

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE
ÚSTAV INFORMATIZÁCIE, AUTOMATIZÁCIE A MATEMATIKY

**PROGRAMOVÝ SYSTÉM PRE IDENTIFIKÁCIU A NÁVRH
REGULÁTOROV VYUŽITÍM FREKVENČNÝCH
CHARAKTERISTÍK**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-25534



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študentka: **Bc. Katarína Bangová**
ID študenta: 25534
Študijný program: automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve
Študijný odbor: 5.2.14 automatizácia
Vedúca práce: Ing. Mária Karšaiová, CSc.
Miesto vypracovania: Bratislava

Názov práce: **Programový systém pre identifikáciu a návrh regulátorov využitím frekvenčných charakteristík**

Špecifikácia zadania:

Využitie prostredia a prostriedkov Matlab-u a Simulink-u na vytvorenie programového systému pre spracovanie frekvenčných charakteristík na identifikáciu a riadenie procesov

Rozsah práce: cca 60

Zoznam odbornej literatúry:

1. MÍKLEŠ, J. – HUTLA, V. *Teória automatického riadenia*. Bratislava: Alfa, 1986. 477 s.

Riešenie zadania práce od: 15. 02. 2010

Dátum odovzdania práce: 22. 05. 2010




Bc. Katarína Bangová
študentka


prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
vedúci pracoviska


prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
garant študijného programu

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE
ÚSTAV INFORMATIZÁCIE, AUTOMATIZÁCIE A MATEMATIKY

**PROGRAMOVÝ SYSTÉM PRE IDENTIFIKÁCIU A NÁVRH
REGULÁTOROV VYUŽITÍM FREKVENČNÝCH
CHARAKTERISTÍK**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-25534

Vedúci diplomovej práce:	Ing.Mária Karšaiová, CSc
Konzultant diplomovej práce:	Ing.Mária Karšaiová, CSc
Študijný program:	Automatizácia
Číslo a názov študijného odboru:	5.2.14 Automatizácia
Školiace pracovisko:	Oddelenie informatizácie a riadenia procesov

Abstrakt

Diplomový projekt sa zaoberá grafickým užívateľským prostredím (GUI). Cieľom práce je vytvoriť v grafickom užívateľskom prostredí program pre frekvenčnú analýzu. Hlavnou úlohou v programe je najprv poznať základné pojmy a prácu s frekvenčnými a logaritmickými frekvenčnými charakteristikami a potom následná práca s nimi. Program je rozdelený na štyri hlavné časti. Prvá umožňuje vykresľovať Bodeho a Nyquistov diagram systémov prvého, druhého a tretieho rádu. Pri systéme tretieho rádu je možnosť zapojiť proporcionálny regulátor pre sledovanie stability v otvorenom regulačnom obvode. Druhá časť obsahuje dva typy návrhu regulátorov, v tretej časti je možnosť identifikácie systému s viacnásobnou alebo s rôznymi časovými konštantami. Posledná časť sa venuje nestabilným systémom, ktoré pomocou programu môžeme stabilizovať.

Kľúčové slová: frekvencia, frekvenčná charakteristika, regulátor

Abstract

Diploma thesis deals with the graphical user interface (GUI). The objective is to create a graphical user interface program for frequency analysis. The major task of the program is first knowing the basic concepts and work with a logarithmic and frequency characteristics, and then the follow-up work with them. The program is divided into four main parts. The first allows the rendering of Bode and Nyquist diagrams of the first, second and third order. The second order is to participate in a regulator to monitor the stability of the open control circuit. The second section contains two types of draft regulators, in the third part is the possibility of identifying multiple or different time constants. The last part is devoted to unstable systems, which can be stabilized by the program.

Keywords: Frequency, Frequency characteristic, Regulator

Čestné prehlásenie

„Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému:“ *Programový systém pre identifikáciu a návrh regulátorov využitím frekvenčných charakteristík*“ spracovala sama, a uviedla som všetky použité pramene.“

V Bratislave, 21. máj 2010

.....
podpis

Obsah

Zoznam obrázkov	6
Zoznam symbolov a skratiek.....	8
Úvod.....	9
1 Frekvenčný prenos, frekvenčné charakteristiky	10
1.1 Návrh regulátorov pomocou logaritmicko - fekvenčných	12
charakteristík [3]	12
1.1.1 Zásady a kritéria syntézy vo frekvenčnej oblasti:	13
1.1.2 Návrh PI – regulátora	14
1.1.3 Návrh PID – regulátora	15
2.Grafické užívateľské rozhranie (GUI)	18
3.GUI – Programový systém	19
3.1 Frekvenčné charakteristiky	20
3.2 Návrh regulátora.....	24
3.2.1 Odčítané parametre.....	24
3.2.2 Bezpečnosť vo fáze	28
3.3 Identifikácia.....	35
3.4 Nestabilný systém	38
Záver.....	44
Zoznam použitej literatúry.....	45
Prílohy	46

Zoznam obrázkov

Obr. 1	Znázornenie frekvenčného prenosu $F(j\omega)$ v komplexnej rovine	10
Obr. 2	Rozpojený URO	11
Obr. 3	Typová amplitúdová logaritmická frekvenčná charakteristika	12
Obr. 4	Amplitúdový a fázový priesečník	13
Obr. 5	Frekvenčná oblasť	14
Obr. 6	Amplitúdová a fázová logaritmická charakteristika PI - regulátora	15
Obr. 7	Amplitúdová a fázová logaritmická charakteristika PD - regulátora	15
Obr. 8	Hlavné okno programu	19
Obr. 9	Systém	20
Obr. 10	Systém 1. rádu	20
Obr. 11	Nyquistov diagram	21
Obr. 12	Bodeho diagram	21
Obr. 13	Systém 2. rádu	22
Obr. 14	Systém 3. rádu - P – regulátor	23
Obr. 15	Systém 3. rádu	23
Obr. 16	Návrh regulátora	24
Obr. 17	Odčítané parametre	25
Obr. 18	Návrh P - regulátora	25
Obr. 19	Návrh PI - regulátora	26
Obr. 20	Návrh PID - regulátora	27
Obr. 21	Výber regulátora	28
Obr. 22	PI - fáza	28
Obr. 23	Margin (gp) - PI – regulátor	28
Obr. 24	Margin (go) - PI – regulátor	28
Obr. 25	Nyquist (go) - PI – regulátor	30
Obr. 26	URO - PI – regulátor	30
Obr. 27	Parametre - PI – regulátora	31
Obr. 28	PID – regulátor	31
Obr. 29	Margin (gp) - PID – regulátor	32
Obr. 30	Margin (go) - PID – regulátor	32
Obr. 31	Nyquist (go) - PID – regulátor	33
Obr. 32	URO - PID – regulátor	34
Obr. 33	Parametre - PID – regulátora	34

Obr. 34	Frekvencia	35
Obr. 35	Identifikácia - viacnásobná omega.....	35
Obr. 36	Chyba omega.....	36
Obr. 37	Identifikovaný systém	36
Obr. 38	Identifikácia – rôzne omegy.....	37
Obr. 39	Identifikovaný systém 1	37
Obr. 40	Nestabilný systém	38
Obr. 41	Chyba nestabilného systému.....	38
Obr. 42	Nyquistov diagram - nestabilný systém	39
Obr. 43	Bodeho diagram (gs) - nestabilný systém	40
Obr. 44	Bodeho diagram (go) - nestabilný systém.....	40
Obr. 45	Stabilizuj	41
Obr. 46	Chyba nestabilný systém.....	41
Obr. 47	Nyquistov diagram – stabilizovaný systém.....	42
Obr. 48	Bodeho diagram – stabilizovaný systém.....	43
Obr. 49	URO – stabilizovaný systém.....	43

Zoznam symbolov a skratiek

n	rád systému
T	časová konštanta
Z	zosilnenie
D	dopravné oneskorenie
ω	frekvencia
ξ	koeficient tlmenia
db	decibel
GUI	grafické užívateľské rozhranie
t	čas
α	fáza
A	amplitúda
G_o	prenos otvoreného regulačného obvodu
U_{RO}	uzavretý regulačný obvod
O_{RO}	otvorený regulačný obvod
P_{PI}	prírastok PI – regulátora
K_p	proporcionálna zložka regulátora
K_i	integračná zložka regulátora
K_d	derivačná zložka regulátora
G_m	bezpečnosť v zosilnení (amplitúde)
P_m	bezpečnosť vo fáze
G_p	prenos systému
LF	logaritmicko - frekvenčné
P – regulátor	proporcionálny
PI – regulátor	proporcionálno-integračný
PID – regulátor	proporcionálno-integračno-derivačný

Úvod

Frekvenčný prenos je komplexná veličina priradená reálnej premennej ω , ktorá charakterizuje vynútené kmitanie výstupu pri vstupnej veličine s frekvenciou ω . [2] Frekvenčná charakteristika je krivka, ktorú opisuje v komplexnej rovine koncový bod vektora $Ae^{j\alpha(\omega)}$ pri zmene frekvencie od 0 do ∞ .

Cieľom diplomového projektu bolo v programovom prostredí MATLAB vytvoriť užívateľské grafické prostredie (GUI), ktoré by umožnilo jednoducho identifikovať systém pomocou frekvenčných kritérií, určovať stabilitu aj nestabilného systému a vykresľovať Bodeho a Nyquistov diagram pre systémy prvého, druhého a tretieho rádu a následne navrhnúť vhodný regulátor pre tieto systémy. Jednotlivé časti programu na seba nadväzujú, to znamená, že ak chceme identifikovať systém, musíme si najprv odčítať z diagramov jednotlivé parametre. Ak chce užívateľ pracovať s programom, musí mať vedomosti o frekvenčnej analýze.

GUI sa skladá z elementov ako sú okná, tlačidlá, ikony a simulačné schémy. Tieto elementy vzniknú pomocou príkazov zadávaných v programovacom jazyku MATLAB. Jednotlivé programy sa napíšu do m-file-ov a pomocou nich sa prepájajú jednotlivé časti v programe.

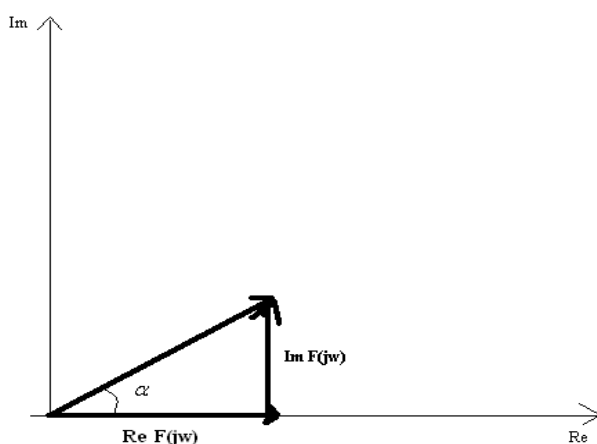
1 Frekvenčný prenos, frekvenčné charakteristiky

Majme prenos: $F(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{U(j\omega)} = \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)}$ (1)

Ak priebeh vstupnej veličiny bude $u(t) = A_1 \sin \omega t$, výstupná veličina bude mať priebeh

$$y(t) = |F(j\omega)| \sin(\omega t - \alpha) \quad (2)$$

Výraz (1) sa nazýva *frekvenčný prenos*. Veľkosť aj argument (amplitúda, fázové posunutie) sú závislé od systému a od frekvencie vstupných kmitov. [1]



Obr.1: Znázornenie frekvenčného prenosu $F(j\omega)$ v komplexnej rovine

1db = $0.05 \log_{10}$ je to jednotka, ktorej veľkosť je 20 krát menšia ako dĺžka odpovedajúca \log_{10} .

Výrazom $F(j\omega)$ je určená vždy aj amplitúda, aj fáza výstupnej veličiny. Pre fázové posunutie môžeme napísať: [1]

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{Im} F(j\omega)}{\operatorname{Re} F(j\omega)} \quad (3)$$

resp.

$$\begin{aligned} \alpha &= \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} F(j\omega)}{\operatorname{Re} F(j\omega)} \\ F(j\omega) &= \operatorname{Re} F(j\omega) + j[\operatorname{Im} F(j\omega)] \\ |F(j\omega)| &= \sqrt{[\operatorname{Re} F(j\omega)]^2 + [\operatorname{Im} F(j\omega)]^2} \end{aligned} \quad (4)$$

Závislosť pomeru amplitúd výstupnej a vstupnej funkcie od frekvencie

$$A(\omega) = \frac{A_2}{A_1} \quad (5)$$

je *amplitúdová frekvenčná charakteristika*.

Fázová frekvenčná charakteristika znázorňuje fázové zaostávanie výstupnej veličiny pre rôzne frekvencie vzhľadom na vstupnú veličinu.

Zobrazenie frekvenčného prenosu

$$F(j\omega) = A(\omega)e^{j\alpha(\omega)} \quad (6)$$

v komplexnej Gaussovej rovine, *frekvenčná charakteristika*, je krivka, ktorú opisuje v komplexnej rovine koncový bod vektora $Ae^{j\alpha(\omega)}$ pri zmene frekvencie od 0 do ∞ .

Pri analýze systémov sa často používajú aj logaritmické frekvenčné charakteristiky. Sú to amplitúdová a fázová logaritmická frekvenčná charakteristika. Skúmame logaritmus frekvenčného prenosu $A(\omega)e^{j\alpha(\omega)}$ [1]

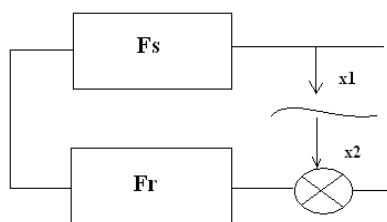
$$20 \log F(j\omega) = 20 \log A + j\alpha = 20 \log A(\omega) + j\alpha(\omega) \quad (7)$$

Závislosť $20 \log A(\omega) = f_1(20 \log \omega)$

definuje *amplitúdovú logaritmickú frekvenčnú charakteristiku*.

