

**PHILIPS**



**CURSUS**  
**BEDRIJFSELEKTRONICA**

Elektronische componenten

**Leerlingboek BS 5**

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland 1975

*Alle rechten uitdrukkelijk voorbehouden.  
Vermenigvuldiging of mededeling aan derden,  
in welke vorm ook, is zonder schriftelijke  
toestemming van eigenares niet geoorloofd.*

Tweede, herziene druk 1976

Zevende druk 1981

**PHILIPS**



**CURSUS  
BEDRIJFSELEKTRONICA**

Elektronische componenten

**Leerlingboek BS 5**

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland 1975

*Alle rechten uitdrukkelijk voorbehouden.  
Vermenigvuldiging of mededeling aan derden,  
in welke vorm ook, is zonder schriftelijke  
toestemming van eigenares niet geoorloofd.*

Tweede, herziene druk 1976

Zevende druk 1981

## INHOUDSOPGAVE

- BS 5 B207 De lagentransistor.
- B208 Spanningsversterking met een transistor.
- B209 Karakteristieken bij een transistor.
- B210 De uitgangskarakteristieken.
- B211 Het verwerken van wisselstroom door een GES.
- B212 Geaarde emitterschakeling met emitterweerstand.
- B213 Formules bij de transistor in GES.
- B214 Herhaling transistor 1
- B215 De gemeenschappelijke basisschakeling.
- B216 De GCS of emittervolger.
- B217 De drie grondbeschakelingen.
- B218 Schakelen met transistor en diode.
- B219 Herhaling transistor 2.



## DE LAGENTRANSISTOR

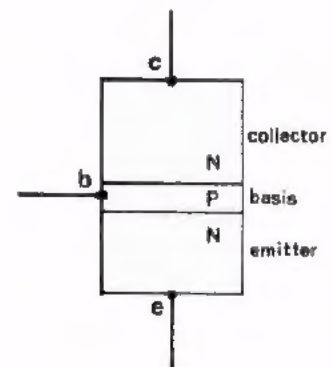
## SAMENSTELLING EN SYMBOOL

Een *transistor* is een halfgeleidercomponent waarmee men kan versterken. Er bestaan verschillende soorten transistors, waarvan de zogenaamde *lagentransistor* de meest toegepaste is. Deze lagentransistor gaan we in de volgende lessen bespreken.

Een lagentransistor is bijna altijd vervaardigd uit silicium. Hij bestaat uit drie delen:

de *emitter* e,  
de *basis* b,  
en de *collector* c.

Deze drie delen bestaan bijvoorbeeld achtereenvolgens uit N-, P- en N-materiaal. Men noemt zo'n transistor dan ook een NPN-transistor. Later zullen we nog kennis maken met PNP-transistors.



De basis is altijd een zeer dun laagje (ongeveer één duizendste mm dik), dat tussen emitter en collector in ligt.

Verder heeft de collector meestal grotere afmetingen dan de emitter.

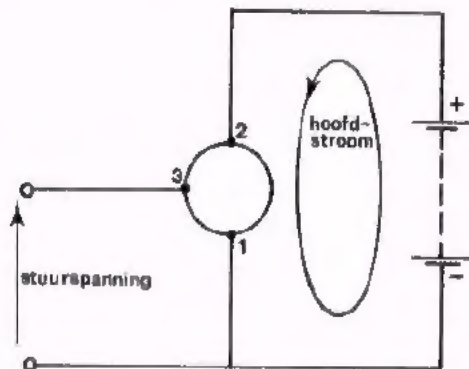
Hieronder is het symbool voor een NPN-transistor gegeven, zoals dat in schema's wordt gebruikt.



## HOOFDSTROOM EN STUURSPANNING

Een transistor is een *actieve component*, d.w.z. dat hij elektrisch vermogen kan versterken. *Passieve componenten*, zoals weerstanden, condensators, spoelen en transformatoren kunnen dit niet.

Actieve componenten hebben minstens drie aansluitingen.

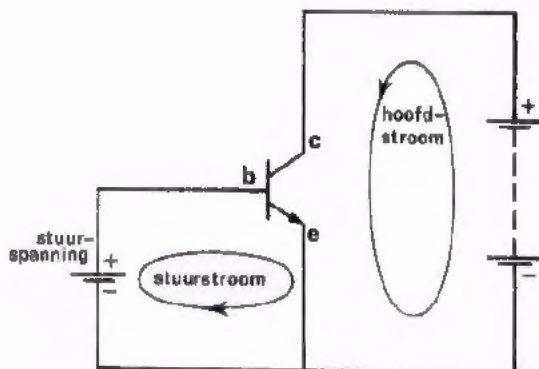


Tussen twee daarvan loopt de *hoofdstroom*.

Tussen twee andere wordt de zogenaamde *stuurspanning* aangesloten, met behulp waarvan de grootte van de hoofdstroom te variëren is. In dit voorbeeld loopt de hoofdstroom tussen 2 en 1. De stuurspanning bevindt zich tussen 3 en 1.

Vaak loopt er tussen 3 en 1 nog een kleine stuurstroom.

Het bovenstaande geldt algemeen voor een actieve component. Kijken we nu eens speciaal naar de lagetransistor.

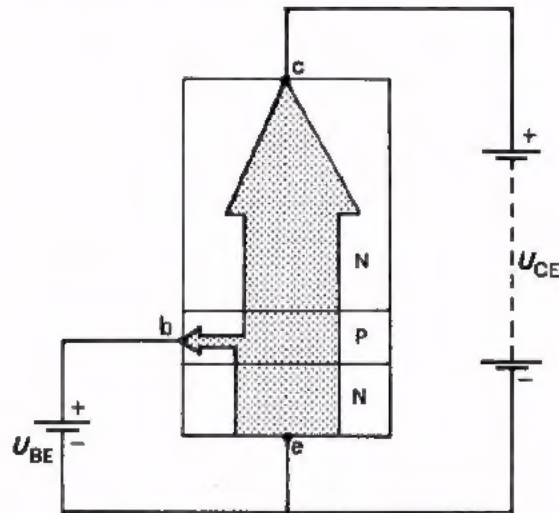


De hoofdstroom loopt tussen collector en emitter. De pijl van het transistorsymbool geeft daarbij de richting aan van de elektrische stroom. Tussen basis en emitter wordt de stuurspanning aangebracht. Hierbij gaat er tevens een kleine stuurstroom lopen.



## DE WERKING VAN DE TRANSISTOR.

We gaan niet grondig in op de ingewikkelde processen die zich binnen een transistor afspelen. U krijgt daar als elektronicus ook niets mee te maken. Om praktisch goed te kunnen werken, wordt een transistor van twee gelijkspanningen voorzien. Hier is zeer schematisch getekend wat er in een NPN-transistor gebeurt bij aansluiting van de getekende spanningen tussen collector en emitter en tussen basis en emitter.



Het onderste deel van de transistor is als een diode te beschouwen waarop een doorlaatspanning  $U_{BE}$  is aangesloten. Vanuit de emitter loopt een kleine elektronenstroom naar de basis. Verreweg het grootste deel van de emitterstroom gaat door naar de collector. Slechts een klein deel van de elektronen zorgt voor een stroompje via de basisaansluiting.

Merk op, dat de getekende pijlen elektronenstromen voorstellen; de elektrische stromen lopen juist andersom.

De namen "emitter" en "collector" zijn nu ook wat begrijpelijker.

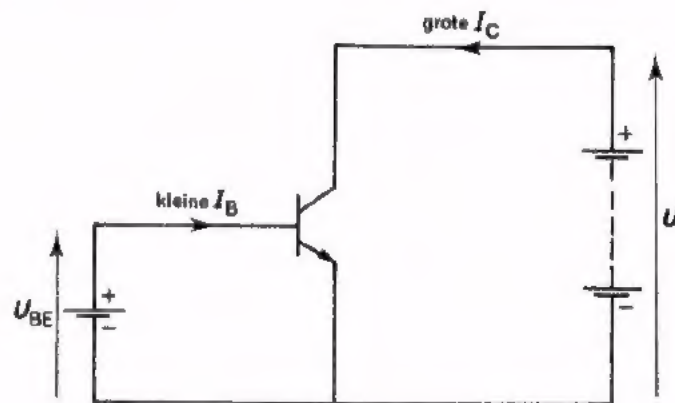
"Emitteren" betekent "uitzenden"; vanuit de emitter worden de elektronen uitgezonden. "Collecteren" betekent "verzamelen"; het grootste deel van de elektronen verzamelt zich bij de collector.

De basis dankt zijn naam aan de oorspronkelijke transistorconstructie, die er zo uitzag:



De basis was hierbij de drager van collector en emitter.

DE GELIJKSTROOMVERSTERKINGSFACTOR



Hier is de transistorschakeling nogmaals getekend, nu met een transistor-symbool en de elektrische stromen  $I_B$  en  $I_C$ .

$I_B$  betekent *basisstroom* en  $I_C$  *collectorstroom*.

Bekijken we deze schakeling, dan zien we het volgende:

Het aansluiten van  $U_{BE}$  gaat samen met het toevoeren van een *kleine* stroom  $I_B$  en heeft een *grote* stroom  $I_C$  tot gevolg.

Hierin zit nu het principe van de werking van de transistor.

*Met een klein atroompje  $I_B$  "sturen" we een grote stroom  $I_C$ .*

*Een kleine gelijkstroom  $I_B$  heeft een grotere gelijkstroom  $I_C$  tot gevolg.*

*We zeggen dat de versterking van gelijkstroom plaatsvindt.*

De grootte van deze versterking noemt men de *gelijkstroomversterkingsfactor*:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

VOORBEELD

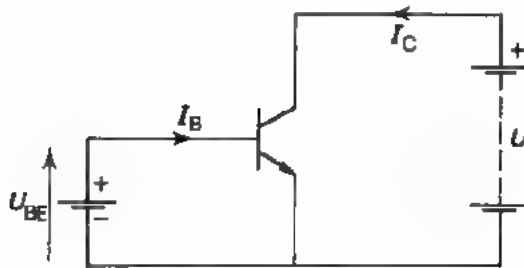
Veroorzaakt een basisstroom van 0,5 mA een collectorstroom van 30 mA, dan is de gelijkstroomversterkingsfactor:

$$h_{FE} = \frac{30}{0,5} = 60.$$

Op de betekenis van  $F$  en  $E$  komen we later nog terug. Wel vermelden we reeds: dat  $F$  en  $E$  met hoofdletters zijn geschreven wil zeggen, dat we met *gelijkstroomgrootheden* hebben te doen.

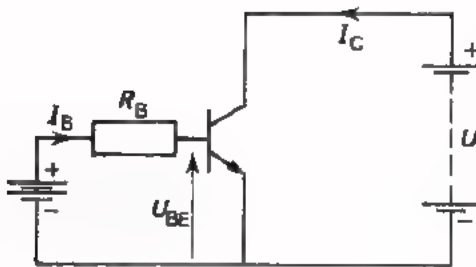
## DE PRAKTISCHE VOORZIENING VAN DE GELIJKSPANNING

Op het vorig blad hebben we een zeer eenvoudige schakeling van een NPN-transistor gebruikt om iets van de werking van de schakeling te zeggen. Vanuit deze simpele schakeling kunnen we als volgt tot een praktisch beter bruikbare schakeling komen.

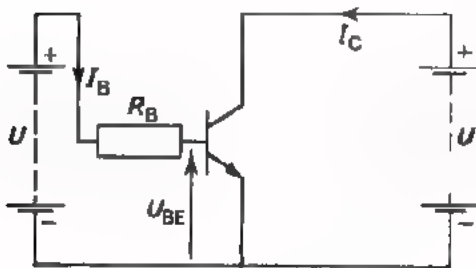


Hier is de schakeling nogmaals getekend.

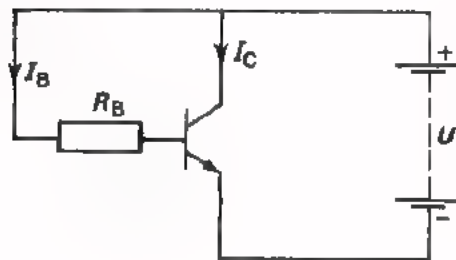
We hebben gezien, dat we maar een kleine  $I_B$  nodig hebben om een grote  $I_C$  te verkrijgen. Een te grote spanning  $U_{BE}$  kan direct zó'n grote stroom vanuit de emitter veroorzaken, dat de transistor te heet wordt en kapot gaat. Om dit gevaar te verminderen brengt men een serieweerstand aan, de zogenaamde *basisweerstand*.



Een ernstig nadeel van deze schakeling is dat er twee spanningsbronnen nodig zijn. Dit nadeel kunnen we als volgt vermijden:

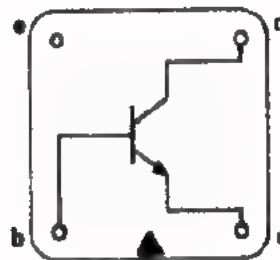
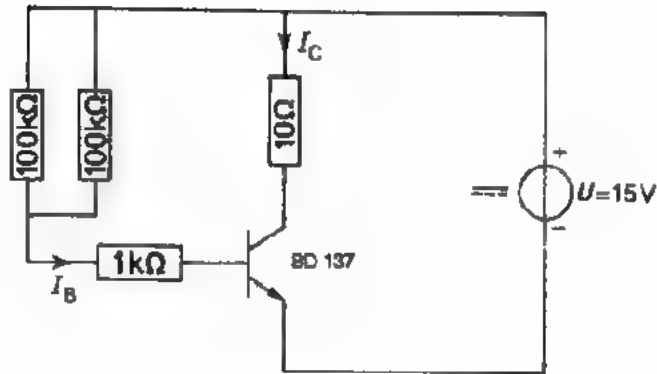


In gedachten maken we de linker batterij even groot als de rechter. Om de stroom  $I_B$  klein te houden moeten we dan de weerstand  $R_B$  vergroten.



Twee dezelfde batterijen in één schakeling is nogal overbodig. We kunnen de gelijkspanningen voor collector en basis wel van één batterij halen. Als we dit doen ontstaat nevenstaande schakeling. Ga dit zorgvuldig na.

OPDRACHT: METEN VAN  $h_{FE}$ .



merkteken

- Bouw deze schakeling.

$R_B$  wordt gevormd door de beide weerstanden van  $100\text{ k}\Omega$  plus een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$ .

In de collectorleiding is een extra weerstand van  $10\ \Omega$  opgenomen.

Sluit de transistor goed aan, anders kan hij defect geraken.

- Voer een spanning toe van 15 V. Verbind de aardklem van de voeding met de "- klem".

- Meet met een universeelmeter de spanningen over de weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  en over de weerstand van  $10\ \Omega$ .

Bereken nu de stromen:  $I_B =$

en  $I_C =$

- Hieruit volgt de gelijkstroomversterkingsfactor:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \text{---} = \text{---}$$

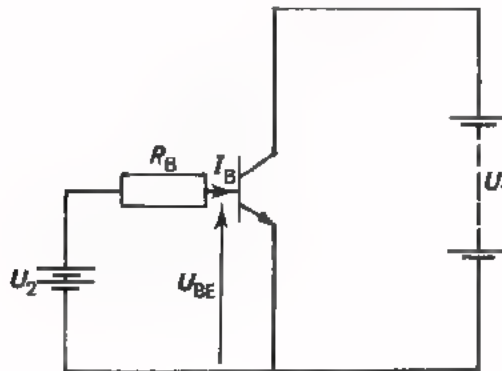
- Breuk de schakeling nog niet af, maar schakel de gelijkspanningsbron uit.

## VOORBEELDEN VAN BEREKENINGEN

We gaan nu de voorafgaande theorie in een tweetal berekeningsvoorbeelden in de praktijk brengen.

Eerst een opmerking.

De "onderkant" van een transistor bestaat uit een diode in doorlaatsrichting. De doorlaatspanning van een siliciumdiode bedraagt ongeveer 0,7 V. Tussen basis en emitter staat bij een transistor dus een gelijkspanning  $U_{BE} = 0,7$  V. Bekijken we nu volgende schakeling die nog met twee gelijkspanningsbronnen is uitgevoerd.



Gegeven is dat:  $U_1 = 20$  V en  $U_2 = 6,7$  V.

Gevraagd wordt hoe groot men de basisweerstand  $R_B$  moet nemen om te bereiken dat de basisstroom  $I_B = 100$   $\mu$ A.

Oplissing:

"Links van  $R_B$ " staat  $U_2 = 6,7$  V.

"Rechts van  $R_B$ " staat de doorlaatspanning  $U_{BE} = 0,7$  V.

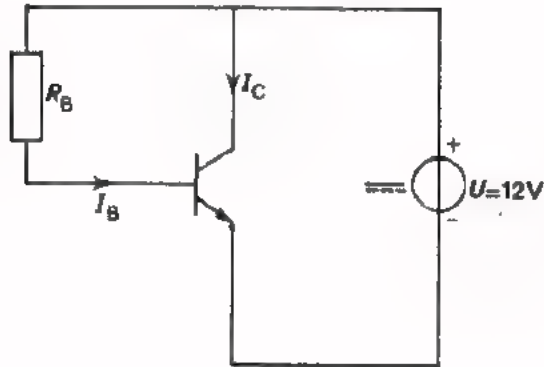
Over  $R_B$  staat dus:  $6,7 - 0,7 = 6,0$  V.

Door  $R_B$  moet lopen  $I_B = 100$   $\mu$ A.

Dus:

$$R_B = \frac{6,0}{I_B} = \frac{6,0}{100 \cdot 10^{-6}} = \underline{60 \text{ k}\Omega}.$$

Nu een tweede voorbeeld.



In deze schakeling is maar één spanningsbron gebruikt. Gegeven is dat bij deze transistor de gelijkstroomversterkingsfactor  $h_{FE} = 200$ .  
We willen dat de collectorstroom  $I_C = 40 \text{ mA}$ .  
Hoe groot moet  $I_B$  nu zijn?  
Hoe groot dient men  $R_B$  dan te nemen?

Oplossing:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$
$$I_B = \frac{40}{200} = 0,2 \text{ mA} = \underline{200 \mu\text{A}}$$

Over  $R_B$  staat:  $U - U_{BE} = 12 - 0,7 = 11,3 \text{ V}$ .

Door  $R_B$  loopt  $I_B = 200 \mu\text{A}$ .

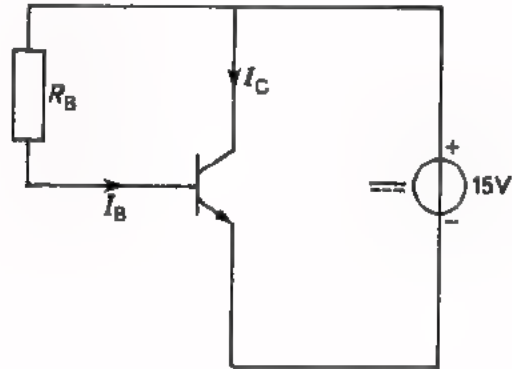
Dus:

$$R_B = \frac{11,3}{I_B} = \frac{11,3}{200 \cdot 10^{-6}} = 56,5 \cdot 10^3 \Omega$$
$$= \underline{56,5 \text{ k}\Omega}$$

OEFENINGEN

Na de voorafgaande voorbeelden moet u eens proberen volgende vraagstukken zelf te maken.

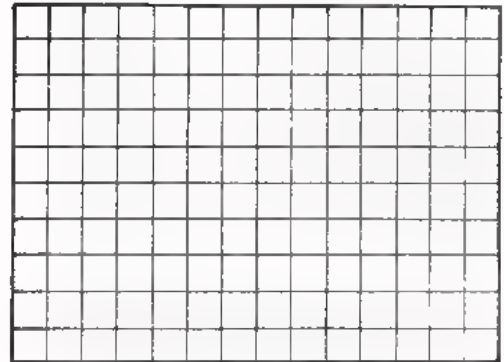
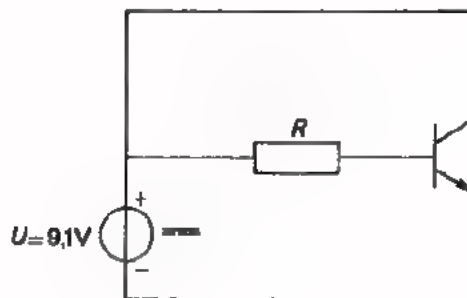
1.



In deze schakeling geldt  $I_B = 80 \mu\text{A}$  en  $I_C = 4 \text{ mA}$ .  
Hoe groot is de gelijkstroomversterkingsfactor?

$h_{FE} =$

2.



De transistor in deze schakeling heeft een  $h_{FE} = 150$ .  
Men wenst een collectorstroom van  $1,8 \text{ mA}$ .

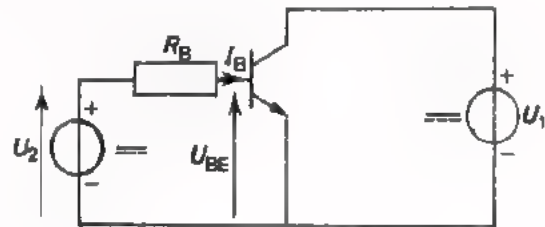
Teken naast het gegeven schema de schakeling op meer gebruikelijke wijze.  
Hoe groot moet de weerstand  $R$  in de schakeling zijn?

$R =$

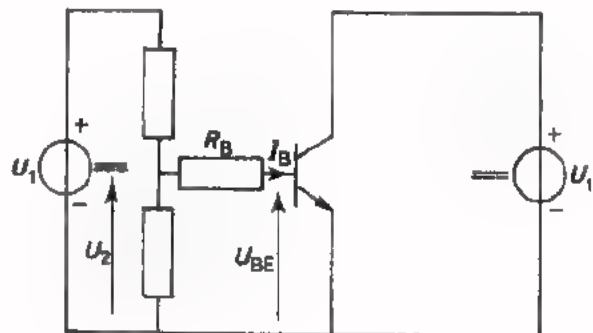
ANDERE MANIER OM TOT EEN PRAKTISCHE VOORZIENING VAN DE GELIJKSPANNING TE KOMEN.

Op blad B207,5 hebben we gezien hoe we tot een schakeling konden komen, waarbij maar één voedingsbron werd gebruikt. Er is nog een andere manier om dit te doen. Hieronder zetten we dit stap voor stap uiteen.

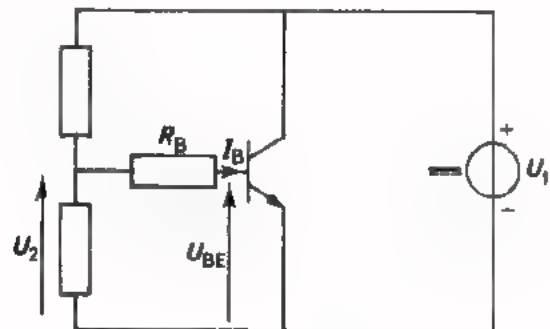
Hier eerst het beginschema voor gelijkstroom.



We vervangen  $U_2$  nu door een spanningsbron met dezelfde spanning  $U_1$  als die van de rechter spanningsbron. Bovendien brengen we een spanningsdeler aan om toch  $U_2$  te verkrijgen.



Tenslotte vervangen we de twee nu gelijke voedingsbronnen door één voedingsbron.

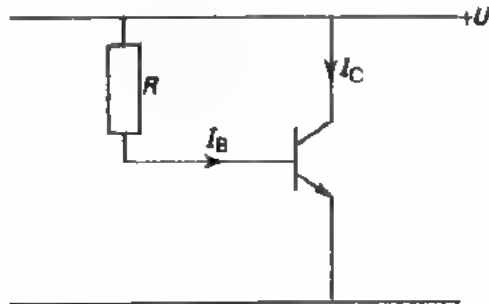


Deze spanningsdeler om een spanning  $U_2$  te verkrijgen die lager is dan de voedingsspanning  $U_1$  komt men in praktische schakelingen vaak tegen.

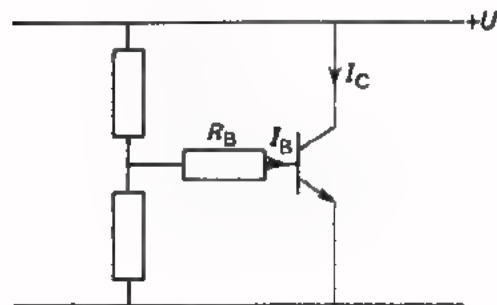


ANDERE MANIER VAN TEKENEN.

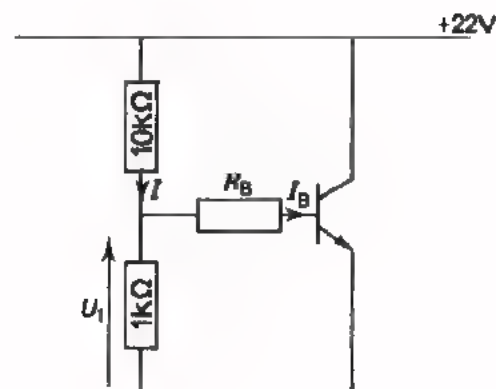
Vaak tekent men de gelijkspanningsbron bij transistorschakelingen helemaal niet. Men geeft het schema op de volgende wijze weer "tussen twee horizontale strepen":



Een ander voorbeeld.



OEFENING



$I_B$  is véél kleiner dan  $I$ .

Hoe groot is  $I$  ongeveer?

$I \approx$

Hoe groot is  $U_1$  ongeveer?

$U_1 \approx$

Hoe groot dient  $R_B$  te zijn, opdat

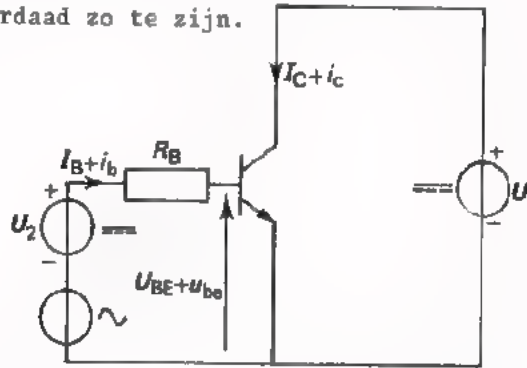
$I_B = 50 \mu A$ ?

$R_B \approx$

DE WISSELSTROOMVERSTERKING.

We hebben in het voorafgaande gezien dat bij een transistor een kleine basisgelijkstroom een veel grotere collectorgelijkstroom veroorzaakt. Er treedt dus gelijkstroomversterking op. De vraag doet zich voor of het ook mogelijk is wisselstroom te versterken.

Dit blijkt inderdaad zo te zijn.



Hier is weer een transistorschakeling getekend. Gemakshalve is tussen basis en emitter weer een tweede gelijkspanningsbron geplaatst. Tevens bevindt zich in serie met deze gelijkspanningsbron een wisselspanningsbron.

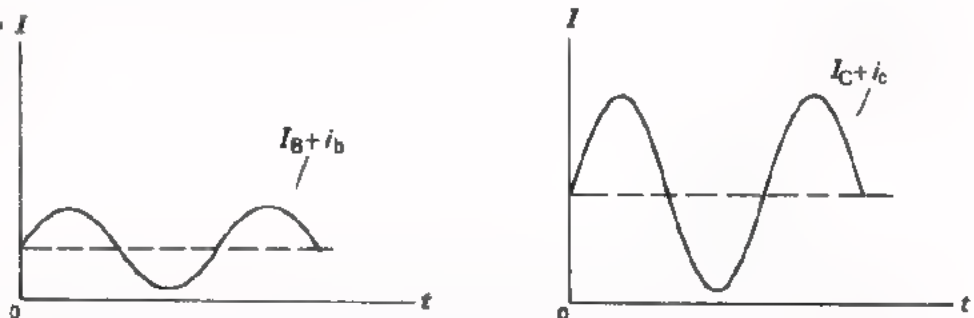
De stuurspanning varieert tussen de waarden:

$$U_{BE} + u_{be} \quad \text{en} \quad U_{BE} - u_{be}.$$

Er gaat dan ook een pulserende basisstroom lopen die varieert tussen de waarden:

$$I_B + i_b \quad \text{en} \quad I_B - i_b.$$

Deze veranderende stuurstroom heeft een veranderende collectorstroom ten gevolge.



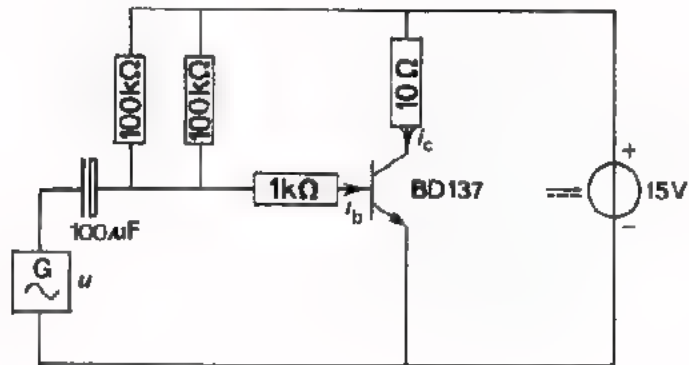
De wisselstroomcomponent van de collectorstroom is veel groter dan die van de basisstroom. Er vindt dus versterking van wisselstroom plaats.

De grootte van de wisselstroomversterking geeft men aan als:

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b} \quad h_{fe} \text{ is de zogenaamde wisselstroomversterkingsfactor}$$

Deze kan tussen ongeveer 20 en 1000 liggen. Merk op: bij de *gelijkstroom*-versterkingsfactor  $h_{FE}$  wordt FE met hoofdletters en bij de *wisselstroom*-versterkingsfactor  $h_{fe}$  wordt fe met kleine letters geschreven.

OPDRACHT: HET METEN VAN  $h_{fe}$ .



- Voeg aan de schakeling op uw paneel de condensator en de generator toe.
- Stel de generator in op 0,5 kHz en laat  $u$  toenemen totdat  $I_{b(\text{eff})} = 100 \mu\text{A}$ . We stellen deze wisselstroom in door de spanning te meten over de weerstand van  $1 \text{ k}\Omega$  met behulp van een elektronische universeelmeter.
- Meet vervolgens met dezelfde meter de spanning over de weerstand van  $10 \Omega$ . De collectorstroom bedraagt nu:

$$I_{c(\text{eff})} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

Nu kunnen we de wisselstroomversterkingsfactor berekenen:

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b} = \frac{\phantom{000}}{\phantom{000}} = \boxed{\phantom{000}}$$

U ziet dat er inderdaad een flinke wisselstroomversterking optreedt.

VRAAG

Vertel in het kort waarom de condensator in de schakeling is opgenomen?

---



---



---



---



---

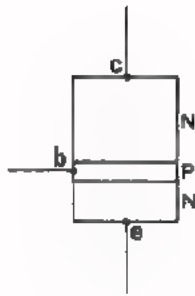


---

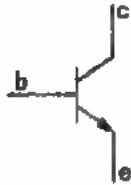


---

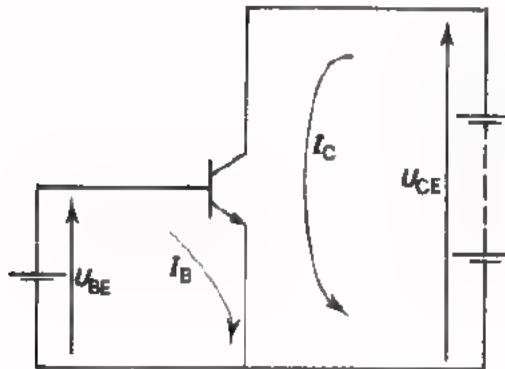
SAMENVATTING



Een NPN-lagentransistor is samengesteld uit drie delen: een emitter en een collector van N-halfgeleidermateriaal en daartussen een zeer dunne basis van P-materiaal.



Hiernaast het symbool van een NPN-transistor. De pijl geeft de elektrische stroomrichting aan (van + naar -).



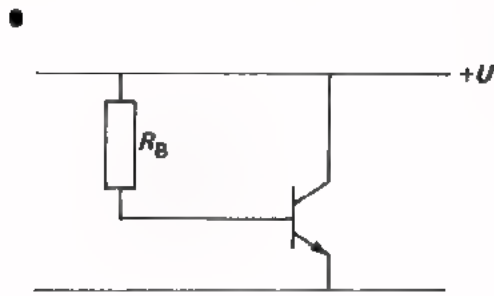
Om de transistor te laten werken moet tussen collector en emitter een gelijkspanning  $U_{CE}$  worden aangesloten. Bovendien moet tussen basis en emitter een veel kleinere gelijkspanning  $U_{BE}$  staan.

Dank zij  $U_{BE}$  gaat er een kleine basisstroom  $I_B$  lopen, die een veel grotere collectorstroom  $I_C$  tot gevolg heeft.

$U_{BE}$  en  $I_B$  zijn de kleine stuurspanning en de kleine stuurstroom die de grote hoofdstroom  $I_C$  tot gevolg hebben.

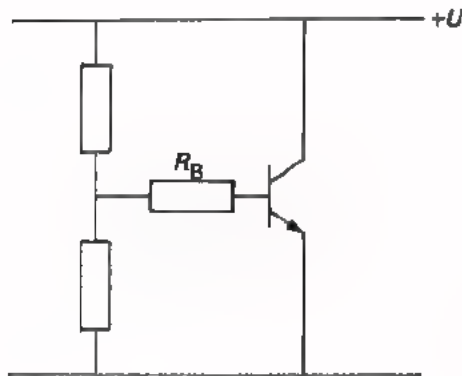
De verhouding  $\frac{I_C}{I_B}$  noemt men de *gelijkstroomversterkingsfactor*, aangeduid met  $h_{FE}$ :

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$



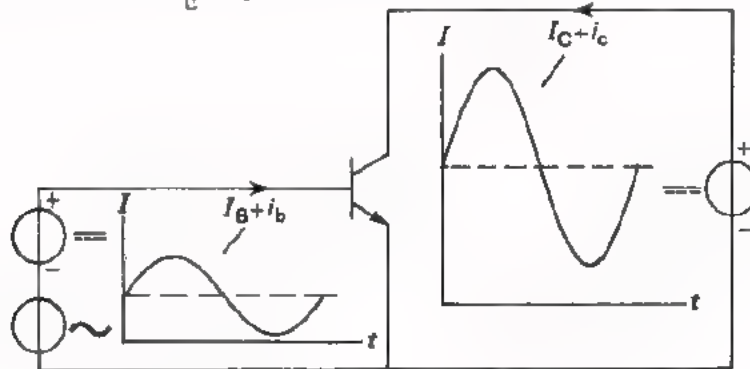
Praktisch voorziet men collector en basis vanuit één voedingsbron van gelijkspanning.

Omdat  $U_{BE}$  veel kleiner is dan de voedingsspanning moet er een grote weerstand  $R_B$  in de basisleiding worden aangebracht.



Vaak tekent men in schema's in plaats van de voedingsbron "twee horizontale lijnen" waartussen het schema is aangebracht.

- Voert men tezamen met een kleine gelijkstroom  $I_B$  en kleine wisselstroom  $i_b$  toe, dan gaat er tezamen met de veel grotere gelijkstroom  $I_C$  een veel grotere wisselstroom  $i_c$  lopen.



Er vindt wisselstroomversterking plaats.

- De verhouding  $\frac{i_c}{i_b}$  noemt men de *wisselstroomversterkingsfactor*, aangeduid met  $h_{fe}$ :

$$h_{fe} = \frac{I_{ct}}{I_{bt}}$$

Lined writing area with horizontal lines.

NAAM:

KLAS:

1. - Een lagetransistor is meestal vervaardigd uit het halfgeleidermateriaal:

- Hij bestaat uit drie delen, die genoemd worden:

 ,  en 

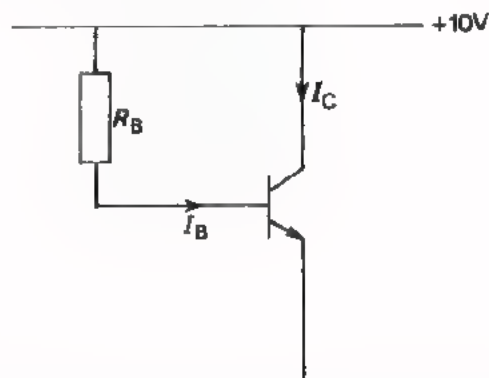
- Een transistor wordt voorzien van twee gelijkspanningen, die men aanduidt als:

 en 

- De gelijkstroomversterkingsfactor:  $h_{FE} =$

De wisselstroomversterkingsfactor:  $h_{fe} =$

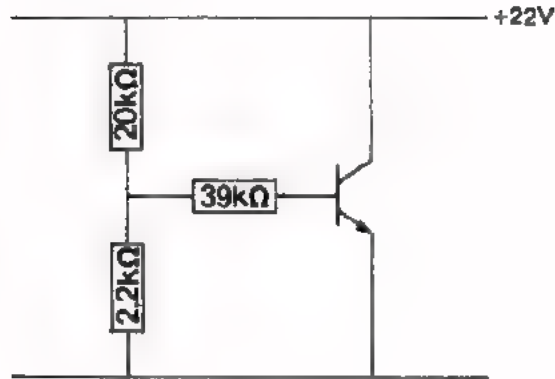
2.



De transistor in deze schakeling heeft een gelijkstroomversterkingsfactor  $h_{FE} = 100$ . De basisweerstand  $R_B = 50 \text{ k}\Omega$ . Bereken de collectorstroom:

$$I_C = \text{  mA}$$

3.

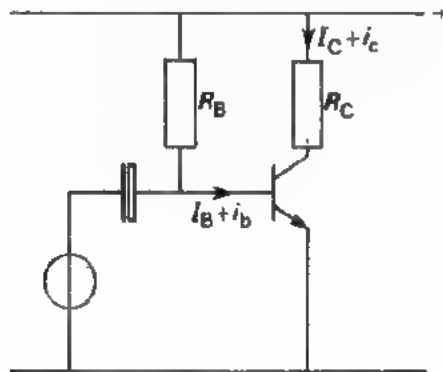


De transistor die in deze schakeling wordt gebruikt heeft een  $h_{FE} = 90$ .

Bereken de collectorstroom:

$I_C =$

4.



$I_C = 10 \text{ mA}$  en  $I_{ct} = 5 \text{ mA}$

$h_{FE} = 250$  en  $h_{fe} = 200$

Bereken  $I_B$  en  $I_{bt}$ .

$I_B =$

$I_{bt} =$

Hoe groot is  $R_C$  als de amplitude van de wisselspanning over  $R_C$  6 V bedraagt?

$R_C =$



## SPANNINGSVERSTERKING MET EEN TRANSISTOR

## INLEIDING

In de vorige les maakten we kennis met de lagentransistor. Het bleek mogelijk met een transistor zowel gelijk- als wisselstroom te versterken. We voerden de grootheid "gelijkstroomversterkingsfactor" in:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

En bovendien de "wisselstroomversterkingsfactor":

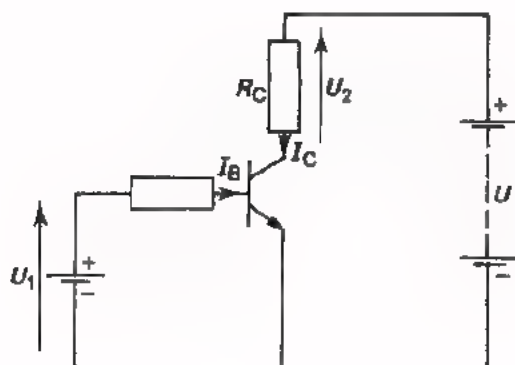
$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$

In deze les gaan we de spannings- en vermogensversterking bekijken.

## SPANNINGSVERSTERKING

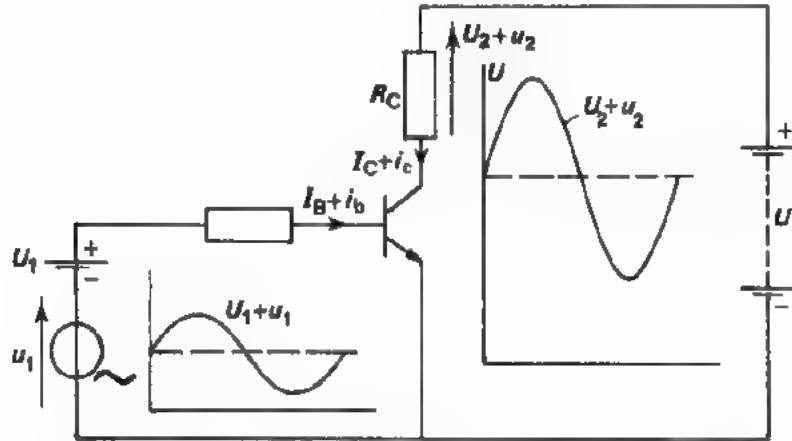
Met behulp van een transistor is het ook mogelijk om spanning te versterken. Men moet dan een weerstand of impedantie in de collectorleiding opnemen. Door deze weerstand of impedantie loopt de collectorstroom, waardoor over deze component een spanning komt te staan die groter kan zijn dan de toegevoerde stuurspanning.

Op deze manier kan men wisselspanning versterken.



Hier wordt een kleine spanning  $U_1$  toegevoerd die een kleine stroom  $I_B$  doet lopen. Daardoor ontstaat een veel grotere stroom  $I_C$  die vergezeld gaat van gelijkspanning  $U_2$  over  $R_C$ .

In de schakeling hieronder wordt behalve gelijkspanning ook een kleine wisselspanning  $u_1$  toegevoerd. Deze doet in de basis een kleine wisselstroom  $i_b$  lopen. In de collector ontstaat dan een veel grotere wisselstroom  $i_c$ . De door  $R_c$  lopende  $i_c$  gaat vergezeld van een wisselspanning  $u_2$  over  $R_c$ , die veel groter kan zijn dan  $u_1$ .



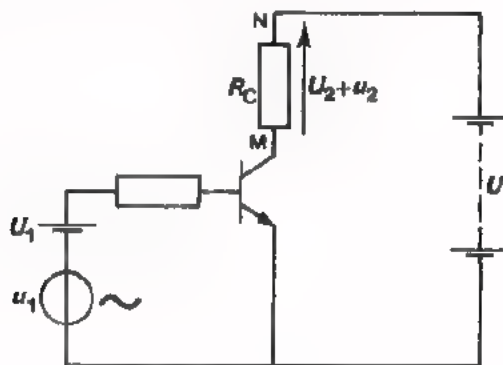
Er vindt een wisselspanningsversterking plaats, die gelijk is aan:

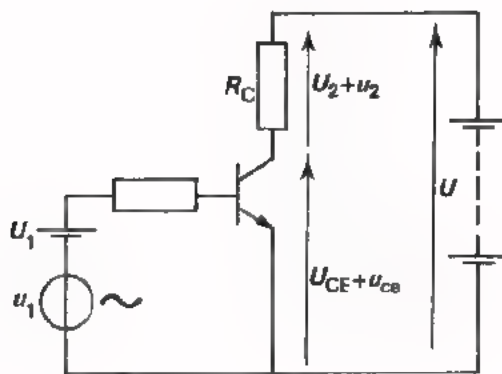
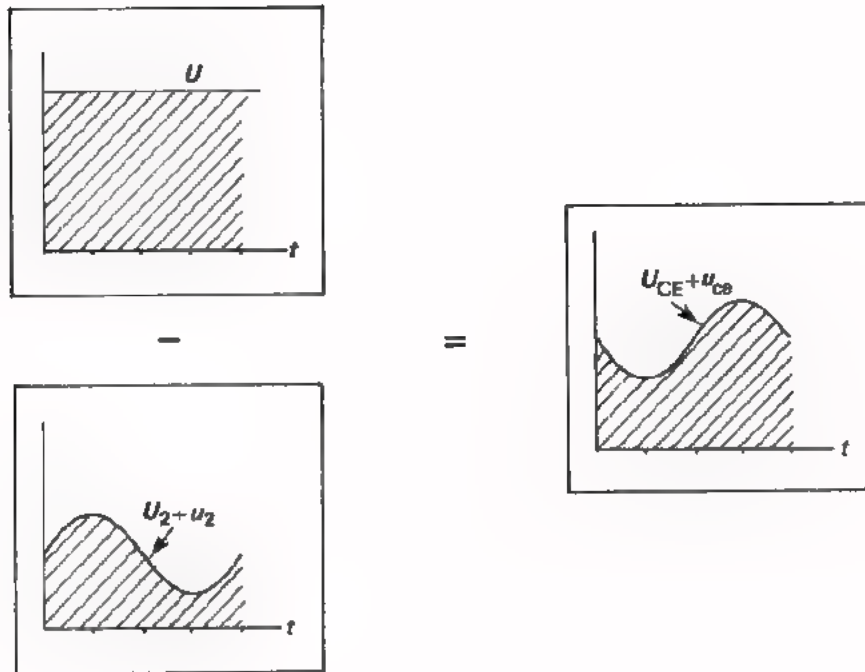
$$A_u = \frac{u_2}{u_1}$$

Een versterking duiden we aan met de hoofdletter A (Engels: "amplification").

#### DE AF TE NEMEN SPANNING

Hier ziet u nogmaals de schakeling waarmee we wisselspanning kunnen versterken. Over  $R_c$  ontstaat de versterkte wisselspanning  $u_2$ . In de praktijk is het gewenst om de versterkte wisselspanning tussen een of ander punt en aarde ter beschikking te krijgen.  $R_c$  zit echter tussen de punten M en N en die liggen geen van beide aan aarde. De wisselspanning die over  $R_c$  staat is echter ook aanwezig tussen collector en emitter. Dit is als volgt in te zien.

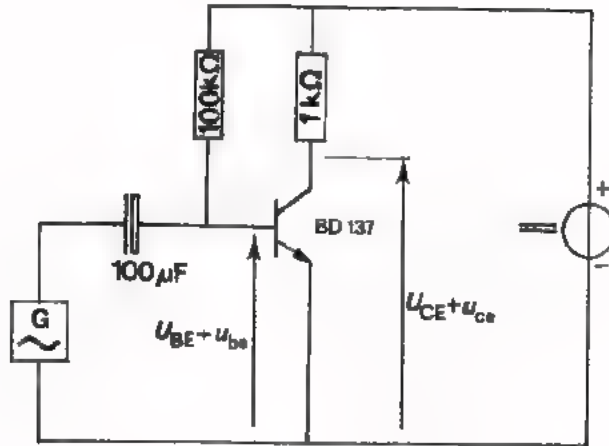




Als men van de voedingsspanning  $U$  de spanning  $U_2 + u_2$  die over  $R_C$  staat aftrekt, dan houdt men de spanning over de transistor over. Deze spanning is  $U_{CE} + u_{ce}$  en daarin is de wisselspanningscomponent  $u_{ce}$  dezelfde als de wisselspanning  $u_2$ .

Praktisch neemt men de versterkte wisselspanning af over de transistor, zoals in de figuur hiernaast is getekend.

OPDRACHT: HET BEPALEN VAN  $A_u$ .



- Bouw deze schakeling. Stel de gelijkspanning in op 10 V.
- Voer een wisselspanning toe van 1 kHz, uit de 600 Ω-uitgang. Stel de wisselspanningsgenerator zo in dat  $U_{be}(t) = 10 \text{ mV}$ . Doe dit met behulp van de oscilloscoop met:

"Y-AMPL" in stand 5 mV/div.  
en "O-AC-DC" in stand AC.

- Meet vervolgens de spanning  $u_{ce}$  met de oscilloscoop.

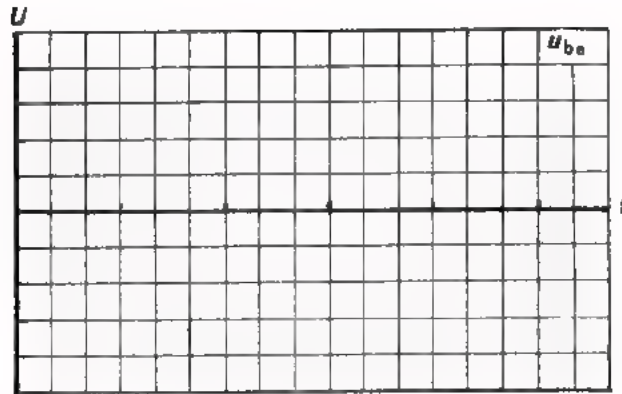
$$U_{ce}(t) = \boxed{\phantom{000000}} \text{ mV}$$

- De wisselspanningsversterking is:

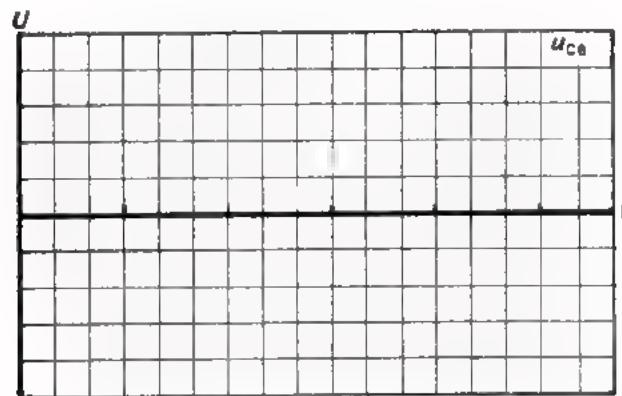
$$A_u = \frac{U_{ce}(t)}{U_{be}(t)} = \frac{\phantom{000000}}{10} = \boxed{\phantom{000000}}$$

U ziet dat er inderdaad een flinke wisselspanningsversterking optreedt.

- Zet de schakelaar van stand AC in stand DC en maak  $U_{CE} + u_{ce}$  zichtbaar. U ziet inderdaad de wisselspanning  $u_{ce}$  en de gelijkspanning  $U_{CE}$ .
- Sluit vervolgens weer  $U_{BE} + u_{be}$  aan op de oscilloscoop en trigger hem extern met de spanning  $U_{CE} + u_{ce}$ .  
U kunt nu de pulserende gelijkspanning  $U_{BE} + u_{be}$  waarnemen.
- Schakel weer over in stand AC.  
Let op hoe de sinusoiden van  $u_{be}$  begint bij deze extern getriggerde oscilloscoop. Schets de sinusoiden op de volgende pagina.



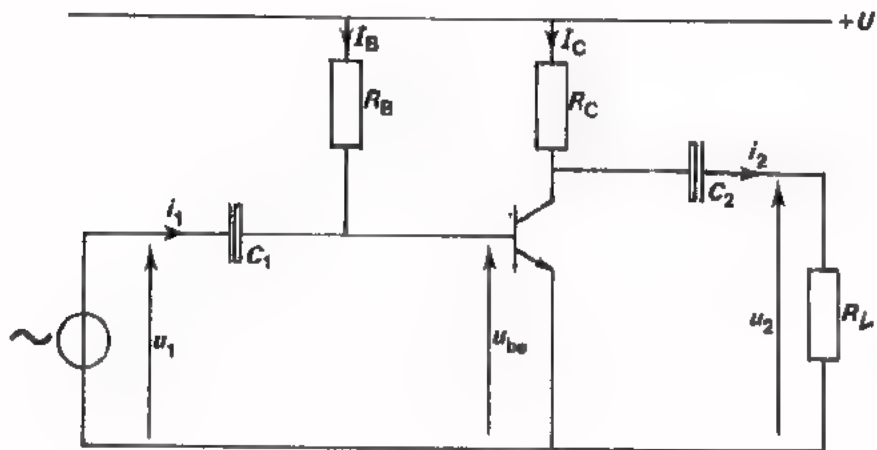
- Sluit hierna nog eens  $u_{ce}$  aan op de oscilloscoop met behoud van dezelfde externe triggering. Schets hieronder wat u nu ziet.



- Als u de grafieken van  $u_{be}$  en  $u_{ce}$  vergelijkt, ziet u dat in de gebruikte versterkingschakeling de fase van de wisselspanning  $180^\circ$  verandert.

EEN VOORBEELD VAN EEN VERSTERKTRAP VOOR WISSELSpanNING.

Bij de laatste opdracht hebben we kennis gemaakt met een transistorschakeling, waarmee zowel wisselstroom als wisselspanning werd versterkt. Hier is de volledige schakeling nogmaals getekend.



De wisselspanning  $u_1$  die we willen versterken wordt via de scheidingscondensator  $C_1$  aan de schakeling toegevoerd.

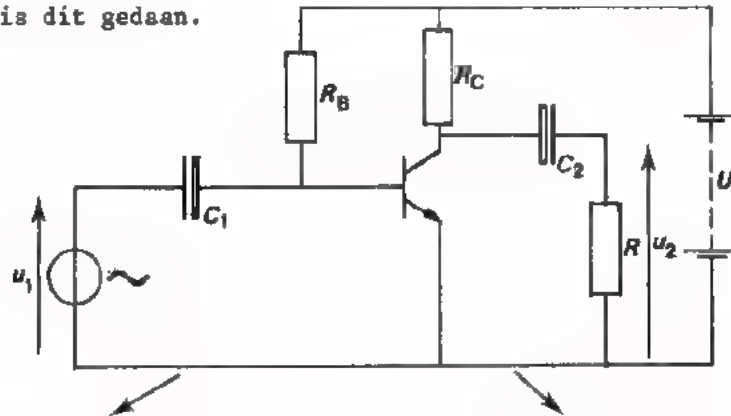
$C_1$  zorgt ervoor dat er voor gelijkstroom geen kortsluiting ontstaat tussen basis en emitter via de wisselspanningsbron. Voor wisselstroom vormt  $\frac{1}{\omega C_1}$  wél een kortsluiting, zodat  $u_{be} = u_1$ .

Verder gaan we er vanuit dat de weerstand  $R$  alleen de versterkte wisselspanning moet afnemen en geen gelijkspanning. Hiervoor is de tweede scheidingscondensator  $C_2$  aangebracht, die wél wissel- maar geen gelijkspanning doorlaat.

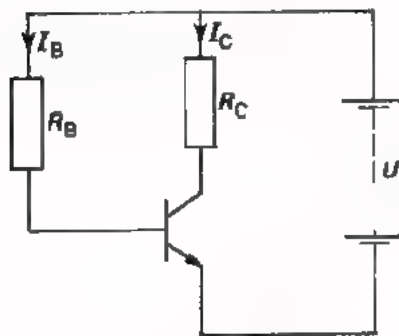
## HET GELIJK- EN HET WISSELSTROOMSCHEMA

In het voorbeeld van de schakeling op vorig blad kwam zowel het gelijkstroom- als het wisselstroomgedrag ter sprake. Het is erg belangrijk deze beide niet te verwarren. Het is dan ook verstandig om naast het complete schema een afzonderlijk wisselstroomschema en een afzonderlijk gelijkstroomschema te tekenen.

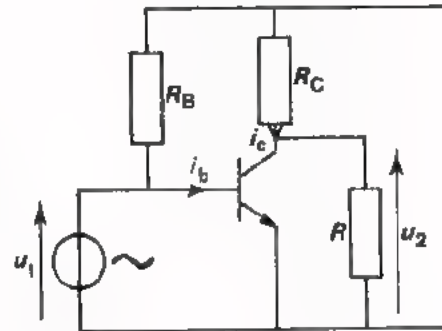
Hieronder is dit gedaan.



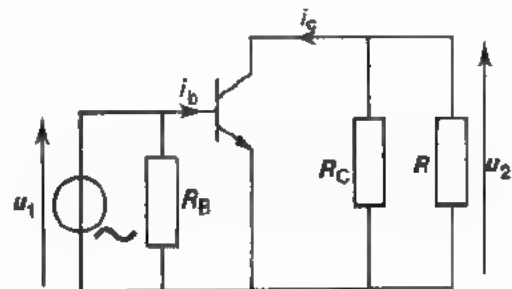
GELIJKSTROOMSCHEMA



WISSELSTROOMSCHEMA



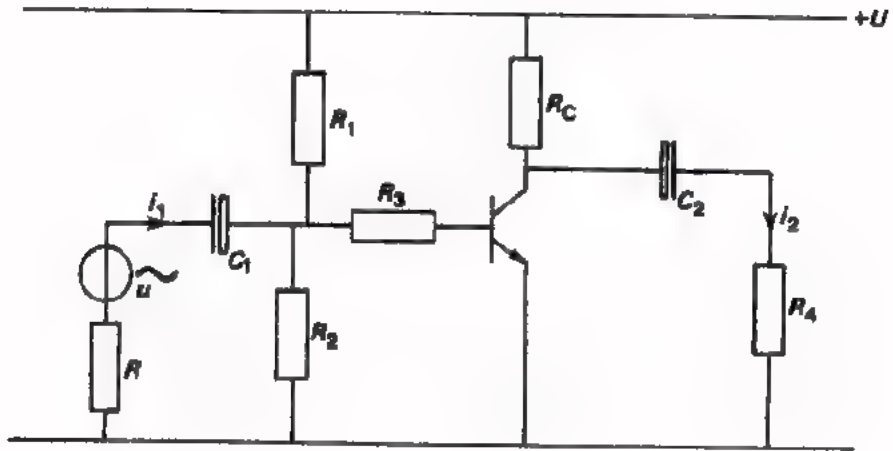
of iets anders getekend:



Door de condensators loopt geen gelijkstroom en dus door de wisselspanningsbron en de belastingsweerstand ook niet. Daarom zijn deze hier weggelaten.

