E+1	- 0,3693		
Váhová funkce G^* (podíl $\frac{C}{H}$)			
+ 1	- 0,5016 E+2	+ 0,3713 E+2	- 0,1255 E+2
- 0,8314 E+1	- 0,2358 E+1	+ 0,2171 E+1	- 0,7287 E+2
- 0,1969 E+1	- 0,4774 E+1	+ 0,9183	- 0,1110 E+2
- 0,4476 E+1	- 0,9500		
Vypočtený polynom $\frac{B}{A}$			
+ 0,3925 E+3	+ 0,1910 E+5	+ 0,9436 E+6	+ 0,4662 E+8
OVERFLOW			
Polynom C : + 1			
-(0,4966 E+2).s			
Polynom H : + 1			
+ 0,4966.s			
Polynom B : + 0,3925 E+3			
-(0,2897 E+3).s			
Polynom A : + 1			
-(0,4941 E+2).s			

Tab. 9-5

Kontrolním výpočtem na číslicovém počítači RPP-16S byla ověřena identifikace v uzavřeném regulačním obvodu, viz obr. 6.1-1, do kterého vstupoval diskrétní bílý šum D. Výpočet byl proveden se stabilním polynomem H filtru. Soustava byla volena také stabilní, polynom A byl stabilní. Pro identifikaci byla použita regresní rovnice (6.2-4). Tímto kontrolním příkladem byla ověřena správnost vztahů (6.2-15), (6.2-16), (6.2-17) a (6.2-18), které byly naprogramovány ve strojovém kódu mikroprocesoru 8080 A na mikropočítači SAPI 1, viz příloha č.1.

Pro příklad uvedený v příloze č.3 byly voleny polynomy:

$$\begin{aligned}
 A &= 1 && - 0,5.s , \\
 B &= 0,3 && + 0,2.s , \\
 C &= 1 && - 0,6.s , \\
 H &= 1 && + 0,33.s , \\
 M_1 &= 1 && + 0,19.s , \\
 N_1 &= -1,54 && + 0,77.s , \\
 M_2 &= 1 && + 0,5.s , \\
 N_2 &= -5 && + 0,5.s .
 \end{aligned}$$

10. POPIS PŘÍLOH

V příloze č.1 jsou programy, které jsem vypracoval v rámci zadání diplomové práce. Tyto programy jsou využity v algoritmu diskutovaného adaptivního regulátoru a jsou napsány ve strojovém kódu mikroprocesoru 8080 A. Při jejich sestavování jsem použil i podprogramy z knihovny FTAR.LIB pro mikropočítače a mikroprocesor 8080.

Příloha č.1 obsahuje tyto programy:

- podíl dvou polynomů, viz (10-1) a obr. 10-1,
- nalezení následující adresy za vektorem,
- nulování vektoru,
- násobení vektoru komplexní proměnnou s ,
- dělení vektoru komplexní proměnnou s ,
- násobení vektoru konstantou (-1) ,
- přesunutí vektoru v paměti,
- výpočet váhové funkce G^* podle vztahu (6.2-17).

Program "PODÍL POLYNOMŮ" vydělí dva polynomy obecně různé délky, viz (10-1), a výsledek uloží do paměti na libovolné místo.

$$\frac{B}{A} = G \quad (10-1)$$

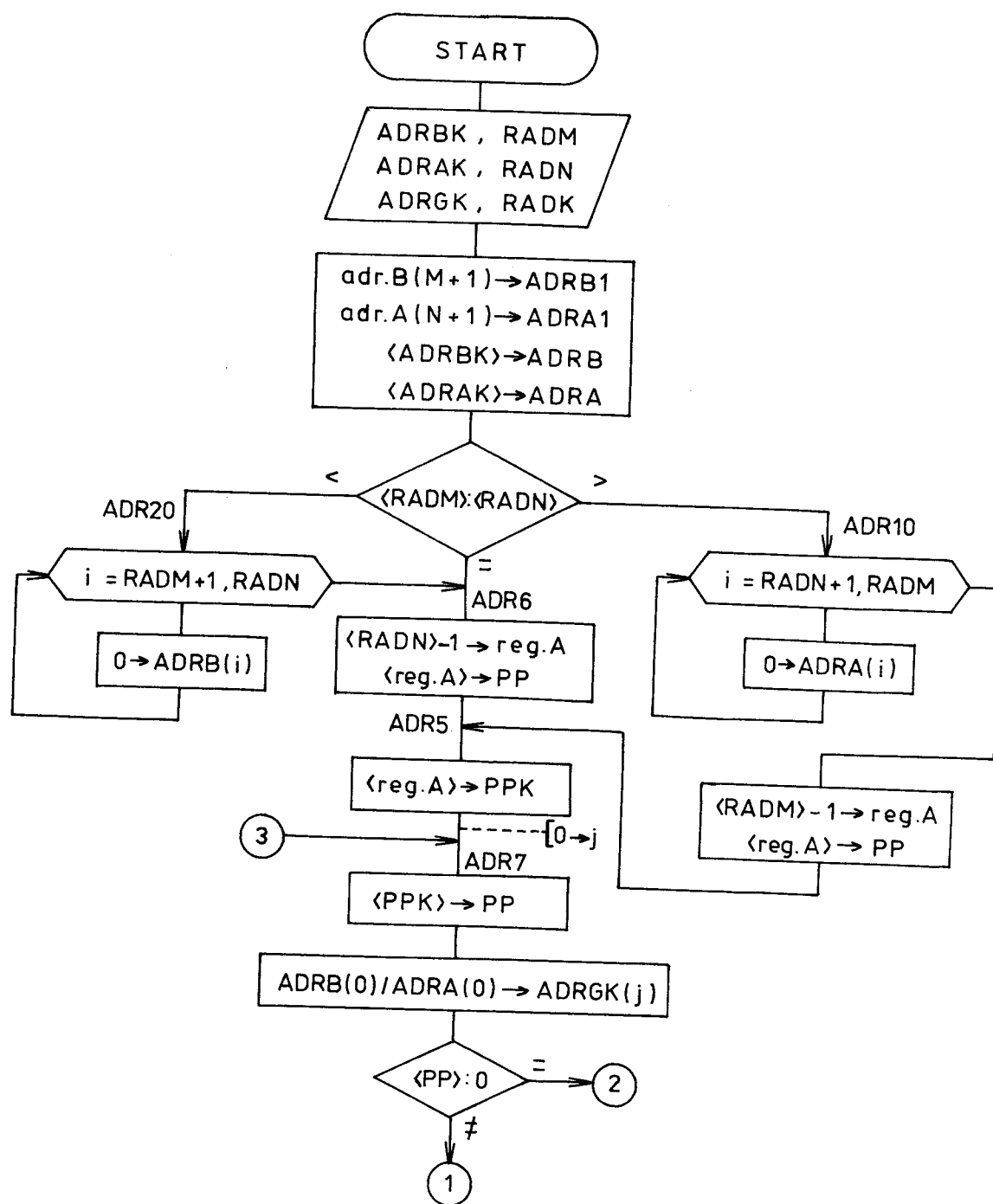
kde je $B = b_0 + b_1 \cdot s + b_2 \cdot s^2 + \dots + b_{m-1} \cdot s^{m-1}$,

$$A = a_0 + a_1 \cdot s + a_2 \cdot s^2 + \dots + a_{n-1} \cdot s^{n-1},$$

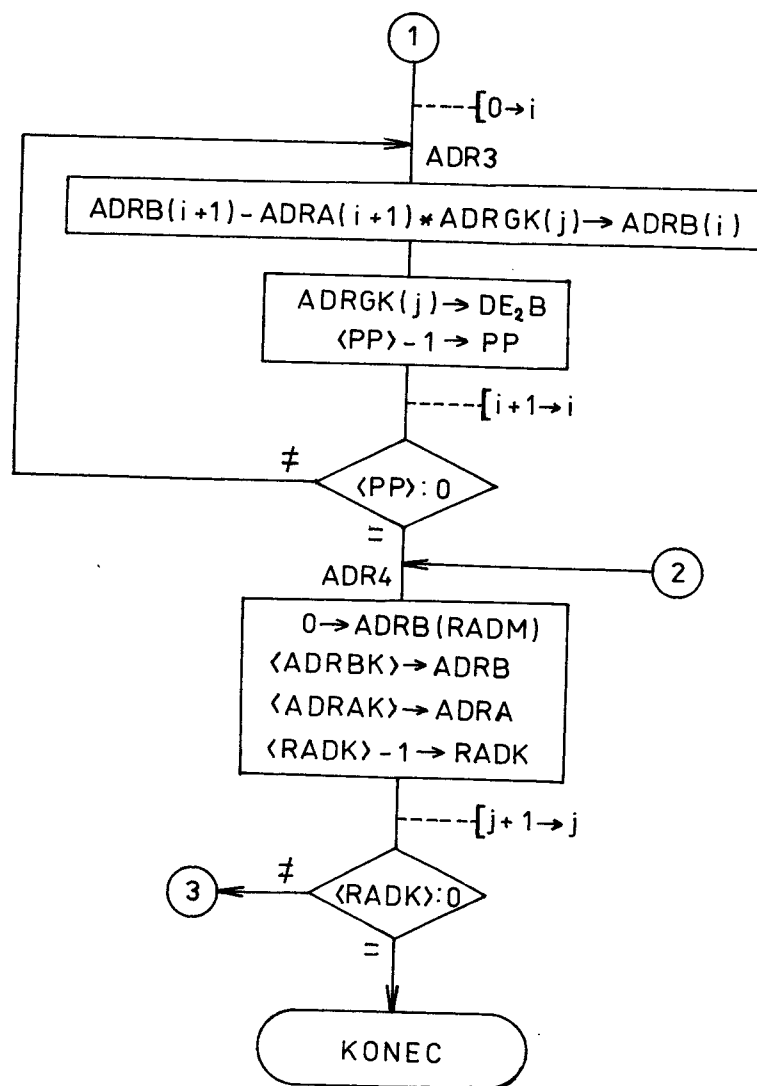
$$G = g_0 + g_1 \cdot s + g_2 \cdot s^2 + \dots + g_{k-1} \cdot s^{k-1}.$$

Před odstartováním programu je nutno obsadit tyto proměnné:

- ADRBK - adresa vektoru B (dělenec),
- ADRAK - adresa vektoru A (dělitel),
- ADRGK - adresa vektoru G (podíl),
- RADM - počet koeficientů vektoru B,
- RADN - počet koeficientů vektoru A,
- RADK - počet koeficientů vektoru G.



