

Oppsummering

BJT - forsterkere og operasjonsforsterkere

OP-AMP vs BJT

Fordeler og ulemper

Vi har sett på to ulike måter å forsterke opp et signal, ved hjelp av transistor forsterkere og operasjonsforsterkere, men hvilke fordeler ulemper er ved de forskjellige kretsene

Transistor-krets

- + Billig
- + Høy frekvens
- + Bruker lite strøm
- Man må sette bias og stabilere kretsen.
- Man må ta høyde for drift pga. temperatur i designet.

Op-amp

- + Enkel i bruk
- + Høy forsterkning
- + Høy inngangs impedans
- + God common mode rejection
- + Stabil
- + God presisjon
- Tar stor plass
- Kostbar (særlig hvis den skal være rask)

Husk at operasjonsforsterkere i bunn og grunn er en differensial forsterker bygget opp av mange transistorer. Transistorer brukt i op-amper kan være BJT, FET (f.eks. JFET, CMOS) eller en kombinasjon av både BJT og forskjellige FET-typer.

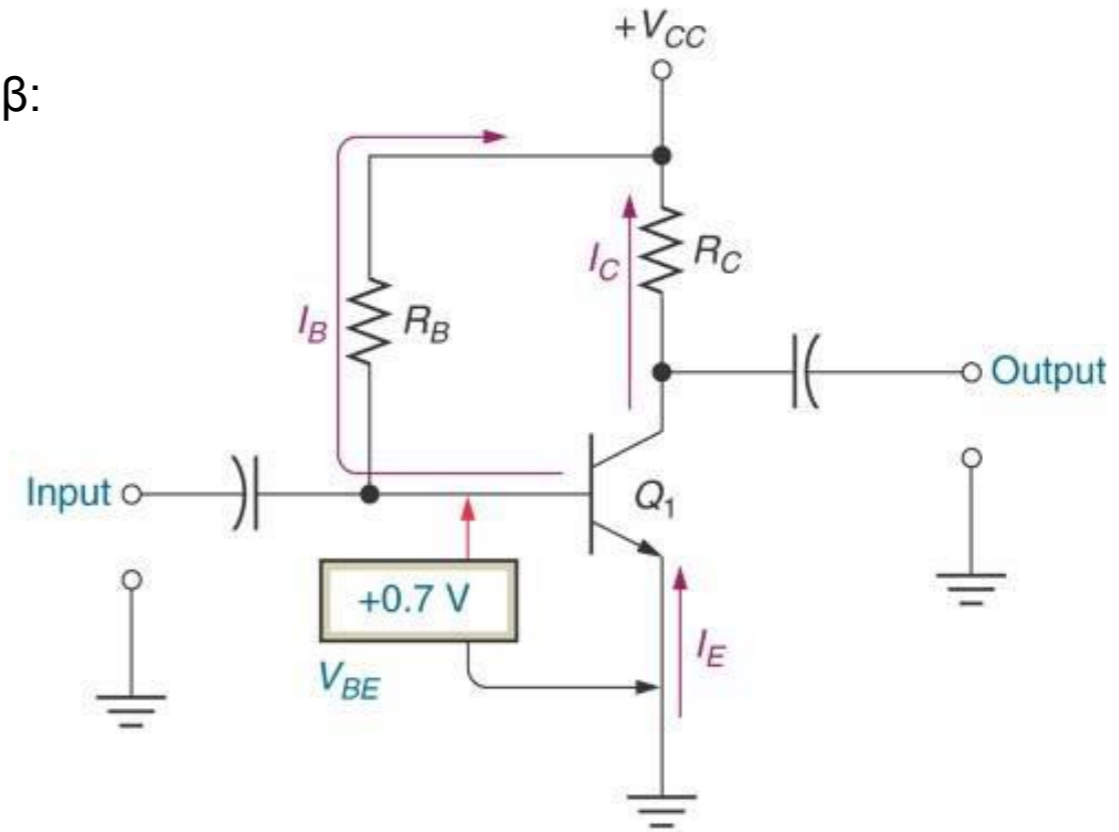
Bipolar Junction Transistor - BJT

brukt som forsterker

DC - beregning på en enkel transistorforsterker :

