CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för elektroteknik
System- och reglerteknik

# ERE 103 Reglerteknik D
# Online-tentamen 2020-04-30

08.30 – 12.30

Examinator: Bo Egardt, tel 031-7723721, epost bo.egardt@chalmers.se.
Kommer att finnas tillgänglig online under tentamenstiden. Har du frågor till examinator, så tar du kontakt via Zoom enligt instruktionerna.

**V.G. SE INSTRUKTIONER PÅ NÄSTA SIDA!**

**Poängberäkning:** Tentamen består av 5 uppgifter om totalt 30 poäng. Nominella betygsgränser är 12 (3), 18 (4) respektive 24 (5) poäng.
**Lösningarna skall vara tydliga och väl motiverade!**

**Tentamensresultat:** Granskning av rättningen kommer att erbjudas enligt senare information på hemsidan.

LYCKA TILL!

**Instruktioner för hemtenta:**

- Under hela tentan skall du vara ansluten till Zoom-mötet med videon påslagen med dig i bild mot en neutral bakgrund. Mikrofonen skall vara på "mute", men tentavakten kommer då och då att slå på mikrofonen. Ljudet kan vara neddraget/avstängt om du inte ombeds sätta på det.
- Du skall vara ensam i rummet under hela tentamenstiden.
- Om du har frågor, kontakta tentavakten via chatten i Zoom, varvid du flyttas tillfälligt till ett "break-out room".
- Om du behöver gå på toaletten, så meddelar du tentavakten via chatten, både när du går och när du kommer tillbaka.
- Kontrollera "Announcements" på Canvas-sidan då och då under tentan. Där kan jag vid behov nå alla för ev klarlägganden mm.

**Lösningar och inlämning:**

- Lösningar skrivs för hand på papper, på samma sätt som vid en vanlig salstentamen.
- Märk varje papperssida tydligt med ditt namn, tentamensuppgiftens nummer och sidnummer.
- Skanna eller fotografera dina lösningar (undvik fotografering med telefonens kamera-app, då kvaliteten ofta blir bristande). Tänk på att ha god belysning och använd helst en dokumentskannings-app, t.ex. CamScanner eller Genius Scan.
- Sätt samman dina lösningar till ett dokument, t ex i Word, och spara detta som en pdf-fil.
- Kontrollera att filen med lösningar är möjlig att läsa. Skicka sedan in dina lösningar genom att ladda upp pdf-filen via Canvas före tentamens sluttid. Sluttiden förlängs med 30 min för att ge er god tid att scanna och ladda upp lösningarna.
- Om det uppstår problem med uppladdningen via Canvas, så skicka istället filen via email till examinator (bo.egardt@chalmers.se) före tentamens sluttid.
- Observera att sluttiden för tentamen är en hård deadline! Om du väljer att skicka in dina lösningar före tentatidens slut, så meddela först tentavakten.

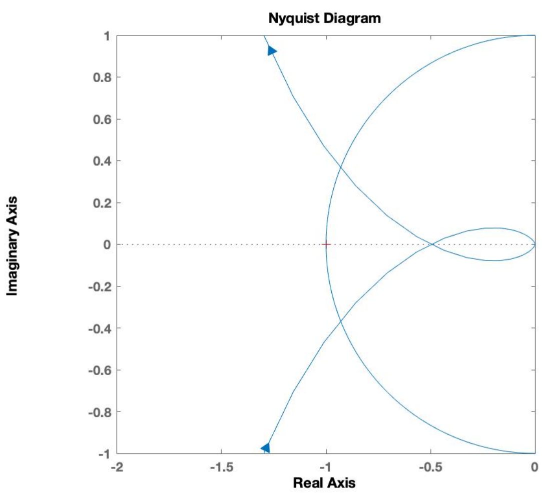
**Uppgift 1.**

a. Ett dynamiskt system med insignalen $u$ och utsignalen $y$ beskrivs av differentialekvationen

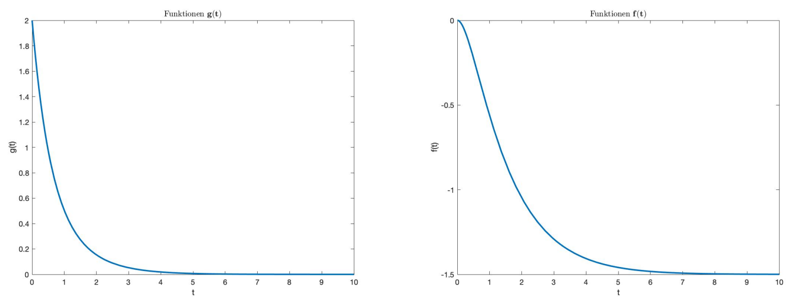
$$\ddot{y}(t) + y^2(t) = u(t) \cdot \cos u(t)$$

