

Experimentální identifikace tepelného výměníku

Bc. Michal Brázdil

STOČ 2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ABSTRAKT

Cílem této práce je seznámení čtenáře s laboratorním zařízením Armfield PCT 40 a postupy při identifikaci tepelného průtokového výměníku. V úvodu je čtenář seznámen se zařízením, na kterém byla provedena experimentální identifikace. Poté jsou popsány jednotlivé postupy a řešení jednotlivých problémů před samotnou identifikací. Po vyřešení problémů jsou ukázány postupy měření statických charakteristik, následná identifikace pomocí pseudonáhodných signálů a jejich vyhodnocení.

OBSAH

1	SEZNÁMENÍ SE ZAŘÍZENÍM.....	4
1.1	POPIS TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU	6
2	VENTIL	7
2.1	STATICÁ CHARAKTERISTIKA	7
2.2	IDENTIFIKACE SOUSTAVY	11
2.3	NÁVRH REGULÁTORU	12
3	TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	16
3.1	PWM OVLÁDÁNÍ PŘÍKONU	16
3.2	STATICÁ CHARAKTERISTIKA	18
3.3	IDENTIFIKACE	23
	ZÁVĚR.....	28
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	29
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	30
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	31
	SEZNAM TABULEK.....	32

1 SEZNÁMENÍ SE ZAŘÍZENÍM

K vypracování této práce bylo použito laboratorní zařízení od firmy Armfield PCT 40. Toto zařízení tvoří základní modul PCT 40 s přídatnými moduly PCT 41 a PCT 42.



Obr. 1. Laboratorní zařízení Armfield PCT 40

Základní modul PCT 40 obsahuje vše, co je potřebné pro experimenty s jednoduchými zpětnovazebnými regulačními obvody. Základem je nosná konzole, na kterou jsou připevněny provozní nádoby, ventily, senzory, čerpadla a další elektronické prvky. Uprostřed nosné konzole je připevněna velká technologická nádoba. Malá provozní nádoba vpravo je vybavena elektrickým odporovým topením, termostatem a spirálovým tepelným výměníkem s možností ohřívání nebo chlazení náplně. Dále je k dispozici zubové čerpadlo na horkou vodu, dvě peristaltická čerpadla, proporcionální elektrický regulační ventil a tři dvoupolohové solenoidové ventily. Přístrojové vybavení zahrnuje senzory teploty, tlaku a rozdílu tlaků, průtoku a několik typů senzorů polohy hladiny. Vstupy a výstupy provozních nádob, čerpadel a ventilů lze navzájem propojovat. Konstrukce systému využívá rychloupínací spojovací prvky, které dovolují operativní změnu konfigurace se širokou variabilitou různých měřicích a řídicích obvodů. Stanice je připojena na vodovodní rozvod prostřednictvím tlakového regulačního ventilu s integrovaným filtrem. Průtok vody zařízením se mění v závislosti na nastavení regulátoru. Ke spojení s počítačem je

multifunkční stanice vybavena rozhraním USB. Prostřednictvím počítače mohou být nastavovány či řízeny otáčky čerpadel, polohy ventilů a příkon topení [3].

Velká technologická nádoba se používá pro úlohy spojené s měřením a regulací hladiny, a proto je vybavena různými druhy snímačů polohy hladiny (snímač plovákový, vodivostní s nastavitelnou hysterezí spínání a spojitý snímač hydrostatického tlaku s polovodičovými tenzometry) [3].

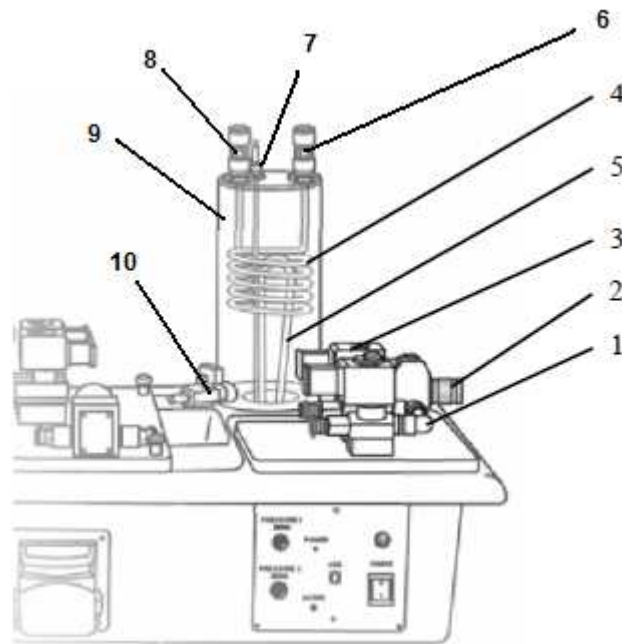
Malá provozní nádoba se používá zejména pro měření a regulaci teploty a vedle termostatu je vybavena třemi termoelektrickými snímači [3].

Jako řídicí počítač stanice může být použit běžný PC s dostatečným výkonem, popř. s některými speciálními doplňky (technologické karty). Počítač komunikuje s multifunkční stanicí prostřednictvím rozhraní USB, které sám tvoří rozhraní mezi uživatelem a modelovým systémem [3].

Se základním modulem PCT 40 lze realizovat tyto typy regulačních úloh:

- regulace hladiny vody v zásobníku při změnách průtoku na vstupu
- regulace průtoku změnami otáček čerpadla
- regulace teploty v nádobě změnami topného příkonu
- regulace teploty vody nepřímo ohřívané změnami průtoku (chladičího či topného) média ve výměníku

1.1 Popis tepelného výměníku



Obr. 2. Tepelný výměník

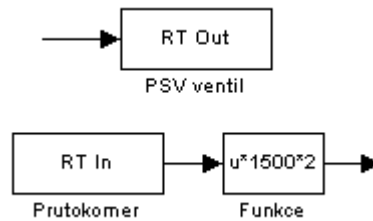
Tepelný výměník jak je vidět na Obr. 2. Tepelný výměník se skládá z nádoby (9), ve které je umístěna topná spirála (5) a chladicí spirála (4). V nádobě výměníku (9) je napuštěna voda, která se ohřívá pomocí topné spirály (5). Teplota vody je snímána čidlem (7). Chladicí kapalina je přiváděna pomocí ventilu (2) do potrubí, na kterém je umístěn průtokoměr a PSV ventil (3). Odtud je chladicí voda přiváděna na vstup (8) chladicí spirály (4) a poté je odváděna pryč pomocí výstupu (6). Ventil (10) slouží k úplnému vypuštění vody z nádoby tepelného výměníku. Napouštění vody do nádoby je realizováno pomocí ventilu, který je umístěn vpravo dole na nádobě (9).

Úkolem této práce je identifikace tepelného výměníku, kde vstup byl příkon topné spirály, výstup byla teplota vody a jako porucha byl zvolen průtok chladicí kapalina protékající spirálou ve výměníku.

Měření bylo realizováno na PC pomocí softwarového produktu Matlab 6.5 společnosti The MathWorks. Pro ovládání a měření byly v Matlab Simulinku zhotoveny jednotlivé bloky jednotlivých zařízení (čerpadel, ventilů, senzorů ...).

2 VENTIL

Pro vytvoření poruchy při ohřevu vody ve výměníku, byla využita chladicí spirála s možností chlazení pomocí studené vody. Aby bylo možné nějakým způsobem nastavovat poruchu, byl použit pro řízení průtoku chladicí vody PSV ventil. Pro měření průtoku a nastavování ventilu byly použity tyto bloky v Matlab Simulinku

