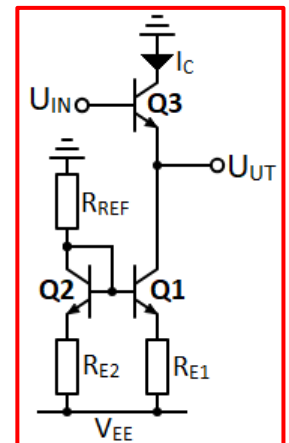


### 3.4 - Emitterföljaren

1. Du har en emitterföljare till höger. Transistorernas Earlyspänning kan antas ligga på 100 V. Matningsspänningen  $V_{CC} / V_{EE}$  är satt till  $\pm 50$  V. Kollektorströmmen  $I_{CQ}$  skall sättas till 0,5 mA i vilopunkten.
  - a) En BJT-strömspegel är placerad i emittern. Dimensionera strömspegelns emitterresistorer  $R_{E1} - R_{E2}$  för att hålla emitterföljaren temperaturstabil. Ett spänningsfall runt 220 mV kan användas, vilket medför en emitterfaktor EF runt 10.
  - b) Dimensionera referensresistor  $R_{REF}$  för en kollektorröm  $I_{CQ}$  på 0,5 mA i vilopunkten.
  - c) Rita småsignalschema och beräkna emitterföljarens förstärkningsfaktor  $G$  samt in- och utresistans  $R_{IN}$  samt  $R_{UT}$ . Anta att samtliga BJT-transistorer innehar en strömförstärkningsfaktor  $h_{FE}$  på 100.



*Emitterföljare.*

2. Differentialförstärkaren till höger skall dimensioneras för kollektorströmmar  $I_{C1Q}$  samt  $I_{C2Q}$  på 1 mA var i vilopunkten. Matningsspänningen  $V_{CC} / V_{EE}$  är satt till  $\pm 15$  V. Transistorernas Earlyspänning  $U_A$  kan antas ligga på 100 V.

a) Dimensionera emitterresistorer  $R_{E1} - R_{E3}$  för att öka GE-stegets temperaturstabilitet, samtidigt som spänningsfallet över dem inte begränsar utsignalernas toppvärde allför mycket. Återigen kan ett spänningsfall runt 220 mV anses vara lagom, vilket medför en emitterfaktor EF runt 10.

b) Placera ytterligare emitterresistorer i den enkla strömspegeln (transistor Q3 samt Q4) via ovanstående tumregel. Uppskatta strömspegeln utresistans  $r_o$  då emitterresistorer används via dess emitterfaktor EF.

c) Förklara varför en kaskadkopplad strömspegel placeras mellan emitterarna på transistor Q1 och Q2. Förklara förhållandet mellan denna strömspegels utresistans  $r_{o,CM}$  och påverkan på Common Mode-signaler. Rita också småsignalschema för denna strömspegel och beräkna utresistansen  $r_{o,CM}$ .

d) Placera emitterresistorer i den kaskadkopplade strömspegeln (transistor Q5 – Q8). Låt spänningsfallet över dessa resistorer hamnar tio gånger högre än för resterande emitterresistorer, alltså ca 2,2 V, vilket medför en emitterfaktor EF runt 100.

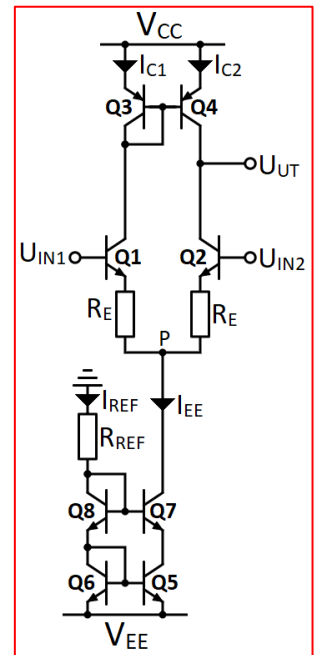
**Tips:** Kom också ihåg att strömmarna  $I_{EEQ}$  samt  $I_{REFQ}$  som flödar genom den kaskadkopplade strömspegeln är dubbelt så höga i vilopunkten jämfört med kollektorströmmarna  $I_{C1Q}$  samt  $I_{C2Q}$ .

e) Uppskatta den kaskadkopplade strömspegeln utresistans  $r_{o,CM}$  när emitterresistorer används. Genomför uppskattningen via dess emitterfaktor EF, som nu ligger omkring 100.

f) Rita differentialförstärkarens småsignalschema i både *Differential Mode* samt *Common Mode* och beräkna GE-stegets differentialförkning  $G_{DM}$ , Common Mode-förstärkning  $G_{CM}$  samt CMRR. Visa tydligt varför  $G_{DM}$  och  $G_{CM}$  skiljer sig avsevärt via begrepp såsom virtuell jordpunkt.