Du har gitt en transistor med kjent strømforsterkning β :

1. Du velger V_{CC} og I_C
2. Velg arbeidspunkt ved $V_{CC}/2$.
3. Du beregner R_C , I_B og R_B



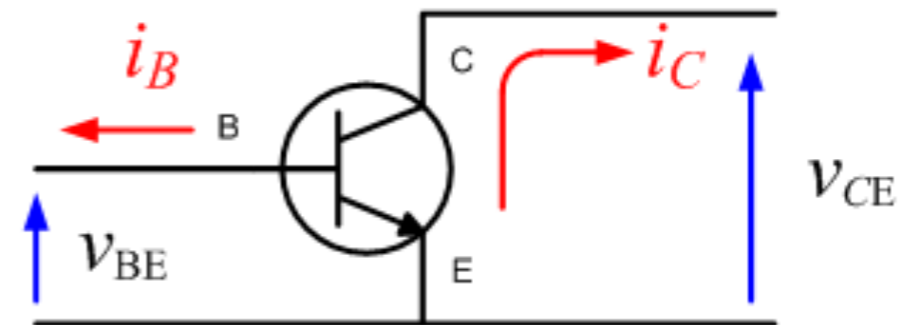
For eksempel, se EKS2016V Oppgave 1

Kondensatorene på inngangen stopper DC, men slipper AC - signalet igjennom

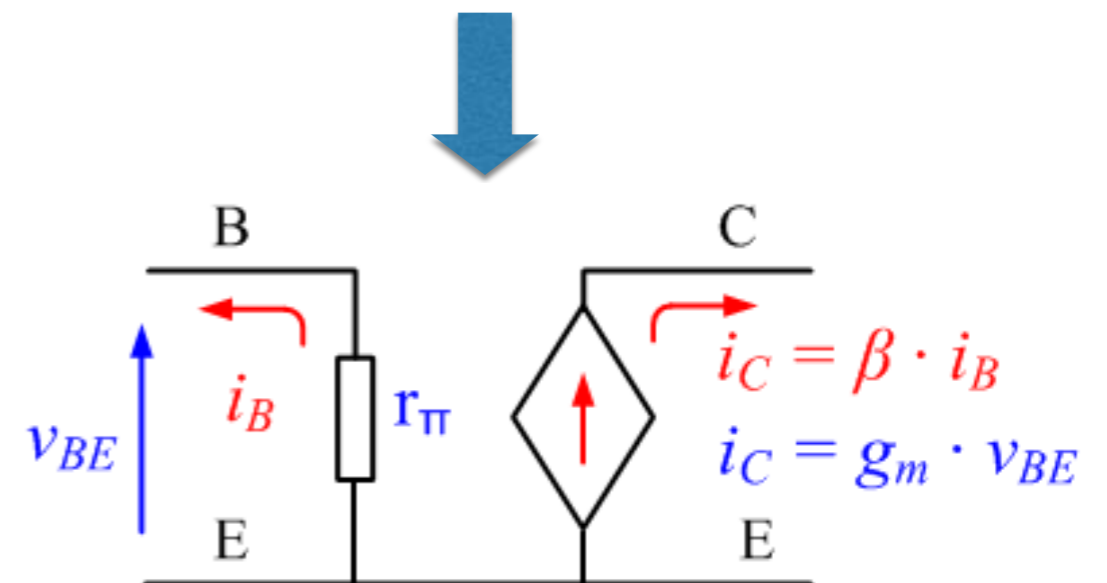
Transistor brukt som forsterker

Småsignalmodell

Vi erstatter det vanlige transistorsymbolet med en småsignalmodell og signalstrømmer og spenninger angis med små bokstaver



Mellom Base og Emitter "ser" signalet en "dynamisk" motstand r_{π} (BE-dioden). Mellom Emitter og Collector finner vi en strømgenerator som leverer signalstrømmen i_C . Denne strømmen bestemmes av transistorens transkonduktans g_m
 r_{π} og g_m kalles småsignalparametere



