

# Srovnání PID regulace a anisochronního řízení na PLC Tecomat Foxtrot

Martin Hunčovský<sup>1,\*</sup>, Petr Siegel<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

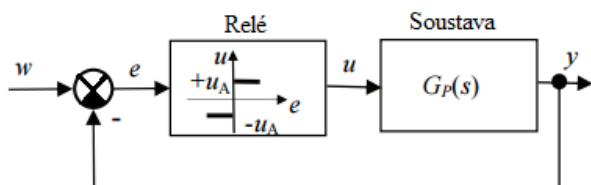
## Abstrakt

Práce srovnává klasický PID regulátor seřízený metodou Ziegler & Nichols a anisochronní regulátor vytvořený pomocí anisochronního modelu s parametry odhadnutými pomocí rozšířené reléové identifikace. Oba způsoby regulace jsou implementovány jako regulátor s auto-tuningem na programovatelném automatu Tecomat Foxtrot CP-1015. Kromě simulačních experimentů jsou oba způsoby řízení testovány na laboratorní úloze "Tepl vzdušný model" umístěné v laboratoři automatického řízení na FS.

*Klíčová slova:* Tecomat; Mosaic; Foxtrot; CP-1015; autotuning; reléová identifikace; Ziegler & Nichols; Tepl vzdušný model; identifikace; programování PLC; regulátor; automatické řízení; anisochronní řízení; PID regulátor; řízení; seřízení PID

## 1. Úvod do identifikace soustav metodou relé

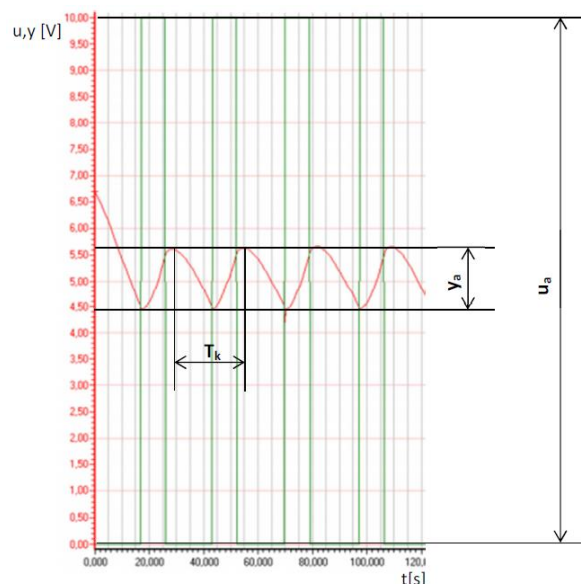
Cílem identifikace soustavy pro její řízení je získat matematický model použitelný pro návrh řízení. Jednou z metod, kterou lze soustavu identifikovat, je metoda relé. Tato identifikace spočívá v připojení dvoupolohové regulace (relé) k soustavě. Připojení je možné sledovat v následujícím obrázku. Pro identifikaci pro PID regulátor je voleno symetrické relé.



Obr. 1 Reléová identifikace – zapojení relé k soustavě

Na obrázku Obr. 2 vedle tohoto textu je vidět základní průběh soustavy po zapojení dvoupolohové regulace s hysterezí. Pro přesnější hodnoty je lepší použít sepnutí a vypnutí relé v lineární oblasti dané soustavy. Po odečtení hodnot  $T_k$  a poměru  $y_a$  a  $u_a$  dostaneme hodnoty potřebné pro dosazení do další části identifikace (výpočet  $r_k$ ). Pro naši úlohu jsme pro nastavení PID regulátoru zvolili metodu „Ziegler & Nichols“ další informace konkrétně k této metodě jsou uvedeny v kapitole 1.1.1.. Na obrázku 3 je zobrazeno připojení PLC (programovatelný logický automat viz Obr. 3) s PC, kde byl použit softwarový nástroj Mosaic od firmy Teeco a.s. V tomto PLC jsme identifikaci a následně řízení naprogramovali a provedli srovnání. Identifikace i následně řízení je provedeno na stejném PLC.