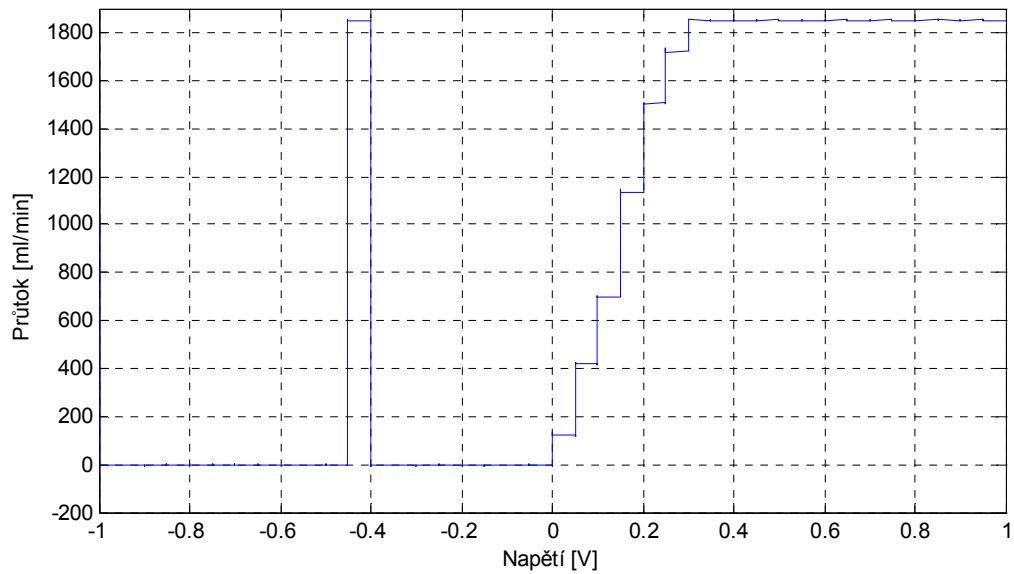


Obr. 3. Blokové schéma ventilu a průtokoměru

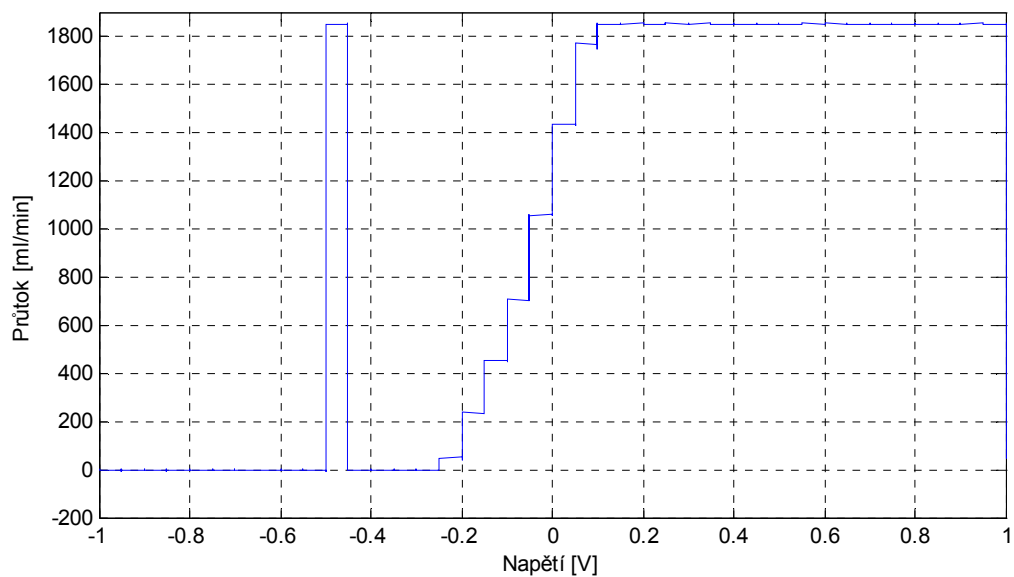
Funkce na výstupu průtokoměru slouží pro výpočet průtoku.

2.1 Statická charakteristika

Tento ventil je řízen napětím, které je na něj přiváděno a pomocí kterého se nastavuje jeho poloha. Pro zjištění jednotlivých průtoků ventilem na napětí, bylo pomocí zapojení v Matlab Simulinku přiváděno napětí v rozsahu -1 až 1 V po kroku 0,05 V. Jelikož ventil může mít hysterezi, bylo provedeno měření i v opačném směru, od 1 do -1 V opět po kroku 0.05 V.



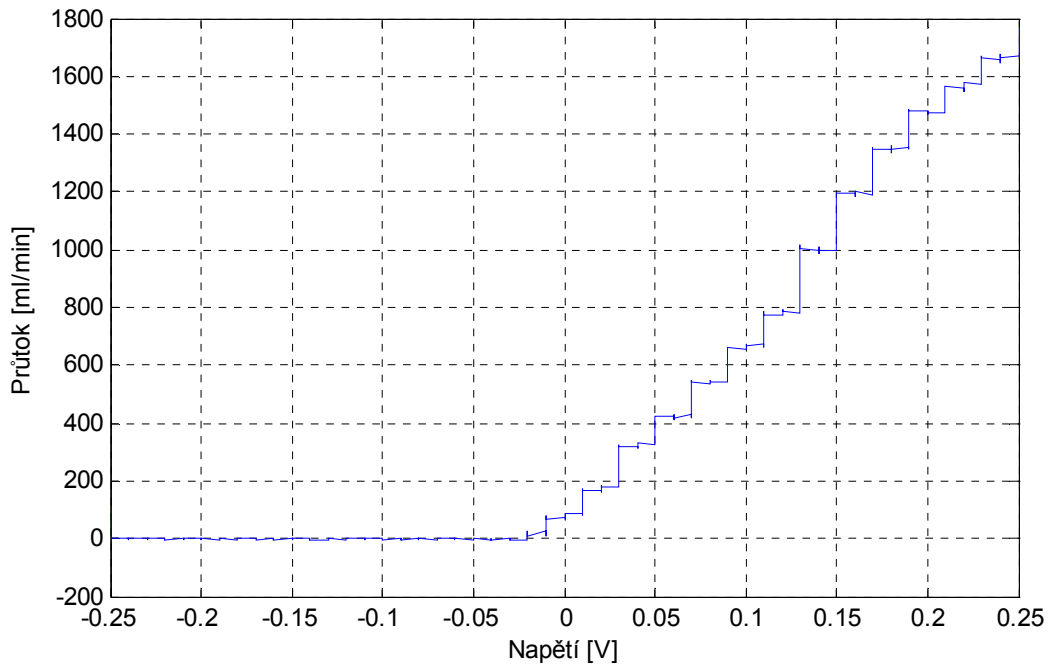
Obr. 4. Závislost průtoku ventilem na přivedeném napětí (od -1 V do 1V)



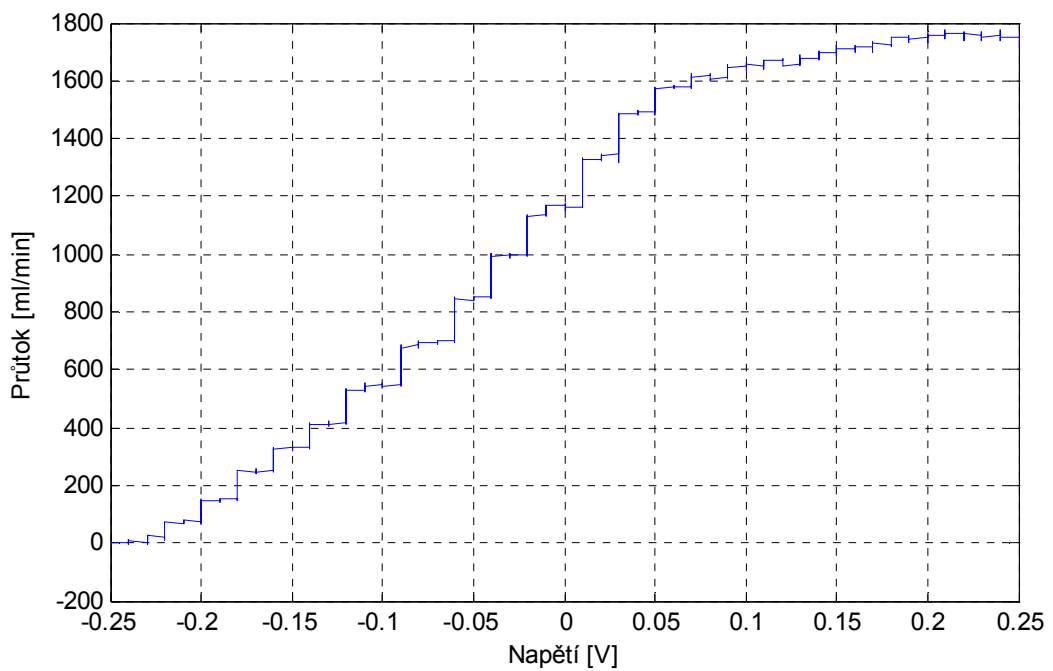
Obr. 5. Závislost průtoku ventilem na přivedené napětí (od 1 V do -1 V)

Jak je z obou grafů patrné, ventil má dva pracovní režimy. První je dvupolohový tj. zavřeno nebo otevřeno a nachází se v oblasti od -0.5 V do -0.4 V. Druhý pracovní režim je spojitý, ale je zde patrné, že ventil má hysterezi. Proto bylo provedeno měření podrobněji v rozsahu od -0.25 V do 0.25 V po kroku 0,01 V opět v obou směrech. Dále bylo zjištěno, že pokud se pustí přívod vody na maximum, senzor, který měří průtok, nedokáže změřit

průtok větší než 1850 ml/min. Z toho důvodu je maximální hodnota omezena na 1700 ml/min.

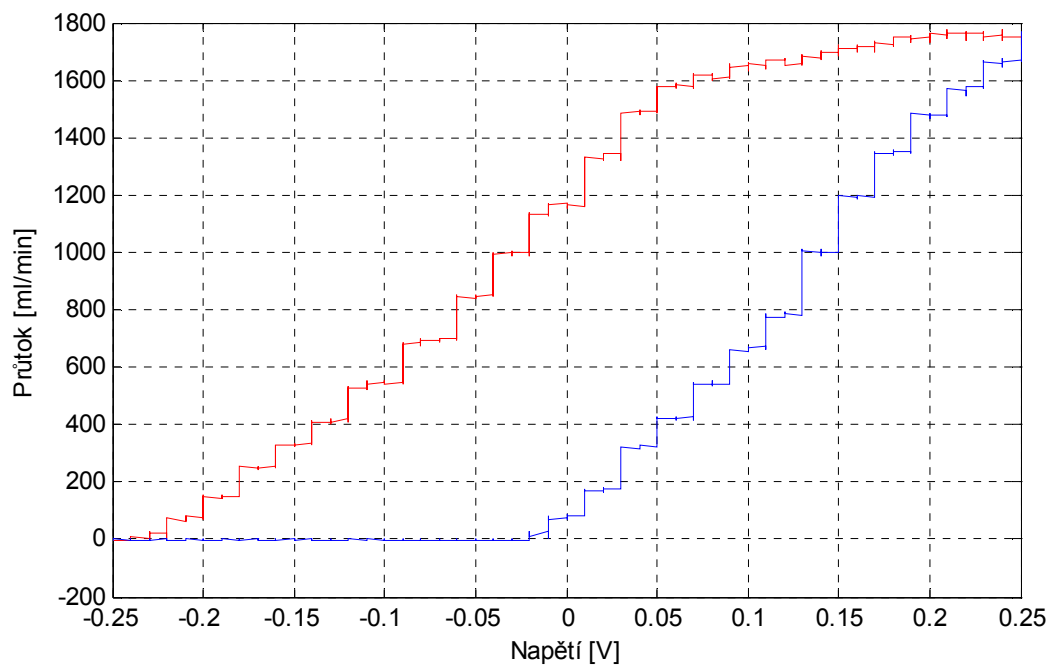


Obr. 6. Závislost průtoku na přivedeném napětí (od -0.25 V do 0.25 V)



Obr. 7. Závislost průtoku na přivedeném napětí (od 0.25 V do -0.25 V)

Z výše naměřených dat může být sestrojena statická charakteristika ventilu.

