



# Inhoudsopgave

8	Versterkende elementen .....	3
8.1	Wat leer je in dit hoofdstuk .....	3
8.2	Inleiding.....	3
8.3	Transistoren .....	4
8.3.1	Opbouw en werking.....	4
8.3.2	Instellen van een transistor.....	7
8.3.3	Spanningsversterking.....	9
8.3.4	Samengevat .....	10
8.4	De veldeffect-transistor (Field effect transistor, FET).....	11
8.4.1	Opbouw, gedrag en schemasymbool .....	11
8.4.2	Spanningsversterking.....	14
8.5	Zo kunnen transistoren en FET's eruitzien.....	15
8.6	Opgaven .....	16
8.6.1	Opgave 8-1.....	16
8.6.2	Opgave 8-2.....	17
8.6.3	Opgave 8-3.....	18
8.6.4	Opgave 8-4.....	19
8.6.5	Opgave 8-5.....	20
8.6.6	Opgave 8-6.....	21
8.6.7	Opgave 8-7.....	22
8.6.8	Opgave 8-8.....	23
8.7	Uitwerkingen bij de opgaven .....	24
8.7.1	Uitwerking van Opgave 8-1.....	24
8.7.2	Uitwerking van Opgave 8-2.....	25
8.7.3	Uitwerking van Opgave 8-3.....	26
8.7.4	Uitwerking van Opgave 8-4.....	27
8.7.5	Uitwerking van Opgave 8-5.....	28
8.7.6	Uitwerking van Opgave 8-6.....	29
8.7.7	Uitwerking van Opgave 8-7.....	30



8.7.8 Uitwerking van Opgave 8-8..... 31

## 8 Versterkende elementen

### 8.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

Na de dioden die voor gelijkrichting en andere zaken worden gebruikt, maken we nu de vervolgstap naar onderdelen die spanning, stroom en/of vermogen versterken. Enige kennis van de werking van halfgeleiderdioden is nodig om sommige versterkende halfgeleiderelementen te kunnen begrijpen. Vandaar de volgorde.

We zullen ons vooral richten op zogenoemde bipolaire transistoren die we hierna kortweg 'transistoren' zullen noemen. Veldeffect-transistoren (FET's) horen in beperkte mate tot het N-programma en buizen, de oudste van de versterkende elementen, niet. Meestal vind je FET's in foute antwoorden bij meerkeuze-examenvragen. Buizen worden wel beschreven in hoofdstuk 8 van de F-cursus. Wie wil, kan ze daar vinden.

### 8.2 Inleiding

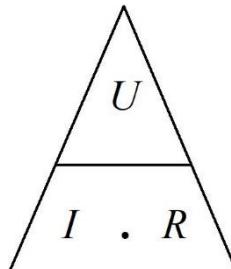
Zoals gezegd, zijn de versterkerschakelingen die we het uitvoerigst zullen bespreken, gebouwd rond transistoren. Transistoren moeten goed worden ingesteld om de schakeling waarin ze zijn opgenomen, naar behoren te laten werken. Dat gebeurt meestal met behulp van weerstanden.

De rol van weerstanden is (1) de elementen zo in te stellen, dat ze doen wat ze moeten doen en (2) omzetting van signaal van stroom naar spanning, de laatste vooral bij laagfrequente toepassingen

De Wet van Ohm komt bij toepassingen aan de orde. Daarom hieronder nog een keer deze wet in zijn drie vormen. Voor wie het even kwijt was:  $U$  staat voor spanning,  $I$  voor stroom en  $R$  voor weerstand. Zie de vergelijkingen ( 8.2-1) hieronder.

$$U = IR \quad I = \frac{U}{R} \quad R = \frac{U}{I} \quad (8.2-1)$$

We herhalen ook de bijbehorende figuur uit hoofdstuk 3:



*Figuur 8.2-1. Zo vind je de vergelijking om  $U$ ,  $I$  of  $R$  uit de overige twee grootheden te berekenen. Denk de te berekenen grootheid weg of leg er een vinger op. De twee overblijvende symbolen geven het rechterlid van de bijbehorende vergelijking zoals die in ( 8.2-1) staat.*

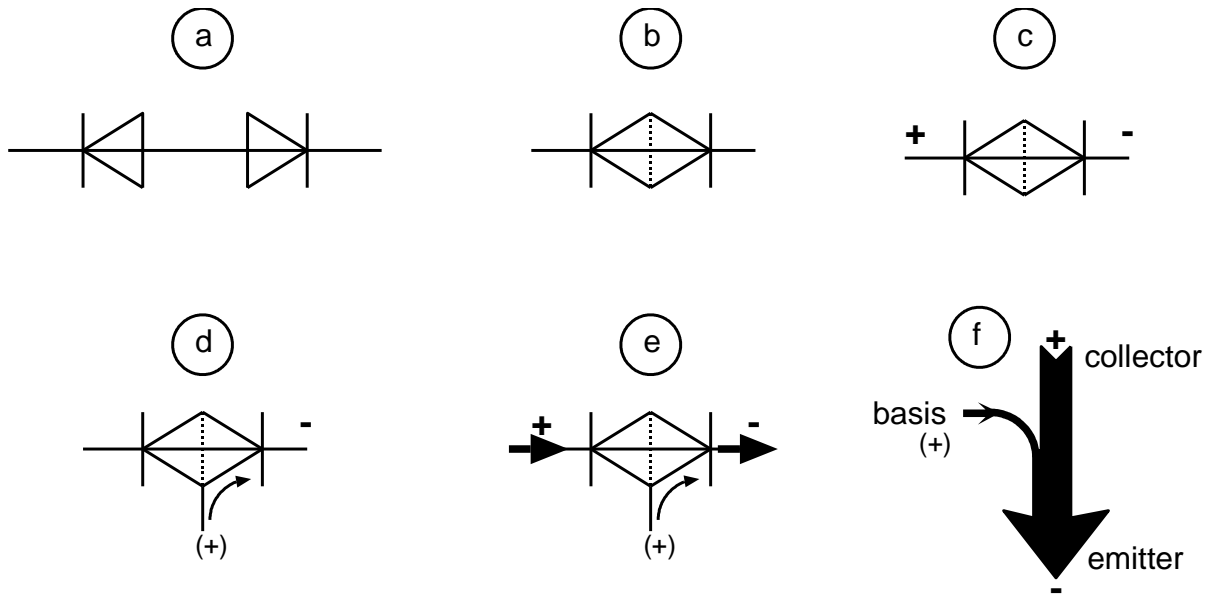
De andere twee belangrijke wetten zijn die van Kirchhoff (hoofdstuk 3). Die worden vrijwel altijd op gevoel al goed toegepast.

## 8.3 Transistoren

### 8.3.1 Opbouw en werking

We beginnen met de werking van transistoren.

Een transistor is op te vatten als twee in tegengestelde richting geschakelde dioden met gemeenschappelijke anode (Figuur 8.3-1) of kathode.

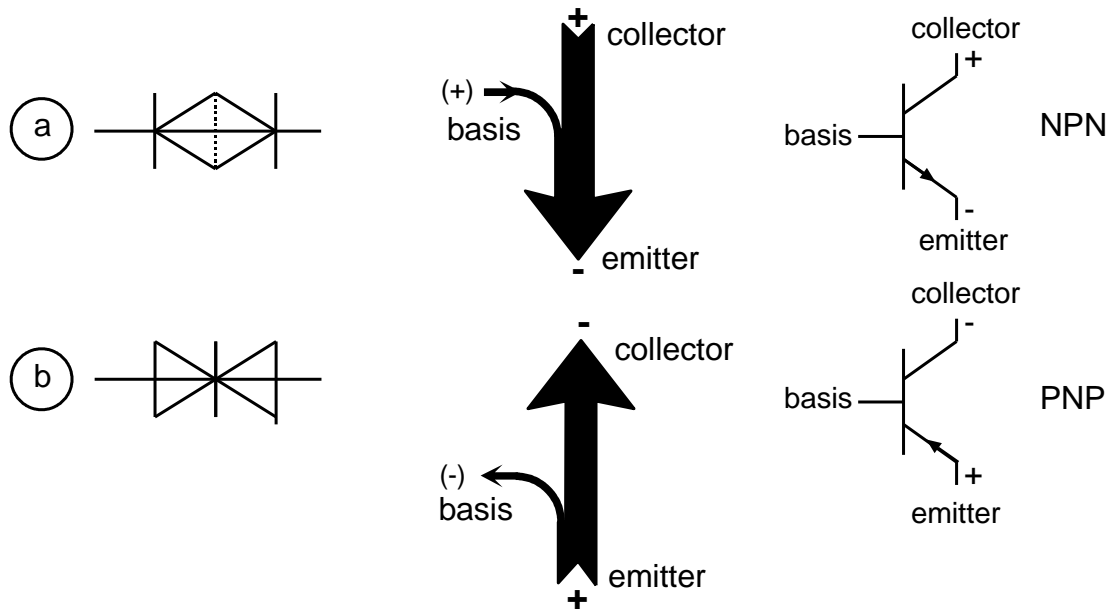


Figuur 8.3-1. Twee in tegengestelde richting geschakelde dioden. (a) twee afzonderlijke dioden; (b) dioden met gemeenschappelijke anode; (c) idem, met spanning; (d) klein stroompje van de gemeenschappelijke anode naar de linkerkant; (e) Het kleine stroompje veroorzaakt een grote stroom door beide dioden. We hebben een transistor gemaakt; (f) schematische weergave van de stroomverdeling met namen van de elektroden.

