

Riadenie modelu reálneho procesu mikropočítačom

JÁN DANKO—ROMAN PROKOP

Súhrn. Článok sa zaoberá možnosťou využitia 8-bitového mikropočítača PMD-85-2 pri riadení reálneho procesu. V článku sa opisuje realizovaný model reálneho procesu, zariadenia využité pri riadení modelu reálneho procesu a nameraný priebeh zmeny riadenej veličiny pri skokovej zmene riadiacej veličiny.

V depozitoch mnohých výskumno-vývojových laboratórií zahŕňajú 8-bitové mikropočítače (ako napr. PMD-85 a pod.) domácej výroby (ktoré obsahujú medzistykový obvod MHB 8255) už odpísané ako konkurencieneschopné drahším a komfortnejším mikropočítačom zahraničnej výroby, hoci pri minimálnych hardwareových doplnkoch by sa ešte dali využiť na zber dát o priebehu zmien fyzikálnych veličín, ako sú tlak, teplota, vlhkosť a pod., a pri riadení jednoduchých procesov v laboratóriách, ale aj v domácnostiach (napr. pri riadení teploty, vlhkosti v skleníkoch, v liahniach hydiny a pod.).

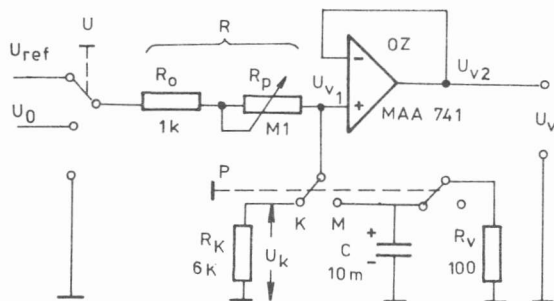
Možnosť využitia mikropočítača PMD-85-2 ako riadiaceho počítača sa overila na elektrickom analógovom modeli reálneho procesu.

Opis elektrického analógového modelu

Model je vytvorený z troch sériovo zapojených vzájomne nezávislých RC-členov, ktoré sú od seba galvanicky a impedančne oddelené opakovačmi signálu. Elektrická schéma zapojenia RC-člena je uvedená na obr. 1.

Pri tomto zapojení model umožňuje modelovať dynamické sústavy 1. až 3. rádu (bez interakcie medzi jednotlivými sústavami) s možnosťou nastavenia jednotlivých časových konštánt $T = RC$ od 10 s do 17 min. Princíp činnosti a realizácie RC-člena je nasledovná.

Doc. Ing. Ján Danko, CSc., Ing. Roman Prokop, CSc., Katedra automatizácie, Chemic-kotechnologická fakulta STU, Radlinského 9, 812 37 Bratislava.



Obr. 1. Elektrická schéma zapojenia RC-člena.
Fig. 1. Electric connection diagram of RC-element.

Rezistor R pozostáva z obmedzovacieho rezistora R_0 (obmedzuje max. nabíjací prúd kondenzátora C) a nastaviteľného rezistora R_p (slúži na nastavenie veľkosti časovej konštanty T).

Prepínač P v polohe K umožňuje nastavenie časovej konštanty T (pomocou sériovo zapojeného rezistora R_k) a súčasne nulovanie RC-člena (vybitie kondenzátora C pomocou rezistora R_v).

Po privedení referenčného napätia $U_{ref} = 5\text{ V}$ na vstup odporového deliča ($R + R_k$) na rezistore R_k vznikne úbytok napätia $U_k = U_v$

$$U_v = iR_k = \frac{U_{ref}}{R + R_k} R_k, \quad (1)$$

kde $R_k = 6\text{ k}\Omega$, $C = 0.01\text{ F}$, $R_k C = 60\text{ s} = 1\text{ min}$.

