

TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC

Fakulta strojní

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Radomíra KAMLER

obor 23-40-0 Automatizované systémy řízení ve strojírenství

Vedoucí katedry VŠM ve strojírenství z. 172/1993 Sb. a výzkumný
školák určuje tuto diplomovou práci:

Radomír Kamler

Identifikace spojitých soustav pomocí zvolených obrazových přenosů.

Diplomová práce

1996.

Fakulta strojní

Katedra technické kybernetiky

Školní rok: 1995/96

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Radomíra KAMLERA

obor 23-40-8 Automatizované systémy řízení ve strojírenství

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

Identifikace spojitých soustav pomocí zvolených obrazových přenosů

Zásady pro vypracování:

Vypracujte programový produkt, umožňující:

1. Odhad parametrů zvolených obrazových přenosů pro skokové změny akční veličiny podle zvoleného kritéria.
2. Výběr parametrů realizujte:
 - a) prohledávání,
 - b) gradientní metodou,
 - c) nebo jenom vhodnou metodou.
3. Vypracujte "Manuál" k programu.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Univerzitní knihovna

Voroněžská 1329, Liberec 1

PSČ 461 17

KKY/ASR

65A, 1s. příl., 1 vol. př.
(DISKETTA)

11/101/96 S

+ DISKETTA

TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC

Fakulta strojní

Obor 23-40-08

Automatizované systémy řízení výrobních
procesů ve strojírenství

zaměření:

Automatizace inženýrských prací

Katedra technické kybernetiky

Identifikace spojitých soustav pomocí zvolených obrazových přenosů

Radomír Kamler

Vedoucí práce: Doc. Ing. Osvald Modrlák, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran.....52

Počet příloh.....2

Počet obrázků.....2

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC

Fakulta strojní

Katedra technické kybernetiky

Školní rok :1995/96

Obor :Automatizace inženýrských prací

Diplomant :Radomír Kamler

Vedoucí DP :Doc. Ing. Osvald Modrlák, CSc.

Stručný obsah diplomové práce:

Úkolem této diplomové práce bylo vypracovat programový produkt umožňující Off-line identifikaci spojitých soustav z naměřených datových souborů.

Program umožňuje několika metodami zjišťovat odhad parametrů zvoleného matematického modelu (obrazového přenosu). V programu je možno provádět jak spojitou tak i diskrétní identifikaci. Výběr optimálních parametrů je realizován dvěmi metodami :

-prohledáváním zvoleného intervalu s
určeným krokem

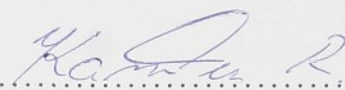
- gradientní metodou

a to pro kritérium minima čtverců odchylek naměřené a spočtené přechodové charakteristiky.

Místopřísežné prohlášení:

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

V Liberci, 20.5.1996

..........

Radomír Kamler

OBSAH

1. Úvod.....	str. 8
2. Teorie identifikace systémů.....	str. 10
2.1 Struktura dynamického systému.....	str. 10
2.2 Výpočet přechodové charakteristiky pro skokovou akční veličinu.....	str. 12
2.3 Aproximace změřené přechodové charakteristiky zvoleným obrazovým přenosem...	str. 14
2.4 Diskrétní identifikace.....	str. 16
2.5 Simulace chování matematického modelu na vstupující akční a poruchovou veličinu.....	str. 18
2.5.1 Piercův algoritmus.....	str. 18
2.5.2 Metoda RUNGE-KUTTA.....	str. 18
2.6 Výklad algoritmu diskrétní identifikace - LD-filtr.....	str. 19
3. Popis programu.....	str. 22
3.1 Doporučený postup identifikace.....	str. 23
3.1.1. Měření reakcí dynamického systému na budící signál.....	str. 23
3.1.2. Načtení změřených veličin do programu..	str. 23
3.1.3. Výpočet přechodové charakteristiky.....	str. 24
3.1.4. Identifikace.....	str. 24
3.1.5. Simulace.....	str. 25
3.1.6. Schéma postupu identifikace.....	str. 25
3.2 Popis pracovního prostředí.....	str. 27

3.2.1 Definování struktury datového souboru.....	str. 30
3.2.2 Výpočet přechodové charakteristiky.....	str. 31
3.2.3 Diskrétní identifikace	str. 32
3.2.4 Spojitá identifikace.....	str. 34
3.2.5 Simulace.....	str. 35
3.3 Popis definovaných přechodových charakteristik pro spojitou identifikaci.....	str. 37
3.3.1 Přenosy, kde čítec je konstanta.....	str. 37
3.3.2 Přenosy, kde čítec je polynom.....	str. 39
3.3.3 Přenosy s astatismem 1. řádu.....	str. 42
4. Provozní podmínky.....	str. 44
4.1 Instalace.....	str. 44
4.2 Softwarové požadavky.....	str. 44
4.3 Hardwarové požadavky.....	str. 45
4.4 Omezení programu.....	str. 46
5. Řešení dílčích úkolů.....	str. 47
5.1 Spojitá simulace základního schématu.....	str. 47
5.2 Diskrétní simulace základního schématu.....	str. 49
6. Závěr.....	str. 51
Literatura.....	str. 52

1. Úvod

Prudký rozvoj číslicové výpočetní techniky v posledních desetiletích umožnil její nasazování do oblastí automatizace a řízení výrobních procesů. Stále zvyšování výkonů řídicích systémů a snižování jejich cen umožňuje jejich nasazení v téměř každé oblasti lidské činnosti. Výrazným rozšířením počítačů třídy PC a zvýšením jejich výpočetního výkonu se vytvořily předpoklady pro implementaci CAD, CAPP systémů i na těchto počítačích. Rozvoj v oblasti návrhu řídicích algoritmů, identifikace a simulace chování dynamických systémů byl podmíněn nasazením této techniky, protože řešení většiny těchto problémů vyžaduje vysokou náročnost z hlediska počtu numerických výpočtů hlavně při vyšších objemech zpracovávaných dat.

Pro usnadnění řešení těchto problémů s náročnými matematickými výpočty byly vyvinuty profesionální softwarové balíky jako jsou např: Matlab, MathCad, Matematika ..., které mají nejen hodně velice příjemných vlastností jako jsou veliká univerzálnost při řešení problémů z různých oblastí, profesionálně propracovaný styk s uživatelem, velký výběr algoritmů řešení, propracované výstupy a v neposlední řadě možnost řešení matematických rovnic v obecném tvaru, ale také vlastnosti se kterými se uživatel musí nějakým způsobem vypořádat jako jsou vysoká náročnost na operační paměť počítače, nároky na diskový prostor a procesor, složitost systému plynoucí z jeho univerzálnosti (uživatel musí zvládnout určité dovednosti před tím než přistoupí k řešení vlastního problému) a v neposlední řadě vysoká cena těchto univerzálních

programových balíků. Tento software je běžně dostupný na trhu a v každém případě je žádoucí, aby každá instituce zabývající se návrhem a výzkumem řídicích algoritmů tento software využívala. Ale někdy se může ukázat, že pro řešení některých konkrétních problémů není tento software nejvýhodnější. Pak se většinou přistupuje k vyvinutí vlastního softwaru pro řešení konkrétního problému popř. se doplní knihovny softwarových balíků o další funkce.

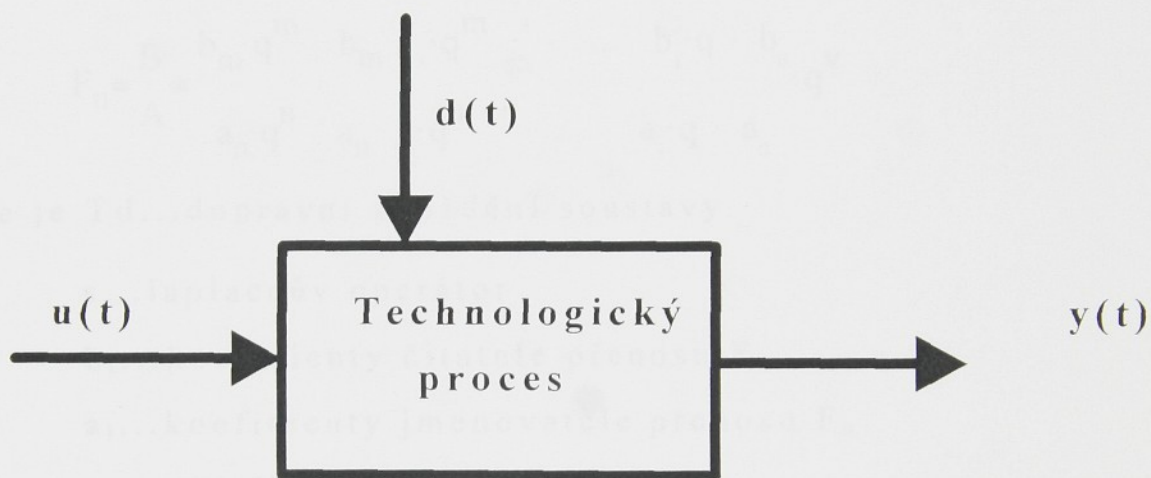
Úlohou mé diplomové práce je vypracovat programový produkt, který by se zaměřil na problematiku identifikace dynamických systémů a ověření její správnosti jak v diskrétní tak i ve spojité oblasti.

2. Teorie identifikace systémů

2.1 Struktura dynamického systému

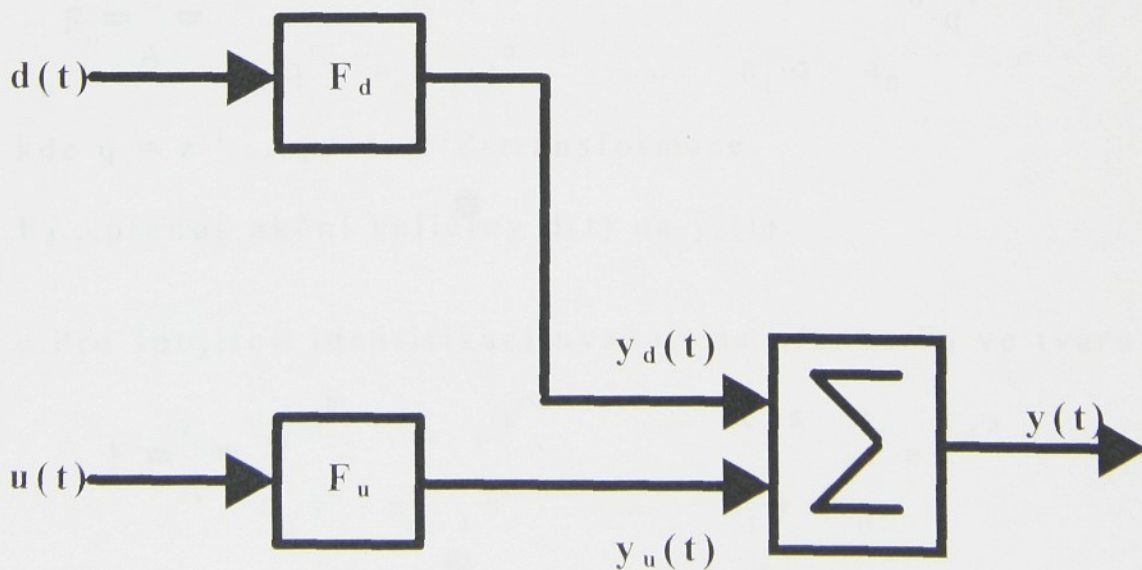
Pro náš případ uvažujeme spojitý technologický proces s jednou akční veličinou $u(t)$ a poruchovou veličinou $d(t)$. Na výstupu ze systému se nám pak objeví výstupní veličina $y(t)$.

Schema soustavy:



obr. 1

Pro potřebu analýzy dynamického systému pak schéma dle obr.1 nahrazujeme touto strukturou:



obr. 2

kde:

$y(t)$...výstupní veličina, $y(t) = y_u(t) + y_d(t)$.

$u(t)$...vstupní akční veličina změřená na vstupu technologického procesu s periodou vzorkování T .

$d(t)$...vstupní poruchová veličina změřená na vstupu technologického procesu s periodou vzorkování T .

F_u ...přenos akční veličiny $u(t)$ na $y_u(t)$.

a. Pro spojitou identifikaci uvažujeme přenos F_u ve tvaru:

$$F_u = \frac{B}{A} = \frac{b_m \cdot q^m + b_{m-1} \cdot q^{m-1} + \dots + b_1 \cdot q + b_0}{a_n \cdot q^n + a_{n-1} \cdot q^{n-1} + \dots + a_1 \cdot q + a_0} \cdot q^v$$

kde je Td ...dopravní zpoždění soustavy

s ...laplaceův operátor

b_i ...koeficienty čitatele přenosu F_u

a_i ...koeficienty jmenovatele přenosu F_u

m ...řád čitatele přenosu F_u , $m < n$

n ...řád jmenovatele přenosu F_u .

b. Pro diskrétní identifikaci uvažujeme přenos F_u ve tvaru:

$$F_u = \frac{B}{A} = \frac{b_m \cdot q^m + b_{m-1} \cdot q^{m-1} + \dots + b_1 \cdot q + b_0}{a_n \cdot q^n + a_{n-1} \cdot q^{n-1} + \dots + a_1 \cdot q + a_0} \cdot q^v$$

kde $q = z^{-1}$...operátor Z-transformace.

F_d ...přenos akční veličiny $d(t)$ na $y_u(t)$.

c. Pro spojitou identifikaci uvažujeme přenos F_d ve tvaru:

$$F_d = \frac{C}{A} = \frac{c_m \cdot s^m + c_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot s + a_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

kde je Td ...dopravní zpoždění soustavy

s...laplaceův operátor

c_i ...koeficienty čitatele přenosu F_d

a_i ...koeficienty jmenovatele přenosu F_d

m ...řád čitatele přenosu F_d , $m < n$

n ...řád jmenovatele přenosu F_d .

d.Pro diskrétní identifikaci uvažujeme přenos F_d ve tvaru:

$$F_d = \frac{C}{A} = \frac{c_m \cdot q^m + c_{m-1} \cdot q^{m-1} + \dots + c_1 \cdot q + c_0}{a_n \cdot q^n + a_{n-1} \cdot q^{n-1} + \dots + a_1 \cdot q + a_0} \cdot q^{v_d}$$

kde $q = z^{-1}$...operátor Z-transformace.

Laplaceův obraz výstupu má tvar :

$$Y(s) = \frac{B(s)}{A(s)} \cdot U(s) + \frac{C(s)}{A(s)} \cdot D(s) = F_u \cdot U + F_d \cdot D$$

V Z-transformaci diskretizací spojitě části dostaneme obraz diskrétní výstupní veličiny ve tvaru :

$$Y(q) = q^{v_d} \cdot \frac{B(q)}{A(q)} \cdot U(q) + \frac{C(q)}{A(q)} \cdot q^{v_d} \cdot D(q)$$

2.2 Výpočet přechodové charakteristiky pro skokovou akční veličinu:

Předpokladem pro správnou identifikaci z přechodových charakteristik je jejich co nejpřesnější výpočet. Nelze správně určit přechodovou charakteristiku, jestliže byly provedeny skoky na akční veličině v neustáleném stavu soustavy.

