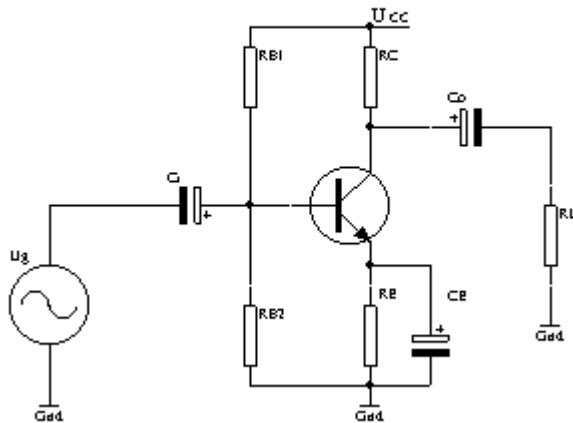


Formel samling  
Opdateret  
14. juni 2004

<http://www.dsel.dk>

# Transistor

## Jordet emitterkobling JE.



R<sub>in</sub> middel

R<sub>out</sub> middel

A<sub>u</sub> stor

A<sub>i</sub> stor

Fasedrej 180°

AC modstanden i base-emitterdioden:

$$r_e \approx \frac{1}{40 \cdot I_E} \approx \frac{25\text{m}}{I_E}$$

$$h_{ie} = r_e \cdot (h_{fe} + 1) \approx r_e \cdot h_{fe}$$

Spændingsforstærkning:

$$A_u = - \frac{R_C // \frac{1}{h_{oe}} // R_L}{r_e + R_E} \approx - \frac{R_C}{r_e + R_E}$$

Minustegnet angiver, at der er 180° fasedrejning. Hvis emittermodstanden er afkoblet med CE er R<sub>E</sub> = 0 ohm.

Indgangsimpedans:

$$R_{\text{in}} = (h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot R_E) // R_{B1} // R_{B2}$$

$$R_{\text{in}} \approx R_{B1} // R_{B2} // (r_e + R_E) \cdot h_{fe}$$

Udgangsimpedans:

$$R_o = R_C // \frac{1}{h_{oe}} \approx R_C$$

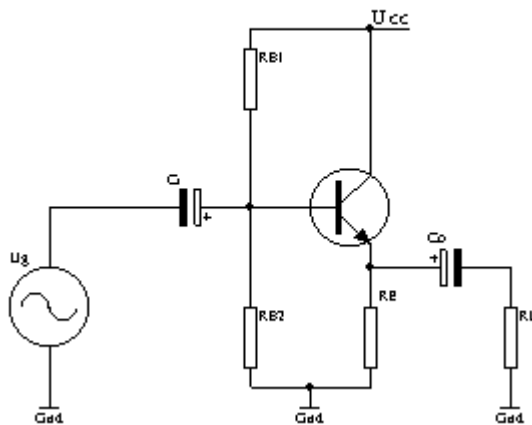
Nedre grænsefrekvens for Ci, Co og C<sub>E</sub>:

$$f_{o_{Ci}} = \frac{1}{2\pi \cdot C_i \cdot (R_g + R_{in})}$$

$$f_{o_{Co}} = \frac{1}{2\pi \cdot C_o \cdot (R_L + R_o)}$$

$$f_{o_{CE}} = \frac{1}{2\pi \cdot C_E \cdot R_E // \left( r_e + \frac{R_{B1} // R_{B2} // R_g}{h_{fe}} \right)}$$

## Jordet collector JC emitterfølger.



$R_{in}$  stor

$R_{out}$  lille

$A_u$  næsten 1

$A_i$  stor

Fasedrej  $0^\circ$

$h_{ie}$  og  $r_e$  findes som ved JE.

$$R_E' = R_E // R_L$$

Spændingsforstærkning:

$$A_u = \frac{(h_{fe} + 1) \cdot R_E'}{h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot R_E'} \approx \frac{R_E'}{R_E' + r_e} \approx 1$$

Indgangsimpedans:

$$R_{in} = R_{B1} // R_{B2} // (h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot R_E')$$

$$R_{in} \approx R_{B1} // R_{B2} // (r_e + R_E') \cdot h_{fe}$$

Udgangsimpedans:

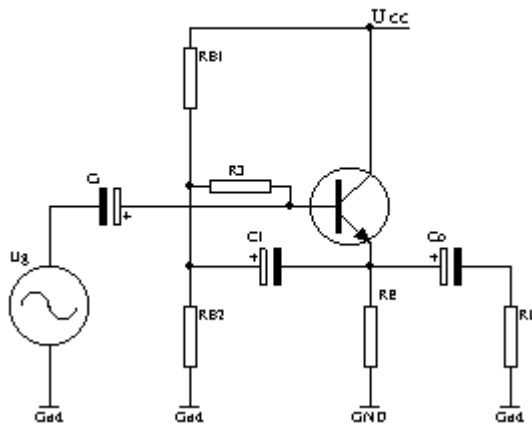
$$R_u = \left( \frac{h_{ie} + R_G // R_{B1} // R_{B2}}{h_{fe} + 1} \right) // R_E$$

$$R_u \approx R_E // \left( r_e + \frac{R_G // R_{B1} // R_{B2}}{h_{fe}} \right)$$

$$R_u \approx R_E // r_e$$

## Boot-strap.

For at øge indgangsimpedansen kan bootstrap.



R<sub>3</sub> optræder som en meget stor modstand set fra generatoren R<sub>3</sub>'.

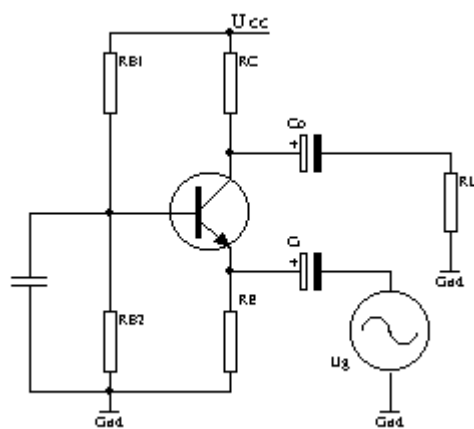
$$R_3' = R_3 \cdot \frac{1}{1 - A}$$

Indgangsimpedans:

$$R_{in} = R_3' // (h_{ie} + R_E' (h_{fe} + 1))$$

$$R_{in} \approx R_3' // (r_e + R_E') \cdot h_{fe}$$

## Jordet base JB.



Rin lille

Rout stor

Au stor

Ai næsten 1

Fasedrej  $0^\circ$

Spændingsforstærkning:

$$A_u = \frac{R_c // \frac{1}{h_{ob}} // R_L}{r_e}$$

Indgangsimpedans:

$$R_{in} = R_E // h_{ib} \approx R_E // r_e$$

Udgangsimpedans:

$$R_u = R_c // \frac{1}{h_{ob}} \approx R_c$$

## H-parametre.

Forkortelser:

- i = input
- r = reverse
- f = forward
- o = output
- e = jordet emitter
- c = jordet kollektor
- b = jordet base

$$h_{ie} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \quad [U_{CE} \text{ konstant}]$$

$h_{ie}$  er et udtryk for transistorens indgangsimpedans, måles i ohm.

$$h_{re} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \quad [I_B \text{ konstant}]$$

$h_{re}$  er et ubenævnt tal og kaldes tilbageføringsfaktoren.

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad [U_{CE} \text{ konstant}]$$

$h_{fe}$  angiver strømforstærkningen i antal gange.

$$h_{oe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \quad [I_B \text{ konstant}]$$

$h_{oe}$  angiver udgangsadmittansen eller ledningsevnen, måles i siemens.

## Omregning mellem h-parametre for JE JC JB.

$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$

$$h_{rb} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$$

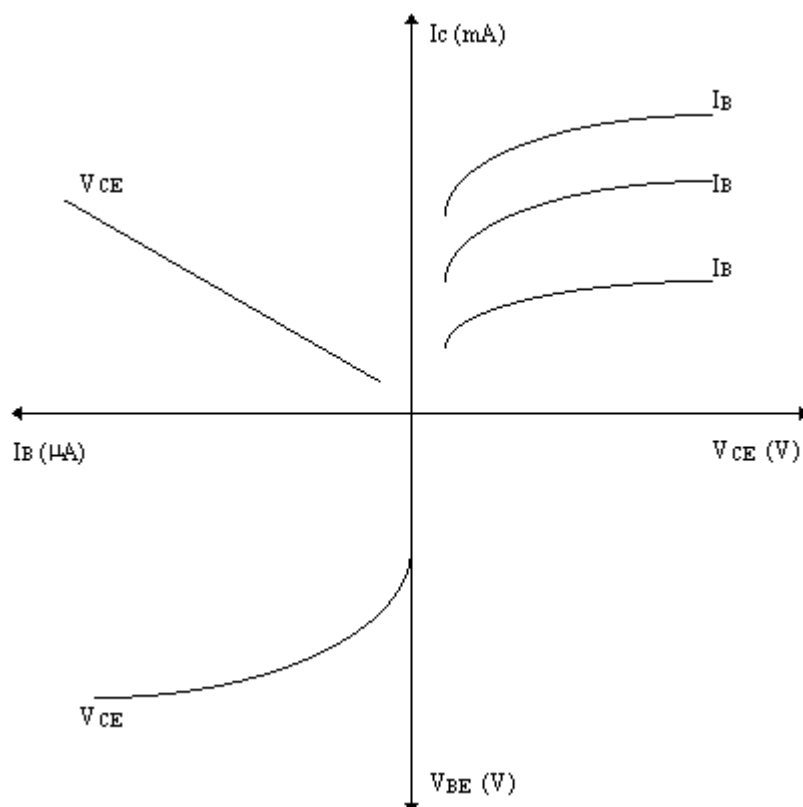
$$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$$

$$h_{ic} = h_{ie}$$

$$h_{fc} = -(1 + h_{fe})$$

$$h_{oc} = h_{oe}$$

## Transistorens karakteristikker.

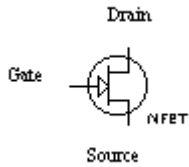




# Field effect transistor

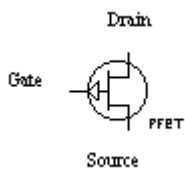
Der findes to typer Field effect transistorer, N-kanal og P-kanal.

Diagramsymbol for N-kanal.



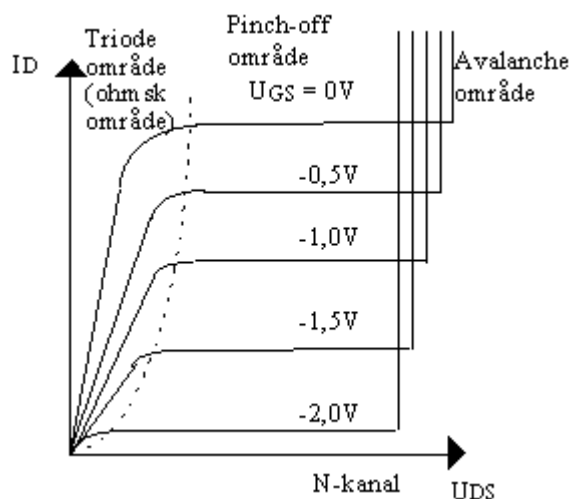
N-kanalen skal have en negativ spænding på gaten og en positiv spænding på drainen, i forhold til sourcen.

Diagramsymbol for P-kanal.



P-kanalen skal have en positiv spænding på gaten og en negativ spænding på drainen, i forhold til sourcen.

**Triode- og pinch-off område.**



I triodeområdet (det ohmske område) varierer drainstrømmen stærkt med drainspændingen, det medfører en lav udgangsmodstand i dette område. Fet'en kan her anvendes som en spændingsstyret modstand.

$$r_{out} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D}$$

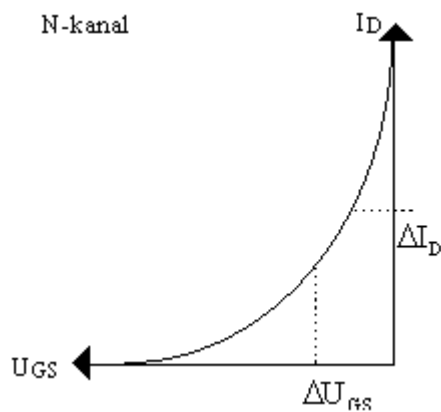
I pinch-off området  $I_D$  tilnærmelsesvis uafhængig af  $U_{DS}$ , det medfører en høj udgangsmodstand i dette område.

$$r_{out} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \rightarrow \infty$$

Strømmen  $I_D$  afhænger kun af gate-source spændingen i pinch-off området, hvilket anvendes når transistoren arbejder som spændingsforstærker.

### Stejlhed.

Komponentens stejlhed er et udtryk for drainstrømmens afhængighed af gate-sourcespændingen.



Stejlheden (Forward Transfer Admittance) forkortes  $g_m$ ,  $g_{fs}$  eller  $Y_{fs}$ .

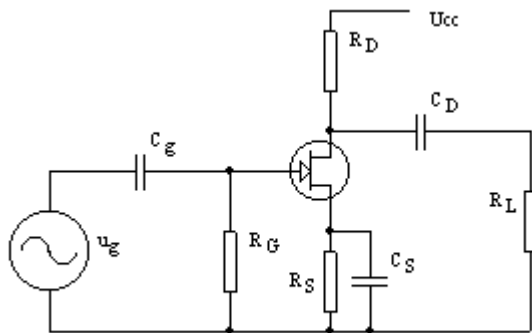
$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

### Udgangsadmittans.

Udgangsledningsevnen er forholdet mellem strømændringen i drain og spændingsændringen over drain-source og benævnes  $Y_{OS}$ .

$$Y_{OS} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{DS}}$$

## Jordet sourcekobling.



$R_s$  frembringer gate-sourceforspændingen, idet gaten holdes på stel ved hjælp af  $R_g$  og at  $R_s$  løfter sourcen fra stel, derved bliver  $U_{GS}$  negativ.

De nedre grænsefrekvenser  $f_n$ , for de enkelte kondensatorer, findes ved:

$$f_{n \ C_g} = \frac{1}{2\pi \cdot C_g \cdot R_g}$$

Hvis det tilsluttet generators udgangsimpedans er stor, skal den adderes til  $R_g$  i formlen

$$f_{n \ C_D} = \frac{1}{2\pi \cdot C_D \cdot \left( R_L + \left( R_D // \frac{1}{Y_{os}} \right) \right)}$$

$$f_{n \ C_s} = \frac{1}{2\pi \cdot C_s \cdot \left( R_s // \frac{1}{g_m} \right)}$$

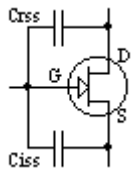
Ved konstruktions beregning vil man dimensionere kondensatorene 10 gange større, end beregnet med ovenstående formler.

Spændingsforstærkningen findes ved:

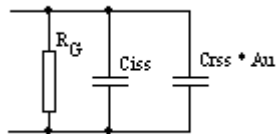
$$A_u = \frac{R_D // R_L \cdot \frac{1}{Y_{os}}}{r_s + R_s}$$

$$r_s = \frac{1}{g_m}$$

$Z_{in}$  er ved lave frekvenser lig med  $R_G$ . Ved højere frekvenser skal der tages hensyn til kapaciteterne  $C_{rss}$  og  $C_{iss}$ .



$C_{rss}$  antager en værdi, som set fra gaten, er spændingsforstærkningen støv.



