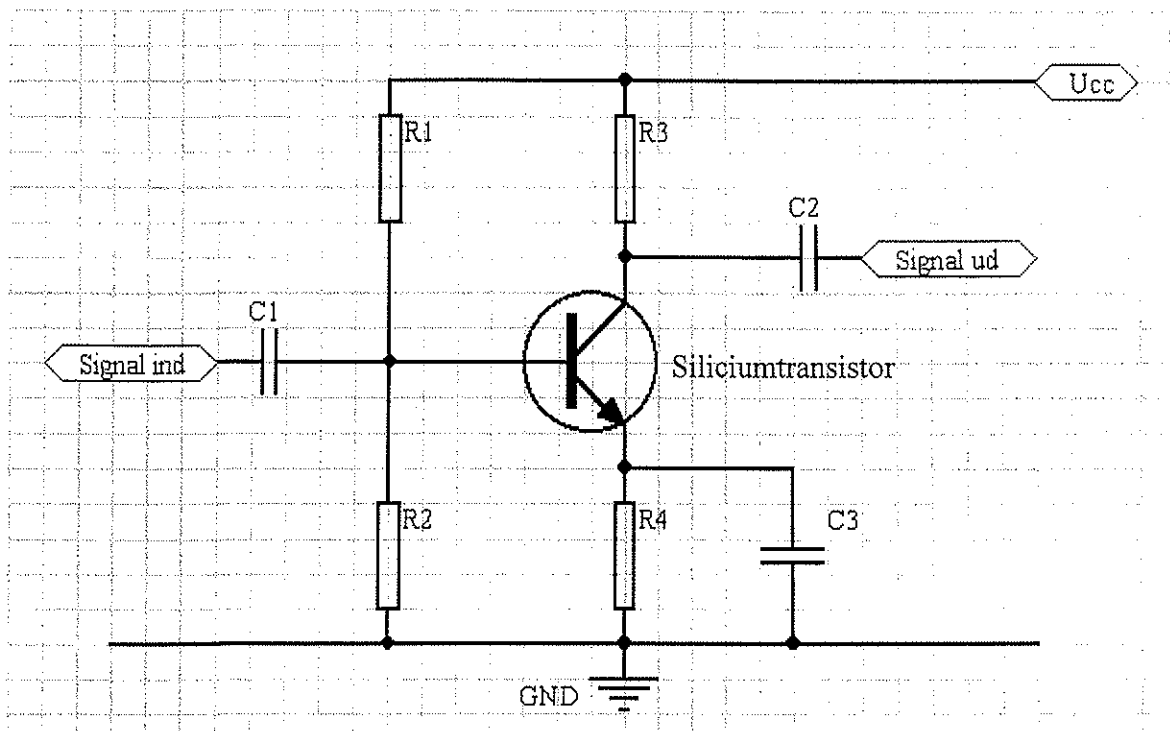


Den bipolare transistors DC-forhold. Dimensionering.

①



Du skal dimensionere forstærkeren ud fra følgende regler:

Collectorstrømmen vælges til 1,5 mA

Strømførstærkningen h_{FE} for transistoren er 400

Forsyningsspændingen U_{cc} er 15 V

Spændingen over emittermodstanden R4 fastlægges ud fra tommelfingerreglerne.

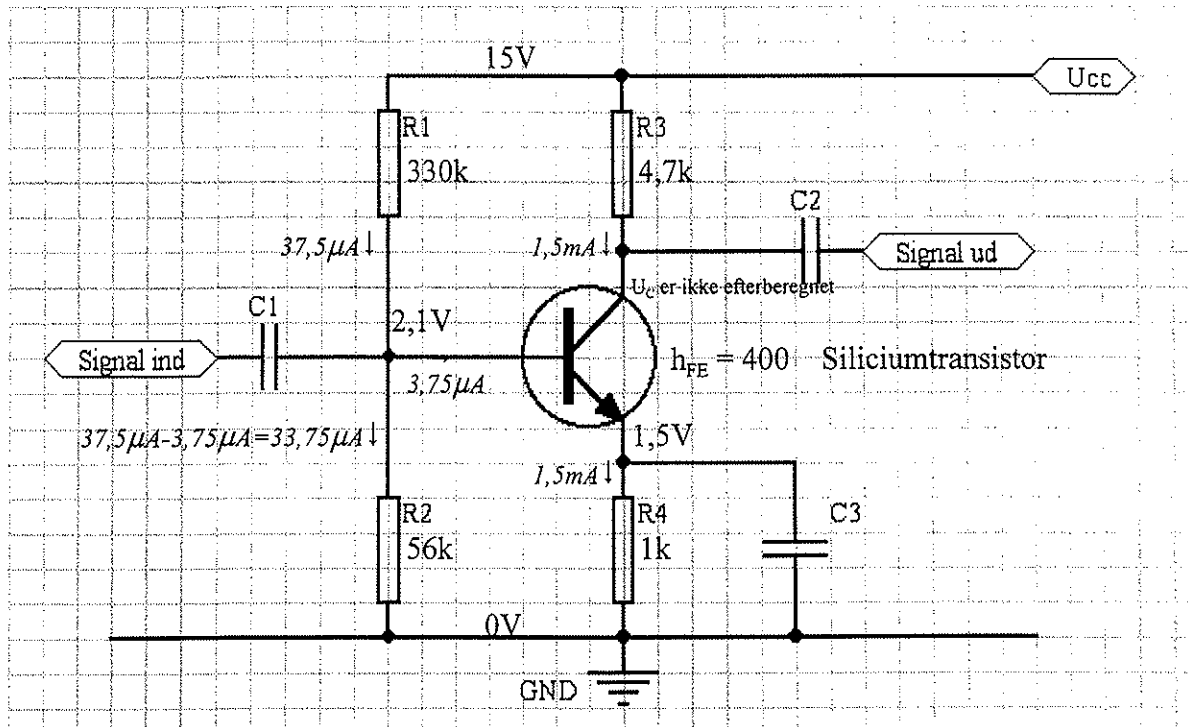
Strømmen gennem R1 fastlægges ud fra tommelfingerreglerne.

Forstærkeren dimensioneres til størst mulige signal uden klipning.

