Acta Informatica Pragensia
3(1), 2014, 113–124, DOI: 10.18267/j.aip.39
Online: aip.vse.cz

Sekce / Section:
Recenzované stati / Peer-reviewed papers

Simulácia PID regulátora v programovom prostredí Matlab

Simulation of PID Controller in the Programming Environment Matlab

Štefan Koprda[1]

[1] Katedra informatiky, Fakulta prírodných vied,
Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre
Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra

skoprda@ukf.sk

Abstrakt: Článok sa zaoberá problematikou modelovania spojitých systémov. Pre simuláciu regulátora PID sme použili prostredie Matlab. Cieľom príspevku je oboznámiť sa s problematikou simulácie základných regulátorov PI PD a v neposlednom rade aj PID. Riešená problematika má v konečnom dôsledku priniesť odbornej verejnosti jednoduchý prehľad ako nasimulovať základné druhy regulátorov v prostredí Matlab. V článku je ako nástroj na modelovanie dynamických systémov použitý programový systém Matlab vyvinutý firmou Math Works. V súčasnosti má tento Software široké uplatnenie v rôznych oblastiach vedy a techniky. V teórii automatického riadenia sa stáva dokonca jedným z najpoužívanejších programových prostriedkov vo svete. Matlab tak ako každý iný programový prostriedok umožňuje vyjadriť niektoré myšlienky viacerými spôsobmi. Výhodou prostredia Matlab je možnosť pracovať s blokmi podobnými blokom bežne používaným v schémach pre regulačnú techniku. Dynamický systém, ktorý potrebujeme modelovať je možné zostaviť zo štandardných blokov. Tie sú preddefinované v knižniciach Simulinku a jednoduchým kopírovaním ich môžeme aplikovať priamo v Matlabe.

Klíčová slova: PID regulátor, Modelovanie, Matlab Simulink, Spojitý systém.

Abstract: This paper deals with the problem of modelling continuous systems. For simulate a PID controller, we used virtual environment Matlab. The goal of this article is to give information about the topic of the basic regulators PI PD simulation and PID too. Eventually, solved issues have to bring to professionals simple overview of how to simulate fundamental regulators' types in Matlab enviroment. In this paper is like a tool for modelling of dynamic systems applied Matlab. Matlab was developed by The Math Works Inc. This software has a wide application in various fields of science and technology. In the theory of automatic control is becoming even one of the most used software tools in the world. MATLAB just like any other simulation program means allow to express some thoughts in several ways. The advantage of Matlab is the opportunity to work with blocks of similar blocks commonly used in schemes for control technology. Dynamic systems which need to be modelled can be assembled from standard blocks. These are predefined in libraries Simulink and with using simple copying them can be applied their directly in Matlab.

Keywords: PID controller, Modelling, Matlab Simulink, Discrete system.

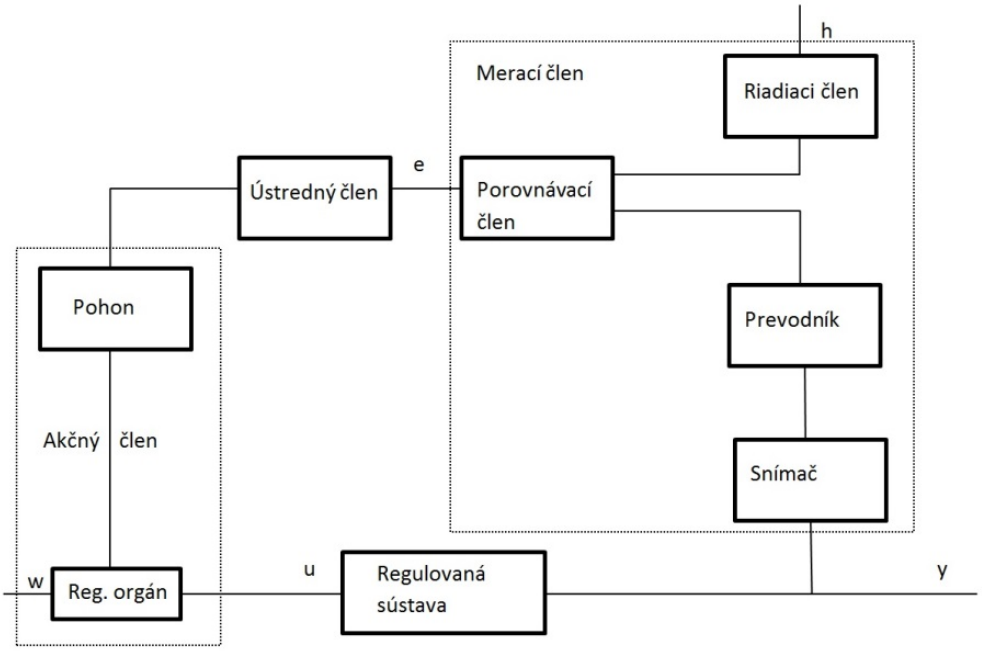
1 Úvod

Modelovanie systémov je činnosť, ktorá umožňuje uvažovať o reálnom svete na základe získaných poznatkov a tak ho cieľavedome ovplyvňovať. Pod pojmom systém obvykle rozumieme abstrakciu reality, pričom sa zameriavame len na tie skutočnosti, ktoré sú relevantné pre naše skúmanie. Modelovaný systém má určitú štruktúru, teda sa skladá zo zložiek (prvkov alebo entít systému), medzi ktorými existujú isté väzby, vzťahy alebo relácie. V dynamickom systéme sa môžu meniť väzby, ale i množina prvkov systému (Balogh et al., 2012). Systém teda definujeme ako objekt, už reálne existujúci alebo v abstraktnom význame, ktorý chceme skúmať, pričom sa počas svojej existencie môže vyvíjať a spolupracovať s inými systémami, ktoré tvoria jeho okolie (Backlund, 2000).
Dôležitým aspektom je požiadavka, aby sa s modelom dalo experimentovať, a to často aj v reálnom čase. Proces experimentovania, v ktorom skúmame vlastnosti modelu, alebo jeho interakciu s okolitým svetom, je často jediný možný spôsob, ako získať aspoň kvalitatívne nové poznatky o dynamike a štruktúre analyzovaného, alebo projektovaného systému (Neuschl, 1988).
Proporcionálne-integračne-derivačné (PID) ovládanie je tradičná metóda lineárneho riadenia použitá v mnohých aplikáciách (Prodic, 2002). Regulátor PID je široko používaný pre priemyselnú automatizáciu úloh a regulovanie tepelného komfortu vykurovania a chladenia v aplikáciách. (Ardehali, 2004)

