Schriftelijke zitting Regeltechniek (WB2207)

3 november 2011 van 9:00 tot 12:00 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, college en instructie 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:

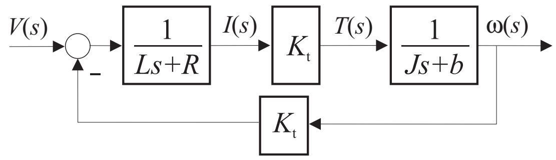
Voorletters:

Studienummer:

Opleiding:

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

1. Een blok-schema van een DC motor is gegeven in figuur 1.



Figuur 1: Blok-schema van een DC motor.

a) Geef de overdrachtsfuntie $G(s) = T(s)/V(s)$. Schrijf $G(s)$ in de vorm $K\dfrac{B(s)}{A(s)}$, met K een constante en $A(s)$, $B(s)$ polynomen in aflopende machten van s. **(12 p)**

$$G(s) = \frac{T(s)}{V(s)} \quad =$$

Berekening / motivering:

b) Stel nu dat de input van de motor kortgesloten is, dwz $V(s) = 0$. Geef de overdrachtsfuntie $H(s)$ van een extern koppel $T_e(s)$ naar de stroom $I(s)$. Het externe koppel $T_e(s)$ wordt opgeteld bij $T(s)$. **(12 p)**

$$H(s) = \frac{I(s)}{T_e(s)} \quad =$$

Berekening / motivering:

2. Gegeven is het volgende open-lus systeem:

$$G(s) = \frac{80}{(s+2)(s+3)^2}$$

Ontwerp een PD regelaar $D(s) = K_p(1 + T_d s)$ zodat het geregelde systeem aan de volgende eisen voldoet:

- een cross-over frequentie van $\omega_c = 3$ rad/s
- een fase marge van $\mathrm{PM} = 65°$

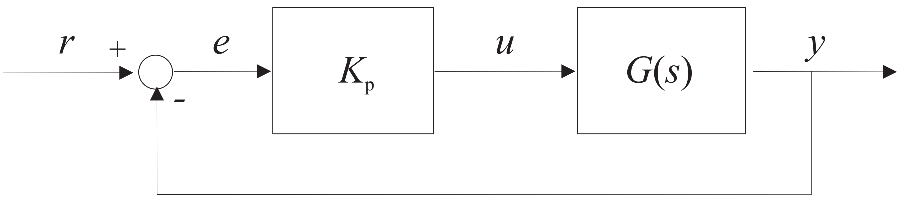
Laat alle stappen uit uw berekening zien. **(30 p)**

$$K_p =$$

$$T_d =$$

Berekening / motivering:

3. Een lasrobot met overdrachtsfunctie $G(s)$ wordt geregeld door een proportionele regelaar K_p in de gesloten-lus configuratie zoals aangegeven in figuur 2.