Modstandsværdier vælges af E12 rækken. *Kondensatorerne skal ikke dimensioneres!*

Den bipolare transistors DC-forhold. Dimensionering.

2



Forstærkeren er dimensioneret ud fra følgende krav:

Collectorstrømmen vælges til 1,5 mA

Strømførstærkningen h_{FE} for transistoren er 400

Forsyningsspændingen U_{CC} er 15 V

Spændingen over emittermodstanden R_4 fastlægges ud fra tommelfingerreglerne.

Strømmen gennem R_1 fastlægges ud fra tommelfingerreglerne.

Forstærkeren dimensioneres til størst mulige signal uden klipping.

Modstandsværdier vælges af E12 rækken. *Kondensatorerne skal ikke dimensioneres!*

$$U_E \text{ sættes til } 10\% \text{ af } U_{CC}: R_4 = R_E = \frac{10\% U_{CC}}{I_E} \approx \frac{10\% U_{CC}}{I_C} = \frac{0,1 \cdot 15V}{1,5mA} = 1k\Omega \quad (E_{12})$$

$$U_{R_2} = U_B = U_E + U_{BE} = 1,5V + 0,6V = 2,1V$$

$$U_{R_1} = U_{CC} - U_{R_2} = 15V - 2,1V = 12,9V$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1,5mA}{400} = 3,75\mu A$$

Strømmen gennem R_1 - R_2 vælges til $10 \cdot I_B$:

$$I_{R_1-R_2} = 10 \cdot I_B = 10 \cdot 3,75\mu A = 37,5\mu A$$

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{R_1-R_2}} = \frac{12,9V}{37,5\mu A} = 344k\Omega \quad \text{valgt } 330k\Omega \quad (E_{12})$$

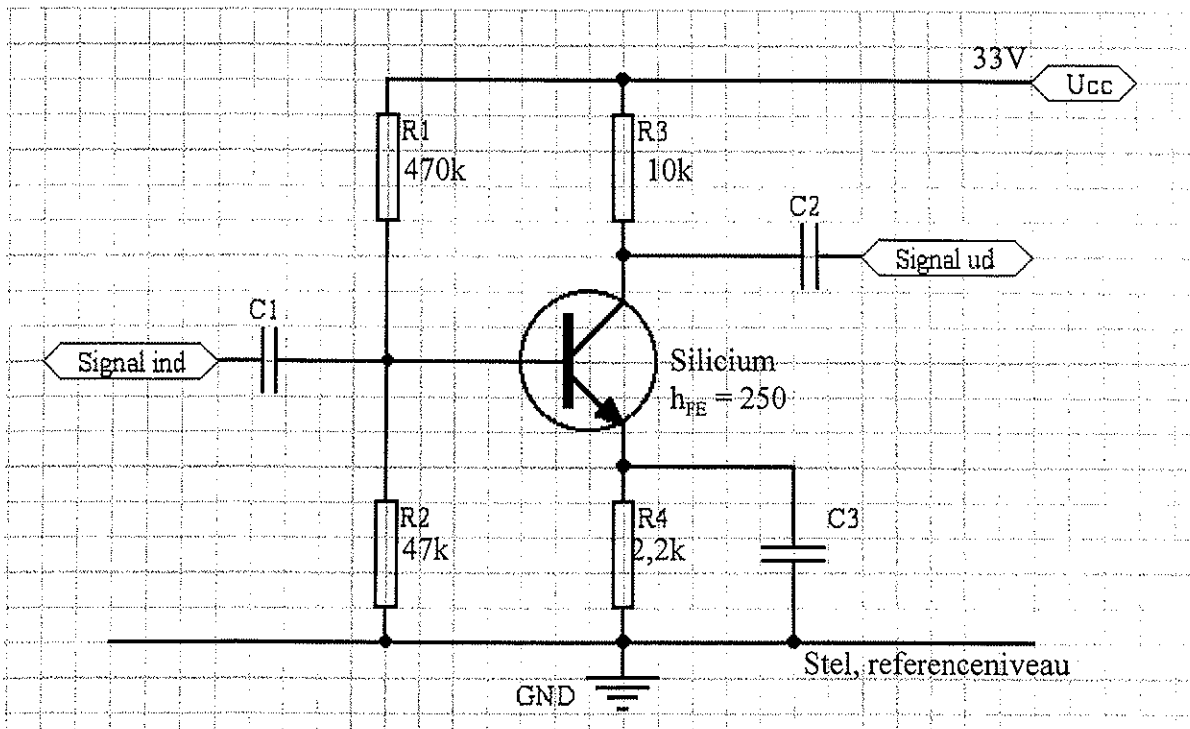
$$R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_{R_1-R_2}} = \frac{2,1V}{37,5\mu A} = 56k\Omega \quad (E_{12})$$

(Der er ikke i denne beregningsmåde taget hensyn til I_B . Se diagrammet.)

R_3 beregnes til "half supply":

$$R_3 = R_C = \frac{1/2(U_{CC} - U_E)}{I_C} = \frac{1/2 \cdot (15V - 1,5V)}{1,5mA} = 4,5k\Omega \quad \text{valgt } 4,7k\Omega \quad (E_{12})$$

Den bipolare transistors DC-forhold. - Et eksisterende kredsløb.



Komponentværdierne er noteret på diagrammet.

Alle spændinger og strømme beregnes!
Undersøg om opstillingen indfrier vore tommelfingerregler.

Spændingsdeling $R_1 \rightarrow R_2$:
(der ses bort fra I_B)

$$U_B = U_{R_2} = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 33V \cdot \frac{47k}{470k + 47k} = 3V$$

Silicium: $U_{BE} \sim 0,6V$:

$$U_E = U_{R_4} = U_B - U_{BE} = 3V - 0,6V = 2,4V$$

Emitterstrøm:

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{2,4V}{2,2k} = 1,09mA$$

Emitterstrøm ~ collectorstrøm: $I_C \sim 1,09 mA$ (ved en h_{FE} på 250 er afvigelsen 0,4%)

Basestrøm:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1,09mA}{250} = 4,36\mu A$$

Strømmen igennem spændingsdeleren beregnes til kontrol:

$$I_{R_1-R_2} = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{33V}{470k + 47k} = 63,8\mu A$$

Idet $I_{R_1 \rightarrow R_2}$ findes større end $10 \times I_B$, var det OK at se bort fra I_B i de ovenstående beregninger.