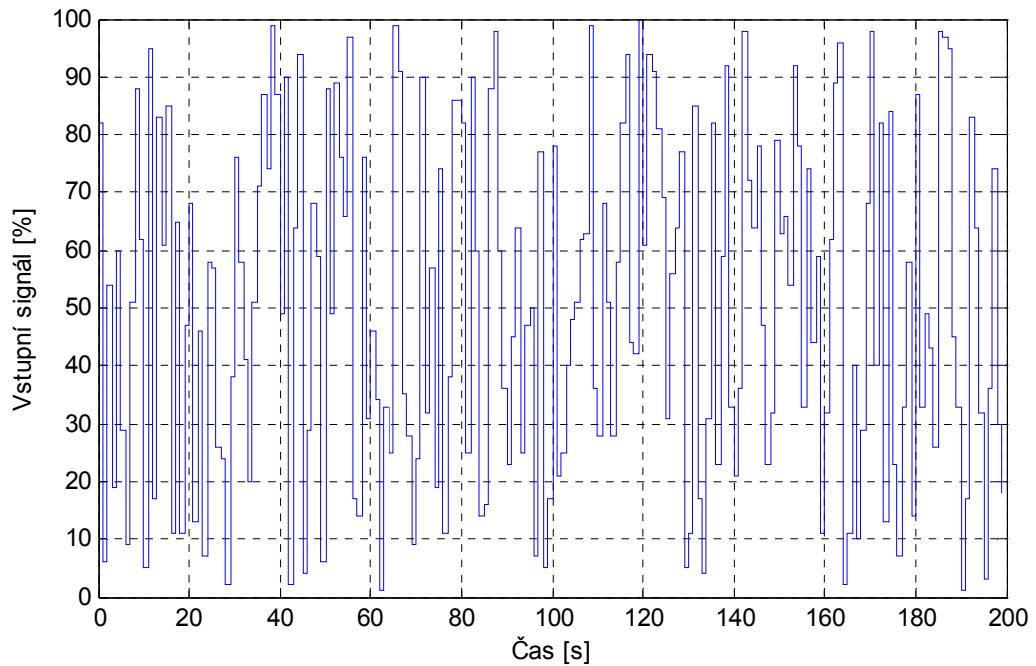


Obr. 8. Statická charakteristika ventilu

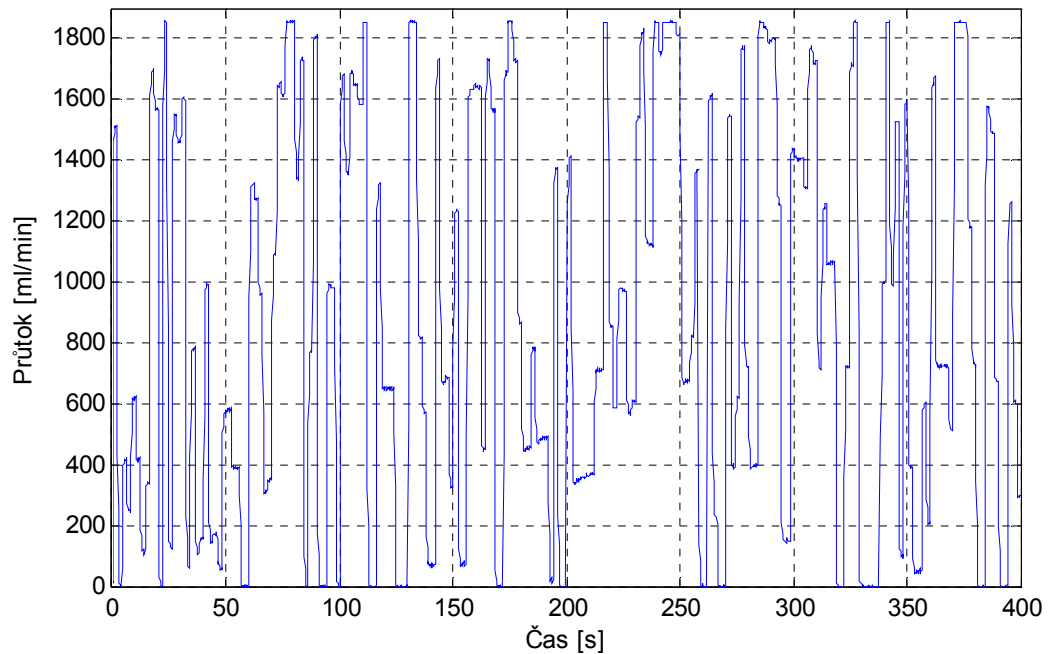
Z naměřené statické charakteristiky je patrné, že se jedná o mírně nelineární systém s hystezí. Řízení takovéto soustavy je pak realizováno buď ze znalosti obou průběhů, kdy je potřeba kontrolovat křivku, po které se aktuálně pohybuje nebo návrhem regulátoru. K tomu, aby bylo možné navrhnout regulátor bylo nutné znát regulovanou soustavu a proto bylo potřeba ji identifikovat.

2.2 Identifikace soustavy

Pro identifikaci soustavy ventilu byl použit pseudonáhodný signál. Jelikož vstupním signálem na ventil je napětí v rozmezí $-0,25$ V až $0,3$ V, bylo potřeba tento signál upravit do příjemnější formy, a proto byl vytvořen v Matlab Simulinku blok, který přepočítával vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 100% na potřebné vstupní napětí.



Obr. 9. Pseudonáhodný signál pro identifikaci soustavy ventilu



Obr. 10. Odezva systému na vstupní signál

Pro identifikaci soustavy byla použita jednorázová metoda nejmenších čtverců. V Matlabu byl na tuto identifikaci použit příkaz ARX se vstupními parametry u a y . Výsledný přenos byl identifikovaný jako systém prvního řádu s periodou vzorkování 0.1 sekundy.

$$G(z^{-1}) = \frac{354,9 \cdot z^{-1}}{1 - 0,9181 \cdot z^{-1}} \quad T_0 = 0,1s \quad (1)$$

2.3 Návrh regulátoru

Nyní když byla identifikována soustava, můžeme navrhnout regulátor. Pro řízení byl zvolen regulátor s jedním stupněm volnosti 1DOF a pomocí metody umístění pólů byl zvolen jeden několikanásobný kořen polynomu $D(z^{-1})$.

Systém je definovaný polynomy $A(z^{-1})$ a $B(z^{-1})$:

$$A(z^{-1}) = 1 - 0,9181 \cdot z^{-1}$$

$$B(z^{-1}) = 354,9 \cdot z^{-1} \quad (2)$$

Jmenovatele přenosu řízení položíme rovno polynomu $D(z^{-1})$

$$A(z^{-1}).P(z^{-1}) + B(z^{-1}).Q(z^{-1}) = D(z^{-1}) \quad (3)$$

Stupně polynomů $P(z^{-1})$, $Q(z^{-1})$ a $D(z^{-1})$

$$P(z^{-1}) = (1 - z^{-1}).p_0$$

$$Q(z^{-1}) = q_0 + q_1.z^{-1} \quad (4)$$

$$D(z^{-1}) = 1 + d_1.z^{-1} + d_2.z^{-2}$$

Vztahy (2) a (4) dosadíme do rovnice (3)

$$(1 - 0,9181.z^{-1}).(1 - z^{-1}).p_0 + 354,9.z^{-1}.(q_0 + q_1.z^{-1}) = 1 + d_1.z^{-1} + d_2.z^{-2} \quad (5)$$

roznásobíme

$$\begin{aligned} p_0 - p_0.z^{-1} - 0,9181.p_0.z^{-1} + 0,9181.p_0.z^{-2} + 354,9.q_0.z^{-1} + 354,9.q_1.z^{-2} = \\ = 1 + d_1.z^{-1} + d_2.z^{-2} \end{aligned} \quad (6)$$

nyň porovnáme koeficienty u jednotlivých mocnin

$$z^0 : p_0 = 1$$

$$z^{-1} : -p_0 - 0,9181.p_0 + 354,9.q_0 = d_1 \Rightarrow q_0 = \frac{d_1 + p_0 + 0,9181.p_0}{354,9} \quad (7)$$

$$z^{-2} : 0,9181.p_0 + 354,9.q_1 = d_2 \Rightarrow q_1 = \frac{d_2 - 0,9181.p_0}{354,9}$$

kde

$$\begin{aligned} d_1 &= 2.m \\ d_2 &= m^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Volba m se doporučuje volit $0 < m < -1$. Jelikož se jedná o rychlou soustavu, byl zvolen dvojnásobný kořen $m = -0,9$, což znamená pomalejší náběh regulované veličiny. Pak můžeme vyčíslit parametry regulátoru

$$d_1 = 2.m = -1,8$$

$$d_2 = m^2 = 0,81$$

$$q_0 = \frac{-1,8 + 1 + 0,9181}{354,9} = 0,00033277 \quad (9)$$

$$q_1 = \frac{0,81 - 0,9181}{354,9} = -0,00030459$$

Výsledný přenos regulátoru

$$G_R(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{Q(z^{-1})}{K(z^{-1}).P(z^{-1})} = \frac{q_0 + q_1.z^{-1}}{(1 - z^{-1}).p_0} = \frac{0,00033277 - 0,00030459.z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (10)$$

