

NOVÁ MĚŘICÍ JEDNOTKA CTRL V3

Petr Klán, Daniel Honc^{}, Jiří Jindřich^{**}*

Ústav informatiky AV ČR, Praha

^{*} Univerzita Pardubice

^{**} GHSOFT, Praha

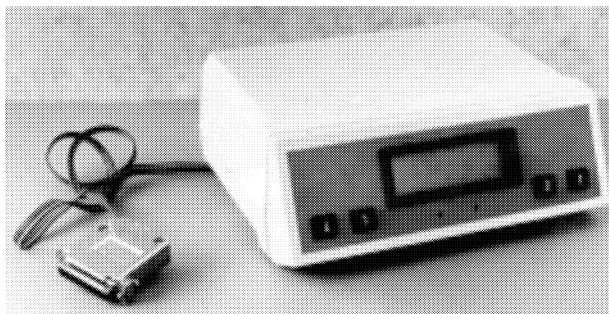
Abstrakt: Článek popisuje samostatnou, rozměrově malou a snadno přenosnou jednotku určenou zejména pro laboratorní automatizaci. Počítač nebo pracovní stanice doplněná o jednotku CTRL V3 může prostřednictvím komunikační linky s rozhraním RS-232 (případně USB) měřit nebo vysílat elektrické analogové nebo logické signály. Oproti použití klasických zásuvných akvizičních karet má tento způsob řešení několik výhod: nízká cena, snadná přenosnost mezi různými počítači, nezávislost na typu počítače a nenáročná obsluha. Součástí je programové vybavení umožňující s jednotkou CTRL V3 komunikovat přímo z prostředí MATLAB 6.

1. Úvod

Řízení procesů je tradiční inženýrskou disciplínou. Vývoj teorie i praxe řízení procesů jde neustále intenzivně dopředu [1]. Nezbytnou součástí rozvoje oboru je práce s experimentálními soustavami. Prakticky se ověřují teoretické výsledky vědecké práce a testují se reálné situace i možnosti. V současném vybavení pracoviště by proto neměly chybět fyzikální modely reálných procesů a další soustavy modelující reálné situace. Existuje dostatek zkušeností u nás [5] i v zahraničí [6,7,11], že např. vývoj a výuka automatického řízení jsou mnohem efektivnější, užitečnější a zajímavější, pokud jsou prakticky orientované. Mimořádně úspěšné jsou také učebnice řízení, jejichž základ tvoří aktivní práce s experimentálními modely [2].

Proto se již na počátku devadesátých let minulého století objevily pokusy [10], jak jednoduše propojit počítač s reálnými soustavami a umožnit tak realizaci širokého spektra simulačních úloh. Protože se v té době rychle rozvíjel a zejména v zahraničí hojně pro simulace řízení používal program MATLAB, vznikla myšlenka vyvinout samostatnou a snadno přenosnou jednotku, která by MATLAB propojila s okolním světem a tak rozšířila jeho možnosti také na práci s reálnými soustavami. Byly vyvinuty a vyrobeny první prototypy takové jednotky na bázi mikroprocesoru Intel řady 8048 komunikující s MATLAB 2 [9]. Jednotka dostala název CTRL (control) a s počítačem komunikovala pomocí sériové linky. Byla schopná generovat i reálný čas a proto bylo možné vytvářet plnohodnotné regulační systémy. Regulátor pracoval v prostředí MATLAB, soustava byla reálná.

Další typ CTRL V92 byl postaven na bázi mikroprocesorů řady 51 [3,8] a určen pro MATLAB 4. Podobně jako poslední typ CTRL V94, který pracoval na bázi mikroprocesoru Philips 80C552 [8]. Ten měl také vlastní zobrazovač a je pro srovnání ukázán na obr. 1. Obě verze se rychle rozšířily do laboratoří vysokých škol. Několik i do zahraničí. Aby mohly pracovat také pod MATLAB 6, bylo vyvinuto zcela nové programové vybavení [4].

