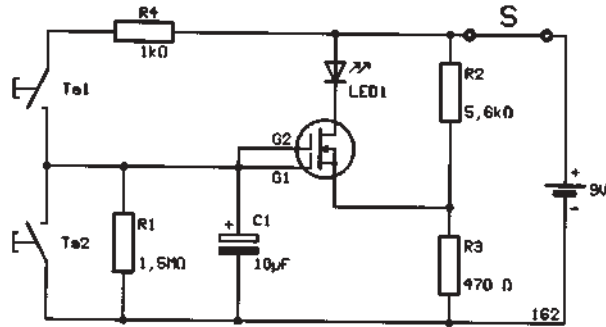




Figuur 162. Zo reageert een geheugencel in de praktijk: de lading neemt af vanwege de lekstroom; er moet van tijd tot tijd bijgetankt worden. (Refresh door een druk op toets Ta1.)

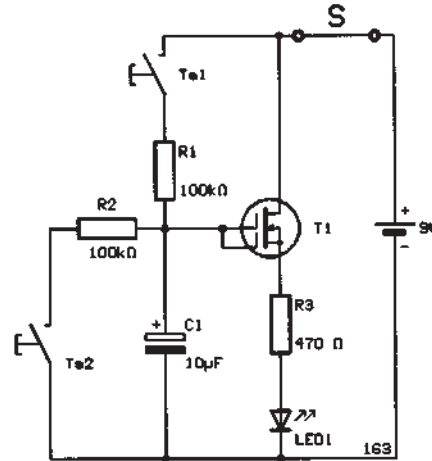
3. In de praktijk vloeit er altijd lekstroom, al is die nog zo gering. Dat wordt echter door de computer gecompenseerd: hij vult de ladingen van tijd tot tijd aan. Op dezelfde manier waarop wij dat bij onze macrocel door middel van Ta1 in een vertraagd tempo hebben gedaan. In de moderne vaktaal wordt dit refresh genoemd. Dit is dus een dynamisch proces. Vandaar de naam DRAM voor een dergelijk geheugen (Dynamic Random Access Memory - dynamisch lees-geheugen). Dit werkt bovendien verhelderend met betrekking tot onze ingangsproof: wat de gate-condensatoren eenmaal hebben opgevangen, houden ze vast totdat van buitenaf een andere "laadspanning" wordt aangesloten - via de grote "omgevingscondensator".

Geleidelijke overgangen

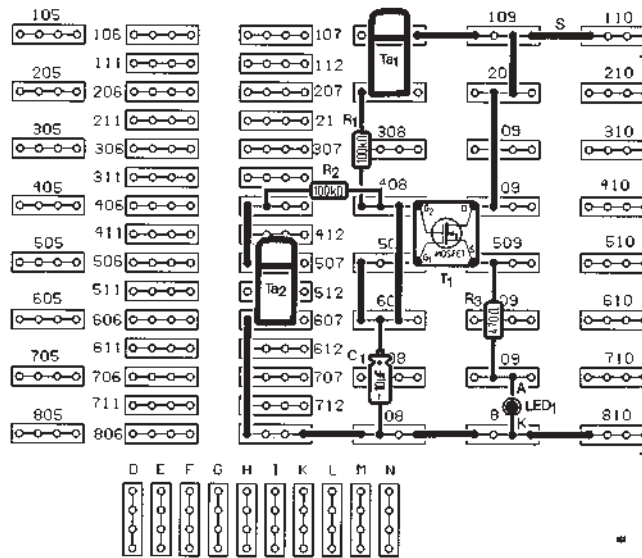
Als een echte allrounder beheerst onze MOSFET zowel de digitale als de analoge techniek. Dat blijkt uit het volgende experiment.

120

De vorige opbouw wordt een beetje aangepast (zie figuur 164). Daarna spelen we weer wat met de toetsen. Het is wel zaak ervoor te zorgen dat het paneel niet in het zonlicht staat. Als je alles op je gemak wilt bekijken, moet je C1 vervangen door een condensator van 100 μF. We zien dat de lichtintensiteit van LED1 langzaam toeneemt wanneer Ta1 gesloten is, terwijl ze weer geleidelijk afneemt als we op Ta2 drukken. Je kunt elke tussentoestand instellen door de betreffende toets eerder los te laten. En de schakeling blijft dan tamelijk lang in die toestand - dat is dus een soort analoog geheugen. De lichtintensiteit van de LED geeft aan hoeveel lading er in de condensator is opgeslagen. Schakelingen waarmee lampen op een gewenste lichtsterkte kunnen worden ingesteld, heten *dimmers*.



Figuur 163. Analoog geheugen resp. dimmer met druktoetsen: C1 houdt elke tussentoestand voor de lichtintensiteit van LED1 vast.

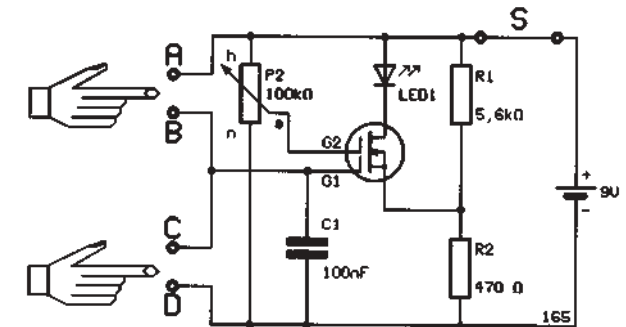


Figuur 164. Het opbouwschema bij figuur 163.

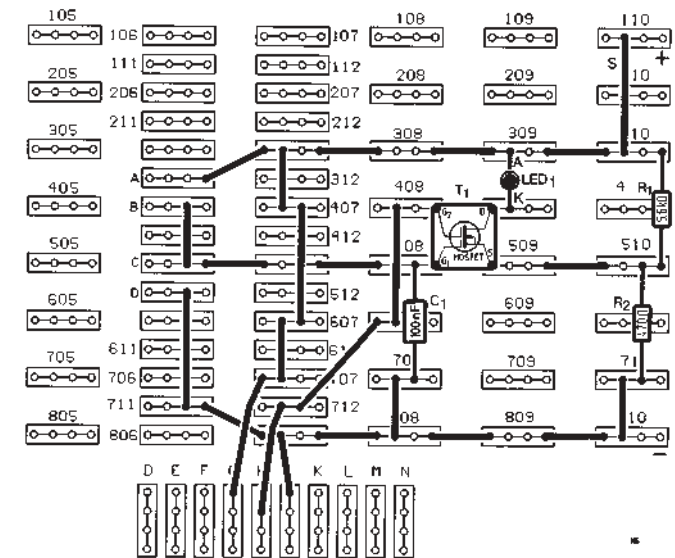
121

Nadat we de beide druktoetsen hebben verwijderd, gebruiken we gewoon onze vingertoppen als overgangswaarden. Als je de bovenste elektroden overbrugt gaat de diode aan (en blijft licht geven); als je de onderste stroomkring sluit dooft ze snel. We hebben de *sensordimmer* (tiptoets) uitgevonden.

Elektrolytische condensatoren (elco's) zijn geen ideale condensatoren. Een beetje (stroom) vloeit er altijd wel. Weliswaar maar een paar micro-ampere, maar dit leidt ertoe dat de lading langzaam afneemt. Foliecondensatoren zijn in dit opzicht gunstiger, maar die beschikken bij een even groot volume over aanzienlijk minder capaciteit. Ons exemplaar van 0,1 μF gunt ons bij het dimmen niet veel tijd. Je kunt de klemmen het beste steeds maar even aanraken. De reactie verloopt wetmatig: de tijdconstante, het produkt van R en C , bepaalt immers hoe snel het laad- of ontladproces zich voltrekt.



Figuur 165. Tiptoets: met het topje van je vinger verander je de lading.



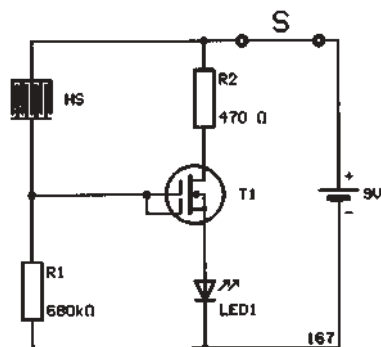
Figuur 166. Het opbouwschema bij figuur 165.

122 We grijpen weer terug op de truc met de spanningsdeler aan de source en bouwen de tiptoets op zoals aangegeven in figuur 165. Daarbij vervult gate 2 eindelijk weer een eigen taak. We overbruggen de beide bovenste klemveercontacten en stellen door P2 op te draaien een bovengrens in voor de lichtsterkte die echter onder het hoogst bereikbare niveau dient te liggen. Tijdens het dimmen kan deze bovengrens dan niet worden overschreden, hoe vaak je ook tussen donker en licht varieert. (Om terug te keren naar de vergelijking met de tuinslang: de hoofdkraan wordt niet helemaal opengedraaid om water te besparen!)

Een vleugje vochtigheid

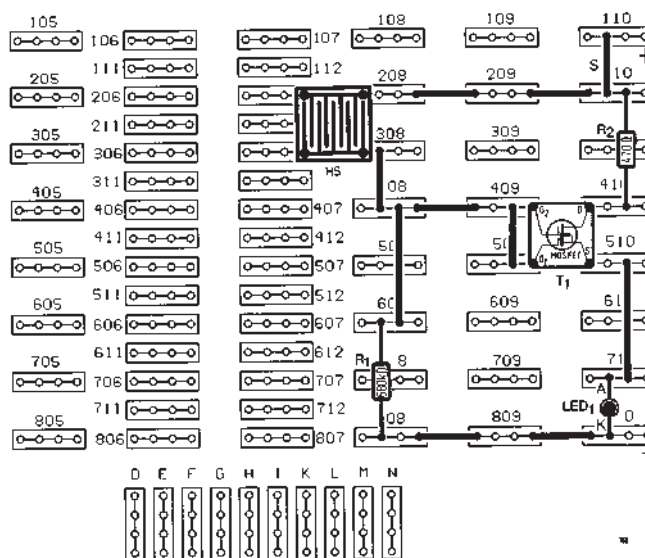
Nu we het toch over water hebben: met het volgende experiment kun je weliswaar niet exact de relatieve vochtigheid bepalen, maar wel een opgaaf doen van het vochtgehalte in de lucht.

123 Volgens de aanwijzingen in figuur 167 bouwen we nu weer een "zelfsperrende" MOSFET-schakeling op. Hierbij maken we voor het eerst gebruik van de kamvormige sensor uit de experimenteerdoos. Let vooral goed op dat je hem op de juiste manier aansluit, anders geeft LED1 continu licht! (De "tanden" moeten van de plus-pool in de richting van de gate wijzen; als je hem verkeerd om aansluit, krijg je een brug tussen plus en gate!) Aanvankelijk blijft LED1 donker, tenzij je met het paneel in de regen gaat staan. Vervolgens gaan we flink op de sensor ademen. Het resultaat is weliswaar niet indrukwekkend, maar toch - er is even een zwak schijnsel te zien.



Figuur 167. Goed voor het weerstation: luchtvochtigheid wordt omgezet in licht. Meer effect sorteert het aanbrengen van een laagje keukenzout op de sensor.

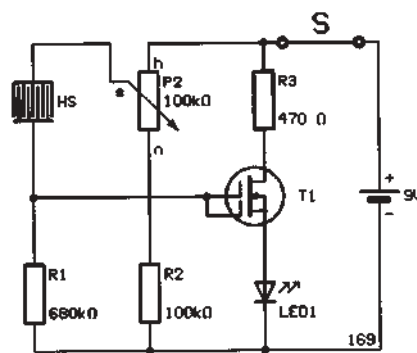
124 Los een theelepel keukenzout op in een half glas lauwwater. Bevochtig het oppervlak van de sensor met een paar druppels van deze oplossing en laat de sensor vervolgens in horizontale positie drogen. De laag zoutkristallen die zich dan vormt is een uitstekende detector voor luchtvochtigheid. We hebben de proef genomen met een weerstandsmeter: meer dan 20 MΩ



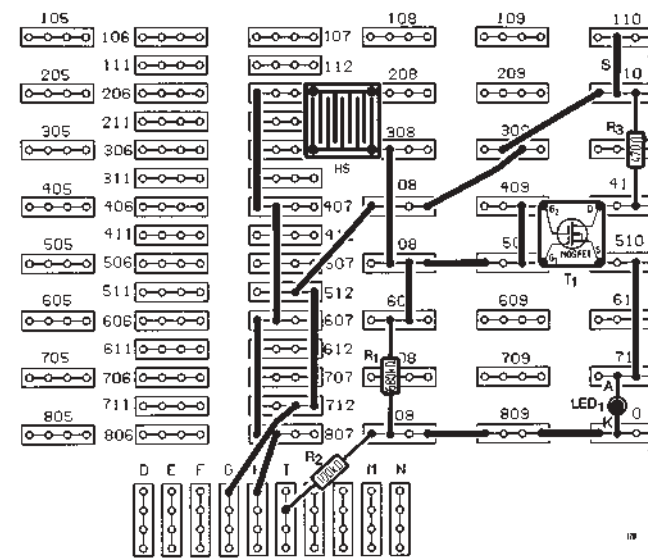
Figuur 168. Het opbouwschema bij figuur 167.

bij een lage luchtvochtigheid, minder dan 200 kΩ als je erop ademt. Nu is de proef veel leuker: we houden het topje van onze vinger vlak boven de kristallaag, maar raken deze niet aan. De licht-emitterende diode begint al in dit microklimaat met een hoge plaatselijke luchtvochtigheid fel licht uit te stralen! Als we onze vinger terugtrekken wordt het licht van de diode weer langzaam zwakker. Deze sensor is echter niet geschikt voor gebruik in de keuken of andere ruimten waarin zich veel waterdamp bevindt.

125 We breiden de schakeling uit zoals aangegeven in figuur 169 en kunnen dan zelfs het punt waarop de reactie inzet variëren.



Figuur 169. Instelbare gevoeligheid: zorgt voor een referentiepunt.



Figuur 170. Het opbouwschema bij figuur 169.

15. Meer dan alleen maar een rol draad

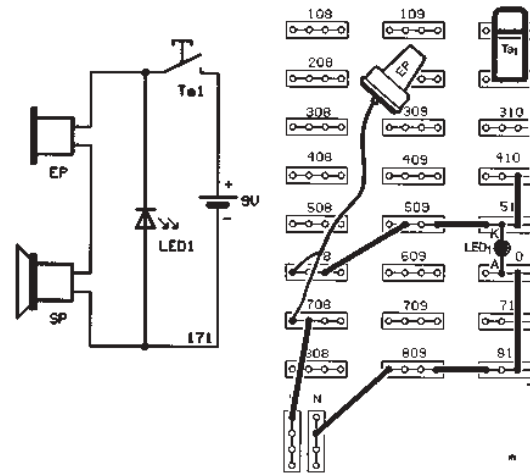
Reeds in hoofdstuk 6 heeft de oortelefoon zijn innerlijk voor ons blootgelegd (zie insider-info 8). We hebben daar ook geleerd wat een wisselstroom is. Wisselstromen met een frequentie tussen ca. 20 Hz en 16 kHz kun je hoorbaar maken door middel van een oortelefoon of een luidspreker, die ongeveer volgens hetzelfde principe functioneert. Telkens wanneer er stroom door de spoel vloeit ontstaat er een magnetisch veld - in de vorm van een cirkel rond de draad en zodoende gebundeld in het inwendige van de spoel met een noord- en zuidpool.

Wisselstromen hebben zo hun problemen met spoelen. Dat is te wijten aan een geheimzinnige factor, de zelfinductie. Die zou het liefste alles zo laten als het op een gegeven moment is. Als we een stroom door de spoel willen sturen, wordt door deze stroom eerst een tegenspanning opgewekt die het vloeien van de stroom zou willen verhinderen. Aangezien de tegenspanning alleen optreedt wanneer de stroomsterkte verandert, lukt haar dat niet. Uiteindelijk vloeit er zoveel stroom door de spoel als volgens de wet van Ohm is toegestaan: aangelegde spanning gedeeld door de gelijkstroomweerstand van de draad. In de spoel bevindt zich nu magnetische energie; er is een magnetisch veld gevormd. Al kun je dat met je ogen net zo min zien als het elektrische veld in de condensator.

Insider-info 13

Bij gelijkstroom loopt de stroom door de spoel uiteindelijk altijd op tot de maximale waarde, zoals die wordt bepaald door de ohmse weerstand van de wikkeling en de aangelegde spanning. Bij wisselstroom ligt dat anders. Hoe sneller de wissel, des te kleiner is de kans dat de stroom deze eindwaarde haalt. Deze reactie is erg interessant: telkens wanneer de wisselspanning aan de spoel de maximale waarde heeft bereikt bedraagt de stroomsterkte precies 0 A. Terwijl de spanning daalt, stijgt de stroomsterkte! Op het moment waarop de spanning is gedaald tot 0 V heeft de stroom zijn maximale waarde bereikt. Op het negatieve toppunt van de spanning is de stroomsterkte weer gelijk aan nul en wordt vervolgens negatief. Elke verandering van de stroomsterkte voltrekt zich dus een kwart trilling later. Aangezien een hele trilling kan worden gelijkgesteld aan een volledige cirkelbaan (360° of 2π), wordt ook wel gezegd dat de stroom in een spoel 90° nait op de spanning. Of anders gezegd uitgedrukt: de fase-verschuiving van de stroom ten opzichte van de spanning bedraagt 90° of $\pi/2$. Als je je nog de stroom-spanningsreactie van de condensator herinnert, kun je daaruit afleiden dat voor die precies het omgekeerde geldt. Dat biedt interessante perspectieven voor het koppelen van spoelen en condensatoren. Je kunt je dus wel voorstellen: hoe sneller de wissel van plus naar min, dus hoe hoger de frequentie van de wisselspanning, des te zwakker is de maximale stroom in elke trilling. Blijkbaar neemt de weerstand van de spoel toe naarmate de frequentie stijgt. Bij gelijkstroom is deze *wisselstroom-weerstand* eenvoudigweg gelijk aan nul! Die weerstand is onderworpen aan de simpele formule $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$, waarbij L staat voor de inductiviteit van de spoel. X dient ter onderscheiding van de ohmse, dus (ook) bij gelijkspanning optredende weerstanden. Terwijl de ohmse weerstanden elektrisch vermogen omzetten in warmte, neemt deze *inductieve weerstand* een gedistingeerde terughoudendheid in acht. Aangezien $P = U \times I$, maar omdat bovendien bij deze weerstand U en I ten opzichte van elkaar zijn verschoven komt in dit geval geen warmte vrij. De toegevoegde energie keert op grond van de wisselwerking tussen elektrische en magnetische energie altijd weer gewoon terug naar de bron. Vandaar dan men in dit geval ook wel spreekt van *reactantie*.

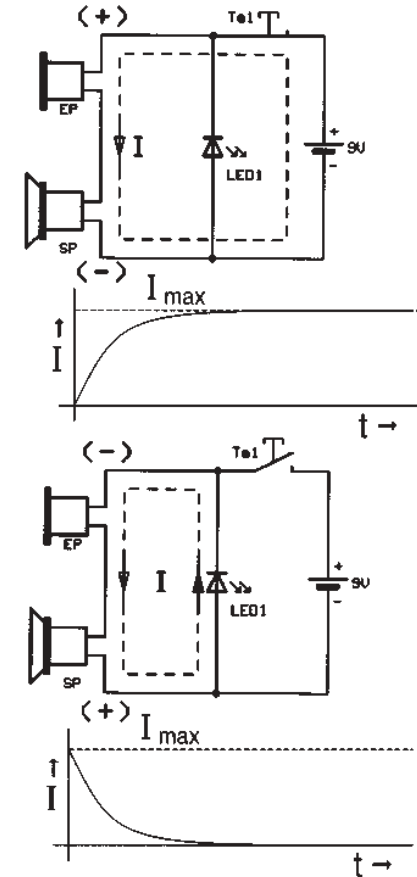
126 Met behulp van de proef zoals aangegeven in figuur 171 maken we magnetische energie zichtbaar. Of beter gezegd een van haar effecten. Om ervoor te zorgen dat de licht-emitterende diode het ook zonder beveiligingsweerstand overleeft, moeten we de diode in spier-richting ten opzichte van de batterij aansluiten. Dat wil zeggen: de afgeplatte kant en het korte pootje dienen deze keer op de plus te worden aangesloten. Vervolgens drukken we op $Ta1$ en houden de licht-emitterende



Figuur 171. Het zichtbare effect van de inductie: ineensstortend magnetisch veld wekt tegenspanning op - LED flitst even op.

diode in het oog. Maar zelfs in het donker zien we dan - niets. Alleen in de oortelefoon klonk er even een knakkend geluid. Teleurgesteld laten we de toets (zo snel mogelijk) los. En dan pas is er een korte en niet al te felle lichtflits te zien, ook nu weer vergezeld van een knakkend geluid. We verwisselen de rode en de groene LED en herhalen de proef om te zien welke diode meer licht geeft. Twee dingen hebben we uit deze proef geleerd: 1. Aangezien de LED alleen licht geeft bij het uitschakelen moet de stroom van richting zijn veranderd. 2. De bij het inschakelen in de spoelen van de oortelefoon en de luidspreker opgehoopte magnetische energie verdwijnt bij het uitschakelen niet zomaar in het niet, maar levert nog een kleine bijdrage in de vorm van elektrische energie: zij zorgt ervoor dat de LED flitst.

En we breiden onze kennis als volgt verder uit: het magnetisch veld wil, zoals de elektrotechnicus dat uitdrukt, dat, als de stroom wordt uitgeschakeld, die stroom blijft doorvloeien - zowel wat de sterkte als de richting ervan betreft. Wanneer we de zaak nauwkeuriger bekijken, zien we dat de proef het bewijs daarvan heeft geleverd, zoals blijkt uit figuur 172. Als er daarvoor dan geen "pad" ter beschikking staat, zoekt het ineensstortende magnetisch veld zich zonder pardon zelf een weg. De spanning die ontstaat bij het onderbreken van de stroomkring kan heel hoog oplopen - zo hoog, dat de spanning in de vorm van een kleine vonk net als tijdens een onweer de lucht tussen de schakelcontacten doorklieft. Vandaar dat in schakelingen met spoelen gebruik wordt gemaakt van zogenaamde vrijloopt diodes, die meestal op dezelfde manier worden toegepast als onze LED's. Dat voorkomt het verlies van gevoelige bouw-elementen.



Figuur 172. De stroomrichtingen in figuur 171: "grote kring" bij het inschakelen, "kleine kring" bij het uitschakelen. Voor de licht-emitterende diode heeft dit een omkering van de spanning tot gevolg.

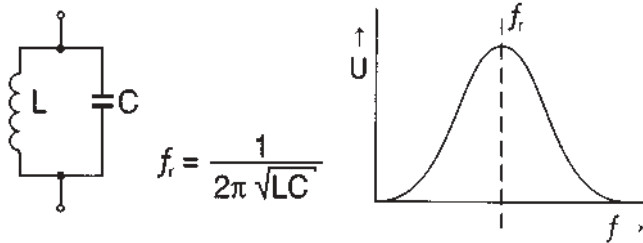
Praktische schoolwijsheid

Je kunt alles berekenen. Aangezien er spanning in de spoel ontstaat bij verandering van stroom - hoe sneller, des te hoger - heeft men het volgende verband opgesteld: wanneer in een spoel de stroom in een seconde verandert met 1 A en wanneer daarbij een spanning van 1 V ontstaat, dan bedraagt de *inductiviteit* L van die spoel 1 Henry (H). Dus: $1 \text{ H} = 1 \text{ V per A per seconde}$ ofwel $\text{V/A/s} = \text{Vs/A}$.

Een ideaal paar

Je kunt de energie van de spoel ook op een andere manier "opvangen" dan met een licht-emitterende diode. Bijvoorbeeld in een condensator. Dat heeft echter grotere gevolgen dan je op het eerste gezicht zou vermoeden.

Weet je het nog: in het begin is de condensator leeg. Dan wordt hij geladen - met een elektrische stroom. Net als in een glas dat wordt gevuld met water, stijgt daarbij de spanning naarmate de lading groter wordt. Een geladen condensator beschikt dus over een bepaalde spanning en in het binnenste ervan heerst een elektrisch veld. In een spoel waar stroom door heen vloeit heerst daarentegen een magnetisch veld. Terwijl in de condensator bij het inschakelen de spanning zich ophoopt, stijgt in de spoel na het inschakelen de stroom tot een maximale waarde. Als je een geladen condensator verbindt met een spoel (figuur 173), verplaatst de elektrische lading zich, door de remmende werking van de stroom op grond van de zelfinductie, naar de spoel.

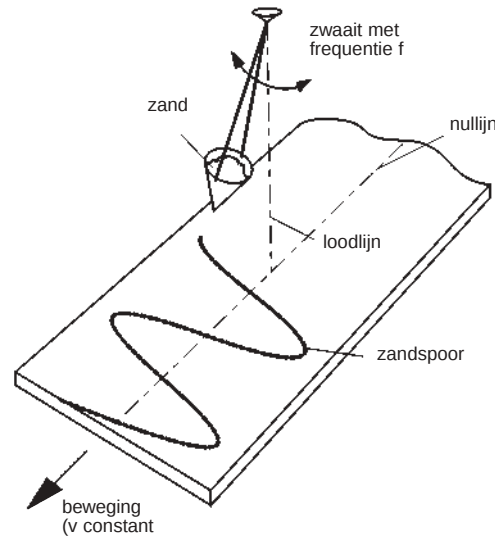


Figuur 173. Parallelle trillingskring bestaande uit L en C: de energie schommelt tussen deze twee heen en weer. Hoe kleiner de waarde van L en C des te hoger is de (resonantie)frequentie. De trilling beantwoordt aan de in de figuur aangegeven vergelijking van Thomson.

De energie van de condensator zit nu als magnetische energie in de spoel en de spoel zorgt er nu voor dat de stroom in dezelfde richting wordt voortgestuurd. Daarbij neemt de energie van het magnetisch veld echter af en de stroom wordt zwakker. Veel belangrijker is het echter dat de condensator intussen door de spoel in tegengestelde richting wordt opgeladen. Hij is zodoende in staat om te pareren: zodra de magnetische energie is uitgeput, stuurt hij van zijn kant in tegengestelde richting weer stroom naar de spoel. Dit is dus een periodiek proces. En ook dat kun je berekenen. Meneer Thomson heeft dat gedaan: de resonantiefrequentie f_r is gelijk aan de omgekeerde waarde van het produkt van 2π en de wortel uit L maal C. (De formule is weergegeven in figuur 173.)

Verliesgevende zaak

Een trillingskring zou eeuwig kunnen blijven trillen met de resonantiefrequentie f_r net zoals bijvoorbeeld een slinger of een schommel, als er maar geen verlies optrad. Bij de slinger en de schommel ontstaat dat verlies voornamelijk door wrijving in het kogellager. In de trillingskring is het hoofdzakelijk de draadweerstand van de spoel die ervoor zorgt dat elke trillingsamplitude een beetje kleiner is dan de voorgaande. Dat wordt een *gedempte trilling* genoemd. A propos, slinger. Stel je voor dat je een met fijn zand gevulde puntzak met een gaatje aan de onderkant aan



Figuur 174. Zo ontstaat een sinus-curve.

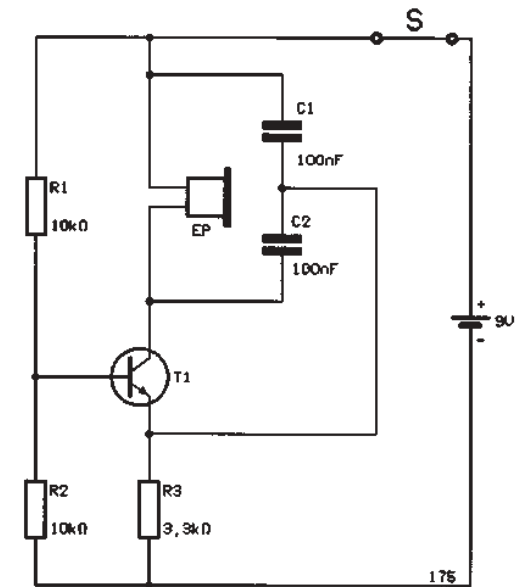
een draad heen en weer laat zwaaien. En dat je tegelijkertijd in een gelijkmatig tempo een plank onder de uitgestrooide straal zand door schuift. Wat je dan krijgt kun je zien in figuur 174. Zoiets wordt een *sinus-curve* genoemd.

Een trillingskring produceert dezelfde kromme. Alleen heb je bijvoorbeeld een *oscilloscoop* nodig om die te kunnen zien. Bij zo'n oscilloscoop wordt de spanning weergegeven door een lichtstip op een beeldscherm en de straal die het lichtpunt projecteert wordt in een constant tempo over het scherm "getrokken" - net zoals de plank in figuur 174.

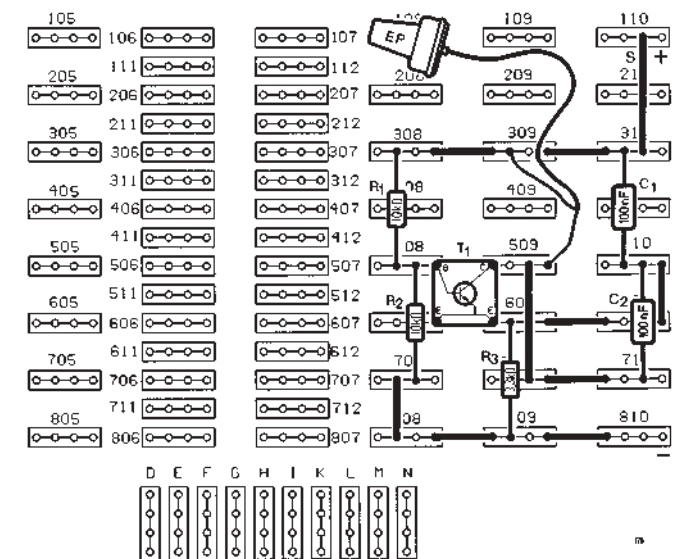
127

Het is weer stilaan tijd voor een echte proef. In de schakeling zoals aangegeven in figuur 175 laten we L en C samen optreden. Nadat we de batterij hebben aangesloten, klinkt ons een tamelijk prettig geluid in de oren zolang de schakeling onder spanning staat. Hoe gaat dat in z'n werk? De volgende feiten zijn ons al bekend:

1. De oortelefoon heeft een inductiviteit L.
2. De spoel van koperdraad van L heeft een ohmse weerstand R. Je zou kunnen zeggen dat R in serie is geschakeld met L.
3. In R wordt energie omgezet in warmte. Ook voor de omzetting van wisselstroom in geluid is energie nodig.
4. De in serie geschakelde condensatoren C1 en C2 met gelijke waarde (totale waarde van C is gelijk aan de helft van de waarde van een afzonderlijke C) zijn parallel geschakeld met de spoel. Zij vormen dus samen met de spoel een parallelle trillingskring. Deze wordt gedempt door R en de geluids-uitstraling in de oortelefoon.



Figuur 175. De Colpitts-oscillator: trillingskring bestaande uit de inductiviteit van de oortelefoon en twee in serie geschakelde C's begint te trillen door een stroomstoot bij het inschakelen; wordt op gang gehouden door terugkoppeling van energie.



Figuur 176. Het opbouwschema bij figuur 175.

5. Om ervoor te zorgen dat de trilling stabiel blijft moeten deze verliezen worden gecompenseerd. Dat doet de schakeling door middel van de transistor.

De oplossing van Colpitts

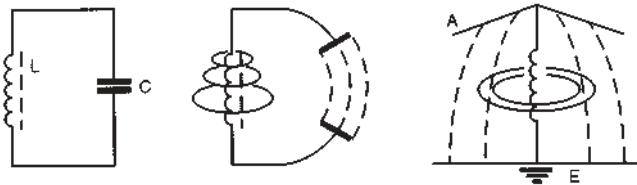
In figuur 175 is een van de talloze mogelijkheden te zien waarop je de opgave om trillingen op te wekken kunt oplossen. Deze is bedacht door meneer Colpitts en functioneert als volgt: het rustpunt is de basis van de transistor. Dat is de derde manier waarop je bipolaire transistoren kunt schakelen - de basis - schakeling. De trillingskring ligt in de uitgangskring, aan de collector. De ingang van deze versterker is de emitter. De beide condensatoren vormen een *capacitieve spanningsdeler*. Vanuit hun knooppunt wordt een gedeelte van de energie van de trillingskring terug-gekoppeld naar de ingang van de versterker, dus naar de emitter. De transistor versterkt die energie zoveel als op een gegeven moment vereist is, net zoals je een schommel steeds op het juiste moment een zetje geeft zodat hij netjes op en neer blijft zwaaien. Nadere uitleg: de transistor wordt in deze schakeling gesperd wanneer aan de emitter een positieve spanning ten opzichte van de basis wordt aangelegd. Daardoor stijgt ook de spanning aan de collector naar plus. Of anders uitgedrukt: Ja aan de ingang wordt Ja aan de uitgang. Dat doet denken aan de collectorschakeling. Als er wisselspanningen in het spel zijn kun je ook zeggen: de spanningen zijn in *fase*.

16. Kleine radio's - zelf gebouwd

Bij de behandeling van de AMP in hoofdstuk 13 konden we al de verleiding niet weerstaan. Zo een krachtige versterking vraagt gewoon om een proef om te achterhalen wat je daarmee zoal uit het rijk van de golven kunt oppikken. Wat we daar geleerd hebben komt ons nu van pas.

De ontaarde trillingskring

De vergelijking is al heel oud: probeer je eens voor te stellen dat de beide condensator-"plaatjes" van een *trillingskring* heel ver uit elkaar getrokken worden, dan krijg je een open trillingskring. De veldlijnen verspreiden zich door de vrije ruimte (figuur 177).

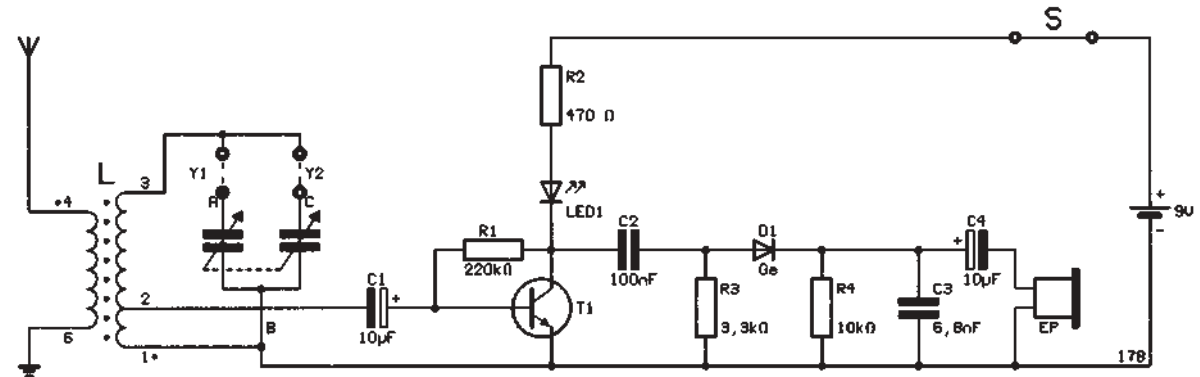


Figuur 177. Van de gesloten naar de open trillingskring: de veldlijnen verspreiden zich in de ruimte!

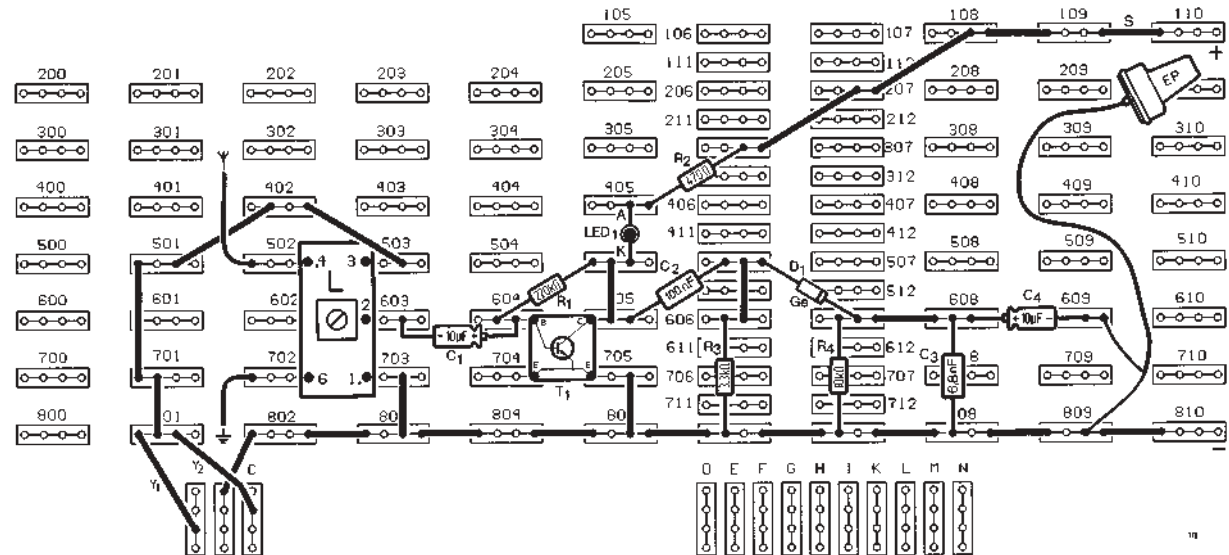
Dat is ongeveer wat er gebeurt bij een radiozender. Over de functie van zo'n zender hebben we het al in hoofdstuk 13 gehad. We beperken ons hier tot zenders met een frequentie tussen ongeveer 500 kHz en 1600 kHz, zogenaamde *middengolfzenders* met *amplitude-modulatie*. Die zijn nog het gemakkelijkste te ontvangen - een eindeloos gebied voor de beginner. Voor dit doel gaan we nu kennis maken met een aantal eenvoudige schakelingen. Die werken volgens dezelfde principes die al werden gehanteerd bij de bouw van de eerste radio's. Alleen beschikken wij tegenwoordig over moderne bouwelementen en is alles veel mooier.

Een goede antenne is de beste versterker

Naar dit motto zullen we ons slechts ten dele richten. Waarom we dat doen, wordt dadelijk uitgelegd. De radio vangt niet al te veel zendenergie op. Per slot van rekening moet de energie vanuit de kleine "halve bol" die de eerste golven rondom de zendmast vormen, worden verdeeld over een steeds verder uitdijende ruimte naarmate de golven zich verder van de zendmast verwijderen. Van deze *elektromagnetische golven* kun je het magnetische of het elektrische element opvangen. De eerste manier kennen we van de ferrietantennes van de "draagbare" radio's. Als de spriet dwars op de zendrichting wordt geplaatst heb je de beste ontvangst.



Figuur 178. Afgetapte trillingskring: kleine demping, maar lage spanning. De HF-versterker tilt de HF-spanning over de diodedrempel.



Figuur 179. Het opbouwschema bij figuur 178.

Een antenne voor de ontvangst van de elektrische veldkrachten bestaat uit een gewoon stuk draad dat zo hoog mogelijk wordt bevestigd. Dat is trouwens alleen dan nodig als er in de verre omtrek geen zendmast staat. In de grote steden wordt je tegenwoordig al bij gebruik van een kort eindje draad vaak onder meerdere zenders "bedolven". Daar moet je bij de volgende experimenten altijd rekening mee houden. En dan zijn er nog twee dingen die je niet mag vergeten:

1. Als je radioprogramma's wilt ontvangen moet je ook bijdragen in de kosten van de zenders. Dus: alleen als je aangifte hebt gedaan van een ontvangerinrichting en het luistergeld hebt betaald, mag je naar de radio luisteren.

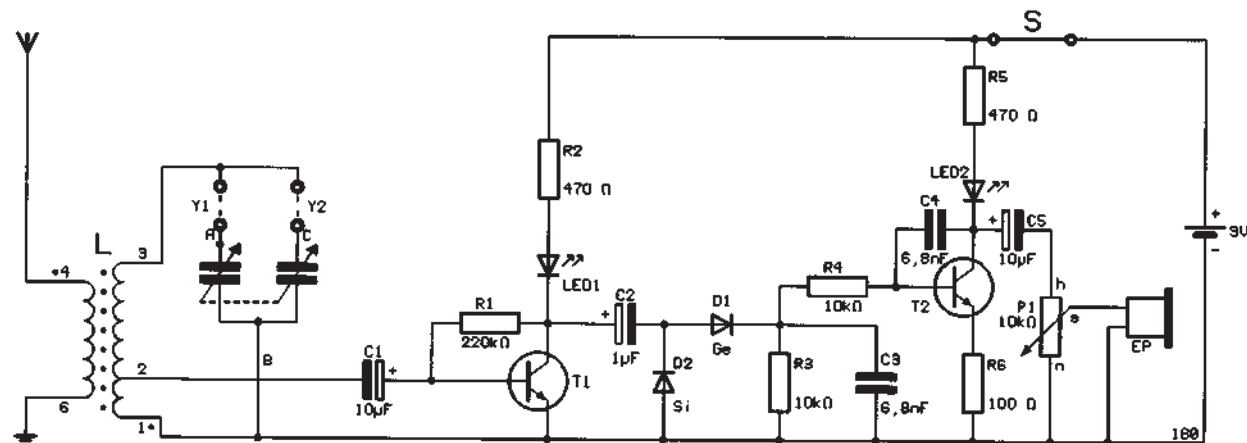
2. In sommige schakelingen die we gaan bouwen wordt de trillingskring opgepept tot aan de grens van de resonantie. Zulke schakelingen mag je in geen geval aansluiten op een echte antenne; je mag alleen een stuk draad in de kamer gebruiken. Op die manier sluiten we de mogelijkheid uit dat een dergelijke ongewenste zender schade aanricht. Dat zou op veel hogere frequenties kunnen gebeuren, omdat een "onbeheerste trilling" vaak niet alleen de grondgolf in het middengolf-gebied produceert. En wie kan met zekerheid zeggen dat zijn zelf gebouwd apparaat niet bijvoorbeeld het luchtvaartradioverkeer stoort en daarmee het leven van mensen in gevaar brengt?

Daarom bevestigen we in de kamer slechts een paar meter draad voor onze provisorische antenne en gebruiken als aarde een stukje blank metaal van de waterleiding of van een radiator van de centrale verwarming.

Actieve antenne

Om uit een kleine antenne nog zoveel signalen te halen dat je die kunt demoduleren (vgl. hoofdstuk 13) moet je de minieme hoogfrequente spanning versterken. Per slot van rekening moet bij de demodulatie eerst de diodespanning van de gelijkrichterdiode worden overwonnen. Vandaar ook dat we een germaniumdiode gebruiken - haar diodespanning is duidelijk lager dan die van siliciumdiodes.

128 Net andersom als in figuur 143 verplaatsen we dus de versterking van "achteren" naar "voren" zoals aangegeven in figuur 178. Na de HF-versterker volgt dan een detectieschakeling waarin geen versterking meer plaatsvindt. Met de oortelefoon in het oor gaan we met behulp van de instelbare condensator op zoek naar iets dat de moeite waard is om naar te luisteren. Vervolgens gaan we een beetje experimenteren: we verwijderen C3 en stellen vast dat het opgevangen signaal duidelijk zwakker wordt. Als we daarna de waarde van de condensator verhogen tot 100 nF, horen we dat de hoge tonen ontbreken - het is net alsof het geluid uit de kelder komt. Nu vervangen we R1 door een weerstand van 680 k Ω en R2 door eentje van 2,7 k Ω en stellen tevreden vast: dit heeft slechts weinig effect. Logisch - de ingangsspanning is behoorlijk laag en daarom hoeft het werkpunt



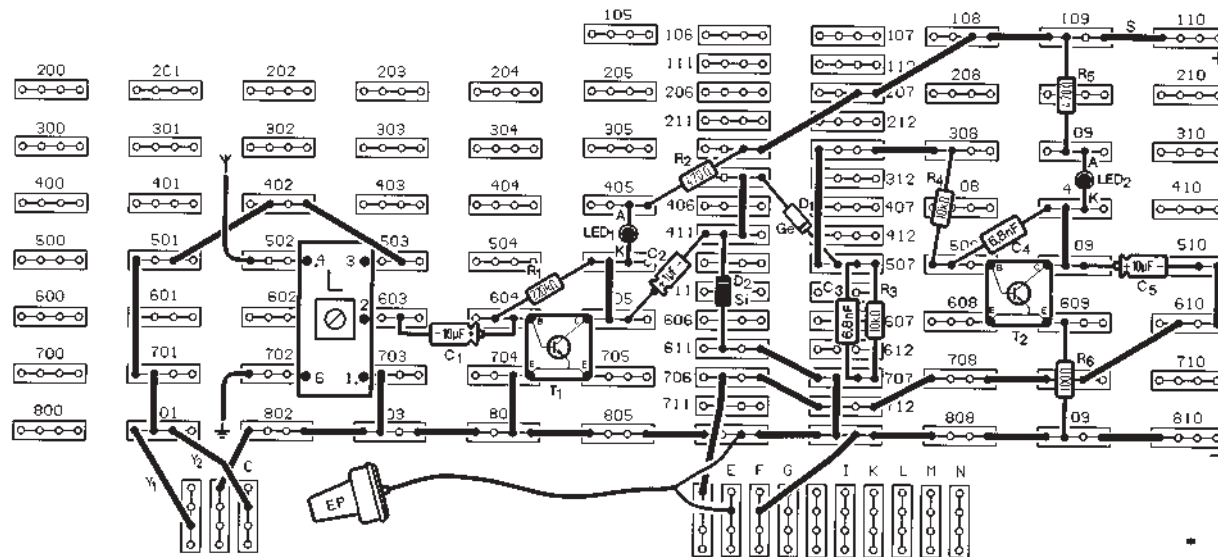
Figuur 180. De schakeling is op twee punten aangepast: a. door de tweede diode wordt de negatieve halve golf afgeleid zonder dat de positieve wordt gedempt;; b. een extra transistor versterkt LF en geeft de zenderveldsterkte aan. Terugkoppeling in de emitterkring vermindert de vervorming.

niet precies bij $U_B/2$ te liggen. Overigens doet de licht-emitterende diode in de collectorkring dienst als bedrijfsindicator.

Nu gaan we ons bezighouden met de trillingskring en verplaatsen C1 van aansluiting 2 naar aansluiting 3. Resultaat: als er minstens twee zenders kunnen worden ontvangen, zijn ze nu nauwelijks meer van elkaar te scheiden. De transistoringang dempt de trillingskring nogal sterk, maakt zijn resonantiekromme "breder".

Iets dergelijks gebeurt er als we de antenne direct aansluiten op de trillingskring. Onze trillingskring kan nog het beste uit de voeten met antennewikkeling en aftakking voor de versterker.

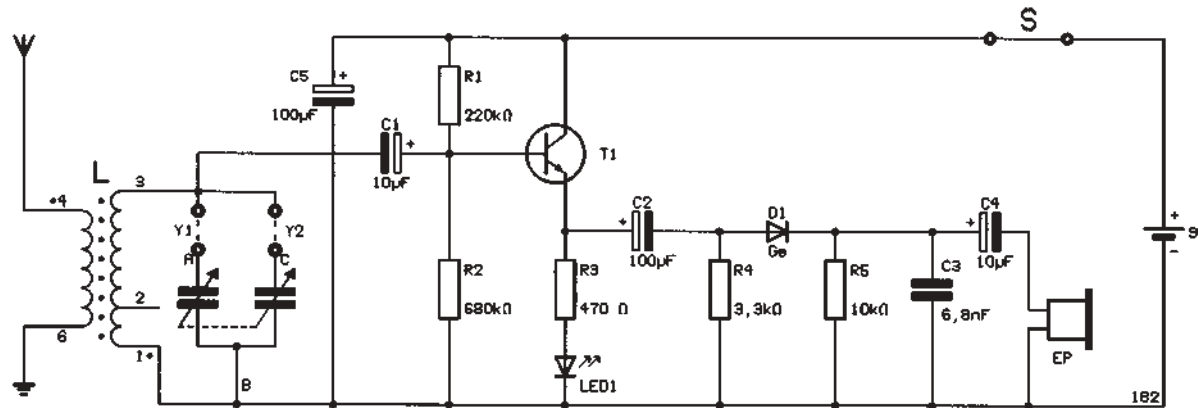
129 We vereenvoudigen de schakeling door R4 en C4 weg te halen en merken op dat daardoor vrijwel niets verandert. En toch: een magnetische oortelefoon dient altijd zodanig in de



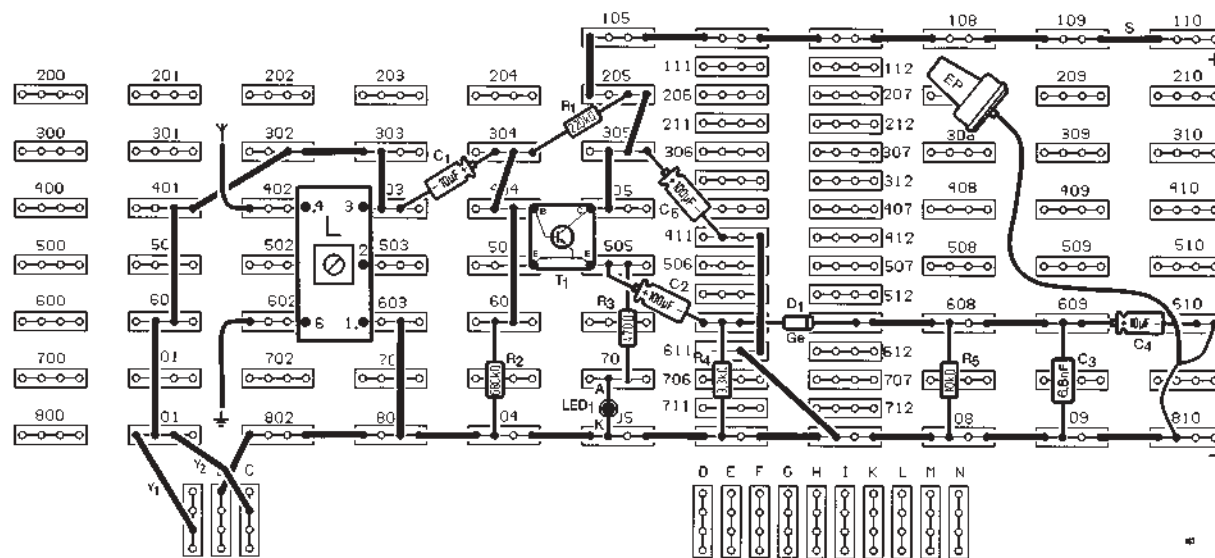
Figuur 181. Het opbouwschema bij figuur 180.

schakeling te worden opgenomen dat hij niet in contact komt met gelijkstroom (condensator spert gelijkstroom!). Dit om te voorkomen dat er door toedoen van de gelijkstroom een voorspanning komt

te staan over het membraan, hetgeen een nadelige invloed zou hebben op de weergave. In onze schakeling is de gelijkstroom echter tamelijk gering.



Figuur 182. Emittervolger aan de gehele trillingskring: heeft een hogeingangsspanning nodig, maar dempt minder (hoge ingangswaerstand).



Figuur 183. Het opbouwschema bij figuur 182.

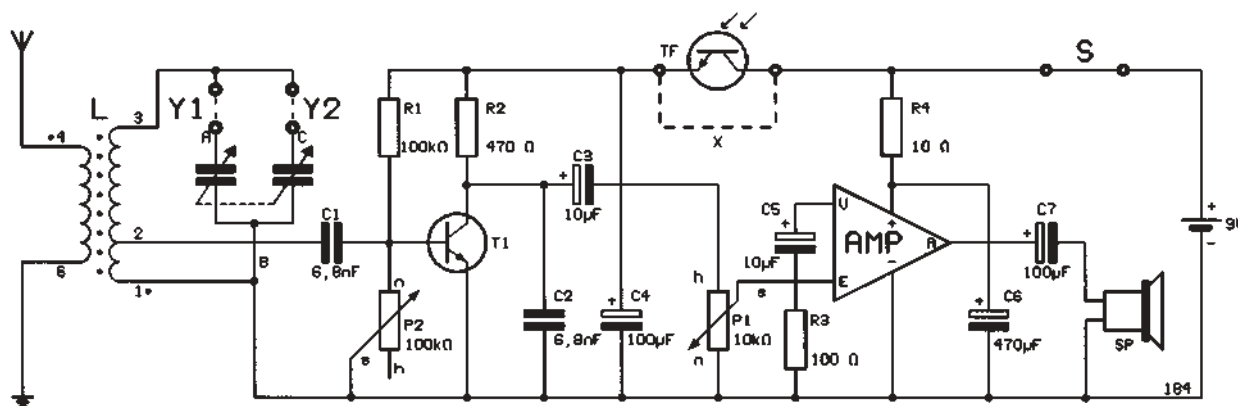
insider-info 14

De hoogfrequentie-spoel van onze module bestaat uit twee wikkelingen op een speciale kern van ferriet (dat zijn "aaneengelijmde" ijzerdeeltjes). Via de antennewikkeling wordt de uit de antenne afkomstige HF-energie naar aarde geleid. De over deze wikkeling staande HF-spanning wordt via haar magnetisch veld overgebracht naar de tweede wikkeling die deel uitmaakt van de trillingskring. Deze wordt afgetakt. Onze trillingskring heeft bij resonantiefrequentie een zeer hoge weerstand. Bij ideale bouwelementen zou hij oneindig groot zijn. Maar dan zou de trillingskring uit alle ter beschikking staande zenders alleen de hoogfrequente draaggolven oppikken, terwijl de moduleringsfrequentie "uit de boot" zouden vallen. Ohmse weerstanden "verbreden" de *resonantiekromme* van de trillingskring. De waarde van de ingangswaerstand van onze bipolaire transistor bedraagt slechts een paar kilo-ohm. Daardoor zou de kring te veel worden gedempt. Daarom wordt deze ingang aangesloten op de aftakking. Als deze bijvoorbeeld bij 1/10 van de totale wikkeling tot stand zou worden gebracht, dan zou je hier ook maar 1/10 van de spanning kunnen meten. Dat heeft echter ook tot gevolg dat slechts 1/10 van de stroom vloeit die er theoretisch zou kunnen vloeien. Aangezien spanning gedeeld door stroom gelijk is aan weerstand volgt hieruit: het effect van een bij 1/10 aangesloten belastingsweerstand is 10 x 10 keer zo groot als de weerstand op de totale wikkeling. Of anders uitgedrukt: weerstanden worden *getransformeerd* met het kwadraat van de transformatieverhouding (die in dit voorbeeld gelijk is aan 10 zodat 1 kΩ door transformatie wordt opgeschroefd tot 100 kΩ). Een geschikt compromis: weliswaar nog maar 10% van de trillingskringspanning, maar in ruil daarvoor slechts 1% demping voor de kring in vergelijking met een directe aansluiting. Als je dus een "scheiding" moet aanbrengen tussen verschillende zenders, heb je deze aftakking nodig!

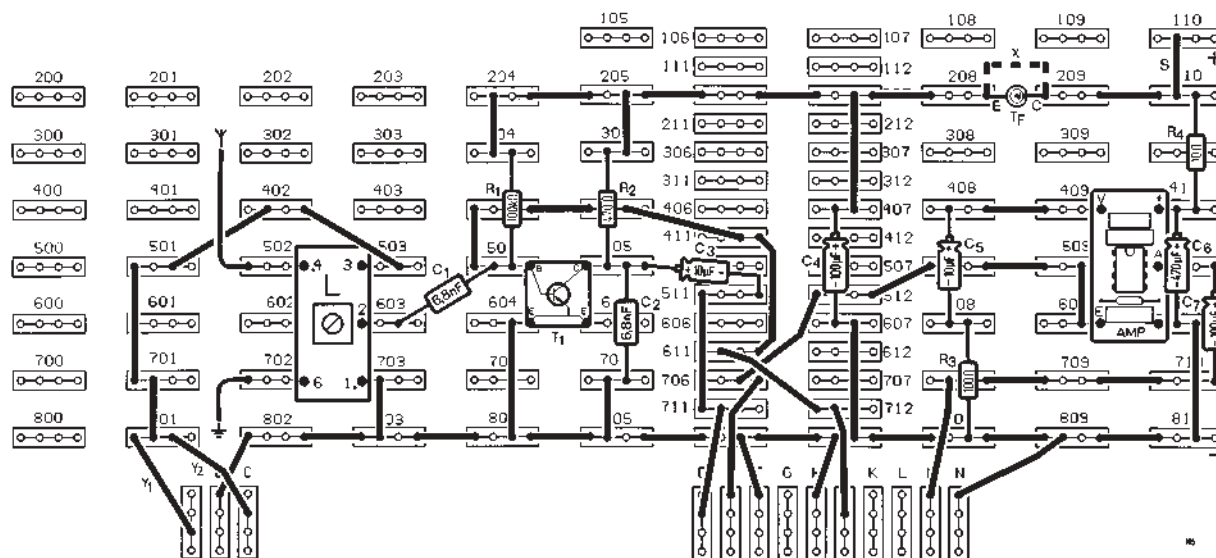
130 Door achter de detector een transistor aan te brengen kun je de schakeling "veredelen" (figuur 180).

