



## **TRANSISTORER OG TRANSISTORFORSTÆRKERE**

I dette kompendium gennemgås forskellige transistor-koblinger, baseret udelukkende på Bipolar transistorer.

For Mosfet, se separat dokument !!

Rettelser eller tilføjelser modtages gerne.

/ Valle

Se stor samling af transistor-kredsløb:

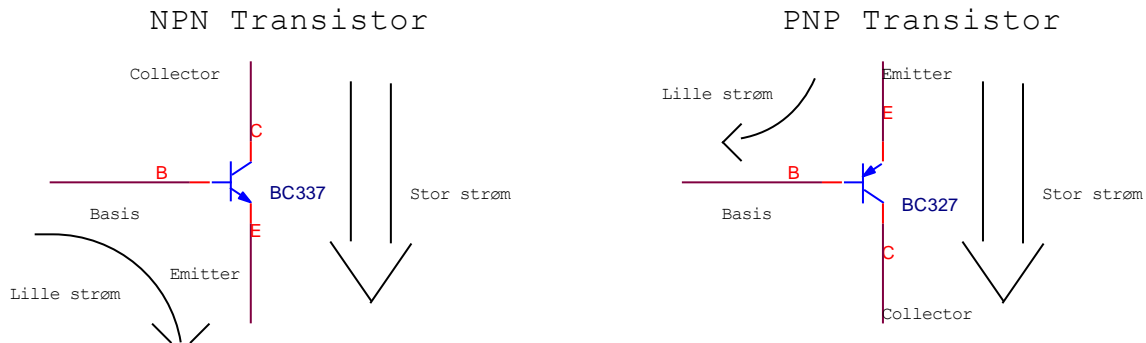
<http://electropub.files.wordpress.com/2011/07/the-transistor-amplifier.pdf>



Der findes to typer af den "gamle" bipolære transistor. En NPN-type, og en PNP-type. Følgende skitser viser, strømretningerne i de to typer.

Fælles gælder, at en "lille" strøm styrer en "stor" strøm. Nogenlunde som i et servosystem, fx servostyringen i en bil, eller måske især en lastbil. Her kan en lille kraft overført fra hænderne til rattet styre en stor kraft, der drejer hjulene.

Følgende skitser viser strømretningerne i de to typer transistorer:

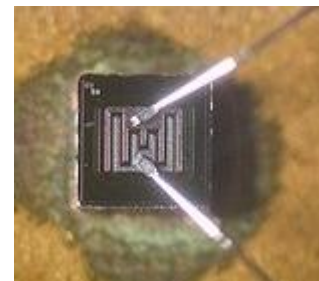


Her ses et eksempel på udformningen af en transistor-chip.

På engelsk, en "Transistor die".

Den mangler bare at blive pakket ind.

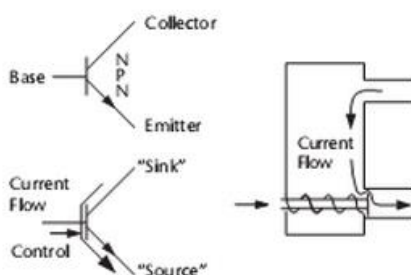
Der ses kun 2 tilledninger. Den 3. er "bagpladen".



## Transistor analogi:

Bipolære transistorer er strømstyrere. Dvs. at den strøm, en transistor tillader fra Collector til Emitter ( for NPN-typer ) er styret af den strøm, der flyder gennem Basen til Emitter.

Følgende skitser kan måske hjælpe til at man kan forholde sig til hvordan en transistor virker.



En lille strøm kan styre en større strøm.

Bemærk, det er en **strøm** i Basis, der styrer den "store" strøm.

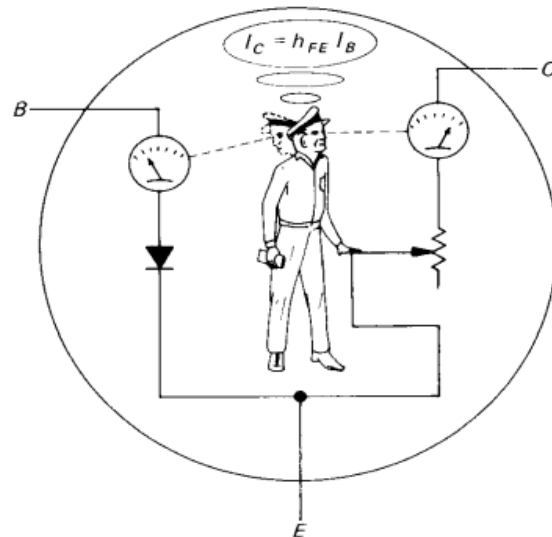
Skitsen til venstre "viser princippet".



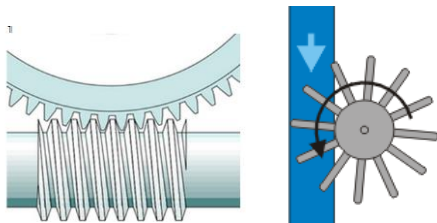
Her en anden skitse:

"The transistor man" observes the base current, and adjusts the output rheostat in an attempt to maintain the output current 6 times larger.

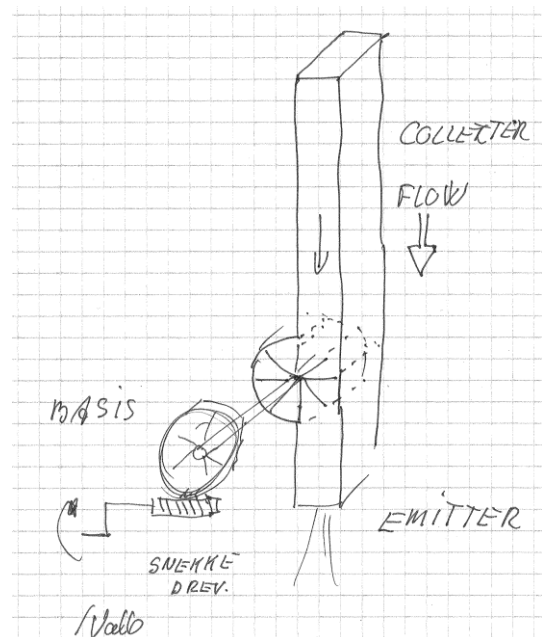
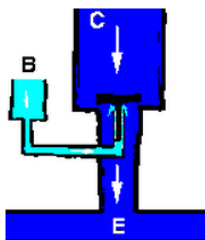
Nogle steder er transistorens forstærkning angivet som hfe, men vi bruger beta,  $\beta$



Snekke og vandhjul som de er tænkt brugt i skitsen til højre.



Herunder: Der skal et flow til fra B for at løfte ventilen. Herefter kan der flyde vand fra C til E.



<http://www.satcure-focus.com/tutor/page4.htm>



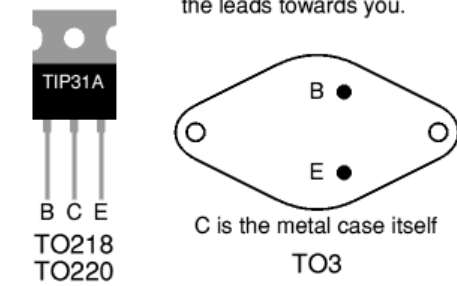
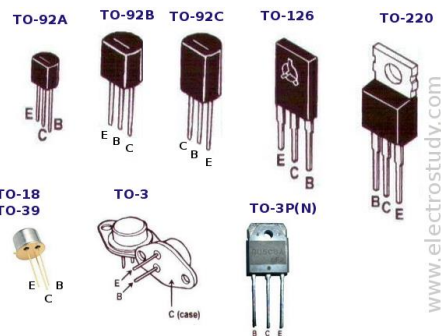
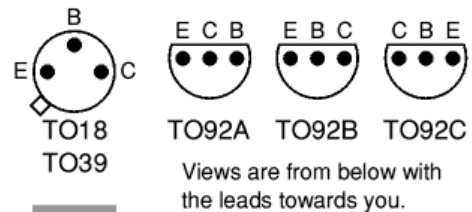
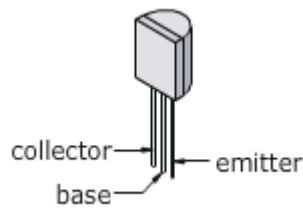
[Se: Transistoranimation](#)



## Transistorhuse:

Transistorer fås i mange forskellige typer, og i mange forskellige typer huse. Her et par eksempler: For at være sikker på benforbindelserne, må man tjekke databladene!

Husk at lægge mærke til forskellen mellem Bottom-view og Top-view.





Eksempel på nogle transistorers benforbindelser og udvalgte data.

Type:		Gain:	Vbe	Vce	Current	Case
2SC1815	NPN	100	1v	50v	150mA	
2SC3279	NPN	140 to 600 @0.5A	0.75v	10v	2amp	
BC337 BC338	NPN	60 @300mA	0.7v	45v 25v	800mA	
BC547 BC548 BC549	NPN	70 @100mA	0.7v	45v 30v 30v	100mA	
BC557	PNP			45v	100mA	
BD139	NPN	70-100 @150mA	0.5v	80v	1.5A	
BD140	PNP	70-100 @150mA	0.5v	80v	1.5A	

<http://www.talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/200TrCcts.html>

SMD transistorer kan fx se således ud: De er kun få mm. lange!

SMD står for Surface Mounted Device. Dvs. komponenter, der ikke skal loddes i borede huller i en printplade.



Det er også muligt, at få transistorer i IC'er: fx ULN 2003, der er et transistor-array,

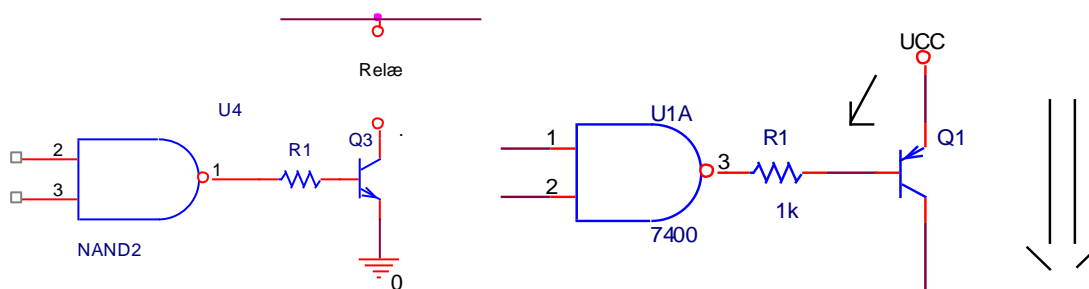


Den har 7 ( darlington ) transistorer med Open Collector.

IC-en ULN 2803 er en tilsvarende, men har 8 udgange!

**Opgave: Undersøg datablad for disse to:**

## Transistoren som Switch





Det, vi hidtil har brugt en transistor til, har mest været som switch. Dvs. til at håndtere en større strøm, end en gate eller en Operationsforstærker kan klare. Ovenfor er transistorer styret af en gate!

Til venstre ses en NPN transistor, til højre en PNP.

En bipolar transistor er strømstyret. Dvs. at der skal en basisstrøm til for at transistoren kan lede en given strøm fra Collector til emitter. Størrelsesforholdet mellem basisstrømmen og collectorstrømmen kaldes transistorens strøm-forstærkning. Den kaldes  $h_{fe}$  eller  $\beta$ .

For småsignal-transistorer har  $\beta$  en værdi på ca. 200 – 300 gange. Større transistorer, fx en "Krafttransistor" som 2N3055 har en ret lille strømforstærkning. Måske kun 50 gange. Tjek datablad!

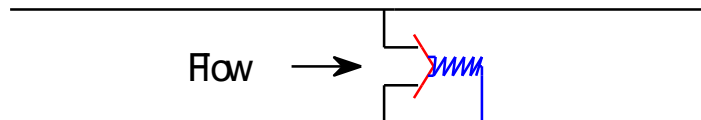
Skal transistoren bruges som switch, skal man sikre sig, at den styres helt ON. Dvs. den skal have rigelig basisstrøm. Den virker derved som en strømstyret kontakt. Dog er der et spændingsfald fra Collector til Emitter på minimum ca. 0,2 Volt.

Når der vælges en transistor, skal man tjekke dens  $I_{C\ max}$ . En transistor kan kun switche en maksimal strøm. For BC547 er det 100 mA, og for BC337 er det hele ca. 500 mA! Kraft-transistorer kan switche mere, men kræver større basisstrøm fordi forstærkningen er mindre!

Spændingsfaldet  $\Delta U_{CE}$  er ca. 0,2 til 0,3 Volt, og  $\Delta U_{BE}$  er ca. 0,7 Volt.

Basis-Emitter-strækningen kræver en spænding på ca. 0,7 Volt, for at "åbne". Fra Basis til Emitter er der en diodestrækning, og den kan sammenlignes med en fjederpåvirket ventil.

Pga. fjederen skal der et vist tryk til, før ventilen åbner.



## Dimensionering af formodstand!!

Kan transistoren i et diagram lede 100 mA, ser dimensioneringen ud som følgende.:

Transistoren skal styres helt ON, derfor helgarderes, der vælges en forstærkning på fx kun 100 gange.

$$\text{Basisstrømmen skal være: } I_{Basis} = \frac{I_{C\ Max}}{\beta} = \frac{100}{100} = 1\text{mA}$$



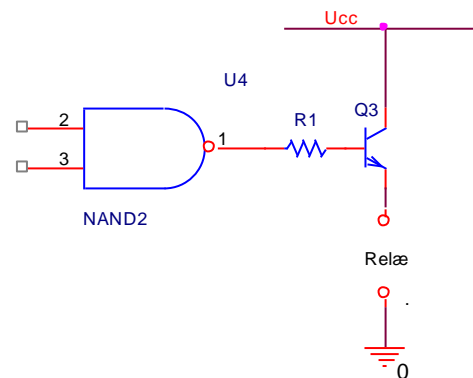
Basismodstanden findes som  $R_{Basis} = \frac{U_{P\ddot{a}trykt} - 0,7}{I_{Basis}}$

Generel formel:  $R_{Basis} = \frac{U_{P\ddot{a}trykt} - 0,7}{\frac{I_{C\_Max}}{\beta}}$

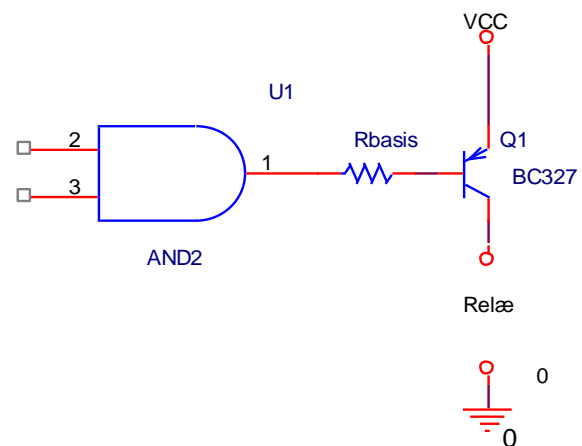
### Eksempler på transistor-koblinger, hvor transistoren bruges som switch.

Dette eksempel virker, men er lidt uheldig. Den er besværlig at beregne på!!

**Forklar!**

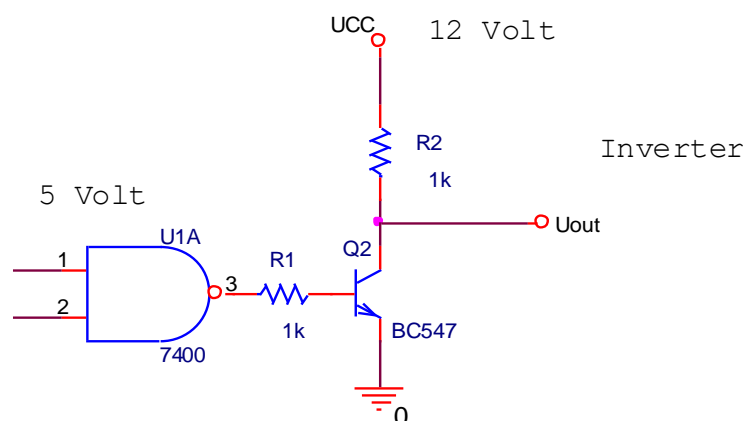


Dette kredsløb er lettere at arbejde med! Der er benyttet en PNP-transistor.



Denne kobling kan fx bruges til Level-shift. Dvs. skift fra et 5 Volt digitalt signal til et 12 Volt signal.

Hvordan kunne det se ud, hvis det skulle styres af en uC af 8051-familien, hvis udgang har Open Collector, dvs. Sink Only ?





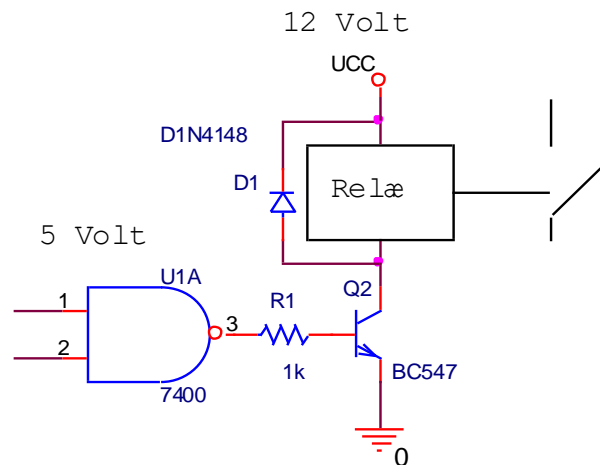
Et eksempel på en Relæstyring. 5 Volt styrer et 12 Volt relæ. Husk beskyttelsesdiode!!

Et relæ kan vha. svagstrøm switche stærkstrøm, ( 230 Volt ) vha. af magnetisering af en spole.

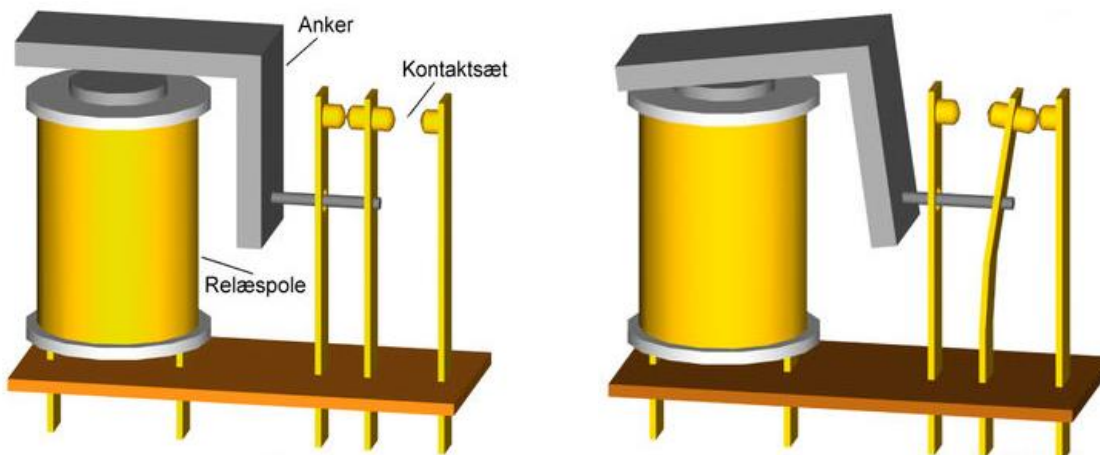
Herved kan man undgå, at elektronikken kommer i kontakt med den høje spænding !

Se evt. dok om relæer [her](#):

( min hjemmeside > Komponenter > Relæ. )



Skitser af relæer:



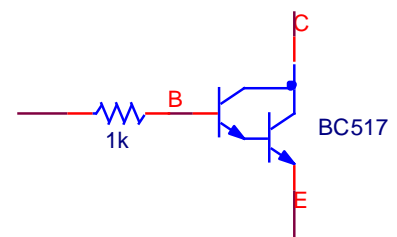
<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Rel%C3%A63.jpg>

## Darlington-transistorer

Darlingtontransistorer er egentlig bare to transistorer, der er sat sammen, så den første transistor forstærker basisstrømmen til den næste.

Dvs. at  $\Delta U_{BE}$  er 2 gange 0,7 Volt, dvs. 1,4 Volt, og at forstærkningen er fx 10.000 gange. Beta gange Beta!

Husk formodstand for Basen! Den skal være betydelig større end 1Kohm, som vist.



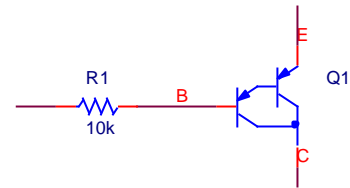




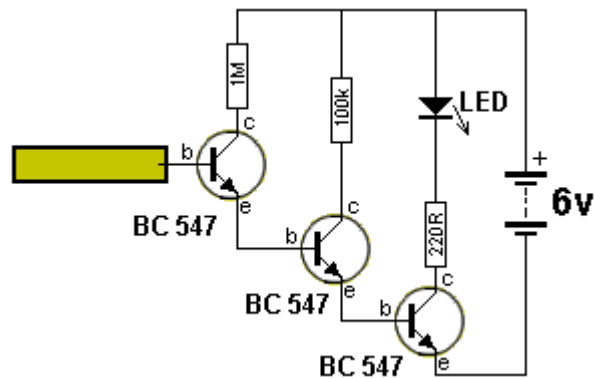
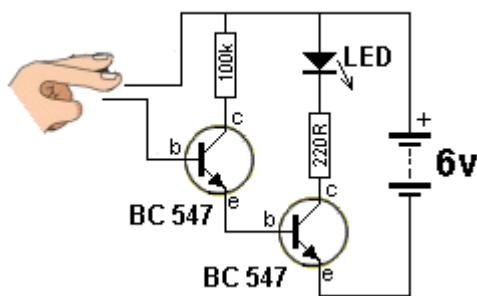
Man skal være opmærksom på, at delta  $U_{CE}$  er meget større end 0,2 Volt i darlington-transistorer.

Darlington-transistorer fås også som PNP. Typer, fx BC516

Typen er navngivet efter Sidney Darlington i 1953



Kredsløbseksempler:



Her kan en berøring, - en kortslutning gennem en finger, - give basisstrøm nok til at den første transistor. Den føder så den anden transistor, der tænder lysdioden.

