SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

IDENTIFIKÁCIA SYSTÉMOV Z PRECHODOVEJ A IMPULZNEJ CHARAKTERISTIKY

ZADANIE

2023

Bc. Maroš Kocúr

Obsah

Úvod

Cieľom zadania je identifikovať rôzne typy signálov, metódami odprezentovanými na prednáškach.

1 Úlohy

Komprimovaný priečinok sx.zip obsahuje súbory data1x.mat, ..., data4x.mat, v ktorých sú uložené namerané časové odozvy výstupov rôznych systémov na jednotkový skok alebo impulz (špecifikáciu konkrétnej sady dát sx.zip nájdete v AIS v Liste záznamníka učiteľa, hárok Zadanie 2).

1. V súbore data1x.mat je nameraná prechodová charakteristika aperiodickej sústavy, pričom jednotkový skok vstupnej veličiny nastal v čase 0,5 s. Identifikujte sústavu všetkými metódami z podkapitol 5.1.1 a 5.1.2. ako sústavu 1. rádu aj 2. rádu.

2. V súbore data2x.mat je nameraná prechodová charakteristika kmitavej sústavy. Identifikujte sústavu všetkými metódami z podkapitoly 5.1.3.

3. V súbore data3x.mat je nameraná prechodová charakteristika aperiodickej sústavy vyššieho rádu. Identifikujte sústavu Broidovou a Strejcovou metódou z podkapitoly 5.1.4.

4. V súbore data4x.mat je nameraná prechodová (g) aj impulzná (h) charakteristika sústavy druhého rádu. Identifikujte sústavu metódou momentov (podkapitola 5.2.1), pričom uvažujte prenosové funkcie s nulou $F(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}$ aj bez nuly $F(s) = \frac{b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}$

2 Riešenie

Na riešenie nasledujúcich úloh nám bol pridelený dataset s20/x20.mat, z ktorých sme si identifikovali potrebné body pre danú úlohu.

2.1 Identifikácia z prechodovej charakteristiky

Pre riešenie nasledujúcich úloh je daná prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{K}{1+Ts}e^{-Ds} \tag{2.1}$$

2.1.1 Sústava 1. rádu 1. metóda

Postup riešenia:

z nameraných dát sme si odčítali časove konštanty t a y nami zvolených bodov. Pomocou nasledujúcich vzťahov sme si vypočítali neznáme parametre.

$K = y(\inf)$

$T = \frac{t_2 - t_1}{\ln(\frac{K-y_1}{K-y_2})}$

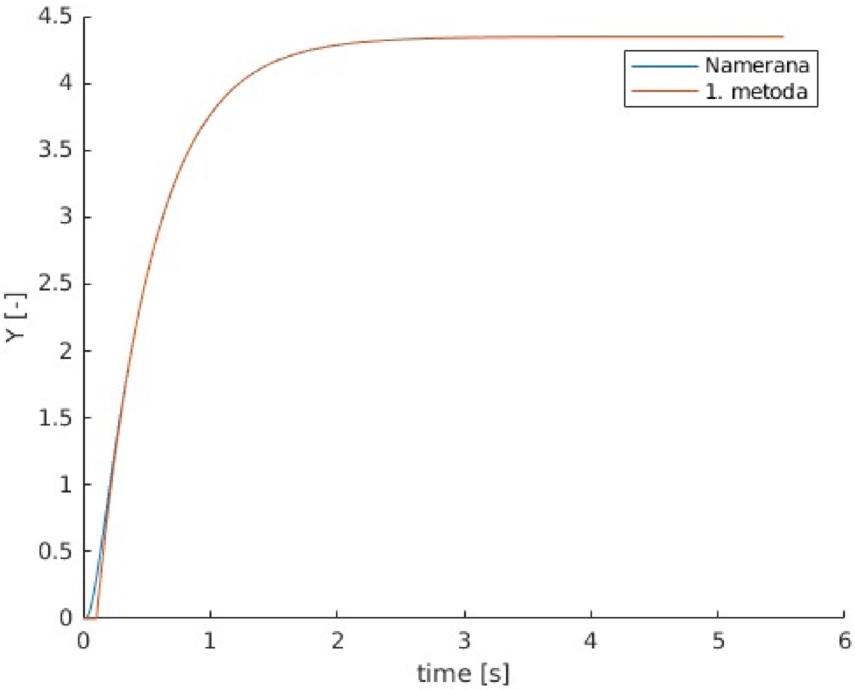
$D = \frac{t_2 x - t_1}{x-1}$ kde $x = \frac{\ln(\frac{K-y_1}{K})}{\ln(\frac{K-y_2}{K})}$

y_1	2.3093	t_1	0.4427
y_2	4.3405	t_2	2.9427

Tabuľka 2.1: Hodnoty odčítané z grafu

K	4.3479
T	0.4450
D	0.1056

Tabuľka 2.2: Výsledky neznamých parametrov



Obr. 2.1: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 1. metódov

2.1.2 Sústava 1. rádu 2. metóda

Postup riešenia:

z nameraných dát sme si odčítali časove konštanty t, keď y dosahoval 33% a 70% ustálenej hodnoty. Pomocou nasledujúcich vzťahov sme si vypočítali neznáme parametre.