Linjärisera denna modell kring den stationära lösningen $u = u_0 = 0$ och $y = y_0 = 0$ och bestäm det linjäriserade systemets överföringsfunktion från insignal till utsignal. (2 p)

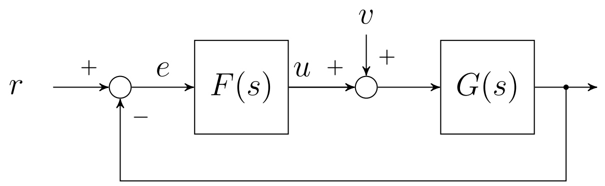
b. Figuren nedan visar en del av Nyquistdiagrammet för en marginellt stabil process (processen har en ren integration). Processen återkopplas med en P-regulator $F(s) = K$. Hur stor förstärkning $K$ tillåts, om amplitudmarginalen skall vara minst 3? (2 p)



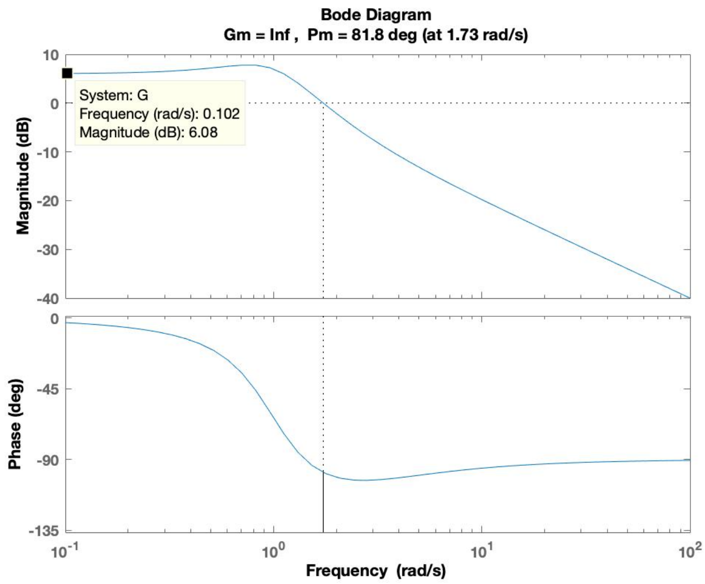

c. Figurerna nedan visar två registreringar för ett strikt stabilt system: till vänster visas impulssvaret $g(t)$, till höger visas funktionen $f(t) = \int_0^t \tau \cdot g'(\tau) d\tau$. Vilken är systemets statiska förstärkning? (2 p)



d. En process $G(s)$ påverkas av en laststörning $v$, vars inverkan man vill minska genom att återkoppla processen med en P-regulator $F(s) = K$ enligt blockschemat nedan:




Avgör med hjälp av Bodediagrammet för $G(s)$ nedan hur mycket mindre laststörningens stationära bidrag blir på utsignalen $y$ då kretsen sluts med P-regulatorn och $K = 2.5$. Ett approximativt värde räcker! (3 p)




e. En enkel pendelmodell för den hängande lasten under en travers ges av följande tillståndsmodell:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t)$$

där vinkeln $\varphi$, som är vajerns vinkel relativt vertikalplanet, valts som utsignal och tillståndsvariablerna är $x_1(t) = \varphi(t)$, $x_2(t) = \dot{\varphi}(t)$. Styrsignalen $u(t)$ är accelerationen av vagnen. Beräkna en tillståndsåterkoppling $u(t) = -Lx(t) + r(t)$ för stabilisering av lastens pendelrörelse, så att det slutna systemet får en dubbelpol i -5. (2 p)

**Uppgift 2.**
Processen

$$G(s) = \frac{2}{s(s+1)}$$

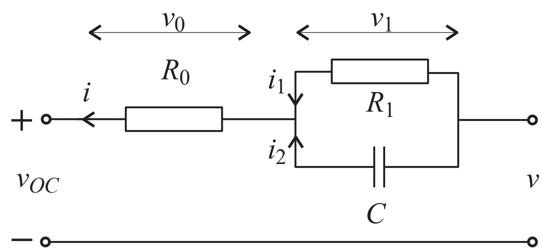
skall styras med en PD-regulator $F_{PD}(s)$, som efter regulatordesign visat sig fungera bra med följande val av parametrar (D-delen är försedd med ett filter):

$$F_{PD}(s) = 7 + \frac{4s}{1 + 0.05s}.$$

Med denna regulator blir bandbredden för det återkopplade systemet c:a 10 rad/s, och samplingsintervallet väljs till 0.05 s.

