



Instituut voor
Engineering en Applied Science

Naam deelnemer:

Studentnummer:

0							
---	--	--	--	--	--	--	--

Opleiding : **ELE**

Cursusnaam : **Analoge Elektronica 1**

Cursuscode : **ELEANE10**

Tentamenperiode : **T2**

Toetsdatum : **19 januari 2022**

Begintijd : **09:00**

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

Docent : **GrooS,ArasE**

Collegiale review : **Elkaars opgaven reviewed**

Cesuur : **Bij meer dan 47 punten telt deze deelloets mee**

Aantal pagina's : **7 (exclusief voorblad)**

Toetsen inleveren : **Ja**

Kladpapier inleveren : **Ja**

Toegestane hulpmiddelen:

- Normale rekenmachine
- Balpen
- Kladpapier

**Overige
opmerkingen:**

Deze deelloets bepaalt 60% van het eindcijfer.

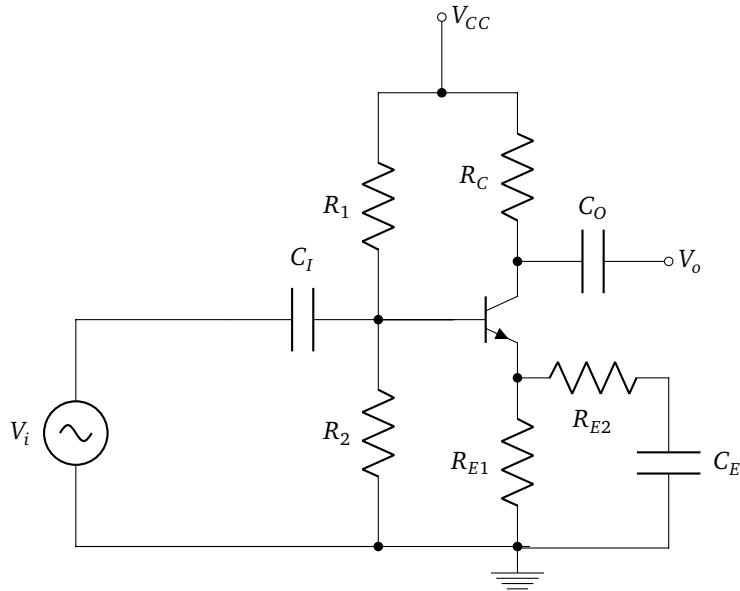
Puntenverdeling:

Vraag:	1	2	3	4	5	6	Totaal
Punten:	15	25	20	20	20	20	120

1. BJT-versterker met koppelings- en bypasscondensatoren (Leerdoel 2: 15 punten)

Beschouw de onderstaande common-emitter-schakeling, zie schakeling 1, met in- en uitgangskoppelingscondensatoren C_I , C_O en een bypasscondensator C_E .

De npn-transistor heeft de volgende parameters: $\beta = 100$, $V_{BE(on)} = 0,7\text{V}$, $V_T = 26\text{mV}$ en $V_A = \infty$. De weerstandswaarden zijn $R_1 = 10\text{k}\Omega$, $R_2 = 20\text{k}\Omega$, $R_C = 20\text{k}\Omega$ en $R_{E1} = 1\text{k}\Omega$. De aangelegde DC-spanning is $V_{CC} = 12\text{V}$.

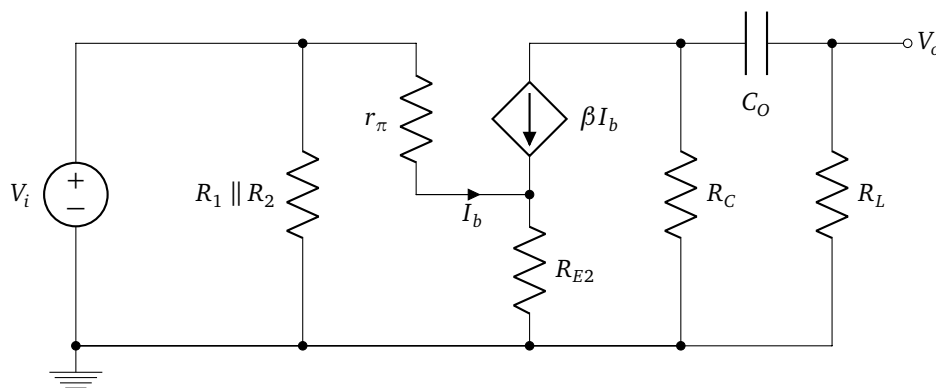


Schakeling 1: Common-emitter-versterker

- a. [10 punten] Bereken de basisstroom I_{BQ} en r_π .
- b. [5 punten] Leg uit wat het nut is van de bypasscondensator C_E en beargumenteer hiermee dat in het klein-signaal-model de weerstand op de emitter bij benadering gelijk is aan R_{E2} als $R_{E2} \ll R_{E1}$.

