

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE

Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky

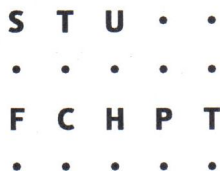


ELEKTRONICKÁ UČEBNICA PRE PREDMET
EXPERIMENTÁLNA IDENTIFIKÁCIA

Vypracoval: Martin Kalúz

Školiteľ: Ing. Ľuboš Čírka, PhD.

Bratislava 2008



ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Autor práce: **Martin Kalúz (21598)**

Odbor: potravinárska technológia a biotechnológia

Študijný odbor:

Vedúci práce: Ing. Ľuboš Čirka, PhD.

Názov témy: **Elektronická učebnica pre predmet Experimentálna identifikácia**

Rozsah práce: 30

Riešenie zadania práce od: 18. 02. 2008

Dátum odovzdania: 23. 05. 2008

Martin Kalúz
riešiteľ bakalárskej práce

prof. Ing. Dr. Miroslav Fikar
vedúci pracoviska



prof. Ing. Fedor Malík, DrSc.
garant študijného programu

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Ľubošovi Čirkovi, PhD.
za odborné vedenie, rady a pripomienky, ktoré viedli ku
vypracovaniu tejto práce.

Obsah

1	Úvod	5
2	Moodle	7
3	Základné pojmy z identifikácie	8
3.1	Verifikácia modelu	10
4	Kurz EI v Moodle	11
4.1	Spracovanie prechodovej charakteristiky	12
4.2	Identifikácia systému 1. rádu z prechodovej charakteristiky	15
4.3	Identifikácia systému 2. rádu z prechodovej charakteristiky (nekmitavý systém) ...	17
4.4	Identifikácia systému 2. rádu z prechodovej charakteristiky (kmitavý systém)	20
4.5	Identifikácia systému vyššieho rádu z prechodovej charakteristiky Strejcovou metódou	22
4.6	Identifikácia systému vyššieho rádu z prechodovej charakteristiky Broidovou metódou	25
4.7	Animácie	27
4.8	Vzor testu	27
5	Záver	29
6	Literatúra	30

Abstrakt

Úlohou tejto práce je vytvoriť elektronický kurz pre predmet Experimentálna identifikácia a sprístupniť ho na on-line vzdelávacom portáli Moodle. Kurz má za úlohu zrozumiteľnou formou priblížiť študentom problematiku identifikácie systémov a poskytnúť im návody na riešenie praktických úloh. V elektronickom kurze je obsiahnutý teoretický úvod do identifikácie systémov, teória a príklady deterministických metód a súbor testov na preskúšanie. Na generovanie prechodových charakteristík pre časť Príklady bol použitý program MATLAB a jeho súčasť Simulink. Celý kurz bol vytvorený v jazyku XHTML v prostredí Moodle pomocou integrovaného html editora.

1 Úvod

Prvé využitie modernej výpočtovej techniky v priemysle sa datuje do 50. rokov 20. storočia. Táto technika umožnila automatizovať takmer všetky priemyselné a vedecké odvetvia. V dnešnej dobe sa na riadenie používajú počítače rádovo výkonnejšie ako tie pred niekoľkými desiatkami rokov, z čoho vyplývajú aj možnosti stáleho zdokonaľovania riadiacich systémov.

Na to aby sme dokázali nejaký reálny systém riadiť, najprv sa potrebujeme bližšie oboznámiť s tým, ako sa pri určitých situáciách chová daný proces, ktorý ho charakterizuje. Pre lepšiu charakterizáciu reálneho objektu (reálny systém) sa preň zavádza tzv. matematický model (abstraktný systém), ktorý sa dá vyjadriť v podobe algebraických, diferenciálnych, diferenčných, alebo pravdepodobnostných vzťahov. Tieto vzťahy priamo udávajú závislosti medzi jednotlivými vstupnými a výstupnými veličinami, ktoré charakterizujú daný systém.

Na určovanie týchto vzťahov slúžia metódy experimentálnej identifikácie. Tá má za úlohu podľa rôznych techník a metód čo najlepšie odhadnúť správanie sa skúmaného systému a určiť jeho matematický model.

Metódy určovania matematického modelu rozdeľujeme na deterministické a stochastické. Deterministické metódy sú také, pri ktorých neuvažujeme vplyv náhodných veličín na systém. Skutočným situáciám s ktorými sa stretávame v praxi sa omnoho viac približujú metódy stochastické, ktoré uvažujú pôsobenie rušivých signálov, náhodných faktorov a rôznych porúch.

Deterministické identifikačné metódy sa líšia vzhľadom na rád identifikovaného systému. Poznáme všeobecné metódy použiteľné pre systém 1. rádu, aperiodický a periodický systém 2. rádu, a metódy použiteľné na identifikáciu vyššieho ako 2. rádu. Medzi tieto metódy sa radí Strejcova metóda, Hudzovičova metóda, Broidova metóda, Thal-Larsenova metóda, Šalamonova metóda, iteračná metóda odhadu prenosu a iné.

Okrem výučby *Experimentálnej identifikácie* na Fakulte Chemickej a potravinárskej technológie STU, sú predmety s podobným zameraním vyučované aj na iných vysokých školách a fakultách.

Na Fakulte elektrotechniky a informatiky (FEI) STU, konkrétne na ústave riadenia a priemyselnej informatiky, je vyučovaný predmet *Identifikácia systémov*. Študenti FEI majú taktiež možnosť navštevovať e-learningové kurzy v prostredí Moodle: *Riadiace systémy* a *Teória automatického riadenia*. Tieto kurzy však nie sú verejne prístupné.

Na Fakulte riadenia a informatiky Žilinskej univerzity sa pre odbor *Informačné a riadiace systémy* vyučuje predmet *Identifikácia systémov* a na Katedre prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva Technickej univerzity v Košiciach je vyučovaný predmet *Počítačom podporované systémy riadenia*, ktorého súčasťou je aj identifikácia systémov.

Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky Strojníckej fakulty STU má pre odbor *Automatizácia a informatizácia strojov a procesov* na internetovom serveri Moodle ústavu informatizácie, automatizácie a matematiky sprístupnený kurz *Identifikácia sústav*. Tento kurz je verejne prístupný a ponúka výučbu vo forme týždenných tematických okruhov.

2 Moodle

[4]

Celý elektronický kurz bol vytvorený pomocou softvéru Moodle a sprístupnený na on-line vzdelávacom portáli Ústavu informatizácie, automatizácie a matematiky, na adrese "<http://www.kirp.chtf.stuba.sk/moodle/course/view.php?id=237>".

Moodle je softvérový balík, určený na tvorbu internetových on-line vzdelávacích kurzov a web stránok. Je to vývojársky projekt navrhnutý na podporu medzinárodného vzdelávania umožňujúci pedagógom návrh a realizáciu internetovej výučby, a študentom široké možnosti vzdelávania sa modernou formou. Skratka Moodle znamená Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (modulové objektovo-orientované dynamické výučbové prostredie). Moodle je voľne poskytovaný ako takzvaný "open source software" (softvér so sprístupneným zdrojovým kódom) a môže byť inštalovaný na akýkoľvek počítač s podporou PHP a databáz typu SQL (napr. MySQL).

Prostredie Moodle poskytuje niekoľko užívateľských rozhraní s rôznou úrovňou prístupových práv. Tieto užívateľské rozhrania sa v Moodle uvádzajú pod názvom "roly".

Rolu s najnižšími užívateľskými právami majú študenti, ktorý môžu navštíviť časti kurzu, ktoré sú sprístupnené na prezeranie, prípadne vykonávať povolené aktivity (napr. testy). Rola učiteľa bez možnosti uprav, je určená pre vedenie kurzu a hodnotenie študentov, ale neumožňuje vyučujúcemu robiť zásahy do programovej štruktúry kurzu. Najväčšie užívateľské práva ponúka rola učiteľa, v ktorej je možné vytvárať a upravovať štruktúru kurzu a taktiež pridávať rôzne aktivity. Kurz *Experimentálna identifikácia* bol vytvorený v užívateľskom prostredí Moodle s prístupovými právami učiteľa.

Na tvorbu textovej časti kurzu, ako je úvod, teória identifikácie a súbor príkladov, bol použitý integrovaný textový editor s funkciou vkladania objektov, ako obrázok, tabuľka, odkaz a iné. Testy boli vytvorené pomocou softvéru priamo na to určeného, ktorý je taktiež programovou súčasťou Moodle.

3 Základné pojmy z identifikácie

[1, 2]

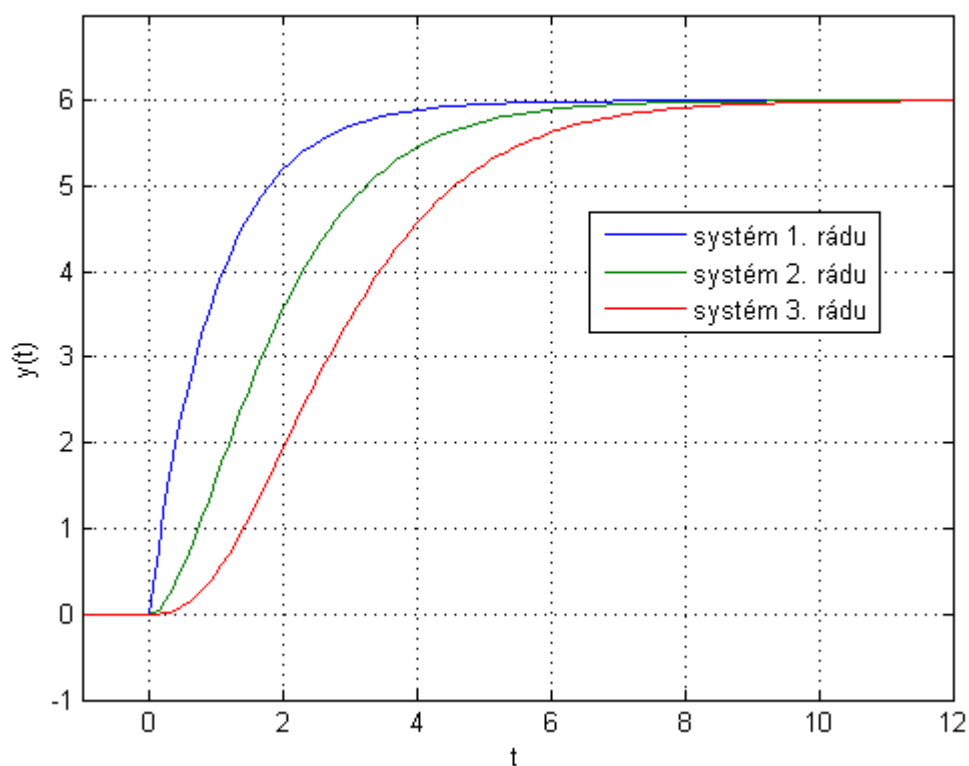
Prenos dynamického systému $G(s)$ je definovaný ako podiel Laplaceovho obrazu výstupnej veličiny a Laplaceovho obrazu vstupnej veličiny pri nulových začiatočných podmienkach:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (1)$$

kde s je argument Laplaceovej transformácie, $Y(s)$ je Laplaceov obraz výstupnej veličiny a $U(s)$ je Laplaceov obraz vstupnej veličiny.

