Mittuniversitetet
MID SWEDEN UNIVERSITY

Försättsblad Prov Original

Kurskod	Provkod	Tentamensdatum
ET050G	T101	2018-06-11

Kursnamn	Elektroteknik GR (B), Reglerteknik
Provnamn	Tentamen
Ort	Sundsvall
Termin	V18
Ämne	Elektroteknik

8982538474

0026764

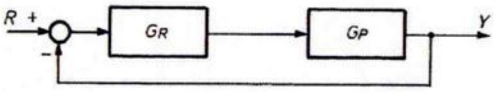
Mittuniversitetet
MID SWEDEN UNIVERSITY

Avdelningen för informationssystem och -teknologi
Roger Olsson, tel. 010 142 8698, E-post: Roger.Olsson@miun.se

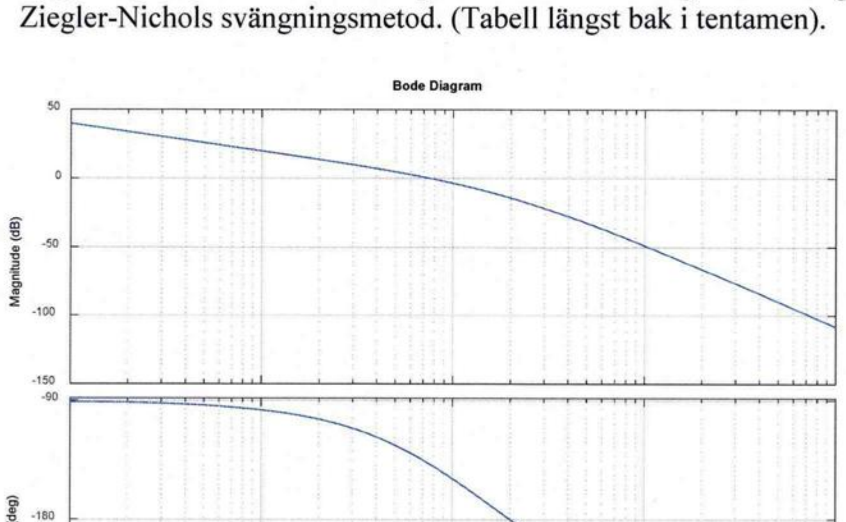
Tentamen
ET050G Reglerteknik

Datum:	2018-06-11
Skrivtid:	5 timmar
Hjälpmedel:	Papper, penna, radergummi, miniräknare, linjal, formelsamling till transformteorikursen, Physics Handbook, TeFyMa
Anvisningar:	Skriv tydligt. Varje ny huvuduppgift börjas på ett eget nytt blad. Motivera lösningssteg och val av teori för ev. delpoäng vid felaktigt svar.

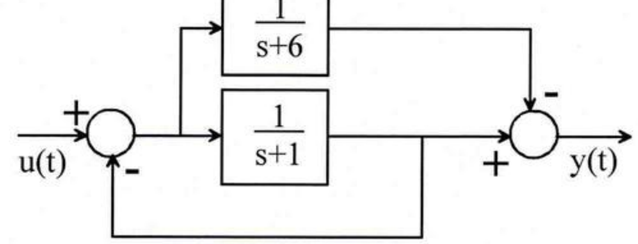
1. En process $G_P(s)$ med nedanstående Bode-diagram ska regleras med en negativ återkoppling och en regulator $G_R(s)$. (Beakta först det återkopplade systemet utan reglering (dvs K=1, $T_I=\infty$, T_D=0) i deluppgift a-d.)



