

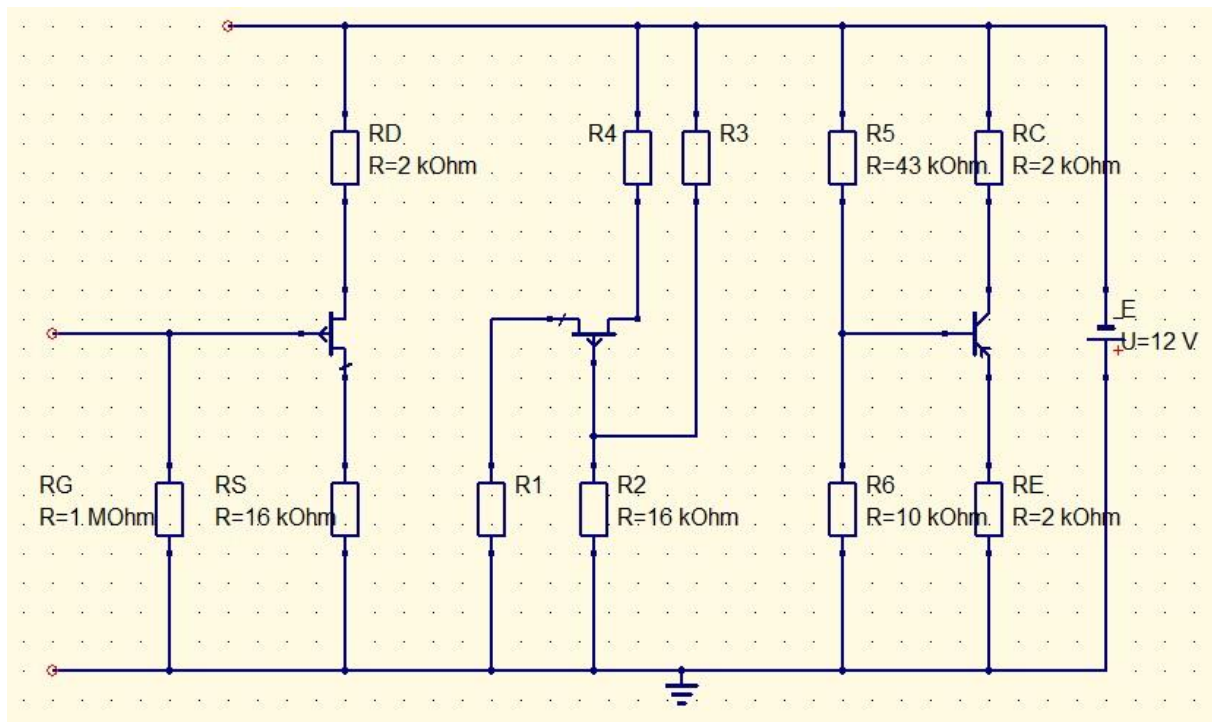
Inlämningsuppgift 5-226

Uppgift a)

I uppgift a) ska R1, R3 och R4 beräknas så att FET-transistorn i GG-steget får arbetspunkten $I_{DQ} = -3 \text{ mA}$, $U_{DSQ} = -4 \text{ V}$, samt gatepotentialen -2 V .

Likströmsschema

Vi börjar med att ställa upp ett likströmsschema för förstärkaren. Ett likströmsschema erhålls då kondensatorerna ersätts med avbrott.