We stellen vast:

1. LED2 geeft alleen helder licht wanneer er een vrij sterke zender wordt ontvangen. De diode functioneert dus (ook als de geluidsterkte wordt verminderd) als ontvangst- en veldsterkte-indicator. Vroeger werd er voor dat doel gebruik gemaakt van een speciale buis met fluorescerende sectoren - het *magische oog*. Dat kun je tegenwoordig alleen nog in het museum gaan bewonderen.
2. De nieuwe trap wordt tevens gebruikt als LF-versterker, dus voor de hoorbare lage frequenties. Op die manier kun je veel beter naar zwakke zenders luisteren, als ze tenminste de hindernis van de diodespanning hebben overwonnen.



Figuur 184. De audion-schakeling: de transistor richt gelijk en versterkt de zo verkregen toonfrequentie. Zoek met behulp van P2 het gunstigste punt! Als extraatje de fototransistor in plaats van de brug X zorgt voor door de zon gestuurde ochtendmuziek. Alleen zinvol bij gebruik van de nettransformator, aangezien de AMP de hele tijd stroom "verbruikt"!



Figuur 185. Het opbouwschema bij figuur 184.

3. Door gebruik te maken van de siliciumdiode hebben we de gelijkrichterschakeling verbeterd. Zij zorgt ervoor dat alleen de negatieve halve golven worden afgevoerd naar min - wat ook onze bedoeling was. De eerder gebruikte weerstand daarentegen dempt ook de positieve halve golven.
4. In de emitteruitgang van de transistor bevindt zich een weer-

stand. Die zorgt voor de negatieve terugkoppeling. Daardoor is een hogere ingangsspanning vereist (vergelijk de Schmitt-trigger in hoofdstuk 9!) Door deze maatregel treedt er in de versterker minder snel overmodulatie op. Probeer het maar eens - overbrug de weerstand op het moment dat je een sterke zender ontvangt!

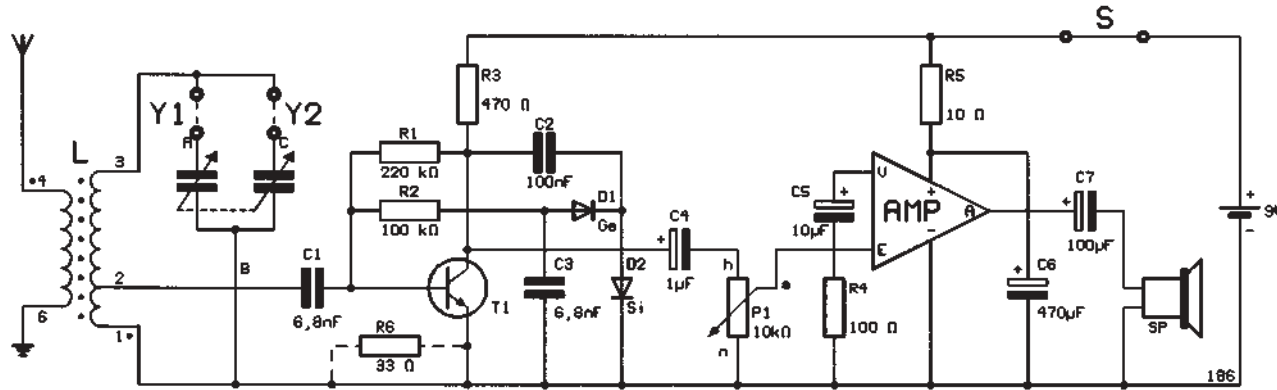
131 In de schakeling zoals aangegeven in figuur 182 maken we eveneens gebruik van een weerstand in de emitter-aftakking T1 heeft echter geen collectorweerstand, maar functioneert als emittervolger. Weet je het nog: collectorschakeling, dat betekent dat er een hoge ingangsspanning is vereist, maar dat betekent ook een hoge ingangsweerstand. En op die weerstand is deze keer onze hoop gevestigd, nu we de bovenste aansluiting van de trillingskring verbinden met de ingang. Hoge weerstand = geringe demping. Totale kring = hoge ingangsspanning. Het zou dus eigenlijk moeten kloppen. Als je echter het geluk hebt verschillende sterke zenders te kunnen ontvangen, zul je er met deze schakeling niet zo goed in slagen die van elkaar te scheiden. Het selectief vermogen is dus minder goed dan in de vorige experimenten. Maar met aansluiting 2 wil het nu niet lukken. Laten we bij wijze van proef C1 hier eens op aansluiten! Je zult amper iets horen - de spanning is te laag voor deze trap.

Audion: transistor maakt diode overbodig

Tot dusver waren de taken duidelijk verdeeld: transistoren voor de versterking, diodes voor de gelijkrichting. Maar per slot van rekening heeft de transistor een basis-emitterdiode!

132 We bouwen de schakeling op zoals aangegeven in figuur 184, zetten P1 in de middelste stand en draaien de knop van P2 langzaam van n naar h. Zodra we ruis horen, zoeken we met de instelbare condensator een geschikte zender op. Vervolgens wordt met behulp van P2 de beste weergave ingesteld. Met P1 kun je de geluidsstrekte instellen op een voor de tijd van de dag acceptabel niveau. Het model voor deze combinatie van gelijkrichter en versterker in een bouwelement was het goede oude *audion* met buizen. Het is best mogelijk dat de uitvinder ervan, gebruik makend van de klassieke taal van de wetenschap, destijds heeft uitgeroepen "audio!", want zo zeg je in het Latijn "ik hoor!" Wat je hoort, zijn de toonfrequenties van de zender, door de basis-emitterdiode gescheiden van de ene kant van de symmetrische HF-draag golf. Zij verschijnen als LF- of laagfrequente wisselspanning bij de condensator C1. Zijn gelijkspanningslading is een gevolg van de HF (ook als die op dat moment niet gemoduleerd is). T1 versterkt de LF, C2 leidt het mee-gevoerde HF-restant af om ervoor te zorgen dat dit in het verdere verloop van de schakeling niet ook wordt versterkt en mogelijkwerwijze storingen veroorzaakt (ongewenste verbindingen, wijzigingen van het werkpunt enz.).

133 In figuur 184 zien we nog een veel voorkomende uitbreiding: als je in plaats van de draadbrug X de fototransistor T2 in de schakeling opneemt, dan wordt de radio automatisch ingeschakeld als het 's morgens licht wordt. (Let op bij batterijvoeding: de versterker gebruikt ook 's nachts stroom!)

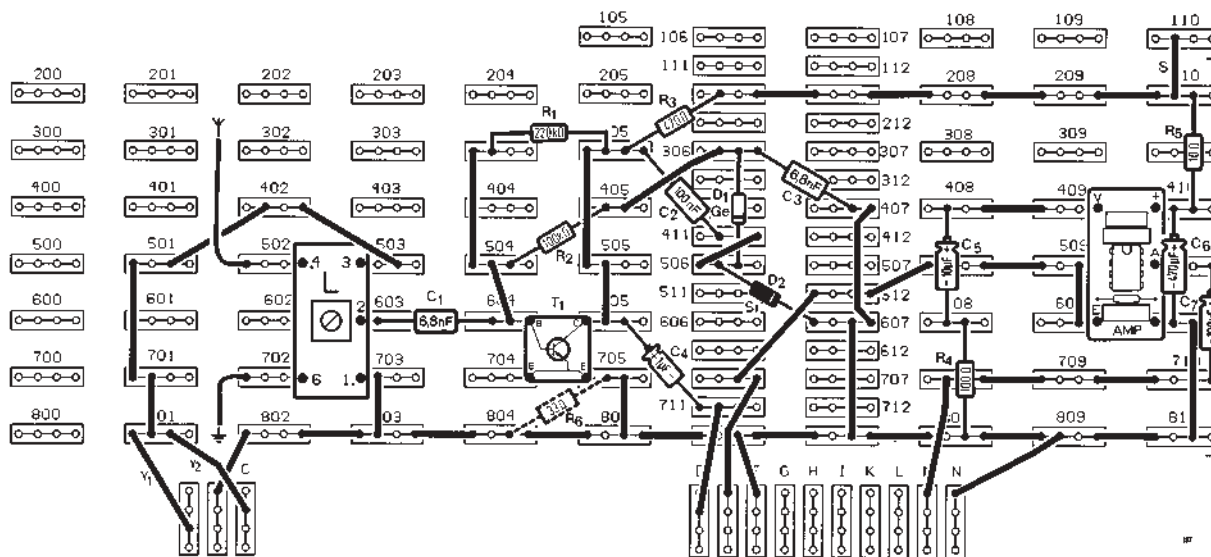


Figuur 186. Reflexschakeling: de door T1 versterkte HF wordt gelijkgericht; de LF die daaruit ontstaat gaat eveneens door de transistor.

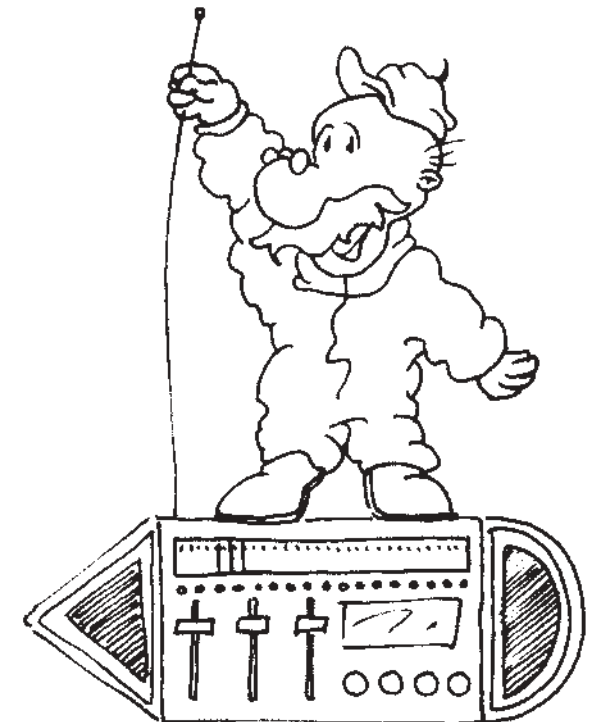
Goede reflexen

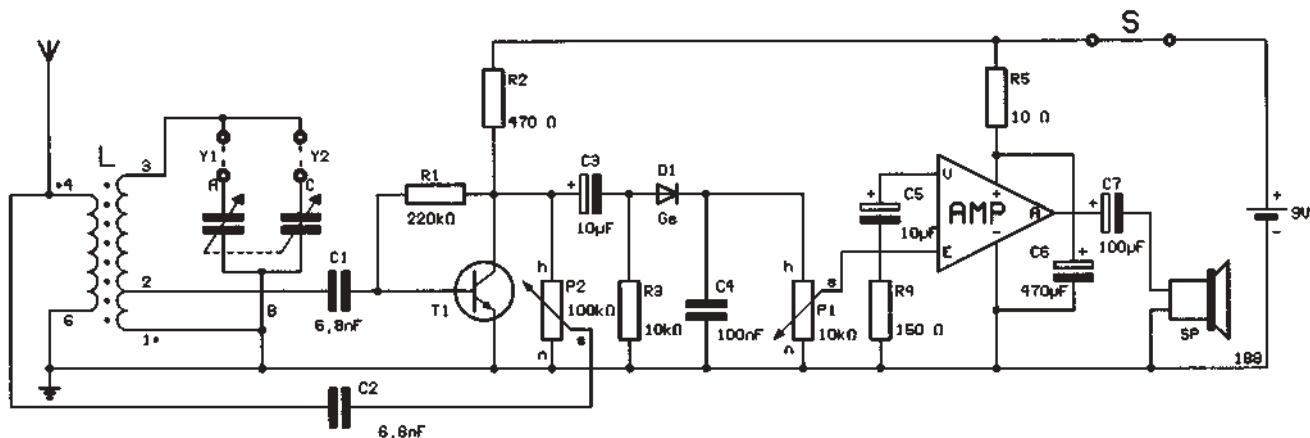
In de beginjaren van de radiotechniek waren er nog andere mogelijkheden voor het dubbele gebruik van een transistor, zoals de *reflextrap*. De transistor die wij tegenwoordig gebruiken in plaats van een buis versterkt eerst de HF. Daarna volgt een normale diode-detectie. Vervolgens wordt de zo verkregen LF teruggeleid naar dezelfde transistor en versterkt.

- 134** We bouwen de reflexontvanger op zoals aangegeven in figuur 186 en testen de eigenschappen ervan. Dan blijkt dat de schakeling van alles een beetje heeft. Ze is tamelijk gevoelig, maar sterkere zenders veroorzaken al een duidelijke vervorming. Daar kun je wat aan doen door de brug 705-805 te verwijderen en de weerstand R_6 van $33\ \Omega$ in de emitterkring op te nemen.

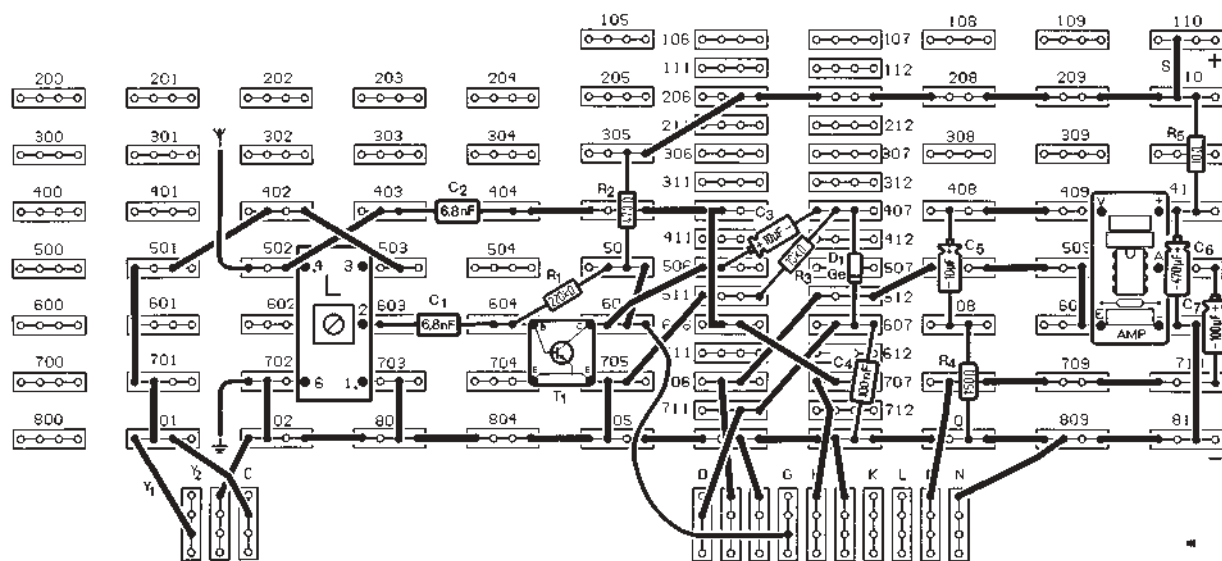


Figuur 187. Het opbouwschema bij figuur 186.





Figuur 188. Kan het opnemen tegen menig fabrieksmodel: het opheffen van de damping (positieve terugkoppeling) leidt tot een aanzienlijke verbetering van de selectiviteit en de gevoeligheid.



Figuur 189. Het opbouwschema bij figuur 188.

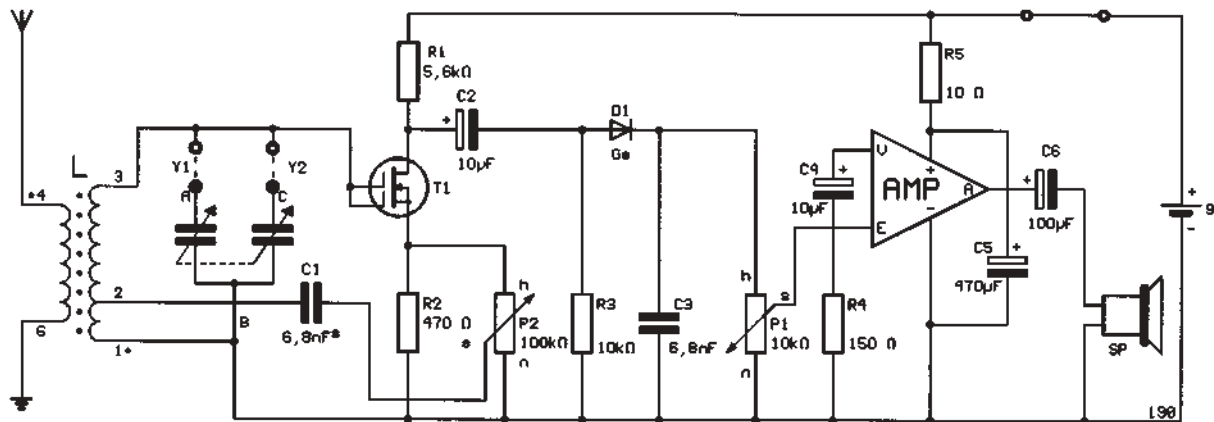
Bijna een zender: ontvanger met positieve terugkoppeling

Herinner je je nog waar we aan het begin van dit hoofdstuk voor gewaarschuwd hebben? In de volgende experimenten mag je als antenne alleen een kort eindje draad gebruiken.

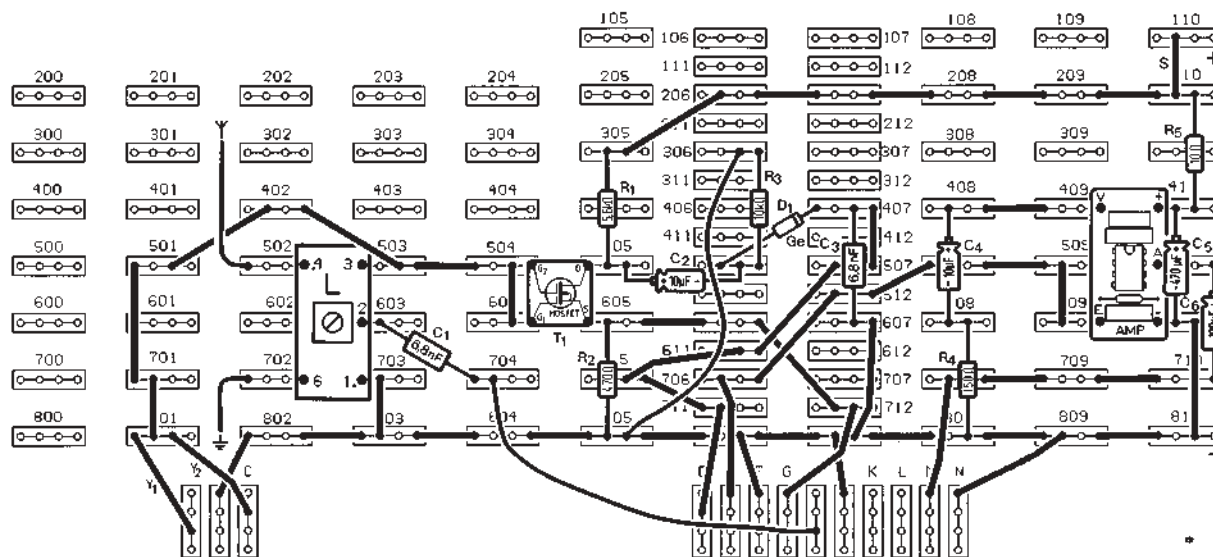
135 De schakeling in figuur 188, die we nu gaan opbouwen, verschilt op het eerste gezicht niet veel van de schakelingen die we al kennen. Die mening moet je herzien wanneer je tijdens het opzoeken van een zender aan de knop van P2 draait. Drie dingen moeten hier worden vermeld:

1. Als je P2 ver genoeg opdraait geven de zenders een "fluittoon" te horen. Voor een zuivere ontvangst dien je P2 terug te draaien tot (even) onder het punt waar het fluiten begint -bij sterkere zenders echter nog aanzienlijk lager vanwege de vervorming.
2. Nu kun je sterkere zenders tamelijk goed van elkaar scheiden, terwijl ze elkaar tevoren soms overlapt. Vooral 's avonds, wanneer de middengolfzenders beter te ontvangen zijn, kun je heel wat verder af gelegen radiostations in huis halen.
3. Tot zover het goede nieuws, en nu het slechte: hoe dicht P2 nadert tot het punt waarop het fluiten begint, des te doffer klinken gesproken woord en muziek. De niet-gedempte trillingskring bekommert zich niet al te veel om frequenties die tamelijk ver verwijderd zijn van de *resonantiefrequentie*.

Het geheim achter al deze verschijnselen wordt *positieve terugkoppeling* genoemd, of meteen beter woord *meekoppeling* (ter onderscheiding van de negatieve terugkoppeling). Die werkt in principe net zo als de Colpitts-oscillator in hoofdstuk 15. Een klein gedeelte van de versterkte HF-energie wordt teruggeleid naar de trillingskring om het kring verlies op te vangen. Als er meer energie wordt teruggeleid dan nodig is, gaat dit overschot functioneren als een kleine zender die juist op deze frequentie uitzendt. Het kleinste verschil tussen de resonantie- en de ontvangst frequentie veroorzaakt als frequentie verschil de fluittoon.



Figuur 190. MOSFET in een schakeling met positieve terugkoppeling vanuit de source: iets minder goed.



Figuur 191. Het opbouwschema bij figuur 190.

In figuur 188 wordt voor het invoeren van de energie in de trillingskring gebruik gemaakt van de antennewikkeling. Daarom moet aansluiting 6 ook worden verbonden met aansluiting 1, anders hangt de wikkeling in de lucht. De puntjes naast aansluiting 1 en aansluiting 4 geven aan dat dit punten van gelijke fase zijn. Bij de vervaardiging van de spoel is erop gelet dat de wikkelzin juist is. Dus als de wisselspanning bij 4 positief is, dan zal 1 ook positief zijn. Alleen door deze wijze van aansluiten brengen we vanwege de emittertrap in onze schakeling een meekoppeling tot stand - als we andersom aansluiten, krijgen we een dempende negatieve terugkoppeling! Hier volgt de proef op de som:

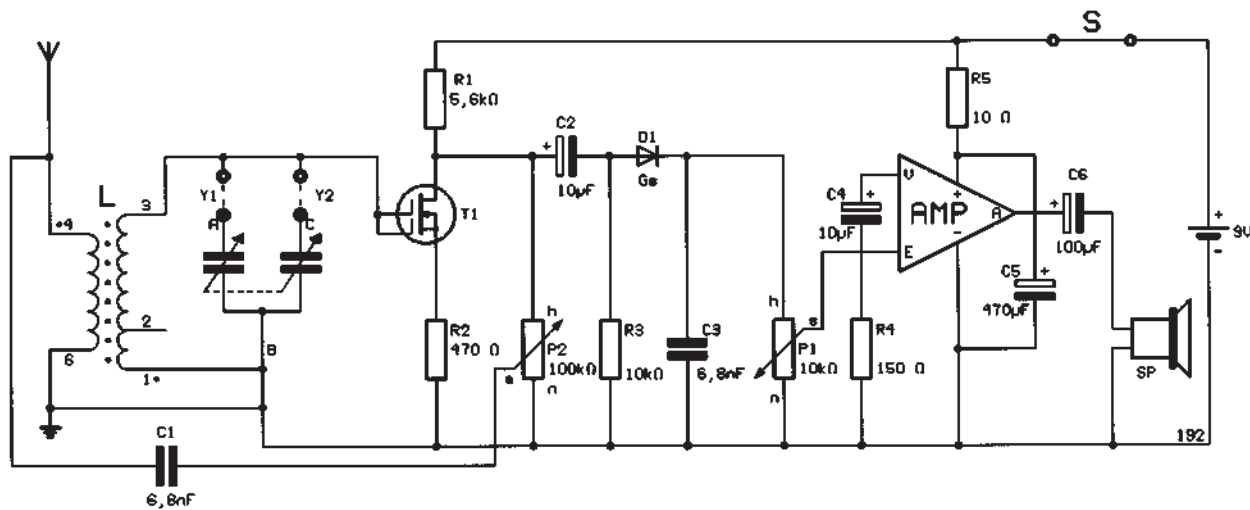
136 We verwisselen de aansluitpunten 4 en 6 en stellen vast: er is geen sprake meer van positieve terugkoppeling als we aan de knop van P2 draaien!

Over het geheel genomen heeft nu minstens de insider begrepen: om de demping in een trillingskring op te heffen moet er een wisselspanning van diens resonantiefrequentie met de juiste hoogte en fase worden toegevoerd.

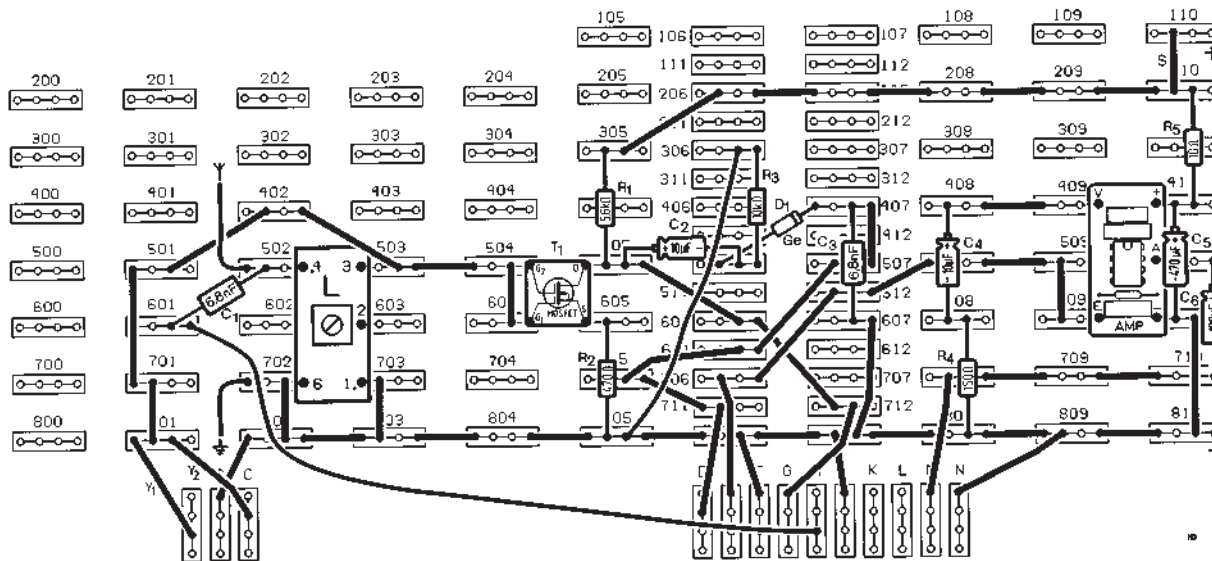
Bipolair en unipolair: gelijke monniken, gelijke kappen

Zoals we in hoofdstuk 14 hebben gezien, vloeit er bij de MOSFET geen ingangsstroom. Hij heeft dus een extreem hoge ingangsweerstand en zal er waarschijnlijk dan ook niet in slagen de trillingskring behoorlijk te dempen.

137 Met de schakeling zoals aangegeven in figuur 191 gaan we hiervan het bewijs leveren - eerst nog zonder positieve terugkoppeling (C1 eruit trekken). Hoewel de trillingskring gewoon tussen gate en minpool ligt, kunnen de ter plaatse te ontvangen zenders nog heel behoorlijk van elkaar worden gescheiden. Vervolgens nemen we C1 weer op in de schakeling en stellen voldaan vast: bij het opzoeken van zenders horen we de fluittoon, de zenders kunnen nog beter worden gescheiden - we hebben weer met succes de demping opgeheven. Deze keer functioneert de meekoppeling zonder dat de teruggekoppelde spanning moet worden "omgedraaid", want deingangsspanning aan de gate en de uitgangsspanning aan de source hebben dezelfde polariteit, ze zijn "in fase". Desondanks is deze oplossing voor zwakke radiostations niet helemaal bevredigend. Bovendien zet de positieve terugkoppeling nogal onverhoeds in.



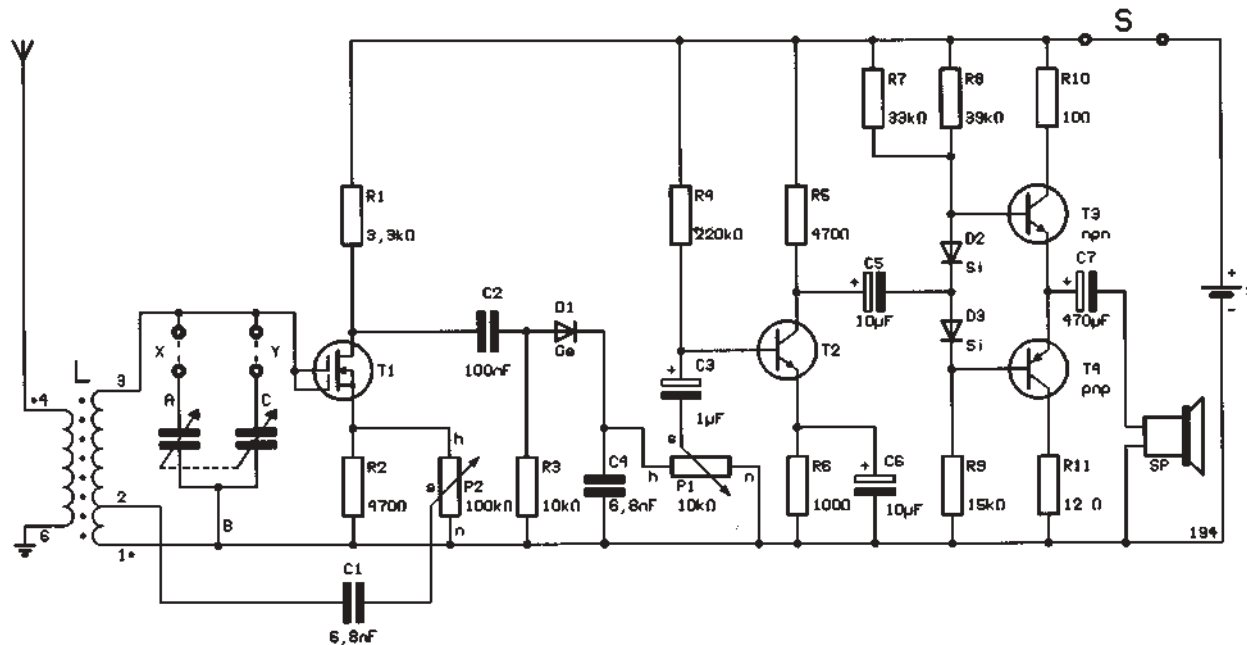
Figuur 192. Verbeterde versie van de schakeling in figuur 190: positieve terugkoppeling van de drain naar de antennewikkeling.



Figuur 193. Het opbouwschema bij figuur 192.

138 Daarom passen we in figuur 192 de methode van de voorlaatste proef toe: de positieve terugkoppeling vindt plaats via de antennewikkeling. De daarvoor benodigde energie onttrekken we aan de drainsluiting, dan klopt ook de fase-toestand weer. We zullen zien dat deze schakeling heel bevredigend functioneert.





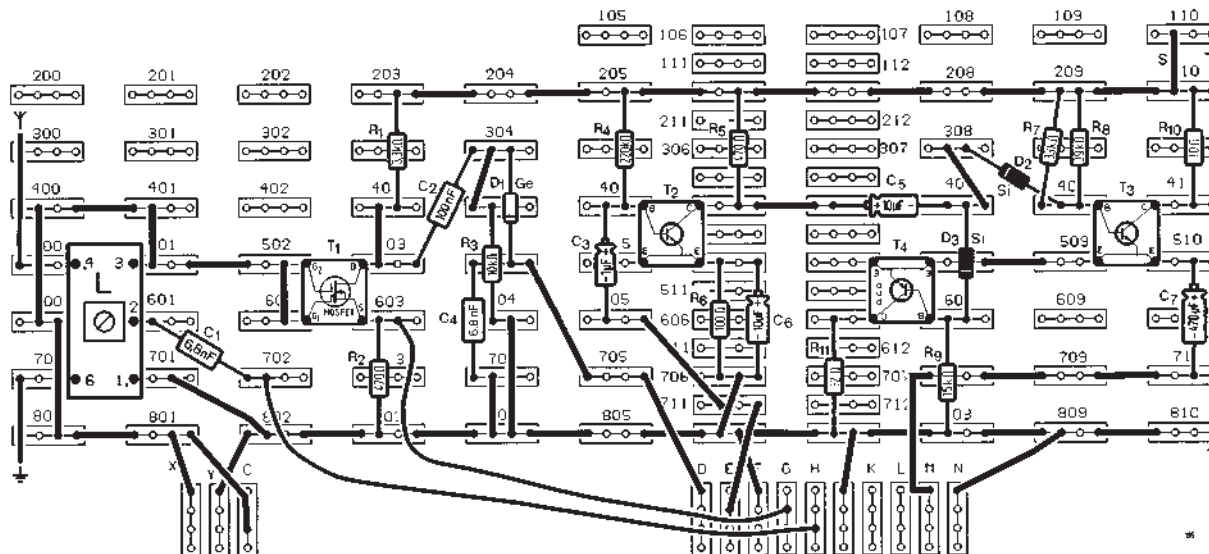
Figuur 194. Schakeling zonder geheimen: transistorradio met MOSFET HF-versterker, diodedetector en een eindtrap bestaande uit afzonderlijke transistoren, zoals die jarenlang (toen er nog geen geïntegreerde LF-versterker bestond) algemeen gebruikelijk was.

De "glazen" AMP

Als vanzelfsprekend werd bij al deze schakelingen gebruik gemaakt van de geïntegreerde LF-versterker om de spanning van de ontvanger om te zetten in vermogen voor de luidspreker. Maar hoe die versterker er van binnen uitziet weten we niet.

139 We bouwen daarom tot slot de ontvanger op volgens de aanwijzingen in figuur 194. C1 laten we voorlopig weg. Het LF-gedeelte ervan bestaat uitsluitend uit transistoren. Die vormen een *complementaire balanseindtrap* met een *stuurtransistor*. Dat lijkt al een beetje op onze AMP in actie, al is er blijkbaar maar een ingang. Toch kunnen we ook hier, net als bij de ingang V van de AMP, de versterking variëren. Om dit te bereiken verwijderen we de condensator C6 - en meteen wordt het geluid zachter, maar de klank is dan ook zuiverder. Voor een goede weergave zijn ook de beide diodes in de basistak van T3 en T4 verantwoordelijk. Die dienen om het "dode gebied" in de buurt van de diodespanning van de transistoren te ontwijken.

140 Als allerlaatste proef trakteren we ook dit apparaatje op een positieve terugkoppeling zoals aangegeven in figuur 190 (nu moet je C1 erin steken). Met deze schakeling is het de moeite waard om in de nachtelijke uurtjes eens een speurtocht te ondernemen op de middengolf. Eerst moeten de beide trimmers op de instelbare condensator helemaal worden uitgeschroefd (minimale capaciteit). Als je dat goed hebt gedaan kun je door de kunststof heen vaststellen dat er twee halfcirkelvormige plaatjes te zien zijn. De laatste "aan de onderkant" bereikbare zender (linker aanslag van de instelbare condensator!) kun je vinden door de spoelkern voorzichtig verder naar binnen te draaien. Daardoor verandert de inductiviteit van de spoel en dus ook de resonantiefrequentie van de trillingskring. De laatste zender "aan de bovenkant" vind je wanneer alleen de met een "O" gemerkte helft van de instelbare condensator is aangesloten.



Figuur 195. Het opbouwschema bij figuur 194.

17. De praktijk van de AMP-schakeling

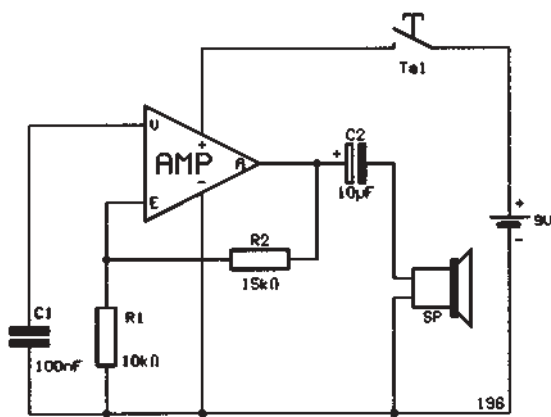
In de laatste experimenten zorgde onze AMP er uitsluitend voor dat de zwakke LF-signalen werden omgezet in een krachtige sound. Hij was nu eenmaal de "eindversterker", de laatste schakel in de informatieketen. Hoogste tijd om hem weer zelfstandig aan het werk te zetten.

Klinken en knipperen

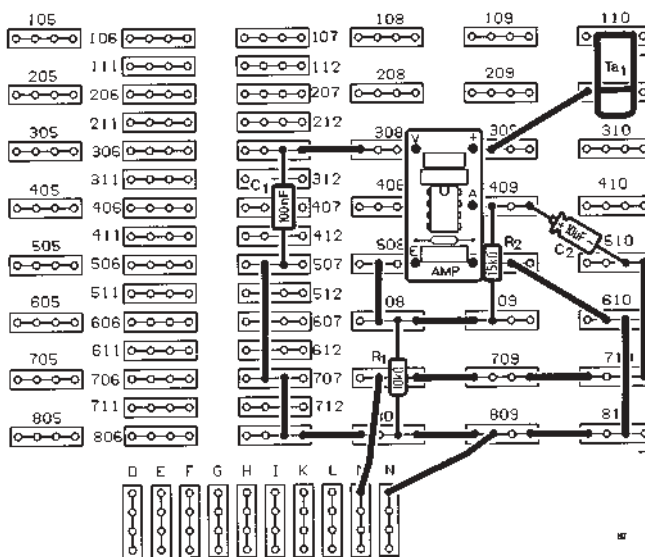
Veel van hetgeen je met twee transistoren kon doen, lukt ook met de AMP. En doorgaans zelfs beter want hij heeft genoeg power.

141 We bouwen de schakeling op zoals aangegeven in figuur 196. Dan drukken we op de toets. Klinkt dat niet bijna net zo als bij de geestenbezwering? Inderdaad - het is dezelfde schakeling. Alleen ontbreekt deze keer de MOSFET-tovenaar in de min-aansluiting.

Wat gebeurt er nou eigenlijk? Zoals je weet, heeft de AMP twee ingangen, E en V. Aan V kun je de versterking instellen: hoe meer weerstand naar min, des te geringer is de versterking. Des te sterker is namelijk in het binnenste van de AMP de negatief teruggekoppelde weerstand vanuit de uitgang naar deze ingang. Bij de ingang E is precies het tegenovergestelde het geval. Die krijgt namelijk vanuit de uitgang een signaal om mee te koppelen. Wat dat tot gevolg heeft is afhankelijk van de toestand bij V. Op deze ingang is in figuur 196 echter een condensator aangesloten. En die is nog leeg als we op de toets drukken. Dat betekent, dat V praktisch aan de min ligt en dat er dus geen negatieve terugkoppeling plaatsvindt. Onze AMP werpt zijn volledige versterking (zowat 5.000) in de strijd. Dat betekent, dat de uitgang met volle kracht "doorschiet" tot aan de bovenste aanslag, praktisch tot ongeveer 1,4 V onder de batterijspanning.



Figuur 196. AMV met AMP: drie bouwelementen laten hem trillen



Figuur 197. Het opbouwschema bij figuur 196.

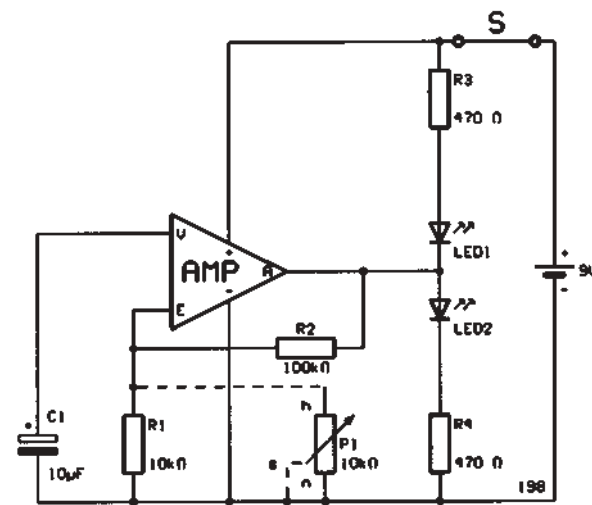
We hebben in het KOSMOS-laboratorium een beetje geëxperimenteerd - met een instelbare spanning aan E bij open aansluiting V. Dan bedraagt de versterking weliswaar niet meer dan 1, maar je begrijpt waar het op aankomt. De uitgang heeft ongeveer de helft van de batterijspanning (dus 4,5 V bij een batterij van 9 V), wanneer E is aangesloten op de min-pool. Als de spanning aan E 1 V bedraagt stijgt de uitgangsspanning ook met 1 V (de versterking is immers 1). Bij 3,1 V aan E is de aanslagwaarde van 7,6 V bereikt. Ongeveer op deze waarde is ook het aftakpunt van R1 en R2 in figuur 196 ingesteld. Daar moeten we echter ook nog rekening houden met C1. Door een kleine stroom uit V wordt deze condensator opgeladen. Ook dat hebben we in "slow motion" gemeten. Wanneer de spanning van V iets minder dan 0,6 V meer bedraagt dan die van E, kan E de versterker niet meer sturen. Dat wordt opgemerkt door de uitgang en die laat zich nu leiden door V. Deze ingang wil echter net in tegengestelde richting sturen: hoe meer spanning aan V, des te minder aan E. We zullen deze reactie in "zuivere" vorm tegenkomen bij de operationele versterkers. De AMP is een speciaal type van dit soort versterkers met bepaalde karakteristieke eigenschappen. In ieder geval schakelt de uitgang terug tot bijna 0 V wanneer de hogere spanning aan V ten opzichte van E groot genoeg is. Dan krijgt C1 evenwel geen laadstroom meer - zijn lading vloeit weg in de richting van V. Daardoor blijft de uitgang nog een poosje op 0 V, totdat de spanning aan V ongeveer 0,6 V bedraagt. Dan komt E weer aan bod. Zoals we hierboven hebben gezien: 0 V aan E en tegelijkertijd minder dan 0,6 V aan V resulteert in de helft van de

batterijspanning aan de uitgang. En dan begint het hele proces weer van voren af aan. (Zie ook figuur 206 en het stukje "AMP van binnen" verderop.)

142 We veranderen de voorwaarden door de weerstand van R2 te vervangen door een beetje van 100 kΩ. Als je nu op de toets drukt hoor je een veel hogere toon - dat klinkt al bijna als het zoemen van een mug. Als je even nadenkt zul je begrijpen dat dat logisch is: E krijgt namelijk een kleiner gedeelte van de uitgangsspanning. Deze waarde komt aan C1 sneller tot stand, zodat het hele proces zich sneller voltrekt, met name in de laadrichting.

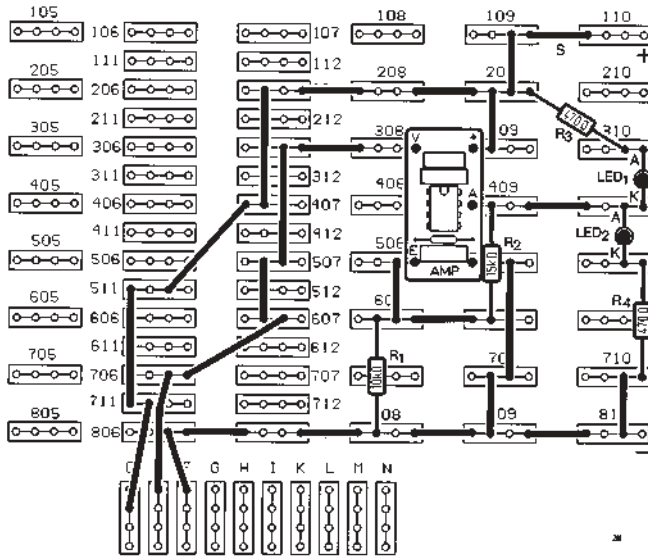
Op het beeldscherm van een oscilloscoop hebben we in het KOSMOS-laboratorium het spanningsverloop aan V en aan de uitgang (en dus ook aan E) bekeken. Dat ziet er uit zoals je logischerwijze mocht verwachten: aan V een "verbogen" *zaag-tandtrilling* (zie ook hoofdstuk 24 - stijging eerst steil, dan alsmat vlakker, daling korter - want het opladen van C1 duurt langer dan het ontladen. De uitgang en E vertonen een rechthoekige trilling met brede pieken (tijdens het opladen) en smalle dalen (tijdens het ontladen van C1).

143 Met 1 μF in plaats van 100 nF voor C1 (let op de juiste polariteit - de kant met de "groef" moet worden aan-gesloten op V!) komen we weer in het midden-tonengebied terecht. Omdat de capaciteit groter is duurt het langer voordat het kleine "stroompje" uit V de condensator heeft opgeladen! Op die manier wordt de kleinere omschakelspanning van de ingestelde waarde aan de aftakking dus weer gecompenseerd.



Figuur 198. C1 bepaalt het tempo: AMP als knipperlicht.

144 Met $10\ \mu\text{F}$ voor $C1$ kunnen we bijna gaan motorrijden. In ieder geval heeft het geluid dat we nu horen wel iets weg van een motor. Alleen het gashandel ontbreekt nog. Dus vervangen we $R1$ door $P1$ en sluiten de loper aan op de minpool. En tot slot nog een heel zuinige instelling om de motor stationair te laten draaien: $100\ \mu\text{F}$ voor $C1$. Dat broemt lekker zonder dat er luchtverontreiniging optreedt.



Figuur 199. Het opbouwschema bij figuur 198.

145 Ook nu kunnen we overstappen van geluid op beeld als we de schakeling opbouwen zoals aangegeven in figuur 198 en de bruggen, aangegeven door de stippellijnen, nog even weglaten. Hoe langzamer onze AMP aan de uitgang omschakelt, des te fraaier kun je deze wissel omzetten in het knipperen van licht-emitterende diodes. Met de waarden zoals aangegeven in figuur 198 krijgen we daar voorlopig echter nog niets van te zien. Het lijkt alsof de beide licht-emitterende diodes gelijkmatig en continu licht geven. We veranderen daarom de waarde van $R2$ in $39\ \text{k}\Omega$. Aha - nu flikkeren de diodes. Maar omdat dit ook nog geen echt knipperlicht is, verhogen we de waarde van $C1$ tot $100\ \mu\text{F}$. Nu is alles zoals het zijn moet. De diodes knipperen en lichten zonder lange tussenpauze afwisselend op en doven. Daar zorgt de hoge AMP-versterking wel voor.

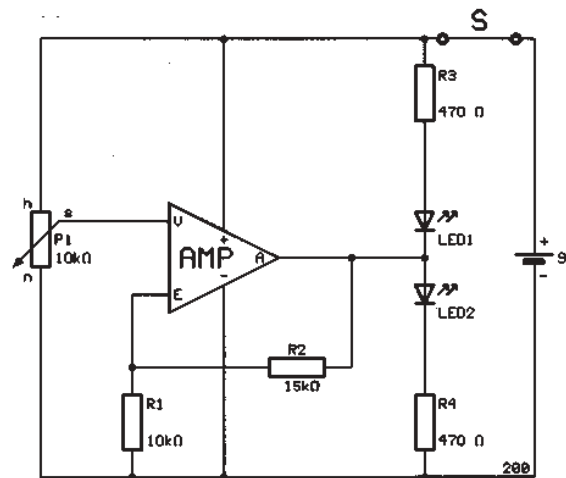
146 We vervangen $R1$ weer onze potentiometer $P1$ en nemen nu ook de door stippellijnen aangegeven bruggen in de schakeling op (loper aansluiten op min). We draaien de knop van de potentiometer langzaam op: de overgang van knipperen naar

schijnbaar continu licht geven, dus het gebied van de door de optische traagheid veroorzaakte versmettingsfrequentie, is goed te zien.

Geïntegreerde Schmitt

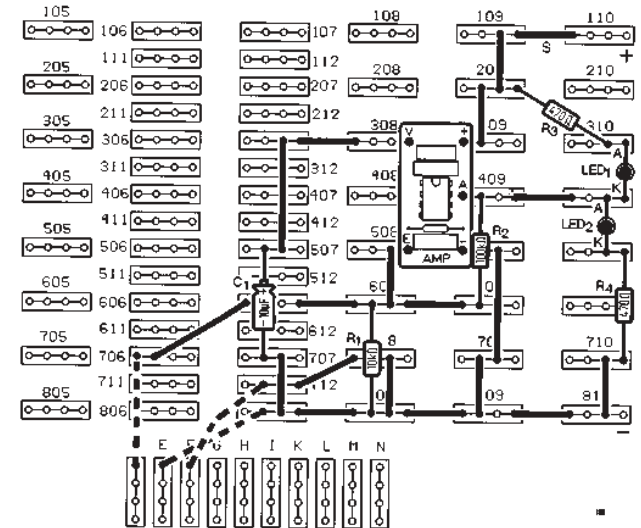
We hoeven aan de vorige schakeling nauwelijks iets te veranderen om de AMP ook als drempelwaardeschakelaar te kunnen gebruiken. Dat die mogelijkheid bestaat konden we al vermoeden bij het onderzoek naar de trillingsvoorwaarden.

147 Zoals aangegeven in figuur 200 vervangen we de condensator $C1$ door onze potentiometer $P1$. We kunnen nu de spanning aan V naar believen manipuleren. We draaien dus $P1$ van plus naar min en terug en houden daarbij de licht-emitterende diodes scherp in het oog. Eerst geeft LED2 licht. Logisch - V aan $0\ \text{V}$, dus maximale versterking. Positieve terugkoppeling van A naar E brengt de uitgang onmiddellijk op de bovenste aanslag. Deze toestand handhaaft zich op eigen kracht, omdat de uitgangsspanning via de aftakking van $R2$ en $R1$ invloed uitoefent op E . LED2 geeft dus licht. We draaien nu $P1$ langzaam op. Al direct na het opdraaien dooft LED2 plotseling en licht LED1 op. Nu moeten we een heel eind terugdraaien voordat LED2 weer licht geeft. Aha - de hysteresis! Waarom? Wel, we hebben met $P1$ de spanning voor V ongeveer $0,6\ \text{V}$ boven die van E getild. (Deze spanning bedraagt op grond van $R1$, $R2$ ongeveer $3\ \text{V}$). Daardoor is de uitgang van zijn maximale spanning gekipt naar praktisch $0\ \text{V}$. Nu komt de spanning waarover V beschikt daar ruimschoots "bovenuit". Dus moeten we verlagen tot minder dan $0,6\ \text{V}$ en dan neemt E de taak over: de lage spanning van ca. $50\ \text{mV}$ aan de uitgang is voldoende, zodra V niet meer "overheerst", om de spanning aan de uitgang



Figuur 200. Drempelschakelaar: ook in de AMP zit een Schmitt!

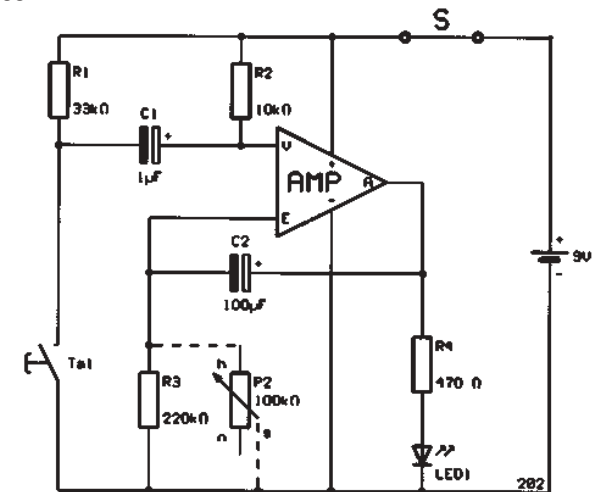
op te voeren tot het maximum. Vooruitlopend op het volgende hoofdstuk stellen we vast: het (*spannings*-)verschil aan de versterkeringen wordt voor de "niet omkerende" (*niet-inverterende*) ingang E weer positief.



Figuur 201. Het opbouwschema bij figuur 200.

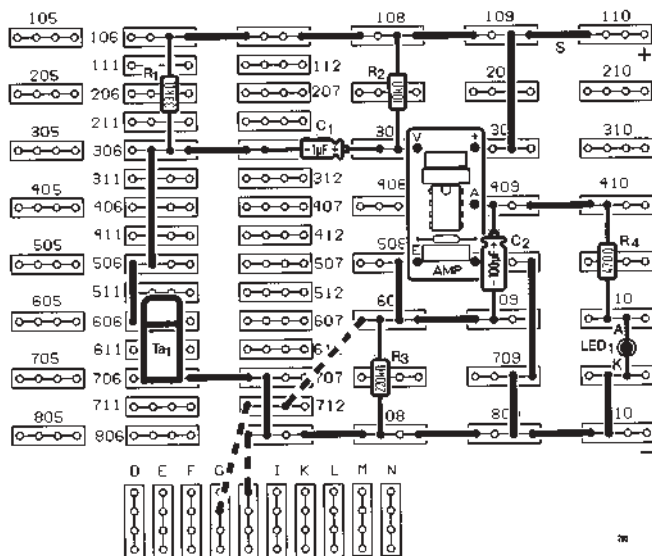
Monoflop en flip flop - geen flop met de AMP!

Uiteraard kan hij dat ook. De manier waarop de spanningen aan E en V functioneren hoeven we nu zeker niet meer opnieuw uit te leggen.



Figuur 202. Monoflop met "dynastart": AMP met tijdfunctie.

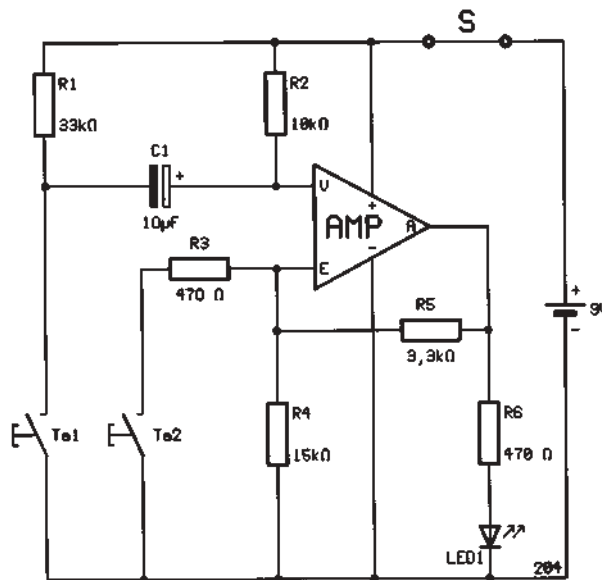
148 We bouwen de schakeling op zoals aangegeven in figuur 202 om ons ervan te overtuigen dat de AMP prima functioneert in de monoflop.



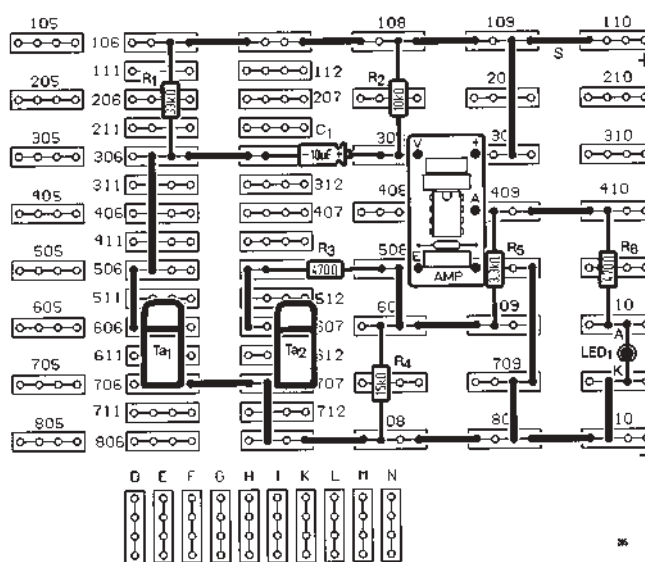
Figuur 203. Het opbouwschema bij figuur 202.

