



Instituut voor
Engineering en Applied Science

Naam deelnemer:

Studentnummer:

--	--	--	--	--	--	--

Opleiding	:	ELE
Cursusnaam	:	Analoge Elektronica 1
Cursuscode	:	ELEANE10
Tentamenperiode	:	T2
Toetsdatum	:	18-01-2024
Begintijd	:	11:00
Duur (in minuten)	:	135 min
Docent	:	GrooS,VersD
Collegiale review	:	Elkaars opgaven reviewed
Cesuur	:	Bij meer dan 47 punten telt deze deelloets mee
Aantal pagina's	:	5 (exclusief voorblad)
Toetsen inleveren	:	Ja
Kladpapier inleveren	:	Ja

Toegestane hulpmiddelen:

- Normale rekenmachine
- Balpen
- Kladpapier

**Overige
opmerkingen:**

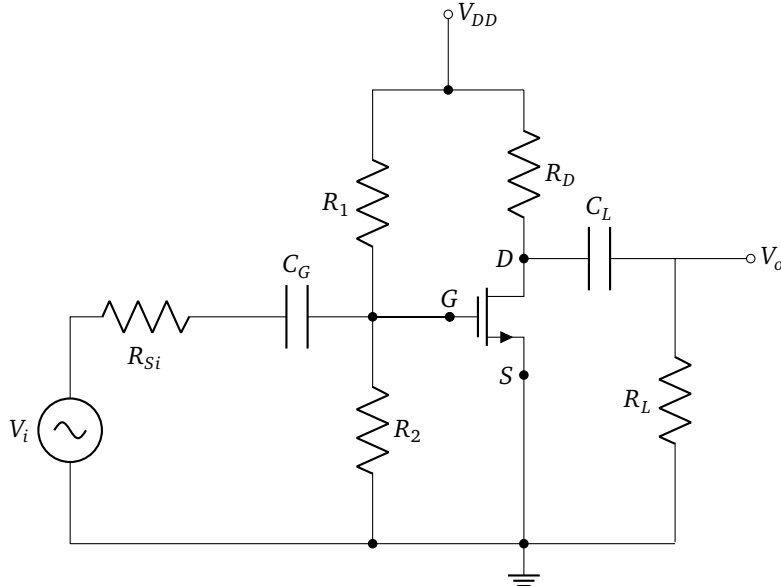
Deze deelloets bepaalt 60% van het eindcijfer.

Puntenverdeling:

Vraag:	1	2	3	4	Totaal
Punten:	50	20	20	30	120

1. Common-source-versterker (Leerdoel 1; 50 punten)

Beschouw de onderstaande common-source-versterkerschakeling, zie schakeling 1. In deze schakeling is $V_{DD} = 60\text{V}$ en $R_1 = 9,0\text{k}\Omega$, $R_2 = 1,0\text{k}\Omega$. De NMOS heeft de volgende eigenschappen: $K_n = 0,1\text{mA/V}^2$, $V_{TN} = 1,0\text{V}$ en $\lambda = 0,01\text{V}^{-1}$. Verder is $R_D = 20,0\text{k}\Omega$, $R_L = 100\text{k}\Omega$ en $R_{Si} = 100\Omega$.



Schakeling 1: Common-source-versterker

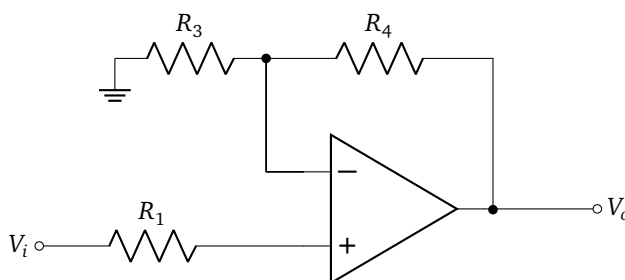
- [8 punten]** Teken het groot-signaalmodeel behorend bij deze schakeling. Geef daarbij duidelijk aan waar welke componenten zitten.
- [10 punten]** Bereken I_D en V_{DS} en controleer daarmee dat de FET in saturatie is.
- [6 punten]** Bereken de transconductie g_m en uitgangsimpedantie r_o van de FET in het klein-signaalmodeel.
- [12 punten]** Teken het klein-signaalmodeel behorend bij deze schakeling. Geef daarbij duidelijk aan waar welke componenten zitten.
- [14 punten]** Bereken de spanningsversterking $A_v = \frac{V_o}{V_i}$.