Fázová logaritmická frekvenčná charakteristika je definovaná ako závislosť [1]

$$\alpha(\omega) = f_2(\log \omega) \quad (8)$$



$$\begin{aligned} x_1 &= A_1 \sin \omega t \\ x_2 &= A_2 \sin(\omega t - \varphi) \end{aligned}$$

Obr. 2: Rozpojený URO

Ak rozpojíme URO (obr. 2) a existuje taká frekvencia, že pomer $\frac{A_2}{A_1} = 1$ a $\varphi = -\pi = -180$, potom po uzavretí otvoreného obvodu, tento bude ďalej kmitať s rovnakou frekvenciou a amplitúdou a hovoríme, že je systém na hranici stability.

1.1 Návrh regulátorov pomocou logaritmicko - frekvenčných charakteristík [3]

1.1.1 Zásady a kritéria syntézy vo frekvenčnej oblasti: [3]

Dosiahnuť požadované frekvenčné vlastnosti obvodu:

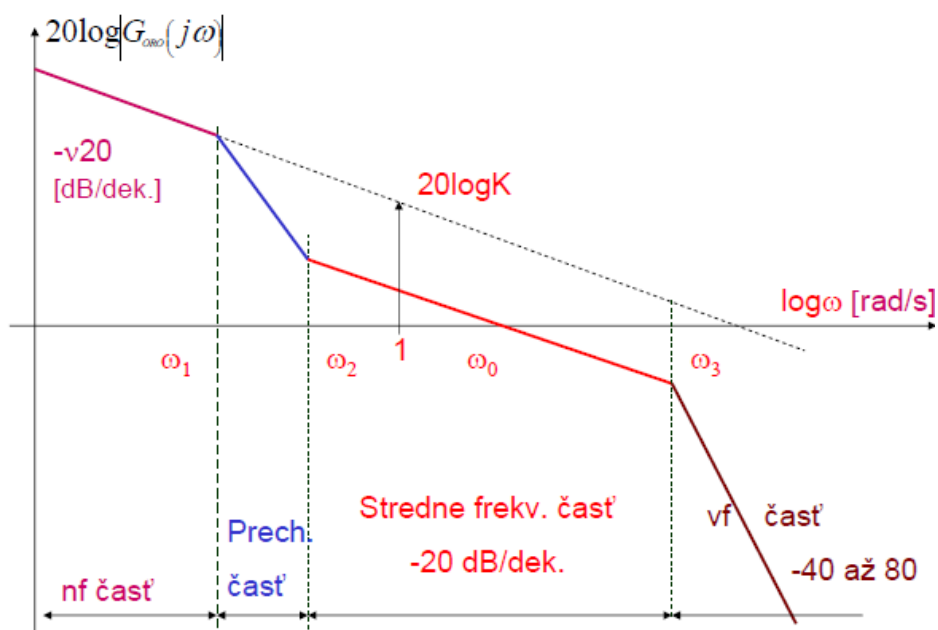
♦ Stabilita URO:

- ▶ zabezpečiť fázovú bezpečnosť ORO
- ▶ sklon LF charakteristiky v amplitúdovom priesečníku približne -20 dB/dek

♦ Nulová regulačná odchýlka:

- ▶ amplitúda predĺženej n.f. časti pri $\omega=1$ rad/s má byť $20 \log K$
- ▶ amplitúdový priesečník $\omega_a = \omega_0$ má ležať približne uprostred s.f časti
- ▶ posun ω_0 k nižším frekvenciám – spomalenie regulačného procesu
- ▶ rozširovanie pásma (ω_2, ω_3) – znižuje sa kmitavosť obvodu a maximálne

Preregulovanie



Obr.3: Typová amplitúdová logaritmická frekvenčná charakteristika

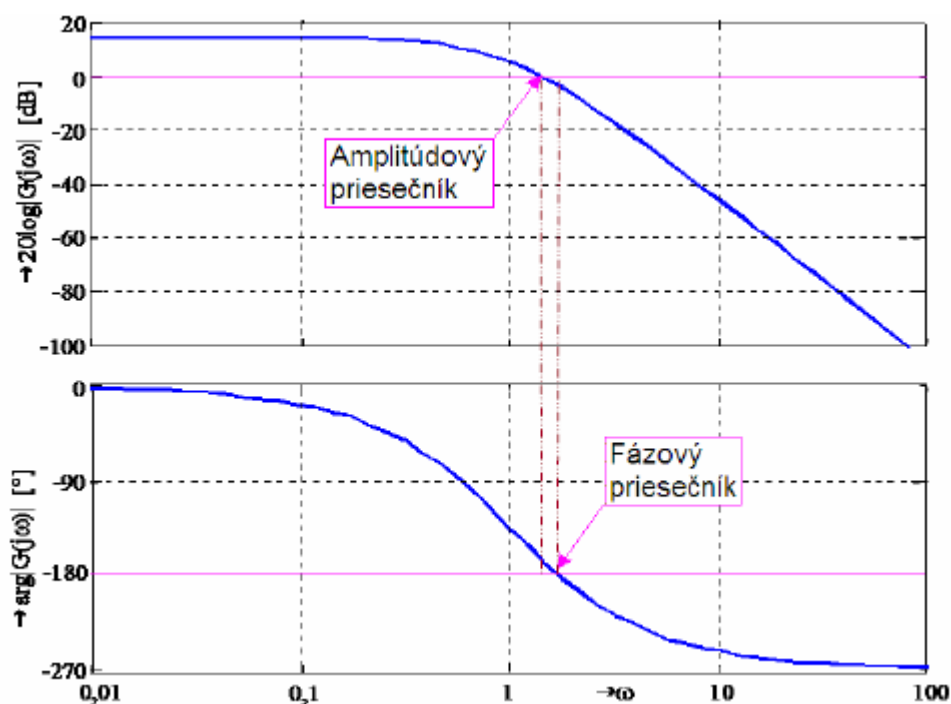
♦ Ukazovatele kvality regulácie vo frekvenčnej oblasti

- šírka pásma priepustnosti URO (Bandwidth) ω_{BW} má byť $(0.6 \div 1.8)$ dekády
- rezonančné prevýšenie modulu URO

$$G_{Y/W}(j\omega) = \frac{G_0(j\omega)}{1 + G_0(j\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega) = M(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

$$M(\omega) = |G_{Y/W}(j\omega)| = \frac{|G_0(j\omega)|}{|1 + G_0(j\omega)|} = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} \quad (8)$$

$$\varphi(\omega) = \arg[G_0(j\omega)] - \arg[1 + G_0(j\omega)]$$



Obr. 4: Amplitúdový a fázový priesečník

Vzdialenosť FCH ORO do bodu $(-1, j0)$ udáva tzv. bezpečnosť obvodu v stabilite t.j. oblasť zmeny parametrov, pri ktorých je obvod ešte stabilný

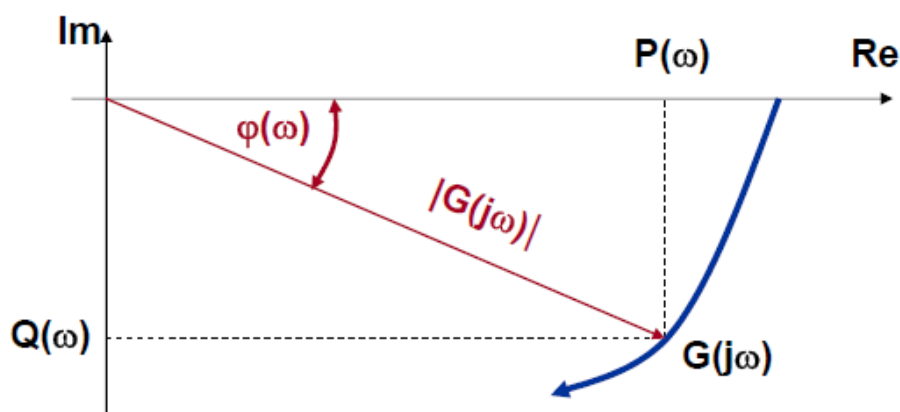
1.1.2 Návrh PI – regulátora

Prenosová funkcia regulátora: $G_R(s) = P + \frac{I}{s} = \frac{I\left(1 + \frac{P}{I}s\right)}{s}$ (9)

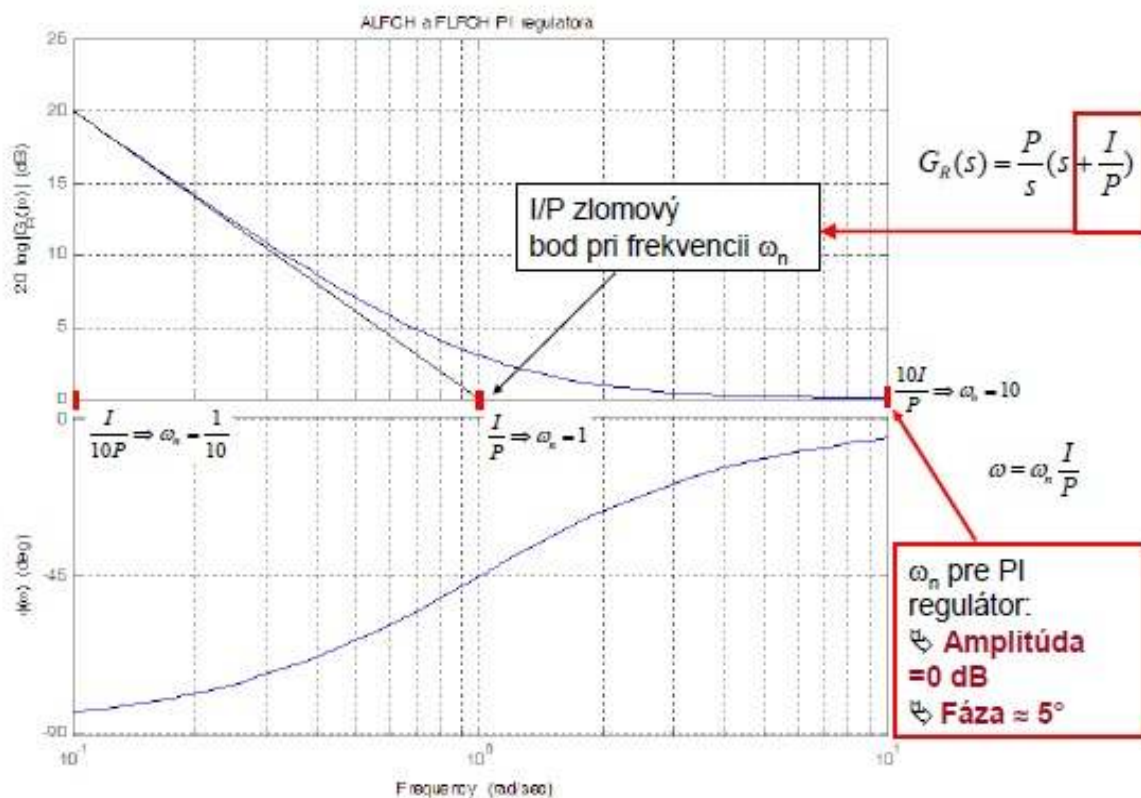
Frekvenčný prenos regulátora: $G_R(j\omega) = P - j\frac{I}{\omega} = \text{Re}(\omega) + j\text{Im}(\omega) = M(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ (10)

Modul: $M(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)} = \sqrt{P^2 + \frac{I^2}{\omega^2}}$ (11)

Fáza: $\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} = \arctg \frac{I}{\omega P}$ (12)



Obr.5: Frekvenčná oblasť



Obr.6: Amplitúdová a fázová logaritmická charakteristika PI – regulátora

1.1.3 Návrh PID – regulátora

Skladá sa z PD a PI regulátora:

$$G_{PD}(s) = 1 + K_{D1}s$$

$$G_{PI}(s) = K_{P2} + \frac{K_{I2}}{s}$$
(13)

Prenosová funkcia PID regulátora:

$$G_{PID}(s) = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} = (1 + K_{D1}s) \left(K_{P2} + \frac{K_{I2}}{s} \right)$$

$$G_{PID}(s) = (K_{P2} + K_{D1} + K_{I2}) + (K_{P2}K_{D1})s + \frac{K_{I2}}{s}$$
(14)

kde:

$$K_P = K_{P2} + K_{D1}K_{I2}$$

$$K_D = K_{P2}K_{D1}$$

$$K_I = K_{I2}$$
(15)