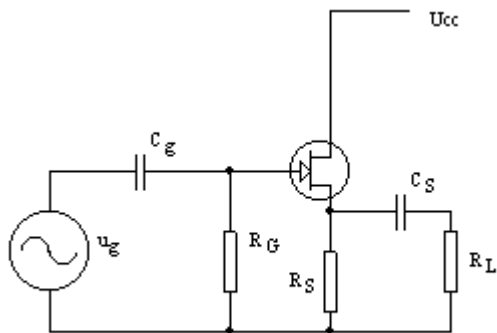
$Z_{in}$  bliver da:

$$Z_{in} = X_{C_{iss}} // X_{C_{rss}} \cdot A_v // R_G$$

$Z_{out}$  findes ved:

$$Z_{out} = R_D // \frac{1}{Y_{os}} \approx R_D$$

## Jordet drain (sourcefølger).



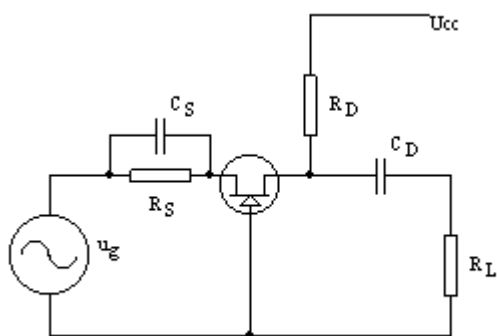
Spændingsforstærkningen findes ved:

$$A_u = \frac{R_S \parallel R_L}{r_s + R_S \parallel R_L}$$

$Z_{out}$  findes ved:

$$Z_{out} = r_s \parallel R_S$$

## Jordet gate.



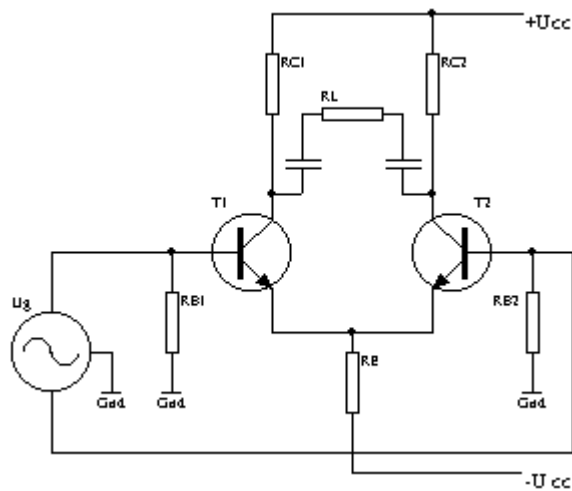
## Karakteristiske data.

$V_{DS}$	den maksimale spænding mellem drain og source.
$V_{DG}$	den maksimale spænding mellem drain og gate.
$V_{GS(V)}$	den maksimale spænding, der må påtrykkes gate-source dioden i spærreretningen.
$I_G$	den maksimale strøm, der må løbe i gatetilledningen, når gate-source dioden er forspændt i lederetningen.
$P_D$	den største effekt, der må afsættes i FET'en, er ofte angivet ved en bestemt temperatur. TA.
$T_J$	den største temperatur, krystallet må antage ved drift.
$T_{stg}$	det temperatur område, hvor FET'en kan lagres, uden den er tilsluttet.
$I_{DSS}$	drainstrømmen ved nul volt gatespænding og med en specificeret $U_{DS}$ værdi
$B V_{GSS}$	gate-source break down spænding lig med maks. styrespænding, der må påtrykkes FET'en.
$B V_{GDS}$	gate-drain break down spænding.
$V_{GS}$	den påkrævede styrespænding på gaten, der skal til for at opnå en angivet strøm ved en specificeret DS spænding.
$V_P$	gate-source pinch-off spænding dvs. den gatespænding hvor $I_D$ er reduceret til en angivet mindste værdi.
$I_{GSS}$	gate reverse strøm dvs. gatespærrestrømmen målt ved en specificeret gatespænding og kortsluttet drain-source.

# Differentialforstærker

## Differens mode.

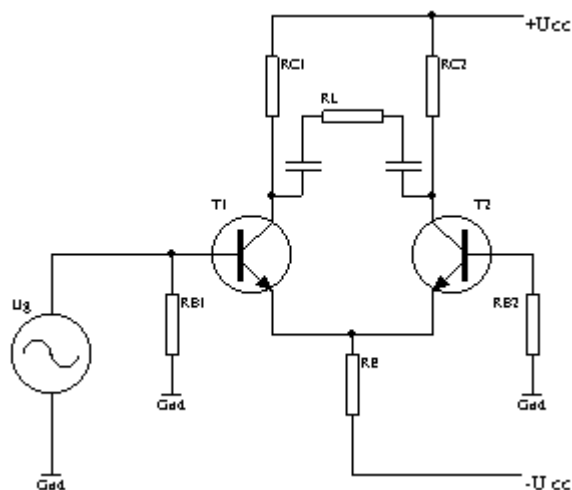
Balanceret differens mode indgangssignal.



Indgangsimpedans:

$$Z_{in} = (2 \cdot h_{ie}) // (R_{B1} + R_{B2})$$

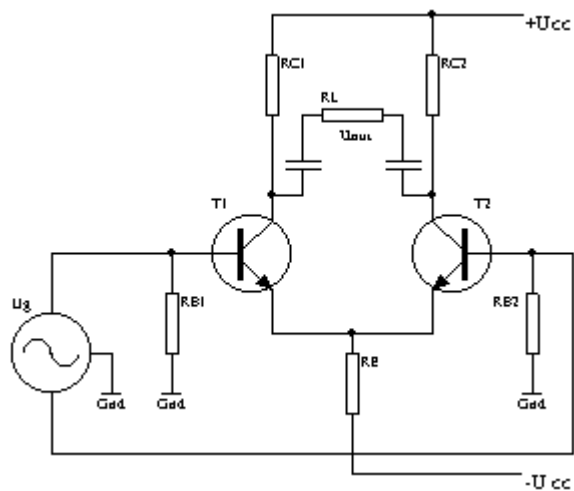
Ubalanceret differens mode indgangssignal.



Indgangsimpedans:

$$Z_{in} = R_{B1} // (2 \cdot h_{ie} + R_{B2})$$

Balanceret differens mode udgangssignal.



Spændingsforstærkning:

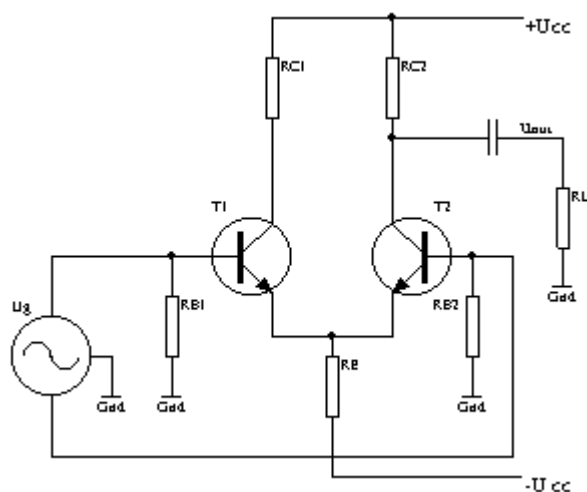
$$A_{u_{DM}} = 40 \cdot I_E \cdot \left( R_c // \left( \frac{R_L}{2} \right) // \frac{1}{h_{oe}} \right) ?$$

$$A_{u_{DM}} = 40 * I_E * \left( R_c // R_L // \frac{1}{hoe} \right)$$

Udgangsimpedans:

$$Z_{out_{DM}} = 2 \cdot \left( R_c // \frac{1}{h_{oe}} \right) \approx 2 \cdot R_c$$

Ubalanceret differens mode udgangssignal.





Spændingsforstærkning:

$$A_{u_{SE}} = 20 \cdot I_E \cdot \left( R_C // R_L // \frac{1}{h_{oe}} \right) ?$$

$$A_{u_{SE}} = 40 * I_E * \left( R_C // R_L // \frac{1}{h_{oe}} \right) * 0,5$$

Udgangsimpedans:

$$Z_{out_{SE}} = R_C // \frac{1}{h_{oe}} \approx R_C$$

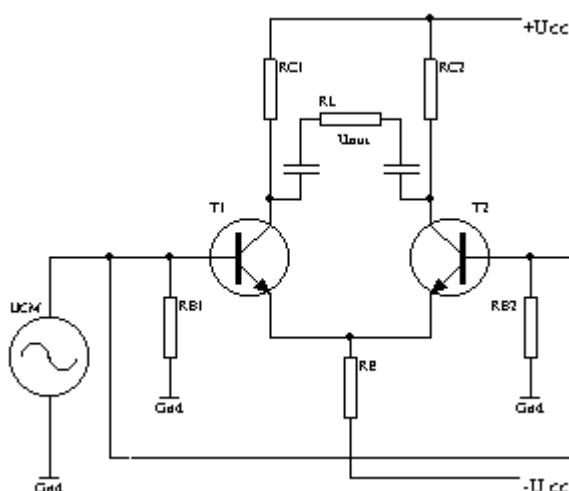
### Commen mode.

Et CM signal er ens (samme fase og amplitude) på baserne af T1 og T2, det kan f.eks. være brum opsamlet af ledninger. Ved en ubalanceret DM-indgang vil der ikke være nogen undertrykkelse af et CM-signal.

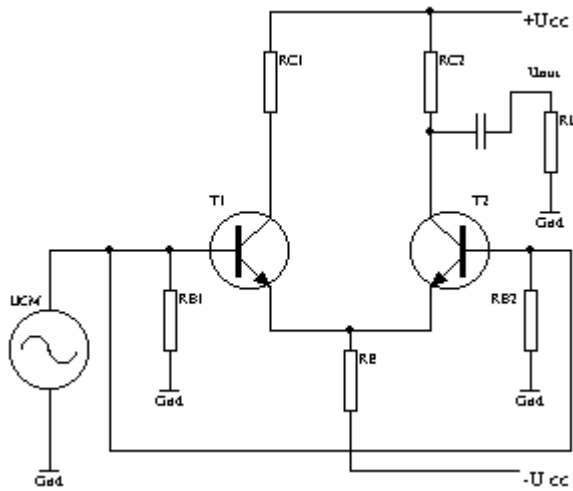
Indgangsimpedans for et CM-signal på en balanceret DM-indgang:

$$Z_{in_{CM}} = R_{B1} // R_{B2} // \left( \frac{1}{2} \cdot h_{ie} + R_E \cdot (1 + h_{fe}) \right)$$

$$Z_{in_{CM}} \approx R_{B1} // R_{B2} // (R_E \cdot h_{fe})$$



Commen mode signalet er 0 når der tages ud mellem kollektorerne. I praksis kan det dog ikke opnås.



Ved udtag mellem en kollektor og stel kan ACM beregnes.

$$A_{CM} = \frac{R_C // R_L // \frac{1}{h_{oe}}}{2 \cdot R_E}$$

### Commen mode rejection ration.

CMRR er forholdet mellem forstærkningen af et DM-signal og et CM-signal, normalt i dB.

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

$$CMRR \text{ dB} = 20 \cdot \log \left( \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right)$$

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

# Operationsforstærker

## Egenskaber:

- Høj råforstærkning  $10^4 - 10^7$
- Lav indgangsstrøm 1 - 1000nA
- Høj indgangsimpedans  $10^5 - 10^{11}\Omega$
- Lav udgangsimpedans 5k
- Stor båndbrede 0 - 100kHz

## Termer:

### *Input offset voltage*

er den DC spænding, der skal tilføres mellem input-terminalerne for at opnå 0 volt på udgangen.

### *Input offset current*

angiver forskellen mellem de to input-strømme ved en udgangsspænding på 0 volt.

### *Input bias current*

er middelværdien af de to input-strømme ved en udgangsspænding på 0 volt.

### *Input resistance*

er modstanden mellem input-terminalerne med en af terminalerne jordet.

### *Input voltage range*

er det spændingsområde, der må tilføres en af terminalerne for, at forstærkeren overholder de opgivne data.

### *Common-mode rejection ratio (CMRR)*

er forholdet mellem forstærkningen af et balanceret indgangssignal og et ubalanceret indgangssignal med samme udgangssignal.

### *Open loop voltage gain*

er DC forstærkningen fra indgang til udgang uden modkobling.

### *Open loop bandwidth*

er den båndbredde, der angives af et fald på 3dB i forhold til DC forstærkningen.

### *Unity-gain bandwidth*

er frekvensområdet hvor spændingsforstærkningen er større end 1.

### *Output impedance*

er impedansen mellem udgangsterminalen og stel.

### *Maximum peak-to-peak output voltage swing*

er den maksimale peak-to-peak udgangsspænding, der kan opstå uden klipning af udgangssignalet.

### *Power supply sensitivity*

angiver forholdet mellem ændringen i input offset spændingen i forhold til den ændring i spændingsforsøningen, som har forvoldt den.

### *Total power dissipation*

er den effekt, kredsløbet forbruger uden udgangsstrøm og spænding.

### **Slew rate.**

Slew rate er den maksimale spændingsændring på udgangen, som opgives af halvlederfabrikanterne i volt pr.  $\mu\text{S}$ .

Jo større amplituden er, des større spændingsændring pr. tidsenhed.

Jo større frekvensen er, des større spændingsændring pr. tidsenhed.

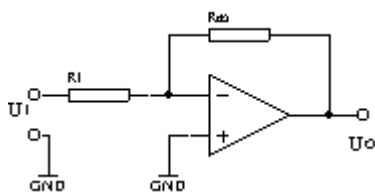
For en sinusspænding er spændingsændringen pr. sekund i  $0^\circ$

$$SR = u_o \text{ maks.} \cdot 2\pi f$$

Når SR er opgivet, kan den største frekvens, som forstærkeren kan behandle med en given  $u_o$  maks.

$$f = \frac{SR}{u_o \text{ maks.} \cdot 2\pi}$$

### **Inverterende forstærker.**



Modkoblingen er en spænding-parallelmodkobling.

Forstærkning med modkobling  $A'$ :

$$A' \approx -\frac{R_m}{R_1}$$

Minuset viser at der er  $180^\circ$  fasedrej fra indgangen til udgangen.

Modkoblingsfaktoren  $\beta$ :

$$\beta = \frac{R_1}{R_m}$$

Sløjfeforstærkning  $A_s$ , hvor  $A_o$  er forstærkning uden modkobling:

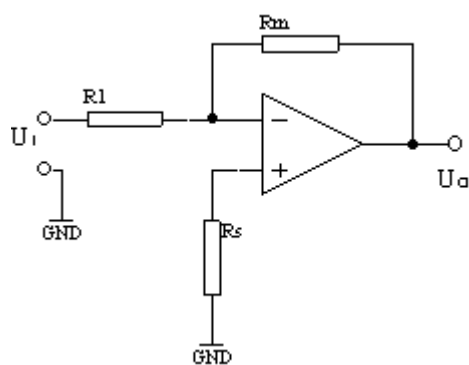
$$A_s = \frac{A_o}{A'}$$

Indgangsimpedansen  $Z_{in}$ :

$$Z_{in} = R_1$$

Udgangsimpedansen  $Z_o'$ , hvor  $Z_o$  er udgangsimpedansen uden modkobling:

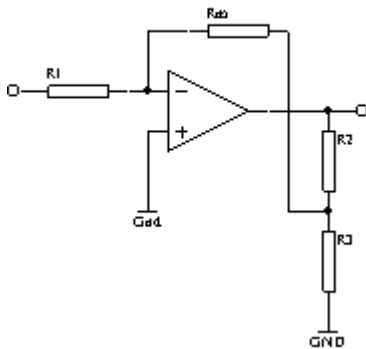
$$Z_o' = \frac{Z_o}{A_s}$$



Ved at indføre modstanden  $R_s$  kan man afhjælpe offset problemet.

$$R_s = \frac{R_1 \cdot R_m}{R_1 + R_m}$$

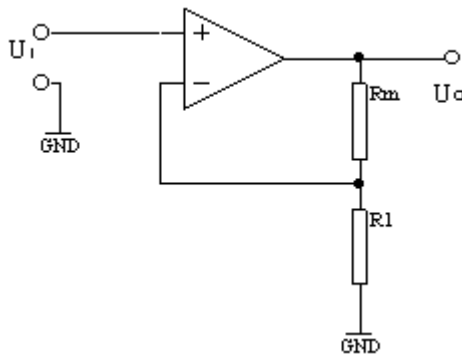
### Inverterende forstærker med potentiometrisk modkobling.