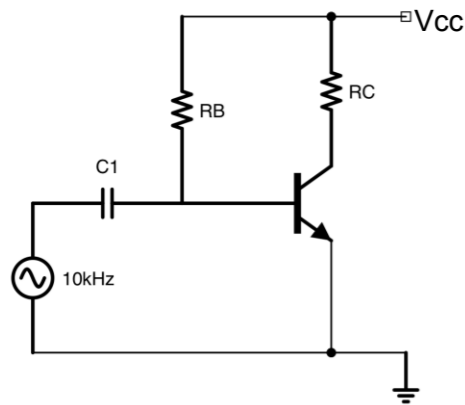
$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_{\pi} = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_B} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C}$$

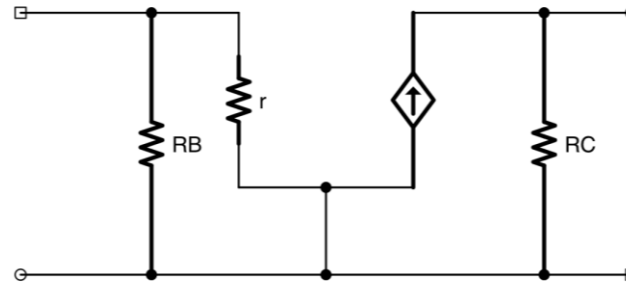
Transistor småsignalmodell

Småsignalmodell - forsterker uten emittermotstand

DC-modell



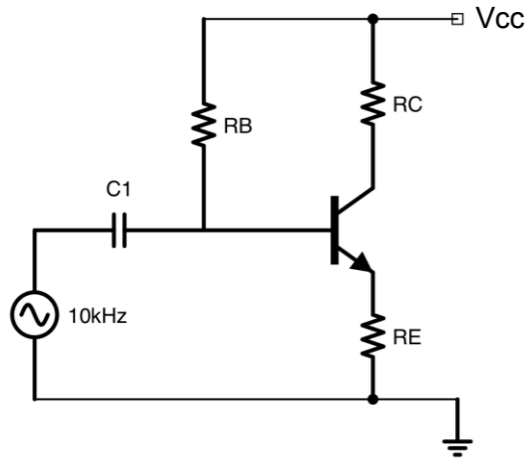
Småsignalmodell



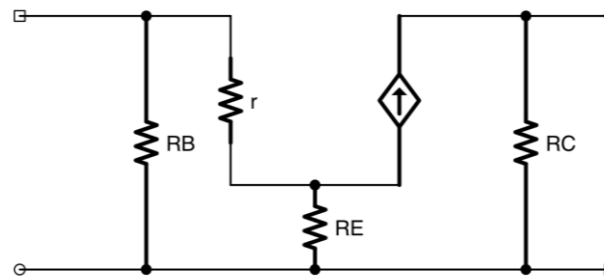
$$A_v = -g_m R_c$$
$$g_m = \frac{I_c}{V_T}$$

Småsignalmodell - forsterker med emittermotstand

DC-modell



Småsignalmodell

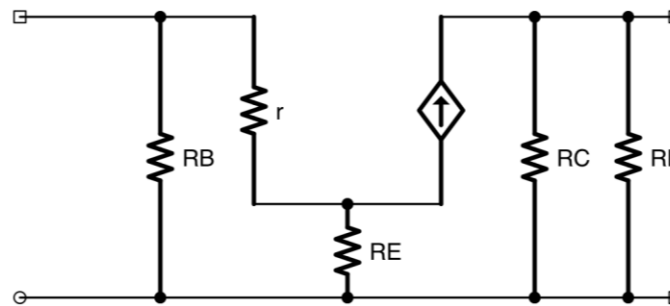
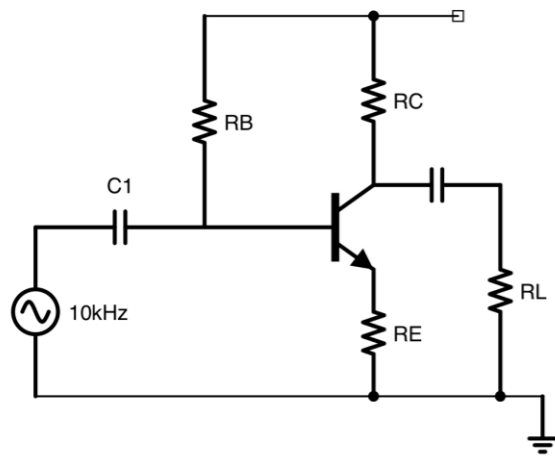


