

TENTAMEN I REGLERTEKNIK

TID: 2023-06-02, kl 14-19

KURS: TSRT19

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, tel 070-3113019

BESÖKER SALEN: 15.00, 17.30

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, tel 013-282225, ninna.stensgard@liu.se

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL: Läroboken Glad-Ljung: "Reglerteknik, grundläggande teori" med inläsningsanteckningar, utgiven formelsamling såsom tefyma, mathematics handbook, beta etc, räknedosa utan färdiga program.

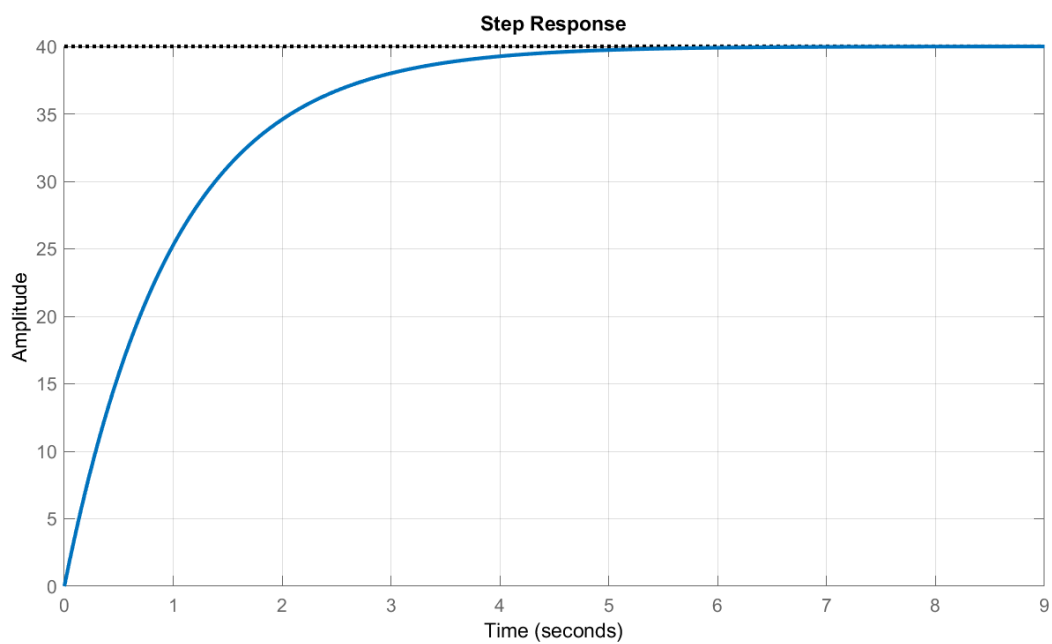
LÖSNINGSFÖRSLAG: Anslås efter tentamen på kursens hemsida.