Diferenciální rovnice akčního zásahu

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \frac{q_0 + q_1.z^{-1}}{(1 - z^{-1}).p_0}$$

$$U(z) = \frac{q_0 + q_1.z^{-1}}{(1 - z^{-1}).p_0} . E(z)$$

$$(1 - z^{-1}).p_0.U(z) = (q_0 + q_1.z^{-1}).E(z) \quad (11)$$

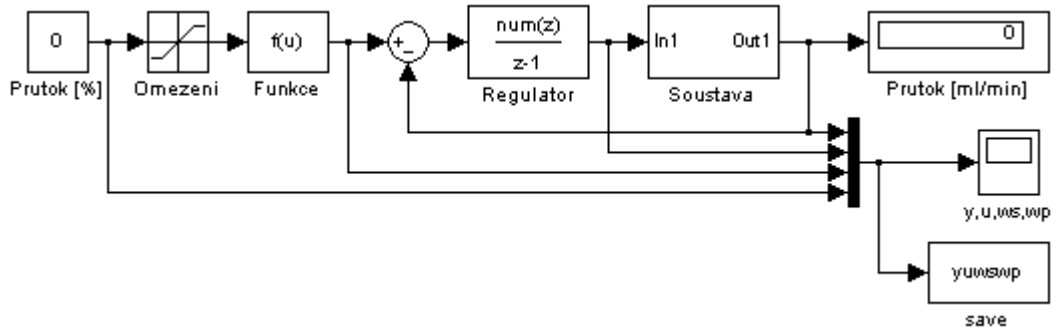
$$p_0.u(k) - p_0.u(k-1) = q_0.e(k) + q_1.e(k-1)$$

$$u(k) = \frac{q_0.e(k) + q_1.e(k-1) + p_0.u(k-1)}{p_0}$$

$$u(k) = 0,00033277.e(k) - 0,00030459.e(k-1) + u(k-1)$$

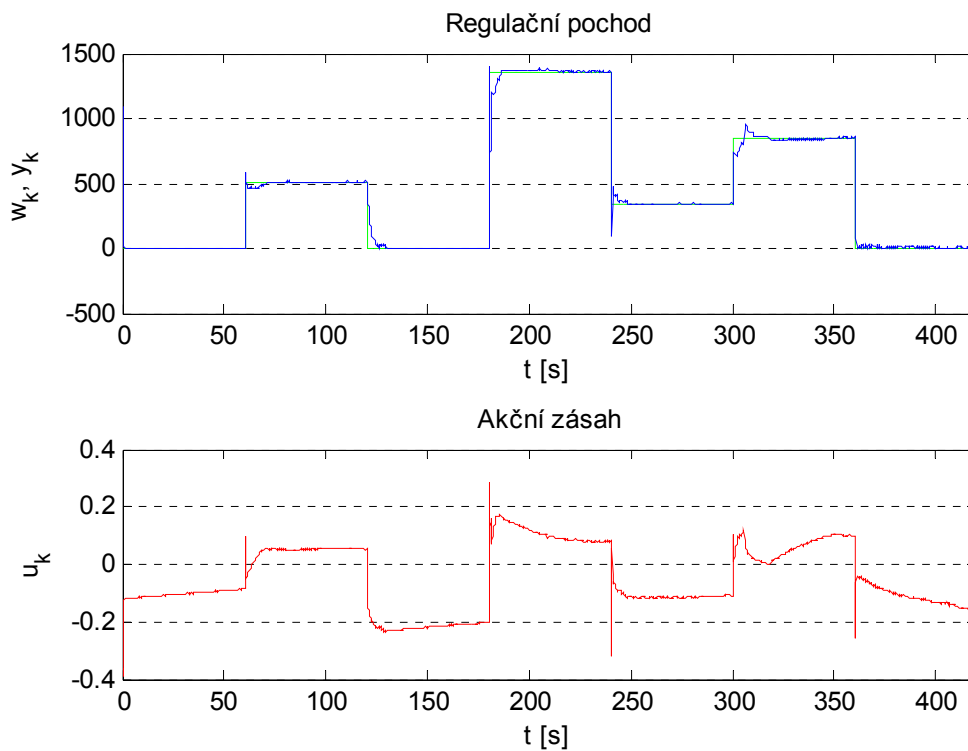
Nyní máme vše nachystané pro řízení průtoku pomocí ventilu. Pro výpočet akčního zásahu byl použit v Matlab Simulinku blok Discrete Transfer Fnc, pomocí kterého se bude počítat akční zásah. Perioda vzorkování, jak již bylo napsáno výše, byla 0,1 sekundy.

Regulační schéma v Matlab Simulinku pak bude vypadat



Obr. 11. Schéma regulačního obvodu pro řízení průtoku

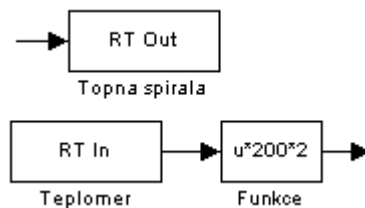
Nyní můžeme vyzkoušet regulaci. Žádaná hodnota byla zvolena ve tvaru skoků.



Obr. 12. Řízení průtoku pomocí 1DOF regulátoru

3 TEPELNÝ VÝMĚNÍK

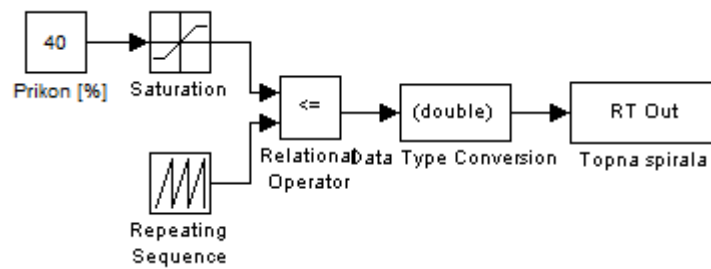
Nyní když máme možnost řídit průtok chladicí vody, můžeme se pustit do identifikace tepelného výměníku a po té i jeho řízení. Opět bude v první řadě potřeba změřit statické charakteristiky, ale tentokrát výměníku. Pro měření byl použit regulační obvod pro řízení průtoku pro nastavování poruchy a také bloky související s výměníkem. Mezi tyto bloky bude patřit hlavně blok příkon topení a senzor teploty vody.



Obr. 13. Blokové schémata
topné spirály a teploměru

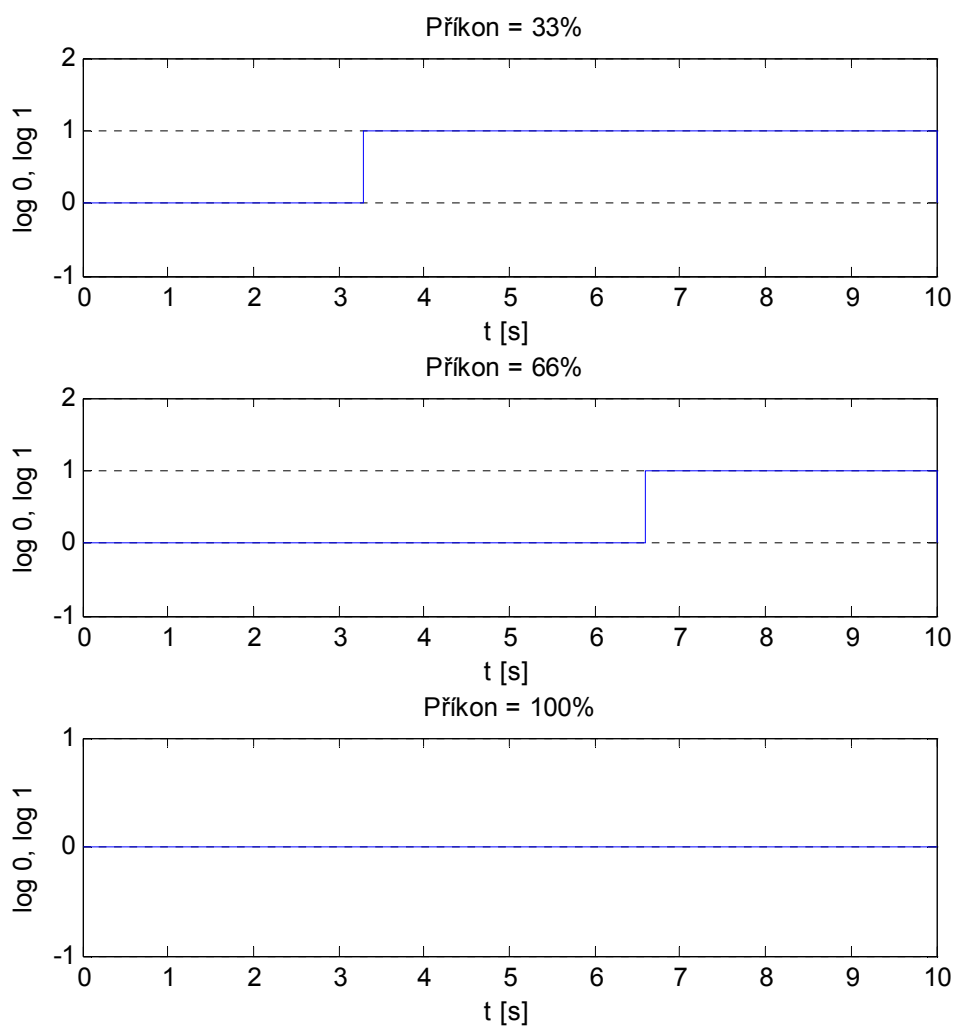
3.1 PWM ovládání příkonu

Po bližším seznámení s blokem pro ovládání příkonu topení bylo zjištěno, že příkon je možné ovládat jen dvoupolohově a to buď „0“ – topit nebo „1“ – netopit. Tento způsob ovládání není příliš vhodný pro řízení teploty, proto byla snaha tento problémem nějak vyřešit. Možné řešení se nabízí pomocí pulzní šířkové modulace PWM. Proto byl navržený vstupní signál od 0 do 100 %. Dále byl určen čas periody pro řízení v délce trvání 10 sekund. Z toho pak vyplívá, že pokud se bude topit na 100%, odpovídá tomu 10 sekund vstupního signálu s hodnotou „0“ posílaný do bloku příkonu spirály. Pokud budeme chtít topit například jen na 50 %, bude se do bloku posílat 5 sekund hodnota „0“ a 5 sekund hodnota „1“. Z toho jednoznačně vyplívá, že 1 % příkonu spirály odpovídá 0,1 sekundy vstupního signálu s hodnotou „0“ a zbylých 9,9 sekund vstupní signál s hodnotou „1“. Nyní bylo potřeba tuto PWM realizovat v Matlab Simulinku.



