

Daarbij gaat van de uitgangsspanning nog slechts eenderde naar de niet-inverterende ingang. Bij een versterking met factor 3 wordt dus slechts deze frequentie opgewekt en "precies correct" versterkt. De correcte versterking wordt aan de inverterende ingang bewaakt. Met MOSFET als stuurbare weerstand en de Ge-diode (lage spanning in doorlaat!) als gelijkrichter voor de ten behoeve van de vergelijking gebruikte negatieve halve golven van de trilling. De schakeling zorgt op die manier voor zichzelf; er vindt steeds net zoveel versterking plaats als voor een stabiele sinus-trilling van de resonantiefrequentie nodig is. Deze sympathieke eigenschap van zo'n RC- combinatie is ontdekt door ene meneer Wien. Daarom spreken we van het Wien-element en ook wel van de Wien-generator. Overigens speelde hierbij ook een zekere Robinson een rol.

## 25. Versterking op maat

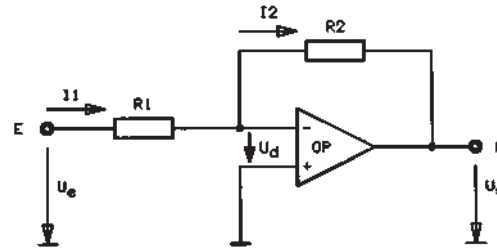
De kogel op de plaat die nooit helemaal horizontaal is. Dat is ons symbool voor de enorme versterking van de "ongeremde" operationele versterker. 100.000 keer - dat betekent dat voor een "beweging" van 10 volt aan de uitgang een "opdraaien", een ingangsspanning dus, van 100  $\mu$ V (microvolt, dus een miljoenste volt!) al voldoende is. Voor de uitwendige schakeling, die met veel hogere spanningen werkt, staat aan de beide ingangen vrijwel dezelfde spanning. Maar met maar twee weerstanden is de operationele versterker al heel gewillig te sturen.

### Met de veer op de kogel

Je kunt een kogel met twee veren in de middenpositie houden. Wanneer de plaat dan iets wordt gekanteld, zal de zwaartekracht de kogel weliswaar naar beneden trekken, maar de veren houden hem tegen. De ene veer trekt en de andere drukt. Zo zorgen ze al naar gelang de neiging van de plaat en de stijfheid van de veren voor een begrenzing van de beweging van de kogel.

### Een inverterende ingang met twee taken

In elektronisch opzicht zijn de beide veren twee weerstanden:  $R_1$  komt tussen de spanning die moet worden versterkt en de inverterende ingang.  $R_2$  wordt tussen deze ingang en de uitgang geschakeld (figuur 345). Via  $R_2$  heeft de uitgang een "remmend" effect op de ingang. Er is dus een terugkoppeling ontstaan. We hebben dat ook al bij de transistoren gezien. En in het vorige hoofdstuk hebben we al het een en ander gezegd over dit soort schakelingen.  $R_1$  is eigenlijk, wanneer we het nauwkeuriger bekijken, de som van alle tussen de spanningsbron en het ingangsknooppunt werkende weerstanden. Daar hoort ook de inwendige weerstand van de signaalbron bij. Wanneer we alle weerstanden kennen, kan de schakeling makkelijk worden berekend. We weten alles over het ingangsknooppunt: er vloeit net zoveel stroom in als er weer uit komt:  $I_1 = I_2 = I$ . Bij onze observaties houden we "voorlopig" nog even rekening met het minieme spanningsverschil  $U_d$  tussen de ingangen en we bekijken de mazen:



Figuur 345. Makkelijk te berekenen: een inverterende versterker.

Maas (1) = massa - ingang - knooppunt - massa;

Maas (2) = massa - uitgang - knooppunt - massa.

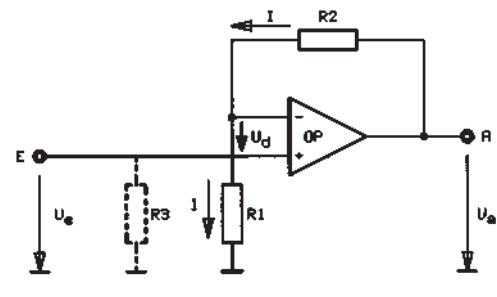
$$(1): -U_e + I_1 \cdot R_1 + U_d = 0$$

$$(2): -U_a + I_2 \cdot R_2 + U_d = 0$$

Nu we weten waar  $U_d$  thuis hoort, kunnen we ze weer weglaten, omdat de andere spanningen veel hoger zijn. In de overgebleven "resten" van de vergelijking wordt ook rekening gehouden met de knooppuntvergelijking:  $-U_e + I \cdot R_1 = 0 = -U_a - I \cdot R_2$ . Voor de versterking van het ingangssignaal  $U_e$  naar het (geinverteerde) uitgangssignaal  $U_a$  geldt dan ook voor deze *inverterende versterker*:  $V = -U_a/U_e = R_2/R_1$ . Interessant detail is dat bij  $R_2 = 0$ , de versterking  $V$  nul wordt! De inverterende ingang heeft bij dit soort versterkers dus twee functies: de hierop aangesloten componenten bepalen de versterking en de weerstand aan de ingangszijde is de ingang van de schakeling.

### Delen van de macht

Het gaat ook anders. Want ook de niet-inverterende ingang kan voor de versterking zorgen. De inverterende ingang zorgt dan weer - maar nu dan ook alleen nog - voor de nauwkeurige controle van deze functie. En daarvoor maakt hij gebruik van  $R_1$  en  $R_2$ . Wanneer je nu de berekening gaat maken, zul je een interessante ontdekking doen (zie figuur 346). Ook hier kunnen de berekeningen weer eerst op het knooppunt worden gemaakt. Maar daarbij moet je dan wel weer rekening houden met de minieme ingangs-



346

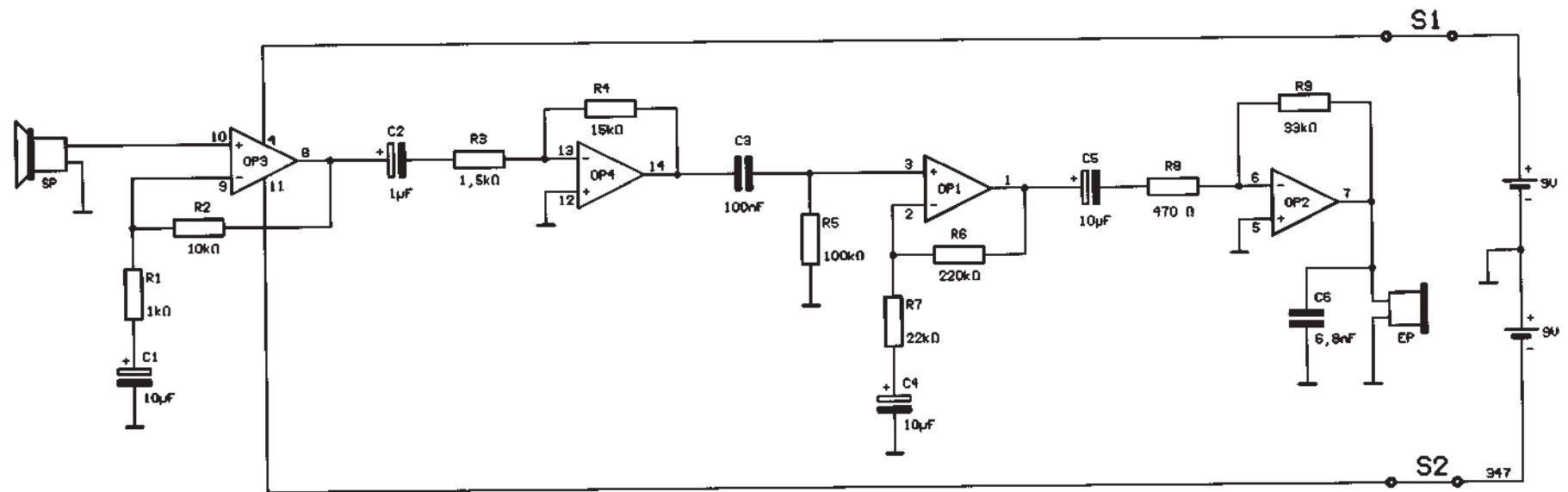
Figuur 346. Een hoogohmige ingang (grote impedantie): niet-inverterende versterker.

stroom die functioneel noodzakelijk is. In figuur 346 zie je dan ook alvast  $R_3$  aangegeven. Voor het geval de bron geen weg heeft voor de gelijkstroom! Wanneer de waarde van  $R_3$  net overeenkomt met die van de parallelschakeling van  $R_1$  en  $R_2$ , dan bewerkstelligen gelijke stromen ook gelijke spanningen. Maar zoals dat bij verschil-versterkers nu eenmaal het geval is - deze ongewenste ingangsspanningen heffen elkaar op en worden dus ineffectief. Mooi toch? Maar laten we even teruggaan naar de versterking. Omdat beide ingangen normaliter haast dezelfde spanning voeren, moet de stroom  $I$  vanaf de uitgang via  $R_1$  de spanning  $U_e$  opwekken:  $U_e = I \cdot R_1$ . De uitgangsspanning drijft door  $R_2$  en  $R_1$  heen, dus  $U_a = I \cdot (R_1 + R_2)$ . Logisch dat dan de spanning aan de niet-inverterende ingang, wanneer er geen voortekens worden veranderd, als volgt wordt versterkt:  $V = U_a/U_e = (R_1 + R_2)/R_1 = 1 + R_2/R_1$ . Conclusie: zelfs wanneer  $R_2$  nul wordt en de inverterende ingang dus rechtstreeks op de uitgang wordt aangesloten, zal deze niet-inverterende versterker toch nog voor een versterking met een factor 1 zorgen. En er is nog iets opvallends. Terwijl bij de inverterende versterker de (meestal niet erg grote)  $R_1$  als ingangsweerstand wordt beschouwd, zou je bij de niet-inverterende versterker eerst eigenlijk een extreem hoge ingangsweerstand verwachten. Maar dan komt weer de algenoemde noodzaak van  $R_3$  om de hoek kijken, en het wordt allemaal weer een stuk meer realistisch.

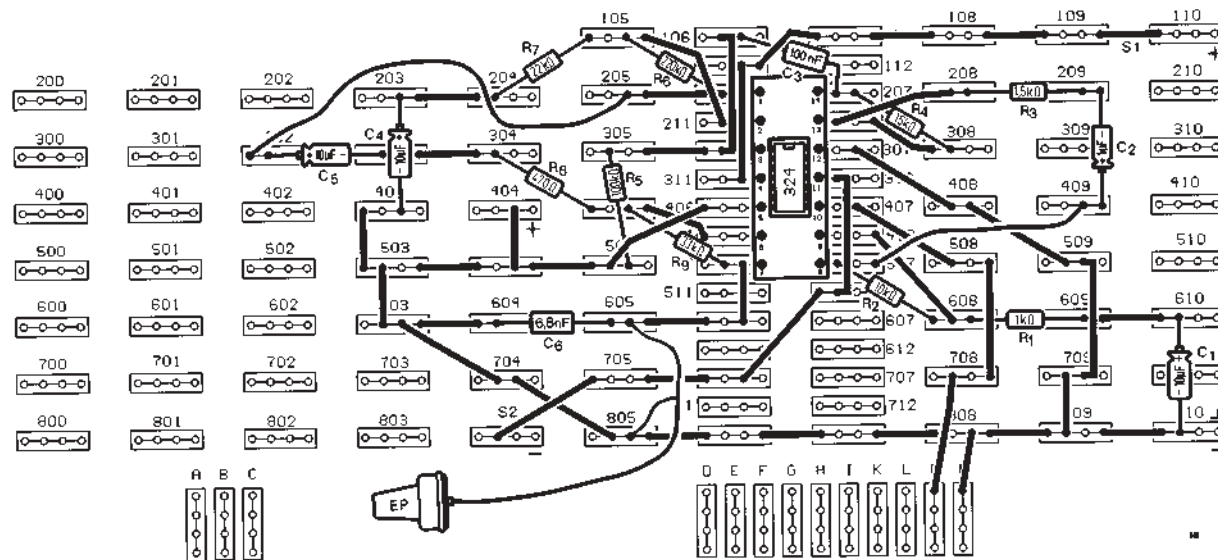
### De praktijk roept

De "praktijk" is in dit voorbeeld een baby in de kinderkamer, waarvan het huilen ook in andere kamers te horen zou moeten zijn.

**252** Nu we het hoe en waarom van de weerstanden kennen, bouwen we de schakeling op zoals die in figuur 347 staat aangegeven en luisteren nu naar het schreeuwen van de baby met de enorme totale versterkingsfactor 85.000. SP is de "luistervink" in de kinderkamer, EP is de akoestische omzetter in ons eigen oor. Dat de inverterende versterker van trap 2 (operationele versterker 4) voor een 10-voudige, en die van trap 4 (operationele versterker 2) voor een 70-voudige versterking zorgt, is meer dan duidelijk. Maar hoe zit het met de niet-inverterende trappen 1 (operationele versterker 3) en 3 (operationele versterker 1)? Dat kan allemaal worden uitgelegd.  $C_1$  en  $C_4$  zijn als wisselstroom-weerstand tegen het gehuil klein in vergelijking met  $R_1$  en  $R_7$ . De wisselspanning wordt dus met een factor 11 versterkt. Voor gelijkstroom echter vormen de condensatoren een blokkering. Daardoor staat in de praktijk de uitgangs-gelijkspanning ook aan de inverterende ingang.  $R_{1\text{tot}}$  is bij gelijkspanning "oneindig" groot, d.w.z. een gelijkspanningsversterking van 1. De uitgangsspanning bedraagt daardoor vrijwel constant 0 V.

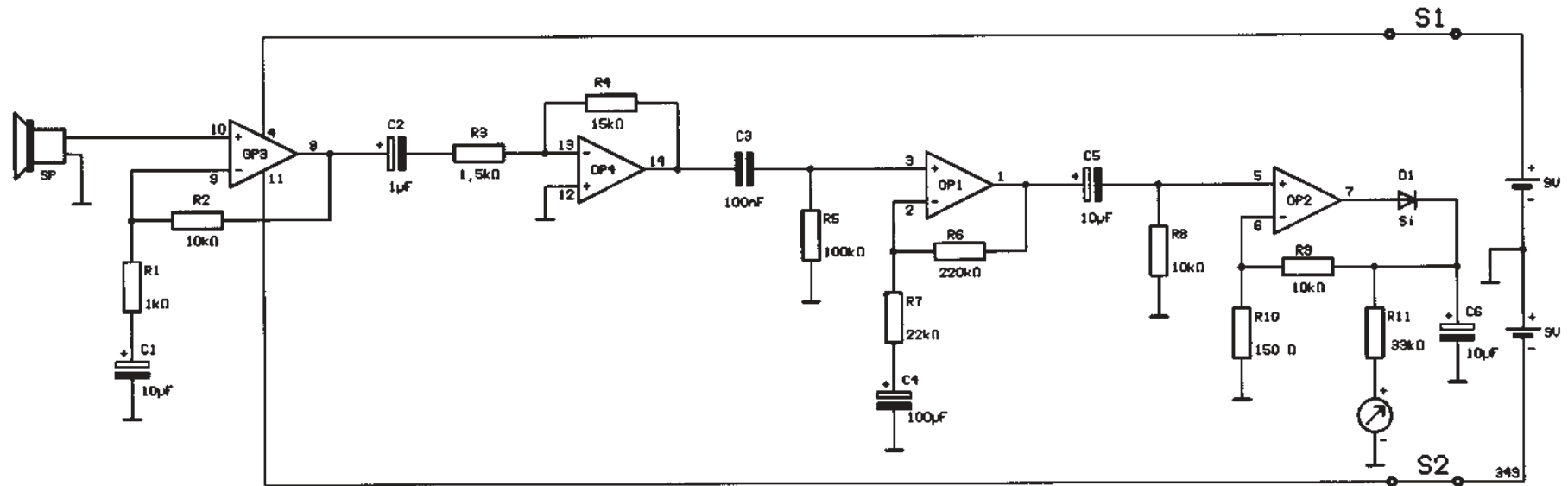


Figuur 347. Met je oor bij het mandje: meer dan 85.000 keer versterkt.



Figuur 348. Het opbouwschema bij figuur 347.





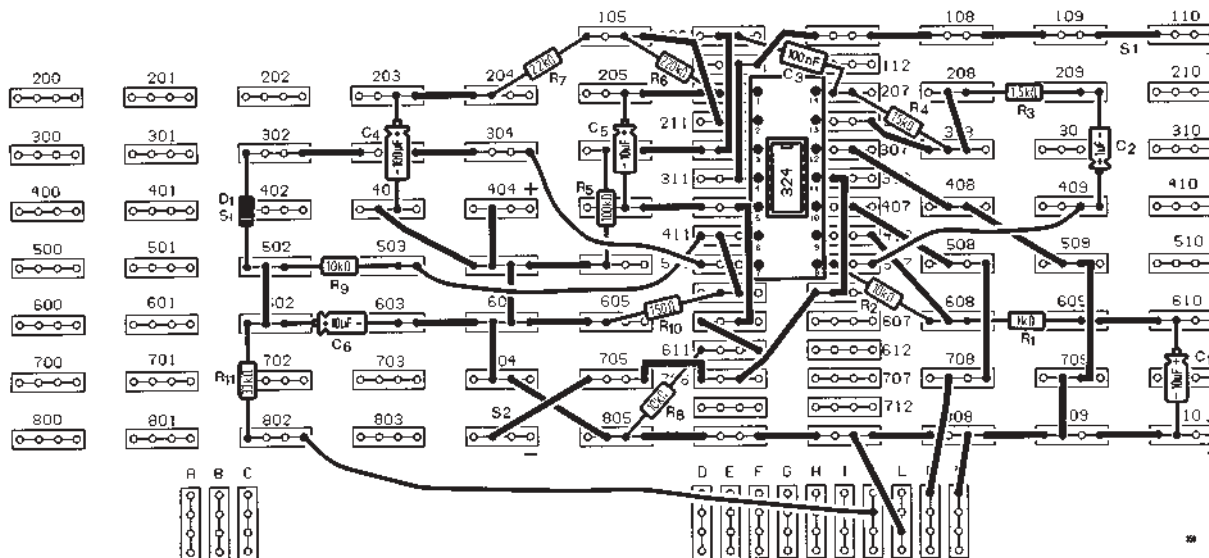
Figuur 349. Betrapt als je teveel lawaai maakt: de geluidssterktemeter.

### Het lawaai op het spoor

Huilende baby's horen gewoon bij het leven. Maar lawaai schaadt de gezondheid. Oorzaken zijn makkelijker te bestrijden, wanneer we ze kunnen meten en vergelijken. Dus gaan we de babysitter klaarmaken voor een andere functie.

**253** Met de schakeling die je in figuur 349 ziet, kunnen we met slechts een paar handgrepen een geluidssterktemeter maken. Deze meter bestaat uit onderdelen die je intussen allemaal al kent: van de berekenbare versterkertrappen tot aan de enkelzijdige precisie-gelijkrichter toe. We kunnen ons dus helemaal op het meten concentreren en wanneer iemand teveel lawaai maakt, kunnen we hem aan de hand van meetgegevens aantonen dat hij verkeerd bezig is...

Overigens: wanneer de wijzer in een bepaald ritme uitslaat terwijl er geen geluid te horen is, ligt dat niet aan onze schakeling, want die is heus wel in orde. De oorzaak is een sterke "stoorzender" in de buurt, die op de schakeling inwerkt. Wij hadden bijv. een thyristorregeling in een apparaat in de buurt, en toen we die hadden uitgeschakeld, was alles weer in orde.



Figuur 350. Het opbouwschema bij figuur 349.

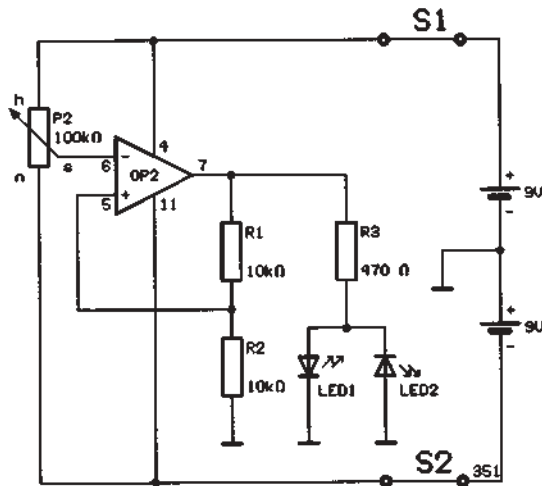
## 26. De schakelcentrale van de operationele versterker

Alle standaardschakelingen die we kennen, kunnen ook worden opgebouwd met behulp van de techniek van de operationele versterker.

### OP(A) Schmitt

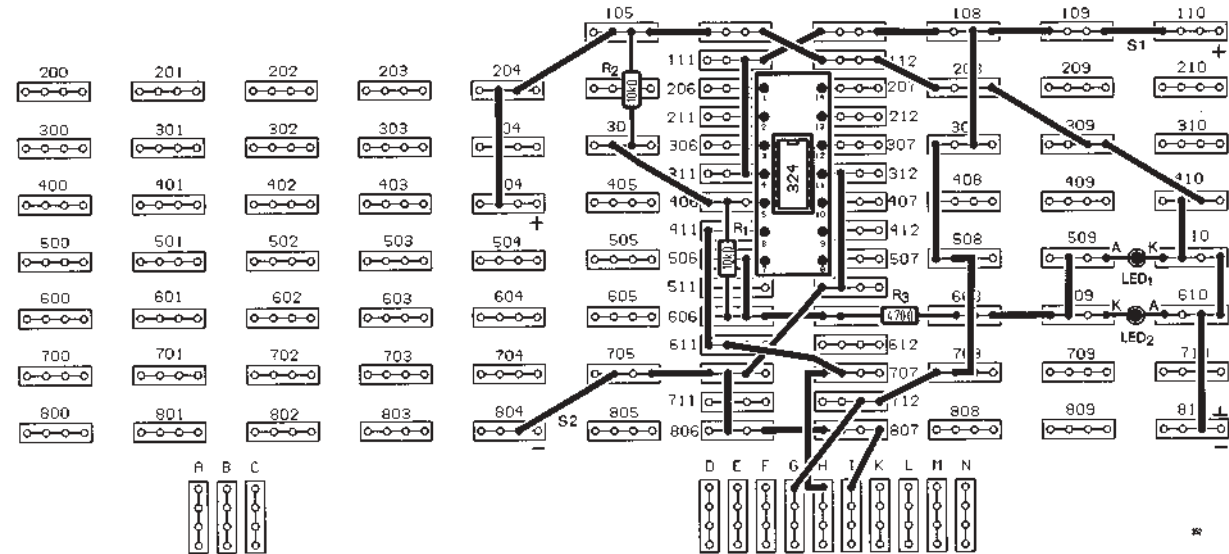
De comparator is een goede basis voor de eigenschappen van de Schmitt-trigger. Voor de hysteresis gaan we nu dadelijk zorgen.