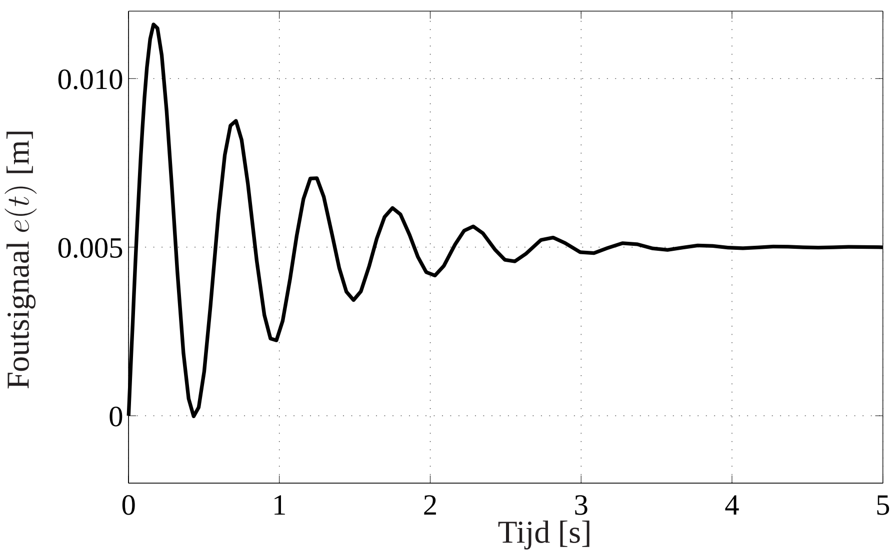


Figuur 2: Blok-schema van de gesloten lus.

De overdrachtsfunctie $G(s)$ heeft de volgende vorm:

$$G(s) = \frac{K}{s(s+10)(s+20)}$$

waarbij de exacte waarde van de parameter K onbekend is. Om K te bepalen, wordt een gesloten-lus experiment uitgevoerd met de proportionele regelaar $K_p = 1000$ (de gesloten lus is asymptotisch stabiel met deze regelaar). Op de referentie input $r(t)$ wordt een *ramp* signaal $r(t) = 0.1t$ gezet en de bijbehorende output $y(t)$ wordt gemeten. Het foutsignaal $e(t) = r(t) - y(t)$ is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Gemeten foutsignaal $e(t)$.

a) Bereken de constante K in de overdrachtsfuntie $G(s)$. Tip: maak gebruik van de eindwaardestelling (*final value theorem*). **(18 p)**

$K \;=$

z.o.z.

Berekening / motivering:

b) Gebruik dezelfde proportionele regelaar $K_p = 1000$ en veronderstel dat de constante K in $G(s)$ niet bekend is. Geef de gesloten-lus karakteristieke vergelijking in de root-locus vorm en schets de bijbehorende *root locus* voor $K > 0$. Geef de richting van stijgende K aan. **(12 p)**

Karakteristieke vergelijking:

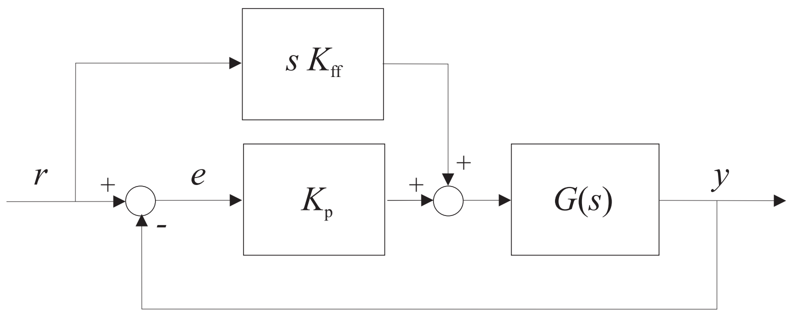
Root-locus :

c) Geef het interval van versterkingen $K > 0$ in $G(s)$ voor welke het gesloten-lus systeem asymptotisch stabiel is. **(20 p)**

$K \in$

Berekening / motivering:

d) Om de *steady-state* fout te elimineren, wordt het regelschema uitgebreid met de zgn. *velocity feedforward* versterking K_{ff}, zie figuur 4.



Figuur 4: Blok-schema met *velocity feedforward* (s is de Laplace operator).

