Schriftelijke zitting Systeem- en regeltechniek 2 (WB2207)
29 januari 2009 van 14:00 tot 17:00 uur

Onderstaande aanwijzingen nauwkeurig lezen.

- Vul op het voorblad uw naam, voorletters, studienummer en opleiding in.
- Dit tentamen bestaat uit 5 vraagstukken. Lees iedere vraag goed alvorens te antwoorden.
- Bij elke vraag staat het maximaal te behalen aantal punten aangegeven (totaal = 180). De puntentelling wordt lineair afgebeeld op de cijferschaal 1 t/m 10.
- Het is **niet** toegestaan om boeken en oude tentamens te gebruiken. Het gebruik van uw eigen *handgeschreven* notes en college sheets is wel toegestaan.
- Het antwoord van elk vraagstuk dient in het bijbehorende kader te worden ingevuld. Bij de beoordeling van het werk telt de uitkomst van een opgave slechts mee wanneer deze is voorzien van een motivering die tot de uitkomst heeft geleid.
- Praat nooit met uw buurman om welke reden dan ook: het tentamen wordt in dit geval meteen ingenomen.
- Tip: begin met vragen waar u snel de oplossing van kunt vinden.
- Veel succes!

Achternaam:

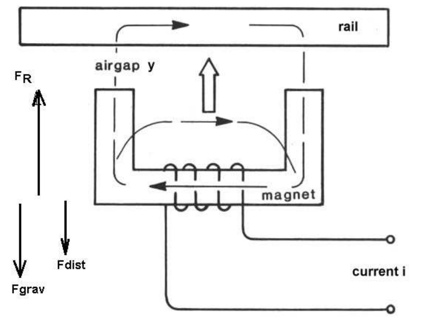
Voorletters:

Studienummer:

Opleiding:

Delft University of Technology, Delft Center for Systems and Control, Mekelweg 2, Delft

1. Een magnetische levitatie systeem is schematisch weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Een schematische weergave van een magnetische levitatie systeem.

Een gelineariseerd wiskundig model in de toestandsvorm is:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 100 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \end{pmatrix} u(t) \\ y(t) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t) \end{aligned}$$

met u het stuursignaal (stroom door de spoel) en y de te regelen output (de luchtspleet).

a) Geef de open-lus overdrachtsfunctie $G(s) = Y(s)/U(s)$. **(10 p)**

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} =$$

Berekening / motivering:

b) Het systeem wordt geregeld door middel van een toestandsregelaar $u(t) = -Kx(t) + K_{ff}r(t)$, met $r(t)$ de referentie voor de luchtspleet en K, K_{ff} de regelaarparameters. Bereken K zodanig dat de gesloten-lus karakteristieke polynoom een relatieve demping heeft $\zeta = 0.9$ en een natuurlijke frequentie $\omega_n = 30$ rad/s. **(18 p)**

$K \quad =$

Berekening / motivering:

c) Bereken de *feedforward* versterkingsfactor K_{ff} zodanig dat de stationaire versterking (*DC gain*) van $G_{cl}(s)$ gelijk is aan 2. **(12 p)**

$K_{ff} \quad =$

Berekening / motivering:

2. Gegeven is een systeem $G(s)$, dat met een PI-regelaar $D(s)$ wordt geregeld:

$$G(s) = \frac{1}{(3s+1)(s+1)} \qquad\qquad D(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

a) Neem $T_i = 3$. Voor welke waarde van de regelaarversterking K heeft het geregelde systeem een fase marge van PM = 60°? **(25 p)**

$K \;=$

Berekening / motivering:

b) Neem $T_i = 2$. Geef de gesloten-lus karakteristieke vergelijking in de root-locus vorm en schets de bijbehorende *root locus* voor $K \geq 0$. Geef de richting van stijgende K aan. Bespreek hoe de stabiliteit van het gesloten-lus systeem wordt beïnvloed door K. **(14 p)**

Karakteristieke vergelijking:

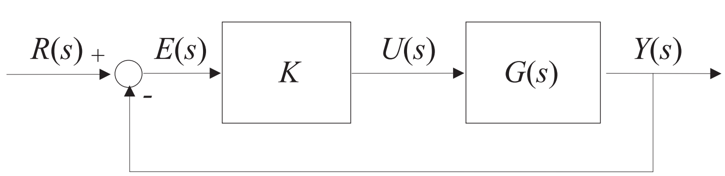
Root-locus: *Stabiliteit*:

---

3. Het systeem:

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

wordt geregeld met een proportionele regelaar in de gesloten-lus configuratie zoals aangegeven in figuur 2.