We lopen de schakelingen in Figuur 8.3-1 na:

- Twee dioden staan geschakeld in tegengestelde richting met de anodes naar elkaar toe. Samen blokkeren ze de stroom in beide richtingen.
- De twee anodes worden samengevoegd. Ze vormen één gemeenschappelijke anode.
- Een spanning over de schakeling leidt ook nu niet tot stroom.
- Zet tussen de gemeenschappelijke anode en één van de kathodes een voorwaartse spanning die net iets groter is dan de drempelspanning van de diode. Deze diode geleidt.
- Zet nu op de kathode van de andere diode een grotere positieve spanning. Er blijkt een veel grotere stroom door beide dioden te lopen. Die is ongeveer evenredig aan de kleine stroom door de rechter diode, maar veel groter. We hebben een transistor gemaakt.
- De drie aansluitingen (*elektroden*) heten *collector*, *basis* en *emitter* zoals aangegeven in de figuur. De “gezamenlijke anode” van plaatjes b t/m e is de basis. De basisstroom stuurt de collectorstroom. De som van de collectorstroom en de basisstroom is de emitterstroom.

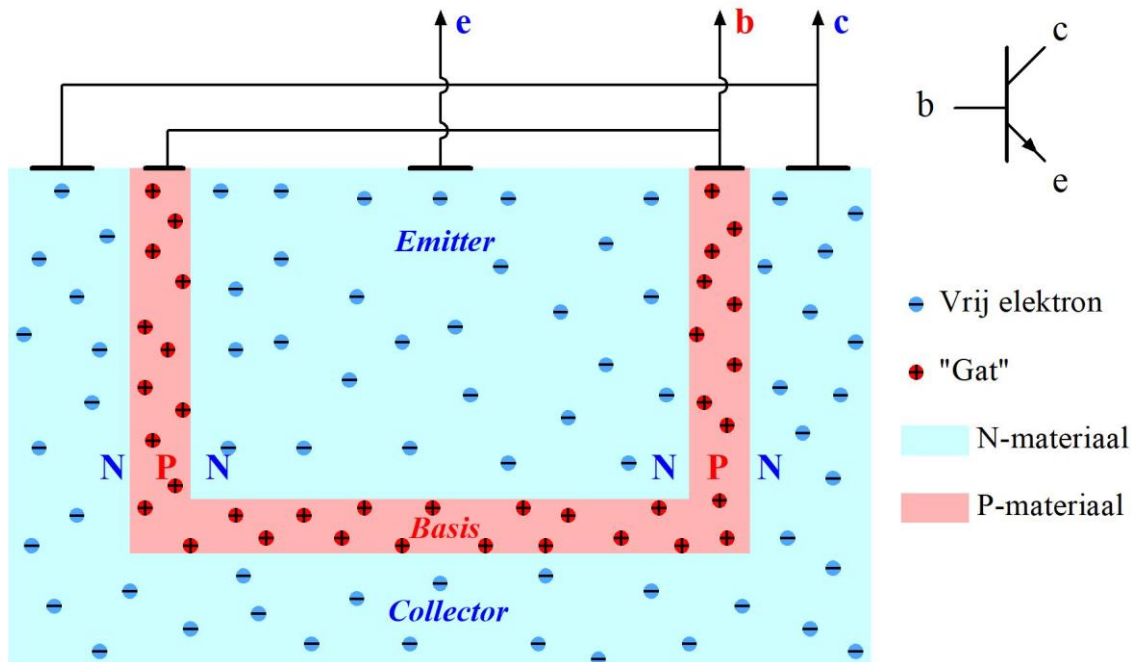
**Een transistor is dus een stroomversterker.** De oorspronkelijke twee anodes, P-materiaal dus, zijn de basis. Een kleine basisstroom stuurt een grote collectorstroom. De basis wordt aan weerskanten begrensd door N-materiaal van de oorspronkelijke kathodes. Zo'n transistor wordt daarom aangeduid als een **NPN-transistor**. Het kan ook met twee "samengesmolten" kathodes. Dan ontstaat een **PNP-transistor** (Figuur 8.3-2 b). Beide schemasymbolen staan in Figuur 8.3-2).



*Figuur 8.3-2. (a) Van de dubbele diode in Figuur 8.3-1 b naar de NPN-transistor met schemasymbool; (b) met dioden met gedeelde kathode werkt het net zo, alleen zijn de polariteiten tegengesteld. Dan is het een PNP-transistor.*

De opbouw van een NPN-transistor is nog eens groot weergegeven in Figuur 8.3-3. Verwissel elektronen en gaten en N- en P-materiaal en je hebt een PNP-transistor.

Aan de hand van de figuur bekijken we de namen van de elektroden en de werking wat uitvoeriger.



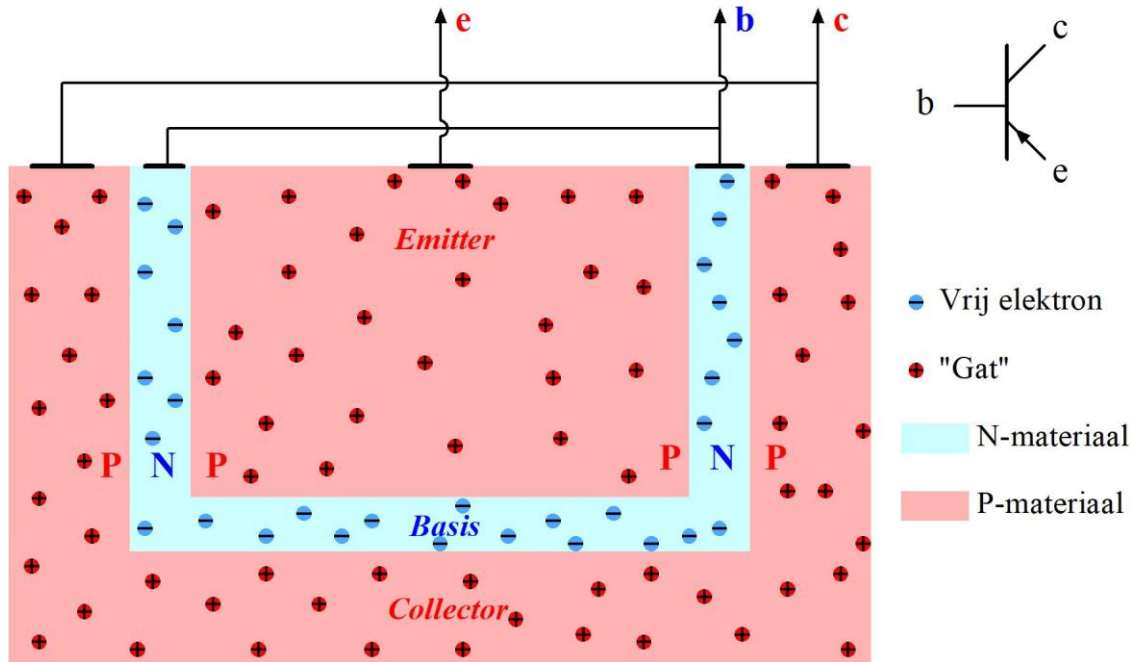
Figuur 8.3-3. Opbouw van een NPN-transistor met schemasymbool (rechts boven). De letters bij het schemasymbool verwijzen naar de overeenkomstige letters in de tekening van de opbouw.