Obr. 10-1a Vývojový diagram - podíl polynomů (začátek)



Obr. 10-1b Vývojový diagram - podíl polynomů (pokračování)

Vysvětlivky k vývojovému diagramu z obr. 10-1:
 reg.A - vnitřní registr mikroprocesoru
 DE₂B - 3-bytové číslo uložené v registrech D, E a B
 < > - obsah dané proměnné, popř. registru

Příloha č.2 je výpis programu, který jsem převzal z práce /8/. Program jsem upravil tak, aby vyhovoval námi řešenému případu identifikace, viz odst. 6.2. Uvedeným programem jsou vypočteny koeficienty identifikovaných řad $\hat{B}_1$ a $\hat{B}_2$, viz (6.2-15) a (6.2-16), a koeficienty polynomů vyjádřených podíly $\frac{C}{H^+}$ a $\frac{B}{A^+}$, viz (6.2-17) a (6.2-18). V příloze č.3 je pak grafické znázornění výše uvedených řad a polynomů. Obě přílohy sloužily jako kontrolní příklad pro ověření správnosti programů sestavených pro mikropočítač SAPI 1.

11. ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo prostudovat problematiku adaptivní regulace v uzavřeném regulačním obvodu a naprogramovat část algoritmu adaptivního číslicového regulátoru, který využívá dvouetapové metody identifikace soustavy v uzavřené regulační smyčce. Na mikropočítači SAPI 1 jsem naprogramoval a odladil program na výpočet váhové funkce $G^* = \frac{C}{H^*}$ podle vztahu (6.2-17), který jsem pak spojil s dalšími programy do algoritmu výše uvedeného adaptivního regulátoru.

Při ověřovacích výpočtech jsme vycházeli ze znalosti řádu polynomů soustavy a filtru, tudíž je to úloha jednodušší oproti identifikaci v praxi, kde musíme určovat i řád soustav. Provedli jsme dvakrát identifikaci váhové funkce modelu soustavy při zapojení dvou různých regulátorů v uzavřeném regulačním obvodu. Soustava byla prvního řádu a diskrétní dopravní zpoždění k jsme zvolili $k=1$. Jelikož v identifikační části adaptivního regulátoru jsme vypočítali polynom A^* , uvedený adaptivní regulátor je použitelný pouze pro stabilní soustavy. Určili jsme polynomy modelu soustavy A^* , B a filtru C , H^* . Ukazuje se však, že zvolený algoritmus adaptivního regulátoru ve všech ověřovaných případech selhal, protože polynom $\frac{B}{A}$ vždy vycházel nestabilní, ačkoli jsme očekávali, že tento podíl bude stabilní, neboť filtr s impulsním přenosem $\frac{H}{C}$ měl ve jmenovateli stabilní polynom C . Provedli jsme tedy diskusi stability jmenovatele $(M_1 \cdot N_1^* - M_2 \cdot N_1^*)$ ze vztahu (6.2-17). Ale ani poté se výsledky nezměnily, ačkoli byl tento jmenovatel stabilní.

Výsledky identifikace modelu soustavy byly také velice závislé na způsobu zavádění a charakteru vstupujících poruch. Tyto poruchy byly plynulé a vytvářeli jsme je potenciometrem, takže byly jen naším subjektivním výsledkem a nemusely mít

vždy střední hodnotu nulovou. Tím pádem může nastat i rozpor s diskutovanou problematikou adaptivní regulace, kde se předpokládá, že poruchy mají nulovou střední hodnotu. To by mohl být jeden z důvodů "neúspěchu", protože obdobný algoritmus adaptivního regulátoru s identifikací ARMAX modelu soustavy byl v minulých letech na VŠST diskutován a ověřen na číslicovém počítači. Proto se již nyní připravuje do budoucna generátor náhodných signálů na analogovém počítači.

Identifikace soustavy v uzavřeném regulačním obvodu je složitá a problematická, neboť v uzavřené smyčce je ovlivňován vstup soustavy jejím výstupem přes regulátor. S ohledem na výsledky ověřovacích příkladů nedoporučujeme zatím používat diskutovaný adaptivní regulátor v praxi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Aström, K.J.: Maximum likelihood and prediction error methods. In Trends and progress in system identification. Edited by Pieter Eykhoff, Pergamon Press, 1981.
- /2/ Hanuš, B., Balda, M.: Základy technické kybernetiky I. a II. část. Skripta VUT Brno, 1981.
- /3/ Hanuš, B., Balátě, J., Švarc, J., Zikeš, F.: Teorie automatického řízení I. a II. část. Skripta VŠST Liberec, 1982.
- /4/ Hudec, B.: Strojově orientované jazyky. Skripta ČVUT Praha, 1984.
- /5/ Janeček, B.: Návrh vhodných způsobů řízení vyššího typu zvláště pak typu adaptivního pro energetické procesy. Výzkumná zpráva KTK - 0115, VŠST Liberec, 1984.
- /6/ Janeček, B.: Algoritmus adaptivního iteračního číslicového regulátoru. Výzkumná zpráva KTK - 0116, VŠST Liberec, 1983.
- /7/ Kotek, Z., Chalupa, V., Brůha, I., Jelínek, J.: Adaptivní a učící se systémy. SNTL Praha, Alfa Bratislava, 1980.
- /8/ Kykal, J.: Návrh a ověření činnosti adaptivního regulátoru s identifikací ARMAX modelu soustavy. Diplomová práce, KTK - ASŘ - SF 093, VŠST Liberec, 1985.

- /9/ Peterka, V.: Číslicové řízení procesů s náhodnými poruchami a neurčitými charakteristikami. Doktorská disertační práce, Praha, ČSAV ÚTIA, 1975.
- /10/ Peterka, V., Böhm, J., Halousková, A., Kárný, M., Maršík, J.: Algoritmy pro adaptivní mikroprocesorovou regulaci technologických procesů. (Interní publikace), Praha, ČSAV ÚTIA, 1982.
- /11/ Stránská, J.: Návrh a vypracování algoritmu číslicového regulátoru pro lineární dynamickou soustavu, do které vstupují náhodné poruchy lineárním filtrem. Diplomová práce, KTK - ASŘ - TF 086, VŠST Liberec, 1984.
- /12/ Strejc, V.: Syntéza regulačních obvodů s číslicovým počítačem. Praha, ČSAV, 1965.
- /13/ Strejc, V.: Stavová teorie lineárního diskrétního řízení. Praha, Academia, 1978.
- /14/ Vavřín, P. a kolektiv: Malá encyklopedie elektrotechniky, Automatizační technika, SNTL Praha, 1983.
- /15/ Základní informace SAPI 1, Expres informace č.20, TESLA DIZ

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Výpis programu ve strojovém kódu mikroprocesoru 8080 A - program na dělení dvou polynomů a program na výpočet váhové funkce G^* podle vztahu (6.2-17).

Příloha č.2: Výpis programu v jazyku RPP - FORTRAN
- program na výpočet řad $\hat{B}_1$ a $\hat{B}_2$ podle vztahů (6.2-15) a (6.2-16), polynomu $\frac{C}{H^+}$ podle (6.2-17) a polynomu $\frac{B}{A^+}$ podle (6.2-18).

Příloha č.3: Vypočtené koeficienty řad $\hat{B}_1$, $\hat{B}_2$ a polynomů $\frac{C}{H^+}$, $\frac{B}{A^+}$ a jejich grafické znázornění.

PŘÍLOHA č.1

Seznam vybraných zdrojů informací, které byly použity při přípravě této publikace. Zdroje jsou uvedeny podle abecedy a podle typu zdroje (knihy, časopisy, elektronické zdroje, atd.).

