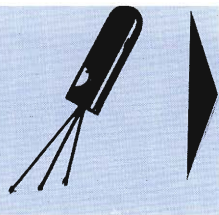


Transistors



Wat zijn transistors en wat beteke

In 1948 onderzochten de Amerikanen Bardeen en Brattain de gedragingen van stoffen, die in de elektronentechniek als halfgeleiders bekend zijn. Zij ontdekten daarbij enkele bijzondere verschijnselen, die de aanleiding zouden zijn tot de stormachtige ontwikkeling van een nieuw elektronisch onderdeel: de transistor. Al spoedig worden in deze ontwikkeling belangrijke resultaten behaald. In sommige typen apparaten en onder bepaalde omstandigheden bleek de transistor het werk van een radiobuis te kunnen overnemen, vaak met aantrekkelijke voordelen. Ook nieuwe wegen zijn door het verschijnen van transistors opengesteld voor de elektronentechniek en het is moeilijk te voorspellen waarheen deze wegen nog zullen voeren.

Voor een verklaring van de werking van de transistor zal het noodzakelijk zijn enige natuurkundige begrippen nader toe te lichten, zonder welke geen inzicht in dit tamelijk moeilijke onderwerp kan worden verkregen.

HALFGELEIDERS

Een zeer belangrijk begrip in de elektronentechniek is de elektrische weerstand van een stof; deze weerstand bepaalt het vermogen van die stof om een elektrische stroom te geleiden. Hoe lager de weerstand, des te groter is het geleidingsvermogen.

In deel 2 van deze serie — „Radiobuizen” — werd reeds verteld, dat een elektrische stroom bestaat uit een

beweging van in het materiaal aanwezige „vrije elektronen”. De elektrische weerstand van een stof zal dus voornamelijk worden bepaald door het aantal en de eigenschap van deze vrije elektronen. Wanneer in een stof veel vrije elektronen zich gemakkelijk kunnen bewegen, spreekt men van een geleider. Een dergelijke stof heeft een lage elektrische weerstand. De meeste

nen zij voor de elektronentechniek?



metalen zijn geleiders. Stoffen, waarin geen vrije elektronen voorkomen, hebben een uiterst hoge elektrische weerstand en worden isolatoren genoemd (bijv. glas, rubber, porselein). In een isolator kan geen elektrische stroom optreden. Er bestaan ook stoffen, waarvan de elektrische eigenschappen gerangschikt

moeten worden tussen die van de geleiders en die van de isolatoren. Onder normale omstandigheden hebben deze materialen een betrekkelijk hoge elektrische weerstand. Daarom worden ze halfgeleiders genoemd. Het metaal germanium is zo'n halfgeleider.

ELEKTRONEN EN GATEN

Door aan germanium zeer zorgvuldig bepaalde hoeveelheden van zekere andere stoffen toe te voegen, kunnen de stroomgeleidende eigenschappen van deze halfgeleider worden verbeterd.

Er zijn twee soorten van dit germanium.

In **n-germanium** heeft de speciale toegevoegde stof een overschot aan vrije elektronen tengevolge. De letter n

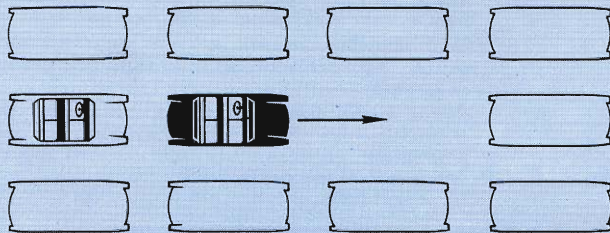


Fig. 1. Wanneer de zwarte auto oprijdt, verplaatst het gat zich naar links.



Wat zijn transistors en wat beteke

wordt hier gebruikt in verband met de negatieve elektrische lading der elektronen. In p-germanium (p van positieve lading) bestaat een tekort aan elektronen, met andere woorden: er zijn lege plaatsen of „gaten”, die door elektronen kunnen worden bezet. Deze gaten kunnen zich verplaatsen, hetgeen aan de hand van het volgende duidelijk kan worden gemaakt. Wanneer de zwarte auto in fig. 1 oprijdt en de opening (het „gat”) rechts opvult, dan verplaatst dit gat zich naar links. Als daarna de volgende auto naar voren rijdt, verschuift het gat verder naar links enz.

In p-germanium verplaatsen de gaten zich door het verspringen van elektronen. Ook een stroom van gaten is dus een elektrische stroom, die overeenkomt met een stroom van elektronen in de tegengestelde richting. Men zegt nu, dat een gat een positieve elektrische lading vertegenwoordigt, die de negatief geladen elektronen aantrekt.