Obr. 14. Blokové schéma PWM modulace v Matlab Simulinku

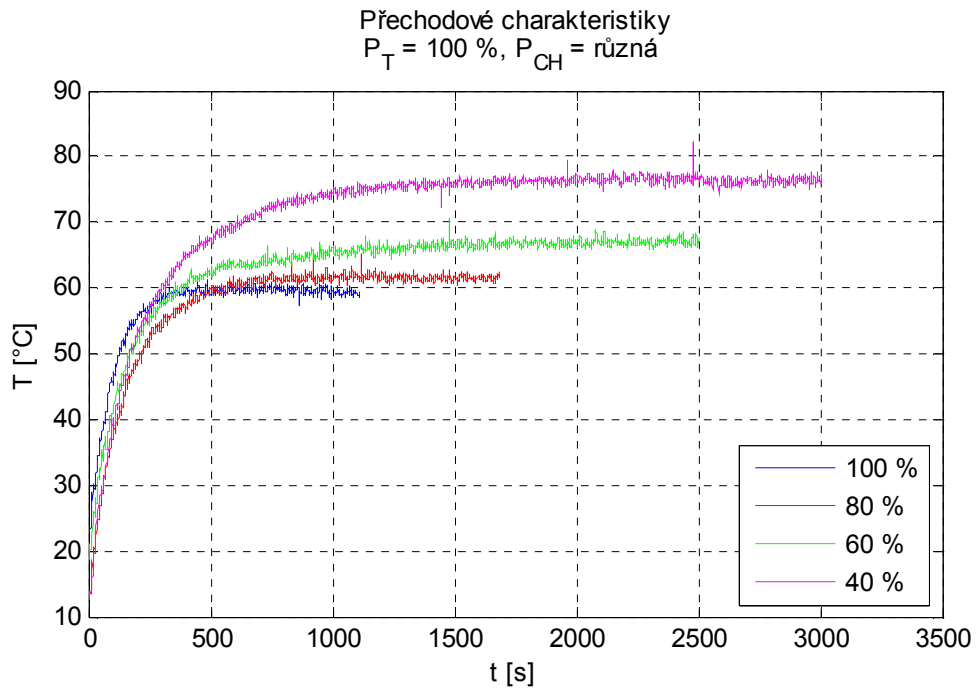
Pro vytvoření tohoto zapojení bylo zapotřebí bloku „Constant“, do kterého se zadává požadovaný příkon spirály v procentech. Hned za tímto blokem následuje blok „Saturation“, který slouží k omezení příkonu od 0 do 100 %. Druhou část tvoří blok „Repeat sequence“, který slouží k neustálému generování pily v čase 0 až 10 sekund a amplitudou od 0 do 100. Signál z bloku „Saturation“ je přiveden zároveň se signálem z bloku „Repeat sequence“ na porovnávací blok „Relational operator“, kde se oba signály porovnají. Pokud je požadovaný příkon menší nebo roven než druhý přiváděný signál je na výstupu bloku logická „1“ a naopak.



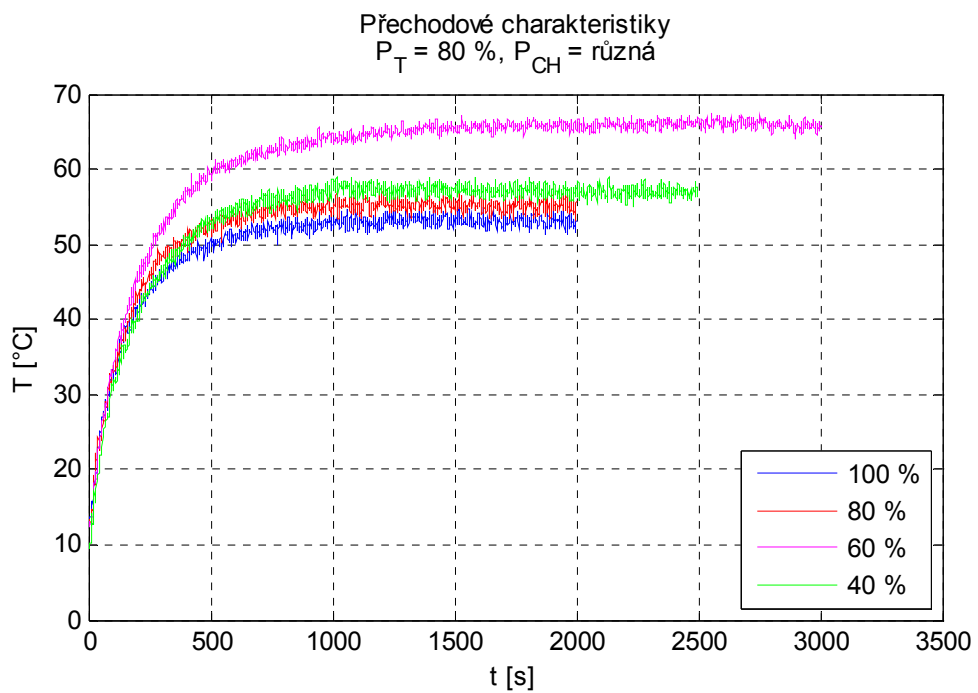
Obr. 15. Příklady průběhů výstupních signálu PWM pro různé příkony

3.2 Statická charakteristika

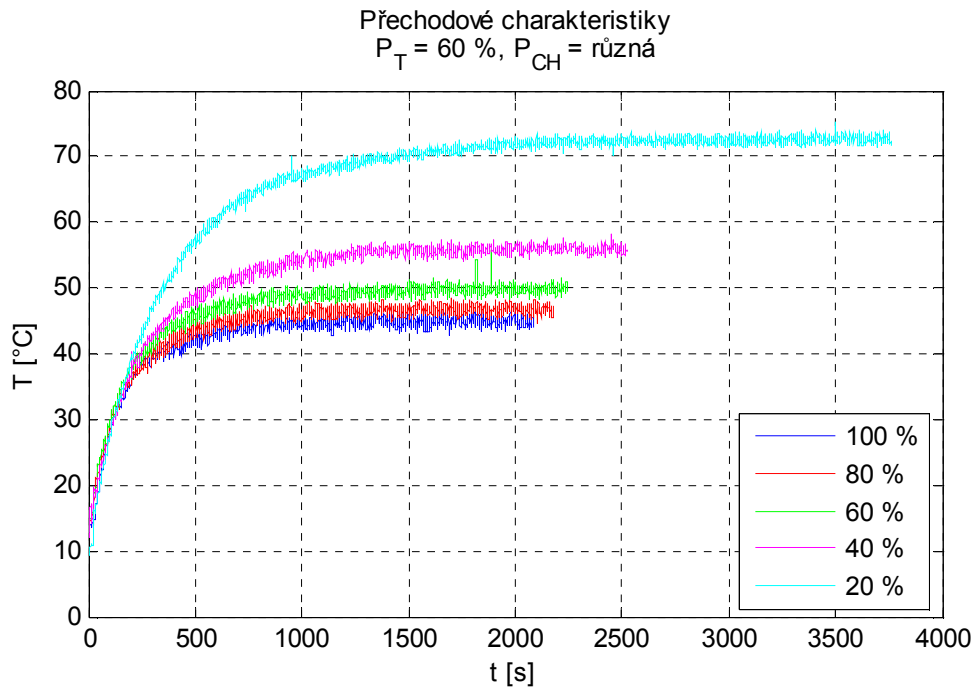
Nyní bylo možné provést měření statických charakteristik tepelného výměníku. Jelikož se jedná o systém se dvěma vstupy, příkon spirály a průtok chladicí kapaliny, a jedním výstupem, teplotou vody, je výsledkem sada statických charakteristik. Pro naměření těchto charakteristik je potřeba nastavit vždy oba vstupy na nějakou hodnotu a tyto hodnoty ve vhodném rozsahu kombinovat. Jelikož nebylo mnoho času na detailnější naměření charakteristiky, byly vstupní data nastavovaná po 20 %.



