

ECS les 5 **Antwoorden/Solutions**



Docent : [ir drs E.J Boks](#)

Opdrachten om zelfstandig uit te voeren tijdens het derde lesuur

Assignments for independent execution during the third course hour

Voer de onderstaande opdrachten zelfstandig uit tijdens het derde lesuur ECS. De opdrachten zijn een test om in te schatten hoe de student de theoriestof van het vak ECS beheerst.

De uitwerkingen en antwoorden worden gepresenteerd in de volgende lesweek.

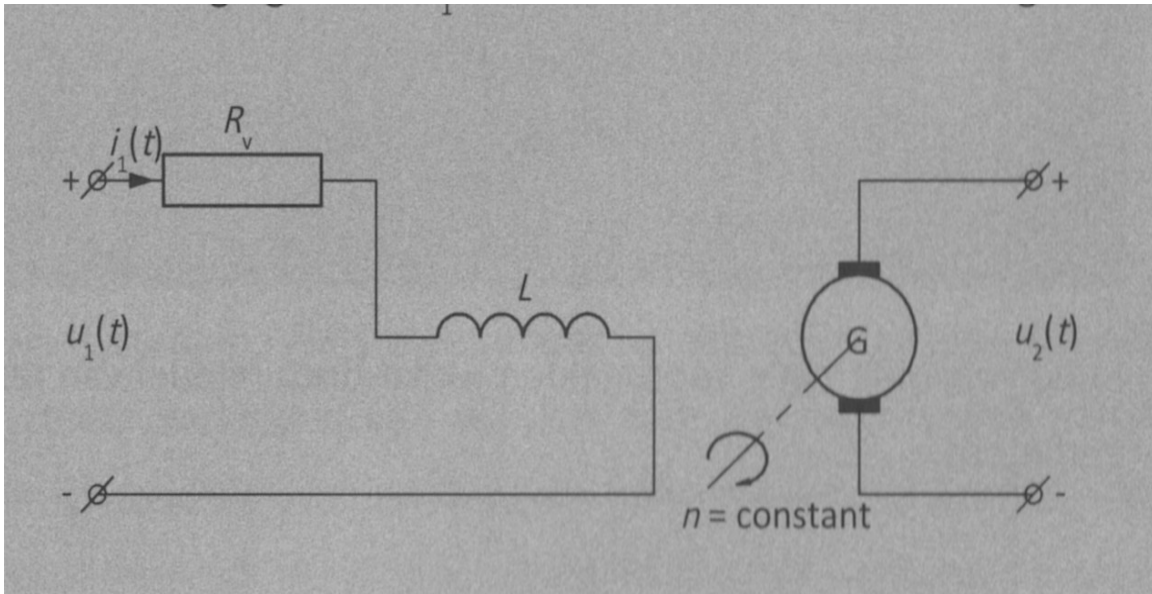
Complete the assignments below independently during the third ECS class. The assignments are a test to estimate how the student has mastered the theory of ECS.

Elaborations and answers are presented in the following lesson week.

Geef een definitie en uitleg over de volgende begrippen in een systeem / *Provide a definition and explanation of these following concepts in a system:*