$$r_k = \frac{4u_a}{\pi y_a} \quad (1)$$



Obr. 2 Reléová identifikace - odečtení hodnot

## 1.1. Identifikace pro seřízení PID regulátoru

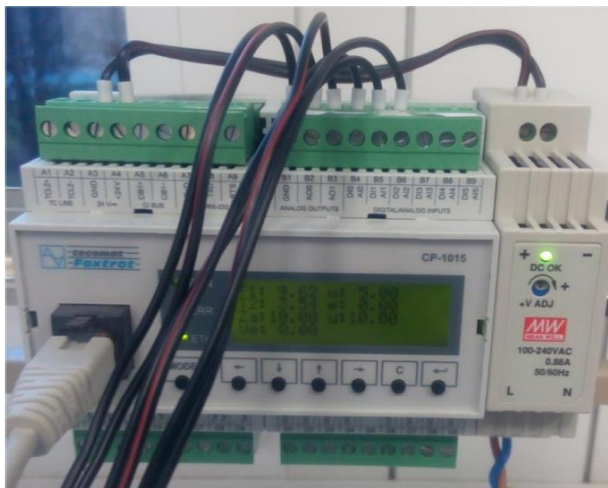
### 1.1.1. Metoda Ziegler & Nichols

Metoda z odečtených hodnot ( $T_k$ ,  $y_a$ ,  $u_a$ ) vypočte potřebné parametry regulátoru ( $r_0$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ). Pro příklad je uveden PID regulátor nastavený touto metodou. Z odečtených hodnot je nutné stanovit proporcionální, integrační a derivační konstantu (viz *Tabulka 1*).

Tabulka 1. Výpočet jednotlivých složek PID regulátoru

| regulátor | $r_0$        | $T_i$        | $T_d$        |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| P         | $0,5 * r_k$  |              |              |
| PI        | $0,45 * r_k$ | $0,83 * T_k$ |              |
| PID       | $0,6 * r_k$  | $0,5 * T_k$  | $0,12 * T_k$ |

\* Kontakt na autory: [Martin.Huncovsky@fs.cvut.cz](mailto:Martin.Huncovsky@fs.cvut.cz) [Petr.Siegel@fs.cvut.cz](mailto:Petr.Siegel@fs.cvut.cz)



