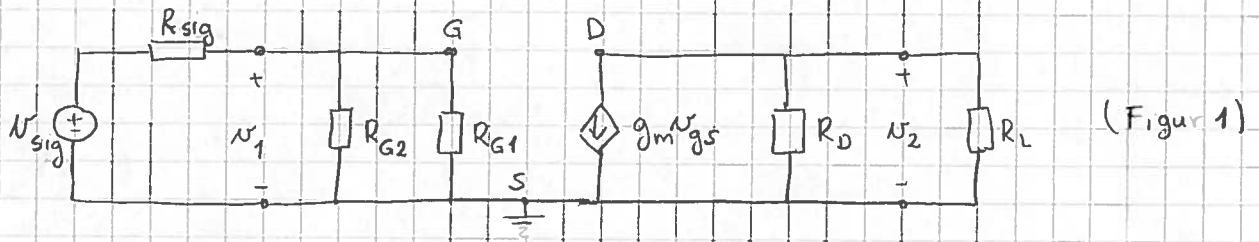


Løsningsforslag til øving 8

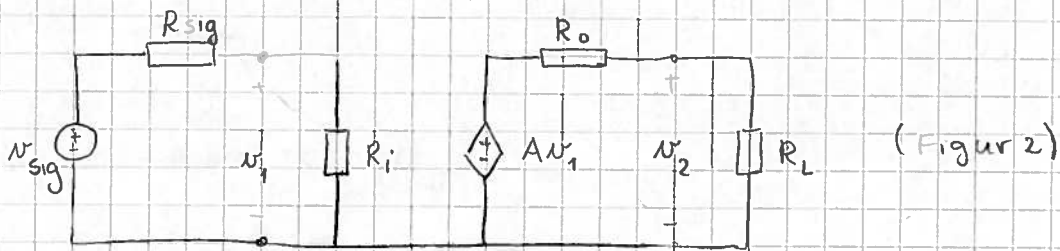
Oppgave 1

a) Tegner først et småsignalskjema for kretsen



$$g_m = \frac{d i_D}{d v_{GS}} \Big|_{v_{GS} = V_{GS}} \quad \left. \begin{aligned} g_m &= \frac{k}{2} \cdot 2 (V_{GS} - V_T) \Big|_{v_{GS} = V_{GS}} \\ i_D &= \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \end{aligned} \right\} = k (V_{GS} - V_T) = 16 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Ønsker nå å finne forsterkerparametrene R_i , R_o og $A = \frac{v_2}{v_1}$ for å kunne representere forsterkeren ved det generelle ekvivalente skjema



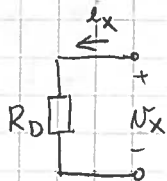
• Ved å sammenligne kretsene i figur 1 og figur 2, ser vi lett at inngangsmotstanden er gitt ved

$$\underline{R_i} = R_{G1} \parallel R_{G2} = \frac{R_{G1} R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 0,75 \text{ M}\Omega = \underline{\underline{750 \text{ k}\Omega}}$$

• Utgangsmotstanden R_o finner vi som Theveninmotstand sett fra utgangsnodene til forsterkeren (når kilden og lasten er frakoblet):

1) Nullstiller uavhengige kilder: $v_1 = 0 \Rightarrow v_{gs} = 0 \Rightarrow g_m v_{gs} = 0$

2) Påtrykker testspenning v_x over utgangsnodene



$$\underline{R_o} = \frac{v_x}{i_x} = \frac{i_x R_D}{i_x} = R_o = \underline{\underline{2 \text{ k}\Omega}}$$

- Finner nå spenningsforsterkningen $A = \frac{v_2}{v_1}$ vha. figur 1 når lastmotstanden er frakoblet. Målet er å uttrykke v_2 som funksjon av v_1 (eller omvendt):

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= -g_m v_{gs} R_D \\ v_{gs} &= v_1 \end{aligned} \right\} v_2 = -g_m v_1 R_D \Rightarrow \underline{A = \frac{v_2}{v_1} = -g_m R_D = -32}$$

Vi ser at vi har en invertierende forsterker da $A < 0$.

- b) Vi ser på utgangsdelen av forsterkeren i figur 2 og finner uttrykket for v_2 når R_L er tilkoblet vha. spenningsdeling:

$$v_2 = A v_1 \cdot \frac{R_L}{R_D + R_L} \Rightarrow \underline{A_{\text{med last}}} = \frac{v_2}{v_1} = A \frac{R_L}{R_D + R_L} = A \frac{1}{\frac{R_D}{R_L} + 1} = \frac{A}{2} = \underline{-16}$$

Når lastmotstanden økes 10 ganger, får vi

$$\underline{A_{\text{med last}}} = A \cdot \frac{1}{\frac{R_D}{10R_L} + 1} = \frac{A}{1,1} = \underline{-29,1}$$

Vi ser at spenningsforsterkningen reduseres når lastmotstanden tilkobles. Jo større R_L er i forhold til R_D , desto mindre reduksjonen: $R_D \ll R_L \Rightarrow \frac{R_D}{R_L} \approx 0 \Rightarrow A_{\text{med last}} \approx A$