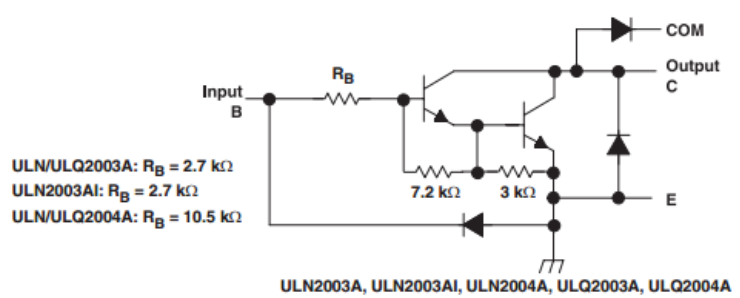
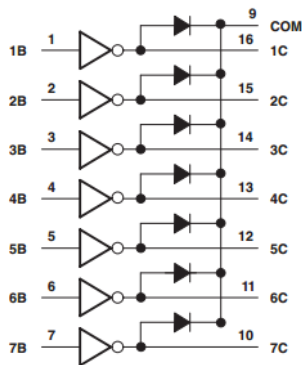
## Gain = 8 MILLION Gange

*This circuit is so sensitive it will detect "mains hum." Simply move it across any wall and it will detect where the mains cable is located.*

*It has a gain of about  $200 \times 200 \times 200 = 8,000,000$  and will also detect static electricity and the presence of your hand without any direct contact. You will be amazed what it detects! There is static electricity EVERYWHERE! The input of this circuit is classified as very high impedance.*

<http://talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/200TrCcts.html>

Her et eksempel på IC-en ULN2003, der er et **Darlington transistor-array** til at drive belastninger. Den kan fx styres direkte fra en microcontroller:



Hver udgang kan synke op til 500 mA. Men bemærk, at når en udgang er lav, kan den max komme ned på ca. 1 til 1,2 Volt, afhængig af strømmen  $I_{CE}$ .

Se datablad!

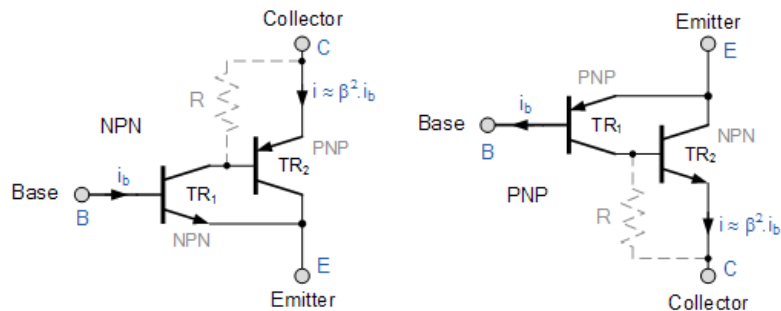
En darlington transistor kan også laves sådan:

Kaldes en Sziklai Transistor Configuration

Kaldes også for

"komplementær Darlington".

Eller forbedret Darlington par.



<http://www.electronics-tutorials.ws/blog/darlington-transistor.html>

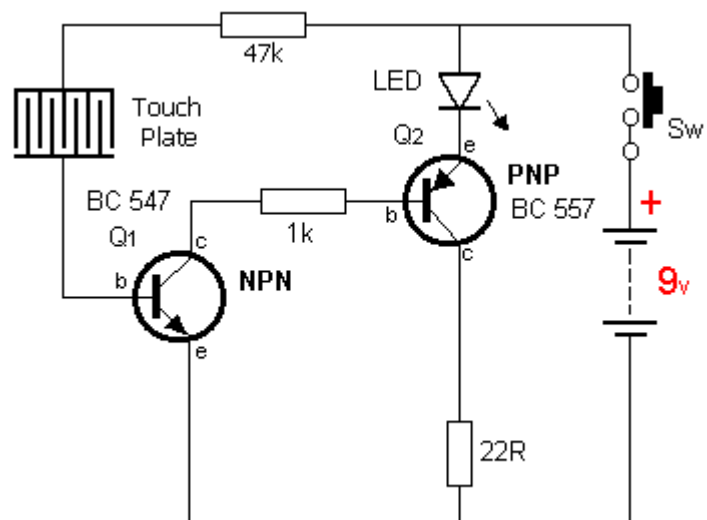
<http://www.electronics-tutorials.ws/transistor/darlington-transistor.html>

Endnu et eksempel på, at man med en finger kan skabe en lille strøm i basen i Q1.

Herved leder Q1, og Q2 får nok basisstrøm til at tænde Lysdioden.

Faktisk et ret dårligt kredsløb !!!!!

22 ohms modstanden virker som strømbegrænsning. Den skaber et spændingsfald, og når den bliver ” for stor” kan PNP-transistoren ikke lede.





## Konstantstrømsgenerator:

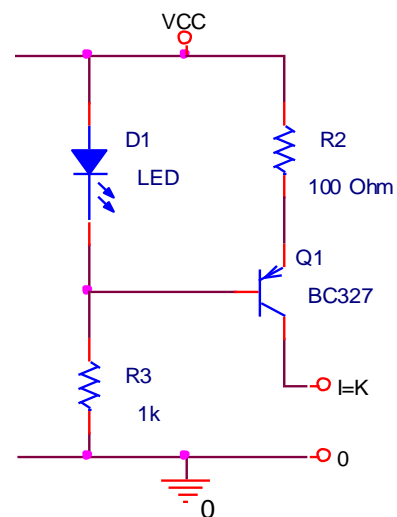
Eller mere korrekt, Strømbegrænser.

Strømbegrænseren er opbygget med en transistor. Kan fx bruges til at forsyne en lysdiode, som kan komme ud for varierende forsyningsspændinger. Dvs. det er næsten lige meget, om indgangsspændingen bliver for stor!! Dioden vil ikke lyse mere af den grund.

Denne og det næste kredsløb viser et par transistorkoblinger til at generere en konstant strøm til fx en lysdiode, uanset indgangsspændingen.

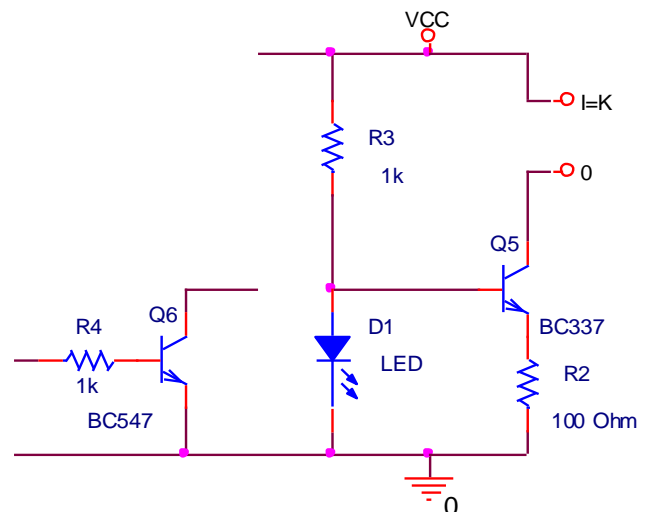
Forklar:

Den næste er nok lettere at forstå!!



Vha. dette kredsløb, kan den konstante strøm switches On / Off

Med transistoren Q6 kortsluttes basen på Q5, så den ikke kan lede. Herved kan udgangsstrømmen afbrydes.

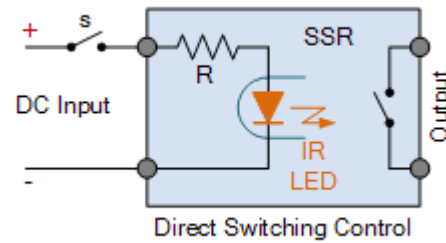


## Solid State Relæer.



Undersøg, hvad en Solid State Relæ er!

Typisk tændes relæet ved at tænde en indbygget lysdiode med en indgangsspændingen mellem 3 og 30 Volt! Dvs. den kan bruges til forskellige styrespændinger.



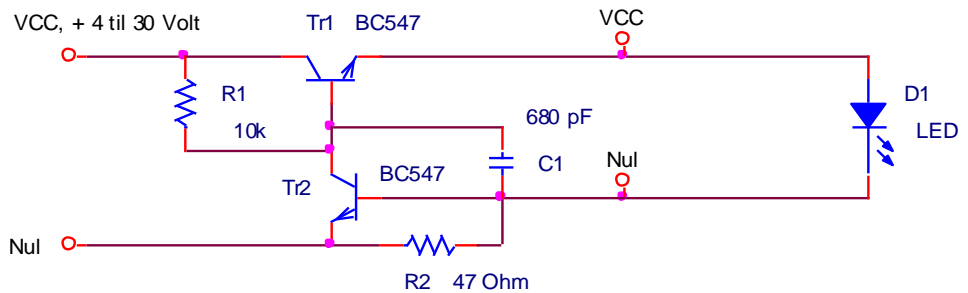
[http://en.wikipedia.org/wiki/Solid\\_state\\_relay](http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_state_relay)

<http://www.electronics-tutorials.ws/power/solid-state-relay.html>

Strømmen gennem lysdioden vil gå gennem R2.

Hvis spændingsfaldet over R2 nærmer sig 0,7 Volt, åbner Tr2

lidt, og den "stjæler" basisstrøm fra Tr1.



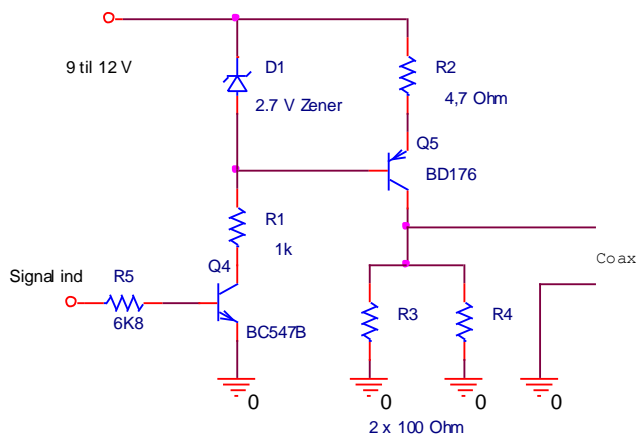
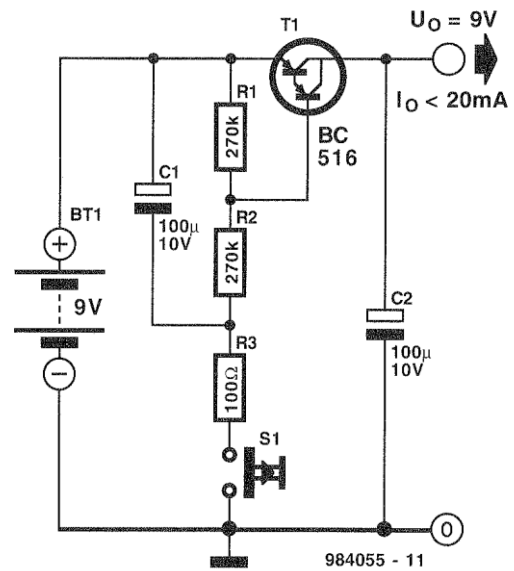
Altså begrænser kredsløbet den strøm, der kan gå gennem lysdioden. Formlen er:  $I = \frac{0,7}{R2} [A]$



On-time kredsløb. Kredsløb, der giver strøm en vis tid.

Efter en tid afbrydes forsyningen!

Forklar!



Signal til Coax-kabel.

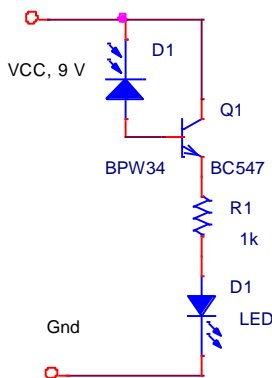
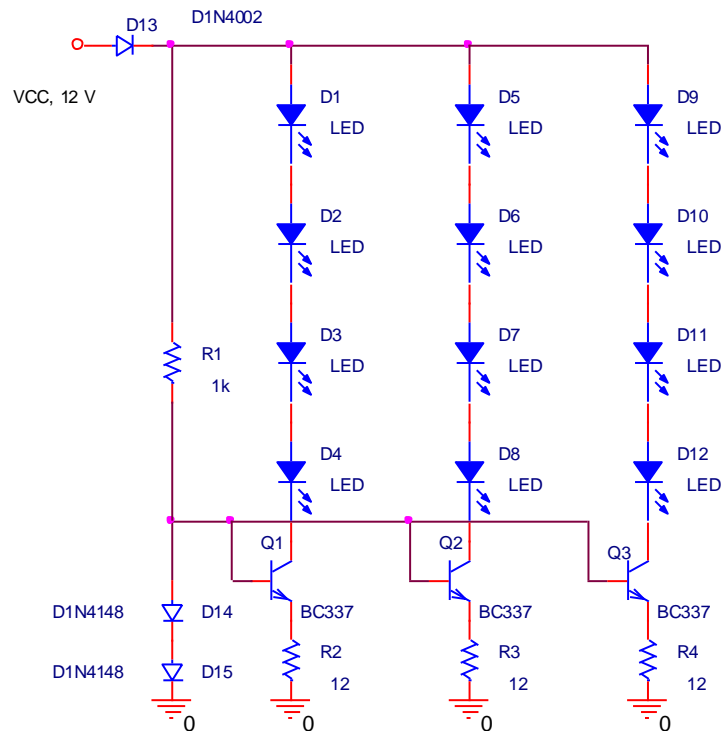


Dette kredsløb er oprindeligt beregnet for IR-Lysdioder. Og der sendes ca.  $0,75V/12\Omega = 62,5 \text{ mA}$  gennem.

Dvs. R2, 3 og 4 skal omdimensioneres til brug af hvide lysdioder, der typisk er beregnet til max 20 mA.

De to 1N4148 kan med fordel erstattes af en rød LED, da den har en mere stejle  $I/\Delta U$ -karakteristik.

Kilde: ELV 3/96



## Infra rød lys-sniffer / detektor.

Fotodioden BP 104 kan også bruges!

Der forbindes til et 9 volt batteri via sluttekontakt.

Undersøg frekvensspektret, og sammenlign det med spektret fra en IR-lysdiode, fx TSAL6200.

*Opbyg testopstilling.*

Fotodiode BPW34



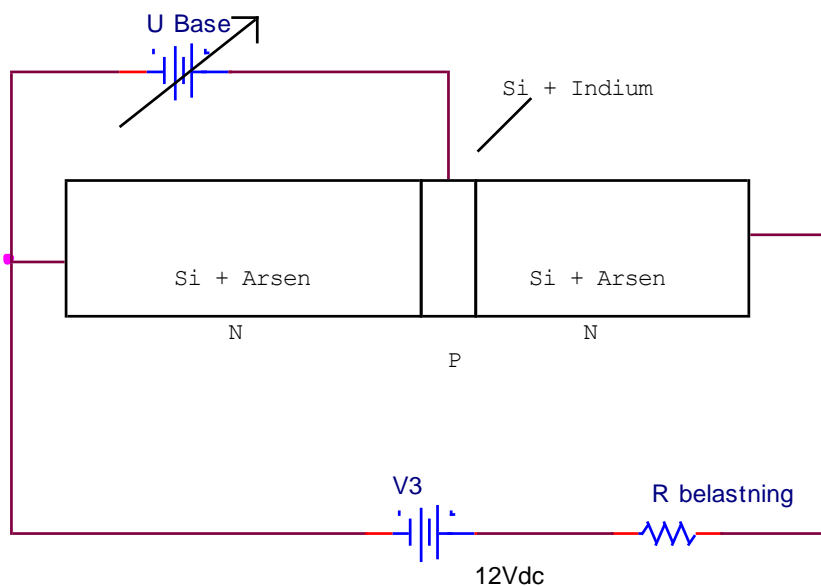


## Transistor-teori

I dette afsnit ses på hvordan en transistor virker på Silicium-niveau:

En transistor er bygget op af 3 silicium-lag.

I følgende eksempel huskes, at elektronstrømmen i realiteten går fra minus til plus!



Basislaget i midten er positiv i forhold til emitter. Dvs. i realiteten er der underskud af elektroner. Derfor tiltrækkes elektroner fra emitter, der jo har overskud af elektroner. Basisspændingen hjælper vandrigen af elektroner.

Mange elektroner der vandrer fra venstre mod højre fortsætter lige gennem det tynde basislag over til Collector, og videre gennem belastningen til plus!! De "trækkes" af det elektriske felt fra V3.

Omkring 99 % af elektronerne fortsætter til Collector.

### Transistoren skematisk! Emitter er til venstre, Collector til højre !

Basisstrømmen svarer til 1 % af  $I_{CE}$ . Altså ses, at den største del af ladningerne vil fortsætte til Collectoren.

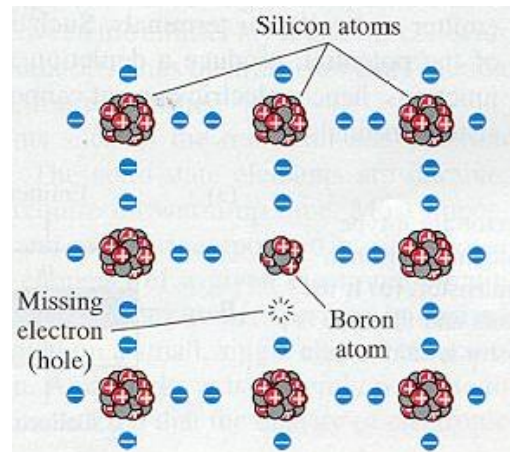
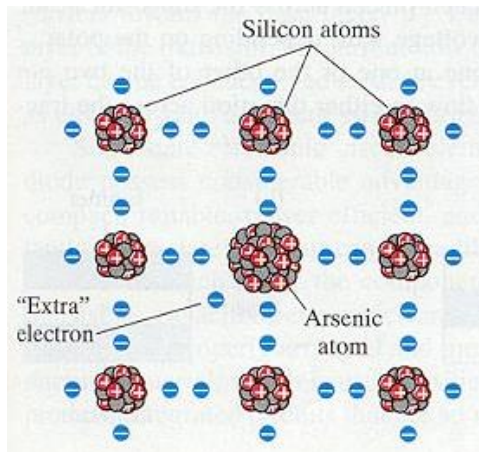
N-materialet er "forurenat" – "doteret" med Arsen, der i yderste skal har 1 elektron mere end silicium. I krystalstrukturen er der altså "overskud" af elektroner, dvs. negativ, dvs. N-materiale.

Basislaget er modsat doteret med Indium, der har 1 elektron mindre i yderste skal, derfor mangler der elektroner i krystal-gitteret. Der er "huller" til elektroner. Det er positiv, "P". Til sammen en NPN-transistor.



# TRANSISTOR-FORSTÆRKER

Version  
29/1 2020

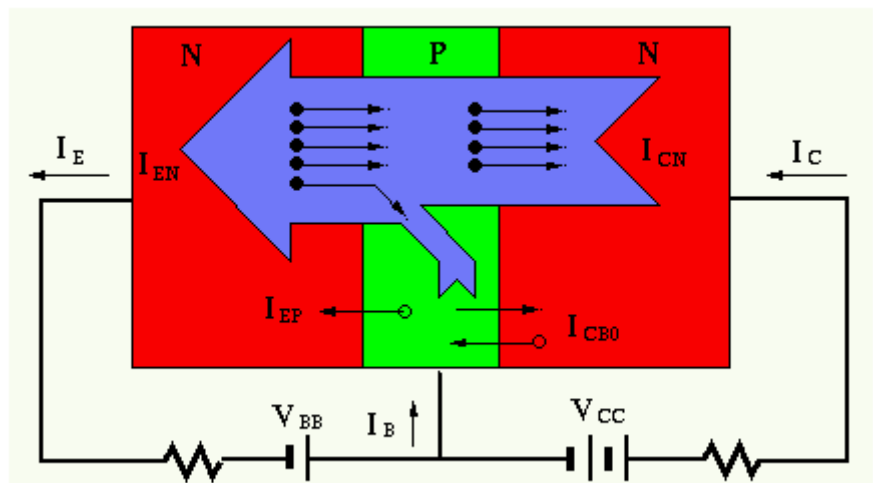


Se : <http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/semiconductordevices/semiconductordevices.html>

Se evt. Også: <http://www.madlab.org/electrn/lesson4.html>

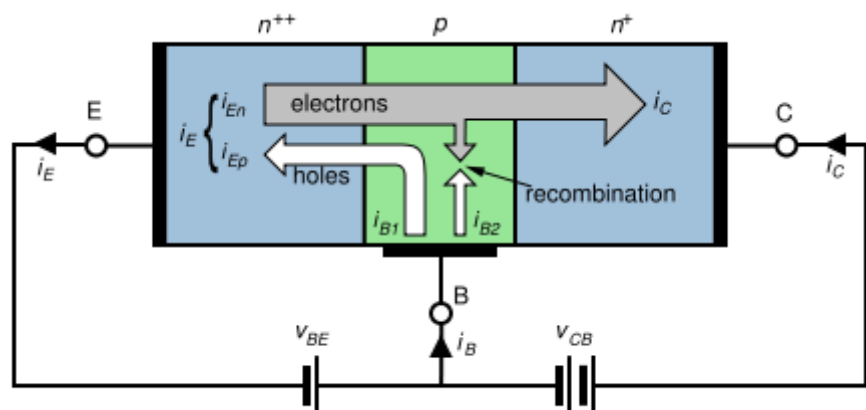
Her ses et billede af transistorens elektronflow. Elektronerne går mod højre, fra Minus mod Plus. !!

Men vi har jo vedtaget, at strømmen går fra Plus til Minus!



<http://fourier.eng.hmc.edu/e84/lectures/ch4/node3.html>

På tilsvarende måde kan man sige, at der går en "hulstrøm" mod venstre.