**254** Bouw de schakeling op zoals aangegeven in figuur 351 en draai aan de potmeter. LED1 en LED2 zullen om beurten oplichten. Is dat bij de ene gelukt, dan zullen we heel ver de andere kant op moeten draaien om de andere op te laten lichten, en omgekeerd. De beide weerstanden  $R1$  en  $R2$  zijn bepalend voor de momenten waarop wordt omgeschakeld. Zijn de waarden even groot, dan is het gevolg dat geschakeld wordt bij een waarde die gelijk is aan zowel de helft van die van de positieve als van die van de negatieve verzadigingsspanning. Verander je  $R2$  in kleinere waarden (bijv.  $5,6\text{ k}\Omega$ ,  $1\text{ k}\Omega$ ), dan wordt de hysteresis kleiner; wanneer je  $R2$  groter maakt (bijv.  $33\text{ k}\Omega$ ,  $100\text{ k}\Omega$ ), dan wordt hij groter.



Figuur 351. Op verzoek met een grote hysteresis: de operationele versterker van Schmitt.

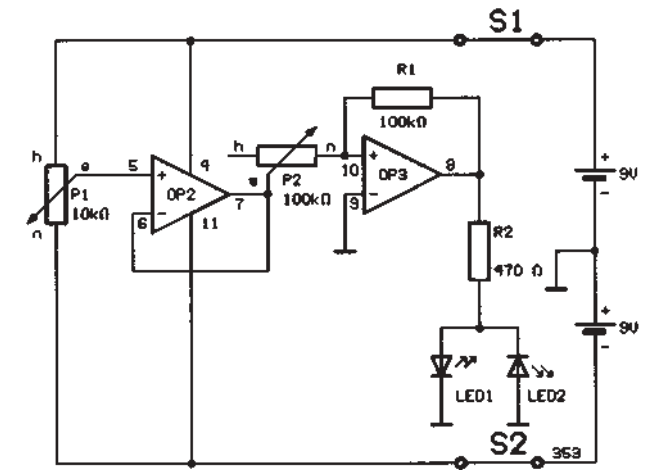
**255** Bij het opbouwen van de schakeling zoals aangegeven in figuur 353, wordt nog een operationele versterker als "een-versterker" gebruikt om de signaalspanning en het schakelmoment van elkaar te scheiden. De stuurspanning wordt op de



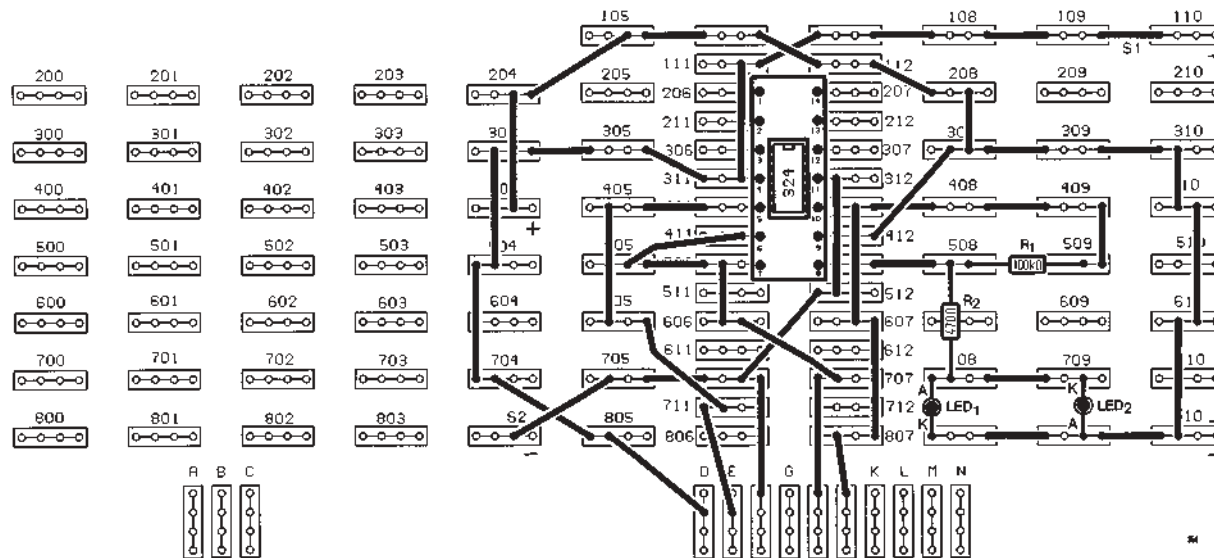
Figuur 352. Het opbouwschema bij figuur 351.

niet-inverterende ingang van de trigger gezet. De op P1 ingestelde spanning is dus vrijwel gelijk aan de uitgangsspanning van de eerste operationele versterker. Ze wordt door de tweede operationele versterker vergeleken met 0 V, omdat de inverterende ingang van die versterker met massa is verbonden. We stellen P2 zo in dat de weerstandswaarde nul is. Ten opzichte van de middenpositie hoeft P1 dan maar een klein beetje naar rechts of links te worden gedraaid om te bereiken dat de uitgang van de tweede operationele versterker tussen zijn verzadigingspunten heen en weer schakelt; en dat zie je dan weer aan de licht-emitterende diodes.

**256** Stel P2 nu in op zo'n 90 % (s vlakbij h)! Het omschakelpunt, d.w.z. 0 volt op de niet-inverterende ingang van de tweede operationele versterker, kan nu alleen maar worden bereikt wanneer de uitgang van de eerste versterker een even hoge, maar andersom gepoolde spanning voert. (De hysteresis is nu dus heel erg groot; tussenwaarden bij een op kleinere waarden ingestelde P2.) De relatie tussen de ingangs- en de uitgangsspanning, die we net hebben genoemd, kun je herkennen aan de stand die P1 heeft om te kunnen omschakelen. Omdat de verzadigingsspanningen voor plus en min een beetje van elkaar afwijken, mag P2 niet helemaal worden opgedraaid, omdat anders de uitgangsspanning van de eerste operationele versterker niet meer voldoende is voor beide richtingen!



Figuur 353. Oorzaak en gevolg gescheiden: Schmitt met een impedantieomzetter.



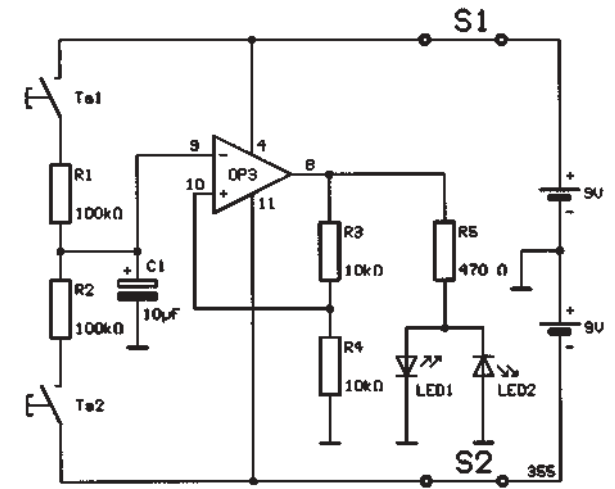
Figuur 354. Het opbouwschema bij figuur 353.

### Handbediende astabiele multivibrator

We gaan weer even terug naar figuur 351 en veranderen nu de beginvoorwaarden .

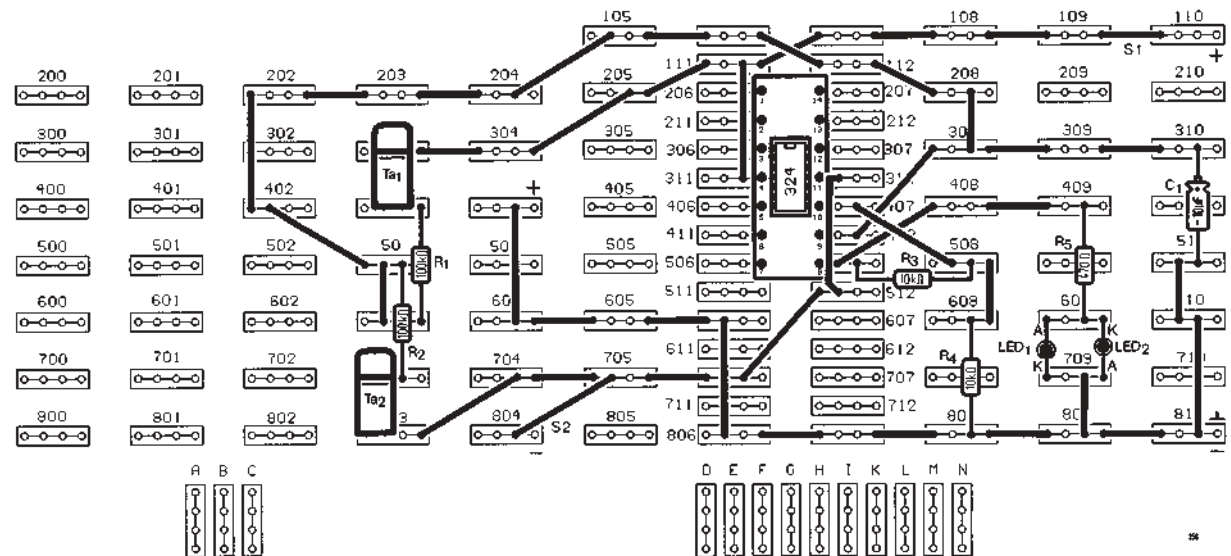
**257** Zoals je in figuur 355 ziet, wordt C1 gedurende ongeveer 1 seconde via Ta1 resp. Ta2 opgeladen (100 kΩ, 100μF). Telkens wanneer de spanning over C1 een waarde bereikt die gelijk is aan de halve verzadigingsspanning, schakelt de uitgang in de andere grenspositie. Het heeft geen zin om C1 nog verder op te laden. Dus kun je de druktoets loslaten. Als gevolg van de lekstroom ontlaadt de elco zich daarna min of meer snel. Maar hoogstens tot 0 volt, en dat hoeft dan nog niet te betekenen dat de operationele versterker nu omschakelt. De toestand blijft dus zoals ze is. Pas wanneer er gebruik wordt gemaakt van de andere druktoets, komt er verandering in. Licht LED1 op, dan moet je op Ta1 drukken; geeft LED2 licht, dan gebeurt er pas iets wanneer je 2 seconden lang op Ta2 drukt. Over met een verkeerde polariteit aangesloten elco's hebben we het al eens eerder gehad. Geen paniek dus!

**258** Na wijziging van de schakeling overeenkomstig figuur 357 kunnen we het opladen van C1 rustig aan de schakeling overlaten. Hoe snel dat moet gebeuren, wordt bepaald door P2 in te stellen. Om een kleine tegenspanning op de elco te krijgen, gebruiken we de delerverhouding 1: 1 alleen voor deze eerste "ronde". We stellen P2 in op de hoogste waarde (s op n).

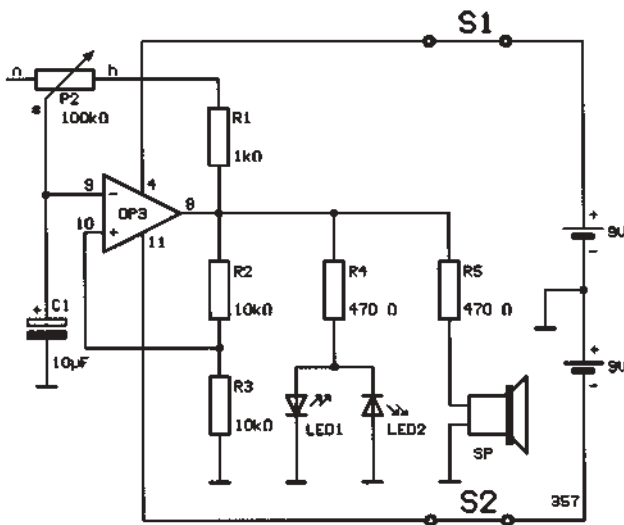


Figuur 355. Met de hand: op weg naar astabiel.

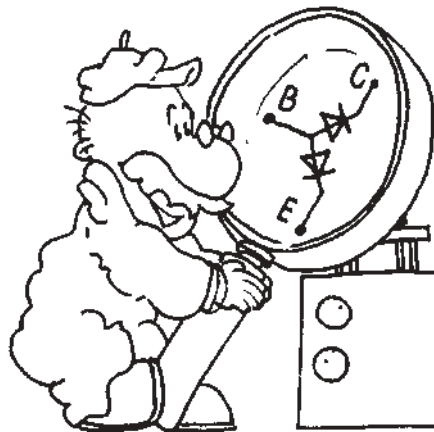
De licht-emitterende diodes knipperen nu onophoudelijk en om beurten - want zo gedraagt zich een astabiele multivibrator gewoonlijk. De luidspreker produceert alleen maar een zacht krakend geluid. Die luidspreker hebben we dadelijk nodig.



Figuur 356. Het opbouwschema bij figuur 355.



Figuur 357. Op eigen kracht: astabiel tussen de verzadigingspunten.

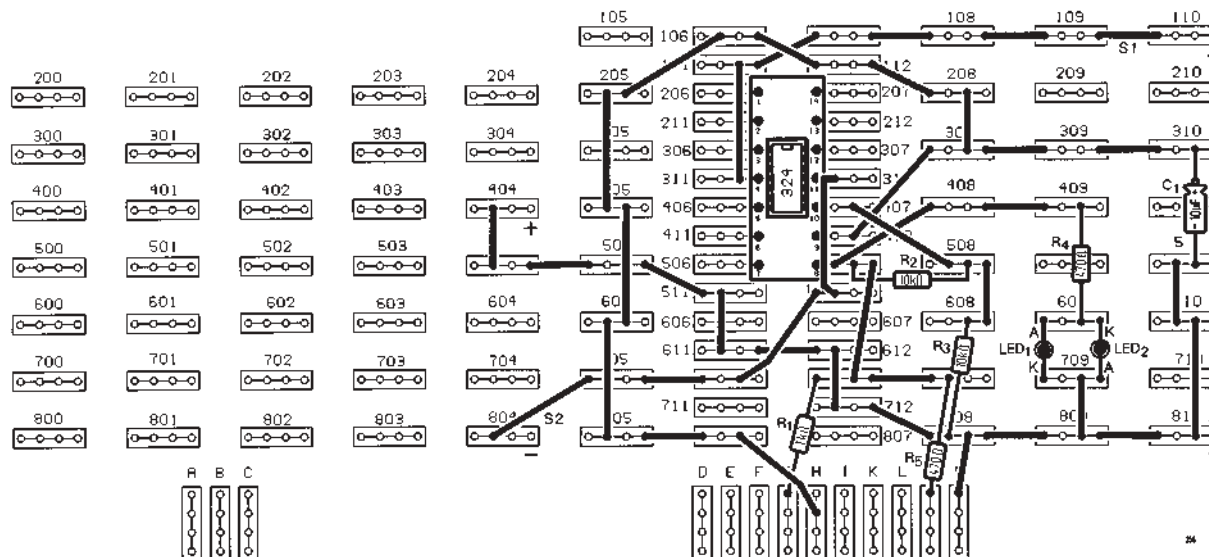


### Test je conditie!

In combinatie met het instrument waar we ons reactievermogen mee testen en dat in hoofdstuk 20 is beschreven, gebruiken we deze zowel knipperende als piepende multivibrator als onderdeel van een keuringsstation voor onze conditie. Belangrijk voor op school en op straat!

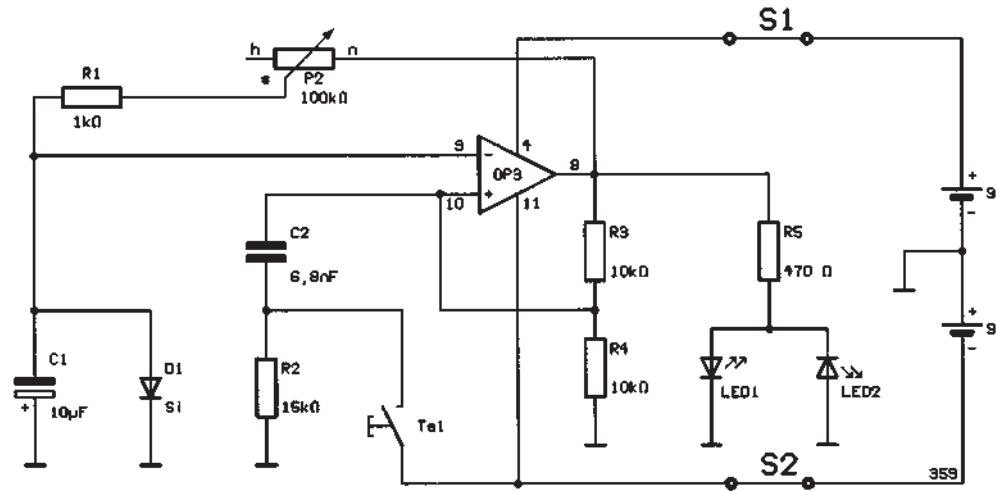
**259** We veranderen in de schakeling van figuur 357 C1 in 100 nF en R1 in 100 kΩ. Vervolgens kijken we in een niet al te zeer verlichte kamer naar de licht-emitterende diodes en stellen P2 zó in dat ze allebei net continu licht lijken te geven. Dit is het geval zodra de "knipperversmeltingsfrequentie" wordt bereikt. Markeer op de potmeter de waarde die je na een rustige nacht hebt bereikt. En herhaal vervolgens de test nadat je een drukke dag achter de rug hebt. Waarschijnlijk moet je dan P2 een heel stuk meer richting n draaien.

**260** Nog eens wisselen: C1 wordt nu 6,8 nF en R1 opnieuw 1 kΩ. Voor R2 neem je nu 22 kΩ en voor R3 150 Ω. Draai vervolgens P2 vanuit n zover richting h, dat het geluid uit de luidspreker net niet meer te horen is. Honden en vogels denken daar anders over. Maar je opa zal al heel gauw niets meer horen. Maar wie een bijzonder goed gehoor heeft, zal misschien zelfs nog eens 6,8 nF met C1 in serie moeten schakelen. Dat is beter dan P2 verder op te draaien tot aan de aanslag, want dan zouden de trillingen wel eens kunnen stoppen.

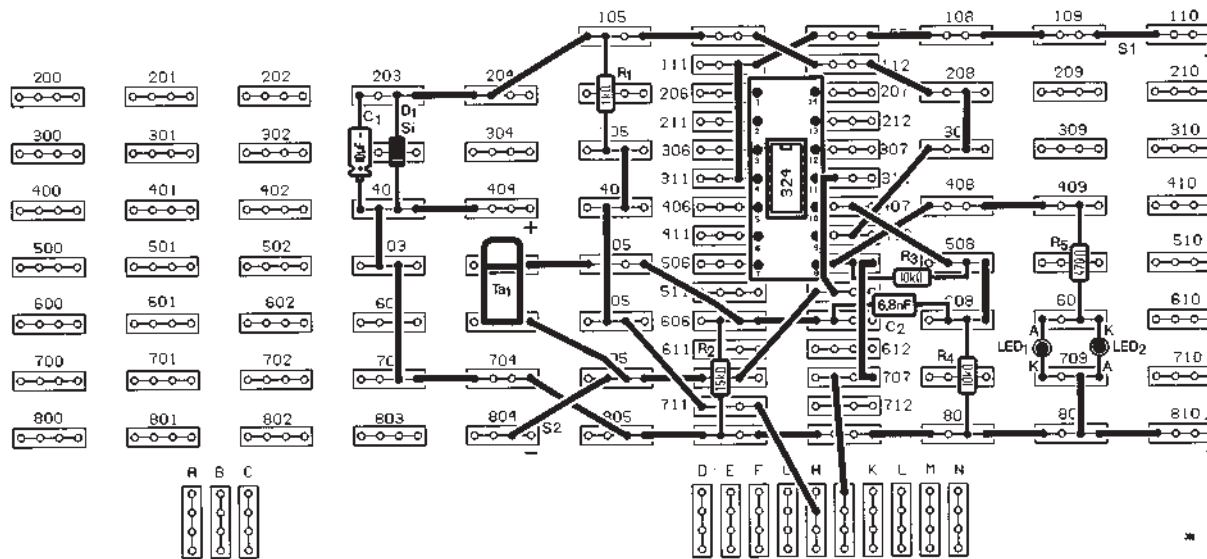


Figuur 358. Het opbouwschema bij figuur 357.





Figuur 359. Alleen maar even "duwen": een monoflop als bij een operationele versterker.



Figuur 360. Het opbouwschema bij figuur 359.