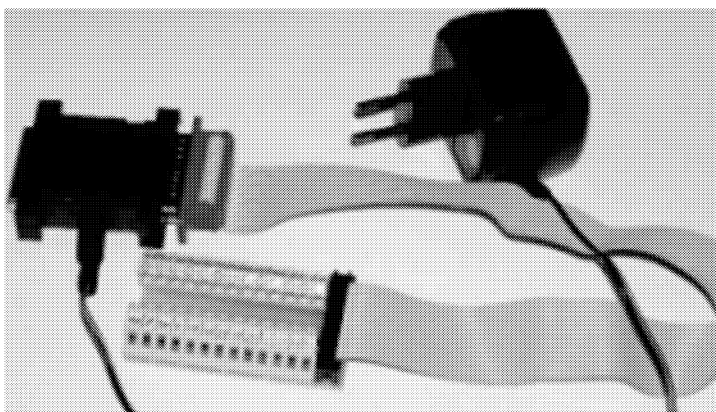


Obr. 1 Jednotka CTRL V94

Protože vývoj elektroniky a souvisejících technologií zaznamenal za poslední roky ohromný pokrok a potřeba řízení reálných procesů je stále aktuální [11], jevílo se jako účelné vyvinout a postavit jednotku CTRL zcela novou. Dalším impulsem byla také skutečnost, že od verze MATLAB 6 je standardní součástí podpora komunikace se zařízením pomocí sériové linky počítače. Do budoucna je perspektivní také použití USB portů. Vznikla tak moderní, rozměrově minimalizovaná a kompaktní jednotka a byla vyvinuta její podpora pro MATLAB 6. S její pomocí lze poměrně snadno z prostředí MATLAB 6 řídit reálné laboratorní soustavy a provádět úlohy sběru fyzikálních dat. Jednotka byla pojmenována jako CTRL V3 a v dalším jsou popsány její vlastnosti i některé možnosti použití. Je osazena mikroprocesorem PIC 16F876A.

2. Základní parametry nové jednotky

Nová jednotka CTRL V3 má 4 analogové vstupy (0-10 V), 2 analogové výstupy (0-10 V, 50 mA) při 9-bitovém rozlišení a 4 logické vstupy a výstupy. Logické výstupy jsou také přizpůsobeny k přímému ovládní 12V relé. Jednotka je umístěna v běžném sériovém krytu mezi dvěma konektory CANON 25. Na jedné straně je signálový konektor a na druhé konektor pro sériovou linku, která má opto-elektrické oddělení. Při připojení k počítači není nutné instalovat žádné ovladače. K signálovému konektoru je možné ještě zapojit speciální svorkovnici, která může usnadnit připojení k vnějšímu zařízení. Napájení CTRL V3 je z univerzálního nestabilizovaného 12 V zdroje (min. 300 mA). V případě použití USB portu je ještě k dispozici převodní konektor USB/RS-232. Při připojení jednotky CTRL V3 k USB portu je však třeba použít zvláštní ovladač. Sestava prototypu CTRL V3 spolu se svorkovnicí a zdrojem je na obr. 2.

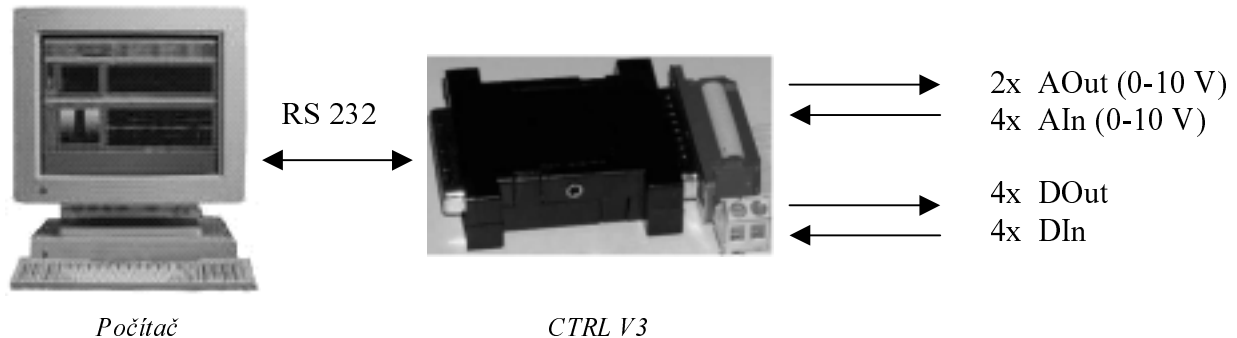


Obr. 2 Nová jednotka CTRL V3

3. Připojení k počítači a komunikační protokol

Jednotku CTRL V3 stačí připojit k sériovému portu počítače a je připravena k činnosti. Jednotka může kromě měření a vysílání analogových a logických signálů na požádání, posílat obraz vstupů a výstupů periodicky a tím také pro MATLAB 6 vytvářet reálný čas.