We zien twee lagen N-materiaal (lichtblauw) met P-materiaal (lichtrood) ertussenin. Er zijn twee PN-overgangen. De N-laag bovenin is de *emitter*. Dat betekent zoveel als ‘uizender’. De onderste N-laag is de *collector*, de ‘verzamelaar’. De P-laag er tussenin is de *basis*.

Als de basis een spanning heeft die positief is ten opzichte van de emitter en groter dan de drempelspanning, dan geleidt de diode die gevormd wordt door basis en emitter. Ladingdragers (elektronen) passeren de emitter-basis-junctie. Je zou verwachten dat ze netjes recombineren met de gaten in de basis van P-materiaal. Dat gebeurt ook, maar als de spanning op de collector positiever is dan die op de basis, gebeurt er iets bijzonders. De elektronen worden ook aangetrokken door de positievere spanning op de collector. Daar belandt het grootste deel van de vrije elektronen. Die ontsnappen zo aan recombinatie. Ze zijn de gaten in het P-materiaal van de basis zozegd te snel af. De elektronenstroom uit de emitter wordt zo opgedeeld in een kleine basisstroom en een (veel) grotere collectorstroom. Dat verklaart het verschijnsel van Figuur 8.3-1 en Figuur 8.3-2.

Elke transistor heeft zijn eigen verhouding tussen de twee stromen. Afhankelijk van het transistortype is de collectorstroom tussen enkele tientallen en enkele honderden keren zo groot als de basisstroom.

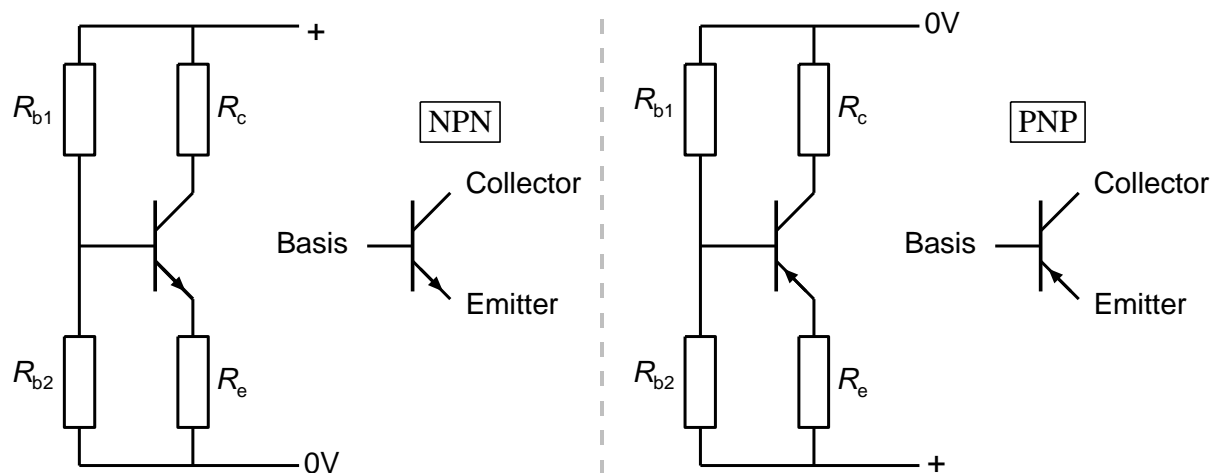
Zoals aangegeven, zijn er transistoren in twee “smaken”, NPN en PNP. De PNP-transistor is in Figuur 8.3-4 op dezelfde manier getekend als zijn NPN-collega in Figuur 8.3-3. De werking is dezelfde als die van de NPN. Het verschil is dat de ladingdragers geen elektronen zijn, maar gaten. De polariteiten zijn tegengesteld: wat plus is bij NPN is min bij PNP en omgekeerd. Je ziet het verschil aan de pijlpunt in het schemasymbool.



Figuur 8.3-4. Opbouw van een PNP-transistor, op dezelfde manier weergegeven als de NPN-transistor in Figuur 8.3-3. De letters bij het schemasymbool verwijzen naar de overeenkomstige letters in de tekening van de opbouw.

### 8.3.2 Instellen van een transistor

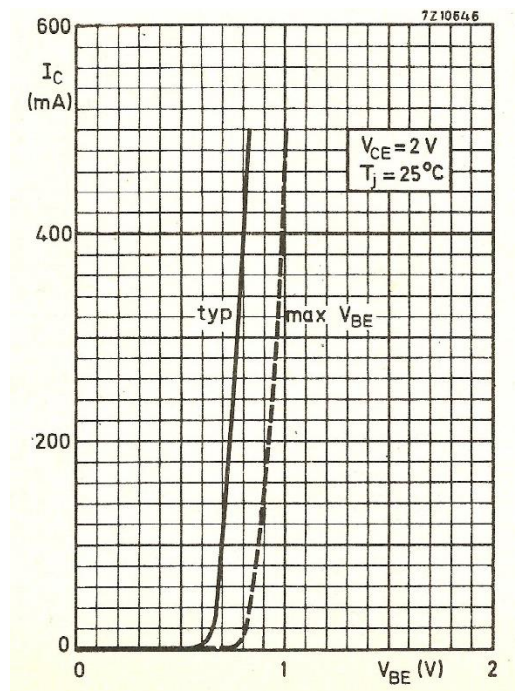
Een transistor in een versterkerschakeling moet worden ingesteld. De stroom door de transistor moet zodanig zijn dat de transistor heel blijft en dat het versterkte signaal er niet meer vervorming uitkomt dan wenselijk. Het schema van de instelling kan eruitzien als in Figuur 8.3-5. Links een NPN-transistor, rechts een PNP-exemplaar. De namen van de elektroden (zie ook Figuur 8.3-2) staan er in een apart plaatje bij. Hoofdstuk 8 voor het F-examen beschrijft meer vormen, Die vallen buiten de eisen voor N.



Figuur 8.3-5. Voorbeeld van de instelling voor gelijkstroom van een NPN-transistor (links) en een PNP-transistor (rechts).

Voor we de werking van de schakelingen in Figuur 8.3-5 bespreken, bekijken we de kleine verschillen tussen NPN en PNP. In het schemasymbool is de pijl in de emitter een halve slag gedraaid. Dat is voor wat betreft het schemasymbool alles. De polariteiten van de voedingspanning zijn verwisseld, want in de NPN zijn de ladingdragers elektronen, bij de PNP zijn gaten. Gemakshalve hebben we het bij beide “smaken” meestal over ladingdragers.

Emitter en basis vormen samen een diode in geleiding. De spanning over de emitter-basisdiode is ongeveer 0,6 tot 0,7 V bij gebruik van silicium (Si) en ongeveer 0,2 V bij gebruik van germanium (Ge). Beide variëren iets, maar niet veel, met de stroom. Figuur 8.3-6 toont een voorbeeld. De grafiek met “typ” links ervan geeft een soort gemiddelde; de streepjeslijn met “max” ernaast maximale waarden. De “min” staat er niet bij, maar bestaat natuurlijk wel.



*Figuur 8.3-6. Collectorstroom  $I_C$  (verticaal) tegen basis-emitterspanning  $V_{BE}$  (horizontaal) van de Si NPN-transistor BC635 (data Philips). Merk op dat spanningen nog ouderwets worden aangegeven met een V in plaats van een U. “typ” betekent typical, zeg maar gemiddeld. De aanduiding “max” spreekt voor zich.*

Een kleine verandering van de basis-emitterspanning van 0,7 naar 0,8 V laat de collectorstroom omhoogschieten van 100 naar 400 mA.

De emitterweerstand  $R_e$  (Figuur 8.3-5) remt dit gedrag af. De basisspanning is dan voor Si de spanning over  $R_e$  plus de 0,6-0,7 V over de emitter-basis diode. De twee weerstanden  $R_{b1}$  en  $R_{b2}$  zijn voor de instelling van de basisspanning. De collectorweerstand  $R_c$  zet de collectorstroom om in een spanning, waarmee een eventuele volgende versterkertrap kan worden aangestuurd.



### 8.3.3 Spanningsversterking

Omdat de basisstroom maar een heel klein deel is van de emitterstroom -denk aan 1%- zijn emitterstroom en collectorstroom vrijwel gelijk aan elkaar. Dat maakt dat de spanningsversterking van zo'n schakeling bij benadering gelijk is aan  $R_c/R_e$ . Foto 8.3-1 laat het zien voor een transistorschakeling met een collectorweerstand van 3,3 k $\Omega$  en een emitterweerstand van 1 k $\Omega$ .