### Overgang en ondergang

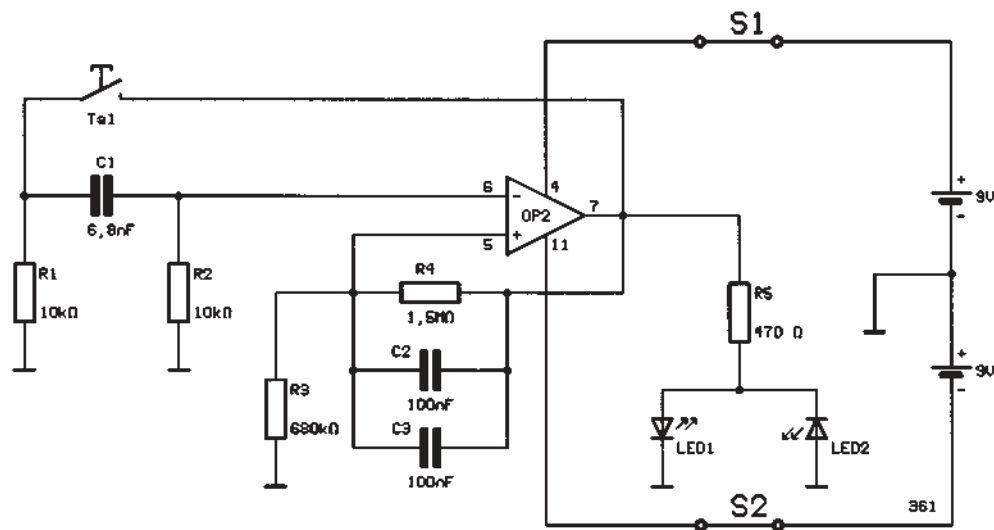
Laten we nog eens lachen. Want het gaat om de monoflop en de flip-flop. Allebei hebben ze even een "duwtje" nodig om hun toestand te veranderen. Hoe je dat doet, weten we al. In de volgende drie experimenten krijgen we hiervoor hulp van de 6,8 nF-condensator.

**261** Figuur 359 vertoont nog heel wat gelijkenis met de vorige proeven. Toch werkt deze schakeling anders, want LED1 blijft in rusttoestand continu licht geven. Dus bevindt zich de uitgang in positieve verzadiging. C1 heeft een bepaalde lading onder invloed van de diodespanning D1. We stellen P2 in op de maximale waarde (s op h) en drukken dan even op Ta1: LED1 dooft en LED2 licht nu op. De negatieve puls via Ta1 en C2 naar de niet-inverterende ingang heeft de uitgang in de negatieve verzadiging gekipt. Hierdoor staat op de niet-inverterende ingang een poosje de halve negatieve verzadigingsspanning (stabiel) en wordt die toestand vastgehouden. Maar intussen gebeurt er wel wat met C1. C1 wordt namelijk door de nu omgekeerde uitgangsspanning via P2, R1, geladen. Natuurlijk wel tot de halve negatieve verzadigingsspanning. Dan kipt de schakeling en de nu weer positieve uitgangsspanning doet de lading op C1 weer afnemen. Druk nu onmiddellijk na het terugschakelen op de druktoets, voordat de lading van C1 is afgenomen! LED2 zal nu duidelijk minder lang licht uitstralen. Hoe komt dat? Welnu, C1 is immers voor een deel nog geladen. Dat zul je nog duidelijker merken wanneer je 2 x 10 μF- of een 100 μF-elco voor C1 gebruikt.

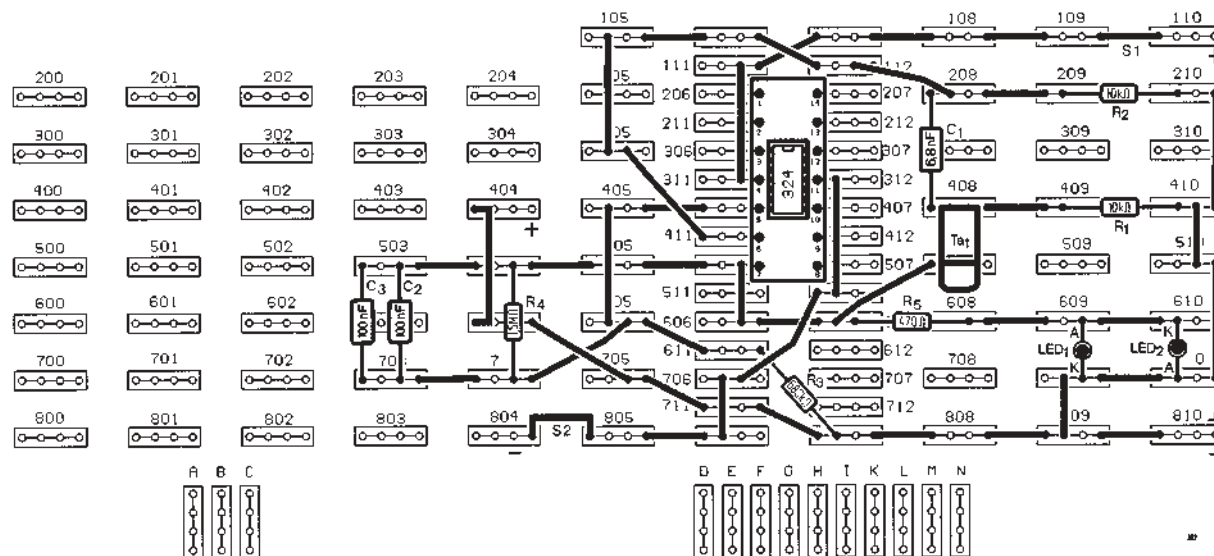
Een controlevraag. Waarvoor dient R2? Juist. Samen met R4 zorgt R2 voor het ontladen van C2. En daardoor kan dan ook de volgende puls worden overgebracht. Een negatieve proef: Trek R2 eruit en houd Ta1 een poosje ingedrukt. Wanneer je nu weer probeert te starten, lukt het beslist niet. Breng R2 maar weer aan en alles is weer zoals het zijn moet.

**262** We komen heel dicht in de buurt van wat al helemaal geen zin meer heeft, en wel vanwege de ingangsstroom met de weerstanden R3 en R4 in figuur 361.

We stellen vast: telkens wanneer we op Ta1 drukken, kipt de schakeling in de andere verzadigingstoestand - en licht al naar gelang die toestand LED1 of LED2 op. Een duidelijke zaak: de inverterende ingang is stabiel met massa verbonden. De werkelijke uitgangstoestand houdt de niet-inverterende ingang via R4 en R3 op zo'n 30% van de bijbehorende verzadigingsspanning. Via C1 komt, wanneer op Ta1 wordt gedrukt, heel even de volle uitgangsspanning aan de inverterende ingang. De uitgang reageert met een omgekeerde polariteit. De parallel geschakelde condensatoren C2 en C3 geven dat - eveneens vluchtig - onmiddellijk door aan de niet-inverterende ingang. Deze ingang krijgt dus zonder vertraging de nieuwe vooraf ingestelde waarde door.



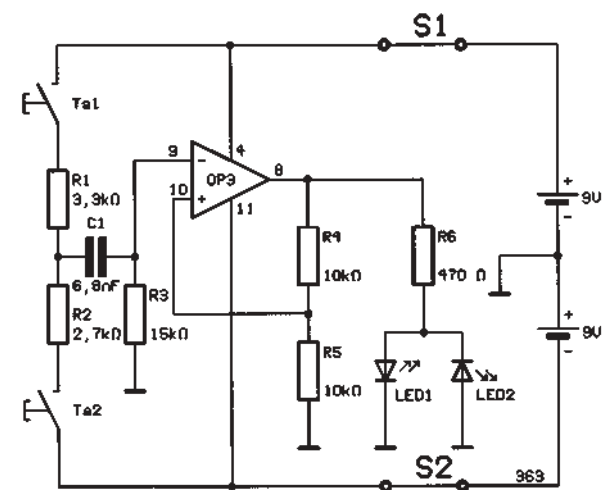
Figuur 361. Eén voor allen: bistabiel met een besturing door middel van maar één toets.



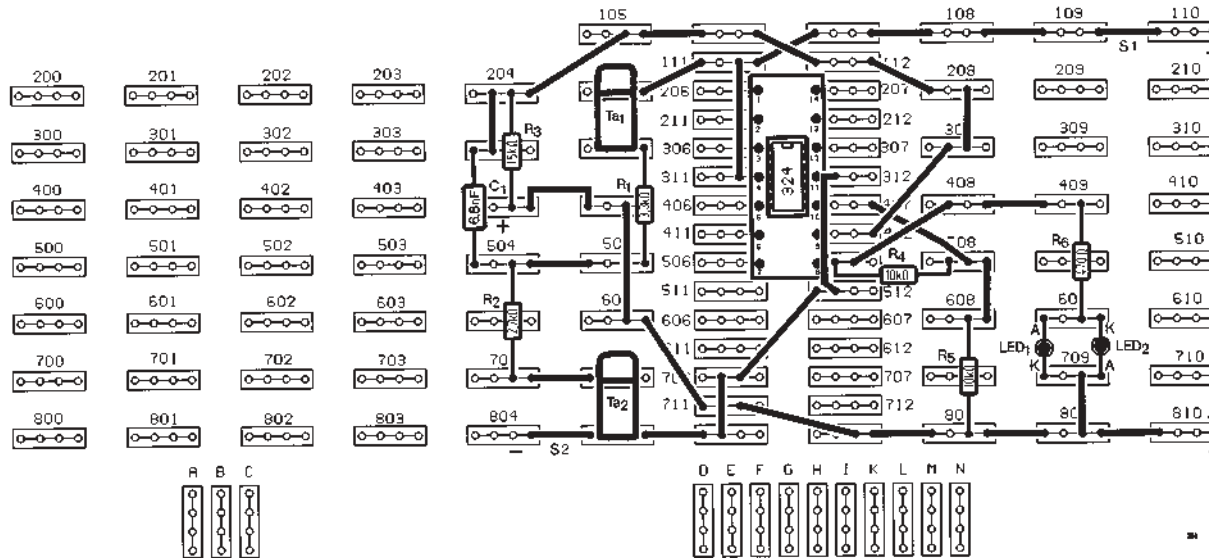
Figuur 362. Het opbouwschema bij figuur 361.

Het hele zaakje kipt daardoor op een volledig betrouwbare wijze in de nieuwe stabiele toestand. Wanneer u opnieuw op Ta1 wordt gedrukt, gebeurt alles "in spiegelbeeld", want C1 is intussen via R1 en R2 weer ontladen en is daardoor (opnieuw) gereed voor de overdracht.

**263** Haast zonder commentaar kun je nu ook begrijpen wat je aan de hand van figuur 363 kunt concluderen: omschakelen kun je uitsluitend via de bijbehorende druktoets. Licht LED1 op, een positieve verzadiging dus, dan moet je op Ta1 drukken en kipt de hele zaak naar het negatieve, en omgekeerd. Setten en resetten, de bekende RS flip-flop.



Figuur 363. Verdeling van het werk; flip-flop met een toets voor het resetten en een voor het setten.

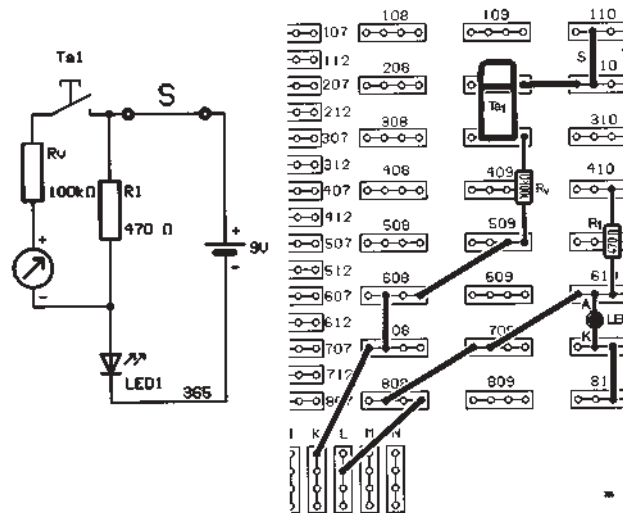


Figuur 364. Het opbouwschema bij figuur 363.

## 27. Meten is weten

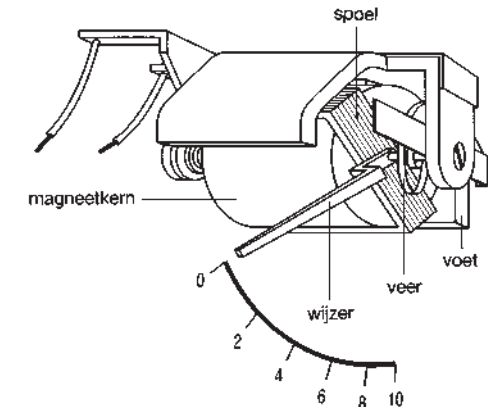
Wat heb je aan de beste formules als je ze niet kunt toepassen en controleren? Niets toch? Dus zul je ook metingen moeten uitvoeren.

**264** De schakeling die je in figuur 365 ziet, wordt ons eerste meetobject. We zullen wel voorzichtig moeten zijn, want ons meetinstrument is heel gevoelig! Zowel voor de gemeten waarden als voor de mate waarin het kan worden belast. Dus gebruiken we meestal - net als bij de licht-emitterende diode - een voorschakelweerstand. De grootte van die voorschakelweerstand hangt af van de spanning die moet worden gemeten. In figuur 365 is het een weerstand  $R_V$  van 100 k $\Omega$ . Voor gebruik van 9 volt is dat net wat we nodig hebben. Slaat de meter helemaal uit, dan betekent dat een spanning van 10 volt. Bovendien moet het instrument in de juiste richting worden aangesloten, dus plus op plus en min op min. Wanneer het maar even gaat, moet je met een druktoets werken die alleen wordt ingedrukt wanneer de eigenlijke meting wordt uitgevoerd (zie figuur 365). In de schakeling wordt over  $R_1$  7 volt gemeten. Volgens de wet van Ohm vloeit dus een stroom van  $I = U/R_1 = 7 \text{ V} / 0,47 \text{ k}\Omega = 14,9 \text{ mA}$  door LED1. Dat is een acceptabele waarde. In feite hebben we hiermee eigenlijk al beide meetmethoden leren kennen die met het instrument mogelijk zijn: de spanningsmeting en (via Ohm) de stroommeting, indirect door het meten van de spanning over een bekende weerstand.



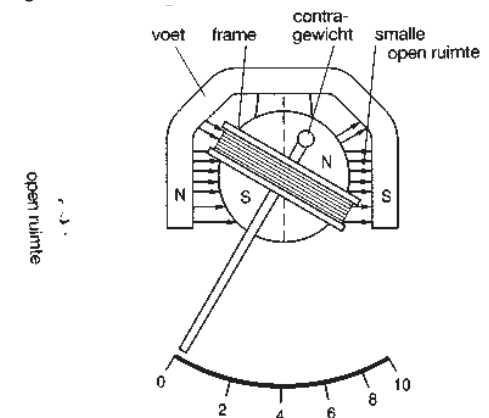
Figuur 365. Stroom berekenen: spanning meten over een bekende weerstand

net omgekeerd opgebouwd; kijk maar eens naar figuur 366: de kern wordt gevormd door een vaste magneet, en daaromheen bevindt zich een draaibare, gelagerde spoel. En er is een terugstelveer, die ervoor zorgt dat het gemeten ook in een bepaalde waarde kan worden aangegeven: de kracht van de magneet tegen de kracht van de veer.



Figuur 366. Een meetwerk met draaispoel: de magneetkern rust, maar de spoel is in beweging (als er stroom vloeit).

Uiteindelijk is het steeds de bij het meten door de spoel vloeiende stroom die ervoor zorgt dat de wijzer beweegt. Het magnetische veld ervan ondervindt een wisselwerking met dat van de magneet in de spoel: gelijke magneetpolen stoten elkaar af, ongelijke trekken elkaar aan. Dat verklaart ook de afhankelijkheid van de polariteit. In de verkeerde richting wordt de verkeerde beweging door een aanslag gestopt. Kijk voor de details maar naar figuur 367.

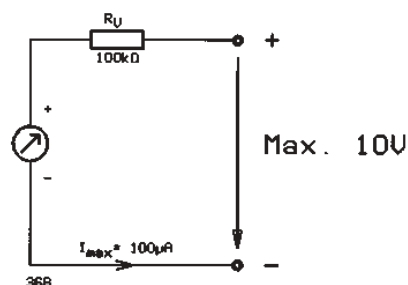


Figuur 367. Wisselwerking: een dicht veld - grote kracht.

De oorzaak van ongelijkmatige schaalverdelingen moet in de opbouw worden gezocht. De indeling kan worden aangepast aan de meest uiteenlopende taken.

### Maat-staven

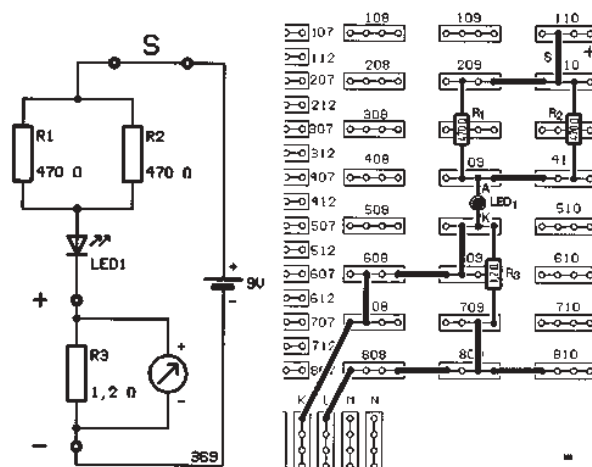
De stroom  $I$ , nodig om de wijzer van het instrument volledig te laten uitslaan, is de belangrijkste kenmerkende grootheid van dergelijke meetinstrumenten. Door de wikkeling van het draad ontstaat er een *bepaalde inwendige weerstand*  $R_i$ . Ons meetinstrument komt tot 1200  $\Omega$ . Omdat de wijzer bij 100  $\mu A$  volledig uitslaat, is er dus sprake van een *bedrijfsspanning* van 120 mV. Zonder andere schakelementen hebben we dus naar keuze een *ampèremeter* voor ons liggen, waarvan de wijzer bij 100  $\mu A$  volledig uitslaat bij een bedrijfsspanning van 120 mV, of een *voltmeter* voor 120 mV, die om volledig uit te slaan 100  $\mu A$  nodig heeft. Deze stroom wordt afgenomen op de punten waarop de spanning wordt gemeten. Is er sprake van grote weerstanden in de te bemeten schakeling, dan zullen de verhoudingen dus heel duidelijk veranderen. Over deze meetfouten zullen we het later nog eens hebben. Technici rekenen vaak met het quotient van de inwendige weerstand en de spanning bij volledige uitslag. Bij ons is de uitkomst  $1,2 \text{ k}\Omega / 0,12 \text{ V} = 10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ . Daarmee wordt de berekening van voorschakelweerstanden voor spanningsmeet-bereiken al een stuk makkelijker (zie figuur 368): voor 10 V moet het instrument met  $10 \text{ V} \cdot 10 \text{ k}\Omega/\text{V} = 100 \text{ k}\Omega$  worden "uitgerust". Wil je het allemaal heel nauwkeurig weten: de voorschakelweerstand is precies 98,8  $\text{k}\Omega$ , want het meetinstrument zelf vormt een weerstand van 1,2  $\text{k}\Omega$ . Maar niemand zal het verschil met 100  $\text{k}\Omega$  merken.



Figuur 368. Aanpassen: de stroomsterkte bepaalt de voorschakelweerstand van de voltmeter.

### 265

Met 1,2  $\Omega$  parallel aan het meetinstrument maken we een stroommeter en zetten hem in de schakeling die in figuur 369 is weergegeven. In Engeland en Amerika noemen ze de parallelle weerstand een *shunt*. In de stroomkring leidt deze weerstand alles wat het instrument niet kan opnemen, erlangs. De 120 mV bij volledige uitslag wordt bereikt wanneer er 100 mA door de shunt vloeit:  $1,2 \Omega \cdot 100 \text{ mA} = 120 \text{ mV}$ . We stellen vast: wanneer de

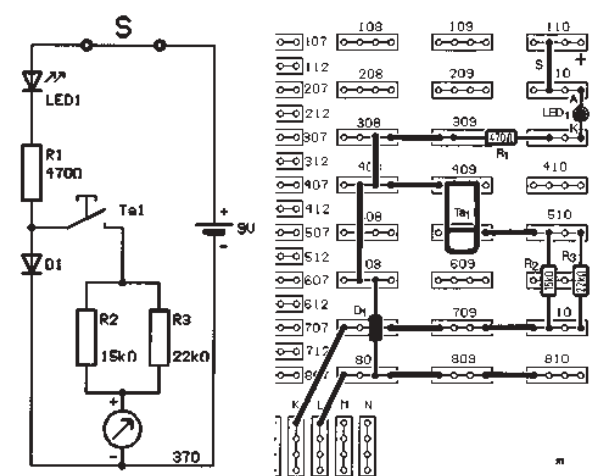


Figuur 369. Omleiding: overtollige stroom via een sluiproute (shunt) langs de ampèremeter.

inwendige weerstand en de stroom waarbij de meter volledig uitslaat, bekend zijn, dan kan het instrument aan alle taken worden aangepast en dus zowel voor het meten van spanningen als van stroom worden gebruikt. De volgende praktische toepassingen hebben hierop betrekking.

### 266

Met 15  $\text{k}\Omega$  en 22  $\text{k}\Omega$  parallel (figuur 370) krijg je een voltmeter die bij 1 V volledig uitslaat. De in figuur 370 gegeven praktische toepassing bestaat uit het meten van de



Figuur 370. Spanningsmeting voor het opnemen van diodekarakteristieken: maximale uitslag bij 1 V - gebruik voor  $R_1$  waarden van 470  $\Omega$  tot 10  $\text{k}\Omega$ .