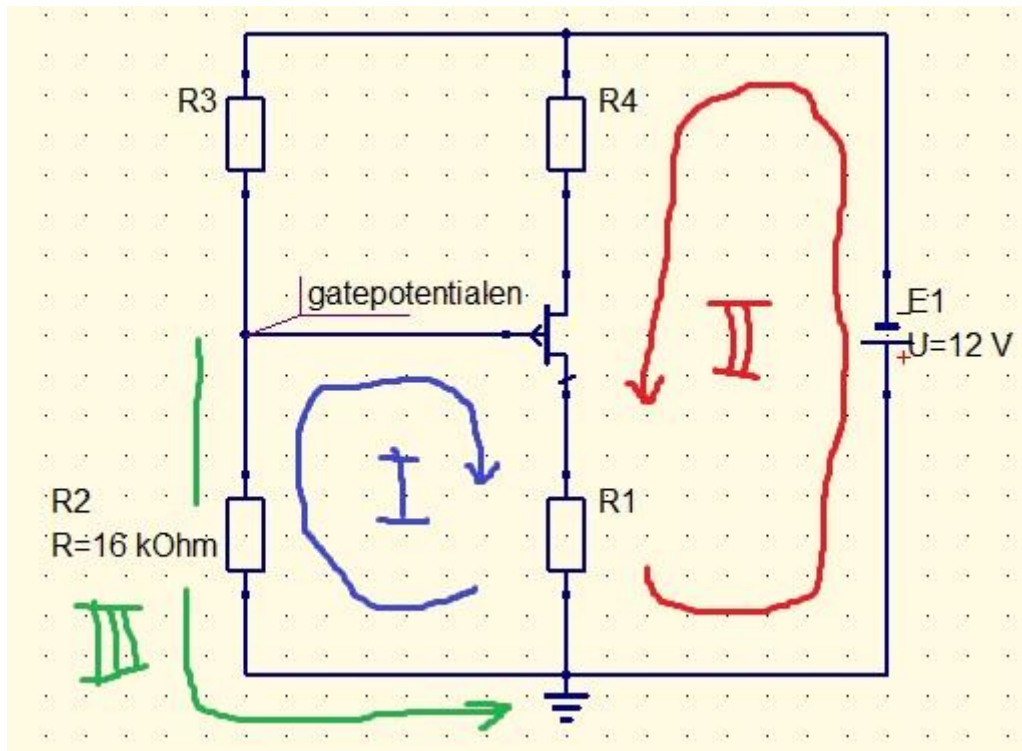
Figur 1: Skiss av förstärkaren för likström.

För att beräkna de sökta resistanserna ska nu GG-steget analyseras. Vid omritning av GG-steget enligt följande ställs tre ekvationer upp med KVL. Innan vi börjar analysera KVL ekvationerna, är följande givet för fälteffekttransistorn.

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_P}\right)^2 \Leftrightarrow u_{GS} = U_P \left(1 - \sqrt{\frac{i_D}{I_{DSS}}}\right)$$

För den sökta arbetspunkten får vi alltså.

$$U_{GSQ} = U_P \left(1 - \sqrt{\frac{I_{DQ}}{I_{DSS}}}\right) = 3,5 \left(1 - \sqrt{\frac{-3}{-9}}\right) = 1.4793 \text{ V}$$



Figur 2: KVL för GG-steget.

Kirchhoffs spänningslag:

$$KVL I : -\frac{R_2 E}{R_2 + R_3} - U_{GSQ} - I_{SQ} R_1 = 0 \Leftrightarrow [I_{SQ} \approx I_{DQ}] \Leftrightarrow R_1 = -\frac{R_2 E + U_{GSQ}(R_2 + R_3)}{I_{DQ}(R_2 + R_3)} \quad (1)$$

$$KVL II : -E - I_{DQ} R_4 - U_{DSQ} - I_{SQ} R_1 = 0 \Leftrightarrow [I_{SQ} \approx I_{DQ}] \Leftrightarrow R_4 = -\frac{E + U_{DSQ}}{I_D} - R_1 \quad (2)$$

$$KVL III : -\frac{R_2 E}{R_2 + R_3} = -2V - 0 \Leftrightarrow R_3 = \frac{ER_2}{2} - R_2 \Leftrightarrow R_3 = \frac{12 * 16 * 10^3}{2} - 16 * 10^3$$

$$\Leftrightarrow R_3 = 80.0 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

$$(3) i (1): R_1 = -\frac{12 * 16 * 10^3 + 1.4793(16 * 10^3 + 80 * 10^3)}{-3 * 10^{-3}(16 * 10^3 + 80 * 10^3)} = 1.1598 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

$$(4) i (2): R_4 = -\frac{12 + -4}{-3 * 10^{-3}} - 1.1598 * 10^3 = 1.5069 \text{ k}\Omega$$