Spænding over collectormodstanden:

$$U_{R_C} = U_{R_3} = I_C \cdot R_3 = 1,09mA \cdot 10k = 10,9V$$

Collectorspænding (i forhold til stel):

$$U_C = U_{CC} - U_{R_3} = 33V - 10,9V = 22,1V$$

Spænding over transistoren: $U_{CE} = U_C - U_E = 22,1V - 2,4V = 19,7V$

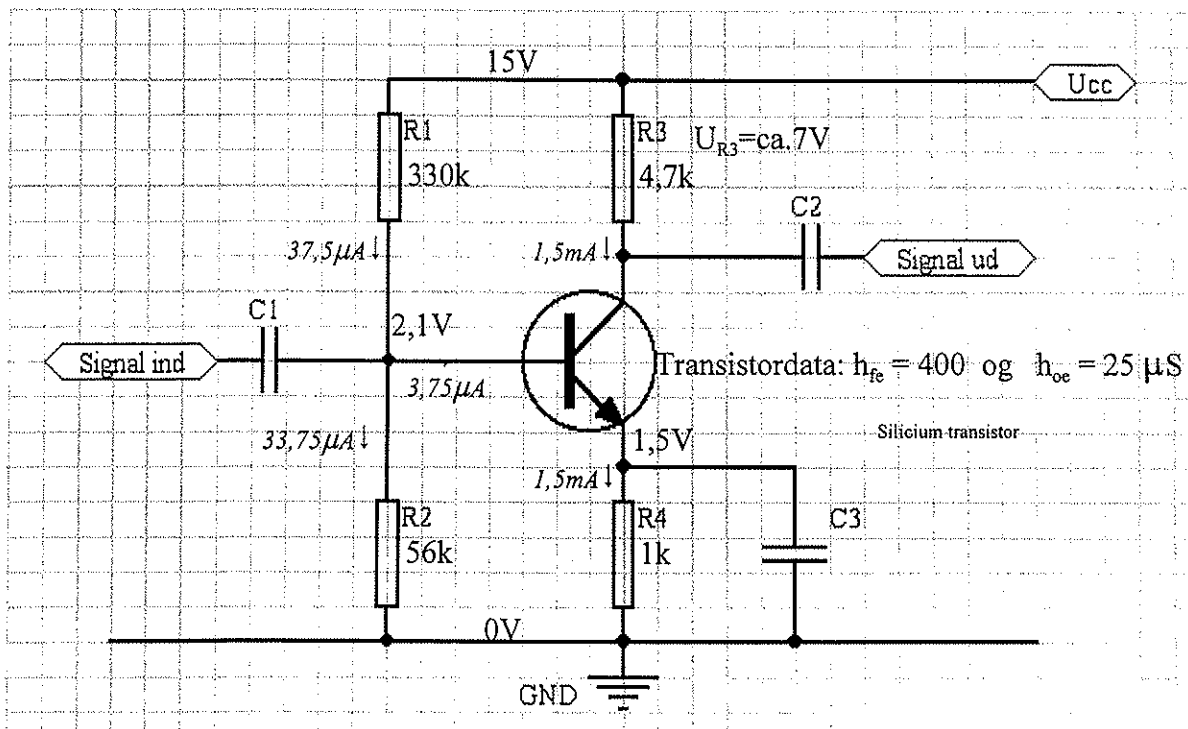
Effektafsætning:

$$P_{transistor} = U_{CE} \cdot I_C = 19,7V \cdot 1,09mA = 21,47mW$$

Tommelfingerregel-check:

$I_{R_1 \rightarrow R_2}$ på mindst $10 \times I_B$	☺	OK!
U_E er cirka 10% af U_{CC}	☹	Kun meget tilnærmet!
U_{R_C} er cirka $\frac{1}{2}U_{CC}$	☹	Ikke opfyldt!

Den bipolare transistors AC-forhold. Beregning af AC-data.



Beregn det ovenstående forstærkertrins AC data:

$$\text{Transistorens dynamiske emitterimpedans } r_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{1,5 \text{ mA}} = 16,7\Omega$$

$$\text{Transistorens indgangsimpedans } h_{ie} = h_{fe} \cdot r_e = 400 \cdot 16,7\Omega = 6,68 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Transistorens collectorimpedans } 1/h_{oe} = \frac{1}{25 \mu \text{ Siemens}} = 40 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Forstærkerens indgangsimpedans } Z_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel (h_{fe} \cdot r_e) = 330\text{k} \parallel 56\text{k} \parallel (400 \cdot 16,7) = 5,86 \text{ k}\Omega$$

(R_E skal ikke med, da den er afkoblet af C_3)

$$\text{Forstærkerens udgangsimpedans } Z_{out} = R_3 \parallel \frac{1}{h_{oe}} = 4,7\text{k} \parallel 40\text{k} = 4,2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Forstærkerens emitterimpedans } Z_E = R_4 \parallel \left(r_e + \frac{R_1 \parallel R_2}{h_{fe}} \right) = 1\text{k} \parallel \left(16,7 + \frac{330\text{k} \parallel 56\text{k}}{400} \right) = 120\Omega$$

(der ses bort fra C_3 ved beregning af Z_E)

$$\text{Forstærkerens spændingsforstærkning } A_U = \frac{R_3 \parallel \frac{1}{h_{oe}}}{r_e} = \frac{4,7\text{k} \parallel 40\text{k}}{16,7\Omega} = \text{ca. } 252 \text{ gange } (48 \text{ dB})$$

$$\text{Størst mulige uklippede udgangssignal: } u_{out} = 13,5 \text{ V}_{pp} \text{ (kan max. variere fra ca. } 1,5\text{V til } 15\text{V, midtpunkt omkring } 8\frac{1}{4}\text{V)}$$