Zjišťování vlastností dynamických systémů z přechodové charakteristiky je často využíváno hlavně tam,

kde lze poměrně snadno realizovat vstupní signál jako skok. Při tomto způsobu určování dynamiky přechodové charakteristiky musí být soustava před změnou akčního signálu v ustáleném stavu a signál se nesmí měnit až do ustálení. Vstupují-li do soustavy ještě další signály je třeba udržovat je na konstantní hodnotě po celou dobu měření. Vhodné je měření několikrát opakovat a výslednou přechodovou charakteristiku potom spočítat průměrováním dle

některého ze vzorců :

$$f_i = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=1}^M \frac{y_{i,k}}{du_k} \quad (2.2 - 1)$$

kde **M**...počet opakovaných měření reakce soustavy na obecně nestejné změny akční veličiny.

f_i...velikost pořadnice přechodové charakteristiky v čase $t = i \cdot dT$, kde dT je perioda vzorkování.

y_{i,k}...velikost odezvy soustavy na akční veličinu v i-tém intervalu vzorkování při k-tém skoku.

du_k...velikost skokové změny akční veličiny při k-tém měření přechodové charakteristiky

i...pořadí vzorkovaných hodnot přechodové charakteristiky v k-tém měření.

Vzorec (2.2 - 1) je vhodný pro případy, kdy se velikosti změn vstupního signálu navzájem příliš od sebe neliší. Pro případ značně odlišných změn vstupního signálu se lépe hodí vzorec :

$$f_i = \frac{1}{M} \cdot \frac{\sum_{k=1}^M y_{i,k} \cdot du_k}{\sum_{k=1}^M du_k^2}$$

kde se s každým měřením přesnost výsledku zlepšuje.

2.3 Aproximace změřené přechodové charakteristiky zvoleným obrazovým přenosem:

Velmi často je potřebné získané chování dynamického systému v podobě přechodové charakteristiky převést do tvaru obrazového přenosu. Pro správné určení přenosu soustavy nám slouží změřená a zprůměrovaná přechodová charakteristika (viz. 2.1). Předpokládejme, že identifikovaná soustava je lineární.

Přenos soustavy v obecném tvaru pak můžeme vyjádřit jako :

$$F(s) = \frac{B}{A} = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot s + a_0} \cdot e^{-T_d \cdot s} \quad (2.3 - 1)$$

Přechodová charakteristika s tímto přenosem je obecně dána vztahem:

$$h(t) = c_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_i(t) \cdot e^{p_i \cdot t}, \quad \sum_{i=1}^k r_i = n \quad (2.3 - 2)$$

kde $c_i(t)$ jsou polynomy t

r_i je násobnost pólu p_i

Pro zjednodušení výpočtů přechodových charakteristik a také z důvodu, že většinu v praxi se vyskytujících soustav lze aproximovat určitými typy přechodových charakteristik nahrazujeme skutečný přenos soustavy přenosem např. soustavy prvního řádu:

$$F(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} \quad (2.3 - 3)$$

kde je T ...časová konstanta soustavy

k ...zesílení soustavy

Hodnoty parametrů přenosu (respektive náhradní přechodové charakteristiky) pak určíme minimalizací součtu kvadrátů rozdílů mezi hodnotami identifikované přechodové charakteristiky ve vybraných okamžicích a hodnotami aproximované přechodové charakteristiky dle vzorce:

$$e_k = h_k - h_{km} \quad (2.3 - 4)$$

$$\sum_{k=0}^n e_k^2 = \sum_{k=0}^n (h_k - h_{km})^2 \longrightarrow \min \quad (2.2 - 5)$$

kde e_k ...rozdíl naměřené a aproximované přechodové charakteristiky v čase $k \cdot T_d$.

h_k ...hodnota naměřené přechodové charakteristiky .

h_{km} ... hodnota aproximované přechodové charakteristiky

Vyhledávání optimálních parametrů přechodové charakteristiky dle kritéria (2.2 - 5) provádíme buď prostým prohledáváním intervalů hledaného parametru se zvoleným krokem (pro každou hodnotu parametrů nalezneme hodnotu kvadrátu odchylek a kde je tato hodnota nejnižší tam dostáváme optimum ve zvoleném intervalu) nebo jinou

vhodnou numerickou optimalizační metodou (např. gradientní metodou).

2.4 Diskrétní identifikace

Pod pojmem diskrétní parametrická identifikace rozumíme určení parametrů matematického modelu zvolené struktury (řád soustavy, stupeň polynomu čitatele, ...). Uvažujeme diskrétní matematický model spojité soustavy dle obr.2 za přítomnosti poruchy $d(t)$ pro zvolenou periodu vzorkování dT ve tvaru diferenční rovnice:

$$\sum_{i=0}^n a_i y_{k-i} = \sum_{j=0}^m b_j u_{k-j-v} + \sum_{l=0}^{n_c} c_l d_{k-l-v_d} \quad (2.4 - 1)$$

kde y_k ...diskrétní hodnota výstupu z dynamického systému

u_k ...diskrétní hodnota vstupu do dynamického systému

d_k ...diskrétní hodnota poruchy

a_i ...koeficienty jmenovatele diskrétního přenosu

b_j ...koeficienty čitatele diskrétního přenosu $F_u(q)$

c_l ...koeficienty čitatele diskrétního přenosu $F_d(q)$.

v ...celé kladné číslo vyjadřující dopravní zpoždění

diskrétního přenosu $F_u(q)$ jako celočíselný násobek

peridy vzorkování T , $T_d = (v - 1)T$

v_d ...celé kladné číslo vyjadřující dopravní zpoždění

diskrétního přenosu $F_d(q)$.

Zavedeme-li operátor posunu $y_{k-i} = q^{-i} y_k$, pak diferenční rovnici (2.4 - 1) můžeme zapsat ve tvaru:

$$A(q) \cdot y_k = q^v \cdot B(q) \cdot u_k + q^{v_d} \cdot C(q) \cdot d_k \quad (2.4 - 2)$$

$$A_q = 1 + a_1 q + a_2 q^2 + \dots + a_n q^n$$

$$B_q = 1 + b_1 q + b_2 q^2 + \dots + b_n q^m$$

$$C_q = 1 + c_1 q + c_2 q^2 + \dots + c_n q^{c_n}$$

kde n ...stupeň polynomu $A(q)$

m ...stupeň polynomu $B(q)$

n_c ...stupeň polynomu $C(q)$

Analogicky lze zapsat přírůstkové diferenční rovnice:

$$A_q \Delta y_k = q^v B_q \Delta u_k + q^{v_d} C_q \Delta d_k \quad (2.4 - 2)$$

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

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

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

Pro určení koeficientů matematického modelu je výhodné použít metodu nejmenších kvadrátů odchylek. Kritérium hledání parametrů diferenční rovnice potom bude:

$$J_k = \sum_{j=0}^{k-1} e_j^2 \longrightarrow \min$$

kde $e_j = y_j - y_j^p = \mathbf{x}^T(j) \begin{bmatrix} 1 \\ p \end{bmatrix}$

p ... odhad parametrů prediktoru

y_j^p ... výstup prediktoru v okamžiku j

$\mathbf{x}$... vektor pozorování v tvaru $\mathbf{x}^T(k) = [y_k, y_{k-1}, \dots, y_{k-n}, -u_{k-1}, \dots, -u_{k-m}]$

Při řešení tohoto problému je třeba použít numericky efektivní algoritmus, který i při vyšších objemech dat zajistí krátkou dobu výpočtu i na počítačích třídy PC. Pro naše použití se jako velmi vhodný jeví algoritmus využívající LD - rozklad.

2.5 Simulace chování matematického modelu na vstupující akční a poruchovou veličinu:

Při identifikaci potřebujeme vždy ověřit chování matematického modelu na poruchovou a akční veličinu a porovnat ho se změřenými hodnotami. K tomu nám u diskrétního modelu slouží řešení diferenční rovnice (Piercovým algoritmem, nekonečným dělením...) a spojitého modelu numerické řešení diferenciální rovnice (metoda RUNGE-KUTTA, výpočet integrálu obdélníkovou či lichoběžníkovou metodou).

2.5.1 Piercův algoritmus.

Z rovnice (2.4 - 1) za předpokladu $a_0 = 1$ dostaneme diferenční rovnici :

$$y_k = \sum_{j=0}^m b_j \cdot u_{k-j-1} + \sum_{l=0}^{n_c} c_l \cdot d_{k-1} - \sum_{i=1}^n a_i \cdot y_{k-i} \quad (2.5.1 - 1)$$

kde iteračně postupným dosazováním spočteme y_k pro $k = 1..p$, kde $p = T/T_d$, T ...simulační čas, T_d ...perioda vzorkování.

2.5.2 Metoda RUNGE-KUTTA.

Tato metoda je odvozena z Eulerovy metody řešení diferenciálních rovnic, která je dána rekurentním zápisem:

$$y_{n+1} = y_n + h f(x_n, y_n), n=0,1,\dots,N \quad (2.5.2 - 1)$$

Jedná se o jednoduzlovou metodu , která při výpočtu využívá hodnotu v bodě x_n a hodnoty z_n , h , které jsou o jeden krok zpět a nebere do úvahy vzdálenější uzly. Eulerova metoda využívá při přechodu k dalšímu bodu směrnici tečny což je limitující pro přesnost výpočtu.

Metoda Runge-Kutta je modifikací Eulerovy metody ve smyslu, že pro nalezení směru pro přechod k dalšímu bodu používá Taylorův polynom, který nahrazuje směrnici tečny Eulerovy metody.

Velmi používanou metodou numerického řešení diferenciálních rovnic je čtyřuzlová metoda Runge-Kutta pro svoji jednoduchost a dostatečnou přesnost. Tuto metodu lze matematicky zapsat:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6} \cdot h \cdot (k_1 + 2 \cdot k_2 + 2 \cdot k_3 + k_4)$$

$$k_1 = f(x_0, y_0)$$

$$k_2 = f\left(x_0 + \frac{1}{2} \cdot h, y_0 + \frac{1}{2} \cdot h \cdot k_1\right)$$

$$k_3 = f\left(x_0 + \frac{1}{2} \cdot h, y_0 + \frac{1}{2} \cdot h \cdot k_2\right)$$

$$k_4 = f(x_0 + h, y_0 + k_3)$$

kde h je šířka kroku integrace.

2.6 Výklad algoritmu diskretní identifikace - LD-filtr.

Úkolem diskretní identifikace je provést odhad parametrů diskretního přenosu na základě pozorování

(měření) dynamického systému podle zvoleného kritéria. Pro bodový odhad parametrů diskrétního přenosu (odhad parametrů P_k v okamžiku k) je použita Gaussova metoda nejmenších čtverců, která byla poprvé publikována v roce 1795 a našla široké uplatnění v technických disciplínách.

Kritérium výběru parametrů je:

$$J(p)_k = \sum_{j=0}^{k-1} (\varepsilon_j)^2 \longrightarrow \min. \quad (2.6 - 1)$$

kde

$$\varepsilon_j = y_j - y_j^P \quad (2.6 - 2)$$

$y_j \dots$ je měřený výstup systému v okamžiku j ,

$y_j^P \dots$ je výstup prediktoru v okamžiku j ,

$P \dots$ je odhad parametrů prediktoru.

Další požadavky na diskrétní identifikaci Gaussovou metodou nejmenších čtverců lze shrnout:

1. Je nutno realizovat zapomínání, tj. zajistit aby byla možnost starším hodnotám měření přisuzovat menší váhu a tak se při výpočtu uplatnily hlavně nejnovější měřené hodnoty.
2. Potřeba zajistit průběžné upřesňování odhadů prediktoru na základě dalších naměřených hodnot.
3. Využít apriorních informací o systému.
4. Konečný algoritmus musí být dostatečně rychlý, musí zajišťovat rychlou konvergenci odhadů s malými nároky na operační paměť.

Celé odvození algoritmu LD-filtru využívajícího LD-rozkladu zde neuvádím. Objasnění celé problematiky diskrétní identifikace je rozsáhlé a pro případné zájemce velice dobře popsané v [3]. Zde uvádím pouze výsledné vztahy použité při sestavení numerického algoritmu LD-filtru:

$$f = (L(k-1))^T \cdot x(k)$$

$$D(k)_{ii} = D(k-1)_{ii} \frac{(\sigma_{i+1})^2}{\phi^2 \cdot (\sigma_i)^2}, \quad \text{kde}$$

$$\sigma_i^2 = 1 + \sum_{j=i}^n f_j^2 \cdot D_{jj}$$

$$g_i^{(v)} = g_i^{(v-1)} + D_{vv} \cdot L_{iv} \cdot f_v, \quad \text{kde} \quad g_i^n = D_{nn} \cdot f_n$$

$$L(k)_{ij} = L(k-1)_{ij} - \frac{f_j \cdot g_i^{(j+1)}}{\sigma_{j+1}^2}$$

3. Popis programu.

Při realizaci programu bylo v jedné verzi použito vývojové prostředí DELPHI od firmy Borland. Tento velmi silný vývojový prostředek pro tvorbu programů pro operační systém Microsoft Windows umožňuje vytvořit uživatelsky velmi příjemné programy (tzv. user friendly). Cíl vytvořit program dobře pochopitelný se snadnou obsluhou byl také jedním z prvořadých. Protože se předpokládá využití programu v předmětu TAŘ I, II, koncepce vychází z požadavků studentů a pedagogů s přihlédnutím na co největší srozumitelnost a pochopitelnost.

Programem lze řešit několik typů úloh z čehož vyplývá také členění jeho struktury:

- **Spojité identifikace** - tento modul slouží pro aproximaci přechodové charakteristiky zvoleným matematickým modelem(přenosem soustavy).

- **Diskrétní identifikace** - realizuje identifikaci dynamického systému pomocí algoritmu LD-filtru. Pro zvolené řády diskrétních přenosů hledá optimální koeficienty diferenční rovnice.

- **Simulace** - realizuje diskrétní nebo spojitou simulaci naidentifikovaného matematického modelu na vstupující buzení. Slouží pro porovnání skutečné soustavy s jejím matematickým modelem.

- **Výpočet přechodových charakteristik** - tento modul realizuje výpočet přechodových charakteristik a to buď:

- Průměrováním pro skokové změny akční veličiny.
- Simulací z diskrétní identifikace.

3.1 Doporučený postup identifikace.

Program se dá využívat mnoha způsoby a bude jen na uživateli záležet k čemu ho použije. Přesto však alespoň pro prvotní seznámení s programem zde uvádím doporučený postup, kterým by mohl uživatel postupovat při identifikaci. K tomuto účelu je také na přiložené disketě uloženo několik datových souborů na kterých si může uživatel celý postup vyzkoušet.