1. Stabiliteit / *Stability* **antwoord/solution** : Zie §6.1.
2. Gevoeligheid / *Sensitivity* **antwoord/solution** : Zie §6.1.
3. Robuustheid / *Robustness* **antwoord/solution** : Zie §6.1.
2. Zijn gevoeligheid en robuustheid tegenstrijdige begrippen in een systeem? / *Are sensitivity and robustness contradictory concepts in a system?* **antwoord/solution** : **Ja**. Een robuust systeem kan niet ook gevoelig zijn Zie §6.8.1 . / *Yes. A robust system cannot also be sensitive. See §6.8.1*
3. Wat is een evenwichtspunt / *what is an equilibrium point?* **antwoord/solution** : Zie §6.3.
4. Is stabiliteit een relatief of algemeen begrip wanneer toegepast op de staat van een systeem / *Is stability a relative or absolute concept when applied to the state of a system?* **antwoord/solution** : Zie §6.3. Het is een lokale eigenschap ==> relatief. / *It is a local property ==> relative.*
5. Wanneer is een systeem asymptotisch stabiel? / *When can a system be considered asymptotically stable?* **antwoord/solution** : Zie §6.3. "Asymptotisch" vereist een aantrekkelijke beweging, dwz de stabiliteit wordt gemakkelijk bereikt / *"Asymptotic" requires an attractive movement, ie stability is easily achieved.*
6. Wat is het stabiliteitscriterium van / *What is the stability criterion of :*
 - o Een lineair autonoom systeem met diskrete tijdparameter $k \cdot T_s$ / *A linear autonomous system with discrete time parameter $k \cdot T_s$.* **antwoord/solution** : Zie §6.4. $|a| < 1$.
 - o Een lineair autonoom systeem met continu tijdparameter t / *A linear autonomous system with continuous time parameter t .* **antwoord/solution** : Zie §6.4.2 pool $s < 0$.

7. In §6.4.3 wordt gewezen op splitsingen (Eng : *bifurcations*). Geef aan in figuur 6.8 wat het gebied is waarin de watertank mag opereren, en geef het optimale punt aan voor α en r . Wat zijn de splitsingpunten? / In §6.4.3 reference is made to *bifurcations*. Indicate in figure 6.8 the area in which the water tank may operate, and indicate the optimum point for α and r . Where are the bifurcations? **antwoord/solution** : Zie §6.4.3. Het gebied waarin mag worden geopereerd is begrensd door de lijn $\alpha=-2$ en de konditiekromme $\alpha r=1$. Het optimale punt is $\alpha=-1, r=1$ ("deadbeat") / 7. The area in which operations are permitted is contained by the line $\alpha = -2$ and the condition curve $\alpha r=1$. The optimum point is $\alpha = -1, r = 1$ ("deadbeat").
8. Gegeven is een systeembeschrijving van een generator in het elektro-mechanische domein / A system description of a generator is presented in the electrical-mechanical domain :



u_1 is de bekrachtigingsspanning van het systeem, u_2 is de gegenereerde spanning. Er kan worden gezegd dat / u_1 is the control voltage in the system, u_2 is the generated voltage. it can be said that:

$$u_1 = i_1 R_v + L \frac{di_1}{dt} \quad \text{en} \quad u_2 = c n i_1$$

- Formuleer de overdrachtsfunctie $H(s)$ tussen de twee spanning in het systeem / Formulate the transfer function $H(s)$ between the two voltages in the system. **antwoord/solution** :

$$I_1(s) = \frac{1}{R_v} \frac{1}{\tau s + 1} U_1(s) \quad \text{met} \quad \tau = \frac{L}{R_v}$$

$$U_2(s) = c n I_1(s) = \frac{K}{\tau s + 1} U_1(s) \quad \text{met} \quad K = \frac{c n}{R_v}$$

$$H(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

- Geef aan wat de gevoeligheid en de robuustheid van dit systeem zijn / Indicate the sensitivity and robustness of this system. **antwoord/solution** :

Gevoeligheid wordt bepaald door te kijken naar de verandering van uitgang in verhouding tot de verandering aan de ingang (§6.8). In dit geval is dat $\frac{du_2}{du_1}$. De wiskundige uitwerking volgt hier onder. / Sensitivity is determined by observing the change in output compared to the change in input. In this case this is $\frac{du_2}{du_1}$. The mathematical exploration of this is done below.

$$\frac{du_2}{du_1} = \frac{du_2}{di} \cdot \frac{di}{du_1}$$

$$\frac{du_2}{di} = \frac{d}{di}(c \cdot n \cdot i) = c \cdot n$$

$$\frac{di}{du_1} = \frac{1}{\frac{du_1}{di}} = \frac{1}{\frac{d}{di}(R_v \cdot i + L \frac{di}{dt})} = \frac{1}{R_v + L \frac{1}{dt}} = \frac{1}{R_v}$$

$$\frac{du_2}{du_1} = \frac{c \cdot n}{R_v}$$

Uit het antwoord is af te leiden dat de gevoeligheid gelijk is aan de faktor K en toeneemt met stijgend toerental n en kleinere weerstand Rv / The answer reveals the fact that the sensitivity is equal to the gain factor K and increases with rising rotational velocity n and declining value of Rv.