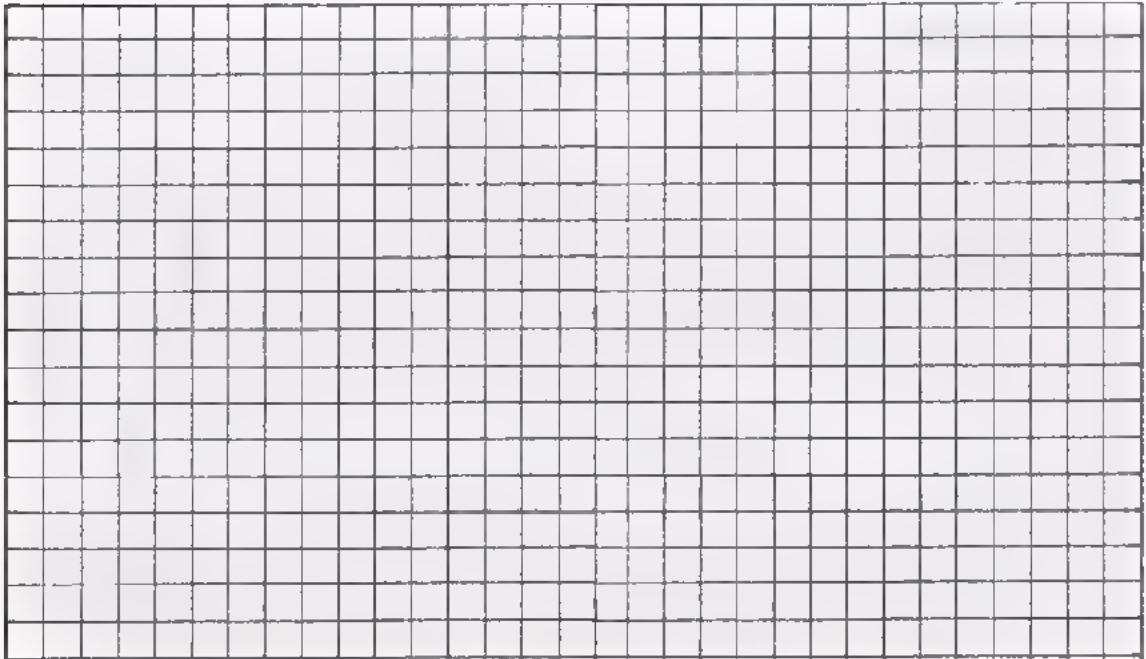
$C_1$ ,  $C_2$  en de voedingsbron zijn voor wisselstroom kortsluitingen. Daarom zijn zij hier weggelaten.

OEFENING



Teken hieronder het gelijk- en het wisselstroomschema van bovenstaande schakeling.

Geef bovendien in deze schema's aan:  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $U_{BE}$ ,  $U_{CE}$ ,  $i_1$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ ,  $i_2$ ,  $u_{be}$ ,  $u_{ce}$  en alle weerstanden.

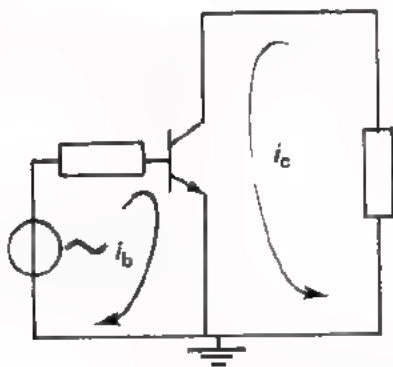


gelijkstroomschema

wisselstroomschema



## DE GEAARDE EMITTERSCHAKELING (GES)



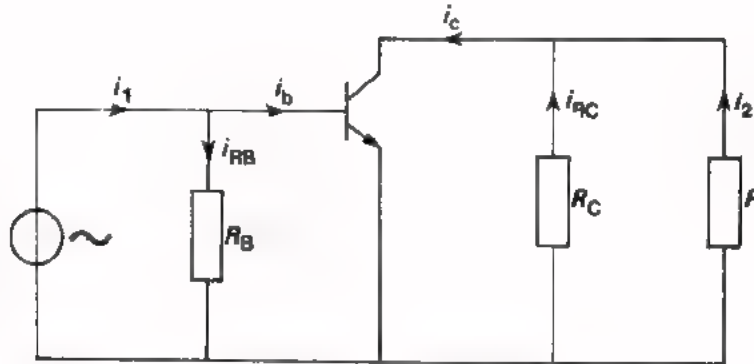
Hiernaast is nog eens een eenvoudig wisselstroomschema getekend van de versterkingschakeling die we tot nu toe hebben besproken. In deze schakeling kunnen we onderscheiden een ingangscircuit en een uitgangscircuit. In het ingangscircuit loopt de ingangsstroom  $i_b$ , in het uitgangscircuit de uitgangsstroom  $i_c$ .

Omdat genoemde circuits de emitter-aansluiting gemeenschappelijk hebben, noemt men deze transistorschakeling de *schakeling met gemeenschappelijke emitteraansluiting*. In de praktijk spreekt men gewoonlijk van de Gemeenschappelijke Emitter Schakeling, afgekort GES. Vaak wordt de schakeling kortweg "emitterschakeling" genoemd.

De GES is de meest toegepaste transistorschakeling. Daarom is deze tot nu toe steeds ter sprake gekomen. Er zijn nog twee andere schakelingen mogelijk, die later behandeld worden. Voorlopig beperken we ons tot de GES.

We kunnen nu de uitdrukkingen  $h_{FE}$  en  $h_{fe}$  uitleggen. Beide geven de verhouding van een uitgangsstroom tot een ingangsstroom weer. De E en e willen zeggen dat het stromen van de emitterschakeling of GES zijn. De F en f zijn de eerste letters van het engelse woord "forward" (= "voorwaarts"), waarmee men wil zeggen hoe de stroom "naar voren" versterkt wordt door de transistor.

STROOMVERSTERKINGSFACTOR EN STROOMVERSTERKING



We geven hier nog eens het wisselstroomschema

In deze schakeling treedt wisselstroomversterking op. Aan de schakeling wordt een kleine wisselstroom  $i_1$  geleverd, terwijl de grotere wisselstroom  $i_2$  aan de belastingweerstand  $R$  wordt afgegeven. De *wisselstroomversterking* aangeduid met  $A_i$ , bedraagt:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1}$$

We merken op dat de wisselstroomversterking  $A_i$  kleiner is dan de wisselstroomversterkingsfactor

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$

die we in de vorige les besproken hebben. Dit komt omdat in bovenstaand

schema:  $i_2$  kleiner dan  $i_c$   
 $i_1$  groter dan  $i_b$ .

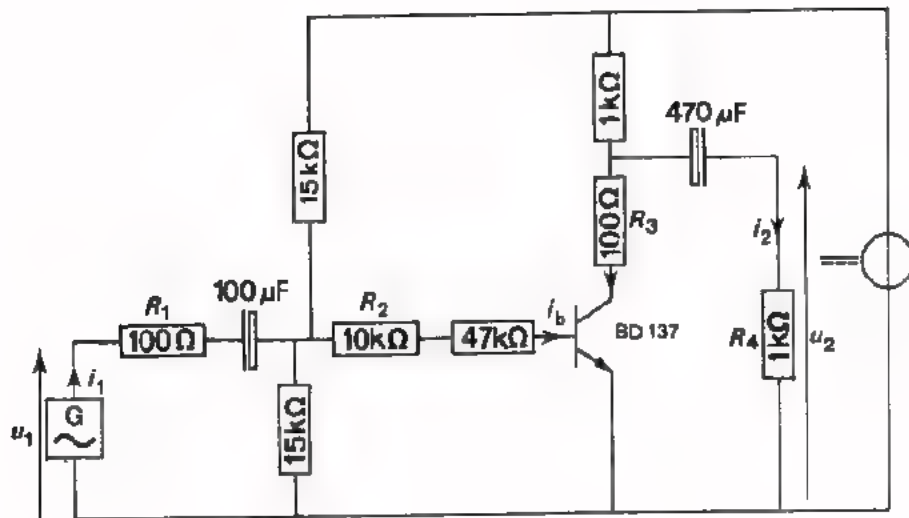
We moeten dus goed onderscheid maken tussen:

de stroomversterkingsfactor  $h_{fe}$ , die een gegeven van "de transistor alléén" is en onafhankelijk van de schakeling,

en de stroomversterking  $A_i$ , die een gegeven van de gehele schakeling is en afhangt van de gekozen weerstanden.

We herinneren eraan dat we ook over de wisselspanningsversterking  $A_u$  hebben gesproken.  $A_u$  heeft evenals  $A_i$  te maken met de gehele schakeling en is geen gegeven van de transistor alléén.

OPDRACHT: HET METEN VAN  $A_i$  EN  $h_{fe}$ .



- Verander de schakeling op uw paneel in bovenstaande en stel de voedingsspanning in op 30 V.
- Voer vanuit de 600  $\Omega$ -uitgang van de LF-generator een wisselstroom  $I_{1(\text{eff})}$  toe van 500  $\mu\text{A}$  bij 1 kHz. Meet deze stroom met een elektronische universeelmeter door spanningsmeting over de weerstand  $R_1$  aan de ingang van de schakeling.
- Bepaal daarna met deze universeelmeter de waarden van  $i_b$ ,  $i_c$  en  $i_2$  door meting van de spanning over de weerstanden  $R_2$ ,  $R_3$  en  $R_4$  in de schakeling.

$$I_{b(\text{eff})} = \boxed{\phantom{000000}} \quad ; I_{c(\text{eff})} = \boxed{\phantom{000000}} \quad ; I_2(\text{eff}) = \boxed{\phantom{000000}}$$

- Bereken

$$h_{fe} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$\frac{i_b}{i_1} = \boxed{\phantom{000000}}$$

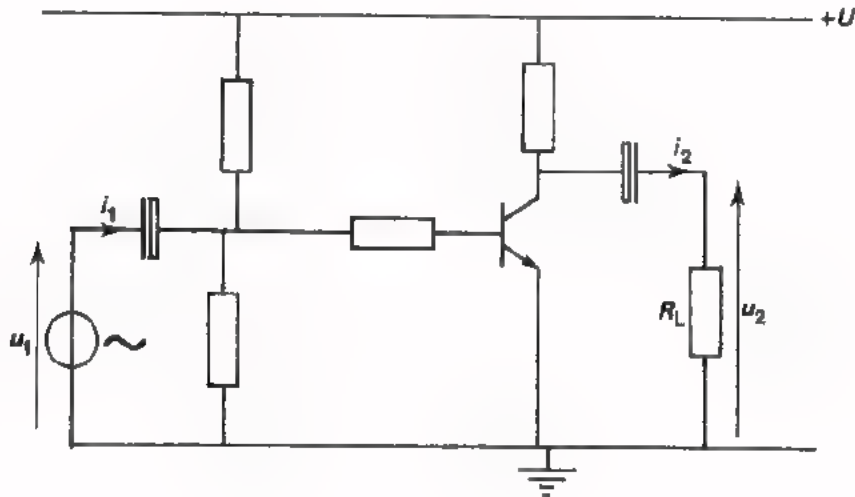
$$\frac{i_2}{i_c} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$A_i = \boxed{\phantom{000000}}$$

- Breek de schakeling nog niet af.

DE VERMOGENSVERSTERKING  $A_p$ .

Dit is een versterkertrap zoals die bij vorige meetopdracht gebruikt werd.



Aan deze schakeling wordt een wisselspanning  $u_1$  en een wisselstroom  $i_1$  toegevoerd. Dit betekent dat er een wisselstroomvermogen  $P_i = U_1(\text{eff}) \cdot I_1(\text{eff})$  wordt toegevoerd. Verder levert de schakeling aan de belastingsweerstand  $R_L$  een wisselspanning  $u_2$  en een wisselstroom  $i_2$ . Dit houdt in dat aan de belasting het wisselstroomvermogen  $P_u = U_2(\text{eff}) \cdot I_2(\text{eff})$  wordt doorgegeven. Het vermogen  $P_u$  kan wel groter zijn dan  $P_i$ . We zeggen dan dat er (wisselstroom) vermogensversterking  $A_p$  plaatsvindt. Deze is gelijk aan:

$$A_p = \frac{P_u}{P_i} = \frac{U_2(\text{eff}) \cdot I_2(\text{eff})}{U_1(\text{eff}) \cdot I_1(\text{eff})}$$

Als we bedenken dat:

$$\frac{u_2}{u_1} = A_u \quad \text{en} \quad \frac{i_2}{i_1} = A_i,$$

dan is voor  $A_p$  ook te schrijven:

$$A_p = \frac{u_2 \cdot i_2}{u_1 \cdot i_1} = A_u \cdot A_i, \text{ of}$$

$$A_p = A_u \cdot A_i$$

OPDRACHT: BEPALING VAN  $A_u$  EN  $A_p$ .

- Meet in de schakeling op het paneel nu ook:

$$U_1(\text{eff}) = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$U_2(\text{eff}) = \boxed{\phantom{000000}}$$

- Bepaal

$$A_u = \boxed{\phantom{000000}}$$

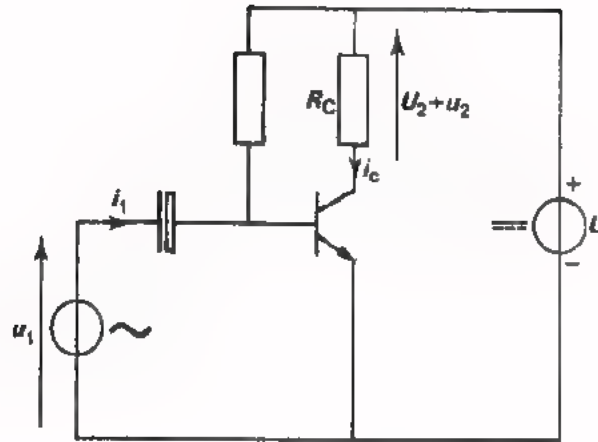
- Bereken de vermogensversterking:

$$A_p = \frac{U_2(\text{eff}) \cdot I_2(\text{eff})}{U_1(\text{eff}) \cdot I_1(\text{eff})} = \frac{\phantom{000000}}{\phantom{000000}} = \boxed{\phantom{000000}}$$

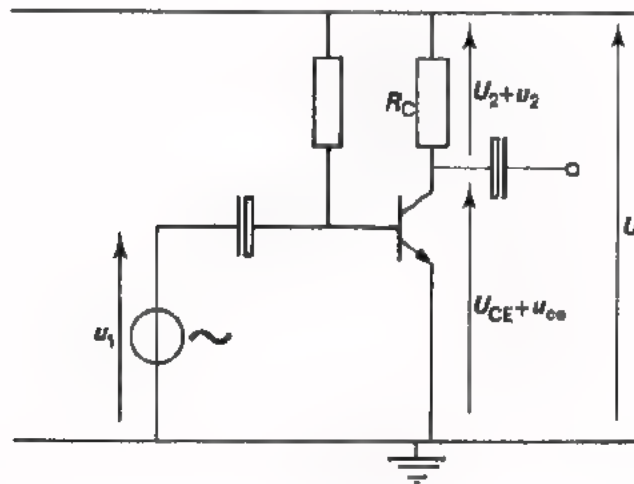
### CONCLUSIE

In de vorige les hebben we gesteld dat de transistor een *actieve* component is. Dit wil zeggen dat men er een wisselstroomvermogen mee kan versterken. Uit het resultaat blijkt dat hier nog juist sprake is van vermogensversterking. Dat  $A_p$  niet groter uitvalt ligt aan het gekozen schema; de keuze van het schema is mede bepaald door de andere dingen die we u wilden laten meten. De transistor is echter een actieve component omdat daarmee vermogensversterking *mogelijk* is.

SAMENVATTING

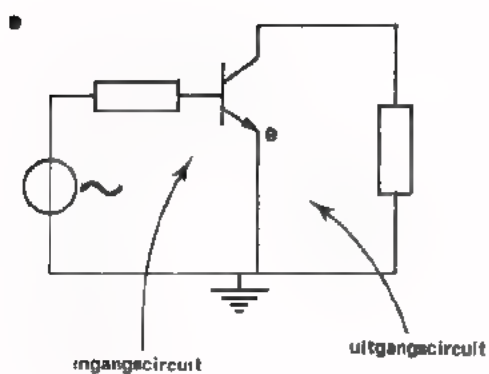
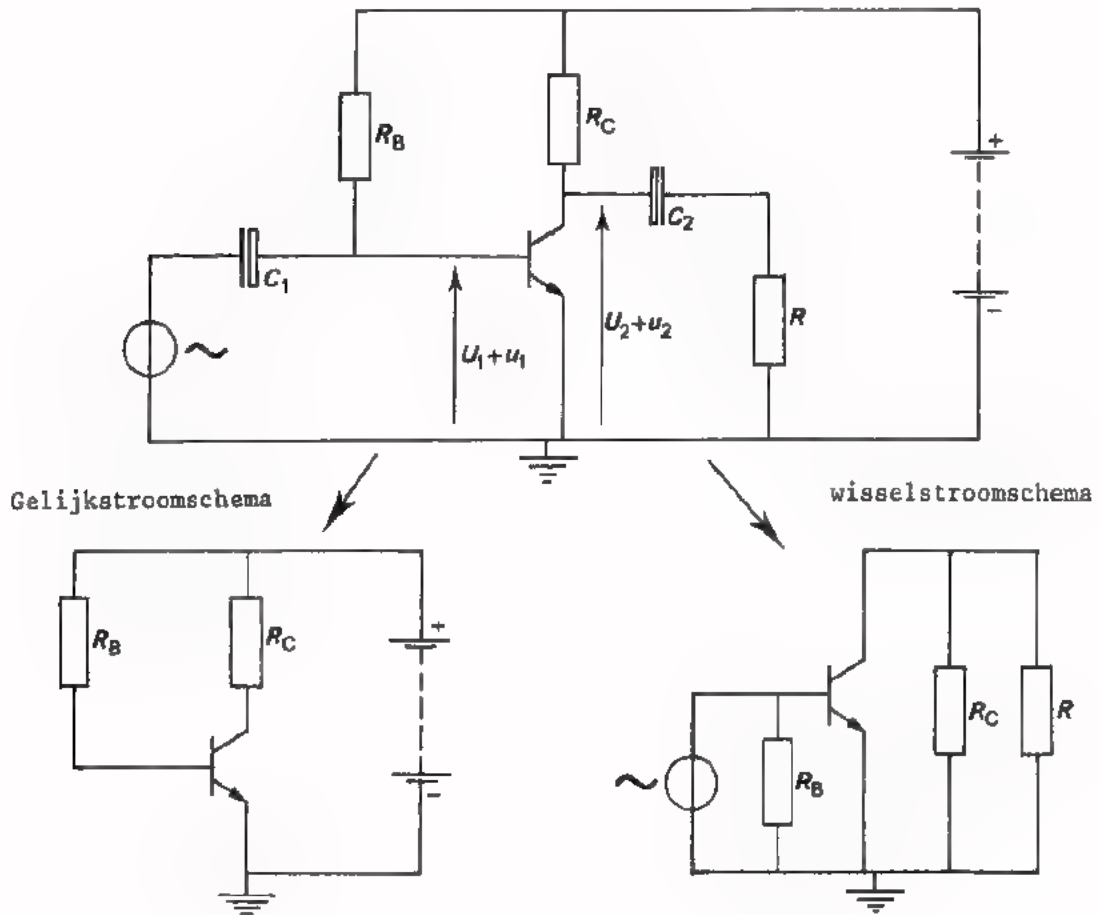


Als men de versterkte wisselstroom  $i_c$  door een weerstand  $R_C$  laat lopen, ontstaat er over  $R_C$  een wisselspanning  $u_2$  die veel groter kan zijn dan de toegevoerde  $u_1$ . Er kan *wisselspanningsversterking* optreden.



De wisselspanning  $u_2$  die over  $R_C$  staat, is ook aanwezig over de transistor tussen collector en emitter. Meestal neemt men niet  $u_2$  maar  $u_{ce}$  af, omdat de laatste aan één kant aan aarde ligt.  $C_2$  is een koppelcondensator die dient om de gelijkspanning  $U_{CE}$  te blokkeren.

- Vaak is het nuttig om een compleet schema op te splitsen in een gelijkstroomschema en een wisselstroomschema.



De meest toegepaste transistorschakeling is die, waarbij ingangs- en uitgangscircuit voor wisselstroom de emitteraansluiting gemeenschappelijk hebben.

Het is de schakeling met gemeenschappelijke emitteraansluiting of *geaarde emitter schakeling* (GES) of "emitterschakeling".

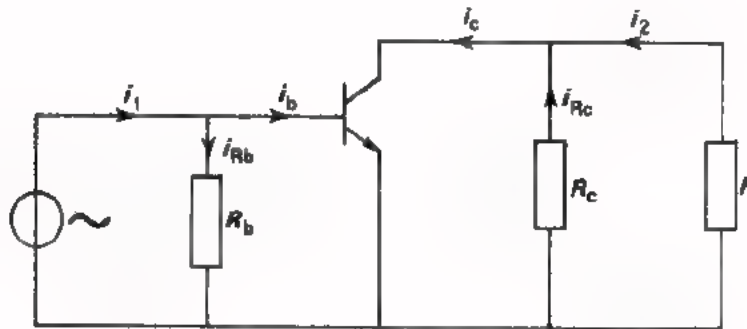
- De wisselstroomversterking  $A_i$ , de wisselspanningsversterking  $A_u$  en de wisselstroomvermogenversterking  $A_p$  hebben betrekking op de gehele schakeling. Hun grootte hangt niet alleen af van de gebruikte transistor, maar ook van de aanwezige weerstanden.

- $$A_p = A_u \cdot A_i$$

- De stroomversterkingsfactor  $h_{fe}$  heeft betrekking op de transistor alléén:

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$

- $A_i < h_{fe}$ , omdat  $i_b < i_1$   
en  $i_2 < i_c$ .



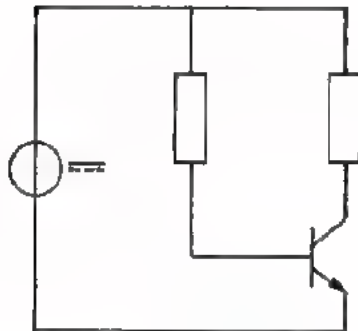


NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



Waarom kunt u zien of de + van de voedingsbron boven, resp. beneden dient te zitten?

---

---

---

---

---

2. Waarom kunt u zien dat u met de wisselstroomversterkingsfactor heeft te doen en *niet* met de gelijkstroomversterkingsfactor?

---

---

---

---

3. Met welke letter geeft men een versterking aan? Met

Geef het juiste symbool voor:

gelijkspanningsversterking

wisselspanningsversterking

gelijkstroomversterking

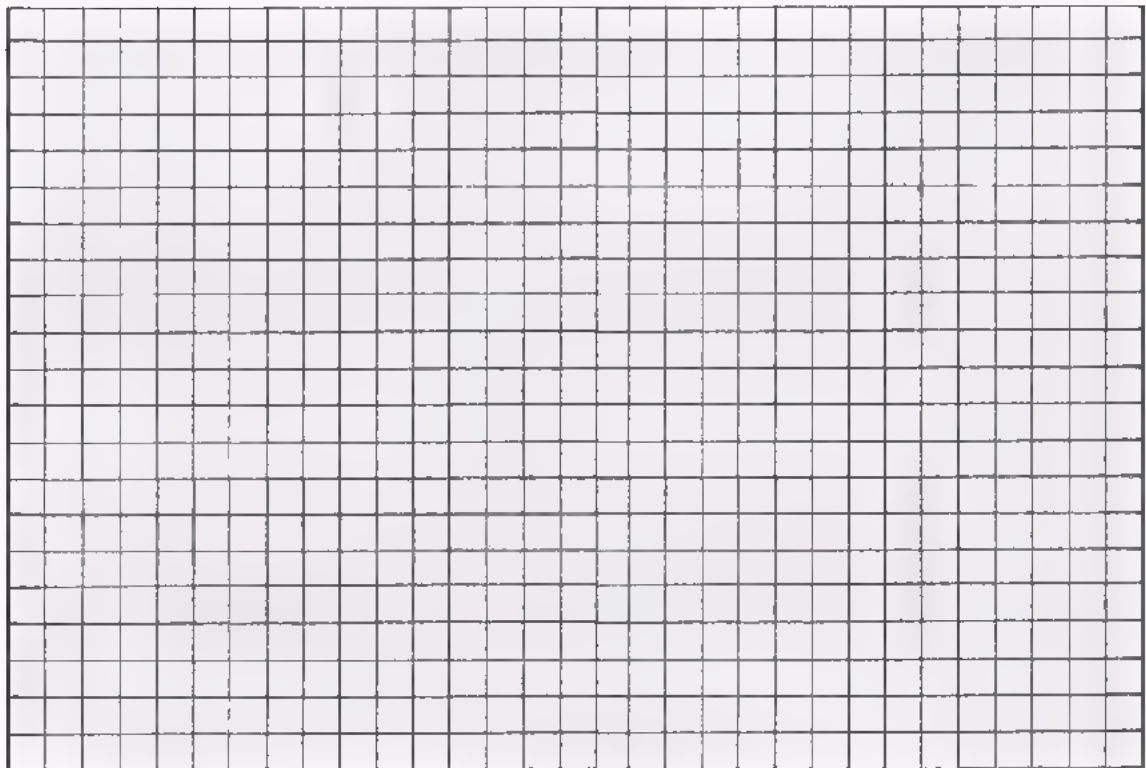
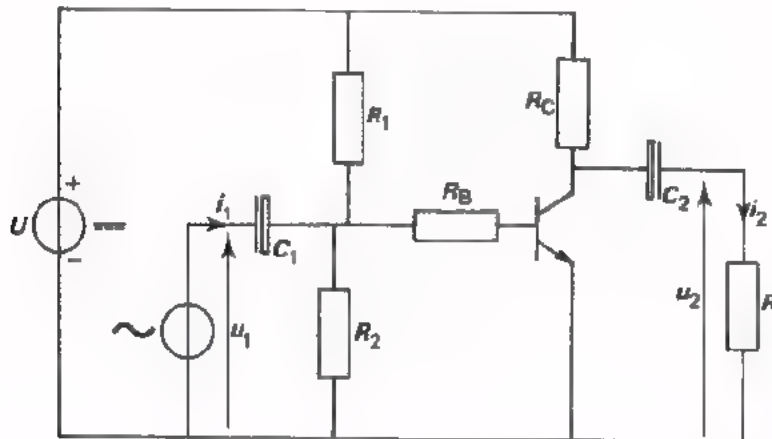
wisselstroomversterking

vermogensversterking

4. Hier is een voorbeeld getekend van een compleet schema van een GES. Voor wisselstroom zijn

$$\frac{1}{\omega C_1} \text{ en } \frac{1}{\omega C_2} \text{ praktisch nul.}$$

Teken het gelijkstroom- en het wisselstroomschema. Geef in deze schema's aan:  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $u_1$ ,  $u_2$  en de diverse weerstanden.



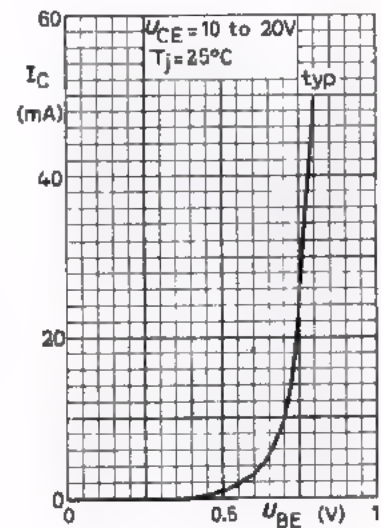
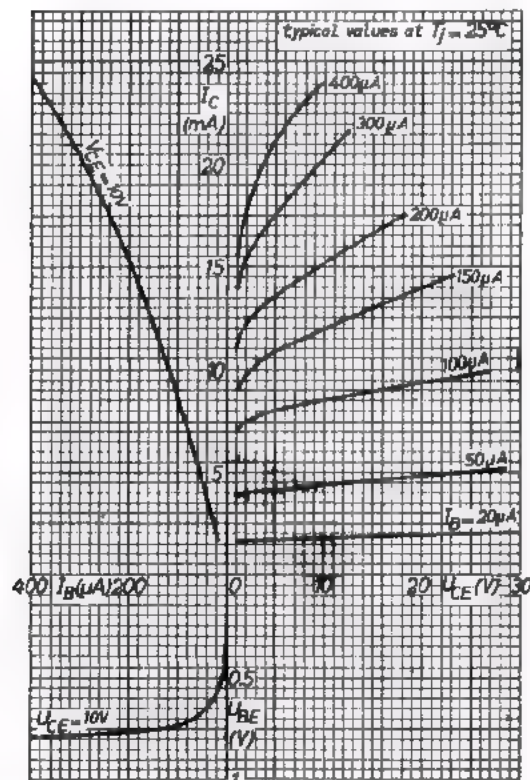
## KARAKTERISTIEKEN BIJ EEN TRANSISTOR

## INLEIDING

Het gedrag van een diode is zoals we gezien hebben goed te begrijpen aan de hand van de diode-karakteristiek.

Om het gedrag van een transistor goed in te zien wordt ook gebruik gemaakt van karakteristieken. Omdat een transistor een ingewikkelder component is dan een diode, (hij heeft een aansluiting méér), zijn er verschillende transistorkarakteristieken in gebruik.

Fabrikanten van transistors publiceren deze karakteristieken in een zogenaamd *data handbook* (= boek met gegevens). Hieronder ziet u een aantal karakteristieken van één transistor uit zo'n publikatie.



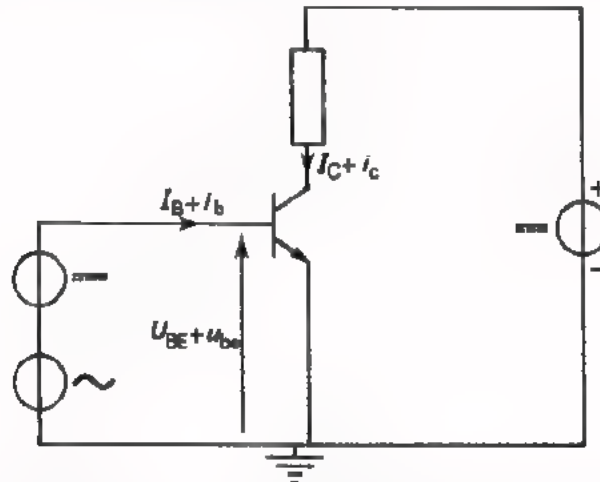
In deze les gaan we twee karakteristieken van de transistor bespreken:

de  $I_B - U_{BE}$  - of *ingangskarakteristiek*,

en de  $I_C - U_{BE}$  - of *overdrachtskarakteristiek*.

## DE INGANGSKARAKTERISTIEK

We geven hieronder nog eens het princieschema van een GES. De verschillende stromen en spanningen die in deze schakeling optreden zijn in dit schema duidelijk aangegeven.



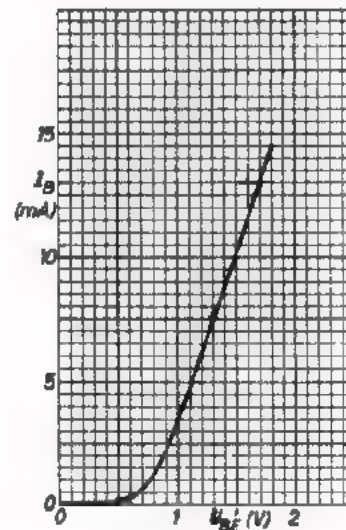
Aan de ingang hebben we te maken met de gelijkspanning  $U_{BE}$  en de gelijkstroom  $I_B$ ; verder met de wisselspanning  $u_{be}$  en de wisselstroom  $i_b$ .

Het verband tussen de ingangsgelijkstroom  $I_B$  en de ingangegelijkspanning  $U_{BE}$  kan men in een grafiek weergeven. Hiernaast is zo'n grafiek getekend. Omdat de grafiek het verband aangeeft tussen stroom en spanning aan de ingang van de transistor, noemt men deze de *ingangskarakteristiek*.

We hebben gezien dat het transistordeel tussen basis en emitter is op te vatten als een diode.

Het is dus aannemelijk dat deze ingangskarakteristiek verloopt als de bekende

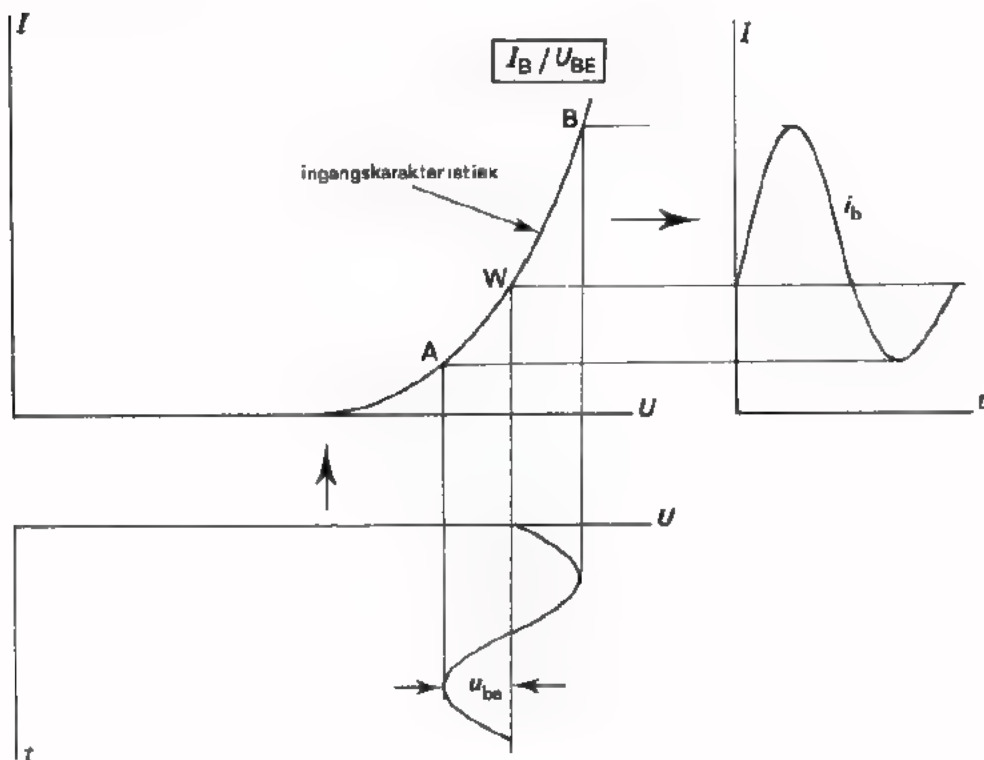
diodekarakteristiek in doorlaatrichting. We weten dat deze karakteristiek niet recht is maar een zekere kromming vertoont. Het "niet-recht-zijn" van de ingangskarakteristiek kan nu het verschijnsel van *vervorming* veroorzaken. Op volgend blad gaan we dit bekijken.



## NIET-LINEAIRE VERVORMING

Als men behalve de instelspanning  $U_{BE}$  nog een sinusvormige wisselspanning  $u_{be}$  aan de transistoringang toevoert kan er een wisselstroom  $i_b$  gaan lopen die *niet* sinusvormig is. Dit is het geval als  $u_{be}$  zó groot is, dat het deel AB van de ingangskarakteristiek niet meer als vrijwel recht is te beschouwen.

Hieronder is het verloop van de basisstroom geconstrueerd bij een gegeven basisspanning.

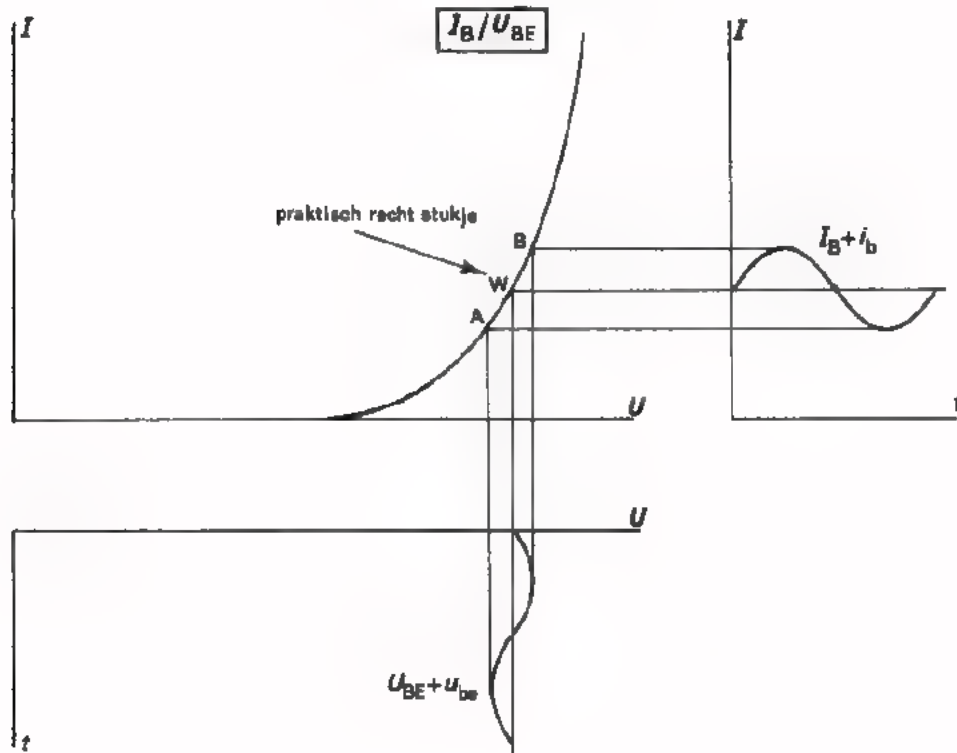


Terwijl  $u_{be}$  sinusvormig verloopt, doet  $i_b$  dit niet. We zeggen dan dat  $i_b$  "vervormd" is.

De oorzaak van de vervorming is het *niet-lineaire* verloop van de ingangskarakteristiek. Men noemt deze vervorming daarom *niet-lineaire vervorming*.

KLEINE SIGNALLEN AAN DE INGANG VAN DE GES

Bij kleine signalen, d.w.z. als  $u_{be} \ll U_{BE}$ , treedt vrijwel geen vervorming op. Er wordt dan maar een klein stukje van de ingangskarakteristiek gebruikt en dat mag men als praktisch recht beschouwen. Hieronder is dezelfde constructie als op het vorig blad uitgevoerd, maar nu voor een kleine wisselspanning  $u_{be}$ .



## DE INGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND

In het voorafgaande zijn spanningen en stromen aan de ingang van de geaarde emitter schakeling ter sprake geweest: de gelijkspanning  $U_{BE}$  en de gelijkstroom  $I_B$ , de wisselspanning  $u_{be}$  en de wisselstroom  $i_b$ . Het quotiënt van deingangswisselspanning en deingangswisselstroom is de *ingangswisselstroomweerstand*

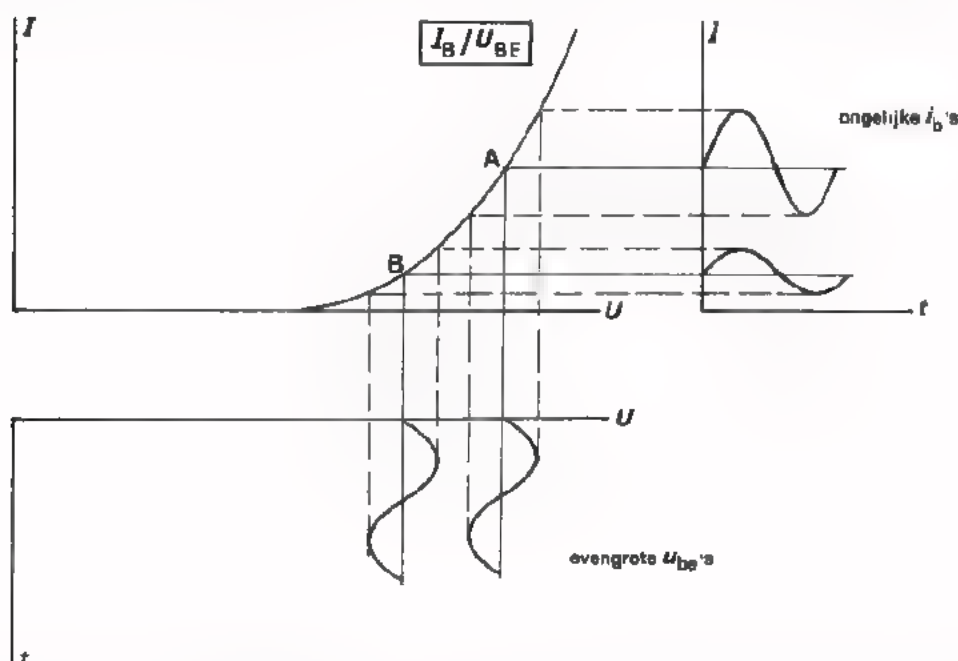
Deze geeft men aan met  $h_{ie}$ .

Ingangswisselstroomweerstand:

$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

$h_{ie}$  is niet constant, maar hangt af van de instelgelijkstroom  $I_B$ .

Dit is als volgt met behulp van de ingangskarakteristiek te begrijpen.



Hier zijn twee instellingen vergeleken. Bij A is de instelstroom  $I_B$  groter dan bij B. Deingangswisselspanningen  $u_{be}$  zijn bij A en B even groot. Deingangswisselstroom  $i_b$  is bij A echter duidelijk groter dan bij B. Deingangswisselstroomweerstand

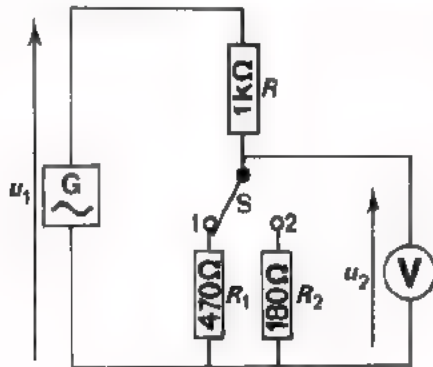
$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

is bij A dus kleiner.

## CONCLUSIE

$h_{ie}$  is kleiner naarmate  $I_B$  groter is. In een volgende opdracht gaan we dit ervaren.

OPDRACHT: METEN DAT EEN WEERSTAND KLEINER IS DAN EEN ANDERE.



- Bouw deze schakeling.
- Voer een wisselspanning  $U_{1(\text{eff})}$  toe van 150 mV bij  $f = 1 \text{ kHz}$ .
- De spanning  $u_1$  verdeelt zich nu over de weerstanden  $R$  en  $R_1$ . We meten de deelspanning over  $R_1$ .

$$U_{2(\text{eff})} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ mV}$$

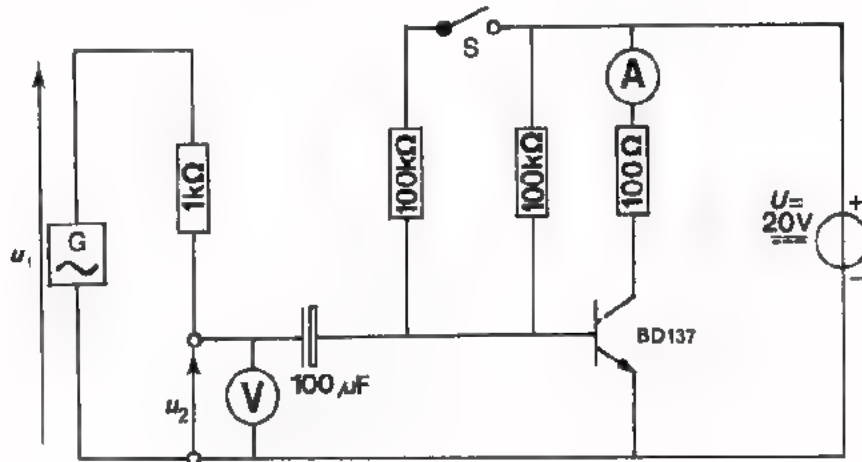
- Daarna zetten we de schakelaar in stand 2.  $R_1 = 470 \Omega$  is nu vervangen door een *kleinere* weerstand  $R_2 = 180 \Omega$ . We meten opnieuw  $u_2$ .

$$U_{2(\text{eff})} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ mV}$$

- We hebben nu gezien dat bij constante  $u_1$  over een *kleinere* weerstand een *kleinere* spanning staat.
- Het omgekeerde is ook waar. Als over een weerstand  $R_2$  een kleinere spanning staat dan over een weerstand  $R_1$ , is deze  $R_2$  kleiner dan  $R_1$ .
- Dit nu gaan we toepassen in een volgende opdracht. Daarin vervangen we de weerstand  $R_1$  door de ingangswisselstroomweerstand  $h_{ie}$  van een GES. De grootte van deze  $h_{ie}$  bij een bepaalde  $I_C$ -waarde vergelijken we dan met de  $h_{ie}$  bij een grotere  $I_C$ -waarde.



OPDRACHT: METEN DAT  $h_{ie}$  AFNEEMT ALS  $I_C$  TOENEEMT.



- Bouw bovenstaande schakeling.
- Houd schakelaar S eerst open. Voer  $U = 20\text{ V}$  en  $U_1(\text{eff}) = 150\text{ mV}$  bij  $f = 1\text{ kHz}$  toe.
- Meet  $I_C$  en  $u_2$ .

$I_C =$   mA

$U_2(\text{eff}) =$   mV

- Sluit schakelaar S waardoor  $I_B$  en dus ook  $I_C$  toeneemt.
- Meet opnieuw  $I_C$  en  $u_2$ .

$I_C =$   mA

$U_2(\text{eff}) =$   mV

- Breek de schakeling nog niet af.

KONKLUSIE:

Door S te sluiten neemt  $I_C$   toe/af

hierdoor neemt  $u_2$   toe/af

en dit betekent dat  $h_{ie}$  dan is  genomen.

Hoe groter  $I_C$ , des te   $h_{ie}$ .

DE OVERDRACHTSKARAKTERISTIEK

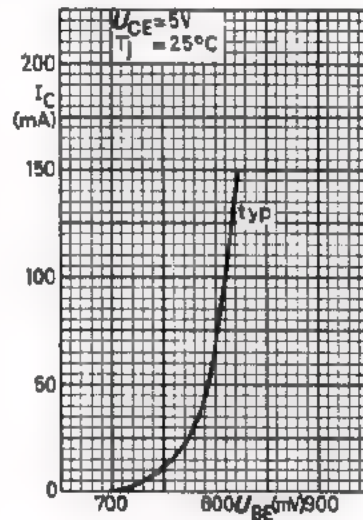
Op blad B209.3 hebben we gezien dat een grote  $u_{be}$  een vervormde  $i_b$  oplevert. Dat  $u_{be}$  een vervormde  $i_b$  tot gevolg heeft is op zichzelf niet zo erg. Maar een vervormde basiswisselstroom  $i_b$  veroorzaakt op zijn beurt een vervormde collectorwisselstroom  $i_c$  en dit is dikwijls zeer ongewenst. Omdat men vaak geïnteresseerd is in het directe verband tussen ingangsspanning en de uitgangsstroom, gebruikt men de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek. Deze wordt een *overdrachtskarakteristiek* genoemd, omdat hij iets zegt over de "overdracht" van de ingang- naar de uitgang van de transistor.

Hiernaast een voorbeeld van zo'n overdrachtskarakteristiek.

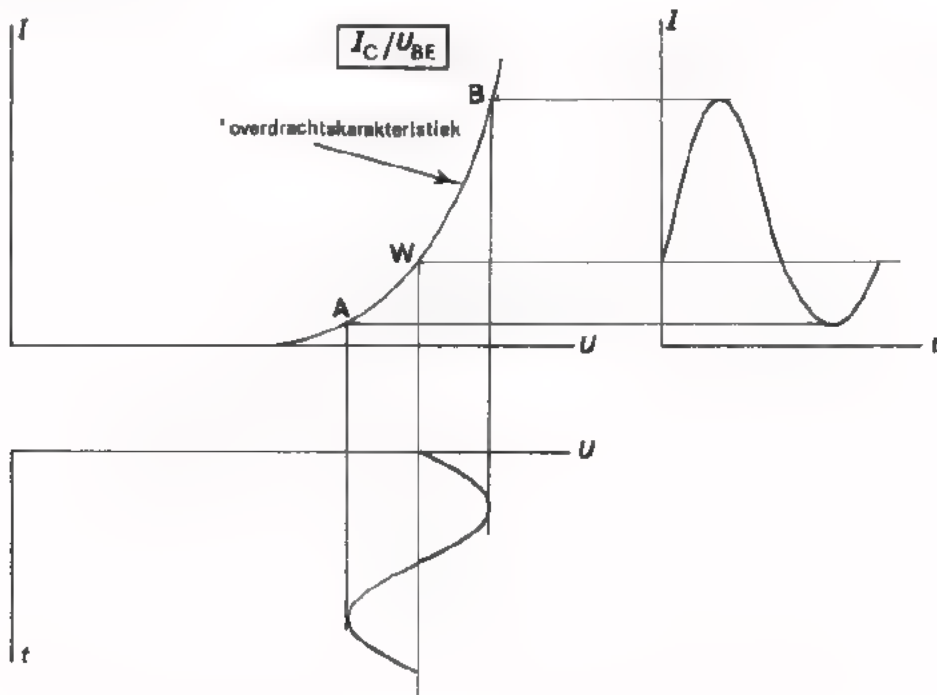
Deze overdrachtskarakteristiek ontstaat op eenvoudige wijze uit de  $I_B - U_{BE}$  - karakteristiek. We hebben immers geleerd dat:

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B$$

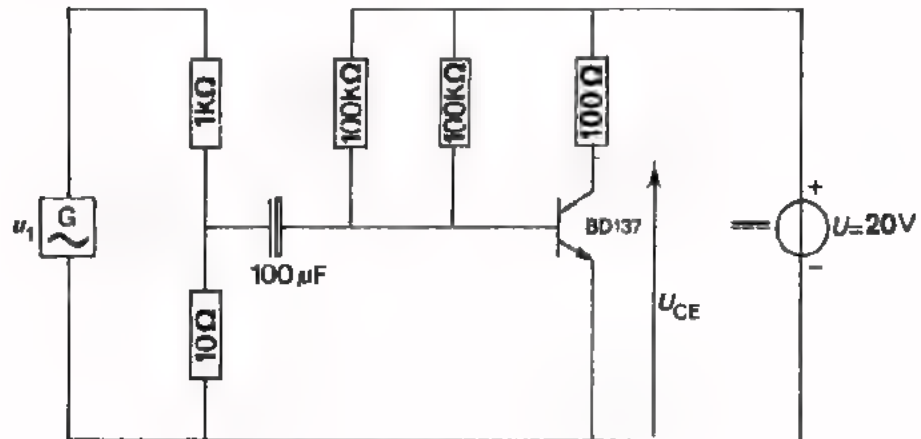
$I_C$  wordt dus uit  $I_B$  verkregen door vermenigvuldiging met de gelijkstroomversterkingsfactor  $h_{FE}$ .



In volgende figuur is ook het ontstaan van vervorming van de uitgangswisselstroom  $i_c$  ten gevolge van de kromming van de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek geconstrueerd.



OPDRACHT: ZICHTBAAR MAKEN VAN DE NIET-LINEAIRE VERVORMING.

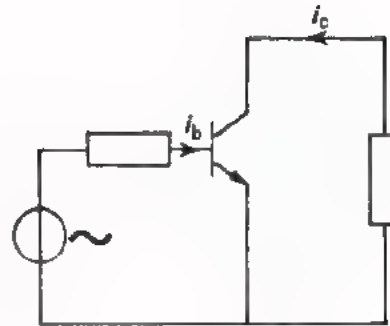


- Verander de schakeling op uw paneel in bovenstaande.
- Voer  $U = 20 \text{ V}$  toe en sluit de oscilloscoop aan tussen collector en emitter, (stand AC).
- Voer een kleine wisselspanning  $u_1$  van 1 kHz toe vanuit de 600  $\Omega$ -uitgang. Laat  $u_1$  langzaam toenemen en kijk of de vorm van  $u_{ce}$  op den duur gaat afwijken van de sinusvorm.
- Merk op:  $u_{ce}$  is dezelfde wisselspanning als  $R_C \cdot i_c$ , zodat de vervorming van  $u_{ce}$  die u ziet ook de vervorming van  $i_c$  is.

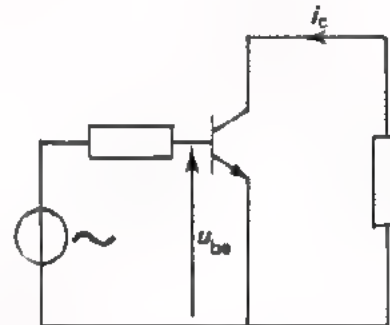
## DE STEILHEID

We weten dat bij een GES een kleine wisselstroom  $i_b$  een grote wisselstroom  $i_c$  tot gevolg kan hebben. De wisselstroomversterkingsfactor is:

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$



Als men een wisselstroom  $i_b$  toevoert, dan voert men tegelijkertijd een wisselspanning  $u_{be}$  toe. Men kan daarom ook zeggen, dat een wisselspanning  $u_{be}$  een wisselstroom  $i_c$  veroorzaakt.

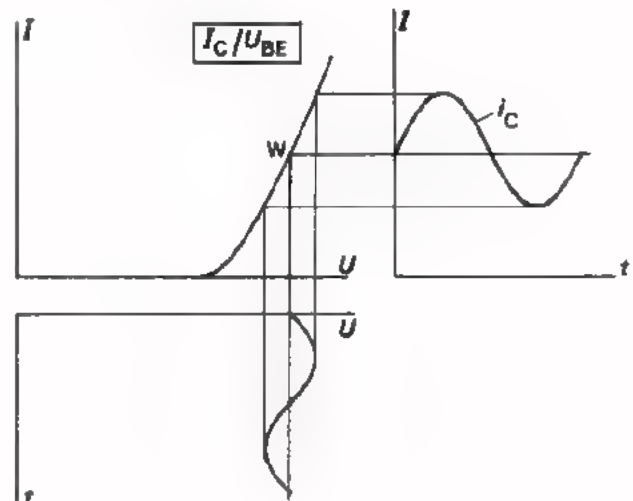


De overdrachtskarakteristiek nu legt een verband tussen de grootheden  $i_c$  en  $u_{be}$ .

Aan de hand van deze karakteristiek heeft men een nieuwe grootheid ingevoerd. Deze grootheid geeft de verhouding tussen de uitgangswisselstroom  $i_c$  en de ingangswisselspanning  $u_{be}$ .

Men noemt deze verhouding de *steilheid*, aangeduid met  $S$ :

$$S = \frac{i_c}{u_{be}}$$



De naam "steilheid" heeft de maken met de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek. Loopt deze "steiler", dan is  $S$  ook groter. Ga dit na in bovenstaande figuur.

De steilheid is het quotiënt van een stroom en een spanning.