1.1.3.1 Návrh PD – regulátora

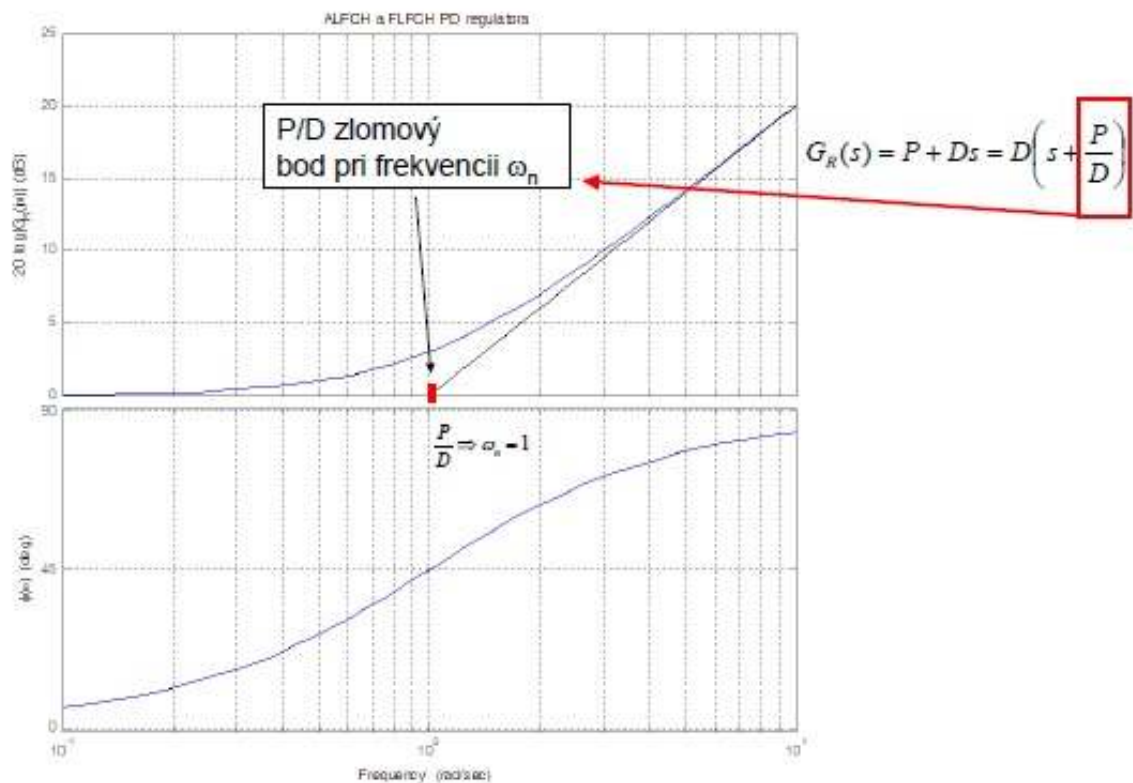
Prenosová funkcia regulátora: $G_R(s) = P + Ds = D\left(s + \frac{P}{D}\right)$ (16)

Frekvenčný prenos regulátora:

$$G_R(j\omega) = P + jD\omega = \text{Re}(\omega) + j\text{Im}(\omega) = M(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (17)$$

Modul: $M(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)} = \sqrt{P^2 + D^2\omega^2}$ (18)

Fáz: $\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} = \arctg \frac{\omega D}{P}$ (19)



Obr. 7: Amplitúdová a fázová logaritmická charakteristika PD – regulátora

1) Postup návrhu PD – regulátora:

- ▶ vykresliť LFCH PD regulátora (Bode)
- ▶ výpočet pre $\omega_n = 1$ - amplitúda pre bod zlomu
- ▶ zistiť frekvenciu amplitúdového priesečníka regulovaného procesu (Margin)
- ▶ zvoliť posun omegy a výpočet novej frekvencie amplitúdového priesečníka regulovaného procesu
- ▶ vypočítať koeficienty PD regulátora
- ▶ vykresliť LFCH regulovaného systému spolu s PD regulátorom (Bode)
- ▶ zistiť rozsah fázy, ktorú max. možno dosiahnuť

2) Postup návrhu PI – regulátora:

- ▶ vypočítať koeficienty PI – regulátora
- ▶ overiť požiadavky Go (s PID) na fázovú bezpečnosť
- ▶ overiť dynamiku URO

2.Grafické užívateľské rozhranie (GUI)

Matlab poskytuje vizualizáciu dát a tým umožňuje vytvoriť prostredie, ktoré sa vyznačuje jednoduchosťou a jednoznačnosťou obsluhy. Prostredie sa vytvára pomocou príkazov zadávaných v príkazovom okne.

Typy príkazov:

FIGURE – príkaz na vytvorenie celkovej podoby okna s použitím nižšie uvedených príkazov

CLEAR – vymazanie premennej a funkcie z pamäti

UICONTROL – vytvorí prepojenie medzi užívateľom a ovládaním aktuálnej podoby okna.

STYLE – zápis na určenie charakteristiky tlačidla

Napríklad: 'Style','popup' – rolovacie tlačidlo

'Style','push' – tlačidlo

'Style','text' – ikona v ktorej sa nachádza len text

'Style','edit' – ikona na zápis údajov

FOREGROUNDCOLOR – farba popredia

BACKGROUNDCOLOR – farba pozadia

POSITION – určuje polohu tlačidla, ikony alebo celého okna

STRING – pomocou tohto príkazu zadávame text do textovej ikony

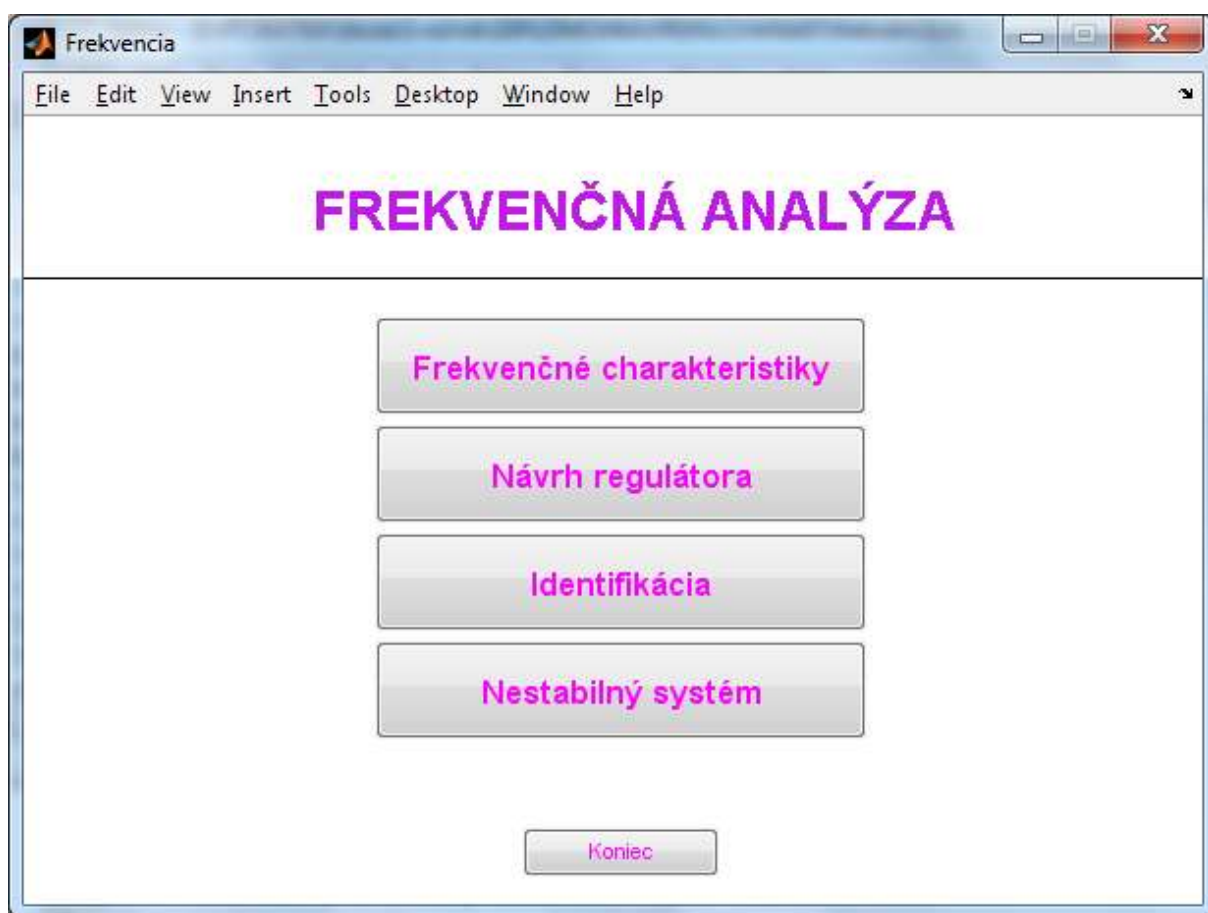
CALLBACK – návrat do predošlého kroku

STR2NUM – konverzia reťazca na číslo

NUM2STR – konverzia čísla na reťazec

3.GUI – Programový systém

Programový systém pre frekvenčnú analýzu umožňuje, pri spustení programu prostredníctvom príkazu *frekvencia* v MATLABe, užívateľovi vybrať si z jednotlivých možností vykresľovania Bodeho diagramu a Nyquistovho diagramu pre systém prvého, druhého a tretieho rádu, určovať stabilitu systémov, navrhovať regulátory pre tieto systémy, identifikovať proces prostredníctvom frekvenčných kritérií a stabilizovať nestabilný systém. Kliknutím na tlačidlo *koniec* sa zatvorí okno programu.



Obr.8: Hlavné okno programu

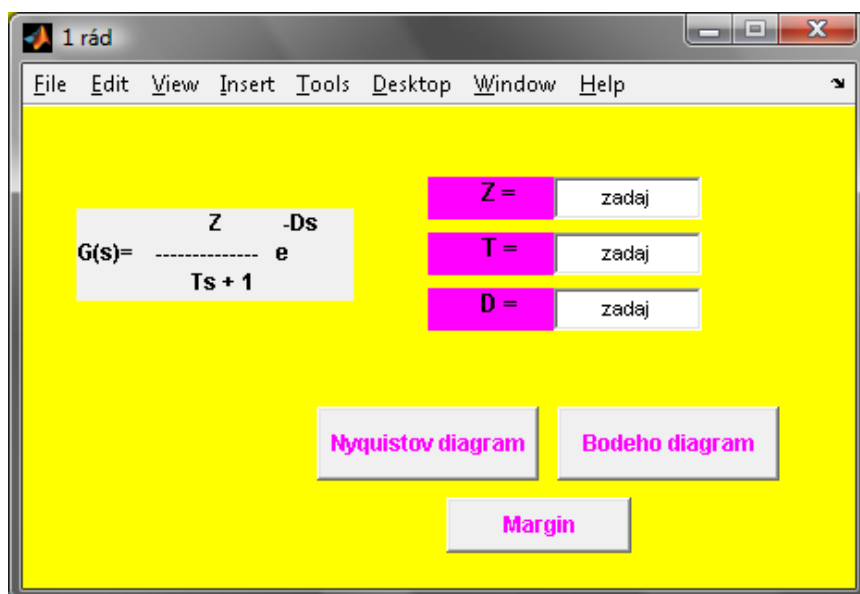
3.1 Frekvenčné charakteristiky

V hlavnom okne kliknutím na tlačidlo frekvenčné charakteristiky sa otvorí okno s názvom „Systém“, kde je možnosť výberu systémov prvého, druhého alebo tretieho rádu.