Prechodová funkcia (ďalej len PCH) je odozva systému na jednotkový skokový vstupný signál pri nulových začiatočných podmienkach. Predstavuje závislosť výstupnej veličiny systému od času.

Prechodová charakteristika je grafickým znázornením prechodovej funkcie (obr. 1).



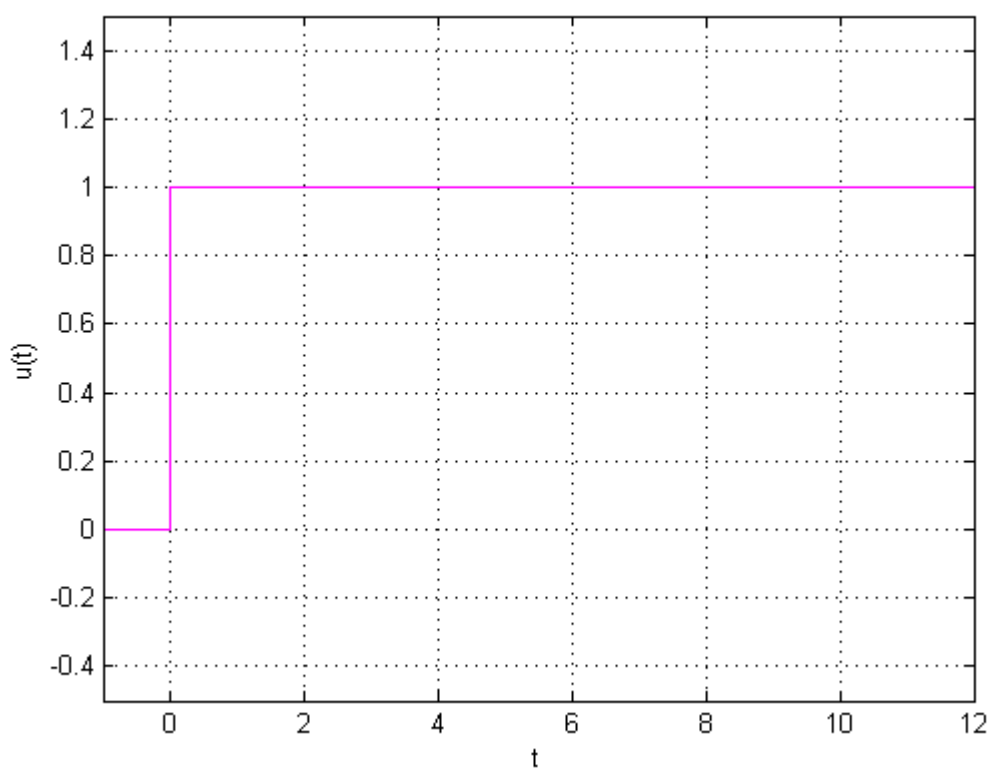
Obr. 1: Prechodové charakteristiky

Medzi najčastejšie používané vstupné testovacie signály patria:

- skoková funkcia
- pulz
- suma sínusov
- pseudonáhodná binárna postupnosť

Jednotková skoková funkcia (obr. 2) je definovaná ako:

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2)$$



Obr. 2: Grafické znázornenie jednotkovej skokovej funkcie

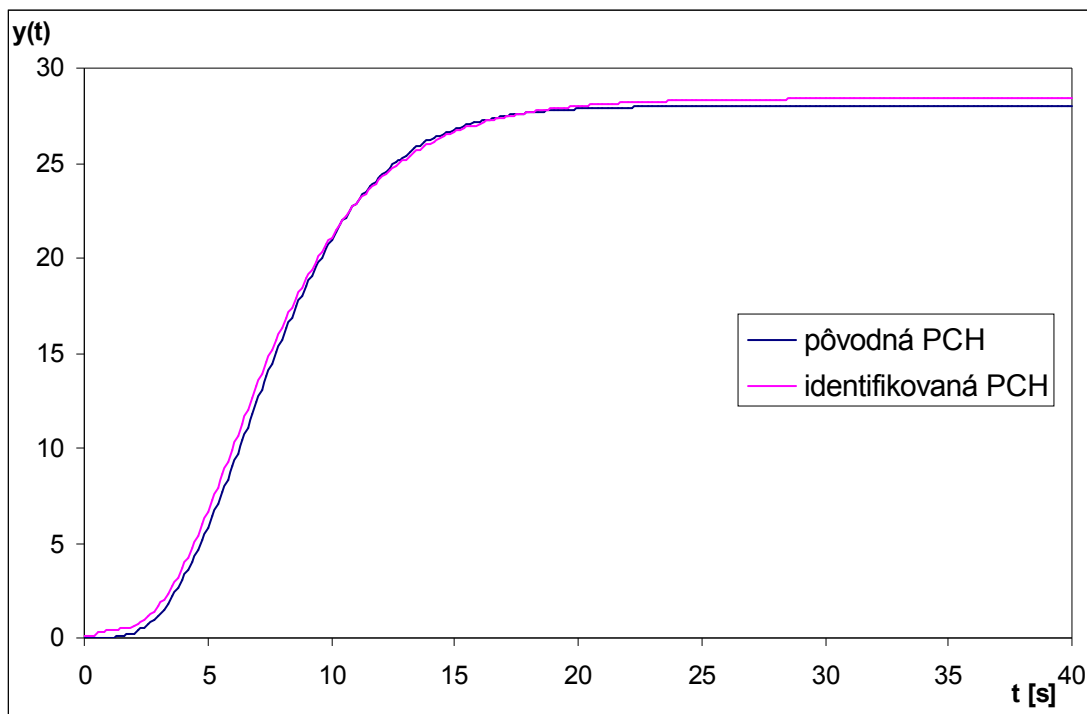
Normovanie PCH je proces, pri ktorom podelíme PCH (výstupný signál $y(t)$) hodnotou skokovej zmeny (vstupný signál $u(t)$).

3.1 Verifikácia modelu

Pre úspešnú identifikáciu a riadenie nejakého systému potrebujeme mať k dispozícii jeho matematický model. Výber vhodnej štruktúry modelu je podstatnou a dôležitou časťou pre následnú prácu s ním. Model musí byť vybraný tak, aby sa jeho vlastnosti v čo najväčšej miere približovali vlastnostiam skúmaného systému.

Po určení štruktúry modelu nám identifikačná metóda poskytne istý model z tejto štruktúry. Ten môže byť ten najlepší dostupný, ale zásadnou otázkou je, či je dostatočne vhodný pre zamýšľané použitie, preto sa testuje vhodnosť zvoleného modelu. Testovanie vhodnosti modelu sa nazýva verifikácia modelu.

Pre deterministické metódy, u ktorých identifikácia vychádza z určenia parametrov prenosu pomocou prechodovej charakteristiky, sa za vhodnú metódu verifikácie považuje porovnanie PCH pôvodného (neznámeho) systému s PCH získanou z identifikácie (obr. 3). Najvhodnejšie je zistenie odchýlky medzi prechodovými charakteristikami, napr. metódou sumy štvorcových odchýliek v bodoch PCH. Čím je odchýlka medzi pôvodnou a identifikovanou PCH menšia, tým je použitý matematický model vhodnejší a identifikovaný systém lepšie zodpovedá skutočnému systému.



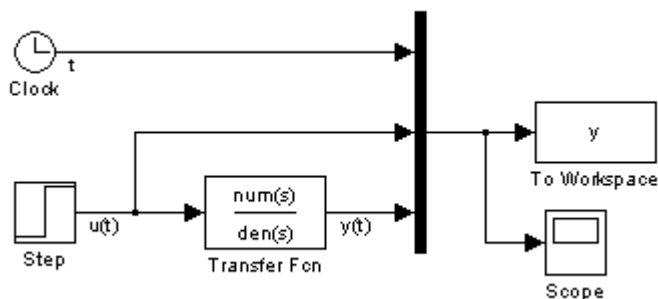
Obr. 3: Zisťovanie vhodnosti modelu porovnaním PCH

4 Kurz EI v Moodle

Kurz Experimentálna identifikácia je vytvorený v Moodle a má nasledujúcu štruktúru:

- *Teória (M. Fikar, J. Mikleš. Identifikácia systémov)*
 - Úvod do identifikácie systémov
 - Deterministické metódy
- *Príklady a animované návody*
 - Spracovanie prechodovej charakteristiky
 - Identifikácia systémov 1. rádu
 - Identifikácia systémov 2. rádu
 - Identifikácia systémov vyšších rádo
- *Testy*
 - Test 1, 2, 3, 4
- *Doplňky kurzu*
 - Fórum novín
 - Súbory na stiahnutie
 - Odkazy na literárne zdroje

Všetky údaje k prechodovým charakteristikám systémov sú získané z programu MATLAB, resp. Simulink. Na ich generovanie bol použitý blokový model vytvorený v programe Simulink, ktorý obsahoval blok skokového signálu (Step), signál hodín (Clock), blok prenosovej funkcie (Transfer fcn), blok načítania dát do pracovného priestoru (To Workspace) a blok pre grafické zobrazenie (Scope).