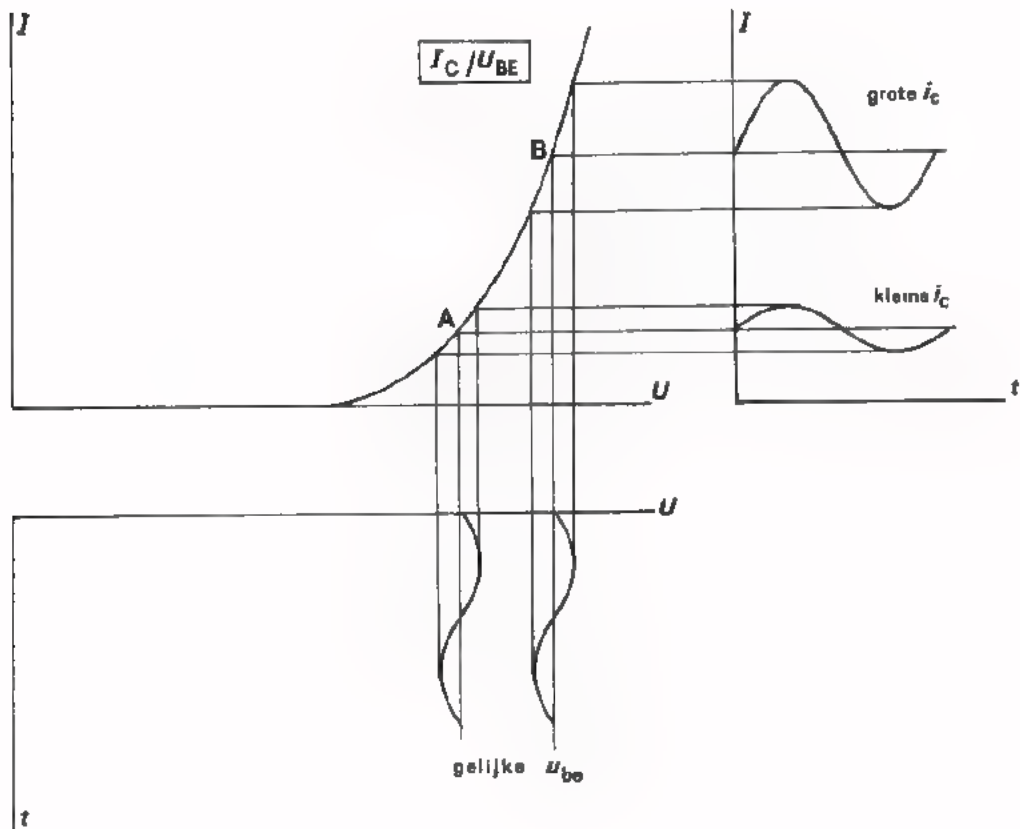
De grootte van  $S$  drukt men dus uit in:

"ampère per volt", (A/V)  
of "milliampère per volt", (mA/V), enz.

De steilheid  $S$  is een wisselstroomgrootte, die afhangt van de gelijkstroominstelling.

Hoe groter  $I_C$ , des te groter  $S$ .

In de karakteristiek hieronder is dit onmiddellijk te zien.



Bij een lage gelijkstroominstelling in punt A ontstaat een kleine  $i_c$  bij een bepaalde  $u_{be}$ . Bij een hogere gelijkstroominstelling in punt B ontstaat een grotere  $i_c$  bij even grote  $u_{be}$ . De oorzaak ligt in het feit dat de steilheid van de overdrachtskarakteristiek in B groter is dan in A.

OPDRACHT: HET METEN VAN  $S$

- Maak gebruik van de schakeling die zich op uw paneel bevindt. Zie schema blad B209.9. Maak  $R_B = 100\text{ k}\Omega$ .
- Stel de gelijkspanning in op 20 V.

Voer  $U_{(be)t}$  toe van 10 mV bij een frequentie van 1 kHz. Meet nu  $U_{(ce)t}$ .

$$U_{(ce)t} = \boxed{\quad\quad\quad} \text{ mV}$$

- Hoe groot is nu  $I_{ct}$ ?

$$I_{ct} = \boxed{\quad\quad\quad} \text{ mA}$$

- Bereken de steilheid

$$S = \boxed{\quad\quad\quad} \text{ mA/V}$$

- Maak nu vervolgens weer  $R_B = 50\text{ k}\Omega$ . Stel opnieuw  $U_{(be)t} = 10\text{ mV}$  in en meet weer  $U_{(ce)t}$ , die nog steeds over  $R_C = 100\ \Omega$  staat.

$$U_{(ce)t} = \boxed{\quad\quad\quad} \text{ mV}$$

- Hoe groot is  $I_{ct}$ ?

$$I_{ct} = \boxed{\quad\quad\quad} \text{ mA}$$

- Bereken ook voor dit geval de steilheid  $S$ .

$$S = \boxed{\quad\quad\quad} \text{ mA/V}$$

- De steilheid  $S$  is nu groter/kleiner; dit komt omdat:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

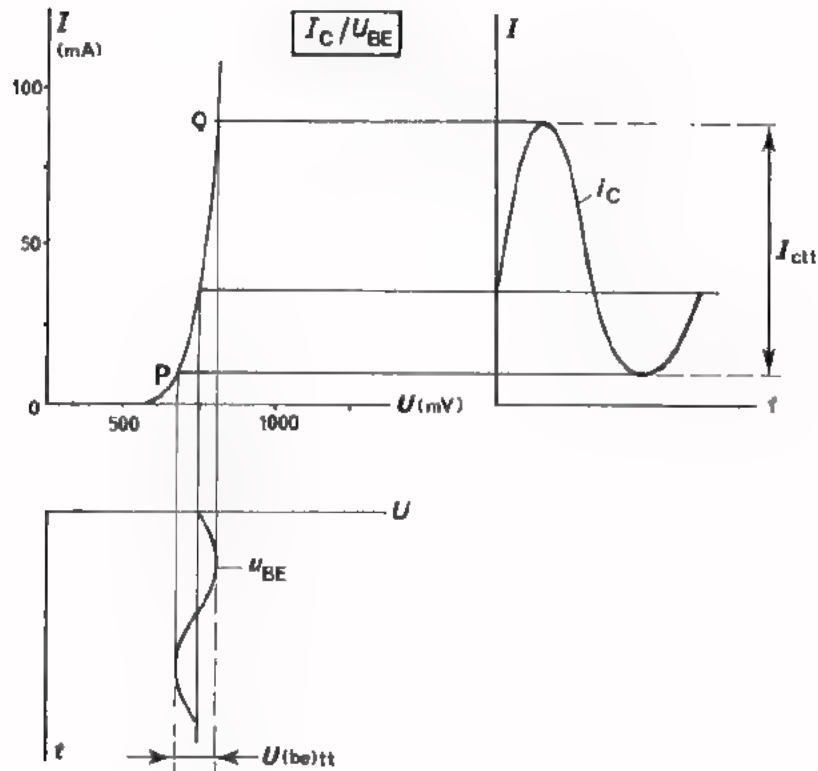
---

---

## GRAFISCHE BEPALING VAN DE STEILHEID.

De steilheid  $S$  is een veel gebruikte grootte. Verderop zullen we zien dat we voor de transistor in GES een aantal eenvoudige formules af kunnen leiden, waarin de grootte  $S$  voorkomt.  $S$  wordt veelal door de fabrikant van de transistor opgegeven, maar het komt ook wel voor dat u de steilheid zelf moet bepalen.

Hoe gaan we dan te werk?



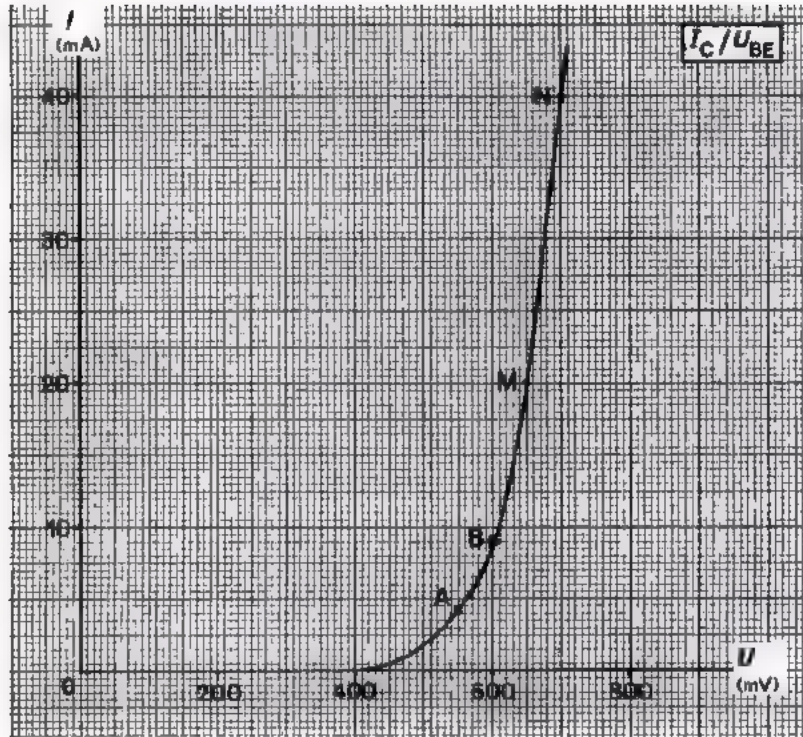
Stel dat we aan een transistor een wisselspanning  $u_{be}$  toevoeren. Met behulp van de overdrachtskarakteristiek zien we dat er een wisselstroom  $i_c$  ontstaat.

We gebruiken dat deel van de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek dat tussen de punten P en Q ligt. We hebben dus te maken met de steilheid tussen P en Q. Deze steilheid is:

$$S = \frac{I_{ctt}}{U_{be}tt} = \frac{95 - 10}{800 - 700} \frac{\text{mA}}{\text{mV}} = \frac{85}{100} = 0,85 \frac{\text{mA}}{\text{mV}} = 850 \text{ mA/V.}$$

Ga dit na!

OEFENINGEN



- Dit is een  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek. Men noemt hem ook wel

- karakteristiek

- Bepaal de steilheid tussen de punten A en B.

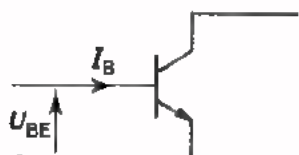
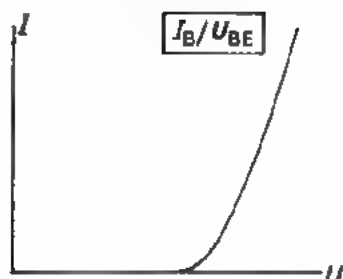
$$S = \text{  mA/V }$$

- Bepaal de steilheid ook tussen de punten M en N.

$$S = \text{  mA/V }$$

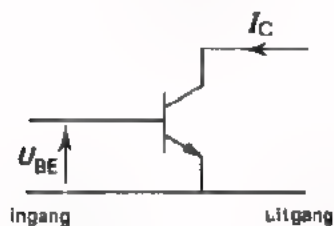
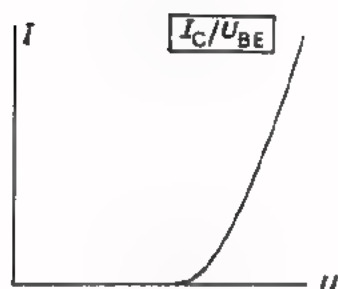


SAMENVATTING



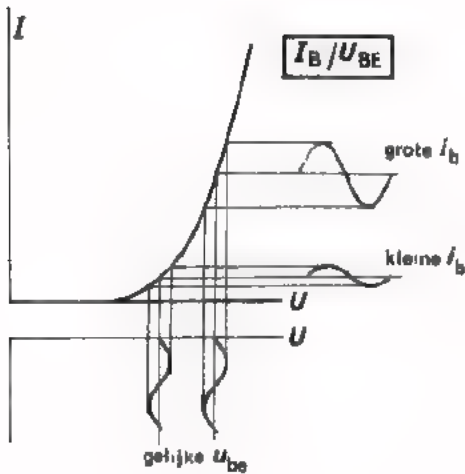
- Het verband tussen de *ingangsstroom*  $I_B$  en de *ingangsspanning*  $U_{BE}$  van een transistor legt men grafisch vast in de  $I_B - U_{BE}$  - *ingangskarakteristiek*

Deze karakteristiek heeft de gekromde vorm van een diodekarakteristiek.



- Het verband tussen *uitgangsstroom*  $I_C$  en de *ingangsspanning*  $U_{BE}$  legt men grafisch vast in de  $I_C - U_{BE}$  - *overdrachtkarakteristiek*.

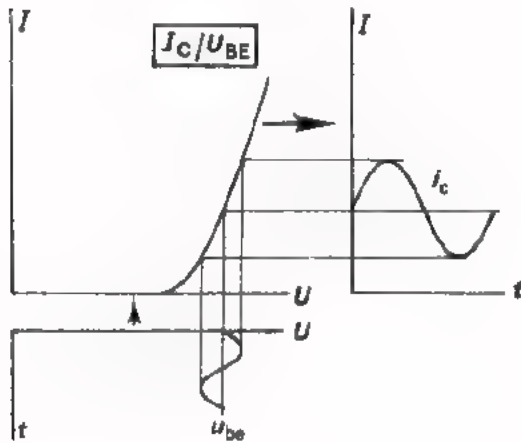
- De  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek ontstaat uit de  $I_B - U_{BE}$  - karakteristiek door de  $I_B$ -waarden met  $\beta_{FE}$  te vermenigvuldigen. De karakteristieken hebben ook daarom dezelfde vorm.



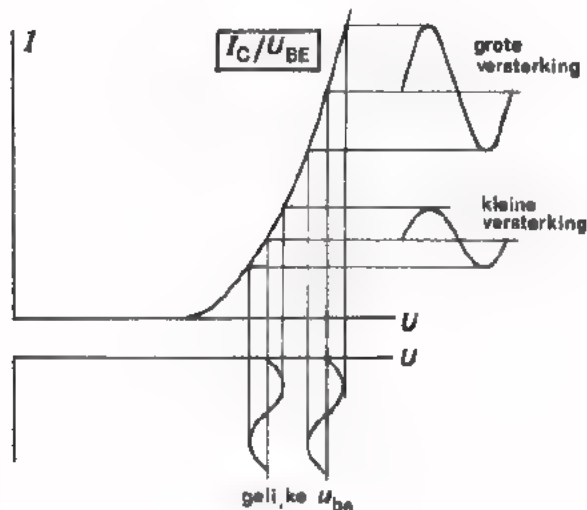
- De kromming van de  $I_B - U_{BE}$  - karakteristiek heeft tot gevolg dat de ingangswisselstroomweerstand

$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

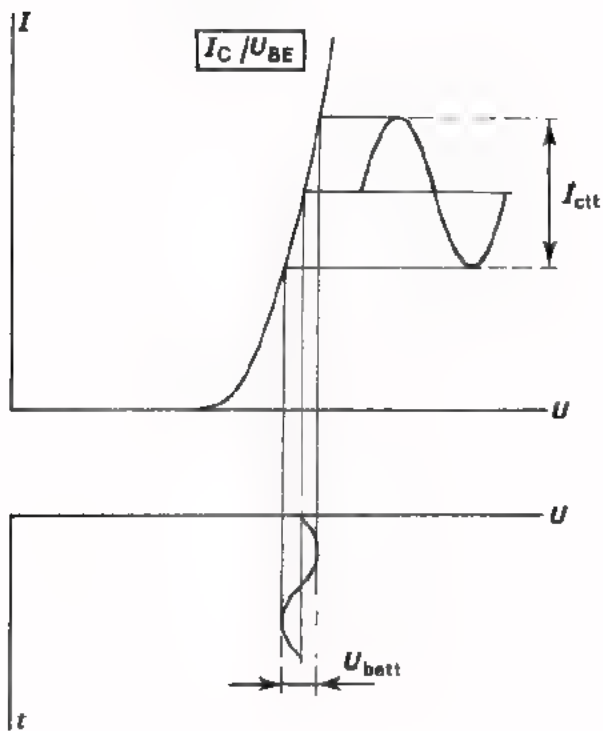
bij een grote instelstroom kleiner is dan bij een kleine instelstroom.



- De kromming van de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek heeft tot gevolg dat bij het verwerken van *grote* ingangswisselspanningen een *vervorming* van de uitgangswisselstroom en spanning optreedt. Dit is een z.g. *niet-lineaire* vervorming.



- De kromming van de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek heeft ook tot gevolg dat de versterking bij een grote instelstroom groter is dan die bij een kleine instelstroom. Bij een grotere instelstroom heeft men namelijk een grotere steilheid.



De *steilheid*  $S$  is de verhouding van de uitgangswisselstroom tot de ingangswisselspanning:

$$S = \frac{I_{ctt}}{U_{bett}}$$

Lined writing area with horizontal lines.

NAAM:

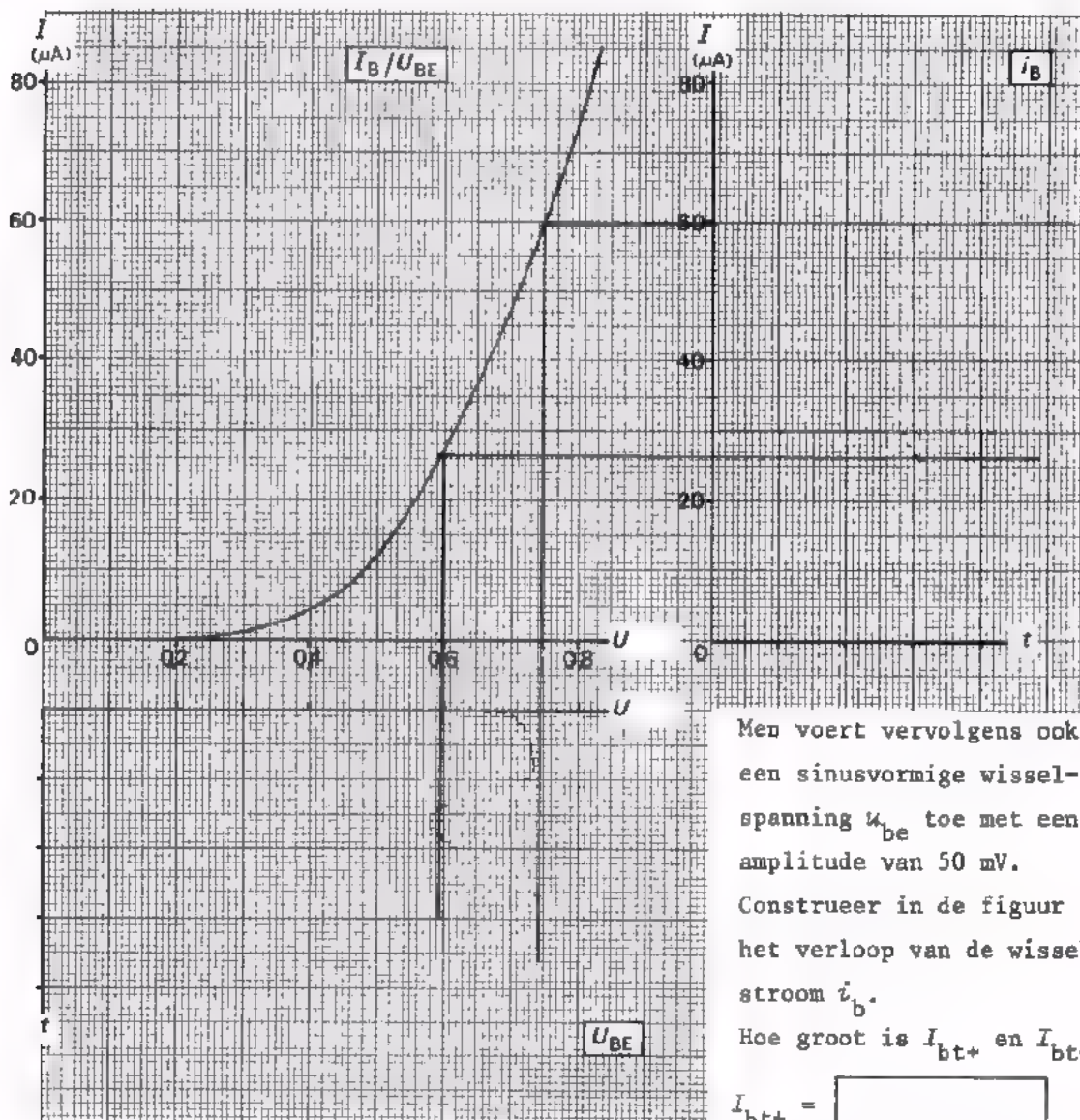
KLAS:

OEFENINGEN

1. Bij een bepaalde transistor behoort deze ingangskarakteristiek. De basisgelykspanning  $U_{BE} = 0,7$  V.

Hoe groot is  $I_B$ ?

$I_B =$    $\mu A$



Men voert vervolgens ook een sinusvormige wisselspanning  $u_{be}$  toe met een amplitude van 50 mV. Construeer in de figuur het verloop van de wisselstroom  $i_b$ .

Hoe groot is  $I_{bt+}$  en  $I_{bt-}$ ?

$I_{bt+} =$

$I_{bt-} =$

Als men  $I_B$  vervolgens verlaagt tot  $20 \mu\text{A}$  dan wordt de ingangswisselstroomweerstand  , omdat:

---



---

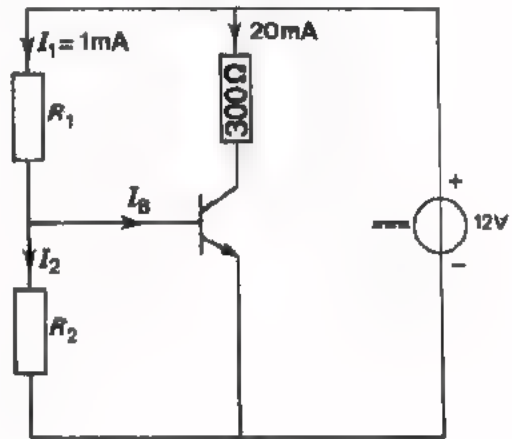
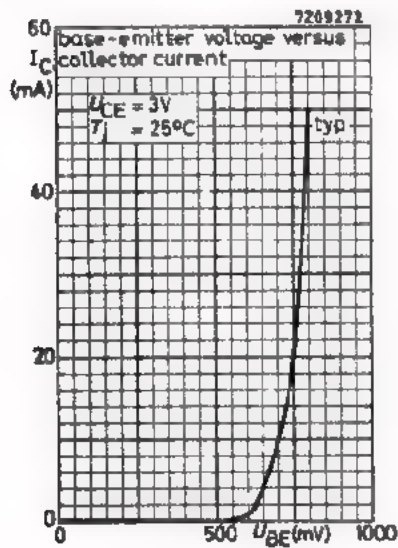


---



---

2.



In de vereiste instelling met  $I_C = 20 \text{ mA}$  is  $h_{FE} = 200$ .

Verder is de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek gegeven.

Bepaal de waarden van:

$U_{CE}$ ,  $U_{BE}$ ,  $I_B$ ,  $R_1$ ,  $I_2$  en  $R_2$ .

$U_{CE} =$   V

$U_{BE} =$   mV

$I_B =$   mA

$R_1 =$   k $\Omega$

$I_2 =$   mA

$R_2 =$    $\Omega$

## DE UITGANGSKARAKTERISTIEKEN

## INLEIDING

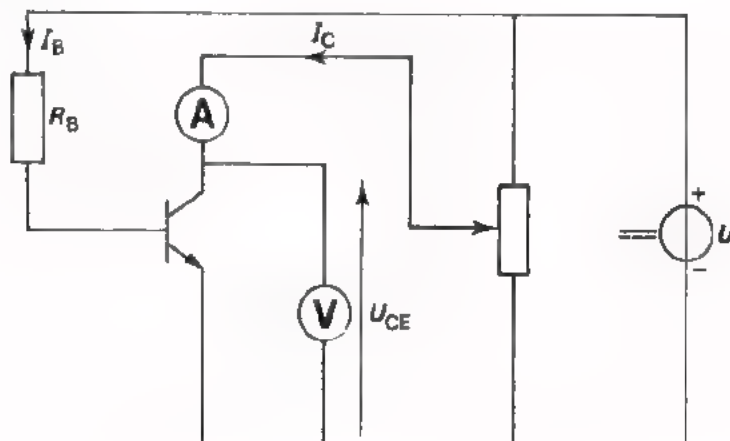
In de vorige les hebben we inzicht gekregen in het gedrag van de transistor aan de ingang. We hebben dit verkregen aan de hand van de  $I_B - U_{BE}$ -karakteristiek, de zogenaamde *ingangskarakteristiek*.

Het ingangsgedrag is van invloed op het signaal aan de uitgang van de transistor. Om dit direct duidelijk te maken is ook de  $I_C - U_{BE}$ -karakteristiek ter sprake gekomen. Deze noemen we de *overdrachtskarakteristiek*.

In deze les gaan we de  $I_C - U_{CE}$ -karakteristiek bespreken. Deze legt een verband tussen stroom en spanning aan de uitgang van de transistor en wordt daarom de *uitgangskarakteristiek* genoemd.

## DE $I_C - U_{CE}$ - KARAKTERISTIEKEN

Bij een transistor houden we  $I_B$  constant. Nu gaan we het verband tussen  $I_C$  en  $U_{CE}$  onderzoeken. Dit verband levert een  $I_C - U_{CE}$  - of uitgangskarakteristiek. Deze karakteristiek kan globaal worden gemeten met volgende schakeling:

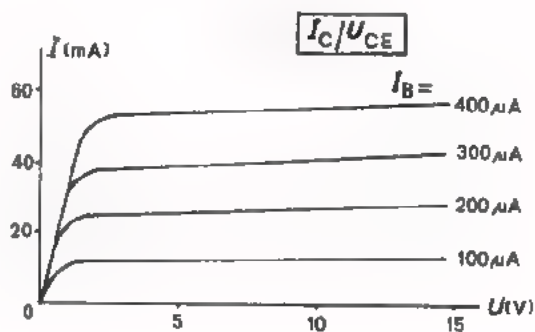
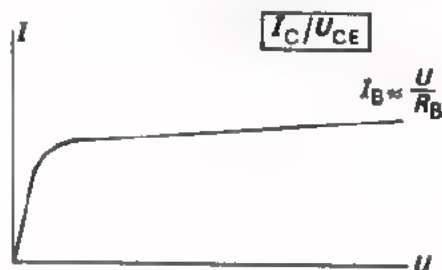


$U_{CE}$  is te variëren met behulp van de potentiometer. De stroom- en spanningsmeter geven respectievelijk  $I_C$  en  $U_{CE}$  aan. In deze schakeling is  $U_B$  vrijwel constant en gelijk aan  $I_B \approx \frac{U}{R_B}$ .

Meet men de bedoelde karakteristiek, dan verkrijgt men nevenstaand resultaat.

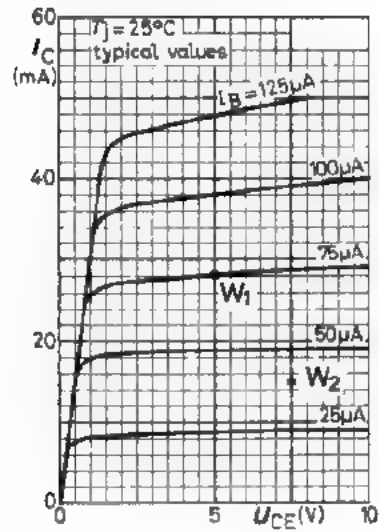
Geeft men  $R_B$  achtereenvolgens verschillende waarden, dan vindt men andere karakteristieken die voor andere waarden van  $I_B$  gelden.

Voor een transistor komt men zodoende tot een *bundel*  $I_C - U_{CE}$  - uitgangskarakteristieken zoals in nevenstaande figuur.





OEFENING



Hier ziet u een bundel uitgangskarakteristieken van een transistor. Ga aan de hand van deze grafische voorstelling na hoe groot de gelijkstroom  $I_C$ ,  $I_B$  en de gelijkspanning  $U_{CE}$  is bij de aangegeven punten  $W_1$  en  $W_2$ .

Bij punt  $W_1$ :

$I_C =$

$I_B =$

$U_{CE} =$

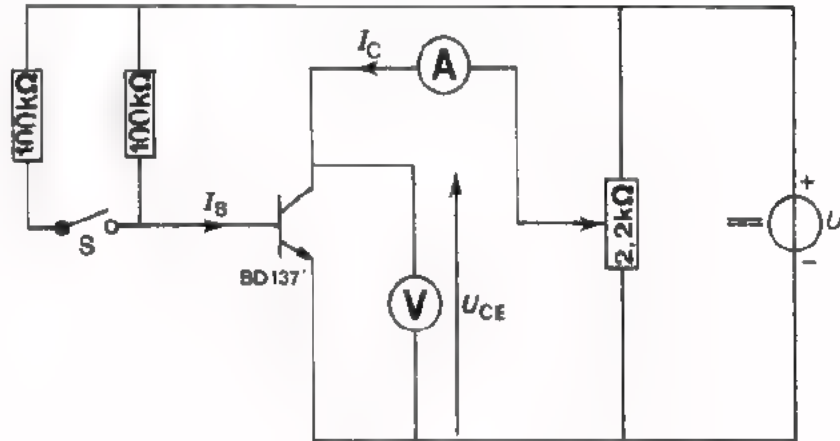
Bij punt  $W_2$ :

$I_C =$

$I_B =$

$U_{CE} =$

OPDRACHT: METEN VAN DE  $I_C - U_{CE}$  - KARAKTERISTIEK



- Bouw deze schakeling op het paneel. Laat S open.
- Stel de voedingsbron in op 20 V.
- $I_B$  is nu ongeveer gelijk aan:   $\mu A$  (berekenen)
- Stel met behulp van de potentiometer in op de waarden  $U_{CE}$  zoals vermeld in de eerste tabel op volgend blad. Lees telkens de waarde van  $I_C$  af en noteer deze in de tabel. Voer deze meting liefst snel uit opdat de transistor niet te lang verhit wordt.
- Zet parallel aan de weerstand  $R_B = 100\text{ k}\Omega$  nog een weerstand van  $100\text{ k}\Omega$  door S te sluiten.

Nu wordt  $I_B$ :   $\mu A$  (berekenen)

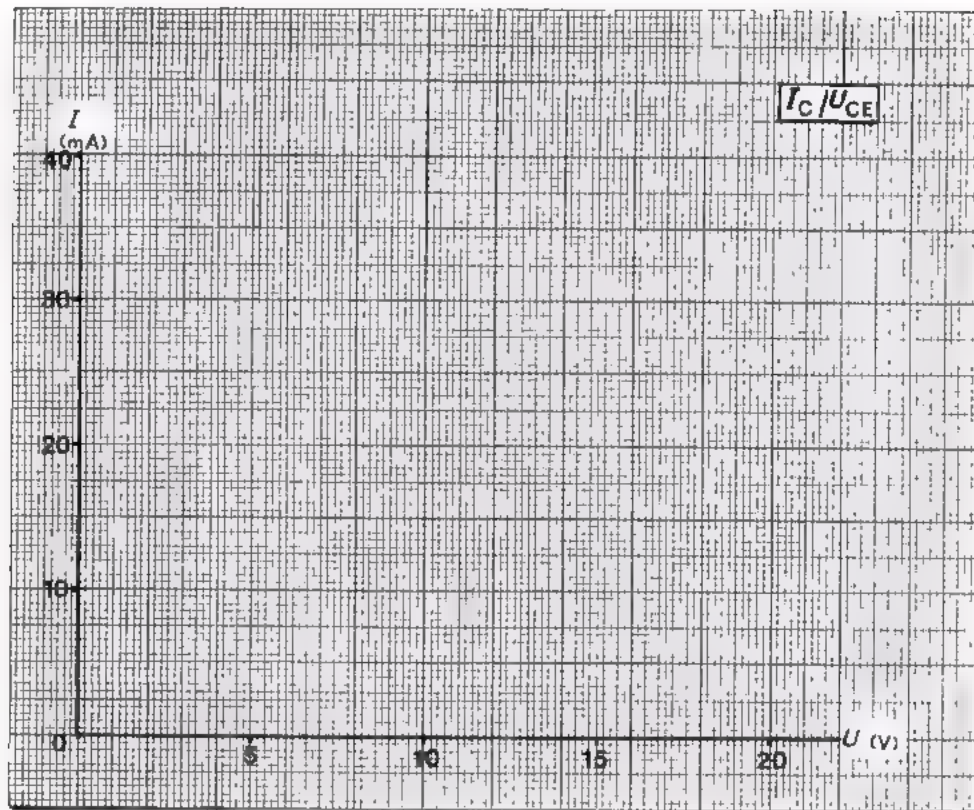
- Meet nu de waarden van  $I_C$  en  $U_{CE}$  opnieuw. Voer de meting weer snel uit opdat de transistor niet te heet wordt. Vul de gevonden waarden van  $I_C$  in de tweede tabel in.
- Teken de karakteristieken voor de twee waarden van  $I_B$  in de grafiek op volgend blad.
- Schakel de voedingsspanning uit.

$I_B = \quad \mu A$

$U_{CE}$ (V)	$I_C$ (mA)
0	
2	
3	
5	
20	

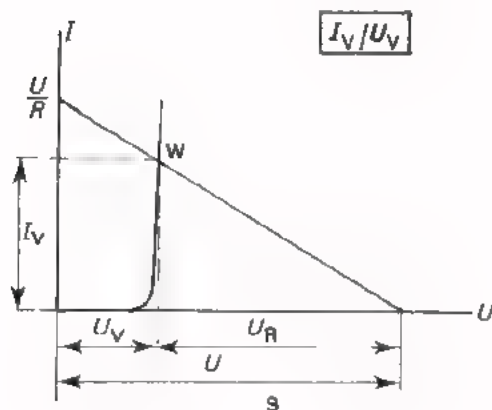
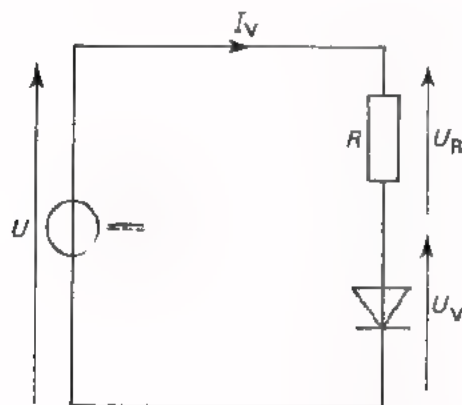
$I_B = \quad \mu A$

$U_{CE}$ (V)	$I_C$ (mA)
0	
2	
3	
5	
20	



DE BELASTINGLIJN

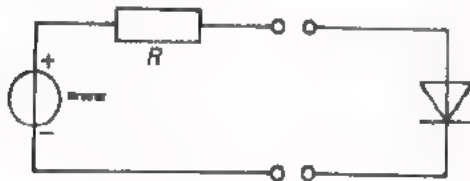
Bij de behandeling van de diode is de belastinglijn ter sprake gekomen. Heel in het kort herhalen we nog even het daar behandelde.



Sluit men een weerstand  $R$  en een diode in serie aan op een spanningsbron, dan is de instelling als volgt te bepalen:

- Men tekent in een grafiek de statische karakteristiek van de desbetreffende diode.
- Daarna tekent men in hetzelfde assenstelsel de belastinglijn.
- De belastinglijn en de statische diodekarakteristiek snijden elkaar in het werkpunt  $W$ .
- Door dit punt  $W$  wordt de instelling geheel vastgelegd.

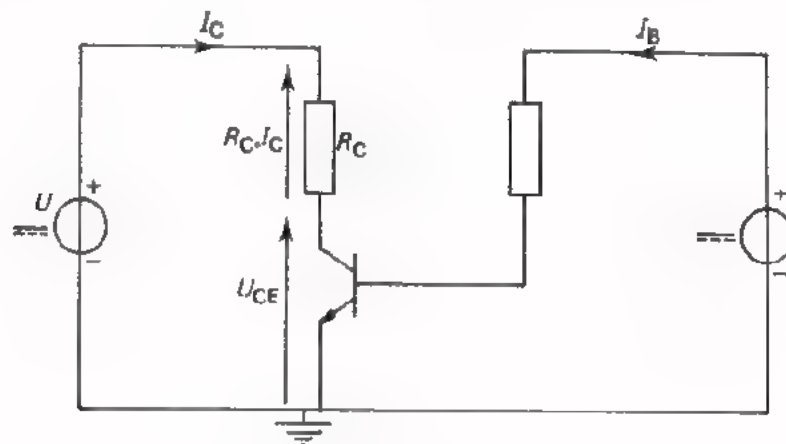
Bij de behandeling van de diode in les B203 zijn we uitgegaan van een serieschakeling van een spanningsbron en een weerstand.



Deze schakeling werd dan vervolgens "belast" met een diode.

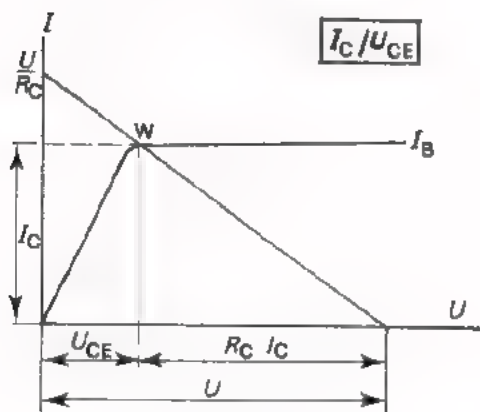
Lees dat verhaal zonodig nog eens door.

In les B208 hebben we in de collectorleiding een weerstand  $R_C$  aangebracht om ook spanning te kunnen versterken. We gaan nu de situatie zó bekijken dat de voeding met de serieweerstand  $R_C$  worden belast met de transistor. We doen dus alsof  $R_C$  bij de voedingsbron hoort.



Hier is deze toestand getekend. De belasting van de voedingsbron in serie met  $R_C$  wordt gevormd door de transistor.

De instelling van de transistor kan men nu op soortgelijke manier als bij de diode bepalen.



Bij de  $I_C - U_{CE}$  - karakteristiek voor een bepaalde  $I_B$  tekent men de belastinglijn.

Het snijpunt W van deze twee lijnen legt de instelling vast.

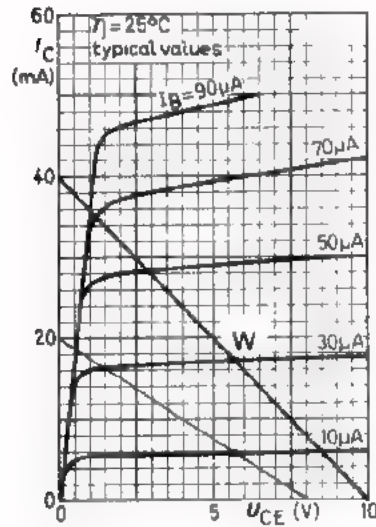
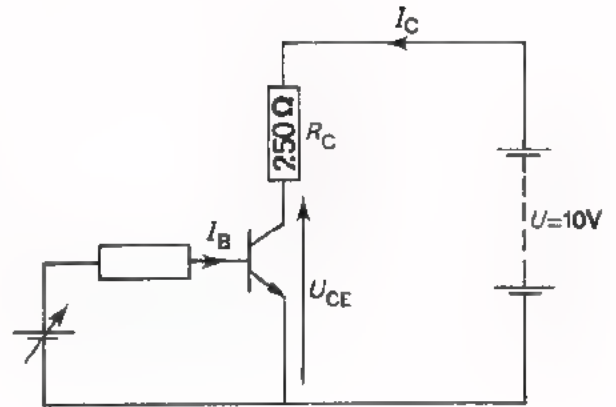
De grootte van de transistorstroom  $I_C$ , de transistorspanning  $U_{CE}$  en de gelijkspanning  $R_C \cdot I_C$  over  $R_C$  zijn nu bekend.

Het nut van de uitgangskarakteristieken wordt zo reeds duidelijk. Met behulp van deze karakteristieken en de belastinglijn kan men de gelijkstroominstelling van de transistor bepalen.

VOORBEELD

Hier is een schakeling gegeven waarin een transistor is opgenomen.

Hieronder vindt u de uitgangskarakteristieken van de transistor.



In deze bundel karakteristieken is de belastinglijn getekend voor dit geval. De rechte lijn loopt van het punt  $U = 10 \text{ V}$  naar het punt

$$I = \frac{U}{R_C} = \frac{10}{250} \text{ A} = 40 \text{ mA op de verticale as.}$$

Als we aan de transistor een basisstroom  $I_B = 30 \mu\text{A}$  toevoeren, dan zien we dat het instelpunt W wordt.

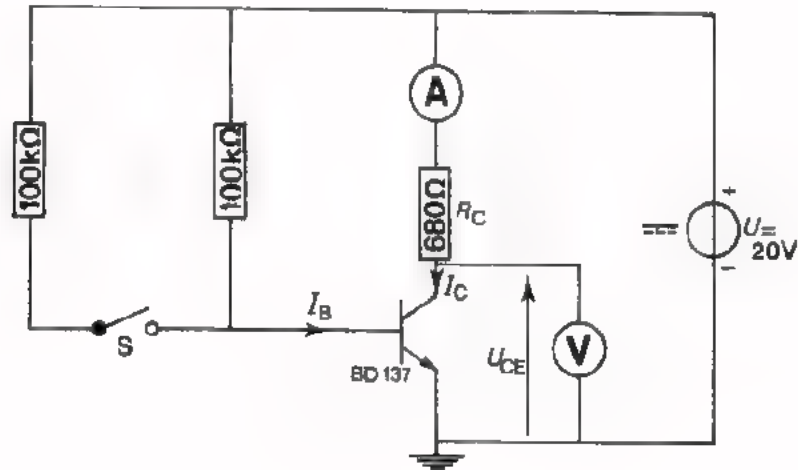
Hoe groot is nu  $I_C$ ?  $I_C =$

Hoe groot is  $U_{CE}$ ?  $U_{CE} =$

Bepaal nu zelf de instelling als  $R_C = 400 \Omega$ ,  $U = 8 \text{ V}$  en  $I_B = 10 \mu\text{A}$ .

$I_C =$   ,  $U_{CE} =$

OPDRACHT: BEPALING VAN HET INSTELPUNT



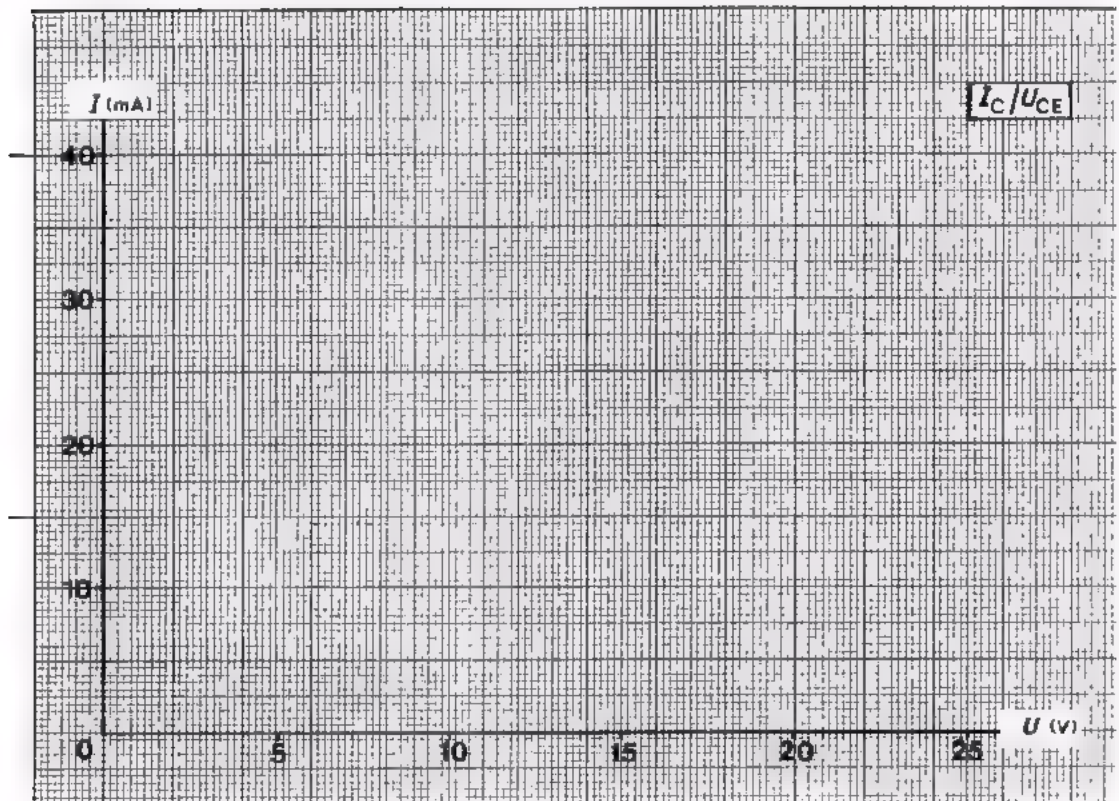
- Verander de schakeling op uw paneel in die volgens bovenstaand schema.
- Teken de karakteristieken van blad B210.5 zorgvuldig over op volgend blad.
- Teken in deze grafiek de belastinglijn voor het geval van de schakeling op uw paneel;  $U = 20\text{ V}$  en  $R_c = 680\ \Omega$ .
- Bepaal uit de grafiek  $I_C$  en  $U_{CE}$  voor  $I_B = 200\ \mu\text{A}$  en voor  $I_B = 400\ \mu\text{A}$ . Noteer de antwoorden in volgende tabel.

$I_B$ ( $\mu\text{A}$ )	$I_C$ (mA)	$U_{CE}$ (V)
200		
400		

- Ga nu door meting na of de grafisch bepaalde waarden inderdaad ongeveer kloppen.

Voer de metingen snel uit, anders wordt de transistor te lang verwarmd.





OEFENING

Bepaal de instelling voor bovenstaande uitgangskarakteristieken bij een voedingsspanning van 15 V en een collectorweerstand van 330  $\Omega$ .

Als  $I_B = 400 \mu\text{A}$

$I_C =$

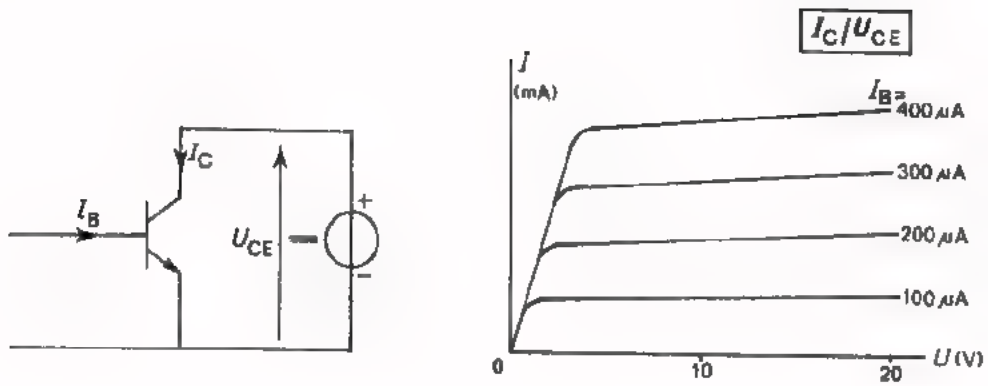
$U_{CE} =$

Als  $I_B = 200 \mu\text{A}$

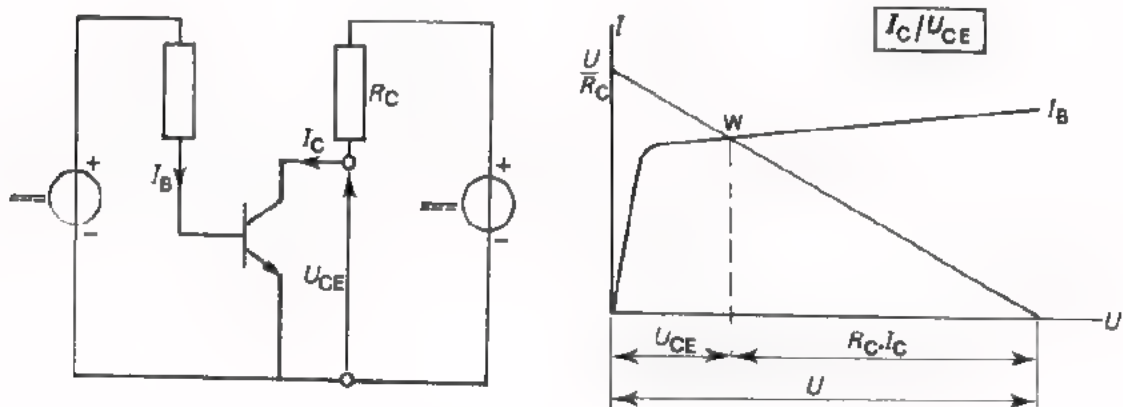
$I_C =$

$U_{CE} =$

SAMENVATTING



Het verband tussen *uitgangsstroom*  $I_C$  en *uitgangsspanning*  $U_{CE}$  wordt gegeven door de  $I_C - U_{CE}$  - of *uitgangskarakteristieken-bundel*. Elke karakteristiek legt voor één  $I_B$ -waarde vast hoe groot  $I_C$  is bij verschillende waarden van  $U_{CE}$ .



De uitgangskarakteristieken zijn o.a. van nut om de instelstroom  $I_C$  en de instelspanning  $U_{CE}$  van een transistor in een schakeling te kunnen bepalen. Door het tekenen van een belastinglijn vindt men het instelpunt  $W$ . De belastinglijn loopt van het punt  $U_{CE} = U$  op de horizontale as naar het punt  $I_C = U/R_C$  op de verticale as.



NAAM:

KLAS:

### OEFENINGEN

1. De karakterstiek die een verband legt tussen de basisgelijkstroom en de gelijkspanning  $U_{BE}$  heet:

de  karakteristiek.

De overdrachtskarakteristiek legt een verband tussen de grootheden:

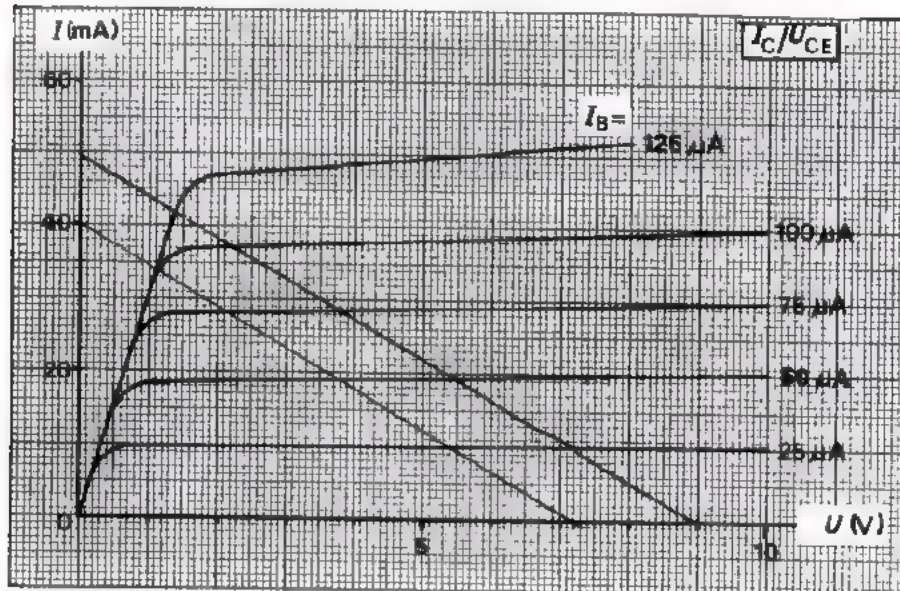
en

In deze les hebben we kennis gemaakt met de uitgangskarakteristiek. Deze legt een verband tussen de grootheden:

en

Voor iedere gelijkstroom:  geldt een andere uitgangskarakteristiek

2. Teken in volgende bundel uitgangskarakteristieken de belastinglijn voor een voedingsspanning van 9 V en een collectorweerstand van 180  $\Omega$ .



- Bepaal aan de hand van de grafiek de instelling voor een basisstroom van 75  $\mu A$ .

$$I_C = \boxed{\phantom{000}}$$

$$U_{CE} = \boxed{\phantom{000}}$$

- Hoe is de instelling ongeveer bij  $I_B = 90 \mu A$ ?

$$I_C \approx \boxed{\phantom{000}}$$

$$U_{CE} \approx \boxed{\phantom{000}}$$

- Als de voedingsspanning daalt naar 7,2 V, hoe wordt dan de instelling bij  $I_B = 50 \mu A$ ?

$$I_C = \boxed{\phantom{000}}$$

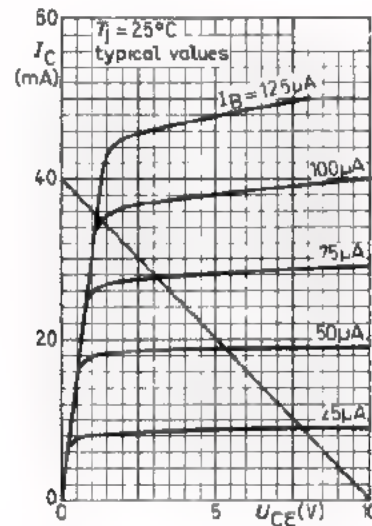
$$U_{CE} = \boxed{\phantom{000}}$$

## HET VERWERKEN VAN WISSELSTROOM

## DOOR EEN GES

## INLEIDING

In de vorige les hebben we kennis gemaakt met de uitgangskarakteristiek van een transistor. Hieronder geven we nogmaals een bundel uitgangskarakteristieken zoals die voor een transistor door de fabrikant worden opgegeven.



De grafiek geeft een verband tussen stroom en spanning aan de uitgang van de transistor. Dit verband is afhankelijk van de basisstroom  $I_B$ , vandaar dat voor een aantal waarden van  $I_B$  een karakteristiek wordt opgegeven.

De instelling kan nu worden bepaald door middel van de belastinglijn. In bovenstaande figuur is een belastinglijn getekend voor een voedingsspanning van 10 V en een collectorweerstand  $R_c = 250 \Omega$ . Bij  $I_B = 75 \mu\text{A}$  geldt voor de instelling:

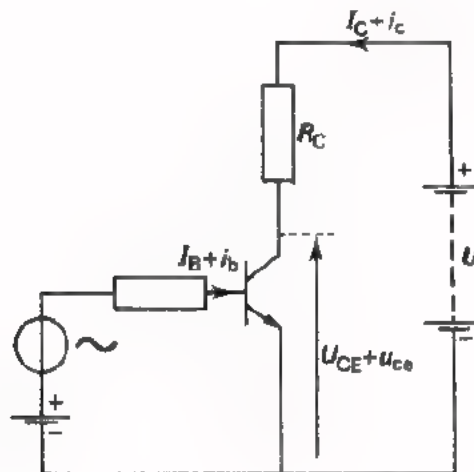
$$I_C \approx 28 \text{ mA}$$

$$U_{CE} \approx 3 \text{ V}$$

U begrijpt dit volkomen? Zo niet, vraag uw leraar om nadere uitleg.

## HET VERWERKEN VAN WISSELSTROOM

In de vorige les hebben we ons bezig gehouden met het bepalen van de instelling van de transistor. We gebruikten de uitgangskarakteristieken om iets te weten te komen over gelijkstromen en -spanningen. Ook het wisselstroomgedrag van de transistor kunnen we aan de hand van de uitgangskarakteristieken duidelijk maken.