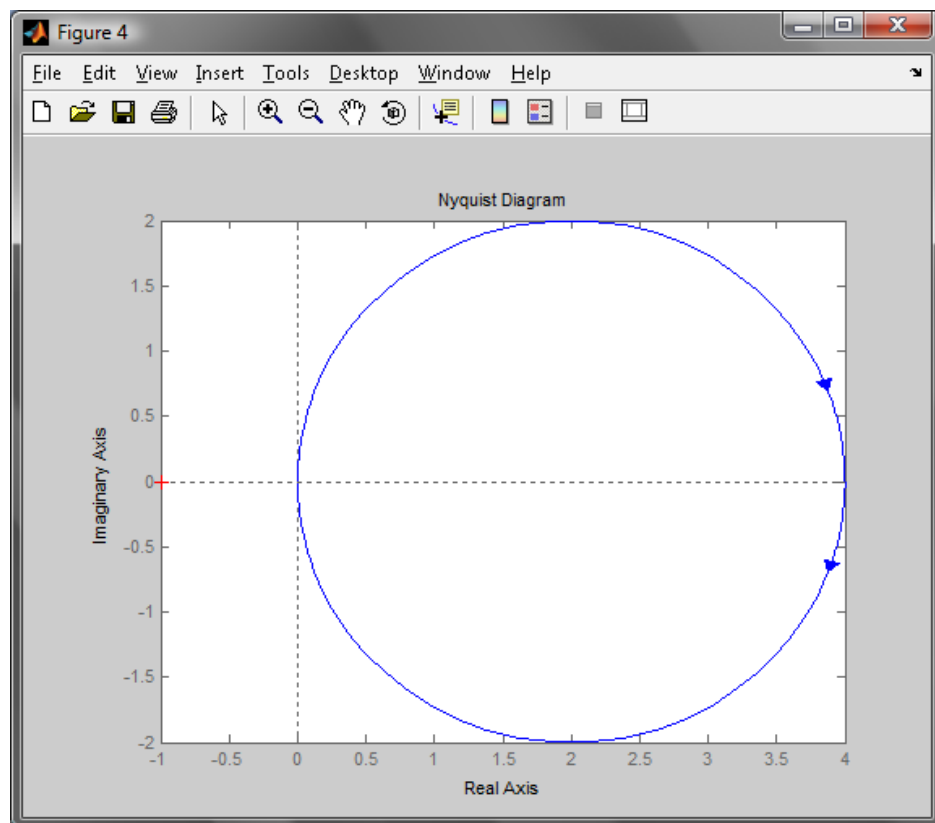


Obr.9: Systém

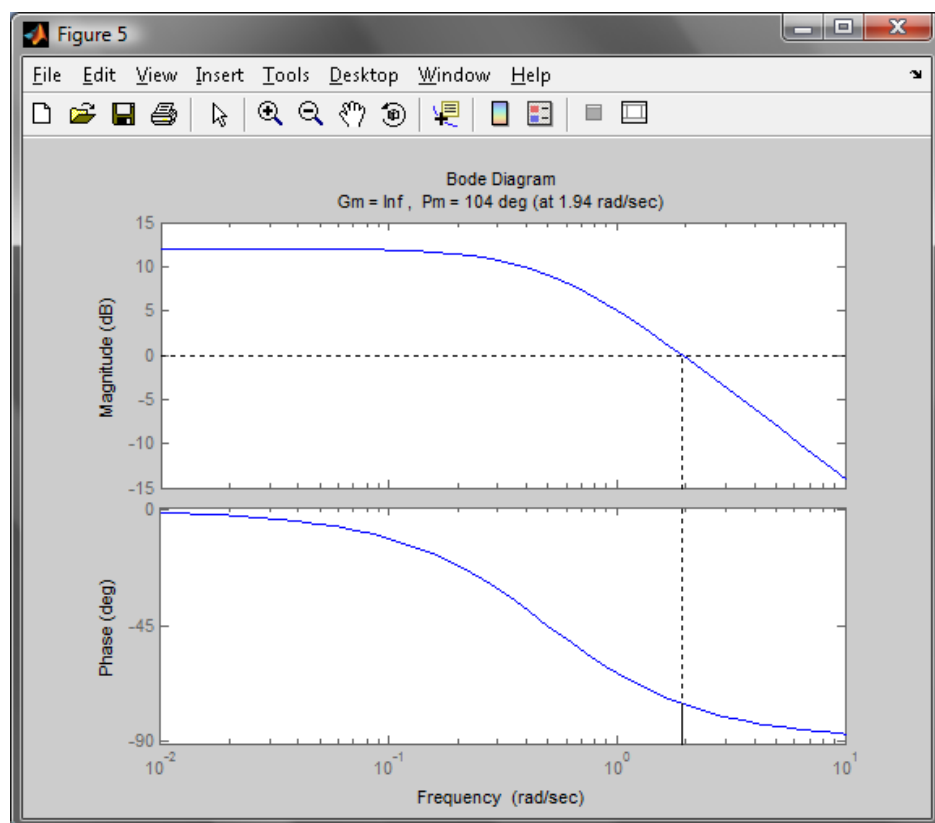
Kliknutím na tlačidlo „Systém 1. rádu“ sa nám zobrazí okno s možnosťou zadania parametrov procesu. Po stlačení jednotlivých tlačidiel sa vykreslí príslušný diagram.



Obr.10: Systém 1. rádu

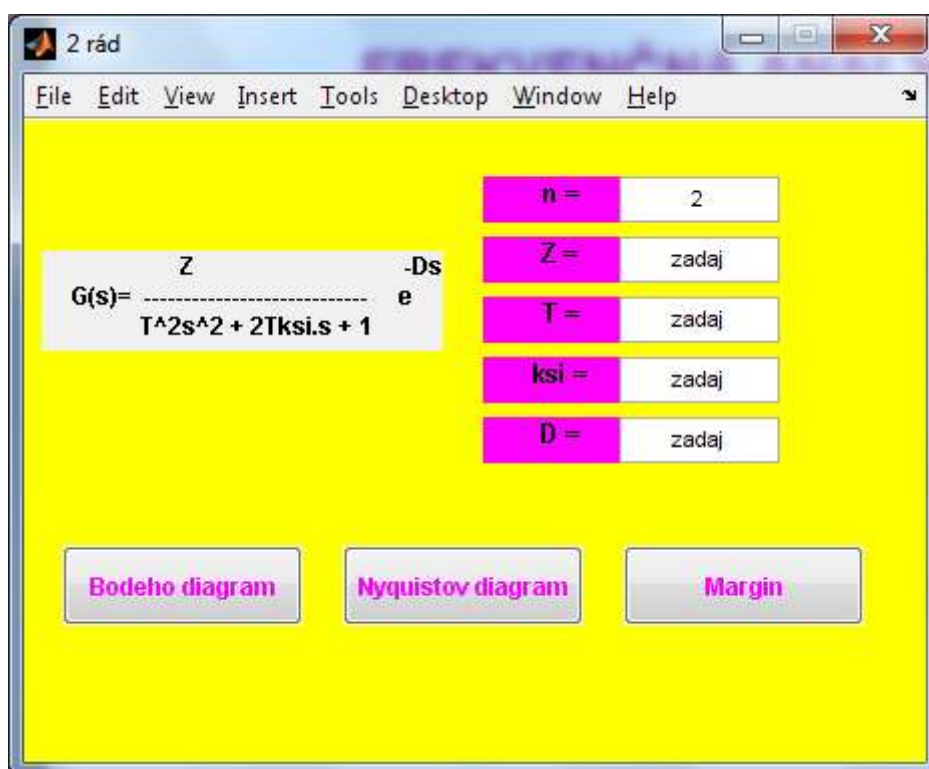


Obr.11: Nyquistov diagram



Obr.12: Bodeho diagram

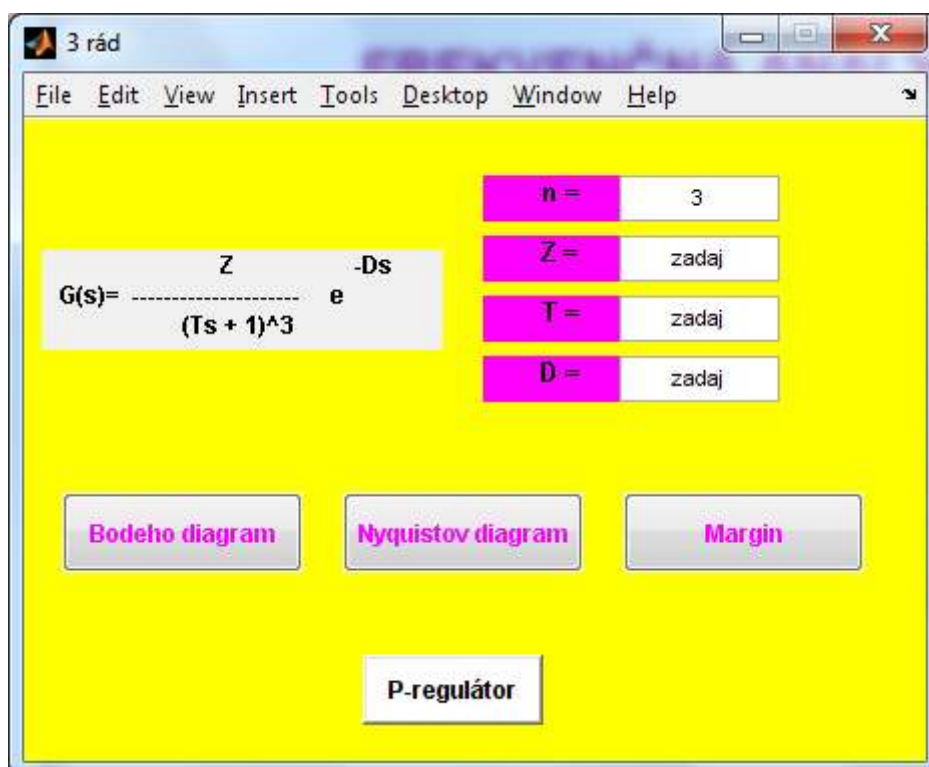
Pri zadávaní parametrov systému 2. rádu je možnosť zadať aj koeficient tlmenia ξ , kde pri rôznom koeficiente sa systém správa rozlične. Pri systéme 3. rádu, po kliknutí na tlačidlo „P - regulátor“ sa nám otvorí okno s možnosťou zadania zosilnenia prenosu regulátora, kde po vykreslení Go sa zobrazia diagramy (Bodeho, Nyquistov, Margin), kde sa určí stabilita otvoreného regulačného obvodu. Okno „Margin“ vykreslí Bodeho diagram doplnený o G_m a P_m , kde G_m udáva bezpečnosť v zosilnení, t.j. o koľko možno zmeniť ešte zosilnenie, aby bol systém na hranici stability, a P_m udáva bezpečnosť vo fáze, t.j. o koľko možno ešte zmeniť fázu, aby bol systém na hranici stability.



Obr.13: Systém 2. rádu



Obr.14: Systém 3. rádu – P-regulátor

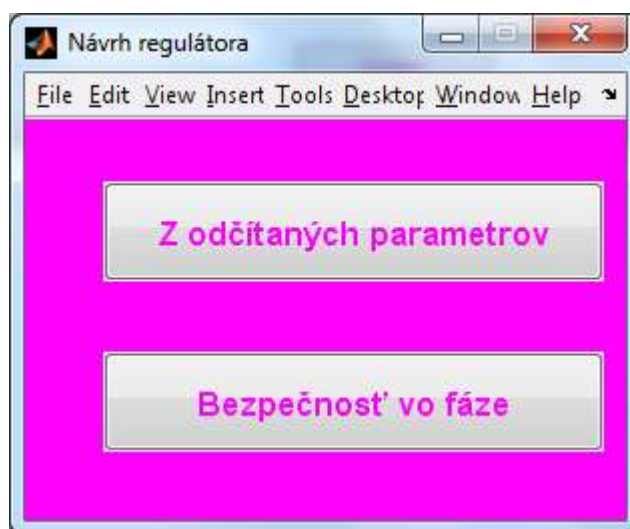


Obr.15: Systém 3. rádu

3.2 Návrh regulátora

3.2.1 Odčítané parametre

Kliknutím v hlavnom okne „frekvencia“ na tlačidlo „návrh regulátora“ sa otvorí okno s možnosťou výberu návrhu regulátora.

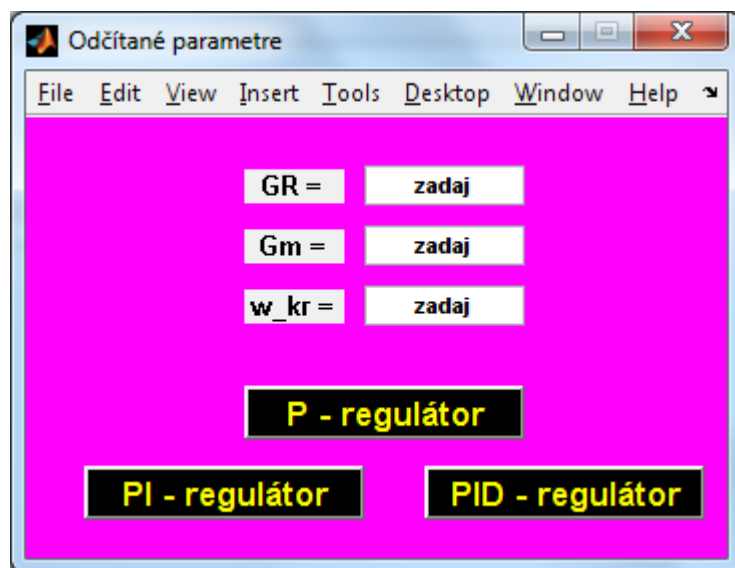


Obr.16: Návrh regulátora

Kliknutím na „z odčítaných parametrov“ sa otvorí okno s možnosťou zadania parametrov zosilnenia proporcionálneho regulátora, bezpečnosť v zosilnení (G_m), a kritickej frekvencie, ktorá je totožná s bezpečnosťou vo frekvencii. Všetky tieto parametre súvisia s predchádzajúcou prácou s programom. Najprv treba zistiť bezpečnosť v zosilnení a bezpečnosť vo fáze a potom navrhovať regulátory. Metóda, pomocou ktorej sú navrhnuté regulátory sa nazýva Ziegler-Nicholsova metóda.

Tab 1: Tabuľka výpočtu parametrov regulátora pomocou Z_{KR}

	Z_R	T_I	T_D
P	$0,5Z_{KR}$	—	—
PI	$0,45Z_{KR}$	$0,85T_{KR}$	—
PID	$0,6Z_{KR}$	$0,5T_{KR}$	$0,125T_{KR}$



Obr.17: Odčítané parametre



Obr.18: Návrh P – regulátora

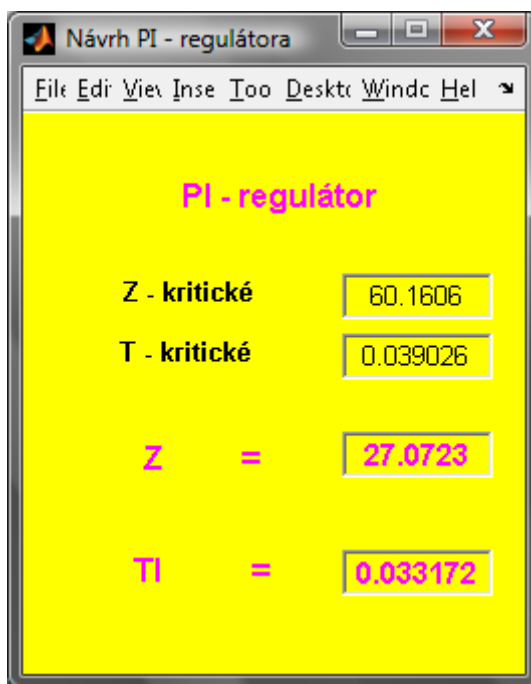
Po zadaní parametrov a kliknutí na tlačidlo „P - regulátor“ sa otvorí okno „Návrh P - regulátora“, kde možno vidieť vypočítané hodnoty kritického zosilnenia a zosilnenia P – regulátora.

$$20 * \log Z = Gm$$

Výpočet kritického zosilnenia:
$$Z = 10^{\frac{Gm}{20}}$$
 (9)

$$\Rightarrow Zkr = Z * GR$$

Výpočet zosilnenia pre P-regulátor pri kritickom zosilneni:
$$Z = 0.5 * Zkr$$
 (10)



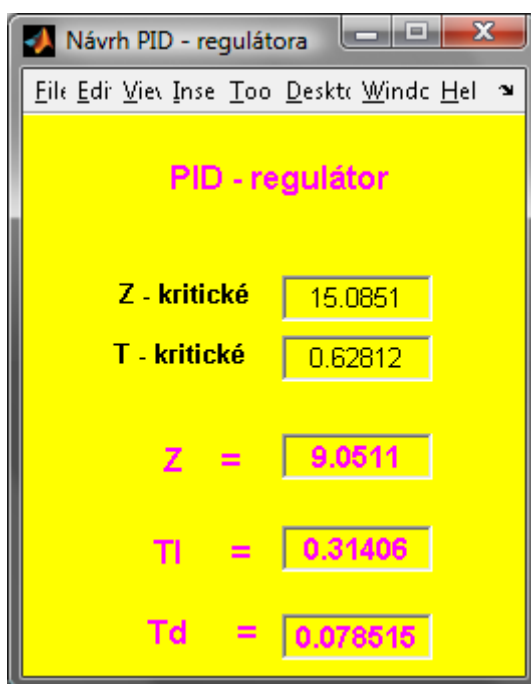
Obr.19: Návrh PI – regulátora

Po zadání parametrov a kliknutí na tlačidlo „PI - regulátor“ sa otvorí okno „Návrh PI - regulátora“, kde možno vidieť vypočítané hodnoty kritického zosilnenia, kritickej časovej konštanty a parametrov PI – regulátora.