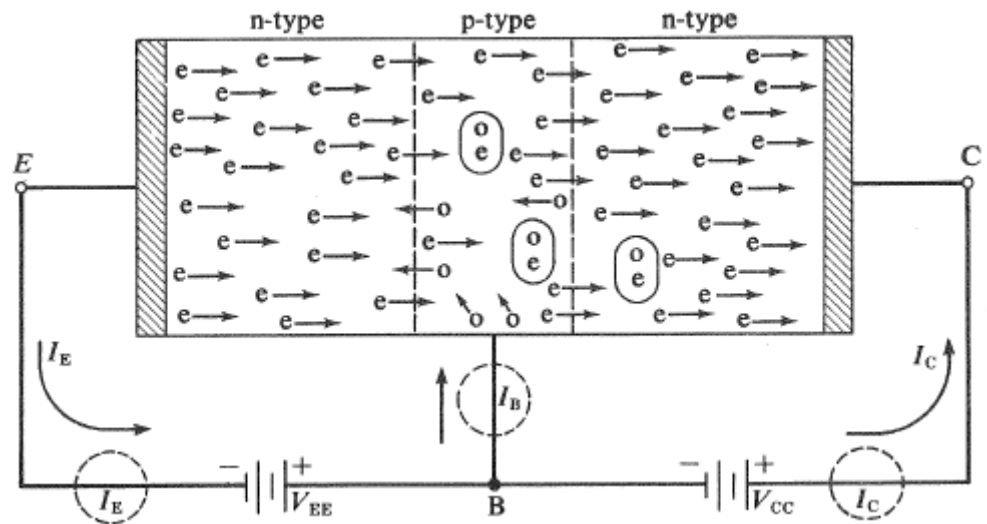
Endnu en skitse:





Billedet viser en NPN-transistor. Emitter-Base-junction'en er forspændt i lederetningen, og Collector-Base i spærretretning.

e = elektroner, o = huller, og oe = recombination af huller og elektroner.

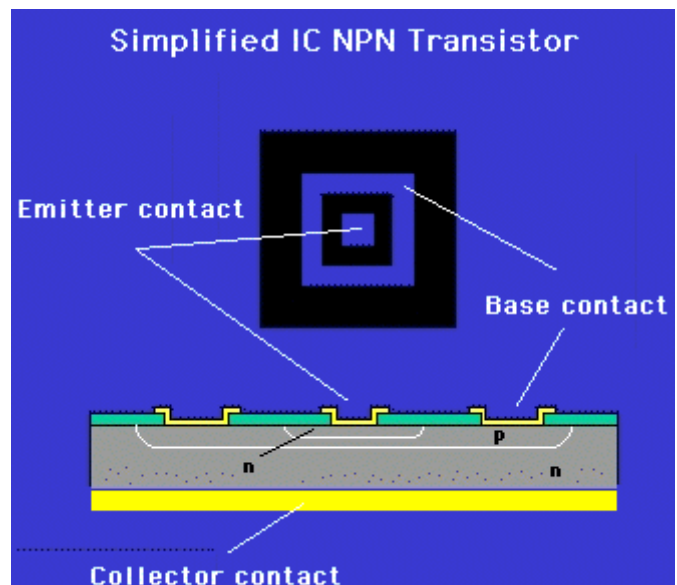
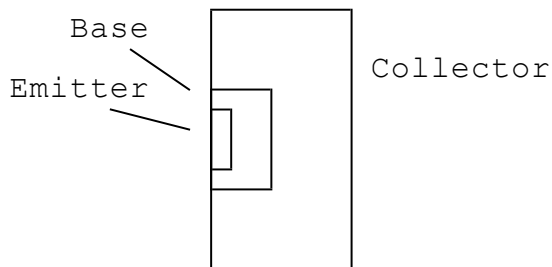


Se animation på [http://www.learnabout-electronics.org/bipolar\\_junction\\_transistors\\_05.php](http://www.learnabout-electronics.org/bipolar_junction_transistors_05.php)

## Opbygning af en "rigtig" transistor:

Skematisk opbygning af transistor:

Lagdelt opbygning.



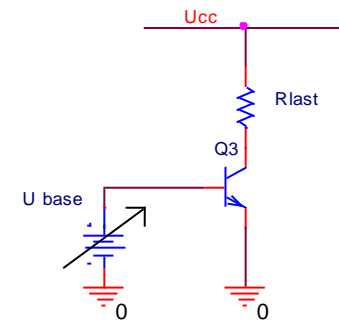
<http://fourier.eng.hmc.edu/e84/lectures/ch4/node3.html>



## Måling af transistor-parametre

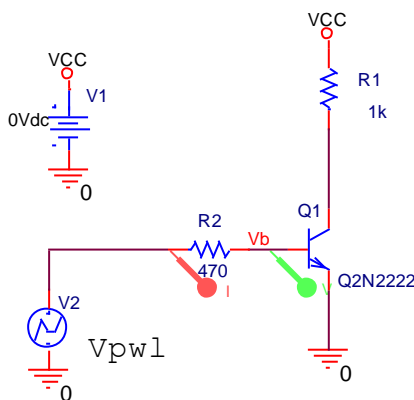
Vha. denne testopstilling kan forholdet mellem de forskellige strømme og spændinger i transistoren findes. De kaldes transistorens parametre, eller transistorens karakteristik.

Der indsættes metre for at måle strømme og spændinger, og det indsættes i grafer som vist nedenunder:

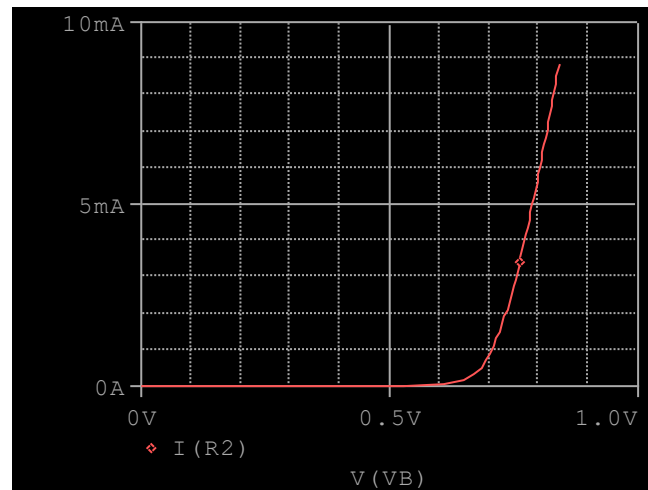


Delta  $U_{BE} \sim 0,6$  til  $0,7$  Volt.

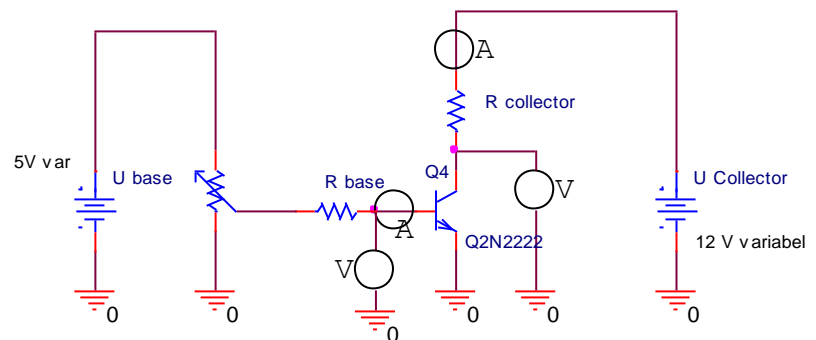
Ved hjælp af ORCAD er der her vist en graf for  $I_{basis}$  som funktion af  $U_{basis}$ , dvs.  $I_{be} = f(U_{be})$



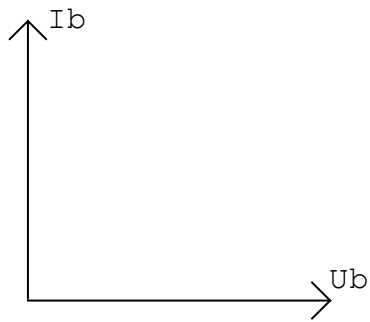
Vpwl går fra 0 til 5 Volt  
Grafen er tegnet med V(Vb) som X-akse.



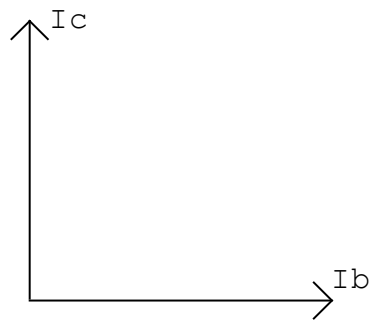
De andre transistor parametre måles, fx ved hjælp af følgende opstilling:



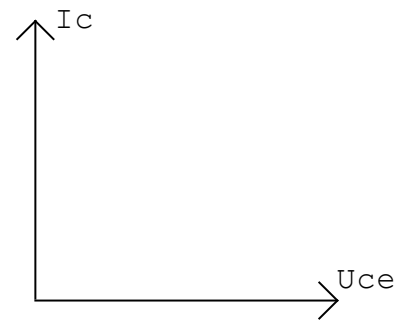
I alt ønskes følgende grafer tegnet:



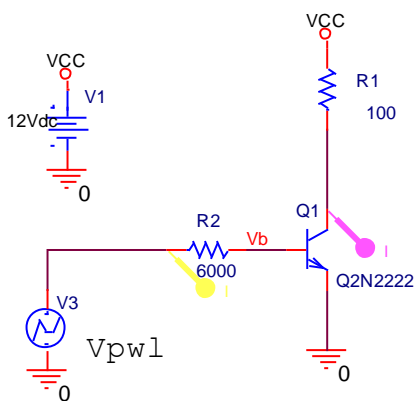
Basisstrømmen som funktion af basisspændingen.  
Som grafen for en diode:



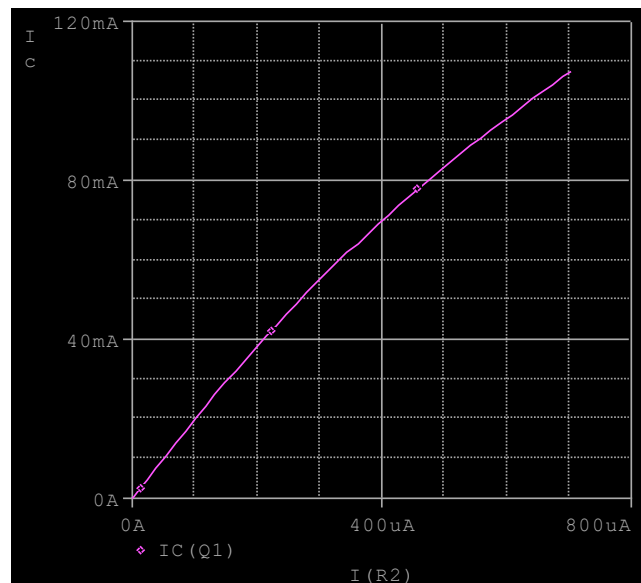
Kollektorstrømmen som funktion af basisstrømmen.

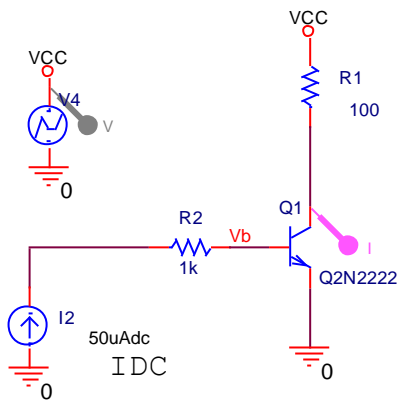


Kollektorstrømmen ved varierende collectorspændinger. Målingen sker ved forskellige konstante basisstrømme.

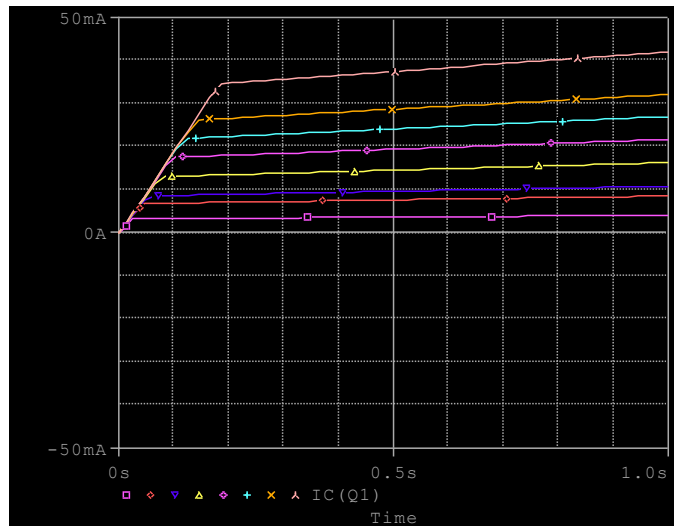


Basisspændingen er her ændret fra 0 til 5 Volt.  
Grafen viser  $I_c$  som funktion af  $I_{\text{basis}}$ .  
Grafen er desværre ikke helt ret!



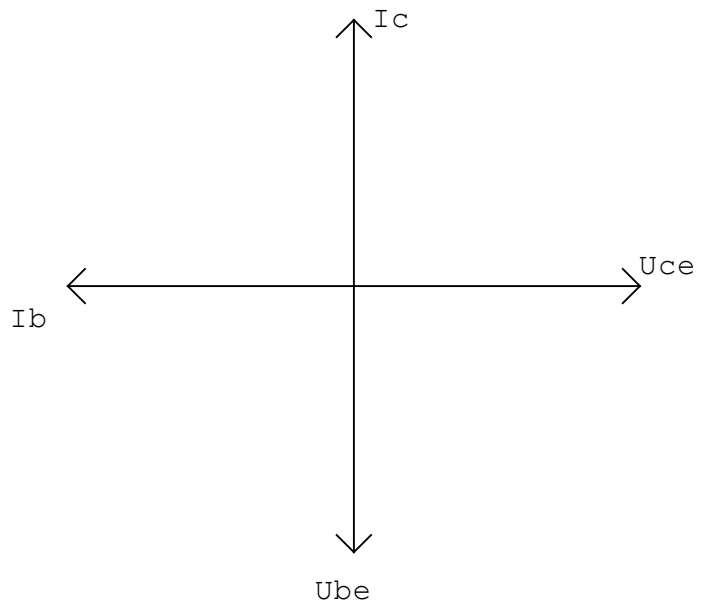


ORCAD simulering af  $I_c$  som funktion af  $U_{CC}$  ved forskellige basisstrømme. Man siger  $I_b$  er parameter..

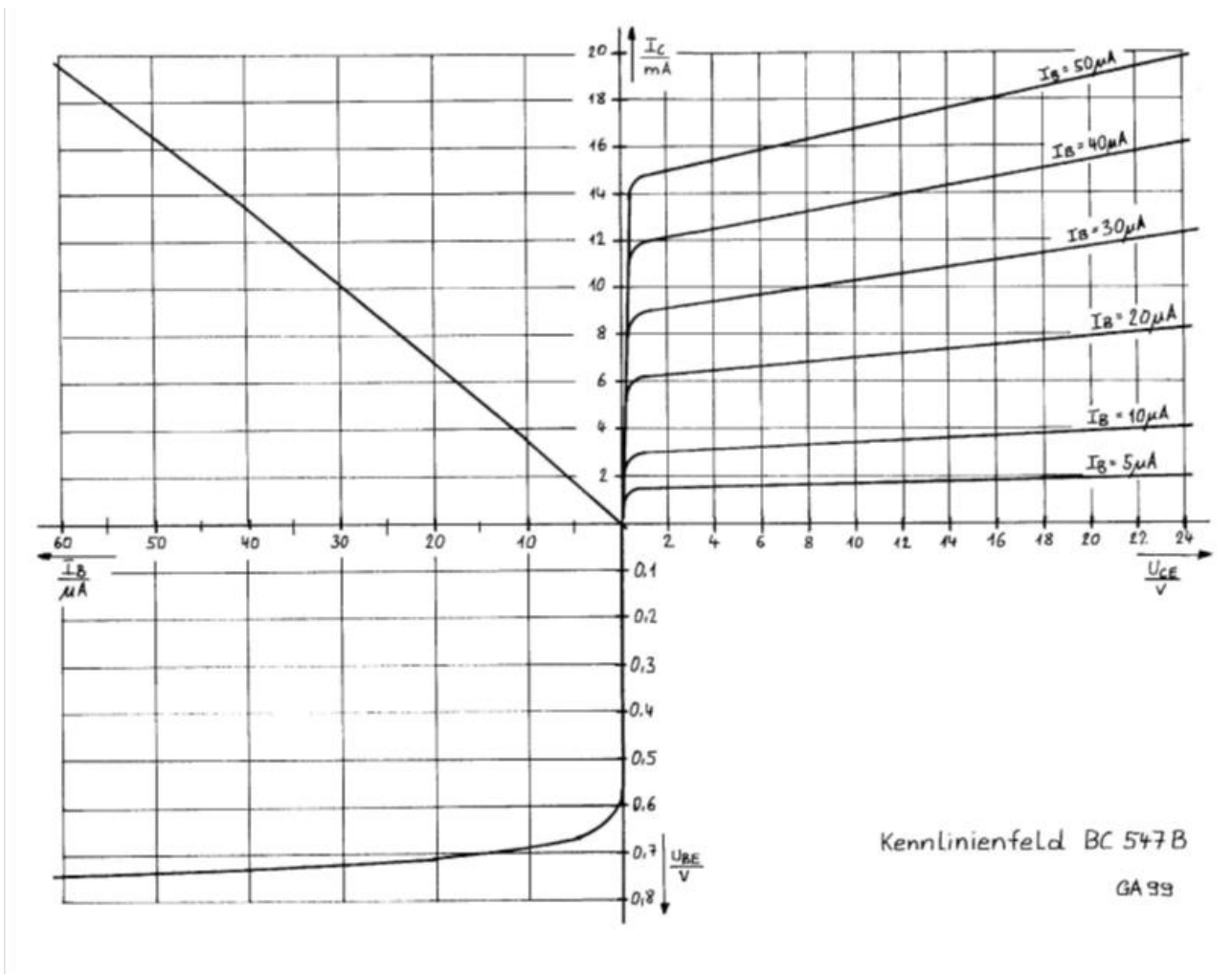


$V_{CC}$  sweepet fra 0 til 20 Volt, med forskellige  $I_{base}$ :  
Her er valgt 20u, 40u, 50u, 75u, 100u, 125u, 150u, og 200u.

Graferne for transistorens forskellige parametre kan samles til nedenstående graf, så man kan se sammenhængen mellem dem.



På næste side er vist en sammenstilling af graferne for en BC547:



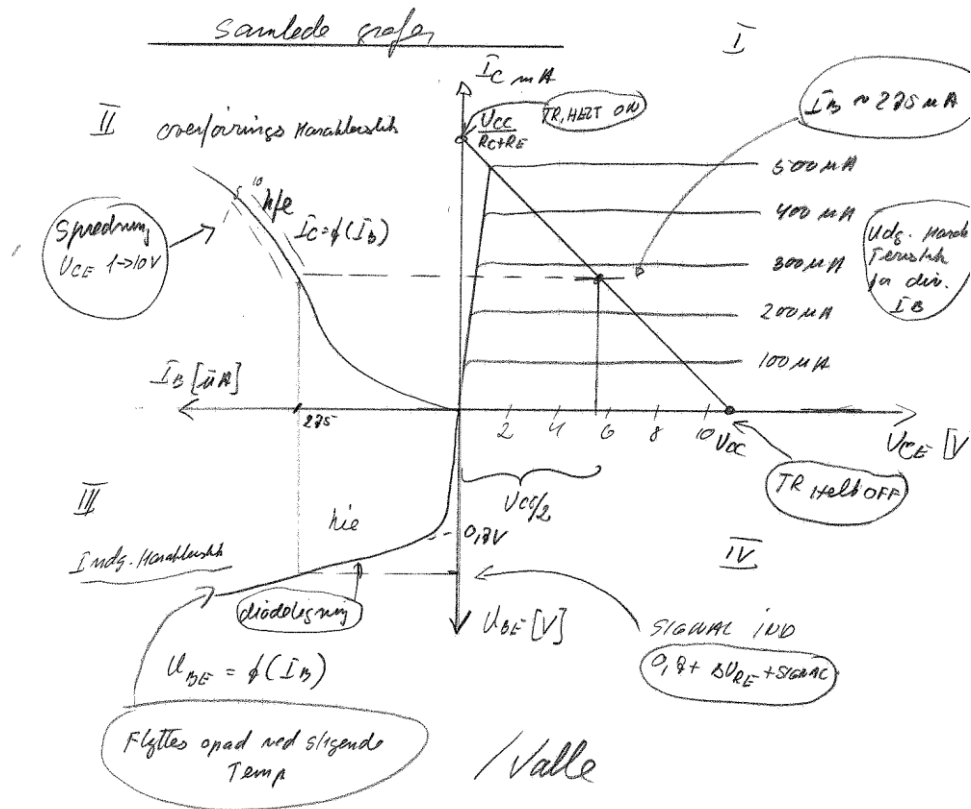
Kilde: [http://www.htl-rankweil.at/grass/ftkl/datenblatt\\_BC547.pdf](http://www.htl-rankweil.at/grass/ftkl/datenblatt_BC547.pdf)



I grafen her er der vist hvordan skemaet kan bruges.

Start i 4. kvadrant, nederst til højre.

En Basis-spænding  $U_{BE}$  bevirker en  $I_{BE}$ , som igen bevirker en  $I_{CE}$  som så igen resulterer i en  $U_C$ .



Først afsættes  $I_C$  Max. Tegn arbejdslinje.

Når arbejds punktet er valgt,  $\sim I_C / 2$ , kan  $I_B$  findes. Enten ved interpolation mellem graferne i 1.kvadrant, ( kurveskaren ) – eller gå vandret over på 2.kvadrant og videre lodret og aflæse.



