

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra kybernetiky

Bakalářská práce
Metody automatického nastavování PID
regulátorů

PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 18. května 2018

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Martinovi Čechovi, PhD. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval. Dále bych rád poděkoval Mgr. Janě Königsmarkové za pomoc při implementaci metody množinového modelu.

Anotace

Tato práce vznikla za účelem otestování různých metod nastavení PID regulátorů a ověření indexů kvality testovaných metod v časové a frekvenční oblasti.

V prvních kapitolách je čtenář stručně seznámen s PID regulátory, metodami jejich nastavování a je mu předloženo několik pravidel pro sledování kvality regulace v časové a frekvenční oblasti. V další části práce je popsán software umožňující analýzu metod pro vhodně definovanou množinu testovacích systémů a jsou zde zhodnoceny výsledky kvality regulace.

Klíčová slova: PID regulátory, metody nastavování PID regulátorů, indexy kvality regulace, kvalita regulace v časové oblasti, kvalita regulace ve frekvenční oblasti

Abstract

The main focus of this thesis work is to test various methods of tuning PID controllers and validate quality indexes of the tested methods in time and frequency domain.

In the first chapters PID controllers and their tuning methods are briefly introduced. Then there are listed several rules for monitoring the quality of regulation in time and frequency domain. The second part of this thesis describes software which enable to analyse methods for suitable class of testing systems and the results of quality of regulation are evaluated there.

Key words: PID controllers, methods of tuning PID controllers, quality indexes of regulation, quality of regulation in time domain, quality of regulation in frequency domain

Obsah

1. Úvod	8
2. Úvod do regulace	9
2.1. Regulační smyčka.....	9
2.2. Charakteristická čísla stabilního monotónního procesu	10
2.3. Typy regulátorů	11
2.3.1. Dvoustavový regulátor	11
2.3.2. P regulátor	11
2.3.3. PI regulátor	11
2.3.4. PID regulátor	12
2.4. Realizace PID regulátoru.....	12
2.4.1. Regulační smyčka s jedním stupněm volnosti (1DOF).....	12
2.4.2. Regulační smyčka s dvěma stupni volnosti (2DOF).....	13
3. Metody nastavování regulátorů	15
3.1. Zieglerova-Nicholsova metoda čtvrtinového tlumení	15
3.2. Zieglerova-Nicholsova frekvenční metoda	15
3.3. Zieglerova-Nicholsova metoda z přechodové charakteristiky	16
3.4. Aströмова-Hägglundova frekvenční metoda.....	17
3.5. Aströмова-Hägglundova metoda z přechodové charakteristiky.....	18
3.6. C-H-R metoda.....	19
3.7. Cohenova-Coonova metoda	19
3.8. Metody využívající integrální kritéria	20
3.9. IMC metoda	21
3.10. SIMC metoda.....	22
3.11. Metoda množinového modelu	22
4. Možnosti exaktního otestování	25
5. Kvalita regulace	27
5.1. Časová oblast	27
5.2. Frekvenční oblast.....	28
5.2.1. Citlivostní funkce	30
5.2.2. Komplementární citlivostní funkce	30

6.	Vytvoření vlastního SW	32
6.1.	Importování metod pro ladění PID	32
6.2.	Výpočet testovacích systémů.....	33
6.3.	Identifikace systému v časové oblasti	35
6.4.	Aproximace systému systémem prvního a druhého řádu	36
6.5.	Výpočet parametrů regulátoru	37
6.6.	Kvalita regulace v časové oblasti	39
6.7.	Kvalita regulace ve frekvenční oblasti	41
6.8.	Uložení a vykreslení výsledků.....	43
7.	Zhodnocení výsledků	45
7.1.	Časová oblast.....	45
7.2.	Frekvenční oblast.....	46
8.	Závěr	47
A	Vygenerované testovací systémy	49
B	Hodnocené výsledky testování metod nastavení PID regulátorů	50
C	Kompletní výsledky testování metod nastavení PID regulátorů	55

1. Úvod

Více než 95% průmyslových procesů tvoří regulace teploty, tlaku, průtoku či koncentrace. Ačkoliv mají z fyzikální podstaty monotónní přechodovou charakteristiku, jejich regulace není uspokojivě vyřešena. Obvykle je pro řízení použit obyčejný PID regulátor, který je často nastaven pouze ručně a nesprávně. Pro výpočet jeho parametrů existuje sice celá řada metod, každá z nich však někdy selhává. To je také důvod, proč pro takovéto systémy nejsou používány samoladící se regulátory. Je tedy nutné stále hledat nové exaktnější postupy k řešení regulačních problémů. [6]

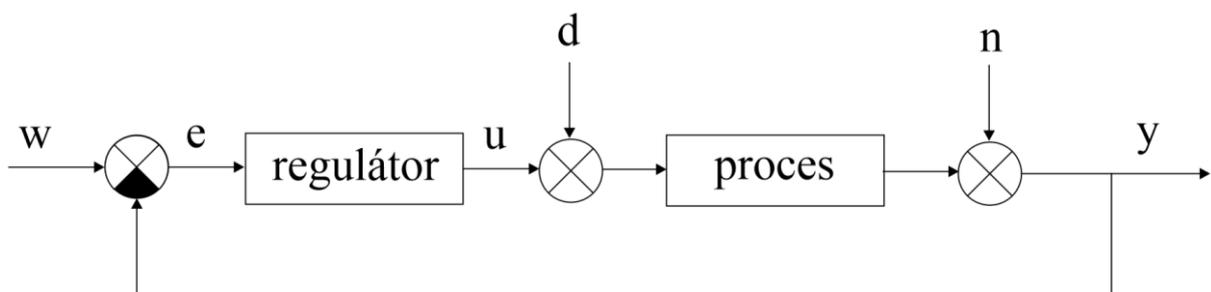
Tato práce vznikla za účelem otestování různých, převážně heuristických, metod nastavení PID regulátorů. V druhé kapitole je čtenář obecně uveden do PID regulace. Je zde vysvětleno, co je to regulační smyčka a jaký má přenos, jaká charakteristická čísla lze získat v časové a frekvenční oblasti a jak lze pomocí těchto čísel rozdělit systémy na dobře a špatně regulovatelné. Dále jsou představeny nejzákladnější typy PID regulátorů společně se svými zákony řízení a stručnou charakteristikou. Následují 1DOF sériové a paralelní struktury regulátorů a 2DOF regulátor. Třetí kapitola obsahuje 11 různých metod ladění regulátorů založených na charakteristických číslech z přechodové nebo frekvenční charakteristiky, nebo na číslech získaných z modelu systému. U každé metody je zmíněna struktura a vztahy pro výpočet parametrů regulátoru. Ve čtvrté kapitole jsou stručně popsány možnosti exaktního otestování ladících metod. Pátá kapitola se věnuje prezentaci indexů kvality v časové a frekvenční oblasti. Pro jednotlivé indexy jsou zde uvedeny výpočetní vztahy, které pro lepší názornost doplňují obrázky. V předposlední kapitole je popsán vlastní přínos v podobě programu, který počítá regulátory k jednotlivým systémům. Program je zde rozdělen na jednotlivé úkoly, které zastává a každý úkol je následně popsán, ale spíše obecně než s ukázkami kódu. Poslední část práce je věnována vyhodnocení získaných výsledků regulace. Vyhodnocení se provedeno zvlášť pro časovou a zvlášť pro frekvenční oblast.

2. Úvod do regulace

PID regulátory neboli Proporcionálně-integračně-derivační regulátory jsou v průmyslu široce zastoupeny už více než 70 let. Uvádí se, že až 95% všech regulačních algoritmů má PID strukturu a velká většina z nich navíc využívá pouze proporcionální a integrační složku. [1] Během let prošel vývoj od pneumatických přes analogové na digitální regulátory, bylo odvozeno mnoho pravidel pro jejich nastavení, ale existuje jen několik universálních pravidel, která mohou být použita pro libovolné iracionální nebo neminimálně fázové systémy. [2]

2.1. Regulační smyčka

Regulační smyčka se skládá z regulátoru a regulovaného systému. Schéma uzavřené regulační smyčky je na obr. 2.1. Regulátor a systém jsou zapojeny do uzavřené smyčky se zápornou zpětnou vazbou. Cílem zpětnovazebního řízení je generovat akční veličinu u tak, aby se regulovaná veličina y chovala podle předem zadaného cíle, jenž je charakterizován požadovanou veličinou w a to nezávisle na působení poruchových veličin d a n a na změnách dynamických vlastností řízeného systému. Tento volně formulovaný požadavek lze rozdělit na tři konkrétnější, a to na požadavek na kvalitu sledování požadované hodnoty, kvalitu odregulování poruch a na požadavek robustnosti vzhledem ke stabilitě a kvalitě řízení. Splnění těchto požadavků má zajistit regulátor, který generuje akční veličinu u na základě regulační odchylky e , kde e je $w - y$. [1, 3]



Obr. 2.1: Jednoduchá regulační smyčka

Přenos uzavřené regulační smyčky je

$$F(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{F_0(s)}{1 + F_0(s)}, \quad (2.1)$$

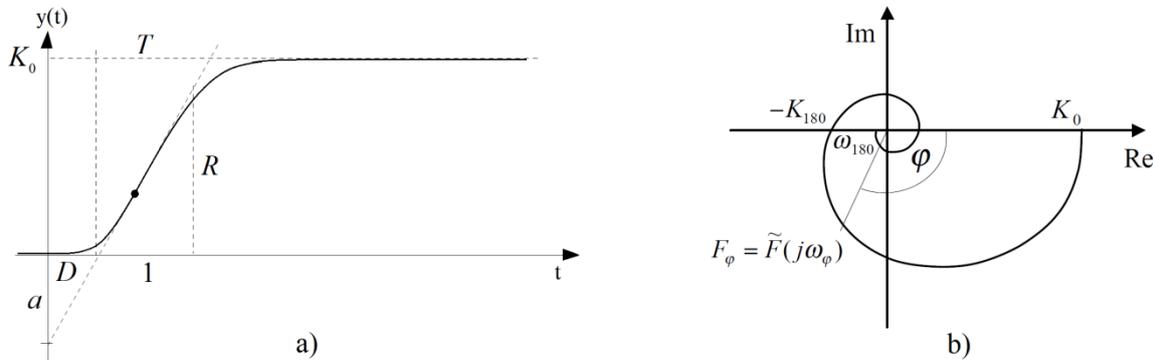
kde $F_0(s)$ je přenos otevřeného regulačního obvodu ve tvaru

$$F_0(s) = F_R(s) \cdot F_S(s). \quad (2.2)$$

$F_R(s)$ je přenos regulátoru a $F_S(s)$ je přenos systému.

2.2. Charakteristická čísla stabilního monotónního procesu

Z naměřené přechodové charakteristiky lze získat charakteristická čísla procesu (obr. 2.2a). Tato čísla jsou důležitá pro časové metody ladění PID regulátorů. Podobně, charakteristická čísla z frekvenční charakteristiky (obr. 2.2b) využívají frekvenční metody ladění PID regulátorů.



Obr. 2.2: a) Přechodová charakteristika v časové oblasti, b) Frekvenční charakteristika v komplexní rovině

Pro posouzení, zda je daný statický proces dobře nebo špatně regulovatelný, a též pro volbu typu regulátoru a přibližné určení jeho parametrů byla zavedena následující bezrozměrná charakteristická čísla procesu:

Normalizované zpoždění τ je definováno vztahem

$$\tau = \frac{D}{D + T}, \quad (2.3)$$

kde D je doba průtahu a T je doba náběhu odečtené z přechodové charakteristiky.

Normalizované zesílení κ je definováno vztahem

$$\kappa = \frac{K_{180}}{K_0}, \quad (2.4)$$

kde K_0 je statické zesílení a K_{180} je zesílení na frekvenci ω_{180} , při které dochází k fázovému zpoždění 180° . Obě nově vzniklá charakteristická čísla τ a κ leží v intervalu $(0,1)$.

$$\tau < 0.4 \quad \kappa < 0.4 \quad \text{dobře regulovatelné soustavy}$$

$$\tau > 0.4 \quad \kappa > 0.4 \quad \text{špatně regulovatelné soustavy}$$

Pro dobře regulovatelné soustavy lze bez problémů použít standardní PID regulátor. Pro špatně regulovatelné soustavy PID regulátor selhává a je třeba jej upravit například pomocí Smithova prediktoru, který výrazně zlepší kvalitu regulace.

Pro relativně přesný výpočet parametrů regulátoru statického systému postačuje obvykle znalost tří charakteristických čísel D , T a K_0 (nebo a), nebo alternativně K_0 , K_φ a ω_φ , kde φ splňuje podmínku $90 \leq \varphi \leq 180$. [1]

2.3. Typy regulátorů

2.3.1. Dvoustavový regulátor

Nejjednodušší a nejrobustnější používaný regulátor je dvoustavový neboli reléový regulátor, jehož idealizovaný popis je následující

$$u = \begin{cases} u_{max} & \text{pro } e > 0 \\ u_{min} & \text{pro } e < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

kde $e = w - y$ je regulační odchylka. Dvoustavový regulátor generuje maximální možný zásah kdykoliv nastane kladná odchylka a minimální možný zásah je-li odchylka záporná. I přes svou jednoduchost dokáže tento regulátor udržet řízenou veličinu y v určitých mezích pro všechny stabilní a dokonce i pro některé nestabilní systémy. Většinou jsou však oscilace regulované veličiny příliš velké a je tedy nutné použít spojitý regulátor. Hlavní nedostatek reléového regulátoru je ten, že při malé změně odchylky je generována velká změna akční veličiny. [1]

2.3.2. P regulátor

Nejjednodušší spojitý regulátor, který odstraňuje nedostatek reléového regulátoru. Zákon řízení je následující

$$u = \begin{cases} u_{max} & \text{je } -li \\ K \cdot e + u_b & \text{je } -li \\ u_{min} & \text{je } -li \end{cases} \quad \begin{matrix} K \cdot e + u_b > u_{max} \\ K \cdot e + u_b \in (u_{min}, u_{max}), \\ K \cdot e + u_b < u_{min} \end{matrix} \quad (2.6)$$

kde K je zesílení regulátoru a hodnota u_b se obvykle volí jako střed $(u_{min} + u_{max})/2$ rozsahu akční veličiny, nebo je zadávána ručně. Je potřeba si uvědomit, že maximální možné zesílení K je shora omezeno požadavkem na stabilitu uzavřené smyčky. Regulační odchylka v ustáleném stavu je nenulová. [1]

2.3.3. PI regulátor

Proporcionálně-integrační regulátor je nejpoužívanější regulátor v průmyslové praxi. Jeho zákon řízení v lineární oblasti je dán vztahem

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right], \quad (2.7)$$

kde K je zesílení a T_i integrační časová konstanta regulátoru. Přítomnost integrátoru zajišťuje podle principu vnitřního modelu nulovou regulační odchylku v ustáleném stavu při konstantní požadované hodnotě w a poruchách d, n . V počátku regulačního pochodu převládá vliv proporcionalní složky, ale s narůstajícím časem začne převládat vliv integrační složky. [1, 4]

2.3.4. PID regulátor

Snaha zlepšit stabilitu uzavřené smyčky s PI regulátorem vedla k zavedení derivační složky. Ideální PID regulátor (v lineární oblasti) realizuje tedy zákon řízení ve tvaru

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (2.8)$$

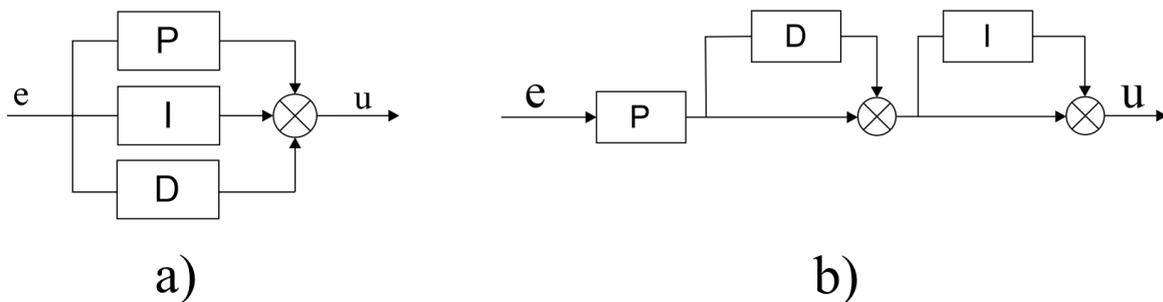
kde parametr T_d se nazývá derivační časová konstanta. Derivační složka umožňuje tedy předvídat budoucí chování procesu a využívat tuto znalost pro řízení, snižuje normalizované zpoždění, zvyšuje bezpečnost ve stabilitě. V počátku přechodového děje převládá vliv derivační složky regulátoru, s narůstajícím časem převládá integrační složka regulátoru. [1, 4]

2.4. Realizace PID regulátoru

2.4.1. Regulační smyčka s jedním stupněm volnosti (1DOF)

Regulátor 1DOF je regulátor s jedním vstupem (regulační odchylka $e(t)$) a jedním výstupem (řízení $u(t)$), který stejným způsobem zpracovává referenční signál $w(t)$ i měřený výstup $y(t)$. [5] Blokové schéma zapojení regulátoru je na obr. 1.1.

1DOF regulátory mohou mít paralelní (obr. 2.3a) a sériovou (obr. 2.3b) strukturu. Paralelní regulátor je též nazýván standardní nebo neiterativní, poněvadž lze všechny tři složky seřizovat nezávisle na sobě. Naproti tomu má sériový (iterativní) regulátor všechny tři složky závislé. [1]



Obr. 2.3: a) Paralelní struktura regulátoru, b) sériová struktura regulátoru

Přenos paralelního regulátoru je ve tvaru

$$G_n(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right). \quad (2.9)$$

Přenos sériového regulátoru je ve tvaru

$$G_i(s) = K' \left(1 + \frac{1}{T_i' s} \right) (1 + T_d' s). \quad (2.10)$$

Mezi oběma strukturami lze přecházet přepočítáním parametrů regulátoru. Iterativní regulátor lze vždy přepočítat na neiterativní, je tedy obecnější.

$$K = K' \frac{T_i' + T_d'}{T_i} \quad T_i = T_i' + T_d' \quad T_d = \frac{T_i' T_d'}{T_i' + T_d'} \quad (2.11)$$

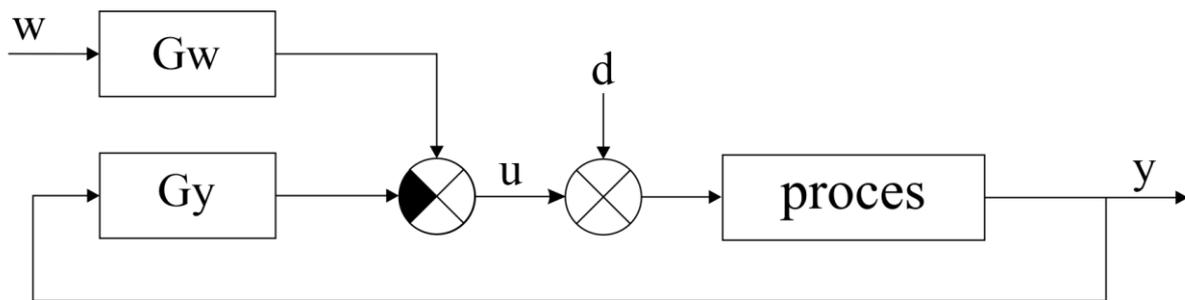
Neiterativní regulátor lze převést na iterativní, pouze pokud $T_i \geq 4 T_d$.

$$\begin{aligned} K' &= \frac{K}{2} (1 + \sqrt{1 - 4T_d/T_i}) \\ T_i' &= \frac{T_i}{2} (1 + \sqrt{1 - 4T_d/T_i}) \\ T_d' &= \frac{T_d}{2} (1 - \sqrt{1 - 4T_d/T_i}) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Do skupiny metod pro ladění 1DOF regulátorů patří jednak metody IMC, SIMC, IAE, ISE a ITAE využívají sériovou strukturu regulátoru ale také metody využívající paralelní strukturu regulátoru, jako jsou Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien-Hrones-Reswick a metoda množinového modelu. [6]

2.4.2. Regulační smyčka s dvěma stupni volnosti (2DOF)

Regulátor 2DOF je regulátor s dvěma vstupy (referenční signál $w(t)$, měřený výstup $y(t)$) a jedním výstupem (řízení $u(t)$), který zpracovává referenční signál a měřený výstup nezávisle. Přímovazební část regulátoru s přenosem G_w působí nezávisle na uzavřené regulační smyčce a představuje tedy druhý stupeň volnosti při návrhu regulátoru. Tato část generuje přímovazební („kompenzační“) řízení, které může být využito např. pro kompenzaci nežádoucích nul. [5] Blokové schéma zapojení regulátoru je na obr. 2.4. Metoda, která využívá 2DOF strukturu regulátoru, je Aström-Hägglundova metoda.



Obr. 2.4: Schéma 2DOF regulátoru

Standardizovaný ISA tvar používaný mnoha výrobci regulátorů je

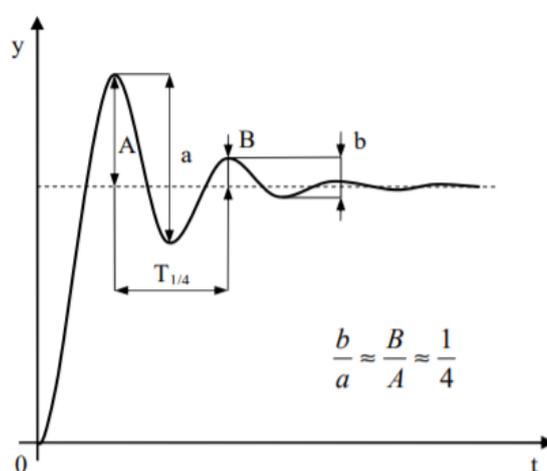
$$U(s) = K \left\{ bW(s) - Y(s) + \frac{1}{T_i s} [W(s) - Y(s)] + \frac{T_d s}{\frac{T_d s}{N} + 1} [cW(s) - Y(s)] \right\}. \quad (2.13)$$

Algoritmus 2DOF PID regulátoru obsahuje tedy celkem šest parametrů K , T_i , T_d , b , c , N . První tři slouží pro optimalizaci potlačení poruchy, následující dva jsou váhové koeficienty tvarující přechodovou charakteristiku uzavřené smyčky a N je parametr určující časovou konstantu T_d/N filtru. [1]

3. Metody nastavování regulátorů

3.1. Zieglerova-Nicholsova metoda čtvrtinového tlumení

Tato experimentální metoda se používá tehdy, pokud nelze systém rozkmitat na mez stability. Je založená na přechodové charakteristice uzavřené smyčky. Používá pouze proporcionální složku PID regulátoru. Integroační a derivační složka je vyřazena nastavením $K_I = 0$, $K_D = 0$ ($T_I \rightarrow 0$, $T_D \rightarrow \infty$). Postupným zvětšováním zesílení regulátoru se systém dostane pouze do stavu, aby podíl dvou po sobě následujících amplitud byl roven $\frac{1}{4}$ (tj. útlum = 4). Z průběhu přechodové charakteristiky (obr. 3.1) se stanoví hodnota periody čtvrtinového tlumení $T_{1/4}$ a námi nastavené čtvrtinové zesílení je $K_{1/4}$. [7]



Obr. 3.1: Přechodová charakteristika pro metodu čtvrtinového tlumení, zjištění $T_{1/4}$ [14]

Optimální parametry zvoleného typu regulátoru získáme podle tabulky 3.1. Metoda využívá paralelní strukturu regulátoru, vztah (2.9).

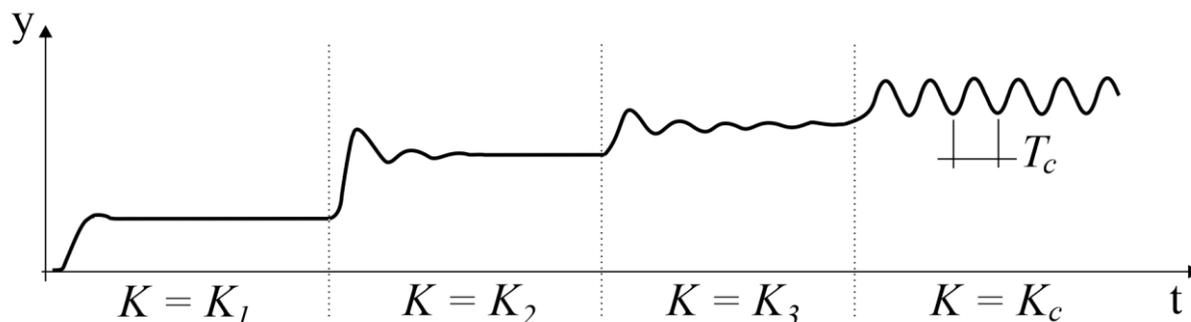
Typ regulátoru	K	T_i	T_d
P	$K_{1/4}$	-----	-----
PI	$0,9 \cdot K_{1/4}$	$T_{1/4}$	-----
PID	$1,2 \cdot K_{1/4}$	$T_{1/4}$	$0,25 \cdot T_{1/4}$

Tabulka 3.1: Zieglerova-Nicholsova metoda čtvrtinového tlumení

3.2. Zieglerova-Nicholsova frekvenční metoda

Metoda publikována již v roce 1942 je založená na přechodové charakteristice uzavřené smyčky. Základní myšlenkou této metody je přivést regulační obvod na kmitavou mez stability (obr. 3.2). Toho je dosaženo, stejně jako v předchozím případě, vyřazením integrační a derivační složky. Používá tedy pouze proporcionální složku PID regulátoru. Postupným zvětšováním zesílení uzavřené smyčky se objeví kritické kmity, tj. systém se dostane na mez

stability. Zesílení regulátoru, při kterém se tak stane, se nazývá kritické zesílení K_c a perioda kritických kmitů T_c . Tyto zjištěné hodnoty lze dosadit do vztahů uvedených v tabulce 3.2 a vypočítat tak optimální parametry zvoleného typu regulátoru. [3] Tato metoda může být zdouhavá, neboť K je potřeba zvyšovat velmi opatrně, aby se systém nedostal za mez stability. Metoda využívá paralelní strukturu regulátoru (2.9).



Obr. 3.2: Zjištění parametrů K_c a T_c

Kritické zesílení a kritickou periodu kmitů, lze určit i jiným způsobem, a to vložením nelinearity (relé) do zpětné vazby. Z kritických hodnot se pak určí parametry regulátoru. [3]

Typ regulátoru	K	T_i	T_d
P	$0,5 \cdot K_c$	-----	-----
PI	$0,45 \cdot K_c$	$0,85 \cdot T_c$	-----
PID	$0,6 \cdot K_c$	$0,5 \cdot T_c$	$0,125 \cdot T_c$

Tabulka 3.2: Zieglerova-Nicholsova frekvenční metoda

3.3. Zieglerova-Nicholsova metoda z přechodové charakteristiky

Stejně jako frekvenční metoda i tato byla publikována již v roce 1942. Jedná se o nejpoužívanější, avšak ne příliš spolehlivou metodu, protože níže uvedený postup může vést na nestabilní uzavřenou smyčku. [1] Vychází z naměřené přechodové charakteristiky otevřené smyčky regulované soustavy nekmitavého typu (tj. aperiodického typu). Z charakteristiky je odečtena doba průtahu D , doba náběhu T a koeficient a . [3] Získání těchto třech charakteristických čísel znázorňuje obr. 2.2a. Koeficient a se dá také vypočítat jako $a = K_0 \cdot D/T$, kde K_0 je zesílení systému. Parametry zvoleného typu regulátoru lze získat dosazením do vztahů v tabulce 3.3. Metoda využívá paralelní strukturu regulátoru (2.9).

Typ regulátoru	K	T_i	T_d
P	$1/a$	-----	-----
PI	$0,9/a$	$3 \cdot D$	-----
PID	$1,2/a$	$2 \cdot D$	$D/2$

Tabulka 3.3: Zieglerova-Nicholsova metoda z přechodové charakteristiky

3.4. Aströмова-Hägglundova frekvenční metoda

Jedná se o modifikaci Ziegler-Nicholsovo frekvenční metody, která však pracuje s 2DOF regulátorem (2.13), kde váhový koeficient c je 0. Publikována byla v roce 1995. Pro svoji realizaci potřebuje dvě čísla frekvenční charakteristiky uzavřené regulační smyčky (obr. 2.2b), statické zesílení K_0 a zesílení K_{180} na frekvenci ω_{180} . Z těchto charakteristických čísel je vypočteno normalizované zesílení κ dáno vztahem $\kappa = K_{180}/K_0$, kritické zesílení $K_c = 1/K_{180}$ a perioda kritických kmitů $T_c = \omega_{180}/2\pi$. Příslušnou hodnotu v prvním sloupci tabulky 3.4 lze vypočítat ze vztahu

$$f(\kappa) = a_0 e^{(a_1 \kappa + a_2 \kappa^2)}, \quad (3.1)$$

kde a_0, a_1, a_2 jsou hodnoty v odpovídajícím řádku tabulky 3.4. Výpočet integrační konstanty T_i respektive derivační konstanty T_d lze provést libovolně buď z doby průtahu, nebo doby náběhu. [1] Metoda existuje ve dvou variantách, které zohledňují maximální hodnotu citlivostní funkce M_s .

PI	$M_s = 1,4$			$M_s = 2,0$		
	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2
K/K_c	0,053	2,9	-2,6	0,13	1,9	-1,3
T_i/T_c	0,90	-4,4	2,7	0,90	-4,4	2,7
b	1,1	-0,0061	1,8	0,48	0,40	-0,17

PID	$M_s = 1,4$			$M_s = 2,0$		
	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2
K/K_c	0,33	-0,31	-1,0	0,72	-1,6	1,2
T_i/T_c	0,76	-1,6	-0,36	0,59	-1,3	0,38
T_d/T_c	0,17	-0,46	-2,1	0,15	-1,4	0,56
b	0,58	-1,3	3,5	0,25	-1,56	-0,12

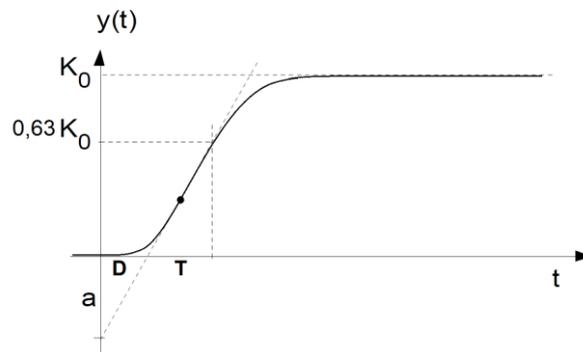
Tabulka 3.4: Aströмова-Hägglundova frekvenční metoda

3.5. Aströмова-Hägglundova metoda z přechodové charakteristiky

Tato metoda je modifikací Ziegler-Nicholsovy metody z přechodové charakteristiky. Vznikla v roce 1995 a vychází ze tří charakteristických čísel přechodové charakteristiky otevřeného systému (obr. 3.3). Metoda pracuje s 2DOF regulátorem (2.13), kde váhový koeficient c je 0. Příslušnou hodnotu v prvním sloupci tabulky 3.5 lze vypočítat ze vztahu

$$f(\tau) = a_0 e^{(a_1 \tau + a_2 \tau^2)}, \quad (3.2)$$

kde a_0, a_1, a_2 jsou hodnoty v odpovídajícím řádku tabulky 3.5 a τ je normalizované zpoždění definované vztahem $\tau = D/(D + T)$. Výpočet integrační konstanty T_i respektive derivační konstanty T_d lze provést libovolně, buď z doby průtahu, nebo doby náběhu. [1] Metoda existuje ve dvou variantách, které zohledňují maximální hodnotu citlivostní funkce M_s .



Obr. 3.3. Odečtení charakteristických čísel pro AH metodu z přechodové charakteristiky

PI	$M_s = 1,4$			$M_s = 2,0$		
	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2
$a \cdot K$	0,29	-2,7	3,7	0,78	-4,1	5,7
T_i/D	8,9	-6,6	3,0	8,9	-6,6	3,0
T_i/T	0,79	-1,4	2,4	0,79	-1,4	2,4
b	0,81	0,73	1,9	0,44	0,78	-0,45

PID	$M_s = 1,4$			$M_s = 2,0$		
	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2
$a \cdot K$	3,8	-8,4	7,3	8,4	-9,6	9,8
T_i/D	5,2	-2,5	-1,4	3,2	-1,5	-0,93
T_i/T	0,46	2,8	-2,1	0,28	3,8	-1,6
T_d/D	0,89	-0,37	-4,1	0,86	-1,9	-0,44
T_d/T	0,077	5,0	-4,8	0,076	3,4	-1,1
b	0,40	0,18	2,8	0,22	0,65	0,051

Tabulka 3.5: Aströмова-Hägglundova metoda z přechodové charakteristiky

3.6. C-H-R metoda

Název této metody byl získán složením počátečních písmen z příjmení autorů: Chien, Hrones a Reswick. Metoda pochází z roku 1952 a existuje ve dvou variantách, které optimalizují sledování změn žádané hodnoty (setpoint) nebo potlačení poruch na vstupu soustavy (load). Další rozmanitost této metody spočívá v tom, že si uživatel může vybrat, zda chce regulační pochod s překmitem 0 nebo 20%. Metoda vychází z přechodové charakteristiky otevřené regulační smyčky (obr. 2.2a). Parametry zvoleného typu regulátoru získáme dosazením do vztahů v tabulce 3.6a, pokud má regulátor sledovat požadovanou hodnotu, nebo v tabulce 3.6b, pokud má regulátor odstraňovat vstupní poruchy. [8] Metoda využívá paralelní strukturu regulátoru (2.9).

SETPOINT	Překmit	0%			20%		
	Typ regulátoru	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
	P	$0,3/a$	-----	-----	$0,7/a$	-----	-----
	PI	$0,35/a$	$1,2 \cdot T$	-----	$0,6/a$	T	-----
	PID	$0,6/a$	T	$0,5 \cdot D$	$0,95/a$	$1,4 \cdot T$	$0,47 \cdot D$

Tabulka 3.6a: C-H-R metoda - SETPOINT

LOAD DISTURBANCE	Překmit	0%			20%		
	Typ regulátoru	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
	P	$0,3/a$	-----	-----	$0,7/a$	-----	-----
	PI	$0,6/a$	$4 \cdot D$	-----	$0,7/a$	$2,3 \cdot D$	-----
	PID	$0,95/a$	$2,4 \cdot D$	$0,42 \cdot D$	$1,2/a$	$2 \cdot D$	$0,42 \cdot D$

Tabulka 3.6b: C-H-R metoda – LOAD DISTURBANCE

3.7. Cohenova-Coonova metoda

Tato metoda se hodí pro systémy s dopravním zpožděním nebo pro systémy vyšších řádů. [8] Je navržena tak, že dává poměr tlumení $1/4$, tzn., že navržený regulátor bude poskytovat regulační pochod, u něhož bude mít odezva druhého kmitu čtvrtinu první amplitudy. [3] Z přechodového experimentu otevřené smyčky lze získat charakteristická čísla a , D , T a zesílení systému k (obr. 2.2a). Parametry regulátoru se dají vypočítat dvěma způsoby. První způsob (tabulka 3.7a) využívá čísla k , r . Parametr r lze vypočítat ze vztahu

$$r = \frac{D}{T}. \quad (3.3)$$

Druhý způsob využívá tzv. normalizované dopravní zpoždění τ (2.3) a charakteristické číslo a (tabulka 3.7b). Metoda využívá paralelní strukturu regulátoru (2.9).

