

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

ASŘ - SF - 129

OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ IDENTIFIKACE NA MIKROPOČÍTAČI

Pavel Vondráček

Vedoucí práce: ing. Osvald Modrlák, CSc.

Rozsah práce a příloh

Počet stran	64
Počet příloh	4
Počet obrázků	14

Vysoká škola: **VŠST Liberec**

Fakulta: **strojná**

Katedra: **technické kybernetiky**

Školní rok: **1985/86**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

s. Pavla V e n d r á č k a

pro

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: **Ověření vlastností identifikace na mikropočítači**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s programováním na mikropočítači, s programovým vybavením na KTK a naučte se s touto technikou pracovat.
2. Prestudujte algoritmus LD-filtru pro identifikaci s regresním modelem z uvedené literatury.
3. Vypracujte identifikační program pro mikropočítač.
4. Dle časových a technických možností ověřte činnost algoritmu identifikace ve spojení s analogovým počítačem.

V 38 / 86 S

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

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

- 1/ Peterka a kol.: Algoritmy pro adaptivní mikroprocesorovou regulaci technologických procesů. Praha 1982, Ústav teorie a informace ČSAV.
- 2/ Nádhera, R.: Rozšíření programového vybavení počítače RPP 16S pod operačním systémem MOS 2.D. Dipl.práce VŠST-KTK, 1983.
- 3/ Firemní literatura k SAPI 1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Osvald Modrlák, CSc.

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

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

V Liberci dne 23. května 1986

Pavel Farcháček

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce a konzultantovi
Ing. Osvaldovi Modrlákovi, CSc. za vytváření dobrých
podmínek ke zhotovení diplomové práce a dále
Ing. Bedřichovi Janečkovi, CSc. za poskytnutí pomoci
při vytváření programového vybavení.

O B S A H

	strana
1. Úvod	7
2. Struktura adaptivního regulačního obvodu, použité vzorkování	10
3. Identifikace regulovaného systému v uzavřené smyčce	15
3.1. Volba struktury prediktoru	22
3.2. Limitní vlastnosti uvažovaných prediktorů při identifikaci v uzavřené smyčce	30
3.2.1. Struktura identifikace v uzavřené smyčce s prediktorem	31
3.2.2. Struktura identifikace v uzavřené smyčce s přírůstkovým prediktorem	33
3.3. Odhad vektoru koeficientů uvažovaného prediktoru metodou nejmenších čtverců	36
3.3.1. Metoda nejmenších čtverců	36
4. Struktura hlavního programu	38
4.1. Pracovní režimy hlavního programu	38
4.1.1. Činnost hlavního programu	38
4.2. Struktura identifikačního programu	41
4.2.1. Vývojový diagram identifikačního programu	41

	strana
4.2.2. Popis identifikačního programu	45
4.2.2.1. Činnost jednotlivých režimů identifikace	47
4.3. Ověření identifikace při hybridním spojení mikropočítače SAPI-1 a analogového počítače MEDA 43HA	50
4.3.1. Odhad koeficientů polynomů soustavy, která je popsána lineárním regresním modelem (se stabilním polynomem $A(s)$, $B(s)$ a $C(s)=1$)	51
4.3.2. Odhad koeficientů polynomů soustavy, která je posána stochastickou dife- renční rovnicí se stabilním polynomem $A(s)$, polynomy $B(s)$ a $C(s)$	52
5. Mikroprocesorový soubor SAPI-1	56
5.1. Technické vybavení SAPI-1	56
5.2. Programové vybavení SAPI-1	57
6. Analogový počítač MEDA 43HA	58
7. Závěr	59
Seznam použité literatury	61
Seznam příloh	62
Seznam použitých zkratk a symbolů	63

1. ÚVOD

Otázky adaptivního řízení jsou již řadu let studovány v celém světě a byl v nich vykonán velký pokrok.

Také na Katedře technické kybernetiky na VŠST v Liberci bylo zpracováno mnoho prací na toto téma, přičemž většina prací vychází z nucené separace identifikace a řízení.

Protože problematika adaptivních systémů je velmi rozsáhlá a různorodá, je nutno se zaměřit na konkrétní oblast použití, což je v této práci oblast tepelně technických procesů. Základní charakteristikou těchto systémů je, že vstupem jsou velká množství paliv, energie či surovin a výstupem jsou zase velká množství produktů či energie a to vše za přítomnosti poruchových veličin. Prakticky všechny tyto systémy jsou opatřeny fungující spojitou či diskrétní regulací nebo dokonce řídicím počítačem, mající různé úkoly, od sběru dat až po přímé řízení.

Z technologických či provozních důvodů není přípustné rozpojení regulačního obvodu a provádění hrubších zásahů do technologického procesu v důsledku nesprávného řízení. O poruchových veličinách předpokládáme, že jsou zpravidla neměřené a mají v určitém sledovaném intervalu charakter náhodné procházky (viz dále). Dále vycházíme ze skutečnosti, že uvedené technické tepelné procesy jsou relativně dlouhodobě pozorovány na určitých provozních hodnotách-hladinách, které jsou dány např. elektrickým výkonem či produkcí cementu v tunách za jednotku času apod. Přejít z jedné provozní hodnoty na jiné provozní hodnoty se provádí buď ručně nebo pomocí speciálního řízení.

Uvedené skutečnosti nám umožňují vycházet z předpokladu, že parametry těchto systémů při zvolených provozních hodnotách -hladinách se nemění příliš rychle. Použitím adaptivních řídicích algoritmů se pak sleduje buď

- 1) zlepšení regulačních pochodů daného provozu, nebo
- 2) zachycení pomalých změn parametrů systému.

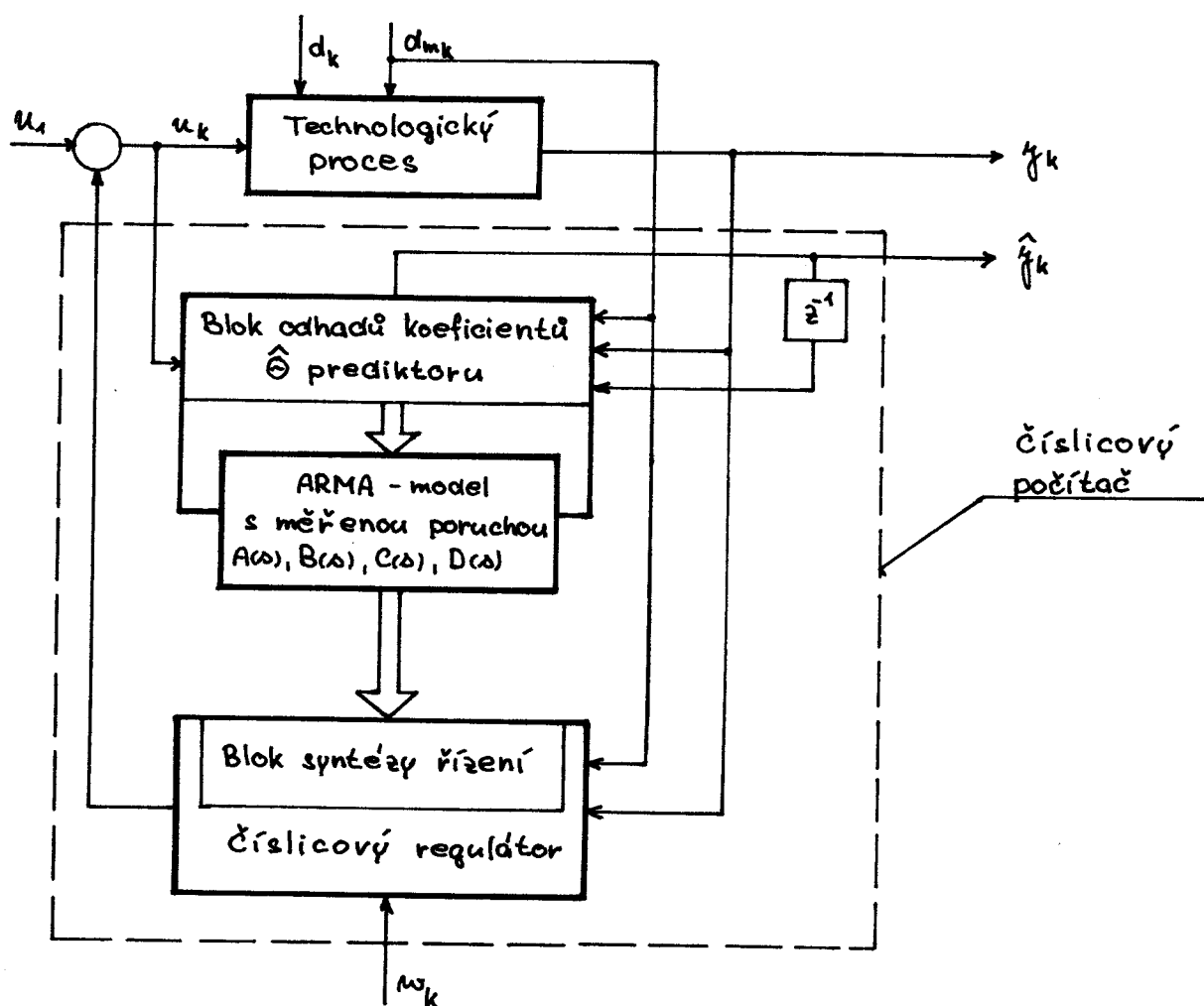
Rozborem uvedených skutečností byl navržen následující přístup k adaptivnímu řízení tepelně technických procesů, který je možno charakterizovat následujícími kroky.

- 1) Aby bylo získáno co nejvíce informací o soustavě, provádí se identifikace v uzavřené regulační smyčce s konstantním regulátorem po zvolený počet identifikačních kroků. Konstantní regulátor může být libovolný, zajišťující z hlediska technologie jakoukoliv přijatelnou regulaci.
- 2) Po dosažení shody mezi výstupem ze soustavy a modelem s uvažovanou přesností, je možno provést návrh algoritmu řízení s tím, že je možno po určitou dobu sledovat výstup z takto určeného regulátoru při daných výstupech ze soustavy, ještě dříve než se zapojí do uzavřeného regulačního obvodu.
- 3) Následuje vlastní zapojení regulátoru a adaptační proces na soustavě, provádí se současně identifikace a syntéza řízení ve zvolených krocích.
- 4) Při nedostatečně buzené soustavě je nutné buď vypínat identifikaci nebo použít identifikaci se směrovým zapínáním.

Tato práce si klade za cíl úkol ověření činnosti identifikace v uzavřeném regulačním obvodu při pevném regulátoru pro zvolený počet identifikačních kroků, při vhodné volbě struktury prediktoru, umožňující provádět ve zpětné vazbě odhady koeficientů stochastické diferenční rovnice: ARMA - modelu.

2. STRUKTURA ADAPTIVNÍHO REGULAČNÍHO OBVODU, POUŽITÉ VZORKOVÁNÍ

Při úvahách o struktuře adaptivního regulačního obvodu se vycházelo ze všeobecně používané struktury, ve které je k jednoparametrovému řízenému technologickému systému připojen ve zpětné vazbě číslicový počítač. Pomocí tohoto počítače je prováděna odděleně identifikace a vlastní syntézy řízení, a současně se realizuje zpětnovazební řízení. Základní struktura tohoto adaptivního regulačního obvodu je na obr. 2 - 1.



Obr. 2 - 1 Základní struktura adaptivního regulačního obvodu on - line zapojení

- u_k - akční veličina
- y_k - regulovaná veličina (výstupní veličina)
- d_k - neměřená poruchová veličina (porucha)
- d_{mk} - měřená poruchová veličina
- \hat{y}_k - predikce výstupní veličiny
- $\hat{\Theta}$ - vektor odhadovaných koeficientů prediktoru
- $A(z), B(z), C(z), D(z)$ - polynomy ARMA modelu s měřenou poruchou
- $\Delta = z^{-1}$ - operátor posunu.

Dále se vychází z předpokladu, že do technologického procesu - v dalším již jen do řízeného systému (nebo regulované soustavy) vstupuje akční veličina (akční zásah) u_k , neměřená poruchová veličina d_k (nebo neměřená porucha d_k), o které předpokládáme, že má charakter bílého (Gausovského) šumu. Akční veličina je po dobu peridy vzorkování konstantní. Kromě uvedených dvou vstupních veličin u_k , d_k předpokládáme, že je možno na vstupu měřit poruchu d_{mk} , kterou označíme jako měřenou poruchovou veličinu (měřenou poruchu d_{mk}).

Z hlediska dynamického chování předpokládáme, že uvažovaný řízený systém je možno popsat stochastickou diferenční rovnicí.

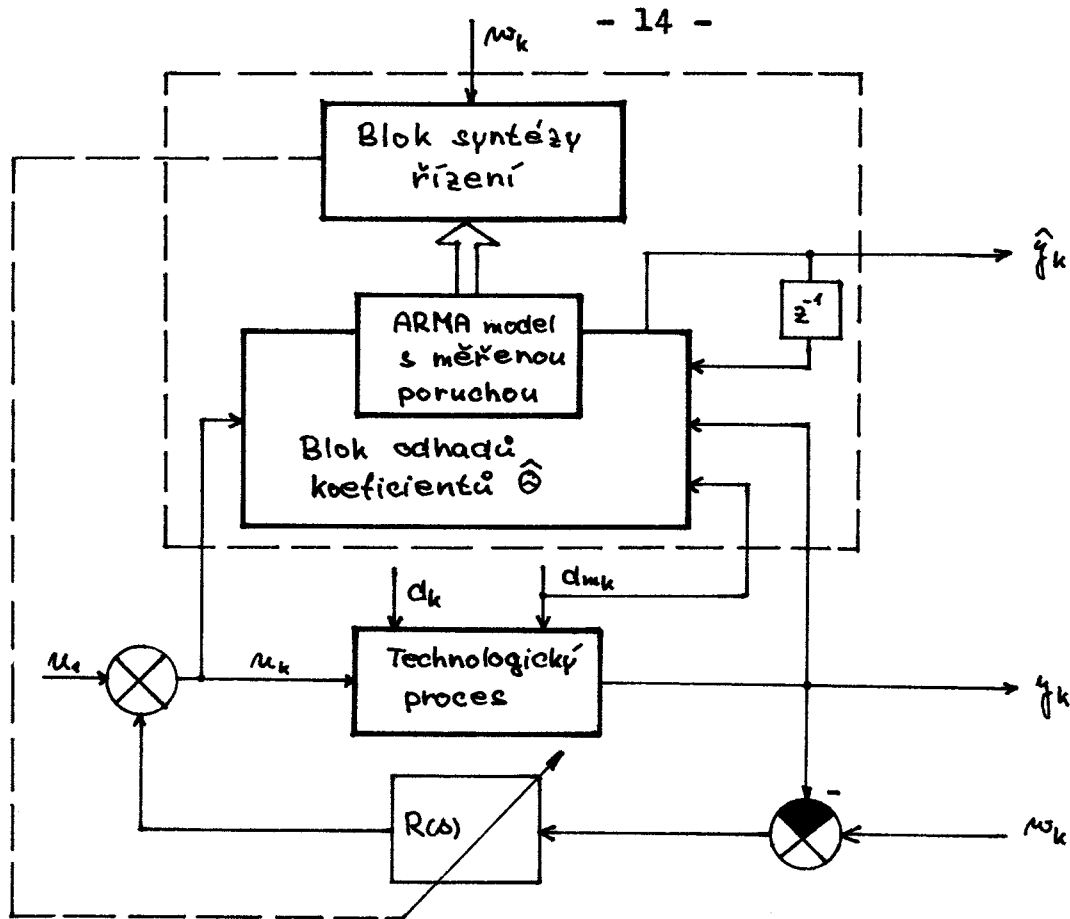
Uvažované nucené separaci identifikace a syntézy řízení odpovídají dva bloky, které jsou realizované v paměti číslicového počítače - blok identifikace a blok syntézy řízení. První blok obsahuje ještě blok přechodu z koeficientů prediktoru $\hat{\Theta}$ na ARMA model s měřenou poruchovou veličinou a druhý blok obsahuje ještě vlastní číslicový regulátor. V našich uvažích vycházíme z toho, že vlastní identifikace a syntéza nemusí nutně pracovat v on-line zapojení. Podstatným znakem

uvedené struktury adaptivního regulačního obvodu je, že blok identifikace využívá kromě běžných vstupů y_k , u_k , d_{mk} ještě výstup z prediktoru \hat{y}_k .

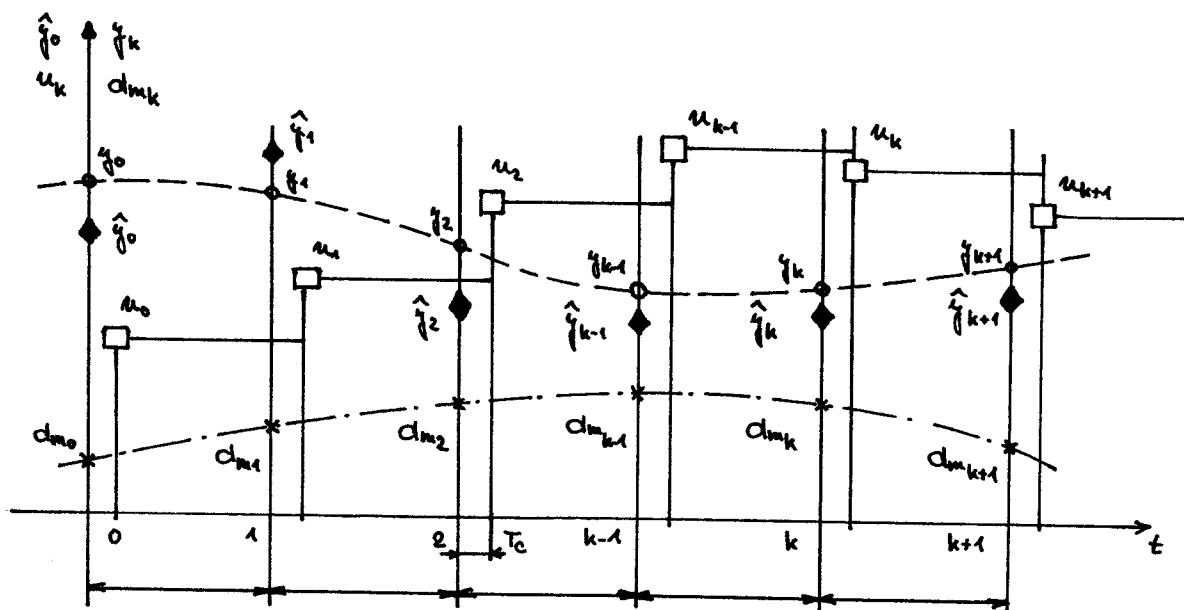
Základní struktura adaptivního regulačního obvodu, která je uvedena na obr. 2-1 umožňuje: pracovní režim, který můžeme charakterizovat jako po krocích prováděnou identifikaci a syntézu v on-line zapojení. Vychází se z předem odhadnutých řádů soustavy a je možno též vycházet z nulových apriorních znalostí o velikosti koeficientů diferenční rovnice a tím i regulátoru. Tento režim zajistí automatické seřízení regulátoru a je charakterizován průběhem adaptačního procesu. V průběhu adaptačního procesu dochází k velkým změnám akční veličiny. Uvedená struktura zachytí změny parametrů soustavy a zajistí nové nastavení regulátoru.

Vzhledem k danému zaměření adaptivní regulace na tepelně technické procesy, jeví se nám jako žádoucí, aby struktura adaptivního regulačního obvodu, kromě pracovního režimu, který umožňuje základní struktura, umožnila při prvním nasazení nejdříve identifikaci uzavřeného regulačního obvodu s pevným regulátorem pro zvolený počet identifikačních kroků, s následnou syntézou řízení. Výhoda tohoto pracovního režimu je v možnosti identifikace off-line. Získané seřízení regulátoru pak zlepší počáteční proces adaptace, zachová však automatické doladění (seřízení) regulátoru včetně opravy seřízení regulátoru při změně parametrů soustavy. Struktura adaptivního regulačního obvodu, umožňující uvedený pracovní režim, je na obr. 2 - 2.

Nyní ještě několik slov ke vzorkování. Periodu vzorkování označme T a dobu výpočtu akčního zásahu označme T_c . Předpokládáme, že $T \gg T_c$ je takové, že zpoždění akční veličiny u_k proti \hat{f}_k, \hat{f}_k je zanedbatelné. Na obr. 2 - 3 je uvedeno vzorkování pro identifikaci.



Obr. 2 - 2 Struktura adaptivního regulačního obvodu pro pracovní režim s pevným regulátorem



Obr. 2 - 3 Vzorkování pro identifikaci

- ◆ - výstup z prediktoru
- - výstup ze soustavy
- - akční veličina

3. IDENTIFIKACE REGULOVANÉHO SYSTÉMU V UZAVŘENÉ SMYČCE

Identifikace regulované soustavy v uzavřené smyčce tvoří jeden ze základních problémů adaptivních systémů řízení, bude-li uvažován případ, že bude prováděna identifikace při pevném regulátoru po zvolenou dobu. Tento případ identifikace může nastat např. tehdy, je-li používán zkusmo nastavený suboptimální regulátor pro danou technologii, nebo jestliže v procesu adaptace se odhadované koeficienty soustavy již nemění a tím se nemění ani seřízení regulátoru. Vycházíme z předpokladu, že v uvedených případech je soustava dostatečně buzena buď skoky žádaných hodnot nebo šumovým signálem. Je-li soustava buzena pouze neměřeným šumem α_k , jedná se již o poměrně obtížnou úlohu. Z literatury jsou známy všeobecné podmínky pro lineární systémy, které je nutno splnit, aby identifikace byla úspěšná, to jest, aby odhady koeficientů $\hat{\Theta}$ se po dostatečně dlouhý úsek identifikace blížily skutečným koeficientům Θ . Obecné požadavky na identifikaci v uzavřené smyčce je možno zformulovat následujícím způsobem:

- 1) zvolit vhodnou strukturu prediktoru (u stochastických systémů)
- 2) použít vhodnou identifikační metodu
- 3) zajistit vhodné buzení systému (např. zavést přídatný šum) nebo získat další informace o soustavě (zajistit znalost některého koeficientu).

V dalších kapitolách bude ukázáno, jakým způsobem byly tyto podmínky zabudovány do navrhovaného identifikačního po-

stupu. Nejdříve však bude ukázáno, jaké systémy budou uvažovány a způsob jejich matematického popisu.

Budou uvažovány takové jednoparametrové lineární systémy, které je možno popsat stochastickou diferenční rovnicí (matematickým modelem)

$$\sum_{i=0}^n a_i y_{k-i} = \sum_{j=0}^n b_j u_{k-j} + \sum_{l=0}^n c_l d_{k-l} + \mathcal{E}, \quad (3-1)$$

kde y_k je výstup ze soustavy v okamžiku k ,

u_k je vstup do soustavy v okamžiku k ,

d_k je stacionární posloupnost náhodných čísel, které aproximují vliv skutečné náhodné stacionární poruchy,

\mathcal{E} je konstanta,

nebo pro stochastické systémy s měřenou poruchou

$$\sum_{i=0}^n a_i y_{k-i} = \sum_{j=0}^n b_j u_{k-j} + \sum_{l=0}^n c_l d_{k-l} + \sum_{p=0}^n \sigma_p d_{mk-p} + \mathcal{E}, \quad (3-2)$$

kde d_{mk} je měřená porucha.