Sluit de batterij aan - LED1 is donker. Druk op toets Ta1 - LED1 licht op. Na ruim 10 seconden dooft ze weer. Daarmee hebben we de tijdfunctie bewezen. Als we nu even nadenken komen we tot de volgende conclusie: V krijgt een positieve voorspanning middels R2 en E is via R3 aangesloten op min. We hebben hier dus duidelijk te maken met een uitgangssituatie - de uitgang moet naar min geleiden. Daarom bedraagt de spanning aan V niet meer dan ongeveer 1,1 V. Door op toets Ta1 te drukken wordt V tijdelijk (*dynamisch*) negatief. E heeft het voor het zeggen, want de geleidende uitgang beschikt altijd wel over "een beetje spanning", die via E wordt versterkt - A gaat naar maximale spanning. De laadstroom voor C2 via R3 houdt aan E de spanning intact, maar deze verschil-spanning ten opzichte van V daalt al gauw tot onder de drempelwaarde van 0,6 V. Nu is V weer het sterkste, de uitgang schakelt weer om, de licht-emitterende diode dooft. (Zie ook het stukje "AMP van binnen" en figuur 206!)

149 We kunnen de diode langer laten licht geven door C2 te vervangen door een condensator van 470 μ F. Dan nemen we P2 op in de schakeling in plaats van R3 (de door stippellijnen aangegeven draadbruggen aanbrengen) en sluiten de looper aan op min. Nu kun je de tijd dat je de diode licht wilt laten geven, instellen. Probeer het maar en controleer of het klopt!



Figuur 204. Kan elke toestand vasthouden: flip-flop AMP.

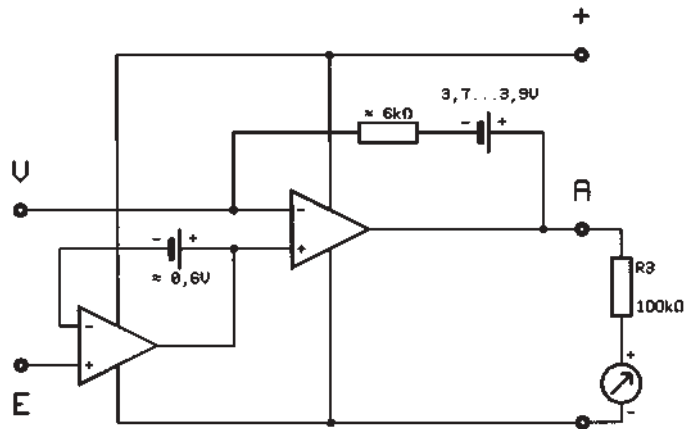


Figuur 205. Het opbouwschema bij figuur 204.

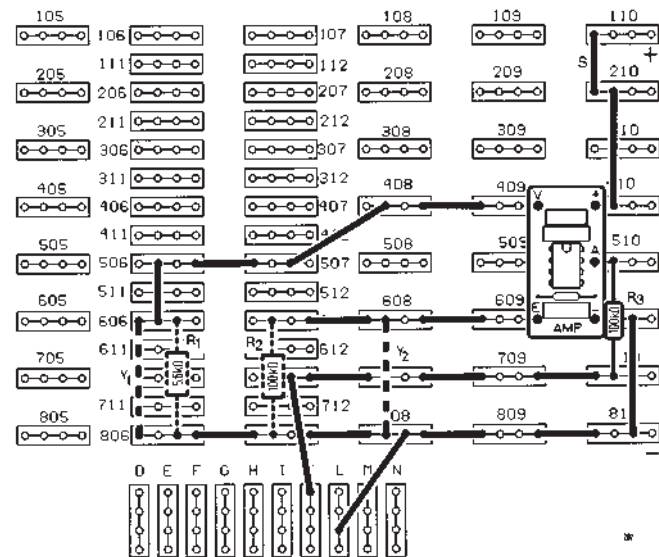
150 Door de schakeling van figuur 202 aan te passen en uit te breiden krijgen we de schakeling zoals aangegeven in figuur 204. Het gaat erom nuttig gebruik te maken van twee toetsen: druk op Ta1 en LED1 licht op. Logisch - net als zoeven een dynamische start. Druk op Ta2 en de LED dooft. Je kunt elke toestand zo lang laten duren als je wilt. De schakeling flipt en flopt.

AMP van binnen

Figuur 206 vormt de overgang van de tot dusver onderzochte AMP-schakelingen naar de operationele versterkers ("OP's") die in de volgende hoofdstukken aan de orde komen. Het gebruik van een speciale markering is aan te bevelen zodat je naderhand deze informatie kunt opzoeken. Merk op dat de AMP maar een werkspanning nodig heeft, terwijl voor de proeven met de operationele versterker, die later aan de beurt komen, gebruik wordt gemaakt van twee batterijen van 9 V. Zoals je ziet leidt dit in vergelijking met de operationele versterker tot een paar eigenaardigheden van de interne schakeling van de AMP die voor een goede werking van de versterker noodzakelijk zijn. De spanningsopgaaf geldt voor een voeding van 9 V, terwijl de strooiing afhankelijk is van het exemplaar. Natuurlijk zitten er in de AMP geen echte batterijen. Maar de schakeling functioneert uiteindelijk zo, dat door deze "potentiaalverschuivingen" met E negatief A ongeveer de helft van de batterijspanning krijgt - dat komt net goed van pas voor een optimale uitsturing naar boven en naar beneden. De versterker aan de ingang E is geschakeld als een-versterker" en heeft dus een hoge ingangsweerstand. In plaats van de hiervoor normaal toegepaste directe verbinding tussen zijn uitgang en de inverterende ingang zorgt de symbolische spanningsbron van 0,6 V ervoor dat de ingang tegen min ver genoeg uitgestuurd kan worden - ook met RC-schakeling voor wisselspanning! Voor een dergelijke versterker wordt meestal een maximale wisselspanning van 0,2 V ingesteld. Tot die waarde verloopt de versterking nog netjes lineair. De spanning van ongeveer 0,6 V verschijnt aan de niet-inverterende ingang van de aangesloten versterker en wordt aan de uitgang V weergegeven. (Meer hierover vind je in hoofdstuk 24 e.v.!) Samen met de spanning in de negatieve terugkoppelingstak van deze versterker resulteert dit in een rust-uitgangsspanning die (ongeveer) gelijk is aan de helft van de batterijspanning. Ook deze versterker is aanvankelijk slechts een een-versterker", totdat de ingang V met een weerstand wordt aangesloten op min. Als deze weerstand net zo groot is als de interne weerstand (ca. 6 k Ω), bedraagt de versterkingsfactor 2; als hij slechts 1/9 bedraagt van de interne weerstand, dan is de versterkingsfactor 10 enz. - zoals we nog zullen zien bij de bespreking van de operationele versterkers. Omdat het in dit stukje onvermijdelijk is dat we op de zaken vooruitlopen, spelen we nu nog even leentjebuurt bij de hoofdstukken 19 en 27 en halen het meetinstrument uit onze experimenteerdoos. In figuur 206 is het al in het schakelschema opgenomen.



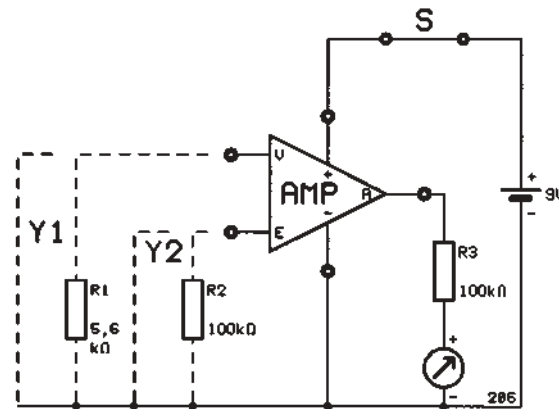
Figuur 206. AMP van binnen.



Figuur 207. Het opbouwschema bij figuur 206.

Door de voorschakelweerstand van 100 kΩ wordt het een voltmeter met een maximale uitslag van 10 V. De aanwijzing is niet al te nauwkeurig, maar het is ons hier alleen te doen om het principe.

151 We sluiten de batterij aan op de schakeling zoals afgebeeld in figuur 206 en houden het instrument in het oog: de wijzer slaat uit tot streepje 7. Nu sluiten we V door middel van brug Y1 aan op min (dus de hoogste versterking): er verandert



nagenoeg niets. Conclusie: als aansluiting E niet is gesloten heeft uitgang A maximale spanning. Die ligt duidelijk lager dan de batterijspanning. Dat komt door de verzadigingsspanning van de uitgangstransistor van plus naar A.

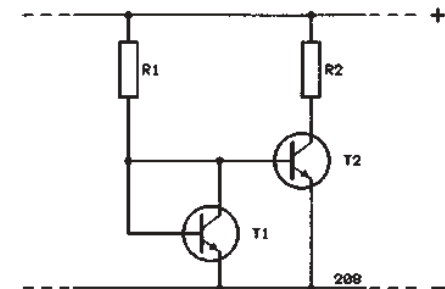
152 Terwijl aansluiting V open is (brug Y1 verwijderen), verbinden we aansluiting E door middel van brug Y2 met de min-pool. Aha - de wijzer loopt terug en blijft in de buurt van 4 staan. Dat is ongeveer de halve waarde van de batterijspanning. Nu vervangen we de brug van E naar min (Y2) door een weerstand R2 van 100 kΩ en stellen vast: aan de uitgang verandert er niets. Maar zo'n hoge weerstand is prima geschikt om er een signaal op aan te sluiten dat versterkt moet worden!

153 Met de weerstand van 100 kΩ nog steeds aan E nemen we voor R1 5,6 kΩ van V naar min. We zien dat de wijzer dan 1/2 eenheid op de schaal verder uitslaat. De versterking is immers toegenomen van 1 (V open) naar 2 (externe weerstand ongeveer gelijk aan de interne). Dus wordt de onderste "verschuivingspanning" van bijna 0,6 V aan de bovenkant met de factor 2 versterkt. Bij de spanning in de bovenste tak moet dus de vorige spanning twee keer worden opgeteld.

154 We vervangen R1 in de aftakking van V naar min door weerstanden met lagere waarden, te beginnen met 3,3 kΩ, en merken op: al bij ongeveer 1 kΩ heeft de wijzer de hoogste stand (ca. 7 V) bereikt. Zelfs als we V direct aansluiten op de minpool (door middel van de brug Y1) komt de spanning niet hoger te liggen. Logisch: 1 kΩ leidt ertoe dat de spanning van bijna 0,6 V ongeveer 7 keer wordt versterkt, dus tot 4,2 V. Opgeteld bij de spanning in de bovenste tak wordt dit meer dan 8 V. Maar de uitgang kan niet hoger dan ongeveer 7,6 V wanneer een batterij van 9 V is aangesloten. Dat is duidelijk.

Stromen in de spiegel

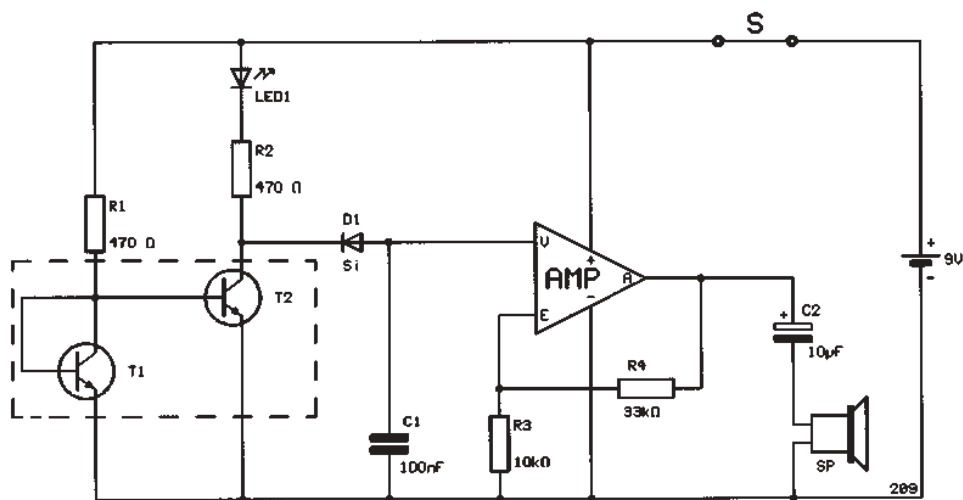
Reeds aan het eind van hoofdstuk 8 (figuur 87) hebben we geleerd: transistoren zijn, zoals alle halfgeleider-bouwelementen, gevoelig voor temperatuurschommelingen. De basis-emitterspanning daalt met maximaal 3 mV bij een temperatuurstijging van 1 graad. Een voorbeeld: een transistor die bij 0,60 V nog net spert, zal wanneer de temperatuur 3 a 4 graden stijgt, nog maar sperren tot 0,59 V. Anders uitgedrukt: de collectorstroom stijgt wanneer de transistor warmer wordt. Als je echter twee gelijke transistoren tegelijkertijd verwarmt (of afkoelt) en als die transistoren met elkaar zijn verbonden zoals aangegeven in figuur 208, dan gebeurt er in het gunstigste geval helemaal niets. Aangezien de stroom door T2 een "spiegelbeeld" is van die door T1, wordt een dergelijke rangschikking ook wel stroomspiegel genoemd. De goede temperatureigenschappen van geïntegreerde schakelingen zijn hoofdzakelijk te danken aan dergelijke onderdelen van de schakeling.



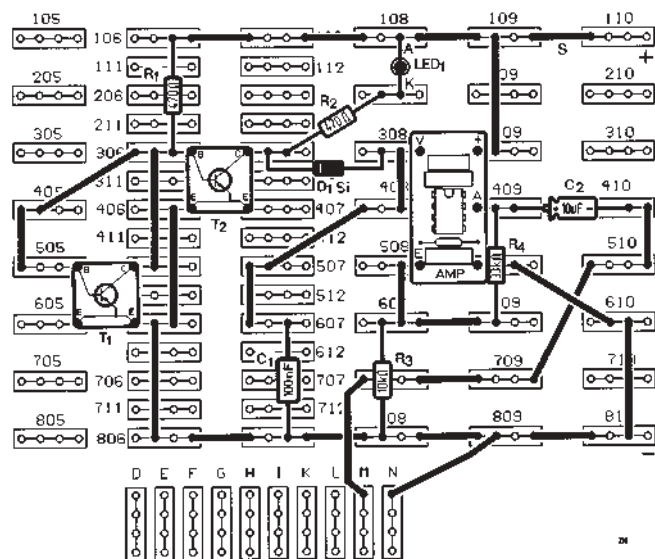
Figuur 208. De stroomspiegel, detail van een schakeling: heeft de effecten van temperatuurschommelingen in de hand.

Als je nu echter bijvoorbeeld alleen T1 verwarmt, dan is er van een evenwicht geen sprake meer. T1 onttrekt basisstroom aan T2, omdat zijn eigen basis-emitterspanning afneemt, en de spanning aan de collector van T2 neemt toe. Als je afkoelt gebeurt precies het tegenovergestelde.

155 Een praktische toepassing hiervan leren we kennen in het experiment zoals aangegeven in figuur 209. T1 functioneert als temperatuursensor buiten de montageplaat op een plaats waar hij heet kan worden (al is het beter als dat niet gebeurt). Als verbinding met de montageplaat gebruiken we twee-aderig "scheldraad". De afgestripte uiteinden worden om de emitter- respectievelijk om de basis- en collector aansluiting gewikkeld. Een föhn die op deze "thermosensor" wordt gericht, zal het brandalarm al in werking zetten. "In het echt" begint het dan uit de sprinklerinstallatie te regenen. Maar hoe gaat dat in z'n werk? Als je D1 en C1 nog even weglaat, kun je het stap voor stap doorgronden: E wordt door A via R4, R3 op ongeveer 1/4 van de uitgangsspanning gehouden.



Figuur 209. De stroomspiegel zorgt ervoor dat het functioneert: akoestisch alarm bij gevaar voor brand.



Figuur 210. Het opbouwschema bij figuur 209.

Wanneer V niet is voorzien van een schakeling bedraagt de spanning aan deze aansluiting 0,55 a 0,6 V meer dan die aan E zoals we intussen hebben gezien. De versterking is gelijk aan 1. Als je nu C1 aansluit, schakelt deze condensator de ingang V voor korte tijd door naar min, terwijl de versterking toeneemt tot

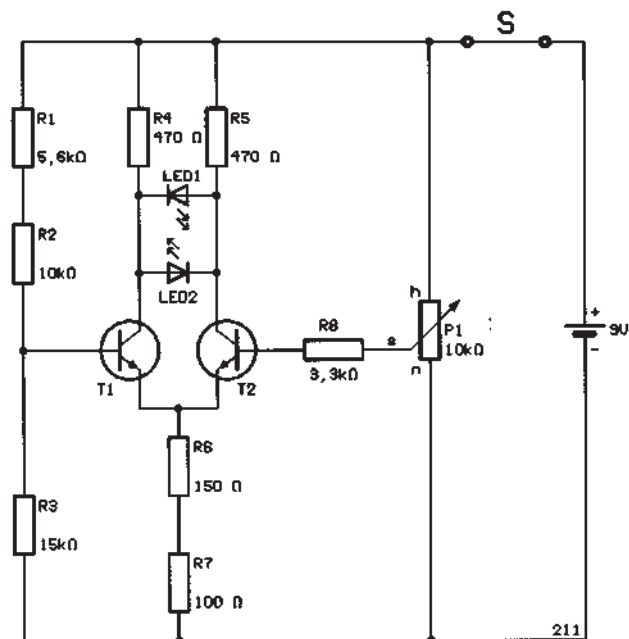
5.000. A raakt verzadigd (ongeveer 7,5 V). C1 wordt vervolgens opgeladen en dan treedt het generatormechanisme in werking dat we al in figuur 196 hebben leren kennen. En de luidspreker maakt het hoorbaar. Als je nu D1 in de schakeling opneemt valt het geluid weg, mits T1 nog niet te warm is geworden. Want nu "haalt" T2 de spanning van aansluiting V omlaag tot een waarde die gelijk is aan de som van de diodespanning van D1 en de (lage) verzadigingsspanning van T2. Het aftakpunt aan E is zo geconstrueerd dat de spanning aan V altijd minder bedraagt dan de som van de spanning aan E plus 0,55 à 0,6 V. Zolang LED1 dus licht geeft, ten gevolge van het geleidend vermogen van T2 blijft alles rustig. Het alarm wordt in werking gesteld zodra T1 warmer wordt (brand!) en daardoor basisstroom aan T2 onttrekt. De collectorspanning van T2 neemt fors toe waardoor V wordt vrijgegeven, de generator zijn werk kan doen en een alarmsignaal weerklinkt.

18. Constructieve verschillen

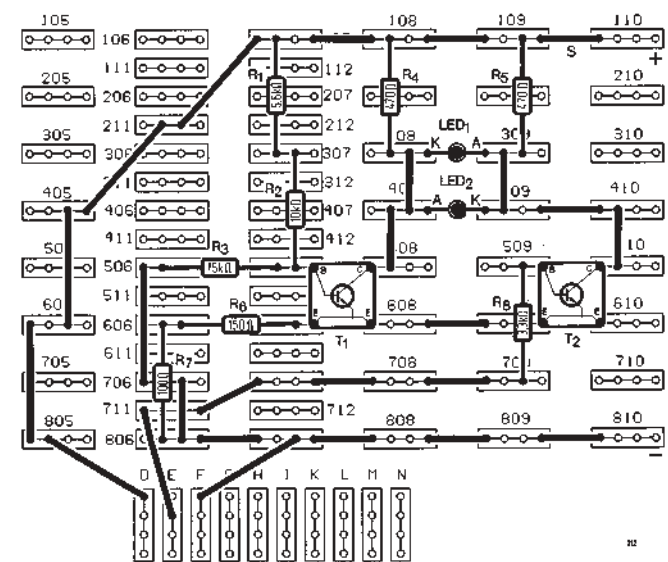
De AMP heeft het aangetoond: twee ingangen bieden veel mogelijkheden. En wat er aan de uitgang gebeurt is afhankelijk van de spanning die er *tussen* de beide ingangen staat. Hoe kan dat er van binnen uitzien?

156

In het experiment zoals aangegeven in figuur 211 wordt alles weer overzichtelijk. Van (bijna) alle bouwelementen vind je er hier twee: transistoren, licht-emitterende diodes, ingangen - ja zelfs uitgangen. En een aftakking voor elke ingang. Waarvan er een instelbaar is. Draai maar eens aan de potmeter! Tijdens de tocht van n naar h gebeuren er interessante dingen: eerst geeft LED1 licht. Als je de potmeter verder opdraait dooft de diode echter. In plaats daarvan licht - even later - LED2 op. Waarom?



Figuur 211. De verschil-versterker; hij beheert de grondbeginselen van de toverij: twee keer fout wordt goed!



Figuur 212. Het opbouwschema bij figuur 211.

Wat we in figuur 211 zien is een *verschil-versterker*. Aangezien het hier transistoren van hetzelfde type betreft, hebben ze beide grotendeels dezelfde eigenschappen. De transistor waarvan de basis tegen min de grootste spanning krijgt geleidt. Omdat de basis van T1 is aangesloten op een vaste spanning (ongeveer de helft van de batterijspanning), kun je door middel van P1 beslissen wat er gebeurt. Dit heeft wel wat weg van de Schmitt-trigger met transistoren. De spanning over de gemeenschappelijke emitterweerstand wordt bepaald door de transistor die op dat moment geleidt. Deze spanning is gelijk aan de spanning over het aftakpunt van de basis verminderd met de basis-emitterspanning. Dat is dus in dit geval ongeveer 4 V. Zolang de spanning aan de basis van T2 kleiner is dan die van T1 beslist T1 wat er gebeurt. T1 geleidt en daarom geeft LED1 licht. Zodra echter T2 voldoende basisspanning krijgt vanuit P1, d.w.z. iets meer dan de spanning aan de basis van T1, begint T2 te geleiden. Door P1 wat verder op te draaien kun je ervoor zorgen dat de spanning over de emitterweerstand iets toeneemt. Dan geeft T1 het op, want zijn basisspanning wordt immers door de aftakking aan de linkerkant constant gehouden. Dus geeft hij er de brui aan, en de stroomvoorziening wordt volledig overgenomen door T2. Dat wordt ook aangegeven door LED2. Tussen het moment waarop de ene diode dooft en de andere oplicht, ligt een overgangsfase waarin geen van beide diodes licht geeft. Per slot van rekening moet de betreffende collectorspanning eerst ten opzichte van de batterijspanning zijn afgenomen met de LED-spanning van de LED.

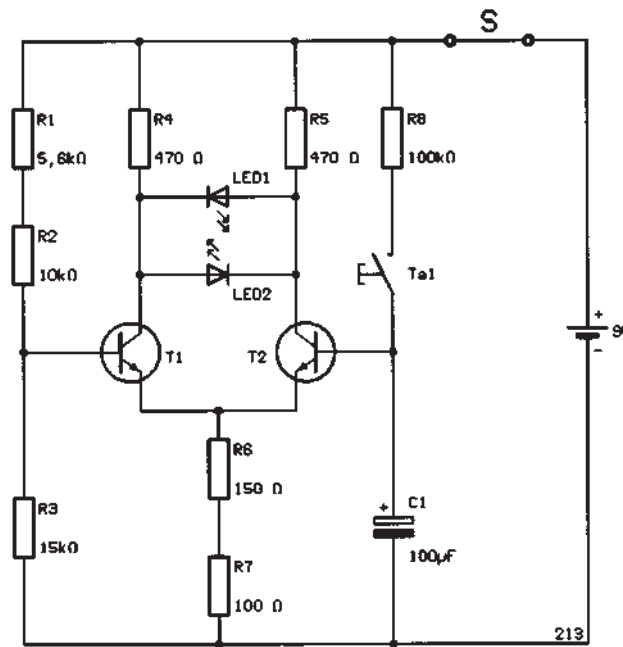
157 We stellen P1 zo in dat LED1 of LED2 (nog) net een beetje licht geeft. Laten we bijvoorbeeld LED1 nemen. Dan verwarmen we T1 met een föhn (waarbij we een stukje karton tussen T1 en T2 plaatsen om ervoor te zorgen dat ook werkelijk alleen T1 wordt verwarmd) en houden de licht-emitterende diode in het oog. Als we P1 goed hebben ingesteld kunnen we zien dat LED1 nu meer licht geeft. Vervolgens verwarmen we (alleen) T2 met als gevolg dat LED1 donkerder wordt. Dat is dus het gebruikelijke warmte-effect. Daarom pakken we weer de föhn en gaan de beide transistoren zo gelijkmatig mogelijk verwarmen. Nu zal de lichtintensiteit van LED1 waarschijnlijk nauwelijks meer veranderen ondanks het feit dat de temperatuur stijgt. Dat doet denken aan het experiment met de stroomspiegel. En nu blijkt: de beide transistoren vertonen (ongeveer) hetzelfde temperatuureffect. Voor de versterker gebruiken we ze alle twee samen. In de praktijk worden ze heel dicht bij elkaar geplaatst. Of ze maken deel uit van een *geïntegreerde schakeling* en zitten dan vanzelf heel dicht opeengepakt op een chip. Het is uitsluitend het *verschil* van hun ingangsspanningen die versterkt moet worden. Ze hebben alle twee hetzelfde temperatuureffect. Dat valt bij het ontstaan van spanningsverschil gewoon weg. Hier wordt dus gebruik gemaakt van een procedé dat in de wetenschap vaak wordt toegepast: zorg ervoor dat een fout twee keer wordt gemaakt en trek de beide uitkomsten van elkaar af. Resultaat: geen fout.

Geen probleem!

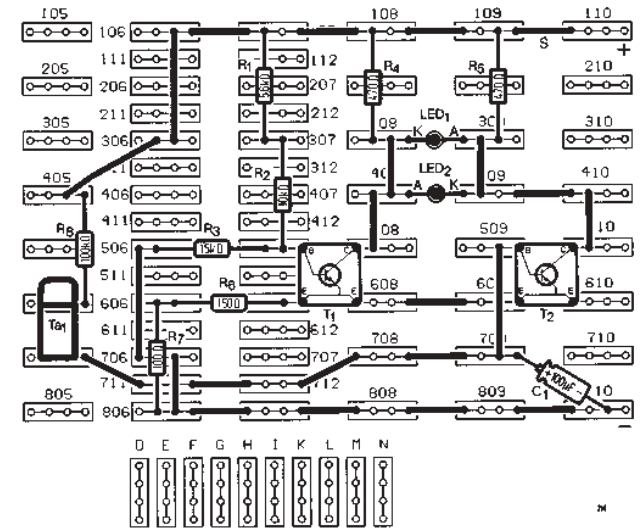
Niveaumeter voor ladingen

Als je elke trap van de verschil-versterker afzonderlijk bekijkt zul je vaststellen dat hij aan de emitterkant erg veel weg heeft van een emittervolger. En die heeft zoals je weet een hoge ingangswaerstand - ruwweg berekend stroomversterking maal emitterweerstand. In onze schakeling komt dat neer op ongeveer 100 k Ω . Dat volstaat om door middel van condensatorladingen ervoor te zorgen dat er voldoende tijd is voor het doen van waarnemingen.

158 Vervang de potmeter door een "tijdafhankelijke aftakking"; 100 k Ω vanuit plus, 100 μ F naar min (figuur 213). Druk op toets Ta1 en wacht tot LED2 oplicht. Eers is T2 gesperd. Dus geeft LED1 licht. In de tussentijd wordt C1 via R8 opgeladen. Daardoor bereikt de spanning van C1 na een poosje de waarde van de spanning over het aftakingspunt van T1: LED1 dooft. LED2 heeft echter pas voldoende spanning wanneer T2 ver genoeg is geopend. Zodra deze diode oplicht, weet je dat de lading van C1 meer bedraagt dan de helft van de batterijspanning en in ieder geval meer dan spanning over het aftakingspunt van T1. Als je Ta1 weer loslaat dooft LED2.



Figuur 213. Vol of leeg: de ladingsmeter geeft opheldering.



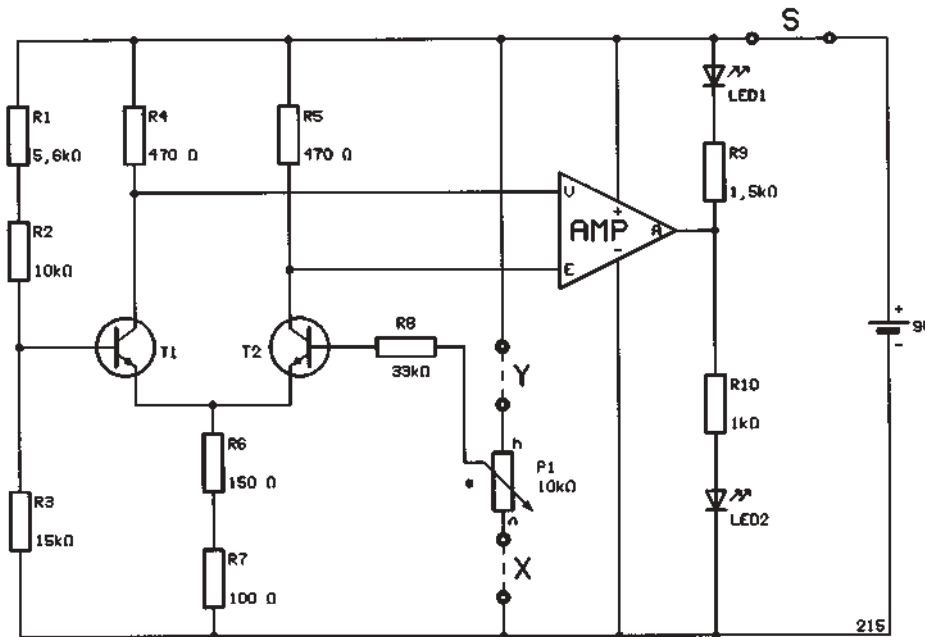
Figuur 214. Het opbouwschema bij figuur 213.

Even later geeft LED1 weer licht en dat betekent: de lading van C1 bedraagt nu minder dan de helft van de batterijspanning. Door zijn lekstroom zal hij spoedig helemaal zijn ontladen.

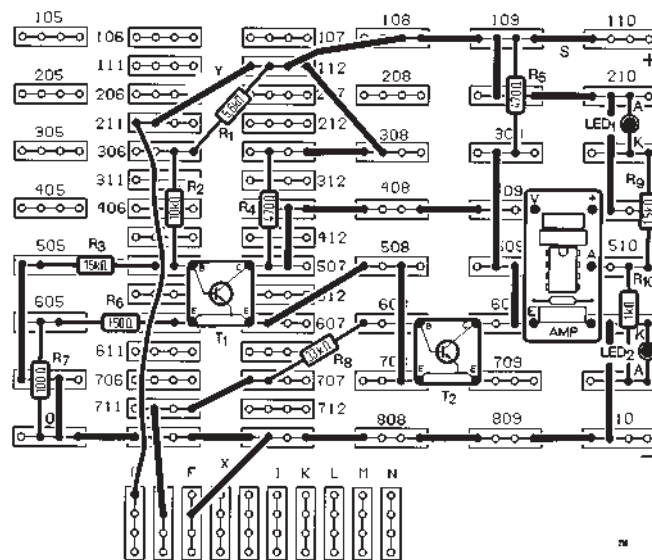
Gevoelige relatie

Eigenlijk is hij in z'n eentje al behoorlijk gevoelig, onze AMP. Laten we nog een stapje verder gaan en de AMP verbinden met de verschil-versterker. Twee uitgangen met twee ingangen - dat is verzorging all-in.

159 De verschil-versterker en de AMP worden met elkaar verbonden zoals aangegeven in figuur 215. P1 zorgt weer voor spanning (aan de basis van T2). In experiment 155 moesten de transistoren de stroom die nodig was om de resultaten zichtbaar te maken, nog gedeeltelijk zelf leveren. Nu laten we dat over aan de AMP. Laten we dus P1 eens opdraaien van n naar h. We zien dan: aanvankelijk, dus wanneer P1 op n staat, geeft LED2 licht. Ongeveer halverwege de schaal wordt deze diode plotseling snel donkerder. Ze is echter nauwelijks gedoofd, of LED1 straalt al helder licht uit. We hebben het gemeten: de overgang van de verschilspanning tussen de basis van T1 en de basis van T2, gemeten tijdens "volle lichtsterkte" van elk van de beide diodes, bedraagt minder dan 10 mV. Ter vergelijking: in figuur 211 moest de verschilspanning al bijna 400 mV worden gewijzigd voordat LED2 in plaats van LED1 helder oplicht. Als we even nadenken komen we tot de volgende conclusie (zie hoofdstuk 17): de AMP heeft amper 0,6 V nodig tussen V en E nodig tussen V en E om te kunnen sturen.



Figuur 215. Zeer hoge sensibeleit dankzij werkverdeling: uiterst gevoelige comparator voor temperatuurverschillen.



Figuur 216. Het opbouwschema bij figuur 215.

De licht-emitterende diodes tussen de collectoren daarentegen hebben een LED-spanning van bijna 2 V die overwonnen moet worden.

160 Nu wordt ook onze temperatuurproef "effectiever". We stellen P1 zo in dat de beide licht-emitterende diodes tegelijkertijd een (zwak) licht uitstralen. Hoe kan dat eigenlijk? Wel - er is in deze schakeling zelfs een moment dat de AMP-uitgang hierop helemaal geen invloed heeft. Namelijk dan wanneer de uitgangsspanning precies gelijk is aan de waarde die de aftakking LED1 - R9 - R10 - LED2 op punt A oplevert. Om ons hiervan te overtuigen trekken we gewoon de AMP uit de klemveren. Vervolgens pakken we eerst T1 en daarna T2 met duim en wijsvinger vast. Dan blijkt: als we T1 verwarmen geeft LED2 meer licht, als we T2 verwarmen heeft LED1 de overhand. Tot slot nemen we nog eens föhn ter hand: als de beide transistoren tegelijkertijd en gelijkmatig worden verwarmd houden de diodes elkaar in evenwicht.

161 We vervangen de bruggen X en Y in de aansluitingen van de potmeter naar min en plus elk door een weerstand van 10 kΩ. Vervolgens stellen we P1 weer zo in dat de lichtsterkte van de beide diodes gelijk is. We zien dan: nu kunnen we veel nauwkeuriger instellen dan zoeven, de potmeter functioneert door de begrenzerweerstand als een "elektrische loop". Nu

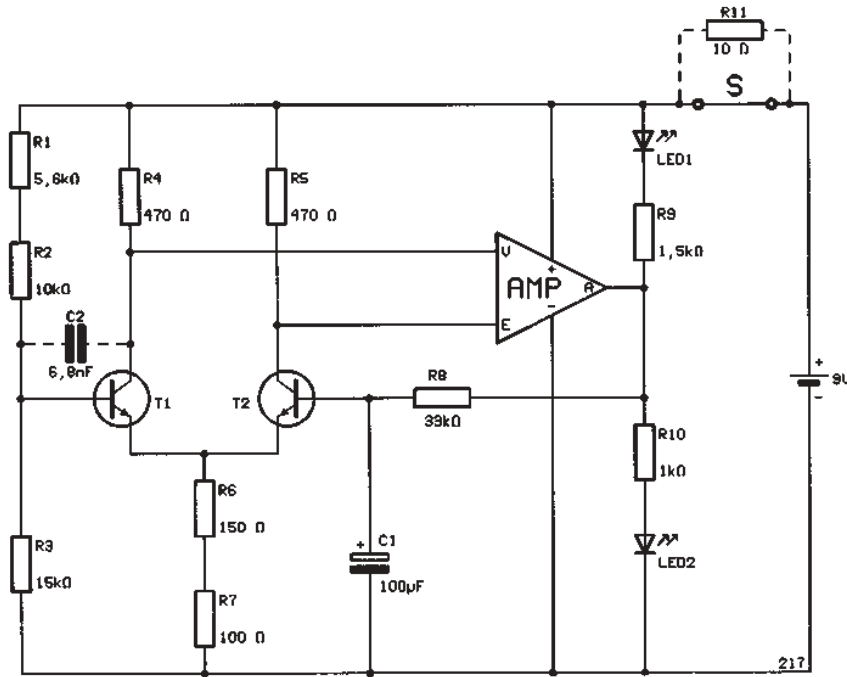
verwisselen we T1 en T2 en wachten een poosje om ze op gelijke temperatuur te laten komen. Daarna stellen we vast: het evenwicht in de lichtsterkte is verschoven want de basis-emitterspanning van de beide transistoren is niet helemaal gelijk. We moeten P1 dus bijstellen.

Effecten van de sterkte

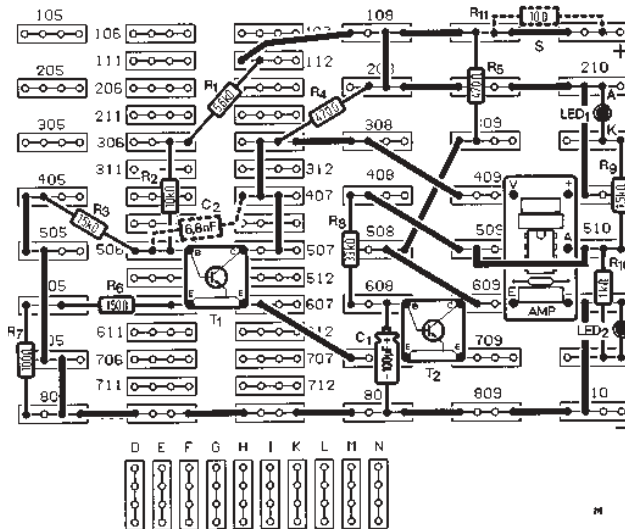
Een probleem waar de technicus vaak mee wordt geconfronteerd doet zich voor, wanneer alles trilt wat juist niet moet trillen. Of omgekeerd. Bij zo'n grote versterking zoals wij die opwekken met onze combinatie van verschil-versterker en AMP, is dat niet te vermijden. We gaan een beetje provoceren:

162 We leiden zoals aangegeven in figuur 217 een spanning van de uitgang A via R8 naar de basis van T2. C1 zorgt ervoor dat die spanning "beheerst" toeneemt. Voor deze proef kun je het beste gebruik maken van een batterij die niet meer helemaal nieuw is. Of je moet de positieve pool van een batterij via de weerstand R11 van 10 kΩ (die wordt aangegeven door het stippellijntje) met de schakeling verbinden. Dat geldt ook bij gebruik van de KOSMOS-net-transformator. Resultaat: de beide licht-emitterende diodes knipperen om de beurt. We vervangen R8 door een weerstand met een waarde tussen 10 kΩ en 100 kΩ en daarna C1 door een condensator van 470 μF. We zien dan dat de knipperfrequentie afneemt wanneer de waarde van R of C1 toeneemt.

163 Nu bevestigen we tussen de basis en de collector van T1 de condensator C2 van 6,8 nF (stippellijntje). Dan geven de beide LED's licht, het knipperen is opgehouden. We hebben dus met behulp van een heel kleine David (6,8 nF) het effect van de grote Goliath (100 μF) ongedaan gemaakt! (?) Nou - dat klopt niet helemaal. De waarheid ligt in het midden. Zolang C1 leeg is, blijft T2 gesperd. De hoge spanning aan A, die daarvan het gevolg is, laadt C1 op via R8 totdat de spanning aan de basis van T2 stijgt tot boven de ingestelde spanning van de basis van T1. Nu daalt de spanning aan de collector van T2 en de AMP schakelt zijn uitgang A naar lage spanning. C1 begint zich te ontladen. Daardoor komt de schakeling onder de bovengenoemde randvoorwaarden (interne weerstand van de stroomvoorziening) in de kritieke fase waarin een trilling met een hogere frequentie wordt opgewekt. Toch blijft de LED continu licht uitstralen. Je kunt die HF-trilling echter op een oscilloscoop bekijken. Deze trilling kan evenwel niet voorkomen dat de spanning aan de basis van T2 afneemt door toedoen van deze ook nu weer "beheerste" ontlading van C1. De ingang E krijgt nu weer hoge spanning en de uitgang verhoogt de spanning eveneens. Dit is heel in het kort een overzicht van wat er gebeurt. Het dient alleen ter verduidelijking van de problemen waarmee een technicus bij dergelijke schakelingen kan worden geconfronteerd. In dit geval biedt een kleine condensator tussen basis en collector van T1 al uitkomst - de HF-trilling is verdwenen, maar de diodes knipperen nu dan ook niet meer.



Figuur 217. De nachtmerrie van de technicus op zinvolle wijze ten nutte gemaakt: alles trilt ...



Figuur 218. Het opbouwschema bij figuur 217.

19. Bruggen van de elektronica

Eigenlijk vormen (spannings-)verschillen ook het onderwerp van dit hoofdstuk. Daarom houden we de föhn die we zoëven hebben gebruikt, bij de hand en gaan we verder met de volgende experimenten. In twee van deze experimenten zullen we gebruik maken van nieuwe onderdelen die in een later stadium nog

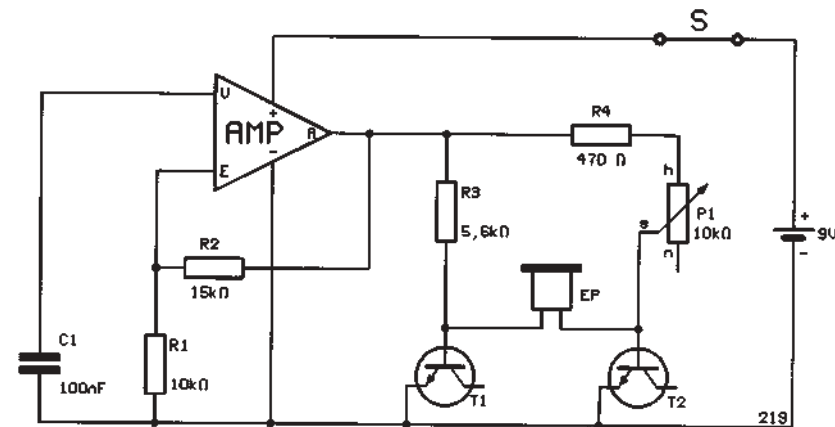
uitgebreid aan de orde zullen komen. Dit wordt dus een voorproefje van wat ons nog te wachten staat.

Geluid opgewekt door koude

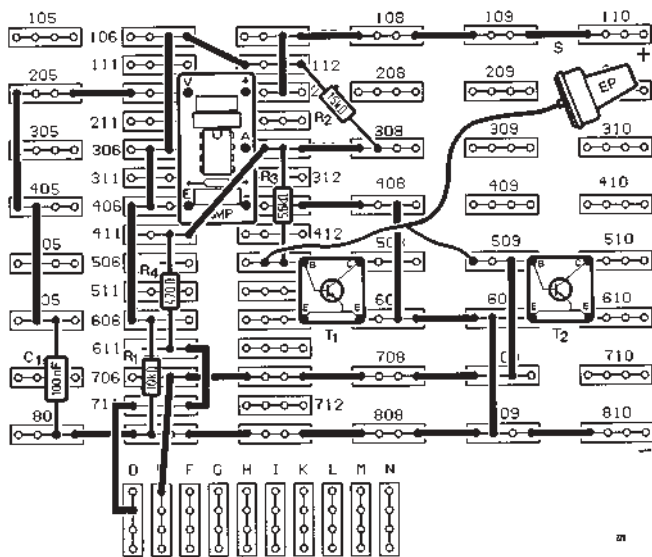
Als je de oortelefoon in je oor stopt kun je naar tamelijk kleine toonfrequente wisselspanningen luisteren. Dus ook naar verschil-spanningen tussen twee punten van een bijzondere soort schakeling, de *brugschakeling*.

164 We rusten de AMP als toonfrequentiegenerator uit met een schakeling zoals aangegeven in figuur 219. In de uitgangskring daarvan bouwen we een dergelijke brugschakeling in. P1 wordt eerst ingesteld op maximale waarde (s op n). Na het aansluiten van de batterij hoor je in de oortelefoon een geluid. Draai P1 vervolgens langzaam op naar h. Dan zul je horen dat het geluid langzaam wegsterft. Als P1 ongeveer het midden van de schaal heeft bereikt, is het helemaal stil. Als je de potmeter verder opdraait komt het geluid terug. Stel de potmeter weer in op *minimale* geluidssterkte. Pak vervolgens T2 vast met duim en wijsvinger en - je zult horen dat het geluid steeds sterker wordt. Zoek daarna de nieuwe minimale geluidssterkte op. Die ligt nu lager op de schaal van P1. Dan ga je T1 verwarmen. En wat blijkt? Het minimum bevindt zich nu hoger op de schaal van P1. Je zult nog een paar keer moeten "bijstellen", totdat de beide transistoren weer dezelfde temperatuur hebben aangenomen.

Als je de positie van de potmeter tijdens het doelbewuste verwarmen en afkoelen van een van de transistoren kalibreert, krijg je een *akoestische thermometer*, waarmee je evenwel alleen *temperatuurverschillen* kunt meten. Maar hoe gaat dat nou in z'n werk? De toonfrequentiegenerator vormt de signaalbron voor de maas bestaande uit R3 en T1 aan de linkerkant en R4, P1 en T2 aan de rechterkant. Tussen de verbindingpunten ervan vormt de oortelefoon een "brug".



Figuur 219. Een brug tussen de temperaturen: in het midden heerst stilte!



Figuur 220. Het opbouwschema bij figuur 219.

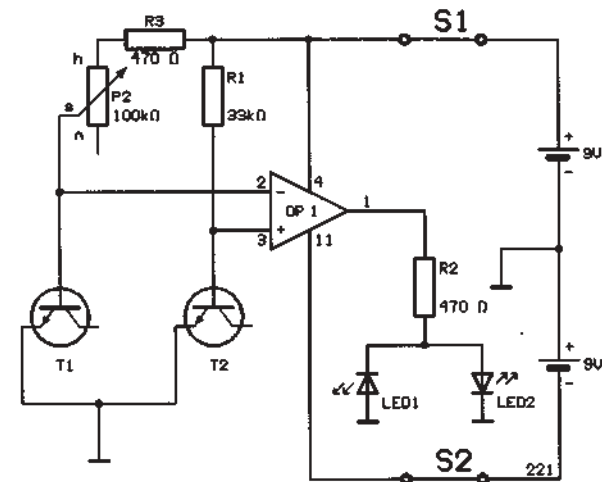
Zo wordt ook de gehele schakeling genoemd. Wanneer er in de oortelefoon een spanningsverschil optreedt, is de brug *ontstemd*. Je kunt ze weer in *evenwicht* brengen door de instelbare rechtterak van de brug zodanig te veranderen dat de spanning aan de rechter aansluiting van de oortelefoon weer gelijk is aan de spanning aan de linker aansluiting. Die veranderingen zijn afkomstig van de basis-emitterdiodes van T1 en T2. Afhankelijk van hun temperatuur bedraagt de spanning over deze diodes een paar millivolt meer of minder. Een hogere spanning aan T1 (kouder) in de linker tak compenseren we door P1 in de rechter tak in te stellen op een lagere waarde. Overigens: R4 fungeert als stroombegrenzer voor T1 voor het geval dat P1 wordt opgedraaid tot de aanslag h.

Brug met verlichting

Vooruitlopend op een groot aantal interessante experimenten gaan we nu voor het eerst gebruik maken van de diensten van een "echte" operationele versterker (OP). We stoppen hem voorzichtig met al zijn pootjes in de lege voet van de IC-module, en wel zodanig dat de inkeping in de behuizing van de geïntegreerde schakeling in de richting van de inkeping in de voet wijst. Van de vier gelijkwaardige versterkers gebruiken we er deze keer slechts een. Wel hebben we twee batterijen nodig. De goede eigenschappen van de operationele versterker komen alleen dan volledig tot hun recht, wanneer alles wordt betrokken op een gemeenschappelijke spanning, "massa". Dat is de horizontale streep aan het eind van de verbindingsdraad van de beide batterijen. De operationele versterker zelf heeft geen eigen aansluiting voor massa. In de volgende proef wordt de operationele versterker gebruikt als een

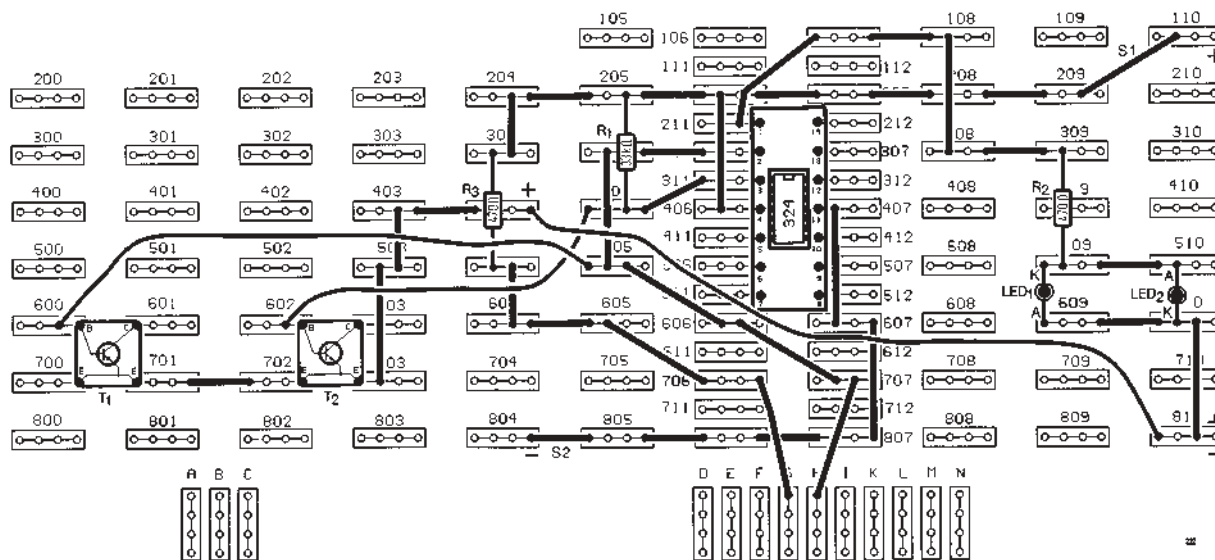
heel gevoelige vergelijkingsschakeling (*comparator*; zie hoofdstuk 24). Hij vergelijkt spanningen met elkaar.

165 Als je de schakeling gaat opbouwen zoals aangegeven in figuur 221, moet je even heel goed op de polariteit van de beide batterijen letten. De bovenste batterij moet je als eerste via de brug S1 aansluiten en als laatste afkoppelen. Als onderste batterij gebruik je de batterij die in het linker gedeelte van het experimenteerpaneel is ingebouwd. Deze batterij wordt door middel van S2 in- en uitgeschakeld. Als de beide batterijen zijn aangesloten, geeft ofwel LED1 ofwel LED2 licht. Draai P2 vanuit de aanslag n langzaam op. In het laatste 1/3 gedeelte van de schaal, tussen s en h, licht LED1 op. Het zal je waarschijnlijk niet lukken de potmeter zodanig in te stellen dat beide licht-emitterende diodes donker zijn. Probeer het maar! Die marge is heel klein. Dat komt omdat de operationele versterker zonder versterkingsbegrenzende schakeling een belangrijke versterking levert. Dan is een paar millivolt al voldoende om de uitgang om te polen van plus naar min. Aangezien de totale weerstand van de potmeter aanzienlijk groter is dan die van R1 is het instelbereik groot genoeg voor uiteenlopende transistortemperaturen. Houd de instelling waarbij LED1 nog net licht geeft, vast en raak T1 heel even aan met je vinger. De kleine verandering van temperatuur die dit tot gevolg heeft, is al voldoende! LED1 dooft en LED2 licht op. Hoe meer je T1 hebt verwarmd, des te langer blijft de schakeling in deze toestand.



Figuur 221. Een nieuwkomer op de commandobrug: de OP registreert en vergelijkt.

Raak daarom vervolgens even T2 aan. Dan is LED1 weer aan de beurt om op te lichten. Een aardig spelletje waarmee je je verbaasde publiek kunt voorgoochelen dat er spoken aan het werk zijn - door handoplegging, aanblazen, aantippen met een beetje after-shave (door verdamping van de alcohol die deze bevat, ontstaat koude) enz. Je voorstelling kan niet meer stuk.



Figuur 222. Het opbouwschema bij figuur 221. Hier zijn alle punten in de schakeling met massasymbool met elkaar verbonden.

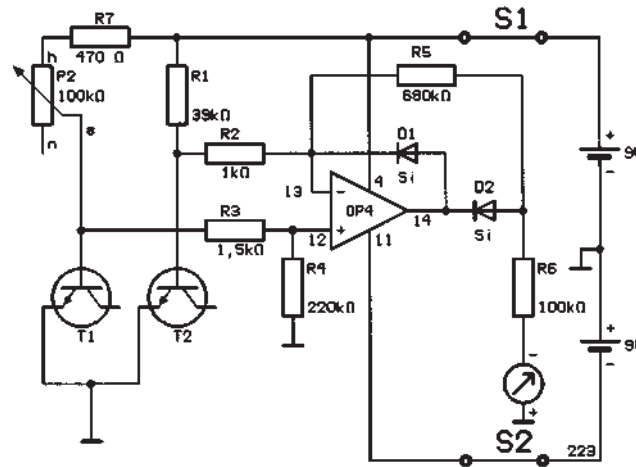
Laten we maar weer eens kijken hoe we dit kunnen verklaren. De brugschakeling bestaat uit R3 (als beveiliging voor T1) en P2 alsmede uit de basis-emitterdiode van T1 aan de linkerkant en uit R1 en T2 (basis-emitterdiode) aan de rechterkant. De batterijvoeding bedraagt in totaal 9 V. P2 dient om bij te stellen. Voor de wijzigingen zorgen de temperatuurgevoelige transistoren. De operationele versterker beschikt over de inmiddels vertrouwde twee ingangen, eentje die de spanning aan de uitgang "omkeert", invertiert, en eentje die alles laat zoals het is (de *niet-inverterende*). De eerste is voorzien van een plussymbool, de tweede van een min-symbool. Het is afhankelijk van de polariteit van de verschil-spanning die er tussen deze twee staat, wat de uitgang zal doen. In dit opzicht bestaat er een grote mate van overeenkomst met de AMP. Alleen betreft die alles op de min-pool van een batterij. En ook het binnenste ervan is iets anders van samenstelling. Als de verschil-spanning tussen de ingangen van de operationele versterker aan de niet-inverterende ingang positief is, geeft de uitgang een ten opzichte van massa van de schakeling hoge positieve spanning af. Dit wordt aangegeven door het feit dat LED2 oplicht. En omgekeerd. Einde van de eerste les in OP-kunde.

Metten is weten

Ook in deze paragraaf komen er veel nieuwe dingen ter sprake. Om te beginnen het "aanlokken". Bij de voortdurende wisselingen tussen een draaibare spoel met wijzer en een permanente magneet gebeurt ongeveer hetzelfde als in de oortelefoon en de luidspreker: een spoel waar stroom doorheen vloeit beweegt zich in een magnetisch veld. Aangezien de wijzer slechts in een richting kan uitslaan, hebben we gelijkstroom nodig met de juiste polariteit. In de vorige proef ging het nu eens de ene kant en dan weer de andere kant op. Daarom waren de licht-emitterende diodes ook "antiparallel" geschakeld. Toch hoeven we aan onze brug niets te veranderen. In plaats daarvan gaan we een beetje toveren met de operationele versterker - eerst met de instelling, daarna met diodes en weerstanden. We zullen dadelijk zien wat dat oplevert.

166

Het opbouwen van de schakeling zoals aangegeven in figuur 223 vereist weer enige aandacht. Let op de juiste polariteit van de diodes, het meetinstrument en de batterijen. De beide diodes komen echter voorlopig nog niet in actie; die heb je pas bij de volgende proef nodig. Vervang D2 door een draadbrug. De plaats van D1 laat je gewoon nog even open. Stel P2 in op maximale waarde (s op h). Dan pas sluit je de beide batterijen aan - deze keer de onderste het eerst. Deze wordt ook als laatste uitgeschakeld. Of breng het meetinstrument als laatste aan en verwijder het weer als eerste, voor het uitschakelen van de batterijen. Wanneer je de hele schakeling op de juiste wijze hebt opgebouwd, zal, als het goed is, de wijzer vlak bij de rechter aanslag staan. Daar kun je wat aan doen. Draai P2 zo ver in de richting van n dat de wijzer ongeveer in het midden staat. Nu is de brug weliswaar ontstemd, maar dat heeft ook een praktisch nut.