Typ regulátoru	K	T_i	T_d
P	$\frac{1}{k \cdot r} \left(1 + \frac{r}{3}\right)$	-----	-----
PI	$\frac{1}{k \cdot r} \left(0,9 + \frac{r}{12}\right)$	$\frac{30 + 3r}{9 + 20r} D$	-----
PID	$\frac{1}{k \cdot r} \left(\frac{4}{3} + \frac{r}{4}\right)$	$\frac{32 + 6r}{13 + 8r} D$	$\frac{4}{11 + 2r} D$

Tabulka 3.7a: Cohenova-Coonova metoda – 1. varianta výpočtu parametrů regulátoru

Typ regulátoru	K	T_i	T_d
P	$\frac{1}{a} \left(1 + \frac{0,35\tau}{1 - \tau}\right)$	-----	-----
PI	$\frac{0,9}{a} \left(1 + \frac{0,092\tau}{1 - \tau}\right)$	$\frac{3,3 - 3\tau}{1 + 1,2\tau} D$	-----
PID	$\frac{1,35}{a} \left(1 + \frac{0,18\tau}{1 - \tau}\right)$	$\frac{2,5 - 2\tau}{1 - 0,39\tau} D$	$\frac{0,37 - 0,37\tau}{1 - 0,81\tau} D$

Tabulka 3.7b: Cohenova-Coonova metoda – 2. varianta výpočtu parametrů regulátoru

3.8. Metody využívající integrální kritéria

Tyto metody používají návrh regulátoru založený na indexu kvality, který zohledňuje celou odezvu uzavřené smyčky. Jsou založeny na třech charakteristických čísel získaných z přechodové charakteristiky otevřené smyčky (obr. 3.3). Metody IAE, ISE a ITAE existují ve dvou variantách, které optimalizují odezvu na jednotkový skok referenčního signálu (setpoint) nebo poruchy na vstupu regulované soustavy (load disturbance). [6] Integrální kritéria, z kterých metody vycházejí, mají tvary

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt, \quad ISE = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt, \quad ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt. \quad (3.4)$$

Parametry PID regulátoru vypočtené z tabulky 3.8a, optimalizující odezvu na jednotkový skok, nebo z tabulky 3.8b, optimalizující poruchu na vstupu, využívají sériový tvar regulátoru (2.10).

SETPOINT	Metoda	K	T_i	T_d
	IAE	$\frac{0,65}{k} \left(\frac{D}{T}\right)^{-1,04432}$	$\frac{T}{0,9895 + 0,09539 \left(\frac{D}{T}\right)}$	$0,50814 \cdot T \left(\frac{D}{T}\right)^{1,08433}$
	ITAE	$\frac{1,12762}{k} \left(\frac{D}{T}\right)^{-0,80368}$	$\frac{T}{0,99783 + 0,02860 \left(\frac{D}{T}\right)}$	$0,42844 \cdot T \left(\frac{D}{T}\right)^{1,0081}$
	ISE	$\frac{0,71959}{k} \left(\frac{D}{T}\right)^{-1,03092}$	$\frac{T}{1,12666 - 0,18145 \left(\frac{D}{T}\right)}$	$0,54568 \cdot T \left(\frac{D}{T}\right)^{0,86411}$

Tabulka 3.8a: Metody využívající integrální kritéria - SETPOINT

LOAD DISTURBANCE	Metoda	K	T_i	T_d
	IAE	$\frac{0,98089}{k} \left(\frac{D}{T}\right)^{-0,76167}$	$\frac{T}{0,91032} \left(\frac{D}{T}\right)^{1,0521}$	$0,59974 \cdot T \left(\frac{D}{T}\right)^{0,89819}$
	ITAE	$\frac{0,77902}{k} \left(\frac{D}{T}\right)^{-1,06401}$	$\frac{T}{1,14311} \left(\frac{D}{T}\right)^{0,70949}$	$0,57137 \cdot T \left(\frac{D}{T}\right)^{1,03826}$
	ISE	$\frac{0,11907}{k} \left(\frac{D}{T}\right)^{-0,89711}$	$\frac{T}{0,7987} \left(\frac{D}{T}\right)^{0,9548}$	$0,54766 \cdot T \left(\frac{D}{T}\right)^{0,87798}$

Tabulka 3.8b: Metody využívající integrální kritéria – LOAD DISTURBANCE

3.9. IMC metoda

Tato metoda byla odvozena v roce 1986. Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru, které obsahuje tabulka 3.9, jsou určeny pro model prvního řádu s dopravním zpožděním. Systémy vyšších řádů je nutné před použitím pravidel aproximovat na systém prvního řádu s dopravním zpožděním ve tvaru

$$P(s) = \frac{k}{(Ts + 1)} e^{-Ds}. \quad (3.5)$$

Tato aproximace může být provedena pomocí Skogestadova pravidla, popsaného v [10] nebo pomocí přechodového experimentu otevřené regulační smyčky (obr. 3.3). Hodnotu proporcionálního parametru K lze upravovat pomocí ladicího parametru τ_{cl} . Metoda pracuje se sériovým tvarem regulátoru (2.10).

Typ regulátoru	K	T_i	T_d	τ_{cl}
PI	$\frac{1}{k} \cdot \frac{T + D/2}{\tau_{cl}}$	$T + D/2$	-----	$\geq 1.7 \cdot D$
PID	$\frac{1}{k} \cdot \frac{T}{(\tau_{cl} + D/2)}$	T	$D/2$	$\geq 0.8 \cdot D$

Tabulka 3.9: IMC metoda

3.10. SIMC metoda

Tato metoda vychází z IMC metody, a proto její autor navrhl zkratku SIMC interpretovat jako „SIMple Control“ nebo „Skogestad IMC“. [7] Oproti předchozím popsaným metodám nevyužívá tato metoda časovou ani frekvenční charakteristiku, ale je založená na modelu systému prvního nebo druhého řádu s dopravním zpožděním. Pokud má být SIMC metoda použita pro systémy vyšších řádů, musí být nejdříve aproximovány na jeden z těchto dvou modelů.

Model systému prvního řádu

$$P(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)} e^{-\theta s}. \quad (3.6)$$

Model systému druhého řádu

$$P(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} e^{-\theta s}. \quad (3.7)$$

Z modelů prvního řádu lze získat parametry k , τ_1 , θ a z modelu druhého řádu navíc i parametr τ_2 . Ladicí parametr τ_c potřebný k nastavení regulátoru, lze volit v intervalu $-\theta < \tau_c < \infty$. Malé hodnoty τ_c rovné dopravnímu zpoždění θ zaručují rychlou odezvu na změnu požadované veličiny a dobré odregulování poruch. Vysoké hodnoty τ_c zaručují stabilitu uzavřené smyčky, ale pomalejší odezvu. [10] Parametry regulátoru lze získat z tabulky 3.10. Metoda využívá sériový tvar regulátoru (2.10).

Typ regulátoru	K	T_i	T_d
PID	$\frac{1}{k} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_c + \theta}$	$\min\{\tau_1, 4(\tau_c + \theta)\}$	τ_2

Tabulka 3.10: SIMC metoda

Důležitou roli v metodě SIMC hraje dopravní zpoždění. Pokud by byl systém druhého řádu s nulovým dopravním zpožděním, je nutné provést jeho aproximaci na první řád s dopravním zpožděním, protože při výpočtu proporcionálního parametru regulátoru se zpoždění nachází ve jmenovateli zlomku a při volbě $\tau_c = \theta$ by byl celkový jmenovatel roven nule a nulou dělit nelze.

3.11. Metoda množinového modelu

Metoda množinového modelu je robustní metoda vyvinutá na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni (podrobněji v [9]). Metoda byla navržena pro množinu procesů popsaných níže tak, aby uzavřená smyčka splňovala návrhové požadavky pro

maximální hodnoty M_s citlivostní funkce. Metoda vychází ze třech charakteristických čísel vypočtených z modelu systému ve tvaru

$$P(s) = \frac{K}{\prod_{i=1}^p (\tau_i s + 1)^{n_i}} \quad p \in \mathbb{N} \quad (3.8)$$

Přenosová funkce modelu systému $P(s)$ musí být ve tvaru (3.8) a splňovat podmínku $n_i \geq 1, \forall i, \sum_{i=1}^p n_i \leq n$, kde $n \in \mathbb{R}^+$ je celkový řád systému.

Získaná charakteristická čísla jsou

$$\kappa = K, \quad \mu = \sum_{i=1}^p \tau_i n_i, \quad \sigma^2 = \sum_{i=1}^p \tau_i^2 n_i. \quad (3.9)$$

Abychom mohli vypočítat normované parametry regulátoru \bar{K} a \bar{T}_i , musíme nejprve normalizovat charakteristické číslo $\bar{\sigma}^2$ podle vzorce $\bar{\sigma}^2 = \sigma^2 / \mu^2$. Toto normalizované číslo již lze dosadit do (3.10) a spočítat jednotlivé normalizované parametry regulátoru. Funkce pro výpočet parametrů regulátoru má tvar

$$f(\bar{\sigma}, \delta) = a_0 e^{\sum_{i=1}^4 a_i [(\bar{\sigma})^{i+1} + (a_5 \delta)^{i+1}]}, \quad (3.10)$$

kde $\bar{\sigma}$ a δ jsou nezávislé vstupní proměnné a $a_0, a_1, \dots, a_5 \in \mathbb{R}$ reprezentují optimalizované koeficienty z tabulek 3.11a a 3.11b. Parametr δ je návrhový parametr a lze ho volit libovolně v intervalu $(0, 1)$ podle vztahu $\delta = \frac{2}{n}$, kde n je řád systému. Získané normalizované parametry převedeme na nenormalizované následujícími úpravami

$$K = \frac{\bar{K}}{\kappa}, \quad T_i = \bar{T}_i \cdot \mu. \quad (3.11)$$

Pro výpočet parametru T_d PID regulátoru byl zvolen fixní poměr ve tvaru $T_d = \frac{T_i}{4}$. PI regulátor lze zjistit pomocí tabulky 3.11a, PID regulátor lze vypočítat z tabulky 3.11b. Metoda využívá paralelní tvar regulátoru (2.9). [9]

PI	$M_s = 1,6$		$M_s = 2,0$	
	\bar{K}	\bar{T}_i	\bar{K}	\bar{T}_i
a_0	0,19	0,30	0,22	0,24
a_1	0,84	1,16	7,46	18,23
a_2	21,3	2,19	-1,72	-65,78
a_3	-43,67	-0,34	-16,82	90,54
a_4	26,07	-3,97	15,80	-44,26
a_5	0,38	-0,74	-0,32	-0,13

Tabulka 3.11a: Metoda množinového modelu – výpočet PI regulátoru

PID	$M_s = 1,6$		$M_s = 2,0$	
	\bar{K}	\bar{T}_i	\bar{K}	\bar{T}_i
a_0	0,35	0,48	0,44	0,39
a_1	-3,59	0,85	-5,31	1,33
a_2	36,35	0,92	46,96	1,29
a_3	-60,24	-0,57	-77,64	-1,84
a_4	31,93	-3,38	40,63	-2,99
a_5	0,77	-0,69	0,82	-0,78

Tabulka 3.11b: Metoda množinového modelu – výpočet PID regulátoru

4. Možnosti exaktního otestování

V předchozí části práce byly popsány některé heuristické metody nastavování parametrů regulátorů. Většina heuristických metod založených na identifikaci z přechodového experimentu používá pro neúplný popis procesu charakteristická čísla k , D a T . Nevýhoda tohoto popisu je, že nelze určit všechny systémy, které těmto číslům vyhovují. To je také jeden z důvodů, proč jsou heuristické metody založeny pouze na jednom nominálním modelu systému. Většinou je tímto modelem první řád s dopravním zpožděním. Díky tomuto nedostatku zmíněné metody často selhávají.

Zmíněný problém lze vyloučit, jsou-li pro neúplný popis procesu použita tři jiná charakteristická čísla. Těmito čísly jsou první tři momenty impulsní funkce definované následovně

$$\begin{aligned}m_0 &= \int_0^{\infty} h(t) dt, \\m_1 &= \int_0^{\infty} t \cdot h(t) dt, \\m_2 &= \int_0^{\infty} t^2 \cdot h(t) dt,\end{aligned}\tag{4.1}$$

kde $h(t)$ je zmíněná impulsní funkce. Momenty m_0 , m_1 a m_2 mohou být nahrazeny pro nás vhodnější trojicí charakteristických čísel definovaných jako

$$\begin{aligned}\kappa &= \int_0^{\infty} h(t) dt = m_0, \\ \mu &= \frac{\int_0^{\infty} t \cdot h(t) dt}{\int_0^{\infty} h(t) dt} = \frac{m_1}{m_0}, \\ \sigma^2 &= \frac{\int_0^{\infty} (t - \mu)^2 \cdot h(t) dt}{\int_0^{\infty} h(t) dt} = \frac{m_2}{m_0} - \frac{m_1^2}{m_0^2}. [6]\end{aligned}\tag{4.2}$$

Pro frekvenci ω a charakteristická čísla κ , μ a σ^2 vznikne v komplexní rovině oblast neurčitosti obsahující systémy právě s těmito charakteristickými čísly. Následně je pak možné vypočítat parametry robustního regulátoru, který zajistí splnění jistých návrhových požadavků ve frekvenční (případně časové) oblasti pro celou oblast neurčitosti (celý množinový model).

Exaktně lze otestovat i frekvenční metody založené na jednom bodu frekvenční charakteristiky, jako je například Zieglerova-Nicholsova frekvenční metoda, nebo metody založené na jednom bodu frekvenční charakteristiky a statickém zesílení, například Aströмова-Hägglundova frekvenční metoda, nebo metody založené na dvou bodech frekvenční charakteristiky.

V této práci byly testovány převážně metody založené na charakteristických číslech získaných z časové oblasti. Použití a testování metod založených na číslech ve frekvenční oblasti je možným pokračováním této práce, kterému bych se rád věnoval v navazujícím studiu.

5. Kvalita regulace

Aby bylo možné mezi sebou porovnat různé metody nastavení parametrů regulátoru, existují metody a indexy určující kvalitu regulace. [3] Kvalitu regulace je přitom možné posuzovat v časové i frekvenční oblasti.

5.1. Časová oblast

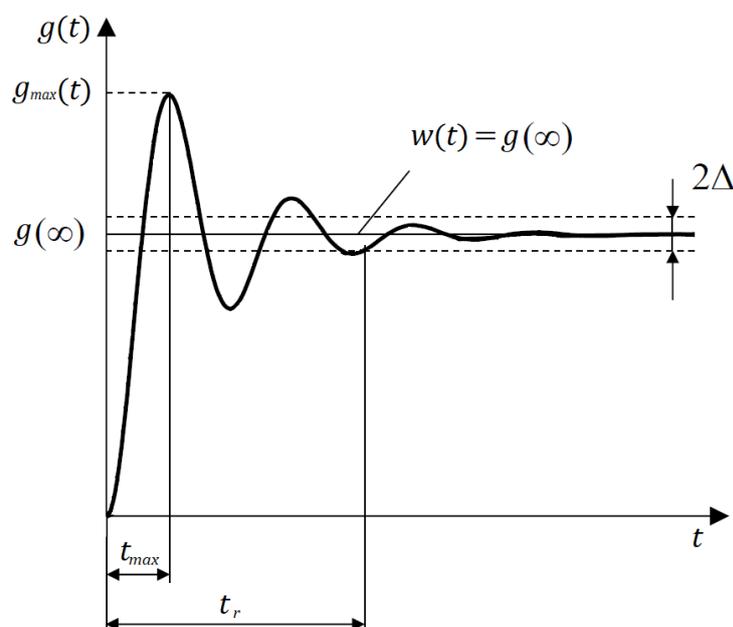
Kvalitu regulace v časové oblasti posuzujeme z přechodové charakteristiky, kde je možné hodnotit dobu regulace a maximální relativní přeregulování. Obvykle však hodnotíme průběh regulace integrálními kritérii kvality, která hodnotí časový průběh regulační odchylky $e(t) = w(t) - y(t)$. Cílem úspěšnosti seřizování regulátoru je, aby byl výsledný integrál minimální.

Maximální relativní přeregulování σ_{max} lze vypočítat ze vztahu

$$\sigma_{max} = \frac{g_{max}(t) - g(\infty)}{g(\infty)} \quad \text{nebo procentuálně} \quad \sigma_{max} [\%] = \frac{g_{max}(t) - g(\infty)}{g(\infty)} \cdot 100, \quad (5.1)$$

kde $g_{max}(t)$ je maximální hodnota regulované veličiny při překmitu, t_{max} je doba dosažení maximální hodnoty, $g(\infty)$ je ustálená hodnota regulované veličiny (viz obr. 5.1). [11]

Doba regulace t_r je dána časem, kdy regulovaná veličina $g(t)$ vejde do pásma o šířce $2 \cdot \Delta$ (obr. 5.1), tj. $g(\infty) = \pm \Delta$, kde tolerance regulace Δ je dána vztahem $\Delta = \delta \cdot g(\infty)$, kde δ je relativní tolerance regulace a nejčastěji nabývá hodnot 0,02 nebo 0,05. [3]



Obr. 5.1: Přechodová charakteristika regulčního obvodu s vyznačenými ukazateli kvality

Výpočet kvadratické regulační plochy (ISE) je proveden dle vztahu

$$ISE = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt. \quad (5.2)$$

Výhodou tohoto kritéria je, že se dá využít i pro periodické průběhy, kde je, díky mocnině druhého řádu, zabráněno případnému zkreslení při výpočtu regulační plochy. K vyhodnocení regulační plochy lze použít i jiných integrálních kritérií popsaných níže.

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt \quad ITE = \int_0^{\infty} te(t)dt \quad ITSE = \int_0^{\infty} te^2(t)dt \quad (5.3)$$

$$ISTE = \int_0^{\infty} t^2e^2(t)dt \quad IAE = \int_0^{\infty} |e(t)|dt \quad IE = \int_0^{\infty} e(t)dt$$

Uvedená kritéria kvality regulace lze využít jak pro spojitě, tak pro diskrétní systémy. Ve všech případech určování kvality regulace je možno nahradit integrál za sumu, čímž se vlastně provede numerická integrace. [3]

5.2. Frekvenční oblast

Kvalitu regulace ve frekvenční oblasti posuzujeme podle průběhu citlivostních funkcí a robustnosti ve stabilitě.

Robustnost ve stabilitě závisí na průběhu Nyquistovy křivky v komplexní rovině (obr. 5.2) v okolí kritického bodu $(-1, j0)$ a je definována třemi parametry, charakterizujícími bezpečnost v zesílení $1/K_0$, bezpečnost ve fázi γ a bezpečnost ve stabilitě s_m .

Nyquistova křivka je definována vztahem $L(j\omega) = F_r(j\omega) \cdot F_s(j\omega)$, kde $F_r(j\omega)$ je frekvenční přenos regulátoru a $F_s(j\omega)$ je frekvenční přenos systému.

Bezpečnost v zesílení je definována jako multiplikatívni konstanta, kterou lze změnit zesílení otevřeného regulačního obvodu K tak, že se uzavřený regulační obvod stane nestabilním. Pro výpočet bezpečnosti v zesílení musíme nejprve určit kritickou frekvenci ω_{krit} z podmínky $\text{Im}F_o(j\omega_{krit})$. Dále zjistíme $K_o = |F_o(j\omega_{krit})| = \text{Re}F_o(j\omega_{krit})$ a výsledná hodnota bezpečnosti je převrácená hodnota K_o , tedy

$$\frac{1}{K_o} = \frac{1}{|F_o(j\omega_{krit})|}. \quad (5.4)$$

Bezpečnost ve fázi je definována jako fázové zpoždění γ , které po zavedení do otevřeného regulačního obvodu způsobí, že uzavřený regulační obvod se stane nestabilním. Bezpečnost ve fázi lze vyjádřit jako doplňkový úhel do -180°

$$\gamma = 180^\circ + \arg F_o(j\omega_0), \quad (5.5)$$

kde frekvenci ω_0 , tj. frekvenci při které protíná $F_o(j\omega)$ poprvé jednotkovou kružnici, určíme z podmínky $|F_o(j\omega_0)| = 1$.

Bezpečnost ve stabilitě je definována jako nejmenší vzdálenost průběhu frekvenční charakteristiky $F_o(j\omega)$ pro všechny frekvence ω od kritického bodu $(-1, j0)$. Vyjadřuje tedy míru robustnosti ve stabilitě při možné současné změně amplitudy a fáze $F_o(j\omega)$. Podle definice lze s_m spočítat podle rovnice

$$s_m = \min(|-1 - F_o(j\omega)|) = \min(|1 + F_o(j\omega)|), \quad \forall \omega > 0. \quad (5.6)$$

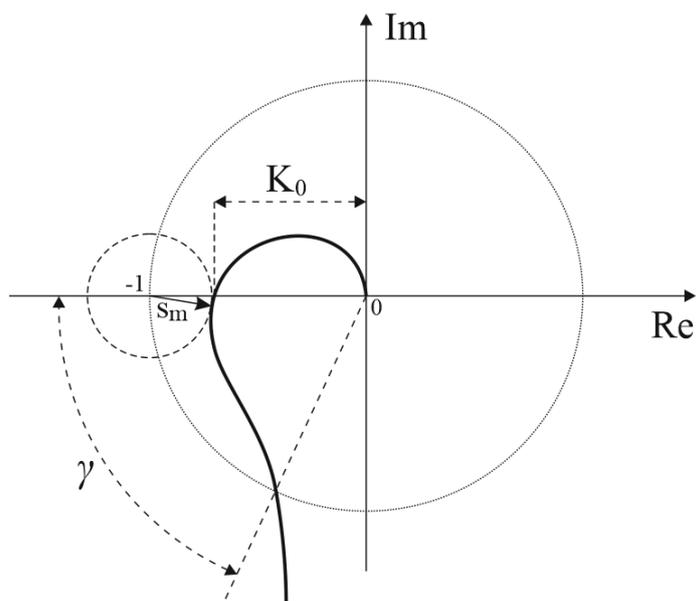
Druhý způsob výpočtu vychází z definice citlivostní funkce uzavřené smyčky. Její maximum přes všechny frekvence ($\omega > 0$) je převrácenou hodnotou bezpečnosti ve stabilitě

$$S(j\omega) = \frac{1}{1 + F_o(j\omega)} \rightarrow s_m = \min(|1 + F_o(j\omega)|) = \frac{1}{\max(|S(j\omega)|)}. \quad (5.7)$$

Při návrhu regulačního obvodu je snaha minimalizovat maximální hodnotu citlivostní funkce $S(j\omega)$ přes všechny frekvence.

Obvyklá doporučení pro volbu bezpečnosti v zesílení, ve fázi a ve stabilitě jsou:

$$\frac{1}{K_0} > 2, \quad \gamma > 40^\circ, \quad s_m > 0,5. \quad [5] \quad (5.8)$$



Obr. 5.2: Bezpečnost v zesílení, ve fázi a ve stabilitě v komplexní rovině

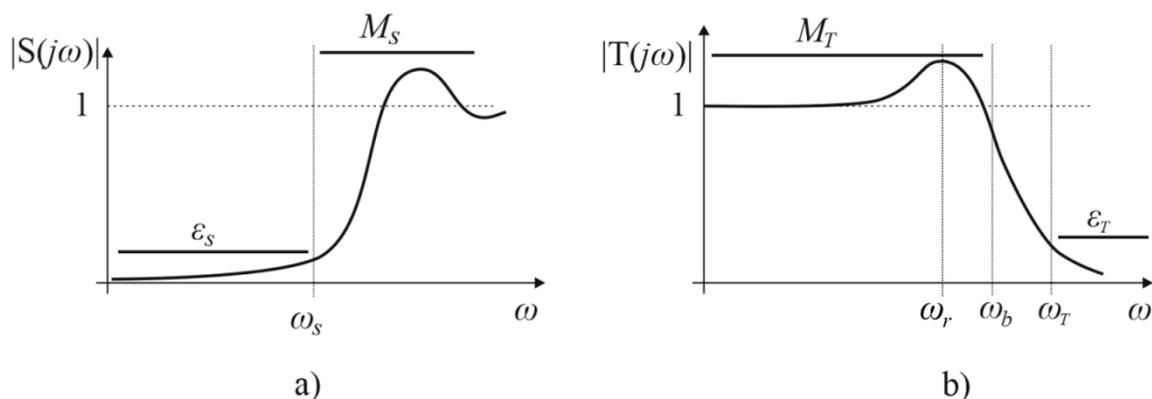
5.2.1. Citlivostní funkce

Frekvenční charakteristika citlivostní funkce má tvar horní propusti (obr. 5.3a) a vypovídá o schopnosti regulačního obvodu potlačovat poruchy a též sledovat referenční signál na dané frekvenci. V oblasti, kde $|S(j\omega)|$ nabývá hodnot menších než 1, dochází k potlačení vstupujících poruch, v opačném případě dochází k zesílení rušivého signálu. Cílem je, aby hodnota $|S(j\omega)|$ byla menší než jedna do co nejvyšších frekvencí. [12] Citlivostní funkce má přenos

$$S(j\omega) = \frac{1}{1 + L_0(j\omega)}, \quad (5.9)$$

kde $L_0(j\omega)$ je přenos otevřené regulační smyčky. U některých metod nastavení regulátorů je možné vybrat horní limit M_s citlivostní funkce z několika málo dostupných hodnot (např. $M_s = 1.4$ nebo $M_s = 2.0$). Pomocí M_s lze vypočítat bezpečnost ve stabilitě (5.7). Reálný požadavek na citlivostní funkci je:

$$\begin{aligned} |S(j\omega)| < \varepsilon_s, \quad \forall \omega \in [0, \omega_s], \\ |S(j\omega)| < M_s, \quad \forall \omega \end{aligned} \quad (5.10)$$



Obr. 5.3: a) Citlivostní funkce, b) Komplementární citlivostní funkce

5.2.2. Komplementární citlivostní funkce

Frekvenční charakteristika komplementární citlivostní funkce má tvar dolní propusti (obr. 5.3b) a vyjadřuje schopnost regulačního obvodu sledovat referenční signál. K nejlepšímu sledování dochází na nízkých frekvencích, kdy je hodnota $|T(j\omega)| = 1$. Cílem je, aby komplementární funkce byla do co nejvyšších kmitočtů rovna jedné. [12] Přenos komplementární citlivostní funkce je stejný jako přenos uzavřené smyčky

$$T(j\omega) = \frac{L_0(j\omega)}{1 + L_0(j\omega)}, \quad (5.11)$$

kde $L_0(j\omega)$ je přenos otevřené regulační smyčky. Tuto funkci lze charakterizovat horním limitem M_T a šířkou pásma ω_b . Šířka pásma je mezní hodnota frekvencí, ve kterých regulační obvod dokáže zajistit sledování referenčního signálu nebo potlačovat poruchy. Je to nejmenší frekvence ω_b při níž dochází v amplitudové charakteristice $|T(j\omega)|$ nebo $|S(j\omega)|$ k poklesu pod hodnotu $-3dB$.

Uzavřená regulační smyčka s přenosem $F_{y,w}(j\omega)$ je náchylná ke kmitání na rezonanční frekvenci ω_r . Nastává tzv. rezonanční převýšení, které lze charakterizovat číslem kmitavosti M_T .

$$M_T = \max_{\omega \in (0, \infty)} \frac{|F_{y,w}(j\omega)|}{|F_{y,w}(j0)|} \quad (5.12)$$

Pro návrh regulátorů jsou ω_r a číslo kmitavosti M_T důležité návrhové požadavky. [11]

Reálný požadavek na komplementární citlivostní funkci je:

$$\begin{aligned} |T(j\omega)| &< M_T, \quad \forall \omega, \\ |T(j\omega)| &< \varepsilon_T, \quad \forall \omega \in [\omega_T, \infty]. \end{aligned} \quad (5.13)$$

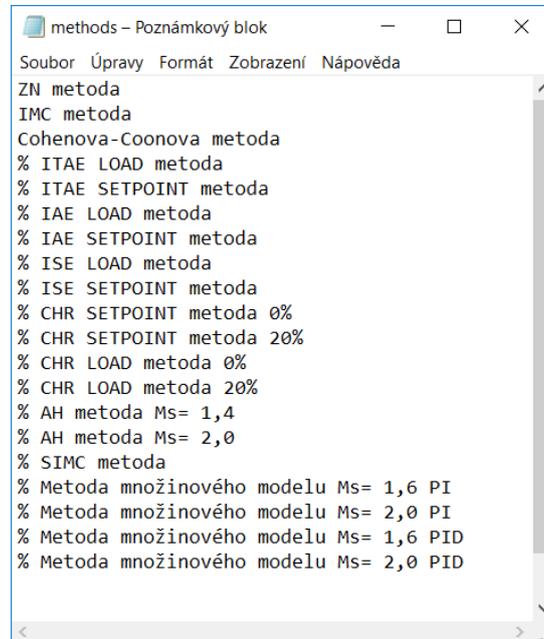
6. Vytvoření vlastního SW

Hlavním přínosem této bakalářské práce je vytvoření interaktivního softwarového modulu pro testování kvality regulace jednotlivých metod ladění PID regulátorů. Software, který je popsán níže, byl vytvořen v programovém prostředí MATLAB a jeho činnost lze rozdělit do následujících kroků:

- Importování metod pro ladění PID
- Výpočet testovacích systémů
- Identifikace systému v časové oblasti
- Aproximace systému systémem prvního a druhého řádu
- Výpočet parametrů regulátoru
- Kvalita regulace v časové oblasti
- Kvalita regulace ve frekvenční oblasti
- Uložení a vykreslení výsledků

6.1. Importování metod pro ladění PID

Metody, které je možné softwarem otestovat, jsou uloženy v souboru methods.txt a do programu nahrávány příkazem `importdata('methods.txt')`.



```
methods - Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
ZN metoda
IMC metoda
Cohenova-Coonova metoda
% ITAE LOAD metoda
% ITAE SETPOINT metoda
% IAE LOAD metoda
% IAE SETPOINT metoda
% ISE LOAD metoda
% ISE SETPOINT metoda
% CHR SETPOINT metoda 0%
% CHR SETPOINT metoda 20%
% CHR LOAD metoda 0%
% CHR LOAD metoda 20%
% AH metoda Ms= 1,4
% AH metoda Ms= 2,0
% SIMC metoda
% Metoda množinového modelu Ms= 1,6 PI
% Metoda množinového modelu Ms= 2,0 PI
% Metoda množinového modelu Ms= 1,6 PID
% Metoda množinového modelu Ms= 2,0 PID
```

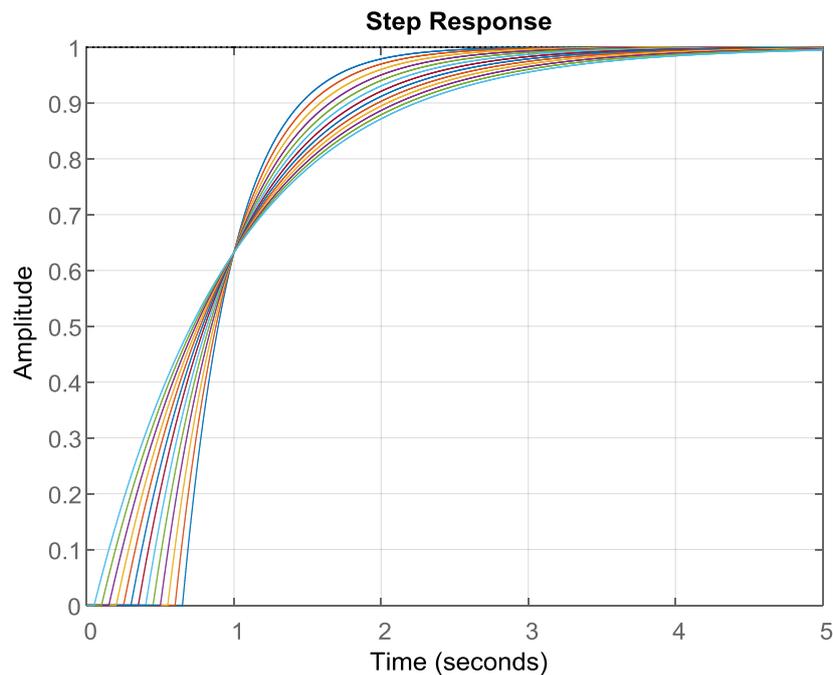
Obr. 6.1: Příklad zadávání metod do programu

Ve zmíněném textovém souboru je vždy na samostatném řádku umístěn název metody s případnými parametry, které metodu jednoznačně identifikují, jako například maximální hodnota citlivostní funkce M_s , nebo procentuálně zadaná velikost překmitu. Pokud se na

začátku řádku nachází znak procenta (%), bere se tento řádek jako zakomentovaný a je programem přeskočen. Obr 6.1 vyobrazený výše znázorňuje situaci, kdy je počítáno pouze se třemi prvními metodami.

6.2. Výpočet testovacích systémů

Pro testování metod byly zvoleny dvě skupiny normalizovaných extrémálních systémů popsaných v [6]. První skupina procesů S_1 je znázorněna na obr 6.2 a obsahuje systémy prvního řádu s dopravním zpožděním.



Obr. 6.2: Přechodové charakteristiky procesů z S_1

Přenosy skupiny S_1 jsou generovány z rovnice

$$S_1(s) = \frac{\kappa}{(\sigma \cdot s + 1)} \cdot e^{-(\mu - \sigma)s}, \quad (6.1)$$

kde κ a μ jsou nastaveny na hodnotu 1 a $\sigma \in \{0,35; 0,40; 0,45; \dots; 0,95\}$.

Systémy ze skupiny S_2 jsou znázorněné na obr. 6.3. Tato skupina obsahuje systémy druhého a vyššího řádu bez dopravního zpoždění. Maximální vygenerovaný řád systému je devátý.