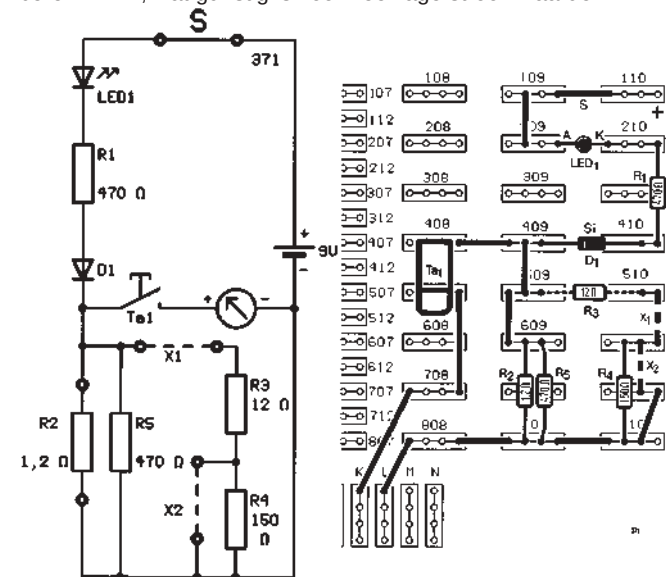
spanningen van Ge- en Si-diodes in doorlaatrichting. **Je mag steeds pas op de druktoets drukken, wanneer de diode in de goede stand (juiste polariteit) in de veren steekt!** Dat zie je aan LED1, zij het dat bij waarden van meer dan 3,3  $\text{k}\Omega$  voor  $R_1$  het maar heel zwak te zien is.

### 267

We gaan nu werken met grotere waarden voor  $R_1$  (1  $\text{k}\Omega$ , 1,5  $\text{k}\Omega$ , 2,7  $\text{k}\Omega$ , 3,3  $\text{k}\Omega$  en 5,6  $\text{k}\Omega$ ) en schrijven op, hoever de meter uitslaat. Dat is steeds minder, naarmate  $R_1$  groter wordt!

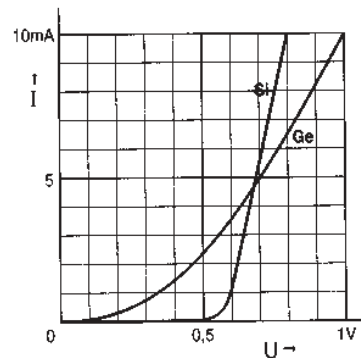
### 268

We schakelen nu over op stroommeting, zoals je in figuur 371 kunt zien. Bij  $R_1 = 470 \Omega$  hebben we  $R_2 = 1,2 \Omega$  als shunt nodig (bereik: 100 mA), bij meer dan 1  $\text{k}\Omega$  voor  $R_1$  wordt het met 12  $\Omega$  in plaats van 1,2  $\Omega$  beter afleesbaar (bereik: 10 mA;  $R_2$  uit de schakeling trekken, bruggen X1 en X2 insteken). Trek je nu brug X2 uit de schakeling, dan wordt het bereik 1 mA, wat gunstig is voor heel lage stroomwaarden.



Figuur 371. Van stroom naar spanning: opnemen van de karakteristiek, deel 2.  $R_1$  als in figuur 370, meetweerstand te kiezen overeenkomstig de stroom (startwaarde  $R_2 = 1,2 \Omega$  voor volle uitslag 100 mA).

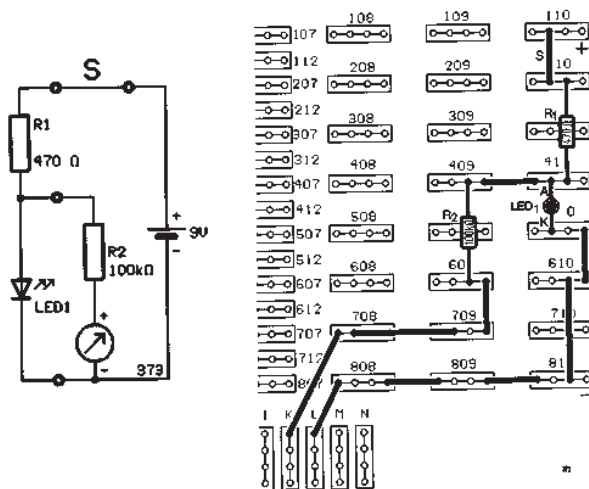
De op deze manier gevonden meetwaardeparen kunnen we op ruitjes- of millimeterpapier in een coördinatenstelsel uitzetten: de stroom als functie van de spanning. Het resultaat van onze spanningen voor de Ge- en de Si-diode is in figuur 372 te zien. De lijnen die je ziet, zijn de *karakteristieken* voor de beide diodetypen in doorlaatrichting.



Figuur 372. Diodes worden "doorzichtig": de stroom-spanningskarakteristieken voor Ge- en Si-diodes in doorlaatrichting.

Samen met de *data sheets* vormen dergelijke karakteristieken een belangrijk hulpmiddel voor de technicus. Ze zijn beschikbaar voor alle bouwelementen.

**269** Via de meetschakeling van figuur 373 gaan we nu eindelijk bekijken, met welke spanningswaarden onze licht-emitterende diodes en de IR-LED werken. Ook hiervoor zouden we een karakteristiek kunnen opnemen. Maar de "eenpunts"-metingen die bij een gewone stroom worden uitgevoerd, zeggen naar verhouding al genoeg. We zullen immers waarschijnlijk geen grote verschillen tussen de drie kleuren constateren. Maar er zijn wel rode types met een duidelijk lagere "bedrijfsspanning".



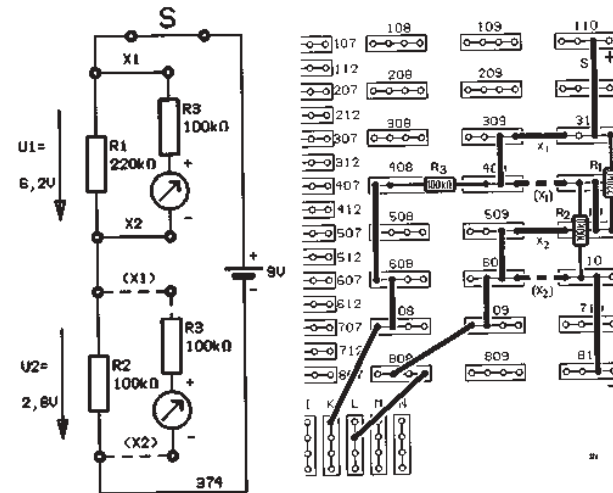
Figuur 373. Licht-emitterende diodes hebben meer spanning nodig: meting van de kleurafhankelijke LED-spanning (volle uitslag bij 10 V).

Ook de waarde voor de infrarood-zenddiode ligt nogal laag. Die waarde gaan we je nu eens niet verraden - die moet je maar zelf meten!

#### Eigenverbruik niet gewenst

Oppervlakkig bekeken lijkt het volgende experiment wel duidelijk. Maar oppassen! Er zijn problemen!

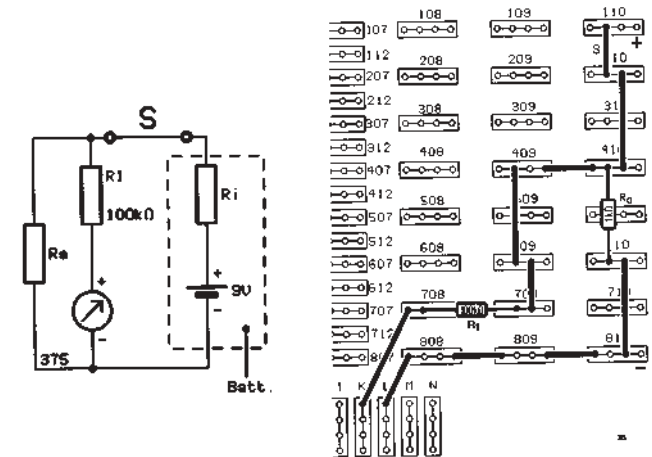
**270** We willen een heel eenvoudige meting uitvoeren zoals in figuur 374 staat aangegeven. Omdat we de weerstandswaarden kennen, weten we ook, welke spanningen over de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  staan:  $U_1 = 6,2 \text{ V}$ ;  $U_2 = 2,8 \text{ V}$ . Maar ga ze nu maar eens meten. Dan klopt er helemaal niets meer van. Hoe we ook meten, over  $R_1$ , over  $R_2$  (bruggen X1 en X2 telkens een strip lager insteken), we vinden iedere keer een te lage waarde. Dat is de bittere werkelijkheid van de praktijk. Het meetinstrument veroorzaakt namelijk een niet onbelangrijke belasting. En omdat de weerstanden met  $220 \text{ k}\Omega$  resp.  $100 \text{ k}\Omega$  in de orde van grootte van de inwendige weerstand ( $100 \text{ k}\Omega$ ) van de voltmeter liggen, wordt de waarde ervan bij de meting (door de parallel geschakelde inwendige weerstand) veel kleiner. Daardoor is de gemeten spanning lager dan de spanning die we hadden berekend.



Figuur 374. Verbluffend voor de beginner: grote afwijkingen tussen gemeten en de berekende spanningswaarde.

**271** Wat we nu gezien hebben, gaan we gebruiken bij een oude batterij. Die zal zeker nog wel  $100 \mu\text{A}$  kunnen opbrengen zonder "onderuit" te gaan. De inwendige weerstand, die nu groot is geworden, maar die je "niet te pakken kunt krijgen" en die desondanks aangeeft dat de zaak op zijn einde loopt, kunnen we nu aan de hand van de proef van figuur 375 te weten komen. Hiervoor meten we met de voltmeter (bereik  $10 \text{ V}$ ) de batterij-

spanning eerst zonder belasting ( $U_1$ , nullastspanning). Vervolgens belasten we na elkaar met  $R_a = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $470 \Omega$  etc., totdat we uiteindelijk bij een belasting van  $12 \Omega$  (kortstondig) komen. Bij deze volgorde wordt een steeds lagere spanning aangegeven. Misschien komen we hierbij wel toevallig een uitwendige weerstand tegen, waarbij de halve nullastspanning ontstaat. Dat zou dan precies de waarde van de "onzichtbare" zijn: de spanningsdeling 1: 1. Maar ook met andere waarden voor de uitwendige weerstand  $R_a$  en de aangegeven spanning  $U_a$  kan deze waarde worden gevonden:  $R_I = R_a(U_1 - U_a)$ . Wie dat wil, kan dit eenvoudig afleiden.

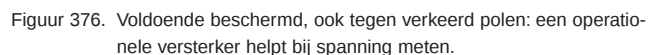


Figuur 375. "Gekrompen" spanning: de inwendige weerstand op het spoor.

#### De operationele versterker als redder in de nood

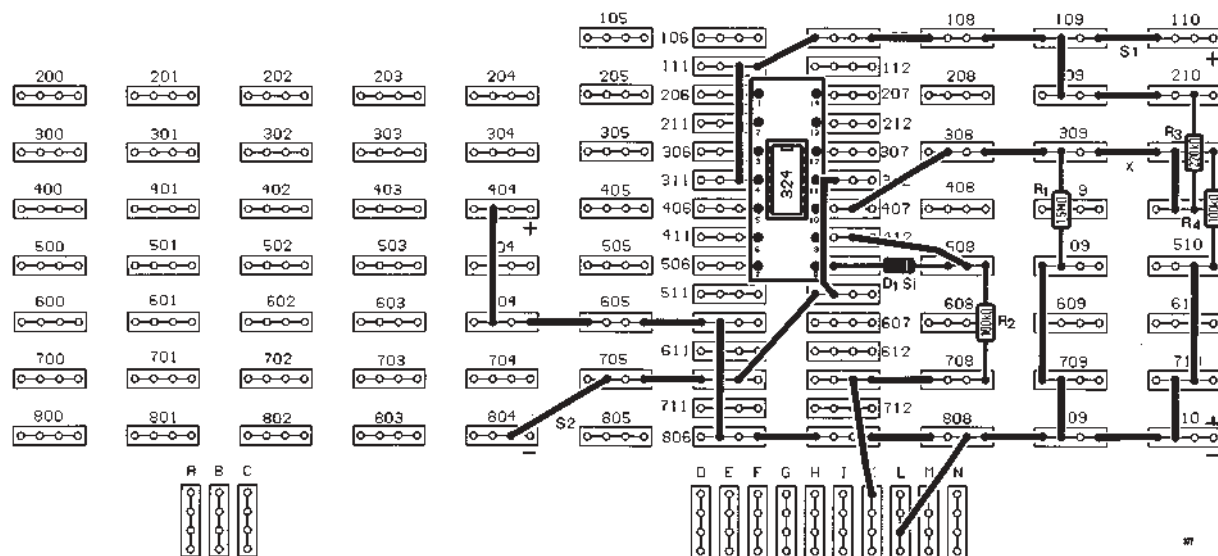
Een lage uitgangsweerstand en een slechts van de "lekstroomweerstand" voor de ingangsstroom afhankelijke (hoge) ingangsweerstand - wat was dat ook al weer? Juist, een niet-inverterende operationele versterker. Belangrijk is de hoge ingangsweerstand. Hij hoeft niet te versterken. Dus nemen we de één-versterker". Het resultaat is:

**272** We bouwen in een mum van tijd een hoogohmige voltmeter op zoals in figuur 376 is aangegeven, en wel eerst nog zonder de brug X. De diode zorgt voor de juiste polariteit. De maximaal mogelijke ingangsspanning is dan ook beperkt tot de verzadigingsspanning in positieve richting min de spanning over de diode. Je moet dus niet raar opkijken wanneer hierdoor  $9 \text{ V}$  niet wordt aangegeven! Doe nu de proef met de spanningsdeler zoals die in figuur 374 staat aangegeven (brug X aanbrengen): het meetresultaat zal nu dicht in de buurt liggen van de rekenkundige waarde voor de onbelaste spanningsdeler. De ingangsweerstand van onze voltmeter is nu namelijk zo'n 15 keer zo groot als bij experiment 270.



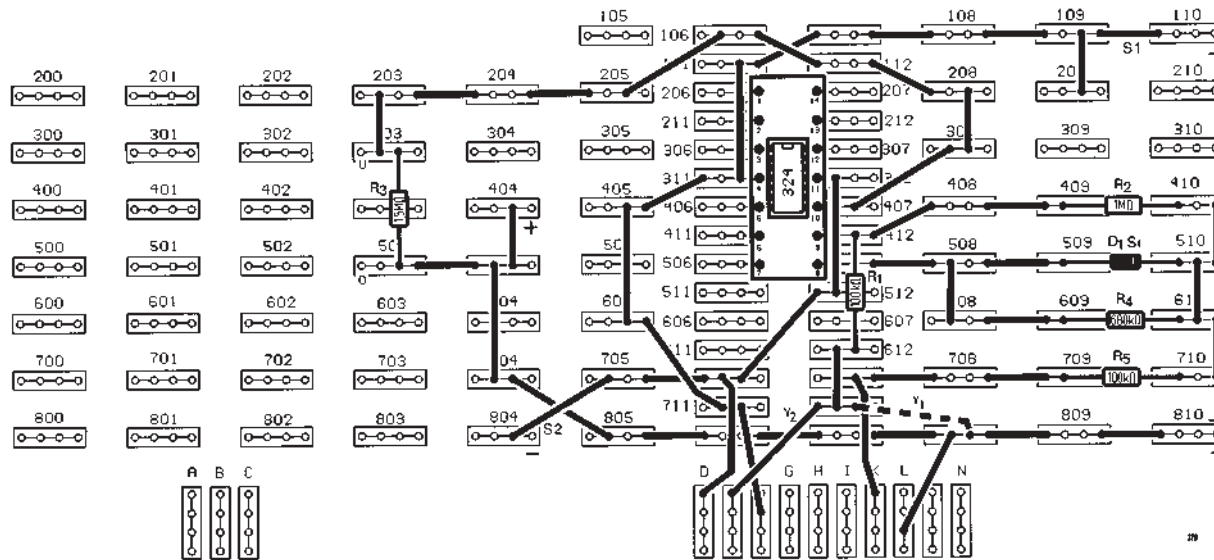
Lagere spanningen meten is geen probleem. De operationele versterker kan immers voor versterking zorgen. Daarbij is dan echter ook het effect van de onvolkomenheden sterker. Dat gaan we dadelijk merken.

Figuur 378. Versterking met compromis: instellen van de ingangsstroom afhankelijk fout-spanning.

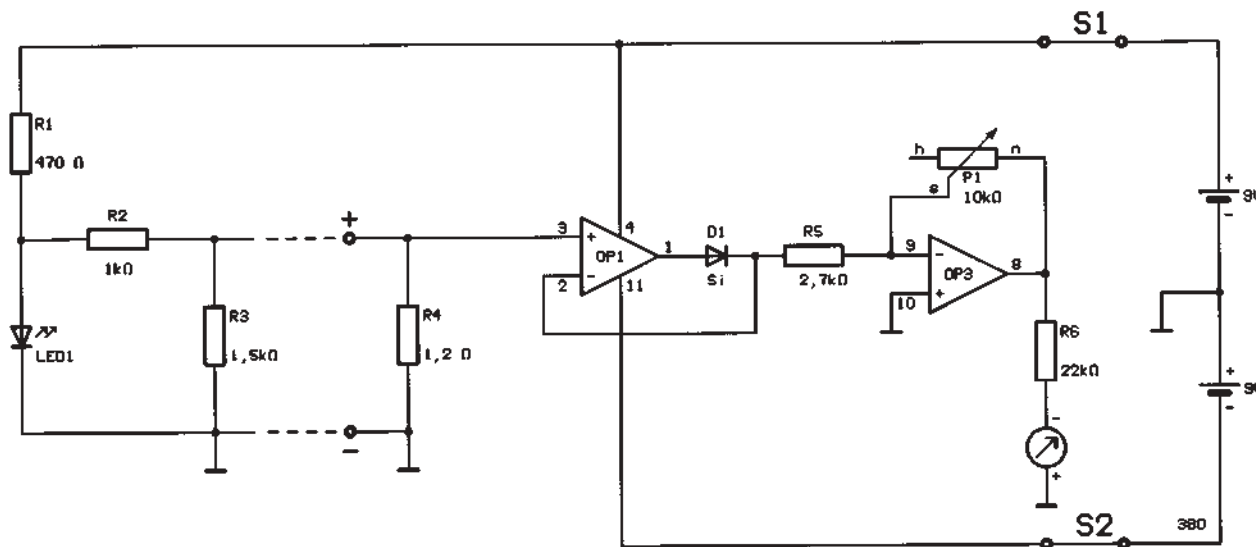


Figuur 377. Het opbouwschema bij figuur 376.



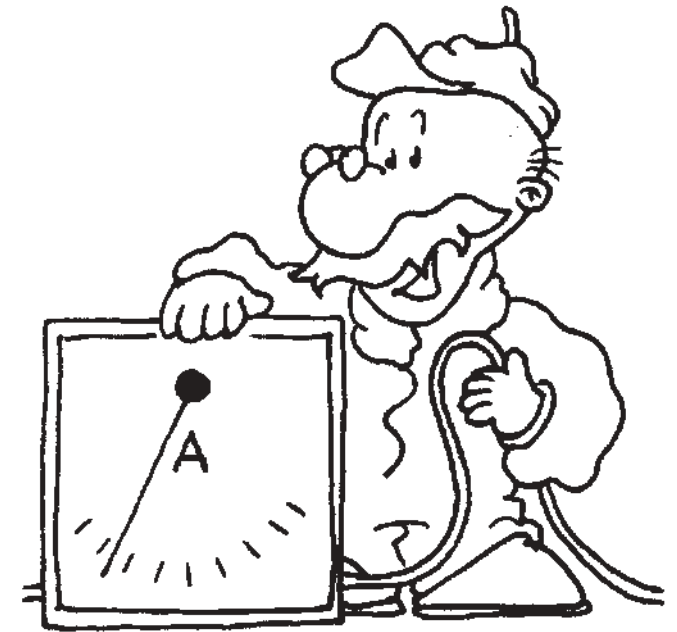


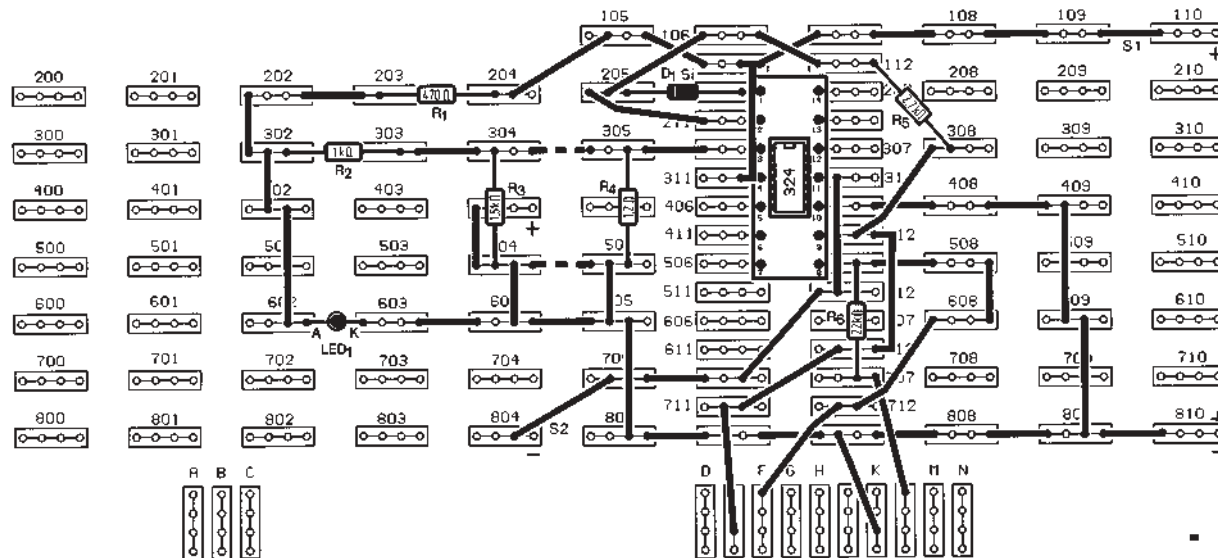
Figuur 379. Het opbouwschema bij figuur 378.