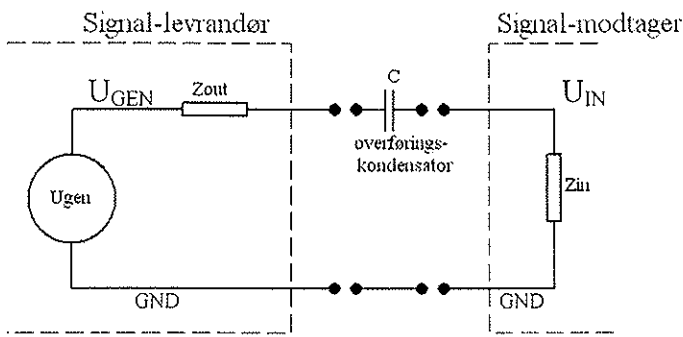
$$\text{Effektiv-værdien beregnes: } \frac{1}{2} \cdot 13,5\text{V} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \text{ca. } 4,7\text{V}_{RMS}$$

Indledning til transistorers AC-forhold

Af hensyn til dimensionering af overføringskondensatorer mv. er det nødvendigt at kende transistorernes indgangs- og udgangsimpedanser. Overgangsfrekvensen f_0 findes, hvor $X_C = R_{total}$.

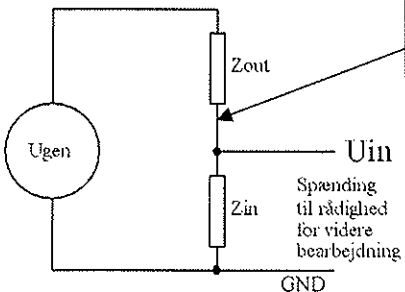
Hver kondensator giver **én** overgangsfrekvens.

Generelt har vi en spændingsdeler således:



I diagrameksemplet her er $R_{total} = Z_{out} + Z_{in}$

Leverer generatoren en frekvens, der er (meget) større end overgangsfrekvensen f_0 , får vi en simpel spændingsdeler:



Kondensatoren sidder her. $X_c \rightarrow 0\Omega$ ved $f \gg f_0$.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

hvor $U_{IN} = U_{GEN} \cdot \frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_{out}}$

GND

Leverer generatoren en frekvens omkring f_0 eller mindre end f_0 , spiller kondensatorens reaktans X_C en større og større rolle, desto lavere frekvensen er:

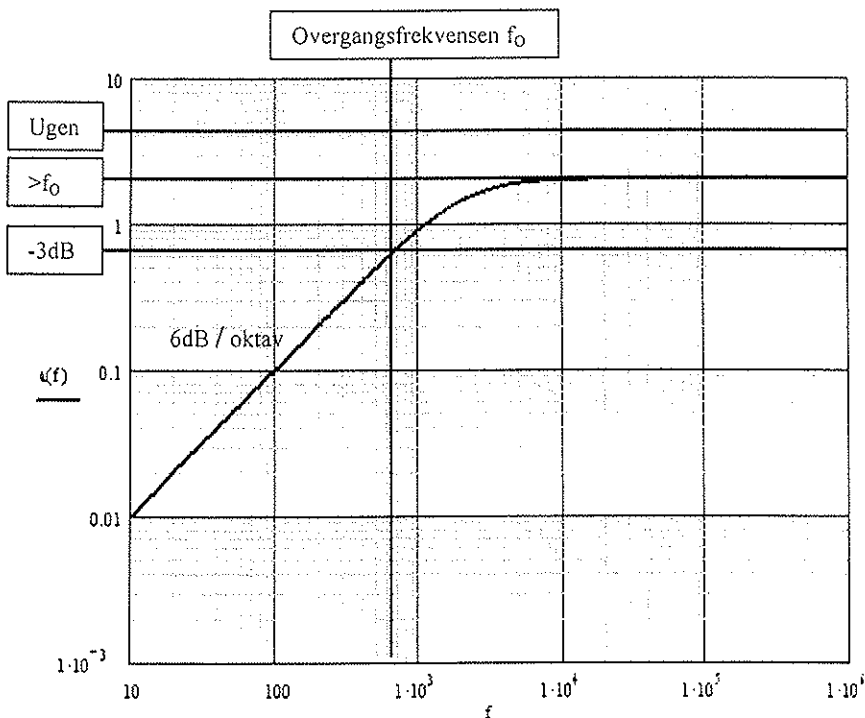
$U_{IN} = U_{GEN} \cdot \frac{Z_{in}}{\sqrt{(Z_{in} + Z_{out})^2 + X_C^2}}$ Heraf kan ses, at (meget) stor X_C giver (meget) lille U_{IN} .

Her er vist en frekvenskurve, også kaldet et **Bode-Plot**.

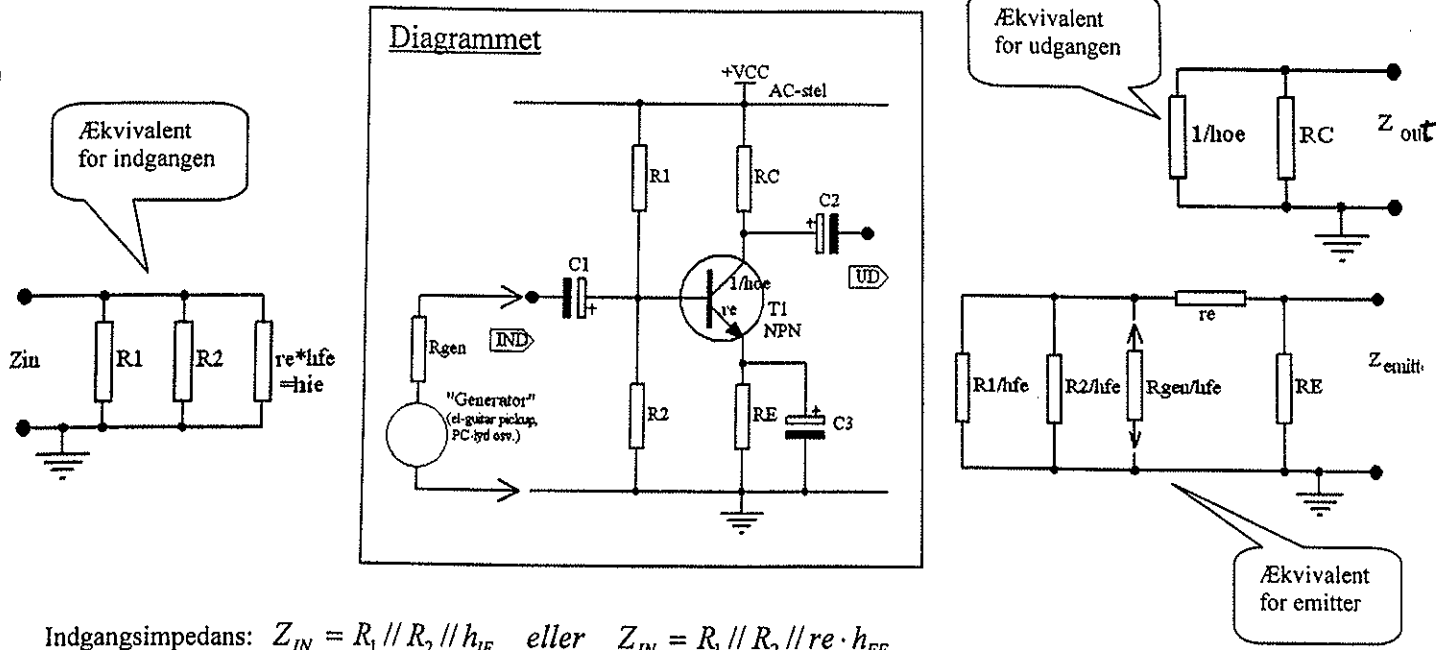
Bemærk, at begge akser er logaritmisk inddelt.