$K = y(\inf)$

$T = 1.245(t_{0.7} - t_{0.33})$

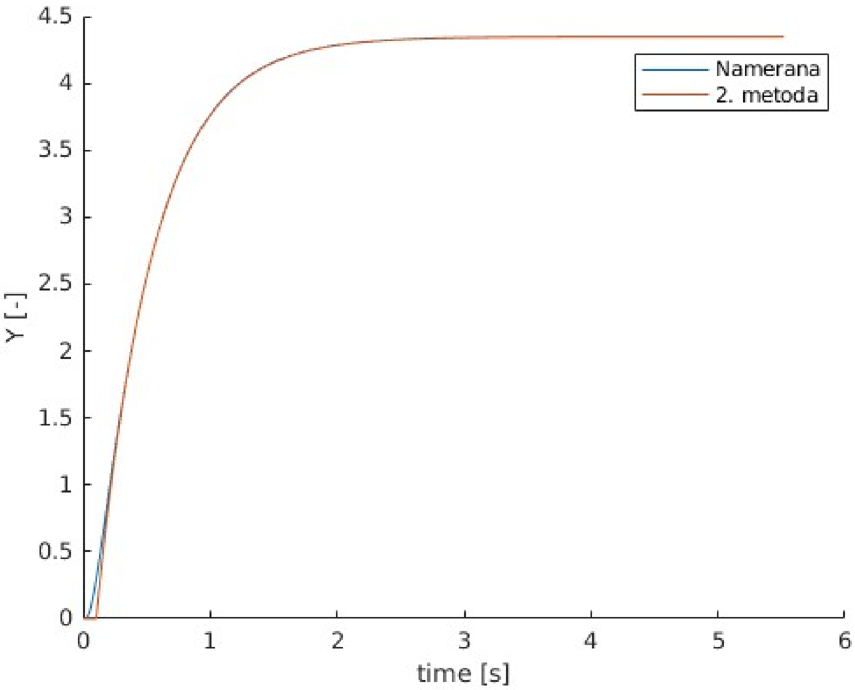
$D = 1.498t_{0.33} - 0.498t_{0.7}$

$t_{0.7}$	0.6427
$t_{0.33}$	0.2827

Tabuľka 2.3: Hodnoty odčítané z grafu

K	4.3479
T	0.4482
D	0.1034

Tabuľka 2.4: Výsledky neznamých parametrov



Obr. 2.2: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 2. metódov

2.1.3 Sústava 1. rádu 3. metóda

Postup riešenia:

z nameraných dát sme si odčítali časove konštanty t, keď y dosahoval 28% a 40% ustálenej hodnoty. Pomocou nasledujúcich vzťahov sme si vypočítali neznáme parametre.

$K = y(\text{inf})$

$T = 5.5(t_{0.4} - t_{0.28})$

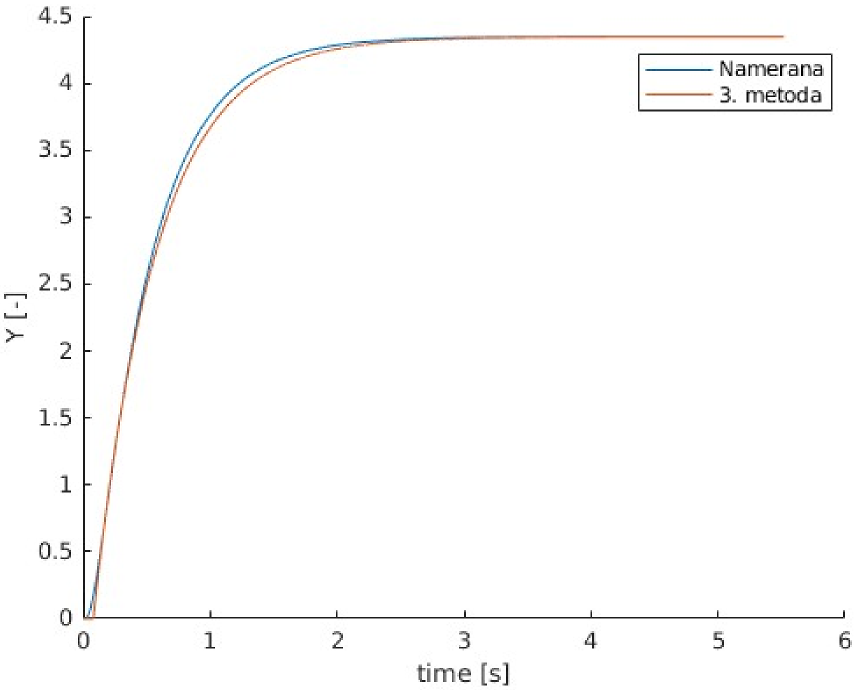
$D = 2.8t_{0.28} - 1.8t_{0.4}$

$t_{0.7}$	0.6427
$t_{0.33}$	0.2827

Tabuľka 2.5: Hodnoty odčítané z grafu

K	4.3479
T	0.4950
D	0.0807

Tabuľka 2.6: Výsledky neznamých parametrov



Obr. 2.3: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 2. metódov

2.1.4 Sústava 2. rádu rovnaké časové konštanty

Pre riešenie nasledujúcich úloh je daná prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{K}{(1+Ts)^2}e^{-Ds} \tag{2.2}$$

Postup riešenia:

z nameraných dát sme si odčítali časove konštanty t, keď y dosahoval 33% a 70% ustálenej hodnoty. Pomocou nasledujúcich vzťahov sme si vypočítali neznáme parametre.

$K = y(\inf)$

$T = 0.794(t_{0.7} - t_{0.33})$

$D = 1.937t_{0.33} - 0.937t_{0.7}$

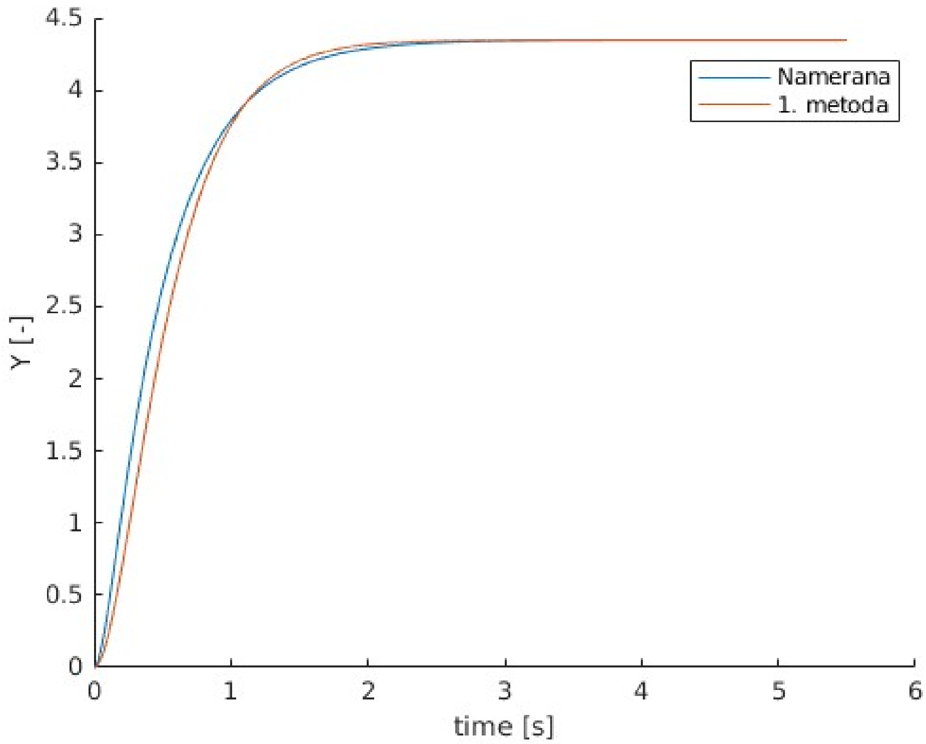
$t_{0.7}$	0.6231
$t_{0.33}$	0.2631

Tabuľka 2.7: Hodnoty odčítané z grafu

K	4.3479
T	0.2858
D	-0.0742

Tabuľka 2.8: Výsledky neznamých parametrov

Keďže sme vypočítali záporne D, tak dopravné oneskorenie systému nebudeme brať do výpočtu.