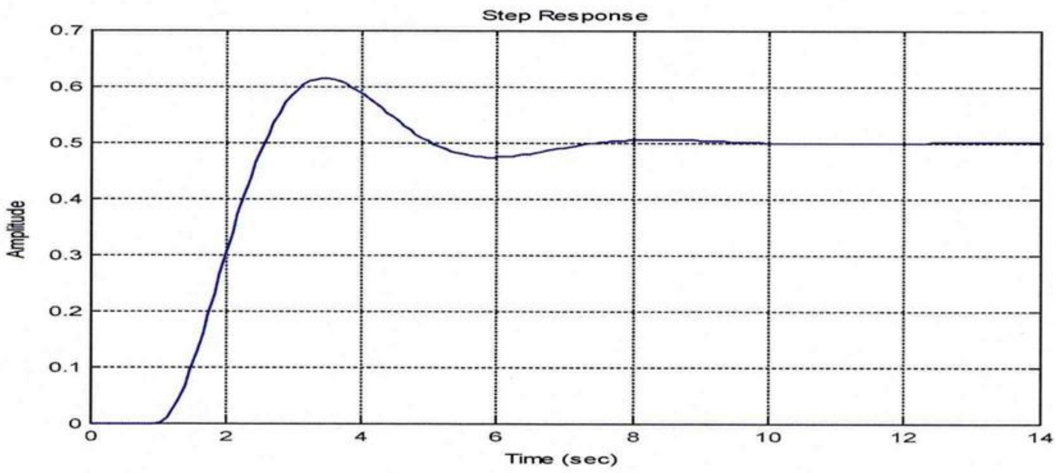
a) Bestäm amplitudmarginalens värde och markera dess plats i figuren (1p)
b) Bestäm fasmarginalens värde och markera dess plats i figuren (1p)
c) Bestäm ett approximativt värde för stigtiden. (1p)
d) Bestäm det kvarstående felet för en *stegformad* börvärdesändring. (1p)
e) Reglera systemet med en PID-regulator och ställ in regulatorn enligt Ziegler-Nichols svängningsmetod. (Tabell längst bak i tentamen). (2p)



2. Ett system definieras av nedanstående blockschema. Bestäm den totala överföringsfunktionen (2p)



3. Ett system undersöks genom att man låter en signal u(t) = σ(t) ansättas på ingången. På utgången kan man då mäta följande signal



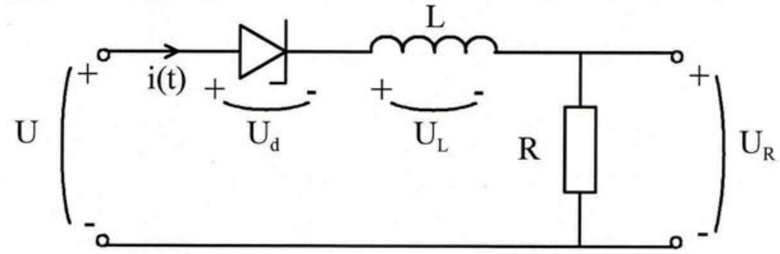
a) Förklara skillnaden mellan stigtid t_r och insvängningstid t_s samt markera dem i figuren. Ange också vilka egenskaper hos reglersystemet som dessa tider avspeglar. (2p)

b) Ett reglersystem kan ha två olika huvuduppgifter, men även en kombination av dessa. Vilka är dessa huvuduppgifter? (1p)

c) Vid tillämpning av en P-regulator finns ingen självklar metodik att ställa in värdet på K eftersom värdet påverkar systemets egenskaper olika. Förklara vilka egenskaper som har en positiv effekt respektive en negativ effekt när värdet på K ökar. (2p)

d) Ge exempel på en process som har en dynamik enligt figuren ovan. (1p)

4. Ett *olinjärt* system definieras av nedanstående elektriska schema. Diodens förhållande mellan spänning och ström definieras av Shockleys diodekvation
$I = I_s(e^{kU_d} - 1)$, $I_s = 20$ mA, $k = 2{,}195\ \mathrm{V}^{-1}$, $L = 15$ mH, $R = 25\ \Omega$.