Úpravou vzťahu (1) (vynásobením čitateľa aj menovateľa hodnotou kapacity kondenzátora C , pričom $R_k C = 1\text{ [min]}$, $RC = T\text{ [min]}$) získame výraz (2) pre výpočet napätia U_v , ktoré musíme nastaviť pomocou deliča napätia na odpore R_k , aby sme získali požadovanú časovú konštantu T RC-člena.

$$U_v = \frac{1}{T + 1} U_{ref}. \quad (2)$$

Po prepnutí prepínača P do polohy M sa rezistor R_k odpojí od rezistora R a pripojí sa k rezistoru R kapacita — kondenzátor C .

Ak privedieme na vstup RC-člena vstupný signál — napätie U_0 , kondenzátor C sa začne nabíjať. Pribeh zmeny napätia U_c na kondenzátore C , pričom $U_c = U_v$ môžeme určiť (pri definovanej závislosti $U_0 = f(t)$) pomocou týchto vzťahov:

$$U_0 = iR + U_v, \quad (3)$$

$$U_v = \frac{1}{C} \int i \, dt \rightarrow i = C \frac{dU_v}{dt},$$

$$U_0 = \frac{dU_v}{dt} RC = U_v, \quad (4)$$

$$TU'_v + U_v = U_0. \quad (5)$$

Výstupné napätie U_v RC-člena privádzame (kvôli impedančnému oddeleniu a výkonovému zosilneniu) na vstup operačného zosilňovača OZ (MAA 741). Ak predpokladáme, že vstupný odpor R_{vst} operačného zosilňovača a zosilnenie nekonečne veľké ($R_{vst} \gg 1$, $k \gg 1$) potom

$$(U_{v1} - U_{v2})k = U_{v2} \quad (6)$$

pre $k \gg 1$ $U_{v1} = U_{v2} = U_v$.

Sériovým pripojením ďalších RC-členov tak, že výstupný signál U_v predchádzajúceho RC-člena je vstupným signálom ďalšieho RC-člena, t. j. $U_{vi-1} = U_{0i}$, získame model umožňujúci modelovať reálne sústavy, dynamické vlastnosti ktorých sú opísané diferenciálnymi rovnicami až tretieho rádu

$$\tau_3 U_v''' + \tau_2 U_v'' + \tau_1 U_v' + U_v = U_0, \quad (7)$$

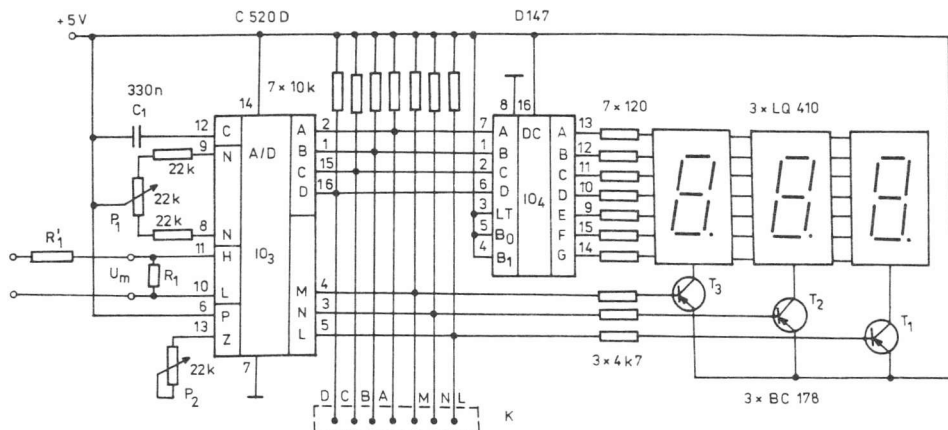
kde $\tau_3 = T_1 T_2 T_3$, $\tau_2 = T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3$, $\tau_1 = T_1 + T_2 + T_3$.