Přenosy skupiny S_2 jsou generovány z rovnice

$$S_2(s) = \frac{\kappa}{(\tau_1 s + 1) \cdot (\tau_2 s + 1)^{n-1}}, \quad (6.2)$$

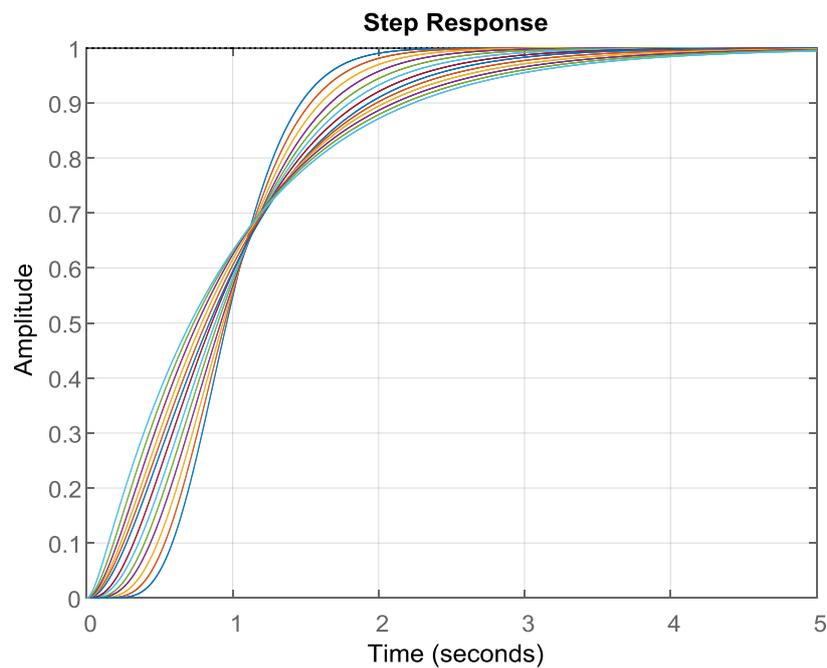
kde parametr κ je roven 1 a parametry n , τ_1 a τ_2 lze zjistit ze vztahů (6.3).

$$n = \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} + 1 \right),$$

$$\tau_1 = \mu \cdot \left(\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{(n-1) \cdot \left(\frac{n \cdot \sigma^2}{\mu^2} - 1 \right)}}{n} \right),$$

$$\tau_2 = \mu \cdot \left(\frac{1 + \sqrt{\frac{\left(\frac{n \cdot \sigma^2}{\mu^2} - 1 \right)}{n-1}}}{n} \right),$$
(6.3)

kde parametr n je po vyčíslení zaokrouhlen na celé číslo dolů, μ je 1 a parametr $\sigma \in \{0,35; 0,40; 0,45; \dots; 0,95\}$.



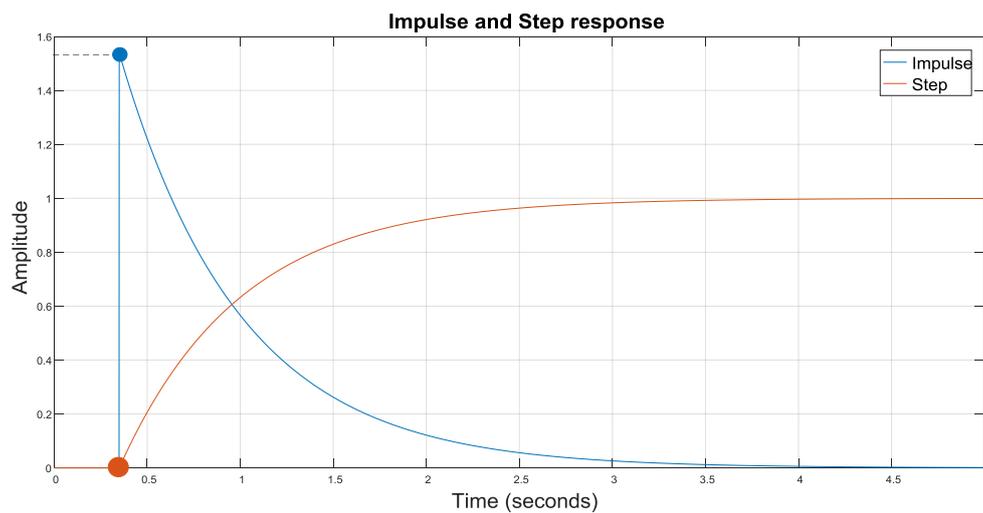
Obr. 6.3: Přechodové charakteristiky procesů z S_2

Všechny vygenerované systémy jsou obsaženy v tabulce A.1 v příloze A.

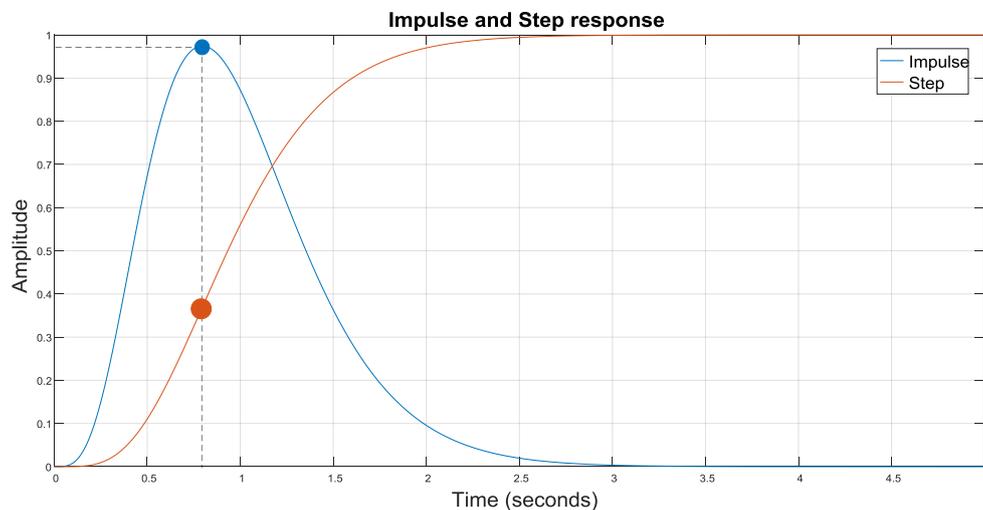
6.3. Identifikace systému v časové oblasti

Metody vstupující do softwaru (obr. 6.1) využívají k naladění regulátoru tři charakteristická čísla získaná z přechodové charakteristiky, nebo charakteristická čísla získaná aproximovaným přenosem prvního nebo druhého řádu. V tomto odstavci se budeme zabývat identifikací systému v časové oblasti.

Aby bylo možné získat tři charakteristická čísla a , D , T , musí být nejprve nalezen inflexní bod a následně sestrojena tečna procházející tímto bodem. Inflexní bod přechodové funkce je v místě, ve kterém má první derivace této funkce extrém. Jelikož první derivace přechodové funkce je impulsní funkce, lze ji k nalezení inflexního bodu použít. Lze tedy říci, že čas, ve kterém nabývá impulsní charakteristika svého maxima, je stejný jako čas, ve kterém se v přechodové charakteristice nachází inflexní bod. Obr. 6.4 znázorňuje určení hledaného bodu pro systém prvního řádu s dopravním zpožděním. Na obr. 6.5 je ukázka pro systém druhého nebo vyššího řádu.

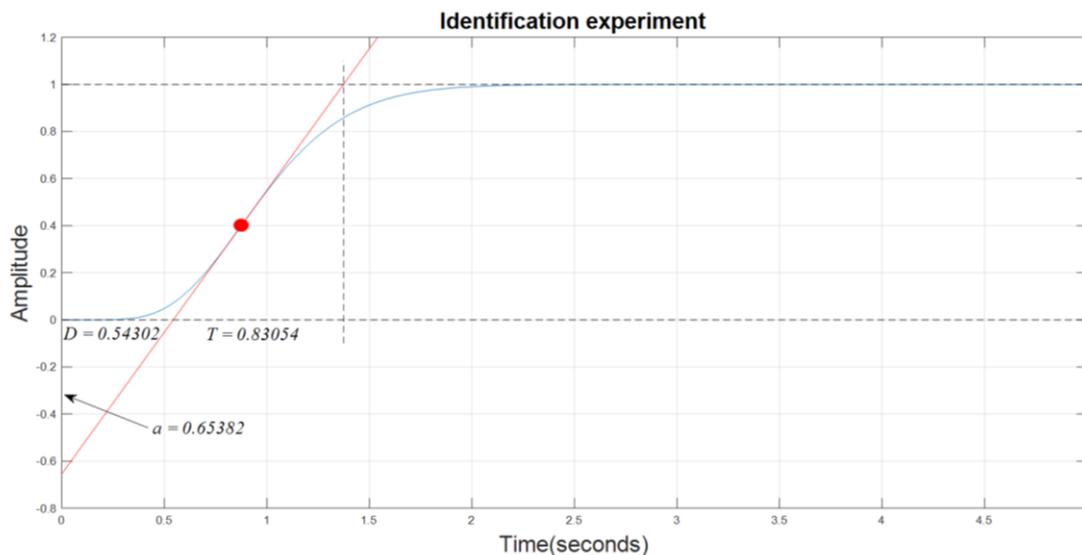


Obr. 6.4: Nalezení inflexního bodu pro systém prvního řádu s dopravním zpožděním



Obr. 6.5: Nalezení inflexního bodu pro systémy vyššího řádu

Číslo D (doba průtahu) se vypočte jako vzdálenost počátku souřadného systému od průsečíku tečny s osou x . Číslo a je vzdálenost počátku souřadného systému od průsečíku tečny s osou y . Pro výpočet posledního čísla již musíme použít pomocnou přímku, která je vedena hodnotou zesílení systému rovnoběžně s osou x . Doba náběhu T lze pak vypočítat, jako vzdálenost průsečíku tečny a pomocné přímky od osy y zmenšené o dobu průtahu D . Ukázka určení charakteristických čísel je na obr. 6.6.



Obr. 6.6: Zjištění charakteristických čísel z přechodové charakteristiky

6.4. Aproximace systému systémem prvního a druhého řádu

Některé metody (například metoda SIMC) nepracují s charakteristickými čísly získanými z přechodové charakteristiky, ale výpočty parametrů regulátoru vychází z přenosu systému prvního nebo druhého řádu s dopravním zpožděním. Pokud se systém nenachází v těchto řádech, je nutné provést aproximaci na požadovaný řád systému.

Obě skupiny systémů, jejichž výpočet je popsán výše, lze popsat pomocí následujícího vzorce

$$P(s) = \frac{1}{\prod_{i=1}^n (\tau_{i0}s + 1)} e^{-\theta_0 s}, \quad (6.4)$$

kde pro systémy prvního řádu je $n = 1$ a $\theta_0 > 0$ a pro systémy druhého a vyššího řádu je $n \geq 2$ a $\theta_0 = 0$. Systémy lze aproximovat pomocí Skogestadova pravidla, popsaného v [10]. Časové konstanty τ_i jsou seřazené tak, že τ_1 je největší a τ_n nejmenší konstanta.

Parametry modelu prvního řádu s dopravním zpožděním, lze získat podle následujících pravidel

$$\tau_1 = \tau_{10} + \frac{\tau_{20}}{2}, \quad \theta = \theta_0 + \frac{\tau_{20}}{2} + \sum_{i \geq 3} \tau_{i0}. \quad (6.5)$$

Model systému prvního řádu lze pak získat dosazením do přenosu

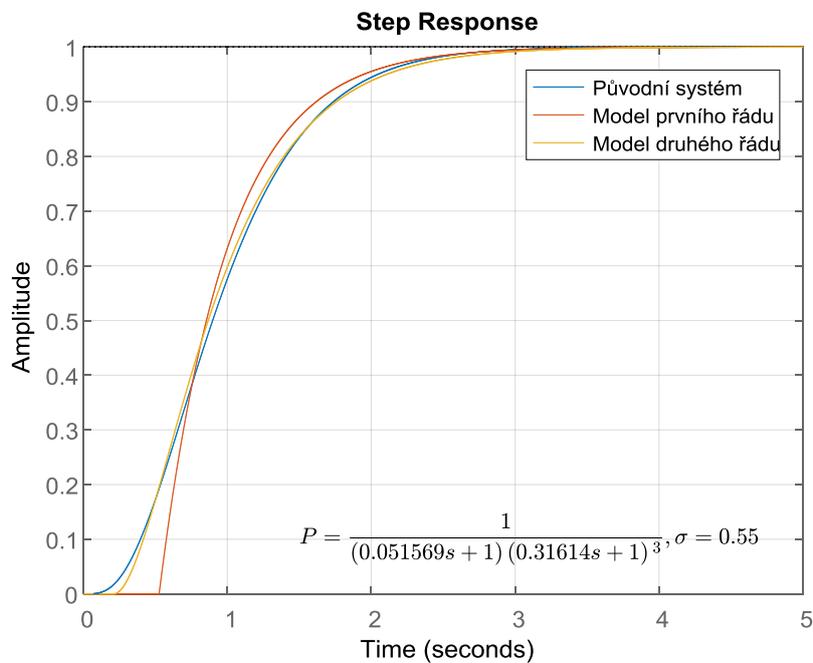
$$G(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)} e^{-\theta s}. \quad (6.6)$$

Parametry modelu druhého řádu s dopravním zpožděním lze získat ze vztahů:

$$\tau_1 = \tau_{10}, \quad \tau_2 = \tau_{20} + \frac{\tau_{30}}{2}, \quad \theta = \theta_0 + \frac{\tau_{30}}{2} + \sum_{i \geq 4} \tau_{i0}. \quad (6.7)$$

Vypočtené parametry se dosadí do přenosu druhého řádu

$$G(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} e^{-\theta s} \quad (6.8)$$



Obr. 6.7: Porovnání původního systému s aproximovanými

Na obr. 6.7 je znázorněna aproximace systému čtvrtého řádu modelem prvního a druhého řádu s dopravním zpožděním. Jak je vidět z grafu, druhý řád se téměř shoduje s původním systémem

6.5. Výpočet parametrů regulátoru

Parametry regulátoru lze vypočítat pro metody znázorněné na obr.6.1. Každou metodu reprezentuje jedna funkce, do které vstupují charakteristická čísla zjištěná z jednotkového přechodového experimentu nebo z modelu systému a typ regulátoru. Dále do ní mohou

vstupovat maximální hodnota citlivostní funkce M_s , maximální překmit regulačního pochodu, nebo nastavení filtru derivační složky regulátoru. Výstupem funkce jsou parametry K , T_i , T_d a přenos regulátoru. Přenos je počítán uvnitř každé funkce, protože některé metody pracují s paralelním, sériovým nebo dokonce 2DOF tvarem regulátoru. Obr. 6.8 znázorňuje výpočet PID regulátoru Cohenovo-Coonovo metodou.

```

1  function [R, K, Ti, Td] = Cohenova_Coonova_metoda( k, D, T, N, typ )
2  -   r = D/T;
3  -   switch (typ)
4  -       case 'P'
5  -           K = (1/(k*r))*(1 + r/3);
6  -           Ti = 0;
7  -           Td = 0;
8  -       case 'PI'
9  -           K = (1/(k*r))*(0.9 + r/12);
10 -          Ti = ((30 + 3*r)*D)/(9 + 20*r);
11 -          Td = 0;
12 -       case 'PID'
13 -          K = (1/(k*r))*(4/3 + r/4);
14 -          Ti = D*(32 + 6*r)/(13 + 8*r);
15 -          Td = 4*D/(11 + 2*r);
16 -   end
17 -   s = tf('s');
18 -   R = K*(1 + 1/(Ti*s) + Td*s/((Td*s)/N + 1));           %paralelní struktura
19 - end

```

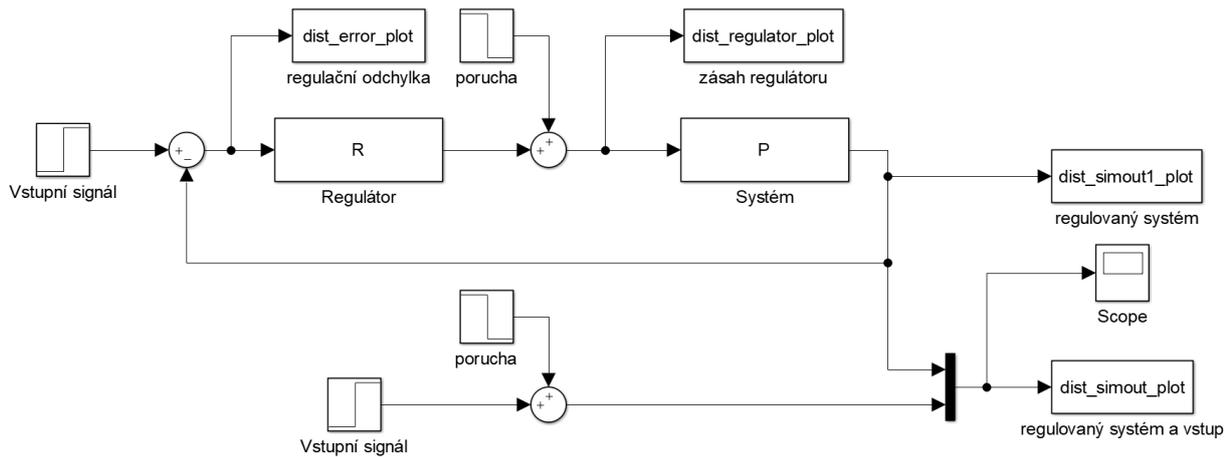
Obr. 6.8: Kód výpočtu regulátoru Cohenovo-Coonovo metodou

Protože ideální derivace příliš zesiluje vysokofrekvenční šумы, byly tvary regulátorů upraveny na PID regulátory s filtrovanou derivační složkou (obr. 6.8). Derivační složka paralelního regulátoru má potom přenos

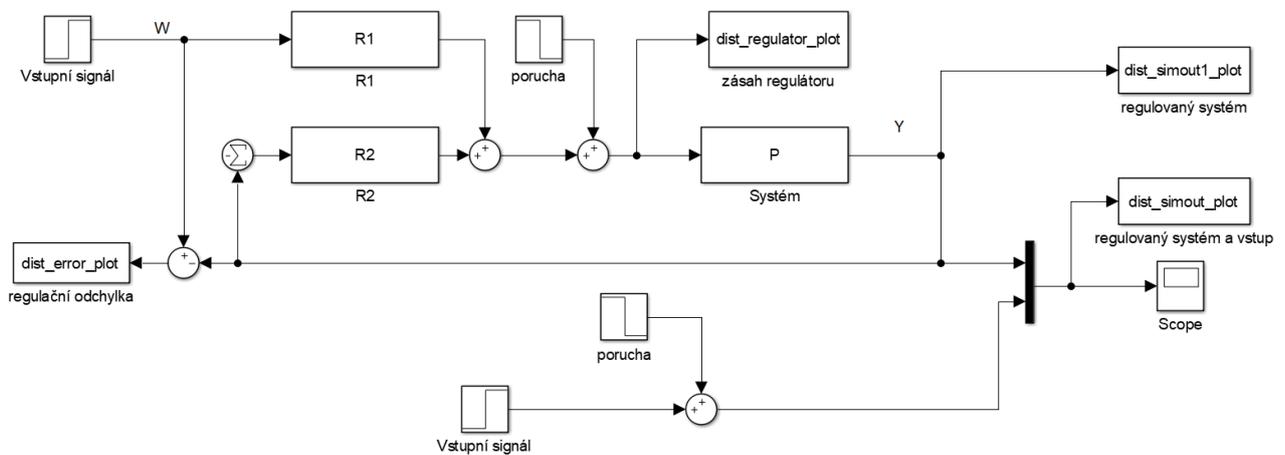
$$\frac{KT_d s}{\frac{T_d}{N} s + 1}, \quad (6.9)$$

kde N je parametr určující časovou konstantu T_d/N filtru. Hodnota parametru N byla zvolena 10, rozumný interval je $N \in \langle 3, 20 \rangle$. [1]

Přenos regulátoru je dále využíván k simulaci zobrazené na obr. 6.9. Ze simulace lze zjistit akční zásah regulátoru, průběh regulační odchylky a porovnání regulovaného systému a vstupního signálu s poruchou. Stejně charakteristiky lze získat i ze schématu pro 2DOF regulátor (obr. 6.10).



Obr. 6.9: Schéma simulace pro 1DOF regulátor



Obr. 6.10: Schéma simulace pro 2DOF regulátor

6.6. Kvalita regulace v časové oblasti

V časové oblasti lze charakterizovat kvalitu regulátoru pomocí maximálního relativního přeregulování, doby regulace a integrálních kritérií. Další vlastností, pomocí které je možné určit kvalitu regulátoru, je rychlost odregulování poruchy. U poruchy tedy budeme zkoumat maximální překmit, podkmit a dobu odregulování.

Z přechodové charakteristiky uzavřené smyčky systému lze pomocí funkce `stepinfo()` získat některé indexy kvality v časové oblasti. Zmíněná funkce má jako vstupní argument přenos uzavřeného regulačního obvodu (2.1). Výsledné hodnoty překmitu a doby ustálení regulace lze z funkce určit jako:

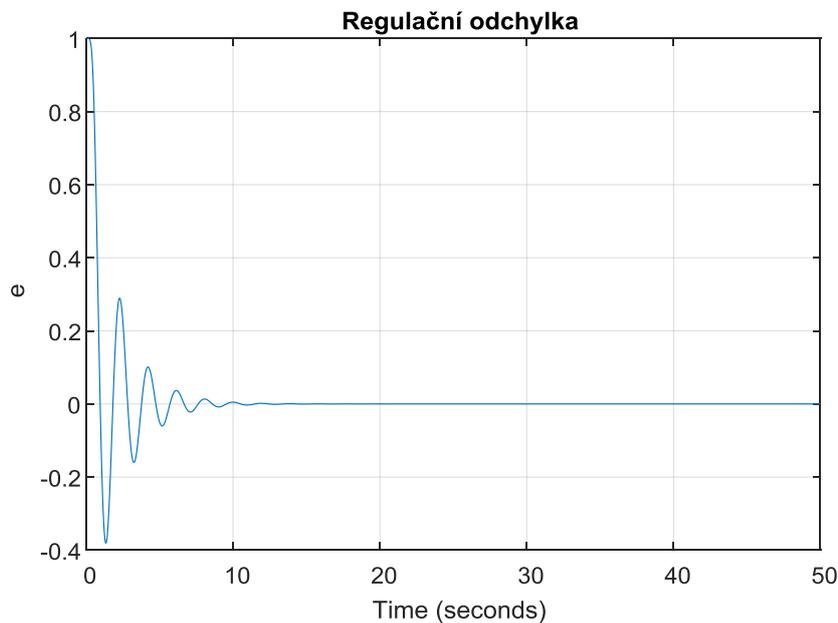
```
S = stepinfo(Fuz)
```

```
Překmit = S.SettlingMax
```

```
Doba regulace = S.SettlingTime.
```

Další charakteristikou časové oblasti jsou integrální kritéria. Protože máme pevně daný krok simulace 0.001 sekund, jedná se vlastně o diskrétní simulaci, a proto je nutné použít sumu namísto integrálu. Na obr. 6.11 je znázorněna regulační odchylka uzavřené smyčky regulátoru, navrženého metodou IMC, a systému s přenosem:

$$P(s) = \frac{1}{(0.0105s + 1)(0.1237s + 1)^8} \quad (6.10)$$



Obr. 6.11: Regulační odchylka uzavřené regulační smyčky

Pro určování kvality regulace byla zvolena základní kritéria IAE, ISE a ITAE. Kritéria má smysl počítat pouze do doby ustálení regulace, která byla zjištěna z funkce stepinfo(), protože pak je již regulační odchylka rovna nule. Vzorci a výsledky integrálních kritérií pro tento případ jsou:

$$\begin{aligned} IAE &= \sum_0^n |e(t)| = 1.3352, \\ ISE &= \sum_0^n [e(t)]^2 = 0.7201, \\ ITAE &= \sum_0^n t \cdot [e(t)] = 0.0013, \end{aligned} \quad (6.11)$$

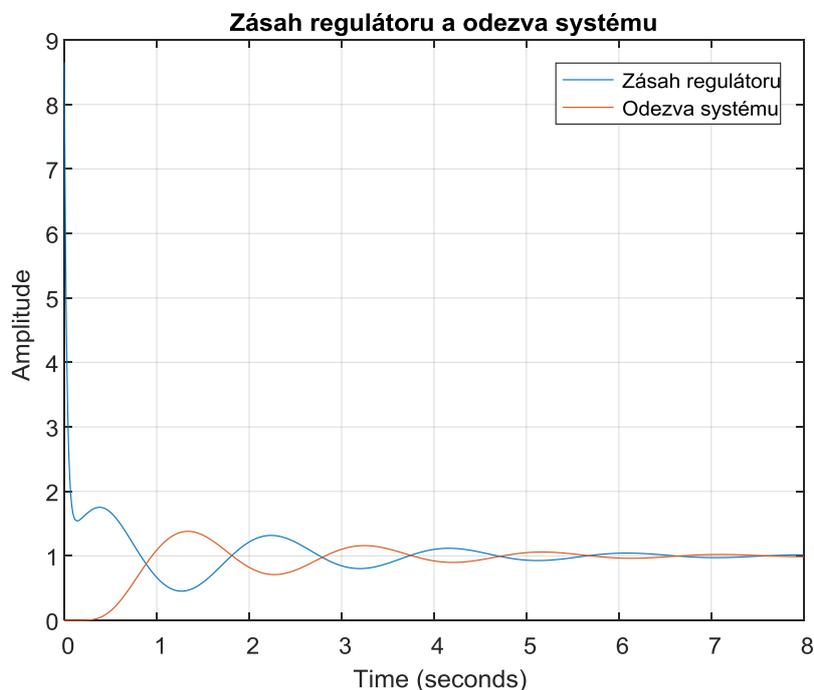
kde n je počet vzorků simulace do doby ustálení regulační odchylky.

Do kvality regulace v časové oblasti jde také zařadit akční zásah regulátoru. O tomto zásahu lze říci, že je největší při změně požadované veličiny. Jak je možné vidět z obr. 6.12, regulátor vždy provádí inverzní zásah vůči odezvě systému.

Z akčního zásahu regulátoru lze vypočítat jeho energii. Pro náš diskretní případ opět nahradíme integrál sumou, takže vzorec na výpočet energie regulátoru je

$$E = \sum_0^n u^2(t), \quad (6.12)$$

kde n je počet vzorků simulace do doby ustálení regulačního procesu na hodnotě 1. Výsledná hodnota energie pro systém (6.10) s regulátorem navrženým metodou IMC $E = 9.3584$.



Obr. 6.12: Porovnání akčního zásahu regulátoru s odezvou systému

Stejně jako u odezvy uzavřené smyčky lze i u zásahu regulátoru zjistit překmit.

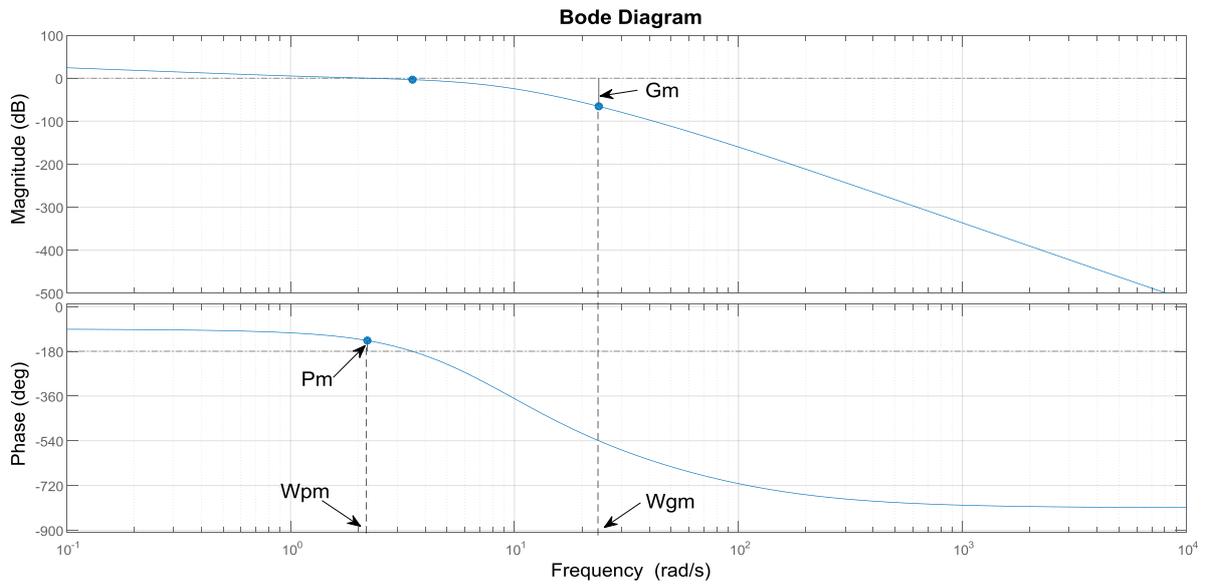
6.7. Kvalita regulace ve frekvenční oblasti

Ve frekvenční oblasti lze sledovat robustnost ve stabilitě a citlivostní funkce. Bezpečnost v zesílení (G_m) a ve fázi (P_m) a frekvence (W_{gm} a W_{pm}), při kterých nabývají svých hodnot, se dají určit příkazem

$$[G_m, P_m, W_{gm}, W_{pm}] = \text{margin}(F_0),$$

kde F_0 je přenos otevřeného regulačního obvodu (2.2). Na obr. 6.13, 6.14 a 6.15 jsou vykreslené frekvenční charakteristiky pro různé systémy tak, aby bylo možné názorně ukázat

odečtení vypočtených údajů z grafů. Na obr. 6.13 je vyznačeno odečtení G_m , P_m , W_{gm} , W_{pm} z Bodeho charakteristiky.



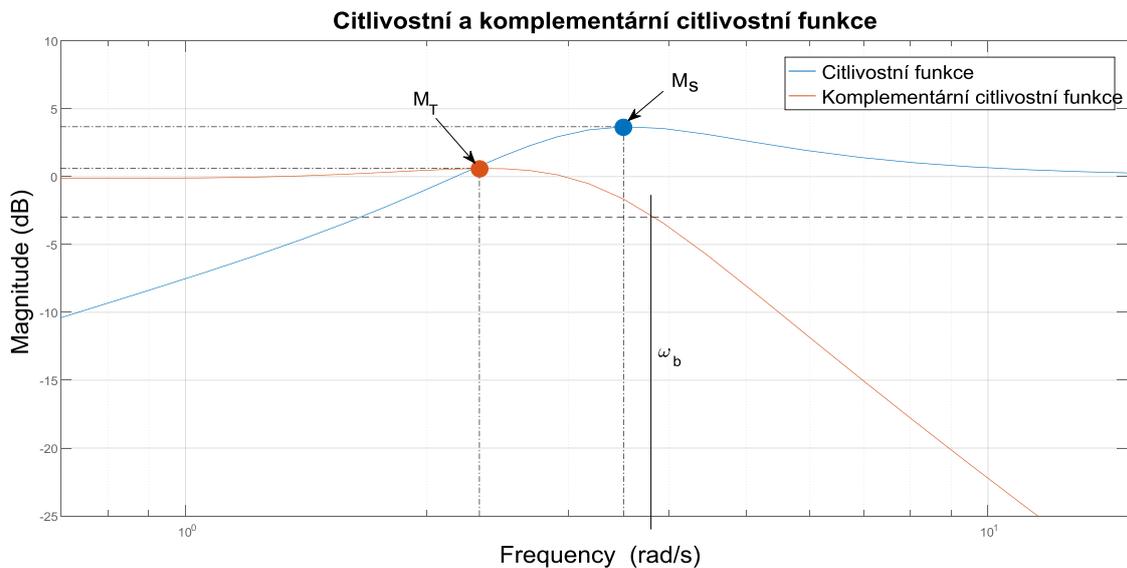
Obr. 6.13: Odečtení charakteristických čísel z Bodeho charakteristiky

Další charakteristická čísla M_S , M_T a ω_b lze získat z citlivostní a komplementární citlivostní funkce znázorněné na obr. 6.14. Maximální hodnotu M_S citlivostní funkce zjistíme pomocí příkazů

$$[\text{mag}, \text{phase}, \text{wout}] = \text{bode}(S_0)$$

$$M_s = \max(\text{squeeze}(\text{mag}))$$

kde S_0 je přenos citlivostní funkce (5.9). Analogicky lze pak s přenosem komplementární citlivostní funkce (5.11) získat hodnotu M_T .



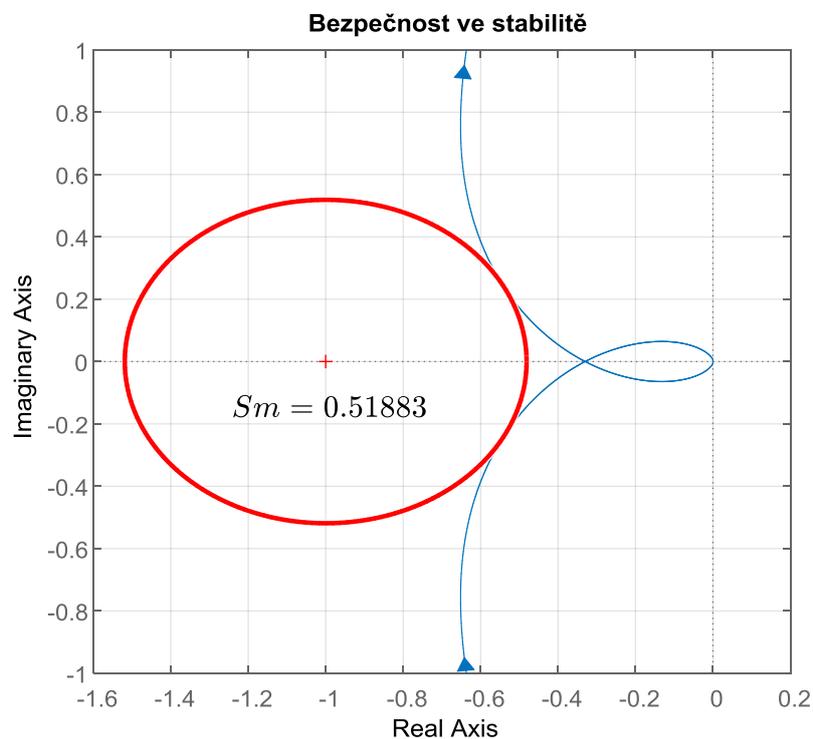
Obr. 6.14: Odečtení charakteristických čísel z citlivostních funkcí

Šířku pásma ω_b získáme použitím příkazu `bandwidth()`

$$\omega_b = \text{bandwidth}(T_0),$$

kde T_0 je přenos komplementární citlivostní funkce (5.11). Komplementární citlivostní funkci vypočtenou ze systémů prvního řádu s dopravním zpožděním nelze do funkce dosadit, proto byla provedena aproximace systému systémem 50. řádu bez dopravního zpoždění, který má podobný průběh jako původní systém.

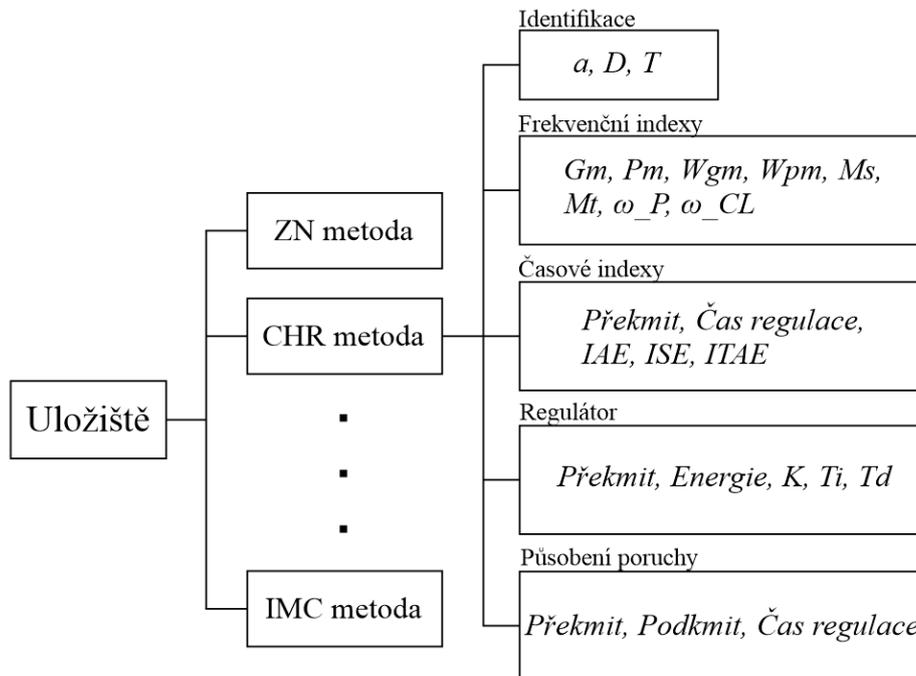
Pomocí maximální hodnoty M_S citlivostní funkce lze získat bezpečnost ve stabilitě S_m (5.7). Bezpečnost ve stabilitě je znázorněna pomocí kružnice na obr. 6.15.