Zavedeme-li operátor posunutí podle vztahu

$$y_{k-i} = \delta^i y_k, \quad (3-3)$$

pak jednotlivé polynomy můžeme napsat ve tvaru

$$A(\delta) = a_0 + a_1 \delta + a_2 \delta^2 + \dots + a_n \delta^n, \quad a_0 = 1,$$

$$B(\delta) = b_0 + b_1 \delta + b_2 \delta^2 + \dots + b_n \delta^n,$$

$$C(\delta) = c_0 + c_1 \delta + c_2 \delta^2 + \dots + c_n \delta^n, \quad c_0 = 1,$$

$$D(\delta) = \sigma_0 + \sigma_1 \delta + \sigma_2 \delta^2 + \dots + \sigma_n \delta^n.$$

S tímto značením je možno pro popis stochastického systému získat tvar:

$$A(\delta) y_k = \delta B(\delta) u_k + C(\delta) d_k + D(\delta) d_{mk} + \mathcal{E}. \quad (3-4)$$

Někdy je výhodné zapsat polynomy $A(s)$, $B(s)$, $C(s)$, $D(s)$ ve tvaru (zvolme $\sigma_0 = 0$)

$$A(s) = 1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_n s^n, \quad \text{kde } n = \mathcal{D}A,$$

$$B(s) = b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + b_m s^m, \quad \text{kde } m = \mathcal{D}B,$$

$$C(s) = 1 + c_1 s + c_2 s^2 + \dots + c_{nc} s^{nc}, \quad \text{kde } nc = \mathcal{D}C,$$

$$D(s) = \sigma_1 s + \sigma_2 s^2 + \dots + \sigma_{nd} s^{nd}, \quad \text{kde } nd = \mathcal{D}A,$$

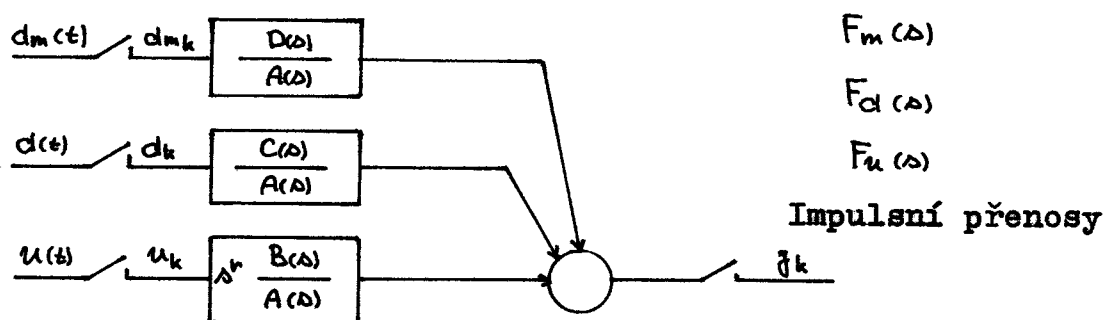
kde $\mathcal{D}A, \mathcal{D}B, \mathcal{D}C, \mathcal{D}D$ jsou stupně polynomů $A(s), B(s), C(s), D(s)$.

Stochastickou diferenční rovnicí s měřenou poruchovou veličinou pak můžeme vyjádřit

$$A(s) y_k = s^r B(s) u_k + C(s) d_k + D(s) d_{m_k} + \mathcal{R}, \quad (3-5)$$

kde r je dopravní zpoždění soustavy (diskrétní).

Struktura spojitého stochastického systému, který je popsán diferenční rovnicí (3-5) nebo (3-2) je na obr. 3 - 1.



Obr. 3 - 1 Struktura stochastického spojitého systému s měřenou poruchou d_{m_k} .

Posloupnost náhodných čísel d_k - bílý šum - vyhovuje rovnicím

$$E\{d_k\} = 0, \quad (3 - 6)$$

$$E\{d_k \cdot d_{k+i}\} = \begin{cases} 0 & i \neq 0 \\ \sigma_d^2 & i = 0, \end{cases} \quad (3 - 7)$$

kde $E\{\cdot\}$ je střední hodnota.

Někdy je výhodné uvažovat matematický popis stochastického systému v některé z jeho přírůstkových forem. Vytvoříme-li zpětnou diferenci, pak dostaneme popis soustavy pomocí přírůstkového modelu

$$A(\Delta) \Delta y_k = \Delta^r B(\Delta) \Delta u_k + C(\Delta) \Delta d_k + D(\Delta) \Delta d_{m_k}, \quad (3 - 8)$$

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

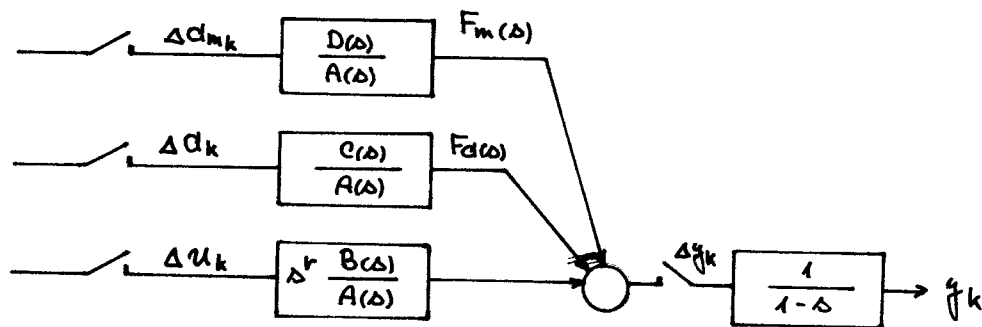
$$\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$$

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

$$\Delta d_{m_k} = d_{m_k} - d_{m_{k-1}}.$$

Struktura spojitého stochastického systému, který je popsán přírůstkovým modelem je na obr. 3 - 2. Výstup y_k je pak možno určit vztahem

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



Obr. 3 - 2 Struktura stochastického spojitého systému, který je popsán přírůstkovým modelem

Diferenční rovnici (3 - 8) je možno zavedením označení

$\Delta y_k = y_k - y_{k-1}$ a $\bar{a}_1 = a_1 - 1$; $\bar{a}_i = a_i - a_{i-1}$ pro $i = 2, 3, \dots, n$; $\bar{a}_{n+1} = -a_n$ přepsat do tvaru

$$y_k + \sum_{i=1}^{\partial A+1} \bar{a}_i y_{k-i} = \sum_{j=0}^{\partial B} b_j \Delta u_{k-j-r} + \sum_{l=0}^{\partial C} c_l \Delta d_{k-l} + \sum_{p=1}^{\partial D} \sigma_p \Delta d_{m_{k-p}}, \quad (3 - 9)$$

nebo ve tvaru

$$A(\Delta) y_k = \Delta^r B(\Delta) \Delta u_k + C(\Delta) \Delta d_k + D(\Delta) \Delta d_{m_k}, \quad (3 - 10)$$

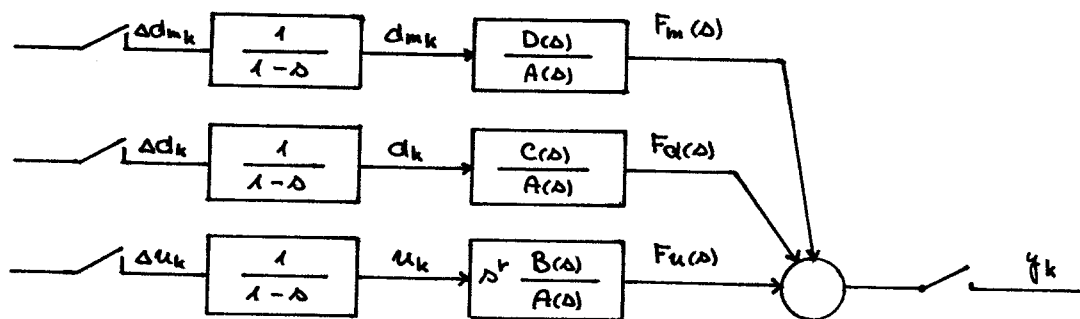
kde

$$\bar{A}(\Delta) = 1 + \bar{a}_1 \Delta + \bar{a}_2 \Delta^2 + \dots + \bar{a}_n \Delta^n + \bar{a}_{n+1} \Delta^{n+1}.$$

Formální úpravou rovnice (3 - 8) je možno získat další typ diferenční rovnice ve tvaru

$$y_k = y_{k-1} - \sum_{i=1}^{\partial A} a_i \Delta y_{k-i} + \sum_{j=0}^{\partial B} b_j \Delta u_{k-i-r} + \sum_{l=0}^{\partial C} c_l \Delta d_{k-l} + \sum_{p=1}^{\partial D} \sigma_p \Delta d_{m_{k-p}}. \quad (3 - 11)$$

Z praktického hlediska má veliký význam struktura stochastického systému, který je uveden na obr. 3 - 3.



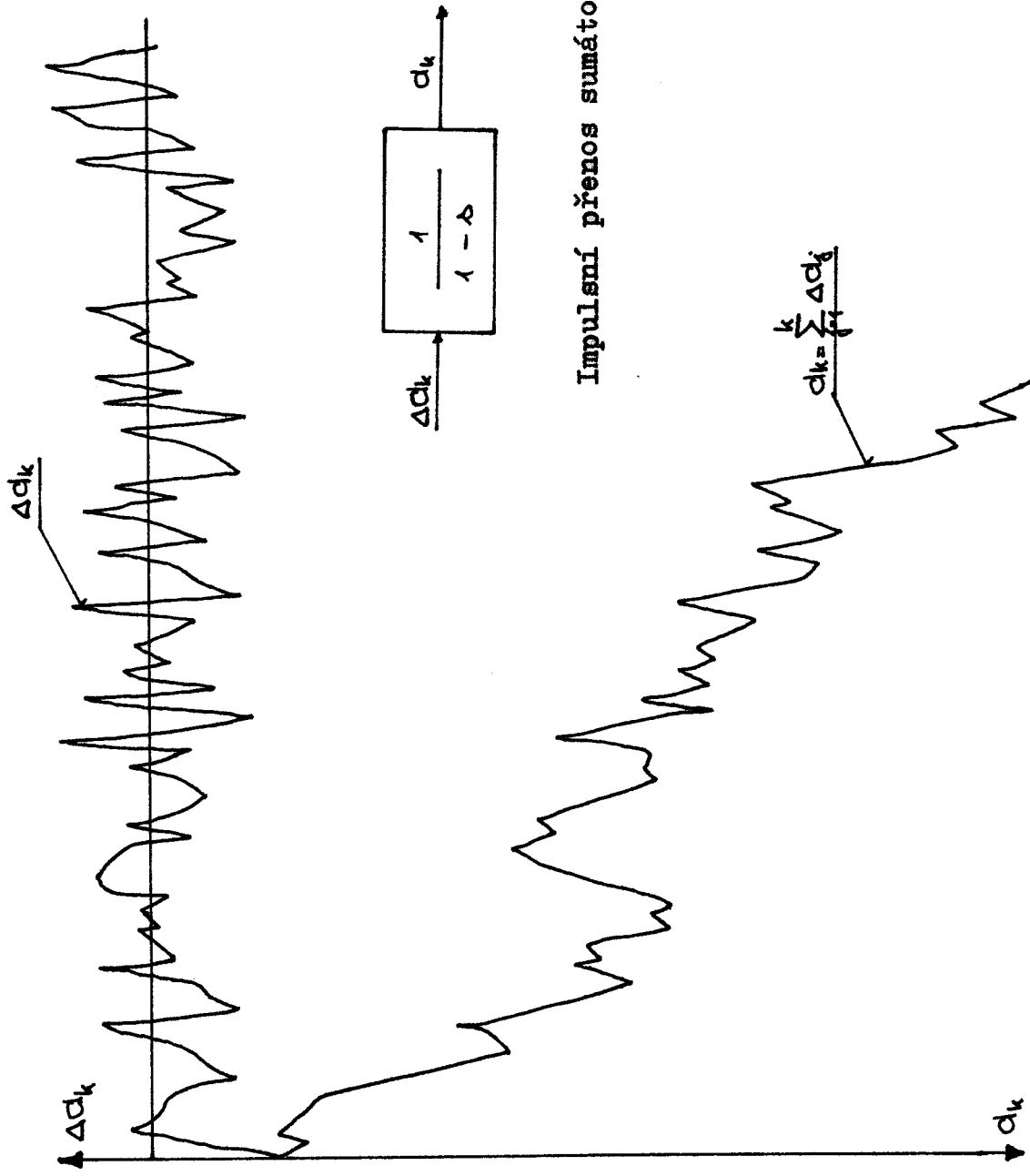
Obr. 3 - 3 Struktura stochastického spojitého systému, který je popsán diferenční rovnicí (3 - 12)

Diferenční rovnice popisující strukturu tohoto systému má tvar

$$(1-\alpha)A(\omega) y_k = \alpha^r B(\omega) \Delta u_k + C(\omega) \Delta \alpha_k + D(\omega) \Delta \alpha_{m_k}. \quad (3 - 12)$$

Budeme-li vycházet z předpokladu, že šumový signál vyhovuje podmínkám (3 - 6) a (3 - 7), pak se jedná o bílý (gausovský) šum. Šum $\alpha_k = \sum_{i=0}^k \Delta \alpha_i$ vstupující přes filtr $F_{\alpha}(\omega)$, je náhodný proces s nezávislými přírůstky - náhodná procházka. Průběh pseudonáhodného bílého šumu a náhodné procházky je zobrazen na obr. 3 - 4.

Diferenční rovnice (3-12). (3 - 8), 3 - 5) či (3 - 10), (3 - 11) popisují dynamické vlastnosti uvažovaných stacionárních stochastických systémů.



Impulsní přenos sumátoru

Obr. 3 - 4 Průběh pseudonáhodného bílého šumu a náhodné procházky

3.1. Volba struktury prediktora

Stochastické diferenční rovnice pomocí kterých jsou popsány dynamické vlastnosti lineárních stochastických systémů obsahují složky bílého (gaussovského) šumu d_{k-i} , pro $i=0,1,\dots,l$, který není měřitelný. Proto ani při znalosti koeficientů diferenční stochastické rovnice není možno pomocí těchto rovnic predikovat výstup systému, při známých hodnotách vstupu u_{k-i} a výstupu y_{k-i} pro $i=1,2,3,\dots$.

Vzniká tedy otázka, jakým způsobem při známých koeficientech diferenční rovnice je možno predikovat výstup stochastického systému y_k^p , při známých (měřených) vstupech u_{k-i} a výstupech y_{k-i} , pro $i=1,2,\dots$. Tuto úlohu nám řeší třída matematických modelů, které jsou nazývány prediktory, které obecně mají tvar

$$y_k^p = f[Y_{k-1}, U_{k-1}, Y_{k-1}^p, D_{mk}, k] \quad (3.1 - 1)$$

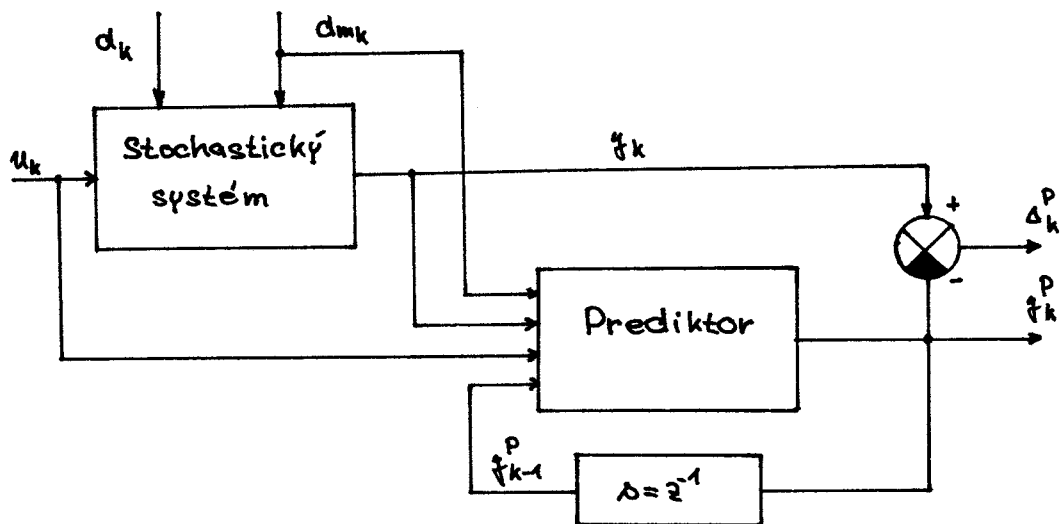
kde y_k^p je predikovaný (odhadovaný) výstup v okamžiku k ,
 Y_{k-1} je posloupnost měřených výstupů soustavy $\{y_{k-1}, y_{k-2}, \dots\}$,
 Y_{k-1}^p je posloupnost výstupů z prediktora $\{y_{k-1}^p, y_{k-2}^p, \dots\}$,
 U_{k-1} je posloupnost měřených vstupů $\{u_{k-1}, u_{k-2}, \dots\}$,
 D_{mk} je posloupnost měřených poruch $\{d_{mk}, d_{m_{k-1}}, \dots\}$.

Současně platí rovnost

$$y_k = y_k^p + \Delta_k^p = f[Y_{k-1}, U_{k-1}, Y_{k-1}^p, D_{mk}, k] + \Delta_k^p, \quad (3.1 - 2)$$

kde Δ_k^p je chyba predikce.

Struktura predikce s měřenými veličinami je na obr. 3.1 - 1.



Obr. 3.1 - 1 Struktura predikce výstupu

Kvalitu prediktoru je možno posuzovat podle velikosti chyby predikce. Zde vyvstává otázka, zda existuje nejlepší prediktor a jakou musí mít chybu predikce. Jestliže chyba predikce bude rovna právě diskretní hodnotě bílého šumu, tj. že bude platit (pro lineární prediktor a Gausovský náhodný proces)

$$\Delta_k^p = d_k, \quad (3.1 - 3)$$

pak je možno hovořit o nejlepší, někdy též o optimální predikci, která splňuje rovnici

$$y_k - y_k^p = \Delta_k^p = d_k. \quad (3.1 - 4)$$

Hovoří se pak často o optimálním prediktoru. V literatuře /1/, /5/ existuje celá řada prediktorů, umožňující predikovat výstup systému, který je popsán stochastickou diferenční rovnicí. Naším cílem je, nalézt vhodnou strukturu a parametry prediktoru, jehož struktura a množina parametrů nám umožní identifikovat daný stochastický systém v uzavřené smyčce a vykazující některé výhody tohoto identifikačního schématu.

Ukažme nyní způsob převedení matematického modelu dynamického systému ve tvaru stochastické diferenční rovnice na tvar optimálního prediktoru. Vycházíme z předpokladu, že polynom $C(\Delta)$ je stabilním polynomem.

Uvažujme matematický model ve tvaru (3 - 5)

$$A(\Delta) y_k = \Delta^r B(\Delta) u_k + C(\Delta) d_k + D(\Delta) d_{m_k} + \mathcal{E}. \quad (3.1 - 5)$$

Jestliže $A(\Delta)$ a $C(\Delta)$ jsou polynomy v Δ , pak existuje takový polynom $G(\Delta)$ stupně $n_G = \mathcal{D}G = \max\{\mathcal{D}A, \mathcal{D}C\} - 1$, že platí

$$C(\Delta) = A(\Delta) + \Delta G(\Delta), \quad (3.1 - 6)$$

kde $G(\Delta) = g_0 + g_1 \Delta + g_2 \Delta^2 + \dots + g_{n_G} \Delta^{n_G}$.

Polynom $A(\Delta)$ je pak možno určit z (3.1 - 6) následovně

$$A(\Delta) = C(\Delta) - \Delta G(\Delta). \quad (3.1 - 7)$$

Dosazením (3.1 - 7) do (3.1 - 5) dostaneme rovnost

$$C(\Delta)[y_k - d_k] = \Delta^r B(\Delta) u_k + \Delta G(\Delta) y_k + D(\Delta) d_{m_k} + \mathcal{E}. \quad (3.1 - 8)$$

Předpokládejme, že y_k^P je predikce výstupu. Vynásobením predikce y_k^P polynomem $C(\Delta)$ a odečtením od obou stran rovnice (3.1 - 8) dostaneme rovnost

$$C(\Delta)[y_k - y_k^P - d_k] = \Delta G(\Delta) y_k + \Delta^r B(\Delta) u_k + D(\Delta) d_{m_k} - C(\Delta) y_k^P + \mathcal{E}. \quad (3.1 - 9)$$

Pro optimální prediktor musí platit rovnice (3.1 - 2), tedy platí, že chyba predikce

$$\Delta_k^P = d_k = y_k - y_k^P \rightarrow y_k - y_k^P - d_k = 0. \quad (3.1 - 10)$$

Rovnost (3.1 - 9) má pak tvar

$$0 = \Delta G(\omega) y_k + \Delta^r B(\omega) u_k + D(\omega) d_{m_k} - C(\omega) y_k^p + \mathcal{E}. \quad (3.1 - 11)$$

Z rovnice (3.1 - 11) pak dostaneme rovnici optimálního prediktoru ve tvaru

$$y_k^p = \Delta G(\omega) y_k + \Delta^r B(\omega) u_k + D(\omega) d_{m_k} - [C(\omega) - 1] y_k^p + \mathcal{E}. \quad (3.1 - 12)$$

Obdobným způsobem je možno zavést optimální prediktor v přírůstkovém tvaru, který je popsán rovnicí

$$\Delta y_k^p = \Delta G(\omega) \Delta y_k + \Delta^r B(\omega) \Delta u_k + D(\omega) \Delta d_{m_k} - [C(\omega) - 1] \Delta y_k^p \quad (3.1 - 13)$$

přičemž

$$y_k^p = y_{k-1}^p + \Delta y_k^p.$$

Zavedeme-li vektor pozorování $\bar{\Phi}_{k-1}$, který pro optimální prediktor (3.1 - 12) má tvar

$$\bar{\Phi}_{k-1}^T = [y_{k-1}, y_{k-2}, \dots, y_{k-n_c-1}; u_{k-r}, u_{k-r-1}, \dots, u_{k-r-m}; d_{m_{k-1}}, d_{m_{k-2}}, \dots, d_{m_{k-n_d}}; y_{k-1}^p, y_{k-2}^p, \dots, y_{k-n_c}^p, 1] \quad (3.1 - 14)$$

a vektor koeficientů Θ , který má tvar

$$\Theta^T = [g_0, g_1, \dots, g_{n_c}; b_0, b_1, \dots, b_m; \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{n_d}; -c_1, -c_2, \dots, -c_{n_c}, \mathcal{E}], \quad (3.1 - 15)$$

pak predikce výstupu y_k^p bude

$$y_k^p = \Theta^T \cdot \bar{\Phi}_{k-1}, \quad (3.1 - 16)$$

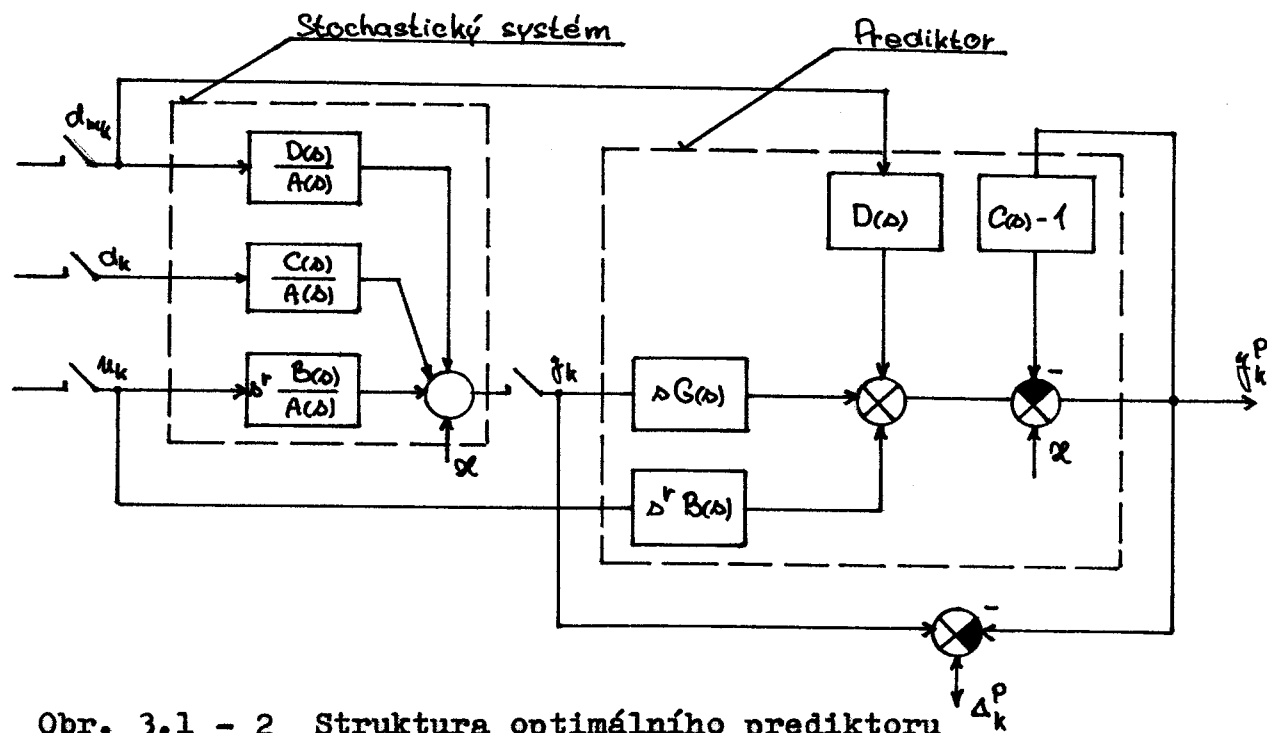
a pro výstup ze soustavy platí

$$y_k = y_k^p + \Delta_k^p = \Theta^T \bar{\Phi}_{k-1} + d_k.$$

Obdobně můžeme zavést vektor pozorování a vektor koeficientů pro prediktor, který je popsán rovnicí (3.1 - 13).