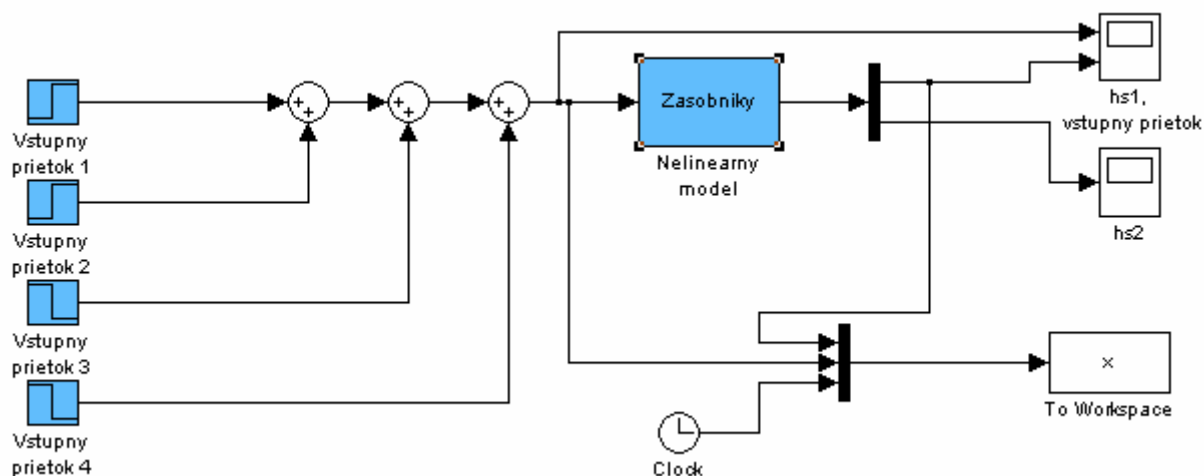
Obr. 4: Bloková schéma simulačného modelu

V časti Príklady je uvedený návod na spracovanie prechodových charakteristík systému, ktoré boli vytvorené skokovými vstupnými signálmi rôznej veľkosti a znamienka. Ďalej sú v tejto časti uvedené postupy riešení nasledujúcich identifikačných deterministických metód:

1. identifikácia systému 1. rádu
2. identifikácia nekmitavého systému 2. rádu
3. identifikácia kmitavého systému 2. rádu
4. identifikácia systému vyššieho rádu podľa Strejca
5. identifikácia systému vyššieho rádu podľa Broudu

4.1 Spracovanie prechodovej charakteristiky

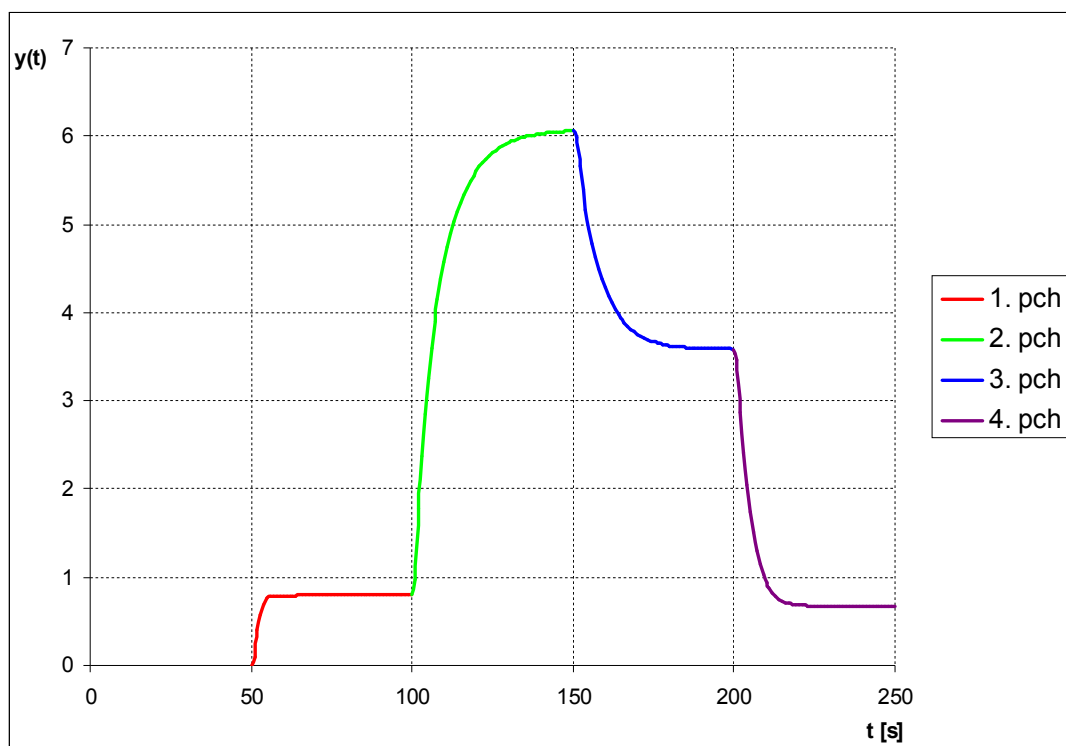
Ako skúmaný systém boli použité dva zásobníky kvapaliny s interakciou a samotná simulácia bola vykonaná v Simulinku. Ako vstupný signál bola použitá skoková zmena prietoku vstupujúcej kvapaliny a ako výstupný signál bola sledovaná zmena výšky hladiny v prvom zásobníku (hs1) podľa schémy:



Obr. 5: Bloková schéma simulačného modelu

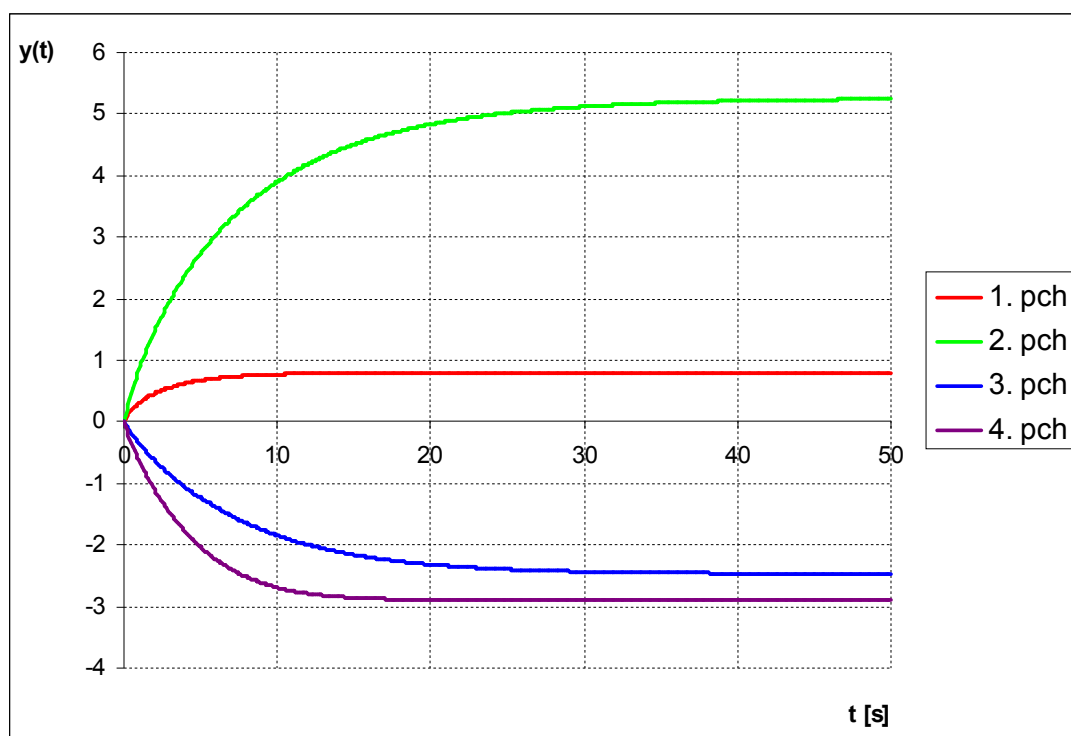
Pre získanie prechodových charakteristík skúmaného systému boli uskutočnené štyri rôzne za sebou nasledujúce skokové zmeny vstupného signálu v časoch 50s, 100s, 150s a 200s.

Skokové zmeny: $\Delta u_1 = 2,5$; $\Delta u_2 = 4,4$; $\Delta u_3 = -1,6$; $\Delta u_4 = -3$



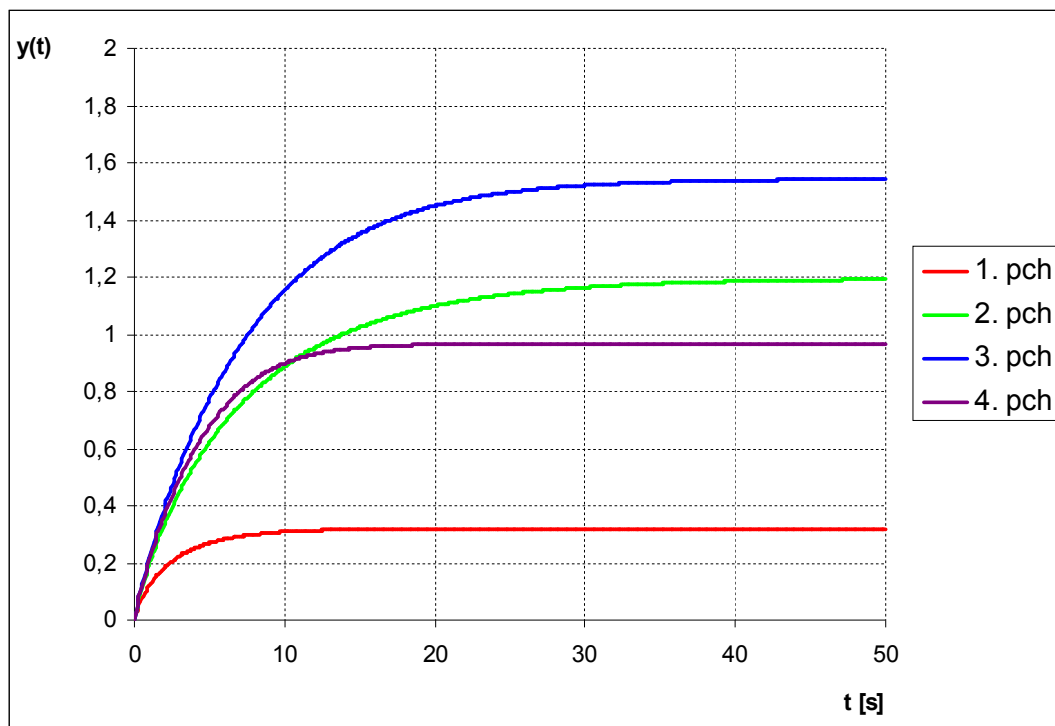
Obr. 6: Odozva systému na skokové zmeny

Všetky odozvy boli umiestnené do jedného počiatku (bodu $[0; 0]$).



