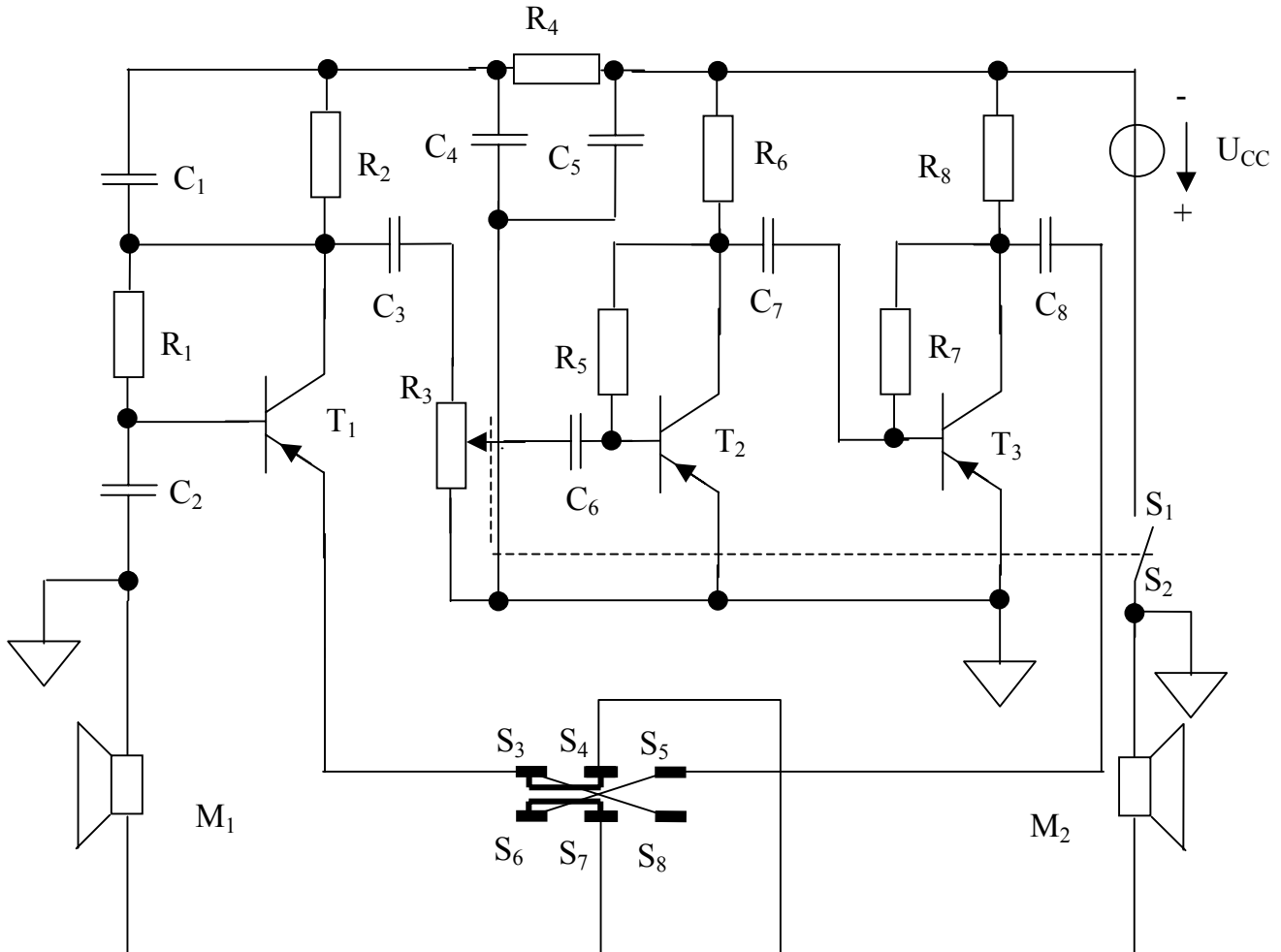


Hoofdstuk 11: Praktische transistortoepassingen

1: De intercom



Figuur 11.1: De intercom

De intercom bevat eerst en vooral twee elektrodynamische microfoontjes M_1 en M_2 . De ene doet dienst als microfoon de andere als luidspreker. Door de positie van de schakelaar $S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$ te wijzigen, kiest men welk microfoontje effectief als microfoon werkt en welk als luidspreker werkt.

Zoals Figuur 11.1 nu getekend is, werkt M_2 als microfoon en werkt M_1 als luidspreker.

De schakelaar S_1, S_2 schakelt de voedingsspanning U_{CC} aan of uit.

Tussen het microfoontje en de luidspreker is een transistorversterker geplaatst met een voldoende grote versterkingsfactor. Het microfoontje zijn gegenereerde AC-sigitaal

wordt aangelegd aan de versterkertrap met transistor T_1 . Het uitgangssignaal van de versterkertrap met transistor T_3 wordt aangelegd aan de luidspreker.