Výpočet kritickej časovej konštanty: $\Rightarrow T_{kr} = \frac{2\pi}{\omega_{kr}}$ (10)

Výpočet zosilnenia pre PI-regulátor pri kritickom zosilnení: $Z = 0.45 * Z_{kr}$ (11)

Výpočet T_i zložky pre PI-regulátor pri kritickom zosilnení: $T_i = 0.85 * T_{kr}$ (12)



Obr.20: Návrh PID – regulátora

Po zadání parametrov a kliknutí na tlačidlo „PID - regulátor“ sa otvorí okno „Návrh PID - regulátora“, kde možno vidieť vypočítané hodnoty kritického zosilnenia, kritickej časovej konštanty a parametrov PID – regulátora. Hodnoty kritického zosilnenia a kritickej časovej konštanty sú počítané rovnako ako pri PI – regulátore.

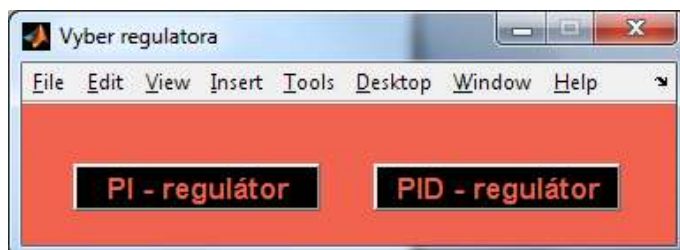
Výpočet zosilnenia pre PID - regulátor pri kritickom zosilneni: $Z = 0.6 * Z_{kr}$ (13)

Výpočet T_i zložky pre PID - regulátor pri kritickom zosilneni: $T_i = 0.5 * T_{kr}$ (14)

Výpočet T_d zložky pre PID - regulátor pri kritickom zosilneni: $T_d = 0.125 * T_{kr}$ (15)

3.2.2 Bezpečnosť vo fáze

Kliknutím v okne „návrh regulátora“ na tlačidlo „Bezpečnosť vo fáze“ sa nám otvorí nové okno „výber regulátora“. Je to druhý spôsob návrhu regulátora v tomto programe. Je tu možnosť výberu PI alebo PID regulátora.

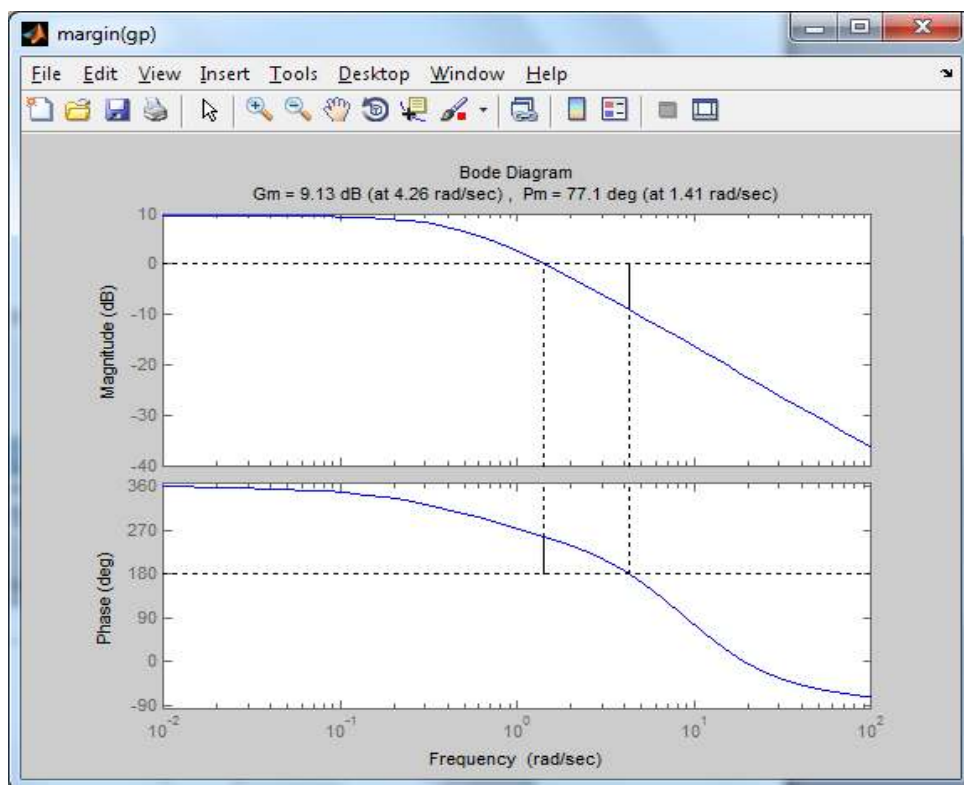


Obr.21: Výber regulátora

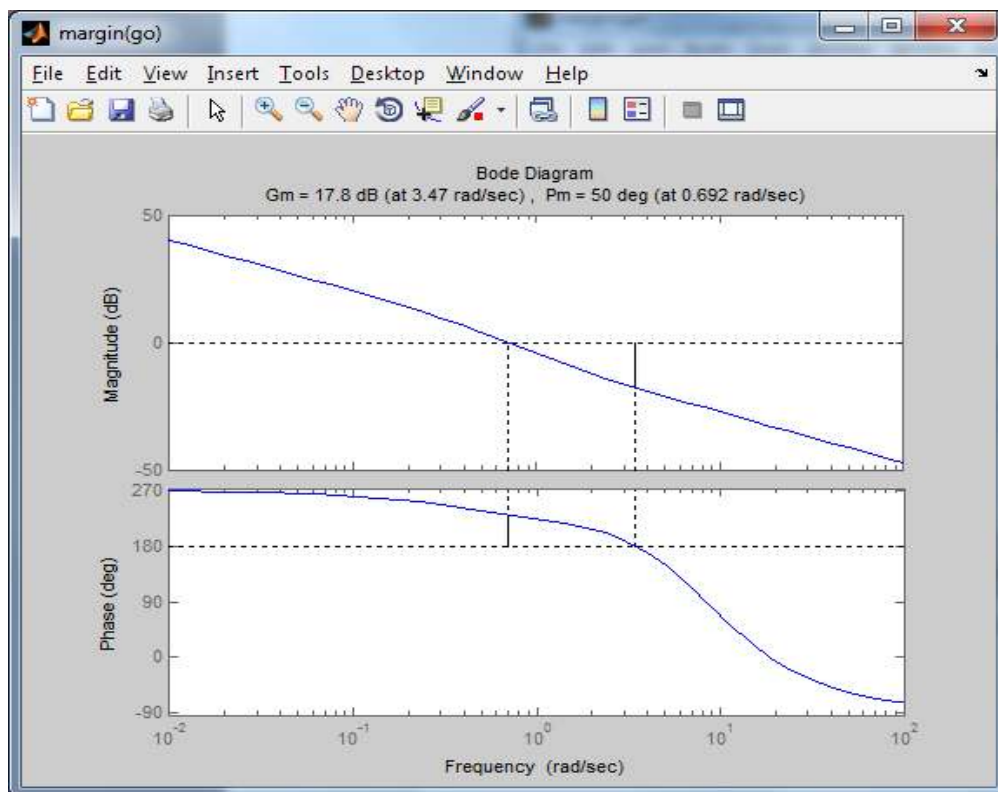
Ak si vyberieme možnosť návrhu PI – regulátora, otvorí sa okno „PI - faza“, kde je možné zadať parametre prenosu, želanú fázovú bezpečnosť, prírastok PI – regulátora a vektor omegy. Po kliknutí na „PI - regulátor“ sa vykreslia príslušné diagramy a parametre PI – regulátora.



Obr.22: PI – faza

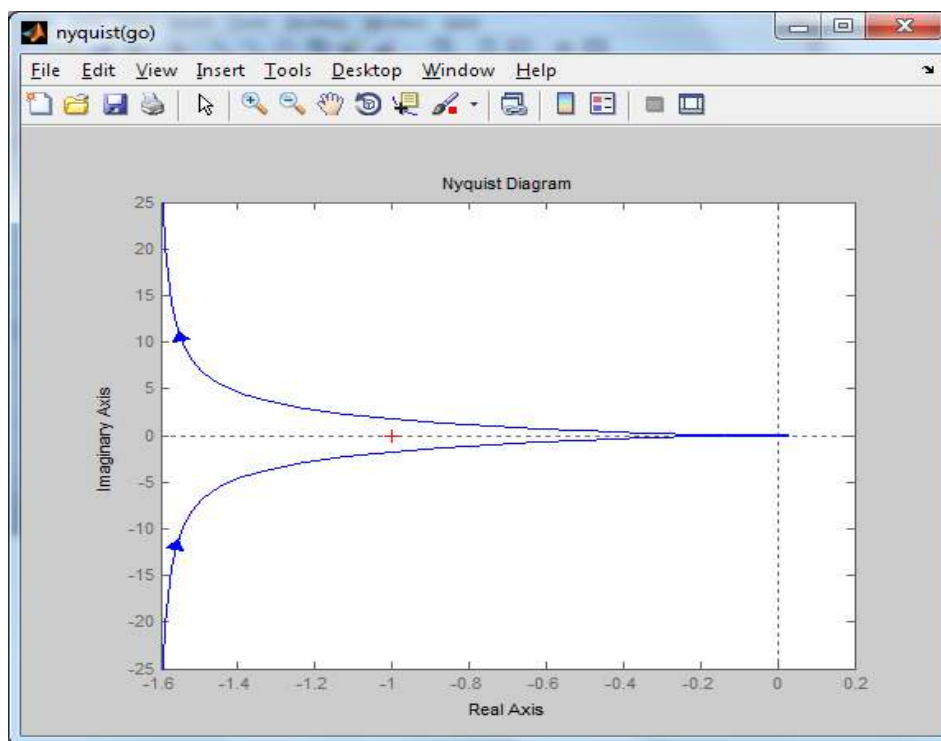


Obr.23: Margin (gp) - PI – regulátor

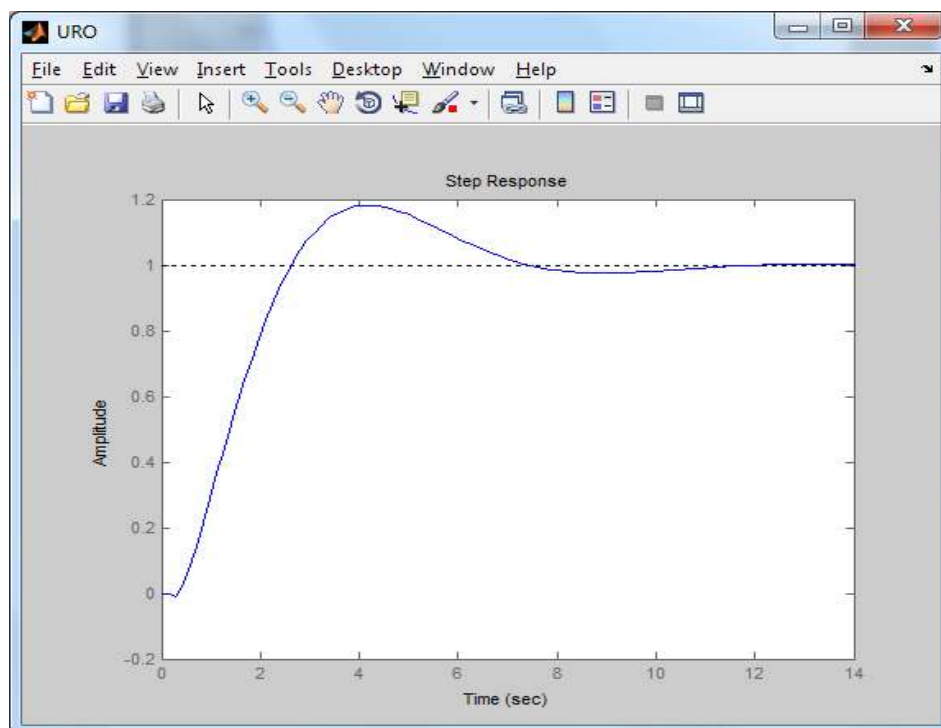


Obr.24: Margin (go) - PI – regulátor

Oba Bodeho diagramy znázorňujú bezpečnosť vo fáze, ale obr. 23 samotného procesu a obr. 24 otvoreného regulačného obvodu.