2. Niet ideale summing amplifier (Leerdoel 2; 20 punten)

De onderstaande niet-ideale op-amp schakeling 2 heeft eeningangsspanning V_i en één uitgang V_o . De enige niet-ideale eigenschap van deze op-amp is dat zijn versterkingsfactor $A_{ol} < \infty$ eindig is:

$$V_o = A_{ol}(V_+ - V_-)$$

Dat betekent dus dat in het algemeen $V_+ \neq V_-$.

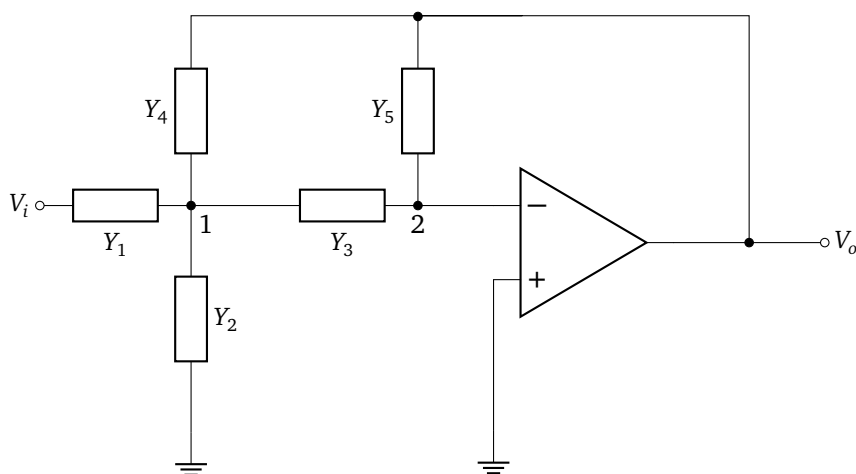


Schakeling 2: Op-amp-schakeling met een niet-ideale op-amp

- [4 punten]** Stel de knooppuntsvergelijking op voor de min-ingang van de op-amp.
- [6 punten]** Stel een matrixvergelijking op die de spanningen V_o , V_- bepalen in termen van de ingangsspanningen V_i .
- [10 punten]** Laat met behulp van de regel van Cramer zien dat de uitdrukking voor V_o in termen van V_i geschreven kan worden als:

$$V_o = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{1}{A_{ol}} \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)} V_i$$

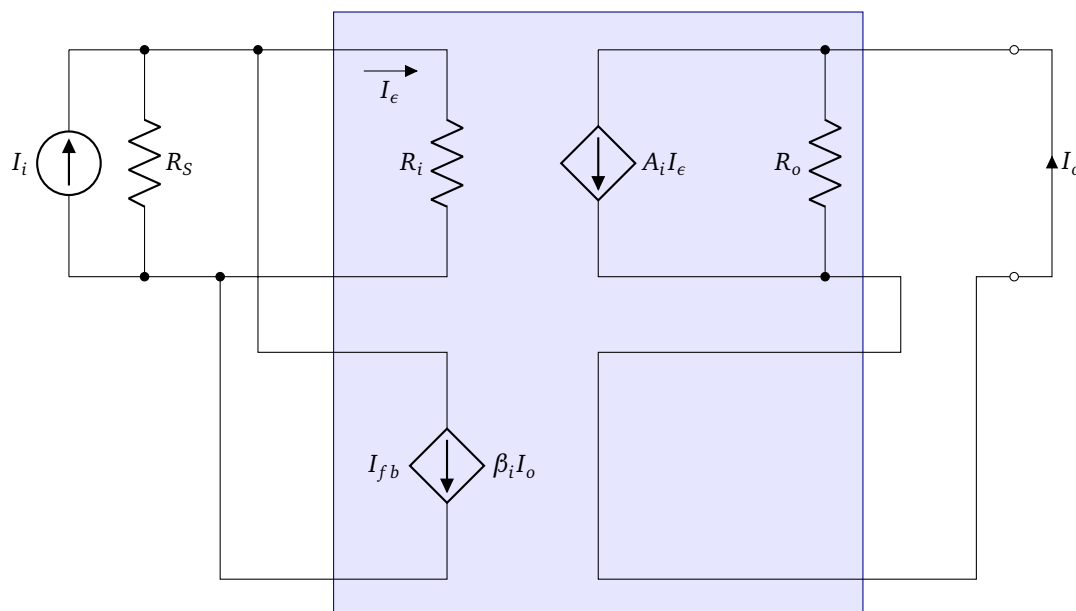
- 3. Multiple feedback-filter (Leerdoel 3: 20 punten)** Gegeven het onderstaande multiple feedback-filter in schakeling 3 met admittanties Y_1 tot en met Y_5 :