Obr. 7: Prechodové charakteristiky umiestnené v počiatku súradnicovej sústavy

Vzniknuté prechodové charakteristiky boli normované (podelené veľkosťami skokových zmien).



Obr. 8: Prechodové charakteristiky podelené veľkosťou skokového vstupného signálu

Keďže prechodové charakteristiky znázornené na obrázku 8 po podelení nesplynuli, je zrejmé, že skúmaný systém je nelineárny a na stanovenie výslednej prechodovej charakteristiky sa použije vyhodnocovací vzorec určený z podmienky minima kvadratických chýb:

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{k=1}^N \Delta u_k y_{ik}}{\sum_{k=1}^N (\Delta u_k)^2} \quad (3)$$

kde i je i -ty bod prechodovej charakteristiky

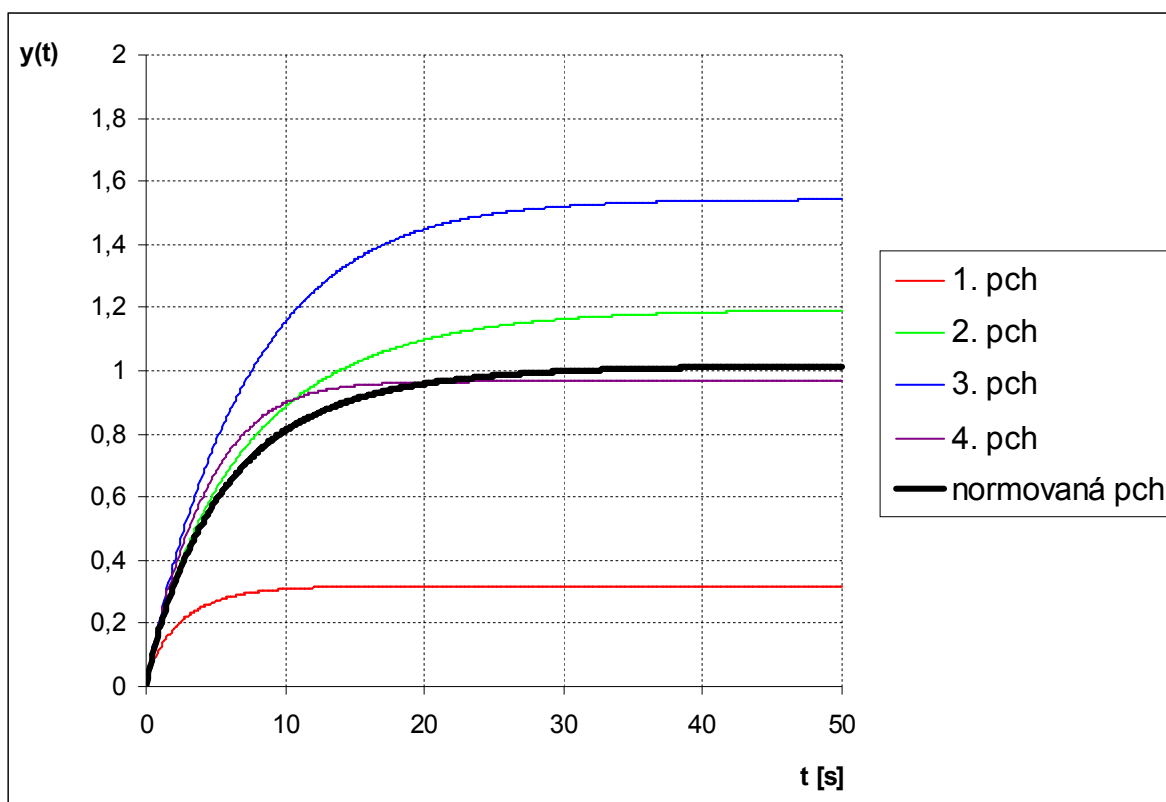
k - k -te meranie, $k = 1, \dots, N$,

Δu_k - skoková zmena vstupu pri k -tom meraní,

y_{ik} - hodnota výstupu pri k -tom meraní v i -tom intervale

$\hat{y}_i$ - výsledná hodnota PCH v čase $t = i\Delta t$, kde Δt je perióda vzorkovania

Výsledná normovaná prechodová charakteristika je reprezentatívna pre daný systém a môže byť ďalej použitá pri jeho identifikácii.



Obr. 9: Znáznornenie výslednej (normovanej) prechodovej charakteristiky

V ďalších kapitolách sa budeme venovať jednotlivým deterministickým identifikačným metódam. Na príkladoch ukážeme použitie jednotlivých metód.

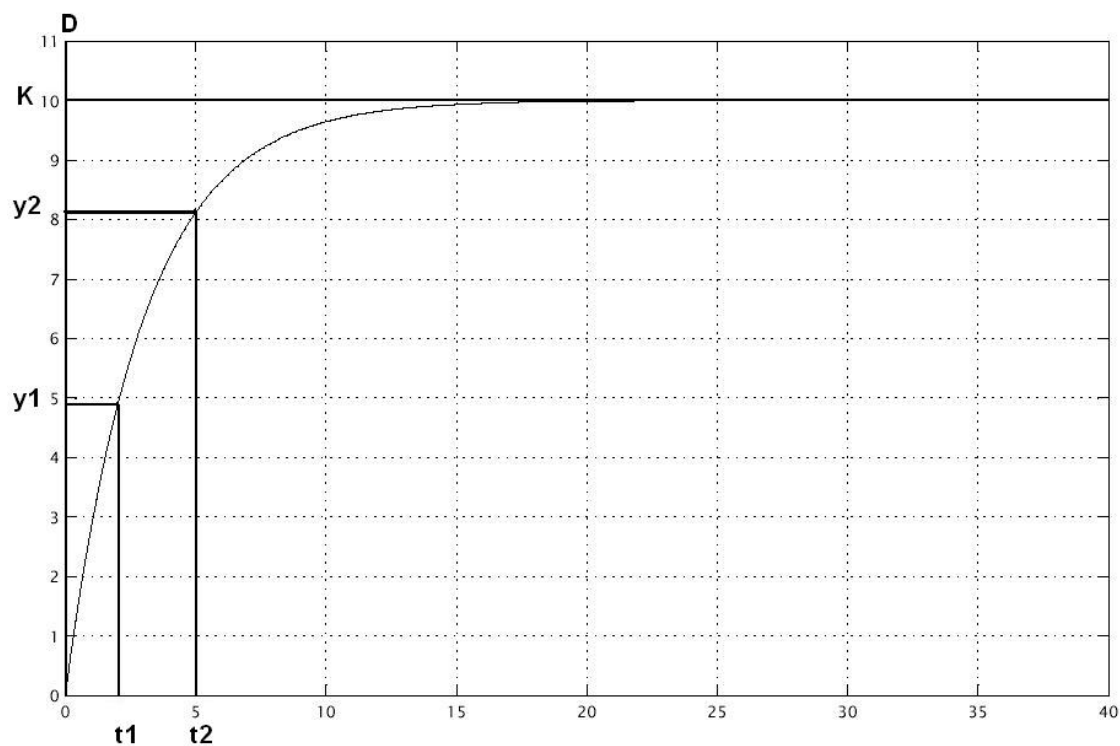
4.2 Identifikácia systému 1. rádu z prechodovej charakteristiky

Úloha: Nahradíme prechodovú charakteristiku (znázornenú na obr. 10) systémom 1. rádu s prenosom:

$$F(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (4)$$

Postup: Na prechodovej charakteristike (obr. 10) boli zvolené dva body a v nich odčítané hodnoty t_1 , t_2 , y_1 , y_2 .

$$\begin{aligned} t_1 &= 2.0000 & y_1 &= 4.8658 \\ t_2 &= 5.0000 & y_2 &= 8.1112 \end{aligned}$$



Obr. 10: Prechodová charakteristika systému 1. rádu

Na osi výstupnej veličiny bolo odčítané zosilnenie systému, ako hodnota na ktorej sa ustálila prechodová charakteristika:

$$K = y(\infty) = 10$$

Z odčítaných hodnôt t_1 , t_2 , y_1 , y_2 a K bola určená časová konštanta T a dopravné oneskorenie D :