Číslo	Titul	Podtitul	Typ zdroje	Podrobnosti
1	Knihy			
2	Knihy			
3	Knihy			
4	Knihy			
5	Knihy			
6	Knihy			
7	Knihy			
8	Knihy			
9	Knihy			
10	Knihy			
11	Knihy			
12	Knihy			
13	Knihy			
14	Knihy			
15	Knihy			
16	Knihy			
17	Knihy			
18	Knihy			
19	Knihy			
20	Knihy			
21	Knihy			
22	Knihy			
23	Knihy			
24	Knihy			
25	Knihy			
26	Knihy			
27	Knihy			
28	Knihy			
29	Knihy			
30	Knihy			
31	Knihy			
32	Knihy			
33	Knihy			
34	Knihy			
35	Knihy			
36	Knihy			
37	Knihy			
38	Knihy			
39	Knihy			
40	Knihy			
41	Knihy			
42	Knihy			
43	Knihy			
44	Knihy			
45	Knihy			
46	Knihy			
47	Knihy			
48	Knihy			
49	Knihy			
50	Knihy			
51	Knihy			
52	Knihy			
53	Knihy			
54	Knihy			
55	Knihy			
56	Knihy			
57	Knihy			
58	Knihy			
59	Knihy			
60	Knihy			
61	Knihy			
62	Knihy			
63	Knihy			
64	Knihy			
65	Knihy			
66	Knihy			
67	Knihy			
68	Knihy			
69	Knihy			
70	Knihy			
71	Knihy			
72	Knihy			
73	Knihy			
74	Knihy			
75	Knihy			
76	Knihy			
77	Knihy			
78	Knihy			
79	Knihy			
80	Knihy			
81	Knihy			
82	Knihy			
83	Knihy			
84	Knihy			
85	Knihy			
86	Knihy			
87	Knihy			
88	Knihy			
89	Knihy			
90	Knihy			
91	Knihy			
92	Knihy			
93	Knihy			
94	Knihy			
95	Knihy			
96	Knihy			
97	Knihy			
98	Knihy			
99	Knihy			
100	Knihy			
101	Knihy			
102	Knihy			
103	Knihy			
104	Knihy			
105	Knihy			
106	Knihy			
107	Knihy			
108	Knihy			
109	Knihy			
110	Knihy			
111	Knihy			
112	Knihy			
113	Knihy			
114	Knihy			
115	Knihy			
116	Knihy			
117	Knihy			
118	Knihy			
119	Knihy			
120	Knihy			
121	Knihy			
122	Knihy			
123	Knihy			
124	Knihy			
125	Knihy			
126	Knihy			
127	Knihy			
128	Knihy			
129	Knihy			
130	Knihy			
131	Knihy			
132	Knihy			
133	Knihy			
134	Knihy			
135	Knihy			
136	Knihy			
137	Knihy			
138	Knihy			
139	Knihy			
140	Knihy			
141	Knihy			
142	Knihy			
143	Knihy			
144	Knihy			
145	Knihy			
146	Knihy			
147	Knihy			
148	Knihy			
149	Knihy			
150	Knihy			
151	Knihy			
152	Knihy			
153	Knihy			
154	Knihy			
155	Knihy			
156	Knihy			
157	Knihy			
158	Knihy			
159	Knihy			
160	Knihy			
161	Knihy			
162	Knihy			
163	Knihy			
164	Knihy			
165	Knihy			
166	Knihy			
167	Knihy			
168	Knihy			
169	Knihy			
170	Knihy			
171	Knihy			
172	Knihy			
173	Knihy			
174	Knihy			
175	Knihy			
176	Knihy			
177	Knihy			
178	Knihy			
179	Knihy			
180	Knihy			
181	Knihy			
182	Knihy			
183	Knihy			
184	Knihy			
185	Knihy			
186	Knihy			
187	Knihy			
188	Knihy			
189	Knihy			
190	Knihy			
191	Knihy			
192	Knihy			
193	Knihy			
194	Knihy			
195	Knihy			
196	Knihy			
197	Knihy			
198	Knihy			
199	Knihy			
200	Knihy			
201	Knihy			
202	Knihy			
203	Knihy			
204	Knihy			
205	Knihy			
206	Knihy			
207	Knihy			
208	Knihy			
209	Knihy			
210	Knihy			
211	Knihy			
212	Knihy			
213	Knihy			
214	Knihy			
215	Knihy			
216	Knihy			
217	Knihy			
218	Knihy			
219	Knihy			
220	Knihy			
221	Knihy			
222	Knihy			
223	Knihy			
224	Knihy			
225	Knihy			
226	Knihy			
227	Knihy			
228	Knihy			
229	Knihy			
230	Knihy			
231	Knihy			
232	Knihy			
233	Knihy			
234	Knihy			
235	Knihy			
236	Knihy			
237	Knihy			
238	Knihy			
239	Knihy			
240	Knihy			
241	Knihy			
242	Knihy			
243	Knihy			
244	Knihy			
245	Knihy			
246	Knihy			
247	Knihy			
248	Knihy			
249	Knihy			
250	Knihy			
251	Knihy			
252	Knihy			
253	Knihy			
254	Knihy			
255	Knihy			
256	Knihy			
257	Knihy			
258	Knihy			
259	Knihy			
260	Knihy			
261	Knihy			
262	Knihy			
263	Knihy			
264	Knihy			
265	Knihy			
266	Knihy			
267	Knihy			
268	Knihy			
269	Knihy			
270	Knihy			
271	Knihy			
272	Knihy			
273	Knihy			
274	Knihy			
275	Knihy			
276	Knihy			
277	Knihy			
278	Knihy			
279	Knihy			
280	Knihy			
281	Knihy			
282	Knihy			
283	Knihy			
284	Knihy			
285	Knihy			
286	Knihy			
287	Knihy			
288	Knihy			
289	Knihy			
290	Knihy			
291	Knihy			
292	Knihy			
293	Knihy			
294	Knihy			
295	Knihy			
296	Knihy			
297	Knihy			
298	Knihy			
299	Knihy			
300	Knihy			
301	Knihy			
302	Knihy			
303	Knihy			
304	Knihy			
305	Knihy			
306	Knihy			
307	Knihy			
308	Knihy			
309	Knihy			
310	Knihy			
311	Knihy			
312	Knihy			
313	Knihy			
314	Knihy			
315	Knihy			
316	Knihy			
317	Knihy			
318	Knihy			
319	Knihy			
320	Knihy			
321	Knihy			
322	Knihy			
323	Knihy			
324	Knihy			
325	Knihy			
326	Knihy			
327	Knihy			
328	Knihy			
329	Knihy			
330	Knihy			
331	Knihy			
332	Knihy			
333	Knihy			
334	Knihy			
335	Knihy			
336	Knihy			
337	Knihy			
338	Knihy			
339	Knihy			
340	Knihy			
341	Knihy			
342	Knihy			
343	Knihy			
344	Knihy			
345	Knihy			
346	Knihy			
347	Knihy			
348	Knihy			
349	Knihy			
350	Knihy			
351	Knihy			
352	Knihy			
353	Knihy			
354	Knihy			
355	Knihy			
356	Knihy			
357	Knihy			
358	Knihy			
359	Knihy			
360	Knihy			
361	Knihy			
362				

=====

CROSSASSEMBLER JSA INTEL - MOS-2 DATE 20/05/86 TIME 13:00 PAGE 1

=====

```

1      ;
2      ;PODPROGRAMY
3      ;
4      EQU    FTSBX  4404;      ;X=Y-X
5      EQU    FTMUL  445F;      ;X=X*Y
6      EQU    FTDYX  44C5;      ;X=Y/X
7      EQU    FTLXH  4696;      ;<ADR HL> NA X
10     EQU    FTLYH  469D;      ;<ADR HL> NA Y
11     EQU    FTSXH  46A4;      ;X NA ADR HL
12     EQU    MULWH  4CF8;      ;<DE>*<HL> NA DE
13     EQU    ADDAB  0D2DD;      ;SOUCET POLYNOMU: C = A + B
14     EQU    NASS   0D590;      ;NASOBENI DVOJCLENEM (1-S)
15     EQU    MULAB  0EA00;      ;SOUCIN POLYNOMU: C = A * B
16     EQU    DIVBA  0F000;      ;PODIL POLYNOMU : G = B / A
17     EQU    ADRVE  0F0EB;      ;NALEZENI NASLEDUJICI ADR ZA VEKT.
20     EQU    NULVE  0F0FB;      ;NULOVANI VEKTORU
21     EQU    MULS   0F105;      ;NASOBENI KOMPLEXNI PROMENNOU S
22     EQU    DIVS   0F12D;      ;DELENI KOMPLEXNI PROMENNOU S
23     EQU    MUL1   0F14B;      ;NASOBENI KONST. (-1)
24     EQU    MOVE   0F172;      ;PRESUNUTI VEKTORU V PAMETI
25     EQU    FCEG   0F189;      ;VAHOVA FUNKCE "G*"
26     ;
27     ;PROMENNE
28     ;
31     EQU    NG     0D000;      ;1B POCET KOEF. "G*"
32     EQU    CYKL   0D010;      ;1B POCET KOEF. "C"
33     EQU    CYKL1  0D012;      ;1B POCET KOEF. "A"
34     EQU    CYKL2  0D017;      ;1B POCET KOEF. "B"
35     EQU    ADR2   0D028;      ;2B ADR VEKTORU "B" (2.SCITANEC)
36     EQU    ADR1   0D02A;      ;2B ADR VEKTORU "A" (1.SCITANEC)
37     EQU    ADR    0D02C;      ;2B ADR VEKTORU "C" (SOUCET)
40     EQU    GP     0DF00;      ; VEKTOR 60*3B - LDFIL
41     EQU    DR1    0E1CA;      ;1B POCET KOEF. REGULATORU 1
42     EQU    DR2    0E1CB;      ;1B POCET KOEF. REGULATORU 2
43     EQU    PM1    0E200;      ; VEKTOR 8*3B PM REGULATORU 1
44     EQU    PN1    0E218;      ; VEKTOR 8*3B PN REGULATORU 1
45     EQU    PM2    0E230;      ; VEKTOR 8*3B PM REGULATORU 2
46     EQU    PN2    0E248;      ; VEKTOR 8*3B PN REGULATORU 2
47     EQU    NM     0EAA0;      ;1B POCET KOEF. "C"
50     EQU    N      0EAA1;      ;1B POCET KOEF. "A"
51     EQU    M      0EAA2;      ;1B POCET KOEF. "B"
52     EQU    AP     0EAB0;      ;2B ADR VEKTORU "A" (NASOBENEC)
53     EQU    BP     0EAB2;      ;2B ADR VEKTORU "B" (NASOBITEL)
54     EQU    CP     0EAB4;      ;2B ADR VEKTORU "C" (SOUCIN)
55     EQU    NRV1   0FB00;      ;1B POCET KOEF. RADY B1
56     EQU    ULD1   0FB01;      ; VEKTOR 85*3B - IDENTIF. RADA B1
57     EQU    NRV2   0FC00;      ;1B POCET KOEF. RADY B2
60     EQU    ULD2   0FC01;      ; VEKTOR 85*3B - IDENTIF. RADA B2
61     EQU    VYSL1  0FD00;      ; VEKTOR 69*3B - 1.MEZIVYSLEDEK
62     EQU    VYSL2  0FDD0;      ; VEKTOR 18*3B - 2.MEZIVYSLEDEK
63     EQU    VYSL3  0FE08;      ; VEKTOR 61*3B - 3.MEZIVYSLEDEK
64     EQU    RADM   0FFE0;      ;1B POCET KOEF. "B"
65     EQU    RADN   0FFE1;      ;1B POCET KOEF. "A"
66     EQU    RADK   0FFE2;      ;1B POCET KOEF. "G"
67     EQU    ADRB   0FFE3;      ;2B ADR KOEF. B NA VEKTORU "B"
70     EQU    ADRA   0FFE5;      ;2B ADR KOEF. A NA VEKTORU "A"