Připojení jednotky k sériovému portu počítače je schématicky znázorněno na obr. 3.



Obr. 3 Připojení jednotky CTRL V3 k počítači

Sériová komunikace s jednotkou má následující parametry: 19200 Baud, 8 datových bitů, bez parity, 1 stop bit. Signál DTR musí být ve stavu ON, jinak jednotka neodpovídá, ale výstupní povely provádí. V prostředí MATLAB 6 lze vytvořit objekt sériového portu s těmito parametry např. následujícím způsobem:

```
% vytvoř serial port objekt s požadovanými parametry  
s = serial(com, 'BaudRate', 19200, 'DataBits', 8, 'Parity', 'none', 'StopBits', 1, 'Terminator',  
'CR/LF', 'DataTerminalReady', 'on');  
fopen(s) % spoj serial port objekt se zařízením
```

Komunikační protokol s jednotkou CTRL V3 je znakový (7 bit US-ASCII) a je navržený s ohledem na možnosti MATLAB 6. Je využita funkce terminátoru „CRLF“. K vysílaným příkazům se terminátor automaticky přidává. CTRL V3 na každý příkaz odpoví potvrzovací zprávou, případně chybovým hlášením. Každý povel začíná řetězcem „@05“. Následuje vlastní příkaz, který je zakončen terminátorem „CRLF“. Na začátku odpovědi od zařízení je řetězec „#05“. Následují data (příp. chybové hlášení) a terminátor „CRLF“.

Např. pro zjištění stavu digitálního vstupu I0 je nutné odeslat příkaz „@05 I0“+CRLF. Pokud je na vstupu 0, je přijat řetězec „#05 I0=0“+CRLF. Tomu odpovídá následující skript:

```
fprintf(s, '%s\n', '@05 I0'); % zapiš příkaz  
odpověď = fgetl(s); % přečti odpověď  
y=str2num(odpověď(8)); % převed' část odpovědi na číslo
```

Ve skriptech jsou použity standardní příkazy programu MATLAB 6 pro komunikaci se zařízením přes sériovou linku a pro práci s textovými řetězci.

4. Funkce jednotky CTRL V3

Následuje přehled základních funkcí jednotky CTRL V3. Všechny lze využívat přímo z prostředí programu MATLAB 6. Ke zjednodušenému používání některých z nich jsou v dalším vytvořeny zvláštní skripty.

Ovládání výstupů

- nastavení, vypnutí digitálního výstupu (případně všech najednou)
- zjištění stavu digitálního výstupu (případně všech)
- podmíněný časový bitový výstup – při stavu 1 vybraného digitálního vstupu (nebo také okamžitě po vydání příkazu) se na požadovanou dobu sepne digitální výstup. Modifikací příkazu lze vypnout čítač, případně zajistit, že se digitální výstup nerozepne. Příkazem lze zjistit stav sestupného čítače (případně všech).
- generování impulsů na digitálním výstupu. Parametry příkazu jsou počet impulsů, jejich šířka, šířka mezery a koncový stav.
- nastavení analogového výstupu

Načítání vstupů

- zjištění stavu digitálního vstupu (případně všech). Kromě aktuální hodnoty lze také detekovat existenci impulsů 0-1-0 nebo 1-0-1 (od posledního čtení). Příkazem lze zjistit pouze změny digitálních vstupů od posledního čtení.
- vstupy čítačů se volí programově z digitálních vstupů. Lze zjistit stav čítače (případně všech) a nebo nastavit jeho hodnotu.
- přečtení analogového vstupu

Operace s pamětí

- načtení a zápis do paměti EEPROM. Lze nastavovat různé parametry ovlivňující funkce CTRL V3 (povolení či zakázání automatického vysílání změn digitálních vstupů, parametry kalibrace analogových vstupů, přednastavený stav digitálních výstupů po resetu, hodnoty čítačů, zdrojové vstupy pro čítače, periodu automatického vysílání obrazu vstupů a výstupů a další).

