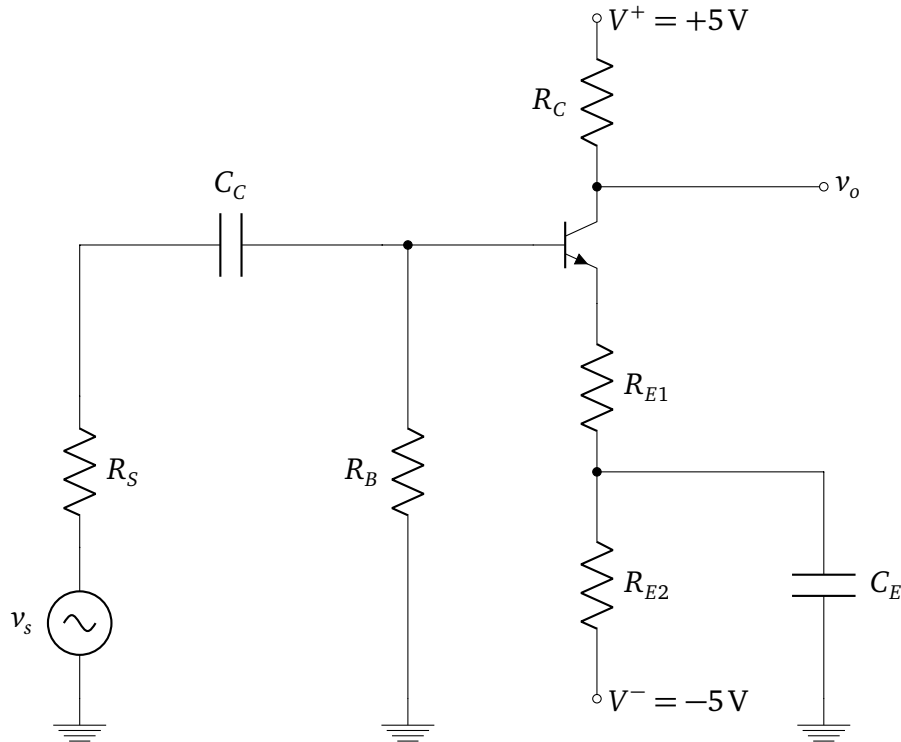


## Opgave 1: BJT-versterkers, LD1, totaal 20 punten

Gegeven de common-emitterschakeling, zie schakeling 1, waarbij het Q-punt zodanig ingesteld is dat  $I_{BQ} = 5\mu\text{A}$ . Neem hierbij de volgende componentswaarden aan:  $R_S = 0.5\text{k}\Omega$ ,  $R_B = 100\text{k}\Omega$ ,  $R_{E1} = 100\Omega$ ,  $R_{E2} = 1.9\text{k}\Omega$ ,  $R_C = 5\text{k}\Omega$  en dat de BJT-transistor de volgende eigenschappen bezit:  $\beta = 120$ ,  $V_{BE(on)} = 0.7\text{V}$ ,  $V_T = 25\text{mV}$  en  $r_o = \infty$ .

