

KEV/RT - externí

Martin Janda

mapa@kev.zcu.cz

EK 205

377 63 4435

19.3.2016 < - > 19.4.

20.2.2016 – fib 72deg, 60 deg jako DU (3hodiny) Fw?

25.2. 2017– fib 72deg, 60 deg jako DU, Fw (3hodiny)

5.3.2016 (2 hodiny) jiny priklad, jenom P

15.4.2016 (2 hodiny) PI, Fw

16.4.2016 diskretni, vzorovy test 2hodiny (nebyl prehled jinych metod)

3x 1/w_řezu je cca delka prechodoveho Fw

Prezentace ke stažení - vlastní poznámky nutné!

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://portal.zcu.cz/wps/myportal/!ut/p/c5/hVDLboMwEPyWfoEXOh6BBNejU14mAIXRJW0CmoCiigBvr4kRYpac>. The page is for the course 'KEV/RT - Regulační technika' (Control Systems - Regulator Technology) at Západočeská univerzita v Plzni (ZČU).

Navigation Sidebar (Left):

- Regulační technika
- O předmětu
- Podmínky absolvování
- Přednášky
- Cvičení
- Studijní materiály**
- Diskuse

Main Content Area:

KEV/RT - Regulační technika

Předmět - literatura KEV/RT - IS/STAG

Základní

Tůma, František, *Automatické řízení 1 : lineární spojité dynamické systémy*, Plzeň : Západočeská univerzita 2003

Zeman, K., *Studijní texty na počítačové síti*

Rozšiřující

Samal, Erwin; Becker, Wilhelm, *Grundriss der praktischen Regelungstechnik*, Munchen : R.Oldenbourg 1996

Havlena, Vladimír; Štecha, Jan, *Moderní teorie řízení*, Praha : Vydavatelství ČVUT 2000

Zboray, Ladislav; Tomko, Jaroslav; Ďurovský, František, *Regulované pohony*, Košice : Viena 2000

Švec, Jan; Kotka, Zdeněk, *Teorie automatického řízení*, Praha : SNTL 1969

Štecha, J., *Teorie automatického řízení I*, ČVUT 1990

[Vypsání zkouškových termínů](#) | [Zápis známek](#) | [Semestrální práce](#)

Studijní materiály (Right Sidebar):

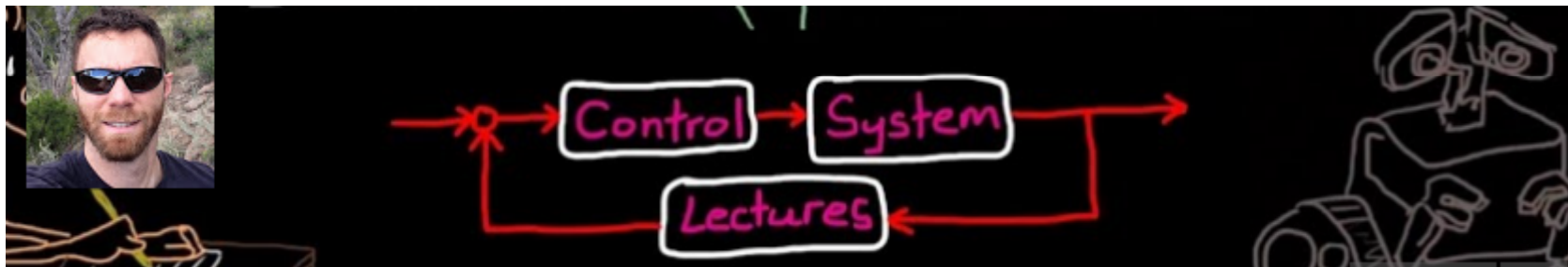
- [Výtah z přednášek](#) (4690KB)
- [RT 2011 externí](#) (2954KB)
- [RT 2011LS 01.ppt](#) (4868KB)
- [RT 2011LS 02.ppt](#) (963KB)
- [RT 2011LS 03.ppt](#) (249KB)
- [RT 2011LS 03 tabule.jpg](#) (322KB)
- [RT 2011LS 04.ppt](#) (533KB)
- [RT 2011LS 05.ppt](#) (552KB)
- [RT 2011LS 06.ppt](#) (948KB)

Footer: Aktualizace je připravena

Studijní materiály

Základní

- Zeman, Karel, Studijní texty na Courseware
- Melichar, Jiří: Studijní texty ke KKY/LS1 (Lineární systémy 1)
<http://www.kky.zcu.cz/cs/courses/ls1#download>
- Tůma, František, Automatické řízení 1 : lineární spojité dynamické systémy, Plzeň : Západočeská univerzita 2003
- Brian Douglas: Classical Control Theory
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLUMWjy5jgHK1NC52DXXrriwihVrYZKqjk>



Rozšiřující

- Samal, Erwin; Becker, Wilhelm, Grundriss der praktischen Regelungstechnik , Munchen : R.Oldenbourg 1996
- Havlena, Vladimír; Štecha, Jan, Moderní teorie řízení , Praha : Vydavatelství ČVUT 2000
- Zboray, Ladislav; Tomko, Jaroslav; Ďurovský, František, Regulované pohony , Košice: Viena 2000
- Švec, Jan; Kotka, Zdeněk, Teorie automatického řízení , Praha : SNTL 1969
- Štecha, J., Teorie automatického řízení I , ČVUT 1990

Test 1

- 1) Spočítejte absolutní hodnotu a fázi komplexního čísla $\frac{1}{-1 + j}$
- 2) Jaké číslo leží na logaritmické ose $\frac{1}{4}$ dekády doleva od čísla 10000
- 3) při měřítku 1dekáda=20mm bude na logaritmické ose číslo 20 kolik mm a jakým směrem od čísla 10?

Proč absolvovat RT

Princip funkce regulační smyčky

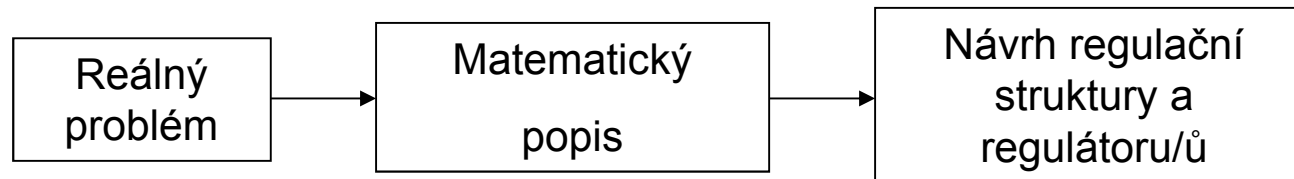
Co od regulační smyčky lze a nelze očekávat

- **Frekvenční charakteristiky (Nyquistovo kritérium stability)**
- **Základní použití Laplaceovy transformace**

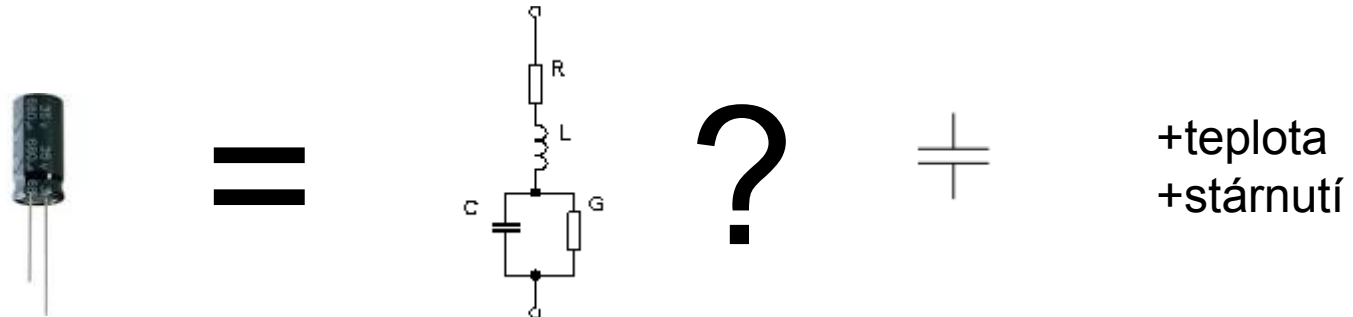
Náhled do problematiky číslicových regulačních obvodů

Aplikace v elektrických pohonech

Proč absolvovat RT (získané dovednosti)



- K získání matematického popisu nutné linearizace, aproximace, zanedbání, to lze provádět pouze s představou o tom, k čemu jsem schopen navrhnout regulátor a co zásadně ovlivňuje fci regulační smyčky



- Různé reálné problémy vedou k obdobnému matematickému popisu (např. LC a závaží na pružině)
- Proto KEV/RT předpokládá znalost matematického popisu a je teoretickým předmětem, není to chyba, je to vlastnost (na konci ukázky, jak mat. popis získat)

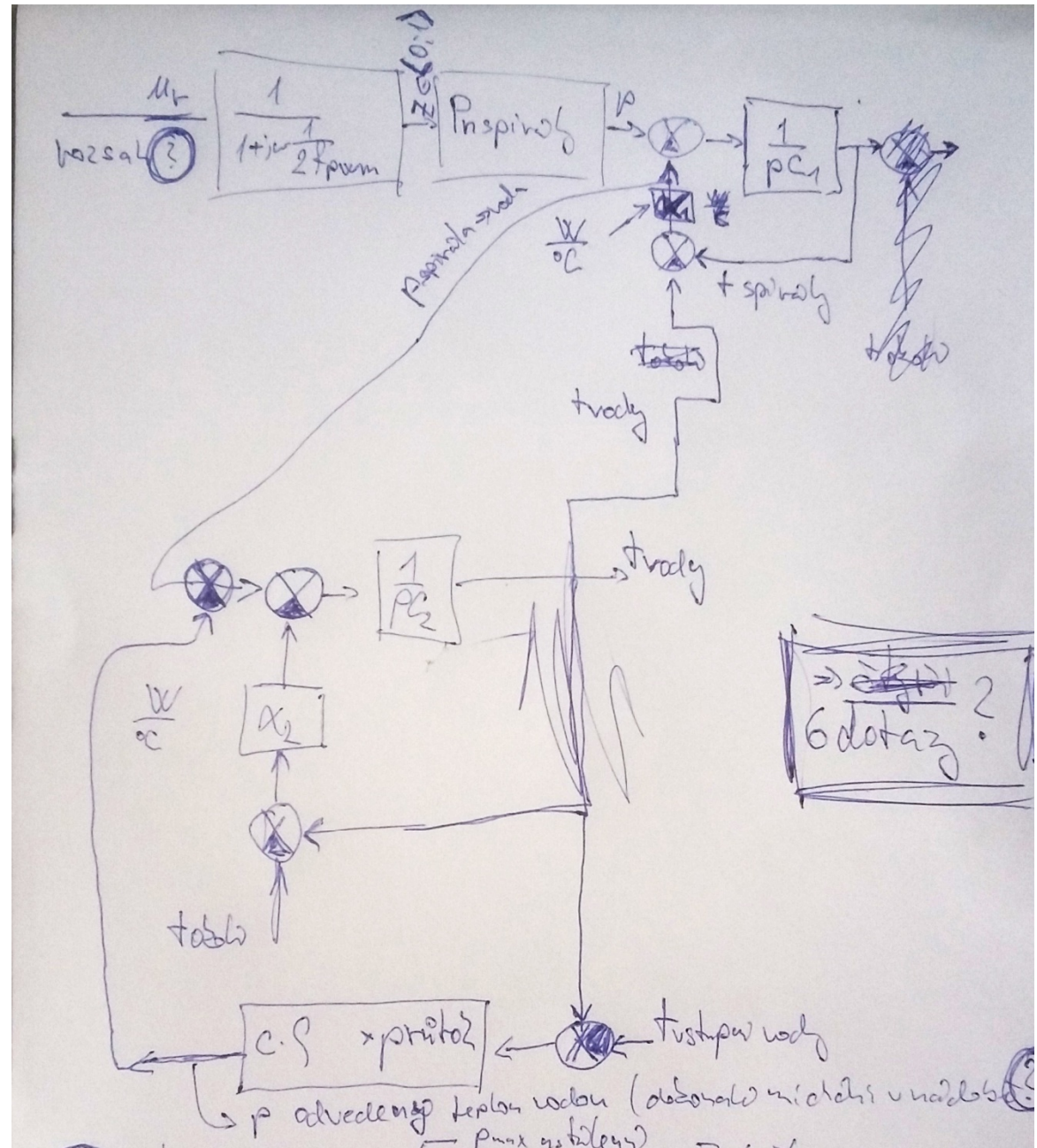
Proč absolvovat RT (získané dovednosti)



- Regulace teploty vody na plnicí lince. Po naplnění lahve pivem je do lahve vstříknuta horká voda, pivo vypění, vytlačí vzduch a je možné zazátkovat
- Není vzduch v lahvi = nekazí se
- BP zadaná 2016

Proč absolvovat RT (získané dovednosti)

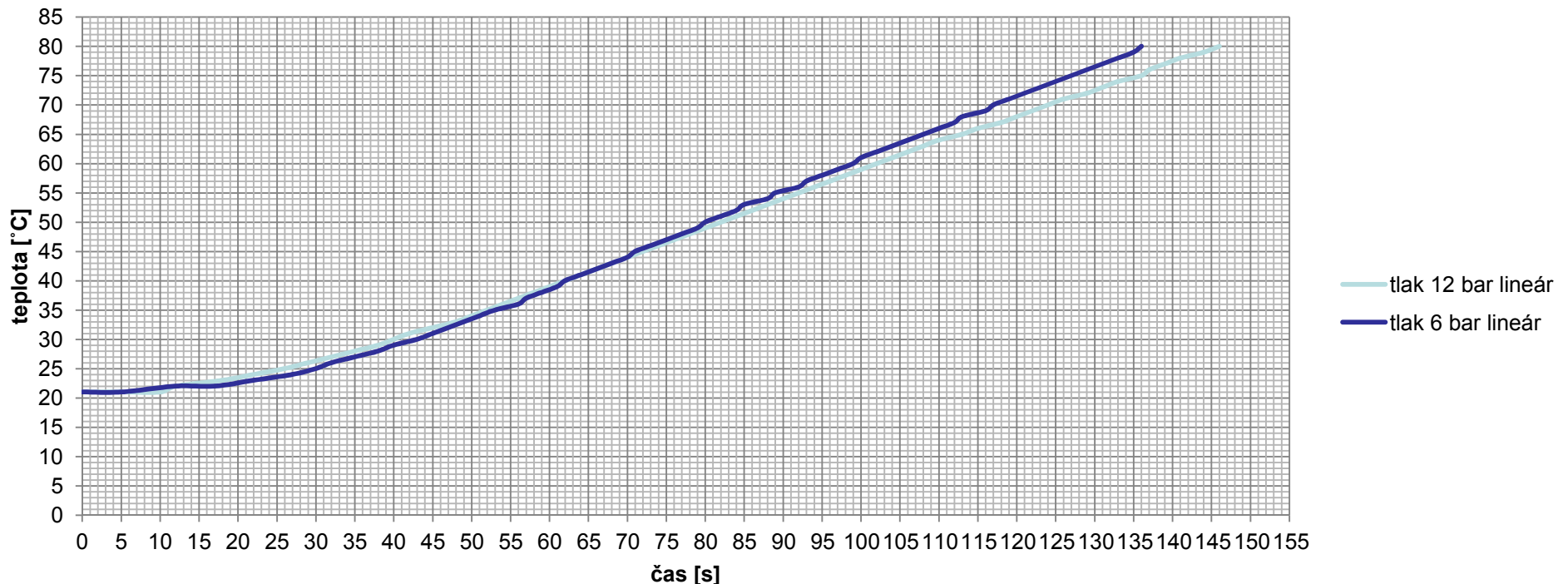
- identifikace soustavy teoreticky
- teoretický rozbor užitečný pro fyzikální představu
- většinu konstant nejsme schopni zjistit (zejm. koeficienty přestupu tepla)



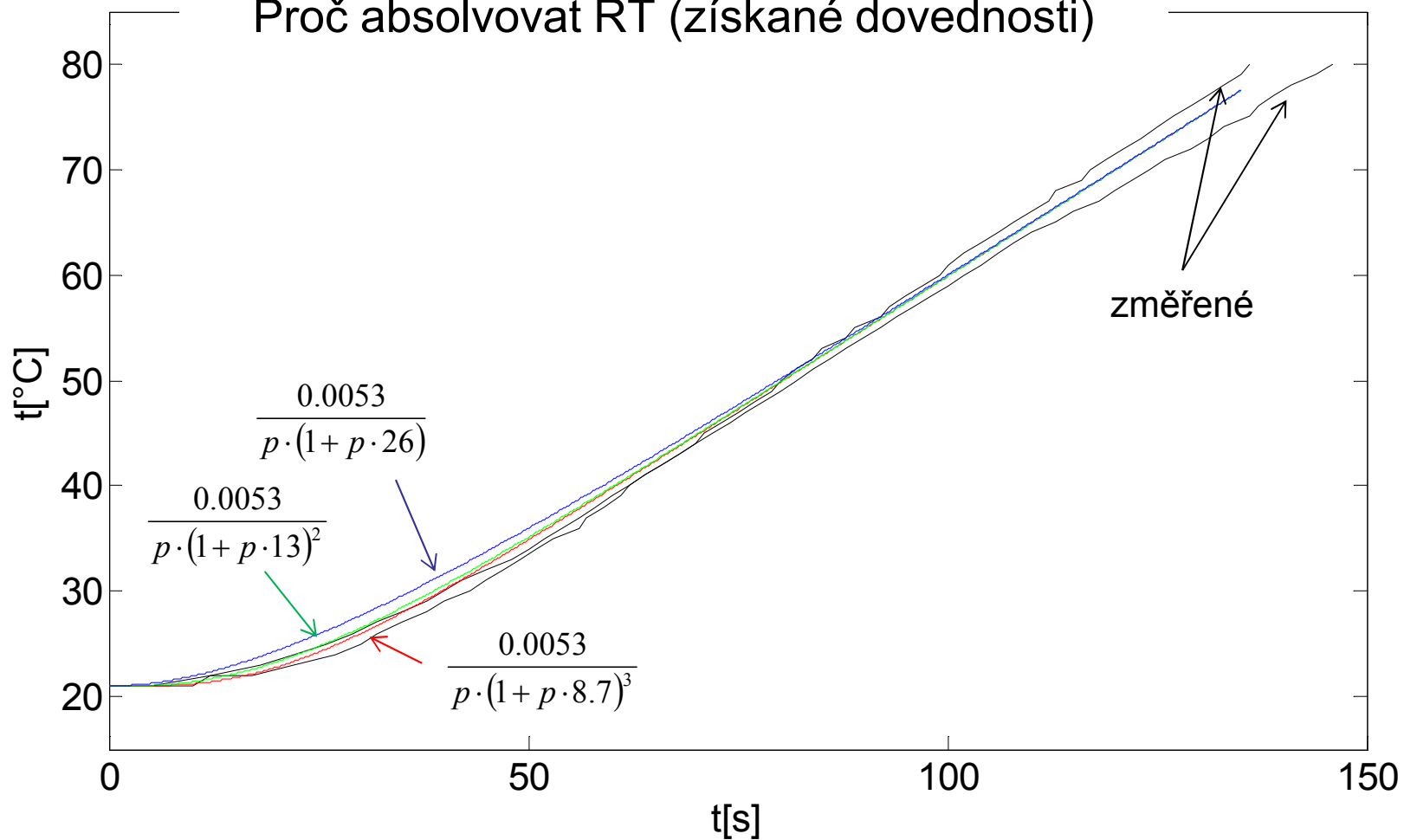
Proč absolvovat RT (získané dovednosti)

- identifikace soustavy z přechodové charakteristiky (odezva na zapnutí spirály, používá se i impuls, bílý šum, harmonický signál)
- zpoždění na začátku („doba průtahu“) vlivem náběhu teploty spirály
- obdobný jev po vypnutí spirály komplikuje regulaci
- kdyby nezačalo vařit, teplota by nestoupala do nekonečna, ale pouze do vyrovnání dodávané a odvedené energie (ale nelze změřit kvůli varu. Var=bubliny kolem spirály, její špatné ochlazování, spálení. Nebezpečí výbuchu)
- průtok ohříváné vody odpovídá tlaku

Závislost teploty na čase lineární



Proč absolvovat RT (získané dovednosti)



nemá cenu řešit - další vlivy: teplota okolí, teplota vstupní vody (robustnost)

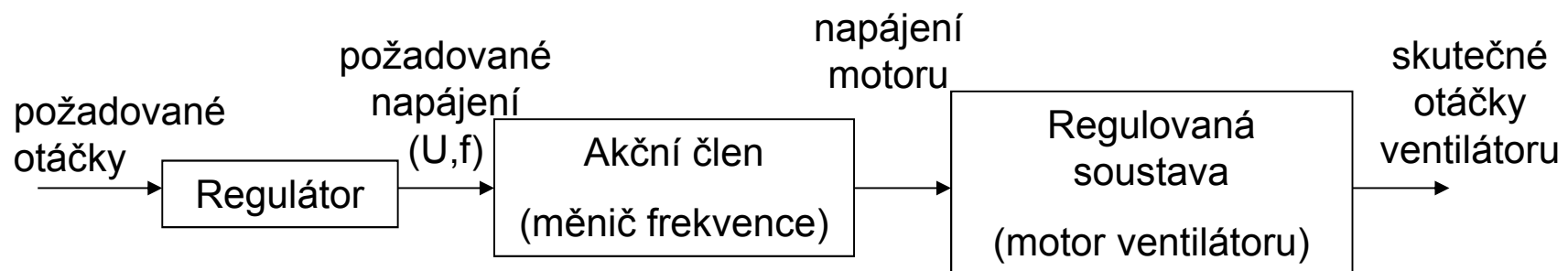
Řízení „v otevřené smyčce“

Ohřev jídla v mikrovlnné troubě vs. klasická

- na základě mat. modelu jídla odhadujeme čas a výkon, neměříme teplotu jídla (regulovaná veličina) během ohřevu. Prst do jídla (zpětná vazba) a případná korekce
- v klasické troubě termostat řídí teplotu v troubě (zpětnovazební regulace), předpokládáme že jídlo v troubě má stejnou teplotu jako naměří termostat (rozpojená smyčka, termostat neměří teplotu jídla)
- přesněji termostat řídí teplotu termostatu

Ventilátory, čerpadla

- asynchronní motor řízen pouze napájecí frekvencí f_s , bez otáčkové zpětné vazby
- průtok vzduchu = $f(\text{otáčky ventilátoru})$



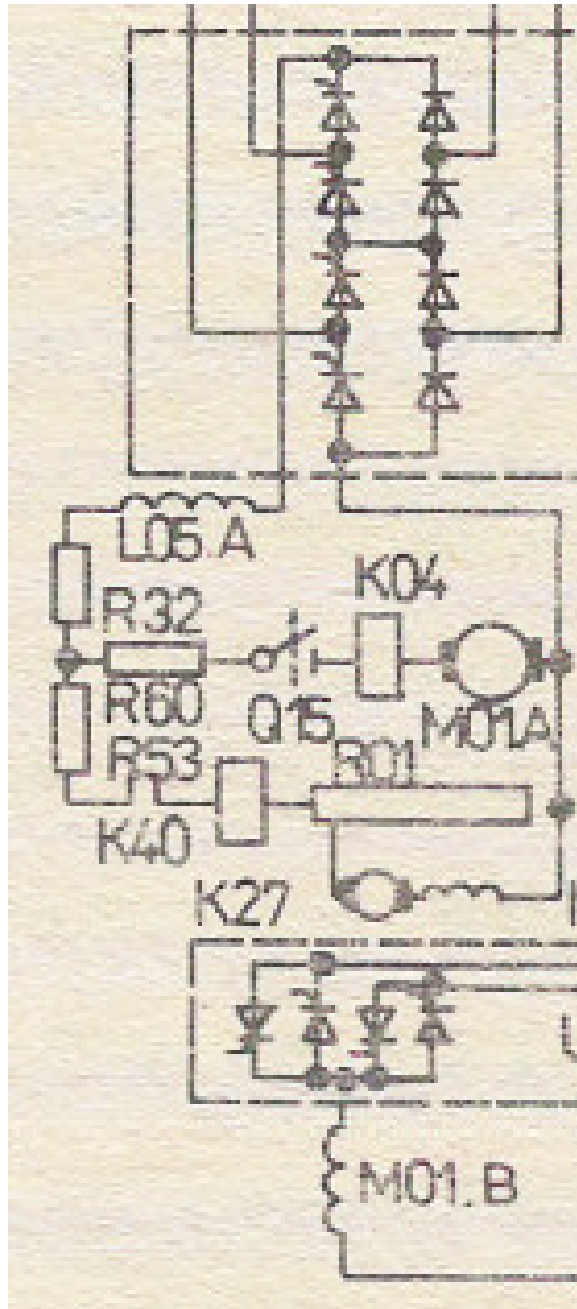
- Jednoduché, levné (čidlo je choulostivé, často drahé)
- nereaguje na změny parametrů systému, vnější vlivy

Řízení „v otevřené smyčce“

ČD 263 (S499.2) – řízení teploty brzdového odporníku

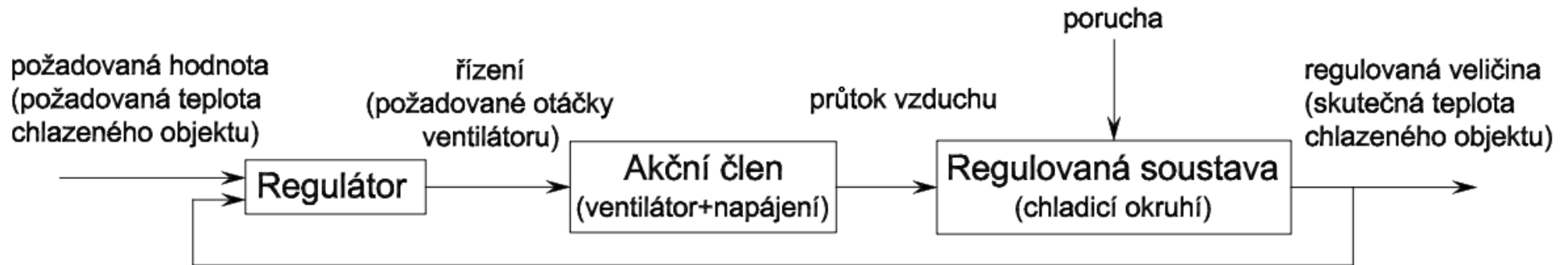
Napájení ventilátoru odporníku z odbočky odporníku

- napětí na (ss) motoru ventilátoru úměrné úbytku napětí na odporníku

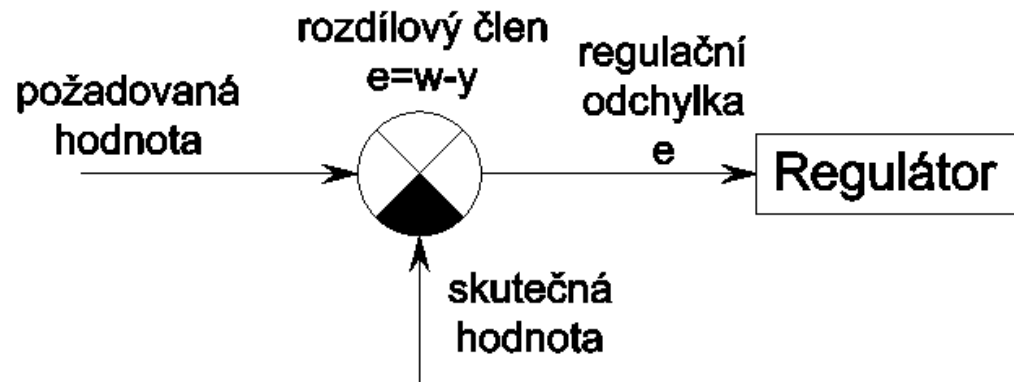


- <http://vlacky.webgarden.cz>

Zpětnovazební řízení



- porucha – zanesení chladiče (vnější nepředpokládatelný vliv)
- regulační odchylka



Zpětnovazební řízení

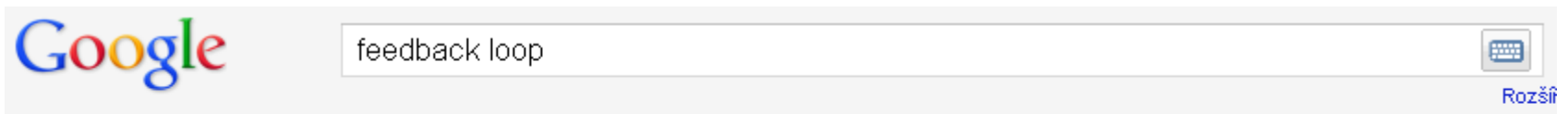
- dravec-kořist
- emise peněz – inflace
- pocení/drkotání - tělesná teplota
- regulace topidla - vytápění místnosti
- reakce skupiny - chování člověka
- cvičení RT – regulace proudu v kotvě ss. motoru

V reálu zpravidla kombinace zpětnovazebního a otevřené smyčky

Př. CNC soustruh:

- Zajímá nás poloha hrotu nože
- Levné snímají polohu motoru, poloha nože dopočítávána ze stoupání kuličkového šroubu
- Drahé polohu supportu (i ten se při mechanickém namáhání deformuje)

Další obory viz Google



Vyhledávání

Přibližný počet výsledků: 30 600 000 (0,06 s)

Vše

Obrázky

Mapy

Videa

Zprávy

Více

Řazeno podle relevance

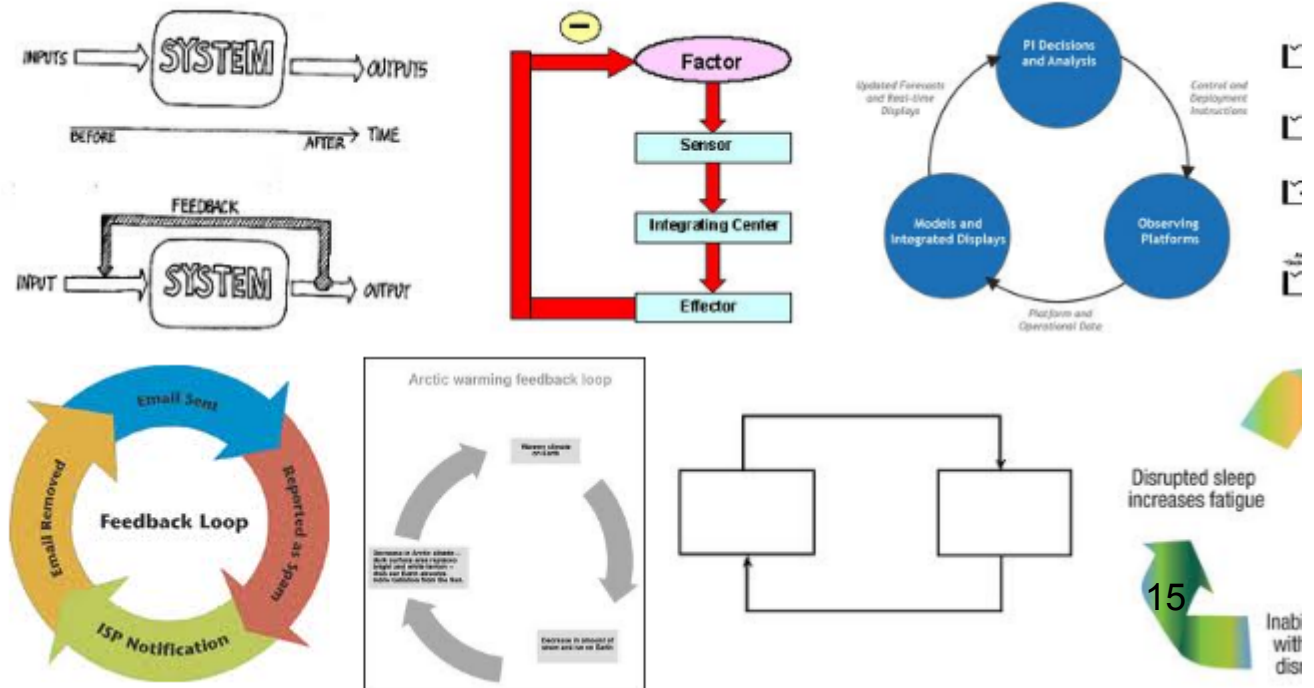
Řazeno podle tématu

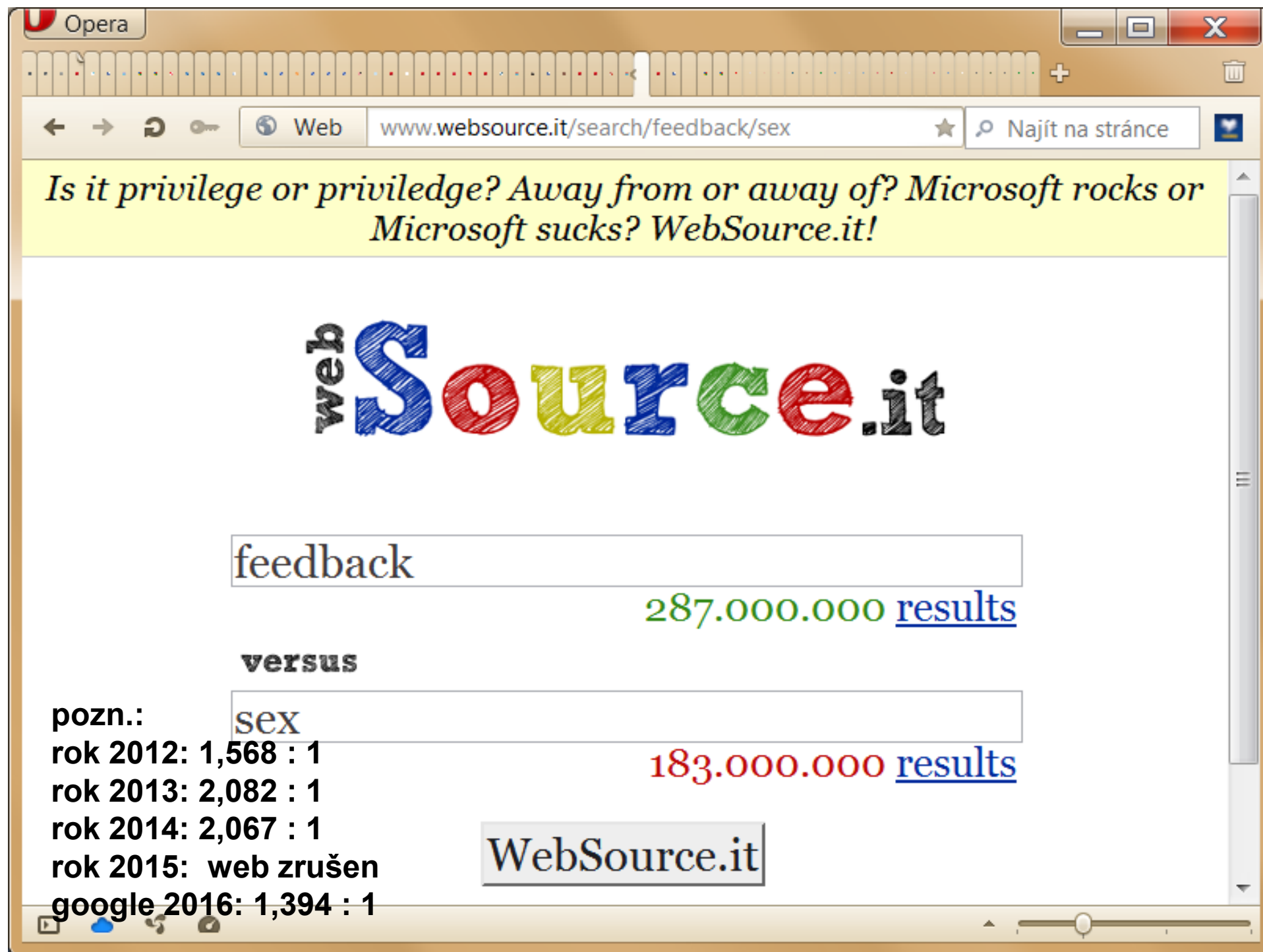
Libovolná velikost

Velká

Střední

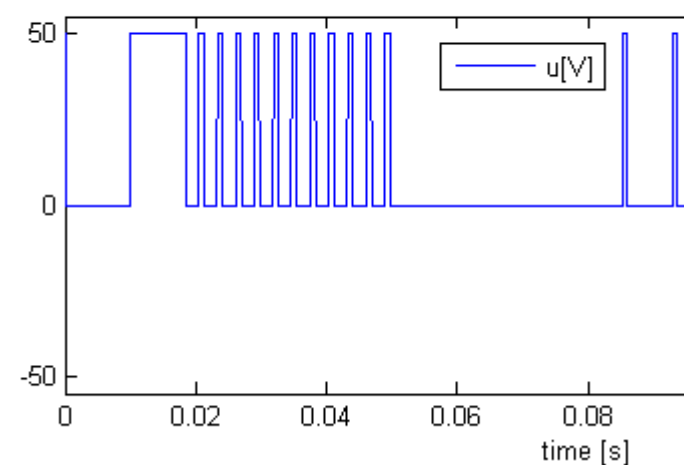
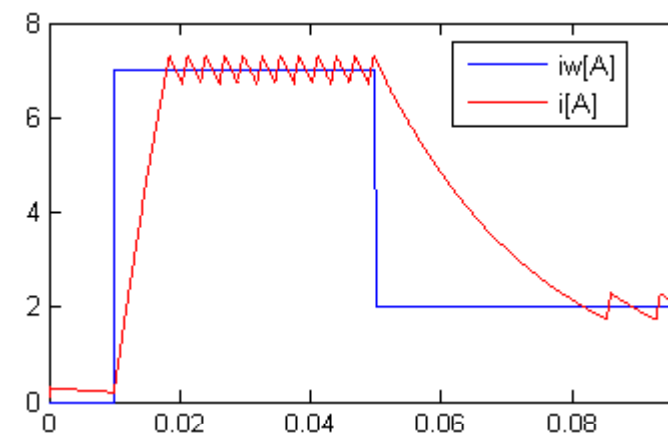
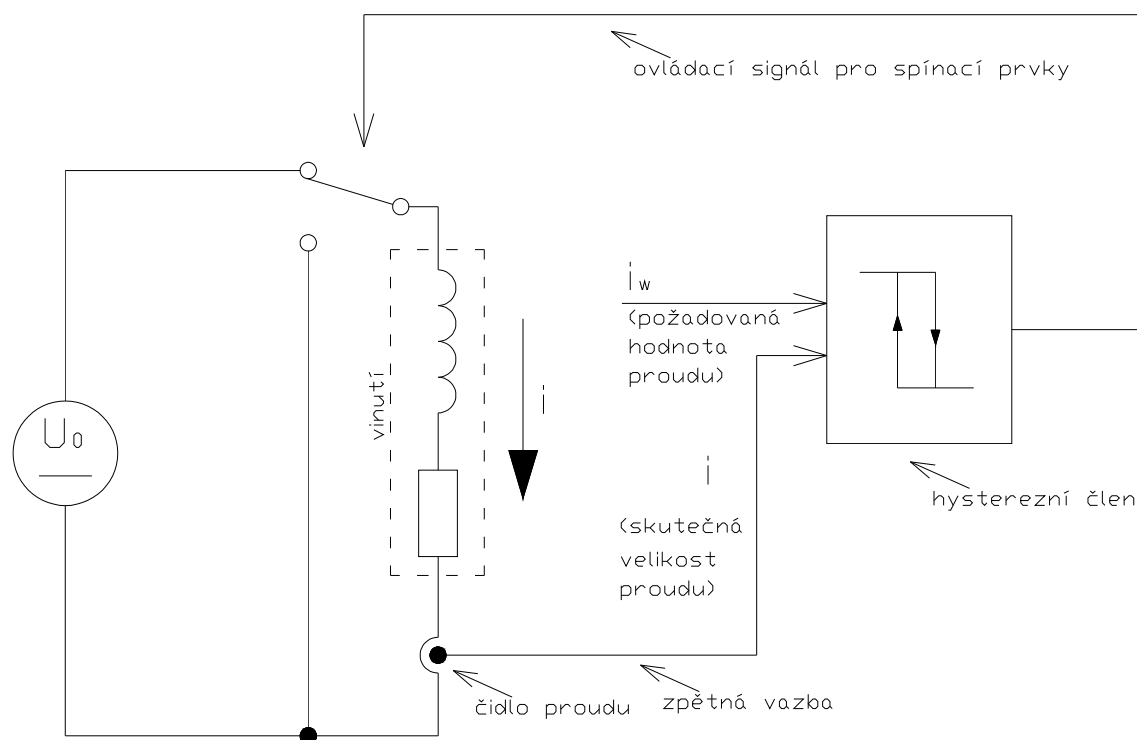
Malá





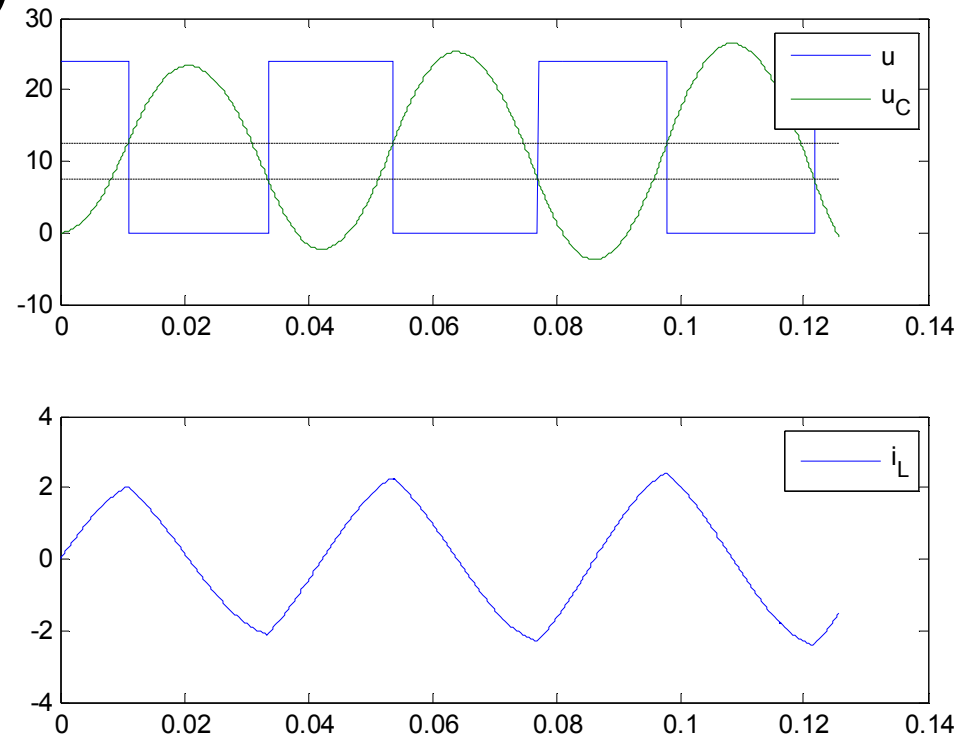
„Dvuhodnotová“ regulace

- výstup regulátoru může nabývat pouze 2 hodnot, typicky „zapnuto/vypnuto“
- Doma: lednička, starší kotel, žehlička, trouba, hladina ve splachovadle



„Dvouhodnotová“ regulace

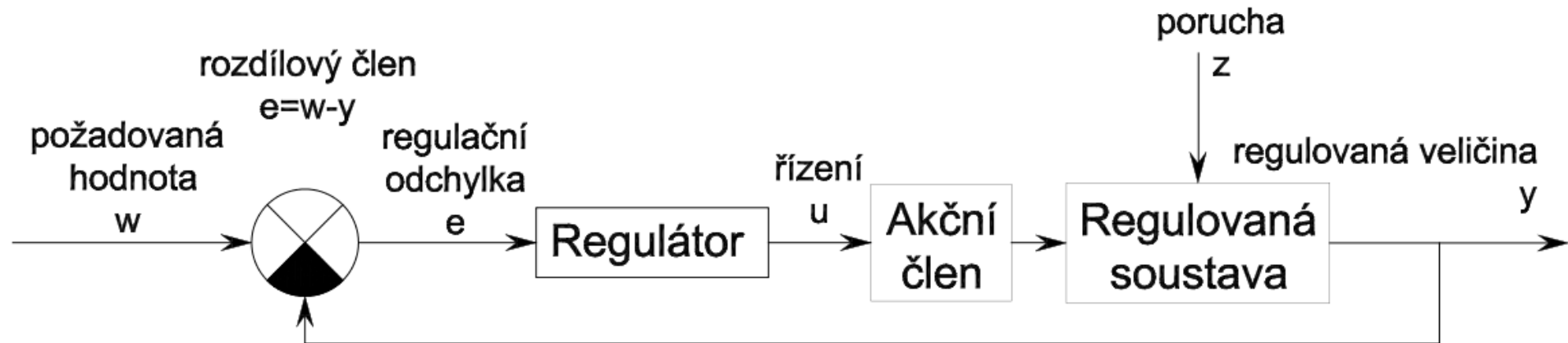
- nefunguje se složitější soustavou (př. regulace napětí na C u seriového LC)



- aplikace v tempomatu?
- spínací frekvence není konstantní (dimenzování, odrušení)

Též dvoupolohová (třípolohová) regulace, hysteretic control, on-off control, bang-bang control