Obr. 6.15: Zobrazení bezpečnosti ve stabilitě

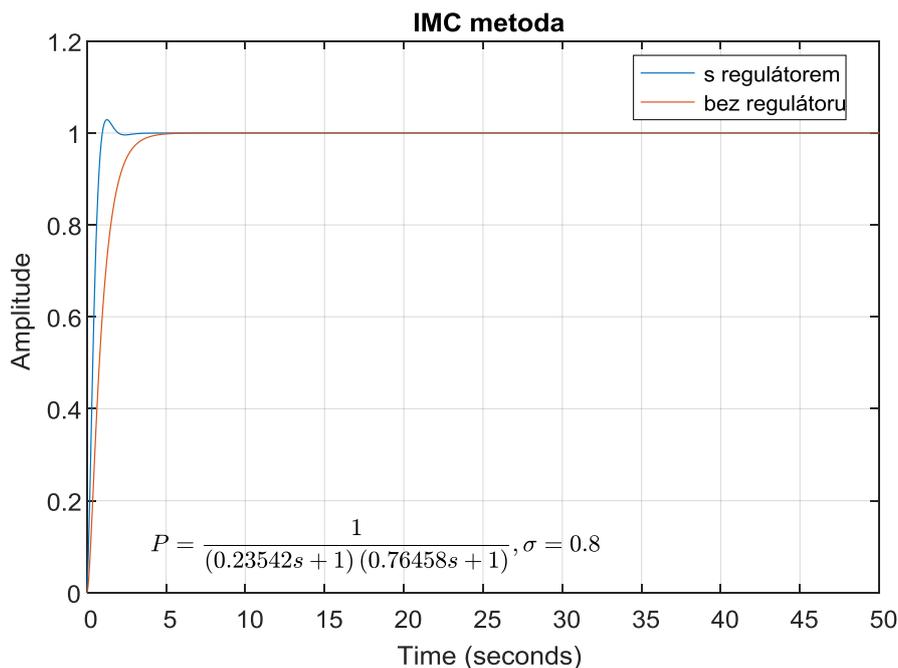
6.8. Uložení a vykreslení výsledků

Všechny charakteristiky systémů popsané výše, jsou následně uloženy do tabulek (uložiště). Uložiště je datového typu `cell array` s indexovanými datovými kontejnery nazývanými buňky, které mohou obsahovat data různých typů a velikostí [13]. Struktura uložení je zobrazena na obr. 6.16. Sloupec s názvy metod je vytvořen automaticky podle naimportovaných metod ze souboru `methods.txt`. Pro každý systém byl všemi metodami navržen regulátor. Pro každý takovýto regulátor a systém je následně vypočtena tabulka s charakteristickými čísly (sloupec vpravo). Výsledky simulací jsou následně vyexportovány do excelovského souboru a mohou být použity později k dalšímu zpracování.



Obrázek 6.16: Struktura ukládání dat

V průběhu popisování softwaru byly prezentovány grafy s výsledky regulace. Poslední graf, který zatím nebyl ukázán, je porovnání regulovaného a neregulovaného systému. V mnoha případech dosahuje regulovaný systém horších výsledků než neregulovaný, uzavřený obvod může mít třeba delší kmitavý náběh, nebo být dokonce nestabilní. Některým systémům však může regulátor pomoci například k rychlejší odezvě na změnu požadované veličiny. Jeden příklad takového zlepšení je vidět na obr. 6.17, kde byl PID regulátor nastaven pomocí IMC metody.



Obr. 6.17: Porovnání regulovaného a neregulovaného systému

7. Zhodnocení výsledků

Jak již bylo zmíněno dříve, obě skupiny extrémálních procesů jsou generovány pomocí charakteristických čísel κ, μ a σ , kde první dva parametry jsou pro všechny systémy stejné a proměnný parametr je pouze σ . Než se pustíme k samotnému zhodnocení výsledků v časové a frekvenční oblasti, budeme se nejdříve zabývat vlivem charakteristického čísla σ na robustnost metody nastavování regulátorů. Robustnost metody můžeme popsat pomocí časových a frekvenčních indexů definovaných v kapitole Kvalita regulace výše.

Generované systémy lze rozdělit podle normalizovaného zpoždění τ (2.3) na dvě skupiny dobře a špatně regulovaných systémů v závislosti na parametru σ (tabulka 7.1). Parametry D a T , potřebné k výpočtu, zjistíme z přechodového experimentu (obr. 2.1a).

σ	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
Skupina S1	Špatně regulovatelné systémy					Dobře regulovatelné systémy							
Skupina S2	Dobře regulovatelné systémy												

Tabulka 7.1: Rozdělení systémů na dobře a špatně regulovatelné v závislosti na parametru σ

Z tabulky 7.1 lze usoudit, že většina vygenerovaných systémů by měla být dobře regulovatelná. V tabulkách B.1 až B.4 v příloze B lze zjistit, že většina metod nastavuje regulátor správně (zelená barva) pro σ z rozmezí 0.50 až 0.80.

7.1. Časová oblast

K vyhodnocení kvality regulace použijeme nejprve časovou oblast, kde je možné výsledky snadno ohodnotit a shrnout do tabulek. Zajímavý je maximální relativní překmit a doba dosažení ustáleného stavu (přesněji 2 procentního pásu kolem ustálené hodnoty). Výsledky regulace jsou názorně shrnuty do tabulek B.1 a B.2 v příloze B. Chování metody je v tabulce označeno za uspokojivé, jestliže maximální překmit je 20% a doba ustálení je do 4 sekund. [6]

Výsledky časového testování jsou pro obě skupiny S_1 a S_2 zpracovány zvlášť, ale vyhodnocení metod je provedeno pro obě skupiny dohromady. Stanovíme tři kategorie kvality regulace, do kterých pak metody rozřadíme: dobře regulující, špatně regulující a dobře regulující jen jednu skupinu nebo polovinu systémů z každé skupiny.

- Reguluje-li metoda systémy z S_1 a S_2 tak, aby časové charakteristiky spadaly do stanovených mezí, nebo max. $\frac{1}{4}$ systémů byla mimo mez, jedná se o dobře regulující metodu. Do této kategorie patří metody: CHR-SP 0%, IAE-SP, ISE-SP, SIMC

(aproximace prvním řádem), Aströмова-Hägglundova $M_s = 1,4$, Aströмова-Hägglundova $M_s = 2,0$, Metoda množinového modelu $M_s = 1,6$ PI a PID, IMC.

- Opačný případ špatné regulace, kdy se časové charakteristiky vymykaly stanoveným mezím pro většinu systémů, nastal pro metody: Zieglerova-Nicholsova, Coohenova-Coonova, CHR-LD 0%, CHR-LD 20%, ITAE-SP, ISE-LD, IAE-LD, ITAE-LD, Metoda množinového modelu $M_s = 2,0$ PI a PID.
- Ostatní metody patří do poslední kategorie. Tyto metody regulují (podle stanovených limitů) pouze polovinu systémů z obou skupin. Jedná se o metody: CHR-SP 20%

7.2. Frekvenční oblast

Kvalitu regulace ve frekvenční oblasti budeme posuzovat podle robustnosti ve stabilitě. Robustnost ve stabilitě je definována třemi parametry charakterizujícími bezpečnost v zesílení $1/K_0$ (5.4), bezpečnost ve fázi γ (5.5) a bezpečnost ve stabilitě s_m (5.7). Obvyklá doporučení pro nastavení robustnosti jsou:

$$\frac{1}{K_0} > 2, \quad \gamma > 40^\circ, \quad s_m > 0,5. \quad (7.1)$$

Výsledky regulace ve frekvenční oblasti jsou shrnuty do tabulek B.3 a B.4 v příloze B. Chování metody je v tabulce označeno za uspokojivé, pokud jsou hodnoty bezpečností podle doporučeného nastavení (7.1). Tři kategorie rozřazení budou stejné jako v časové oblasti výše.

- Dobře regulující metody: CHR-SP 0%, Aströмова-Hägglundova $M_s = 1,4$, IAE-SP, ISE-SP, ISE-LD, SIMC (aproximace prvním řádem), Metoda množinového modelu $M_s = 1,6$ PI a PID, IMC.
- Špatně regulující metody: Zieglerova-Nicholsova, Coohenova-Coonova, CHR-SP 20%, CHR-LD 0%, CHR-LD 20%, ITAE-SP, IAE-LD, ITAE-LD, Metoda množinového modelu $M_s = 2,0$ PID.
- Metody regulující (podle stanovených limitů) pouze polovinu systémů: Aströмова-Hägglundova $M_s = 2,0$, Metoda množinového modelu $M_s = 2,0$ PI.

Po porovnání časového a frekvenčního rozřazení lze říci, že metody, které mají uspokojivé chování v časové oblasti, nemusí dosahovat uspokojivých výsledků v oblasti frekvenční. Toto tvrzení platí i obráceně.

8. Závěr

Tato práce se věnovala metodám nastavování PID regulátorů. První kapitoly byly věnovány úvodu do regulace, metodám nastavování regulátorů v časové a frekvenční oblasti, možnostem jejich otestování a kvalitě regulace v časové a frekvenční oblasti.

Další kapitola se věnovala popisu softwarového modulu, který otestoval 21 časových metod nastavování regulátorů na 26-ti vygenerovaných systémech. Pro každou testovanou metodu byla vygenerována tabulka (příloha C) se všemi indexy kvality popsány v této práci.

V poslední kapitole byly zhodnoceny výsledky kvality regulace zvlášť pro časovou a zvlášť pro frekvenční oblast. Výsledky jasně ukazují, pro kterou oblast dosahuje daná metoda uspokojivých výsledků a pro kterou nikoliv.

V další práci je možné se věnovat testování frekvenčních metod a exaktnímu otestování metod v obou oblastech.

Literatura

- [1] SCHLEGEL, M.; Průmyslové PID regulátory: Teorie pro praxi. Fakulta aplikovaných věd ZČU v Plzni, Katedra kybernetiky, Pragoregula 2001.
- [2] SCHLEGEL, M.; ČECH, M. Internet PID controller design: www.pidlab.com. In IBCE '04 Grenoble: ENSIEG , 2004. s. 1-6.
- [3] NAVRÁTIL, P.; Automatizace – Vybrané statě. Univerzita Tomáše Baťa ve Zlíně, Zlín 2011. <http://uloz.to/x4wQF6v/pavel-navratil-automatizace-pdf>.
- [4] BALÁTĚ, J.; Automatické řízení. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 663 s. ISBN 80-7300-020-2.
- [5] MELICHAR, J.; GOUBEJ, M.; Lineární systémy 1 (Učební text), Katedra kybernetiky, Fakulta aplikovaných věd ZČU v Plzni, Plzeň 2016.
- [6] ČECH, M.; Návrh robustních regulátorů s omezenou strukturou pro systémy neceločíselného řádu, Disertační práce, Katedra kybernetiky, Fakulta aplikovaných věd ZČU v Plzni, Plzeň 2008.
- [7] VÍTEČKOVÁ, M.; VÍTEČEK, A.; Vybrané metody seřizování regulátorů, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ostrava 2011, 230s, ISBN 978-80-248-2503-8.
- [8] ČECH, Z.; Metody seřizování PID regulátorů, Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Pardubice 2015.
- [9] ČECH, M.; KÖNIGSMARKOVÁ, J.; Robust PID tuning rules for a class of fractional-order processes, University of West Bohemia, NTIS, Pilsen 2018
- [10] SKOGESTAD, S.; Probably the best PID tuning rules in the world, Norwegian University of Science and Technology, Department of Chemical Engineering, July 2001.
- [11] MELICHAR, J.; GOUBEJ, M.; Lineární systémy 2 (Učební text), Katedra kybernetiky, Fakulta aplikovaných věd ZČU v Plzni, Plzeň 2017.
- [12] BUCHTA, L.; Výkonnost, robustnost a implementace regulátorů pro průmyslové řízení, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2012.
- [13] Matlab – cell arrays; <https://www.mathworks.com/help/matlab/cell-arrays.html>.
- [14] OMELKA, V.; Návrh regulátorů pro regulované soustavy s velkými časovými konstantami, Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2011.

Příloha A

Vygenerované testovací systémy

σ	Extremální systémy S_1	Extremální systémy S_2
0.35	$\frac{1}{0,35s + 1} e^{-0,65s}$	$\frac{1}{(0,0105s + 1)(0,1237s + 1)^8}$
0.40	$\frac{1}{0,40s + 1} e^{-0,60s}$	$\frac{1}{(0,0216s + 1)(0,1631s + 1)^6}$
0.45	$\frac{1}{0,45s + 1} e^{-0,55s}$	$\frac{1}{(0,1553s + 1)(0,2112s + 1)^4}$
0.50	$\frac{1}{0,50s + 1} e^{-0,50s}$	$\frac{1}{(0,2500s + 1)^4}$
0.55	$\frac{1}{0,55s + 1} e^{-0,45s}$	$\frac{1}{(0,0516s + 1)(0,3161s + 1)^3}$
0.60	$\frac{1}{0,60s + 1} e^{-0,40s}$	$\frac{1}{(0,2000s + 1)(0,4000s + 1)^2}$
0.65	$\frac{1}{0,65s + 1} e^{-0,35s}$	$\frac{1}{(0,0895s + 1)(0,4552s + 1)^2}$
0.70	$\frac{1}{0,70s + 1} e^{-0,30s}$	$\frac{1}{(0,0102s + 1)(0,4949s + 1)^2}$
0.75	$\frac{1}{0,75s + 1} e^{-0,25s}$	$\frac{1}{(0,3232s + 1)(0,6768s + 1)}$
0.80	$\frac{1}{0,80s + 1} e^{-0,20s}$	$\frac{1}{(0,2354s + 1)(0,7646s + 1)}$
0.85	$\frac{1}{0,85s + 1} e^{-0,15s}$	$\frac{1}{(0,1665s + 1)(0,8335s + 1)}$
0.90	$\frac{1}{0,90s + 1} e^{-0,10s}$	$\frac{1}{(0,1063s + 1)(0,8937s + 1)}$
0.95	$\frac{1}{0,95s + 1} e^{-0,05s}$	$\frac{1}{(0,0514s + 1)(0,9486s + 1)}$

Tabulka A.1: Testovací systémy

Příloha B

Hodnocené výsledky testování metod nastavení PID regulátorů

Metody σ	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
Z-N	0,00 8,95	0,00 6,99	0,09 5,54	0,21 4,07	0,33 4,15	0,44 3,82	0,54 3,43	0,64 2,99	0,73 2,52	0,82 2,06	0,90 1,58	0,97 1,07	1,04 0,54
A-H Ms = 1.4	0,00 4,65	0,00 4,68	0,00 4,35	0,00 3,82	0,01 3,18	0,02 2,58	0,03 3,56	0,03 3,16	0,03 2,61	0,04 2,06	↗	↗	↗
A-H Ms = 2.0	0,01 2,21	0,01 2,39	0,01 2,36	0,02 2,20	0,02 3,03	0,03 2,87	0,04 2,53	0,04 1,92	0,11 3,91	↗	↗	↗	↗
CHR-SP 0%	0,08 4,63	0,07 4,44	0,06 4,22	0,05 3,98	0,05 3,70	0,04 3,39	0,03 3,02	0,03 2,57	0,02 1,15	0,01 0,95	0,01 0,73	0,00 0,51	0,00 0,25
CHR-SP 20%	0,05 4,11	0,04 3,80	0,03 3,43	0,03 2,07	0,07 1,78	0,12 2,40	0,16 2,18	0,20 1,97	0,24 1,68	0,27 1,79	0,31 1,39	0,34 0,93	0,37 0,34
CHR-LD 0%	0,00 13,77	0,00 10,44	0,00 7,89	0,00 5,87	0,00 4,21	0,07 2,71	0,14 1,42	0,21 1,69	0,28 1,58	0,34 1,31	0,40 0,98	0,46 0,64	0,52 0,45
CHR-LD 20%	0,00 9,01	0,00 6,67	0,06 4,76	0,18 4,10	0,29 2,78	0,39 2,96	0,49 2,69	0,58 2,35	0,66 1,97	0,74 1,40	0,82 1,10	0,89 0,75	0,95 0,38
C-C	0,24 5,44	0,34 5,17	0,43 4,86	0,51 4,54	0,59 4,69	0,66 4,30	0,73 3,86	0,80 3,39	0,86 2,88	0,91 2,34	0,96 1,79	1,01 1,21	1,06 0,61
IAE-SP	0,05 2,84	0,03 2,48	0,02 2,23	0,01 2,01	0,00 1,81	0,00 1,61	0,00 1,42	0,00 1,22	0,00 1,02	0,01 0,82	0,02 0,61	0,03 0,40	0,06 0,15
ITAE-SP	0,79 10,19	0,73 7,64	0,62 5,51	0,57 4,31	0,50 3,79	0,45 2,86	0,39 2,40	0,32 1,74	0,26 1,42	0,19 0,90	0,11 0,66	0,05 0,41	0,00 0,21
ISE-SP	0,00 4,01	0,00 3,14	0,00 2,52	0,05 2,23	0,08 1,95	0,11 1,68	0,13 1,44	0,16 1,52	0,18 1,28	0,21 1,03	0,23 0,92	0,29 0,76	0,34 0,49
IAE-LD	0,12 5,34	0,25 5,02	0,33 4,75	0,43 4,45	0,50 4,09	0,57 3,29	0,62 2,94	0,65 2,23	0,67 1,90	0,67 1,47	0,70 1,12	0,72 1,05	0,70 0,62
ITAE-LD	0,00 4,28	0,06 3,65	0,16 2,72	0,25 2,73	0,34 2,58	0,42 2,35	0,49 2,10	0,55 1,83	0,61 1,55	0,65 1,25	0,70 0,94	0,73 0,78	0,74 0,39
ISE-LD	0,00 45,83	0,00 35,12	0,00 26,89	0,00 20,34	0,00 15,09	0,00 10,82	0,00 7,24	0,00 4,24	0,04 4,81	0,11 3,94	0,21 4,35	0,33 4,00	0,48 2,74
IMC	0,42 4,45	0,36 4,05	0,31 3,05	0,24 2,70	0,17 1,94	0,09 1,72	0,00 1,53	0,00 1,38	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,34	0,00 1,32	0,00 1,31
SIMC 1. řád	0,04 3,94	0,04 3,63	0,04 3,33	0,04 3,03	0,04 2,73	0,04 2,42	0,04 2,12	0,04 1,82	0,04 1,81	0,04 1,21	0,04 0,91	0,06 0,74	0,17 0,88
SIMC 2. řád	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MMM 1.6 PI	0,07 3,72	0,08 3,60	0,09 3,45	0,09 3,29	0,09 3,14	0,09 3,00	0,09 2,87	0,11 2,71	0,14 2,46	0,19 2,07	0,26 2,20	0,33 1,59	0,33 0,91
MMM 1.6 PID	0,00 2,10	0,01 1,77	0,03 2,73	0,05 2,77	0,06 2,68	0,08 2,54	0,11 2,35	0,15 2,09	0,20 2,45	0,27 2,16	0,35 1,63	0,43 1,43	0,39 0,81
MMM 2.0 PI	0,18 4,42	0,22 4,33	0,25 4,20	0,27 4,03	0,28 3,84	0,28 3,64	0,27 3,39	0,26 3,10	0,27 2,76	0,31 2,34	0,38 1,82	0,48 1,21	0,50 0,67
MMM 2.0 PID	0,25 3,79	0,27 3,53	0,29 3,22	0,31 2,85	0,33 2,34	0,35 1,65	0,38 1,73	0,39 2,09	0,41 1,98	0,49 1,67	0,61 1,64	0,74 1,31	0,64 0,61

Tabulka B.1: Výsledky testování v časové oblasti pro extrémní modely S_1

Metody σ	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
Z-N	↗ 48,45	0,63 48,45	0,62 13,32	0,59 7,29	0,57 4,89	0,54 4,00	0,52 3,04	0,46 2,26	0,44 1,99	0,44 1,72	0,44 1,40	0,43 1,03	0,42 0,48
A-H Ms = 1.4	0,03 2,65	0,05 2,57	0,08 2,38	0,10 2,79	0,08 2,41	0,05 2,02	0,00 0,84	0,00 1,25	0,00 1,11	0,00 0,98	0,00 0,85	0,00 0,67	0,00 0,43
A-H Ms = 2.0	0,18 5,95	0,19 5,74	0,20 6,13	0,18 6,11	0,13 3,92	0,06 2,59	0,00 1,30	0,00 0,92	0,00 0,78	0,00 0,68	0,00 0,57	0,00 0,44	0,00 0,26
CHR-SP 0%	0,02 3,96	0,04 3,94	0,07 3,88	0,09 3,72	0,10 2,50	0,11 2,38	0,10 2,23	0,11 1,96	0,10 1,72	0,09 1,45	0,08 1,13	0,07 0,48	0,05 0,28
CHR-SP 20%	0,32 12,26	0,32 8,86	0,30 6,42	0,27 4,82	0,24 4,29	0,21 3,17	0,18 2,91	0,14 2,44	0,13 2,06	0,12 1,31	0,11 1,00	0,10 0,68	0,08 0,21
CHR-LD 0%	0,28 10,88	0,36 8,46	0,41 6,76	0,44 5,15	0,46 4,16	0,47 3,90	0,48 2,91	0,46 2,51	0,45 2,22	0,45 1,91	0,44 1,56	0,44 1,13	0,43 0,54
CHR-LD 20%	↗ 33,72	0,64 33,72	0,65 16,19	0,64 9,86	0,63 6,53	0,60 5,41	0,58 3,72	0,51 2,70	0,49 2,37	0,49 2,04	0,48 1,63	0,47 1,03	0,46 0,59
C-C	↗	↗	↗	0,76 33,23	0,72 11,48	0,64 6,39	0,61 3,97	0,49 2,47	0,47 1,84	0,46 1,58	0,45 1,28	0,44 0,92	0,42 0,44
IAE-SP	0,16 3,78	0,17 3,71	0,18 3,62	0,19 3,49	0,19 2,65	0,19 2,48	0,18 2,24	0,17 1,94	0,16 1,69	0,15 1,40	0,13 1,05	0,11 0,53	0,09 0,28
ITAE-SP	0,64 17,60	0,55 10,77	0,46 7,71	0,39 5,70	0,33 3,90	0,28 2,89	0,24 2,02	0,19 1,83	0,17 1,63	0,15 1,38	0,13 1,05	0,10 0,55	0,06 0,32
ISE-SP	0,15 4,52	0,19 4,39	0,21 4,20	0,21 3,24	0,20 2,42	0,18 2,26	0,16 2,03	0,15 1,78	0,13 1,50	0,12 0,87	0,09 0,71	0,07 0,51	0,03 0,26
IAE-LD	0,42 10,20	0,50 9,31	0,56 8,51	0,60 8,46	0,63 8,09	0,65 8,39	0,66 7,47	0,64 6,94	0,63 6,08	0,63 4,83	0,62 3,60	0,61 2,40	0,60 1,24
ITAE-LD	0,35 6,36	0,47 7,29	0,55 8,17	0,61 8,87	0,63 9,03	0,64 8,35	0,62 6,01	0,57 4,42	0,55 3,78	0,53 2,86	0,51 1,98	0,48 1,19	0,42 0,52
ISE-LD	0,00 22,58	0,00 15,88	0,00 10,84	0,00 6,86	0,00 3,79	0,06 4,14	0,16 5,04	0,34 5,64	0,39 6,24	0,43 5,57	0,47 5,57	0,52 4,32	0,58 3,05
IMC	0,39 7,25	0,31 5,34	0,24 4,39	0,19 3,39	0,14 2,73	0,11 2,71	0,07 2,64	0,06 2,60	0,04 2,27	0,01 0,87	0,00 0,97	0,00 1,17	0,00 1,27
SIMC 1. řád	0,04 5,31	0,05 5,03	0,05 4,64	0,05 4,36	0,05 3,73	0,07 2,92	0,09 2,47	0,09 2,21	0,14 2,38	0,16 1,83	0,23 1,31	0,31 1,14	0,39 0,62
SIMC 2. řád	0,05 4,63	0,06 4,10	0,07 3,38	0,08 2,83	0,15 2,55	0,26 2,05	0,50 1,74	↗	-	-	-	-	-
MMM 1.6 PI	0,08 3,76	0,10 3,67	0,11 3,56	0,11 3,44	0,11 3,33	0,12 3,21	0,12 3,08	0,13 2,94	0,16 3,53	0,20 3,15	0,26 2,53	0,32 1,75	0,33 1,00
MMM 1.6 PID	0,01 1,91	0,04 2,79	0,07 2,87	0,10 2,84	0,12 2,76	0,14 2,63	0,16 3,47	0,19 3,44	0,23 3,03	0,28 2,48	0,34 2,48	0,39 1,68	0,38 0,94
MMM 2.0 PI	0,20 4,68	0,23 4,64	0,26 5,69	0,27 5,69	0,27 5,51	0,26 5,20	0,25 4,00	0,24 3,82	0,25 3,38	0,28 2,82	0,33 2,15	0,39 1,82	0,42 0,96
MMM 2.0 PID	0,26 4,08	0,27 4,93	0,28 4,79	0,28 4,58	0,26 3,43	0,25 3,26	0,24 3,08	0,25 2,94	0,28 3,24	0,33 2,77	0,39 2,51	0,45 1,73	0,43 0,91

Tabulka B.2: Výsledky testování v časové oblasti pro extrémní modely S_2

Metody σ	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
Z-N	1,65 98,08 0,39	1,57 96,17 0,36	1,51 91,53 0,34	1,46 83,70 0,32	1,43 74,23 0,30	1,40 65,21 0,28	1,38 57,56 0,27	1,36 51,26 0,26	1,35 46,07 0,26	1,34 41,75 0,25	1,33 38,06 0,24	1,32 34,94 0,24	1,31 32,25 0,23
A-H Ms = 1.4	5,47 71,28 0,76	6,09 72,18 0,78	6,49 72,49 0,79	6,38 72,35 0,80	5,65 71,67 0,81	4,60 70,48 0,78	3,53 69,22 0,72	2,61 68,48 0,62	1,87 68,59 0,47	1,31 65,05 0,24	↗	↗	↗
A-H Ms = 2.0	2,68 61,33 0,60	2,86 62,49 0,63	2,92 63,14 0,64	2,64 62,23 0,63	2,62 60,24 0,61	2,30 57,46 0,56	1,91 54,33 0,47	1,51 50,14 0,33	1,13 33,68	↗	↗	↗	↗
CHR-SP 0%	3,44 59,78 0,71	3,39 60,81 0,71	3,36 62,00 0,70	3,16 63,37 0,68	3,00 64,92 0,67	2,87 66,62 0,65	2,77 68,42 0,64	2,69 70,17 0,63	2,63 71,64 0,62	2,57 72,59 0,61	2,52 72,89 0,60	2,48 72,89 0,59	2,45 71,93 0,59
CHR-SP 20%	2,27 64,27 0,56	2,24 66,68 0,55	2,10 69,08 0,52	1,99 71,26 0,50	1,90 72,81 0,47	1,83 73,18 0,45	1,77 72,02 0,43	1,73 69,64 0,42	1,69 66,64 0,41	1,66 63,63 0,39	1,64 60,77 0,38	1,61 58,24 0,38	1,60 56,00 0,37
CHR-LD 0%	2,32 100,12 0,57	2,19 99,94 0,54	2,10 97,90 0,52	2,03 92,89 0,51	1,97 84,88 0,49	1,93 75,78 0,48	1,89 67,30 0,47	1,86 59,97 0,46	1,84 53,73 0,45	1,81 48,41 0,44	1,80 43,82 0,44	1,78 39,82 0,43	1,77 36,30 0,42
CHR-LD 20%	1,86 97,46 0,46	1,76 94,84 0,43	1,68 89,02 0,41	1,63 80,02 0,38	1,58 70,02 0,37	1,55 60,95 0,35	1,52 53,35 0,34	1,49 47,08 0,33	1,47 41,89 0,31	1,45 37,53 0,31	1,44 33,82 0,30	1,42 30,60 0,29	1,41 27,82 0,28
C-C	1,55 78,95 0,35	1,49 70,89 0,33	1,44 61,66 0,30	1,41 53,24 0,29	1,38 46,35 0,27	1,36 40,89 0,26	1,34 36,59 0,25	1,33 33,14 0,24	1,32 30,34 0,23	1,31 28,02 0,23	1,31 26,08 0,22	1,30 24,44 0,22	1,30 23,02 0,21
IAE-SP	2,14 62,37 0,52	2,21 63,07 0,54	2,26 63,57 0,55	2,29 64,03 0,55	2,30 64,39 0,56	2,32 64,65 0,56	3,32 64,83 0,56	2,32 64,89 0,56	2,32 64,76 0,56	2,31 64,43 0,56	2,31 63,85 0,56	2,29 62,89 0,55	2,26 61,15 0,54
ITAE-SP	1,24 28,19 0,18	1,31 33,15 0,23	1,37 37,19 0,26	1,43 40,63 0,29	1,50 43,65 0,32	1,56 46,38 0,35	1,63 48,95 0,38	1,71 51,39 0,40	1,80 53,83 0,43	1,91 56,29 0,46	2,04 58,99 0,50	2,24 62,10 0,54	2,60 66,30 0,60
ISE-SP	2,39 75,04 0,58	2,24 72,52 0,55	2,14 70,31 0,53	2,06 68,46 0,51	2,00 66,99 0,50	1,95 65,95 0,48	1,90 65,33 0,47	1,85 65,10 0,46	1,80 65,21 0,44	1,74 65,55 0,42	1,67 66,07 0,40	1,58 66,57 0,37	1,43 66,44 0,30
IAE-LD	1,53 87,29 0,35	1,48 78,42 0,32	1,46 67,87 0,31	1,44 58,07 0,30	1,44 50,19 0,30	1,44 44,16 0,30	1,46 39,40 0,31	1,48 35,60 0,31	1,51 32,57 0,32	1,56 29,99 0,34	1,62 27,79 0,36	1,72 25,79 0,38	1,92 23,91 0,39
ITAE-LD	2,10 78,57 0,52	1,96 72,41 0,49	1,86 64,95 0,46	1,77 57,16 0,43	1,71 50,07 0,41	1,66 44,15 0,39	1,62 39,32 0,37	1,59 35,53 0,35	1,57 32,69 0,34	1,55 30,64 0,33	1,53 29,43 0,33	1,52 29,13 0,32	1,49 30,24 0,31
ISE-LD	14,76 90,43 0,93	13,88 90,11 0,93	13,27 89,54 0,92	12,79 88,59 0,92	12,43 87,06 0,92	12,19 84,65 0,92	11,99 80,90 0,91	11,85 75,34 0,89	11,78 67,71 0,84	11,75 58,32 0,78	11,79 47,99 0,70	11,89 37,46 0,60	12,10 27,24 0,46
IMC	1,55 51,31 0,35	1,61 53,59 0,37	1,69 55,90 0,40	1,79 58,30 0,43	1,90 60,78 0,47	2,04 63,32 0,50	2,22 65,98 0,54	2,47 68,76 0,59	2,81 71,66 0,64	3,32 74,74 0,69	4,18 78,02 0,75	5,88 81,58 0,82	10,98 85,49 0,91
SIMC 1. řád	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,14 61,35 0,63	3,12 59,68 0,62	3,04 52,81 0,61
SIMC 2. řád	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MMM 1.6 PI	2,84 59,29 0,60	2,86 58,31 0,60	2,91 57,64 0,60	3,00 57,33 0,60	3,11 57,25 0,61	3,25 57,12 0,62	3,40 56,53 0,63	3,54 55,05 0,64	3,63 52,32 0,64	3,63 48,32 0,63	3,53 43,61 0,60	3,41 39,84 0,58	3,76 41,67 0,62
MMM 1.6 PID	2,93 64,71 0,64	2,87 62,96 0,63	2,80 61,08 0,62	2,71 59,22 0,61	2,61 57,42 0,60	2,53 55,58 0,60	2,47 53,41 0,59	2,44 50,54 0,58	2,43 46,65 0,58	2,43 41,69 0,58	2,41 36,18 0,57	2,35 32,16 0,53	2,35 36,69 0,57
MMM 2.0 PI	2,21 52,34 0,50	2,17 49,63 0,49	2,16 46,90 0,48	2,18 44,74 0,47	2,25 43,51 0,48	2,37 43,15 0,49	2,52 43,31 0,51	2,68 43,35 0,53	2,79 42,58 0,54	2,79 40,42 0,53	2,67 36,71 0,51	2,48 32,35 0,47	2,62 32,09 0,48
MMM 2.0 PID	2,06 47,26 0,47	2,04 45,39 0,47	2,00 43,82 0,46	1,96 42,78 0,46	1,91 42,28 0,45	1,86 42,05 0,45	1,84 41,61 0,44	1,85 40,36 0,45	1,87 37,71 0,45	1,90 33,36 0,46	1,89 27,70 0,43	1,83 22,89 0,37	1,86 27,72 0,45

