



Instituut voor
Engineering en Applied Science

Naam deelnemer:

Studentnummer:

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

Opleiding : Elektrotechniek

Cursusnaam : Analoge Elektronica 1

Cursuscode : ELEANE10

Tentamenperiode : T2

Toetsdatum : 19-01-2023

Begintijd : 11:00

Duur (in minuten) : 135 min

Docent : GrooS, ArasE

Collegiale review : Elkaars opgaven reviewed

Cesuur : Bij meer dan 48 punten telt deze deelloets mee

Aantal pagina's : 6 (exclusief voorblad)

Toetsen inleveren : Ja

Kladpapier inleveren : Ja

Toegestane hulpmiddelen:

- Normale rekenmachine
- Balpen
- Kladpapier

**Overige
opmerkingen:**

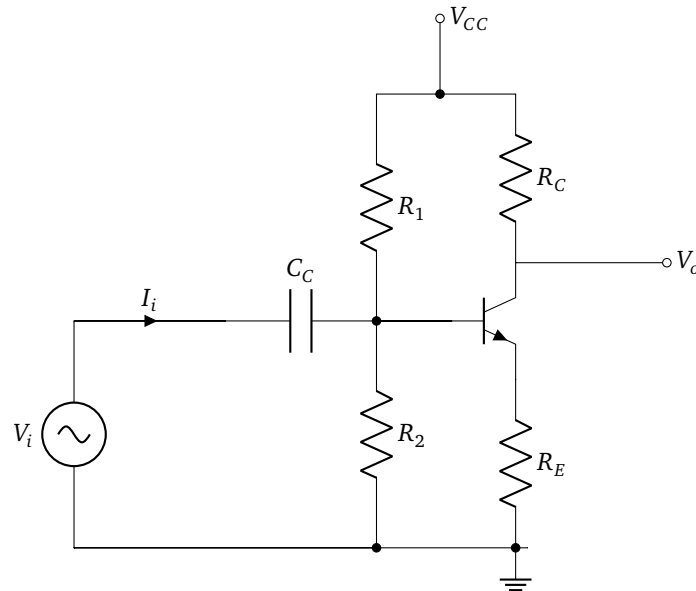
Deze deelloets bepaalt 60% van het eindcijfer.

Puntenverdeling:

Vraag:	1	2	3	4	5	Totaal
Punten:	30	30	20	20	20	120

1. Common-emitter-versterker (Leerdoel 1: 30 punten)

Beschouw de onderstaande common-emitter-versterker, zie schakeling 1, met een ontkoppelingscondensator C_C . De weerstandswaarden zijn $R_1 = 20\text{ k}\Omega$, $R_2 = 20\text{ k}\Omega$, $R_C = 50\text{ k}\Omega$ en $R_E = 5\text{ k}\Omega$ en de koppelingscondensator $C_C = 10\text{ }\mu\text{F}$. De NPN-transistor heeft de volgende klein-sigtaalparameters: $\beta = 100$, $r_\pi = 2\text{ k}\Omega$ en $r_o = \infty$.