2 Automatizácia a regulácia v spojitých systémoch

Riadenie je činnosť, pri ktorej sa hodnotia a spracúvajú informácie o riadenom objekte alebo procese a podľa nich sa ovládajú príslušné zariadenia tak, aby sa dosiahol daný cieľ (Krčula, 1982). Je to pôsobenie riadiaceho systému na riadený systém. Ak sa uskutočňuje nejakým zariadením samočinne, hovoríme o automatickom riadení. Otvorený systém automatického riadenia, čiže riadenie v otvorenej slučke je také riadenie, kde nie je spätná kontrola ani vplyvu riadiacich zásahov cez vektor vstupných veličín u(t), ani vplyvu vektora poruchových veličín d(t) na vektor výstupných (riadených) veličín y(t). Takéto riadenie (bez spätnej väzby od riadeného k riadiacemu systému) nazývame ovládaním. Môžeme ho použiť iba tam, kde vznik poruchových veličín je málo pravdepodobný.
Regulácia je udržiavanie regulovaných veličín na vopred stanovených hodnotách. Skutočné hodnoty sa zisťujú meraním a porovnávajú sa so žiadanými hodnotami. Podľa odchýlok, ktoré sú mierou presnosti regulácie sa zasahuje do riadeného procesu tak, aby tieto odchýlky boli minimálne. Ak túto činnosť vykonáva človek, hovoríme o ručnej regulácii, ak sa uskutočňuje samočinne nejakým zariadením, hovoríme o automatickej regulácii. Regulovaná sústava je zariadenie, na ktorom sa uskutočňuje regulácia a regulátor je zariadenie, ktoré samočinne uskutočňuje reguláciu (Vítek, 1988).

Regulácia sa uskutočňuje vždy v regulačnom obvode:



Obr. 1. Úplná bloková schéma regulačného obvodu.

w - poruchová veličina
e - regulačná odchýlka
u - akčná veličina
h - riadiaca veličina
y - výstupná regulovaná veličina

3 Proporcionálno-integračno-derivačný regulátor (PID regulátor)

Regulátor je zariadenie, ktoré sa stará, aby daný systém automaticky pracoval a fungoval v požadovanom rozsahu hodnôt. Riadeným systém môže byť napríklad motor, elektromotor, vykurovanie, klimatizácia, chemický proces atď. (Dorčák et al., 2006).
Jeho vlastnosti vyjadruje súčet vlastností jednoduchých regulátorov P, I a D. Tomu zodpovedá jeho rovnica (Lukáč, Hrubý, 2005):

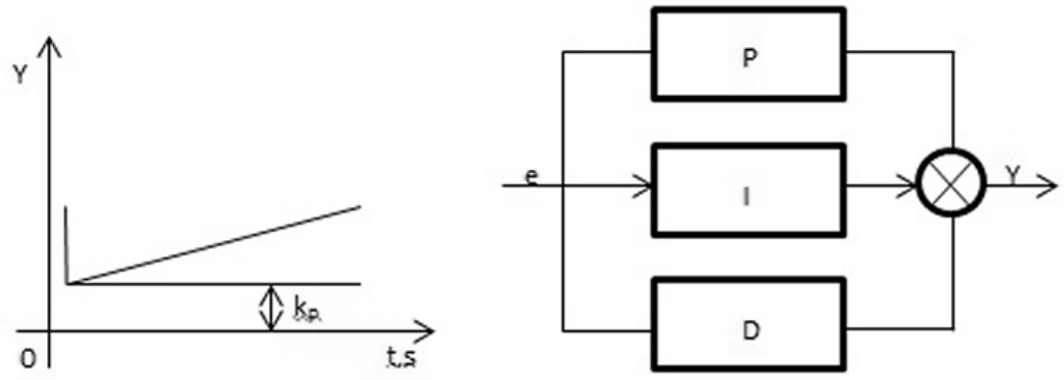
$$y(t) = P\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad \textbf{(1)}$$

Veľkosť každej zložky je možné samostatne nastavovať, to znamená P – pásmo proporcionality, Ti – integračnú časovú konštantu a Td – derivačnú časovú konštantu. Pre kvantitatívne vyjadrenie platí:

- zväčšenie vplyvu proporcionálnej zložky dosiahneme zväčšením zosilnenia, alebo zúžením pásma proporcionality,
- zväčšenie vplyvu integračnej zložky dosiahneme zmenšením integračnej časovej konštanty,
- zväčšenie vplyvu derivačnej zložky dosiahneme zmenšením derivačnej časovej konštanty. Zväčšením derivačnej zložky zlepšíme stabilitu regulačného obvodu, kým integračná zložka nám stabilitu zhorší.

Regulátor vznikne paralelným spojením členov P, I a člena D. Uvedený združený regulátor pracuje bez trvalej regulačnej odchýlky a možno ho hodnotiť ako najdokonalejší spojitý regulátor. Prenosová funkcia regulátora:

$$G_R(s) = P\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \tag{2}$$



Obr. 2. Prechodová charakteristika a schéma PID regulátora.

PID regulátor je vhodný všade tam, kde vyhovuje regulátor PI. Oproti regulátoru PI je rýchlejší, takže lepšie tlmí rýchle prekmity regulovanej veličiny, vstupujúcej obzvlášť pri častých poruchách do regulovanej sústavy.
Kvalita procesu regulácie je funkciou parametrov P, Ti a Td PID regulátora. Môžeme ich navrhnúť tak, aby sme podľa zvoleného kritéria dosiahli najlepšiu možnú kvalitu regulácie. Určovanie optimálnych parametrov regulátorov je relatívne zložitá a namáhavá práca. Preto sa hľadali jednoduché algoritmy, často aj na úkor ich všeobecnej platnosti a presnosti riešenia. Medzi takéto jednoduché algoritmy patrí napr. metóda optimálneho modulu a experimentálna metóda Zieglera – Nicholsa (Tomas, 2004).