Zowel p- als n-germanium zijn als geheel elektrisch „neutraal”, dus niet **elektrisch geladen**. Immers, beide soorten zijn ontstaan door samenvoeging van elk voor zich niet geladen stoffen.

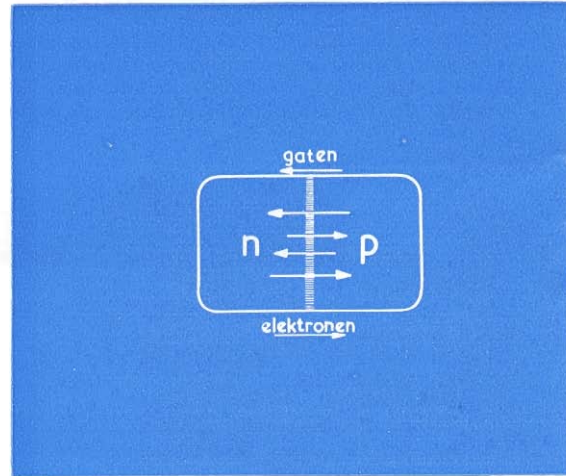


Fig. 2. Het ontstaan van een germaniumdiode.

nen zij voor de elektronentechniek?

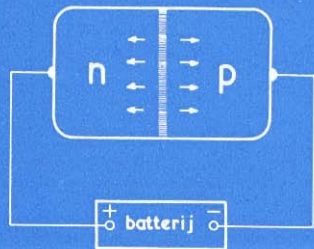


DE GERMANIUMDIODE

Wanneer in een stukje germanium aaneengrenzende lagen p- en n-germanium worden aangebracht, dan ontstaat er even een druk grensverkeer (fig. 2). Het n-germanium, dat teveel elektronen heeft, zal een gedeelte hiervan afstaan aan het p-germanium, dat er enige van z'n gaten mee volstopt. Omgekeerd stromen er gaten van het p-germanium naar het n-germanium, om daar door een elektron te worden bezet. Door deze uitwisseling krijgt de p-laag echter een negatieve elektrische lading, terwijl de n-laag positief geladen wordt. Al gauw zijn deze ladingen zo groot geworden, dat verder alle elektronen en gaten, die het grensgebied willen passeren, worden afgestoten.

Nu gaan we eens een batterij zodanig aansluiten, dat de negatieve en positieve ladingen van de beide germaniumlaagjes nog groter worden gemaakt. Het zal duidelijk zijn, dat ook de afstoting sterker wordt: het grensgebied blijft voor alle verkeer gesloten (fig. 3).

Fig. 3. Het p-germanium is negatief ten opzichte van het n-germanium; er gaat geen elektrische stroom door de diode.





Wat zijn transistors en wat beteke

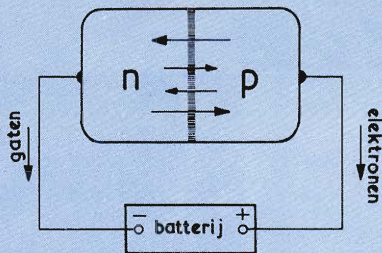


Fig. 4. De batterij is nu andersom aangesloten; de diode laat een elektrische stroom door.

We kunnen ook zeggen, dat het grensgebied nu een uiterst hoge elektrische weerstand heeft. Wordt de batterij echter andersom aangesloten, zodat de p-laag nu een positieve en de n-laag een negatieve elektrische lading krijgt, dan worden de elektronen en gaten wederzijds juist aangetrokken. Er ontstaat een stroom van elektronen, die zich van het n-germanium naar het p-germanium haast, terwijl een reeks gaten zich in de tegengestelde richting spoedt (fig. 4).

De elektrische weerstand van het grensgebied is dus gedaald tot een zeer lage waarde. De stroom blijft vloeien, want de batterij zorgt er voor, dat het nu zeer drukke grensverkeer in stand wordt gehouden.

We hebben op deze wijze een germaniumdiode verkregen, die de elektrische stroom alléén doorlaat, wanneer de elektrische spanning van de batterij op een bepaalde wijze wordt aangesloten.

nen zij voor de elektronentechniek?



DE TRANSISTOR

Een karakteristieke transistorsoort bestaat uit een stukje germanium, waarin zich tussen twee laagjes p-germanium een dun laagje n-germanium bevindt. Dit geheel vormt de zogenaamde p-n-p-transistor. Het zeer dunne middelste laagje, het n-germanium dus, wordt de **basis** genoemd; de twee buitenste laagjes heten

respectievelijk **emitter** en **collector** (fig. 5). Een transistor bestaat dus eigenlijk uit twee aaneengroeide germaniumdioden.