Tabulka B.3: Výsledky testování ve frekvenční oblasti pro extrémní modely S_1

Metody σ	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
Z-N	↗	1,05 5,20 0,04	1,22 12,59 0,14	1,57 17,17 0,23	2,31 20,37 0,30	8,28 22,41 0,36	14,41 24,95 0,41	54,55 28,79 0,50	Inf 30,15 0,52	Inf 30,99 0,53	Inf 32,07 0,55	Inf 33,52 0,58	Inf 35,74 0,61
A-H Ms = 1.4	3,22 65,09 0,64	3,15 63,03 0,62	3,16 58,02 0,59	3,57 50,03 0,56	4,72 44,64 0,56	12,94 42,40 0,59	13,55 44,90 0,64	26,41 55,77 0,85	Inf 61,00 0,91	Inf 63,73 0,91	Inf 66,63 0,91	Inf 69,41 0,89	Inf 71,49 0,87
A-H Ms = 2.0	1,52 38,51 0,31	1,51 30,19 0,29	1,51 22,26 0,25	1,66 17,83 0,24	2,20 18,69 0,28	6,90 22,77 0,36	8,43 29,39 0,47	17,05 51,47 0,79	Inf 59,92 0,89	Inf 62,75 0,89	Inf 65,30 0,87	Inf 66,79 0,85	Inf 65,77 0,81
CHR-SP 0%	1,95 77,42 0,47	2,11 74,01 0,49	2,46 64,89 0,52	3,31 57,13 0,56	5,05 54,33 0,60	18,24 53,17 0,64	29,94 54,38 0,69	109,41 56,23 0,78	Inf 58,07 0,81	Inf 59,81 0,82	Inf 61,94 0,84	Inf 64,66 0,86	Inf 68,44 0,89
CHR-SP 20%	1,24 38,39 0,18	1,34 31,36 0,23	1,57 31,20 0,30	2,11 33,40 0,38	3,19 36,96 0,46	11,38 40,63 0,54	19,53 44,98 0,61	75,37 52,42 0,76	Inf 54,99 0,80	Inf 56,42 0,81	Inf 58,20 0,83	Inf 60,52 0,85	Inf 63,85 0,87
CHR-LD 0%	1,28 41,41 0,21	1,37 31,67 0,24	1,54 27,78 0,28	1,91 25,79 0,32	2,67 25,69 0,36	8,48 25,45 0,39	18,67 26,63 0,43	88,07 28,22 0,48	Inf 29,24 0,50	Inf 30,05 0,51	Inf 31,06 0,53	Inf 32,41 0,55	Inf 34,44 0,59
CHR-LD 20%	↗	1,08 7,40 0,07	1,20 10,82 0,12	1,44 13,35 0,18	1,98 15,82 0,24	6,17 17,60 0,29	10,63 20,18 0,34	77,49 24,51 0,42	Inf 26,03 0,45	Inf 26,90 0,46	Inf 28,00 0,48	Inf 29,48 0,51	Inf 31,74 0,55
C-C	↗	↗	↗	1,12 4,06 0,06	1,46 9,29 0,14	3,29 13,78 0,22	10,63 13,20 0,30	77,49 25,99 0,45	Inf 28,23 0,48	Inf 29,26 0,50	Inf 30,57 0,52	Inf 32,32 0,55	Inf 34,95 0,59
IAE-SP	1,93 60,72 0,45	2,09 57,05 0,47	2,38 52,77 0,49	3,00 48,95 0,52	4,32 47,46 0,55	11,45 46,93 0,59	27,80 48,24 0,63	173,13 49,92 0,71	Inf 51,98 0,74	Inf 54,06 0,76	Inf 56,46 0,78	Inf 59,18 0,80	Inf 62,29 0,82
ITAE-SP	1,18 18,12 0,14	1,32 22,24 0,20	1,55 26,13 0,28	2,02 29,91 0,35	2,99 34,11 0,43	7,69 37,99 0,51	21,47 42,62 0,58	161,55 48,05 0,69	Inf 50,89 0,73	Inf 53,50 0,75	Inf 56,67 0,78	Inf 60,61 0,81	Inf 65,97 0,85
ISE-SP	1,81 64,44 0,42	1,91 56,44 0,43	2,18 50,24 0,46	2,85 46,71 0,50	4,34 46,51 0,55	13,82 47,44 0,61	23,46 50,27 0,67	83,77 54,27 0,78	Inf 57,06 0,82	Inf 59,77 0,84	Inf 63,10 0,87	Inf 67,33 0,91	Inf 73,27 0,94
IAE-LD	1,30 36,58 0,22	1,36 26,79 0,23	1,46 21,38 0,24	1,63 17,44 0,24	1,98 15,65 0,24	3,39 13,94 0,23	9,96 13,91 0,23	83,37 13,22 0,23	Inf 13,83 0,24	Inf 14,67 0,26	Inf 15,73 0,27	Inf 17,17 0,30	Inf 19,26 0,33
ITAE-LD	1,52 46,74 0,32	1,50 31,66 0,29	1,52 22,53 0,26	1,62 17,04 0,23	1,92 15,27 0,23	3,19 14,51 0,23	10,62 15,98 0,27	97,77 18,65 0,32	Inf 20,66 0,36	Inf 22,64 0,39	Inf 25,32 0,43	Inf 29,21 0,50	Inf 35,69 0,60
ISE-LD	11,56 89,43 0,91	11,86 87,85 0,90	12,67 85,04 0,89	14,45 80,13 0,86	18,54 73,13 0,82	39,84 63,39 0,75	100,81 52,41 0,68	606,97 35,00 0,52	Inf 30,65 0,47	Inf 28,50 0,45	Inf 26,03 0,42	Inf 23,25 0,39	Inf 20,22 0,35
IMC	1,45 42,72 0,29	1,68 44,15 0,36	2,10 46,36 0,44	2,98 48,93 0,51	4,90 52,33 0,59	16,33 55,58 0,65	42,09 59,45 0,72	275,40 62,70 0,79	Inf 66,05 0,82	Inf 69,92 0,85	Inf 74,34 0,87	Inf 79,29 0,91	Inf 84,61 0,95
SIMC 1. řád	3,76 61,84 0,66	4,02 62,01 0,66	4,34 62,16 0,67	4,94 62,38 0,68	5,59 62,28 0,69	6,16 60,57 0,67	8,05 58,91 0,68	46,38 58,68 0,71	Inf 53,16 0,68	Inf 51,70 0,68	Inf 46,46 0,64	Inf 41,49 0,60	Inf 37,36 0,57
SIMC 2. řád	3,73 61,17 0,65	3,99 60,99 0,66	4,28 60,41 0,66	5,13 59,74 0,66	4,60 52,75 0,61	4,53 41,57 0,53	2,39 25,19 0,35	↗	-	-	-	-	-
MMM 1.6 PI	2,90 59,05 0,60	3,01 57,93 0,60	3,24 57,10 0,60	3,68 56,63 0,61	4,47 56,48 0,63	5,93 56,33 0,65	8,95 55,92 0,68	55,73 54,74 0,70	Inf 52,35 0,70	Inf 48,71 0,68	Inf 44,43 0,65	Inf 41,04 0,63	Inf 42,64 0,66
MMM 1.6 PID	3,28 64,35 0,64	3,57 62,37 0,65	4,18 60,18 0,65	5,79 58,03 0,67	10,17 56,20 0,69	42,71 54,50 0,71	60,89 53,03 0,74	170,13 51,25 0,76	Inf 47,91 0,74	Inf 43,45 0,70	Inf 38,55 0,64	Inf 34,96 0,59	Inf 38,19 0,65
MMM 2.0 PI	2,27 51,90 0,51	2,30 49,00 0,49	2,40 46,12 0,49	2,64 43,95 0,49	3,11 42,95 0,51	4,04 42,90 0,54	6,13 43,65 0,57	38,77 44,54 0,61	Inf 44,08 0,62	Inf 42,31 0,62	Inf 39,25 0,60	Inf 35,69 0,56	Inf 35,08 0,56
MMM 2.0 PID	2,20 46,51 0,48	2,35 44,41 0,48	2,70 42,78 0,49	3,61 42,05 0,52	6,39 42,43 0,56	29,83 43,20 0,61	47,70 44,38 0,65	139,70 45,25 0,70	Inf 42,97 0,69	Inf 38,92 0,64	Inf 34,02 0,57	Inf 30,11 0,52	Inf 33,25 0,57

Tabulka B.4: Výsledky testování ve frekvenční oblasti pro extrémní modely S_2

Vysvětlivky k hodnotícím tabulkám B.1 a B.2 – hodnocení regulace v časové oblasti

0,21 3,29	Maximální relativní přeregulování Doba regulace
0,13 3,95	Uspokojivé chování – splňuje stanovené meze
0,63 48,45	Neuspokojivé chování – nesplňuje stanovené meze
↗	Nestabilní uzavřená smyčka
-	Metoda nemůže být aplikována na tento proces

Stanovené meze: Maximální relativní přeregulování < 0.2
Doba regulace $< 4s$

Vysvětlivky k hodnotícím tabulkám B.3 a B.4 – hodnocení regulace ve frekvenční oblasti

2,13 46,83 0,44	Bezpečnost v zesílení Bezpečnost ve fázi [$^{\circ}$] Bezpečnost ve stabilitě
17,26 74,76 0,94	Uspokojivé chování – splňuje stanovené meze
1,05 5,20 0,04	Neuspokojivé chování – nesplňuje stanovené meze
↗	Nestabilní uzavřená smyčka
-	Metoda nemůže být aplikována na tento proces

Stanovené meze: Bezpečnost v zesílení > 2
Bezpečnost ve fázi $> 40^{\circ}$
Bezpečnost ve stabilitě $> 0,5$

Příloha C

Kompletní výsledky testování metod nastavení PID regulátorů

Tabulka C.1: Kompletní výsledky testování pro Zieglerovu-Nicholovu metodu	56
Tabulka C.2: Kompletní výsledky testování pro Aströmovu-Hägglundovu metodu $M_s = 1,4$	57
Tabulka C.3: Kompletní výsledky testování pro Aströmovu-Hägglundovu metodu $M_s = 2,0$	58
Tabulka C.4: Kompletní výsledky testování pro CHR SETPOINT metodu - překmit 0%	59
Tabulka C.5: Kompletní výsledky testování pro CHR SETPOINT metodu - překmit 20%	60
Tabulka C.6: Kompletní výsledky testování pro CHR LOAD metodu - překmit 0%	61
Tabulka C.7: Kompletní výsledky testování pro CHR LOAD metodu - překmit 20%	62
Tabulka C.8: Kompletní výsledky testování pro Cohenovu-Coonovu metodu	63
Tabulka C.9: Kompletní výsledky testování pro IAE SETPOINT metodu	64
Tabulka C.10: Kompletní výsledky testování pro ITAE SETPOINT metodu	65
Tabulka C.11: Kompletní výsledky testování pro ISE SETPOINT metodu	66
Tabulka C.12: Kompletní výsledky testování pro IAE LOAD metodu	67
Tabulka C.13: Kompletní výsledky testování pro ITAE LOAD metodu	68
Tabulka C.14: Kompletní výsledky testování pro ISE LOAD metodu	69
Tabulka C.15: Kompletní výsledky testování pro IMC metodu	70
Tabulka C.16: Kompletní výsledky testování pro SIMC metodu - aproximaci 1. řádem	71
Tabulka C.17: Kompletní výsledky testování pro SIMC metodu - aproximaci 2. řádem	72
Tabulka C.18: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 1,6$ PI	73
Tabulka C.19: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 1,6$ PID	74
Tabulka C.20: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 2,0$ PI	75
Tabulka C.21: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 2,0$ PID	76

Nestabilní systémy jsou v následujících tabulkách znázorněny symbolem ↗

ZN metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy						Regulátor					Porucha		
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]		
Extremální systémy S1	0,35	1,85	0,65	0,35	1,65	98,08	4,53	0,55	2,54	1,32	2,85	0,47	0,00	8,95	2,01	1,03	0,0020	6,12	8,08	0,65	1,30	0,33	0,00	0,42	10,36		
	0,40	1,50	0,60	0,40	1,57	96,17	4,75	0,78	2,77	1,49	2,49	0,68	0,00	6,99	1,50	0,84	0,0015	7,81	7,44	0,80	1,20	0,30	0,00	0,39	8,18		
	0,45	1,22	0,55	0,45	1,51	91,53	5,03	1,10	2,98	1,66	2,22	1,05	0,09	5,54	1,14	0,70	0,0011	9,81	7,31	0,98	1,10	0,28	0,00	0,36	6,49		
	0,50	1,00	0,50	0,50	1,46	83,70	5,39	1,54	3,17	1,81	2,00	0,73	0,21	4,07	0,94	0,61	0,0009	12,21	7,28	1,20	1,00	0,25	0,00	0,32	4,96		
	0,55	0,82	0,45	0,55	1,43	74,23	5,84	2,04	3,35	1,95	1,81	8,10	0,33	4,15	0,84	0,54	0,0008	15,15	8,99	1,47	0,90	0,23	0,00	0,28	4,41		
	0,60	0,67	0,40	0,60	1,40	65,21	6,42	2,60	3,51	2,08	1,66	9,05	0,44	3,82	0,76	0,48	0,0008	18,82	10,73	1,80	0,80	0,20	0,00	0,25	3,87		
	0,65	0,54	0,35	0,65	1,38	57,56	7,18	3,21	3,66	2,20	1,53	10,28	0,54	3,43	0,70	0,43	0,0007	23,53	13,05	2,23	0,70	0,18	0,01	0,21	3,12		
	0,70	0,43	0,30	0,70	1,36	51,26	8,21	3,95	3,79	2,30	1,43	11,93	0,64	2,99	0,63	0,39	0,0006	29,82	16,33	2,80	0,60	0,15	0,01	0,18	2,77		
	0,75	0,33	0,25	0,75	1,35	46,07	9,67	4,90	3,91	2,41	1,33	14,24	0,73	2,52	0,56	0,34	0,0006	38,63	21,26	3,60	0,50	0,13	0,01	0,15	2,37		
	0,80	0,25	0,20	0,80	1,34	41,75	11,88	6,26	4,01	2,50	1,25	17,72	0,82	2,06	0,47	0,29	0,0005	51,83	29,20	4,80	0,40	0,10	0,01	0,12	1,92		
	0,85	0,18	0,15	0,85	1,33	38,06	15,58	8,47	4,11	2,58	1,17	23,52	0,90	1,58	0,37	0,23	0,0004	73,84	43,23	6,80	0,30	0,08	0,01	0,09	1,46		
	0,90	0,11	0,10	0,90	1,32	34,94	23,01	12,81	4,20	2,66	1,11	35,14	0,97	1,07	0,26	0,17	0,0003	117,87	72,75	10,81	0,20	0,05	0,01	0,06	0,98		
	0,95	0,05	0,05	0,95	1,31	32,25	45,32	25,72	4,27	2,74	1,05	70,01	1,04	0,54	0,13	0,09	0,0001	249,93	166,72	22,81	0,10	0,03	0,00	0,03	0,49		
	0,35	0,65	0,54	0,83	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	
	0,40	0,51	0,48	0,93	1,05	5,20	4,29	4,11	22,46	21,58	2,14	5,99	0,63	48,45	6,58	2,20	0,0066	24,64	76,20	2,33	0,96	0,24	0,09	0,23	44,12		
	0,45	0,41	0,42	1,03	1,22	12,59	4,60	4,05	7,23	6,49	1,92	6,18	0,62	13,32	2,09	0,81	0,0021	31,46	34,12	2,95	0,83	0,21	0,05	0,18	12,69		
	0,50	0,32	0,36	1,12	1,57	17,17	5,29	4,10	4,37	3,81	1,74	6,44	0,59	7,29	1,21	0,52	0,0012	40,33	31,64	3,76	0,71	0,18	0,03	0,14	6,77		
0,55	0,26	0,30	1,18	2,31	20,37	6,90	4,34	3,32	2,92	1,60	7,06	0,57	4,89	0,87	0,40	0,0009	50,23	34,85	4,66	0,61	0,15	0,03	0,11	4,96			
0,60	0,20	0,25	1,24	8,28	22,41	14,22	4,67	2,78	2,57	1,49	7,45	0,54	4,00	0,70	0,31	0,0007	63,42	42,13	5,86	0,51	0,13	0,02	0,08	4,12			
0,65	0,16	0,21	1,27	14,41	24,95	24,21	5,31	2,42	2,34	1,39	8,67	0,52	3,04	0,55	0,24	0,0005	79,46	51,16	7,31	0,42	0,10	0,02	0,06	3,16			
0,70	0,11	0,15	1,35	54,55	28,79	105,90	6,40	2,02	2,19	1,30	9,88	0,46	2,26	0,41	0,16	0,0004	117,81	75,34	10,80	0,30	0,07	0,01	0,04	2,72			
0,75	0,10	0,13	1,33	Inf	30,15	Inf	7,28	1,92	2,13	1,25	10,98	0,44	1,99	0,35	0,13	0,0003	137,00	84,44	12,55	0,25	0,06	0,01	0,03	2,41			
0,80	0,08	0,11	1,29	Inf	30,99	Inf	8,44	1,87	2,08	1,20	12,74	0,44	1,72	0,29	0,11	0,0003	154,79	92,00	14,16	0,22	0,05	0,01	0,03	2,06			
0,85	0,07	0,09	1,25	Inf	32,07	Inf	10,31	1,81	2,03	1,15	15,60	0,44	1,40	0,23	0,09	0,0002	183,58	104,62	16,78	0,18	0,04	0,01	0,02	1,66			
0,90	0,06	0,07	1,19	Inf	33,52	Inf	13,94	1,74	1,96	1,10	21,12	0,43	1,03	0,16	0,06	0,0002	238,80	129,77	21,80	0,13	0,03	0,01	0,02	1,06			
0,95	0,03	0,04	1,12	Inf	35,74	Inf	24,29	1,63	1,87	1,05	36,83	0,42	0,48	0,09	0,04	0,0001	394,71	206,17	35,97	0,07	0,02	0,00	0,01	0,61			

Tabulka C.1.: Kompletní výsledky testování pro Zieglerovu-Nicholsovu metodu

AH metoda $M_s = 1,4$

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy						Regulátor				Porucha		
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,85	0,65	0,35	5,47	71,28	2,63	0,52	1,32	1,00	2,85	0,94	0,00	4,65	1,75	1,23	0,0017	0,00	3,45	0,19	0,37	0,08	0,00	0,44	6,23	
	0,40	1,50	0,60	0,40	6,09	72,18	3,00	0,54	1,28	1,00	2,49	0,92	0,00	4,68	1,74	1,21	0,0017	0,00	3,48	0,23	0,42	0,10	0,00	0,41	6,21	
	0,45	1,22	0,55	0,45	6,49	72,49	3,53	0,58	1,26	1,00	2,22	0,95	0,00	4,35	1,67	1,16	0,0017	0,00	3,27	0,28	0,47	0,11	0,00	0,39	5,87	
	0,50	1,00	0,50	0,50	6,38	72,35	4,22	0,66	1,24	1,00	2,00	1,03	0,00	3,82	1,54	1,09	0,0015	0,00	2,93	0,35	0,52	0,13	0,00	0,36	5,32	
	0,55	0,82	0,45	0,55	5,65	71,67	5,05	0,78	1,23	1,00	1,81	1,18	0,01	3,18	1,38	0,98	0,0014	0,01	2,57	0,46	0,57	0,15	0,00	0,32	4,64	
	0,60	0,67	0,40	0,60	4,60	70,48	5,97	0,98	1,28	1,00	1,66	1,39	0,02	2,58	1,21	0,86	0,0012	0,04	2,30	0,63	0,61	0,16	0,00	0,29	3,96	
	0,65	0,54	0,35	0,65	3,53	69,22	7,06	1,28	1,40	1,00	1,53	1,67	0,03	3,56	1,04	0,73	0,0010	0,08	3,69	0,91	0,64	0,16	0,00	0,24	3,36	
	0,70	0,43	0,30	0,70	2,61	68,48	8,39	1,77	1,62	1,00	1,43	2,04	0,03	3,16	0,86	0,60	0,0009	0,38	3,68	1,37	0,65	0,16	0,00	0,20	3,90	
	0,75	0,33	0,25	0,75	1,87	68,59	10,17	2,70	2,15	1,00	1,33	2,48	0,03	2,61	0,68	0,47	0,0007	0,96	3,56	2,19	0,63	0,16	0,00	0,15	2,38	
	0,80	0,25	0,20	0,80	1,31	65,05	12,77	5,14	4,19	1,00	1,25	3,01	0,04	2,06	0,52	0,36	0,0005	2,02	3,77	3,78	0,59	0,14	0,00	0,12	2,04	
	0,85	0,18	0,15	0,84	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	0,90	0,11	0,10	0,89	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	0,95	0,05	0,05	0,94	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	Extremální systémy S2	0,35	0,65	0,54	0,53	3,22	65,09	3,18	0,97	1,55	1,00	2,43	2,35	0,03	2,65	1,15	0,92	0,0011	0,07	2,50	0,54	0,56	0,14	0,00	0,38	3,25
		0,40	0,51	0,48	0,60	3,15	63,03	3,62	1,22	1,61	1,00	2,14	2,60	0,05	2,57	1,07	0,84	0,0011	0,14	2,63	0,75	0,62	0,16	0,00	0,33	2,83
0,45		0,41	0,42	0,67	3,16	58,02	4,21	1,63	1,70	1,00	1,92	2,96	0,08	2,38	0,97	0,74	0,0010	0,29	2,71	1,08	0,67	0,18	0,01	0,27	3,05	
0,50		0,32	0,36	0,73	3,57	50,03	5,30	2,24	1,78	1,00	1,74	3,39	0,10	2,79	0,84	0,62	0,0008	0,54	3,50	1,66	0,70	0,18	0,01	0,21	3,57	
0,55		0,26	0,30	0,78	4,72	44,64	7,62	2,92	1,78	1,00	1,60	3,83	0,08	2,41	0,70	0,52	0,0007	0,88	3,53	2,48	0,70	0,18	0,01	0,15	3,13	
0,60		0,20	0,25	0,82	12,94	42,40	16,17	3,76	1,69	1,00	1,49	4,28	0,05	2,02	0,57	0,41	0,0006	1,40	3,70	3,85	0,68	0,16	0,00	0,11	2,68	
0,65		0,16	0,21	0,86	13,55	44,90	24,65	4,98	1,55	1,00	1,39	4,55	0,00	0,84	0,45	0,33	0,0004	2,23	3,26	5,94	0,63	0,15	0,00	0,07	2,17	
0,70		0,11	0,15	0,92	26,41	55,77	87,88	7,61	1,18	1,00	1,30	4,75	0,00	1,25	0,35	0,22	0,0003	4,57	5,25	12,18	12,18	0,53	0,12	0,00	0,03	1,82
0,75		0,10	0,13	0,92	Inf	61,00	Inf	9,53	1,09	1,00	1,25	4,94	0,00	1,11	0,30	0,19	0,0003	5,94	5,85	15,98	15,98	0,48	0,10	0,00	0,03	1,63
0,80		0,08	0,11	0,92	Inf	63,73	Inf	12,18	1,09	1,00	1,20	5,14	0,00	0,98	0,27	0,16	0,0003	7,52	6,43	19,95	19,95	0,43	0,09	0,00	0,02	1,45
0,85		0,07	0,09	0,92	Inf	66,63	Inf	16,99	1,10	1,00	1,15	5,59	0,00	0,85	0,23	0,13	0,0002	10,28	7,47	26,86	26,86	0,37	0,07	0,00	0,02	1,24
0,90		0,06	0,07	0,94	Inf	69,41	Inf	27,47	1,12	1,00	1,10	6,68	0,00	0,67	0,18	0,10	0,0002	15,97	9,63	41,09	41,09	0,29	0,06	0,00	0,01	0,98
0,95		0,03	0,04	0,96	Inf	71,49	Inf	61,44	1,14	1,00	1,05	10,25	0,00	0,43	0,11	0,06	0,0001	33,12	16,10	83,94	83,94	0,18	0,03	0,00	0,00	0,61

Tabulka C.2: Kompletní výsledky testování pro Aströmovu-Hägglundovu metodu $M_s = 1,4$

AH metoda $M_s = 2,0$

Model	Identifikace			Frekvenční indexy								Časové indexy					Regulátor				Porucha					
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,85	0,65	0,35	2,68	61,33	3,32	1,07	1,66	1,00	2,85	2,01	0,01	2,21	1,32	1,08	0,0013	0,03	1,78	0,56	0,53	0,13	0,01	0,42	2,91	
	0,40	1,50	0,60	0,40	2,86	62,94	3,65	1,08	1,59	1,00	2,49	1,82	0,01	2,39	1,32	1,05	0,0013	0,02	1,95	0,60	0,56	0,14	0,00	0,39	3,15	
	0,45	1,22	0,55	0,45	2,92	63,14	4,05	1,16	1,56	1,00	2,22	1,78	0,01	2,36	1,28	1,01	0,0013	0,03	1,99	0,68	0,58	0,15	0,00	0,36	3,15	
	0,50	1,00	0,50	0,50	2,84	62,23	4,53	1,30	1,58	1,00	2,00	1,85	0,02	2,20	1,20	0,94	0,0012	0,05	1,98	0,80	0,60	0,15	0,00	0,32	2,99	
	0,55	0,82	0,45	0,55	2,62	60,24	5,13	1,53	1,64	1,00	1,81	2,04	0,02	3,03	1,09	0,85	0,0011	0,09	3,04	0,99	0,61	0,15	0,01	0,29	2,73	
	0,60	0,67	0,40	0,60	2,30	57,46	5,87	1,90	1,79	1,00	1,66	2,33	0,03	2,87	0,96	0,74	0,0010	0,23	3,15	1,30	0,60	0,15	0,01	0,25	3,41	
	0,65	0,54	0,35	0,65	1,91	54,33	6,81	2,49	2,11	1,00	1,53	2,73	0,04	2,53	0,82	0,63	0,0008	0,56	3,13	1,79	0,59	0,15	0,00	0,22	2,97	
	0,70	0,43	0,30	0,70	1,51	50,14	8,05	3,61	2,99	1,00	1,43	3,19	0,04	1,92	0,68	0,52	0,0007	1,13	2,92	2,65	0,56	0,14	0,01	0,18	2,74	
	0,75	0,33	0,25	0,75	1,13	33,68	9,77	6,67	8,88	1,11	1,33	3,61	0,11	3,91	0,66	0,42	0,0007	2,12	5,89	4,20	0,52	0,13	0,03	0,15	5,74	
	0,80	0,25	0,20	0,80	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	0,85	0,18	0,15	0,84	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	0,90	0,11	0,10	0,89	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	0,95	0,05	0,05	0,94	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	Extremální systémy S2	0,35	0,65	0,54	0,53	1,52	38,51	3,41	2,17	3,21	1,39	2,43	3,70	0,18	5,95	1,30	0,90	0,0013	0,39	6,16	1,23	0,64	0,16	0,11	0,33	6,77
		0,40	0,51	0,48	0,60	1,51	30,19	3,67	2,59	3,50	1,49	2,14	3,89	0,19	5,74	1,24	0,81	0,0012	0,53	6,21	1,59	0,66	0,16	0,10	0,27	7,32
		0,45	0,41	0,42	0,67	1,51	22,26	4,07	3,08	3,92	1,65	1,92	4,20	0,20	6,13	1,16	0,71	0,0012	0,77	7,09	2,19	0,65	0,16	0,08	0,21	7,63
0,50		0,32	0,36	0,73	1,66	17,83	4,86	3,66	4,11	1,67	1,74	4,68	0,18	6,11	1,00	0,59	0,0010	1,15	7,73	3,23	0,63	0,16	0,06	0,15	7,49	
0,55		0,26	0,30	0,78	2,20	18,69	6,75	4,38	3,57	1,35	1,60	5,41	0,13	3,92	0,75	0,47	0,0007	1,64	6,20	4,77	0,59	0,15	0,03	0,11	5,06	
0,60		0,20	0,25	0,82	6,90	22,77	15,01	5,37	2,75	1,00	1,49	6,14	0,06	2,59	0,54	0,37	0,0005	2,31	5,66	7,36	0,54	0,14	0,01	0,07	3,12	
0,65		0,16	0,21	0,86	8,43	29,39	24,79	7,20	2,15	1,00	1,39	6,16	0,00	1,30	0,40	0,29	0,0004	3,36	5,19	11,44	0,48	0,12	0,00	0,04	1,62	
0,70		0,11	0,15	0,92	17,05	51,46	94,73	11,64	1,26	1,00	1,30	5,02	0,00	0,92	0,30	0,20	0,0003	5,79	6,29	23,90	0,38	0,10	0,00	0,02	1,19	
0,75		0,10	0,13	0,92	Inf	59,92	Inf	14,94	1,12	1,00	1,25	5,34	0,00	0,78	0,27	0,17	0,0003	7,08	6,83	31,69	0,33	0,09	0,00	0,01	1,03	
0,80		0,08	0,11	0,92	Inf	62,75	Inf	19,63	1,13	1,00	1,20	5,75	0,00	0,68	0,23	0,15	0,0002	8,95	7,43	39,94	0,30	0,08	0,00	0,01	0,91	
0,85	0,07	0,09	0,92	Inf	65,30	Inf	28,42	1,15	1,00	1,15	6,55	0,00	0,57	0,19	0,12	0,0002	12,24	8,50	54,46	0,25	0,06	0,00	0,01	0,77		
0,90	0,06	0,07	0,94	Inf	66,79	Inf	48,21	1,18	1,00	1,10	8,23	0,00	0,44	0,15	0,09	0,0001	19,10	10,74	84,86	0,19	0,05	0,00	0,00	0,59		
0,95	0,03	0,04	0,96	Inf	65,77	Inf	114,00	1,23	1,00	1,05	13,31	0,00	0,26	0,09	0,05	0,0001	39,98	17,55	177,99	0,11	0,03	0,00	0,00	0,36		

Tabulka C.3: Kompletní výsledky testování pro Aströmovu-Hägglundovu metodu $M_s = 2,0$

CHR-SP metoda 0%

Model	Identifikace			Frekvenční indexy								Časové indexy					Regulátor					Porucha				
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,85	0,65	0,35	3,44	59,78	13,82	0,85	1,41	1,02	2,85	1,49	0,08	4,63	1,34	0,92	0,0013	2,56	4,67	0,32	0,35	0,33	0,03	0,42	5,75	
	0,40	1,50	0,60	0,40	3,39	60,81	14,91	0,91	1,42	1,02	2,49	1,54	0,07	4,44	1,22	0,84	0,0012	3,41	4,66	0,40	0,40	0,30	0,03	0,39	5,59	
	0,45	1,22	0,55	0,45	3,36	62,00	16,22	0,98	1,42	1,01	2,22	1,61	0,06	4,22	1,11	0,76	0,0011	4,41	4,68	0,49	0,45	0,28	0,02	0,36	5,43	
	0,50	1,00	0,50	0,50	3,16	63,37	5,18	1,07	1,46	1,01	2,00	1,71	0,05	3,98	1,00	0,68	0,0010	5,61	4,72	0,60	0,50	0,25	0,02	0,32	5,23	
	0,55	0,82	0,45	0,55	3,00	64,92	5,69	1,18	1,50	1,01	1,81	1,84	0,05	3,70	0,89	0,60	0,0009	7,07	4,79	0,73	0,55	0,23	0,01	0,29	4,99	
	0,60	0,67	0,40	0,60	2,87	66,62	6,33	1,32	1,54	1,01	1,66	2,04	0,04	3,39	0,78	0,53	0,0008	8,91	4,92	0,90	0,60	0,20	0,01	0,26	4,66	
	0,65	0,54	0,35	0,65	2,77	68,42	7,16	1,51	1,57	1,00	1,53	2,33	0,03	3,02	0,68	0,46	0,0007	11,27	5,12	1,12	0,65	0,18	0,00	0,23	3,07	
	0,70	0,43	0,30	0,70	2,69	70,17	8,27	1,78	1,60	1,00	1,43	2,77	0,03	2,57	0,57	0,39	0,0006	14,41	5,44	1,40	0,70	0,15	0,00	0,20	3,10	
	0,75	0,33	0,25	0,75	2,63	71,64	9,83	2,18	1,62	1,00	1,33	3,48	0,02	1,15	0,47	0,32	0,0005	18,81	5,05	1,80	0,75	0,13	0,00	0,17	3,22	
	0,80	0,25	0,20	0,80	2,57	72,59	12,18	2,80	1,64	1,00	1,25	4,71	0,01	0,95	0,37	0,25	0,0004	25,42	6,49	2,40	0,80	0,10	0,00	0,14	3,43	
	0,85	0,18	0,15	0,85	2,52	72,89	16,12	3,86	1,67	1,00	1,17	7,04	0,01	0,73	0,27	0,19	0,0003	36,42	9,02	3,40	0,85	0,08	0,00	0,10	3,64	
	0,90	0,11	0,10	0,90	2,48	72,61	23,99	6,00	1,69	1,00	1,11	12,46	0,00	0,51	0,18	0,13	0,0002	58,43	14,34	5,40	0,90	0,05	0,00	0,07	3,81	
	0,95	0,05	0,05	0,95	2,45	71,93	47,67	12,37	1,70	1,00	1,05	32,98	0,00	0,25	0,09	0,06	0,0001	124,47	31,28	11,41	0,95	0,03	0,00	0,04	3,91	
	Extremální systémy S2	0,35	0,65	0,54	0,83	1,95	77,42	4,05	1,24	2,11	1,16	2,43	4,69	0,02	3,96	0,93	0,64	0,0009	9,09	5,36	0,92	0,83	0,27	0,00	0,34	4,98
		0,40	0,51	0,48	0,93	2,11	74,01	4,28	1,62	2,04	1,16	2,14	4,66	0,04	3,94	0,82	0,56	0,0008	11,82	6,22	1,17	0,93	0,24	0,00	0,29	5,06
0,45		0,41	0,42	1,03	2,46	64,89	4,68	2,10	1,93	1,15	1,92	4,63	0,07	3,88	0,74	0,48	0,0007	15,23	7,30	1,48	1,03	0,21	0,00	0,24	5,18	
0,50		0,32	0,36	1,12	3,31	57,13	5,54	2,49	1,80	1,14	1,74	4,64	0,09	3,72	0,66	0,40	0,0007	19,67	8,66	1,88	1,12	0,18	0,00	0,20	5,34	
0,55		0,26	0,30	1,18	5,05	54,33	7,40	2,78	1,67	1,12	1,60	4,85	0,10	2,50	0,58	0,34	0,0006	24,61	9,17	2,33	1,18	0,15	0,00	0,17	5,45	
0,60		0,20	0,25	1,24	18,24	53,17	15,14	3,11	1,56	1,12	1,49	5,05	0,11	2,38	0,50	0,28	0,0005	31,21	11,29	2,93	1,24	0,13	0,00	0,14	5,58	
0,65		0,16	0,21	1,27	29,94	54,38	24,93	3,52	1,45	1,10	1,39	5,59	0,10	2,23	0,42	0,23	0,0004	39,23	13,76	3,66	1,27	0,10	0,00	0,11	5,58	
0,70		0,11	0,15	1,35	109,41	56,23	106,20	4,29	1,28	1,10	1,30	6,23	0,11	1,96	0,33	0,16	0,0003	58,40	20,02	5,40	1,35	0,07	0,00	0,08	5,74	
0,75		0,10	0,13	1,33	Inf	58,07	Inf	4,86	1,24	1,09	1,25	6,91	0,10	1,72	0,28	0,13	0,0003	68,00	22,37	6,27	1,33	0,06	0,00	0,07	5,60	
0,80		0,08	0,11	1,29	Inf	59,81	Inf	5,58	1,21	1,06	1,20	7,91	0,09	1,45	0,23	0,12	0,0002	76,90	24,19	7,08	1,29	0,05	0,00	0,06	5,39	
0,85	0,07	0,09	1,25	Inf	61,94	Inf	6,75	1,19	1,04	1,15	9,51	0,08	1,13	0,19	0,09	0,0002	91,29	27,26	8,39	1,25	0,04	0,00	0,05	5,14		
0,90	0,06	0,07	1,19	Inf	64,66	Inf	9,00	1,16	1,02	1,10	12,54	0,07	0,48	0,13	0,07	0,0001	118,90	33,24	10,90	1,19	0,03	0,00	0,04	4,85		
0,95	0,03	0,04	1,12	Inf	68,44	Inf	15,35	1,13	1,00	1,05	20,93	0,05	0,28	0,07	0,04	0,0001	196,85	52,88	17,99	1,12	0,02	0,00	0,03	4,49		