Výhody PID regulátora:

- vysoká kvalita regulácie, najmä statických sústav.

Nevýhody PID regulátora:

- veľké nároky na regulátor,
- zdĺhavé manuálne nastavovanie regulačných parametrov.

3.1 Analýza spojitého regulačného obvodu s regulátorom PID

Schémy procesov a ich blokové schémy poskytujú možnosť kvalitatívneho porozumenia ich funkcii. Za účelom kvantitatívneho vyjadrenia vlastností procesov sa využívajú matematické opisy. Tieto opisy sa nazývajú matematické modely. Matematický model procesu je vlastne matematickou abstrakciou reálneho procesu. V tejto práci ako moduly budeme používať regulačný obvod. Zjednodušenie výpočtu dynamických vlastností systémov a zložitých členov sa dá uskutočniť ich rozdelením na subsystémy. Regulačný obvod sa rozdeľuje na regulovanú sústavu S a regulátor R, čo umožňuje k danej sústave priradiť regulátor o takých dynamických vlastnostiach, aby regulačný obvod ako celok mal požadované fyzikálne a prevádzkové vlastnosti.
PID má výstupný signál úmerný vstupnému signálu, jeho integrálu a derivácii. Diferenciálna rovnica PID regulátora má preto tvar:

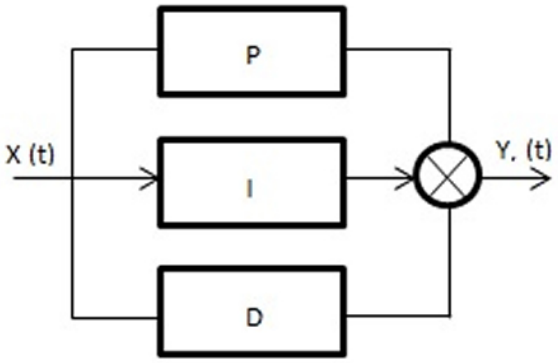
$$r_0 x(t) + r_{-1} x(t)dt + r_1 x'^{(t)} = y(t) + T_1 y'^{(t)} + T_2^2 y''^{(t)} + \cdots \quad \textbf{(3)}$$

Prenos PID regulátora je:

$$F(p) = \frac{r_0 + \frac{r_{-1}}{p} + r_1 p}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2 + \cdots} \quad \textbf{(4)}$$

PID regulátor dostaneme paralelným spojením PI D regulátorov. Je to znázornené na obrázku 3. Vlastnosti PID regulátora:

- je stredne rýchly,
- dokáže odstrániť regulačnú odchýlku na 0,
- nie je náchylný na kmitanie,
- je najkvalitnejší.

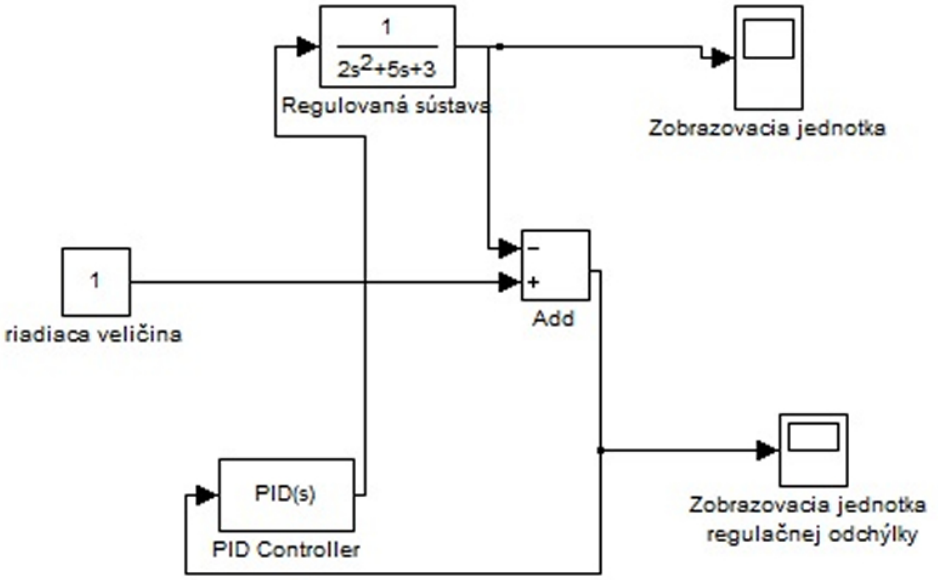


Obr. 3. PID regulátor.

PID regulátor pracuje takto: Najprv pôjde zložka D, je najrýchlejšia, a preto dokáže najviac stiahnuť regulačnú odchýlku. Potom pôjde zložka P, aby sa regulátor nerozkmital a potom I odstráni regulačnú odchýlku na 0. Je vhodný všade tam, kde vyhovuje PI. Oproti PI regulátoru je rýchlejší, takže úplne tlmi rýchle prekmity regulovanej veličiny. Pri modelovaní simulácií sme použili statickú sústavu 2. rádu. Prenosová funkcia je:

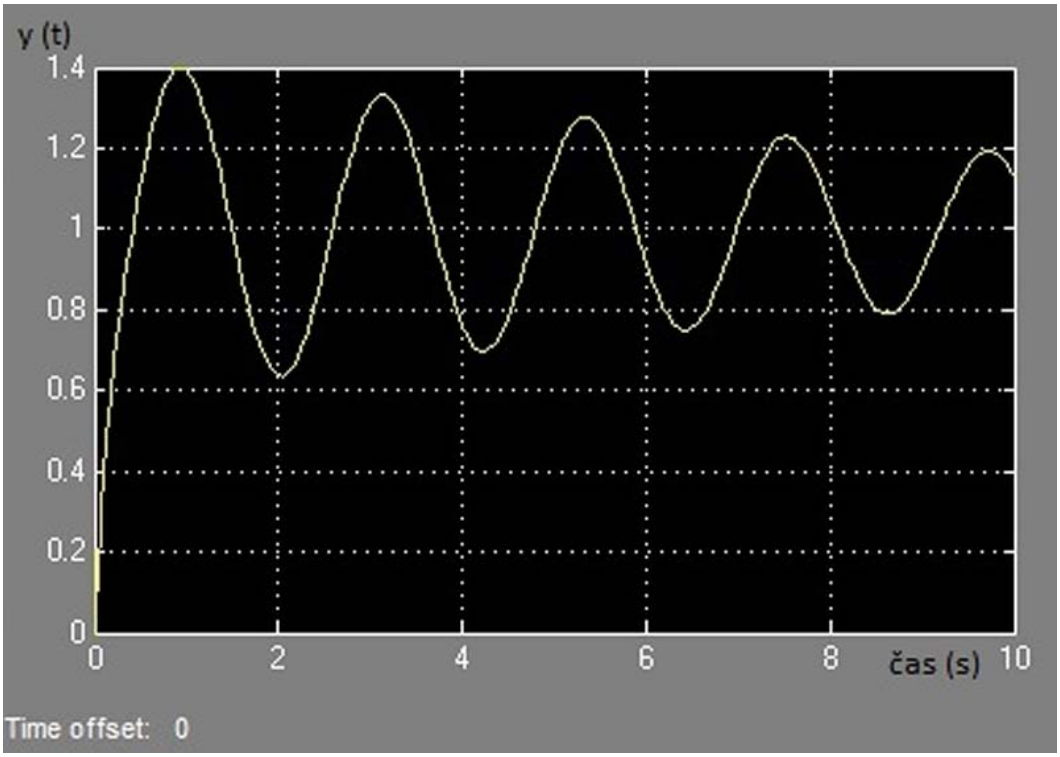
$$F_s = \frac{1}{2s^2 + 5s + 3} \quad \textbf{(5)}$$

Najskôr si ukážeme správanie PID regulátora v regulačnom obvode bez poruchovej veličiny W. Schéma – modul je zobrazený na obrázku 4.

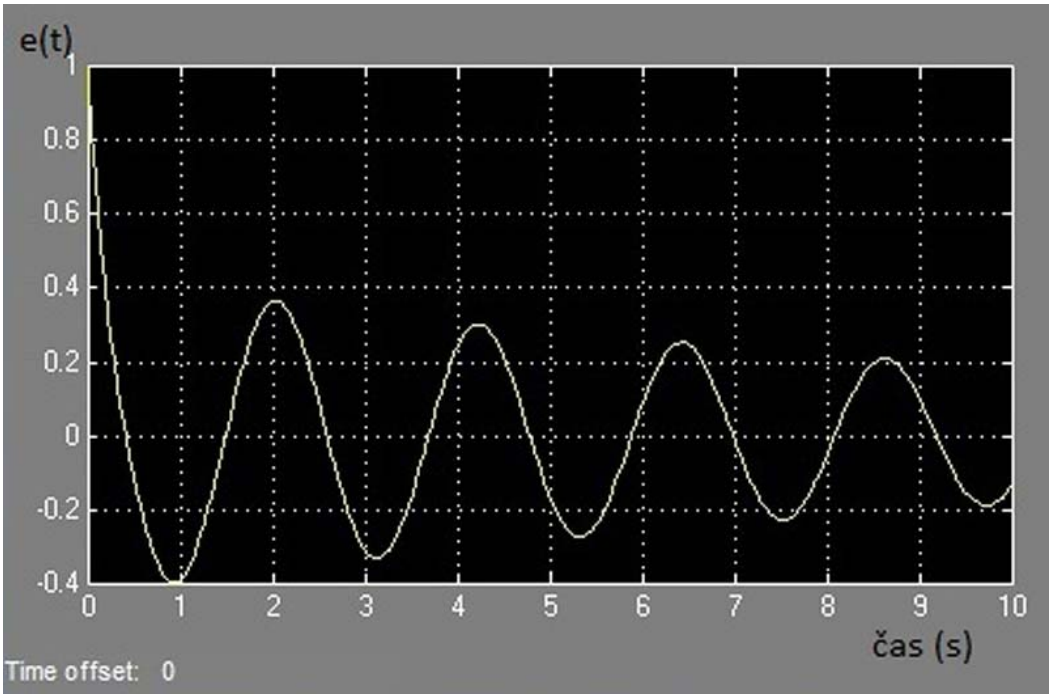


Obr. 4 Regulačný obvod s PID regulátorom.

Výsledky simulácie sú na nasledujúcich obrázkoch 5 a 6.