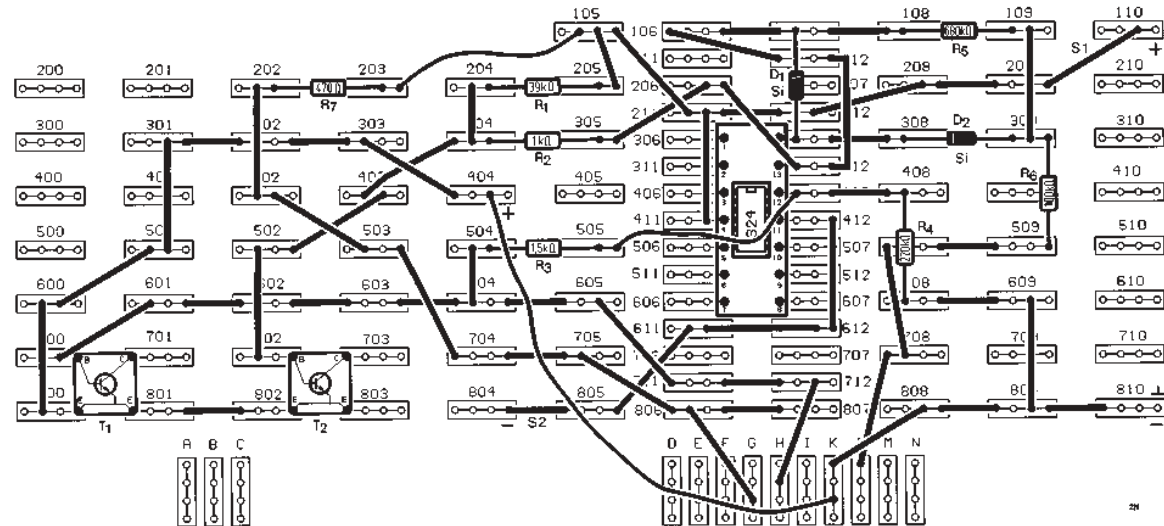
Figuur 223. De juiste richting: precisie-gelijkrichter als beveiliging voor het meetinstrument.

Raak T1 maar eens aan met je vingers: de wijzer zal uitslaan naar rechts. En als je T2 aanraakt, gaat de wijzer naar links. Maar terwijl hij aan de rechterkant blijft staan nog voor de maximale uitslag is bereikt, zou hij aan de linkerkant het liefste nog een heel eind verder willen gaan. Helaas is dat onmogelijk vanwege de mechanische blokkering. Voordat de wijzer zich rond deze

aanslag gaat oprollen, kun je beter iets ondernemen om dit te voorkomen.

167

Nu mogen de beide diodes meedoen. Dus: maak een pool van elk van de beide batterijschakelaarbruggen los, bevestig D1, verwijder de draadbrug, bevestig D2. Controleer de polariteit! Sluit de batterij weer aan. Draai vervolgens P2 zo ver naar n dat de wijzer net ietsje hoger komt te staan dan nul. Draai bij wijze van proef P2 duidelijk in de richting van h. Daar trekt de wijzer zich nu vrijwel niets meer van aan, hij heeft nagenoeg alle belangstelling voor het "linker milieu" verloren. Je kunt hem nu nog alleen laten uitslaan (naar "rechts", waar nog genoeg ruimte op de schaal is) door T1 te verwarmen of T2 af te koelen (of P2 naar n te draaien). Door het inbouwen van D1 en D2 (alsmede R5) hebben we onze schakeling uitgebreid met een *enkelzijdige gelijkrichter*. En niet zomaar de eerste de beste. In deze schakeling met een operationele versterker functioneert hij als *ideale gelijkrichter* zonder enige diodespanning. Een paar millivolt in de juiste richting is al voldoende om aan de uitgang het (in dit geval zelfs nog versterkte) "effect" te verkrijgen. Dat is te danken aan D2. Haar diodespanning wordt door de operationele versterker-uitgang gecompenseerd. (Die diodespanning is gelijk aan het verschil tussen de spanning van de operationele versterker-uitgang en die van de uitgang van de schakeling.) De uitgang van de schakeling ligt achter D2, waar het meetinstrument is aangesloten. D1 vormt slechts een baan voor de stroom die bij tegengestelde polariteit van de ingangsspanning in omgekeerde richting uit de uitgang wil vloeien, hetgeen anders wordt verhinderd



Figuur 224. Het opbouwschema bij figuur 223.

door D2. Voor het meetinstrument zou hij dan immers in de verkeerde richting vloeien. Een insider met inzicht in dergelijke processen word je op z'n laatst wanneer je het nog volgende hoofdstuk over operationele versterkers onder de knie hebt.

20. NE 555: een veelzijdig talent

Hij versterkt, vergelijkt, vertraagt, schakelt, trilt - al naargelang je gebruik maakt van zijn acht aansluitingen. Het is een echte allrounder. Dat hij al bijna twintig jaar geleden werd ontworpen, kun je alleen zien aan het grote aantal schakelingen waarin hij wordt toegepast.

Het roemrijke vijftal

Vijf functiegroepen zijn op de chip van de 555 met elkaar verbonden: twee comparatoren, aan de ingang uitgerust met een vaste spanningsdeler, bestaande uit drie weerstanden van ongeveer gelijke waarde, aan de uitgang aangesloten op een RS flip-flop waarvan de inverterende reset-ingang naar buiten is gevoerd; aan de uitgang van de flip-flop bevinden zich twee versterkers - eentje met een balanstrap (die kan dus zowel stroom leveren als "afnemen"), de andere met een open collector (kan dus alleen stroom "afnemen", voorzover hij actief is). Die functioneert tussen ongeveer 4,5 V en 16 V. De aansluitingen worden als volgt aangeduid: OUT = balansuitgang (3); DIS = ontladuitgang (7) ("discharge", dat is die met de open collector); R = reset-ingang (4); CTRL = controlespanning (5) (inverterende ingang van de bovenste comparator, ingesteld op 2/3 van de batterijspanning); K1 = diode-spanningsingang (6) (niet-inverterende ingang van de

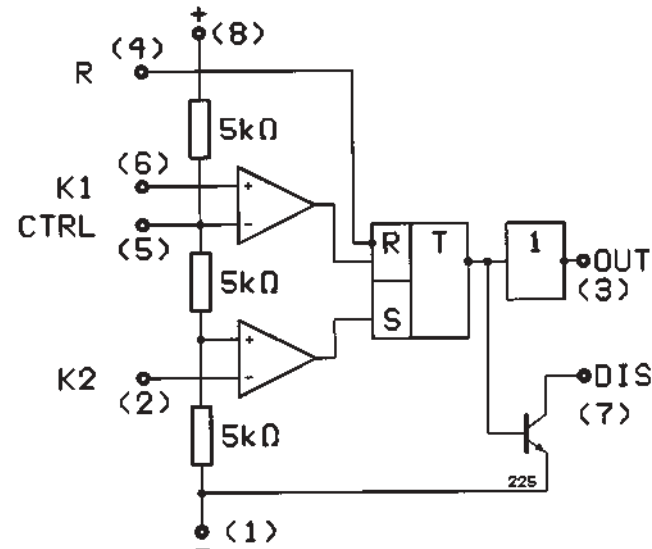
bovenste comparator, reageert dus vanaf 2/3 van de batterijspanning); K2 = trigger-ingang (2) (inverterende ingang van de onderste comparator; de niet-inverterende ingang van deze comparator is intern via weerstanden ingesteld op 1/3 van de batterijspanning en reageert dus vanaf 1/3 van de batterijspanning). Figuur 225 laat zien hoe de interne verhoudingen in de 555 zijn geregeld. Daardoor zul je een en ander gemakkelijker kunnen begrijpen. De spanningsdeler, bestaande uit 3 weerstanden van 5 k Ω , is overigens een van de belangrijkste trucs in de 555: hoe de werkspanning ook is aangelegd, de comparatoren reageren altijd bij 1/3 respectievelijk 2/3 van deze spanning. Dat heeft tot gevolg dat je bij de meeste toepassingen nauwelijks afhankelijk bent van de hoogte van de werkspanning.

De 555 als trigger: springt over alle drempels

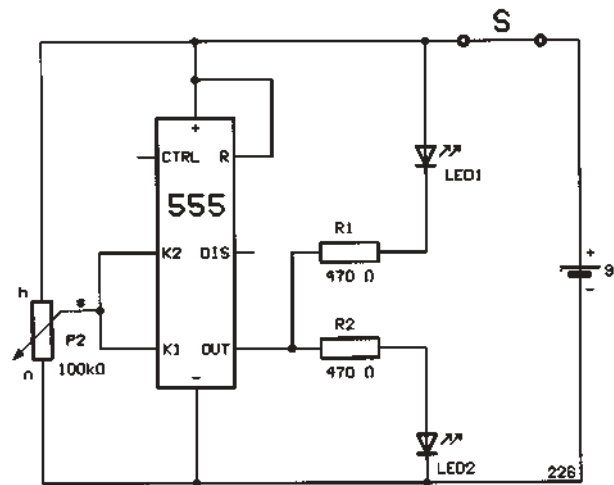
Als je te maken hebt met twee comparatordrempels, ligt het voor de hand de 555 als trigger te gebruiken.

168

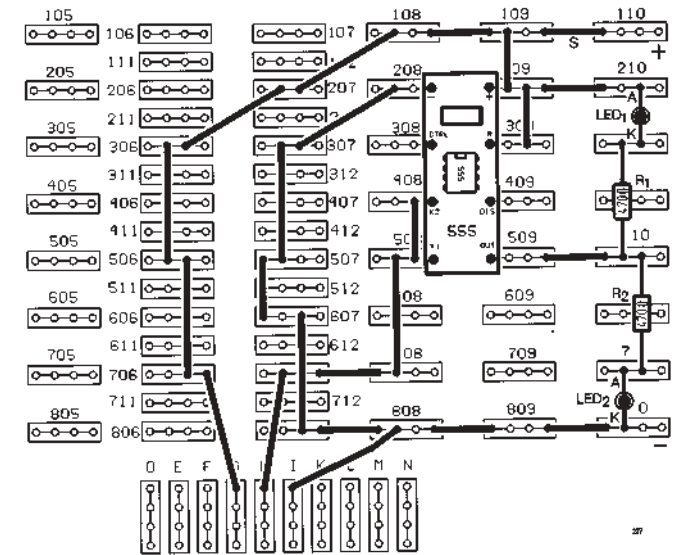
In de schakeling aangegeven in figuur 226 blijven twee aansluitingen onbezet. We gaan ook deze keer weer de ingangs-uitgangsreacties onderzoeken. We verdraaien P2 en stellen dan vast: vanaf de onderste aanslag (n) tot ongeveer 1/3 voor de bovenste aanslag (h) geeft LED2 licht. De stroom vloeit dus uit de uitgang naar buiten. Dan verandert de situatie plotsklaps en fungeert LED1 als indicator. Nu vloeit de stroom dus de uitgang in, naar de min-pool. Wanneer we nu P2 terugdraaien, wordt de begintoeestand pas hersteld bij 1/3 voor de onderste aanslag: dan geeft LED2 weer licht.



Figuur 225. Bezichtiging van een schakeling: het inwendige van de 555.

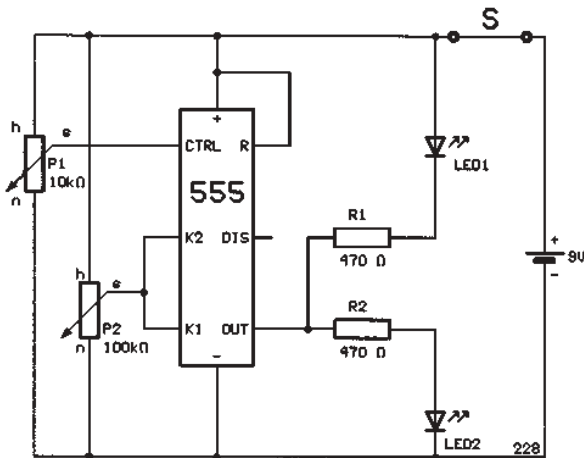


Figuur 226. Slimme schakeldrempels: trigger met stabiele condities.



Figuur 227. Het opbouwschema bij figuur 226.

Als we op zoek gaan naar een verklaring en daartoe figuur 225 eens wat nader bestuderen, worden onze vermoedens bevestigd: de onderste comparator is blijkbaar verantwoordelijk voor het eerste instelbereik van P2 vanuit de onderste aanslag. Laten we even memoreren wat we al hebben geleerd. De verschilspanning aan de ingangen van K2 (de interne, niet-inverterende ingang in de verdeler en de naar buiten geleide aansluiting no. 2) is voorlopig positief, dus de spanning aan de uitgang ervan ook. En dientengevolge ook de set-ingang van de flip-flop. De flip-flop wordt geset en de uitgang OUT komt onder hoge spanning te staan. De waarde van die spanning bedraagt bijna 1,5 V minder dan de waarde van de werkspanning. Vandaar dat LED2 licht geeft. Wanneer de ingangsspanning hoger wordt dan de ingestelde waarde van K2 (1/3 van de batterijspanning), wordt S negatief. Aangezien S en R echter uitsluitend op hoge spanning reageren ("positieve logica"), gebeurt er voorlopig nog niets. Pas wanneer de spanning oploopt tot 2/3 van de batterijspanning, komt er beweging in de schakeling. Nu stijgt de spanning aan K1 (aan de niet-inverterende ingang) tot boven de spanning van de tweede weerstand van de spanningsdeler en schakelt diens uitgang de ingang R naar hoge spanning. Als R onder hoge spanning staat, wordt er gereset. De uitgang OUT wordt negatief geleidend en LED1 oplicht. Wanneer we de potentiometer terugdraaien, bereiken we het punt waarop de uitgang van comparator 2 de flip-flop weer onder hoge spanning zet, pas bij 1/3 aan comparator 2. Daarna verloopt het proces weer zoals hierboven beschreven.

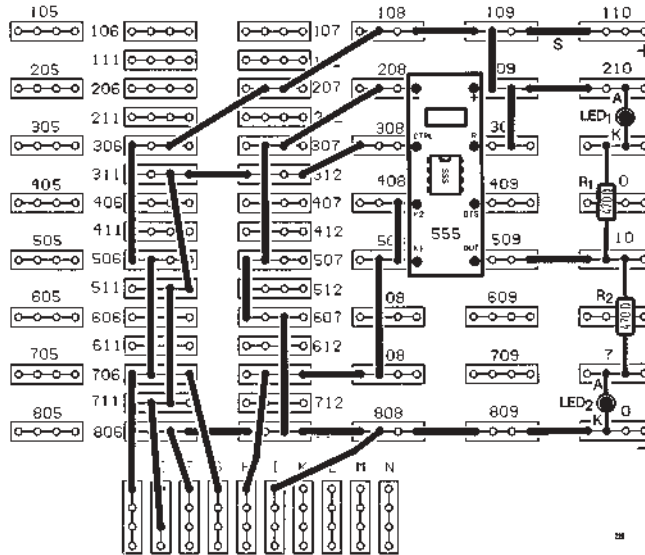


Figuur 228. Voor het beheer van de drempels: timer-control-tower met P1.

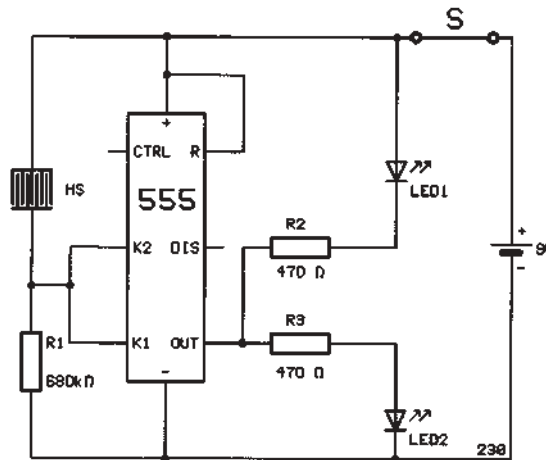
We hebben hier dus te maken met een trigger, waarvan de hysteresis gelijk is aan $1/3$ van de werkspanning. Dat is voorwaarde voor de voornaamste toepassing van deze schakeling als *timer* (tijdgever) met stabiele eigenschappen. Daar zullen we later nog op terugkomen. Ook zullen we schakelingen leren kennen waarbij de triggerdrempels en de hysteresis worden aangepast voor bepaalde doeleinden.

169 We veranderen nu de polariteit van de aansluiting R van plus in min en stellen vast: LED1 blijft licht geven ongeacht de instelling van P2. We onthouden dus: wanneer R wordt aangesloten op de min-pool, schakelt hij de uitgang naar lage spanning en wordt de flip-flop gereset.

170 We breiden onze schakeling uit met een tweede potentiometer (P2) zoals aangegeven in figuur 228. P2 wordt eerst ingesteld op $1/3$ van het instelbereik, dus in de buurt van min. Vervolgens gaan we weer met behulp van P2 op zoek naar de schakelpunten. En wat blijkt? Deze punten liggen nu lager en dichter bij elkaar. Nu draaien we P2 op tot in het bovenste $1/3$ gedeelte (dus tot in de buurt van h). Als we nu de instelling van P1 veranderen, blijkt dat de drempels lager liggen en verder uit elkaar. We onthouden: zoals blijkt uit figuur 225 is de CTRL-aansluiting het punt waarop de spanningsdeler de batterijspanning tot $2/3$ vermindert. Dat is het referentiepunt voor K1. De helft van deze spanning vinden we terug aan K2 als referentiespanning. Wanneer de polariteit van de spanning aan CTRL van buitenaf wordt gewijzigd ("gecontroleerd") heeft dat ook zijn uitwerking op de schakeldrempels. De 555 kan dus via vier aansluitingen worden gestuurd. Dat is mede een verklaring voor de grote verscheidenheid van zijn toepassingsmogelijkheden.



Figuur 229. Het opbouwschema bij figuur 228



Figuur 230. Een vleugje vochtigheid: de Schmitt-trigger in de klimatologische test.

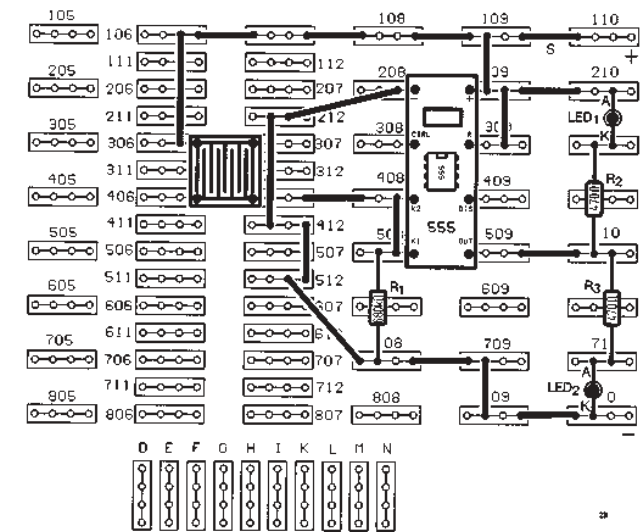
171 We gaan meteen nog een handig apparaatje bouwen waarbij de trigger goed van pas komt (figuur 230). Zoals je je wellicht nog kunt herinneren hebben we eerder al eens geëxperimenteerd met een hygro-sensor die we met een laagje keukenzout hadden bedekt. Deze sensor komt nu in plaats van de "bovenste" weerstand van P2 in figuur 226. In plaats van de "onderste" weerstand wordt R1 met een waarde van $680\text{ k}\Omega$ in

de schakeling opgenomen. Als de lucht droog is, geeft LED2 licht, want de sensor heeft dan een heel hoge weerstand. De spanning aan het knooppunt K1/K2 bedraagt minder dan $1/3$ van de batterijspanning. Even op de sensor ademen is genoeg om ervoor te zorgen dat LED2 dooft en LED1 oplicht. Totdat de sensor weer droog is. Waarom de schakeling zo reageert, hebben we al in figuur 226 gezien. En waar kun je zo'n schakeling voor gebruiken? Nou, bijvoorbeeld voor een luchtbevochtiger die niet door middel van een LED, maar door een relais wordt in- en uitgeschakeld. We raden je aan hiervoor gebruik te maken van de KOSMOS-nettransformator. Verderop zullen we nog meer fraaie voorbeelden geven van een dergelijke besturing.

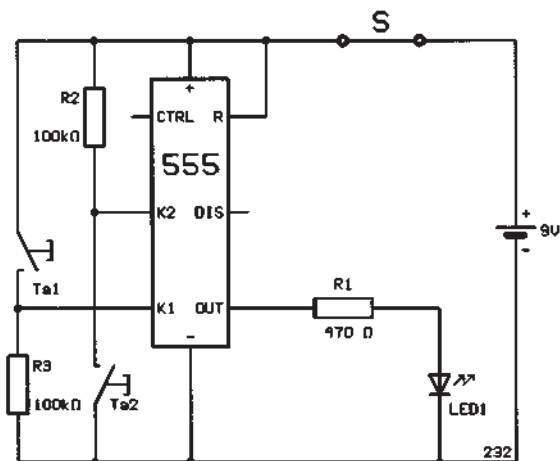
Flip en flop in de 555

In het volgende experiment laten we de flip-flop functie van de 555 te voorschijn komen.

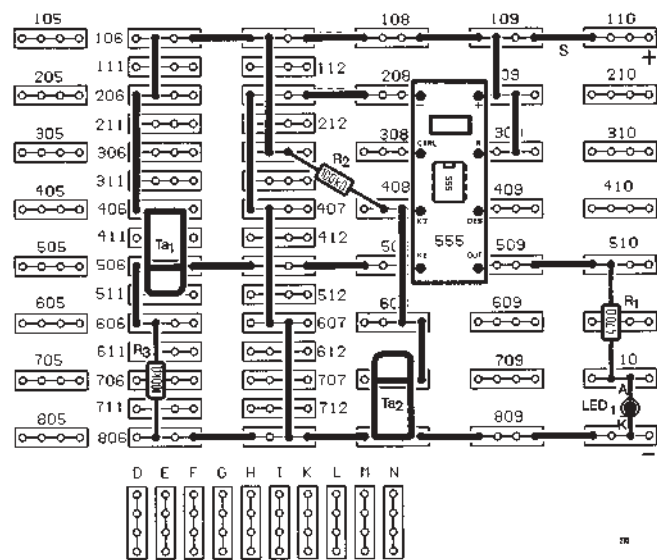
172 De schakeling zoals aangegeven in figuur 232 heb je in een mum van tijd opgebouwd. Als je de batterij inschakelt, licht meestal LED1 op. Als je op toets Ta1 drukt dooft de diode; door een druk op toets Ta2 schakel je ze weer in. Dat is logisch, want als LED1 geen licht uitstraalt, wil dat zeggen: de uitgang heeft een negatieve polariteit. De reset-uitgang is dus in werking. Die wordt op zijn beurt gestuurd door K1 zodra de uitgang van deze comparator meer dan $2/3$ van de batterijspanning krijgt. Daar zorgt Ta1 voor. Als we daarentegen op toets Ta2 drukken, verlagen we de spanning aan K2 en dan wordt de flip-flop geset. Dan krijgt de uitgang dus een hoge spanning en licht LED1 op.



Figuur 231. Het opbouwschema bij figuur 230.



Figuur 232. Voor elke drempel de juiste spanning: het flipt en flopt.

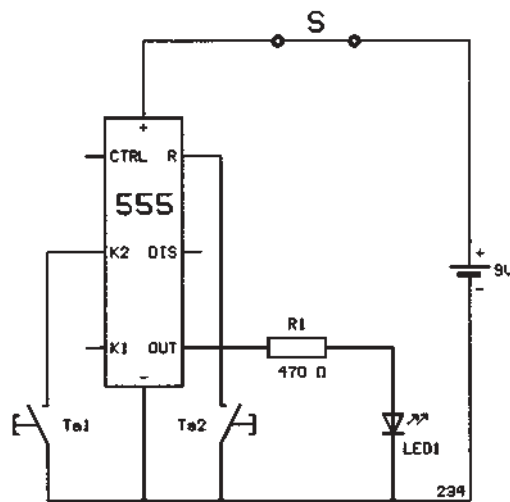


Figuur 233. Het opbouwschema bij figuur 232.

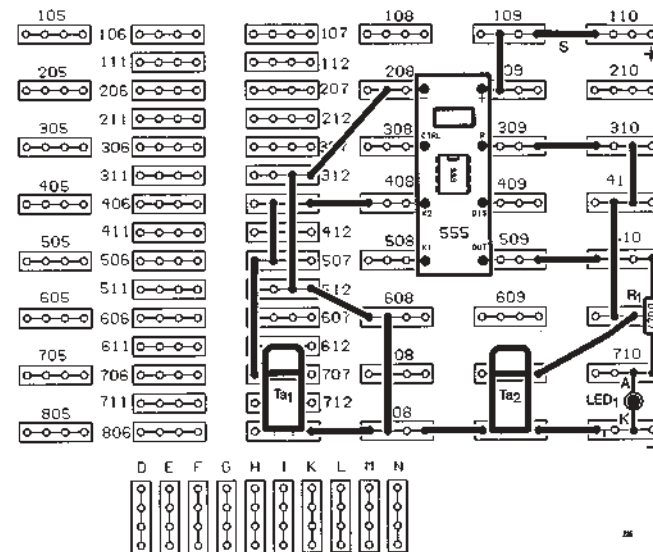
Voor een vakman op het gebied van de digitale techniek die deze schakeling onder ogen krijgt, ziet de zaak er als volgt uit: Ta1 - reset, schakelt met *high* (hoge spanning) de uitgang naar *low* (lage spanning). Ta2 - set "dwars" (met een dwarsstreepje, dat wil zeggen "inverterend") schakelt met *low* de uitgang naar *high*.

173 We laten de vorige proefschakeling nog even zoals hij is en drukken weer op toets Ta2, zodat LED1 oplicht. Deze keer laten we deze toets echter niet los. Als we nu bovendien op toets Ta1 drukken, dooft LED1 niet. Dat gebeurt pas wanneer we Ta2 loslaten. Als we er nu voor zorgen dat Ta1 gesloten blijft, heeft een druk op toets Ta2 slechts tot gevolg dat LED1 alleen blijft licht geven zolang we op deze toets blijven drukken! Daaruit kunnen we concluderen: de onderste comparator "overheerst" de bovenste, is dus sterker dan deze. Wanneer aansluiting 2 (K2) een constante negatieve polariteit heeft, heerst er aan de uitgang een hoge spanning (positief). Wanneer daarentegen aansluiting 6 (K1) een positieve spanning heeft, terwijl aan de uitgang negatieve spanning heerst, kan de hoge spanning aan de uitgang slechts in stand worden gehouden, zolang K2 verbonden blijft met de minpool. En dat lukt in ieder geval!

174 Overeenkomstig de aanwijzingen in figuur 234 laten we K1 open en sturen de comparator K2 (die verantwoordelijk is voor het setten) en de aansluiting R (die dus reset, en wel inverterend d.w.z. met een lage ingangsspanning) via Ta1 en Ta2. Dan zien we: LED1 gaat aan wanneer K2 een negatieve spanning krijgt (door op toets Ta1 te drukken), maar de diode dooft onmiddellijk zodra ook (of alleen) R negatieve spanning krijgt (door een druk op toets Ta2). In dit geval overheerst dus de aansluiting R. Het bewijs hiervan: druk op Ta1 (LED1 geeft licht) en houd de toets vast. Druk vervolgens ook op Ta2 en je zult zien dat LED1 geen licht meer geeft zolang je op Ta2 blijft drukken. Vervolgens drukken we op Ta2 (LED1 dooft) en houden de toets vast. Nu heeft Ta1 geen invloed meer. LED1 blijft donker.



Figuur 234. De andere flop: de reset-ingang domineert.



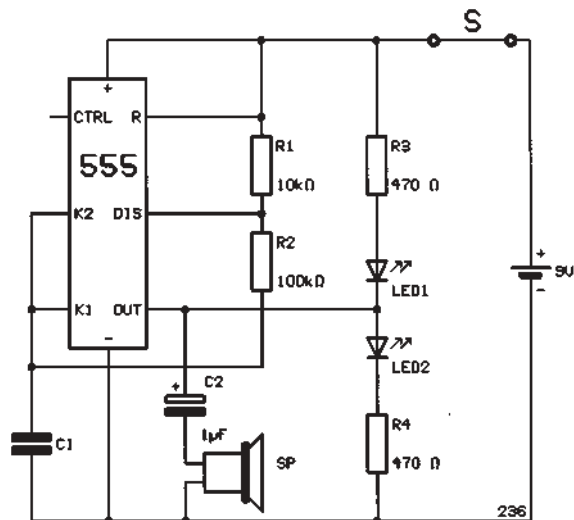
Figuur 235. Het opbouwschema bij figuur 234.

Dus ook wanneer R negatief is kan er aan de uitgang continu een negatieve spanning staan. En als we ook dit weer vanuit "digitaal standpunt" bekijken, ziet er als volgt uit: Ta1 - set "dwars", schakelt met *low* de uitgang naar *high*. Ta - reset "dwars", schakelt met *low* de uitgang naar *low*. Overigens: al deze ingangen zijn zeer gevoelig. Verbaas je dus niet als er opeens een omschakeling plaatsvindt enkel en alleen omdat je een onderdeel hebt aangeraakt of een stukje draad maar aan een kant hebt bevestigd of losgemaakt!

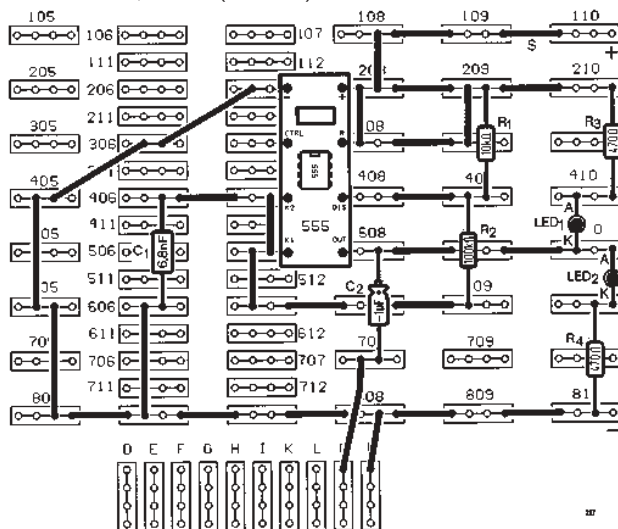
Maat en geluid

Astabiel? Dat is helemaal niet moeilijk - ook niet met de 555. In feite vormen astabiele schakelingen zelfs de hoofdmoot van de toepassingsmogelijkheden van de 555. Alleen of in combinatie met andere effecten.

175 Als je de schakeling opbouwt zoals aangegeven in figuur 236 krijg je de typische astabiele multivibrator met de 555. Hij is uitgerust voor beide mogelijkheden: lage frequenties voor het knipperlicht en hogere voor geluid. Op de plaats van C1 bevestigen we eerst een condensator met een waarde van 6,8 nF en we maken gebruik van de luidspreker. Daarna vervangen we C1 door een condensator van 10 μF en letten op de reactie van de licht-emitterende diodes. Die zullen om de beurt knipperen, al zijn de periodes waarin ze licht geven niet altijd even lang. Daar zullen we het nog over hebben. Eerst maar weer de gebruikelijke vraag: hoe doet hij dat? Wie tot dusver heeft meegedacht kan het antwoord daarop zelf direct wel geven.



Figuur 236. De astabiele multivibrator: de 555 in een van zijn hoofdrollen. De frequentie f kun je in Hz uitrekenen als je de capaciteit $C1$ in farad en de weerstanden $R1$ en $R2$ in ohm invult in de vergelijking: $f = 1,433 / C1 (R1 + 2R2)$.

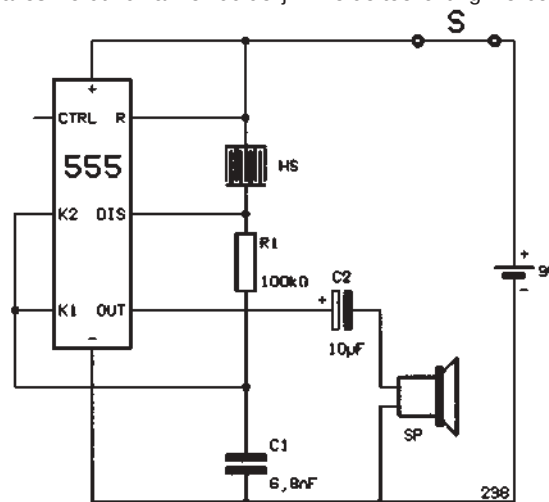


Figuur 237. Het opbouwschema bij figuur 236.

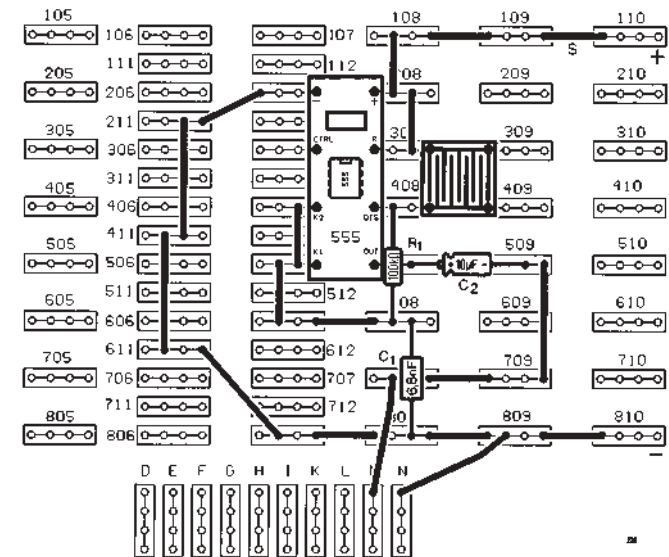
Als we figuur 225 aan een grondig onderzoek onderwerpen stellen we vast: deze keer doet ook de ontlad-uitgang DIS mee. Hij gaat volledig in negatieve geleiding zodra de uitgang OUT dat eveneens doet. Dat gebeurt wanneer de spanning aan K1 is toegenomen

tot iets meer dan 2/3 van de batterijspanning. Daarvoor zorgen $C1$ en $(R1 + R2)$. Dat is bij 6,8 nF en 110 kΩ tamelijk snel het geval (tijdconstante ongeveer 7,5 ms). $C1$ ontlad zich nu alleen via $R2$ in DIS. Dat gaat sneller dan het laden. Als de spanning over $C1$ is gedaald tot 1/3 van de batterijspanning, gooit $K2$ weer alles om: DIS spert, $R1$ en $R2$ laden $C1$ weer op tot 2/3 van de batterijspanning. Omdat dit periodieke proces zich in enkele milliseconden voltrekt en voortdurend wordt herhaald, klinkt er uit de luidspreker een geluid. Het is de uitgang OUT die daarvoor zorgt: als de uitgangsspanning hoog is gaat de stroom afkomstig van OUT door SP naar $C2$ om deze op te laden; wanneer vervolgens $C2$ geleidend wordt naar min en zich ontlad, vloeit de stroom in tegengestelde richting door SP. Dit heen en weer gaan horen we in de luidspreker. Als we voor $C1$ een condensator met een zeer grote waarde kiezen, gaat dit wisselen in een veel rustiger tempo. Dan zijn de in figuur 236 eveneens aangegeven licht-emitterende diodes op hun plaats.

176 Spannend wordt het als je in plaats van $R1$ in figuur 236 een sensor in de schakeling opneemt (HS, figuur 238). Gebruik daarvoor de module die je al eerder van een laagje keukenzout hebt voorzien. Als de lucht droog is, zul je wellicht nog helemaal niets horen. Je hoeft echter maar even met een vochtige vinger in de buurt te komen van de HS om de luidspreker "aan de praat" te krijgen. En je kunt het effect nog versterken door op de sensor te ademen. Dan wordt de toon die in het begin nog tamelijk diep was, behoorlijk schril, totdat de sensor weer is opgedroogd. Hoe dat in z'n werk gaat? Wij verklappen niets, maar alles wordt nu vanzelf duidelijk - zie de toelichting hierboven!



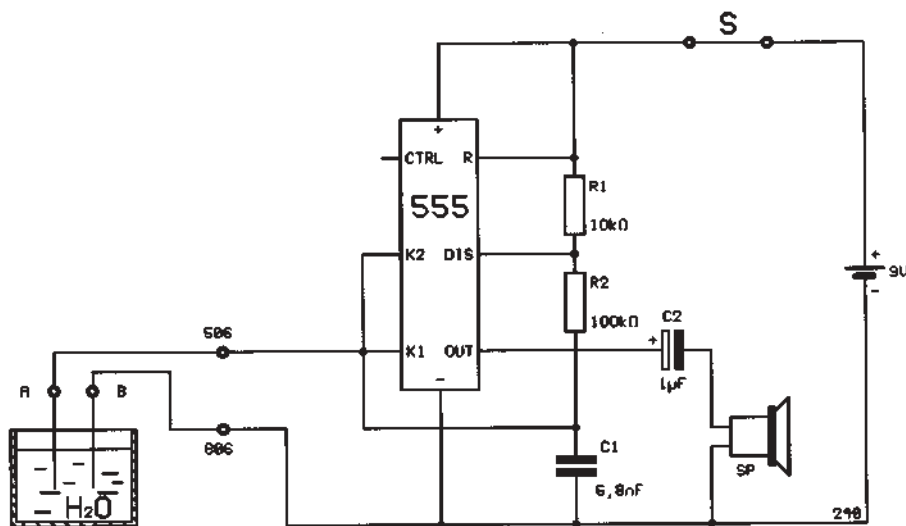
Figuur 238. Luchtvochtigheid is relatief: de toonhoogte verschaft opheldering: hoe vochtiger de lucht, des te hoger de toon.



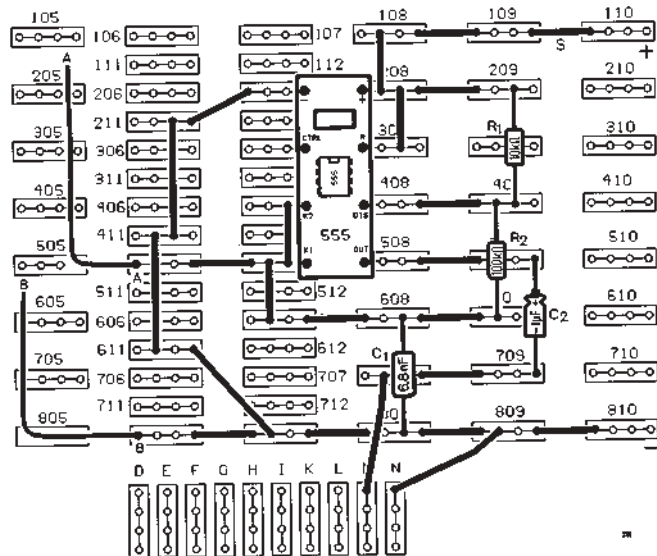
Figuur 239. Het opbouwschema bij figuur 238.

177 Voor "gewoon", dus geleidend water volstaan twee stukken draad met afgestripte uiteinden als sensor. We verbinden die met punt A (klemveer 506) en B (klemveer 806) van de schakeling aangegeven in figuur 240 en stellen de schakeling weer in werking. De plaats van de onrustige sensor uit de vorige proef is nu weer ingenomen door de stabiele weerstand van 10 kΩ. Dat resulteert in het al bekende opdringerige waarschuwings-sig-naal. Dat brengen we tot zwijgen door de beide uiteinden van de draden onder te dompelen in water. Als je die zodanig in het bakje steekt dat de uiteinden maar net onder water komen, zal er na verloop van tijd alarm worden geslagen. Dat komt door de verdamping waardoor de waterspiegel daalt en de kortsluiting tussen de uiteinden van de draden wordt opgeheven. Uitermate geschikt voor bijv. het reservoir van ruitensproeiers in de auto en voor snelkookpannen in de keuken!

178 We gaan nog even door met "testen en onderzoeken". Figuur 242 laat een nuttige "richtingstester" zien voor diodes en transistoren. We steken het te testen onderdeel in de beide daarvoor opengelaten klemveren (no.109 en no. 110) tussen de plus-pool van de batterij en de pluskant van de 555. Je mag maar in een opstelling een pieptoon horen. Als je dat geluid ook nog hoort nadat je het te testen onderdeel hebt omgedraaid, is er iets niet in de haak. Je kunt op deze manier ook de volgorde van transistorzones bepalen - pnp of npn, dat probleem is dan opgelost. Als je tenminste weet hoe de aansluitingen zitten. Hoor je het geluid wanneer de basis aan de plus-pool van de batterij ligt,

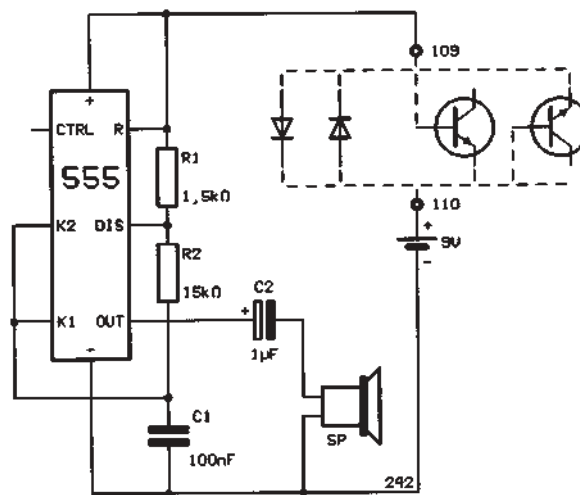


Figuur 240. Pottekijker: slaat alarm wanneer hij droog komt te staan



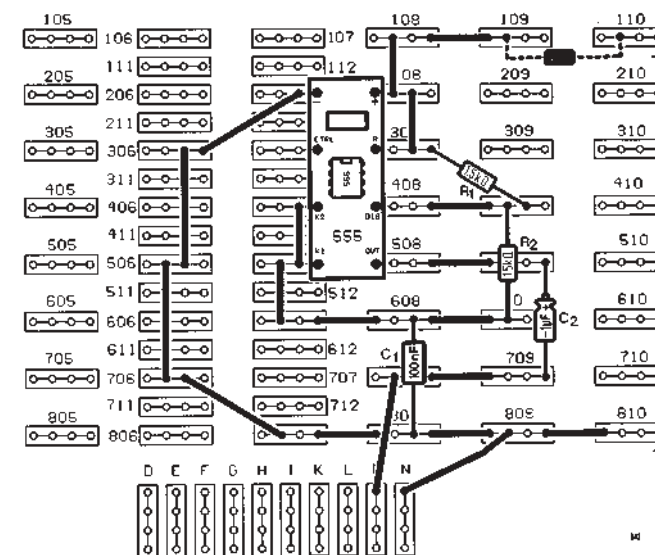
Figuur 241. Het opbouwschema bij figuur 240.

dan heb je te maken met een npn; als je het geluid hoort terwijl de emitter respectievelijk de collector op de plus-pool van de batterij is aangesloten, dan is het een pnp-tansistor.



Figuur 242. Geeft de richting aan: tester voor diodes en transistoren, maar functioneert ook als controlepost.

179 Sommige transistoren zijn niet bestand tegen een hoge sperspanning tussen emitter en collector. Voor zulke transistoren is de volgende testmethode minder riskant: 470 Ω in serie geschakeld met de luidspreker (om de geluidssterkte te verkleinen) en de plus-pool van de batterij direct aangesloten op de 555. Je hoort dan een aanhoudende toon. Plaats het te testen onderdeel vervolgens tussen de plus-pool en de uitgang CTRL (5). De toonhoogte verandert wanneer het pijltje van het

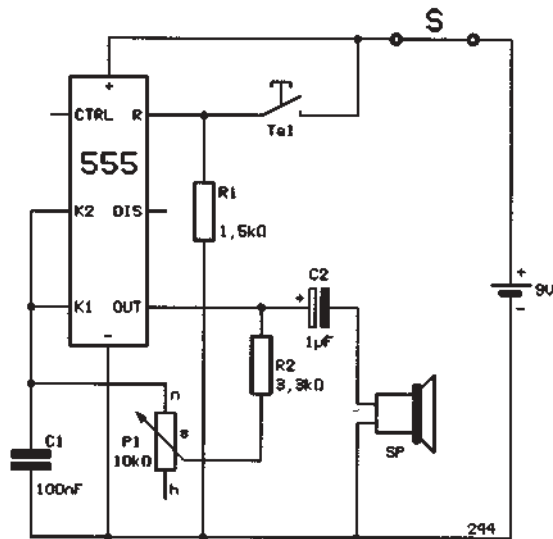


Figuur 243. Het opbouwschema bij figuur 242.

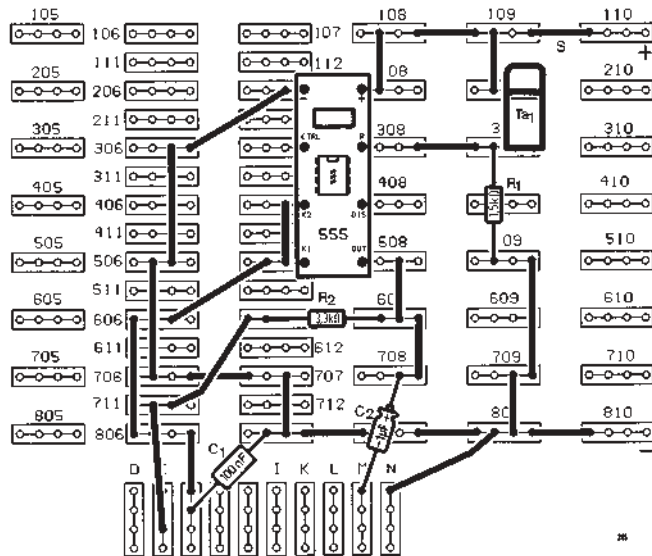
transistorsymbool vanuit de plus-pool in de richting van CTRL wijst. Als het pijltje in de andere richting wijst, mag de grondtoon niet veranderen, anders is er met de transistor iets niet in orde.

180 Een andere soort test is die voor radioamateurs. De schakeling aangegeven in figuur 244 is prima geschikt voor het genereren van morsetekens. De toon wordt alleen opgewekt wanneer de ingang R via Ta1 positieve spanning krijgt. Voor de afwisseling sturen we het laden en ontladen van 1 via de "hoofduitgang" OUT. Die is voor dit doel net zo geschikt als de uitgangen DIS en plus. Met behulp van P1 kun je de toonhoogte aanpassen aan je "eigen smaak".

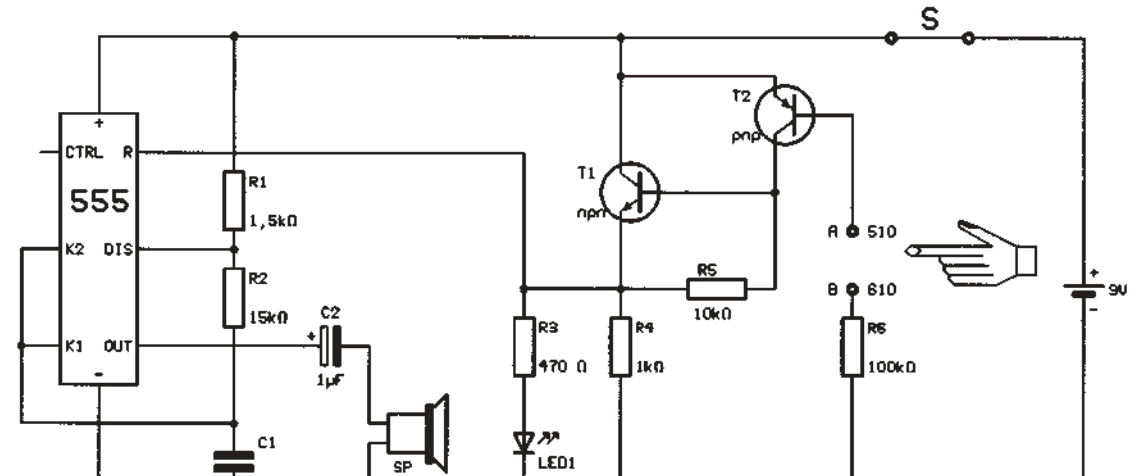
181 Je kunt ook met een natte vinger morsetekens seinen. Je moet dan even teruggrijpen op een van de vroegere experimenten. Zoals aangegeven in figuur 246 brengt de npn/pnp-Darlingtontrap de schakeling op gang wanneer de emitterstroom van T1 via R4 aan de ingang R positieve spanning opwekt. De optische indicator LED1 geeft dat nog eens extra aan. Er vloeit stroom door T1 telkens wanneer je met je vinger een geleidende verbinding maakt tussen de basis van T2 en R6 (A: klemveer 510, en B: klemveer 610). Opmerking: vooral als je gebruik maakt van de nettransformator kunnen er als gevolg van een hoogfrequente "brom" minder aangename sjirpende geluiden ontstaan, als je de basis het eerst aanraakt. Een condensator van 6,8 nF tussen de basis en de collector van T2 biedt uitkomst!



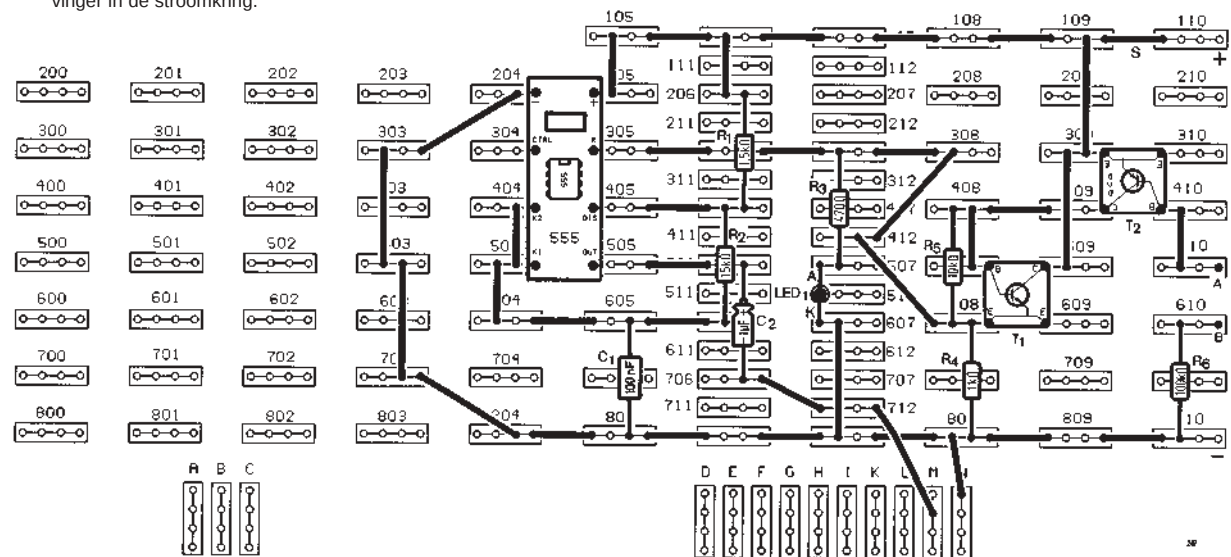
Figuur 244. Puntjes en streepjes: oefening voor het verkrijgen van een zendvergunning.



Figuur 245. Het opbouwschema bij figuur 244.



Figuur 246. Seintoets voor fijngevoelige zendamateurs: met het topje van je vinger in de stroomkring.

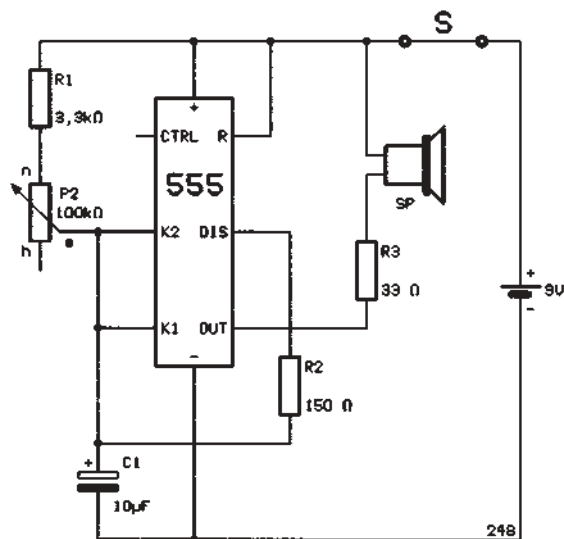


Figuur 247. Het opbouwschema bij figuur 246.

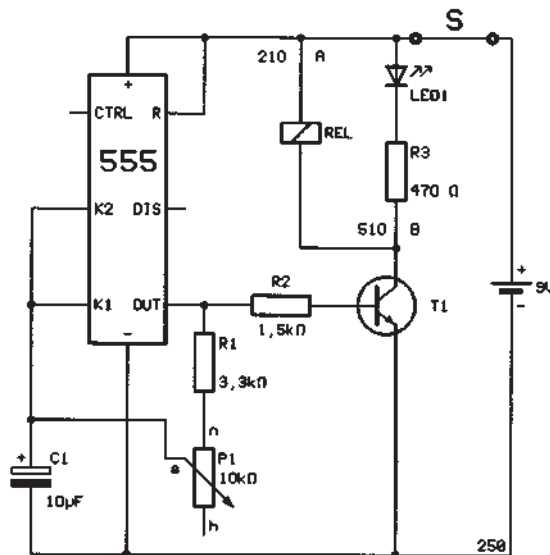
182

Door de schakeling op te bouwen zoals aangegeven in figuur 248 maak je in een paar minuten een metronoom. Als je de batterij aansluit hoor je korte, "droge" knakkende geluiden. Dat klinkt bijna net zo als de echte, mechanische metronoom. Stel P2 in op maximale sterkte (loper naar h): ongeveer twee pulsen per seconde is een minimale waarde voor muzikale oefeningen.

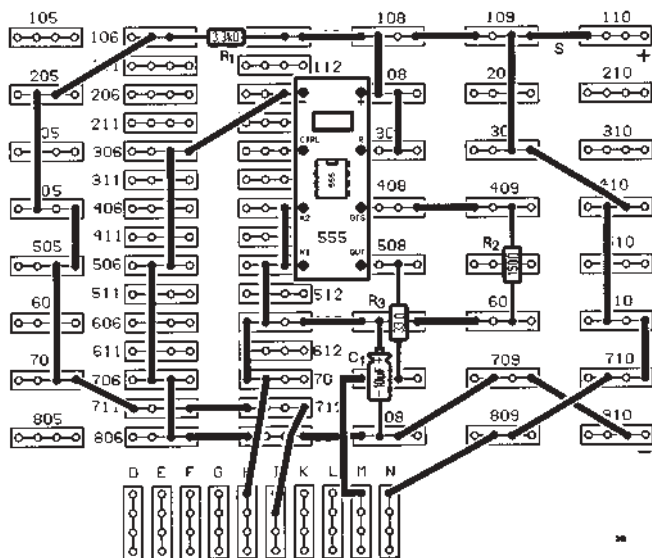
Als je de potmeter instelt op de minimale waarde, krijg je echter wel motorbootgeluiden te horen. Dat bereik kun je beperken door de waarde van R1 te verhogen. Probeer het eens met 15 kΩ! Met een stuk papier met een schaalverdeling naar tempi, vastgesteld aan de hand van een vergelijking met een echte metronoom, maakt je opbouw al bijna een professionele indruk.



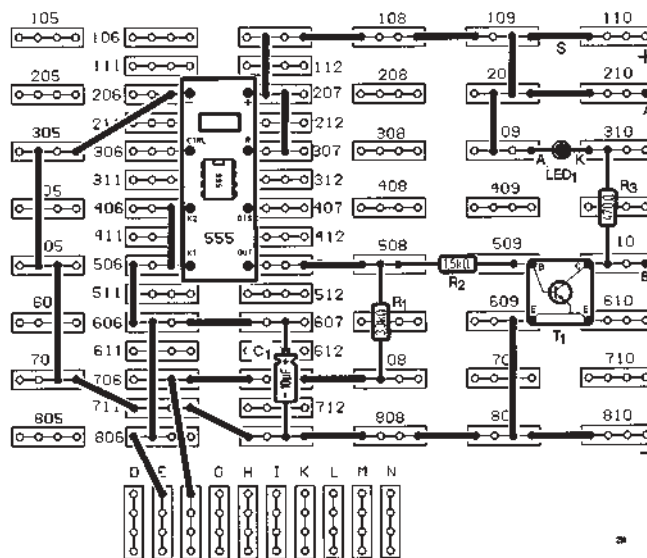
Figuur 248. Steuntje bij het maathouden: onontbeerlijk voor elke muziekleerling.