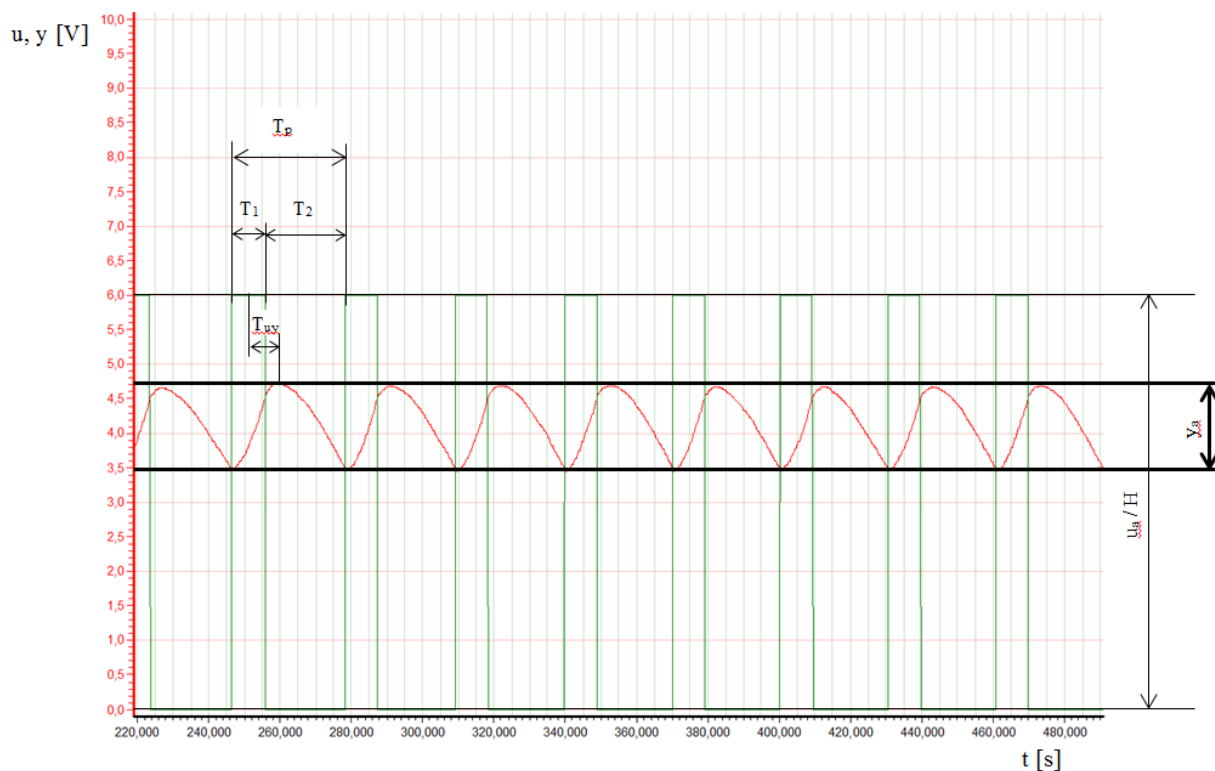
Obr. 3 PLC CP-1015- zapojené k úloze

Program je naprogramovaný tak, aby proběhla automatická identifikace připojené soustavy a následná regulace pomocí PID regulátoru, který je naprogramován přímo

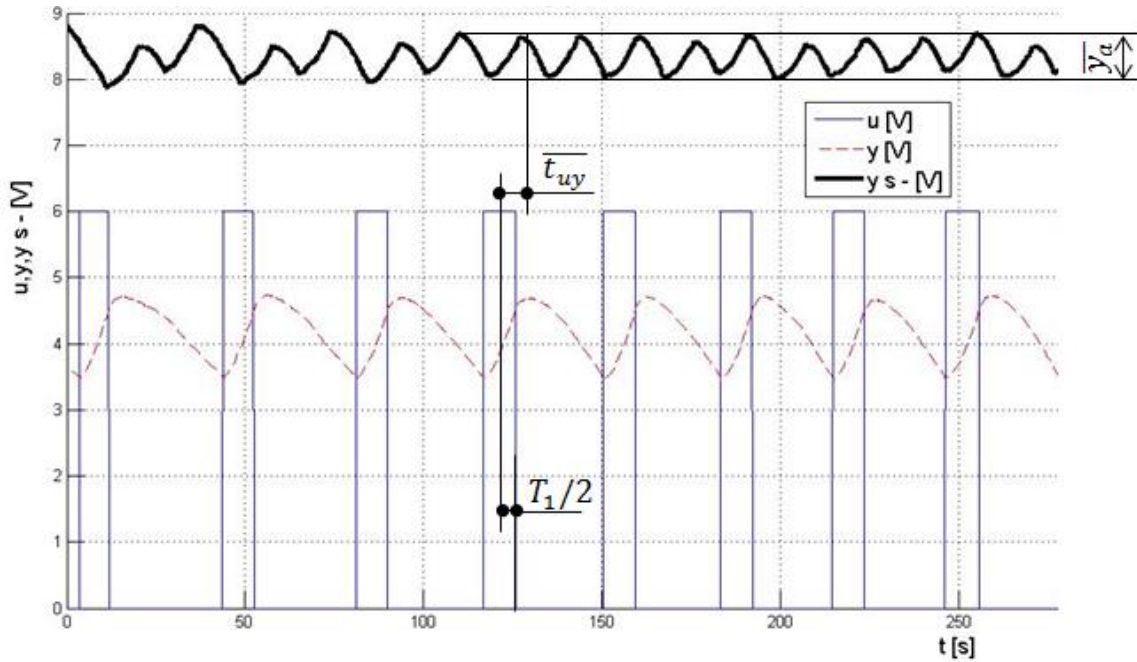
v knihovně PLC. Po ukončení reléové identifikace v uzavřeném regulačním obvodu jsou vypočteny parametry regulátoru. Tato metoda je nazvána auto-tuning. Vlastní regulátor byl vytvořen v programovacím prostředí Mosaic v jazyce ST (structured text) dle normy IEC 61131-3. V tomto jazyce je vytvořen též program pro automatickou identifikaci připojené soustavy.

## 1.2. Identifikace metodou relé pro seřízení anisochronního regulátoru

Pro výpočet parametrů použitého anisochronního regulátoru je nutné odhadnout pět parametrů. Uvedený anisochronní model je vhodný pro aproximaci soustav s dopravním zpožděním. Nevýhodou tohoto regulátoru je jeho obtížnější seřízení. Odečet základních hodnot je znázorněn na grafu z programu Mosaic, který je vykreslen na Obr. 4 a pro přehlednost také na Obr. 5. Celá identifikace je detailněji popsána v literatuře [2].