a) Man är intresserad av förhållandet mellan $U(t)$ och $U_R(t)$. Då den senare är direkt proportionell mot $i(t)$, räcker det med att beakta $U(t)$ och $i(t)$. Bestäm den olinjära differentialekvationen som bestämmer förhållandet mellan $U(t)$ och $i(t)$.
[Tips: använd dig av Kirchhoffs lagar.] (1p)

b) Man önskar en arbetspunkt (U_0, i_0) så att $U_R = 0{,}4$ V. Bestäm U_0 och i_0. (1p)
[Om du inte gjort a-uppgiften, kan du använda dig av differentialekvationen
$U(t) + k\frac{di}{dt} + I_s \cdot \sqrt{i(t)} + R \cdot i(t) = 0$]

c) Linjärisera systemet och beskriv systemet i form av en linjär differentialekvation som beskriver förhållandet mellan avvikelsen från arbetspunkten, ΔU och Δi. (2p)
[Om du inte gjort a-uppgiften, kan du använda dig av differentialekvationen
$U(t) + k\frac{di}{dt} + I_s \cdot \sqrt{i(t)} + R \cdot i(t) = 0$]

5. Processen $G_p(s) = \dfrac{0.5}{s(1+s)(0.2s+1)}$ ska regleras så att en fasmarginal om 40 grader erhålls. Något kvarstående fel kan inte accepteras vid en stegformad börvärdesändring. Bestäm regulatortyp (motivera!) och vilka värden som ska ställas in på regulatorn. (3p)

6. En tidsdiskret regulator ska konstrueras för systemet $G_p(s) = \frac{5}{(1+5s)}$. Utsignalen från systemet $y(t)$ är ganska långsam och når aldrig över 10 Hz.

   a) Hur påverkas systemets kvarstående fel av signalens kvantisering och samplingsintervallet? (2p)

   b) En tidsdiskret beskrivning av systemet är nödvändig för att tillämpa t.ex. polplaceringsmetoden. Bestäm $H_p(z)$ med *bilinjär* transform. (3p)

7. En industriell process kan approximativt beskrivas med överföringsfunktionen

$$H_p(z) = \frac{2z^{-1}}{1 - 0.7z^{-1}}$$

   a) Vilka för- och nackdelar har polplaceringsmetoden? (2p)

   b) Konstruera en regulator med polplaceringsmetoden med alla önskade poler i z=0.25. (3p)

Ziegler-Nichols svängningsmetod

Regulatortyp	Parametrar		
	K	T_I	T_D
P-regulator	0.5 K_0	–	–
PI-regulator	0.45 K_0	0.85 T_0	–
PID-regulator	0.6 K_0	0.5 T_0	0.125 T_0

PID-regulator

$$u(t) = K\left(e(t) + T_D \cdot \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t e(\tau)d\tau \right)$$

PI-reglering

1. Rita Bode-diagram för processen som ska regleras.
2. Bestäm det K-värde som vid ren P-reglering ger önskad fasmarginal + 11°.
3. Bestäm ω_c för ovanstående K-värde, och sätt $T_I = 5/\omega_c$.

PD-reglering

1. Rita Bode-diagram för processen som ska regleras.
2. Bestäm det K-värde som vid ren P-reglering ger önskad fasmarginal.
3. Bestäm ω_c och ω_π för ovanstående K-värde. Sätt PD-regulatorns brytfrekvens mellan eller något högre än ω_c och ω_π, normalt vid ω_π.
4. Justera K-värdet så att önskad fasmarginal återfås.

Transformeringar

Euler-transform $$s = \frac{1-z^{-1}}{h} = \frac{z-1}{zh}$$

Stegsvarsinvariant transform $$H(z) = \left(1 - z^{-1}\right) \cdot Z\left[L^{-1}\left[\frac{G(s)}{s} \right]_{t=kh} \right]$$

Rampinvariant metod $$H(z) = \left(1 - z^{-1}\right)^2 \cdot Z\left[L^{-1}\left[\frac{G(s)}{s^2} \right]_{t=kh} \right]$$

Bilinjär transform $$s = \frac{2}{h}\frac{z-1}{z+1}$$

Impulsinvariant transform $$H(z) = Z\left[L^{-1}\left[G(s)\right]_{t=kh} \right]$$

Polplaceringmetod

Det karakteristiska polynomet med önskade poler, $P(z)$, med gradtal $n_p = n_a + n_b - 1$ sätts lika med det karakteristiska polynomet för totala överföringsfunktionen:

$$H_{tot}(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{K_r \cdot B(z)}{A(z)C(z) + B(z)D(z)} = \frac{K_r \cdot B(z)}{P(z)}$$

Gradtalen för regulatorns polynom sätts till $n_c = n_b - 1$ respektive $n_d = n_a - 1$.