5. Knihovna funkcí pro MATLAB 6

Aby byla práce s CTRL V3 z pohledu uživatele co nejjednodušší a nevyžadovala podrobnou znalost komunikačního protokolu, byla vytvořena knihovna funkcí pro MATLAB 6. Ty slouží jako stavební bloky při vytváření vlastních aplikací. Použitím funkcí se zvýší přehlednost programu, ve funkcích dochází ke kontrole parametrů (povolených hodnot), ke konverzi na konkrétní příkaz a k jeho vyslání, k dekodování přijaté odpovědi a převodu do číselného formátu nebo generování chybového hlášení. Knihovna obsahuje následující funkce:

function s = open_port(com)

Vytvoří serial port objekt **s**, nastaví jeho parametry a spojí se zařízením **com** - jméno sériového portu (např. 'COM1', 'COM2', ...).

function y = get_y(s, typ, index)

Přečte vstup CTRL. **y** je hodnota přečteného analogového vstupu (napětí 0-10 V) nebo digitálního vstupu (0 - na vstupu je 0, 1 - na vstupu byl jeden nebo více impulsů 0-1-0 od posledního čtení, 2 - na vstupu byl jeden nebo více impulsů 1-0-1 od posledního čtení, 3 - na

vstupu je 1). Parametr **typ** určuje, zda se jedná o analogový nebo digitální vstup ('a', 'd'). **Index** je číslo vstupu (u analogových 0-3, u digitálních 0-3).

function set_u(s, typ, index, hodnota)

Nastaví výstup CTRL. Parametr **typ** určuje, zda se jedná o analogový nebo digitální výstup ('a', 'd'). **Index** je číslo výstupu (u analogových 0-1, u digitálních 0-3). **Hodnota** je hodnota analogového výstupu (napětí 0-10 V) nebo hodnota digitálního výstupu (0, 1).

function set_t(s, perioda)

Nastaví periodu automatického vysílání obrazu vstupů a výstupů na hodnotu **perioda** v sekundách. Hodnota periody 0 vypíná automatické vysílání.

function [ya, yd, ua, ud]=get_msg(s)

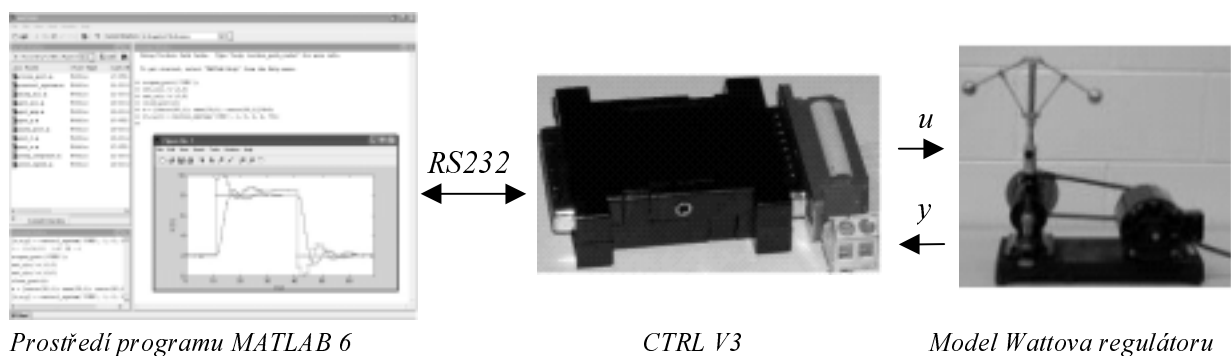
Počká na zprávu od CTRL a vrátí obraz vstupů a výstupů. **ya** je vektor hodnot analogových vstupů, **yd** je vektor hodnot digitálních vstupů, **ua** je vektor hodnot analogových výstupů, **ud** je vektor hodnot digitálních výstupů.

function close_port(s)

Odpojí serial port objekt s od zařízení a odstraní jej z paměti.