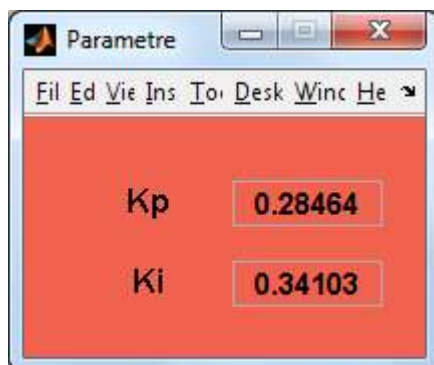


Obr.25: Nyquist (go) - PI – regulátor



Obr.26: URO - PI – regulátor

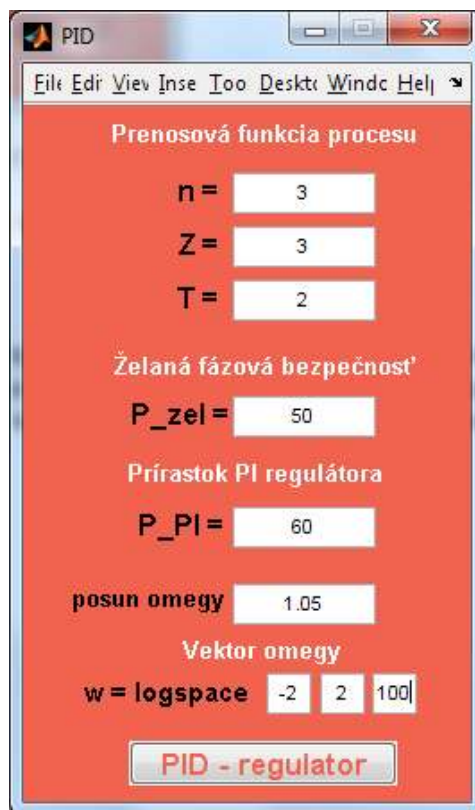
Obr. 25 znázorňuje Nyquistov diagram stability systému otvoreného regulačného obvodu a obr. 26 vykresľuje uzavretý regulačný obvod.



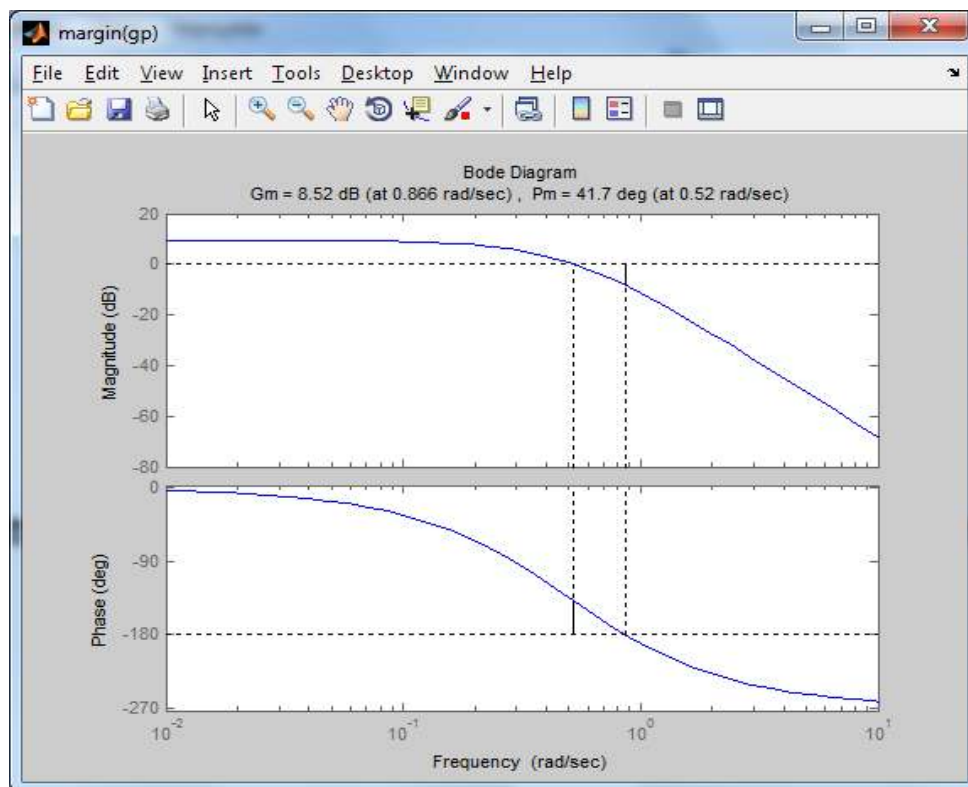
Obr.27: Parametre PI – regulátora

Na koniec sa nám objaví okno „Parametre“, kde sú zobrazené zložky PI – regulátora.

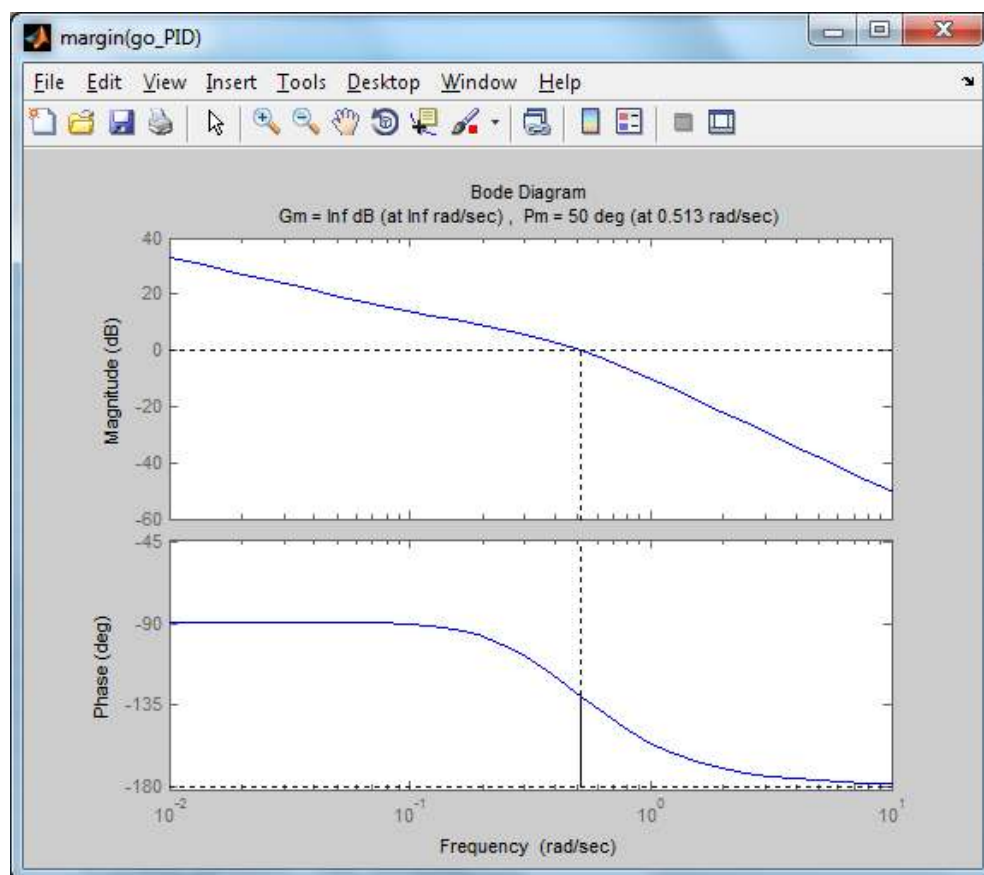
Ak si vyberieme možnosť návrhu PID – regulátora, otvorí sa okno „PD“, kde je možné zadať parametre prenosu, želanú fázovú bezpečnosť, prírastok PI – regulátora, posun omegy a vektor omegy. Po kliknutí na „PID - regulátor“ sa vykreslia príslušné diagramy a parametre PID – regulátora.



Obr.28: PID - regulátor

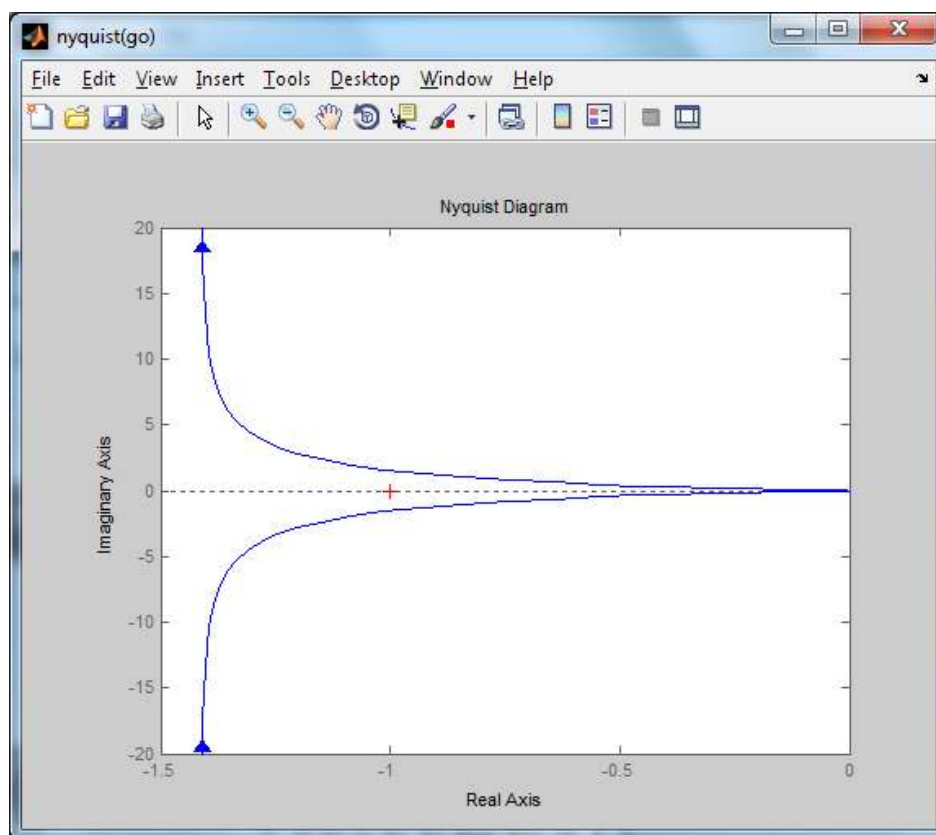


Obr.29: Margin (gp) - PID – regulátor



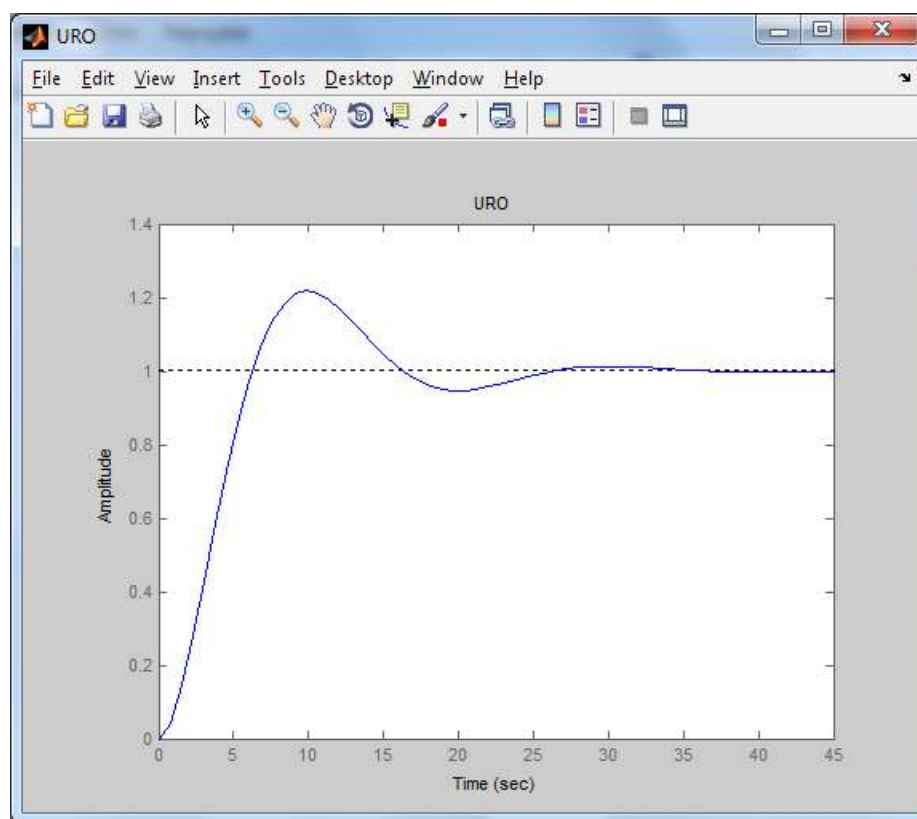
Obr.30: Margin (go) - PID – regulátor

Obr. 29 a 30 opäť znázorňujú Bodeho diagramy s bezpečnosťou vo fáze najprv procesu a následne otvoreného regulačného obvodu.



