

# Differentialforstærker 1

## Indholdsfortegnelse

1.0 Indledning, side 2

2.0 DC beregninger, side 3

2.1 Facitliste, side 4

3.0 Faseforhold for et DM signal, side 5

3.1 Faseforhold for et CM signal, side 7

3.2 Indgangsimpedansen for et DM signal, side 8

3.3 Indgangsimpedansen for et CM signal, side 9

3.4 Udgangsimpedansen for et DM signal, side 10

3.5 Udgangsimpedansen for et CM signal, side 10

3.6 Spændingsforstærkningen for et DM signal, side 11

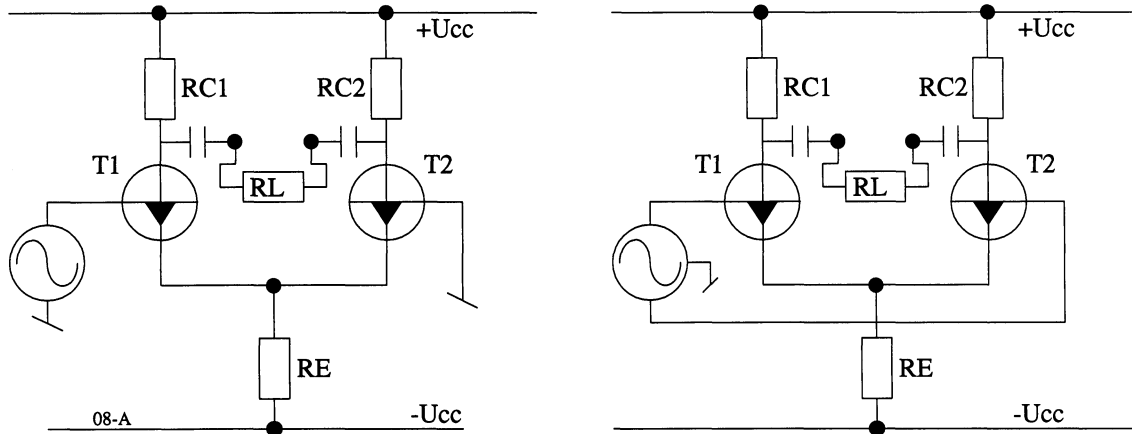
3.7 Spændingsforstærkningen for et CM signal, side 12

3.8 Common Mode Rejection Ratio, side 13

4.0 Opgaver, side 14

5.0 Facitliste, side 18

## 1.0 Indledning



Differentialforstærkeren består af to transistorer, der er koblet sammen ved hjælp af en fælles emittermodstand.

Den forsynes af to symmetriske spændinger,  $+U_{cc}$  og  $-U_{cc}$ .

Differentialforstærkeren til venstre får tilført et ubalanceret DM signal, og den til højre får tilført et balanceret DM signal.

På udgangen kan signalet tages ud mellem de to kollektorer. Når det tages ud på den måde, er det et balanceret DM signal, man har på udgangen.

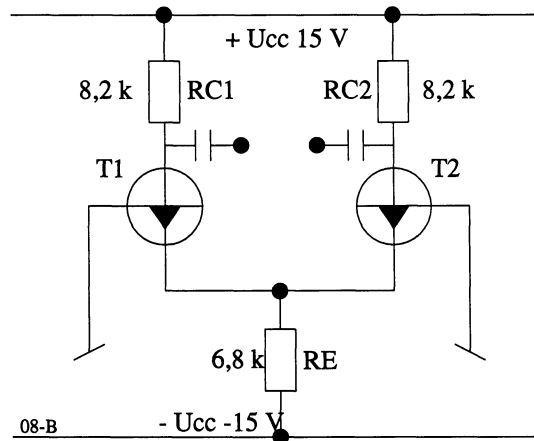
DM betyder Different Mode.

Et DM signal er et signal, man ønsker at forstærke.

I dette afsnit behandles differentialforstærkeren, når den får tilført et ubalanceret DM signal på indgangen. På udgangen tages det ud som et balanceret DM signal. ( Se forstærkeren til venstre ).