Indien een versterkingsfactor gewenst is welke niet of moeilijk bekomen kan worden door een versterker die opgebouwd is met behulp van één enkele transistor, dan wordt de versterker opgebouwd uit meerdere versterkertrappen. De intercom welke hierboven weergegeven is, is een drietrapsversterker. De eerste versterkertrap bevat een PNP-transistor die in GBS geschakeld is. De tweede en de derde versterkertrap bevatten elk een PNP-transistor die in GES geschakeld is.

De eerste versterkertrap is een GBS. Inderdaad, het microfoontje staat tussen de emitter van T_1 en de massa. Hierbij zorgt het microfoontje (met bijvoorbeeld een inwendige weerstand van 150Ω) voor het AC-ingangssignaal. Het microfoontje fungeert meteen ook als een weerstand van 150Ω zodat het ook mee de DC-instelling bepaalt.

Bij die eerste versterkertrap in GBS is het ingangssignaal aangelegd aan de emitter. De basis is via de condensator C_2 op AC-gebied verbonden met de massa. De collector is de uitgang van de eerste versterkertrap. Bij deze GBS-schakeling is er spanningsversterking doch geen stroomversterking.

Bemerk de potentiometer R_3 , tussen de eerste en de tweede versterkertrap, welke toelaat de versterkingsfactor van de totale schakeling te regelen.

Na deze eerste versterkertrap volgen nog twee versterkertrappen die elk in GES geschakeld zijn. Verifieer zelf dat het effectief GES-schakelingen zijn. Steeds is de emitter geaard, fungeert de basis als ingang en fungeert de collector als uitgang.

Bemerk de koppelcondensator C_3 tussen de eerste trap en de tweede trap. Bemerk de koppelcondensator C_7 tussen de tweede en de derde trap.

Na de uitgang van de derde versterkertrap volgt een koppelcondensator C_8 met ermee in serie het als luidspreker gebruikte microfoontje. Indien de schakelaar in de stand staat welke in Figuur 11.1 getekend is, dan fungeert M_1 als luidspreker.

Er wordt een GBS schakeling gebruikt voor de eerste versterkertrap. Deze heeft een lage ingangsimpedantie h_{ie}/h_{fe} . Dit maakt de schakeling minder gevoelig voor storingen die geïnduceerd worden. Er is namelijk een lange afstand tussen het microfoontje en de versterker. Ze kunnen zich gerust in een afzonderlijke ruimte bevinden.

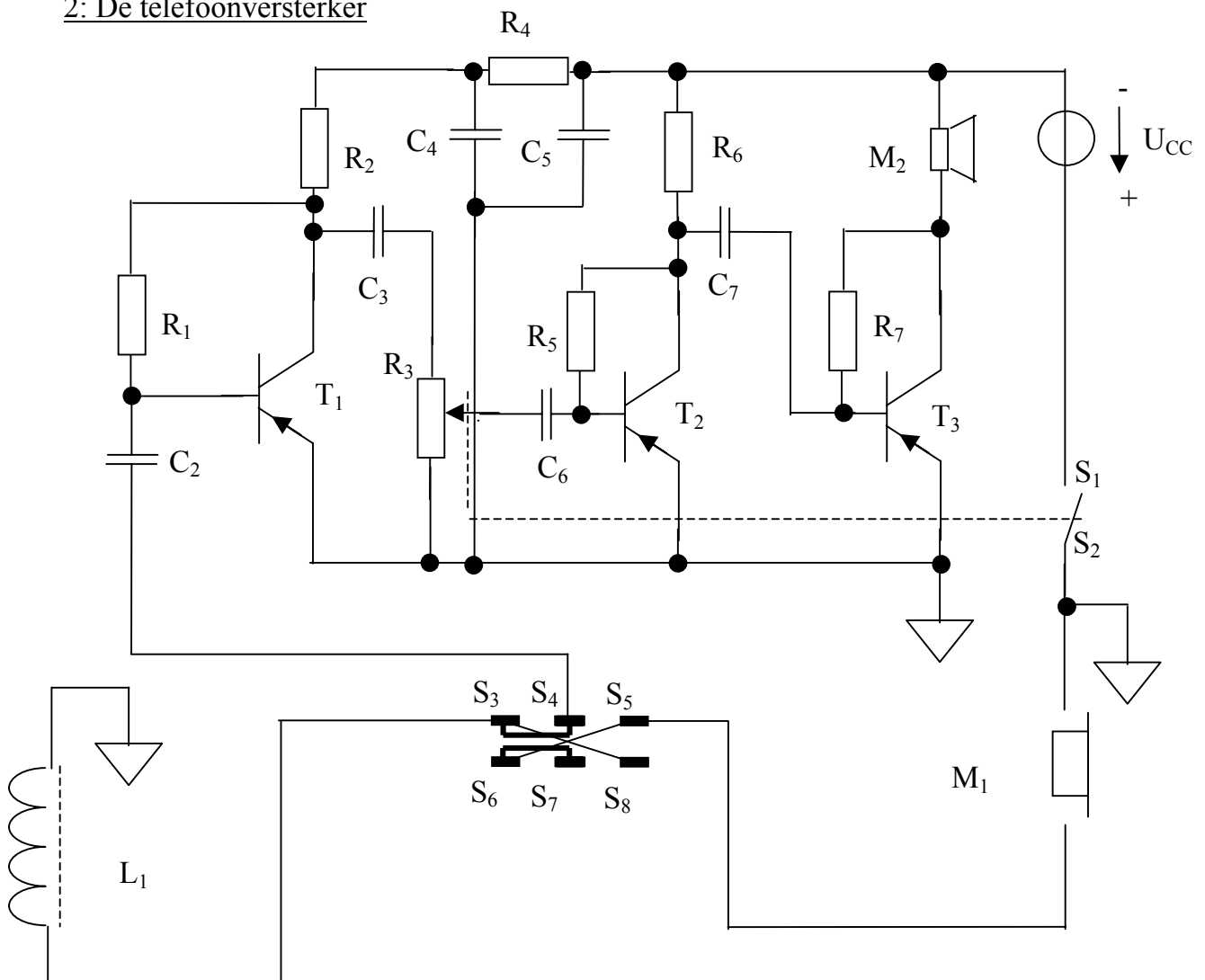
Die lage impedantie, die eigen is aan de GBS, kunnen we ons permitteren omdat het als microfoon gebruikte luidsprekertje (elektrodynamisch) zelf een lage impedantie heeft. Indien we een kristalmicrofoon zouden gebruiken met een hoge impedantie zou die lage ingangsimpedantie van de GBS wel degelijk problemen geven.