Obr.31: Nyquist (go) - PID – regulátor

Obr. 31 vykresľuje Nyquistov diagram pre PID – regulátor, kde sa určuje stabilita systému.



Obr.32: URO - PID – regulátor



Obr.33: Parametre PID – regulátora

Uzavretý regulačný obvod PID – regulátora znázorňuje obr. 32, kde možno sledovať správanie sa regulátora v uzavretej slučke. Na koniec sa zobrazia zložky PID – regulátora.

3.3 Identifikácia

Kliknutím v hlavnom okne „frekvencia“ na tlačidlo „Identifikácia“ sa otvorí okno s možnosťou výberu omegy. Je to buď viacnásobná, alebo rôzne omegy. Ak si vyberieme viacnásobnú, otvorí sa nám okno „viacnásobná“, kde sa zadávajú parametre: $20 \cdot \log Z$, ktoré sa odčíta pri vykreslení Bodeho diagramu; sklon, ktorý sa tiež odčíta z Bodeho diagramu. Pri sklone sa vždy uvádzajú násobky dvadsiatky. A nakoniec sa zadá omega, ktorá môže byť viacnásobná.

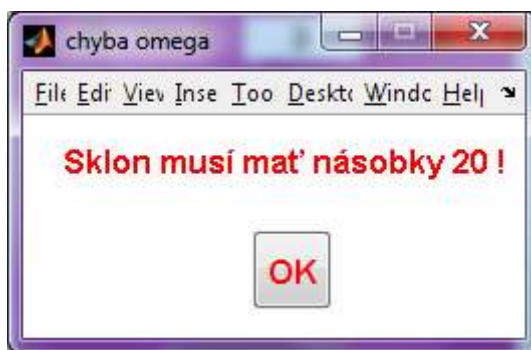
Omega je frekvencia, kde sa mení sklon ALCH.



Obr.34: Frekvencia



Obr.35: Identifikácia - viacnásobná omega



Obr.36: Chyba omega

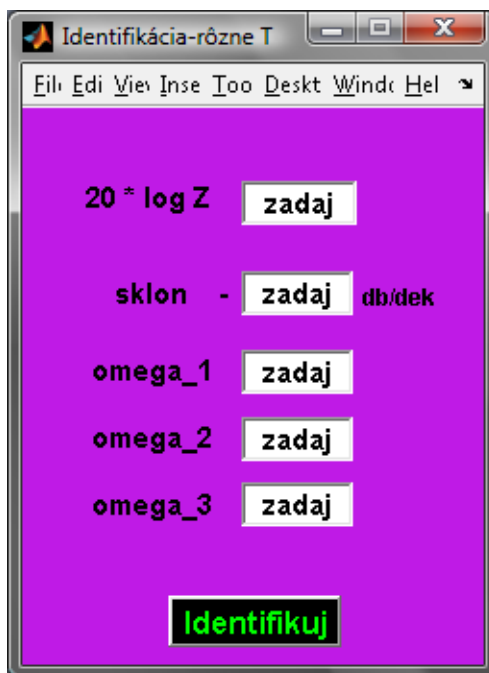
Ak sa nezadá sklon v násobkoch dvadsiatky, vyskočí upozornenie „Sklon musí mať násobky 20!“. Stlačením na „OK“ sa okno zatvorí a pokračuje sa v programe.

Po správnom zadaní parametrov a kliknutím na tlačidlo „Identifikuj“ sa otvorí okno „Identifikovaný systém“, kde sú identifikované parametre systému. Zosilnenie, časová konštanta a rád systému.



Obr.37: Identifikovaný systém

Ak si vyberieme rôzne omegy, otvorí sa nám okno „Identifikácia - rôzne T“. Tu je možnosť zadať tri omegy.



Obr.38: Identifikácia – rôzne omegy

Po stlačení na ikonu „Identifikuj“ sa zobrazí okno „Identifikovaný systém 1“ s identifikovanými parametrami systému, kde sú tri časové konštanty. Ak chceme napríklad len dve, musíme zadať tretiu omegu rovnú nule.



Obr.39: Identifikovaný systém 1

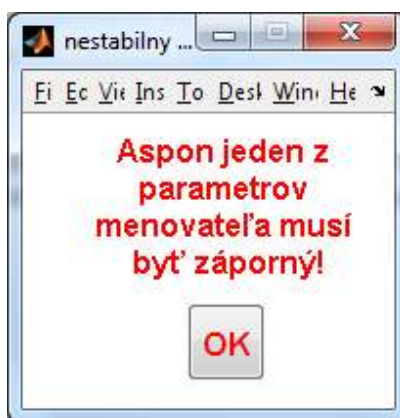
3.4 Nestabilný systém

Kliknutím v hlavnom okne na tlačidlo „Nestabilný systém“ sa objaví okno s názvom „nestabilny sys“. Tu je možné stabilizovať nestabilný systém druhého rádu. Zadá sa čitateľ a menovateľ prenosu a stačí sa tlačidlo „vykresli a stabilizuj“.



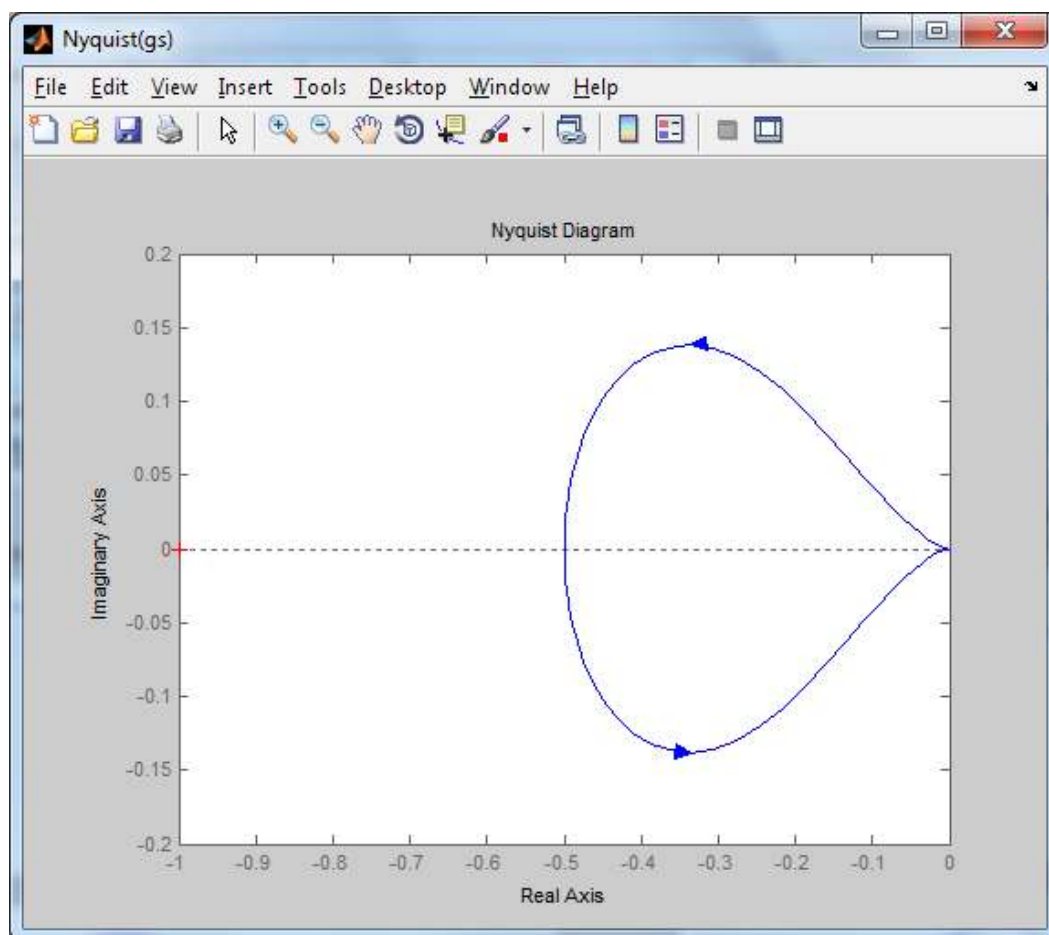
Obr.40:Nestabilný systém

Pri zadávaní menovateľa prenosu musíme zadať posledný parameter záporný, čo dokazuje nestabilitu systému. Ak zadáme v menovateli všetky parametre kladné, program nám vypíše chybu (obr. 41).

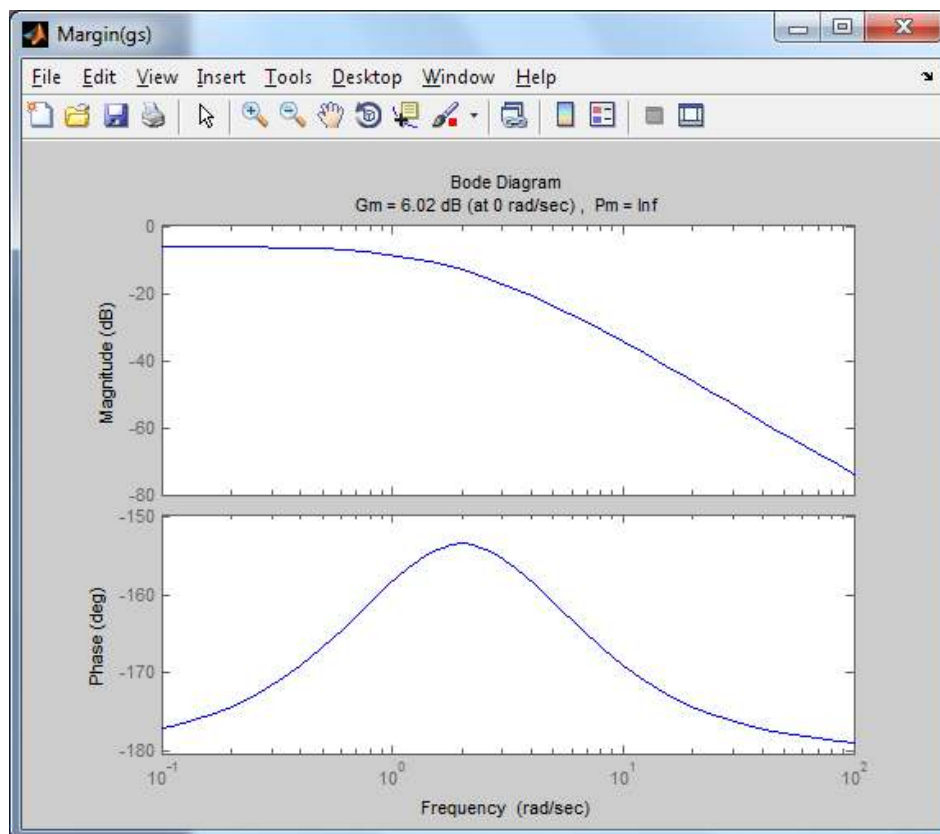


Obr.41:Chyba nestabilného systému

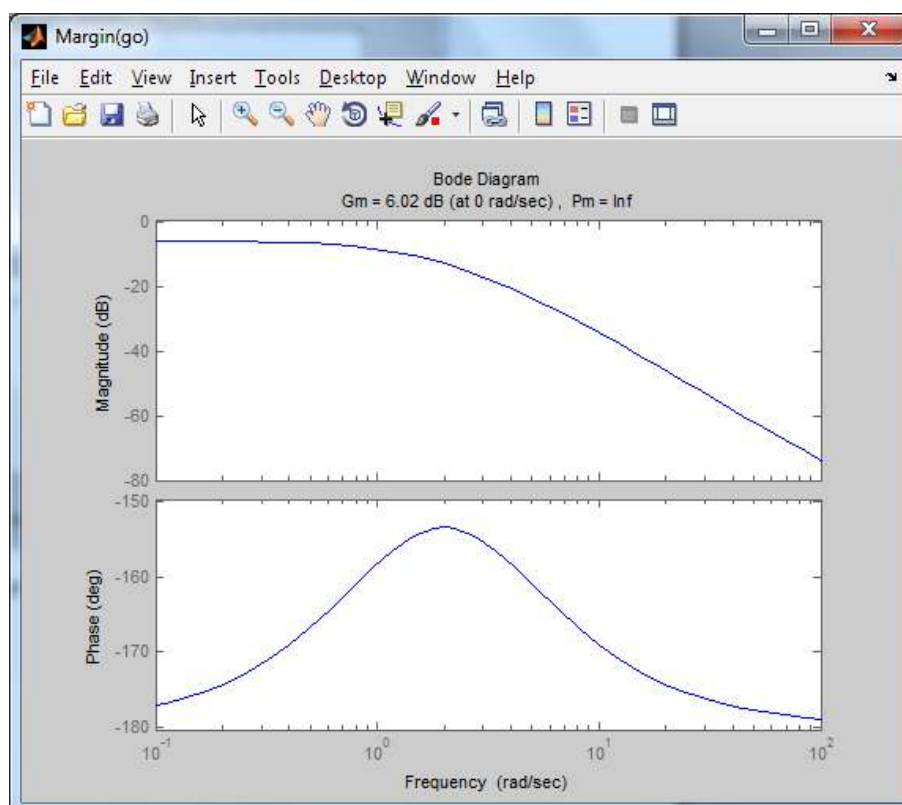
Po správne zadaných parametroch a stlačení tlačidla „vykresli a stabilizuj“ sa zobrazia tri diagramy: Nyquistov diagram stability (obr. 42), Bodeho diagram s fázovou bezpečnosťou pre zvolený systém (obr. 43) a Bodeho diagram otvoreného regulačného obvodu (obr. 44).