## Følgende er fra et datablad for BC546-BC550

Kilde: <http://www.fairchildsemi.com/ds/BC/BC546.pdf>

### BC546/547/548/549/550

#### Switching and Applications

- High Voltage: BC546,  $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



#### NPN Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	100	mA
$P_C$	Collector Power Dissipation	500	mW
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ C$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-65 - 150	$^\circ C$

#### Electrical Characteristics $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
$C_{ib}$	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	2	10	dB
		: BC549/550	$f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30-15000MHz$	1.4	3	dB

#### $h_{FE}$ Classification

Classification	A	B	C
$h_{FE}$	110 - 220	200 - 450	420 - 800

Se flere udgaver af datablad på:

[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/B/C/5/4/BC547B.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/C/5/4/BC547B.shtml)

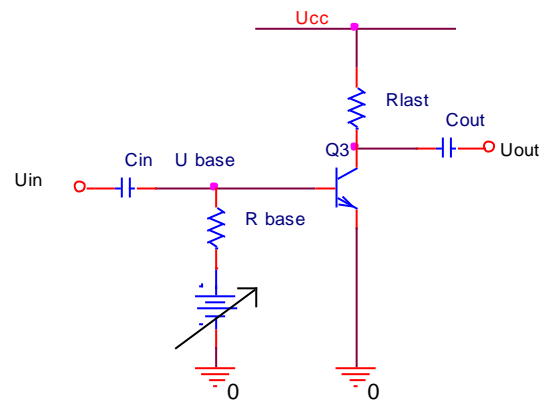


## Transistoren som signalforstærker

Her ses på hvordan en transistor kan anvendes som signalforstærker.

Vha. spændingsgeneratoren på basen, får transistoren "bias"-strøm, dvs. er halvt "on". Indgangssignalet, fx fra en mikrofon kan så "pumpe" spændingen op og ned, og herved også ændre  $I_{ce}$ .

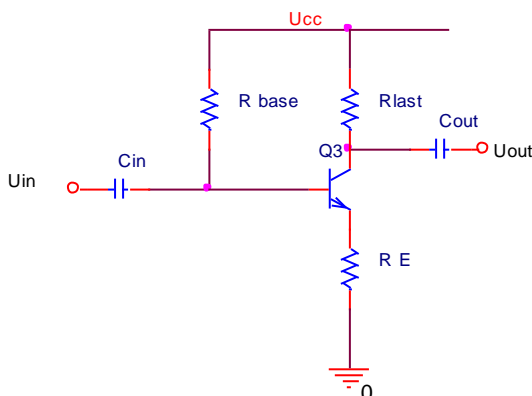
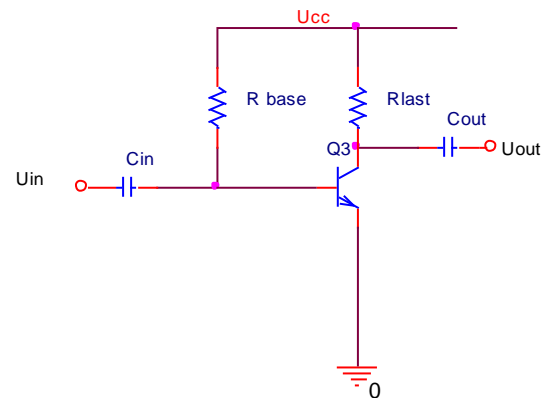
Spændingen "til daglig" på Collector skulle helst være halv forsyningspænding for at der er størst mulighed for at spændingen kan gå både op og ned. Denne spænding kaldes **arbejds punktet**.



## Problemer med Varme

Men! Når transistoren bliver varmet op, bliver  $\Delta U_{be}$  mindre. Dvs. at  $I_{be}$  stiger. Derfor stiger  $I_{ce}$ , hvorefter  $\Delta U_{ce}$  falder. Altså sænkes arbejds punktet. Og transistorforstærkeren klipper.

I praksis kan ovenstående kredsløb udføres som herunder.



Temperaturproblemet kan i nogen grad afhjælpes med en modstand  $R_E$  i emitteren.  $R_E$  kan kaldes en temperatur-modkoblingsmodstand.

Man bliver mere uafhængig af  $h_{fe}$  for transistoren.

Men  $A'$  formindskes til ca.  $0,9 \cdot \frac{R_C}{R_E}$

$R_C$  hedder på diagrammet ovenover  $R_{Last}$ .





Hvis temperaturen stiger, bliver  $\Delta U_{BE}$  mindre. Herved stiger  $I_{BE}$ , og derfor også  $I_C$ . Men større strøm i  $R_E$  giver højere  $\Delta U_E$  hvorved  $\Delta U_{BE}$  klemmes og begrænser strømmen ind i basen. Dvs. arbejds punktet fastholdes.

## Forstærkning:

Forstærkningen er ca.  $R_{last}$  divideret med  $R_E$ . Det er fordi signalet over  $R_E$  er lig indgangssignalet. Emitterspændingen er altid ca. 0,7 Volt under Basisspændingen.

En ændring i  $\Delta U_{RE}$  resulterer i en ændring af strømmen  $I_{CE}$ .

$$\Delta I_{CE} = \frac{\Delta U_{RE}}{R_E}$$

Strømmen kommer fra plus, ned gennem  $R_{collector}$  og giver et spændingsfald over  $R_C$ . Strømændringen pga signalet resulterer også i en spændingsændring over  $R_C$ .

$$\Delta I_{CE} = \frac{\Delta U_{RC}}{R_C}$$

Strømmen er næsten den samme, idet  $I_{BE}$  ikke er særlig stor pga., en stor forstærkning i selve transistoren.

Der fås, at  $\frac{\Delta U_{RC}}{R_C} = \frac{\Delta U_{RE}}{R_E}$ . Ordnes dette findes:  $\frac{\Delta U_{RC}}{\Delta U_{RE}} = \frac{R_C}{R_E}$

Spændingsændringen over kollektormodstanden i forhold til spændingsændringen over emitter, som jo er lig indgangssignalet, er netop trinnets forstærkning.

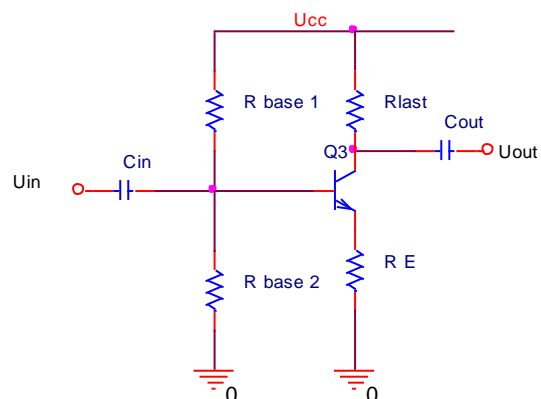
## En bedre, temperatur-stabil kobling !

Vha. af dette kredsløb haves en mere stabil forstærker.

Spændingen  $U_{basis}$  fastlægges af  $R_{base 1}$  og  $R_{base 2}$ .

Delta  $U_E$  svarer til  $U_B - 0,7$  Volt.

$\Delta U$  over emittermodstanden  $R_E$  er altså Basisspændingen minus 0,7 Volt. Denne spænding sammen med emittermodstandens størrelse bestemmer nu hvile-strømmen  $I_{CE}$ .





Hvis  $I_{CE}$  bliver for stor, vokser  $U_E$ , og klemmer delta  $U_{BE}$ . Dvs.  $I_{BE}$  bliver mindre og herved også  $I_{CE}$ , der holdes "på plads".

$$I_E = \frac{U_E}{R_E}$$

$$U_C \cong U_{CC} - I_E \cdot R_C$$

$$A' = ca. 0,9 \cdot \frac{R_C \parallel R_{Last}}{R_E + R_e}$$

$R_e$  er en lille modstand, der er i transistorens emitter på siliciummet. Den kan regnes som:

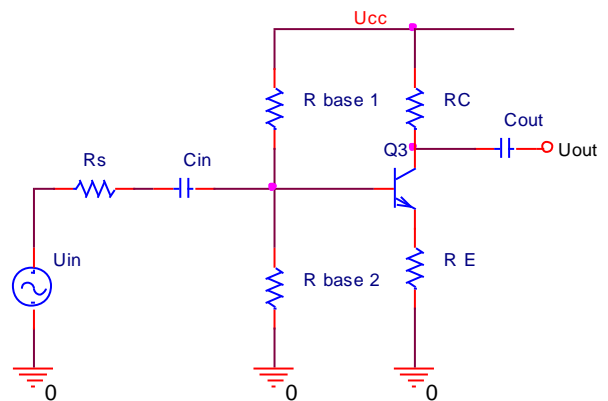
$$R_e = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{I_E}$$

$R_{last}$  kan evt. være indgangsmodstanden ind i næste trin.

$R_E = 0$  ved afkobling. Dvs. der er en kondensator over  $R_E$ .

$$R_i = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel R_{ibase}$$

$$R_{ibase} = h_{fe} \cdot (R_E + R_e)$$



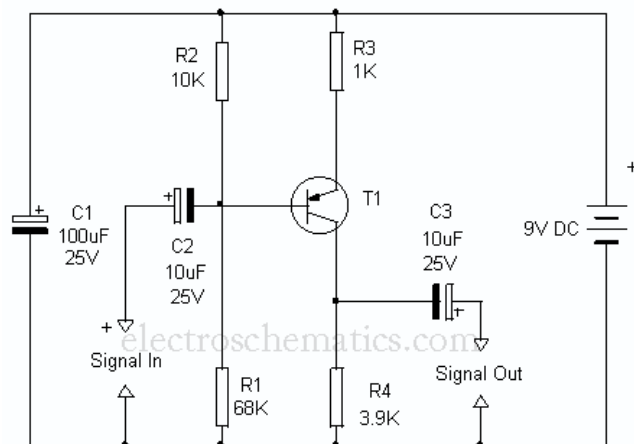
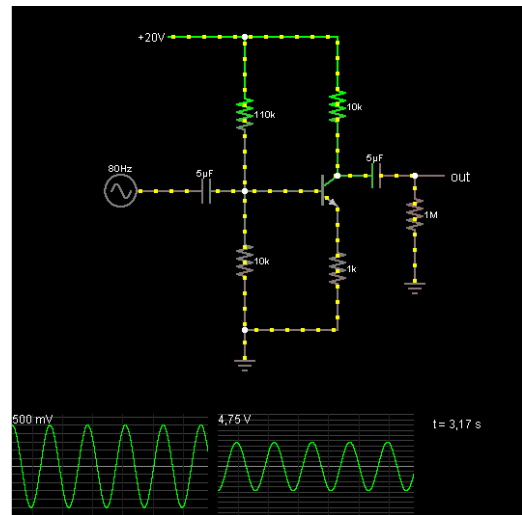
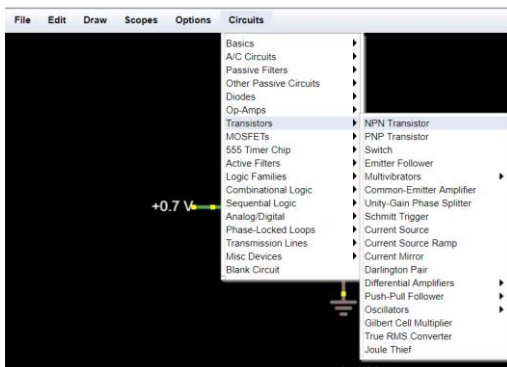


Se en applet der viser strømmene i transistortrinet:

Se <https://www.falstad.com/circuit/>

Eller: <https://www.fam-bundgaard.dk/elektronik/e-ceamp-tbu.html>

Vælg et kredsløb til "simulering":



Koblingen kan også opbygges med en PNP transistor

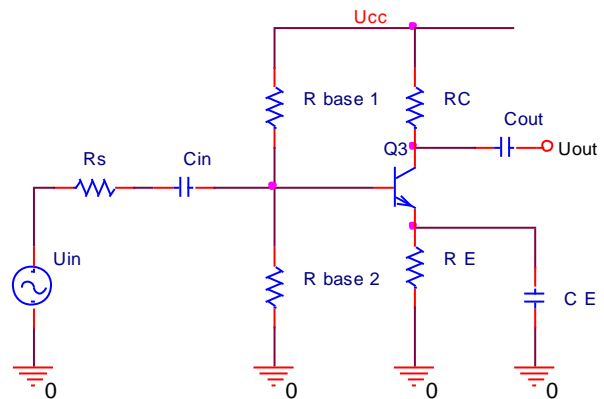
[http://circuit-diagram.hqew.net/Transistor-Amplifier-Design\\_8923.html](http://circuit-diagram.hqew.net/Transistor-Amplifier-Design_8923.html)

## Afkoblet RE

Kredsløbet med afkoblet emitter. Signalmæssigt er  $R_E$  så lig med nul.



Forstærkningen bliver:  $A' = ca. 0,9 \cdot \frac{R_C \parallel R_{Last}}{0 + R_e}$



$C_{in}$ : Lave frekvenser dæmpes. Højpas led.  $X_{C_{in}} \approx (R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel R_{in\ base}) \parallel R_{Serie\ generator}$  ved  $f_{nedre}$

$C_{out}$ : Lave frekvenser dæmpes, Højpasled,  $X_{C_{out}} = R_C \parallel R_{Last}$  ved  $f_{nedre}$

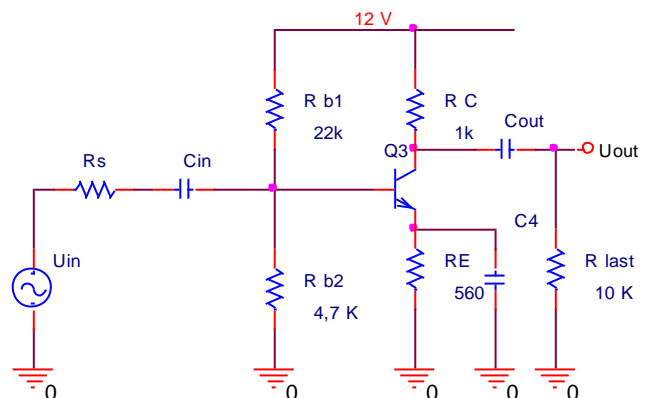
$C_{RE}$ : Forstærkningen stiger, når den træder i kraft. Altså forstærkes lave frekvenser ikke så meget.  
 $X_{C_{RE}} \approx R_E$  ved  $f_{nedre}$

## AC og DC-analyse:

Ved analyse af et kredsløb, opdeles trinnet i en DC-analyse og en AC-analyse.

Ved DC-analysen findes "Hvilespændingerne" – eller "Bias-spændingerne". Ved AC-analysen ses på trinnets signal-forstærkning og frekvensgang.

Givet dette kredsløb:

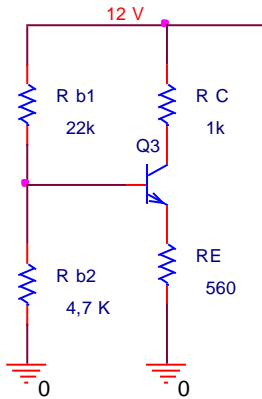


## DC-analyse !

DC-analyse af et kredsløb bruges til at vurdere / dimensionere kredsløbet, så man ved, det arbejder i arbejds punktet.



Ved DC-analyse er alle kondensatorer lig afbrydelser. Derfor kan følgende ækvivalent-diagram tegnes!



$$h_{fe\ DC} = 150, h_{fe\ AC} = 160$$

Re er normalt lille, dette antages indtil videre.

$$R_{i\ base} = h_{fe\ DC} (R_E + R_e) \sim 150 \times (560 + 0) \sim 84\ Kohm.$$

$$U_{base} =$$

$$U_{emitter} =$$

$$I_{emitter} =$$

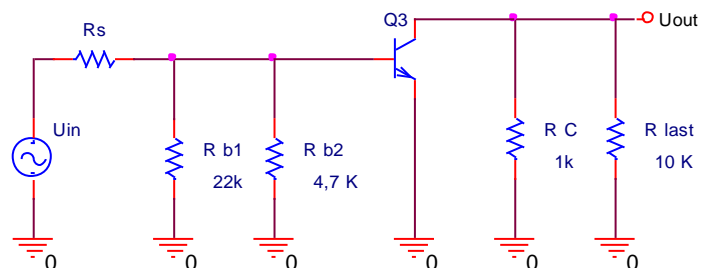
$$R_e =$$

Var det rigtig, at  $R_e$  var lille ??

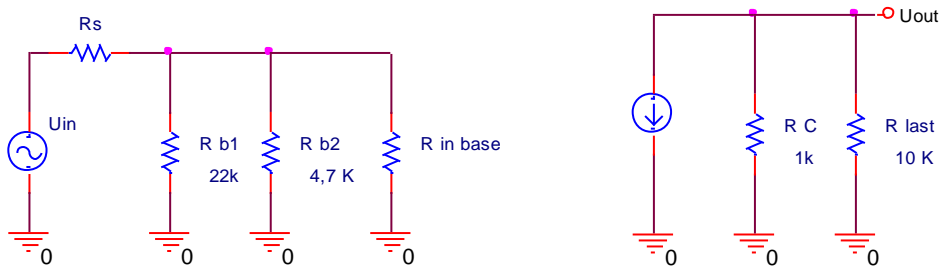
## AC-analyse !

$$\text{Forstærkningen er : } A' \approx 0,9 \cdot \frac{R_C \parallel R_L}{R_E + R_e} = \frac{1k \parallel 10k}{0 + 10,9} = 75\ gg \text{ ( gg = gange )}$$

Kredsløbet kan AC-mæssigt tegnes på denne måde:



Dette kan forenkles til følgende to diagrammer:



Signal-mæssigt er  $R_{b1}$  og  $R_{b2}$  og  $R_{in\ Base}$  parallelle, idet Plus signalmæssigt er lig stel, via strømforsyningens kondensatorer.

## Opgave

Opbyg følgende kredsløb i ORCAD, og afprøv efterfølgende på fumlebrædt.

Tjek DC-spændingerne. Forklar.

Vælg C2 ud fra beregninger / Bodeplot-simuleringer.

Som transistor bruges  
en BC547 !!!

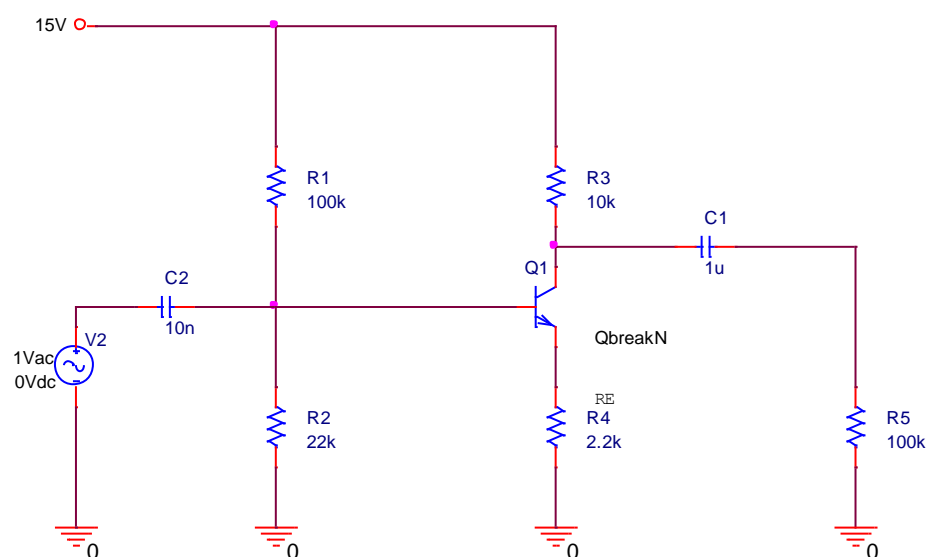
Mål DC-spændingerne  
i kredsløbet.

Mål  $U_{out}$  /  $U_{in}$  og  
forklar.

Tegn Boodeplot

Afkobl  $R_4$  med 10  $\mu F$   
og mål igen  $A$  og tegn  
Boodeplot.

Forklar!

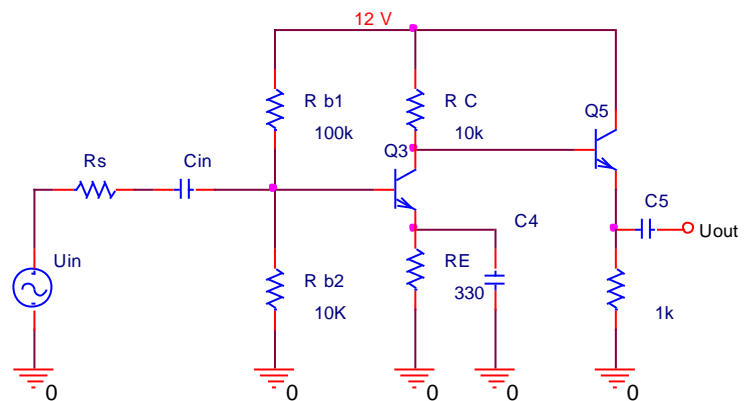


## Emitterfølger.



For at give lavere  $R_{out}$ , kan der monteres en emitterfølger. (= jordet collector) Denne har  $A' = 1$ . Dette giver stor  $R_i$ , og lille  $R_{out}$ . Dvs. kan tåle hård belastning. Udgangsmotstanden er ikke så stor, hvorfor der kan leveres mere energi til en belastning. !

Spændingen på emitteren er altid ca. 0,7 volt under basis på emitterfølgeren. Deraf navnet.



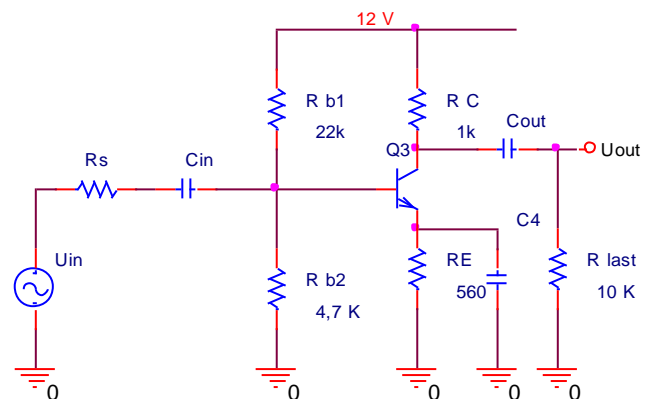
## Simulering med ORCAD:

Opbyg følgende kredsløb i ORCAD. Først uafkoblet. Hvad bør forstærkningen være ??