Obr. 2.4: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 1. metódov

2.1.5 Sústava 2. rádu rozdielne časové konštanty

Pre riešenie nasledujúcich úloh je daná prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \tag{2.3}$$

Postup riešenia:

z nameraných dát sme si odčítali časove konštanty čas prieťahu T_u a čas nábehu T_n.

$K = y(\inf)$

$f_1(k) = \frac{T_n}{T_u}$ z tabuľky alebo grafu odčítame k

pre dané k z tabuľky alebo grafu odčítame $f_2(k)$

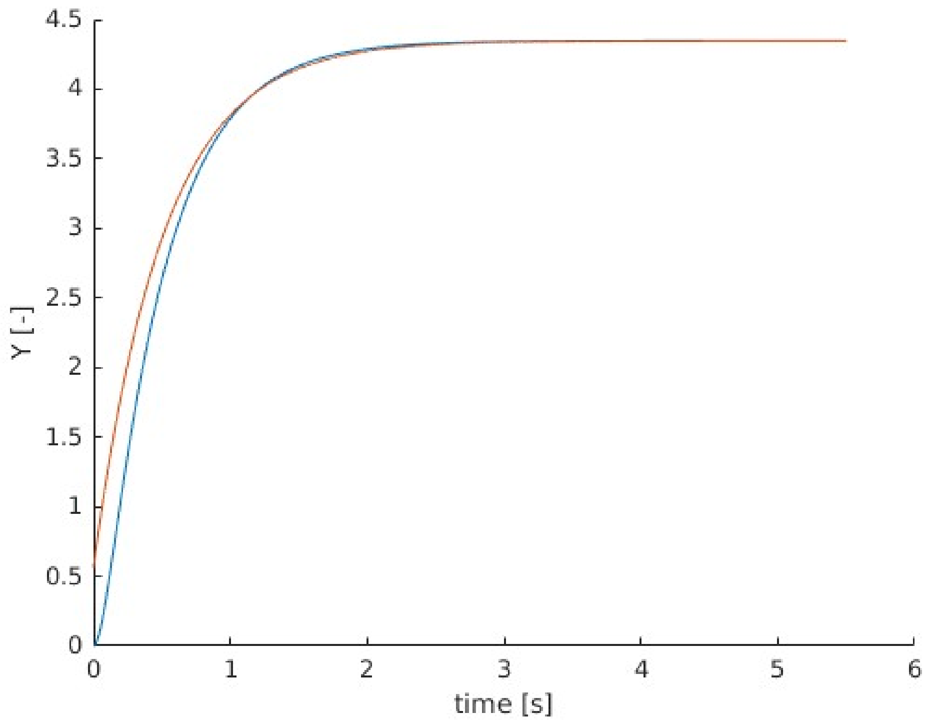
$T_1 = \frac{T_n}{f_2(k)}$

$T_2 = kT_1$

pre presnejšiu aproximáciu $f_1(k)$ a $f_2(k)$ sme použili funkciu mapovania, kde vstupom bolo vypočítane $f_1(k)$ a výstupom bolo presnejšie odhadnuté k z tabuľky. Funkciu sme použili aj na aproximáciu $f_2(k)$.

T_u	0.0438
T_n	0.6901
$f_1(k)$	15.7414
$f_2(k)$	1.3507

Tabuľka 2.9: Hodnoty odčítané z grafu a tabuliek



Obr. 2.5: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 2. metódov

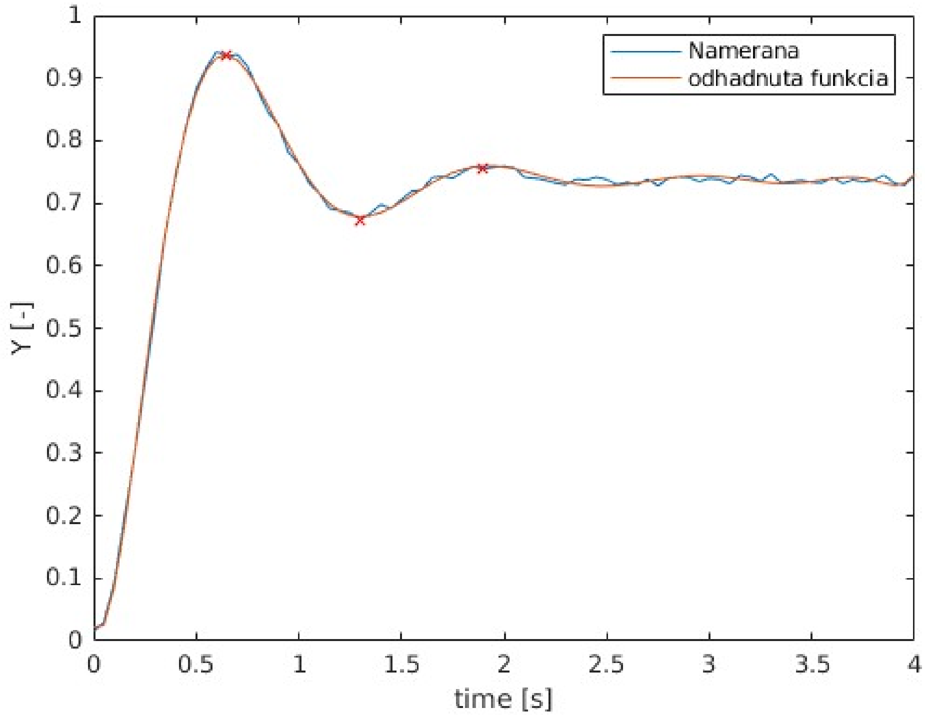
2.2 Kmitavá sústava 2. rádu

Pre riešenie nasledujúcich úloh je daná prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + 2\omega_0\xi s + \omega_0^2} \tag{2.4}$$

kde na výpočet ω_0 použijeme vzťah $\omega_0 = \frac{1}{T}$

Pomocou funkcie polyfit a polyval sme si vytvorili funkciu opisujúcu namerané dáta bez šumu. a znej sme odčítali prvé maxima a minima, ako je vidno na obrázku 2.6.