```

71	EQU	POM1	OFFE7:	:1B	POMOCNA PROMENNA
72	EQU	POM2	OFFE8:	:1B	POMOCNA PROMENNA
73	EQU	ADRB1	OFFE9:	:2B	ADR KOEF. B(M+1)
74	EQU	ADRA1	OFFEB:	:2B	ADR KOEF. A(N+1)
75	EQU	MINUS1	OFFED:	:3B	KONSTANTA (-1)
76	EQU	PP	OFFF0:	:1B	POMOCNA PROMENNA VNTR. CYKLU
77	EQU	PPK	OFFF1:	:1B	POMOCNA PROMENNA - KONST.
100	EQU	ADRBK	OFFF3:	:2B	ADR VEKTORU "B" (DELENEC)
101	EQU	ADRAK	OFFF5:	:2B	ADR VEKTORU "A" (DELITEL)
102	EQU	ADRGK	OFFF7:	:2B	ADR VEKTORU "G" (PODIL)
103	EQU	PLUS1	OFFF9:	:3B	KONSTANTA (+1)
104	EJECT				

```

105 0000                      ORG      OF000H
106                          ;
107                          ; P O D I L   P O L Y N O M U
110                          ;
111 F000 3A E0 FF  DIVBA:  LDA      RADM
112 F003 4F          MOV      C,  A
113 F004 2A F3 FF  LHL D    ADRBK
114 F007 CD EB F0  CALL     ADRVE
115 F00A 22 E9 FF  SHLD     ADRB1
116 F00D 3A E1 FF  LDA      RADN
117 F010 4F          MOV      C,  A
120 F011 2A F5 FF  LHL D    ADRAK
121 F014 CD EB F0  CALL     ADRVE
122 F017 22 EB FF  SHLD     ADRA1
123 F01A 2A F3 FF  LHL D    ADRBK
124 F01D 22 E3 FF  SHLD     ADRB
125 F020 2A F5 FF  LHL D    ADRAK
126 F023 22 E5 FF  SHLD     ADRA
127 F026 3A E0 FF  LDA      RADM
130 F029 21 E1 FF  LXI      H,  RADN
131 F02C BE          CMP      M
132 F02D CA 36 F0  JZ       ADR6
133 F030 D2 C1 F0  JNC      ADR10;      ;M>N
134 F033 C3 DA F0  JMP      ADR20;      ;M<N
135                          ;
136 F036 21 E1 FF  ADR6:  LXI      H,  RADN
137 F039 7E          MOV      A,  M
140 F03A 3D          DCR      A
141 F03B 32 F0 FF  STA      PP
142                          ;
143 F03E 32 F1 FF  ADR5:  STA      PPK
144                          ;
145 F041 3A F1 FF  ADR7:  LDA      PPK;      ;VNEJSI CYKLUS
146 F044 32 F0 FF  STA      PP
147 F047 2A F5 FF  LHL D    ADRAK
150 F04A CD 96 46  CALL     FTLXH
151 F04D 2A F3 FF  LHL D    ADRBK
152 F050 CD 9D 46  CALL     FTLYH
153 F053 CD C5 44  CALL     FTDYX
154 F056 2A F7 FF  LHL D    ADRGK
155 F059 CD A4 46  CALL     FTSXH
156 F05C 3A F0 FF  LDA      PP
157 F05F FE 00     CPI      00H
160 F061 CA 97 F0  JZ       ADR4
161                          ;
162 F064 2A E5 FF  ADR3:  LHL D    ADRA;      ;VNITRNI CYKLUS
163 F067 23          INX      H
164 F068 23          INX      H
165 F069 23          INX      H
166 F06A 22 E5 FF  SHLD     ADRA
167 F06D CD 9D 46  CALL     FTLYH
170 F070 CD 5F 44  CALL     FTMUL
171 F073 2A E3 FF  LHL D    ADRB
172 F076 23          INX      H
173 F077 23          INX      H
174 F078 23          INX      H

```

175	F079	CD 9D 46	CALL	FTLYH	
176	F07C	CD 04 44	CALL	FTSBX	
177	F07F	2A E3 FF	LHLD	ADRB	
200	F082	CD A4 46	CALL	FTSXH	
201	F085	22 E3 FF	SHLD	ADRB	
202	F088	2A F7 FF	LHLD	ADRGK	
203	F08B	CD 96 46	CALL	FTLXH	
204	F08E	21 F0 FF	LXI	H, PP	
205	F091	4E	MOV	C, M	
206	F092	0D	DCR	C	
207	F093	71	MOV	M, C	
210	F094	C2 64 F0	JNZ	ADR3	
211					
212	F097	2A F7 FF	ADR4: LHLD	ADRGK	
213	F09A	23	INX	H	
214	F09B	23	INX	H	
215	F09C	23	INX	H	
216	F09D	22 F7 FF	SHLD	ADRGK	
217	F0A0	2A E3 FF	LHLD	ADRB	
220	F0A3	11 00 00	LXI	D, 0000H	
221	F0A6	06 00	MVI	B, 00H	
222	F0A8	CD A4 46	CALL	FTSXH	
223	F0AB	2A F3 FF	LHLD	ADRBK	
224	F0AE	22 E3 FF	SHLD	ADRB	
225	F0B1	2A F5 FF	LHLD	ADRAK	
226	F0B4	22 E5 FF	SHLD	ADRA	
227	F0B7	21 E2 FF	LXI	H, RADK	
230	F0BA	4E	MOV	C, M	
231	F0BB	0D	DCR	C	
232	F0BC	71	MOV	M, C	
233	F0BD	C2 41 F0	JNZ	ADR7	
234	F0C0	C9	RET		
235					
236	F0C1	3A E0 FF	ADR10: LDA	RADM;	IM(N
237	F0C4	21 E1 FF	LXI	H, RADN	
240	F0C7	96	SUB	M	
241	F0C8	4F	MOV	C, A	
242	F0C9	2A EB FF	LHLD	ADRA1	
243	F0CC	CD F8 F0	CALL	NULVE	
244	F0CF	21 E0 FF	LXI	H, RADM	
245	F0D2	7E	MOV	A, M	
246	F0D3	3D	DCR	A	
247	F0D4	32 F0 FF	STA	PP	
250	F0D7	C3 3E F0	JMP	ADR5	
251					
252	F0DA	3A E1 FF	ADR20: LDA	RADN;	IM(N
253	F0DD	21 E0 FF	LXI	H, RADM	
254	F0E0	96	SUB	M	
255	F0E1	4F	MOV	C, A	
256	F0E2	2A E9 FF	LHLD	ADRB1	
257	F0E5	CD F8 F0	CALL	NULVE	
260	F0E8	C3 36 F0	JMP	ADR6	
261					
262			EJECT		


```

263      ;
264      ;NALEZENI NASLEDUJICI ADRESY ZA VEKTOREM
265      ;ADR DO HL, DELKA VEKTORU DO C
266      ;
267  FOEB  E5      ADRVE:  PUSH  H
270  FOEC  59      MOV    E,  C
271  FOED  16 00   MVI    D,  00H
272  FOEF  21 03 00 LXI    H,  0003H
273  FOF2  CD F8 4C CALL   MULWH
274  FOF5  E1      POP    H
275  FOF6  19      DAD    D
276  FOF7  C9      RET
277      ;
300      ;
301      ;NULOVA NI VEKTORU, ADR DO HL, DELKA VEKTORU DO C
302      ;
303  FOF8  11 00 00 NULVE:  LXI    D,  0000H
304  FOFB  06 00   MVI    B,  00H
305      ;
306  FOFD  CD A4 46 CY103: CALL   FTSXH
307  F100  0D      DCR    C
310  F101  C2 FD F0 JNZ    CY103
311  F104  C9      RET
312      ;
313      ;
314      ;NASOBENI VEKTORU KOMPLEXNI PROMENNOU S
315      ;ADR DO HL, DELKA VEKTORU DO C
316      ;
317  F105  C5      MULS:  PUSH  B
320  F106  0D      DCR    C
321  F107  C5      PUSH  B
322  F108  CD EB F0 CALL   ADRVE
323      ;
324  F10B  E5      CY100:  PUSH  H
325  F10C  CD 96 46 CALL   FTLXH
326  F10F  CD A4 46 CALL   FTSXH
327  F112  E1      POP    H
330  F113  2B      DCX    H
331  F114  2B      DCX    H
332  F115  2B      DCX    H
333  F116  C1      POP    B
334  F117  0D      DCR    C
335  F118  C5      PUSH  B
336  F119  F2 0B F1 JP     CY100
337  F11C  23      INX    H
340  F11D  23      INX    H
341  F11E  23      INX    H
342  F11F  E5      PUSH  H
343  F120  11 00 00 LXI    D,  0000H
344  F123  06 00   MVI    B,  00H
345  F125  CD A4 46 CALL   FTSXH
346  F128  E1      POP    H;          ;ADRESA VEKTORU V HL
347  F129  C1      POP    B
350  F12A  C1      POP    B
351  F12B  0C      INR    C;          ;DELKA VEKTORU +1 V C
352  F12C  C9      RET

```

```

353      ;
354      ;DELENI VEKTORU KOMPLEXNI PROMENNOU S
355      ;ADR DO HL, DELKA VEKTORU DO C (ZUSTANE NEZMENENA)
356      ;
357      DIVS:  PUSH  B
358             MOV   D,  H
359             MOV   E,  L
360      F12D  C5
361      F12E  54
362      F130  1B
363      F131  1B
364      F132  1B
365      F133  D5
366             DCX   D
367             DCX   D
368             DCX   D
369             PUSH  D
370      F134  D5      CY102:  PUSH  D
371      F135  CD 96 46  CALL  FTLXH
372      F138  E1      POP   H
373      F139  E5      PUSH  H
374      F13A  CD A4 46  CALL  FTSXH
375      F13D  23      INX   H
376      F13E  23      INX   H
377      F13F  23      INX   H
378      F140  D1      POP   D
379      F141  13      INX   D
380      F142  13      INX   D
381      F143  13      INX   D
382      F144  0D      DCR   C
383      F145  C2 34 F1  JNZ   CY102
384      F148  E1      POP   H;      ;NOVA ADR POSUNUTEHO VEKTORU V HL
385      F149  C1      POP   B;      ;DELKA VEKTORU V C
386      F14A  C9      RET      ;ADR NASLEDUJICI ZA VEKTOREM V DE
387
388      ;
389      ;
390      ;NASOBENI VEKTORU KONSTANTOU (-1)
391      ;ADR DO HL, DELKA VEKTORU DO C
392      ;NOVY VEKTOR ZUSTANE NA MISTE PUVODNIHO
393      ;
394      MUL1:  PUSH  B
395             PUSH  H
396      F14B  C5      LXI   D,  0C000H
397      F14C  E5      MVI   B,  41H
398      F14D  11 00 C0  LXI   H,  MINUS1
399      F150  06 41      CALL  FTSXH
400      F152  21 ED FF  POP   H
401      F155  CD A4 46
402      F158  E1
403      F159  E5      CY101:  PUSH  H
404      F15A  CD 96 46  CALL  FTLXH
405      F15D  21 ED FF  LXI   H,  MINUS1
406      F160  CD 9D 46  CALL  FTLYH
407      F163  CD 5F 44  CALL  FTMUL
408      F166  E1      POP   H
409      F167  CD A4 46  CALL  FTSXH
410      F16A  C1      POP   B
411      F16B  0D      DCR   C
412      F16C  C5      PUSH  B
413      F16D  C2 59 F1  JNZ   CY101
414      F170  C1      POP   B
415      F171  C9      RET