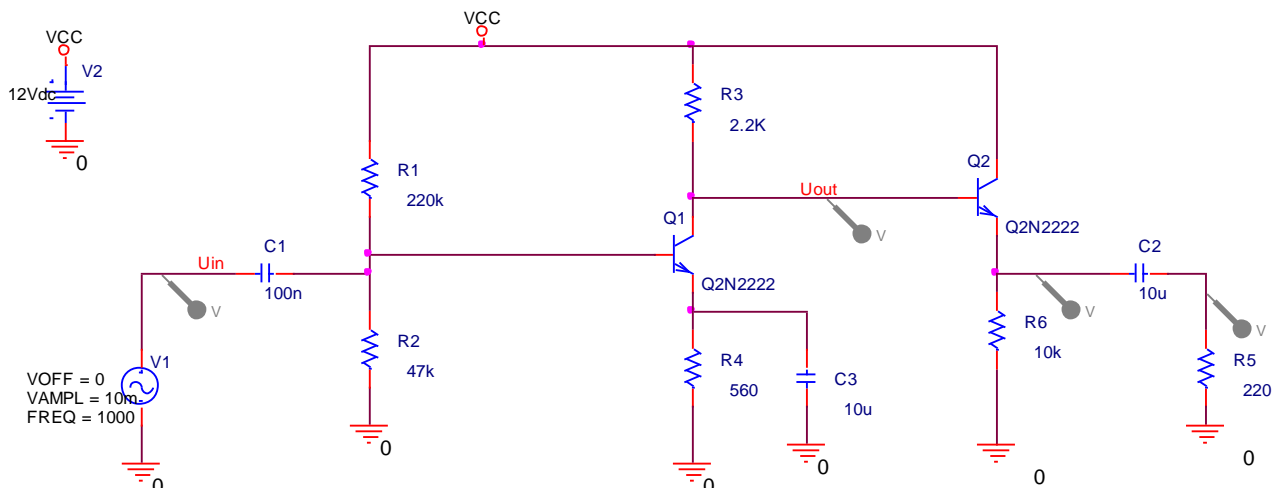
Tjek DC-niveauerne. Ændre lidt på komponentværdier, så bias spændingerne ligger rigtigt!

Hvad er forstærkningen ??

Sæt en  $C_{RE}$  på. Hvad bliver nu forstærkningen ??



Sæt en emitterfølger på som følgende diagram viser:

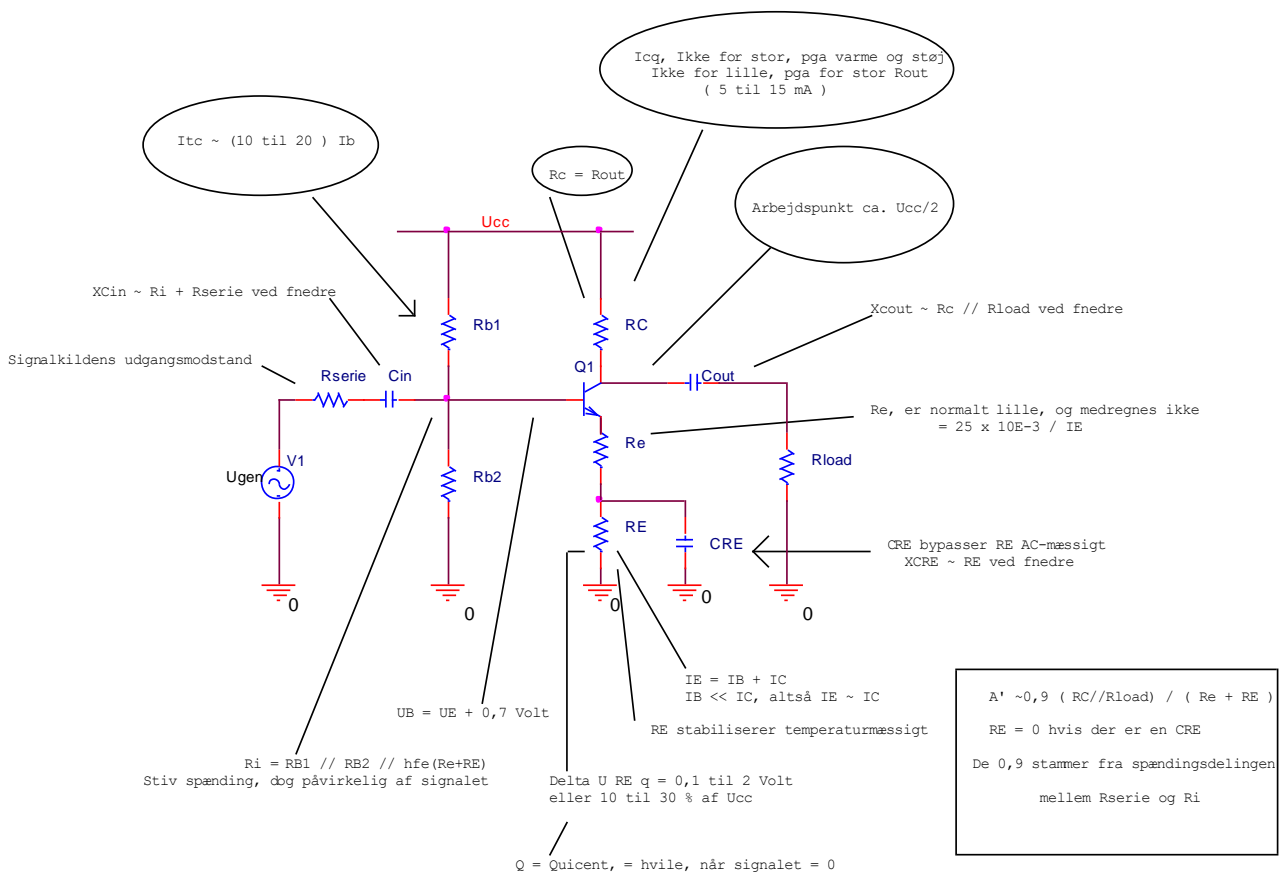
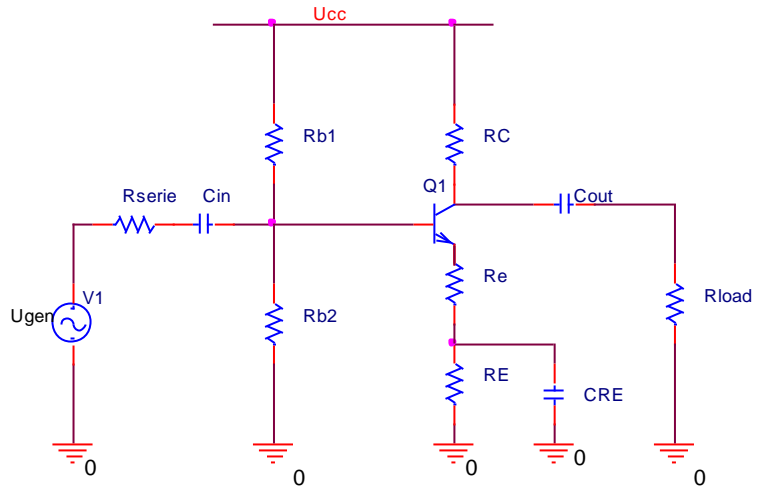


Forklar kredsløbet. Simuler:



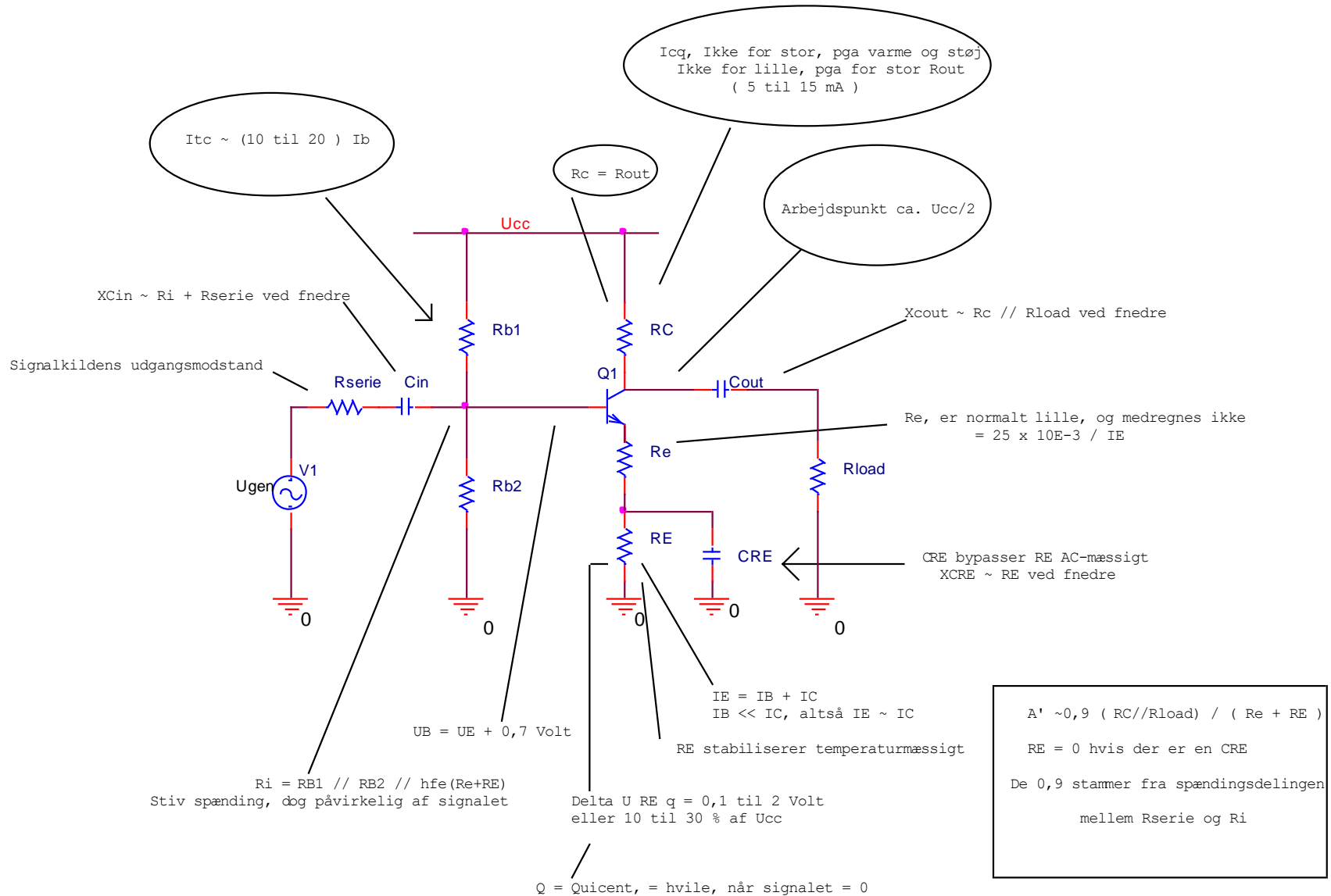
## Transistorforstærker opsummering:

Et typisk transistor-forstærker kredsløb ser ud som følgende:



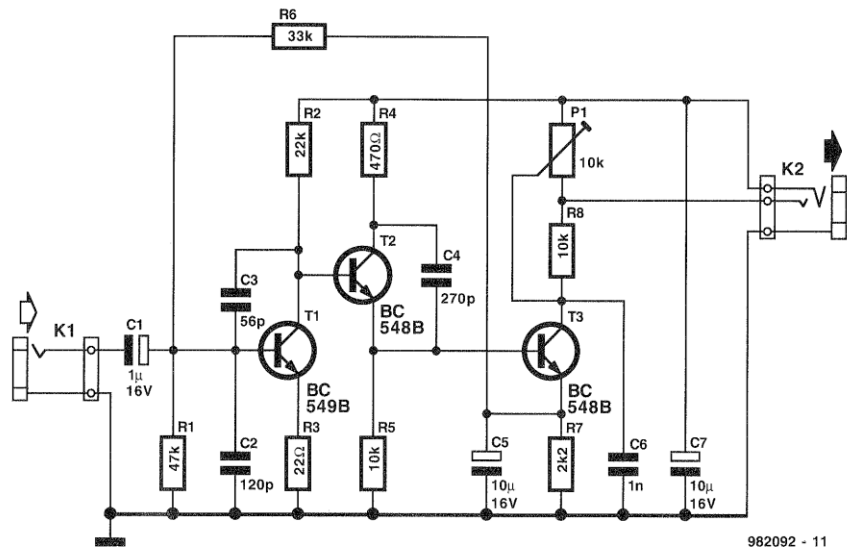


# Transistor-forstærker-kompedium



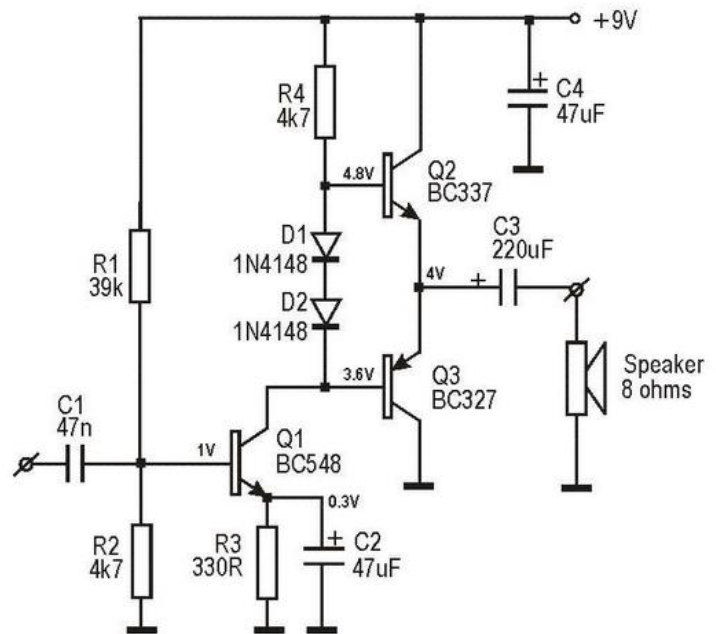
# Transistor-forstærker-kompedium

Et eksempel på et lille transistor-forstærkertrin.

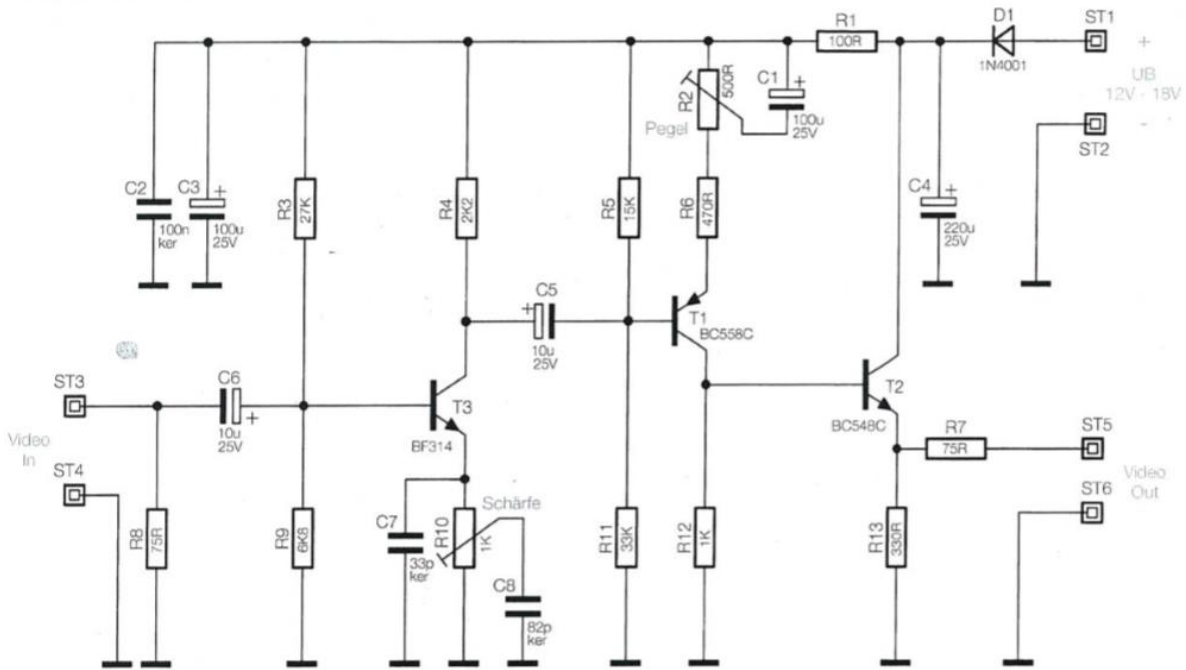


982092 - 11

Her er der fare for termisk Runaway !!

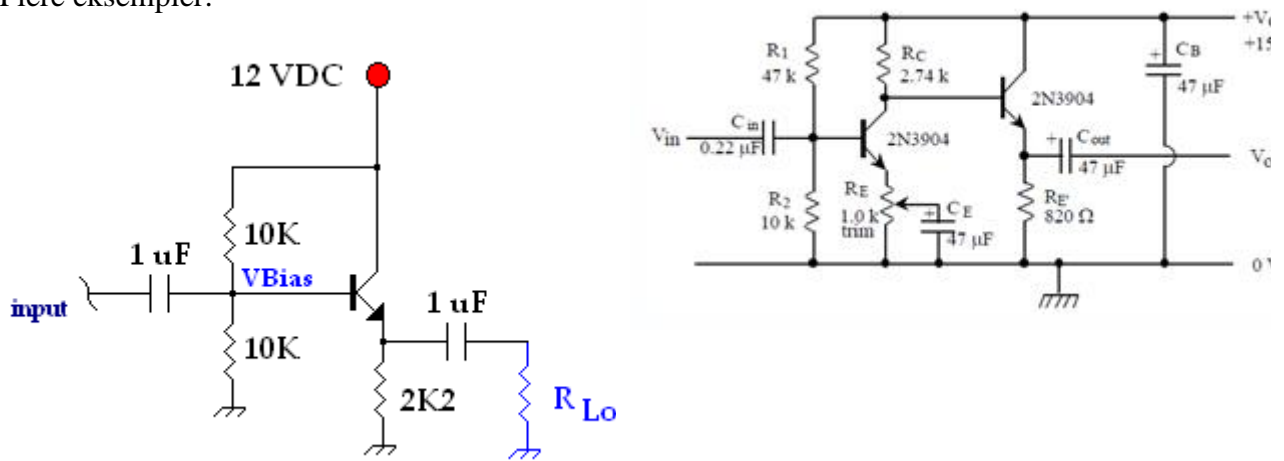


## Transistor-forstærker-kompodium



Eksempel på en videoforstærker.

Flere eksempler:



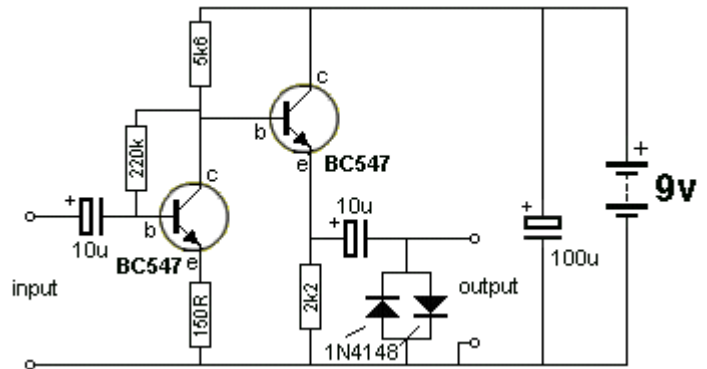
Sættes en emitterfølger på, opnås en lavere udgangsmodstand.

## Transistor-forstærker-kompedium

### GUITAR FUZZ

The output of a guitar is connected to the input of the Fuzz circuit. The output of this circuit is connected to the input of your amplifier.

With the guitar at full volume, this circuit is overdriven and distorts. The distorted signal is then clipped by the diodes and your power amp amplifies the Fuzz effect.



Se flere kredsløb, fx: <http://talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/200TrCcts.html#92>  
Og <http://www.talkingelectronics.com/projects/200TrCcts/200TrCcts.html>

# Transistor-forstærker-kompedium

## Udgangsførstærkere:

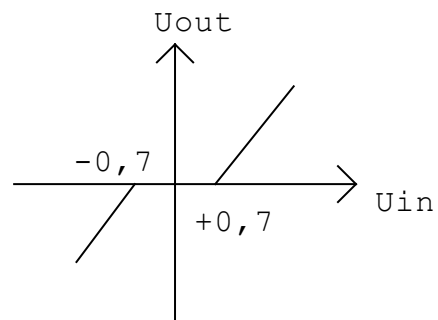
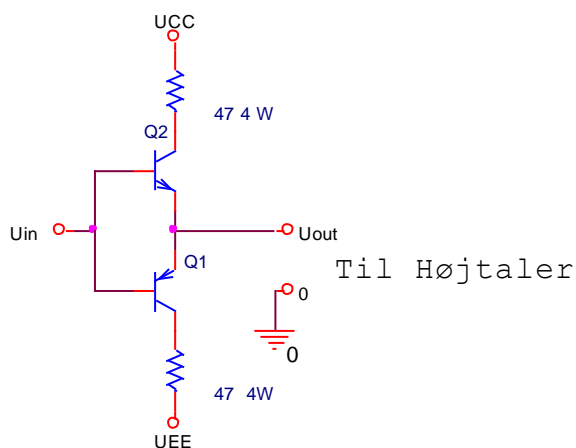
Udgangsførstærkere er normalt inddelt i forskellige "Klasser".

I udgangsførstærkere benyttes transistorer til at forøge den strøm, der kan leveres til en tilsluttet højttaler. En OPAMP kan selv kun levere få Milli ampere.

Se fx: [http://www.allaboutcircuits.com/vol\\_6/chpt\\_6/10.html](http://www.allaboutcircuits.com/vol_6/chpt_6/10.html)

## Klasse C:

Klasse C ser i princippet således ud. Signalet kommer fx fra en OPAMP.