Forstærkningen A':

$$A' = -\frac{R_m}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_m // R_3}\right)$$

### Non-inverterende forstærker.



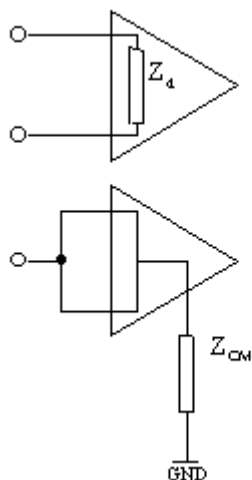
Indgangen og udgangen er i medfase.

Forstærkning med modkobling:

$$A' = 1 + \frac{R_m}{R_1}$$

As, β og Z<sub>o</sub>' findes på samme måde, som ved den inverterende forstærker.

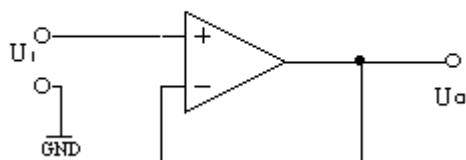
Indgangsimpedansen er stor.



$$Z_d' = Z_d \cdot A_s$$

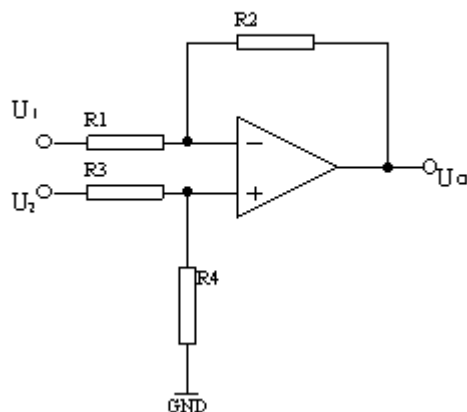
$$Z_{in} = Z_d' \parallel Z_{cm}$$

**Spændingsfølger.**



Forstærkningen  $A'$  er 1

## Differentialforstærker.



Af hensyn til offset, skal de to udgange se ud i den samme impedans.  
De to indgange har forskellige indgangsimpedanser i forhold til stel.

$$R_1 // R_2 = R_3 // R_4$$

$U_o$  findes ved:

$$U_o = U_2 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Hvis  $R_1 = R_3$  og  $R_2 = R_4$  fås en forstærkning på:

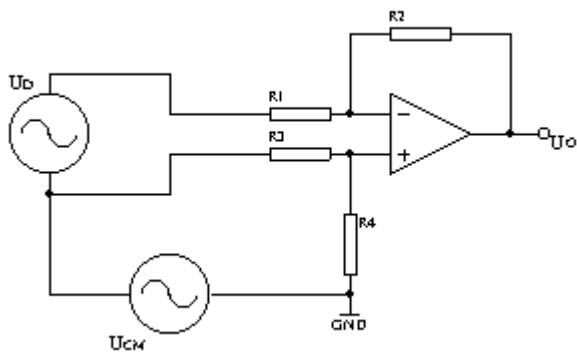
$$A_1 = A_2 = \frac{R_1}{R_2}$$

$U_o$  bliver da:

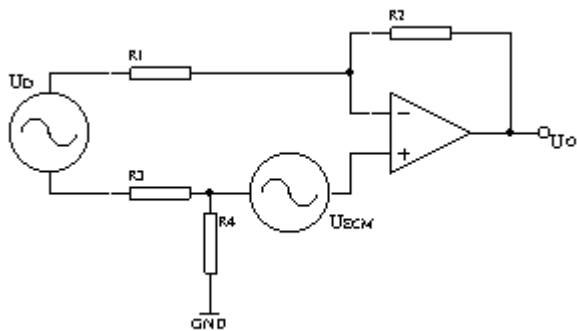
$$U_o = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$



Illustration af et Common Mode- og et Differentielt signal, henholdsvis U<sub>CM</sub> og U<sub>D</sub>.



CM indgangssignalet kan regnes om til et CMRR gange mindre differentielt indgangssignal U<sub>ECM</sub>, som placeres på operationsforstærkerens +indgang.



$$U_{ECM} = U_{CM} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{CMRR}$$

Når man har fundet U<sub>ECM</sub>, kan man ved hjælp af formelen for forstærkning, beregne hvor kraftig CM signalet er på udgangen.

# Modkobling

## Fordele.

- Nedsat forvrængning
- Støre båndbredde
- Ændret ind- og udgangsimpedans
- Stabil forstærkning

## Ulempe.

- Nedsat forstærkning

## Formål.

DC- modkobling anvendes til at stabilisere arbejdspunktet.

AC-modkobling anvendes til at bestemme forstærkningen, forbedre båndbredden samt mindske forvrængningen.

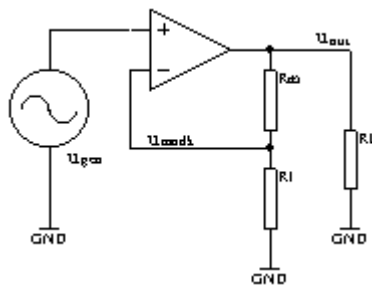
## Benævnelser.

$A_o$  = Forstærkning uden modkobling.

$A'$  = Forstærkning med modkobling.

$\beta$  = Modkoblingsfaktoren, den brøkdel af udgangsspændingen, som føres tilbage til indgangen.

$A_s = M = \text{Sløjfeforstærkningen eller Modkoblingsgraden}$  fortæller hvor mange gange mindre forstærkningen bliver ved modkobling.



Modkoblingsfaktoren:

$$\beta = \frac{R_1}{R_m + R_1}$$

Forstærkning:

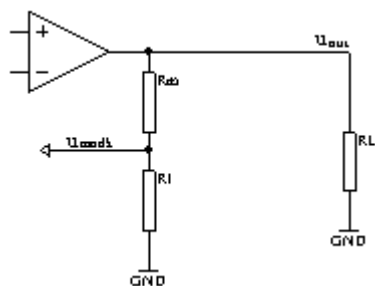
$$A' = \frac{A_o}{1 + \beta \cdot A_o} \approx \frac{1}{\beta}$$

Modkoblingsgrad:

$$M = 1 + \beta \cdot A_o = \frac{A_o}{A_i}$$

**Frembringelse af modkoblingssignal.**

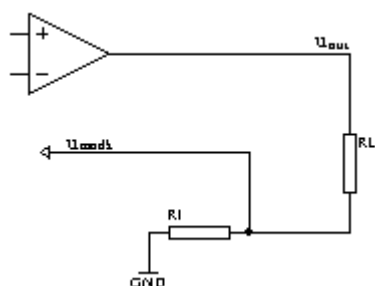
Spændingsmodkobling.



Udgangsimpedans ved spændingsmodkobling:

$$Z'_{out} = \frac{Z_{out}}{M}$$

Strømmodkobling.



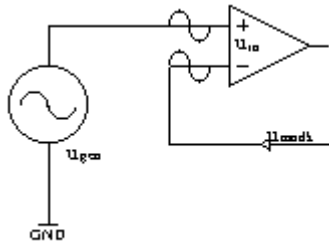
Udgangsimpedans ved strømmodkobling:

$$Z'_{out} = Z_{out} \cdot M$$

## Indføring af modkoblingssignal.

Seriemodkobling.

$u_{\text{modk}}$  og  $u_{\text{gen}}$  er i fase.

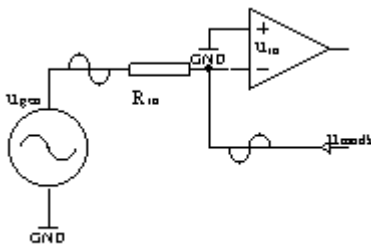


Indgangsimpedans ved seriemodkobling:

$$Z'_{\text{in}} = Z_{\text{in}} \cdot M$$

Parallelmodykobling.

$u_{\text{modk}}$  og  $u_{\text{gen}}$  er i modfase.



Indgangsimpedans ved parallelmodykobling:

$$Z'_{\text{in}} = \frac{Z_{\text{in}}}{M}$$

## Kombinationer af modkobling.

- Spændingsseriemodkobling
- Strømseriemodkobling
- Spændingsparallelmodykobling
- Strømparallelmodykobling

**Forvrængning.**

Forvrængning for en modkoblet forstærker:

$$k' = \frac{k}{M}$$

$k$  = forstærkerens forvrængning uden modkobling.

**Grænsefrekvenser.**

Nedre grænsefrekvens for en modkoblet forstærker:

$$f_n' = \frac{f_n}{M}$$

$f_n$  = nedre grænsefrekvens for en forstærker uden modkobling.

Øvre grænsefrekvens for en modkoblet forstærker:

$$f_{\varphi}' = f_{\varphi} \cdot M$$

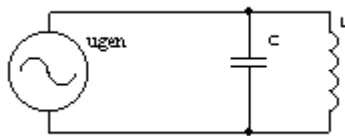
$f_{\varphi}$  = øvre grænsefrekvens for en forstærker uden modkobling.

# Resonans Serie- og Parallelkreds

Formel for resonansfrekvens (Ideel)

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**Parallelkreds (Ideel).**



Ved frekvenser under  $f_{\text{res}}$ , vil generatoren blive induktiv belastet, den samlede impedans findes ved:

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{X_C - X_L}$$

$$Z = \frac{U_g}{i_l - i_c} = \frac{X_l * X_c}{X_c - X_l} \text{ ved } f_{\text{res}} \text{ er } Z = R$$

Ved  $f_{\text{res}}$ , hvor  $X_C = X_L$ , vil generatoren se kredsen som en uendelig stor modstand:

$$Z_{\text{res}} = \frac{u_{\text{gen}}}{i_{\text{gen}}} = \frac{u_{\text{gen}}}{0} = \infty$$

Ved frekvenser over  $f_{\text{res}}$ , vil generatoren blive kapacitiv belastet, den samlede impedans findes ved:

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C}$$

Reaktans.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c}$$

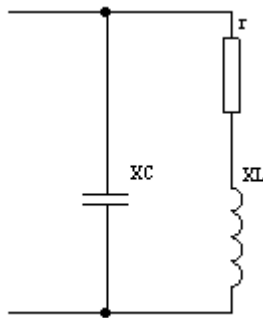
$$X_L = 2\pi f l$$

Ved fres kan reaktansen også findes ved:

$$X = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

### Parallelkreds med tab.

Ved almindelige svingningskredse, hvor kondensatorens tab er lille, kan kredsens tab ses som tabet i spolen.

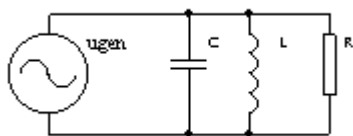


Forholdet mellem  $X_L$  og  $r$  kaldes spolens godhed, benævnt  $Q$ , og er her også kredsens godhed.

$$Q = \frac{X_L}{r} \quad \text{eller} \quad Q = \frac{1}{r} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q = \frac{X_c}{r} = \frac{R}{X_c} = \frac{ic}{ig} = \frac{fres}{b}$$

En parallelkreds med tab udgør en ohmsk belastning af generatoren, ved resonans.



R er lig med resonansimpedansen  $Z_{\text{res}}$ , og findes ved:

$$R = r \cdot (1 + Q^2) = Z_{\text{res}}$$

Hvis  $Q > 10$  kan R findes ved:

$$R \approx Q \cdot XL \approx Z_{\text{res}}$$

$$R = \frac{r^2 + Xl^2}{r}$$

Resonansfrekvensen påvirkes af tabet i kredsen.

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{L^2}}$$

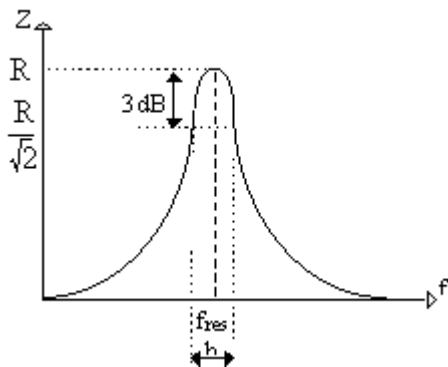
eller

$$f_{\text{res}} = \frac{\sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}}}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Hvis  $Q > 10$  kan formelen for den ideelle svingningskreds anvendes.



Båndbredden er afstanden mellem de to frekvenser, hvor impedansen er faldet 3dB i forhold til  $Z_{res}$ .



Båndbredden findes ved:

$$b = \frac{f_{res}}{Q}$$

### Belastning af parallelkreds.

Når en parallelkreds belastes, ændres godheden og båndbredden. Hvis en kreds har en lav  $Z_{res}$  kan den bedre tolerere at blive belastet uden at det går så meget ud over godheden. En sådan lavimpedanset kreds kendetegnes ved, at der anvendes en ret lille selvinduktion og en ret stor kapacitet.

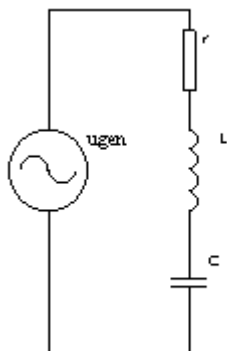
$r$  er DC modstanden i spolen.

$$r = \frac{R}{(Q^2 + 1)}$$

Strømmen  $i_{gen}$ .

$$i_{gen} = i_c - i_l = i_l - i_c$$

## Seriekreds.



fres.

$$f_{res} = \frac{1}{2 * \boldsymbol{p} * \sqrt{L * C}}$$

$X_L$  og  $X_C$

$$X_C = \frac{1}{2 * \boldsymbol{p} * f * C} \Rightarrow X_L = 2 * \boldsymbol{p} * L * f$$

$X_C = X_L$  ved fres

Spændingerne over C, L og  $U_{gen}$  findes ved:

$$u_C = u_L = u_{gen} \cdot Q$$

$$U_{gen} = \sqrt{U_r^2 + (U_L - U_C)^2}$$

**Zres, r, godhed og båndbrede findes ved:**

$$Z_{res} = r = \frac{X_c}{Q} = \frac{X_l}{Q}$$

$$Z_{serie} = \sqrt{r + (X_l - X_c)^2}$$

$$r = \frac{U_{gen}}{I_{gen}}$$

$$Q = \frac{X_l}{r} = \frac{X_c}{r} = \frac{R}{X_c} = \frac{f_{res}}{b} = \frac{U_c}{U_{gen}}$$

$$b = \frac{f_{res}}{Q}$$

Seriekredsens impedans er kapacitiv under resonans, induktiv over resonans og ohmsk på resonansfrekvensen.