Obr. 4 Identifikace - úloha "Teplovzdušný model"



Obr. 5 Identifikace - hodnoty s pruhem

Pro popis úlohy „Teplovzdušný model“ je použit model s přenosem.

$$G_P(s) = \frac{K \cdot e^{-s\tau_u}}{(\tau_1 + 1)(\tau_2 + e^{-s\tau_y})}. \quad (2)$$

V rovnici se vyskytuje 5 neznámých. Parametr K odhadneme pomocí

$$K = \frac{\int_t^{t+T_p} y(\tau) d\tau}{\int_t^{t+T_p} u(\tau) d\tau}. \quad (3)$$

Zbývající 4 parametry lze určit numerickým řešením ze dvou bodů frekvenční charakteristiky získané při relové identifikaci. Jde o body vztahující se k frekvencím  $\omega = \frac{2\pi}{T_p} a \omega = \frac{4\pi}{T_p}$ . Numerickým řešením dvou rovnic v komplexní rovině lze určit zbývající parametry  $\tau_u, \tau_1, \tau_2, \tau_y$ . Z iterační metody není možné vždy získat reálné platná data. Při špatném zvolení počátečního bodu se hodnoty mohou dostat do lokálního extrému, který není reálným řešením naší soustavy. Získaná data je tedy nutné ještě podrobit kontrole některých podmínek. Například  $\frac{\tau_y}{\tau_2} < \frac{\pi}{2}$  (podmínka stability). Pro úlohu „Teplovzdušného modelu“ v laboratoři automatického řízení po identifikaci a následné iteraci byly odhadnuty parametry, které byly ještě upraveny v rámci chodu regulátoru na hodnoty  $K = 2,33, \tau_u = 0,94, \tau_1 = 0,004, \tau_2 = 17,33, \tau_y = 0,08$ . Tyto parametry byly zvoleny na základě identifikace, která byla částečně odečtena automaticky v PLC a iterace a kontrola byla prováděna manuálním odečtem z grafu vytvořeného v programu Matlab a zatím se parametry vypočtou iterací právě v tomto programu. Výsledky iterace se zatím na reálné úloze bez úpravy nedaří aplikovat.

## 2. Navrhovaný anisochronní regulátor

Přenosová funkce regulátoru je navrhována pro model soustavy s anisochronním přenosem (2). Pro návrh byla použita metoda „požadovaného modelu“ [1], která byla rozpracována na Fakultě strojní VŠB – Technické univerzitě Ostrava. Metoda požadovaného modelu vychází ze vztahu

$$G_C(s) = \frac{1}{G_P(s)} \frac{G_{wy}(s)}{1 - G_{wy}(s)} \quad (4)$$

pro přímou syntézu regulátoru, kde

$$G_P(s) = G'_P(s) \cdot e^{-s\tau_u} \quad (5)$$

je přenosová funkce modelu soustavy (2) a

$$G_{wy}(s) = \frac{k_0}{s + k_0 e^{-\tau_y s}} \cdot e^{-s\tau_u} \quad (6)$$

je požadovaný přenos řízení, kde  $k_0$  je zesílení otevřeného regulačního obvodu. Dosazením vztahů (6) a (5) do vztahu (4)(3) získáme přenos regulátoru

$$G_C(s) = \frac{k_0}{s G'_P(s)}. \quad (7)$$

Po dosazení přenosové funkce modelu soustavy (2) do vztahu (7) a přidání filtru pro podmínku realizace získáme přenos regulátoru ve tvaru

$$G_C(s) = \frac{k_0 (\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + e^{-s\tau_y})}{K (\tau_f s + 1)s}. \quad (8)$$

### 3. Porovnání řízení pomocí PID<sub>(Z&N)</sub> s anisochronním řízením

#### 3.1. Použitý PID regulátor

Pro porovnání byl použit PID regulátor s Laplaceho obrazem

$$U(s) = r_0(E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) + \frac{T_d s}{T_f s + 1} Y(s)), \quad (9)$$

kde  $T_f$  je časová konstanta filtru. V PLC byl použit PID regulátor diskretizovaný pomocí aproximace derivace lichoběžníkovou náhradou a integrace pomocí stupňové náhrady zleva.