```

```

443      ;
444      ;PRESUNUTI VEKTORU V PAMETI
445      ;ADR PUVODNIHO VEKTORU DO HL, ADR NOVEHO VEKTORU DO DE
446      ;DELKA VEKTORU DO C
447      ;
450 F172 C5      MOVE:  PUSH  B
451 F173 D5      PUSH  D
452 F174 CD 96 46 CALL  FTLXH
453 F177 7A      MOV   A,  D
454 F178 4B      MOV   C,  E
455 F179 D1      POP   D
456 F17A EB      XCHG
457 F17B D5      PUSH  D
460 F17C 57      MOV   D,  A
461 F17D 59      MOV   E,  C
462 F17E CD A4 46 CALL  FTSXH
463 F181 D1      POP   D
464 F182 EB      XCHG
465 F183 C1      POP   B
466 F184 0D      DCR   C
467 F185 C2 72 F1 JNZ   MOVE
470 F188 C9      RET
471      ;
472      ;
473      ;  V A H O V A   F U N K C E   G* = C / H
474      ;
475 F189 11 00 40 FCEG: LXI   D,  4000H
476 F18C 06 41     MVI   B,  41H
477 F18E 21 F9 FF LXI   H,  PLUS1
500 F191 CD A4 46 CALL  FTSXH
501 F194 3A CA E1 LDA   DR1
502 F197 32 A1 EA STA   N
503 F19A 21 00 E2 LXI   H,  FM1
504 F19D 22 B0 EA SHLD  AP
505 F1A0 3A CB E1 LDA   DR2
506 F1A3 32 A2 EA STA   M
507 F1A6 21 48 E2 LXI   H,  FN2
510 F1A9 22 B2 EA SHLD  BP
511 F1AC 21 D0 FD LXI   H,  VYSL2
512 F1AF 22 B4 EA SHLD  CP
513 F1B2 CD 00 EA CALL  MULAB;          ;M1*N2 NA VYSL2
514 F1B5 3A A0 EA LDA   NM
515 F1B8 32 E8 FF STA   POM2;          ;DELKA VYSL2 NA POM2
516 F1BB 3A CB E1 LDA   DR2
517 F1BE 32 A1 EA STA   N
520 F1C1 21 30 E2 LXI   H,  FM2
521 F1C4 22 B0 EA SHLD  AP
522 F1C7 3A CA E1 LDA   DR1
523 F1CA 32 A2 EA STA   M
524 F1CD 21 18 E2 LXI   H,  FN1
525 F1D0 22 B2 EA SHLD  BP
526 F1D3 21 08 FE LXI   H,  VYSL3
527 F1D6 22 B4 EA SHLD  CP
530 F1D9 CD 00 EA CALL  MULAB;          ;M2*N1 NA VYSL3
531 F1DC 3A A0 EA LDA   NM
532 F1DF 32 E7 FF STA   POM1;          ;DELKA VYSL3 NA POM1

```

533	F1E2	4F	MOV	C, A	
534	F1E3	21 08 FE	LXI	H, VYSL3	
535	F1E6	CD 4B F1	CALL	MUL1;	; -M2*N1 NA VYSL3
536	F1E9	3A E7 FF	LDA	POM1	
537	F1EC	32 12 D0	STA	CYKL1	
540	F1EF	21 08 FE	LXI	H, VYSL3	
541	F1F2	22 2A D0	SHLD	ADR1	
542	F1F5	3A E8 FF	LDA	POM2	
543	F1F8	32 17 D0	STA	CYKL2	
544	F1FB	21 D0 FD	LXI	H, VYSL2	
545	F1FE	22 28 D0	SHLD	ADR2	
546	F201	21 08 FE	LXI	H, VYSL3	
547	F204	22 2C D0	SHLD	ADR	
550	F207	CD DD D2	CALL	ADDAB;	; M1*N2-M2*N1 NA VYSL3
551	F20A	3A 10 D0	LDA	CYKL	
552	F20D	32 E8 FF	STA	POM2;	; DELKA VYSL3 NA POM2
553	F210	21 08 FE	LXI	H, VYSL3	
554	F213	11 D0 FD	LXI	D, VYSL2	
555	F216	3A E8 FF	LDA	POM2	
556	F219	CD 90 D5	CALL	NASS;	; JMEN=(1-S)*(M1*N2-M2*N1) NA VYSL2
557	F21C	3A E8 FF	LDA	POM2	
560	F21F	3C	INR	A	
561	F220	32 E8 FF	STA	POM2;	; DELKA VYSL2 NA POM2
562	F223	21 01 FC	LXI	H, ULD2	
563	F226	3A 00 FC	LDA	NRV2	
564	F229	4F	MOV	C, A	
565	F22A	CD 4B F1	CALL	MUL1;	; B2*(-1) NA B2
566	F22D	3A 00 FB	LDA	NRV1	
567	F230	32 12 D0	STA	CYKL1	
570	F233	21 01 FB	LXI	H, ULD1	
571	F236	22 2A D0	SHLD	ADR1	
572	F239	3A 00 FC	LDA	NRV2	
573	F23C	32 17 D0	STA	CYKL2	
574	F23F	21 01 FC	LXI	H, ULD2	
575	F242	22 28 D0	SHLD	ADR2	
576	F245	21 00 FD	LXI	H, VYSL1	
577	F248	22 2C D0	SHLD	ADR	
600	F24B	CD DD D2	CALL	ADDAB;	; B1-B2 NA VYSL1
601	F24E	3A 10 D0	LDA	CYKL	
602	F251	32 E7 FF	STA	POM1;	; DELKA VYSL1 NA POM1
603	F254	21 01 FC	LXI	H, ULD2	
604	F257	3A 00 FC	LDA	NRV2	
605	F25A	4F	MOV	C, A	
606	F25B	CD 4B F1	CALL	MUL1;	; -B2*(-1) NA B2
607	F25E	3A E7 FF	LDA	POM1	
610	F261	32 A1 EA	STA	N	
611	F264	21 00 FD	LXI	H, VYSL1	
612	F267	22 B0 EA	SHLD	AP	
613	F26A	3A CA E1	LDA	DR1	
614	F26D	32 A2 EA	STA	M	
615	F270	21 18 E2	LXI	H, PN1	
616	F273	22 B2 EA	SHLD	BP	
617	F276	21 08 FE	LXI	H, VYSL3	
620	F279	22 B4 EA	SHLD	CP	
621	F27C	CD 00 EA	CALL	MULAB;	; (B1-B2)*N1 NA VYSL3
622	F27F	3A A0 EA	LDA	NM	

623	F282	32	A1	EA	STA	N	
624	F285	21	08	FE	LXI	H,	VYSL3
625	F288	22	B0	EA	SHLD	AP	
626	F28B	3A	CB	E1	LDA	DR2	
627	F28E	32	A2	EA	STA	M	
630	F291	21	48	E2	LXI	H,	FN2
631	F294	22	B2	EA	SHLD	BP	
632	F297	21	00	FD	LXI	H,	VYSL1
633	F29A	22	B4	EA	SHLD	CP	
634	F29D	CD	00	EA	CALL	MULAB;	; (B1-B2)*N1*N2 NA VYSL1
635	F2A0	3A	A0	EA	LDA	NM	
636	F2A3	32	E0	FF	STA	RADM	
637	F2A6	21	00	FD	LXI	H,	VYSL1
640	F2A9	22	F3	FF	SHLD	ADRBK	
641	F2AC	3A	E8	FF	LDA	POM2	
642	F2AF	32	E1	FF	STA	RADN	
643	F2B2	21	D0	FD	LXI	H,	VYSL2
644	F2B5	22	F5	FF	SHLD	ADRAK	
645	F2B8	3A	00	D0	LDA	NG	
646	F2BB	3D			DCR	A	
647	F2BC	32	E2	FF	STA	RADK	
650	F2BF	21	00	DF	LXI	H,	GP
651	F2C2	22	F7	FF	SHLD	ADRGK	
652	F2C5	CD	00	F0	CALL	DIVBA;	; CIT/JMEN NA GP
653	F2C8	3A	00	D0	LDA	NG	
654	F2CB	3D			DCR	A	
655	F2CC	4F			MOV	C, A	
656	F2CD	21	00	DF	LXI	H,	GP
657	F2D0	CD	4B	F1	CALL	MUL1;	; (-1)*CIT/JMEN NA GP
660	F2D3	3A	00	D0	LDA	NG	
661	F2D6	3D			DCR	A	
662	F2D7	4F			MOV	C, A	
663	F2D8	21	00	DF	LXI	H,	GP
664	F2DB	CD	05	F1	CALL	MULS;	; S*(-CIT/JMEN) NA GP
665	F2DE	21	F9	FF	LXI	H,	PLUS1
666	F2E1	CD	96	46	CALL	FTLXH	
667	F2E4	21	00	DF	LXI	H,	GP
670	F2E7	CD	A4	46	CALL	FTSXH;	; RADA G* NA GP
671	F2EA	C9			RET		
672					END		

SYMBOL TABLE LISTING

PC	F2EB
FTSBX	4404
FTMUL	445F
FTDYX	44C5
FTLXH	4696
FTLYH	469D
FTSXH	46A4
MULWH	4CF8
ADDAB	D2DD
NASS	D590
MULAB	EA00
DIVBA	F000
ADRVE	F0EB
NULVE	F0F8
MULS	F105
DIVS	F12D
MUL1	F14B
MOVE	F172
FCEG	F189
NG	D000
CYKL	D010
CYKL1	D012
CYKL2	D017
ADR2	D028
ADR1	D02A
ADR	D02C
GP	DF00
DR1	E1CA
DR2	E1CB
PM1	E200
PN1	E218
PM2	E230
PN2	E248
NM	EAA0
N	EAA1
M	EAA2
AP	EAB0
BP	EAB2
CP	EAB4
NRV1	FB00
ULD1	FB01
NRV2	FC00
ULD2	FC01
VYSL1	FD00
VYSL2	FDD0
VYSL3	FE08
RADM	FFE0
RADN	FFE1
RADK	FFE2
ADRB	FFE3
ADRA	FFE5
POM1	FFE7
POM2	FFE8
ADRB1	FFE9
ADRA1	FFEB

MINUS1	FFED
PP	FFF0
PPK	FFF1
ADRBK	FFF3
ADRAK	FFF5
ADRGK	FFF7
PLUS1	FFF9
ADR6	F036
ADR5	F03E
ADR7	F041
ADR3	F064
ADR4	F097
ADR10	F0C1
ADR20	F0DA
CY103	F0FD
CY100	F10B
CY102	F134
CY101	F159