Bestäm en differensekvation för samplingsintervallet $h = 0.05$ s, som approximerar den kontinuerliga PD-regulatorn ovan. Visa med pseudokod hur man skulle kunna implementera regulatorn på en mikroprocessor (antag ett enkelt programmeringsspråk C eller Matlab liknande, korrekt syntax är inte nödvändigt). (3 p)

**Uppgift 3.**
Ström-spänning-relationen i ett litiumjonbatteri kan beskrivas av en s.k. ekvivalent krets, som den i figuren nedan. Till vänster är en spänningskälla $v_{OC}$ (Open Circuit Voltage), som genom elektrokemi ger en nära konstant spänning (som i och för sig beror på hur laddat batteriet är) och till höger är spänningen $v$ mellan polerna på batteriet. Strömmen $i$ som tas (negativ) eller laddas (positiv) styrs av ett s.k. BMS (Battery Management System).




När batteriet laddas ökar spänningen $v$. Normalt får inte spänningen $v$ överstiga $v_{max} = 4.2$ Volt då battericellen annars skadas, eller t.o.m. kan börja brinna.

a. Visa att överföringsfunktionen från strömmen $i$ till spänningsskillnaden $v - v_{OC}$ kan skrivas

$$G(s) = k_0 + \frac{k_1}{1 + sT}$$

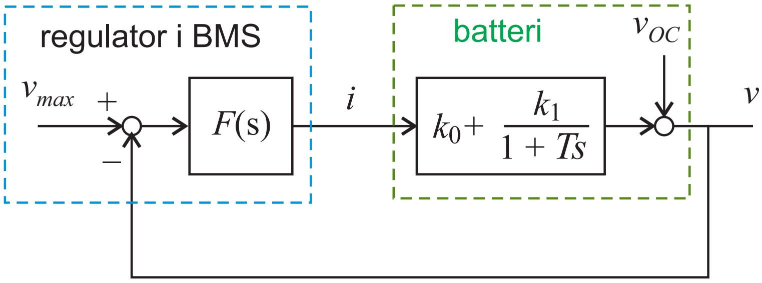
och bestäm vad $k_0$, $k_1$ och $T$ är (samtliga parametrar blir positiva med konventionen att strömmen är positiv vid laddning). (2 p)

b. Anta att batteriet är i vila. Då är $v = v_{OC}$, som vi kan anta är 3.9 V. Om vi sedan lägger på största tillåtna laddström, 150 A, hur lång tid tar det innan vi når högsta tillåtna polspänning $v$, om vi kan anta att $v_{OC}$ är konstant, $R_0 = 1$ m$\Omega$, $R_1 = 2$ m$\Omega$ och $C = 20$ kF?

(Om du inte klarade a-uppgiften kan du låta $k_0 = k_1 = 1.5 \cdot 10^{-3}$ och $T = 20$ s.) (3 p)

c. När man närmar sig den maximala spänningen måste man naturligtvis minska strömmen, men ändå ha så stark laddström som möjligt. Med andra ord vill man styra strömmen så att spänningen blir $v = v_{max}$. Det här kan lösas med en reglerkrets som den i figuren nedan.

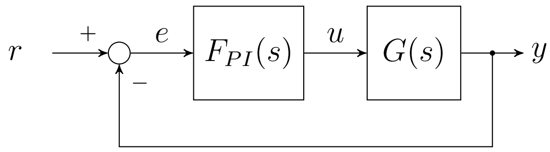
Visa att med en PI-regulator $F(s) = K_p + K_I/s$ så förblir systemet stabilt för alla värden på (positiva) $k_0$, $k_1$ och $T$.