$$\Phi_{k-1}^T = [\Delta y_{k-1}, \Delta y_{k-2}, \dots, \Delta y_{k-n_s-1}; \Delta u_{k-r}, \Delta u_{k-r-1}, \dots, \Delta u_{k-r-m}; \Delta d_{m_{k-1}}, \Delta d_{m_{k-2}}, \dots, \Delta d_{m_{k-n_D}}; \Delta y_{k-1}^P, \Delta y_{k-2}^P, \dots, \Delta y_{k-n_c}^P], \quad (3.1 - 17)$$

$$\Theta^T = [q_0, q_1, \dots, q_{n_s}; b_0, b_1, \dots, b_m; \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n_D}; -e_1, -e_2, \dots, -e_{n_c}]. \quad (3.1 - 17a)$$



Obr. 3.1 - 2 Struktura optimálního prediktoru Δ_k^P

Predikce výstupu Δy_k^P pak bude dána rovnicí (3.1 - 16),

$$y_k^P = y_{k-1} + \Delta y_k^P, \quad \Delta y_k^P = \Theta^T \cdot \Phi_{k-1}, \quad (3.1 - 18)$$

a pro výstup ze soustavy platí

$$y_k = y_k^P + \Delta_k^P = y_{k-1} + \Theta^T \Phi_{k-1} + \Delta d_k.$$

Optimální prediktor je též možno popsat pomocí diferenční rovnice ve tvaru

$$C(s) y_k^P = \Delta^r B(s) u_k + \Delta G(s) y_k + D(s) d_{m_k}, \quad (3.1 - 19)$$

nebo ve tvaru

$$y_k^P = \Delta \frac{B(s)}{C(s)} u_k + \frac{\Delta G(s)}{C(s)} y_k + \frac{D(s)}{C(s)} d_{m_k}. \quad (3.1 - 19a)$$

Struktura optimálního prediktoru (3.1 - 20) je na obr. 3.1 - 2.

Ověřme nyní dynamické vlastnosti optimálního prediktoru pomocí přenosu. Přenos mezi y_k^p a u_k je

$$F_{y^p u}(\lambda) = \frac{\Delta^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \Delta B(\lambda) + \Delta^r B(\lambda)}{1 + C(\lambda) - 1} = \frac{\Delta^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} [C(\lambda) - A(\lambda)] + \Delta^r B(\lambda)}{C(\lambda)} = \Delta^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \quad (3.1 - 20)$$

Přenos mezi y_k^p a d_k je

$$F_{y^p d}(\lambda) = \frac{\frac{C(\lambda)}{A(\lambda)} \cdot \Delta B(\lambda)}{1 + C(\lambda) - 1} = \frac{\frac{C(\lambda)}{A(\lambda)} [C(\lambda) - A(\lambda)]}{C(\lambda)} = \frac{C(\lambda)}{A(\lambda)} - 1. \quad (3.1 - 21)$$

Z přenosu (3.1 - 20) je zřejmé, že přenos mezi akční veličinou u_k a predikovaným výstupem y_k^p je roven přenosu stochastické soustavy mezi akční veličinou u_k a výstupem y_k . Přenos (3.1 - 21) ukazuje, že přenos mezi poruchou d_k a predikovaným výstupem y_k^p prediktoru je roven přenosu stochastické soustavy mezi poruchovou veličinou d_k a výstupem soustavy y_k zmenšený o jednotku.

Prediktory určené rovnicemi (3.1 - 12) a (3.1 - 13) umožňují při známých koeficientech optimální predikci výstupu soustavy s chybou, která je rovna (gaussovskému) bílému šumu.

Uvedené dva typy prediktorů tvoří základ pro uvažovanou identifikaci ve zpětné vazbě a pro návrh vhodných identifikačních struktur a metod. Avšak odvození prediktoru a ani jeho struktura neposkytuje příliš velikou motivaci pro návržení identifikační metody.

Zaveďme následující označení:

nechť $\hat{G}(\lambda)$, $\hat{B}(\lambda)$, $\hat{C}(\lambda)$ a $\hat{D}(\lambda)$ jsou odhady koeficientů prediktoru, pak predikce výstupu (neoptimální) bude

$$\hat{y}_k = \Delta G(\lambda) y_k + \Delta^r \hat{B}(\lambda) u_k + \hat{D}(\lambda) d_{mk} - [\hat{C}(\lambda) - 1] \hat{f}_k + \mathcal{E}. \quad (3.1 - 19b)$$

Chyba predikce (neoptimální) z_k bude dána vztahem

$$z_k = y_k - \hat{f}_k. \quad (3.1-20b)$$

Chyba odhadu predikce z_k obecně nesplňuje podmínku (3.1-4) a závisí obecně na odhadech polynomů $\hat{G}(\lambda)$, $\hat{B}(\lambda)$, $\hat{D}(\lambda)$ a $\hat{C}(\lambda)$ a na posloupnosti minulých odhadů \hat{Y}_{k-1} . Podobně bude dána predikce výstupu (neoptimální) přírůstkového prediktoru ve tvaru

$$\Delta \hat{f}_k = \Delta \hat{G}(\lambda) \Delta y_k + \Delta^r \hat{B}(\lambda) \Delta u_k + \hat{D}(\lambda) \Delta d_{mk} - [\hat{C}(\lambda) - 1] \Delta \hat{f}_k. \quad (3.1-21b)$$

Predikce budoucího výstupu \hat{f}_k je pak vztahena k poslední pozorované hodnotě výstupu y_{k-1} a platí

$$\hat{f}_k = y_{k-1} + \Delta \hat{f}_k. \quad (3.1 - 22)$$

Rovnici (3.1 - 22) odpovídá struktura identifikace v otevřené smyčce, která je uvedena na obr. 3.1-4. Předpokládejme, že chyba predikce z_k má tyto vlastnosti:

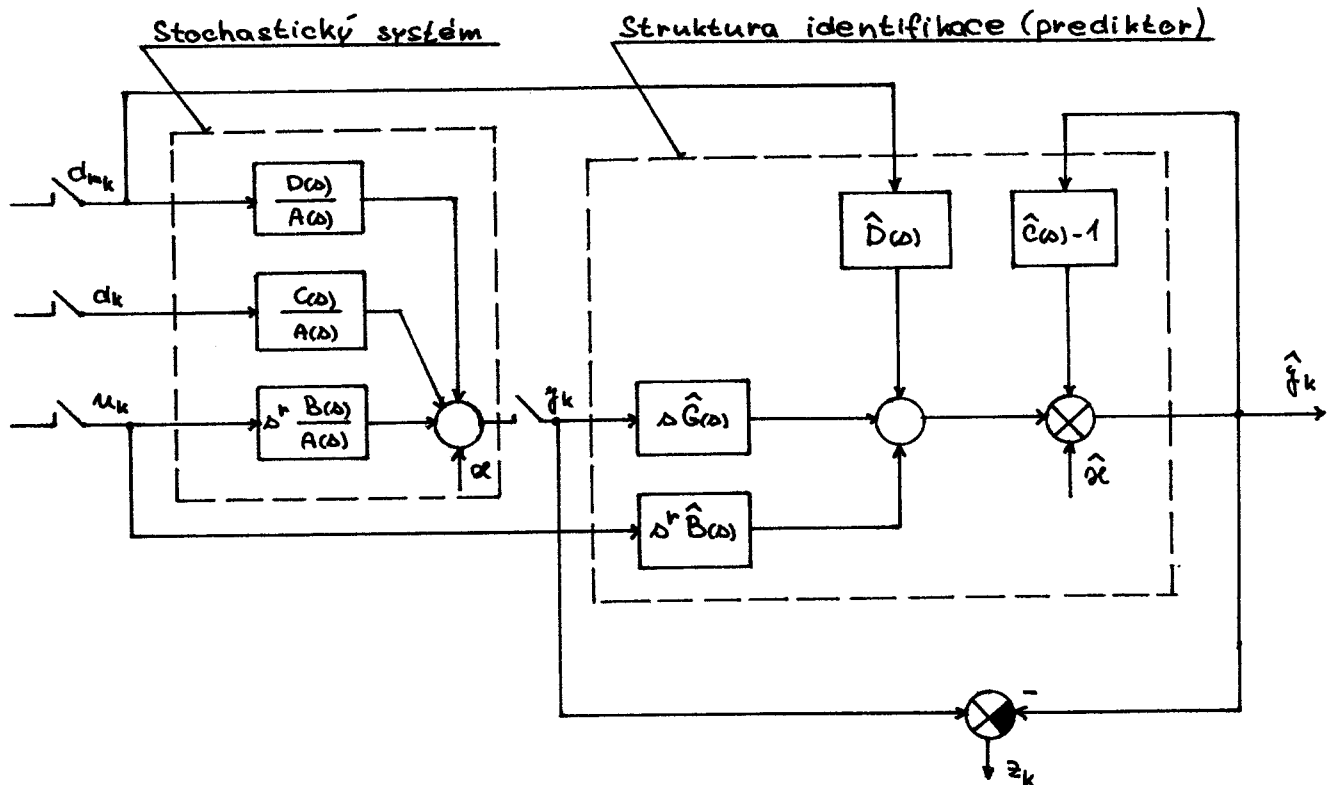
- 1) nulovou střední hodnotu,
- 2) nekorelovanost s okamžitými hodnotami vstupu a výstupu.

$$R_{zu}(i) = E\{z_k u_{k+i}\} = 0,$$

$$R_{zy}(i) = E\{z_k y_{k+i}\} = 0,$$

$$R_{zd}(i) = E\{z_k d_{k+i}\} = 0,$$

$$R_{zd_m}(i) = E\{z_k d_{mk+i}\} = 0.$$



Obr. 3.1 - 4 Struktura identifikace v otevřené smyčce

Popišme nyní dynamiku chyby predikce z_k pro odhady polynomů $\hat{G}(\omega)$, $\hat{B}(\omega)$, $\hat{D}(\omega)$, $\hat{C}(\omega)$ pomocí přenosů.

Přenos mezi vstupem poruchy d_k a chybou predikce je

$$F_{zd}(\omega) = \frac{C(\omega)}{A(\omega)} - \frac{C(\omega)}{A(\omega)} \cdot \Delta \hat{G}(\omega) \cdot \frac{1}{1 + \hat{C}(\omega) - 1} = \frac{C(\omega)}{A(\omega)} \cdot \left[1 - \Delta \frac{\hat{G}(\omega)}{\hat{C}(\omega)} \right] = \frac{C(\omega)}{A(\omega)} \left[1 - \frac{\hat{C}(\omega) - \hat{A}(\omega)}{\hat{C}(\omega)} \right].$$

Úpravou dostaneme

$$F_{zd}(\omega) = \frac{C(\omega) \hat{A}(\omega)}{\hat{C}(\omega) A(\omega)}. \quad (3.1 - 23)$$

Přenos mezi akční veličinou a chybou predikce je

$$F_{zu}(\omega) = \Delta^r \frac{B(\omega)}{A(\omega)} - \left[\Delta^r \frac{B(\omega)}{A(\omega)} \cdot \Delta \hat{G}(\omega) \cdot \frac{1}{1 + \hat{C}(\omega) - 1} + \Delta^r \hat{B}(\omega) \cdot \frac{1}{1 + \hat{C}(\omega) - 1} \right] = \Delta^r \left[\frac{B(\omega)}{A(\omega)} \left(1 - 1 + \frac{\hat{A}(\omega)}{\hat{C}(\omega)} \right) - \frac{\hat{B}(\omega)}{\hat{C}(\omega)} \right].$$

Úpravou tohoto výrazu dostaneme

$$F_{zu}(\omega) = \Delta^r \frac{B(\omega) \hat{A}(\omega) - \hat{B}(\omega) A(\omega)}{A(\omega) \hat{C}(\omega)}. \quad (3.1 - 24)$$

Podobně získáme přenos mezi měřenou poruchou d_{mk} a chybou predikce ve tvaru

$$F_{2d_m(\Delta)} = \frac{D(\Delta)\hat{A}(\Delta) - \hat{D}(\Delta)A(\Delta)}{A(\Delta)\hat{C}(\Delta)} \quad (3.1 - 25)$$

Z přenosu (3.1 - 23) plyne, že budou-li se odhady $\hat{C}(\Delta) \rightarrow C(\Delta)$, $\hat{A}(\Delta) \rightarrow A(\Delta)$, pak přenos $F_{2d(\Delta)} = 1$, a chyby predikce $z_k = d_k$, což je v souladu s rovnicí (3.1 - 10). Za podmínky, že $\hat{B}(\Delta) \rightarrow B(\Delta)$, pak z rovnice (3.1 - 24) plyne, že přenos $F_{2u(\Delta)} = 0$, tedy chyba predikce nezávisí na posloupnosti u_k . Podobné závěry je možno provést pro měřenou poruchu d_{mk} .

3.2. Limitní vlastnosti uvažovaných prediktorů při identifikaci v uzavřené smyčce

Soustředme nyní naši pozornost na limitní vlastnosti při identifikaci v uzavřené smyčce. Předpokládejme, že ve zpětné vazbě bude použit regulátor s přenosem

$$R(\Delta) = \frac{M(\Delta)}{N(\Delta)}, \quad (3.2 - 1)$$

kde $M(\Delta) = m_0 + m_1\Delta + m_2\Delta^2 + m_3\Delta^3 + \dots$

$$N(\Delta) = 1 + n_1\Delta + n_2\Delta^2 + n_3\Delta^3 + \dots$$

Stupně polynomů $M(\Delta)$, $N(\Delta)$ závisí na řádu soustavy, která má být vyregulována na kritérii jakosti regulace.

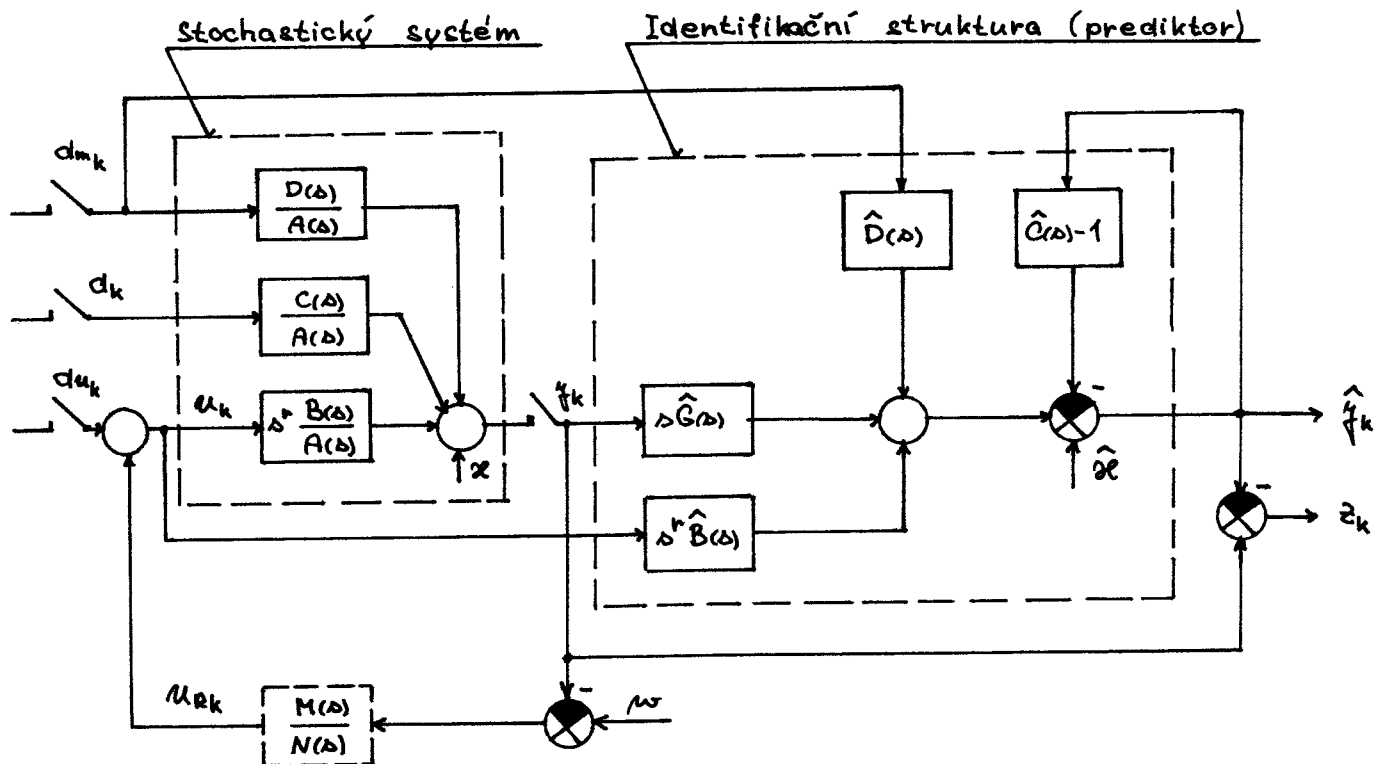
O vstupních signálech Δd_k , Δd_{mk} , w_k budeme předpokládat, že jsou nekorelované. Rozebereme základní struktury identifikace v uzavřené smyčce.

3.2.1. Struktura identifikace v uzavřené smyčce s prediktorem typu (3.1 - 19) je na obr. 3.2 - 1

Vyjádříme-li dynamiku chyby predikce pro odhady polynomů $\hat{G}(z)$, $\hat{B}(z)$, $\hat{C}(z)$ pomocí přenosů, pak přenos mezi poruchou

d_k a chybou predikce z_k bude

$$F_{zd}(z) = \frac{\frac{C(z)}{A(z)}(1 + \hat{C}(z) - 1) - \frac{C(z)}{A(z)} \Delta \hat{G}(z) + \frac{C(z)}{A(z)} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \hat{B}(z)}{1 + \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} + (\hat{C}(z) - 1) + \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} (\hat{C}(z) - 1)} = \frac{C(z) \left[\frac{\hat{A}(z)}{A(z)} + \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{\hat{B}(z)}{A(z)} \right]}{\hat{C}(z) \left[1 + \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \right]} \quad (3.2 - 2)$$



Obr. 3.2 - 1 Struktura identifikace v uzavřené smyčce

Obdobně je možno dynamiku chyby predikce vyjádřit jako přenos mezi poruchou du_k , dm_k , w_k a chybou predikce z_k .

$$F_{zdu}(\lambda) = \frac{\lambda \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} (1 + \hat{C}(\lambda) - 1) - \left[\lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \lambda \hat{G}(\lambda) + \lambda^r \hat{B}(\lambda) \right]}{1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} + \hat{C}(\lambda) - 1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} (\hat{C}(\lambda) - 1)} = \frac{\lambda^r \left[\frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \hat{A}(\lambda) - \hat{B}(\lambda) \right]}{\hat{C}(\lambda) \left[1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \right]} \quad (3.2 - 3)$$

$$F_{zdm}(\lambda) = \frac{\frac{D(\lambda)}{A(\lambda)} (1 + \hat{C}(\lambda) - 1) - \left[\frac{D(\lambda)}{A(\lambda)} \lambda \hat{G}(\lambda) + \hat{D}(\lambda) \right]}{1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} + \hat{C}(\lambda) - 1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} (\hat{C}(\lambda) - 1)} = \frac{\frac{D(\lambda)}{A(\lambda)} \hat{A}(\lambda) - \hat{D}(\lambda)}{\hat{C}(\lambda) \left[1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \right]} \quad (3.2 - 4)$$

$$F_{zw}(\lambda) = \frac{\lambda^r \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \left[\frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \hat{A}(\lambda) - \hat{B}(\lambda) \right]}{\hat{C}(\lambda) \left[1 + \frac{M(\lambda)}{N(\lambda)} \lambda^r \frac{B(\lambda)}{A(\lambda)} \right]} \quad (3.2 - 5)$$

Za předpokladu, že odhady polynomů $\hat{G}(\lambda)$, $\hat{B}(\lambda)$, $\hat{C}(\lambda)$, $\hat{D}(\lambda)$ se budou blížit správným hodnotám, tj. že bude platit $\hat{G}(\lambda) \rightarrow G(\lambda)$, $\hat{B}(\lambda) \rightarrow B(\lambda)$, $\hat{C}(\lambda) \rightarrow C(\lambda)$, $\hat{D}(\lambda) \rightarrow D(\lambda)$,

pak přenos (3.2 - 2) bude roven

$$F_{zd}(\lambda) = 1, \quad (3.2 - 6)$$

což znamená, že v uzavřeném regulačním obvodu bude chyba predikce bílý (gaussovský) šum. Za uvedených podmínek dále plyne, že chyba nezávisí na poruchách dm_k , w_k , ani du_k .