Celý postup jsem zapsal v těchto bodech :

3.1.1. Měření reakcí dynamického systému na budící signál

- v tomto okamžiku uživatel měří chování systému s periodou vzorkování T . Je vhodné z hlediska rychlosti identifikace, aby přechodová charakteristika obsahovala 25 - 30 vzorkování (tato podmínka přibližně znamená, že perioda vzorkování by měla být rovna jedné šestině nejdelší časové konstanty identifikovaného systému. Po měření (Off-line) nebo v průběhu měření (On-line) je také vhodné provést odfiltrování poruchových signálů. Měření uložíme do textového souboru, kde jednotlivé sloupce odpovídají měřeným veličinám. Maximální počet měřených veličin podporovaných tímto programem je 4, a to sloupec vstupů $U(t)$, poruch $D(t)$, výstupů $Y(t)$ a sloupec času t .

3.1.2. Načtení změřených veličin do programu - Po spuštění programu zvolíme v menu položku SOUBOR - OTEVŘÍT. Otevře se okno kde určíme jaké položky máme v souboru uloženy a v jakém pořadí. Nastavíme také vzorkovací periodu s jakou bylo měření provedeno.

Po odsouhlasení naší volby se objeví standardní dialogový box, kde vybereme datový soubor určený pro identifikaci.

3.1.3. Výpočet přechodové charakteristiky - Pro případ skokové akční veličiny provedeme výpočet přechodové charakteristiky kliknutím na tlačítko „Přechodová charakteristika“ a pro volbu skokového akčního signálu výpočet provedeme.

V případě, že vstupující signál není skok můžeme pro výpočet přechodové charakteristiky použít nejprve diskrétní identifikace a teprve potom spočítat přechodovou charakteristiku z diskrétního přenosu.

3.1.4. Identifikace.

a. Spojité identifikace - lze ji provést jen v případě, že máme spočtenou přechodovou charakteristiku. Vždy ji lze provádět jen pro jednu větev schématu(buď počítáme přenos F_u nebo F_d). Po kliknutí na tlačítko spojitá identifikace se objeví dialogové okno, kde zvolíme matematický model a parametry podle kterých se naměřená přechodová charakteristika bude aproximovat.

b. Diskrétní identifikace - se provádí dle aktuálního stavu identifikačního schématu a to dle modelů:

$$Y(q) = q^v \cdot \frac{B(q)}{A(q)} \cdot U(q) + \frac{C(q)}{A(q)} \cdot q^{v_d} \cdot D(q) \quad (3.1 - 1)$$

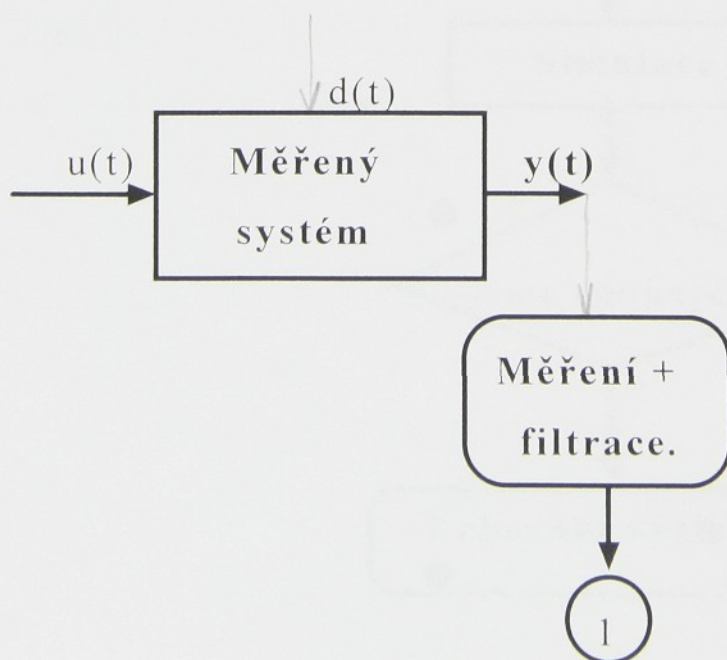
$$Y(q) = q^v \cdot \frac{B(q)}{A(q)} \cdot U(q) \quad (3.1 - 2)$$

$$Y(q) = \frac{C(q)}{A(q)} \cdot q^{v_d} \cdot D(q) \quad (3.1 - 3)$$

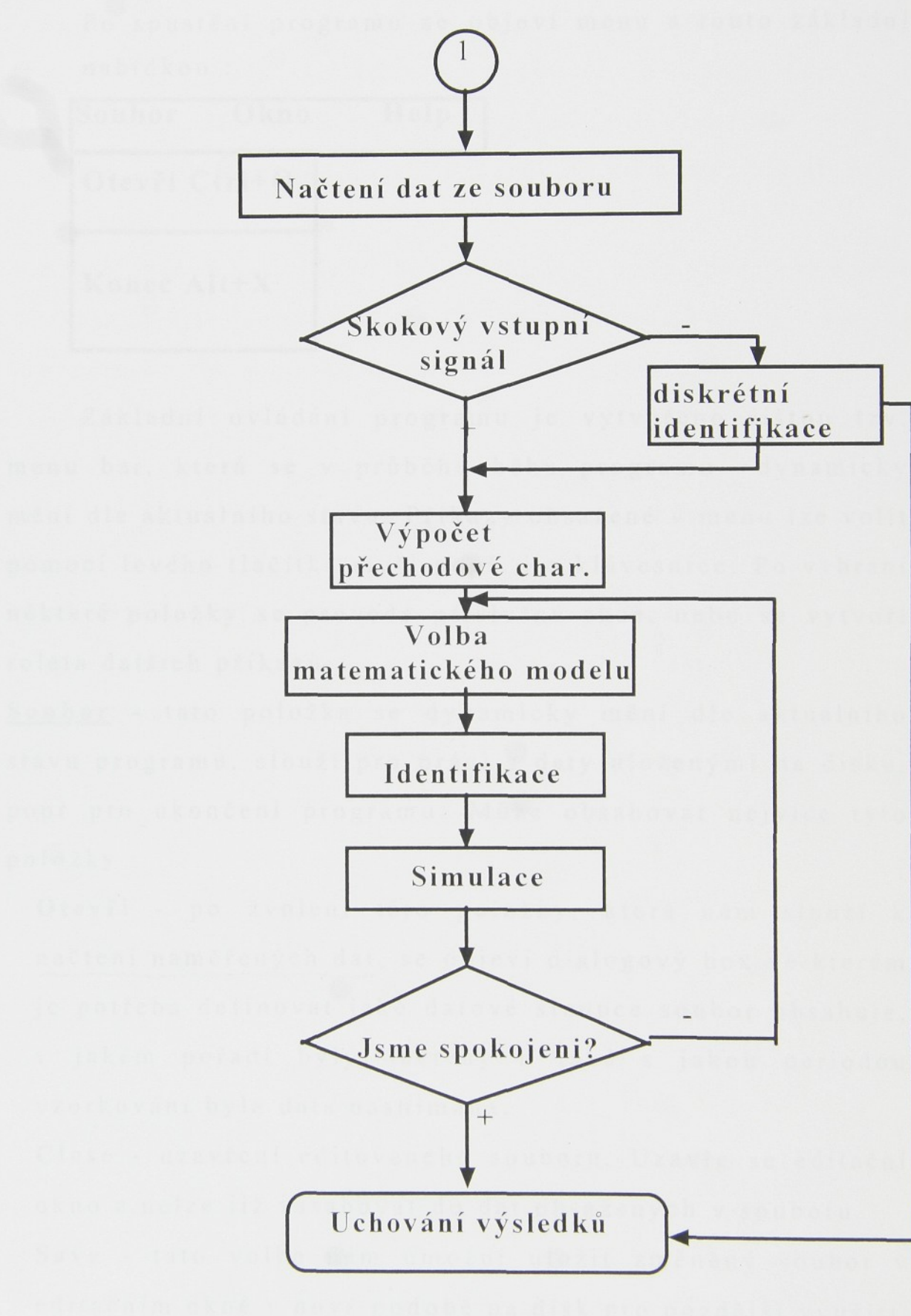
Výsledky identifikace se po provedení objeví ve formě koeficientů obrazového přenosu v okně „Obrazový přenos“. Toto okno se objeví po kliknutí na tlačítko Fu nebo Fd.

3.1.5. Simulace - slouží nám ke kontrole správnosti identifikovaného dynamického systému. Simuluje reakci diskrétního nebo spojitého matematického modelu na vstupní signál načtený z datového souboru. Nasimulovaná data se nám zobrazí pro porovnání v grafu vstupů.

3.1.6. Schéma postupu identifikace:



3.2 Popis pracovního prostředí



3.2 Popis pracovního prostředí.

Po spustění programu se objeví menu s touto základní nabídkou :

Soubor	Okno	Help
Otevři Ctrl+O		
Konec Alt+X		

Základní ovládání programu je vytvořeno lištou tzv. menu bar, která se v průběhu běhu programu dynamicky mění dle aktuálního stavu. Příkazy obsažené v menu lze volit pomocí levého tlačítka myši popř. i z klávesnice. Po vybrání některé položky se provede příslušná akce, nebo se vytvoří roleta dalších příkazů.

Soubor - tato položka se dynamicky mění dle aktuálního stavu programu, slouží pro práci s daty uloženými na disku, popř pro ukončení programu. Může obsahovat nejvíce tyto položky :

Otevři - po zvolení této položky, která nám slouží k načtení naměřených dat, se objeví dialogový box ve kterém je potřeba definovat jaké datové sloupce soubor obsahuje, v jakém pořadí byly načteny a také s jakou periodou vzorkování byla data nasnímána.

Close - uzavření editovaného souboru. Uzavře se editační okno a nelze již zasahovat do dat obsažených v souboru.

Save - tato volba nám umožní uložit změněný soubor v editačním okně v nové podobě na disk pro pozdější využití.

Zároveň se také provede nové načtení dat do vnitřních proměnných programu (nesmí být změněna struktura dat!).

Save as - je podobná jako volba Save, ale umožní nám zvolit jiné jméno ukládaného souboru. Použijeme tam, kde nechceme přepsat stávající soubor a proto vytvoříme nový.

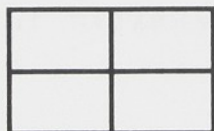
Print - tisk souboru v textové podobě na instalované tiskárně.

Print Setup - objeví se dialogové okno pro nastavení tiskárny, způsobu a kvality tisku , velikosti a zdroje papíru na který chceme tisknout atd.

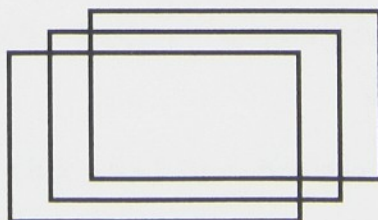
Konec - ukončení programu. Lze ukončit také stiskem kombinace kláves Alt + X.

Okno - definování způsobu uspořádání oken na pracovní ploše.

Dlaždice - při této volbě budou všechna otevřená okna uspořádána tak, aby byla vždy celá část všech oken viditelná.



Kaskáda - všechna otevřená okna jsou naskládána pod sebou a kliknutím se lze mezi nimi přepínat.



Help - pomoc na kterou se uživatel může obrátit v kterémkoli místě programu. Obsahuje stručné instrukce jak

zacházet s programem, k čemu je tento program určen a také doporučení jak při identifikaci postupovat.

About - stručná informace o verzi a tvůrcích programu.

Obsah - otevře helpový soubor na první straně kde je uveden obsah helpu. Lze se jednoduše kliknutím na požadovanou položku dostat na kteroukoliv stránku helpového souboru.

Při aktivním okně pro editaci souboru budou v menu dále dostupné tyto položky:

Edit - usnadňuje uživateli práci s textovým souborem, přes clipboard lze vyjmuté části souboru přesouvat, mazat popř. kopírovat.

Cut - smaže označený objekt z obrazovky a uloží ho do clipboardu.

Copy - uloží vybraný objekt do clipboardu a zároveň ho ponechá na obrazovce.

Paste - poslední uložený objekt do clipboardu vloží na pozici kurzoru.

Delete - označený objekt smaže bez uložení do clipboardu.

Select All - vybere celý soubor pro operace Edit.

Charakter - složí pro vzhledové úpravy textového souboru.

Left - všechny nové řádky textového souboru budou začínat na levém okraji stránky.

Right - konce řádků budou zarovnány na pravý okraj stránky.

Center - řádky textového souboru budou vystředěny.

Font - otevře standartní dialogové okno pro změnu fontů textu.

Při aktivním okně pro identifikaci systému budou v menu dále dostupné tyto položky:

Graf - umožňuje grafické výstupy identifikace jak na předvolenou tiskárnu, tak i do souboru.

Tiskni graf vstupu - zobrazí standartní dialogové okno pro nastavení tiskárny a po odsouhlasení vytiskne graf vstupu tak, jak je zobrazen v grafickém okně.

Save graf vstupu as .BMP - vytvoří soubor zadaného jména, který má standartní grafický formát bitmapy.

Tisk i uložení grafů lze provádět i s přechodovými charakteristikami.

3.2.1 Definování struktury datového souboru:

Při otevírání souboru se objeví toto dialogové okno:

Definice sloupců datového souboru:	
Soubor obsahuje:	Perioda vzorkování:
☒ Sloupec vstupů u	0.25
☒ Sloupec vstupů y	
☐ Sloupec vstupů d	
☐ Sloupec času	
Sloupec vstupu U je v pořadí : 1	
Sloupec výstupu Y je v pořadí : 2	
Ok Cancel Help	

V položce „Soubor obsahuje“ zaškrtneme ty položky, které vybraný datový soubor obsahuje. Po zaškrtnutí určité položky se nám v dolní části dialogového okna objeví dialogový box, ve kterém určíme pořadí tohoto datového sloupce.

Upozornění: Soubor musí vždy obsahovat shodný počet datových sloupců s počtem sloupců definovaných uživatelem. Ve vstupním okně „Perioda vzorkování“ určíme s jakou periodou vzorkování byl datový soubor naměřen, popř. s jakou periodou vzorkování chceme počítat.

3.2.2 Výpočet přechodové charakteristiky:

V případě úspěšného natažení dat se otevřou tato dvě dialogová okna :

- okno pro editaci datového souboru
- vícestránkové okno (multipage dialog) pro vlastní identifikaci (viz. příloha).

Po kliknutí na tlačítko „Přech. char.“ se objeví toto dialogové okno:

Přechodová charakteristika	
☐	pro skokové změny vstupního signálu
☒	z diskrétního přenosu
Počet hodnot přechodové charakteristiky :	
Počítej	Cancel Help

Pro zaškrtnutou položku „ pro skokové změny vstupního signálu“ se přechodová charakteristika bude počítat průměrováním (viz. 2.2), neuvádí se počet hodnot přechodové charakteristiky.

Položka „z diskretního přenosu“ bude dostupná jen tehdy, jestliže byla provedena diskretní identifikace a přechodová charakteristika se spočte z diferenční rovnice pro $u(t) = \eta(t)$, počáteční podmínky nulové (viz. 2.5.1). Počet hodnot přechodové charakteristiky je třeba určit v dialogovém boxu.