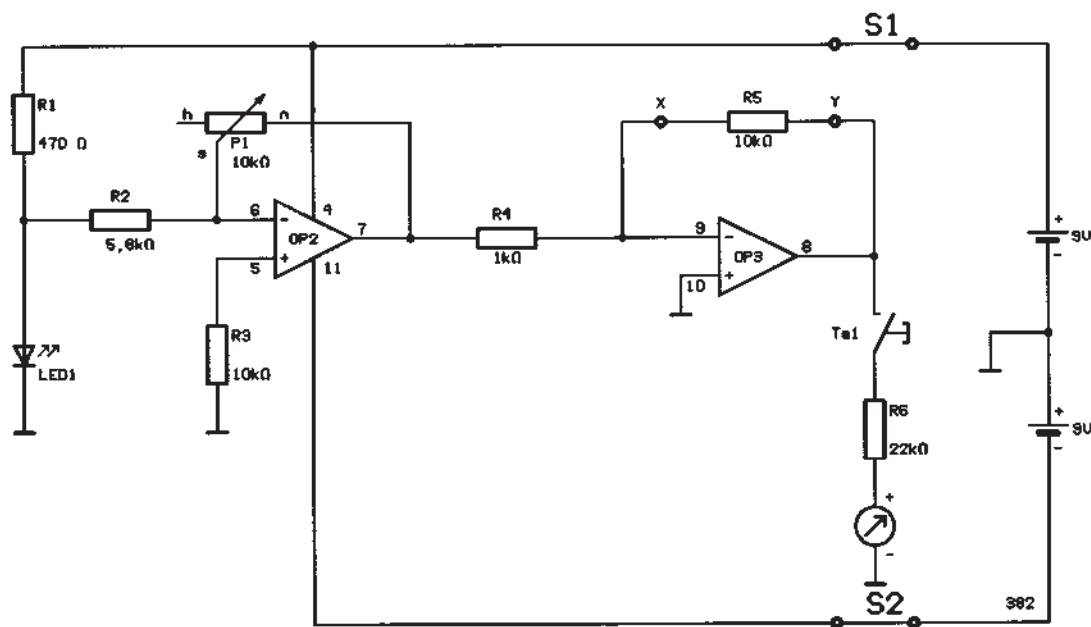
Figuur 380. Een tegen verkeerd polen beschermde ampèremeter die gekalibreerd kan worden: een stabiele spanning van 1,2 V simuleert een stroom van 1 A.

**274** De schakeling van figuur 380 scheidt de meettak van de rest van de schakeling, beschermt tegen verkeerd aansluiten en maakt het via P1 mogelijk om vrijelijk het bereik te kiezen zonder dat je de "stroomvoeler"  $R_4$  moet veranderen. Bovendien kunnen we de schakeling met behulp van de hulpschakeling links in de figuur instellen op het meetbereik voor 1 A (eindwaarde), zonder dat er een stroom van 1A moet vloeien. Hiervoor trekken we  $R_4$  uit de schakeling en maken de met een stippellijn aangegeven verbindingen. Daarmee komt er een spanning van 1,2 V op de schakeling te staan - net zoveel als 1 A via  $R_4$  tweeweg zou brengen.





Figuur 381. Het opbouwschema bij figuur 380.



Figuur 382. Ontmaskert weerstanden: een inverterende versterker als ohm-meter. Voor de meetbereiken zie de tabel.

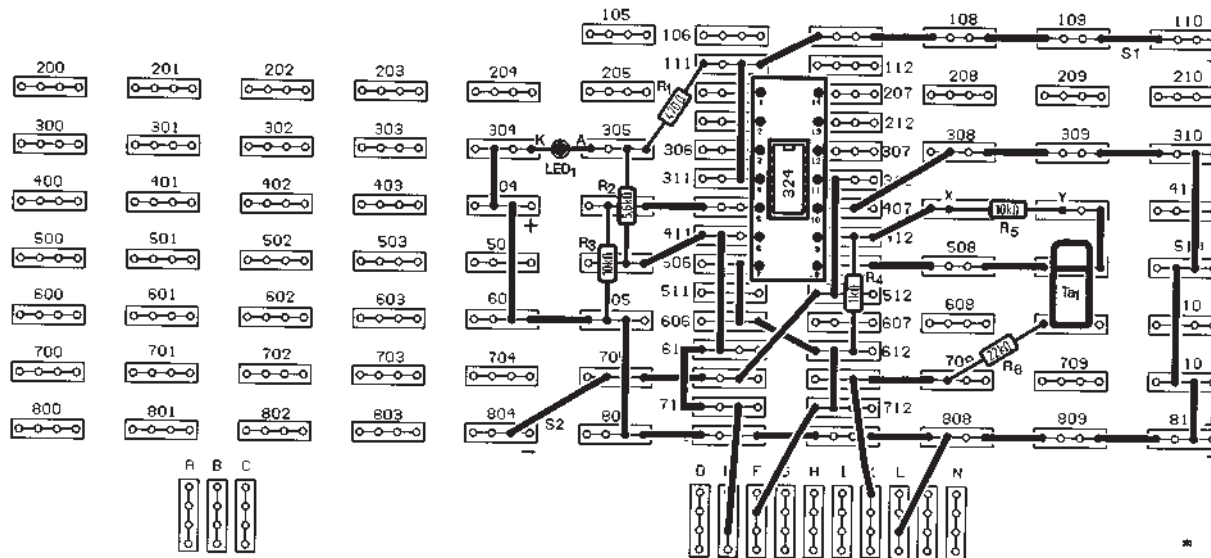
### De operationele versterker als ohm-meter

Soms kan de op een weerstand aangegeven waarde niet meer worden ontcijferd. In zo'n geval kan alleen een ohm-meter nog uitkomst bieden.

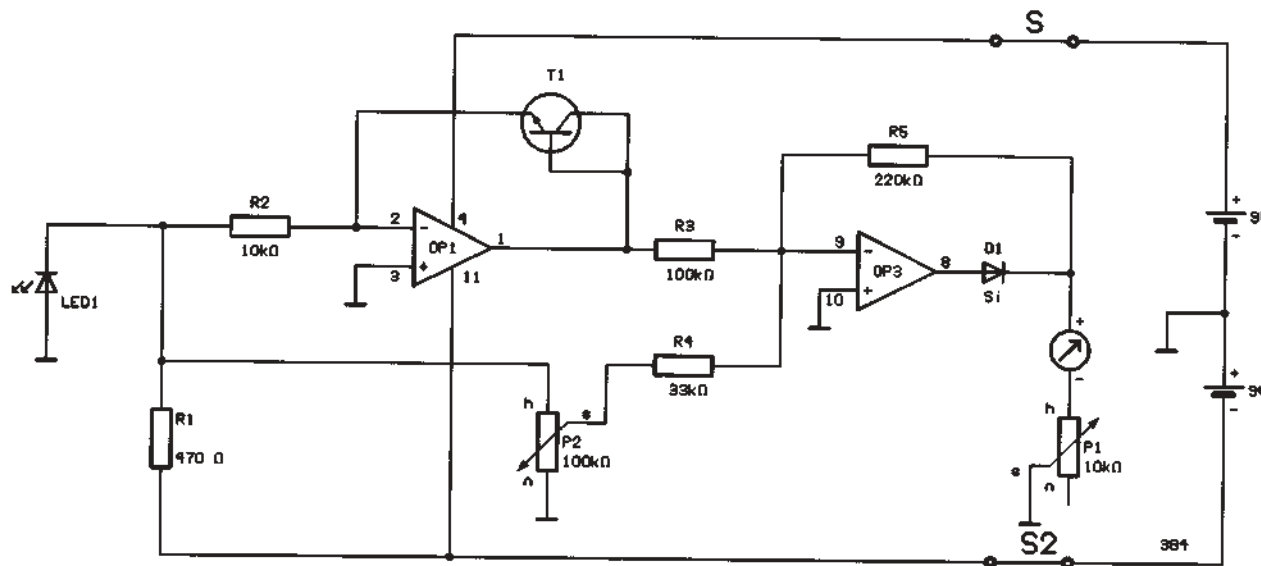
**275** Bouw de schakeling van figuur 382 op, en dan weet je 't. De "kandidaat" wordt tussen X en Y in de negatief terugkoppelende tak van een inverterende versterker geplaatst. Die versterker is van tevoren aan de hand van een bekende weerstand van de vereiste grootte voor een van de vier voorgestelde bereiken en bij volledige uitslag ingesteld. In de tabel hieronder vind je waar je de "kandidaat" moet zoeken:

| R4 (bereik) | "kandidaat" R5 tot max. |
|-------------|-------------------------|
| 100 Ω       | 1 kΩ                    |
| 1 kΩ        | 10 kΩ                   |
| 10 kΩ       | 100 kΩ                  |
| 100 kΩ      | 1 MΩ                    |

De effectieve versterking van maximaal 10 wordt dus bepaald door de kandidaat. Het meetinstrument met de voorschakelweerstand en de op de LED1 opgewekte constante spanning kunnen met behulp van de versterking van de eerste operationele versterker makkelijk worden aangepast. Een voorbeeld:  $R4 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R5 = 10 \text{ k}\Omega$  (hier wordt naderhand de kandidaat voor gebruikt). P1 moet in de middenpositie staan, en dan moet je op Ta1 drukken en P1 vervolgens zo corrigeren dat het meetinstrument volle uitslag vertoont. En dat is alles. Je kunt nu gaan meten!



Figuur 383. Het opbouwschema bij figuur 382.



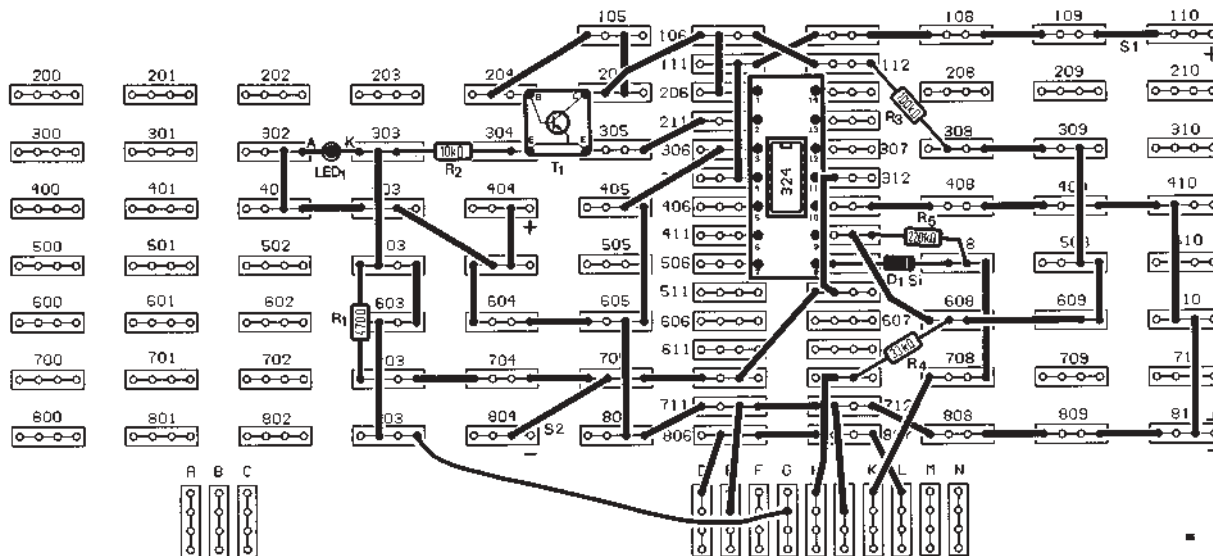
Figuur 384. Operationele versterkers doen het hem: temperatuurafhankelijke pn-spanning te gebruiken als thermometer.

### Een thermometer voor milieu-engeltjes

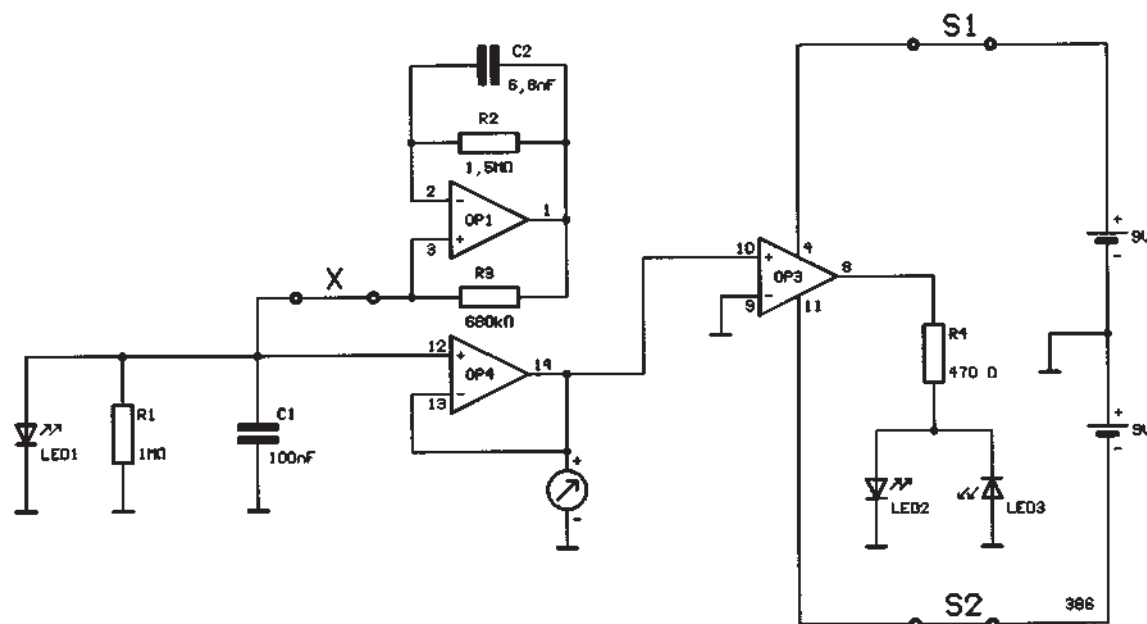
Zonder kwik gaat het met behulp van een pn-overgang. Laten we eens rekenen met  $-2,4 \text{ mV/K}$ . Dat is de temperatuurafhankelijke verandering van de spanning op een pn-overgang bij een constante stroomtoevoer van  $200 \mu\text{A}$ . De basis-emitter-spanning van een Si-transistor uit onze experimenteerdoos ligt bij  $0^\circ\text{C}$  ongeveer bij  $630 \text{ mV}$ . Bij een temperatuur van  $100^\circ\text{C}$  is het waarschijnlijk nog zo'n  $390 \text{ mV}$ .

**276** Laten we nu daarmee eens een thermometer gaan bouwen, aan de hand van figuur 384. Als referentie voor  $0$  graden gebruiken we een waterdichte plastic zak met smeltende ijsblokjes erin. Vooraf moeten we P2 instellen op ongeveer  $10\%$  boven de aanslag en P1 op  $50\%$ . Wanneer T1 de temperatuur heeft van het smeltwater, moet je de wijzer met behulp van P2 op nul stellen. Vervolgens moet aan de hand van een gewone thermometer bij een willekeurig hogere temperatuur (die wel lager moet zijn dan  $100$  graden Celsius!) met P1 de bijbehorende uitslag worden ingesteld.

Werking:  $2 \text{ V}$  van LED 1 resulteren in  $200 \mu\text{A}$  door R2. Deze stroom vloeit ook van de uitgang door T1 en resulteert tussen de uitgang en het knooppunt aan de inverterende ingang in de temperatuurafhankelijke spanning - bijv.  $630 \text{ mV}$  bij  $0^\circ\text{C}$ . Zonder de tak met R4 wordt deze spanning door de tweede operationele versterker vanwege  $R5/R3$  zo'n  $2,2$  keer, dus tot ongeveer  $1,4 \text{ V}$ , versterkt. Maar wanneer we met P2 een dusdanige spanning voor R4 instellen dat bij precies  $0^\circ\text{C}$  de door R3 naar het knooppunt aan de inverterende ingang vloeiende stroom weer wordt afgeleid, dan wordt de uitgang achter D1 op  $0 \text{ V}$  gehouden (de polariteit van P2 is immers negatief en die van R3 positief). Stijgt de temperatuur, dan klemmt de stroom door R3 af. Ten opzichte van de (constante) stroom door R4 ontstaat een met de temperatuur toenemend verschil, en de uitgangsspanning wordt hoger. (Nu moet de uitgang via R5 voor de "ontbrekende" stroom door R3 naar het knooppunt zorgen.)



Figuur 385. Het opbouwschema bij figuur 384.



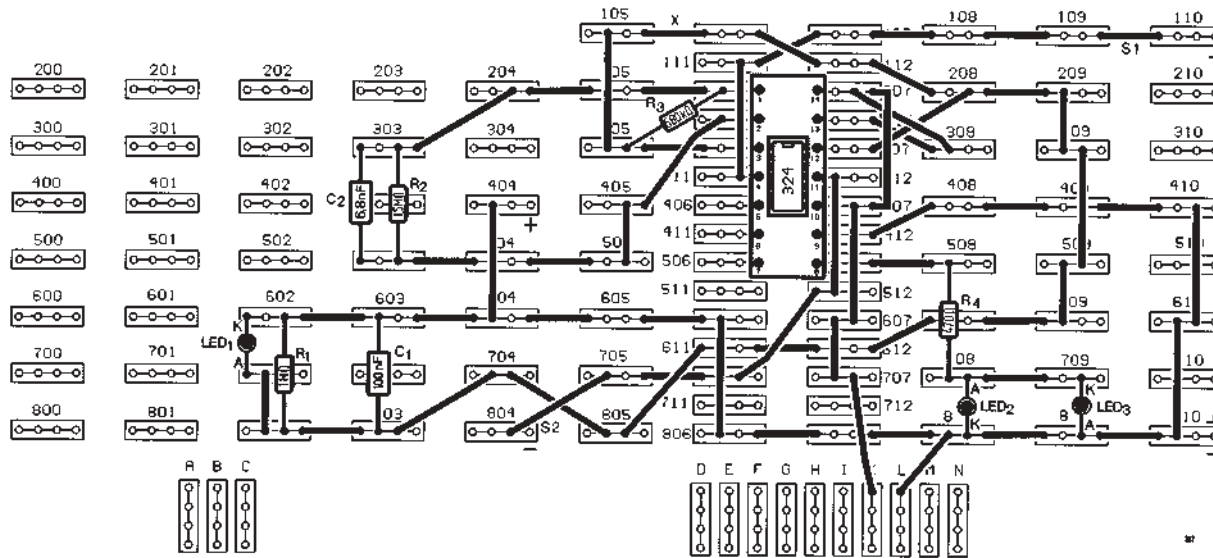
Figuur 386. Gevoeliger door compensatie: de operationele versterker leidt de ongewenste ingangsstroom (bias-stroom) van de versterker af van de meetsonde.

### Wie het kleine niet eert...

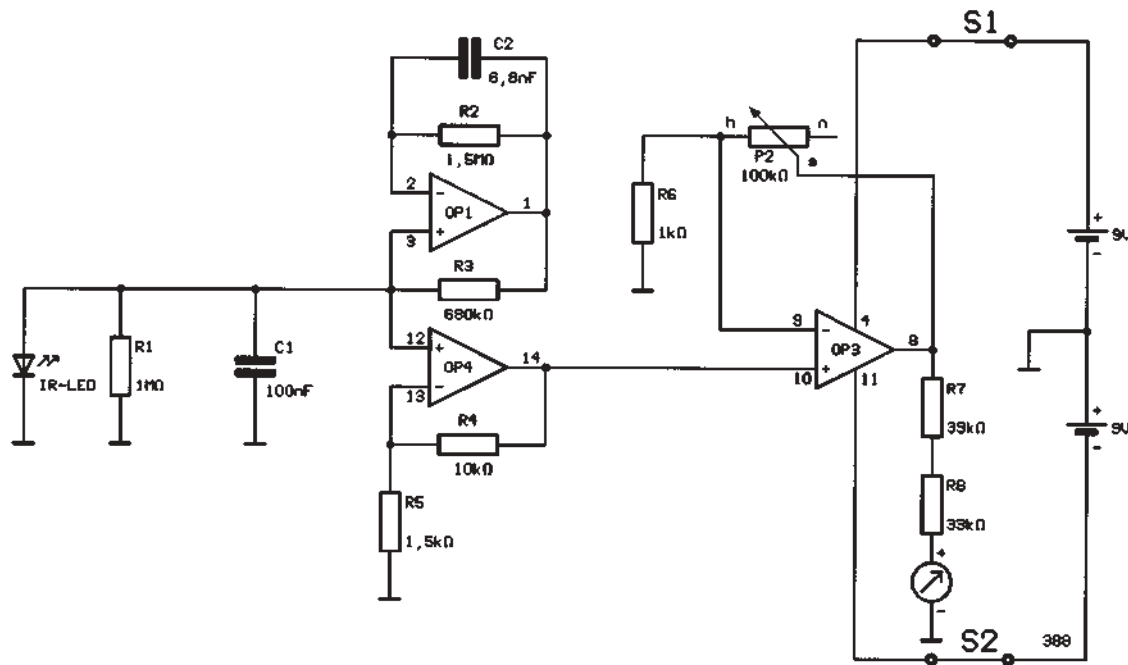
De vier operationele versterker-elementen op de chip van onze schakeling hebben naar alle waarschijnlijkheid vrijwel identieke eigenschappen, zodat dus ook vrijwel dezelfde bias-stromen uit de ingangen vloeien. Voor hen zijn 50 nA (nano-ampère, dus miljardste ampère) al een hoge waarde. Bij 1 MΩ betekent dat al niet minder dan 50 mV spanningsval. Bij de schakeling zoals die in figuur 386 staat aangegeven gaat het om even kleine signaalspanningen. De ingangsstroom stoort dus wel bijzonder. Maar we hebben nog een trucje om het effect ervan te compenseren.

**277** Hiervoor bouwen we de testschakeling op overeenkomstig figuur 386. Verbinding X blijft eerst nog even open en de wijzer van het meetinstrument slaat uit. Breng nu brug X aan; de wijzer slaat nu al een stuk minder uit. In het gunstigste geval staat hij op 0. Dat werkt zo:

De bovenste operationele versterker wordt voor compensatie gebruikt. Vanwege de verhouding tussen de waarden van R2 en R3 moet de stroom die door R3 vloeit, ongeveer tweemaal zo groot zijn als die door R2. Wat daarbij aan de bovenste operationele versterker ontbreekt is precies de bias-stroom van de onderste. In het knooppunt dat door de beide niet-inverterende ingangen en R3 wordt gevormd, vloeien uit de ingangen stromen die vrijwel precies de grootte van de stroom hebben die door R3 vloeit - daardoor wordt de signaalbron ontlast. De rechterzijde van de testschakeling is overigens slechts een gevoelige "extra indicator" zoals we die al kennen.