3.2.2. Struktura identifikace v uzavřené smyčce s přírůstkovým prediktorem (3.1 - 21b)

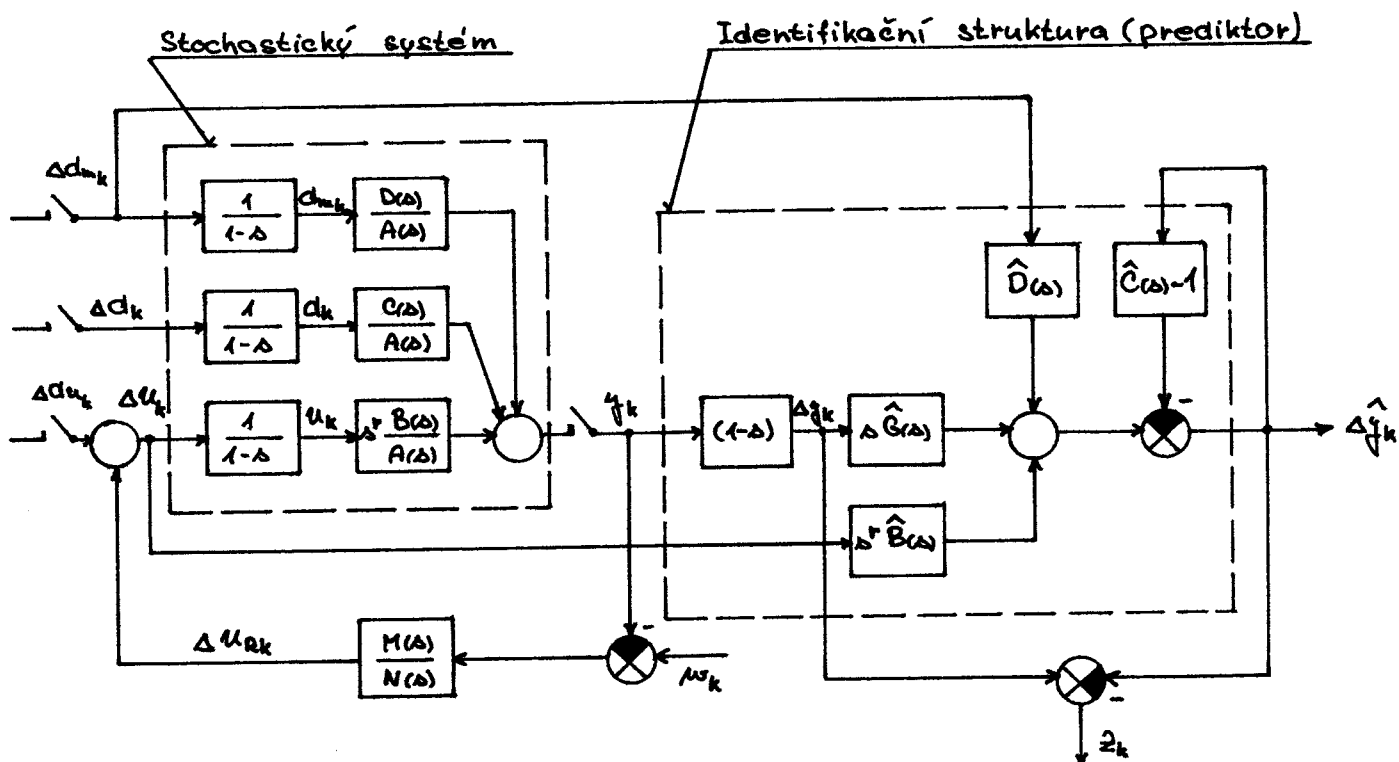
Rozeberme obdobným způsobem limitní vlastnosti přírůstkového prediktoru v uzavřené smyčce. Struktura identifikačního schématu je na obr. 3.2 - 2. Šumový signál vstupující do sumátoru Δd_k má charakter bílého (gaussovského) šumu (splňuje rovnice (3 - 6) a (3 - 7)). Signál vstupující do filtru s přenosem $\frac{C(\omega)}{A(\omega)}$ má charakter náhodné procházky.

Rovnice přírůstkového prediktoru má tvar

$$\Delta \hat{y}_k = \Delta \hat{C}(\omega) \Delta y_k + \Delta^r \hat{B}(\omega) \Delta u_k - (\hat{C}(\omega) - 1) \Delta \hat{y}_k + \hat{D}(\omega) \Delta d_k$$

a pro predikci výstupu platí rovnice

$$\hat{y}_k = y_{k-1} + \Delta \hat{y}_k.$$



Obr. 3.2 - 2 Struktura identifikace s přírůstkovým prediktorem v uzavřené smyčce

Dynamiku chyby predikce je možno vyjádřit přenosem pro odhady koeficientů polynomů $\hat{G}(z)$, $\hat{B}(z)$, $\hat{C}(z)$ mezi Δd_k a chybou predikce ve tvaru ($d_{m_k} = 0$)

$$F_{z\Delta d}(z) = \frac{z(z)}{\Delta d(z)} = \frac{\frac{1}{1-z} \cdot \frac{C(z)}{A(z)} (1-z) [1 + \hat{C}(z) - 1] - \frac{1}{1-z} \frac{C(z)}{A(z)} \Delta^r \hat{G}(z) + \frac{1}{1-z} \frac{C(z) M(z)}{A(z) N(z)} \Delta^r \hat{B}(z)}{1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} + \hat{C}(z) - 1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} [\hat{C}(z) - 1]} =$$

$$= \frac{C(z) \left[\frac{\hat{C}(z)}{A(z)} - \frac{\hat{C}(z) - \hat{A}(z)}{A(z)} + \frac{1}{(1-z) A(z)} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \hat{B}(z) \right]}{\hat{C}(z) \left[1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \right]} = \frac{C(z) \left[\frac{\hat{A}(z)}{A(z)} + \frac{1}{1-z} \Delta^r \frac{\hat{B}(z) M(z)}{A(z) N(z)} \right]}{\hat{C}(z) \left[1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \right]} \quad (3.2 - 7)$$

Podobně je možno získat vztahy pro přenos $F_{z\Delta d_u}(z)$, $F_{z\Delta d_m}(z)$ a $F_{zw}(z)$:

$$F_{z\Delta d_u}(z) = \frac{z(z)}{\Delta d_u(z)} = \frac{\Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \hat{A}(z) - \hat{B}(z)}{\hat{C}(z) \left[1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \right]}$$

$$F_{z\Delta d_m}(z) = \frac{\frac{D(z)}{A(z)} \hat{A}(z) - \hat{D}(z)}{\hat{C}(z) \left[1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \right]} \quad (3.2 - 8)$$

$$F_{zw}(z) = \frac{z(z)}{w(z)} = \frac{\Delta^r \frac{M(z)}{N(z)} \left[B(z) \frac{\hat{A}(z)}{A(z)} - B(z) \right]}{\hat{C}(z) \left[1 + \frac{1}{1-z} \frac{M(z)}{N(z)} \Delta^r \frac{B(z)}{A(z)} \right]} \quad (3.2 - 9)$$

Za předpokladu, že odhady se v limitě blíží ke správným hodnotám, tj. že platí $\hat{A}(z) \rightarrow A(z)$, $\hat{B}(z) \rightarrow B(z)$, $\hat{C}(z) \rightarrow C(z)$, pak přenos 3.2 - 7 je roven

$$F_{z\Delta d}(z) = 1. \quad (3.2 - 10)$$

Zvolíme-li vhodnou identifikační metodu, pak uvedené struktury identifikace umožní určit vektor odhadů koeficientů prediktoru $\hat{\Theta}$. Tento vektor obsahuje koeficienty polynomů $\hat{G}(z)$, $\hat{B}(z)$, $\hat{C}(z)$. Jednoduchým přepočtem je pak možno přejít k matematickému modelu regulovaného systému ve tvaru stochastické diferenční rovnice (ARMA - modelu)

$$\hat{A}(z) y_k = z \hat{B}(z) u_k + \hat{C}(z) d_k + \xi_k, \quad (3.2 -20)$$

kde ξ_k je chyba rovnice matematického modelu.

Pouze v případě, kdy odhady polynomů budou konvergovat k nestranným odhadům

$$\hat{A}(z) \rightarrow A(z), \quad \hat{B}(z) \rightarrow B(z), \quad \hat{C}(z) \rightarrow C(z),$$

bude chyba $\xi_k = 0$. Z praktického hlediska však nutno uvažovat skutečnost, že matematický model bude vždy zatížen chybou ξ_k .

Teoretická část byla zpracována na základě monografie /1/.

3.3. Odhad vektoru koeficientů uvažovaného prediktoru metodou nejmenších čtverců

Pro odhad koeficientů uvažovaného přírůstkového prediktoru (3.1 - 21b) bylo užito metody nejmenších čtverců, speciálně pak algoritmu LD-filtru (LDFIL).

Pro použití algoritmu LD-filtru je nutný jednotný zápis modelů. Všechny modely odpovídající uvažovaným strukturám prediktorů lze napsat formálně shodně ve tvaru

$$e_{(\tau)}(P) = d_{(\tau)}^T \begin{bmatrix} 1 \\ P \end{bmatrix}, \quad (3.3 - 1)$$

kde P je Q rozměrný vektor (odhadovaných) parametrů modelu
 $d_{(\tau)}$ je $Q+1$ rozměrný vektor sestavený z příslušného počtu dat do času τ , přičemž predikovaná veličina (či její přírůstek) je určen 1. složkou d ,
 $e_{(\tau)}(P)$ je chyba prediktoru s parametry P v čase τ .

Např. $d_{(\tau)}^T = [y_{(\tau)}, -u_{(\tau)}, -u_{(\tau-1)}, -u_{(\tau-2)}, y_{(\tau-1)}, -1],$
 $P^T = [b_0, b_1, b_2, a_1, k],$
 $Q = 5.$

3.3.1. Metoda nejmenších čtverců

Vlastní identifikační část má z dat pozorovaných do času t pro narůstající $t=1, 2, \dots$, určit odhady parametrů $\hat{P}(t)$, které budou řídicí části sloužit k predikci budoucího chování řízeného procesu.

Používá se takový vektor $\hat{P}(t)$ pro $t=1, 2, \dots$, který minimalizuje součet kvadrátů aposteriori určených (po změření dat $d(t)$ pro $t=1, 2, \dots, t$) chyb prediktorů.

$$\bar{J}_{(t)}(p) = \sum_{\lambda=0}^{t-1} e^2_{(t-\lambda)}(p). \quad (3.3 - 2)$$

Modifikací kritéria (2.2 - 2) respektující hypotézu časové proměnnosti prediktoru je

$$J_{(t)}(p) = \sum_{\lambda=0}^{t-1} (\varphi^\lambda e_{(t-\lambda)}(p))^2, \quad (3.3 - 3)$$

kde mocniny faktoru exponenciálního zapomínání $0 < \varphi \leq 1$ generují proměnné váhy závislé na stáří vzorku. Volba φ je součástí návrhu identifikace a určuje rychlost, s jakou je identifikace schopna sledovat změny modelu soustavy. Čím menší hodnota φ je zvolena, tím tyto váhy klesají rychleji a identifikace je schopna sledovat rychlejší změny parametrů. Doporučený parametr exponenciálního zapomínání leží v okolí hodnoty $\varphi^2 = 0,985$ /3/.

4. Struktura hlavního programu

Část programového vybavení (hlavní program) byla převzata z budovaného základního úkolu /5/, jehož cílem je vytvoření číslicové adaptivní regulace vypalovací pece. V nynější rozpracované fázi se hlavní program spouští od adresy 6800 H . Na obrazovce se objeví základní údaje o stavu pece a po stisknutí klávesy H se uživateli předloží nabídka pracovních režimů.

4.1. Pracovní režimy hlavního programu

1. Z zastavení automatického řízení, nastavení U_{min}
- A start automatického řízení
- X zastavení zvukové signalizace při poruše
- Q start (zastavení strojového času pece)
- K zadání korekce teploty
- S schema pece
- G graf (průběh regulované veličiny, žádané hodnoty, akční veličiny)
- T tisk programu TW (žádaného průběhu vypalování)
- L tisk programu LO (logické řízení)
- D zadání datumu a denního času
- M zadání minima a maxima grafu
- P zadání priority přístupu
2. W, O zadání programu TW, LO
- C změna času pece
- R, V ruční řízení průběhu vypalování, zadávání akční veličiny

3. J, B zadání koeficientu převodníků napětí - teplota,
zadání regulátoru
4. Y, N zadání koeficientu algoritmu identifikace,
výpočet regulátoru
E, F identifikace, návrh regulátoru
V adaptivní řízení

Číselné označení značí prioritu přístupu pro pracovníky obsluhy.

4.1.1. Činnost hlavního programu

Po spuštění hlavního programu se v určitých měnitelných časových intervalech volá přerušovací program (4F00H), z něhož je volán podprogram INTRPT (57BDH). Tento podprogram v závislosti na dané hodnotě IKR (8BFGH), mění se cyklicky na hodnotu 0 a 1, volá buď výpočet a návrh optimálního regulátoru (IKR=0) nebo identifikaci soustavy (IKR=1). Dále se v tomto podprogramu volá tzv. stavové slovo STAV (7DB6H), podle kterého, resp. podle jehož bitů, se vykonávají příslušné činnosti, jako jsou např. povolení identifikace (2. bit), povolení identifikace s predikcí (6. bit), výpočet optimálního regulátoru (4. bit) apod.

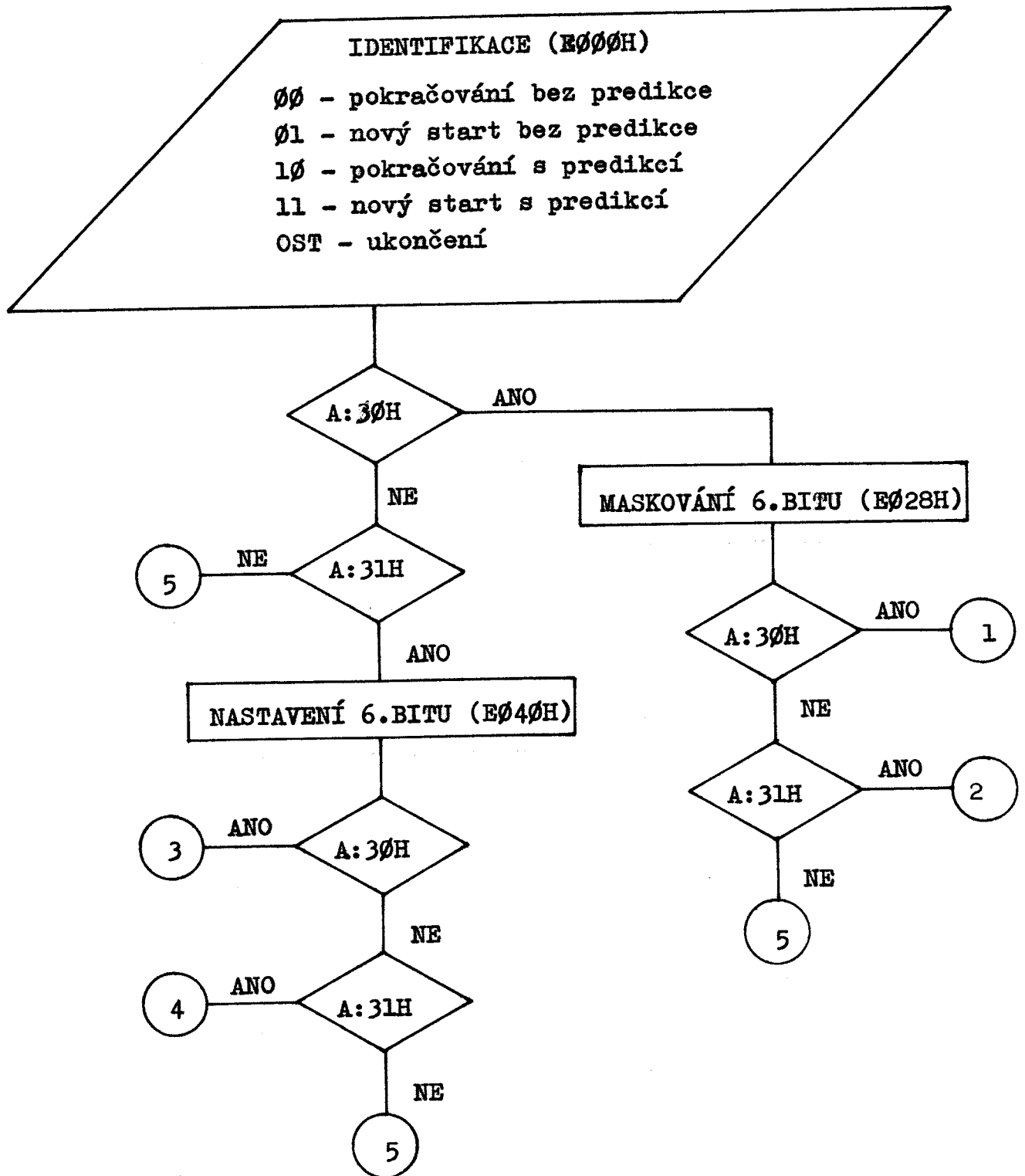
Pro vlastní identifikační činnost je nutno zajistit obsazení určitých výchozích hodnot přístupných z pomocného režimu H. Tak předně je to zadání koeficientů algoritmu identifikace Y, což je konstanta DULDS (7DB3H) a koeficient zapomínání FRG (7CFGH), zadání počtu segmentů a žádaných hodnot v nich pomocí režimu W a dosazení hodnoty proměnné

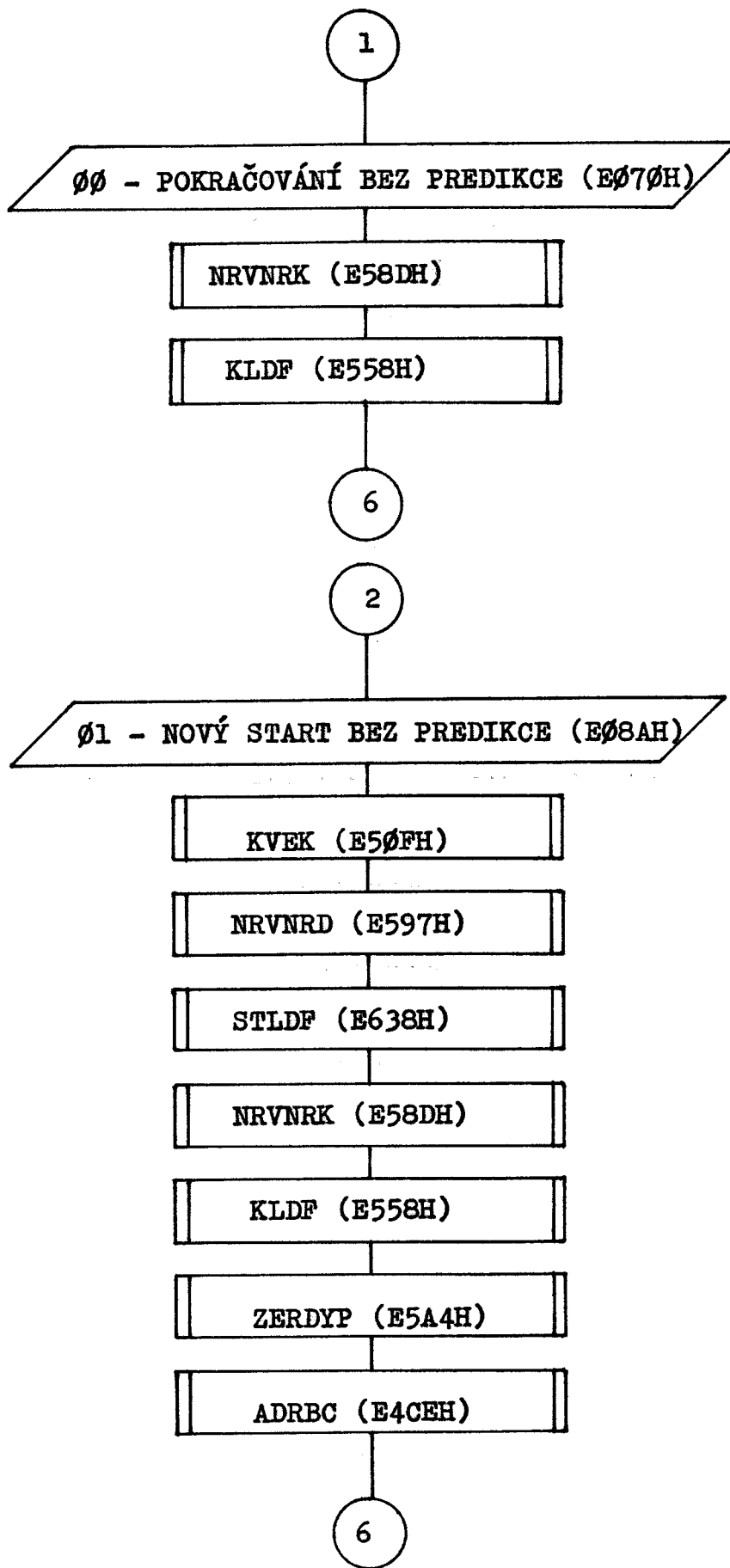
NR (7C83H), parametrů regulátoru, regulačního rozsahu, kroku regulace a koeficientu filtrace režimem B. Dále je nutno zvýšit prioritu přístupu ($P=+4$) pro možnost sledování naidentifikovaných koeficientů v informačním režimu I. Spuštění identifikace se provede:

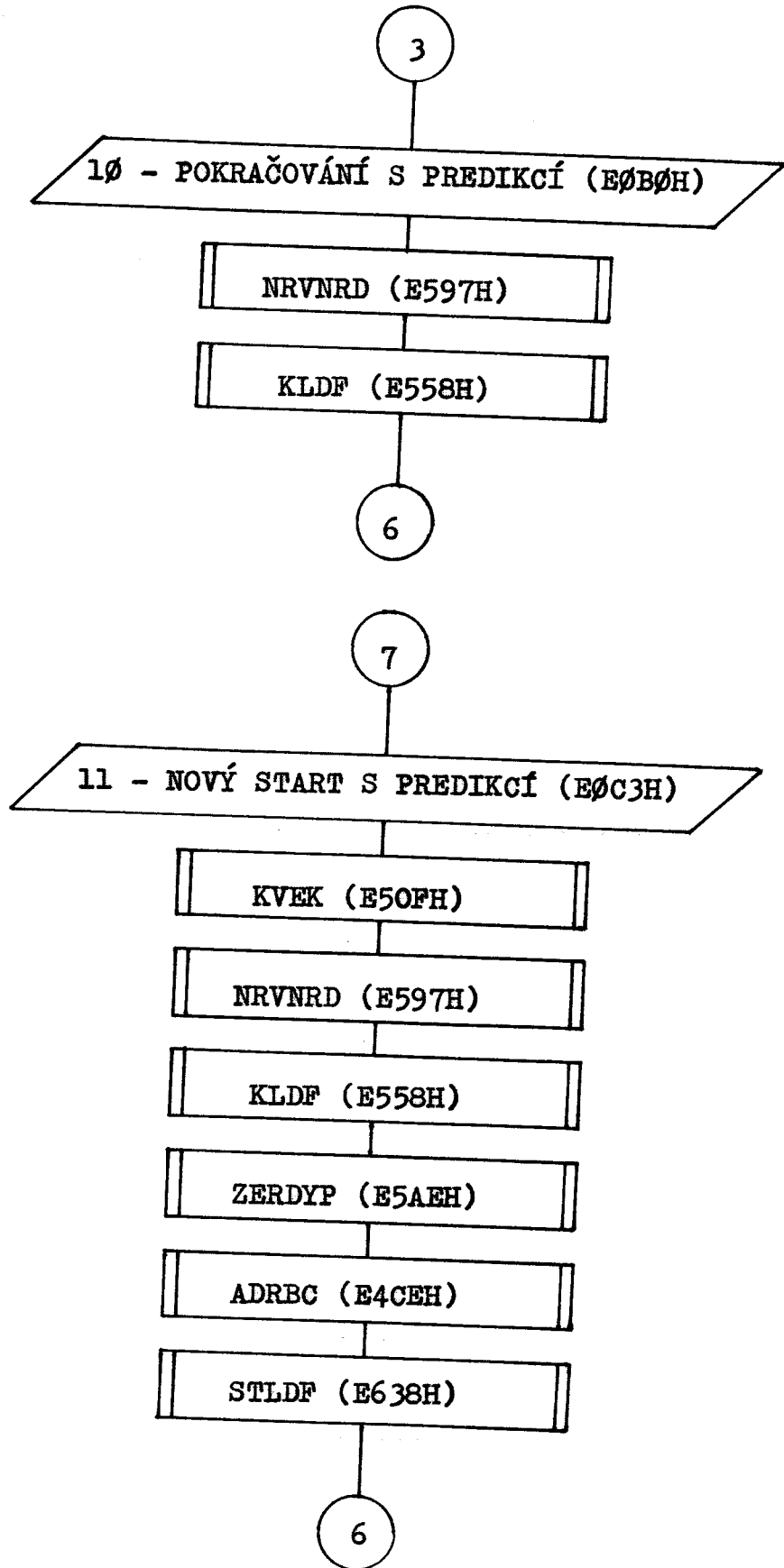
zastavením automatického řízení (Z), zvolením identifikační činnosti a spuštěním automatického řízení (A). Po těchto úkonech se začne automaticky provádět identifikační činnost, jejíž průběh lze sledovat v informačním režimu (I), popř. lze v režimu (G) sledovat grafické vyjádření akční, regulované a žádané veličiny anebo se věnovat ostatním režimům hlavního programu.