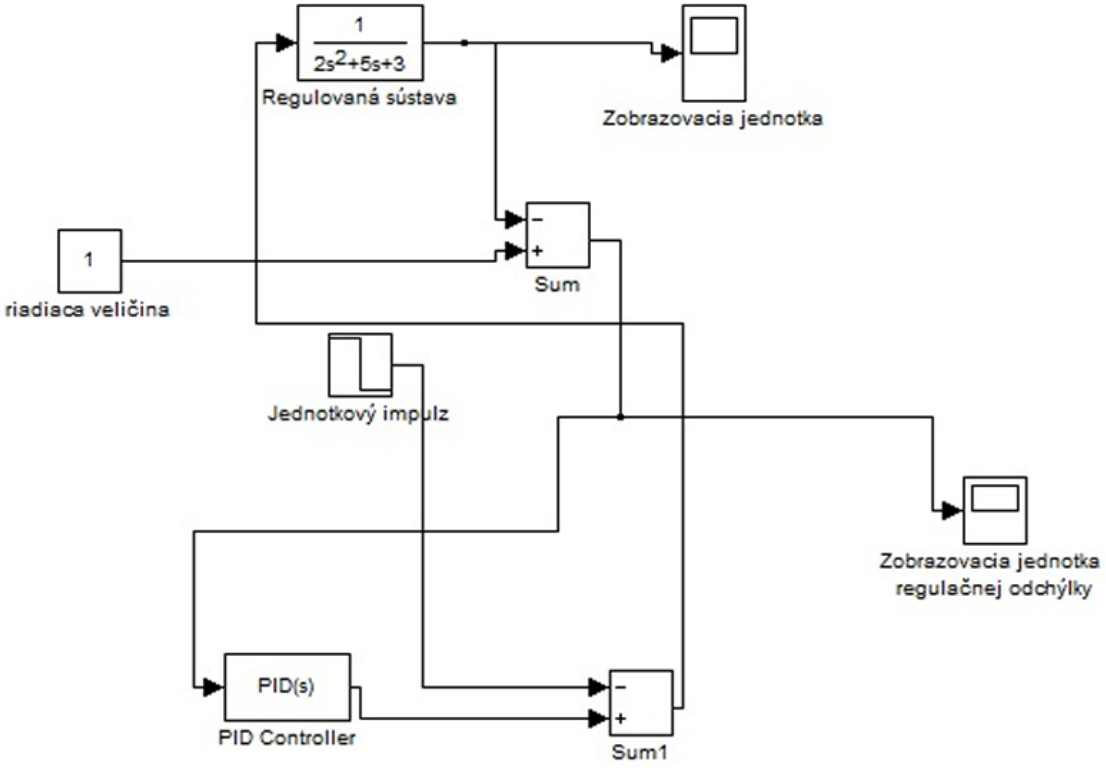


Obr. 5. Výstupný priebeh regulovanej sústavy s PID.



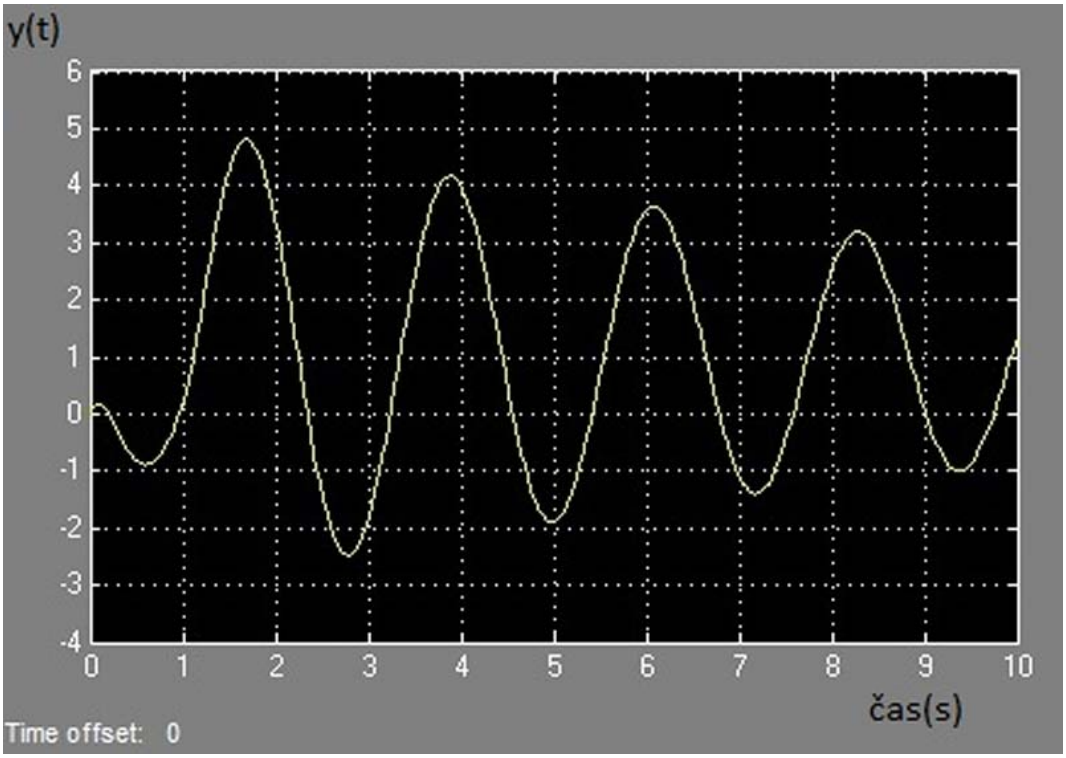
Obr. 6. Priebeh regulačnej odchýlky.

Zo simulácie možno vyvodiť záver, že PID regulátor lepšie tlmí rýchle prekmity regulovanej veličiny. V ďalšom kroku si ukážeme ako sa správa regulačný obvod s PID regulátorom po zásahu poruchovej veličiny W. Pre tento prípad sme opäť použili sústavu 2. rádu. Schéma - model zapojenia je na obrázku 7.