Het is niet onze bedoeling om de bovenstaande intercomschakeling volledig uit te rekenen. We geven wel een aantal relevante opmerkingen. De AC-signalen (zowel de spanningen als de stromen) zijn het kleinst bij transistor T_1 en de AC-signalen zijn het grootst bij transistor T_3 . Dit heeft zijn gevolgen bij de keuze van de transistoren. Zo is T_1 een kleinsignaaltransistor. De transistor T_3 is daarentegen een vermogentransistor.

Aangezien de AC-stromen bij de eerste versterkertrap het kleinst zijn, is het bij de DC-instelling mogelijk kleine DC-stromen te kiezen. Dit betekent dat de weerstanden R_1 en R_2 betrekkelijk groot zullen zijn. Bij de tweede versterkertrap zijn zowel de AC-stromen als de DC-instelstromen een stuk groter. Het is dan ook zo dat $R_5 < R_1$ en dat $R_6 < R_2$. Bij de derde versterkertrap zijn de AC-stromen en de DC-instelstromen nog een stuk groter. Het is dan ook zo dat $R_7 < R_5$ en dat $R_8 < R_6$.

Bemerk tenslotte nog de weerstand R_4 en de condensatoren C_4 en C_5 . Deze componenten zijn in de schakeling geplaatst om samen met C_1 ongewenste oscillaties te voorkomen. In deze cursus zullen we hier echter niet verder op ingaan.

2: De telefoonversterker



Figuur 11.2: De telefoonversterker

De telefoonversterker bestaat net zoals de hierboven besproken intercomversterker uit drie versterkertrappen. Dit keer zijn de drie versterkertrappen allebei in GES geschakeld.

Het te versterken AC-sigitaal is ofwel afkomstig van de spoel L_1 ofwel van de kristalmicrofoon M_1 . De stand van de schakelaar S_3 , S_4 , S_5 , S_6 , S_7 en S_8 bepaalt welke van beide signalen versterkt wordt. Zoals Figuur 11.2 nu getekend is, wordt het AC-sigitaal afkomstig van de spoel versterkt. Via de koppelcondensator C_2 wordt dit AC-sigitaal aangelegd aan de ingang (de basis) van de eerste versterkertrap. Deze eerste trap in GES zorgt zowel voor spanningsversterking als voor stroomversterking.

Bemerk de potentiometer R_3 , tussen de eerste versterkertrap en de tweede versterkertrap, welke toelaat de versterkingsfactor van de totale schakeling te regelen.

Na deze eerste versterkertrap volgen nog twee versterkertrappen die elk in GES geschakeld zijn. Verifieer zelf dat het effectief GES-schakelingen zijn. Steeds is de emitter geaard, fungeert de basis als ingang en fungeert de collector als uitgang.

De elektrodynamische luidspreker M_2 maakt deel uit van de DC-instelling van de derde versterkertrap. Aangezien ook de versterkte AC-stroom door M_2 vloeit, zal M_2 het versterkte audio-sigitaal reproduceren.

3: De infrarooddetector

Steeds vaker wordt infrarood licht in huishoudelijke kring gebruikt. Zo kan vrijwel alle moderne audio- en video-apparatuur met behulp van infrarood licht bediend worden. Helaas komt het nogal eens voor dat een afstandbediening niet meer functioneert. Het is dan moeilijk om te constateren of de fout in de zender dan wel in de ontvanger zit. Infrarood licht is namelijk onzichtbaar voor het menselijk oog.