3.2.3 Diskretní identifikace :

Jestliže natažení vstupních dat proběhlo úspěšně, pak můžeme začít s diskretní identifikací. Tlačítko „Diskretní ident.“ bude dostupné jen tehdy, jestliže stav schématu odpovídá načteným vstupním a výstupním datům. Lze v zásadě provádět diskretní identifikaci dle těchto matematických modelů:

a. Pro vstupní veličinu $u(t)$ a výstupní veličinu $y(t)$, viz. (3.1 - 1). Odpovídající poloha tlačítka je:



b. Pro vstupní veličinu $d(t)$ a výstupní veličinu $y(t)$, viz. (3.1 - 2). Odpovídající poloha tlačítka je:



c. Pro vstupní veličiny $u(t)$ a $d(t)$ a výstupní veličinu $y(t)$, viz. (3.1 - 3). Odpovídající poloha tlačítka je:



Mezi jednotlivými polohami tlačítka pro změnu schématu se lze pohybovat kliknutím na toto tlačítko. Po kliknutí na

tlačítko „Diskrétní identifikace se objeví dialogový box, který si vyžádá nastavení některých parametrů jako:

- řád čitatele polynomu $F_u(q)$.
- řád čitatele polynomu $F_d(q)$.
- řád jmenovatelů polynomů $F_u(q)$ a $F_d(q)$.
- metody hledání časového zpoždění - pro prohledávání intervalu je třeba určit interval a krok hledání. Pro ruční zadávání se zadají jen potřebná časová zpoždění. viz. obr.:

↖ přerušení výpočtu.

Diskrétní identifikace			
řád čitatele polynomu $F_u(q)$.			
řád čitatele polynomu $F_d(q)$.			
řád jmenovatelů polynomů $F_u(q)$ a $F_d(q)$.			
Metoda hledání časového zpoždění			
☐ ruční zadávání časového zpoždění ☒ prohledávání intervalu			
	min	max	krok
Časové zpoždění přenosu F_u :			
Časové zpoždění přenosu F_d :			
Počítej Cancel Help			

Časová zpoždění se zadávají s ohledem na periodu vzorkování v příslušných časových jednotkách (např. sec., hod....).

Přerušení výpočtu je možné pro hledání časového zpoždění prohledáváním zadaného intervalu s daným krokem. Při stisknutí tlačítka „přerušení výpočtu“ vyzve program

uživatele pro potvrzení této akce, a až s jeho souhlasem bude výpočet přerušen, jinak pokračuje dál. Při přerušení výpočtu se optimální hodnoty parametrů časových zpoždění z dosud prohledané části intervalu uchovají a uživatel s nimi může dále pracovat.

3.2.4 Spojitá identifikace.

Spojitou identifikaci lze provádět pouze tehdy, jestliže byla spočtena přechodová charakteristika (viz 3.2.1). Spojitá identifikace také probíhá dle aktuálního stavu identifikačního schématu. Nelze spojitě identifikovat obě větve schématu $F_u(s)$ a $F_d(s)$ najednou. Identifikace se musí provádět vždy buď pro přenos $F_u(s)$ nebo $F_d(s)$ s ohledem na spočtené přechodové charakteristiky.

Kliknutím na tlačítko „Spojitá ident.“ se objeví dialogové okno:

Spojitá identifikace	
Volba modelu identifikace	
Typ přenosu	Metoda výpočtu
☐ Čítatel přenosu je konst.	☐ Prohledávání intervalu
☐ Čítatel přenosu je polyn.	☐ Gradientní metoda
☐ Přenos s astat. 1.řádu.	
Nastavení řádu modelu	
Nastavení parametrů identifikace	
Počítej	Cancel
Help	

Před započítím výpočtu je vhodné změnit některá standartní nastavení spojitě identifikace:

- **typ přenosu** se volí s ohledem na tvar a průběh přechodové charakteristiky. Zde je nutná určitá zkušenost uživatele, popř. se uživatel může obrátit na „help“, kde jsou základní tvary přechodových charakteristik popsány.

- **metoda výpočtu** ovlivňuje hlavně rychlost spojitě identifikace. Obecně je rychlejší gradientní metoda, ale při vhodně zvolených parametrech prohledávací metody lze dosáhnout ještě vyšší efektivnosti.

- **nastavení řádu modelu** : kliknutím na toto tlačítko se objeví dialogový box v němž je možno si vybrat mezi uvedenými typy přenosů. Výběr matematického modelu výrazně ovlivňuje celou spojitou identifikaci a proto je potřeba věnovat mu náležitou pozornost, popř. vyzkoušet více matematických modelů na stejných datech.

- **nastavení parametrů identifikace** : kliknutím na toto tlačítko vyvoláme dialogový box, který u prohledávací metody bude požadovat zadání intervalů a kroků optimalizovaných parametrů. U gradientní metody postačí pouze zadat počáteční hodnoty hledaných parametrů. Informaci o posledních nalezených optimálních parametrech nalezneme v tomto okně po stisknutí tlačítka :



Tato informace nám má hlavně sloužit u prohledací metody ke zjemňování a zužování prohledávaných intervalů tzn. pro zvýšení přesnosti výpočtu.

3.2.5 Simulace.

Simulace nám slouží po provedení identifikace pro ověření spočtených výsledků. Simulace se provádí dle aktuálního stavu schématu (matematického modelu) na načtený vstupní signál. Simulaci lze provádět pouze pro naidentifikované diskrétní a spojitě obrazové přenosy. Výsledky simulace se objeví v podobě grafu v okně „graf vstupů“. Kliknutím na tlačítko „Simulace“ se objeví dialogové okno, které nás požádá o zadání některých hodnot:

Simulace

☐ Spojitá simulace

☒ Diskrétní simulace

Krok výpočtu simulace:

Ok Cancel

Označením check buttonu „Spojitá identifikace“ bude simulace prováděna integrační lichoběžníkovou metodou s nastaveným krokem výpočtu simulace.

Pro zvolenou „Diskrétní identifikaci“ se výpočet provádí řešením diferenční rovnice tzv. Piercovým algoritmem (viz. 2.5.1).

Počáteční podmínky u diskrétní identifikace jsou nahrazovány skutečnými naměřenými daty. Počáteční podmínky pro spojitou identifikaci jsou známy z naměřených dat pouze pro nultou derivaci výstupní veličiny $y(t)$, počáteční podmínky vyšších derivací $y(t)$ se uvažují nulové.

3.3 Popis definovaných přechodových charakteristik pro spojitou identifikaci.

Při spojitě identifikaci pomocí zvolených obrazových přenosů je výsledek identifikace do značné míry závislý na zvoleném matematickém modelu. Proto zde uvádím podrobný popis definovaných matematických modelů (přenosů) použitých v programu.

3.3.1 Přenosy, kde čítec je konstanta.

a. Přenos soustavy 1. řádu:

$$F(s) = \frac{k}{(T \cdot s + 1)}, \quad h(t) = k \cdot \exp\left(-\frac{1}{T} \cdot t\right) - k$$

kde $F(s)$ je přenos soustavy 1. řádu.

$h(t)$ je přechodová charakteristika.

b. Přenosy soustavy 2. řádu:

1. s rozdílnými časovými konstantami:

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)},$$

$$h(t) = k \cdot (T_1)^2 \cdot \frac{\exp\left(-\frac{1}{T_1} \cdot t\right)}{\left[T_2 \cdot T_1 + (T_1)^2\right]} + k \cdot (T_2)^2 \cdot \frac{\exp\left(-\frac{1}{T_2} \cdot t\right)}{\left[(T_2)^2 + T_2 \cdot T_1\right]} - k$$

2.se stejnými časovými konstantami:

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1)^2}, \quad h(t) = k \cdot \exp\left(-\frac{1}{T_1} \cdot t\right) - t \cdot \exp\left(-\frac{1}{T_1} \cdot t\right) \cdot \frac{k}{T_1} + k$$

3.pro kmitavé soustavy:

$$F(s) = \frac{k}{(T \cdot s)^2 - 2 \cdot \text{ksi} \cdot T + 1}, \quad h(t) = k \cdot T^2 \cdot \frac{\cos\left(\frac{\sqrt{1 - 2 \cdot \text{ksi} \cdot T}}{T} \cdot t\right)}{(T^2 + 2 \cdot \text{ksi} \cdot T^3)} + \frac{k}{(1 + 2 \cdot \text{ksi} \cdot T)}$$

kde ksi.... je koeficient poměrného tlumení.

c.Přenosy soustavy 3.řádu:

1.pro různé časové konstanty:

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_3 \cdot s + 1) \cdot s},$$

$$h(t) = T_3^3 \cdot k \cdot \frac{\exp\left(-\frac{1}{T_3} \cdot t\right)}{[T_2 \cdot T_3 \cdot T_1 - T_1 \cdot (T_3)^2 - T_2 \cdot (T_3)^2 - (T_3)^3]} -$$

$$- k \cdot T_1^3 \cdot \frac{\exp\left(-\frac{1}{T_1} \cdot t\right)}{[T_2 \cdot T_3 \cdot T_1 - (T_1)^2 \cdot T_3 - (T_1)^2 \cdot T_2 + T_1^3]} + (T_2)^3 \cdot k \cdot \frac{\exp\left(-\frac{1}{T_2} \cdot t\right)}{[(T_2)^3 - T_2^2 \cdot T_1 + (T_2)^2 \cdot T_3 - T_2 \cdot T_3 \cdot T_1]}$$

2.pro dvojnásobnou časovou konstantu T_1 :

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1)^2 \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot s},$$

$$h(t) = k \cdot \frac{1 + 2 \cdot T_1 \cdot T_2 - T_1^2}{(T_2 - T_1)^2} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - \frac{T_2^2}{(T_2 - T_1)^2} \cdot k \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) + \frac{1}{(T_2 - T_1)^2} \cdot k \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$$

Dále z důvodu značné rozsáhlosti obecných řešení přechodových charakteristik budu uvádět pouze přenosy soustav. Přechodové charakteristiky lze snadno vyřešit s podporou softwaru (např. MCAD, MATHEMATIKA apod.).

3. Pro kmitavé soustavy:

$$F(s) = \frac{k}{\left[(T_2 \cdot s)^2 - 2\zeta s T_2 - 1 \right] \cdot (T_1 \cdot s + 1)}$$

d. Přenosy soustavy 4. řádu:

1. pro různé časové konstanty:

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_3 \cdot s + 1) \cdot (T_4 \cdot s + 1)}$$

2. pro dvojnásobné časové konstanty T_1 a T_2 :

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1)^2 \cdot (T_2 \cdot s + 1)^2}$$

e. Přenos soustavy n-tého řádu s násobnou časovou konstantou:

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1)^n \cdot s}$$

3.3.2 Přenosy, kde čitatel je polynom.

Při definování přechodových charakteristik s polynomem v čitateli jsem postupoval opačným postupem, jak pro předchozí přechodové charakteristiky. Nejprve jsem

si definoval požadovanou přechodovou charakteristiku v časové oblasti a pro ni jsem Laplaceovou transformací spočetl koeficienty přenosu $A_0, A_1, A_2, A_3 \dots A_{n-1}$, a $B_0, B_1, B_2, B_3 \dots B_{n-1}$:

$$F(s) = \frac{B}{A} = \frac{B_{n-1} \cdot s^{n-1} + B_{n-2} \cdot s^{n-2} + \dots + B_1 \cdot s + B_0}{s^n + A_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + A_1 \cdot s + A_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

a. Přenosy soustav 2. řádu:

1. Pro různé časové konstanty:

Příklad výpočtu koeficientů přenosu:

- přechodová charakteristika v časové oblasti:

$$h(t) = k_0 + k_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + k_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)$$

- Laplaceův obraz přechodové charakteristiky:

$$H(s) = \frac{k_0 \cdot s^2 \cdot T_1 \cdot T_2 - k_0 \cdot s \cdot T_1 + k_0 \cdot s \cdot T_2 + k_0 + k_1 \cdot T_1 \cdot s^2 \cdot T_2 + k_1 \cdot T_1 \cdot s - k_2 \cdot T_2 \cdot s^2 \cdot T_1 - k_2 \cdot T_2 \cdot s}{s \cdot (s \cdot T_1 + 1) \cdot (s \cdot T_2 + 1)}$$

kde podmínkou, aby přechodová charakteristika startovala z počátku ($h(0) = 0$) je:

$$k_0 + k_1 + k_2 = 0$$

- Přenos soustavy v laplaceově transformaci:

$$F(s) = \frac{B_1 \cdot s + B_0}{s^3 + A_2 \cdot s^2 + A_1 \cdot s + A_0}, \text{ kde } B_1 = \frac{k_0 + k_2}{T_1} + \frac{k_0 + k_1}{T_2},$$

$$B_0 = \frac{k_0}{T_1 \cdot T_2}, \quad A_1 = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}, \quad A_0 = \frac{1}{T_1 \cdot T_2}$$

2. Pro kmitavé soustavy:

-přechodová charakteristika je ve tvaru:

$$h(t) = k_0 + k_1 \cdot \exp\left(-\xi \cdot \frac{t}{T}\right) \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} \cdot t\right) + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} \cdot t\right)$$

kde ξ koeficient poměrného tlumení

T.... časová konstanta.

podmínka realizovatelnosti $h(0) = 0 : k_0 - k_1 = 0$.

b. Přenosy soustav 3. řádu:

1. Pro různé časové konstanty:

- přechodová charakteristika je ve tvaru:

$$h(t) = k_0 - k_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - k_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) - k_3 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_3}\right)$$

kde prohledávané parametry jsou : T_1, T_2, T_3 ...časové

konstanty

podmínka realizovatelnosti $h(0) = 0 : k_0 - k_1 - k_2 - k_3 = 0$.

2. Pro kmitavé soustavy:

- přechodová charakteristika je ve tvaru:

$$h(t) = k_0 + k_1 \cdot \exp\left(-\xi \cdot \frac{t}{T_1}\right) \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} \cdot t\right) + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} \cdot t\right) + k_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)$$

kde prohledávané parametry jsou : T_1, T_2 ...časové konstanty

poměrného



tlumení.

podmínka realizovatelnosti $h(0) = 0$: $k_0 + k_1 + k_2 = 0$

c. Přenos soustavy 4. řádu:

Pro různé časové konstanty:

- přechodová charakteristika je ve tvaru:

$$h(t) = k_0 + k_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + k_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) + k_3 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_3}\right) + k_4 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_4}\right)$$

kde prohledávané parametry jsou : T_1, T_2, T_3, T_4 ... časové konstanty

podmínka realizovatelnosti $h(0) = 0$: $k_0 + k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 0$

3.3.3 Přenosy s astatismem 1. řádu.

1. Přenos soustavy 1. řádu:

Jedná se vlastně o přenos integračního členu:

$$F(s) = \frac{k}{s}, \text{ kde } k \dots \text{ zesílení soustavy}$$

s.... Laplaceův operátor.