Figuur 2: Blok-schema van de gesloten lus.

a) Bereken de bandbreedte van het gesloten-lus systeem voor $K = 10$. **(15 p)**

$\omega_{BW} =$
Berekening / motivering:

b) Geef de overdrachtsfunctie $G_e(s) = \dfrac{E(s)}{R(s)}$. Bereken de *steady-state* waarde e_{ss} als functie van K voor de volgende drie signalen: $r(t) = 1$, $r(t) = t$, $r(t) = 0.5t^2$.

NB: de *steady-state* waarde is gedefinieerd als $e_{ss} = \lim_{t\to\infty} e(t)$. **(10 p)**

$$G_e(s) = \frac{E(s)}{R(s)} =$$

$r(t) = 1$	$e_{ss} =$
$r(t) = t$	$e_{ss} =$
$r(t) = 0.5t^2$	$e_{ss} =$

Berekening / motivering:

c) Neem $K = 4$. Het inputsignaal $r(t)$ is de volgende sinusfunctie:

$$r(t) = 3\,\sin(2t)$$

De steady state output $y(t)$ is ook een sinusfunctie, wel met een andere amplitude en fase. Bereken deze amplitude en fase en geef de formule voor $y(t)$. **(12 p)**

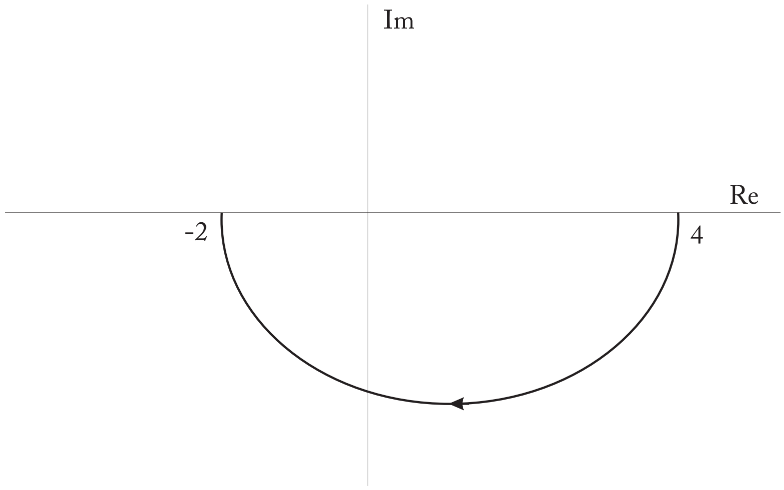
$y(t) \quad =$

Berekening / motivering:

4. Gegeven is het volgende open-lus systeem:

$$G(s) = \frac{a(-s+b)}{s+1}$$

In figuur 3 is een Nyquist-plot weergegeven van de *loop-transfer* $KG(s)$ voor de regelaarversterking $K = 1$ en voor $\omega \in [0, \infty)$.



Figuur 3: Nyquist plot.

a) Bereken de waarde van a en b. **(10 p)**

$a \;=$

$b \;=$

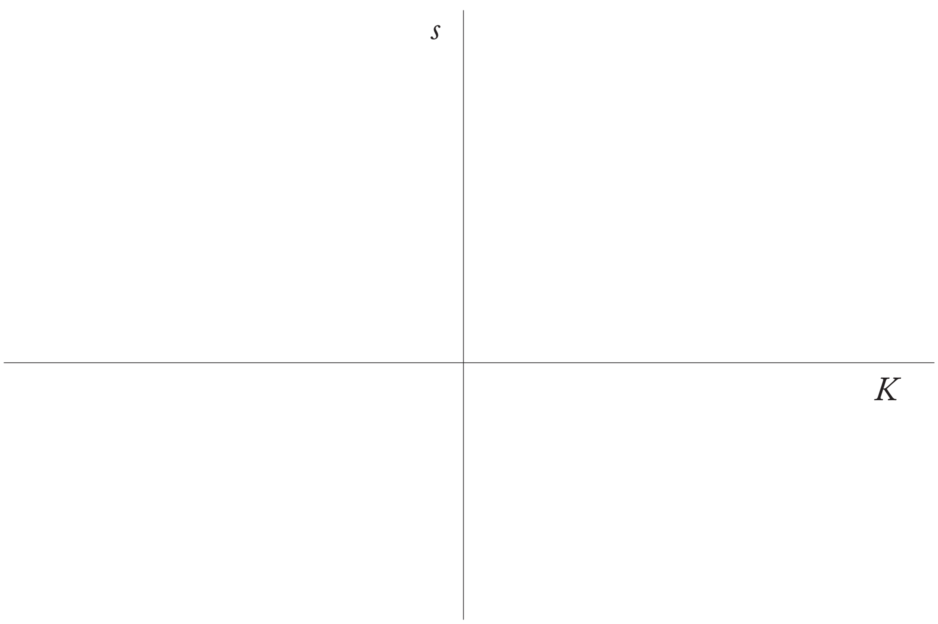
Berekening / motivering:

b) Is voor deze waarde van de regelaarversterking ($K = 1$) het gesloten-lus systeem stabiel? Pas het Nyquist criterium toe. (**10 p**)

Is het gesloten-lus systeem stabiel?