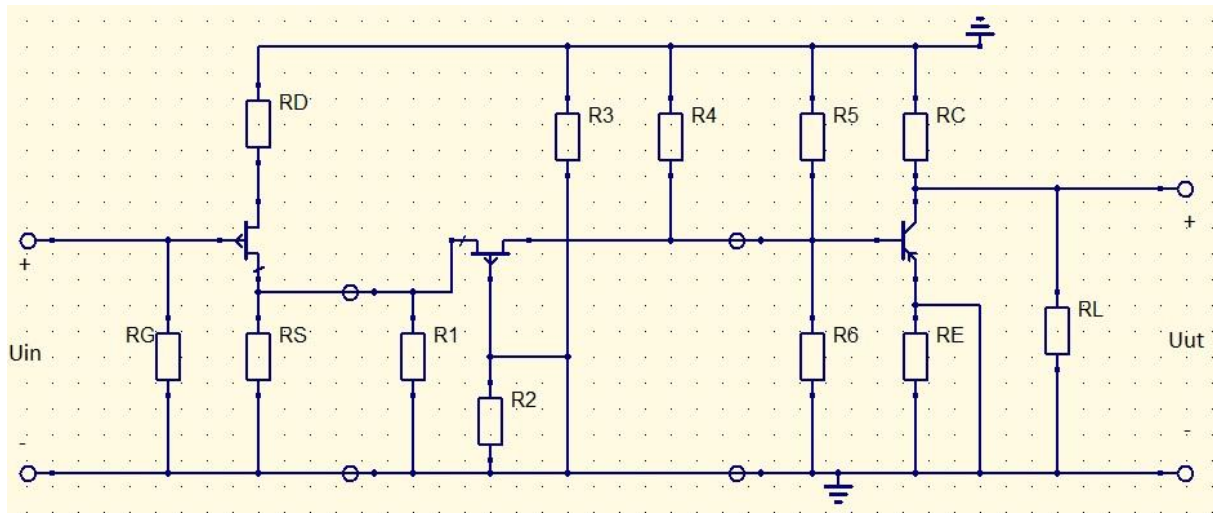
Uppgift b)

I uppgift b) skall förstärkarens ekvivalenta småsignalschema ritas. Fälteffekttransistorernas utadmittans samt bipolartransistorernas återkopplingsförhållande och utadmittans försummas. Dessutom är kapacitanserna stora. Utöver småsignalschemat ska även utspänningen beräknas då inspänningen ges av följande.

$$e(t) = \sin(10^3 t) \text{ mV}$$

Signalschema

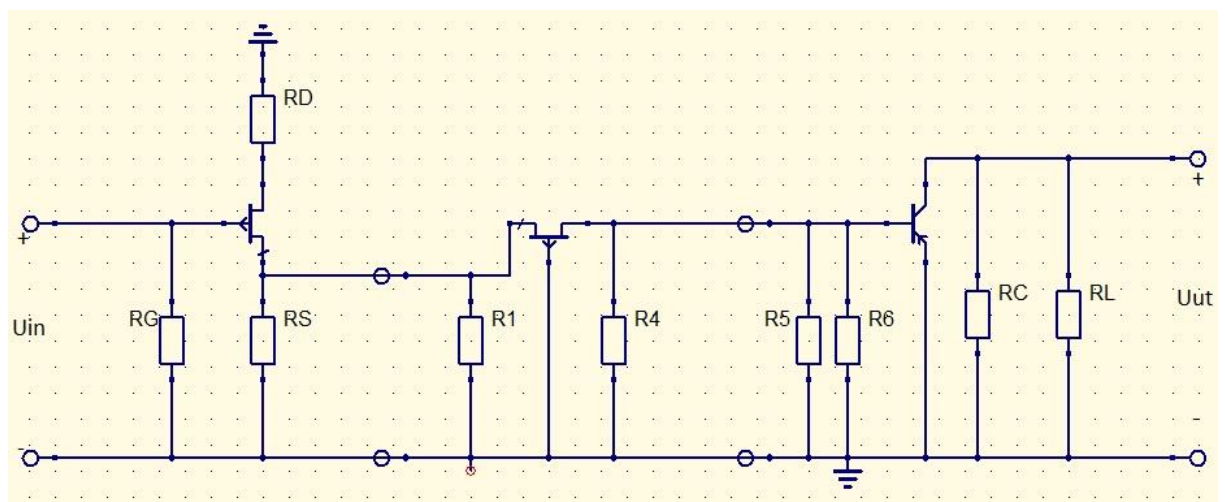
Ett AC-schema ställs upp för förstärkaren. Det vill säga att kapacitanserna, C kortsluts då de är stora. Dessutom kortsluts likspänningskällan E. Vi får då följande signalschema.