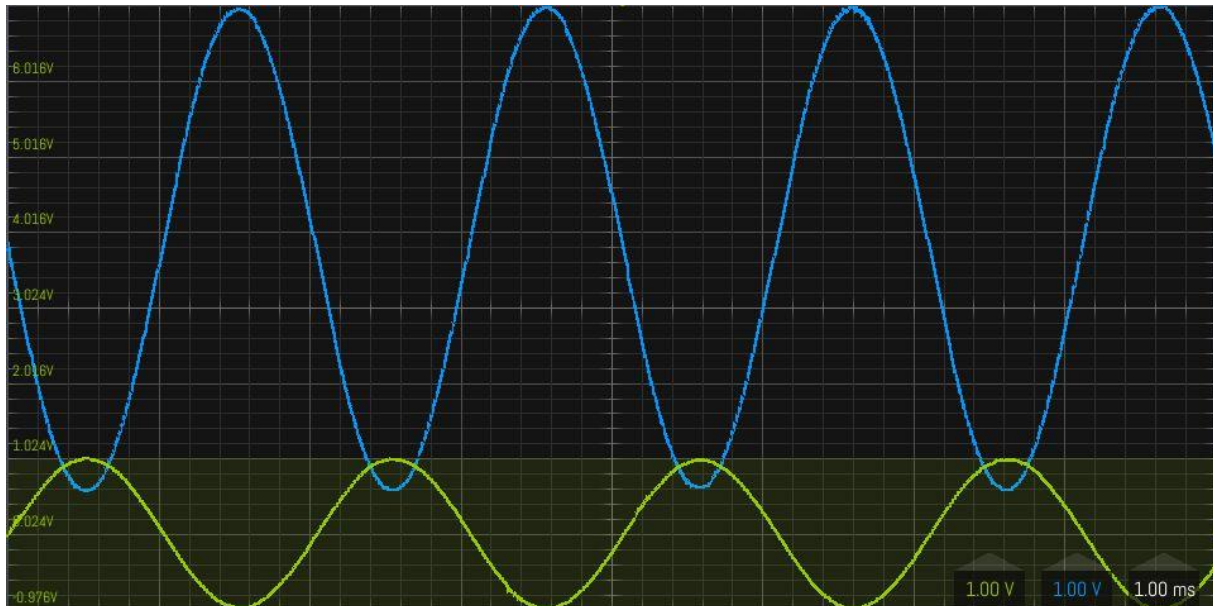


Foto 8.3-1. (Wissel)spanningsversterking door een transistorversterker met een collectorweerstand van 3,3 k $\Omega$  en een emitterweerstand van 1 k $\Omega$ . De gele sinus komt binnen op de basis, de blauwe is de wisselspanning op de collector. De amplitudeverhouding is net geen 1:3,3. De twee sinussen zijn in tegenfase: maxima bij de één vallen samen met minima bij de ander.

De twee wisselspanningen in Foto 8.3-1 zijn in tegenfase: maxima bij de één vallen samen met minima bij de ander.

Een scherpe blik op Foto 8.3-1 leert dat het verschil tussen de hoogste en de laagste spanning van de blauwe sinus 6,4 V bedraagt en de amplitude dus de helft, 3,2 V. Dan dringt de vraag zich op, hoe dat kan. Je stopt ergens een amplitude van 1 V -de gele sinus- in en er komt een grotere -de blauwe- uit.

De oorzaak is het feit dat de stroom die in de transistor loopt, bijna helemaal wordt bepaald door de kleine spanningsvariatie over de basis-emitterdiode (plus in dit geval de emitterweerstand) en dat de spanning tussen collector en emitter al vanaf een heel kleine waarde die stroom nog maar nauwelijks beïnvloedt. Dat zie je in Figuur 8.3-6, waar de collector-emitterspanning constant 2 V is (staat in de grafiek vermeld als "V<sub>CE</sub>"). Om dan op de collector een spanningsschommeling met ruim 6 V te kunnen hebben, moet de voedingsspanning zo'n 9 V en liefst nog wat meer zijn.



### 8.3.4 Samengevat

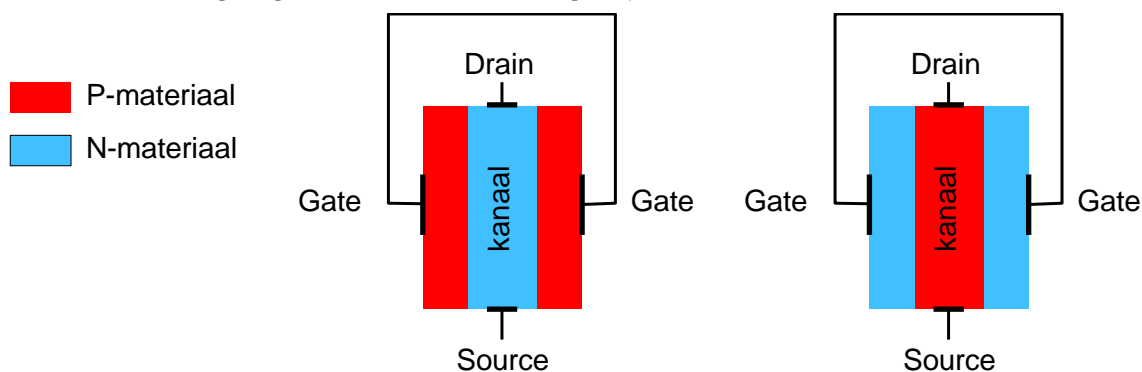
- Een transistor kan een NPN- of een PNP-type zijn en van germanium (Ge) of silicium (Si) zijn gemaakt;
- NPN en PNP werken op dezelfde manier, maar met tegengestelde polariteit van de voedingsspanning
- In beide typen heten de elektroden achtereenvolgens *emitter*, *basis* en *collector*.
- In een NPN-transistor zijn de ladingdragers elektronen, in een PNP-transistor gaten
- Een transistor is een stroomversterker. Een kleine basisstroom bepaalt de veel grotere stroom tussen emitter en collector. Bij een Ge-exemplaar staat dan over de basis-emitterdiode ongeveer 0,2 V; bij een Si-exemplaar 0,6-0,7 V.
- Met behulp van weerstanden kan een transistor worden geschakeld als spanningsversterker. De spanningsversterking is dan bij benadering gelijk aan de verhouding collectorweerstand : emitterweerstand.

## 8.4 De veldeffect-transistor (Field effect transistor, FET)

### 8.4.1 Opbouw, gedrag en schemasymbool

De veldeffecttransistor, meestal aangeduid met de afkorting FET, werkt anders dan de “echte” transistor die we hiervoor bespraken.

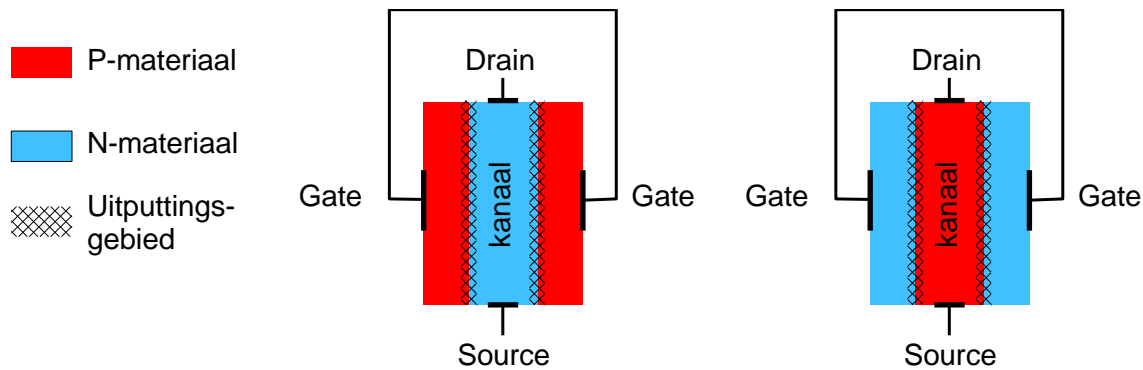
Een FET heeft één PN-junctie, net als een halfgeleiderdiode. Het verschil met een diode is dat bij de FET de junctie altijd hoort te sperren. De stroom door een FET gaat dan ook niet door de junctie, maar erlangs. De breedte van de uitputtingszone (hoofdstuk 7) regelt de stroom. Die breedte wordt bepaald door de spanning over de junctie. De stroom door een FET wordt dus geregeld door een spanning. Bij de transistor was dat de basisstroom.