$$A_v \approx -\frac{R_c}{R_E}$$

Transistor småsignalmodell

Småsignalmodell - forsterker med emittermotstand og last

Småsignalmodell

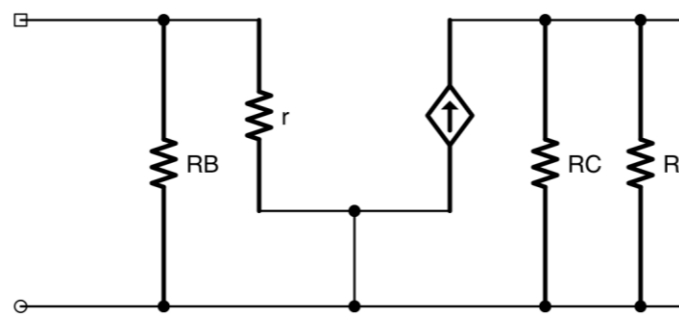
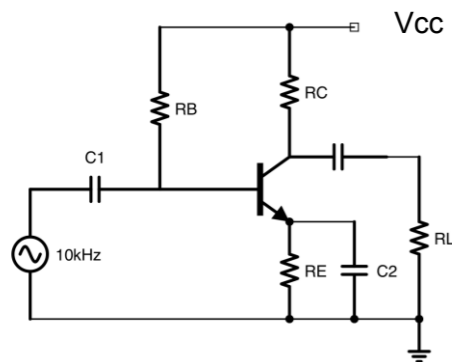


$$A_v \approx - \frac{R_c \parallel R_L}{R_E}$$

Småsignalmodell - forsterker avkoblet emittermotstand og last

DC-modell

Småsignalmodell



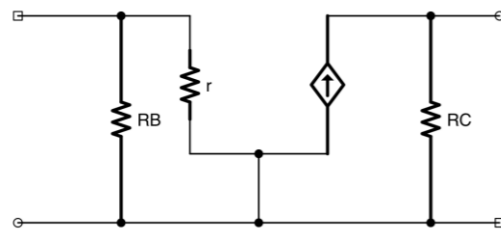
$$A_v = -g_m (R_c \parallel R_L)$$

$$g_m = \frac{I_c}{V_T}$$

Fremgangsmåte for å bestemme forsterkningen

1: Se på emitter for å bestemme formel.

A: Ingen motstand på emitter eller kondensator over emittermotstanden.

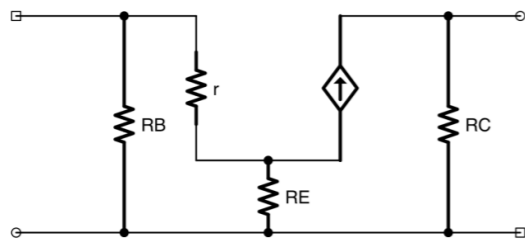


$$v_i = i_B r_\pi$$

$$v_o = -i_C R_C$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{i_C R_C}{r_\pi i_B} = -g_m R_C$$

B: Motstand på emitter



$$v_i = i_B r_\pi + i_E R_E$$

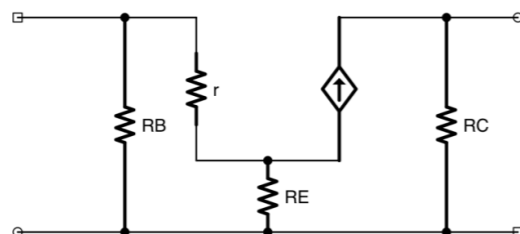
$$v_o = -i_C R_C$$

OBS: Ekstra ledd.