Alle formler der bruges i forbindelse med forstærkeren til venstre, kan også anvendes på en forstærker der får tilført et balanceret DM signal på indgangen. ( Se forstærkeren til højre ).

## 2.0 DC beregninger



I en differentialforstærker er  $U_B = 0$  V. Når man kender den, kan de andre spændinger og strømme i opstillingen beregnes.

$U_E$  er ca. \_\_\_\_\_

$I_{RE}$  er ca. \_\_\_\_\_

$I_{ET1} = I_{ET2}$  er ca. \_\_\_\_\_

$U_{RC T1} = U_{RC T2}$  er ca. \_\_\_\_\_

$U_{C T1} = U_{C T2}$  er ca. \_\_\_\_\_

På de næste sider vises, hvordan spændinger og strømme skal beregnes.

## 2.1 Facitliste til DC beregningerne

$$U_E = U_B - U_{B-E}$$

$$U_E = 0 \text{ V} - 0,6 \text{ V} = \underline{-0,6 \text{ V}}$$

$$U_{R_E} = U_E - (-U_{CC})$$

$$U_{R_E} = 0,6 \text{ V} - (-15 \text{ V}) = \underline{14,4 \text{ V}}$$

$$I_{R_E} = \frac{U_E - (-U_{CC})}{R_E}$$

$$I_{R_E} = \frac{-0,6 \text{ V} - (-15 \text{ V})}{6,8 \text{ k}} = \underline{2,12 \text{ mA}}$$

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_{R_E}}{2}$$

$$I_E = \frac{2,12 \text{ mA}}{2} = \underline{1,06 \text{ mA}}$$

$$I_E \sim I_C$$

$$U_{R_C1} = U_{R_C2} = R_C \times I_C$$

$$U_{R_C} = 8,2 \text{ k}\Omega \times 1,06 \text{ mA} = \underline{8,7 \text{ V}}$$

$$U_C = U_{CC} - U_{R_C}$$

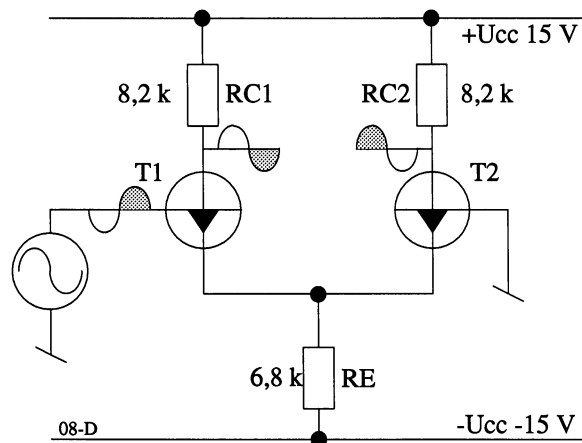
$$U_C = 15 \text{ V} - 8,7 \text{ V} = \underline{6,3 \text{ V}}$$

Eller.

$$U_C = U_{CC} - (I_C \times R_C)$$

$$U_C = 15 \text{ V} - (1,06 \text{ mA} \times 8,2 \text{ k}) = \underline{6,3 \text{ V}}$$

### 3.0 Faseforhold for et DM signal.



Når generatoren er tilsluttet som vist, er det et ubalanceret Different Mode signal, der tilføres indgangen.  
Et ubalanceret signal tilføres kun til den ene basis.

**Hvilken betydning får det for basisstrømmen i T1, når signalet på indgangen går i positiv retning?**

Når basisspændingen stiger på T1, stiger basisstrømmen i T1.