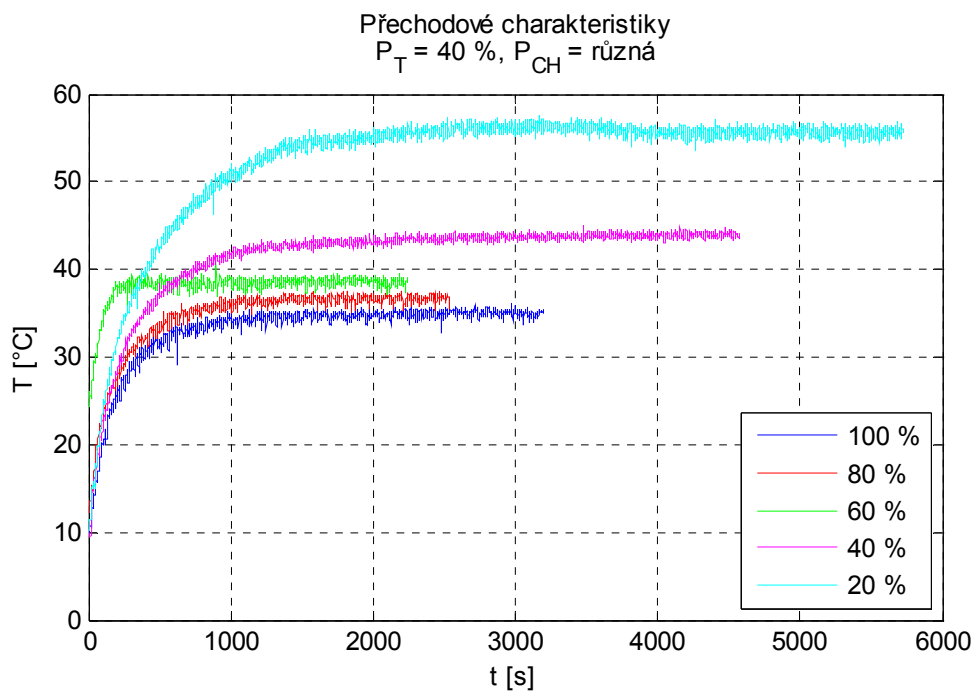
Obr. 16. Přechodové charakteristiky pro 100 % příkon topení a různá chlazení



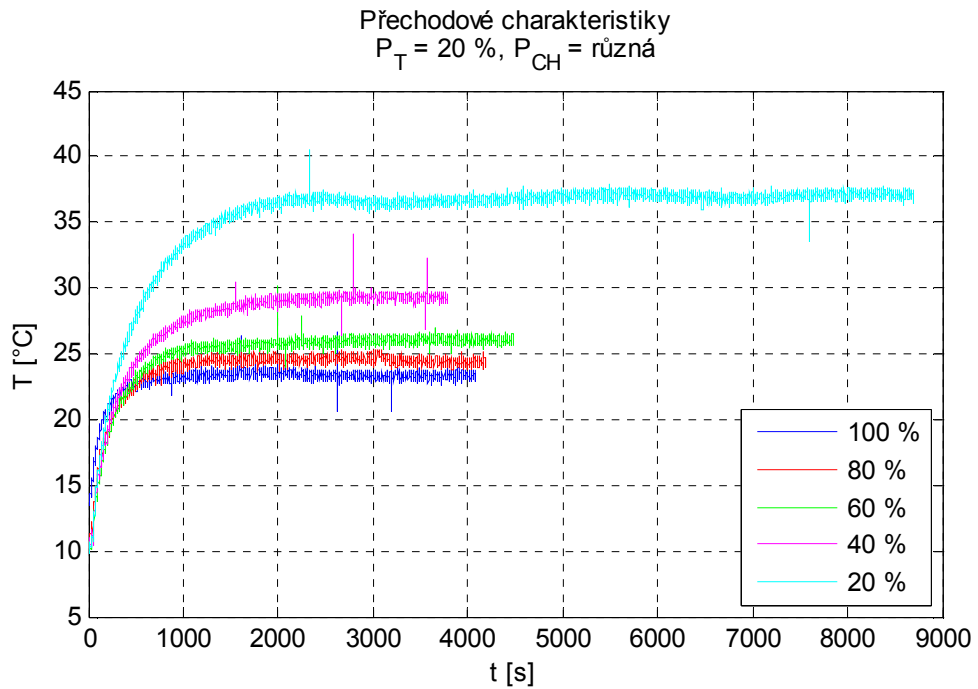
Obr. 17. Přechodové charakteristiky pro 80 % příkon topení a různá chlazení



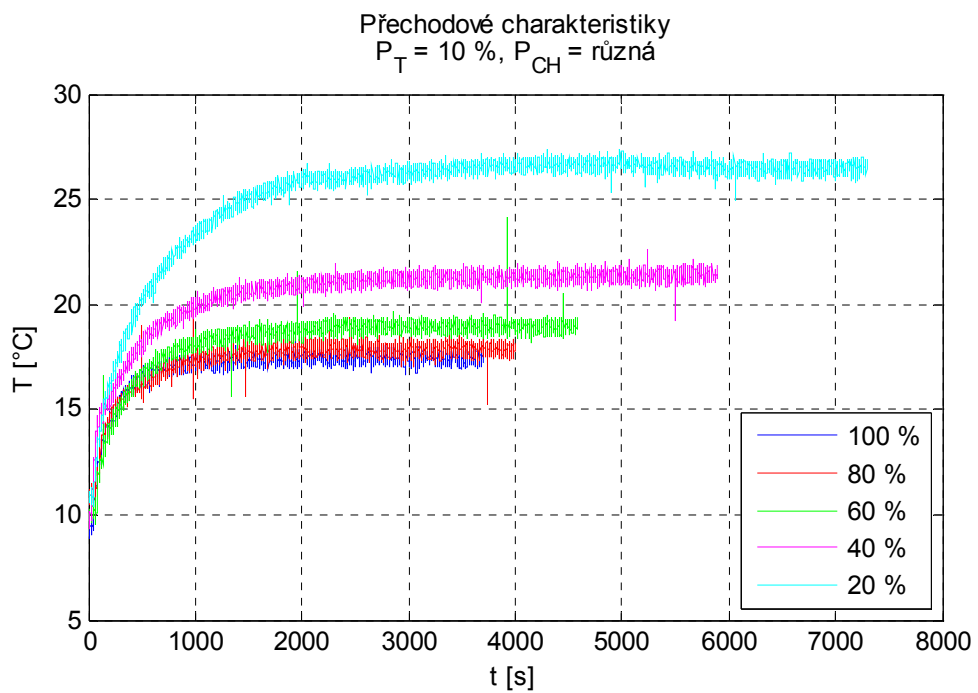
Obr. 18. Přechodové charakteristiky pro 60 % příkon topení a různá chlazení



Obr. 19. Přechodové charakteristiky pro 40 % příkon topení a různá chlazení



Obr. 20. Přechodové charakteristiky pro 20 % příkon topení a různá chlazení



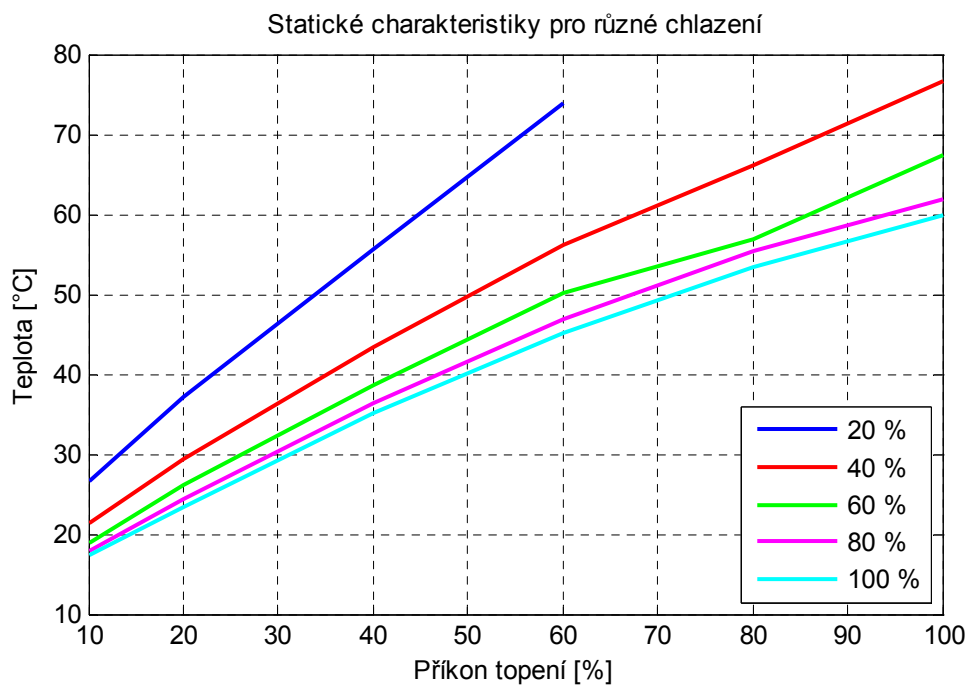
Obr. 21. Přechodové charakteristiky pro 10 % příkon topení a různá chlazení

V Matlabu byl vytvořen pomocí m-filu skript, pomocí kterého byly určeny ustálené hodnoty jednotlivých přechodových charakteristik. Tyto hodnoty byly vypočítány jako průměr 10 % posledních naměřených hodnot.

P_T [%] \ P_{CH} [%]	10	20	40	60	80	100
20	26,6	37,2	55,7	73,8	-	-
40	21,5	29,4	43,4	56,1	66,1	76,6
60	19,0	26,1	38,65	50,1	56,8	67,3
80	17,9	24,4	36,8	47,0	55,4	61,9
100	17,5	23,4	35,1	45,2	53,3	59,8

Tab. 1. Body statické charakteristiky výměníku ve °C

Nyní mohli být sestrojeny statické charakteristiky výměníku.



