



Instituut voor
Engineering en Applied Science

Naam deelnemer:

Studentnummer:

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

Opleiding : **ELE**

Cursusnaam : **Analoge Elektronica 1**

Cursuscode : **ELEANE10**

Tentamenperiode : **T2**

Toetsdatum : **23-01-2025**

Begintijd : **15:00**

Duur (in minuten) : **135 min**

Docent : **VersD, GrooS**

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.

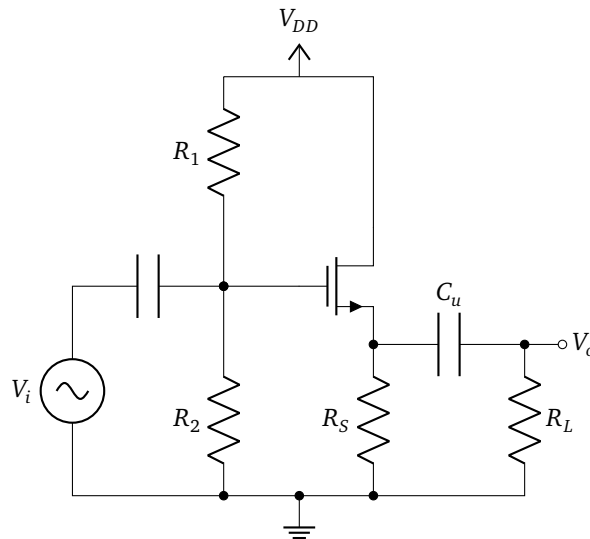
Puntenverdeling:

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

1. Source-follower-versterker (Leerdoel 1; 50 punten)

Beschouw de onderstaande source-follower-versterkerschakeling, zie schakeling 1. In deze schakeling is $V_{DD} = 6\text{ V}$ en $R_S = 400\ \Omega$. De NMOS heeft de volgende eigenschappen: $K_n = 10\text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 1,0\text{ V}$ en $\lambda = 0\text{ V}^{-1}$.

De waarden van R_L , R_1 en R_2 worden in de opdracht zelf berekend.



Schakeling 1: source-follower-versterker

- [8 punten]** Teken het groot-signaalmodeel behorend bij deze schakeling, geef daarbij duidelijk aan waar welke componenten zitten.
- [9 punten]** Bepaal de waarden voor R_1 en R_2 om een I_{DQ} van $5,5\text{ mA}$ te realiseren. Ga ervan uit dat $R_1 + R_2 = 100\text{ k}\Omega$.
- [12 punten]** Teken het kleinsignaalmodeel behorend bij deze schakeling. Geef daarbij duidelijk aan waar welke componenten zitten.
- [11 punten]** Laat zien dat de versterking kan worden uitgedrukt als:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + \frac{1}{g_m \cdot (R_S || R_L)}}$$

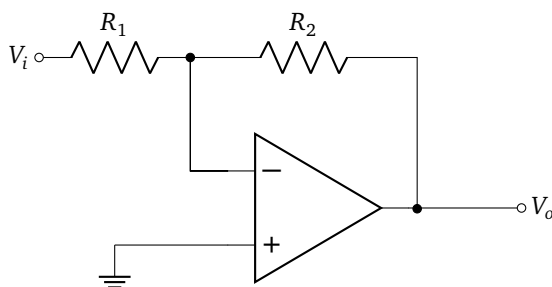
- [10 punten]** Bepaal vanaf welke waarde van R_L er een spanningsversterking is van tenminste $A = \frac{3}{4}$?

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

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

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

en dat de uitgangsimpedantie van de op-amp eindig is: R_o . Dat betekent dus dat in het algemeen $V_+ \neq V_-$.

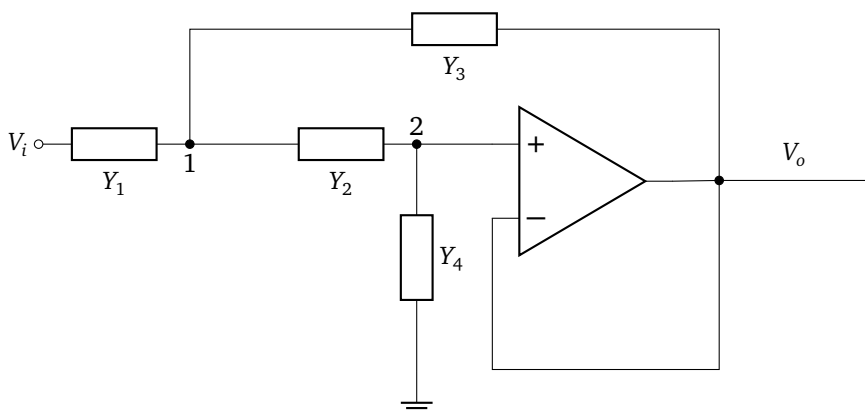


Schakeling 2: Op-amp-schakeling met een niet-ideale op-amp

- [4 punten]** Stel de knooppuntsvergelijkingen op voor de min-ingang van de op-amp en voor de uitgang van de opamp.
- [6 punten]** Stel een matrixvergelijking op die de spanningen V_o , V_- bepaalt in termen van deingangsspanning 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:

$$V_o = V_i \cdot \frac{-\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_o}{A_{ol}R_1}}{1 + \left(\frac{R_o}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} + 1\right)\frac{1}{A_{ol}}}$$