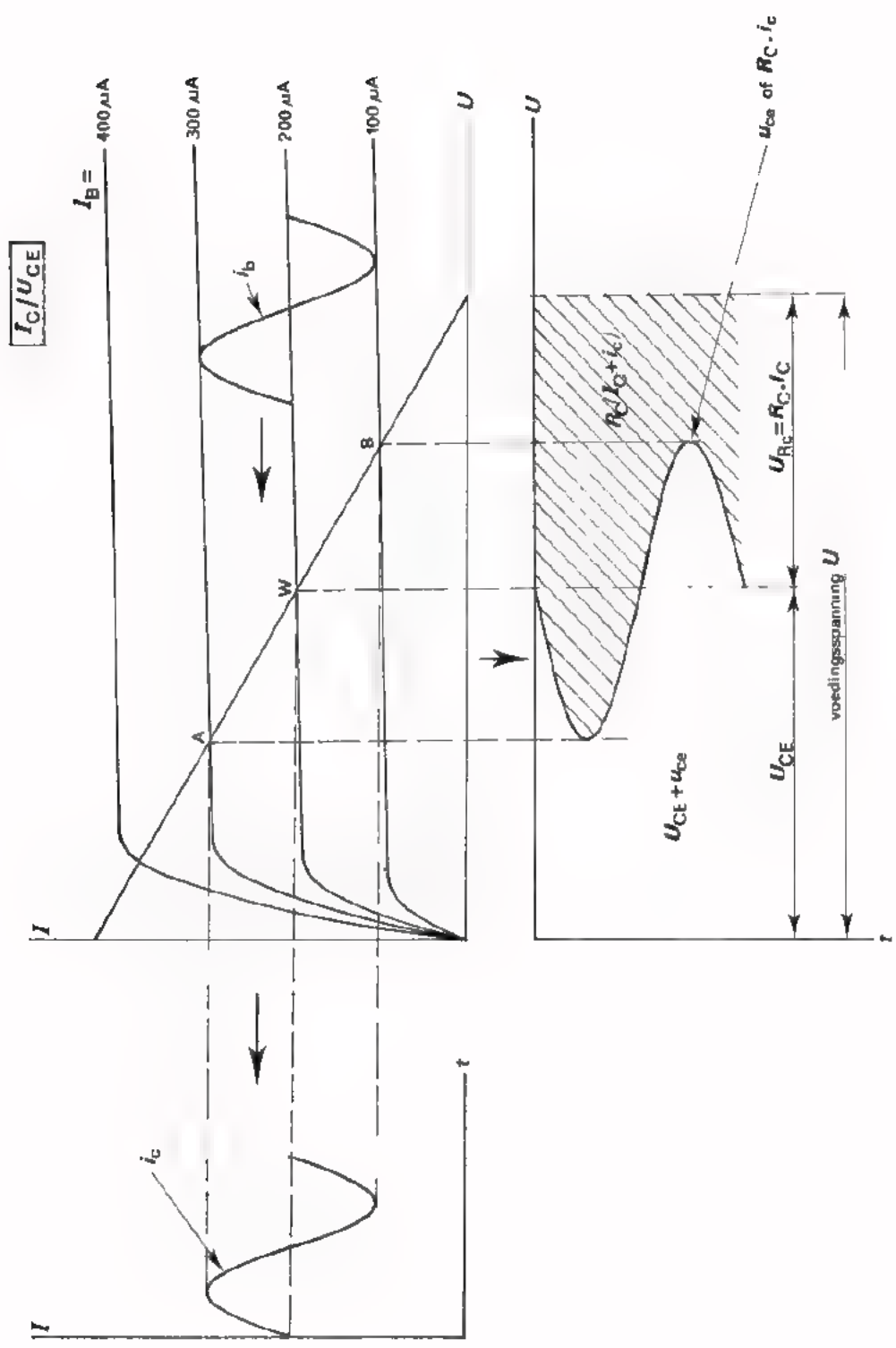
Hier voeren we aan een transistor, behalve een gelijkstroom  $I_B$ , ook een wisselstroom  $i_b$  toe. Over  $R_C$  ontstaat ook een wisselspanning  $R_C \cdot i_c$ . Over de transistor ontstaat dan de spanning:

$$U - R_C (I_C + i_c) \quad \text{of} \quad U_{CE} + u_{ce}$$

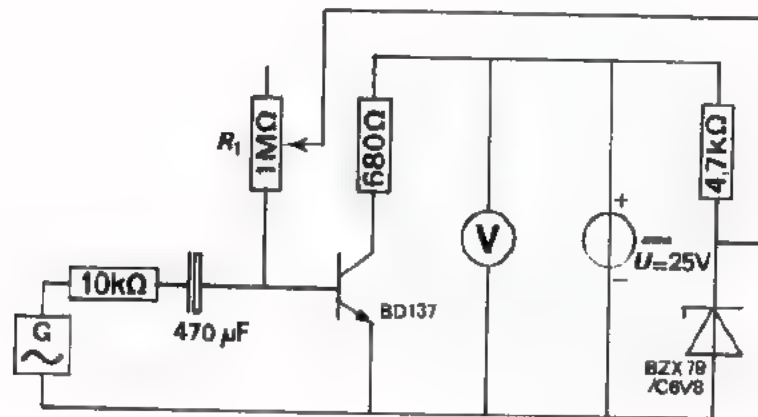
Dit alles kunnen we duidelijk zien aan de hand van de uitgangskarakteristieken en de belastinglijn op het volgend blad.

De transistor is ingesteld in W. Voeren we nu ook een wisselstroom  $i_b$  toe, dan beweegt de transistorinstelling zich tussen de karakteristieken  $I_B = 100 \mu A$  en  $300 \mu A$ . De instelling tussen de punten A en B beweegt zich dan langs de belastinglijn. Door A, W en B "naar links over te halen" vinden we hoe de collectorwisselstroom  $i_c$  verloopt. Door A, W en B "naar beneden over te halen" vinden we het verloop van de wisselspanning  $u_{ce}$  over de transistor.

Merk op, dat  $u_{ce}$  in tegenfase is met  $i_b$ .

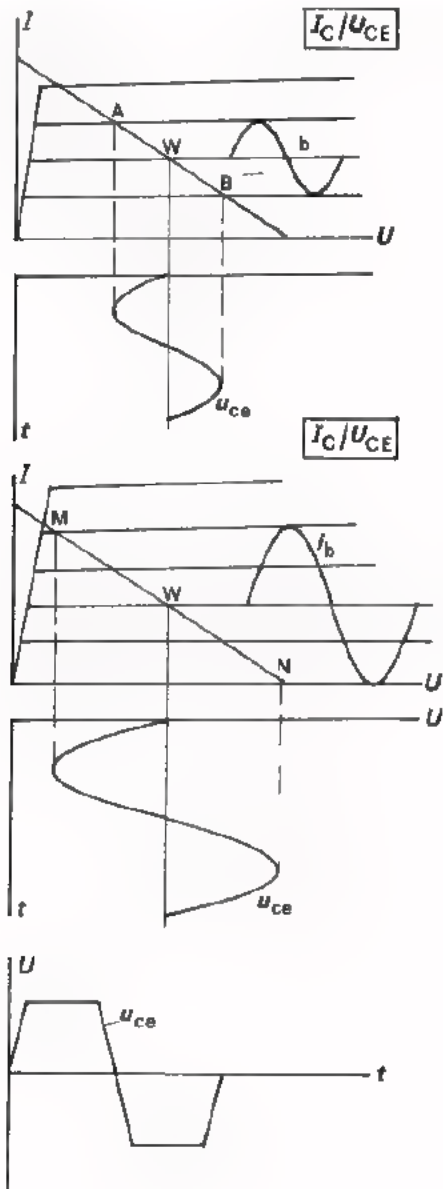


OPDRACHT: HET VERWERKEN VAN EEN WISSELSTROOM DOOR EEN GES.



- Bouw deze schakeling op uw paneel.
- Stel  $U$  in op 25 V.
- Regel de instelling van de transistor met behulp van  $R_1$  zodanig, dat  $U_{CE} = \frac{1}{2} U$ . De gelijkstroombijstelling is regelbaar door middel van de potentiometer van 1 M $\Omega$ .
- Voer vanaf de 600  $\Omega$ -uitgang van de LF-generator een wisselspanning  $u$  van ca. 0,5 V en een frequentie van 1 kHz toe.
- Maak de uitgangswisselspanning  $u_{ce}$  zichtbaar op het scherm van de oscilloscoop. Trigger de oscilloscoop daarbij extern met de spanning op de 15  $\Omega$ -uitgang van de generator.
- Maak daarna de aan de GES toegevoerde wisselspanning  $u$  zichtbaar. Blijf de oscilloscoop triggeren.
- U kunt nu constateren dat de GES de fase van de wisselspanning  $180^\circ$  verandert.
- Schakel de voedingspanning uit.
- Breek de schakeling nog niet af.

HET VERWERKEN VAN EEN TE GROOT WISSELSTROOMSIGNAAL



Hiernaast is nog eens met de uitgangskarakteristieken en de belastinglijn getekend hoe de ingangswisselstroom  $i_b$  wordt verwerkt tot een uitgangswisselspanning  $u_{ce}$ .

We kunnen ons nu afvragen wat er gebeurt als we  $i_b$  nog veel groter maken.

Bij het verwerken van  $i_b$  schuift het instelpunt tussen A en B langs de belastinglijn heen en weer.

Als  $i_b$  toeneemt, schuift het instelpunt op den duur tussen M en N, de uiteinden van de belastinglijn, heen en weer. Dan treedt er een maximale niet vervormde  $u_{ce}$  op.

Laten we  $i_b$  nóg meer toenemen, dan kan het instelpunt *niet* voorbij de eindpunten M en N van de belastinglijn komen.

Hierdoor worden de toppen van  $u_{ce}$  afgeplat, terwijl de top tot top-waarde niet meer verandert. Er treedt als het ware begrenzing op.

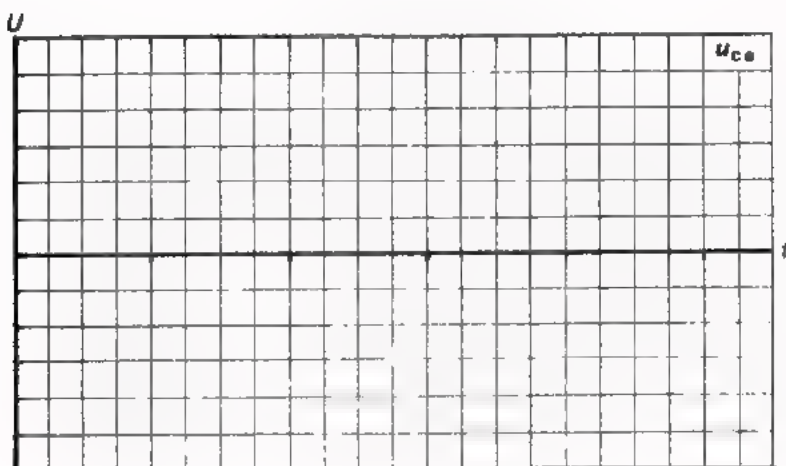
Met een transistor kan men zo ook een signaal *begrenzen*.

Het instelpunt kan niet voorbij M komen omdat  $I_C$  niet groter kan worden dan ongeveer  $U/R_C$ .

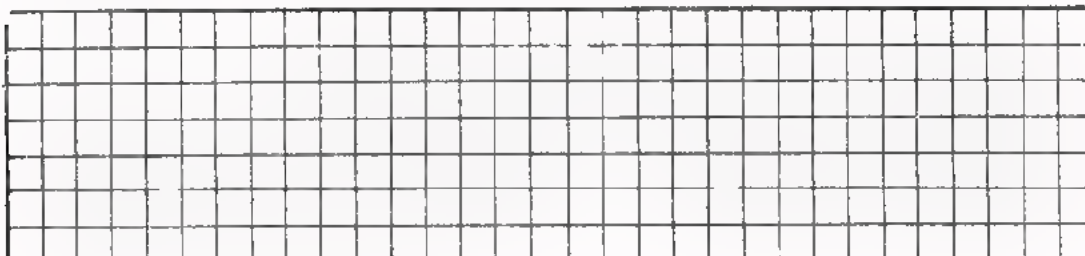
Het instelpunt kan niet voorbij N komen omdat  $I_C$  niet negatief kan worden.

OPDRACHT: VERWERKING VAN EEN GROOT SIGNAAL.

- Gebruik de schakeling op uw paneel.
- Controleer of  $U_1$  nog ingesteld is op 25 V.
- Zet de stappenschakelaar van de generator op " $1 \times V_0$ " en maak  $\omega$  maximaal. We voeren nu dus een veel groter signaal toe dan bij de vorige opdracht.
- Sluit de oscilloscoop aan op de uitgang van de transistor.
- Teken hieronder de wisselspanning die u op het scherm ziet.



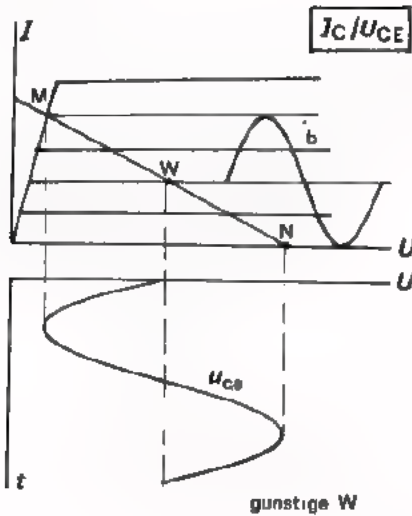
- U ziet nu aan beide toppen begrenzing optreden.
- Regel de wisselspanning  $\omega$  nu omlaag zodat aan beide kanten niet geen begrenzing meer optreedt.
- Wat gebeurt er als men de voedingsspanning  $U$  daarna vermindert?



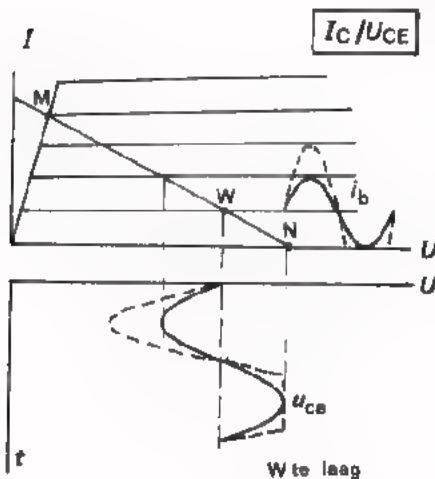
- Zet  $U$  daarna weer op 25 V.
- Breek de schakeling niet af.



## HET JUISTE WERKPUNT

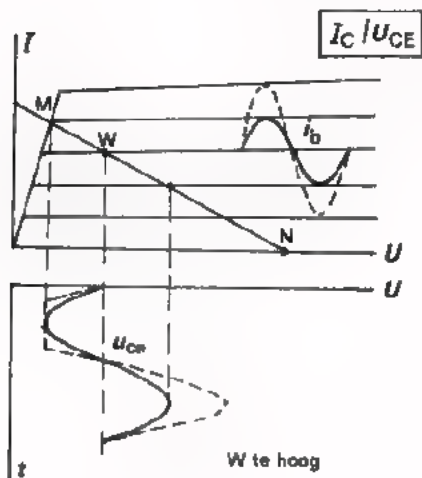


Tot nu toe hebben we aangenomen dat het werkpunt  $W$  in het midden van de belastinglijn ligt. In dit geval treedt de afplating van het signaal bij toenemende  $i_b$  aan beide zijden gelijktijdig op. Dit is de gunstigste instelling als men een wisselspanning onvervormd wil kunnen versterken. Immers, dan kan men een zo groot mogelijke  $u_{ce}$  verkrijgen die nog onvervormd is.



Kiest men  $W$  te laag, dan begint de afplating van het signaal bij toenemende  $i_b$  eerst aan de  $N$ -kant en pas daarna aan de  $M$ -kant. De nog net toelaatbare  $i_b$  en de dan optredende  $u_{ce}$  zijn met getrokken lijnen getekend.

De te grote  $i_b$  en de dan optredende  $u_{ce}$  zijn met streeplijnen getekend.



Kiest men  $W$  te hoog, dan treedt het omgekeerde op. Eerst afplating aan de  $M$ -kant en bij nog grotere  $i_b$  aan de  $N$ -kant. Ook nu zijn de grote  $i_b$  en de dan optredende  $u_{ce}$  met streeplijnen weergegeven. In volgende opdracht gaan we deze verschijnselen bekijken.

OPDRACHT: HET VERWERKEN VAN EEN GROTE WISSELSTROOM BIJ VERSCHILLENDE INSTELLINGEN.

- Gebruik de schakeling die zich nog op uw paneel bevindt.
- $U_1$  is nog steeds zo ingesteld, dat de begrenzing aan beide kanten tegelijkertijd optreedt.
- Laat de generatorspanning langzaam toenemen en bekijk op het scherm van de oscilloscoop of dit inderdaad nog het geval is. Het werkpunt ligt dan blijkbaar in het midden van de belastinglijn. Zie punt  $W_1$  in de grafiek op volgend blad.
- Breng de generator terug naar 0 V en stel  $U$  in op 20 V.
- Laat de wisselspanning opnieuw langzaam toenemen en bekijk  $u_{ce}$  op het scherm. De afplatting treedt nu eerst bij de onderste top op en pas later bij de bovenste. Het werkpunt  $W$  ligt nu bij een te lage collectorspanning. Zie punt  $W_2$  in de grafiek op volgend blad.
- Breng de generatorspanning terug naar 0 V en stel  $U$  in op 30 V.
- Laat de wisselspanning weer langzaam toenemen en bekijk  $u_{ce}$ . De afplatting begint bij de bovenste top. Het werkpunt ligt bij een te hoge collectorspanning. Zie punt  $W_3$  in de grafiek op volgend blad.
- Vraag: hoe komt het dat als de afplatting bijvoorbeeld *bovenaan* de belastinglijn optreedt (bij lage  $U$ ), het sinusbeeld op het oscilloscoopscherm *onderaan* een afplatting vertoont?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

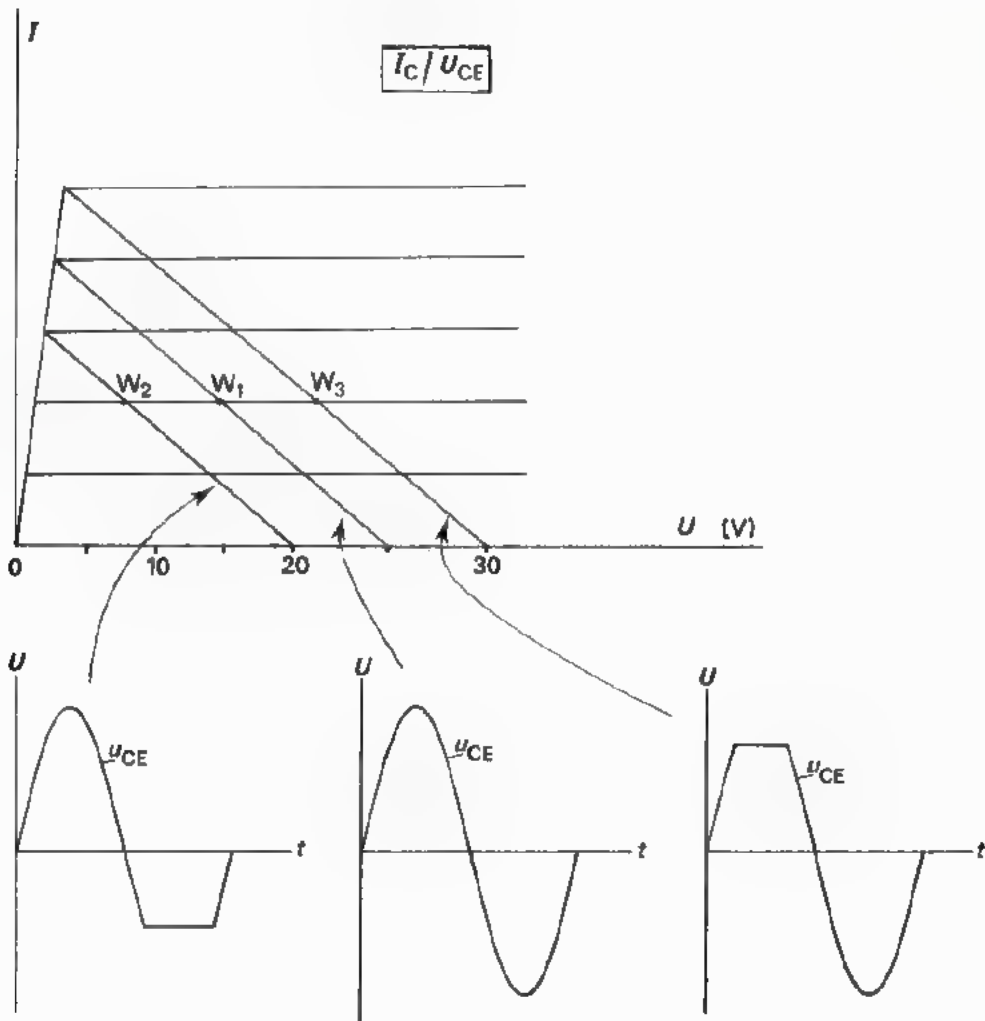
- Breek de schakeling af.

Opmerking:

In geval van  $W_1$  en  $W_2$  veronderstellen we even grote  $i_b$ 's toe te voeren.

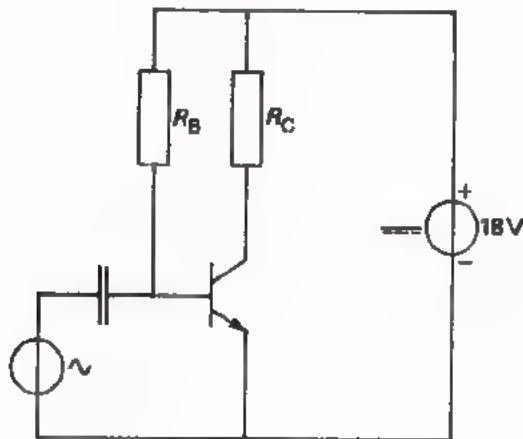
In geval van  $W_3$  is de toegevoerde  $i_b$  groter verondersteld.

Ga dit zelf na.



OEFENING

Hier ziet u een transistor in een gemeenschappelijke emitterschakeling. Op het volgend blad treft u de uitgangskarakteristieken aan voor  $I_B = 200 \mu\text{A}$  en voor  $I_B = 400 \mu\text{A}$ .

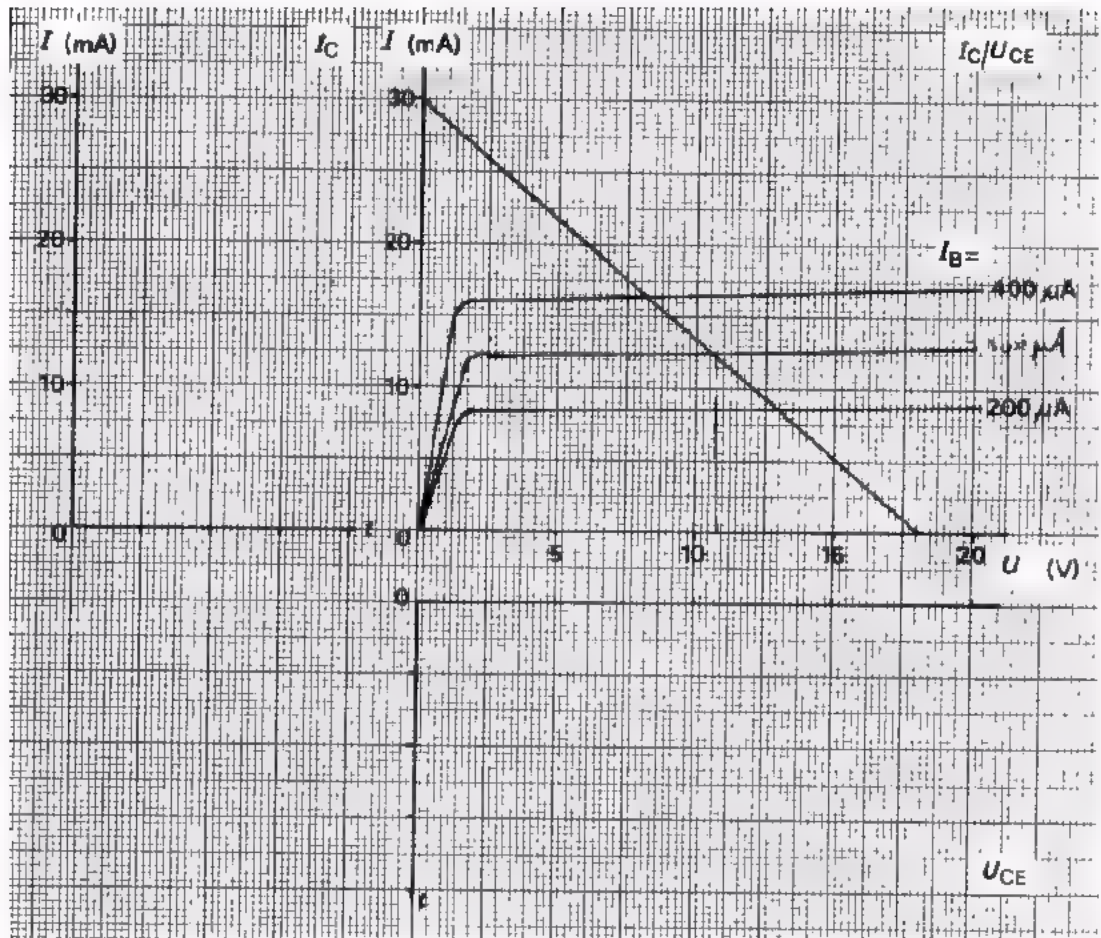


- Schets zelf de karakteristiek voor  $I_B \approx 300 \mu\text{A}$ .
- Teken de belastinglijn voor het geval dat  $U = 18 \text{ V}$  en  $R_C = 600 \Omega$ .
- Hoe groot dient  $R_B$  ongeveer te zijn opdat  $I_B \approx 300 \mu\text{A}$ ?

$$R_B \approx \boxed{\phantom{000000}}$$

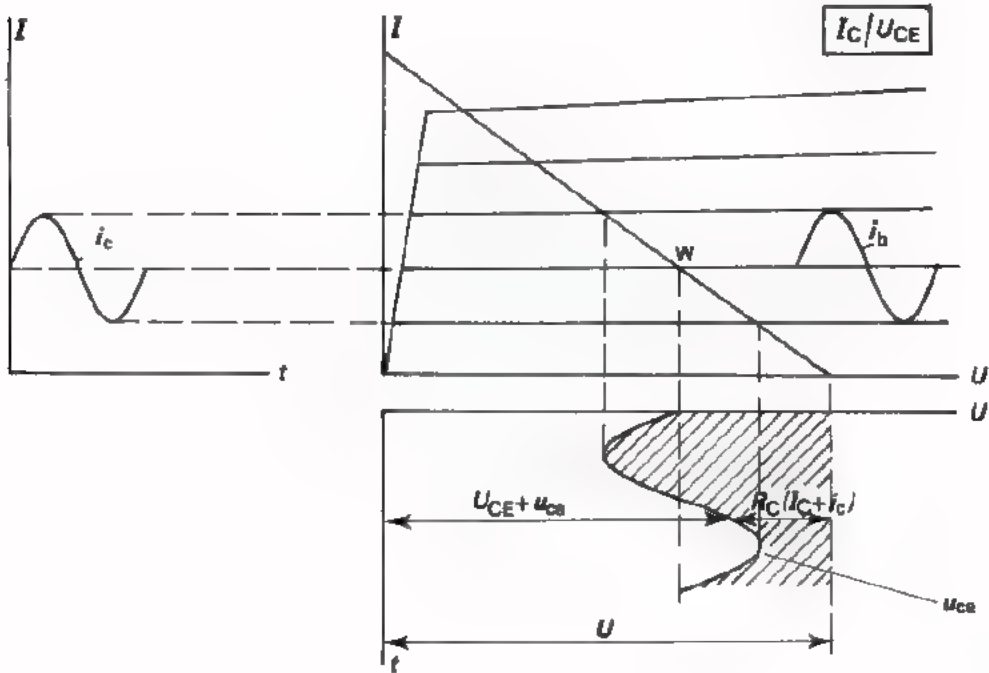
- Veronderstel dat er een  $i_b$  wordt toegevoerd met een amplitude van  $100 \mu\text{A}$ .

Teken voor dat geval het verloop van  $I_C$  en  $U_{CE}$  bij de karakteristieken.

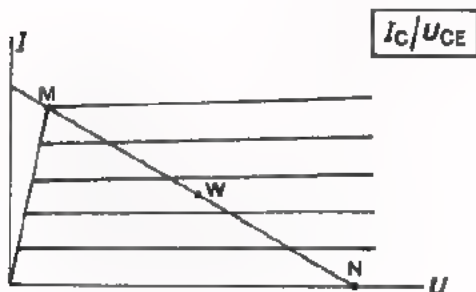


SAMENVATTING

- De uitgangskarakteristieken tezamen met de belastinglijn kunnen verduidelijken hoe een wisselspanning door een GES wordt verwerkt.



- Als  $U_{BE}$  toeneemt, neemt  $I_B$  toe, neemt  $I_C$  toe en neemt  $U_{CE}$  af:  $u_{ce}$  en  $u_{be}$  zijn in tegenfase. Een GES draait de fase  $180^\circ$ .

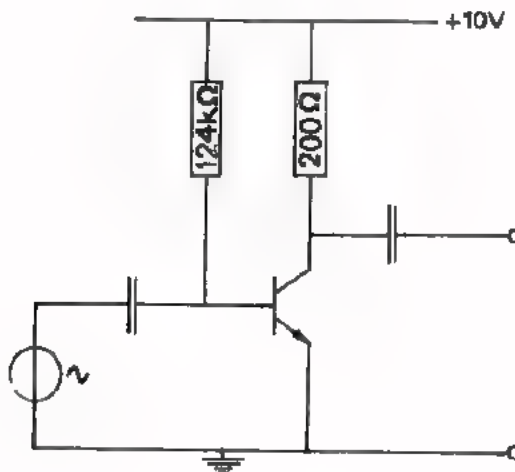


Om een zo groot mogelijke uitgangswisselspanning onvervormd af te kunnen nemen, moet men werkpunt W midden tussen M en N in kiezen.

NAAM:

KLAS:

OEFENING



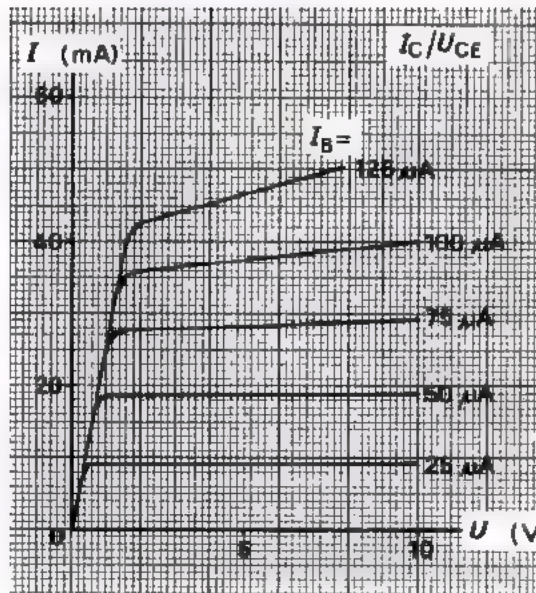
De transistor in deze schakeling heeft nevenstaande uitgangskarakteristieken.

- Bepaal het werkpunt.

$I_{CW} =$

$U_{CEW} =$

- Veronderstel dat een sinusvormige wisselstroom  $i_b$  wordt toegevoerd met een amplitude van  $25 \mu A$ . Ga na tussen welke waarden de uitgangsspanning varieert.



$U_{CE}$  varieert tussen:

en





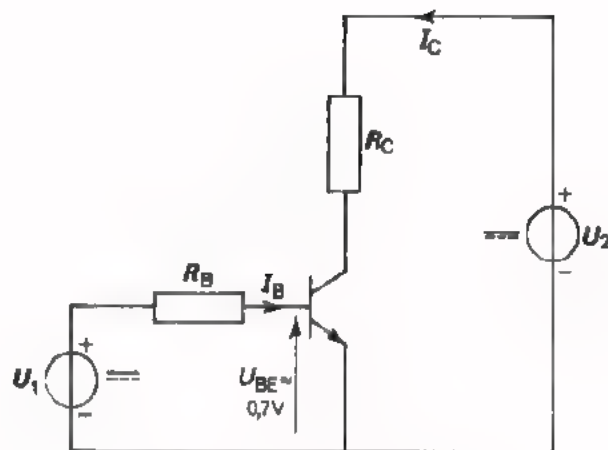
G E A A R D E   E M I T T E R S C H A K E L I N G   M E T  
E M I T T E R W E E R S T A N D

Bij de behandeling van de transistor zijn twee belangrijke punten nog niet ter sprake gekomen.

- *Twee transistors van hetzelfde type zijn nooit helemaal aan elkaar gelijk.* Bij metingen hebt u dit zelf kunnen constateren: andere meetgroepen vonden voor een grootheid als  $h_{FE}$  sterk afwijkende waarden. Zij gebruikten een transistor met een wat andere karakteristiek.  
Men zegt, dat transistors onderling *spreiding* vertonen.
- *Als de temperatuur van een transistor toeneemt, kunnen de karakteristieken aansienlijk verschuiven.* Voeren we aan een transistor een constante  $U_{BE}$  toe, dan verschuift met toenemende temperatuur de overdrachtskarakteristiek en dus ook  $I_C$ , bij stijgende temperatuur sterk toe. Dit kan tot gevolg hebben dat de transistor defect gaat.

Deze spreidings- en temperatuurinvloeden zijn in de praktijk lastig. Hoe men deze invloeden kan verwaarlozen wordt in deze les besproken.

## TRANSISTORSCHAKELING MET $R_B$



In het voorafgaande is dit eenvoudige schema toegepast om een transistor van zijn instelstromen te voorzien.

We hebben gezien, dat:

$$I_B = \frac{U_1 - U_{BE}}{R_B} = \frac{U_1 - 0,7}{R_B}$$

en  $I_C = h_{FE} \cdot I_B.$

In deze formules komen twee grootheden voor die van de transistor afhangen:  $U_{BE}$  en  $h_{FE}$ .

$U_{BE}$  is bij de meeste silicium transistors bij  $I_C$ 's tot enkele tientallen mA vrijwel constant en gelijk aan ongeveer 0,7 V.

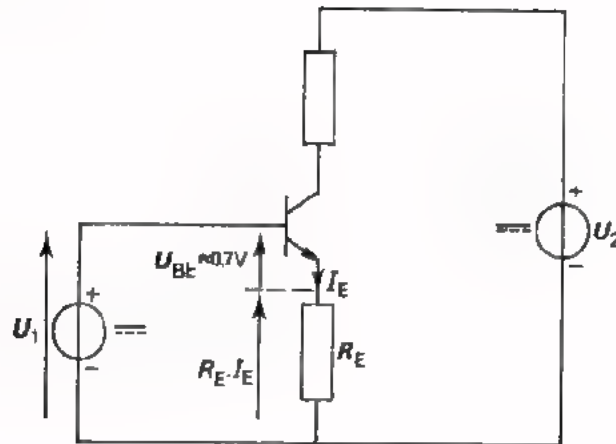
$h_{FE}$  echter loopt bij transistors van hetzelfde type sterk uiteen. Bij de BD 137 bijvoorbeeld van 20 tot 90. Hierdoor zal ook  $I_C$  een grote spreiding hebben.

In de praktijk wil men dit liever niet.

Moet men bijvoorbeeld een serie radio's maken, dan wil men dat een bepaalde transistor in de gebruikte schakeling steeds dezelfde  $I_C$  heeft. Vervangt men in een bestaande schakeling een transistor door een nieuwe van hetzelfde type, dan is er een grote kans dat deze nieuwe een geheel andere  $h_{FE}$  heeft. Daardoor krijgt men dan een geheel andere collectorstroom  $I_C$ .

Men past daarom dikwijls een wat andere schakeling toe, waarbij de  $I_C$ -waarde vrijwel onafhankelijk van de transistor wordt. Op het volgend blad zien we deze schakeling.

## TRANSISTORSCHAKELING MET $R_E$



U ziet dat hier in de emitterleiding een weerstand  $R_E$  is aangebracht. Deze noemt men de *emitterweerstand*. De spanning over  $R_E$  is:

$$U_{RE} = U_1 - U_{BE}$$

waarin men  $U_1$  groot kiest ten opzichte van  $U_{BE}$ . De stroom  $I_E$  door  $R_E$  is dus:

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{U_1 - U_{BE}}{R_E}$$

Uit deze formule volgt dat  $I_E$  afhangt van  $U_1$ ,  $U_{BE}$  en  $R_E$ .

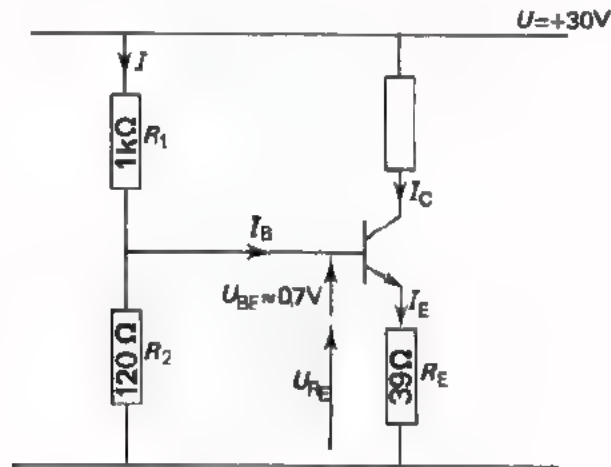
Op het vorige blad zeiden we reeds dat  $U_{BE}$  vrijwel constant is en ongeveer gelijk aan 0,7 V.  $I_E$  wordt dus bepaald door  $U_1$  en  $R_E$  en dit zijn beide grootheden van de schakeling en niet van de transistor.

$I_E$  is dus onafhankelijk van de transistor. We hebben al eerder gezien dat  $I_C$  en  $I_E$  bij een transistor ongeveer even groot zijn; immers  $I_B$  is klein ten opzichte van  $I_C$ .

De conclusie is dus:

Door het aanbrengen van een emitterweerstand  $R_E$  wordt de hoofdstroom  $I_C$  vrijwel *onafhankelijk* van de gebruikte transistor.

VOORBEELD VAN EEN BEREKENING AAN EEN SCHAKELING MET EMITTERWEERSTAND.



Hier ziet u een voorbeeld van een schakeling met een emitterweerstand  $R_E$ . Ga volgende berekening zorgvuldig na.

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{30}{1120} = 27 \text{ mA.}$$

De spanning over  $R_2$  is  $120 \cdot 27 \cdot 10^{-3} = 3,2 \text{ V}$ . Dit is groot ten opzichte van  $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ .

Wat verwaarlozen we bij deze berekening?



$$U_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$\text{Dus } U_{RE} = 3,2 - 0,7 = 2,5 \text{ V.}$$

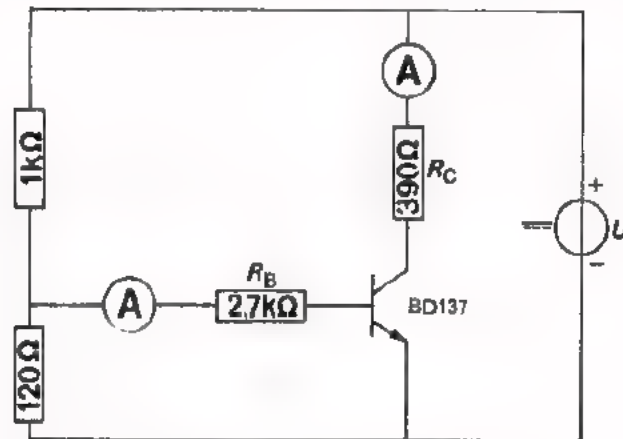
$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{2,5}{39} = 64 \text{ mA.}$$

$$I_C = I_E = 64 \text{ mA.}$$

In deze berekening komt de  $h_{FE}$  van de transistor niet voor. Voor een transistor met een geheel andere  $h_{FE}$  verloopt bovenstaande berekening precies zo. Onafhankelijk van de transistor vinden we dezelfde collectorstroom  $I_C$ .

De basisstroom  $I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$  is nu wel afhankelijk van de toevallige transistor. Deze basisstroom is echter zeer klein en kan verwaarloosd worden ten opzichte van de stroom door  $R_1$  en  $R_2$ .

OPDRACHT: METEN VAN  $I_B$  EN  $I_C$  IN EEN SCHAKELING MET  $R_B$  EN IN EEN SCHAKELING MET  $R_E$ .



- Bouw deze schakeling met  $R_B$  op uw paneel.
- Stel de voedingsspanning in op 30 V.
- Meet  $I_B$  en  $I_C$ .

$$I_B = \boxed{\phantom{000000}} \text{ en } I_C = \boxed{\phantom{000000}}$$

- Breng de voedingsspanning terug tot 0 V.
  - Geef de gemeten waarden op aan de leraar.
- Deze noteert  $I_B$  en  $I_C$  van alle meetgroepen op het bord.

De  $I_B$ -waarden zullen niet veel verschillen.

De waarden van  $I_C$  zullen wel sterk uiteenlopen.

- Sluit de basisweerstand  $R_B$  in de schakeling kort en neem een emitterweerstand  $R_E = 39 \Omega$  op.
- Meet  $I_B$  en  $I_C$  bij een voedingsspanning  $U = 30 \text{ V}$ .

$$I_B = \boxed{\phantom{000000}}, \quad I_C = \boxed{\phantom{000000}}$$

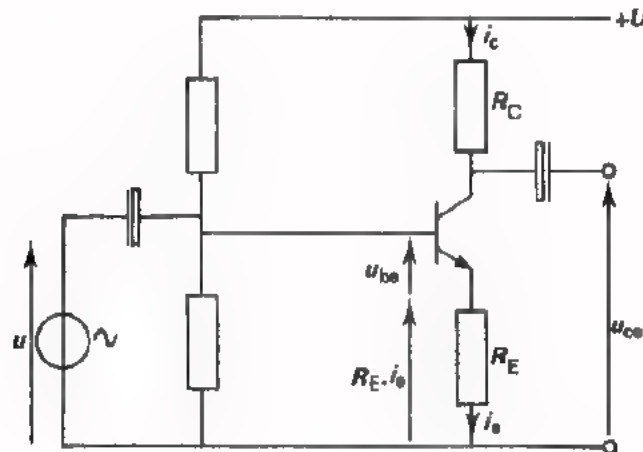
- Geef deze waarden op aan de leraar.
- Nu zal blijken dat de waarden van  $I_C$  onderling niet veel verschillen en de  $I_B$ -waarden wel.

#### CONCLUSIE

Het doel is bereikt. Door aanbrengen van  $R_E$  treedt er bijna geen verschil meer op in  $I_C$  bij verschillende transistors van hetzelfde type.

VERMINDERING VAN DE WISSELSpanningsVERSTERKING DOOR AANBRENGEN VAN DE EMITTERWEER-  
STAND.

We zagen dat het aanbrengen van  $R_E$  voordelen opleverde voor de gelijk-  
stroominstelling. Meestal gebruikt men een GES om wisselspanning te ver-  
sterken. Laten we eens nagaan wat de invloed van  $R_E$  is op de wisselspan-  
ningsversterking  $A_u$ .



De ingangswisselspanning  $u$  verdeelt zich over de transistor en de emitter-  
weerstand.

$$u = u_{be} + R_E \cdot i_e.$$

De toegevoerde wisselspanning komt voor het overgrote deel over  $R_E$  te  
staan, terwijl aan de transistor een v eel kleiner deel  $u_{be}$  wordt toege-  
voerd. Het zal duidelijk zijn dat de wisselstroomversterking:

$$A_u = \frac{u_{ce}}{u} \text{ veel kleiner geworden is.}$$

OPMERKING

Voor de wisselspanningsversterking geldt ongeveer:

$$A_u \approx \frac{R_C}{R_E}$$

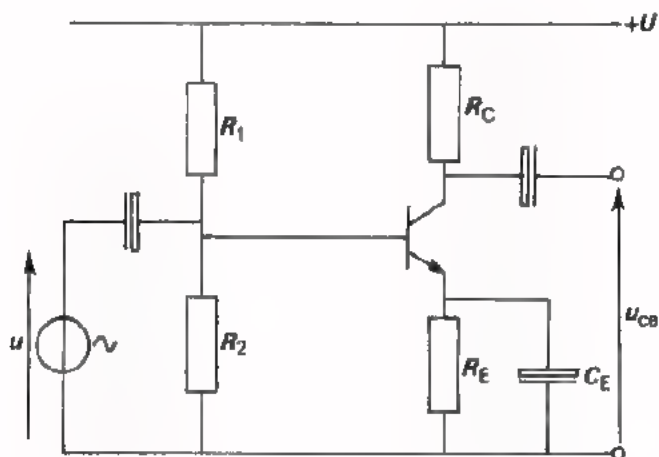
In de praktijk wordt  $R_E$  namelijk z o groot gekozen, dat  $u_{be} \ll R_E i_e$ .

Dan is

$$R_E \cdot i_e \approx u. \text{ Ook is } i_e \approx i_c, \text{ zodat:}$$

$$A_u = \frac{u_{ce}}{u} = \frac{R_C \cdot i_c}{R_E \cdot i_e} \approx \frac{R_C}{R_E}$$

De vermindering van de wisselspanningsversterking is uiteraard een nadeel van de emitterweerstand  $R_E$ . We kunnen dit nadeel echter eenvoudig verhelpen door het aanbrengen van een grote condensator  $C_E$  parallel aan  $R_E$ .



$X_{C_E} = \frac{1}{\omega C_E}$  vormt voor de wisselstroom  $i_e$  vrijwel een kortsluiting, zodat

$$u_{be} \approx u.$$

Nu wordt een aanzienlijk grotere wisselspanningsversterking  $A_u = \frac{u_{ce}}{u}$  bereikt.

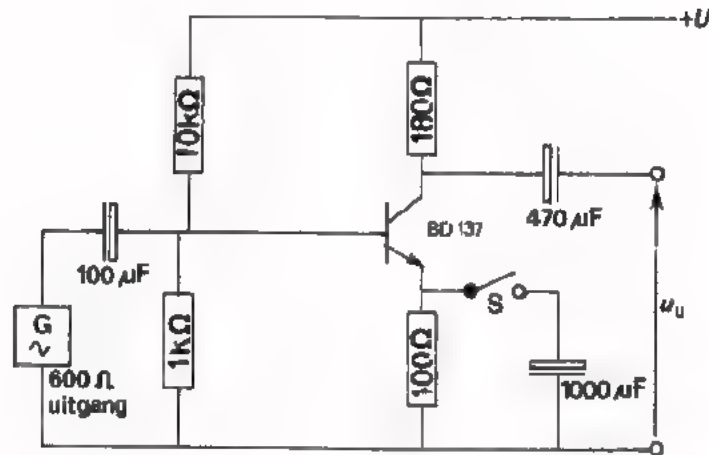
Het aanbrengen van een grote condensator parallel aan een weerstand noemt men *ontkoppelen*.

Men zegt dat  $R_E$  door  $C_E$  is ontkoppeld.

De condensator heet "ontkoppelcondensator".

In een laatste opdracht gaan we  $A_u$  meten van een schakeling met  $R_E$ . Eerst voor het geval zonder  $C_E$ . Daarna voor de schakeling waarin  $R_E$  door  $C_E$  wordt ontkoppeld.

OPDRACHT: METEN VAN  $A_u$  IN DE GES MET  $R_E$ .



- Bouw bovenstaande schakeling.
- Stel  $U$  in op 30 V en maak  $U_{it} = 25$  mV bij 1 kHz. Houd S open.
- Meet  $u_u$  en bepaal  $A_u$ .

$$U_{ut} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mV} \quad \text{en} \quad A_u = \boxed{\phantom{000}}$$

- Sluit S. Stel  $U_{it}$  weer in op 25 mV, meet  $u_u$  en bepaal weer  $A_u$ .

$$U_{ut} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mV} \quad \text{en} \quad A_u = \boxed{\phantom{000}}$$

- Controleer of  $C_E$  de  $R_E$  goed ontkoppelt. Open daartoe eerst S. Stel  $U_{it}$  in op 25 mV en maak  $R_E \cdot i_e$  zichtbaar met de oscilloscoop. Sluit daarna S, regel  $U_{it}$  op 25 mV en bekijk wat er dan overblijft als wisselspanning over  $R_E$  tenminste 10 maal kleiner geworden is.

Conclusie:  $R_E$  wordt  wel/niet voldoende ontkoppeld.



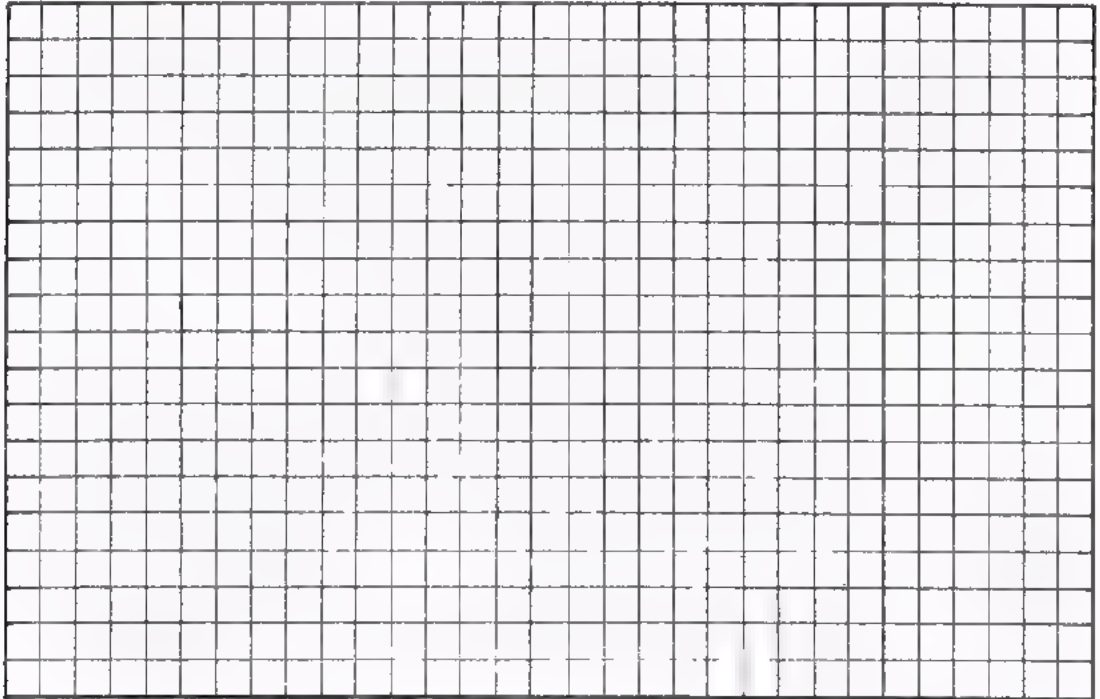
OEFENING

Teken hieronder het gelijkstroom- en het wisselstroomschema van de schakeling op blad B212,7.

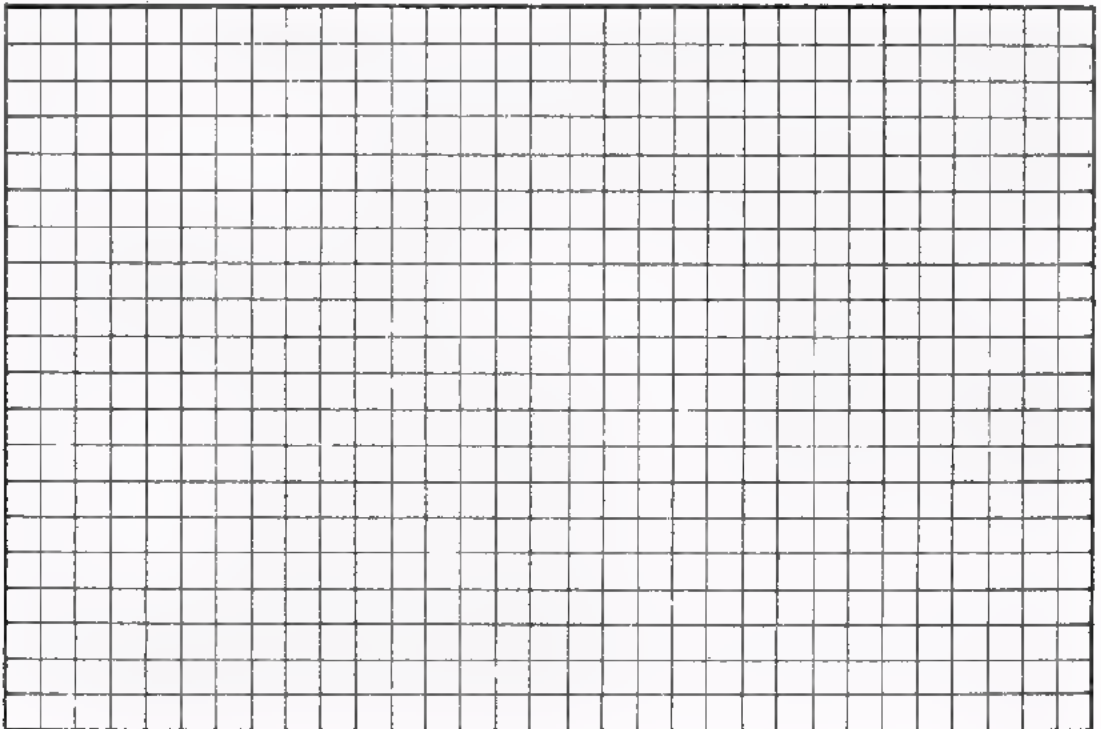
Geef daarbij aan:

$I_B, I_C, U_{BE}, U_{CE}, i_b, i_c, u_{be}$  en  $u_{ce}$ .

Gelijkstroomschema



Wisselstroomschema



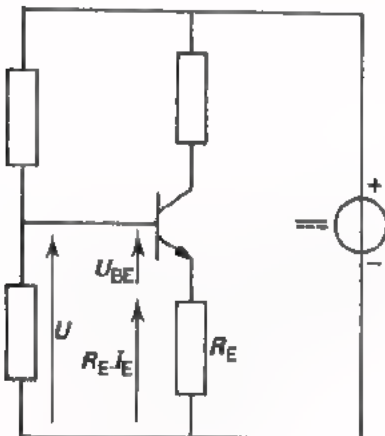
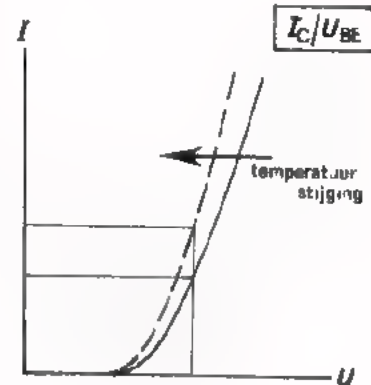
## TEMPERATUURSTABILISATIE

We hebben gezien dat we door het aanbrengen van een emitterweerstand  $R_E$  de invloed van de *spreiding* bij transistors op de grootte van  $I_C$  vrijwel geheel weg kunnen nemen. Er is nog een tweede storende invloed op de grootte van  $I_C$ , namelijk de *temperatuur*. Ook deze wordt door het aanbrengen van  $R_E$  bestreden.

Met de temperatuurinvloed zit het als volgt:

De  $I_C - U_{BE}$  - overdrachtskarakteristiek is een soort diode-karakteristiek. Evenals de diodekarakteristiek verschuift hij bij temperatuurstijging naar de stroomas toe. Als  $U_{BE}$  constant is, heeft de verschuiving bij temperatuurstijging dus een sterke stijging van  $I_C$  tot gevolg.

Dit is om twee redenen ongewenst. In de eerste plaats treedt er bij elke schakeling na het inschakelen een temperatuurstijging op omdat er *immers* elektrisch vermogen aan de transistor wordt toegevoerd. In de tweede plaats kan de omgevingstemperatuur veranderen.



Hiernaast is de schakeling met  $R_E$  nog eens getekend. Hij werkt nu als volgt. Als de temperatuur stijgt, zal  $I_E$  toenemen. Hierdoor neemt ook de spanning  $R_E \cdot I_E$  toe, waardoor  $U_{BE} = U_1 - R_E \cdot I_E$  afneemt. Dit laatste werkt het toenemen van  $I_E$  tegen.

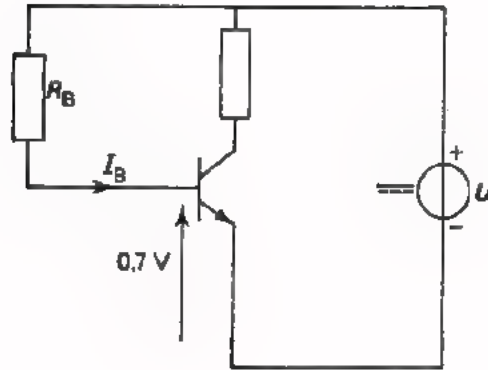
Trouwens ook nu geldt:  $I_E = \frac{U_1 - U_{BE}}{R_E}$

en is nagenoeg onafhankelijk van de transistor. Door  $R_E$  wordt de schakeling minder afhankelijk van de temperatuur. Hij wordt door  $R_E$  *ge-*

*stabiliseerd* voor de temperatuur.

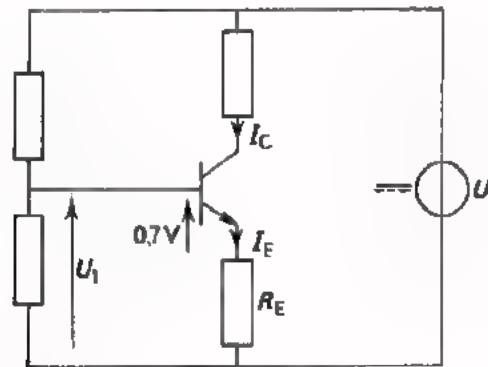
Conclusie: Door het aanbrengen van  $R_E$  wordt  $I_C$  vrijwel constant en onafhankelijk van de transistor gehouden. Dit is zowel van belang bij spreiding van de transistors als bij temperatuurveranderingen van de transistor.

SAMENVATTING



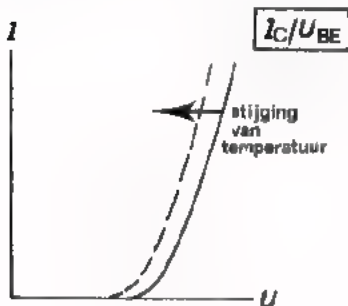
In deze schakeling met  $R_B$  geldt, dat  $I_B \approx \frac{U - 0,7}{R_B}$ .