- přechodová charakteristika má tvar:

$$h(t) = k \cdot t$$

2. Přenos soustavy 2. řádu:

-přenos je ve tvaru:

$$F(s) = \frac{k}{s \cdot (T \cdot s + 1)}$$

-přechodová charakteristika má tvar:

$$h(t) = -k \cdot T + k \cdot t + k \cdot T \cdot \exp\left(\frac{-1}{T} \cdot t\right)$$

2. Přenos soustavy 2. řádu:

-přenos je ve tvaru:

$$F(s) = \frac{k}{s \cdot (T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)}$$

-přechodová charakteristika má tvar:

$$h(t) = -k \cdot T_1 - k \cdot T_2 - k \cdot t + k \cdot \left(T_1 \right)^3 \cdot \frac{\exp\left(\frac{-1}{T_1} \cdot t\right)}{-T_2 \cdot T_1 + T_1^2} - k \cdot T_2^3 \cdot \frac{\exp\left(\frac{-1}{T_2} \cdot t\right)}{-(T_2)^2 + T_2 \cdot T_1}$$

4. Provozní podmínky

Provozními podmínkami se rozumí podmínky pro úspěšný běh programu jako jeho instalace, hardwarové a softwarové požadavky, určitá omezení atd.

4.1 Instalace

Instalace programu je velice jednoduchá, protože celý program se skládá pouze ze dvou souborů. Proto instalace spočívá v překopírování a dekomprese dodaného souboru na 3.5 " disketě. Komprese je provedena v některém ze standardních formátů.

4.2 Softwarové požadavky

Vznikly dvě verze programu. První verze programu je jednodušší a nedovoluje změnu identifikačního schématu, pracuje pouze s dvěmi datovými vstupy je realizována tak, aby se dala provozovat pod operačním systémem MS - DOS. Tato verze programu byla vyvíjena s použitím programového prostředku Borland Pascal 7.0 s použitím objektově orientované knihovny TURBO-VISION.

Druhá verze programu obsahuje již některá rozšíření, jako např. diskrétní identifikaci, uvažuje více datových vstupů atd. Také uživatelské prostředí je více vyvedené, protože jako vývojového prostředku jsem zde použil objektově orientovaný programovací jazyk Delphi 1.0 od firmy Borland. Tato verze programu již musí být provozována pod operačním systémem Windows 3.1x popř. Windows 95 nebo kompatibilním. V současné době je již na

trhu další verze Delphi 2.0, která umožňuje vytvářet binární 32-bitové kódy. Až škola zakoupí i tuto licenci bude možno vytvořit podstatně rychlejší exe modul, který však bude spustitelný na počítači s operačním systémem Windows 95 nebo kompatibilním.

4.3 Hardwarové požadavky

U první verze pro operační systém MS-Dos lze hardwarové požadavky charakterizovat takto:

minimální konfigurace:

- IBM-PC kompatibilní s procesorem typu 80286
- matematický koprocessor
- VGA nebo EGA monitor
- 640 kB paměti

doporučená konfigurace:

- IBM-PC kompatibilní s procesorem
80486 DX4-100 MHz
- VGA nebo EGA monitor
- 4 MB paměti
- 1 MB volného místa na HD.

U druhé verze programu za lepší uživatelský komfort platíme vyššími nároky na hardwarové vybavení. Již z potřeby operačního systému Microsoft Windows nám vychází minimální konfigurace takto:

- IBM-PC kompatibilní s procesorem 386 DX 33 MHz
- VGA nebo EGA monitor
- 4 MB RAM
- 120 MB HD

Doporučený HW :

- IBM-PC kompatibilní s procesorem Pentium 90 MHz
- VGA nebo EGA monitor
- 8 MB RAM
- 540 MB HD

4.4 Omezení programu

Při načítání dat se předpokládá struktura datového textového souboru tak, že data jsou uspořádána ve sloupcích a soubor neobsahuje více jak 4 sloupce.

Při nevhodně zvoleném matematickém modelu může dojít k přerušení výpočtu z důvodu, že hledané parametry iterují do nedefinovaných oblastí (např. při volbě modelu pro kmitavou soustavu nelze koeficient poměrného tlumení položit roven 1, to uvažovaný model nedovoluje, tzn. nelze vždy nekmitavou soustavu aproximovat jakýmkoliv matematickým modelem).

Při spojitě simulaci z důvodu použití integračních lichoběžníkové metody nelze simulovat přenosy s vysokými koeficienty u jednotlivých koeficientů diferenciální rovnice (u této metody přetékají registry u jednotlivých mezivýpočtů).

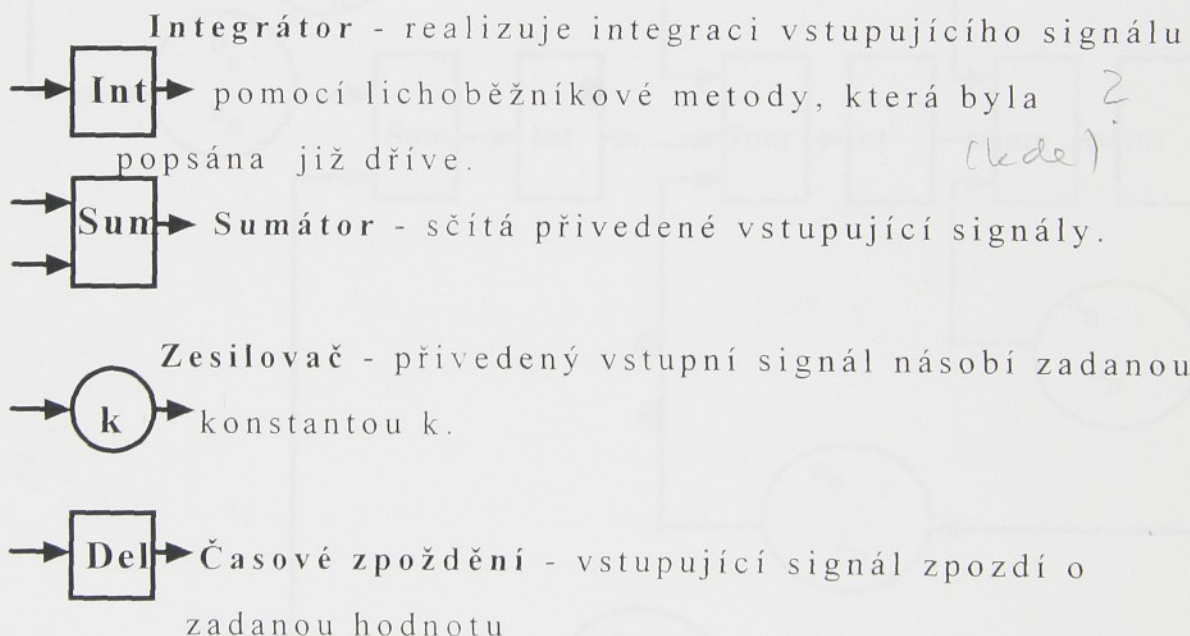
Dále doporučuji před prvním použitím programu se seznámit alespoň hrubě s použitými metodami výpočtu. Uživatel se pak bude dopouštět méně chyb a celý postup mu bude více srozumitelný.

5. Řešení dílčích úkolů

5.1 Spojitá simulace základního schématu

Při vypracování simulační části programu jsem se snažil o případnou další snadnou rozšiřitelnost. Vycházel jsem při tom z blokové realizace simulačního algoritmu.

Hlavní myšlenka se opírá o tzv. blokové schéma, které vyjadřuje vazby mezi základními bloky. Bloky na sebe mohou $+$ různě navazovat a vytvářet tak požadovanou strukturu. Mezi základní bloky patří:



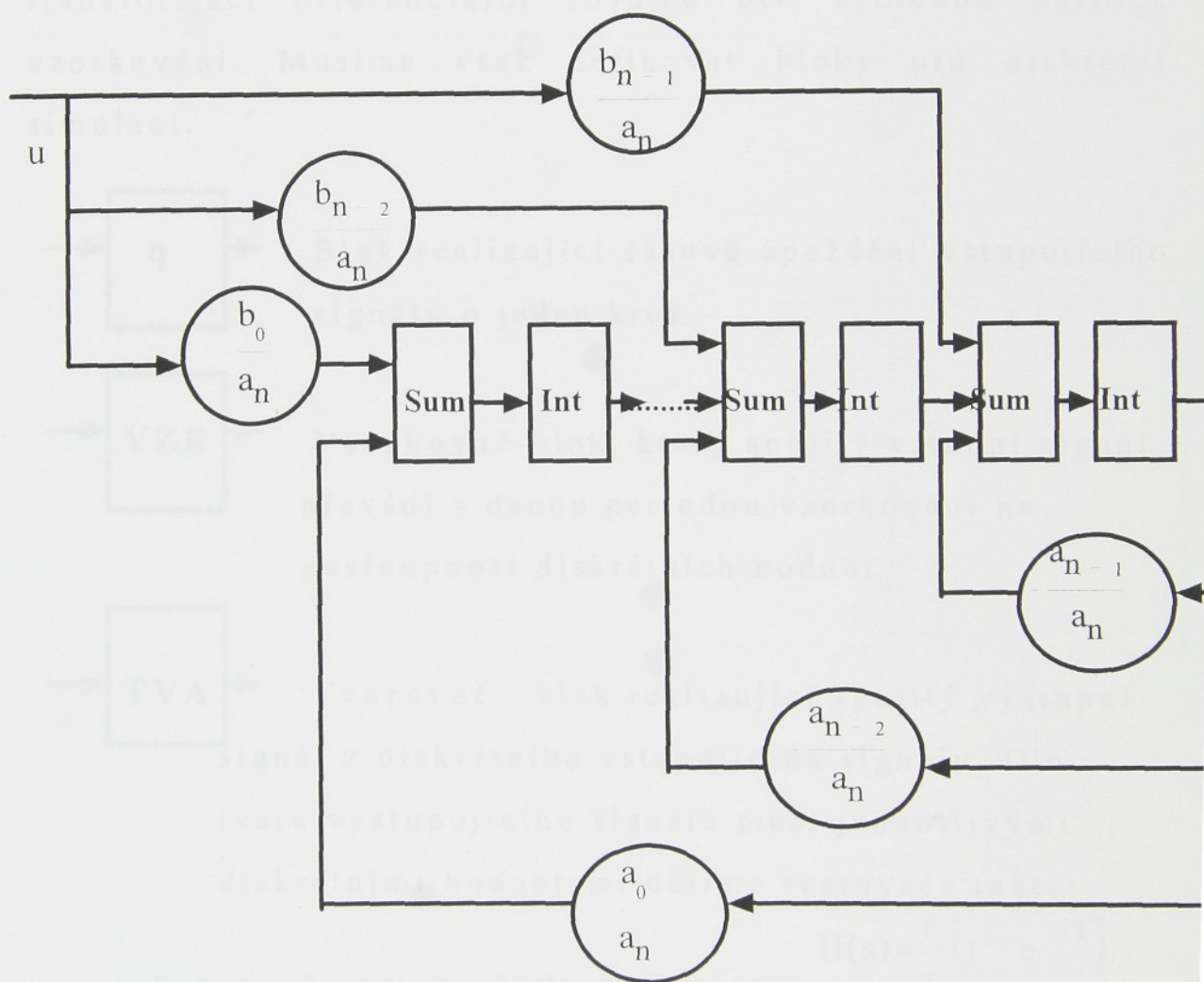
Pomocí těchto základních bloků lze vhodným propojením vyjádřit popis dynamického systému. Tím jak zapojit bloky za sebou pro zadanou diferenciální rovnici se zabývají dvě metody:

- metoda snižování řádu derivace
- metoda postupné integrace.

V našem případě jsem použil metodu snižování řádu derivace pro realizaci takového typu přenosu:

$$F(s) = \frac{B}{A} = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot s + a_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

Tento přenos lze po použití metody snižování řádu derivace zobrazit takto:



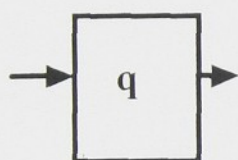
V případě nenulového dopravního zpoždění se ještě na vstupující signál $u(t)$ připojí blok zajišťující zpoždění přiváděného signálu.

Jestliže celý přenos vydělíme koeficientem a_n pak $a_n = 1$ a konstanty zesilovačů ve schématu se nám zjednoduší

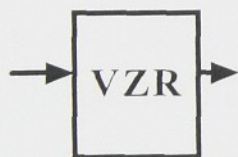
přímo na koeficienty diferenciální rovnice (v programu je vždy provedena tato normalizace).

5.2 Diskrétní simulace základního schématu

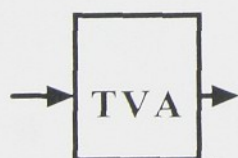
Pro diskrétní přenos můžeme vytvořit podobné schéma pro řešení diferenční rovnice. Diskrétní přenos vznikne Z-transformací diferenciální rovnice pro zvolenou periodu vzorkování. Musíme však definovat bloky pro diskrétní simulaci.



Blok realizující časové zpoždění vstupujícího signálu o jeden krok.



Vzorkovač-blok, který spojitý vstupní signál převádí s danou periodou vzorkování na posloupnost diskrétních hodnot.



Tvarovač - blok realizující spojitý výstupní signál z diskrétního vstupujícího signálu. Dle tvaru vystupujícího signálu mezi jednotlivými diskrétními hodnotami dělíme tvarovače takto:

- tvarovač nultého řádu s přenosem: $H(s) = \frac{1}{s} \cdot (1 - e^{-s \cdot T})$

- přírůstkový tvarovač s přenosem: $H(s) = \frac{1}{s}$

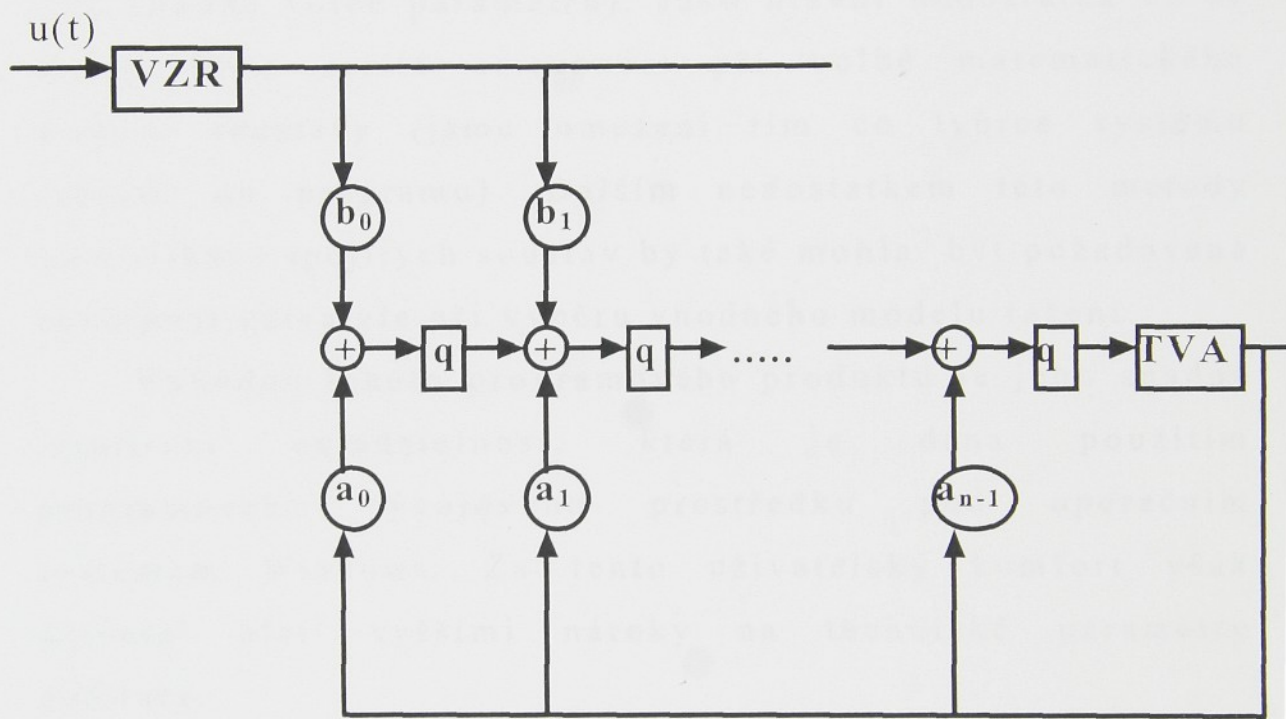
- tvarovač prvního řádu s přenosem:

$$H(s) = \frac{1}{s} \cdot (1 - e^{-s \cdot T})^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{T \cdot s}\right)$$

Diferenciální rovnici vyjádřenou v Z-transformaci můžeme zapsat takto:

$$F = \frac{B}{A} = \frac{b_m \cdot q^m + b_{m-1} \cdot q^{m-1} + \dots + b_1 \cdot q + b_0}{a_n \cdot q^n + a_{n-1} \cdot q^{n-1} + \dots + a_1 \cdot q + a_0} \cdot q^v$$

tento přenos lze převést do schématu takto:



Tato metoda je jedna z možností jak nasimulovat diskretní systém a je vhodnější pro univerzální simulační algoritmy. V programu jsem použil Piercovu metodu řešení diferenční rovnice (tato metoda je vysvětlena v teoretické části). kde?