Obr. 2.6: Prechodová charakteristika nameraného modelu a prvé extrémy

2.2.1 1. metóda Bez dopravného oneskorenia

Postup riešenia:

$K = y(\inf)$

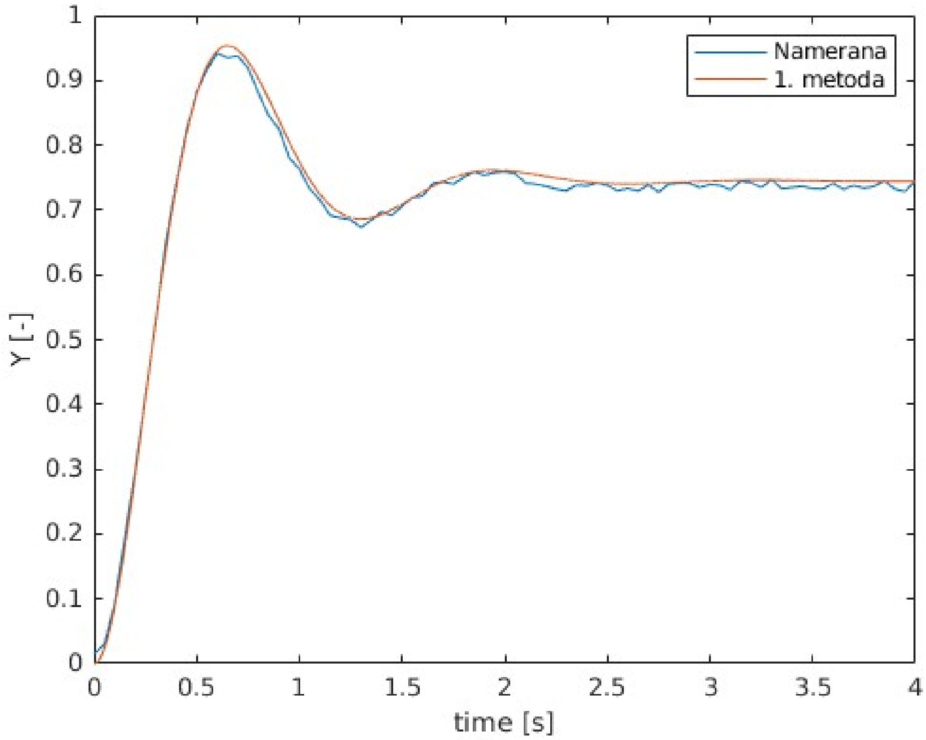
$M = \frac{y_1 - y_2}{y_1}$

$\xi = |\frac{M}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 M}}|$

$\omega_0 = \frac{\pi}{(t_2 - t_1)\sqrt{1 - \xi^2}}$

M	0.2802
ξ	0.3753
ω_0	5.2145

Tabuľka 2.10: Vypočítane hodnotu parametrov



Obr. 2.7: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 1. metódov

2.2.2 2. metóda Bez dopravného oneskorenia

Postup riešenia:

$K = y(\text{inf})$

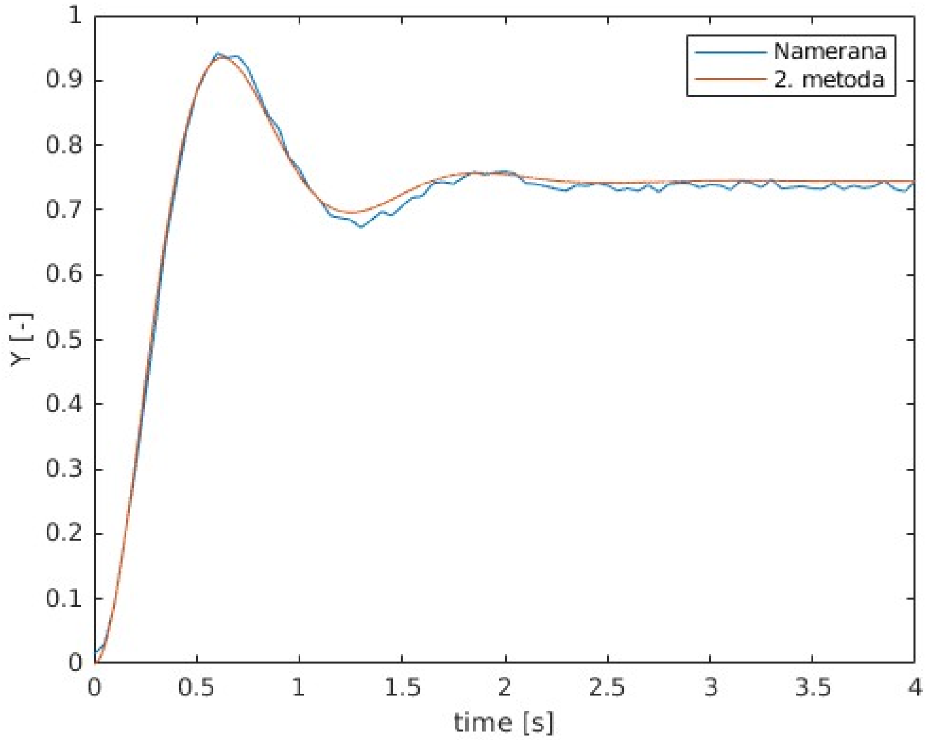
$c = \frac{1}{\pi}\ln(\frac{y_1}{K} - 1$

$\xi = \frac{-c}{\sqrt{1+c^2}}$

$\delta t = t_2 - t_1$ => $T = \frac{\delta t}{2\pi\sqrt{1+c^2}}$

ξ	0.3982
ω_0	5.4798

Tabuľka 2.11: Vypočítane hodnotu parametrov



Obr. 2.8: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 2. metódov

2.2.3 3. metóda Bez dopravného oneskorenia

Postup riešenia:

$K = y(\inf)$

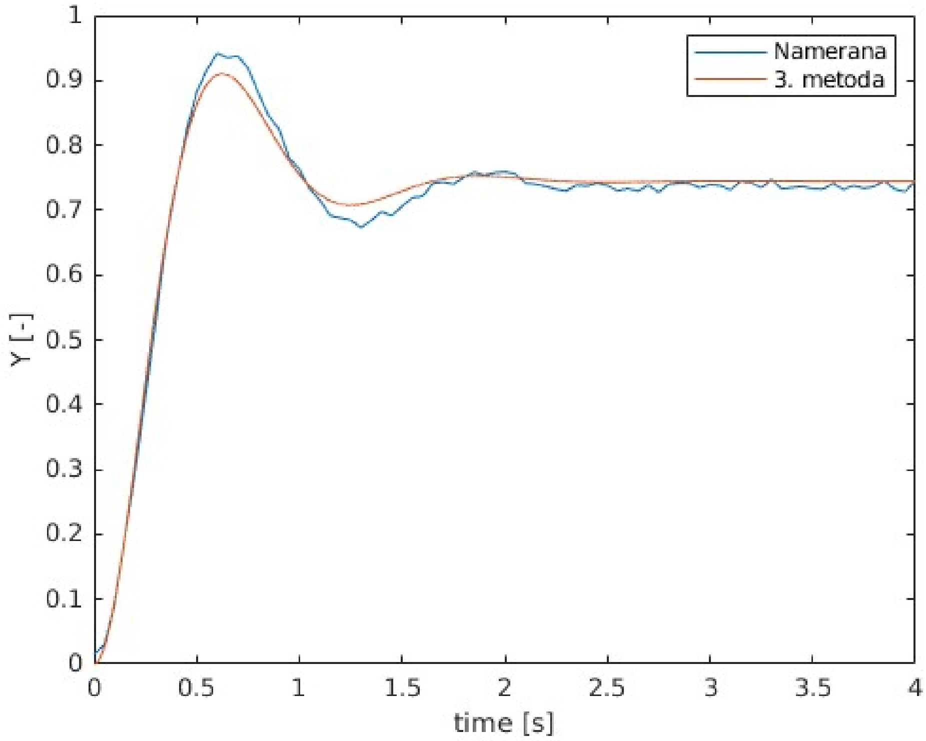
$A_1 = y_1 - y(\inf)$, $A_2 = y_2 - y(\inf)$, $\delta = \frac{A_1}{A_2}$

$\xi = \frac{\ln \delta}{\sqrt{\ln^2 \delta + 4\pi^2}}$

$\delta t = t_2 - t_1$ => $T = \frac{\delta t}{2\pi}\sqrt{1+\xi^2}$

ξ	0.4321
T	0.1794
ω_0	5.5736

Tabuľka 2.12: Vypočítane hodnotu parametrov



Obr. 2.9: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 3. metódov

2.2.4 S dopravným oneskorením

Pre riešenie nasledujúcej úlohy je daná prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{K\omega_0^2 e^{-Ds}}{s^2 + 2\omega_0\xi s + \omega_0^2} \tag{2.5}$$

Postup riešenia:

$K = y(\inf)$

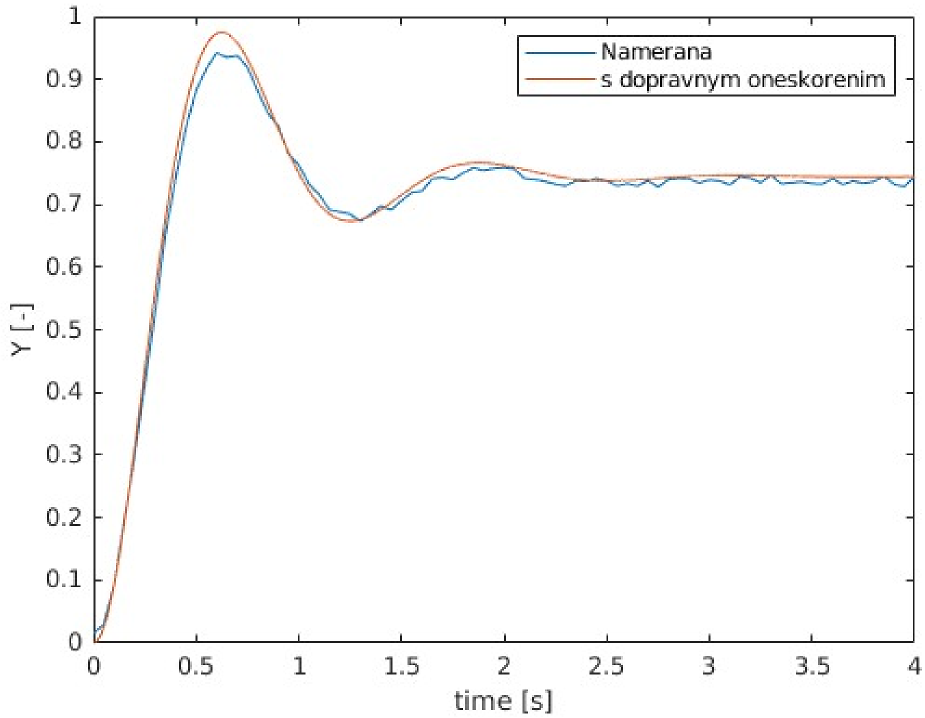
$\xi = -\frac{\ln\frac{a_{i+1}}{a_i}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2\frac{a_{i+1}}{a_i}}}$

$T = \frac{1}{\pi n}(t_{n+1} - t_1)\sqrt{1-\xi^2}$ kde n = 2

$D = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i - \frac{n+1}{2n}(t_n + 1 - t_1)$

ξ	0.3500
T	0.1864
D	-1.2625

Tabuľka 2.13: Vypočítane hodnotu parametrov



Obr. 2.10: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu 3. metódou s dopravným oneskorením

2.3 Aperiodická sústava vyššieho rádu

V tejto sekcii sme použili funkciu infp.m, ktorú sme si upravili aby nám vrátila hodnoty t_{infl}, t_{ngt}, T_{us} a T_n potrebné na výpočet.

2.3.1 Strejcová metóda

Pre riešenie nasledujúcej úlohy je daná prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{K}{(1+sT)^n} e^{-Ds} \tag{2.6}$$

$f_s = \frac{T_{us}}{T_n}$ nájdeme (v tabuľke) také n_0, pre ktoré platí $f(n_0) \leq f_s < f(n_0+1)$

Z tabuľky pre hodnotu $f_s = 0.2544$ sme odčítali $n_0 = 3$ a hodnoty $f(n_0) = 0.218$, $g(n_0) = 0.271$.