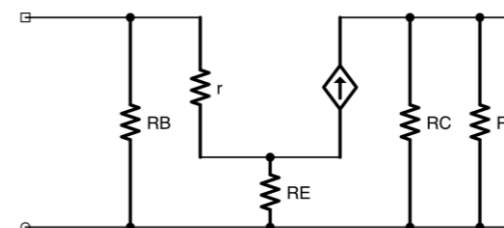
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{i_C R_C}{i_B r_\pi + i_E R_E} \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

2: Se på kollektor for å bestemme R_{TOT} .

$$A_v \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

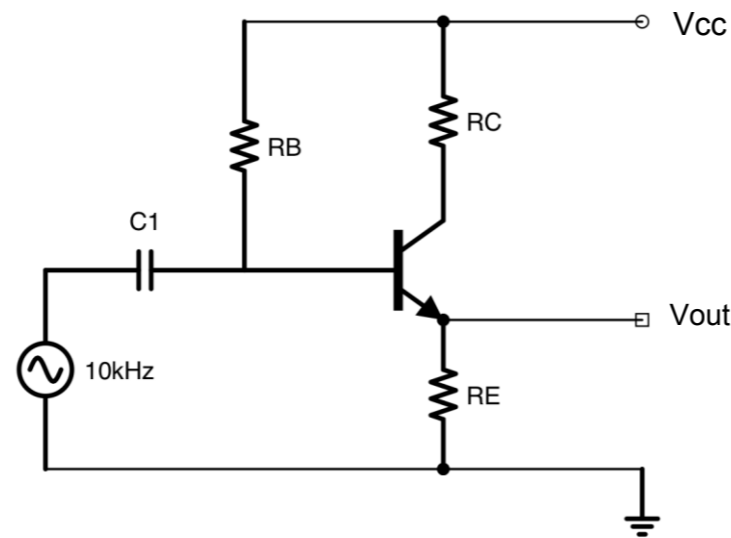


$$A_v \approx -\frac{R_C \parallel R_L}{R_E}$$



Transistor: Emitterfølger

Emitterfølger - ingen invertering og ingen spenningsforsterkning, men stor effektforsterkning - impedanstransformator