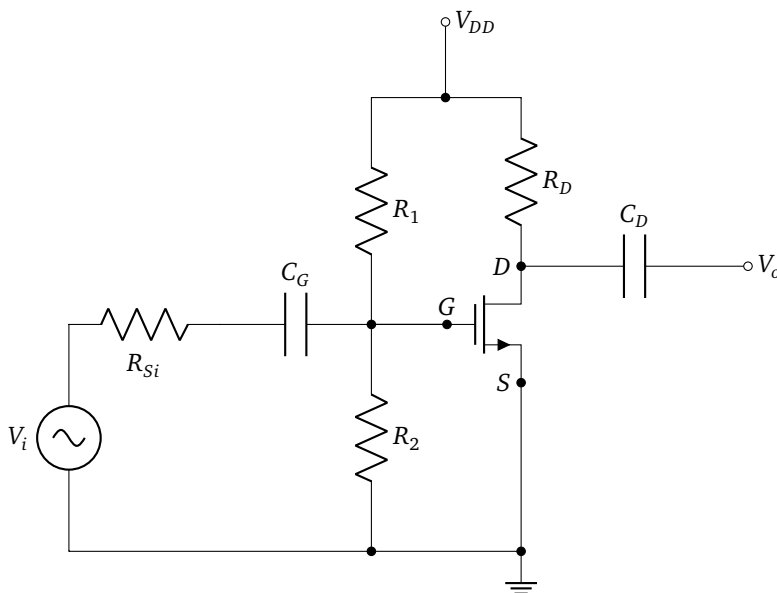


Schakeling 1: Common-emitter-versterker

- [6 punten]** Teken het klein-sigtaalmodel behorend bij deze schakeling om het frequentieafhankelijk gedrag te bepalen, waarbij de koppelingscondensator C_C niet verwaarloosd wordt.
- [11 punten]** Bepaal de overdrachtsfunctie $H(s) = V_o(s)/V_i(s)$.
- [13 punten]** Bepaal wat voor type filter dit is en bereken maximale versterking $|A_v(max)|$ en de kantelfrequentie f_c .

2. Common-source-versterker (Leerdoel 1; 30 punten)

Beschouw de onderstaande common-source-versterkerschakeling, zie schakeling 2. In deze schakeling is $V_{DD} = 20\text{V}$ en $R_1 = 3\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$. De NMOS heeft de volgende eigenschappen: $K_n = 0,1\text{mA/V}^2$, $V_{TN} = 2\text{V}$ en $\lambda = 0,02\text{V}^{-1}$. Verder is $R_D = 2,5\text{k}\Omega$ en $R_{Si} = 1\Omega$.



Schakeling 2: Common-source-versterker

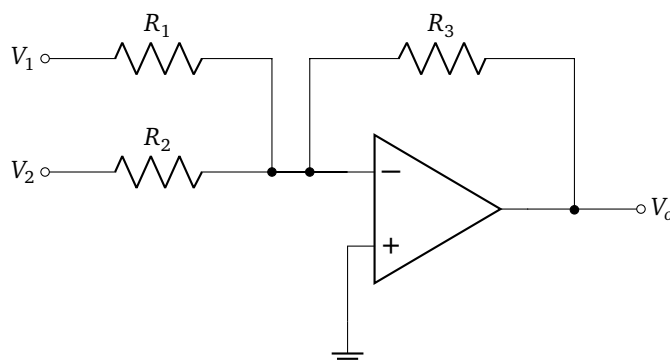
- [8 punten]** Bereken I_D en controleer daarmee dat de FET in saturatie is.
- [4 punten]** Bereken de transconductie g_m en uitgangsimpedantie r_o van de FET in het klein-sigitaalmodel.
- [4 punten]** Teken het klein-sigitaalmodel behorend bij deze schakeling waarin niet de frequentieresponsie wordt meegenomen. Geef daarbij duidelijk aan waar welke componenten zitten.
- [14 punten]** Bereken de spanningsversterking $A_v = \frac{V_o}{V_i}$.
(Mocht je geen waarden voor g_m en r_o in opgave 2.b. gevonden hebben, gebruik dan de volgende waarden: $g_m = 1,0\text{mV/A}$ en $r_o = 10\text{k}\Omega$.)

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

De onderstaande niet-ideale op-amp schakeling 3 heeft twee ingangsspanningen V_1 en V_2 en één uitgang V_o . De enige niet-ideale eigenschap van deze op-amp is dat zijn versterkingsfactor $A_{ol} < \infty$ eindig is:

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

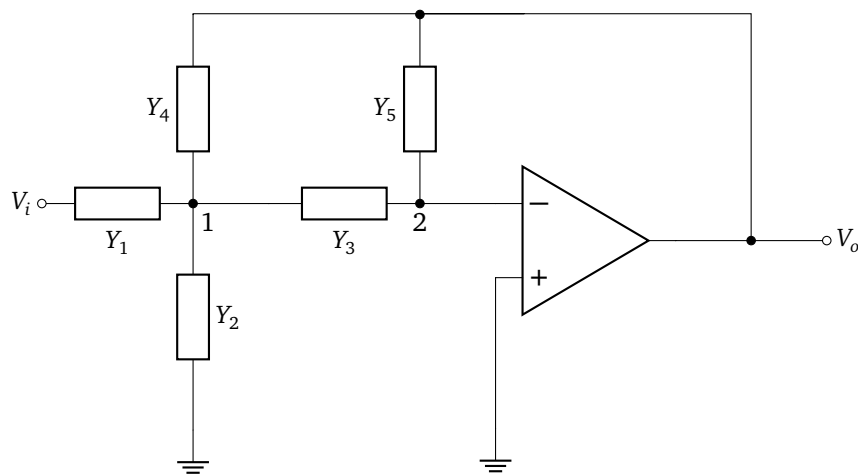
Dat betekent dus dat in het algemeen $V_+ \neq V_-$.