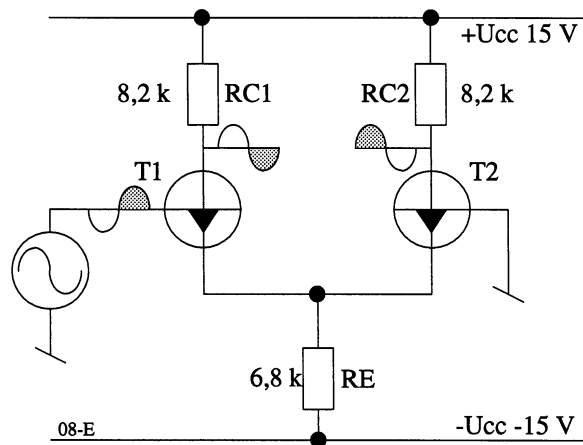
**Hvilken betydning får det for kollektorstrømmen i T1, når basisstrømmen stiger?**

Når basisstrømmen i T1 stiger, stiger kollektorstrømmen i T1.

**Hvilken betydning får det for spændingen på kollektoren af T1, når kollektorstrømmen i T1 stiger?**

Kollektorspændingen på T1 falder.

Fra basis af T1 til kollektor af T1 er fasedrejningen  $180^\circ$ .



I en differentialforstærker er strømmen i emittermodstanden hele tiden konstant.

**Hvilken betydning får det for kollektorstrømmen i T2, når kollektorstrømmen i T1 stiger?**

Når kollektorstrømmen stiger i T1, falder den tilsvarende i T2.

**Hvilken betydning får det for kollektorspændingen på T2, når kollektorstrømmen i T2 falder?**

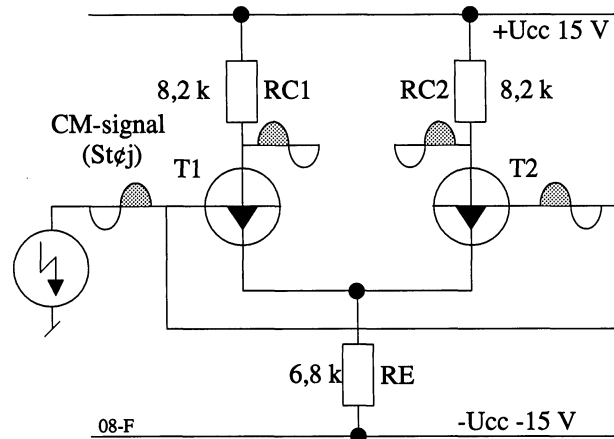
Kollektorspændingen på T2 stiger.

Fra basis af T1 til kollektor af T2 er fasedrejningen  $0^\circ$ .

Når indgangen i en differentialforstærker tilføres et ubalanceret DM signal, er spændingen på de to kollektorer i modfase.

På udgangen er der ikke forskel på signalerne, uanset om det er et balanceret- eller et ubalanceret signal, der tilføres til indgangen.

### 3.1 Faseforhold for et CM signal



Hvis en differentialforstærker får tilført et DM signal, balanceret eller ubalanceret, er det et signal, vi ønsker at forstærke.

Et DM signal er et "nyttesignal".

Hvis en differentialforstærker får tilført signalet, som vist herover, er det et Common Mode signal.

Et CM signal er et uønsket signal. Det kan f. eks være støj.

Et CM signal skal forstærkes så lidt som muligt.

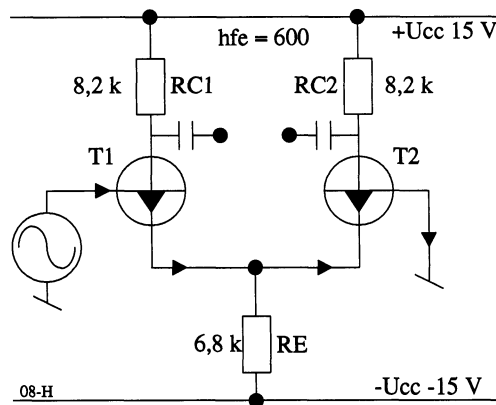
Et støjsignal der kommer ind på forstærkeren, har samme fase og amplitude på de to baser. På kollektorerne er signalet fasevendt.

Hvis signalet på den ene kollektor stiger med 2 Volt, stiger det også med 2 Volt på den anden.

Når signalerne stiger lige meget, er signalspændingen mellem de to kollektorer 0 Volt.

Hvis differentialforstærkeren er ideel, bliver et støjsignal udbalanceret på udgangen.