Igen og eff.

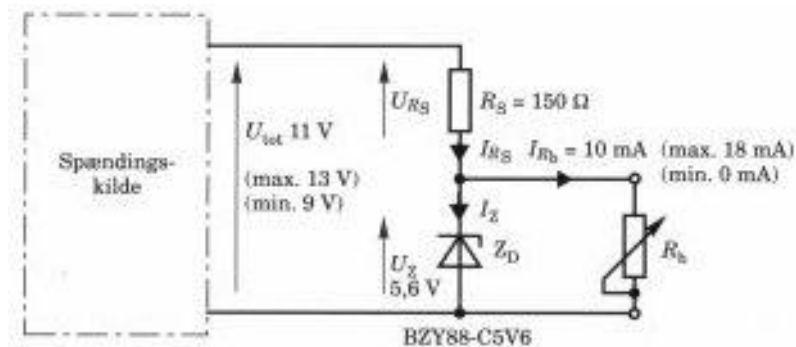
$$i_{gen} = i_l = i_c = \frac{U_c}{X_c}$$

$$p = i^2 * r$$

# Parallelstabilisering med Zenerdiode:

## Kredsløb.

Tegningen viser et kredsløb med zenerdiode som stabiliseringselement. Strømbegrænsningsmodstanden,  $R_s$  er meget vigtig, da den sikrer dioden mod for meget strøm og der ved at brænde af.  $R_b$  illustrerer den tilsluttede load modstand



## Kredsløbfunktion.

Kredsløbets virkemåde er at begrænse strømmen, spændingen og der ved effekten.

## Strøm og spændings forhold.

Spændingen deles over  $U_{R_s}$  og  $U_Z$  der ved er beregningerne Sådan.

$$U_{tot} = U_{R_s} + U_Z \Leftrightarrow U_{R_s} = U_{tot} - U_Z \text{ og } U_Z = U_{tot} - U_{R_s}$$

Strømmen deles i delstrømmen  $I_Z$  og  $I_{R_b}$ :

$$I_{R_s} = I_Z + I_{R_b} \Leftrightarrow I_Z = I_{R_s} - I_{R_b} \text{ og } I_{R_b} = I_{R_s} - I_Z$$

### **Eks. På at beregne en zenerdiode:**

Vi siger At  $U_{\text{tot}} = 11\text{V}$ ,  $I_{\text{Rb}} = 10\text{mA}$  og  $R = 150\Omega$

Først bestemmes  $U_{\text{Rs}}$ :

$$U_{\text{Rs}} = U_{\text{tot}} - U_{\text{Z}} = 11 - 5,6 = 5,4\text{V}$$

Nu kan man bruge ohm's lov.

$$I_{\text{Rs}} = U_{\text{Rs}} / R_{\text{s}} = 5,4 / 150 = 36\text{mA}$$

Nu kan man bestemme  $I_{\text{z}}$ .

$$I_{\text{z}} = I_{\text{Rs}} - I_{\text{Rb}} = 36\text{mA} - 10\text{mA} = 26\text{mA}$$

Den tilførte effekt vil nu være.

$$P_{\text{tot}} = U_{\text{tot}} * I_{\text{Rs}} = 11 * 36\text{mA} = 0,396\text{W}$$

Den effekt der afsættes i zenerdioden og  $R_{\text{b}}$  er nu.

$$P_{\text{Rb}} = U_{\text{Rs}} * I_{\text{Rs}} = 5,4 * 36\text{mA} = 194,4\text{mW}$$

$$P_{\text{z}} = U_{\text{z}} * I_{\text{z}} = 5,6 * 26\text{mA} = 145,6\text{mW}$$

$$P_{\text{Rb}} = U_{\text{u}} * I_{\text{Rb}} = 5,6 * 10\text{mA} = 56\text{mW}$$

Den totale afsatte effekt.

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{Rs}} + P_{\text{z}} + P_{\text{Rb}} = 194,4\text{m} + 145,6\text{m} + 56\text{m} = 0,396\text{W}$$

Nu beregnes der med en  $U_{\text{tot}}$  der stiger fra 11 – 13V.

$U_{\text{Rs}}$  ved  $U_{\text{tot-max}}$

$$U_{\text{Rs}} = U_{\text{tot}} - U_{\text{z}} = 13 - 5,6 = 7,4\text{V}$$

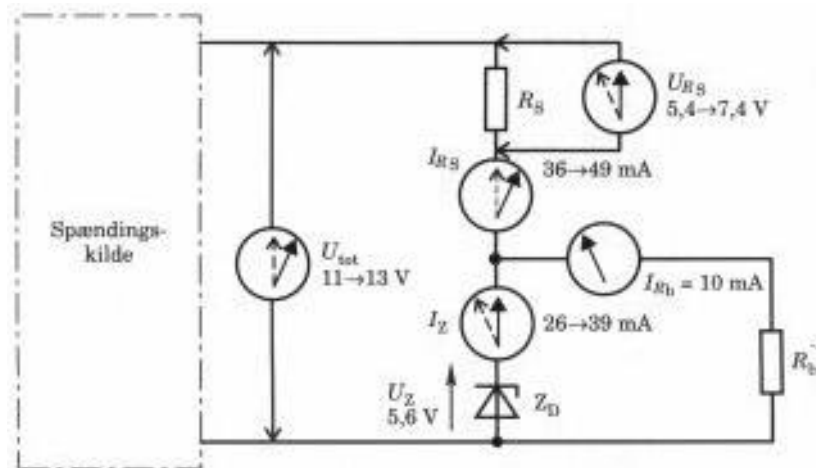
$I_{R_s}$  bliver:

$$I_{R_s} = U_{R_s} / R_s = 7,4 / 150 = 49 \text{ mA}$$

Z regnes for konstant, og derfor bliver  $I_{R_b}$  konstant 10 mA  $I_z$  bliver

$$I_z = I_{R_s} - I_{R_b} = 49 \text{ mA} - 10 \text{ mA} = 39 \text{ mA}$$

Konklusion: Når  $U_{\text{tot}}$  stiger, bliver  $U_{R_s}$ ,  $I_{R_s}$  og  $I_z$  større.



Når  $U_{\text{tot}}$  falder sker der det modsatte:

$$U_{R_s} = U_{\text{tot}} - U_Z = 9 - 5,6 = 3,4 \text{ V}$$

$$I_{R_s} = U_{R_s} / R_s = 3,4 / 150 = 23 \text{ mA}$$

$$I_z = I_{R_s} - I_{R_b} = 23 \text{ mA} - 10 \text{ mA} = 13 \text{ mA}$$

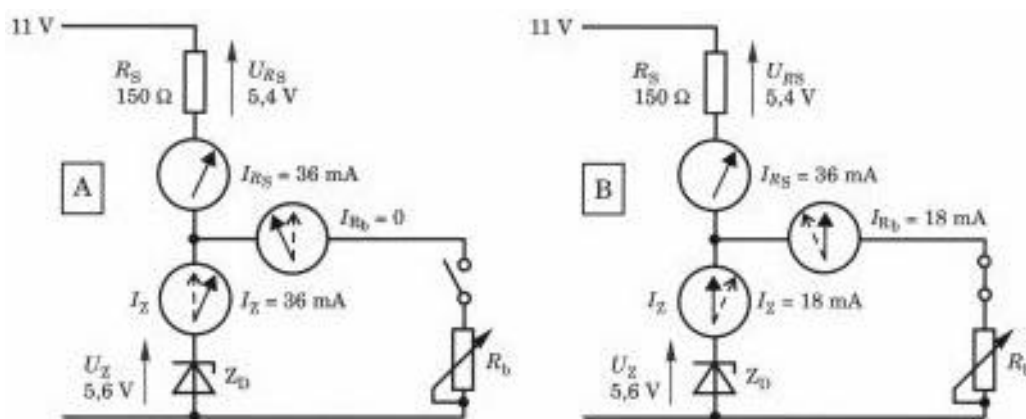
## Ændringer i belastningsstrømmen.

Når  $I_{Rb}$  varierer, mens  $U_{tot}$  er konstant, finder vi ved  $I_{Rb} = 0$

$$I_Z = I_{R_S} - I_{R_b} = 36\text{ mA} - 0 = 36\text{ mA}$$

Ved  $I_{Rb\text{-max}} = 18\text{ mA}$ , finder vi

$$I_Z = I_{R_S} - I_{R_b} = 36\text{ mA} - 18\text{ mA} = 18\text{ mA}$$



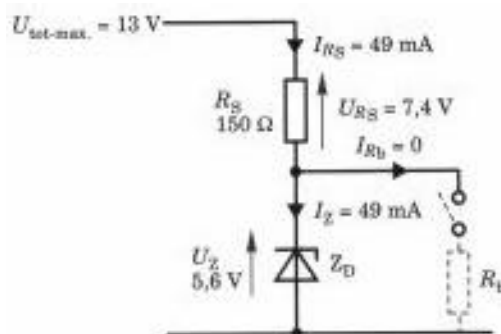
Konklusion: Når  $I_{Rb}$  stiger, aftager Zenerstrømmen tilsvarende.

## Maksimal Zenereffekt.

Vi vil bestemme, hvornår der afsættes størst effekt i zenerdioden ved variation på både  $U_{tot}$  og  $I_{Rb}$ . Det sker, når  $I_Z$  er størst. Zenerstrømmen  $I_Z$  er størst, når  $U_{tot}$  er størst og  $I_{Rb}$  er mindst.

Ved  $U_{tot} = 13\text{ V}$  her vi beregnet  $I_{R_S}$  til  $49\text{ mA}$ . Når  $I_{Rb}$  er 0, løber denne strøm i zenerdioden,

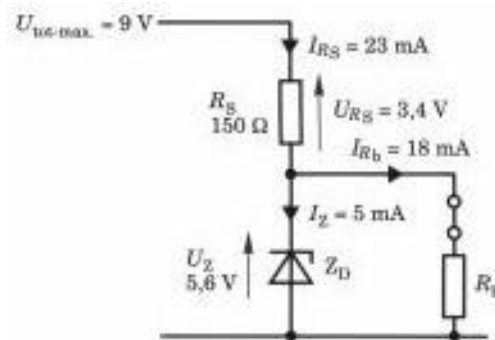
$$P_{Z\text{-max}} = I_{Z\text{-max}} \cdot U_Z = 49\text{ mA} \cdot 5,6 = 274\text{ mW}.$$



## Minimum Zenerstrøm.

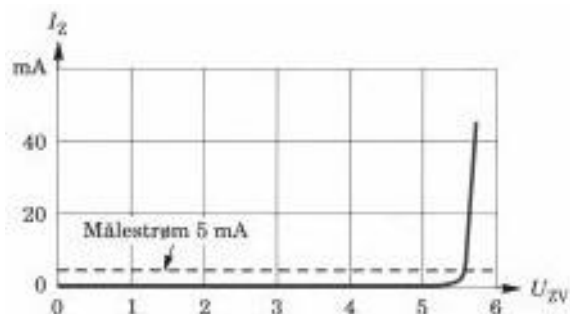
Denne strøm er mindst, når  $U_{\text{tot}}$  er mindst, og  $I_{Rb}$  er størst.

$$I_Z \text{ min} = I_{R_s} \text{ min} - I_{R_b} \text{ max} = 23 \text{ mA} - 18 \text{ mA} = 5 \text{ mA}$$



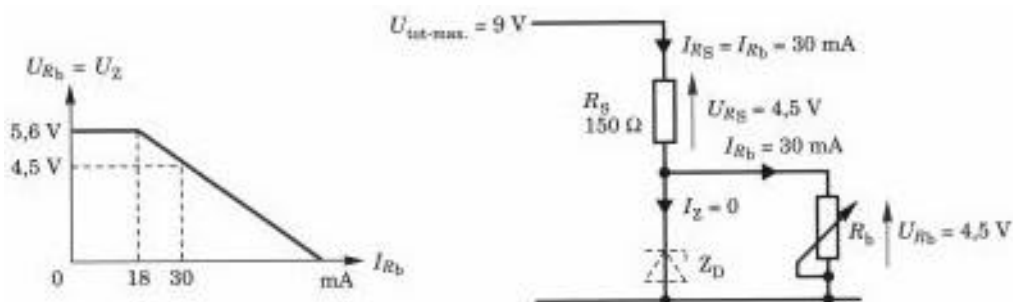
Husk. Zenerstrømmen er mindst, når forsyningsspændingen  $U_{\text{tot}}$  er mindst og belastningsstrømmen  $I_{Rb}$  er størst.

Den beregnede zenerstrøm må ikke blive mindre, hvilket ses af  $I/U$  kurven herunder.



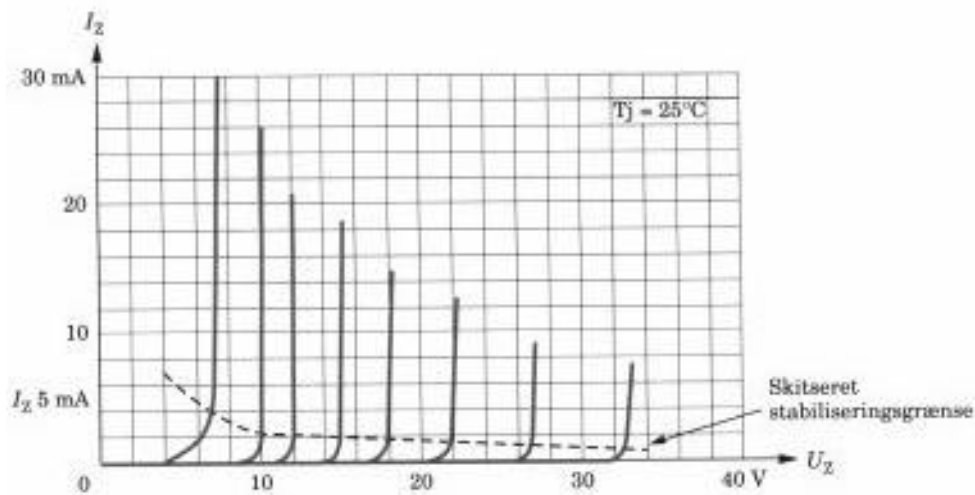
Den maximale strøm bliver derved 18mA

Overstiges denne strøm, vil zenerdioden holde op med at trække strøm og stabiliseringen ophøre og  $U_{Rb}$  falder hvis eksempelvis  $I_{Rb}$  øges til 30mA.





zenerdiodernes strømområde, hvor de stabiliserer, varierer med zenerspændingen. Tendensen er at zenerdioderne stabiliserer ned til lavere minimumsstrømme ved stigende zenerspænding. Se kurverne herunder, hvor stabiliseringsgrænsen er vist punkteret.



Hvor en 5,6V zenerdiode behøver en minimumsstrøm på 5mA kan en 12V diode nøjes med 2mA.

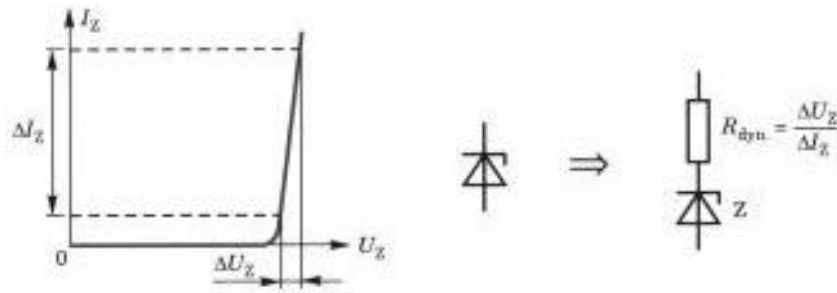
### Forsyningsspændingens størrelse.