Analógovo-číslicový prevodník

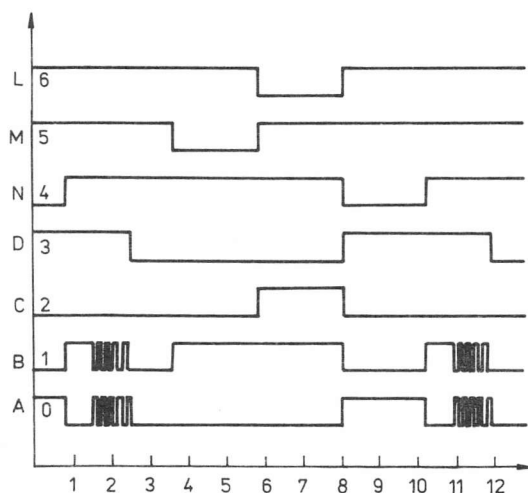
Výstupný analógový elektrický signál U_v z modelu reálnej sústavy (ktorý reprezentuje statické a dynamické vlastnosti reálneho riadeného procesu) je privádzaný (cez odporový delič $R_1 + R'_1$) na vstup 10-bitového analógovo-číslicového prevodníka (ďalej len A/D prevodníka) C 520 D (IO_1). Elektrická schéma zapojenia A/D prevodníka a zobrazovacej jednotky je zobrazená na obr. 2.

A/D prevodník prevádza vstupný analógový signál U_m (ktorý je na vstupných pinoch 10, 11 integrovaného obvodu IO_1) do binárne dekadického kódu (kód BCD). Priebeh výdaja informácie o meranej veličine na výstupoch A, B, C, D, pre jednotlivé rády zobrazovaného čísla v BCD kóde (od 0000 do 1001) s riadiacimi signálmi M, N, L (s hodnotou log 0 pre povel čítania, resp. zobrazovanie príslušného rádu) je uvedený na obr. 3.

Na výstupoch A, B, C, D (svorky 2, 1, 15, 16) A/D prevodníka sa postupne objavuje informácia v BCD kóde o meranej veličine najprv pre vyšší rád — na výstupe M (svorka 4) je riadiaci signál log 0, potom pre nižší rád — na výstupe L (svorka 5) je log 0, a nakoniec pre stredný rád — na výstupe N (svorka 3) je



Obr. 2. Elektrická schéma zapojenia analógovo-číslcového prevodníka a zobrazovacej jednotky.
Fig. 2. Electric connection diagram of A/D converter and display unit.



Obr. 3. Časové priebehy riadiacich (L, M, N) a dátových signálov (DCBA) A/D prevodníka.
Fig. 3. Time behaviour of control signal (L, M, N) and data signal (DCBA) of A/D converter.

log 0. Ako príkl. na obr. 3 je uvedený prevod analógového signálu $U_m = 2,96 \text{ V}$ do číslcového tvaru v BCD kóde v poradí čítania 0010, 0110, 1001. (Pre ďalšie programové spracovanie signálu riadiaci mikropočítač upraví poradie na 0010, 1001, 0110.) Podrobnejší opis činnosti A/D prevodníka (obvodu C 520 D) je uvedený napr. v [1, 2].

Výstupný signál A/D prevodníka (signály na výstupoch A, B, C, D a M, N, L) sa privádza na konektor K (ktorý je prepojený s riadiacim mikropočítačom) a súčasne na vstup dekódera D 147 (IO₂), ktorý dekóduje výstupný signál prevodníka z kódu BCD na kód sedemsegmentových zobrazovacích jednotiek LQ 410, ktoré zobrazujú údaj o meranej veličine v číslicovom tvare (obr. 2).

A/D prevodník je pomocou konektora K modelu reálneho procesu prepojený s konektorom K₃ (4 GPIO/0) riadiaceho mikropočítača PMD-85-2. Vzájomné prepojenie jednotlivých pínov konektorov K, K₃ je uvedené v tab. 1. (Na konektor K₃ je pripojený port A medzistykového integrovaného obvodu MHB 8255A mikropočítača, ktorý je naprogramovaný ako výstupný port. Na pin č. 8 konektoru K₃ je trvale pripojený signál log 0.) [4].