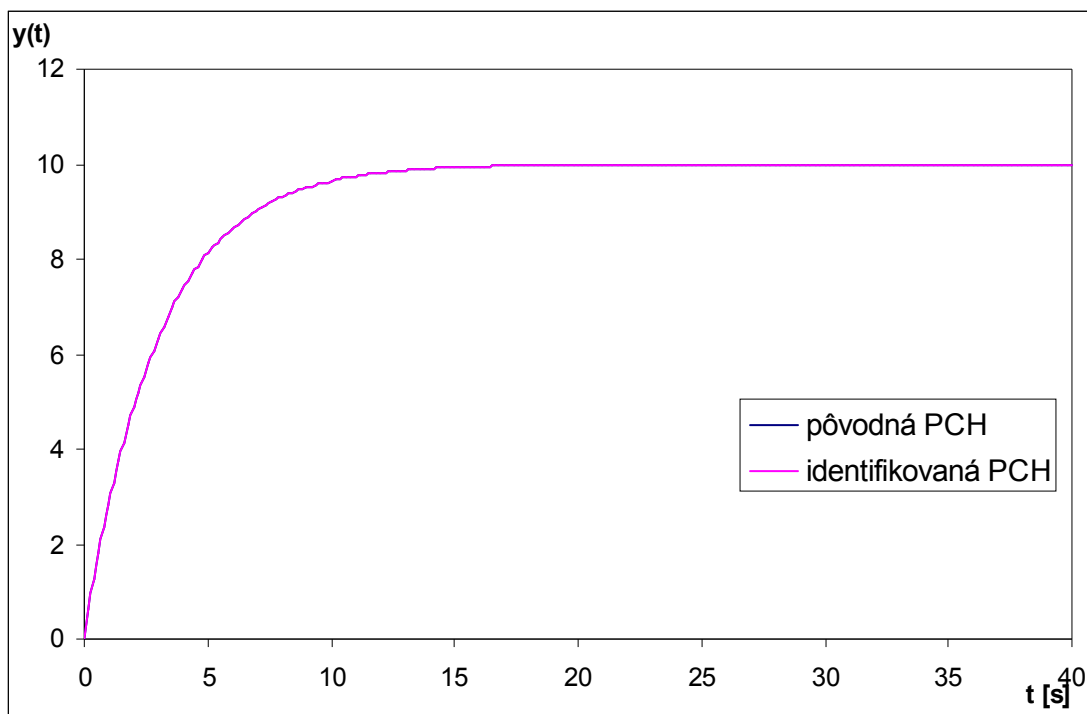
$$T = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{K - y_1}{K - y_2}} = \frac{5 - 2}{\ln \frac{10 - 4,8658}{10 - 8,1112}} \cong 3 \quad (5)$$

$$x = \frac{\ln \frac{K - y_1}{K}}{\ln \frac{K - y_2}{K}} = \frac{\ln \frac{10 - 4,8658}{10}}{\ln \frac{10 - 8,1112}{10}} = 0,4 \quad (6)$$

$$D = \frac{t_2 x - t_1}{x - 1} = \frac{5 \cdot 0,4 - 2}{0,4 - 1} = 0 \quad (7)$$

Vypočítané hodnoty zosilnenia K , časovej konštanty T a dopravného oneskorenia D boli dosadené do vzťahu (4):

$$F(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} = \frac{10}{3s + 1} \quad (8)$$



Obr. 11: Porovnanie pôvodného systému a systému získaného identifikáciou

Keďže PCH pôvodného systému splynula s PCH identifikovaného systému, suma štvorcov odchýliek je nulová.

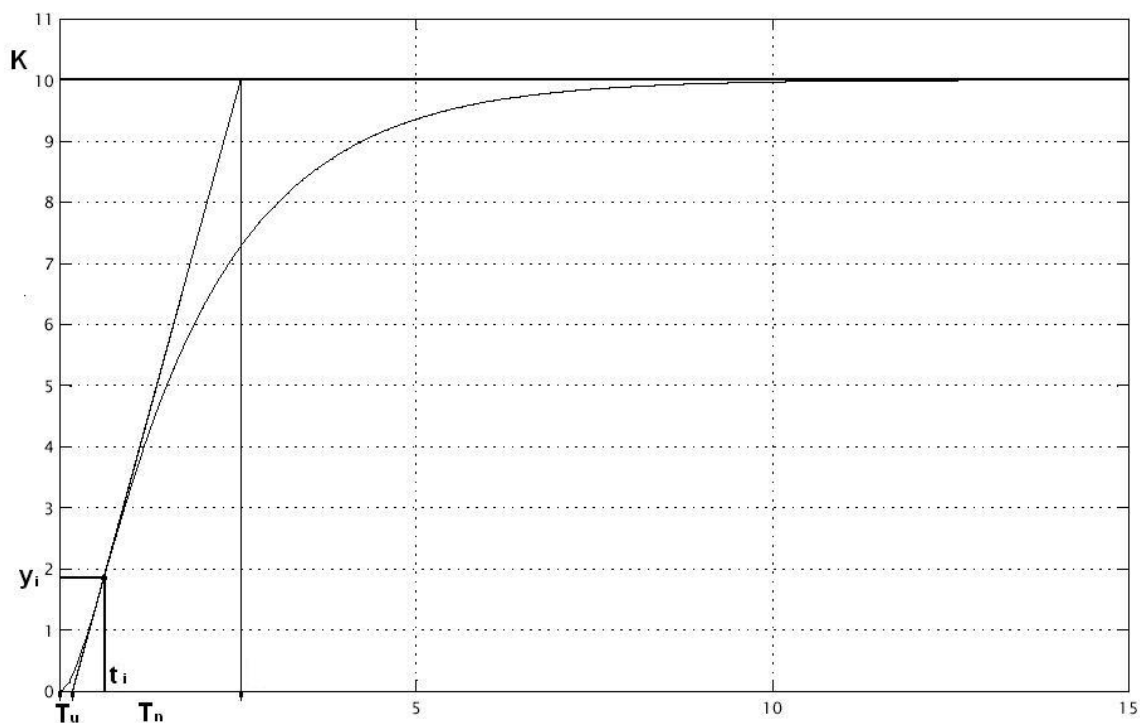
4.3 Identifikácia systému 2. rádu z prechodovej charakteristiky (nekmitavý systém)

Úloha: Nahradíme prechodovú charakteristiku (znázornenú na obr. 12) systémom 2. rádu s prenosom:

$$F(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (9)$$

Postup: Na osi výstupnej veličiny PCH bolo odčítané zosilnenie systému, ako hodnota na ktorej sa ustálila prechodová charakteristika:

$$K = y(\infty) = 10$$



Obr. 12: Prechodová charakteristika nekmitavého systému 2. rádu

Vizuálne bola na prechodovej charakteristike určená poloha inflexného bodu a v ňom bola zostrojená dotyčnica. V mieste, kde dotyčnica prešla vodorovnú os bol odčítaný čas prietahu T_u :

$$T_u = 0,164 \text{ s}$$

Čas nábehu T_n bol vypočítaný ako hodnota v priesečníku dotyčnice a priamky K zmenšená o T_u :

$$T_n = 2,38 \text{ s}$$

Bol vypočítaný podiel T_n/T_u :

$$f_1(k) = T_n/T_u = 14,51 \quad (10)$$

Tabuľka 1

k	$f_2(k)$	$f_1(k)$
0,05	1,171	31,737
0,10	1,292	20,088
0,20	1,495	13,974
0,40	1,842	10,910
0,80	2,441	9,720
0,90	2,581	9,665
0,95	2,650	9,653
0,99	2,705	9,649
1,05	2,786	9,652
1,10	2,853	9,662
1,30	3,117	9,748
2,00	4,000	10,355

Z tabuľky 1 bola pre dané $f_1(k)$ odčítaná hodnota k :

$$k = 0,191 \text{ (získané interpoláciou)}$$

Pre dané k bola z tabuľky 1 zistená hodnota $f_2(k)$:

$$f_2(k) = 1,477 \text{ (získané interpoláciou)}$$

Bola vypočítaná časová konštanta T_1 :

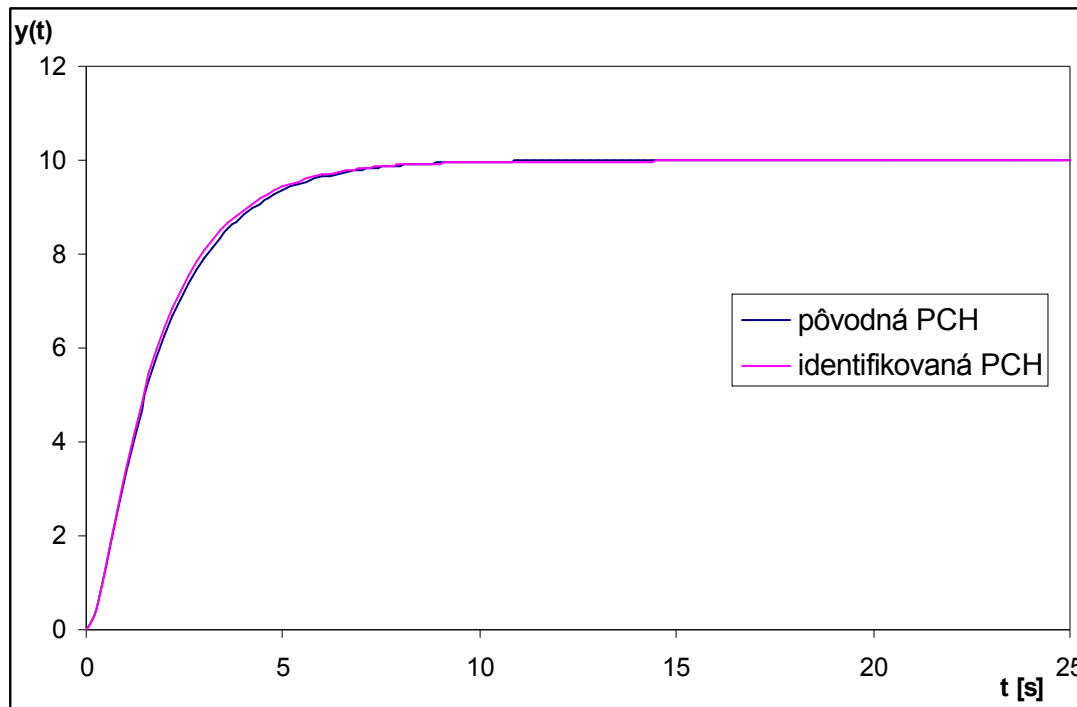
$$T_1 = T_n/f_2(k) = 2,38/1,477 = 1,611 \text{ s} \quad (11)$$

Hodnota časovej konštanty T_2 bola vypočítaná podľa vzťahu:

$$T_2 = k T_1 = 0,191 \cdot 1,611 = 0,308 \text{ s} \quad (12)$$

Určené parametre boli dosadené do vzťahu (9):

$$F(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} = \frac{20,16}{s^2 + 3,869s + 2,02} \quad (13)$$



Obr. 13: Porovnanie pôvodného systému a systému získaného identifikáciou

Suma štvorcov odchýliek medzi pôvodnou PCH a PCH získanou z identifikácie je 0,4303.