2. Frequentieafhankelijk gedrag van de BJT-versterker door de uitgangskoppelingscondensator
(Leerdoel 1: 25 punten)

Beschouw nu het klein-signaalmode van de bovengenoemde versterkerschakeling met een load R_L gegeven in schakeling 2. Alleen de koppelingscondensator C_O op de uitgang wordt niet verwaarloosd en de emitterweerstand kan benaderd worden door R_{E2} .

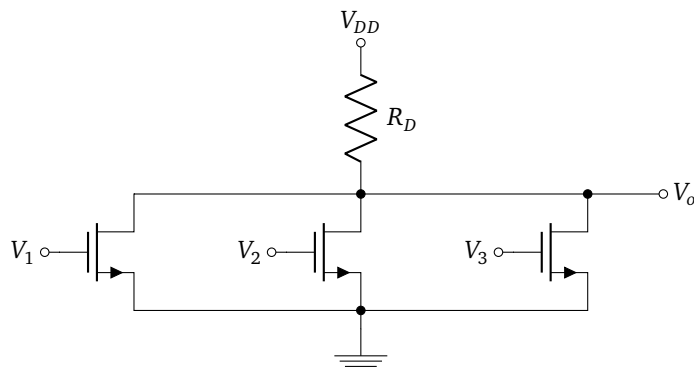


Schakeling 2: Klein-signaal model van een BJT-versterker met een uitgangskoppelingscondensator

- [10 punten]** Bepaal een formule voor de frequentie afhankelijke versterkingsfactor $A_V(s) = V_o(s)/V_i(s)$.
- [5 punten]** Schrijf de formule voor de frequentie afhankelijke versterkingsfactor om in de standaard vorm en bepaal daarmee wat voor type filter dit is.
- [4 punten]** Bepaal een formule voor de maximale versterkingsfactor $|A_V(max)|$.
- [6 punten]** Bereken de kantelfrequentie f_c voor een koppelingscondensator $C_C = 1\mu F$ en de volgende weerstandswaarden: $R_L, R_C = 2k\Omega$.

3. 3-poort NOR gate (Leerdoel 1: 20 punten)

Beschouw de onderstaande 3-poort NOR gate schakeling, schakeling 3. In deze schakeling is $V_{DD} = 5\text{ V}$ en $R_D = 10\text{ k}\Omega$. Deze n-channel MOSFETs bezitten identieke eigenschappen: $K_n = 0,15\text{ mA/V}^2$ en $V_{TN} = 1\text{ V}$. De spanningen op de ingangen V_1, V_2, V_3 kunnen 0 of V_{DD} zijn.



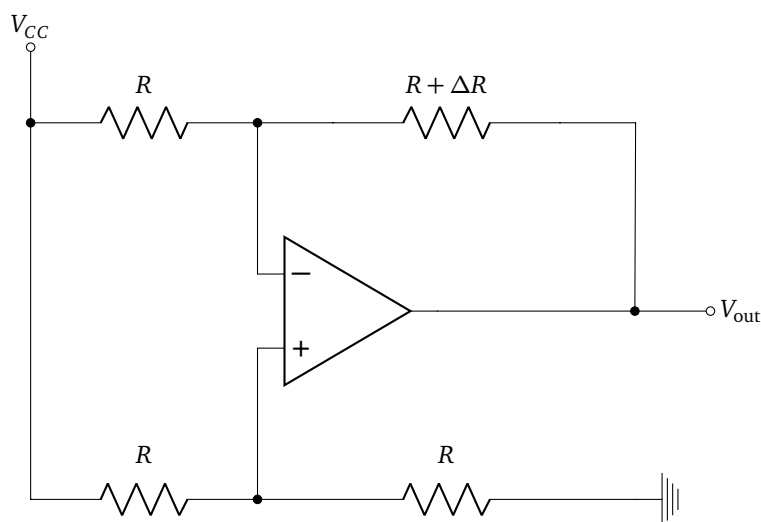
Schakeling 3: 3-poort NOR gate schakeling

- [4 punten]** Beargumenteer waarom deze schakeling zich als een 3-poort NOR schakeling gedraagt.
- [16 punten]** Bereken V_o als $V_1 = V_2 = V_3 = V_{DD}$ en controleer je aannamen over al dan niet verzadigd zijn van de FETs.