Tabuľka 1
Table 1

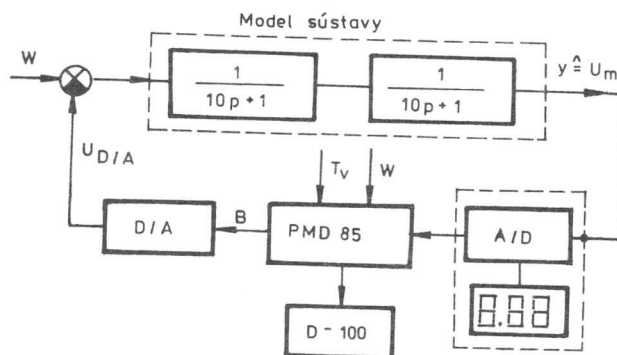
Zariadenie	Model	PMD-85-2		Význam signálu
Konektor	K	K3	K4	
č. pinu	20			$U_{D/A}$ výst. D/A prev.
	19			U_v výst. modelu
	18.16	8.1		GND – zem
	17			U_{ex} – externé nap.
	15		19	B7
	14	20		L
	13		20	B6
	12	17		N
	11		17	B5
	10	18		M
	9		18	B4
	8	15		D
	7		15	B3
	6	16		C
	5		16	B2
	4	13		B
	3		13	B1
	2	14		A
	1		14	B0

Číslicovo-analógový prevodník

Bloková schéma zapojenia riadiaceho mikropočítača PMD-85-2 s modelom riadeného procesu je zobrazená na obr. 4.

Výstupný 8-bitový číslicový signál B (B_7, B_6, \dots, B_0) z portu B medzistykového integrovaného obvodu MHB 8255A, ktorý je pripojený na konektor K_4 (kanál 4 GPIO/1) mikropočítača, sa privádza na vstup číslicovo-analógového prevodníka (ďalej len D/A prevodníka). Vzájomné prepojenie jednotlivých pínov konektora K_4 a konektora K modelu (na ktorý je pripojený aj D/A prevodník) je uvedené v tab. 1.

V D/A prevodníku sa výstupný signál B mikropočítača, ktorý je v prirodzenom dvojkovom kóde (v paralelnom tvare), prevádza na analógový signál $U_{D/A}$, ktorý riadi vstupný (akčný) signál (napr. príkon energie) do sústavy.



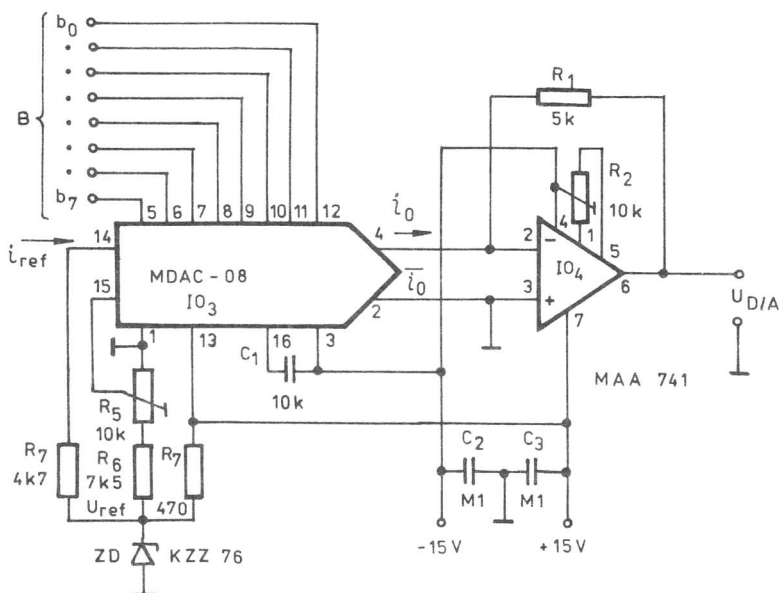
Obr. 4. Bloková schéma uzatvoreného regulačného obvodu.
Fig. 4. Block diagram of closed-loop control system.

Elektrická schéma zapojenia D/A prevodníka je zobrazená na obr. 5.