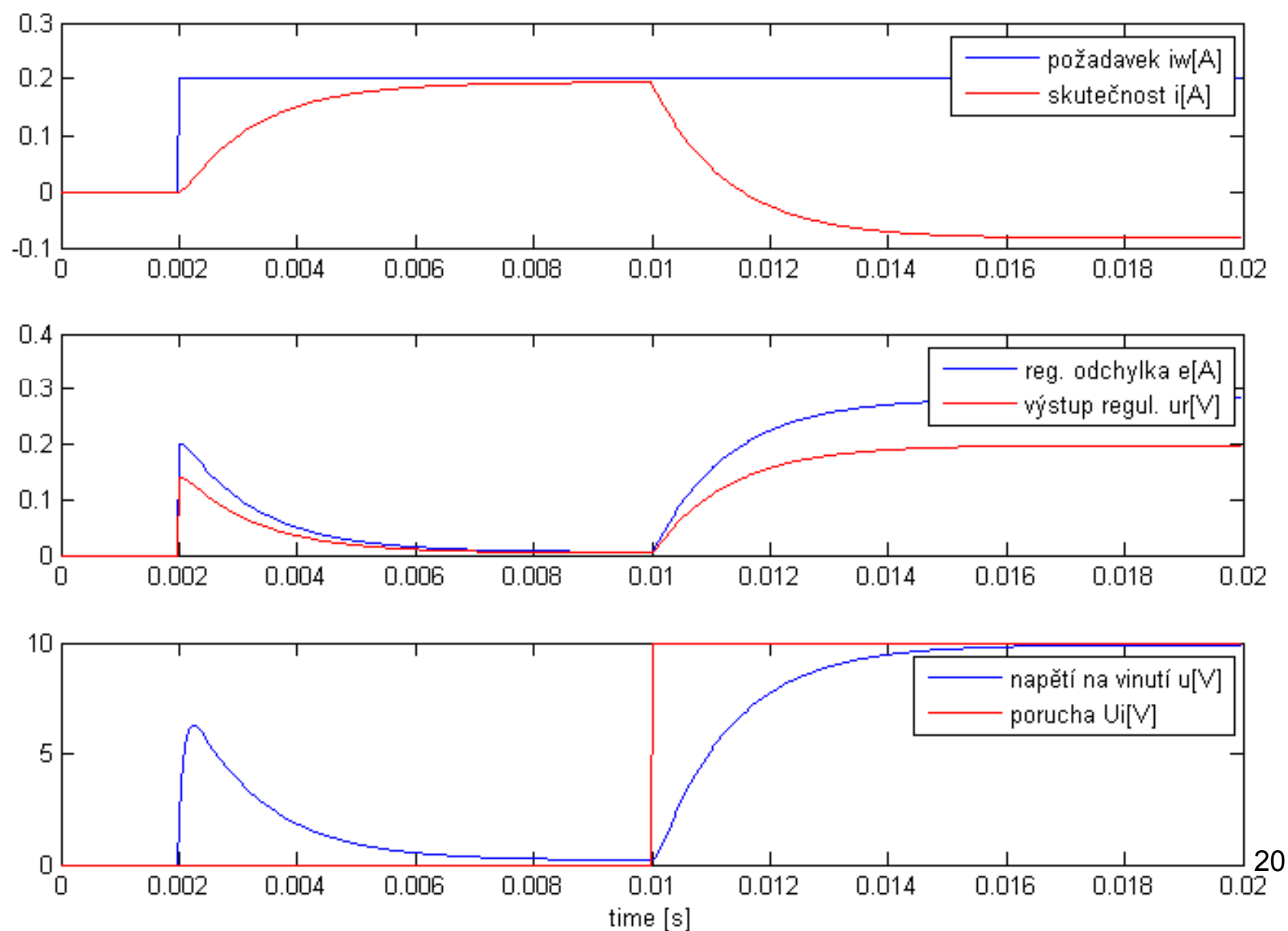
„Lineární“ regulace



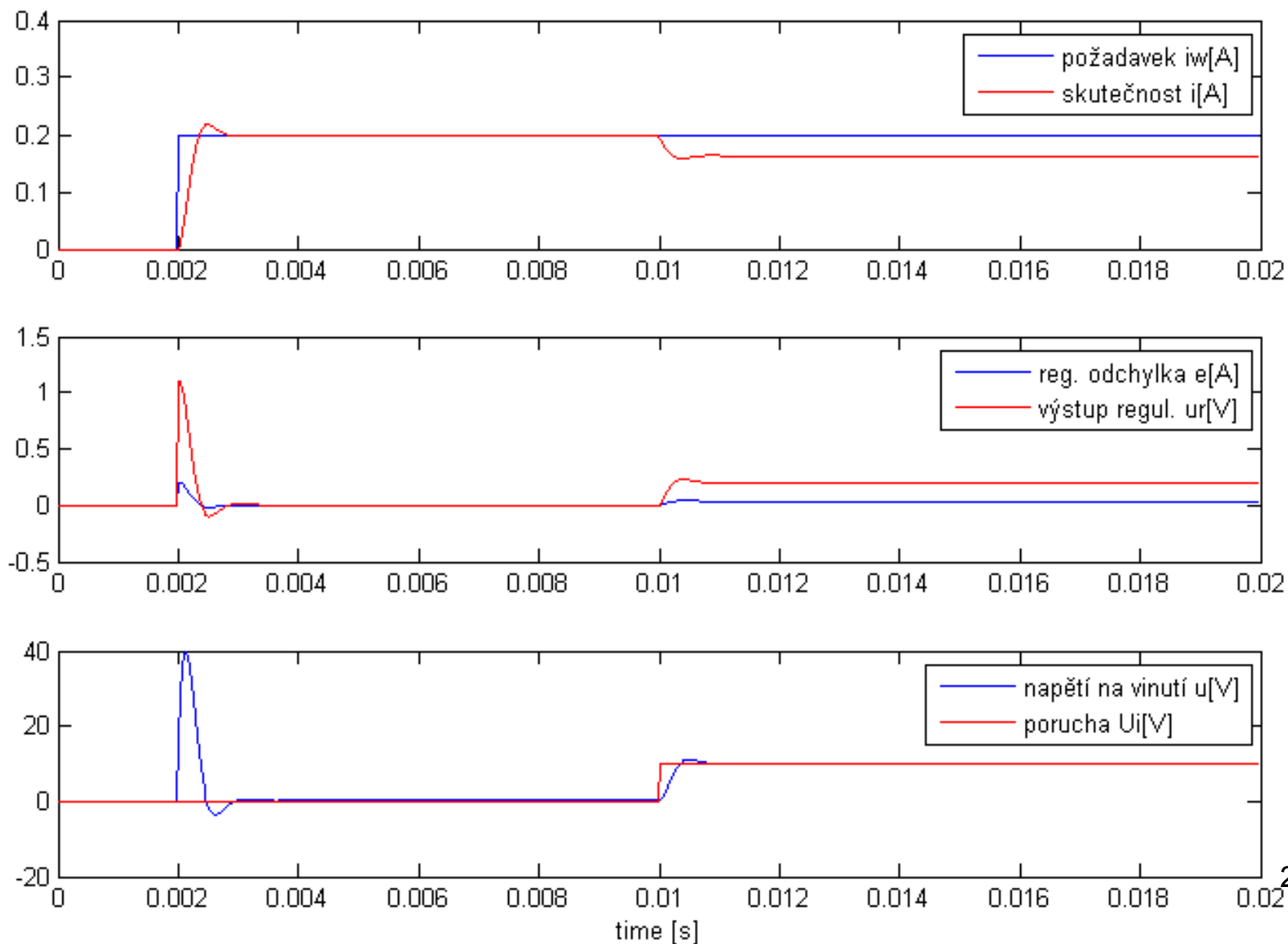
P (proporciální) regulátor = konstanta k_R

- malá odchylka $\rightarrow$ malý výstup

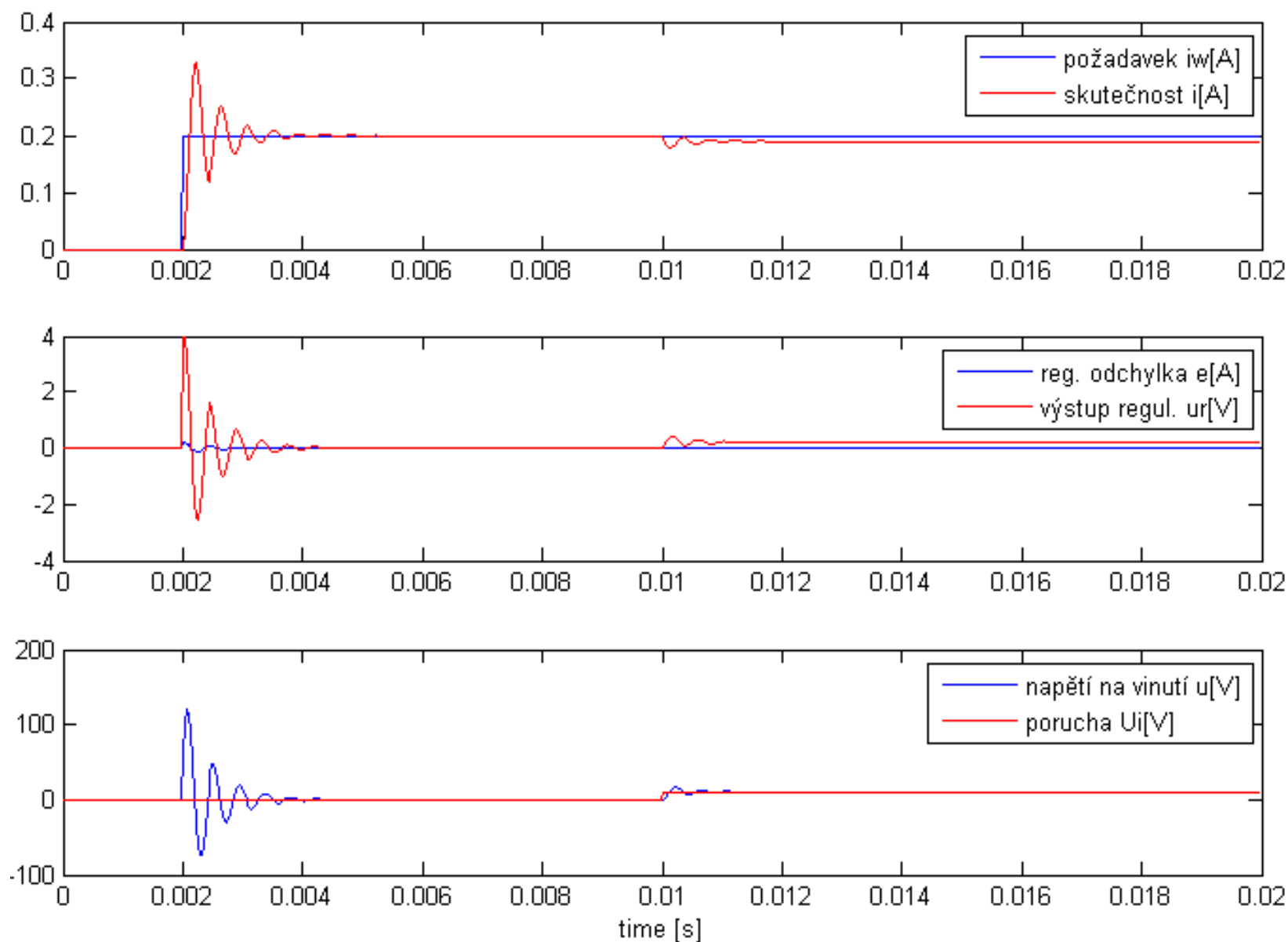
„Lineární“ regulace s P – malé zesílení (neprodejné)



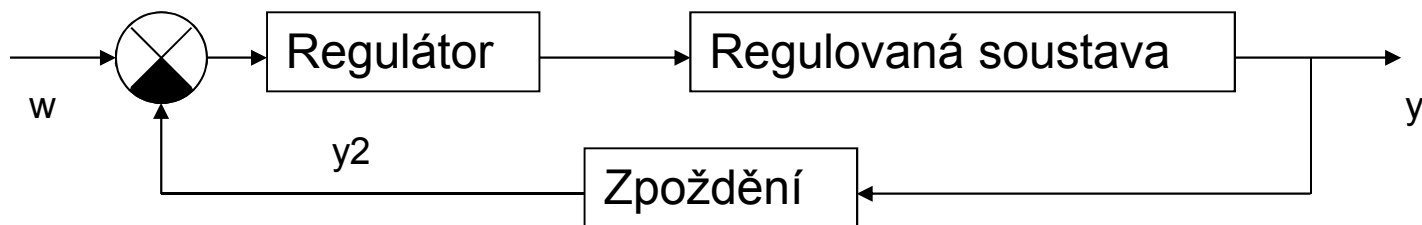
„Lineární“ regulace s P – přiměřené zesílení



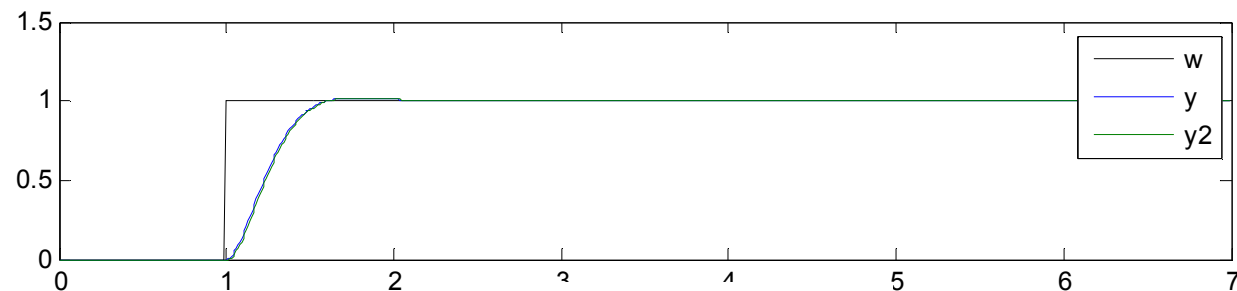
„Lineární“ regulace s P – velké zesílení (neprodejné)



Vsuvka – důsledky zpoždění ve zpětné vazbě

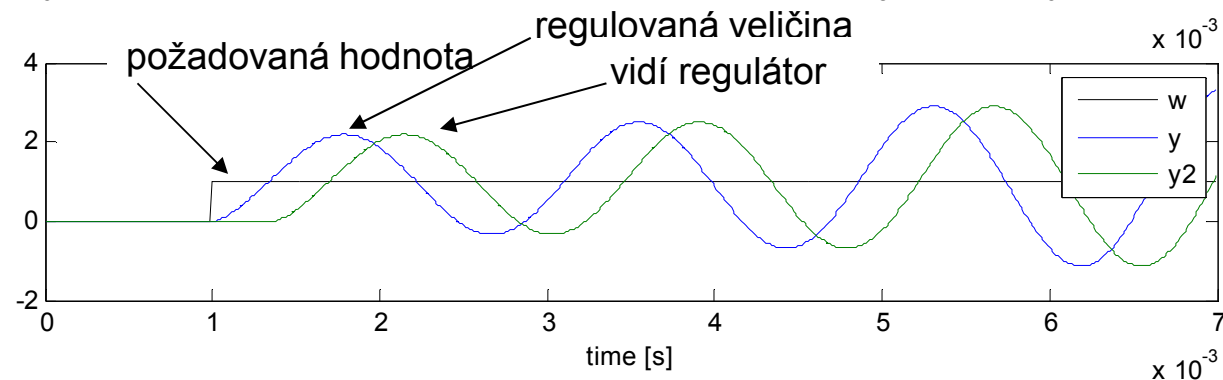


původní stav bez
zpoždění

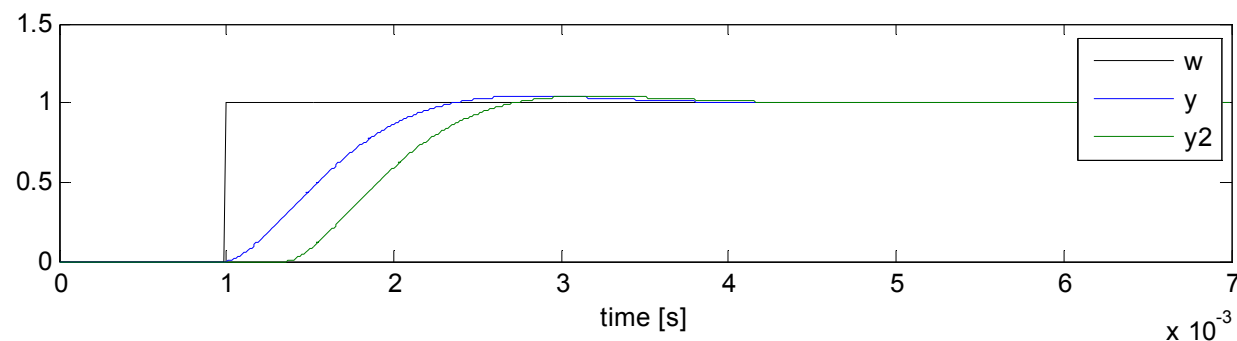


se zpožděním

(regulátor si myslí, že
na výstupu je ještě
málo, pořád přidává)



po úpravě
parametrů
regulátoru



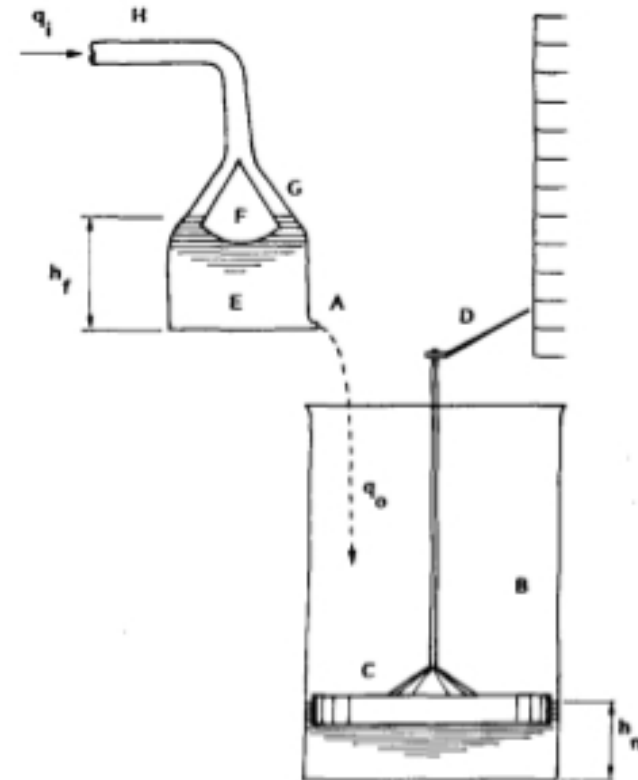
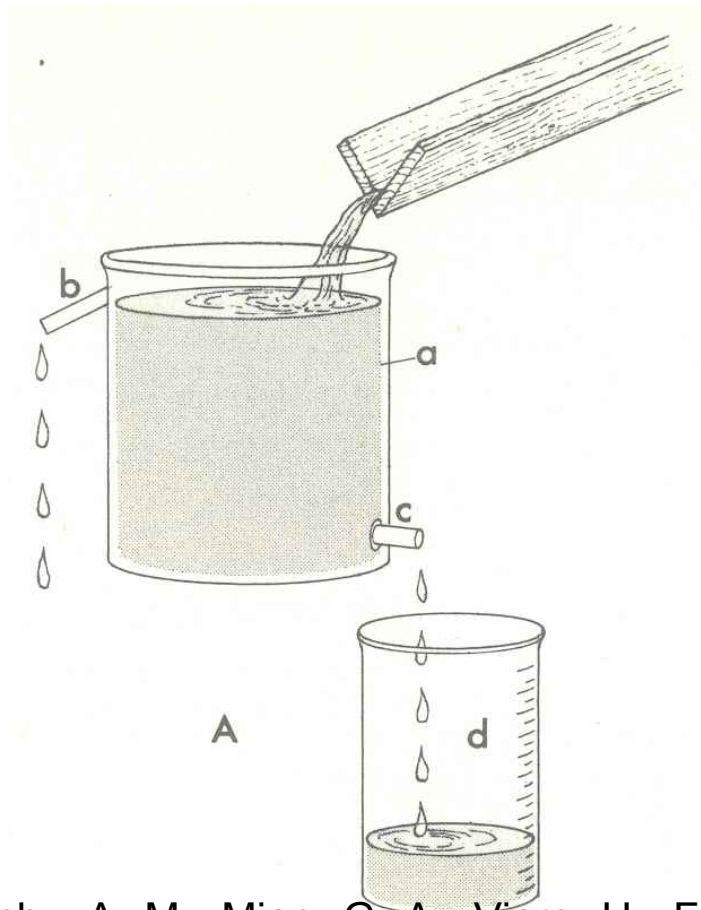
Vsuvka – důsledky zpoždění ve zpětné vazbě

Závěr - poskytovat vyučujícímu rychlou a přesnou zpětnou vazbu o tom, jak jsou studenty přijímány informace, tzn. okamžitě jej upozornit zejména v těchto případech:

- mluví rychle/pomalů/uspává
- něco nevysvětlil dostatečně
- nedostatečně artikuluje
- na slidech je něco nečitelné

Realizace regulátoru

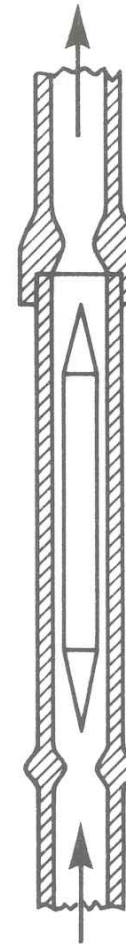
Klepsydra (200 př.n.l.), κλεψύδρα = „zloděj vody“



1. Lepschy, A. M., Mian, G. A., Viaro, U.: Feedback Control in Ancient Water and Mechanical Clocks, IEEE Transactions on Education, Vol. 35, No. 1, February 1992
2. Mayr, O.: Zur Frühgeschichte der technischen Regelungen, R. Oldenbourg Verlag München – Wien, 1969

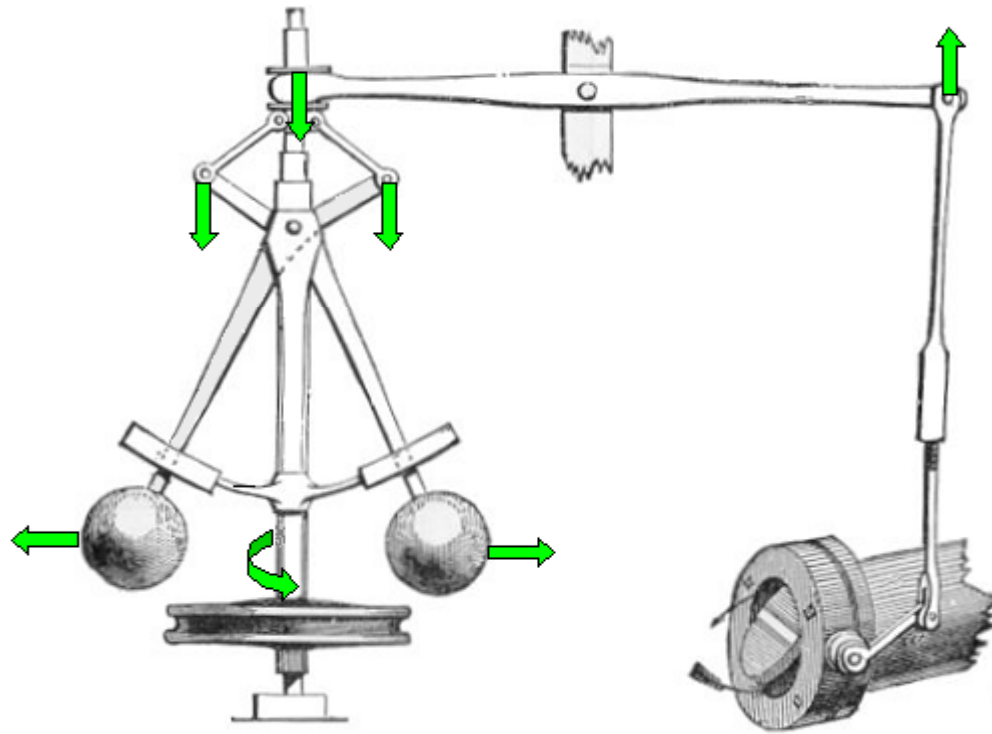
Realizace regulátoru

Brčko (Čína, 1178)



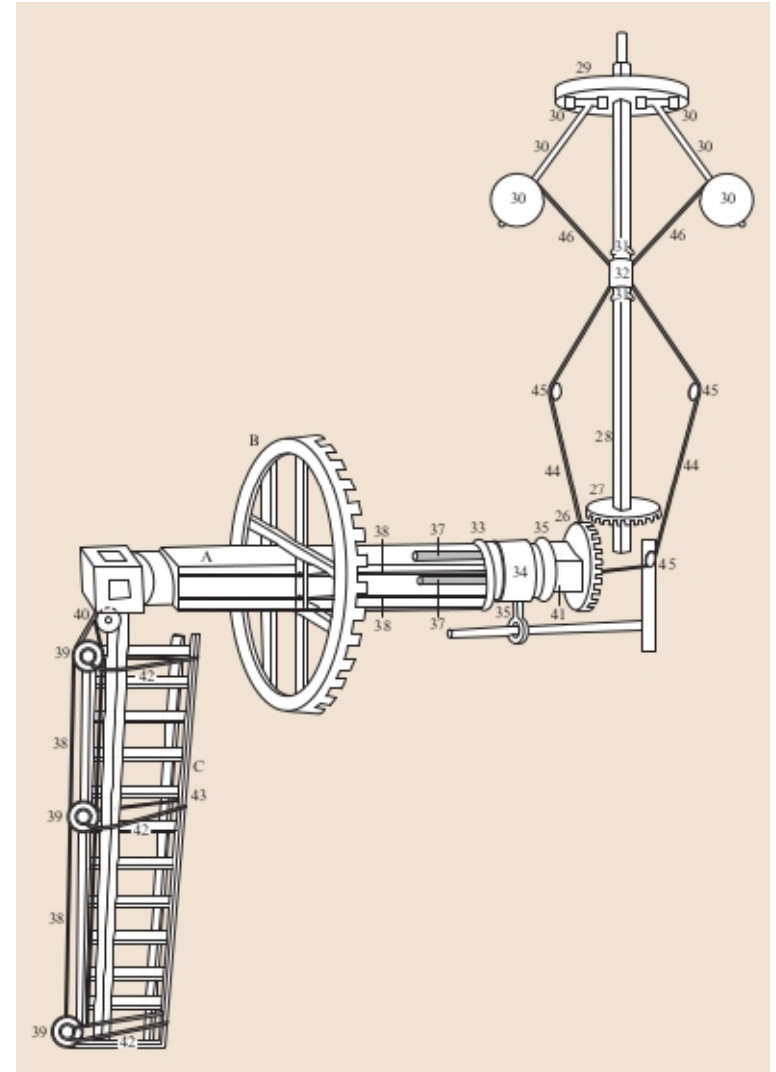
Mayr, O.: Zur Frühgeschichte der technischen Regelungen, R. Oldenbourg Verlag München –
Wien, 1969

Realizace regulátoru



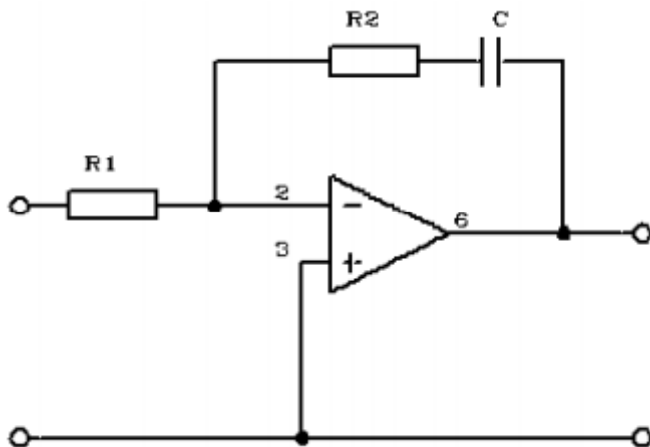
Realizace regulátoru

Větrný mlýn, Mead (1787)

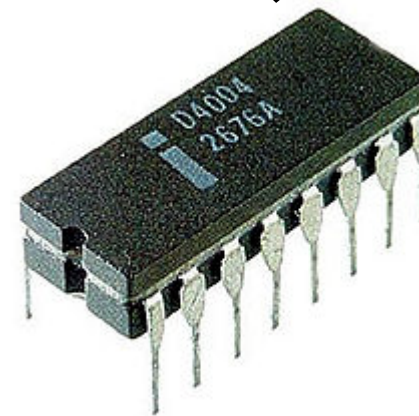


Zdroj: Nof, S. Y.: Springer Handbook of Automation, Springer Science & Business Media, 2009

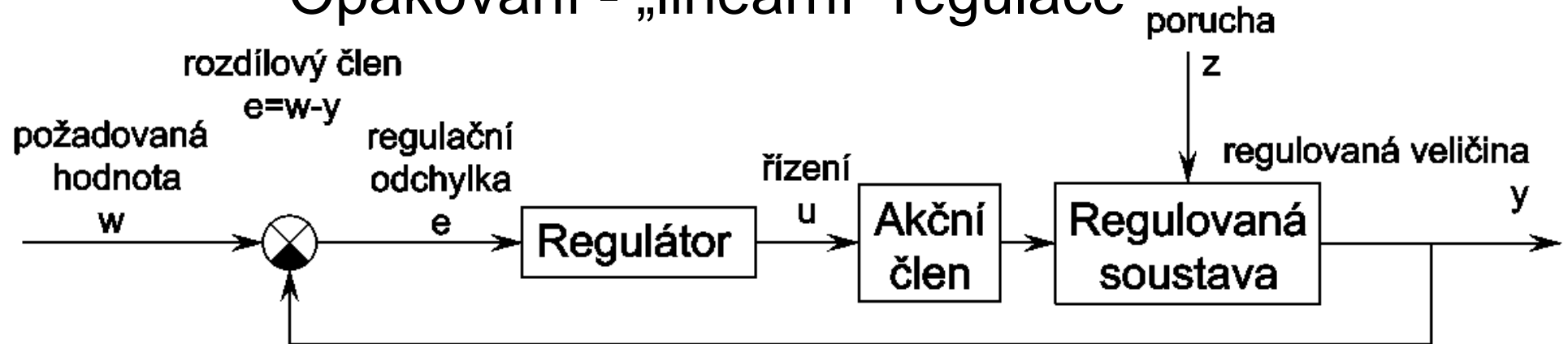
Realizace regulátoru



```
e=iw-i;  
if abs(ur)<urmax  
    sum=sum+1/Taur*e*dt;  
end;  
ur=kr*(e+sum);  
if ur>urmax ur=urmax; end;  
if ur<-urmax ur=-urmax; end;
```

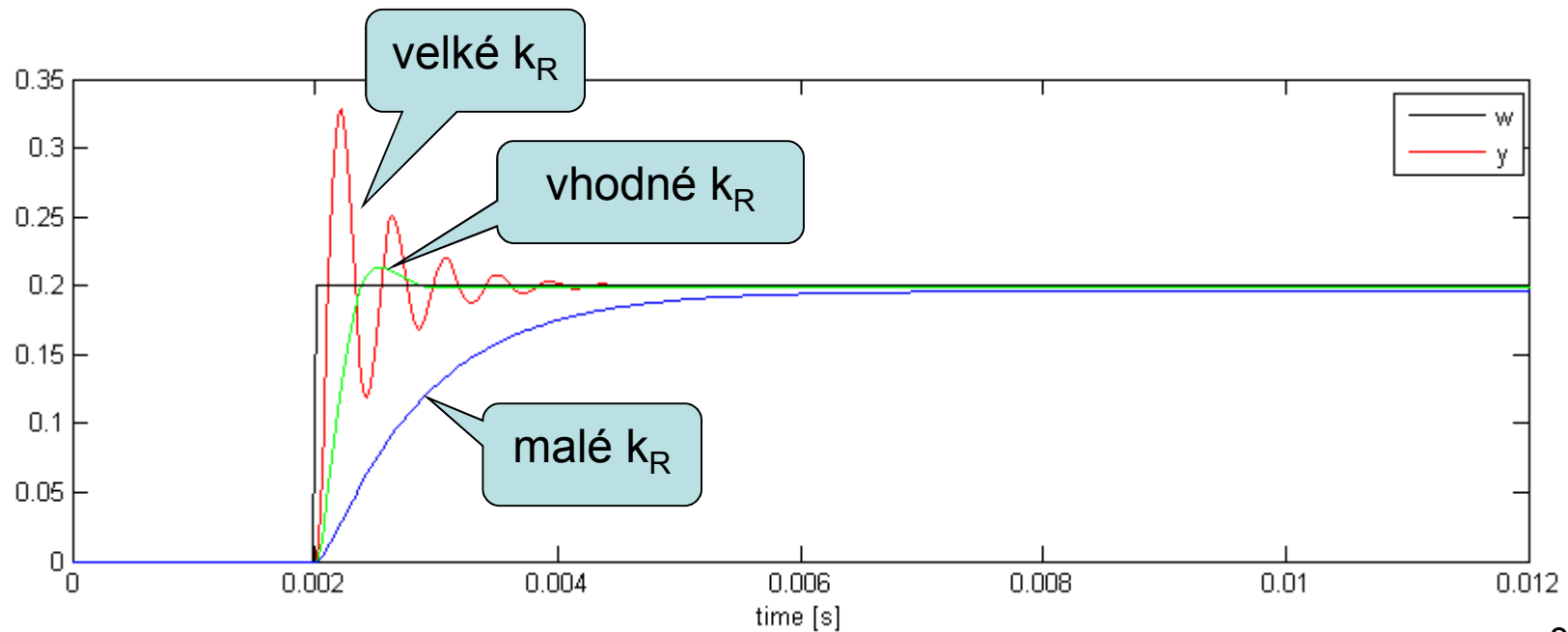


Opakování - „lineární“ regulace



P (proporciální) regulátor = konstanta k_R

- malá odchylka $\rightarrow$ malý výstup



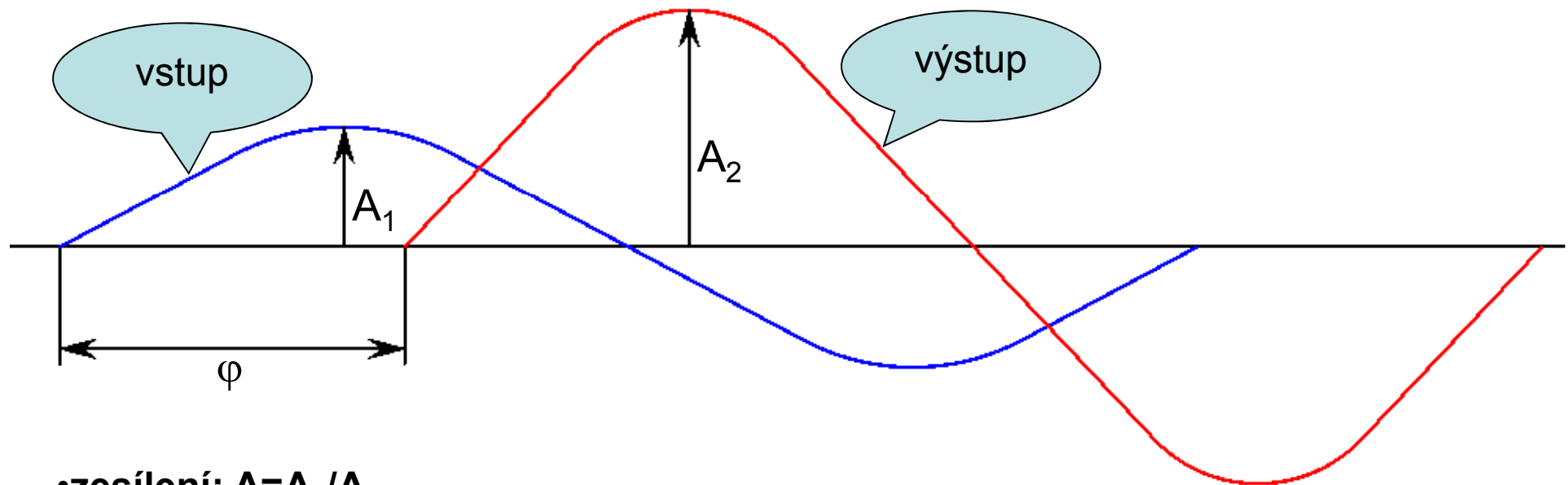
Základní myšlenka návrhu regulátoru

- chceme co nejrychlejší regulátor, ale nesmíme to přehnat, aby soustava nebyla kmitavá
- použijeme kritérium stability, kterým budeme kontrolovat kmitavost
- Nyquistovo kritérium – jednoduché, poskytuje hodně informací
 - je třeba znát:
 - frekvenční charakteristiky
 - pojmy uzavřená a otevřená smyčka

Frekvenční charakteristiky (potřeba pro Nyquistovo kritérium stability)

viz:

•KTE/TE1



•zesílení: $A=A_2/A_1$

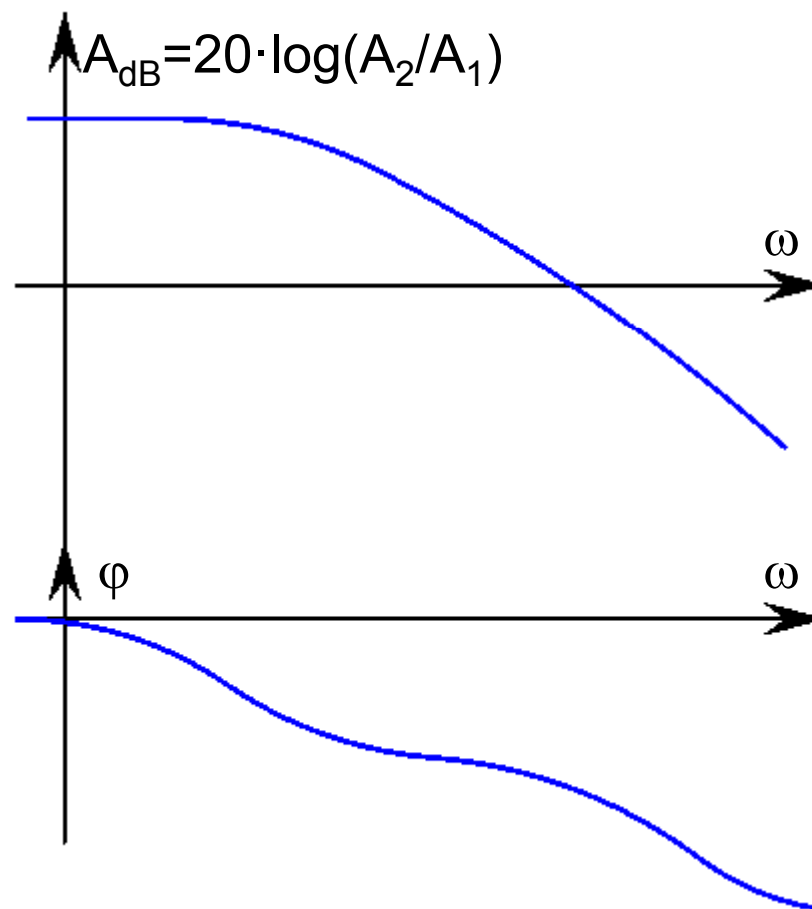
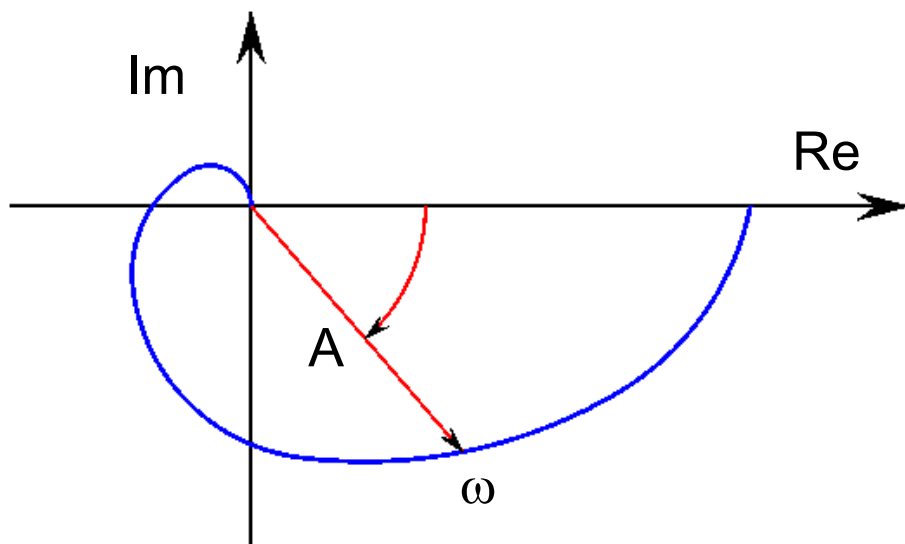
•fázový posun: je-li výstup zpožděn, $\varphi<0$

•zesílení i fázový posun jsou obecně závislé na ω

•grafické znázornění $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$ = frekvenční charky

Frekvenční charakteristiky (potřeba pro Nyquistovo kritérium stability)

- v komplexní rovině
- logaritmické

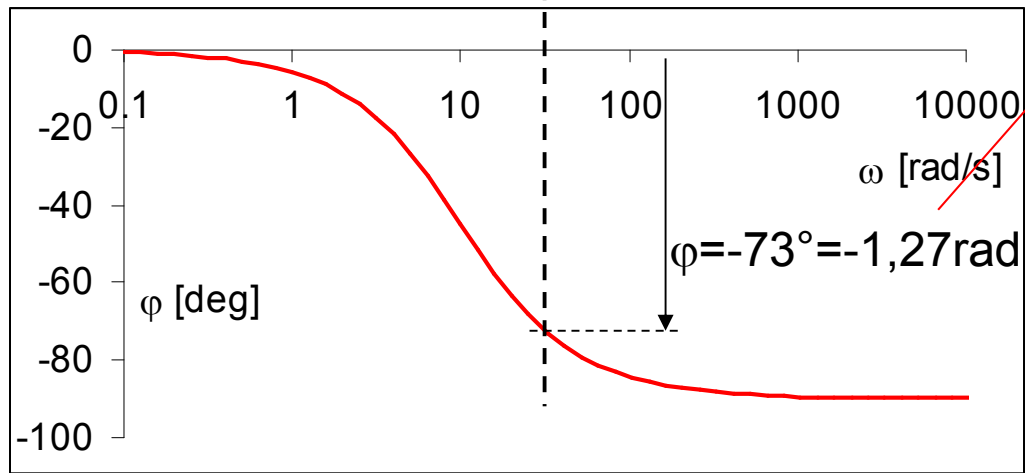
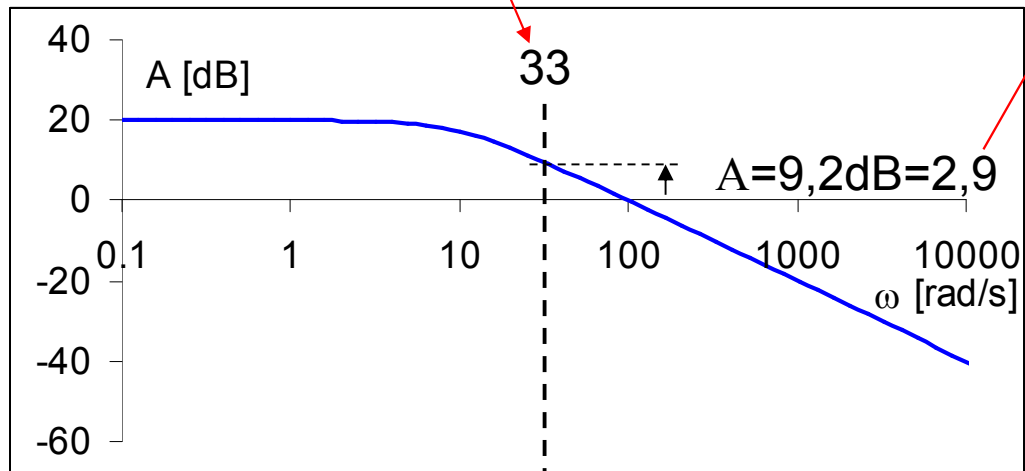


Frekvenční charky – princip

$$vstup = 7 \cdot \sin(33 \cdot t + \frac{\pi}{6})$$

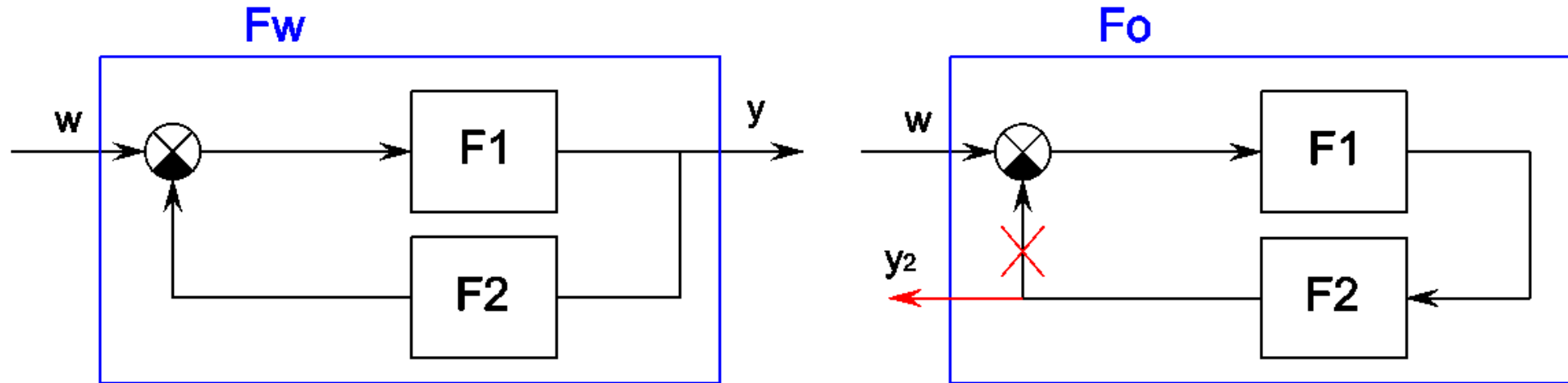
$F(\omega)$

$$výstup = 2,9 \cdot 7 \cdot \sin(33 \cdot t + \frac{\pi}{6} - 1,27)$$



Uzavřená vs. rozpojená (též otevřená) smyčka

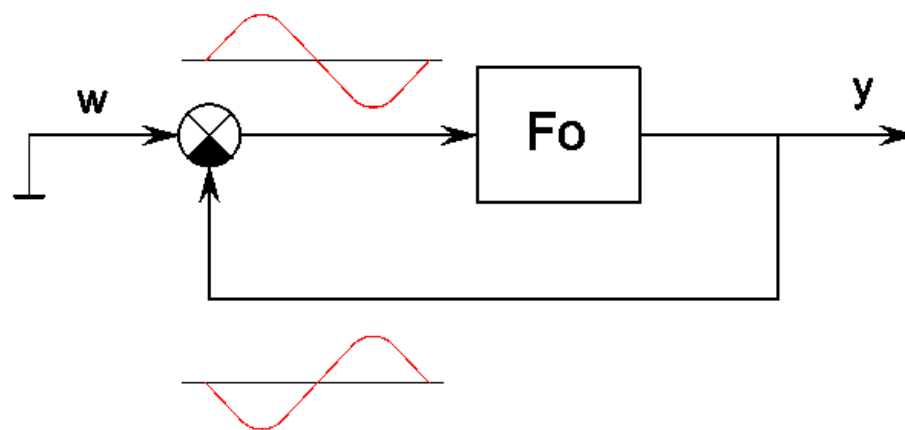
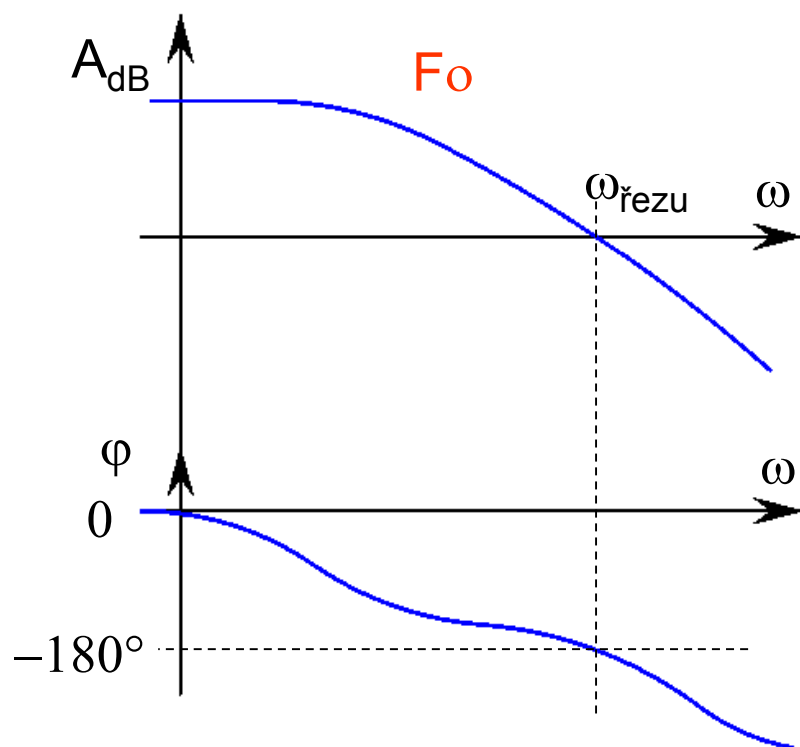
(potřeba pro Nyquistovo kritérium stability)