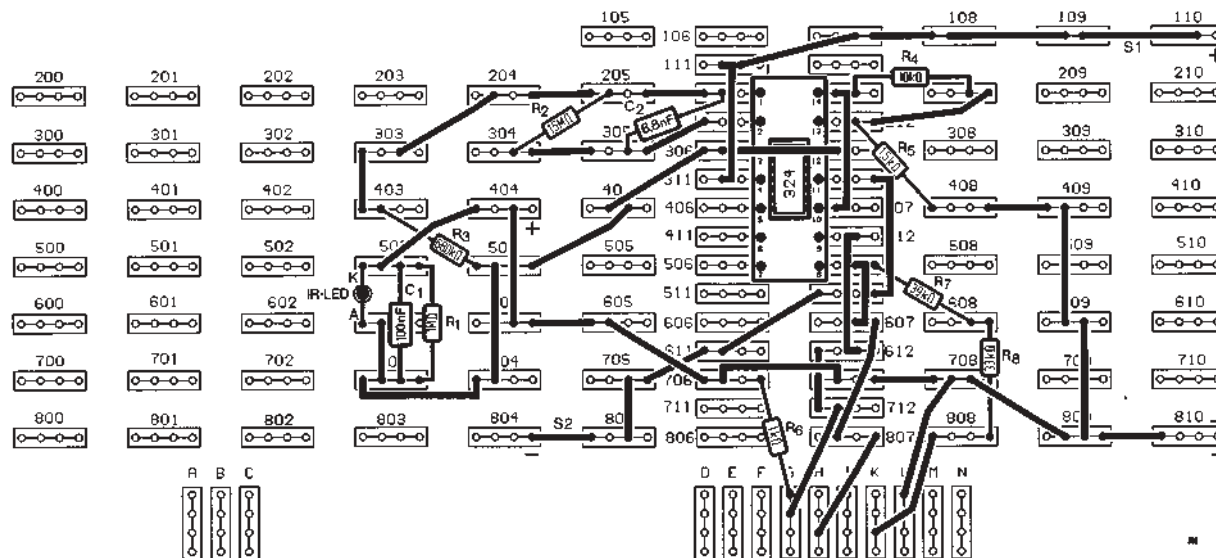
Figuur 387. Het opbouwschema bij figuur 386.



Figuur 388. Meting van licht met behulp van een IR-zenddiode: de bias-stroomcompensatie zorgt voor zuivere verhoudingen.

**278** Als "thematisch vervolg" op de proef die we zojuist hebben uitgevoerd, bouwen we nu de schakeling op zoals in figuur 388 staat aangegeven. De signaalbron is de IR-LED. Maar die houden we voorlopig nog even buiten het gebeuren. Het instrument mag haast geen uitslag vertonen. Het bevindt zich nu achter twee versterkers, waarvan de eerste voor een ongeveer 6,7-voudige versterking zorgt. De versterking van de tweede wordt met behulp van P2 aangepast aan de behoefte. Voor dit doel moet je de inmiddels ingestoken IR-LED blootstellen aan het helderste licht dat je in je kamer hebt. Die lichtsterkte geldt nu als maximale waarde, en vervolgens wordt met P2 aangepast. Nu kun je andere plekken in huis gaan vergelijken met de gevonden waarde. Doe maar eens een paar lampen aan en weer uit en registreer de verschillen. Het meten van licht is een heel omvangrijk terrein ...



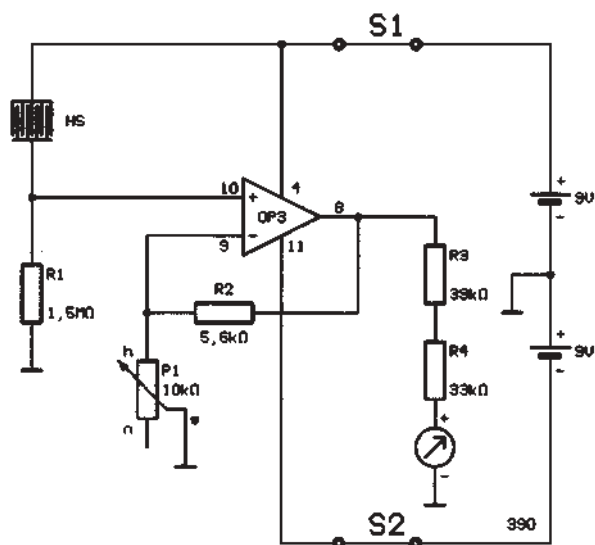


Figuur 389. Het opbouwschema bij figuur 388.

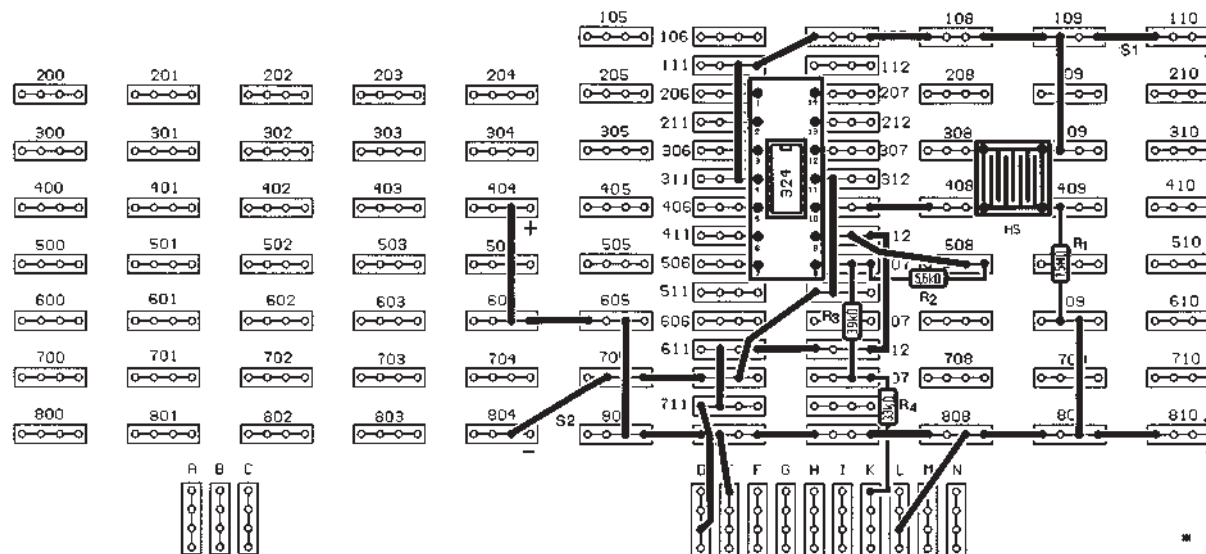
### Een hygrometer met operationele versterker

Met het laagje keukenzout eroverheen ziet onze hygro-sensor (HS) er niet meer echt nieuw uit. Maar hij doet het nog steeds.

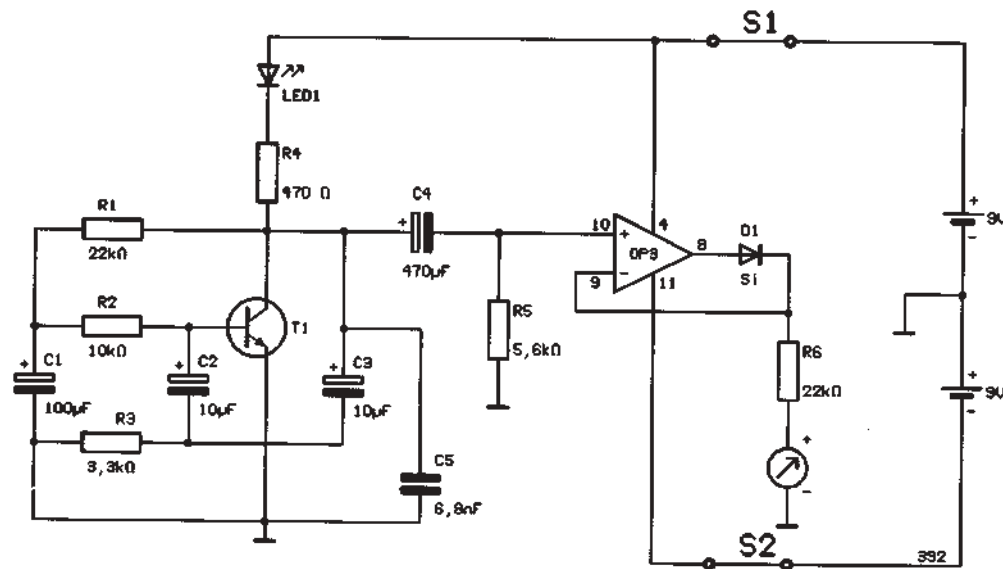
**279** In de schakeling zoals aangegeven in figuur 390 bepaalt P1 de versterking. We stellen P1 in het midden van zijn bereik en ademen dan stevig tegen de sensor. We kunnen dan, binnen een acceptabel bereik, de verschillen in de luchtvochtigheid bekijken en nagaan hoe we ons bij die waarden voelen. Iets om te gebruiken in een fitnessruimte?



Figuur 390. Uitslag bij vocht: een hygrometer met hygro-sensor.



Figuur 391. Het opbouwschema bij figuur 390.



Figuur 392. Zo ziet hij eruit als hij werkt: een precisie-gelijkrichter op een "langzame" sinus-generator.

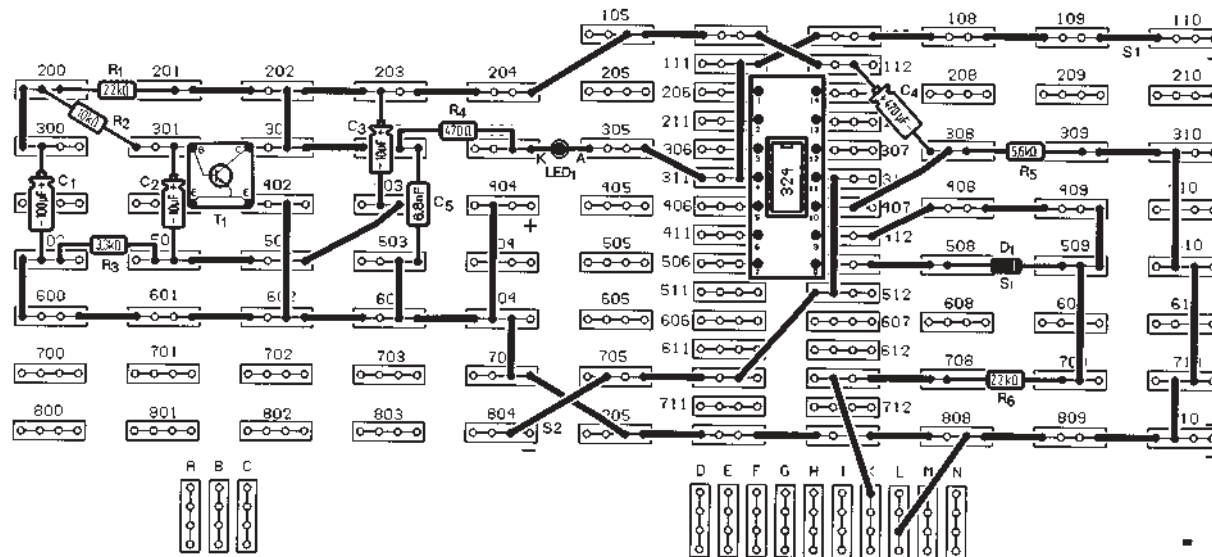
### Blikken (af-)wisselen

Wat nu komt is bijna allemaal al eens eerder gebeurd. Het moet dan ook steeds makkelijker te begrijpen zijn.

**280** In figuur 392 komen we twee oude bekenden tegen: de fase-verschuiving-generator (sinus!) en de precisie-enkelzijdige gelijkrichter. Wat de generator levert, wordt aangegeven door het meetinstrument. Aangegeven worden echter alleen de positieve halve golven. Omdat de generator een signaal geeft met een lage frequentie (kleiner dan 1 Hz), kun je dat mooi zien: uitslaan - even pauze - opnieuw uitslaan, enz.

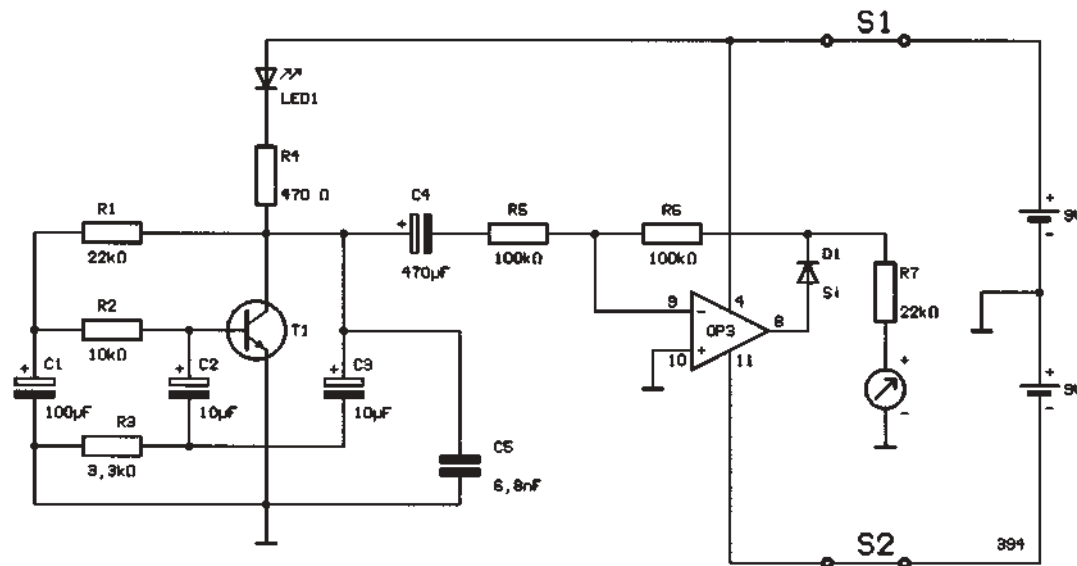
**281** We draaien D1 en het instrument om. Wat zie je nu? Precies hetzelfde. Zo lijkt het althans. Want nu zijn het de negatieve halve golven die voor het uitslaan zorgen.

**282** We testen alle diodes van ons experimenteersysteem als D1. Zie je wat voor opmerkelijk resultaat daar uitkomt? Geen opvallende verschillen! Daar zorgt de operationele versterker voor; verschillen tussen de spanningen over de geleidende LED's hebben er geen invloed op.

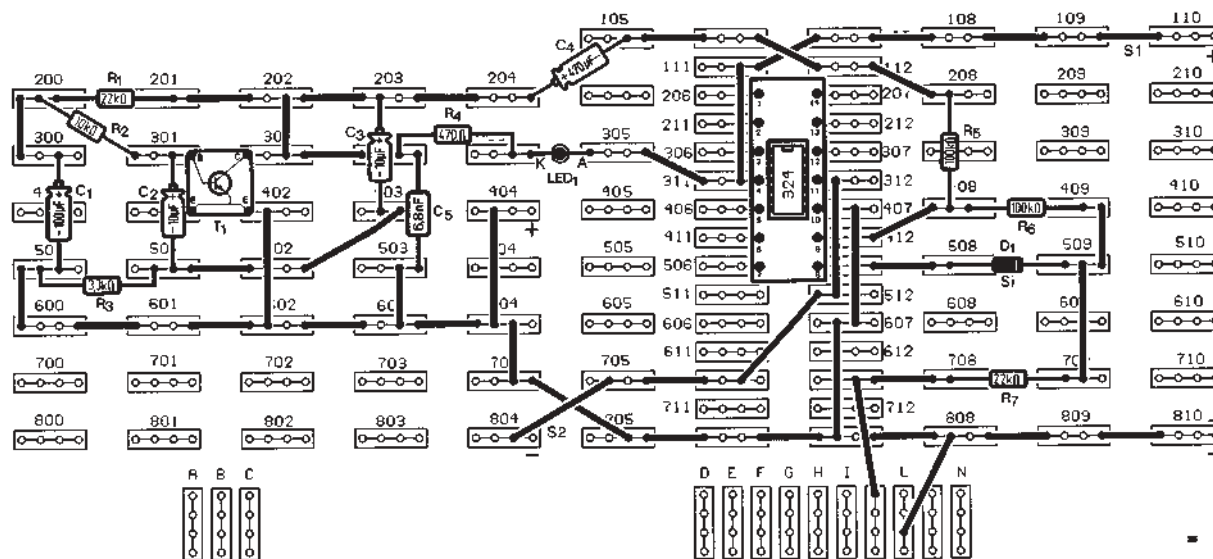


Figuur 393. Het opbouwschema bij figuur 392.





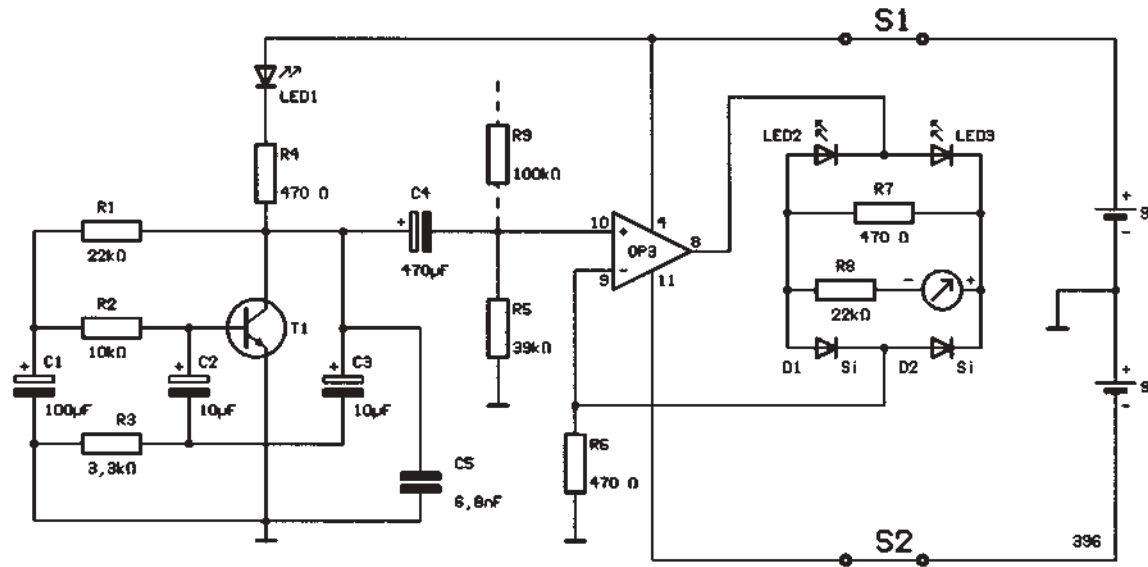
Figuur 394. Draaien levert niets nieuws op: ook in inverse modi vindt gelijkrichting plaats.



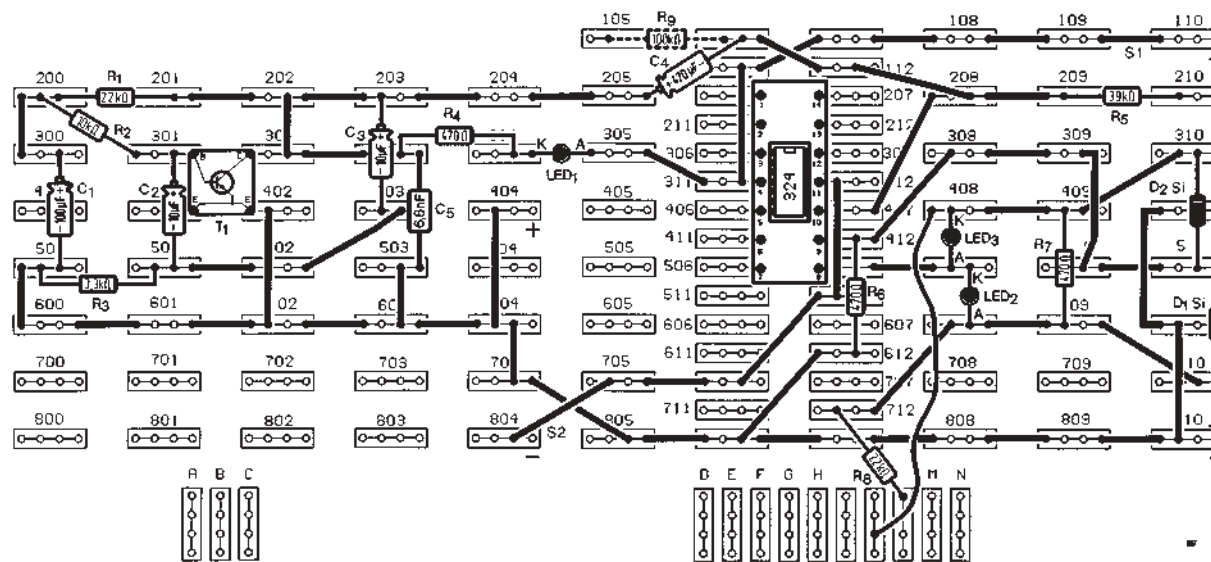
Figuur 395. Het opbouwschema bij figuur 394.

**283** Met de test zoals aangegeven in 394 kunnen we ons ervan overtuigen dat zo'n gelijkrichter ook met een inverterende versterker kan werken. Als je zin hebt, kun je dat nog eens met alle diodes uittesten.