D/A prevodník pozostáva z rýchleho D/A prevodníka MDAC 08 (IO_3), z presných (externých) rezistorov a kapacít a operačného zosilňovača MAA 741 (IO_4) [5].

Vstupný referenčný prúd i_{ref} prevodníka je vytvorený pomocou rezistorov R_4 a R_5 z referenčného napätia U_{ref} (vytvoreného z napájacieho napätia +15 V pomocou Zenerovej diódy KZZ 76). Výstupný prúd i_0 prevodníka závisí od referenčného prúdu a číslicového vstupu prevodníka B ($b_7, b_6, \dots, b_1, b_0$) podľa vzťahu

$$U_0 = i_{ref} \left(\frac{b_7}{2} + \frac{b_6}{4} + \frac{b_5}{8} + \frac{b_4}{16} + \frac{b_3}{32} + \frac{b_2}{64} + \frac{b_1}{128} + \frac{b_0}{256} \right).$$



Obr. 5. Elektrická schéma zapojenia D/A prevodníka.
Fig. 5. Electric connection diagram of D/A converter.

Výstupný prúd prevodníka i_0 D/A prevodníka sa prevádza na výstupné napätie $U_{D/A}$ pomocou operačného zosilňovača (IO_4) a spätnoväzbového rezistora R_1 .

Výstupný signál prevodníka — napätie $U_{D/A}$ nastavíme tak, že najprv pri nulovom číslicovom vstupe B nastavíme pomocou premenného rezistora R_2 nulovú hodnotu výstupného signálu $U_{D/A}$ (táto môže byť nenulová vplyvom asymetrie napäťových vstupov), a potom pomocou premenného rezistora R_5 (pri číslicovom vstupe, keď všetky bity vstupného signálu B majú hodnotu $\log 1$) nastavíme i_{ref} tak, aby $U_{D/A} = 5 \text{ V}$.

Rozlišovacia schopnosť RS D/A prevodníka je potom

$$RS = \frac{5 \text{ V}}{255} = 0,02 \text{ V}.$$

Výstupný analógový signál D/A prevodníka — napätie $U_{D/A}$, sa mení v rozsahu $0-5 \text{ V}$, pri zmene výstupného číslicového signálu B z mikropočítača — riadiaceho slova v rozsahu $0-255$.

Pripojenie A/D a D/A prevodníkov k riadiacemu mikropočítaču

Ako už bolo uvedené pri opise činnosti A/D prevodníka, výstupný signál A/D prevodníka je multiplexovaný, tzn., že na výstupoch DCBA prevodníka (v závislosti od prítomnosti riadiacich signálov L, M, N) sa objavuje informácia o meranej veličine v BCD kóde najprv pre najvyšší rád — riadiaci signál M je aktívny (má hodnotu log 0), potom pre najnižší rád — riadiaci signál L je aktívny a nakoniec pre stredný rád — riadiaci signál N je aktívny. Preto na získanie údajov o meranej veličine je potrebná programová obsluha. Mikropočítač musí správne načítať výstupnú informáciu prevodníka o meranej veličine, rozlíšiť, či ide o jednotky, desatiny alebo o stotiny hodnoty meranej veličiny a uložiť ich na zvolené pamäťové miesto v pamäti mikropočítača.

Blokové schémy obslužných programov C 520 (ktorý číta údaje z výstupov A/D prevodníka tak dlho, pokiaľ nie sú dva za sebou načítané údaje o určitom ráde informácie o meranej veličine rovnaké) a AD (ktorý zisťuje, či ide o jednotky, desatiny alebo o stotiny hodnoty meranej veličiny a ukladá ich na zvolenú adresu pamätí) (obr. 6a, b).

V pamäti mikropočítača PMD-85-2 je obslužný podprogram AD uložený od adresy 7000H (hexadecimálne) a podprogram C 520 od adresy 702EH.

Načítané hodnoty sú uložené v pamäti na adresách 7100H (stotiny), 7101H (desatiny) a 7102H (jednotky).