Op de diode die gevormd wordt door collector en basis, wordt een batterij (1) aangesloten, zodanig, dat de collector een negatieve en de basis een positieve elektrische lading krijgt (fig. 6). Uit het voorafgaande weten we, dat door deze diode nu geen elektrische stroom gaat.

Fig. 5. De transistor: een combinatie van twee germaniumdioden.

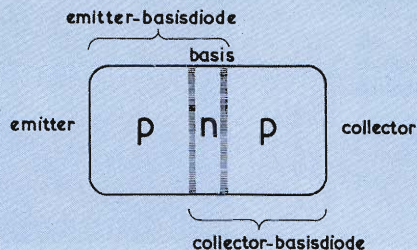
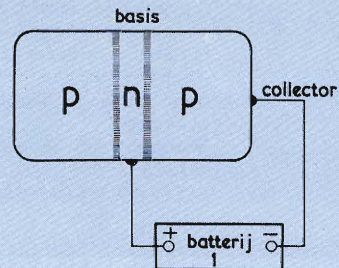


Fig. 6. Batterij 1 wordt aangesloten; er gaat geen elektrische stroom door de collector-basisdiode.



Wat zijn transistors en wat beteke

Op de emitter-basisdiode wordt vervolgens een tweede batterij (2) aangesloten, waarbij er voor gezorgd wordt dat de emitter positief is ten opzichte van de basis (fig. 7). Dit heeft onder meer tot gevolg, dat van de emitter (p-germanium) een groot aantal gaten naar de basis stroomt. Aangezien het laagje dat de basis vormt, uiterst dun is, bereiken de meeste gaten het grensgebied tussen basis en collector, zonder door een elektron te zijn bezet. Door de negatieve lading van de collector worden de gaten — die een positieve lading vertegenwoordigen — uit het grensgebied weggezogen en naar batterij 1 afgevoerd. Er ontstaat dus een elektrische stroom tussen batterij en collector; deze stroom wordt de **collectorstroom** genoemd.

Wanneer nu de elektrische spanning van batterij 2 verandert, dan varieert het aantal gaten, dat via de basis in de collector arriveert

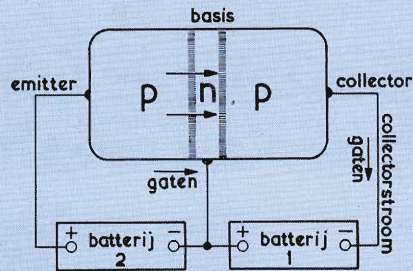


Fig. 7. Batterij 2 wordt aangesloten. Door de transistor ontstaat een stroom van gaten, die naar batterij 1 wordt afgevoerd (de collectorstroom).

nen zij voor de elektronentechniek?

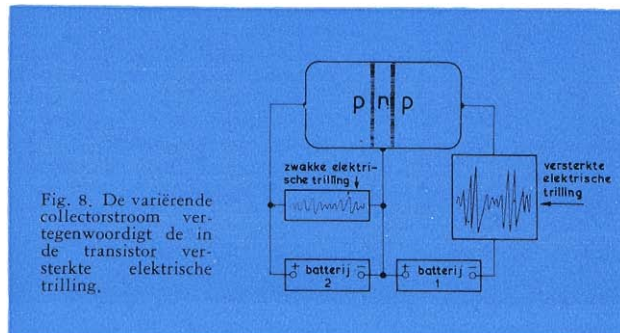


DE VERSTERKING

en dus varieert ook de collectorstroom. Indien de transistor als versterker wordt gebruikt, wordt een elektrische trilling (een voortdurend veranderende elektrische spanning, bijv. afkomstig van een microfoon of grammofoon) toegevoerd aan de emitter-basisdiode. Het gevolg is een eveneens voortdurend veranderende collectorstroom. Deze variërende collectorstroom vertegenwoordigt de door de transistor versterkte elektrische trilling.

Voor een verklaring van de eigenschappen van een transistor als versterker moeten we iets dieper op het onderwerp ingaan.

Er bestaat een zekere relatie tussen elektrische spanning, stroom en weerstand. Wanneer op een weerstand een elektrische spanning wordt aangesloten dan is de sterkte van de stroom die door de weerstand ontstaat, afhankelijk van de grootte van de elektrische spanning en de waarde van de weerstand. Hoe kleiner deze weerstand en hoe groter de elektrische spanning, des te groter is de elektrische stroom. Dit wil ook zeggen, dat, wanneer eenzelfde elektrische stroom door twee weerstanden gaat, de elektrische spanning over de grootste weerstand het grootst is. Uit het voorafgaande weten we, dat de weerstand van de emitter-basisdiode zeer laag is, terwijl de