6. ZÁVĚR

Nalezení spojitého matematického modelu změřeného dynamického systému je základním předpokladem úspěšného návrhu regulátoru pro zvolenou technologii.

Metoda identifikace spojitých dynamických systémů pomocí zvolených obrazových přenosů se ověřováním programu na vzorku dat osvědčila hlavně díky své rychlosti (při vhodné volbě parametrů). Jako hlavní nedostatek by se mohlo jevit určitá omezenost při volbě matematického modelu soustavy (jsme omezeni tím co tvůrce systému zahrnul do programu). Dalším nedostatkem této metody identifikace spojitých soustav by také mohla být požadovaná zkušenost uživatele při výběru vhodného modelu řešení.

Výhodou tohoto programového produktu je jeho snadná intuitivní ovladatelnost, která je dána použitím programového vývojového prostředku pod operačním systémem Windows. Za tento uživatelský komfort však uživatel platí vyššími nároky na technické parametry počítače.

Do budoucnosti je možné tento program rozšířit o další matematické modely dynamických systému popř. lze také upravit použité optimalizační metody pro zvýšení efektivity nebo pro řešení konkrétních problémů. Také by bylo vhodné z důvodu časové náročnosti výpočtu uvažovat o paralelizaci prováděných výpočtů na několika procesorech najednou.

Závěrem lze říci, že výsledný program umožňuje řešit úlohy v široké oblasti použití, kde je třeba z nějakého důvodu automatizovat výrobní proces a regulátor nelze nastavit ručně a to například v chemickém průmyslu, při návrhu regulátorů pro elektrárnské provozy, těžební stroje a také pro letecký a automobilový průmysl atd.

LITERATURA

[1]Bořivoj Hanuš, Milan Balda a kolektiv: Základy technické kybernetiky I. část, VUT Brno, 1981

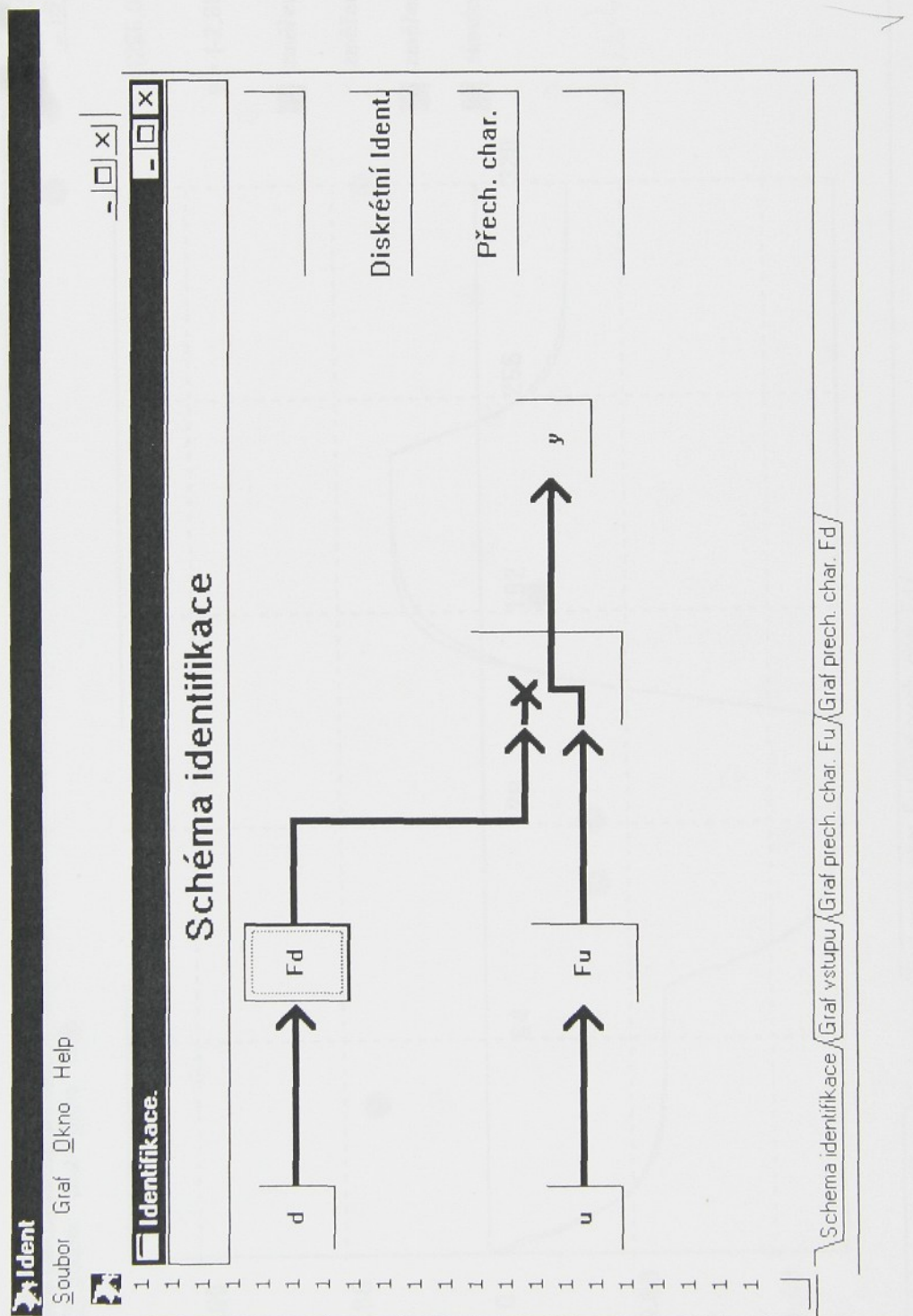
[2]Bořivoj Hanuš, Mikuláš Alexík, Jiří Bíla a kolektiv: Teorie automatického řízení II., VŠST Liberec, 1985

[3]Osvald Modrlák: Adaptivní řízení, VŠST Liberec, 1987

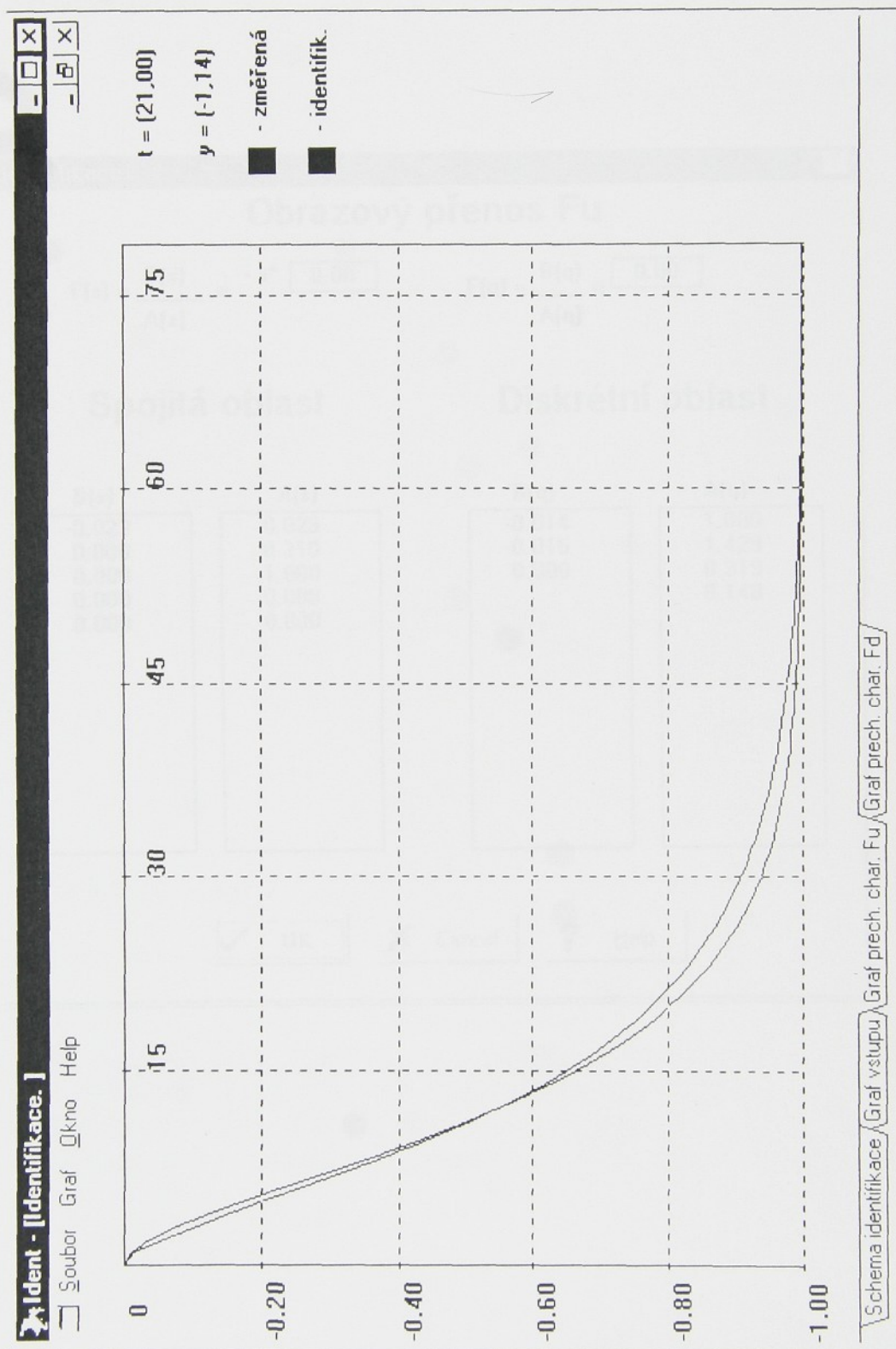
[4]Chimmelblau, D.: Прикладное нелинейное программирование. Nakl. Mir, 1975

Seznam příloh

Číslo	Název	Rozsah stran
Příloha 1:	Garfické prostředí programu	4
Příloha 2:	Příklady identifikovaných soustav	8







Identifikace.

Obrazový přenos Fu

$$F(s) = \frac{B(s)}{A(s)} e^{-s \tau}$$

0.00

$$F(q) = \frac{B(q)}{A(q)} q^{-\tau}$$

0.00

Spojitá oblast

B(s)	A(s)
-0.023	0.023
0.000	0.310
0.000	1.000
0.000	0.000
0.000	0.000

Diskrétní oblast

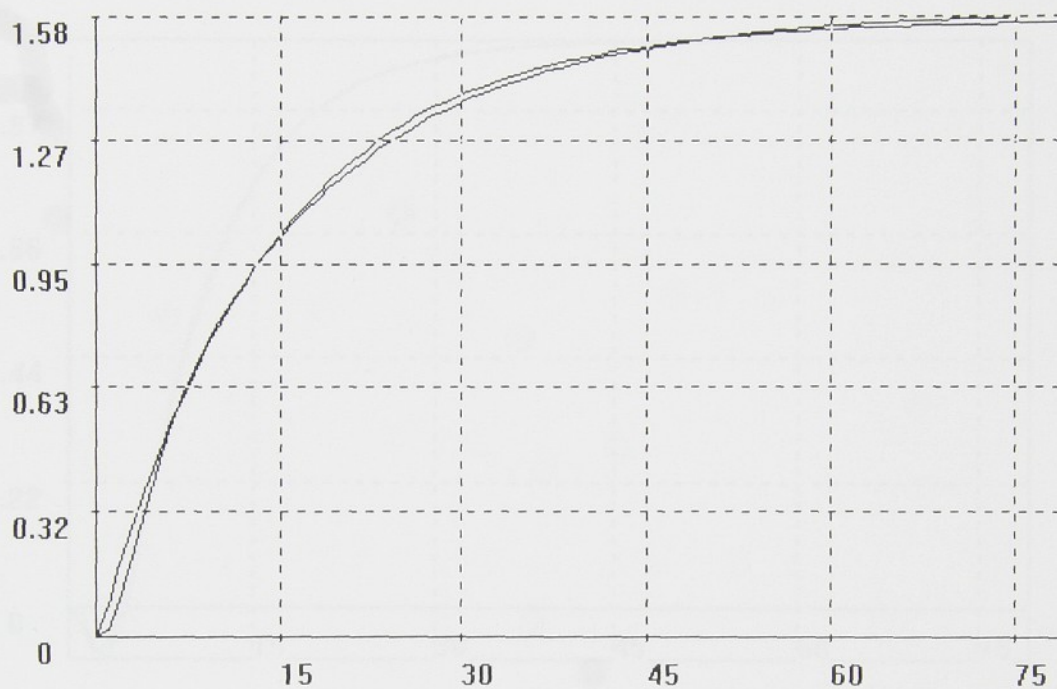
B(q)	A(q)
-0.014	1.000
-0.015	-1.429
0.000	0.319
	0.140

✓ OK

✗ Cancel

? Help

Soubor TARIID11.XY



Výsledky identifikace

Prenos F_u :