4.4 Identifikácia systému 2. rádu z prechodovej charakteristiky (kmitavý systém)

Úloha: Nahraďme prechodovú charakteristiku (znázornenú na obr. 14) systémom 2. rádu s prenosom:

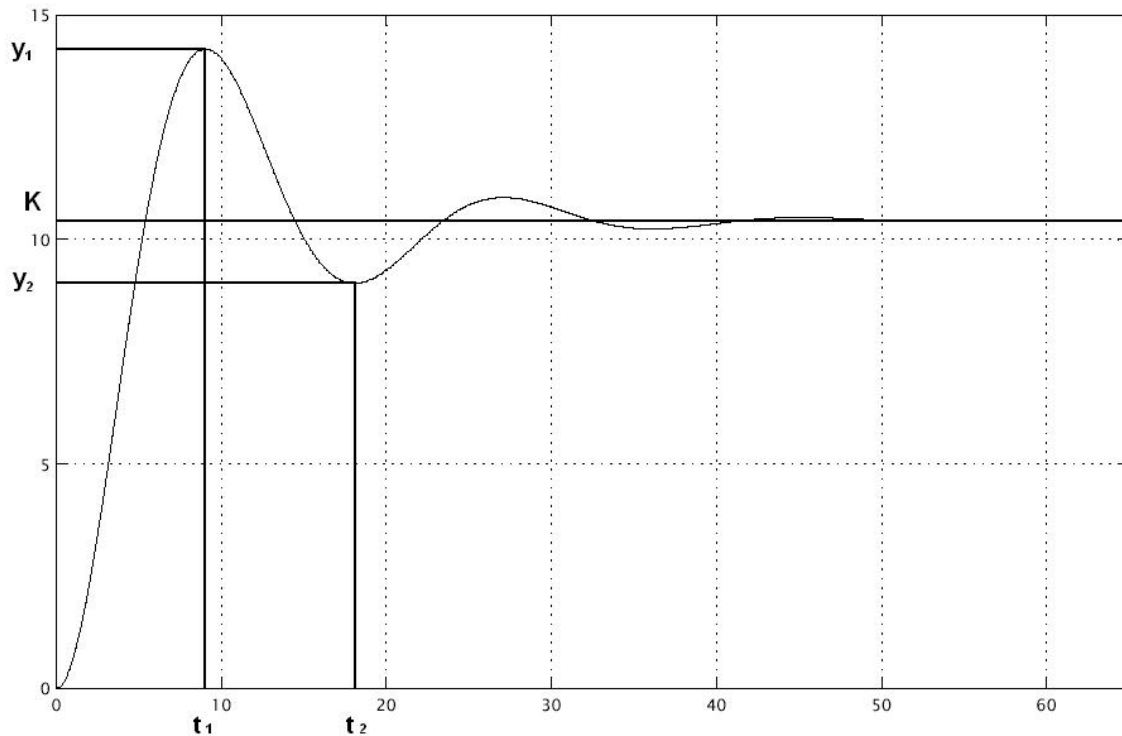
$$F(s) = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + 2\omega_0\xi s + \omega_0^2} \quad (14)$$

Postup: Na osi výstupnej veličiny PCH (obr.14) bolo odčítané zosilnenie systému, ako hodnota na ktorej sa ustálila prechodová charakteristika:

$$K = y(\infty) = 10,42$$

Z prechodovej charakteristiky boli odčítané hodnoty bodov $[t_1, y_1]$, $[t_2, y_2]$ v prvom maxime a minime funkcie:

$$\begin{aligned} t_1 &= 9 & y_1 &= 14,2349 \\ t_2 &= 18 & y_2 &= 9,0173 \end{aligned}$$



Obr. 14: Prechodová charakteristika kmitavého systému 2. rádu

Z odčítaných hodnôt y_1 a y_2 bola vypočítaná hodnota tlmenia ξ :

$$M = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = \frac{14,2349 - 9,0173}{14,2349} = 0,3665 \quad (15)$$

$$\xi = \left| \frac{\ln M}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 M}} \right| = \left| \frac{\ln 0,3665}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 0,3665}} \right| = 0,3043 \quad (16)$$

Hodnota vlastnej frekvencie ω_0 bola určená zo vzťahov:

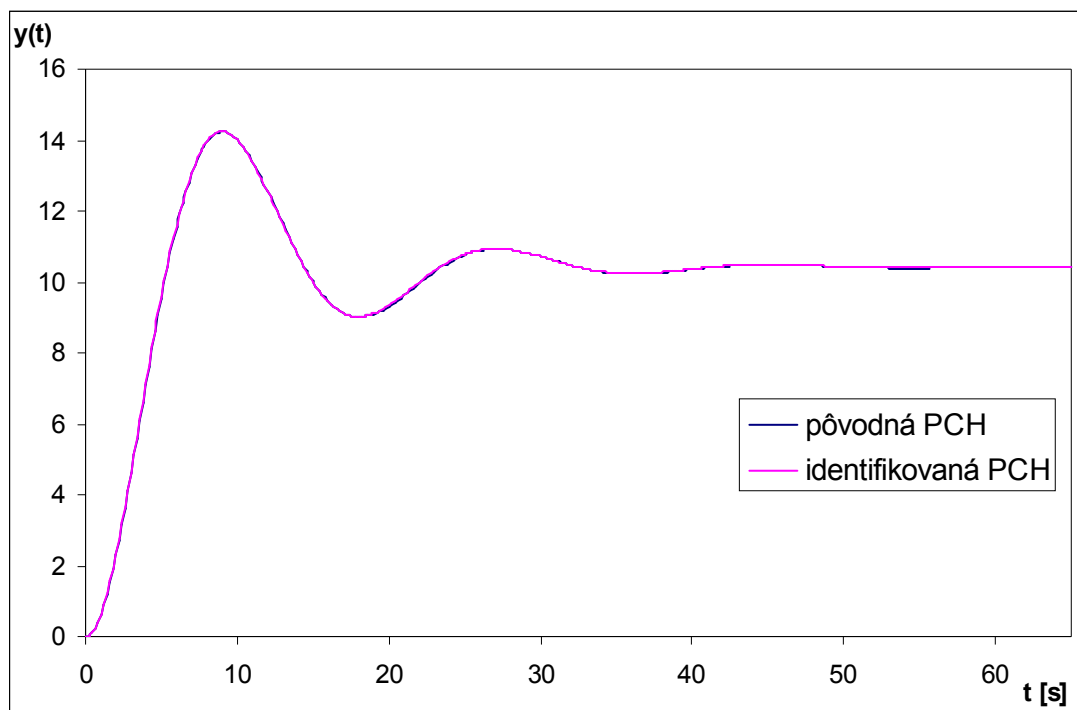
$$P = \sqrt{1 - \xi^2} = \sqrt{1 - 0,3043^2} = 0,9526 \quad (17)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi}{(t_2 - t_1)P} = \frac{\pi}{(18 - 9)0,9526} = 0,3664 \quad (18)$$

Určené parametre K , ξ a ω_0 boli dosadené do vzťahu (14):

$$F(s) = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + 2\omega_0\xi s + \omega_0^2} = \frac{10,42 \cdot 0,3664^2}{s^2 + 2 \cdot 0,3664 \cdot 0,3043 \cdot s + 0,3664^2} \quad (19)$$

$$F(s) = \frac{1,3989}{s^2 + 0,2230s + 0,1342}$$



Obr. 15: Porovnanie pôvodného systému a systému získaného identifikáciou

Suma štvorcov odchýliek medzi pôvodnou PCH a PCH získanou z identifikácie je 0,0938.

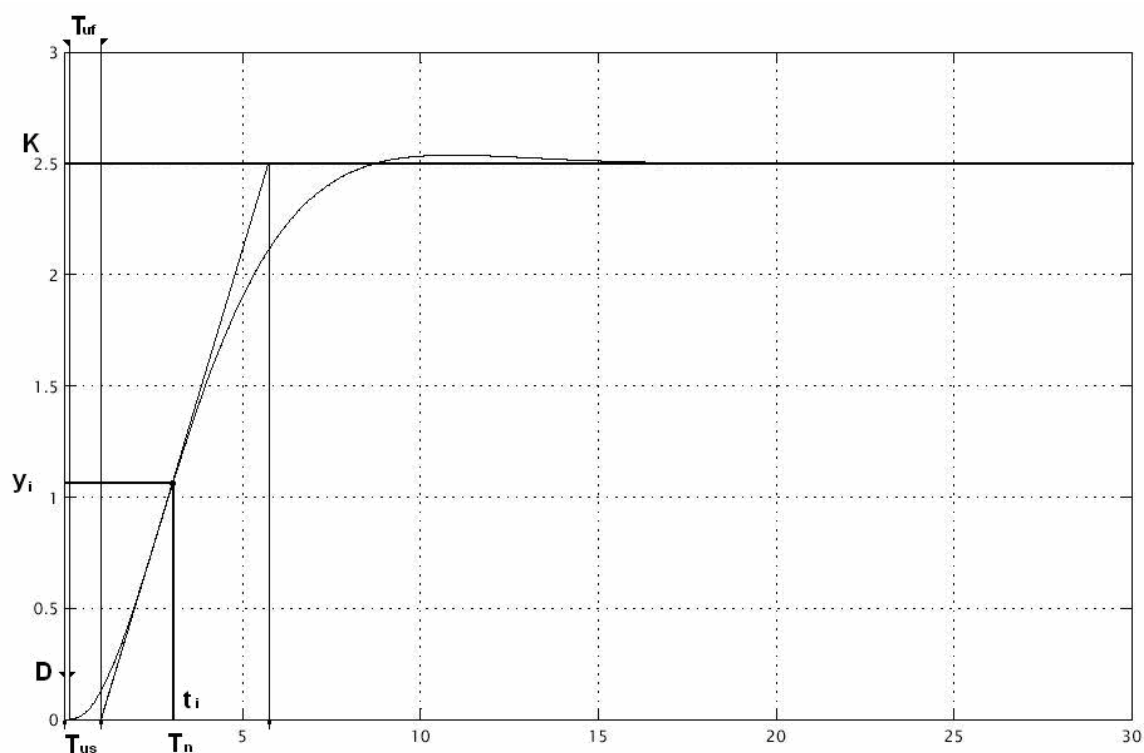
4.5 Identifikácia systému vyššieho rádu z prechodovej charakteristiky Strejcovou metódou