Figuur 250. Op weg naar de vuurtoren: het KOSMOS-netschakelapparaat X in de maat met het knipperlicht.

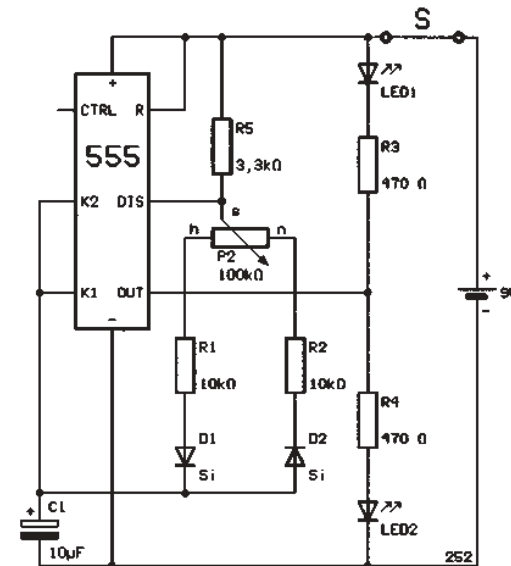


Figuur 249. Het opbouwschema bij figuur 248.



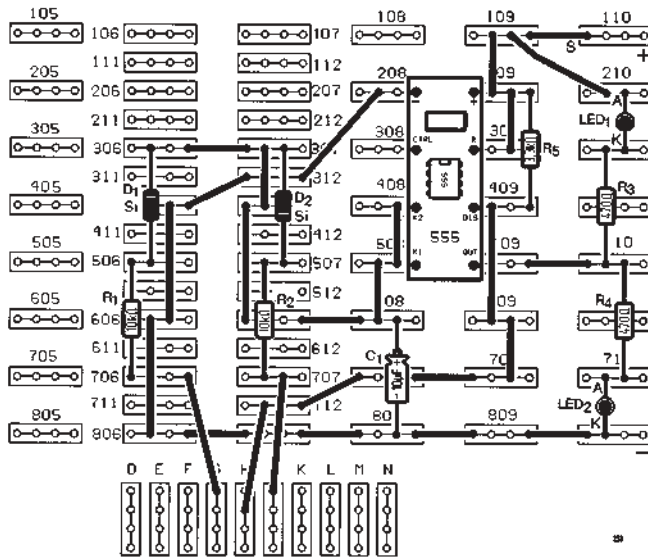
Figuur 251. Het opbouwschema bij figuur 250.

183 Door het aansluiten van een relais, bijvoorbeeld het KOSMOS-netschakelapparaat X (klemveer 210: A; klemveer 510: B), kun je de 555 voorzien van een krachtarm. Bouw het waarschuwingsknipperlicht op zoals aangegeven in figuur 250. De LED dient dan alleen nog voor de functiecontrole als via het relais een grote lamp wordt in- en uitgeschakeld. Draai aan P1: dan blijkt dat er een bereik is van ongeveer 3 Hz voordat de schakeling overgaat in een snel flikkeren. Als je de waarde van C1 verdubbelt, krijg je knippertijden die voor veel doeleinden beter geschikt zijn. Als je met een relais werkt, moet je er vanwege het grotere stroomverbruik op letten dat je altijd gebruik maakt van nieuwe batterijen of van de KOSMOS-nettransformator X.



Figuur 252. De truc met de pulsduur: frequentie constant, tijden vrij naar keuze.

184 Binnen ruime grenzen kun je de tijdsverhouding tussen lage en hoge spanning aan de uitgang OUT variëren door middel van de schakeling zoals aangegeven in figuur 252. Bouw de schakeling op en draai vervolgens aan P2. Duidelijke zaak: C1 wordt geladen via R5, het h-s gedeelte van P2, R1 en D1; ontlading vindt plaats via D2, R2 en het n-s gedeelte van P2. In welke positie de looper van P2 ook staat, voor de totale trilling is de som van de weerstanden (afgezien van R5) constant. Dat betekent echter: de frequentie verandert (nagenoeg) niet, maar je kunt wel kiezen of je de bovenste of de onderste LED langer licht wilt laten geven - dat komt goed van pas bij knipperlichten met maar een lamp en bespaart energie! Wij hebben in het KOSMOS-laboratorium deze schakeling met C1 = 0,1 μF (dat is gemakkelijker bij het



Figuur 253. Het opbouwschema bij figuur 252

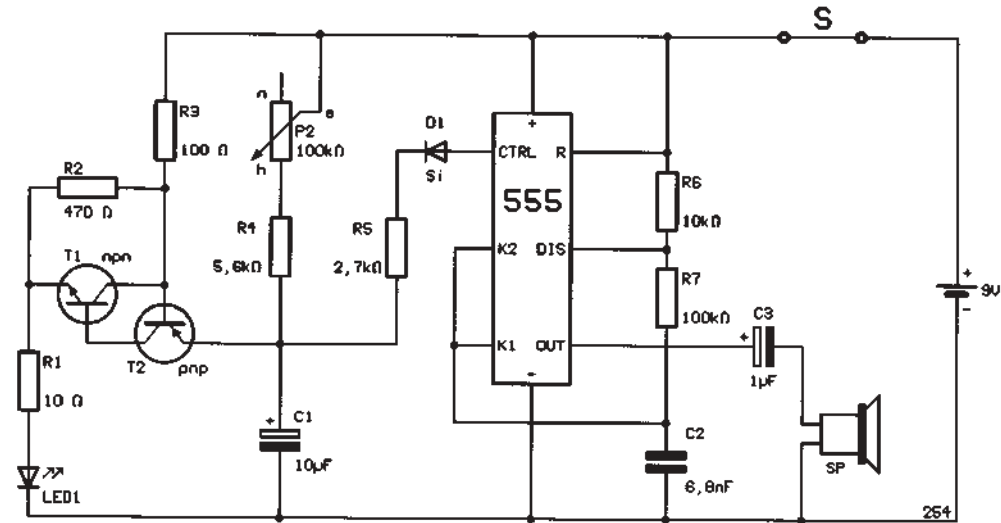
meten) nader onderzocht. En inderdaad - de frequentie verandert nauwelijks, maar de puls-pauzeverhouding (dus de verhouding tussen de tijd(en) met hoge spanning aan OUT en de tijd(en) met lage spanning) konden we variëren van 100:7 tot 7:100!

185 We vervangen nu R_4 en LED2 in de schakeling aangegeven in figuur 252 door het netschakelapparaat X, zoals we dat ook in figuur 250 hebben gebruikt, en draaien aan P2. Onze overwegingen van zoëven worden nu bevestigd: we zien korte, energie besparende lichtflitsen als er een lamp op het relais wordt aangesloten en P2 wordt opgedraaid tot h.

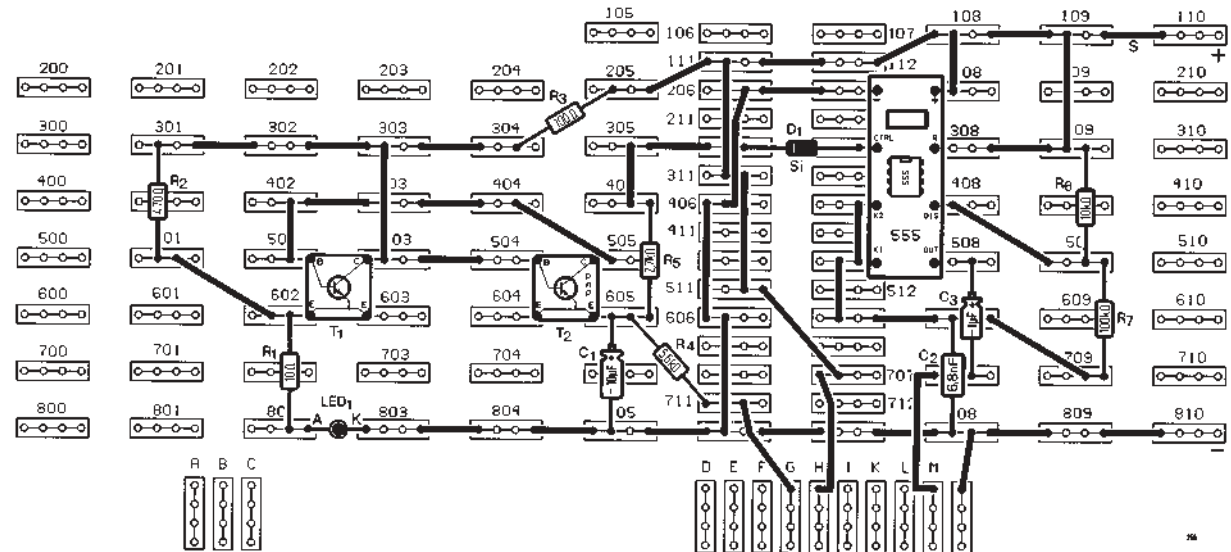
Allerlei soorten geloei

Met de CTRL-aansluiting van de 555 kun je allerlei komische (en ook veel nuttige) effecten bereiken. Dat bewijzen de volgende proeven.

186 Bij de complementaire schakelingen hebben we een na-gebootste unijunction-transistor (UJT) leren kennen. Zo'n UJT, die bij een bepaalde spanning "aanslaat", zien we terug in het linker gedeelte van figuur 254. Nadat je deze schakeling hebt opgebouwd moet je P2 ongeveer tot halverwege opdraaien. Als je daarna de batterij aansluit, hoor je pi-oe, pi-oe, pi-oe - in steeds snellere opeenvolging naarmate je P2 verder opdraait in de richting van h.



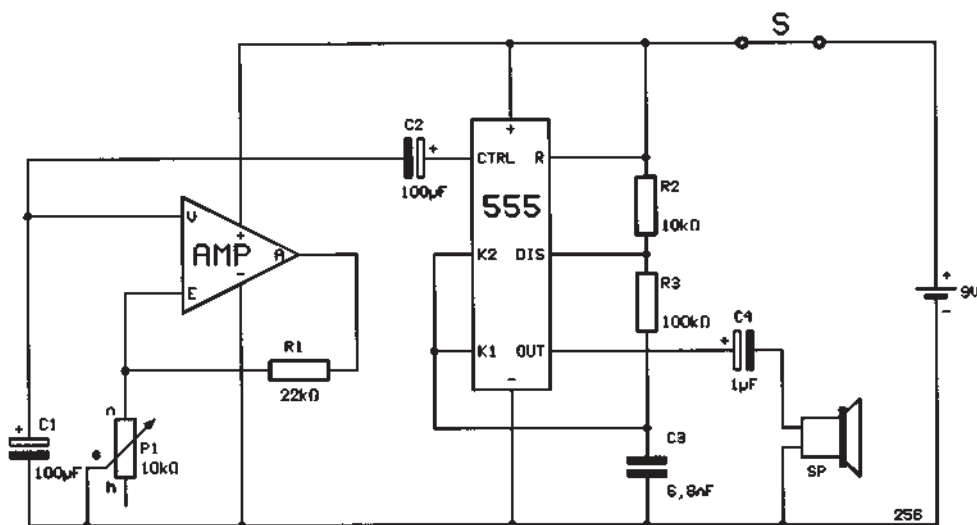
Figuur 254. Zaagtand op de instelling voor de drempelwaarde: dank zij de nagebootste UJT gaat de timer janken.



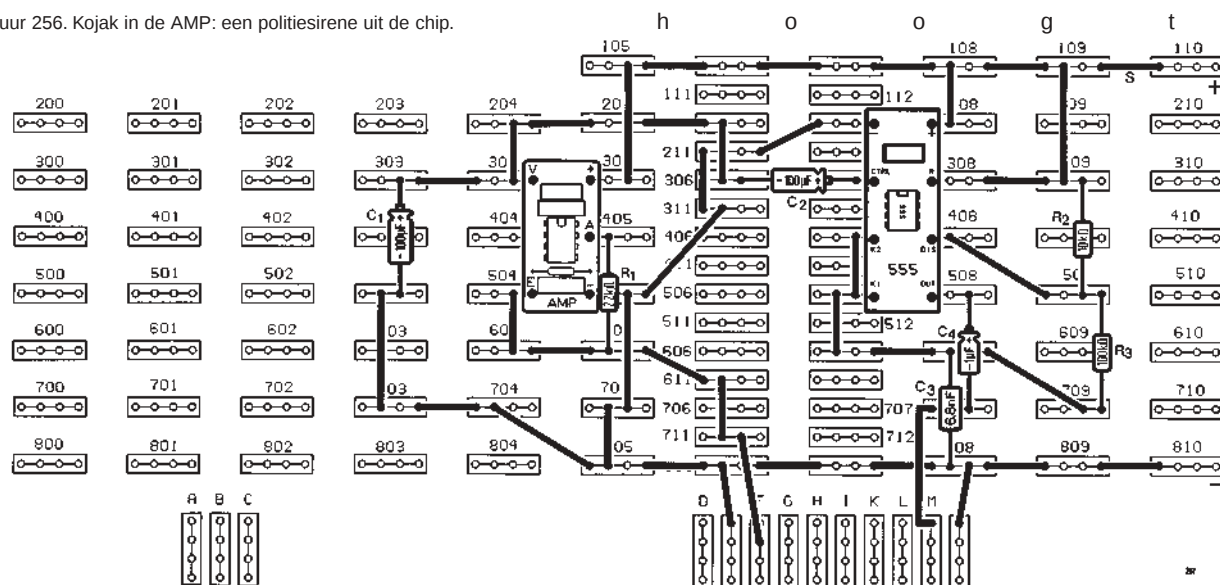
Figuur 255. Het opbouwschema bij figuur 254

Laten we oorzaak en gevolg eens analyseren. Zonder het gedeelte van de schakeling dat is aangesloten op de CTRL is de zaak duidelijk. Dit is een toonfrequentiegenerator: R_6 , R_7 laadt C_2 op tot $2/3$ van de batterijspanning (dus tot 6 V bij gebruik van een batterij van 9 V), dan gaat DIS volledig in negatieve geleiding en C_2 ontlad zich via R_7 .

Maar nu gaat CTRL een rol spelen. Vanwege D_1 , R_5 kan de spanning op deze aansluiting nooit hoger worden dan die over C_1 plus de diodespanning van D_1 . C_1 op zijn beurt laadt zich op tot de maximale waarde die wordt bepaald door de ingestelde spanning van R_3 , R_2 , R_1 , LED1 en door de basis-emitterspanning van T_2 .



Figuur 256. Kojak in de AMP: een politiesirene uit de chip.



Figuur 257. Het opbouwschema bij figuur 256.

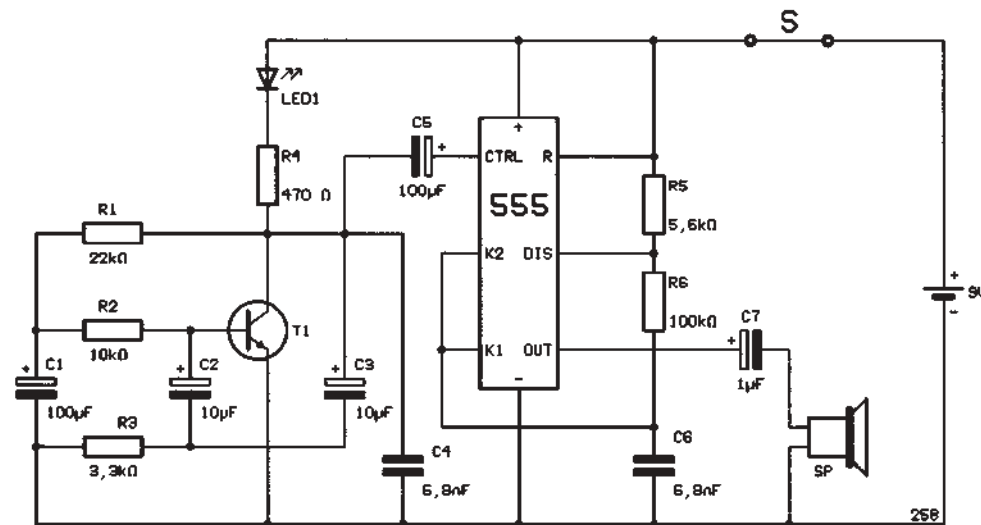
Dat is ongeveer 8,4 V als de batterij nog vrijwel ongebruikt is. Als deze spanning is bereikt, wordt de nagebootste UJT in werking gesteld. C1 ontlad zich snel via de "pseudo-UJT" in de richting van het tijdelijke referentiepunt van 2 V, want zo hoog is de LED-spanning van LED1. In dit korte tijdsbestek wordt de spanning op de CTRL-aansluiting via D1, R5 flink verlaagd. De toon-

wordt aangepast aan de spanning die er op dat moment op CTRL staat. C1 is snel ontladen, de UJT spert weer en C1 laadt zich opnieuw op via P2, R4. Vanaf een laadspanning van ongeveer 6,6 V werkt de toonfrequentiegenerator zonder dat CTRL daar invloed op heeft, totdat de UJT weer in werking wordt gesteld.

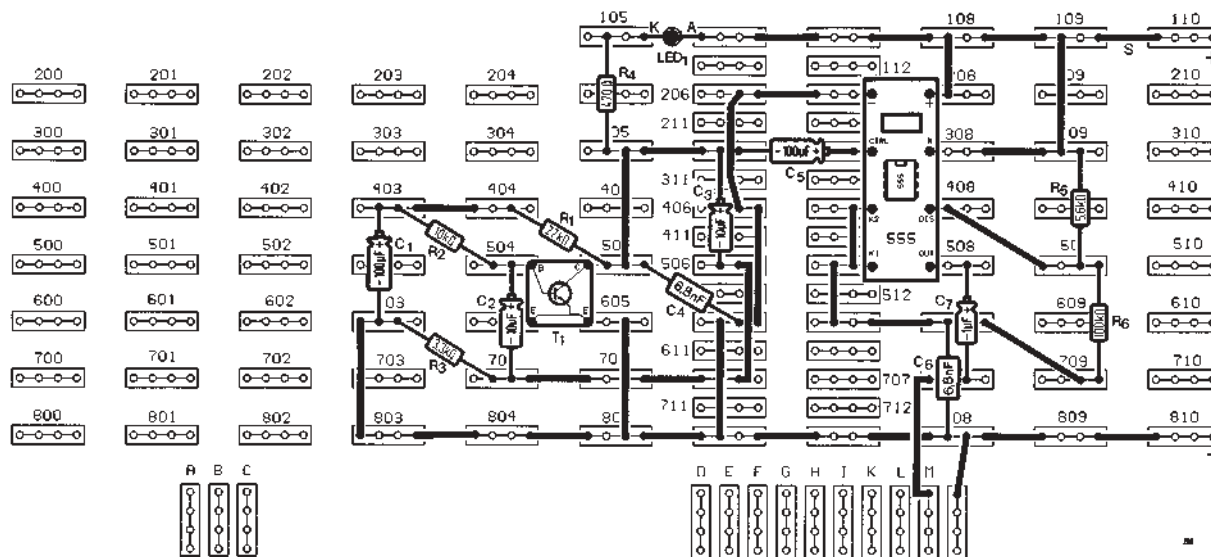
187 Zo'n condensator-laadkromme als het zojuist toegepaste spanningsverloop komt ook tot stand aan de V-ingang van de AMP wanneer die als generator functioneert. Dat gaan we testen nadat we de schakeling hebben opgebouwd zoals aangegeven in figuur 257. Zodra de batterij is aangesloten begint Kojak aan zijn klus in Manhattan. Met behulp van P1 kunnen we deze politiesirene aanpassen aan de sound die je van de tv kent. Het bijzondere karakter is een gevolg van de capaciteve koppeling tussen CTRL en V. Op die manier wordt de controle-spanning *gemoduleerd* met een "glooiende", nagenoeg symmetrische zaagtand-curve met een amplitude van ongeveer 0,5 V, dus ongeveer 0,25 V naar boven en naar beneden.

188 Als we dan toch capaciteve koppeling hebben, waarom zouden we dan niet meteen gebruik maken van de volledige "stootkracht" van de uitgang van de AMP? Dan hebben we overigens wel met rechthoekige pulsen te maken. Je hoeft alleen maar de koppelcondensator (C2) aan te sluiten op A in plaats van op V. Het is de moeite waard wat je dan te horen krijgt!

189 Door middel van de schakeling zoals aangegeven in figuur 258 kun je het een à twee keer per seconde laten "janken". Deze schakeling mag je beslist niet overslaan, want ze maakt echt een fijn geluid. Geen wonder - hier wordt namelijk de controlespanning gemoduleerd met een sinusvormige spanning met een lage frequentie. En behalve geluid krijg je ook weer beeld: de lichtintensiteit van LED1 varieert in hetzelfde ritme. Het is interessant om te zien dat een enkele transistor zonder hulp van een spoel kan trillen, terwijl hij in emitterschakeling toch eigenlijk een inverter is! Dank zij een truc is het mogelijk ervoor te zorgen dat de collectorspanning, die normaliter als negatieve terugkoppeling invloed uitoefent op de basis, plotsklaps resulteert in een meekoppeling. Laten we ons nog eens even de basisproeven in het geheugen roepen. Hoe zat dat ook al weer? Voor de condensator geldt: "In het begin was er de stroom." Hij laadt zich slechts geleidelijk op via de weerstand (waarover wel een spanning moet staan). Als door de spanning van deze condensator ook weer via een weerstand een tweede condensator wordt opgeladen en vervolgens een derde, wordt uiteindelijk alles omgekeerd. Weliswaar is de spanning over de laatste condensator aanzienlijk lager dan aan de ingang (voor de eerste weerstand). Maar - wat een verrassing! - deze spanning is precies omgekeerd vergeleken met de spanning "aan de voorkant". Dat is het geheim. Wanneer op een gegeven moment de spanning op de collector stijgt, zal ze aan het eind van de "RC-keten" juist dalen. Voor de basis is dat een *meekoppeling*. Dat geldt slechts voor een frequentie en die wordt bepaald door de tijdconstanten van de schakels in de keten. Zo'n schakeling wordt overigens *fase-verschuivings-generator* genoemd.



Figuur 258. Gloeiende golf: de sinusgenerator varieert ook de lichtsignalen.



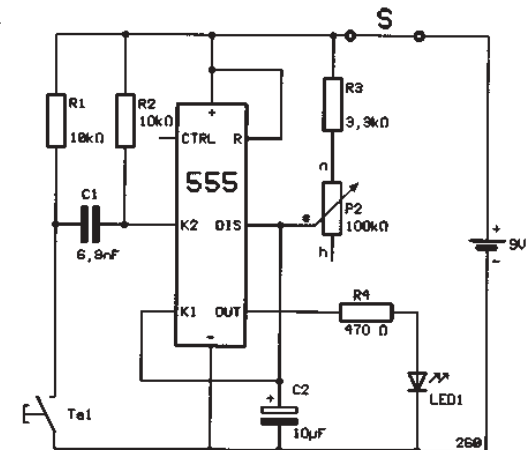
Figuur 259. Het opbouwschema bij figuur 258.

De fase van de uitgangsspanning wordt door de RC-keten zodanig "verschoven" dat de spanning aan de ingang op het juiste moment de juiste polariteit heeft om te kunnen meekoppelen.

Tijd speelt een rol: monoflop met de 555

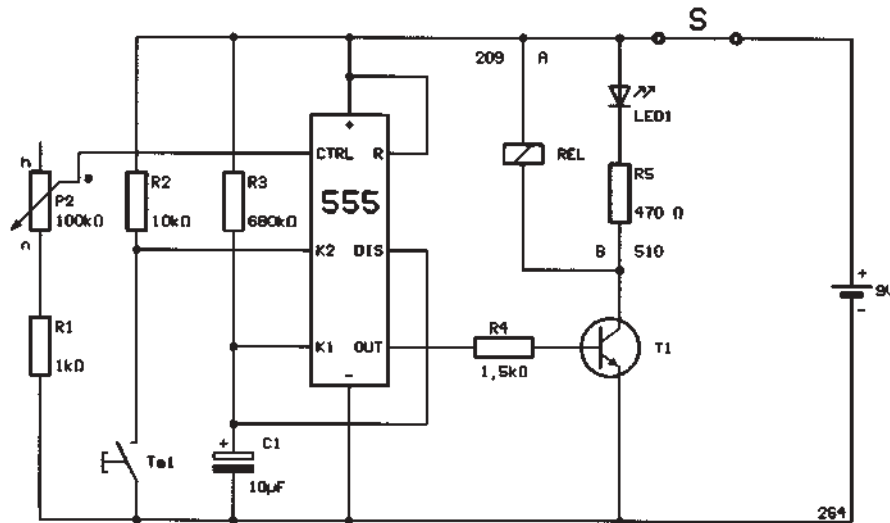
Timer is de officiële benaming voor 555. Al is "timen" maar één van de dingen waartoe hij in staat is, zoals we hebben gezien. Hij heeft zijn naam te danken aan de monoflop-functie.

190 Nadat we de schakeling hebben opgebouwd zoals aangegeven in figuur 260, gaan we een (korte) reis in de tijd maken. Door een druk op toets Ta1 wordt het proces in werking gesteld. LED1 gaat aan. Na een seconde dooft ze al weer. We verhogen daarom de waarde van C2 tot 100μF en meten hoelang de diode nu licht blijft geven. Dat blijkt tien keer zo lang te zijn. Vervolgens drukken we opnieuw op Ta1 en terwijl de diode al licht geeft nog een paar keer. De tijdopname leert dat dit niets heeft geholpen. De tijdsduur bedraagt nog steeds tien seconden. Deze schakeling kun je dus niet in de tussentijd opnieuw activeren of, zoals de technicus dat uitdrukt, *retriggeren*. Alleen de eerste start heeft effect. Dat starten gebeurt, zoals we hebben geleerd, op *dynamische* wijze. Je zou Ta1 dus net zo goed de hele actief-tijd gesloten kunnen houden.

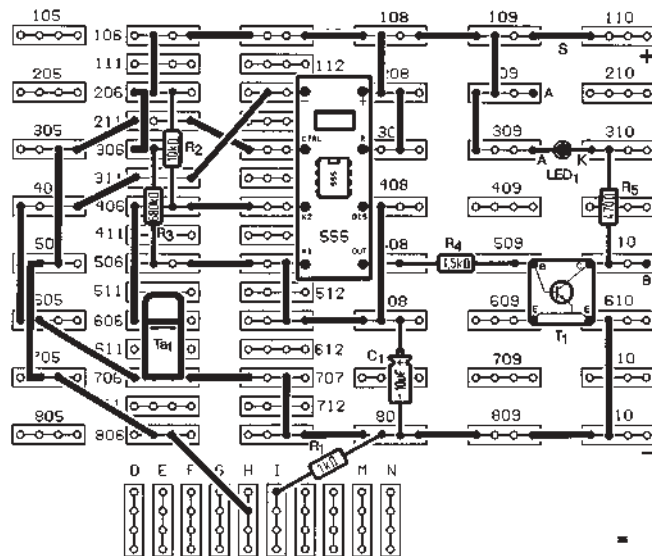


Figuur 260. Prima voor eieren en toast: standvastige timer zonder de mogelijkheid tot retriggeren.

De timer-functie kun je heel goed berekenen, aangezien de condensator simpelweg wordt opgeladen van nul tot 2/3 van de batterijspanning. Comparator 1 reageert daarop en maakt DIS volledig negatief geleidend. Daardoor wordt de condensator ontladen en gereed gemaakt om van voren af aan te beginnen. De berekening levert voor de actief-tijd van de uitgang (dus hoge spanning aan OUT en LED1 geeft licht) het volgende resultaat op: $T = 1,1 \times (R3 + P2) \times C2$. Je verkrijgt de waarde van T uitgedrukt in seconden, als je de waarde van R3 en P2 uitgedrukt in ohm en de waarde van C2 in farad invult in de formule. Zonder de ingangsstroom van de 555 (al zijn die nog zo klein) en de lekstroom van de elco's zou je eindeloos lange tijden kunnen bereiken. Maar de tijdschakeling houdt het op praktische waarden voor C tussen 100 pF en enkele honderden μF en voor de totale weerstand tussen 1 kΩ en een paar MΩ. Voor een eierwekker e.d. is dat in ieder geval lang genoeg.



Figuur 264. De control-tower neemt het over: tijdbesturing via de aansluiting CTRL.



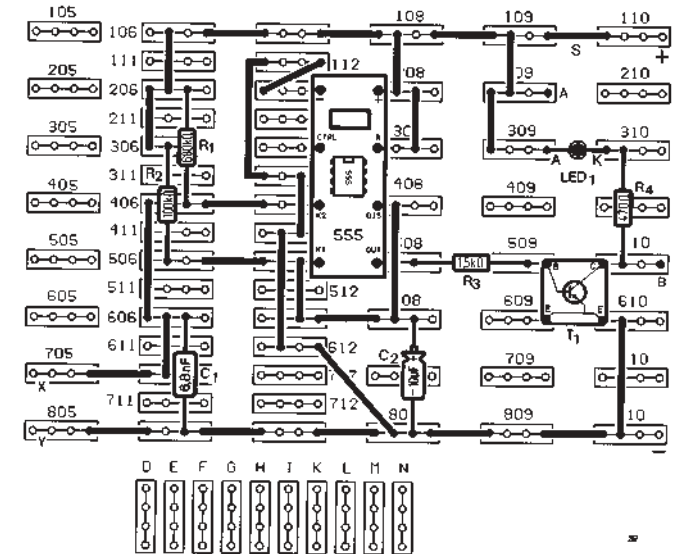
Figuur 265. Het opbouwschema bij figuur 264.

Tips voor het gebruik van de sensor

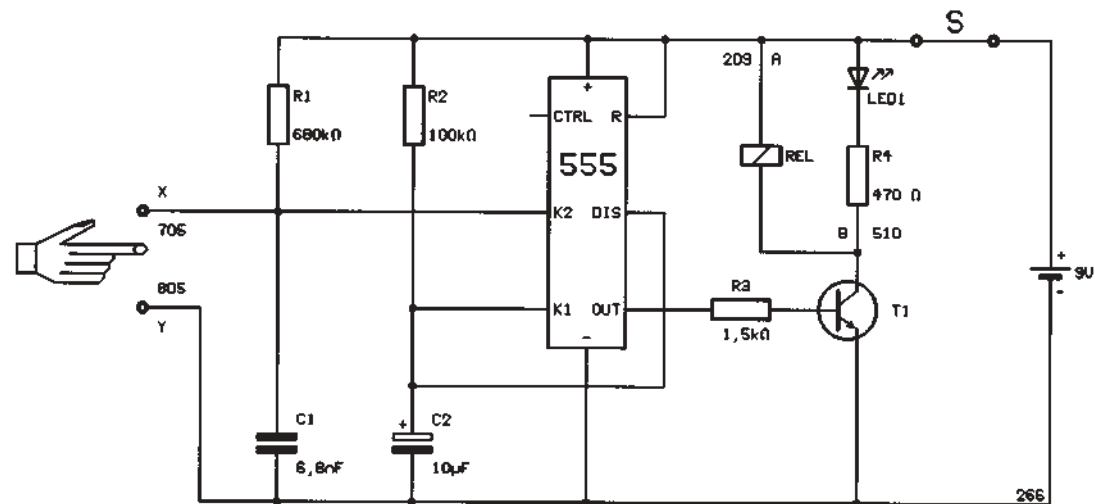
Toetsen zijn uit - sensoren zijn net zo geschikt! In de vorige proef hadden we al stilzwijgend een "pull-up-weerstand" aangebracht tussen K2 en de plus-pool. Dat komt de storingsvrije werking van deze tamelijk gevoelige ingang ten goede.

194 Om dit nog eens te bewijzen gaan we werken met de schakeling opgebouwd volgens de aanwijzingen in figuur 267, maar laten voorlopig R1 en C1 nog even weg. Dan blijkt: vooral wanneer we gebruik maken van de nettransformator X (capacitieve koppeling met het lichtnet!) kunnen we de timer al activeren door slechts één pool van de aansluiting K2 aan te raken. Maar daar kunnen we niet op vertrouwen. K2 kan immers ook schakelpulsen via elektrische velden uit de omgeving opnemen en daarop reageren. Door C1 en in het bijzonder R1 kunnen we

dat voorkomen. Je kunt de timer echter gericht inschakelen door het topje van je vinger een beetje te bevochtigen en daarmee vervolgens een verbinding tot stand te brengen tussen de klemmen 705 en 805. Probeer het maar! Als het lukt bedraagt de huidweerstand van je vingertop beslist minder dan ongeveer 200 kΩ. En met deze gevoelige schakelaar kun je dan via het relais grote lampen in- en uitschakelen!



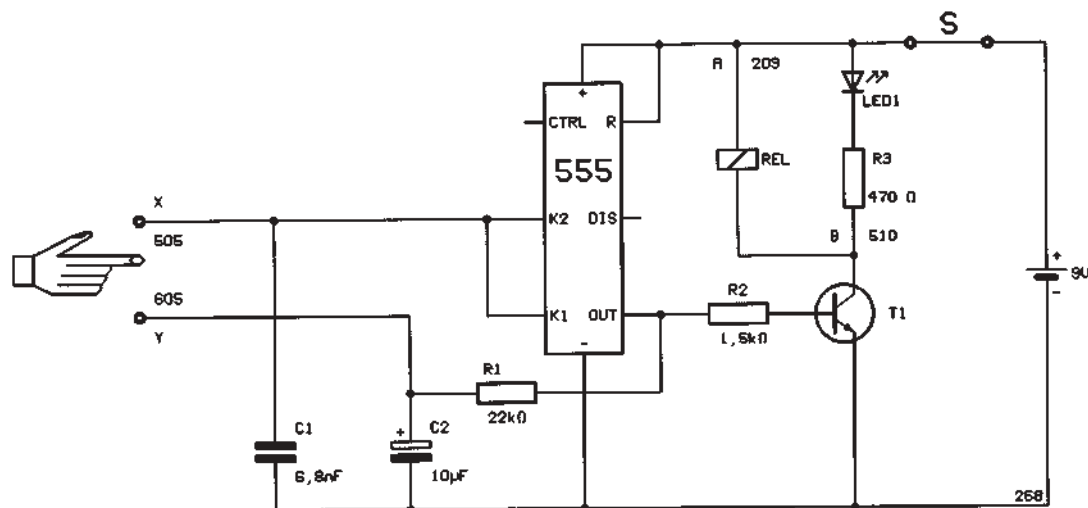
Figuur 267. Het opbouwschema bij figuur 266.



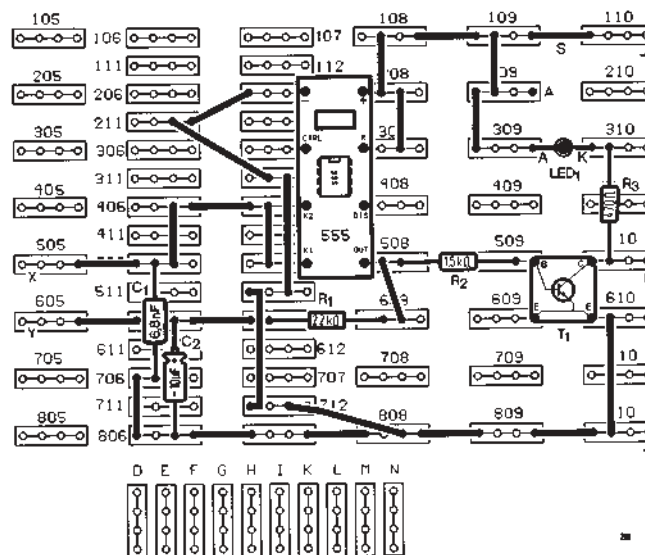
Figuur 266. Het starten van de timer via de huid: sensortoets in plaats van een metalen contact.

195 De schakeling die je nu kunt opbouwen volgens de aanwijzingen in figuur 268 maakt eigenlijk al geen deel meer uit van de timerschakelingen. De condensator C2 is misleidend. Hij heeft namelijk een andere functie. Probeer die eens te achterhalen! En, heb je het al ontdekt? Via de sensor (X: klemveer 505; Y: klemveer 605) worden de beide comparatoringen "bevoorraadt". Waaruit die voorraad bestaat, is afhankelijk van de laadtoestand van C2. Als je de sensor een paar keer eventjes aanraakt, blijkt: als LED1 geen licht geeft, gaat ze nu aan. (Ook het relais, in de klemveren 209 en 510, wordt in werking gesteld.) Als de diode wel licht geeft, kun je ze met dezelfde vinger op dezelfde plaats weer uitschakelen. Het geheim schuilt dus in de toestand waarin C2 op dat moment verkeert: als hij juist leeg is (dus als de uitgang negatieve spanning heeft en LED1 geen licht geeft) kun je K2 door middel van je vinger met "deze" negatieve pool verbinden. Daarop reageert de 555 in deze schakeling als een flip-flop: zolang je verder niets doet dan alleen maar even de sensor aanraken, geeft vanaf nu LED1 licht en is het relais in werking. In een fractie van een seconde zal C2 zich hieraan aanpassen en zich opladen totdat zijn spanning duidelijk hoger ligt dan 2/3 van de batterijspanning. Door nu (weer slechts eventjes!) de sensor aan te raken zul je de ingang K1 bevoorraden: wanneer op deze aansluiting een hoge spanning staat, wordt de uitgang negatief geleidend, LED1 dooft en het relais wordt uitgeschakeld. Een flip-flop met wisseltoets. Of een trigger met zelfgemaakte drempelwaarden?

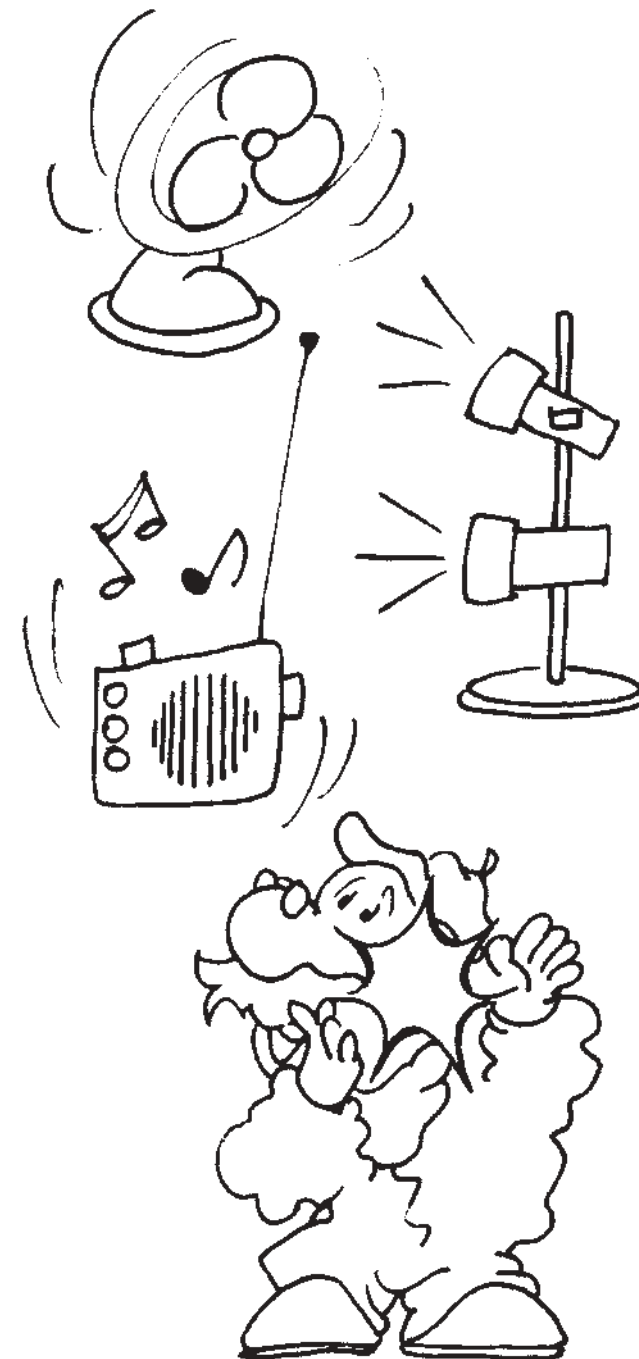
Overigens: als je je vinger op de sensor laat rusten, stel je een knipperlicht in werking! En bovendien hoef je je vingertop deze keer helemaal niet vochtig te maken.

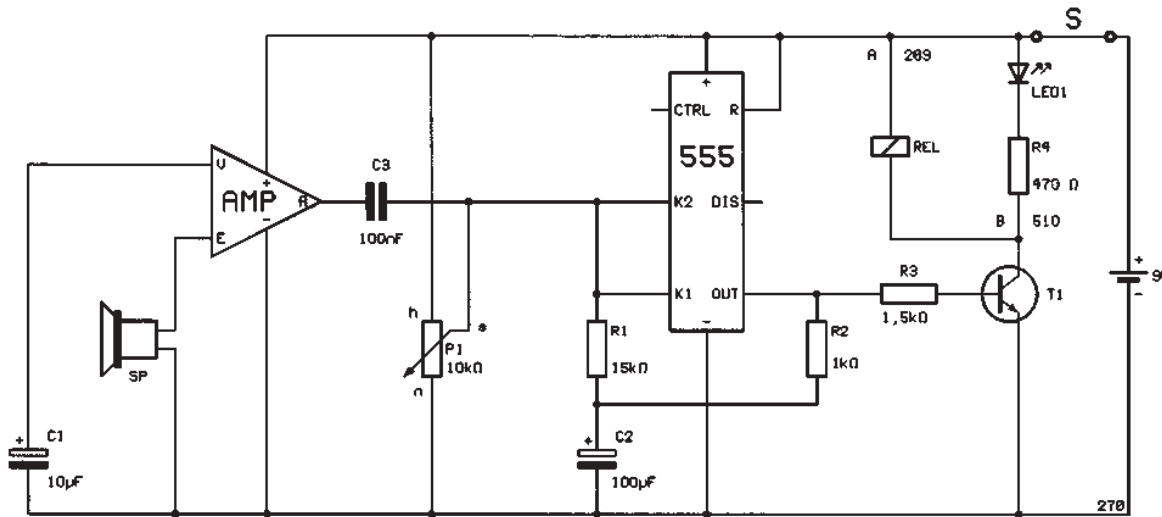


Figuur 268. Een intelligente sensor: past zich aan de situatie aan (wisselcontact).

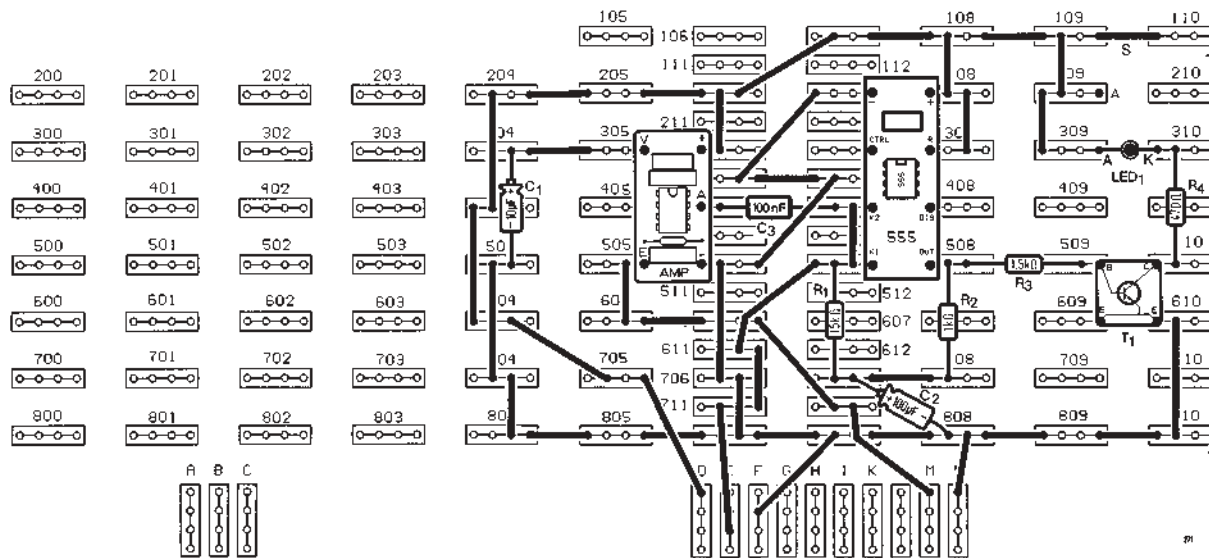


Figuur 269. Het opbouwschema bij figuur 268.





Figuur 270. Reageert op alles wat hij hoort: gevoelige omschakelaar met geluid-afstandsbediening.



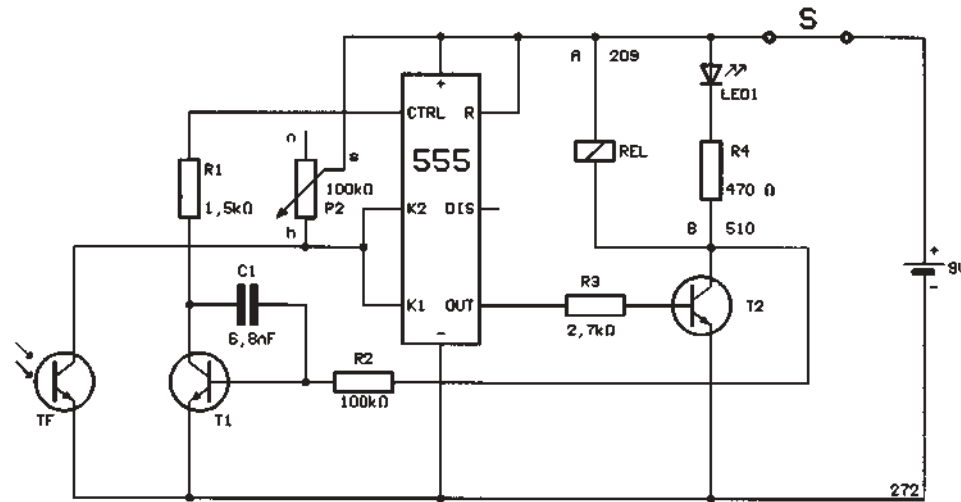
Figuur 271. Het opbouwschema bij figuur 270.

Praktische trucjes met de 555 als trigger

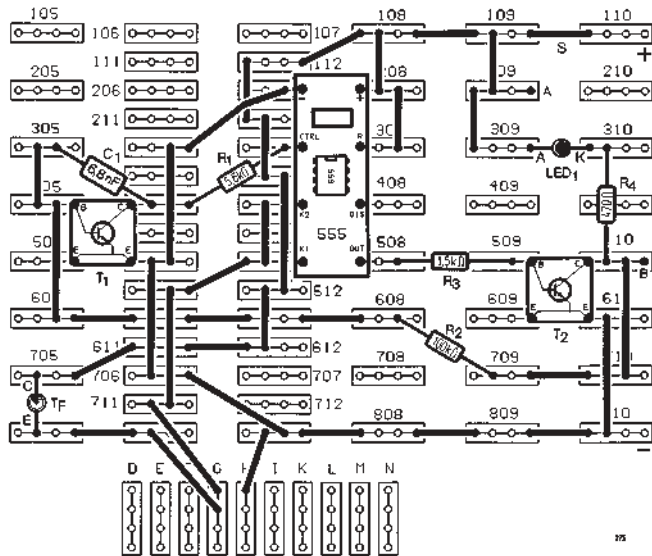
Nu gaan we opnieuw een bondgenootschap sluiten met de geesten. Tenminste, zo lijkt het voor iemand die nog niet vertrouwd is met onze trucs. Geluid en licht zijn onze assistenten. Die schakelen alles wat het KOSMOS-netschakelapparaat maar aankan. En dat is behoorlijk wat.

196 De AMP, met minimale toerusting en ingesteld op maximale versterking, de luidspreker (nu als geluids-opnemer), een vermogens-schakeluitgang aan de 555 - dat gaan we nu allemaal opbouwen volgens de aanwijzingen in figuur 271. Draai P1 op tot het midden. Van nu af aan kun je gereedschap maar beter zachtjes op tafel neerleggen en niet meer in de handen klappen. Tenzij om het resultaat van je werk te testen. Dan wordt de schakeling namelijk in- of uitgeschakeld - al naar gelang de toestand waarin de schakeling zich bevindt. Hier kun je wel een hele avond mee bezig zijn. En toch is het (nu) allemaal heel gemakkelijk te begrijpen: SP neemt geluid op. Zijn spoel beweegt in het magnetisch veld en levert daardoor (hooguit) een paar millivolt met geluidsfrequentie aan de AMP- ingang E. Die zorgt ervoor dat de spanning 5000 keer wordt versterkt. Verder heb je nog de terugkoppeling via R1 en R2, enigszins vertraagd door C2. Deze truc maakt het geheel bijzonder gevoelig. Dat P1 is ingesteld op de middenpositie wil namelijk niet zeggen dat er op de looper een spanning staat die eenvoudigweg de helft bedraagt van de batterijspanning. Nee, de bestaande uitgangsspanning (ongeveer 1,4 V lager dan de batterijspanning respectievelijk vrijwel gelijk aan nul, al naar gelang de toestand) laat met C2 als reservoir het werkpunt steeds opschuiven tot in de buurt van de triggerdrempel die bereikt moet worden, wanneer het volgende geluid weerklinkt, om ervoor te zorgen dat OUT kipt. De enorm versterkte laag-frequente spanning krijgt dat voor elkaar. K1 respectievelijk K2 reageert, de uitgang wordt omgepoold en C2 volgt dat voorbeeld. Als er dan opnieuw een geluid weerklinkt dat hard genoeg is, wordt het geheel weer gekipt naar de vorige toestand. Die verschuiving mag je echter niet te ver doorvoeren, bijvoorbeeld door de waarde van R1 te verlagen. Anders zou de schakeling wel eens vanzelf kunnen kippen!

197 Een lichtgestuurde, voor contact zorgende schakelaar is afgebeeld in figuur 272. Nadat je de schakeling hebt opgebouwd stel je P2 voorlopig in op de middenpositie. Sluit vervolgens de batterij aan. De licht-emitterende diode blijft donker zolang er geen licht valt op de fototransistor (TF). Door de lichtstraal van een zaklantaarn of iets dergelijks op de fototransistor te richten kun je LED1 inschakelen (of parallel daaraan een willekeurig apparaat via het KOSMOS-net-schakel-apparaat X). Als het licht uitvalt, wordt ook het relais uitgeschakeld. Door middel van T1 kun je de hysteresis van de schakeling vergroten. Wanneer de spanning aan de uitgang OUT gelijk is aan nul, is T1 geopend en gelden er lagere drempelwaarden.

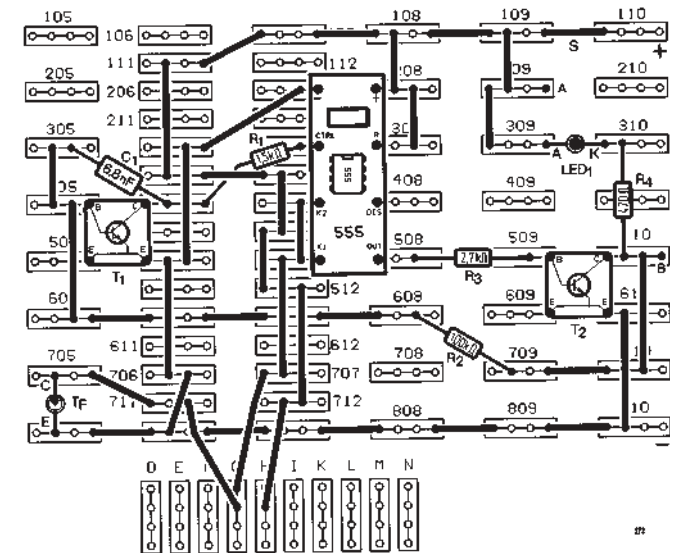


Figuur 272. Inschakelen door lichtinwerking: dank zij de grote hysteresis (R_1 tussen 1,5 kΩ en 10 kΩ) geschikt voor verlichting met automatische houdschakeling.



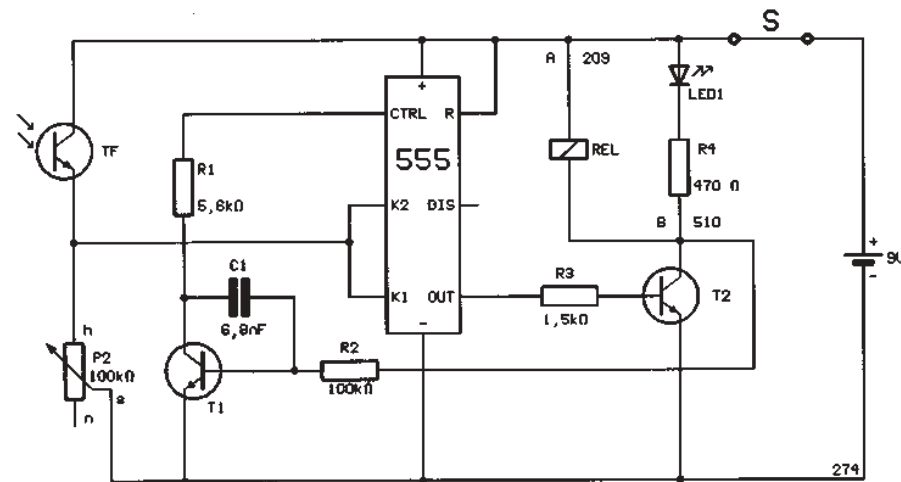
Figuur 273. Het opbouwschema bij figuur 272.

De hoogte daarvan wordt bepaald door R_1 . Zodra de lichtafhankelijke collectorstroom van de fototransistor zodanig is toegenomen dat de spanning over P_2 meer bedraagt dan $2/3$ van de batterijspanning, kipt de 555 naar hoge uitgangsspanning. Daardoor wordt T_2 geopend en het relais (klemveren 209 en 510) in werking



Figuur 275. Het opbouwschema bij figuur 274.

gesteld. De nu lage collectorspanning van T_2 spert echter T_1 zodat vanaf dit moment de "normale" triggerdrempels gelden. Dat wil zeggen dat de lichtintensiteit tot ruim onder het vorige aanspreekniveau moet dalen voordat de 555 terugkipt en het relais buiten werking stelt. Door middel van P_2 kun je de lichtgevoeligheid van de schakeling instellen: hoe hoger de ingestelde waarde, des te minder licht is er nodig om de schakeling in werking te stellen.



Figuur 274. Uitschakelen door lichtinwerking: dimmer met verbrede hysteresis.

198 De schakeling zoals weergegeven in figuur 274 is de tegenhanger van de schakeling die we zoëven hebben onderzocht. Dat merk je zodra je de batterij aansluit. Je hoeft trouwens ook niet veel aan de opbouw te veranderen. Om te beginnen stel je P2 weer in op de middenpositie. Omdat het niet te licht mag zijn in de kamer, kun je het beste 's avonds testen. Wat je gaat testen, is de reactie op het licht van een zaklantaarn. Dat doe je eerst weer zonder de aftakking met T1, d.w.z. R2 laat je voorlopig nog even weg. Dan zul je zien: LED1 geeft licht (en het relais is bekrachtigd) wanneer er geen licht valt op de fototransistor. Wanneer dat wel gebeurt, daalt de spanning aan de uitgang, de LED dooft en het relais valt af. Je hebt dus te maken met een dimmer. Neem vervolgens R2 op in de schakeling en je zult zien dat de hysteresis ook nu weer groter is geworden, net zoals dat bij de vorige schakeling het geval was. Wanneer je R1 vervangt door een weerstand met een waarde van niet meer dan 1,5 k Ω kun je het volgende foefje uithalen: bij een bepaalde lichtsterkte (diffuus daglicht) kun je door met een stuk papier het licht te weerkaatsen de schakeling in werking stellen. Door hetzelfde stuk papier tussen het raam en de fototransistor te houden gaat ze weer uit. Het lijkt wel alsof je alweer geesten aan het bezweren bent!