Spojitá forma

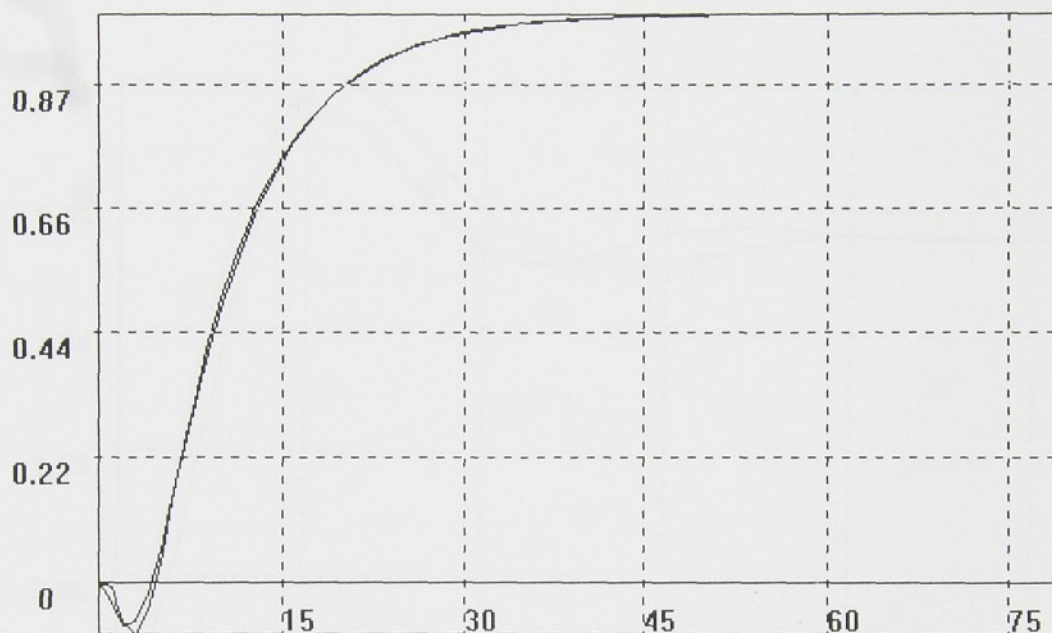
$$\begin{aligned} a[0] &= 0.29613 & b[0] &= 0.46554 \\ a[1] &= 4.22048 & b[1] &= 0.00000 \\ a[2] &= 1.00000 & b[2] &= 0.00000 \end{aligned}$$

Diskretní forma

$$\begin{aligned} a[0] &= 1.00000 & b[0] &= 0.00799 \\ a[1] &= -2.07031 & b[1] &= 0.03443 \\ a[2] &= 1.58193 & b[2] &= 0.00000 \end{aligned}$$

Casove zpozdeni = 0.00000

0.00000

Soubor **TARIID13.XY**

Vysledky identifikace

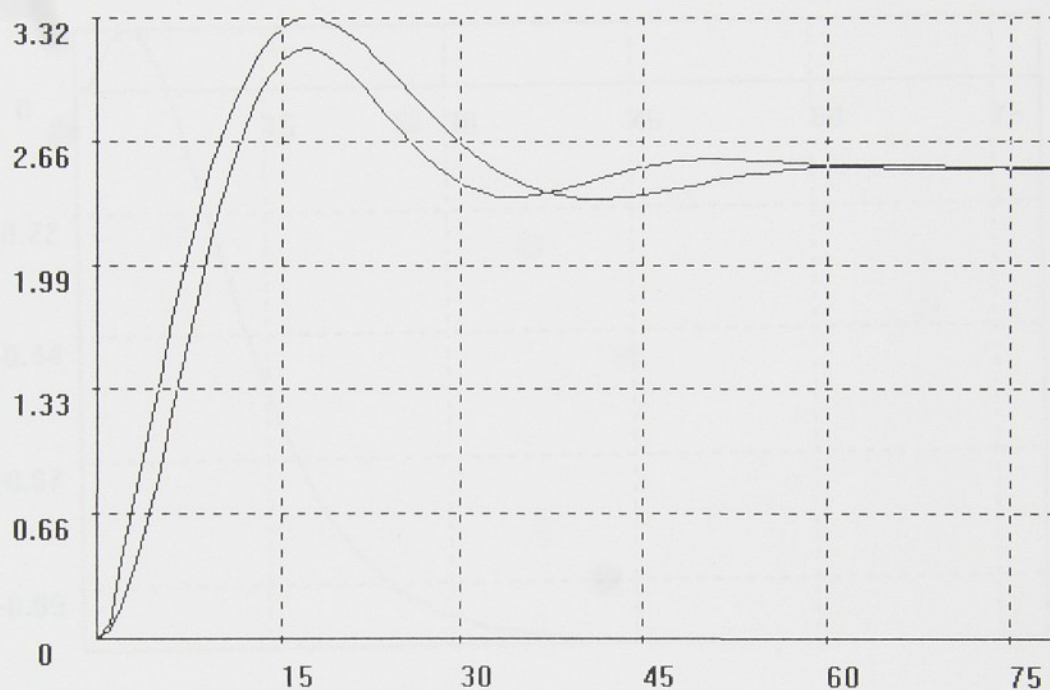
Prenos F_u :

Spojitá forma

Diskretní forma

$a[0] = 0.07143$	$b[0] = 0.07141$	$a[0] = 1.00000$	$b[0] = -0.00261$
$a[1] = 0.71429$	$b[1] = -0.18008$	$a[1] = -1.92692$	$b[1] = -0.04468$
$a[2] = 1.64286$	$b[2] = 0.01780$	$a[2] = 1.23510$	$b[2] = 0.08156$
$a[3] = 1.00000$	$b[3] = 0.00000$	$a[3] = -0.27388$	$b[3] = 0.00000$

Casove zpozdeni = 0.00000 0.00000

Soubor **TARIID26.XY**

Výsledky identifikace

Přenos F_u :

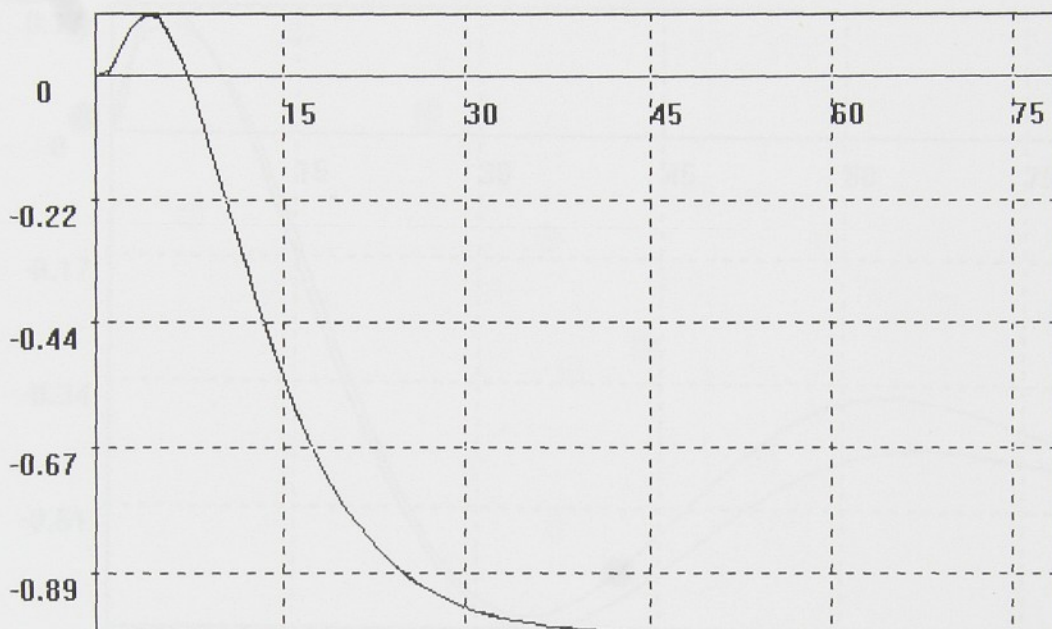
Spojitá forma

Diskretní forma

 $a[0] = 4.00000$ $b[0] = 10.07368$ $a[0] = 1.00000$ $b[0] = 0.07778$ $a[1] = 16.04000$ $b[1] = 0.00000$ $a[1] = -1.64893$ $b[1] = 0.17719$ $a[2] = 100.16000$ $b[2] = 0.00000$ $a[2] = 0.53210$ $b[2] = -0.17434$ $a[3] = 1.00000$ $b[3] = 0.00000$ $a[3] = 0.13076$ $b[3] = 0.00000$

Časové zpoždění = 0.00000

0.00000

Soubor **TARIID01.XY**

Výsledky identifikace

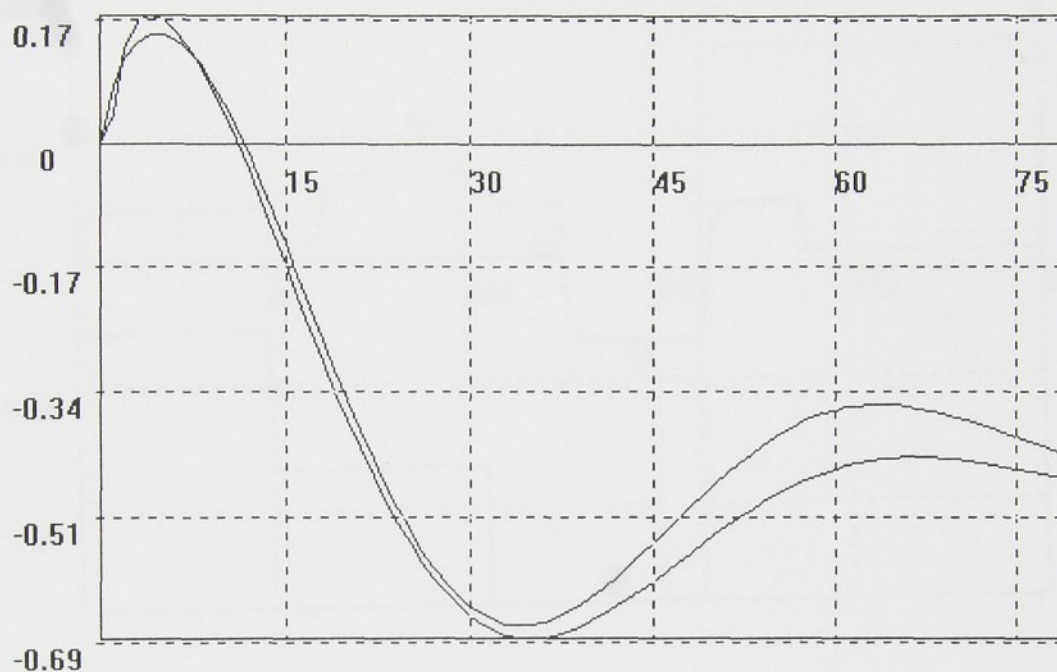
Přenos F_u :

Spojitá forma

Diskretní forma

$a[0] = 0.02083$	$b[0] = -0.02083$	$a[0] = 1.00000$	$b[0] = 0.00140$
$a[1] = 0.25000$	$b[1] = 0.09493$	$a[1] = -2.56895$	$b[1] = 0.02597$
$a[2] = 0.91667$	$b[2] = -0.05418$	$a[2] = 2.42915$	$b[2] = -0.03718$
$a[3] = 1.00000$	$b[3] = 0.00000$	$a[3] = -1.00678$	$b[3] = 0.00000$
Časové zpoždění = 0.00000		0.00000	

Soubor TARIID17.XY



Vysledky identifikace

Prenos F_u :

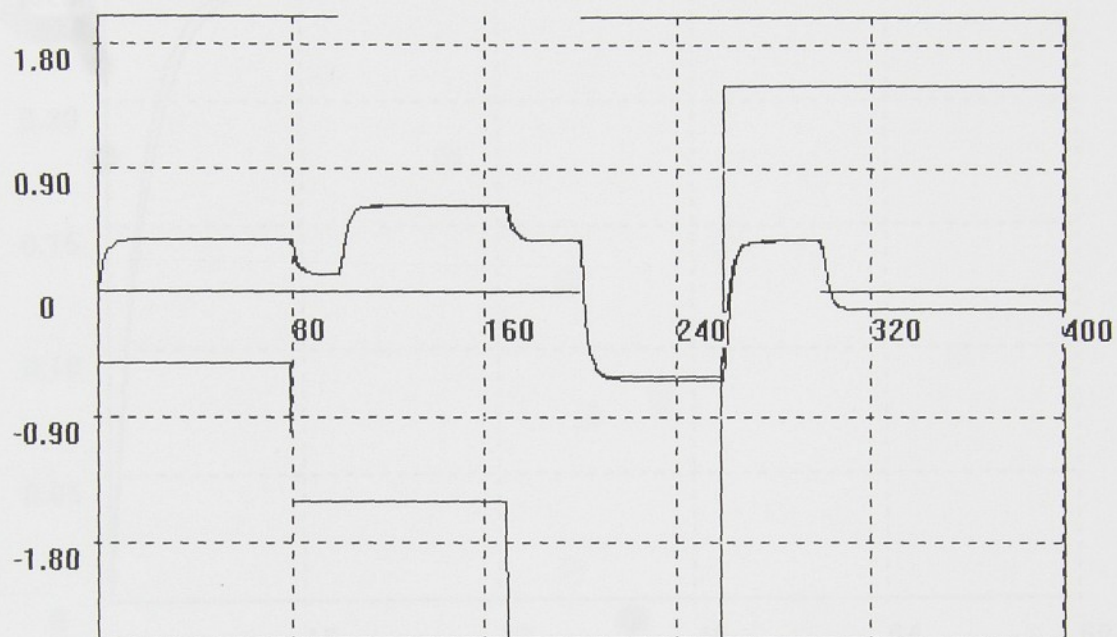
Spojitá forma

Diskretní forma

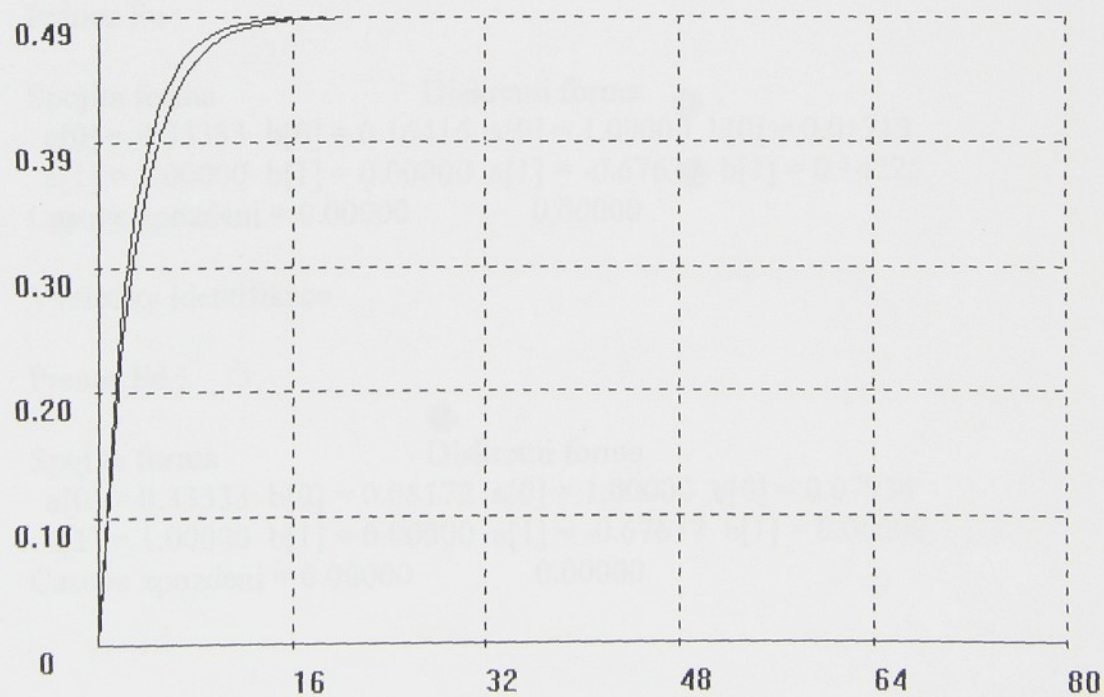
$a[0] = 0.01372$	$b[0] = -0.00607$	$a[0] = 1.00000$	$b[0] = 0.03168$
$a[1] = 0.08642$	$b[1] = -0.00121$	$a[1] = -1.50139$	$b[1] = 0.03044$
$a[2] = 1.17778$	$b[2] = 0.07654$	$a[2] = 0.41068$	$b[2] = -0.07645$
$a[3] = 1.00000$	$b[3] = 0.00000$	$a[3] = -0.03012$	$b[3] = 0.00000$
Casove zpozdeni = 0.00000		0.00000	