PRELIMINÄRA BETYGSGRÄNSER: betyg 3 23 poäng
betyg 4 33 poäng
betyg 5 43 poäng

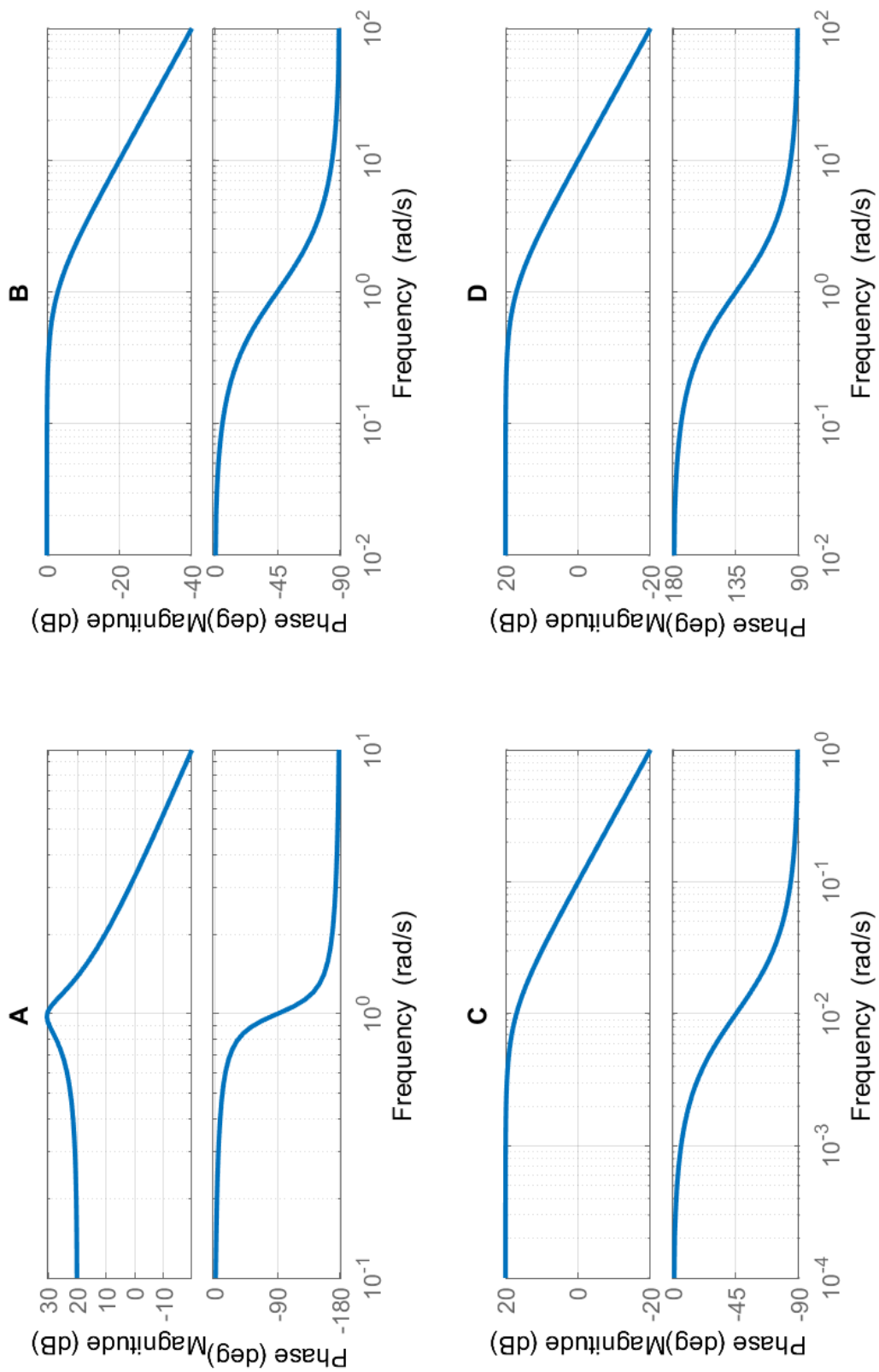
OBS! Lösningar till samtliga uppgifter ska presenteras så att alla steg (utom triviala beräkningar) kan följas, om ej annat sägs. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

Lycka till och trevlig sommar!

1. (a) I Figur 1 visas ett stegsvar (med $u(t) = 4$) för ett okänt system. I Figur 2 visas Bodediagram för 4 olika modeller. Förklara för varje Bodediagram varför det **inte** kan vara ett Bodediagram som beskriver det system som vi har stegsvaret på. (4p)



Figur 1: Stegsvär i uppgift 1a.



Figur 2: Bodediagram i uppgift 1a.

(b) Systemen

$$G_1(s) = \frac{1}{s+1}, \quad G_2(s) = \frac{2}{s+2}$$

har parallellkopplats och ger således systemet $G(s) = G_1(s) + G_2(s)$. Systemet $G(s)$ drivs av en insignal $u(t) = \sin(t)$. Vad blir utsignalen efter att transienter försvunnit? (3p)

(c) I kursen har vi främst arbetat med en enkel reglerstruktur som återkopplar ett reglerfel och beräknar en styrsignal baserat på detta. I verkligheten kan naturligtvis reglersystem vara mer komplexa. I ekvationerna nedan definieras ett lite mer komplicerat sådant. Rita dess blockdiagram! (3p)

$$\begin{aligned}U_1(s) &= H(s)R(s) - F_1(s)Y_2(s) \\U_2(s) &= Y_1(s) - F_2(s)Y_2(s) \\Y_2(s) &= G_2(s)U_2(s) \\Y_1(s) &= G_1(s)U_1(s)\end{aligned}$$