Reaktansformel:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$



AC-forhold, Jordet-Emitterkobling med afkoblet emittermodstand:



Indgangsimpedans: $Z_{IN} = R_1 // R_2 // h_{iE}$ eller $Z_{IN} = R_1 // R_2 // re \cdot h_{FE}$

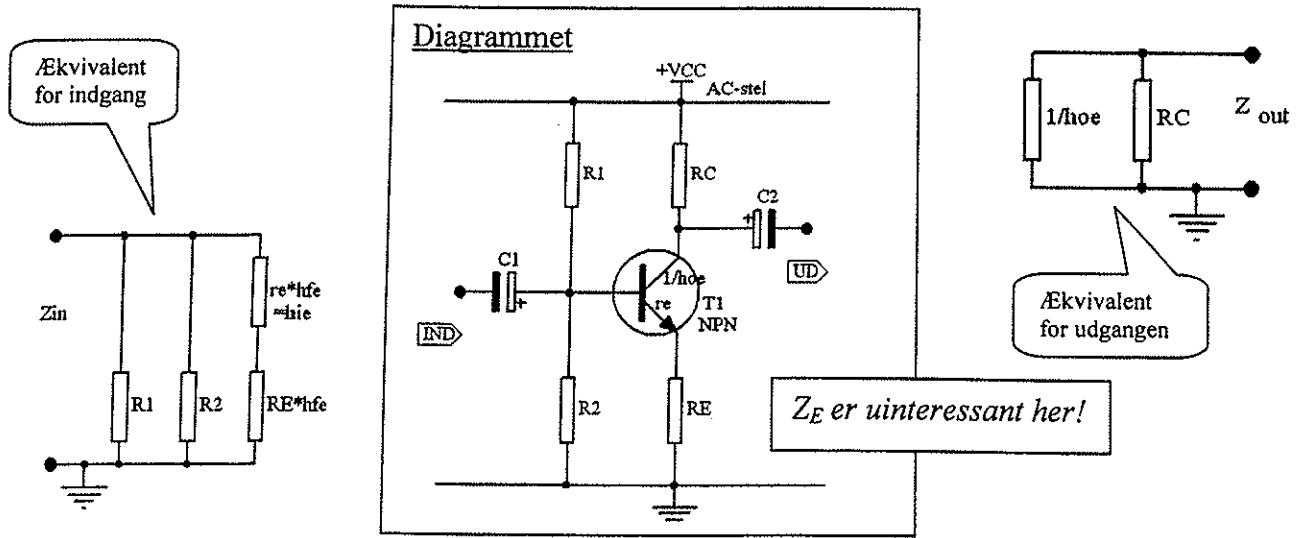
Udgangsimpedans: $Z_{OUT} = R_C // \frac{1}{h_{oe}}$ Tilnærmet udgangsimpedans: $Z_{OUT} \cong R_C$

Emitterimpedans = den impedans, CE skal afkoble: $Z_E = R_E // \left(re + \frac{R_1 // R_2 // R_{gen}}{h_{FE}} \right)$

$$re = \frac{25mV}{I_E}$$

Spændingsforstærkning: $A_U = \frac{R_C // \frac{1}{h_{oe}}}{re}$ Tilnærmet spændingsforstærkning: $A_U \cong \frac{R_C}{re}$

AC-forhold, Jordet-Emitterkobling - uden afkoblet emittermodstand:



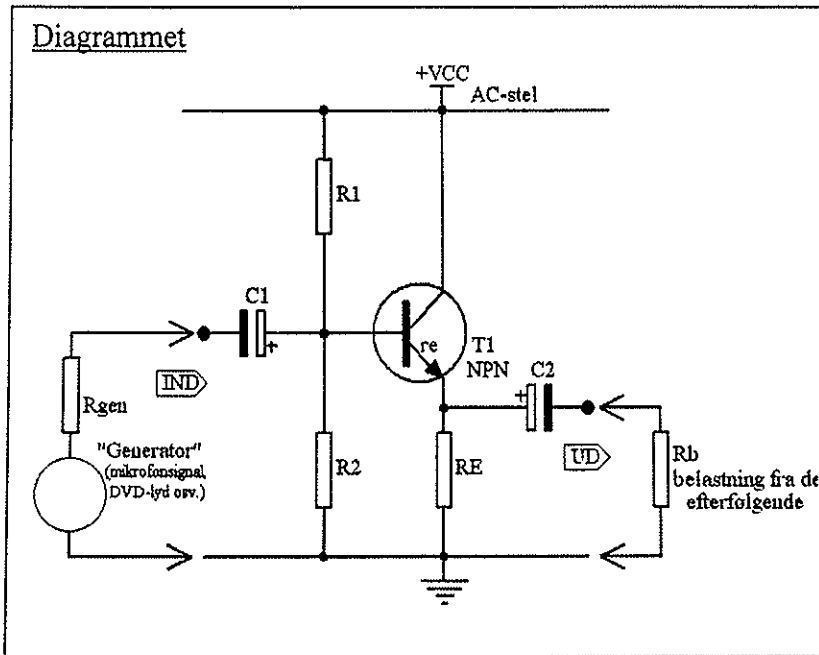
Indgangsimpedans: $Z_{IN} = R_1 // R_2 // [h_{fe} \cdot (re + R_E)]$