Soubor MAT3.XY

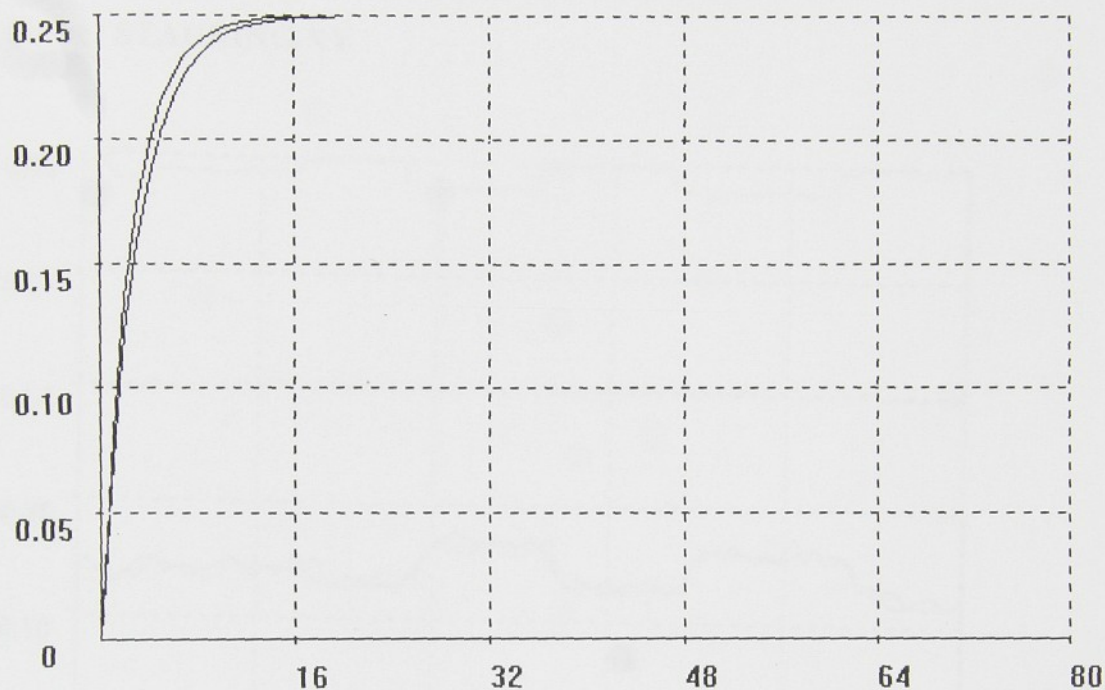
Graf vstupních dat:



Graf přechodové charakteristiky F_u :



Graf přechodové charakteristiky F_d :



Výsledky identifikace

Přenos F_u :

Spojita forma

Diskretní forma

$a[0] = 0.33333$ $b[0] = 0.16416$ $a[0] = 1.00000$ $b[0] = 0.01713$
 $a[1] = 1.00000$ $b[1] = 0.00000$ $a[1] = -0.67637$ $b[1] = 0.14225$
 Casové zpoždění = 0.00000 0.00000

Výsledky identifikace

Přenos F_d :

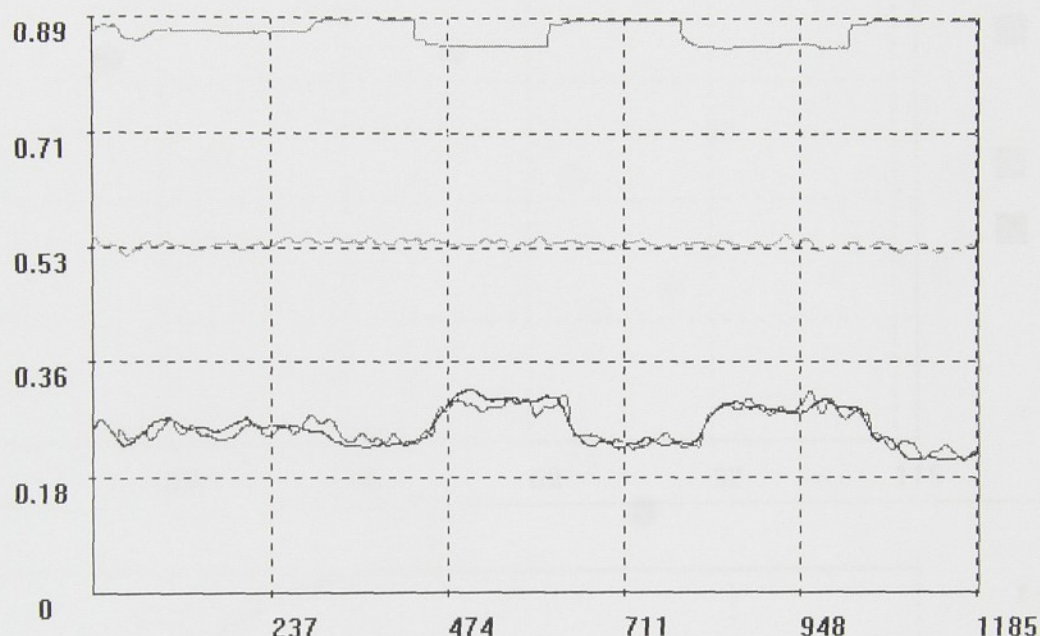
Spojita forma

Diskretní forma

$a[0] = 0.33333$ $b[0] = 0.08172$ $a[0] = 1.00000$ $b[0] = 0.07934$
 $a[1] = 1.00000$ $b[1] = 0.00000$ $a[1] = -0.67637$ $b[1] = 0.00000$
 Casové zpoždění = 0.00000 0.00000

Identifikace datových souborů z elektrárny Staudinger -
regulace NO_x pomocí vstříků čpavku.

Soubor **STAUDING.XY**



Výsledky identifikace

Přenos F_u :

Spojita forma

Diskretní forma

$a[0] = 0.33333$ $b[0] = 0.69782$ $a[0] = 1.00000$ $b[0] = 0.61406$
 $a[1] = 1.00000$ $b[1] = 0.00000$ $a[1] = -0.77491$ $b[1] = -0.13129$
 $a[2] = 0.00000$ $b[2] = 0.00000$ $a[2] = -0.00089$ $b[2] = 0.00055$
 $a[3] = 0.00000$ $b[3] = 0.00000$ $a[3] = -0.00154$ $b[3] = 0.01099$

Casove zpozdění = 30.00000

30.00000

2

Přenos F_d :

Spojita forma

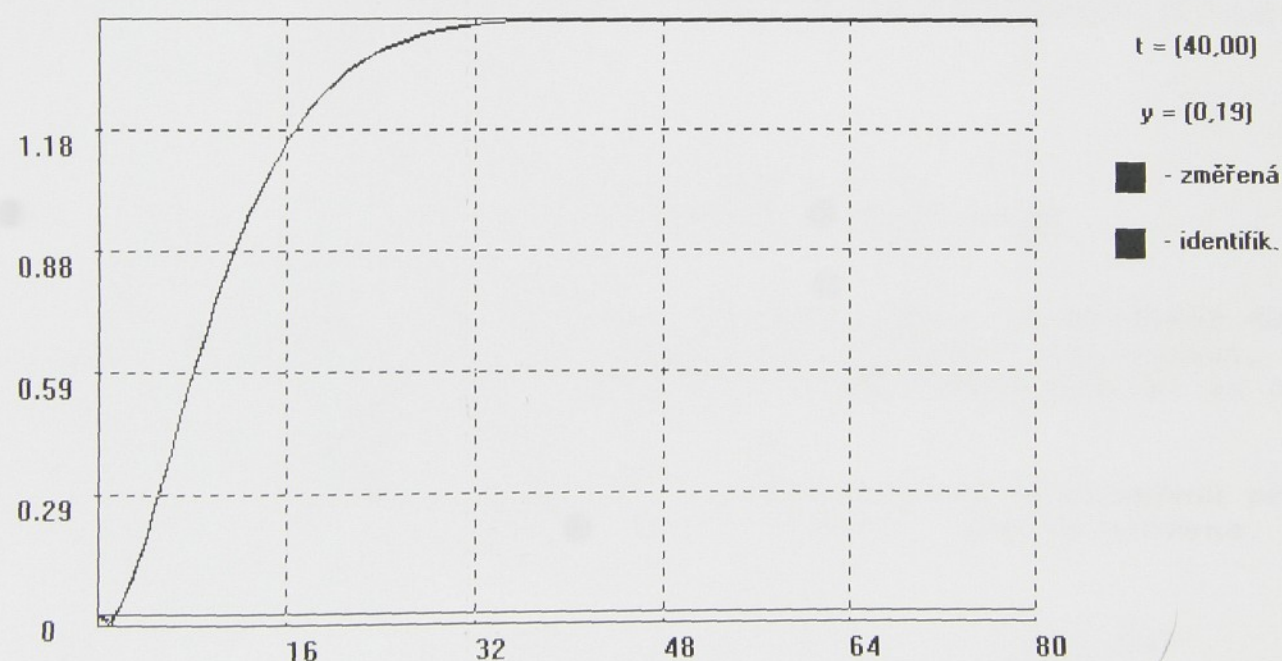
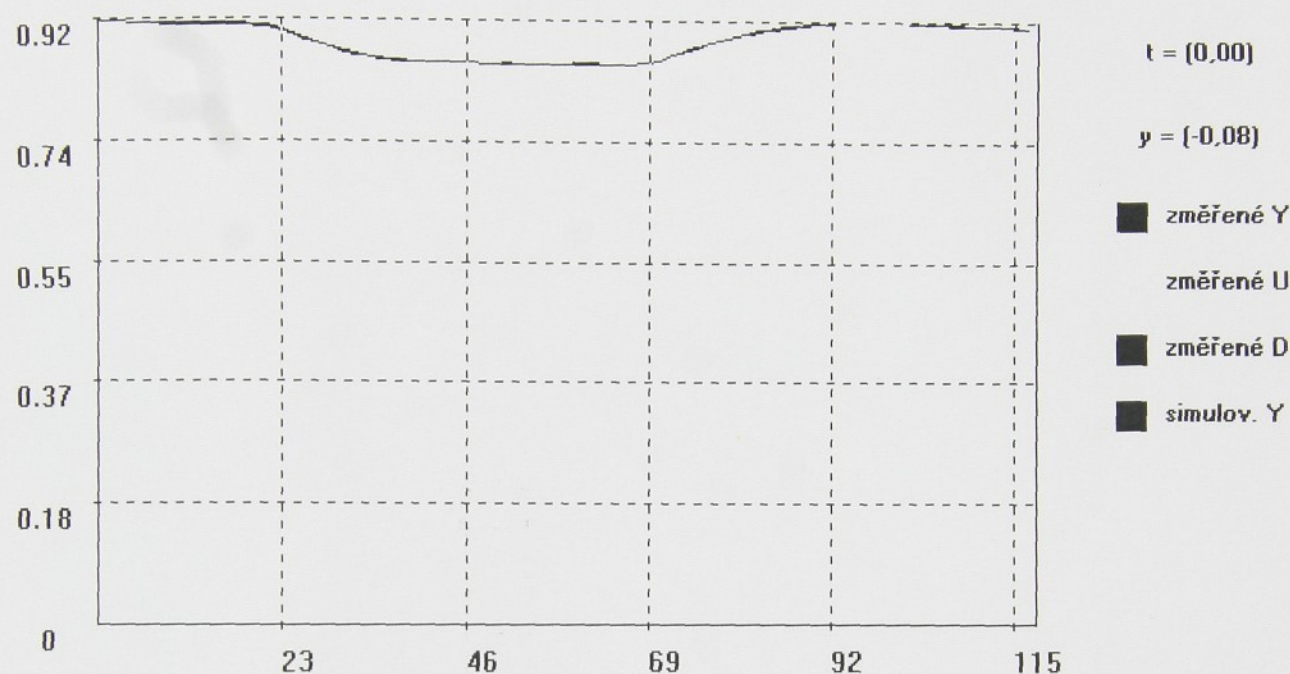
Diskretní forma

$a[0] = 0.33333$ $b[0] = -0.44241$ $a[0] = 1.00000$ $b[0] = -0.01457$
 $a[1] = 1.00000$ $b[1] = 0.00000$ $a[1] = -0.77491$ $b[1] = -0.38242$
 $a[2] = 0.00000$ $b[2] = 0.00000$ $a[2] = -0.00089$ $b[2] = 0.08361$
 $a[3] = 0.00000$ $b[3] = 0.00000$ $a[3] = -0.00154$ $b[3] = 0.00000$

Casove zpozdění = 25.00000

25.00000

Identifikace datových souborů z elektrárny Tušimice. Soubor **TUS.XY**. Jedná se o regulaci teploty přehříváku pomocí vstříků vody. Měření bylo provedeno 23 a 24. 4 1996.



Výsledky identifikace

Přenos F_u :

Spojita forma

$$a[0] = 0.00278 \quad b[0] = 0.00401$$

$$a[1] = 0.06389 \quad b[1] = 0.04874$$

$$a[2] = 0.45000 \quad b[2] = -0.04044$$

$$a[3] = 1.00000 \quad b[3] = 0.00000$$

Casove zpozdeni = 0.00000

Diskretni forma

$$a[0] = 1.00000 \quad b[0] = -0.00336$$

$$a[1] = -1.28597 \quad b[1] = -0.01955$$

$$a[2] = 0.21026 \quad b[2] = 0.08280$$

$$a[3] = -0.02330 \quad b[3] = 0.00000$$

$$0.00000$$