Erfaringsmæssigt skal den ustabiliserede forsyningsspænding være ca. det dobbelte af zenerspændingen ellers bliver strømvariationerne i zenerdioden for store. Dette kan ses ved at gennemberegne de givne eksempler med  $U_{\text{tot}} = 8\text{V} \pm 1,5\text{V}$

(Ved lavere forsyningsspændinger end  $2 \cdot U_Z$  kan  $R_s$  med fordel erstattes af en strømgeneratorokobling).

## Dynamisk modstand.

Når strømmen i zenerdioden varierer vil spændingen over dioden variere en lille smule på grund af diodens dynamiske modstand. Zenerdioden skal opfattes som en ideel diode i serie med den dynamiske modstand  $R_{dyn}$ , også kaldet differentiell modstand  $R_{diff}$ .



Den dynamiske modstand følger kurvehældningen og kan bestemmes af:

$$R_{dyn.} = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = \frac{U_{Z-max} - U_{Z-min}}{I_{Z-max} - I_{Z-min}}$$

Ved måling på en 5,6V zenerdiode finder  $U_Z$  til 5,6V ved 10mA og 5,7V ved 40mA ved samme krystaltempertur.

Den dynamiske modstand  $R_{dyn}$  er derfor i dette arbejdsområde:

$$R_{dyn.} = \frac{5,7 - 5,6}{(40 - 10)m} = \frac{0,1}{30m} = 3,33\Omega$$

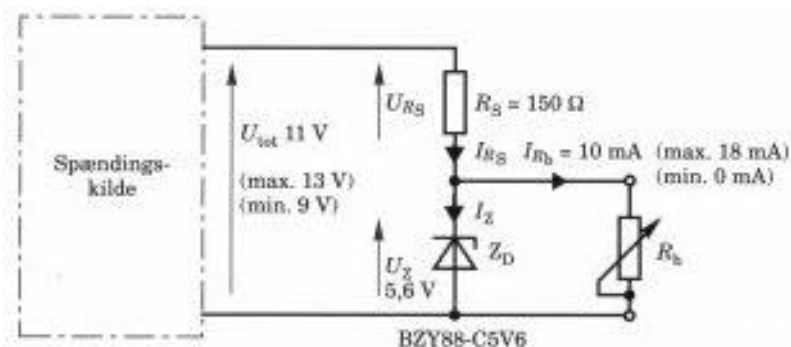
Kender man den dynamiske modstand, kan man beregne ændringen på zenerspændingen med formlen:

$$\Delta U_Z = \Delta I_Z * R_{dyn} = (I_{Z-max.} - I_{Z-min.}) * R_{dyn}.$$

Indsættes  $R_{dyn}$ , der ved 5mA er  $22\Omega$  for eks. BZY88-C5V6, findes ændringen i strømområdet 5mA til 10mA til:

$$\Delta U_Z = 10\text{mA} - 5\text{mA} * 22 = 5\text{mA} * 22 = 0,11\text{V}$$

Beregningerne er af hensyn til overskueligheden forenklede, da der ikke er taget hensyn til, at både zenerspændingen  $U_Z$  og begrænsermodstanden  $R_S$  typisk kan variere 5%.





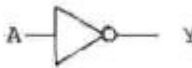




Eks. Er  $I_{R_S-max}$  egentlig:

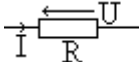

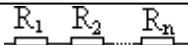
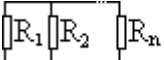
$$I_{R_S-max} = \frac{U_{tot-max} - U_{Z-min}}{R_{S-min}} = \frac{U_{tot-max} - (U_Z - 5\%)}{(R_S - 5\%)} = \frac{13 - 5,32}{142,5} = 54\text{mA}$$

Vil man selv dimensionere et parallelstabiliseringskredsløb, så det virker efter hensigten under alle forhold, skal der foretages en del beregninger og kredsløbskontrol.

ØVERSIGT OVER LOGISKE GRUNDFUNKTIONER

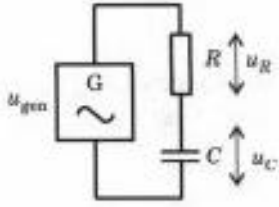
Funktion	Symbol	Boole'sk ligning	Funktions-tabel															
AND		$Y = AB$	<table><tr><th>B</th><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	B	A	Y	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
B	A	Y																
0	0	0																
1	0	0																
0	1	0																
1	1	1																
OR		$Y = A+B$	<table><tr><th>B</th><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	B	A	Y	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
B	A	Y																
0	0	0																
1	0	1																
0	1	1																
1	1	1																
NAND		$Y = \overline{AB}$	<table><tr><th>B</th><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	B	A	Y	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
B	A	Y																
0	0	1																
1	0	1																
0	1	1																
1	1	0																
NOR		$Y = \overline{A+B}$	<table><tr><th>B</th><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	B	A	Y	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
B	A	Y																
0	0	1																
1	0	0																
0	1	0																
1	1	0																
NOT		$Y = \overline{A}$	<table><tr><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	Y	0	1	1	0									
A	Y																	
0	1																	
1	0																	
Exclusive OR		$Y = \overline{A}B + A\overline{B}$ eller $Y = A \oplus B$	<table><tr><th>B</th><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	B	A	Y	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0
B	A	Y																
0	0	0																
1	0	1																
0	1	1																
1	1	0																
Exclusive NOR		$Y = AB + \overline{A}\overline{B}$ eller $Y = \overline{A \oplus B}$	<table><tr><th>B</th><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	B	A	Y	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
B	A	Y																
0	0	1																
1	0	0																
0	1	0																
1	1	1																

# Modstande

<div>Ohms lov</div> 	$R = \frac{U}{I}$	U=Spænding [V]. R=modstand [w]. I=strøm [A].
<div>Modstand i ledning</div> 	$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$ $\ell = \frac{R \cdot A}{\rho}$	R=modstand [w]. l=længde [m].. A=tværsnitsareal [m <sup>2</sup> ]. r=restitivitet [wm].
<div>Modstand og temperatur</div>	$R(T) = R_0 + R_0 \cdot \alpha \cdot T$ $R(T) = R_0 (1 + \alpha \cdot T)$ $T = \frac{R(T) - R_0}{\alpha \cdot R_0}$	R=modstand w]. R <sub>0</sub> =modstand ved 0 <sup>0</sup> C [w]. a=temperaturkoefficient [°C <sup>-1</sup> ]. T=temperatur [°C].
<div>Seriekobling af modstande</div> 	$R_{\text{erstat}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	R <sub>erstat</sub> =erstatnings modstand [w]. R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> ..=serie-koblede modstande [w].
<div>Parallelkobling af modstande</div> 	$\frac{1}{R_{\text{erstat}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$	R <sub>erstat</sub> =erstatnings modstand [w]. R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> ..=parallel-koblede modstande [w].
<div>Effektafsættelse i modstande</div>	$P = \frac{U^2}{R}$ $P = U \cdot I$ $P = I^2 \cdot R$	P=effekt [W]. U=Spænding [V]. R=modstand w]. I=strøm [A].

# Rc- led

## Serie kreds



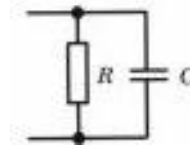
Z = Impedansen i ohm  
C = Kapacitet i farad  
R = Modstanden i ohm

Fælles formler.

$$XC = \frac{1}{2 * \boldsymbol{p} * fo * C} \rightarrow Ohm$$

$$C = \frac{1}{2 * \boldsymbol{p} * fo * R} \rightarrow Farad$$

## Parallel kreds



XC = Reaktans i ohm  
F = Frekvens i hertz  
 $\phi$  = Fasevinklen i grader

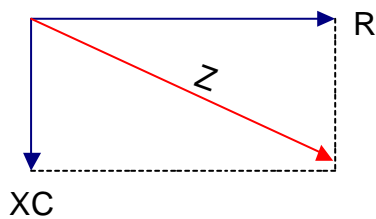
$$fo = \frac{1}{2 * \boldsymbol{p} * R * C} \rightarrow Hz$$

$$C = \frac{1}{2 * \boldsymbol{p} * XC * fo} \rightarrow Farad$$

## Formler for serie kredse.

Z findes ved hjælp af pythagoras' læresætning, for de at vektordiagrammet er en retvinklet trekant

## Vektordiagram



Phytagoras læresætning.

$$c^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Omskrevet.

$$Z = \sqrt{XC^2 + R^2}$$

Fasevinklen  $\phi$

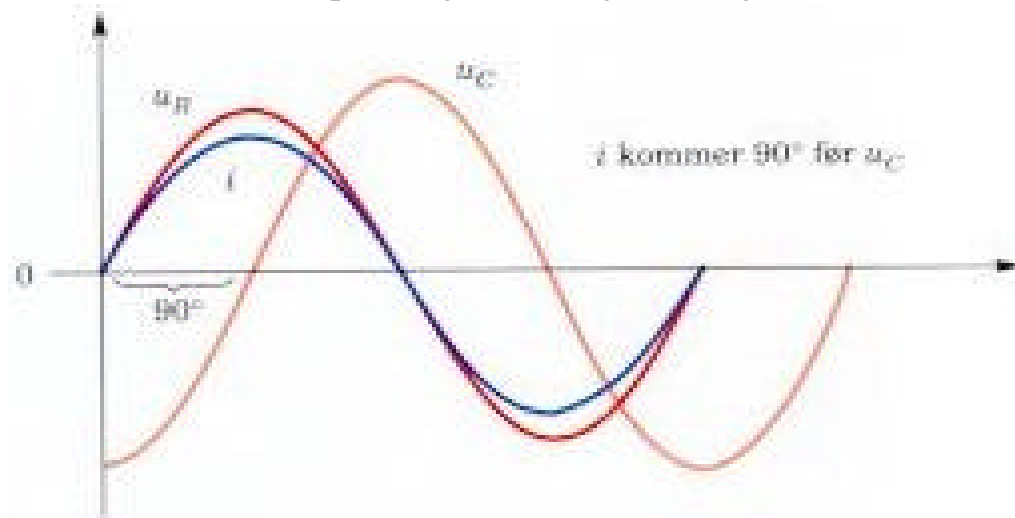
$$\phi = \arctan\left(\frac{XC}{R}\right)$$

$$\arctan = \tan^{-1}$$

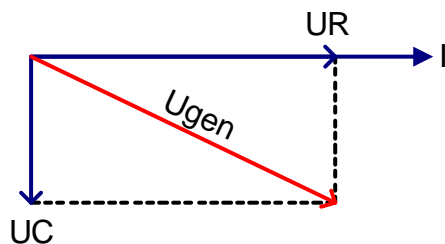
**eks.** R = 1000 $\Omega$ , XC = 68 $\Omega$  så bliver fasevinklen  $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{68}{1000}\right) = 86,10^\circ$

Man kan kun lægge en modstand og en Reaktans sammen når det sker vektorielt. Spændinger og strømme i en serie kreds.

Som det kan ses af diagrammet komme strømmen "I" samtidig i modstanden og kondensatoren, men spændingen er 90 grader bagefter i kondensatoren.



tegner vi et vektordiagram over dette.



$$U_{gen} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

$$U_R = \sqrt{U_{gen}^2 - U_C^2}$$

$$U_C = \sqrt{U_{gen}^2 - U_R^2}$$

Når spændingen er ens over C og R vil  $U_{gen}$  altid være  $\sqrt{2}$  gange større

**Eks.**

$$U_C = 1V \quad U_R = 1V \text{ så bliver det } U_{gen} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \Rightarrow U_{gen} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1.41V$$

**Formler for Parallel RC-led.**

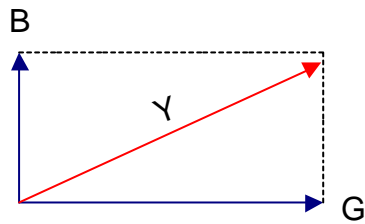
$$Y = \text{Admittans } Y = \frac{1}{Z} *$$

$$G = \text{Konduktans } G = \frac{1}{R} *$$

$$B = \text{Susceptans } B = \frac{1}{XC} *$$

\* De er målt i ledningsevne der målet i Siemens "S" eller Mho. Disse to størrelser er ens.

## Vektordiagram for en parallel kreds



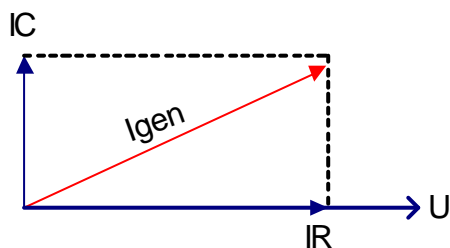
Så derfor kan  $Z$  findes med pythagoras' læresætning.

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \text{ og for at få det i ohm } Z = \frac{1}{Y}$$

Fasevinklen  $\phi$  findes med tangens, og igen er  $\arctan = \tan^{-1}$

$$\phi = \arctan\left(\frac{R}{XC}\right)$$

## Strømme og spændinger



$$IR = \sqrt{I_{gen}^2 - IC^2} \Rightarrow \frac{U_{gen}}{R}$$

$$I_{gen} = \sqrt{IR^2 + IC^2}$$

$$IC = \sqrt{I_{gen}^2 - IR^2} \Rightarrow \frac{U_{gen}}{XC}$$

$$Z = \frac{U_{gen}}{I_{gen}}$$

Eks.

$$R = 1000\Omega \quad C = 100\text{nF}$$

$$f_o = \frac{1}{2 * \mathbf{p} * R * C} \Rightarrow \frac{1}{2 * \mathbf{p} * 1000\Omega * 100E-9} = 1,591\text{KHz}$$

$$XC = \frac{1}{2 * \mathbf{p} * f_o * C} \Rightarrow \frac{1}{2 * \mathbf{p} * 1,591 * 100E-9} = 1000\Omega$$

$$G = \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{1000\Omega} = 0,001 \quad B = \frac{1}{XC} \Rightarrow \frac{1}{1000\Omega} = 0,001$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \Rightarrow \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} = 1,414\text{mS}$$

$$Z = \frac{1}{1,414\text{mS}} = 707,1\Omega$$



# Decibel

Decibel bruges til at fortælle hvor meget forstærkning eller dæmpning en forstærker eller et filter har.

Decibel = db

Forstærkning = A

$10^x = \text{inv log}$

For spænding og strøm er formlerne.

$$db = 20 * \log A \Rightarrow 20 * \log \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \Rightarrow 20 * \log \left( \frac{I_{out}}{I_{in}} \right)$$

$$A = 10^{\left( \frac{db}{20} \right)} \Rightarrow \frac{U_{out}}{U_{in}} \Rightarrow \frac{I_{out}}{I_{in}}$$

For effekt er formlerne

$$db = 10 * \log A \Rightarrow 10 * \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \Rightarrow 10 * \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$A = 10^{\left( \frac{db}{10} \right)} \Rightarrow \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Tabel.

$\frac{P_{out}}{P_{in}}$	$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{I_{out}}{I_{in}}$	Antal db
0,000001	0,001	-60
0,0001	0,01	-40
0,01	0,1	-20
1	1	0
2	1,41	3
4	2	6
10	3,16	10
100	10	20
1000	31,6	30
10000	100	40
100000	316	50
1000000	1000	60

# Præfikser og vekselstrøm

Præfikser bruges til at forenkle tal der er meget store eller små.