Figuur 8.4-1. Opbouw van een veldeffecttransistor (FET). Links met N-kanaal, rechts met P-kanaal.

Het deel waar stroom doorheen loopt, heet *kanaal* (Engels: *channel*). Het andere deel heet *gate*. We gaan uit van Figuur 8.4-1. Die laat twee mogelijkheden zien: links een kanaal van N-materiaal met een gate van P-materiaal en rechts een kanaal van P-materiaal met een gate van N-materiaal. Het kanaal heeft twee aansluitingen, *source* en *drain*, de gate één. Op de source komen ladingdragers binnen, op de drain gaan ze naar buiten. In een kanaal van N-materiaal zijn de ladingdragers elektronen en in een P-kanaal zijn het gaten. De stroomrichtingen in een P- en die in een N-kanaal zijn daarom tegengesteld.

Het lijkt in Figuur 8.4-1 of er per FET twee PN-overgangen zijn. In werkelijkheid is het er maar één, want de twee gate-delen zijn elektrisch verbonden. Dat is in de figuur ook aangegeven. Dat maakt kanaal en gate tot één diode. Langs hun grenslijn die net als bij een “gewone” diode junctie heet, hebben ze een uitputtingszone (hoofdstuk 7). Die ligt ook in dit geval deels in het N- en deels in het P-materiaal. In Figuur 8.4-2 is die ingetekend.



*Figuur 8.4-2. Zelfde als Figuur 8.4-1, maar met ingetekende uitputtingszone.*

In een werkende schakeling is er een spanning tussen source en drain. Die is voor de N-kanaals FET (links in Figuur 8.4-2) ten opzichte van de source:

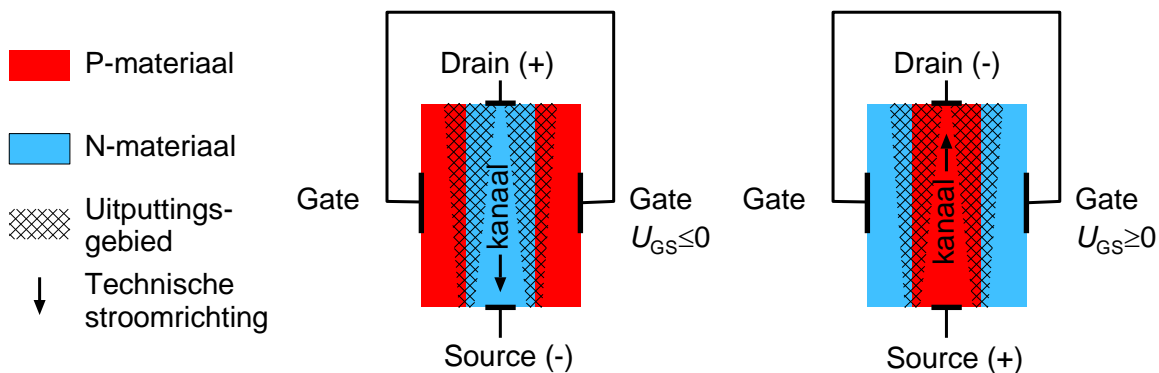
- Gate: 0 V of negatief
- Drain: positief.

Voor de P-kanaals FET (rechts in Figuur 8.4-2), ook ten opzichte van de source:

- Gate: 0 V of positief
- Drain: negatief

Alles andersom dus.

De spanning over de junctie neemt dan van source naar drain toe. Dat geldt ook voor de uitputtingszone. Die verbreedt zich richting drain. Daardoor wordt het geleidende deel van het kanaal richting drain smaller (Figuur 8.4-3).



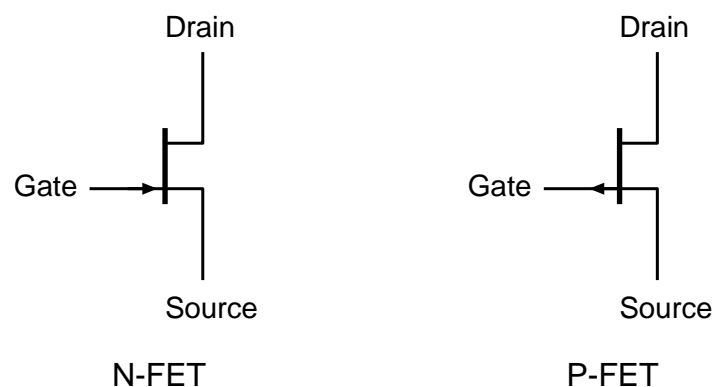
*Figuur 8.4-3. De spanning over de junctie neemt van source naar drain toe. Daardoor verbreedt zich de uitputtingszone en versmalt zich het geleidende deel van het kanaal.*

Puntsgewijs is de werking van een junctie-FET als afgebeeld in Figuur 8.4-2 en Figuur 8.4-3 als volgt:

- Er loopt alleen stroom door het kanaal.
- De ladingdragers in een N-kanaals-FET, kortweg N-FET zijn elektronen; in een P-kanaalsFET of P-FET zijn het gaten.
- De polariteit van de spanning is bij een N-FET omgekeerd aan die bij een P-FET.

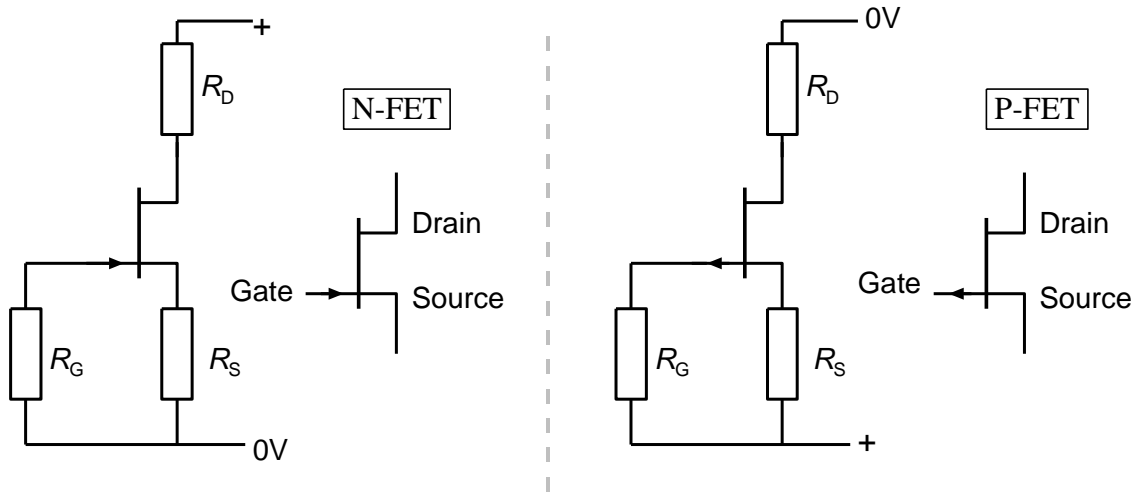
- De stroom in het kanaal wordt gestuurd door de spanning op de gate. Die spanning regelt de dikte van de uitputtingszone die de effectieve kanaalbreedte beperkt. Daarom moet de gate sperren.
- De spanning in het kanaal verandert van source naar gate geleidelijk van sourcespanning op de source naar drainspanning op de drain.
- Omdat de gatespanning langs het kanaal dezelfde blijft, groeit de spanning van source naar drain, neemt de dikte van de uitputtingszone toe en neemt de effectieve kanaalbreedte af.
- Sourcestroom en de gatestroom zijn even groot.
- Verandering van de spanning tussen drain en source heeft -behalve bij heel lage drainspanningen- weinig invloed op de drainstroom. Bij toename van de drainspanning wordt de uitputtingszone breder en het kanaal smaller, bij afname gebeurt het omgekeerde. Dat effect is vergelijkbaar met de geringe invloed van collectorspanning op de collectorstroom bij een “gewone” transistor.

Meestal is het materiaal van een FET Si. Ge-FET's kom je bijna nooit tegen. De schemasymbolen van N-FET en P-FET staan in Figuur 8.4-4.