### 3.2 Indgangsimpedans for et DM signal



Tegningen viser, hvordan generatorsignalet løber i kredsløbet.

I en differentialforstærker skal de 2 transistorer være matchede.

For et DM-signal, balanceret eller ubalanceret, er indgangsimpedansen bestemt af  $h_{ie}$  i de to transistorer.

$$Z_{in\ DM} = 2 \times h_{ie}$$

Når man kender emitterstrømmen i de enkelte transistorer, kan  $h_{ie}$  beregnes.

**Hvilken værdi får  $h_{ie}$  og  $Z_{inDM}$ ?**

$$h_{ie} = \frac{25\text{ m}}{I_E} \times h_{fe}$$

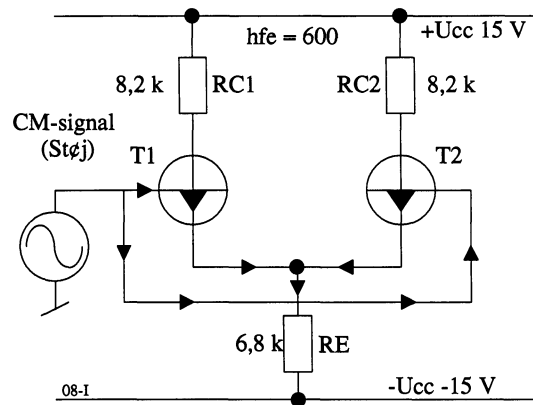
$$h_{ie} = \frac{25\text{ m}}{1,06\text{ mA}} \times 600 = \underline{\underline{14,15\text{ k}\Omega}}$$

$$Z_{in\ DM} = 2 \times h_{ie}$$

$$Z_{in\ DM} = 2 \times 14,15\text{ k}\Omega = \underline{\underline{28,3\text{ k}\Omega}}$$



### 3.3 Indgangsimpedansen for et CM signal

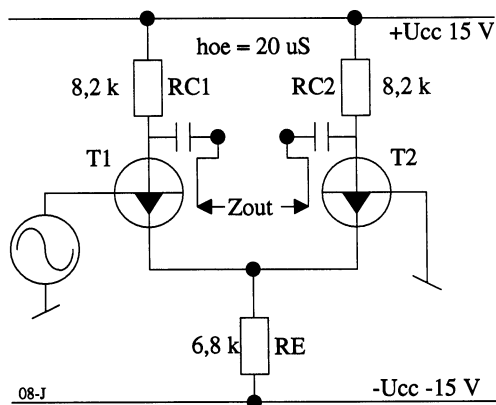


Det er sjældent, at man får brug for at finde  $Z_{in}$  for et CM signal.

$$Z_{in\ CM} = R_E \times h_{fe}$$

$$Z_{in\ CM} = 6,8\ \text{k}\Omega \times 600 = \underline{\underline{4\ \text{M}\Omega}}$$

### 3.4 Udgangsimpedans for et DM signal



Udgangsimpedansen er bestemt af de 2 kollektormodstande og transistorernes udgangsimpedans.

$$Z_{out\ DM} = (RC1 + RC2) // (1/hoe\ T1 + 1/hoe\ T2)$$

Da  $RC1 = RC2$  og  $1/hoe\ T1 = 1/hoe\ T2$  kan  $Z_{out}$  skrives på følgende måde.

$$Z_{out\ DM} = 2(RC // 1/hoe)$$

**Hvilken værdi får  $Z_{out}$ , når  $hoe = 20\ \mu\text{Siemens}$ ?**

$$Z_{out\ DM} = 2(8,2\ \text{k}\Omega // 1/20\ \mu\text{S}) = 2(8,2\ \text{k} // 50\ \text{k}) = \underline{\underline{14,1\ \text{k}\Omega}}$$

Man siger ofte at  $Z_{out\ DM} \sim 2 \times RC$ .