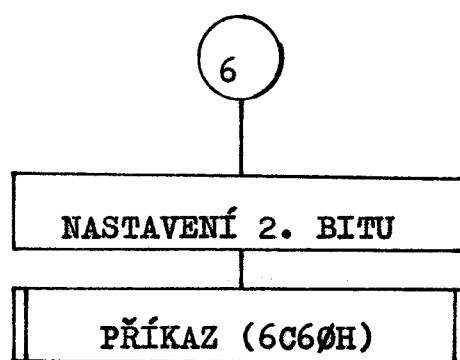
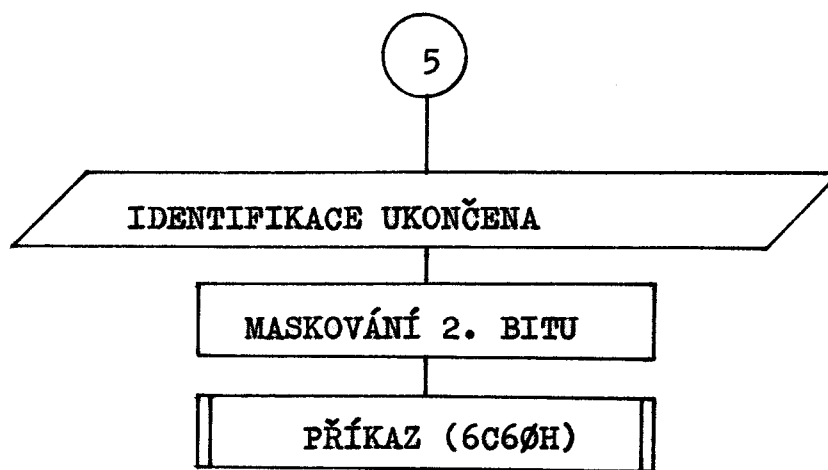
4.2. Struktura identifikačního programu

4.2.1. Vývojový diagram identifikačního programu









4.2.2. Popis identifikačního programu

Pro součinnost hlavního a tohoto identifikačního programu je nutno změnit obsah těchto tří adres v paměti:

- a) adresa 6DBDH z 1E 7A na 00E0
(volání zadávací tabulky identifikace (E000H)),
- b) adresa 9390H z 1E 00 16 na C3 80 E4
(volání podprogramu TISKLD (E480H) po tisk odhadovaných koeficientů v pořadí $\hat{B}(s)$, $\hat{A}(s)$ a $\hat{C}(s)$; hodnoty polynomu $\hat{C}(s)$ jsou tisknuty pouze v případě kladného testu (E494H) stavového slova STAV (7DB6H), když předtím podprogram VYPAZG (E430H) spočítal koeficienty polynomu $\hat{A}(s)$ a přesunul je na vektor AZG (8280H)),
- c) adresa 93D6H z CD 0A 5B na CD E0 E0
(volání výpočtu predikované hodnoty $\Delta^P f(s)$ podprogramem VYPDYP (E693H), testování 6. bitu (E0E3H) stavového slova STAV (7DB6H) a v případě povolení identifikace s predikcí je proveden přesun $\Delta^P f(s)$ z vektoru DYP (8260H) na vektor ULD (7E80H) od adresy ADRC (8272H) podprogramem SUNDYP (E5BAH). Následuje - i v případě zákazu identifikace s predikcí - skok na podprogram LDFIL (ELF0H).

Identifikační program je v pomocném režimu H hlavního programu označen písmenem E. Po stisknutí zmíněného písmene na klávesnici se na obrazovce vypíše možnosti identifikace, tj. 00 - pokračování bez predikce, 01 - nový start bez pre-

dikce, 1Ø - pokračování s predikcí, 11 - nový start s predikcí a OST - ukončení, které lze zvolit vhodnou kombinací Ø a 1, popř. ukončit jiným libovolným znakem.

Při volbě Ø jako prvního znaku je zřejmé, že se bude pravděpodobně jednat o identifikaci bez predikce a proto je nutné maskovat (nulovat) 6. bit (EØ28H) stavového slova STAV (7DB6H).

Naopak, při volbě 1 jako prvního znaku se bude pravděpodobně jednat o identifikaci s predikcí, což znamená nastavení 6. bitu (EØ4ØH) stavového slova STAV (7DB6H) na 1. Volba druhého znaku je odvislá od toho, zda chceme identifikaci spouštět nebo zda v ní chceme pokračovat (Ø značí pokračování a 1 nový start).

Při volbě jakéhokoliv jiného znaku než Ø či 1 se identifikace ukončuje, což znamená, že 2. bit stavového slova STAV (7DB6H) se maskuje (E1DEH) a program přechází na podprogram PRIKAZ (6C6ØH), ve kterém očekává libovolný příkaz tohoto režimu hlavního programu.

Pro vlastní spuštění identifikace je nutno volit jako prvotní buď Ø1 - nový start bez predikce nebo 11 - nový start s predikcí. Při první volbě kteréhokoliv pokračování, tj. ØØ - pokračování bez predikce či ^{1Ø-}ØØ - pokračování s predikcí, se identifikace nespustí. Jednotlivé možnosti průběhu identifikace jsou:

- a) Ø1 - nový start bez predikce
 - ØØ - pokračování bez predikce
- b) 11 - nový start s predikcí
 - 1Ø - pokračování s predikcí

c) $\emptyset 1$ - nový start bez predikce

$1\emptyset$ - pokračování s predikcí

c) 11 - nový start s predikcí

$\emptyset\emptyset$ - pokračování bez predikce.

Z uvedených možností je patrné, že po spuštění identifikace lze libovolně přecházet na jednotlivé pokračovací režimy. Nejvýznamnějšími možnostmi průběhu identifikace budou zřejmě možnosti ad c) a ad b), tj. identifikace bez predikce a např. po ustálení přechodové charakteristiky pokračování s predikcí a dále identifikace s predikcí a pokračování s predikcí, kde je ovšem možnost ovlivnění prvních odhadů vlivem změn přechodové charakteristiky do jejího ustálení. Zbývající možnosti ad a) a ad c) již nemají takový význam jako předcházející, i když možnost identifikace bez predikce a pokračování bez predikce by mohla sloužit pouze jako odhad koeficientů polynomů $A(\omega)$ a $B(\omega)$ a to zejména při malých poruchových hodnotách bílého šumu.

4.2.2.1. Činnost jednotlivých režimů identifikace

Při zvolení jakéhokoliv režimu identifikace se vždy vykoná určitá posloupnost podprogramů a příkazů, jež budou vždy označeny jako v předcházejícím textu, tj. názvem a počáteční adresou (u podprogramů) anebo adresou, jejíž obsah bude udávat příslušné proměnné či konstanty. Vztahy pro výpočet konstant jsou uvedeny v příloze I.

Při volbě $\emptyset\emptyset$, tj. pokračování bez predikce, se podprogramem NRVNRK (E58DH) nastaví proměnná NRV (7C84H),

označující délku vstupního vektoru do LDFIL, na předem vypočtenou hodnotu. Dále se podprogramem KLDF (E558H) spočítají konstanty LDFILu, tj. NRV31(7CEBH), M3ULD (7CEDH), M3ULDS (7D17H) a nastaví se 2. bit (E05AH) stavového slova STAV (7DB6H), což znamená povolení spuštění identifikace. Následuje přechod na podprogram PRIKAZ (6C60H), tj. na pomocný režim H hlavního programu.

Při volbě 01, tj. nový start bez predikace, se podprogramem KVEK (E50FH) spočítají konstanty vektorů NRK (8256H), NRD (8258H), NR3 (7CEFH), NR6 (8252H) a podprogramem NRVNRD (E597H) se nastaví proměnná NRD (8258H) na hodnotu delší o predikované hodnoty. Poté se odstartuje LDFIL podprogramem STLDF (E638H), což znamená, že se vektor DULD (7D63H) obsadí dostatečně velkou zadanou hodnotou konstanty DULDS (7DB3H), což je nutné pro možnost spuštění LDFILu a vynuluje se vektor pozorování DALD (7FE8H) a vektor koeficientů ULD (7E80H). Dále se podprogramem NRVNRK (E58DH) přenastaví proměnná NRV (7C84H) na vypočtenou délku vstupního vektoru LDFILu zmenšenou o predikované hodnoty, podprogramem KLDF (E558H) se spočítají konstanty LDFILu NRV31 (7CEBH), M3ULD (7CEDH), M3ULDS (7D17H) a podprogramem ZERDYP (E5A4H) se vynuluje vektor DYP (8260H), na němž jsou uloženy vypočtené hodnoty $\Delta y^{(p)}$. Podprogram ADRBC (E4CEH) spočítá počáteční adresy koeficientů $b(x)$ a $c(x+1)$ (ADRB (8270H), ADRC (8272H)) ve vektoru odhadů ULD (7E80H). Následuje nastavení 2. bitu (E05AH) stavového slova STAV (7DB6H) a přechod na podprogram PRIKAZ (6C60H).

Při volbě 10, tj pokračování s predikací, se podprogramem NRVNRD (E597H) nastaví hodnota proměnné NRV (7C84H) na hodnotu vstupního vektoru delší o predikované hodnoty. Poté se spočítají nové konstanty LDFILu (NRV31 (7CEBH), M3ULD (7CEDH), M3ULDS (7D17H)) podprogramem KLDF (E558H), nastaví se 2. bit (E05AH) stavového slova STAV (7DB6H) a následuje přechod na podprogram PRIKAZ (6C60H).

Při volbě 11, tj. nový start s predikací, se podprogramem KVEK (E50FH) spočítají hodnoty konstant vektorů (NRK (8256H), NRD (8258H), NR3 (7CEFH), NR6 (8252H)) a podprogramem NRVNRD (E596H) nastaví proměnnou NRV (7C84H) na hodnotu délky vstupního vektoru LDFILu zvětšenou o predikované hodnoty $\Delta \overset{p}{f}(\alpha)$.

Podprogramem KLDF (E558H) se vypočítají konstanty LDFILu (NRV31 (7CEBH), M3ULD (7CEDH), M3ULDS (7D17H)) a vynuluje se vektor DYP (8260H) na něhož se ukládají vypočtené hodnoty $\Delta \overset{p}{f}(\alpha)$. Poté se podprogramem ADRBC (E4CEH) vypočítají počáteční adresy ADRB (8270H) a ADRC (8272H) koeficientů $b(\alpha)$ a $c(\alpha+1)$ vektoru ULD (7E80H). Následuje start LDFILu podprogramem STLDF (E638H), v němž se vektor DULD (7D63H) obsadí zadanou maximální hodnotou konstanty DULDS (7DB3H), vynuluje se vektor pozorování DALD (7FE8H) a vektor koeficientů ULD (7E80H). Dále se nastaví 2. bit (E05AH) stavového slova STAV (7DB6H) a přechází se na podprogram PRIKAZ (6C60H) pomocného režimu H hlavního programu.

4.3. Ověření identifikace při hybridním spojení mikropočítače SAPI-1 a nalogového počítače MEDA 43HA

Hybridní spojení řídicího mikropočítače SAPI-1 a analogového počítače MEDA 43HA umožňuje automatickou identifikaci soustav namodelovaných na analogovém počítači, přičemž průběh vstupních, výstupních a poruchových veličin lze zobrazit na připojeném oscilátoru.

Identifikace byly ověřovány na spojitě stabilní soustavě 1. řádu s nulovým dopravním zpožděním, se spojitými přenosy

$$F_u(p) = \frac{K_u}{\tau p + 1} \quad \text{a} \quad F_d(p) = \frac{\beta p + 1}{\tau p + 1}$$

a tvarovačem nultého řádu s přenosem $H(p) = \frac{1}{p}$. Přenos včetně tvarovače je

$$HF_u(p) = K_u \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\tau p + 1} = \frac{K_u}{p(\tau p + 1)} = K_u \left(\frac{A}{p} + \frac{B}{p + \frac{1}{\tau}} \right) = K_u \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p + \frac{1}{\tau}} \right) \hat{=} K_u (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Váhová funkce (soustavy s tvarovačem) pak je

$$q_{HP}(t) = K_u (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}).$$

Ve slovníku Z-transformací spojitě funkce pro $\mathcal{E} = 0$ a periodu vzorkování T nalezneme

$$\begin{aligned} Z\{HF_u(p)\} &= Z\left\{K_u \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\right\} = K_u \left(\frac{z}{z-1} - \frac{z}{z - e^{-\frac{T}{\tau}}} \right) = \left|_{\Delta = z^{-1}} \right| = K_u \left(\frac{1}{1-\Delta} - \frac{1}{1-\Delta e^{-\frac{T}{\tau}}} \right) = \\ &= K_u \frac{\Delta (1 - e^{-\frac{T}{\tau}})}{(1-\Delta)(1-\Delta e^{-\frac{T}{\tau}})}. \end{aligned} \quad (4.3 - 1)$$

Přenos $F_d(p)$ (včetně tvarovače) je

$$\begin{aligned} HF_d(p) &= K_d \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{\beta p + 1}{\tau p + 1} = K_d \left[\frac{1}{p} - \left(1 - \frac{\beta}{\tau}\right) \cdot \frac{1}{p + \frac{1}{\tau}} \right] = K_d \left[\frac{1}{p} - q \frac{1}{p + \frac{1}{\tau}} \right] \hat{=} \\ &\hat{=} K_d \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right], \quad q = 1 - \frac{\beta}{\tau}. \end{aligned}$$

Ve slovníku Z-transformací spojitě funkce pro $\mathcal{E} = 0$ a periodu vzorkování T nalezneme

$$Z\{HF_{d(p)}\} = K_d \left[\frac{1}{1-\Delta} - q \frac{1}{1-\Delta e^{-\frac{T}{\tau}}} \right] = K_d \frac{(1-q) + \Delta(q - e^{-\frac{T}{\tau}})}{(1-\Delta)(1-\Delta e^{-\frac{T}{\tau}})} \quad (4.3 - 2)$$

Ověřovací výpočty identifikace byly rozděleny na dvě části:

1. Odhad koeficientů polynomů regulovaných soustav, které jsou popsány stochastickými diferenčními rovnicemi se stabilním polynomem $A(\omega)$ (kořeny leží vně jednotkové kružnice), polynomem $B(\omega)$ a $C(\omega)=1$. (Jako model regulované soustavy byl zvolen regresní model.)
2. Odhad koeficientů polynomů regulovaných soustav, které jsou popsány stochastickou diferenční rovnicí se stabilním polynomem $A(\omega)$, polynomem $B(\omega)$ a $C(\omega)$, pro $\infty \geq 1$. (Jako model regulované soustavy byl uvažován ARMA model.)

4.3.1. Odhad koeficientů polynomů soustavy, která je popsána lineárním regresním modelem (se stabilním polynomem $A(\omega)$, polynomem $B(\omega)$ a $C(\omega)=1$

Při identifikaci se vycházelo z předpokladu, že stupně polynomů $A(\omega)$, $B(\omega)$ jsou známy a že je použit přírůstkový prediktor (3.1 - 21b). Pro teoretický výpočet impulsních přenosů byly zvoleny tyto hodnoty:

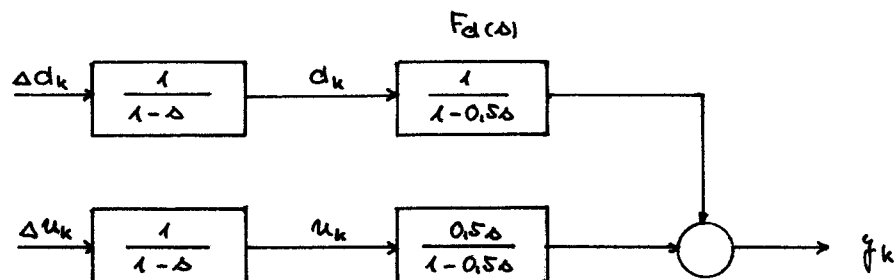
$$e^{-\frac{T}{\tau}} = 0,5; C(\omega) = 1; K_u = K_d = 1; \beta = 0; (T = 3; \tau = 4,328).$$

Vlastní impulsní přenosy jsou:

$$F_u(\omega) = \frac{\Delta B(\omega)}{(1-\Delta)A(\omega)} = \frac{\Delta \cdot 0,5}{(1-\Delta)(1-0,5\Delta)} = \frac{1}{(1-\Delta)} \cdot \frac{\Delta \cdot 0,5}{(1-0,5\Delta)} \quad (4.3 - 3)$$

$$F_d(\omega) = \frac{1}{(1-\Delta)(1-0,5\Delta)} \quad (4.3 - 4)$$

Struktura spojitě regulované soustavy s impulsními přenosy (4.3 - 3) a (4.3 - 4) je na obr. 4.3 - 1



Obr. 4.3 - 1

Výsledky identifikace byly sledovány po ustálení žádané hodnoty zadané režimem W. Pracovním režimem B byl nastaven pevný optimální regulátor ve zpětné vazbě s polynomy $M(\Delta)$ a $N(\Delta)$. Teoretické hodnoty polynomů modelu, polynomy regulátoru a dosažené výsledky jsou uvedeny v tab. 4.3 - 1.

4.3.2. Odhad koeficientů polynomů soustavy, která je popsána stochastickou diferenční rovnicí se stabilním polynomem $A(\Delta)$, polynomy $B(\Delta)$ a $C(\Delta)$

Vychází se opět z předpokladu, že stupně polynomů $A(\Delta)$, $B(\Delta)$ a $C(\Delta)$ jsou známy a že je použit přírůstkový prediktor (3.1 - 21b). Pro teoretický výpočet impulsních přenosů byly zvoleny tyto hodnoty:

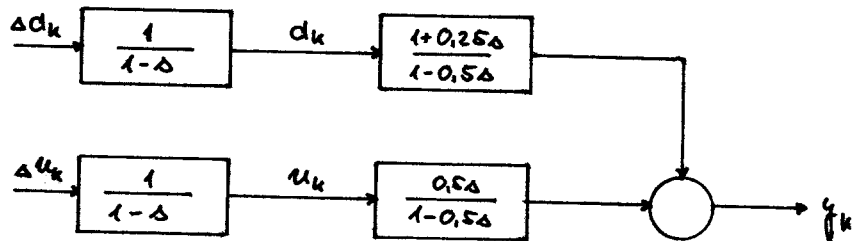
$$e^{-\frac{T}{\tau}} = 0,5; K_u = 1; K_d = 2,5; q = 0,6; (T = 3; \hat{\tau} = 4,328; \beta = 1,731).$$

Vlastní impulsní přenosy jsou:

$$F_u(\Delta) = \frac{1}{(1-\Delta)} \cdot \frac{\Delta \cdot 0,5}{(1-0,5\Delta)} \quad (4.3 - 5)$$

$$F_d(\Delta) = 2,5 \frac{1}{(1-\Delta)} \cdot \frac{0,4 + 0,1\Delta}{(1-0,5\Delta)} = \frac{1}{(1-\Delta)} \cdot \frac{1 + 0,25\Delta}{1-0,5\Delta} \quad (4.3 - 6)$$

Struktura spojité regulované soustavy s impulsními přenosy (4.3 - 5) a (4.3 - 6) je na obr. 4.3 - 2



Obr. 4.3 - 2

V tomto případě je však třeba vysvětlit, jakým způsobem byla metoda nejmenších čtverců aplikována pro odhad koeficientů námi uvažovaného přírůstkového prediktoru.

Zavedeme-li vektor odhadů koeficientů $\hat{\Theta}_k$ ve tvaru

$$\hat{\Theta}_k^T = [\hat{q}_0^k, \dots, \hat{q}_{nc}^k; \hat{b}_0^k, \dots, \hat{b}_m^k; -\hat{c}_1^k, \dots, -\hat{c}_{nc}^k] \quad (4.3.2 - 1)$$

a vektor pozorování Φ_{k-1} ve tvaru

$$\Phi_{k-1}^T = [\Delta \hat{y}_{k-1}, \dots, \Delta \hat{y}_{k-nc-1}; \Delta u_{k-1}, \dots, \Delta u_{k-m-1}; \Delta \hat{y}_{k-1}, \dots, \Delta \hat{y}_{k-nc}], \quad (4.3.2 - 2)$$

pak predikce výstupu bude

$$\Delta \hat{y}_k = \hat{\Theta}_k^T \Phi_{k-1}, \quad \hat{y}_k = y_{k-1} + \Delta \hat{y}_k. \quad (4.3.2 - 3)$$

Chyba predikce z_k pak bude mít tvar

$$z_k = \Delta \hat{y}_k - \Delta y_k = \Delta \hat{y}_k - \hat{\Theta}_k^T \Phi_{k-1}. \quad (4.3.2 - 4)$$

Pro výpočet byl uvažován takový vektor odhadu koeficientů $\hat{\Theta}_k$ v k-tém identifikačním kroku, který minimalizoval součet kvadrátů

$$J(\hat{\Theta}_k) = \sum_{i=0}^k z_i^2 . \quad (4.3.2 - 5)$$

Pro vlastní minimalizaci byl opět použit algoritmus LD-filtru. Výsledky identifikace byly sledovány po ustálení na stejné žádané hodnotě s pevným optimálním regulátorem. Teoretické hodnoty polynomů ARMA modelu, polynomy regulátoru a dosažené výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.3 - 1.

TABULKA 4.3 - 1 Teoretické hodnoty polynomů soustavy,
 odhadnuté polynomy soustavy a
 polynomy optimálního regulátoru

IDENTIFI- KACE PRO	SOUSTAVA			ODHADY KOEFICIENTŮ			OPTIMÁLNÍ REGULÁTOR	
	A (s)	B (s)	C (s)	A (s)	B (s)	C (s)	M (s)	N (s)
REGRESNÍ MODEL	1.0000	0.5000	1.0000	1.0000	0.9967	1.0000	-0.5280	0.3274
	-0.5000	0.0000		-0.5054	0.8329		0.0327	
ARMA MODEL	1.0000	0.5000	1.0000	1.0000	1.8840	1.0000	-0.5283	0.3274
	-0.5000	0.0000	0.2500	-0.3347	0.1792	-0.3552 _{E-3}	0.0327	

5. MIKROPROCESOROVÝ SOUBOR SAPI - 1

5.1. Technické vybavení SAPI - 1

Mikroprocesorový soubor SAPI - 1 je určen pro všeobecné použití. Patří do kategorie malých stavebnicových systémů. Základem souboru SAPI je mikropočítač JPR-1. Jednodeskový mikropočítač JPR-1 může pracovat sám, bez podpory dalších desek a dílů souboru SAPI-1. Pro rozsáhlejší aplikace lze soubor rozšířit o další desky, přičemž základní sestavu tvoří: alfanumerická klávesnice ANK-1, TV přijímač PLUTO, magnetofon K10 a základní sestava ZPS-1.