Udgangsimpedans som ovenfor: $Z_{OUT} = R_C // \frac{1}{h_{oe}}$ eller $Z_{OUT} \cong R_C$

$$re = \frac{25mV}{I_E}$$

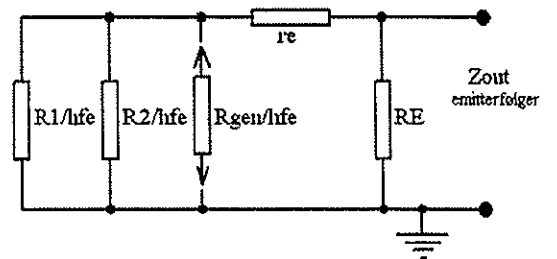
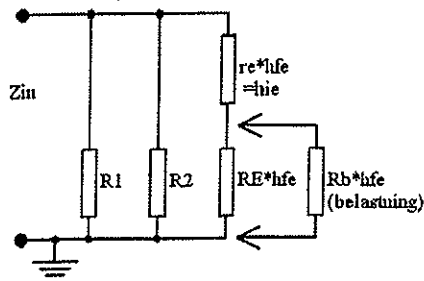
Spændingsforstærkning: $A_U = \frac{R_C // \frac{1}{h_{oe}}}{re + R_E}$ eller tilnærmet: $A_U \cong \frac{R_C}{R_E}$

Jordet-Collectorkobling (også kaldet emitterfølger)



Ækvivalent for indgangen

Ækvivalent for udgangen



Indgangsimpedans: $Z_{IN} = R_1 // R_2 // [h_{fe} \cdot (re + R_E // R_b)]$

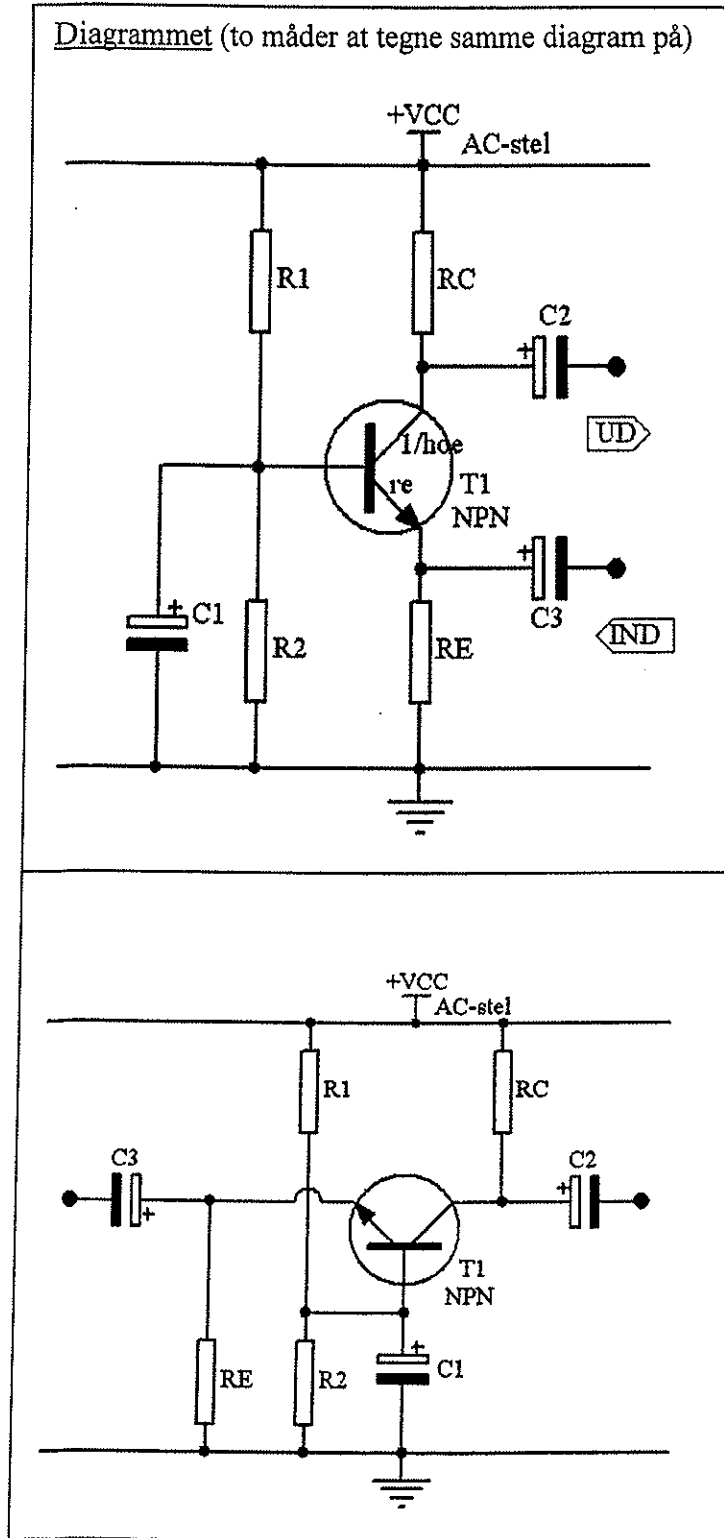
Udgangsimpedans: $Z_{OUT} = R_E // \left[re + \frac{R_1 // R_2 // R_{GENERATOR}}{h_{fe}} \right]$

Spændingsforstærkning: $A_U = \frac{R_E}{R_E + re}$

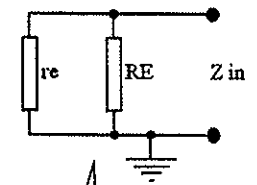
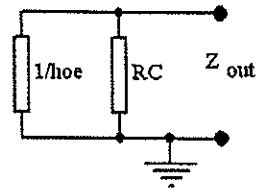
Spændingsforstærkningen er altid under 1 for emitterfølgeren.