Eks.

1000 000Ω kan også skrives som 1000KΩ eller enu bedre 1MΩ.

0.001A kan også skrives som 1mA eller som 1000pA.

Tabel.

Navn	Forkortelse	Værdi	
Tera	T	1.000.000.000.000	$10^{12}$
Giga	G	1.000.000.000	$10^9$
Mega	M	1.000.000	$10^6$
Kilo	K	1.000	$10^3$
Milli	m	0,001	$10^{-3}$
Mikro	μ	0,000.001	$10^{-6}$
Nano	n	0,000.000.001	$10^{-9}$
Pico	p	0,000.000.000.001	$10^{-12}$
Femto	f	0,000.000.000.000.001	$10^{-15}$
Atto	a	0,000.000.000.000.000.001	$10^{-18}$

## Vekselstrøm.

Når man har med vekselstrøm at gøre kommer man tit ud for at der er opgivet som Urms, Upp eller Up.

rms = root of mean square ( på dansk "kvadratroden af middel kvadratet" normalt siges effektivværdi forkortet "eff.")

p = "peak" (på dansk "spis")

pp = "peak to peak" (på dansk "spis til spis")

Omregning mellem dem.

$$U_{rms} = \left( \frac{U_p}{\sqrt{2}} \right) \Rightarrow 0,707 * U_p$$

$$I_{rms} = \left( \frac{I_p}{\sqrt{2}} \right) \Rightarrow 0,707 * I_p$$

$$U_p = \sqrt{2 * U_{rms}} \Rightarrow 1,41 * U_{rms}$$

$$I_p = \sqrt{2 * I_{rms}} = 1,41 * I_{rms}$$

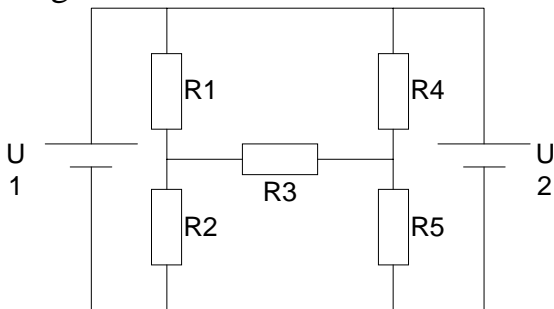
$$U_{pp} = U_{rms} * (2 * \sqrt{2}) \Rightarrow U_p * 2$$

$$I_{pp} = I_{rms} * (2 * \sqrt{2}) \Rightarrow I_p * 2$$

# Thevenin

Hvis vi ser på denne Wheatstones målebro, og skal finde strømmen i R3, vil vi hurtig finde ud af at det er umuligt med ohms lov, da R3 påvirker de to spændingsdeler.

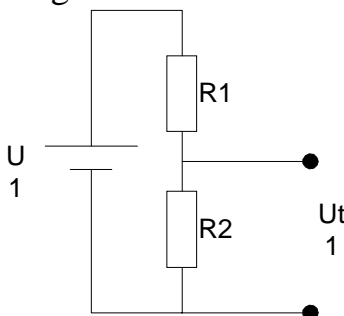
Fig.1



Hvis vi omskriver det til Thevenin vil vi få kredsløbet delt op.  
Den venstre side af målebroen ser det sådan ud.

$U_1 = 12V$ ,  $R_1 = 20K\Omega$ ,  $R_2 = 10K\Omega$

Fig.2



Den ubelastet spænding (EMK)  $U_{t1}$  fås med spændingsdelerformlen.

$$(EMK)U_{t1} = U_1 * \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12V * \frac{10K\Omega}{20K\Omega + 10K\Omega} = 4V$$

Den indre modstand fås ved at kortslutte  $U_1$  og kigge ind fra  $U_{t1}$ , det vil medføre af  $R_1$  og  $R_2$  sidder i parallel,

og det giver en modstand på  $R_1 // R_2 = 20K\Omega // 10K\Omega = 6666\Omega$ .

Nu skal det samme gøres med den anden side af målebroen (samme som fig.2)

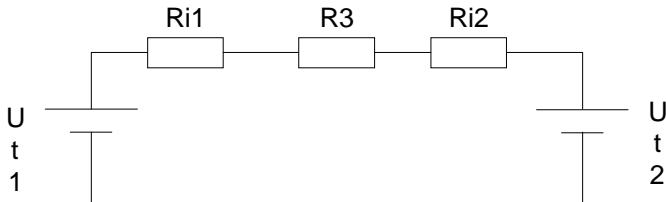
$U_2 = 5V$ ,  $R_4 = 10K\Omega$ ,  $R_5 = 5K\Omega$ .

$$(EMK)U_{t2} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 5 * \frac{5K\Omega}{10K\Omega + 5K\Omega} = 1,666V$$

Og den indre modstand er  $R_4 // R_5 = 10\text{K}\Omega // 5\text{K}\Omega = 3333\Omega$ .

Nu kan vi tegne det sidste diagram på kredsløbet. Og beregne  $I_{R3}$ .

Fig.3



Vi ved at  $U_{t1} = 4\text{V}$ ,  $U_{t2} = 1,666\text{V}$  og at  $R_{i1} = 6666\Omega$ ,  $R_{i2} = 3333\Omega$  og  $R_3 = 1\text{K}$ .

For at finde  $U_{tot}$  skal vi trække  $U_{t2}$  fra  $U_{t1}$ ,  $U_{t1} - U_{t2} = 4\text{V} - 1,666\text{V} = 2,334\text{V}$ .

Nu skal vi finde den totale modstand

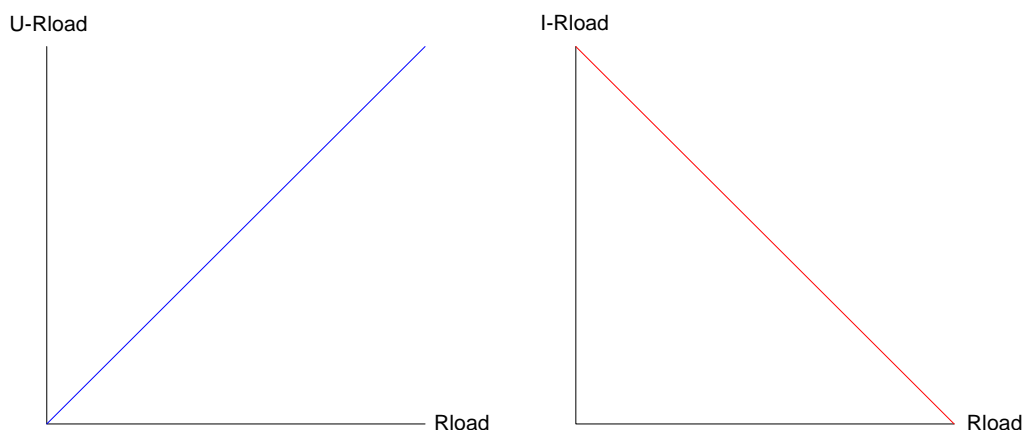
$$R_{i1} + R_3 + R_{i2} = 6666\Omega + 1000\Omega + 3333\Omega = 10999\Omega.$$

Så gøre Ohms-lov resten.  $I_{R3} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} = \frac{2,334\text{V}}{10999\Omega} = 212\mu\text{A}$

En Thevenin omskrivning skal altid blive en serieforbindelse.

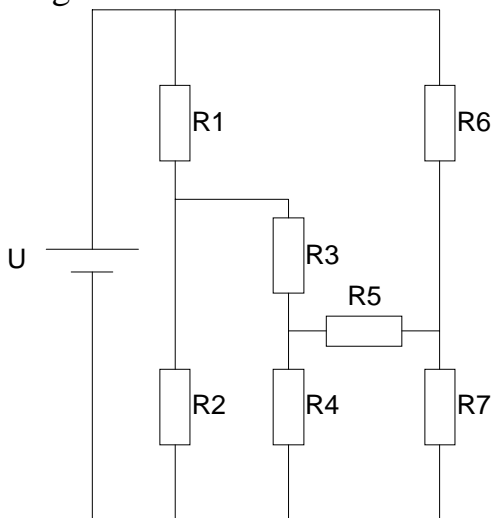
Strømme og spændinger hvis man belaster sin spændingsdeler med en ren ohms modstand. Spændingen over  $R_{load}$  vil stige sammen med modstanden, og strømmen i  $R_{load}$  vil falde hvis modstanden stiger.

Fig. 4



Hvis vi tager flere spændingsdelere og sætter efter hinanden Fig. 5, skal man tage dem en af gangen.

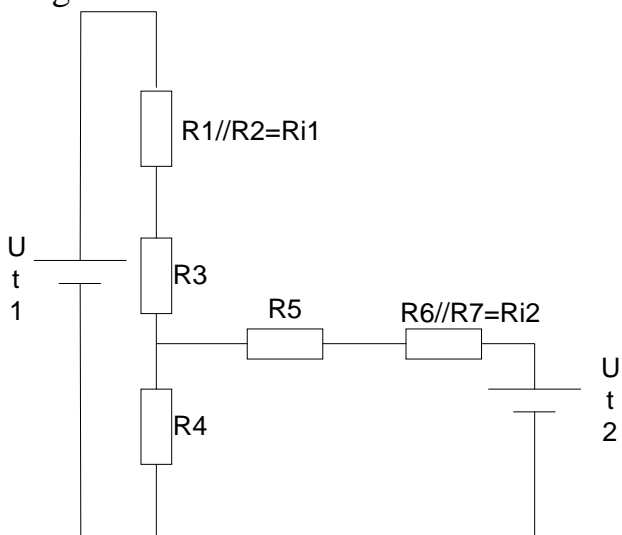
Fig. 5



Hvad er strømmen i R5?

Først skal vi tage R1//R2 som er i serie med R3 og R4 det ser sådan ud Fig. 6. og der efter R6//R7 med R5 imellem Fig.6.

Fig. 6

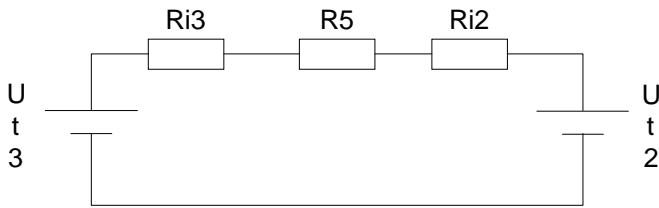


$U_{t1}$  og  $U_{t2}$  findes ved  $(EMK) U_{t1} * \frac{R2}{R1 + R2}$  og  $U_{t1} * \frac{R7}{R6 + R7}$

$R_i$  findes ved  $R_{i1} = R1//R2$  og  $R_{i2} = R6//R7$  som Fig. 6.

Nu skal det for sidste gang tegnes om til en serie forbindelse.

Fig. 7

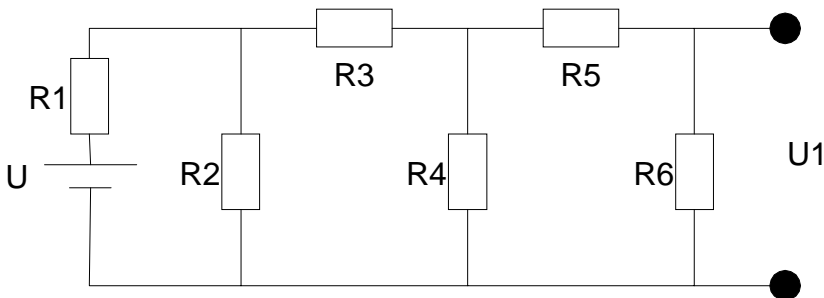


$$(EMK)U_{t3} = \frac{R_4}{R_{i1} + R_3 + R_4}$$

$$R_{i3} = (R_{i1} + R_3) // R_4$$

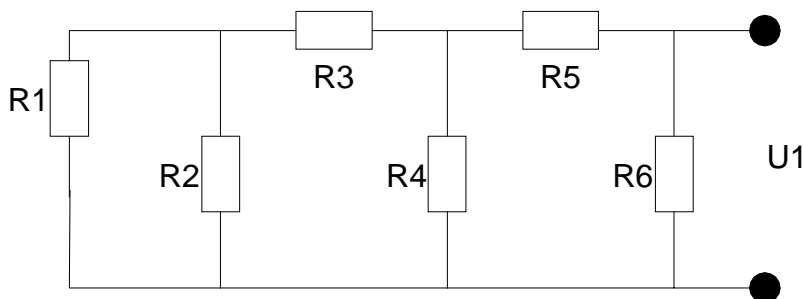
$$IR_5 = \frac{U_{t3} - U_{t2}}{R_{i3} + R_5 + R_{i2}}$$

Et lidt mere kompleks kredsløb, er R2R koblingen, som bla. Bruges i DA- konverter.  
Fig. 8



For at finde  $R_i$  tager man at kortslutte  $U$  Fig. 9 og der efter starter man fra  $U$  mod  $U_1$ .  
 $R_1, R_2, R_4, R_6 = 8,2k$  OG  $R_3, R_5 = 4,1K$

Fig. 9



Så ser man at  $R_1$  og  $R_2$  sider i parallelt  $8,2K // 8,2K = 4,1K$  (Fig. 10) og de  $4,1K$  sider i serie med  $R_3$  på  $4,1K$  det giver  $4,1K + 4,1K = 8,2K$  (Fig. 11) som sidder i parallelt med  $R_4$  det giver  $8,2K // 8,2K = 4,1K$  (Fig. 12) som sider i serie med  $R_5$  det giver

$4,1K + 4,1K = 8,2K$  som sider i parallelt med  $R_6$  det giver  $8,2K // 8,2K = 4,1K = R_i$   
(Fig. 13)

Fig. 10

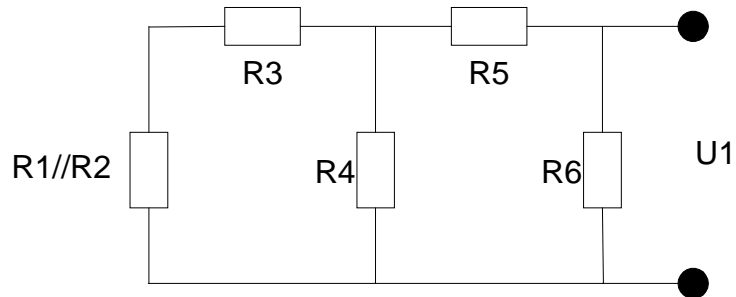


Fig. 11

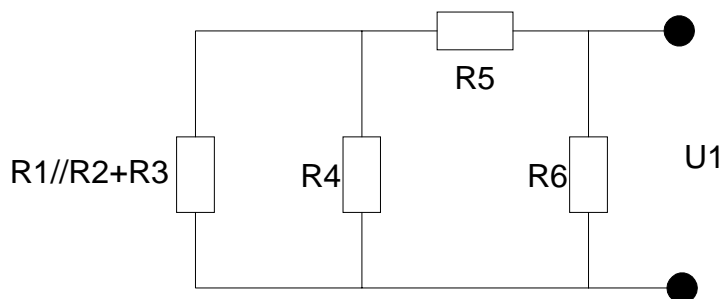
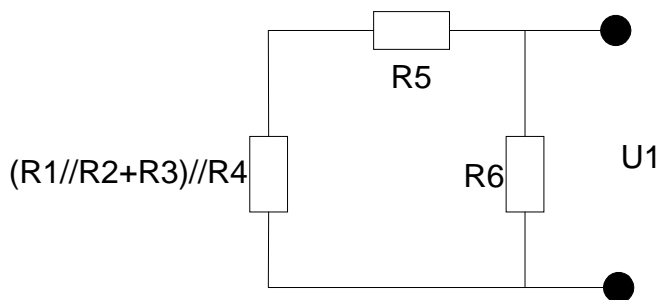
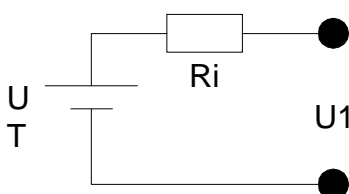


Fig. 12



Så for man et kredsløb der ser sådan ud.