#### 3.2. Simulace

Pro porovnání simulovaných regulátorů bylo zvoleno prostředí Matlab s toolboxem simulink, a soustava šestého řádu s dopravním zpožděním

$$G_c(s) = \frac{e^{-8s}}{(5s + 1)^6}. \quad (10)$$

Po identifikaci metodou relé (Ziegler & Nichols) získáme takovéto parametry PID regulátoru:

Tabulka 2. Parametry PID regulátoru - simulace

|       |       |
|-------|-------|
| $r_0$ | 1,02  |
| $T_i$ | 35,60 |
| $T_d$ | 8,54  |
| $T_f$ | 0,50  |

Identifikací soustavy pro anisochronní model (2) získáme parametry:

Tabulka 3. Parametry anisochronního regulátoru - simulace

|          |       |
|----------|-------|
| $K$      | 1,0   |
| $\tau_1$ | 7,4   |
| $\tau_2$ | 24,0  |
| $\tau_v$ | 10,0  |
| $\tau_u$ | 16,6  |
| $\tau_f$ | 0,5   |
| $k_0$    | 0,035 |

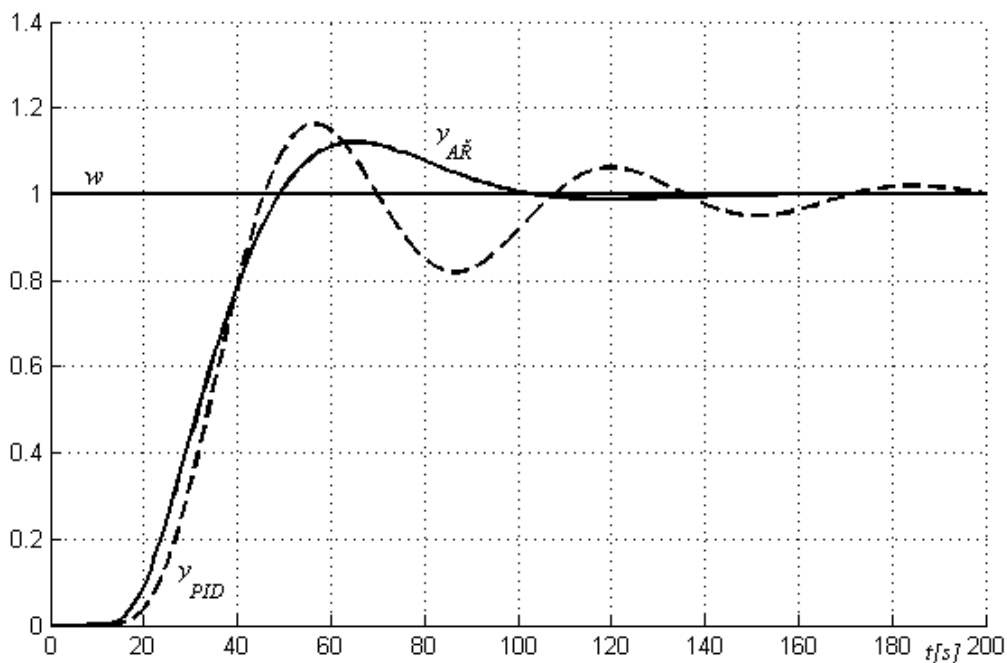
Zesílení  $k_0$  volíme podle požadovaného relativního překmitu  $\kappa$  podle tabulky 4 a rovnice (11).

Tabulka 4. Volba požadovaného relativního překmitu [1]

|          |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\kappa$ | 0     | 0,05  | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   |
| $\beta$  | 2,718 | 1,944 | 1,720 | 1,437 | 1,248 | 1,104 | 0,992 |

$$k_0 = \frac{1}{\beta \tau_u} \quad (11)$$

Srovnání výsledků simulace je na obrázku 6, kde je vidět odezva na jednotkový skok žádané hodnoty.



Obr. 6 Srovnání řízení pomocí PID regulátoru a anisochronního řízení - simulace

### 3.3. Srovnání na reálné soustavě

Pro porovnání regulátorů na reálné soustavě byla zvolena úloha „Teplovzdušný model“ z laboratoře 111 ČVUT FS. Identifikací metodou relé (Ziegler & Nichols) byly identifikovány takovéto parametry PID regulátoru:

**Tabulka 5.** Parametry PID regulátoru – reálná soustava

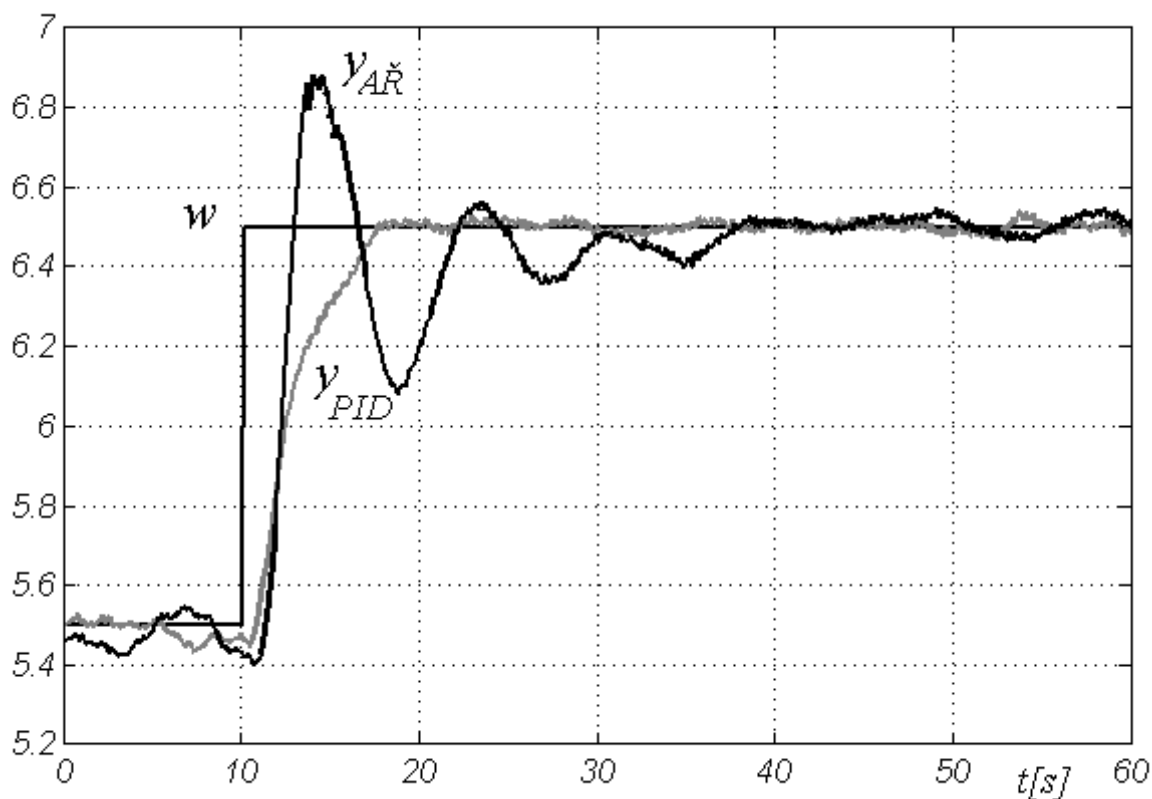
|       |      |
|-------|------|
| $r_0$ | 2,11 |
| $T_i$ | 6,89 |
| $T_d$ | 1,72 |
| $T_f$ | 0,25 |
| $T$   | 0,10 |

Identifikací soustavy pro anisochronní model (2) získáme parametry:

**Tabulka 6.** Parametry anisochronního regulátoru - reálná soustava

|          |       |
|----------|-------|
| $K$      | 2,33  |
| $\tau_1$ | 0,004 |
| $\tau_2$ | 17,33 |
| $\tau_v$ | 0,08  |
| $\tau_u$ | 0,94  |
| $\tau_f$ | 0,50  |
| $k_0$    | 0,62  |
| $T$      | 0,084 |

Srovnání výsledků regulace je vidět na obrázku 7, kde je vidět skoková změna žádané hodnoty  $w$  z 5,5 na 6,5.



**Obr. 7** Srovnání řízení pomocí PID regulátoru a anisochronního řízení – reálná soustava

Z obr. 7 je patrné, že algoritmus identifikace anisochronního modelu soustavy implementovaný v PLC je třeba ještě doladit.

### 4. Závěr

Z uvedených informací je patrné, že PID regulátor je velice snadno seřiditelný, ale u soustav s dopravním zpožděním by anisochronní řízení mohla být lepší varianta. V posledních dnech jsme zjistili, že tuto úlohu značně

ovlivňuje venkovní počasí. Úloha je závislá na průtoku vzduchu. Ten se, pokud venku výrazněji fouká vítr, velice pomalu snižuje průtok vzduchu a identifikace dané úlohy tak ztrácí přesnost. Pro srovnání úloh byly stejné podmínky, ale je důležité toto zmínit.

