

Differentialforstærker 2

Indholdsfortegnelse

1.0 Indledning, side 2

2.0 Eksempel 1, side 3

2.1 DC beregninger, side 3

2.2 Facitliste til eksempel 1, side 4

3.0 Indgangsimpedans for et DM signal, side 5

3.1 Indgangsimpedans for et CM signal, side 6

3.2 Udgangsimpedans for et DM signal, side 7

3.3 Udgangsimpedans for et CM signal, side 7

3.4 Spændingsforstærkning for et DM signal, side 8

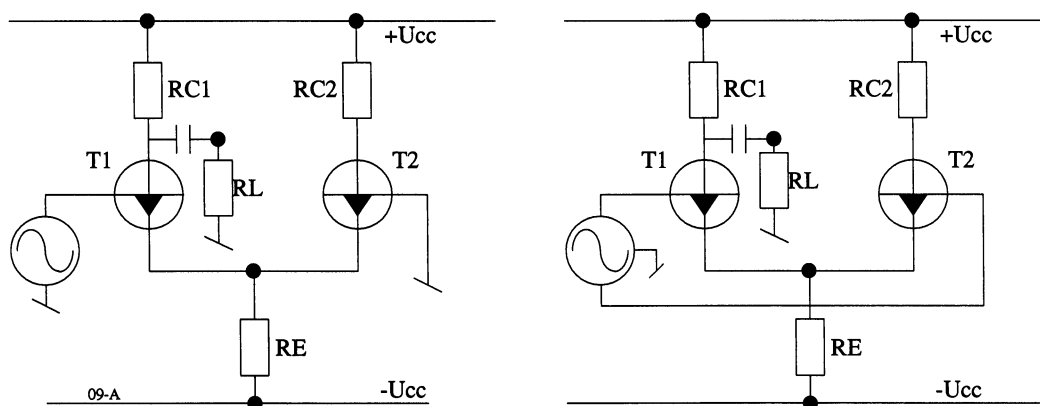
3.5 Spændingsforstærkning for et CM signal, side 9

3.6 Common Mode Rejection Ratio, side 10

4.0 Opgaver, side 11

5.0 Facitliste, side 14

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 den ene kollektor og stel. Når det tages ud på den måde, er det et ubalanceret DM signal, man får på udgangen.

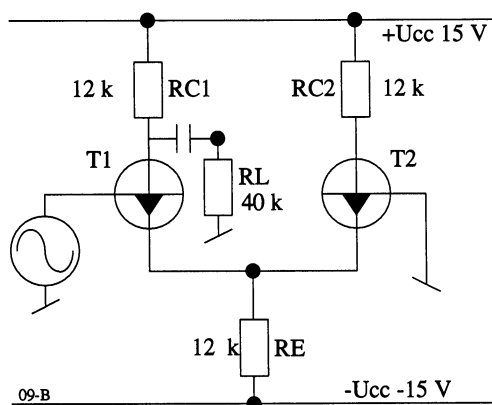
Man siger at forstærkeren har en Single End udgang.

Derfor bruger man benævnelser SE.

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

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

2.0 Eksempel 1



2.1 DC beregninger

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

U_E er ca. _____

I_{RE} er ca. _____

I_E er ca. _____

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

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

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

2.2 Facitliste til eksempel 1

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

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

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

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

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

$$I_{RE} = \frac{-0,6 \text{ V} - (-15 \text{ V})}{12 \text{ k}} = \underline{1,2 \text{ mA}}$$

Strømmen i emittermodstanden er summen af IET1 og IET2.