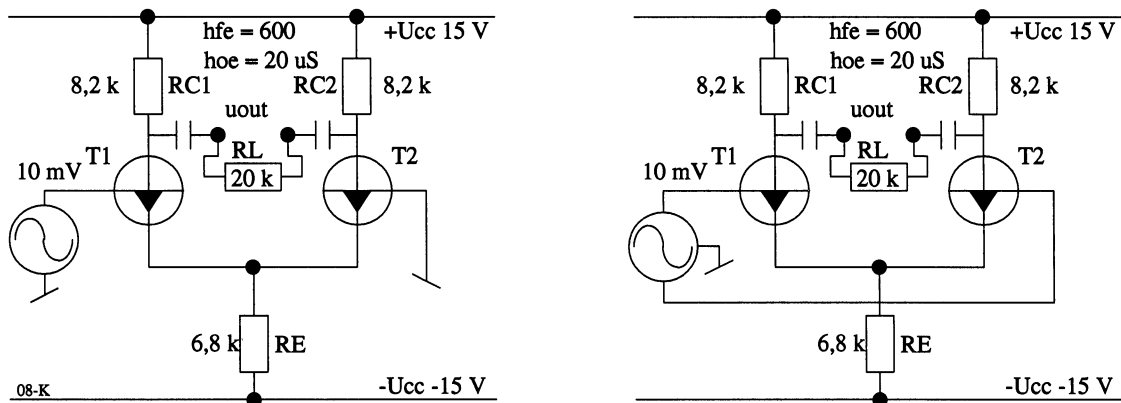
Hvis  $hoe$  ikke er opgivet, udelades den af formlen.

### 3.5 Udgangsimpedans for et CM signal

Udgangsimpedansen for et CM signal har man meget sjældent brug for at finde.

$$Z_{out\ CM} \sim 2 \times RC$$

### 3.6 Spændingsforstærkning for et DM signal



Signalet på indgangen kan være balanceret eller ubalanceret.

Uanset om man tilføjer signalet på den ene eller anden måde, er det et DM signal.

Når spændingsforstærkningen skal beregnes, er det den samme formel, man skal bruge.

Spændingsforstærkningen angives som  $A_{u DM}$ .

$$A_{u DM} = \frac{RC // \frac{RL}{2} // \frac{1}{hoe}}{r_e}$$

$$A_{u DM} = \frac{RC // \frac{RL}{2} // \frac{1}{hoe}}{\frac{25 m}{IE}}$$

$$A_{u DM} = \frac{8,2 k // \frac{20 k}{2} // 50 k}{23,6} = \underline{175 g \sim 44.8 dB}$$

Udgangsspændingen for et DM signal.

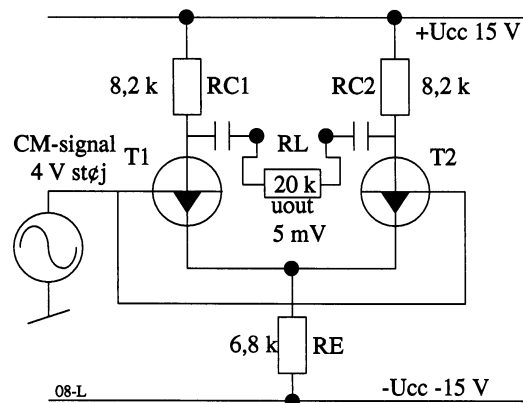
Når man kender  $u_{in}$  og  $A_u$ , kan udgangsspændingen beregnes.

$$u_{out DM} = u_{in} \times A_{u DM} = 10 mV \times 175 = \underline{1.75 V}$$

### 3.7 Spændingsforstærkning for et CM signal

Hvis baserne på T1 og T2 får tilført det samme signal, kaldes det et CM signal. CM står for Common Mode.

Et CM signal er et uønsket signal. Det skal det dæmpes så meget som muligt.



Et CM signal kan f. eks. være HF støj eller støj fra lysnettet.

Hvis de to transistorer og de to kollektormodstande parvis er helt ens, bliver forstærkningen 0.

I praksis kan det dog ikke opnås.

Det er ikke muligt at beregne forstærkningen for et Common Mode signal, når det tages ud mellem kollektorene.

Hvis man måler ind- og udgangssignalet kan man beregne  $A_{u\text{ CM}}$ .