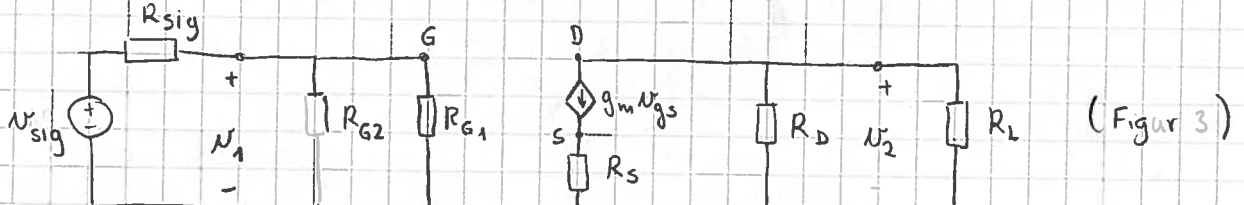
- c) Vi finner sammenhengen mellom v_{sig} og v_1 ved spenningsdeling:

$$v_1 = v_{\text{sig}} \frac{R_i}{R_{\text{sig}} + R_i}$$

$$\underline{A_s} = \frac{v_2}{v_{\text{sig}}} = \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{v_1}{v_{\text{sig}}} = A \cdot \frac{R_i}{R_{\text{sig}} + R_i} = A \cdot \frac{1}{\frac{R_{\text{sig}}}{R_i} + 1} = \frac{-32}{\frac{0,05}{750} + 1} \approx \underline{-32}$$

Vi ser at kildemotstanden R_{sig} generelt reduserer den totale forsterkningen, men siden $R_{\text{sig}} \ll R_i$, dvs. $\frac{R_{\text{sig}}}{R_i} \approx 0$, er i dette tilfellet reduksjonen neglisjerbar.

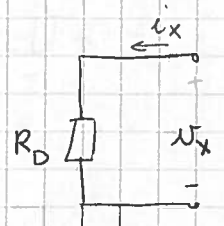
- d) Tegner nytt småsignalskjema der R_s er med (ikke kortsluttet):



• Ved å sammenligne figur 3 med figur 2 ser vi at inngangsmotstanden forblir uendret: $R_i = R_{G1} \parallel R_{G2} = \underline{750 \text{ k}\Omega}$

• Finner nå utgangsmotstanden R_o på samme måte som i a):

$$\begin{aligned}
 v_s = 0 &\Rightarrow v_g = 0 \Rightarrow v_{gs} = v_g - v_s = -v_s \\
 v_s &= R_s g_m v_{gs} = -R_s g_m v_s \Rightarrow v_s (1 + g_m R_s) = 0 \Rightarrow v_s = 0 \\
 \Rightarrow v_{gs} &= 0 \Rightarrow g_m v_{gs} = 0
 \end{aligned}$$



$$R_o = \frac{v_x}{i_x} = R_D = \underline{2 \text{ k}\Omega} \quad (\text{uforandret})$$

• Finner nå spenningsforsterkningen med utgangspunkt i Figur 3: (når lastmotstanden er frakoblet):

$$\left. \begin{aligned}
 v_2 &= -g_m v_{gs} R_D \quad (\text{som før}) \\
 v_1 &= v_g \\
 v_s &= g_m v_{gs} R_s
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 v_{gs} &= v_1 - g_m v_{gs} R_s \Rightarrow v_1 = v_{gs} (1 + g_m R_s) \\
 &\Rightarrow
 \end{aligned}$$

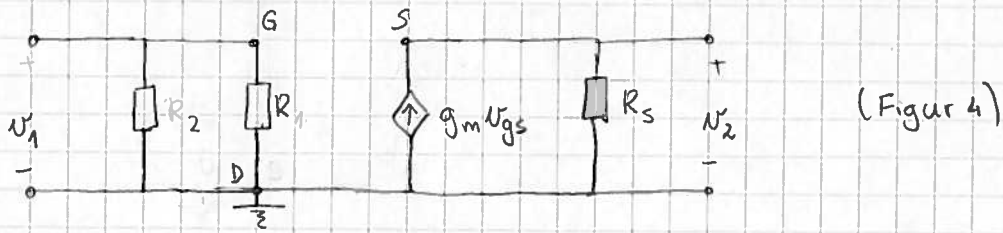
$$v_2 = -g_m R_D \cdot \frac{v_1}{1 + g_m R_s} = -v_1 \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_s}$$

$$A = \frac{v_2}{v_1} = - \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_s} = \frac{-32}{1 + 8} = -3,56$$

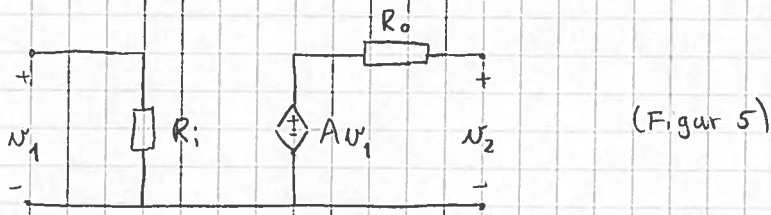
Vi ser at forsterkningen reduseres 9 ganger (med faktor $1 + g_m R_s$) når kondensatoren C_s fjernes. Dette fordi R_s motvirker signalvariasjonene (husk på at dens funksjon nettopp er å stabilisere arbeidspunktet, dvs. motvirke variasjonene i DC-spenninger, mens C_s er koblet til for å unngå motvirkning av signalvariasjonene).