$$I_{ET1} = I_{ET2} = \frac{I_{RE}}{2}$$

$$I_E = \frac{1,2 \text{ mA}}{2} = \underline{0,6 \text{ mA}}$$

$$I_E \sim I_C$$

$$U_{RC1} = U_{RC2} = R_C \times I_C$$

$$U_{RC} = 12 \text{ k}\Omega \times 0,6 \text{ mA} = \underline{7,2 \text{ V}}$$

$$U_{CT1} = U_{CT2} = U_{CC} - U_{RC}$$

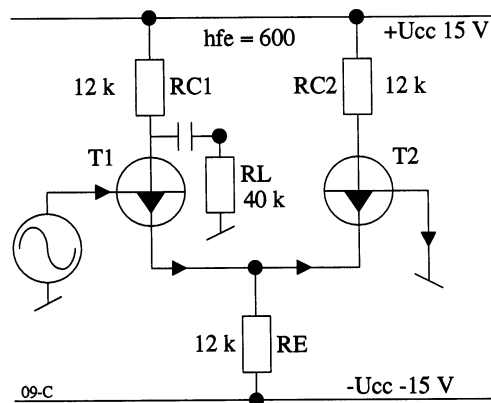
$$U_C = 15 \text{ V} - 7,2 \text{ V} = \underline{7,8 \text{ V}}$$

Eller.

$$U_{CT1} = U_{CT2} = U_{CC} - (I_C \times R_C)$$

$$U_C = 15 \text{ V} - (0,6 \text{ mA} \times 12 \text{ k}) = \underline{6,3 \text{ V}}$$

3.0 Indgangsimpedans for et balanceret DM signal



Tegningen viser, hvordan generatorsignalet løber i kredsløbet.

I en differentialforstærker skal de to transistorer være matchede.

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

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

I den viste opstilling er h_{fe} opgivet til 600.

Når emitterstrømmen i de enkelte transistorer er fundet, kan h_{ie} beregnes.

Vær opmærksom på at I_E er strømmen i hver enkelt transistor.

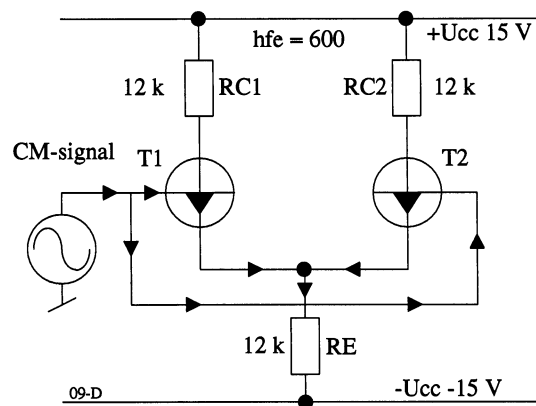
$$h_{ie} = \frac{25 \text{ m} \times h_{fe}}{I_E}$$

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

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

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

3.1 Indgangsimpedansen for et CM signal



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

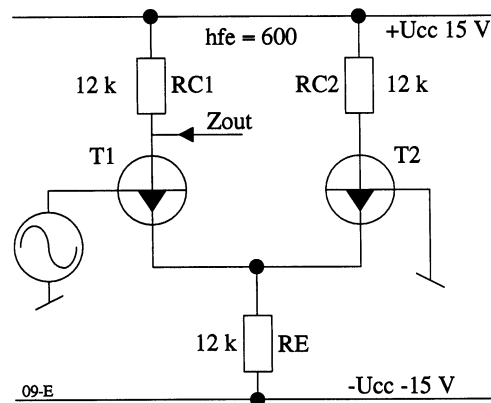
Et CM signal skal forstærkes så lidt som muligt

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

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

$$Z_{in\ CM} = 12\ k\Omega \times 600 = \underline{\underline{7,2\ M\Omega}}$$

3.2 Udgangsimpedans SE for et DM signal



Uanset om indgangssignalet er balanceret eller ubalanceret, er udgangsimpedansen bestemt af kollektormodstanden og udgangsimpedansen af transistoren.

Hvilken værdi får Zout når hoe = 20 μSiemens?

$$Z_{out\ SE} = RC // \frac{1}{h_{oe}}$$

$$Z_{out\ SE} = 12\ k // \frac{1}{20\ \mu S} = \underline{\underline{9.7\ k\Omega}}$$