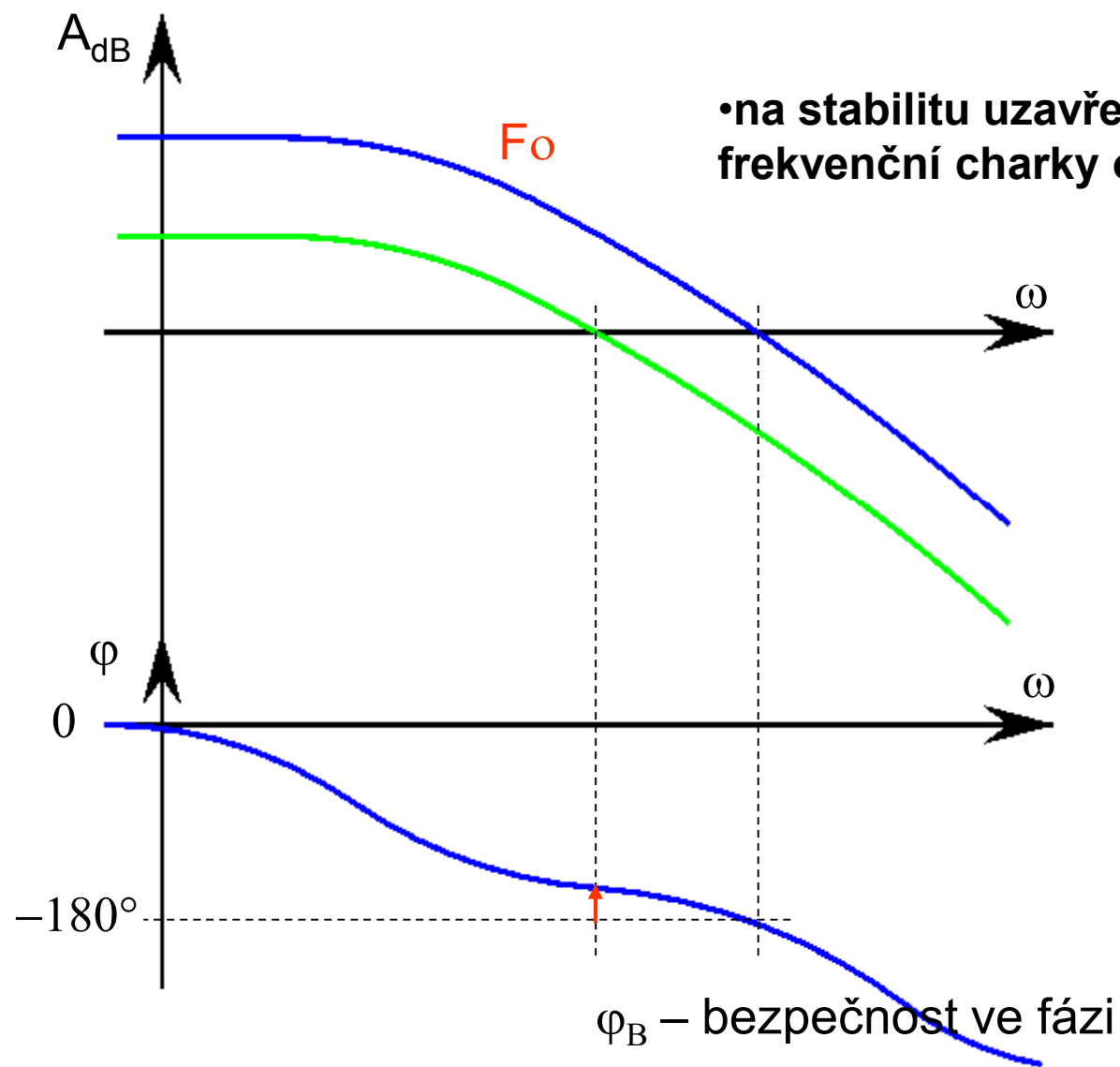
$$F_w = \frac{Y(p)}{W(p)}$$

$$F_o = \frac{Y_2(p)}{W(p)}$$

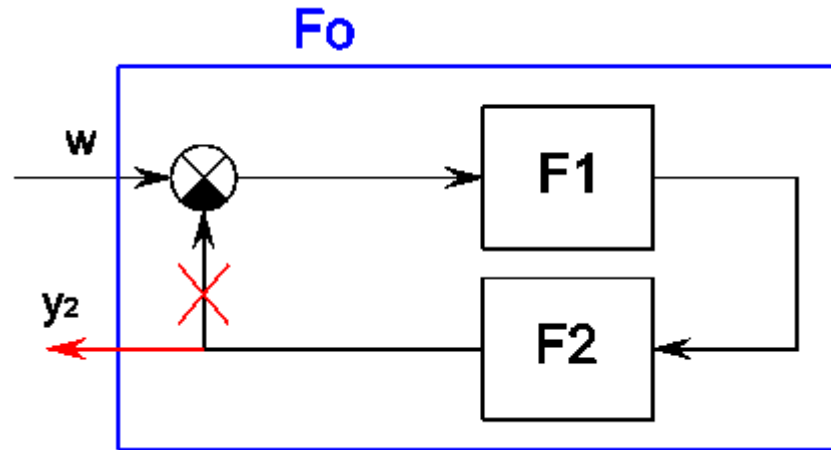
Nyquistovo kritérium stability



Nyquistovo kritérium stability



Nyquistovo kritérium stability – jak nakreslit F_o

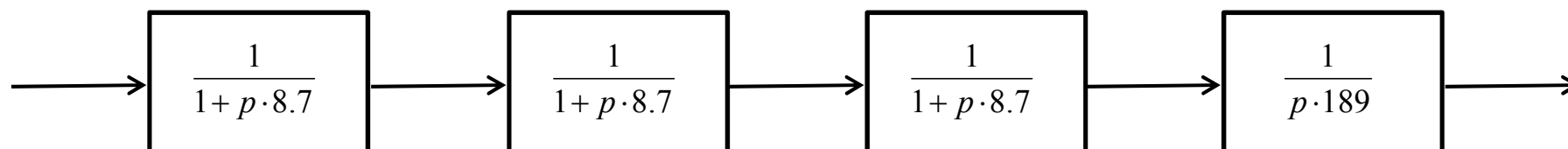
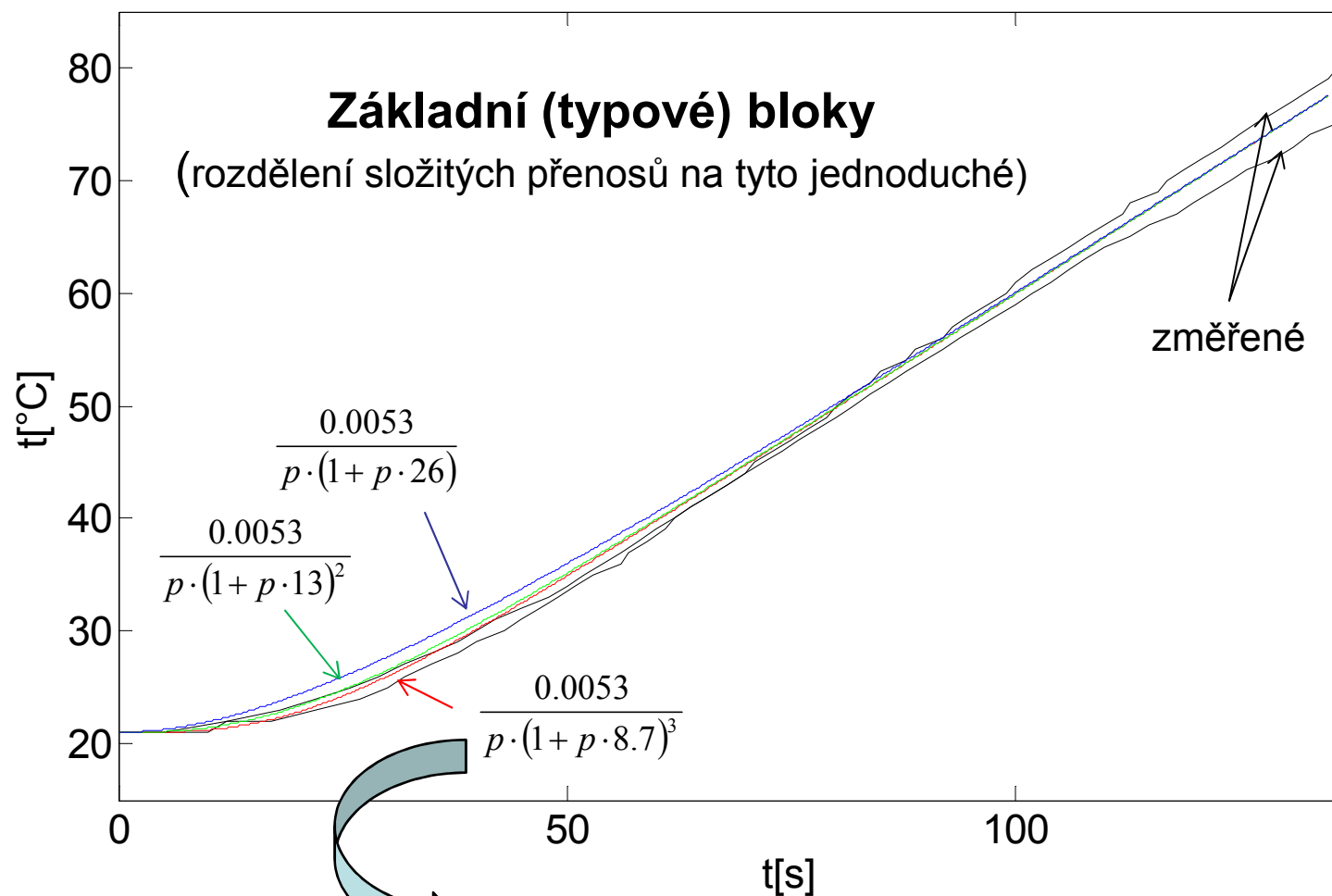


$$F_o = \frac{Y_2(p)}{W(p)} = F_1 \cdot F_2$$

- Amlitudová logaritmická charakteristika

$$20 \cdot \log |F_o| = 20 \cdot \log |F_1 \cdot F_2| = 20 \cdot \log |F_1| + 20 \cdot \log |F_2|$$

- Charakteristika F_o je součtem charakteristik $F_1 + F_2 + \dots$, které jsou (zpravidla) jednoduché



Frekvenční charky základních bloků – z nich lze poskládat Fo

•PI regulátor

$$F_{PI}(j\omega) = \frac{k_R(1 + j\omega\tau_R)}{j\omega\tau_R}$$

•Amplitudová logaritmická frekvenční charakteristika

$$A_{dB} = 20 \cdot \log \left| \frac{k_R(1 + j\omega\tau_R)}{j\omega\tau_R} \right| = 20 \cdot \log \frac{|k_R(1 + j\omega\tau_R)|}{|j\omega\tau_R|} = \frac{k_R \sqrt{1 + (\omega\tau_R)^2}}{\omega\tau_R}$$

•Asymptoty

$$1) \quad (\omega\tau_R)^2 \ll 1 \quad \frac{k_R \sqrt{1 + (\omega\tau_R)^2}}{\omega\tau_R} \approx \frac{k_R}{\omega\tau_R}$$

$$A_{dB} = 20 \cdot \log \frac{k_R}{\omega\tau_R} = 20 \cdot \log \frac{k_R}{\tau_R} - 20 \cdot \log \omega$$

$$2) \quad (\omega\tau_R)^2 \gg 1 \quad \frac{k_R \sqrt{1 + (\omega\tau_R)^2}}{\omega\tau_R} \approx k_R$$

$$A_{dB} = 20 \cdot \log k_R$$

Frekvenční charky základních bloků – z nich lze poskládat Fo

- PI regulátor

- Průsečík asymptot

$$20 \cdot \log \frac{k_R}{\omega_Z \tau_R} = 20 \cdot \log k_R$$

$$20 \cdot \log k_R - 20 \cdot \log \omega_Z \tau_R = 20 \cdot \log k_R$$

$$20 \cdot \log \omega_Z \tau_R = 0$$

$$\omega_Z \tau_R = 1$$

$$\omega_Z = \frac{1}{\tau_R}$$

Frekvenční charky základních bloků – z nich lze poskládat Fo

- PI regulátor

- Největší odchylka skutečné charky od asymptotické je v průsečíku asymptot

- Skutečná

$$20 \cdot \log \left(\frac{k_R \sqrt{1 + (\omega \tau_R)^2}}{\omega \tau_R} \right)_{\omega = \frac{1}{\tau_R}} = 20 \cdot \log k_R + 20 \cdot \log \sqrt{2}$$

- Asymtotická

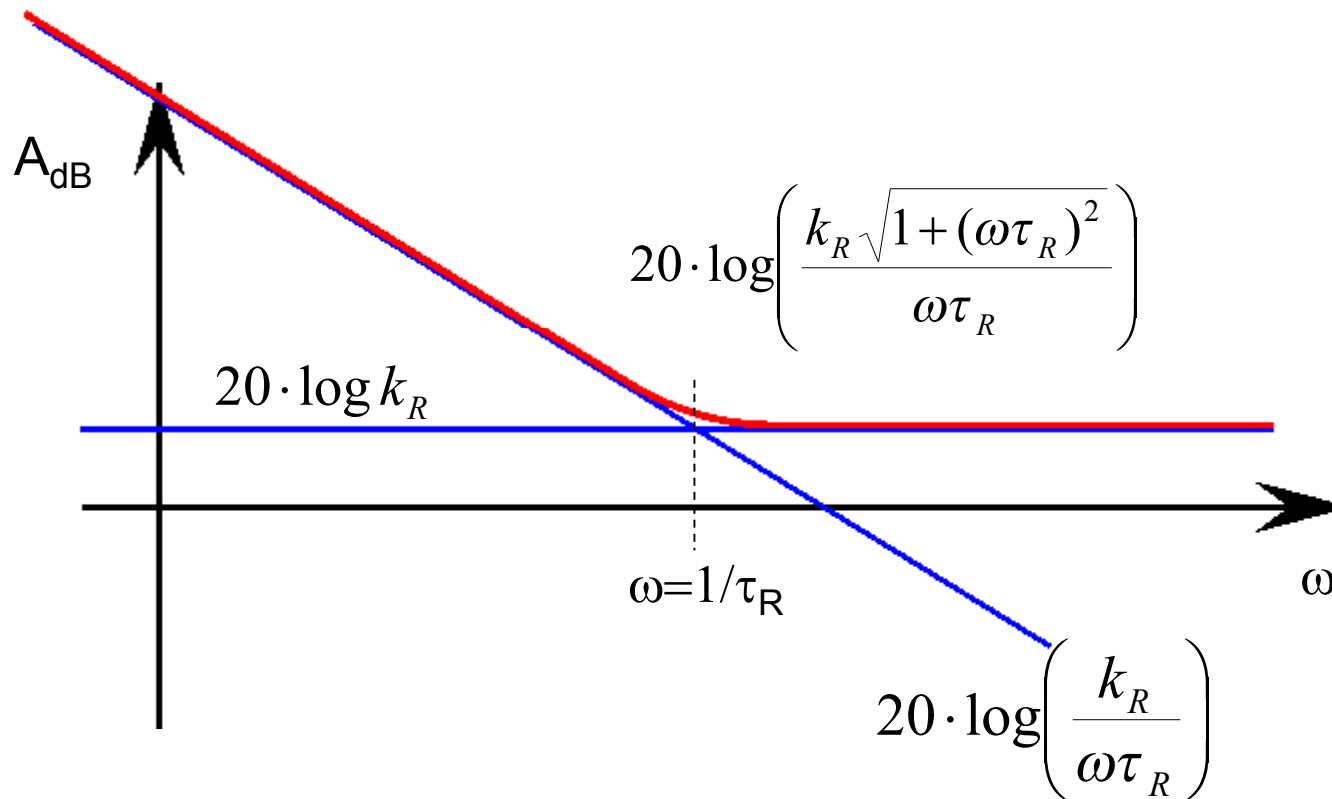
$$20 \cdot \log k_R$$

- Odchylka

$$20 \cdot \log \sqrt{2} \cong 3dB$$

Frekvenční charky základních bloků – z nich lze poskládat Fo

•PI regulátor



Frekvenční charky základních bloků – z nich lze poskládat Fo

- PI regulátor

- Fázová logaritmická frekvenční charakteristika

$$\frac{k_R(1+j\omega\tau_R)}{j\omega\tau_R} = \frac{k_R(1+j\omega\tau_R)}{j\omega\tau_R} \cdot \frac{0-j\omega\tau_R}{0-j\omega\tau_R} = k_R \frac{-j\omega\tau_R + (\omega\tau_R)^2}{(\omega\tau_R)^2}$$

$$\text{Re} = k_R \frac{(\omega\tau_R)^2}{(\omega\tau_R)^2} = k_R$$

$$\text{Im} = k_R \frac{-\omega\tau_R}{(\omega\tau_R)^2} = \frac{-k_R}{\omega\tau_R}$$

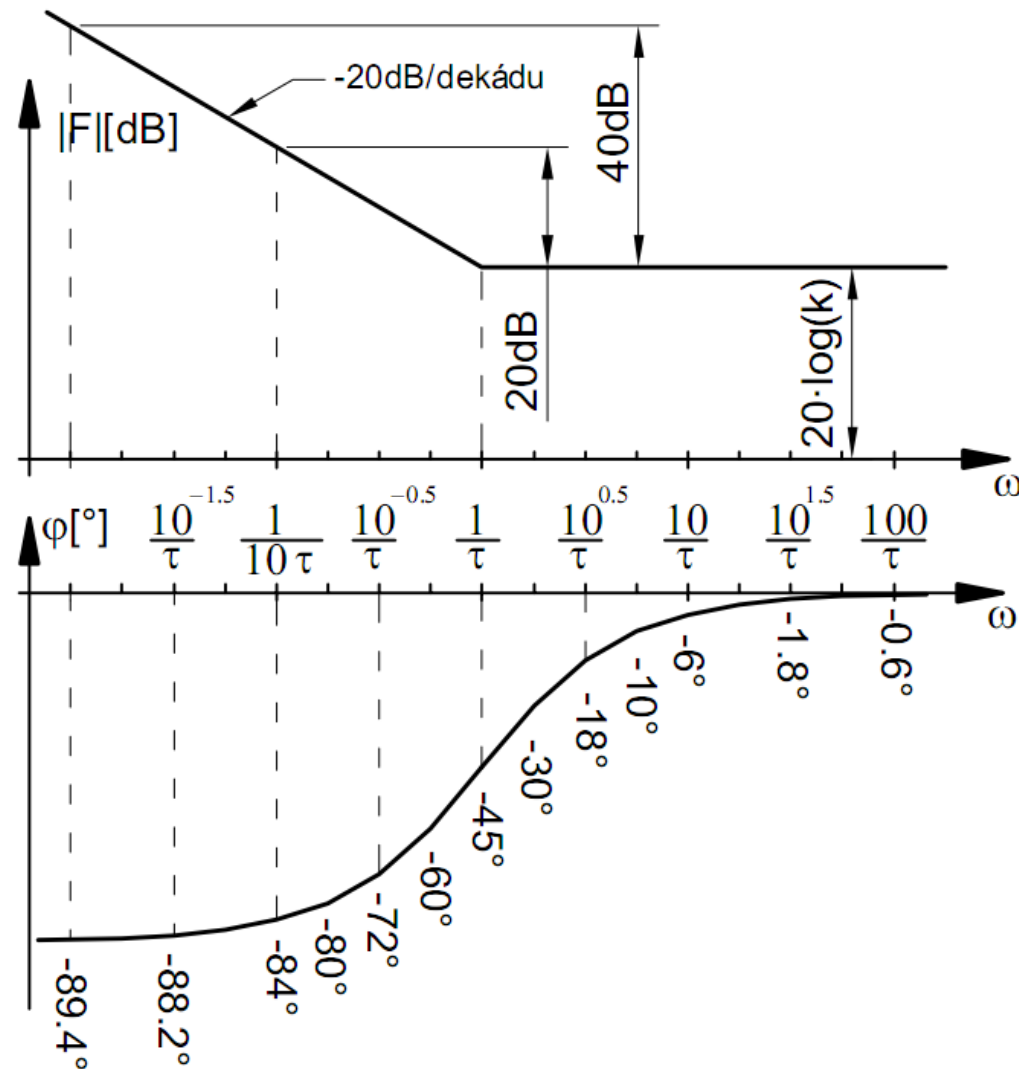
$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right) = \text{arctg}\left(\frac{1}{-\omega\tau_R}\right) \quad \text{pozor na kvadrant!}$$

$$\omega \rightarrow 0 \quad \varphi = -90^\circ$$

$$\omega \rightarrow \frac{1}{\tau_R} \quad \varphi = -45^\circ$$

$$\omega \rightarrow \infty \quad \varphi = 0^\circ$$

Frekvenční charky základních bloků – z nich lze poskládat Fo



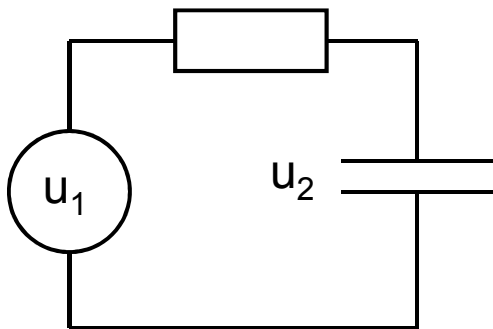
•Všechny potřebné v pdf na Courseware

Frekvenční charky – souvislost s časovým průběhem

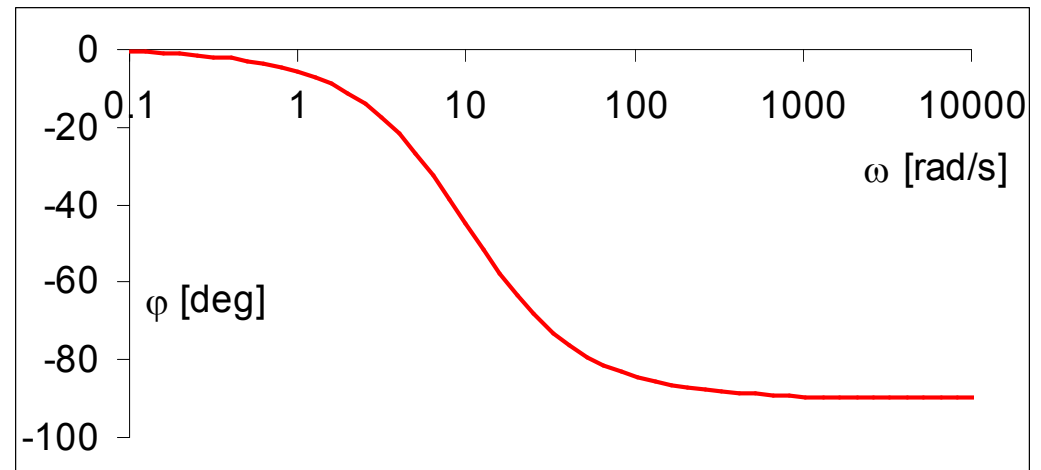
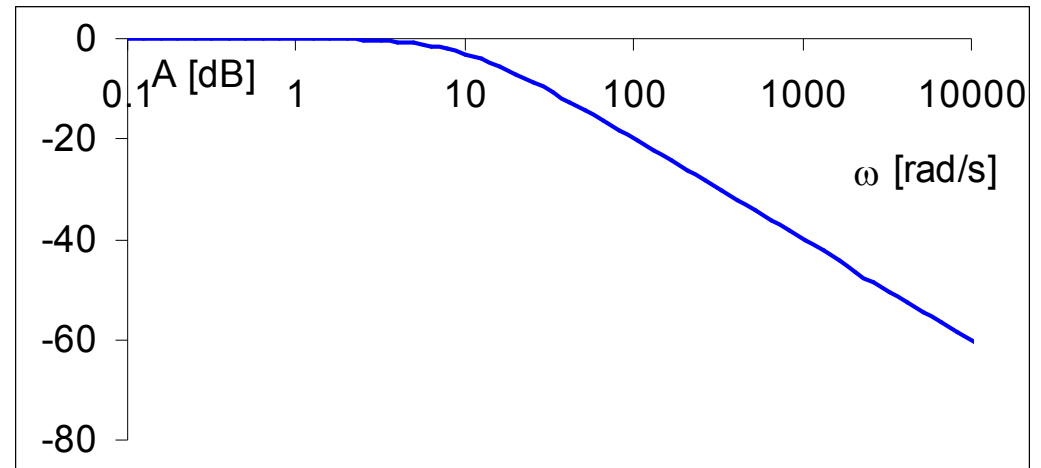
Př.: odezva na jednotkový skok bloku s přenosem

$$F = \frac{1}{1 + j\omega \cdot 0.1}$$

(blok 1. řádu, též zvaný aperiodický blok podle nekmitavé odezvy)



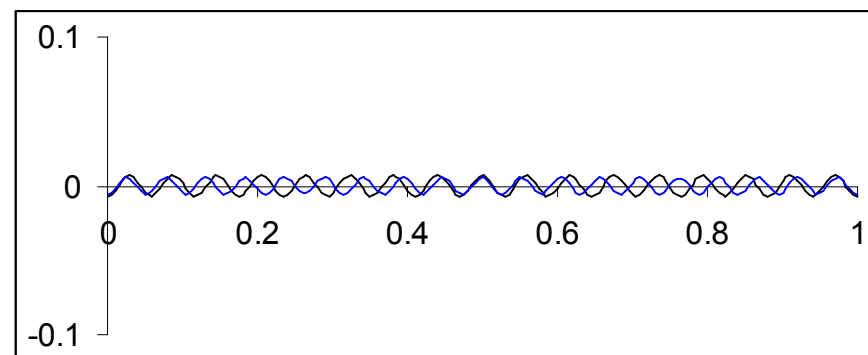
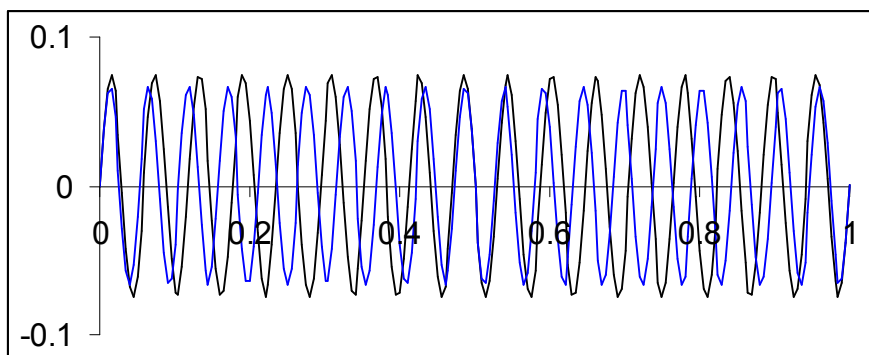
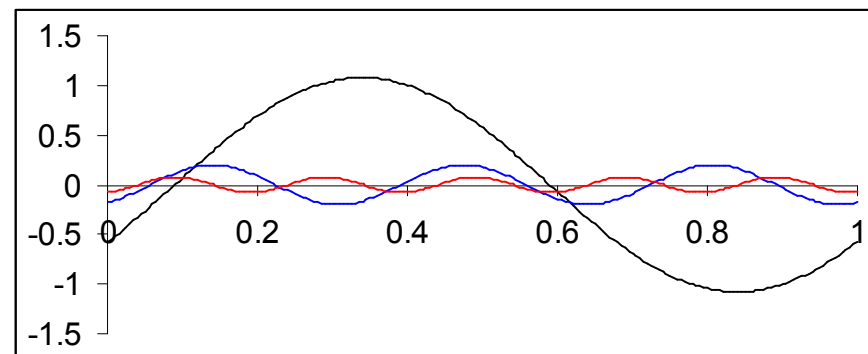
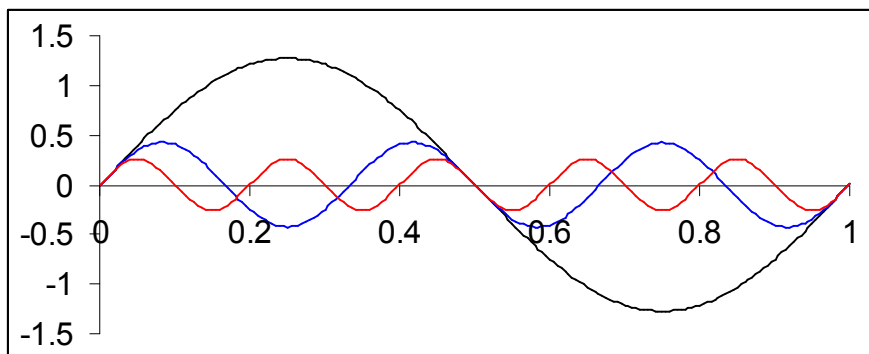
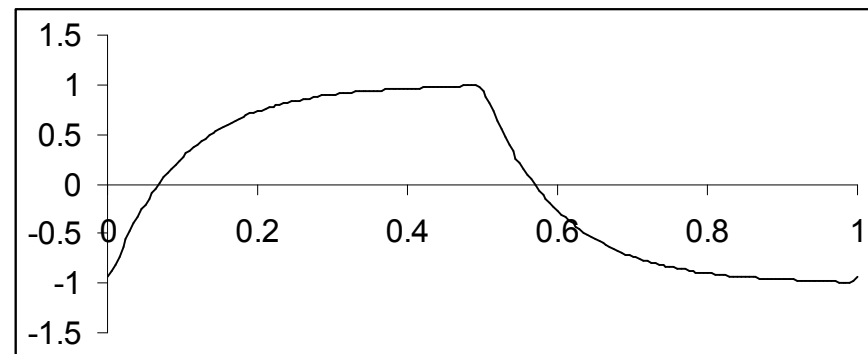
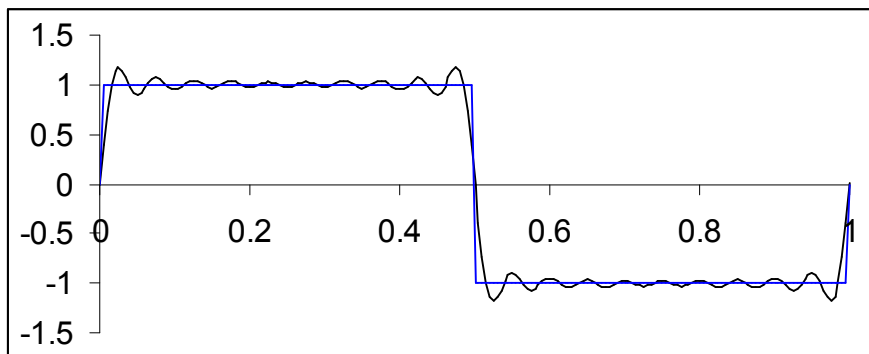
$$F = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot R \cdot C}$$



Frekvenční charky – souvislost s časovým průběhem

$$\longrightarrow \frac{1}{1+j\omega 0.1} \longrightarrow$$

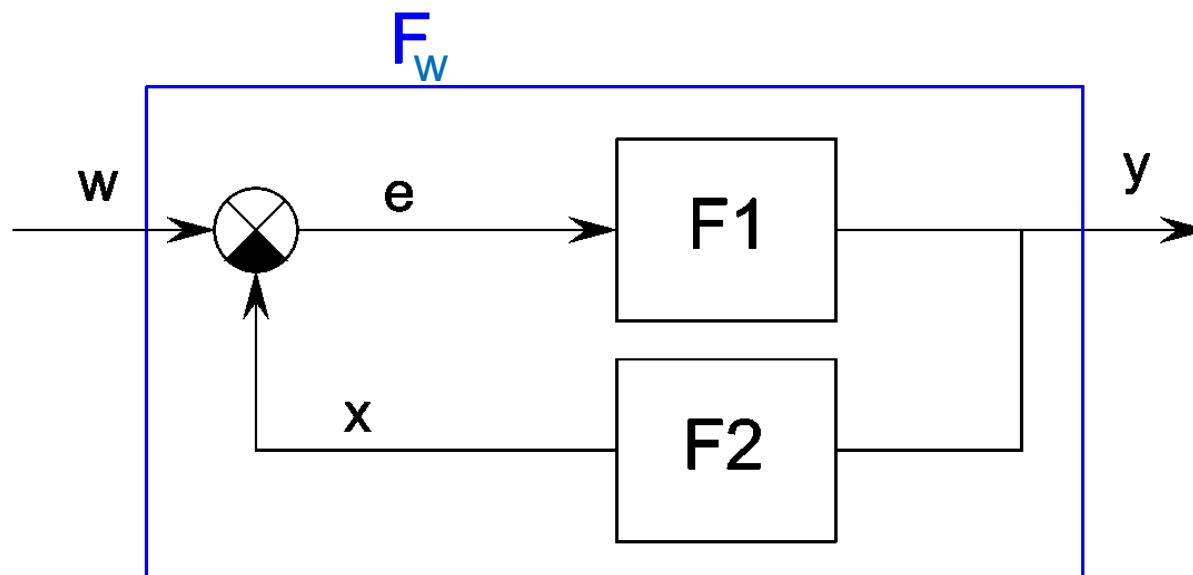
Harmon.: 17, 19
1, 3, 5
 $\Sigma(1..19), \Sigma(1..\infty)$



Přenos uzavřené smyčky

$$F_2 = \frac{x}{y} \rightarrow x = F_2 \cdot y$$

$$e = w \mp x = w \mp F_2 \cdot y$$



$$F_1 = \frac{y}{e} \rightarrow y = F_1 \cdot e = F_1 \cdot (w \mp F_2 \cdot y) = F_1 \cdot w \mp F_1 \cdot F_2 \cdot y$$

$$y(1 \pm F_1 \cdot F_2) = F_1 \cdot w$$

$$F_w = \frac{y}{w} = \frac{F_1}{1 \pm F_1 \cdot F_2} = \frac{F_0}{1 \pm F_0} \cdot \frac{1}{F_{z.v.}}$$

$$F_0 \gg 1 \Rightarrow F_w \approx 1$$

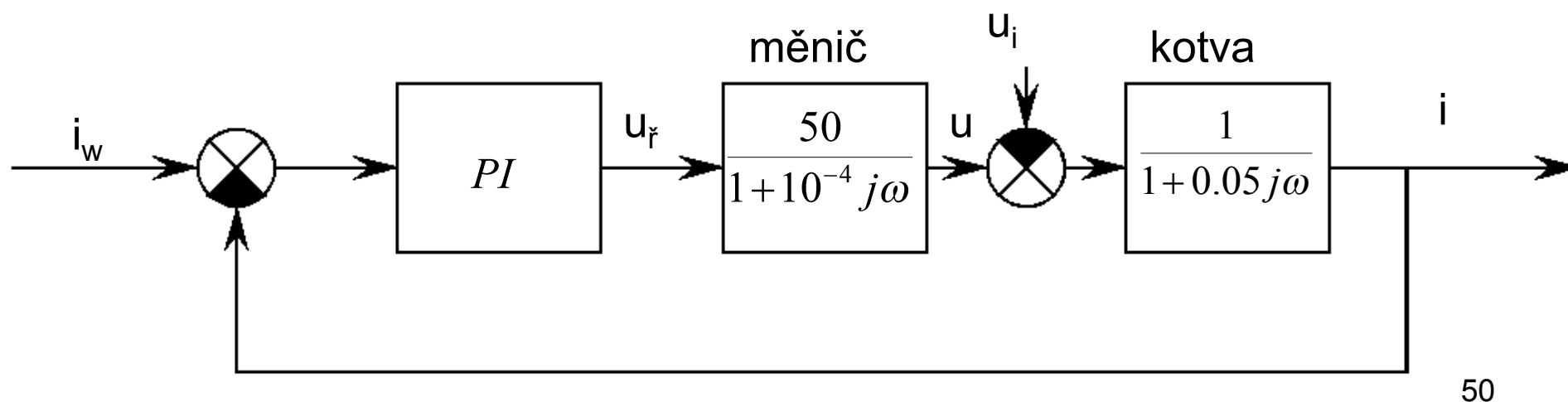
$$F_0 \ll 1 \Rightarrow F_w \approx F_0$$

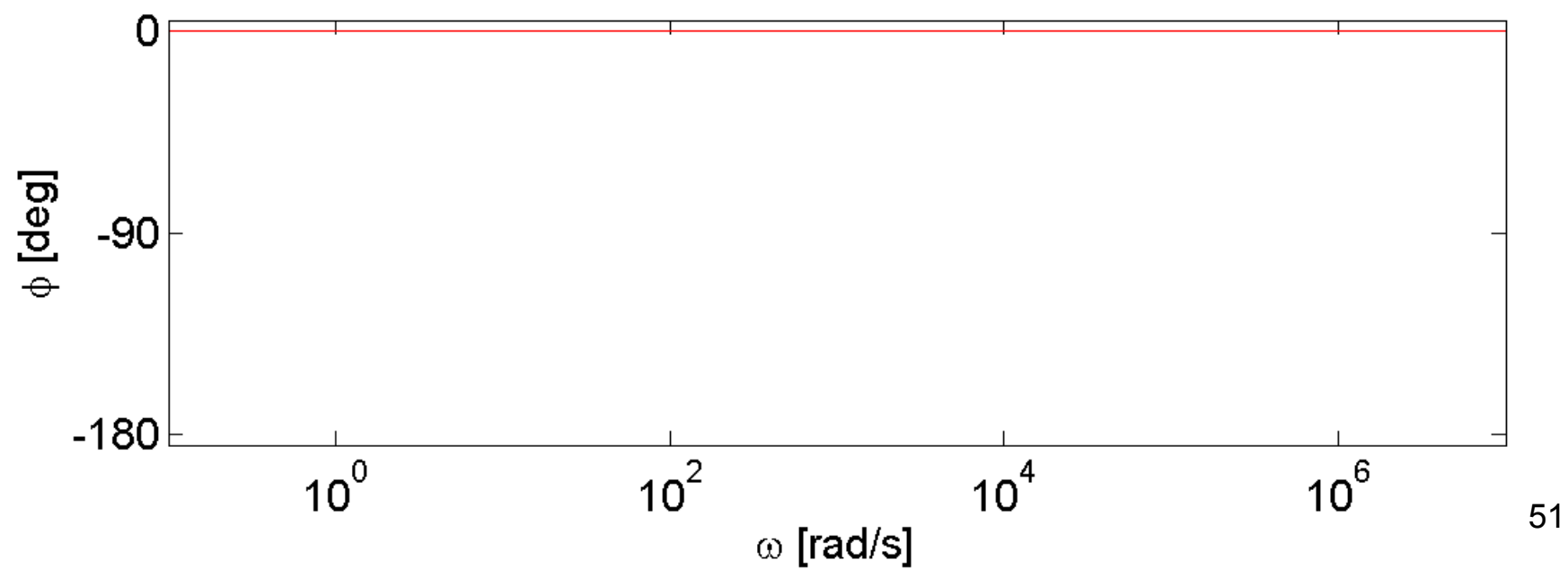
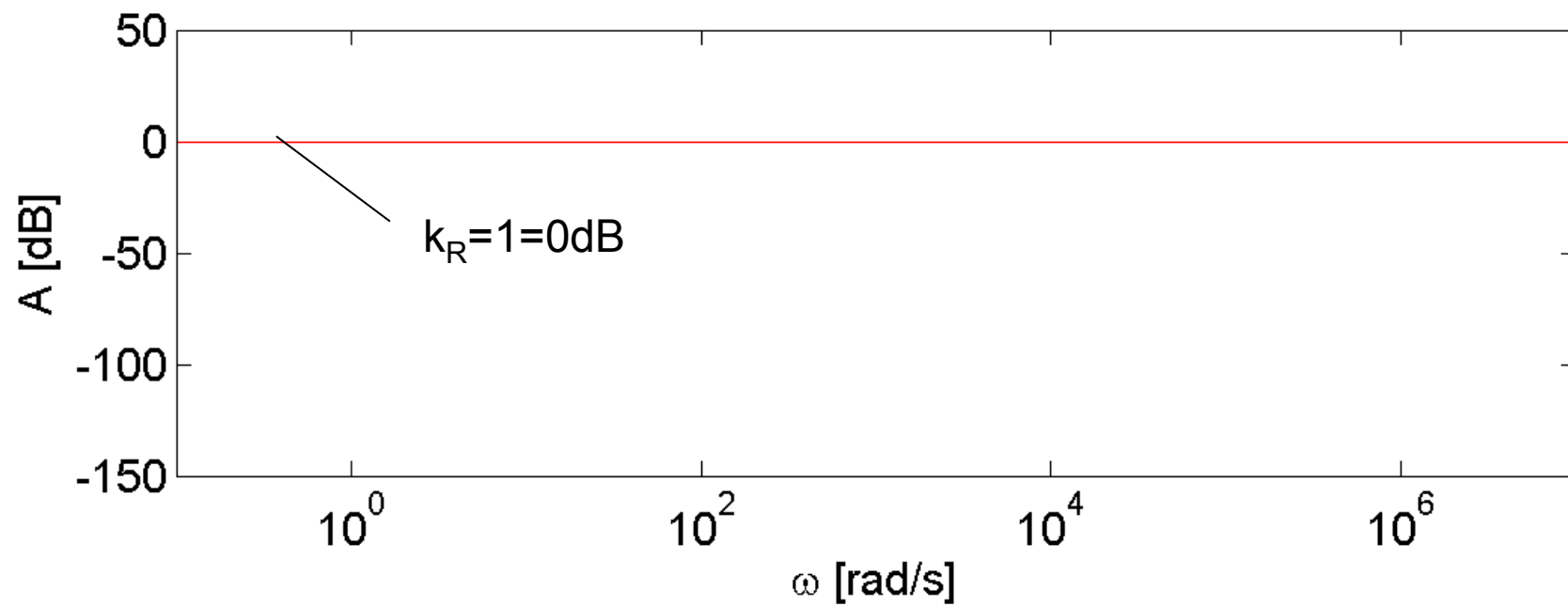

 na RT bude Fzv = 1

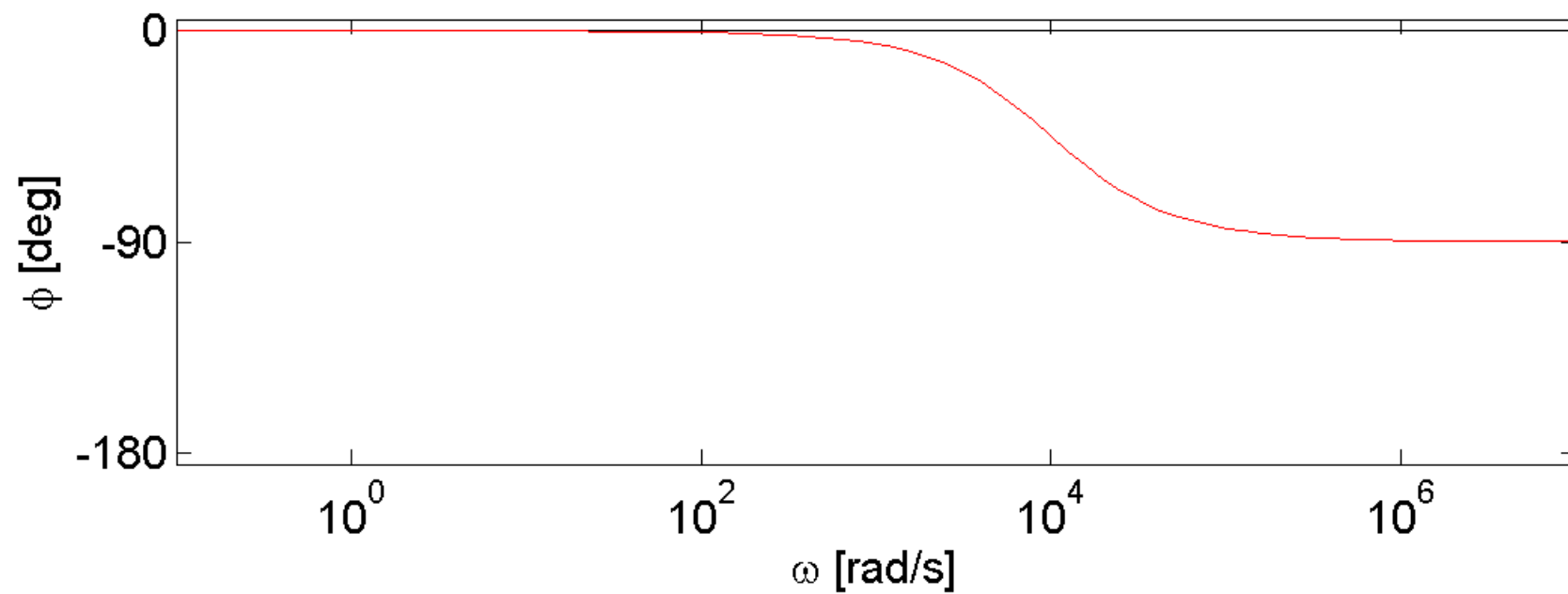
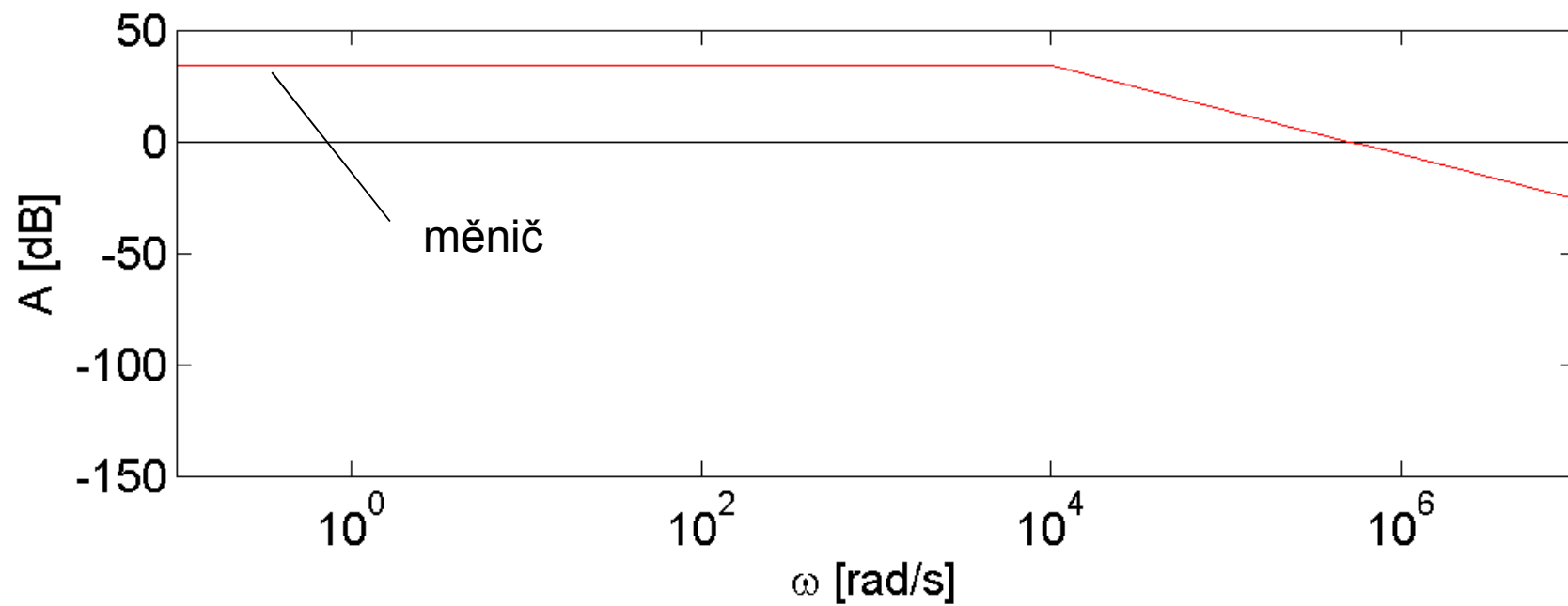
Př. 1 (na tabuli)