Základní sestavu ZPS-1 tvoří: jednotka zdroje a sběrnice JZS-1, jež sestává z napájecího zdroje ZPR-1 a ze skupiny 8 pozic, do nichž lze zasunout jednotlivé desky souboru SAPI-1. Desky mají standardní rozměr 140 - 150 mm a na jedné straně mají vždy konektor FRB a 62 vývody k napojení na sběrnici a na druhé straně jeden až dva konektory FRB se 30 vývody k propojení s různými přídatnými zařízeními či vstupy a výstupy. Jak již bylo uvedeno, základní deskou souboru SAPI-1 je deska mikropočítače JPR-1 pracující s mikroprocesorem MHB 8080A. Dva výstupní konektory desky JPR 1 slouží k připojení membránové klávesnice ANK-1 a tiskárny. Dále je součástí souboru deska paměti REM-1. Na této desce je 16k byte paměti EPROM a 8k byte paměti RAM. Po rozšíření o desku RAM-1 lze rozšířit paměť RAM až na 64k byte. Další deskou souboru je AND-1, na níž jsou obvody pro připojení TV přijímače ve funkci alfanumerického displeje a deska DSM-1, jež umožňuje připojení kazetového magnetoforu K10 ve funkci

vnější paměti pro záznam programů atd.

5.2. Programové vybavení SAPI-1

Programové vybavení SAPI-1 je dáno typem paměti a to jak typu EPROM tak RAM. Z vyšších programovacích jazyků je dodáván MikroBASIC, jež však má omezení v rozsahu zpracovávaných čísel a v oblasti textových řetězců a jazyk FORTH 602.

Další součástí programového vybavení je MONITOR, který zde má pouze vedlejší funkci a to zejména práci se strojovým kódem. Popsané zařízení je dále vybaveno pomocným systémem HELP, jež obsahuje základní podprogramy, které bývají součástí monitoru jiných počítačů. Program HELP pracuje jako rozšířený monitor a svými funkcemi pomáhá při programování ve strojovém kódu. Jako ladící systém je na mikropočítači SAPI-1 užit program DDT-602, jež umožňuje pracovat s pamětí počítače, krokování a sledování běhu programu.

6. ANALOGOVÝ POČÍTAČ MEDA 43HA

Hybridní analogový počítač MEDA 43HA je nejnovější představitel stavebnicové řady tranzistorových analogových počítačů MEDA. Je vybaven přesnými lineárními a nelineárními analogovými, hybridními a logickými počítačimi jednotkami a řídicími obvody, které umožňují vedle základních jednorázových a repetičních analogových výpočtů s různým opakovacím kmitočtem, zajišťovat i rozsáhlé výpočty iterační, spolupracovat s externími počítači apod. Stavebnicové provedení počítače MEDA 43HA a velké množství počítačích modulových jednotek, dodávaných v jeho základním příslušenství, zaručují vysokou variabilnost a přizpůsobitelnost počítačích obvodů individuálním požadavkům uživatele a snadnou rozšiřitelnost výpočetní kapacity paralelním propojením až šesti počítačů. Přitom je důležité, že počítač MEDA 43HA může efektivně spolupracovat se všemi staršími typy analogových počítačů řady MEDA-T.

Pro programování úloh na hybridním analogovém počítači MEDA 43HA se používá analogových a logických výměnných programovacích desek a standardních nestíněných propojovacích šňůr a krátkospojek s banánky o průměru 4 mm. Zdířky programovacích desek jsou rozlišeny barvou a grafickým popisem.

7. ZÁVĚR

Hlavní těžiště této diplomové práce spočívalo ve vytvoření programového vybavení řídicího mikropočítače SAPI - 1 pro identifikaci soustav v uzavřeném regulačním obvodu při pevném regulátoru pro zvolený počet identifikačních kroků, při vhodné volbě struktury prediktoru, umožňující provádět ve zpětné vazbě odhady koeficientů stochastické diferenční rovnice.

Výpis programu, umožňující provádět tuto identifikaci soustav, je přiložen (viz Příloha I). Pro ověřování vlastností zíměné identifikace na konkrétním modelu soustavy (viz 4.2) bylo užito dvou modelů stochastických diferenčních rovnic a to regresního a ARMA modelu. Odhad koeficientů polynomů $\hat{A}(z)$ a $\hat{B}(z)$ pro regresní model je u polynomu $\hat{A}(z)$ téměř dokonalý a polynomu $\hat{B}(z)$ částečně odchýlený. U odhadu koeficientů polynomů $\hat{A}(z)$, $\hat{B}(z)$ a $\hat{C}(z)$ pro ARMA model je odhad polynomu $\hat{A}(z)$ vyhovující a odhady polynomů $\hat{B}(z)$ a $\hat{C}(z)$ jsou vychýlené (viz TABULKA 4.2 - 1).

Při srovnání přechodových charakteristik namodelované a odhadnuté soustavy pro regresní i ARMA model je patrný stejný charakter, ovšem ustálené hodnoty u odhadnuté soustavy pro oba modely jsou přibližně trojnásobně větší než u namodelované (viz Příloha II, III a IV). Na vychýlené odhady koeficientů $\hat{B}(z)$ a $\hat{C}(z)$ měl pravděpodobně značný vliv nedostatek identifikačních kroků. Negativní vliv na odhady koeficientů těchto polynomů měl dále i vstupující šum, jenž

svým charakterem neodpovídal předpokládanému vstupnímu bílému šumu a měl spíše charakter skokových poruch. Další ověření této identifikace bude možné po dokončení diskrétního generátoru šumu pro mikropočítač SAPI - 1, budovaného v současné době na KTK VŠST Liberec.

Seznam použité literatury

- /1/ Modrlák, O.: Navrhování adaptivních číslicových algoritmů pro řízení tepelně technických procesů (Kandidátská disertační práce), Liberec VŠST, 1983
- /2/ Janeček, B.: Návrh vhodných způsobů řízení vyššího typu, zvláště pak typu adaptivního pro energetické procesy (Kandidátská práce disertační), Liberec VŠST, 1984
- /3/ Peterka, V. a kol.: Algoritmy pro adaptivní mikroprocesorovou regulaci technologických procesů Ústav teorie informace ČSAV, Praha 1982
- /4/ Nádhera, R.: Rozšíření programového vybavení počítače RPP 16S pod operačním systémem MOS 2D (Diplomová práce) VŠST - KTK, Liberec 1983
- /5/ Janeček, B.: Uplatňování principů adaptivity při řízení tepelně technických procesů (Výzkumný zpráva), VŠST Liberec, 1986
- /6/ Firemní literatura k SAPI - 1
- /7/ Základní instrukce mikroprocesoru 8080
- /8/ Technický popis a návod k obsluze hybridního analogového počítače MEDA 43HA

Seznam příloh

- Příloha I Výpis programu identifikace
- Příloha II Přechodová charakteristika namodelované soustavy
- Příloha III Přechodová charakteristika odhadnuté soustavy
(Regresní model)
- Příloha IV Přechodová charakteristika odhadnuté soustavy
(ARMA model)

Seznam použitých zkratek a symbolů

u_k	akční veličina
Δu_k	přírůstek akční veličiny
y_k	regulovaná veličina (výstupní)
Δy_k	přírůstek regulované veličiny
d_k	neměřená poruchová veličina
Δd_k	diference poruchové veličiny
Δd_{mk}	diference měřené poruchové veličiny
d_{mk}	měřený vstupní šum
\hat{f}_k	predikce výstupní veličiny (neoptimální)
$\Delta \hat{f}_k$	přírůstek predikované výstupní veličiny
w	žádaná hodnota
f_k^p	optimální predikce výstupní veličiny
Δf_k^p	přírůstek predikované výstupní veličiny
Δ_k^p	chyba predikce (optimální)
z_k	chyba predikce (neoptimální)
$\hat{\Theta}_k$	vektor odhadovaných koeficientů
Φ_{k-1}	vektor pozorování
Y_{k-1}	posloupnost měřených výstupů soustavy
U_{k-1}	posloupnost měřených vstupů
Y_{k-1}^p	posloupnost výstupů z prediktoru
D_{mk}	posloupnost měřených poruch
$A(s), B(s),$ $C(s), D(s)$	polynomy ARMA modelu s měřenou poruchou
$\mathcal{D}A, \mathcal{D}B,$ $\mathcal{D}C, \mathcal{D}D$	stupně polynomů
$G(s)$	polynom stupně $\max\{\mathcal{D}A, \mathcal{D}C\} - 1$
$M(s), N(s)$	polynomy regulátoru (čitatel, jmenovatel)

$\hat{G}(s), \hat{B}(s), \hat{C}(s)$	odhadované polynomy
$\lambda = z^{-1}$	operátor posunu
f_k	chyba rovnice matematického modelu
r	dopravní zpoždění
α	konstanta
$R_{zu}(z), R_{zy}(z)$	korelační koeficienty
$R_{ad}(z), R_{zd}(z)$	
$F_{yu}(z), F_{yd}(z)$	přenosy
$F_{zd}(z), F_{zu}(z), F_{zd}(z)$	
T	perioda vzorkování
T_c	doba výpočtu akčního zásahu
K_u	zesílení přenosu $F_u(s)$
K_d	zesílení přenosu $F_d(s)$
τ, τ_1	časové konstanty
$e(t) (P)$	chyba prediktoru
$d(t)$	vektor dat
P	vektor odhadovaných parametrů modelu
$J(t) (P)$	kvadratický funkcionál
φ	koeficient zapomínání

Příloha I.

NEADRESNY JISKOPIS

```

1          #PROGRAM IDENTIFICATION LDFIL, ARMAX MODEL
2 0000          ORG      0E000H
3          #PROGRAM
4          EQU      MULTIS 0CF4H
5          EQU      NASTKU 0D4BH
6          EQU      CI      0D6AH
7          EQU      FTIXH  4696H
10         EQU      FTSXH  46A4H
11         EQU      HULUH  4CF8H
12         EQU      IIUWH  4D33H
13         EQU      OASRP  4824H
14         EQU      SEUZX  5100H
15         EQU      SURUZ  5110H
16         EQU      ADUUZ  5130H
17         EQU      NULUZ  5150H
20         EQU      TOVUZ  5170H
21         EQU      INSPU  5190H
22         EQU      CRLF   51B0H
23         EQU      SNRS   537FH
24         EQU      SEUZH  59A0H
25         EQU      DIVIN  59B0H
26         EQU      DUPIZ  59E0H
27         EQU      SUBTN  59F0H
30         EQU      LOHLUZ 5990H
31         EQU      PRIKAZ 6C60H
32         EQU      KURZOR 6C7H
33         EQU      NULCOT 704FH
34         EQU      SIG    7CF7H
35         EQU      TISK   9318H
36         EQU      CRUK   9500H
37         EQU      IDWT   0E100H
40         EQU      IO    0E110H
41         EQU      IOI   0E141H
42         EQU      IOO   0E16AH
43         EQU      IOI   0E189H
44         EQU      IOSI  0E1AAH
45         EQU      LDFIL  0E1F0I
46         EQU      VYPAZG 0E430H
47         EQU      TISKID 0E480H
50         EQU      ADKBC  0E4CEH
51         EQU      KVEK   0E50FH
52         EQU      KLJF   0E558H
53         EQU      NRVRNK 0E5A0H
54         EQU      NRVRKI 0E597H
55         EQU      ZERDYP 0E5A4H
56         EQU      SUNDYP 0E5B8I
57         EQU      INX13  0E5E6H
60         EQU      INX13  0E5F6H
61         EQU      INXL3  0E601H
62         EQU      DCX13  0E60CH
63         EQU      DCXTM  0E617H
64         EQU      DCX13  0E622H
65         EQU      DCXTW2 0E620I
66         EQU      STLDF  0E638H
67         EQU      VYPDYP 0E693H
70          #POLL

```

71	EQU	DULD	7D63H	§16*3,PRAC.
72	EQU	ULD	7E80H	§120*3B,PRAC.,VEKTOR KOLEKCIJEHU
73	EQU	DALD	7FE3H	§16*3B,DATA,VEKTOR POZICOVANI
74	EQU	YJ	7CBEH	§7*3B,POSOBNY REGISTR Y
75	EQU	DUJ	7C03H	§8*3B,POSOBNY REGISTR DU
76	EQU	GLD	8018H	§16*3B,PRAC.
77	EQU	DYP	8260H	§16B,PRAC.,VEKTOR PREDIKT
100	EQU	A76	8280H	§16B,PRAC.,VEKTOR VYPOCETNYH HODNOT ACC
101	§PROHLENRE			
102	EQU	NR	7C83H	§1B,KAD REGULATORU A IDENTIFIKACNO HOPE
103	EQU	NRV	7C84H	§VYPOCETNA DELKA VEKTORU LDFILU
104	EQU	NRV31	7CE3H	§2B,NRV31=3*(NRV-1)
105	EQU	RSUL D	7CF0H	§2B,RSUL D=(DOR CULD)+(NRV*(NRV-1))/2-1)*3
106	EQU	NR3	7CEFH	§2B,NR3=3*NR
107	EQU	XU	7CF1H	§3B,PRAC.
110	EQU	FRG	7CF4H	§3B,ZAPCENARI-LDFIL
111	EQU	SIG	7CF7F	§3B,LDFIL
112	EQU	IGZ	7CF0H	§2B,PRAC.
113	EQU	RSUL D5	7D17H	§2B,RSUL D5=(NRV*(NRV-1))/2-1)*3
114	EQU	PDY	7D19H	§3B,DY=Y(D)-Y(C)-1)
115	EQU	PY	7D1CH	§3B,HODNOTA Y(D)
116	EQU	DULD5	7D63H	§2B,KONST. PRO START LDFILU
117	EQU	UZ	8BE0H	§UZVATELSKY ZASOBNYK
120	EQU	JZ	8BE0H	§2B,INDEXOVANI
121	EQU	J3	8BEFH	§2B,INDEX OVANI
122	EQU	IW	8BEFH	§2B,PRAC.
123	EQU	STAV	8BE3F	§1B,REZIRI RIZENI
124	EQU	IKR	8BE4H	§1B,POCITANI D V KROKU
125	EQU	KR	8BE5H	§2B,KROK
126	EQU	IW1	8BE7H	§1B,PRAC.
127	EQU	JW1	8BE8H	§1B,PRAC.
130	EQU	I3	8BE8H	§2B,INDEXOVANI SKROKEM 3
131	EQU	I1	8BE0H	§1B,POCITANI D V CYKLECH
132	EQU	SPU	8BE7H	§2B,UKAZATEL UZVATELSKHO ZASOBNIKU
133	EQU	I3	8250H	§2B,INDEXOVANI
134	EQU	NR6	8252H	§2B,NR6=6*NR
135	EQU	NRK	8256H	§2B,DELKA VEKT. LDFILU BEZ PREDIKCE
136	EQU	NRD	8258H	§2B,DELKA VEKT. LDFILU S PREDIKCO
137	EQU	ADRB	8270H	§2B,ADRESA DU V DALI
140	EQU	ADRC	8272H	§2B,ADR. TYP V DALI
141	EJECT			

		#PROGRAM IDENTIFIKACE			
142					
143	E000	0D 4F 70		CALL	NULC01
144	E003	0D 00 95		CALL	CR0 K
145	E006	0D 00 F1		CALL	IDNT
146	E009	0D 1C F1		CALL	100
147	E00C	0D 41 F1		CALL	101
150	E00F	0D 66 F1		CALL	110
151	E012	0D 89 F1		CALL	111
152	E015	0D AA F1		CALL	1051
153	E018	0D 6A 0D		CALL	01
154	E01B	FE 30		CPI	30H
					#BEZ PREDIKCE
155	E01D	CA 28 E0		JZ	CZ009
156	E020	FE 31		CPI	31H
					#S PREDIKCI
157	E022	CA 40 E0		JZ	CZ010
160	E025	C3 C3 F1		JMP	JEND
161					
162	E028	3A F3 8B	#CZ009:	LDA	STAV
163	E02B	E6 BF		AND	0BFH
					#NULOVA NI 6. BITU
164	E02D	32 F3 8B		STA	STAV
165	E030	0D 6A 0D		CALL	01
166	E033	FE 30		CPI	30H
					#POKRACOVANI BEZ PREDIKCE
167	E035	CA 70 E0		JZ	IP00
					#NOVY START BEZ PREDIKCE
170	E038	FE 31		CPI	31H
171	E03A	CA 8A E0		JZ	IP01
172	E03D	C3 C3 F1		JMP	JEND
173					
174	E040	3A F3 8B	#CZ010:	LDA	STAV
175	E043	F6 40		ORI	40
					#NASTAVENI 6. BITU
176	E045	32 F3 8B		STA	STAV
177	E048	0D 7A 0D		CALL	01
200	E04B	FE 30		CPI	30H
					#POKRAC. S PREDIKCI
201	E04D	CA B0 E0		JZ	IP10
202	E050	FE 31		CPI	31H
					#NOVY START S PREDIKCI
203	E052	CA C3 E0		JZ	IP11
204	E055	C3 C3 F1		JMP	JEND
205	E058			DS	02H
206					
207	E05A	3A F3 8B	#NAST2B:	LDA	STAV
210	E05D	F6 04		ORI	04H
					#NASTAV. 2. BITU
211	E05F	32 F3 8B		STA	STAV
212	E062	C3 60 6C		JMP	PRIKAZ
213	E065			DS	0BH
214					#POKRACOVANI BEZ PREDIKCE
215	E070	0D 1C E1	#IP00:	CALL	100
216	E073	0D 8D E5		CALL	NRVNRK
217	E076	0D 58 E5		CALL	KLIF
220	E079	C3 5A E0		JMP	NAST2B
221	E07C			DS	0FH
222					#NOVY START BEZ PREDIKCE
223	E08A	0D 41 F1	#IP01:	CALL	101
224	E08D	0D 0F E5		CALL	KVEK
225	E090	0D 97 E5		CALL	NRVNRK
226	E093	0D 38 E6		CALL	STI IF
227	E096	0D 8D E5		CALL	NRVNRK
230	E099	0D 58 E5		CALL	KLIF
231	E09C	0D 44 E5		CALL	ZERTYP

```

232 E09F C1 CE E4      CALL  ADRRC
233 E0A2 C3 56 E0      JMP   NAST2B
234 E0A5                    DS    07H
235                    $POKRAC. 5 PREDIKCI
236 E0B0 C1 66 E1      IP10: CALL  J10
237 E0B3 C1 97 E5      CALL  NRVRRO
240 E0B6 C1 58 E5      CALL  KLIF
241 E0B9 C3 56 E0      JMP   NAST2B
242 E0BC                    DS    07H
243                    $NOVY START 5 PREDIKCI
244 E0C3 C1 89 E1      IP11: CALL  J11
245 E0C6 C1 0F E5      CALL  KVEK
246 E0C9 C1 97 E5      CALL  NRVRRO
247 E0CC C1 58 E5      CALL  KLIF
250 E0CF C1 A4 E5      CALL  ZERDYP
251 E0D2 C1 CE E4      CALL  ADRRC
252 E0D5 C1 38 E6      CALL  STUDF
253 E0D8 C3 56 E0      JMP   NAST2B
254 E0DB                    DS    05H
255                    $POZADAVEK PREDIKCE ? (HLAV. PROGRAM)
256 E0E0 C1 93 E6      CALL  VYPDYP
257 E0E3 3A F3 8B      LDA   STAV
260 E0E6 07                    RLC
261 E0E7 07                    RLC
262 E0EB D2 EF E0      JRC   HOP
263 E0EB C1 B6 E5      CALL  SURDYP
264                    $
265 E0EE C3 F0 E1      HOP:  JMP   LDEF1
266 E0F1                    DS    12H
267                    $DO: IDENTIFIKACE
270 E103 C1 24 4B      CALL  OASNP
271 E106 0B                    DB    07H
272 E107 0A                    DB    06H
273 E108 49                    DB    49H
274 E109 44                    DB    44H
275 E10A 45                    DB    45H
276 E10B 4E                    DB    4EH
277 E10C 54                    DB    54H
300 E10D 49                    DB    49H
301 E10E 46                    DB    46H
302 E10F 49                    DB    49H
303 E110 4B                    DB    4BH
304 E111 41                    DB    41H
305 E112 43                    DB    43H
306 E113 45                    DB    45H
307 E114 00                    DB    00H
310 E115 00                    DB    00H
311 E116 C1 B0 51      CALL  LKLF
312 E119 C9                    RET
313 E11A                    DS    02H
314                    $DO: 00-POKRAC. REZ PREDIKCE
315 E11C C1 24 4B      CALL  OASNP
316 E11F 0B                    DB    07H
317 E120 0A                    DB    06H
320 E121 30                    DB    30H
321 E122 30                    DB    30H

```

322	E123	2D		DB	2DH
323	E124	50		DB	50H
324	E125	4F		DB	4FH
325	E126	4B		DB	4BH
326	E127	52		DB	52H
327	E128	41		DB	41H
330	E129	43		DB	43H
331	E12A	4F		DB	4FH
332	E12B	56		DB	56H
333	E12C	41		DB	41H
334	E12D	4E		DB	4EH
335	E12E	49		DB	49H
336	E12F	20		DB	20H
337	E130	42		DB	42H
340	E131	45		DB	45H
341	E132	5A		DB	5AH
342	E133	20		DB	20H
343	E134	50		DB	50H
344	E135	52		DB	52H
345	E136	45		DB	45H
346	E137	44		DB	44H
347	E138	49		DB	49H
350	E139	4B		DB	4BH
351	E13A	43		DB	43H
352	E13B	45		DB	45H
353	E13C	00		DB	00H
354	E13D	CD	HO 51	CALL	CRLF
355	E140	09		RET	
356					
357	E141	CD	24 48	CALL	GASRP
360	E144	0D		DB	0DH
361	E145	0A		DB	0AH
362	E146	30		DB	30H
363	E147	31		DB	31H
364	E148	2D		DB	2DH
365	E149	4F		DB	4FH
366	E14A	4F		DB	4FH
367	E14B	56		DB	56H
370	E14C	59		DB	59H
371	E14D	20		DB	20H
372	E14E	53		DB	53H
373	E14F	54		DB	54H
374	E150	41		DB	41H
375	E151	52		DB	52H
376	E152	54		DB	54H
377	E153	20		DB	20H
400	E154	42		DB	42H
401	E155	45		DB	45H
402	E156	5A		DB	5AH
403	E157	20		DB	20H
404	E158	50		DB	50H
405	E159	52		DB	52H
406	E15A	45		DB	45H
407	E15B	44		DB	44H
410	E15C	49		DB	49H
411	E15D	4B		DB	4BH

510:01-NOVY START BEZ PREJIKCE

412	E15F	43		DB	43H
413	E15F	45		DB	45H
414	E160	00		DB	00H
415	E161	00	BO 51	CALL	CRIF
416	E164	09		RET	
417	E165	00		DB	00H
420					
421	E166	00	24 48	CALL	06SNP
422	E169	00		DB	00H
423	E16A	0A		DB	0AH
424	E16B	31		DB	31H
425	E16C	30		DB	30H
426	E16D	20		DB	20H
427	E16E	50		DB	50H
430	E16F	4F		DB	4FH
431	E170	4B		DB	4BH
432	E171	52		DB	52H
433	E172	41		DB	41H
434	E173	43		DB	43H
435	E174	4F		DB	4FH
436	E175	56		DB	56H
437	E176	41		DB	41H
440	E177	4E		DB	4EH
441	E178	49		DB	49H
442	E179	20		DB	20H
443	E17A	53		DB	53H
444	E17B	20		DB	20H
445	E17C	50		DB	50H
446	E17D	52		DB	52H
447	E17E	45		DB	45H
450	E17F	44		DB	44H
451	E180	49		DB	49H
452	E181	4B		DB	4BH
453	E182	43		DB	43H
454	E183	49		DB	49H
455	E184	00	BO 51	CALL	CRIF
456	E187	09		RET	
457	E188	00		DB	00H
460					
461	E189	00	24 48	CALL	06SNP
462	E18C	00		DB	00H
463	E18D	0A		DB	0AH
464	E18E	31		DB	31H
465	E18F	31		DB	31H
466	E190	20		DB	20H
467	E191	4E		DB	4EH
470	E192	4F		DB	4FH
471	E193	56		DB	56H
472	E194	59		DB	59H
473	E195	20		DB	20H
474	E196	53		DB	53H
475	E197	54		DB	54H
476	E198	41		DB	41H
477	E199	52		DB	52H
500	E19A	54		DB	54H
501	E19B	20		DB	20H