Man siger ofte at $Z_{out} \sim RC$

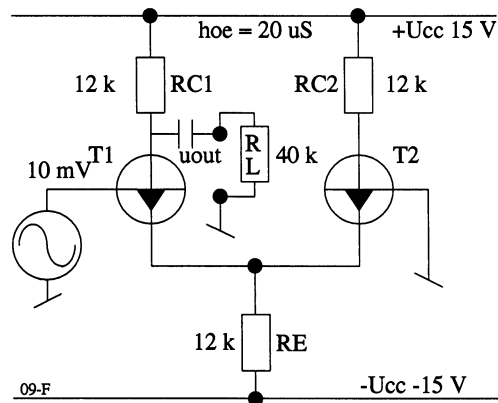
3.3 Udgangsimpedansen for et CM signal

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

Her er formlen.

$$Z_{out\ CM} \sim RC = \underline{\underline{12\ k\Omega}}$$

3.4 Spændingsforstærkning ved SE udgang



Hvis signalet tages ud mellem en af kollektorerne og stel, er det stadigvæk et DM signal. Når der kun er en udgang, siger man, at det er en Single End forstærker.

Single End forkortes SE.

Når spændingsforstærkningen beregnes, skal man kende r_e .

$$r_e = \frac{25 \text{ m}}{I_E} = \frac{25 \text{ m}}{0,6 \text{ m}} = \underline{\underline{42 \Omega}}$$

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

$$A_{u \text{ DM SE}} = \frac{12\text{k} // 40\text{k} // \frac{1}{20\text{u}}}{2 \times 42} = \underline{\underline{93 \text{ gange} \sim 39,4 \text{ dB}}}$$

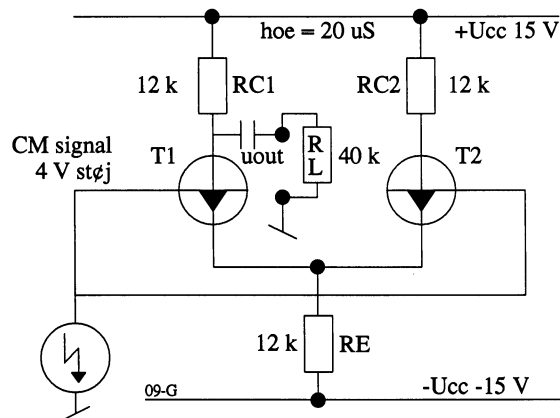
Hvis hoe ikke er opgivet, udelades den af formlen.

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

$$u_{out \text{ DM SE}} = u_{in} \times A_{u \text{ DM SE}}$$

$$u_{out \text{ DM SE}} = 10 \text{ mV} \times 93 = \underline{\underline{930 \text{ mV}}}$$

3.5 Spændingsforstærkningen 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, der skal dæmpes mest muligt.

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

Hvis differentialforstærkeren har enkelt udgang, kan spændingsforstærkningen for et CM signal beregnes.

$$A_{u \text{ CM SE}} = \frac{RC // RL // \frac{1}{hoe}}{2 \times RE}$$

$$A_{u \text{ CM SE}} = \frac{12 \text{ k} // 40 \text{ k} // \frac{1}{20 \text{ u}}}{2 \times 12 \text{ k}} = \underline{\underline{0,325 \text{ gange} \sim -9,8 \text{ dB}}}$$

Udgangsspændingen for CM-signalet.

$$u_{out \text{ CM}} = u_{in \text{ CM}} \times A_{u \text{ CM SE}}$$

$$u_{out \text{ CM}} = 4 \text{ V} \times 0,325 = \underline{\underline{1,3 \text{ V}}}$$

3.6 CMRR Common Mode Rejection Ratio

Når man kender Au DM SE og Au CM SE, kan CMRR beregnes.

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.

$$\text{Au DM SE} = 93 \text{ g} = 39,4 \text{ dB}$$

$$\text{Au CM SE} = 0,325 \text{ g} \sim -9,8 \text{ dB}$$

$$\text{CMRR} = \frac{\text{AuDMSE}}{\text{AuCMSE}}$$

$$\text{CMRR} = \frac{93}{0,325} = \underline{\underline{286 \text{ g} \sim 49,1 \text{ dB}}}$$

Hvis man bruger forstærkningerne i dB får man følgende.