Met behulp van de onderstaande Figuur 11.3 kunnen we vrij snel constateren of de zender infrarood licht uitzendt. Indien de zender infrarood licht uitzendt, ligt de fout wellicht bij de ontvanger. Indien de zender geen infrarood licht uitzendt, ligt de fout bij de zender.

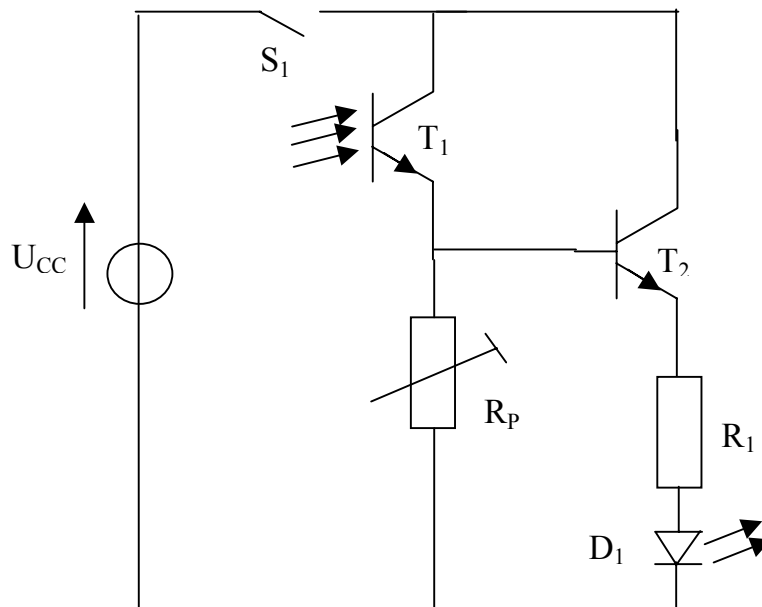
De schakeling van Figuur 11.3 zet onzichtbaar IR-licht om in zichtbaar licht met behulp van de LED D_1 .

Het infrarode licht wordt door de schakeling met behulp van een IR-fototransistor gedetecteerd. Indien er infrarood licht invalt, geleidt de fototransistor T_1 . Deze zorgt er dan op zijn beurt voor dat de transistor T_2 gaat geleiden. Dit impliceert dat de LED D_1 gaat branden.

De helderheid van de LED is sterk afhankelijk van de sterkte van het geconstateerde infrarode licht. U kunt bijgevolg ook de kracht van de lichtbundel inschatten. Dit geeft

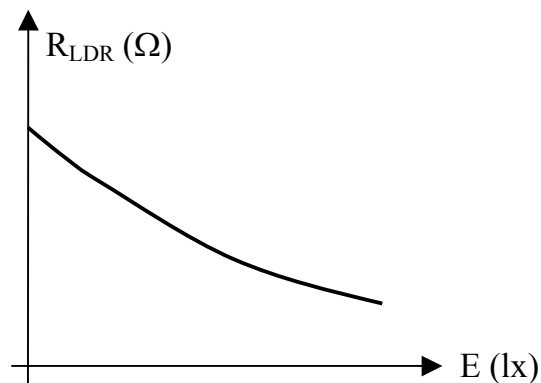
dan ook een redelijke indicatie over de nog resterende capaciteit van de batterijen in de IR-zender.

De gebruikte infrarood-transistor is niet kritisch, vrijwel alle exemplaren kunnen gebruikt worden. Omdat de stroom door de LED niet al te groot is, is het raadzaam een exemplaar met een relatief hoog rendement te nemen. Als voeding kan een batterij van 9 V gebruikt worden.



Figuur 11.3: De infrarooddetector

Het is mogelijk de IR-fototransistor uit de bovenstaande schakeling te vervangen door een LDR (Light Dependent Resistor) die gevoelig is voor de inval van infrarood licht. Een LDR is een niet-lineaire weerstand wiens weerstandswaarde in grote mate afhankelijk is van het al dan niet invallen van licht. Een LDR is steeds gevoelig voor bepaalde golflengten. Zo gebruiken we hier een LDR die enkel gevoelig is voor invallend infrarood licht.



Figuur 11.4: Weerstandswaarde van een LDR

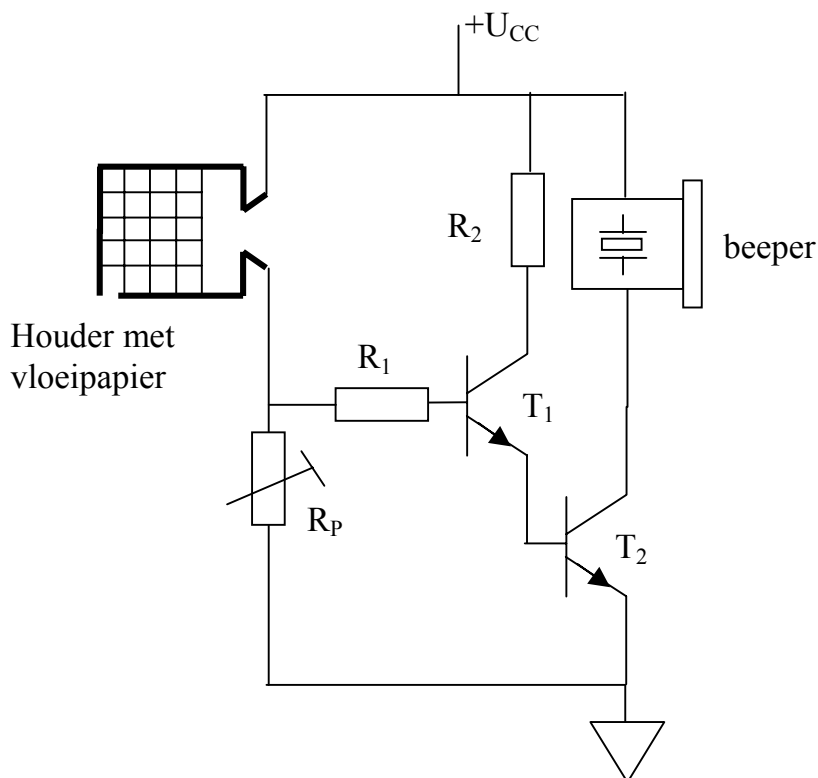
Zoals de bovenstaande Figuur 11.4 aantoont, wordt de weerstandswaarde van een LDR kleiner naarmate er meer licht op invalt (grotere verlichtingssterkte E). Bij de onderstaande Figuur 11.4 wordt meestal een dubbel-logaritmisch assenstelsel gebruikt.

Naarmate er meer infrarood licht invalt op de LDR, daalt diens weerstandswaarde waardoor de spanning over R_p toeneemt. De transistor T_2 geleidt meer zodat de stroom door D_1 toeneemt. De LED licht meer op.

4: De bad-vol-melder

Het laten vollopen van een bad kan vervelende gevolgen hebben indien de kraan niet op tijd dichtgedraaid wordt. Indien de overloop van het bad verstopt is door een washandje of een handdoek loopt het bad over en loopt het water zelfs via de trap naar beneden. Met behulp van een bad-vol-melder kan een dergelijk tafereel vermeden worden.

In deze paragraaf bestuderen we een schakeling die een geluidssignaal genereert indien het water in het bad een bepaald alarmniveau bereikt.



Figuur 11.5: De bad-vol-melder

Een houdertje bevat hygroscoopisch papier (vloeipapier). Dit houdertje is zo geplaatst dat het nat wordt indien het bad een alarmpeil bereikt. Indien het alarmpeil niet bereikt is, dan is het vloeipapier droog en heeft het een erg grote elektrische weerstand. De

transistor T_1 zal onvoldoende of geen basisstroom hebben zodat T_1 in cut-off mode werkt. Ook naar de basis van T_2 zal er bijgevolg geen stroom vloeien zodat ook T_2 in cut-off mode werkt. De collectorstroom van T_2 is nul of bijna nul. De beeper zal geen geluid produceren.

Indien het alarmpeil wel bereikt is, dan is het vloeipapier vochtig zodat het een erg kleine elektrische weerstand heeft. De transistor T_1 zal voldoende stroom toegevoerd krijgen via zijn basis. De transistor T_1 zal in saturatie werken. Er zal via de emitter van T_1 voldoende stroom naar T_2 vloeien om ook deze in saturatie te laten werken. Wanneer T_2 in saturatie werkt, dan staat de spanning U_{CC} bijna volledig over de beeper. De beeper zal een geluid produceren.

Deze met DC gevoede beeper bevat een oscillator die een sinus genereert. Die sinus wordt aangelegd aan een kristalluidspreker die de gewenste geluidstoon genereert.

Indien de potentiometer R_p en het houdertje met vloeipapier verwisseld wordt, dan wordt er een geluidssignaal gegenereerd indien het vloeipapier droog is. Indien dan bijvoorbeeld het houdertje met vloeipapier in de aarde geplaatst is, kan op die manier gedetecteerd worden dat de grond te droog is. Het geluidssignaal geeft dan aan dat de bak met aarde (waar bijvoorbeeld bepaalde planten in groeien) vers water moet krijgen.

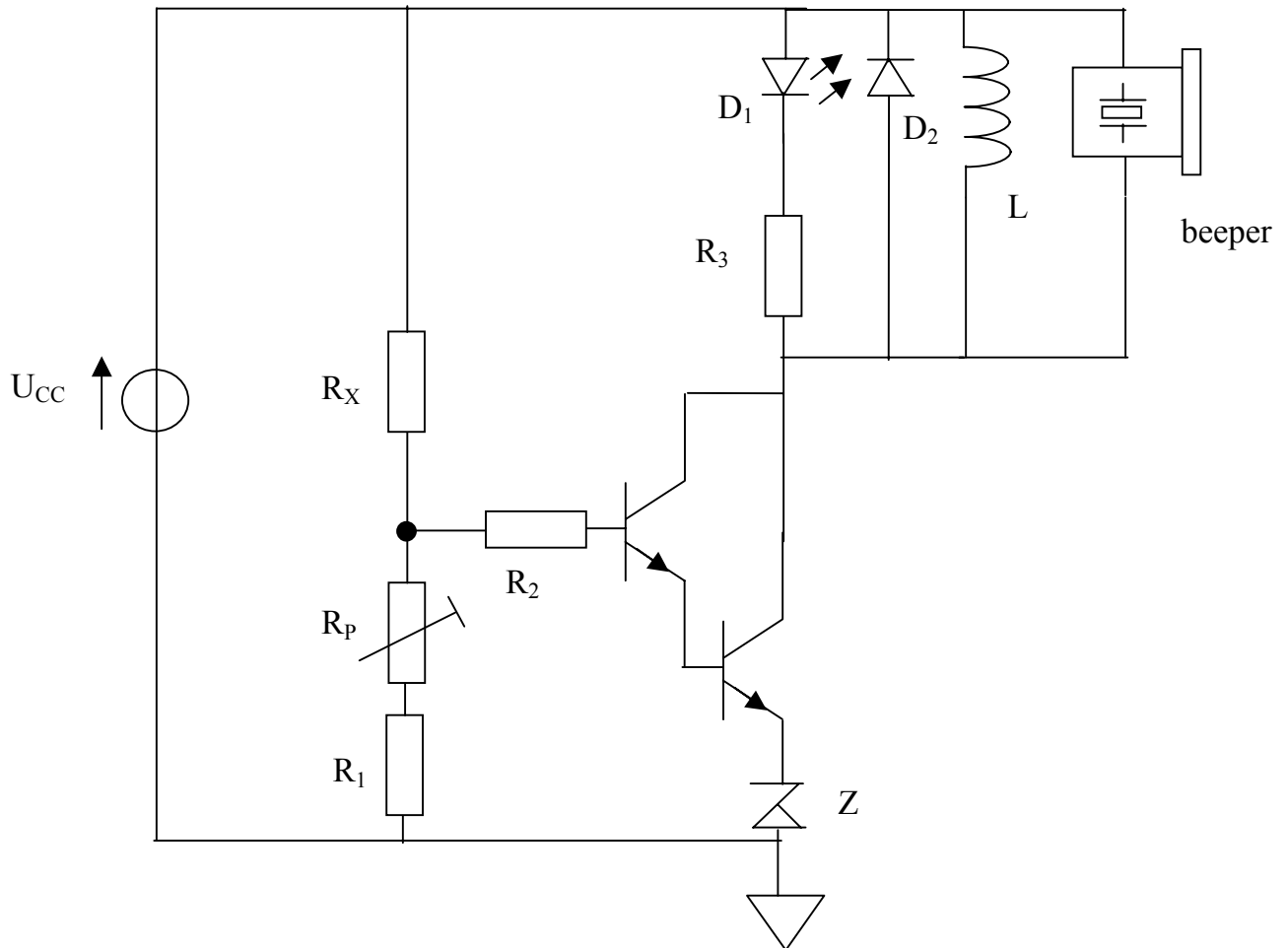
5: Detector, alarm, thermostaat, beveiliging

De bovenstaande schakelingen in Paragraaf 3 en Paragraaf 4 steunen eigenlijk grotendeels op hetzelfde principe. Dit principe is uitbreidbaar tot een groot aantal toepassingen. Steeds heb je een niet-lineaire weerstand R_x wiens weerstandswaarde afhankelijk is van een te meten grootheid.

Indien de niet lineaire weerstand een LDR is, dan detecteert men een lichtinval die bijvoorbeeld kan afkomstig zijn van een brand. Indien de niet-lineaire weerstand een NTC-weerstand is, dan detecteert men bijvoorbeeld een temperatuurstijging die ook te wijten kan zijn aan een brand. In beide gevallen zorgt men dan voor een brandalarm. Dit brandalarm kan een visueel signaal zijn met behulp van een LED, maar vaak is het ook een geluidssignaal met behulp van een beeper.

Het is ook mogelijk in geval van bijvoorbeeld een brandalarm niet enkel een visueel signaal en een geluidssignaal te genereren. Zo kan een elektromagnetisch relais bekrachtigd worden. Dit elektromagnetisch relais zorgt er dan bijvoorbeeld voor dat een blusinstallatie automatisch in werking treedt.

Soms is het nodig de gevoeligheid van de schakeling groter te maken door de transistor te vervangen door een Darlington-transistor. Voor de werking van een Darlington-transistor verwijzen we naar het voorgaande hoofdstuk.



Figuur 11.6: Detector met alarm

Bij de schakeling van Figuur 11.6 is bijvoorbeeld $U_{CC} = 12 \text{ V}$ gekozen. Er is een zenerdiode geplaatst met een zenerspanning van $4,7 \text{ V}$. Het is realistisch te veronderstellen dat over de basis-emitter-juncties van de Darlington twee keer $0,65 \text{ V}$ staat (dus samen $1,3 \text{ V}$) indien deze geleidt.

Bij een $R_X > R_P + R_1$, is $U_B < 6 \text{ V}$. Er is onvoldoende spanning over $(R_P + R_1)$ om de Darlington te doen geleiden (eist $1,3 \text{ V}$) en de zenerdiode te doen zeneren (eist $4,7 \text{ V}$). De LED D_1 zal geen alarmsignaal geven. De beeper zal geen alarm genereren en er vloeit ook geen stroom door de spoel L .

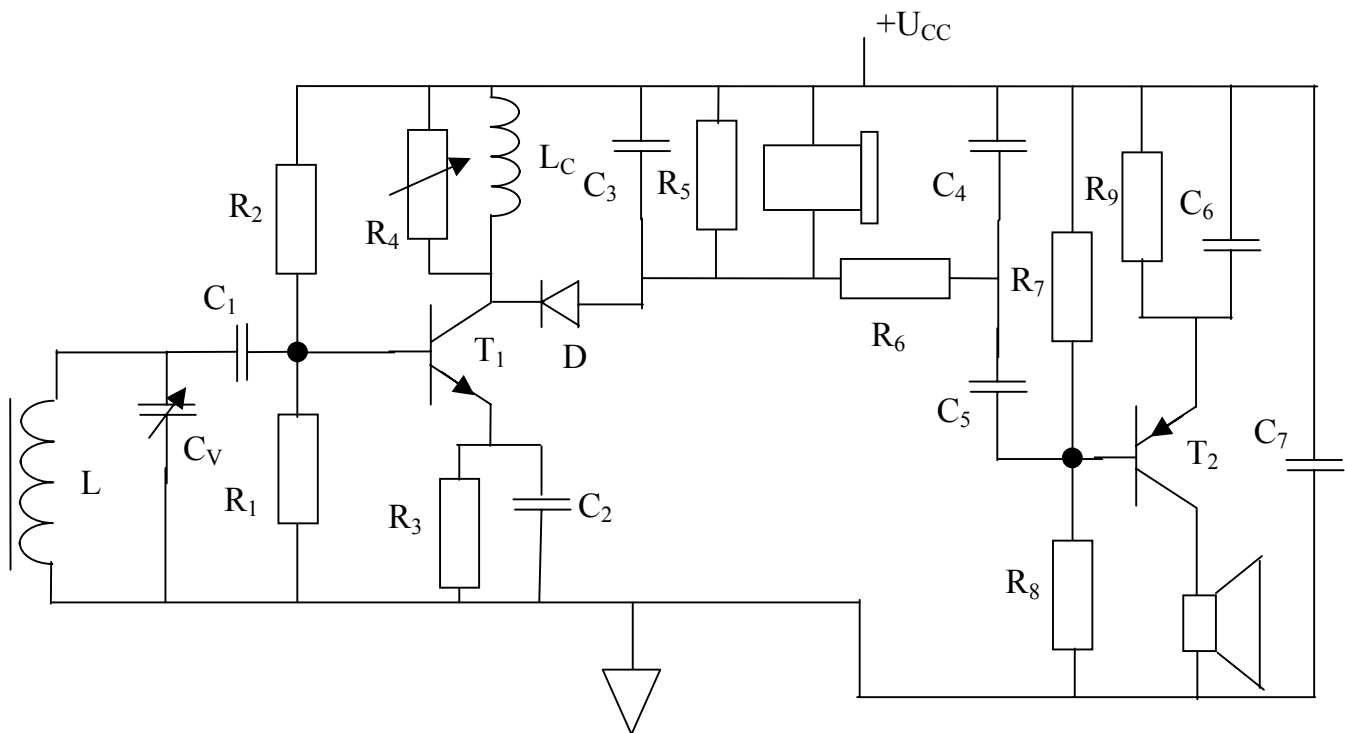
Bij een $R_X < R_P + R_1$, is $U_B > 6 \text{ V}$. Er is voldoende spanning over $(R_P + R_1)$ om de Darlington te doen geleiden (eist $1,3 \text{ V}$) en de zenerdiode te doen zeneren (eist $4,7 \text{ V}$). Indien de Darlington geleidt (saturatie), dan zal de LED D_1 een visueel alarmsignaal geven. De beeper zal een geluidssignaal genereren. Indien er stroom vloeit door de

spoel L van een elektromagnetisch relais zal bijvoorbeeld een blusinstallatie in werking treden.

Bemerk de vrijloopdiode D_2 . Tengevolge van D_2 kan de Darlington omschakelen van saturatie naar cut-off zonder dat de stroom door L erg snel tot nul moet vallen. Op die manier wordt vermeden dat de zelfinductie een erg grote spanning induceert die de elektronische componenten zou kunnen beschadigen.

6: Middengolfontvanger

Een geheel andere toepassing dan de toepassingen welke in de voorgaande paragrafen besproken zijn, is een middengolfontvanger. Zoals de onderstaande Figuur 11.7 duidelijk maakt, bestaat de schakeling uit vier delen.



Figuur 11.7: De middengolfontvanger

Vooreerst is er een antennespoel L welke met Litze-draad gewikkeld is rondom een ferrietstaaf. Deze antennespoel heeft een zelfinductie van bijvoorbeeld $220 \mu\text{H}$. Parallel met deze antennespoel is er een regelbare luchtcondensator C_V . Deze C_V heeft bijvoorbeeld een waarde van 200 pF . Die antennespoel en die regelbare condensator vormen samen een parallel LC-kring met een afstemfrequentie van 760 kHz . Dit is effectief een afstemfrequentie binnen het middengolfgebied die loopt van 520 kHz tot 1612 kHz .

Via die parallel LC-filter wordt het amplitude gemoduleerde geluidssignaal van één enkele zender uit de vele andere zenders gefilterd. Het is nu de bedoeling dit gemoduleerde signaal van die ene zender te versterken. Dit gebeurt met behulp van de hoogfrequent versterker.

In feite is die hoogfrequent versterker een gewone GES schakeling, doch omwille van de hoge frequenties wordt een aangepaste hoogfrequent transistor gebruikt. Ook kunnen de capaciteitswaarden een stuk kleiner genomen kunnen worden omwille van de hogere frequenties.

Na de hoogfrequent versterker komt de AM-demodulator. De diode in de demodulator moet voldoende snel kunnen schakelen zodat bijvoorbeeld een Schottky-diode gebruikt wordt.

Het is mogelijk de uitgang van de demodulator te belasten met een piëzo-elektrisch oortelefoontje. Aangezien de demodulator aan diens uitgang het verwachte audiosignaal genereert, kunt u in dit oortelefoontje muziek beluisteren. Het signaal is wel nog zwak zodat de geluidsterkte erg beperkt is.

Na de demodulator volgt er een laagfrequent versterker (GES schakeling). Deze versterkt het audiosignaal die uit de AM-demodulator komt. De uitgang van die laagfrequent versterker wordt dan gebruikt om een elektrodynamische luidspreker te voeden.

De voedingsspanning U_{CC} is bijvoorbeeld 9 V. Zoals reeds gezegd heeft de afstemspoel mogelijk een waarde $L = 220 \mu\text{H}$ en de regelbare condensator een waarde $C_V = 200 \text{ pF}$. Verder zijn mogelijke waarden: $C_1 = 33 \text{ pF}$, $C_2 = 100 \text{ nF}$, $C_3 = 2,2 \text{ nF}$, $C_4 = 1 \text{ nF}$, $C_5 = 100 \text{ nF}$. De condensatoren C_6 en C_7 zijn elektrolytische condensatoren met waarden $C_6 = C_7 = 470 \mu\text{F}$. Omdat een elektrolytische condensator zich voor hoge frequenties niet als een condensator gedraagt, plaatst men een condensator van 150 nF (niet elektrolytisch) parallel met C_7 .

Qua weerstandswaarden zijn $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 39 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 33 \text{ k}\Omega$, $R_7 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_8 = 680 \text{ k}\Omega$, $R_9 = 82 \Omega$ goed gekozen waarden. De weerstand R_4 is regelbaar met een maximale waarde van 10 k Ω .

De zelfinductie L_C heeft een DC-weerstand van ongeveer 30 Ω en een zelfinductie van 4,7 mH. Op die manier wordt er voor gezorgd dat via de DC-instelling van de hoogfrequent versterker de BPV van de diode D over L_C (choke) staat. De positieve alternantie van het AC-signaal over L_C wordt dan probleemloos door D gelijkgericht zonder hinder te ondervinden van de BPV.

De transistor T_1 is zoals reeds eerder vermeld een hoogfrequent transistor. We kiezen het type BF484. Transistor T_2 is een Darlington-transistor van het type BC516.

Uiteindelijk is de laagfrequent versterker belast met een elektrodynamische luidspreker met een weerstand van 150Ω .

In plaats van de laagfrequent versterker op te bouwen uit discrete componenten is het mogelijk het IC met typenummer LM386 te gebruiken. Het gebruik van een dergelijke LM386 heeft een aantal voordelen:

- lagere ruststroom
- lagere vervorming
- hoger uitgangsvermogen
- de mogelijkheid om een goedkoop luidsprekertje van 8Ω aan te sluiten

We laten het over aan de geïnteresseerde student om de datasheets van de LM386 op te zoeken en deze te bestuderen.