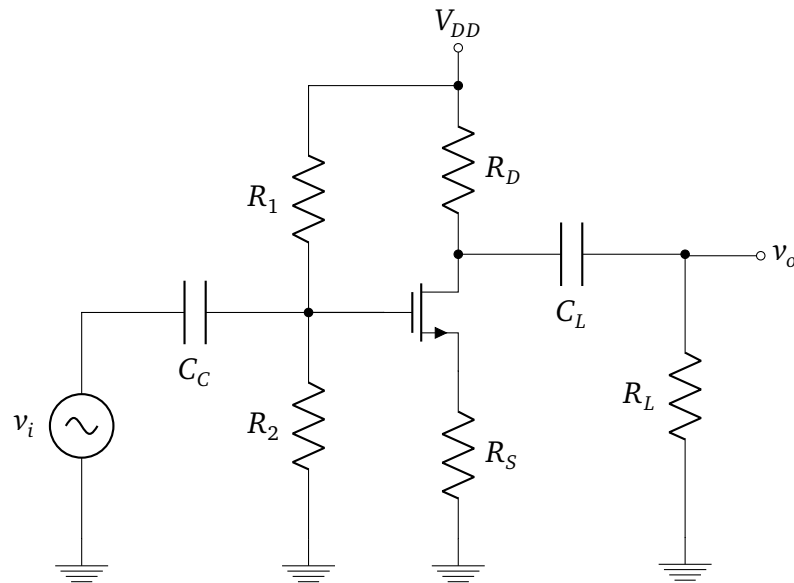


**Schakeling 1:** Common-emitterschakeling

- 1a) 7 punten** Bereken de emitterstroom  $I_{EQ}$  en de spanningsval van de collector tot de emitter  $V_{CEQ}$ .
- 1b) 4 punten** Teken het klein-signaalmode vervangingscircuit behorend bij de schakeling 1.
- 1c) 2 punten** Bereken de transconductie  $g_m$ .
- 1d) 7 punten** Bepaal de maximale versterking van deze emittervolgerschakeling.

## Opgave 2: MOSFET, LD1 20 punten; LD2 20 punten

Gegeven schakeling 2 met een MOSFET. De transistorparameters zijn gegeven als  $K_n = 2 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{TN} = 1 \text{ V}$  en  $\lambda = 0$ . Verder is gegeven dat  $R_D = 1.25 \text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 0.75 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 200 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ , en de spanning  $V_{DD} = +6 \text{ V}$ .



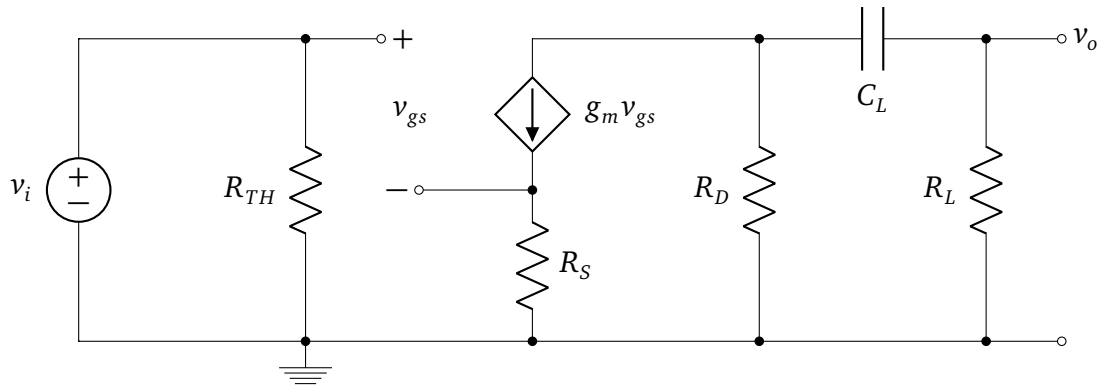
**Schakeling 2:** MOSFET-schakeling

**2a) LD2, 10 punten** Bereken de mogelijke waarden van drainstroom  $I_{DQ}$ .

**2b) LD2, 6 punten** Bepaal voor welk van de beide waarden van  $I_{DQ}$  de schakeling in verzadiging werkt en bereken de bijbehorende waarde van  $V_{GSQ}$ .