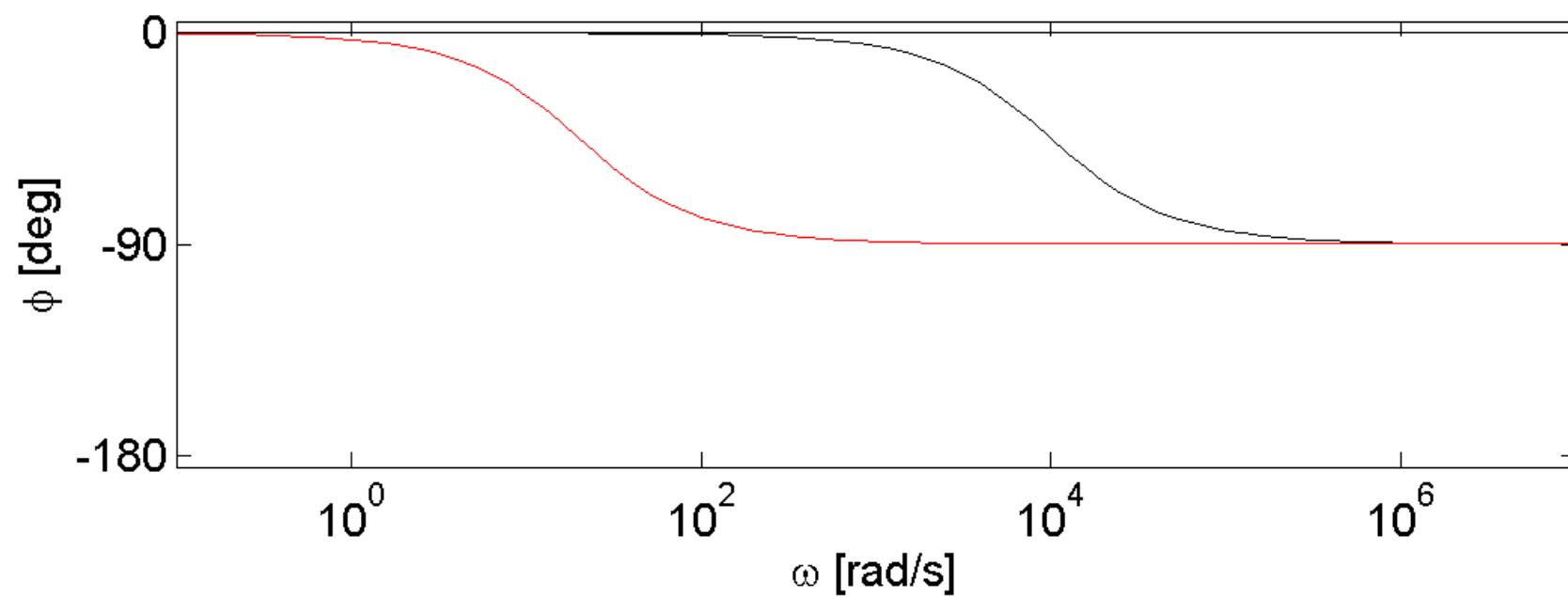
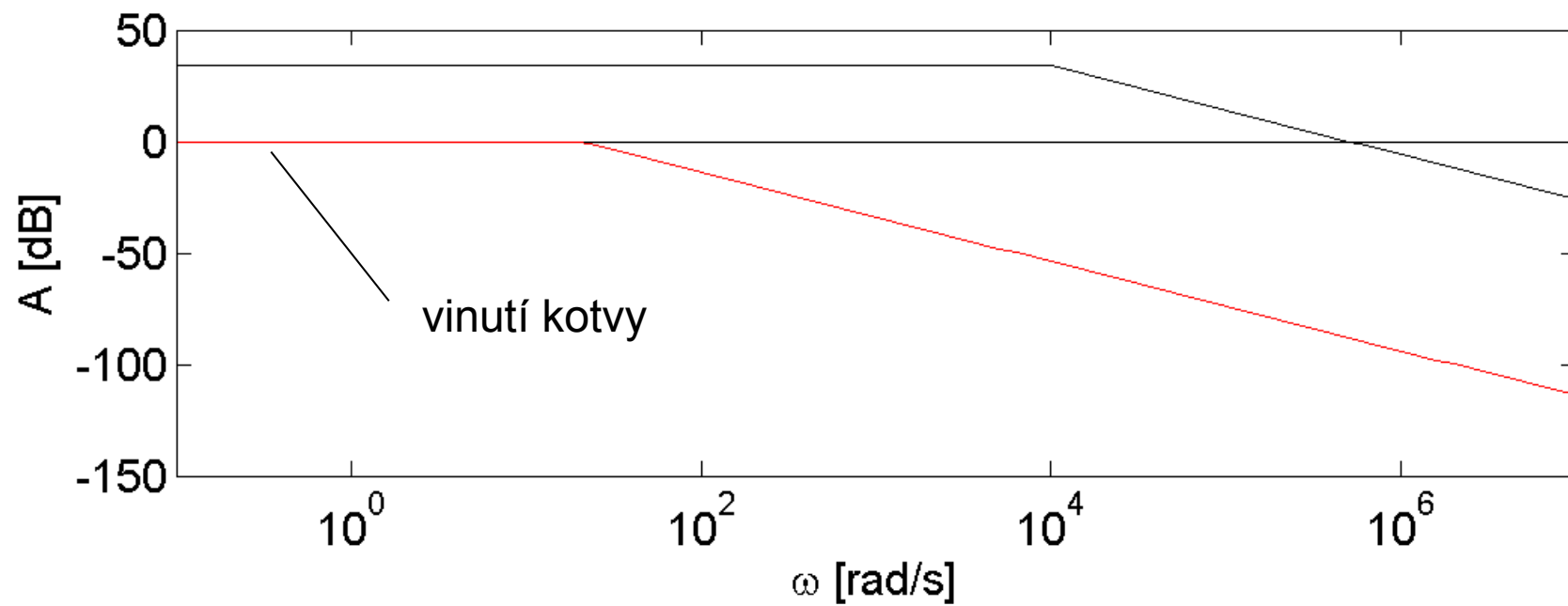
- $F1 = 10 / (1 + j\omega 0,1)$
- $F2 = 1 / (j\omega 10)$

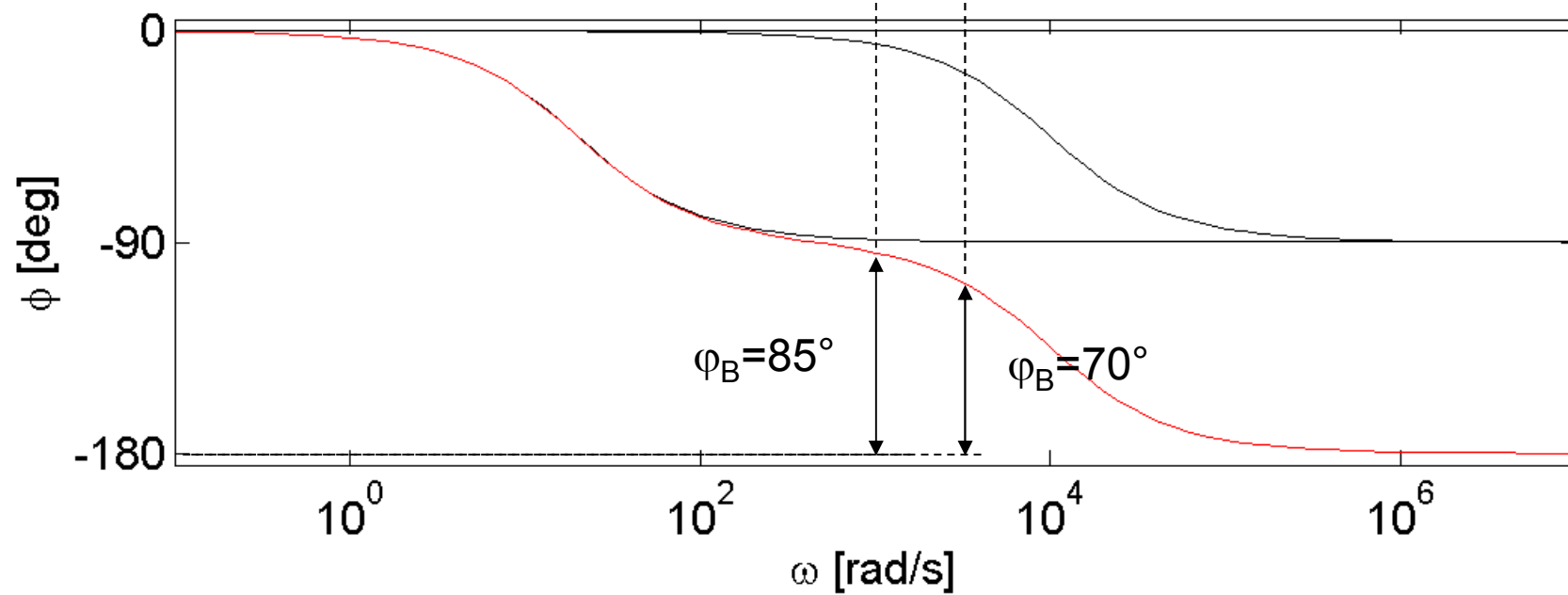
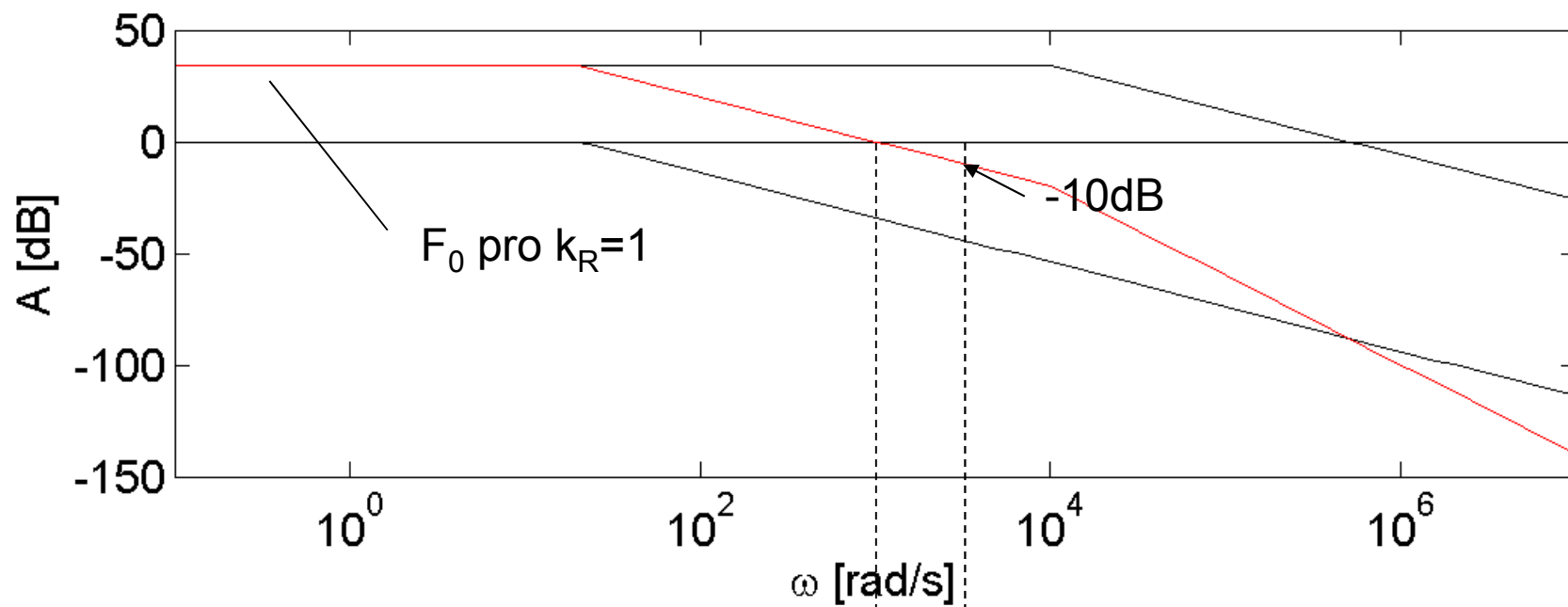
Příklad návrhu PI-regulátoru (regulace proudu v kotvě ss motoru)

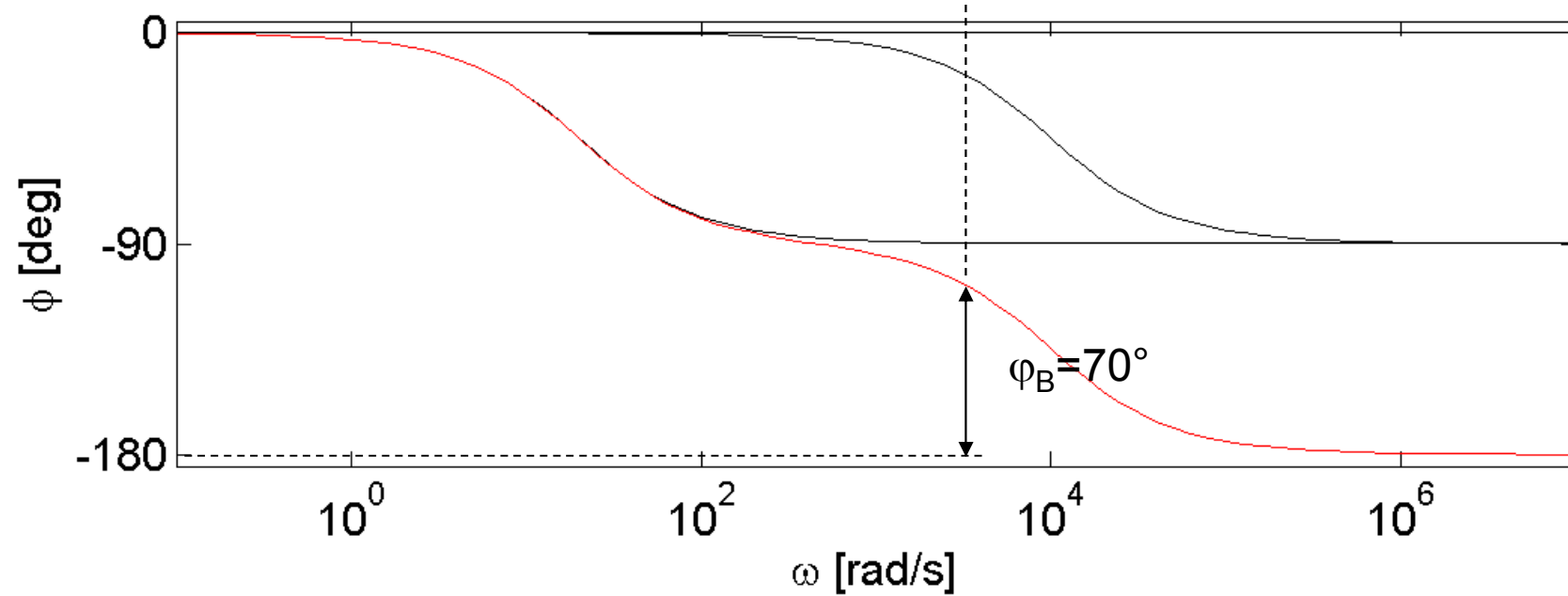
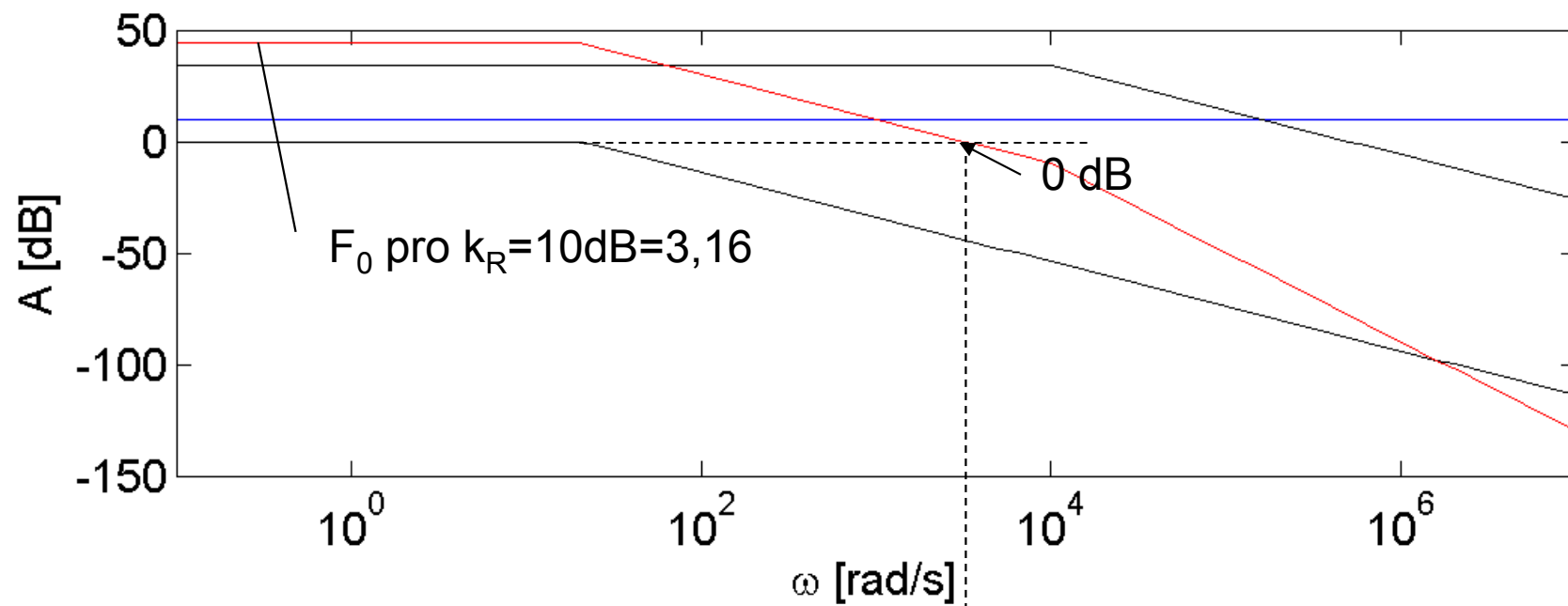




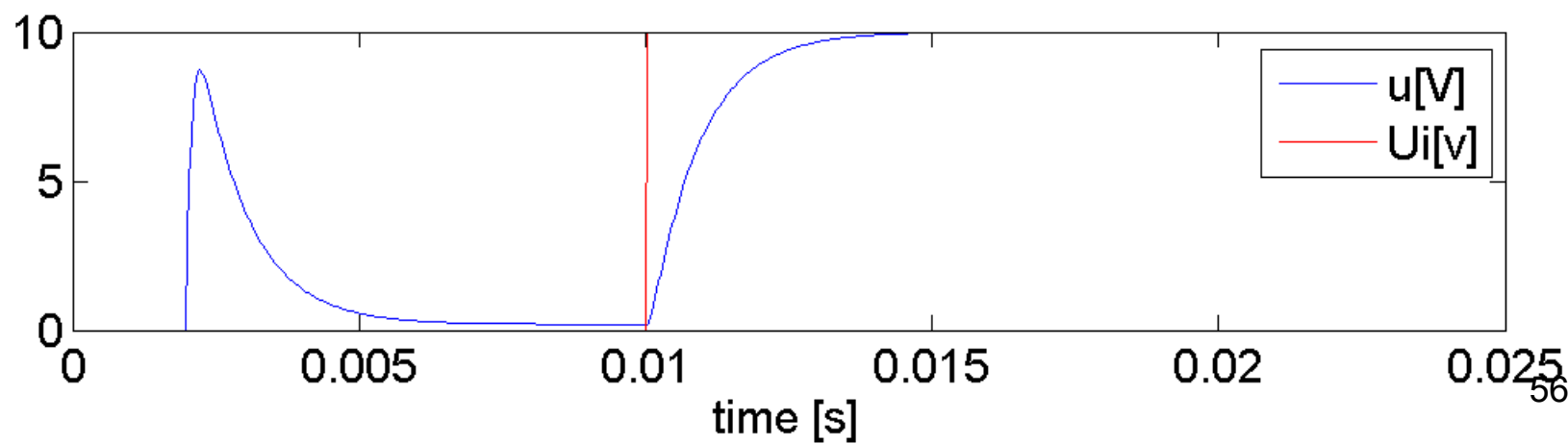
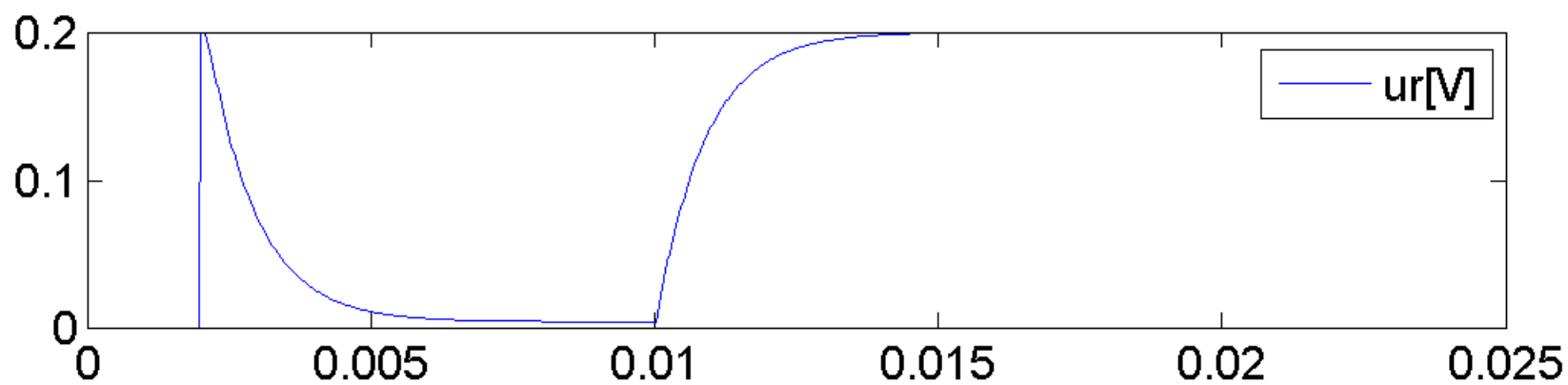
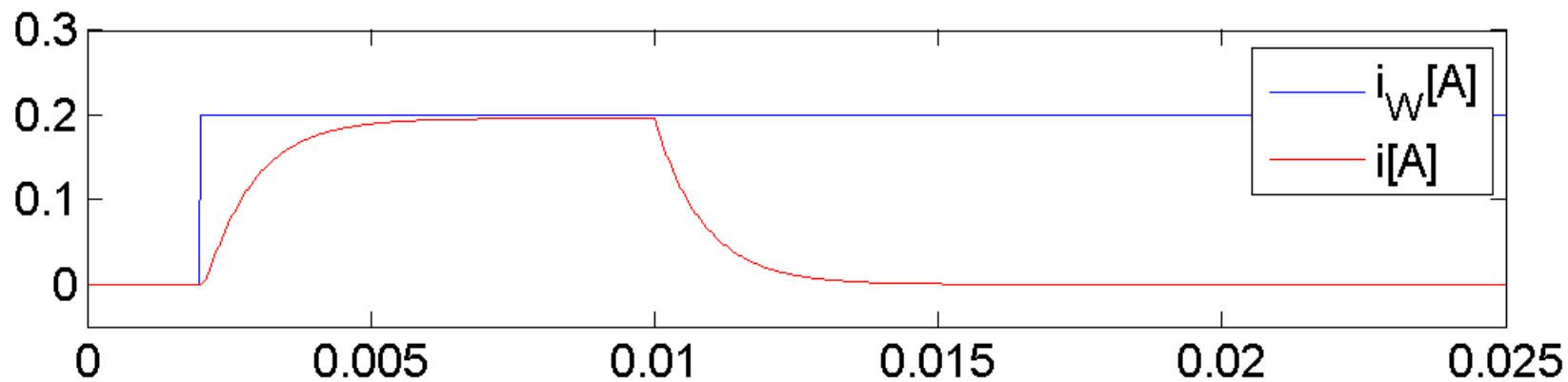




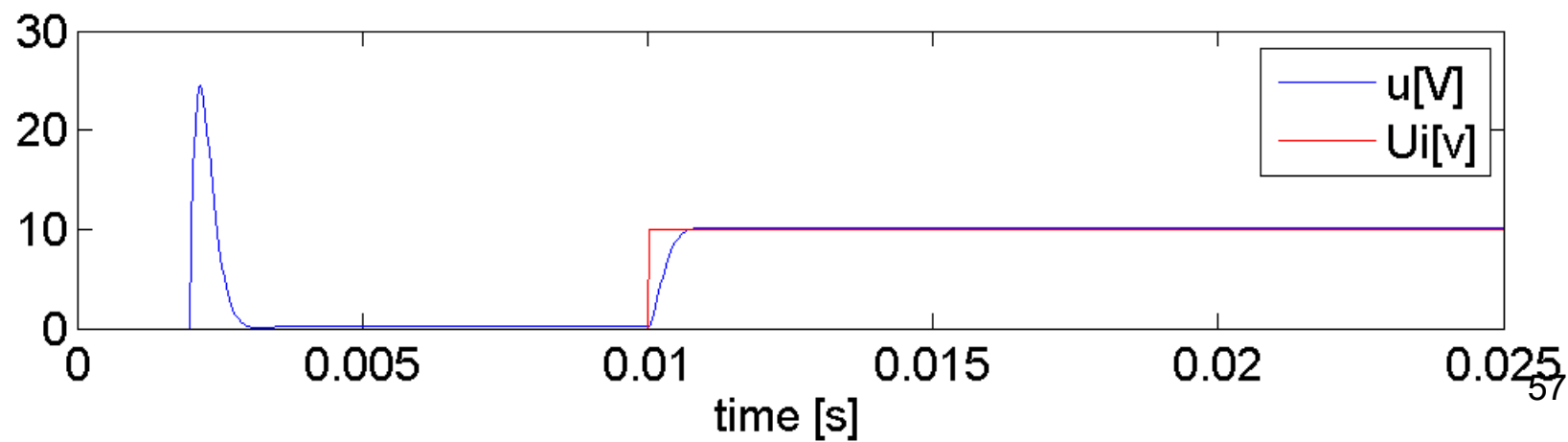
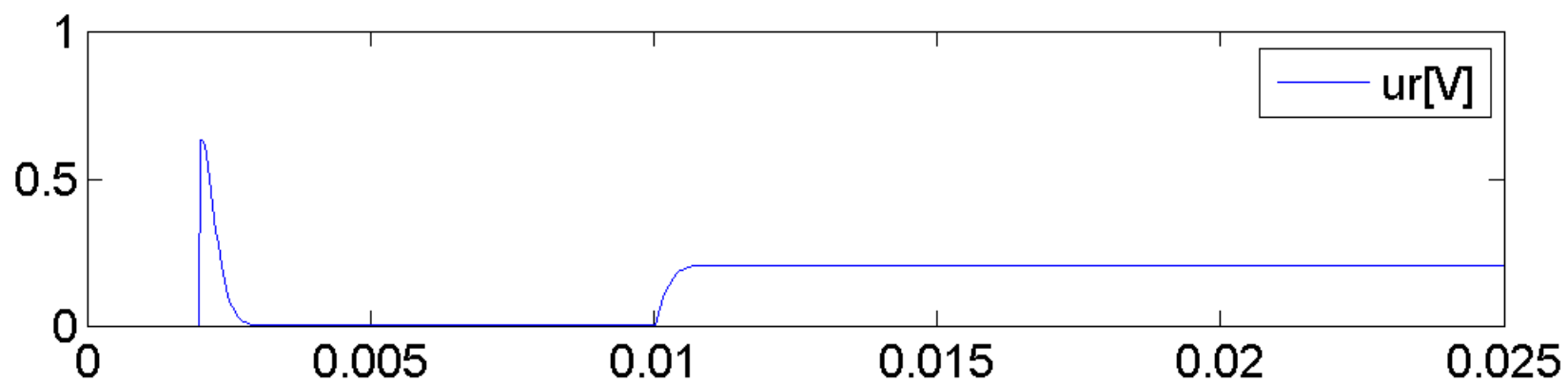
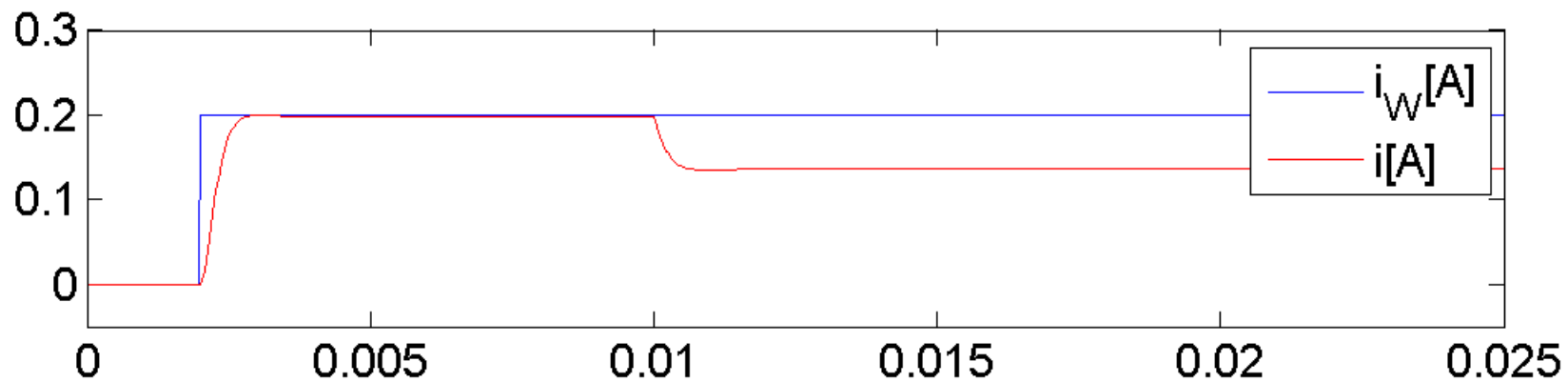




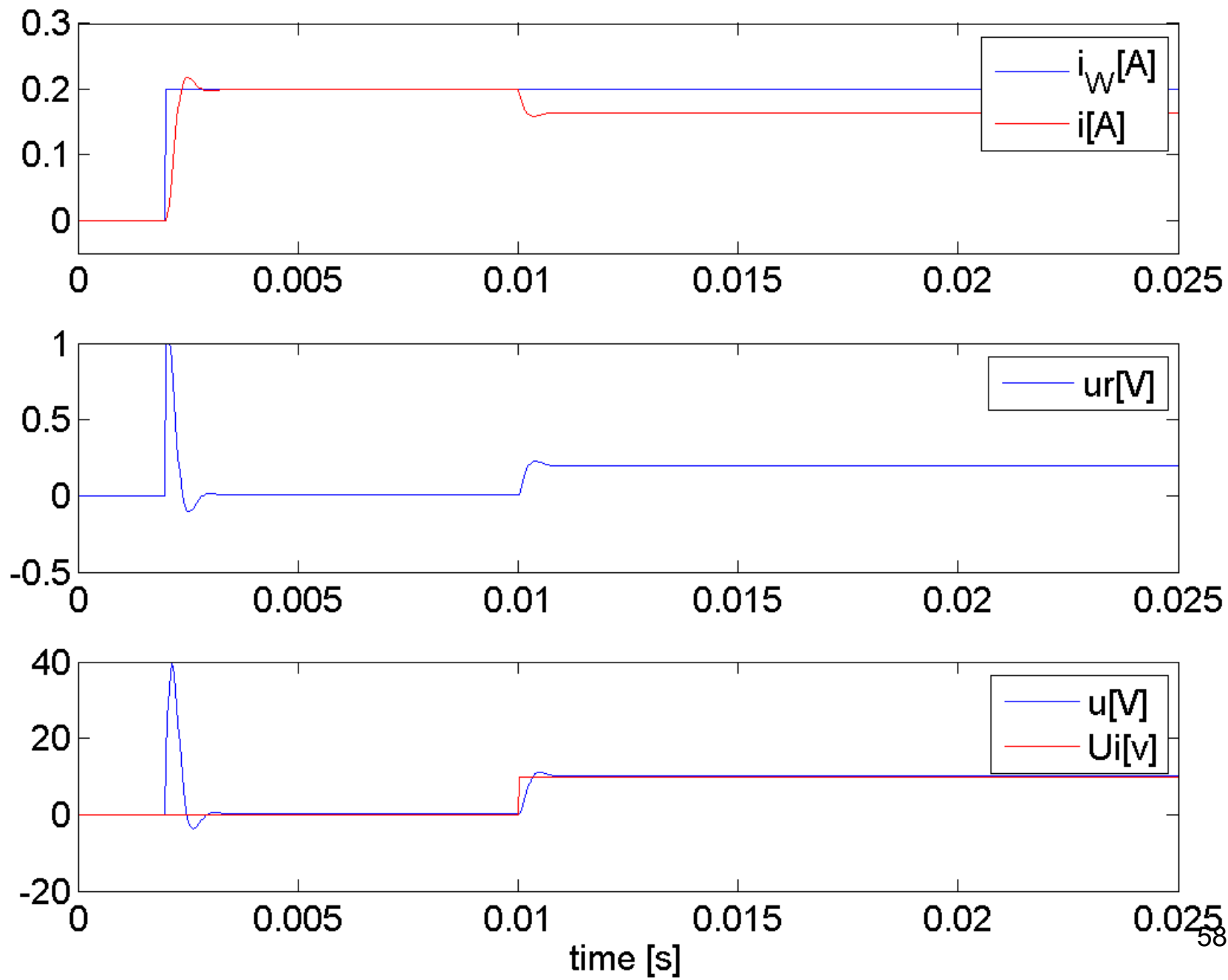
$\varphi_B = 85^\circ$



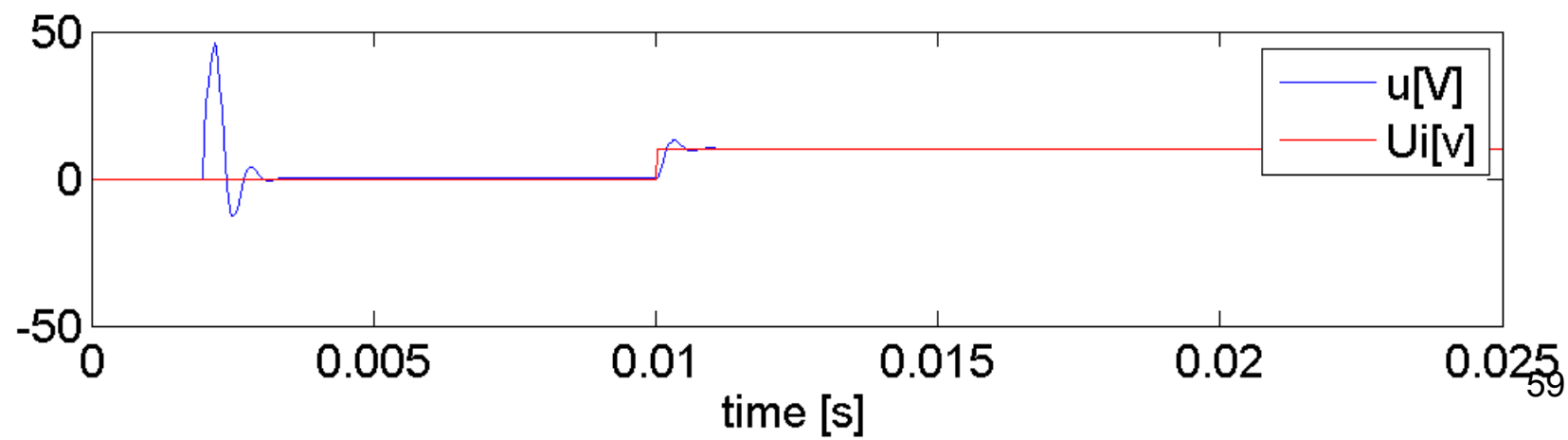
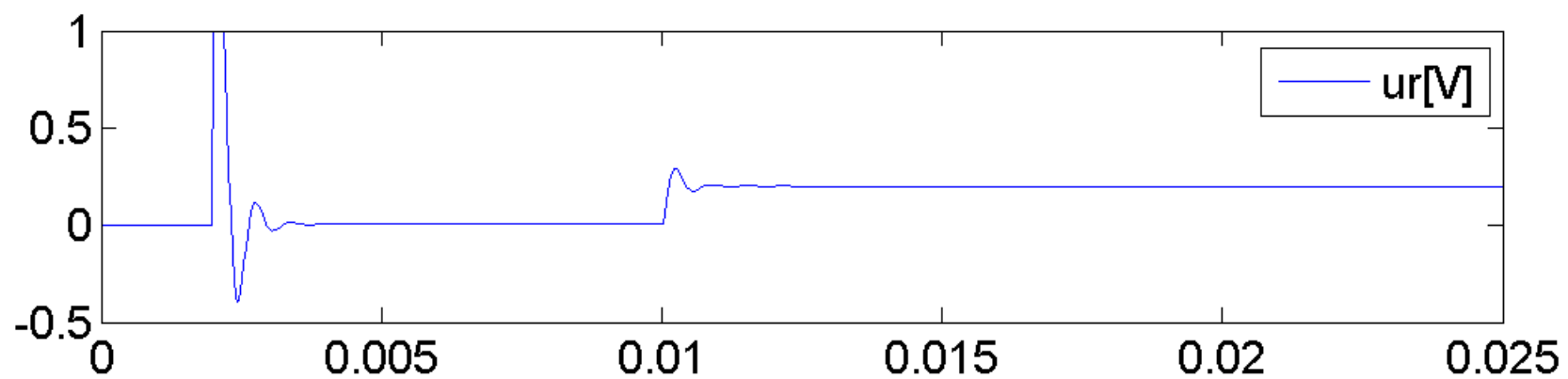
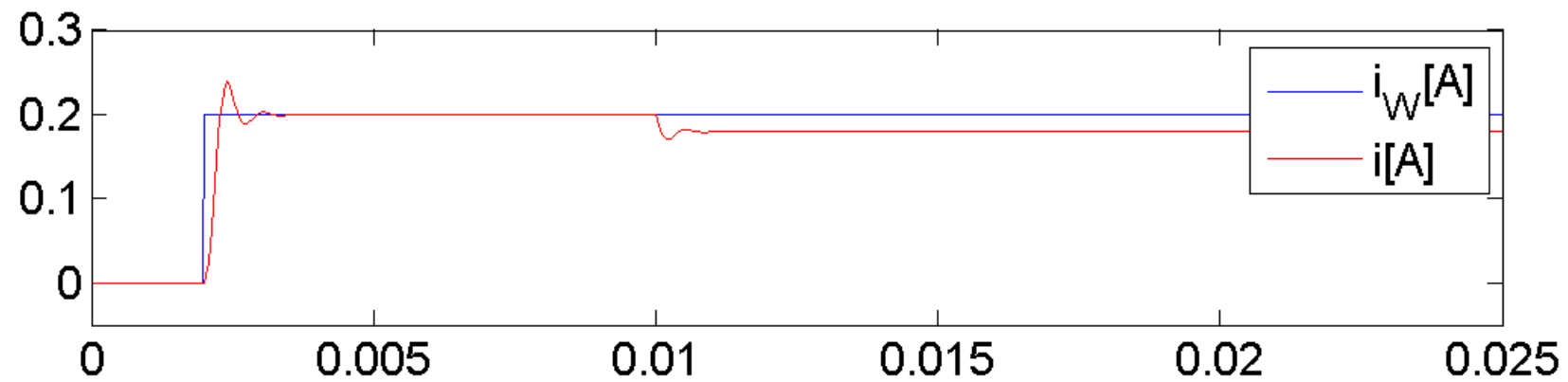
$\varphi_B = 70^\circ$



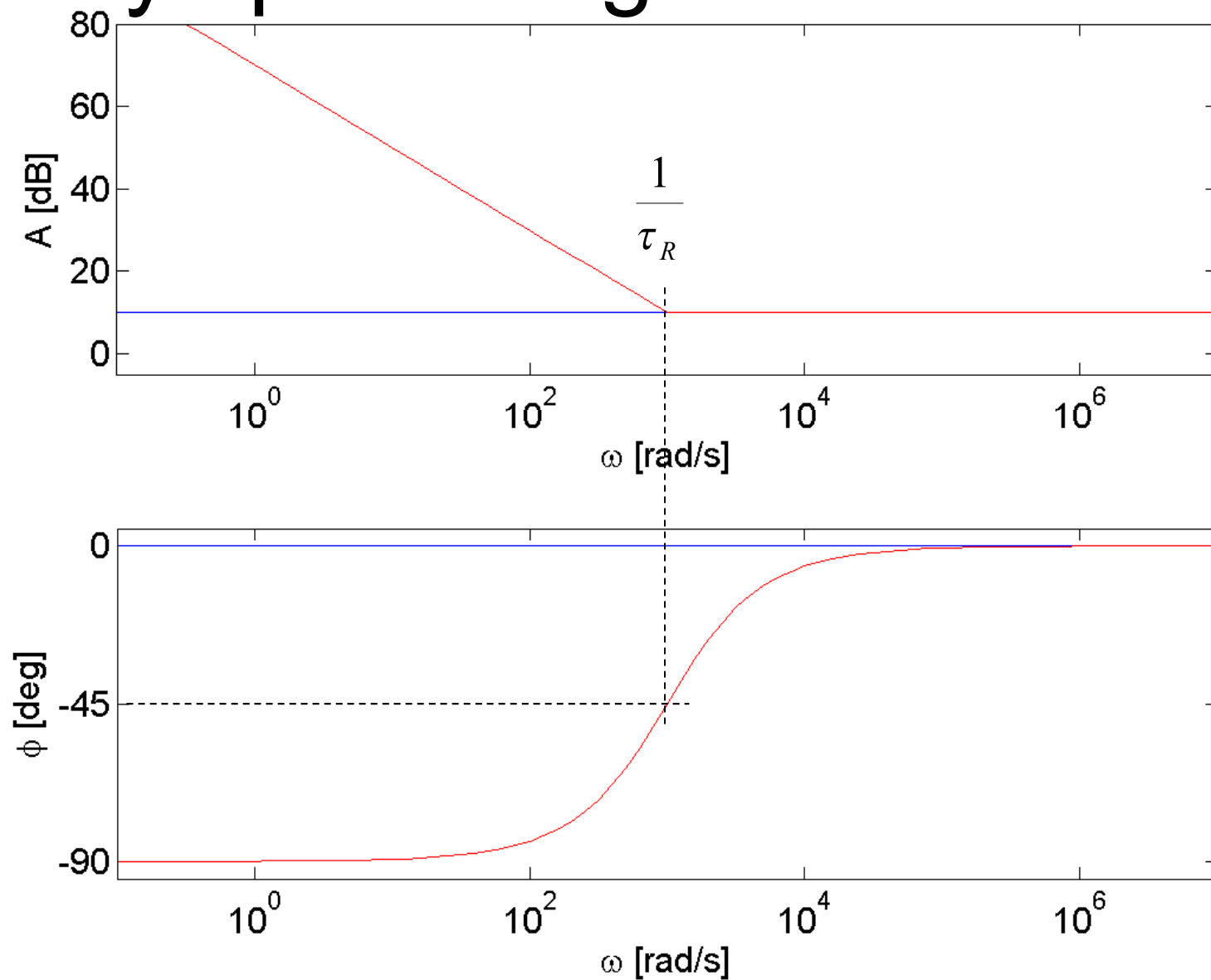
$\varphi_B = 60^\circ$

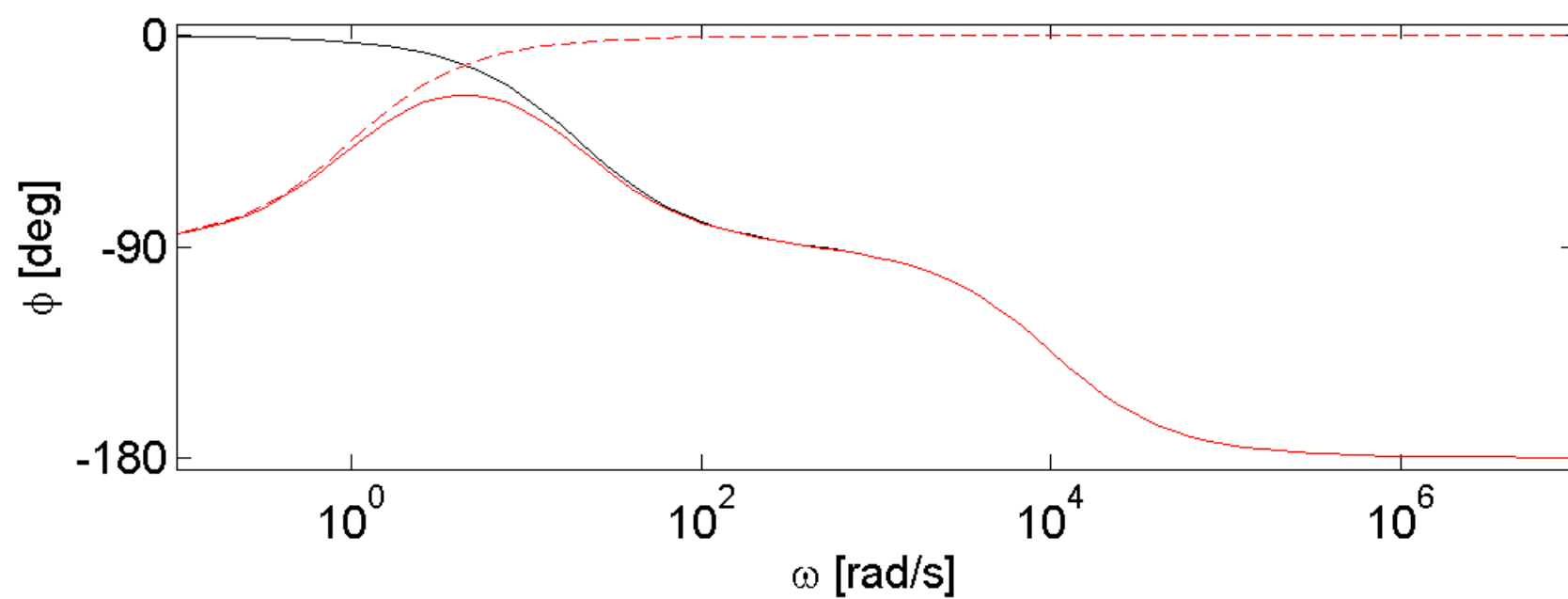
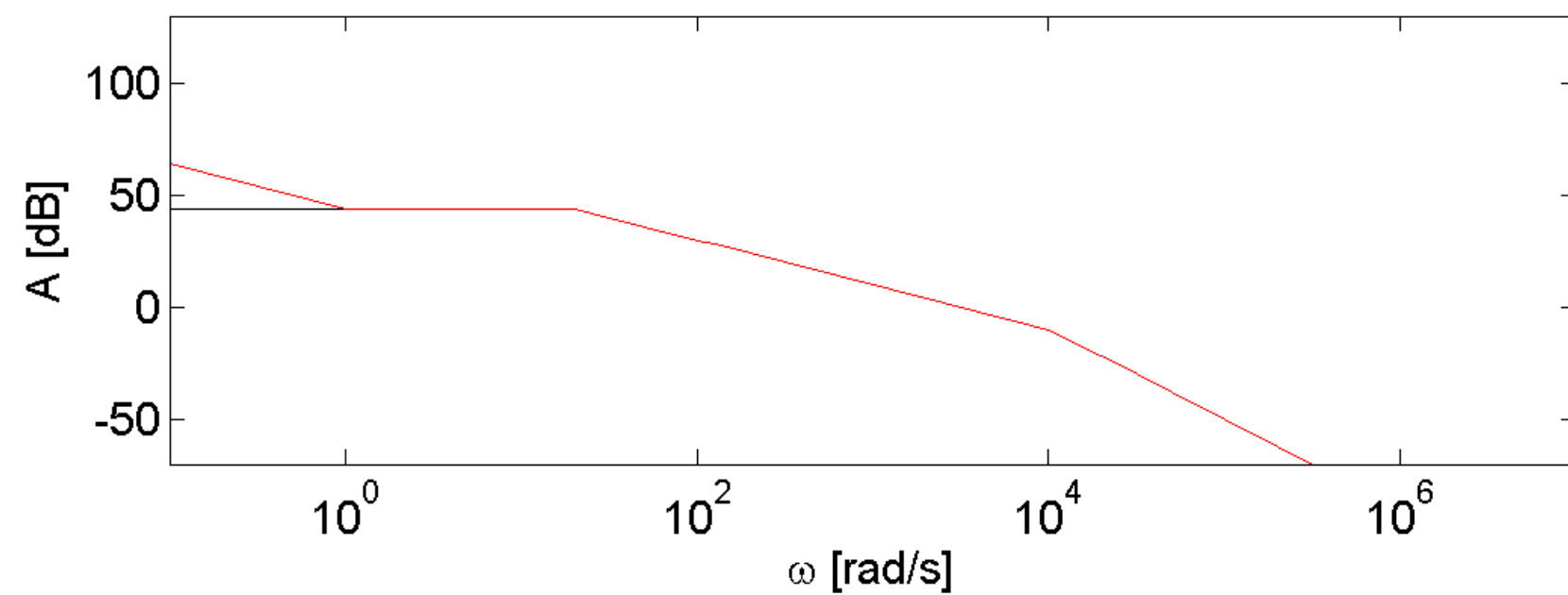