Figur 3: Signalschema för förstärkaren.

Förstärkaren kan nu förenklas.

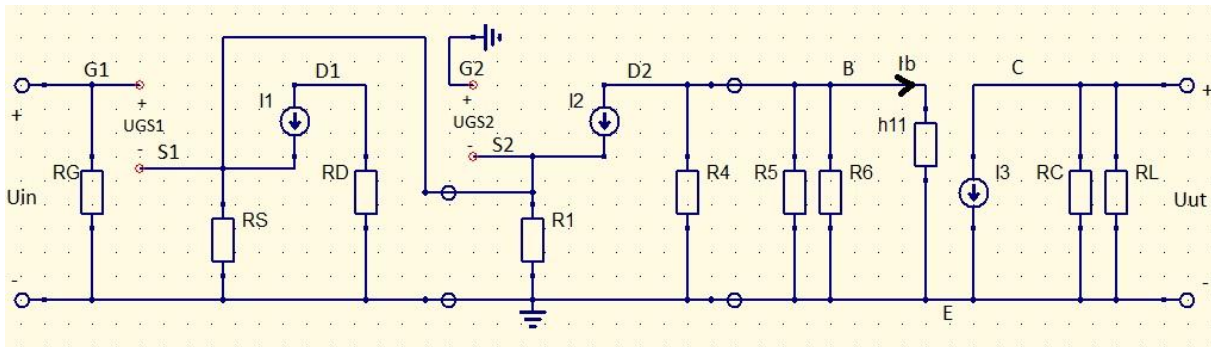
- R_2 , R_3 och R_E är kortslutna.
- R_4 , R_5 och R_C är anslutna till jord och kan fällas ner



Figur 4: Förenklat signalschema för förstärkaren.

Ekvivalent småsignalschema

Utifrån signalschemat kan nu ett ekvivalent småsignalschema ställas upp.



Figur 5: Ekvivalent småsignalschema för förstärkaren.

För att förtydliga vissa saker med ekvivalenta småsignalschemat i figur 5 kan tilläggas att:

- $I_1 = g_{m1}U_{GS1}$, där $g_{m1} = 4 \text{ mS}$
- $I_2 = g_{m2}U_{GS2}$, där $g_{m2} = 4 \text{ mS}$
- $I_3 = h_{21}I_B$, där $h_{21} = 100$, I_B är den strömmen vid punkt B, riktad åt höger.
- h_{11} är bipolartransistorns inimpedans på $2 \text{ k}\Omega$.

Beräkning av förstärkningen

Förstärkningen, F kommer att ges av:

$$F = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{U_{ut}}{I_B} * \frac{I_B}{U_{GS2}} * \frac{U_{GS2}}{U_{GS1}} * \frac{U_{GS1}}{U_{in}}$$

- Den sökta utspänningen kommer att ges av följande.

$$U_{ut} = -I_3 * (R_C // R_L) = -h_{21}I_B * (R_C // R_L)$$

$$\Leftrightarrow \frac{U_{ut}}{I_B} = -h_{21} * (R_C // R_L) = -100 * 1000 = -10^5 \quad (5)$$

- Förhållandet mellan I_B och U_{GS2} kan beräknas med hjälp av strömdelning av I_2 över R_4, R_5, R_6 och h_{11} .

$$I_B = -\frac{I_2 * (R_4 // R_5 // R_6)}{h_{11} + (R_4 // R_5 // R_6)} \Leftrightarrow \frac{I_B}{U_{GS2}} = \frac{g_{m2}(R_4 // R_5 // R_6)}{h_{11} + (R_4 // R_5 // R_6)} = \frac{4 * 10^{-3} * 1.27 * 10^3}{2 * 10^3 + 1.27 * 10^3} = 1.5542 * 10^{-3} \quad (6)$$