Výpis podprogramov C 520 a AD v strojovom kóde a v asembleri mikroprocesora I 8080 (s komentárom) uvádza tab. 2.

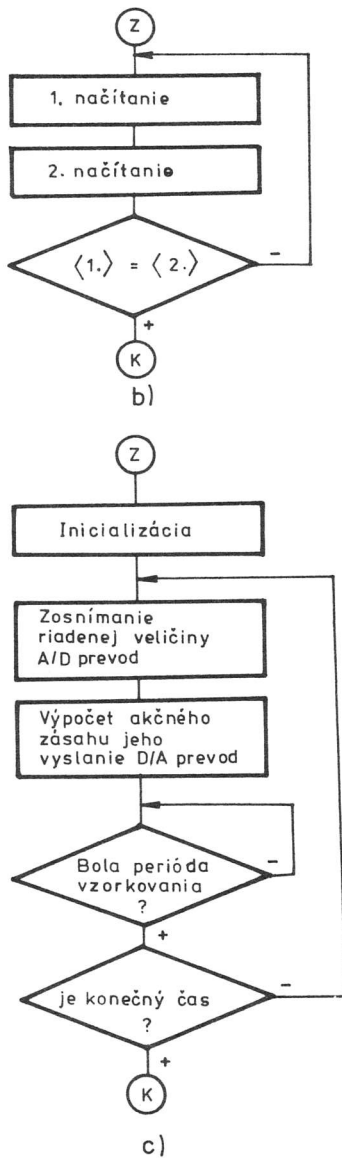
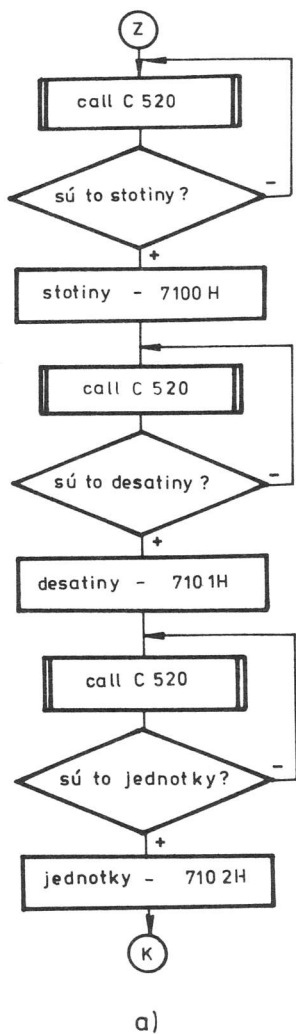
Pripojenie mikropočítača PMD-85-2 k A/D a D/A prevodníkom sa realizuje príkazom OUT '4F, 153 (v jazyku BASIC-G mikropočítača), ktorým je naprogramovaný medzistykový obvod MHB 8255A mikropočítača v móde 0, t. j. port A je jednoduchý vstupný, port B jednoduchý výstupný ('4F je adresa obvodu MHB 8255A hexadecimálne).

Riadiace slovo pre D/A prevodník je z intervalu 0-255 a vysiela sa príkazom: OUT '4D, riadiace slovo.

Uzatvorený regulačný obvod

Činnosť mikropočítača PMD-85-2 v úlohe riadiaceho počítača bola overovaná pomocou elektrického analógového modelu riadiaceho procesu, s namodelovanou sústavou (opísanou diferenciálnou rovnicou 2. rádu) s časovými konštantami $T = T_1 = T_2 = 10$ s a zosilnením $k = 1$, s prenosom

$$S(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{k}{(Tp + 1)^2} = \frac{1}{(10p + 1)^2}. \quad (8)$$



Obr. 6. Blokové schémy podprogramov: a — C 520, b — A/D, c — riadiaceho.