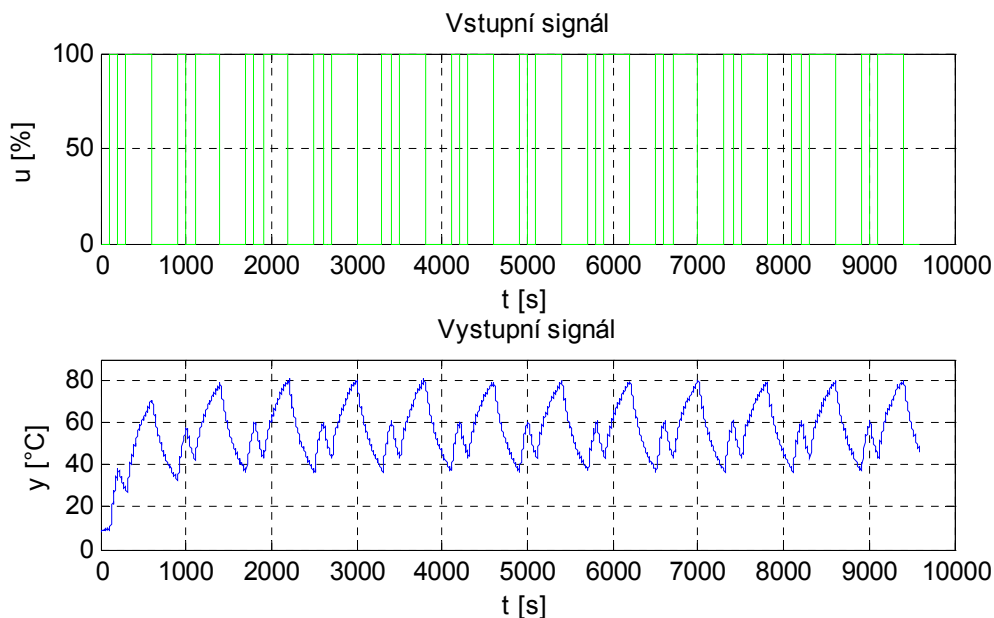
Obr. 22. Statické charakteristiky výměníků pro různé chlazení

Z naměřených statických charakteristik je patrné, že se jedná o téměř lineární systém. Pro malé chlazení je systém lineární, ale se zvyšováním chlazení linearita systému klesá. V tomto případě se ještě stále jedná o lineární systém. První statická charakteristika nemohla být změřena v celém rozsahu (0 až 100 %), kvůli tepelné pojistce, která automaticky vypnula topení po překročení teploty 80 °C.

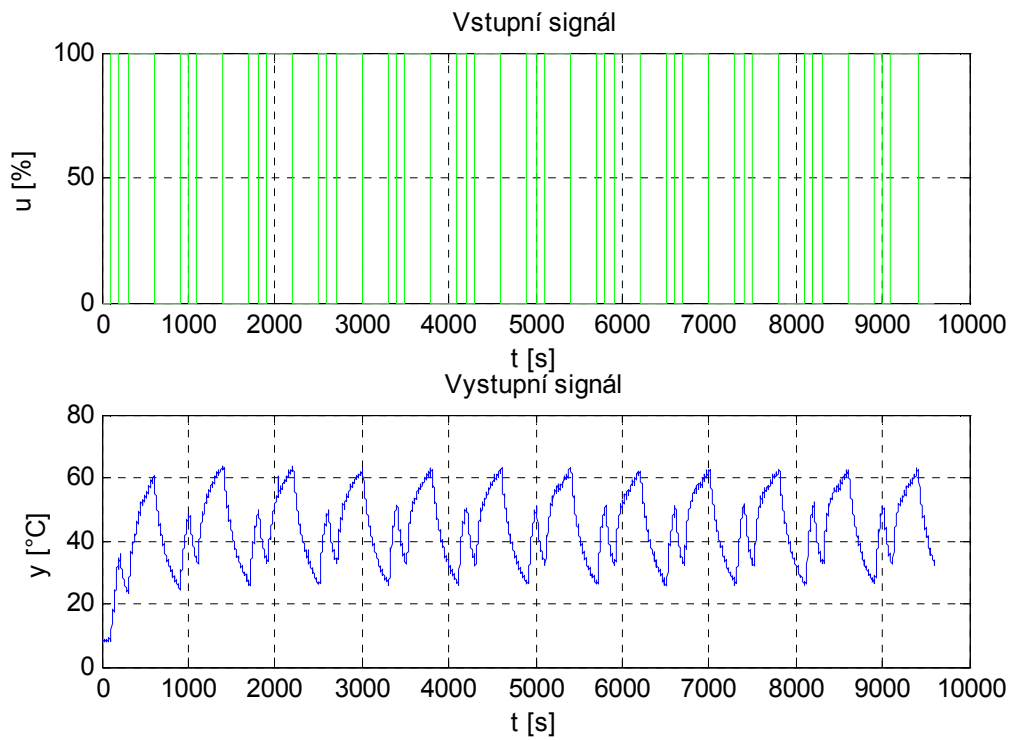
Nevýhodou tohoto systému je, že statické charakteristiky při novém měření by mohli vyjít trochu jinak. Je to způsobeno tím, že tyto charakteristiky jsou závislé jednak na teplotě chladicí kapaliny a také na teplotě okolí výměníku, která se v čase mění.

3.3 Identifikace

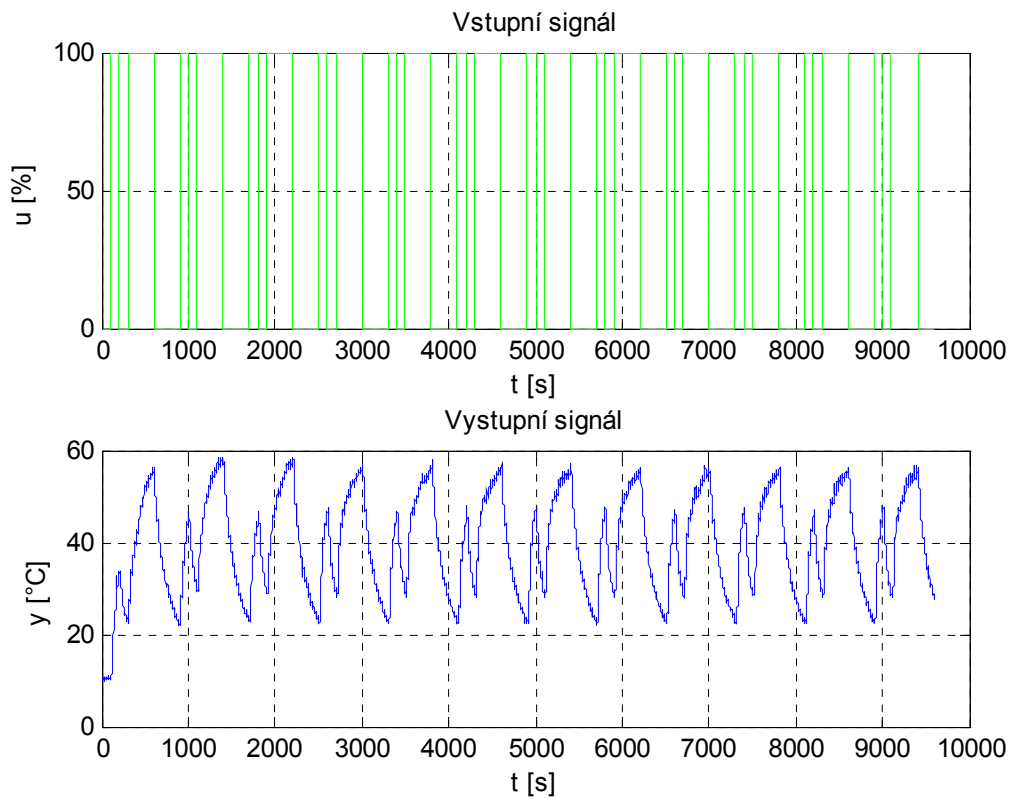
Nyní mohla být provedena identifikace. Použit byl pseudonáhodný binární signál, který byl přiveden na soustavu výměníku. Výstupem je odezva (teplota) systému. Identifikace byla provedena pro 25 %, 50 % a 75 % poruchu. Poruchu bylo nutné nastavit z důvodu, že se jedná o integrační soustavu a bez chlazení by nebylo možné naměřit ani statické charakteristiky.



Obr. 23. Odezva systému na pseudonáhodný binární signál při 25 % chlazení



Obr. 24. Odezva systému na pseudonáhodný binární signál při 50 % chlazení

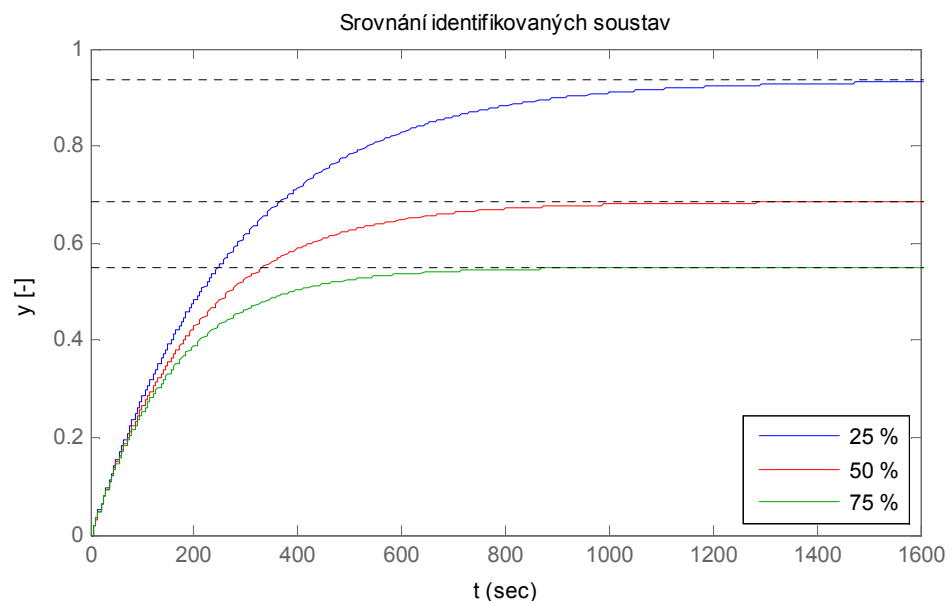


Obr. 25. Odezva systému na pseudonáhodný binární signál při 75 % chlazení

Nyní mohla být provedena identifikace soustavy. Opět byla pro identifikaci použita jednorázová metoda nejmenších čtverců. Podle jednotlivých výstupních průběhů lze předpokládat, že se jedná o soustavu 1. řádu, a proto byla soustava identifikována jak soustava 1. řádu. Jednotlivá data byla ukládána s periodou vzorkování 1 sekunda. Tím byla do měření zanesena chyba měření vlivem šumu, který se přičítal nebo odečítal k výstupní veličině. Proto byla zvolena perioda vzorkování pro identifikaci vyšší než původní měřená, aby se šum alespoň částečně eliminoval. Identifikace byla provedena pro model ARX.