JSA INTEL/ END OF ASSEMBLY

PŘÍLOHA č.2

MENO PROGRAMU: LS03
KOMENTAR:

```
1
2 PROGRAM REID;
3 COMMENT ZAP KEY
4   2 STRAN.
5   4 DRUH IDENTIFIKACE
6   10 TISK AH,CH,MZV REG.;
7   DIMENSION A(20),B(20),C(20),H(20),PM(20),PN(40),PMH(20),S(2),CH(20),D(20),
8   YF(20),DUS(20),YS(20),DUR(20),G(1,50),DA(50),GP(50),DU(50),
9   U(250),Y(50),V(50),X(50),W(50),Z(50),T(50),F(50),Q(50),G1(50),
10  G2(50),PM1(20),PN1(40),PM2(20),PN2(40),GH(2,50),FY(1,50),B1(20),
11  PU(50,50),PUI(50,50),C1(20),H1(20),GH1(50),HP(20),PNP(40),A1(20);
12  NM=20;
13  MN=50;
14  LM=50;
15  ML=50;
16  MG=50;
17  ML1=100;
18  K=1;
19  READREAD,N,NB,NC,NH,NPM,NPN,M,LG;
20  IF KEY(2),53,55;
21  53 I=11;
22  WRITE LINE,119,I;
23  119 FORMAT(A1);
24  55 WRITELINE,100,N,NB,NC,NH,NPM,NPN,M,LG;
25  100 FORMAT('
26  NA=',I3,'  NB=',I3,'  NC=',I3,'  NH=',I3,'  NPM=',I3,'  NPN=',I3,'
27  CELK. POCET KR./REG. M=',I8,'POCET KOEF.VAH.FCE.LG=',I3);
28  DO 30 I=1,N;
29  I1=I+1;
30  B(I)=0.0;
31  CH(I1)=0.0;
32  H(I)=0.0;
33  PM1(I1)=0.0;
34  PN1(I)=0.0;
35  PM2(I1)=0.0;
36  30 PN2(I)=0.0;
37  CALL CTI(A,N);
38  CALL CTI(B,NB);
39  CALL CTI(C,NC);
40  CALL CTI(H,NH);
41  CALL CTI(PM1,NPM);
42  CALL CTI(PN1,NPN);
43  CALL CTI(PM2,NPM);
44  CALL CTI(PN2,NPN);
45  WRITE LINE,101;
46  101 FORMAT('
47  POLYNOM A');
48  CALL TI(A,N);
49  WRITE LINE,102;
50  102 FORMAT('POLYNOM B');
51  CALL TI(B,NB);
52  WRITE LINE,103;
53  103 FORMAT('POLYNOM C');
54  CALL TI(C,NC);
55  WRITE LINE,104;
```



```

56 104 FORMAT('POLYNOM H');
57 CALL TI(H,NH);
58 CALL FAKT(H,X,NH);
59 DO 88 I=1,NH;
60 88 HP(I)=X(I)/X(1);
61 WRITE LINE,107;
62 107 FORMAT('POLYNOM HP');
63 CALL TI(HP,NH);
64 CALL PREM(PM1,PM,NPM);
65 CALL PREM(PN1,PN,NPN);
66 DO 13 II=1,2;
67 WRITE LINE,105;
68 105 FORMAT('POLYNOM PM');
69 CALL TI(PM,NPM);
70 WRITE LINE,106;
71 106 FORMAT('POLYNOM PN');
72 CALL TI(PN,NPN);
73 CALL FAKT(PN,X,NPN);
74 DO 89 I=1,NPN;
75 89 PNP(I)=X(I)*PN(1)/X(1);
76 WRITE LINE,108;
77 108 FORMAT('POLYNOM PNP');
78 CALL TI(PNP,NPN);
79 LG11=LG+1;
80 S(1)=0.1E1;
81 S(2)=-0.1E1;
82 CALL NAS(PM,S,PMH,N,2,N1,NM);
83 CALL NAS(C,S,CH,NC,2,N1,NM);
84 CALL NAS(PMH,C,X,N1,N,LX,ML);
85 CALL NAS(PNP,HP,Y,NPN,NH,LY,ML);
86 CALL NAS(B,C,Z,NB,N,LZ,ML);
87 CALL NAS(A,HP,W,N,NH,LW,ML);
88 DO 16 I=1,K;
89 16 T(I)=0.0;
90 K1=K+1;
91 T(K1)=0.1E1;
92 CALL DEL(X,Y,F,LX,LY,LG11,LM);
93 CALL NAS(T,Z,Y,K1,LZ,LY,ML);
94 CALL DEL(Y,W,V,LY,LW,LG11,LM);
95 CALL DEL(PMH,PNP,T,N1,NPN,LG11,LM);
96 DO 17 I=1,LG11;
97 17 G(1,I)=T(I)-F(I)+V(I);
98 WRITE LINE,18;
99 18 FORMAT('
100 VAHOVA FUNKCE *B* VYPOCTENA');
101 CALL TIS(G,1,LG11,1,MG);
102 CALL GRAF(G,1,LG11,1,MG);
103 LG1=LG-1;
104 CALL PREM(PM2,PM,NPM);
105 CALL PREM(PN2,PN,NPN);
106 13 CONTINUE;
107 CALL DEL(C,HP,W,NC,NH,LG11,LM);
108 DO 36 I=1,LG11;
109 36 GH(1,I)=W(I);
110 WRITE LINE,99;
111 99 FORMAT('
112 POLYNOM GH=C/H VYPOCTENY BEZ IDENTIFIKACE');
113 CALL TIS(GH,1,LG11,2,MG);
114 CALL GRAF(GH,1,LG11,2,MG);
115 CALL DEL(B,A,W,NB,N,LG11,LM);
116 DO 45 I=1,LG11;
117 45 GH(1,I)=W(I);
118 WRITE LINE,46;
119 46 FORMAT('
120 POLYNOM GH=B/A VYPOCTENY BEZ IDENTIFIKACE');

```

```

121 CALL TIS(GH,1,LG11,2,MG);
122 CALL GRAF(GH,1,LG11,2,MG);
123 END;
124
125
126 SUBROUTINE FAKT(A,P,N);
127 DIMENSION A(N),P(N);
128 DIMENSION G(15),F(15),H(100),IM(10),IN(10);
129 DO 1 I=1,N;
130 P(I)=0.0;
131 G(I)=0.0;
132 DO 1 J=1,I;
133 L=I-J+1;
134 1 G(J)=G(J)+A(I)*A(L);
135 P(1)=0.1E1;
136 K=N*N;
137 DO 3 IJ=1,100;
138 DO 4 I=1,K;
139 4 H(I)=0.0;
140 M=0;
141 DO 5 I=1,N;
142 DO 6 J=I,N;
143 L=J+M;
144 L1=J-I+1;
145 H(L)=H(L)+P(L1);
146 L1=L1+M;
147 6 H(L1)=H(L1)+P(J);
148 5 M=M+N;
149 CALL INV(H,N);
150 L=0.1E1;
151 DO 7 I=1,N;
152 F(I)=0.0;
153 DO 7 J=1,N;
154 F(I)=F(I)+H(L)*G(J);
155 7 L=L+1;
156 L=0;
157 DO 8 I=1,N;
158 D=0.5*P(I)+F(I);
159 IF (ABS(P(I)-D)-0.1E-6),10,8,8;
160 10 L=L+1;
161 8 P(I)=D;
162 IF (L-N),3,9,3;
163 3 CONTINUE;
164 9 RETURN;
165 END;
166
167
168 SUBROUTINE PREM(A,B,N);
169 DIMENSION A(N),B(N);
170 DO 1I=1,N;
171 1 B(I)=A(I);
172 RETURN;
173 END;
174
175 SUBROUTINE CTI(A,N);
176 DIMENSION A(N);
177 DO 1 I=1,N;
178 1 READ READ,A(I);
179 RETURN;
180 END;
181
182 SUBROUTINE NAS(A,B,C,N,M,L,ML);
183 DIMENSION A(N),B(M),C(ML);
184 L=N+M-1;
185 DO 1 I=1,L;

```

```

186 1 C(I)=0.0;
187 DO 2 I=1,N;
188 DO 2 J=1,M;
189 I1=I+J;
190 2 C(I1-1)=C(I1-1)+A(I)*B(J);
191 RETURN;
192 END;
193
194 SUBROUTINE DEL(D,B,C,N,M,L,LM);
195 DIMENSION D(LM),B(LM),C(LM);
196 DIMENSION A(50);
197 DO 6 I=1,N;
198 6 A(I)=D(I);
199 IF(N-M),12,13,14;
200 12 J=N+1;
201 DO 4 I=J,M;
202 4 A(I)=0.0;
203 NS=M;
204 GOTO 15;
205 14 J=M+1;
206 DO 3 I=J,N;
207 3 B(I)=0.0;
208 13 NS=N;
209 15 DO 1 J=1,L;
210 F=A(1)/B(1);
211 C(J)=F;
212 DO 2 I=1,NS;
213 2 A(I)=A(I)-F*B(I);
214 NS1=NS-1;
215 IF(NS1),7,7,8;
216 8 DO 5 I=1,NS1;
217 5 A(I)=A(I+1);
218 7 A(NS)=0.0;
219 1 CONTINUE;
220 RETURN;
221 END;
222
223 SUBROUTINE TI(A,N);
224 DIMENSION A(N);
225 I1=5;
226 WRITE LINE,101;
227 101 FORMAT('
228 ');
229 100 FORMAT(E15.7);
230 DO 3 I=1,N;
231 WRITE LINE,100,A(I);
232 I1=I1-1;
233 IF(I1),1,1,3;
234 1 I1=5;
235 WRITE LINE,101;
236 3 CONTINUE;
237 WRITE LINE,101;
238 RETURN;
239 END;
240
241
242 SUBROUTINE INV(A,N);
243 DIMENSION A(N,N);
244 DIMENSION B(90),C(90);
245 INTEGER DIMENSION Z(90);
246 DET=0.1E1;
247 DO 1 I=1,N;
248 1 Z(I)=I;
249
250 DO 2 I=1,N;

```

```

251      K=I;
252      Y=A(I,I);
253      IP=I+1;
254      IF(IP-N),10,10,13;
255
256      10 DO 3 J=IP,N;
257          W=A(I,J);
258          IF (ABS(W)-ABS(Y)),3,3,4;
259      4 K=J;
260      Y=W;
261      3 CONTINUE;
262
263      13 DET=Y*DET;
264      IF(K-I),5,6,5;
265      5 DET=-DET;
266      6 IF (ABS(Y)),7,7,8;
267      8 Y=0.1E1/Y;
268
269      DO 9 J=1,N;
270          C(J)=A(J,K);
271          A(J,K)=A(J,I);
272          A(J,I)=-C(J)*Y;
273          A(I,J)=A(I,J)*Y;
274      9 B(J)=A(I,J);
275      J=Z(I);
276      Z(I)=Z(K);
277      Z(K)=J;
278      A(I,I)=Y;
279
280      DO 2 K=1,N;
281          IF(K-I),11,2,11;
282      11 DO 20 J=1,N;
283          IF(J-I),12,20,12;
284      12 A(K,J)=A(K,J)-B(J)*C(K);
285      20 CONTINUE;
286      2 CONTINUE;
287
288      DO 14 J=1,N;
289          K=Z(J);
290      16 IF(K-J),15,14,15;
291      15 DO 17 I=1,N;
292          W=A(J,I);
293          A(J,I)=A(K,I);
294
295      17 A(K,I)=W;
296      I=Z(K);
297      Z(K)=Z(J);
298      Z(J)=I;
299      K=I;
300      GOTO 16;
301      14 CONTINUE;
302      7 RETURN;
303      END;
304
305      SUBROUTINE TIS(A,MA,NA,M,N);
306      DIMENSION A(M,N);
307      WRITE LINE,101;
308      101 FORMAT('
309      ');
310      DO 1 I=1,MA;
311      I1=5;
312      DO 2 J=1,NA;
313      WRITE LINE,100,A(I,J);
314      100 FORMAT(E15.7);
315      I1=I1-1;