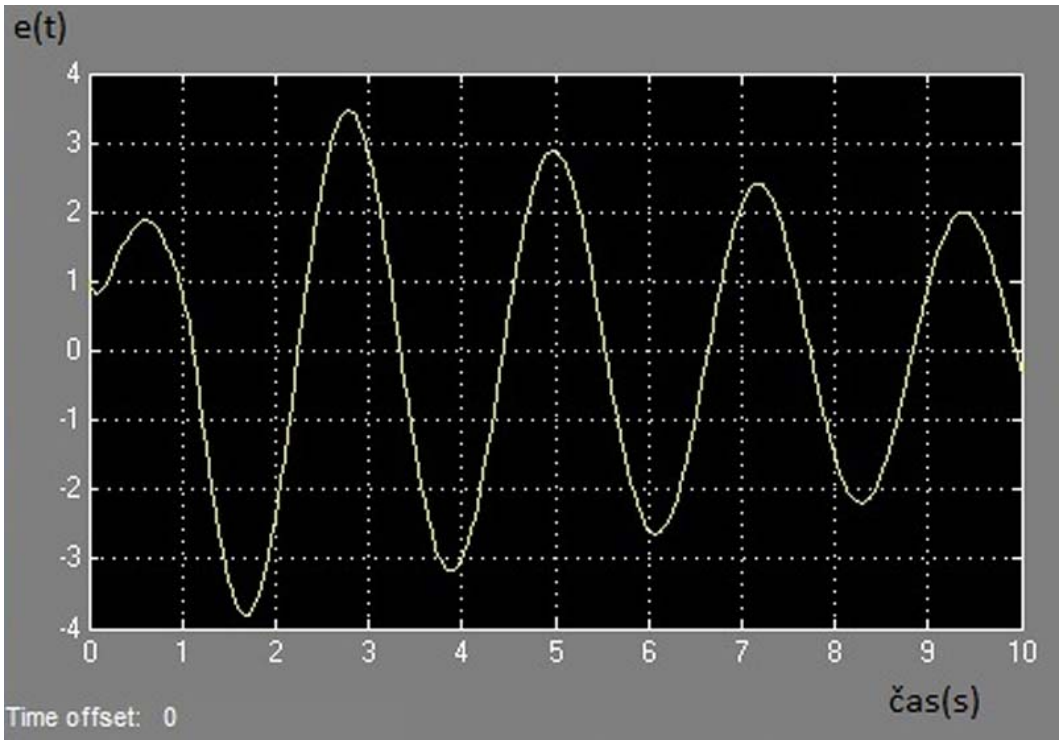


Obr. 7. Regulačný obvod s PID regulátorom po zásahu poruchovej veličiny W.

Výsledky simulácie sú na nasledujúcich obrázkoch 8 a 9.



Obr. 8. Výstupný priebeh regulovanej sústavy po zásahu poruchovej veličiny W.



Obr. 9. Priebeh regulačnej odchýlky po zásahu poruchovej veličiny W.

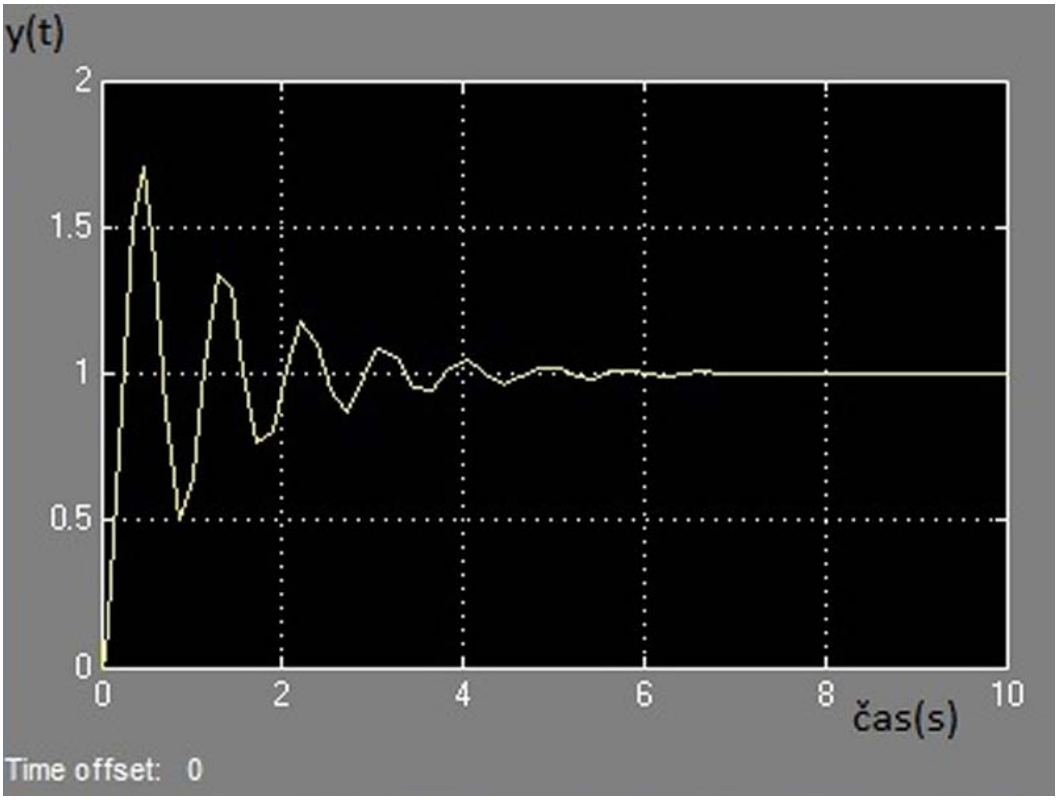
Pri modelovaní regulačného obvodu sme si zvolili regulátor PID. Tento regulátor sme následne zapojili do regulačného obvodu. Regulovanou sústavou bola sústava 2. rádu. Prenos sústavy bol nasledovný:

$$F_s = \frac{1}{2s^2 + 5s + 3} \quad \textbf{(6)}$$

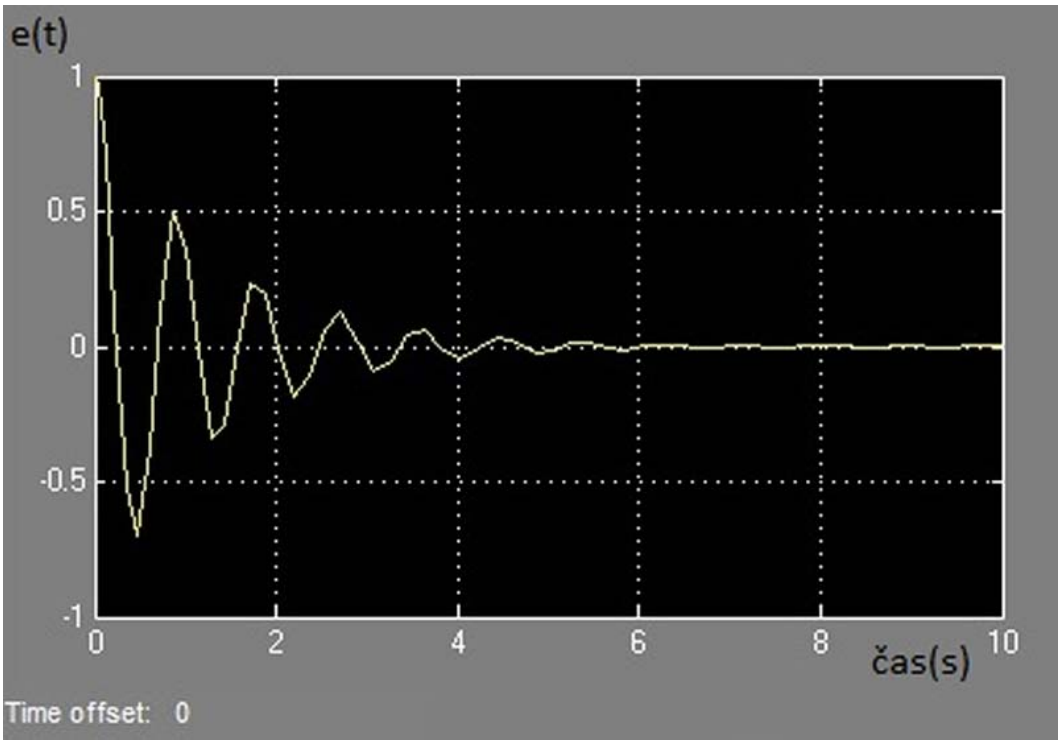
Simulácia s PID regulátorom bola robená pri zásahu poruchovej veličiny a bez nej. Odsimulovaný PID regulátor sme porovnávali s regulátormi typu PI A PD, ktorých priebehy uvádzame na obrázkoch 10 a 12. Priebehy na obrázkoch zobrazujú vlastnosti regulátorov bez pôsobenia poruchovej veličiny. Na obrázku 11 sa nachádza priebeh regulačnej odchýlky PI regulátora. Ako vidno z grafického priebehu PI regulátor dokáže odstrániť regulačnú odchýlku na 0. PI regulátor sa vyznačoval tým, že úplne odstránil regulačnú odchýlku. Spravidla vyhovujúcim spôsobom odstraňuje poruchy vstupujúce do regulovanej sústavy a vo väčšine prípadov zlepšuje stabilitu regulačného obvodu. Je viac náchylný na kmitanie. Regulátor PI sa najviac používa pri regulácii kmitavých sústav druhého a vyššieho rádu. Čím je rád sústavy vyšší, tým viac musíme zmenšovať zosilnenie, poprípade zväčšovať časovú konštantu T.

Na základe simulácie platí, že proporcionálno-derivačný-regulátor je vhodný všade tam, kde vyhovuje regulátor P. Jeho prednosti sú väčšia rýchlosť regulácie, čo sa prejavuje potlačením rýchlych prekmitov regulovanej veličiny, kedy sú časté poruchy vstupujúce do regulovanej sústavy. PD regulátor sa vyznačuje tým, že nieje tak náchylný na kmitanie, ale nevie odstrániť regulačnú odchýlku na 0. Na obrázku 13 sa nachádza priebeh regulačnej odchýlky PD regulátora.

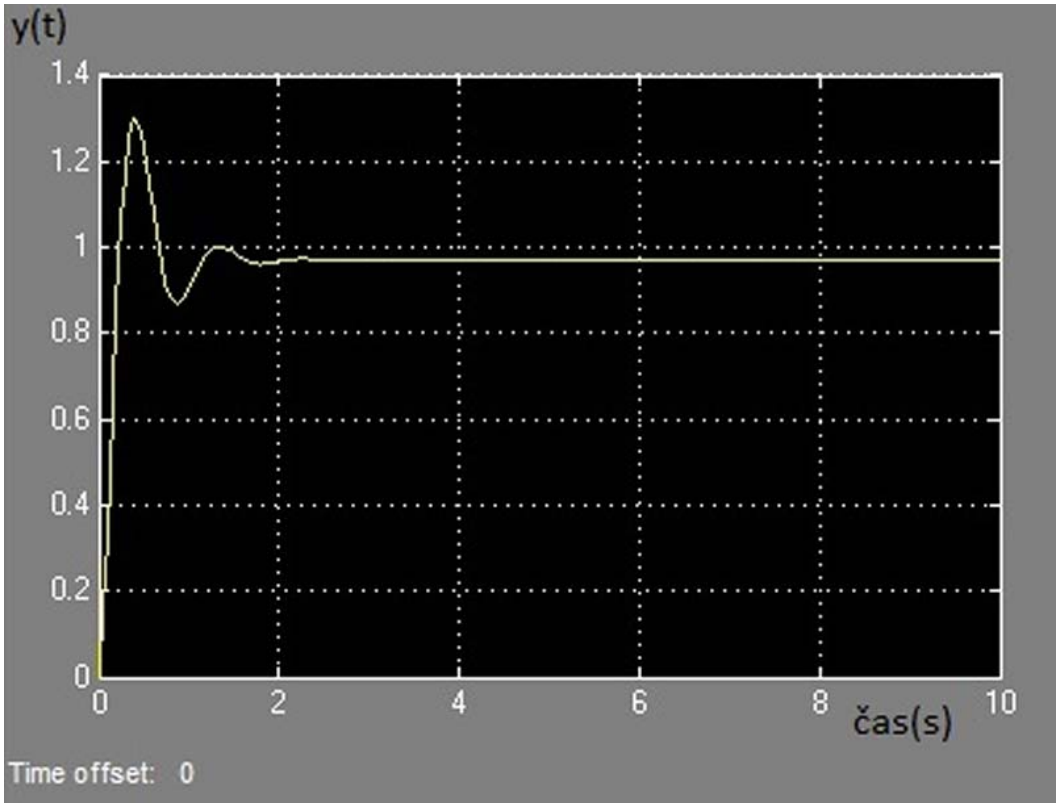
PID regulátor bol odsimulovaný znovu s poruchovou veličinou a bez nej. Možno povedať, že je vhodný všade tam, kde vyhovuje PI. Oproti PI regulátoru je rýchlejší, takže úplne tlmí rýchle prekmity regulovanej veličiny.