**2c) LD2, 4 punten** Bereken voor dit Q-punt het vermogen  $P_T$  dat de MOSFET verbruikt.

Neem voor de rest van de opgave aan dat  $C_C$  voor het signaal  $v_i$  als een kortsluiting te beschouwen is en dat  $g_m = 2.19 \text{ mA/V}$ . Dan ziet het klein-signaalmodele behorend bij schakeling 2 er als volgt uit:



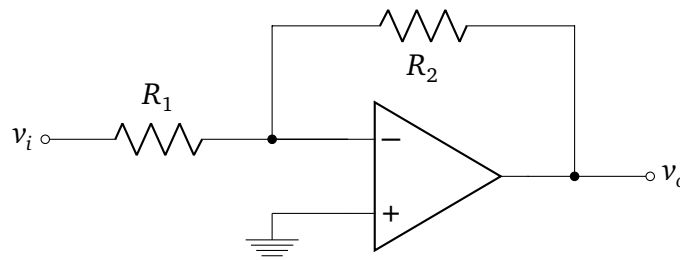
**Schakeling 3:** Het klein-signaalmodele van de MOSFET-schakeling

**2d) LD1, 12 punten** Bereken de maximale spanningsversterking  $|A_v(\text{max})|$ .

**2e) LD1, 8 punten** Bepaal het type filter en zijn kantelfrequentie  $f_L$  van deze schakeling als de koppelingscondensator  $C_L = 0.5 \mu\text{F}$ .

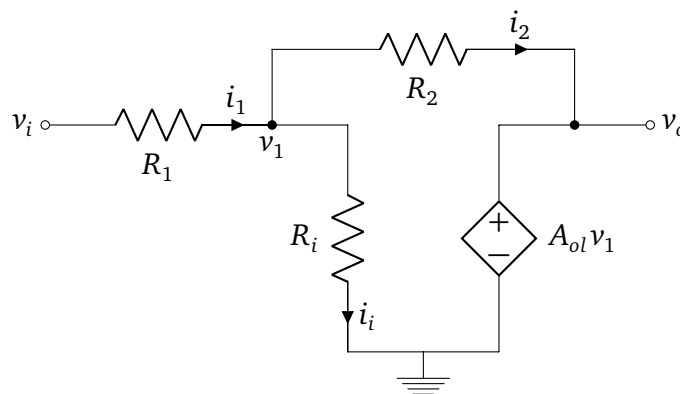
### Opgave 3: Op-amp schakelingen, LD3, totaal 20 punten

Voor de niet ideale op-amp in schakeling 4 zijn de volgende open-loop parameters bekend:  $A_{ol} = 10^3$ ,  $R_i = 10 \text{ k}\Omega$  en  $R_o = 0$ . Verder zijn  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$  en  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ .



**Schakeling 4:** Op-amp-schakeling met een niet-ideale op-amp

Het vervangingsschema 5 voor deze niet-ideale op-amp schakeling is hieronder gegeven:



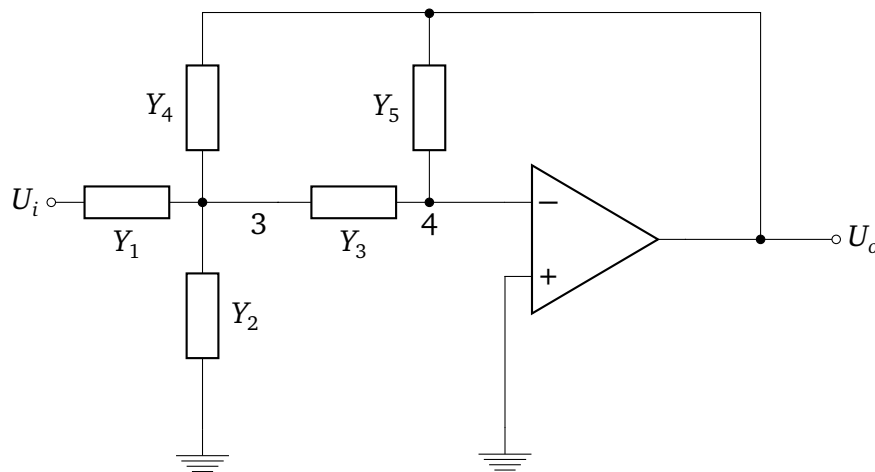
**Schakeling 5:** Vervangingsschema van de niet ideale op-amp-schakeling

**3a) 12 punten** Bepaal de closed loop gain  $A_{cl} = \frac{v_o}{v_i}$ .

**3b) 8 punten** Bepaal m.b.v. het gegeven vervangingsschema 5 de ingangsweerstand  $R_{if}$  bekeken vanaf het knooppunt met spanning  $v_1$  met de feedback meegenomen.