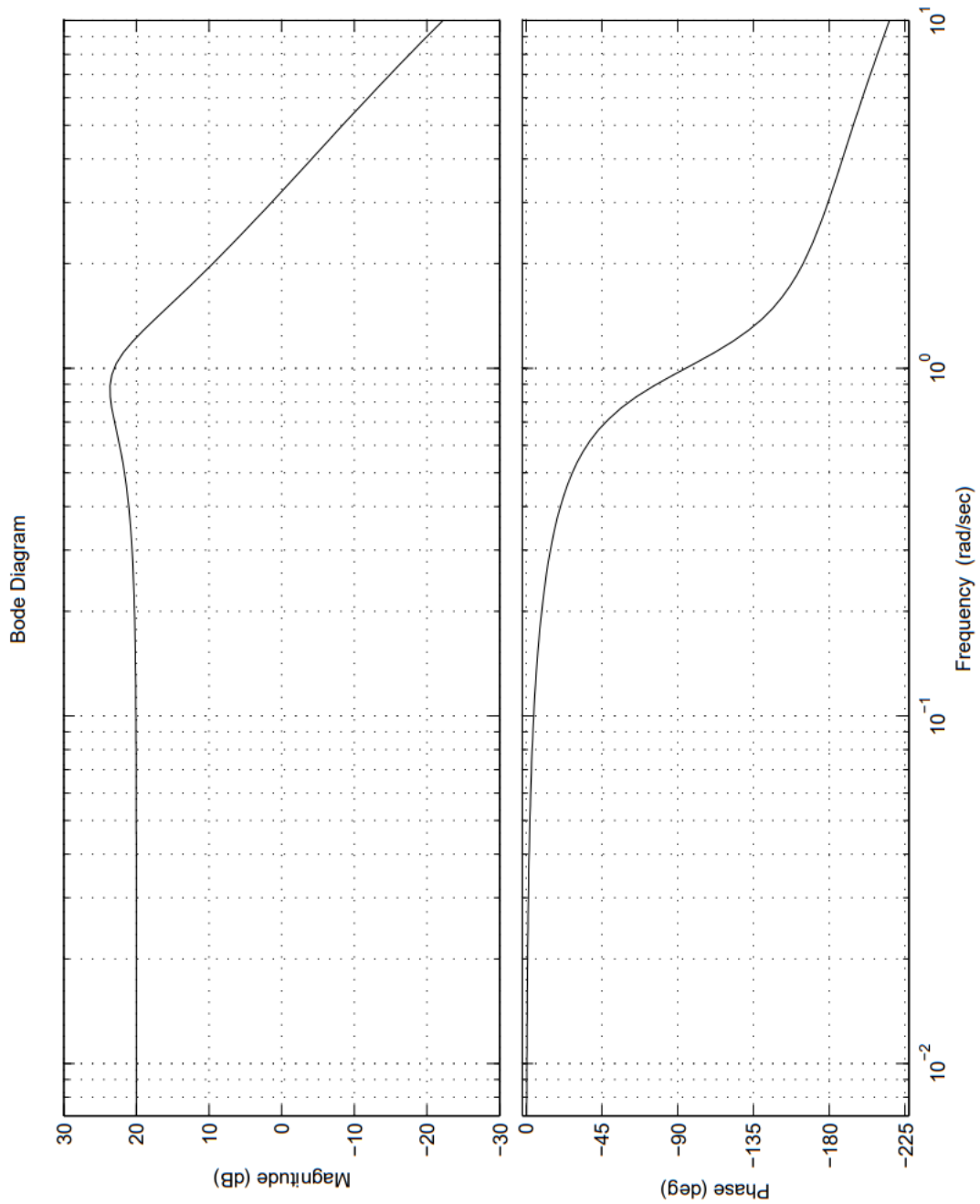
2. En modell som beskriver dynamiken för attackvinkel (från roderutslag) på ett litet experimentflygplan beskrivs av följande modell. I modellen finns en parameter α som beror på den geometriska konfigurationen på flygplanet.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} -1 & \alpha \\ \alpha & -1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} u(t) \\ y(t) &= (-1 \ 1) x(t)\end{aligned}$$

Tips: För att slippa att räkna en del saker flera gånger, notera vad som efterfrågas i uppgift c.