Schakeling 3: Multiple feedback-filter

- a. [7 punten]** Stel de knooppuntvergelijkingen op voor de knooppunten 1 en 2 waarin alleen de spanningen V_i , V_1 , en V_o en de admittanties Y_1 tot en met Y_5 voorkomen.
- b. [6 punten]** Bepaal de overdrachtsfunctie $H(s) = \frac{V_o}{V_i}$ met behulp van de regel van Cramer.
- c. [7 punten]** Geef een keuze voor componenten Y_1 tot en met Y_5 die of weerstanden R of condensatoren C mogen zijn, zodanig dat een banddoorlaatfilter verkregen wordt.

4. **Feedback (Leerdoel 4: 30 punten)** Beschouw de onderstaande shunt-series-schakeling, zie schakeling 4. De weerstand van de bron R_S mag verwaarloosd worden. Alleen de vette knooppunten zijn echte knooppunten; snijdende lijnen zonder vet knooppunt zijn niet met elkaar verbonden.



Schakeling 4: Shunt-series-stroomversterkerschakeling

Het doel van deze opgave is het bepalen van de ingangsimpedantie $R_{if} = \frac{V_i}{I_i}$ met feedback.

- a. **[6 punten]** Laat met een berekening zien dat de ingangsimpedantie R_{if} voor deze schakeling te berekenen is volgens:

$$R_{if} = R_i \frac{I_\epsilon}{I_i}$$

- b. **[9 punten]** Bepaal de drie vergelijkingen behorend bij de tekening van de vorige deelopgave (4a.) en geef ze weer in de matrixvergelijking van de vorm:

$$\begin{pmatrix} & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_o \\ I_\epsilon \\ I_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & \end{pmatrix}$$

- c. **[15 punten]** Bereken de closed-loop ingangsimpedantie R_{if} met behulp van de regel van Cramer en leg uit waarom dit een gewenst resultaat is.

Einde van dit tentamen.

Formuleblad Analoge Elektronica 1 (ELEANE10)

Versterkers

Spanningsversterking: $A_v = \frac{V_o}{V_i}$; Stroomversterking: $A_i = \frac{I_o}{I_i}$
 Ingangsimpedantie: $R_i = \frac{V_i}{I_i}$; Uitgangsimpedantie: $R_o = \frac{V_x}{I_x}$

BJT

Hybride-pi-model parameters: $r_\pi = \frac{V_T}{I_{BQ}}$; $r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}}$

FET

Niet-verzadigd: $i_D = K_n(2(v_{DS}(sat))v_{DS} - v_{DS}^2)$; $v_{DS}(sat) = v_{GS} - V_{TN}$

Verzadigd: $i_D = K_n(v_{DS}(sat))^2$;

Klein-signaalmodel parameters: $g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}}$; $r_o = \frac{1}{\lambda I_{DQ}}$

Opamp

Niet ideale opamp: $I_B = \frac{1}{2}(I_{B1} + I_{B2})$, $I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$

Feedback: $A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$; $\omega_{fH} = (1 + \beta A)\omega_H$

Eerste orde filters

LPF: $H(s) = \frac{k}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$ HPF: $H(s) = \frac{k \frac{s}{\omega_c}}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$ StepF: $H(s) = k \frac{1 + \frac{s}{\omega_A}}{1 + \frac{s}{\omega_B}}$

Tweede orde filters

LPF: $H(s) = \frac{k}{1 + \frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{1}{Q_c} \frac{s}{\omega_c}}$ HPF: $H(s) = \frac{k \frac{s^2}{\omega_c^2}}{1 + \frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{1}{Q_c} \frac{s}{\omega_c}}$

BPF: $H(s) = \frac{\frac{k}{Q_c} \frac{s}{\omega_c}}{1 + \frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{1}{Q_c} \frac{s}{\omega_c}}$ BSF: $H(s) = \frac{k(\frac{s^2}{\omega_c^2} + 1)}{1 + \frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{1}{Q_c} \frac{s}{\omega_c}}$

Piek (dB) = $20 \log_{10} \left(\frac{Q_c}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q_c^2}}} \right)$ Kwaliteitsfactor $Q_c = \frac{\omega_c}{\omega_{c2} - \omega_{c1}}$

Bandbreedte $B = \omega_{c2} - \omega_{c1}$