*Figuur 8.4-4. Schemasymbolen van een N-FET (links) en een P-FET (rechts). De richting van de pijl van de gate geeft aan of het om een N- of P-FET gaat.*

Figuur 8.4-5 is een herhaling van de versterkertrap-schakelingen met transistoren in Figuur 8.3-5, maar nu met FET's. Er is per schakeling één weerstand minder. Dat is de verbinding tussen stuur-elektrode en voedingsspanning. De stuur-elektrode, in dit geval de gate in plaats van de basis, heeft alleen maar een weerstand naar 0 V (N-FET) of de plus (P-FET) nodig. Hier mag geen gatestroom lopen, terwijl een transistor niet werkt zonder basisstroom. De gate-weerstand  $R_G$  is hoog, vaak 1 M $\Omega$  of iets in die buurt. De weerstand van een sperrende gate is vele malen groter.



Figuur 8.4-5. De FET-varianten van Figuur 8.3-5.

N-FET en P-FET hebben een tegengestelde polariteit van de voedingsspanning. De sourceweerstand bepaalt ook de gelijkspanning tussen gate en source. Je kunt bij de N-FET de gate negatiever maken, maar in dit geval is de source positiever dan de gate, wat op hetzelfde neerkomt: de source “ziet” een negatieve gate. Hetzelfde geldt voor de P-FET, maar met omgekeerde polariteit.

### 8.4.2 Spanningsversterking

Ook hier hebben we een oscillogram en wel van de schakeling met N-FET van Figuur 8.4-5 (Foto 8.4-1). Sourceweerstand  $R_S$  is  $1\text{ k}\Omega$ , drainweerstand  $R_D$  is  $3,3\text{ k}\Omega$ , net als voor Foto 8.3-1. De spanningsversterking blijkt iets kleiner dan die met de transistor. Op Foto 8.3-1 ging het om een factor 3,2. Hier is dat 2,5. Dat zit hem in ongelijke eigenschappen van transistor en FET. In hoofdstuk 8 van de F-cursus gaan we daar nader op in; voor het N-examen is dat niet nodig. Ook bij de FET zijn in- en uitgangssignaal in tegenfase.

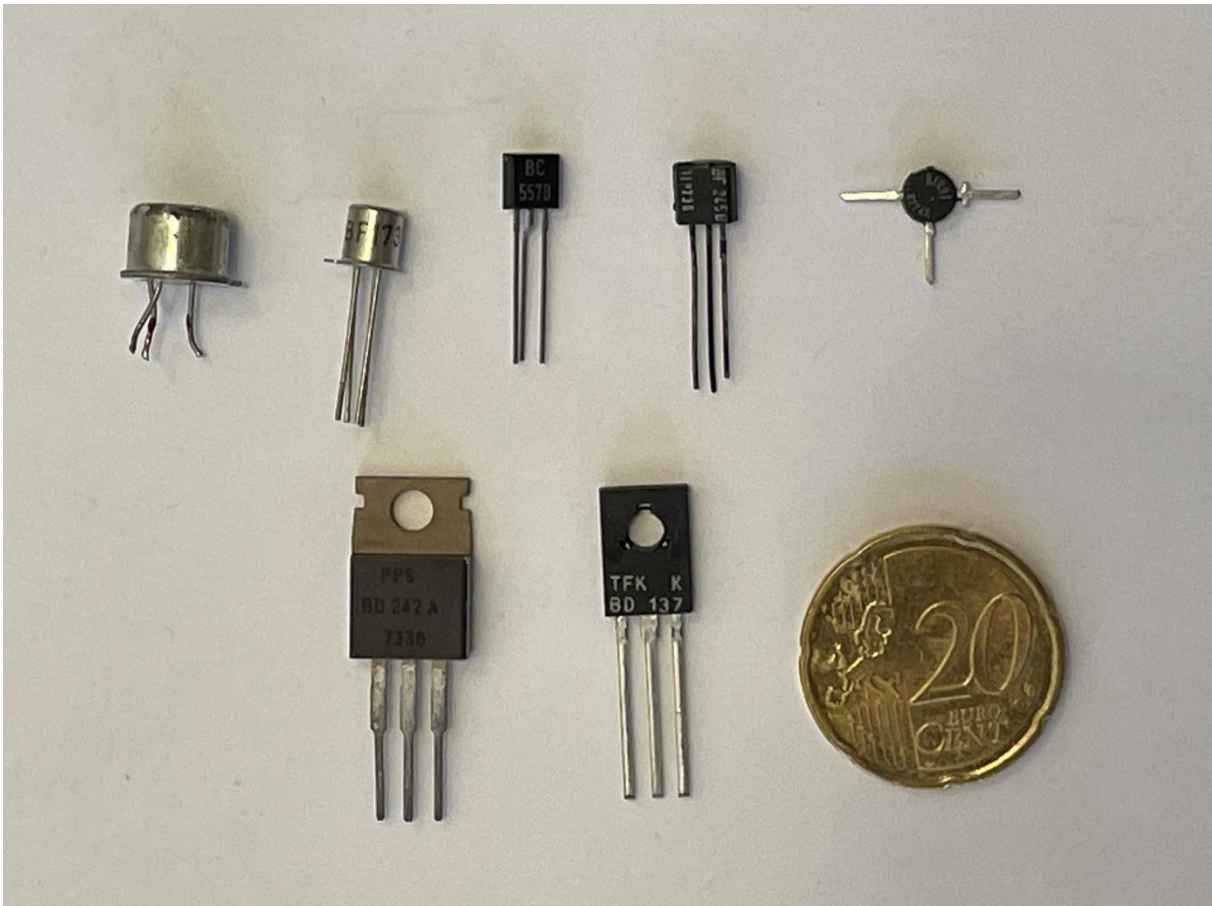


Foto 8.4-1. Oscillogram, gemeten aan de schakeling van Figuur 8.4-5 (links). De foto lijkt op Foto 8.3-1, maar de versterking is iets kleiner. Ook hier zien we tegenfase van in- en uitgangssignaal.



## 8.5 Zo kunnen transistoren en FET's eruitzien

De foto hieronder geeft een aantal (maar lang niet alle) behuizingen van bipolaire transistoren en FET's. De munt van 20 cent geeft een indruk van de grootte. Op het oog zijn ze niet zonder meer van elkaar te onderscheiden.



*Foto 8.5-1. Enkele uitvoeringsvormen van FET's en transistoren. De galerij is verre van compleet. De twee grotere exemplaren onder zijn vermogenstransistoren. Het gat is bedoeld om ze op een koelplaat te kunnen vastschroeven. De FET's op de foto zijn uiterlijk niet van transistoren te onderscheiden. Je hebt het typenummer nodig (staat er altijd op) om erachter te komen wat wat is.*


## 8.6 Opgaven

### 8.6.1 Opgave 8-1.



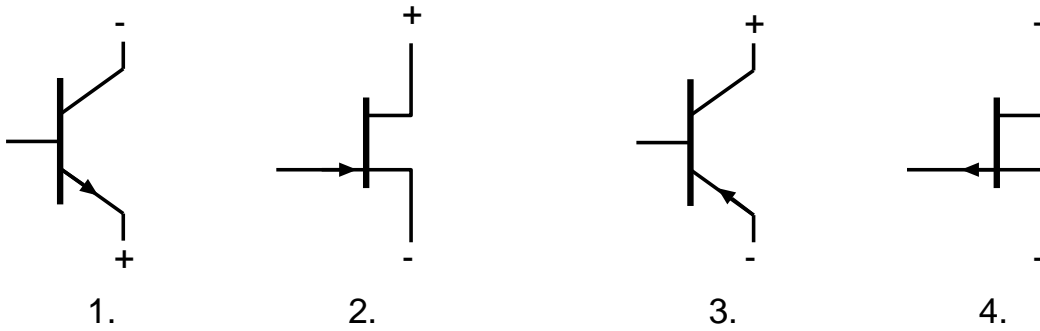
De namen bij de schemasymbolen zijn van links naar rechts:.

- A. PNP-transistor, P-kanaals FET, NPN-transistor, N-kanaals
- B. NPN-transistor, N-kanaals FET, PNP-transistor, P-kanaals FET
- C. PNP-transistor, N-kanaals FET, NPN-transistor, P-kanaals FET
- D. NPN-transistor, P-kanaals FET, PNP-transistor, N-kanaals FET.

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 8.6.2 Opgave 8-2.



Bij welk schemasymbool is de aangegeven polariteit van de spanning juist?