```

```

316 IF(I1),3,3,2;
317 3 I1=5;
318 WRITE LINE,101;
319 2 CONTINUE;
320 1 WRITE LINE,101;
321 RETURN;
322 END;
323
324 SUBROUTINE GRAF(A,I,J,IM,JM);
325 DIMENSION A(IM,JM);
326 REAL LEV;
327 DIMENSION IZ(10),IZT(170),T1(20),JT(170);
328 IF(I-10),92,92,91;
329 91 I=10;
330 92 IL=2;
331 IP=92;
332 MZR=0;
333 IF KEY(3),71,72;
334 71 IP=147;
335 72 IR=10;
336 LEV=IL;
337 PRAV=IP;
338 RAS=IR;
339 IZ(1)=075; IZ(2)=053; IZ(3)=052;
340 IZ(4)=046; IZ(5)=044; IZ(6)=043;
341 IZ(7)=072; IZ(8)=0130; IZ(9)=045; IZ(10)=055;
342 IF KEY(2),1,2;
343 1 NOV=11;
344 WRITE LINE,66,NOV;
345 2 AMA=A(1,1);
346 AMI=AMA;
347 DO 7 N=1,I;
348 DO 7 K=1,J;
349 IF(AMI-A(N,K)),4,4,5;
350 4 IF(AMA-A(N,K)),6,7,7;
351 5 AMI=A(N,K);
352 GOTO 7;
353 6 AMA=A(N,K);
354 7 CONTINUE;
355 9 WRITE LINE,10;
356 10 FORMAT('
357 PORADI ZNAKU V GRAFU ');
358 DO 11 II=1,I;
359 11 WRITE LINE,12,II,IZ(II);
360 12 FORMAT(I3,A1);
361 A1=AMA-AMI;
362 II=ALOG(A1)/0.2302585E1-0.5;
363 A2=II;
364 II=((A1/0.1E2**A2)+0.5)*0.1E3/RAS;
365 80 IF(II-500),81,85,84;
366 81IF(II-250),82,86,85;
367 82IF(II-200),83,87,86;
368 83IF(II-100),90,88,87;
369 90 II=II*10;
370 A2=A2-0.1E1;
371 GOTO 80;
372 84A1=0.1E2;
373 GOTO 89;
374
375 85A1=0.5E1;
376 GOTO 89;
377 86A1=0.25E1;GOTO 89;
378 87A1=0.2E1;GOTO 89;
379 88A1=0.1E1;
380 89A1=A1*0.1E2**A2;

```

```

381 13 WRITELINE,67,AMI,AMA;
382 67 FORMAT('
383 MIN=',E15.7,' MAX=',E15.7);
384 D=(AMA-AMI)/(PRAV-LEV);
385 II=A1/D-0.5;
386 A2=II;
387 D=A1/A2;
388 A3=((PRAV-LEV)*D-(AMA-AMI))/0.2E1;
389 AMA=AMA+A3;
390 AMI=AMI-A3;
391 A2=AMI-D;
392 JC=0;
393
394 DO 39 II=IL,IP;
395 A2=A2+D;
396 I1=A2/A1;
397 A3=I1;
398 93 IF (ABS(A2-A1*A3)-D/0.2E1),36,36,38;
399 36 JC=JC+1;
400 JT(II)=056;
401 T1(JC)=A3*A1;
402 GOTO 39;
403 38 JT(II)=040;
404 39 CONTINUE;
405 WRITE LINE,68;
406 68 FORMAT('
407
408 ');
409 IA=IL-1;
410 DO 40 II=1,IA;
411 40 WRITE LINE,41;
412 41 FORMAT(' ');
413 WRITE LINE,42,AMI;
414 42 FORMAT(E15.7);
415 IC=IP-32;
416 DO 43 II=1,IC;
417 43 WRITE LINE,41;
418 WRITE LINE,42,AMA;
419 WRITE LINE,68;
420 DO 44 II=1,IA;
421 JT(II)=040;
422 IZT(II)=040;
423 44 WRITE LINE,41;
424 IB=IP-IL-9;
425 JC=0;
426 IF (JT(IL)-056),35,45,35;
427 35 IF(JT(IL+1)-056),34,45,34;
428 45 JC=1;
429 34 DO 49 II=IL,IB;
430 IF(JT(II+2)-056),48,46,48;
431 46 JC=JC+1;
432 II=II+8;
433 IF (T1(JC)-0.0),52,50,52;
434 50 WRITE LINE,51;
435 51 FORMAT(' 0 ');
436 GO TO 49;
437 52 WRITE LINE,47,T1(JC);
438 47 FORMAT(E9.2);
439 GOTO 49;
440 48 WRITE LINE,41;
441 49 CONTINUE;
442 WRITE LINE,60;
443 JT(IL)=056;
444 JT(IP)=056;
445 IT=9;

```

```

446 53 DO 63 N=1,J;
447 IT=IT+1;
448 IF(IT-10),54,56,56;
449 54 DO 55 II=IL,IP;
450 55 IZT(II)=JT(II);
451 GOTO 58;
452 56 IT=0;
453 IC=IL+3;
454 IB=IP-3;
455 DO 57 II=IC,IB;
456 57 IZT(II)=056;
457 N1=N/10;
458 N2=N1/10;
459 IZT(IL+2)=N1-N2*10+48;
460 N1=N2/10;
461 IZT(IL+1)=N2-N1*10+48;
462 N2=N1/10;
463 IZT(IL)=N1-N2*10+48;
464 IZT(IP)=IZT(IL+2);
465 IZT(IP-1)=IZT(IL+1);
466 IZT(IP-2)=IZT(IL);
467 58 L=I;
468 DO 64 K=1,I;
469 M=((A(L,N)-AMI)/D)+LEV;
470 IZT(M)=IZ(L);
471 64 L=L-1;
472 DO 65 II=1,IP;
473 65 WRITE LINE,66,IZT(II);
474 66 FORMAT(A1);
475 IC=0;
476 59 WRITE LINE,60;
477 60 FORMAT('
478 ');
479 IF(IC-MZR),61,63,63;
480 61 IC=IC+1;
481 DO 62 II=1,IP;
482 62 WRITE LINE,66,JT(II);
483 GO TO 59;
484 63 CONTINUE;
485 WRITELINE,68;
486 RETURN;
487 END;
488 END OF PROGRAM;
489
490

```

PŘÍLOHA č.3

NA= 2 NB= 2 NC= 2 NH= 2 NPM= 2 NPN= 2
 CELK. POČET KR./REG. M= 100POČET KOEF.VAH.FCE.LG= 20

POLYNOM A

0.99999996 -0.49999998

POLYNOM B

0.29999998 0.19999998

POLYNOM C

0.99999996 -0.59999996

POLYNOM H

0.99999996 0.32999998

POLYNOM HP

0.99999996 0.33000000

POLYNOM PM

0.99999996 0.18999999

POLYNOM PN

-0.1539000E 1 0.76999995

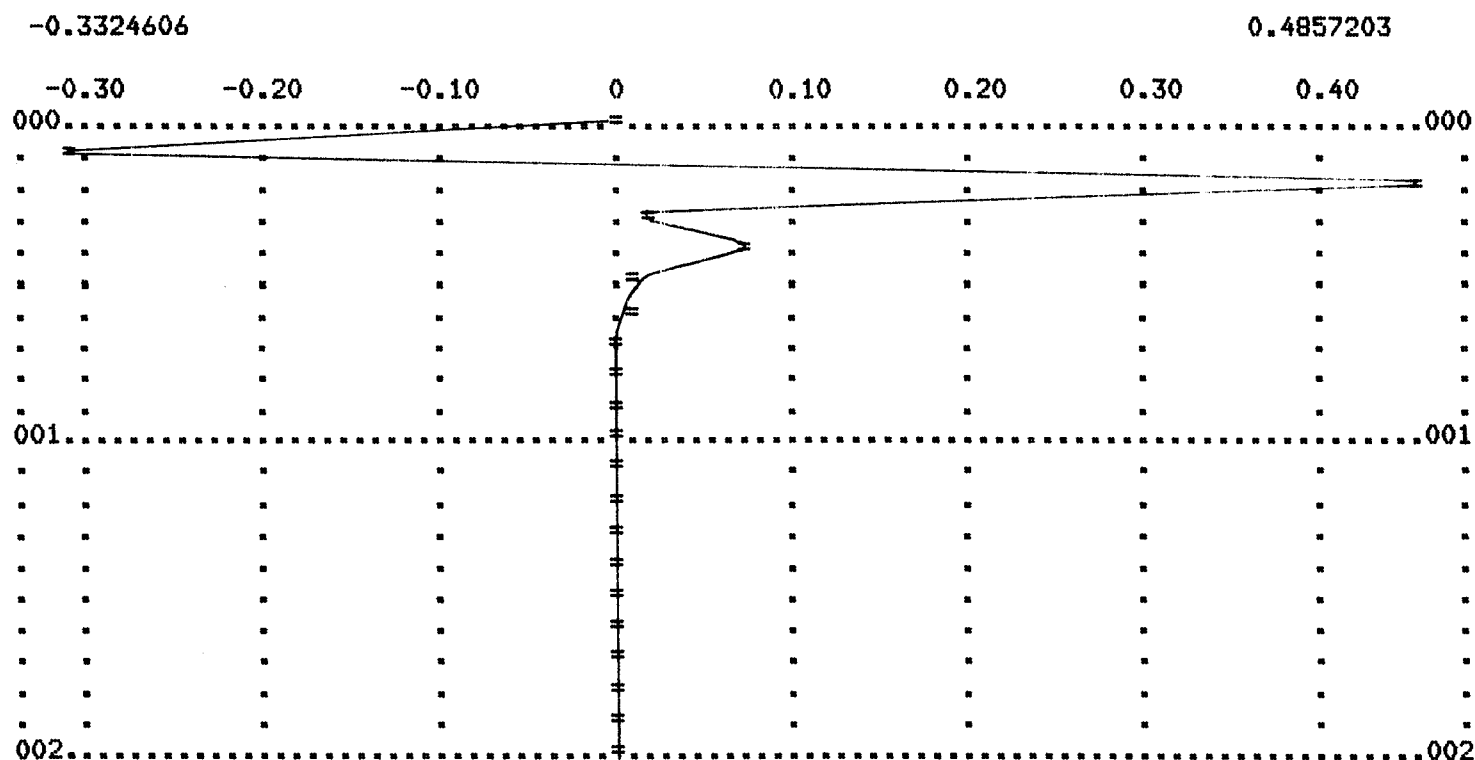
POLYNOM PNP

-0.1539000E 1 0.77000001

VAHDVA FUNKCE *B* VYPOCTENA

0	-0.3042881	0.4575478	0.2245113E- 1	0.7937984E- 1
0.1723290E- 1	0.1604424E- 1	0.5579433E- 2	0.3600047E- 2	0.1534739E- 2
0.8559761E- 3	0.3992794E- 3	0.2093795E- 3	0.1016087E- 3	0.5188768E- 4
0.2561967E- 4	0.1293348E- 4	0.6434275E- 5	0.3232021E- 5	0.1613186E- 5
0.8085701E- 6				