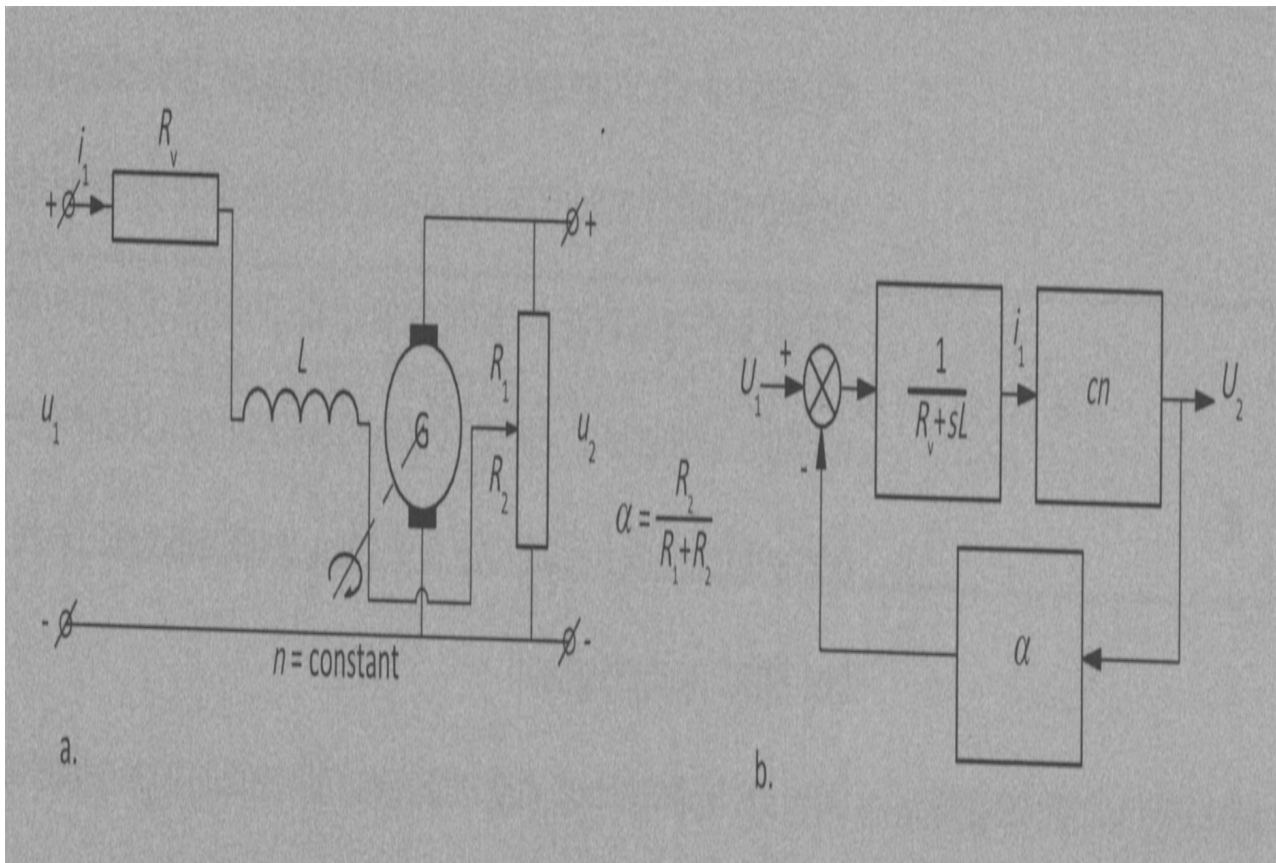
- Robuustheid wordt bepaald door te kijken naar verandering in de belasting versus de verandering in uitgangsspanning. Het systeem is robuust als de uitgangsspanning constant blijft bij variërende belastingstroom i_2 . / *Robustness is determined by looking at the change in load versus the change in output voltage. The system is robust when the output voltage remains constant with changing load current i_2 .*