På grund af en ret høj Z_{IN} og en ret lav Z_{OUT} anvendes forstærkeren som "buffertrin" (den præsterer en strøm- og effektforstærkning)

AC-forhold, Jordet-Basekobling



Ækvivalent for udgangen



Ækvivalent for indgangen

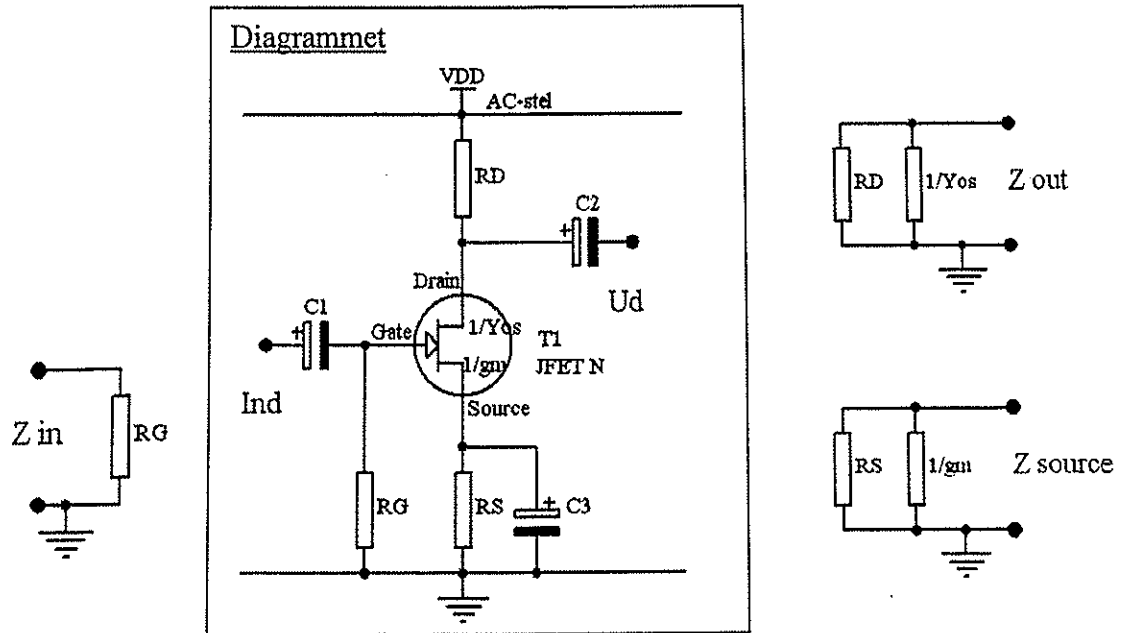
Indgangsimpedans: $Z_{IN} = r_e \parallel R_E$ (og den er meget lav)

Udgangsimpedans: $Z_{OUT} = R_C \parallel \frac{1}{h_{oe}}$ eller $Z_{OUT} \cong R_C$

Spændingsforstærkning: $A_U = \frac{R_C \parallel \frac{1}{h_{oe}}}{R_E + r_e}$ eller $A_U \cong \frac{R_C}{R_E}$

Forstærkeren har gode HF-egenskaber.

AC-forhold, Jordet-Sourcekobling *med* afkoblet sourcemodstand:



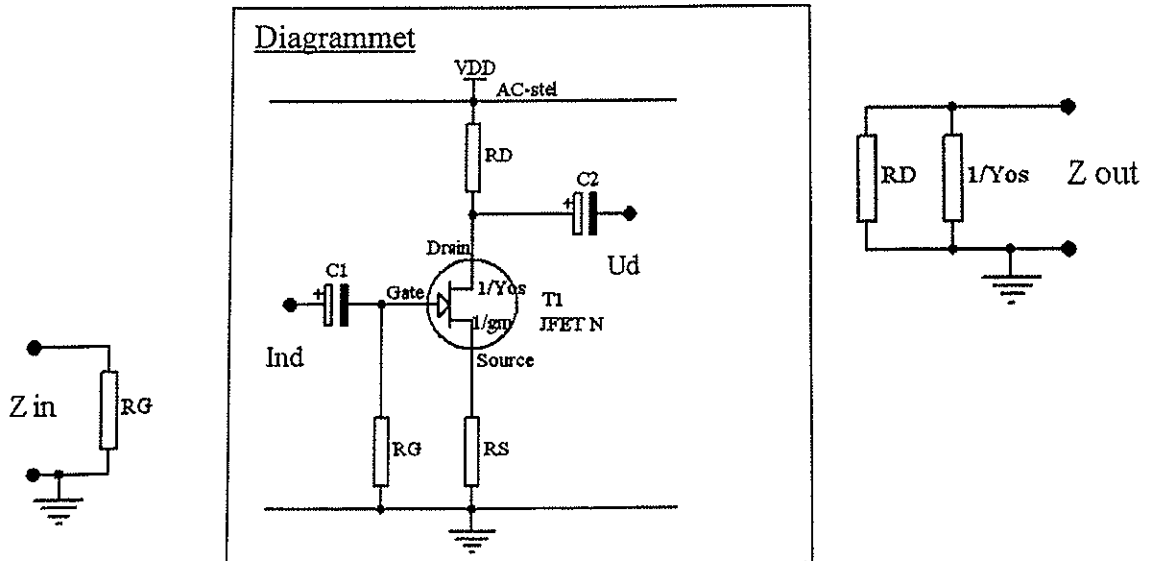
Indgangsimpedans: $Z_{IN} = R_G$

Udgangsimpedans: $Z_{OUT} = R_D \parallel \frac{1}{Y_{OS}}$ Tilnærmelse: $Z_{OUT} \cong R_D$

C₃ skal afkoble source-impedansen: $Z_{SOURCE} = R_S \parallel \frac{1}{gm}$

Spændingsforstærkning: $A_U = gm \cdot \left(R_D \parallel \frac{1}{Y_{OS}} \right)$ Tilnærmelse: $A_U = gm \cdot R_D$