$I_B$  is vrijwel onafhankelijk van de eigenschappen van de transistor. Deze schakeling geeft voor transistors met verschillende  $h_{FE}$ 's zeer verschillende  $I_C$ 's.

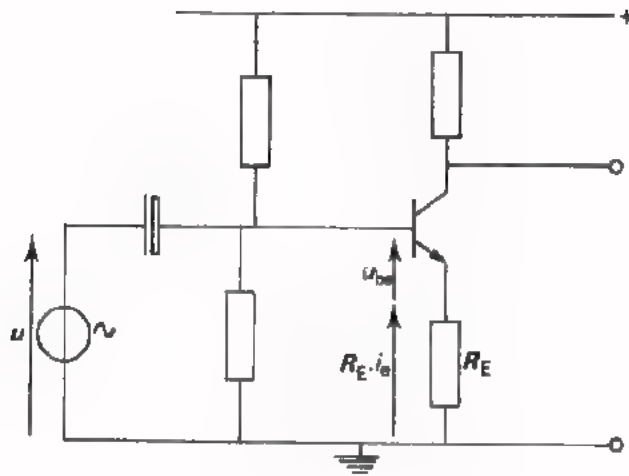


In deze schakeling geldt, dat  $I_E \approx \frac{U_B - 0,7}{R_B} \approx I_C$ .

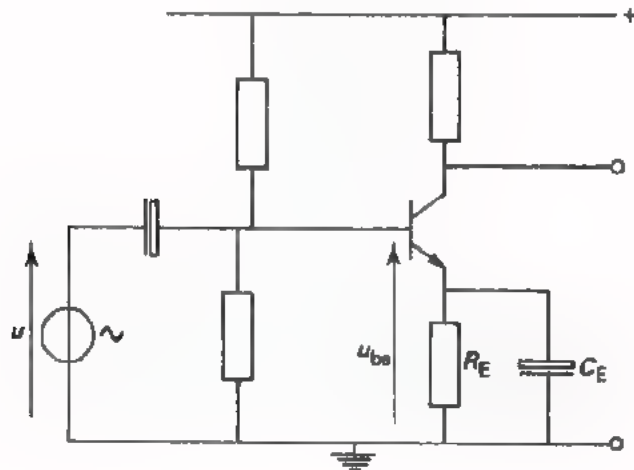
$I_C$  is vrijwel onafhankelijk van de eigenschappen van de transistor. Deze schakeling heeft voor transistors met verschillende  $h_{FE}$ 's nagenoeg dezelfde  $I_C$  en dit wil men bij de meeste toepassingen.



Ook de invloed van temperatuurveranderingen, waardoor de  $I_C - U_{BE}$  - karakteristiek opschuift, wordt door het aanbrengen van  $R_E$  bestreden. Als de temperatuur stijgt, neemt  $I_E$  en dus ook  $R_E \cdot I_E$  toe, waardoor  $U_{BE} = U_1 - R_E \cdot I_E$  afneemt; dit werkt de toeneming van  $I_E$  tegen.



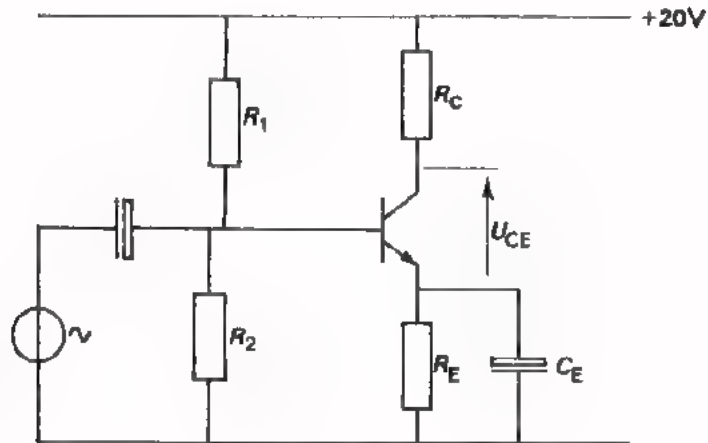
De schakeling met  $R_E$  heeft als nadeel dat de wisselspanningsversterking  $A_u$  kleiner is dan die in de schakeling met  $R_B$ . Dan komt niet de gehele  $u$  tussen b en e te staan. Dit nadeel kan men opheffen door  $R_E$  me behulp van een grote  $C_E$  te ontkoppelen.



NAAM:

KLAS:

OEFENING



In deze schakeling:

$$R_1 = 17,3 \text{ k}\Omega; R_2 = 2,7 \text{ k}\Omega;$$

$$R_E = 400 \text{ }\Omega; R_C = 1,8 \text{ k}\Omega.$$

Hoe groot is  $I_E$  ongeveer?

$$I_E \approx \text{[ ] mA}$$

Hoe groot zijn  $U_{CE}$  en  $R_C \cdot I_C$  dan ongeveer?

$$U_{CE} \approx \text{[ ] V} \text{ en } R_C \cdot I_C \approx \text{[ ] V}$$

Hoe groot is  $A_u$  ongeveer als men  $C_E$  weglaat?

$$A_u \approx \text{[ ]}$$



## FORMULES BIJ DE TRANSISTOR IN GES

## INLEIDING

In de voorafgaande lessen hebben we gezien wat een transistor is en hoe hij ongeveer werkt. Vrijwel direct daarna hebben we een transistor in een geaarde emitterschakeling opgenomen en hebben we vooral aan de hand van grafieken gezien hoe deze schakeling werkt. Bij deze behandeling zijn enkele grootheden ingevoerd, namelijk:

- de gelijkstroomversterkingsfaktor  $h_{FE}$
- de wisselstroomversterkingsfaktor  $h_{fe}$
- de spanningsversterking  $A_u$
- de stroomversterking  $A_i$
- de vermogensversterking  $A_p$
- de ingangswisselstroomweerstand  $h_{ie}$
- de steilheid  $S$

In deze les gaan we deze grootheden nog eens bekijken en bovendien zullen we enkele eenvoudige formules afleiden die deze grootheden met elkaar in verband brengen.

Met behulp van die formules voeren we dan wat eenvoudige berekeningen uit aan de GES.

Op het eerste gezicht lijken deze formules misschien erg ingewikkeld. In de praktijk blijkt het echter nogal mee te vallen.

Tot uw geruststelling nog het volgende:

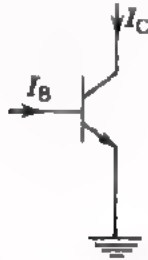
De afleidingen van de formules die in deze les gegeven worden zijn bedoeld om u een dieper inzicht te geven. Op een test zullen we ze u nooit vragen. Ga ze dus niet van buiten leren; dat heeft bij afleidingen trouwens nooit zin!

ENKELE VEEL GEBRUIKTE GROOTHEDEN.

Bij de transistor hebben we kennis gemaakt met een aantal grootheden. We zetten ze hier nog eens bij elkaar.

● *De gelijkstroomversterkingsfactor*

Hieronder verstaan we het quotiënt van de collectorgelijkstroom  $I_C$  en de basisgelijkstroom  $I_B$ .



Gelijkstroomversterkingsfactor:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

● *De wisselstroomversterkingsfactor*

Dit is het quotiënt van de amplitude van de collectorwisselstroom  $i_c$  en die van de basiswisselstroom  $i_b$ .

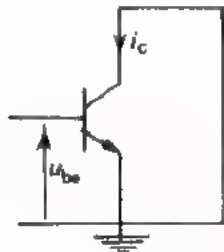


Wisselstroomversterkingsfactor:

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$

● *De steilheid*

Dit is het quotiënt van de collectorwisselstroom  $i_c$  en de ingangswisselspanning  $u_{be}$ .



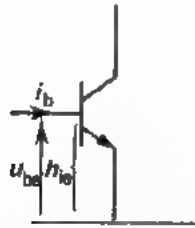
Steilheid:

$$S = \frac{i_c}{u_{be}}$$



*De GES-ingangswisselstroomweerstand  $h_{ie}$*

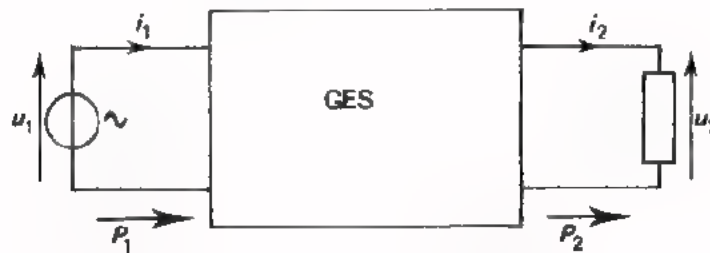
Dit is het quotiënt van wisselspanning en -stroom aan de ingang van de transistor in GES.



GES-ingangswisselstroomweerstand:

$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

Bovenstaande grootheden behoren direct bij de transistor zoals de fabrikant die gemaakt heeft. Hun grootte is alleen afhankelijk van de instelling van de transistor. De volgende grootheden zijn geen transistorgrootheden, maar grootheden van de gehele schakeling, waarin de transistor als versterkend element is opgenomen. We stellen zo'n schakeling voor door een "kastje" met een ingang en een uitgang.



Stellen we de wisselstroom en -spanning aan de ingang voor als  $i_1$  en  $u_1$  en die aan de uitgang door  $i_2$  en  $u_2$ , dan is:

*de wisselstroomversterking*

$$A_i = \frac{i_2}{i_1}$$

*de wisselspanningeversterking*

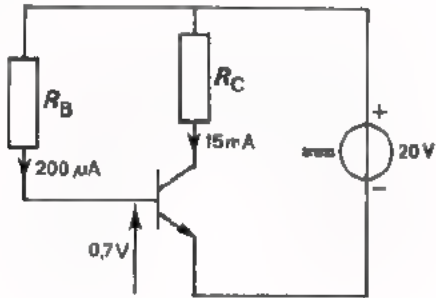
$$A_u = \frac{u_2}{u_1}$$

*de wisselstroomvermogenversterking*

$$A_P = \frac{P_2}{P_1} = A_u \cdot A_i$$

OEFENINGEN

1.



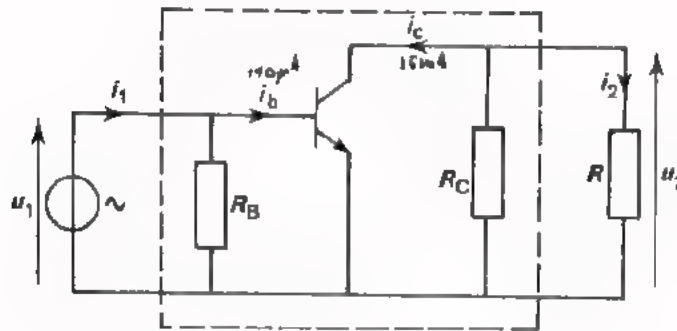
Hoe groot is  $h_{FE}$ ?

$h_{FE} =$

Hoe groot is  $R_B$ ?

$R_B =$

2.



U ziet hier het wisselstroomschema van een GES.

Gemeten is, dat:

$I_{1t} = 250 \mu A$  en  $U_{1t} = 10 mV$

$I_{bt} = 150 \mu A$

$I_{ct} = 15 mA$

$I_{2t} = 10 mA$  en  $U_{2t} = 1,2 V$ .

Hoe groot zijn:

$h_{fe}$ ,  $A_i$ ,  $A_u$  en  $A_p$ ?

$A_i =$

$A_u =$

$h_{fe} =$

$A_p =$

$S =$

FORMULE VOOR DE WISSELSpanningsVERSTERKING MET DE GES.

Met een transistor kunnen we wisselstroom versterken. Als we een kleine basisstroom  $i_b$  toevoeren "maakt de transistor daarvan" een grotere collectorstroom  $i_c$ . Door in de collectorleiding een weerstand  $R_C$  op te nemen, zijn we ook in staat wisselspanning te versterken. Voor  $i_b$  is immers een spanning  $u_{be}$  nodig en over de collectorweerstand ontstaat een spanning  $u_{ce} = R_C \cdot i_c$ . De spanning  $u_{ce}$  kan groter zijn dan  $u_{be}$ , zodat dan wisselspanningsversterking optreedt. We hebben gezien dat we dit schrijven als:

$$A_u = \frac{u_{ce}}{u_{be}}$$

Deze uitdrukking kunnen we anders schrijven:

$$A_u = \frac{u_{ce}}{u_{be}} = \frac{R_C \cdot i_c}{u_{be}} = R_C \cdot \frac{i_c}{u_{be}}$$

Het quotiënt  $\frac{i_c}{u_{be}}$  hebben we de steilheid  $S$  genoemd, zodat:

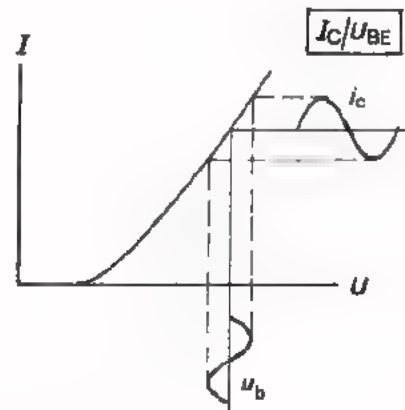
$$A_u = R_C \cdot S$$

of

$$A_u = S \cdot R_C$$

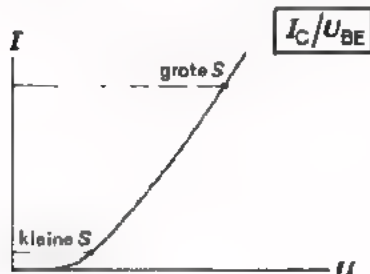
in woorden:

De wisselspanningsversterking van een GES is gelijk aan het produkt van de steilheid en de grootte van de collectorweerstand.



Dit is een handige en veel gebruikte formule.

$S$  is namelijk veelal bekend, zodat bij een gegeven collectorweerstand  $R_C$  onmiddellijk de wisselspanningsversterking uitgerekend kan worden.



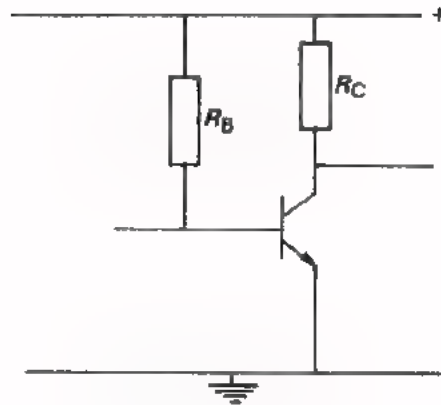
MERK OP: De grootte van  $S$  hangt af van de gelijkstroominstelling. Hoe groter  $I_C$ , des te grotere steilheid  $S$  en des te groter wisselspanningsversterking  $S \cdot R_C$ .

VOORBEELD

In deze GES is de collectorweerstand  $R_C$  gelijk aan  $1\text{ k}\Omega$ .

Bij de gebruikte transistor is opgegeven voor de toegepaste instelling  $S = 100\text{ mA/V}$ .

Hoe groot is de wisselspanningsversterking  $A_u$ ?



Oplossing:

$$A_u = S \cdot R_C$$

$$S = 100\text{ mA/V} = 100 \cdot 10^{-3}\text{ A/V}$$

$$R_C = 1\text{ k}\Omega = 10^3\ \Omega$$

$$A_u = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = \underline{100}$$

OEFENING

Als men in bovenstaand voorbeeld alleen de collectorweerstand wijzigt en die  $800\ \Omega$  maakt, hoe groot wordt dan  $A_u$ ?

$$A_u = \boxed{\phantom{000}}$$

Als men  $R_B$  groter maakt met behoud van dezelfde voedingsspanning, wat gebeurt er dan met de wisselspanningsversterking?

- $A_u$  blijft hetzelfde      0
- wordt kleiner              0
- wordt groter                0

Waarom?

---



---



---



---



---

## FORMULE VOOR DE INGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND.

De ingangswisselstroomweerstand van de GES is, zoals we weten:

$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

Dit kunnen we ook anders schrijven. We vermenigvuldigen teller en noemer eerst met  $h_{fe}$ :

$$h_{ie} = \frac{h_{fe} \cdot u_{be}}{h_{fe} \cdot i_b}$$

$$h_{ie} = \frac{h_{fe} \cdot u_{be}}{i_c}, \text{ want } i_c = h_{fe} \cdot i_b$$

$$h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{u_{be}}{i_c}$$

$$\boxed{h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}}, \text{ want } S = \frac{i_c}{u_{be}}.$$

In woorden:

De ingangswisselstroomweerstand van een transistor in GES is gelijk aan het produkt van stroomversterkingsfactor en de omgekeerde waarde van de steilheid.

## VOORBEELD

Voor een transistor is opgegeven  $h_{fe} = 100$   
bij een bepaalde instelling:  $S = 50 \text{ mA/V}$ .

Hoe groot is dan de ingangswisselstroomweerstand van de transistor in GES?

Oplissing:

$$\begin{aligned} h_{ie} &= h_{fe} \cdot \frac{1}{S} \\ &= 100 \cdot \frac{1}{50} \frac{\text{V}}{\text{mA}} = \underline{\underline{2 \text{ k}\Omega}}. \end{aligned}$$

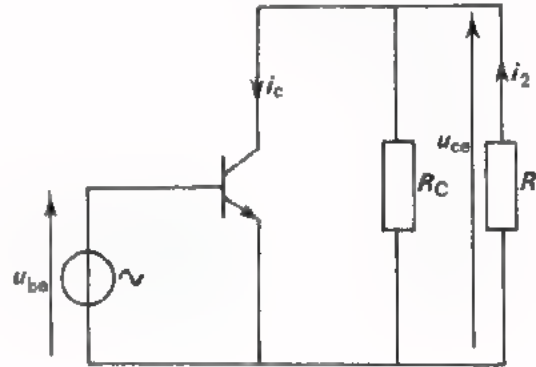
OEFENINGEN

1. Hier volgt een oefening waarbij u al het voorafgaande moet toepassen. Probeer de oplossingen "met verstand" te vinden.

wisselstroomschema

Voor de GES geldt:

- $S = 100 \text{ mA/V}$
- $h_{fe} = 500$
- $R_C = 1,6 \text{ k}\Omega$
- $R = 400 \Omega$
- $u_{be} = 10 \text{ mV}$ .

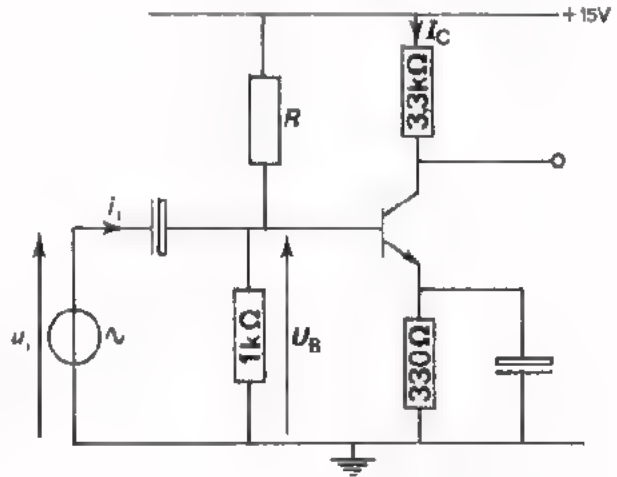


Bereken  $h_{ie}$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ ,  $u_{ce}$ ,  $A_i$ ,  $A_u$  en  $A_P$ .

$h_{ie} =$	<input type="text"/>	$A_i =$	<input type="text"/>
$i_b =$	<input type="text"/>	$A_u =$	<input type="text"/>
$i_c =$	<input type="text"/>	$A_P =$	<input type="text"/>
$u_{ce} =$	<input type="text"/>		

2. Nu nog een oefening waarbij een emitterweerstand in de schakeling is opgenomen.

- Gegeven is:
- $I_C = 2 \text{ mA}$
  - $U_{it} = 18 \text{ mV}$
  - $h_{ie} = 900 \Omega$
  - $h_{fe} = 60$



- Teken het wisselstroomschema.

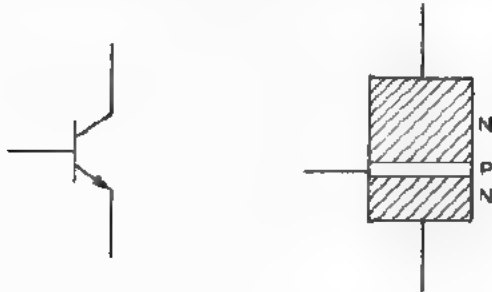
- Bereken:

$R =$	<input type="text"/>	$U_B =$	<input type="text"/>
$I_{bt} =$	<input type="text"/>	$A_i =$	<input type="text"/>
$I_{it} =$	<input type="text"/>	$A_u =$	<input type="text"/>
$I_{ct} =$	<input type="text"/>	$A_P =$	<input type="text"/>
$U_{(ce)t} =$	<input type="text"/>	$S =$	<input type="text"/>

## PNP - TRANSISTORS

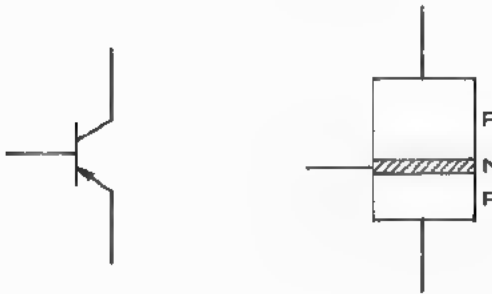
Tenslotte nog iets over PNP-transistors.

De tot nu toe besproken transistors bestaan uit twee N-laagjes silicium en daartussen één dun P-laagje silicium. We noemen ze de NPN-transistors.

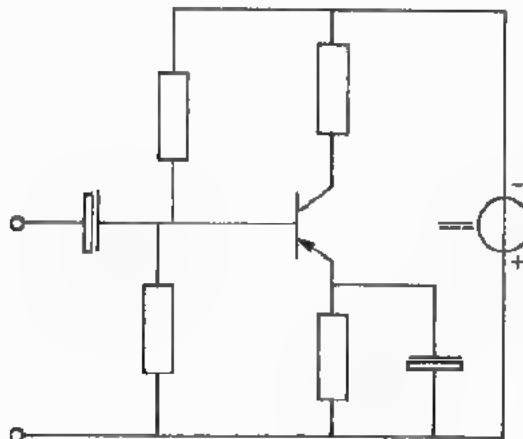


In het schemasymbool van de NPN - transistor wijst de pijl van basis naar emitter. Dit is tevens de richting van de gelijkstroom.

Er zijn ook nog zogenaamde PNP-transistors. Deze bestaan uit twee laagjes P-silicium en daartussen één dun laagje N-silicium.



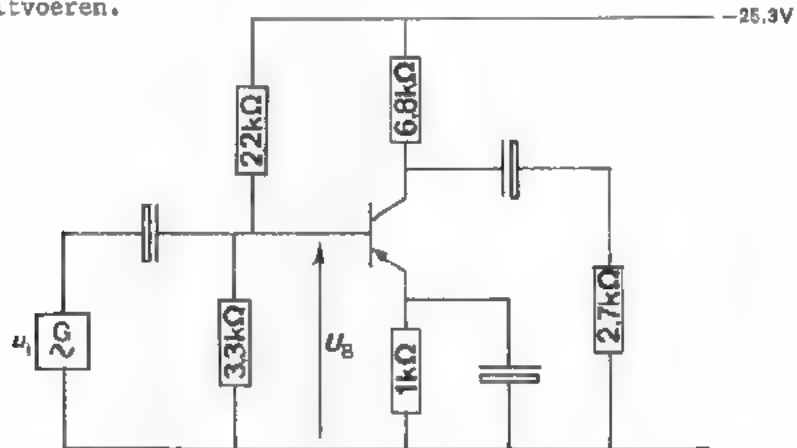
In het schemasymbool van de PNP - transistor wijst de pijl van emitter naar basis



De eigenschappen en de vorm van de karakteristieken zijn bij NPN- en PNP - transistors hetzelfde. Het verschil is de aansluiting van de voedingsspanning. Zoals de pijl in het symbool al aangeeft, is de richting van de gelijkstromen bij een PNP - transistor tegengesteld aan die van de gelijkstromen bij een NPN - transistor. Daarom moet de voedingsspanning tegengesteld worden aangesloten.

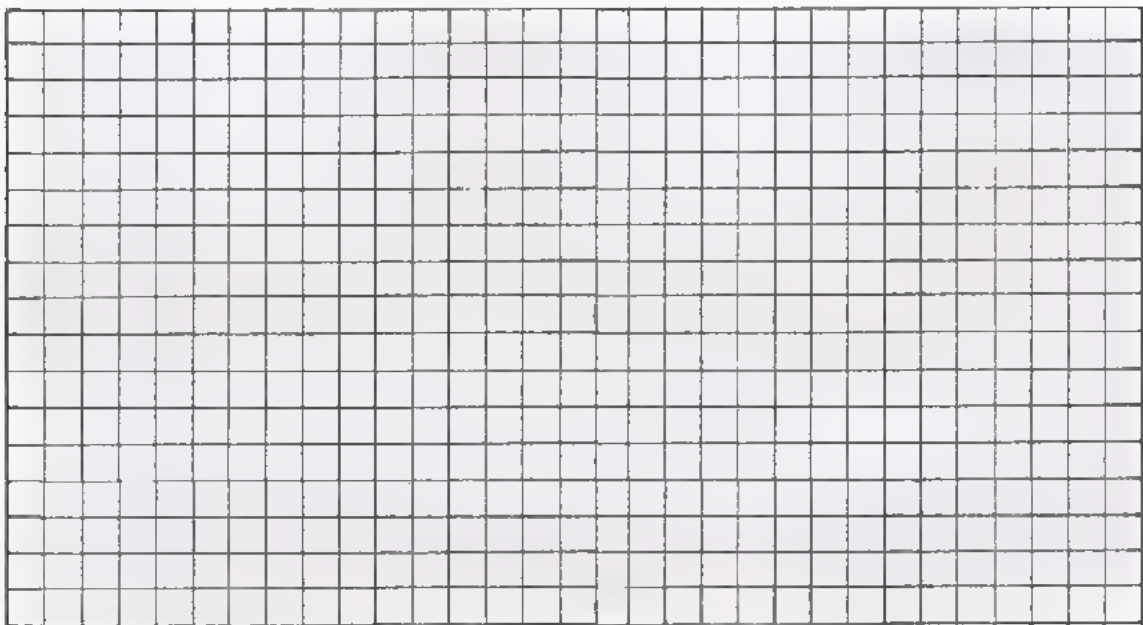
OEFENING

We laten u een beetje wennen aan de PNP - transistor door de al eerder aan de GES uitgevoerde berekening nu eens met een PNP - transistor te laten uitvoeren.



Van deze schakeling is gegeven:  $h_{fe} = 50$  ,  $S = 100 \text{ mA/V}$ ,  
 $U_{it} = 10 \text{ mV}$ ,  $h_{ie} = 500 \Omega$ .

Teken het gelijkstroomschema en het wisselstroomschema:

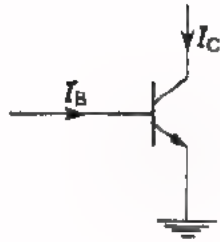


Geef in het gelijkstroom schema de richting van de *elektrische* stromen aan. Bereken  $U_B$ ,  $I_C$ ,  $U_{CE}$ ,  $i_b$ ,  $u_{ce}$  en  $A_u$ .

$U_B =$    
 $I_C =$         $I_{bt} =$         $A_u =$    
 $U_{CE} =$         $U_{(ce)t} =$

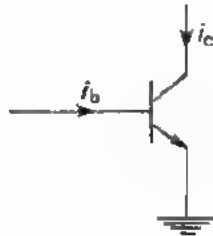


SAMENVATTING



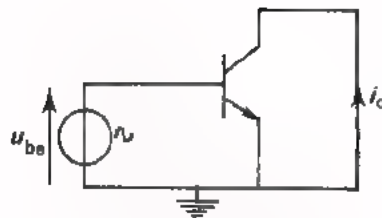
- Gelijkstroomversterkingsfactor

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$



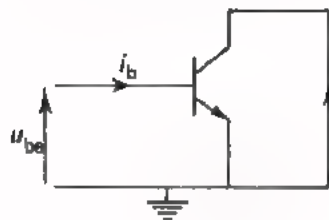
- Wisselstroomversterkingsfactor

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$



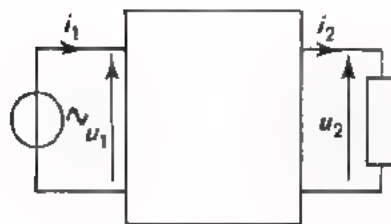
- Steilheid

$$S = \frac{i_c}{u_{be}}$$



- GES - ingangswisselstroomweerstand

$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$



- wisselstroomversterking

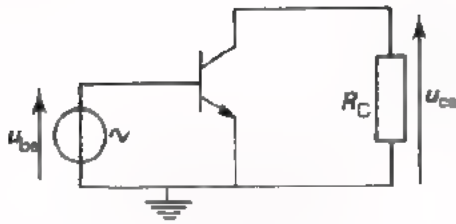
$$A_i = \frac{i_2}{i_1}$$

- wisselspanningsversterking

$$A_u = \frac{u_2}{u_1}$$

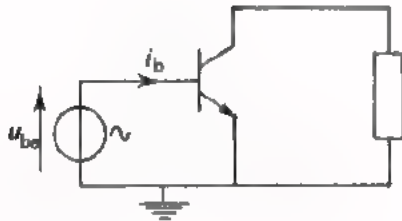
- wisselstroomvermogensversterking

$$A_P = \frac{P_2}{P_1} = A_i \cdot A_u$$



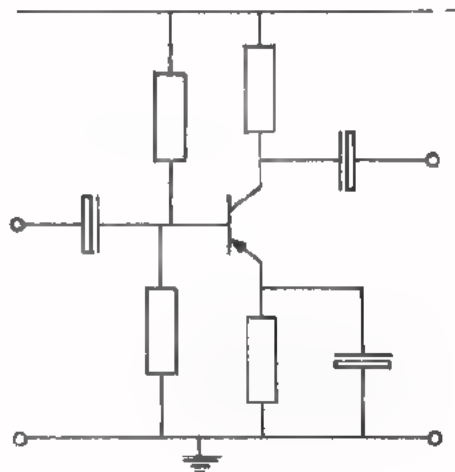
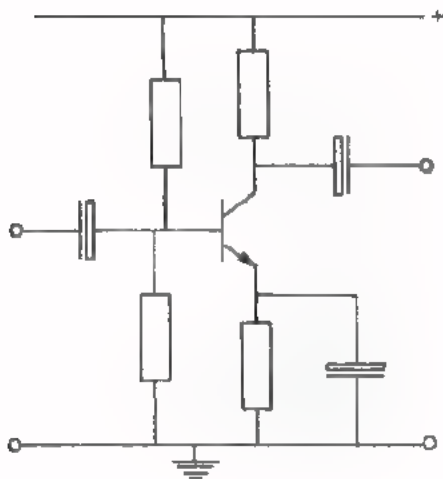
$$A_u = \frac{u_{ce}}{u_{be}} = S \cdot R_C$$

Bedenk:  $S$  is groter naarmate instelstroom  $I_C$  groter is.



$$h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$$

Bedenk:  $h_{ie}$  is kleiner naarmate instelstroom  $I_C$  groter is.



Bij een schakeling met een PNP - transistor is de voedingsspanning net andersom aangesloten als bij een overeenkomstige met een NPN - transistor.

Hierdoor:

- heeft elke overeenkomstige gelijkspanning een tegengestelde polariteit (b.v.  $U_{BE}$  en  $U_{CE}$ ).
- lopen alle gelijkstromen andersom.
- dienen alle elco's andersom aangesloten te worden.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

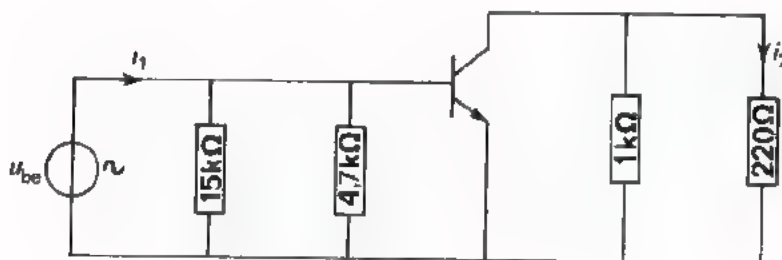
1. Een GES is ingesteld op  $I_C = 2 \text{ mA}$ . Zijn  $h_{ie}$  is dan  $1 \text{ k}\Omega$ . Hoe groot wordt zijn  $h_{ie}$  als men  $I_C$  zoveel groter maakt dat zijn steilheid 4 maal zo groot wordt?

$$h_{ie} = \text{  }$$

2. Van een GES vindt men door meting  $h_{ie} = 1200 \Omega$  en  $h_{fe} = 300$ . Hoe groot is dan zijn steilheid?

$$S = \text{  } \text{ mA/V}$$

3.



Dit is het wisselstroomschema van een GES.

Gegeven is:  $h_{ie} = 1,25 \text{ k}\Omega$

$h_{fe} = 400$

$U_{(be)t} = 1 \text{ mV}$ .

Bereken  $S$ ,  $A_i$ ,  $A_u$  en  $A_p$ .

$$S = \text{  } \text{ mA/V}$$

$$A_i = \text{  }$$

$$A_u = \text{  }$$

$$A_p = \text{  }$$



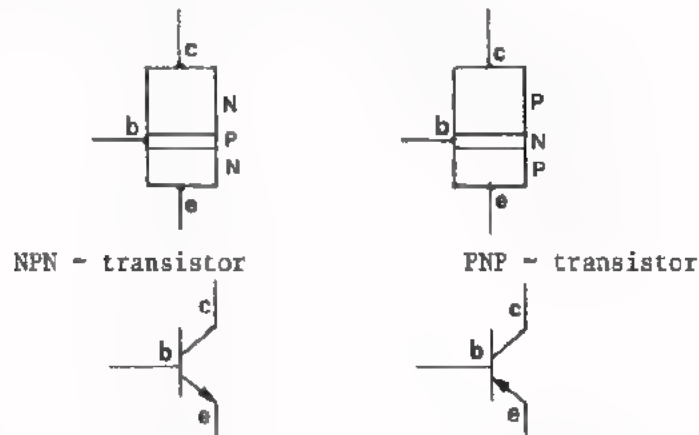
## HERHALING TRANSISTOR 1

## INLEIDING

We hebben nu 7 lessen achter de rug, waarin we kennis maakten met de laagstransistor. Het is zeker geen gemakkelijk stuk uit het B-deel van de cursus. In deze les gaan we het voorgaande daarom nog eens grondig herhalen, voordat we ons verder verdiepen in het gebruik van de transistor. Deze les is ingevoegd zodat u de materie goed kunt verwerken; een testles kunnen we nog niet laten volgen omdat we dan vrijwel dezelfde vragen moeten geven, als in deze les opgenomen zijn.

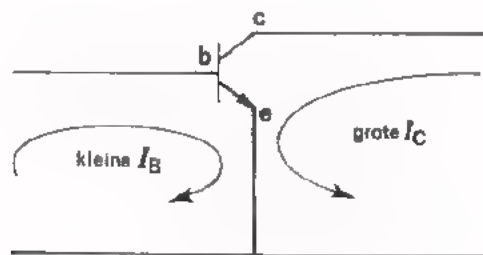
- Werk deze les goed door.
- Bestudeer de samenvattingen van de voorafgaande lessen nog eens goed.
- Als u iets nog niet geheel duidelijk is, vraag dan uw leraar om nadere uitleg.
- Let op in welke oefeningen u fouten maakt en ga vooral na waarom u die maakt.

- Een lagetransistor is een halfgeleidercomponent.  
Hij komt in twee uitvoeringsvormen voor.



De pijl in het schema symbool geeft de richting aan van de elektrische stroom.

- De werking is in de schakeling als volgt:



Een kleine  $I_B$  veroorzaakt een grote  $I_C$ .  
Er treedt dus versterking op.

$\frac{I_C}{I_B}$  noemen we de *gelijkstroomversterkingsfactor*.

Deze wordt aangegeven met  $h_{FE}$ , dus:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Dat we hier te maken hebben met een *gelijkstroomversterkingsfactor* kan men zien aan de hoofdletters F en E.

Hoe groot kan  $h_{FE}$  zijn?

$h_{FE}$  ligt praktisch tussen 20 en 2000.

Dit te weten is van belang om te kunnen beoordelen of het resultaat van een meting of de uitkomst van een vraagstuk juist kan zijn.

Vindt men  $h_{FE} = 3$  dan moet dit wel fout zijn.  $h_{FE} = 10^6$  kan ook niet goed zijn.

## DE GELIJKSTROOMSCHAKELING

Om een transistor te laten werken moet hij voorzien worden van twee gelijkspanningen en twee gelijkstromen:  $U_{BE}$ ,  $U_{CE}$ ,  $I_B$  en  $I_C$ .

$U_{BE}$  is de gelijkspanning tussen basis en emitter.

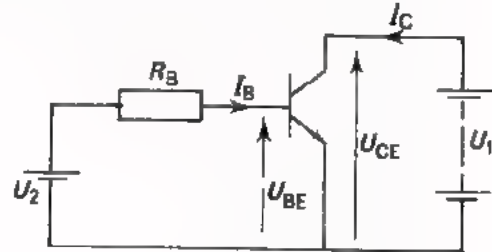
$U_{CE}$  is die tussen collector en emitter.

$I_B$  en  $I_C$  zijn respectievelijk de basis- en de collector gelijkstroom.

Deze spanningen en stromen kan men op verschillende manieren toevoeren.

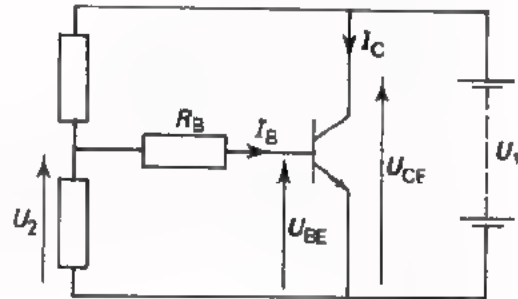
### ● Met twee spanningsbronnen.

$R_B$  is nodig om de transistor te beschermen tegen teveel stroom.



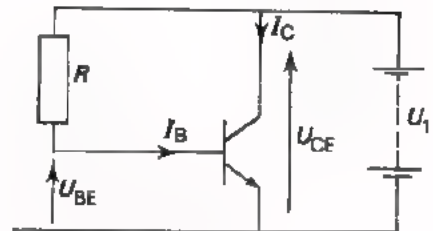
### ● Met één spanningsbron.

De spanning  $U_2$  wordt via een spanningsdeler verkregen uit dezelfde spanningsbron als  $U_{CE}$ .

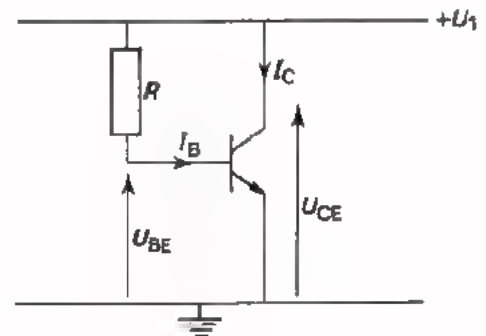
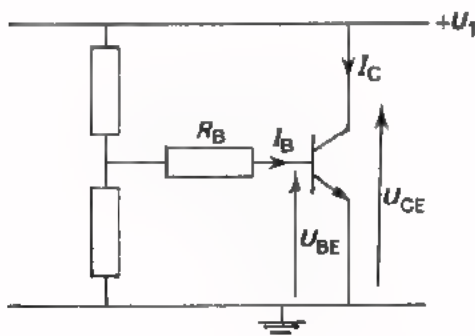


### ● Ook met één spanningsbron.

Dit is de eenvoudigste schakeling met slechts één voedingsbron.



Vaak tekent men de spanningsbron helemaal niet en geeft dan het schema als volgt weer:

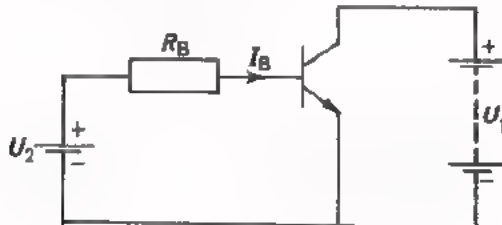


TEST UZELF

Opmerking vooraf.

$U_{BE}$  is de doorlaatspanning van de diode tussen basis en emitter. Bij een siliciumdiode bedraagt deze ongeveer 0,7 V. Houd dit aan bij volgende oefeningen.

1.

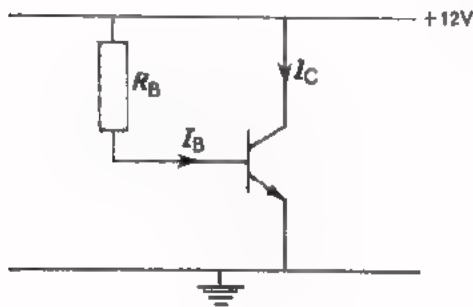


$U_1 = 20 \text{ V}$  en  $U_2 = 6 \text{ V}$ .

Hoe groot moet men  $R_B$  nemen opdat  $I_B = 100 \mu\text{A}$ ?

$R_B \approx$

2.



Hier geldt dat  $I_C$  gelijk moet zijn aan 30 mA, terwijl  $h_{FE} = 100$ .

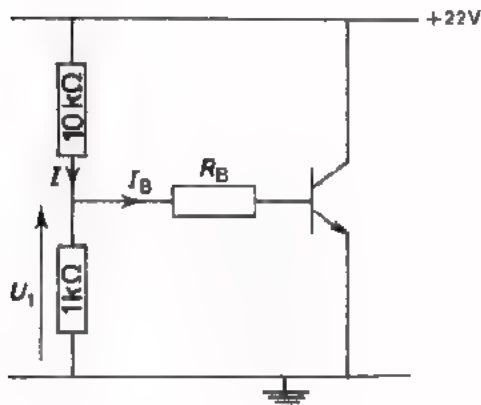
Hoe groot moet  $I_B$  dan zijn?

$I_B =$

Hoe groot dient men  $R_B$  te nemen?

$R_B \approx$

3.



$I_B$  is véél kleiner dan  $I$ .

Hoe groot is  $I$  ongeveer?

$I \approx$

Hoe groot is  $U_1$  ongeveer?

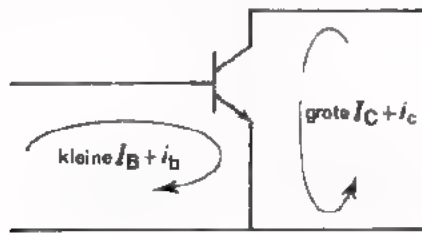
$U_1 \approx$

Hoe groot dient  $R_B$  te zijn opdat  $I_B = 40 \mu\text{A}$ ?

$R_B \approx$



HET VERWERKEN VAN WISSELSTROOM DOOR EEN TRANSISTOR IN GEMEENSCHAPPELIJKE EMITTER-SCHAKELING

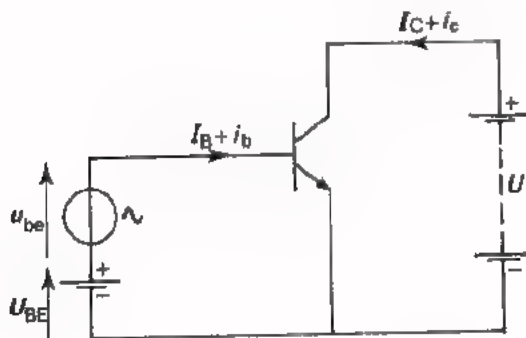


Men kan aan een transistor in GES behalve de gelijkstroom  $I_B$  ook nog een wisselstroom  $i_b$  toevoeren. Er gaat dan behalve de gelijkstroom  $I_C$  ook een wisselstroom  $i_c$  lopen die veel groter is dan  $i_b$ . Er treedt dus wisselstroomversterking op.

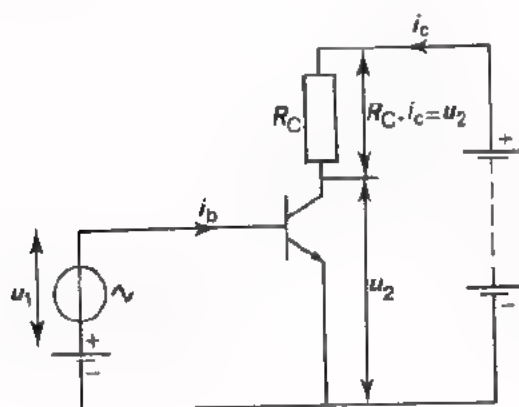
We noemen  $\frac{i_c}{i_b}$  de wisselstroomversterkingsfactor  $h_{fe}$ .

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$

Hier kleine letters f en e, omdat het wisselstromen betreft.  $i_c$  en  $i_b$  zijn in fase.



Om een kleine  $i_b$  toe te voeren is een kleine  $u_{be}$  nodig.

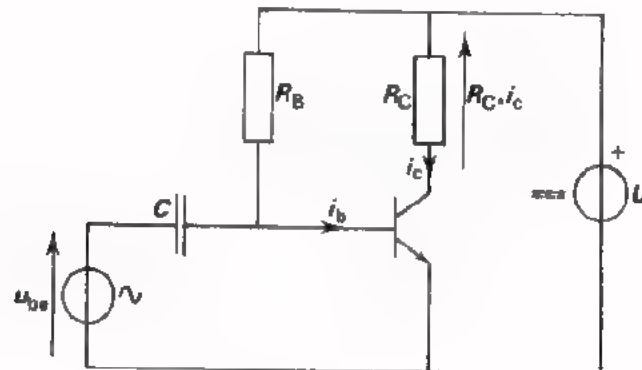


Om aan de uitgang niet alleen een versterkte wisselstroom, maar ook een versterkte wisselspanning te verkrijgen, brengt men een weerstand  $R_C$  in de collectorleiding aan. Over  $R_C$  ontstaat een wisselspanning  $R_C \cdot i_c$  die meestal groter is dan  $u_1$ . Deze wisselspanning staat ook over de transistor.

Er vindt wisselspanningsversterking plaats.

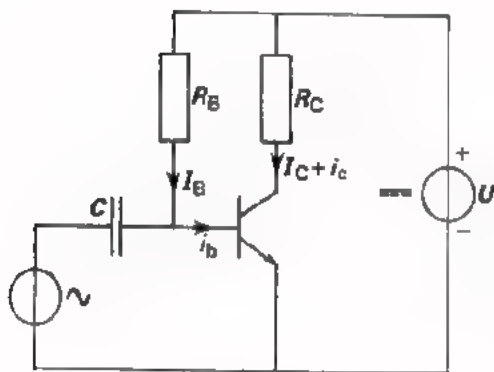
$$A_u = \frac{u_2}{u_1}$$

Een meer praktische GES ziet u in volgend schema. Hier wordt met één voedingsbron gewerkt.



De condensator  $C$  is aangebracht om basis en emitter voor gelijkspanning niet via de generator kort te sluiten. Voor wisselstroom is deze  $C$  vrijwel een kortsluiting.

TEST UZELF



$I_C = 10 \text{ mA}$  en  $I_{ct} = 5 \text{ mA}$

$h_{FE} = 250$  en  $h_{fe} = 200$ .

Bereken  $I_B$  en  $i_b$ .

$I_B =$

$I_{bt} =$

Hoe groot is  $R_C$  als de amplitude van de wisselspanning over

$R_C : U_t = 4 \text{ V}$  bedraagt?

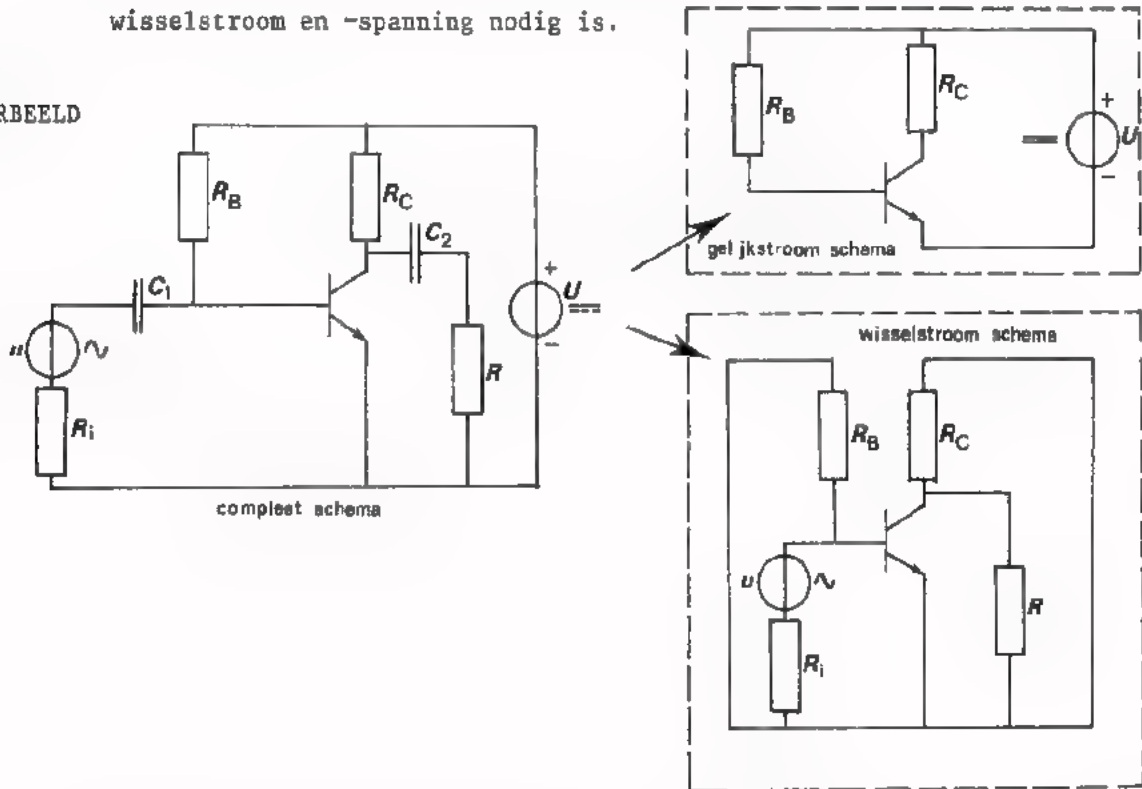
$R_C =$

## HET GELIJK- EN HET WISSELSTROOMSCHEMA

Men moet bij een transistorschakeling het *gelijkstroomgedrag* en het *wisselstroomgedrag* niet door elkaar halen. Om deze verwarring te voorkomen is het sterk aan te bevelen om telkens apart een gelijkstroomschema en een wisselstroomschema te tekenen.

In het gelijkstroomschema komt alleen d at voor wat voor de gelijkstroom en -spanning van belang is. In het wisselstroomschema alleen wat voor wisselstroom en -spanning nodig is.

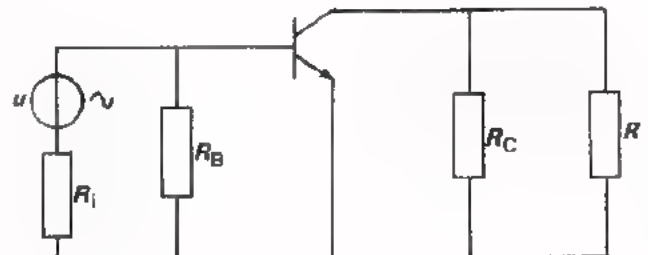
VOORBEELD



In het gelijkstroomschema komen  $C_1$  en  $C_2$  en hetgeen daarvoor (resp. daarachter) zit niet voor, omdat daar geen gelijkstroom kan lopen. In het wisselstroomschema komen  $C_1$  en  $C_2$  niet voor, omdat  $X_{C_1}$  en  $X_{C_2}$  beide nagenoeg nul zijn. Verder is ook de voedingsbron als een kortsluiting voor wisselstroom te beschouwen.

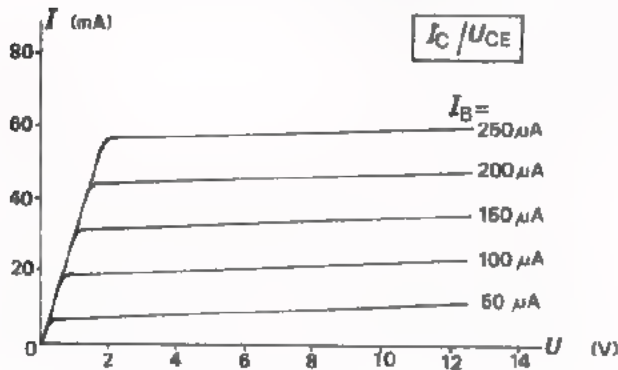
Tenslotte is het wisselstroomschema handiger te tekenen:

Men ziet nu beter dat  $R_B$  parallel aan de transistor-ingang staat. Bovendien dat  $R_C$  en  $R$  parallel aan de transistor-uitgang staan en dat  $u_{ce}$  even groot is als de wisselspanning over  $R_C$ .

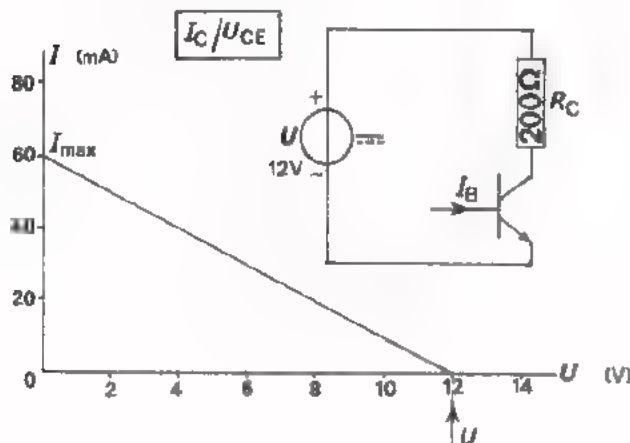


DE UITGANGSKARAKTERISTIEKEN EN DE BELASTINGSLIJN BIJ DE TRANSISTOR IN GES

Bij de behandeling van de transistor in de geaarde emitterschakeling hebben we een aantal karakteristieken leren kennen. We beginnen hier met de uitgangskarakteristiek die voor praktisch gebruik de belangrijkste is. Met behulp van de uitgangskarakteristieken kan men de gelijkstroominstelling van de transistor goed overzien. Bovendien kan men nagaan hoe wisselstroom en -spanning verwerkt worden.

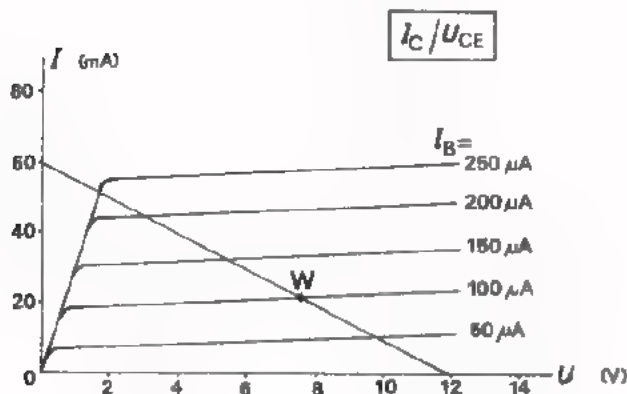


Men geeft altijd een bundel uitgangskarakteristieken. Elke karakteristiek geeft het verband tussen  $I_C$  en  $U_{CE}$  voor één bepaalde waarde van  $I_B$ .



De transistor is als het ware aangesloten op de serieschakeling van de voedingsbron en de weerstand  $R_C$ .

De belastingslijn loopt van het punt  $U$  op de  $U_{CE}$ -as naar het punt  $I_{MAX} = \frac{U}{R_C}$  op de  $I_C$ -as.