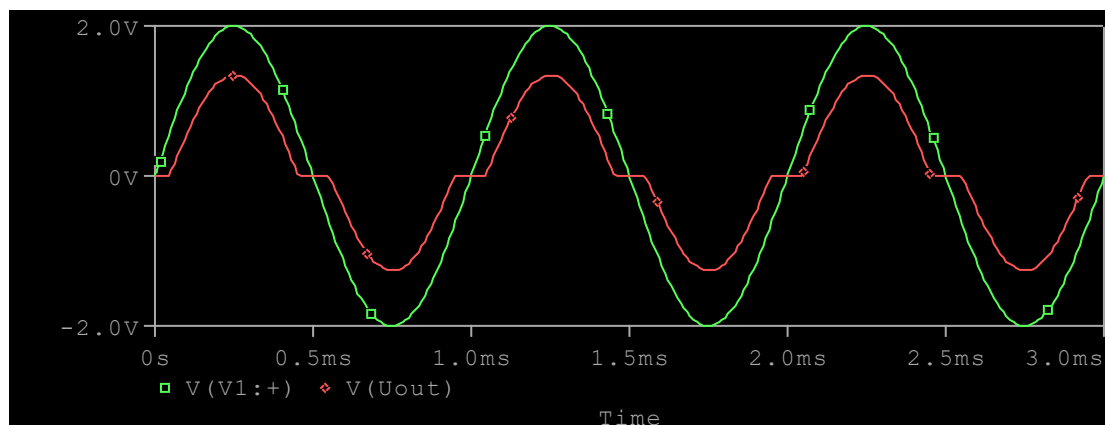


$U_{out}$  og  $I_{out}$  udviser desværre CROSS OVER problemer.

Trinnet styres fx af en OPAMP.

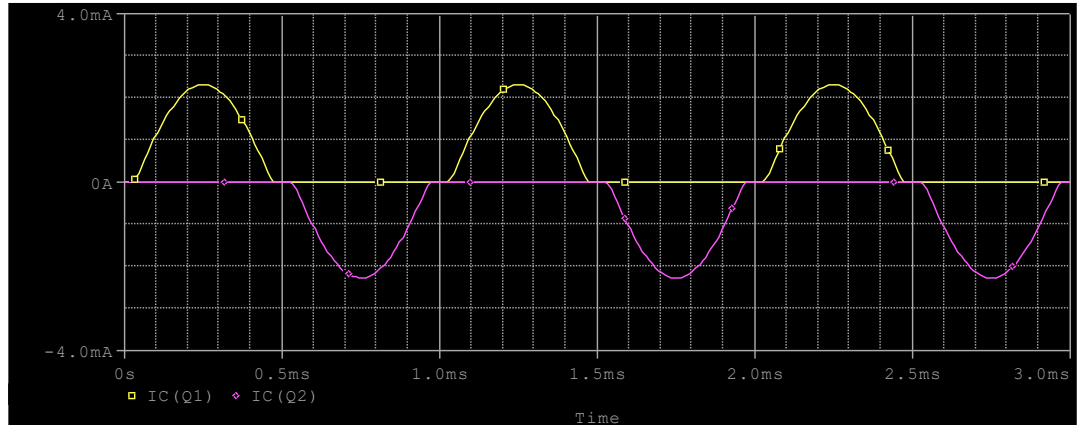
2 x emitterfølgere. De to 47 ohms modstande forhindrer overophedning ved kortslutning

Højttaleren er forbundet til stel. Dvs. midtpunktet mellem plus og minus. Der skal altså både leveres, dvs. Sources strøm, og synkes strøm, i hhv. den positive og den negative halvperiode.



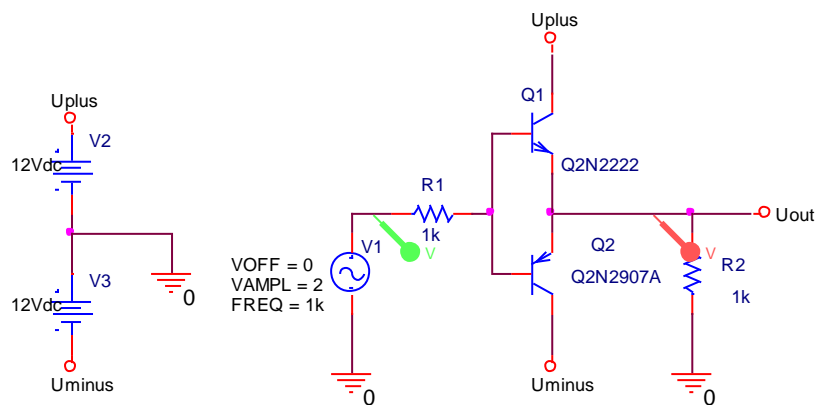
# Transistor-forstærker-kompedium

På grafen ses, at de to transistorer skiftes til at lede, men de leder mindre end 180 grader hver.

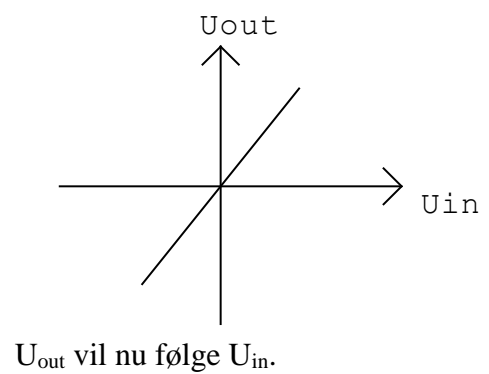
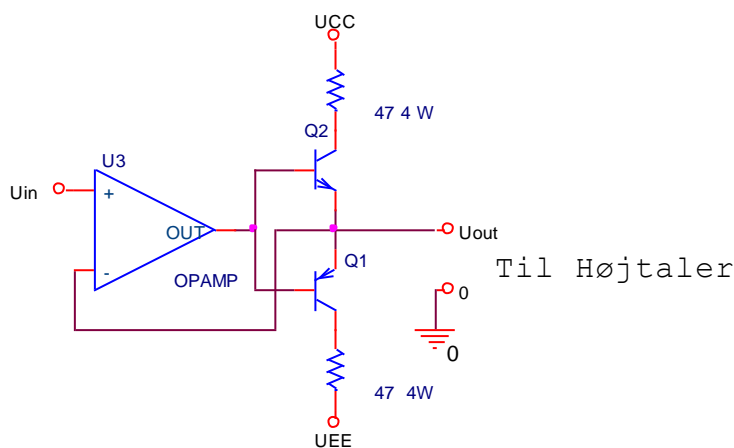


Kredsløbet er vist her:

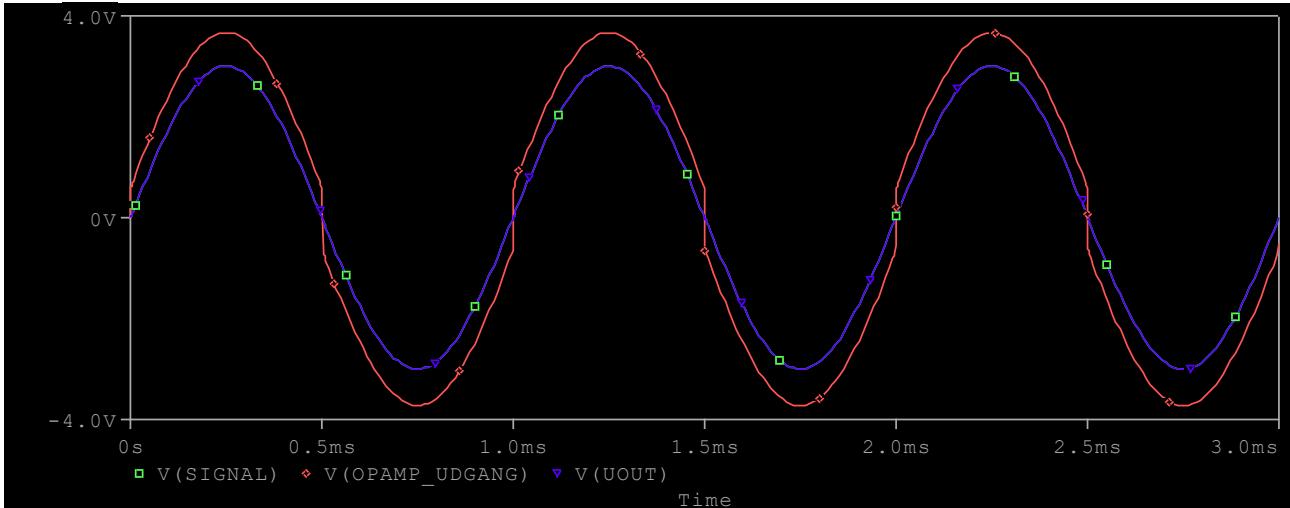
Det ses tydeligt, at der er 2 diodestrækninger, der skal overvindes.



”**Cross-over**” problemer kan gøres mindre med en op-amp og feed back som vist:



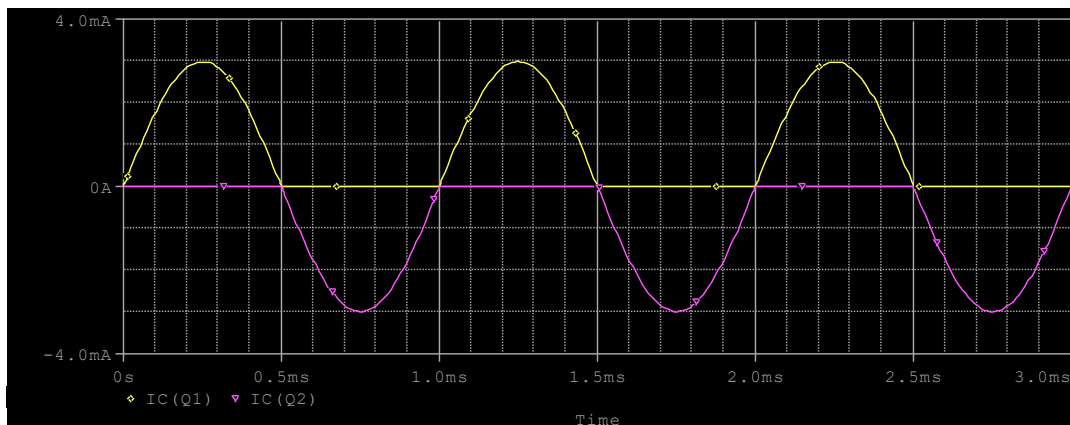
## Transistor-forstærker-kompedium



Nu ses, at op-ampens udgang ligger 0,7 Volt over hhv. under Uout, for at kompensere for diode-spændingsfaldet.

Cross over er afhængig af opamp'ens slewrate:

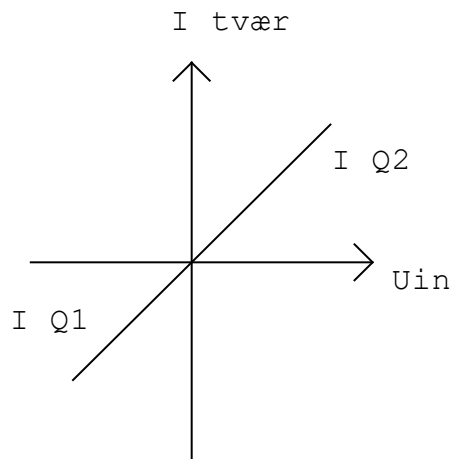
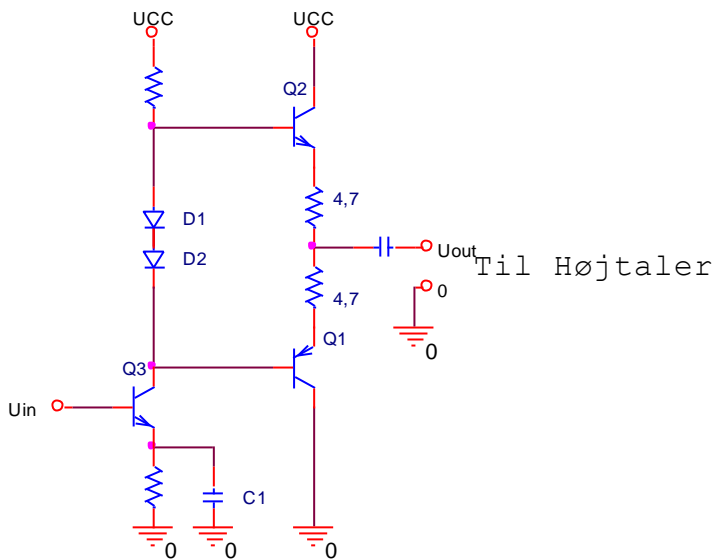
Hver transistor leder nu  $\leq 180$  grader. Her en graf over strømmene i transistorerne!!



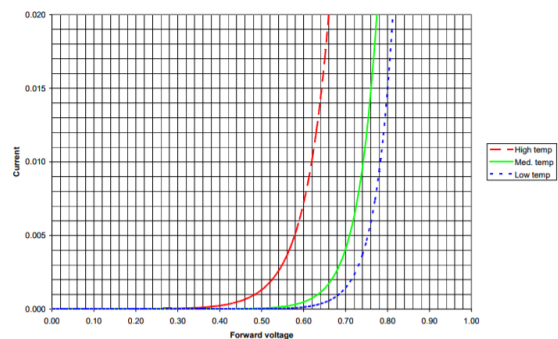
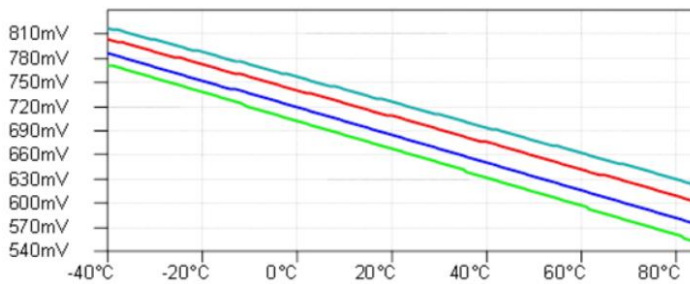
### Klasse B

I klasse B forsøger man at undgå Cross Over. Der er tilføjet et par dioder som vist.

## Transistor-forstærker-kompedium



Dioderne D1 og D2 ophæver delta  $U_{BE}$ . Men det er jo sådan, at Delta  $U_{be}$  på ca. 0,7 Volt er temperaturafhængig. Spændingen over Diodestrækningen falder ca. 2,5 mV pr. grad C.



Kilde: <https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/text/chapter-5>  
 Og: [http://www.kennethkuhn.com/students/ee351/diode\\_characteristics.pdf](http://www.kennethkuhn.com/students/ee351/diode_characteristics.pdf)

Det betyder jo, at de to dioder, D1 og D2 giver større biaspænding end der er behov for hvis transistorerne bliver varme. Følgelig vil transistorerne lede lidt strøm hver ( en tværstrøm ) fra plus til minus. Dette varmer dem yderligere op, og de bliver endnu varmere. Osv.

Dette begreb kaldes ”termisk runaway”

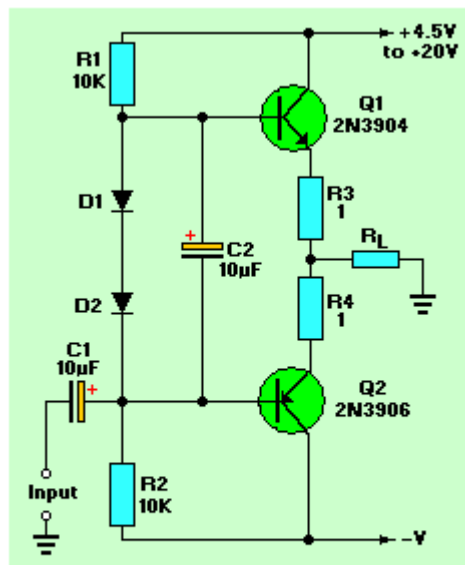
Det kan hjælpe lidt fysisk at placere dioderne i termisk kontakt med transistorerne, så de har samme temperatur!!

Men det er bedre at indføre et par små  $R_e$ -modstande. **Forklar!!**

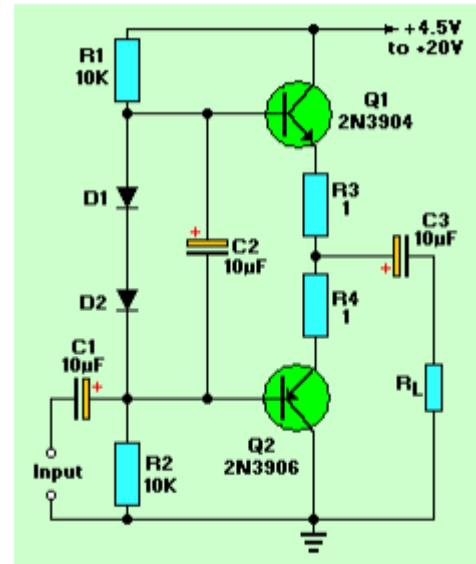


## Transistor-forstærker-kompedium

Her et par eksempler:



**Fig. 18** -- Complementary emitter-follower with a split power supply and direct-couple output load.



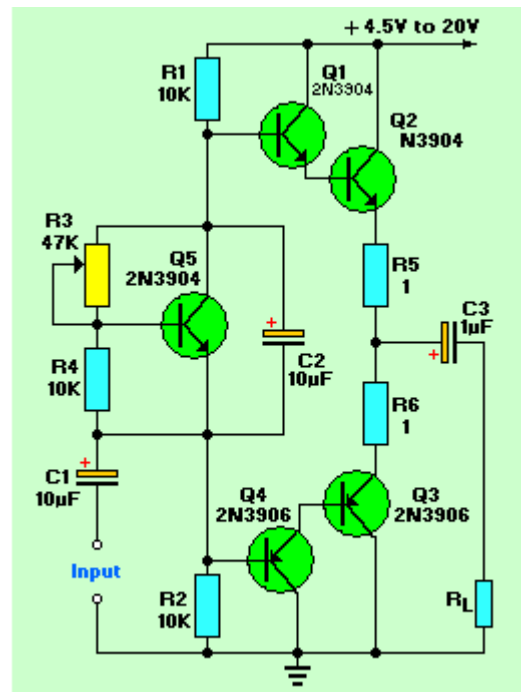
**Fig. 19** -- Complementary emitter-follower with single ended supply and AC-coupled load.

<http://www.sentex.ca/~mec1995/tutorial/xor/xor3/xor3.html>

Eksempel med Darlington transistorer

Her er det 2 gange 0,7 Volt, der skal ophæves.

Dioderne til at ophæve  $\Delta U_{be}$  er her erstattet af en variabel zenerdiode, bygget op omkring Q5.



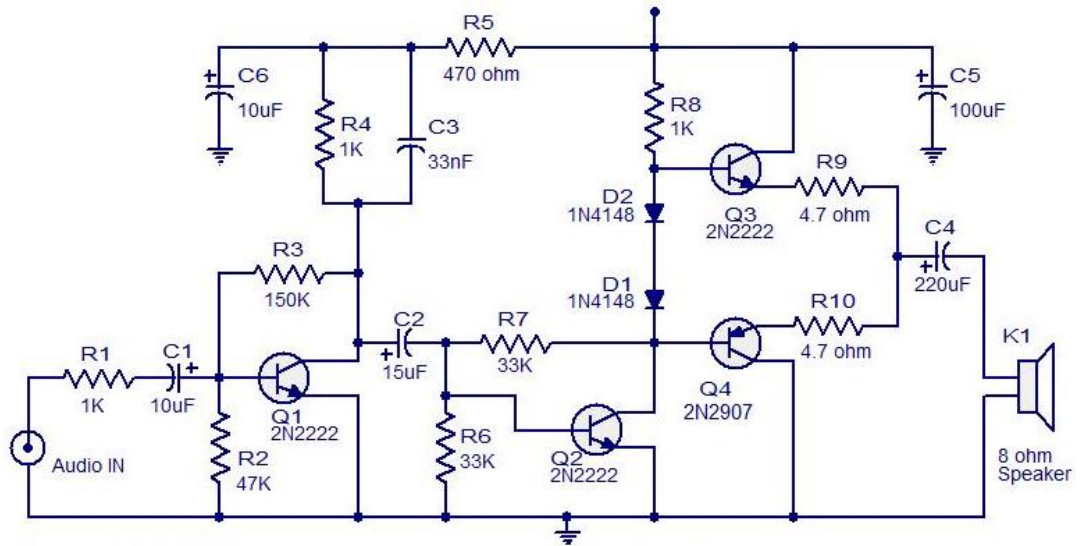
<http://www.sentex.ca/~mec1995/tutorial/xor/xor3/xor3.html>

## Transistor-forstærker-kompendium

Eksempel på transistor-amplifier.

Her med Push-Pull kredsløb i Udgangen !

Q1 styrer Q2, som igen styrer Push-Pull-transistorerne.

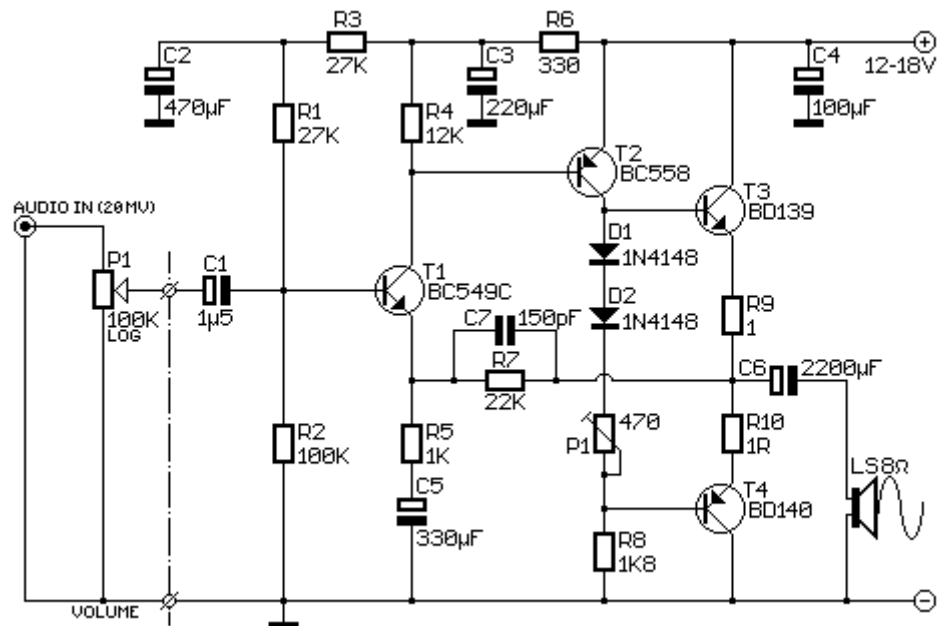


<http://www.circuitstoday.com/few-transistor-amplifier-circuits>

T1 styrer T2, som igen styrer basisspændingern e på T3 og T4.