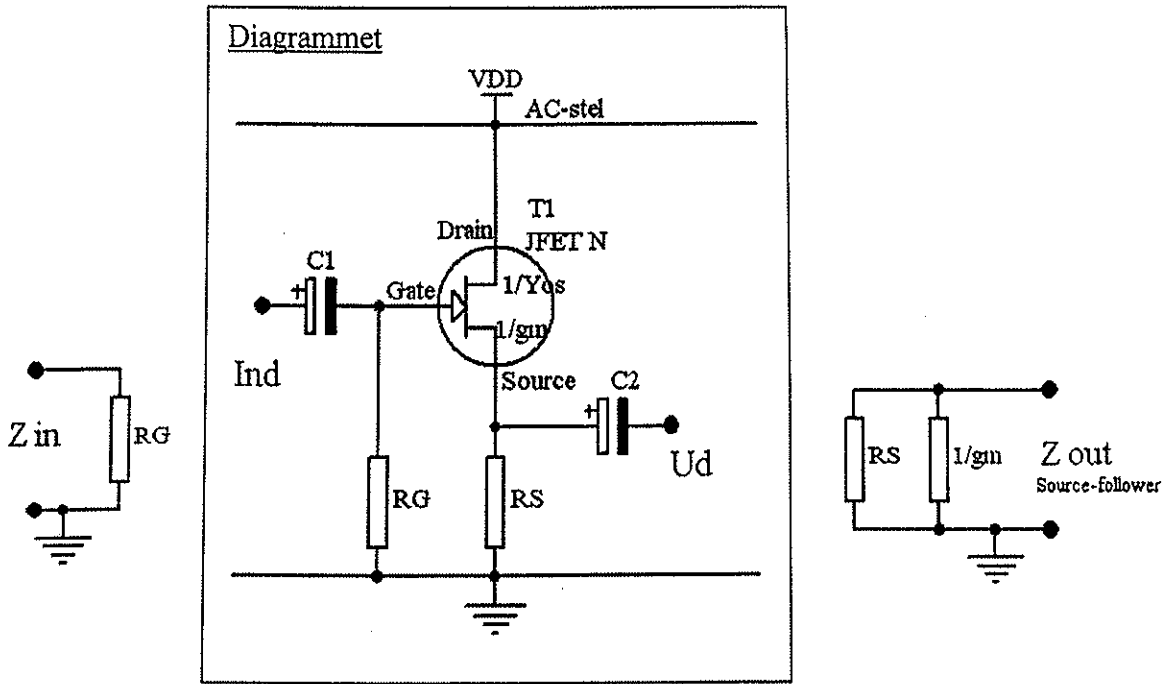
AC-forhold, Jordet-Sourcekobling *uden* afkoblet sourcemodstand:



Indgangsimpedans og udgangsimpedans som ovenfor.

Spændingsforstærkning: $A_U = \frac{R_D \parallel \frac{1}{Y_{OS}}}{R_S + \frac{1}{gm}}$ Tilnærmelse: $A_U \cong \frac{R_D}{R_S}$

AC-forhold, Jordet-Drainkobling (Source-follower)

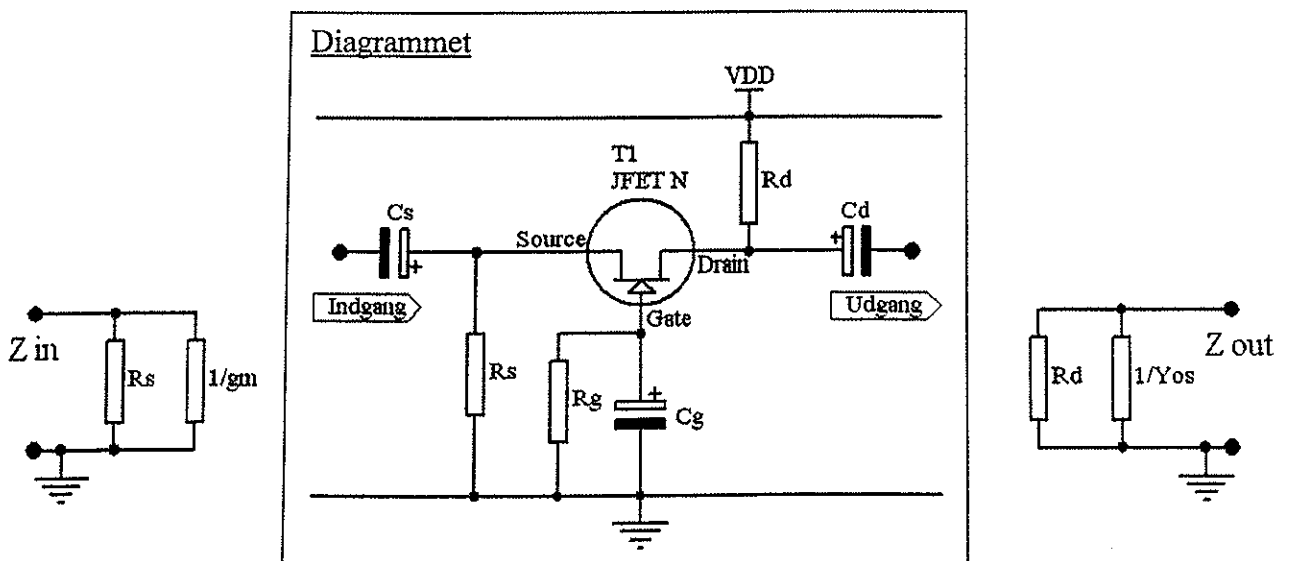


Indgangsimpedans: $Z_{IN} = R_G$

Udgangsimpedans: $Z_{OUT} = R_S // \frac{1}{g_m}$

Spændingsforstærkning: $A_U = \frac{R_S}{R_S + \frac{1}{g_m}}$ (Spændingsforstærkning < 1)

AC-forhold, Jordet-Gatekobling:



Indgangsimpedans:

$$Z_{IN} = R_S // \frac{1}{g_m}$$

Udgangsimpedans:

$$Z_{OUT} = R_D // \frac{1}{Y_{OS}} \cong R_D$$

Spændingsforstærkning:

$$A_U = \frac{R_D // \frac{1}{Y_{OS}}}{R_S + \frac{1}{g_m}}$$