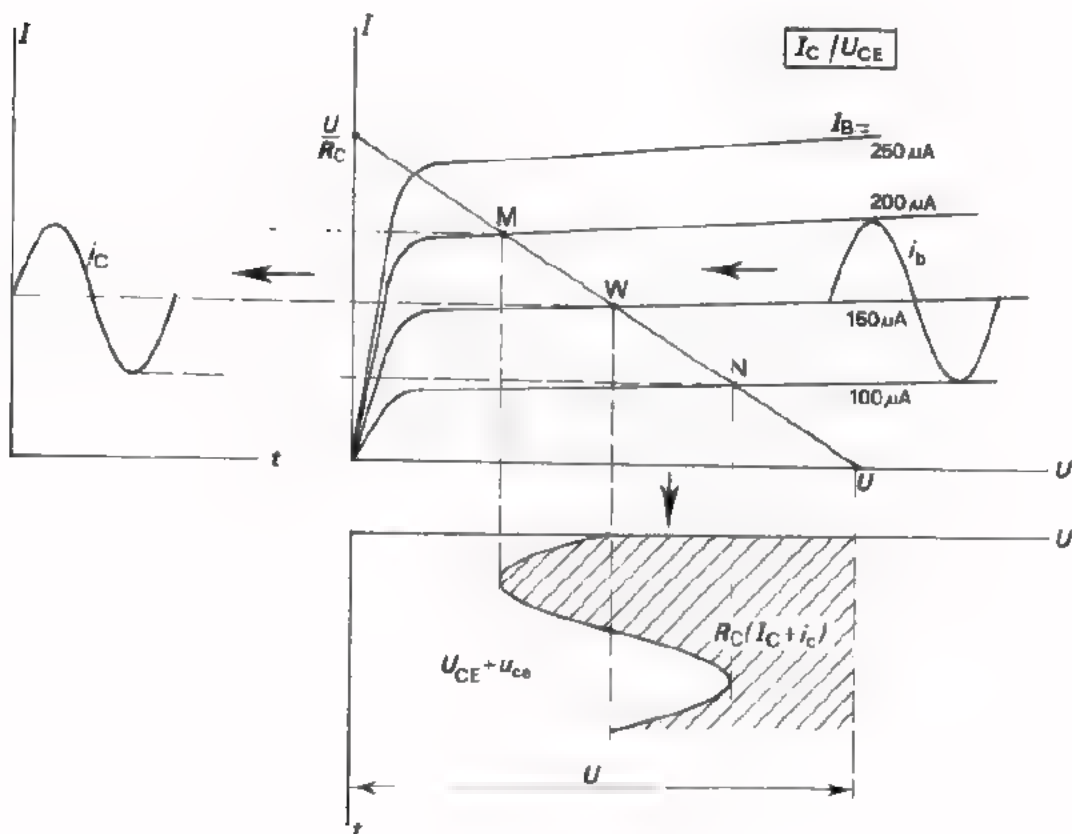


Door nu de uitgangskarakteristieken te combineren met de belastingslijn vindt men het instelpunt  $W$  bij een bekende waarde van  $I_B$ .

In dit voorbeeld  $I_B = 100 \mu A$ .

Wordt er aan de transistor behalve de instelstroom ook nog een wisselstroom  $i_b$  toegevoerd, dan schuift de instelling elke periode langs de belastingslijn heen en weer.

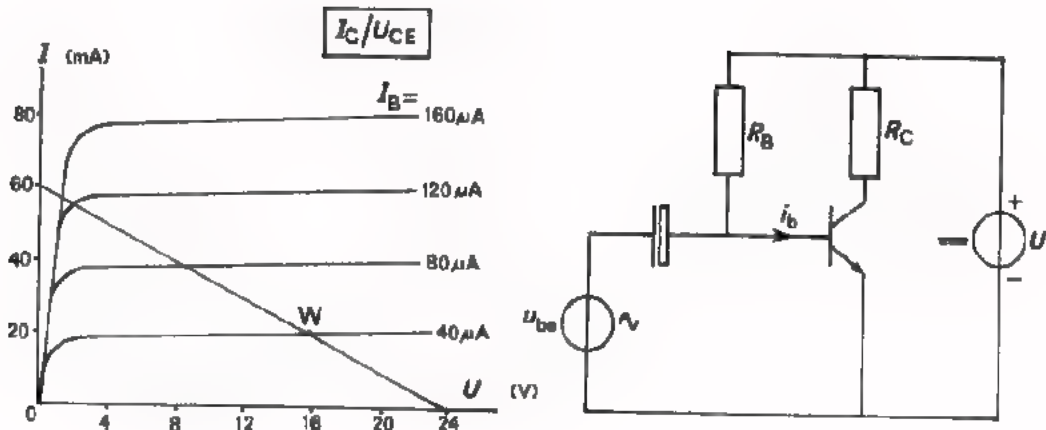
In volgend voorbeeld is dit getekend. De verschuiving geschiedt tussen de punten M en N. De basiswisselstroom heeft blijkbaar een amplitude  $i_b = 50 \mu\text{A}$ .



Door overhalen naar *links* kan men dan in een grafiek tekenen hoe groot  $I_C$  op verschillende ogenblikken is. Door overhalen naar *onder* kan men bovendien in een grafiek construeren hoe groot  $U_{CE}$  op verschillende momenten is.

Zo krijgt men een goed overzicht hoe de wisselstroom  $i_b$  door de transistor in GES wordt verwerkt.

TEST UZELF



Bovenstaande karakteristieken en de belastinglijn gelden voor de gegeven schakeling.

Ga na hoe groot de volgende grootheden zijn:

$U =$	<input type="text"/>	V	$I_C =$	<input type="text"/>	mA
$U_{CE} =$	<input type="text"/>	V	$R_C \cdot I_C =$	<input type="text"/>	V
$R_C =$	<input type="text"/>				

Bereken  $R_B$

$R_B =$

In het werkpunt W geldt  $h_{FE} =$

De maximale  $i_b$  waarbij nog net geen niet-lineaire vervorming optreedt bedraagt:

$I_{b(t)max} =$    $\mu A$

Niet-lineaire vervorming waarbij  $i_c$  aan beide zijden afgeplat gaat worden zal optreden als  $i_b$  groter wordt dan:

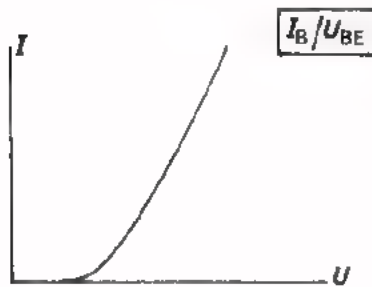
$\mu A$

## KARAKTERISTIEKEN BIJ EEN TRANSISTOR IN GES

We hebben nog met twee andere karakteristieken kennis gemaakt.

### • De ingangskarakteristiek.

Deze heeft het verloop van een diodekarakteristiek, omdat aan de ingang van een transistor een halfgeleiderdiode aanwezig is.

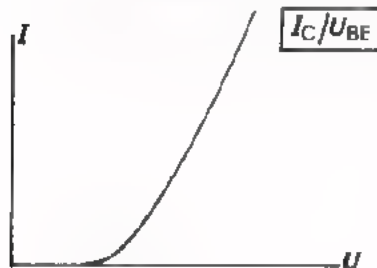


De eigenschappen aan de ingang van een transistor in GES kan men aan de hand van deze karakteristiek gemakkelijk inzien. Ten gevolge van de kromming van deze karakteristiek:

- neemt  $R_{ing} = h_{ie}$  af als de instelgelijkstroom toeneemt;
- treedt niet-lineaire vervorming op bij toevoer van een grote wisselspanning  $u_{be}$ .

### • De overdrachtskarakteristiek.

Bij deze karakteristiek staat  $I_C$  verticaal en  $U_{BE}$  horizontaal.



Aangezien  $I_C = h_{FE} \cdot I_B$  kan men zich de overdrachtskarakteristiek ontstaan denken uit de ingangskarakteristiek door vermenigvuldiging met  $h_{FE}$ . Ook hij verloopt dus als een diodekarakteristiek.

- Uit deze karakteristiek is duidelijk te zien dat bij grotere  $I_C$  ook grotere versterking optreedt. Dezelfde wisselspanning  $u_{be}$  geeft bij grotere  $I_C$  immers een grotere wisselstroom  $i_c$ .

We noemen  $\frac{i_c}{u_{be}}$  de steilheid  $S$ .

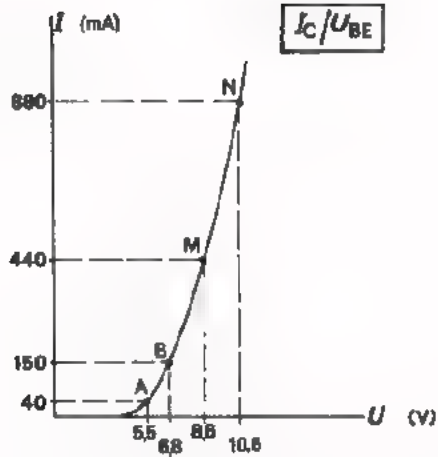
Van groot belang is:

$$A_u = S \cdot R_C$$

- Uit de overdrachtskarakteristiek blijkt dat bij grote  $u_{be}$  niet-lineaire vervorming van  $i_c$  aan de uitgang ontstaat.

TEST UZELF

1.



• Dit is een:

karakteristiek

• Bepaal de steilheid  $S$  tussen A en B

$S =$

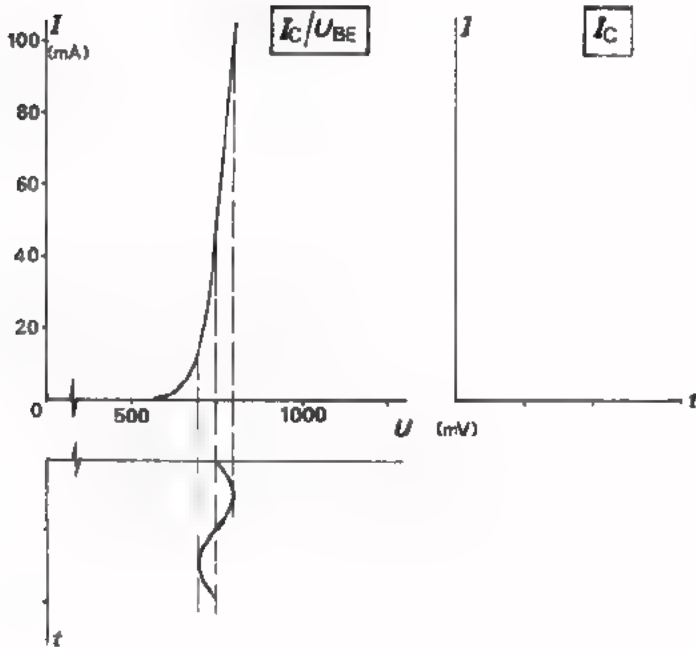
Bepaal  $S$  ook tussen M en N

$S =$

Hoe groot is de wisselspanningsversterking  $A_u$  als  $R_C = 1,2 \text{ k}\Omega$  in beide gevallen?

en

2.



Construeer de grafiek van  $I_C$ .

Bepaal de positieve en de negatieve topwaarde van de vervormde wisselstroom  $i_c$ .

$I_{ct+} =$   mA

$I_{ct-} =$   mA

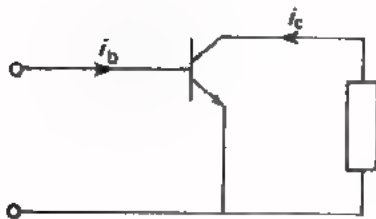
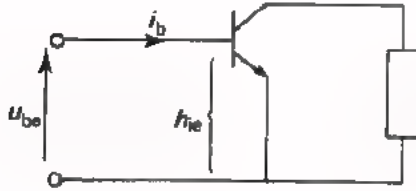
Hoe groot is hier de steilheid?

$S =$   mA/V

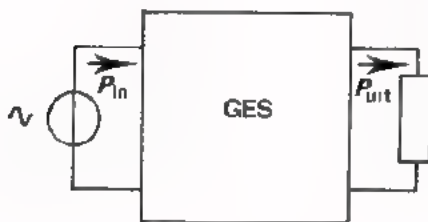
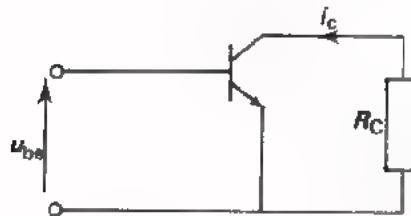
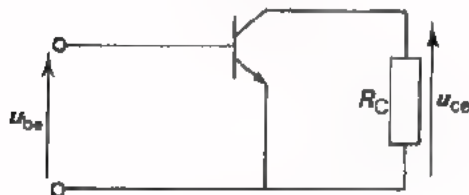


FORMULES

We hebben voor de GES een paar simpele formules afgeleid. We zetten deze formules hier nog eens bij elkaar.



Van een complete schakeling wordt de wisselstroomversterking  $A_i$  genoemd.  $A_i$  is kleiner dan  $h_{fe}$ .



Een GES aangesloten op een wisselstroombron vormt voor die bron een wisselstroombelastingsweerstand.

Deze is de:

$$R_{ing} = h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

Deze ingangsweerstand blijkt als volgt samen te hangen met de steilheid  $S$  en de wisselstroomversterkingsfactor  $h_{fe}$ .

$$h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$$

De wisselstroomversterking van een transistor in GES bedraagt:

$$\frac{i_c}{i_b} = h_{fe}$$

De wisselspanningsversterking  $A_u$  van een GES bedraagt:

$$\frac{u_{ce}}{u_{be}} = A_u = S \cdot R_C$$

De uitgangswisselstroom  $i_c$  die er loopt als men  $u_{be}$  aan een GES toevoert is:

$$i_c = S \cdot u_{be}$$

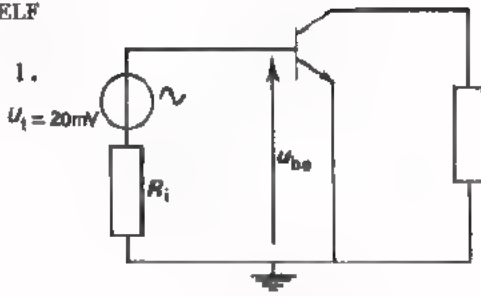
De wisselstroomvermogensversterking

$$A_p = \frac{P_{uit}}{P_{in}}$$

bedraagt:

$$A_p = A_u \cdot A_i$$

TEST UZELF



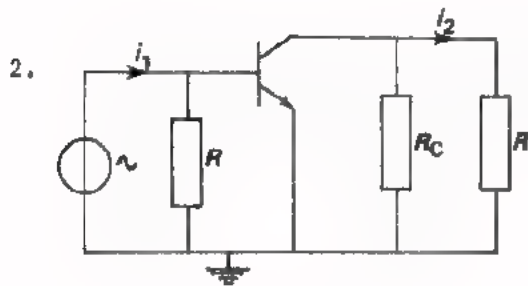
wisselstroomschema

$R_i = 1 \text{ k}\Omega$   
 $h_{fe} = 400$   
 $S = 100 \text{ mA/V}$

Bereken  $h_{ie}$  en  $u_{be}$ .

$h_{ie} =$    $\text{k}\Omega$

$U_{(be)t} =$    $\text{mV}$

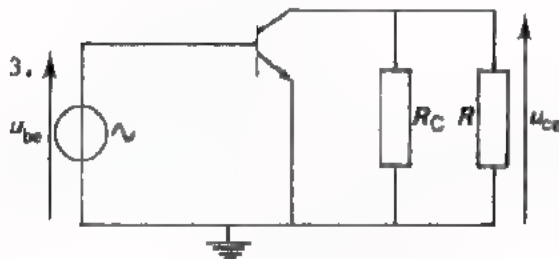


wisselstroomschema

$R_B = 100 \text{ k}\Omega$ ;  $h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$ ;  
 $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ;  
 $h_{fe} = 300$ .

Bereken hoe groot  $A_i = \frac{i_2}{i_1}$  ongeveer is.

$A_i \approx$



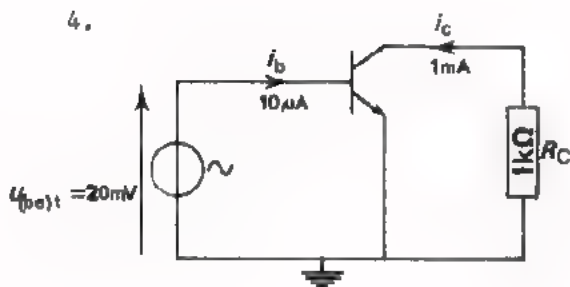
wisselstroomschema

$R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R = 250 \Omega$ ;  
 $S = 100 \text{ mA/V}$ ;  $U_{(ce)t} = 0,2 \text{ V}$ .

Bereken  $i_c$  en  $u_{be}$ .

$I_{c(t)} =$    $\text{mA}$

$U_{(be)t} =$    $\text{mV}$



Bereken  $A_p$ .

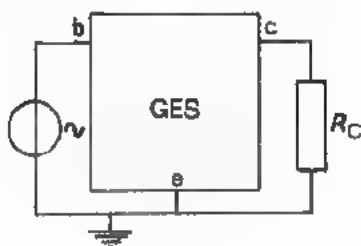
$A_p =$

## DE GEMEENSCHAPPELIJKE BASISSCHAKELING

## DE DRIE GRONDSCHAKELINGEN

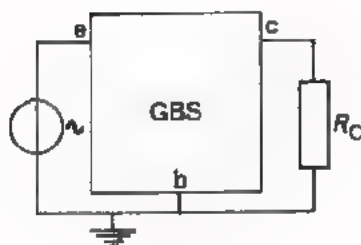
Tot nu toe hebben we het bij de behandeling van de transistor steeds gehad over de gemeenschappelijke (of geaarde) emitterschakeling, de GES. Er zijn echter nog twee andere schakelingen mogelijk. Bij de ene is de collectoraansluiting gemeenschappelijk en bij de andere de basisaansluiting.

Hieronder ziet u de blokschema's van deze drie mogelijke schakelingen.



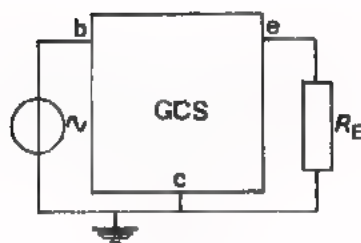
## ● GES

Gemeenschappelijke (of geaarde) emitterschakeling. De spanning wordt afgenomen over  $R_C$ .



## ● GBS

Gemeenschappelijke (of geaarde) basisschakeling. Ook hier wordt de spanning afgenomen over  $R_C$ .



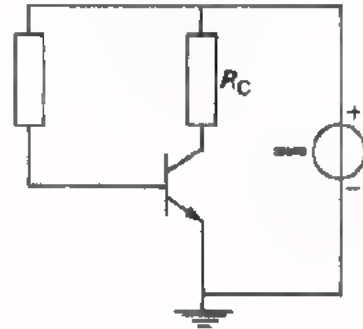
## ● GCS

Gemeenschappelijke (of geaarde) collectorschakeling. Hier wordt de spanning afgenomen over  $R_E$ . Deze schakeling heet ook *emittervolger*.

DE GEMEENSCHAPPELIJKE BASISCHAKELING, GBS.

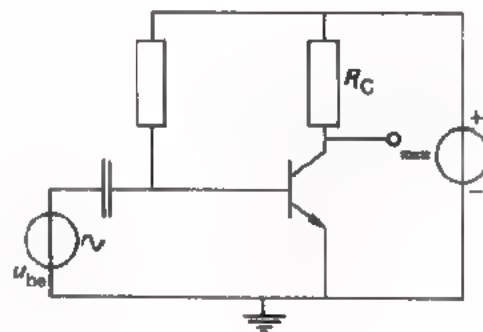
De gelijkstroomwerking van de transistor is in elk van de drie grondschakelingen in wezen hetzelfde. De gelijkstroomschema's zijn dan ook ongeveer gelijk. Het verschil zit in het toevoeren en afnemen van de wisselstroom en -spanning.

Hier ziet u een gelijkstroom-  
schema dat we bij de GES ge-  
bruikten.



Bij de GES ligt de emitter  
voor de wisselstroom aan  
aarde en voert men de te ver-  
sterken wisselspanning toe tus-  
sen *basis* en aarde.

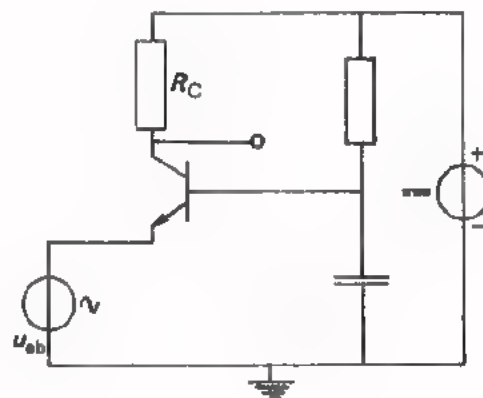
De wisselspanningsbron voert  
een wisselspanning  $u_{be}$  toe en  
levert daarbij een *kleine*  
basiswisselstroom  $i_b$ .



Bij de BGS ligt de basis voor  
wisselstroom aan aarde. Dit  
gebeurt via een  $C$ , waarvan  $X_C$   
bijna 0 is, omdat de basis  
voor gelijkspanning niet aan  
de emitter mag liggen.

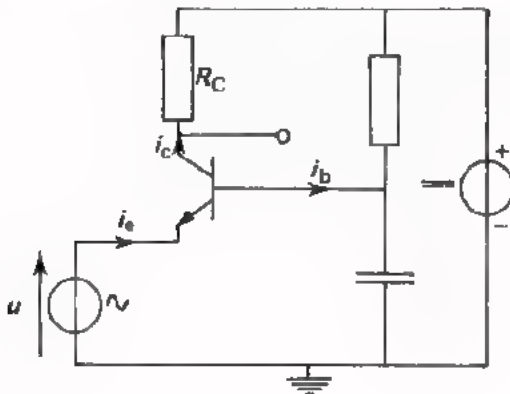
Men voert de te versterken  
wisselspanning nu tussen  
*emitter* en aarde toe, dus  $u_{eb}$ .

De wisselspanningsbron voert  
nu een wisselspanning  $u_{eb}$  toe  
en levert daarbij een *grote*  
emitterstroom  $i_e$ .



DE STROOMVERSTERKING BIJ DE GBS.

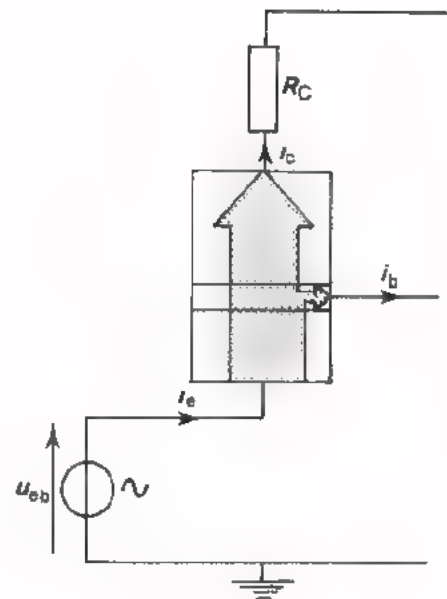
Hier ziet u het schema van de GBS nog eens.



Men voert aan de emitter een kleine te versterken  $u_{eb}$  toe en tevens een grote wisselstroom  $i_e$ .

Doordat in de transistor bijna alle stroom van de emitter direct doorgaat naar de collector, is  $I_C$  bijna even groot als  $I_E$ . Ook  $i_c$  zal dan bijna even groot zijn als  $i_e$ :

Het basisstroompje  $i_b$  is véél kleiner dan  $i_c$ .



Uit het feit dat  $i_c$  nagenoeg hetzelfde is als  $i_e$  volgt dat bij een transistor in GBS *geen* wisselstroomversterking optreedt.

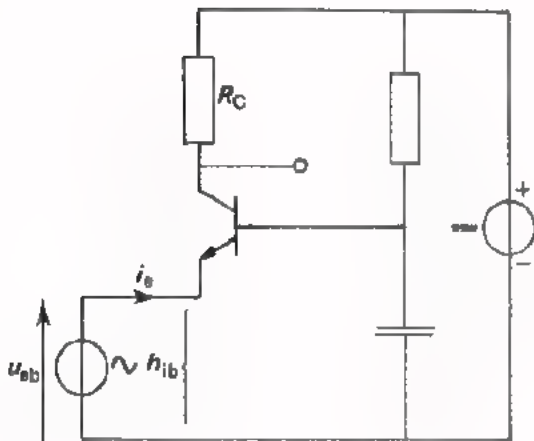
$$A_i \approx 1$$

Men kan zich nu afvragen: "Als er geen wisselstroom versterkt wordt, wat heb je dan nog aan een GBS?"

Het antwoord hierop is: Een GBS kan wel wisselspanningsversterking geven. Dit zullen we op de volgende bladen zien.

DE SPANNINGSVERSTERKING BIJ DE GBS.

We maken eerst een afspraak: de ingangswisselstroomweerstand  $R_{ing}$  van een GBS duiden we aan met  $h_{ib}$ ; i duidt op "ingang" en b op "gemeenschappelijke basis". Hoe noemen we de ingangswisselstroomweerstand bij een GES ook weer?



De ingangswisselstroomweerstand van deze schakeling is de weerstand van een halfgeleiderdiode die in doorlaatrichting staat, nl. de e-b-overgang.  $u_{eb}$  is de wisselspanning over deze diode en  $i_e$  de wisselstroom door de diode. De pijlrichting voor  $i_e$  in de figuur komt overeen met de afgesproken positieve stroomrichting voor de wisselstroom. We weten dat de wisselstroomweerstand van een diode in doorlaatrichting zeer klein is. Dit betekent dat ook  $h_{ib}$  *zeer klein is*.

$$R_{ing} = h_{ib} = \frac{u_{eb}}{i_e} = \text{zeer klein}$$

Als we een GBS met een GES vergelijken, zal de GBS de voorafgaande generator of schakeling veel sterker belasten dan een GES. Immers,  $h_{ib}$  is veel kleiner dan  $h_{ie}$ .

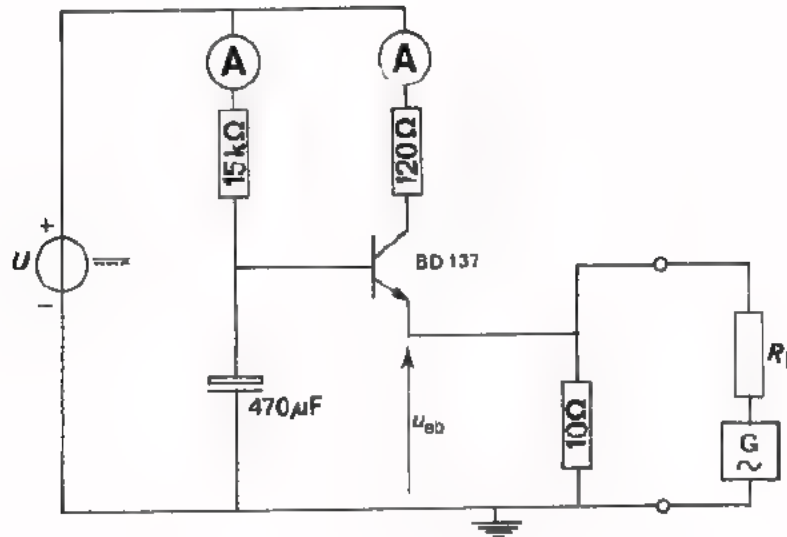
Nemen we een  $R_C$  in de schakeling op die groter is dan  $h_{ib}$ , dan ontstaat de volgende situatie:

Door  $h_{ib}$  en  $R_C$  loopt (nagenoeg) dezelfde stroom.  $R_C$  is groter dan  $h_{ib}$ , zodat over  $R_C$  een grotere spanning staat dan over  $h_{ib}$ .

De conclusie is dus dat er dan wisselspanningsversterking plaatsvindt.

$$A_u = \frac{R_C}{h_{ib}} \approx SR_C$$

OPDRACHT: METEN AAN EEN GBS



- Bouw deze GBS.
- Schakel de wisselspanningsgenerator nog niet in.
- Meet  $I_C$  en  $I_B$  bij  $U = 20\text{ V}$ .

$$I_B = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA} \qquad I_C = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$\text{Hieruit volgt: } h_{FE} = \boxed{\phantom{000}}$$

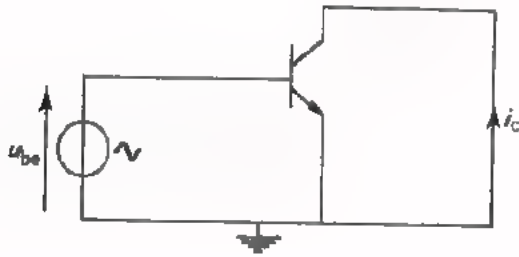
- Voer nu bovendien een  $u_{eb}$  toe met een frequentie van 1 kHz en een amplitude van 20 mV. Gebruik de 600 Ω-uitgang van de generator. Trigger de oscilloscoop extern.

- Meet vervolgens  $u_{cb}$  met de oscilloscoop.  $u_{cb} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mV}$

- Treedt er faseverandering op?

- Bereken de versterking  $A_u = \frac{u_{cb}}{u_{eb}}$   $A_u = \boxed{\phantom{000}}$

## DE STEILHEID EN DE WISSELSpanningsVERSTERKING



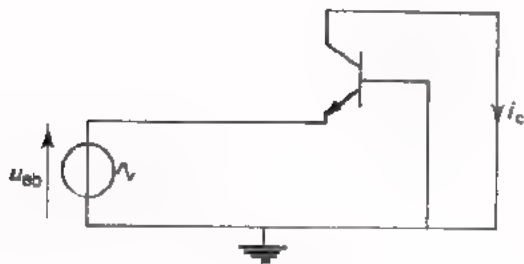
Bij de behandeling van de GES is het begrip steilheid  $S$  besproken.

$S$  is de verhouding van de uitgangswisselstroom  $i_c$  tot de ingangswisselspanning  $u_{be}$ :

$$S = \frac{i_c}{u_{be}}$$

Ook bij een GBS kan men de grootte steilheid  $S$  toepassen:

$$S = \frac{i_c}{u_{eb}}$$



Deze steilheid is uiteraard dezelfde als die bij de GES. Of men nu  $u_{be}$  of een even grote  $u_{eb}$  toevoert, de veroorzaakte  $i_c$  zal er even groot om blijven.

Net zoals de wisselspanningsversterking  $A_u = \frac{u_{ce}}{u_{be}}$  bij een GES gelijk is aan  $A_u = S \cdot R_C$ ,

is ook  $A_u = \frac{u_{cb}}{u_{eb}}$  bij een GBS gelijk aan  $A_u = S \cdot R_C$



Het enige verschil tussen de GES en de GBS wat de wisselspanningsversterking betreft is:

bij de GES treedt  $180^\circ$  faseverandering op, bij de GBS treedt géén faseverandering op.

### VOORBEELD

Als bij een bepaalde gelijkstroominstelling van een transistor in GBS geldt  $S = 100 \text{ mA/V}$ , terwijl er een  $R_C$  is aangebracht van  $220 \Omega$ , dan geldt:

$$A_u = S \cdot R_C = (100 \cdot 10^{-3}) \cdot 220 = 22$$

Oefening:

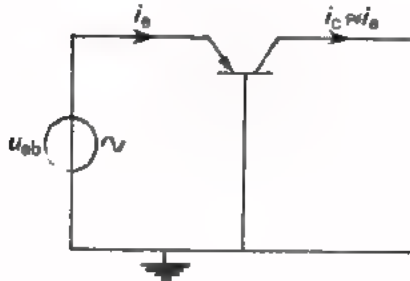
Hoe groot is  $A_u$  als  $S = 80 \text{ mA/V}$  en  $R_C = 3,3 \text{ k}\Omega$ ?

$$A_u = \boxed{\phantom{00000}}$$



## DE INGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND $h_{ib}$ IN FORMULE

De ingangswisselstroomweerstand  $h_{ib}$  van een GBS is nogal klein. De grootte van  $h_{ib}$  kan men uitdrukken in de steilheid  $S$ . Dit gaat als volgt.



De ingangswisselstroomweerstand is

$$h_{ib} = \frac{u_{eb}}{i_a} \approx \frac{u_{eb}}{i_c}$$

We weten dat  $S = \frac{i_c}{u_{eb}}$ .

Hieruit volgt dus:

$$h_{ib} \approx \frac{1}{S}$$

Voor  $h_{ie}$  hebben we geleerd:  $h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$ .

De ingangswisselstroomweerstand bij de geaarde basischakeling is dus  $h_{fe}$  maal zo klein als die bij de geaarde emitterschakeling.

Hierin komt weer duidelijk tot uitdrukking dat een GBS een voorafgaande schakeling veel sterker zal belasten dan een GES.

### VOORBEELD

Stel dat bij een bepaalde gelijkstroominstelling van een transistor geldt  $S = 50 \text{ mA/V}$ , terwijl  $h_{fe} = 400$ .

$$\text{Dan is } h_{ib} = \frac{1}{S} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-3}} = 20 \Omega$$

$$h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S} = 400 \cdot 20 = 8000 \Omega.$$

De steilheid  $S$  is sterk afhankelijk van de gelijkstroominstelling. Dit betekent dat ook  $h_{ib}$  daarvan afhankelijk is.

Hoe groter de gelijkstroom, des te groter de steilheid en des te kleiner de ingangswisselstroomweerstand  $h_{ib}$ .

### OEFENING

Bij een GES geldt  $h_{ie} = 50 \text{ k}\Omega$ , terwijl  $h_{fe} = 400$ .

Hoe groot zal  $h_{ib}$  zijn als men deze transistor bij dezelfde gelijkstroominstelling in GBS toepast?

$$h_{ib} =$$

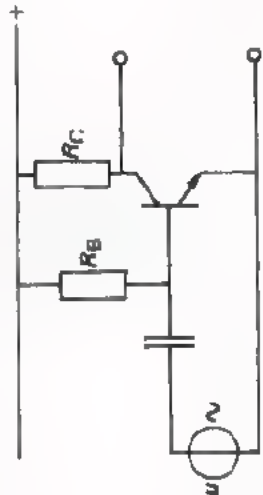
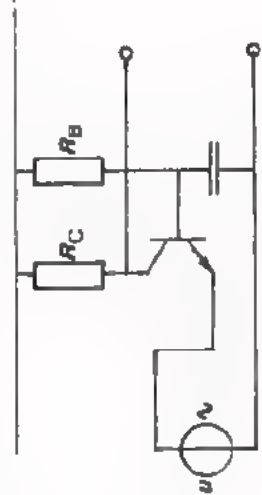
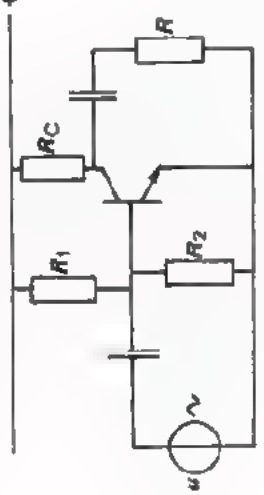
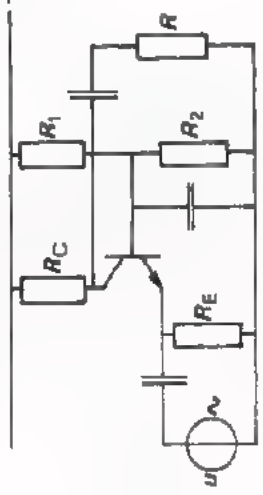
## GELIJK- EN WISSELSTROOMSCHEMA'S

In het begin van deze les hebben we gesteld dat de gelijkstroomschema's van de GES en de GBS nagenoeg hetzelfde zijn. De namen "GES" en "GBS" hebben dan ook vooral betrekking op de *wissel*stroomschema's die wel verschillen. Om dit duidelijk in te zien volgt nu een oefening.

### OEFENING

Op volgend blad ziet u vier complete schema's; twee voor een GES en twee overeenkomstige voor een GBS.

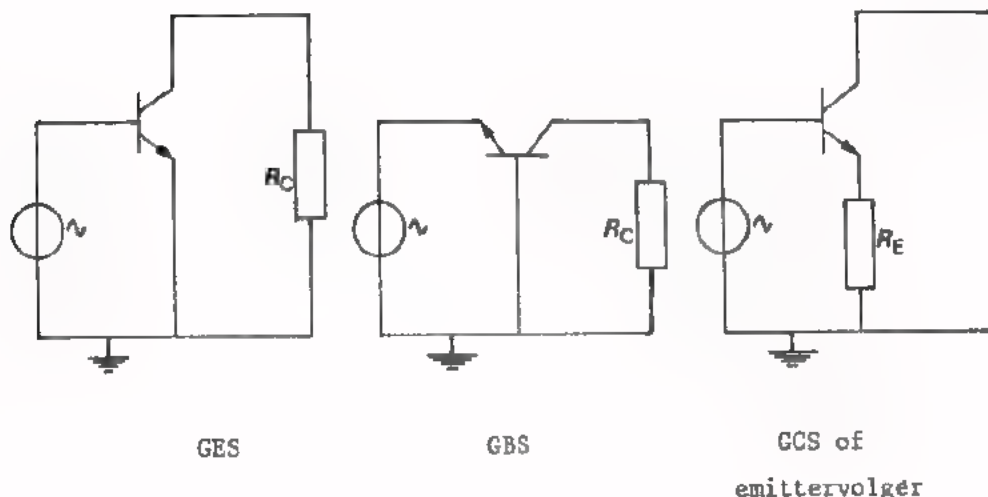
- Teken naast deze schema's het gelijk- en het wisselstroomschema.
- Vergelijk de gevonden schema's onderling. U ziet dat de gelijkstroom-schema's grote overeenkomst vertonen en dat de wisselstroomschema's sterk verschillen.

complete schema	gelijkstroomschema	wisselstroomschema
		
		
		
		

## SAMENVATTING

- In principe zijn er drie versterkschakelingen met een transistor mogelijk:

wisselstroomschema's



- Voor een transistor (alléén) in GES geldt:

- een wisselstroomversterking:

$$A_i = h_{fe}$$

- een wisselspanningsversterking:

$$A_u = S \cdot R_C$$

bij deze versterking treedt  $180^\circ$  faseverandering op

- een wisselstroomvermogensversterking:

$$A_P = A_u \cdot A_i$$

- een ingangswisselstroomweerstand:

$$h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$$

- Voor een transistor (alléén) in GBS geldt:

- geen wisselstroomversterking:

$$A_i \approx 1$$

- een wisselspanningsversterking:

$$A_u = S \cdot R_C$$

bij deze versterking treedt géén faseverandering op

- een wisselstroomvermogensversterking:

$$A_P = A_u \cdot A_i = A_u$$

- een *kleine* ingangswisselstroomweerstand:

$$h_{ib} = \frac{1}{S}$$

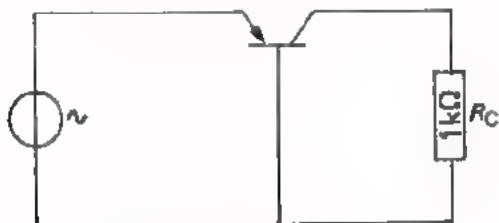
Opmerking: Bovenstaande formules gelden alléén als de daarbovenstaande wisselstroomschema's van toepassing zijn. In schakelingen, waarin meerdere componenten toegepast worden, zullen de versterkingsfactoren doorgaans kleiner zijn.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

In de GBS, waarvan hier het wisselstroomschema is gegeven, wordt een versterking  $A_u$  gemeten van 100.



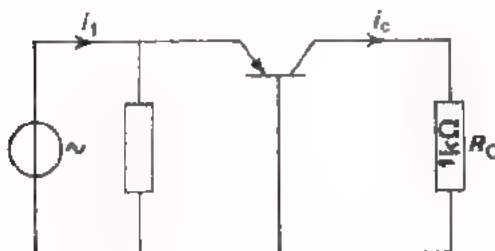
Hoe groot is de steilheid  $S$ ?

$S =$

Hoe groot is de  $h_{ib}$ ?

$h_{ib} =$

Als parallel aan de ingang een weerstand van  $100 \Omega$  wordt geplaatst, hoe groot wordt dan de ingangsweerstand van de schakeling?



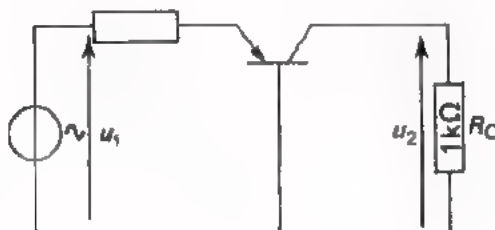
$R_{ing} =$

Hoe groot is dan de wisselstroomversterking van de schakeling

$$A_i = \frac{i_c}{i_1}$$

$A_i =$

Als in serie met de emitterleiding een weerstand van  $50 \Omega$  wordt opgenomen, hoe groot is dan  $R_{ing} = u_1/i_e$ ?

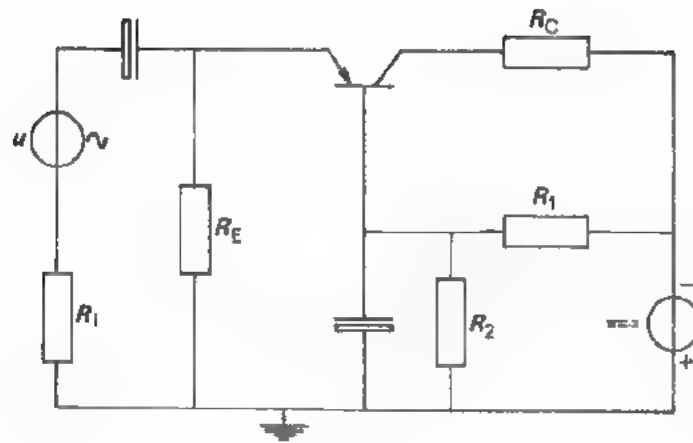


$R_{ing} =$

Hoe groot is in dit laatste geval de wisselspanningsversterking

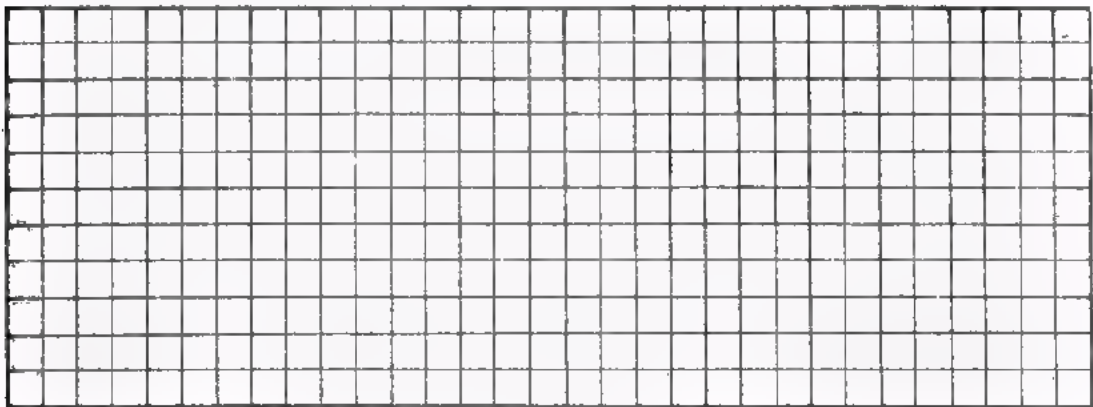
$$A_u = \frac{u_2}{u_1}$$

$A_u =$

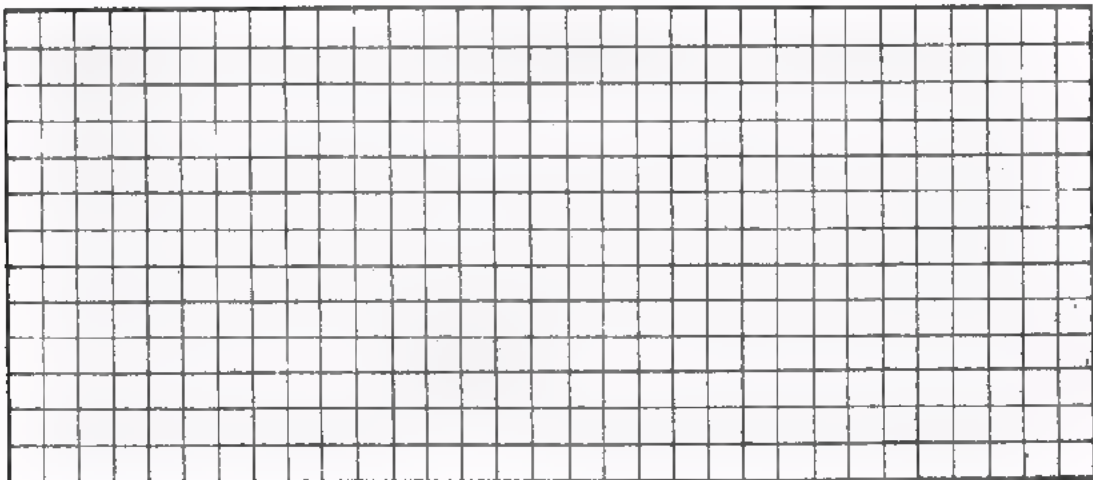


Teken van de GBS apart het gelijkstroom- en het wisselstroomschema hieronder.

Vermeld telkens de weerstanden.



gelijkstroomschema



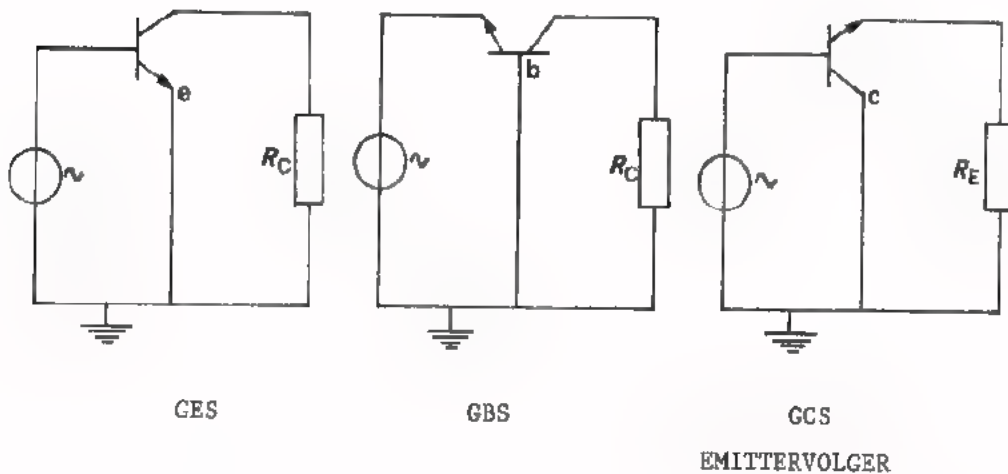
wisselstroomschema

## DE GCS OF EMITTERVOLGER

## INLEIDING

Tot nu toe hebben we het uitvoerig gehad over de GES en in de vorige les over de GBS. In deze les komt de derde schakeling ter sprake: de GCS of *emittervolger*.

We geven hier de wisselstroomschema's van de drie grondschakeling nog eens naast elkaar.

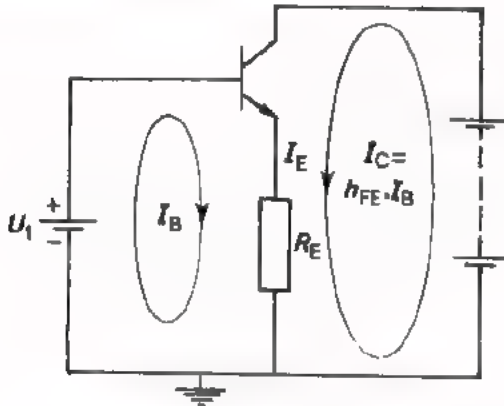


Bij de GES ligt de emitter voor wisselspanning aan een gemeenschappelijk punt.

Bij de GBS ligt de basis voor wisselspanning aan een gemeenschappelijk punt.

Bij de GCS ligt de collector voor wisselstroom aan een gemeenschappelijk punt.

DE STROOMVERSTERKING VAN DE GCS



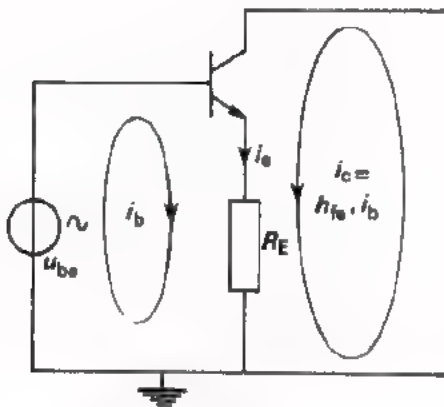
Hiernaast is een gelijkstroom-  
schema van een GCS of emitter-  
volger getekend. Om de werking  
gemakkelijk te overzien zijn  
twee voedingsbronnen aangebracht.

De diode tussen e en b is van een kleine doorlaatspanning voorzien. In het basiscircuit ontstaat een kleine stroom, die in het collectorcircuit een veel grotere stroom veroorzaakt.

Door de weerstand in de emitterleiding loopt  $I_B$  zowel als  $I_C$ .

$$I_E = I_B + I_C = I_B + h_{FE} I_B$$

$$I_E \approx h_{FE} \cdot I_B$$



Voeren we ook een wisselspanning  $u_{be}$  toe, dan gaan de wisselstromen  $i_b$  en  $h_{fe} \cdot i_b$  lopen.

Hiernaast is daarvoor het wisselstroomschema getekend.

Door de emitterweerstand  $R_E$  loopt nu de versterkte wisselstroom

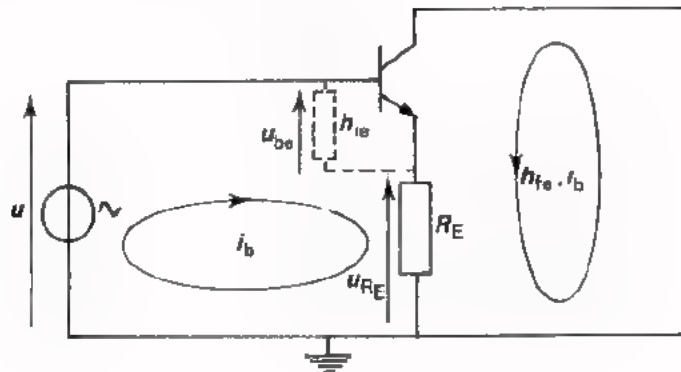
$$i_e \approx h_{fe} \cdot i_b.$$

Er vindt dus een wisselstroomversterking plaats die ongeveer gelijk is aan:

$$A_i \approx h_{fe}$$



DE SPANNINGSVERSTERKING VAN DE GCS



Hier ziet u nogmaals het wisselstroomschema van de emittervolger. Toegevoerd wordt de wisselspanning  $u$ . Over  $R_E$  wordt de wisselspanning afgenomen. De vraag die we nu kunnen stellen is: "Hoe groot is de wisselspanningsversterking van de GCS?"

De toegevoerde wisselspanning  $u$  is gelijk aan de som van:

- de spanning  $u_{be}$  over "de ingangswisselstroomweerstand  $h_{ie}$  van de transistor",
- de spanning over de emitterweerstand  $R_E$ .

De eerste spanning:  $u_{be} = h_{ie} \cdot i_b$

en de tweede  $u_{RE} = R_E \cdot h_{fe} \cdot i_b$ .

Nu geldt bijna altijd dat  $R_E \cdot h_{fe}$  veel groter is dan  $h_{ie}$ .

Dit wil zeggen dat:

$$u_{be} \ll u_{RE} \text{ en dus } u_{RE} \approx u.$$

De wisselspanningsversterking is dus ongeveer 1.

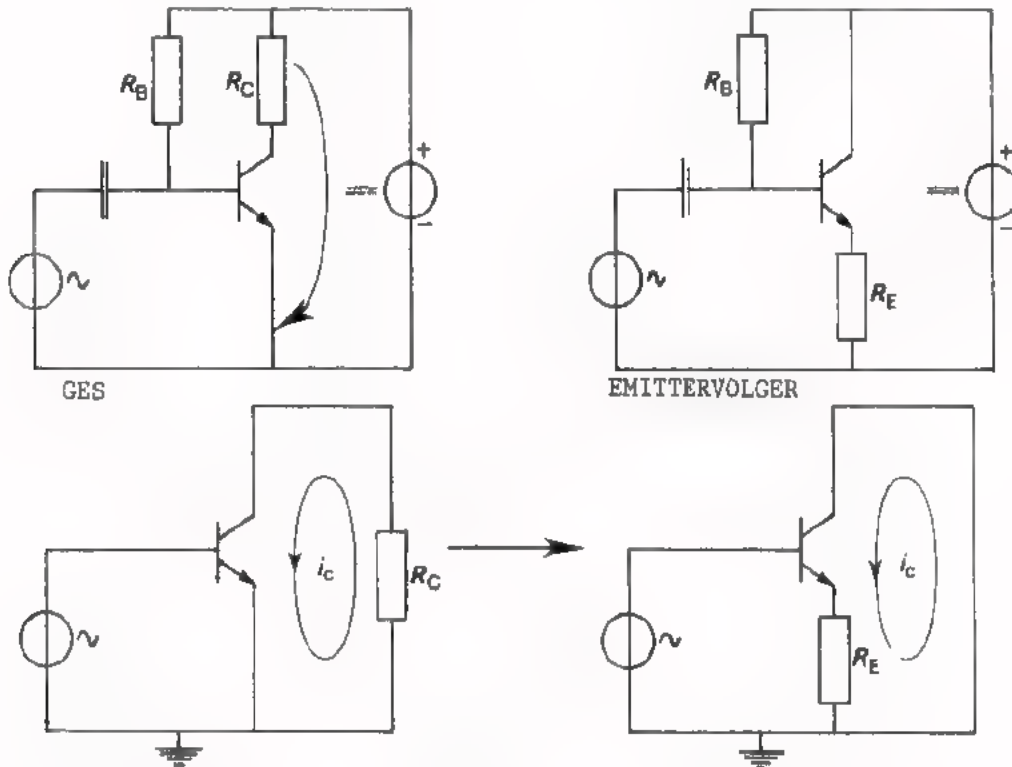
$$A_u = \frac{u_{RE}}{u} \approx 1$$

Er vindt dus geen wisselspanningsversterking plaats. Verder treedt er geen faseverandering op.

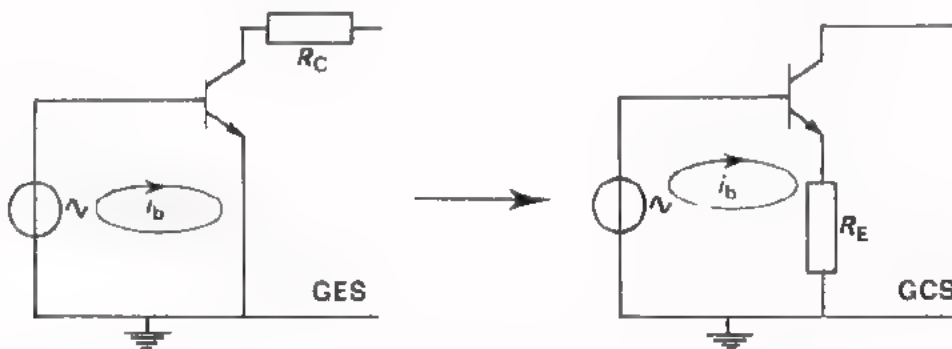
$$u_{RE} \text{ is in fase met } u$$

## HET PRAKTISCHE SCHEMA

Men kan een praktische emittervolger met één voedingsbron uit een GES ontstaan denken door de  $R_C$  naar de emitterleiding te verplaatsen.



Uit bovenstaande schema's volgt dat er voor het *collectorcircuit* geen verschil optreedt als dezelfde  $R$  in de emitterleiding wordt gezet.

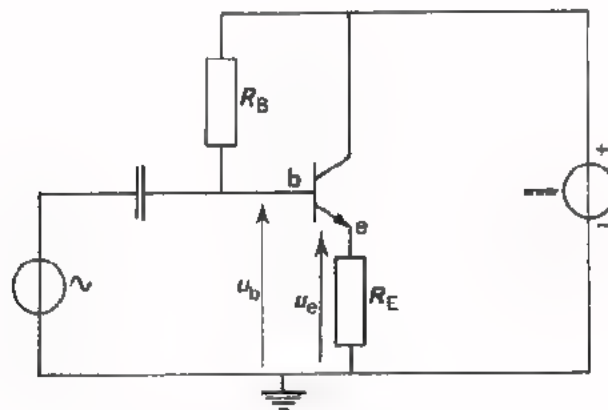


Voor het *basiscircuit* is er een groot verschil als dezelfde  $R$  niet meer in de collectorleiding, maar in de emitterleiding wordt opgenomen.

Bedenk wel dat over  $R_B$  in het schema linksboven, bijna de gehele voedingsspanning staat. Door  $R_C$  te verplaatsen naar de emitterleiding komt over  $R_E$  ook een deel (bijna de helft) van de gelijkspanning te staan. Om dezelfde gelijkstroom door de transistor te laten lopen, moet een kleinere  $R_B$  gekozen worden.

