

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
Fakulta elektrotechnická
katedra řídicí techniky

Podpora výuky dynamických systémů – I.

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vaněk
Student: Zbyněk Hegr

Praha 2006

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

podpis

Katedra řídicí techniky

Školní rok:2005/2006

Zadání bakalářské práce

Student: Zbyněk H e g r
Obor: Kybernetika a měření
Název tématu: Laboratoř dynamických systémů – I.

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s modely kuličky v obruči (BH), helikoptéry Humusoft (H1 a H2), helikoptéry SPEL (H3).
2. Proveďte základní statická měření na všech uvedených modelech (u helikoptér jen v azimutu).
3. Proveďte změření přechodových charakteristik na všech přidělených modelech.
4. Proveďte změření frekvenční charakteristiky u modelů, kde to je možné.
5. Zpracujte stručný návod na obsluhu modelu.
6. Vytvořte dokument na formát A1-A2 (umístěný na stěnu nad modelem), který bude obsahovat popis systému, HW-zapojení a ukázkový řídicí program v Simulinku.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vaněk

Datum zadání bakalářské práce: zimní semestr 2005/06

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 6. 2006

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze, dne 1. 2. 2006

Anotace bakalářské práce

HEGR, Z. *Podpora výuky dynamických systémů – I.* Praha : ČVUT,
Fakulta elektrotechnická, katedra řídicí techniky – K 13135
Vedoucí bakalářské práce: VANĚK, F.

Tato bakalářská práce se zabývá identifikací a měřením základních charakteristik systémů. První část je zaměřena na základní teoretický rozbor. Druhá část je zaměřena na praktické měření, zpracování a vyhodnocení naměřených charakteristik. Měření byla provedena na třech modelech helikoptér.

Annotation of thesis

HEGR, Z. *Dynamic systems education support – I.* Prague : CTU,
Faculty of Electrical Engineering, Department of Control
Engineering – K 13135
Thesis Head: VANĚK, F.

This Bachelor work is dealing with identification and measurement of basic characteristics of systems. The first part is focused on basic theoretical analysis. The second part is focused on applied measurement, processing and evaluation of measured characteristics. The measurements were made on three helicopter models.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Františku Vaňkovi, za odborné vedení bakalářské práce, vstřícnost při řešení problémů a ochotu zodpovídat moje dotazy.

Děkuji také rodině a přátelům za veškerou podporu při studiu.

Obsah

Anotace	
	Obsah 1
0	Úvod 3
1	Základní teoretické poznatky 4
	1.1 Statická charakteristika, volba pracovního bodu 4
	1.2 Přejchodová charakteristika, přechodová funkce 4
	1.3 Identifikace astatického systému podle přechodové charakteristiky 5
	1.4 Frekvenční charakteristika a frekvenční přenos 6
2	Popis modelů helikoptér 8
3	Model helikoptéry H1 Humusoft 11
	3.1 Statické měření 11
	3.2 Volba pracovního bodu 12
	3.3 Přejchodová charakteristika 12
	3.4 Identifikace systému z přechodové charakteristiky 13
	3.5 Frekvenční charakteristika 15
	3.6 Zhodnocení práce na modelu helikoptéry H1 Humusoft 16
4	Model helikoptéry H2 Humusoft 17
	4.1 Statické měření 17
	4.2 Volba pracovního bodu 18
	4.3 Přejchodová charakteristika 18
	4.4 Identifikace systému z přechodové charakteristiky 19
	4.5 Frekvenční charakteristika 21
	4.6 Zhodnocení práce na modelu helikoptéry H2 Humusoft 22
5	Model helikoptéry H3 Spel 23
	5.1 Statické měření 23
	5.2 Volba pracovního bodu 24
	5.3 Přejchodová charakteristika 24
	5.4 Identifikace systému z přechodové charakteristiky 25
	5.5 Frekvenční charakteristika 27

	5.6 Zhodnocení práce na modelu helikoptéry.....	28
6	Závěr	29
7	Použitá literatura a software	30
8	Přílohy.....	31
	Obsah přiloženého CD.....	32

Úvod

Změření základních charakteristik systému je bezesporu jeden z prvních kroků k úspěšné identifikaci neznámého systému. Studenti setkávající se s laboratorními modely v laboratořích katedry řízení již měřili tyto charakteristiky v předmětech organizovaných jinými katedrami. Doposud pro ně většinou bylo změření charakteristik prakticky jediným úkolem. Poprvé tedy nahlíží na měřené charakteristiky jako na něco, co popisuje systém a podle čeho lze systém úspěšně identifikovat, tedy matematicky popsat. Pochopení a osvojení si základních zákonitostí a principů identifikace systémů, je jedna z prvních věcí, které jsou pro další studium oboru kybernetika a měření velmi potřebné.

Cílem této práce tedy je studentům pomoci pochopit identifikaci systémů a usnadnit jim práci s modely, aby nemuseli řešit problémy, které s výukou přímo nesouvisí. Protože jsem předměty věnující se této tématice již absolvoval, měl bych být schopen své zkušenosti v této práci zúročít a předat je dalším studentům.

1 Základní teoretické poznatky

1.1 Statická charakteristika, volba pracovního bodu

Statická charakteristika je závislost výstupní veličiny na veličině vstupní v ustáleném stavu.

Pracovní bod se zpravidla volí uprostřed používaného rozsahu vstupní veličiny. Důvodem je co nejmenší odchylka aproximačního lineárního modelu (frekvenční přenos) od vlastností skutečného systému v co největším rozpětí hodnot vstupní veličiny.

1.2 Přejchodová charakteristika, přechodová funkce

Přejchodová charakteristika je grafické vyjádření časové odezvy systému při působení jednotkové skokové změny vstupního signálu v čase $t = 0$.

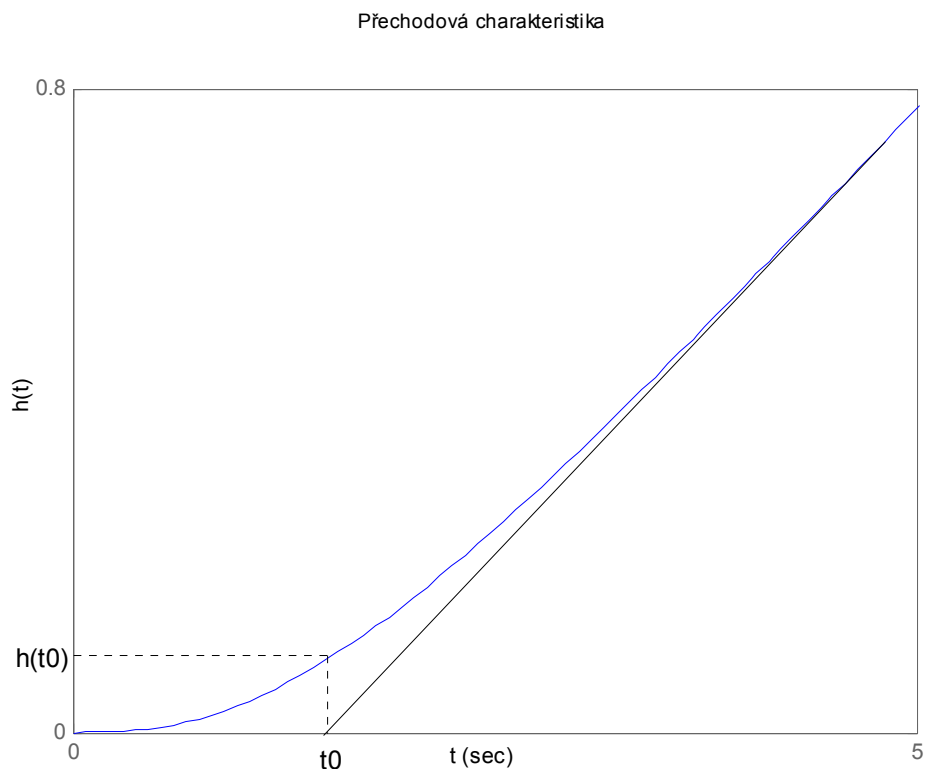
Definice přechodové charakteristiky jako grafického znázornění přechodové funkce je velmi jednoduchá. Přesto lze z této charakteristiky dosti dobře usuzovat na chování příslušného systému.

Přejchodová funkce je rovna odezvě systému na jednotkový skok při nulových počátečních podmínkách. Obvykle se značí $h(t)$. Jednotkový skok je funkce definovaná vztahem

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

Přejchodové charakteristiky mohou mít nejrůznější tvar. To souvisí jak s řádem diferenciální rovnice popisující daný systém, tak s typem systému.

1.3 Identifikace astatického systému podle přechodové charakteristiky



Obrázek 1.1 Přechodová charakteristika astatického systému

Astatické systémy můžeme aproximovat přenosem s řádem astaticismu rovným jedné podle vztahu

$$G(s) = \frac{K_v}{s \cdot (T \cdot s + 1)^n}$$

kde K_v je směrnice asymptoty k přechodové charakteristice
 T je n -násobná časová konstanta
 n je řád systému

Směrnice asymptoty k přechodové charakteristice protíná osu času v čase $t = t_0$.

Pořadnice přechodové charakteristiky v tomto čase je $h(t_0)$. Dále platí

$$t_0 = n \cdot T$$

$$\frac{h(t_0)}{K_v} = e^{-n} \cdot \frac{n^{(n-1)}}{(n-1)!}$$

Závislost $\frac{h(t_0)}{K_v}$ na řádu n je v následující tabulce

n	1	2	3	4	5	6
$\frac{h(t_0)}{K_v}$	0,368	0,271	0,224	0,195	0,175	0,161

Tabulka 1.1

1.4 Frekvenční charakteristika a frekvenční přenos

Frekvenční charakteristika je grafickým vyjádřením frekvenčního přenosu pro měnící se kruhovou frekvenci $\omega \in \langle 0, \infty \rangle$

Frekvenční přenos $G(j\omega)$ systému je roven podílu Fourierova obrazu výstupní veličiny k Fourierovu obrazu veličiny vstupní za předpokladu nulových počátečních podmínek

$$G(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{U(j\omega)}$$

Frekvenční charakteristiku, jako grafické znázornění frekvenčního přenosu, je možno zobrazit v podstatě dvojitým způsobem:

Jednak v komplexní rovině o souřadnicích reálná a imaginární část frekvenčního přenosu $G(j\omega)$. Jedná se o křivku v komplexní rovině, jejíž parametr je kruhová

frekvence ω . Vzdálenost každého bodu frekvenční charakteristiky od počátku souřadnic udává poměr výstupní a vstupní veličiny pro příslušnou frekvenci a úhel, který tento vektor svírá s kladnou reálnou osou, určuje fázový posuv mezi vstupním a výstupním sinusovým signálem.

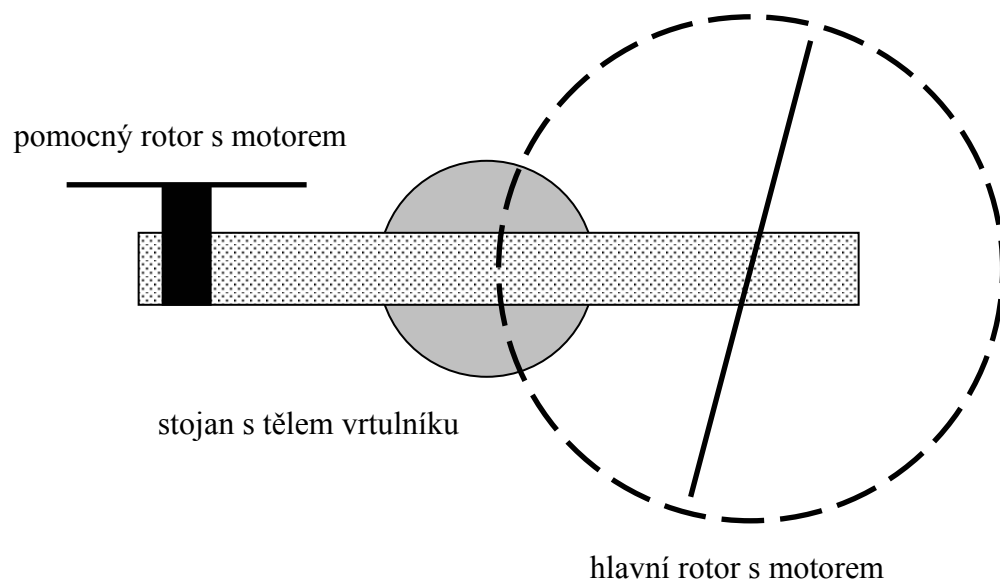
Druhý používaný způsob je vynášení frekvenčních přenosů v semilogaritmických souřadnicích. Na vodorovnou osu je vynášena kruhová frekvence. Tato osa má logaritmickou stupnici. Na ose svislé (lineární stupnice) jsou vynášeny absolutní hodnoty frekvenčního přenosu v jednotkách decibel ($20 \cdot \log|G(j\omega)|$) – tzv. amplitudová frekvenční charakteristika, případně hodnoty fázového posuvu - tzv. fázová frekvenční charakteristika.

2 Popis modelů helikoptér

Model helikoptéry je mechanický systém řízený osobním počítačem, přístupný přímo z prostředí programu MATLAB přes I/O kartu. Veškerá napětí nastavovaná a měřená v MATLABu jsou v rozmezí -1 až 1, jsou to bezrozměrné hodnoty.

Systém je složen z:

- vlastní helikoptéry (pohyblivá část)
- dvou stejnosměrných motorů s dvoulistými vrtulemi
- IRC snímačů polohy (azimut a elevace)
- stojanu
- řídicí jednotky se zesilovači



Obrázek 2.1 Nákres modelů helikoptér

Soustava má celkem tři vstupy a dva výstupy. Vstupem jsou napětí na hlavní a vedlejší motor, pomocným vstupem je binární vstup pro změnu polohy těžiště (signál je přiveden na stejnosměrný motor, který přes šnekový převod posouvá uvnitř modelu závaží). U modelu H3 Spel pomocný binární vstup není zapojen, změna těžiště se provádí ručním nastavením polohy závaží v přední části modelu helikoptéry.

Výstupem je poloha vrtulníku daná napětím na snímači azimutu a elevace pohyblivé části helikoptéry. Pohyb v azimutu, nebo v elevaci lze na modelu zaaretovat, dostaneme tak systém s jedním stupněm volnosti.

Z matematického pohledu jde o MIMO systém se dvěma vstupy a dvěma výstupy (posun těžiště většinou považujeme za poruchovou veličinu popř. pomocí polohy těžiště mírně měníme statické parametry modelu). Při popisu jej můžeme rozdělit na tři základní části.

První částí jsou stejnosměrné motory (vstup - napětí, výstup otáčky), které lze popsat systémem prvního řádu

$$F_1(s) = \frac{k_1}{T_1 \cdot s + 1}$$

Druhou část tvoří vrtule, která staticky převádí otáčky na moment síly (tah). Převodní charakteristika má přibližně parabolický tvar

$$M = k_2 \cdot \omega^2 + k_3 \cdot \omega$$

Mechanickou část lze popsat systémem druhého řádu s malým tlumením, který je uváděn do pohybu v azimutu i elevaci oběma motory (hlavní i reakční moment)

$$\Theta_{elevace, azimut}(s) = \frac{k_4}{s \cdot (T_{tk} \cdot s + 4)} \cdot M_{hlavní\ motor} + \frac{k_5}{s \cdot (T_{tp} \cdot s + 1)} \cdot M_{pomocný\ motor}$$



Obrázek 2.2 Model helikoptéry H1, H2 Humusoft

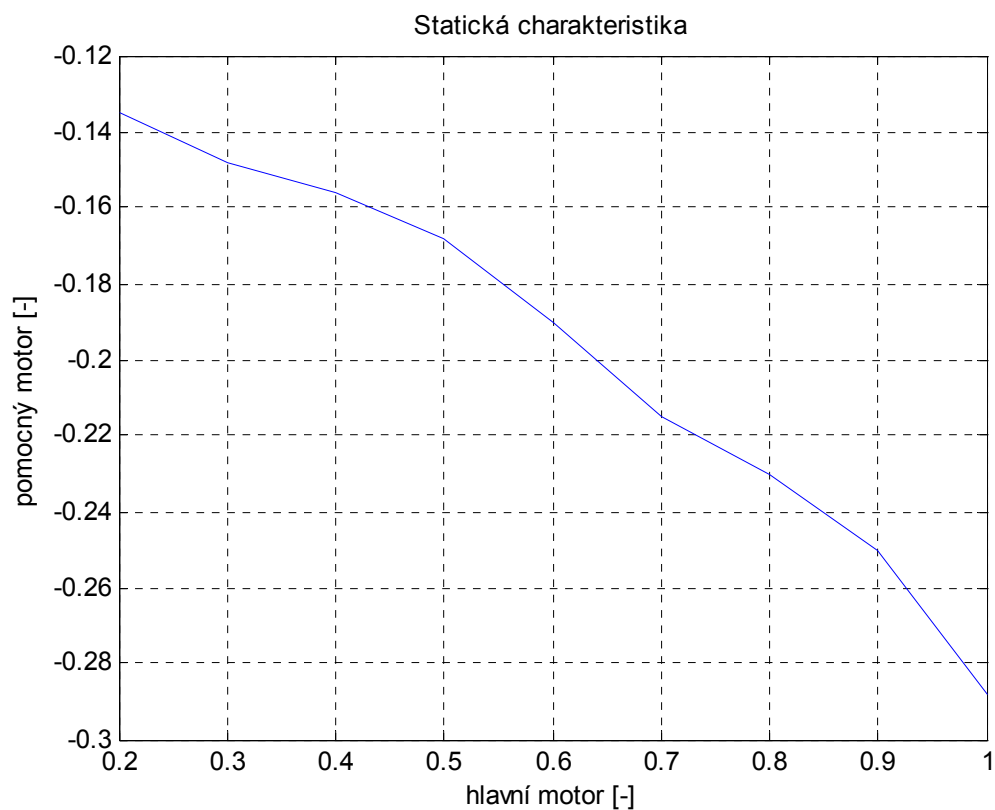


Obrázek 2.3 Model helikoptéry H3 Spel

3 Model helikoptéry H1 Humusoft

3.1 Statické měření

Statickou charakteristiku jsem změřil jako závislost otáček pomocného motoru na otáčkách motoru hlavního. Otáčky pomocného motoru jsem nastavoval tak, aby se model nepohyboval v azimutu.



Obrázek 3.1 Statická charakteristika

Napětí na hlavním motoru menší než 0,2 nemá smysl uvažovat. Napětí bylo v těchto případech tak malé, že se motor vůbec neroztočil, nebo byla kompenzace pomocným motorem zbytečná.

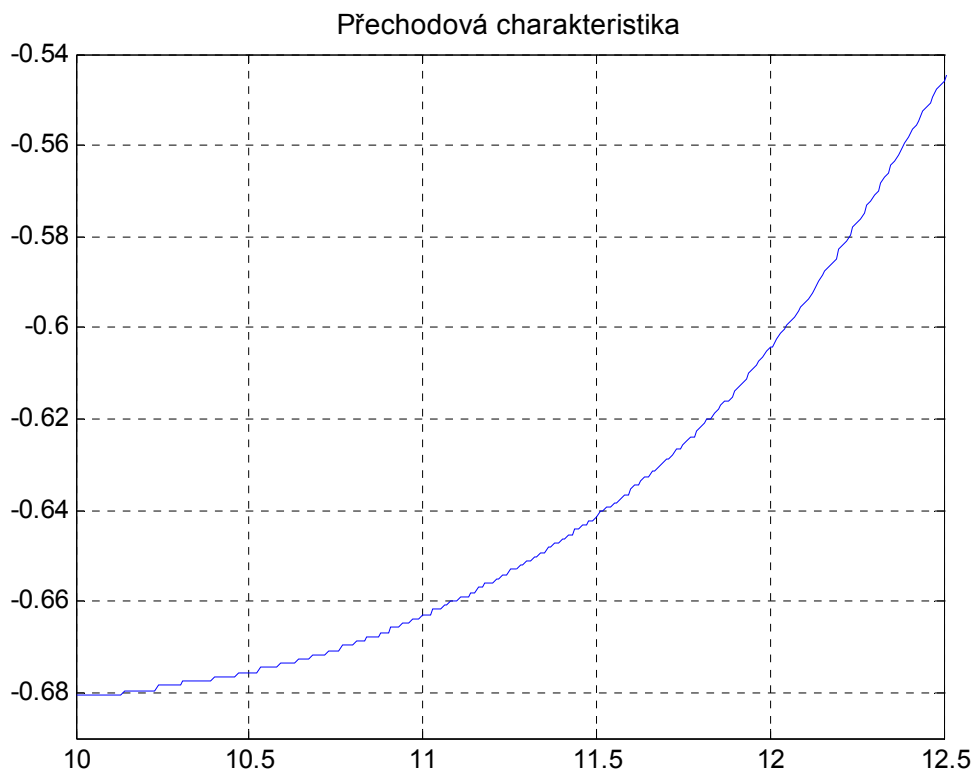
3.2 Volba pracovního bodu

Pracovní bod jsem zvolil v polovině použitelného rozsahu napětí na pomocném motoru . V tomto případě je rozsah -0,135 až -0,25. Ze statické charakteristiky jsem tedy zvolil pracovní bod:

hlavní motor	0,6
pomocný motor	-0,19

3.3 Přejchodová charakteristika

Přejchodová charakteristika je odezva systému na jednotkový skok na vstupu systému. V tomto případě jsem měřil přejchodovou charakteristiku z ustáleného stavu v pracovním bodě skokem o $\pm 15\%$, tedy o $\pm 0,0285$

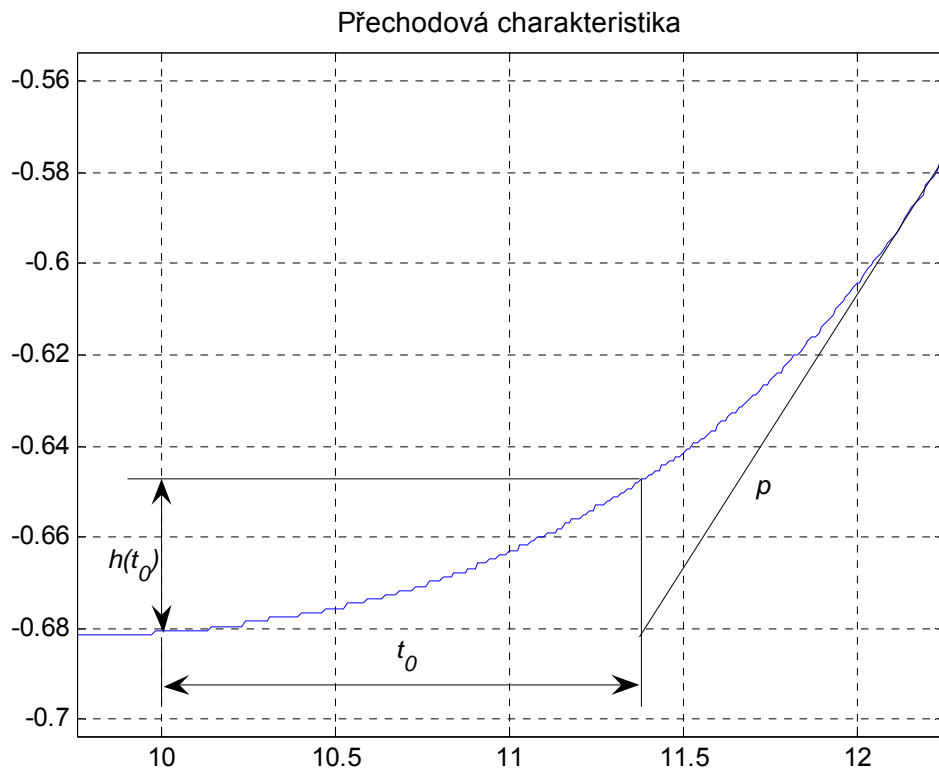


Obrázek 3.2 Přejchodová charakteristika, skok + 0,0285 v čase $t = 10$ s

3.4 Identifikace systému z přechodové charakteristiky

Tvar naměřené přechodové charakteristiky je podobný přechodové charakteristice obecného astatického systému s řádem astaticismu rovným jedné, viz Obrázek 1.1.

V tomto případě tedy platí:



Obrázek 3.3 Identifikace z přechodové charakteristiky

$$t_0 = 1,43s$$

$$h(t_0) = 0,3517$$

$$K_v = 0,1258$$

$$\frac{h(t_0)}{K_v} = 0,279$$

Z tabulky 1.1 odečteme pro $\frac{h(t_0)}{K_v} = 0,279$ hodnotu $n = 2$

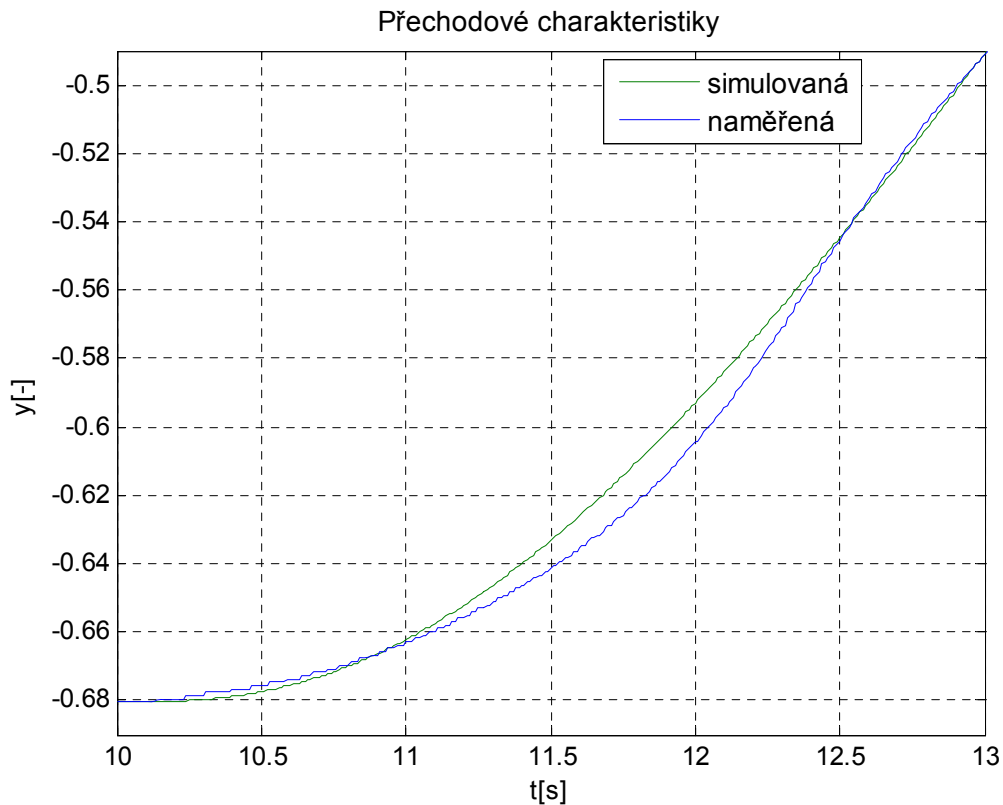
Aproximační přenos systému tedy bude

$$G(s) = \frac{0,1258}{s \cdot (0,715 \cdot s + 1)^2}$$

Tento přenos však po srovnání s naměřenou přechodovou charakteristikou nebyl zcela přesný, proto jsem jej dodatečně upravil, výsledný přenos tedy je

$$G(s) = \frac{0,1258}{s \cdot (0,8 \cdot s + 1)^2}$$

Pro ověření správnosti identifikace jsem porovnal naměřenou a simulovanou přechodovou charakteristiku.

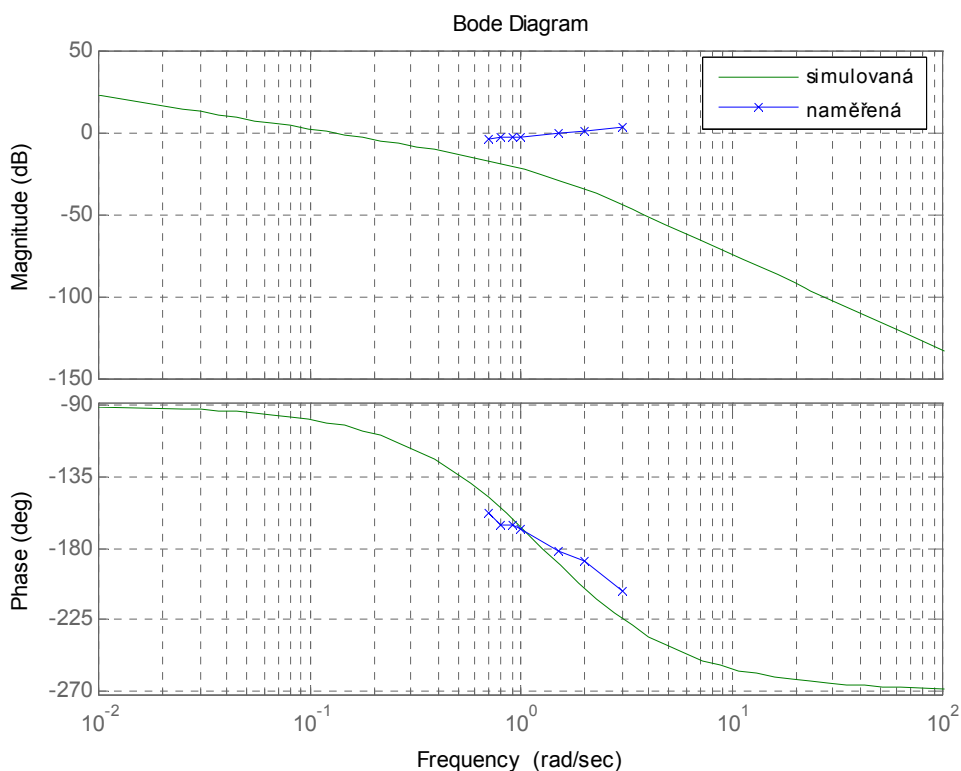


Obrázek 3.4 Srovnání naměřené a simulované přechodové charakteristiky

3.5 Frekvenční charakteristika

Změřil jsem jak amplitudovou tak fázovou frekvenční charakteristiku v okolí pracovního bodu. Měření jsem prováděl jen v blízkém okolí frekvencí, kdy byla fázová charakteristika aproximačního přenosu přibližně 180° . Předpokládal jsem, že skutečná fázová frekvenční charakteristika bude mít při těchto frekvencích přibližně stejnou fázi, jako charakteristika aproximačního přenosu.

Pro změření frekvenční charakteristiky bylo nutné uzavřít regulační smyčku, protože při měření v otevřené smyčce nebylo možné charakteristiku změřit. Důvodem bylo rozkmitání soustavy. Jednoduchý PD regulátor jsem navrhl pomocí funkce *rltool* v MATLABu.



Obrázek 3.5 Frekvenční charakteristiky

Tímto měřením jsem ověřil platnost aproximačního přenosu v místech charakteristiky potřebných pro pozdější návrh regulátoru. Skutečná fázová frekvenční

charakteristika přibližně souhlasí s charakteristikou aproximačního přenosu, má jen nepatrně jiný sklon. Amplitudová charakteristika se však značně liší.

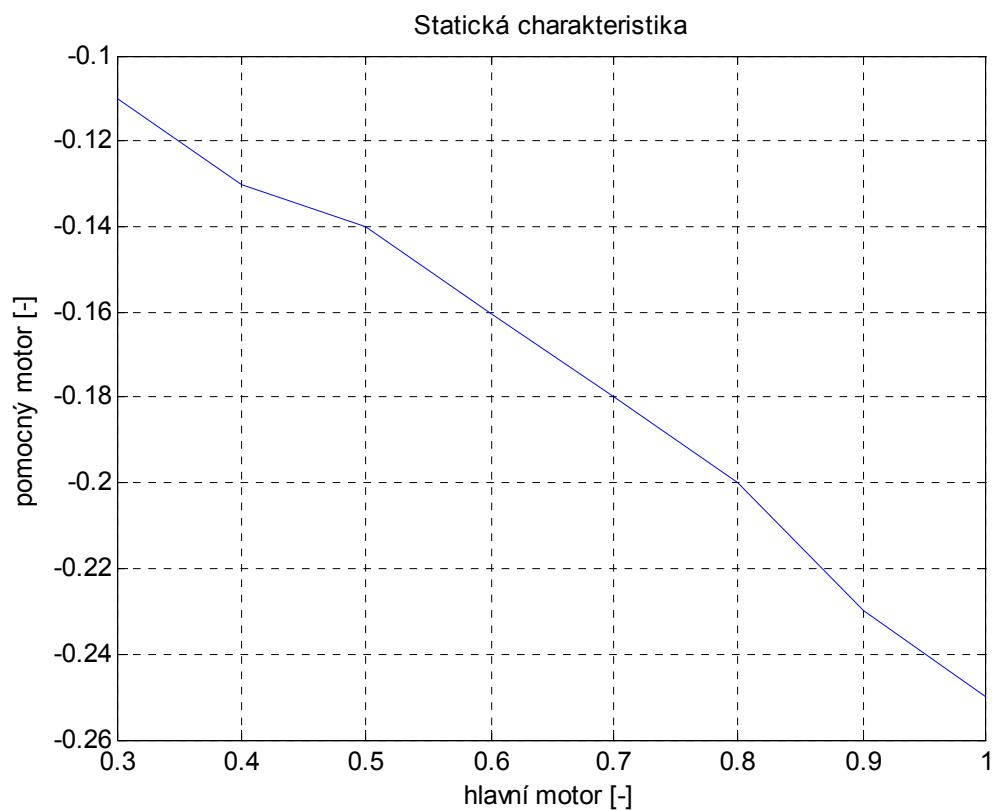
3.6 Zhodnocení práce na modelu helikoptéry H1 Humusoft

Nejdříve jsem změřil statickou charakteristiku, ze které jsem podle výše zmíněných pravidel zvolil pracovní bod. Poté jsem změřil přechodovou charakteristiku z pracovního bodu skokem o $\pm 15\%$. Z několika naměřených charakteristik jsem si jednu zvolil pro následnou identifikaci. Simulovanou přechodovou charakteristiku jsem porovnal s charakteristikou naměřenou a aproximační přenos systému jsem dodatečně upravil. Pro ověření správnosti aproximace jsem změřil frekvenční charakteristiku systému. Změřená fázová frekvenční charakteristika přibližně odpovídá fázové frekvenční charakteristice aproximačního přenosu, amplitudové frekvenční charakteristiky se však značně liší. Jejich odchylku jsem nedokázal objasnit, zde se pravděpodobně významně projevíly různé chyby měření.

4 Model helikoptéry H2 Humusoft

4.1 Statické měření

Statickou charakteristiku jsem změřil jako závislost otáček pomocného motoru na otáčkách motoru hlavního. Otáčky pomocného motoru jsem nastavoval tak, aby se model nepohyboval v azimutu.



Obrázek 4.1 Statická charakteristika

Napětí na hlavním motoru menší než 0,3 nemá smysl uvažovat. Napětí bylo v těchto případech tak malé, že se motor vůbec neroztočil, nebo byla kompenzace pomocným motorem zbytečná.

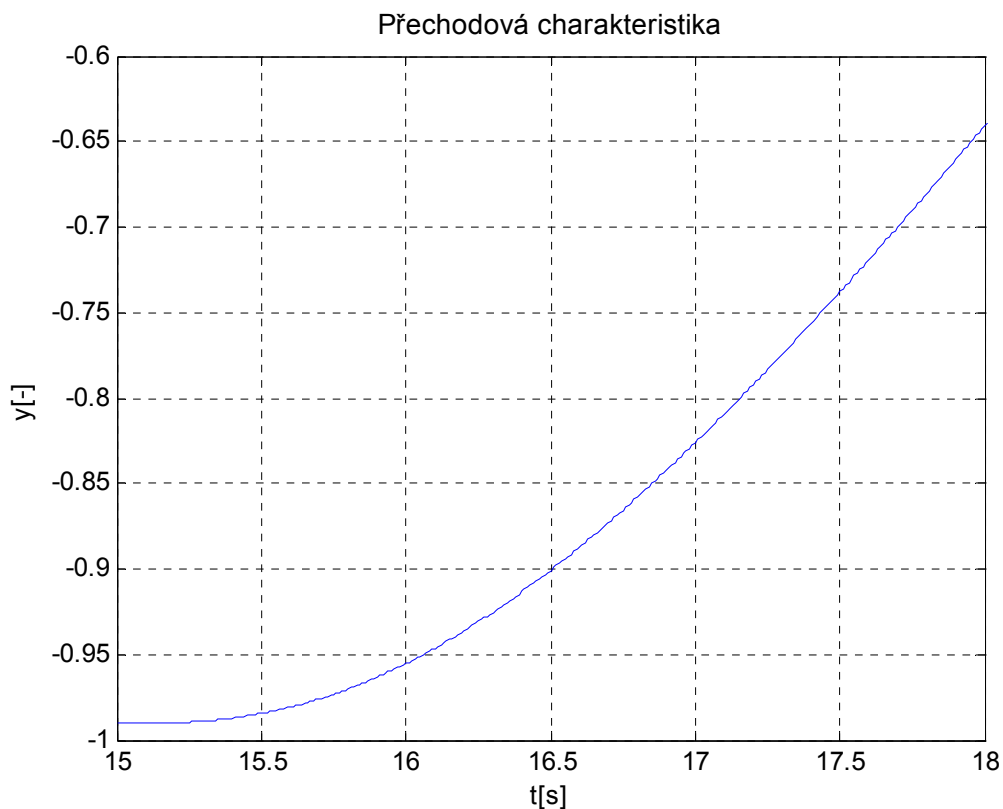
4.2 Volba pracovního bodu

Pracovní bod jsem zvolil v polovině použitelného rozsahu napětí na pomocném motoru. V tomto případě je rozsah -0,11 až -0,25. Ze statické charakteristiky jsem tedy zvolil pracovní bod:

hlavní motor	0,7
pomocný motor	-0,18

4.3 Přejchodová charakteristika

Přejchodová charakteristika je odezva systému na jednotkový skok na vstupu systému. V tomto případě jsem měřil přejchodovou charakteristiku z ustáleného stavu v pracovním bodě skokem $\pm 15\%$, tedy $\pm 0,027$

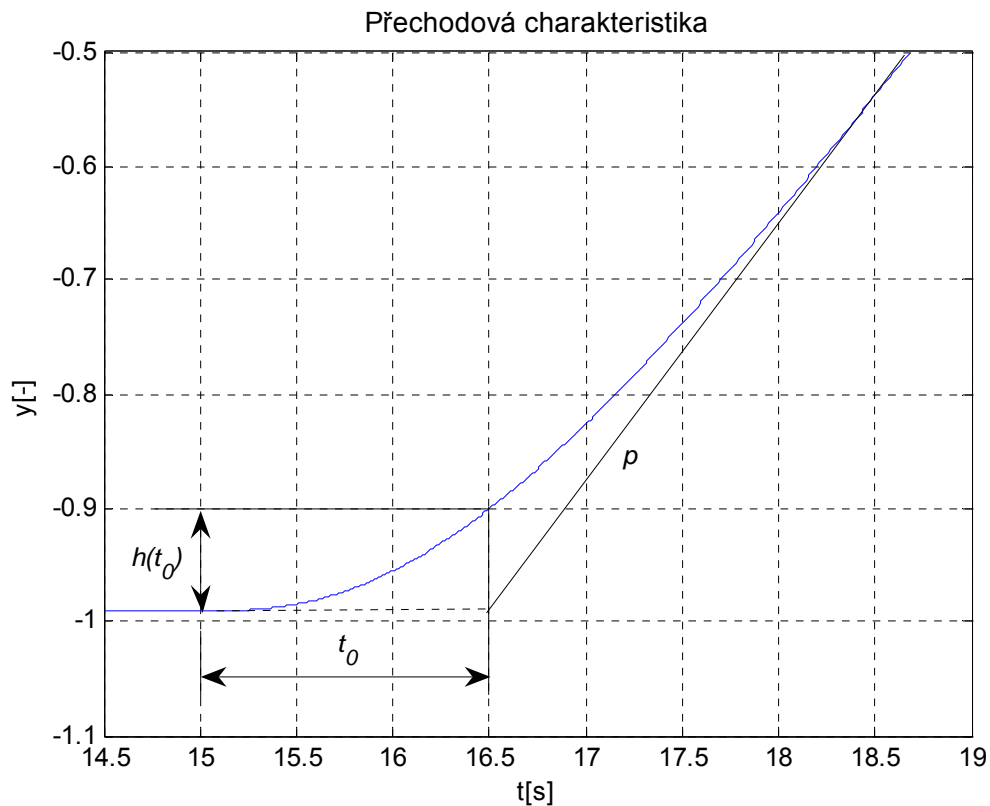


Obrázek 4.2 Přejchodová charakteristika, skok $+0,027$ v čase $t = 15$ s

4.4 Identifikace systému z přechodové charakteristiky

Tvar naměřené přechodové charakteristiky je podobný přechodové charakteristice obecného astatického systému s řádem astaticismu rovným jedné, viz Obrázek 1.1

V tomto případě tedy platí:



Obrázek 4.3 Identifikace z přechodové charakteristiky

$$t_0 = 1,5s$$

$$h(t_0) = 0,0625$$

$$K_v = 0,221$$

$$\frac{h(t_0)}{K_v} = 0,283$$

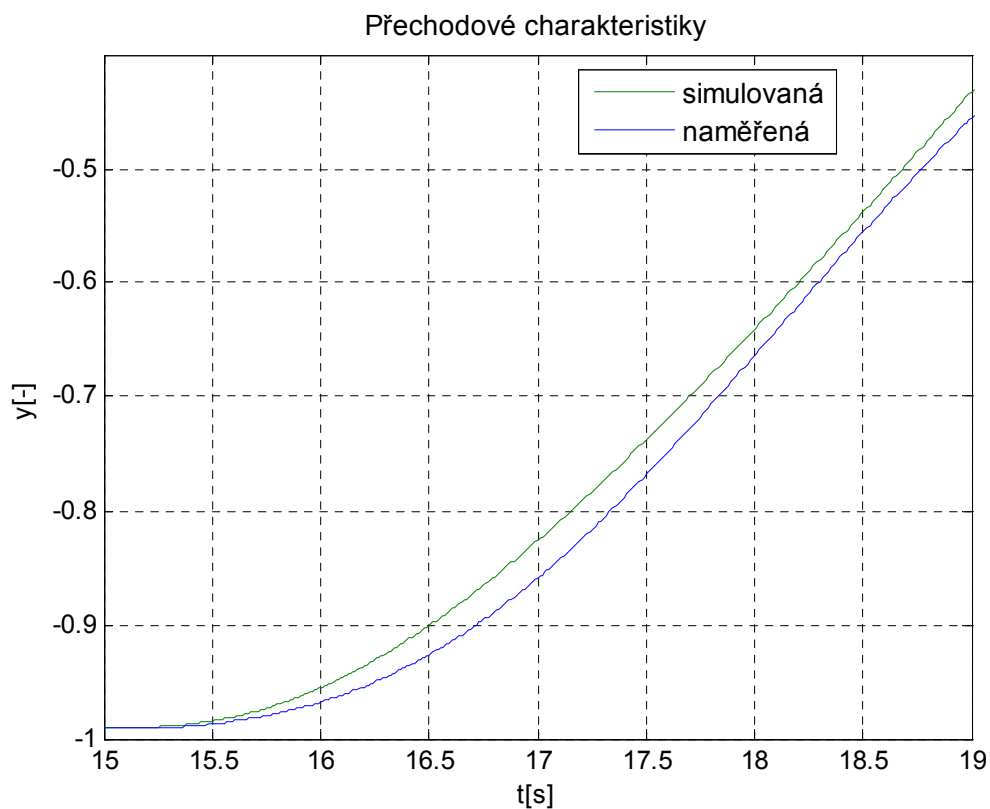
Z tabulky 1 odečteme pro $\frac{h(t_0)}{K_v} = 0,283$ hodnotu $n = 2$

$$\text{dále pak } T = \frac{t_0}{n} = 0,75s$$

Aproximační přenos systému tedy bude

$$G(s) = \frac{0,221}{s \cdot (0,75 \cdot s + 1)^2}$$

Pro ověření správnosti identifikace jsem porovnal naměřenou a simulovanou přechodovou charakteristiku.

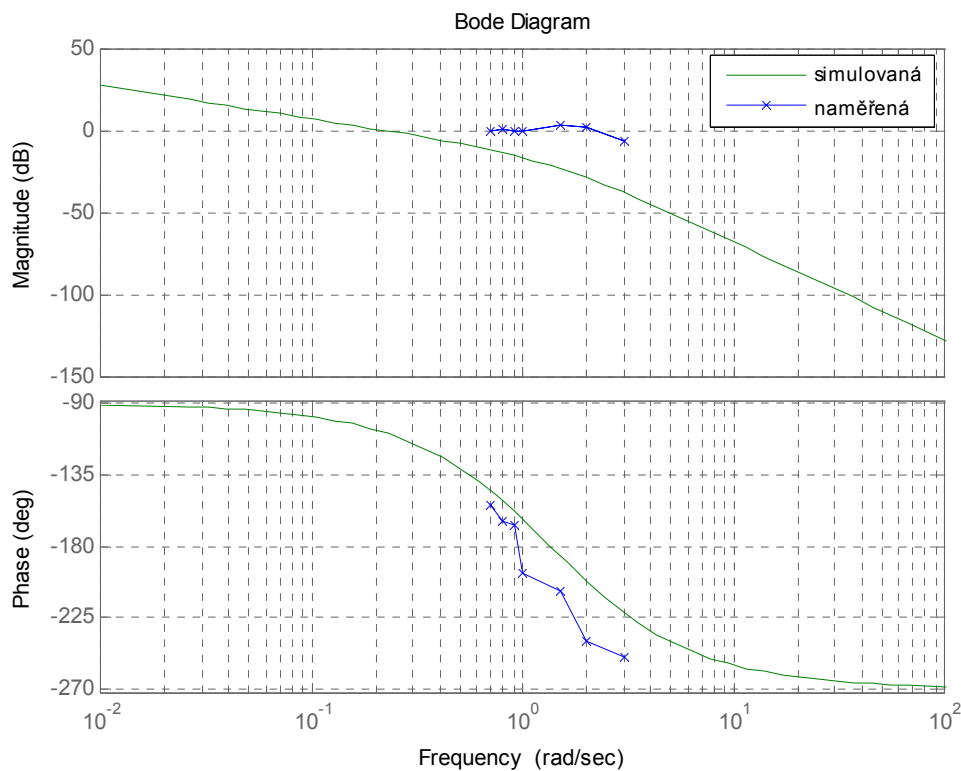


Obrázek 4.4 Přechodové charakteristiky

4.5 Frekvenční charakteristika

Změřil jsem jak amplitudovou tak fázovou frekvenční charakteristiku v okolí pracovního bodu. Měření jsem prováděl jen v blízkém okolí frekvencí, kdy byla fázová charakteristika aproximačního přenosu přibližně 180° . Předpokládal jsem, že skutečná fázová frekvenční charakteristika bude mít při těchto frekvencích přibližně stejnou fázi jako charakteristika aproximačního přenosu.

Pro změření frekvenční charakteristiky bylo nutné uzavřít regulační smyčku, protože při měření v otevřené smyčce nebylo možné charakteristiku změřit. Důvodem bylo rozkmitání soustavy. Jednoduchý PD regulátor jsem navrhl pomocí funkce *rltool* v MATLABu.



Obrázek 4.5 Frekvenční charakteristiky

Tímto měřením jsem ověřil platnost aproximačního přenosu v místech charakteristiky potřebných pro pozdější návrh regulátoru. Skutečná fázová frekvenční

charakteristika přibližně souhlasí s charakteristikou aproximačního přenosu, je jen nepatrně posunutá, amplitudová charakteristika se však značně liší.

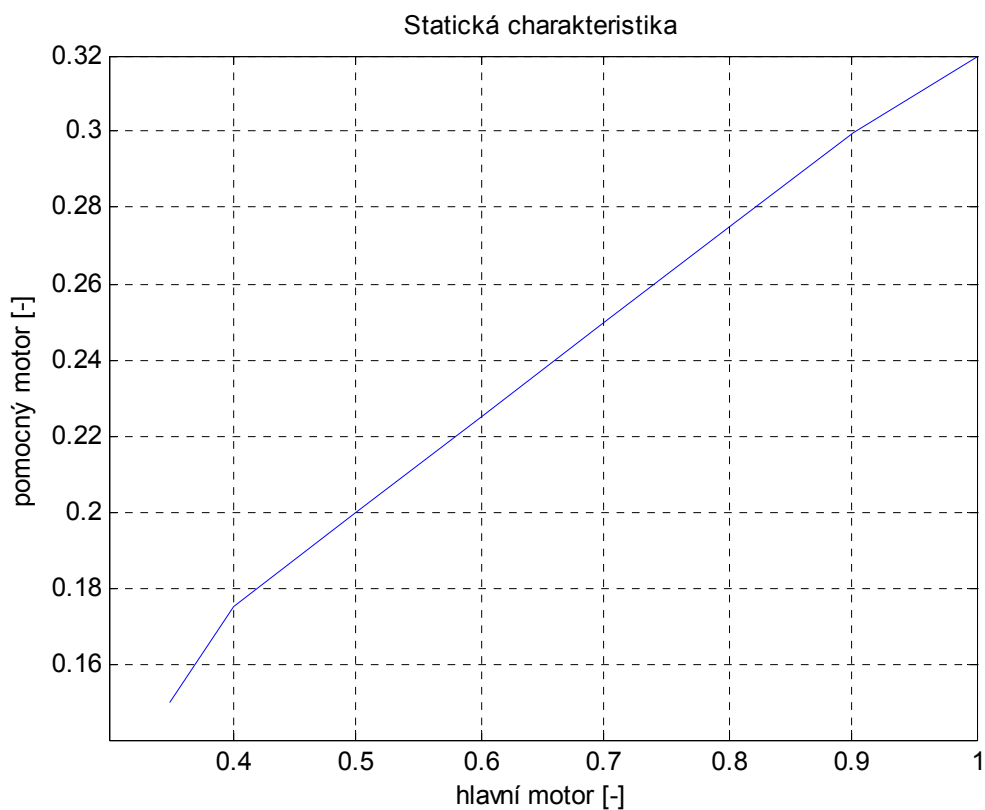
4.6 Zhodnocení práce na modelu helikoptéry H2 Humusoft

Nejdříve jsem změřil statickou charakteristiku, ze které jsem podle výše zmíněných pravidel zvolil pracovní bod. Poté jsem změřil přechodovou charakteristiku z pracovního bodu skokem o $\pm 15\%$. Z několika naměřených charakteristik jsem si jednu zvolil pro následnou identifikaci. Simulovanou přechodovou charakteristiku jsem porovnal s charakteristikou naměřenou. Aproximační přenos systému by se dal vylepšit, tentokrát jsem však pro ukázkou funkčnosti metody identifikace aproximační přenos neupravoval. Pro ověření správnosti aproximace jsem změřil frekvenční charakteristiku systému. Změřená fázová frekvenční charakteristika přibližně odpovídá fázové frekvenční charakteristice aproximačního přenosu, je jen mírně posunutá, amplitudové frekvenční charakteristiky se však značně liší. Jejich odchylku jsem nedokázal objasnit, zde se pravděpodobně významně projeví různé chyby měření.

5 Model helikoptéry H3 Spel

5.1 Statické měření

Statickou charakteristiku jsem změřil jako závislost otáček pomocného motoru na otáčkách motoru hlavního. Otáčky pomocného motoru jsem nastavoval tak, aby se model nepohyboval v azimutu.



Obrázek 5.1 Statická charakteristika

Napětí na hlavním motoru menší než 0,35 nemá smysl uvažovat. Napětí bylo v těchto případech tak malé, že se motor vůbec neroztočil, nebo byla kompenzace pomocným motorem zbytečná.

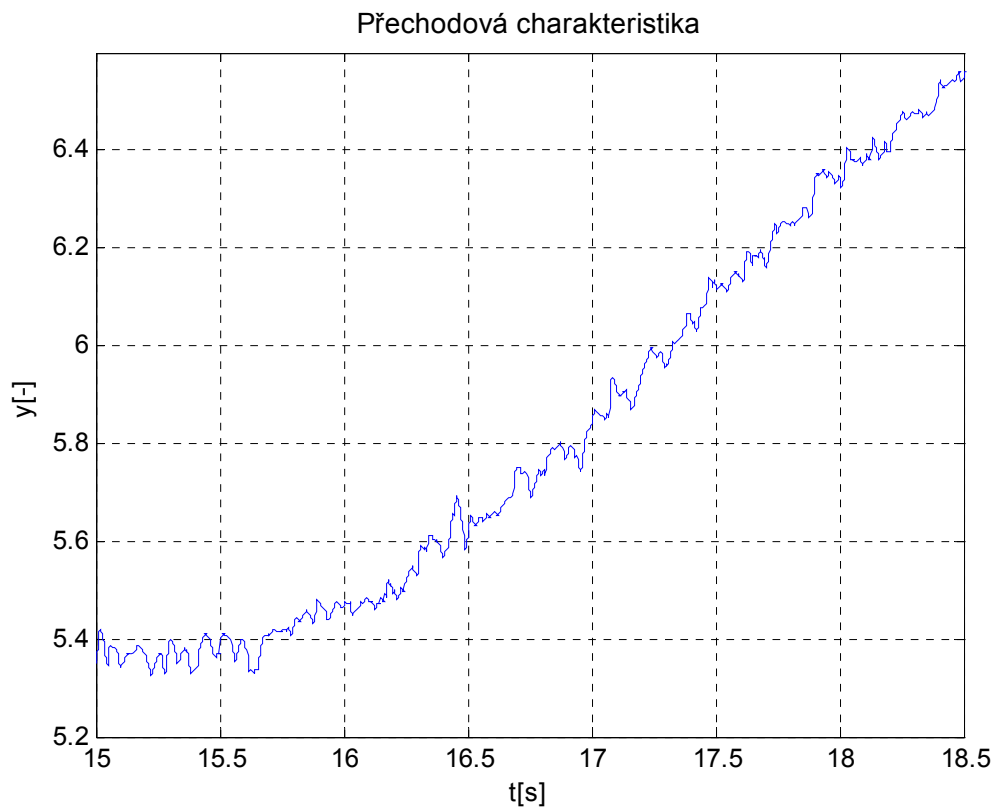
5.2 Volba pracovního bodu

Pracovní bod jsem zvolil v polovině použitelného rozsahu napětí na pomocném motoru . V tomto případě je rozsah 0,15 až 0,32. Ze statické charakteristiky jsem tedy zvolil pracovní bod:

hlavní motor	0,6
pomocný motor	0,225

5.3 Přejchodová charakteristika

Přejchodová charakteristika je odezva systému na jednotkový skok na vstupu systému. V tomto případě jsem měřil přejchodovou charakteristiku z ustáleného stavu v pracovním bodě skokem $\pm 25\%$, tedy $\pm 0,05625$

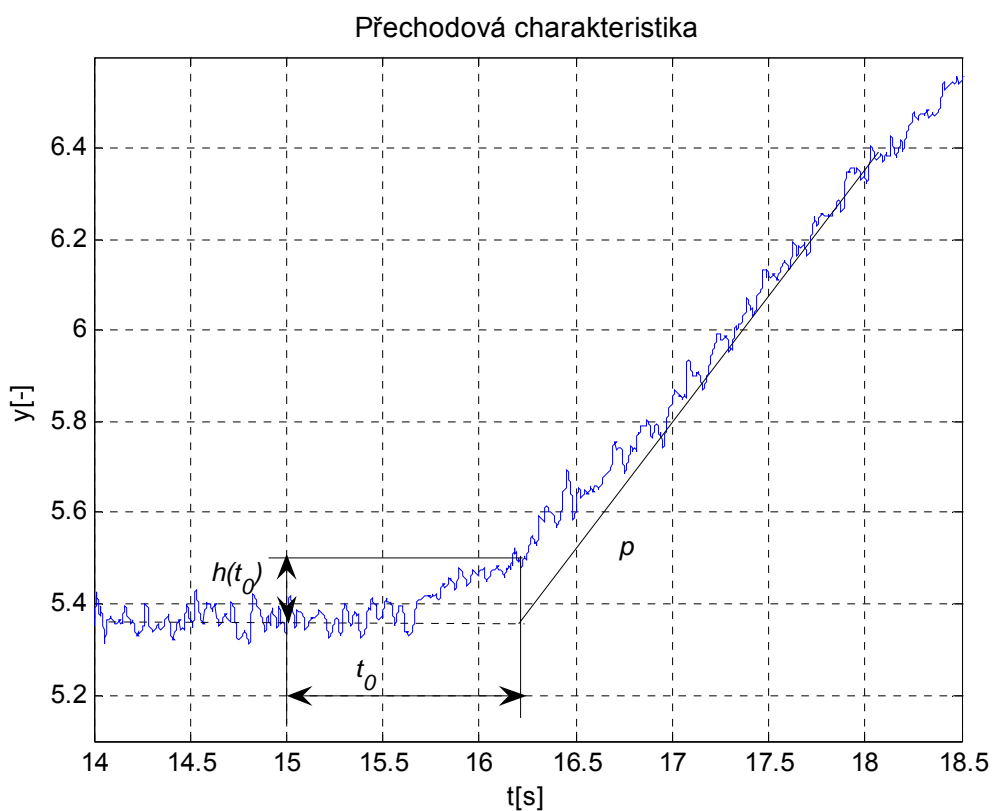


Obrázek 5.2 Přejchodová charakteristika, skok $+0,05625$ v čase $t = 15$ s

5.4 Identifikace systému z přechodové charakteristiky

Tvar naměřené přechodové charakteristiky je podobný přechodové charakteristice obecného astatického systému s řádem astaticismu rovným jedné, viz Obrázek 1.1

V tomto případě tedy platí:



Obrázek 5.3 Identifikace z přechodové charakteristiky

$$t_0 = 1,22s$$

$$h(t_0) = 0,1384$$

$$K_v = 0,5493$$

$$\frac{h(t_0)}{K_v} = 0,252$$

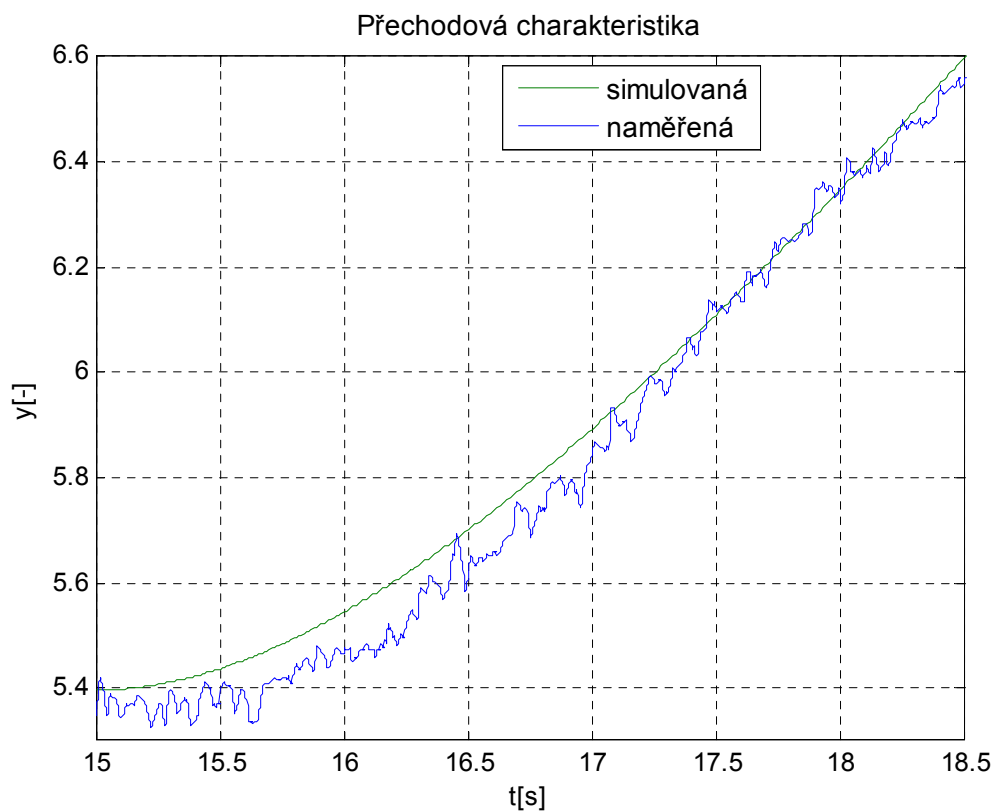
Z tabulky 1 odečteme pro $\frac{h(t_0)}{K_v} = 0,252$ hodnotu $n = 2$

$$\text{dále pak } T = \frac{t_0}{n} = 0,61s$$

Aproximační přenos systému tedy bude

$$G(s) = \frac{0,5493}{s \cdot (0,61 \cdot s + 1)^2}$$

Pro ověření správnosti identifikace jsem porovnal naměřenou a simulovanou přechodovou charakteristiku.

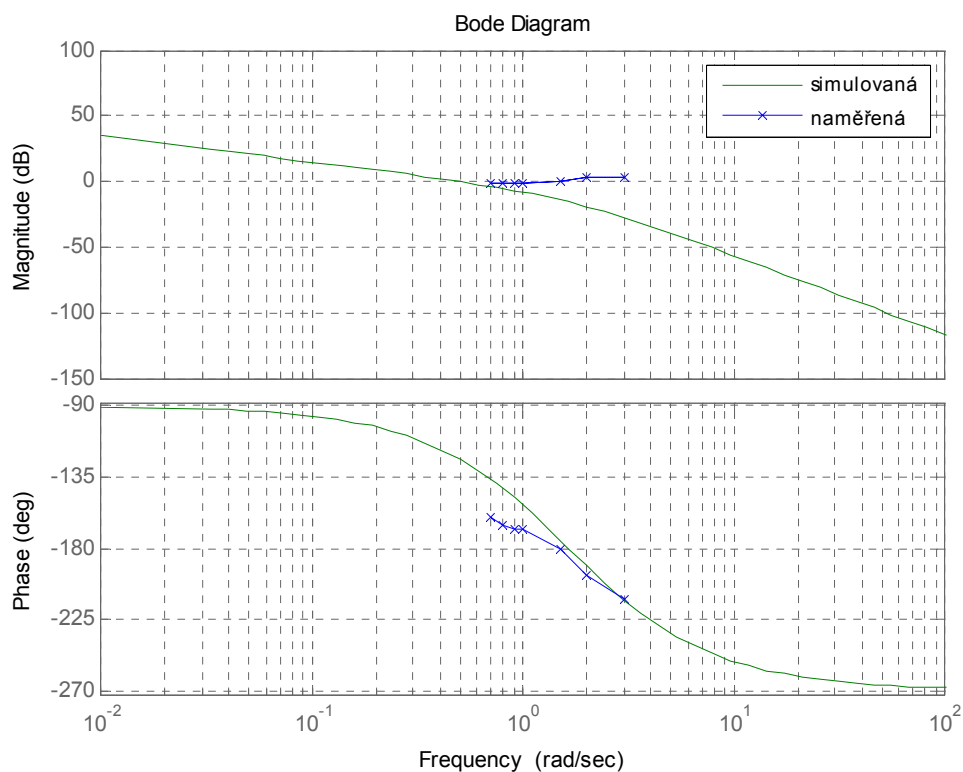


Obrázek 5.4 Přechodové charakteristiky

5.5 Frekvenční charakteristika

Změřil jsem jak amplitudovou tak fázovou frekvenční charakteristiku v okolí pracovního bodu. Měření jsem prováděl jen v blízkém okolí frekvencí, kdy byla fázová charakteristika aproximačního přenosu přibližně 180° . Předpokládal jsem, že skutečná fázová frekvenční charakteristika bude mít při těchto frekvencích přibližně stejnou fázi jako charakteristika aproximačního přenosu.

Pro změření frekvenční charakteristiky bylo nutné uzavřít regulační smyčku, protože při měření v otevřené smyčce nebylo možné charakteristiku změřit. Důvodem bylo rozkmitání soustavy. Jednoduchý PD regulátor jsem navrhl pomocí funkce *rltool* v MATLABu.



Obrázek 5.5 Frekvenční charakteristiky

Tímto měřením jsem ověřil platnost aproximačního přenosu v místech charakteristiky potřebných pro pozdější návrh regulátoru. Skutečná fázová frekvenční

charakteristika přibližně souhlasí s charakteristikou aproximačního přenosu, amplitudová charakteristika se však značně liší.

5.6 Zhodnocení práce na modelu helikoptéry H3 Spel

Nejdříve jsem změřil statickou charakteristiku, ze které jsem podle výše zmíněných pravidel zvolil pracovní bod. Poté jsem změřil přechodovou charakteristiku z pracovního bodu skokem o $\pm 25\%$. Z několika naměřených charakteristik jsem si jednu zvolil pro následnou identifikaci. Simulovanou přechodovou charakteristiku jsem porovnal s charakteristikou naměřenou a aproximační přenos systému jsem dodatečně upravil. Identifikaci z přechodové charakteristiky ztěžovalo její zašumění. Pro ověření správnosti aproximace jsem změřil frekvenční charakteristiku systému. Změřená fázová frekvenční charakteristika přibližně odpovídá fázové frekvenční charakteristice aproximačního přenosu, amplitudové frekvenční charakteristiky se však značně liší. Jejich odchylku jsem nedokázal objasnit, zde se pravděpodobně významně projeví různé chyby měření.

6 Závěr

V předložené bakalářské práci jsou nejdříve vysvětleny základní pojmy a principy související s identifikací zadaných fyzikálních systémů. Následuje zpracování naměřených charakteristik, identifikace systémů, ověření správnosti identifikace a zhodnocení práce s konkrétním fyzikálním systémem.

Při práci s modely helikoptér se objevilo několik drobných problémů, které však byly v průběhu práce odstraněny, lze tedy říct, že studenti by při práci s těmito modely neměli narazit na problémy se správnou funkčností modelů. Výhodou měření na těchto modelech je kromě jejich názornosti i jejich rychlost, student může měření bez časových problémů několikrát opakovat a dobře pochopit funkci systémů. Snad jen měření frekvenčních charakteristik je u těchto modelů helikoptér pro studenty 4. semestru prakticky nemožné, protože frekvenční charakteristiky není možné změřit bez uzavření zpětné vazby, k čemuž tito studenti ještě nemají potřebné vědomosti.

Měření na modelu O1 – Kulička na obruči a jeho identifikace nebyla provedena, důvodem byla nefunkčnost modelu.

Výsledky této práce v současné době nemohu zhodnotit, doufám však, že budoucím studentům oboru kybernetika a měření usnadní jejich studium.

7 Použitá Literatura a software

Literatura

- [1] KIRCHMANN, B. – FUKA, J. *Teorie automatického řízení I*. 1.vyd. Praha : ČVUT, 1989
- [2] FENCLOVÁ, M. – PECH, Z. – SUKOVÁ, M. *Teorie automatického řízení : návody ke cvičením*, 3.přeprac. vyd. Praha : ČVUT, 1996
- [3] HORÁČEK, P. *Systémy a modely*, 2. přeprac. vyd. PRAHA : ČVUT, 1999
- [4] *Učebnice SARI*, URL: <<http://dce.felk.cvut.cz/sari>>

Software

MICROSOFT, *Microsoft Office verze 2000*

THE MATHWORKS, *Matlab 7*

PDF Online, URL: <http://www.pdfonline.com/convert_pdf.asp>

8 Přílohy

Obsah přiloženého CD

Dokumenty	Adresář obsahuje tento dokument a návody k modelům helikoptér v elektronické podobě.
Plakáty	Adresář obsahuje soubory s plakáty k modelům helikoptér.
Matlab_files	Adresář obsahuje soubory použité při práci v MATLABu.