Úloha: Nahraďme prechodovú charakteristiku (znázornenú na obr. 16) systémom vyššieho rádu s prenosom:

$$F(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} e^{-Ds} \quad (20)$$

Postup: Na PCH (obr. 16) bola určená hodnota zosilnenia K , ako hodnota na ktorej sa ustálila výstupná veličina:

$$K = y(\infty) = 2,5$$



Obr. 16: Prechodová charakteristika systému vyššieho rádu

Vizuálne bola na prechodovej charakteristike určená poloha inflexného bodu a v ňom bola zostrojená dotyčnica. V mieste, kde dotyčnica preťala vodorovnú os bol odčítaný čas priet'ahu T_{us} :

$$T_{us} = 1,035$$

Čas nábehu T_n bol vypočítaný ako hodnota v priesečníku dotyčnice a priamky K zmenšená o T_{us} .

$$T_n = 4,687$$

Bol vypočítaný podiel $T_{us}/T_n = f_s$

$$f_s = T_{us}/T_n = 1,035/4,687 = 0,2208 \quad (21)$$

Tabuľka 2

n	1	2	3	4	5	6
$f(n)$	0,000	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493
$g(n)$	1,000	0,368	0,271	0,224	0,195	0,161

Z tabuľky 2 bol určený rád systému n_0 tak, aby platilo $f(n_0) \leq f_s < f(n_0 + 1)$

$$n_0 = 3$$

Dopravné oneskorenie D bolo určené ako rozdiel medzi skutočným a fiktívnym časom nábehu:

$$D = [f_s - f(n_0)]T_n = [0,2208 - 0,218]4,687 = 0,013 \quad (22)$$

Časová konštanta T bola určená pomocou hodnôt z riadku funkcie $g(n)$ pre príslušné n_0 .

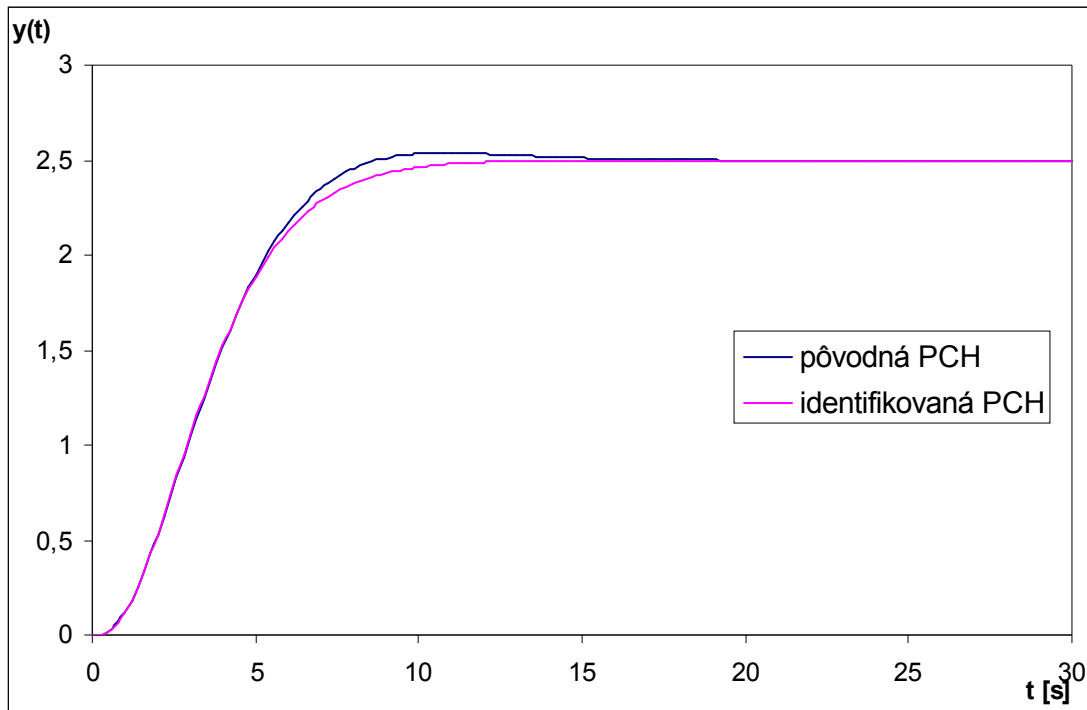
Z odčítaného $g(n_0)$, T vypočítame ako:

$$g(n_0) = 0,271$$

$$T = T_n g(n_0) = 4,687 \cdot 0,271 = 1,270 \quad (23)$$

Určené parametre T , n , K a D boli dosadené do vzťahu (20):

$$F(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)^n} e^{-Ds} = \frac{2,5}{(1,27s + 1)^3} e^{-0,013s} \quad (24)$$



Obr. 17: Porovnanie pôvodného systému a systému získaného identifikáciou

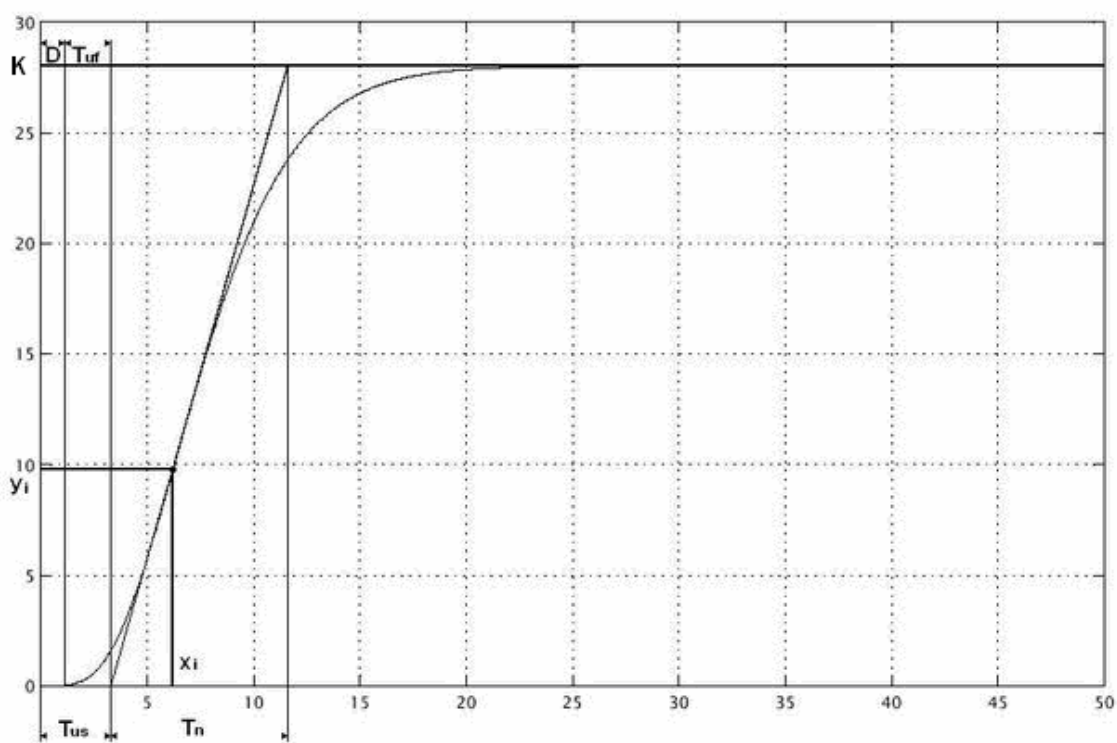
Suma štvorcov odchýliek medzi pôvodnou PCH a PCH získanou z identifikácie je 0,1609.

4.6 Identifikácia systému vyššieho rádu z prechodovej charakteristiky Broidovou metódou

Úloha: Nahraďme prechodovú charakteristiku (znázornenú na obr. 18) systémom vyššieho rádu s prenosom:

$$F(s) = \frac{K}{\prod_{k=1}^n \left(\frac{T}{k} s + 1 \right)} e^{-Ds} \quad (25)$$

Postup: Postup získavania parametrov T_{us} , T_n , K a výpočet rádu n , časovej konštanty T a dopravného oneskorenia D je zhodný s metódou podľa Strejca. U Broidovej metódy sa rád systému n a funkcia $g(n)$ určuje z tabuľky 3.