6. Realizace regulačního obvodu

S použitím výše uvedených funkcí pro MATLAB 6 lze již sestavovat skripty např. pro sběr a zpracování fyzikálních dat, ovládání laboratorních soustav apod. Běžnou úlohou v laboratorní automatizaci je také sestavení regulačního obvodu a následná automatická regulace. Ilustrační jednosmyčkový regulační obvod pro regulaci rozevření Wattova regulátoru je na obr. 4. CTRL V4 zde slouží jako jednotka styku mezi modelem Wattova regulátoru [12] a prostředím programu MATLAB 6.



Obr. 4 Regulace rozevření Wattova regulátoru

Počítač se chová jako automatický regulátor. K tomu je potřeba vytvořit zvláštní skript s použitím výše uvedených funkcí. Pořadí jejich použití bude v tomto případě následující. Regulace probíhá při předem nastavené periodě a žádané hodnotě w rozevření regulátoru. Použije se funkce *get_msg*, která čeká na nastavenou časovou periodu a přečte všechny vstupy a výstupy jednotky CTRL V3. Změřené aktuální rozevření se převede do stejného rozsahu v jakém se udává žádaná hodnota. Vypočte se regulační odchylka $e=w-y$. Ta se dosadí do použitého regulačního zákona. Výsledkem je akční zásah u , který se omezí do rozsahu 0-10 a za použití funkce *set_u* se na jednotce CTRL V3 nastaví odpovídající výstupní

napětí. Opět se použije funkce *get_msg* a celý cyklus se opakuje. Právě k ilustraci možného využití jednotky CTRL V3 je v následující kapitole uvedeno několik praktických příkladů.

7. Několik praktických úloh

Měření přechodové charakteristiky

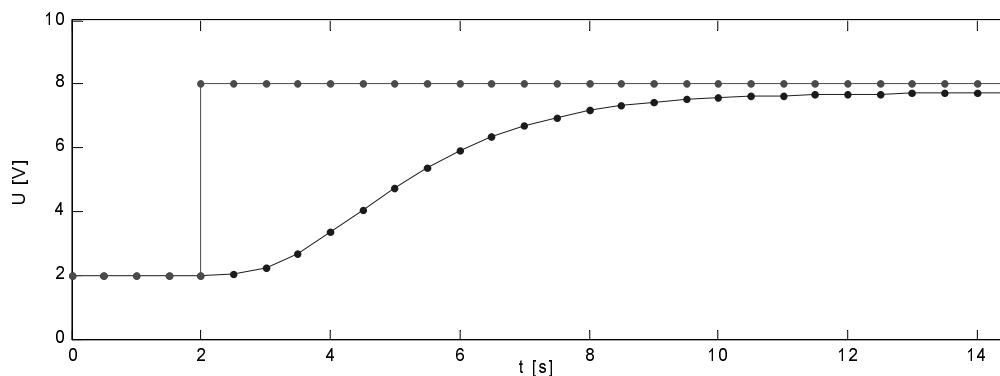
Pomocí výše uvedených funkcí je vytvořena funkce pro změření přechodové charakteristiky soustavy. Je využito automatického vysílání obrazu vstupů a výstupů CTRL V3 s definovanou periodou. Tím je zajištěno časování nezávislé na počítači.

```
function [t, u, y] = step_response(com, perioda, index_u, index_y, pocet_ust, pocet_prech, pocatecni_u, konecna_u)
```

t je vektor času napočítaný z periody a počtu vzorků, **u** je vektor vstupu soustavy, **y** je vektor výstupu soustavy, **com** je jméno sériového portu, **perioda** je perioda vzorkování [s], **index_u** je číslo analogového výstupu CTRL (0-1), **index_y** je číslo analogového vstupu CTRL (0-4), **pocet_ust** je počet intervalů vzorkování na ustálení (≥ 1), **pocet_prech** je počet intervalů vzorkování přechodové charakteristiky (≥ 1), **pocatecni_u** je počáteční hodnota výstupu, **konecna_u** je konečná hodnota výstupu.

Na obr. 5 je změřená přechodová charakteristika laboratorního modelu - elektrické soustavy 3. řádu (tři operační zesilovače zapojené za sebou). Doba do ustálení této soustavy je přibližně 15 s. Zvolená perioda vzorkování je 0,5 s.