$$u_2 = u_b \rightarrow c \cdot n \cdot i_1 = R_L \cdot i_2$$

$$i_1 = \frac{R_L}{c \cdot n} \cdot i_2 \quad \text{or}$$

$$u_1 \approx R_v \cdot i_1 = \frac{R_v}{c \cdot n} \cdot u_b$$

- Het is duidelijk dat de robuustheid gering is in dit systeem, want een verandering in belasting kan slechts opgevangen worden door een verandering van i_1 (dus weerstand Rv) of een verandering van het toerental n / *It is obvious that robustness is shallow in this system, for a change in load can only be dealt with by a change in current i_1 (thus resistor Rv) or a change in rotational speed n.*
- De robuustheid van het systeem kan worden verbeterd door de toepassing van terugkoppeling. Ontwerp een terugkoppellus voor dit systeem die de robuustheid sterk verbetert / *The robustness of the system can be improved through the use of feedback. Design a feedback loop for this system that greatly improves robustness.* **antwoord/solution** : Er moet een directe koppeling gemaakt worden tussen de uitgangsspanning u_2 en de bekrachtingstroom i_1 . Als de uitgangsspanning u_2 daalt, dan moet de bekrachtingstroom i_2 toenemen. Plaats een terugkoppellus van u_2 naar u_1 : leg de u_1 -pool aan de u_{2+} pool via een weerstanddeling / *A direct link must be made between output voltage u_2 and control (field) current i_1 . When the output voltage u_2 decreases, then i_1 should increase. Place a feedback loop from u_2 to u_1 : place the u_1 -pole on the u_{2+} pole via a resistor division.*



- Bepaal de overdrachtfunctie $H_{tk}(s)$ van het teruggekoppelde systeem / Determine the transfer function $H_{tk}(s)$ of the fed back system.

$$H(s) = \frac{K_{tk}}{\tau_{tk} \cdot s + 1}$$

- **antwoord/solution :**

$$K_{tk} = \frac{c \cdot n}{R_v + \alpha \cdot c \cdot n} \quad \text{en} \quad \tau_{tk} = \frac{L}{R_v + \alpha \cdot c \cdot n}$$

- Wat is de prijs die betaald wordt voor de toegenomen robuustheid / What is the price that is paid for the increased robustness ?

antwoord/solution :

K_{tk} is kleiner dan $K \rightarrow$ minder versterking (robuustheid groter) maar tegelijkertijd vermindert de gevoeligheid, welke gelijk was aan K en nu gelijk wordt aan K_{tk} . / K_{tk} is smaller than $K \rightarrow$ less gain (larger robustness) but simultaneously the sensitivity decreases as it was equal to K and now equal to K_{tk} .

τ_{tk} is kleiner dan $\tau \rightarrow$ snellere respons (zie hieronder bij de poolbepaling) / τ_{tk} is smaller than $\tau \rightarrow$ faster response (see below at the pole determination).

- Bepaal de polen van $H_{tk}(s)$ / Determine the poles of $H_{tk}(s)$.

$$\tau_{tk} s + 1 = 0$$

antwoord/solution :

$$\text{pool } s_{tk} = -\frac{1}{\tau_{tk}} = \frac{-(R_v + \alpha \cdot c \cdot n)}{L}$$

Een toename van α leidt er toe dat de pool negatiever wordt en dus minder dominant / an increase in α results in a more negative location of the pole which therefore becomes less dominant.

- Bestaat er een kans dat het systeem instabiel wordt door de terugkoppeling / Is there a chance that the system will become unstable due to the back coupling ?

antwoord/solution : Neen, want α , R_v , c en n zijn altijd positief en daarom is de pool altijd

negatief. / No, for α , R_v , c and n are always positive and the pole is therefore always negative.