Fig. 13



For at finde  $U_1$  må vi tilbage til (Fig. 8).

$U = 10V$  (Fig. 8)

De 10V fra  $U$  bliver delt af  $R_1$  og  $R_2$  og den spænding der er over  $R_2$  bliver Delt af  $R_3$  og  $R_4$  osv.

$$U_t = U * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow U_{R2} * \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Rightarrow U_{R4} * \frac{R_6}{R_5 + R_6} = U_t$$

$I_{tot}$  findes ved

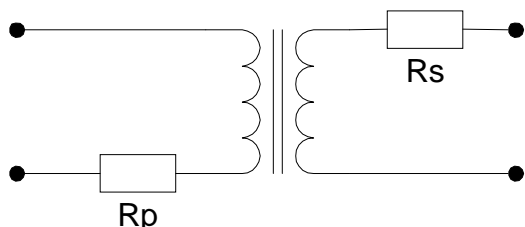
At tage at kordslutte  $U_1$  (Fig. 13) så for man  $I_{tot} = \frac{U_t}{R_i}$



Thevenin på andet end modstande.

Thevenin på en transformator

Fig. 11



$U_p = 230V$ ,  $N_p = 600$ vin,  $N_s = 48$ vin,  $R_p = 300\Omega$ ,  $R_s = 3\Omega$

Den ubelastet spænding er.

$$N = \frac{N_p}{N_s} \Rightarrow \frac{600}{48} = 12,5 \qquad U_s = \frac{U_p}{N} \Rightarrow \frac{230V}{12,5} = 18,4V \Leftrightarrow 230V * \left( \frac{48}{600} \right)$$

Vis vi trækker 1A på sekundær spolen giver det en spænding over  $3\Omega$  på 3V

I primær spolen løber der en strøm på  $I_p = \frac{I_s}{N} \Leftrightarrow I_s * \left( \frac{48}{600} \right) \Rightarrow \frac{1A}{12,5} = 0,08A$

Spændings tab i primær modstanden på  $300 * 0,08A = 24V$

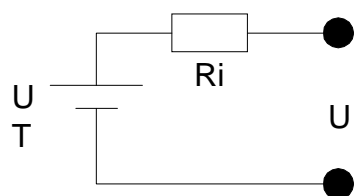
Det kan mærkes på sekundær spolen som et spændings tab på  $24 * \left( \frac{48}{600} \right) = 1,92V$

så det samlet spændings tab på sekundær spolen bliver

$U_{R_s} + U_{R_p} = 3V + 1,92V = 4,92V$ .

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} \Rightarrow \frac{4,92V}{1A} = 4,92\Omega$$

Fig. 12



$300\Omega$  på primær spolen virker som  $1,92\Omega$  i serie med sekundær modstanden ved 1A.

Så den spænding man får ud af transformatoren ved et strømtræk på 1A er

$18,4V - 4,92V = 13,48V$

# Køling af halvleder

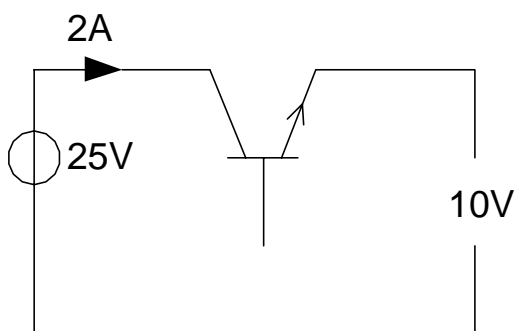
Kølepladen skal sikre at komponenten ikke bliver for varm, skal også sikre for en lang leve tid og stabilt drift.

Der er tre typer af varmeflow:

- Varme ledning (gennem stoffer).
- Konvektion (Fri eller tvungen(Blæser)).
- Ståling.

Fig. 1 viser en transistor der gennemløbes af en strøm.

Fig. 1



Først skal vi bestemme hvor meget effekt der afsættes i den.

$$P = U * I \Rightarrow U = 25V - 10V = 15V \Rightarrow 15V * 2A = \underline{30W}$$

Transistoren er monteret med en glimmer skive  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  ( $R_{th(mb-h)}$ ) (glimmerskiven er fast spænt med kølepasta). I databladet for transistoren er det oplyst at dens termiske modstand ( $R_{th(j-mb)}$ ) er  $1,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  (junction til case). Transistoren kan tåle en junction temperatur ( $T_j$ ) på  $200 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Omgivelses temperaturen ( $T_{amb}$ ) er  $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Beregn kølepladens termiske modstand ( $R_{th(h-amb)}$ ).

$$R_{th(h-amb)} = - R_{th(mb-j)} - R_{th(mb-h)} + (T_{jmax} - T_{amb}/P)$$

Det vil give.

$$R_{th(h-amb)} = -1,5 - 0,5 + (200 - 40/30) = \underline{3,33 \text{ } ^\circ\text{C/W}}.$$

Hvor varm bliver kølepladen( $T_h$ )?

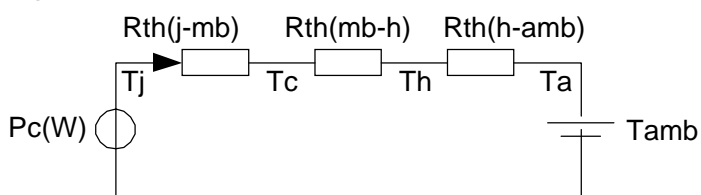
$$T_h = R_{th} + T_{amb} \Rightarrow 3,33 * 30 + 40 = 139 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hvor varm bliver transistorens hus ( $T_c$ )?

$$T_c = R_{th(\text{Glimmer})} * P + T_h \Rightarrow 0,5 * 30 + 140 = 154 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Man bruger tit en "Ohms lov" opstilling til illustration.

Fig. 2



$P_c$  er komponenten og så kommer de forskellige termiske modstande så er det bare at lægge de forskellige modstande sammen.

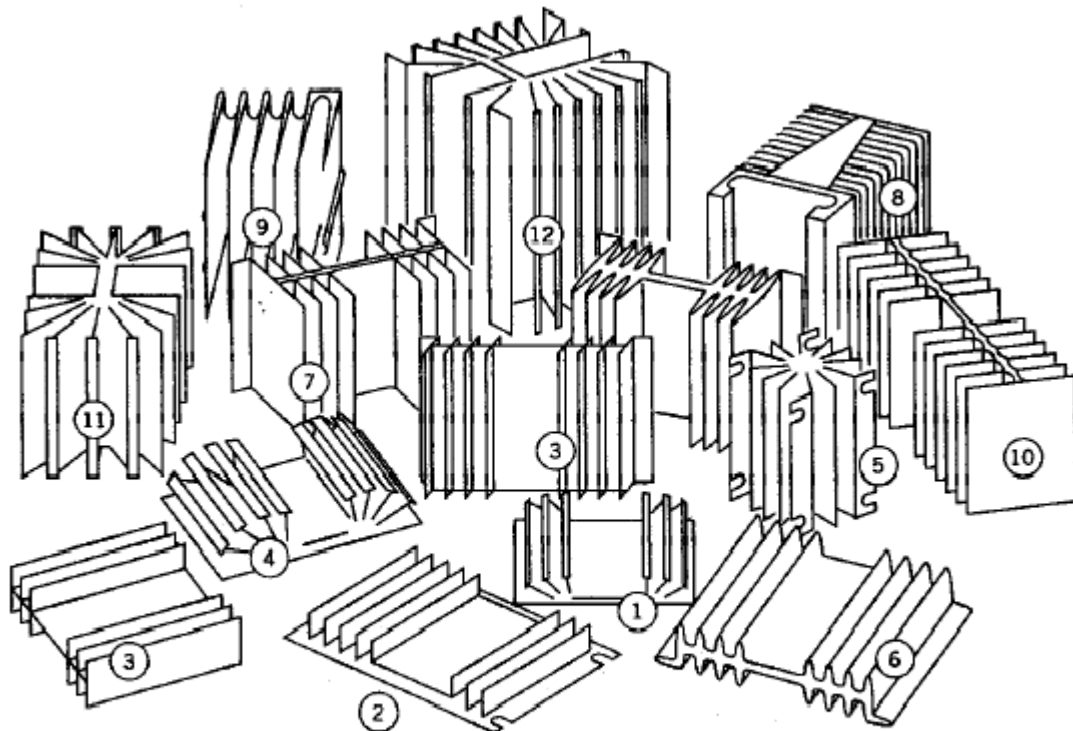
Montage.

Det er vigtigt at komponenter monteres rigtig, ellers virker kølingen ikke.

Der skal altid være kølepasta under effekt komponenter på køleplader. Det er også meget vigtigt at de er skruet godt fast evt. med moment efter databladet. Man kan ikke nitte komponenter fast til en køle plade og få et godt resultat ud af det.

Eksempler på køleplade.

Fig. 3



Heat sink no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R_{\theta_{sa}}$ (°C/W)	3.2	2.3	2.2	0	2.1	1.7	1.3	1.3	1.25	1.2	0.8	0.65
Vol. (cm <sup>3</sup> )	76	99	181	0	198	298	435	675	608	634	695	1311

Betydning af forkortelser.

$T_{amb} = T_a$  .Omgivelses temperatur.

$T_c$  .Temperaturen på uden på komponenten.

$T_j$  .Temperaturen inden I komponenten.

$T_h = T_k$  .Temperaturen på kølepladen.

$P$  .Effekten afsat I komponenten.

$R_{th(j - mb)} = R_{th(j - c)}$ .Termisk modstand inden I komponenten(junction - case).

$R_{th(mb - h)}$  .Termisk modstand fra monterings fladen(Glimmerskive) til køleplade.

$R_{th(h - amb)}$  .Termisk modstand I køleplade.

<http://www.dsel.dk>

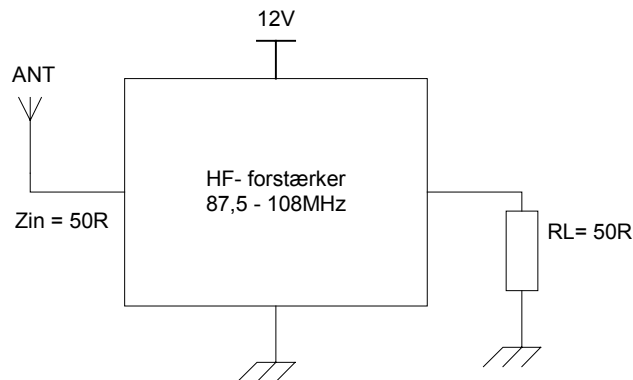
# HF – forstærker 87,5MHz – 108MHz.

Indledning.....	2
Blokdiagram.....	2
Kredsløbsbeskrivelse.....	2
Data på forstærkeren.....	3
Beregninger.....	3
Transistorens DC arbejds punkt.....	3
Indgangs svingningskreds.....	4
Spolen.....	5
Udgangskredsen.....	7
Spolen L2.....	8
Diagram.....	9

## Indledning.

Hvordan man konstruere en HF- forstærker, teoretisk. Den skal kunne forstærke et signal fra 87,5MHz til 108MHz - 3dB. Den er tænkt som en antenne forstærker til FM radio.

## Blokdiagram.



## Kredsløbsbeskrivelse.

Den første svingningskreds bestående af L1, C2 skal impedans tilpasse de  $50\Omega$  fra antennen og den skal sammen med den anden svingningskreds L2, C5 bestemme bånd bredden til  $20,5\text{MHz} - 3\text{dB}$ .

Jeg har valgt alle overføringskondensatorer og afkoblingskondensatorer til  $10\text{nF}$ .

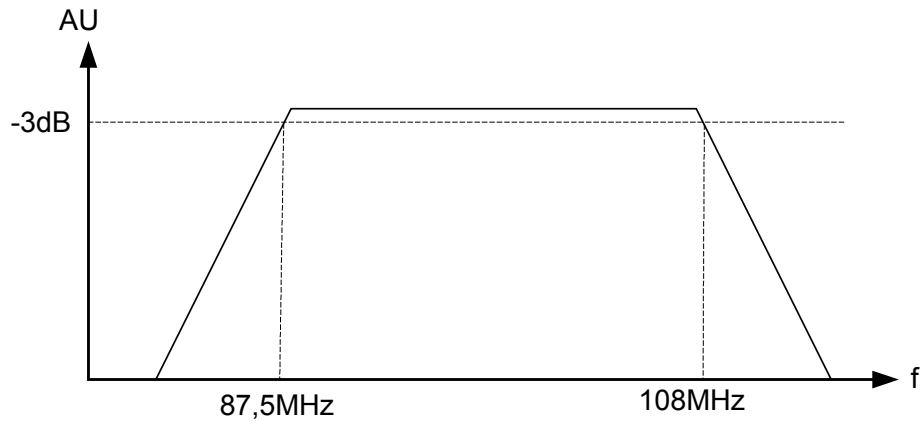
FET'en er hjertet i forstærkeren, da det er den der forstærker signalet, den er koblet som en jordet source. Jeg har ved at lægge arbejdes spændinger på G1, G2 fået de ønsket data på selve forstærkeren. Arbejdes spændingerne er lavet med en spændings deler R1, R2, R4. Strømmen igennem transistoren styres af R3, som også stabiliserer trinet termisk. Udgangs svingningskredsen er der for, at impedans tilpasse til udgangen, som også skal være  $50\Omega$ .

## Data på forstærkeren.

AU: ca. 10 –20 gg.

BW: 20,5MHz.

Frekvensgang:



Indgangs impedans:  $50\Omega$ .

Udgangs impedans:  $50\Omega$ .

## Beregninger.

Data fra data blad på transistoren.

$I_D = 10\text{mA}$ .

$U_{DS} = 10\text{V}$ .

$U_{G2S} = 4\text{V}$ .

$U_{G1S} = -0,08\text{V}$ .