## Opgave 4: Actieve filters, LD4, totaal 20 punten

Gegeven onderstaand tweede orde actief filter met de admittanties  $Y_1$  tot en met  $Y_5$ .



**Schakeling 6:** Tweede orde actief filter

**4a) 5 punten** Stel de knooppuntvergelijkingen op voor knooppunt 3 EN knooppunt 4. Alleen de spanningen  $U_i$ ,  $U_o$ ,  $U_3$  mogen in je antwoord voorkomen en schrijf het resultaat in een matrixvorm.

**4b) 4 punten** Leid een formule af voor de overdrachtsfunctie  $H(s) = \frac{U_o}{U_i}$  met behulp van het resultaat van opgave 4a) en de regel van Cramer.

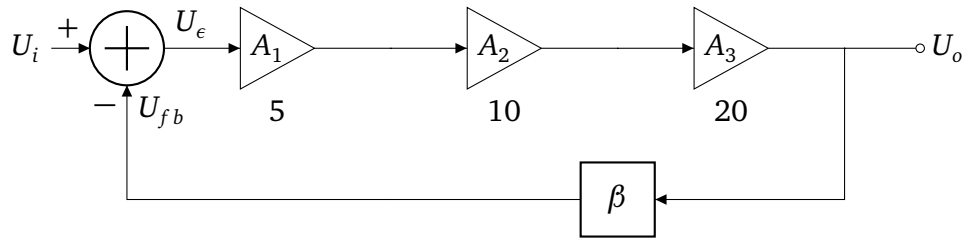
De admittaties worden nu als volgt gekozen:  $Y_1$  een condensator  $C$ ,  $Y_3$  een spoel  $L$  en de andere admittanties alle gelijke weerstanden  $R$ .

**4c) 5 punten** Bepaal wat voor type filter bij deze keuze ontstaat.

**4d) 6 punten** Bepaal de kantelfrequentie  $\omega_c$ , de kwaliteitsfactor  $Q_c$  en de versterkingsfactor  $k$  van dit filter.

## Opgave 5: Feedback, LD5, totaal 20 punten

Drie spanningsversterkers met verschillende versterkingsfactoren zijn in cascade geschakeld en voorzien van terugkoppeling, zie schakeling 7.



**Schakeling 7:** Versterkerschakeling met feedback

**5a) 5 punten.** Bepaal de feedback factor  $\beta$  zodanig, dat de closed-loop versterking  $A_{vf} = \frac{U_o}{U_i} = 100$ .

**5b) 7 punten.** Gebruik het resultaat van opgave 5a) en bepaal hiermee de procentuele verandering in  $A_{vf}$  indien de versterking van iedere versterker afzonderlijk met 10 % toeneemt.

**5c) 8 punten.** Neem nu aan dat de versterker  $A_2$  werkt als een eerste orde hoogdoorlaatfilter met

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

met  $f_c = 100 \text{ Hz}$  en  $A_2 = 10$ . Bepaal de kantelfrequentie  $f_{cf}$  met terugkoppeling.

# 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:  $r_\pi = \frac{V_T}{I_{BQ}}$ ;       $r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}}$ ;       $g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T}$

## FET

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

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

Conductieparameter:  $K_n = \frac{k'_n W}{2 L}$ ;       $k'_n = \mu_n C_{ox}$ ;       $C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}$

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:  $H(s) = k \frac{1 + \frac{s}{\omega_L}}{1 + \frac{s}{\omega_H}}$

## 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:  $H(s) = \frac{k \left( \frac{s^2}{\omega_c^2} + 1 \right)}{1 + \frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{1}{Q_c} \frac{s}{\omega_c}}$

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