END:10-P0KRAL S PRED TKCI

END:11-R OUY START S PREDING

502	E19C	53		DB	53H
503	E19D	20		DB	20H
504	E19E	50		DB	50H
505	E19F	52		DB	52H
506	E1A0	45		DB	45H
507	E1A1	44		DB	44H
510	E1A2	49		DB	49H
511	E1A3	4B		DB	4BH
512	E1A4	43		DB	43H
513	E1A5	49		DB	49H
514	E1A6	20		DB	20H
515	E1A7	20		DB	20H
516	E1A8	00		DB	00H
517	E1A9	09		RET	

VIDEOST - UNCORRECT

521	E1AA	00	80 51	CALL	CRUF
522	E1AD	00	24 4B	CALL	0ASNP
523	E1B0	00		DB	00H
524	E1B1	0A		DB	0AH
525	E1B2	4F		DB	4FH
526	E1B3	53		DB	53H
527	E1B4	54		DB	54H
530	E1B5	20		DB	20H
531	E1B6	55		DB	55H
532	E1B7	4B		DB	4BH
533	E1B8	4F		DB	4FH
534	E1B9	4E		DB	4EH
535	E1BA	43		DB	43H
536	E1BB	45		DB	45H
537	E1BC	4E		DB	4EH
540	E1BD	49		DB	49H
541	E1BE	00		DB	00H
542	E1BF	00	80 51	CALL	CRUF
543	E1C2	09		RET	

VIDEIDENTIFKACE UNCORRECT

545	E1C3	00	24 4B	CALL	0ASNP
546	E1C6	00		DB	00H
547	E1C7	0A		DB	0AH
550	E1C8	49		DB	49H
551	E1C9	44		DB	44H
552	E1CA	45		DB	45H
553	E1CB	4E		DB	4EH
554	E1CC	54		DB	54H
555	E1CD	49		DB	49H
556	E1CE	46		DB	46H
557	E1CF	49		DB	49H
560	E1D0	4B		DB	4BH
561	E1D1	41		DB	41H
562	E1D2	43		DB	43H
563	E1D3	45		DB	45H
564	E1D4	20		DB	20H
565	E1D5	55		DB	55H
566	E1D6	4B		DB	4BH
567	E1D7	4F		DB	4FH
570	E1D8	4E		DB	4EH
571	E1D9	43		DB	43H

572	E10A	45		DB	45H	
573	E10B	4E		DB	4EH	
574	E10C	41		DB	41H	
575	E10D	00		DB	00H	
576	E10E	3A F3 8B		LDA	STAV	
577	E1E1	E6 FB		AND	OFBH	PHASKOVAI 2,B110
600	E1E3	32 F3 8B		STA	STAV	
601	E1F6	03 60 6C		JMP	PRIKAZ	
602	E1E9			ORG	0E1F0H	
603				*LDEF1-IDENT*		
604	E1F0	21 83 7C	LDEF1:	LXI	H, NR	
605	E1F3	4E		MOV	C, H	
606	E1F4	21 F8 7F		LXI	H, DALD	
607	E1F7	0D 7F 53		CALL	SNSK?	ESTARNI 1, CASI REGISTERI DALD
610	E1FA	21 83 7C		LXI	H, NR	
611	E1FD	4E		MOV	C, H	
612	E1FE	11 E8 7F		LXI	D, DALD	
613	E201	00		NOE		
614	E202	2A EF 7C		LHLD	NR3	
615	E205	19		DAD	D	
616	E206	0D 7F 53		CALL	SNSK?	ESTARNI 2, CASI REGISTERI DALD
617	E209	21 1C 7D		LXI	H, PY	
620	E20C	0D 96 46		CALL	FTLXH	
621	E20F	21 E8 7F		LXI	H, DALD	
622	E212	0D A4 46		CALL	FTSXH?	PY NA DALD(C)
623	E215	21 06 7C		LXI	H, DALD	
624	E218	23		JNX	H	
625	E219	23		JNX	H	
626	E21A	23		JNX	H	
627	E21B	0D 96 46		CALL	FTLXH	
630	E21E	05		PUSH	D	
631	E21F	11 E8 7F		LXI	D, DALD	
632	E222	00		NOE		
633	E223	2A EF 7C		LHLD	NR3	
634	E226	19		DAD	D	
635	E227	01		POP	D	
636	E228	0D A4 46		CALL	FTSXH?	DALD NA DALD(C)K?
637	E22B	21 F4 7C		LXI	H, FRG	
640	E22E	0D 96 46		CALL	FTLXH	
641	E231	21 F7 7C		LXI	H, 516	
642	E234	0D A4 46		CALL	FTSXH?	516-FRG
643	E237			ORG	0E249H	
644	E249	2A FB 7C		LHLD	NRV31	
645	E24C	22 FB 8B		SHLD	13?	513=NRV31, INDEXOVAI VRETA, CYKLI
646	E24F	11 1E 8D		LXI	D, GD	
647	E252	19		DAD	D	
650	E253	22 FD 7C		SHLD	1M2?	5102=ADR(GD) +NRV31
651	E256	21 F7 8B		LXI	H, 101	
652	E259	36 00		MOVI	H, 00?	5103=0, POCITALO VRETA, CYKLI
653	E25D	21 FB 8B		LXI	H, 101	
654	E25E	36 00		MOVI	H, 00?	5101=0, PABET POCITALO A VRETA, CYKLI
655	E260	2A FD 7C		LHLD	R3ULD	
656	E263	22 FD 8B		SHLD	12?	512=R3ULD, ADR, PABET INDEX, VRETA, CYKLI
657	E266	11 E8 7F	CYNIZ:	LXI	D, DALD	
660	E269	2A FB 8B		LHLD	13	
661	E26C	19		DAD	D	

662	E26D		DS	3	
663	E270	CD 40 59	CALL	SEUZHLS	\$10LD(C13)
664	E273	11 EB 7F	LXI	D, DALD	
665	E276	2A EB 7C	LHLD	RRV3J	
666	E279	19	DAD	D	
667	E27A	22 BF 08	SHLD	105	\$10E-ADR(CALD)+RRV3J+INDXVANT ORDER, CYKI
670	E27D	2A ED 8B	LHLD	J2	
671	E280	22 EF 8B	SHLD	J35	\$J35-J2+INDXVANT FOR E-ULD 5 ORDER, CYKI
672	E283	21 F7 8B	LXI	H, 100	
673	E286	4E	MOV	C, R	
674	E287	0D	DCR	C	
675	E288	FA BF E2	JR	NS07	
676	E28B	71	MOV	R, C	
677	E28C		DS	4H	
700	E290	2A EF 8B	LHLD	J3	
701	E293		DS	4H	
702	E297	CD 40 59	CALL	SEUZHLS	\$10LD(C13)
703	E29A		DS	4H	
704	E29E	2A BF 08	LHLD	10	
705	E2A1		DS	4	
706	E2A5	CD 40 59	CALL	SEUZHLS	\$10A(C14)
707	E2A8	CD 50 51	CALL	HULUZF	\$*
710	E2AB	CD 30 51	CALL	ADUUFZ	\$*
711	E2AE	CD 17 E6	CALL	DCX10	
712	E2B1	CD 0C E6	CALL	DCXJ3	
713	E2B4	03 83 E2	JMP	CY514	
714	E2B7		ORG	0E2BFH	
715					
716	E2BF	21 F8 8B	LXI	H, 100	
717	E2C2	46	MOV	B, R	
720	E2C3	21 F7 8B	LXI	H, 101	
721	E2C6	70	MOV	R, B5	\$101=100
722	E2C7	2A EB 7C	LHLD	RRV3J	
723	E2CA	11 18 80	LXI	D, GLD	
724	E2CD	19	DAD	D	
725	E2CE	22 BF 08	SHLD	105	\$10E-ADR(GLD)+RRV3J
726	E2D1	2A ED 8B	LHLD	J2	
727	E2D4	22 EF 8B	SHLD	J35	\$J35-J2
730	E2D7		DS	5H	
731					
732	E2E0	CD E0 59	CALL	DUPUFZ	\$DUP=H
733	E2E3	21 F7 7C	LXI	H, SJG	
734	E2E6		DS	3H	
735	E2E9	CD 40 59	CALL	SEUZHLS	\$SJG
736	E2EC	CD 70 51	CALL	DVUFZ	\$7
737	E2EF	21 F1 7C	LXI	H, XM	
740	E2F2	CD 44 46	CALL	F1SXH5	\$40=NA XM
741	E2F5	CD 90 51	CALL	INSPU	
742	E2F8	CD E0 59	CALL	DUPUFZ	\$DUP=H
743	E2FB	11 63 7D	LXI	D, 10LD	
744	E2FE	00	NOE		
745	E2FF	2A FB 8B	LHLD	J3	
746	E302	19	DAD	D	
747	E303		DS	3	
750	E306	CD 40 59	CALL	SEUZHLS	\$10LD(C13)
751	E309	CD 50 51	CALL	HULUZF	\$*

752	E300	05		PUSH	0	
753	E300	11 18 80		LXI	0, 610	
754	E310	00		NOF		
755	E311	26 FB 80		LHL D	13	
756	E314	19		DAD	0	
757	E315	01		POP	0	
760	E316	0D A4 46		CALL	F15XB	FRG 610(13)
761	E319	0D 50 51		CALL	H0LUZ	FR
762	E31C	21 F7 7C		LXI	H, 516	
763	E31F			DS	3	
764	E322	0D A0 59		CALL	SEUZH	FRG
765	E325	0D 30 51		CALL	A0LUZ	FR
766	E328	0D E0 59		CALL	J0PUZ	FRUP 4516
767	E32B	11 63 7D		LXI	0, 0010	
770	E32E	00		NOF		
771	E32F	26 FB 8B		LHL D	13	
772	E332	19		DAD	0	
773	E333			DS	3	
774	E336	0D A0 59		CALL	SEUZH	FRH 10(13)
775	E339	0D 00 59		CALL	J0VNF	FR05/R06
776	E33C	21 F7 7C		LXI	H, 516	
777	E33F			DS	3	
1000	E342	0D A0 59		CALL	SEUZH	FRG
1001	E345	0D 50 51		CALL	H0LUZ	FR
1002	E348	21 F4 7C		LXI	H, FRG	
1003	E34B			DS	3	
1004	E34E	0D A0 59		CALL	SEUZH	FRG
1005	E351	0D 70 51		CALL	J0VUZ	FR
1006	E354	11 63 7D		LXI	0, 0010	
1007	E357	00		NOF		
1010	E35B	26 FB 8B		LHL D	13	
1011	E35B	19		DAD	0	
1012	E35C			DS	5	
1013	E361	0D 90 59		CALL	L0H UZ	FR 0010(13)
1014	E364			DS	3	
1015	E367	21 F7 7C		LXI	H, 516	
1016	E36A	0D 90 59		CALL	L0H UZ	FR 516
1017	E36D			ORG	0E370B	
1020						
1021	E37B	21 F3 7C		LXI	H, XM	
1022	E37E			DS	3	
1023	E381	0D A0 59		CALL	SEUZH	FR 00-X0
1024	E384	21 F7 8B	CY015B	LXI	H, 100	
1025	E387	4E		NOV	C, 0	
1026	E388	00		DCR	C	
1027	E389	FA 06 F4		JR	R50B	
1030	E38C	71		NOV	H, C	
1031	E38D	0D E0 59		CALL	J0PUZ	FRUP 60
1032	E390			DS	4	
1033	E394	26 BF 0B		LHL D	10	
1034	E397			DS	4	
1035	E39B	0D A0 59		CALL	SEUZH	FR 00(10)
1036	E39E	0D 50 51		CALL	H0LUZ	FR
1037	E3A1			DS	3	
1040	E3A4	00		NOF		
1041	E3A5	26 EF 8B		LHL D	13	

1042	E3A8	00		ROP		
1043	E3A9	0D 96 46		CALL	F1LXH	
1044	E3AC	21 F1 7C		LXI	H, XH	
1045	E3AF	0D A4 46		CALL	F1SXHF	FXH=HL D(C13)=HL
1046	E3B2	0D 00 51		CALL	SEUZXF	FULD(C13)
1047	E3B5	0D F0 59		CALL	SUBTNF	F105=ROS
1050	E3B8	05		PUSH	D	
1051	E3B9			DS	4	
1052	E3BD	26 EF 88		LHL D	J3	
1053	E3C0	00		ROP		
1054	E3C1	0D		POP	D	
1055	E3C2	0D A4 46		CALL	F1SXHF	FNA HL D(C13)
1056	E3C5	0D 90 51		CALL	INSPU	
1057	E3C8	21 F1 7C		LXI	H, XH	
1060	E3CB			DS	3	
1061	E3CE	0D A0 59		CALL	SEUZH	
1062	E3D0			DS	4	
1063	E3D5	2A FD 7C		LHL D	102	
1064	E3D8			DS	4	
1065	E3DC	0D A0 59		CALL	SEUZH	FULD(C13)
1066	E3DF	0D 50 51		CALL	HULUF	*
1067	E3E2			DS	4	
1070	E3E6	2A HF 08		LHL D	10	
1071	E3E9	00		ROP		
1072	E3EA	05		PUSH	H	
1073	E3EB			DS	3	
1074	E3EE	0D A0 59		CALL	SEUZH	FULD(C10)
1075	E3F1	0D 30 51		CALL	ADUUF	*
1076	E3F4	F1		POP	H	
1077	E3F5	0D A4 46		CALL	F1SXHF	FNA HL D(C10)
1100	E3FB	0D 90 51		CALL	INSPU	
1101	E3FB	0D 17 E6		CALL	DCX10	
1102	E3FE	0D 0C E6		CALL	DCX13	
1103	E401	03 84 E3		JMP	CY315	
1104	E404			ORG	0E406H	
1105						
1106	E406	0D 90 51	RGOR*	CALL	INSPU	
1107	E409	21 F8 88		LXI	H, J01	
1110	E40C	46		MOV	H, H	
1111	E40D	04		TNR	B	
1112	E40E	70		MOV	H, BF	FJ01=J01+1
1113	E40F	21 F7 88		LXI	H, 101	F101=J01
1114	E412	70		MOV	H, BF	
1115	E413	26 EF 88		LHL D	J3	
1116	E416	22 ED 88		SHL D	J2	FJ2=J3
1117	E419	0D 20 E6		CALL	DCX102	
1120	E41C	0D 22 E6		CALL	DCX13	
1121	E41F	7C		MOV	A, H	
1122	E420	A7		ANA	A	
1123	E421	F2 66 E2		JP	CY313	
1124						
1125	E424			ORG	0E430H	
1126						
1127	E430	21 83 7C	VYPACEI KOFF.	LXI	H, RR	A(I+1)+A(I)=(I+1)-6(C)
1130	E433	4E	VYPAZG*	MOV	C, H	
1131	E434	0D		DCR	C	

1132	E435	21	FD	8B	LXI	H,	11	
1133	E438	71			MOV	H,	C	
1134	E439	21	80	7E	LXI	H,	01D	
1135	E43C	22	FB	8B	SHLD		13	
1136	E43F	2A	72	82	LHLD		ADR0	
1137	E442	22	EF	8B	SHLD		13	
1140	E445	21	80	82	LXI	H,	476	
1141	E448	22	50	82	SHLD		13	
1142	E44B				DS		08H	
1143								
1144	E453	2A	FB	8B	C7001:	LHLD	13	
1145	E456	0D	60	59	CALL	SEUZH1		16C)
1146	E459	2A	EF	8B	LHLD		13	
1147	E45C	0D	60	59	CALL	SEUZH1		1-C(1+1)
1150	E45F	0D	30	51	CALL	ADU0Z1		1+
1151	E462	2A	50	82	LHLD		13	
1152	E465	0D	64	46	CALL	F15XH1		110 UZER0 NO Vektor 426
1153	E468	22	50	82	SHLD		13	
1154	E46B	0D	EB	E5	CALL	JRX13		
1155	E46E	0D	F6	E5	CALL	JRX13		
1156	E471	0D	90	51	CALL	JRSPU		
1157	E474	21	FD	8B	LXI	H,	11	
1160	E477	4F			MOV	C,	H	
1161	E47B	0D			JCR		C	
1162	E479	71			MOV	H,	C	
1163	E47A	02	53	E4	JRZ		C2001	
1164	E47D	09			RET			
1165	E47E				DS		02H	
1166								
1167	E480	1E	00		MOV	E,	00H	
1170	E482	16	01		MOV	D,	01H	
1171	E484	0D	F2	6C	CALL	KURZ0R		
1172	E487	2A	70	82	LHLD		ADR0	
1173	E48A	3A	83	7C	LDA		RR	
1174	E48D	4F			MOV	C,	A	
1175	E48E	0D	18	93	CALL	TISK		
1176	E491	0D	80	51	CALL	CR1F		
1177	E494	3A	F3	8B	LDA		STAV	
1200	E497	07			RIC			
1201	E498	07			RIC			
1202	E499	02	BF	E4	JNC		C2002	
1203	E49C	0D	30	E4	CALL	VYP476		
1204	E49F	21	80	82	LXI	H,	476	
1205	E4A2	3A	83	7C	LDA		NR	
1206	E4A5	4F			MOV	C,	A	
1207	E4A6	0D			JCR		C	
1210	E4A7	0D	18	93	CALL	TISK		
1211	E4A8	0D	80	51	CALL	CR1F		
1212	E4AB	2A	72	82	LHLD		ADR0	
1213	E4B0	3A	83	7C	LDA		NR	
1214	E4B3	4F			MOV	C,	A	
1215	E4B4	0D			JCR		C	
1216	E4B5	0D	18	93	CALL	TISK		
1217								
1220	E4B8	0D	4B	0D	C2003:	CALL	RAS1KU	
1221	E4BB	3A	20		MOV	H,	020H	

1222	E4B0	09			REF		
1223	E4BE	00			DB	OOH	
1224							
1225	E4BF	21 80 7E		CZ0024	LXI	H, ULD	
1226	E4C2	36 83 7C			LDA	NR	
1227	E4C5	4F			MOV	C, A	
1230	E4C6	00			DCR	C	
1231	E4C7	0D 18 93			CALL	TISK	
1232	E4CA	03 8B EA			JMP	CZ003	
1233	E4CD	00			DB	OOH	
1234				FADR, B A C U		ULD	
1235	E4CE	11 80 7E			LXI	D, ULD	
1236	E4D1	2A EF 7C			LHLH	NR3	
1237	E4D4	19			DAD	D	
1240	E4D5	2B			DCX	H	
1241	E4D6	2B			DCX	H	
1242	E4D7	2B			DCX	H	
1243	E4D8	22 70 82			SHLD	ADRB	
1244	E4DB	11 80 7E			LXI	D, ULD	
1245	E4DE	26 52 82			LHLH	NR6	
1246	E4E1	19			DAD	D	
1247	E4E2	2B			DCX	H	
1250	E4E3	2B			DCX	H	
1251	E4E4	2B			DCX	H	
1252	E4E5	22 72 82			SHLD	ADRC	
1253	E4E8	09			REF		
1254	E4E9				ORG	OF50FH	
1255				BYPOSET KONSTANT			
1256	E50F	21 83 7C			LXI	H, NR	
1257	E512	5E			MOV	E, H	
1260	E513	16 00			MOI	D, OOH	
1261	E515	21 03 00			LXI	H, 0003H	
1262	E518	0D F8 4C			CALL	RUUMH	
1263	E51B	10			DCR	E	
1264	E51C	21 58 82			LXI	H, NR0	
1265	E51F	73			MOV	H, E	
1266	E520	23			JMX	H	
1267	E521	72			MOV	H, D	
1270	E522	21 83 7C			LXI	H, NR	
1271	E525	5E			MOV	E, H	
1272	E526	16 00			MOI	D, OOH	
1273	E528	21 02 00			LXI	H, 0002H	
1274	E52B	0D F8 4C			CALL	RUUMH	
1275	E52E	21 56 82			LXI	H, NRK	
1276	E531	73			MOV	H, E	
1277	E532	23			JMX	H	
1300	E533	72			MOV	H, D	
1301	E534	21 83 7C			LXI	H, NR	
1302	E537	5E			MOV	E, H	
1303	E538	21 03 00			LXI	H, 0003H	
1304	E53B	0D F8 4C			CALL	RUUMH	
1305	E53E	21 EF 7C			LXI	H, NR3	
1306	E541	73			MOV	H, E	
1307	E542	23			JMX	H	
1310	E543	72			MOV	H, D	
1311	E544	21 83 7C			LXI	H, NR	

NR0=30NR-1

NRK=20NR

NR3=30NR

1312	E547	5E		MOV	E, R	
1313	E548	16 00		MOV	D, 00H	
1314	E54A	21 06 00		LXI	H, 0006H	
1315	E54D	0D F8 4C		CALL	HULMH	
1316	E550	21 52 82		LXI	H, NR6	
1317	E553	73		MOV	R, E	
1320	E554	73		INX	H	
1321	E555	72		MOV	R, D	NR6=6*RR
1322	E556	09		RET		
1323	E557	00		DB	00H	
1324				*UYPOCFI KONSTANT LDI 11H		
1325	E558	21 84 7C		LXI	H, NR6	
1326	E55B	5E		MOV	F, R	
1327	E55C	1D		DCR	E	
1330	E560	16 00		MOV	D, 00H	
1331	E561	21 03 00		LXI	H, 0003H	
1332	E562	0D F8 4C		CALL	HULMH	
1333	E565	21 EB 7C		LXI	H, NR631	
1334	E568	73		MOV	R, E	NR631=3*(NR6-1)
1335	E569			DB	02H	
1336	E56B	21 84 7C		LXI	H, NR6	
1337	E56E	5E		MOV	F, R	
1340	E56F	6B		MOV	L, E	
1341	E570	1D		DCR	E	
1342	E571	26 00		MOV	H, 00H	
1343	E573	0D F8 4C		CALL	HULMH	
1344	E576	2E 02		MOV	L, 002H	
1345	E578	0D 33 4D		CALL	DIVMH	
1346	E57B	1D		DCR	E	
1347	E57C	2E 03		MOV	L, 03H	
1350	E57E	0D F8 4C		CALL	HULMH	NR631=3*(NR6*(NR6-1)/(2-1))+3
1351	E581	FB		XCHG		
1352	E582	22 17 7D		SHLD	R3ULDS	
1353	E585	11 80 7E		LXI	D, ULH	
1354	E588	19		DAD	D	
1355	E589	22 ED 7C		SHLD	R3ULH	
1356	E58C	09		RET		
1357				*NASTAVENI DELKY VSTUP. VEKTORI LDF11H		
1360	E58D	21 56 82		LXI	H, RRR	
1361	E590	5E		MOV	E, R	
1362	E591	21 84 7C		LXI	H, NR6	
1363	E594	73		MOV	R, E	
1364	E595	09		RET		
1365	E596	00		DB	00H	
1366				*NASTAVENI DELKY VSTUP. VEKTORI LDF11H		
1367	E597	21 58 82	NR6NR6=	LXI	H, NR6	
1370	E59A	5E		MOV	E, R	
1371	E59B	21 84 7C		LXI	H, NR6	
1372	E59E	73		MOV	R, E	
1373	E59F	09		RET		
1374	E5A0			DB	04H	
1375				*RUI GUANI DYP (1)		
1376	E5A4	21 83 7C		LXI	H, RR	
1377	E5A7	4E		MOV	C, R	
1400	E5A8	0D		DCR	C	
1401	E5A9	21 60 82		LXI	H, DYP	