Obr.42:Nyquistov diagram - nestabilný systém

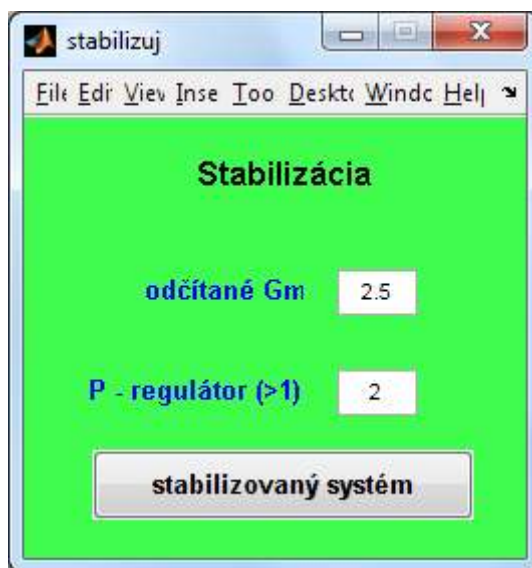


Obr.43: Bodeho diagram (gs) - nestabilný systém



Obr.44: Bodeho diagram (go) - nestabilný systém

Po vykreslení diagramov sa objaví okno s názvom „stabilizuj“. Je tu možnosť zadania odčítanej bezpečnosti vo fáze G_m z Bodeho diagramu a hodnotu P – regulátora. Táto hodnota musí byť väčšia ako jeden, pretože hodnota pôvodne zadaného regulátora je 1. Ak sa zadá hodnota P – regulátora menšia ako jeden, vypíše sa chyba (obr. 46).

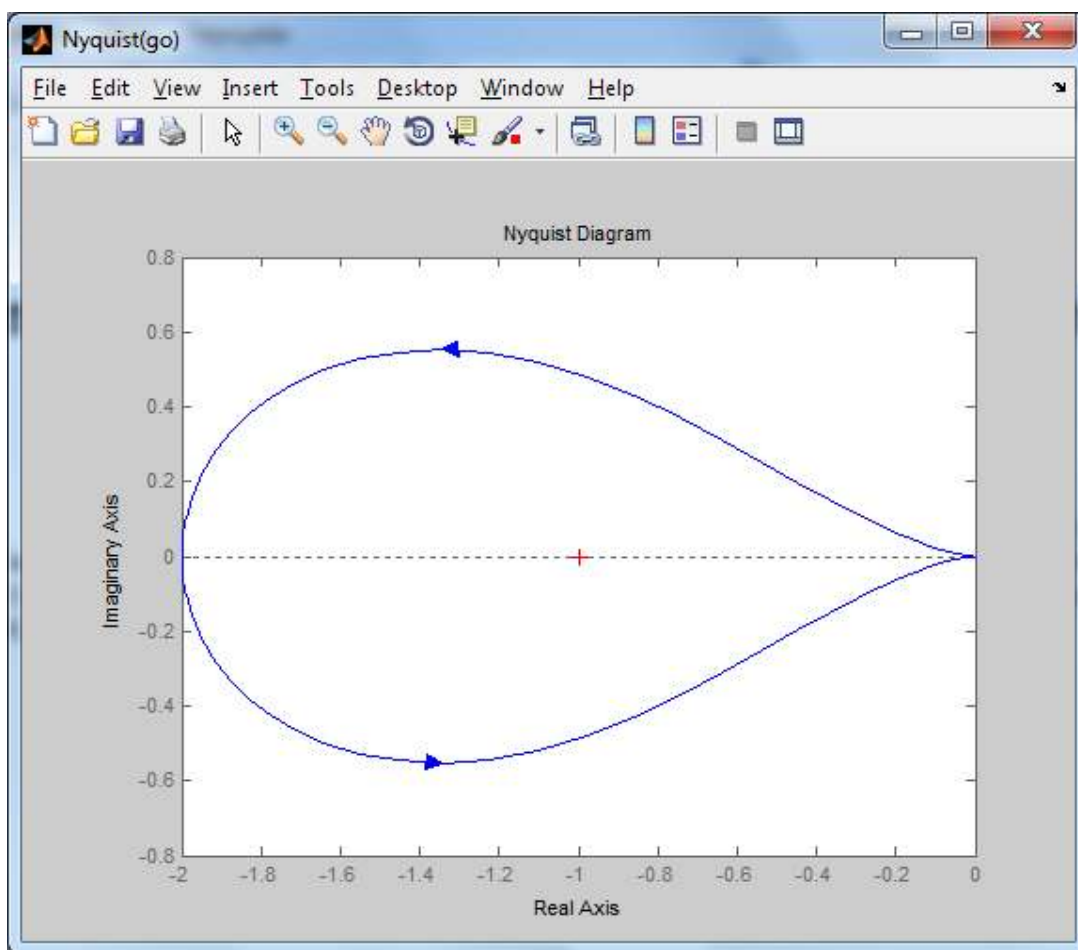


Obr.45:Stabilizuj

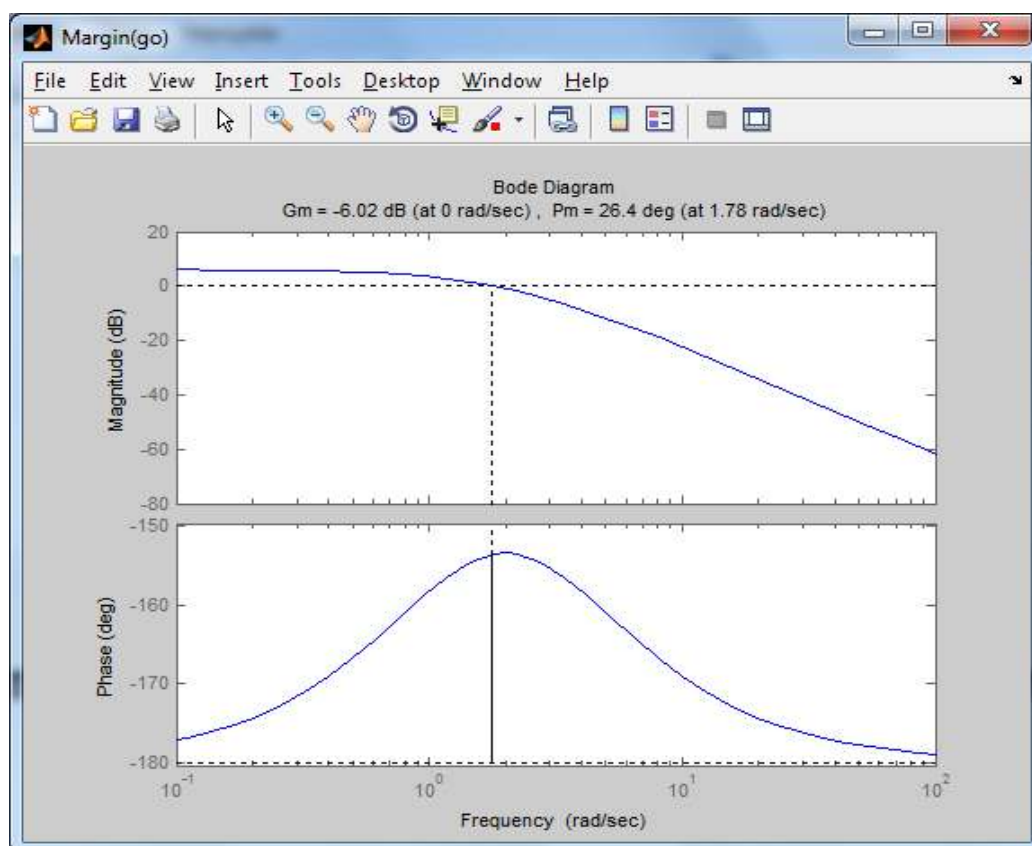


Obr.46:Chyba – nestabilný systém

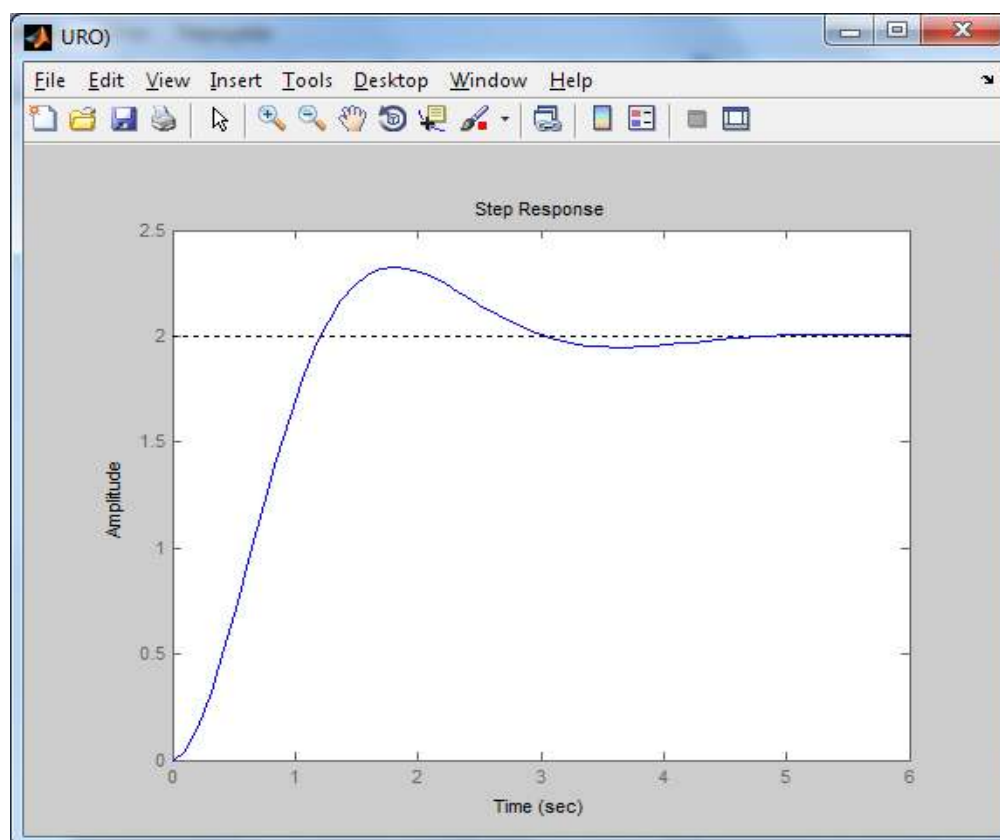
Ak sú hodnoty zadané správne a stlačí sa tlačidlo „stabilizovaný systém“, vykreslia sa diagramy už stabilného systému. Nyquistov diagram stability otvoreného regulačného obvodu (obr. 47), Bodeho diagram otvoreného regulačného obvodu (obr. 48) a vykreslenie systému zapojeného s regulátorom do uzavretého regulačného obvodu (obr. 49).



Obr.47:Nyquistov diagram – stabilizovaný systém



Obr.48: Bodeho diagram – stabilizovaný systém



Obr.49: URO – stabilizovaný systém

Záver

Cieľom diplomového projektu bolo pomocou grafického užívateľského rozhrania (GUI) vytvoriť program pre frekvenčnú analýzu. Najprv som začala oboznámením sa s problematikou vizualizácie dát a vytváraním prostredia. Rozhranie transformovalo kódovanie jazyka Matlab do vizuálnej podoby, čím som vytvorila prostredie umožňujúce prácu aj bežnému užívateľovi.

Najprv som vytvárala m-file na spustenie hlavného okna, ktorý sa spúšťa pomocou príkazu „frekvencia“ v hlavnom okne Matlabu. Následne som pokračovala vo frekvenčných charakteristikách, kde sú možnosti vykresľovania Bodeho a Nyquistovho diagramu pre posudzovanie stability systémov prvého, druhého a tretieho rádu. Pri systéme tretieho rádu som vytvorila možnosť pripojenia k procesu aj regulátor, pripojený v otvorenom regulačnom obvode.

Ďalej som vytvorila možnosť navrhovania regulátorov pre frekvenčné systémy dvoma spôsobmi. Prvý spôsob je pomocou odčítaných parametrov. Je potrebné vedieť vyčítať z diagramov jednotlivé parametre, ktoré treba zadávať. Navrhovať sa dá P, PI aj PID - regulátor pri kritických hodnotách zosilnenia a časovej konštanty. Druhá možnosť návrhu regulátorov je pomocou logaritmicko – frekvenčných charakteristík – fázovej bezpečnosti a prírastku PI – regulátora.

Vytvorila som aj časť pre identifikáciu systému, kde je možnosť voľby omegy. Ak si zvolím viacnásobnú, identifikujem systém s jednou časovou konštantou – viacnásobnou, ak rôzne, identifikujem systém s rôznymi časovými konštantami.

V poslednej časti programu som sa venovala nestabilnému systému druhého rádu. Je tu možnosť tento nestabilný systém ľahko stabilizovať pomocou odčítanej bezpečnosti vo fáze a zadania P – regulátora. Program vykreslí Bodeho a Nyquistov diagram stability už pre stabilizovaný systém a aj obrázok so zapojením do uzavretej slučky, čo potvrdzuje stabilitu systému.

Program je vhodný ako učebná pomôcka pre študentov a je možné na programe ešte pracovať a rozširovať ho.

Zoznam použitej literatúry

- [1] J.Mikleš, V. Hutla: Teoria automatického riadenia, Bratislava, 1986
- [2] J.Mikleš, M. Fikar: Modelovanie, identifikácia a riadenie procesov I, STU, Bratislava, 1999
- [3] http://www.kasr.elf.stuba.sk/predmety/rls/Prednasky/RLS_04_LFCH.pdf

Prílohy

CD médium – práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe