

Electronics

Electronische schakelaars

Opleiding: Bachelor Elektronica-ICT

Academiejaar: 2020-2021

Patrick Van Houtven
Patrick.vanhoutven@ap.be

Inhoud

Electronics	1
Electronische schakelaars	1
Inhoud	1
7 Elektronische schakelaars	1
7.1 DC-instelling om een transistor als schakelaar te gebruiken	1
7.1.1 Belastinglijn van de basisinstelling	4
7.1.2 Test jezelf : DC-instelling transistor als schakelaar	6
7.2 Transistor als schakelaar	6
7.2.1 Voorwaarden om een transistor als schakelaar te gebruiken	7
7.2.2 Een 2-transistoren schakelend systeem met een threshold overgang ..	10
7.2.3 Transistor als schakelaar met hysteresis	11
7.2.4 Toepassingsvoorbeelden van transistor als schakelaar	12
7.2.4.1 Eenvoudig alarmsysteem	12
7.2.4.2 Temperatuurbewakingssysteem om een vloeistof in een container op een specifieke temperatuur te behouden	13
7.2.5 Test jezelf: transistor als schakelaar	15
7.3 DC-instelling van FET's	15
7.3.1 Zelfinstelling van de JFET	15
7.4 Bijzondere formules	18
7.4.1 Antwoorden section 3-7 checkup	18
7.4.2 Test jezelf van 3.1.2 vraag 3	18

7 Elektronische schakelaars

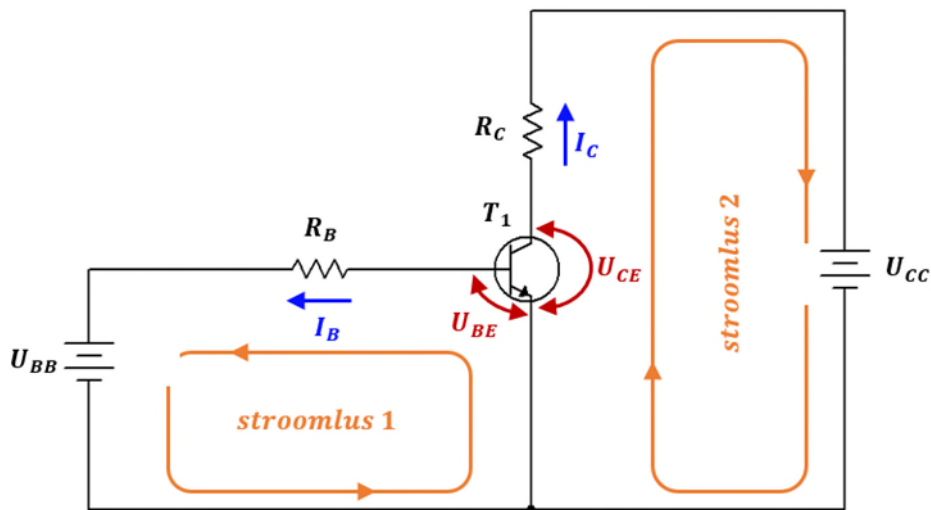
Transistoren en FET's worden veel gebruikt als schakelende eenheden in digitale systemen. In telefooncentrales werden voort het eerst zulke schakelende systemen op grote schaal in gebruik genomen. Vandaag zijn computersystemen de meest belangrijke factor waarin we dergelijke schakelaars terugvinden in geïntegreerde circuits (IC's). Discrete transistorschakelaars worden vooral daar toegepast wanneer hogere stromen moeten bekomen worden dan de stroomwaarden die IC's zelf kunnen leveren.

7.1 DC-instelling om een transistor als schakelaar te gebruiken

De eenvoudigste manier om een transistor in te stellen voor schakeldoeleinden is de zogenaamde basisinstelling van een transistor. Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee voedingsbronnen. Figuur 7-1 toont een principeschakeling van de basisinstelling van een transistor.

Wat is belangrijk:

- Je berekent de spanningen, stromen en weerstanden van een basisinstelling van de transistor
- Je bepaalt het werkpunt van een transistor die geplaatst is in een basisinstelling.
- Je tekent de belastingslijn van een transistor ingesteld met basisinstelling



Figuur 7-1 : basisinstelling van een transistor

In deze principeschakeling zijn twee stroomlussen te onderscheiden. De eerste stroomlus (stroomlus 1 in figuur 7-1) is een stroom die vloeit in het basiscircuit. De stroom die hier vloeit noemen we I_B en is afkomstig van de voeding U_{BB} . De benaming U_{BB} slaat op de voeding voor de basis van de transistor. Volgens de spanningswet van Kirchhoff kan je voor de stroomlus 1 het volgende schrijven:

$$U_{BB} = U_{RB} + U_{BE}$$

Hierbij is U_{RB} de spanningsval over de weerstand R_B en U_{BE} de spanningsval over de basis-emitter-junctie van de transistor. Als de transistor in geleiding is, is de spanningswaarde U_{BE} gelijk aan 0,7 V. De spanning over de weerstand R_B kan je volgens de wet van Ohm schrijven als:

$$U_{RB} = I_B \times R_B$$

Werken we de gevonden vergelijking via de spanningswet van Kirchhoff verder uit naar I_B dan bekomen we:

$$U_{BB} = I_B \times R_B + U_{BE}$$

$$I_B \times R_B = U_{BB} - U_{BE}$$

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B}$$

Van zodra de stroomwaarde I_B gekend is, kan de stroom in de tweede stroomlus bepaald worden. Deze stroom is I_C en gevonden worden via de vergelijking van de stroomversterking β :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Of:

$$I_C = \beta \times I_B$$

De stroomversterking β kan gevonden worden via de datasheet van de transistor. Afhankelijk van de fabrikant wordt β of h_{FE} gebruikt voor deze stroomversterking. Eens de stroom I_C gekend is kan de spanning U_{CE} bepaald worden via toepassing van de spanningswet van Kirchhoff op de kring die gevormd wordt via stroomlus 2 in figuur 7-1:

$$U_{CC} = U_{RC} + U_{CE}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - U_{RC}$$

De spanning U_{RC} kan gevonden worden via de wet van Ohm en is gelijk aan:

$$U_{RC} = I_C \times R_C$$

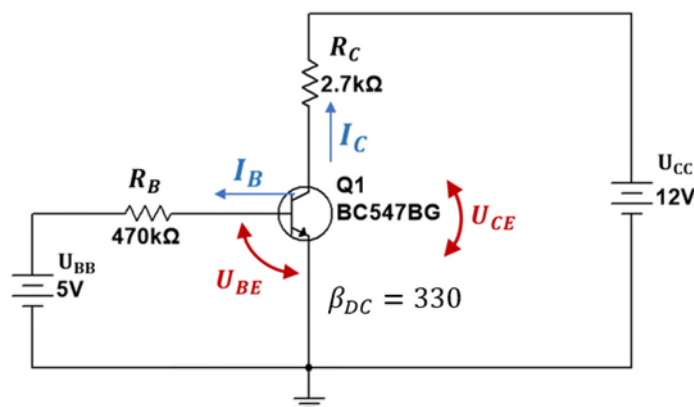
Hierdoor kan U_{CE} bepaald worden als volgt:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \times R_C$$

Om een idee te hebben hoe een transistor is ingesteld in een schakeling spreekt men van het werkpunt van de transistor. Het werkpunt wordt voorgesteld door de stroom I_C en de spanning U_{CE} . Het punt dat door twee vernoemde parameters (I_C, U_{CE}) ligt op de belastingslijn van de transistorschakeling. De positie waar dit punt op de belastingslijn ligt, geeft aan of de transistor is geschakeld of niet. Later meer hierover.

Voorbeeld 7-1:

Bepaal het werkpunt van de transistorschakeling in figuur 7-vb01.



Figuur 7-vb01

Oplossing:

Om het werkpunt te vinden moeten we de stroomwaarde I_C en de spanningswaarde U_{CE} kennen. Om I_C te kunnen bepalen moet eerst de stroom I_B gevonden worden. I_B kan op volgende manier berekend worden:

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{5\text{ V} - 0,7\text{ V}}{470\text{ k}\Omega} = 9,15\text{ }\mu\text{A}$$

Via de formule voor de stroomversterking kan dan I_C gevonden worden. De transistor in de schakeling heeft een stroomversterking van 330. De stroom I_C is dan gelijk aan:

$$I_C = \beta_{DC} \times I_B = 330 \times 9,15\text{ }\mu\text{A} = 3,02\text{ mA}$$

De spanning U_{CE} kan nu bepaald worden via volgende formule:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \times R_C = 12\text{ V} - 3,02\text{ mA} \times 2,7\text{ k}\Omega = 3,85\text{ V}$$

Het werkpunt van de schakeling in figuur 7-vb02 is: $I_C = 3,02\text{ mA}$, en $U_{CE} = 3,85\text{ V}$

Voorbeeld 7-2

Stel een transistor via basisinstelling zodanig in dat volgend werkpunt wordt bekomen: $I_C = 6 \text{ mA}$ en $U_{CE} = 5 \text{ V}$. De stroomversterking β is gelijk aan 200 en je beschikt over de voedingsspanningen $U_{CC} = 15 \text{ V}$ en $U_{BB} = 3,3 \text{ V}$.

Oplossing:

De weerstand R_C die het mogelijk maakt dat de spanning $U_{CE} = 5 \text{ V}$ kan als volgt worden bepaald:

$$R_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{I_C} = \frac{15 \text{ V} - 5 \text{ V}}{6 \text{ mA}} = 1,67 \text{ k}\Omega$$

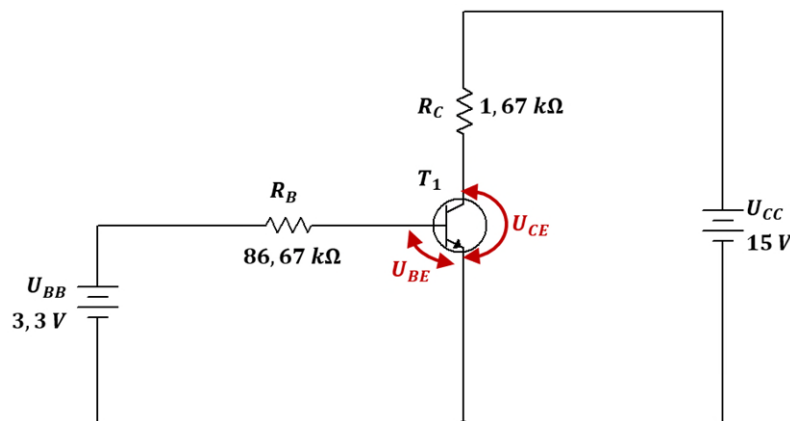
De stroom I_B kan als volgt worden gevonden:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{6 \text{ mA}}{200} = 30 \mu\text{A}$$

De weerstand R_B kan dan als volgt gevonden worden:

$$R_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{I_B} = \frac{3,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{30 \mu\text{A}} = 86,67 \text{ k}\Omega$$

De uiteindelijke schakeling is weergegeven in figuur 7-vb-02.



Figuur 7-vb02

7.1.1 Belastinglijn van de basisinstelling

In het eerste hoofdstuk hebben we besproken wat een belastinglijn inhoudt en hoe we ze kunnen tekenen. Het werkpunt van de transistor bevindt zich op deze

belastingslijn. Om de belastingslijn in de uitgangskarakteristiek te kunnen tekenen bepalen we de snijpunten met de assen. Het snijpunt met de stroom-as kan gevonden worden door de spanning U_{CE} gelijk aan 0 V . Dit komt overeen door een denkbeeldige kortsluiting te maken tussen collector en emitter en dan de stroom I_C te bepalen welke dan door de schakeling zou vloeien. Vermits er geen spanning tussen collector en emitter staat, is de collectorstroom maximaal. Deze maximale stroom wordt de verzadigingsstroom $I_{C(sat)}$ genoemd. Het subscript "sat" staat voor het Engelse woord saturation. De verzadigingsstroom $I_{C(sat)}$ kan als volgt bepaald worden:

$$I_{C(sat)} = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} = \frac{U_{CC} - 0\text{ V}}{R_C}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{U_{CC}}{R_C}$$

Het andere punt om de belastingslijn te tekenen is het punt waarop de belastingslijn de spannings-as doorsnijdt. Dit punt kan bepaald worden door I_C gelijk aan nul te stellen. Deze situatie wordt bekomen als er een onderbreking kan verondersteld worden tussen collector en emitter. Door deze onderbreking zal er geen stroom vloeien door de transistor waardoor deze in sper staat of "afgeknepen" is. Dit punt wordt het afknijppunt of cut-off-punt $U_{CE(cut-off)}$ genoemd en wordt als volgt gevonden:

$$U_{CE(cut-off)} = U_{CC} - I_C \times R_C = U_{CC} - 0\text{ mA} \times R_C$$

$$U_{CE(cut-off)} = U_{CC}$$

Beschouwen we de schakeling van figuur 7-vb-02 en bepalen we de belastingslijn hiervan dan kan dit op volgende manier:

$$I_{C(sat)} = \frac{U_{CC}}{R_C} = \frac{15\text{ V}}{1,67\text{ k}\Omega} = 8,98\text{ mA}$$

$$U_{ce(cur-off)} = U_{CC} = 15\text{ V}$$

Het werkpunt van de schakeling :

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{Be}}{R_B} = \frac{3,3\text{ V} - 0,7\text{ V}}{86,67\text{ k}\Omega} = 30\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \times I_B = 200 \times 30\text{ }\mu\text{A} = 6\text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \times R_C = 15\text{ V} - 6\text{ mA} \times 1,67\text{ mA} = 5\text{ V}$$

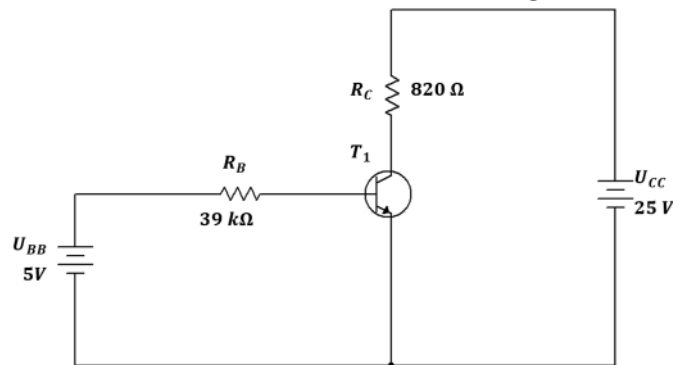
Figuur 7-2 toont de belastingslijn en het werkpunt van de schakeling van figuur 7-vb-02.



Figuur 7-2 : Belastingslijn en werkpunt van de schakeling in figuur 7-vb-02

7.1.2 Test jezelf : DC-instelling transistor als schakelaar

1. In welk punt op de belastingslijn vloeit er maximale stroom door de transistor?
2. Wat wordt bedoeld met het werkpunt van een transistor?
3. Bereken het huidige werkpunt van de schakeling in figuur 7-test-01. Pas vervolgens R_B in de figuur 7-test-01 zodanig aan dat dat het werkpunt in het midden van de belastingslijn komt te liggen. De transistor heeft een stroomversterkingsfactor van 100.



Figuur 7-test-01

4. Teken de belastingslijn van de schakeling van figuur 7-test-01.

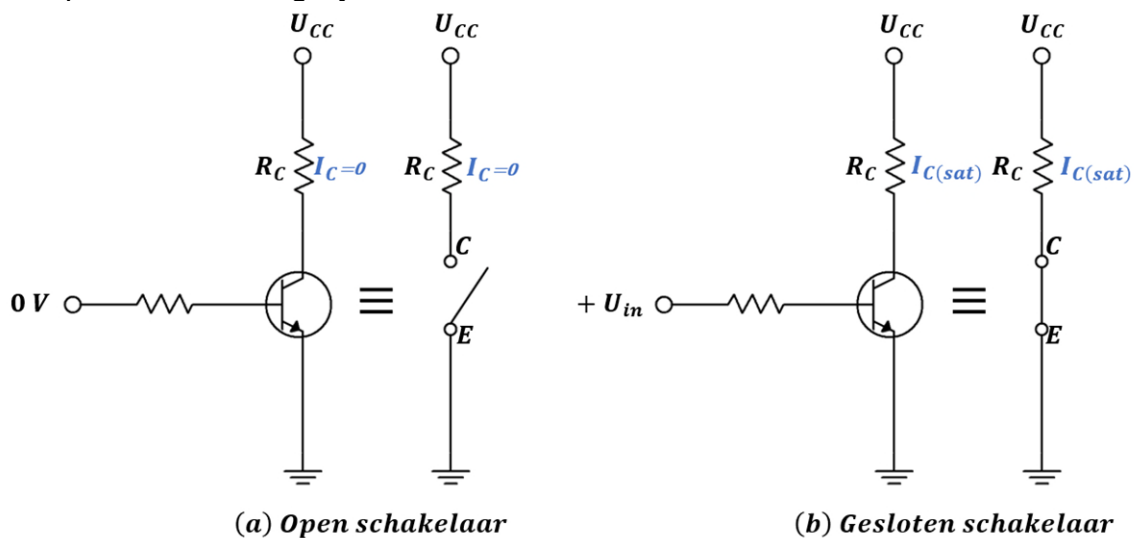
7.2 Transistor als schakelaar

Wat is belangrijk?

- Je verklaart de voorwaarden om een transistor als schakelaar te gebruiken.
- Je tekent en verklaart de principewerking van een transistorschakeling als schakelaar met threshold

- Je tekent en verklaart de principewerking van een transistorschakeling als schakelaar met hysteresis

Figuur 7-3 toont een transistor als schakelaar. Een schakelaar bevat twee toestanden, open en gesloten. Een gesloten schakelaar wordt bekomen door de transistor in verzadiging te sturen. Dit betekent dat de weerstand R_B zodanig wordt gekozen dat er meer dan voldoende I_B vloeit om de transistor in verzadiging te sturen. De stroom die dan door de transistor vloeit is gelijk aan $I_{C(sat)}$. Een open schakelaar wordt bekomen door de transistor in sper te schakelen. De spanning tussen basis en emitter moet dan zeker lager zijn dan 0,5 V zodat men zeker is dat de transistor niet geleidt. Meestal is deingangsspanning voor een transistorinstelling als open schakelaar gelijk aan 0 V.



Figuur 7-3 : ideale schakeltoestanden van een transistor als schakelaar

7.2.1 Voorwaarden om een transistor als schakelaar te gebruiken

Transistor als open schakelaar

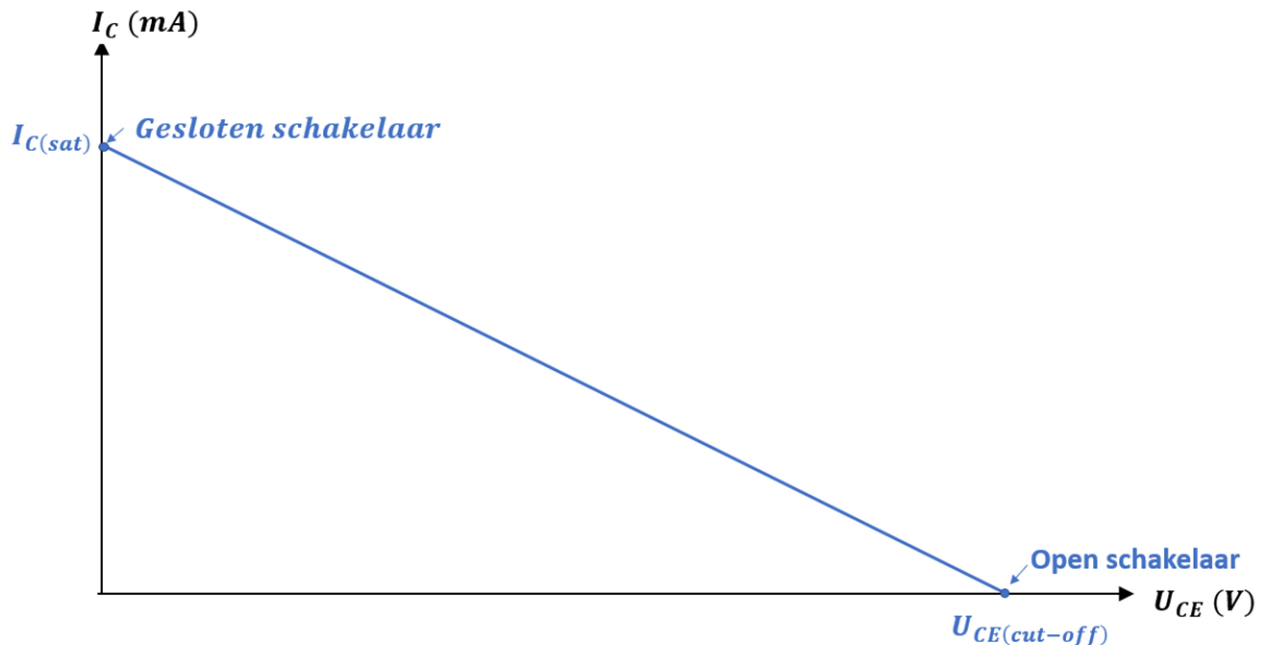
Wanneer een transistor in sper wordt geschakeld is de spanning U_{CE} gelijk aan de voedingsspanning U_{CC} . Het werkpunt dat bekomen wordt in open toestand ligt helemaal onderaan de belastingslijn. Dit is weergegeven in figuur 7-4. Merk op dat ten gevolge van de lekstroom door de transistor het werkpunt bij open toestand iets hoger ligt. Echter kan je in veel toepassingen deze lekstroom verwaarlozen zodat je het werkpunt bij open toestand op de U-as ligt. Het werkpunt van de transistor als open schakelaar heeft volgende parameters:

$$I_C = 0 \text{ A}$$

$$U_{CE} = U_{CE(cur-off)}$$

Transistor als gesloten schakelaar

Om de transistor in de toestand van gesloten schakelaar te brengen moet deze zodanig worden uitgestuurd dat deze zijn maximale collectorstroom produceert. Dit is de verzadigingsstroom $I_{C(sat)}$ en kan gevonden worden via volgende formule:



Figuur 7-4 : Werkpunten (instellingspunten) op de belastingslijn van een ideale transistor als schakelaar

$$I_{C(sat)} = \frac{U_{CC} - U_{CE(sat)}}{R_C}$$

Hierbij is $U_{CE(sat)}$ de verzadigingsspanning van de transistor. Voor een laagvermogenstransistor zoals BC547 bedraagt $U_{CE(sat)}$ ongeveer 0,1 V à 0,3 V. In de meeste situaties kan $U_{CE(sat)}$ worden verwaarloosd ten opzichte van U_{CC} zodat $I_{C(sat)}$ als volgt bepaald kan worden:

$$I_{C(sat)} = \frac{U_{CC}}{R_C}$$

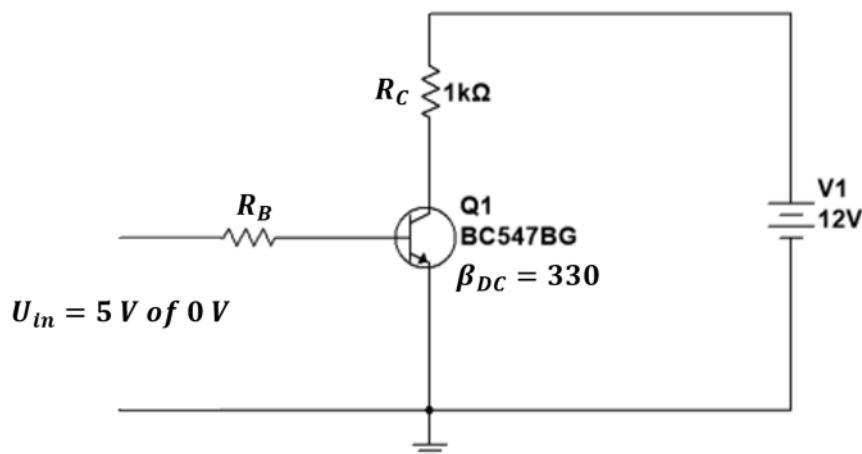
De minimale basisstroom die nodig is om de transistor in verzadiging te houden is gelijk aan:

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{DC}}$$

I_B is best beduidend groter dan $I_{B(min)}$ om de transistor in verzadiging te houden voor alle verschillen in de β_{DC} -waarden van verschillende transistoren.

Voorbeeld 7-3

- Verklaar hoe de schakeling van figuur 7-vb03 als een schakelaar werkt.
- Welke minimum I_B is noodzakelijk om de transistor in verzadiging te brengen (saturation) als $U_{in} = 5\text{ V}$? (Stel $U_{CE(sat)} = 0\text{ V}$)
- Bepaal de maximale waarde van R_B zodat de transistor in verzadiging staat als $U_{in} = 5\text{ V}$.



Figuur 7-vb03

Oplossing :

- Als $U_{in} = 0\text{ V}$ spert de transistor (cutoff) en gedraagt de transistor zich als een open schakelaar. Als $U_{in} = 5\text{ V}$ staat de transistor in verzadiging en gedraagt deze zich als een gesloten schakelaar
- Veronderstel $U_{CE(sat)} = 0\text{ V}$, dan vinden we voor $I_{C(sat)}$:

$$I_{C(sat)} \approx \frac{U_{CC}}{R_C} = \frac{12\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 12\text{ mA}$$

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{DC}} = \frac{12\text{ mA}}{330} = 36,36\text{ }\mu\text{A}$$

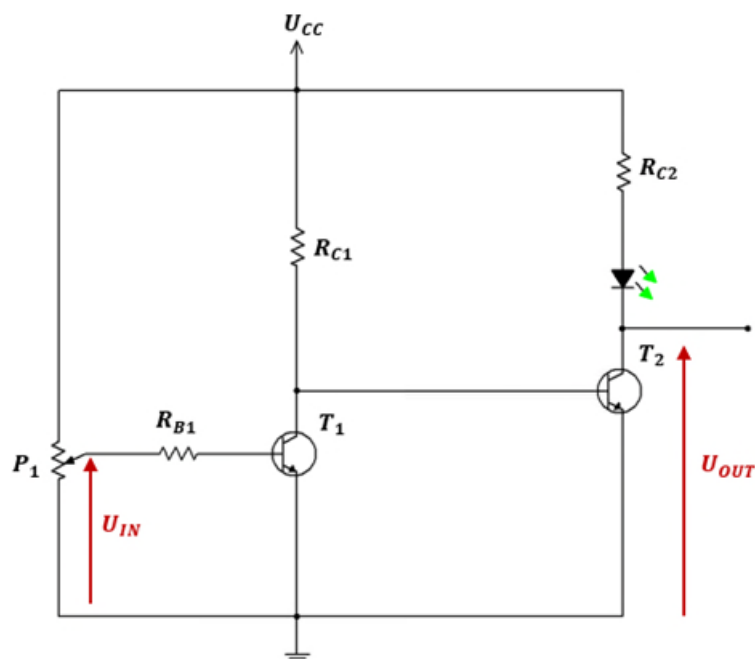
- Als de transistor in verzadiging staat is $U_{BE} \approx 0,7\text{ V}$.

$$R_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{I_B} = \frac{12\text{ V} - 0,7\text{ V}}{36,36\text{ }\mu\text{A}} = 310,78\text{ k}\Omega$$

Met E-12 reeks is $R_{B(max)} = 270\text{ k}\Omega$. Indien we hadden gekozen voor een $R_{B(max)} = 330\text{ k}\Omega$ was I_B onvoldoende groot om de transistor in verzadiging te sturen met spanningsverlies over de transistor als gevolg.

7.2.2 Een 2-transistoren schakelend systeem met een threshold overgang

Om als schakelaar te werken zou de transistor enkel maar twee mogelijke toestanden mogen hebben: AAN (on) bij verzadiging en UIT (off) bij spertoestand. Als je een belastingslijn bekijkt zie je dat er meerdere mogelijkheden zijn om de transistor in te stellen dan enkel in het verzadigings- en/of afknijppunt. Om enkel de AAN- en UIT-toestand te bekomen moet de basisspanning een zekere drempelwaarde (threshold) hebben. Is U_B gelijk aan 0 V, dan is de transistor in sper. Om de transistor in verzadiging te krijgen moet U_B zodanig snel stijgen dat $I_{B(min)}$ bereikt wordt zodat de transistor in één keer naar verzadiging kan gaan. Met een tweede transistor kan de schakelende actie sterk verbeteren en zorgen voor een scherpe threshold. Dit is weergegeven in figuur 7-5.



Figuur 7-5 : schakelsysteem met treshold-overgang

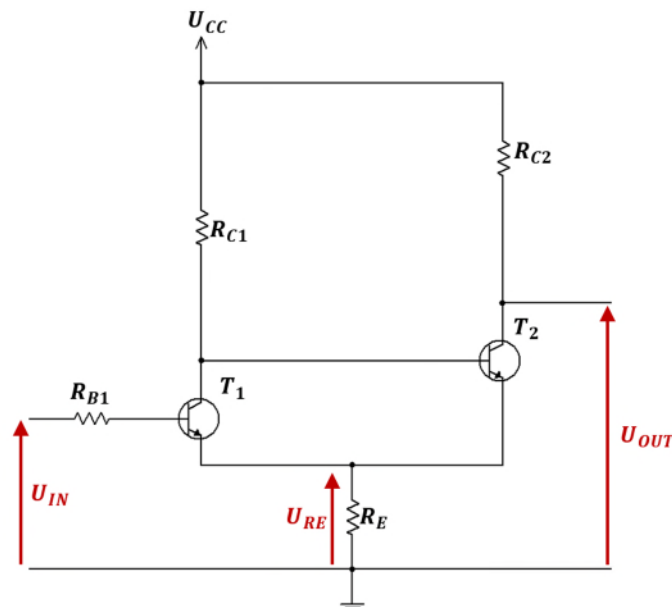
De schakeling in figuur 7-5 bevat een LED waarmee het uitgangssignaal kan zichtbaar gemaakt worden. Het werkingsprincipe van de schakeling is als volgt: Stel dat de potentiometer met zijn looper (verbinding R_{B1}) verbonden is met het massapunt. De spanning U_{IN} komt dan overeen met het massapotential waarvoor $U_{BE(T1)}$ eveneens gelijk is aan het massapotential. Het gevolg hiervan is dat de transistor T_1 in sper staat. Door het feit dat deze transistor in sper staat, is normaal $U_{CE(T1)} = U_{CE(cut-off)}$ en bijgevolg gelijk aan de voedingsspanning U_{CC} . Echter de basis van transistor T_2 is verbonden met de collector van transistor T_1 met als gevolg dat de basis-emitter junctie van T_2 parallel staat met de collector-emitter-aansluiting van T_1 . Van zodra T_1 begint te sperren stijgt de collectorspanning U_{C1} richting U_{CC} . Zodra de U_{C1} -spanning hoger wordt dan 0,7 V, schakelt T_2 zich in geleiding. Waardoor de spanning U_{C1} niet hoger dan 0,7 V kan worden. Door het sperren van T_1 vloeit praktisch alle stroom door R_{C1} eveneens door de basis van T_2 waardoor T_2

in verzadiging komt te staan. De uitgangsspanning U_{OUT} is dan gelijk aan $U_{CE(sat)}$ of ongeveer gelijk aan 0 V .

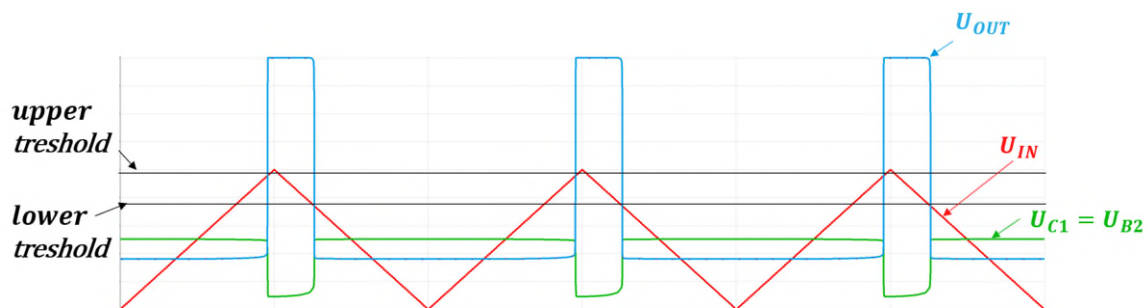
Verdraaien we de looper zodat de spanning U_{IN} groter wordt. Deze spanning verdeelt zich over R_{B1} en de basis-emitter junctie van T_1 . Vanaf het moment dat U_{IN} voldoende groot wordt zal U_{BE} gelijk aan $0,7\text{ V}$ worden en zal T_1 geleiding komen. Zolang dat de werkpuntspanning $U_{C1(T1)}$ hoger dan $0,7\text{ V}$ is, zal T_2 blijven geleiden. Door het verder verhogen van U_{IN} zal $U_{BE(T1)}$ ongeveer $0,7\text{ V}$ blijven maar stijgt de spanning U_{RB1} . Door deze stijging zal ook I_{B1} stijgen zodat het werkpunt van T_1 verder zal opschuiven richting verzadigingspunt. Eens de spanning U_{IN} een zodanige spanningswaarde heeft dat T_1 in verzadiging is, spert T_2 vermits U_{B2} dan lager dan $0,7\text{ V}$ is. Deze spanningswaarde van U_{IN} is dan de treshhold of drempelwaarde om de schakeling te laten omklappen. De uitgangsspanning U_{OUT} is dan ongeveer gelijk aan U_{CC} . Het verhogen van U_{IN} zal nu enkel T_1 nog meer in verzadiging sturen. Verlaagt men nu terug U_{IN} zodat T_1 gaat sperren, zal T_2 terug in geleiding komen.

7.2.3 Transistor als schakelaar met hysteresis

Een hysteresis houdt in dat dat er twee threshold-waarden zijn. De waarde van de threshold is afhankelijk of de uitgangsspanning reeds hoog of laag is. Dit houdt in dat de ingangsspanning eerst een hogere threshold-spanning moet overschrijden alvorens de uitgang omklapt. Eens deze omklapping is gebeurd moet de ingangsspanning lager worden dan de onderste threshold-spanningswaarde om de uitgangsspanning terug naar zijn oorspronkelijke waarde te laten omklappen. Figuur 7-7 toont het principe van hysteresis aan de hand van de principeschakeling van figuur 7-6.



Figuur 7-6: transistorschakelsysteem met hysteresis



Figuur 7-7: upper- en lower thresholdpunten van de schakeling van figuur 7-6

Het werkingsprincipe is als volgt: Als deingangsspanning U_{IN} stijgt, zal de uitgang pas omschakelen als U_{IN} de waarde van de *upper threshold* overschrijdt. Als dit gebeurt zal U_{OUT} ongeveer gelijk aan U_{CC} worden. Zolang U_{IN} de *upper threshold* niet overschreden heeft kan de schakeling niet omklappen bij de *lower threshold* - waarde. Dit omdat de *lower threshold*-waarde op dat moment nog niet actief is. Eens U_{IN} de *upper threshold*waarde overschreden is blijft U_{OUT} ongeveer gelijk aan U_{CC} tot dat U_{IN} lager wordt dan de *lower threshold*waarde (wat in figuur 7-7 is weergegeven).

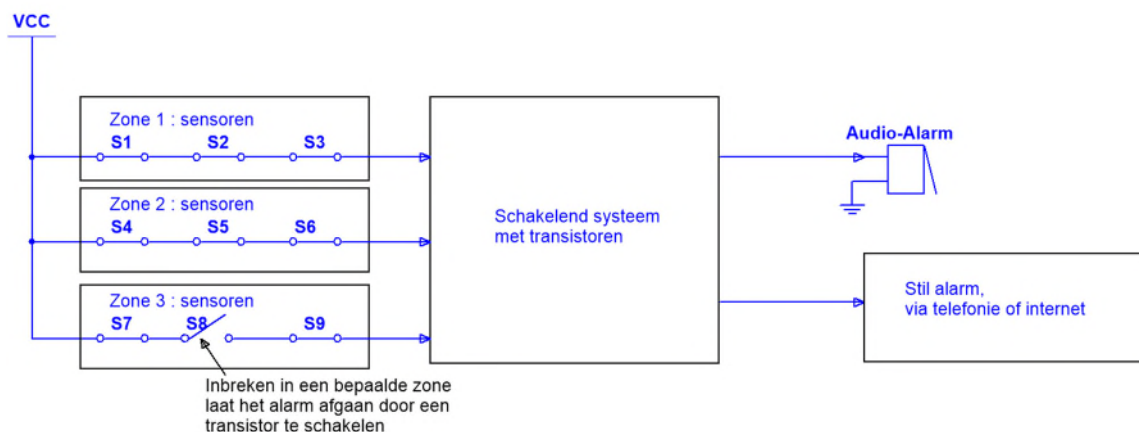
Het grote voordeel van een hysteresis in een schakelend circuit is de ruisimmunitet. De uitgang verandert enkel op de ingestelde threshold-waarden, hoe ruisachtig het ingangssignaal ook mag zijn.

Zoals reeds vermeld is in figuur 7-6 het principeschema van de transistorschakelaar met hysteresis weergegeven. Wanneer U_{OUT} omschakelt, verandert de spanning over R_E ook waardoor de drempelwaarde wordt aangepast. De reden hiervoor is de verschillende saturatiestromen die vloeien door T_1 en T_2 . Om de hysteresisschakeling te maken zal de waarde van R_{C1} hoger liggen dan deze van R_{C2} . Bijvoorbeeld $R_C = 10\text{ k}\Omega$ en $R_{C2} = 5\text{ k}\Omega$. Merk op dat hoe hoger de weerstandswaarde van R_E is, hoe hoger minimale uitgangsspanning zal zijn. Immers wanneer T_2 in verzadiging is, is de uitgangsspanning U_{out} gelijk aan de som van $U_{CE2(sat)}$ met U_{RE} .

7.2.4 Toepassingsvoorbeelden van transistor als schakelaar

7.2.4.1 Eenvoudig alarmsysteem

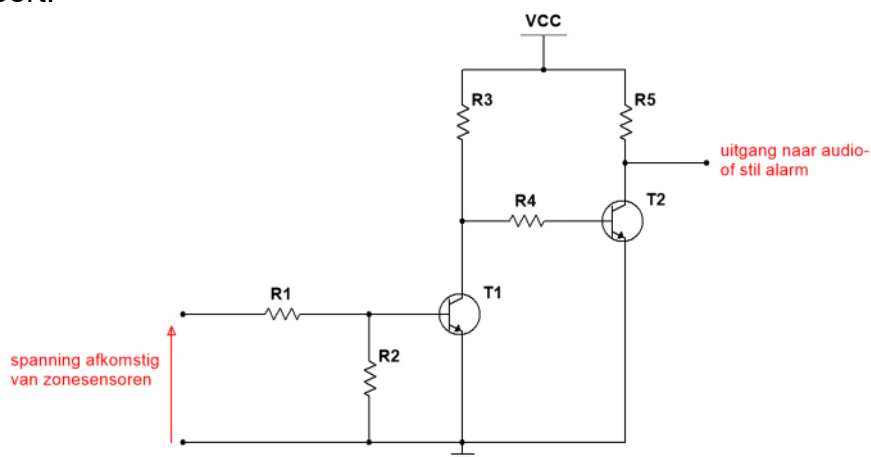
Een transistor als schakelaar is bruikbaar in alarmsystemen. Stel bv. de bewaking van een gebouw. Dit gebouw kan men onderverdelen in verschillende zones waar allerlei sensoren geplaatst zijn tegen inbraakbeveiliging. De sensoren zijn onderverdeeld in verschillende zone's van het gebouw dat bewaakt moet worden. Sensoren kunnen gebruikt worden om te detecteren of een deur open gaat of een venster wordt geopend en zijn normaal in gesloten toestand. Deze kunnen in serie worden aangebracht zoals in figuur 7-8 wordt weergegeven.



Figuur 7-8 : Blokdiagram van een eenvoudig alarm

Als een inbraak op een bepaalde locatie wordt gedetecteerd zal de betreffende sensor in open toestand komen en aldus de stroomketen naar de transistor onderbreken.

Als alle sensoren in gesloten toestand zijn, staat ongeveer de U_{CC} (zie figuur 7-8) aan de spanningsdeler R_1 - R_2 van figuur 7-9.. Hierdoor is U_{B1} voldoende positief om T_1 in verzadiging te brengen waardoor de basisspanning van T_2 te laag is en deze transistor spert.



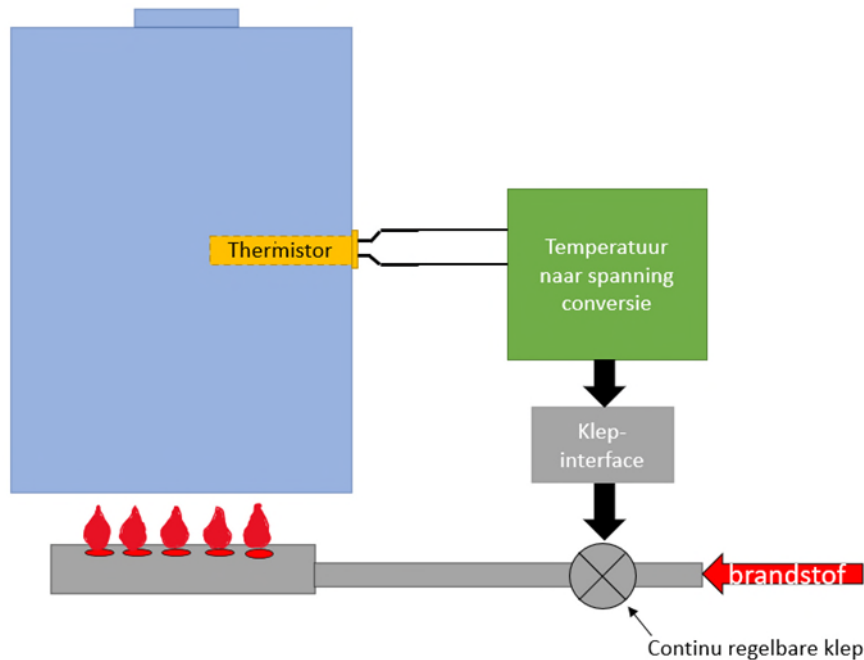
Figuur 7-9 :Voorbeeld van een transistorschakelcircuit om een zone te bewaken

Van zodra een sensor een detectie doet gaat deze in “open toestand”. Hierdoor is V_{CC} onderbroken en wordt de basisspanning van Q_1 gelijk aan 0 V . Hierdoor spert Q_1 waardoor voldoende stroom naar de basis van T_2 zal vloeien om deze in saturatie te sturen. De output van de schakeling is nu ongeveer gelijk aan 0 V waardoor de alarmschakeling geactiveerd wordt.

7.2.4.2 Temperatuurbewakingssysteem om een vloeistof in een container op een specifieke temperatuur te behouden

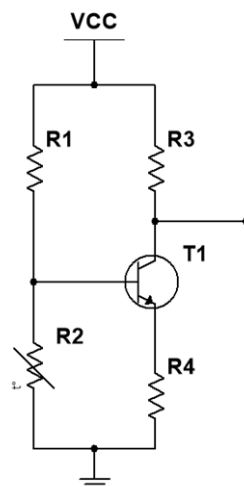
Het doel van het temperatuurcontrolesysteem (figuur 7-10) is de temperatuur van een vloeistof in een container op een specifieke waarde te houden. De temperatuur in de container wordt gemonitord via een thermistorsensor waarbij zijn weerstand

evenredig verandert met de temperatuur. De weerstandswaarde van de thermistor wordt omgevormd tot een overeen-komstige spanningswaarde.



Figuur 7-10 : Temperatuurcontrolesysteem

Deze spanning wordt aangelegd aan een klep-interface. De klep-interface regelt de klep. De klep wordt gebruikt om de hoeveelheid toegevoerde brandstof naar de brander te regelen in functie van de temperatuur binnen in de brander. Als de temperatuur van de vloeistof binnen de container hoger wordt dan een bepaalde waarde wordt de brandstof naar de brander toe vermindert. Als de temperatuur van de vloeistof binnen de container lager wordt dan een vooraf ingestelde waarde wordt er via de klep meer brandstof toegevoerd naar de brander.



Figuur 7-11: temperatuur naar spanning conversie

Met de schakeling in figuur 7-11 is de basisspanning U_B recht evenredig met de temperatuur van de vloeistof in de container. Indien de thermistor een positieve temperatuurscoëfficiënt bezit, stijgt U_B met stijgende temperatuur.

De spanning aan de collector U_C is omgekeerd evenredig met de basisspanning U_B . Dit betekent dat als de temperatuur daalt, U_B zal dalen en U_C zal stijgen. Als U_C daalt gaat de klep evenredig meer open waardoor er meer brandstof naar de brander vloeit.

Als de temperatuur stijgt, stijgt U_B en daalt U_C . Hierdoor zal er minder brandstof via de klep naar de brander toe vloeien waardoor de temperatuur terug zal dalen.

7.2.5 Test jezelf: transistor als schakelaar

1. ***Als een transistor gebruikt wordt als schakelaar, in welke twee toestanden wordt deze dan gebruikt?***
2. ***Wanneer bereikt de collectorstroom zijn maximale waarde?***
3. ***Wanneer is de collectorstroom ongeveer 0 A?***
4. ***Wanneer is U_{CE} gelijk aan U_{CC} ?***
5. ***Wat wordt bedoeld met een hysteresis in een schakelcircuit?***

7.3 DC-instelling van FET's

7.3.1 Zelfinstelling van de JFET

Figuur 7-12 toont het principeschema van een JFET ingesteld volgens de zelfinstellingsmethode. Door R_G met de massa te verbinden wordt de gateklem verbonden met 0 V. De lekstroom I_{GSS} produceert normaal een kleine stroom door R_G waardoor een kleine spanning over deze weerstand ontstaat. Deze kleine spanning is in de meeste gevallen verwaarloosbaar. Het doel van R_G is ervoor te zorgen dat aan de gate 0V DC-spanning aanwezig is zonder dat dit invloed heeft op het aangelegde AC-signaal.

De stroom I_D vloeit door de weerstanden R_D en R_S . Deze I_D produceert een drain-source spanning U_{DS} die te vinden is via de spanningswet van Kirchhoff:

$$U_{DD} = U_{DS} + U_{RS} + U_{RD}$$

$$U_{DS} = U_{DD} - U_{RS} - U_{RD}$$

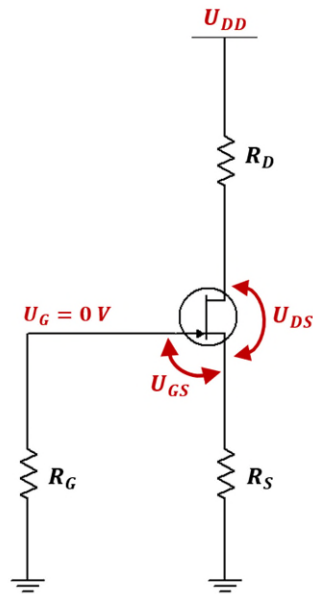
U_{RS} en U_{RD} kunnen via de wet van Ohm omgevormd worden als volgt:

$$U_{DS} = U_{DD} - I_D \times R_S - I_D \times R_D$$

$$U_{DS} = U_{DD} - I_D(R_S + R_D)$$

De sourcespanning U_S is gelijk aan de spanning U_{RS} . In formulevorm:

$$U_S = U_{RS} = I_D \times R_S$$



Figuur 7-12 : zelfinstelling van de JFET

Vermits de gatestroom verwaarloosbaar klein is, is de gatespanning U_G ongeveer gelijk aan het massapotentiaal zodat kan gesteld worden dat :

$$U_G \approx 0 \text{ V}$$

De spanning U_{GS} wordt dan als volgt bekomen:

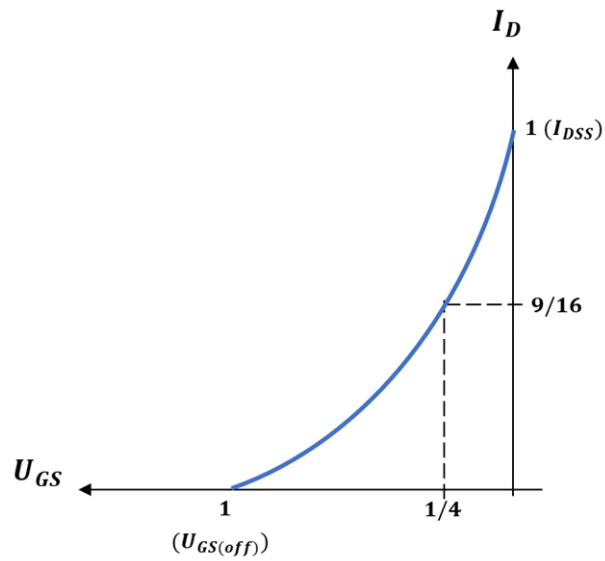
$$U_{GS} = U_G - U_S$$

$$U_{GS} = 0 \text{ V} - I_D \times R_S$$

$$U_{GS} = -I_D \times R_S$$

Bovenstaande formule geeft aan dat de instelspanning U_{GS} bekomen wordt via de spanningsval over de weerstand R_S . Aangezien er geen externe spanning is aangesloten op de gate-electrode wordt deze instelling “zelfinstelling” genoemd. De zelfinstelling stabiliseert het werkpunt tegen veranderingen in de JFET-parameters zoals I_{DSS} , $/y_{fs}/$, ...

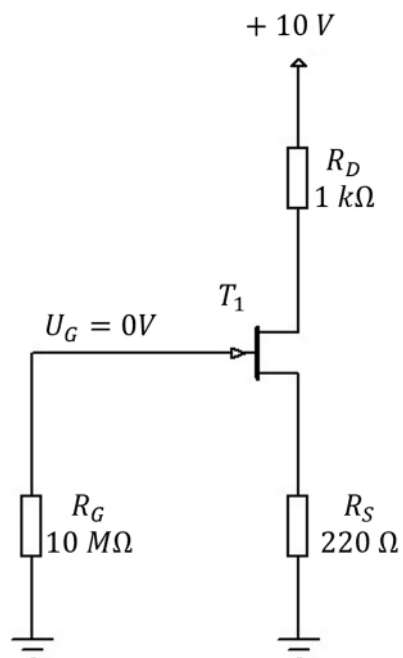
Het werkingsprincipe van de zelfinstelling is als volgt: Stel dat we een JFET in de schakeling brengen met een steilheid $/y_{fs}/$ die twee keer zo groot is als deze van de oorspronkelijke JFET. De drainstroom zal hierdoor in eerste instantie twee keer zo groot willen worden. Daar echter deze drainstroom ook door de weerstand R_S vloeit, zal de spanning U_{RS} (en dus ook U_S) groter worden. Dit heeft als gevolg dat U_{GS} negatiever wordt waardoor I_D terug zal dalen tot de oorspronkelijke normale I_D .



Figuur 7-13 : transconductantiekarakteristiek JFET; $\frac{1}{4} U_{GS}$ stelt I_D ongeveer in het midden van de karakteristiek in

Voorbeeld 7-4

Gegeven: De schakeling van figuur 7-vb04. Stek dat de drainstroom hierin gelijk is aan 5 mA.



Figuur 7-vb04

Gevraagd: Bepaal U_{GS} en U_{DS} .

Oplossing :

7.4 Bijzondere formules

4-1	Basisspanning bij spanningsdelerinstelling transistor	$U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times U_{CC}$
4-2	Bepalen U_{CE} bij spanningsdelerinstelling transistor	$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_E + R_C)$
4-3	U_{GS} -spanning bij zelfinstelling van de JFET	$U_{GS} = -I_D \times R_S$
4-4	U_{DS} -spanning bij zelfinstelling van de JFET	$U_{DS} = U_{DD} - I_D(R_D + R_S)$
4-5	R_S bij grafische methode JFET	$R_S = \frac{ U_{GS(off)} }{I_{DSS}}$

7.4.1 Antwoorden section 3-7 checkup

1. Verzadiging (saturatie) – Sper (Cutoff)
2. Als de transistor in verzadiging is
3. Bij cutoff (afknijppunt op belastingslijn)
4. Bij cutoff
5. Er zijn twee verschillende schakelniveaus (het niveau om de transistor aan te schakelen is verschillend van het niveau om de transistor uit te schakelen)

7.4.2 Test jezelf van 3.1.2 vraag 3

Huidig werkpunt:

$$I_B = \frac{5\text{ V} - 0,7\text{ V}}{39\text{ k}\Omega} = 110,26\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = 100 \times 110,26\text{ }\mu\text{A} = 11,03\text{ mA}$$

$$U_{CE} = 25 - 11,03\text{ mA} \times 820\text{ }\Omega = 15,96\text{ V}$$

Aanpassen naar het midden van de belastingslijn:

$$I_C = \frac{25\text{ V} - 12,5\text{ V}}{820\text{ }\Omega} = 15,24\text{ mA}$$

$$R_B = \frac{5\text{ V} - 0,7\text{ V}}{\frac{15,24\text{ mA}}{100}} = 28,22\text{ k}\Omega$$