## WAAROM DE NAAM "EMITTERVOLGER"?

Als vrijwel de gehele toegevoerde wisselspanning over  $R_E$  komt te staan, dan staat er blijkbaar bijna geen wisselspanning tussen b en e. Dit wil zeggen dat de wisselspanning van e ten opzichte van aarde steeds vrijwel gelijk is aan die van b ten opzichte van aarde. Neemt de spanning van b toe, dan wordt ook die van e groter. Met andere woorden: de emitter *volgt* steeds de spanning van de basis aan de ingang. Dit is de reden waarom men de GCS meestal *emittervolger* noemt.



emittervolger-schema met één  
voedingsbron

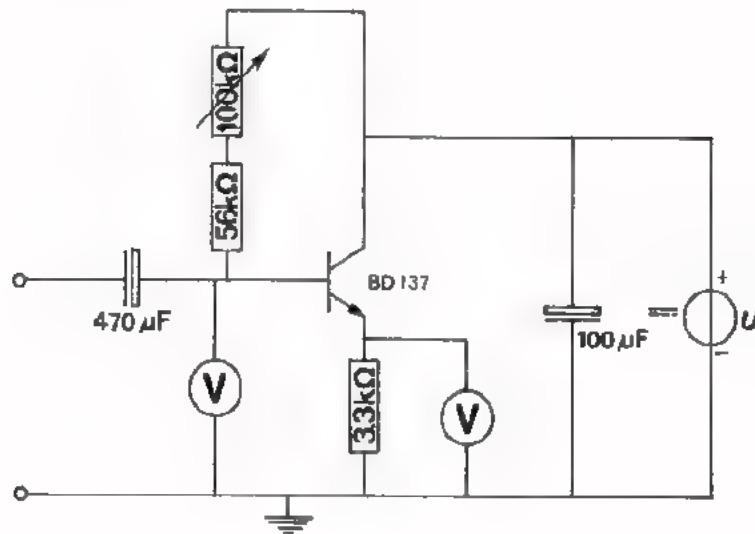
### Opmerking:

Niet alleen de *wisselspanning*  $u_e$  volgt de *wisselspanning*  $u_b$ , maar ook de *gelijkspanning*  $U_E$  volgt de *gelijkspanning*  $U_B$ . Neemt bijvoorbeeld  $U_B$  2 V toe, dan zal ook  $U_E$  2 V toenemen.

De gelijkspanningen  $U_B$  en  $U_E$  zullen echter steeds ongeveer 0,7 V verschillen. Deze 0,7 V is de doorlaatspanning  $U_{BE}$  van de diode tussen b en e.

We gaan enkele metingen aan de emittervolger verrichten.

OPDRACHT: METEN AAN EEN EMITTERVOLGER



- Bouw deze schakeling.
- Sluit de universeelmeters aan in de 30 V  $\equiv$  stand.
- Stel de spanning  $U$  in op 30 V.
- Varieer de basisweerstand. Let op de universeelmeters:

$U_B$  varieert tussen  en   
 $U_E$  varieert tussen  en

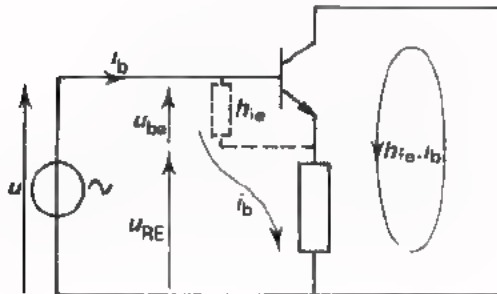
de emitterspanning "volgt" steeds die van de basis, vandaar de naam emittervolger.

- Zet de spanning  $U$  op 15 V en maak  $R_B = 156 \text{ k}\Omega$ .
- Verwijder de universeelmeters.
- Sluit een  $RC$ -generator aan op de ingang.
- Voer een wisselspanning toe met een amplitude van 4 V bij 1 kHz. Stel  $u_b$  in met behulp van de oscilloscoop; Y-AMPL. = 1 V/div. Trigger extern.
- Maak  $u_e$  zichtbaar met de oscilloscoop. U ziet dat  $u_e \approx u_b$ , zodat  $A_u \approx 1$ . Er heeft daarbij geen faseverandering plaats.

## DE INGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND VAN DE GCS

De ingangswisselstroomweerstand van een GCS bedraagt:

$$R_{\text{ing}} = \frac{u}{i_b} \approx h_{ie} + h_{fe} R_E$$



Deze formule is als volgt te bewijzen:

$$\begin{aligned} R_{\text{ing}} &= \frac{u}{i_b} = \frac{u_{be} + U_{RE}}{i_b} \\ &\approx \frac{h_{ie} \cdot i_b + R_E (h_{fe} \cdot i_b)}{i_b} \\ &\approx h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E \end{aligned}$$

In de praktijk is  $R_{\text{ing}}$  zeer groot.

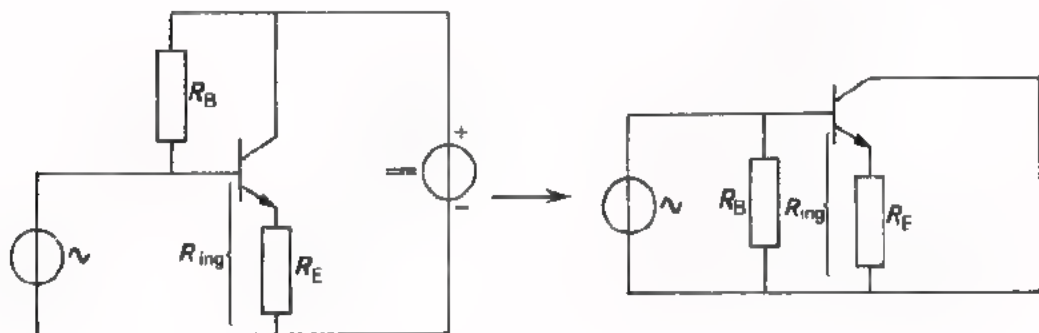
Voorbeeld:  $h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$

$R_E = 1 \text{ k}\Omega$

$h_{fe} = 600$

$R_{\text{ing}} \approx 600 \text{ k}\Omega$  (ga dit na)

### OPMERKING



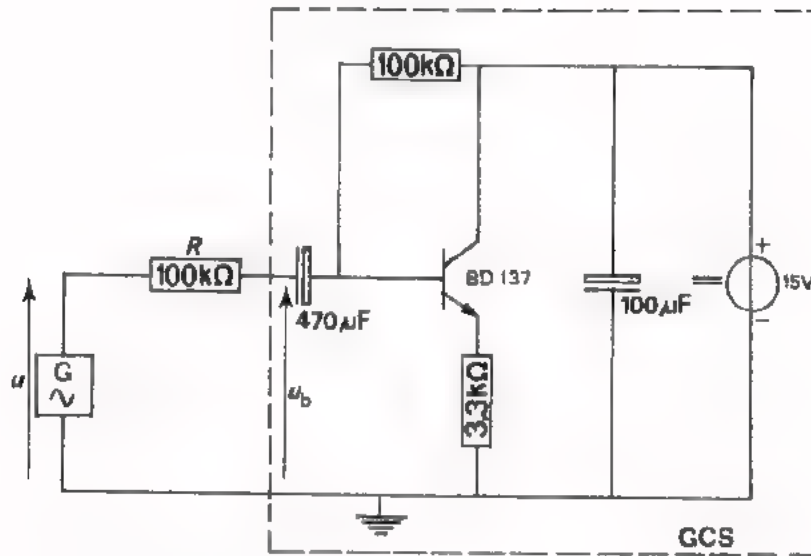
In de praktijk komt over  $R_E$  ongeveer de helft van de voedingspanning te staan.  $U_{RE}$  heeft dan de grootst mogelijke variatieruimte, namelijk van 0 tot  $U_{\text{voeding}}$ . Over  $R_B$  staat eveneens ongeveer de halve voedingspanning. Dus  $I_B \cdot R_B \approx h_{FE} \cdot I_B \cdot R_E$ .

Dit levert een mooie vuistregel voor de berekening van  $R_B$ , namelijk

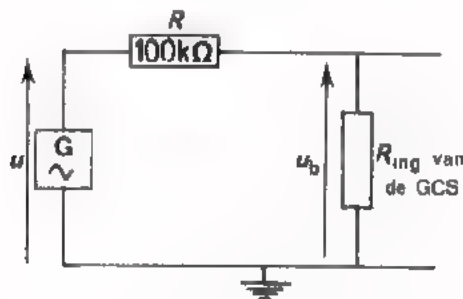
$$R_B = h_{FE} \cdot R_E$$

In het wisselstroomschema staat  $R_B$  parallel aan  $R_{\text{ing}}$ , die ongeveer gelijk is aan  $h_{FE} \cdot R_E$ . De wisselstroomingangsweerstand van de schakeling is in dit geval gelijk aan  $\frac{1}{2} R_B$ .

OPDRACHT: METEN VAN  $R_{ing}$  VAN EEN GCS



- Bouw bovenstaande schakeling.
- We gaan  $R_{ing}$  meten en zorgen ervoor, dat tijdens de meting met de oscilloscoop deze steeds aan één kant geaard kan blijven. We kunnen dit bereiken door aan de ingang  $R = 100\text{ k}\Omega$  in serie te schakelen en dan  $u$  en  $u_b$  te meten.



We hebben dan in principe naaststaand wisselstroomschema.

- Voer een wisselspanning  $u$  met  $f = 100\text{ Hz}$  en  $U_t = 4\text{ V}$  toe.
- Meet met behulp van de oscilloscoop  $u$  en  $u_b$ .

$U_t = 4\text{ V}$  en  $U_{bt} =$   V

- De spanning over  $R = 100\text{ k}\Omega$  is dus:

$U_{rt} =$   V

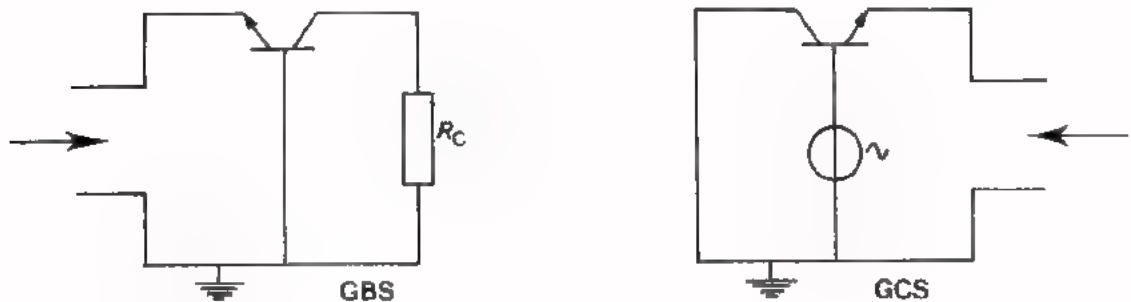
- Hieruit volgt:  $I_{it} = \frac{U_{rt}}{R} =$

- Tenslotte:  $R_{ing} =$

## DE UITGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND VAN EEN EMITTERVOLGER

De weerstand die men naar een schakeling "terugkijkt" ziet noemt men de *uitgangsweerstand* van deze schakeling.

Als men aan de *uitgang* van een emittervolger "terugkijkt", ziet men dezelfde wisselstroomschakeling als aan de *ingang* van een GBS. In volgende schema's is dit duidelijk te zien.



De uitgangswisselstroomweerstand van de GCS is dan ook even groot als de ingangswisselstroomweerstand van de GBS. Nu hebben we in les B215 gezien dat de ingangswisselstroomweerstand van de GBS gelijk is aan  $\frac{1}{S}$ . Dit is als regel een zeer kleine waarde.

De konklusie luidt dus, dat de uitgangswisselstroomweerstand  $R_{uit}$  van de emittervolger in het algemeen ook zeer klein is en gelijk aan  $\frac{1}{S}$ .

Samenvattend kan men dus van de GCS zeggen, dat de *ingangsweerstand groot* en de *uitgangsweerstand klein* is.

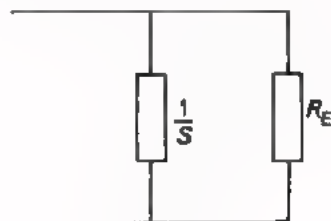
### OPMERKING

Aan de uitgang van de GCS bevindt zich parallel aan de uitgangswisselstroomweerstand  $\frac{1}{S}$  ook nog de emitterweerstand  $R_E$ .

De uitgangswisselstroomweerstand is dus precies gelijk aan:

$$R_{uit} = \frac{\frac{1}{S} \cdot R_E}{\frac{1}{S} + R_E}$$

In een praktische schakeling is bijna altijd  $\frac{1}{S}$  veel kleiner dan  $R_E$ , zodat  $R_{uit} \approx \frac{1}{S}$ .



VERGELIJKING VAN ENKELE GROOTHEDEN BIJ DE DRIE GRONDSCHAKELINGEN

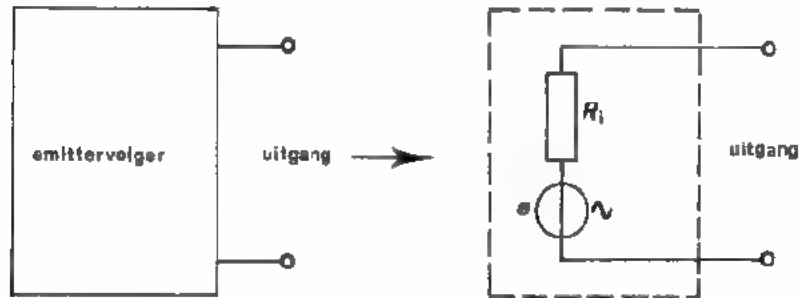
We hebben de transistor in GES, GBS en GCS behandeld. Terwille van de overzichtelijkheid geven we hieronder een samenvatting van de verschillende grootheden. Bestudeer deze goed.

	GES	GBS	GCS
wisselstroom- versterking $A_i$	$h_{fe}$	$\approx 1$	$\approx h_{fe}$
wisselspannings- versterking $A_u$	$SR_C$ (180° fase- verandering)	$SR_C$ (geen fase- verandering)	$\approx 1$ (geen fase- verandering)
ingangswissel- stroomweerstand $R_{ing}$	$h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$	(klein) $h_{ib} \approx \frac{1}{S}$	(groot) $h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E$ ( $h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$ )
uitgangswissel- stroomweerstand $R_{uit}$			(klein) $\approx \frac{1}{S}$



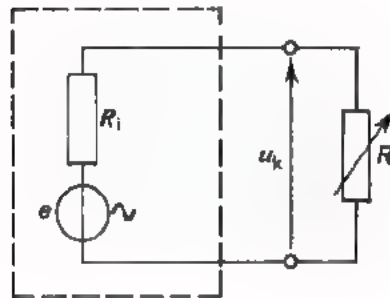
## HET METEN VAN DE UITGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND VAN EEN EMITTERVOLGER

Aan de uitgang van een emittervolger "zien" we een wisselspanningsbron met EMK  $e$  en een inwendige weerstand  $R_i$ .



De  $R_i$  is de uitgangswisselstroomweerstand  $R_{uit}$  van de GCS.

De  $R_i$  is te meten door de emittervolger met een variabele  $R$  te belasten en te zorgen dat de klemspanning  $u_k$  gelijk is aan  $\frac{1}{2} e$ . Dan is  $R_i = R$ .



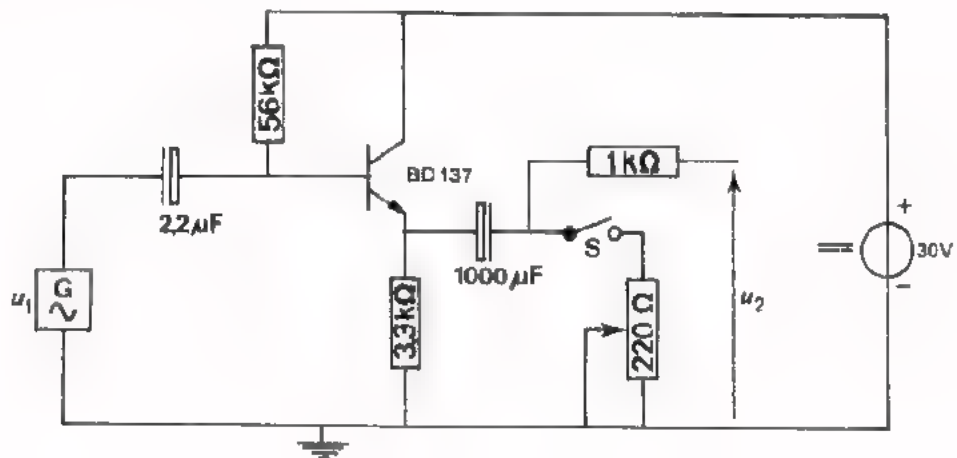
Als  $u_k = \frac{1}{2} e$ ,

is  $R_i = R$ .

Door tenslotte de weerstand  $R$  los te maken uit de schakeling en zijn waarde met een ohmmeter te meten is  $R_i = R$  te bepalen.

In volgende opdracht gaan we dit doen.

OPDRACHT: METEN VAN  $R_{uit}$  VAN EEN GCS



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel.
- Laat  $S$  eerst open.
- Voer een wisselspanning  $u_1$  toe van  $1\text{ kHz}$ . Maak  $u_2$  op het scherm van de oscilloscoop zichtbaar. Zorg dat  $U_{2t} = 100\text{ mV}$ .

De oscilloscoop wordt aangesloten via een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$ . Dit is nodig om storende invloed van de oscilloscoop op de schakeling te voorkomen.

- Sluit  $S$  en regel de potentiometer zó, dat  $U_{2t} = 50\text{ mV}$ .  
Nu is dus  $u_k = \frac{1}{2} e$ , (zie vorig blad).
- Open  $S$  en meet de weerstand van de potentiometer.

U vindt:  $R_{uit} =$

CONCLUSIE

$R_{uit}$  van een GCS is zeer klein.

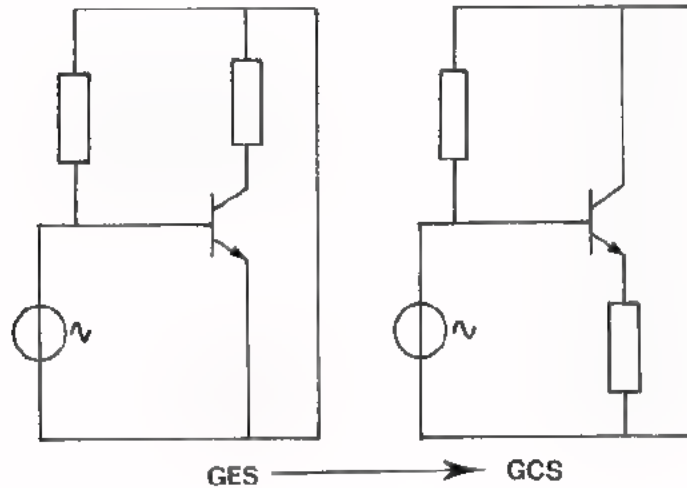
OPMERKING

Deze meting is in principe altijd juist. In de praktijk echter kan een probleem ontstaan als de transistor voldoende stroom kan leveren aan de kleine belastingsweerstand. De transistor "loopt dan vast".

## SAMENVATTING

- De *emittervolger* is uit een GES ontstaan te denken door de weerstand van de collectorleiding over te brengen naar de emitterleiding.

Wisselstroomschema's



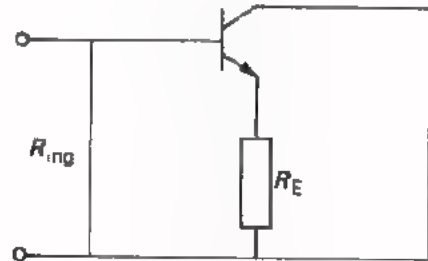
- De emittervolger dankt zijn naam aan het feit, dat spanningsveranderingen van de *basis* direct worden gevolgd door even grote spanningsveranderingen van de *emitter*.

Als  $U_B$  b.v. 3 V toeneemt, neemt ook  $U_E$  3 V toe.

- Eigenschappen van de emittervolger:

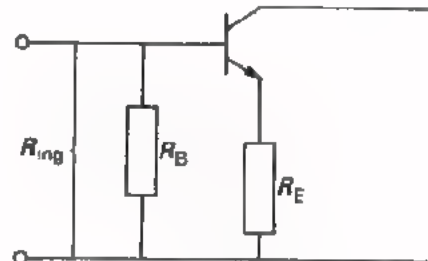
- De wisselstroomversterking van de emittervolger alleen bedraagt:  
 $A_i \approx h_{fe}$ .
- In een praktische schakeling gaat een deel van de ingangswisselstroom door  $R_B$ . Als  $R_B \approx R_{ing}$  geldt  $A_i \approx \frac{1}{2} h_{FE}$ .
- De wisselspanningsversterking  $A_u \approx 1$ .
- Er vindt geen faseverandering plaats.
- De vermogensversterking  $A_P = A_i \cdot A_u \approx A_i \approx h_{fe}$ . In een praktische schakeling dus  $A_P \approx \frac{1}{2} h_{FE}$ .
- De ingangswisselstroomweerstand is *groot* en gelijk aan:

$$R_{ing} \approx h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E$$



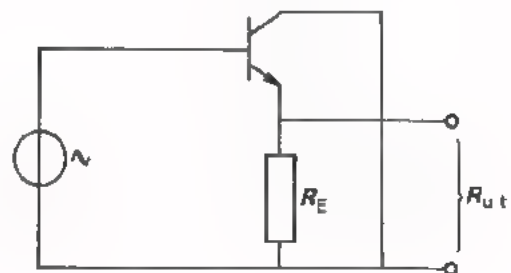
- Als er een  $R_B$  aanwezig is en de transistor "in het midden" is ingesteld, geldt:

$$\text{Totale } R_{ing} \approx \frac{R_B \cdot R_{ing}}{R_B + R_{ing}} \approx \frac{1}{2} R_B$$



- De uitgangswisselstroomweerstand is *klein* en gelijk aan:

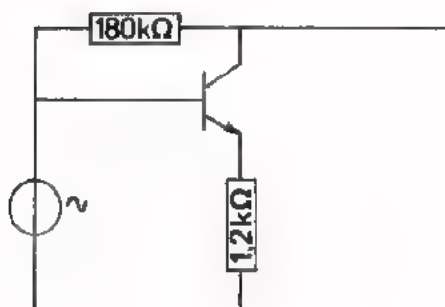
$$R_{uit} \approx \frac{R_E \cdot \frac{1}{S}}{R_E + \frac{1}{S}} \approx \frac{1}{S}$$



NAAM:

KLAS:

1.



Bereken precies de ingangsweerstand van de schakeling.

$$h_{ie} = 3 \text{ k}\Omega$$

$$h_{fe} = 150$$

Denk aan de invloed van  $R_B$  en  $h_{ie}$ .

Bereken ook de uitgangsweerstand.

$$R_{ing} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ k}\Omega$$

$$R_{uit} = \boxed{\phantom{000000}} \Omega$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

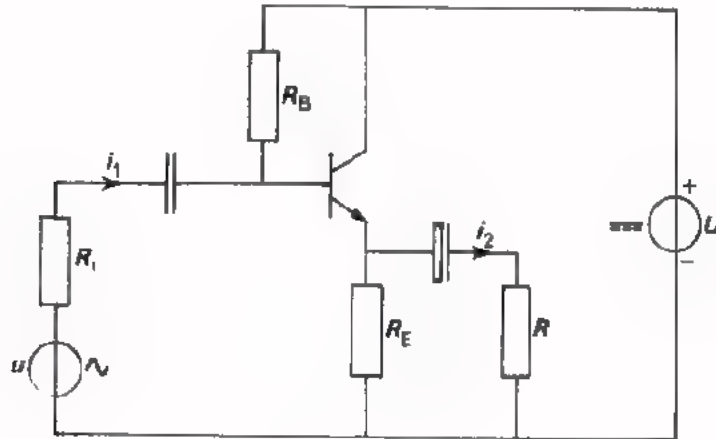
---

---

---

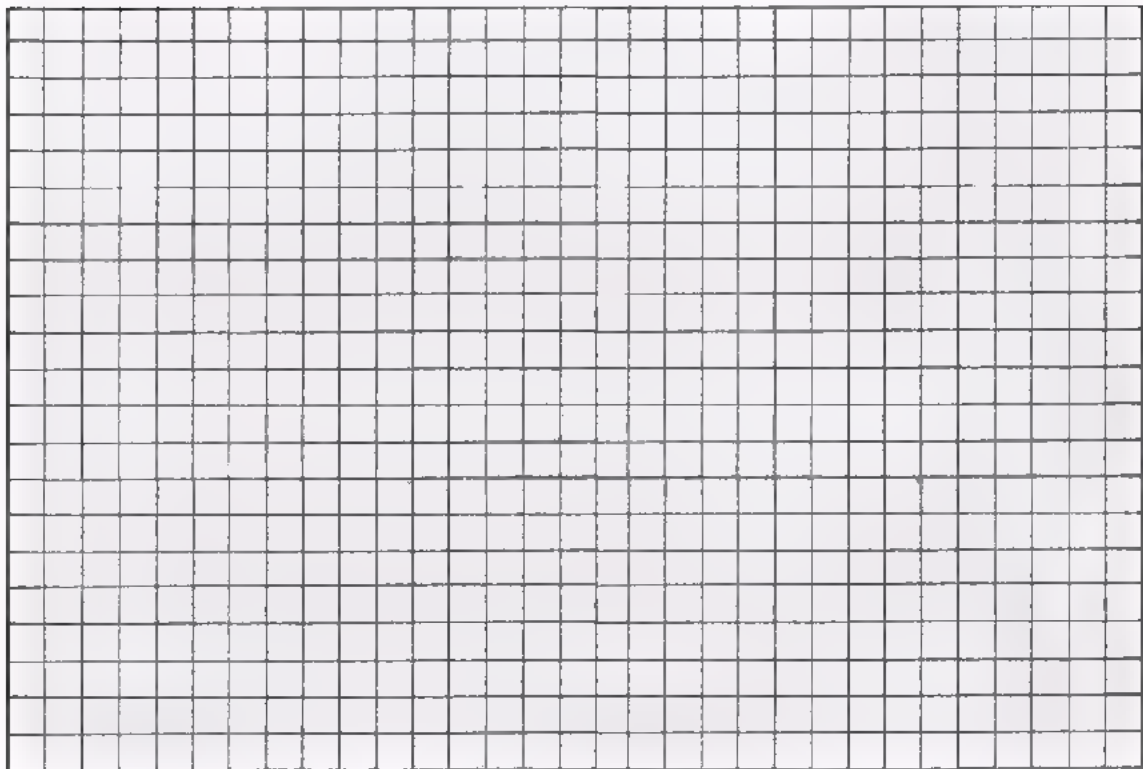
2.

Teken hieronder het gelijk- en het wisselstroomschema van de schakeling.



Hoe groot is  $A_i = \frac{i_2}{i_1}$  als  $h_{fe} = 400$  en  $R = R_E = R_B$ ?

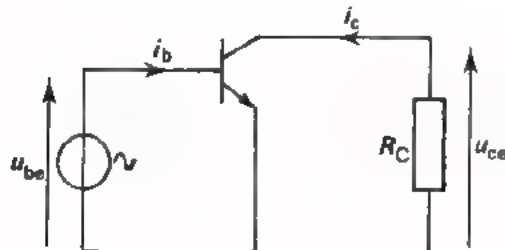
$A_i =$



DE DRIE GRONDSCHAKELINGEN

In deze les zetten we de eigenschappen van de drie grondbeschakelingen nog eens bij elkaar. Bovendien gaan we ze onderling vergelijken.

• De gemeenschappelijke emitterschakeling



wisselspanningsversterking:

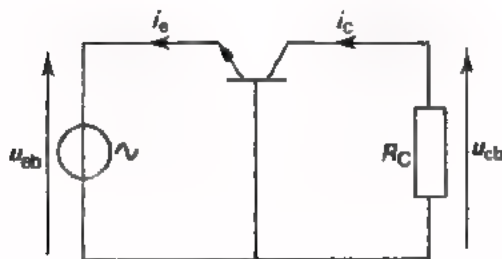
$$A_u = \frac{u_{ce}}{u_{be}} = S \cdot R_C$$

180° faseverandering

wisselstroomversterking:

$$A_i = \frac{i_c}{i_b} = h_{fe}$$

• De gemeenschappelijke basisschakeling



wisselspanningsversterking:

$$A_u = \frac{u_{cb}}{u_{eb}} = S \cdot R_C$$

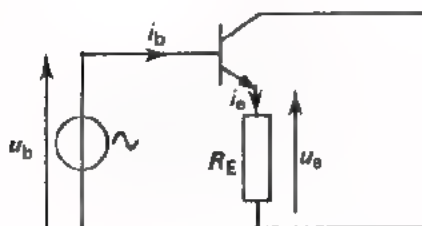
geen faseverandering

wisselstroomversterking:

$$A_i = \frac{i_c}{i_e} \approx 1$$

want  $i_c \approx i_e$ .

• De gemeenschappelijke collectorschakeling of emittervolger



wisselspanningsversterking:

$$A_u = \frac{u_e}{u_b} \approx 1$$

geen faseverandering

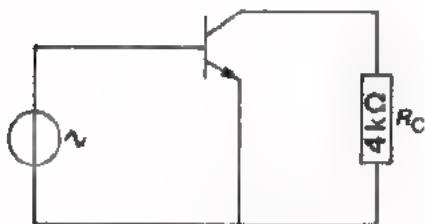
wisselstroomversterking:

$$A_i = \frac{i_e}{i_b} \approx h_{fe}$$

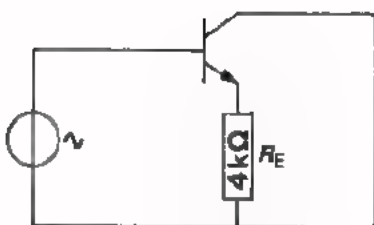
OEFENING

Een transistor heeft steeds dezelfde gelijkstroominstelling. Verder geldt:  
 $h_{fe} = 600$  en  $S = 150 \text{ mA/V}$ .

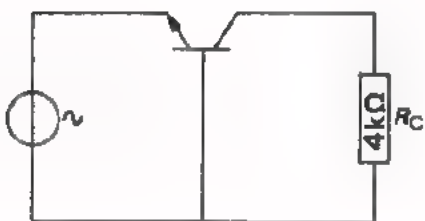
Bereken in volgende gevallen de vermogenoversterking  $A_P$ .



$A_P =$



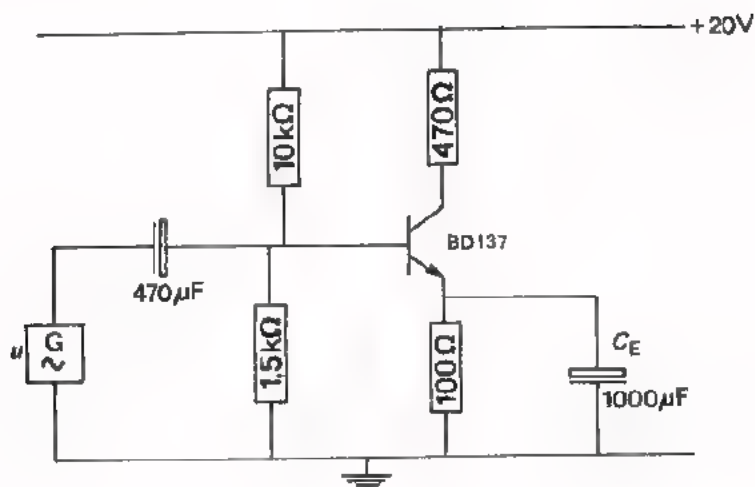
$A_P =$



$A_P =$



OPDRACHT: METEN AAN EEN GES



- Bouw deze schakeling.  
Voer nog geen wisselspanning toe.

- Meet  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $U_{BE}$  en  $U_{CE}$ .

$$I_C = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$U_{BE} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mV}$$

$$I_B = \boxed{\phantom{000}} \text{ } \mu\text{A}$$

$$U_{CE} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

- Verwijder de aangebrachte universeelmeter.
- Meet met behulp van een generator en een oscilloscoop de wisselspanningsversterking bij 1 kHz.

$$A_u = \boxed{\phantom{000}}$$

- Hoe groot zal  $A_u$  zijn als  $C_E$  wordt verwijderd?

$$A_u \approx \boxed{\phantom{000}}$$

- Meet  $A_u$  nu zonder  $C_E$ .

$$A_u = \boxed{\phantom{000}}$$

## DE INGANGSWEERSTAND



- Voor een GES:

$$R_{ing} = h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$$

$S$  is afhankelijk van de gelijkstroominstelling, dus  $R_{ing}$  ook.

- Voor een GBS:

$$R_{ing} = h_{ib} = \frac{1}{S}$$

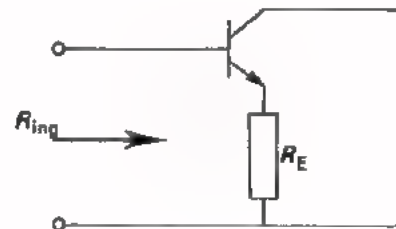
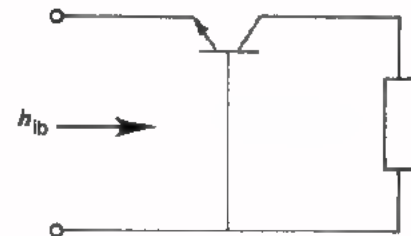
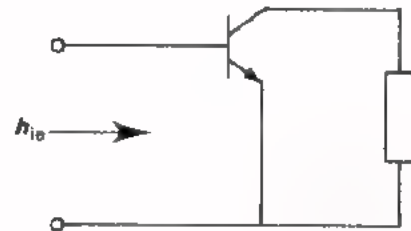
$h_{ib}$  is klein en afhankelijk van de gelijkstroominstelling.

- Voor een GCS:

$$R_{ing} \approx h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E \approx h_{fe} \cdot R_E$$

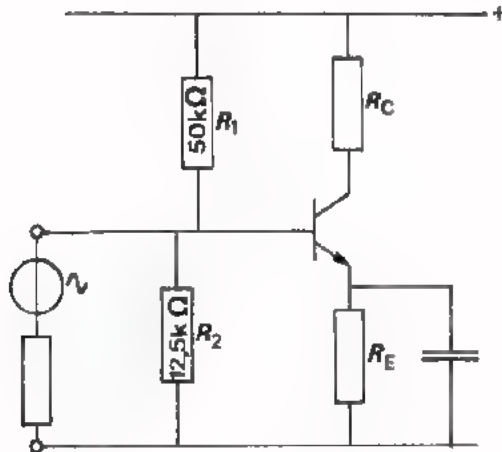
Over het algemeen is  $R_{ing}$  groot en vrijwel onafhankelijk van de gelijkstroominstelling.

Een schakeling vormt een belasting voor de spanningsbron waarop hij is aangesloten. De spanningsbron wordt dan belast met de *ingangsweerstand*  $R_{ing}$  van de schakeling. Voor de verschillende grondschakelingen loopt de  $R_{ing}$  nogal uiteen.



OEFENINGEN

1.



In deze schakeling is:

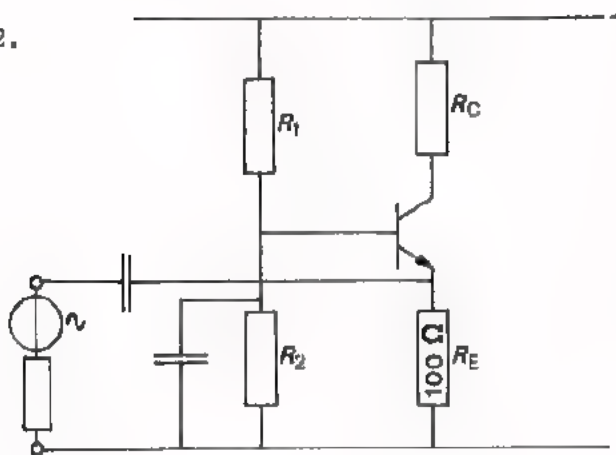
$$h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$$

Teken het wisselstroomschema.

Bereken de ingangswisselstroomweerstand van de schakeling.

$$R_{ing} = \boxed{\phantom{0000000000}}$$

2.



In deze schakeling:

$$S = 100 \text{ mA/V}$$

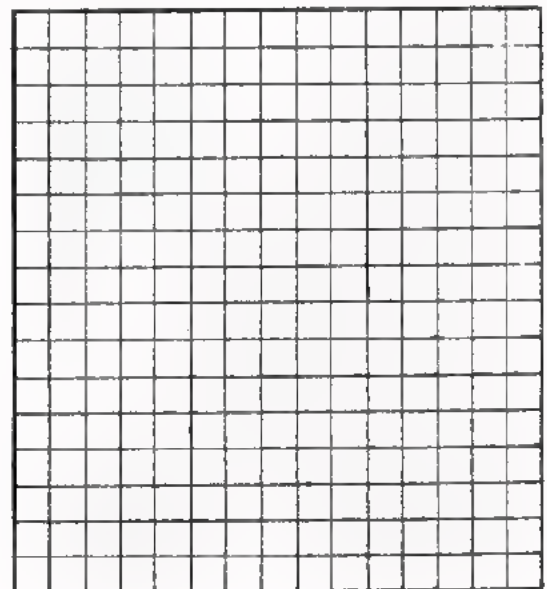
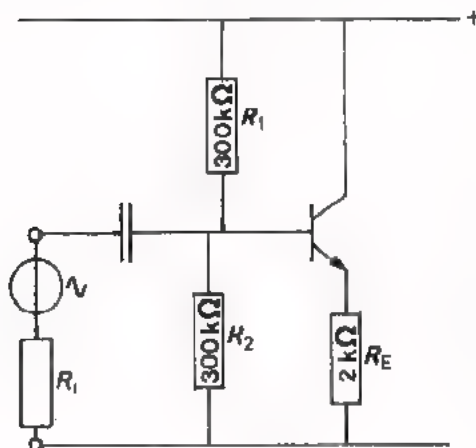
Teken het wisselstroomschema.

Bereken de ingangswisselstroomweerstand van de schakeling.

$$R_{ing} \approx \boxed{\phantom{0000000000}}$$

3. In deze schakeling,  $h_{ie} = 2,5 \text{ k}\Omega$  en  $h_{fe} = 800$ .

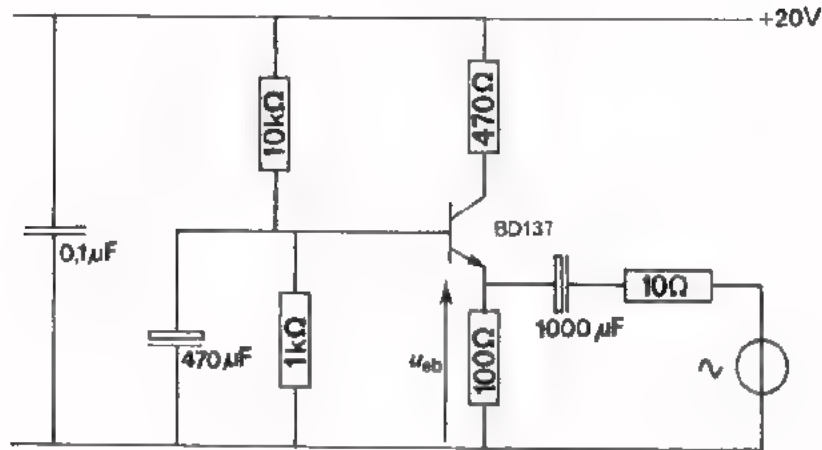
Teken het wisselstroomschema.



Bereken  $R_{ing}$  van de schakeling.

$$R_{ing} \approx \boxed{\phantom{0000000000}}$$

OPDRACHT: METEN AAN EEN GBS



- Bouw deze schakeling.

Schakel de *LP*-generator nog niet in.

- Meet  $U_{EB}$  en  $U_{CB}$ .

$U_{EB} =$

$U_{CB} =$

- Meet met de oscilloscoop bij 1 kHz.

$A_u = \frac{u_{cb}}{u_{eb}}$ . Houd hierbij  $U_{(eb)t} \approx 10$  mV.

- Meet de ingangswisselstroomweerstand tussen emitter en aarde.

$R_{ing} =$

**Opmerking:**

De condensator van 0,1  $\mu$ F is nodig om storingen te voorkomen. De condensator van 470  $\mu$ F sluit de basis met aarde kort voor wisselstroom

## DE UITGANGSWISSELSTROOMWEERSTAND



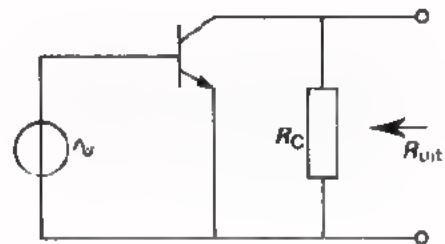
Een versterkerschakeling voert het versterkte signaal toe aan een belastingsweerstand  $R$ . "Terugkijkend" in de schakeling "ziet" deze belastingsweerstand de *uitgangsweerstand*  $R_{uit}$ .

- Bij een GES:

Uitgangsweerstand:

$$R_{uit} = R_C$$

De invloed van de transistor is hier vrijwel te verwaarlozen.

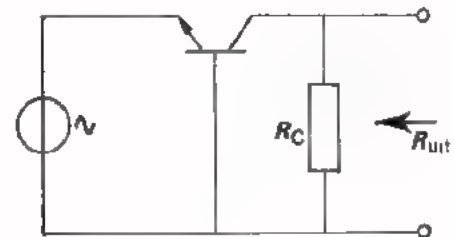


- Bij een GBS:

Uitgangsweerstand:

$$R_{uit} = R_C$$

Ook hier is de invloed van de transistor te verwaarlozen.

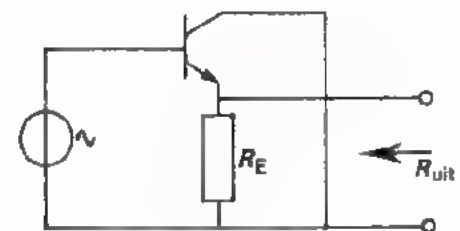


- Bij een GCS:

Uitgangsweerstand:

$$R_{uit} \approx \frac{1}{S}$$

Deze weerstand is zeer klein.  $R_{uit}$  is afhankelijk van  $S$  en dus van de gelijkstroominstelling.

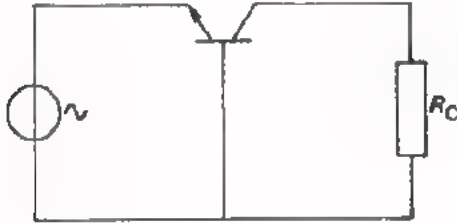


Voor sommige toepassingen is een kleine uitgangsweerstand gewenst. De LF-generator die we steeds gebruiken heeft b.v. ook een uitgang met lage  $R_i$ .

OEFENINGEN

Neem bij volgende oefeningen aan dat de *gelijkstroombestelling* niet verandert.

1.

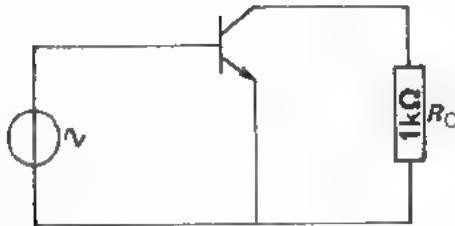


Als men aan  $R_C$  een weerstand van  $600 \Omega$  parallel schakelt vermindert de  $u_{cb}$  met 50%.

Hoe groot is  $R_C$ ?

$R_C =$

2.

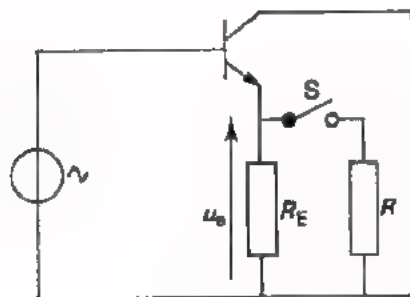


Als men aan  $R_C$  een weerstand  $R$  parallel schakelt vermindert de  $u_{ce}$  met 20%.

Hoe groot is  $R$ ?

$R =$

3.



$R_E = 1 \text{ k}\Omega$

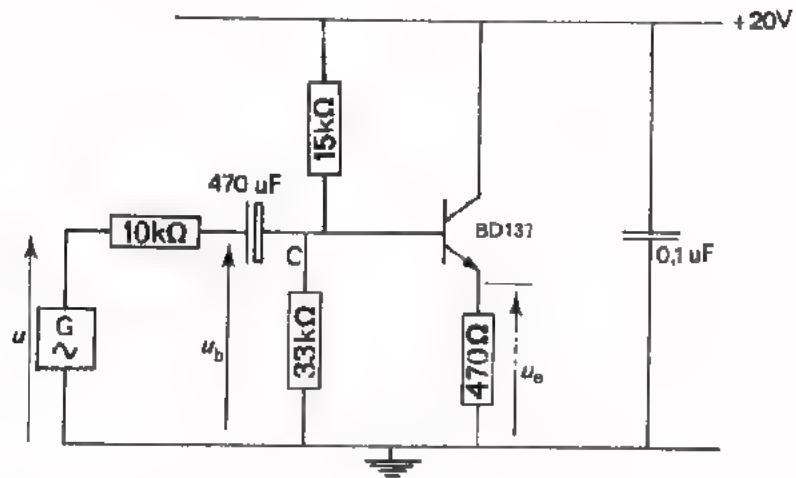
$S = 100 \text{ mA/V}$

Door het sluiten van  $S$  zakt  $u_e$  tot op de helft.

Hoe groot is  $R$ ?

$R =$

OPDRACHT: METEN AAN EEN EMITTERVOLGER



- Bouw deze schakeling.

- Meet  $U_{BE}$  en  $U_{CE}$ .

$U_{BE} =$

$U_{CE} =$

- Meet  $A_u = \frac{u_e}{u_b}$  met behulp van een generator en een oscilloscoop bij 1 kHz.

$A_u =$

- Meet de  $R_{ing}$  tussen b en aarde.

$R_{ing} =$

SAMENVATTING

In onderstaande tabel zijn de voornaamste eigenschappen en formules van de drie grondschakelingen bij elkaar gezet.

	GES	GBS	GCS
wisselstroom- versterking $A_i$	$h_{fe}$	$\approx 1$	$\approx h_{fe}$
Wisselspannings- versterking $A_u$	$S R_C$ (180° fase- verandering)	$S R_C$ (geen fase- verandering)	$\approx 1$ (geen fase- verandering)
ingangswissel- stroomweerstand $R_{ing}$	$h_{ie} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$	$h_{ib} = \frac{1}{S}$ (klein)	$h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E$ (groot)
uitgangswissel- stroomweerstand $R_{uit}$	$R_C$	$R_C$	$\approx \frac{1}{S}$ (klein)

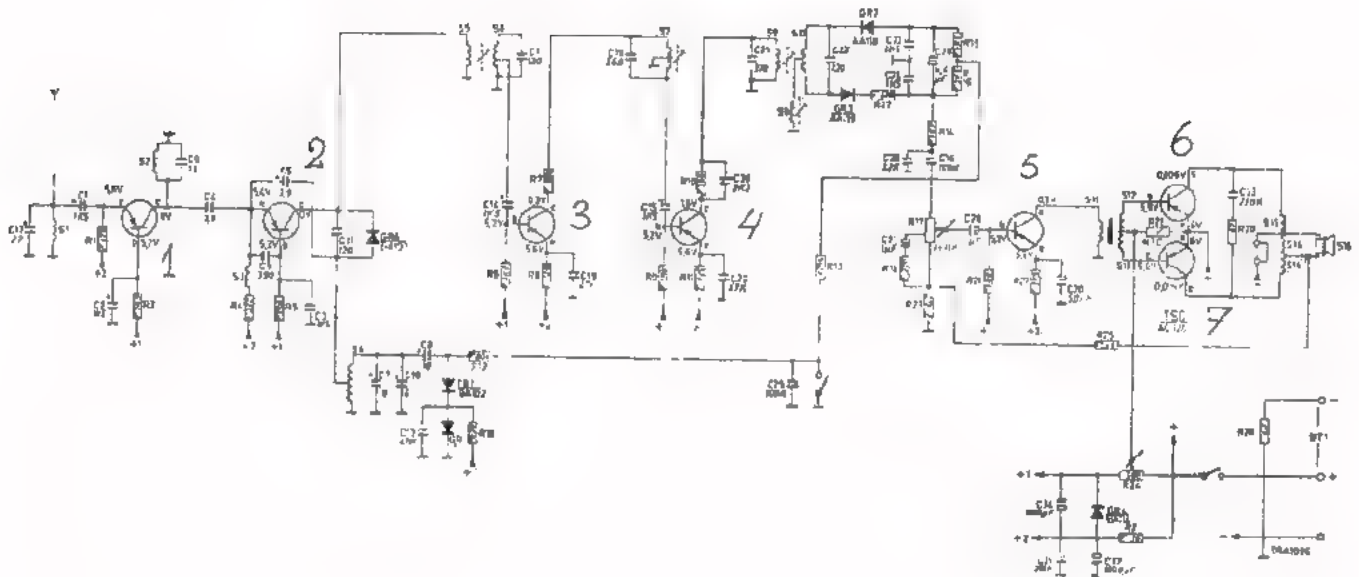




2. In dit schema van een radio-ontvanger komen 7 transistors voor.  
Geef van elke transistor aan in welke grondschakeling hij gebruikt wordt  
en wat voor soort transistor het is (PNP of NPN).

1.		
2.		
3.		
4.		

5.		
6.		
7.		



## SCHAKELLEN MET TRANSISTOR EN DIODE

## INLEIDING

In de elektrotechniek komt het vaak voor dat men stroom of spanning moet in- of uitschakelen. Dit kan men doen met *mechanische* schakelaars, zoals b.v. de lichtnetschakelaars waarmee men lampen aan- en uitschakelt. Het kan ook met *elektronisch* werkende schakelaars. In deze les zullen we zien hoe men transistors en dioden als elektronische schakelaars kan gebruiken.

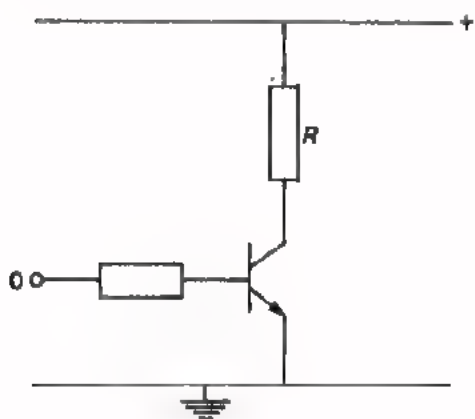
## VOORDELEN VAN ELEKTRONISCHE SCHAKELAARS

Elektronische schakelaars hebben een aantal voordelen boven mechanische. De elektronische schakelaar:

- neemt weinig plaats in  
Men kan vele dioden of transistors die als schakelaar dienst doen op een zeer klein stukje silicium, b.v.  $1 \text{ mm}^2$ , aanbrengen.
- is niet aan slijtage onderhevig
- kan veel sneller schakelen
- heeft om te schakelen maar zeer weinig energie nodig.

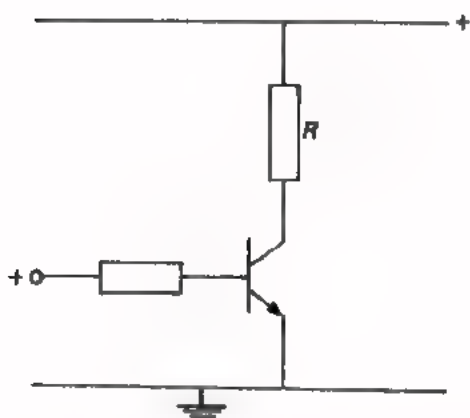
## DE TRANSISTOR ALS SCHAKELAAR

De transistor in GES wordt vaak als schakelaar toegepast. Deze schakelaar wordt daarbij bediend door er al dan niet een gelijkspanning aan toe te voeren. Soms past men de transistor in GCS toe.



Voert men aan de ingang van deze transistor *geen* spanning toe, dan loopt er ook door de weerstand  $R$  geen stroom.

Bij toevoer van een spanning 0 staat de transistor in de *niet geleidende* toestand.



Voert men aan de ingang van de transistor *wel* een (positieve in geval van NPN) spanning toe, dan loopt er door de weerstand  $R$  wel een stroom.

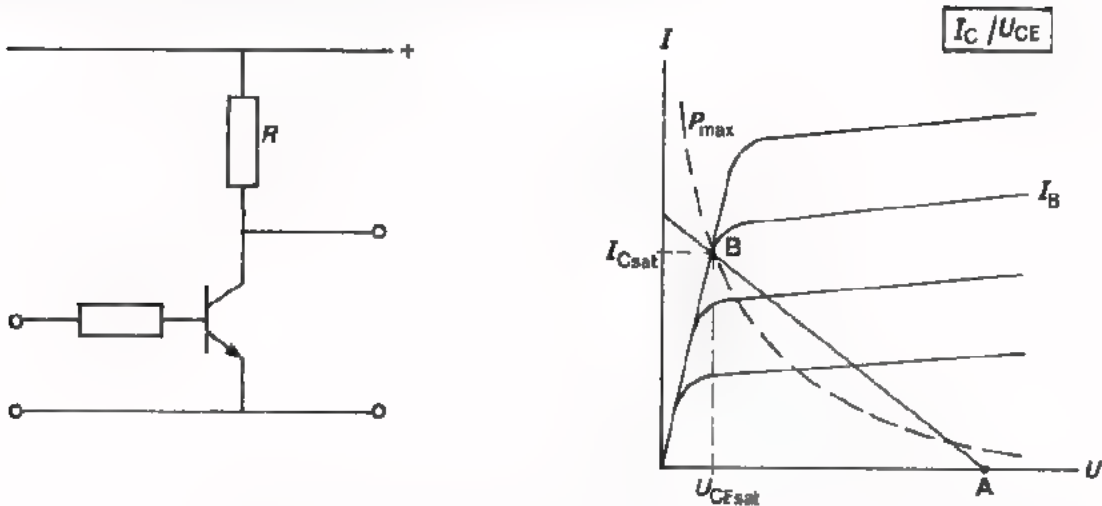
Bij toevoer van een + spanning staat de transistor in de *geleidende* toestand.

Op deze manier wordt het duidelijk dat we met een transistor kunnen schakelen.

- Bij een drukknopschakelaar van een huisbel zijn twee toestanden:
  - Niet met de vinger drukken; de bel gaat niet.
  - Wel drukken; de bel gaat over.
- Bij een transistorschakelaar zijn ook twee toestanden:
  - Spanning 0 op de basis; geen spanning over de collectorweerstand.
  - Spanning + op de basis in geval van NPN; wel spanning over de collectorweerstand.

Schakelingen die een aantal vaste toestanden kunnen aannemen noemen we *digitale* schakelingen. Twee-standen schakelingen, zoals hierboven genoemd, zijn dus ook digitale schakelingen.

## SCHAKELEN MET EEN TRANSISTOR EN DE BELASTINGLIJN



In dit schema is nogmaals een transistor GES weergegeven. Rechts ziet u de bundel uitgangskarakteristieken met daarin de belastinglijn voor een bepaalde collectorweerstand  $R$ .

Op het vorig blad zagen we dat de transistor in de niet geleidende toestand verkeert bij spanning 0 op de basis. Deze toestand wordt in de grafiek weergegeven door het punt A. Er is wel een bepaalde voedingsspanning, maar geen stroom  $I_C$  door de weerstand  $R$ , omdat  $I_B$  immers 0 is.

De geleidende toestand krijgen we door aan de basis een + spanning toe te voeren. Deze toestand wordt in de grafiek aangegeven door punt B.

Waarom juist door B en niet een van de vele andere punten op de belastinglijn?

In een transistor die stroom trekt wordt een vermogen omgezet in warmte. Dit vermogen kan als het te groot wordt de transistor kapot maken. In bovenstaande  $I_C - U_{CE}$  karakteristiek is een  $P_{max}$ -lijn geschetst. Deze lijn geeft de grens aan van het toegestane vermogen dat in de transistor gedissipeerd mag worden. Voor elke spanning  $U_{CE}$  is er een bijpassende maximaal toegestane collectorstroom. De lijn die punt A met punt B verbindt is de weerstandslijn van de collectorweerstand  $R$ . Om de transistor heel te houden moeten we zorgen dat de stroom klein is als de spanning groot is, of dat de spanning klein is als de stroom groot is. Aan de gestelde eisen wordt voldaan als we de transistor van A naar B of van B naar A zó snel schakelen dat het vermogen gedurende het omschakelen niet boven de gestelde grens uitkomt. De kleinste spanning  $U_{CE}$  bij de bocht of knie van de uitgangskarakteristiek noemt men de *kniespanning*.