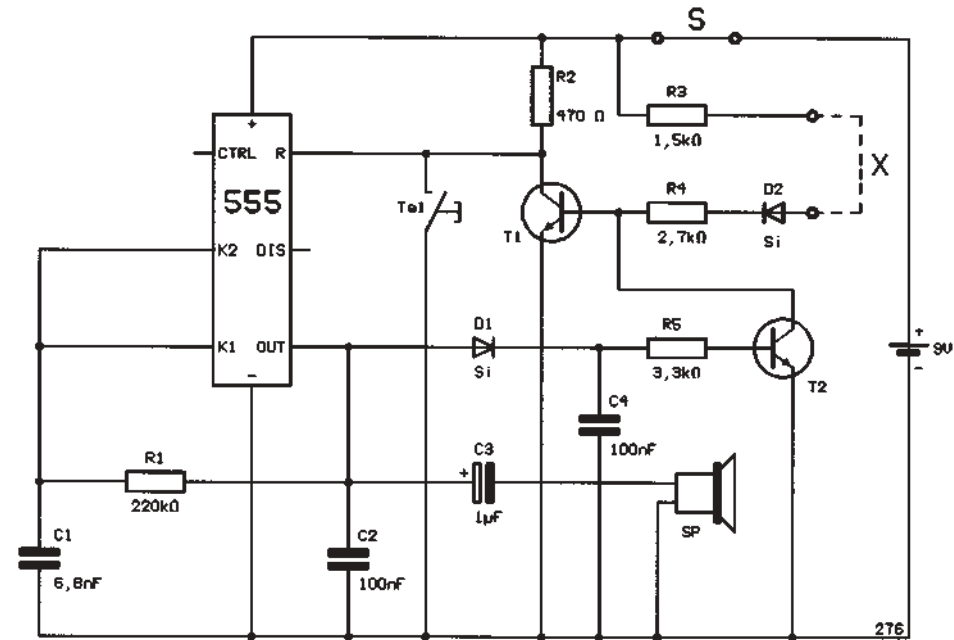
199 Een objectieve indruk van de condities van de beide proeven krijg je, wanneer je de potmeter verbindt met de plus- en min-pool. De loper wordt aangesloten op het knooppunt van K1, K2. De fototransistor laat je weg. Door achtereenvolgens weerstanden met verschillende waarden te nemen voor R1 kun je de grenzen voor een doelmatig gebruik vaststellen.

200 We verbinden R2 met de uitgang OUT in plaats van met de collector van T2 en onderzoeken de reactie in de testschakeling bij verschillende waarden van R1. Bij 5,6 k Ω zien we dat de hysteresis duidelijk kleiner (!) is. Bij minder dan 3,3 k Ω straalt de licht-emitterende diode in een bepaald bereik met "halve sterkte" licht uit - de schakeling bevindt zich nu in de overgangsgebied.

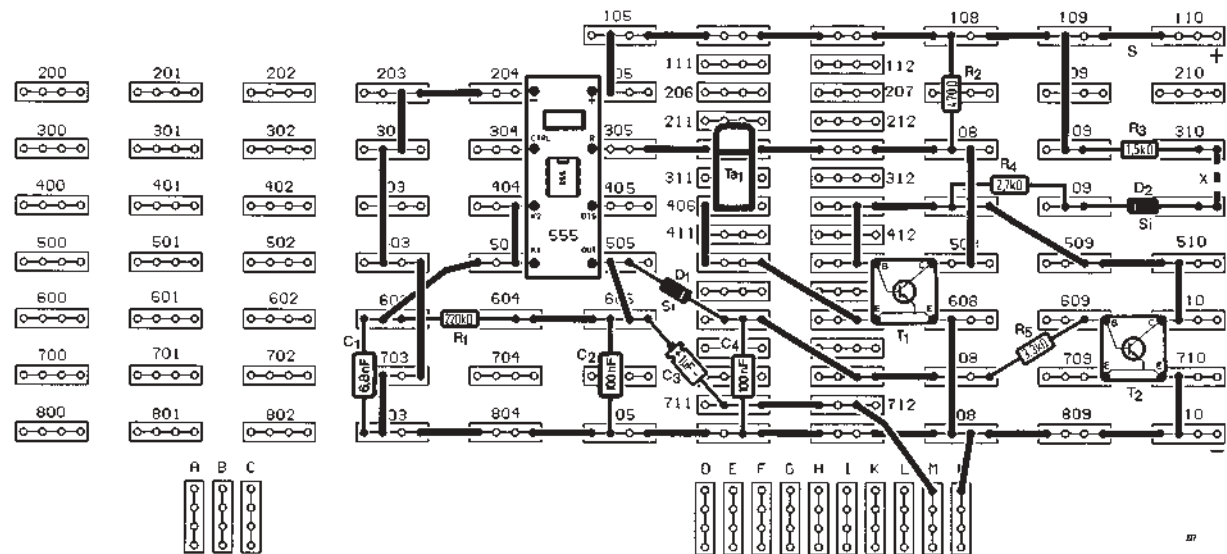
Alarmsignalen uit de timer

Een alarminstallatie met de 555 - waarom niet?

201 De schakeling zoals aangegeven in figuur 276 ziet er wat ingewikkelder uit, maar kan toch in een paar minuten worden opgebouwd. En ze werkt direct, zonder dat ze van te voren wordt ingesteld. De draadbrug X tussen R3 en D2 vormt het cruciale punt in deze nachtmerrie voor inbrekers. Je kunt hiervoor een struikeldraad gebruiken of een verbreek-contact, bevestigd aan deur- of raamkozijn. Je kunt meerdere ramen of deuren tegelijkertijd beveiligen door alle contacten in serie te schakelen. Wanneer iemand binnendringt, wordt een contact verbroken. Trek de draadbrug maar eens uit de schakeling en luister! Het alarm zal direct in werking worden gesteld. Stop de draadbrug dus maar weer gauw op zijn plaats! Maar dat helpt niet: het alarmsignaal weet van geen ophouden.



Figuur 276. Hinderlaag voor inbrekers: alarminstallatie met automatische houdschakeling.



Figuur 277. Het opbouwschema bij figuur 276.

Alleen degene die met de alarminstallatie vertrouwd is kan door een druk op de resettoets Ta1 een eind maken aan het lawaai.

Een alarminstallatie is pas echt effectief als ze is uitgerust met een dergelijke automatische houdschakeling die we zojuist hebben

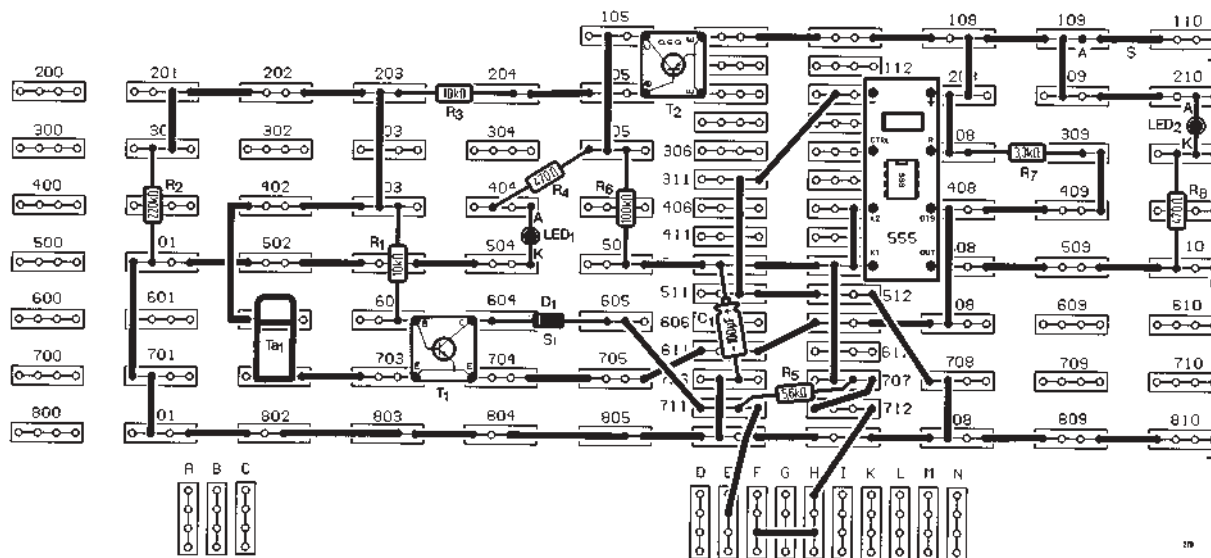
leren kennen. Hoe speelt onze schakeling dat klaar? Laten we eerst eens naar de rusttoestand kijken: die kun je te allen tijde instellen door een druk op toets T1. Hoe zat het ook weer? De ingang R van de 555 invertteert. Een geïnverteerde hoge spanning die gelijk is aan de negatieve batterijspanning resulteert dus in

de rusttoestand, d.w.z. lage spanning aan de uitgang OUT. Alles slaapt - eentje houdt de wacht. Dat is de transistor T1. Die krijgt zijn basisstroom vanuit de puls-pool via R3, de draadbrug X, D2, R4 en houdt zodoende de ingang R op negatieve spanning zodat ook OUT laag blijft. Maar nu verschijnt de boef ten tonele. Zonder het te willen onderbreekt hij de basiskring van T1, waardoor deze onmiddellijk wordt gesperd. Via R2 krijgt de ingang R positieve spanning en wordt de 555 in werking gesteld. Die is evenwel als toonfrequentie-generator (astabiele multivibrator) met R1, C1 aangesloten op K1, K2. En hoe die functioneert weten we zo langzamerhand wel. Dat krijgt de inbreker nu ook te horen. Hij gaat op zoek naar het verbreek-contact, vindt het ook en sluit het weer - op welke manier dan ook. Maar daardoor wordt het niet stil, want hij heeft buiten de waard gerekend, in dit geval T2. Het alarmsignaal levert namelijk ook nog via D1 en C4 voldoende spanning voor de basis van T2 die zodoende met zijn collector (die nu immers volledig negatief geleidend is) de basis van T2 spert. Nadat de politie is gewaarschuwd en de dader is gearresteerd, hoeven we nog maar drie dingen te doen: de basiskring voor T1 weer sluiten, door een druk op toets Ta1 het alarm opheffen en weer naar bed gaan. T1 blijft op wacht.

Psychische belasting

Vooral die toestand met het alarm heeft ons toch wel aangegrepen. Zeker na al die andere spannende proeven die eraan voorafgingen. En nu gaat de 555 ook nog de psychiater uithangen. Tenminste, als we het volgende doen.

Figuur 278. Gewoon een kwestie van zenuwen: reactietest in het tijdvenster.



Figuur 279. Het opbouwschema bij figuur 278.

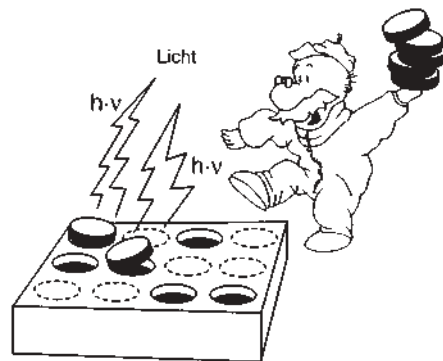
202 Als bij het opbouwen van de schakeling zoals aangegeven in figuur 278 je handen beginnen te trillen, dan weet je wat je te wachten staat. Dan ga je verliezen in de wedloop tegen de tijd. Voor de test volstaan LED1 en LED2 als indicatoren. Als je wilt, kun je via het relais (klemveren 109 en 510) grotere apparaten aansluiten. Voor beginners wordt P1 helemaal opgedraaid (s op h). LED1 geeft licht, behalve wanneer er op de toets Ta1 wordt gedrukt. Opeens gaat LED2 (vanzelf) aan, maar dooft direct weer. Na een paar seconden hetzelfde liedje. Als het je lukt om in de tijd dat LED2 licht geeft, op de toets te drukken en deze vast te houden, kun je daardoor ook de diode licht laten geven totdat je de toets weer loslaat. Het komt er dus op aan om binnen dit "tijdvenster" te reageren. Hoe functioneert deze stress-tester? In het begin is C1 leeg, ligt K1, K2 aan min en staat er dus aan OUT een hoge spanning. LED2 is uit, DIS gesperd. LED1 geeft aan dat T2 actief is (en C1 dus oplaadt). Na ruim tien seconden is het dan zover: de spanning over C1 bereikt de bovenste triggerdrempel, OUT en DIS worden negatief geleidend. LED2 geeft licht. De emitter van T1 is nu via DIS verbonden met de min-pool.

T1 krijgt via R1 basisstroom en ontlad C1 via de parallelschakeling van R5 en P1, dus tamelijk snel, tot aan de onderste triggerdrempel. Dan keert de schakeling terug naar de begintoestand, totdat C1 weer is geladen - enz. Als je er dus in slaagt in de korte tijd dat LED2 licht geeft op de toets te drukken en die vast te houden, blijft LED2 aan totdat je de toets weer loslaat. Zo lang spert Ta1 namelijk T1 en wordt het ontladen onderbroken. Buiten die tijd leidt een druk op toets Ta1 er slechts toe dat T2 wordt gesperd en zodoende niet verder wordt opgeladen. Immers: Ta1 verbindt R3 via R7 met de plus-pool. R2 is in vergelijking daarmee veel te groot om de basis van T2 nog open te kunnen houden. Dat was alles!

21. Opto-elektronika - een eerste kennismaking

Halfgeleiders onder elkaar

Halfgeleiders hebben geen licht nodig, dat maken ze zelf. Van de simpele licht-emitterende diode, de LED, tot de laser. LED betekent letterlijk vertaald "licht uitstralende diode" (light emitting diode). Om het heel simpel voor te stellen: aan de atomen wordt energie toegevoerd. Liefst elektrische energie. Dat zet de elektronen ertoe aan een hoger "niveau" van energie op te zoeken. Op dat niveau houden ze niet lang stand. Ze vallen terug in hun vorige toestand. Maar wat te doen met de nu overvloedige energie? Gauw weg ermee - in de vorm van lichtquanten. Zonder dat daarvoor eerst hitte moet worden opgewekt zoals in de draad van een gloeilamp, nee, dat gebeurt gewoon op kamertemperatuur. Daar staat tegenover dat de kleur van het licht altijd afhankelijk is van het materiaal: blauw (hoewel nog tamelijk zeldzaam), groen, geel, rood, infrarood. Je kunt het je ook voorstellen zoals aangegeven in figuur 280: het elektron laat als het "opstijgt" een gat achter. Als het daarin terugvalt, ontsnapt er in plaats daarvan een lichtquant.



Figuur 280. Door de "recombinatie" van een elektron met verhoogde energie en een gat komt er een lichtquant vrij (h-v).

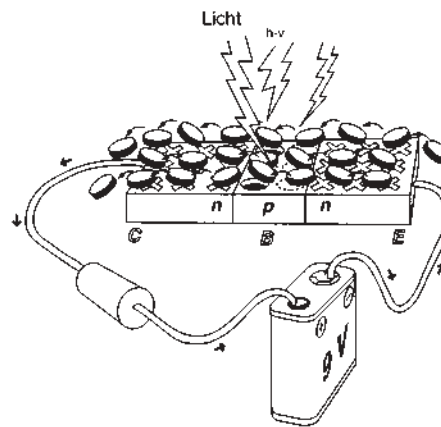
Voor de "interne onderlinge" communicatie maken halfgeleider-onderdelen graag gebruik van het infrarood (zie de tabel in figuur 281).

Natuurlijk moeten er ook passende ontvangers zijn die datgene wat de diodes uitzenden kunnen opvangen. Als ladingdragers licht

golflengte in nm					
3	0,3	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$
10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{15}	10^{16}
frequentie in Hz					
golflengte van de infrarood-licht					
10 ⁶ nm					
extreem lang					
lang					
midden					
kort					
770 nm					
microgolven					
zichtbaar licht					
rood					

Figuur 281. Golflengten van het infrarood-licht.

kunnen uitstralen, waarom zou het licht dan niet in staat zijn om ladingdragers vrij te maken? Per slot van rekening gaat het altijd slechts om het omzetten van energie van de ene vorm in de andere. Dat brengt ons bij de "andere kant". Bij fotodiodes en fototransistors, die allebei juist voor infrarood licht tamelijk gevoelig zijn. Vooral de transistor. Wij gebruiken een type dat geen (elektrische) basisaansluiting heeft. Daardoor lijkt hij precies op een (doorzichtige) licht-emitterende diode. Door de behuizing valt het licht als een optische basisstroom op de transistor en maakt in de basiszone bij de pn-overgangen ladingdragers vrij (figuur 282). Als we de fototransistor ook nog op een werkspanning en een belastingsweerstand trakteren, kan de collectorstroom



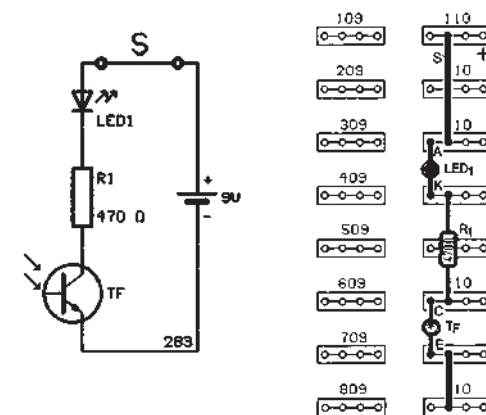
Figuur 282. Lichtinval op de basis: ladingdragers komen vrij.

vloeien en de optische boodschap daarin verder worden verwerkt. Alles wat je kunt doen met combinaties van lichtzenders en lichtontvangers wordt aangeduid met de fraaie naam opto-elektronika. Om je een heel klein beetje een indruk te geven van de mogelijkheden van de opto-elektronika gaan we de volgende experimenten uitvoeren.

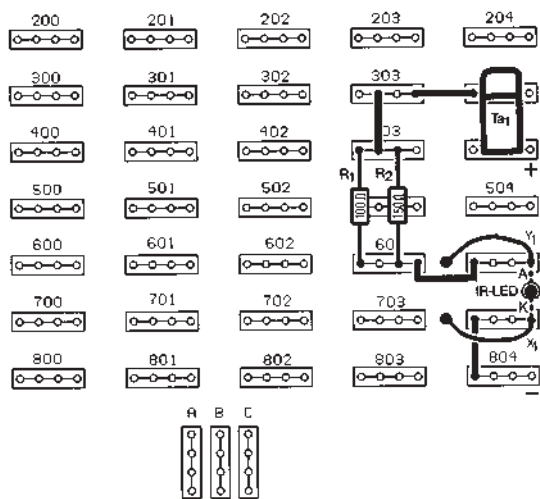
Who is who?

Om er helemaal zeker van te zijn dat je gebruik maakt van het juiste onderdeel voor het juiste doel in de juiste positie kun je de fototransistor (TF) maar het beste met een beetje verf aan de zijkant van de behuizing markeren om hem te onderscheiden van de infrarood-zenddiode (IR-LED). Welke de een is en welke de ander blijkt uit de volgende "kennismakingsproef".

203 Stop de ongelijke broertjes een voor een in de schakeling die je hebt opgebouwd volgens de aanwijzingen in figuur 283. Met het korte pootje steeds in de richting van R1. Dan kun je het te testen onderdeel het beste met een tafellamp op ongeveer 50 cm afstand verlichten. Het kan ook met een zaklantaarn met een behoorlijk sterke lichtstraal. Zelfs in een dergelijke lichte omgeving zul je waarschijnlijk nog goed kunnen zien dat LED1 oplicht. De diode licht laten uitstralen, dat lukt alleen de fototransistor. Ter beloning krijgt hij een gekleurde stip aan de collectorkant (collector = korte aansluiting). Dat andere onbekende onderdeel dat er bijna net zo uitziet, is dus de IR-LED (korte aansluiting = kathode). De IR-LED werkt bijna net zo als een gewone LED. Alleen kunnen wij het licht dat zij uitstraalt met onze ogen niet zien. Voor het opvangen van deze infrarood-straling zorgt de fototransistor.



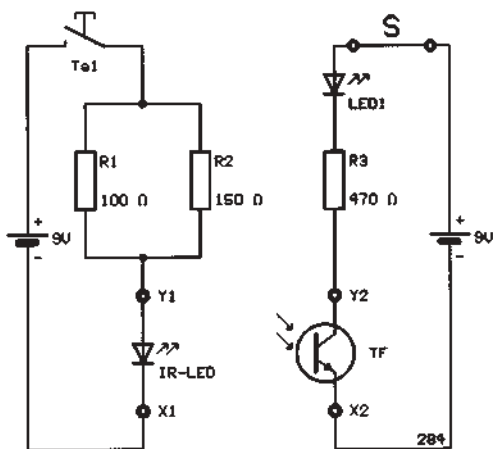
Figuur 283. Licht stuurt stroom: testschakeling voor de fototransistor.



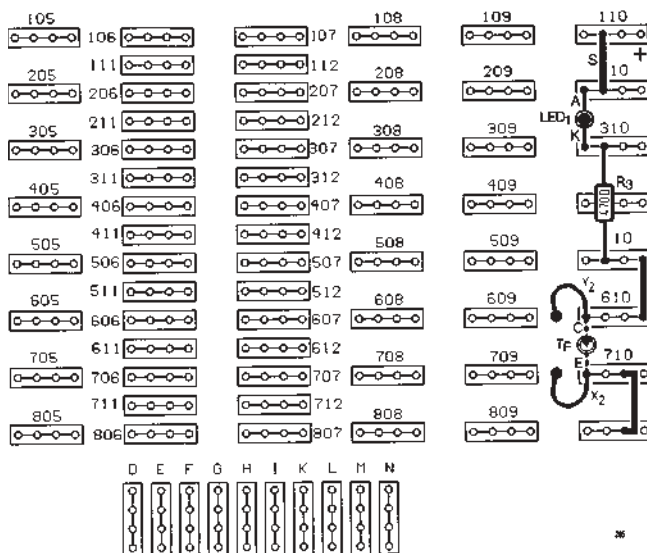
Figuur 285. Het opbouwschema bij figuur 284.

204

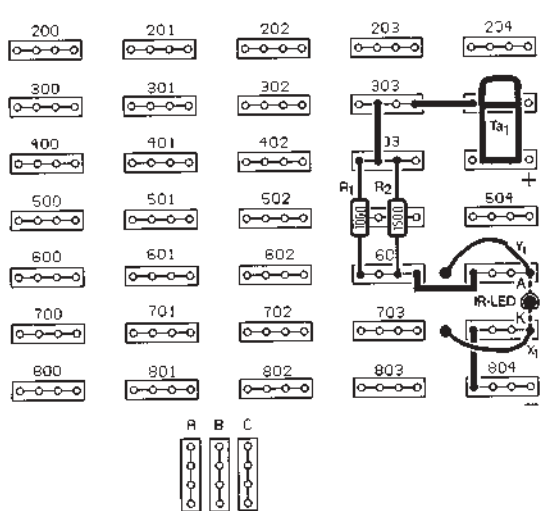
In de schakeling zoals aangegeven in figuur 285 zijn de IR-LED en de fototransistor op enige afstand tegenover elkaar geplaatst. We doen dat door de IR-LED op de montageplaat van het linker paneel en de fototransistor op de montageplaat van het rechter paneel te bevestigen (s. S. 1 1). In het opbouwschema wordt dit aangegeven door stippellijntjes voor de aansluitingen van de onderdelen.



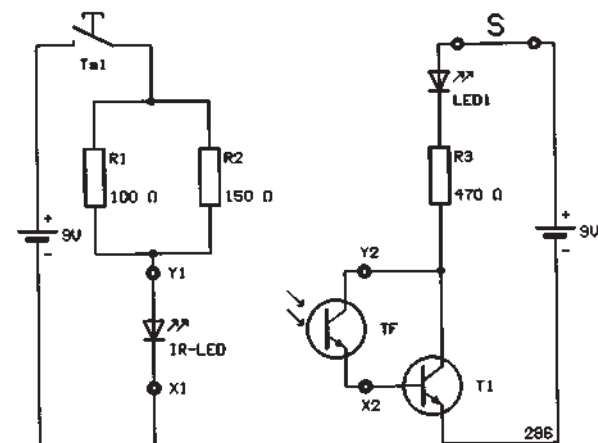
Figuur 284. "Lichtomzetter": infrarood licht stuurt de LED via de fototransistor.



De aansluitingen Y1 en X1 resp. Y2 en X2 zijn lange draden waarmee de IR-LED en de fototransistor worden aangesloten wanneer deze aan de zijkanten van de panelen zijn bevestigd. De draden worden dan door de gaatjes geleid die zich tussen de klemveren bevinden.

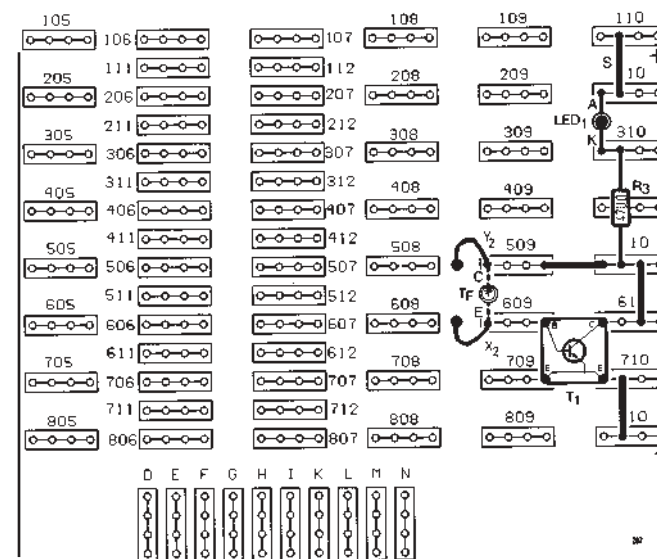


Figuur 287. Het opbouwschema bij figuur 286.



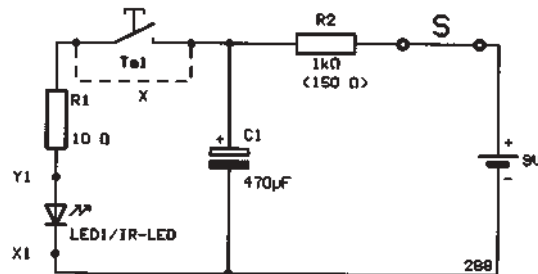
Figuur 286. "Lichtversterker": de Darlington-schakeling versterkt het lichteffect (de stroom).

We drukken op toets Ta1 en zien dat LED1 tamelijk helder oplicht. Om te bewijzen dat dit inderdaad wordt veroorzaakt door het infrarode licht moet je maar eens een stukje karton in de stralenbundel houden. Wedden, dat LED1 onmiddellijk dooft? En al druk je nog zo hard op de toets - de onzichtbare krachten zijn met een trucje uitgeschakeld.



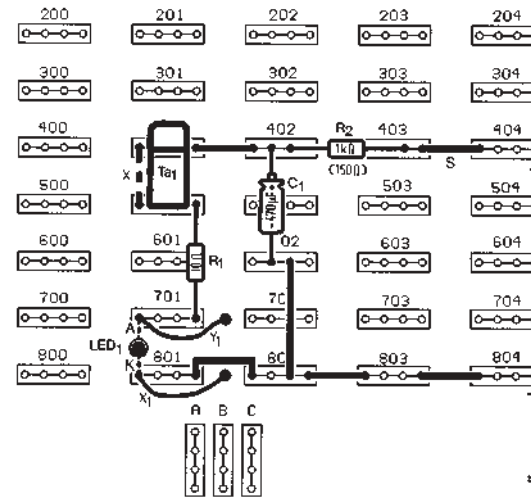
205 Voor de *foto-Darlington-schakeling*, zoals die rechts in figuur 286 is afgebeeld, is diffuus daglicht al voldoende om volledig in geleiding te gaan. Je kunt dat zien aan LED1 die op volle sterkte licht geeft. Dat is logisch, want al bij 100 μA emitterstroom uit de fototransistor wordt T1 volledig in geleiding gebracht. Zonder T1 zou LED1 zich van deze stroom praktisch niets hebben aangetrokken. Licht van buitenaf moet je bij deze schakeling vermijden. Dus in het paneel ermee! Verstop de zender in het tweede paneel en zorg dat de afstand tussen beide groot genoeg is. Druk vervolgens op Ta1. Zolang de zender en de ontvanger elkaar nog kunnen "zien", zal LED1 licht blijven geven. Zorg ervoor dat de IR-LED en de fototransistor op een gemeenschappelijke denkbeeldige "optische as" liggen. De behuizing van de beide onderdelen is aan de voorkant geconstrueerd als een lens. Daardoor wordt de gezichts- resp. de stralingshoek begrensd en de beschikbare energie gebundeld.

206 Elektronische schakelingen kunnen heel snel reageren. Het komt dus maar hoogst zelden voor dat je permanent licht nodig hebt. Om iets in werking te stellen is vaak een korte puls voldoende en om een toestand vast te houden pas je de intelligentie van de ontvangschakeling aan. De schakeling aangegeven in figuur 288 kan zulke korte, intensieve lichtflitsen leveren. Rechtstreeks kun je dat het beste zien in een test met een gewone licht-emitterende diode. Neem daarom eerst LED1 in de schakeling op en druk vervolgens op de toets. De diode zal eerst opflitsen en daarna licht blijven geven, zij het met verminderde lichtintensiteit. Laat de toets los, wacht even en druk dan opnieuw: het proces zal zich herhalen.



Figuur 288. Pulstruc: de condensatorlading wekt een lichtflits op.

Om dit te verklaren moeten we een beroep doen op de basiskennis die we in de eerste hoofdstukken hebben opgedaan: het reservoir C1 wordt via R2 relatief snel opgeladen tot 9 V. De toets "transporteert" deze lading via R1, die een aanzienlijk lagere waarde heeft, naar LED1. De tijdconstante van het ontladen is veel kleiner dan van het laden. Vandaar dat LED1 slechts even fel opflitst. Daarna moet deze diode genoeg nemen met de zwakkere permanente stroom afkomstig van R2 totdat de toets



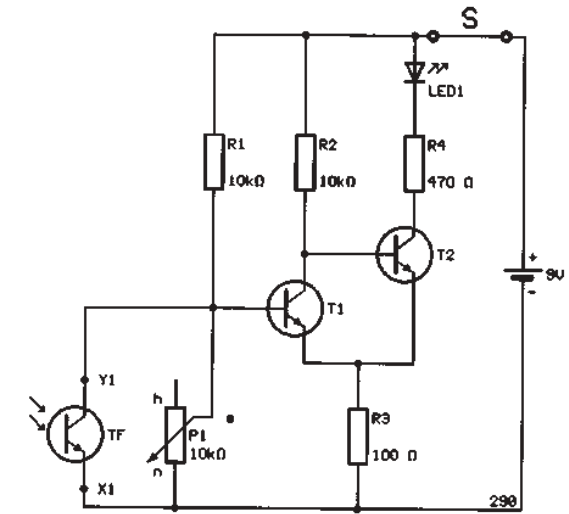
Figuur 289. Het opbouwschema bij figuur 288.

Ta1 wordt geopend. Dan kan C1 weer worden opgeladen. Vervang R2 achtereenvolgens door een weerstand met een steeds hogere waarde tot een maximum van 15 k Ω en druk na elke wissel op Ta1! Ten eerste zal LED1 na het opflitsen geen licht meer geven, wanneer je op Ta1 blijft drukken. Ten tweede duurt het nu, nadat je Ta1 hebt losgelaten, aanzienlijk langer voordat er weer een behoorlijke lichtflits te zien is. Als je de schakeling vervolgens uitrust met de IR-LED en de waarde van de weerstand van R2 verlaagt tot 150 Ω , is deze zender gereed voor het volgende experiment. Daarbij moet je de IR-LED in het linker paneel aan de zijkant bevestigen. 150 Ω is een geschikte waarde als je bij de proeven wilt beschikken over een IR-straal die nog sterk genoeg is (Ta1 gesloten houden of door middel van X overbruggen).

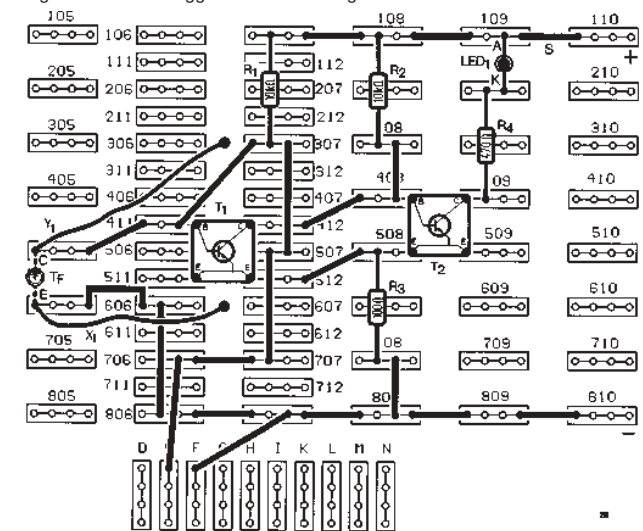
De lichtlamp van Schmitt

In het dagelijks leven zul je de hoeveelheid licht zelden meten. Zolang er maar genoeg licht is om de krant te kunnen lezen is het wel goed. Elektronische schakelingen zijn wat dat betreft gevoeliger. Die registreren al kleine verschillen. En daar kun je nuttig gebruik van maken.

207 Bouw de schakeling op volgens de aanwijzingen in figuur 290 en stel P1 zodanig in dat LED1 bij de heersende lichtsterkte net geen licht meer geeft. De fototransistor wordt (net als de IR-LED in de vorige proef) aan de zijkant van het paneel bevestigd. Je kunt de proef het beste 's avonds uitvoeren bij niet te veel kunstlicht. Stuur vervolgens met de pulszer zoals aangegeven in figuur 288 een lichtflits naar de fototransistor. Het is de bedoeling dat LED1 daardoor oplicht. Als dat niet meteen lukt, moet je de



Figuur 290. Licht-trigger: een schakeling voor alle soorten van licht.



Figuur 291. Het opbouwschema bij figuur 290.

afstand tussen zender en ontvanger kleiner maken. Na het "opflitsen" moet LED1 licht blijven geven, wanneer P1 correct is ingesteld. Hoe is dat mogelijk? Denk maar eens even na: de Schmitt-trigger heeft een hysteresis. Wanneer P1 zodanig is ingesteld dat LED1 net geen licht geeft, laat de lichtflits de trigger kippen: T1 spert, T2 gaat in geleiding. Terwijl echter de stroom door R3 tot nu toe werd bepaald door R2, krijgt T2 nu

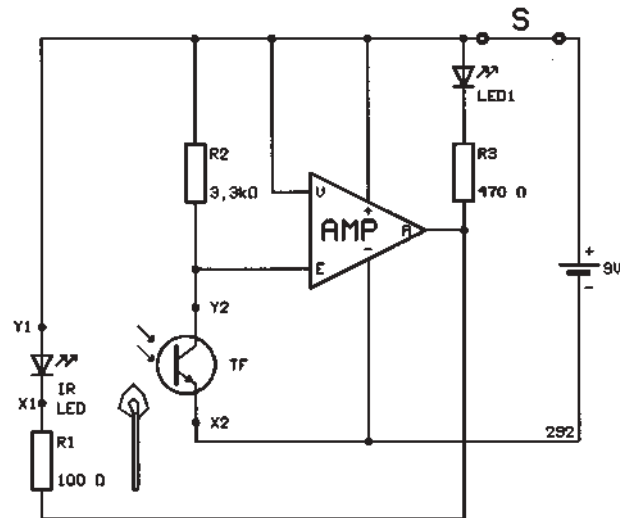
aanzienlijk meer stroom van R4 en LED1. De spanningsval over R3 is duidelijk hoger zodat T1 gesperd blijft. In ieder geval zolang, totdat de lichtsterkte voor de fototransistor niet meer voldoende is om deze toestand vast te houden.

Licht-ontsteker

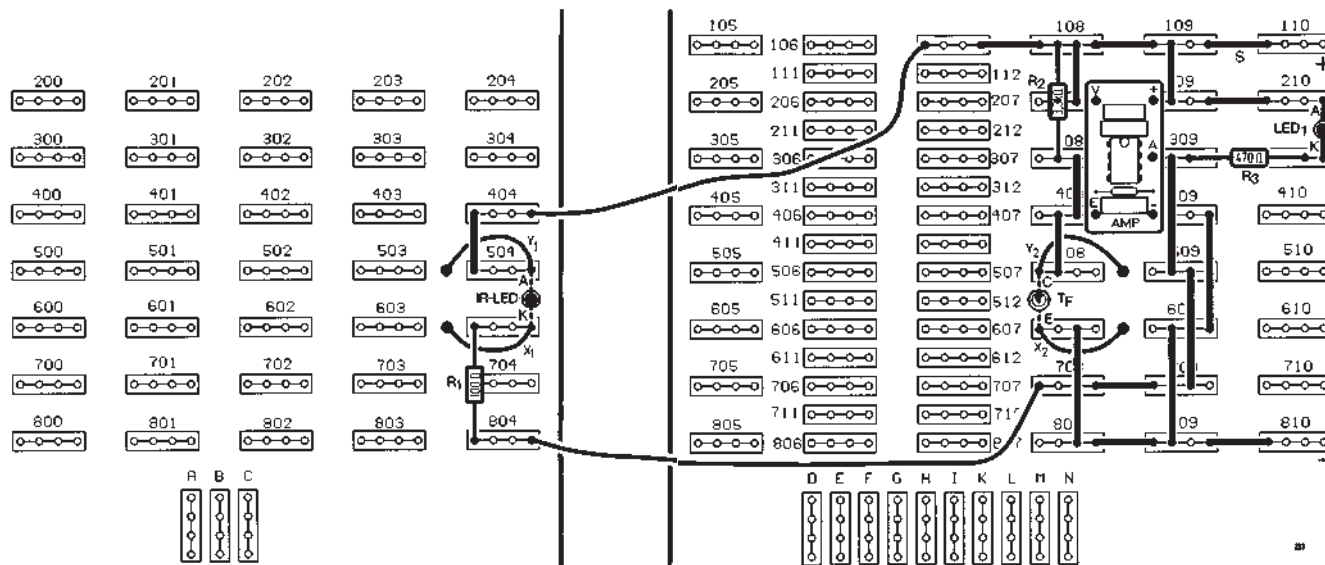
Hoe ontsteek je een licht-emitterende diode? In ieder geval niet met een lucifer of een aansteker! Zelfs niet als je oud genoeg bent om daarmee om te gaan. Of toch?

208 Als je een beetje handig bent en goed overweg kunt met een zwarte toverdoek, zul je met deze schakeling wel weer de show stelen. Met het volgende experiment is je faam als magier voorgoed gevestigd. De fototransistor en de IR-LED zijn aan de zijanten van de panelen bevestigd. Voor de schakeling zoals aangegeven in figuur 292 moet je een zekere afstand tussen de IR-LED en de fototransistor in acht nemen, maar zorg er wel voor dat ze elkaar kunnen "zien". Tussen die twee moet voldoende ruimte open blijven voor de aansteker of de lucifer. En dan kun je een grandioze goocheltruc opvoeren! Maar wel eerst oefenen! Als je de batterij aansluit kan het gebeuren dat de diode al vanzelf oplicht. Dat kun je ongedaan maken door R1 even uit de klemveer te trekken. Maar je kunt ook een condensator van 100 μ F parallel schakelen aan de IR-LED (verbind dan de min-pool van de elco met de kathode). De kleine hoeveelheid stroom die bij het inschakelen uit de AMP komt wordt dan om de IR-LED heen geleid totdat de elco is opgeladen. De diode zal dan hoogstens nog even kort opflitsen. Het effect van je goocheltruc wordt door

deze kleine aanpassing beslist nog groter - zeker als de spanning nog wordt opgevoerd door een korte vertraging bij het ontsteken als je de brandende lucifer tussen de IR-LED en de fototransistor houdt.



Figuur 292. Verboden voor onbevoegden: een licht-emitterende diode ontsteken met een lucifer.

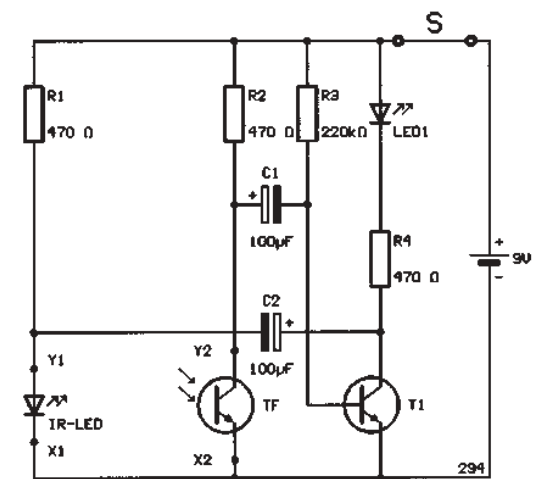


Figuur 293. Het opbouwschema bij figuur 292.

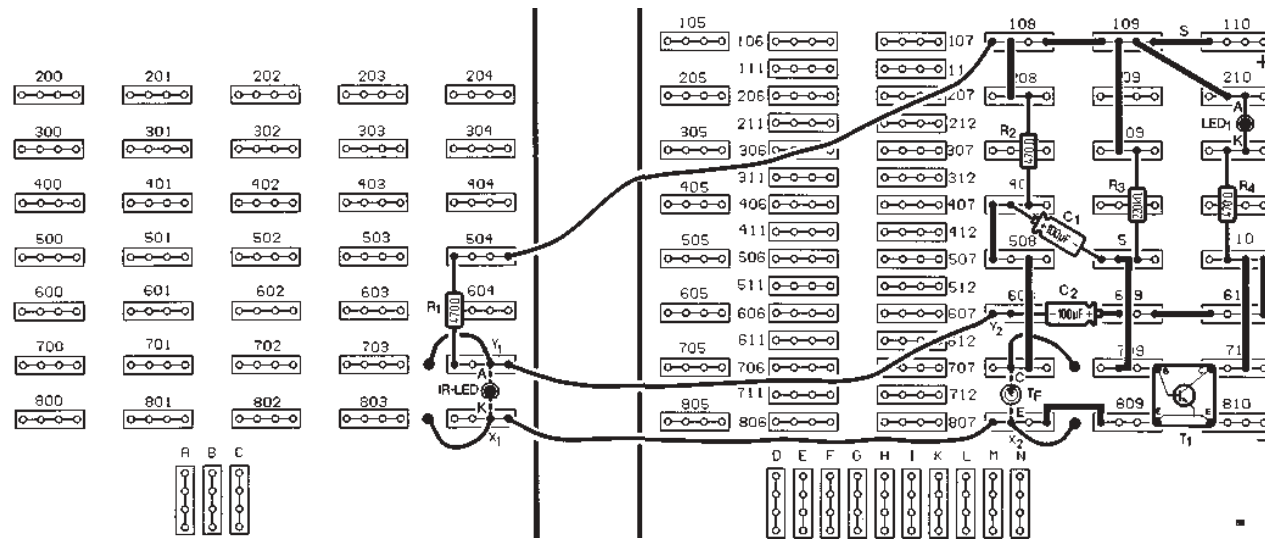
Een schitterend vibrato

Licht als middel om te koppelen - waarom dan niet ook om mee te koppelen? Tijdens onze experimenten met transistoren hebben we ook de AMV met twee npn-transistoren leren kennen. Die werkt volgens het principe: afwisselend wederzijds sperren en in geleiding brengen van de basis-emitterovergangen met tijdconstanten. Een gedeelte van de verbinding vervangen we nu door een infrarode lichtstraal en stellen zodoende een knipperlicht met zichtbaar licht in werking.

209 In de opbouw zoals aangegeven in figuur 294 zijn de infrarood-diode en de fototransistor dicht bij en tegenover elkaar geplaatst. Na het inschakelen geeft LED1 licht. Dan begint het! De diode knippert - net zoals bij de echte AMV. Blokkeer nu de onzichtbare stralenbundel door een stukje karton tussen IR-LED en de fototransistor te houden: uit! Of beter gezegd: aan. Want LED1 geeft nu permanent licht. Dat is niet verwonderlijk, want de basisstroom voor T1 vanuit R3 wordt nu niet meer beïnvloed door de voortdurende wisseling in het spel van de tijdconstanten. Als je de blokkade opheft gaat de diode weer knipperen. De fototransistor vangt IR-licht op, begint te geleiden en legt de intussen via R2 en de basis-emitter-overgang van T1 opgeladen C1 met de plus-kant aan negatieve spanning. Daardoor wordt T1 gesperd. Dit leidt ertoe dat C2 aan de plus-kant wordt "verhoogd": hij wordt via LED1, R4 en de IR-LED opgeladen, die hij daardoor van stroom voorziet, terwijl de fototransistor volledig in geleiding wordt gebracht. Totdat de spanning aan C1, die vanuit R3 wordt opgeladen, hoger wordt dan de basis-emitterdrempelspanning van T1.



Figuur 294. Positieve terugkoppeling via het infrarood: multivibrator met ondersteuning van infrarood licht.



Figuur 295. Het opbouwschema bij figuur 294.

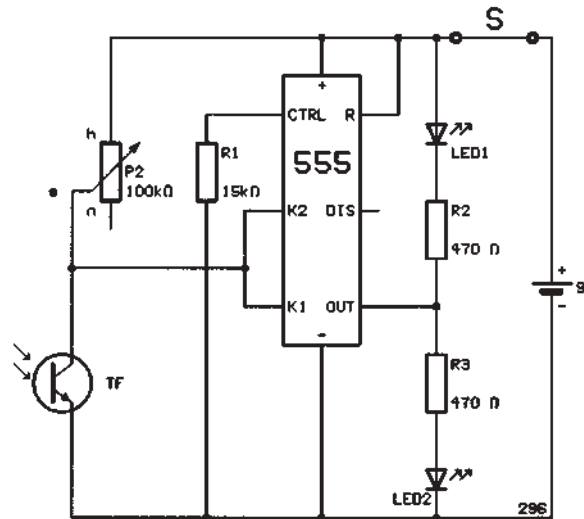
Vervolgens gaat T1 weer geleiden en die zal dan zelfs tijdelijk de stroom van de IR-LED via C2 aftakken. Al met al levert dat een behoorlijk sterk knipperlicht op zolang het wisselen dank zij de optische koppeling doorgaat.

Het principe van de koppeling tussen IR-LED en fototransistor (bij hogere frequenties fotodiode) wordt toegepast bij een bepaald soort bouwelementen die *opto-elektronische koppelaars* worden genoemd. Die zijn ideaal voor het geval dat informatie-overdracht moet plaatsvinden zonder contacten resp. zonder gebruik van elektrische leidingen. Daarmee kunnen veel problemen bijna vanzelf worden opgelost.

De 555 in een nieuw licht

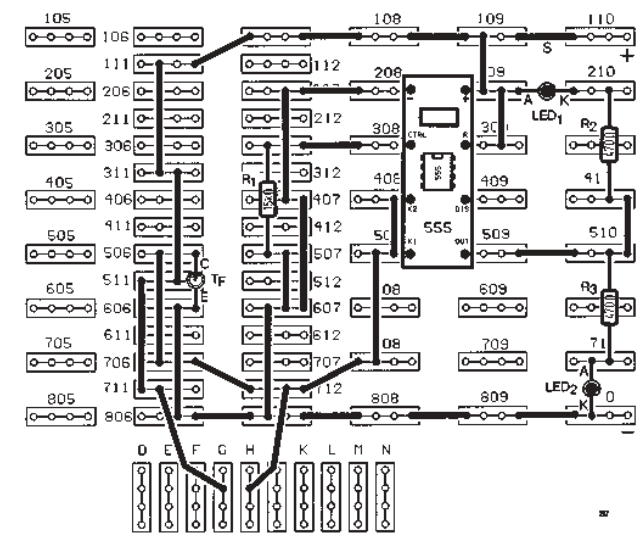
Zonder de 555 kom je er niet, ook niet in de opto-elektronika. Dat blijkt uit de volgende experimenten.

210 Bouw de testschakeling op volgens de aanwijzingen in figuur 296 en let op de reactie. De 555 functioneert hier als drempelwaardeschakelaar. P2 wordt eerst helemaal ingeschakeld (s op n). Als LED1 nu licht geeft, is het in de kamer te donker. Graag dus wat meer licht, a.u.b. (draai bijvoorbeeld de lamp boven de tafel aan). Nu dooft LED1 en licht LED2 op. Dek vervolgens de fototransistor af (met je hand, een stuk karton of een zwarte doek): dan licht LED1 op. Een echte dimmer dus. Waar zou jij het relais aansluiten waarmee in het donker een lamp ingeschakeld kan worden? Precies - in de bovenste tak (klemveren 109 en 410). En moet dat dan pas gebeuren bij een geringere lichtsterkte dan wij zouden willen?



Figuur 296. De 555 in het halfdonker: de toestand is afhankelijk van de lichtsterkte.

Natuurlijk - verlaag de weerstand van P2 (door s op te draaien in de richting van h). En de hysteresis? Die hebben we al bij het opbouwen verlaagd door in de schakeling R1 op te nemen voor de CTRL-ingang. Hoe een dergelijke schakeling met een 555 in zijn geheel functioneert, hebben we al in het vorige hoofdstuk uitvoerig behandeld.

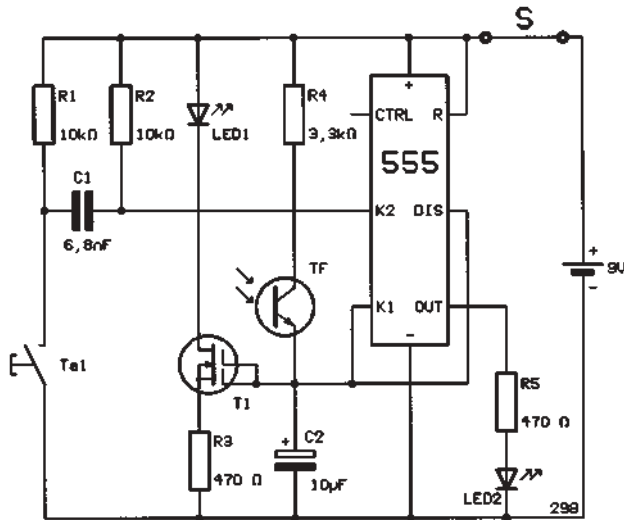


Figuur 297. Het opbouwschema bij figuur 296.

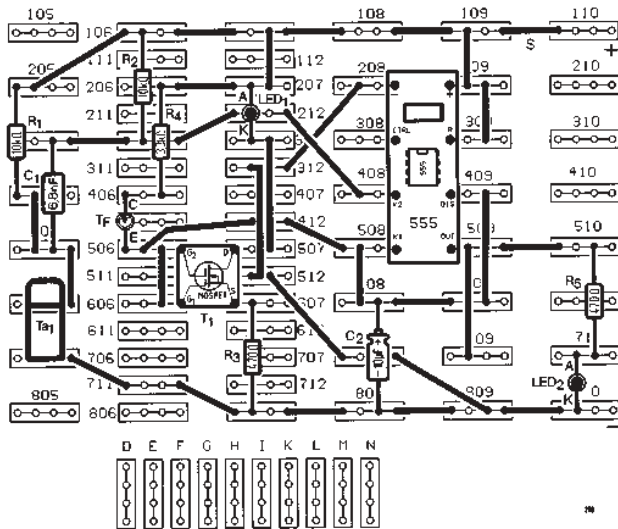
Twee dingen nog met betrekking tot de "optiek". Ten eerste: gloeilampen die zijn aangesloten op het wisselspanningsnet worden 100 keer per seconde in- en uitgeschakeld. Dat heeft ook invloed op de lichtgevoelige collectorstroom van de fototransistor. Zolang de daardoor opgewekte "brom"-spanning echter onder de waarde van de laagste drempelspanning blijft, zal de schakeling foutloos functioneren. Ten tweede: als je de fototransistor vlak bij een sterke lichtbron houdt, moet je P2 niet helemaal opdraaien tot bij de aanslag h. Tenzij je een beveiligingsweerstand van bijvoorbeeld 470 Ω tussen h en de plus-pool aanbrengt.

211 Fotograferen is tegenwoordig doodsimpel. Dat is te danken aan voorzieningen zoals die waarvan je een afbeelding vindt in figuur 298. De lichtgevoelige film reageert zoals bekend op een bepaalde hoeveelheid licht: hoe meer licht, des te sneller wordt het negatief zwart. Daarom moet je de belichtingstijd kunnen instellen. Daarvoor zorgt een tijdbesturing met fototransistor. Bouw de experimentierschakeling op en houd LED2 in het oog. Daar zit in het echt de elektromagneet voor de sluit. Eerst gebeurt er helemaal niets. Op de ontspanner drukken is iets wat je in ieder geval nog zelf moet doen - zo automatisch is deze automatische schakeling nou ook weer niet. Druk dus op Ta1. LED2 gaat aan - de sluit is geopend. Dan licht ook LED1 meer of minder snel op en vervolgens doven de beide lichtemitterende diodes. Meer of minder snel - dat is namelijk afhankelijk van de belichting van de fototransistor. Kijk eens wat er gebeurt als je de fototransistor verduistert: nadat je hebt ingeschakeld

zal het heel lang duren voordat LED1 op volle sterkte licht geeft en het proces voltooid is. In dat geval zou je een vaste hand moeten hebben om de camera te bedienen. Maar wat gebeurt er als de fototransistor het volle licht krijgt: nauwelijks heb je ingeschakeld of het plaatje is al geschoten. Klik.



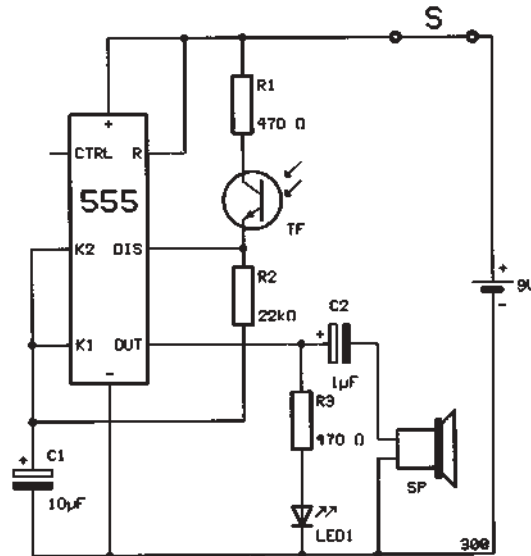
Figuur 298. Lichtdoseringsschakelaar: model van een sluitersturing van een camera met "verloopindicatie".



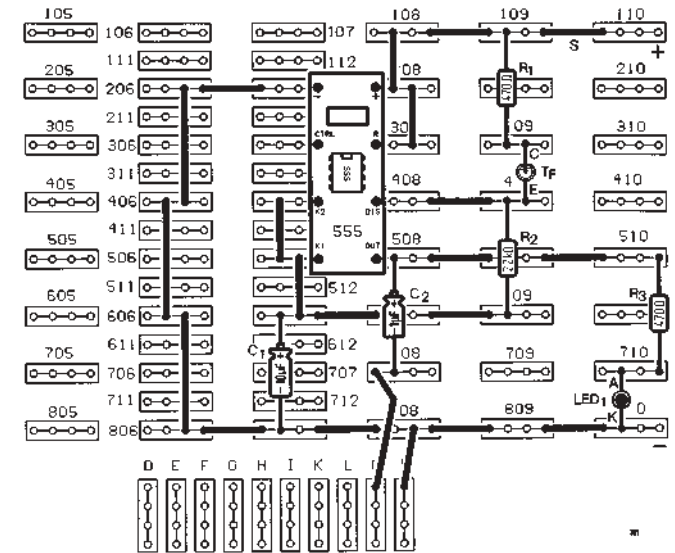
Figuur 299. Het opbouwschema bij figuur 299.

Beschrijving van het proces in telegramstijl omdat we het allemaal al hebben gehad: K2 positief, K1 negatief (C2 nog leeg), dus OUT en DIS negatief. Dan volgt de "dynastart": K2 via C1 even aan de min-pool, OUT wordt positief, DIS spert. C2 wordt via R4 en de fototransistor al naar gelang de lichtsterkte langzaam of snel geladen. Door de toenemende spanning wordt T1 geopend, maar de hoogohmige ingang van deze transistor belast de spanning aan C2 niet (de stroom is te verwaarlozen). De toenemende lichtsterkte van LED1 geeft aan dat de stijgende spanning van C2 ervoor zorgt dat T1 meer en meer gaat geleiden. De spanning aan C2 bereikt 2/3 van de batterijspanning, OUT wordt negatief, DIS eveneens, de schakeling kipt naar de rusttoestand.

212 Een lichtsturing die niet alleen maar leuk is, zie je in figuur 300. En omdat we nu echte experts zijn geworden, hebben we dat ook onmiddellijk in de gaten. Dat moet een generator zijn, en de fototransistor bepaalt de snelheid waarmee C1 wordt opgeladen. Gebruik om te beginnen 6,8 nF en zet de schakeling in een donkere kamer of een kast. Je kunt er het beste een kast voor gebruiken waar niet iedereen stiekum in zou mogen snuffelen. Doet iemand dat toch, dan moet je maar eens horen met wat voor oorverdovend lawaai het alarm afgaat! Hoe meer licht, des te hoger de toon. Een schakeling dus die ook kan worden gebruikt in de koelkast of wanneer je weer geesten gaat bezweren. Hoe dat in zijn werk gaat, hoeven we niet meer uit te leggen.