Tabulka C.4: Kompletní výsledky testování pro CHR SETPOINT metodu - překmit 0%

CHR-SP metoda 20%

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy							Regulátor				Porucha	
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,85	0,65	0,35	2,27	64,27	13,84	0,97	1,79	1,00	2,85	1,62	0,05	4,11	1,09	0,78	0,0011	4,63	4,55	0,51	0,49	0,31	0,02	0,42	5,22	
	0,40	1,50	0,60	0,40	2,24	66,68	14,94	1,06	1,81	1,00	2,49	1,74	0,04	3,80	0,98	0,71	0,0010	5,98	4,58	0,63	0,56	0,28	0,01	0,39	4,89	
	0,45	1,22	0,55	0,45	2,10	69,08	4,85	1,17	1,91	1,00	2,22	1,97	0,03	3,43	0,87	0,64	0,0009	7,56	4,64	0,78	0,63	0,26	0,01	0,36	3,36	
	0,50	1,00	0,50	0,50	1,99	71,26	5,24	1,33	2,02	1,00	2,00	6,27	0,03	2,07	0,77	0,58	0,0008	9,46	3,82	0,95	0,70	0,24	0,00	0,32	3,57	
	0,55	0,82	0,45	0,55	1,90	72,81	5,73	1,55	2,12	1,00	1,81	7,05	0,07	1,78	0,69	0,52	0,0007	11,78	4,29	1,16	0,77	0,21	0,00	0,28	3,63	
	0,60	0,67	0,40	0,60	1,83	73,18	6,36	1,87	2,21	1,09	1,66	7,98	0,12	2,40	0,61	0,46	0,0006	14,69	5,89	1,43	0,84	0,19	0,00	0,25	3,91	
	0,65	0,54	0,35	0,65	1,77	72,02	7,17	2,30	2,30	1,17	1,53	9,16	0,16	2,18	0,54	0,40	0,0005	18,42	6,98	1,77	0,91	0,16	0,00	0,22	4,11	
	0,70	0,43	0,30	0,70	1,73	69,64	8,26	2,89	2,38	1,24	1,43	10,71	0,20	1,97	0,47	0,34	0,0005	23,40	8,60	2,22	0,98	0,14	0,00	0,18	4,34	
	0,75	0,33	0,25	0,75	1,69	66,67	9,80	3,70	2,46	1,31	1,33	12,86	0,24	1,68	0,41	0,29	0,0004	30,37	10,97	2,85	1,05	0,12	0,00	0,15	4,54	
	0,80	0,25	0,20	0,80	1,66	63,63	12,11	4,86	2,53	1,38	1,25	16,08	0,27	1,79	0,34	0,23	0,0003	40,83	15,15	3,80	1,12	0,09	0,00	0,12	4,72	
	0,85	0,18	0,15	0,85	1,64	60,77	16,00	6,75	2,60	1,44	1,17	21,45	0,31	1,39	0,27	0,17	0,0003	58,25	21,75	5,39	1,19	0,07	0,00	0,09	4,89	
	0,90	0,11	0,10	0,90	1,61	58,24	23,79	10,44	2,66	1,50	1,11	32,17	0,34	0,93	0,19	0,12	0,0002	93,10	35,62	8,55	1,26	0,05	0,00	0,06	5,04	
	0,95	0,05	0,05	0,95	1,60	56,00	47,19	21,39	2,72	1,55	1,05	64,31	0,37	0,34	0,10	0,06	0,0001	197,65	80,07	18,06	1,33	0,02	0,00	0,03	5,18	
	Extremální systémy S2	0,35	0,65	0,54	0,83	1,24	38,39	4,08	3,03	5,47	4,53	2,43	5,46	0,32	12,26	1,82	0,79	0,0018	14,98	17,07	1,45	1,16	0,26	0,03	0,31	11,66
		0,40	0,51	0,48	0,93	1,34	31,36	4,30	3,32	4,37	3,50	2,14	5,57	0,32	8,86	1,40	0,64	0,0014	19,29	15,60	1,84	1,30	0,23	0,01	0,26	9,01
0,45		0,41	0,42	1,03	1,57	31,20	4,70	3,47	3,37	2,61	1,92	5,70	0,30	6,42	1,04	0,50	0,0010	24,69	15,59	2,34	1,44	0,20	0,00	0,21	7,33	
0,50		0,32	0,36	1,12	2,11	33,40	5,53	3,64	2,64	2,01	1,74	5,88	0,27	4,82	0,78	0,39	0,0008	31,72	17,21	2,97	1,56	0,17	0,00	0,16	7,06	
0,55		0,26	0,30	1,18	3,19	36,96	7,32	3,90	2,19	1,66	1,60	6,36	0,24	4,29	0,63	0,31	0,0006	39,55	20,26	3,69	1,65	0,14	0,00	0,13	7,09	
0,60		0,20	0,25	1,24	11,38	40,63	14,74	4,22	1,85	1,45	1,49	6,68	0,21	3,17	0,51	0,24	0,0005	50,00	23,96	4,64	1,73	0,12	0,00	0,11	7,33	
0,65		0,16	0,21	1,27	19,53	44,98	24,72	4,79	1,64	1,31	1,39	7,62	0,18	2,91	0,42	0,19	0,0004	62,70	29,41	5,79	1,78	0,10	0,00	0,09	7,40	
0,70		0,11	0,15	1,35	75,37	52,42	108,94	5,74	1,31	1,18	1,30	8,40	0,14	2,44	0,30	0,12	0,0003	93,06	43,03	8,55	1,88	0,07	0,00	0,06	7,72	
0,75		0,10	0,13	1,33	Inf	54,99	Inf	6,51	1,25	1,15	1,25	9,26	0,13	2,06	0,26	0,10	0,0003	108,25	48,09	9,93	1,86	0,06	0,00	0,05	7,58	
0,80		0,08	0,11	1,29	Inf	56,42	Inf	7,54	1,23	1,13	1,20	10,68	0,12	1,31	0,22	0,09	0,0002	122,34	51,90	11,21	1,81	0,05	0,00	0,04	7,31	

Tabulka C.5.: Kompletní výsledek testování pro CHR SETPOINT metodu - překmit 20%

CHR-LD metoda 0%

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Časové indexy					Regulátor				Porucha						
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,85	0,65	0,35	2,32	100,12	4,44	0,36	1,76	1,00	2,85	0,30	0,00	13,77	3,05	1,39	0,0030	4,63	10,69	0,51	1,56	0,27	0,00	0,42	15,42	
	0,40	1,50	0,60	0,40	2,19	99,94	4,65	0,50	1,84	1,00	2,49	0,41	0,00	10,44	2,27	1,07	0,0023	5,98	8,78	0,63	1,44	0,25	0,00	0,39	12,19	
	0,45	1,22	0,55	0,45	2,10	97,90	4,92	0,71	1,91	1,00	2,22	0,59	0,00	7,89	1,70	0,84	0,0017	7,56	7,45	0,78	1,32	0,23	0,00	0,36	9,70	
	0,50	1,00	0,50	0,50	2,03	92,89	5,26	1,01	1,98	1,00	2,00	0,92	0,00	5,87	1,26	0,68	0,0013	9,46	6,54	0,95	1,20	0,21	0,00	0,32	7,73	
	0,55	0,82	0,45	0,55	1,97	84,88	5,69	1,39	2,03	1,00	1,81	6,74	0,00	4,21	0,93	0,56	0,0009	11,78	5,99	1,16	1,08	0,19	0,00	0,29	6,13	
	0,60	0,67	0,40	0,60	1,93	75,78	6,24	1,83	2,09	1,00	1,66	7,55	0,07	2,71	0,68	0,47	0,0007	14,69	5,71	1,43	0,96	0,17	0,00	0,25	4,80	
	0,65	0,54	0,35	0,65	1,89	67,30	6,97	2,32	2,14	1,06	1,53	8,59	0,14	1,42	0,50	0,40	0,0005	18,42	5,85	1,77	0,84	0,15	0,00	0,22	3,70	
	0,70	0,43	0,30	0,70	1,86	59,97	7,96	2,90	2,18	1,11	1,43	9,97	0,21	1,69	0,44	0,34	0,0004	23,40	7,94	2,22	0,72	0,13	0,00	0,19	2,75	
	0,75	0,33	0,25	0,75	1,84	53,73	9,36	3,63	2,22	1,16	1,33	11,91	0,28	1,58	0,40	0,29	0,0004	30,37	10,40	2,85	0,60	0,11	0,00	0,15	2,04	
	0,80	0,25	0,20	0,80	1,81	48,41	11,48	4,67	2,26	1,24	1,25	14,81	0,34	1,31	0,36	0,24	0,0004	40,83	14,00	3,80	0,48	0,08	0,00	0,12	1,43	
	0,85	0,18	0,15	0,85	1,80	43,82	15,03	6,33	2,30	1,36	1,17	19,64	0,40	0,98	0,30	0,19	0,0003	58,25	20,28	5,39	0,36	0,06	0,00	0,09	1,43	
	0,90	0,11	0,10	0,90	1,78	39,82	22,15	9,60	2,33	1,49	1,11	29,32	0,46	0,64	0,22	0,14	0,0002	93,10	33,65	8,55	0,24	0,04	0,00	0,06	0,99	
	0,95	0,05	0,05	0,95	1,77	36,30	43,58	19,30	2,37	1,64	1,05	58,36	0,52	0,45	0,12	0,07	0,0001	197,65	77,23	18,06	0,12	0,02	0,00	0,03	0,49	
	Extremální systémy S2	0,35	0,65	0,54	0,83	1,28	41,41	4,01	2,89	4,84	3,90	2,43	5,33	0,28	10,88	1,67	0,77	0,0017	14,98	14,89	1,45	1,30	0,23	0,02	0,31	10,27
		0,40	0,51	0,48	0,93	1,37	31,67	4,17	3,16	4,17	3,31	2,14	5,39	0,36	8,46	1,37	0,64	0,0014	19,29	14,71	1,84	1,15	0,20	0,02	0,26	7,88
		0,45	0,41	0,42	1,03	1,54	27,78	4,45	3,32	3,57	2,83	1,92	5,47	0,41	6,76	1,13	0,53	0,0011	24,69	15,66	2,34	1,00	0,18	0,02	0,21	6,80
0,50		0,32	0,36	1,12	1,91	25,79	5,03	3,49	3,12	2,53	1,74	5,62	0,44	5,15	0,96	0,45	0,0010	31,72	17,54	2,97	0,86	0,15	0,02	0,16	5,87	
0,55		0,26	0,30	1,18	2,67	25,69	6,37	3,75	2,78	2,34	1,60	6,06	0,46	4,16	0,81	0,38	0,0008	39,55	20,30	3,69	0,73	0,13	0,02	0,13	4,80	
0,60		0,20	0,25	1,24	8,48	25,45	12,08	4,08	2,56	2,28	1,49	6,43	0,47	3,90	0,71	0,32	0,0007	50,00	25,24	4,64	0,61	0,11	0,02	0,10	3,97	
0,65		0,16	0,21	1,27	18,67	26,63	22,83	4,63	2,34	2,18	1,39	7,41	0,48	2,91	0,58	0,26	0,0006	62,70	30,40	5,79	0,50	0,09	0,02	0,08	3,49	
0,70		0,11	0,15	1,35	88,07	28,22	113,70	5,62	2,08	2,15	1,30	8,61	0,46	2,51	0,46	0,19	0,0005	93,06	45,41	8,55	0,36	0,06	0,01	0,05	3,00	
0,75		0,10	0,13	1,33	Inf	29,24	Inf	6,39	2,00	2,11	1,25	9,65	0,45	2,22	0,39	0,16	0,0004	108,25	51,07	9,93	0,31	0,05	0,01	0,04	2,64	
0,80		0,08	0,11	1,29	Inf	30,05	Inf	7,39	1,95	2,06	1,20	11,18	0,45	1,91	0,33	0,13	0,0003	122,34	55,49	11,21	0,26	0,05	0,01	0,04	2,26	
0,85		0,07	0,09	1,25	Inf	31,06	Inf	9,01	1,89	2,01	1,15	13,67	0,44	1,56	0,26	0,11	0,0003	145,12	62,96	13,28	0,21	0,04	0,01	0,03	1,58	
0,90		0,06	0,07	1,19	Inf	32,41	Inf	12,13	1,81	1,94	1,10	18,47	0,44	1,13	0,19	0,08	0,0002	188,84	78,00	17,26	0,16	0,03	0,01	0,02	1,17	
0,95		0,03	0,04	1,12	Inf	34,44	Inf	21,00	1,71	1,86	1,05	32,12	0,43	0,54	0,10	0,04	0,0001	312,27	124,38	28,48	0,09	0,02	0,00	0,01	0,67	

Tabulka C.6: Kompletní výsledky testování pro CHR LOAD metodu - překmit 0%

CHR-LD metoda 20%

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy						Regulátor				Porucha			
	σ	a	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]		
Extremální systémy S1																											
0,35	1,85	0,65	0,35	1,86	97,46	4,42	0,56	2,16	1,03	2,85	0,48	0,00	9,01	2,01	1,02	0,0020	6,12	7,92	0,65	1,30	0,27	0,00	0,42	10,44			
0,40	1,50	0,60	0,40	1,76	94,84	4,62	0,80	2,32	1,16	2,49	0,71	0,00	6,67	1,50	0,82	0,0015	7,81	6,80	0,80	1,20	0,25	0,00	0,39	8,29			
0,45	1,22	0,55	0,45	1,68	89,02	4,89	1,13	2,46	1,29	2,22	1,18	0,06	4,76	1,12	0,68	0,0011	9,81	6,05	0,98	1,10	0,23	0,00	0,36	6,62			
0,50	1,00	0,50	0,50	1,63	80,02	5,22	1,57	2,60	1,41	2,00	0,88	0,18	4,10	0,87	0,59	0,0009	12,21	6,61	1,20	1,00	0,21	0,00	0,32	5,18			
0,55	0,82	0,45	0,55	1,58	70,02	5,64	2,05	2,73	1,52	1,81	0,76	0,29	2,78	0,73	0,51	0,0007	15,15	6,70	1,47	0,90	0,19	0,00	0,28	4,40			
0,60	0,67	0,40	0,60	1,55	60,95	6,19	2,57	2,85	1,63	1,66	0,84	0,39	2,96	0,66	0,46	0,0007	18,82	8,54	1,80	0,80	0,17	0,00	0,25	3,27			
0,65	0,54	0,35	0,65	1,52	53,35	6,90	3,15	2,97	1,74	1,53	0,64	0,49	2,69	0,61	0,41	0,0006	23,53	10,48	2,23	0,70	0,15	0,00	0,21	2,81			
0,70	0,43	0,30	0,70	1,49	47,08	7,88	3,84	3,07	1,84	1,43	0,58	0,58	2,35	0,56	0,37	0,0006	29,82	13,15	2,80	0,60	0,13	0,00	0,18	1,81			
0,75	0,33	0,25	0,75	1,47	41,89	9,25	4,75	3,18	1,94	1,33	0,34	0,66	1,97	0,49	0,33	0,0005	38,63	17,16	3,60	0,50	0,11	0,01	0,15	1,81			
0,80	0,25	0,20	0,80	1,45	37,53	11,33	6,06	3,28	2,04	1,25	0,59	0,74	1,40	0,41	0,28	0,0004	51,83	23,48	4,80	0,40	0,08	0,01	0,12	1,52			
0,85	0,18	0,15	0,85	1,44	33,82	14,82	8,18	3,37	2,14	1,17	0,41	0,82	1,10	0,33	0,23	0,0003	73,84	35,08	6,80	0,30	0,06	0,01	0,09	1,17			
0,90	0,11	0,10	0,90	1,42	30,60	21,82	12,36	3,47	2,25	1,11	0,32	0,89	0,75	0,23	0,17	0,0002	117,87	59,57	10,81	0,20	0,04	0,00	0,06	0,79			
0,95	0,05	0,05	0,95	1,41	27,82	42,87	24,81	3,56	2,36	1,05	0,56	0,95	0,38	0,12	0,09	0,0001	249,93	138,44	22,81	0,10	0,02	0,00	0,03	0,40			
0,35	0,65	0,54	0,83	1,08	7,40	4,11	3,86	15,22	14,38	2,14	5,74	0,64	33,72	4,77	1,66	0,0048	24,64	52,33	2,33	0,96	0,20	0,09	0,24	30,79			
0,40	0,51	0,48	0,93	1,08	7,40	4,11	3,86	15,22	14,38	2,14	5,74	0,64	33,72	4,77	1,66	0,0048	24,64	52,33	2,33	0,96	0,20	0,09	0,24	30,79			
0,45	0,41	0,42	1,03	1,20	10,82	4,36	3,89	8,05	7,33	1,92	5,90	0,65	16,19	2,46	0,94	0,0025	31,46	35,34	2,95	0,83	0,18	0,06	0,19	14,88			
0,50	0,32	0,36	1,12	1,44	13,35	4,88	4,00	5,43	4,89	1,74	6,15	0,64	9,86	1,59	0,65	0,0016	40,33	33,04	3,76	0,71	0,15	0,05	0,14	9,26			
0,55	0,26	0,30	1,18	1,98	15,82	6,11	4,27	4,17	3,78	1,60	6,74	0,63	6,53	1,15	0,49	0,0011	50,23	34,97	4,66	0,61	0,13	0,04	0,11	6,58			
0,60	0,20	0,25	1,24	6,17	17,60	11,52	4,62	3,50	3,28	1,49	7,21	0,60	5,41	0,90	0,38	0,0009	63,42	41,51	5,86	0,51	0,11	0,03	0,08	5,48			
0,65	0,16	0,21	1,27	14,48	20,18	22,52	5,27	2,97	2,86	1,39	8,43	0,58	3,72	0,68	0,29	0,0007	79,46	48,87	7,31	0,42	0,09	0,02	0,07	3,76			
0,70	0,11	0,15	1,35	69,68	24,51	113,64	6,40	2,36	2,49	1,30	9,87	0,51	2,70	0,47	0,19	0,0005	117,81	70,34	10,80	0,30	0,06	0,01	0,04	3,14			
0,75	0,10	0,13	1,33	Inf	26,03	Inf	7,29	2,22	2,39	1,25	11,03	0,49	2,37	0,39	0,15	0,0004	137,00	78,64	12,55	0,25	0,05	0,01	0,03	2,75			
0,80	0,08	0,11	1,29	Inf	26,90	Inf	8,45	2,15	2,32	1,20	12,80	0,49	2,04	0,33	0,13	0,0003	154,79	85,46	14,16	0,22	0,05	0,01	0,03	2,06			
0,85	0,07	0,09	1,25	Inf	28,00	Inf	10,33	2,07	2,25	1,15	15,69	0,48	1,63	0,26	0,10	0,0003	183,58	96,91	16,78	0,18	0,04	0,01	0,02	1,68			
0,90	0,06	0,07	1,19	Inf	29,48	Inf	13,97	1,97	2,15	1,10	21,27	0,47	1,03	0,18	0,07	0,0002	238,80	119,80	21,80	0,13	0,03	0,01	0,02	1,23			
0,95	0,03	0,04	1,12	Inf	31,74	Inf	24,34	1,83	2,03	1,05	37,16	0,46	0,59	0,10	0,04	0,0001	394,71	191,03	35,97	0,07	0,02	0,00	0,01	0,60			

Tabulka C.7: Kompletní výsledky testování pro CHR LOAD metodu - překmit 20%

Cohenova-Coonova metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy						Regulátor				Porucha		
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,00	0,65	0,35	1,55	78,95	4,00	1,31	2,82	1,65	2,85	5,37	0,24	5,44	1,14	0,76	0,0011	9,66	6,54	0,97	1,01	0,18	0,00	0,42	6,35	
	0,40	1,00	0,60	0,40	1,49	70,89	4,22	1,68	3,07	1,85	2,49	5,78	0,34	5,17	1,07	0,71	0,0011	11,54	7,13	1,14	0,98	0,17	0,00	0,39	5,99	
	0,45	1,00	0,55	0,45	1,44	61,66	4,49	2,10	3,30	2,04	2,22	6,26	0,43	4,86	1,04	0,66	0,0010	13,76	7,86	1,34	0,95	0,16	0,00	0,35	5,62	
	0,50	1,00	0,50	0,50	1,41	53,24	4,83	2,53	3,51	2,22	2,00	6,83	0,51	4,54	1,00	0,62	0,0010	16,43	8,80	1,58	0,90	0,15	0,01	0,32	5,23	
	0,55	1,00	0,45	0,55	1,38	46,35	5,25	2,97	3,70	2,38	1,81	7,54	0,59	4,69	0,96	0,58	0,0010	19,69	10,50	1,88	0,85	0,14	0,01	0,28	4,81	
	0,60	1,00	0,40	0,60	1,36	40,89	5,78	3,46	3,88	2,53	1,66	8,43	0,66	4,30	0,91	0,54	0,0009	23,77	12,14	2,25	0,79	0,13	0,01	0,25	4,35	
	0,65	1,00	0,35	0,65	1,34	36,59	6,48	4,04	4,03	2,67	1,53	9,57	0,73	3,86	0,85	0,50	0,0008	29,01	14,43	2,73	0,71	0,12	0,01	0,21	3,87	
	0,70	1,00	0,30	0,70	1,33	33,14	7,43	4,76	4,17	2,79	1,43	11,11	0,80	3,39	0,76	0,46	0,0008	36,00	17,72	3,36	0,63	0,10	0,01	0,18	3,03	
	0,75	1,00	0,25	0,75	1,32	30,34	8,77	5,73	4,30	2,91	1,33	13,26	0,86	2,88	0,67	0,40	0,0007	45,78	22,69	4,25	0,54	0,09	0,01	0,15	2,58	
	0,80	1,00	0,20	0,80	1,31	28,02	10,79	7,16	4,41	3,01	1,25	16,50	0,91	2,34	0,56	0,35	0,0006	60,45	30,67	5,59	0,45	0,07	0,01	0,12	2,10	
	0,85	1,00	0,15	0,85	1,31	26,08	14,17	9,52	4,51	3,11	1,17	21,90	0,96	1,79	0,44	0,28	0,0004	84,91	44,77	7,81	0,34	0,05	0,01	0,09	1,60	
	0,90	1,00	0,10	0,90	1,30	24,44	20,97	14,20	4,59	3,20	1,11	32,72	1,01	1,21	0,30	0,20	0,0003	133,82	74,50	12,26	0,24	0,04	0,01	0,06	1,09	
	0,95	1,00	0,05	0,95	1,30	23,02	41,39	28,20	4,67	3,29	1,05	65,18	1,06	0,61	0,16	0,11	0,0002	280,56	170,28	25,60	0,12	0,02	0,00	0,03	0,55	
	0,35	1,00	0,54	0,83	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	0,40	1,00	0,48	0,93	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
0,45	1,00	0,42	1,03	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
0,50	1,00	0,36	1,12	1,12	4,06	4,56	4,30	17,06	16,52	1,74	6,30	0,76	33,23	4,93	1,75	0,0049	47,68	85,56	4,43	0,78	0,12	0,06	0,14	31,14		
0,55	1,00	0,30	1,18	1,46	9,29	5,56	4,59	6,97	6,57	1,60	7,00	0,72	11,48	1,85	0,72	0,0018	58,67	53,14	5,42	0,68	0,11	0,04	0,11	10,89		
0,60	1,00	0,25	1,24	3,29	13,78	8,77	4,95	4,47	4,21	1,49	7,57	0,64	6,39	1,09	0,44	0,0011	73,32	52,11	6,76	0,57	0,09	0,03	0,08	6,40		
0,65	1,00	0,21	1,27	10,63	18,20	19,30	5,65	3,32	3,16	1,39	8,93	0,61	3,97	0,71	0,30	0,0007	91,15	57,52	8,38	0,48	0,07	0,02	0,06	4,00		
0,70	1,00	0,15	1,35	77,49	25,99	121,16	6,82	2,25	2,32	1,30	10,56	0,49	2,47	0,41	0,17	0,0004	133,76	77,74	12,25	0,35	0,05	0,01	0,04	2,51		
0,75	1,00	0,13	1,33	Inf	28,23	Inf	7,75	2,06	2,18	1,25	11,76	0,47	1,84	0,34	0,13	0,0003	155,08	85,91	14,19	0,30	0,05	0,01	0,03	2,20		
0,80	1,00	0,11	1,29	Inf	29,26	Inf	8,98	2,00	2,12	1,20	13,65	0,46	1,58	0,28	0,11	0,0003	174,85	93,20	15,99	0,26	0,04	0,01	0,03	1,87		
0,85	1,00	0,09	1,25	Inf	30,57	Inf	10,98	1,91	2,04	1,15	16,72	0,45	1,28	0,22	0,09	0,0002	206,84	105,55	18,89	0,21	0,03	0,01	0,02	1,30		
0,90	1,00	0,07	1,19	Inf	32,32	Inf	14,84	1,82	1,95	1,10	22,65	0,44	0,92	0,16	0,06	0,0002	268,20	130,60	24,47	0,16	0,02	0,00	0,02	0,96		
0,95	1,00	0,04	1,12	Inf	34,95	Inf	25,86	1,69	1,83	1,05	39,54	0,42	0,44	0,08	0,03	0,0001	441,43	209,26	40,22	0,09	0,01	0,00	0,01	0,53		

Tabulka C.8: Kompletní výsledky testování pro Cohenovu-Coonovu metodu

IAE-SP metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Casové indexy					Regulátor				Porucha						
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,00	0,65	0,35	2,14	62,37	3,46	1,20	1,91	1,00	2,85	3,87	0,05	2,84	0,93	0,77	0,0009	2,38	3,20	0,34	0,30	0,35	0,00	0,42	3,81	
	0,40	1,00	0,60	0,40	2,21	63,07	3,77	1,27	1,86	1,00	2,49	4,05	0,03	2,48	0,85	0,71	0,0009	3,23	3,01	0,42	0,35	0,32	0,00	0,39	3,57	
	0,45	1,00	0,55	0,45	2,26	63,57	4,13	1,35	1,83	1,00	2,22	4,29	0,02	2,23	0,78	0,66	0,0008	4,23	2,98	0,52	0,40	0,28	0,00	0,36	3,43	
	0,50	1,00	0,50	0,50	2,29	64,03	4,56	1,46	1,81	1,00	2,00	4,62	0,01	2,01	0,72	0,60	0,0007	5,46	3,06	0,65	0,46	0,25	0,00	0,32	3,38	
	0,55	1,00	0,45	0,55	2,30	64,39	5,08	1,60	1,80	1,00	1,81	5,06	0,00	1,81	0,65	0,54	0,0006	6,97	3,23	0,80	0,51	0,22	0,00	0,29	3,41	
	0,60	1,00	0,40	0,60	2,32	64,65	5,72	1,79	1,79	1,00	1,66	5,62	0,00	1,61	0,58	0,48	0,0006	8,86	3,49	0,99	0,57	0,20	0,00	0,26	3,45	
	0,65	1,00	0,35	0,65	2,32	64,83	6,53	2,04	1,79	1,00	1,53	6,39	0,00	1,42	0,51	0,42	0,0005	11,33	3,91	1,23	0,62	0,17	0,00	0,23	3,49	
	0,70	1,00	0,30	0,70	2,32	64,89	7,60	2,38	1,79	1,00	1,43	7,43	0,00	1,22	0,44	0,36	0,0004	14,65	4,54	1,57	0,68	0,14	0,00	0,20	3,55	
	0,75	1,00	0,25	0,75	2,32	64,76	9,09	2,87	1,79	1,00	1,33	8,89	0,00	1,02	0,37	0,30	0,0004	19,33	5,50	2,03	0,73	0,12	0,00	0,16	3,62	
	0,80	1,00	0,20	0,80	2,31	64,43	11,32	3,62	1,79	1,00	1,25	11,12	0,01	0,82	0,29	0,24	0,0003	26,47	7,07	2,75	0,78	0,09	0,00	0,13	3,69	
	0,85	1,00	0,15	0,84	2,31	63,85	15,01	4,88	1,80	1,00	1,17	14,83	0,02	0,61	0,22	0,18	0,0002	38,48	9,84	3,95	0,84	0,07	0,00	0,10	3,75	
	0,90	1,00	0,10	0,89	2,29	62,89	22,33	7,46	1,82	1,00	1,11	22,33	0,03	0,40	0,14	0,12	0,0001	63,03	15,77	6,40	0,89	0,04	0,00	0,07	3,81	
	0,95	1,00	0,05	0,94	2,26	61,15	44,03	15,38	1,84	1,00	1,05	44,97	0,06	0,15	0,07	0,06	0,0001	138,79	35,20	13,98	0,95	0,02	0,00	0,03	3,85	
	Extremální systémy S2	0,35	1,00	0,54	0,53	1,93	60,72	3,47	1,53	2,21	1,31	2,43	4,06	0,16	3,78	0,98	0,67	0,0010	5,39	4,73	0,64	0,49	0,28	0,02	0,35	4,09
		0,40	1,00	0,48	0,60	2,09	57,05	3,69	1,76	2,13	1,30	2,14	4,05	0,17	3,71	0,91	0,60	0,0009	7,24	5,14	0,82	0,56	0,24	0,01	0,30	4,05
0,45		1,00	0,42	0,67	2,38	52,77	4,02	2,00	2,04	1,30	1,92	4,05	0,18	3,62	0,84	0,53	0,0008	9,58	5,68	1,06	0,63	0,20	0,01	0,26	4,01	
0,50		1,00	0,36	0,73	3,00	48,95	4,63	2,25	1,94	1,30	1,74	4,11	0,19	3,49	0,76	0,46	0,0008	12,72	6,39	1,37	0,70	0,17	0,00	0,22	3,94	
0,55		1,00	0,30	0,78	4,32	47,46	5,93	2,50	1,82	1,28	1,60	4,32	0,19	2,65	0,66	0,39	0,0007	16,36	6,56	1,74	0,76	0,14	0,00	0,19	3,84	
0,60		1,00	0,25	0,82	11,45	46,93	10,13	2,78	1,71	1,26	1,49	4,57	0,19	2,48	0,58	0,33	0,0006	21,23	7,66	2,22	0,81	0,12	0,00	0,15	3,77	
0,65		1,00	0,21	0,86	27,80	48,24	19,66	3,15	1,58	1,22	1,39	5,09	0,18	2,24	0,48	0,27	0,0005	27,58	9,04	2,86	0,85	0,09	0,00	0,13	4,04	
0,70		1,00	0,15	0,92	173,13	49,92	109,53	3,85	1,42	1,21	1,30	5,81	0,17	1,94	0,37	0,19	0,0004	42,28	12,56	4,33	0,91	0,07	0,00	0,09	4,16	
0,75		1,00	0,13	0,92	Inf	51,98	Inf	4,40	1,36	1,18	1,25	6,52	0,16	1,69	0,31	0,16	0,0003	50,48	14,14	5,15	0,92	0,05	0,00	0,08	4,07	
0,80		1,00	0,11	0,92	Inf	54,06	Inf	5,11	1,32	1,14	1,20	7,57	0,15	1,40	0,25	0,14	0,0003	59,11	15,70	6,01	0,92	0,05	0,00	0,07	3,99	

Tabulka C.9: Kompletní výsledky testování pro IAE SETPOINT metodu

ITAE-SP metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Časové indexy					Regulátor				Porucha							
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]		
Extremální systémy S1																											
0,35	1,00	0,65	0,35	1,24	28,19	3,40	2,43	5,41	4,09	2,85	5,15	0,79	10,19	2,12	1,14	0,0021	5,82	12,95	0,68	0,33	0,28	0,21	0,42	10,19			
0,40	1,00	0,60	0,40	1,31	33,15	3,69	2,45	4,43	3,19	2,49	5,49	0,73	7,64	1,62	0,92	0,0016	7,11	10,49	0,81	0,38	0,26	0,15	0,39	7,69			
0,45	1,00	0,55	0,45	1,37	37,19	4,04	2,50	3,83	2,64	2,22	5,89	0,62	5,51	1,30	0,77	0,0013	8,55	8,60	0,95	0,43	0,24	0,10	0,36	6,18			
0,50	1,00	0,50	0,50	1,43	40,63	4,45	2,60	3,42	2,27	2,00	6,37	0,57	4,31	1,07	0,66	0,0011	10,22	7,72	1,12	0,48	0,21	0,06	0,32	4,38			
0,55	1,00	0,45	0,55	1,50	43,65	4,95	2,73	3,11	2,00	1,81	6,96	0,50	3,79	0,88	0,57	0,0009	12,19	7,69	1,32	0,54	0,19	0,02	0,28	3,91			
0,60	1,00	0,40	0,60	1,56	46,38	5,58	2,91	2,86	1,77	1,66	7,68	0,45	2,86	0,73	0,49	0,0007	14,54	7,37	1,55	0,59	0,17	0,00	0,25	3,47			
0,65	1,00	0,35	0,65	1,63	48,95	6,38	3,14	2,66	1,59	1,53	8,59	0,39	2,40	0,61	0,42	0,0006	17,45	7,65	1,85	0,64	0,15	0,00	0,22	3,20			
0,70	1,00	0,30	0,70	1,71	51,39	7,44	3,47	2,48	1,44	1,43	9,77	0,32	1,74	0,49	0,35	0,0005	21,18	7,94	2,22	0,69	0,13	0,00	0,19	3,22			
0,75	1,00	0,25	0,75	1,80	53,83	8,93	3,92	2,31	1,30	1,33	11,36	0,26	1,42	0,39	0,29	0,0004	26,12	8,87	2,71	0,74	0,11	0,00	0,16	3,38			
0,80	1,00	0,20	0,80	1,91	56,29	11,16	4,59	2,16	1,17	1,25	13,63	0,19	0,90	0,30	0,23	0,0003	33,19	10,09	3,42	0,79	0,08	0,00	0,13	3,52			
0,85	1,00	0,15	0,84	2,04	58,99	14,88	5,65	2,01	1,05	1,17	17,11	0,11	0,66	0,22	0,18	0,0002	44,20	12,37	4,52	0,84	0,06	0,00	0,10	3,65			
0,90	1,00	0,10	0,89	2,24	62,10	22,31	7,65	1,85	1,00	1,11	23,06	0,05	0,41	0,14	0,12	0,0001	64,57	16,46	6,56	0,89	0,04	0,00	0,07	3,78			
0,95	1,00	0,05	0,94	2,60	66,30	44,56	13,04	1,66	1,00	1,05	33,75	0,00	0,21	0,08	0,06	0,0001	118,58	27,03	11,96	0,94	0,02	0,00	0,04	3,92			
0,35	1,00	0,54	0,53	1,18	18,12	3,39	2,87	7,28	6,39	2,43	4,79	0,64	17,60	2,82	1,18	0,0028	10,12	22,15	1,11	0,52	0,23	0,16	0,32	17,64			
0,40	1,00	0,48	0,60	1,32	22,24	3,60	2,88	4,92	4,10	2,14	4,81	0,55	10,77	1,84	0,82	0,0018	12,53	15,41	1,35	0,59	0,21	0,10	0,27	10,82			
0,45	1,00	0,42	0,67	1,55	26,13	3,91	2,91	3,61	2,89	1,92	4,83	0,46	7,71	1,31	0,61	0,0013	15,41	12,85	1,64	0,66	0,18	0,06	0,23	7,80			
0,50	1,00	0,36	0,73	2,02	29,91	4,49	2,98	2,82	2,21	1,74	4,89	0,39	5,70	0,98	0,48	0,0010	19,04	11,66	2,00	0,72	0,15	0,03	0,19	5,79			
0,55	1,00	0,30	0,78	2,99	34,11	5,70	3,12	2,31	1,80	1,60	5,12	0,33	3,90	0,76	0,39	0,0008	23,02	10,81	2,40	0,77	0,13	0,01	0,16	4,74			
0,60	1,00	0,25	0,82	7,69	37,99	9,35	3,30	1,98	1,56	1,49	5,30	0,28	2,89	0,60	0,31	0,0006	28,05	10,96	2,91	0,82	0,11	0,00	0,13	4,38			
0,65	1,00	0,21	0,86	21,47	42,62	18,76	3,61	1,72	1,38	1,39	5,81	0,24	2,02	0,47	0,25	0,0005	34,25	11,64	3,53	0,85	0,09	0,00	0,11	4,06			
0,70	1,00	0,15	0,92	161,55	48,05	110,91	4,13	1,45	1,25	1,30	6,24	0,19	1,83	0,36	0,18	0,0004	47,51	14,57	4,85	0,92	0,06	0,00	0,08	4,09			
0,75	1,00	0,13	0,92	Inf	50,89	Inf	4,60	1,37	1,20	1,25	6,83	0,17	1,63	0,30	0,16	0,0003	54,43	15,63	5,54	0,92	0,05	0,00	0,07	4,03			
0,80	1,00	0,11	0,92	Inf	53,50	Inf	5,24	1,33	1,15	1,20	7,76	0,15	1,38	0,25	0,13	0,0003	61,46	16,59	6,25	0,92	0,05	0,00	0,07	3,97			
0,85	1,00	0,09	0,92	Inf	56,67	Inf	6,27	1,28	1,10	1,15	9,24	0,13	1,05	0,20	0,11	0,0002	72,87	18,29	7,39	0,92	0,04	0,00	0,06	3,92			
0,90	1,00	0,07	0,94	Inf	60,61	Inf	8,23	1,23	1,05	1,10	12,00	0,10	0,55	0,14	0,08	0,0001	94,46	21,71	9,55	0,94	0,03	0,00	0,05	3,90			
0,95	1,00	0,04	0,96	Inf	65,97	Inf	13,51	1,18	1,01	1,05	19,22	0,06	0,32	0,08	0,05	0,0001	151,77	32,21	15,28	0,96	0,02	0,00	0,03	3,91			