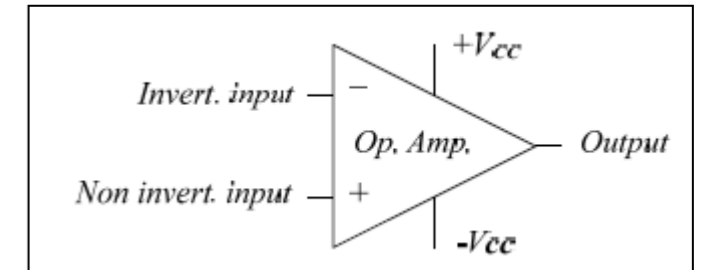
Strømforsterkning

$$A_i = \frac{i_e}{i_b} = \beta + 1$$

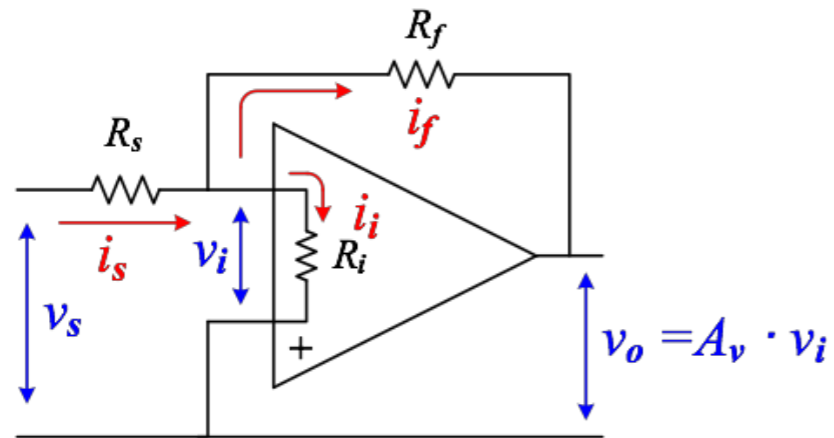
Effektforsterkning

$$A_p = A_v A_i \approx 0,99 \cdot (\beta + 1) \approx \beta$$

Operasjonsforsterkere



Inverterende forsterker

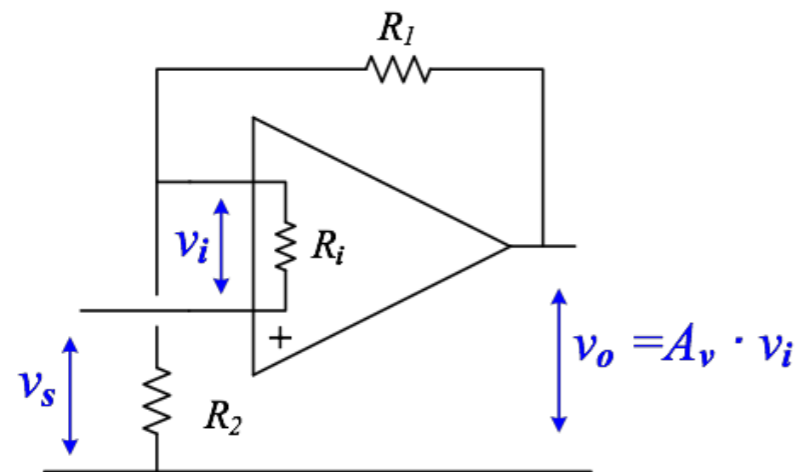


- Signalkilde (v_s) er koblet til inverterende inngang (-)
- Inngangsmotstand: R_s

$$A_v = - \frac{R_f}{R_s}$$

Inngangen (-) på en inverterende forsterker kan betraktes som et virtuelt nullpunkt.

Ikke-inverterende forsterker – (forsterker uten fasevending)



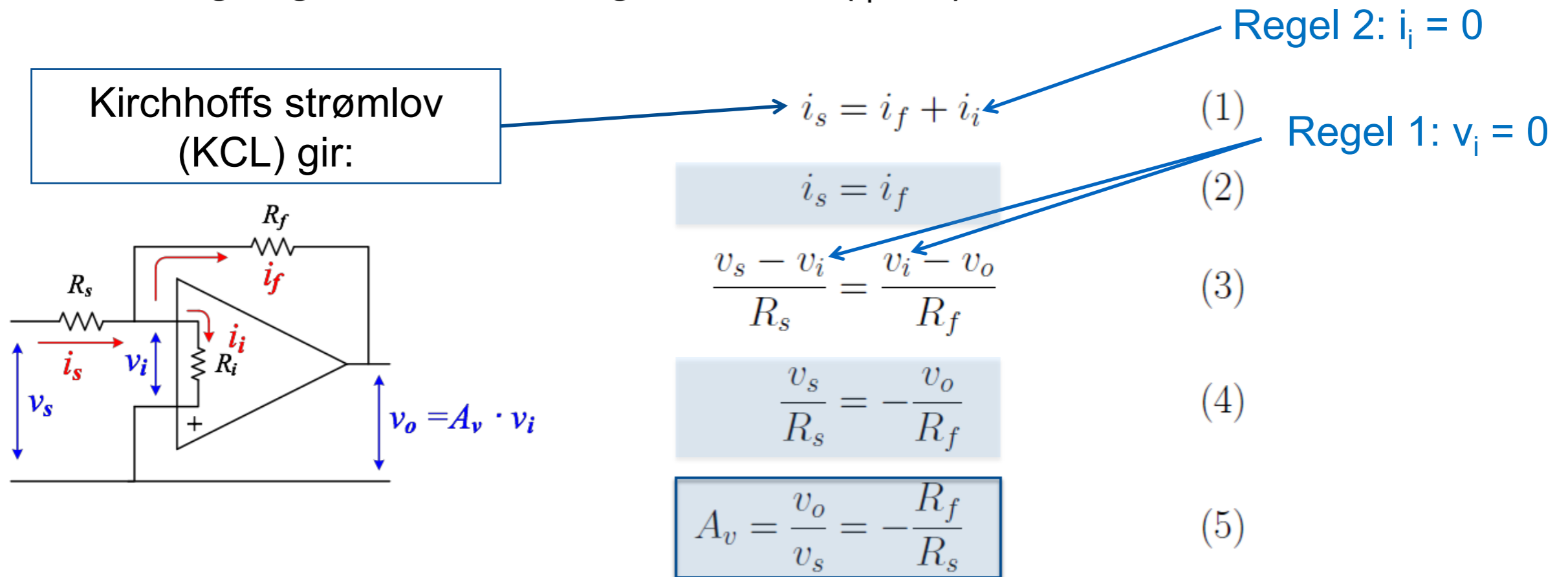
- Signalkilde (v_s) er koblet til ikke-inverterende inngang (+)
- Inngangsmotstand: R_i (veldig stor, \geq Mohm)