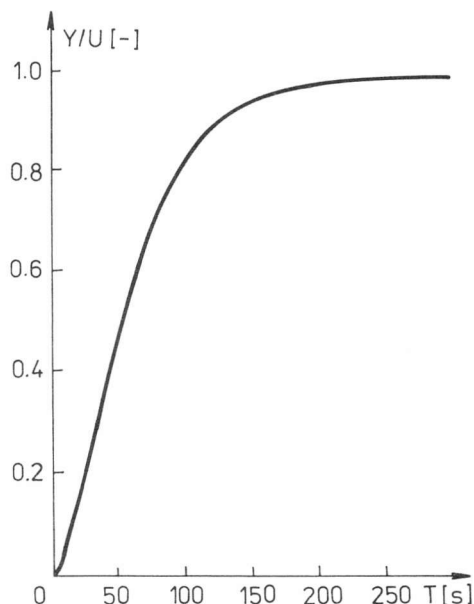
Fig. 6. Block diagrams of subroutines: a — C 520, b — A/D, c — control.

Tabuľka 2
Table 2

ADR.H	Strojový kód	Pod-program	Assembler	Poznámka (komentár)
7000	CD 2E 70	AD:	ORG 700H	načítanie správnej hodnoty
7003	17		CALL C520	
7004	17		RAL	
7005	DA 00 70		RAL	
7008	79	Z2:	JC AD	rotácia (CY) $\rightarrow (a_0)$ $(a_i) \rightarrow (a_{i+1})$ skok, ak nie sú stotiny
7009	E6 OF		MOV A, C	
700B	32 00 71		ANI OF	
700E	CD 2E 70		STA 7100	
7011	17	Z1:	CALL C520	načítanie správnej hodnoty
7012	17		RAL	
7013	17		RAL	
7014	17		RAL	
7015	DA OE 70	Z1:	JC 72	skok, ak nie sú desatiny
7018	79		MOV A, C	
7019	E6 OF		ANI OF	
701B	32 01 71		STA 7101	
701E	CD 2E 70	Z1:	CALL C520	maskovanie s 00001111B desatiny \rightarrow RAM načítanie správnej hodnoty
7021	17		RALL	
7022	17		RALL	
7023	17		RALL	
7024	DA 1E 70	Z1:	JC Z1	skok, ak nie sú jednotky
7027	79		MOV A, C	
7028	E6 OF		ANI OF	
702A	32 02 71		STA 7102	
702D	C9	C520:	RET	výstup z podprogramu načítanie
702E	DB 4C		IN A, PA, I.	
7030	4F		MOV C, A	
7031	DB 4C		IN A, PA, II.	
7033	B9	C520:	CMP C	načítanie
7034	C2 2E 79		JNZ C520	
7037	79		MOV A, C	
7038	C9		RET	
				skok, ak nie je správna načítaná hodnota
				návrat správne načítanej hodnoty z portu PA

Prechodová charakteristika sústavy (časová závislosť zmeny výstupného signálu $y(t)$ pri skokovej vstupného signálu $U(t) = U_0$) odzrkadľujúca statické (zosilnenie) a dynamické (zotrvačnosť) vlastnosti sústavy uvádza obr. 7.

Bloková schéma uzatvoreného regulačného obvodu modelu sústavy s riadiacim mikropočítačom je znázornená na obr. 4.



Obr. 7. Prechodová charakteristika namodelovanej sústavy 2. rádu.

Fig. 7. Transient characteristic of simulated system of 2nd order.

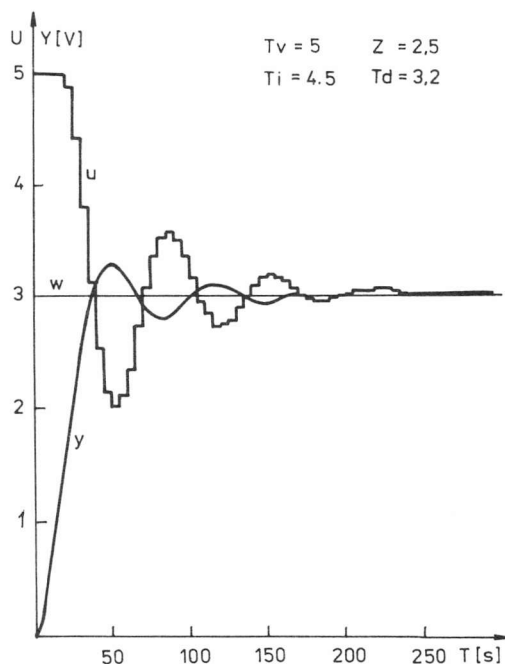
Na riadenie sústavy sa použil riadiaci algoritmus PSD regulátora. (Bloková schéma riadiaceho algoritmu je uvedená na obr. 6c.)