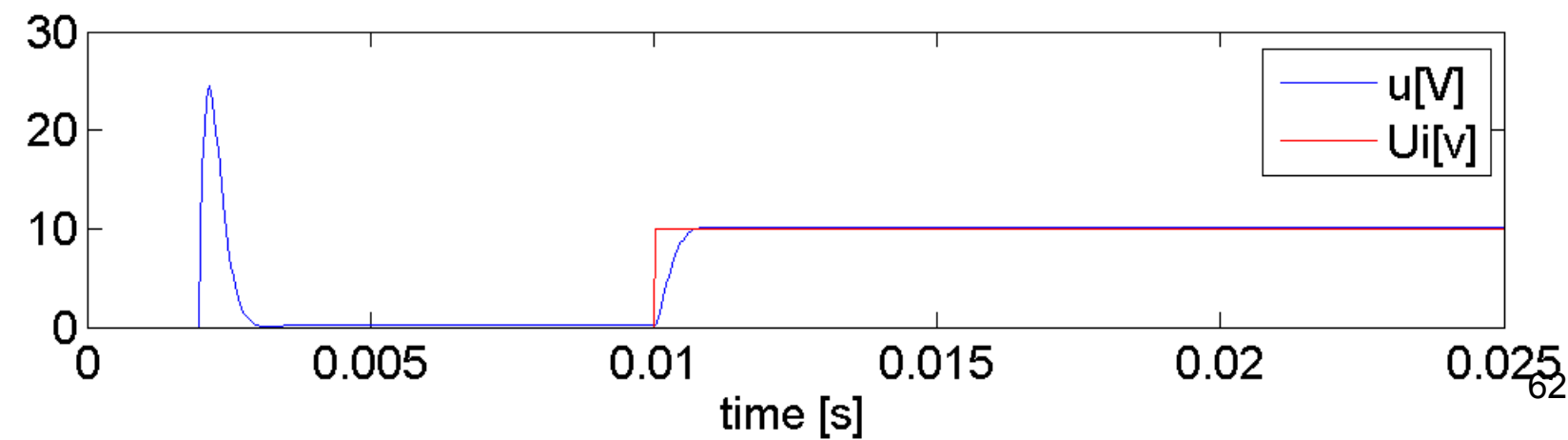
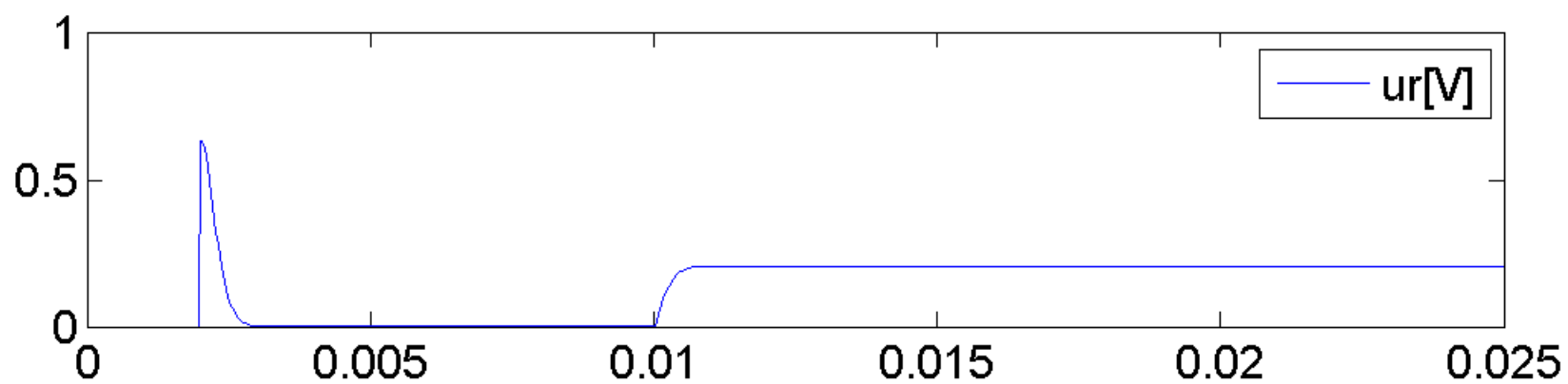
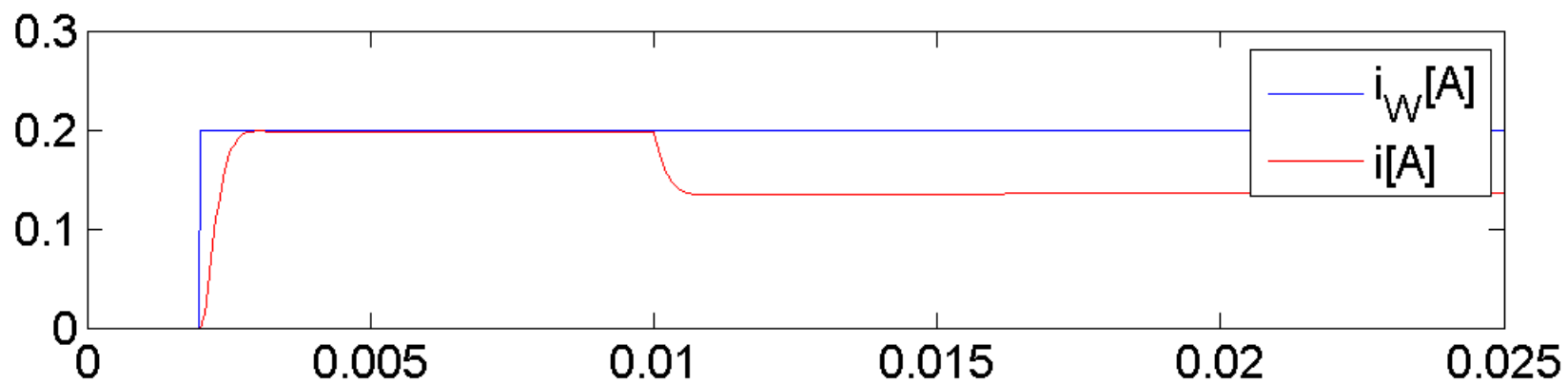
$\varphi_B = 45^\circ$

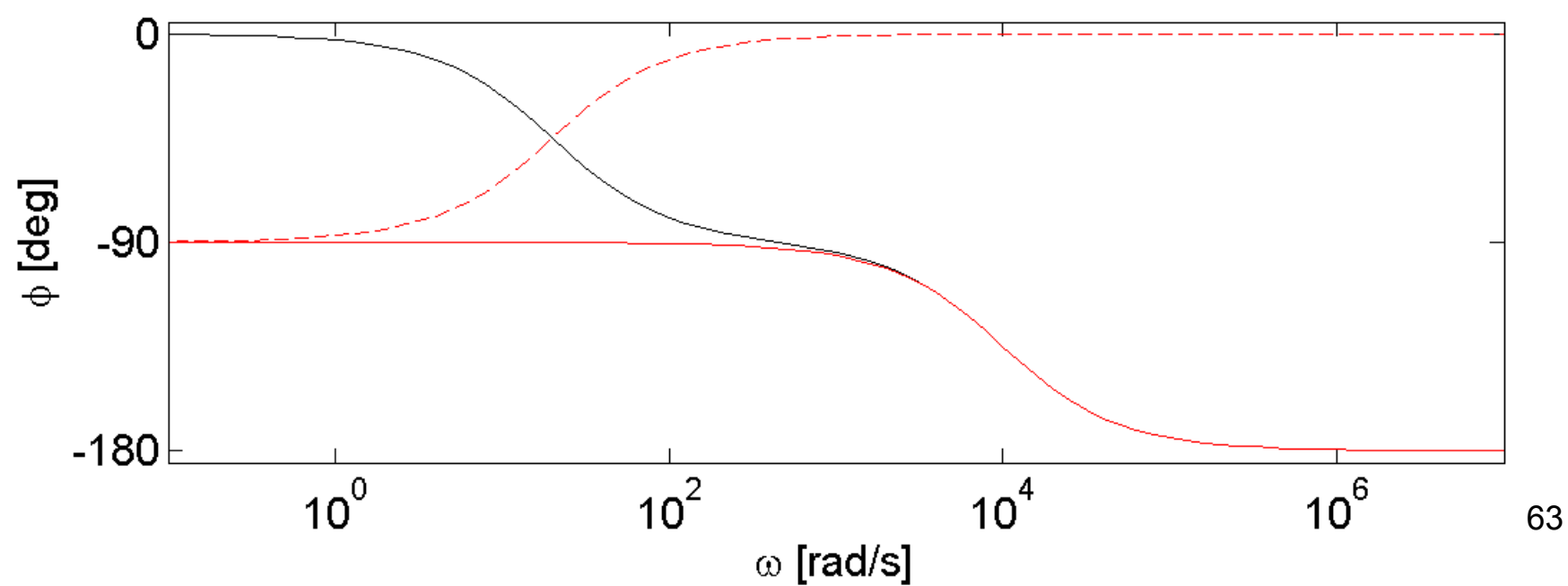
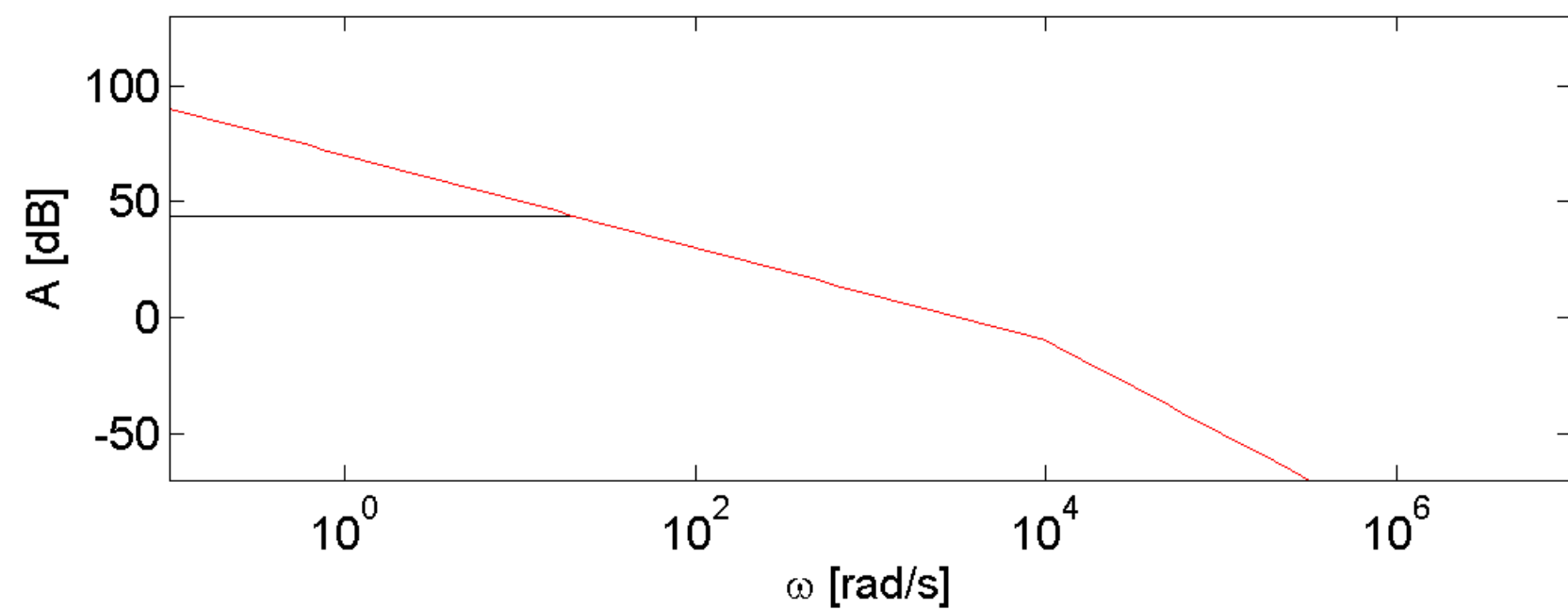


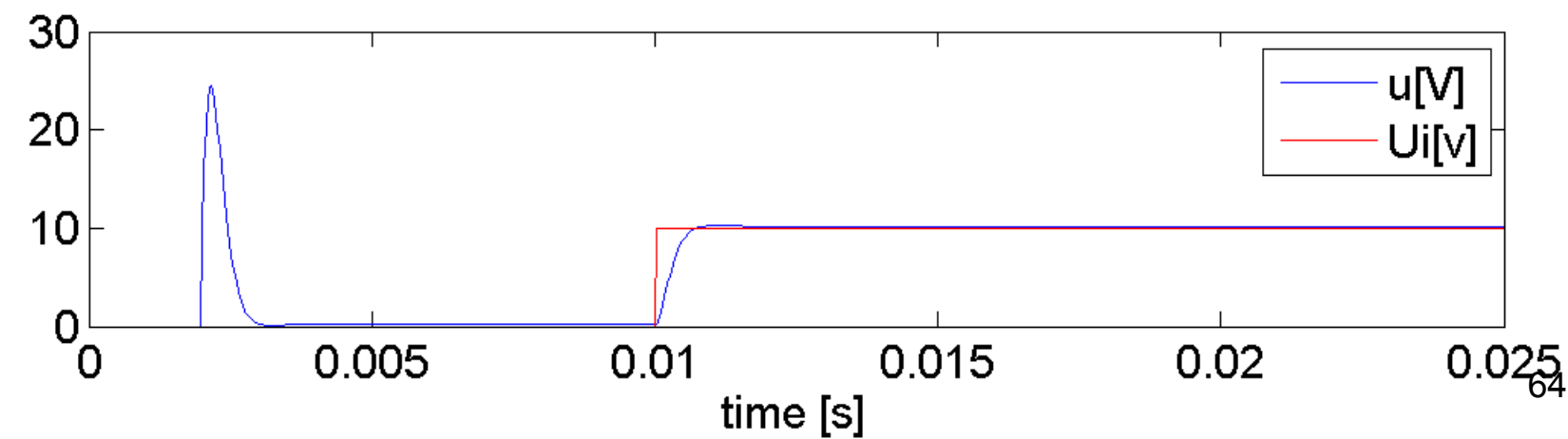
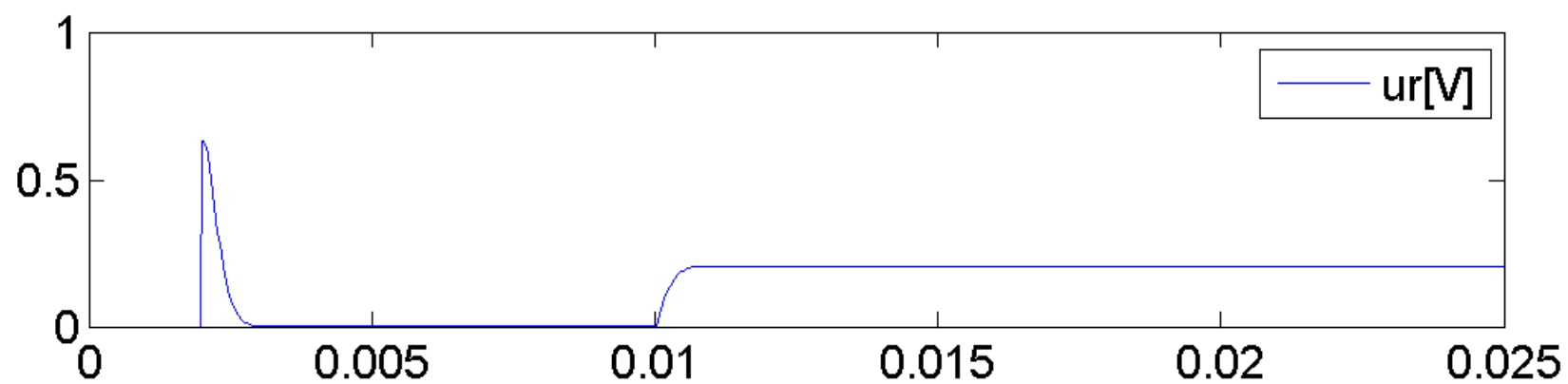
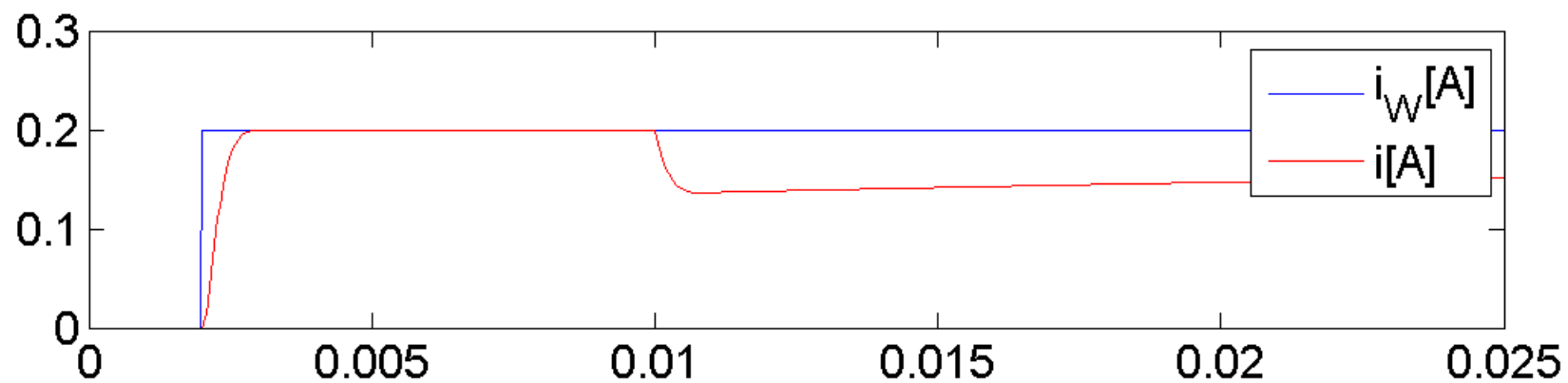
Vylepšení regulátoru na PI

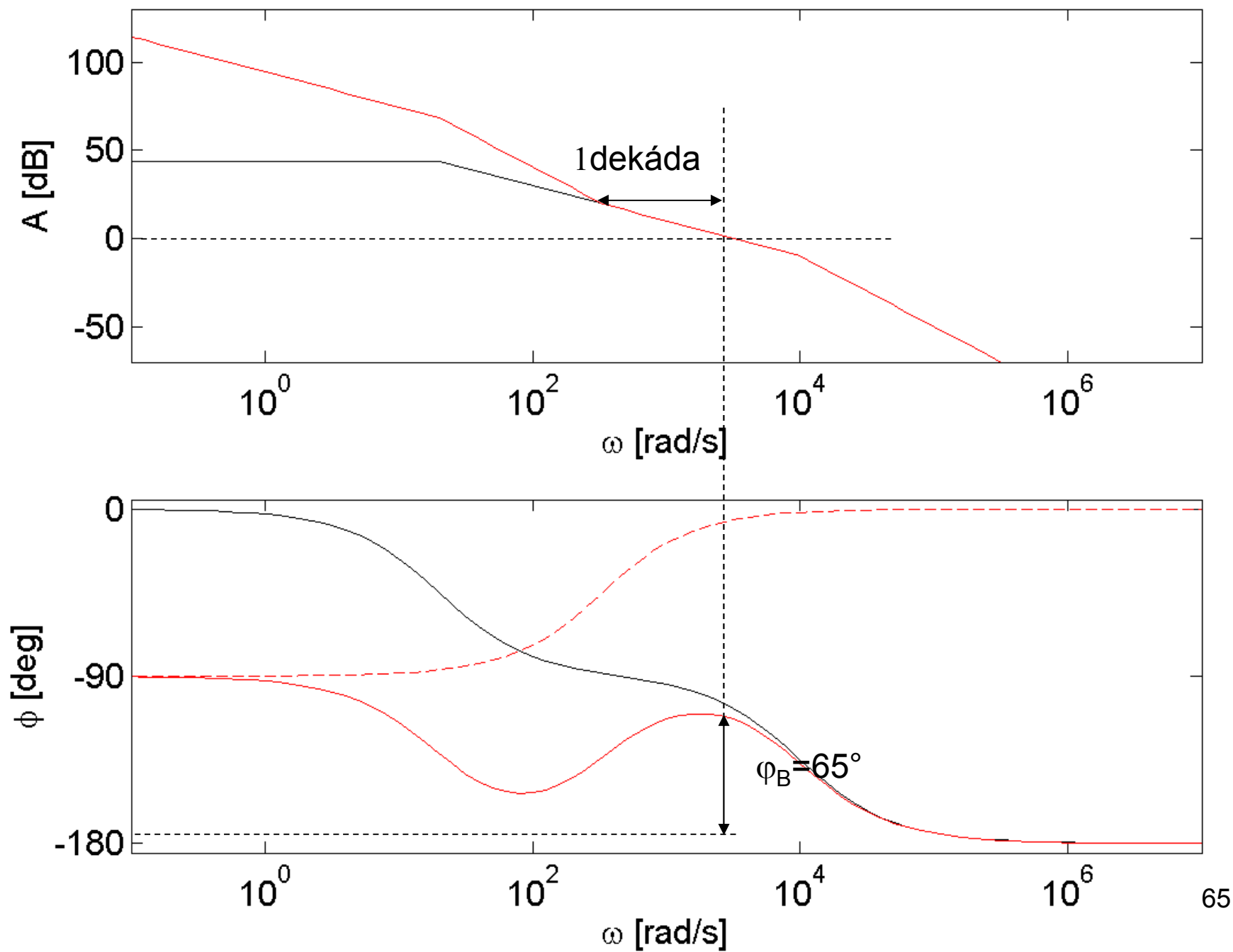


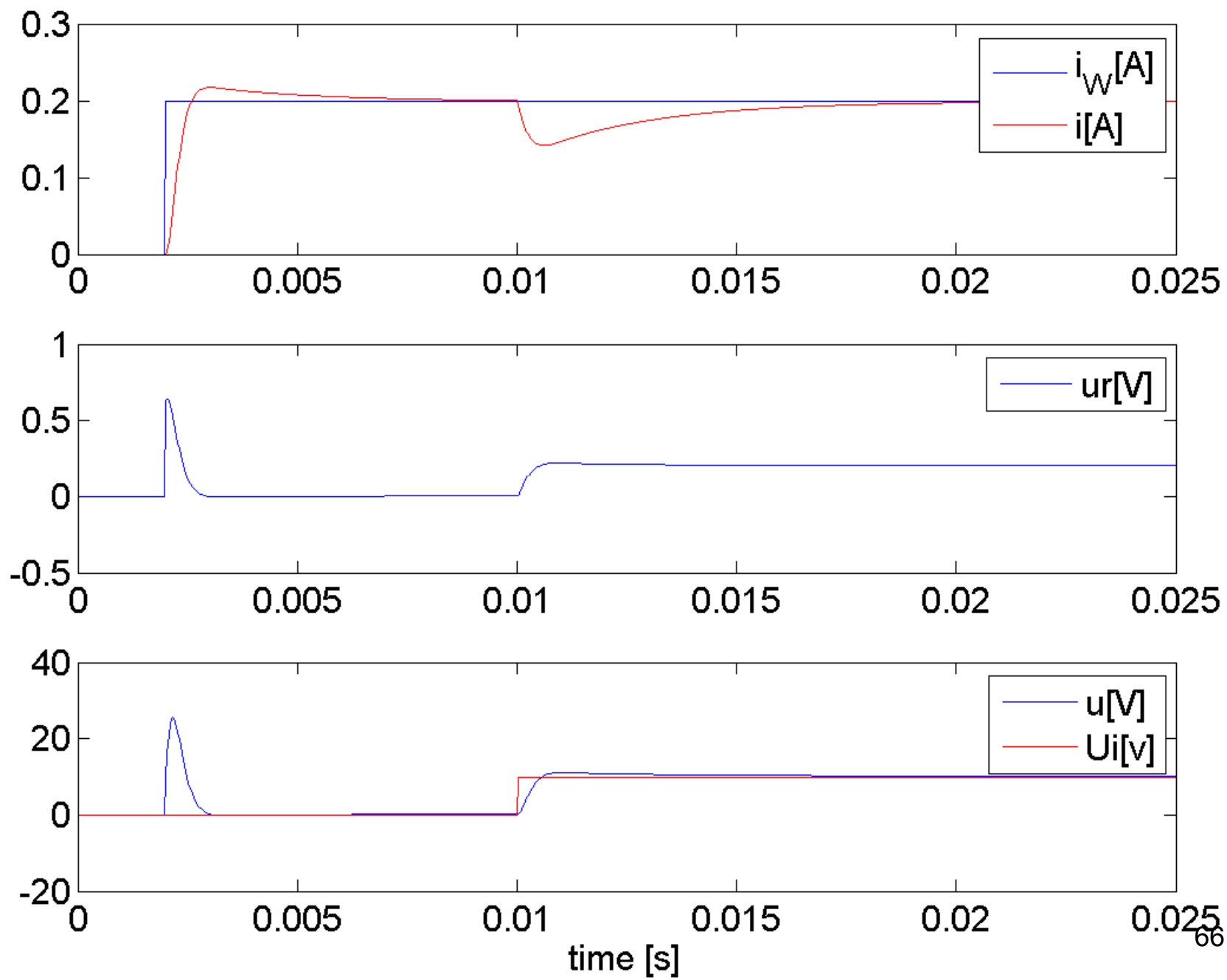


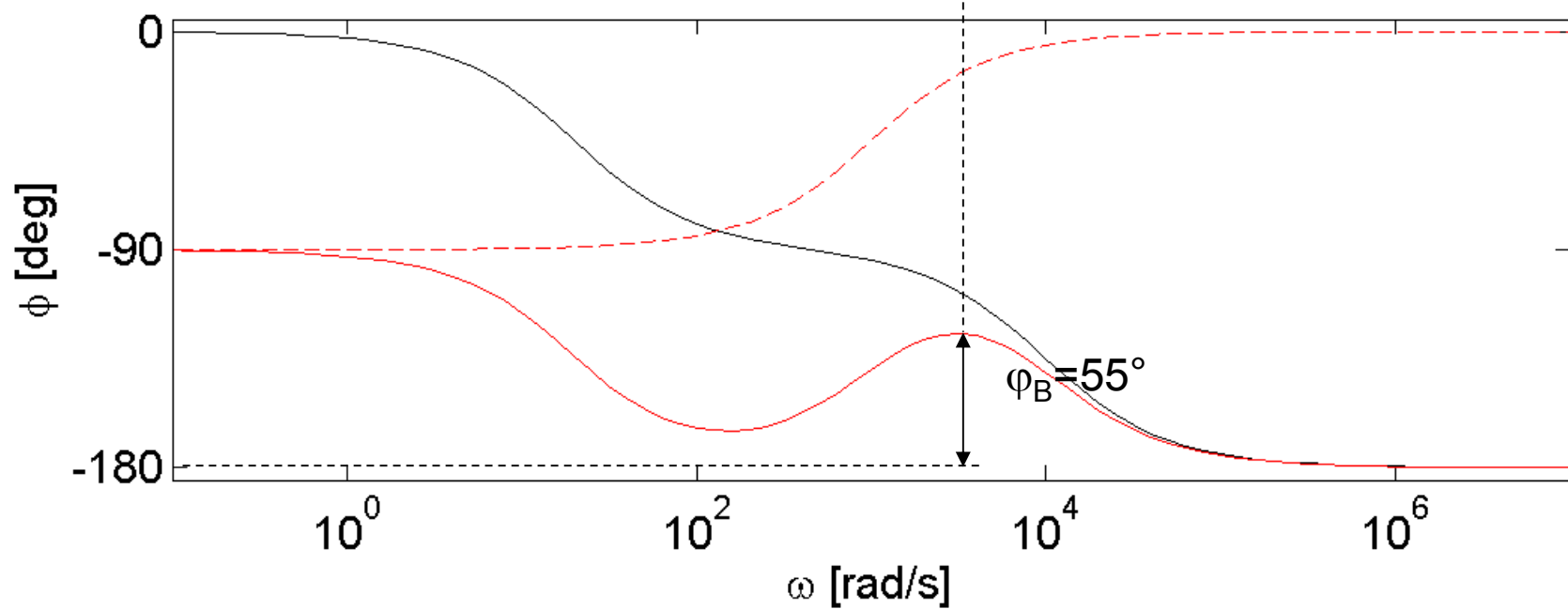
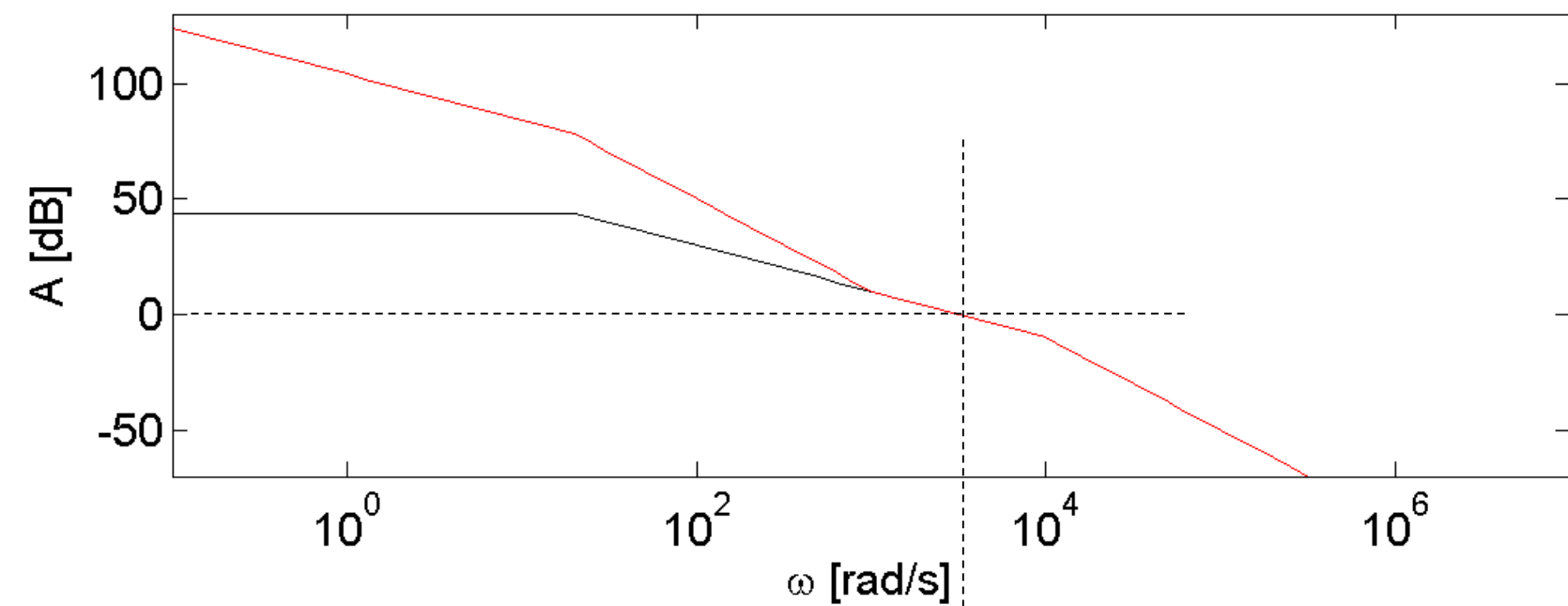


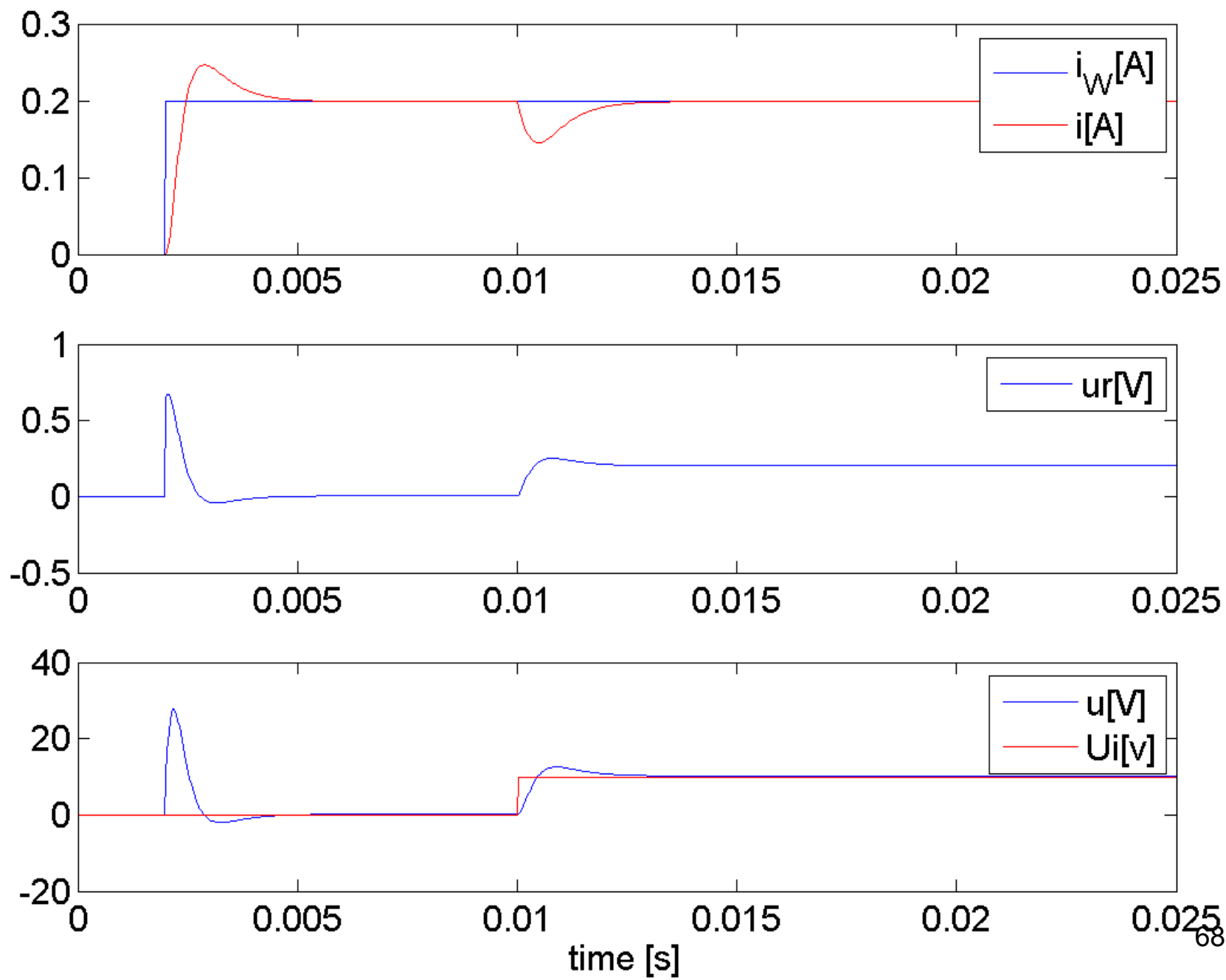


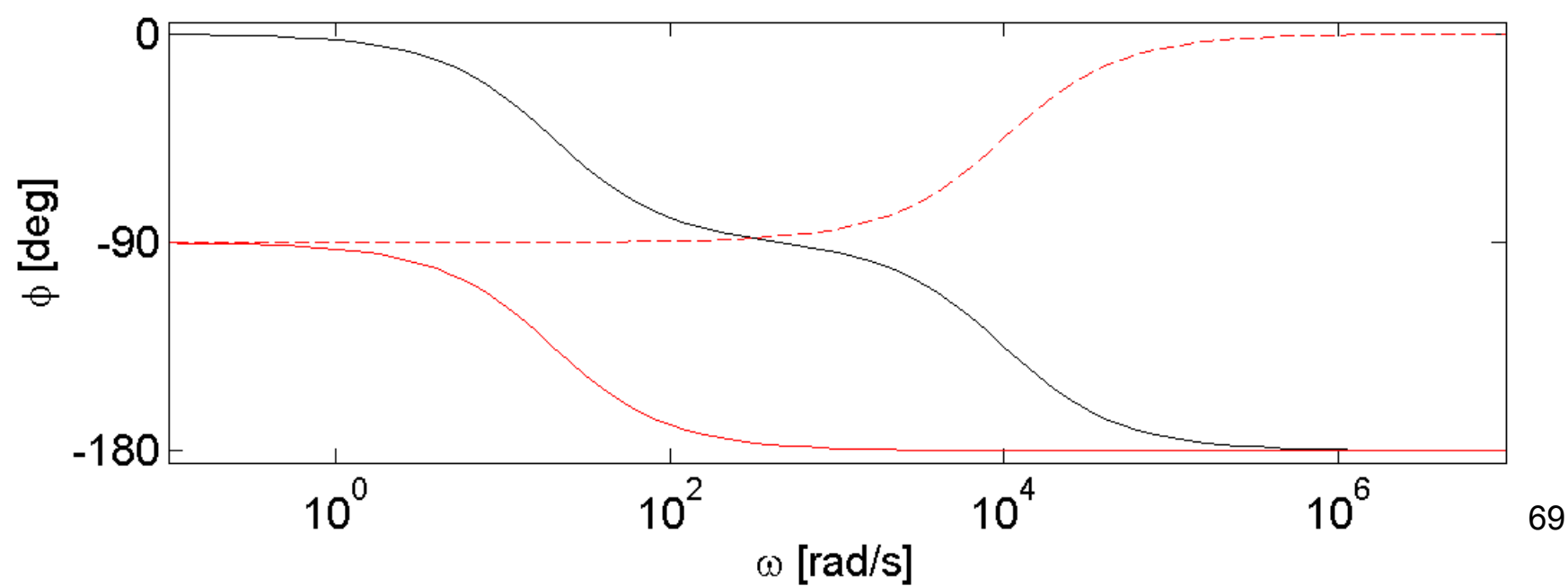
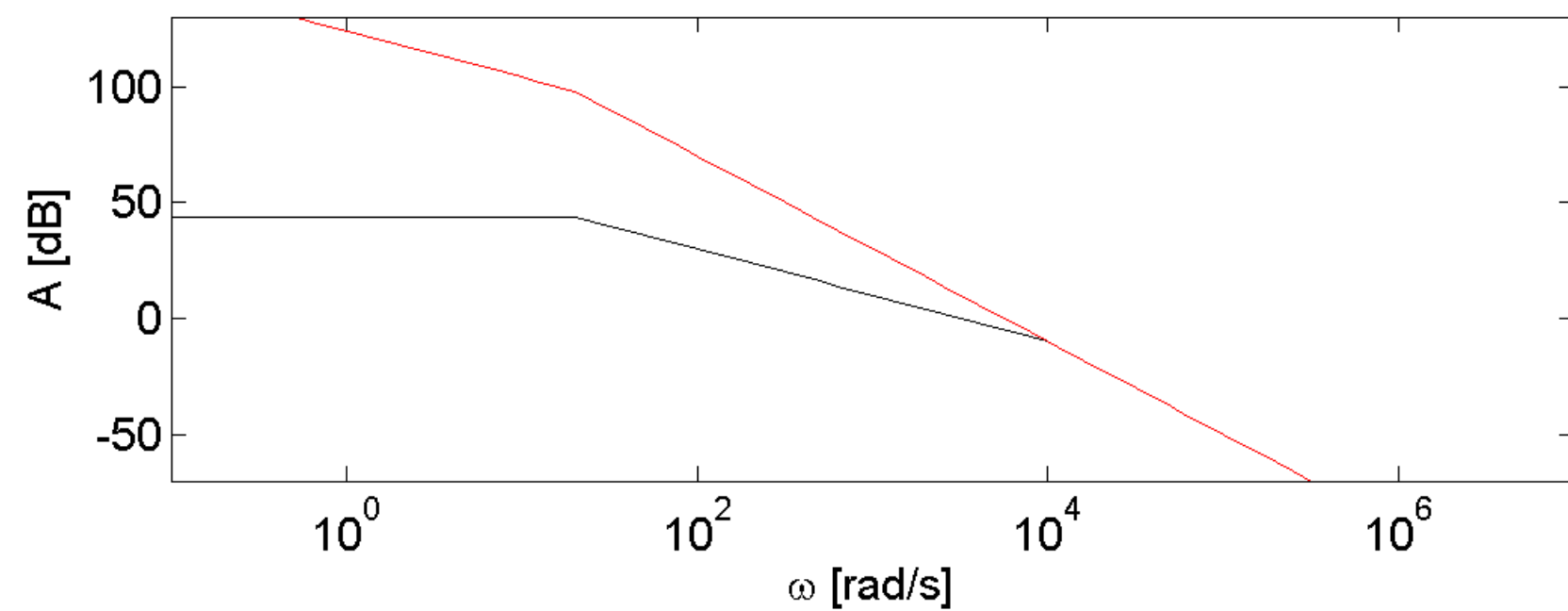