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{R_1}{R_2} + 1$$

Operasjonsforsterkere

To enkle regler for op-amp med negativ tilbakekobling:

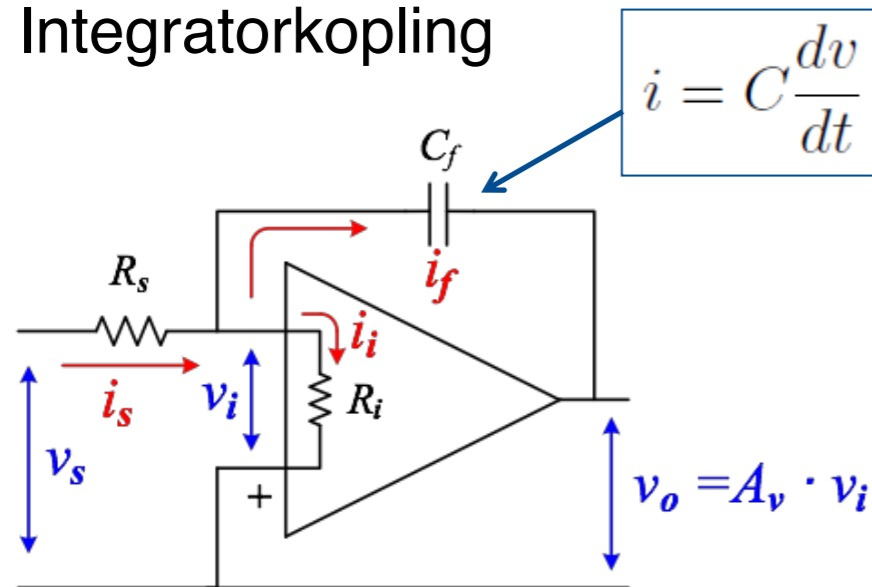
1. Tilbakekoblingen vil gjøre at v_i går mot null ($v_i = 0$).
2. Inngangene trekker ingen strøm ($i_i = 0$).



Disse to reglene gjør det enklere å finne forsterkning. MEN, ved bruk av op-amp i praksis kan det være nødvendig å ta hensyn til at i_i og v_i ikke er null.

Operasjonsforsterkere

Integratorkopling



$$i = C \frac{dv}{dt}$$

$$i_s = i_f$$

(1)

$$\frac{v_s}{R_s} = -C \frac{dv_o}{dt}$$

(2)

$$\frac{dv_o}{dt} = -\frac{1}{R_s C} v_s$$

(3)

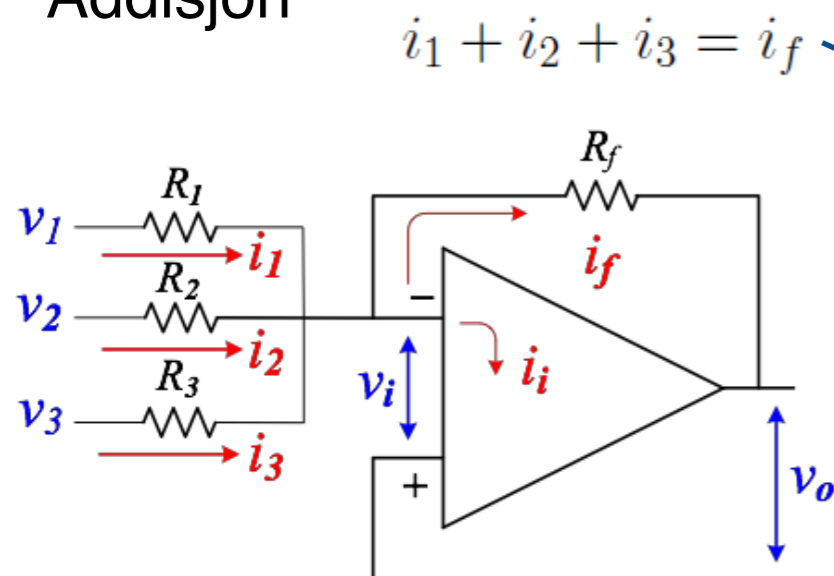
Regel 2: $i_i = 0$

Regel 1: $v_i = 0$

Integrerer på begge sider

$$v_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_s dt$$

Addisjon



$$i_1 + i_2 + i_3 = i_f$$

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \frac{R_f}{R_3} v_3\right)$$