Časová závislosť zmeny výstupného signálu sústavy $y(t)$ a riadiaceho signálu $u(t)$ pri riadení na konštantnú hodnotu w pomocou algoritmu PSD regulátora je uvedená na obr. 8. Nastaviteľné konštanty PSD regulátora sú $Z = 2,5$; $T = 4,5$ s; $T_d = 3,2$ s; perióda vzorkovania $T_v = 5$ s.

Záver

Nameraná závislosť na obr. 7 potvrdzuje, že je možné využiť 8-bitové mikro-počítače, ako PMD-85 a pod., pri riadení reálnych objektov s minimálnymi hardwareovými doplnkami a jednoduchým softwareovým vybavením.

Pri riadení reálneho objektu, ktorého výstupným parametrom je teplota (napr. výmenník, skleník, liahň hydiny a pod.) môžeme úspešne využiť číslicový snímač teploty [1], ktorý vo svojej schéme okrem zobrazovacej jednotky (na vizuálnu kontrolu meranej veličiny) obsahuje aj A/D prevodník, umožňujúci korešpondenciu s riadiacim mikropočítačom (nielen na riadenie, ale aj na zber a archiváciu nameraných dát).



Obr. 8. Časové priebehy akčného signálu $u(t)$ a výstupného signálu $y(t)$ riadenej sústavy pri skokovej zmene riadiacej veličiny W z 0 na 3 V pri riadení pomocou algoritmov PSD regulátora.
Fig. 8. Time behaviour of control signal $u(t)$ and output signal $y(t)$ at jump change of command W from 0 to 3 V at algorithm control of PSD automatic controller.

Článok obsahuje všetky podklady potrebné na prepojenie 8-bitového mikro-počítača PMD-85-2 s riadeným procesom. V prípade hlbšieho záujmu (alebo nejasností) autori článku radi poradia.

Aplikácia dokonalejších algoritmov riadenia pri riadení modelu pomocou PMD-85-2 bude obsahom ďalšieho článku.

Literatúra

1. DANKO, J., Číslicový snímač teploty. Bull. PV (Bratislava), 30 (10), 1991, č. 4, s. 361 – 371.
2. ANDRLÍK, F., Číslicové panelové meradlo. ARA, 1984, č. 12.
3. REMEŇ, J., Riadenie elektrického modelu sústavy mikropočítačom. Diplomová práca. Bratislava, Chemickotechnologická fakulta SVŠT 1991.
4. Osobný mikropočítač PMD-85-2. Návod na použitie a obsluhu. Bratislava, Tesla, 1985.
5. Analógové integrované obvody pre prevodníky. Katalóg. Rožňov, Tesla, 1987.
6. ŠANDERA, J., Pripojenie prevodníka C 520 k mikropočítaču. ARA, 1985, č. 8.

Real-time model control by microcomputer

Summary

The use of 8-bit microcomputer PMD-85-2 in real-time control is presented. The analog model of dynamic processes has been constructed and connected with the control computer. The results of various principles of control including self-tuning regulators are described and analysed.

Управление модели реального процесса микрокомпьютером

Резюме

Приведенная статья решает вопрос использования 8-разрядного микрокомпьютера ПМД-85-2 в качестве управляющей вычислительной машины при управлении реальным процессом.

В статье приведено описание реализованной модели реального процесса, описание вспомогательных устройств примененных при управлении и приведена временная зависимость изменения управляемой величины при скачкообразном изменении управляющей величины.