- Ett samband mellan U_{GS2} och U_{GS1} tecknas med hjälp av strömdelning och superposition på R_1 för att beräkna spänningen över R_1 , vilken kommer att ha ett samband med gatespänningen.

$$U_{GS2} = -R_1 * \left(\frac{R_S * I_1}{R_1 + R_S} + \frac{R_S * I_2}{R_1 + R_S} \right) = -\frac{R_1 * R_S}{R_1 + R_S} (g_{m1} U_{GS1} + g_{m2} U_{GS2}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{U_{GS2}}{U_{GS1}} = -\frac{\frac{R_1 R_S}{R_1 + R_S} g_{m1}}{1 + \frac{R_1 R_S}{R_1 + R_S} g_{m2}} = -\frac{\frac{1.16 * 10^3 * 16 * 10^3 * 4 * 10^{-3}}{1.16 * 10^3 + 16 * 10^3}}{1 + \frac{1.16 * 10^3 * 16 * 10^3 * 4 * 10^{-3}}{1.16 * 10^3 + 16 * 10^3}} = -0.8122 \quad (7)$$

- Ett samband mellan U_{GS1} och U_{in} behövs nu för att kunna beräkna F. Sambandet fås med hjälp av KVL i Sourceföljarsteget.

$$U_{in} - U_{GS1} - I_{R_S} R_S = 0 \quad (8)$$

Här är strömmen över R_S okänd och behöver beräknas med hjälp av strömdelning och superposition.

$$I_{R_S} = \left(\frac{R_1 * I_1}{R_1 + R_S} + \frac{R_1 * I_2}{R_1 + R_S} \right) = \frac{R_1}{R_1 + R_S} (g_{m1} U_{GS1} + g_{m2} U_{GS2}) \quad (9)$$

Insättning av (9) i (8):

$$U_{in} - U_{GS1} - \frac{R_1 * R_S}{R_1 + R_S} (g_{m1} U_{GS1} + g_{m2} U_{GS2}) = 0 \Leftrightarrow \left[(7): U_{GS2} = -U_{GS1} * \frac{\frac{R_1 R_S}{R_1 + R_S} g_{m1}}{1 + \frac{R_1 R_S}{R_1 + R_S} g_{m2}} \right]$$

$$U_{in} = U_{GS1} + \frac{R_1 * R_S * g_{m1}}{R_1 + R_S} U_{GS1} + \frac{R_1 * R_S * g_{m2}}{R_1 + R_S} * -U_{GS1} * \frac{\frac{R_1 R_S}{R_1 + R_S} g_{m1}}{1 + \frac{R_1 R_S}{R_1 + R_S} g_{m2}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{U_{GS1}}{U_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{R_1 R_S g_{m1}}{R_1 R_S g_{m2} + R_1 + R_S}} = \frac{R_1 R_S g_{m2} + R_1 + R_S}{R_1 R_S g_{m2} + R_1 + R_S + R_1 R_S g_{m1}} =$$

$$\frac{1.16 * 16 * 4 * 10^3 + 1.16 * 10^3 + 16 * 10^3}{1.16 * 16 * 4 * 10^3 + 1.16 * 10^3 + 16 * 10^3 + 1.16 * 16 * 4 * 10^3} = 0.5518 \quad (10)$$

- Vi kan nu beräkna förstärkningen genom insättning av (5),(6),(7) och (10).

$$F = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{U_{ut}}{I_B} * \frac{I_B}{U_{GS2}} * \frac{U_{GS2}}{U_{GS1}} * \frac{U_{GS1}}{U_{in}} = -10^5 * 1.5542 * 10^{-3} * -0.8122 * 0.5518 = 69.656$$

Vi får alltså följande samband mellan inspänningen och utspänningen.

$$U_{ut} = 69.7 * U_{in}$$

Inspänningen är $e(t) = \sin(10^3 t) \text{ mV}$ vilket resulterar i att utspänningen ges av $u_{ut}(t) = 69.7 \sin(10^3 t) \text{ mV}$.

Svar

- $R_1 = 1.16 \text{ k}\Omega$
 $R_3 = 80.0 \text{ k}\Omega$
 $R_4 = 1.51 \text{ k}\Omega$
- $u_{ut}(t) = 69.7 \sin(10^3 t) \text{ mV}$