PORADI ZNAKU V GRAFU 1=
 MIN= -0.3042881 MAX= 0.4575478



POLYNOM PM

0.9999996 0.4999998

POLYNOM PN

-0.4999998E 1 0.4999998

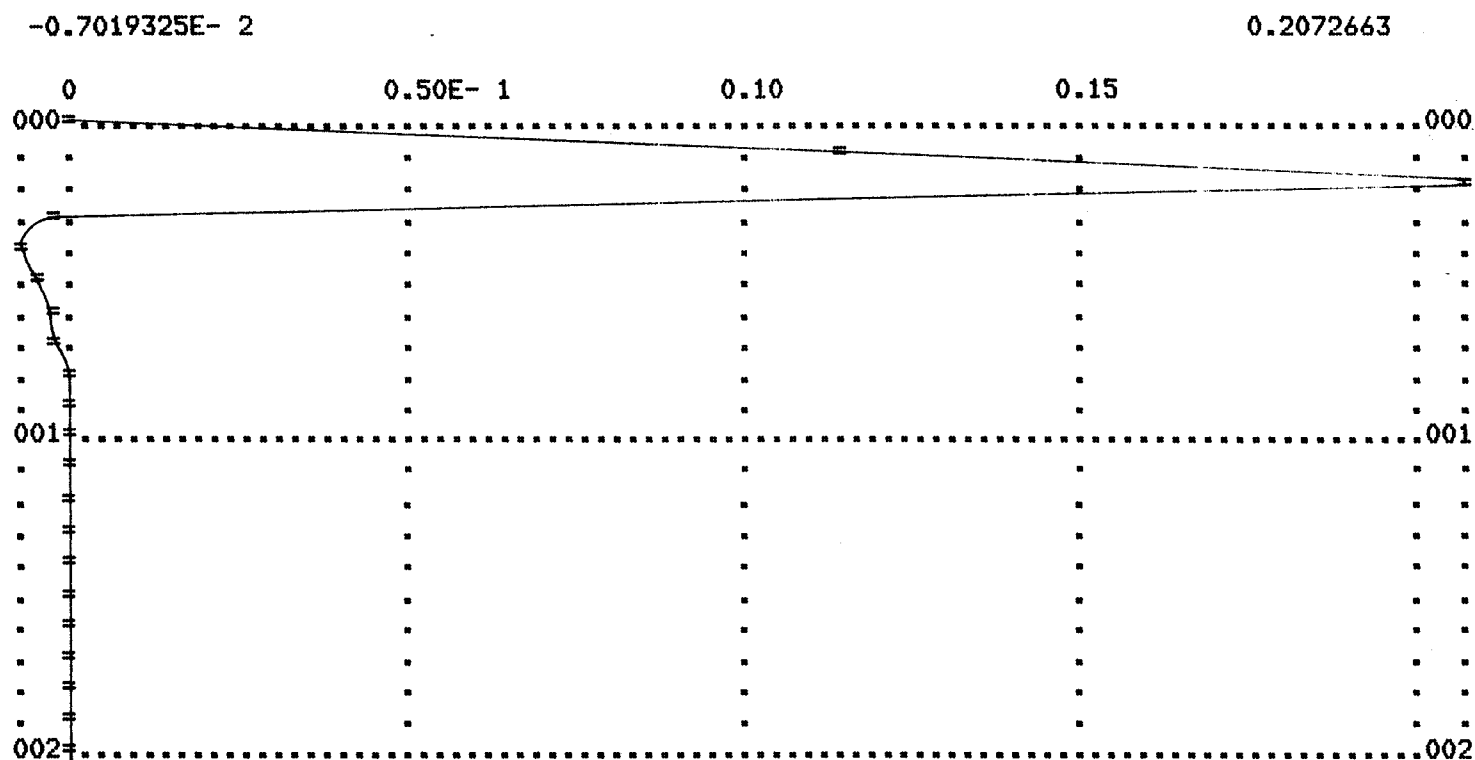
POLYNOM PNP

-0.4999998E 1 0.4999994

VAHOVA FUNKCE *B* VYPOCTENA

0	0.1139998	0.2067799	-0.2797393E- 2	-0.6532833E- 2
-0.5589745E- 2	-0.2429933E- 2	-0.1375572E- 2	-0.6388033E- 3	-0.3359676E- 3
-0.1625572E- 3	-0.8307339E- 4	-0.4094481E- 4	-0.2066776E- 4	-0.1026942E- 4
-0.5155981E- 5	-0.2570970E- 5	-0.1287802E- 5	-0.6431362E- 6	-0.3218205E- 6
-0.1608269E- 6				

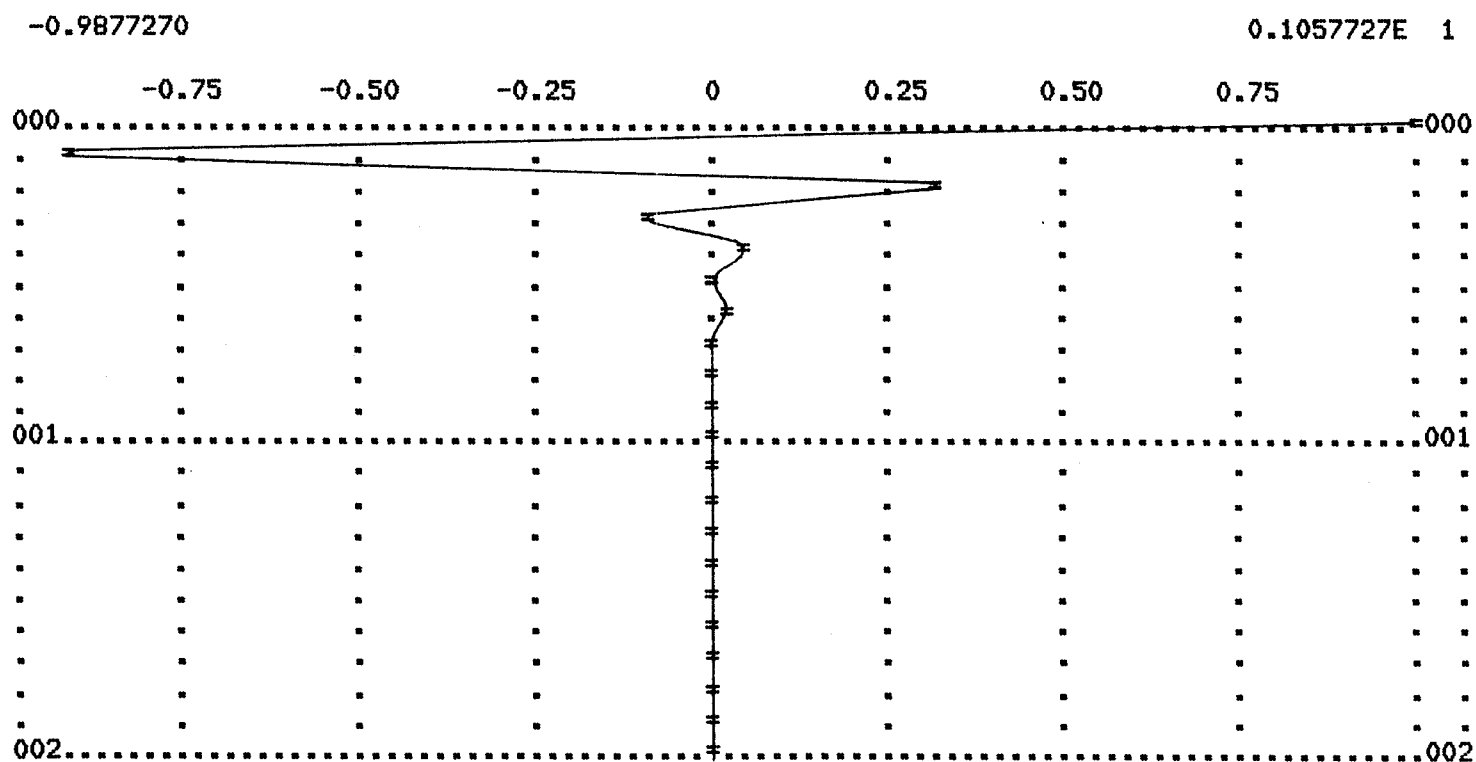
PORADI ZNAKU V GRAFU 1=
 MIN= -0.6532833E- 2 MAX= 0.2067799



POLYNOM GH=C/H VYPOCTENY BEZ IDENTIFIKACE

0.9999996	-0.9299995	0.3069000	-0.1012770	0.3342144E- 1
-0.1102908E- 1	0.3639598E- 2	-0.1201068E- 2	0.3963525E- 3	-0.1307964E- 3
0.4316282E- 4	-0.1424374E- 4	0.4700436E- 5	-0.1551145E- 5	0.5118780E- 6
-0.1689198E- 6	0.5574356E- 7	-0.1839539E- 7	0.6070477E- 8	-0.2003259E- 8
0.6610756E- 9				

PORADI ZNAKU V GRAFU 1=
 MIN= -0.9299995 MAX= 0.9999996



POLYNOM GH=B/A VYPOCTENY BEZ IDENTIFIKACE

0.2999998	0.3499998	0.1749999	0.8749996E- 1	0.4374998E- 1
0.2187499E- 1	0.1093750E- 1	0.5468746E- 2	0.2734373E- 2	0.1367187E- 2
0.6835932E- 3	0.3417966E- 3	0.1708983E- 3	0.8544914E- 4	0.4272457E- 4
0.2136229E- 4	0.1068114E- 4	0.5340570E- 5	0.2670285E- 5	0.1335143E- 5
0.6675711E- 6				

PORADI ZNAKU V GRAFU 1=
MIN= 0.6675711E- 6 MAX= 0.3499998

-0.1249974E- 1

0.3625002