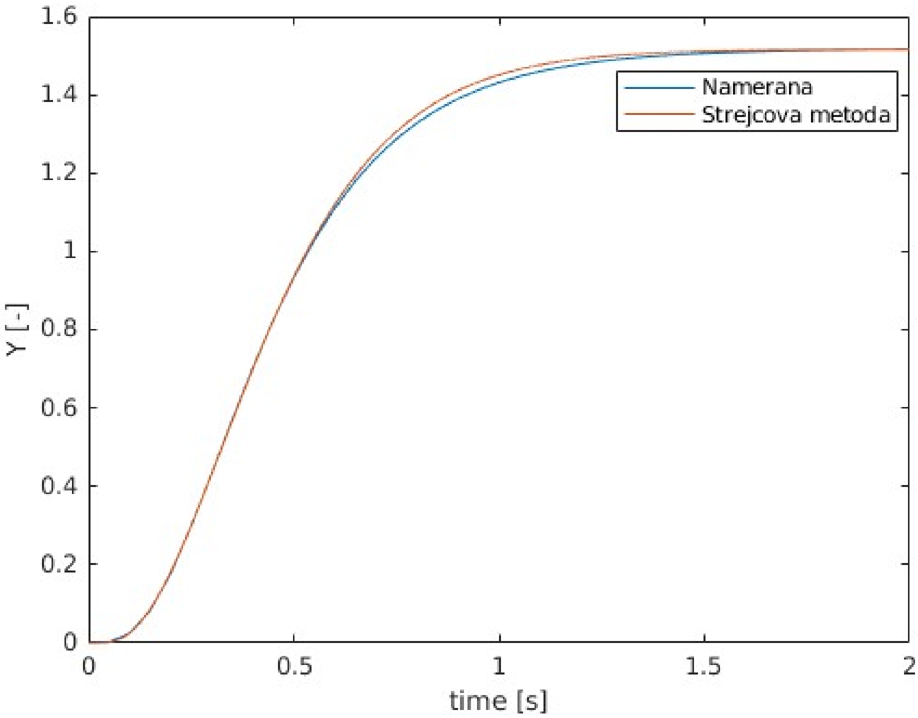
$K = y(\inf)$

$D = (f_s - f(n_0))T_n$

$T = T_n g(n_0)$

f_s	0.2544
$f(n_0)$	0.218
$g(n_0)$	0.271
D	0.0202
T	0.1507

Tabuľka 2.14: Vypočítane a odčítané hodnoty parametrov



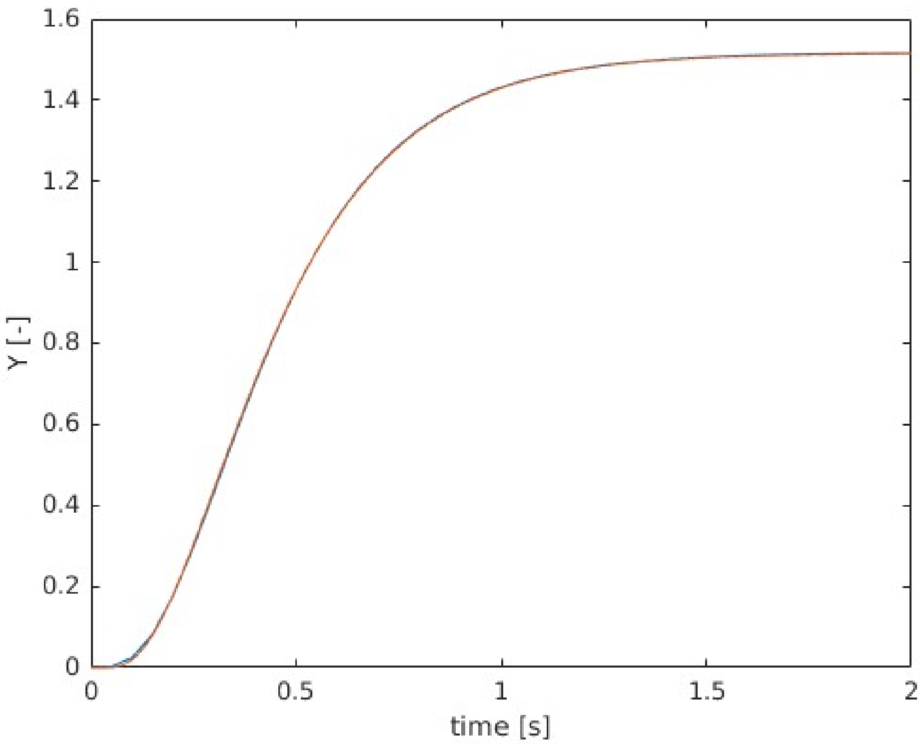
Obr. 2.11: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu Strejcovou metódou

2.3.2 Broidová metóda

Postup s hľadaním $f(n_0)$, $g(n_0)$ je rovnaký ako v predošlej metóde len hodnoty sú iné.

f_s	0.2544
$f(n_0)$	0.192
$g(n_0)$	0.440
D	0.0347
T	0.2447

Tabuľka 2.15: Vypočítane a odčítané hodnoty parametrov



Obr. 2.12: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného modelu Broidovou metódou

2.4 Identifikácia z impulznej charakteristiky

Cieľom tejto identifikácie je nájsť parametre prenosovej funkcie ktoré budú opisané v nasledujúcich sekciach.

Pre výpočet i-tého momentu váhovej funkcie použijeme vzťah:

$M_i = \sum_{j=1}^{N} t_j^i h_j T_{vz}$

2.4.1 Metóda momentov s nulou

Prenosvá funkcia je definovaná ako:

$F(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}$

Vytvoríme si sústavu algebraických rovníc n+m+1 = 4

$M_0 = b_0$

$-M_1 + M_0 a_1 = b_1$

$\frac{M_2}{2!} - M_1 a_1 + M_0 a_2 = 0$

$-\frac{M_3}{3!} + \frac{M_2}{2!} - M_1 a_2 = 0$

$M\hat{\theta} = m => \hat{\theta} = M^{-1} m$

Výpočet $M\hat{\theta} = m$ je znázornený nižšie.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ M_0 & 0 & 0 & -1 \\ -M_1 & M_0 & 0 & 0 \\ \frac{M_2}{2!} & -M_1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ -\frac{M_2}{2!} \\ \frac{M_3}{3!} \end{bmatrix}$$

Z výpočtu sme dostali prenosovú funkciu:

$F(s) = \frac{1.076s + 1.102}{3.519s^2 + 3.558s + 1}$

2.4.2 Metóda momentov bez nuly

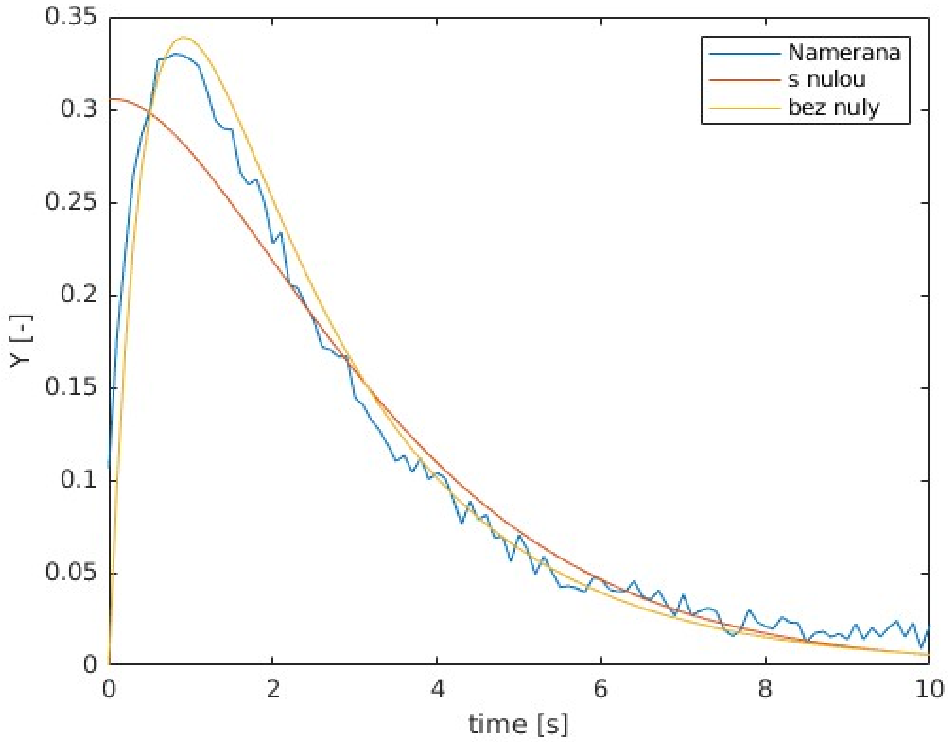
Postup je rovnaký ako v predošlej úlohe líšiť sa budú len matice a vektory.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ M_0 & 0 & 0 \\ -M_1 & M_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ -\frac{M_2}{2!} \end{bmatrix}$$

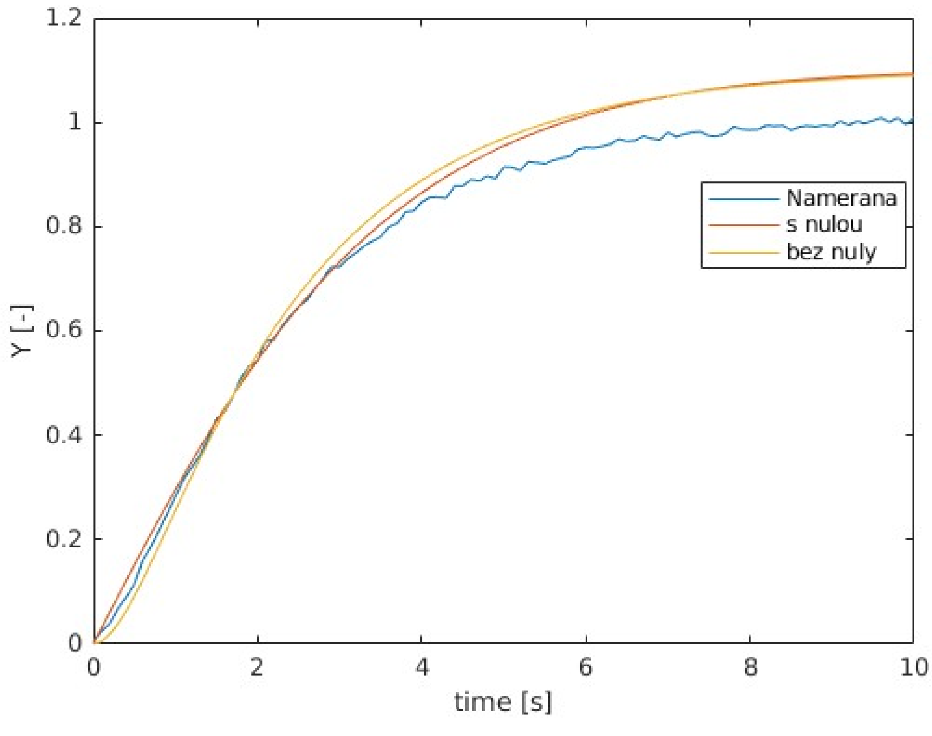
Z výpočtu sme dostali prenosovú funkciu:

$F(s) = \frac{1.102}{0.9989s^2 + 2.582s + 1}$

Grafické porovnanie výsledkov.



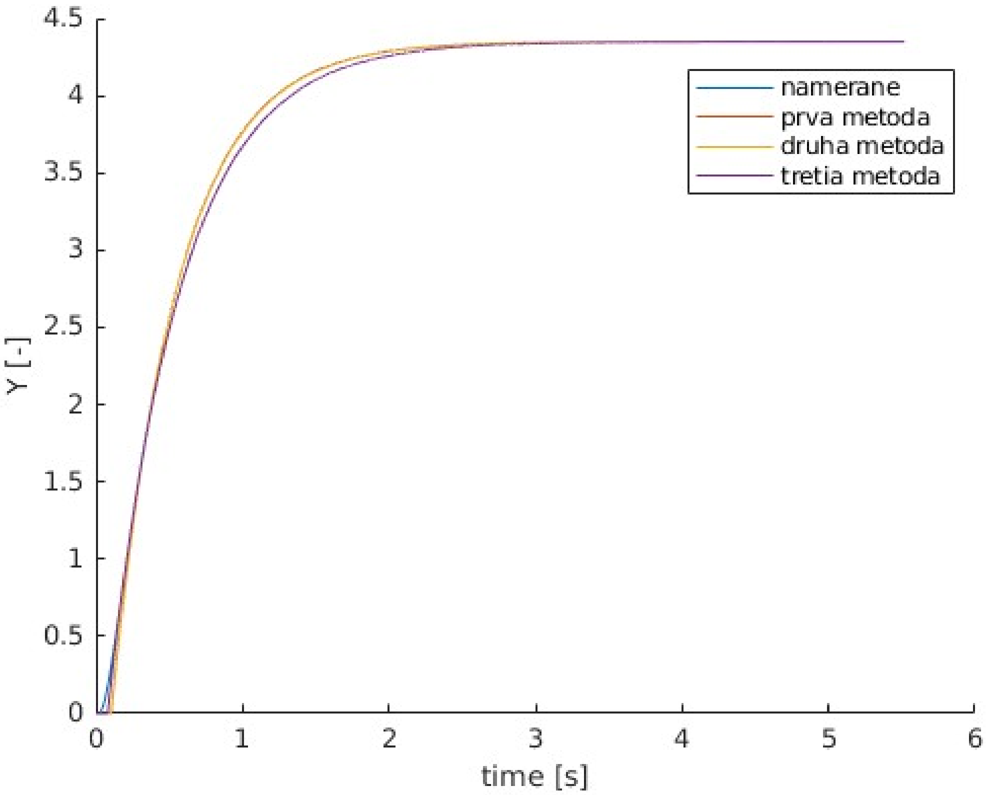
Obr. 2.13: Odozva systému nameraného a identifikovaného systému na impulz