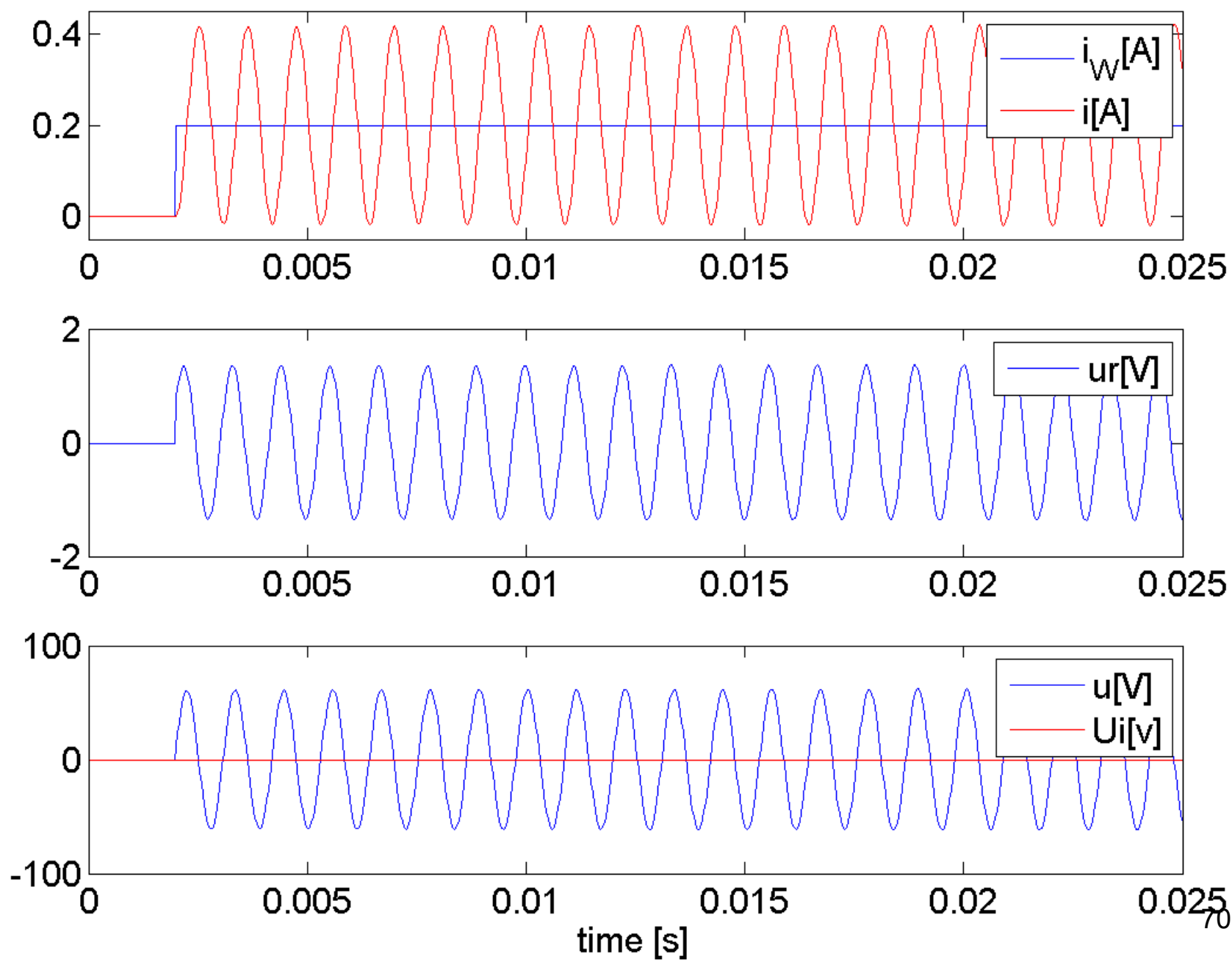


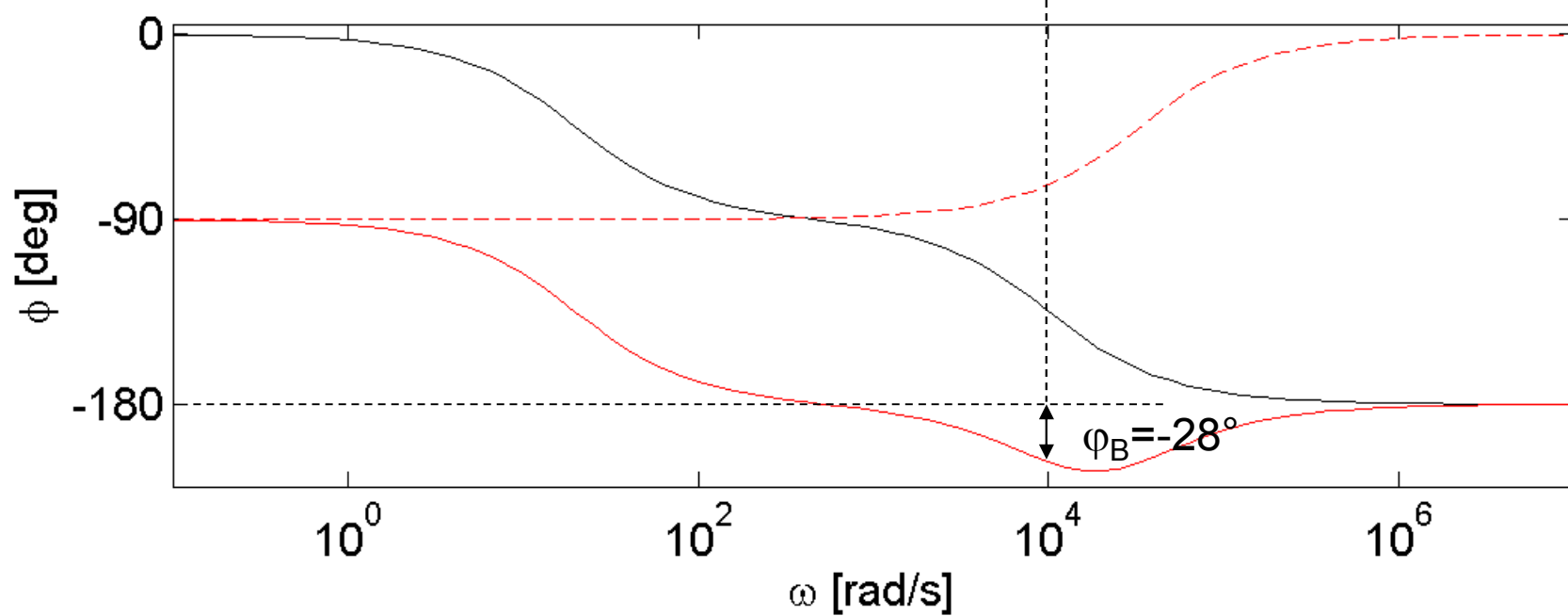
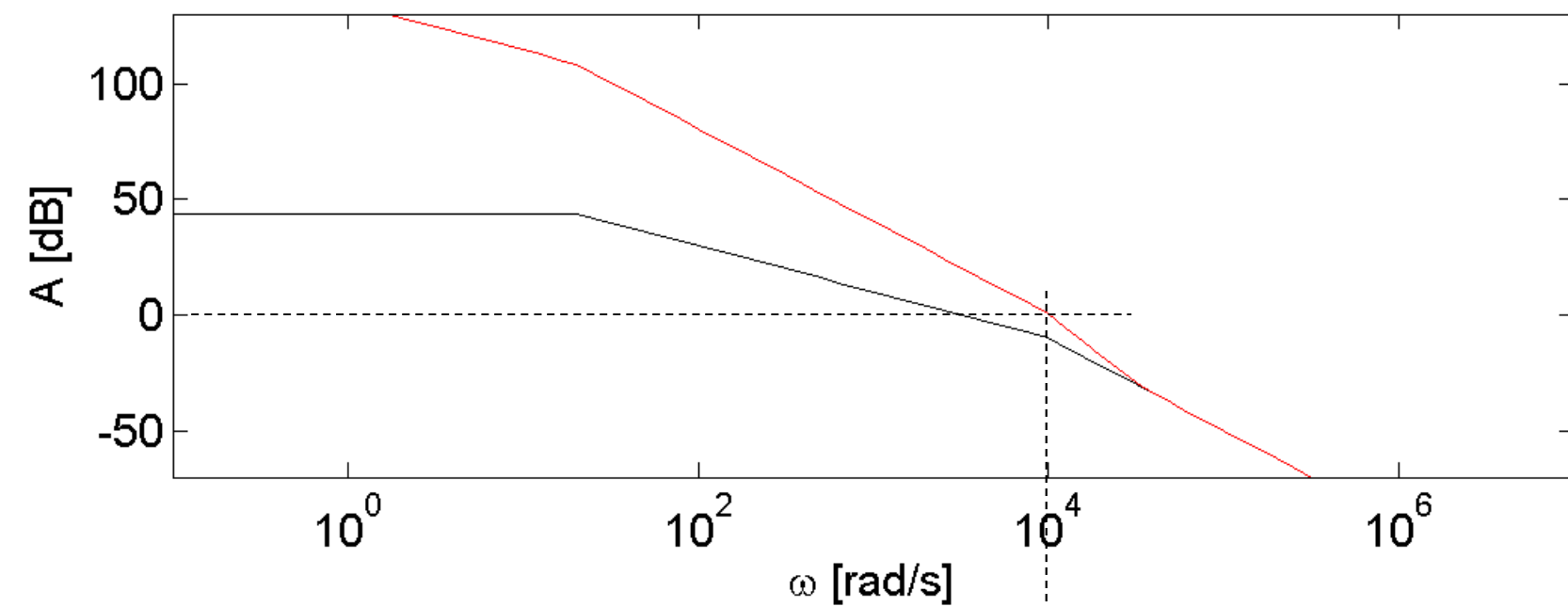


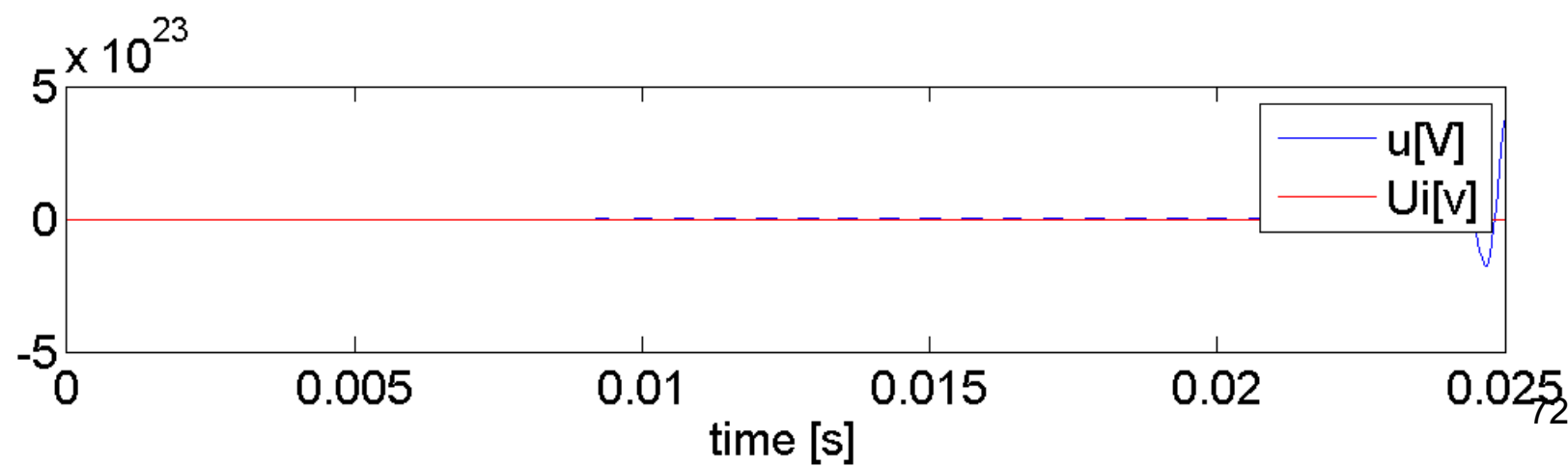
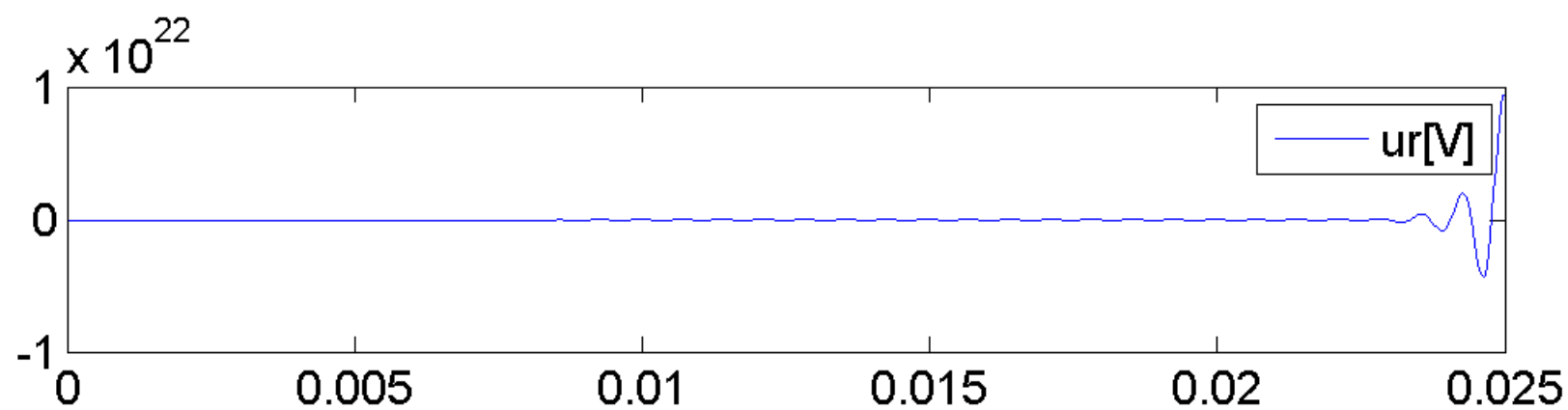
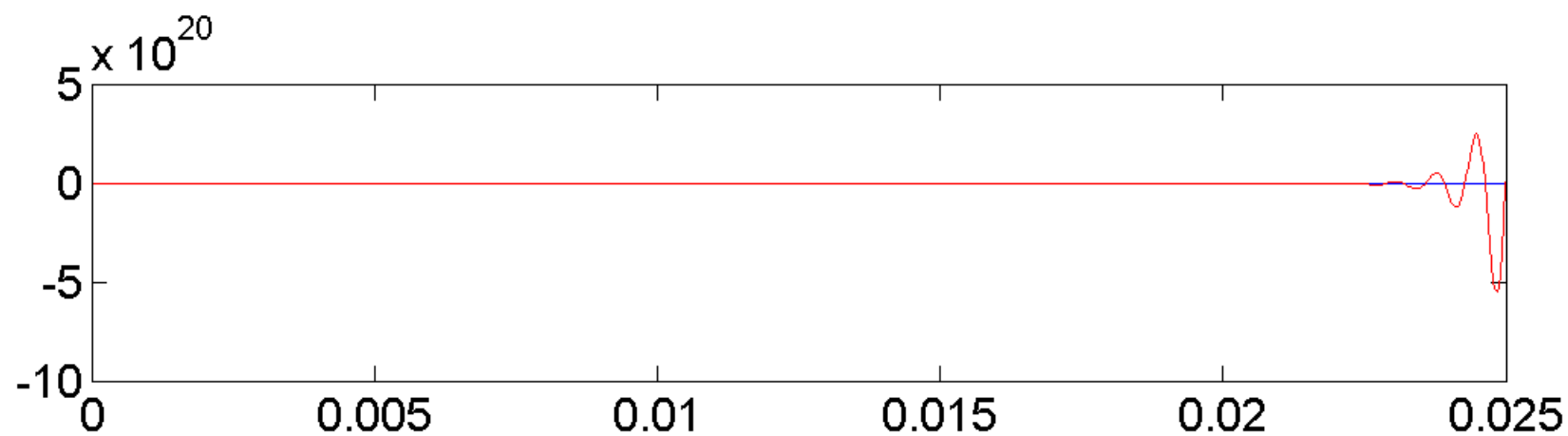




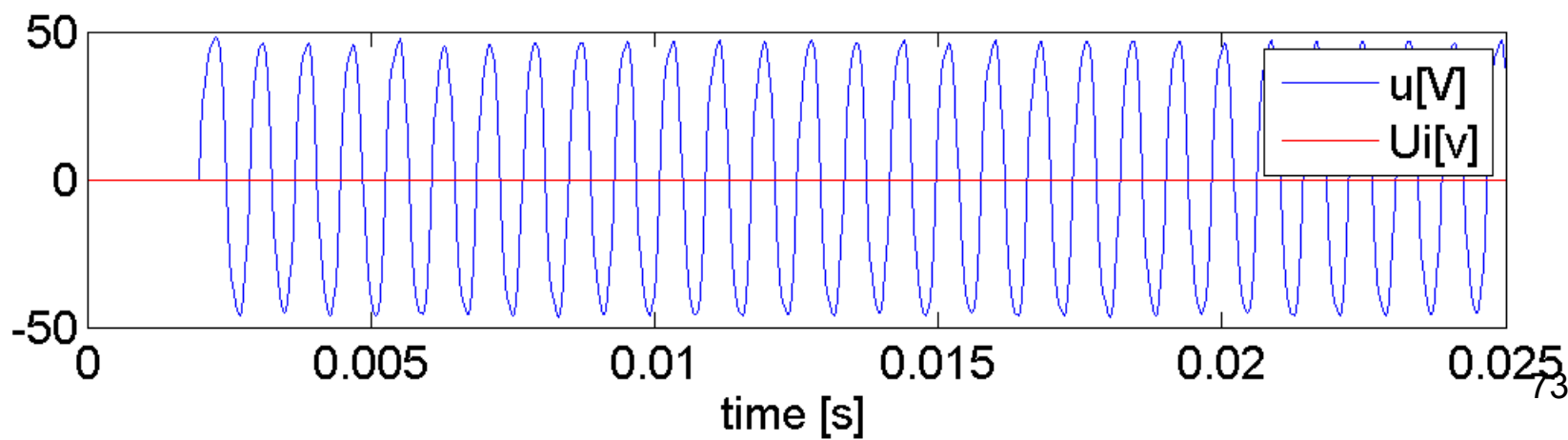
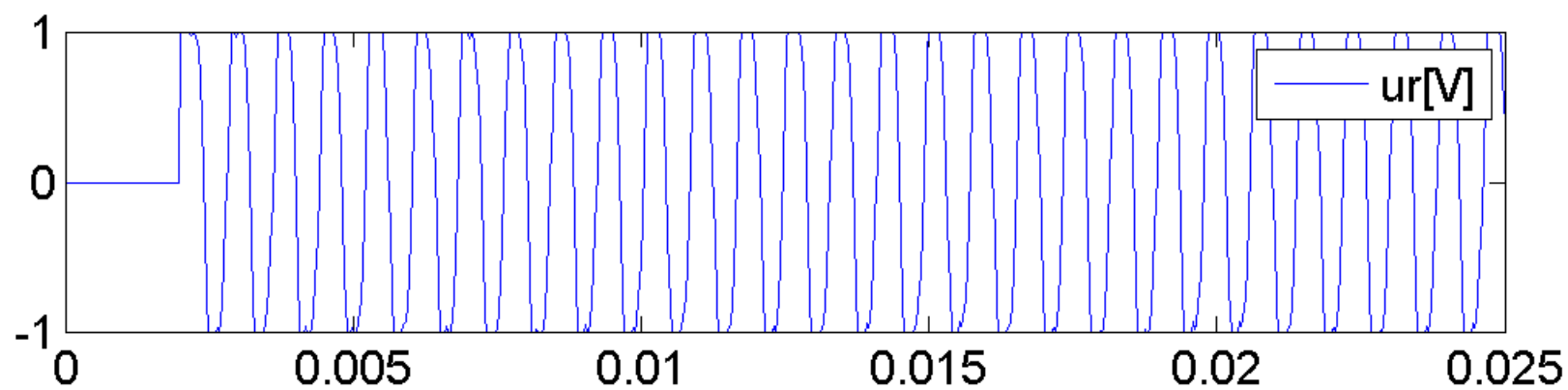
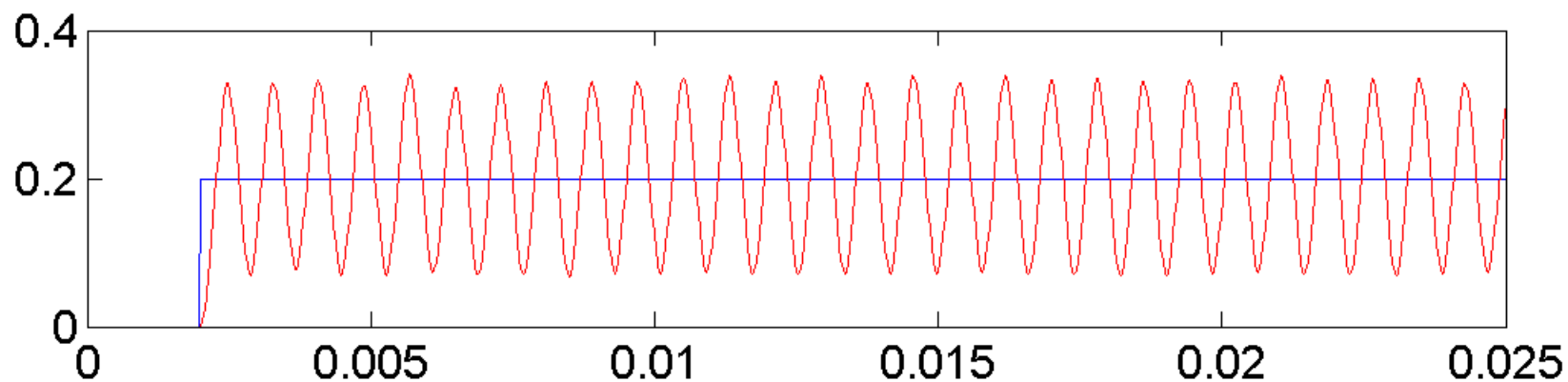








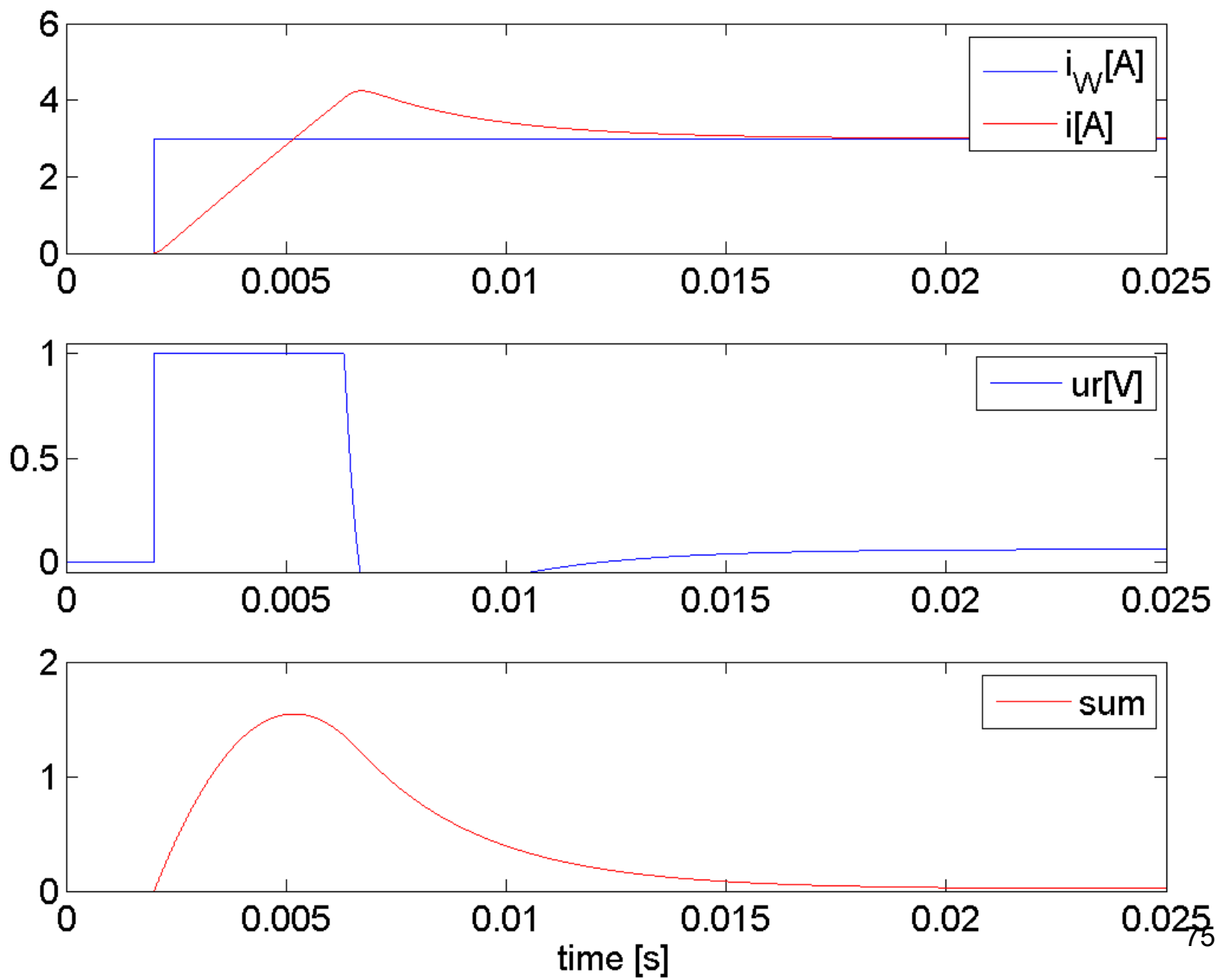
S omezovačem



Omezovač v regulátoru

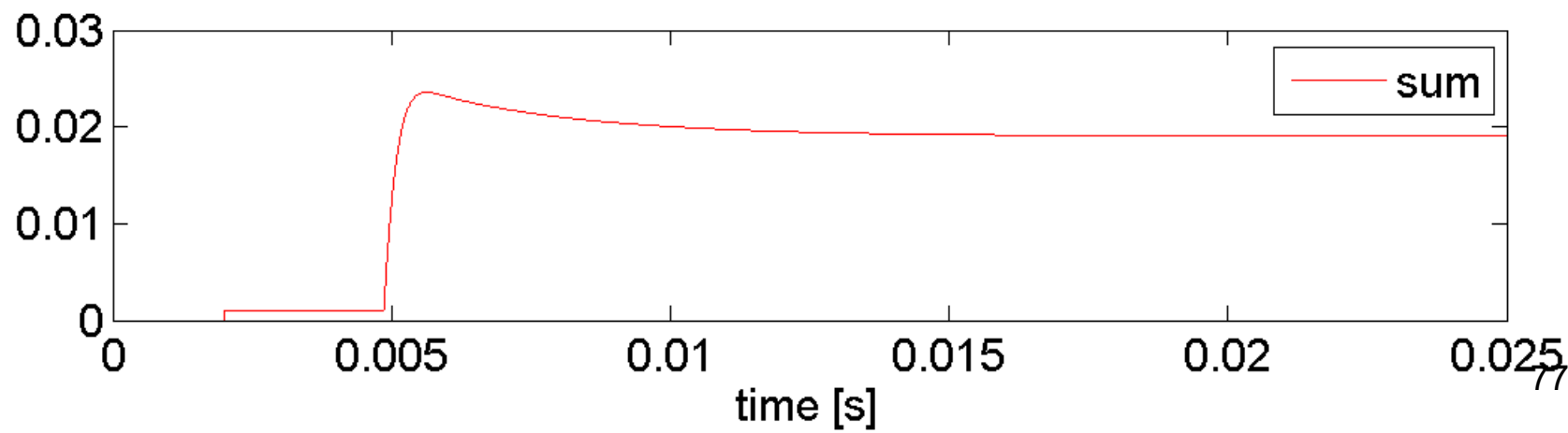
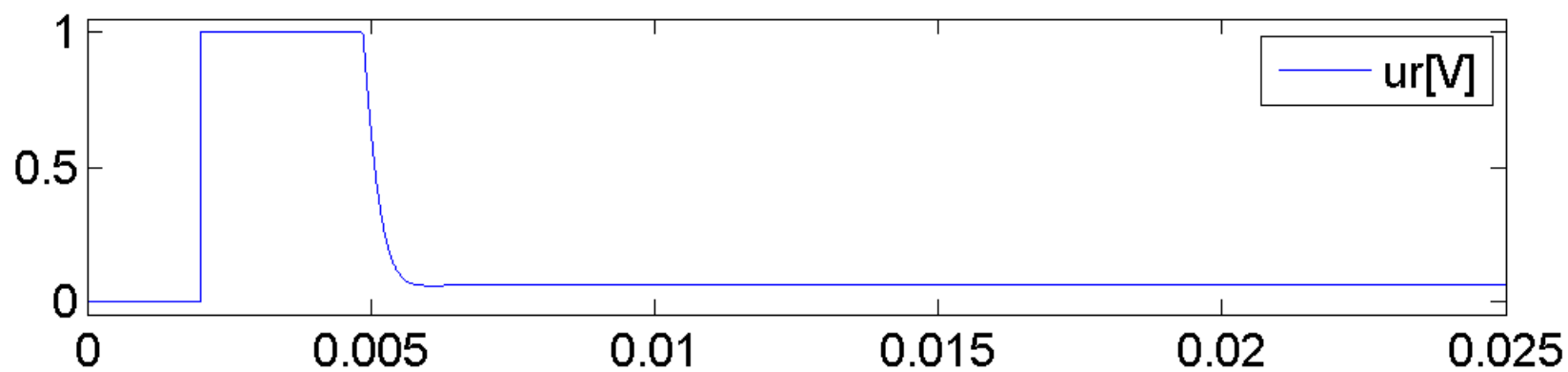
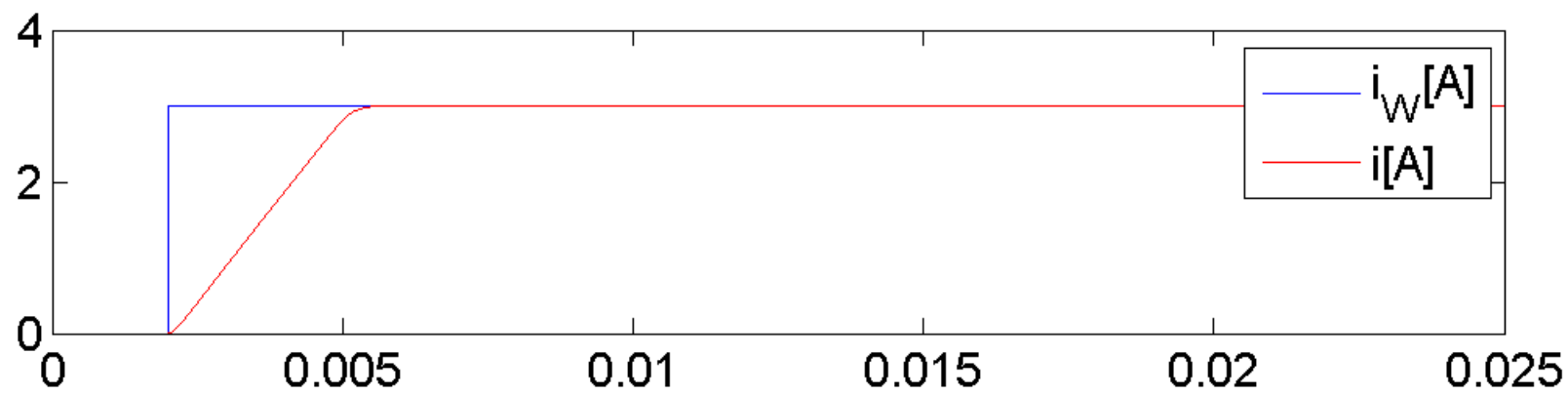
Na omezení např. nadproudu musí být omezovač před regulátorem proudu

```
e=iw-i; %regulacni odchylka  
sum=sum+1/Taur*e*dt; %integrace reg. odchylky  
ur=kr*(e+sum);  
  
if ur>urmax ur=urmax; end;  
if ur<-urmax ur=-urmax; end;
```



Omezovač

```
e=iw-i; %regulacni odchylka  
if abs(ur)<urmax sum=sum+1/Taur*e*dt; end; %integrace reg. odchylky  
ur=kr*(e+sum);  
  
if ur>urmax ur=urmax; end;  
if ur<-urmax ur=-urmax; end;
```



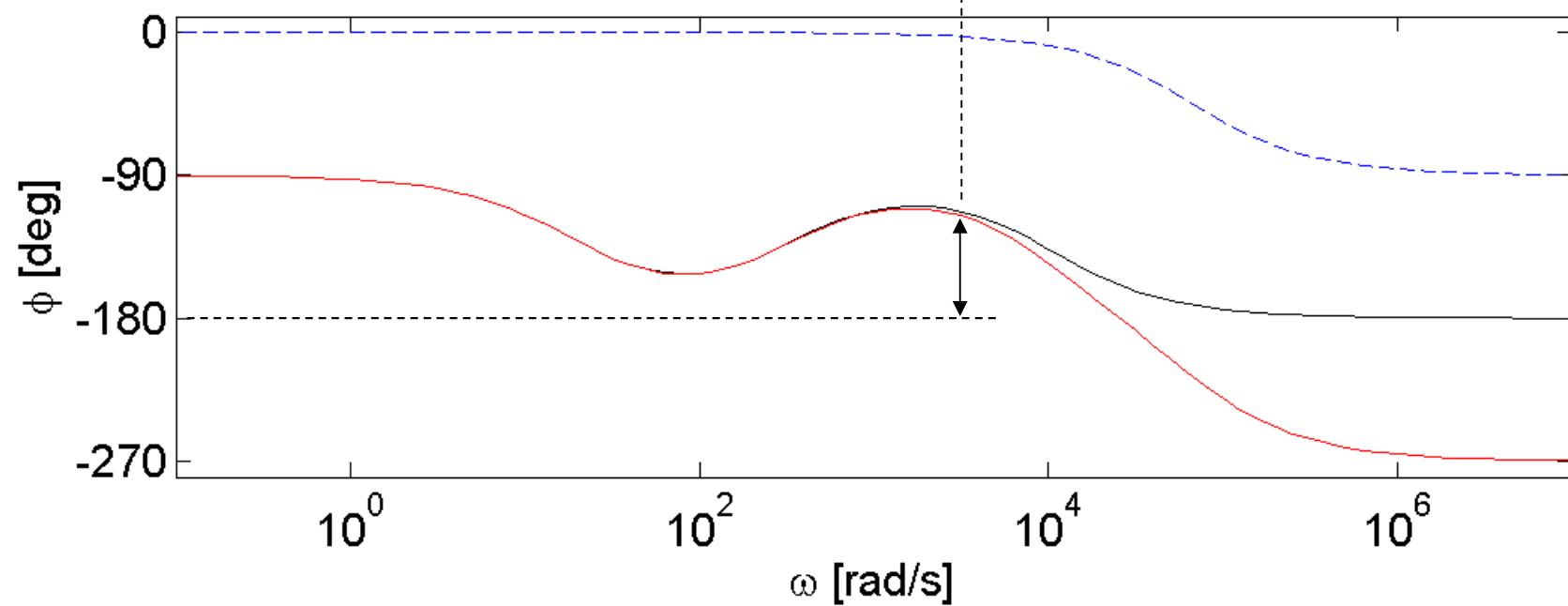
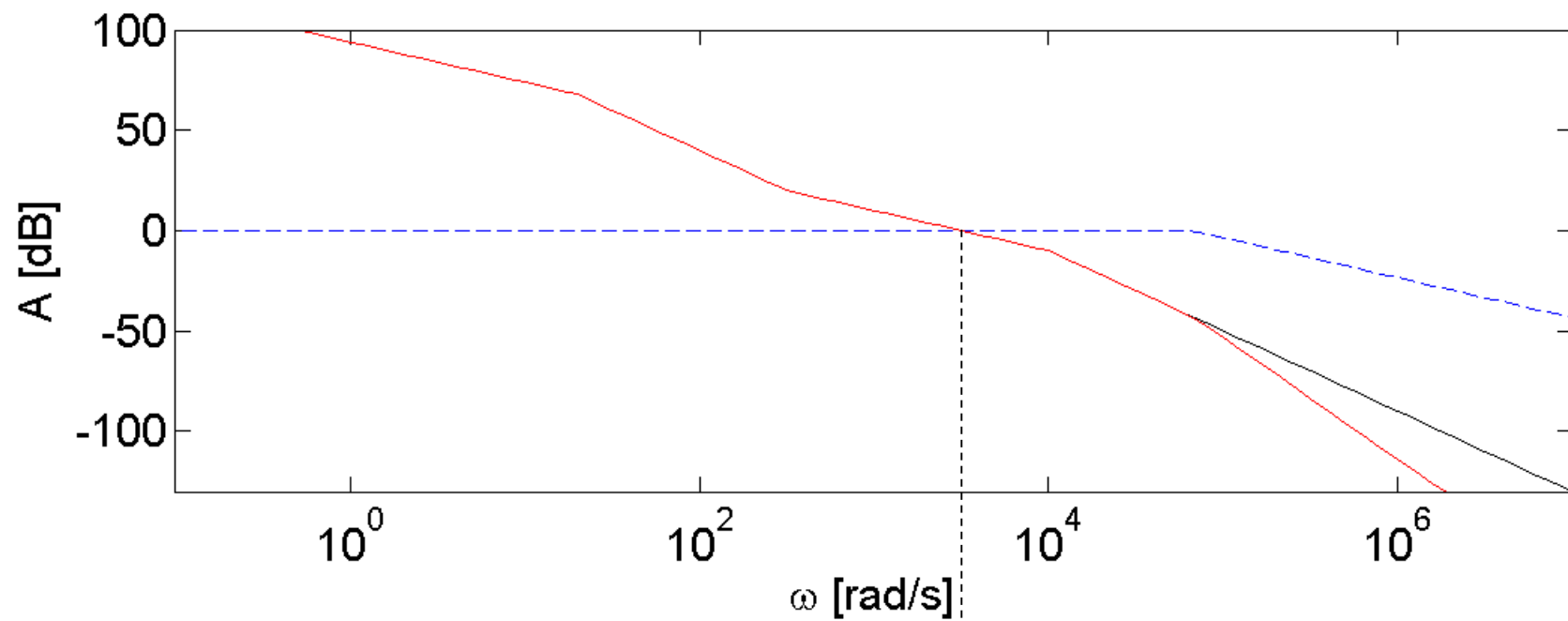
Diskrétní regulace

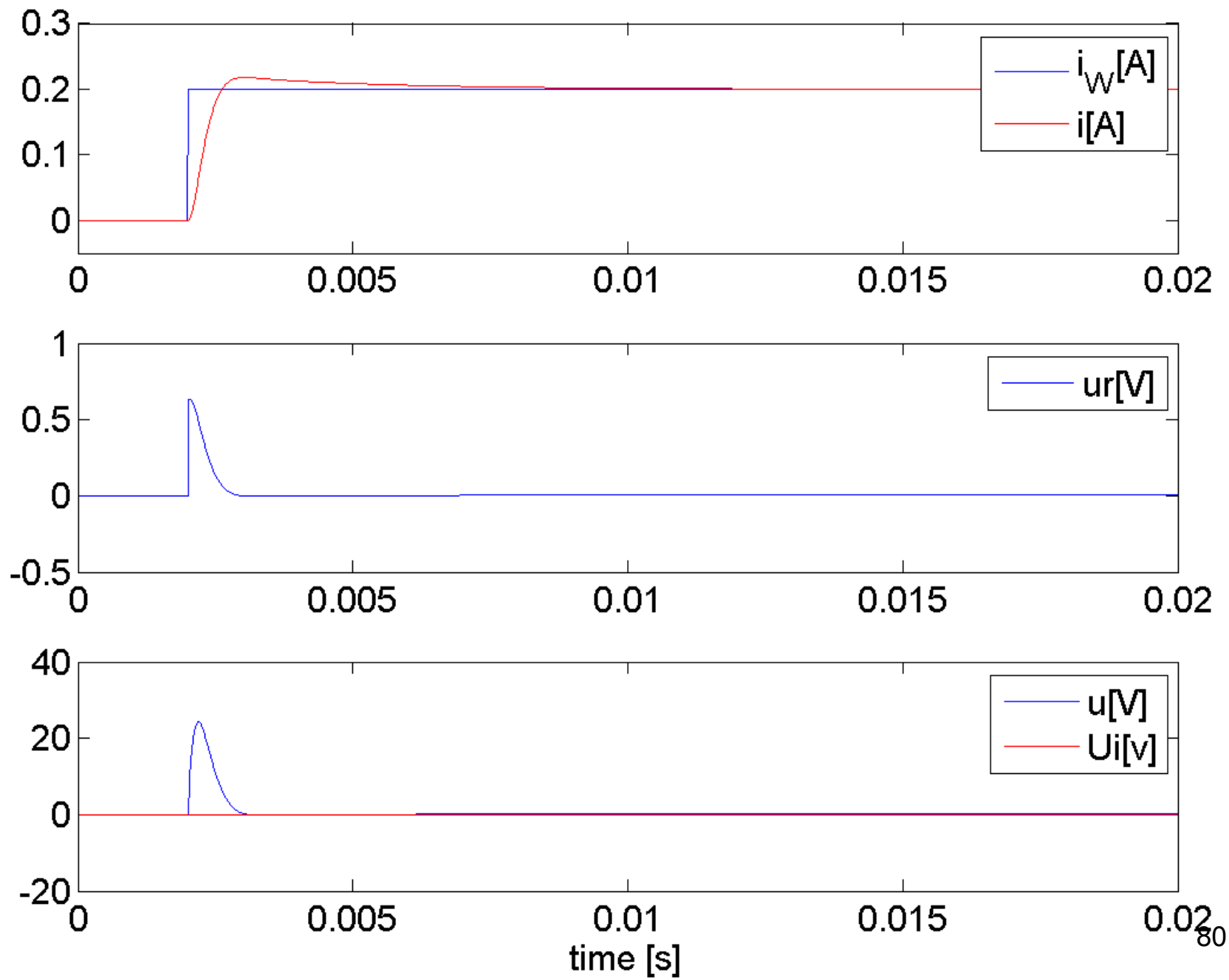
1. Proti spojitě smyčce navíc dvě zpoždění:
A/D převodníku vlivem vzorkování ΔT_{AD}
mikropočítače (doba potřebná na výpočet algoritmu regulátoru $\Delta T_{výp}$

Nejjednodušší metoda – postupovat stejně, jako by smyčka byla spojitá, ale přidat do ní blok reprezentující zpoždění $\Delta T = \Delta T_{AD} + \Delta T_{výp}$, např.