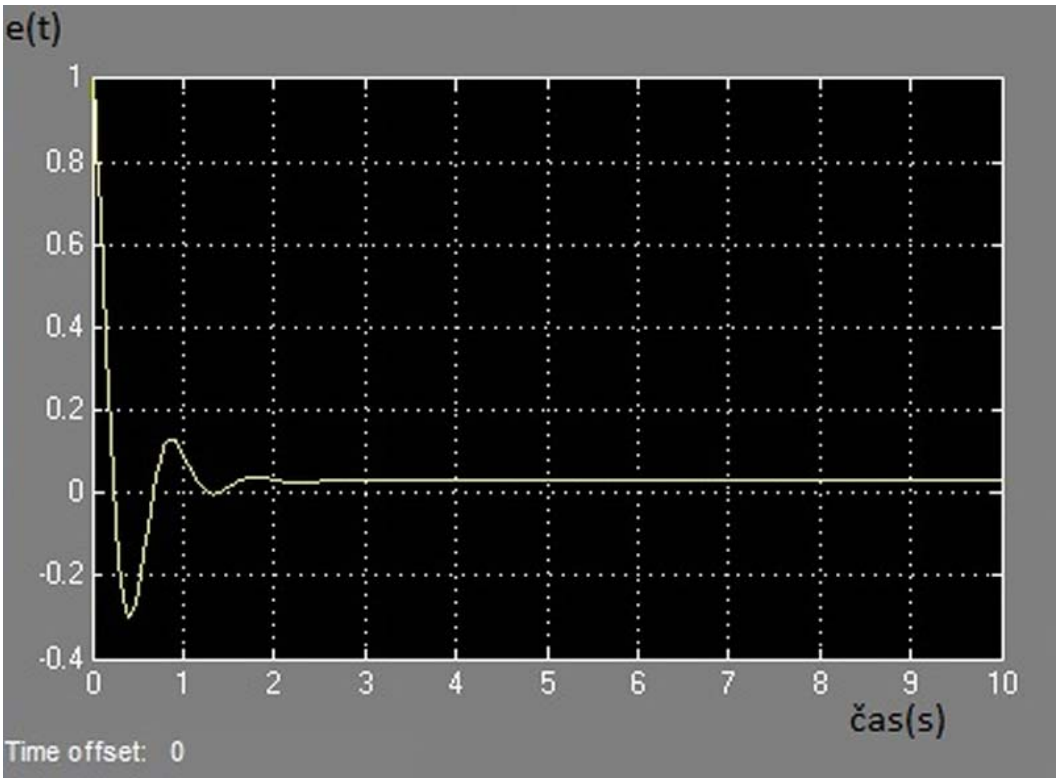
Obr. 10. Výstupný priebeh regulovanej sústavy s PI regulátorom.



Obr. 11. Priebeh regulačnej odchýlky s PI regulátorom.



Obr. 12. Výstupný priebeh regulovanej sústavy s PD regulátorom.



Obr. 13. Priebeh regulačnej odchýlky s PD regulátorom.

4 Záver

Hlavnou úlohou bolo úvodné znázornenie modelovania a simulovania v programe Simulink systému MATLAB. Pre názornosť som funkcie opisujúce dynamické deje vyjadril najskôr všeobecne a potom som priebehy týchto funkcií odsimuloval v Simulinku programu MATLAB. Modelovanie a následná simulácia v tejto práci bola robená hlavne preto, aby si študenti pri výučbe ľahšie vedeli predstaviť činnosť jednotlivých regulátorov zapojených v regulačných obvodoch. Z nasimulovaných priebehov možno vyvodiť nasledovné závery. PI regulátor je najrozšírenejším kombinovaným regulátorom, lebo má takmer univerzálne použitie. Dôvodom je to, že nie je príliš zložitý, úplne odstraňuje regulačnú odchýlku a zlepšuje stabilitu regulačného obvodu. Najviac sa používa na reguláciu kmitavých sústav druhého a vyšších rádov. Čo sa týka použitia regulátora pre reguláciu bežných fyzikálnych veličín je najvhodnejší na reguláciu teploty, výšky hladiny, otáčok, tlaku plynov, vlečnú reguláciu a servomechanizmy.
PD regulátor pracuje s trvalou regulačnou odchýlkou. Regulátor vznikne paralelným spojením člena P a D. Vhodnou voľbou časovej konštanty je niekedy možné znížiť rád regulovanej sústavy a zvýšiť tak stabilitu regulačného obvodu.
PID regulátor pracuje bez trvalej regulačnej odchýlky a možno ho hodnotiť ako najdokonalejší spojitý regulátor. Nevýhodou PID regulátora je zdĺhavé nastavovanie regulačných parametrov.

Zoznam použitých zdrojov

Ardehali, M. M., Saboori, M, Teshnelab, M. (2004). Numerical simulation and analysis of fuzzy PID and PSD control methodologies as dynamic energy efficiency measures. *Energy Convers Manage*, 45(13–14), 1981–92.

Backlund, A. (2000). The definition of system. *Kybernetes*, 29(4), 444–451.

Balogh, Z., & Klimeš, C. (2012). *Modelovanie procesov pomocou Petriho sietí*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa.

Dorčák, Ľ. Terpák, J., & Dorčáková, F. (2006). *Teória automatického riadenia: Spojité lineárne systémy*. Košice: TU Košice.

Krčula, J. (1982). *Automatizácia*. Bratislava: Príroda.

Lukáč, O., & Hrubý, D. (2005). Simulácia dynamického systému plášťového výmenníka tepla. *Acta Technologica Agriculturae*, 6(4), 98-100.

Neuschl, Š. et al. (1988). *Modelovanie a simulácia*. Bratislava: Alfa.

Prodic, A., Maksimovic, D. (2002). Design of a digital PID regulator based on look-up tables for control of high-frequency dc–dc converters. In *Proceedings of IEEE Workshop on Computers in Power Electronics* (pp. 18–22).

Tomas, B. (2004). *Ziegler-Nichols Closed Loop Tuning*. Retrieved from http://www.chem.mtu.edu/~tbco/cm416/zn.html

Vítek, V. et al. (1988). *Automatizace a robotizace*. Praha: VŠZ.