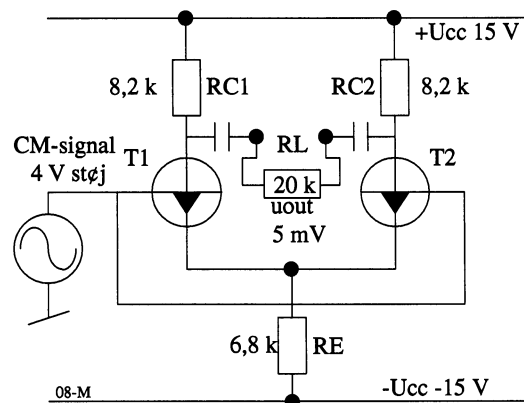
I opstillingen er der et CM signal på 4 V på indgangen.

På udgangen er det reduceret til 5 mV.

**Hvor stor er forstærkning for CM signalet?**

$$A_{u\text{ CM}} = \frac{u_{\text{out}}}{u_{\text{in}}} = \frac{5\text{ mV}}{4\text{ V}} = \underline{\underline{0.00125\text{ gg} \sim -58\text{ dB}}}$$

### 3.8 Common Mode Rejection Ratio



CMRR er et udtryk for forholdet mellem forstærkningen af et DM signal og et CM signal.

CMRR fortæller noget om forstærkerens evne til at undertrykke et uønsket signal.

Når man kender  $A_{u DM}$  og  $A_{u CM}$ , kan CMRR beregnes.

$$A_{u DM} = 221 \text{ g} \sim 46,9 \text{ dB}$$

$$A_{u CM} = 0,00125 \text{ g} \sim -58,1 \text{ dB}$$

$$\text{CMRR} = \frac{A_{u DM}}{A_{u CM}}$$

$$\text{CMRR} = \frac{221}{0,00125} = \underline{\underline{176800 \text{ g} \sim 105 \text{ dB}}}$$

Hvis forstærkningerne i dB beregnes, fås følgende.

$$\text{CMRR dB} = A_{u DM} \text{ dB} - A_{u CM} \text{ dB}$$

$$\text{CMRR dB} = 46,9 \text{ dB} - (-58,1 \text{ dB}) = \underline{\underline{105 \text{ dB}}}$$

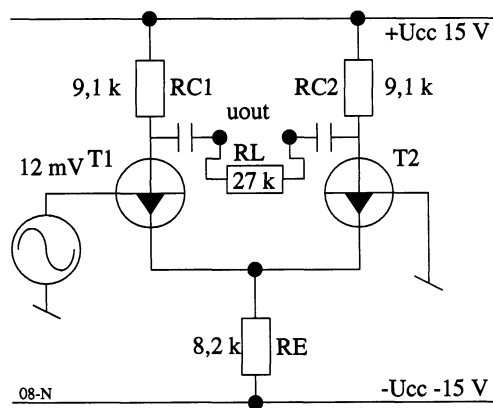
## 4.0 opgaver

### Opgave 1

I den viste opstilling er hfe 500, og hoe er 15  $\mu$ Simens.

På indgangen er der målt et CM signal på 2 V.

På udgangen er det reduceret til 4 mV.



Beregn følgende.