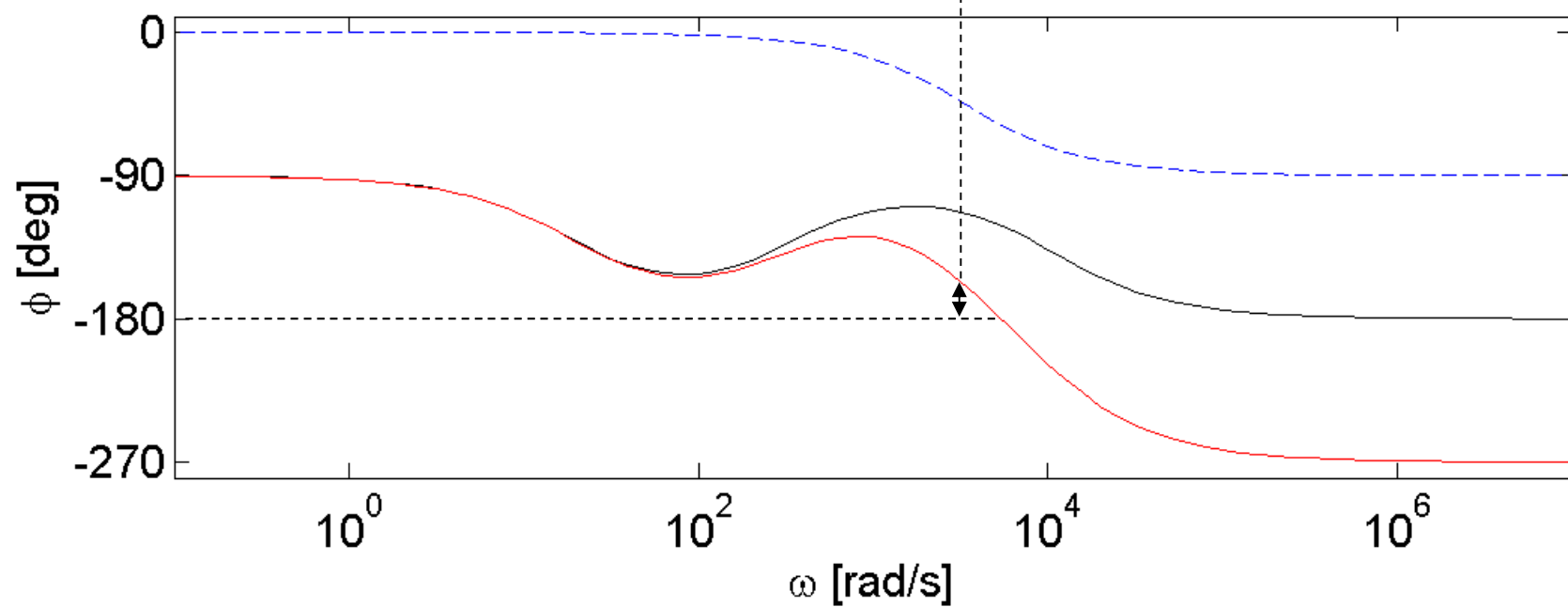
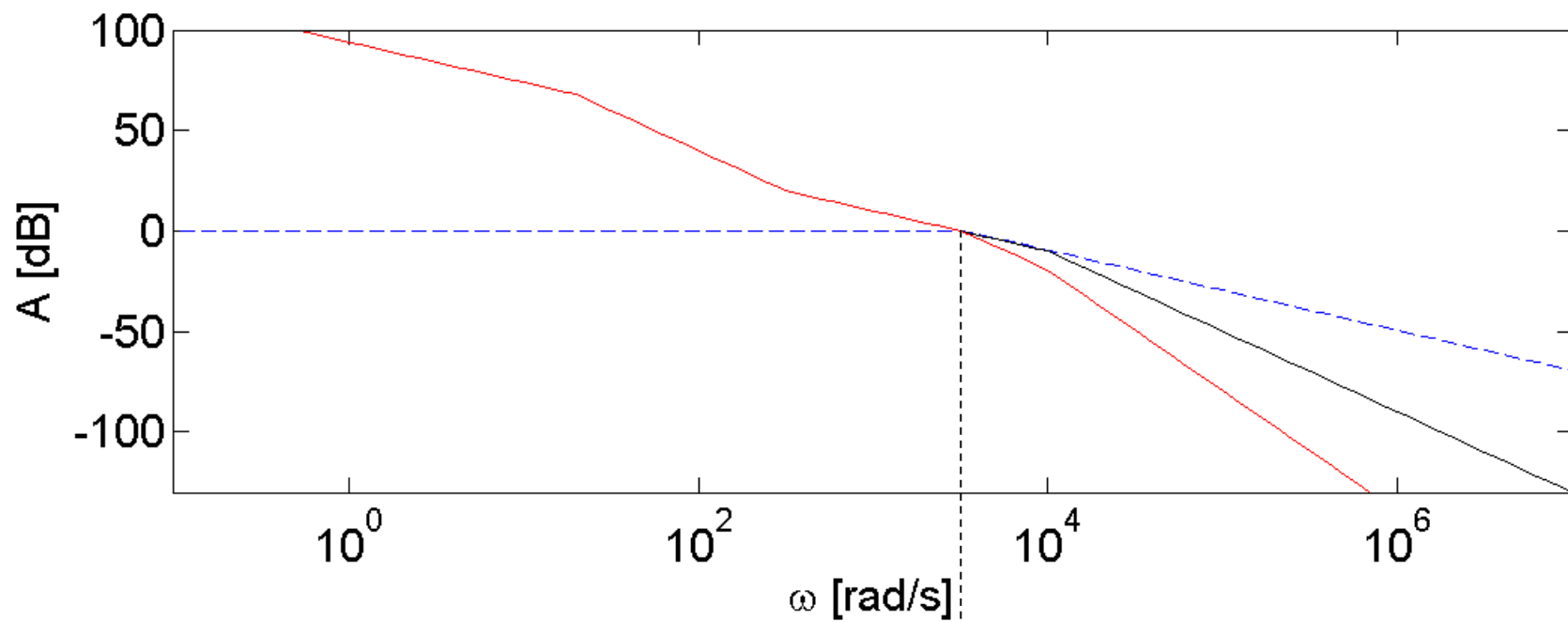
$$\frac{1}{1 + j\omega\Delta T}$$

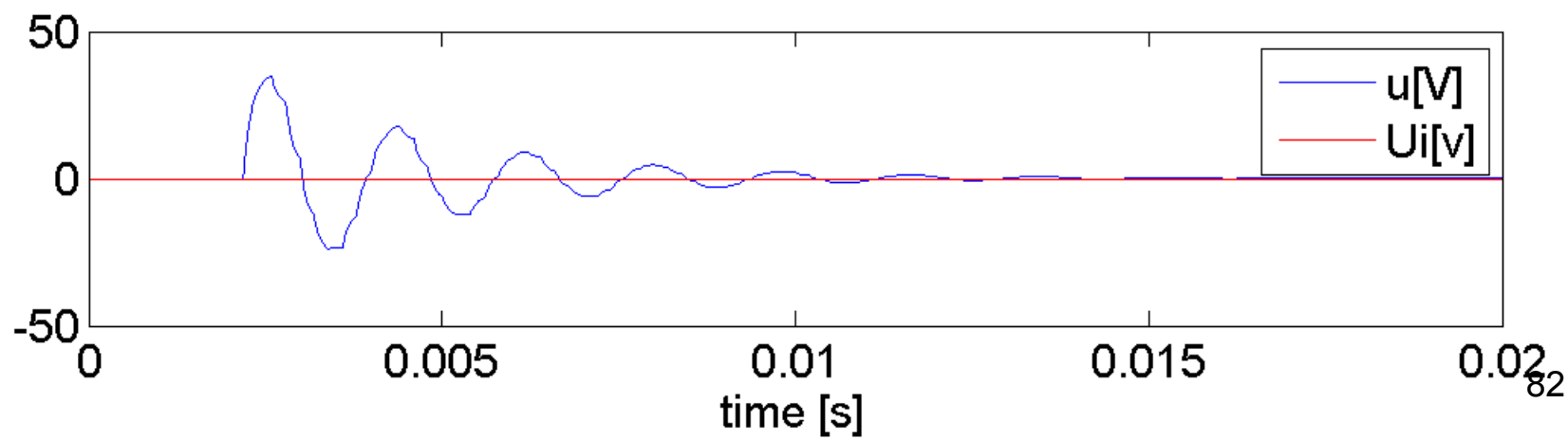
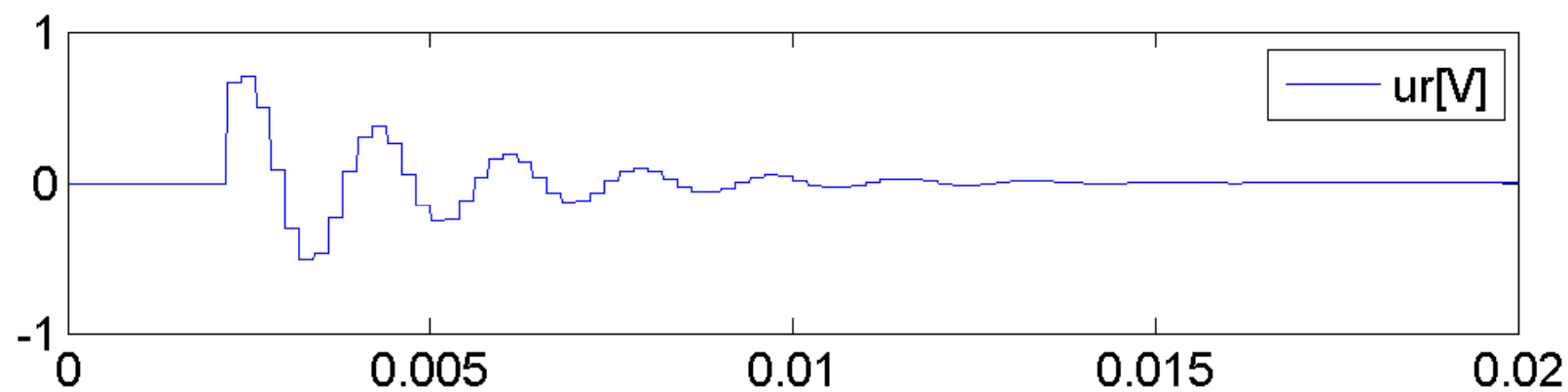
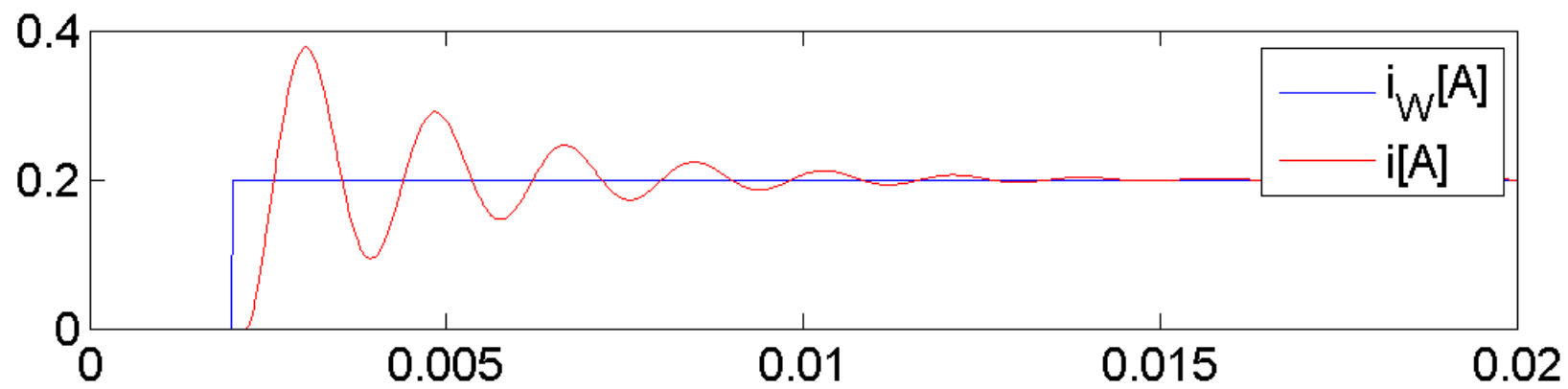
fvz=100kHz



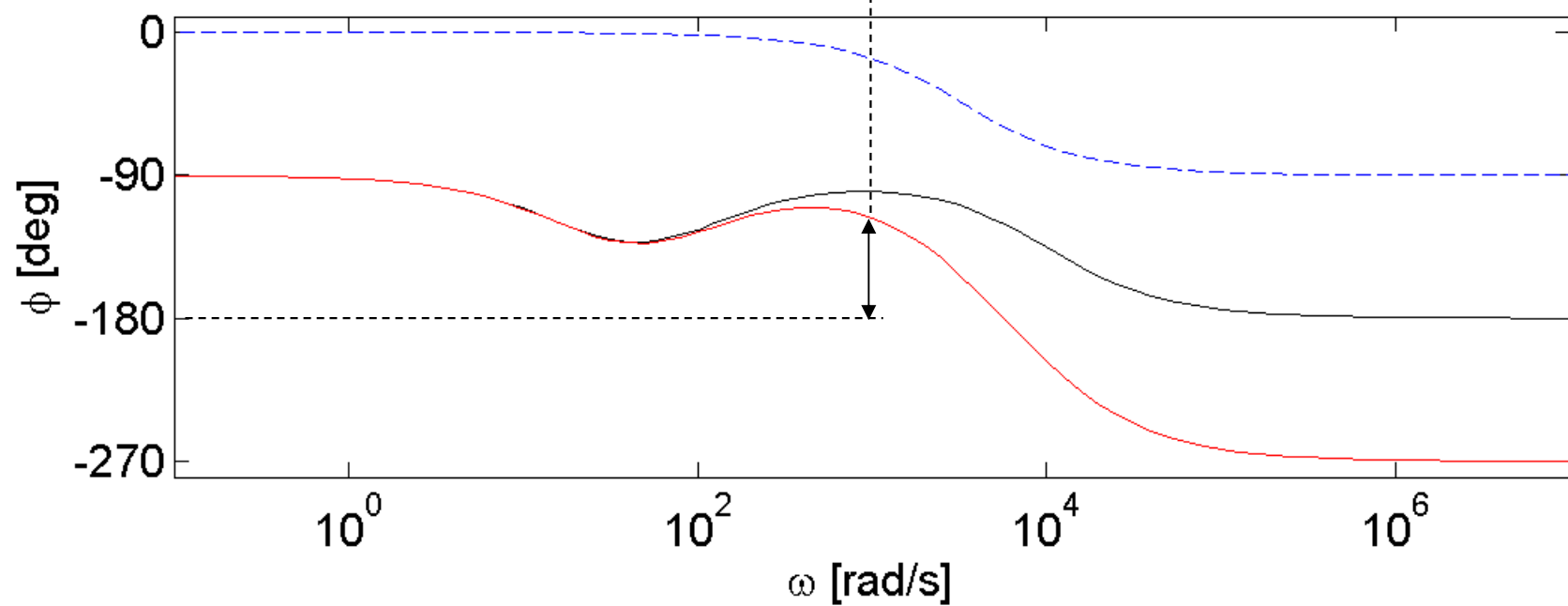
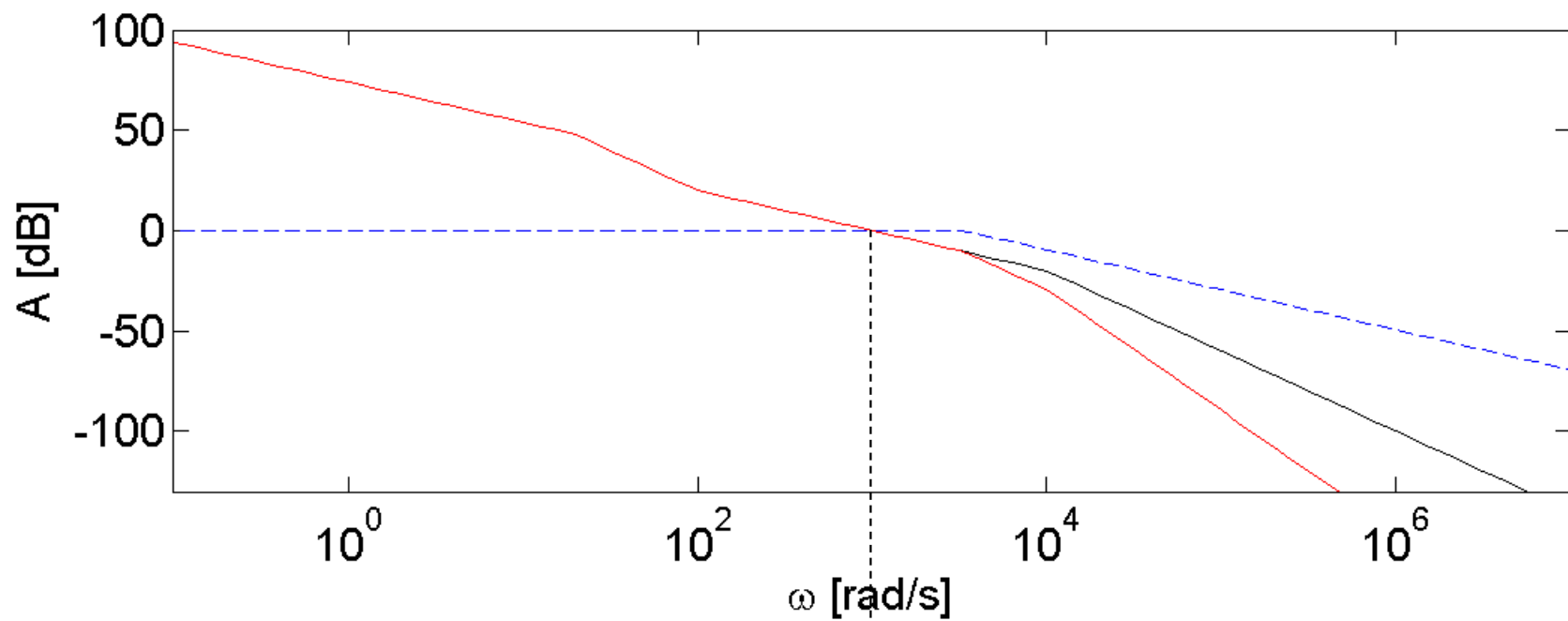


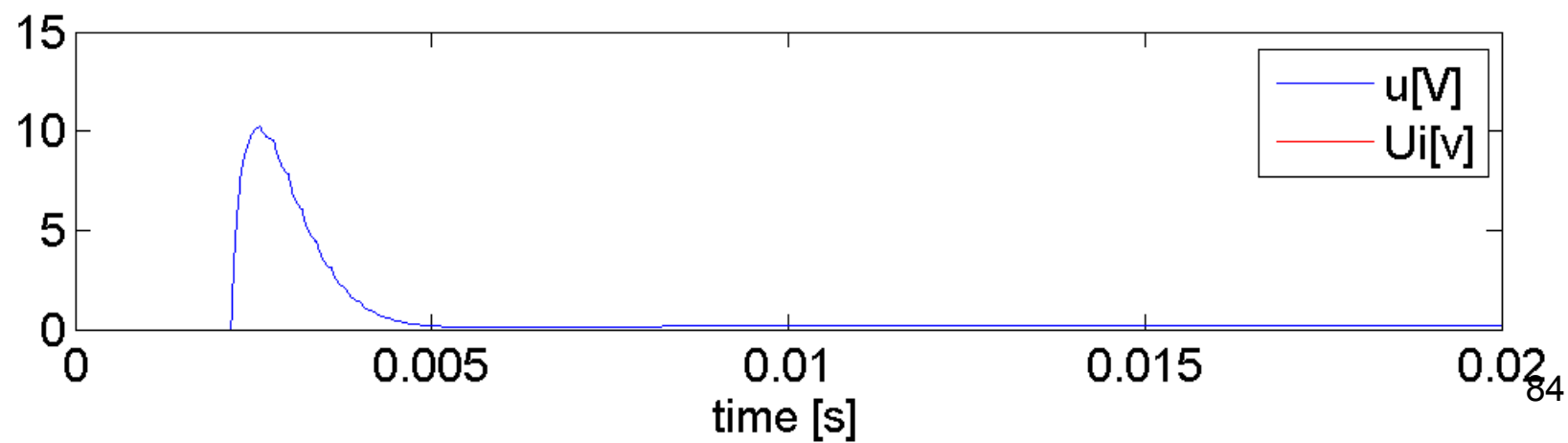
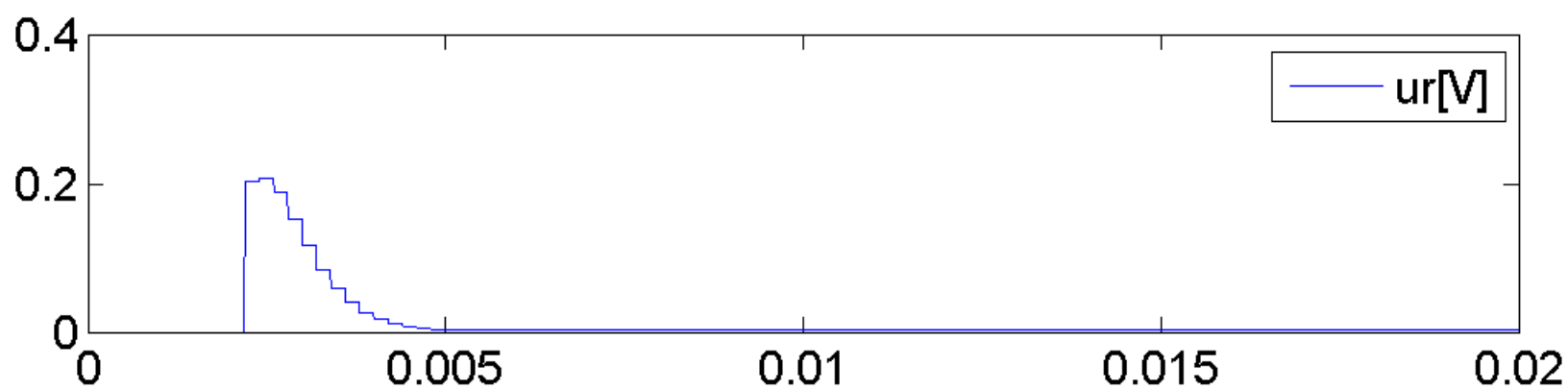
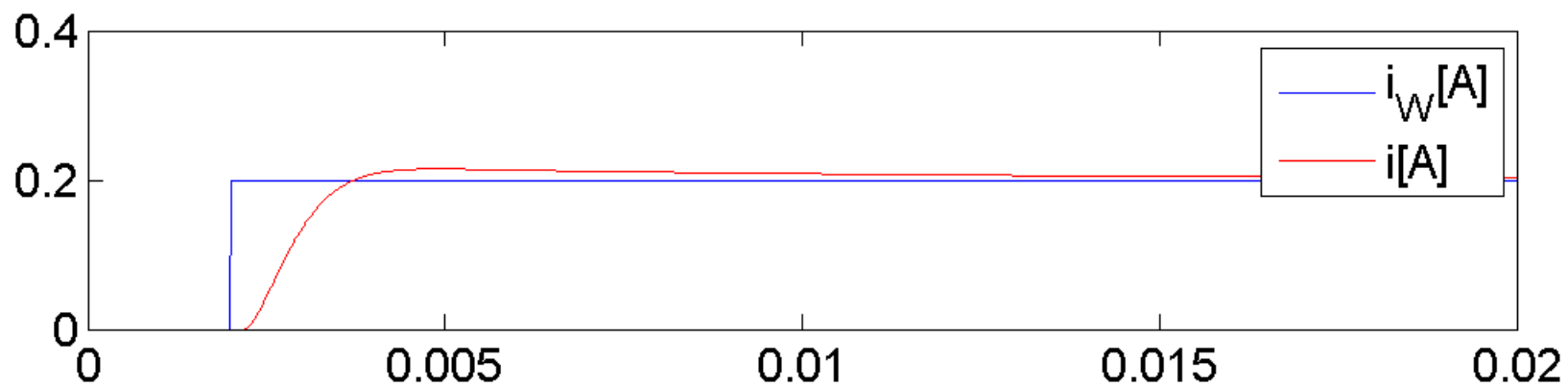
fvz=5kHz





fvz=5kHz





Optimální modul, symetrické optimum (Siemens)

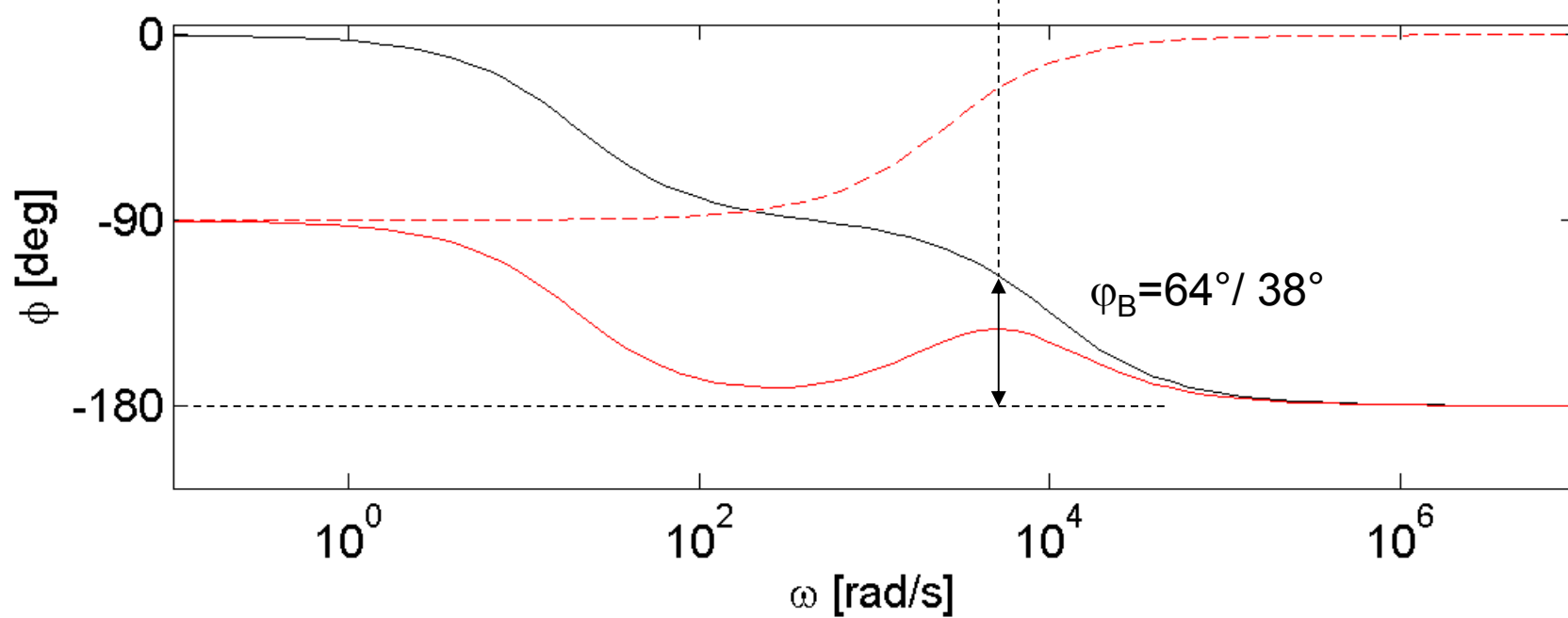
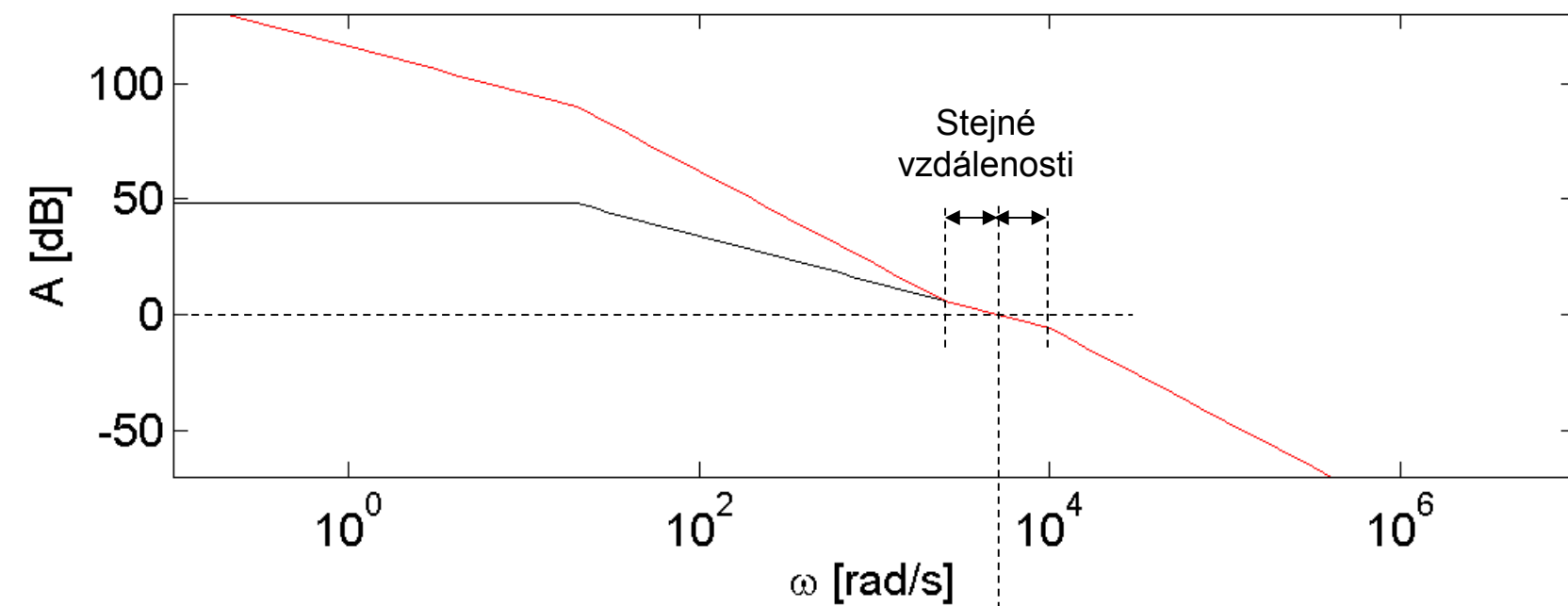
Automatická regulace v elektrických pohonech / Karel Zeman ; Luděk Spíral. 1.část. -- 1. vyd.. -- Plzeň : VŠSE, 1987. -- 220 s

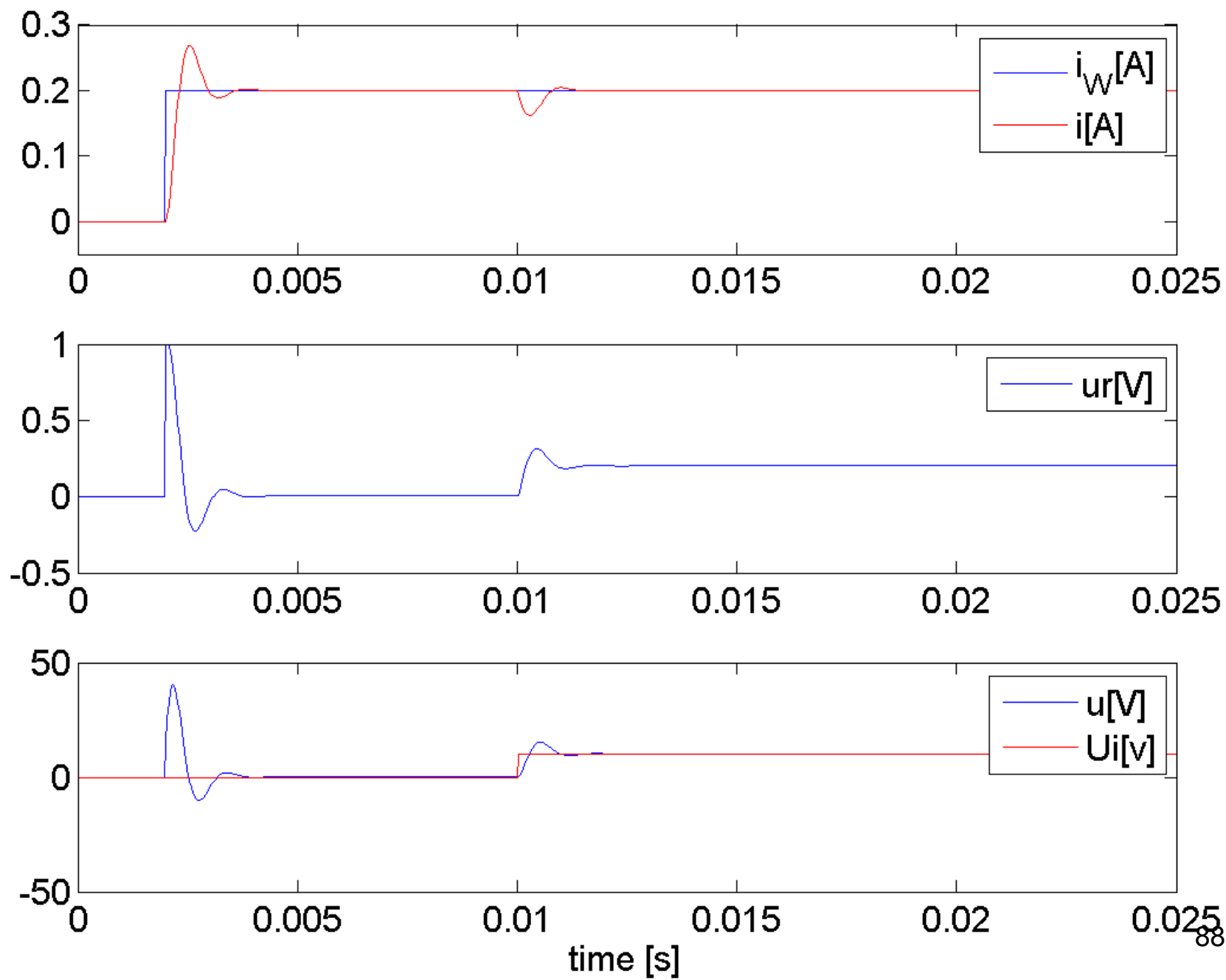
Řádek	Regulovaná soustava					Regulátor	Metóda	Parametry regulátoru
	Velké čas. konstanty		Malé časové konstanty					
	T_0	T_1	$4\tau_0 \geq T$	$4\tau_0 \leq T$	$4\tau_0 \ll T$			
1						PI	OM	$K_R K_S K_E = \frac{T_1}{2\tau_0}$ $\tau_R = T_1$
2						PI	SO	$K_R K_S K_E = \frac{T_0}{2\tau_0}$ $\tau_R = 4\tau_0$
3						PI	SO	$K_R K_S K_E = K_K \frac{T_1}{2\tau_0}$ $\tau_R = K_K \cdot 4\tau_0$
4						P	OM	$K_R K_S K_E = \frac{T}{8\tau_0}$

- $T_1=0,05\text{s}$
- $T_\sigma=0,0001\text{s}$
- $k_k=k_\tau=1$ (korekční koeficienty pro přesnější výpočet)
- $k_s=50$
- $k_c=1$

$$k_R = \frac{T_1}{2 \cdot T_\delta} \cdot \frac{1}{k_s} = 5$$

$$\tau_R = 4 \cdot T_\delta = 4 \cdot 10^{-4}$$

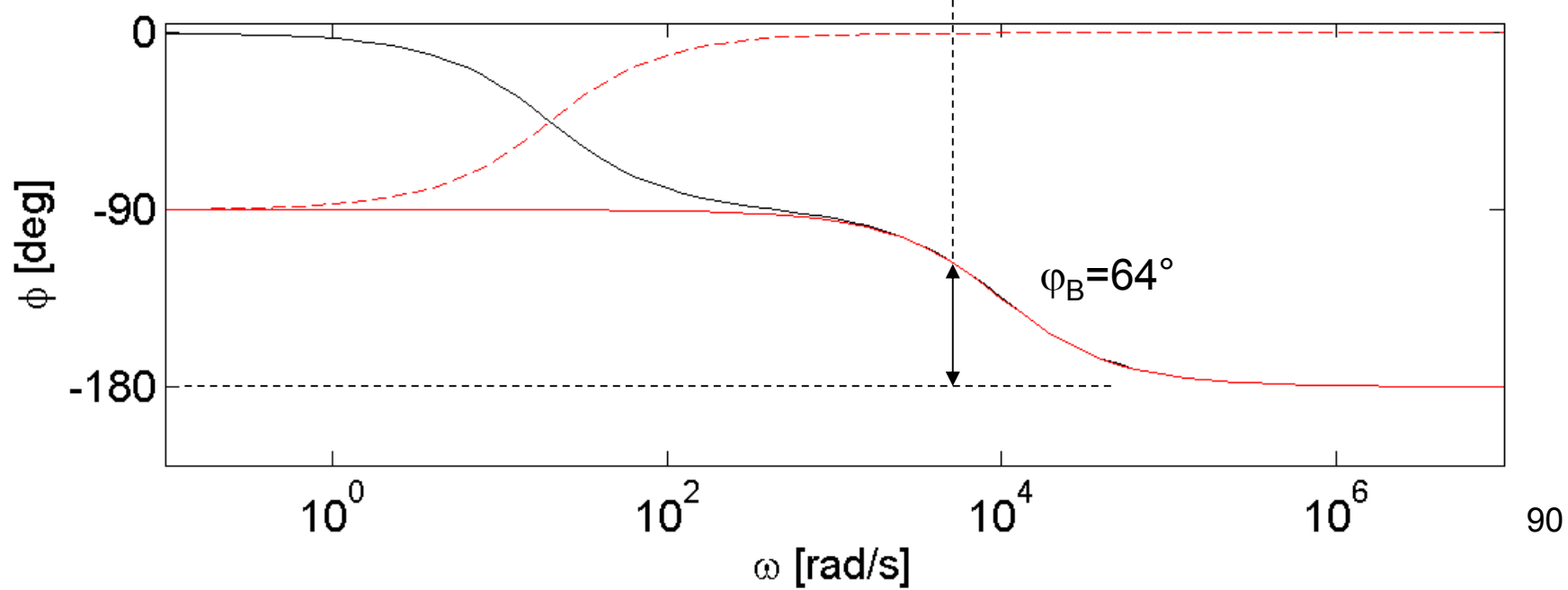
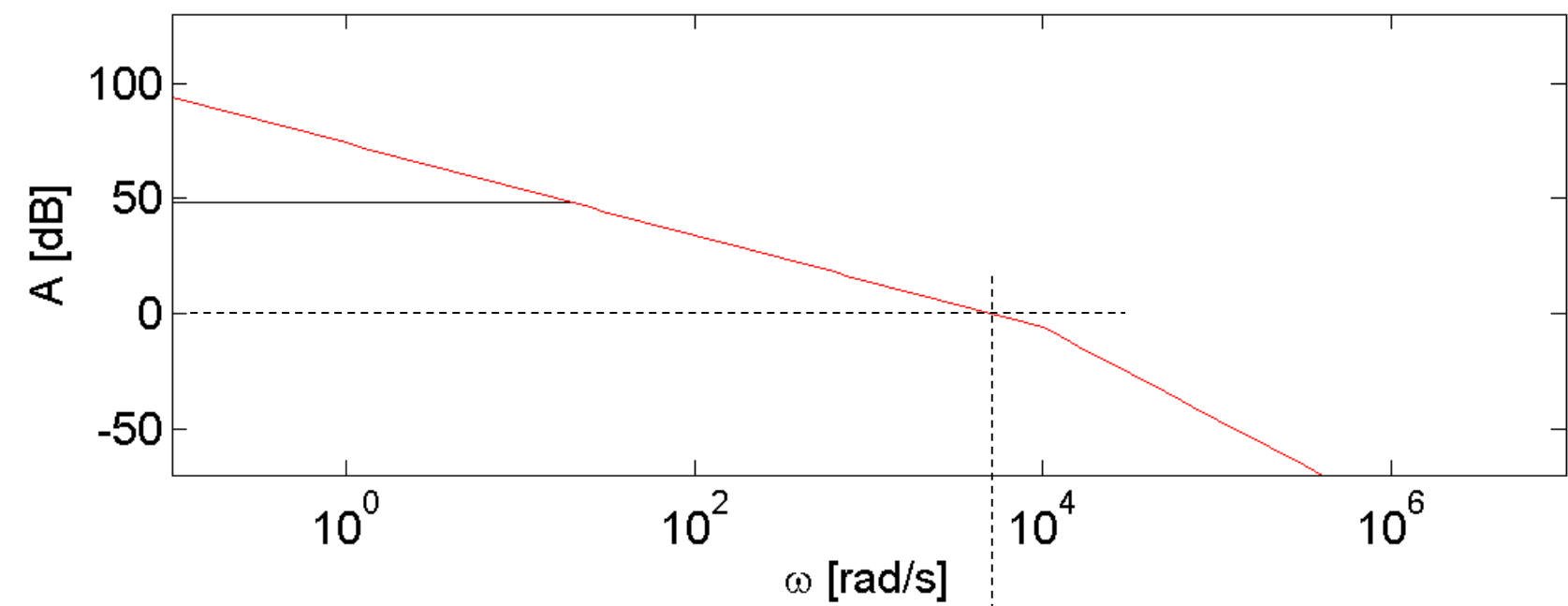


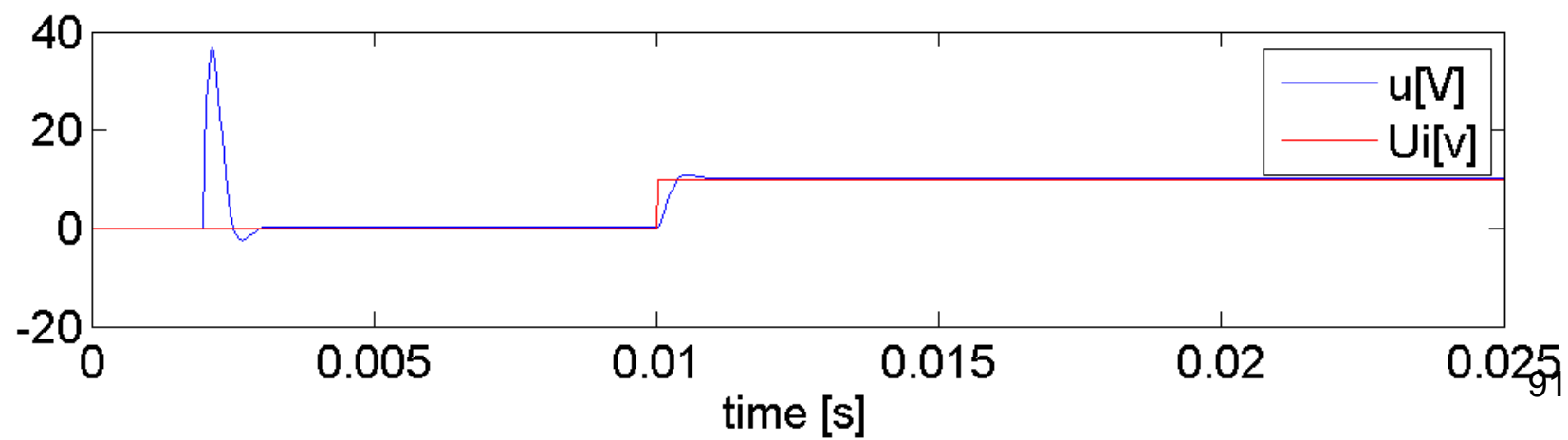
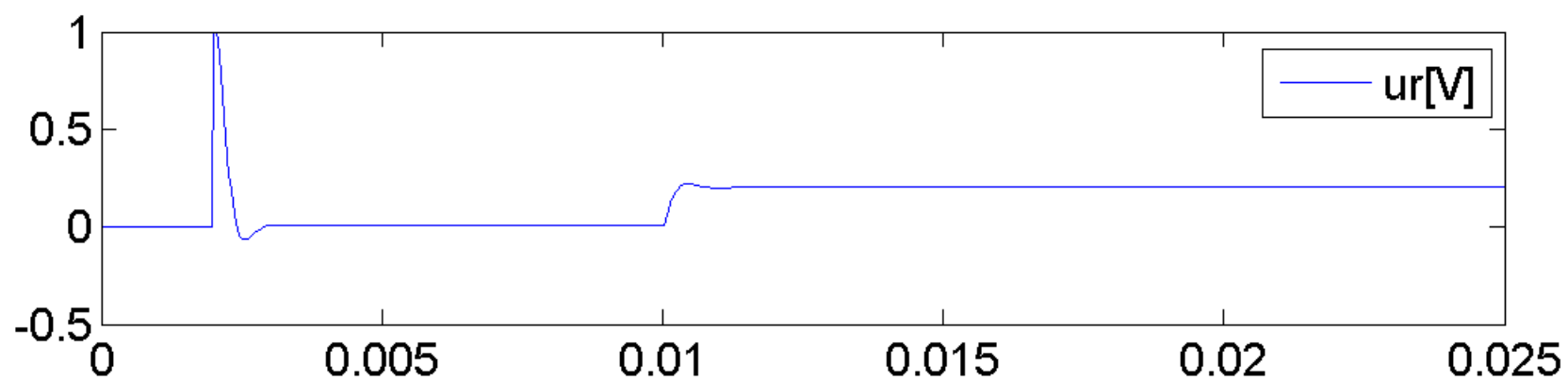
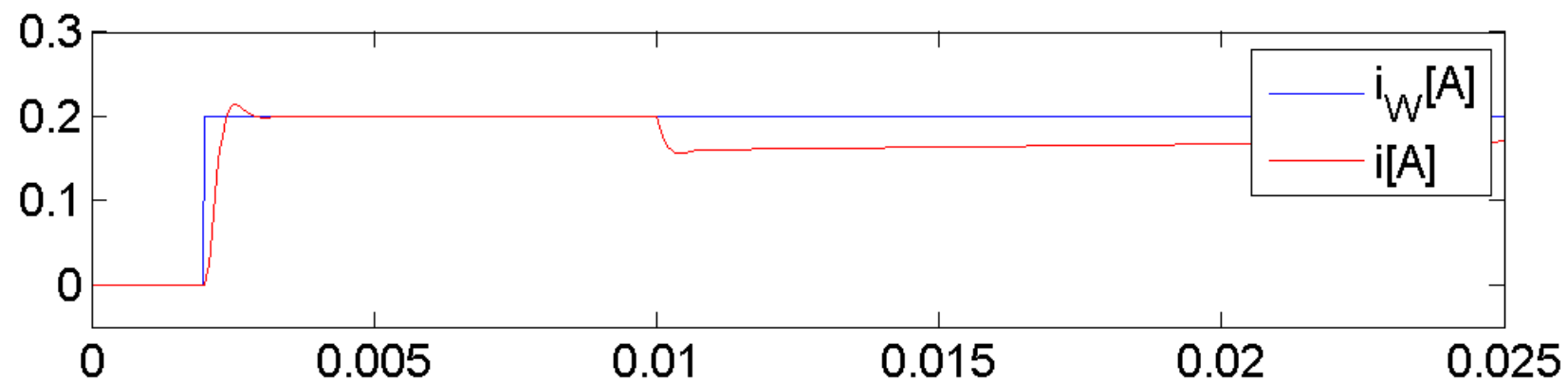


Optimální modul, symetrické optimum

Automatická regulace v elektrických pohonech / Karel Zeman ; Luděk Spíral. 1.část. -- 1. vyd.. -- Plzeň : VŠSE, 1987. -- 220 s

Řádek	Regulovaná soustava					Regulátor	Metóda	Parametry regulátoru
	Velké čas. konstanty		Malé časové konstanty					
	T_0	T_1	$4\tau_0 > T$	$4\tau_0 \leq T$	$4\tau_0 \ll T$			
1						PI	OM	$K_R K_S K_e = \frac{T_1}{2\tau_0}$ $\tau_R = T_1$
2						PI	SO	$K_R K_S K_e = \frac{10}{2\tau_0}$ $\tau_R = 4\tau_0$
3						PI	SO	$K_R K_S K_e = K_K \frac{T_1}{2\tau_0}$ $\tau_R = K_K \cdot 4\tau_0$
4						P	OM	$K_R K_S K_e = \frac{T}{8\tau_0}$





Geometrické místo kořenů

odezva systému na skok $\ell^{-1} \left\{ \frac{1}{p} \cdot Fw(p) \right\}$

$$Fw(p) = \frac{Fo(p)}{1 + Fo(p)} \cdot \frac{1}{Fzv(p)} = \frac{A(p)}{B(p)}$$

$$B(p) = 0$$

Charakteristická rovnice, její kořeny=„póly“

reálný kořen $\alpha \rightarrow$ složka $e^{\alpha t}$

komplexně sdružené kořeny $\alpha \pm j\omega \rightarrow e^{\alpha t} \sin(\omega t + \varphi)$

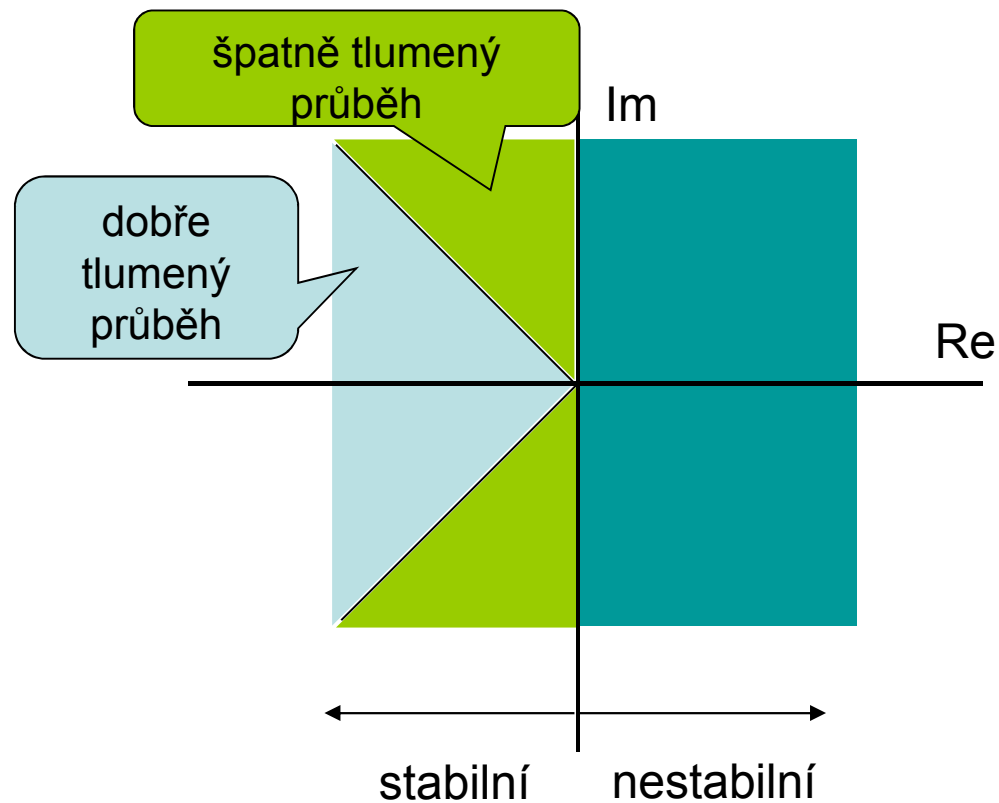
$\alpha > 0$ – nestabilní

Geometrické místo kořenů

$e^{\alpha\tau} \sin(\omega t + \varphi)$... kmity zaniknou cca za $3/\alpha$

perioda kmitů $T=2\pi/\omega=6/\omega$

pro $\alpha=\omega$ kmity zaniknou za $T/2$, tedy skoro nevzniknou



Přenos $F(p)$	Počet nul N Počet pólů P	Průběh geometrického místa kořenů
$\frac{K(pT_0+1)}{p^2T_1^2+pT_2+1}$	$\frac{1}{2}$	
$\frac{Kp}{p^2T_1^2+pT_2+1}$	$\frac{1}{2}$	
$\frac{K}{(pT_1+1)(pT_2+1)(pT_3+1)}$	$\frac{0}{3}$	
$\frac{K}{(pT_1+1)^3}$	$\frac{0}{3}$	trojnásobný kořen
$\frac{K}{p(pT_1+1)(pT_2+1)}$	$\frac{0}{3}$	
$\frac{K}{p(p^2T_1^2+pT_2+1)}$	$\frac{0}{3}$	Různý průběh dle velikosti T_2

Přenos $F(p)$	Počet nul N Počet pólů P	Průběh geometrického místa kořenů
$\frac{K(pT_0+1)}{(pT_1+1)(pT_2+1)(pT_3+1)}$	$\frac{1}{3}$	$T_1 > T_2 > T_3 > T_0$
		$T_1 > T_2 > T_0 > T_3$
		$T_1 > T_2 > T_0 > T_3$
		$T_1 > T_2 > T_0 > T_3$
		$T_1 > T_0 > T_2 > T_3$
		$T_0 > T_1 > T_2 > T_3$
$\frac{K(pT_a+1)(pT_b+1)}{(pT_1+1)(pT_2+1)(pT_3+1)}$	$\frac{2}{3}$	$T_1 > T_a > T_2 > T_3 > T_b$
$\frac{K(pT_a+1)(pT_b+1)}{(pT_1+1)^3}$	$\frac{2}{3}$	$T_1 > T_a > T_b$