Použitý příkaz: `[t,u,y] = step_response('COM2', 0.5, 0, 0, 30, 25, 2, 8);`



Obr. 5 Přechodová charakteristika

Automatická regulace

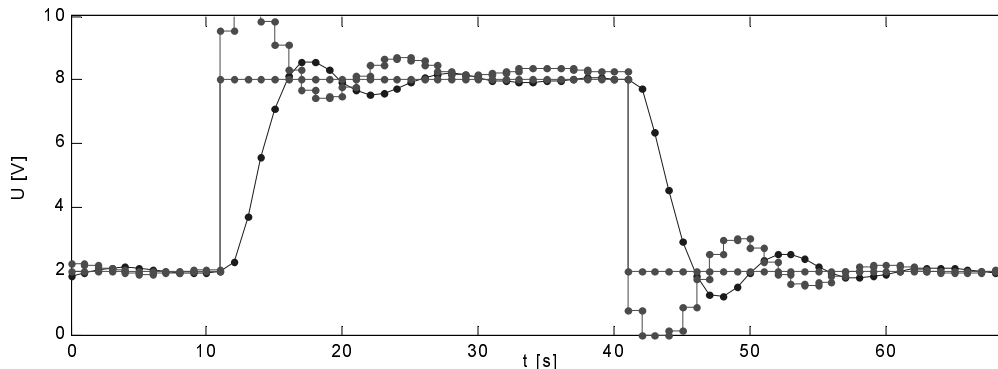
Obdobným způsobem je vytvořena funkce pro změření regulačního pochodu soustavy. Opět je využito automatického vysílání obrazu vstupů a výstupů CTRL. V každém intervalu vzorkování je vypočítána hodnota akční veličiny a je proveden akční zásah.

```
function [t,u,y] = control_system(com, perioda, index_u, index_y, w)
```

Vstupní parametry funkce jsou podobné jako u funkce pro měření přechodové charakteristiky. Je přidán parametr **w**, představující vektor průběhu žádané hodnoty. Použité příkazy:

```
w = [zeros(30,1); ones(30,1); zeros(30,1)]*6+2;
[t,u,y] = control_system('COM2', 1, 0, 0, w);
```

Na obr. 6 je změřený regulační pochod laboratorního modelu.



Obr. 6 Regulační pochod

Použitá literatura

1. Bissell C. (1998): Control engineering education for the information age. *Measurement & Control* 31 (5): 150-154.
2. Dorf R.C., Bishop R.H. (1998): Modern Control Systems. 8th edition. *Addison-Wesley*.
3. Dušek F., Klán P. (1993): Laboratorní jednotka styku s prostředím pro počítače. *Automatizace*, 36: 294-296.
4. Dušek, F., Honc, D (2002): Využití sériové linky pod MATLABem verze 6. *Sborník konference uživatelů MATLAB*.
5. Horáček P. (2000): Laboratory Experiments for Control Theory Courses: A Survey. *Annual Reviews in Control* 24: 151-162.
6. Jovan J., Petrovcic J. (1996): Process laboratory – A necessary resource in control engineering education. *Computers & Chemical Engineering* 20: 1335-1340.
7. Kheir N.A. (1996): Control systems Engineering Education. *Automatica* 32 (2): 147-166.
8. Klán P. (1994): Akviziční přístroj CTRL V94 pro PC a pracovní stanice. Příručka uživatele. Praha, ÚTIA ČSAV.
9. Klán P., Görner V., Maršík J. (1991): Technické a programové nástroje pro práci CADCS systémů v reálném čase a fyzikálním prostředí. Praha, ÚTIA ČSAV (Výzkumné zprávy 1706 a 1731).
10. Klán P., Maršík J., Valášek P., Görner V. (1990): Adaptivní PID regulátory s monolitickými u-počítači. Praha, ÚTIA ČSAV.
11. Lee P.L., Allen R.M., Cole G.R., Shastri S.S (2003): A modular laboratory for process control and process engineering. *Journal of Process Control* 13: 283-289.
12. WWW adresa: www.unm.edu/~physics/demo/html_demo_pages/1q2030.jpg

Poděkování

Práce byla vytvořena za finanční podpory grantového projektu GA ČR registrovaného pod číslem 102/03/0625.

Kontaktní adresa

Petr Klán, tel: 266053850, e-mail: pklan@cs.cas.cz