- (a) För vilka α är det öppna systemet asymptotiskt stabilt? (2p)
- (b) Red ut hur och när du kan skapa en tillståndsåterkoppling $u = -Lx + l_0 r$ som placerar samtliga poler i -4 samt garanterar att inget stationärt reglerfel uppstår då referenssignalen är ett steg. (6p)
- (c) Vilka nollställen har öppna respektive slutna systemet? (2p)

3. Civilingenjör Linusson har blivit tillfrågad av ett företag om att hjälpa till med reglerdesignen i en ny konstruktion. Tyvärr kan företaget inte leverera en komplett matematisk modell över systemet, men har genom experiment lyckats konstruera ett Bodediagram, avbildat i figur 3. De vet att systemet är linjärt.



Figur 3: Bodediagram till uppgift 3.

- (a) En anställd vid företaget kommenterar att de tidigare har försökt reglera systemet med en P-regulator med förstärkning 10. Vad bör ha hänt vid detta experiment och varför? (2p)
- (b) Samma anställda säger att de bara gjorde experiment upp till frekvensen 10 rad/s, men att de är säkra på att fasen konvergerar till -225° för högre frekvenser baserat på figuren. Hur ställer du dig till det påståendet? (1p)
- (c) Antag att system regleras med en P-regulator med förstärkning 1/2. Gör en uppskattning av komplementära känslighetsfunktionens förstärkning i frekvensen 1 rad/s (3p)
- (d) Verifiera att regulatorn $F(s) = \frac{1.1s+3}{0.03s+1}$ leder till en skärfrekvens på 9 rad/s och en positiv fasmarginal. (4p)

4. För ett temperaturreglersystem gäller att

$$Y(s) = \frac{3}{s+1}U(s) + \frac{4}{(s+2)(s+5)}V(s)$$

där y är den reglerade temperaturen, u är tillförd effekt (värme/kyl) och v är omgivningstemperaturen (som vi ser som en mätbar störning). Antag för enkelhets skull att den önskade temperaturen är $y = 0$.

(a) Ange en framkoppling (dvs öppen styrning)

$$U(s) = F_f(s)V(s)$$

som helt eliminerar inverkan av störningen v på y . (2p)

(b) För att förenkla implementeringen av framkopplingen ersätter man F_f med den konstanta framkopplingen $\tilde{F}_f = F_f(0)$. Anta att v ges av $v(t) = -1 - 0.1t$ och att $U(s) = \tilde{F}_f V(s)$ används. Vad blir då $y(t)$ i stationaritet? (3p)

(c) Man kompletterar med en P-regulator så att

$$U(s) = \tilde{F}_f V(s) - KY(s)$$

Vad blir nu $y(t)$ i stationaritet om $v(t) = -1 - 0.1t$? (3p)