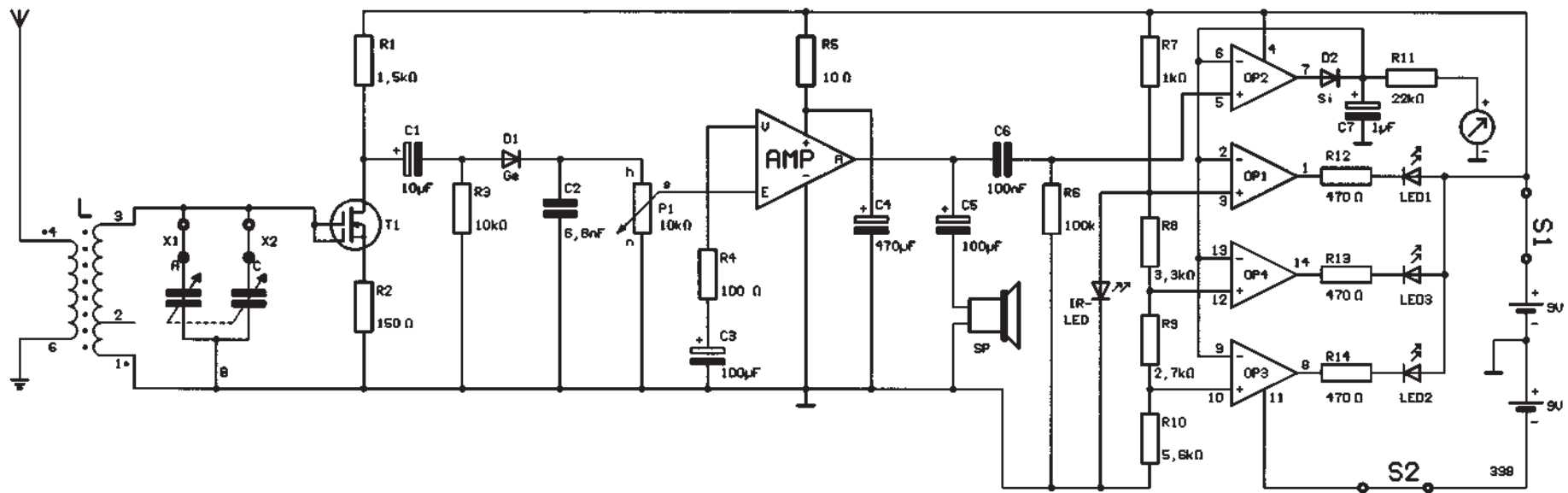
Figuur 396. Brug tussen plus en min: een dubbelzijdige gelijkrichter volgens Graetz met richtingaanwijzer



Figuur 397. Het opbouwschema bij figuur 396.

**284** Gelijkrichten via een operationele versterker wordt pas echt een "afgeronde" zaak wanneer gebruik wordt gemaakt van een brug-gelijkrichter. Zoals uit figuur 396 blijkt, is die gelijkrichter onderdeel van de terugkoppelende tak. En omdat twee van de gelijkrichters licht-emitterende diodes zijn, wordt er gratis bq aangegeven, wat de polariteit van de aangelegde ingangsspanning is. Bij positieve halve golven licht LED3 op, bij negatieve LED2. De sinus-generator laat de wijzer twee keer zo vaak uitslaan als bij enkelzijdige gelijk- richting. Een vanzelfsprekende zaak, want we hebben hier te maken met een *dubbelzijdige gelijkrichter*. Voor beginners willen we nog even van de gelegenheid gebruik maken om de brug-gelijkrichter te verklaren: is de uitgang van de operationele versterker positief, dan wordt de "route" LED3, meetinstrument - D1 - R6 - massa. Is de uitgang negatief, dan geeft dat als "route": LED2 - meetinstrument - D2 - R6 - massa. De richting waarin de stroom door het instrument vloeit, is in beide gevallen dezelfde!

**285** We trekken C4 uit de schakeling en sluiten in plaats daarvan een weerstand van 100 kΩ (R9) op de niet-inverterende ingang aan. De andere kant wordt in een vrije klemveer gestoken, en we kunnen de sinus-generator nu "op orde brengen". Op dit punt sluiten we achtereenvolgens de positieve en de negatieve bedrijfsspanning aan op die klemmen. Gelukkig kunnen we constateren dat de wijzer van het instrument telkens weer naar de goede kant uitslaat. Bij 20 % en meer van de volledige uitslag kun je bovendien aan LED2 resp. LED3 zien, hoe het met de polariteit zit. We hebben nu dus een hoogohmige voltmeter die niet in de verkeerde richting kan worden aangesloten en waarop ook de polariteit wordt aangegeven; deze meter heeft maar een operationele versterker nodig. Wanneer we dit instrument geschikt willen maken voor allerlei meettaken, moeten we steeds eraan denken dat de stroom die door R6 vloeit, altijd zo groot wordt dat deze "past" bij de spanning op de niet-inverterende ingang (Spanningsval over R6). Bij 100 kΩ/39 kΩ, zoals in het voorbeeld, is deze spanningsval bij een meetspanning van 10 V, ca. 2,85 V. Daarbij vloeit 6,8 mA, wat voldoende is om de betrokken diode helder licht te laten geven. Omdat de weerstand in de brug eveneens 470 Ω bedraagt, wordt het instrument in dit geval z6 ingesteld dat de wijzer bij 2,85 V helemaal uitslaat (R8 ca. 27 kΩ).

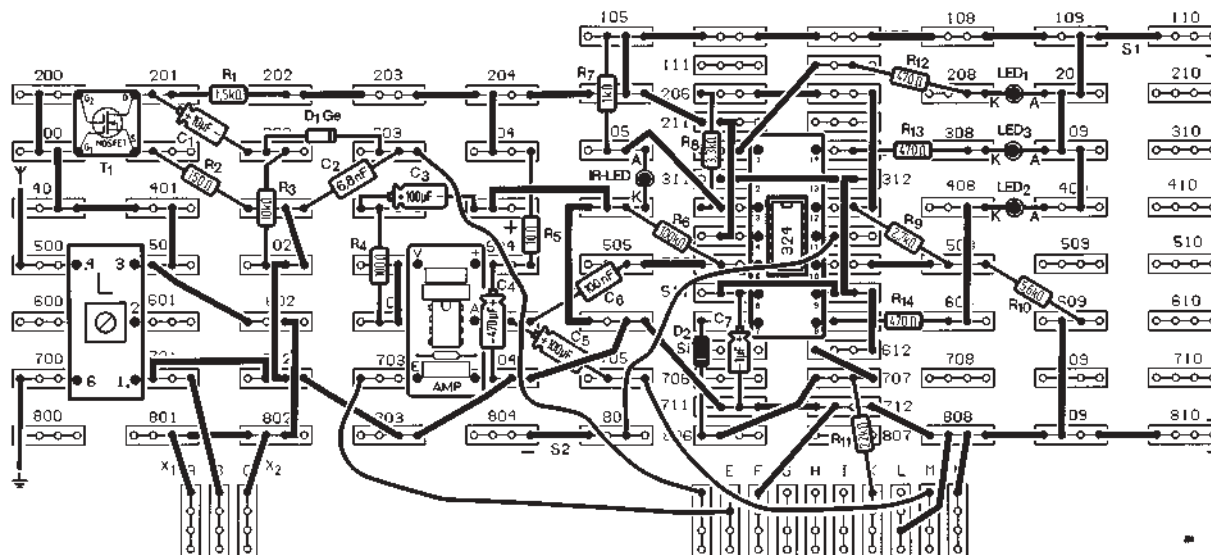


Figuur 398. Analoge en digitale indicatie van de uitsturing: een A-D omzetter met operationele versterker.

#### Van analoog naar digitaal

Op een meetinstrument met wijzer kun je iedere tussenwaarde aflezen. Of zo'n waarde nu klopt (en we het nauwkeurig kunnen zien) of niet, dat kunnen we controleren met behulp van schakelingen van het ja-nee type. Al naar gelang de vooraf ingestelde referentiespanning, d.i. de vastliggende spanning die voor de vergelijking wordt gebruikt, volgt er al dan niet een uitslag. Hoe meer referenties en hoe dichter de referentiewaarden bij elkaar liggen, des te fijner is de "resolutie". In het nu volgende toepassingsvoorbeeld worden drie operationele versterker-elementen van het viervoudige operationele versterker-element als comparatoren gebruikt. De referentie-waarden worden door een keten van weerstanden geleverd. Het doet een beetje denken aan de 555. De aangelegde analoge spanning wordt dus gedigitaliseerd. En dat betekent dat we hier te maken hebben met een *analoog/digitaal omzetter* (A-D omzetter).

**286** Met de schakeling zoals aangegeven in figuur 398 hebben we de beschikking over een gecombineerde analoge (instrument) en digitale (A-D omzetter met LED1 t/m LED3) indicatie van de uitsturing. De diverse elementen kunnen we nu zelf al verklaren. Daarom stellen we een zender in, draaien aan P1 en kunnen zien hoe tenslotte, afhankelijk van de mate waarin de geluidssterkte groter wordt, alle drie de licht-emitterende diodes aanspreken.



Figuur 399. Het opbouwschema bij figuur 398.

## 28. On chip: deel en tel op!

De dynamische transistor flip-flop kon nog niet eens tot drie tellen. Het aan elkaar schakelen ten behoeve van het verkrijgen van breder wordende telpulsen leverde vroeger behoorlijke problemen met de schakelingen op. Maar dat interesseert tegenwoordig niemand meer. Geïntegreerde schakelingen, zoals de 4024, voeren voor ons immers het optellen en delen uit.

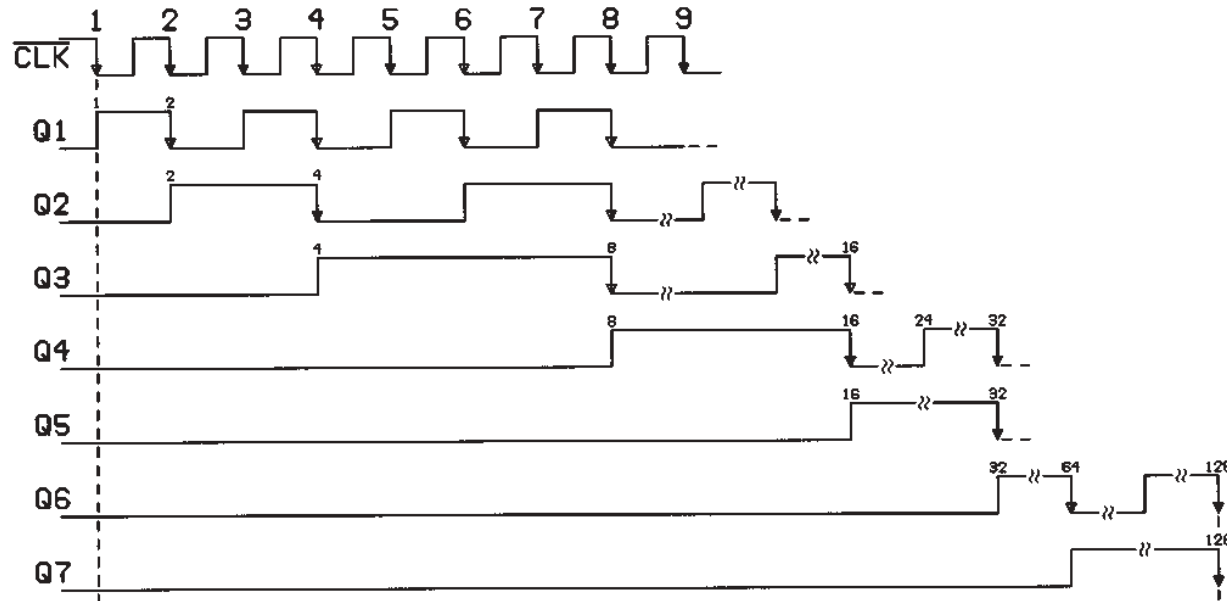
### Een paar persoonlijke gegevens

In een 14-polige behuizing zijn 7 flip-flop units op een chip geïntegreerd, waarvan telkens een uitgang via een buffertrap naar buiten wordt uitgevoerd. Hierop verschijnt de positieve spanning, indien die actief is. In rust zijn de uitgangen verbonden met de min-pool van de batterij. Intern zijn de elementen zo achter elkaar geschakeld dat elke tweede puls (aan ingang CLK) het volgende element doet kippen. Elke tweede puls van dit signaal doet dan weer het daarop volgende element kippen, etc. Op de uitgangen Q1 t/m Q7 is de volgorde waarin iets gebeurt dus 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. De laatste uitgang Q7 wordt pas bij de 64e ingangspuls hoog en bij de 128e weer laag. Dit gedrag wordt in figuur 400 schematisch weergegeven. Met een positieve puls op ingang R kan alles worden gewist; alle uitgangen zijn dan op min aangesloten. Anders staat op R 0 V. Pulsingang CLK werkt invertierend. Deze ingang wordt dan ook op plus gehouden en de pulstrein schakelt hem telkens tijdelijk op min. Daar reageert de schakeling op. Bij het terugschakelen gebeurt er niets. De

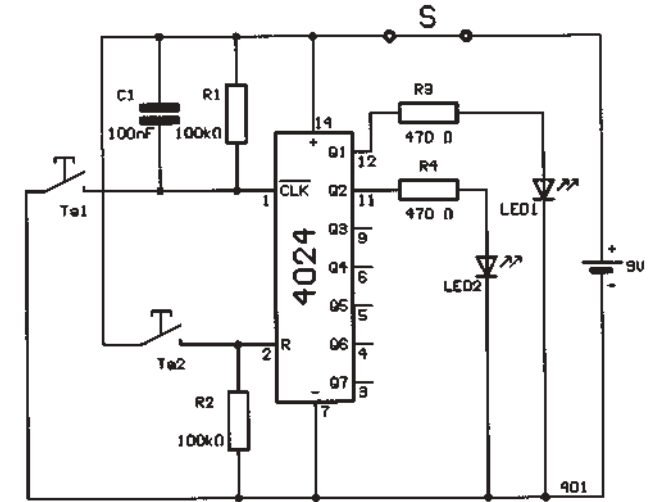
"telflank" is dus de overgang van "hoog" naar "laag", oftewel van H naar L (vanwege het Engels "high" en "low"), de gebruikelijke afkortingen in de digitale techniek. De 4024 is een CMOS-schakeling. Hij gedraagt zich ongeveer net zo als de MOSFET: geen ingangsstroom, maar wel gevoelig voor statische oplading. De ingangen moeten dus steeds, al naar gelang de toepassing, met plus of min worden verbonden en mogen nooit open blijven. Want wat er dan zou gebeuren zullen we dadelijk gaan zien.

**287**

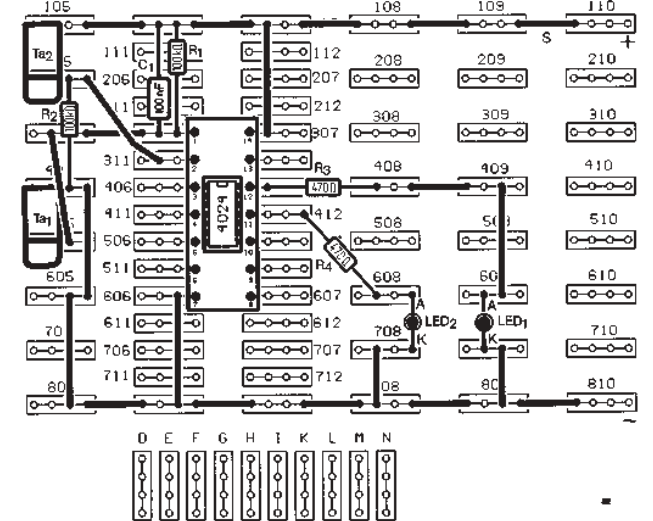
De 4024 wordt in plaats van de operationele versterker in de IC-voet gestoken, waarbij de inkeping in de voet weer op één lijn moet liggen met die in de behuizing. De aansluitingen zijn genummerd, te beginnen bij 1 links van de inkeping, en vervolgens tegen de wijzers van de klok in tot en met 14. In het experiment zoals aangegeven in figuur 401 laten we eerst ingang aansluiting 1 open, dus zonder R1 en C1, en sluiten de ons al bekende antenne uit het "spookexperiment" de lange draad dus, aan. LED2 wordt via R4 achtereenvolgens aangesloten op Q2, daarna op Q3 enz. We zien hoe de licht-emitterende diodes flikkeren. Vooral in de buurt van op het lichtnet aangesloten apparaten - of bij gebruik van de KOSMOS-nettransformator X. Zo kan netbromspanning bijvoorbeeld een op Q6 aangesloten LED met een ritme van iets meer dan 1 per seconde laten knipperen.



Figuur 400. Hij telt (en deelt) tot (door) 128: het effect van een ingangspuls op de 7 uitgangen van de 4024 (reset-ingang R op 0 V).



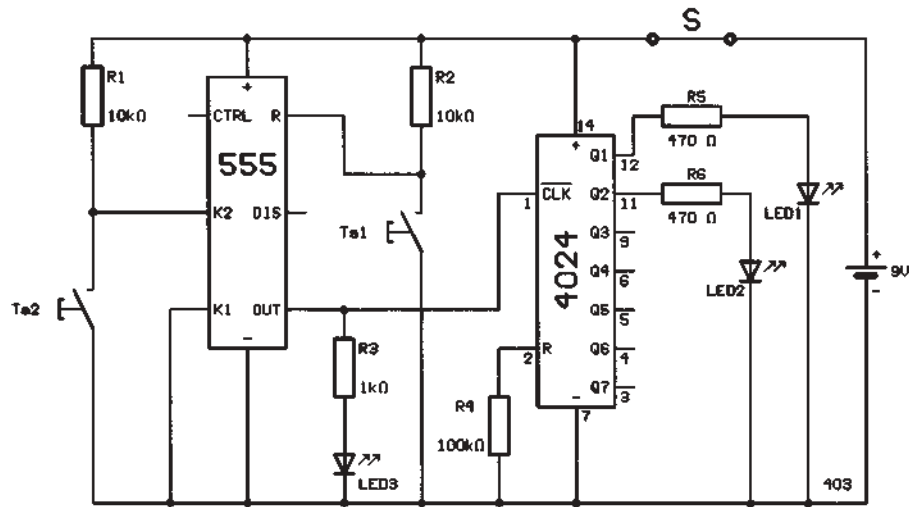
Figuur 401. De toegang tot de wereld van het tellen: merkwaardige resultaten.



Figuur 402. Het opbouwschema bij figuur 401.

**288**

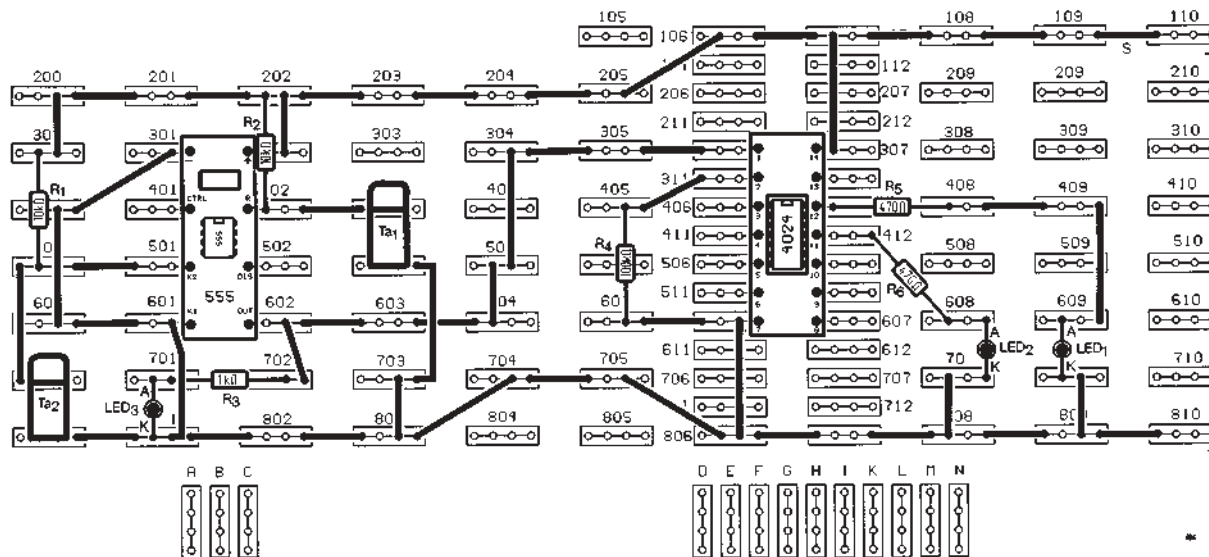
We verbinden 1 (CLK) nu met R1 en C1 en drukken op reset-druktoets Ta2. De licht-emitterende diodes gaan nu uit, en daarbij doet het er niet toe, op welke uitgang ze zijn aangesloten. Nu drukken we een paar keer op Ta1. Jammer genoeg zijn de reacties aan de uitgangen niet zo nauwkeurig als bij figuur 400. Dat komt door het contact dat de druktoets maakt en dat voor dit doel bijzonder slecht is, en door het feit dat de schakeling al bij een heel smalle puls schakelt.



Figuur 403. De 555: een toets die niet de neiging tot "dribbelen" heeft, zorgt voor geloofwaardige reacties. Net als in figuur 400.