- A. Symbool 1
- B. Symbool 2
- C. Symbool 3
- D. Symbool 4

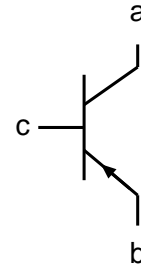
Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



### 8.6.3 Opgave 8-3.

De juiste namen van de elektroden van deze transistor zijn:

- A. a=collector; b=source; c= gate
- B. a=drain; b=emitter; c=basis
- C. a=emitter; b=basis; c=collector
- D. a=collector; b=emitter; c=basis



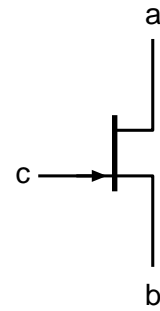
Antwoord gevonden? Naar de uitwerking




### 8.6.4 Opgave 8-4

De benamingen van de elektroden van deze FET zijn:

- A. a=drain; b=source; c= gate
- B. a=collector; b=basis; c=gate
- C. a=source; b=drain; c=gate
- D. a=collector; b=emitter; c=basis



Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 8.6.5 Opgave 8-5

Welke van de volgende stellingen is juist:

- A. Bij een N-FET is de drainspanning negatief ten opzichte van de source
- B. Bij een N-FET is de gatespanning positief ten opzichte van de drain
- C. Bij een PNP-transistor is de collectorspanning negatief ten opzichte van de emitter
- D. Bij een PNP-transistor is de collectorspanning positief ten opzichte van de emitter

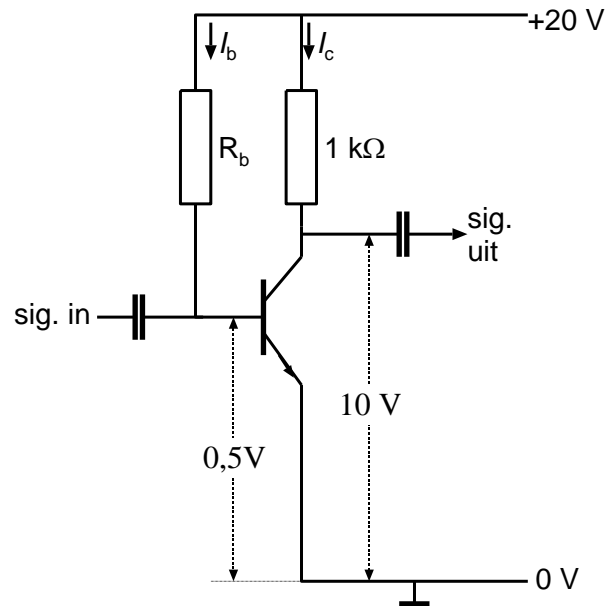
Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



### 8.6.6 Opgave 8-6

De collectorstroom  $I_c$  bedraagt

- A. 1 A
- B. 100 mA
- C. 10 mA
- D. 1 mA



Antwoord gevonden? Naar de uitwerking




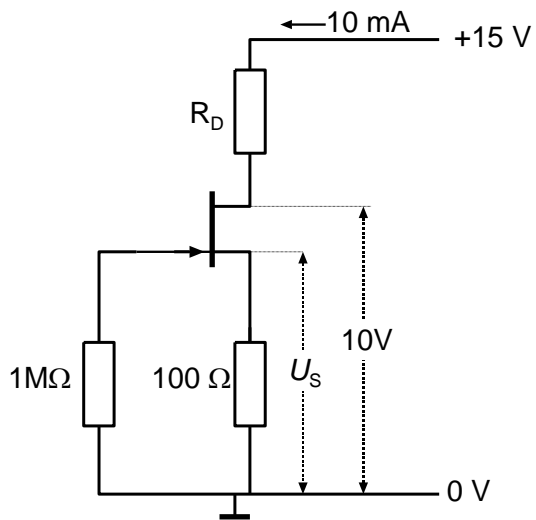


### 8.6.7 Opgave 8-7.

Welke van de volgende stellingen is juist:

- A. Bij een FET is de drainstroom gelijk aan de sourcestroom
- B. Bij een NPN-transistor is de basisstroom groter dan de emitterstroom
- C. Bij een PNP-transistor is de collectorstroom groter dan de emitterstroom
- D. Bij een FET is de gatestroom gelijk aan de drainstroom

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

**8.6.8 Opgave 8-8.**

De drainweerstand  $R_D$  in de schakeling is:

- A. 5 k $\Omega$
- B. 500  $\Omega$
- C. 15 k $\Omega$
- D. 1,5 k $\Omega$

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



## 8.7 Uitwerkingen bij de opgaven

### 8.7.1 Uitwerking van Opgave 8-1.



De namen bij de schemasymbolen zijn van links naar rechts:.

- A. PNP-transistor, P-kanaalsFET, NPN-transistor, N-kanaals
- B. NPN-transistor, N-kanaals FET, PNP-transistor, P-kanaals FET**
- C. PNP-transistor, N-kanaals FET, NPN-transistor, P-kanaals FET
- D. NPN-transistor, P-kanaals FET, PNP-transistor, N-kanaals FET.

### Uitwerking

De manier om zoiets aan te pakken en niet vast te lopen in alle termen, is één term uit te zoeken en te kijken of die past. Als dat zo is, vallen er meestal wel twee af, wat de zoektocht een stukje eenvoudiger maakt.

Begin bij de eerste term van antwoord A, PNP-transistor. Dan moet de pijl in de emitterleiding naar de basis toe staan. Dat is niet zo, dus dit antwoord is alvast niet goed. Dan deugt antwoord C ook niet, dus blijven B en D over.

Die verschillen in hun laatste (meest rechtse) term. Een van die twee is dus goed. De rechter FET in het plaatje is een P-kanaals FET. Dat staat bij B, dus moet die goed zijn. Controleer voor de zekerheid de andere twee: een N-FET en een PNP-transistor. Klopt. Antwoord B.

### Opmerking

Hoe herken je dit soort dingen snel? Ezelsbrug: aan de pijl. N trekt P aan, P stoot P af. De Pijl verlaat P en gaat naar N.



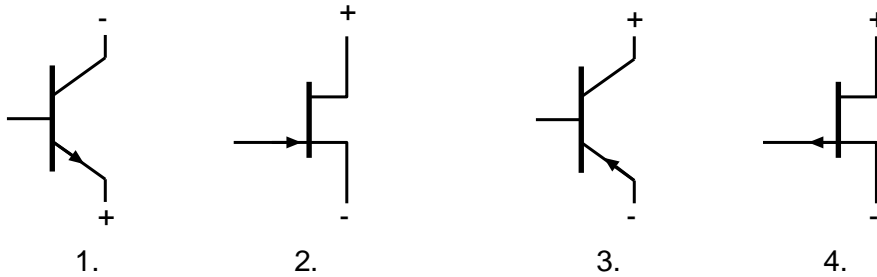
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 8.7.2 Uitwerking van Opgave 8-2.



Bij welk schemasymbool is de aangegeven polariteit van de spanning juist?

- A. Symbool 1
- B. Symbool 2**
- C. Symbool 3
- D. Symbool 4

#### Uitwerking

Symbool 1 is een NPN-transistor (pijl wijst van de P-basis af). Die moet een positieve collector hebben. Niet goed.

Symbool 2 is een N-FET (pijl wijst naar het N-kanaal). Die moet een positieve drain hebben. Goed. We kijken toch even verder.

Symbool 3 is een PNP-transistor (pijl wijst naar de N-basis). Die moet een negatieve collectorspanning hebben. Niet goed.

Symbool 4 is een P-FET (pijl wijst van het P-kanaal af). Die moet een negatieve drainspanning hebben. Fout.

Antwoord B.



Terug naar de opgave

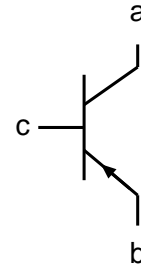
Naar de volgende opgave



### 8.7.3 Uitwerking van Opgave 8-3.

De juiste namen van de elektroden van deze transistor zijn:

- A. a=collector; b=source; c= gate
- B. a=drain; b=emitter; c=basis
- C. a=emitter; b=basis; c=collector
- D. **a=collector; b=emitter; c=basis**



#### Uitwerking

Van boven naar beneden hebben we: collector (a), basis (c) en emitter (b).

Dat komt overeen met antwoord D.