(d) Antag att man bara använder P-reglering,

$$U(s) = -KY(s)$$

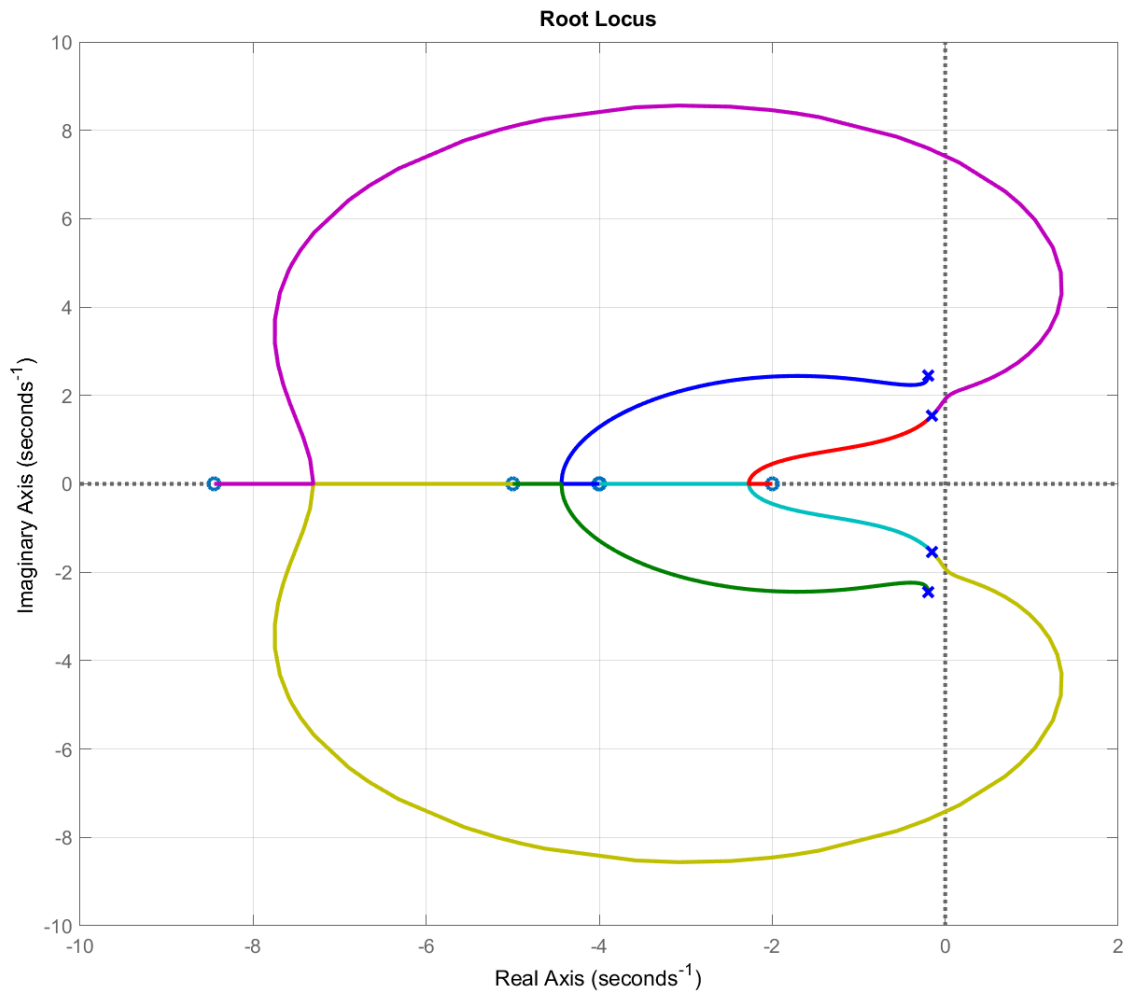
Vad blir nu $y(t)$ i stationaritet om $v(t) = -1 - 0.1t$? (2p)

5. Denna uppgift kräver ej motivering, utan din uppgift är bara att genomföra lämpliga analyser och beräkningar och sedan enbart svara **Ja**, **Nej**, eller **Går ej att avgöra** och inget annat på de fem frågorna. Du måste dock lita på din analys, då felaktigt svar ger en negativ poäng (dvs -1p istället). Du kan naturligtvis avstå att svara på delfrågan och får då 0p. Du kan ej få mindre än 0p totalt på hela uppgiften.

Svenska Kraftnät (SVK) är ansvariga för frekvensreglering i det svenska elnätet. Deras forskningsavdelning har studerat hur det svenska elnätet skulle påverkas om en viss andel av alla vindkraftverk utrustas med en elektrisk komponent kallad magnetisk effektfluxotron¹. De tänker sig att en andel $0 \leq \alpha \leq 1$ av alla vindkraftverk är utrustade med en fluxotron och vill studera elnätets resulterande dynamiska egenskaper genom att rita en rotort med avseende på α . Man lyckas få analysproblemet i standardform genom att införa en ny hjälpvariabel K där $\alpha = \frac{K}{1+K}$, och ritar upp en rotort över elnätets dynamik m.a.p K i Figur 4.

- (a) Elnätet är instabilt om inget vindkraftverk utrustas med en fluxotron. (2p)
- (b) Modellen över elnätet har 6 poler. (2p)
- (c) Elnätet kan destabiliseras om en delmängd av vindkraftverken utrustas med en fluxotron. (2p)
- (d) Elnätet kan stabiliseras och bli väldämpat om tillräckligt många av vindkraftverken utrustas med en fluxotron. (2p)
- (e) Alla poler blir reella om $K \geq 2$. (2p)

¹100% hittepå



Figur 4: Rotort i uppgift 5.