Matlab – symbolic math toolbox

```
syms p

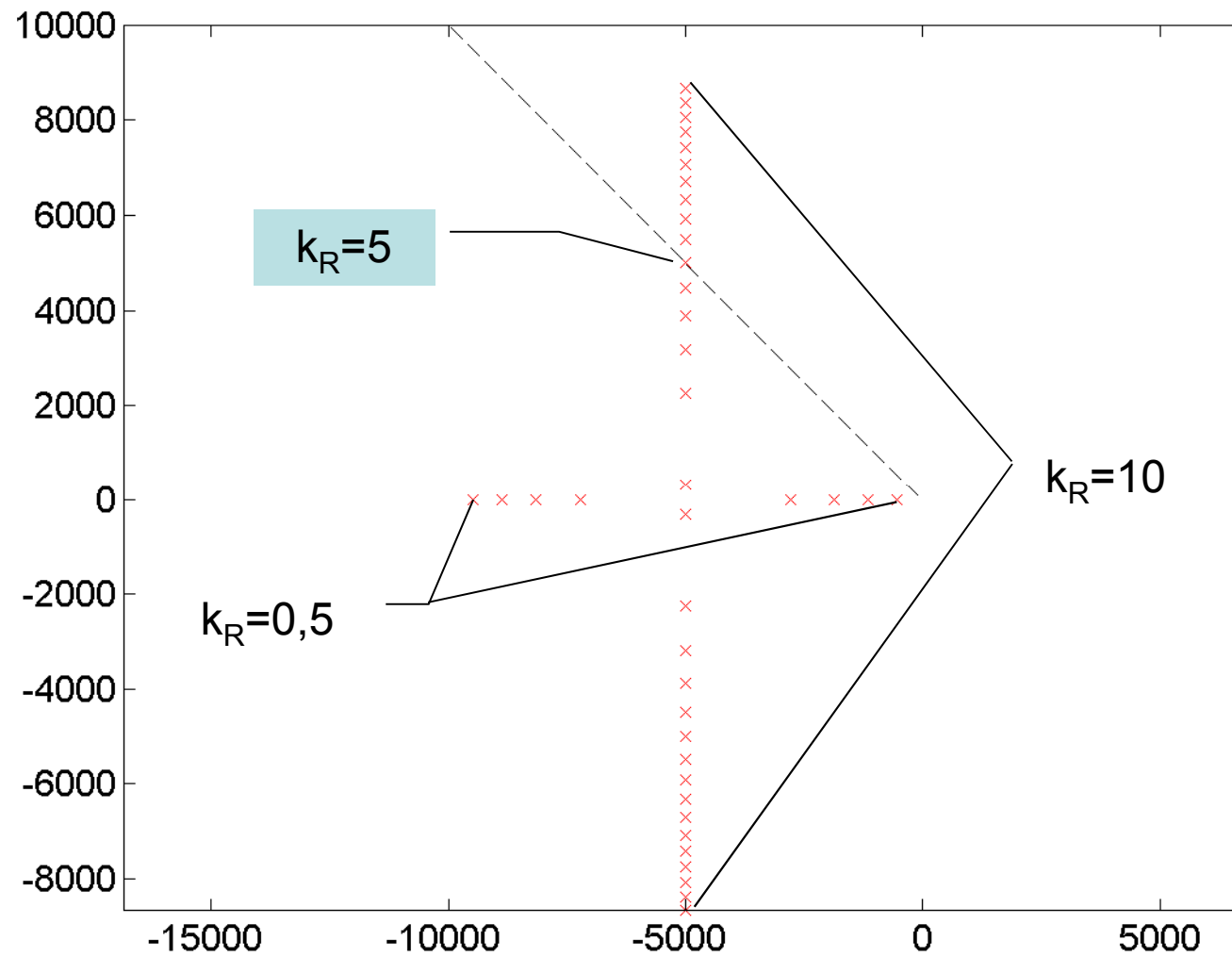
x=[];
y=[];

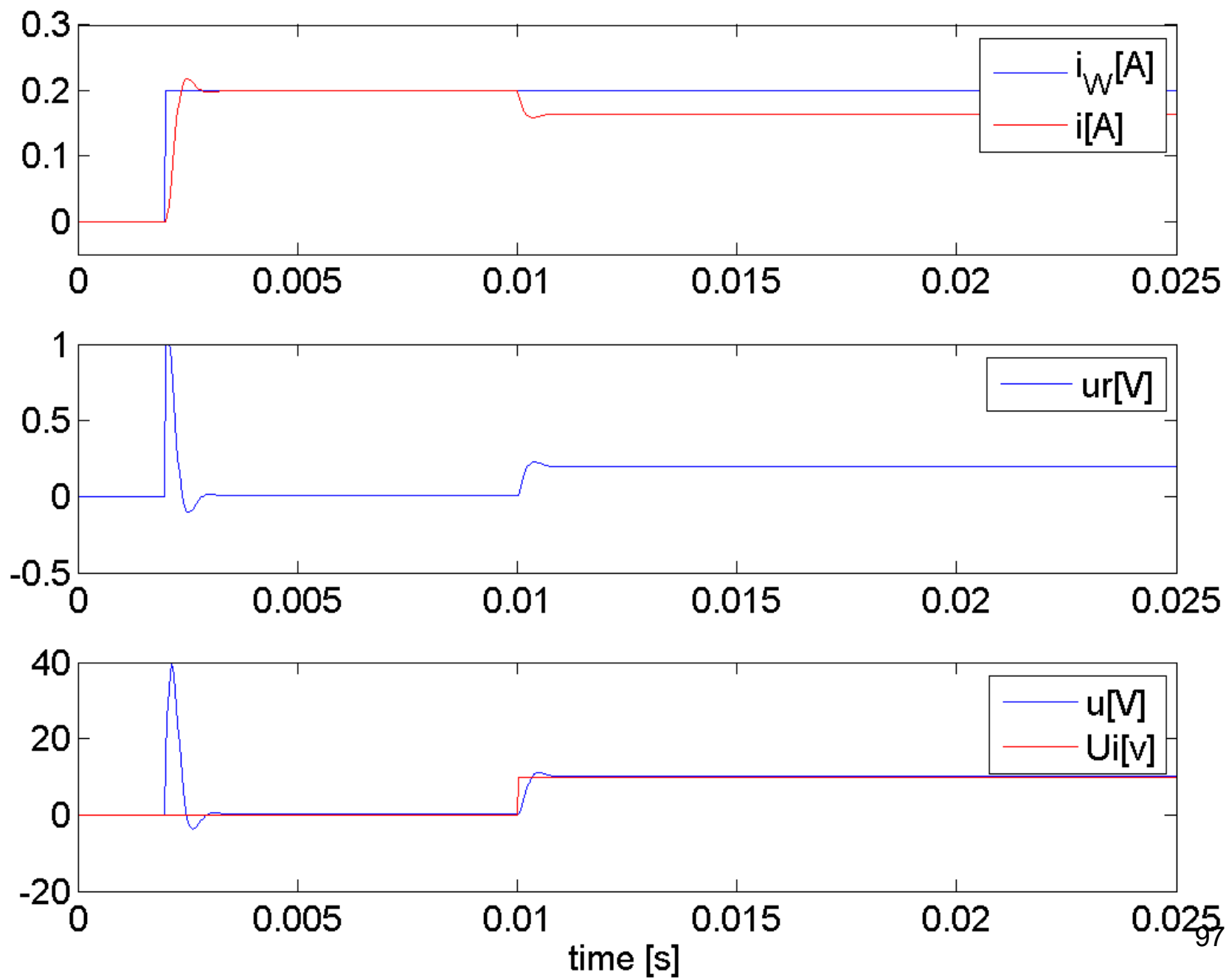
menic=50/(1+1e-4*p);
motor=1/(1+0.05*p);
kr=[0.5:0.5:10];

for i=1:size(kr,2)
    CharR=1+a1*a2*k(i);
    koren=solve(CharR,'p');
    x=[x eval(real(koren))];
    y=[y eval(imag(koren))];
end;

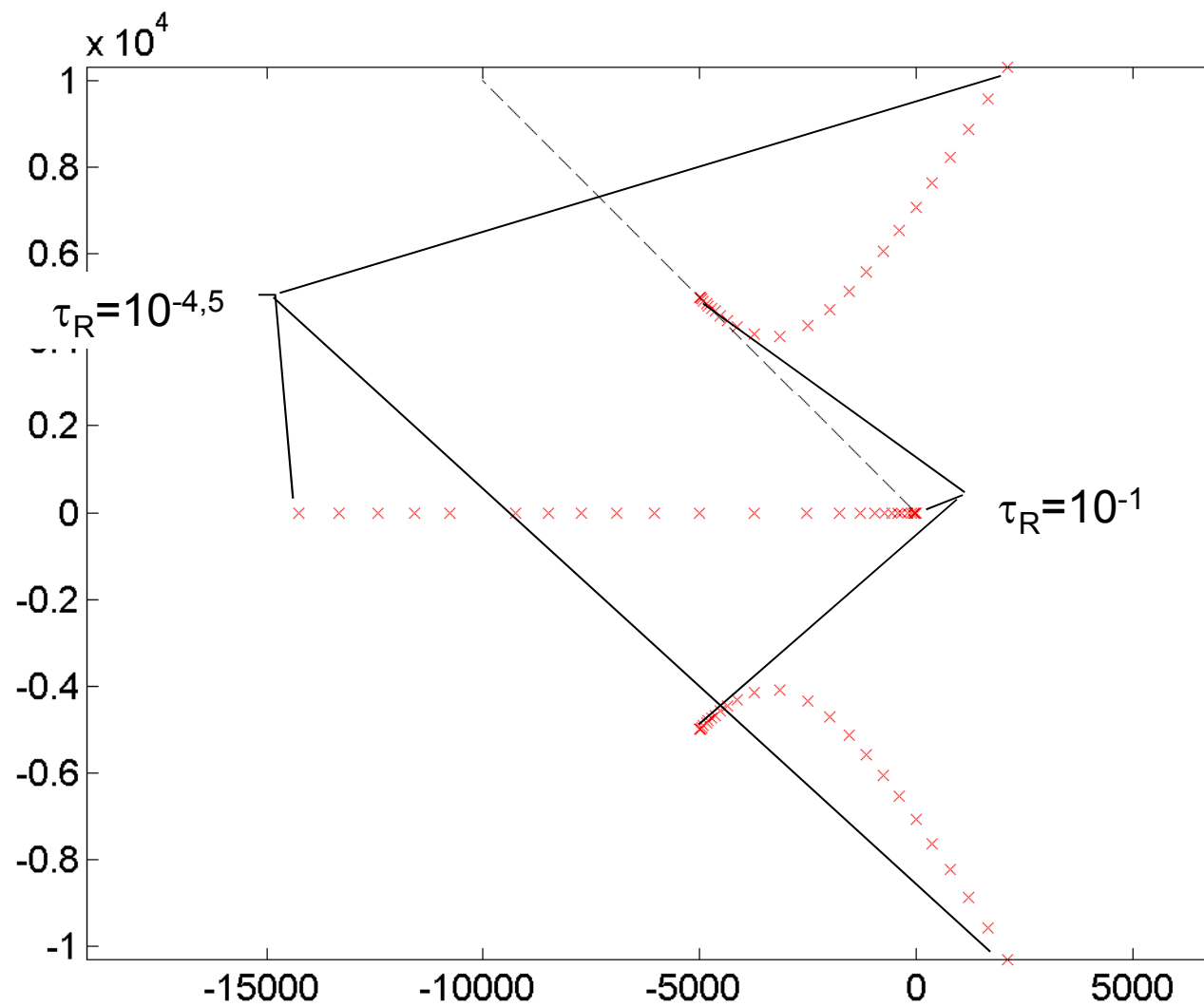
set(gca,'FontName','Helvetica','FontSize',15);
plot(x,y,'rx');
hold on;
plot([0 -1e4],[0,1e4],'k--');
hold off;
axis equal;

print( gcf, '-dpng', 'gmk');
```

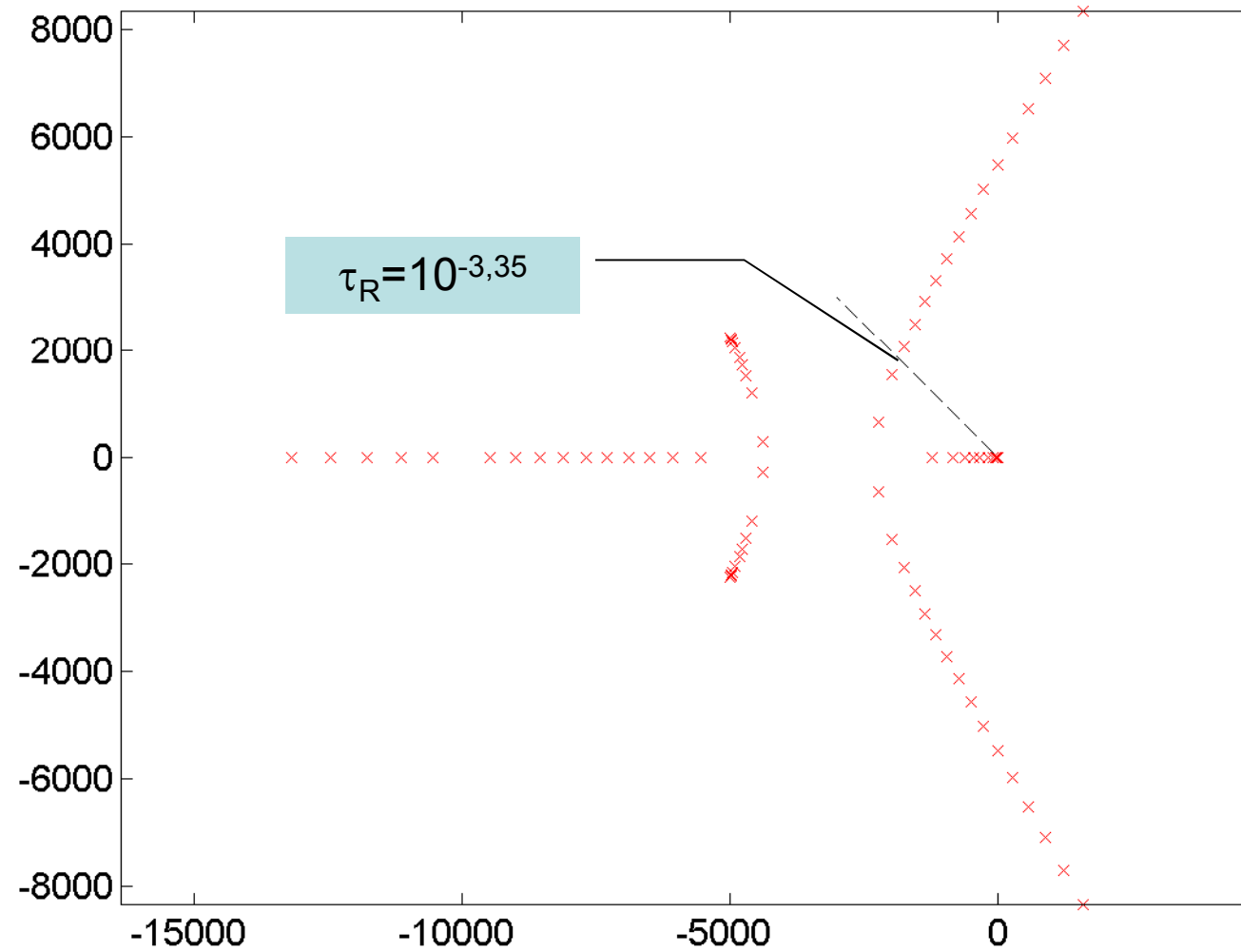


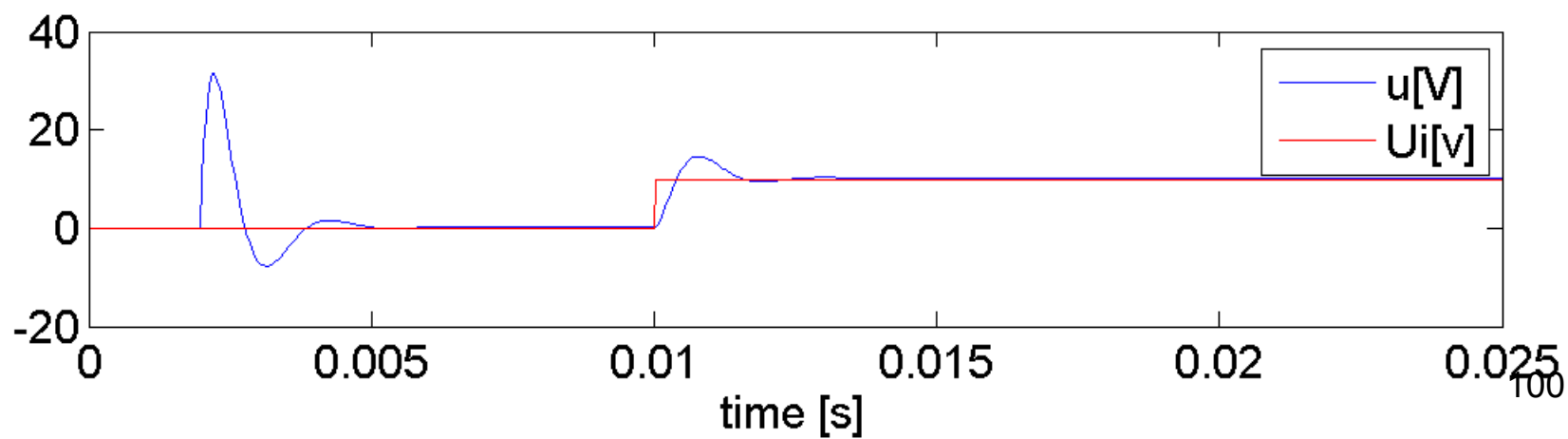
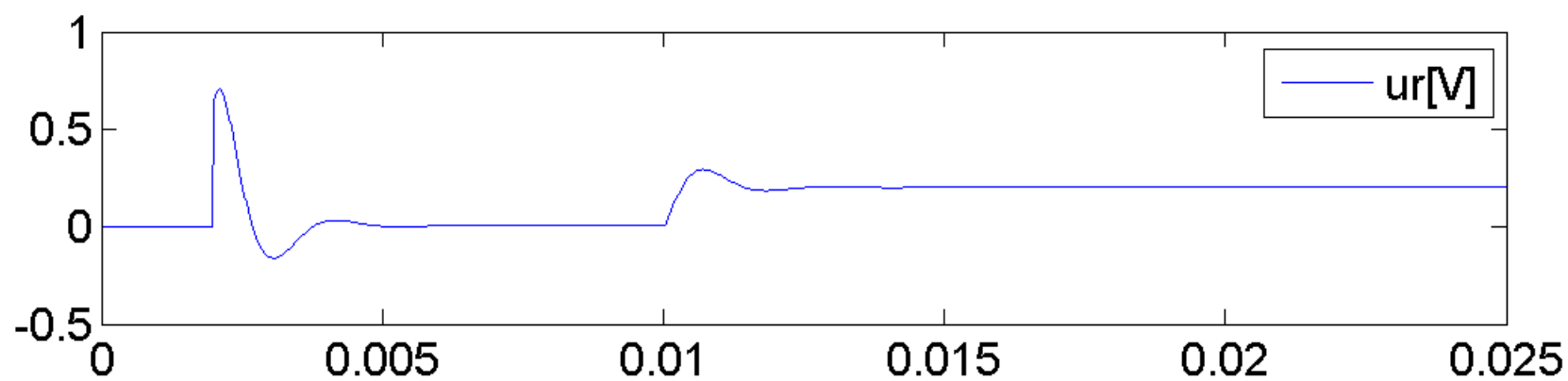
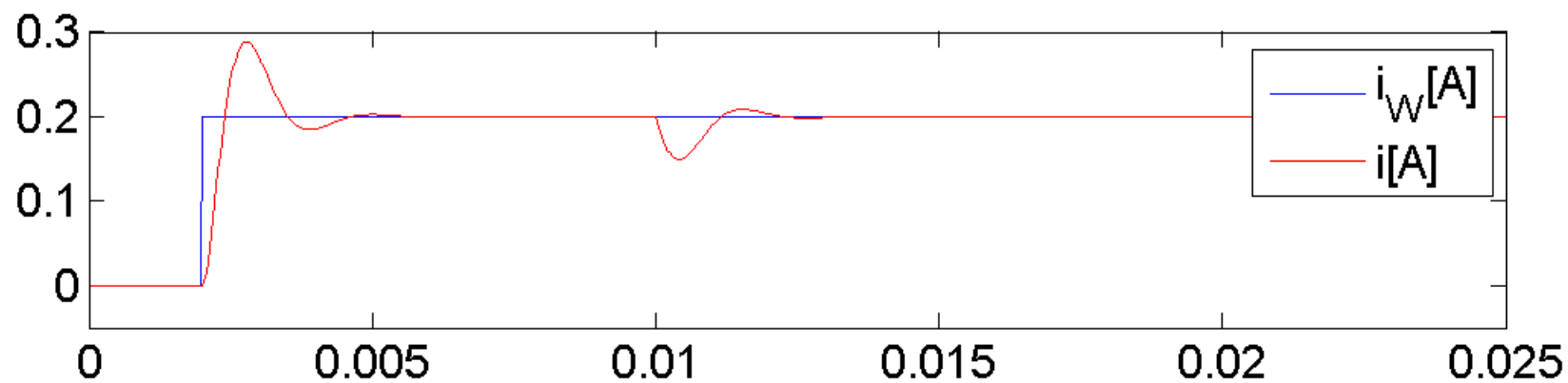


```
kr=5;
taur=[-4.5:0.1:-2.5 -2.25:0.25:-1];
taur=10.^taur;
```

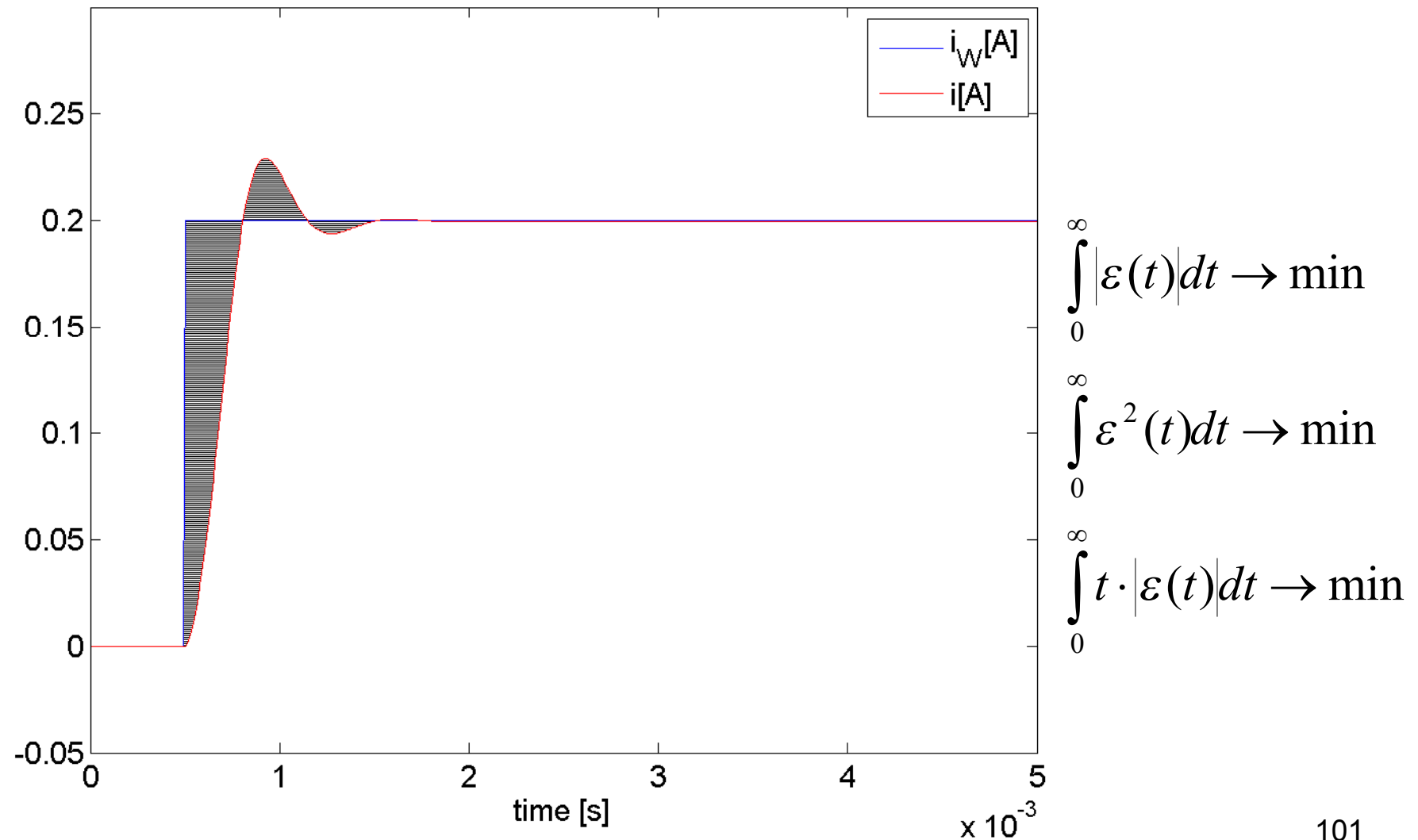


```
kr=3;  
taur=[-4.5:0.1:-2.5 -2.25:0.25:-1];  
taur=10.^taur;
```





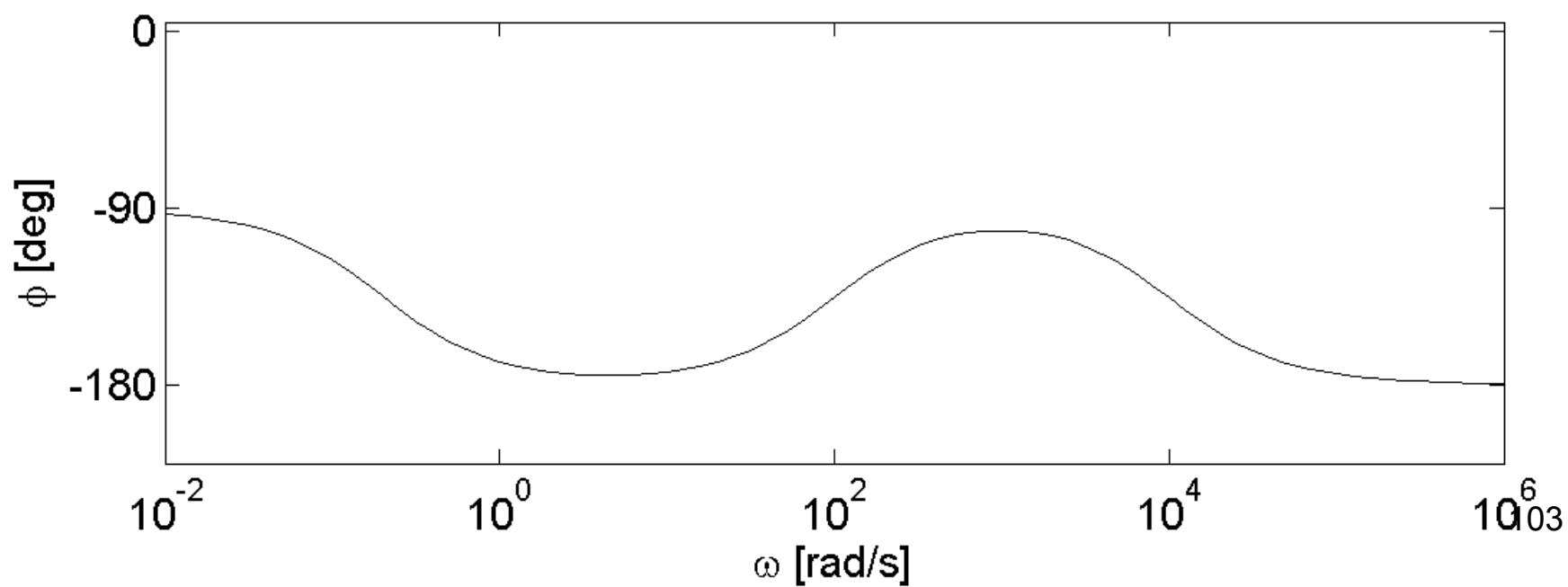
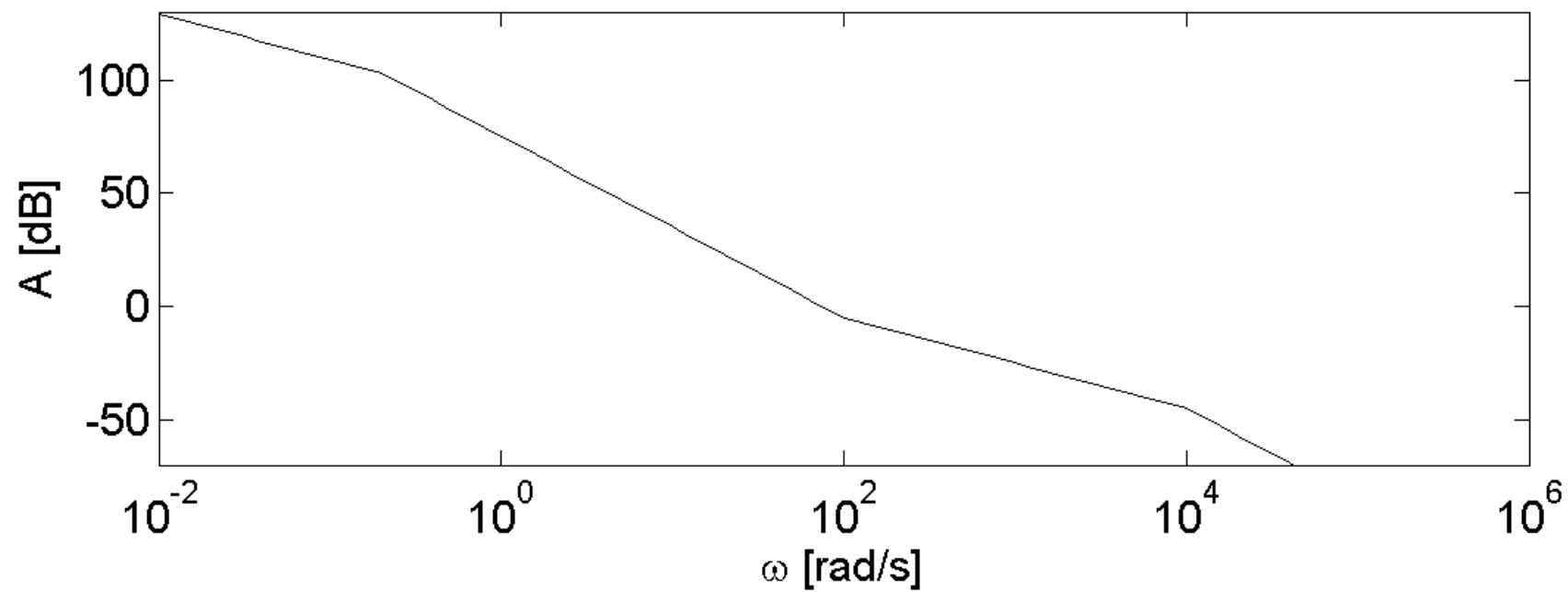
ITAE (Integral of Time and Absolute Error)



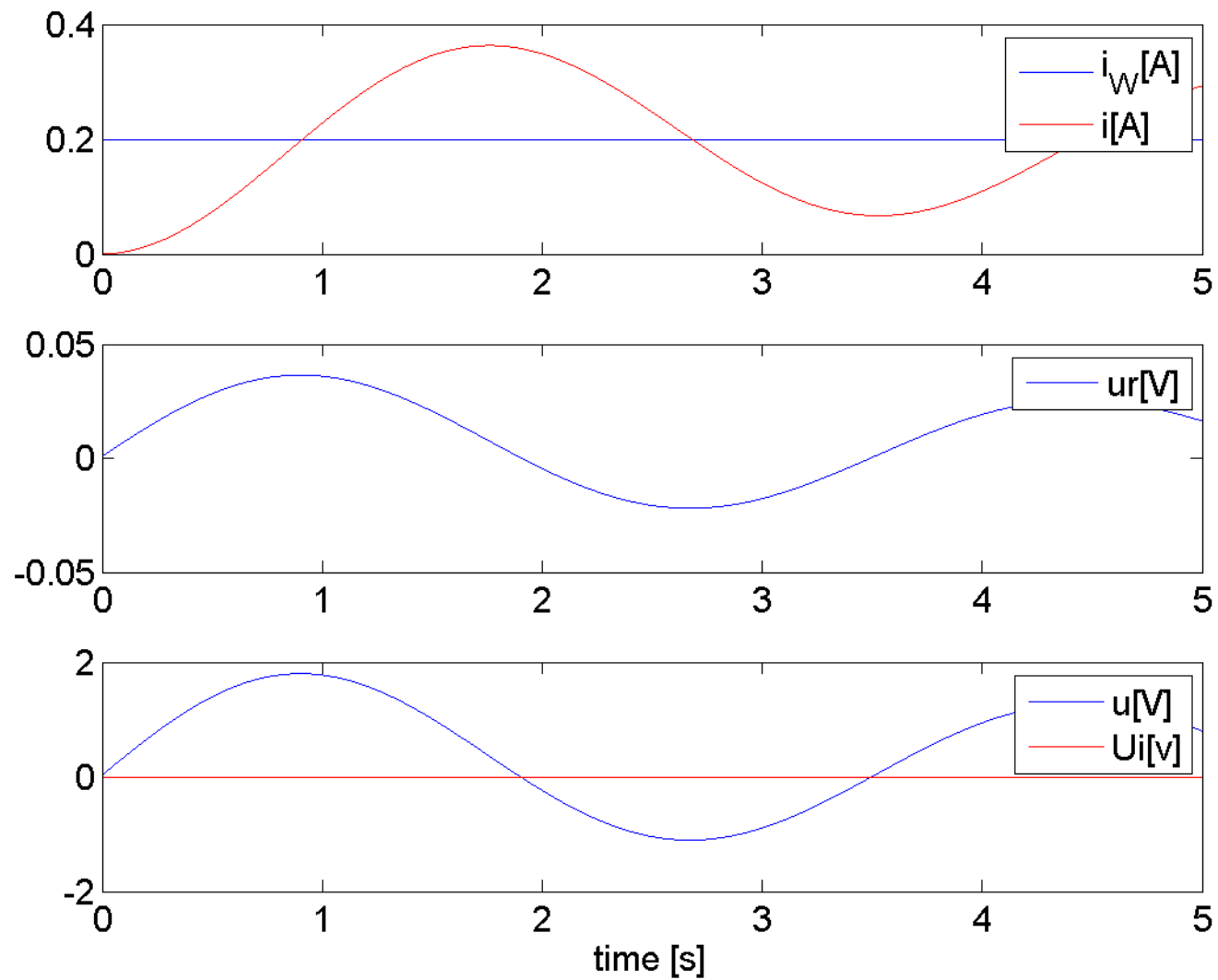
Ziegler-Nichols

1. $\tau_{RI}, \tau_{RD} \rightarrow \infty$, zvětšovat k_R , dokud nebude na mezi stability – hodnota k_U
2. změřit periodu samobuzených kmitů – hodnota P_U

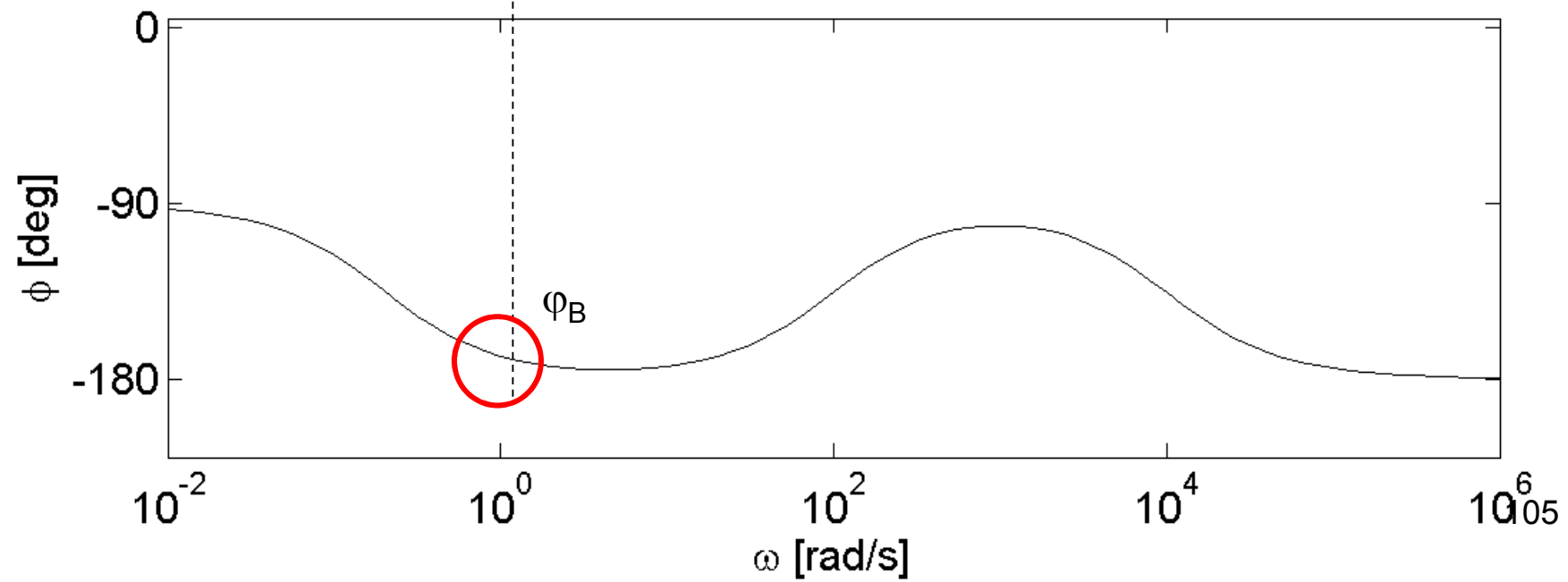
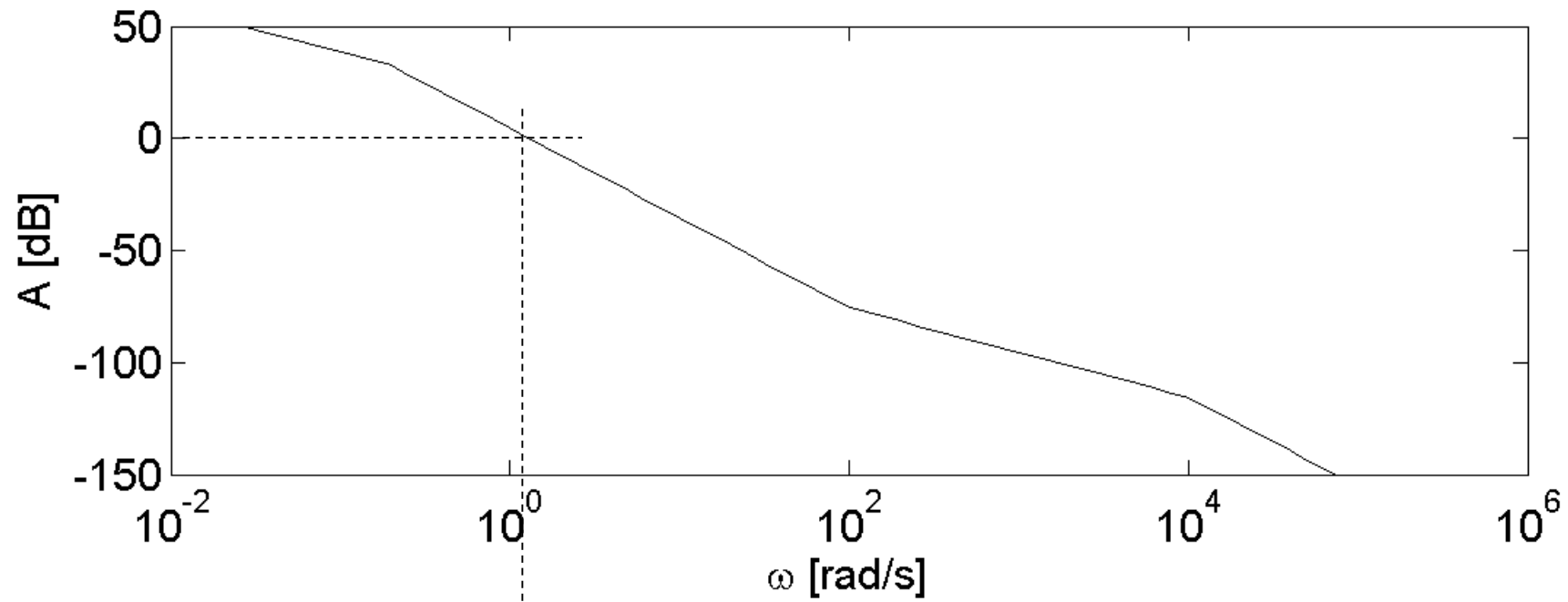
	K_R	τ_{RI}	τ_{RD}
P	$K_U/2$		
PI	$K_U/2.2$	$P_U/1.2$	
PID	$K_U/1.7$	$P_U/2$	$P_U/8$



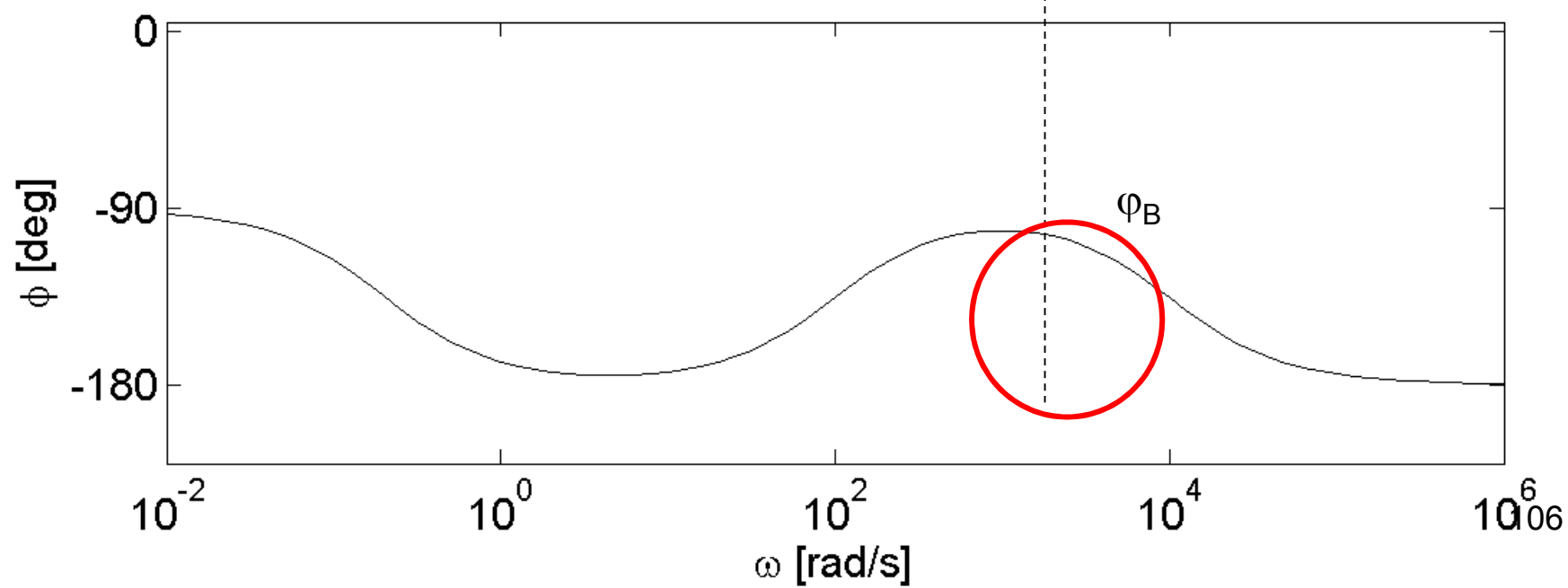
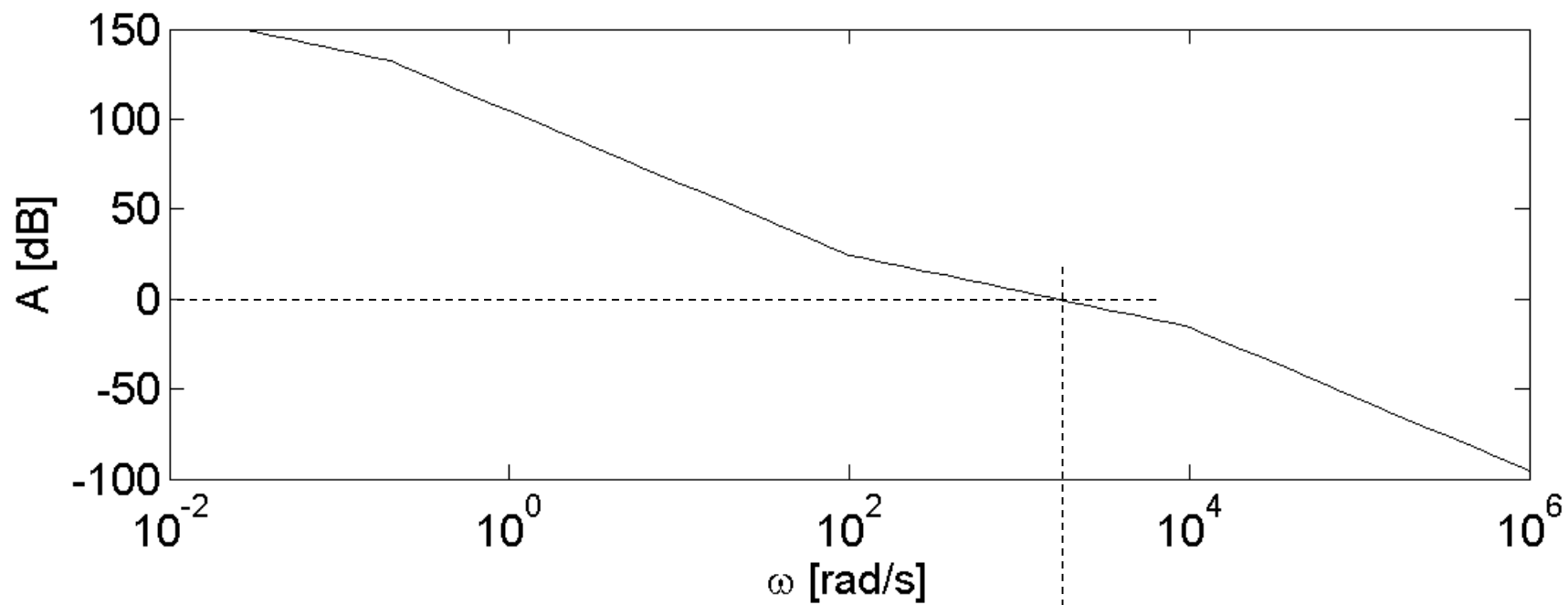
$$k_U=0,003, P_u=3,5 \rightarrow k_R=0,0015$$



$k_R=0,0015$



$k_R=166$



- vysvětlit regulaci rychlosti na příště
- organizace příště (20x simulace+5x měření, pak vzorový test)
- na courseware vzorový test
- parametry z příkladu z minule pro simulaci/ověření příště + parametry pr. ze slidu tam teď jsou