Identifikace PID regulátoru je připravena jako celek s auto-tuningem a je celá otestována na PLC Foxtrot CP-1015. V úloze s anisochronním řízením je připravený program pro regulaci, ale identifikace není celkově hotová. Identifikace parametrů označených pruhem není

\* Kontakt na autory: [Martin.Huncovsky@fs.cvut.cz](mailto:Martin.Huncovsky@fs.cvut.cz) [Petr.Siegel@fs.cvut.cz](mailto:Petr.Siegel@fs.cvut.cz)

hotova a iterační metoda se zdá nestabilní. Tato iterace je v současnosti prováděna z napůl identifikovaných parametrů v PLC a odečtených hodnot z vykreslovaného grafu. Pro jednotlivé omegy (0; 0,503; 1,006) se určí přenos a iteračně se zjistí koeficienty. Pro úlohu teplovzdušný model to jsou:  $K = 2,33$   $\tau_u = 0,94$ ,  $\tau_1 = 0,004$ ,  $\tau_2 = 17,33$ ,  $\tau_y = 0,08$

## Poděkování

Tato práce byla sepsána s podporou grantové agentury Českého vysokého učení technického v Praze. Tato práce byla sepsána s podporou grantu číslo: SGS16/210/OHK2/3T/12.

## Seznam symbolů

V práci je použito následné značení:

Hodnoty s pruhem jsou stejného významu ale pro omegu rovnou druhé číselné hodnotě.  $\bar{y}(t) = y(t) + y(t - \frac{T_p}{2})$ .

|          |  |
|----------|--|
| $e$      | regulační odchylka (V)                     |
| $G_C$    | přenos regulátoru (-)                      |
| $G_P$    | přenos regulované soustavy (-)             |
| $H$      | šířka zásahu relé (V)                      |
| $k_0$    | zesílení otevřeného regulačního obvodu (-) |
| $K$      | parametr anisochronního modelu (-)         |
| $r_0$    | proporcionální konstanta regulátoru (-)    |
| $r_k$    | kritické zesílení (-)                      |
| $T_d$    | derivační časová konstanta regulátoru (s)  |
| $T_i$    | integrační časová konstanta regulátoru (s) |
| $T_k$    | perioda kmitů při kritickém zesílení (s)   |
| $T$      | perioda vzorkování (s)                     |
| $u$      | akční veličina (V)                         |
| $u_a$    | amplituda akční veličiny (V)               |
| $w$      | žádaná hodnota (V)                         |
| $y$      | regulovaná veličina (V)                    |
| $y_a$    | amplituda regulované veličiny (V)          |
| $\kappa$ | relativní překmit                          |
| $\tau_1$ | parametr anisochronního modelu (s)         |
| $\tau_2$ | parametr anisochronního modelu (s)         |
| $\tau_f$ | časová konstanta filtru (s)                |
| $\tau_u$ | parametr anisochronního modelu (s)         |
| $\tau_y$ | parametr anisochronního modelu (s)         |

## Literatura

Při tvorbě této práce byla použita tato literatura. Informace jsou čerpány převážně z několika odborných článků.

- [1] VÍTEČEK, Antonín a Miluše VÍTEČKOVÁ. *Zpětnovazební řízení mechatronických systémů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3232-6.
- [2] Hofreiter, M.:Extension of relay feedback identification. In: Proceedings of 2015 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems

- and Workshops (ICUMT). Brno, Czech Republic: IEEE, 2015, p. 61-66. ISBN 978-1-4673-9282-2.
- [3] Hofreiter, M, Trnka, P, Siegel, P a Hunčovský M.:Extension of relay feedback identification. In: International Journal of Control Systems and Robotics . Praha, Czech Republic: IEEE, 2016, p. 57-62. ISSN 2367-8917.
- [4] Příručky SW. *Teco Advanced Automation: Industrial Automation, Intelligent Buildings, Smart Grid* [online]. Kolín: Teco, 2009 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/index.php?a=cat.303>
- [5] Příručky HW. *Teco Advanced Automation: Industrial Automation, Intelligent Buildings, Smart Grid* [online]. Kolín: Teco, 2009 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/index.php?a=cat.304>