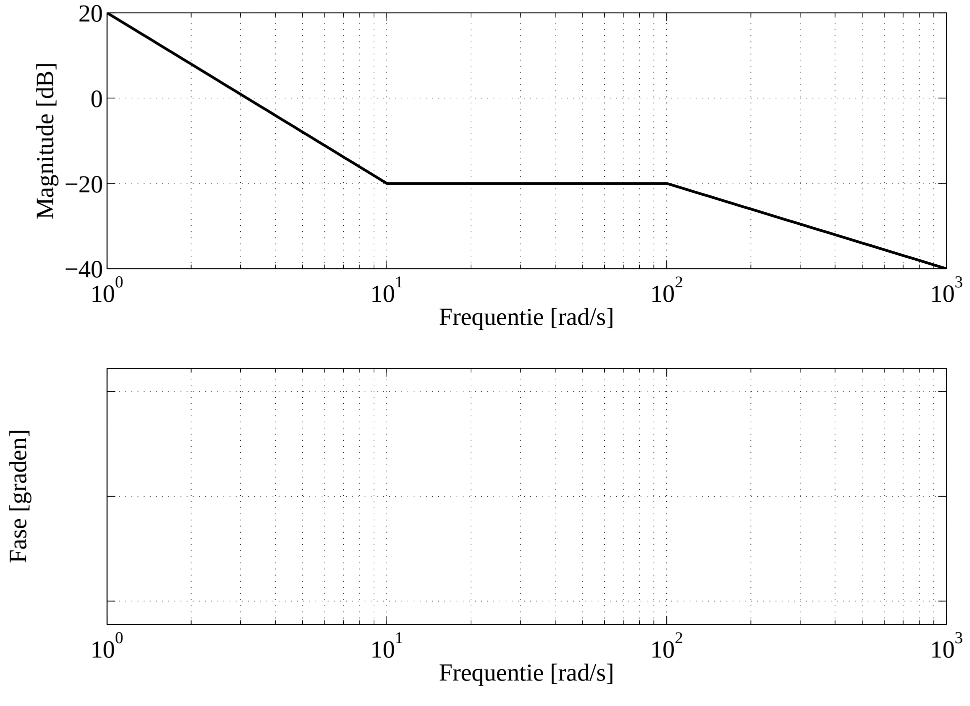
Neem $K = 2$, $K_p = 1000$ en bereken de waarde van K_{ff} zodanig dat de *steady-state* fout $e_{ss} = 0$ voor de *ramp* referentie input (de *steady-state* waarde is gedefinieerd als $e_{ss} = \lim_{t\to\infty} e(t)$). **(18 p)**

$K_{\text{ff}} =$

Berekening / motivering:

---

4. Gegeven is de onderstaande asymptotenbenadering van de magnitude van een Bode diagram:



Figuur 5: Asymptotenbenadering van een Bode diagram.

Dit Bode diagram is getekend voor een stabiel, minimum-fase systeem met de onderstaande overdrachtsfunctie $G(s)$:

$$G(s) = \frac{K(s+a)^m}{s^n(\tau s+1)^p}$$

a) Bepaal de constanten K, m, n, p, a en τ in de overdracht functie $G(s)$: **(20 p)**

$K \quad =$	$m =$	$n =$
$p \quad =$	$a =$	$\tau =$

Berekening / motivering:

b) Bepaal aan de hand van het Bode diagram het systeem type: **(3 p)**

Systeem type:

Motivering:

c) Teken in figuur 5 nauwkeurig de asymptoten van de bijbehorende fase plot. Geef de fase in graden langs de verticale as. **(5 p)**

---

5. Gegeven is het volgende model in toestandsvorm:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} -1 & 4 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t) \\ y(t) &= \begin{pmatrix} 2 & 1 \end{pmatrix} x(t) \end{aligned}$$

a) Toon aan dat voor de open-lus overdrachtsfunctie $G(s) = Y(s)/U(s)$ geldt

$$G(s) = \frac{s+9}{s^2+2s+9}$$

(10 p)

Berekening / motivering:

b) Het systeem wordt geregeld door middel van een toestandsregelaar $u(t) = -Kx(t)$ met $K = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix}$ de state feedback versterking. Bereken K zodanig dat de gesloten-lus karakteristieke polynoom een relatieve demping $\zeta = 0.8$ heeft en een natuurlijke frequentie $\omega_n = 20\,$rad/s. **(20 p)**

$K =$

Berekening / motivering:

Einde tentamen