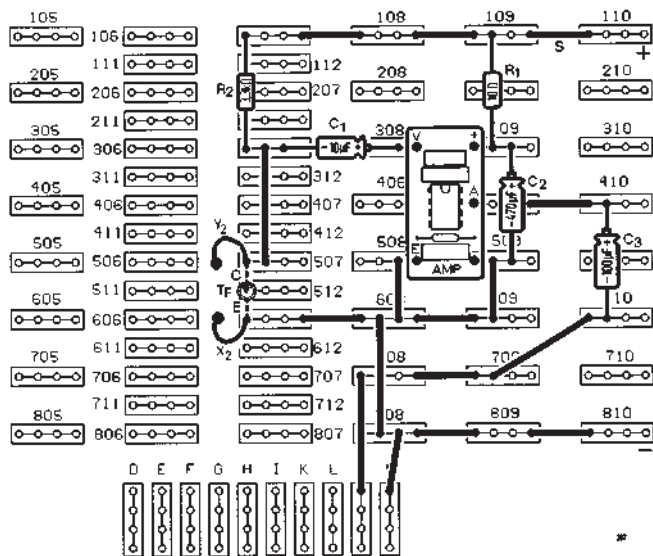
Figuur 300. Voor vrolijke en serieuze toepassingen: de "lichtvogel". Te gebruiken als alarm in een kast, als lux-meter of als lichtgestuurd knipperlicht.



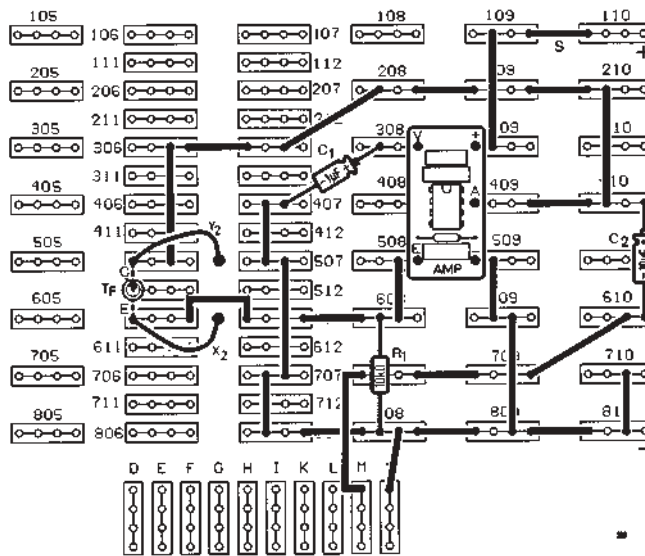
Figuur 301. Het opbouwschema bij figuur 300.

Maar we kunnen deze lichtafhankelijke "toongever" ook gebruiken voor een heleboel serieuze toepassingen. Bijvoorbeeld als *akoestische lux-meter*. Aan de toonhoogte kun je iedere verandering horen: van een krakend geluid tot een scherp ratelen - weinig licht, hoge fluittoon - zeer helder. Alleen binnen dit bereik heeft het zin om C1 te vergroten. Gebruik nu voor C1 maar eens 10 μF. Wat in de luidspreker door min of meer snel kraken wordt aangegeven, komt duidelijker over door het knipperen van LED1. Je zou er de verlichting in een kamer mee kunnen bewaken: regelmatig knipperen betekent dat alles in orde is, een lange lichttijd met kort interval geeft aan dat het licht gedeeltelijk is uitgevallen (bijv. omdat in een kroonluchter een paar gloeilampen kapot zijn), en continu licht staat voor de totale blackout. Het mooie daarbij is dat de bewaking via LED1 of de luidspreker ook aan het andere uiteinde van een lange leiding functioneert!

213 Deze keer worden de schakeldrempels door het licht gestuurd (figuur 302). Als echte profs met de 555 zien we het onmiddellijk: wordt de fototransistor helder belicht, dan zijn de drempels en dus ook hun onderlinge afstand laag, hetgeen kortere tijden en dus een hogere frequentie betekent. En omgekeerd. Denk bij je experimenten ook maar eens aan het volgende: is er sprake van een grote helderheid, dan is een weerstand van 3,3 kΩ in serie met de fototransistor zinvol. Interessante varianten krijg je, wanneer je R1 vervangt door R2 resp. (en) C1 door C2.



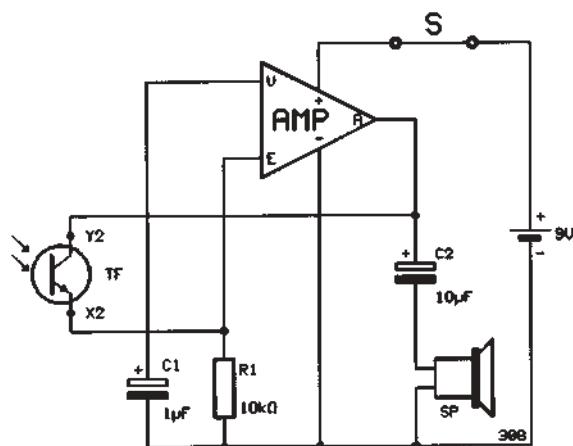
Figuur 307. Het opbouwschema bij figuur 306.



Figuur 309. Het opbouwschema bij figuur 308.

Een AMP met infrarood-cel

Bij de volgende koppeling tussen de IR-LED en de fototransistor gaat het om iets heel anders.



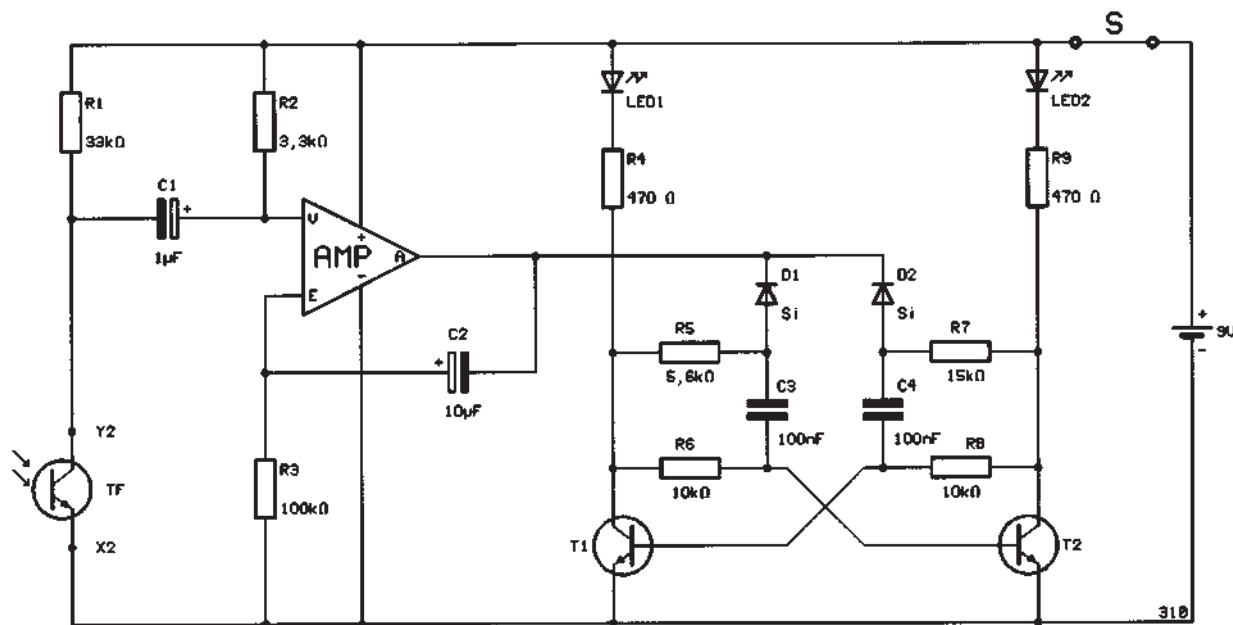
Figuur 308. Een onzichtbare balk (cel) zorgt voor alarm, wanneer de infrarood-straal wordt onderbroken; met 680 KΩ parallel op de fototransistor geschakeld lukt dat ook in het donker.

216 De schakeling zoals aangegeven in figuur 308 moet je alleen op de batterij aansluiten wanneer aan de volgende voorwaarde is voldaan: de fototransistor wordt door onze eenvoudige continu-infrarood lichtbron (150 Ω voorschakelweerstand, bedrijf via voedingsapparaat) voortdurend voldoende belicht. Dat kunnen we niet zien, maar wel horen, en wel wanneer de straal wordt onderbroken! Schuif dus maar eens voor heel even het al bekende stukje karton ertussen. De herrie is dan namelijk bijna niet meer om aan te horen.

Aan en uit met infrarood

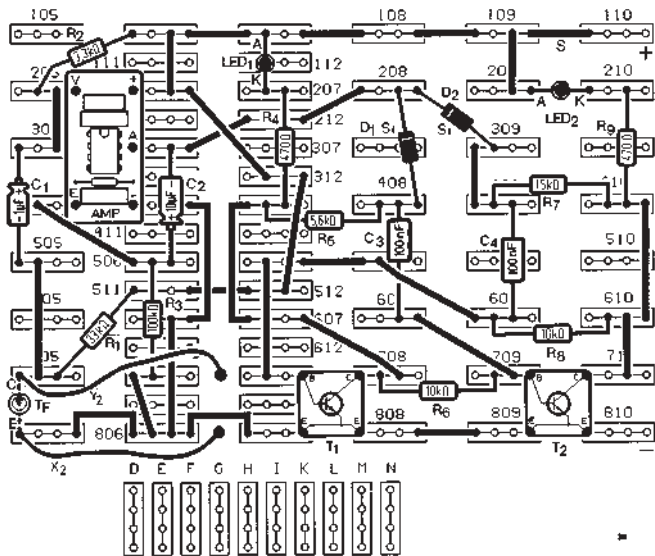
Als infrarood-zender voor het volgende experiment kunnen verschillende varianten worden gebruikt; ofwel de 555 als generator of gewoon gelijkstroom via een voorschakelweerstand van 150 Ω voor de IR-LED (zie figuur 288).

217 Aan de ontvanger-kant bouwen we in onze proef de schakeling op die je in figuur 310 ziet. De schakeling bestaat uit twee oude bekenden: de AMP als monoflop-schakeling (zie hoofdstuk 17) en een dynamische flip-flop zoals we die al in onze reeks experimenten met transistors hebben gebruikt. Dynamisch wordt ook de AMP-monoflop gestuurd, echter deze keer door het licht. Een korte flits die de fototransistor moet raken, is al voldoende. Krachtige lichtbronnen van buitenaf moeten daarbij wel worden vermeden. Laten we de zaak maar als een puur experiment zien, waarbij we geen grote afstanden willen



Figuur 310. Een goed principe voor afstandsbediening: Aan en uit via een infrarood-straal.

overbruggen. De IR-LED van de zender en de fototransistor van de ontvanger moeten dicht in elkaars buurt staan. Na het inschakelen van de ontvanger-batterij kijken we wat de beide licht-emitterende diodes doen en drukken op Ta1 in de zender. Je zult zien dat bij iedere druk op de toets de licht-emitterende diode die op dat moment licht geeft, dooft en de andere oplicht. We hebben dus te maken met een wisselschakelaar, die door middel van een enkele toets via de infrarood-straal wordt bediend. Het principe is dus uitstekend geschikt voor afstandsbedieningen.



Figuur 311. Het opbouwschema bij figuur 310.

Nog even een tip: Wanneer de licht-emitterende diode die op een bepaald moment niet actief is, toch nog een beetje "meedoet met licht geven", dan is het een erg gevoelige diode. We hebben dan nl. niet te maken met de collectorstroom van de eigen, maar met de basisstroom van de andere transistor. Indien nodig kun je dat gericht veranderen: R6 en R8 van 10 kΩ verhogen tot 100 kΩ en dan voor C3 en C4 elk 6,8 nF in plaats van 100 nF, of (en) parallel aan de licht-emitterende diodes een weerstand van 1 kΩ a 1,5 kΩ opnemen.

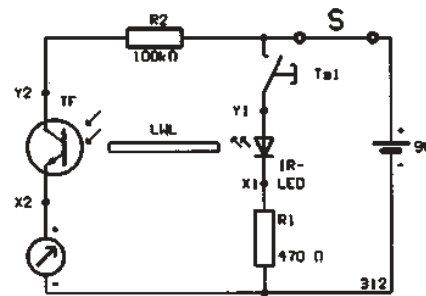
22. Draden voor licht

De PTT maakt voortdurend reclame met "fibre to the home". Een glasvezelkabel tot in je woonkamer. Niks geen koperen draden en elektromagnetische storingen meer. Totale reflectie in de vezel gebundeld licht, in infrarood gemoduleerd, maakt de levering van enorm veel diensten en programma's mogelijk, het kan gewoon niet op. Het onopvallend kleine "lichtdraadje" in onze experimenteer-

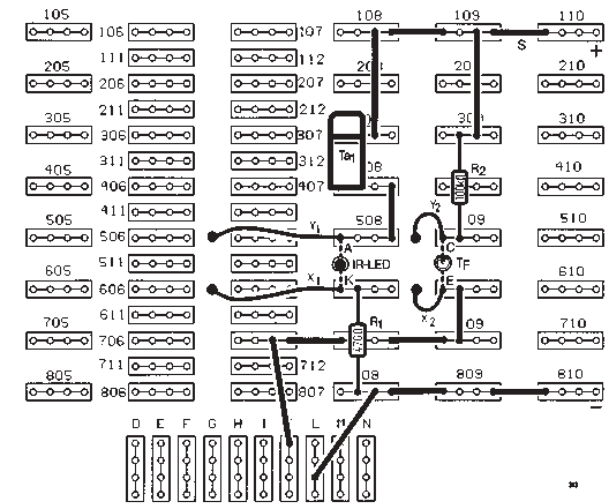
doos zorgt voor de aansluiting, en we kunnen zelf uittesten hoe dat in zijn werk gaat. De beiden panelen bevatten de nodige onderdelen: houders voor (infrarood-)zenddiodes en de fototransistor en verder een stukje lichtgolfgeleider (LGG) van kunststof plus de houder hiervoor.

218 We nemen deze LGG tussen duim en wijsvinger en kijken naar een van de uiteinden. Het andere uiteinde bewegen we naar verschillende kanten. Je ziet dan dat het snijvlak oplicht, wanneer je het andere uiteinde op een lichtbron richt. Dit uiteinde houden we nu tegen een gloeilamp (een lamp op tafel of een zaklamp) en bewegen het lichtgevende uiteinde naar alle kanten. Het licht gaat zelfs "het hoekje om". Het betekent dus dat LGG's vrijwel op dezelfde manier kunnen worden gelegd als elektrische draden! Hoe komt dat? Het licht gaat aan het snijvlak de LGG binnen en beweegt zich erlangs voort. Omdat het materiaal dichter is dan lucht, houdt het het licht ook vast, wanneer de LGG - binnen bepaalde grenzen - in een bocht wordt gelegd. Hierdoor wordt bereikt dat licht aan het grensvlak van het dichtere en het dünnere materiaal naar het dichtere toe wordt afgebogen. Bij een hoek die geringer is dan de kritische hoek blijft het licht dus in het materiaal. Dit noemen we totale reflectie. Scherpe bochten werken echter net als een gat in de muur; hier treedt licht naar buiten. Dus: nooit met geweld verbuigen en al helemaal niet dubbelbuigen!

219 Kan de LGG ook onzichtbaar infrarood-licht geleiden? Steek de IR-LED en de fototransistor foto-transistor maar eens naast elkaar in de houder en monteer deze samen met de houder voor de LGG aan de zijkant in de paneelbehuizing. Bouw nu de schakeling op zoals aangegeven in figuur 312. In de gaten die in de houder zitten, brengen we de uiteinden van de LGG aan, zodat ze de fototransistor resp. de IR-LED raken. Druk nu maar eens op de toets: is alles correct gemonteerd, dan moet de wijzer van het meetinstrument uitslaan. Wanneer het instrument ook voordien al een waarde aangaf, dan werkt nog teveel vreemd licht op de fototransistor in. Werk dus niet vlak onder een



Figuur 312. Licht aan het einde van de tunnel. Ook als dat licht "de hoek om" moet!



Figuur 313. Het opbouwschema bij figuur 312.

lamp of in de volle zon. Indien nodig kan worden bereikt dat de wijzer nog verder uitslaat door R1 te veranderen in 150 Ω; vanwege de grotere belasting van de IR-LED waar dan sprake van is, moet Ta1 maar heel even ingedrukt worden. Deze proef toont aan dat de LGG ook infrarood-licht kan geleiden. En ook dit licht kan, als dat gewenst wordt, weer "de hoek om" gaan.

220 We nemen het zekere voor het onzekere en halen de LGG uit de houder bij de fototransistor weg. Wanneer je nu op Ta1 drukt, mag er niets gebeuren. Maar wanneer je, terwijl je de toets ingedrukt houdt, het uiteinde van de LGG weer aan de kant van de IR-LED aanbrengt, dan moet de wijzer van het meetinstrument uitslaan.

De gulden snede

Wedden dat je uit de LGG nog meer kunt halen dan je daarnet hebt gemeten?

221 Snijd met een scheermes of een scherp hobbymes (alleen voor volwassenen!) de beide uiteinden van de LGG mooi glad en in een rechte hoek af. Steek nu de beide uiteinden weer in de houder en voer de meting opnieuw uit. Je zult zien dat de wijzer nu helemaal uitslaat, zelfs nog bij 470 Ω voor

222 R1. Wanneer we de fototransistor met behulp van een draadbrug overbruggen, zien we dat de wijzer nauwelijks nog verder uitslaat. Bij de stroom van het meetinstrument wordt de transistor dus al volledig doorgeschakeld. Conclusie: de overgangspunten tussen licht en elektronica zijn beslissend voor het rendement, d.w.z. voor de verhouding tussen het overgedragen en het opgenomen vermogen. Treedt het licht immers een glad oppervlak binnen, dan worden de stralen netjes samengehouden.

Maar zijn de afgesneden vlakken schuin en niet gelijkmatig, dan wordt aan de ingang minder licht opgenomen en worden de invalshoek van het licht en de hoek waaronder het uittreedt, minder gunstig. Door de vlakken glad te polijsten kunnen de resultaten dus verder worden verbeterd.

223 Trek de LGG uit de houder aan de kant van de IR-LED. Richt dit uiteinde nu eens op een gloeilamp (tafellamp o.i.d.) Maar pas wel op dat je niet te dicht in de buurt van de lamp komt, want de wijzer slaat behoorlijk ver uit.

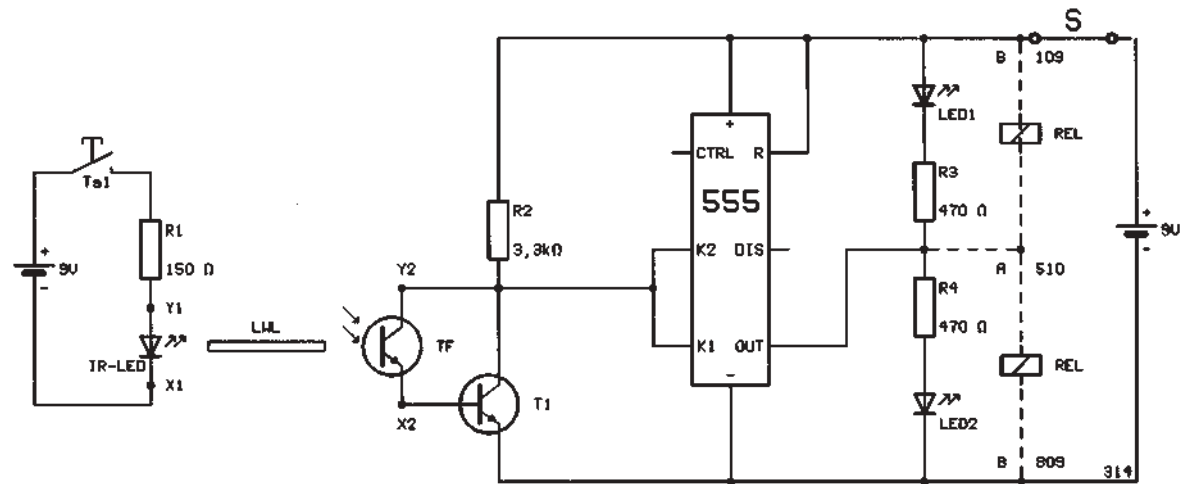
224 Steek het uiteinde van de LGG door een stuk papier heen en bundel het licht van een lichtbron, die op een wat grotere afstand staat opgesteld, met een loep op het vlak waarop het de LGG binnengaat. Het papier helpt bij het vinden van het brandpunt. Ook nu slaat de wijzer weer duidelijk uit.

Van deze twee experimenten kunnen we twee dingen leren. Op de eerste plaats zien we dat het in het spectrum voor de fototransistor gunstige licht van de gloeilamp (aandeel rood) het beste naar de fototransistor kan worden geleid wanneer het afsnijvlak van de LGG precies op de lamp is gericht. En daarnaast merken we dat wanneer licht met behulp van een loep op het ingangsvlak wordt gebundeld, de lucht en de LGG ieder deel uitmaken van de complete weg waarlangs het licht wordt ge-transporteerd. Overigens zijn de behuizingen van de "bouw"-elementen die we voor het licht gebruiken, eveneens lensvormig. Daardoor nemen ze bij voorkeur licht op dat er precies verticaal opvalt resp. zenden dit licht zodanig uit.

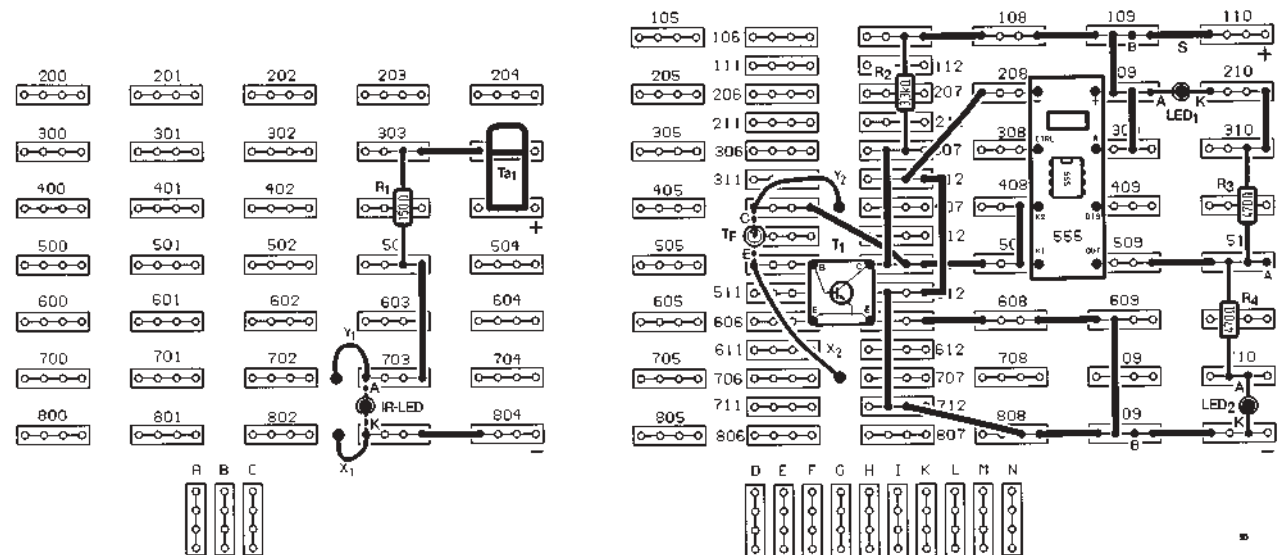
225 Voordat we met de volgende leuke experimenten gaan beginnen, kijken we nog eens even naar het effect van de gladde oppervlakken: over de rode, de groene en de gele licht-emitterende diode komt nu tegelijkertijd, via 470 Ω elk, 9 V te staan. Houd nu het ene uiteinde in de gaten, terwijl je het andere langs de licht-emitterende diodes leidt. Het goed afgesneden snijvlak geeft de kleur van de diode waar het langs gaat, duidelijk weer. Echt iets voor de modelbouwer, wanneer lampjes in de kleine modellen precies op schaal moeten zijn en toch moeten branden! Om deze experimentenreeks af te sluiten, houden we het uiteinde van de LGG nu tegen een gloeilamp. Het andere uiteinde geeft helder licht af!

Kracht door licht

226 Onze LGG kan binnen het kader van het hoofdstuk over opto-elektronica in talrijke experimenten worden gebruikt. Power die via een licht transporterende draad wordt gestuurd. Geen probleem om daarmee bijvoorbeeld een relais te schakelen. Tussen de trigger-drempels van de 555 in figuur 314 kan met behulp van het stukje LGG heen en weer worden geschakeld. Hiervoor moet je het uiteinde ervan in de buurt van de fototransistor brengen ofwel het uit de buurt van de fototransistor verwijderen. Om te voorkomen dat beide niet al te nauw met elkaar in contact komen, voeden we de IR-LED met een



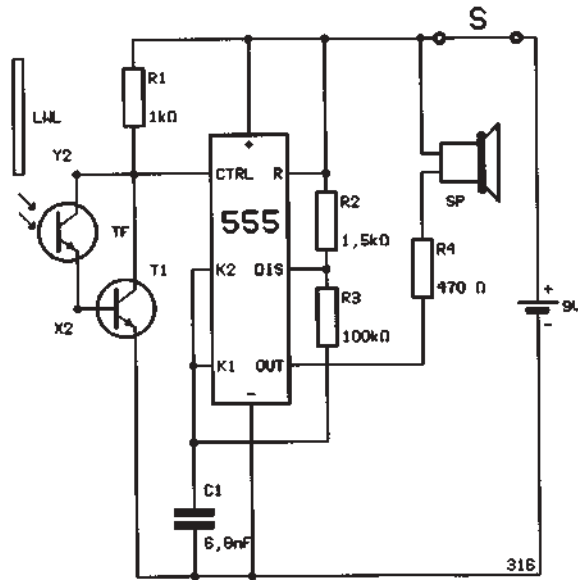
Figuur 314. Kracht door licht: een relais dat via een LGG wordt geschakeld.



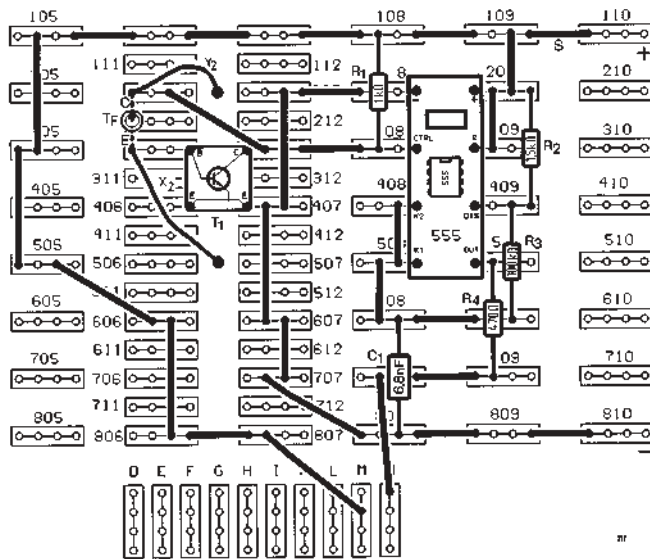
Figuur 315. Het opbouwschema bij figuur 314.

grotere stroom. Teneinde overbelasting te voorkomen, drukken we telkens alleen maar (heel even) op de toets, wanneer de LGG in de richting van de fototransistor wijst. Aan de ingangszijde zorgt de Darlingtonwerking uit de fototransistor en T1 "op afstand" voor de benodigde gevoeligheid. Neem het uiteinde van

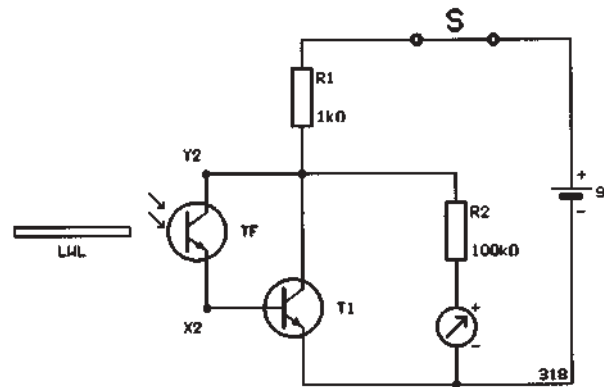
de LGG tussen duim en wijsvinger en leid het langs de ingang van de fototransistor; houd daarbij tegelijkertijd de toets ingedrukt. Let maar eens op de reactie. Je kunt ook een KOSMOS-net-transformator X naar keuze tussen OUT (510) en plus (109) dan wel min (809) aansluiten.



Figuur 316. Dit nemen we nog even mee: de hoogte van een toon wordt gestuurd door een LGG.

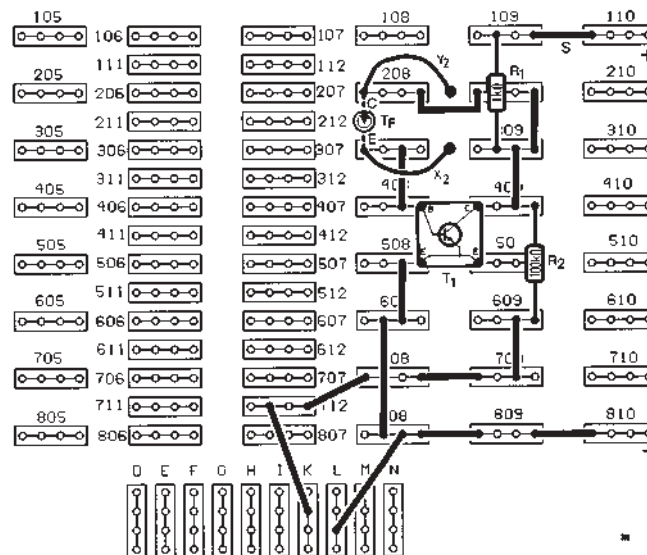


Figuur 317. Het opbouwschema bij figuur 316.



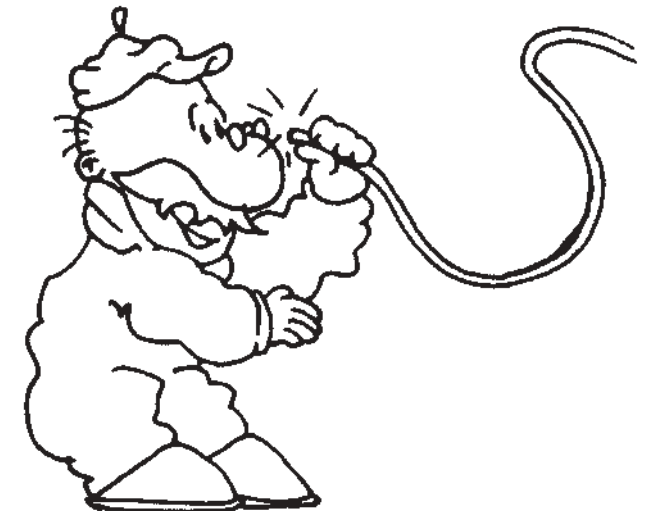
Figuur 318. De LGG wordt getest: het meten van veranderingen bij buigen van de geleider.

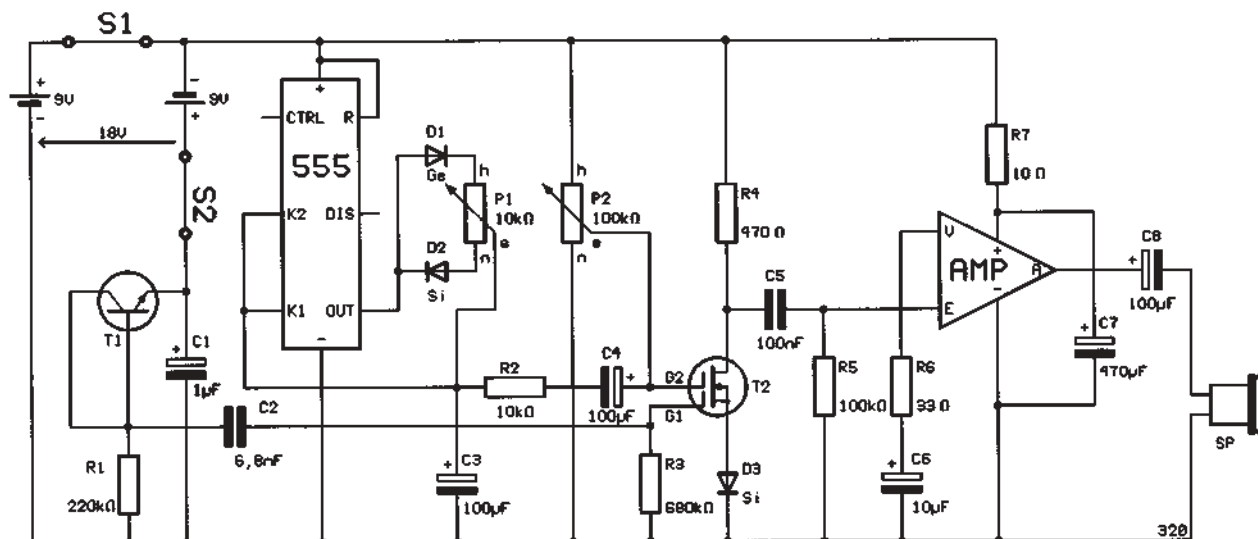
227 Met behulp van de 555 testen we ook nog andere functies van de LGG. De toongenerator zoals je die ziet in figuur 316 wordt via de CTRL-aansluiting gestuurd. Uit het hoofdstuk over de 555 weten we dat je met behulp van deze geïntegreerde schakeling de drempelspanningen kunt wijzigen. Dat werk wordt nu overgenomen door onze LGG - of wel "en passant" of wel doordat hij op de fototransistor wordt gericht en (voorzichtig) flink wordt omgebogen, waardoor de demping verandert. Laat hem maar even uithuilen...



Figuur 319. Het opbouwschema bij figuur 318.

228 Aan de hand van het experiment dat bij figuur 318 hoort, kun je de bewegingsspelletjes met de LGG "objectiveren". Het meetinstrument maakt iedere verandering zichtbaar. Op die manier kun je beter voorspellen wat er kan gebeuren. Bij al deze tests moet je licht van buitenaf vermijden; dat stoort immers alleen maar en beïnvloedt het resultaat in negatieve zin.





Figuur 320. De 555 stoomt op: geluid als van een echte stoomloc.

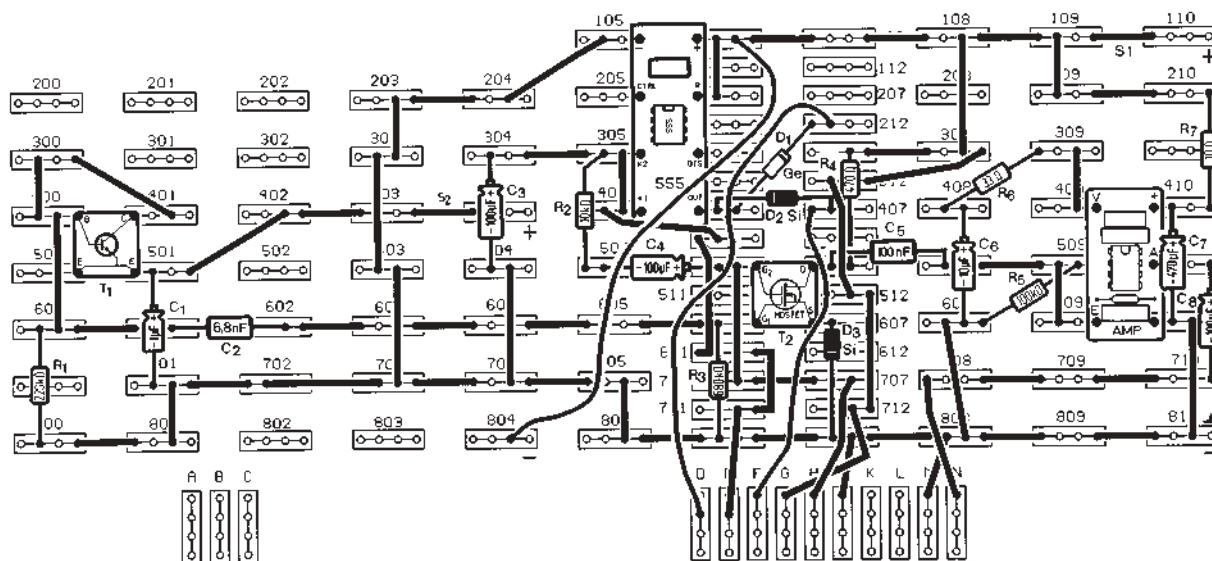
23. Even ontspannen: de speeltuin (1)

Omdat de resultaten wel leuk zijn, gaan we met de volgende schakelingen een beetje spelen. Je kent inmiddels de basisprincipes die je moet hanteren om de experimenten van dit hoofdstukje te begrijpen.

Nostalgie tussen de rails

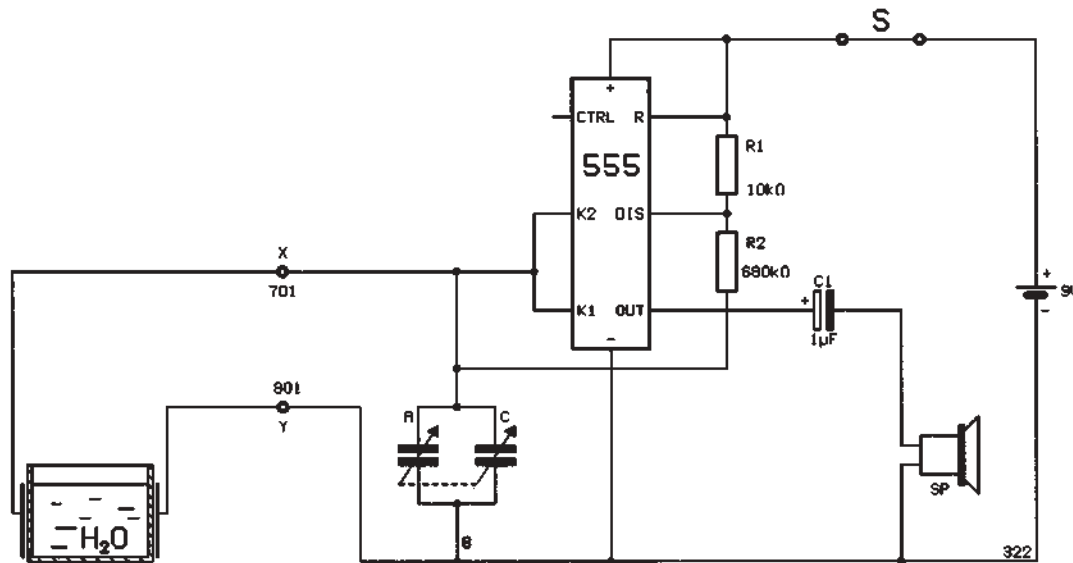
De modelspoorbaan is zo ongeveer de enige plaats waar nog van die "goeie ouwe" stoomlocomotieven rijden. Jammer genoeg is de enige aandrijving daarbij ook een elektromotor. Maar daar kunnen we wat aan doen.

229 Met de schakeling van figuur 320 komen we een aardig eind op weg. Draai eens aan de potmeters en luister maar, hoeveel verschillende geluiden er worden gemaakt! De basis-emitter-overgang van T1 krijgt een hogere spanning dan de voorziene sperspanning. Daardoor vindt voortdurend inschakelen plaats, waarbij R1 de stroom beperkt houdt tot waarden die ongevaarlijk zijn. Het gevolg daarvan is het ruisen dat je hoort. De bij deze ruis behorende spanning wordt door T2 via G1 naar de AMP geleid en via SP als geluid uitgestraald. Parallel hiermee krijgt G2 de bij C3 optredende laad- en ontladspanning van de 555. Hij vibreert als astabiele multivibrator met een ritme van 1 seconde. Veel plezier!

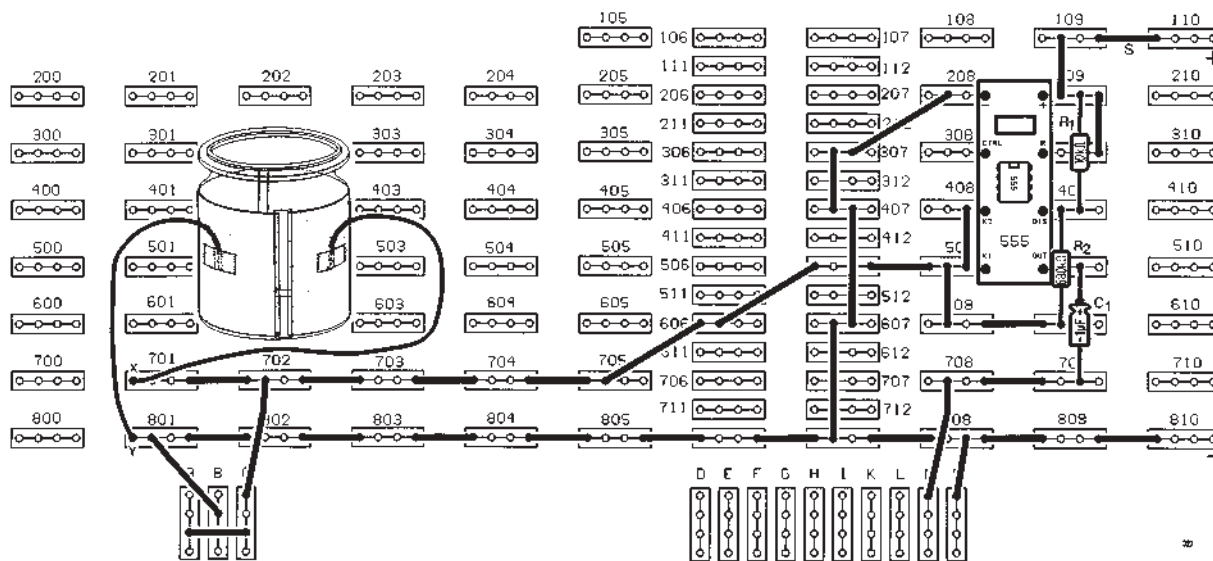


Figuur 321. Het opbouwschema bij figuur 320.





Figuur 322. Ook "muziek onder water". Hoe voller het vat, des te lager de toon.



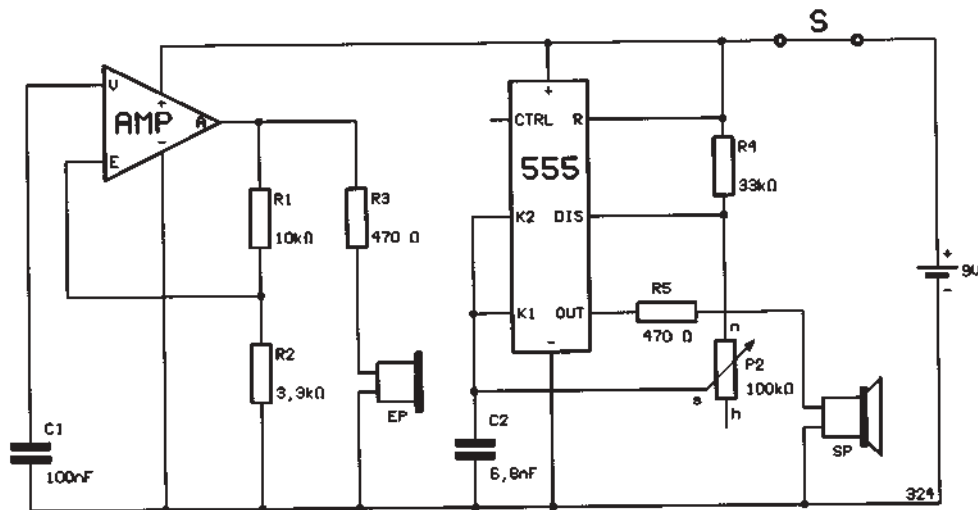
Figuur 323. Het opbouwschema bij figuur 322.

Volle bak!

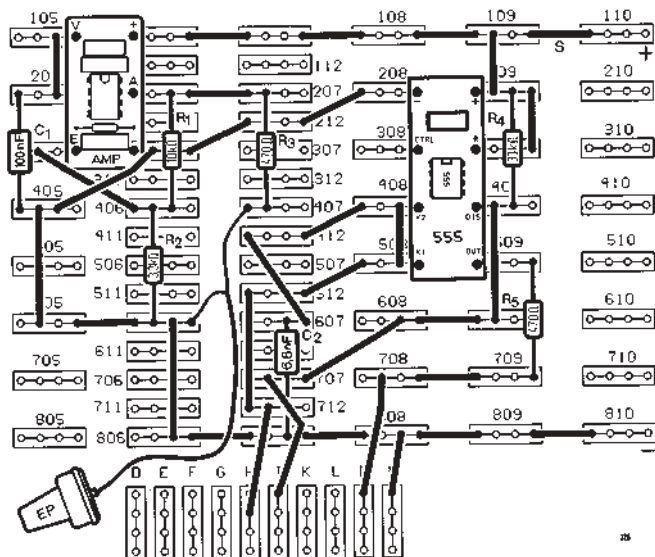
De 555 werkt zelfs bij maar een paar honderd picofarad nog als astabiele multivibrator. Veranderingen van enkele picofarads zijn hierbij al aan de toonhoogte te herkennen.

230 De proef die we nu gaan doen is puur praktisch: we gaan een capacitieve niveaumeter maken. Met de schakeling zoals aangegeven in figuur 322 hebben we weinig moeite. Behalve de schakeling hebben we nog een inmaakglas en een stuk aluminium-folie nodig. Deze folie wordt met de ene helft met plakband aan de buitenkant van het glas vastgemaakt. Op de folie bevestigen we met plakband de blanke uiteinden van twee toevoerdraden. De andere uiteinden sluiten we aan op schakeling (X-Y). Je hoort nu al een hoge toon. Met de draaicondensator kun je de frequentie veranderen. Nu moet je langzaam water in het glas gieten. Je zult merken dat hoe meer je het glas vult, des te lager wordt de toon. Voor insiders: de door de aluminium-folie, het glas en de lucht gevormde condensator "haalt" wanneer het glas leeg is, slechts een paar picofarad. Maar door het vullen wordt makkelijk een waarde van 200 pF gehaald, waarmee het capaciteitsbereik wordt bereikt van de vol opgedraaide draaicondensator met beide "pakketten" parallel geschakeld.

231 Ook de schakeling zoals aangegeven in figuur 324 is iets om mee te gaan spelen. Je moet hiervoor na het inschakelen de potmeter langzaam tussen maximum op minimum heen en weer draaien. Beide akoestische omzetters produceren een pieptoon. Maar luister nog eens heel goed! Bij het doordraaien is er een heel klein bereik waarin de frequentie van de 555-generator dicht in de buurt komt van die van de AMP-generator. Net alsof je je vingers in je oren steekt en ze van tijd tot tijd even eruit haalt. Dit effect noemen we zweving. En omdat we met vrijwel dezelfde frequentie te maken hebben, worden de geluidsgolven van beide bronnen in de buurt van ons oor sterker of zwakker. Hoe minder de batterij is gebruikt, des te zachter het geluid. Je kunt ook de 470 μF-condensator parallel aan de batterij aansluiten op plus en min. En zo wordt het bewijs geleverd: zonder deze elco en met 10 Ω in de plus-leiding tussen de batterij en de schakeling (bijv. in plaats van brug S) krijg je een behoorlijk harde "bel" te horen en nog wat andere rare geluidseffecten. Beide generatoren zijn nu nl. via de kunstmatig verhoogde inwendige weerstand van de batterij gekoppeld en beïnvloeden elkaars omschakelpunten. De ene "sleurt" de andere mee. Draai je verder, dan zal de frequentie op een paar plaatsen ineens veranderen. We noemen dit ook wel *synchronisatie*: de sterkste zegt tegen de zwakste, wanneer die moet omschakelen.



Figuur 324. Wanneer er twee (vrijwel) hetzelfde zijn: zwevingen in het oor.

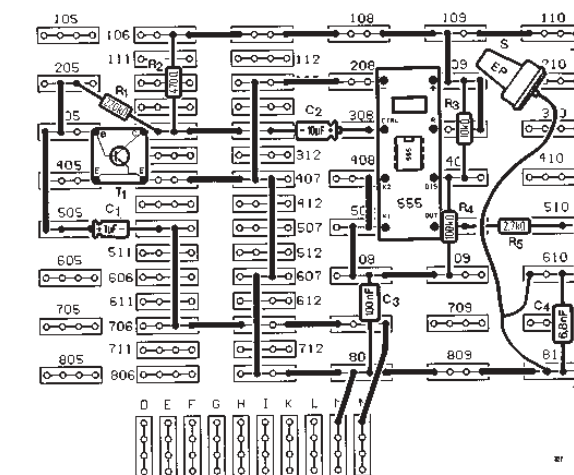


Figuur 325. Het opbouwschema bij figuur 324.

232

Het principe van de *frequentie-modulatie* stond aan de wieg van het volgende experiment. De schakeling zoals aangegeven in figuur 326 moet je gewoon eens voor je plezier opbouwen en uittesten. T1 zorgt voor de noodzakelijke versterking zodat de lage spanning van SP zijn werk kan doen wanneer het

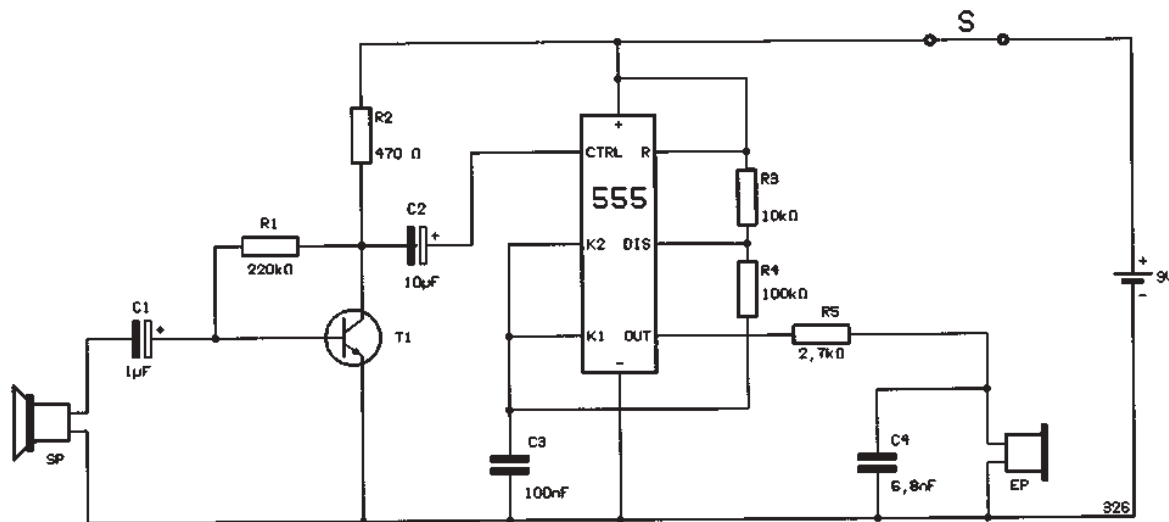
geluid inwerkt op de schakeling. Dat werk bestaat uit het verleggen van de comparator-drempels in de 555. In de oortelefoon klinkt het best wel grappig. We hebben enerzijds weer de basis-frequentie van de 555-multivibrator die binnen het bereik van ons gehoor ligt. Maar bovendien reageert de inductiviteit ervan als frequentie-afhankelijke weerstand ook op de verandering van deze frequentie door de modulatie die in de microfoon wordt bewerkstelligd. Praat of zing maar eens in de SP! Als reactie krijg



Figuur 327. Het opbouwschema bij figuur 327.

je een luid jankgeluid in de oortelefoon.

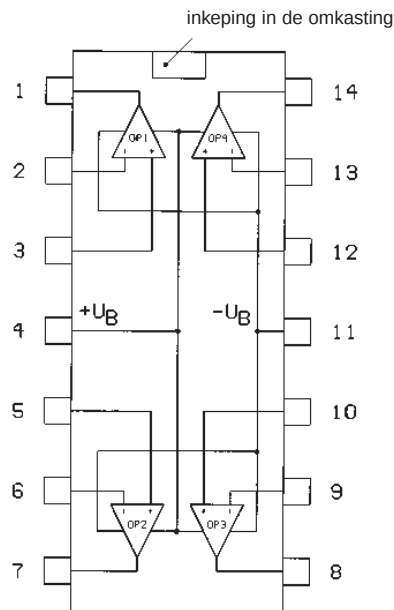
De relatief hoge voorschakelweerstand vóór de EP zorgt tenminste nog voor een beetje bescherming van je gehoor. Maar lang is dat gejank niet uit te houden. Als je dus even leuk wilt doen en het milieu met een hoop herrie wilt vervuilen: AMP en luidspreker aansluiten. Maar tak het signaal dan wel aan de oortelefoon af, want die moet in principe steeds aangesloten blijven.



Figuur 326. De stem van de toon: een onconventionele frequentie-modulatie.

24. De operationele versterker, basis voor onze operatie

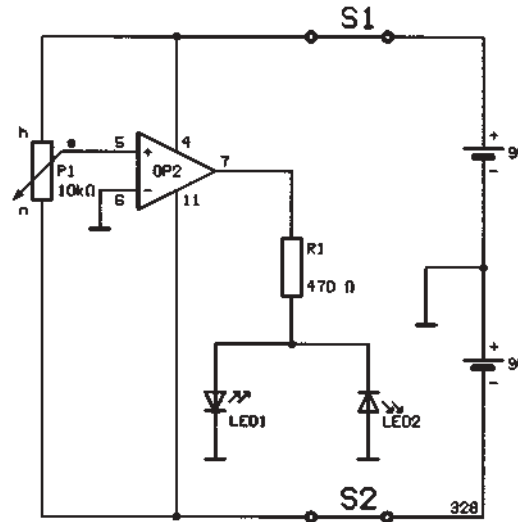
Voordat de snelle *digitale rekenmachine* (of gewoon de computer zoals we die nu kennen) er was, maakte de wetenschap voor het berekenen en nabootsen van processen in de natuur en de techniek gebruik van *analoge rekenmachines*. De rekenkundige bewerkingen die moesten worden uitgevoerd (bijv. optellen, aftrekken enz.), werden gerealiseerd met behulp van versterkers. Deze versterkers moesten, ook bij sterk schommelende temperaturen, aan de bijzonder hoge eisen voldoen die er m.b.t. de versterking en de stabiliteit aan werden gesteld. Het was niet makkelijk om deze rekenmachines uit losse elementen op te bouwen. Pas met de komst van de geïntegreerde *operationele versterkers* (OP's) werd het mogelijk, deze apparaten in grote hoeveelheden, tegen een betaalbare prijs en ook in een uitstekende kwaliteit op de markt te brengen. Maar toen waren de glorie-dagen van de analoge rekenmachines al voorbij. Het operationele versterker-principe bleek echter zó veelzijdig inzetbaar dat het de analoge machines helemaal niet meer nodig had om te kunnen bestaan. Op de chip van het type dat we in onze experimenteerdoos aantreffen, zijn vier aparte operationele versterkers opgebouwd. Als je wil weten hoe zo'n operationele versterker er van binnen uitziet, kijk dan maar eens naar figuur 327a. Je kunt er een hoop mee doen!



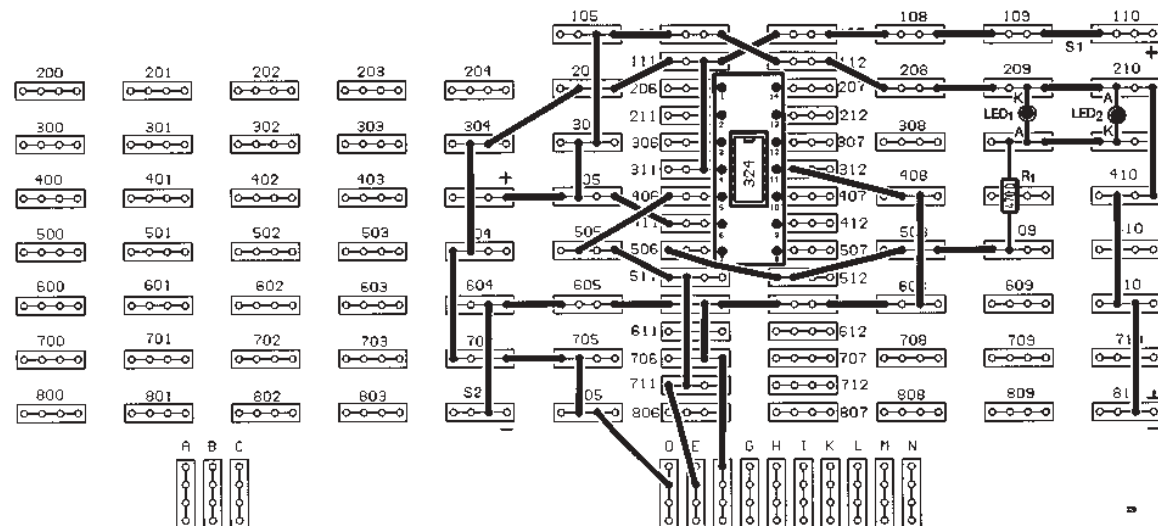
Figuur 327a. Zo ziet den viervoudige operationele versterker (type 324) er van binnen uit.