### **Transistorens DC arbejds punkt.**

$$R_3 = \frac{V_{CC} - V_{DS}}{I_D} \Rightarrow \frac{12\text{V} - 10\text{V}}{10\text{mA}} = 200\Omega \approx \underline{\underline{220\Omega}}$$

$$U_{R3} = R_3 * I_D = 220\Omega * 10\text{mA} = \underline{\underline{2,2\text{V}}}$$

$$U_{G2} = U_{R3} + U_{G2S} \Rightarrow 2,2\text{V} + 4\text{V} = \underline{\underline{6,2\text{V}}}$$

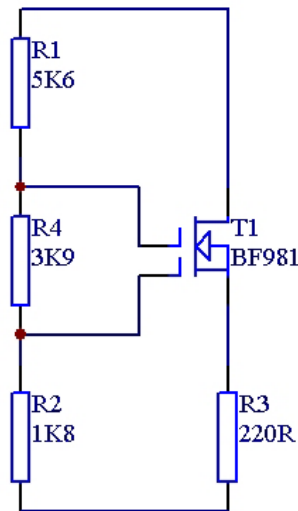
$$U_{G1} = U_{R3} + U_{G1S} \Rightarrow 2,2\text{V} + (-0,08\text{V}) = \underline{\underline{2,12\text{V}}}$$

$I_{R1}$  vælges til 1mA (tværstrømmen).

$$R1 = \frac{V_{CC} - U_{G2}}{I_{R1}} \Rightarrow \frac{12V - 6,2V}{1mA} = 5,8K\Omega \approx \underline{\underline{5,6K\Omega}}$$

$$R4 = \frac{U_{G2} - U_{G1}}{I_{R1}} \Rightarrow \frac{6,2V - 2,12V}{1mA} = 4,08K\Omega \approx \underline{\underline{3,9K\Omega}}$$

$$R2 = \frac{U_{G1}}{I_{R1}} \Rightarrow \frac{2,12V}{1mA} = 2,12K\Omega \approx \underline{\underline{1,8K\Omega}}$$



### Indgangs svingningskreds.

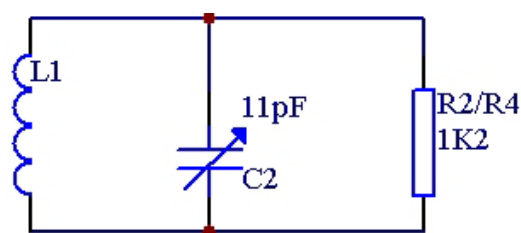
$C2, C5 = 2pF - 20pF$ ,  $V_{CC} = 12V$ .

$$\Delta F_{total} = 108MHz - 87,5MHz = \underline{\underline{20,5MHz}}$$

$$BW = \frac{\Delta F_{total}}{\sqrt[3]{\sqrt{2} - 1}} \Rightarrow \frac{20,5MHz}{\sqrt[3]{\sqrt{2} - 1}} = \underline{\underline{31,8MHz}}$$

$$F_{middel} = \sqrt{F_n * F_{\emptyset}} \Rightarrow \sqrt{87,5MHz * 108MHz} = \underline{\underline{97,21MHz}}$$

$$Q = \frac{F_{middel}}{BW} \Rightarrow \frac{97,21MHz}{31,8MHz} = \underline{\underline{3,06}}$$

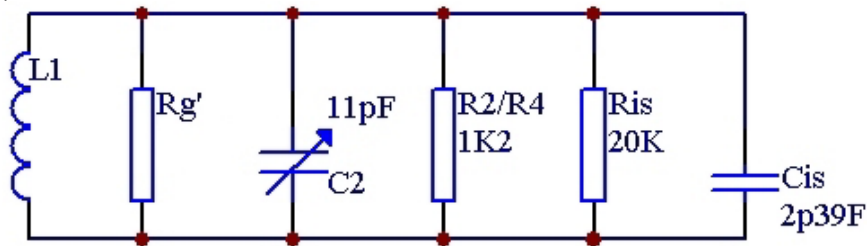




$$C2_{midden} = \frac{\Delta C2}{2} + 2 \Rightarrow \frac{18pF}{2} + 2 = \underline{\underline{11pF}}$$

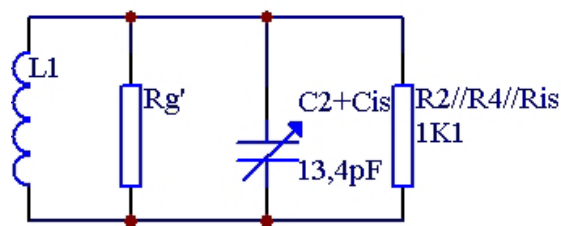
$$b_{is} = 1500\mu S.$$

$$g_{is} = 50\mu S.$$



$$R_{is} = \frac{1}{g_{is}} = \frac{1}{50\mu S} = \underline{\underline{20K\Omega}}$$

$$C_{is} = \frac{B_{is}}{2 * \pi * f} \Rightarrow \frac{1500\mu S}{2 * \pi * 100MHz} = \underline{\underline{2,39pF}}$$



**Spolen.**

$$L1 = \frac{1}{C_{tot} * (2 * \pi * f_{middel})^2} \Rightarrow \frac{1}{13,4pF * (2 * \pi * 97,2MHz)^2} = \underline{\underline{200nH}}$$

$$XL1 = 2 * \pi * f_{middel} * L1 \Rightarrow 2 * \pi * 97,2MHz * 200nH = \underline{\underline{122\Omega}}$$

$$R_{tot} = XL1 * Q \Rightarrow 122 * 3,06 = \underline{\underline{374\Omega}}$$

$$Rg' = \frac{1}{\frac{1}{R_{tot}} - \frac{1}{R_{is} // R2 // R4}} \Rightarrow \frac{1}{\frac{1}{374\Omega} - \frac{1}{1100\Omega}} = \underline{\underline{567\Omega}}$$

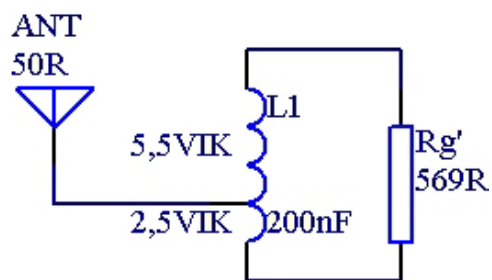
Jeg har valgt at spolen skal være 2CM lang og have en diameter på 0,9CM.

Antal viklinger på spolen.

$$VIK_{L1} = \sqrt{\left( \frac{L1[\mu H] * \left( \left( \frac{L[CM]}{d[CM]} \right) + 0,43 \right) * 100}{d[CM]} \right)} \Rightarrow \sqrt{\left( \frac{0,2 * \left( \left( \frac{2}{0,9} \right) + 0,43 \right) * 100}{0,9} \right)} = 7,6 \approx \underline{\underline{8vik}}$$

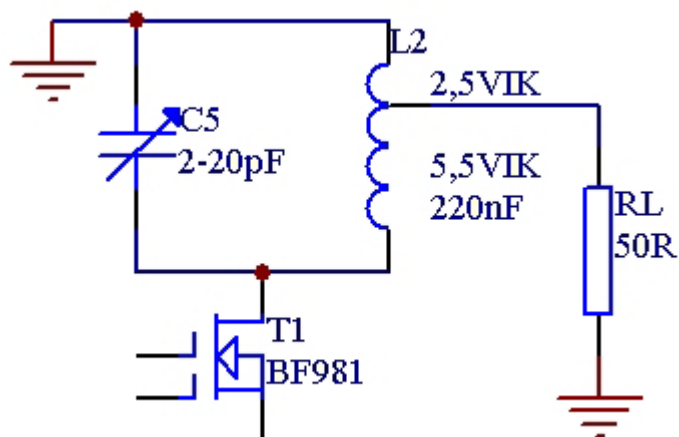
For at impedans tilpasse til de 50Ω på antennen skal vi have et udtag på spolen det skal ligge 2,5 viklinger fra stel.

$$n1 = \frac{n}{\sqrt{\frac{Rg'}{Rg}}} \Rightarrow \frac{8}{\sqrt{\frac{569\Omega}{50\Omega}}} = 2,37 \approx \underline{\underline{2,5Vik}}$$

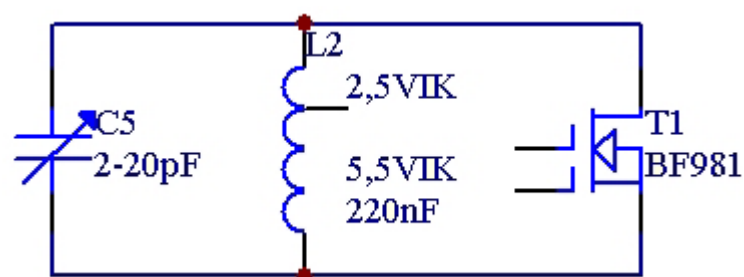


## Udgangskredsen.

Udgangs ækvivalent.



Simplificeret.



Y parameter er af læst til.

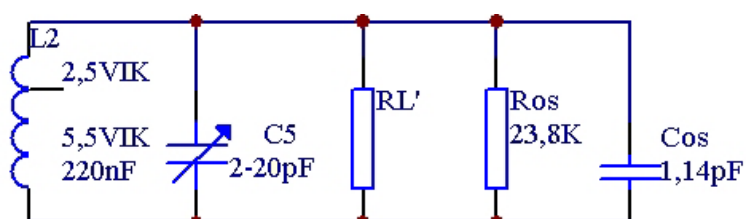
$$G_{os} = 42 \mu S.$$

$$B_{os} = 700 \mu S.$$

$$R_{os} = \frac{1}{g_{os}} \Rightarrow \frac{1}{42 \mu S} = \underline{\underline{23,8 K\Omega}}$$

$$C_{os} = \frac{b_{os}}{2 * \pi * F_{middel}} \Rightarrow \frac{700 \mu S}{2 * \pi * 97,2 MHz} = \underline{\underline{1,14 pF}}$$

$$C_{tot} = C5_{midt} + C_{os} = 11 pF + 1,14 pF = \underline{\underline{12,14 pF}}$$



## Spolen L2.

$$L2 = \frac{1}{C_{tot} * (2 * \pi * F_{middel})^2} \Rightarrow \frac{1}{12,14 pF * (2 * \pi * 97,2 MHz)^2} = \underline{\underline{220 nH}}$$

$$XL2 = 2 * \pi * F_{middel} * L2 \Rightarrow 2 * \pi * 97,2 MHz * 220 nH = \underline{\underline{134 \Omega}}$$

$$R_{tab} = XL * Q \Rightarrow 134 \Omega * 3,06 = 413$$

$$RL' = \frac{1}{\frac{1}{R_{tab}} - \frac{1}{R_{os}}} \Rightarrow \frac{1}{\frac{1}{413 \Omega} - \frac{1}{23,8 K\Omega}} = \underline{\underline{420 \Omega}}$$

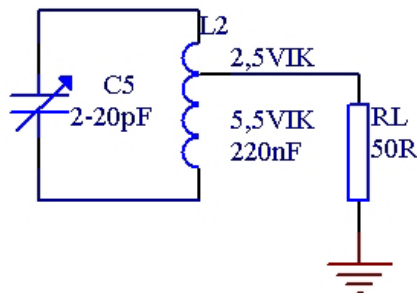
Jeg har valgt at spolen skal være 2CM lang og have en diameter på 0,9CM.

Antal viklinger på spolen.

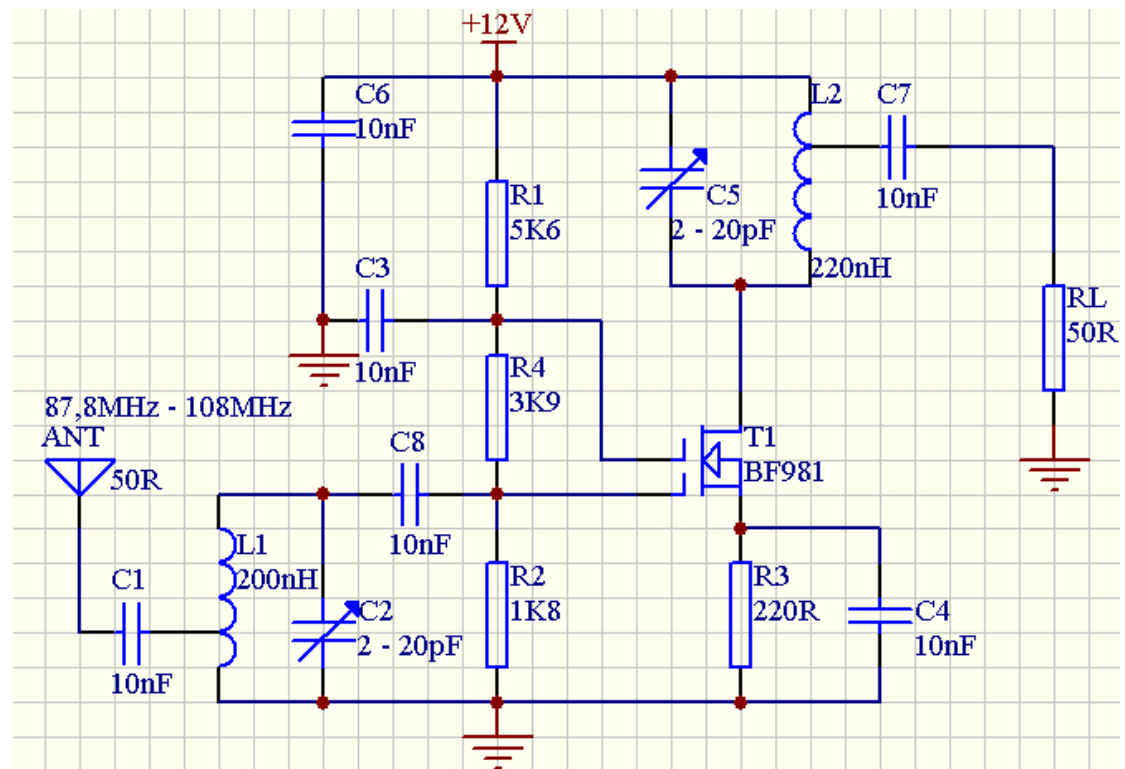
$$VIK_{L2} = \sqrt{\left( \frac{L2[\mu H] * \left( \left( \frac{L[CM]}{d[CM]} \right) + 0,43 \right) * 100}{d[CM]} \right)} \Rightarrow \sqrt{\left( \frac{0,22 * \left( \left( \frac{2}{0,9} \right) + 0,43 \right) * 100}{0,9} \right)} = 7,6 \approx \underline{\underline{8 vik}}$$

For at impedans tilpasse til de 50Ω på antennen skal vi have et udtag på spolen det skal ligge 2,5 viklinger fra stel.

$$n1 = \frac{n}{\sqrt{\frac{R_{tab}}{R_g}}} \Rightarrow \frac{8}{\sqrt{\frac{420 \Omega}{50 \Omega}}} = 2,76 \approx \underline{\underline{2,5 Vik}}$$



## Diagram.



## Spoler.

Alle spoler.

$$L = \frac{XL}{2 * \pi * f} \quad XL = 2 * \pi * f * L \quad f = \frac{XL}{2 * \pi * L}$$

$$L = \frac{UL * \Delta t}{\Delta i} \quad UL = L * \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad \Delta i = \frac{UL * \Delta t}{L}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta i * L}{UL}$$

### Luftspoler. 1lag viklinger.

Bruges til alt.

$$n = \sqrt{\left( \frac{\left( L[\mu H] * \left( \left( \frac{L[CM]}{d[CM]} \right) + 0,43 \right) * 100 \right)}{d[CM]} \right)}$$

$$L[\mu H] = (n^2 * 0,01) * \left( \frac{d[CM]}{\left( \left( \frac{L[CM]}{d[CM]} \right) + 0,43 \right)} \right)$$

### udtag, til impedance tilpasning.

Bruges mest til HF, svingningskredse.

$$n' = \frac{n}{\sqrt{\frac{Rg}{RL}}}$$

### Spolen i en svingningskreds.

Bruges mest til HF.

$$L = \frac{1}{C_{tot} * (2 * \pi * f)^2} = \frac{\left( \frac{1}{(2 * \pi * f)^2} \right)}{C}$$

**Spoler med jernpulver kerne. 1 lag viklinger.**

Bruges bla. til SMPS.

AL = kernen

L = Induktansen

n = Viklinger

$$n = \sqrt{\frac{L}{AL}}$$

$$L = AL * n^2$$

$$AL = \frac{L}{n^2}$$

<http://www.dsel.dk>