**Tips:** Ersätt den kaskadkopplade strömspegeln med en resistans  $R_{EE}$  i småsignalschemat. Ersätt den enkla strömspegeln (transistor Q3 – Q4) med en resistans  $r_o$ .

g) Uppskatta differentialförstärkarens in- och utimpedans  $Z_{IN}$  samt  $Z_{UT}$  i *Differential Mode*.



Differentialförstärkare

**Obs!** Genomför endast en av nedanstående uppgifter!

### Labbuppgift - Alternativ I:

3. GE-steget till höger skall användas för att driva en högtalare (med en en buffer dem emellan).

GE-steget skall innehålla följande parametrar:

Matningsspänning:  $V_{CC} = 15\text{ V}$

Kollektorström i vilopunkten:  $I_{CQ} = 0,5\text{ mA}$

Frekvenser under det hörbara området (20 Hz – 20 kHz) skall dämpas.

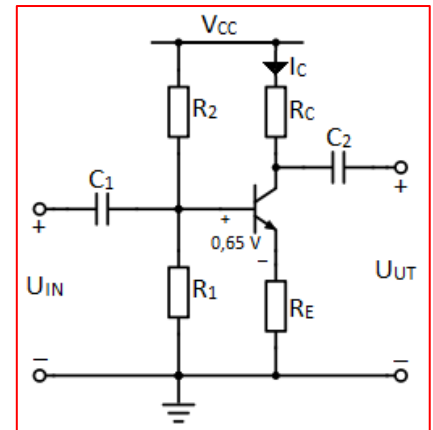
- a) Dimensionera kollektorresistor  $R_C$ , emitterresistor  $R_E$  samt resistorer  $R_1$  och  $R_2$  i spänningsdelaren för så höga utsignalen  $U_{UT}$  som möjligt utan klippning.

Se till dimensionera resistorer  $R_1$  och  $R_2$  så att spänningsdelarens impedans  $R_1 // R_2$  är minst tio gånger lägre än GE-stegets inimpedans  $(R_E + 1 / g_m) * h_{FE}$ , även i värstafallscenariot (då  $h_{FE}$  är ca 50).

- b) Dimensionera avkopplingskondensatorer  $C_1$  och  $C_2$  för att dämpa frekvenser under det hörbara området (20 Hz – 20 kHz).

**OBS!** Ha i åtanke att dämpningen på frekvenser som överstiger eller är lika med 20 Hz skall vara (i princip) obefintlig. Därmed måste brytfrekvensen  $f_c$  anpassas efter detta!

- c) Verifiera er krets i LTspice via mätningar i vilopunkten, utan avkopplingskondensatorerna. Se till att viloströmmen  $I_{CQ1}$  hamnar runt 0,5 mA.
- d) Rita småsignalschema och härled en formel för GE-stegets förstärkningsfaktor  $G$  med valfri småsignalmodell. Uppskatta sedan förstärkningsfaktorn  $G$ .
- e) Emitterresistor  $R_E$  innehar en viktig funktion i GE-steget, främst för temperaturstabilitet. Förklara denna funktion. Ange också en nackdel med  $R_E$ . Genomför nödvändiga modifikationer för att GE-steget skall innehålla god temperaturstabilitet, samtidigt som nackdelen med  $R_E$  elimineras vid hörbara frekvenser (växelström). Vad blir nu förstärkningsfaktor  $G$  vid hörbara frekvenser?
- f) Härled formler och beräkna GE-stegets totala in- och utimpedans  $Z_{IN}$  samt  $Z_{UT}$  vid hörbara frekvenser. Notera att inimpedansen  $Z_{IN}$  består av både spänningsdelarens impedans samt GE-stegets inimpedans.



GE-steg.