Voorbeeld: de waterpas

De luchtbel in de waterpas geeft precies aan of iets scheef of recht ligt. De luchtbel gaat bij de minste afwijking vanuit het midden naar rechts of links en komt al gauw in het bovenste uiteinde van de glazen buis. Het is zelfs bijna onmogelijk om op een glazen plaat een stalen bol precies in het midden te houden, want zo'n plaat staat altijd wel een beetje schuin.



Figuur 328. De comparator: balanceer-act tussen twee aanslagen.



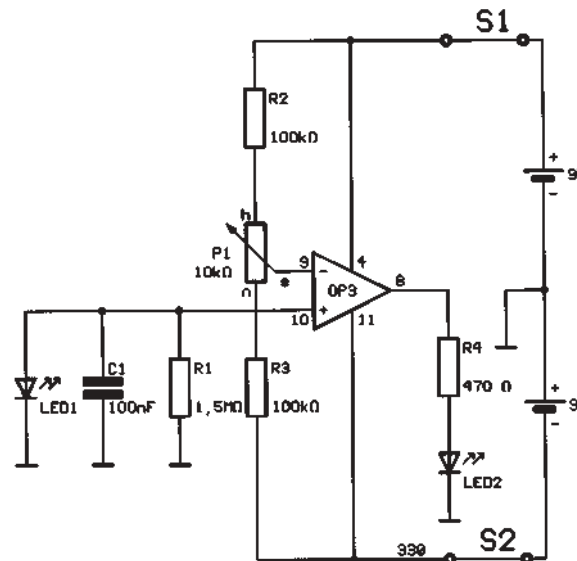
Figuur 329. Het opbouwschema bij figuur 328.

233 In het experiment zoals aangegeven in figuur 32 gaan we proberen om zo'n balanceer-act langs elektronische weg tot stand te brengen. LED1 en LED2 zijn de "randen" waar de "bol" tegenaan stoot. Met behulp van P1 wordt de plaat "gekipt". We plaatsen P1 eerst ongeveer in het midden. Na het inschakelen licht een van de beide licht-emitterende diodes op. Draaien we P1 naar rechts, dan geeft LED1 licht, draaien we hem naar links, dan is het LED2 die licht geeft. Het overgangsbereik kun je alleen raken wanneer je dat echt in je vingers hebt. Dan zullen de licht-emitterende diodes afwisselend en onrustig beginnen te flikkeren. De beide ingangen (+) en (-) voeren naar de basis-aansluitingen van twee pnp-Darlington trappen die met een verschil-versterker verbonden zijn. Het tussen de (+)- en de (-)-ingang aangeboden signaal wordt vanaf de uitgang van de trap die bij de (+)-ingang hoort, doorgegeven. Uit het hoofdstukje over de verschil-versterkers weten we dat je bij dit soort versterkers storende invloeden, gevolgen van temperatuurschommelingen e.d. kunt elimineren. Ook de benamingen van de beide ingangen kennen we: (+) is de niet-inverterende en (-) de inverterende ingang. Wanneer we in het voorbeeld met de waterpas (+) omhoog brengen, dan wordt ook de uitgang positief. En wanneer we (-) omhoog brengen, komt aan de uitgang een negatieve spanning te staan. Het omhoog brengen staat voor een positieve spanning. Je kunt het rollen van de bol naar een van de aanslagen vergelijken met de positieve resp. de negatieve verzadigingsspanning van de uitgang van de operationele versterker.

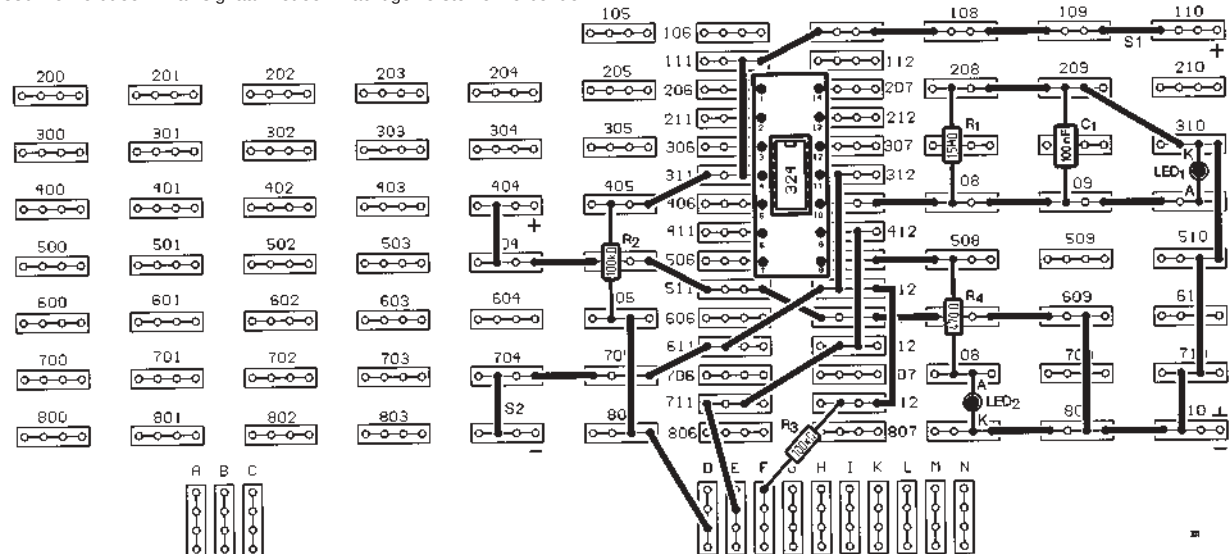
Het inwendige daarvan voorkomt dat daarbij de positieve of de negatieve bedrijfsspanning wordt bereikt. Bij ons soort versterker komen we ongeveer 1,5 V te kort, bij plus iets meer, bij min een beetje minder. De operationele versterker hebben we al gebruikt in hoofdstuk 19. Spanning uit twee spanningsbronnen is dan ook niets nieuws meer. Voor de verschil-versterker is het daardoor - in combinatie met de rest van de inwendige schakeling - lekker overzichtelijk: wordt er een aansluiting gerealiseerd op het knooppunt van de batterijen en wordt deze als massa gedefinieerd, dan staat deingangsspanning aan de andere ingang immers in relatie tot massa. Ook hebben we te maken met een spanningsverschil. Omdat onze potmeter in figuur 328 tussen plus en min staat, betekent de middelste stand eveneens massa-"spanning" (d.i. 0 V). Hoe weinig de spanning maar van 0 V hoeft af te wijken om in de richting van de desbetreffende aanslag te kippen, hebben we net gezien. Daarvoor zorgt de enorm hoge versterking van de "ongeremde" operationele versterker. Voor toepassingen als voor een waterpas is dat prima. Maar in de meeste andere gevallen moet daar iets tegen worden gedaan. Het is net als bij een sterke motor: met 200 km per uur over de autosnelweg razen is geen probleem. Maar in de stad is de rustige krachtreserve van belang, die de bestuurder bij het inhalen zo'n veilig gevoel geeft. Je hebt het, maar je laat het alleen maar zien als het echt nodig is! Dankzij dit power-overshot is de operationele versterker berekenbaar. De idealen ervan zijn: de oneindig hoge versterking, de oneindig hoge ingangsweerstand en de (nagenoeg) verwaarloosbare uitgangsweerstand. Met een heel geringe hoeveelheid spanning tussen de ingangen belangrijke reacties aan de uitgangen krijgen, dat betekent uiteindelijk dat we zo goed als helemaal niet meer met deze spanningen hoeven te rekenen. Het lijkt er wel haast op dat aan de beide ingangen dezelfde spanning staat. Dat je het ook zo kunt bekijken, daar zal de beginner eerst aan moeten wennen. En voor de grens-gevallen, waarbij de details belangrijk worden, geldt: om de bipolaire operationele versterker zoals wij ze hier gebruiken, te laten functioneren, zijn ingangsstromen nodig, ook al zijn ze nog zo klein (hier gaat het om naar buiten vloeiende stromen). Er is dus steeds een gelijkstroompad nodig, dat ook naar de uitgang kan leiden. Bij een op dit pad gelegen weerstand valt dus steeds een (meestal geringe) spanning af. Daardoor leiden kleine verschillen tussen de ingangsstromen ook bij gelijke weerstanden tot een gering spanningsverschil, dat als ingangssignaal werkt. Belangrijk om te weten als het erom gaat of de operationele versterker kan worden ingezet of niet.

234 Het experiment van figuur 330 toont aan hoe gering de spanning maar hoeft te zijn om te bereiken dat de operationele versterker effect sorteert. Laten we maar even niet op LED1 letten, maar gewoon inschakelen en het punt zoeken waarbij LED2 begint licht te geven. Daartoe moet P1 dien overeenkomstig ver omlaag worden gedraaid. Want via R1 is de

niet-inverterende ingang immers met massa verbonden, C1 elimineert brom e.d. Zolang P1 aan de inverterende ingang een ten opzichte van massa positieve spanning levert, betekent dit dat onze "waterpas" zo wordt gekipt dat de "luchtbel" (de uitgang d

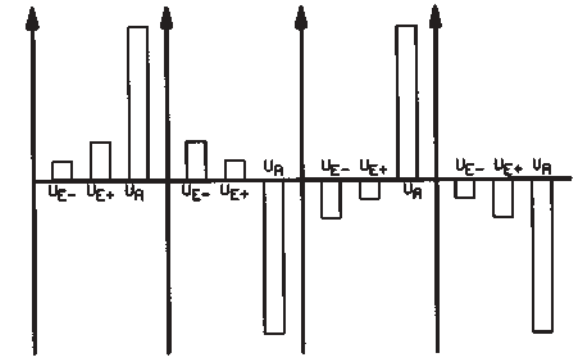


Figuur 330. Zo wordt een zwak signaal met een krachtige versterker verbonden



Figuur 331. Het opbouwschema bij figuur 330.

naar de ene kant (min) gaat, terwijl de negatieve spanning op de inverterende ingang de "luchtbel" naar de andere kant brengt, waarbij LED2 oplicht. In figuur 332 zie je hoe je dit goed kunt oefenen.



Figuur 332. Het uitgangsgedrag van de OPAMP: alles draait om het verschil!

235 Maar hoe zit dat dan met LED1? Om daar achter te komen, kunnen we (bij voorkeur 's avonds) P1 bij niet al te veel licht zo instellen dat LED2 net niet oplicht. Dan schakelen we een op de tafel staande lamp in en richten die op LED1. Is er in de buurt van LED1 nu voldoende licht, dan gebeurt het "wonder": LED2 geeft licht!

Doe het licht uit, en je zult zien dat ook LED2 dooft. Denk nog maar eens even terug aan het hoofd stukje over opto-elektronica. Daar hebben we gezien hoe pn-overgangen elektrische spanningen in licht kunnen omzetten, en licht zorgt op de pn-overgangen voor elektrische spanning. Dat is nu precies wat LED1 hier ook zojuist heeft gedaan. Maar het effect hangt wel sterk af van het type en het exemplaar. Bijzonder actief zijn hier bepaalde rode types, andere halen nog niet eens de gevoeligheid van hun groene en gele soortgenoten. Betrouwbaar en goed is de IR-LED gebleken. Probeer alle licht-emitterende diodes van je experimenteerdoos maar eens!

236 Nadat je de meest gevoelige diode hebt gevonden (hangt ook af van het spectrum van het gebruikte licht), moet je eens de volgende proef doen: Maak R1 groter door middel van een serieschakeling van 1,5 M Ω en 680 K Ω . Haal nu C1 weg (om een snellere reactie te krijgen). Test nu de grens van de lichtgevoeligheid van de schakeling; doe dit door ervoor te zorgen dat je hand continu op massa ligt, omdat er anders teveel brom op de schakeling komt. Je zult versteld staan, met hoe weinig licht LED2 nog reageert! Vergeet niet dat onze operationele versterker "ongeremd" een versterkingsfactor heeft van ongeveer 100.000!

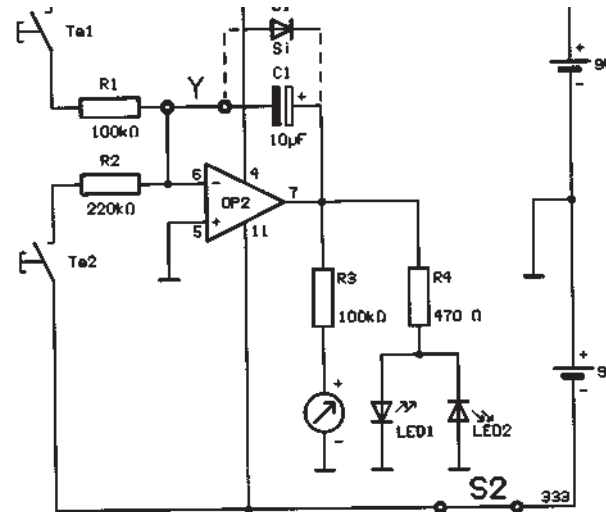
237 De meest lichtgevoelige LED (de IR-LED) wordt weer in de schakeling van figuur 331 gestoken, maar deze keer met een omgekeerde polariteit. Vervolgens stellen we P1 in een niet al te heldere omgeving zo in dat LED2 net even licht geeft. Nu de lamp op de tafel inschakelen en LED2 dooft. Wat is hier aan de hand? Juist - we hebben een dimschakelaar. Maar dan een met een LED als lichtsensor.

Comparator-praktijk: de integrator

De volgende schakelingen hebben een operationele versterker-element gemeen waarvan de niet-inverterende ingang met massa is verbonden en waarbij tussen de uitgang en de inverterende ingang een condensator is geschakeld. En omdat we de zaken hier nu eenmaal steeds op een ongebruikelijke manier aanpakken, gaan we de effecten observeren en dan de oorzaken proberen te achterhalen.

238 De schakeling zoals aangegeven in figuur 333 wordt eerst zonder R3 opgebouwd. We hoeven dan ook nog niet op het gevoelige meetinstrument te letten. Nu moet er een paar keer eventjes op Ta2 worden gedrukt. Je zult merken dat LED1 licht begint te geven. Bij iedere druk op de toets geeft de LED meer licht, totdat aan de uitgang het verzadigingspunt is bereikt. Je kunt de toets nu loslaten - LED1 geeft weer licht. De schakeling heeft de diverse effecten "verzameld". We noemen deze schakeling een *integrator*. Pas wanneer we op Ta1 drukken verloopt het geheel omgekeerd. LED1 geeft nu minder licht, gaat vervolgens uit, en LED2 begint op te lichten. Maar LED2 geeft vervolgens niet zolang licht als LED1 heeft gedaan.

239 We keren de polariteit van C1 om en herhalen het experiment. Nu is het LED1 die minder lang licht geeft dan LED2. Dit heeft te maken met de polariteit van de elco. LED1 geeft aan dat aan de uitgang het positieve verzadigingspunt bijna is bereikt. LED2 signaleert negatieve uitgangsspanning.

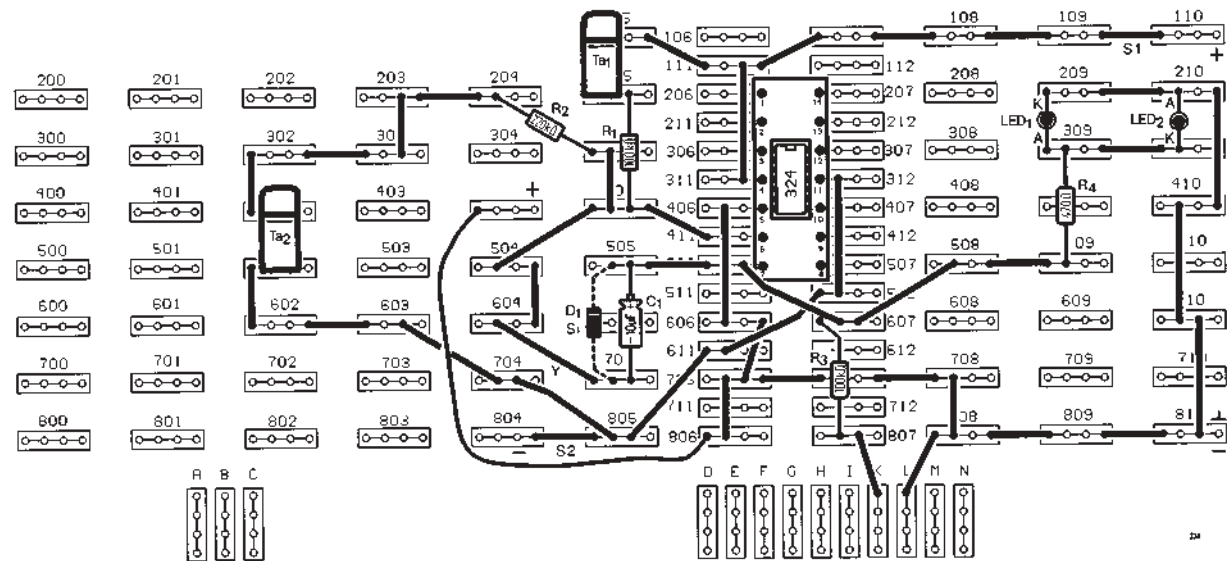


Figuur 333. Een integrator: C wordt stukje bij beetje gevuld.

Daarvoor is echter de polariteit van C1 in figuur 333 verkeerd. Hij ontlad zich daardoor sneller dan bij een correcte polariteit. In de praktijk wordt in die gevallen een trucje toegepast: twee even grote elco's worden "met de rug naar elkaar toe", d.w.z. min op min, met elkaar verbonden. Voor dit doel wordt in plaats van brug Y de tweede elco ingestoken. Er zal er dus steeds één correct insteken - een "ongepoolde" elco dus.

240 Laten we teruggaan naar de basisvorm zoals die is aangegeven in figuur 333 en steek nu R3 in. Op het meetinstrument kun je nu aflezen wat er aan de uitgang gebeurt. Druk op Ta2 en je zult zien, hoe de wijzer iedere keer iets verder uitslaat totdat het verzadigingspunt is bereikt. Met behulp van Ta1 kan dit weer ongedaan worden gemaakt. Je mag echter niet veel verder gaan dan tot aan de uitslagwaarde nul; een niet-correcte polariteit is immers ook niet goed voor het meetinstrument.

241 Parallel aan C1 verbinden we een Si-diode met kathode op de uitgang van de operationele versterker. Vervolgens drukken we weer op Ta1. Geen nood - we krijgen maar een geringe uitslag in de verkeerde richting te zien!



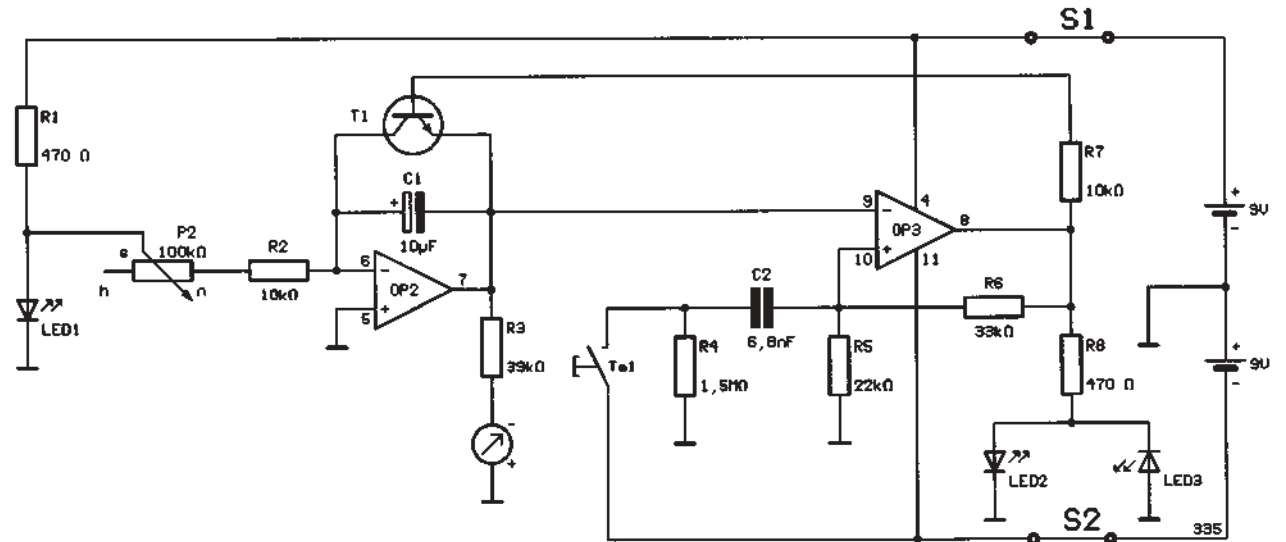
Figuur 334. Het opbouwschema bij figuur 333.

Ook LED2 geeft geen licht. Het meetinstrument is op die manier beschermd, maar de schakeling werkt nog slechts in het positieve bereik! Bedenk nog maar eens wat andere mogelijkheden om e.e.a. te beschermen en vergeet daarbij niet nog eens in hoofdstuk 19 te kijken! Om de werking van de integrator beter te kunnen begrijpen, moeten we even vooruitlopen op wat we in het volgende hoofdstuk zullen leren. Het gaat om het begrip *virtuele massa* (d.w.z. massa die niet echt, maar slechts "qua werking" aanwezig is). Zolang de operationele versterker namelijk nog niet verzadigd is, d.w.z. dat hij deingangssignalen dus nog kan volgen, gebeurt er vanwege de hoge versterking het volgende: de inverterende ingang voert vrijwel dezelfde spanning als de niet-inverterende. En omdat we deze met massa hebben verbonden, is ook de inverterende praktisch aangesloten op 0 V, zonder dat hij zelf met massa is verbonden. Daar zorgt de operationele versterker vanzelf voor. Telkens wanneer er op Ta1 of Ta2 wordt gedrukt, wordt R1 of R2 aangesloten op de bedrijfsspanning van dat moment. Daardoor ontstaat een stroom: $I_1 = U_B/R1$ (resp. R2). Bij een negatieve U_B vloeit deze weg van de inverterende ingang, die "zo goed als" aangesloten is op 0V. Maar er komt (vrijwel) niets uit de ingang. Dus moet C2 helpen. Deze condensator, die eerst niet geladen is (dus ook een uitgangsspanning heeft van 0 V) wordt telkens wanneer op de toets wordt gedrukt, een beetje meer opgeladen, en wel vanaf de uitgang in de richting van de virtuele massa). Dit betekent dat aan de uitgang een steeds hogere spanning nodig is. Zodra de verzadiging is bereikt, gaat dat niet meer. Pas nu treedt aan de ingang een "atypische" situatie op - aan de inverterende ingang is sprake van een duidelijk merkbare spanning. Tot dan toe is de inverterende ingang in ieder geval een op 0 V aangesloten knoep, waar de ingangsstroom de door een miniem spanningsverschil aan de ingang gestuurde uitgang in- en de even grote uitgangsstroom (via C1) uitstroomt.

Geïntegreerde tijd

De schakeling zoals aangegeven in figuur 335 zorgt voor een instelbare tijdschakelaar en biedt ons weer een hoop nieuwe kennis.

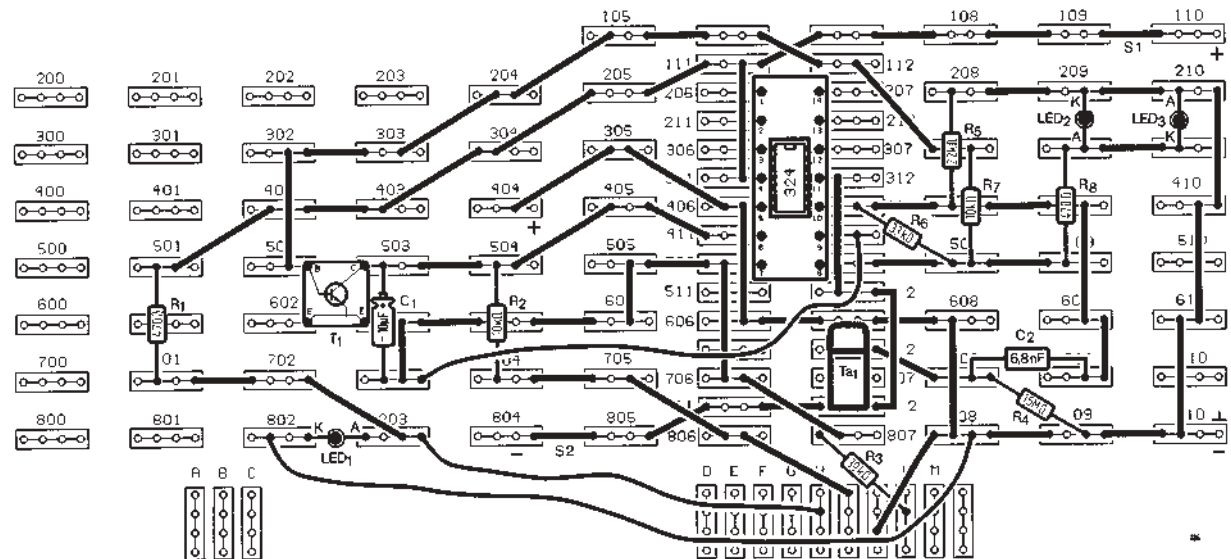
242 Let bij het opbouwen van deze schakeling op de polariteit van het meetinstrument. Plus op massa! Zet P2 eerst in de middelste stand. Zodra is ingeschakeld, zal LED2 in rusttoestand licht geven. Druk nu even op Ta1: in plaats van LED2 licht LED3 op. Maar niet lang, want dan "kijpt" de hele zaak weer in de rusttoestand terug. LED1 straalt constant licht uit. Deze diode wordt alleen gebruikt als een relatief stabiele spanningsbron (LED-spanning, ca. 2 V). Druk nu opnieuw op Ta1 en kijk wat het instrument doet! De wijzer slaat uit tot in de buurt van de rechter aanslag. Maar daarna schiet hij terug in de oorspronkelijke positie, terwijl LED3 dooft. Draai nu P2 tot maximum (s tegen h) en schakel dan nog eens. Je ziet precies hetzelfde gebeuren als daarnet,



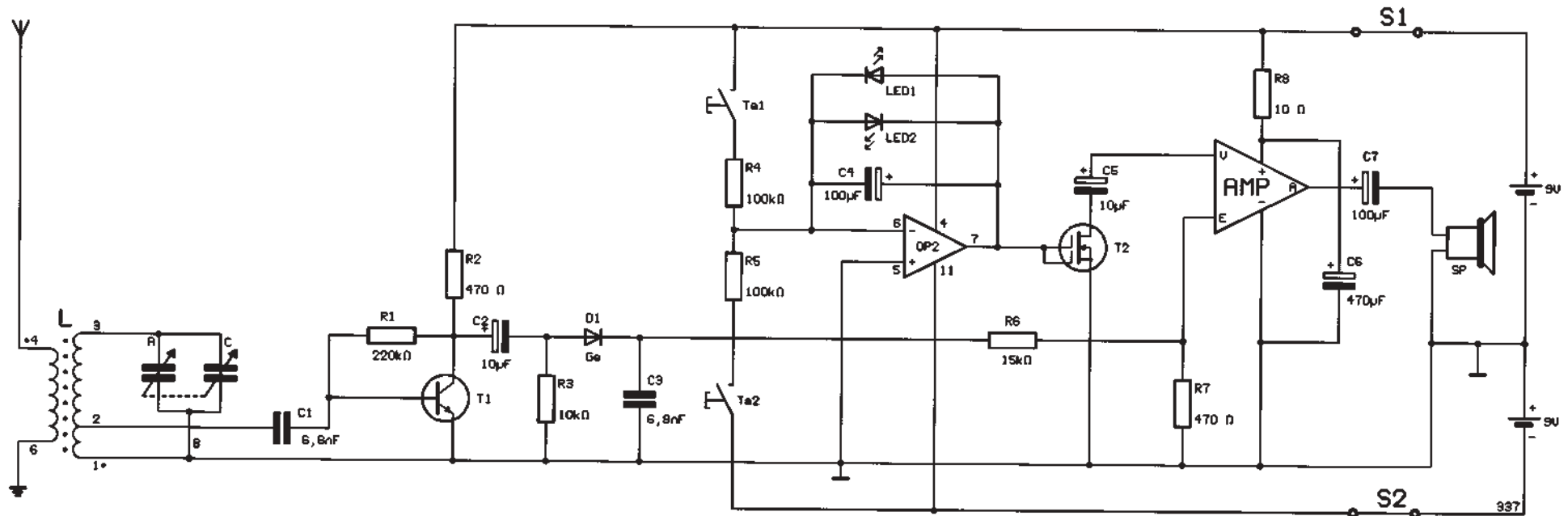
Figuur 335. Een integrator met heel wat mogelijkheden: de tijdschakelaar.

alleen duurt het nu twee keer zo lang. We hebben nu dus te maken met een instelbare tijdschakelaar. Even iets over de functie: eerst is T1 gesperd. (Dat komt door het drukken op Ta1.) Via P2 en R2 vloeit vanaf LED1 (spanning U_F) een stroom het knooppunt

aan de inverterende ingang van de eerste operationele versterker in. Zoals we al weten, wordt C1 daardoor opgeladen. Overeenkomstig de "integraal" van de ingangsstroom neemt de uitgangsspanning in negatieve richting toe.



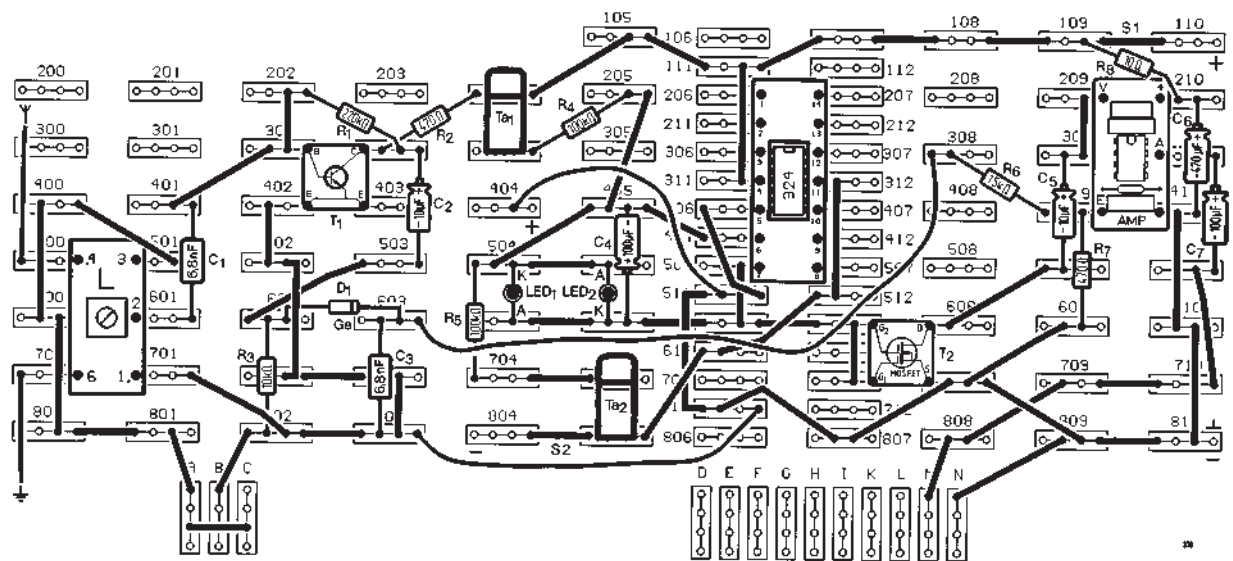
Figuur 336. Het opbouwschema bij figuur 335.



Figuur 337. Je moet het in je vingers hebben: geluidssterkte geregeld d.m.v. tiptoetsen.

Figuur 338. Het opbouwschema bij figuur 337.

Maar deze keer wordt dankzij T1 het verzadigingspunt niet bereikt. Daar zorgt de tweede operationele versterker voor. Toen we begonnen, hebben we namelijk zijn uitgang door een negatieve puls aan de niet-inverterende ingang negatief gemaakt. De spanningsdeler R6/R5 houdt deze toestand vast, totdat de uitgangsspanning van de integrator de waarde van het knooppunt heeft bereikt. Vervolgens kipt de tweede operationele versterker als een echte comparator in positieve verzadiging, levert basisstroom aan T1 en ontladit daarmee onmiddellijk C1. De uitgang is weer 0 V, de uitgang van de tweede operationele versterker houdt de waarde van de positieve verzadiging, terwijl T1 geleidt. Dat blijft zo totdat er weer op Ta1 wordt gedrukt. Uit de vergelijking kun je makkelijk de tijd afleiden die met P2 en de bijbehorende stroom I kan worden ingesteld: $I = U_F(R1 + P2)$, totdat de spanning $(-) U_T$ is bereikt. Gedurende deze tijd vloeit de lading $Q = I \cdot t$ naar C1. Dus is $U_T = Q/C = I \cdot t/C$, d.w.z. $t = U_T \cdot C / I$. Denk er daarbij aan dat C1 wel zo'n 50 % hoger kan zijn dan de nominale waarde! Met 470 μF kom je op een actief-tijd van meer dan 10 minuten - om het even wat je ermee wilt sturen, van het licht in het trappenhuis tot de toevoer van verse lucht.



Een herrie-integrator

In het volgende experiment werken een groot aantal reeds bekende losse schakelingen samen.

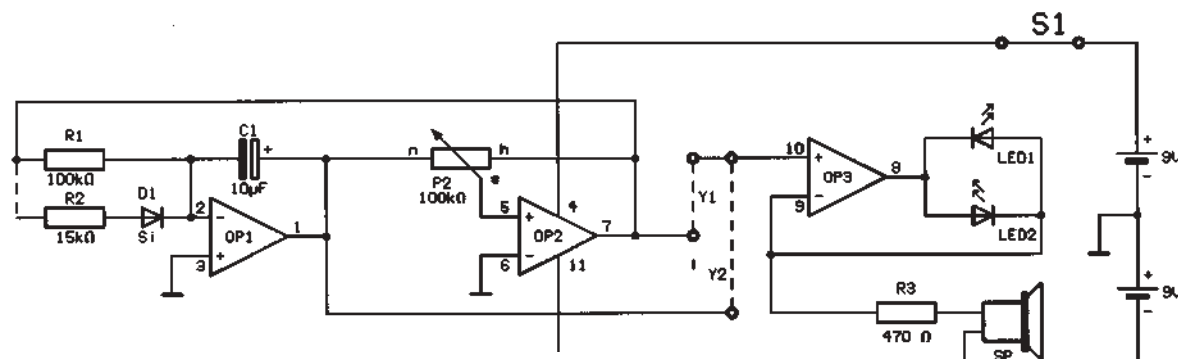
243 Voor de kern van de schakeling zoals aangegeven in figuur 337 kunnen ook andere geluidssignaalbronnen worden gebruikt. Het hoeft dus niet per se het uitgangssignaal van de ontvanger te zijn, dat via R6 wordt toegevoerd. Hoe sterk het geluid is dat aan de andere kant uit SP komt, bepalen we met behulp van de beide tiptoetsen; druk je op Ta1, dan wordt de uitgang van de operationele versterker negatief, wordt de weerstand van T2 en daarmee de negatieve terugkoppeling van de AMP groter en de geluidssterkte minder. Het omgekeerde wordt met Ta2 bereikt. En dat allemaal proportioneel: hoe korter je op de toets drukt, des te geringer is de verandering. Na het loslaten blijft de ingestelde toestand "opgeslagen". Wanneer C4 bij een verkeerde polariteit te snel zou worden ontladen, dan moet je doen wat we al eerder hebben beschreven (de polariteits-onafhankelijke elco door het anti-serieel schakelen van een andere 100 μ F-elco). Hier wordt dan echter wel de laadspanning door LED1 en LED2 in beide richtingen begrensd op ca. 2 V. Daarmee wordt ook tegemoet gekomen aan het nuttige stuurbereik van de MOSFET.

Amplitude-geometrie

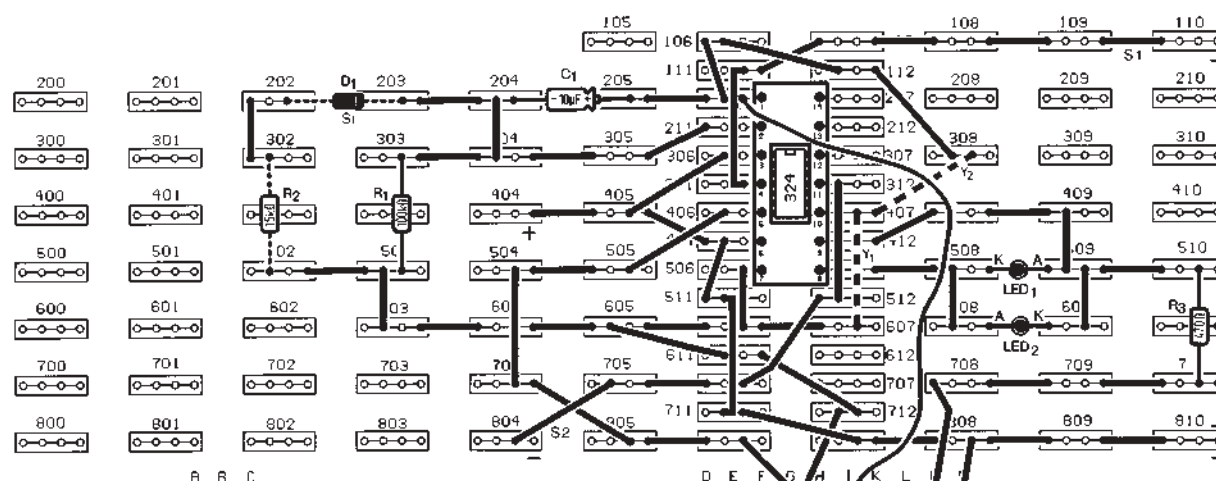
Met maar een paar bouwelementen zorgen we in het volgende experiment voor een heleboel interessante effecten, namelijk de golfvormige curves.

244 Nadat we de schakeling zoals aangegeven in figuur 339 (nog zonder R2 en D1) hebben opgebouwd, moet de loper van P2 eerst op een lage waarde (minder dan 30 %) zijn ingesteld (s in richting van n). Bij 10 μ F voor C1 kijken we wat de licht-emitterende diodes doen, wanneer er aan P2 wordt gedraaid - naar links tot aan de aanslag, naar rechts hoogstens tot in het midden. Om te kijken hoe de uitgang reageert, gebruiken we de derde operationele versterker als "monitor". Hij ontkoppelt de uitgangs-"lasten" van de voor belasting gevoelige punten. De niet-inverterende ingang wordt daarbij om beurten op iedere uitgang van de beide anderen aangesloten. De monitor op de eerste operationele versterker: wisselen van licht met "zachte" overgangen. De LED die op een bepaald moment "actief" is, geeft steeds meer licht, wordt dan weer donkerder, vervolgens neemt de andere het over en ga zo maar door. De monitor op de tweede operationele versterker: de beide LED's knipperen afwisselend met "harde" overgangen.

245 We vervangen C1 in figuur 339 (10 μ F) door 6,8 nF. Deze keer gaat het om het geluid. Bij de eerste operationele versterker klinkt het zachter, maar bij de tweede versterker is een hard geluid te horen. De LED-tests hebben aangetoond dat de uitgang van de eerste operationele versterker voor een *driehoekstrilling* en die van de tweede voor een *rechthoekstrilling* zorgt. De maximale hoogte van de rechthoekstrilling wordt bepaald door de stand van de potmeter, omdat hiermee het



Figuur 339. Geometrie: een driehoek-rechthoekgenerator met monitor.



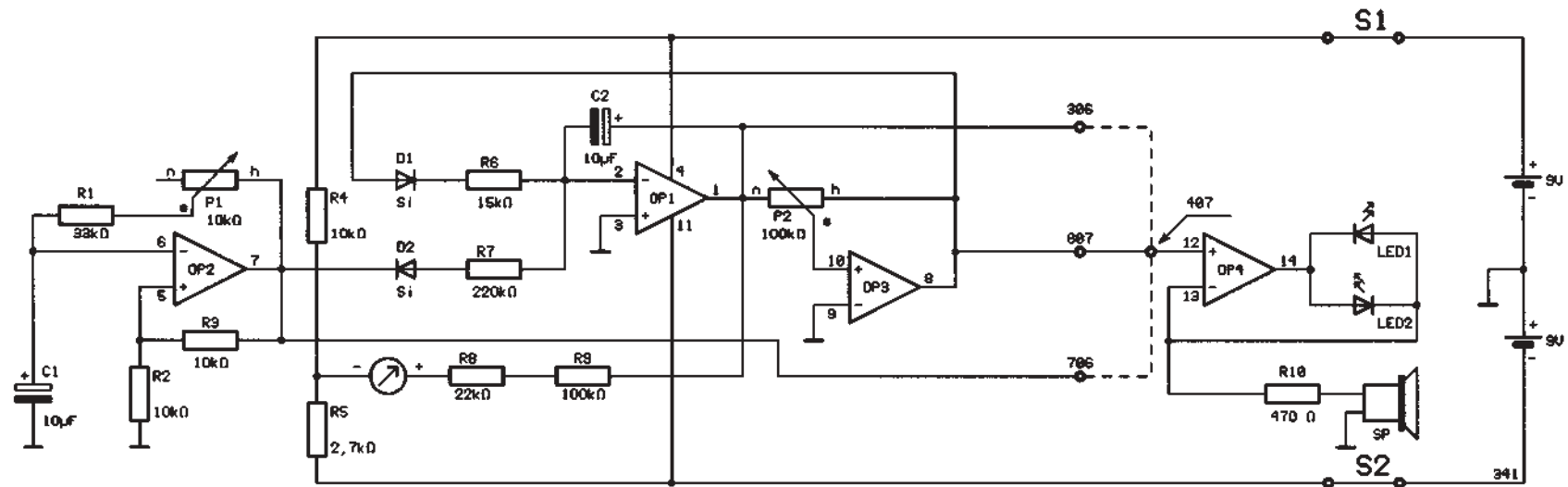
Figuur 340. Het opbouwschema bij figuur 339.

omschakelpunt wordt gekozen. De toon wordt des te hoger, naarmate de loper verder naar links wordt gedraaid. Maar bij de aanslag houdt het hele verhaal natuurlijk op.

246 Door een diode en een 15 kΩ-weerstand R2 toe te voegen, krijgen we nog een ander type generator. De kleinere weerstand R2 zorgt ervoor dat in positieve richting sneller geladen wordt. Daarom ontstaan er aan de uitgang van de tweede operationele versterker in positieve richting ook alleen nog maar

smalle pulsen. Aan de uitgang van de eerste versterker zien we een interessant verschijnsel: met R1 ontstaat een langzame stijging, R2 veroorzaakt een snelle afval.

We testen de puls en de toon zoals we dat in de beide vorige experimenten hebben gedaan, dus met 10 μ F resp. 6,8 nF voor C1, en bekijken de hele zaak via de "monitor". P2 mag je in de richting van h weer hoogstens tot in het midden draaien, omdat anders de generator blijft steken.



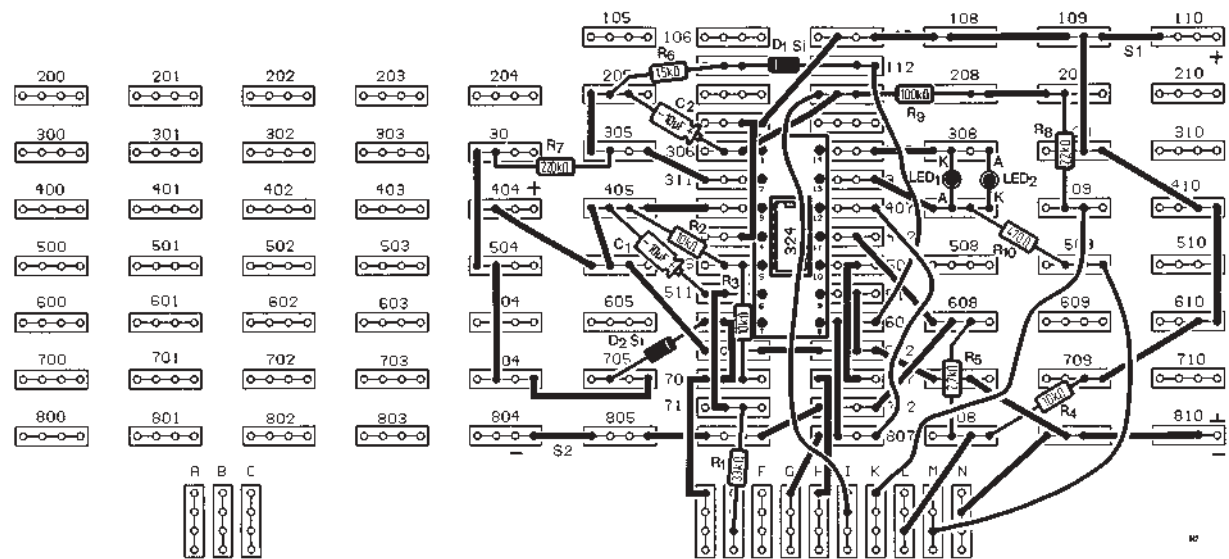
Figuur 341. Een trapspannings-generator: stapje voor stapje omhoog.

Stapje voor stapje - telkens een trede hoger

Met de schakeling zoals aangegeven in figuur 341 leren we nog een andere schakeling kennen die in de wereld van de "functie-generatoren" wordt gebruikt. Het is een schakeling waarmee we een *trapspanning* opwekken. Een dergelijke spanning wordt in de meettechniek en in de muziek-electronica gebruikt. En laat je fantasie maar eens de vrije loop, dan vind je zeker nog meer toepassingsmogelijkheden!

247 Aan de schakeling van het experiment van daarnet wordt vooral een blokgolfgenerator toegevoegd (eerste operationele versterker, in de figuur "OP2"). Voor C1 nemen we eerst in plaats van 10 μF, slechts 0,1 μF en voor C2 zelfs slechts 6,8 nF. P1 en P2 draaien we tot ongeveer 1/3 boven n. Zolang R1 niet meedoet, bedraagt de ingestelde waarde van P1 ongeveer 6 kΩ. De toon die uit de luidspreker komt, klinkt tamelijk rauw. Wanneer we aan P2 draaien, verandert de toonhoogte, maar wel met sprongen! Hoe kleiner de met P1 ingestelde waarde is, des te meer "toontrappen" kun je met P2 ten gehore brengen. Het klinkt zo'n beetje als dat draai-orgeltje dat je vroeger kreeg toen je nog klein was.

248 Door voor C1 en C2 elk 10 μF te gebruiken (zie de figuur) worden ook de licht-emitterende diodes erbij betrokken. Bovendien kan P1 door een vaste weerstand van 33 kΩ worden vervangen. Dat geeft ons meer tijd om te bekijken wat er gebeurt. LED1 en LED2 knipperen namelijk om beurten, maar wel op een heel aparte manier - met een "getrapte" helderheid. Zijn de gebruikte licht-emitterende diodes erg helder, dan kun je dat beter zien, wanneer R10 wordt verhoogd tot 1 kΩ. LED1



Figuur 342. Het opbouwschema bij figuur 341.

begint heel helder en wordt in de loop van 5 trappen donkerder. Dan neemt LED2 het over, die dan in een precies even groot aantal trappen helderder wordt. Vervolgens geeft LED2 weer over aan LED1 enzovoorts.

249 We vervangen R7 door een weerstand van 100 kΩ en tellen het aantal trappen. Het zijn er nog maar twee of drie. Maar nu kun je wel de overgangen beter onderscheiden.

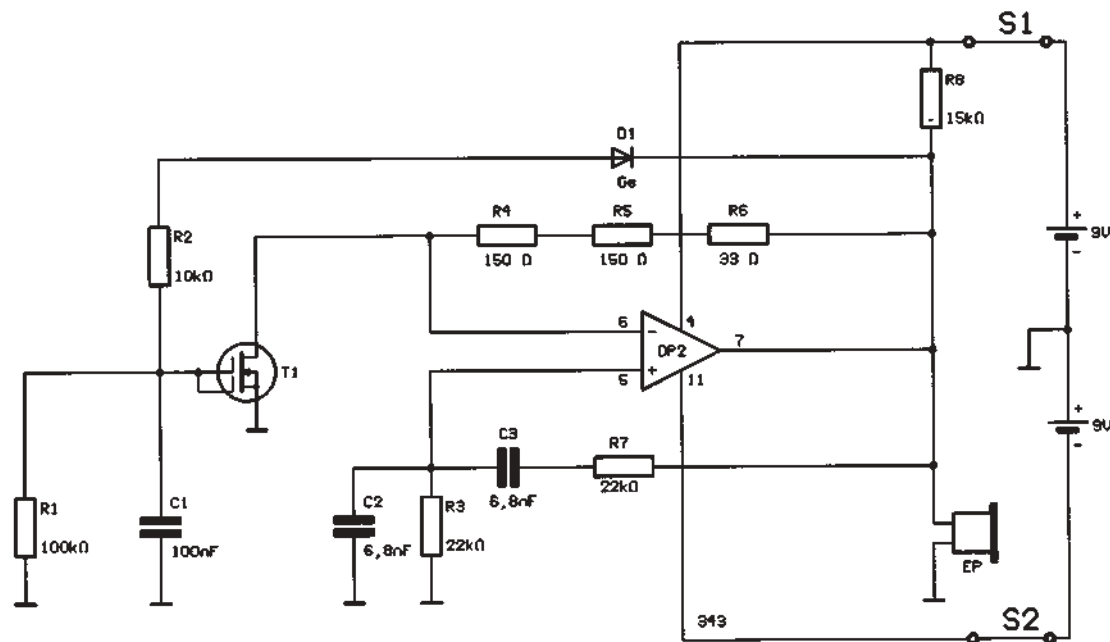
250 Ook met behulp van het meetinstrument kun je de trappen bekijken. Om ervoor te zorgen dat het bereik van het instrument zo goed mogelijk wordt benut, zetten we de negatieve verzadigingsspanning met een trucje buiten spel. We sluiten de min-aansluiting van het instrument niet rechtstreeks aan op de negatieve spanning, maar op een spanningsdeler.

Die deler zorgt ervoor dat het "min-punt" op een overeenkomstig hoger niveau komt te liggen. Nog even iets over de "knowhow" van deze proeven. De blokgolfgenerator met C1 en P1 resp. R1 is een van de vele "elegante" oplossingen voor operationele versterker-schakelingen. Of aan de uitgang nu een positieve of een negatieve verzadigingsspanning staat, de niet-inverterende ingang wordt door de deler R3, R2 steeds op een afgeleide waarde van deze spanning gehouden. Zolang deze waarde niet is bereikt, wordt C1 over P1 (en R1) opgeladen, en vervolgens kipt de schakeling, totdat de andere verzadiging is bereikt, waarna de hele geschiedenis zich weer herhaalt. De negatieve verzadigingsspanning voedt de integrator in stappen die telkens weer opnieuw worden onderbroken. Zodra het punt is bereikt waarop aan de loper van P2 een spanning van 0 V staat, een punt dat met P2 kan worden ingesteld, schakelt de uitgang van de als comparator functionerende derde operationele versterker heel even naar de positieve verzadiging. (Deze uitgang voert normaal een negatieve verzadigingsspanning.) Hierbij wordt C2 in een door R6 en C2 bepaalde tijd omgeladen. De uitgang van de integrator schakelt daardoor van de positieve over op de negatieve verzadiging. Het "traplopen" begint op dit punt opnieuw, en dat kun je aan de licht-emitterende diodes zien.

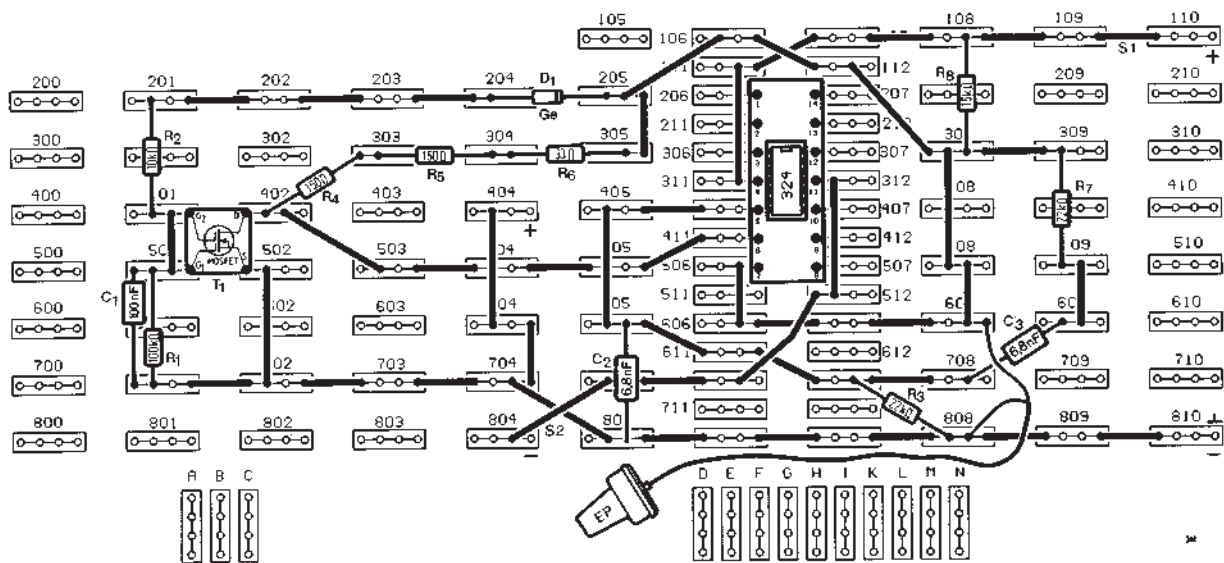
Sinus - de zachte overgangen

Zelfs de meest merkwaardige curve-vorm is een samenstel van meerdere losse sinus-trillingen. Dat is ooit ontdekt door ene meneer *Fourier*. Om a priori een enkele sinus-trilling te genereren kost behoorlijk wat moeite. Daarbij speelt de negatieve terugkoppeling een rol - weg met alles, wat het "zachte" verloop stoort!

251 Na het opbouwen van de schakeling zoals aangegeven in figuur 343 geeft EP een aangenaam geluid. Wordt R2 eruit getrokken, dan wordt het geluid niet alleen harder, maar ook lelijker. Wanneer R7 wordt overbrugd, dan lijkt het op het geluid van een brommer. Het geluid is weg, wanneer R4 of R5 wordt overbrugd. De schakeling luistert dus heel nauw; alles moet bij elkaar passen. Het is zelfs mogelijk dat de schakeling helemaal niet op gang komt. In dat geval moet C2 met C3 worden verwisseld. Qua opdruk zijn die twee weliswaar gelijk, maar toleranties (de mate waarin de exemplarische waarde van de nominale afwijkt) zijn er altijd. De reële waarde van C3 moet groter zijn dan die van C2. Condensatoren geleiden nu eenmaal des te beter, naarmate de frequentie f hoger is. Dat is nu juist de truc met de serieschakeling van C3 met R7 en de parallelle schakeling van C2 met R3. Wordt f hoger, dan stijgt de spanning over de parallelle schakeling, maar dan neemt wel de wisselstroom-weerstand af. En ook het fase-verschil tussen uitgangs- en ingangsspanning, dat zo belangrijk was bij de fase-verschuivings-generator die we al eens eerder hebben opgebouwd verandert voortdurend. Slechts voor één punt is alles optimaal. Hebben Ren C dezelfde waarden, dan is dat het geval bij $f_r = 1/(2\pi RC)$.



Figuur 343. Een "zachte" golf: sinus-generator met Wien-tak.



Figuur 344. Het opbouwschema bij figuur 343.