R7 er modkoblings-modstand.

Gain er  $1 + R7 / R5$



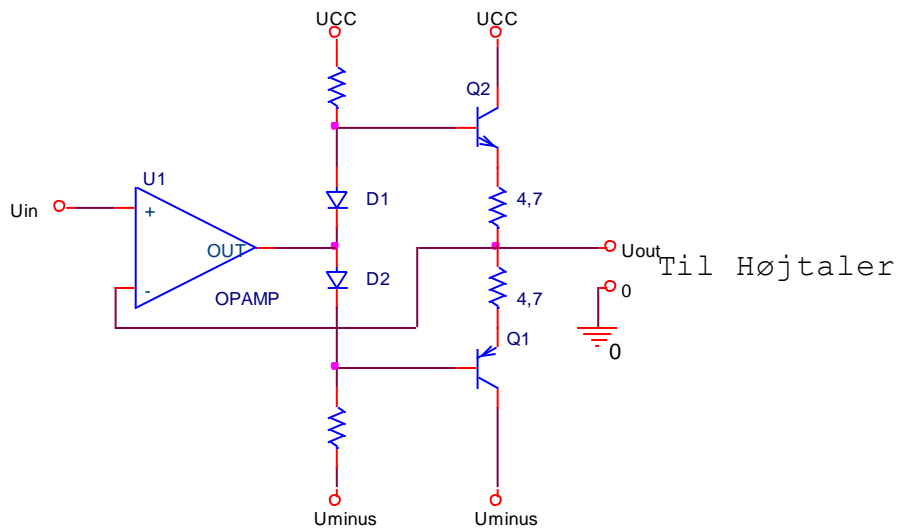
Kilde: [http://users.telenet.be/staybank/circuits/amplifier\\_2W.htm](http://users.telenet.be/staybank/circuits/amplifier_2W.htm)

# Transistor-forstærker-kompedium

Her bliver der brugt en OPAMP til at levere strøm til Push-Pull transistorerne:

De to 4,7 ohms modstande er monteret for at undgå termisk run-away.

Stiger temperaturen, bliver delta  $U_{be}$  mindre. Derfor stiger  $I_{be}$  og dermed også  $I_{ce}$ .  $I_{ce}$  løber ned gennem emittermodstanden – her på 4,7 Ohm. Det giver et øget spændingsfald, der vil modvirke den faldende  $\Delta U_{be}$ .



Dioderne bør placeres, så de har samme temperatur som transistorerne!

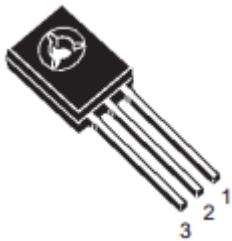
Der er ingen tomgangstab, men stadig cross-over, der vil forvrænge signalet!

De to transistorer skiftes til at lede.

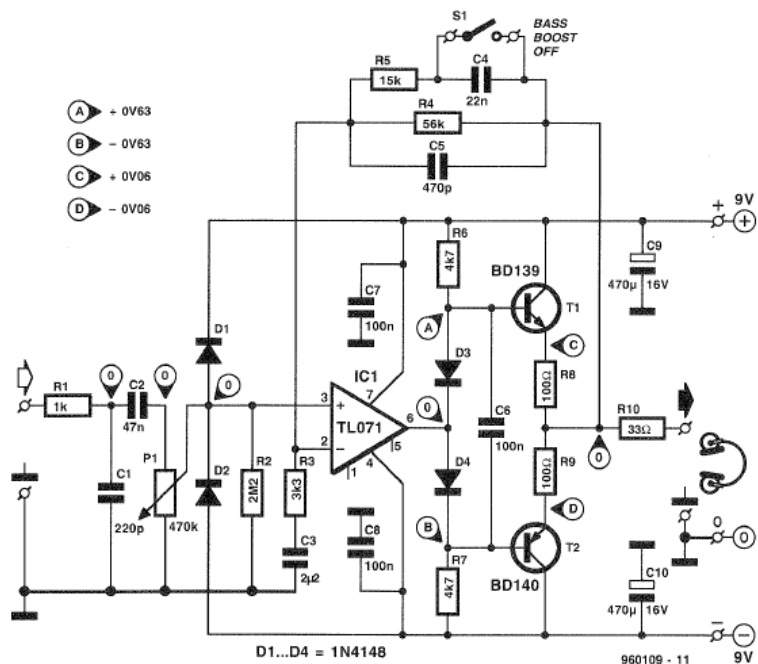
Tegn grafer for  $U_{out} = f(U_{in})$  graf, og  $I_{transistor} = f(t)$

Her endnu et eksempel på en praktisk udgangsforstærker:

BD139 / BD140 er et par kraftige transistorer.



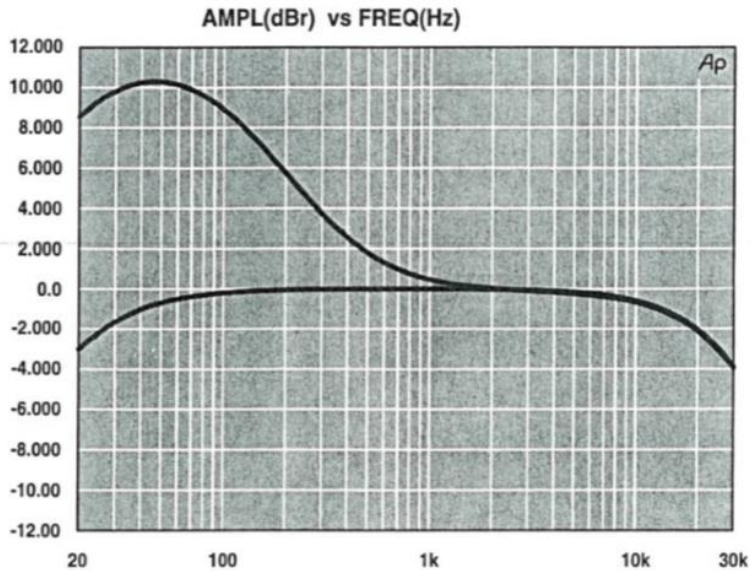
Transistorerne kan håndtere 1,5 Ampere. Men deres strømforstærkning er ikke særlig stor, kun ca. 25 gange! Dvs. de skal fødes med ret stor basisstrøm.



## Transistor-forstærker-kompodium

Bemærk modkoblings-arrangementet omkring R4.

$$\text{Gain} = 1 + R4/R3.$$

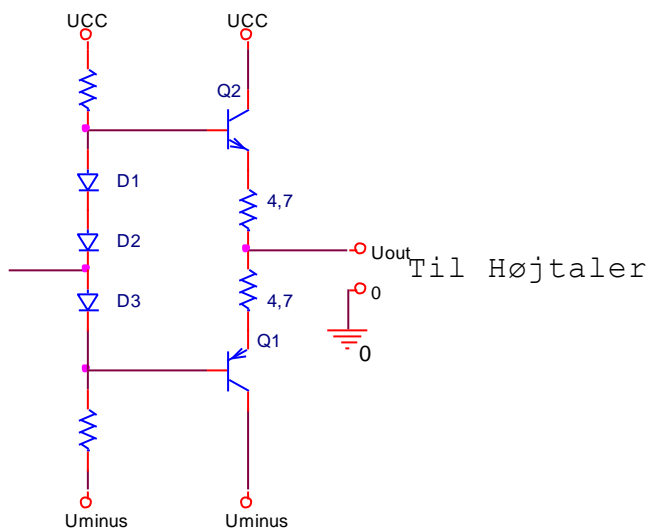


Bodeplot for ovenstående forstærker.

”Bas-boost”

### Klasse AB

For at få endnu bedre lyd i en forstærker, vil man forsøge at undgå at den ene transistor netop holder op med at lede når den anden begynder. Transistorer er desværre ikke helt lineære lige når de ”åbner”. Det problem kan overvindes ved at lade den ene transistor åbne lidt før den anden lukker.



Det kan ske ved at øge biasspændingen.

Fx som her med 3 dioder.

Her er  $\Delta U_{BE}$  i transistorerne ophævet så godt og vel.

Dvs. at der ved tomgang, - dvs. ingen signal på indgangen - løber en tværstrøm gennem transistorerne og de to 4,7 ohms modstande.

## Transistor-forstærker-kompedium

Eller man kan skabe et spændingsfald med en variabel zenerdiode.

Her to eksempler

Undersøg virkemåden!!



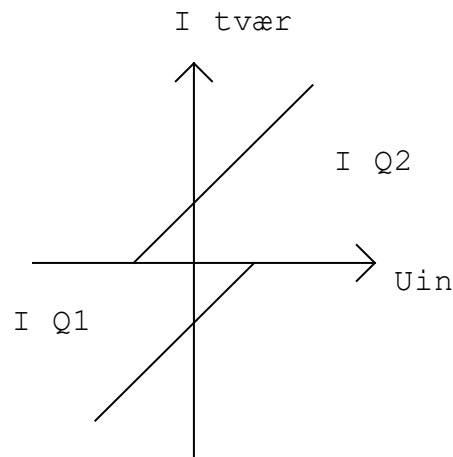
I stedet for dioderne kan man benytte en Variabel Zenerdiode som vist ovenfor.

Kredsløbet benyttes fordi transistorerne ikke er særligt lineære i det øjeblik, de starter med at lede. Derfor ”tyvstartes” der her, dvs. den ene transistor starter med at lede lidt før den anden lukker helt.

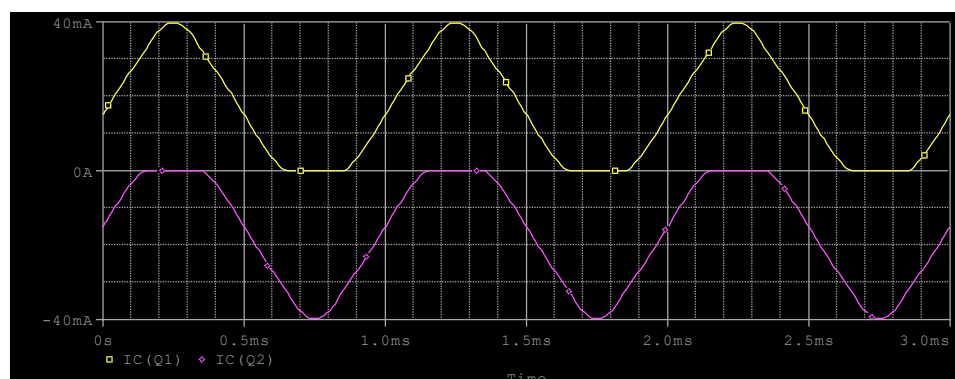
Der er begrænset tomgangstab

Max 70 % virkningsgrad.

Til højre en graf over hvornår transistorerne leder.



Og en ORCAD graf.

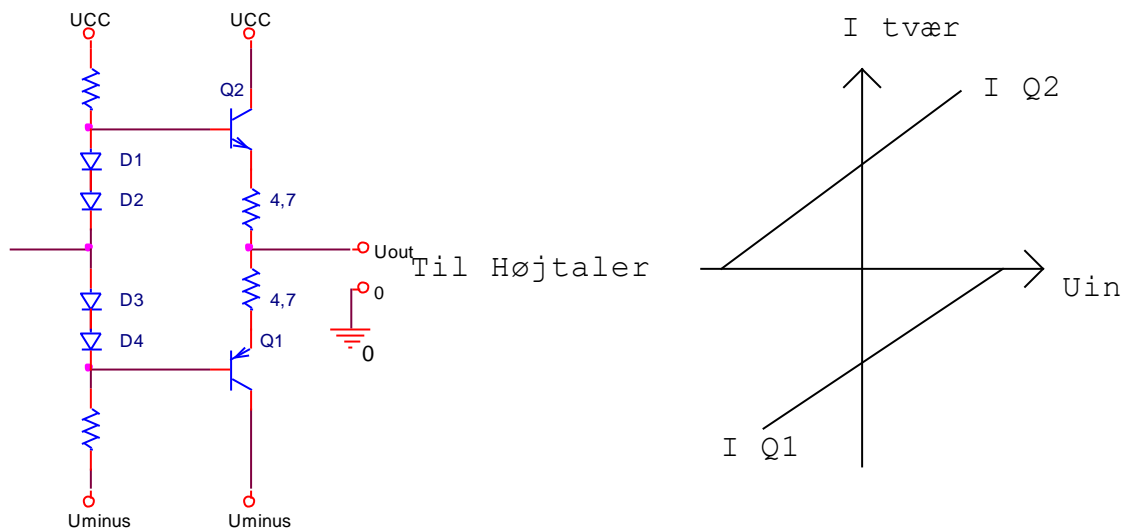


# Transistor-forstærker-kompedium

## Klasse A

I klasse A forsøger man at undgå uliniariteter ved at styre transistorerne, så de slet ikke lukker helt.

Hvis den øverste transistor åbner mere samtidig med at den nederste åbner mindre, kan man styre udgangsspændingen til en højttaler.



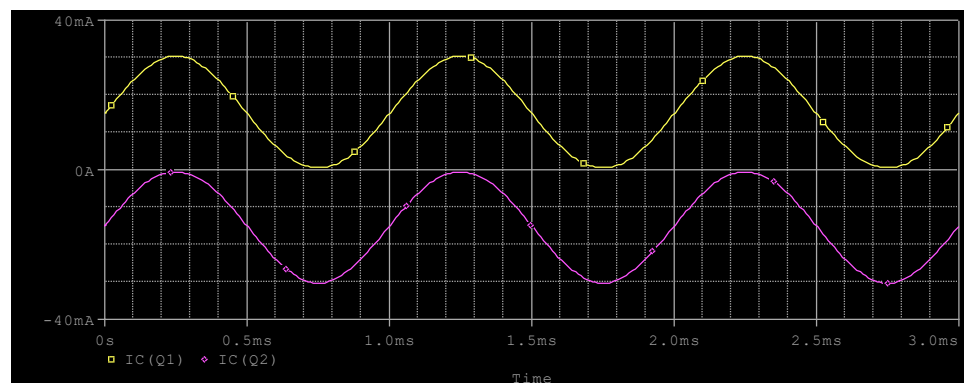
Begge transistorer leder altså 360 grader. De slukker ikke på noget tidspunkt.

Men der vil være en ikke ubetydelig tværstrømmen selv uden indgangssignal, dvs. i tomgang. Derfor er der stor varmetab. Ren klasse A forstærkere varmer meget!!

Max 50 % virkningsgrad.

Grafen her viser strømmen i transistorerne:

Det ses, at begge transistorer leder hele tiden, bare mere eller mindre strøm.



## Transistor-forstærker-kompedium

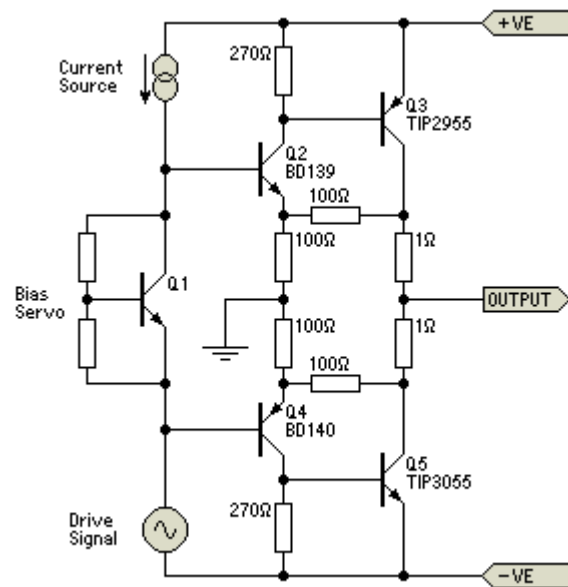
Outputstage opbygget af compound / Sziklai par

Her kan selv en relativ lille strøm styre basis på Q2 og Q4, som så igen styrer Q3 og Q5.

TIP2955 og TIP3055 er Power-transistorer, der kan håndtere 10 Ampere.



Desværre er strømforstærkningen for Powertransistorer ikke særlig stor, måske kun 25 – 50 gange.



<http://sound.westhost.com/articles/cmpd-vs-darl.htm>

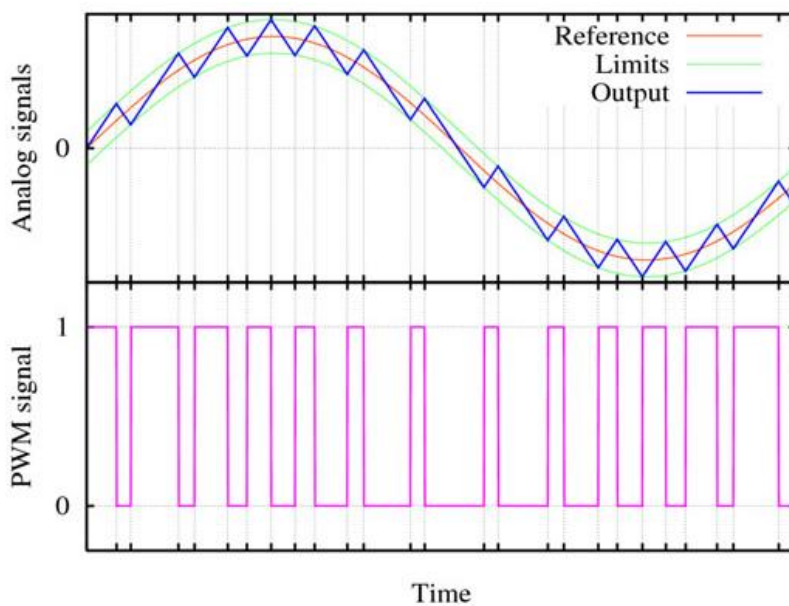
## Transistor-forstærker-kompedium

### Klasse D.

Det nyeste princip, kaldes ”Klasse D”, måske fordi det er næste bogstav ?. Det bygger på pulsbreddemodulering af højttaleren. Der benyttes en høj frekvens eller rettere en kort timebase, til at tilføre højttaleren energi.

Udgangstransistorerne arbejder som switch, og der er derfor ikke megen varmetab. Forskellige fabrikanten kalder deres system ved forskellige navne. Fx ”Icepower”, eller ”Cool Power”.

Transistorer fører strøm – dvs. energi – ud til højttaleren i klumper. Altså jo større strøm, jo mere bevæger højttalerpappet sig udad.



Udgangssignalet er den blå sigsag-linje.

Dvs. der er en ”høj” frekvens adderet til udgangssignalet, den orange graf.

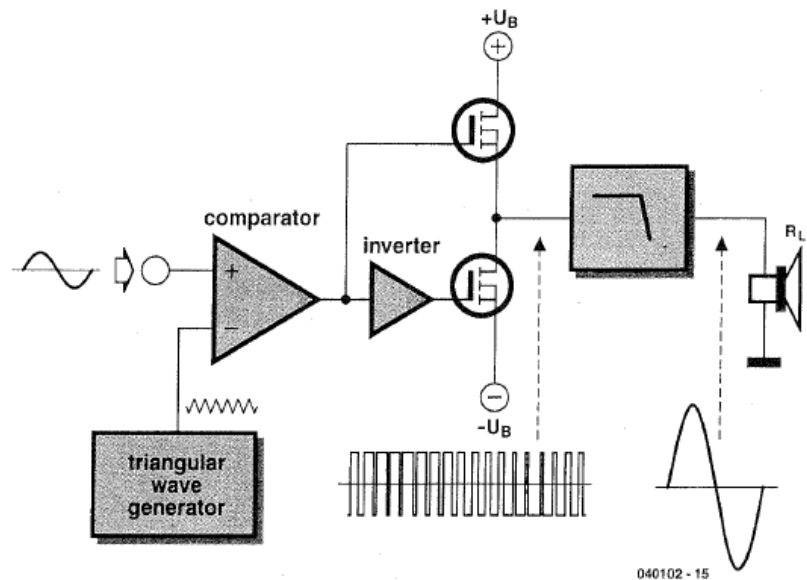
Det høje overlejlrede signal skal efterfølgende filtreres væk.

Til venstre her ses PWM-signalet til udgangstransistoreren.



## Transistor-forstærker-kompedium

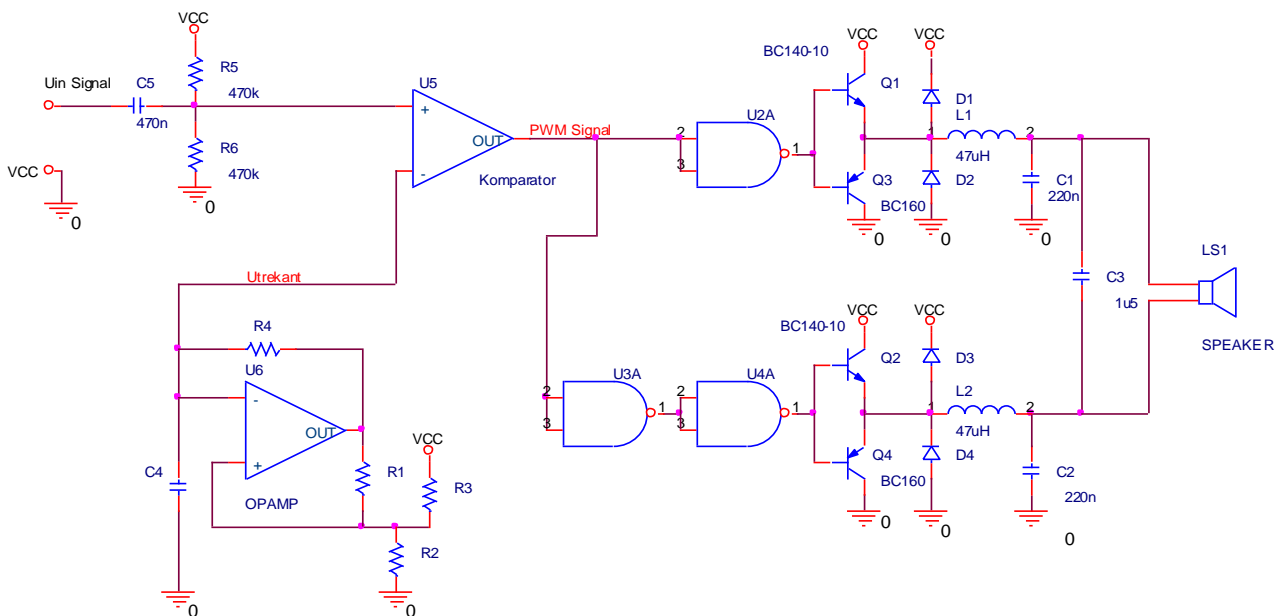
Her er vist et skematisk diagram over en klasse D forstærker.