Tabulka C.10: Kompletní výsledky testování pro ITAE SETPOINT metodu

ISE-SP metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Casové indexy					Regulátor				Porucha					
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]
Extremální systémy S1	0,35	1,00	0,65	0,35	2,39	75,04	3,76	0,92	1,73	1,00	2,85	3,45	0,00	4,01	1,17	0,81	0,0012	2,78	3,83	0,38	0,44	0,33	0,00	0,42	5,21
	0,40	1,00	0,60	0,40	2,24	72,52	4,01	1,10	1,82	1,00	2,49	4,24	0,00	3,14	0,99	0,72	0,0010	3,71	3,40	0,47	0,47	0,31	0,00	0,39	4,67
	0,45	1,00	0,55	0,45	2,14	70,31	4,33	1,29	1,90	1,00	2,22	4,82	0,00	2,52	0,85	0,65	0,0009	4,81	3,23	0,58	0,49	0,29	0,00	0,36	4,29
	0,50	1,00	0,50	0,50	2,06	68,46	4,75	1,49	1,96	1,00	2,00	5,46	0,05	2,23	0,74	0,58	0,0007	6,15	3,43	0,72	0,53	0,27	0,00	0,32	4,02
	0,55	1,00	0,45	0,55	2,00	66,99	5,26	1,73	2,02	1,00	1,81	6,22	0,08	1,95	0,65	0,52	0,0007	7,80	3,74	0,88	0,56	0,25	0,00	0,29	3,81
	0,60	1,00	0,40	0,60	1,95	65,95	5,92	2,00	2,07	1,02	1,66	7,14	0,11	1,68	0,58	0,46	0,0006	9,85	4,20	1,09	0,59	0,23	0,00	0,25	3,63
	0,65	1,00	0,35	0,65	1,90	65,33	6,79	2,34	2,13	1,06	1,53	8,35	0,13	1,44	0,51	0,40	0,0005	12,54	4,94	1,35	0,63	0,21	0,00	0,22	3,55
	0,70	1,00	0,30	0,70	1,85	65,10	7,96	2,78	2,19	1,11	1,43	9,96	0,16	1,52	0,44	0,34	0,0004	16,13	6,35	1,71	0,66	0,18	0,00	0,19	3,49
	0,75	1,00	0,25	0,75	1,80	65,21	9,59	3,39	2,26	1,16	1,33	12,22	0,18	1,28	0,37	0,29	0,0004	21,18	8,11	2,22	0,70	0,16	0,00	0,15	3,46
	0,80	1,00	0,20	0,80	1,74	65,55	12,07	4,32	2,36	1,23	1,25	15,67	0,21	1,03	0,31	0,23	0,0003	28,85	11,13	2,99	0,74	0,13	0,00	0,12	3,45
	0,85	1,00	0,15	0,84	1,67	66,07	16,20	5,90	2,50	1,33	1,17	21,46	0,23	0,92	0,24	0,17	0,0002	41,71	17,03	4,27	0,77	0,10	0,00	0,09	3,46
	0,90	1,00	0,10	0,89	1,58	66,57	24,51	9,24	2,74	1,51	1,11	33,26	0,29	0,76	0,17	0,12	0,0002	67,84	30,49	6,88	0,81	0,07	0,00	0,06	3,48
	0,95	1,00	0,05	0,94	1,43	66,44	49,59	20,22	3,31	1,93	1,05	69,51	0,34	0,49	0,10	0,06	0,0001	147,78	81,82	14,88	0,85	0,04	0,00	0,03	3,51
	0,35	1,00	0,54	0,53	1,81	64,44	3,61	1,59	2,35	1,44	2,43	4,35	0,15	4,52	1,00	0,66	0,0010	6,07	5,62	0,71	0,57	0,30	0,01	0,34	5,51
	0,40	1,00	0,48	0,60	1,91	56,44	3,84	1,95	2,32	1,47	2,14	4,41	0,19	4,39	0,92	0,58	0,0009	8,09	6,24	0,91	0,61	0,27	0,01	0,29	5,35
0,45	1,00	0,42	0,67	2,18	50,24	4,22	2,26	2,19	1,43	1,92	4,46	0,21	4,20	0,82	0,50	0,0008	10,64	6,96	1,16	0,66	0,24	0,00	0,25	3,79	
0,50	1,00	0,36	0,73	2,85	46,71	4,97	2,53	2,01	1,38	1,74	4,55	0,21	3,24	0,72	0,42	0,0007	14,04	7,23	1,50	0,70	0,21	0,00	0,20	3,72	
0,55	1,00	0,30	0,78	4,34	46,51	6,66	2,78	1,82	1,30	1,60	4,80	0,20	2,42	0,60	0,36	0,0006	17,98	7,89	1,90	0,74	0,19	0,00	0,17	3,66	
0,60	1,00	0,25	0,82	13,82	47,44	12,89	3,07	1,65	1,24	1,49	5,02	0,18	2,26	0,51	0,29	0,0005	23,23	9,67	2,42	0,77	0,16	0,00	0,14	3,68	
0,65	1,00	0,21	0,86	23,46	50,27	21,94	3,47	1,49	1,18	1,39	5,58	0,16	2,03	0,41	0,23	0,0004	30,05	11,99	3,10	0,79	0,14	0,00	0,11	3,83	
0,70	1,00	0,15	0,92	83,77	54,27	90,15	4,19	1,28	1,15	1,30	6,13	0,15	1,78	0,31	0,16	0,0003	45,76	17,96	4,68	0,84	0,10	0,00	0,08	3,85	
0,75	1,00	0,13	0,92	Inf	57,06	Inf	4,78	1,22	1,12	1,25	6,81	0,13	1,50	0,26	0,13	0,0003	54,49	20,79	5,55	0,84	0,09	0,00	0,07	3,77	
0,80	1,00	0,11	0,92	Inf	59,77	Inf	5,58	1,19	1,09	1,20	7,87	0,12	0,87	0,21	0,11	0,0002	63,67	23,43	6,47	0,83	0,08	0,00	0,06	3,68	
0,85	1,00	0,09	0,92	Inf	63,10	Inf	6,94	1,15	1,06	1,15	9,63	0,09	0,71	0,16	0,09	0,0002	79,21	29,17	8,02	0,83	0,07	0,00	0,05	3,60	
0,90	1,00	0,07	0,94	Inf	67,33	Inf	9,70	1,10	1,02	1,10	13,09	0,07	0,51	0,11	0,06	0,0001	110,44	41,55	11,14	0,84	0,05	0,00	0,04	3,55	
0,95	1,00	0,04	0,96	Inf	73,27	Inf	18,10	1,06	1,00	1,05	23,19	0,03	0,26	0,06	0,03	0,0001	202,71	82,15	20,37	0,86	0,03	0,00	0,02	3,52	

Tabulka C.1.1: Kompletní výsledky testování pro ISE SETPOINT metodu

IAE-LD metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy								Casové indexy					Regulátor				Porucha						
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]		
Extremální systémy S1																											
0,35	1,00	0,65	0,35	1,53	87,29	4,15	1,05	2,89	1,66	2,85	1,22	0,12	5,34	1,25	0,80	0,0012	5,09	5,74	0,61	0,74	0,37	0,00	0,42	6,37			
0,40	1,00	0,60	0,40	1,48	78,42	4,33	1,43	3,08	1,82	2,49	5,90	0,25	5,02	1,10	0,72	0,0011	6,18	6,26	0,72	0,67	0,35	0,00	0,39	5,91			
0,45	1,00	0,55	0,45	1,46	67,87	4,56	1,85	3,21	1,93	2,22	6,32	0,33	4,75	1,01	0,66	0,0010	7,38	6,84	0,84	0,61	0,32	0,00	0,36	5,47			
0,50	1,00	0,50	0,50	1,44	58,07	4,85	2,26	3,29	2,02	2,00	6,82	0,43	4,45	0,95	0,61	0,0009	8,76	7,46	0,98	0,55	0,30	0,01	0,32	4,04			
0,55	1,00	0,45	0,55	1,44	50,19	5,23	2,66	3,33	2,07	1,81	7,44	0,50	4,09	0,88	0,56	0,0009	10,38	8,12	1,14	0,49	0,28	0,01	0,28	3,71			
0,60	1,00	0,40	0,60	1,44	44,16	5,72	3,07	3,32	2,09	1,66	8,20	0,57	3,29	0,81	0,52	0,0008	12,29	8,48	1,33	0,43	0,25	0,01	0,25	3,35			
0,65	1,00	0,35	0,65	1,46	39,40	6,36	3,52	3,27	2,08	1,53	9,19	0,62	2,94	0,72	0,47	0,0007	14,64	9,57	1,56	0,37	0,22	0,01	0,22	2,62			
0,70	1,00	0,30	0,70	1,48	35,60	7,23	4,06	3,20	2,06	1,43	10,49	0,65	2,23	0,63	0,43	0,0006	17,62	10,71	1,86	0,32	0,20	0,01	0,18	2,32			
0,75	1,00	0,25	0,75	1,51	32,57	8,46	4,75	3,08	2,02	1,33	12,29	0,67	1,90	0,54	0,37	0,0005	21,53	12,71	2,25	0,26	0,17	0,02	0,15	1,96			
0,80	1,00	0,20	0,80	1,56	29,99	10,33	5,73	2,95	2,00	1,25	14,94	0,67	1,47	0,45	0,32	0,0004	27,06	15,60	2,81	0,20	0,14	0,02	0,12	1,48			
0,85	1,00	0,15	0,84	1,62	27,79	13,48	7,27	2,79	2,08	1,17	19,22	0,70	1,12	0,37	0,26	0,0004	35,56	20,31	3,66	0,15	0,11	0,02	0,09	1,40			
0,90	1,00	0,10	0,89	1,72	25,79	19,82	10,20	2,61	2,24	1,11	27,42	0,72	1,05	0,29	0,18	0,0003	51,03	29,44	5,20	0,10	0,07	0,01	0,06	1,07			
0,95	1,00	0,05	0,94	1,92	23,91	38,96	18,34	2,53	2,45	1,05	49,76	0,70	0,62	0,17	0,10	0,0002	90,94	52,58	9,19	0,05	0,04	0,01	0,03	0,75			
0,35	1,00	0,54	0,53	1,30	36,58	3,70	2,66	4,64	3,72	2,43	5,00	0,42	10,20	1,69	0,79	0,0017	8,68	13,29	0,97	0,60	0,33	0,07	0,32	10,30			
0,40	1,00	0,48	0,60	1,36	26,79	3,79	2,89	4,36	4,36	2,14	5,00	0,50	9,31	1,57	0,73	0,0016	10,66	13,77	1,17	0,52	0,29	0,08	0,27	9,42			
0,45	1,00	0,42	0,67	1,46	21,38	3,94	3,05	4,17	3,47	1,92	5,02	0,56	8,51	1,49	0,68	0,0015	13,00	14,59	1,40	0,45	0,26	0,08	0,22	8,59			
0,50	1,00	0,36	0,73	1,63	17,44	4,24	3,22	4,21	3,68	1,74	5,11	0,60	8,46	1,49	0,65	0,0015	15,91	16,85	1,69	0,38	0,23	0,08	0,17	9,23			
0,55	1,00	0,30	0,78	1,98	15,65	4,95	3,45	4,21	3,82	1,60	5,45	0,63	8,09	1,43	0,61	0,0014	19,08	19,14	2,01	0,32	0,20	0,07	0,14	8,83			
0,60	1,00	0,25	0,82	3,39	13,94	6,82	3,75	4,40	4,16	1,49	5,79	0,65	8,39	1,42	0,57	0,0014	23,05	23,25	2,41	0,26	0,17	0,06	0,11	9,08			
0,65	1,00	0,21	0,86	9,96	13,91	14,03	4,24	4,26	4,13	1,39	6,61	0,66	7,47	1,24	0,50	0,0012	27,89	26,57	2,89	0,21	0,14	0,05	0,09	8,04			
0,70	1,00	0,15	0,92	83,37	13,22	82,73	5,09	4,35	4,40	1,30	7,70	0,64	6,94	1,08	0,40	0,0011	38,10	36,99	3,91	0,15	0,11	0,04	0,06	7,45			
0,75	1,00	0,13	0,92	Inf	13,83	Inf	5,78	4,15	4,24	1,25	8,67	0,63	6,08	0,92	0,33	0,0009	43,37	39,76	4,44	0,13	0,09	0,03	0,05	6,08			
0,80	1,00	0,11	0,92	Inf	14,67	Inf	6,67	3,92	4,01	1,20	10,06	0,63	4,83	0,75	0,28	0,0007	48,68	40,94	4,97	0,11	0,08	0,03	0,04	5,21			
0,85	1,00	0,09	0,92	Inf	15,73	Inf	8,13	3,65	3,76	1,15	12,32	0,62	3,60	0,57	0,21	0,0006	57,25	43,99	5,82	0,09	0,07	0,02	0,04	3,91			
0,90	1,00	0,07	0,94	Inf	17,17	Inf	10,93	3,35	3,47	1,10	16,67	0,61	2,40	0,39	0,15	0,0004	73,27	51,06	7,43	0,06	0,05	0,02	0,03	2,63			
0,95	1,00	0,04	0,96	Inf	19,26	Inf	18,69	2,99	3,13	1,05	28,76	0,60	1,24	0,21	0,08	0,0002	114,97	72,30	11,60	0,03	0,03	0,01	0,02	1,37			

Tabulka C.12: Kompletní výsledky testování pro IAE-LOAD metodu

ITAE-LD metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy								Časové indexy						Regulátor				Porucha				
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,00	0,65	0,35	2,10	78,57	3,90	0,93	1,91	1,00	2,85	1,63	0,00	4,28	1,18	0,80	0,0012	3,01	4,14	0,40	0,47	0,38	0,00	0,42	5,52	
	0,40	1,00	0,60	0,40	1,96	72,41	4,09	1,21	2,05	1,00	2,49	4,93	0,06	3,65	0,93	0,70	0,0009	4,03	4,16	0,50	0,47	0,35	0,00	0,39	4,69	
	0,45	1,00	0,55	0,45	1,86	64,95	4,32	1,54	2,19	1,14	2,22	5,41	0,16	2,72	0,81	0,63	0,0008	5,25	3,88	0,62	0,45	0,32	0,00	0,36	3,42	
	0,50	1,00	0,50	0,50	1,77	57,16	4,62	1,90	2,33	1,28	2,00	5,96	0,25	2,73	0,76	0,58	0,0008	6,74	4,62	0,77	0,44	0,29	0,00	0,32	3,02	
	0,55	1,00	0,45	0,55	1,71	50,07	5,00	2,29	2,46	1,42	1,81	6,62	0,34	2,58	0,73	0,53	0,0007	8,59	5,34	0,96	0,42	0,26	0,00	0,29	2,71	
	0,60	1,00	0,40	0,60	1,66	44,15	5,50	2,71	2,58	1,56	1,66	7,43	0,42	2,35	0,69	0,49	0,0007	10,91	6,21	1,19	0,39	0,23	0,01	0,25	2,41	
	0,65	1,00	0,35	0,65	1,62	39,32	6,16	3,21	2,70	1,70	1,53	8,49	0,49	2,10	0,65	0,46	0,0007	13,95	7,43	1,50	0,37	0,20	0,01	0,22	2,59	
	0,70	1,00	0,30	0,70	1,59	35,53	7,06	3,83	2,82	1,83	1,43	9,90	0,55	1,83	0,60	0,42	0,0006	18,07	9,22	1,91	0,34	0,17	0,02	0,18	2,24	
	0,75	1,00	0,25	0,75	1,57	32,69	8,35	4,64	2,91	1,94	1,33	11,89	0,61	1,55	0,53	0,37	0,0005	23,90	11,90	2,49	0,30	0,14	0,02	0,15	1,38	
	0,80	1,00	0,20	0,80	1,55	30,64	10,33	5,84	3,00	2,04	1,25	14,89	0,65	1,25	0,44	0,31	0,0004	32,83	16,28	3,38	0,26	0,11	0,01	0,12	1,13	
	0,85	1,00	0,15	0,84	1,53	29,43	13,70	7,79	3,07	2,10	1,17	19,92	0,70	0,94	0,34	0,24	0,0003	47,96	23,99	4,90	0,22	0,08	0,01	0,09	1,17	
	0,90	1,00	0,10	0,89	1,52	29,13	20,54	11,69	3,12	2,13	1,11	30,10	0,73	0,78	0,23	0,17	0,0002	79,13	40,52	8,01	0,17	0,05	0,00	0,06	0,81	
	0,95	1,00	0,05	0,94	1,49	30,24	41,48	23,52	3,19	2,14	1,05	61,09	0,74	0,39	0,12	0,08	0,0001	176,51	92,98	17,75	0,10	0,03	0,00	0,03	0,40	
	Extremální systémy S2	0,35	1,00	0,54	0,53	1,52	46,74	3,52	2,09	3,11	2,21	2,43	4,56	0,35	6,36	1,25	0,70	0,0012	6,65	8,26	0,77	0,47	0,31	0,07	0,33	6,49
		0,40	1,00	0,48	0,60	1,50	31,66	3,60	2,52	3,48	2,67	2,14	4,61	0,47	7,29	1,35	0,69	0,0014	8,92	10,46	0,99	0,45	0,27	0,09	0,28	7,40
		0,45	1,00	0,42	0,67	1,52	22,53	3,75	2,82	3,87	3,18	1,92	4,70	0,55	8,17	1,47	0,69	0,0015	11,80	13,11	1,28	0,42	0,23	0,10	0,23	8,24
0,50		1,00	0,36	0,73	1,62	17,04	4,05	3,09	4,29	3,76	1,74	4,89	0,61	8,87	1,59	0,69	0,0016	15,67	16,43	1,67	0,38	0,20	0,09	0,18	9,70	
0,55		1,00	0,30	0,78	1,92	15,27	4,75	3,38	4,33	3,93	1,60	5,31	0,63	9,03	1,50	0,64	0,0015	20,20	19,65	2,12	0,35	0,17	0,08	0,15	9,08	
0,60		1,00	0,25	0,82	3,19	14,51	6,56	3,74	4,27	4,00	1,49	5,75	0,64	8,35	1,37	0,56	0,0014	26,27	23,02	2,73	0,31	0,14	0,06	0,11	8,36	
0,65		1,00	0,21	0,86	10,62	15,98	14,48	4,28	3,75	3,60	1,39	6,68	0,62	6,01	1,07	0,44	0,0011	34,23	25,02	3,52	0,27	0,11	0,05	0,09	6,61	
0,70		1,00	0,15	0,92	97,77	18,65	97,13	5,22	3,11	3,15	1,30	7,97	0,57	4,42	0,75	0,29	0,0007	52,76	33,46	5,38	0,22	0,08	0,03	0,06	4,92	
0,75		1,00	0,13	0,92	Inf	20,66	Inf	5,97	2,80	2,88	1,25	9,04	0,55	3,78	0,59	0,23	0,0006	63,15	36,76	6,41	0,20	0,07	0,02	0,05	3,83	
0,80		1,00	0,11	0,92	Inf	22,64	Inf	6,96	2,56	2,64	1,20	10,59	0,53	2,86	0,46	0,18	0,0005	74,12	39,40	7,51	0,18	0,06	0,02	0,04	2,86	
0,85		1,00	0,09	0,92	Inf	25,32	Inf	8,61	2,30	2,39	1,15	13,16	0,51	1,98	0,34	0,13	0,0003	92,82	45,03	9,38	0,15	0,05	0,01	0,03	2,25	
0,90		1,00	0,07	0,94	Inf	29,21	Inf	11,87	2,01	2,11	1,10	18,23	0,48	1,19	0,21	0,09	0,0002	130,73	58,05	13,17	0,12	0,03	0,01	0,02	1,39	
0,95		1,00	0,04	0,96	Inf	35,69	Inf	21,43	1,67	1,78	1,05	32,99	0,42	0,52	0,10	0,04	0,0001	244,51	101,45	24,55	0,08	0,02	0,00	0,01	0,53	

Tabulka C.13: Kompletní výsledky testování pro ITAE-LOAD metodu

ISE-LD metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy								Časové indexy					Regulátor				Porucha				
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]
Extremální systémy S1	0,35	1,00	0,65	0,35	14,76	90,43	4,12	0,09	1,07	1,00	2,85	0,09	0,00	45,83	11,64	5,79	0,0116	0,00	29,79	0,07	0,79	0,33	0,00	0,45	48,12
	0,40	1,00	0,60	0,40	13,88	90,11	4,32	0,11	1,08	1,00	2,49	0,11	0,00	35,12	8,95	4,48	0,0090	0,00	23,04	0,08	0,74	0,31	0,00	0,43	37,40
	0,45	1,00	0,55	0,45	13,27	89,54	4,56	0,15	1,08	1,00	2,22	0,15	0,00	26,89	6,90	3,49	0,0069	0,00	17,85	0,10	0,68	0,29	0,00	0,42	29,13
	0,50	1,00	0,50	0,50	12,79	88,59	4,88	0,19	1,09	1,00	2,00	0,19	0,00	20,34	5,28	2,72	0,0053	0,18	13,70	0,12	0,63	0,27	0,00	0,40	22,51
	0,55	1,00	0,45	0,55	12,43	87,06	5,28	0,25	1,09	1,00	1,81	0,26	0,00	15,09	4,01	2,11	0,0040	0,42	10,37	0,14	0,57	0,25	0,00	0,38	17,17
	0,60	1,00	0,40	0,60	12,19	84,65	5,80	0,33	1,09	1,00	1,66	0,37	0,00	10,82	2,99	1,64	0,0030	0,70	7,65	0,17	0,51	0,23	0,00	0,36	12,80
	0,65	1,00	0,35	0,65	11,99	80,90	6,48	0,45	1,09	1,00	1,53	0,54	0,00	7,24	2,18	1,27	0,0022	1,06	5,32	0,21	0,45	0,21	0,00	0,33	9,09
	0,70	1,00	0,30	0,70	11,85	75,34	7,42	0,62	1,13	1,00	1,43	0,82	0,00	4,24	1,55	0,98	0,0016	1,53	3,33	0,25	0,39	0,18	0,00	0,30	5,97
	0,75	1,00	0,25	0,75	11,78	67,71	8,76	0,85	1,19	1,00	1,33	1,23	0,04	4,81	1,19	0,76	0,0012	2,17	4,85	0,32	0,33	0,16	0,01	0,27	6,22
	0,80	1,00	0,20	0,80	11,75	58,32	10,82	1,19	1,28	1,08	1,25	1,80	0,11	3,94	0,99	0,58	0,0010	3,11	4,83	0,41	0,27	0,13	0,02	0,23	5,17
	0,85	1,00	0,15	0,84	11,79	47,99	14,29	1,69	1,42	1,27	1,17	2,61	0,21	4,35	0,86	0,45	0,0009	4,61	6,04	0,56	0,20	0,10	0,04	0,19	5,29
	0,90	1,00	0,10	0,89	11,89	37,46	21,36	2,61	1,68	1,60	1,11	4,06	0,33	4,00	0,73	0,34	0,0007	7,50	7,11	0,85	0,14	0,07	0,04	0,14	4,66
	0,95	1,00	0,05	0,94	12,10	27,24	42,97	5,10	2,17	2,19	1,05	8,00	0,48	2,74	0,52	0,22	0,0005	15,62	9,68	1,66	0,07	0,04	0,03	0,08	3,11
	0,35	1,00	0,54	0,53	11,56	89,43	3,72	0,17	1,10	1,00	2,43	0,18	0,00	22,58	5,79	2,94	0,0058	0,17	15,16	0,12	0,68	0,30	0,00	0,44	24,32
	0,40	1,00	0,48	0,60	11,86	87,85	3,83	0,24	1,11	1,00	2,14	0,25	0,00	15,88	4,15	2,17	0,0042	0,46	10,92	0,15	0,61	0,27	0,00	0,42	17,63
0,45	1,00	0,42	0,67	12,67	85,04	4,04	0,34	1,13	1,00	1,92	0,38	0,00	10,84	2,95	1,62	0,0029	0,81	7,71	0,18	0,53	0,24	0,00	0,39	12,56	
0,50	1,00	0,36	0,73	14,45	80,13	4,44	0,49	1,16	1,00	1,74	0,60	0,00	6,86	2,04	1,21	0,0020	1,26	5,16	0,23	0,46	0,21	0,00	0,36	8,50	
0,55	1,00	0,30	0,78	18,54	73,13	5,39	0,68	1,22	1,00	1,60	0,99	0,00	3,79	1,43	0,95	0,0014	1,77	3,08	0,28	0,40	0,19	0,00	0,32	5,36	
0,60	1,00	0,25	0,82	39,84	63,39	8,40	0,94	1,33	1,00	1,49	1,52	0,06	4,14	1,15	0,76	0,0011	2,42	4,29	0,34	0,33	0,16	0,02	0,29	5,50	
0,65	1,00	0,21	0,86	100,81	52,41	16,70	1,24	1,47	1,14	1,39	2,01	0,16	5,04	1,08	0,64	0,0011	3,25	5,88	0,42	0,28	0,14	0,04	0,25	6,25	
0,70	1,00	0,15	0,92	606,97	35,00	86,84	1,80	1,93	1,66	1,30	2,79	0,34	5,64	1,15	0,54	0,0011	5,07	7,77	0,61	0,20	0,10	0,07	0,19	7,61	
0,75	1,00	0,13	0,92	Inf	30,65	Inf	2,09	2,12	1,89	1,25	3,20	0,39	6,24	1,13	0,51	0,0011	6,04	8,97	0,70	0,17	0,09	0,07	0,17	7,13	
0,80	1,00	0,11	0,92	Inf	28,50	Inf	2,40	2,22	2,03	1,20	3,68	0,43	5,57	1,05	0,46	0,0011	7,05	8,89	0,80	0,15	0,08	0,07	0,15	6,34	
0,85	1,00	0,09	0,92	Inf	26,03	Inf	2,91	2,36	2,23	1,15	4,45	0,47	5,57	0,95	0,41	0,0010	8,71	9,92	0,97	0,12	0,06	0,06	0,13	6,23	
0,90	1,00	0,07	0,94	Inf	23,25	Inf	3,87	2,57	2,50	1,10	5,94	0,52	4,32	0,80	0,33	0,0008	11,92	10,54	1,29	0,09	0,05	0,05	0,10	4,82	
0,95	1,00	0,04	0,96	Inf	20,22	Inf	6,56	2,89	2,90	1,05	10,10	0,58	3,05	0,55	0,22	0,0005	20,84	14,53	2,18	0,05	0,03	0,03	0,06	3,35	

Tabulka C.14: Kompletní výsledky testování pro ISE LOAD metodu

IMC metoda

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Časové indexy					Regulátor				Porucha					
	σ	k	D	T	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]
Extremální systémy S1	0,35	1,00	0,65	0,35	1,55	51,31	3,55	1,74	2,88	1,82	2,85	4,92	0,42	4,45	1,15	0,78	0,0012	4,29	5,73	0,53	0,35	0,33	0,08	0,42	5,29
	0,40	1,00	0,60	0,40	1,61	53,59	3,85	1,79	2,68	1,62	2,49	5,22	0,36	4,05	1,01	0,70	0,0010	5,28	5,51	0,63	0,40	0,30	0,04	0,39	4,16
	0,45	1,00	0,55	0,45	1,69	55,90	4,20	1,83	2,49	1,44	2,22	5,55	0,31	3,05	0,88	0,64	0,0009	6,35	4,71	0,73	0,45	0,28	0,01	0,36	3,26
	0,50	1,00	0,50	0,50	1,79	58,30	4,62	1,89	2,31	1,27	2,00	5,92	0,24	2,70	0,76	0,57	0,0008	7,52	4,61	0,85	0,50	0,25	0,00	0,32	3,12
	0,55	1,00	0,45	0,55	1,90	60,78	5,14	1,95	2,15	1,13	1,81	6,32	0,17	1,94	0,66	0,52	0,0007	8,80	4,11	0,98	0,55	0,23	0,00	0,29	3,29
	0,60	1,00	0,40	0,60	2,04	63,32	5,78	2,01	1,99	1,00	1,66	6,69	0,09	1,72	0,57	0,46	0,0006	10,18	4,13	1,12	0,60	0,20	0,00	0,25	3,53
	0,65	1,00	0,35	0,65	2,22	65,98	6,61	2,08	1,84	1,00	1,53	6,92	0,00	1,53	0,51	0,42	0,0005	11,71	4,18	1,27	0,65	0,18	0,00	0,22	3,67
	0,70	1,00	0,30	0,70	2,47	68,76	7,71	2,17	1,70	1,00	1,43	6,33	0,00	1,38	0,48	0,37	0,0005	13,40	4,25	1,44	0,70	0,15	0,00	0,20	3,83
	0,75	1,00	0,25	0,75	2,81	71,66	9,25	2,25	1,57	1,00	1,33	4,24	0,00	1,35	0,46	0,33	0,0005	15,25	4,40	1,63	0,75	0,13	0,00	0,17	4,01
	0,80	1,00	0,20	0,80	3,32	74,74	11,56	2,36	1,45	1,00	1,25	3,57	0,00	1,35	0,43	0,29	0,0004	17,35	4,52	1,83	0,80	0,10	0,00	0,15	4,20
	0,85	1,00	0,15	0,84	4,18	78,02	15,42	2,48	1,33	1,00	1,17	3,27	0,00	1,34	0,41	0,26	0,0004	19,67	4,52	2,07	0,84	0,08	0,00	0,13	4,36
	0,90	1,00	0,10	0,89	5,88	81,58	23,13	2,62	1,21	1,00	1,11	3,11	0,00	1,32	0,38	0,22	0,0004	22,32	4,38	2,33	0,89	0,05	0,00	0,12	4,52
	0,95	1,00	0,05	0,94	10,98	85,49	46,27	2,78	1,10	1,00	1,05	3,02	0,00	1,31	0,36	0,19	0,0004	25,34	4,03	2,63	0,94	0,03	0,00	0,11	4,68
	0,35	1,00	0,54	0,53	1,45	42,72	3,52	2,24	3,45	2,54	2,43	4,62	0,39	7,25	1,36	0,72	0,0014	7,83	9,44	0,88	0,53	0,27	0,08	0,33	7,38
	0,40	1,00	0,48	0,60	1,68	44,15	3,74	2,28	2,78	1,95	2,14	4,54	0,31	5,34	1,08	0,61	0,0011	9,50	7,83	1,05	0,60	0,24	0,04	0,29	6,15
0,45	1,00	0,42	0,67	2,10	46,36	4,08	2,30	2,29	1,55	1,92	4,40	0,24	4,39	0,88	0,52	0,0009	11,28	7,21	1,23	0,67	0,21	0,01	0,25	5,29	
0,50	1,00	0,36	0,73	2,98	48,93	4,73	2,32	1,95	1,31	1,74	4,22	0,19	3,39	0,74	0,45	0,0007	13,24	6,53	1,42	0,73	0,18	0,00	0,22	3,91	
0,55	1,00	0,30	0,78	4,90	52,33	6,14	2,34	1,71	1,16	1,60	4,12	0,14	2,73	0,64	0,40	0,0006	15,02	6,13	1,60	0,78	0,15	0,00	0,19	4,08	
0,60	1,00	0,25	0,82	16,33	55,58	11,07	2,37	1,53	1,07	1,49	3,96	0,11	2,71	0,57	0,35	0,0006	16,87	6,28	1,79	0,82	0,13	0,00	0,17	4,31	
0,65	1,00	0,21	0,86	42,09	59,45	20,87	2,40	1,40	1,01	1,39	3,88	0,07	2,64	0,51	0,32	0,0005	18,64	6,28	1,96	0,86	0,10	0,00	0,16	4,51	
0,70	1,00	0,15	0,92	275,40	62,70	103,74	2,47	1,27	1,00	1,30	3,68	0,06	2,60	0,46	0,28	0,0005	21,51	6,31	2,25	0,92	0,07	0,00	0,14	4,71	
0,75	1,00	0,13	0,92	Inf	66,05	Inf	2,53	1,22	1,00	1,25	3,68	0,04	2,27	0,43	0,26	0,0004	22,25	5,81	2,32	0,92	0,06	0,00	0,13	4,70	
0,80	1,00	0,11	0,92	Inf	69,92	Inf	2,59	1,18	1,00	1,20	3,67	0,01	0,87	0,40	0,25	0,0004	22,72	4,33	2,37	0,92	0,05	0,00	0,13	4,65	
0,85	1,00	0,09	0,92	Inf	74,34	Inf	2,66	1,14	1,00	1,15	3,58	0,00	0,97	0,38	0,23	0,0004	23,45	4,17	2,44	0,92	0,04	0,00	0,12	4,62	
0,90	1,00	0,07	0,94	Inf	79,29	Inf	2,74	1,10	1,00	1,10	3,38	0,00	1,17	0,37	0,21	0,0004	24,55	4,11	2,55	0,94	0,03	0,00	0,12	4,64	
0,95	1,00	0,04	0,96	Inf	84,61	Inf	2,84	1,06	1,00	1,05	3,14	0,00	1,27	0,35	0,19	0,0004	26,20	3,89	2,72	0,96	0,02	0,00	0,11	4,71	