**Labbuppgift - Alternativ II:**

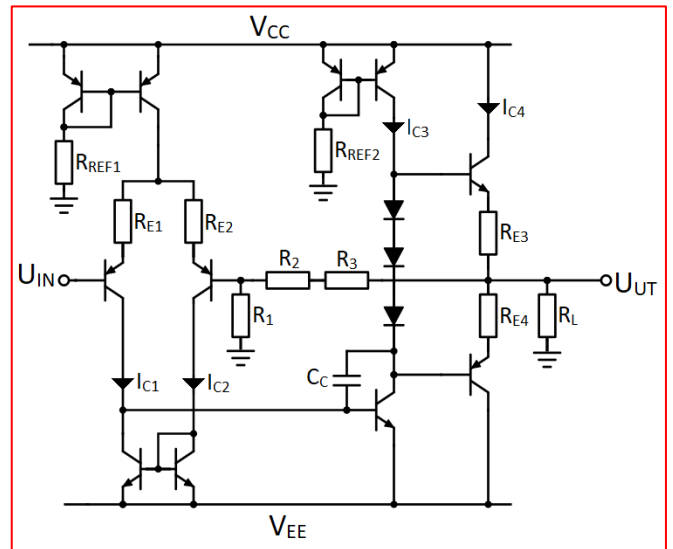
4. Skelettkretsen till en enkel OP-förstärkare med ett klass-AB slutsteg visas till höger. OP-förstärkaren skall kunna driva en last  $R_L$  på  $8\ \Omega$ .

Matningsspänningen  $V_{CC} / V_{EE}$  skall sättas till  $\pm 15\text{ V}$ . Closed-loop-förstärkningsfaktorn  $G_{CL}$ , alltså förstärkningsfaktorn med negativ återkoppling, skall sättas till en faktor 20.

Closed-loop-förstärkningsfaktorn  $G_{CL}$  kan approximeras med följande formel:

$$G_{CL} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1},$$

där  $R_1 - R_3$  är resistorerna i spänningsdelaren.



Skelettkrets till en enkel OP-förstärkare med ett klass-AB slutsteg.

- Dimensionera resistorer  $R_1 - R_3$  i spänningsdelaren för en closed-loop-förstärkning  $G_{CL}$  på 20. Strömmen genom spänningsdelaren skall sättas mellan 0,5 - 1 mA vid maximal utsignal  $U_{UT}$ .
- Dimensionera referensresistor  $R_{REF}$  för kollektorströmmar  $I_{C1Q} - I_{C2Q}$  på 1 mA genom differentialförstärkaren i vilopunkten.
- Dimensionera referensresistor  $R_{REF2}$  för en kollektorström  $I_{C3Q}$  på ca 15 mA genom spänningsförstärkaren i vilopunkten.
- Dimensionera emitterresistorer  $R_{E3} - R_{E4}$  för en kollektorström  $I_{C4Q}$  på ca 100 mA genom slutsteget i vilopunkten.
- Förklara vad Millerkondensatorn  $C_C$  har för funktion i OP-förstärkaren via begrepp såsom oscillation, Millereffekt samt förstärkningsfaktor. Välj ett lämplig värde på denna kondensator för att uppfylla dess funktion.
- Konstruera kretsen i LTspice och testa dess funktion. Se till att OP-förstärkaren utan problem kan driva en högtalare på  $8\ \Omega$  för en insignal  $U_{IN}$  med en amplitud  $|U_{IN}|$  på 0,5 V och en frekvens  $f$  på 1 kHz.
- Uppskatta OP-förstärkarens open-loop-förstärkningsfaktor  $G_{OL}$ , alltså förstärkningsfaktor utan återkoppling. Inga småsignalscheman behöver ritas ut. Rita sedan upp OP-förstärkaren som ett regelsystem och beräkna sedan den exakta closed-loop-förstärkningsfaktorn via en återkopplingsfaktor  $K$  på 1 / 20.
- Uppskatta OP-förstärkarens inimpedans  $Z_{IN,OL}$  (på plusingången) utan återkoppling. Inget småsignalschema behöver ritas ut. Uppskatta sedan inimpedansen  $Z_{IN,CL}$  vid användning av negativ återkoppling.
- Uppskatta OP-förstärkarens utimpedans  $Z_{UT,OL}$  i olastat tillstånd, utan återkoppling. Inget småsignalschema behöver ritas ut. Uppskatta sedan utimpedansen  $Z_{UT,CL}$  vid användning av negativ återkoppling, återigen i olastat tillstånd.
- Beräkna effektivvärdet för effektutvecklingen  $P_L$  samt strömmen  $I_L$  som flödar genom högtalaren vid maximal utsignal  $U_{UT}$ . Anta att  $U_{UT}$  kan uppgå till  $V_{CC} / V_{EE}$ .
- Beräkna OP-förstärkarens totala effektförbrukning  $P_{TOT}$  i i vilopunkten, i olastat tillstånd. **Tips:** Använd effektlagen:

$$P_{TOT} = (V_{CC} - V_{EE}) * I_{TOT},$$

där  $I_{TOT}$  är summan av samtliga strömmar i OP-förstärkaren i vilopunkten.

**OBS!** Räkna inte med strömmen genom spänningsdelaren (resistor  $R_1 - R_3$ ).