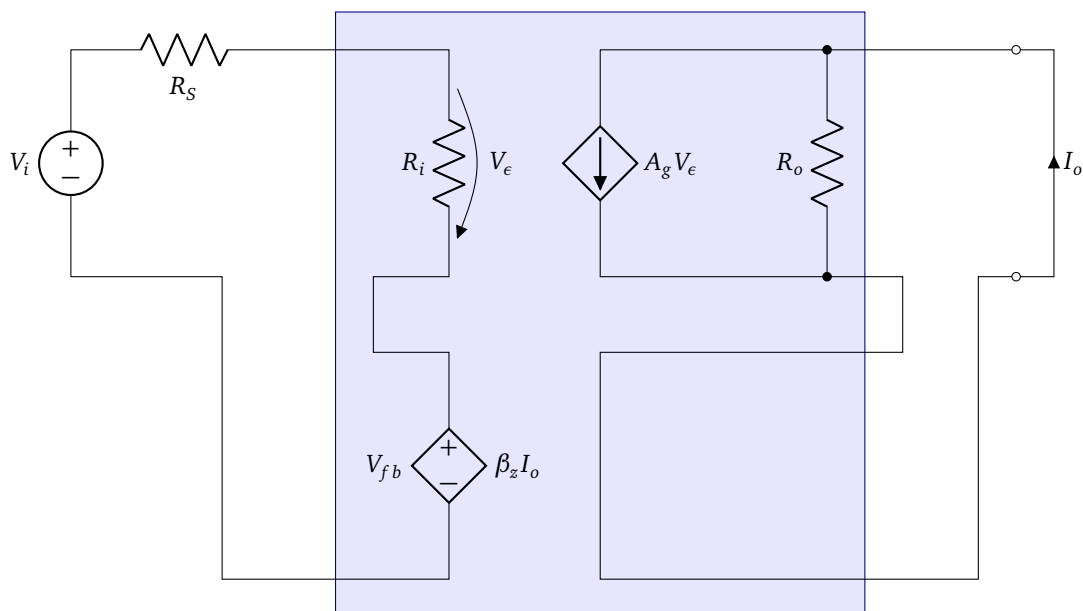
- 3. Sallen-Key-filter (Leerdoel 4: 20 punten)** Gegeven het onderstaande Sallen-Key-filter in schakeling 3 met admittanties Y_1 tot en met Y_4 :



Schakeling 3: Sallen-Key filter zonder versterking

- a. [6 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_4 voorkomen.
- b. [8 punten] Bepaal de overdrachtsfunctie $H(s) = \frac{V_o}{V_i}$ met behulp van de regel van Cramer.
- c. [6 punten] Een opdrachtgever wil dat hiermee een tweede orde hoogdoorlaatfilter wordt ontworpen. Beargumenteer voor de admittanties welke condensatoren en welke weerstanden zijn om zo'n filter te implementeren en controleer het antwoord.

- 4. Feedback (Leerdoel 4; 30 punten)** Beschouw de onderstaande transconductieschakeling. De weerstand van de bron R_S mag verwaarloosd worden. In deze opgaven willen we de uitgangsimpedantie bepalen.



Schakeling 4: Series-series-transconductieschakeling

- a. [6 punten]** In het formuleblad staat dat de uitgangsimpedantie gelijk is aan $\frac{V_x}{I_x}$. Hoe moet je het schema aanpassen om dit te kunnen bepalen? Geef deze grootheden duidelijk in het aangepaste schema aan.
- b. [10 punten]** Bepaal de drie vergelijkingen behorende bij de series-series-schakeling van deelvraag a en geef ze weer in de matrixvergelijking van de vorm:

$$\begin{pmatrix} & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_x \\ V_e \\ V_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & \end{pmatrix}$$

- c. [10 punten]** Bereken de closed-loop uitgangsimpedantie R_{of} .
- d. [4 punten]** Gegeven de closed-loop uitgangsimpedantie, is het beter voor deze schakeling om een hogere of lagere A_g te hebben als we een belasting aansluiten? Beargumenteer je antwoord.

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