Börvärdesfaktorn K_r väljs oftast så att $K_{LF} = \lim_{z \to 1} H_{tot}(z) = 1$.

En integrerade del modelleras med $1/\left(1 - z^{-1}\right)$

De viktigaste z-transformerna

Tidsdiskret funktion $f(k)$ $k \geq 0$	z-transform $F(z)$ Positiv representation	Negativ representation
Enhetspuls $P_e(k)$	1	
Enhetssteg $S_e(k)$	$\frac{z}{z-1}$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
Enhetsramp $f(k) = k$	$\frac{z}{(z-1)^2}$	$\frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$
Enhetsparabel $f(k) = k^2$	$\frac{z^2+z}{(z-1)^3}$	$\frac{z^{-1}+z^{-2}}{(1-z^{-1})^3}$
Exponentialfunktion $f(k) = a^k$	$\frac{z}{z-a}$	$\frac{1}{1-az^{-1}}$
Fördröjd enhetspuls $P_e(k-L)$	$\frac{1}{z^L}$	z^{-L}
Fördröjt enhetssteg $S_e(k-L)$	$\frac{z^{1-L}}{z-1}$	$\frac{z^{-L}}{1-z^{-1}}$
e^{-ak}	$\frac{z}{z-e^{-a}}$	$\frac{1}{1-e^{-a}z^{-1}}$
$\sin \omega k$	$\frac{z \cdot \sin \omega}{z^2-(2\cos\omega)z+1}$	$\frac{z^{-1}\sin\omega}{1-(2\cos\omega)z^{-1}+z^{-2}}$
$\cos \omega k$	$\frac{z(z-\cos\omega)}{z^2-(2\cos\omega)z+1}$	$\frac{z^{-1}(1-z^{-1}\cos\omega)}{1-(2\cos\omega)z^{-1}+z^{-2}}$
$1-e^{-ak}$	$\frac{z(1-e^{-a})}{(z-1)(z-e^{-a})}$	$\frac{(1-e^{-a})z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-e^{-a}z^{-1})}$

Några vanliga tidsdiskreta funktioner f(k) och deras z-transformer

De viktigaste laplacetransformerna

Laplacetransform $F(s)$	Tidsfunktion $f(t)$ för $t > 0$
1	Impulsfunktion $\delta(t)$
$\frac{1}{s}$	Stegfunktion $\sigma(t)$
$\frac{1}{s^2}$	Rampfunktion t
$\frac{1}{s^3}$	$\frac{t^2}{2}$
$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}
$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{e^{-at}-e^{-bt}}{b-a}$
$\frac{1}{s(1+as)}$	$1-e^{-\frac{t}{a}}$
$\frac{1}{s(1+as)(1+bs)}$	$1-\frac{a\cdot e^{-\frac{t}{a}}}{a-b}-\frac{b\cdot e^{-\frac{t}{b}}}{b-a}$
$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$	$\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)}+\frac{e^{-bt}}{(c-b)(a-b)}+\frac{e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$
$\frac{s+a}{(s+b)(s+c)}$	$\frac{(a-b)e^{-bt}-(a-c)e^{-ct}}{c-b}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$t \cdot e^{-at}$
$\frac{1}{s^2+a^2}$	$\frac{1}{a} \cdot \sin at$
$\frac{s}{s^2+a^2}$	$\cos at$
$\frac{1}{s(s^2+a^2)}$	$\frac{1}{a^2}[1-\cos at]$
$\frac{1}{s^2(s^2+a^2)}$	$\frac{1}{a^3}[at-\sin at]$
$\frac{s+a}{(s+a)^2+b^2}$	$e^{-at} \cdot \cos bt$
$\frac{b}{(s+a)^2+b^2}$	$e^{-at} \cdot \sin bt$