Oppgave 2

a) Tegner småsignalskjema for forsterkeren



Det generelle ekvivalentskjema for en forsterker er gitt ved

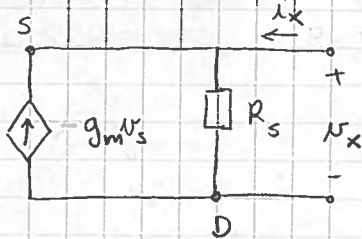


• Ved å sammenligne figur 4 og figur 5 ser vi at

$$R_i = R_2 \parallel R_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{\underline{75,5 \text{ k}\Omega}}$$

• For å finne utgangsmotstand, nullstiller vi v_1 :

$$v_1 = 0 \Rightarrow v_g = 0 \Rightarrow v_{gs} = v_g - v_s = -v_s$$



$$\text{KCL: } -g_m v_s + i_x = \frac{v_x}{R_s}$$

$$v_s = v_x$$

$$i_x = v_x \left(g_m + \frac{1}{R_s} \right)$$

$$R_o = \frac{v_x}{i_x} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_s}} = \frac{R_s}{1 + g_m R_s} = \underline{\underline{100 \Omega}}$$

$$g_m = k(V_{GS} - V_T) = \underline{\underline{8 \frac{\text{mA}}{\text{V}}}}$$

• Finner nå spenningsforsterkningen $A = \frac{v_2}{v_1}$ vha. figur 4

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= g_m v_{gs} R_s \\ v_{gs} &= v_g - v_s = v_1 - v_2 \end{aligned} \right\}$$

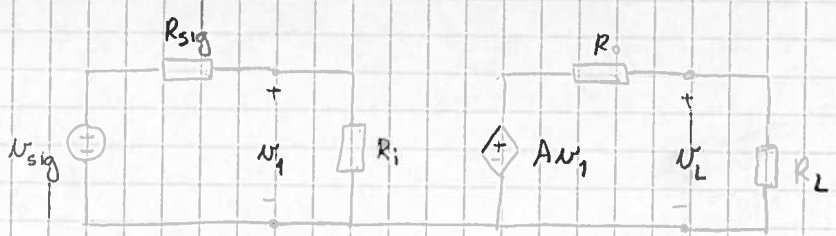
$$v_2 = g_m R_s (v_1 - v_2) \Rightarrow v_2 (1 + g_m R_s) = g_m R_s v_1$$

$$\underline{\underline{A}} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s} = \frac{1}{1 + \frac{1}{g_m R_s}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{4}} = \underline{\underline{0,8}}$$

• Vi konkluderer med at denne forsterkeren har

- høy inngangsmotstand $R_i = 75,5 \text{ k}\Omega$
- lav utgangsmotstand $R_o = 100 \Omega$
- forsterkningsfaktor $A = 0,8 < 1$

b)



$$A_{tot} = \frac{U_L}{U_{sig}}$$

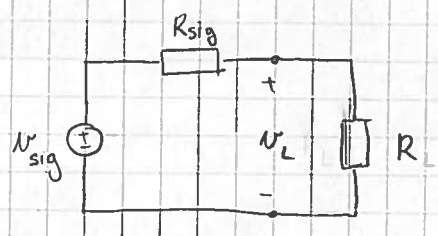
$$U_L = A U_1 \cdot \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

$$U_1 = U_{sig} \cdot \frac{R_i}{R_{sig} + R_i}$$

$$A_{tot} = \frac{U_L}{U_{sig}} = A \cdot \frac{R_L}{R_o + R_L} \cdot \frac{R_i}{R_{sig} + R_i} = A \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_o}{R_L}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_{sig}}{R_i}}$$

$$A_{tot} = 0,8 \cdot \frac{1}{1 + 0,1} \cdot \frac{1}{1 + 0,12} = 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,89 = 0,65$$

c)



Spenningsdeling: $U_L = U_{sig} \cdot \frac{R_L}{R_{sig} + R_L}$

$$A_{tot} = \frac{U_L}{U_{sig}} = \frac{R_L}{R_{sig} + R_L} = \frac{1}{1 + \frac{R_{sig}}{R_L}} = 0,1$$

Vi ser at kilden greier å levere bare en tiendedel av sin spenning til lasten fordi $R_{sig} \gg R_L$. Ideelt ønsker vi $R_{sig} \ll R_L$. I b) var dette tallet 6,5 ganger høyere.

b) Da denne forsterkerkoblingen har $A < 1$, blir den ikke brukt som spenningsforsterker. Men siden $R_i \gg R_s$ og $R_o \ll R_L$, fungerer den som buffer og gjør det mulig å redusere spennings tapet 6,5 ganger i forhold til direkte tilkobling.