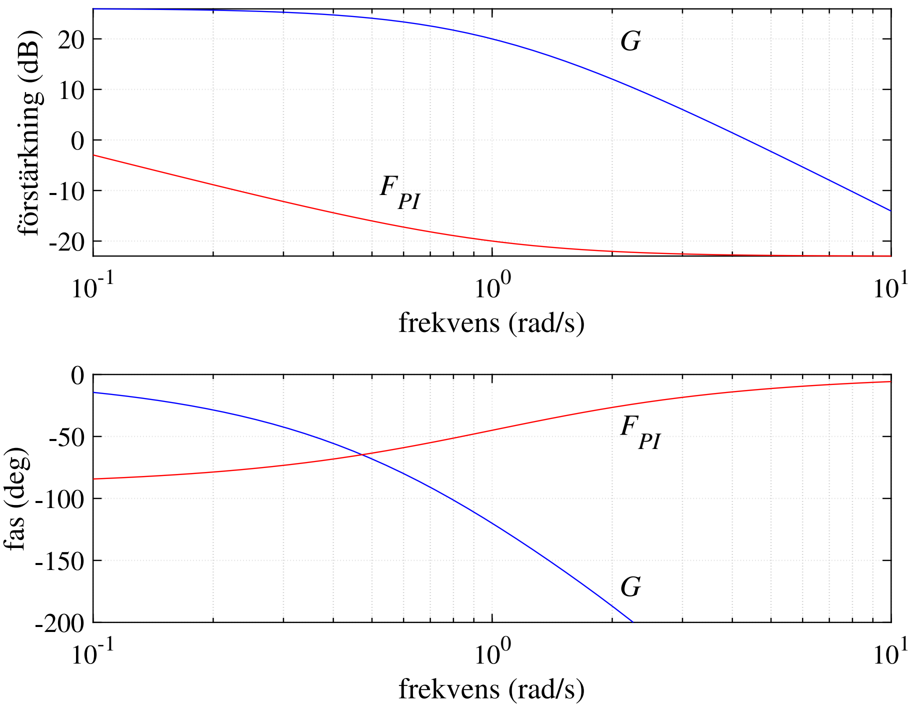

(2 p)

**Uppgift 4.**

En PI-regulator $F_{PI}(s)$ har tagits fram för en process med överföringsfunktionen $G(s)$.




Bodediagrammen för processen och regulatorn visas nedan.




a. Hur stor fasmarginal ger denna reglering? (2 p)

b. Fasmarginalen visar sig vara för liten så därför lägger man till ett lead-filter så att regulatorn blir

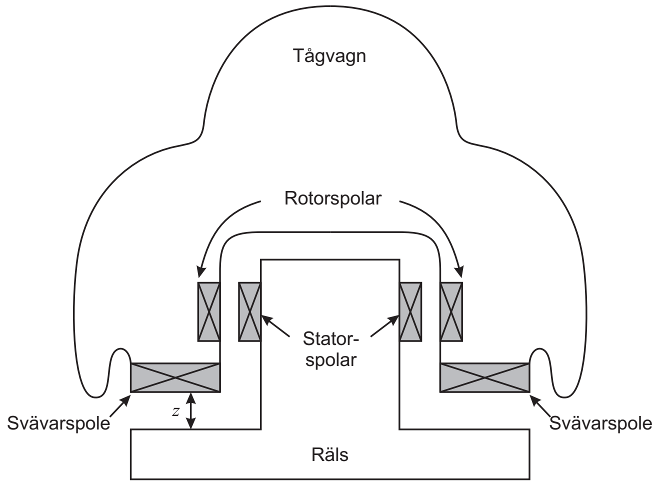
$$F(s) = \underbrace{K\frac{1+\tau s}{1+\tau s/b}}_{F_{lead}} F_{PI}(s)$$

Ange en design av $F_{lead}$ som ger en fasmarginal på 40° vid oförändrad skärfrekvens (överkorsningsfrekvens). (3 p)

**Uppgift 5.**
Figuren nedan visar principen för "upphängningen" i vertikalled för ett svävartåg. Tåget, som har massan $m$, hålls svävande med hjälp av en elektromekanisk lyftkraft $F_L$, som approximativt ges av

$$F_L = k\frac{i^2}{z^2},$$

där $i$ är strömmen genom spolarna, $z$ är luftgapets storlek och $k$ är en konstant.




a. Visa att systemets rörelse i vertikalled beskrivs av differentialekvationen ($g$ är tyngdaccelerationen)

$$m\ddot{z} - k\frac{i^2}{z^2} + mg = 0. \tag{1}$$

(1 p)

b. Ställ upp en tillståndsmodell för systemet med $i$ som insignal och $z$ som utsignal. (1 p)

c. Bestäm överföringsfunktionen från $i$ till $z$ genom att linjärisera kring en arbetspunkt $z = z_0$. Överföringsfunktionens parameter skall uttryckas i modellparametrar från (1) samt $z_0$. (2 p)

SLUT!