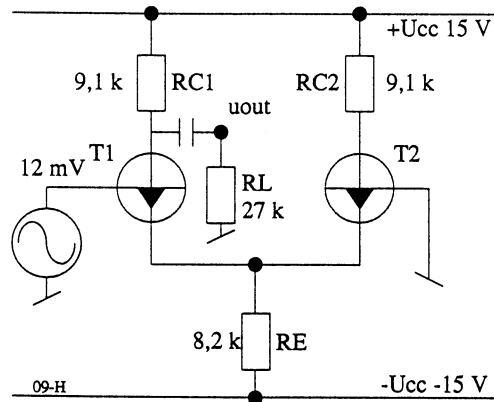
$$\text{CMRR dB} = \text{Au DM dB} - \text{Au CM dB}$$

$$\text{CMRR dB} = 39,4 \text{ dB} - (-9,8 \text{ dB}) = \underline{\underline{49,2 \text{ dB}}}$$

Afvigelsen på 0,1 dB skyldes afrundingsfejl.

4.0 Opgaver

Opgave 1



Beregn følgende for den viste opstilling, når h_{fe} er 500, h_{oe} er $15 \mu\text{S}$ imens.

U_E er ca. _____

I_{RE} er ca. _____

I_E er ca. _____

$U_{RC1} = U_{RC2}$ er ca. _____

$U_{CT1} = U_{CT2}$ er ca. _____

r_e er ca. _____

h_{ie} er ca. _____

Zin er ca. _____

Zout er ca. _____

Au DM i gange er ca. _____

Au DM i dB er ca. _____

uout er ca. _____

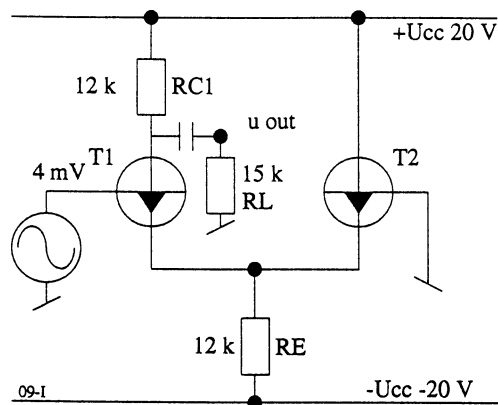
Au CM i gange er ca. _____

Au CM i dB er ca. _____

CMRR i gange er ca. _____

CMRR i dB er ca. _____

Opgave 2



Beregn følgende for den viste opstilling, når h_{fe} er 400 og
hoe er $10 \mu\text{Simens}$

U_E er ca. _____

I_{RE} er ca. _____

I_E er ca. _____

$U_{RC T1}$ er ca. _____

U_{CT1} er ca. _____

r_e er ca. _____

h_{ie} er ca. _____

Zin er ca. _____

Zout er ca. _____

Au DM SE i gange er ca. _____

Au DM SE i dB er ca. _____

uout er ca. _____

Au CM SE i gange er ca. _____

Au CM SE i dB er ca. _____

CMRR i gange er ca. _____

CMRR SE i dB er ca. _____

5.0 Facitliste

Opgave 1

UE er ca. 0,6 V

IRE er ca. 1,75 mA

IE er ca. 0,875 mA

URC1 er ca. 8,0 V

UCT1 er ca. 7,0 V

re er ca. 28,6 Ω

hie er ca. 14,3 k Ω

Zin er ca. 28,6 k Ω

Zout er ca. 8,0 k Ω

Au er ca. 108 g

Au er ca. 40,7 dB

uout er ca. 1,3 V

Au CM er ca. 0,375 g

Au CM er ca. 40,7 dB

CMRR er ca. 140 g

CMRR er ca. 49,2 dB

Opgave 2

UE er ca. -0,6 V

IRE er ca. 1,6 mA

IE er ca. 0,8 mA

URC T1 er ca. 9,6 V

UC T1 er ca. 10,4 V

re er ca. 31 Ω

hie er ca. 12,4 k Ω

Z in er ca. 24,8 k Ω

Zout er ca. 10,7 k Ω

Au DM SE er ca. 100 g

Au DM SE er ca. 40 dB

uout er ca. 400 mV

Au CM SE er ca. 0,26 g

Au CM SE er ca. - 11,7 dB

CMRR er ca. 385 g

CMRR er ca. 51,7 dB