Motivering (toepassing van het Nyquist-criterium):

c) Veronderstel $a = b = 2$. De gesloten lus pool is een reëel getal. Geef met behulp van een grafiek aan hoe de waarde van deze pool afhankelijk is van de regelaarversterking $K \in \mathbb{R}$ (positief en negatief). Geef het interval van versterkingen K voor welke het gesloten-lus systeem asymptotisch stabiel is. (**20 p**)



$K \in$

Berekening / motivering:

5. Gegeven is de volgende overdrachtsfunctie:

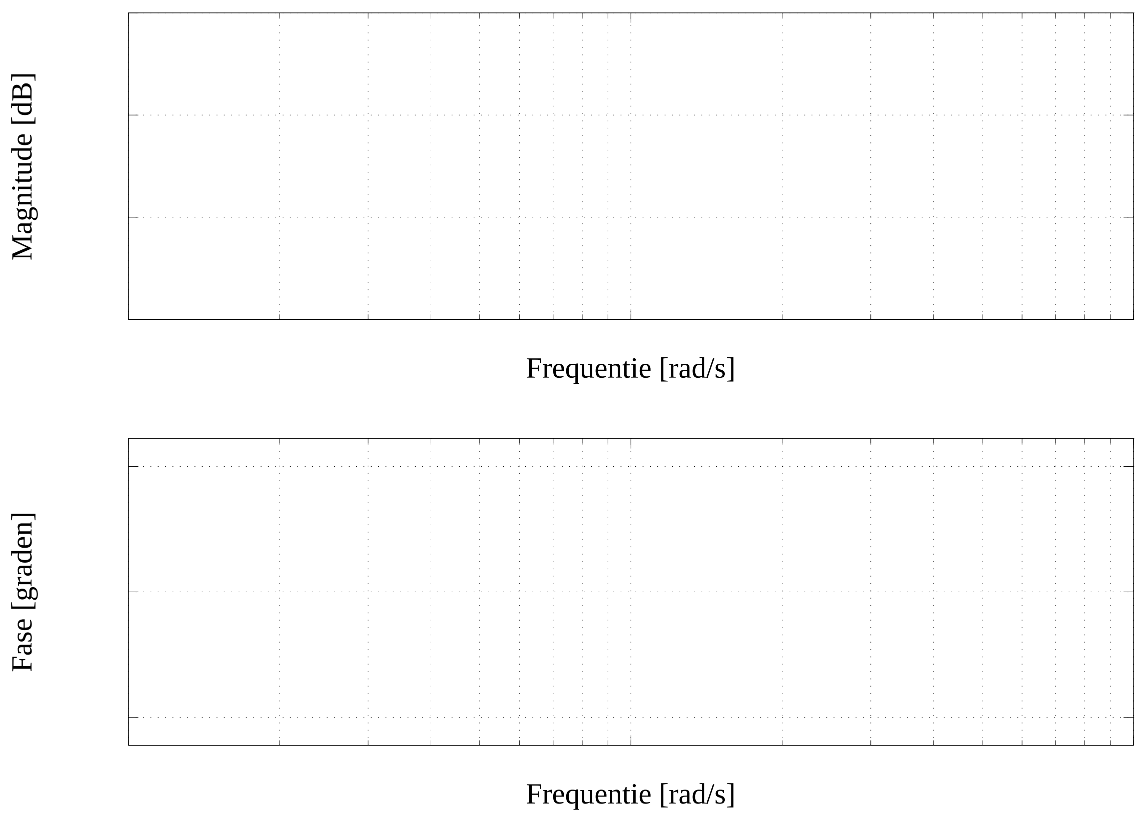
$$G(s) = \frac{30s + 150}{s^2 + 32s + 60}$$

Teken alleen de *asymptotenbenadering* van het Bode diagram van $G(s)$. Schrijf de overdrachtsfunctie eerst om in een geschikte vorm. Bereken dan de stationaire versterking en de polen en nulpunten. Teken vervolgens nauwkeurig de asymptoten voor zowel de magnitude als de fase plot. Label de assen. **(24 p)**

$G(j\omega) =$

Stationaire versterking (DC gain):

Polen en nulpunten:



Figuur 4: Asymptotenbenadering van het Bode diagram.

Einde tentamen

vraagstuk	1 a	1 b	1 c	2 a	2 b	3 a	3 b	3 c	4 a	4 b	4 c	5
score												