Wat zijn transistors en wat beteke

weerstand van de collector-basisdiode tamelijk groot is. Door deze beide weerstanden in de transistor gaat de elektrische (gaten-)stroom. De elektrische spanning over de collector-basisdiode zal dus groter zijn dan die over de emitter-basisdiode. Om deze versterkte elektrische spanning te kunnen

gebruiken, brengen we in serie met de (grote) weerstand van de collector-basisdiode, dus tussen collector en batterij 1, een extra weerstand aan, waarbij we er voor zorgen, dat de elektrische spanning tussen collector en basis groot genoeg blijft om de gaten die in de buurt van de collector komen, weg te zuigen (fig. 9). Door deze weerstand gaat de collectorstroom en zoals we zojuist zagen betekent dit, dat er tussen de uiteinden van de weerstand een elektrische spanning aanwezig is, die groter is naarmate de weerstand groter is. Met een grote weerstand is het dus mogelijk variaties van de collectorstroom tengevolge van een elektrische trilling op de emitter-basisdiode om te zetten in grote spanningsvariaties: de versterkte elektrische trilling.

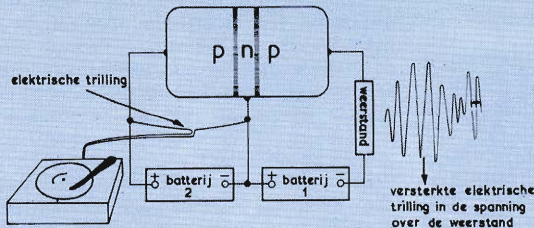


Fig. 9. De transistor als versterker

nen zij voor de elektronentechniek?



VEEL VOORDELEN

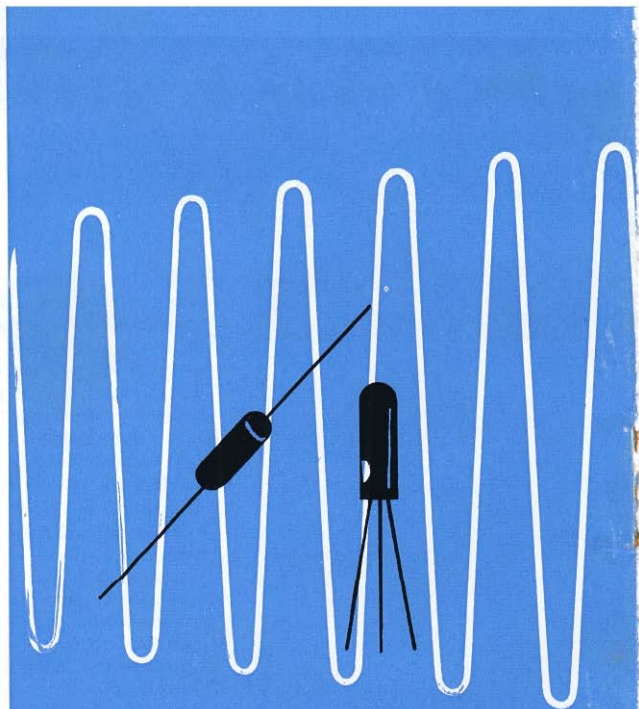
Het is nu wel duidelijk, dat een transistor in vele gevallen hetzelfde kan presteren als een radiobuis. Belangrijk hierbij is, dat verschillende voordelen door het gebruik van transistors kunnen worden verkregen. In de eerste plaats zijn de zeer geringe afmetingen en het lichte gewicht aantrekkelijk: een transistor is niet groter dan een erwt en weegt maar enkele grammen. Aangezien transistors geen gloeidraad hebben, verbruiken ze geen extra elektrische stroom en behoeven ze niet eerst „warm” te worden: transistors beginnen te werken, zodra het toestel waarin ze zich bevinden, wordt ingeschakeld. En dan werken ze al op de spanning van enkele kleine batterijtjes, een spanning, die veel en veel lager is dan de voedingsspanning van radiobuizen. Dit alles betekent dat toestellen die met transistors zijn uitgerust, uiterst klein en licht kunnen worden gemaakt en geheel onafhankelijk van het stopcontact kunnen werken. Het voordeel dat transistors goed tegen schokken en trillingen bestand zijn, is hierbij eveneens van groot belang.

Behalve de hier besproken p-n-p transistors bestaan er ook n-p-n transistors, waarin zich dus een laagje p-germanium bevindt tussen twee laagjes n-germanium. De werking hiervan is op overeenkomstige wijze te verklaren als die van het hier behandelde type.

Rechts: een germaniumdiode en een transistor op ware grootte. Op de voorzijde van de omslag is het in de elektronentechniek gebruikelijke symbool voor een transistor aangegeven.



PHILIPS NEDERLAND n.v. - EINDHOVEN



EL 36d - 0758