Zit men geheel aan de linkerkant van de karakteristiekenbundel, dan spreekt men van "in *versadiging* sturen". De kniespanning noemt men dan ook wel *versadigingspanning*, (engels: "saturation", vandaar  $U_{CE sat}$ ). De bijbehorende stroom is de *versadigingsstroom*  $I_{C sat}$ .

## WAAROM IN VERZADIGING?

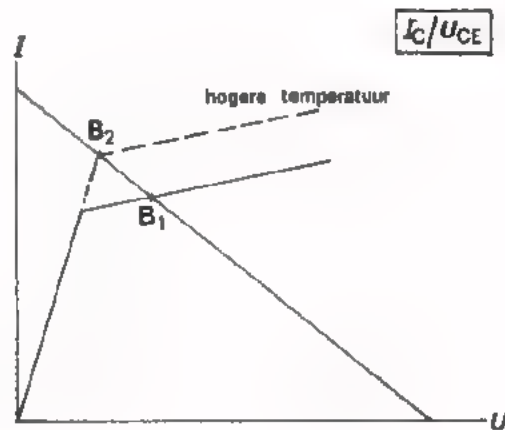
We hebben gezien dat men de transistor bij gebruik als schakelaar in verzadiging stuurt. De spanning over de schakelaar (transistor) is dan minimaal en hij neemt minder dan het toegestane vermogen op.

Een andere reden is dat men minder afhankelijk wordt van temperatuursinvloeden en van de spreiding bij transistors.

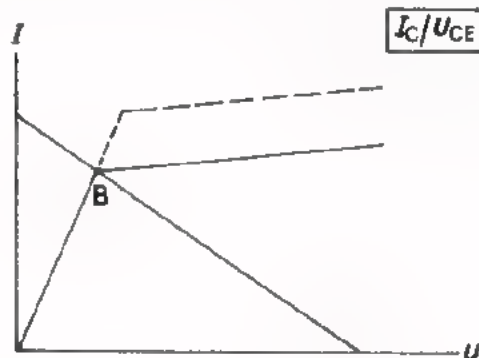
Bij stijging van de temperatuur schuiven de uitgangskarakteristieken omhoog.

Zou men de transistor *niet* in verzadiging sturen, maar b.v. in punt  $B_1$  instellen, dan komt bij temperatuursverhoging de instelling bij  $B_2$  terecht.

Hetzelfde gebeurt als we een transistor in de schakeling vervangen door een andere met een wat hoger liggende uitgangskarakteristiek.

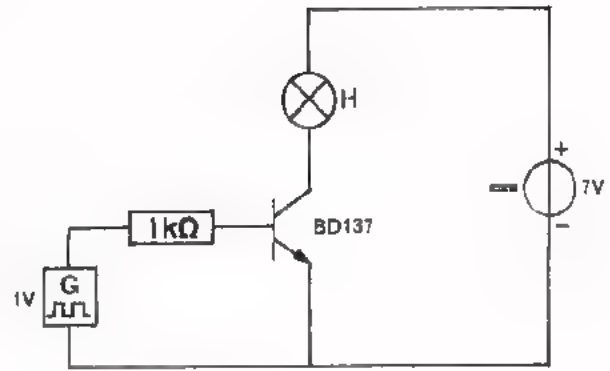
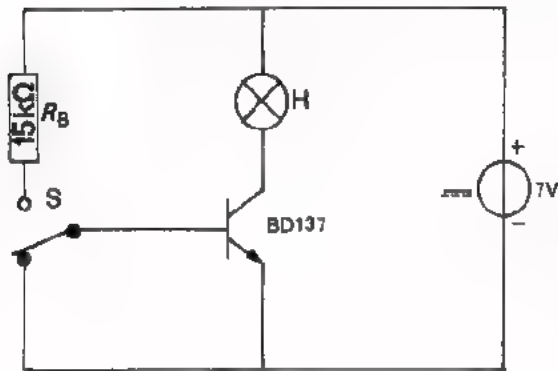


Staat de transistor *wel* bij de kniespanning ingesteld, dan heeft de verschuiving van de karakteristiek naar boven geen andere instelling tot gevolg.



Opmerking: Een transistor die in verzadiging gestuurd wordt heeft meer schakeltijd nodig dan een transistor die niet in verzadiging gestuurd wordt. Men schakelt ook wel zonder de verzadigingstoestand te gebruiken. Het begrip schakeltijd wordt nog uitgebreid besproken in de digitale technieklessen, waaraan deel D van deze cursus gewijd is. We komen daar ook nog terug op het gebruik van de transistor als schakelaar.

OPDRACHT: "SCHAKELEN MET EEN TRANSISTOR"



- Bouw de schakeling die aan de linkerkant getekend is.
- Zet S enige malen om.  
U ziet dat door het al of niet toevoeren van een spanning aan de basis van de transistor in de collectorleiding een lampje wel of niet brandt.
- Bepaal door meting van de spanning over  $R_B$ , de stroom die nodig is om de transistor in geleiding te brengen.
- Verander de schakeling zo als aangegeven op de rechtse tekening.
- Hoe groot is het vermogen ( $P = U \cdot I$ ) dat aan het lampje H geleverd wordt?
- Hoe groot is de kniespanning  $U_{CE}$ , die over de transistor blijft staan?
- Hoe groot is het vermogen  $P_v = U_{CE} \cdot I_C$  dat in de collector van de transistor wordt gedissipeerd?
- Voer een blokspanning toe met een frequentie van 1 Hz. U ziet dat de blokspanning het lampje nu aan- en uitschakelt. Het schakelen geschiedt nu geheel elektronisch.
- Bepaal opnieuw  $I_B$  en het vermogen dat door de blokspanningsgenerator geleverd moet worden.

$I_B =$

$P_H =$

$U_{CE} =$

$P_v =$

$I_B =$

$P_{gen} =$

## DE DIODE ALS SCHAKELAAR

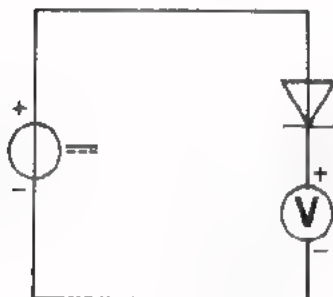
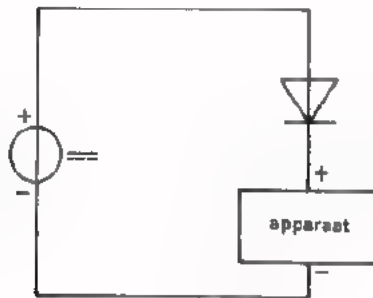
Een schakelaar wordt als regel van buitenaf bediend. De starter van een auto bedient men met de hand. Een transistorschakelaar, die tussen collector en emitter schakelt, wordt bediend door aan de basis een signaal toe te voeren.

Deze schakelaars zou men "bestuurde schakelaars" kunnen noemen. Bij een diode is een anode- en een kathode-aansluiting aanwezig. Er is geen derde aansluiting, maar toch is het mogelijk een diode als schakelaar te gebruiken.

De diode wordt als schakelaar bediend door het signaal dat hij al dan niet moet doorlaten. Is  $U_V$  voldoende positief dan laat een diode  $I_V$  door, maar is  $U_V$  te klein of negatief dan laat de diode geen  $I_V$  door.

Men zou een diode een "zelfwerkzame schakelaar" kunnen noemen.

### VOORBEELD.



Een apparaat moet op een gelijkspanning worden aangesloten. Het is daarbij van belang dat de + van de gelijkspanning beslist aan de ene kant en de - aan de andere kant van het apparaat komt te liggen.

Door een diode in serie te schakelen met het apparaat kan men het beveiligen tegen verkeerd aansluiten.

De diode heeft hier de functie van een schakelaar; hij blijft "open" als het signaal "verkeerd" is en gaat "dicht" bij een "juist" signaal.

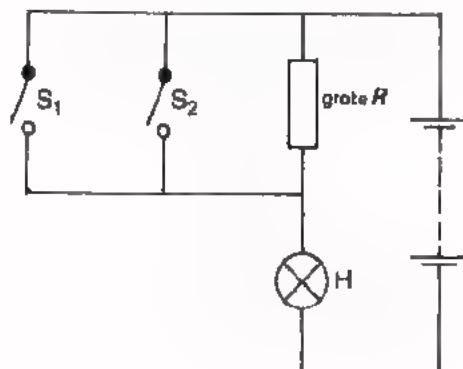
Een dergelijke beveiliging kan worden toegepast bij gelijkspanningsmeters.



## VOORBEELDEN UIT DE SCHAKELTECHNIEK

We geven hier een aantal voorbeelden van het gebruik van dioden als schakelaar. We geven daarbij telkens eerst een schakeling met mechanische schakelaars en daarna de elektronische uitvoering. De voorbeelden zijn aan de schakeltechniek ontleend.

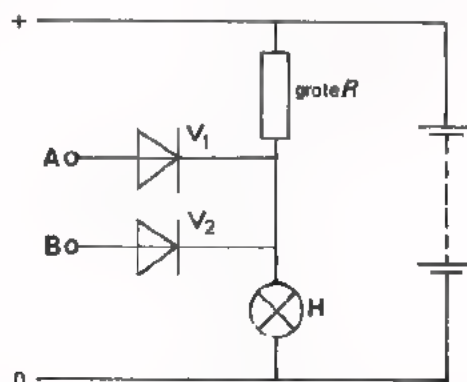
VOORBEELD: "DE OF-SCHAKELING":



Met behulp van deze schakeling kan men een lamp in- of uitschakelen. De eigenschap van deze schakeling is:

Als OF  $S_1$ , OF  $S_2$ , OF  $S_1$  en  $S_2$  worden gesloten, gaat het lampje branden.

We geven nu een elektronische uitvoering van dezelfde schakeling.



De mechanische schakelaars zijn hier vervangen door dioden. We bedienen deze dioden door de "+ spanning" of door de "spanning 0". Wordt op de ingang A zowel als op de ingang B een "spanning 0" aangesloten, dan zijn beide dioden gesperd. Het lampje brandt dan niet doordat door de grote  $R$  maar een kleine stroom kan lopen.

Wordt OF aan A, OF aan B, OF aan A en B de "+ spanning" toegevoerd, dan sluit de diode  $V_1$ , of de diode  $V_2$ , of  $V_1$  en  $V_2$  de weerstand  $R$  kort. De lamp gaat branden.

De eigenschap van deze schakeling is:

Als OF op de ingang A, OF op de ingang B, OF op beide ingangen de "+ spanning" wordt aangesloten gaat de lamp branden.

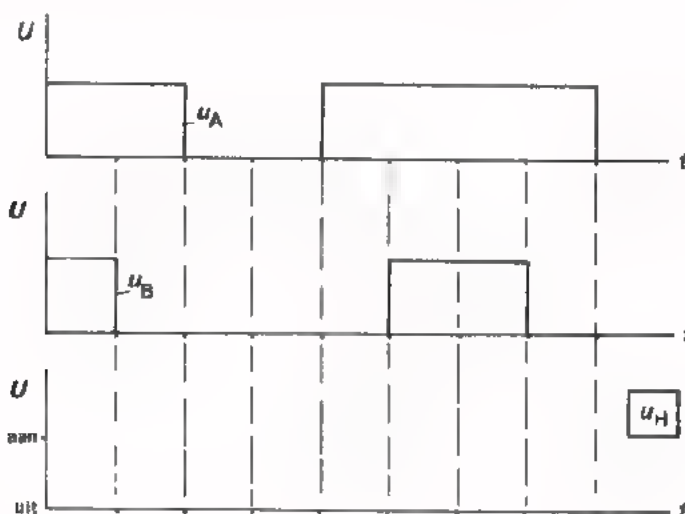
Dit soort schakelingen komt veel voor en dan vaak met nog meer dan twee ingangen. Men noemt zo'n schakeling een: "OF-schakeling".

Een praktijkvoorbeeld van een dergelijke schakeling is het volgende. Een spoorwegovergang moet automatisch beveiligd worden. Als een trein uit de ene richting de overgang tot op 500 m is genaderd moeten de bomen automatisch neergaan. Dit moet ook het geval zijn als er een trein uit de andere richting komt of als er een komt uit beide richtingen. We zorgen er nu voor dat bij nadering van een trein uit de ene zowel als uit de andere richting een "+ spanning" ontstaat. Deze "+ spanning" wordt aan een OF-schakeling toegevoerd die op zijn beurt de slagbomen bedient. De bomen sluiten zich dus als er OF een trein uit de ene OF een trein uit de andere richting komt, OF als er twee treinen komen, uit elke richting een.

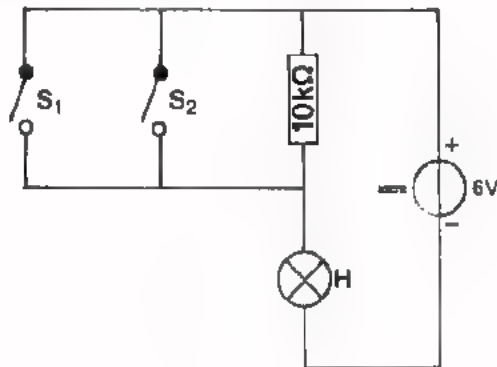
Opmerking: In de hier gegeven diodeschakeling worden de spanningen door middel van snoertjes op de dioden aangesloten. In praktische digitale schakelingen worden blokspanningen op de dioden aangesloten.

OEFENING:

Probeer in volgende spannings-tijddiagrammen eens na te gaan wanneer de lamp H brandt.

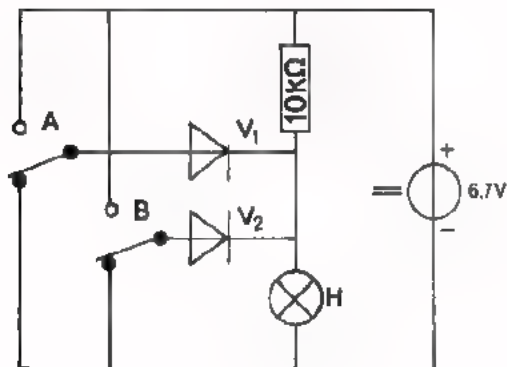


OPDRACHT: "HET SCHAKELEN MET EEN OF-SCHAKELING"



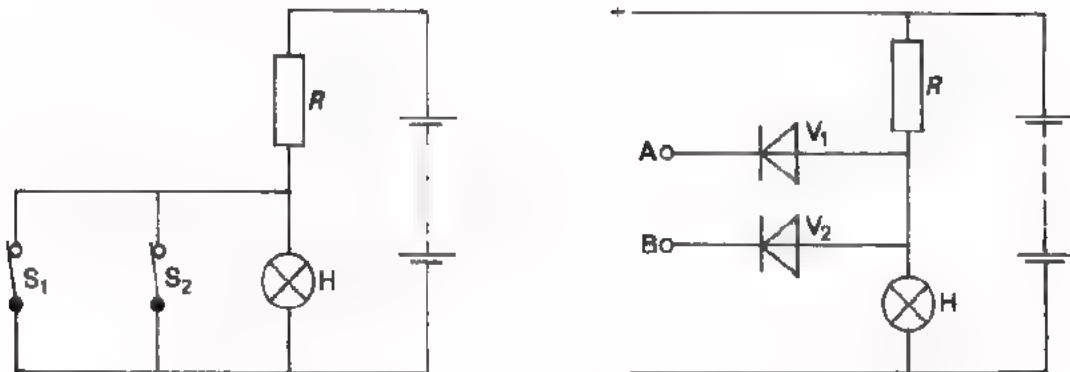
- Bouw deze schakeling.
- Sluit S<sub>1</sub> en let op het lampje.
- Open S<sub>1</sub> en sluit S<sub>2</sub> en let op het lampje.
- Sluit S<sub>1</sub> en S<sub>2</sub> en let op het lampje.

U constateert nu dat het lampje brandt, als OF S<sub>1</sub>,  
OF S<sub>2</sub>, OF S<sub>1</sub> en S<sub>2</sub> gesloten zijn.



- Bouw nu deze schakeling.
- Ga na dat deze ook werkt als een "OF-schakeling".

## VOORBEELD VAN EEN "EN-SCHAKELING"



Ook hier op het linker schema ziet u een schakeling waarmee we een lamp kunnen laten branden. De eigenschap van deze schakeling is:

Als EN  $S_1$ , EN  $S_2$  worden geopend, gaat de lamp branden.

$S_1$ , zowel als  $S_2$  sluiten immers de lamp kort. Pas als *beide* kortsluitingen worden verbroken gaat de lamp branden.

Het rechter schema geeft een elektronische uitvoering van dezelfde schakeling.

Sluiten we op de ingang A, zowel als op de ingang B een "spanning 0" aan, dan staan beide dioden in de doorlaatrichting. Het lampje brandt niet. Sluiten we nu op de ingang A een "+ spanning" aan en op ingang B een "spanning 0", dan brandt het lampje nog niet. Immers, de diode  $V_2$  sluit het lampje nog steeds kort.

Pas als op beide uitgangen een "+ spanning" staat gaat het lampje branden.

De eigenschap van de schakeling is dus:

Als EN op ingang A, EN op ingang B een "+ spanning staat", brandt het lampje.

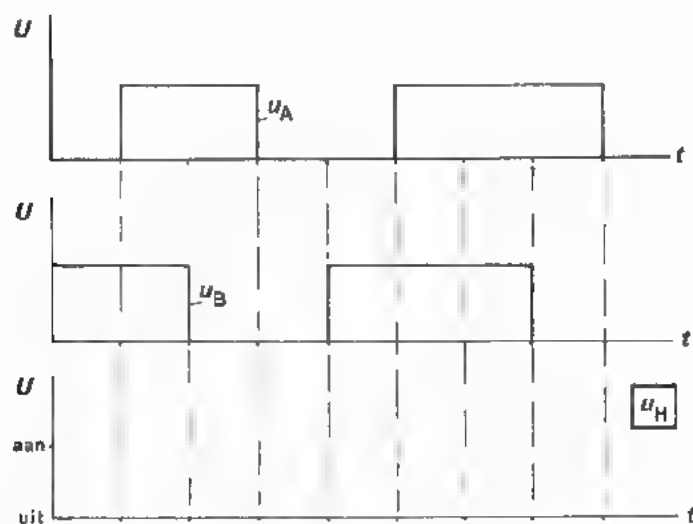
Een dergelijke schakeling komt veel voor en dan vaak nog met meer dan twee ingangen. Men noemt zo'n schakeling een "*EN-schakeling*".

Een praktijkvoorbeeld is het volgende.

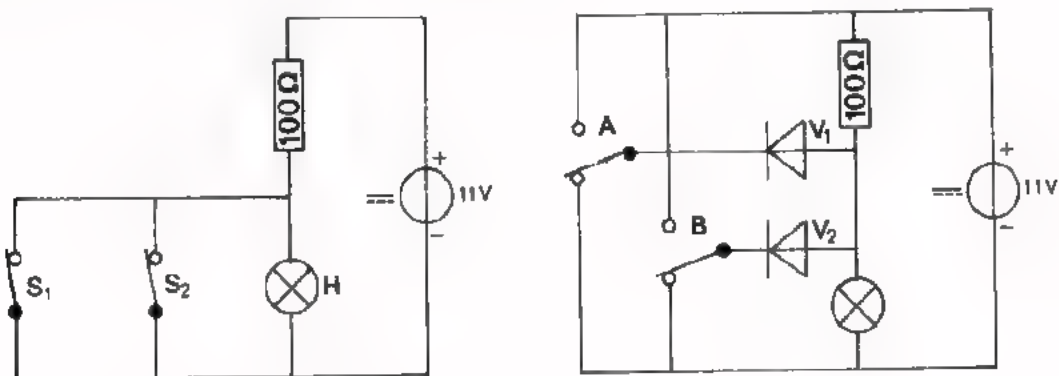
Een trein mag pas gaan rijden als alle deuren dicht zijn. Men kan hiervoor volgende automatische beveiliging aanbrengen. Elke deur geeft bij de machinist een "+ spanning". De "+ spanningen" van alle deuren worden aan een EN-schakeling toegevoerd. Deze schakeling maakt daarna de mogelijkheid vrij om de trein weg te laten rijden.

OEFENING:

Probeer ook voor de EN-schakeling het spannings-tijddiagram zo in te vullen dat u kunt zien wanneer de lamp H brandt.



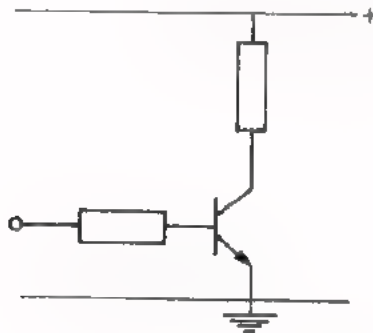
OPDRACHT: HET SCHAKELN MET EEN EN-SCHAKELING



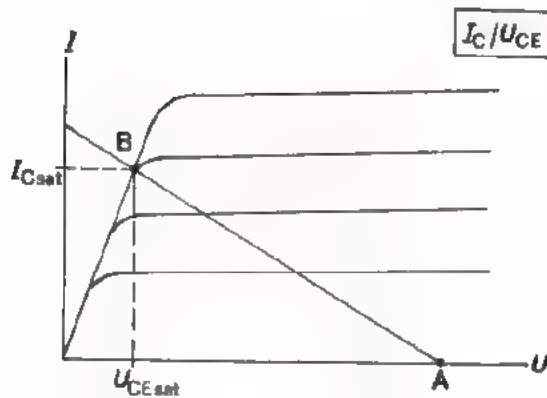
- Bouw de linker schakeling.
  - Open  $S_1$  en let op het lampje.
  - Sluit  $S_1$  en open  $S_2$  en let op het lampje.
  - Open  $S_1$  en  $S_2$  en let op het lampje.
- U kunt nu constateren dat het lampje alleen brandt als EN  $S_1$  EN  $S_2$  worden geopend.
- Bouw nu de rechter schakeling.
  - Ga na dat ook deze werkt als een "EN-schakeling".

SAMENVATTING

- Met behulp van dioden en transistors kan men schakelen. De transistor past men dan meestal toe in de GES, soms ook als emittervolger.



Met een NPN-transistor schakelt men door aan de basis een "+ spanning" of een "spanning 0" toe te voeren; met een PNP-transistor een "- spanning) of een "spanning 0".



De twee schakelposities worden op de belastinglijn weergegeven door de punten A en B.

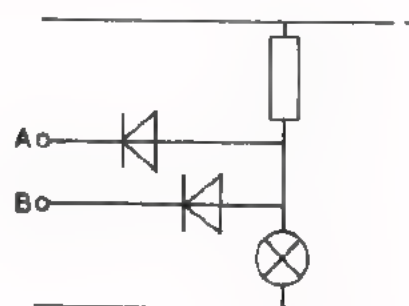
De niet geleidende toestand ( $I_C = 0$ ) wordt bereikt in A. De geleidende toestand in B. De kleinste spanning  $U_{CE}$ , die optreedt in de bocht of knie van de uitgangskarakteristiek, heet *knie- of versadigingspanning*  $U_{CE\ sat}$

- Ook met een diode kan men schakelen. De diode-schakelaar wordt bediend door het signaal dat hij al dan niet moet doorlaten.

- Veel voorkomende schakeling met behulp van dioden zijn:

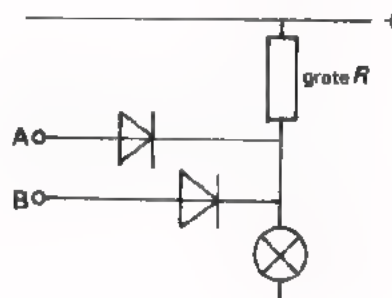
- De EN-schakeling.

De lamp brandt als er een "+ spanning" aangesloten is EN op A EN op B. Is op een klem geen "+ spanning" aangesloten, dan is er een "spanning 0" op aangesloten.



- De OF-schakeling.

De lamp brandt als er een "+ spanning" aangesloten is OF op A, OF op B, OF op A en B.

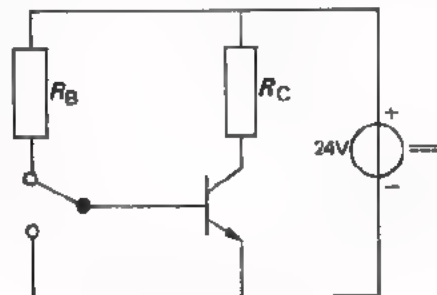


NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. De transistor in volgende schakeling mag niet meer dan 2 A collectorstroom voeren, niet meer dan 24 V hebben tussen collector en emitter en heeft een maximale collectordissipatie van 1 W. De kniespanning  $U_{CE\ sat}$  bedraagt 0,3 V.



- Hoe groot is  $R_C$  als de transistor met  $I_C = 2\text{ A}$  in verzadiging gestuurd wordt?

$R_C =$

- Hoe groot is  $R_B$  als  $h_{FE} = 40$ , en  $U_{BE} = 1\text{ V}$  nodig is om de transistor in verzadiging te sturen?

$R_B =$

- Hoe groot is het vermogen  $P_C$  dat in de collector wordt gedissipeerd als de transistor geleidt?

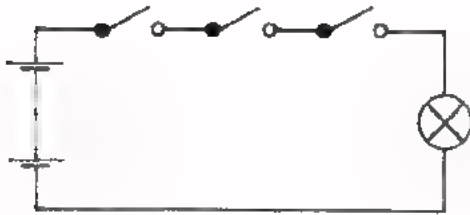
$P_C =$

- Hoe groot is het vermogen  $P_b$  dat aan de belasting (hier voorgesteld door  $R_C$ ) geleverd wordt.

$P_b =$

- Is de gebruikte transistor geschikt om dit vermogen in- en uit te schakelen?

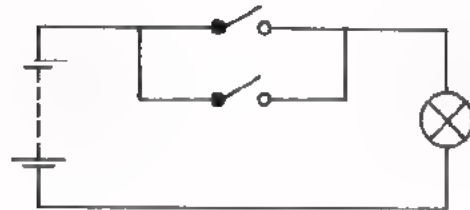
2.



Wat voor soort schakeling is dit?

schakeling

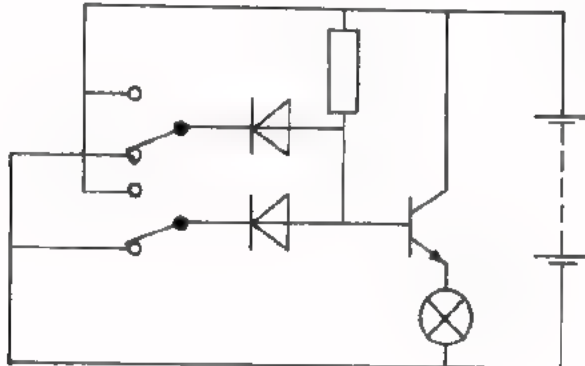
3.



Wat voor soort schakeling is dit?

schakeling

4.



In naaststaand schema wordt een diode-schakeling gebruikt om een als schakelaar dienst doende transistor te bedienen.

In de geschetste ruststand brandt het lampje

niet/wel

De diode-schakeling is een

schakeling

De transistor is geschakeld als



## HERHALING LAGENTRANSISTOR 2

### INLEIDING

In deze les herhalen we de leerstof over de lagentransistor. Ook les B214 was een herhalingsles over de transistor. Het is verstandig als u B214 nog eens doorneemt voordat u aan deze les begint.

- Werk daarna deze les grondig door.
- Als u bepaalde dingen nog niet duidelijk zijn, vraag uw leraar dan om nadere uitleg.
- Bestudeer de samenvattingen van de voorafgaande lessen nog eens goed.
- Ga na in welke oefeningen u fouten maakt en probeer te achterhalen waarom u die maakt.
- Gebruik de *geheugensteun*.

In deze herhalingsles bevindt zich ook een meetopdracht. Dit ter voorbereiding van de test waarin ook praktische metingen zijn opgenomen.

## DE DRIE PRINCIPE-SCHEMA'S

Met een transistor zijn drie wisselstroomschema's mogelijk. Hieronder zijn deze in hun eenvoudigste vorm weergegeven. De voornaamste eigenschappen zijn erbij vermeld.

GES	GBS	GCS emittervolger
$R_{ing} = h_{ie} = \frac{u_{be}}{i_b} = h_{fe} \cdot \frac{1}{S}$ $R_{uit} \approx R_C$	$R_{ing} = h_{ib} = \frac{u_{eb}}{i_e} = \frac{1}{S}$ (klein) $R_{uit} \approx R_C$	$R_{ing} = \frac{u_b}{i_b} = h_{fe} \cdot R_E$ (groot) $R_{uit} \approx \frac{1}{S}$ (klein)
$A_u = \frac{u_{ce}}{u_{be}} = S \cdot R_C$ 180° faseverandering tussen $u_{ce}$ en $u_{be}$	$A_u = \frac{u_{cb}}{u_{eb}} = S \cdot R_C$ Géén faseverandering tussen $u_{cb}$ en $u_{eb}$	$A_u \approx 1$ Géén faseverandering tussen $u_e$ en $u_b$
$\frac{i_c}{i_b} = h_{fe}$	$\frac{i_c}{i_e} \approx 1$	$\frac{i_e}{i_b} \approx h_{fe}$

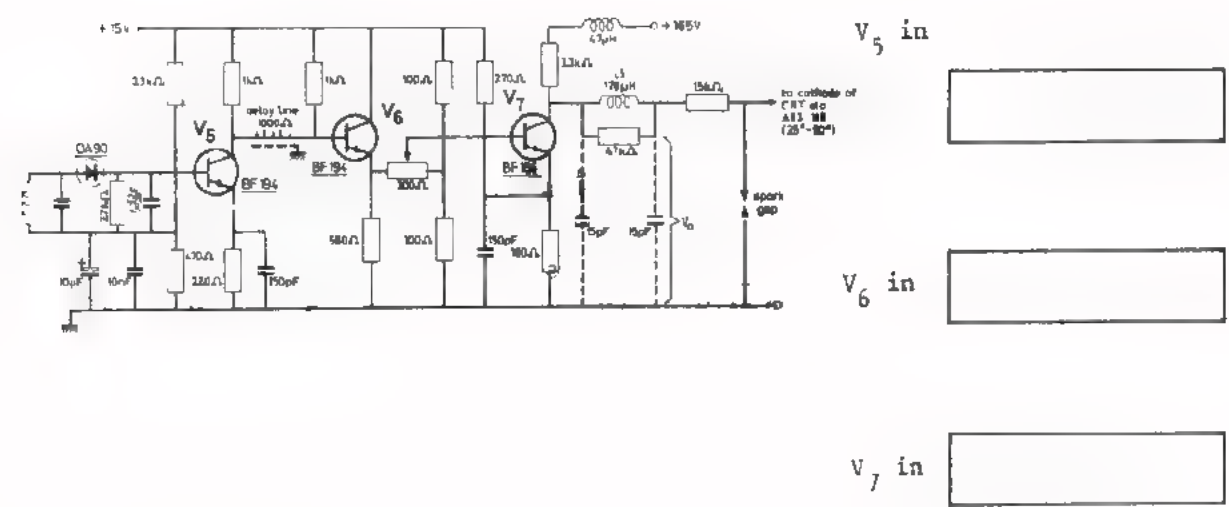
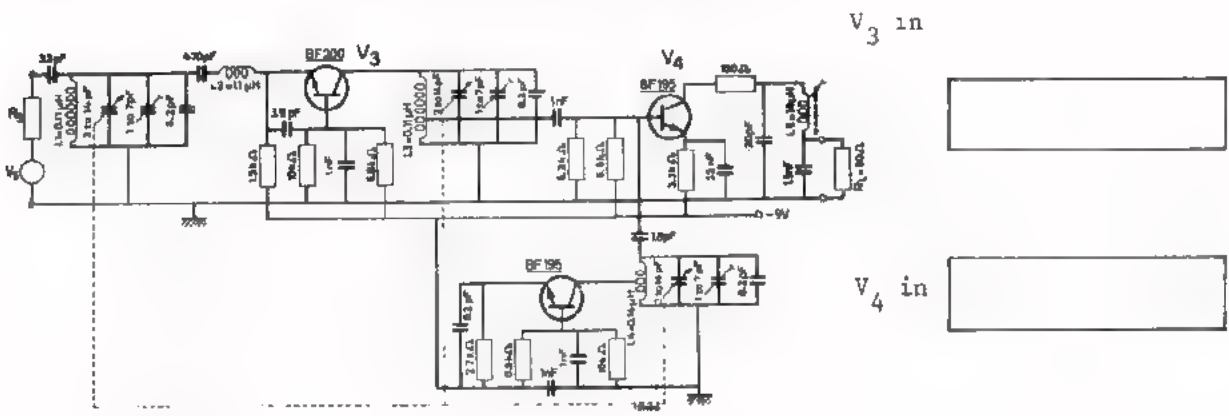
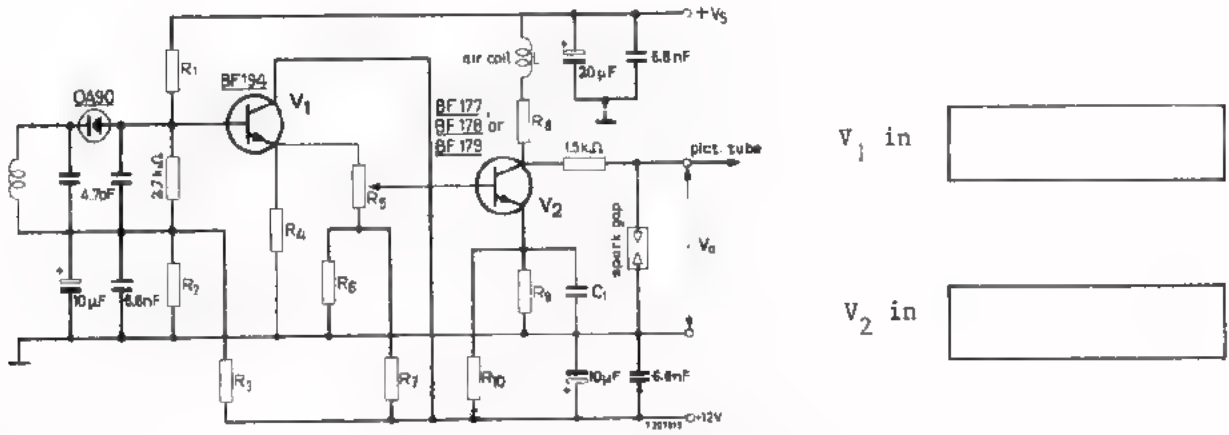
De formules in dit overzicht gelden voor de getekende schema's. Praktijk-schema's bevatten meer componenten, waardoor het rekenen eraan iets uitgebreider wordt. Zo moet men bij de GES en de GCS bij  $R_{ing}$  nog rekening houden met de basisweerstand(en), die nodig zijn om  $R_B$  toe te voeren. Bij de GBS is vaak een extra  $R_E$  aanwezig. Deze weerstanden verminderen de grootte van de stroomversterking

$$\frac{i_u}{i_i} = A_i.$$

Verder komt bij de GES en de GBS aan  $R_C$  en bij de GCS aan de  $R_E$  nog een belasting parallel te staan. Deze belastingen verminderen in schakelingen de grootte van  $A_u$  en  $A_i$ .

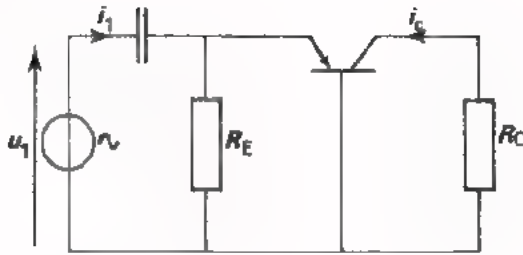
TEST UZELF

Geef voor de in onderstaande schema's aangeduide transistoren aan in welke grondschakeling zij worden toegepast.



TEST UZELF

1.

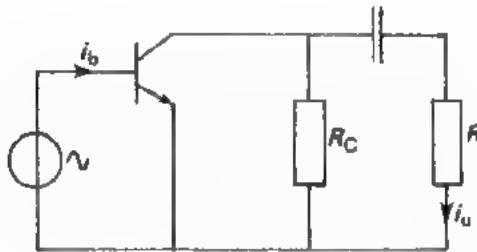


$S = 200 \text{ mA/V}$   
 $R_E = 20 \Omega$

Bepaal:  
 de weerstand gezien vanuit de generator:

$A_i =$    
 $R_{ing} =$

2.

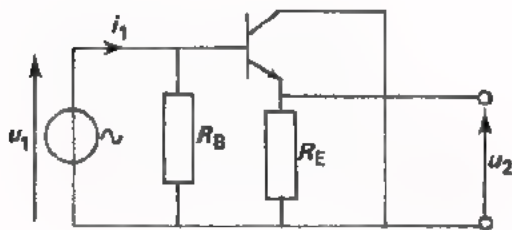


$h_{fe} = 400$   
 $S = 200 \text{ mA/V}$   
 $R_C = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R = 250 \Omega$

Bepaal  $A_i$ ,  $A_u$  en  $A_p$  van de schakeling:

$A_i =$    
 $A_u =$    
 $A_p =$

3.



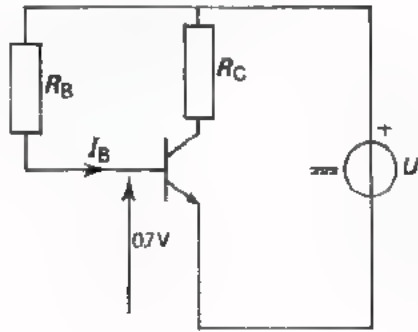
$h_{fe} = 600$   
 $S = 250 \text{ mA/V}$   
 $R_E = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_B = 400 \text{ k}\Omega$

Bepaal van deze schakeling  $R_{ing}$ ,  $R_{uit}$ ,  
 $A_i$  en  $A_u$ .

$A_i = \frac{i}{i_1} \approx$

$R_{ing} \approx$    
 $R_{uit} \approx$    
 $A_u \approx$

DE GES MET EMITTERWEERSTAND



In deze schakeling geldt:

$$I_B \approx \frac{U - 0,7}{R_B}$$

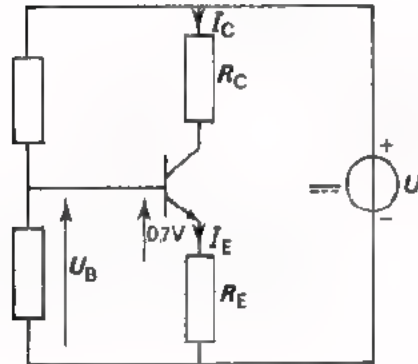
$I_B$  is vrijwel onafhankelijk van de eigenschappen van de transistor.

De  $h_{FE}$ 's van transistors van hetzelfde type kunnen echter sterke spreiding vertonen en dat betekent zeer verschillende  $I_C$ 's.

In deze schakeling met emitterweerstand  $R_E$  geldt:

$$I_E \approx \frac{U_B - 0,7}{R_E} \approx I_C$$

$I_C$  is vrijwel onafhankelijk van de eigenschappen van de transistor. Deze schakeling geeft voor transistors met zeer verschillende  $h_{FE}$ 's nagenoeg dezelfde  $I_C$ .



Door het aanbrengen van  $R_E$  kan men  $I_C$  nagenoeg onafhankelijk maken van de spreiding. Bij toename van de temperatuur neemt  $U_{BE}$  toe en daardoor in principe ook  $I_C$ . Door aanbrengen van  $R_E$  stabiliseert men de  $I_C$ -waarde ook

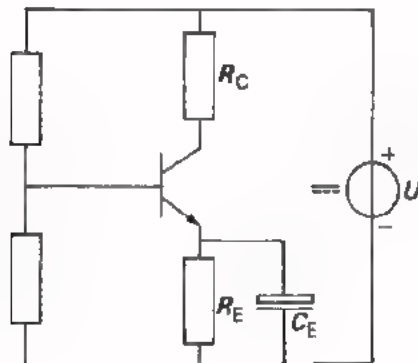
voor de temperatuur. Door aanbrengen van  $R_E$  zonder  $C_E$  wordt de wisselspanningsversterking kleiner; immers  $i_c \approx i_e$  en  $i_b \approx U_{RE}$  zodat

$$A_u \approx \frac{R_C}{R_E}$$

Ga na of u dit goed begrijpt.

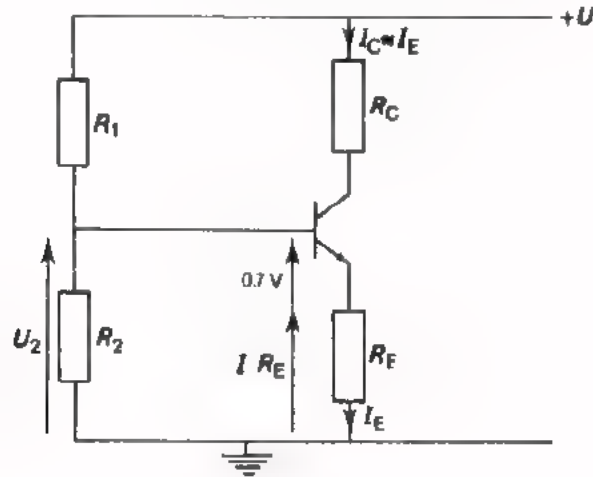
Door het aanbrengen van de ont koppelcondensator  $C_E$  is de wisselspanningsversterking weer groot en gelijk aan:

$$A_u = S \cdot R_C$$



VOORBEELD VAN EEN BEREKENING

We geven hier nog eens een voorbeeld van de globale berekening van de transistor-gelijkstroom  $I_E$  voor volgende schakeling.



Bij deze schakeling is gegeven:  $U = 20 \text{ V}$   
 $R_1 = 9 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_E = 0,2 \text{ k}\Omega.$

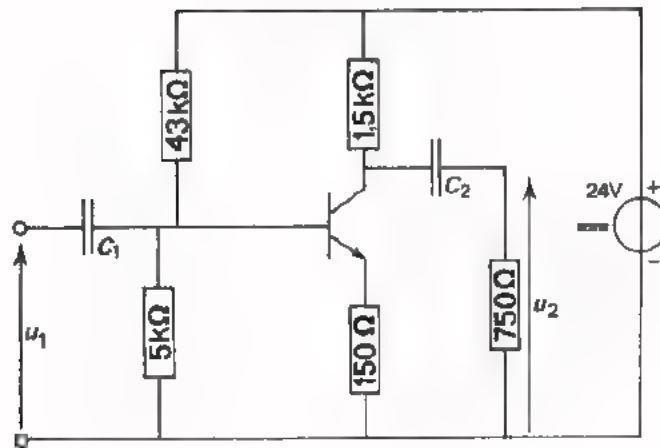
Gevraagd hoe groot de stroom  $I_E$  ongeveer zal zijn.

$$U_2 \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} U = \frac{1}{10} \cdot 20 = 2 \text{ V.}$$

$$I_E \approx \frac{U_2 - 0,7}{R_E} = \frac{2 - 0,7}{200} = \frac{1,3}{200} \text{ A} = \underline{6,5 \text{ mA}} \approx I_C$$

Is u dit niet geheel duidelijk, vraag dan uw leraar om uitleg.

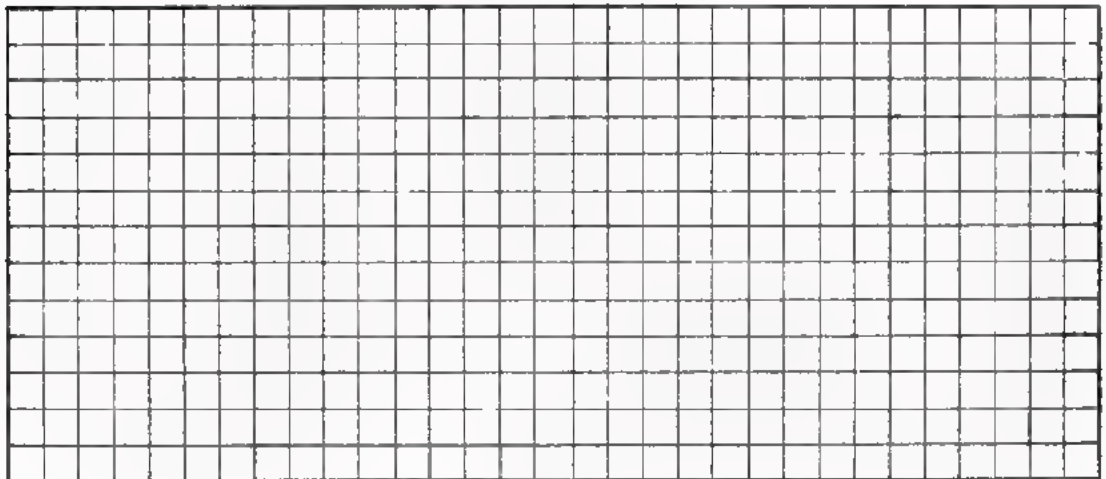
TEST UZELF



$h_{fe} = 800.$

Neem aan dat de impedanties van de condensatoren te verwaarlozen zijn.

- Teken het gelijk- en het wisselstroomschema.



gelijkstroomschema

wisselstroomschema

- Hoe groot is  $I_E$  ongeveer?

$I_E \approx$

- Hoe groot is  $A_u$  ongeveer?

$A_u \approx$

- Hoe groot is  $R_{ing}$  ongeveer?

$R_{ing} \approx$

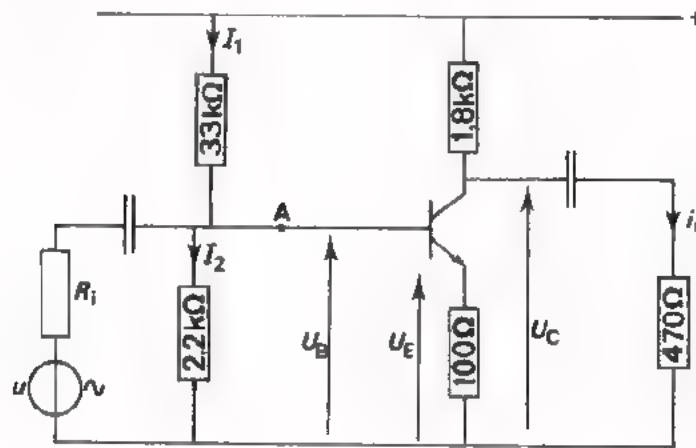
## HET METEN VAN STROMEN EN SPANNINGEN IN TRANSISTORSCHAKELINGEN

Om te controleren of een schakeling met transistoren goed functioneert moet men verschillende spanningen en soms ook stromen meten.

- Spanningen meet men meestal t.o.v. aarde of chassis.
- Stromen meet men vaak indirect door de spanning over een bekende weerstand te bepalen.

Door zo stromen te meten behoeft men in een schakeling niets los te solderen.

### VOORBEELD



In deze schakeling bepaalt men:

$$U_{CE} \text{ door } U_C \text{ en } U_E \text{ te meten; } U_{CE} = U_C - U_E$$

$$U_{BE} \text{ door } U_B \text{ en } U_E \text{ te meten; } U_{BE} = U_B - U_E$$

$$I_E \text{ door } U_E \text{ te meten; } I_E = \frac{U_E}{100}$$

$$u_{ce} \text{ door } u_c \text{ en } u_e \text{ te meten; } u_{ce} = u_c - u_e$$

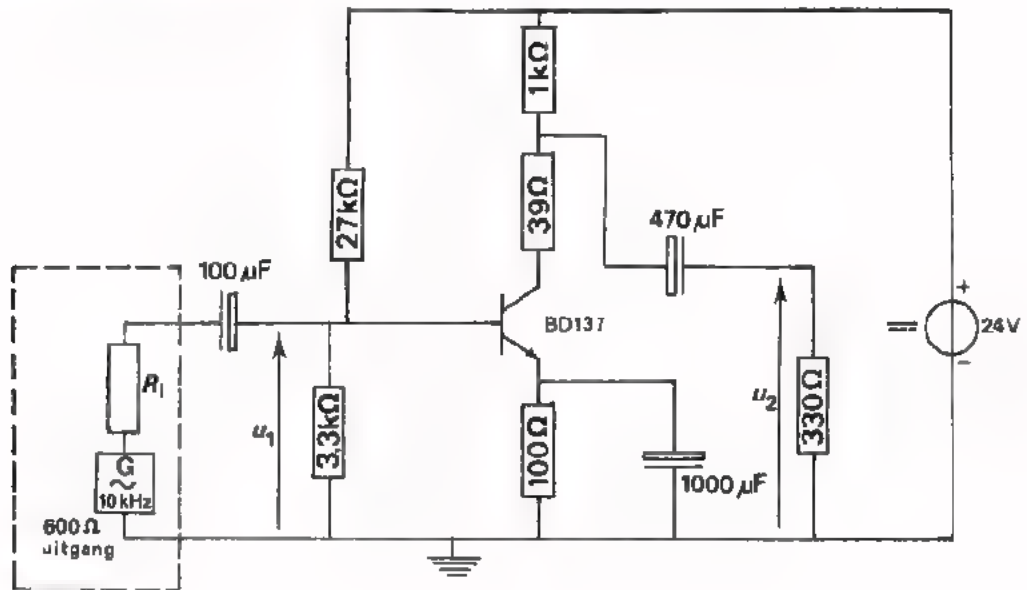
$$i_u \text{ door } u_c \text{ te meten; } i_u = \frac{u_c}{470}$$

### OPMERKING:

Om  $I_B$  te meten moet men een stroommeter of een weerstand bij A in de leiding opnemen. Het meten van  $I_1$  en  $I_2$  zal meestal te onnauwkeurig zijn.



OPDRACHT: METEN VAN STROMEN EN SPANNINGEN IN EEN TRANSISTORSCHAKELING



- Bouw deze schakeling *overzichtelijk* op het paneel.

- Meet volgende spanningen en stromen.

$$U_{BE} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$U_{CE} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$I_C = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$I_B = \boxed{\phantom{000000}}$$

- Bepaal  $A_u = \boxed{\phantom{000000}}$

- Stel  $U_{1(\text{eff})}$  in op 10 mV en meet:  $i_c = \boxed{\phantom{000000}}$

- Hoe groot is de steilheid  $S$  van deze transistor

$$S = \boxed{\phantom{000000}} \text{ mA/V}$$

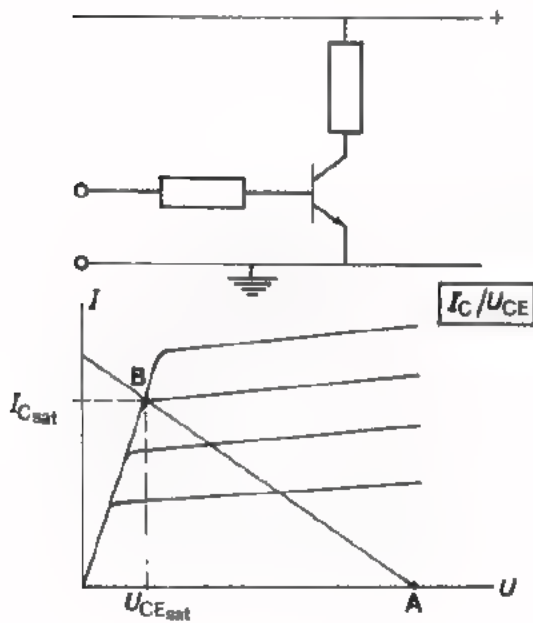
SCHAKELN MET HALFGELEIDERS.

Met behulp van halfgeleiders kan men schakelen. Het kan met een *diode*.

De diode vormt vrijwel een kortsluiting of niet, afhankelijk van het signaal dat wordt toegevoerd.

Het kan ook met een *transistor* bijvoorbeeld in GES.

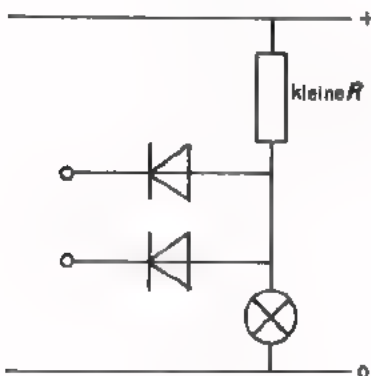
Deze reageert op een signaal dat aan de basis wordt toegevoerd. Afhankelijk van dit signaal bestaat er tussen collector en emitter vrijwel een kortsluiting of niet.



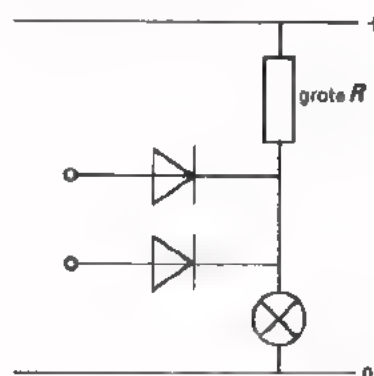
Voert men aan de basis géén stroom toe, dan is de transistor in A ingesteld. Voert men aan de basis voldoende stroom toe, dan is de transistor *in verzadiging* in B ingesteld en voert hij bij de gegeven belasting maximale stroom.

Veel voorkomende schakelingen met dioden zijn de:

EN-schakeling

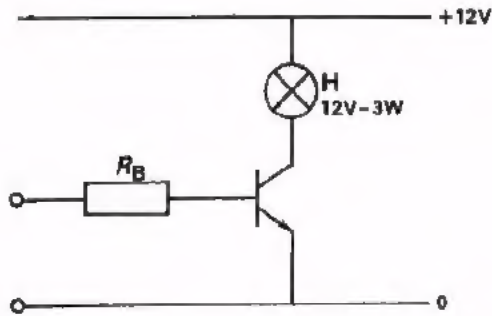


OF-schakeling



TEST UZELF

1.

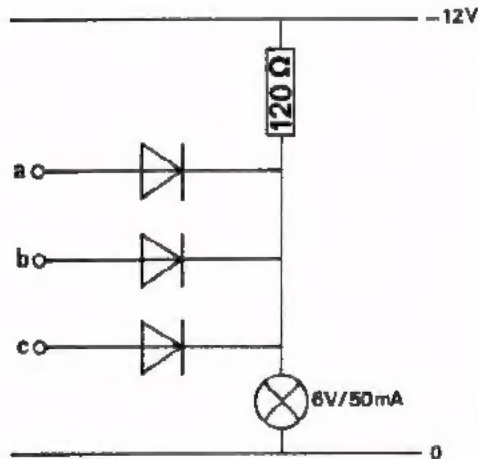


Met nevenstaande Si-transistor moet men een lamp van 12 V - 3 W in en uit kunnen schakelen. Men voert daartoe aan de ingang een spanning van 12 V of 0 V toe.  $h_{FE} = 125$ . Men mag  $U_{CE}$  en  $U_{BE}$  in de stroomvoerende toestand gelijk

aan 0 stellen. Kies  $R_B$  uit de E-12 reeks zodanig dat de transistor juist in verzadiging gestuurd wordt.

$R_B =$    $k\Omega$

2.



Aan de ingang a, resp. b, resp. c, voert men een spanning 0 of een negatieve spanning van -12 V toe. In de begintoestand is de spanning aan alle ingangen dezelfde en brandt de lamp niet. Wat voor spanning voert men dan aan de ingangen toe?

Een

Wat moet men toevoeren om de lamp te doen branden?

Is dit een EN- of een OF-schakeling?

Een  - schakeling.

## GEHEUGENSTEUN

Siliciumhalfgeleiderdiode:

$$I_V = 1 \text{ mA} \quad \text{als} \quad U_V \approx 0,6 \text{ V.}$$

Temperatuurafhankelijkheid van  $U$  circa  $3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Germaniumhalfgeleiderdiode:

$$I_V = 1 \text{ mA} \quad \text{als} \quad U_V \approx 0,2 \text{ V.}$$

Temperatuurafhankelijkheid van  $U_V$  circa  $1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Transistorschakelingen.

	GES	GBS	GCS
$R_{\text{ing}}$	$h_{ie} = \frac{1}{S} \cdot h_{fe}$	$h_{ib} \approx \frac{1}{S}$	$h_{fe} \cdot R_E$
$R_{\text{uit}}$	$R_C$	$R_C$	$\approx \frac{1}{S}$
stroom- versterking	$A_i \approx h_{fe}$	$A_i \approx 1$	$A_i \approx h_{fe}$
spannings- versterking	$S \cdot R_C$	$\frac{R_C}{h_{ib}} \approx SR_C$	$\frac{SR_E}{1 + SR_E} \approx 1$

De versterkingsfactoren in bovenstaande tabel gelden alleen als de instelweerstand en/of belastingsweerstand buiten beschouwing blijven.