Obr. 2.14: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného systému

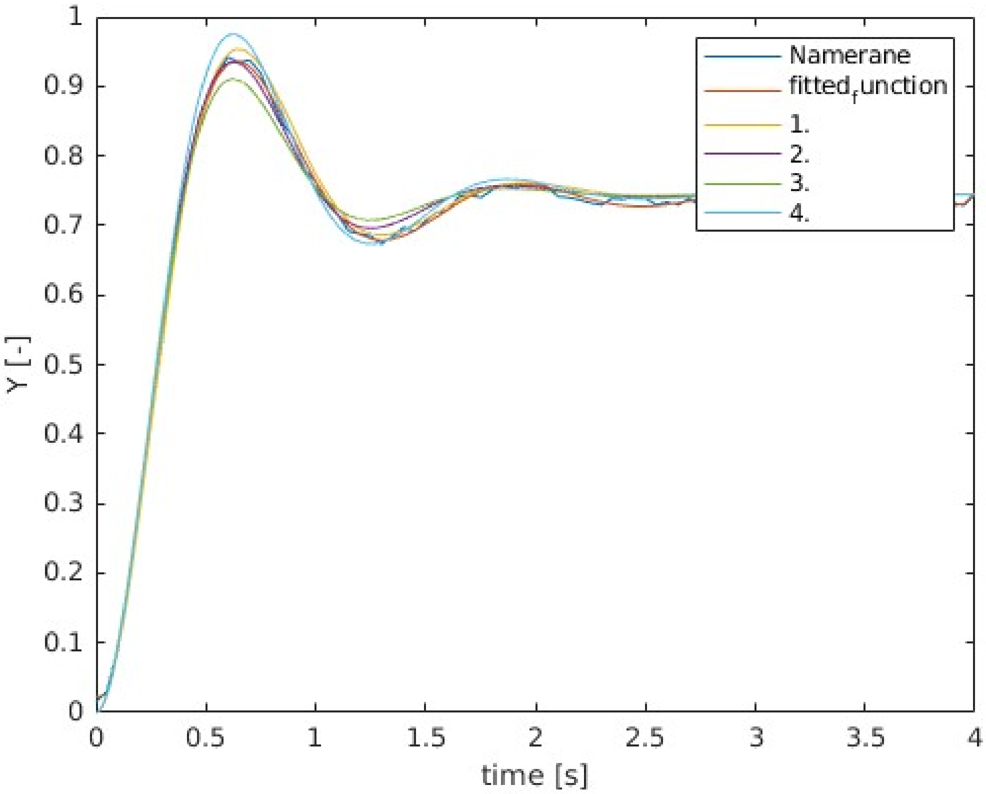
3 Detailne porovnanie

3.1 Úloha 1.



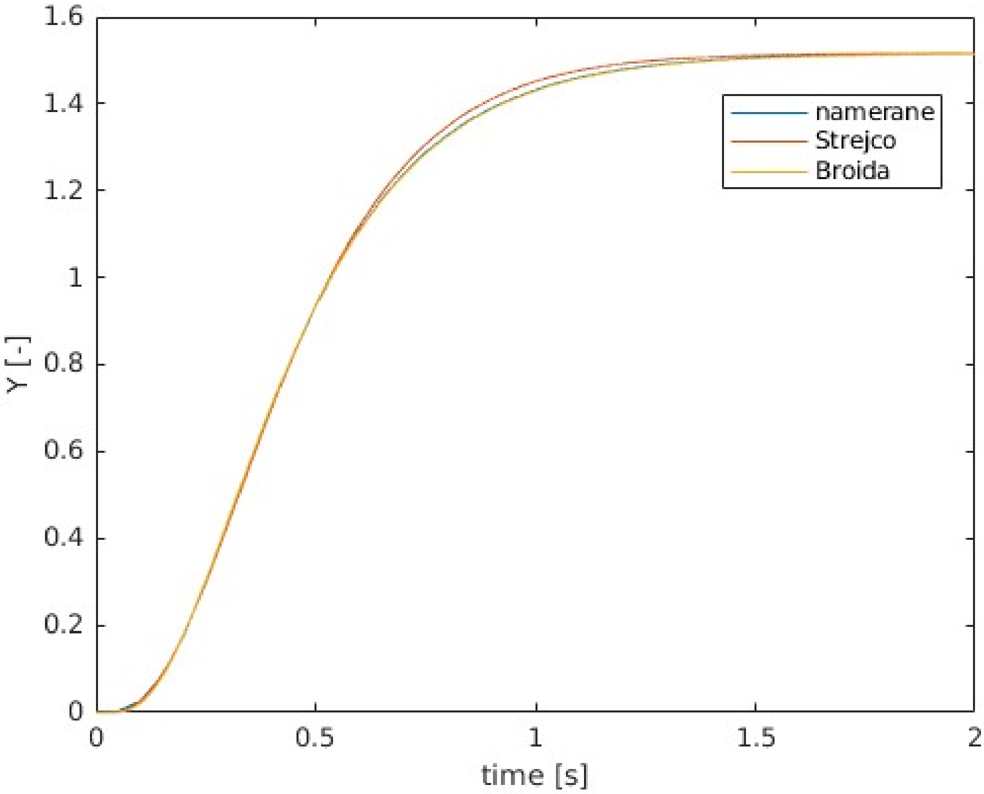
Obr. 3.1: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného systému

3.2 Úloha 2.



Obr. 3.2: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného systému

3.3 Úloha 3.



Obr. 3.3: Prechodová charakteristika nameraného a identifikovaného systému

Záver

V prvej úlohe môžme pozorovať že nameraný signál najlepšie aproximovaná 2.1 a 2.3, z nich lepšia je tretia metóda, pretože skôr zareagovala na zmenu, metóda 2.1.3 mala problém odhadnúť signál pri nábehu.

V druhej časti prvej úlohy 2.5 mala oveľa rýchlejšiu odozvu na zmenu, ale na ustálenú hodnotu metóda 2.4, došla skôr.

V druhej úlohe zašumený signál najlepšie opisalá metóda 2.7. Pri metóde 2.10 došlo k prekmitu a mal problém opísať signál pri zmenách. Metóda 2.8 a 2.2.4 zle opísali extrémy signálu.

V tretej úlohe sme porovnávali Strejcovú 2.3.1 a Broidovú 2.3.2 metódu. Broidová metóda takmer identicky opísala nameraný signál. Strejcová sa rýchlejšie dostala na ustálenú hodnotu.

Vo štvrtej úlohe lepšie odozvu na impulz opisalá prenosová funkcia, ktorá nemala v čítali nulu čiže 2.4.2. Odozvu na skokovú zmenu mali obe podobnú, líšili sa prevažne na začiatku kde 2.4.1 mala plynulejší prechod a nabehla hneď kde druhá metóda začala stúpať o niečo neskôr.