Schakeling 3: Op-amp-schakeling met een niet-ideale op-amp

- [14 punten]** Bepaal de uitdrukking voor V_o in termen van V_1 en V_2 .
- [6 punten]** Laat zien dat in de limiet $A_{ol} \rightarrow \infty$ het standaard resultaat van een summing amplifier verkregen wordt:

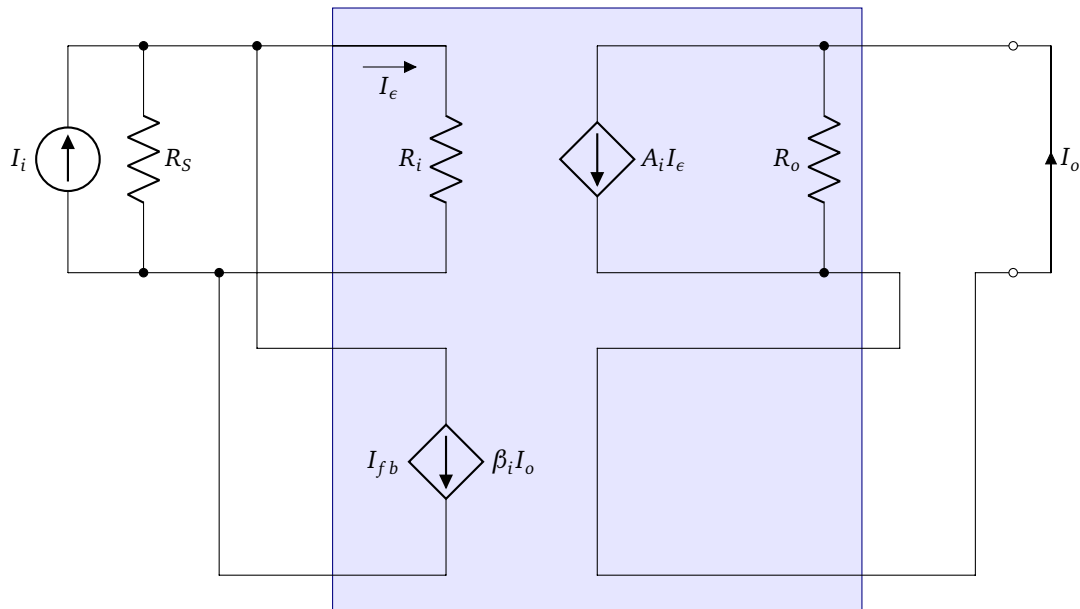
4. **Multiple feedback-filter (Leerdoel 4; 20 punten)** Gegeven het onderstaand multiple feedback-filter in schakeling 4 met admittanties Y_1 tot en met Y_5 :



Schakeling 4: 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. [8 punten] Bepaal de overdrachtsfunctie $H(s) = \frac{V_o}{V_i}$ met behulp van de regel van Cramer.
- c. [5 punten] Geef een keuze voor componenten Y_1 tot en met Y_5 zodanig dat dit een tweede orde laagdoorfilter oplevert.

- 5. Feedback (Leerdoel 5: 20 punten)** Beschouw de onderstaande shunt-series-schakeling, zie schakeling 5. 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 5: Shunt-series-stroomversterkerschakeling

Het doel van deze opgave is het bepalen van de uitgangsimpedantie R_{of} met feedback.

- [6 punten]** Leg uit hoe deze schakeling veranderd moet worden om de uitgangsimpedantie R_{of} met feedback te bepalen en teken hierbij de benodigde schakeling.
- [6 punten]** Bepaal de drie vergelijkingen behorend bij de tekening van de vorige deelopgave (6a.) en geef ze weer in de matrixvergelijking van de vorm:

$$\begin{pmatrix} \\ \\ \phantom{I_{fb}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_x \\ I_e \\ I_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \\ \\ \end{pmatrix}$$

- [8 punten]** Bereken de closed-loop uitgangsimpedantie R_{of} met behulp van de regel van Cramer en leg uit waarom dit een gewenst resultaat is.

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