Hvis $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$

får vi addisjon med invertering

$$v_o = -(v_1 + v_2 + v_3)$$

Operasjonsforsterkere

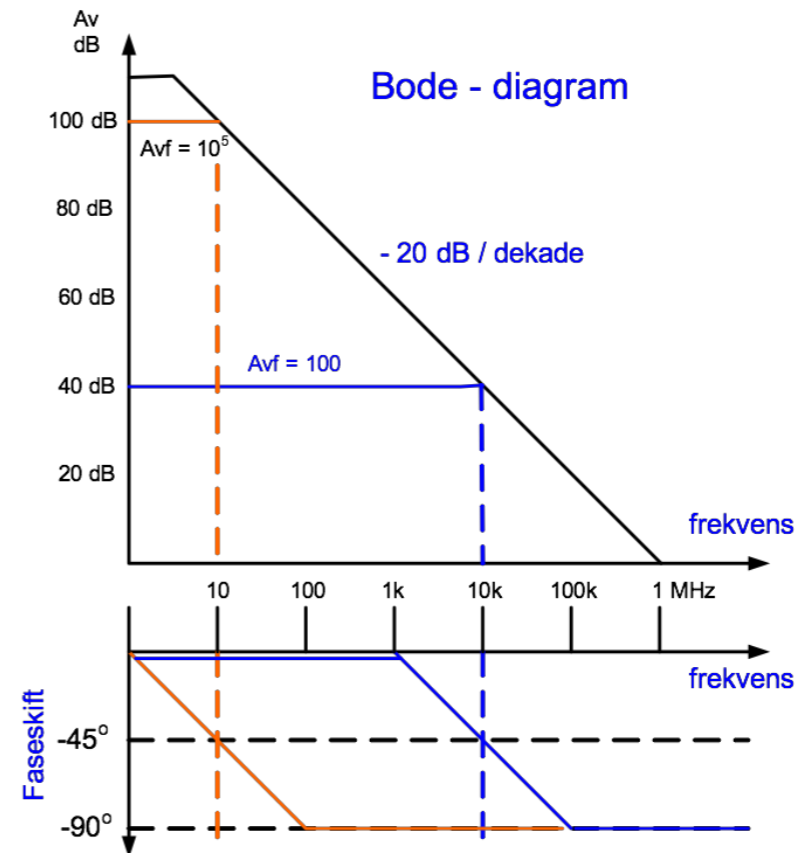
Frekvensforløp – stighetshastighet - slew rate

Bode - diagram beskriver amplitude og faseforløp. De to diagrammene "henger sammen"

Operasjonsforsterkeren har størst forsterking for DC – så faller den med 20 dB pr. dekada.

Båndbredden bestemmes av forsterkningen (A_v). $A_v = 100$ (40dB) resulterer i en øvre grensefrekvens på 10 kHz.

Ved grensefrekvensen (f_g) har vi et faseskift på 45° .
Faseskiftet starter en dekada før – og ender med 90° faseskift en dekada etter f_g .



Gain Bandwidth Product – GBW

Produsentene oppgir GBW ved $A_v = 1$

Det betyr at en operasjonsforsterker med oppgitt $GBW = 1MHz$ vil med $A_v = 100$ (40dB) ha en båndbredde (BW) på 10 kHz.

$GBW 1 MHz = 100 (A_v) \cdot 10\ 000 (BW)$ (Forsterkningen multiplisert med båndbredden = GBW)

Slew rate (s) er et mål på forsterkerens evne til å reagere på spenningsvariasjoner

S er øvre grense for utgangsspenningens variasjonshastighet.

Skal vi ha forvrengningsfri forsterkning av et sinusformet signal er betingelsen:

$$f_{max} = \frac{slewrate}{2\pi U_{pk}}$$