Kilde: <https://acroname.com/blog/description-pulse-width-modulation-blog-post>

Se fx også: [https://en.wikipedia.org/wiki/Class-D\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Class-D_amplifier)

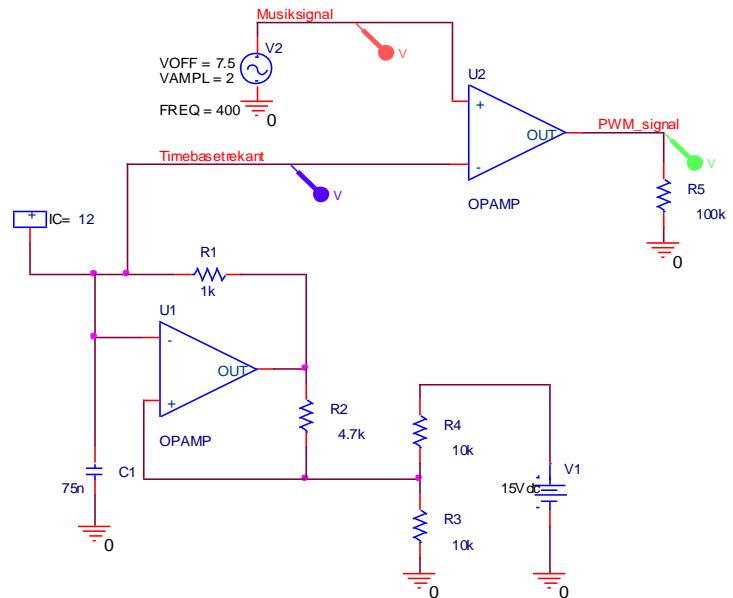
Et Klasse-D kredsløb kunne opbygges som dette:



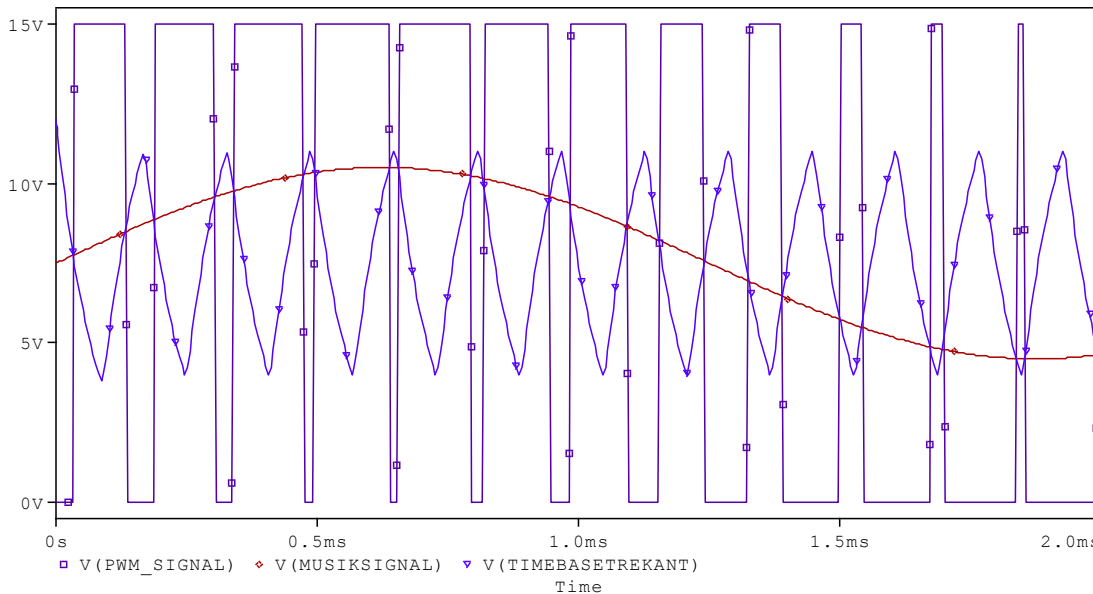
Bemærk LC-filteret i udgangen. Og husk, at man ikke momentant kan ændre strømmen i en spole. Derfor er dioderne D1 og D2 nødvendige for at strømmen kan fortsætte når transistorerne er off.

# Transistor-forstærker-kompedium

Ovenstående er søgt illustreret med en simulering af dette diagram



Graferne bliver som følgende:



Eksempler på Klasse D-IC'er: LM4673, TDA7482,

Fra Wiki:

*Theoretical power efficiency of class-D amplifiers is 100%. That is to say, all of the power supplied to it is delivered to the load, none is turned to heat. This is because an ideal switch in its on state would conduct all the current but have no voltage loss across it, hence no heat would be dissipated. And when it is off, it would have the full supply voltage across it but no leak current flowing through it, and again no heat would be dissipated. Real-world power MOSFETs are not ideal switches, but practical efficiencies well over 90% are common.*

Kilde: [https://en.wikipedia.org/wiki/Class-D\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Class-D_amplifier)

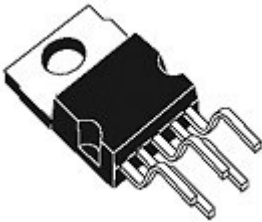
# Transistor-forstærker-kompodium

## Audio-amplifier-IC-er

Der findes et hav af IC-kredse specielt beregnet som audio-forstærkere.

Dvs. man ikke nødvendigvis har behov for selv at opbygge et kredsløb.

Her et par eksempler.



TDA2030

Hvordan forbindes den?

Find applikations:

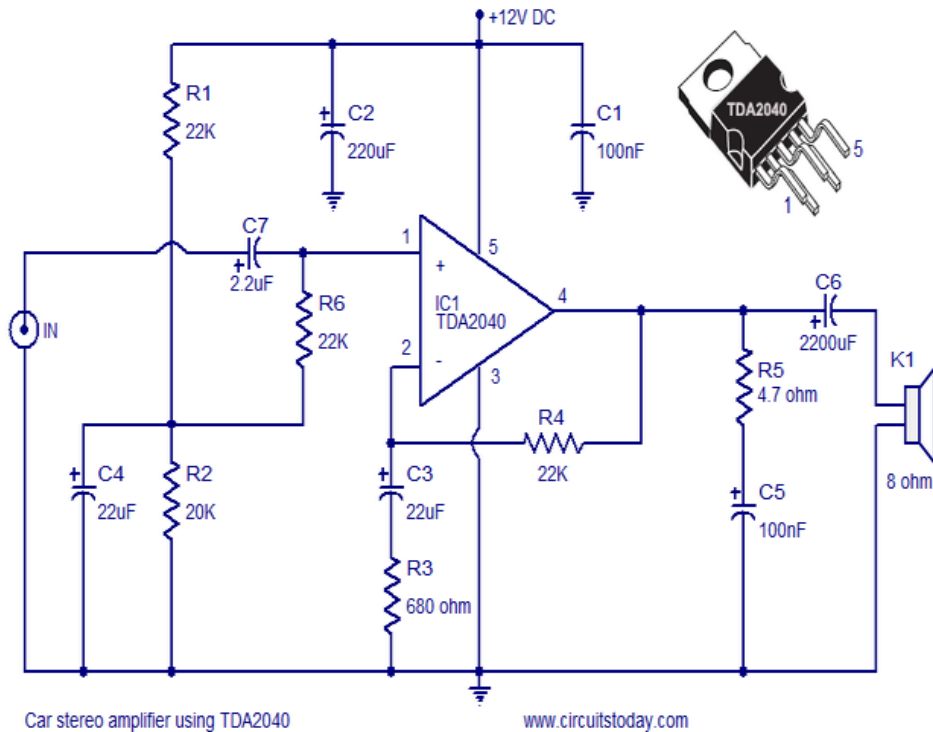
Herunder er en liste over nogle af dem.

Type	Spænding	Effekt	Båndbredde	Bemærk	Hvilestrøm		
LM 1895 N							
TBA 820	3 – 16 Volt	2W ved 12 Volt, 8 Ohm	20 kHz				
LM 386							
TEA 2025	3 – 12 Volt	4,7 W ved 12 V, 8 Ohm	10 KHz	Brokoblet	40 mA		
TDA 1514							
TDA 2002							
TDA 2003							
TDA 2030							
TDA 1519		2 x 6 W			40 til 80 ma max		
TDA 1519B		2 x 6 eller 12 W		Brokobling			
TDA 1020							

## Transistor-forstærker-kompedium

Se: <http://www.hobby-hour.com/electronics/power-audio-amplifier-ic.php>

<http://www.rason.org/Projects/icamps/icamps.htm>



Fra: <http://www.circuitstoday.com/car-stereo-circuit-using-tda2040>

<http://electroschematics.com/1192/tda-amplifier-circuits/>

<http://xtronic.org/circuit/amplifier/power-audio-amplifier-tda2002/>

<http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Audio/tda8.htm>

<http://www.hobby-hour.com/electronics/tda2005-power-audio.php> ( bro-koblet )

Diverse audio circuits: <http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Audio/audio.html>

## Transistor-forstærker-kompedium

### **Testklasser for forstærkere:**

Forskellige firmaer angiver nytteværdien for en given forstærker ved forskellige forhold og forvrængninger. Efter forskellige normer:

	DIN sinus	FTC (USA)	IEC (Int)	EIAJ (Japan)	IHF Musik- belastning
Effekt eksempel ( W )	10	8,6	9,4	17	17-20
Klir max	0,7%	0,1%	0,7%	10%	
Betingelser.  Forstærkeren skal kunne yde den angivne effekt og max forvrængningen:	I 10 minutter ved 1 kHz i stuetemperatur	I 5 minutter i hele frekvensspekteret efter forvarmning med 30 % af mærkebelastningen	I 10 minutter i frekvensområdet 63 Hz til 12,5 kHz efter forvarmning med 10 % af mærkebelastningen	Der måles i kold tilstand ved 1 kHz	Der måles ved 1 kHz. Pulsdrift, 20 svingninger fuld last, 480 svingninger med 10 % last. Altså 4 % fuld last. Klirfaktor behøves ikke målt ved fuld last. Må bare ikke kunne ses på et scoop.

FTC = Federal Trade Committee.

IEC = International Electronic Committee

EIAJ = Electronic Industry Association of Japan

IHF = Institute of HiFi-Manufacturers

### **Effektivitetsberegning for Push Pull trin**

Kilde: EAM 8/95

Skitse, Push Pull + højttaler

## Transistor-forstærker-kompedium

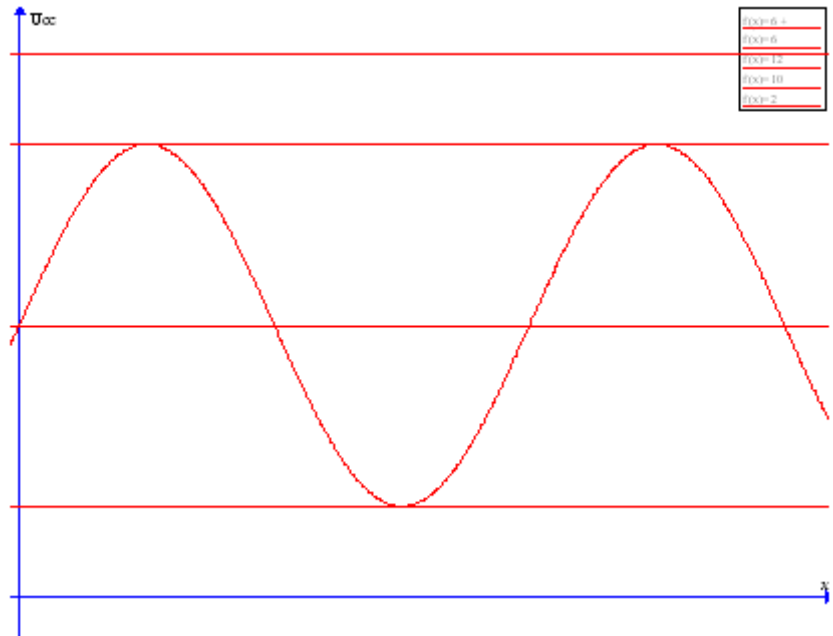
$$\text{Nytteeffekt} = P_N = U_{\text{effektiv}} \cdot I_{\text{effektiv}}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{R_L}$$

$$\text{Sættes ind fås: } P_{\text{Nytte}} = \frac{(U_{\text{eff}})^2}{R_L}$$

Grafen viser et signal omkring halv forsyningspænding.

For oven og for neden er der et område,  $U_{\text{rest}}$ , signalet ikke kan overskride pga. tab i transistorerne. Der er jo altid et tab i delta  $U_{\text{BE}}$ .



$$\text{Signalets effektive værdi er } U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{Peak}}}{\sqrt{2}} \approx 70\% \text{ af } U_p$$

Et AC-signals effektivværdi vil afsætte samme varme i en modstand, som en DC. Nogle gange er AC-signalet højere, nogle gange er det lavere end en DC-spænding. Nogle gange er den negativ, men det giver jo den samme varmeafsætning, eller effekt-afsætning i modstanden.

$$\text{DC'en kan beregnes som } \frac{U_{\text{Peak}}}{\sqrt{2}}.$$

I ovenstående svinger AC-signalet jo omkring halv forsyningspænding. Signalets Peakværdi må være Peak-Peak-værdi divideret med 2.

$$\text{Altså: } U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{PP}}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{U_{\text{CC}} - 2 \cdot U_{\text{Rest}}}{2 \cdot \sqrt{2}} \approx 0,35 \cdot (U_{\text{CC}} - 2 \cdot U_{\text{Rest}})$$

$$P_{\text{Nytte}} = \frac{(0,35 \cdot (U_{\text{CC}} - 2 \cdot U_{\text{rest}}))^2}{R_L} = \frac{0,125}{R_L} \cdot (U_{\text{CC}} - 2 \cdot U_{\text{rest}})^2$$

## Transistor-forstærker-kompedium

Altså,  $P_{\text{Nytte}}$  stiger ved aftagende lastmodstand, og tiltager ved stigende forsyningspænding i 2. potens.

Restspændingen er altid mindst  $2 \times 0,7$  volt stammende fra en Basis-emitterstrækning. Altså mindst 1,4 Volt.

Er  $U_{cc} = 12$  Volt, og  $R_L = 4$  ohm findes en max nytteeffekt på:

$$P_{\text{Nytte}} = \frac{0,125 \cdot (12 - 1,4)^2}{4} = 3,5W$$

I en bil, kan der altså ved 12 Volt forsyningspænding ikke drives mere end 3,5 Watt ud af en 4 ohms højttaler !! – hvis ikke man griber til brokobling og generering af højere forsyningspænding!!

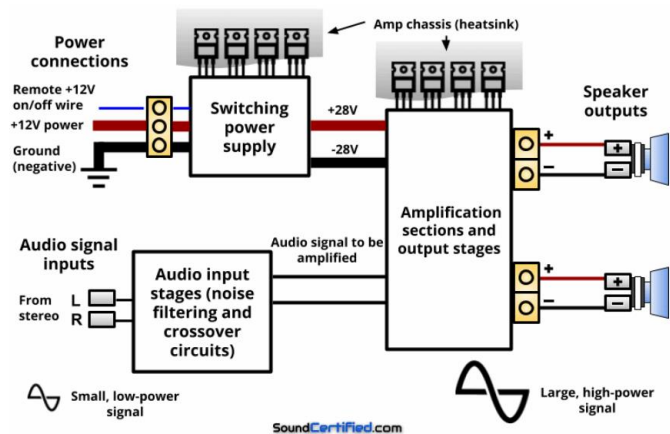
Det er det, der sker i "Brianforstærkerne" bag i bilerne!!

Se fx: <http://valveaudio.tripod.com/Membuatsendiri.htm>

Og fx:

Fra:

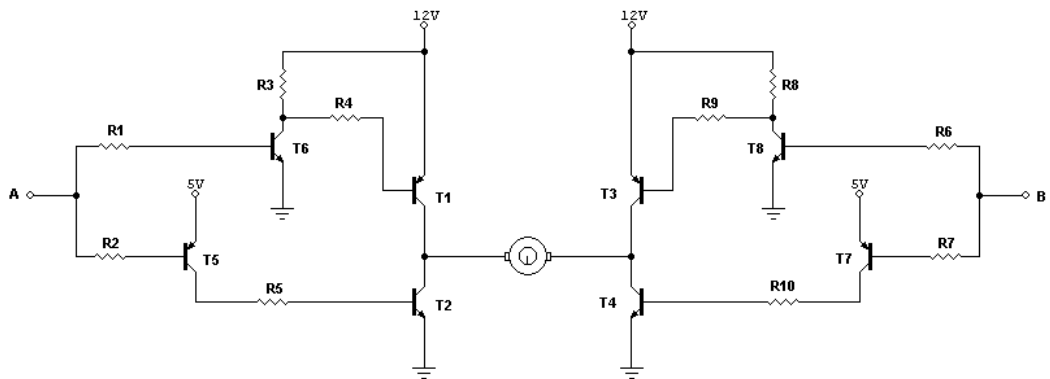
<https://soundcertified.com/what-does-car-amplifier-do/>



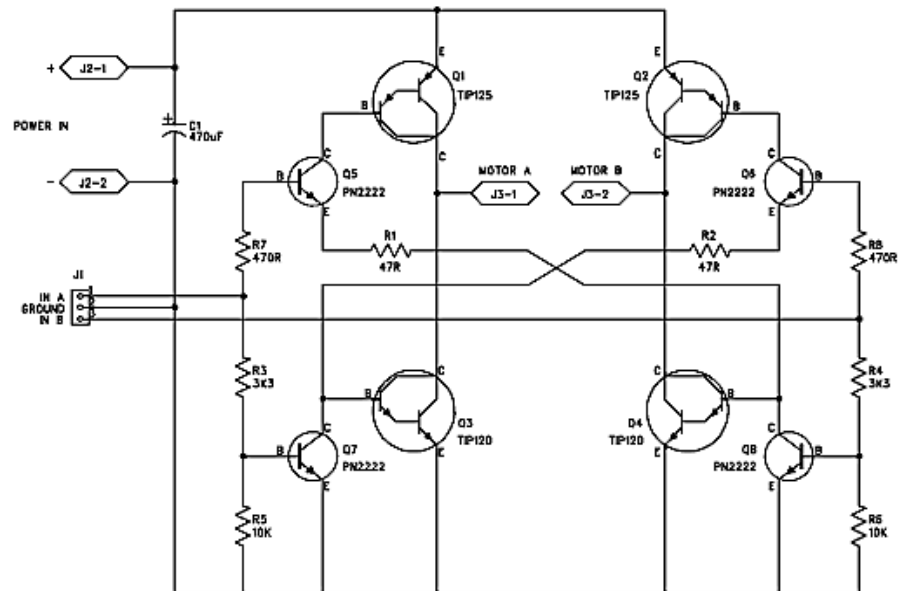
## Transistorkredsløbs-eksempler til Motorstyring

# Transistor-forstærker-kompedium

Eksempel på Bipolar H-bro.



Og et par mere.



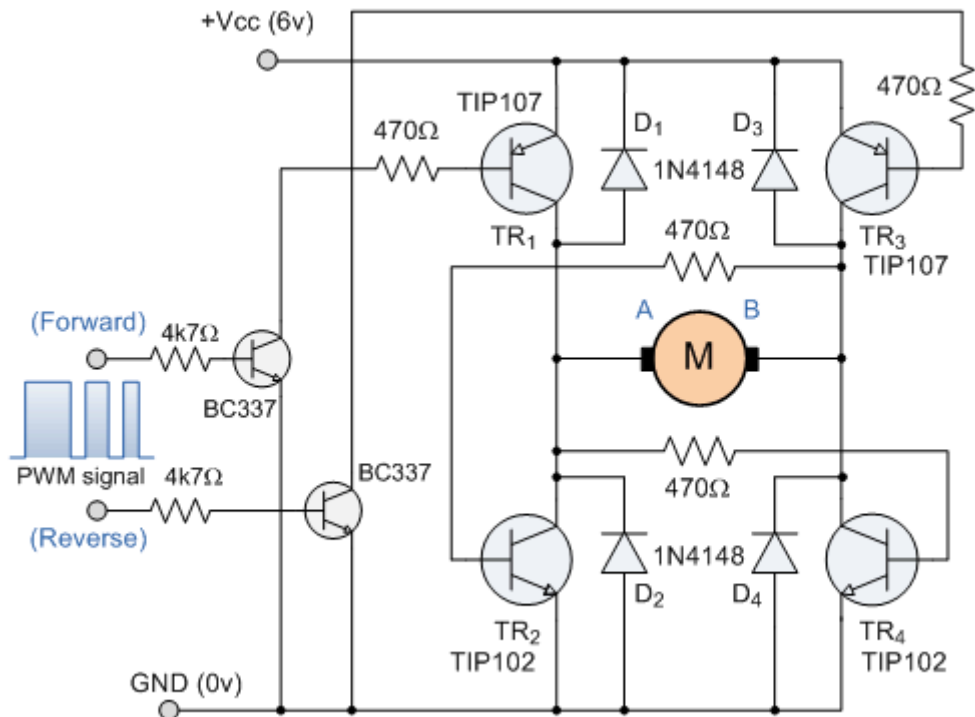


## Transistor-forstærker-kompedium

### Opgave:

Foran dette kredsløb skal der monteres et gate-kredsløb, så der fås en Enable og en Dir-indgang.

Derefter skal der tilføjes en kasse foran, der via en omskifter vælger blandt enable og PWM & enable.



Kilde: <http://www.electronics-tutorials.ws/blog/h-bridge-motor-control.html>

Problemet med dette kredsløb er, at styrespænding A eller B skal op på 0,7V over +V for at motorerne får fuld spænding.