Terug naar de opgave

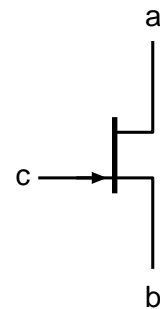
Naar de volgende opgave



### 8.7.4 Uitwerking van Opgave 8-4

De benamingen van de elektroden van deze FET zijn:

- E. a=drain; b=source; c= gate
- F. a=collector; b=basis; c=gate
- G. a=source; b=drain; c=gate
- H. a=collector; b=emitter; c=basis



#### Uitwerking

Dit is een N-kanaal FET (N-FET). Van boven naar beneden vinden we: drain (a), gate (c), source (b). Antwoord A.

#### Opmerking

De antwoorden B en D bevatten één of meer transistortermen. Alleen al daarom kunnen ze niet goed zijn. Wie dat in de gaten heeft, hoeft maar twee antwoorden (A en C) verder te bekijken.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 8.7.5 Uitwerking van Opgave 8-5

Welke van de volgende stellingen is juist:

- A. Bij een N-FET is de drainspanning negatief ten opzichte van de source
- B. Bij een N-FET is de gatespanning positief ten opzichte van de drain
- C. Bij een PNP-transistor is de collectorspanning negatief ten opzichte van de emitter**
- D. Bij een PNP-transistor is de collectorspanning positief ten opzichte van de emitter.

#### Uitwerking

Bij een N-FET is de drainspanning positief ten opzichte van de source, dus antwoord A deugt niet.

De gatespanning bij een N-FET is lager of gelijk aan de sourcespanning en dus zeker negatief ten opzichte van de drain. Ook dit antwoord is dus niet goed.

Bij een PNP-transistor is de collectorspanning inderdaad negatief ten opzichte van de emitter, dus dit antwoord moet goed zijn.

Voor de zekerheid toch even stelling D: als er NPN had gestaan in plaats van PNP zou hij goed zijn geweest. Nu niet.

Antwoord C.



Terug naar de opgave

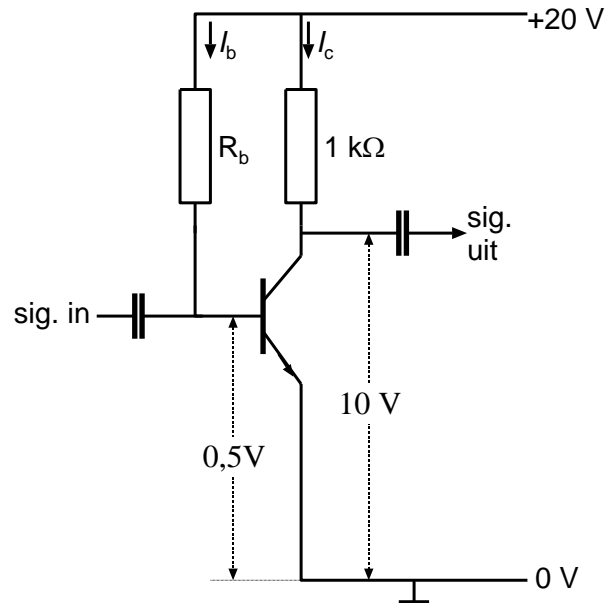
Naar de volgende opgave



### 8.7.6 Uitwerking van Opgave 8-6

De collectorstroom  $I_c$  bedraagt

- A. 1 A
- B. 100 mA
- C. 10 mA
- D. 1 mA



#### Uitwerking

Dit lijkt ingewikkeld, tot je ziet waar het om gaat: vind de spanning over de collectorweerstand van 1 kΩ en bereken de stroom. Wet van Ohm dus. Uit de grootte van de voedingsspanning van 20 V en de collectorspanning van 10 V bereken je de spanning over de collectorweerstand van 1 kΩ. Dat is 20 V – 10 V = 10 V. Als het om 1 Ω zou gaan, zou de stroom 10 A bedragen. De weerstand is 1000 maal zo groot, dus de stroom 1000 maal zo klein: niet 10 A, maar 10 mA.

Antwoord C.

Het kan ook met de driehoek uit hoofdstuk 3:

$$I = U/R = 10 \text{ V} / 1000 \text{ } \Omega = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

Als je voor  $R$  geen Ω maar kΩ gebruikt, rolt het antwoord eruit in mA. Kijk maar:

$$I = U/R = 10 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 10 \text{ mA}$$

Ook hier: antwoord C

Dus: stop kΩ in de Wet van Ohm en er komen mA uit. Of: stop mA in de Wet van Ohm en je krijgt kΩ. Stop er mA en kΩ in en je krijgt V. Het is een handigheidje dat op het examen wat tijd kan schelen.

#### Opmerking

Deze opgave is bedoeld om te laten zien dat je voor een berekening in een schakeling goed moet kijken waar het om gaat. In het schema staat één en ander dat voor de gevraagde berekening overbodig is. Het is allemaal terug te brengen tot toepassing van de Wet van Ohm.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 8.7.7 Uitwerking van Opgave 8-7

We gaan uit van normaal werkende onderdelen. Welke van de volgende stellingen is juist:

- A. **Bij een als versterker geschakelde FET is de drainstroom even groot als de sourcestroom**
- B. Bij een als versterker geschakelde NPN-transistor is de basisstroom groter dan de emitterstroom
- C. Bij een als versterker geschakelde PNP-transistor is de collectorstroom groter dan de emitterstroom
- D. Bij een als versterker geschakelde FET is de gatestroom gelijk aan de drainstroom

#### Uitwerking

We lopen de stellingen weer een voor een na:

Stelling A: De sourcestroom en de drainstroom zijn even groot, want door de gate loopt geen stroom. Stelling A zou dus goed moeten zijn. Voor de zekerheid doen we ook de andere drie.

Stelling B: Bij NPN- en PNP-transistoren is de basisstroom een heel klein deel van de emitterstroom. Denk aan iets in de buurt van 1%. De rest loopt door naar de collector. Stelling B is dus niet goed.

Stelling C: Doordat de basisstroom zich van de emitterstroom afsplitst, is de collectorstroom bij elke "gewone" transistor ietsje kleiner dan de emitterstroom. Dat ietsje is de basisstroom. Alweer een foute stelling.

Stelling D: bij een normaal ingestelde FET loopt in tegenstelling tot wat in de stelling wordt beweerd, geen gatestroom.

Conclusie: antwoord A is goed, de rest niet.

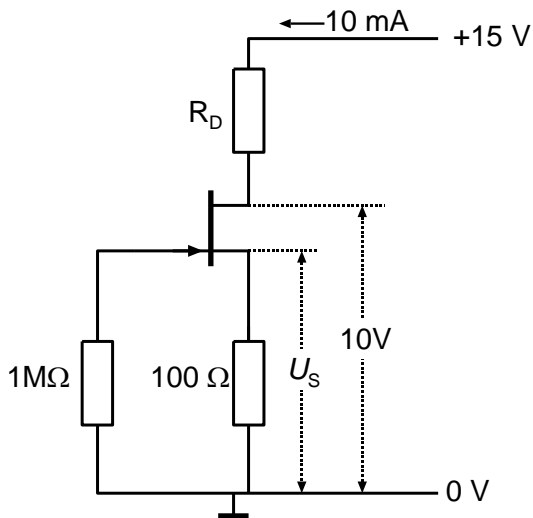


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 8.7.8 Uitwerking van Opgave 8-8



De drainweerstand  $R_D$  in de schakeling is:

- A. 5 k $\Omega$
- B. 500  $\Omega$
- C. 15 k $\Omega$
- D. 1,5 k $\Omega$

#### Uitwerking

Deze opgave doet denken aan Opgave 8-6 maar dan met een N-FET in plaats van een NPN-transistor. Het recept is dan ook hetzelfde: herken de gegevens waar het om gaat en laat de rest links liggen.

De voedingsspanning is 15 V en de drainspanning 10 V. Dan is de spanning over de weerstand  $R_D$  15 V min 10 V is 5 V. De stroom is gegeven: 10 mA. Daarmee hebben we genoeg voor het toepassen van de Wet van Ohm om de weerstandswaarde te vinden. De eigenlijke vraag is: Hoe groot is de weerstand waar bij een spanning van 5 V een stroom van 10 mA doorheen loopt?

We pakken de driehoek uit hoofdstuk 3 erbij. Die vertelt ons dat

$$R = U/I = 5\text{V}/10\text{ mA} = 0,5\text{ k}\Omega = 500\ \Omega$$

Antwoord B

#### Opmerking

Ook hier hebben we de truc van Opgave 8-6 toegepast: stop mA in de Wet van Ohm en er komen k $\Omega$  uit



Terug naar de opgave