Tabulka C.15: Kompletní výsledky testování pro IMC metodu

SIMC metoda - aproximace 1. řádem

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Časové indexy							Regulátor				Porucha			
	σ	τ_1	τ_2	θ	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]
Extremální systémy S1	0,35	0,35	0	0,65	3,14	61,35	2,42	0,77	1,59	1,00	2,85	1,72	0,04	3,94	1,41	1,10	0,0014	0,05	3,52	0,27	0,35	0	0,01	0,44	4,99
	0,40	0,40	0	0,60	3,14	61,35	2,62	0,83	1,59	1,00	2,49	1,86	0,04	3,63	1,30	1,01	0,0013	0,07	3,36	0,33	0,40	0	0,01	0,41	4,66
	0,45	0,45	0	0,55	3,14	61,35	2,86	0,91	1,59	1,00	2,22	2,03	0,04	3,33	1,19	0,93	0,0012	0,09	3,22	0,41	0,45	0	0,01	0,39	4,21
	0,50	0,50	0	0,50	3,14	61,35	3,14	1,00	1,59	1,00	2,00	2,23	0,04	3,03	1,08	0,84	0,0011	0,13	3,09	0,50	0,50	0	0,00	0,36	3,19
	0,55	0,55	0	0,45	3,14	61,35	3,49	1,11	1,59	1,00	1,81	2,47	0,04	2,73	0,98	0,76	0,0010	0,19	2,97	0,61	0,55	0	0,00	0,33	3,17
	0,60	0,60	0	0,40	3,14	61,35	3,93	1,25	1,59	1,00	1,66	2,77	0,04	2,42	0,87	0,67	0,0009	0,28	2,88	0,75	0,60	0	0,00	0,30	3,28
	0,65	0,65	0	0,35	3,14	61,35	4,49	1,43	1,59	1,00	1,53	3,17	0,04	2,12	0,76	0,59	0,0008	0,43	2,83	0,93	0,65	0	0,00	0,27	3,58
	0,70	0,70	0	0,30	3,14	61,35	5,24	1,67	1,59	1,00	1,43	3,69	0,04	1,82	0,65	0,51	0,0007	0,67	2,82	1,17	0,70	0	0,00	0,24	3,72
	0,75	0,75	0	0,25	3,14	61,35	6,28	2,00	1,59	1,00	1,33	4,42	0,04	1,51	0,54	0,42	0,0005	1,00	2,89	1,50	0,75	0	0,00	0,21	3,78
	0,80	0,80	0	0,20	3,14	61,35	7,85	2,50	1,59	1,00	1,25	5,52	0,04	1,21	0,43	0,34	0,0004	1,50	3,11	2,00	0,80	0	0,00	0,17	3,83
	0,85	0,85	0	0,15	3,14	61,35	10,47	3,33	1,59	1,00	1,17	7,35	0,04	0,91	0,33	0,25	0,0003	2,33	3,60	2,83	0,85	0	0,00	0,13	3,86
	0,90	0,90	0	0,10	3,12	59,68	15,62	5,03	1,60	1,02	1,11	11,11	0,06	0,74	0,23	0,17	0,0002	4,06	5,07	4,50	0,80	0	0,00	0,09	3,40
	0,95	0,95	0	0,05	3,04	52,81	30,47	10,24	1,65	1,15	1,05	22,80	0,17	0,88	0,16	0,09	0,0002	9,69	10,84	9,50	0,40	0	0,00	0,05	1,51
	0,35	0,19	0	0,81	3,76	61,85	1,96	0,60	1,52	1,00	2,43	1,23	0,04	5,31	1,79	1,34	0,0018	0,05	4,46	0,11	0,19	0	0,02	0,44	6,43
	0,40	0,24	0	0,76	4,02	62,01	2,13	0,65	1,51	1,00	2,14	1,29	0,05	5,03	1,67	1,24	0,0017	0,05	4,33	0,16	0,24	0	0,02	0,42	6,20
0,45	0,32	0	0,68	4,34	62,16	2,38	0,71	1,49	1,00	1,92	1,38	0,05	4,64	1,52	1,11	0,0015	0,06	4,14	0,23	0,32	0	0,02	0,39	5,86	
0,50	0,38	0	0,63	4,94	62,38	2,67	0,77	1,46	1,00	1,74	1,46	0,05	4,36	1,40	1,01	0,0014	0,07	4,03	0,30	0,38	0	0,02	0,36	5,61	
0,55	0,47	0	0,53	5,59	62,28	3,26	0,92	1,45	1,00	1,60	1,70	0,05	3,73	1,19	0,85	0,0012	0,11	3,72	0,45	0,47	0	0,01	0,32	4,96	
0,60	0,60	0	0,40	6,16	60,57	4,19	1,22	1,49	1,00	1,49	2,23	0,07	2,92	0,94	0,65	0,0009	0,25	3,39	0,75	0,60	0	0,01	0,27	3,84	
0,65	0,68	0	0,32	8,05	58,91	5,79	1,52	1,48	1,02	1,39	2,68	0,09	2,47	0,78	0,52	0,0008	0,47	3,36	1,08	0,68	0	0,00	0,22	2,85	
0,70	0,74	0	0,26	46,38	58,68	16,31	1,80	1,40	1,03	1,30	2,95	0,09	2,21	0,66	0,42	0,0007	0,72	3,51	1,44	0,74	0	0,00	0,18	4,26	
0,75	0,84	0	0,16	Inf	53,16	Inf	2,75	1,46	1,12	1,25	4,43	0,14	2,38	0,48	0,29	0,0005	1,76	4,95	2,59	0,84	0	0,00	0,13	3,89	
0,80	0,88	0	0,12	Inf	51,70	Inf	3,66	1,48	1,15	1,20	5,90	0,16	1,83	0,37	0,22	0,0004	2,87	5,62	3,75	0,88	0	0,00	0,10	3,94	
0,85	0,92	0	0,08	Inf	46,46	Inf	5,11	1,56	1,28	1,15	8,30	0,23	1,31	0,30	0,16	0,0003	4,67	7,50	5,51	0,67	0	0,00	0,08	2,76	
0,90	0,95	0	0,05	Inf	41,49	Inf	7,89	1,66	1,43	1,10	12,93	0,31	1,14	0,22	0,11	0,0002	8,19	12,28	8,91	0,43	0	0,00	0,05	1,59	
0,95	0,97	0	0,03	Inf	37,36	Inf	16,07	1,77	1,58	1,05	26,56	0,39	0,62	0,12	0,06	0,0001	18,57	26,81	18,96	0,21	0	0,00	0,02	0,71	

Tabulka C.16: Kompletní výsledky testování pro SIMC metodu - aproximaci 1. řádem

SIMC metoda - aproximace 2. řádem

Model	Identifikace			Frekvenční indexy							Časové indexy				Regulátor					Porucha						
	σ	τ_1	τ_2	θ	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
	0,35	0,35	0,00	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,40	0,40	0,00	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,45	0,45	0,00	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,50	0,50	0,00	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,55	0,55	0,00	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,60	0,60	0,00	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,65	0,65	0,00	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,70	0,70	0,00	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,75	0,75	0,00	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,80	0,80	0,00	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,85	0,85	0,00	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,90	0,90	0,00	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,95	0,95	0,00	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,35	0,12	0,19	0,69	3,73	61,17	2,25	0,71	1,54	1,00	2,43	1,45	0,05	4,63	1,55	1,15	0,0015	0,06	4,11	0,09	0,12	0,19	0,02	0,43	5,77	
	0,40	0,16	0,24	0,59	3,99	60,99	2,62	0,82	1,52	1,00	2,14	1,64	0,06	4,10	1,35	0,99	0,0013	0,38	3,86	0,14	0,16	0,24	0,02	0,39	5,29	
	0,45	0,21	0,32	0,47	4,28	60,41	3,24	1,03	1,52	1,01	1,92	2,00	0,07	3,38	1,10	0,79	0,0011	1,24	3,55	0,22	0,21	0,32	0,02	0,34	4,60	
	0,50	0,25	0,38	0,38	5,13	59,74	4,17	1,28	1,50	1,01	1,74	2,40	0,08	2,83	0,90	0,63	0,0009	2,33	3,46	0,33	0,25	0,38	0,01	0,28	4,04	
	0,55	0,32	0,47	0,21	4,60	52,75	6,32	2,28	1,65	1,13	1,60	4,19	0,15	2,55	0,60	0,39	0,0006	6,54	5,33	0,75	0,32	0,47	0,00	0,19	3,52	
	0,60	0,40	0,50	0,10	4,53	41,57	10,58	4,38	1,89	1,43	1,49	7,48	0,26	2,01	0,41	0,23	0,0004	19,00	17,54	2,00	0,40	0,50	0,00	0,10	3,18	
	0,65	0,46	0,50	0,04	2,39	25,19	14,54	8,88	2,86	2,39	1,39	14,60	0,50	1,74	0,35	0,17	0,0003	49,85	125,05	5,09	0,36	0,50	0,00	0,04	2,75	
	0,70	0,49	0,50	0,01	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	
	0,75	0,84	0,00	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,80	0,88	0,00	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,85	0,92	0,00	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,90	0,95	0,00	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,95	0,97	0,00	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka C.17: Kompletní výsledky testování pro SIMC metodu - aproximaci 2. řádem

Metoda množinového modelu $M_s = 1,6 PI$

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy					Regulátor				Porucha		
	σ	κ	μ	σ^2	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]
	0,35	1,00	1,00	0,12	2,84	59,29	2,46	0,85	1,67	1,01	2,85	2,01	0,07	3,72	1,34	1,04	0,0013	0,09	3,50	0,31	0,37	0	0,02	0,44	4,78
	0,40	1,00	1,00	0,16	2,86	58,31	2,61	0,92	1,68	1,03	2,49	2,13	0,08	3,60	1,28	0,98	0,0013	0,12	3,53	0,36	0,40	0	0,02	0,41	4,67
	0,45	1,00	1,00	0,20	2,91	57,64	2,80	0,99	1,67	1,04	2,22	2,25	0,09	3,45	1,20	0,91	0,0012	0,15	3,54	0,42	0,42	0	0,02	0,39	4,53
	0,50	1,00	1,00	0,25	3,00	57,33	3,06	1,07	1,66	1,04	2,00	2,37	0,09	3,29	1,12	0,84	0,0011	0,19	3,53	0,50	0,46	0	0,02	0,36	4,35
	0,55	1,00	1,00	0,30	3,11	57,25	3,37	1,15	1,63	1,05	1,81	2,50	0,09	3,14	1,03	0,77	0,0010	0,23	3,53	0,58	0,49	0	0,01	0,34	4,16
	0,60	1,00	1,00	0,36	3,25	57,12	3,78	1,25	1,60	1,05	1,66	2,65	0,09	3,00	0,95	0,70	0,0009	0,29	3,57	0,68	0,51	0	0,01	0,31	3,95
	0,65	1,00	1,00	0,42	3,40	56,53	4,29	1,39	1,58	1,06	1,53	2,85	0,09	2,87	0,86	0,62	0,0009	0,39	3,66	0,80	0,53	0	0,01	0,28	3,77
	0,70	1,00	1,00	0,49	3,54	55,05	4,96	1,57	1,56	1,09	1,43	3,16	0,11	2,71	0,78	0,55	0,0008	0,53	3,80	0,95	0,53	0	0,01	0,25	3,61
	0,75	1,00	1,00	0,56	3,63	52,32	5,88	1,86	1,56	1,15	1,33	3,67	0,14	2,46	0,70	0,47	0,0007	0,79	3,97	1,18	0,51	0	0,01	0,22	3,36
	0,80	1,00	1,00	0,64	3,63	48,32	7,25	2,34	1,59	1,24	1,25	4,57	0,19	2,07	0,62	0,38	0,0006	1,23	4,22	1,55	0,46	0	0,01	0,18	2,92
	0,85	1,00	1,00	0,72	3,53	43,61	9,51	3,17	1,66	1,37	1,17	6,25	0,26	2,20	0,51	0,30	0,0005	2,09	5,39	2,22	0,38	0	0,01	0,14	2,28
	0,90	1,00	1,00	0,81	3,41	39,84	14,10	4,83	1,73	1,50	1,11	9,67	0,33	1,59	0,38	0,21	0,0004	3,88	6,88	3,63	0,29	0	0,01	0,10	1,57
	0,95	1,00	1,00	0,90	3,76	41,67	28,62	8,63	1,62	1,48	1,05	17,17	0,33	0,91	0,21	0,11	0,0002	7,93	10,34	7,12	0,20	0	0,00	0,05	0,95
	0,35	1,00	1,00	0,12	2,90	59,05	2,35	0,85	1,68	1,02	2,43	1,95	0,08	3,76	1,38	1,04	0,0014	0,10	3,55	0,31	0,37	0	0,03	0,42	4,87
	0,40	1,00	1,00	0,16	3,01	57,93	2,46	0,91	1,68	1,03	2,14	2,01	0,10	3,67	1,32	0,97	0,0013	0,14	3,61	0,36	0,40	0	0,03	0,39	4,81
	0,45	1,00	1,00	0,20	3,24	57,10	2,62	0,98	1,67	1,05	1,92	2,07	0,11	3,56	1,26	0,90	0,0013	0,17	3,66	0,42	0,42	0	0,03	0,36	4,72
	0,50	1,00	1,00	0,25	3,68	56,63	2,87	1,05	1,63	1,05	1,74	2,11	0,11	3,44	1,19	0,83	0,0012	0,20	3,70	0,50	0,46	0	0,03	0,33	4,63
	0,55	1,00	1,00	0,30	4,47	56,48	3,29	1,13	1,59	1,06	1,60	2,15	0,11	3,33	1,10	0,75	0,0011	0,24	3,73	0,58	0,49	0	0,03	0,30	4,52
	0,60	1,00	1,00	0,36	5,93	56,33	3,96	1,22	1,53	1,06	1,49	2,21	0,12	3,21	1,02	0,68	0,0010	0,29	3,79	0,68	0,51	0	0,02	0,27	4,40
	0,65	1,00	1,00	0,42	8,95	55,92	5,31	1,33	1,48	1,07	1,39	2,31	0,12	3,08	0,93	0,60	0,0009	0,35	3,88	0,80	0,53	0	0,02	0,24	4,26
	0,70	1,00	1,00	0,49	55,73	54,74	14,58	1,49	1,43	1,10	1,30	2,42	0,13	2,94	0,85	0,52	0,0009	0,46	4,03	0,95	0,53	0	0,02	0,21	4,11
	0,75	1,00	1,00	0,56	Inf	52,35	Inf	1,75	1,43	1,15	1,25	2,81	0,16	3,53	0,76	0,44	0,0008	0,67	5,00	1,18	0,51	0	0,02	0,18	3,70
	0,80	1,00	1,00	0,64	Inf	48,71	Inf	2,19	1,47	1,24	1,20	3,52	0,20	3,15	0,65	0,36	0,0007	1,05	5,23	1,55	0,46	0	0,02	0,16	3,13
	0,85	1,00	1,00	0,72	Inf	44,43	Inf	2,96	1,53	1,36	1,15	4,79	0,26	2,53	0,54	0,28	0,0005	1,77	5,64	2,22	0,38	0	0,02	0,12	3,11
	0,90	1,00	1,00	0,81	Inf	41,04	Inf	4,48	1,58	1,48	1,10	7,34	0,32	1,75	0,39	0,19	0,0004	3,28	6,83	3,63	0,29	0	0,01	0,08	2,19
	0,95	1,00	1,00	0,90	Inf	42,64	Inf	8,11	1,50	1,48	1,05	13,43	0,33	1,00	0,21	0,10	0,0002	6,85	10,03	7,12	0,20	0	0,01	0,05	0,98

Tabulka C.18: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 1,6 PI$

Metoda množinového modelu $M_s = 1,6$ PID

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy						Regulátor				Porucha		
	σ	κ	μ	σ^2	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
	0,35	1,00	1,00	0,12	2,93	64,71	3,35	0,96	1,57	1,00	2,85	2,21	0,00	2,10	1,06	0,85	0,0011	4,64	2,15	0,51	0,54	0,13	0,00	0,42	3,45	
	0,40	1,00	1,00	0,16	2,87	62,96	3,63	1,08	1,59	1,00	2,49	2,50	0,01	1,77	0,96	0,77	0,0010	5,59	2,11	0,60	0,56	0,14	0,00	0,39	3,15	
	0,45	1,00	1,00	0,20	2,80	61,08	4,00	1,22	1,61	1,01	2,22	2,84	0,03	2,73	0,88	0,69	0,0009	6,79	3,46	0,71	0,57	0,14	0,01	0,36	2,92	
	0,50	1,00	1,00	0,25	2,71	59,22	4,47	1,39	1,63	1,03	2,00	3,28	0,05	2,77	0,80	0,62	0,0008	8,27	3,95	0,84	0,58	0,14	0,01	0,32	3,73	
	0,55	1,00	1,00	0,30	2,61	57,42	5,03	1,59	1,65	1,06	1,81	3,83	0,06	2,68	0,72	0,55	0,0007	10,07	4,41	1,01	0,58	0,14	0,01	0,29	3,73	
	0,60	1,00	1,00	0,36	2,53	55,58	5,73	1,82	1,68	1,09	1,66	4,54	0,08	2,54	0,66	0,49	0,0007	12,24	4,94	1,20	0,57	0,14	0,01	0,26	3,61	
	0,65	1,00	1,00	0,42	2,47	53,41	6,60	2,10	1,70	1,14	1,53	5,43	0,11	2,35	0,60	0,42	0,0006	14,89	5,59	1,44	0,54	0,14	0,01	0,22	3,40	
	0,70	1,00	1,00	0,49	2,44	50,54	7,70	2,46	1,71	1,21	1,43	6,48	0,15	2,09	0,56	0,37	0,0006	18,30	6,40	1,75	0,49	0,12	0,01	0,19	3,08	
	0,75	1,00	1,00	0,56	2,43	46,65	9,18	2,97	1,72	1,31	1,33	7,78	0,20	2,45	0,51	0,32	0,0005	23,06	8,21	2,19	0,43	0,11	0,02	0,16	2,64	
	0,80	1,00	1,00	0,64	2,43	41,69	11,29	3,75	1,72	1,46	1,25	9,72	0,27	2,16	0,47	0,27	0,0005	30,51	10,21	2,86	0,35	0,09	0,02	0,13	2,71	
	0,85	1,00	1,00	0,72	2,41	36,18	14,73	5,11	1,75	1,68	1,17	13,23	0,35	1,63	0,40	0,22	0,0004	43,68	13,94	4,06	0,26	0,06	0,02	0,10	2,12	
	0,90	1,00	1,00	0,81	2,35	32,16	21,80	7,77	1,89	1,89	1,11	20,77	0,43	1,43	0,31	0,16	0,0003	70,54	22,98	6,50	0,17	0,04	0,02	0,06	1,42	
	0,95	1,00	1,00	0,90	2,35	36,69	46,04	13,85	1,75	1,76	1,05	42,23	0,39	0,81	0,16	0,08	0,0002	135,27	44,16	12,39	0,10	0,03	0,01	0,03	0,84	
	0,35	1,00	1,00	0,12	3,28	64,35	3,11	0,96	1,55	1,00	2,43	2,11	0,01	1,91	1,07	0,84	0,0011	4,64	1,97	0,51	0,54	0,13	0,00	0,39	3,19	
	0,40	1,00	1,00	0,16	3,57	62,37	3,35	1,07	1,55	1,00	2,14	2,25	0,04	2,79	1,00	0,76	0,0010	5,59	3,15	0,60	0,56	0,14	0,01	0,35	3,91	
	0,45	1,00	1,00	0,20	4,18	60,18	3,74	1,21	1,53	1,01	1,92	2,37	0,07	2,87	0,94	0,68	0,0009	6,79	3,60	0,71	0,57	0,14	0,02	0,31	4,08	
	0,50	1,00	1,00	0,25	5,79	58,03	4,55	1,36	1,50	1,04	1,74	2,47	0,10	2,84	0,88	0,60	0,0009	8,27	4,00	0,84	0,58	0,14	0,02	0,27	4,09	
	0,55	1,00	1,00	0,30	10,17	56,20	6,63	1,52	1,45	1,07	1,60	2,59	0,12	2,76	0,81	0,52	0,0008	10,07	4,43	1,01	0,58	0,14	0,02	0,24	4,01	
	0,60	1,00	1,00	0,36	42,71	54,50	15,39	1,70	1,41	1,11	1,49	2,73	0,14	2,63	0,75	0,45	0,0007	12,24	4,94	1,20	0,57	0,14	0,02	0,20	3,86	
	0,65	1,00	1,00	0,42	60,89	53,03	24,80	1,91	1,36	1,16	1,39	2,94	0,16	3,47	0,68	0,38	0,0007	14,89	6,53	1,44	0,54	0,14	0,02	0,18	3,65	
	0,70	1,00	1,00	0,49	170,13	51,25	85,75	2,15	1,32	1,22	1,30	3,12	0,19	3,44	0,63	0,32	0,0006	18,30	7,49	1,75	0,49	0,12	0,02	0,14	4,49	
	0,75	1,00	1,00	0,56	Inf	47,91	Inf	2,57	1,35	1,31	1,25	3,72	0,23	3,03	0,57	0,27	0,0006	23,06	8,43	2,19	0,43	0,11	0,02	0,12	3,96	
	0,80	1,00	1,00	0,64	Inf	43,45	Inf	3,25	1,43	1,45	1,20	4,75	0,28	2,48	0,51	0,22	0,0005	30,51	9,99	2,86	0,35	0,09	0,02	0,10	3,24	
	0,85	1,00	1,00	0,72	Inf	38,55	Inf	4,42	1,56	1,63	1,15	6,55	0,34	2,48	0,43	0,18	0,0004	43,68	13,87	4,06	0,26	0,06	0,02	0,07	3,02	
	0,90	1,00	1,00	0,81	Inf	34,96	Inf	6,73	1,69	1,81	1,10	10,07	0,39	1,68	0,31	0,13	0,0003	70,54	21,29	6,50	0,17	0,04	0,02	0,05	2,05	
	0,95	1,00	1,00	0,90	Inf	38,19	Inf	12,24	1,54	1,74	1,05	18,29	0,38	0,94	0,16	0,07	0,0002	135,27	40,33	12,39	0,10	0,03	0,01	0,03	1,15	

Tabulka C.19: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 1,6$ PID

Metoda množinového modelu $M_s = 2,0 \text{ PI}$

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy						Regulátor				Porucha		
	σ	κ	μ	σ^2	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]	
Extremální systémy S1	0,35	1,00	1,00	0,12	2,21	52,34	2,53	1,09	1,98	1,21	2,85	2,71	0,18	4,42	1,31	0,96	0,0013	0,25	4,65	0,43	0,40	0,00	0,06	0,43	5,39	
	0,40	1,00	1,00	0,16	2,17	49,63	2,65	1,20	2,04	1,28	2,49	2,88	0,22	4,33	1,28	0,91	0,0013	0,33	4,77	0,50	0,42	0,00	0,07	0,41	5,31	
	0,45	1,00	1,00	0,20	2,16	46,90	2,81	1,33	2,09	1,36	2,22	3,05	0,25	4,20	1,24	0,86	0,0012	0,42	4,85	0,57	0,43	0,00	0,07	0,38	5,17	
	0,50	1,00	1,00	0,25	2,18	44,74	3,01	1,45	2,11	1,41	2,00	3,23	0,27	4,03	1,19	0,80	0,0012	0,51	4,90	0,66	0,43	0,00	0,07	0,35	4,98	
	0,55	1,00	1,00	0,30	2,25	43,51	3,27	1,57	2,08	1,42	1,81	3,42	0,28	3,84	1,11	0,74	0,0011	0,60	4,92	0,75	0,44	0,00	0,06	0,33	4,75	
	0,60	1,00	1,00	0,36	2,37	43,15	3,63	1,69	2,02	1,40	1,66	3,63	0,28	3,64	1,02	0,67	0,0010	0,69	4,91	0,86	0,45	0,00	0,05	0,30	4,49	
	0,65	1,00	1,00	0,42	2,52	43,31	4,12	1,83	1,95	1,38	1,53	3,89	0,27	3,39	0,92	0,60	0,0009	0,81	4,88	1,00	0,46	0,00	0,04	0,27	4,12	
	0,70	1,00	1,00	0,49	2,68	43,35	4,78	2,03	1,89	1,36	1,43	4,26	0,26	3,10	0,81	0,52	0,0008	0,99	4,87	1,19	0,46	0,00	0,03	0,24	3,04	
	0,75	1,00	1,00	0,56	2,79	42,58	5,72	2,35	1,85	1,38	1,33	4,89	0,27	2,76	0,71	0,45	0,0007	1,30	4,95	1,47	0,45	0,00	0,02	0,20	2,75	
	0,80	1,00	1,00	0,64	2,79	40,42	7,10	2,91	1,87	1,45	1,25	6,05	0,31	2,34	0,60	0,37	0,0006	1,89	5,30	1,96	0,42	0,00	0,02	0,17	2,32	
	0,85	1,00	1,00	0,72	2,67	36,71	9,33	3,98	1,97	1,59	1,17	8,33	0,38	1,82	0,49	0,29	0,0005	3,09	6,33	2,87	0,35	0,00	0,02	0,13	1,77	
	0,90	1,00	1,00	0,81	2,48	32,35	13,74	6,22	2,15	1,79	1,11	13,17	0,48	1,21	0,36	0,21	0,0004	5,69	9,33	4,81	0,26	0,00	0,01	0,09	1,48	
	0,95	1,00	1,00	0,90	2,62	32,09	27,44	11,69	2,09	1,82	1,05	24,96	0,50	0,67	0,19	0,11	0,0002	11,91	16,79	9,70	0,15	0,00	0,01	0,05	0,64	
	0,35	1,00	1,00	0,12	2,27	51,90	2,41	1,09	1,98	1,22	2,43	2,53	0,20	4,68	1,37	0,96	0,0014	0,26	4,91	0,43	0,40	0,00	0,07	0,41	5,75	
	0,40	1,00	1,00	0,16	2,30	49,00	2,50	1,19	2,02	1,30	2,14	2,59	0,23	4,64	1,35	0,90	0,0013	0,33	5,08	0,50	0,42	0,00	0,08	0,37	5,72	
0,45	1,00	1,00	0,20	2,40	46,12	2,63	1,30	2,04	1,37	1,92	2,64	0,26	5,69	1,32	0,83	0,0013	0,41	6,38	0,57	0,43	0,00	0,08	0,34	6,69		
0,50	1,00	1,00	0,25	2,64	43,95	2,82	1,41	2,03	1,41	1,74	2,67	0,27	5,69	1,27	0,77	0,0013	0,48	6,60	0,66	0,43	0,00	0,08	0,30	6,73		
0,55	1,00	1,00	0,30	3,11	42,95	3,17	1,50	1,96	1,41	1,60	2,73	0,27	5,51	1,19	0,70	0,0012	0,55	6,61	0,75	0,44	0,00	0,07	0,27	6,50		
0,60	1,00	1,00	0,36	4,04	42,90	3,74	1,60	1,87	1,38	1,49	2,80	0,26	5,20	1,09	0,63	0,0011	0,62	6,49	0,86	0,45	0,00	0,06	0,25	5,25		
0,65	1,00	1,00	0,42	6,13	43,65	4,97	1,71	1,76	1,35	1,39	2,91	0,25	4,00	0,97	0,55	0,0010	0,70	5,46	1,00	0,46	0,00	0,04	0,22	5,03		
0,70	1,00	1,00	0,49	38,77	44,54	13,58	1,84	1,63	1,32	1,30	3,00	0,24	3,82	0,86	0,47	0,0009	0,81	5,53	1,19	0,46	0,00	0,03	0,19	4,82		
0,75	1,00	1,00	0,56	Inf	44,08	Inf	2,13	1,61	1,34	1,25	3,43	0,25	3,38	0,75	0,40	0,0008	1,05	5,50	1,47	0,45	0,00	0,03	0,16	4,28		
0,80	1,00	1,00	0,64	Inf	42,31	Inf	2,63	1,62	1,40	1,20	4,26	0,28	2,82	0,63	0,33	0,0006	1,53	5,64	1,96	0,42	0,00	0,02	0,14	3,56		
0,85	1,00	1,00	0,72	Inf	39,25	Inf	3,58	1,68	1,52	1,15	5,83	0,33	2,15	0,51	0,25	0,0005	2,49	6,35	2,87	0,35	0,00	0,02	0,10	2,73		
0,90	1,00	1,00	0,81	Inf	35,69	Inf	5,56	1,78	1,67	1,10	9,14	0,39	1,82	0,36	0,18	0,0004	4,61	9,12	4,81	0,26	0,00	0,01	0,07	1,83		
0,95	1,00	1,00	0,90	Inf	35,08	Inf	10,56	1,77	1,72	1,05	17,61	0,42	0,96	0,20	0,10	0,0002	9,88	15,40	9,70	0,15	0,00	0,01	0,04	0,98		

Tabulka C.20: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 2,0 \text{ PI}$

Metoda množinového modelu $M_s = 2,0$ PID

Model	Identifikace			Frekvenční indexy										Časové indexy					Regulátor				Porucha		
	σ	κ	μ	σ^2	Gm	Pm [°]	Wgm [rad/s]	Wpm [rad/s]	Ms	Mt	ω_P [rad/s]	ω_{CL} [rad/s]	Překmit	Čas regulace [s]	IAE	ISE	ITAE	Překmit	Energie	K	Ti	Td	Překmit	Podkmit	Čas regulace [s]
	0,35	1,00	1,00	0,12	2,06	47,26	3,06	1,42	2,12	1,35	2,85	3,49	0,25	3,79	1,15	0,81	0,0011	6,30	4,71	0,66	0,46	0,12	0,08	0,42	4,76
	0,40	1,00	1,00	0,16	2,04	45,39	3,35	1,58	2,15	1,40	2,49	3,84	0,27	3,53	1,07	0,75	0,0011	7,68	4,80	0,79	0,48	0,12	0,07	0,39	4,48
	0,45	1,00	1,00	0,20	2,00	43,82	3,72	1,77	2,17	1,43	2,22	4,35	0,29	3,22	0,98	0,69	0,0010	9,45	4,97	0,95	0,50	0,13	0,06	0,36	4,09
	0,50	1,00	1,00	0,25	1,96	42,78	4,19	2,00	2,20	1,44	2,00	5,03	0,31	2,85	0,88	0,62	0,0009	11,64	5,23	1,15	0,52	0,13	0,05	0,32	2,98
	0,55	1,00	1,00	0,30	1,91	42,28	4,78	2,25	2,22	1,44	1,81	5,90	0,33	2,34	0,78	0,55	0,0008	14,24	5,56	1,39	0,53	0,13	0,03	0,29	2,78
	0,60	1,00	1,00	0,36	1,86	42,05	5,48	2,54	2,24	1,42	1,66	6,94	0,35	1,65	0,69	0,49	0,0007	17,28	5,97	1,66	0,52	0,13	0,02	0,25	2,74
	0,65	1,00	1,00	0,42	1,84	41,61	6,35	2,88	2,25	1,41	1,53	8,14	0,38	1,73	0,62	0,43	0,0006	20,86	7,40	1,99	0,50	0,12	0,01	0,22	2,62
	0,70	1,00	1,00	0,49	1,85	40,36	7,42	3,31	2,24	1,45	1,43	9,54	0,39	2,09	0,57	0,38	0,0006	25,30	9,40	2,39	0,45	0,11	0,01	0,18	2,38
	0,75	1,00	1,00	0,56	1,87	37,71	8,82	3,90	2,20	1,55	1,33	11,27	0,41	1,98	0,52	0,33	0,0005	31,37	11,51	2,94	0,39	0,10	0,02	0,15	2,05
	0,80	1,00	1,00	0,64	1,90	33,36	10,76	4,85	2,20	1,75	1,25	13,67	0,49	1,67	0,47	0,29	0,0005	40,86	14,70	3,81	0,31	0,08	0,02	0,12	2,16
	0,85	1,00	1,00	0,72	1,89	27,70	13,80	6,56	2,35	2,10	1,17	17,74	0,61	1,64	0,41	0,25	0,0004	58,08	21,68	5,37	0,23	0,06	0,02	0,09	1,64
	0,90	1,00	1,00	0,81	1,83	22,89	19,98	10,12	2,71	2,53	1,11	26,64	0,74	1,31	0,32	0,20	0,0003	94,74	38,15	8,70	0,15	0,04	0,02	0,06	1,34
	0,95	1,00	1,00	0,90	1,86	27,72	42,60	18,84	2,24	2,16	1,05	56,03	0,64	0,61	0,15	0,09	0,0002	189,08	77,29	17,28	0,09	0,02	0,01	0,03	0,61
	0,35	1,00	1,00	0,12	2,20	46,51	2,85	1,40	2,10	1,37	2,43	3,06	0,26	4,08	1,21	0,80	0,0012	6,30	4,99	0,66	0,46	0,12	0,09	0,37	5,15
	0,40	1,00	1,00	0,16	2,35	44,41	3,07	1,54	2,08	1,41	2,14	3,13	0,27	4,93	1,15	0,72	0,0012	7,68	6,20	0,79	0,48	0,12	0,08	0,33	5,96
	0,45	1,00	1,00	0,20	2,70	42,78	3,43	1,70	2,02	1,43	1,92	3,21	0,28	4,79	1,07	0,64	0,0011	9,45	6,51	0,95	0,50	0,13	0,07	0,29	5,83
	0,50	1,00	1,00	0,25	3,61	42,05	4,14	1,85	1,92	1,42	1,74	3,28	0,28	4,58	0,96	0,56	0,0010	11,64	6,88	1,15	0,52	0,13	0,06	0,24	5,57
	0,55	1,00	1,00	0,30	6,39	42,43	5,99	2,02	1,78	1,38	1,60	3,42	0,26	3,43	0,85	0,47	0,0008	14,24	6,46	1,39	0,53	0,13	0,05	0,21	4,50
	0,60	1,00	1,00	0,36	29,83	43,20	14,54	2,20	1,65	1,36	1,49	3,56	0,25	3,26	0,75	0,40	0,0007	17,28	7,21	1,66	0,52	0,13	0,04	0,18	4,30
	0,65	1,00	1,00	0,42	47,70	44,38	24,82	2,42	1,53	1,35	1,39	3,79	0,24	3,08	0,65	0,33	0,0007	20,86	8,15	1,99	0,50	0,12	0,03	0,15	4,08
	0,70	1,00	1,00	0,49	139,70	45,25	88,95	2,65	1,42	1,37	1,30	3,89	0,25	2,94	0,59	0,27	0,0006	25,30	9,37	2,39	0,45	0,11	0,02	0,12	3,89
	0,75	1,00	1,00	0,56	Inf	42,97	Inf	3,13	1,45	1,45	1,25	4,57	0,28	3,24	0,53	0,23	0,0005	31,37	11,57	2,94	0,39	0,10	0,02	0,10	3,38
	0,80	1,00	1,00	0,64	Inf	38,92	Inf	3,92	1,56	1,61	1,20	5,78	0,33	2,77	0,47	0,20	0,0005	40,86	14,07	3,81	0,31	0,08	0,02	0,08	3,40
	0,85	1,00	1,00	0,72	Inf	34,02	Inf	5,33	1,74	1,83	1,15	7,95	0,39	2,51	0,40	0,16	0,0004	58,08	19,48	5,37	0,23	0,06	0,02	0,06	2,58
	0,90	1,00	1,00	0,81	Inf	30,11	Inf	8,21	1,94	2,07	1,10	12,37	0,45	1,73	0,30	0,12	0,0003	94,74	31,79	8,70	0,15	0,04	0,01	0,04	2,04
	0,95	1,00	1,00	0,90	Inf	33,25	Inf	15,51	1,75	1,95	1,05	23,46	0,43	0,91	0,15	0,06	0,0001	189,08	64,69	17,28	0,09	0,02	0,01	0,02	0,92

Tabulka C.21: Kompletní výsledky testování pro metodu množinového modelu $M_s = 2,0$ PID