1402	E5AC	06 00		RUI	Ry	00H
1403	E5AE	11 00 00		LXI	Dy	0000H
1404						
1405	E5B1	01 A4 46	‡	CALL		FTSXH
1406	E5B4	01	(Z005)	DCR		C
1407	E5B5	02 B1 E5		JNZ		CZ005
1410	E5B8	09		RET		
1411	E5B9	00		DB		00H
1412			‡	‡PREFSUN	DYP(D)	DO VSTUF, Vektoru LDI ILL
1413	E5BA	21 60 82		LXI	Hy	DYP
1414	E5BD	22 FB 8B		SHLD		J3
1415	E5C0	11 EB 7F		LXI	Dy	DALI
1416	E5C3	2A 52 82		LHLD		NR6
1417	E5C6	19		DAD		D
1420	E5C7	22 FF 8B		SHLD		J3
1421	E5CA	21 B3 7C		LXI	Hy	RR
1422	E5CD	4E		MOV	Cy	R
1423	E5CE	01		DCR		C
1424			‡			
1425	E5CF	05	(Z006)	PUSH		R
1426	E5D0	2A FB 8B		LHLD		J3
1427	E5D3	01 96 46		CALL		F11 XH
1430	E5D6			DB		03H
1431	E5D9	22 FB 8B		SHLD		J3
1432	E5DC	2A EF 8B		LHLD		J3
1433	E5DF	01 A4 46		CALL		FTSXH
1434	E5E2	22 FF 8B		SHLD		J3
1435	E5E5	01		POP		R
1436	E5E6	01		DCR		C
1437	E5E7	02 CF E5		JNZ		CZ006
1440	E5FA	09		RET		
1441			‡	‡INKREMENTACE		J3
1442	E5FB	2A FB 8B		LHLD		J3
1443	E5FE	23		INX		H
1444	E5FF	23		INX		H
1445	E5F0	23		INX		H
1446	E5F1	22 FB 8B		SHLD		J3
1447	E5F4	09		RET		
1450	E5F5	00		DB		00H
1451			‡	‡INKREMENTACE		J3
1452	E5F6	2A EF 8B		LHLD		J3
1453	E5F9	23		INX		H
1454	E5FA	23		INX		H
1455	E5FB	23		INX		H
1456	E5FC	22 EF 8B		SHLD		J3
1457	E5FF	09		RET		
1460	E600	00		DB		00H
1461			‡	‡INKREMENTACE		L3
1462	E601	2A 50 82		LHLD		L3
1463	E604	23		INX		H
1464	E605	23		INX		H
1465	E606	23		INX		H
1466	E607	22 50 82		SHLD		L3
1467	E60A	09		RET		
1470	E60B	00		DB		00H
1471			‡	‡INKREMENTACE		J3

1472	E60C	2A	EF	8B	LHLD	J3		
1473	E60F	2B			DCX	H		
1474	E610	2B			DCX	H		
1475	E611	2B			DCX	H		
1476	E612	22	EF	8B	SHLD	J3		
1477	E615	09			RET			
1500	E616	00			DB	00H		
1501					#DECREMENTACE	10		
1502	E617	2A	BF	00	LHLD	10		
1503	E61A	2B			DCX	H		
1504	E61B	2B			DCX	H		
1505	E61C	2B			DCX	H		
1506	E61D	22	BF	00	SHLD	10		
1507	E620	09			RET			
1510	E621	00			DB	00H		
1511					#DECREMENTACE	13		
1512	E622	2A	FB	8B	LHLD	13		
1513	E625	2B			DCX	H		
1514	E626	2B			DCX	H		
1515	E627	2B			DCX	H		
1516	E628	22	FB	8B	SHLD	13		
1517	E62B	09			RET			
1520	E62C	00			DB	00H		
1521					#DECREMENTACE	102		
1522	E62D	2A	FD	7C	LHLD	102		
1523	E630	2B			DCX	H		
1524	E631	2B			DCX	H		
1525	E632	2B			DCX	H		
1526	E633	22	FD	7C	SHLD	102		
1527	E636	09			RET			
1530	E637	00			DB	00H		
1531					#START LDFILL			
1532	E638	21	84	7C	LXI	H, BRV		
1533	E63B	4F			MOV	C, H		
1534	E63C	21	00	00	LXI	H, 0000H		
1535	E63F	22	FB	8B	SHLD	J3		
1536					#			
1537	E642	21	83	7D	LXI	H, BULK5		
1540	E645	0D	96	46	CALL	FTLXH		
1541	E648	05			PUSH	D		
1542	E649	11	63	7D	LXI	D, BULK		
1543	E64C	2A	FB	8B	LHLD	J3		
1544	E64F	19			DAD	D		
1545	E650	03			POP	D		
1546	E651	0D	84	46	CALL	FTSXHF		#BULK(13)-BULK5
1547	E654	11	EB	7F	LXI	D, BULK		
1550	E657	2A	FB	8B	LHLD	J3		
1551	E65A	19			DAD	D		
1552	E65B	11	00	00	LXI	D, 0000H		
1553	E65E	06	00		MOV	B, 00H		
1554	E660	0D	84	46	CALL	FTSXHF		#BULK(30)-0,0
1555	E663	0D	EB	E5	CALL	INXJ3		
1556	E666	0D			DCR	C		
1557	E667	02	47	E6	JNZ	CY501		
1560	E66A	2A	17	7D	LHLD	BULK5		
1561	E66D	22	EF	8B	SHLD	J3		

1562	E670	06 00		HVJ	Hv	00H	
1563							
1564	E672	11 80 7E	CVJ12	LXI	Dv	UJH	
1565	E675	26 EF 8B		LHLD	J3		
1566	E678	19		DAD	D		
1567	E679	11 00 00		LXI	Dv	0000H	
1570	E67C	0D 64 46		CALL	F15XH5		F15H(C3)=0,0
1571	E67E	0D 0C E6		CALL	DCXJ3		
1572	E682	7C		MOV	Av	H	
1573	E683	67		MOV	A	A	
1574	E684	F2 72 E6		JP	CVJ12		
1575	E687	09		RET			
1576	E688			DS	0BH		
1577			MOVPCET	PREDEKCL	DYPCD		
1600	E693	21 83 7C		LXI	Hv	RR	
1601	E696	4E		MOV	Cv	H	
1602	E697	0B		DCR	C		
1603	E698	21 FD 8B		LXI	Hv	11	
1604	E69B	71		MOV	Hv	C	
1605	E69C	11 00 00		LXI	Dv	0000H	
1606	E69E	06 00		HVJ	Hv	00H	
1607	E6A1	0D 09 51		CALL	SEUZX5		F105=0
1610	E6A4	11 80 7E		LXI	Dv	UJH	
1611	E6A7	26 52 82		LHLD	RR6		
1612	E6A9	19		DAD	D		
1613	E6AB	22 FB 8B		SHLD	J3		
1614	E6AE	21 80 7E		LXI	Hv	UJH	
1615	E6B1	22 EF 8B		SHLD	J3		
1616	E6B4	21 EB 7E		LXI	Hv	DADH	
1617	E6B7	23		JRX	H		
1620	E6BB	23		JRX	H		
1621	E6B9	23		JRX	H		
1622	E6BB	22 50 82		SHLD	L3		
1623							
1624	E6BD	26 FB 8B	OPAK1	LHLD	J3		
1625	E6C0	0D 40 59		CALL	SEUZH5		F=C(C+1)
1626	E6C3	26 EF 8B		LHLD	J3		
1627	E6C6	0D 40 59		CALL	SEUZH5		F=C(C)
1630	E6C9	0D 30 51		CALL	ADUHZ5		F4
1631	E6CC	26 50 82		LHLD	L3		
1632	E6CF	0D 40 59		CALL	SEUZH5		F1Y(K-1)
1633	E6D2	0D 50 51		CALL	HULUZ5		F8
1634	E6D5	0D 10 51		CALL	SUBUZ5		F7
1635	E6D8	0D EB E5		CALL	JRXJ3		
1636	E6DB	0D F6 E5		CALL	JRXJ3		
1637	E6DE	0D 01 E6		CALL	JRXJ3		
1640	E6E1	21 FD 8B		LXI	Hv	11	
1641	E6E4	4E		MOV	Cv	H	
1642	E6E5	0D		DCR	C		
1643	E6E6	71		MOV	Hv	C	
1644	E6E7	02 8D E6		JRZ	OPAK3		
1645	E6EA	21 83 7C		LXI	Hv	RR	
1646	E6ED	4E		MOV	Cv	H	
1647	E6EE	21 FD 8B		LXI	Hv	11	
1650	E6F1	71		MOV	Hv	C	
1651	E6F2	11 80 7E		LXI	Dv	UJH	

1652	E6F5	2A EF 7C		LHD	RR3	
1653	E6F8	19		DAD	D	
1654	E6F9	22 FB 8B		SHLD	13	
1655	E6FC	11 EB 7F		LXT	D, DAD	
1656	E6FE	2A EF 7C		LHD	RR3	
1657	E707	19		DAD	D	
1660	E703	22 FB 8B		SHLD	13	
1661						
1662	E706	2A FB 8B	OPAK2:	LHD	13	
1663	E709	01 40 59		CALL	SEUZH4	13(C-1)
1664	E70C	2A EF 8B		LHD	13	
1665	E70F	01 40 59		CALL	SEUZH4	13(C-1)
1666	E712	01 50 51		CALL	SRUZH3	13
1667	E715	01 10 51		CALL	SBUZH3	13
1670	E718	01 EB E5		CALL	TRX13	
1671	E71B	01 F6 E5		CALL	TRX13	
1672	E71E	21 FD 8B		LXT	H, D	
1673	E721	4E		MOV	C, H	
1674	E722	00		DCR	C	
1675	E723	71		MOV	H, C	
1676	E724	C2 06 E7		JRZ	OPAK2	
1677	E727	21 83 7C		LXT	H, RR	
1700	E72A	4E		MOV	C, H	
1701	E72B	00		DCR	C	
1702	E72C	21 FD 8B		LXT	H, D	
1703	E72F	71		MOV	H, C	
1704	E730	11 80 7E		LXT	D, DLD	
1705	E733	2A 52 82		LHD	RR6	
1706	E736	19		DAD	D	
1707	E737	22 FB 8B		SHLD	13	
1710	E73A	21 60 82		LXT	H, DYP	
1711	E73D	22 EF 8B		SHLD	13	
1712						
1713	E740	2A FB 8B	OPAK3:	LHD	13	
1714	E743	01 40 59		CALL	SEUZH4	13(C-1)
1715	E746	2A EF 8B		LHD	13	
1716	E749	01 40 59		CALL	SEUZH4	13(C-1)
1717	E74C	01 50 51		CALL	SRUZH3	13
1720	E74F	01 10 51		CALL	SBUZH3	13
1721	E752	01 EB E5		CALL	TRX13	
1722	E755	01 F6 E5		CALL	TRX13	
1723	E758	21 FD 8B		LXT	H, D	
1724	E75B	4E		MOV	C, H	
1725	E75C	00		DCR	C	
1726	E75D	71		MOV	H, C	
1727	E75E	C2 40 E7		JRZ	OPAK3	
1730	E761			DS	OSH	
1731	E764	05		PUSH	D	
1732	E765	05		PUSH	E	
1733	E766	21 83 7C		LXT	H, RR	
1734	E769	4E		MOV	C, H	
1735	E76A	00		DCR	C	
1736	E76B	21 60 82		LXT	H, DYP	
1737	E76E	01 7F 53		CALL	SRRS4	13(ARRGUE) DYP(C-1)
1740	E771	21 60 82		LXT	H, DYP	
1741	E774	01		POP	B	

1742	E775	01	POP	D	
1743	E776	01 84 46	CALL	F13XHY	FBI OZERN JCF CR 17
1744	E779	01 90 51	CALL	JRSPU	
1745	E776	69	REF		
1746			END		

SYMBOL TABLE LISTING

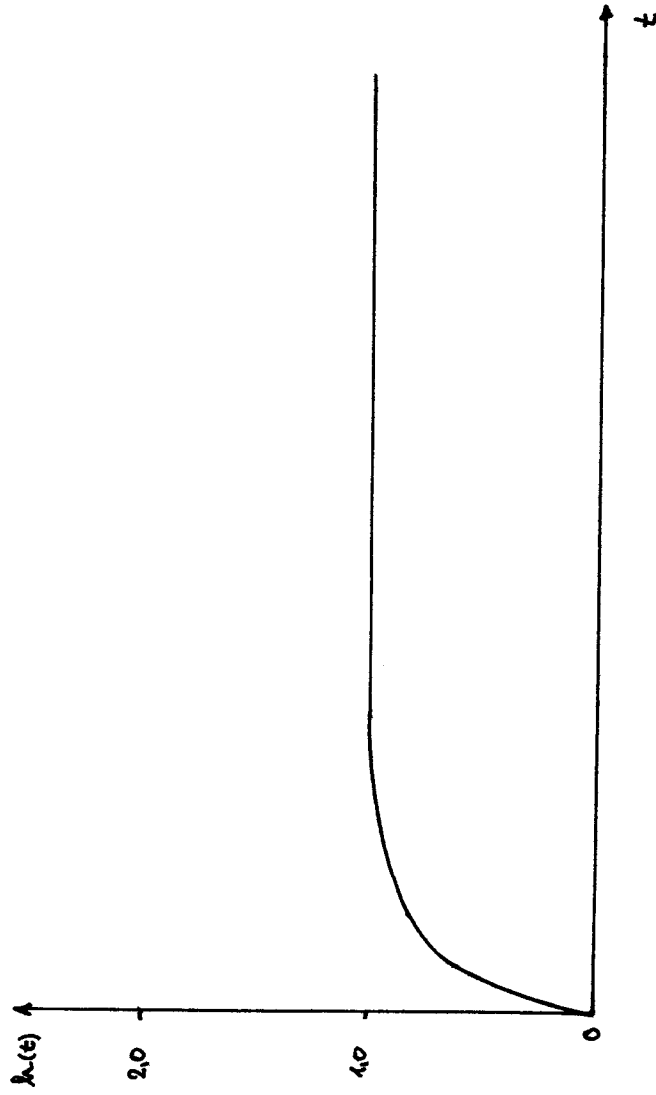
PC	E770
RUI D15	00F4
RASKU	0048
CI	006A
FTLXH	4696
FTSXH	46A4
RULMH	40FB
DIVMH	40C8
OASNP	4824
SEUZX	5100
SUBUZ	5110
ADDUZ	5130
MULUZ	5150
DIVUZ	5170
INSPU	5190
CRLF	51B0
SNRS	537F
SEUZHL	59A0
DIVTN	59B0
DUFUZ	59E0
SUBTN	59F0
LOHLUZ	5990
PRIKAZ	6C60
KURZOR	6CF2
NULCDI	704F
SIG	7CF7
TISK	9318
CRLK	9500
IDNT	E100
I00	E11C
I01	E141
I10	E166
I11	E189
I0ST	E1AA
LDFIL	E1F0
VYPAZG	E430
TISKLD	E480
ADRBC	E4CE
KVEK	E50F
KLDF	E558
NRVNRK	E58D
NRVNRD	E597
ZERDYP	E5A4
SUNDYP	E5BA
INX13	E5EB
INXJ3	E5F6
INXL3	E601
DCXJ3	E60C
DCXIW	E617
DCXI3	E622
DCXIW2	E62D
STLDF	E638
VYPDYP	E693
DULD	7D63
ULD	7E80

DALD	7FE8
YJ	7CBE
DUJ	7CD3
GLD	8018
DYP	8260
AZG	8280
NR	7C83
NRV	7C84
NRV31	7CEB
M3ULD	7CED
NR3	7CEF
XW	7CF1
FRG	7CF4
IW2	7CFD
M3ULDS	7D17
PDY	7D19
PY	7D1C
DULDS	7DB3
UZ	8BE0
J2	8BED
J3	8BEF
IW	08BF
STAV	8BF3
IKR	8BF4
KR	8BF5
IW1	8BF7
JW1	8BF8
I3	8BFB
II	8BFD
SPU	8BF6
L3	8250
NR6	8252
NRK	8256
NRD	8258
ADRB	8270
ADRC	8272
CZ009	E028
CZ010	E040
NAST2B	E05A
IP00	E070
IP01	E08A
IP10	E0B0
IP11	E0C3
HOP	E0EE
IEND	E1C3
CY513	E266
CY514	E283
N507	E2BF
CY515	E384
N508	E406
CZ001	E453
CZ003	E488
CZ002	E4BF
CZ005	E5B1
CZ006	E5CF
CY511	E642

CY512 E672
OPAK1 E6BD
OPAK2 E706
OPAK3 E740
JSA INTEL END OF ASSEMBLY

Diskrétní růst
přechodové charakteristiky

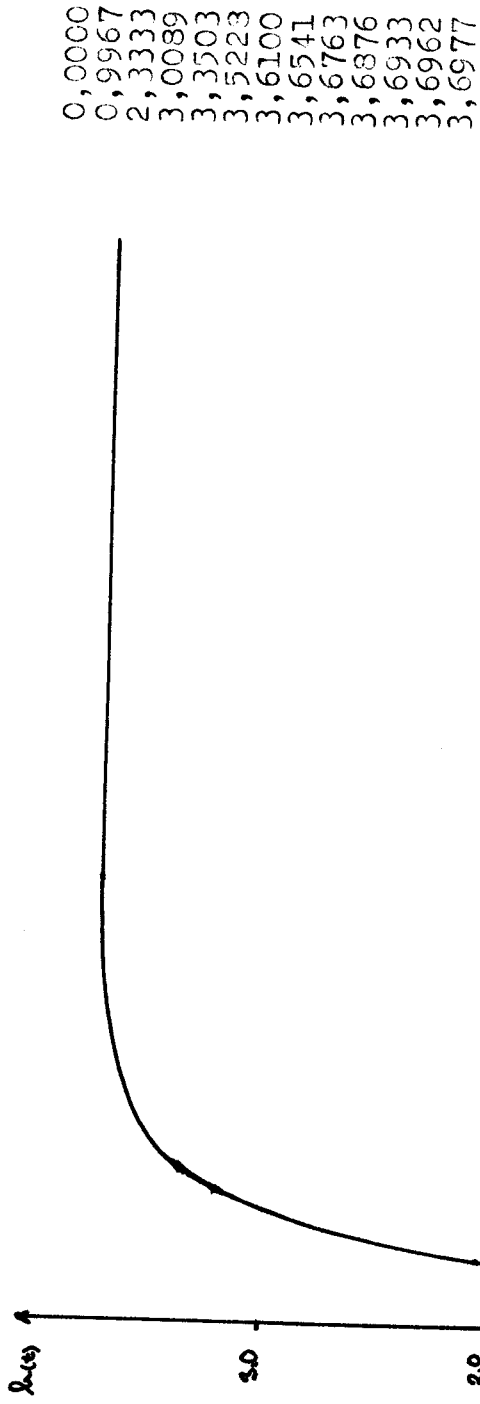
0,0000
0,5000
0,7500
0,8750
0,9375
0,9688
0,9844
0,9922
0,9961
0,9990
0,9999



Příloha II Přechodová charakteristika namodelované soustavy

Diskrétní růst

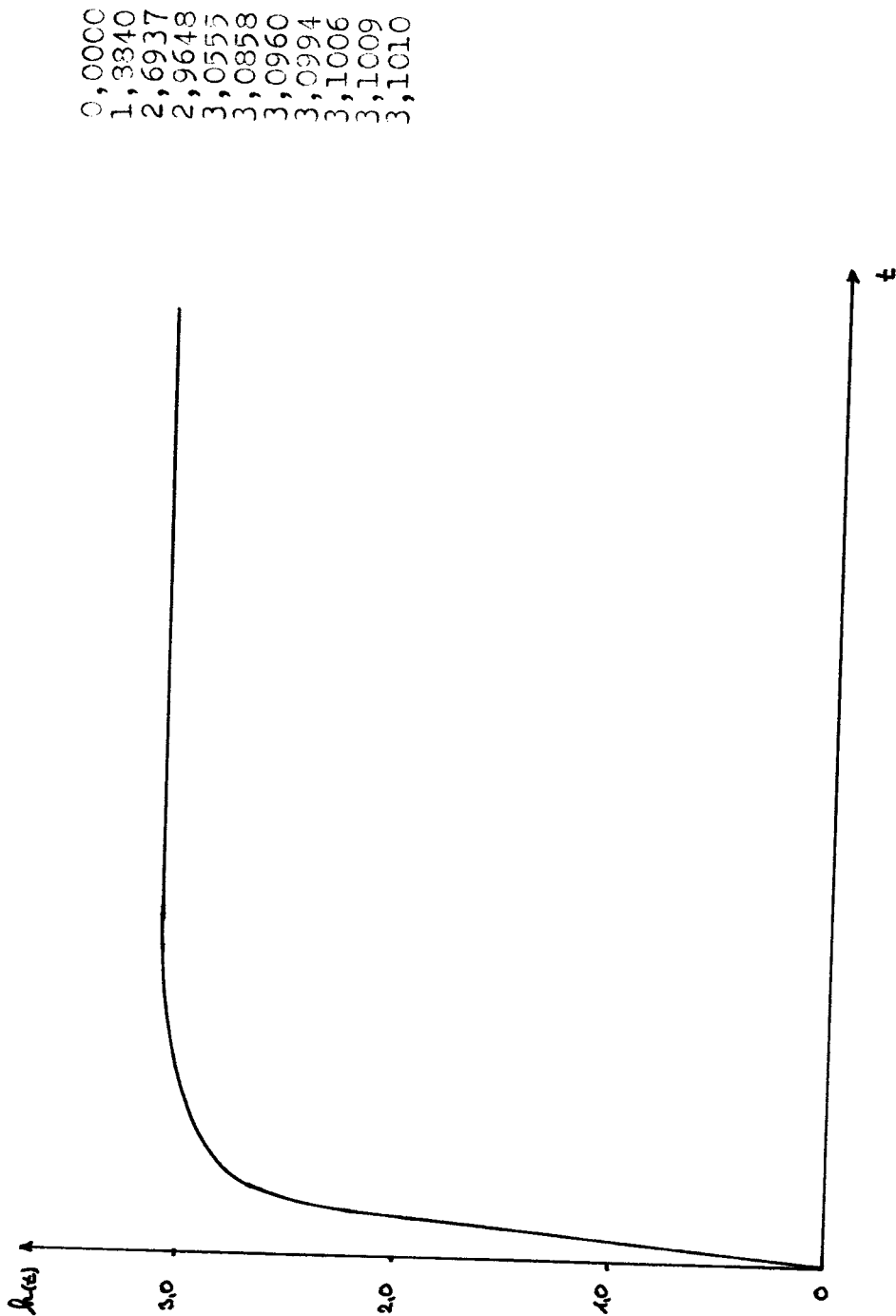
přechodové charakteristiky



Příloha III Přechodová charakteristika odhadnuté soustavy (regresní model)

Diskrétní růst

přechodové charakteristiky



Příloha IV Přechodová charakteristika odhadnuté soustavy (ARMA model)