4. **Niet-ideale lineaire brugschakeling (Leerdoel 2; 20 punten)** Een lineaire brugschakeling, gegeven in schakeling 4, is een generalisatie van de Wheatstone brug om een klein weerstandsverschil Δ rond een weerstand R te meten. In deze schakeling zit een niet-ideale opamp: de enige niet-ideale eigenschap van deze op-amp is een eindige versterkingsfactor $A_{ol} < \infty$:

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

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



Schakeling 4: Lineaire brugschakeling met een niet-ideale opamp

- a. **[4 punten]** Stel de twee knooppuntsvergelijkingen op voor de plus- en min-ingangen van de niet-ideale opamp.
- b. **[13 punten]** Laat m.b.v. de regel van Cramer zien dat de uitgangsspanning V_{out} gegeven wordt door:

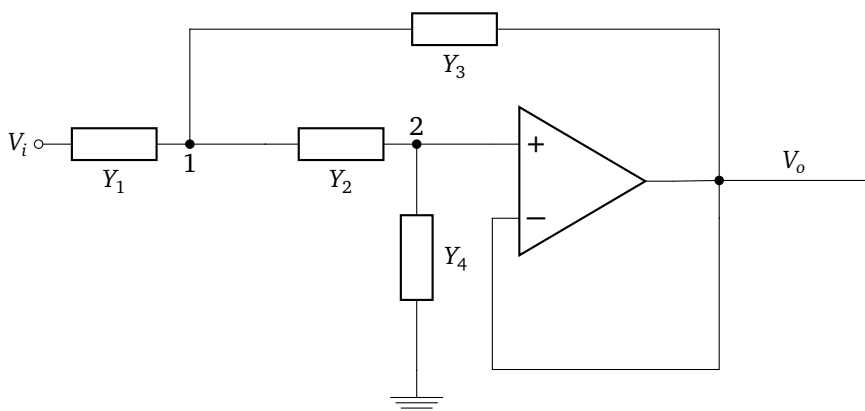
$$V_{out} = -\frac{V_{CC}}{1 + \frac{1}{A_{ol}}\left(2 + \frac{\Delta R}{R}\right)} \frac{\Delta R}{2R}$$

Schrijf hiertoe eerst de vergelijkingen om als een matrixstelsel:

$$\begin{pmatrix} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{out} \\ V_+ \\ V_- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \end{pmatrix}$$

- c. **[3 punten]** Laat zien dat de afhankelijkheid van ΔR daadwerkelijk lineair is in de limiet van oneindige open-loop versterking $A_{ol} \rightarrow \infty$.

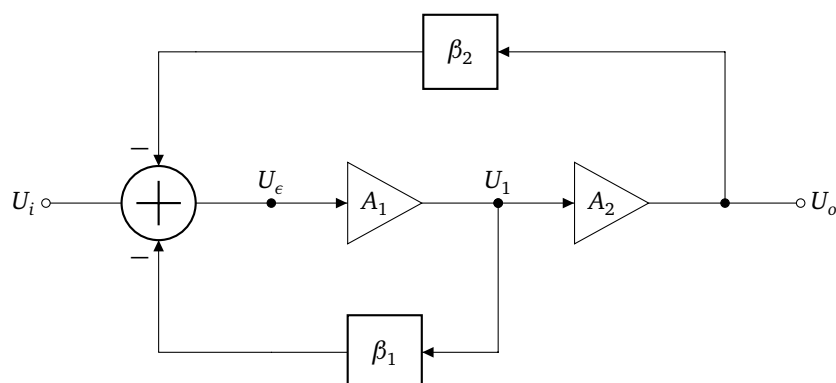
- 5. Sallen-Key-filter (Leerdoel 3: 20 punten)** Gegeven het onderstaande Sallen-Key-filter in schakeling 5 met admittanties Y_1 tot en met Y_4 :



Schakeling 5: Sallen-Key filter zonder versterking

- [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.
- [8 punten]** Bepaal de overdrachtsfunctie $H(s) = \frac{V_o}{V_i}$ met behulp van de regel van Cramer.
- [6 punten]** Een opdrachtgever wil dat hiermee een tweede orde laagdoorlaatfilter wordt ontworpen. Beargumenteer welke admittanties condensatoren en welke weerstanden zijn zodat zo'n filter ontstaat en controleer het antwoord.

- 6. Feedback (Leerdoel 4: 20 punten)** Beschouw het onderstaande dubbele feedback schema, zie schakeling 6, met twee versterkers A_1 en A_2 .



Schakeling 6: Versterkerschakeling met twee terugkoppellussen

- a. [7 punten]** Bepaal drie vergelijkingen voor U_o , U_ϵ en U_1 en schrijf ze in de matrixvergelijking van de vorm:

$$\begin{pmatrix} & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_o \\ U_1 \\ U_\epsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \\ \\ \end{pmatrix}$$

- b. [9 punten]** Laat met behulp van de regel van Cramer zien dat de versterkingsfactor A_f , met beide feedbackloops meegenomen, gegeven wordt door:

$$A_f = \frac{A_1 A_2}{1 + \beta_1 A_1 + \beta_2 A_1 A_2}$$

- c. [4 punten]** Het frequentieafhankelijke gedrag van versterker A_2 is gegeven door

$$A_2(s) = \frac{A_2}{1 + \frac{s}{\omega_H}}$$

terwijl de versterker A_1 een strikt constante versterkingsfactor heeft.

Bepaal de frequentieafhankelijke versterking $A_f(s)$ en de kantelfrequentie ω_{fH} in dit feedback-circuit, schakeling 6.

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

Einde van dit tentamen.