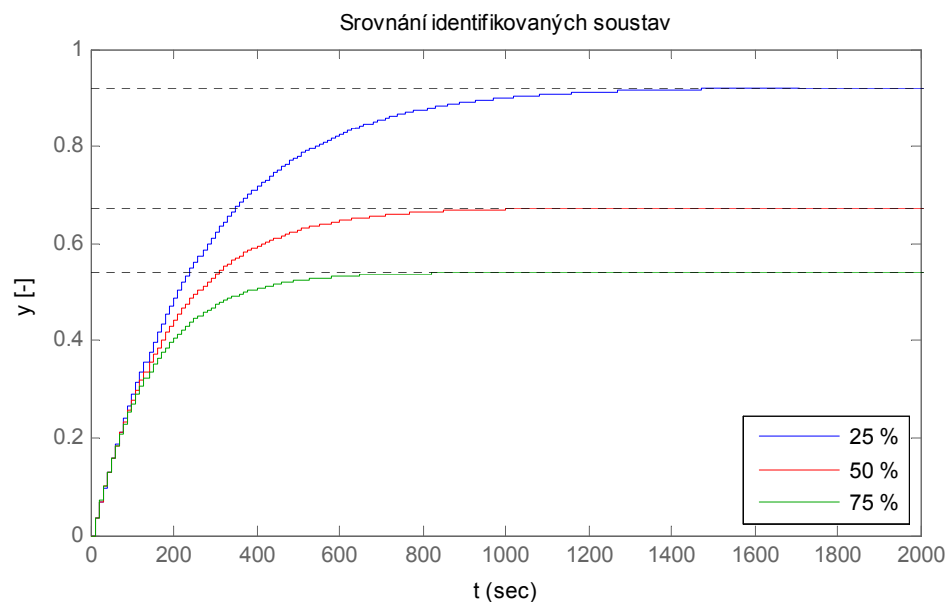
Chlazení Perioda	25 %	50 %	75 %
$T_0 = 5s$	$G(z) = \frac{0,01682}{z - 0,982}$	$G(z) = \frac{0,01663}{z - 0,9757}$	$G(z) = \frac{0,01677}{z - 0,9695}$
	$G(s) = \frac{0,003394}{s + 0,003636}$	$G(s) = \frac{0,003366}{s + 0,004924}$	$G(s) = \frac{0,003407}{s + 0,0061974}$
	$T_1 = 275s$	$T_1 = 203s$	$T_1 = 161s$

Tab. 2. Identifikované přenosy pro různé chlazení a $T_0 = 5s$



Obr. 26. Srovnání identifikovaných soustav pro různá chlazení

Chlazení / Perioda	25 %	50 %	75 %
$T_0 = 10s$	$G(z) = \frac{0,03409}{z - 0,963}$	$G(z) = \frac{0,03499}{z - 0,9481}$	$G(z) = \frac{0,03625}{z - 0,933}$
	$G(s) = \frac{0,003473}{s + 0,003769}$	$G(s) = \frac{0,003593}{s + 0,00533}$	$G(s) = \frac{0,003752}{s + 0,006932}$
	$T_1 = 265s$	$T_1 = 187s$	$T_1 = 144s$

 Tab. 3. Identifikované přenosy pro různé chlazení a $T_0 = 10s$


Obr. 27. Srovnání identifikovaných soustav pro různá chlazení

Z vykreslených přechodových charakteristik je patrné, že chlazení mělo největší vliv na zesílení soustavy, které se zvyšováním chlazení snižovalo. Hlavním rozdílem mezi identifikovanými soustavami pro periodu vzorkování $T_0 = 5s$ a $T_0 = 10s$ je v dynamice soustavy a časové konstanty T_1 .

Nyní bylo nutné určit periodu vzorkování pro řízení. Byl proto použit identifikovaný přenos pro 50 % chlazení. Po převedení diskrétního přenosu do spojitého byla určena konstanta soustavy T_1 .

$$\text{Pro } T_0 = 5s : \quad T_1 = 203s$$

$$\text{Pro } T_0 = 10s : \quad T_1 = 187s$$

Jelikož neexistuje žádné pravidlo pro výpočet periody vzorkování, ale pouze jen doporučení, bylo k určení periody vzorkování použito:

$$T_{01} = \frac{T_1}{10} = \frac{203}{10} = 20,3s$$

$$T_{02} = \frac{T_1}{10} = \frac{187}{10} = 18,7s$$

Jelikož je k řízení topení použita pulzní šířková modulace s periodou vzorkování $T_0 = 10s$, je nutné pro určení periody vzorkování řízení násobky této periody vzorkování. Proto byla výsledná perioda vzorkování řízení určena $T_0 = 20s$.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámení čtenáře s problematikou experimentální identifikace reálných procesů.

V úvodu bylo popsáno laboratorní zařízení, na kterém byla prováděna experimentální identifikace. Poté následovalo přiblížení řešeného problému, kdy bylo zjištěno, že pro základní identifikaci tepelného výměníku bude zavedena také porucha. Proto bylo nutné zavést její říditelnost pomocí průtoku chladicí kapaliny. Řízení této poruchy bylo realizováno pomocí PSV ventilu jako akčního členu a průtokoměru jako výstup soustavy. Tento systém byl identifikován pomocí pseudonáhodného signálu jako systém 1. řádu. Pro řízení byl použit regulátor s jedním stupněm volnosti 1 DOF.

Poté co bylo možné řídit poruchu, bylo provedeno měření statických charakteristik tepelného výměníku, ale než k tomu došlo, bylo potřeba vyřešit problém s řízením příkonu topné spirály. Topná spirála byla ovladatelná jen dvoupolohově (0 - zapnuto, 1 - vypnuto). Proto byl pro řízení příkonu navržen pulzní šířkový modulátor PWM.

Z naměřených statických charakteristik bylo zřejmé, že se jedná o lineární systém. Byla provedena identifikace systému pomocí pseudonáhodného binárního signálu, který byl přiveden na vstup soustavy. Výsledkem byla odezva systému. Pomocí těchto dvou naměřených signálů byla provedena identifikace pomocí jednorázové metody nejmenších čtverců. Systém byl identifikován jako soustava 1. řádu s periodou vzorkování 20 sekund.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBÁL, Vladimír. *Adaptivní a prediktivní řízení*. 1. vyd. Zlín: Universita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. 136 s. ISBN 978-80-7318-662-3
- [2] BALÁTĚ, Jaroslav. *Automatické řízení*. 2. přeprac. vyd. Praha: BEN, 2008. 664 s. ISBN 978-80-7300-148-3
- [3] KADLEC, Karel. Multifunkční stanice pro výuku provozního měření a řízení [online]. c2008 [cit. 2009-04-06]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31274>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ARX	Autoregressive eXogenous
1 DOF	One Degree of Freedom (Regulátor s jedním stupněm volnosti)
PWM	Pulse-width modulation (pulzní šířková modulace)
PNBS	Pseudonáhodný binární signál
PNS	Pseudonáhodný signál

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Laboratorní zařízení Armfiled PCT 40	4
Obr. 2. Tepelný výměník.....	6
Obr. 3. Blokové schéma ventilu a průtokoměru.....	7
Obr. 4. Závislost průtoku ventilem na přivedeném napětí (od -1 V do 1V)	8
Obr. 5. Závislost průtoku ventilem na přivedené napětí (od 1 V do -1 V).....	8
Obr. 6. Závislost průtoku na přivedeném napětí (od -0.25 V do 0.25 V)	9
Obr. 7. Závislost průtoku na přivedeném napětí (od 0.25 V do -0.25 V)	9
Obr. 8. Statická charakteristika ventilu	10
Obr. 9. Pseudonáhodný signál pro identifikaci soustavy ventilu	11
Obr. 10. Odezva systému na vstupní signál	12
Obr. 11. Schéma regulačního obvodu pro řízení průtoku	15
Obr. 12. Řízení průtoku pomocí 1DOF regulátoru	15
Obr. 13. Blokové schémata topné spirály a teploměru.....	16
Obr. 14. Blokové schéma PWM modulace v Matlab Simulinku	17
Obr. 15. Příklady průběhů výstupních signálu PWM pro různé příkony	18
Obr. 16. Přejímové charakteristiky pro 100 % příkon topení a různá chlazení	19
Obr. 17. Přejímové charakteristiky pro 80 % příkon topení a různá chlazení	19
Obr. 18. Přejímové charakteristiky pro 60 % příkon topení a různá chlazení	20
Obr. 19. Přejímové charakteristiky pro 40 % příkon topení a různá chlazení	20
Obr. 20. Přejímové charakteristiky pro 20 % příkon topení a různá chlazení	21
Obr. 21. Přejímové charakteristiky pro 10 % příkon topení a různá chlazení	21
Obr. 22. Statické charakteristiky výměníků pro různá chlazení.....	22
Obr. 23. Odezva systému na pseudonáhodný binární signál při 25 % chlazení.....	23
Obr. 24. Odezva systému na pseudonáhodný binární signál při 50 % chlazení.....	24
Obr. 25. Odezva systému na pseudonáhodný binární signál při 75 % chlazení.....	24
Obr. 26. Srovnání identifikovaných soustav pro různá chlazení.....	25
Obr. 27. Srovnání identifikovaných soustav pro různá chlazení.....	26

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Body statické charakteristiky výměníku ve °C.....	22
Tab. 2. Identifikované přenosy pro různé chlazení a $T_0 = 5s$	25
Tab. 3. Identifikované přenosy pro různé chlazení a $T_0 = 10s$	26