Obr. 18: Prechodová charakteristika vyššieho rádu

$$T_{us} = 3,302; T_n = 8,303; K = y(\infty) = 28$$

$$f_s = T_{us}/T_n = 3,302/8,303 = 0,3979 \quad (26)$$

$$n_0 = 6; g(n_0) = 0,4$$

$$D = [f_s - f(n_0)]T_n = [0,3979 - 0,385].8,303 = 0,1071 \quad (27)$$

$$T = T_n \cdot g(n_0) = 8,303 \cdot 0,4 = 3,3212 \quad (28)$$

Tabuľka 3

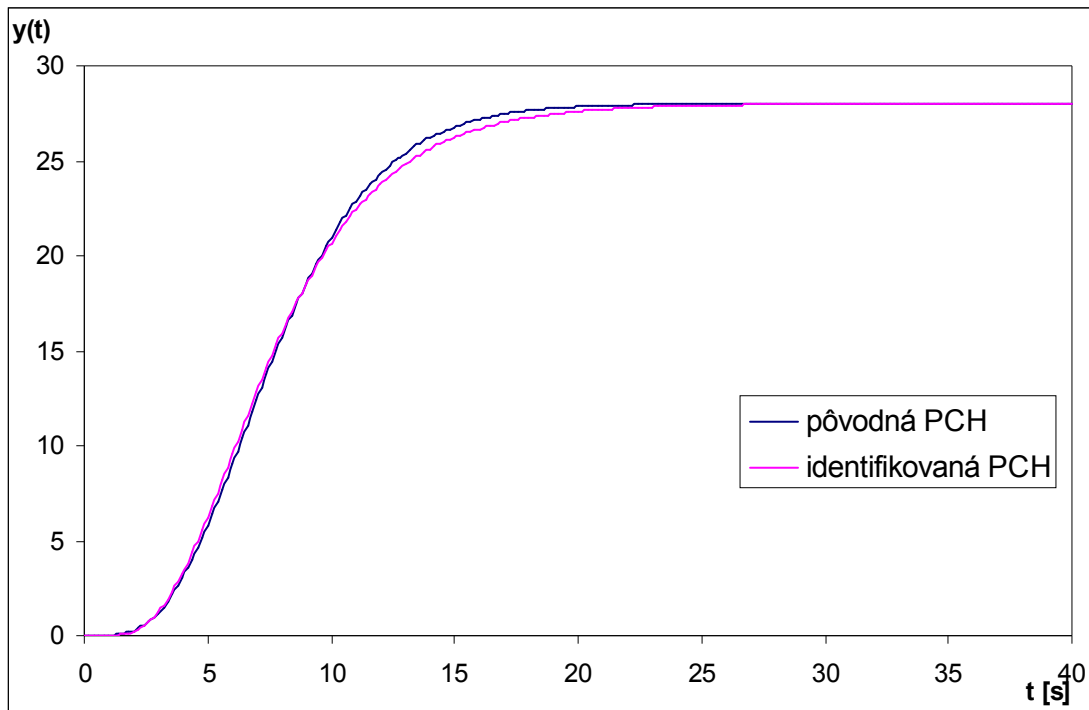
n	1	2	3	4	5	6
$f(n)$	0,000	0,096	0,192	0,268	0,331	0,385
$g(n)$	1,000	0,500	0,440	0,420	0,410	0,400

Dosadenie časovej konštanty T , rádu systému n , dopravného oneskorenia D a zosilnenia systému K do rovnice (25):

$$F(s) = \frac{K}{\prod_{k=1}^n \left(\frac{T}{k}s + 1 \right)} e^{-Ds}$$

$$F(s) = \frac{28}{(3,321s + 1)(1,661s + 1)(1,107s + 1)(0,830s + 1)(0,664s + 1)(0,554s + 1)} e^{-0,1071s}$$

$$F(s) = \frac{28}{1,864s^6 + 11,79s^5 + 29,57s^4 + 37,4s^3 + 24,88s^2 + 8,137s + 1} e^{-0,1071s}$$



Obr. 19: Porovnanie pôvodného systému a systému získaného identifikáciou

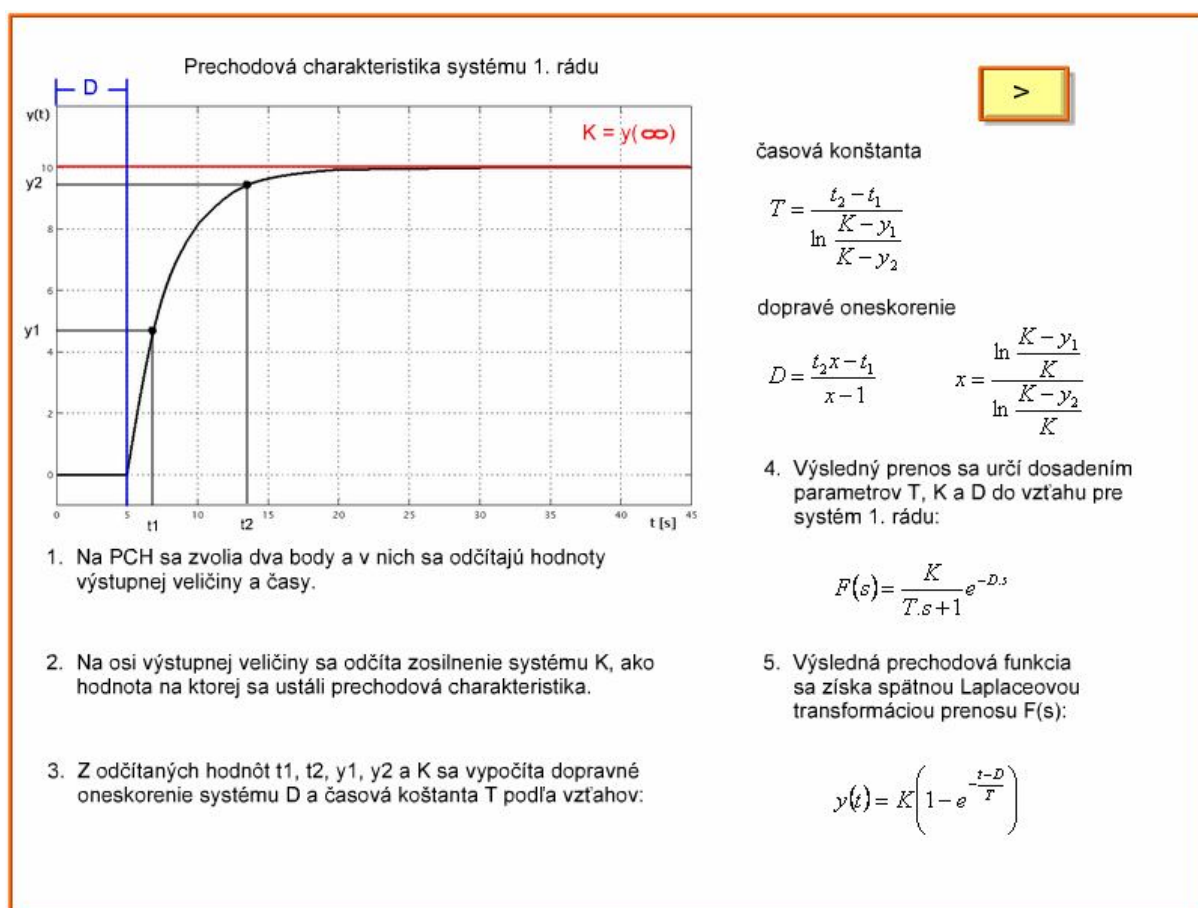
Suma štvorcov odchýliek medzi pôvodnou PCH a PCH získanou z identifikácie je 16,0194.

4.7 Animácie

Pre lepšie pochopenie postupov riešenia jednotlivých identifikačných metód boli v elektronickom kurze vytvorené návody vo forme flash animácií.

Animácie boli vytvorené v kompilačnom programe 3D Flash Animator 4 vo formáte *.swf a vložené do kurzu html značkou <embed />:

```
<embed width="800" height="600" pluginspage="http://www.macromedia.com/go/getflashplayer" type="application/x-shockwave-flash" wmode="window" bgcolor="#FFFFFF" quality="aut-high" src="http://www.kirp.chtf.stuba.sk/moodle/file.php/237/data/normovanie-pch.swf" />
```



Obr. 20: Obrázok animácie

Pre bezproblémové prehrávanie animácií je potrebné mať na počítači nainštalovaný integrovaný flashový prehrávač Flash Player 9.

4.8 Vzor testu

Pre potreby návštevníkov kurzu bolo vytvorených niekoľko testov z teórie experimentálnej identifikácie (obr. 21 – 23). Návštevníci a študenti majú možnosť overiť svoje nadobudnuté

znalosti pomocou jednoduchých otázok. Každý test pozostáva z piatich otázok, ktoré umožňujú výber jednej zo štyroch ponúkaných odpovedí, pričom pre každú otázku je uvádzaná iba jedna správna odpoveď.

Na akej hodnote sa ustáli výstupná veličina systému s prenosom $F(s) = 1,8 / (3,2s + 0,9)$, ak sa vstupná veličina v čase $t_0 = 0$ zmení skokom z hodnoty $u_0 = 0$ na hodnotu $u = -4$

Vyberte jednu odpoveď

☐ a. $y(\infty) = -7,2$

☐ b. $y(\infty) = -3,6$

☐ c. $y(\infty) = -12,8$

☐ d. $y(\infty) = -8$

Obr. 21: Vzorová otázka z testu

Ktorý z nasledujúcich predpisov prislúcha pulzovému vstupnému signálu

Vyberte jednu odpoveď

☐ a. $u(t) = \sum_{j=1}^m a_j \sin(\omega_j t + \varphi_j)$

☐ b. $u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \vee t > T \\ u_0 & t \in \langle 0; T \rangle \end{cases}$

☐ c. $u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ u_0 & t \geq 0 \end{cases}$

☐ d. $u(t) = \begin{cases} u_1 & t < 0 \\ u_2 & t \geq 0 \end{cases}$

Obr. 22: Vzorová otázka z testu

Pre prenos $F(s) = \frac{18}{4s + 0,2}$ určte časovú konštantu T a zoslinenie Z :

Vyberte jednu odpoveď

☐ a. $T = 0,2s$; $Z = 18$

☐ b. $T = 4s$; $Z = 18$

☐ c. $T = 4s$; $Z = 90$

☐ d. $T = 20s$; $Z = 90$

Obr. 23: Vzorová otázka z testu

5 Záver

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť elektronický kurz pre predmet Experimentálna identifikácia, ako modul v e-learningovom prostredí Moodle. Predmet je vyučovaný v 1. ročníku inžinierskeho štúdia na ústave informatizácie, automatizácie a matematiky a tento kurz má slúžiť ako ľahko dostupná pomôcka pri výučbe predmetu. Pre osvojenie si vedomostí z oblasti identifikácie systémov slúži v kurze obsiahnutá teória a pre lepšie pochopenie riešení praktických úloh sú vypracované vzorové príklady jednotlivých metód a postupov, podporené prehľadnými flash animáciami. Pri vytváraní kurzu som využil svoje znalosti XHTML a práce s flash objektmi.

Verím, že v budúcnosti bude obsah kurzu aktualizovaný, prípadne rozširovaný, pre ešte lepšie možnosti jeho využitia vo vzdelávacom procese.

6 Literatúra

- [1] Fikar, M. a Mikleš, J.: *Identifikácia systémov*, STU Press, Bratislava, 1999.
- [2] Bakošová, M., Fikar, M. Čirka, Ľ.: *Základy automatizácie*, STU, Bratislava, 2003.
- [3] Modrlák, O.: *Teorie automatického řízení I*, TUL, 2004.
- [4] Moodle, <http://moodle.org/>