UE er ca. \_\_\_\_\_

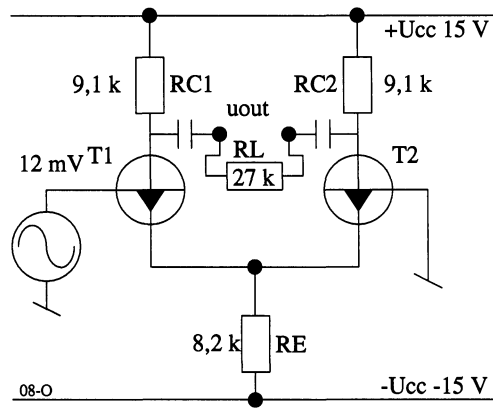
IRE er ca. \_\_\_\_\_

IE er ca. \_\_\_\_\_

URC T1 = URC T2 er ca. \_\_\_\_\_

UCT1 = UCT2 er ca. \_\_\_\_\_

re er ca. \_\_\_\_\_



$h_{ie}$  er ca. \_\_\_\_\_

$Z_{in DM}$  er ca. \_\_\_\_\_

$Z_{out DM}$  er ca. \_\_\_\_\_

$A_{u DM}$  i gange er ca. \_\_\_\_\_

$A_{u DM}$  i dB er ca. \_\_\_\_\_

$u_{out DM}$  er ca. \_\_\_\_\_

$A_{u CM}$  i gange er ca. \_\_\_\_\_

$A_{u CM}$  i dB er ca. \_\_\_\_\_

CMRR i gange er ca. \_\_\_\_\_

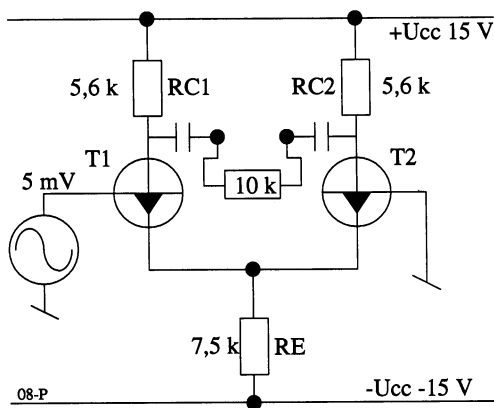
CMRR i dB er ca. \_\_\_\_\_

### Opgave 2

For den viste opstilling er hfe 400, og hoe er 10 μSimens.

På indgangen er der målt et CM signal på 2 V.

CMRR er opgivet til 54 dB.



Beregn følgende.

UE er ca. \_\_\_\_\_

IRE er ca. \_\_\_\_\_

IE er ca. \_\_\_\_\_

URC1 = URC2 er ca. \_\_\_\_\_

UCT1 = UCT2 er ca. \_\_\_\_\_

re er ca. \_\_\_\_\_



hie er ca. \_\_\_\_\_

Zin DM er ca. \_\_\_\_\_

Zout DM er ca. \_\_\_\_\_

Au DM i gange er ca. \_\_\_\_\_

Au DM i dB er ca. \_\_\_\_\_

uout DM er ca. \_\_\_\_\_

CMRR i gange er ca. \_\_\_\_\_

~~CMRR i dB er ca.~~ \_\_\_\_\_

Au CM i gange er ca. \_\_\_\_\_

Au CM i dB er ca. \_\_\_\_\_

u out CM ca. \_\_\_\_\_

## 5.0 Facitliste

### Opgave 1

UE er ca. - 0,6 V

IRE er ca. 1,75mA

IE er ca. 0,875 mA

URC T1 er ca. 8,0 V

UCT1 er ca. 7,0 V

re er ca. 28,6  $\Omega$

hie er ca. 14,3 k $\Omega$

Zin DM er ca. 28,6 k $\Omega$

Zout DM er ca. 16 k $\Omega$

Au DM er ca. 175 g

Au DM er ca. 44,9 dB

uout DM er ca. 2,6 V

Au CM er ca. 0,002 g

Au CM er ca. - 54 dB

CMRR er ca. 87500 g

CMRR er ca. 98,9 dB

### Opgave 2

UE er ca. -0,6 V

IRE er ca. 1,92mA

IE er ca. 0,96 mA

URC1 er ca. 5,4 V

UCT1 er ca. 9,6 V

re er ca. 26  $\Omega$

hie er ca. 10,4 k $\Omega$

Zin DM er ca. 20,8 k $\Omega$

Zout DM er ca. ~~9,8~~ <sup>10,6 k</sup> k $\Omega$

Au DM er ca. ~~100~~ <sup>99</sup> g

Au DM er ca. 40 dB

uout DM er ca. ~~665~~ <sup>495 mV</sup> mV

CMRR i ca. 375 g

CMRR er ca. 51,5 dB

Au CM er ca. 0,266 g

Au CM i dB er ca. - 11,5 dB

u out CM er ca. 450 mV