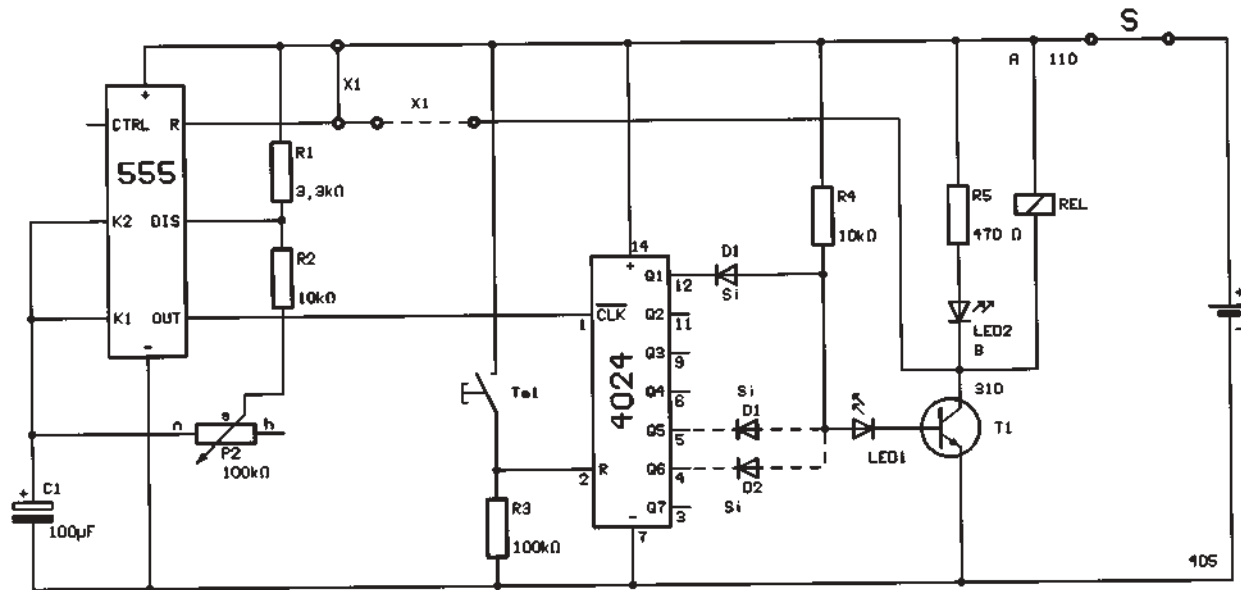
Mechanische contacten hebben, om het maar eens zo te zeggen, de neiging om te "dribbelen", ze leveren meerdere pulsen, wanneer ze worden geactiveerd. En de condensator C1 kan dat niet helemaal voorkomen.

**289** Zoals aangegeven in figuur 403 bouwen we met behulp van de 555 een *niet-"dribbelende"* druktoets. Gewoonlijk vormen de beide druktoetsen samen een omschakelaar. De losse druktoetsen zorgen ervoor dat de zaak overzichtelijk blijft. Eerst drukken we op Ta2, waardoor LED3 oplicht. Druk nu maar eens op Ta1, zo vaak als je maar wil. LED1 resp. LED2 zal alleen bij de eerste keer drukken reageren. Met Ta2 maken we de 555-uitgang vervolgens weer hoog. Wanneer LED3 bij OUT licht geeft, kan opnieuw met behulp van Ta1 worden geschakeld. Het tellen gaat nu precies zoals het moet!

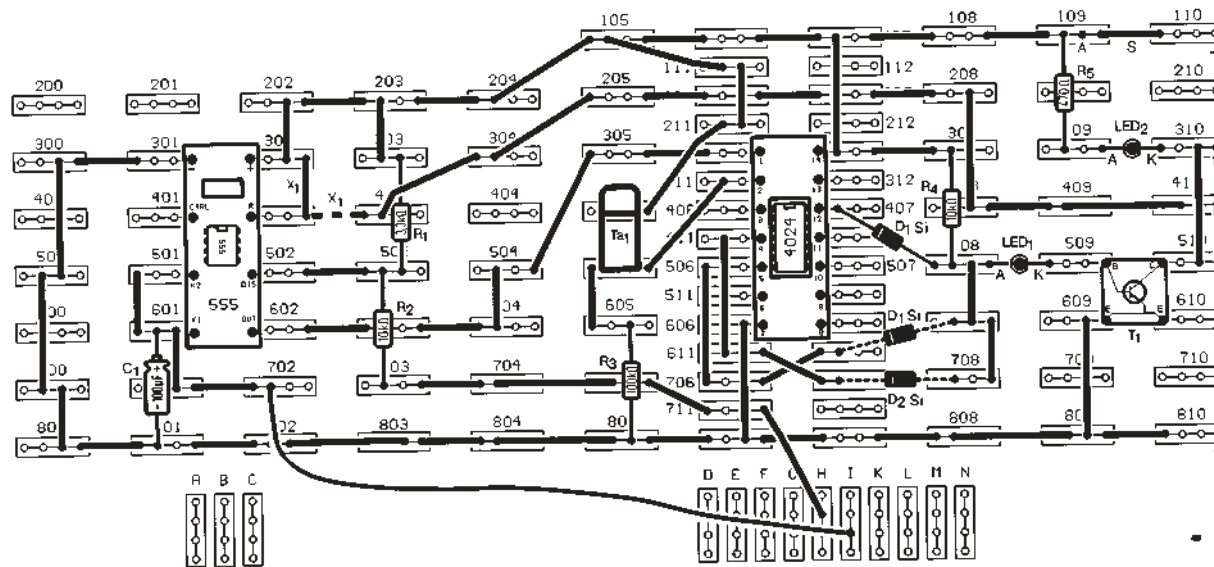


Figuur 404. Het opbouwschema bij figuur 403.





Figuur 405. Een hele serie tijdrekkers: de brede puls van de 555, die 128 keer zo breed kan worden gemaakt. Maximaal tijdsbereik met 470 µF voor C1 !



Figuur 406. Het opbouwschema bij figuur 405.

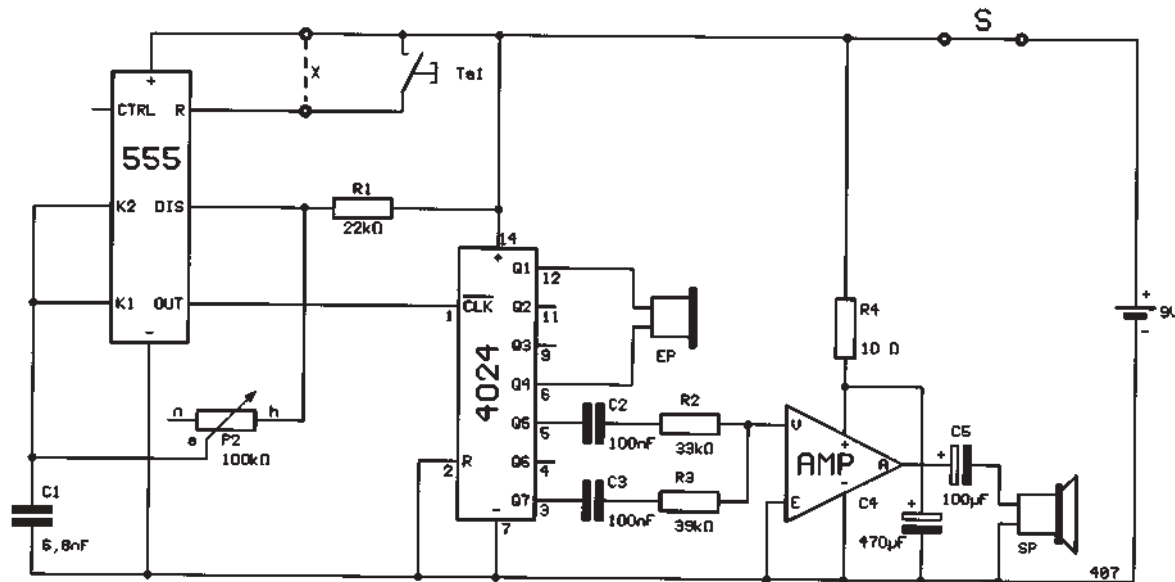
### Een tijd-rekker

Met behulp van de 555 als monoflop is het heel goed mogelijk om 10 minuten te "beheren". Als langzaam lopende multivibrator kan zijn periode tot 128 keer zo lang worden gemaakt.

**290** Eerst laten we in figuur 405 de verbinding R - T1 open en sluiten R aan op plus (brug X1 in de als doorlopende lijn getekende stand). Van de Si-diodes wordt voorlopig alleen D1 aangesloten, en wel op Q1. Het relais REL is op dit moment nog even niet nodig. Daarmee kunnen we later - met vertraging - van alles en nog wat gaan schakelen. Stel P2 in op de minimale waarde (n) en gebruik voor C1 eerst maar eens even 100 µF, zodat alles sneller kan gaan. Aan de uitgang van de 555 wordt elke 2,5 seconden een puls - en een neergaande flank! - gegenereerd, want T is immers  $0,7 C1 \cdot (R1 + 2R2)$ . Gedurende deze tijd zal LED2 periodiek oplichten en doven, want Q1 wordt hoog bij de eerste neergaande flank, laag bij de tweede enz. Indien Q laag is, is T1 gesperd, is Q hoog, dan geleidt T1.

**291** In de schakeling zoals aangegeven in figuur 405 worden nu de door een stippellijn aangegeven elementen toegevoegd (X1 wordt in de met een stippellijn aangegeven positie aangebracht. D1 moet worden verplaatst en D2 is nieuw.) Wanneer je op Ta1 drukt, start het geheel. De 555 genereert nu een pulstrein. Zoals je in figuur 400 ziet, wordt Q5 bij de 16e puls hoog. Q6 volgt bij de 32e puls. Op dat moment is echter Q5 juist voor een periode van 16 pulsen laag geworden. Van de 48e tot de 64e puls zijn ze allebei hoog. Hierop heeft de NEN-schakeling van D1 en D2 met LED1 en T1 gewacht; T1 gaat in geleiding. Daardoor stopt de generator (omdat de reset-ingang laag wordt) en de huidige toestand blijft gehandhaafd. We hebben hier te maken met een *instelbare inschakelvertraging*.

**292** We halen de terugkoppeling op R van de 555 weer weg en sluiten de reset-ingang van de 555 met brug X1 weer aan op plus. Na de start kijken we wat LED2 doet. Ze dooft heel even, maar licht periodiek weer op. En dat is logisch, want nu loopt de teller immers door. Aan de hand van figuur 400 kunnen een heleboel interessante schakelfuncties worden uitgevoerd. We hoeven alleen maar de juiste uitgangen aan te sluiten. En wanneer we de maximaal inzetbare weerstands- en condensatorwaarden op de 555 aansluiten, kunnen we al met uren gaan rekenen, in het uiterste geval zelfs met een hele dag.



Figuur 407. Verdelen en laten horen: zeven octaven geproduceerd door één chip - combineren mag!

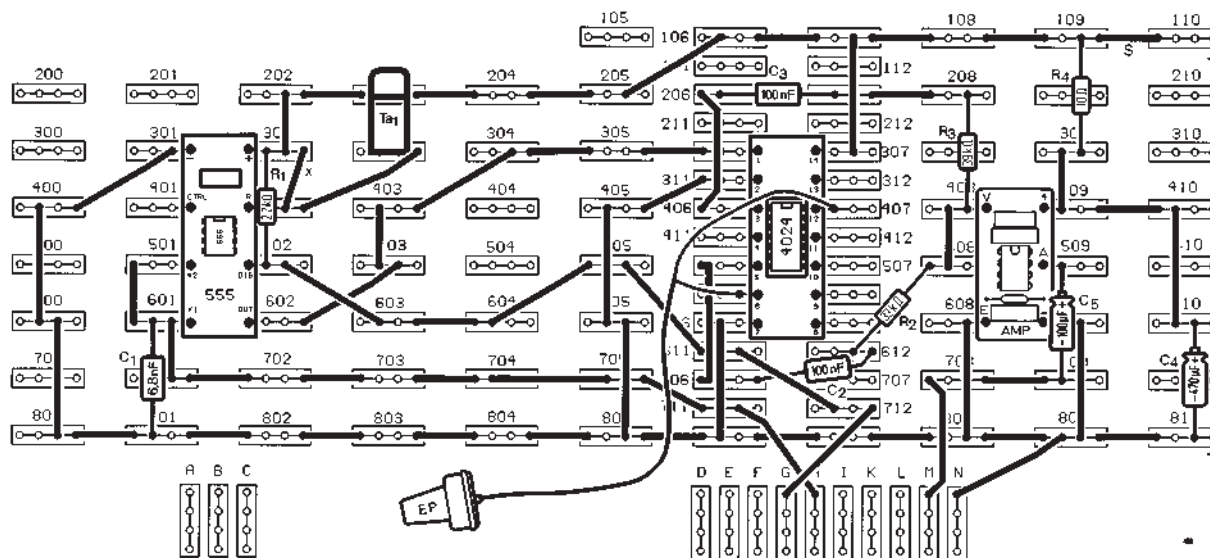
### Digital sound

Met een paar kleine wijzigingen kunnen we de tijdschakelaar ook gebruiken als een mini-elektronenorgel.

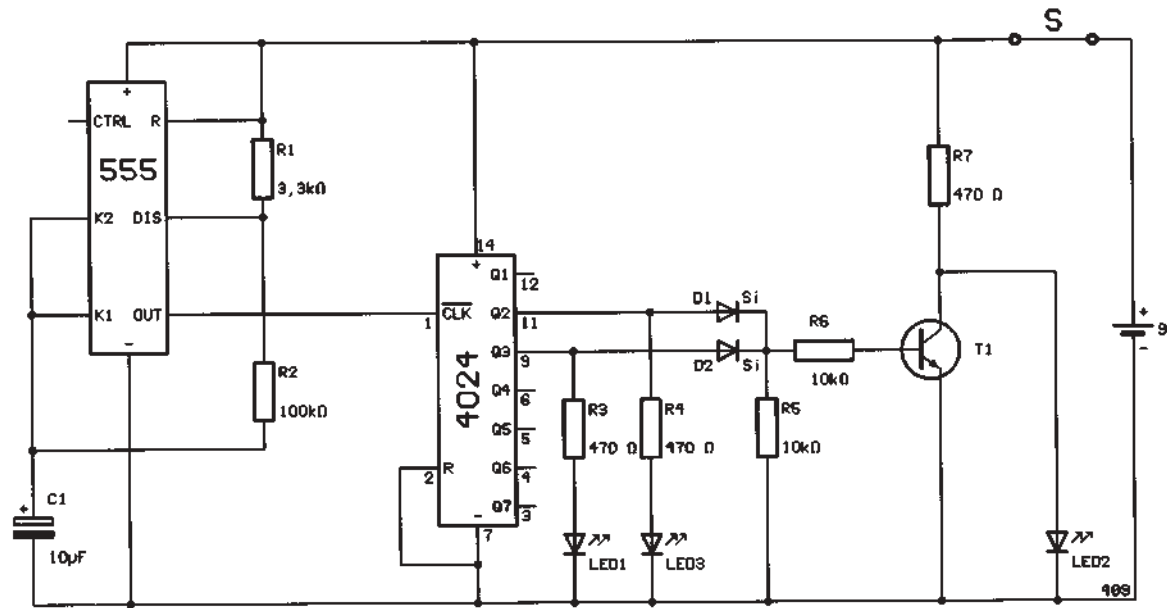
**293** Al direct nadat je de schakeling zoals aangegeven in figuur 407 hebt opgebouwd, kun je muziek maken. Voor de "handbediening" is er knop P2. Draai en luister! Op iedere volgende uitgang verschijnt de helft van de frequentie van de vorige. De schakeling geeft dus 7 octaven. Anders aansluiten geeft interessante effecten. Verwissel maar eens willekeurig de verschillende aansluitingen op de uitgangen - ook de 555-uitgang hierin betrekken - en je zult de gekste geluiden uit SP te horen krijgen.

**294** We verbreken de verbinding van R van de 555 met plus (brug X uit de schakeling trekken). Het orgel zal nu alleen spelen wanneer op de druktoets wordt gedrukt. Met P2 worden de tonen "vooraf gekozen". Een gunstige aansluit-combinatie is ook Q4, Q6. Bij deze combinatie worden de tonen hoger.

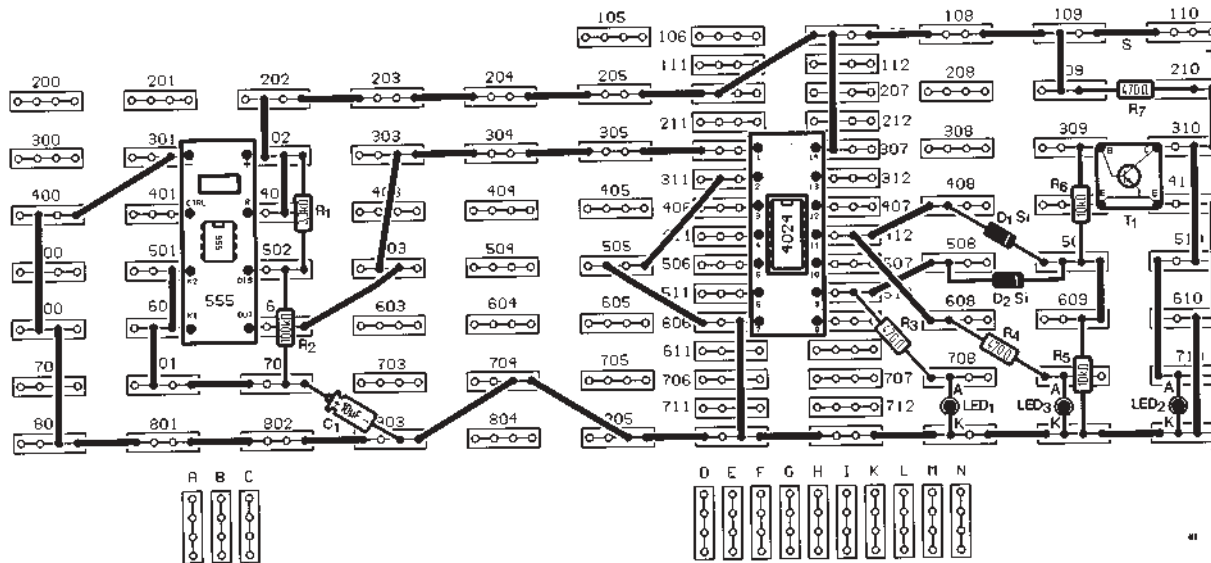
**295** Steek oortelefoon EP met een kant in een op min aangesloten veer en met de andere kant in de uitgang van de 555. Stel nu met P2 een frequentie in die je nog goed kunt horen (P2-loper in de buurt van h). Tip nu met deze stekker achtereenvolgens Q1, Q2 etc. aan. Je krijgt dan alle octaven na elkaar te horen.



Figuur 408. Het opbouwschema bij figuur 407.



Figuur 409. Een verkeersregelaar voor je modelbouw-stad: een verkeerslicht met een rood/oranje-fase.

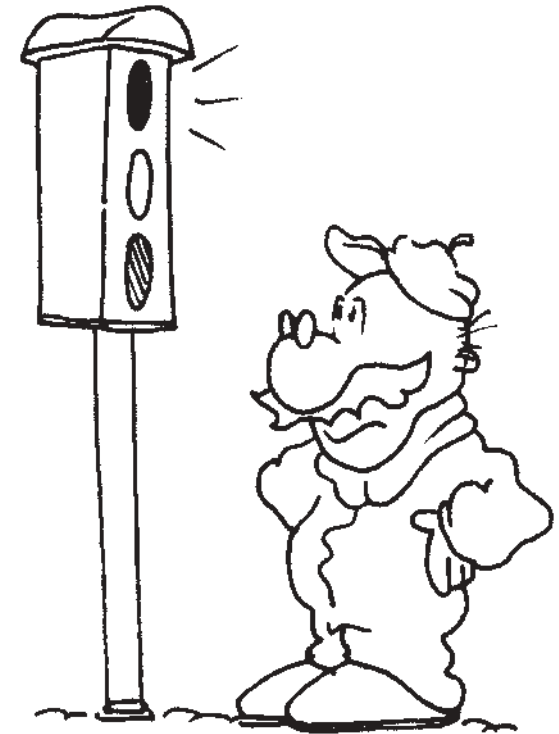


Figuur 410. Het opbouwschema bij figuur 409.

### Een verkeersregelaar

Een imitatie die voor speelgoed-auto's goed te gebruiken is.

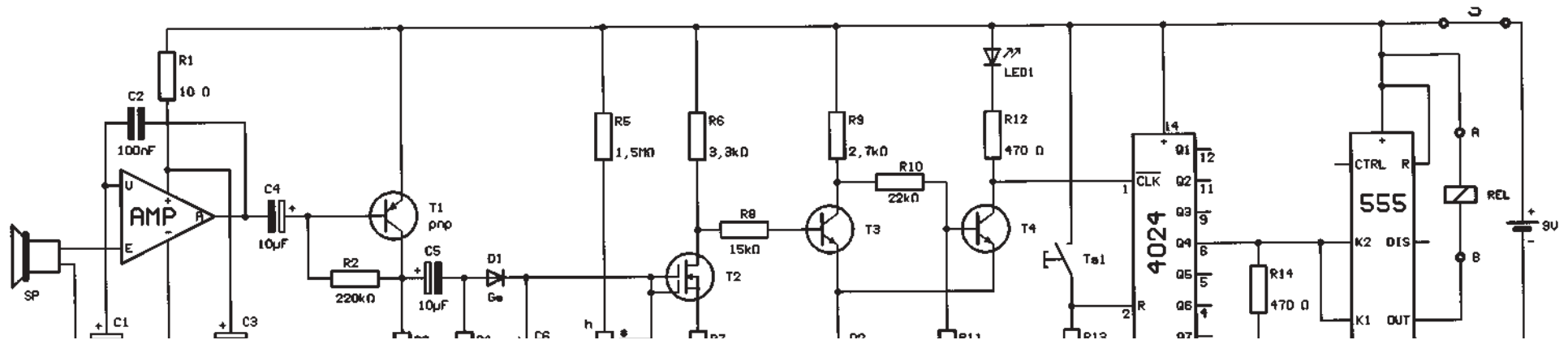
**296** De schakeling zoals aangegeven in figuur 409 levert, zoals je kunt zien, de fases groen, geel, rood, rood/geel, groen etc. op. De cyclus begint met het inschakelen (of na een reset-sigitaal, dat hier niet wordt besproken) met LED2 (groen). Wanneer alle uitgangen immers laag zijn, is T1 gesperd. Op de tweede neergaande flank wordt geel ingeschakeld (LED3). Want doordat Q2 hoog is, wordt T1 geleidend en onttrekt deze de stroom aan LED2. Bij elke tweede neergaande flank aan de ingang wisselt de fase. En aan de hand van figuur 400 kun je zelf afleiden hoe het dan verder gaat.



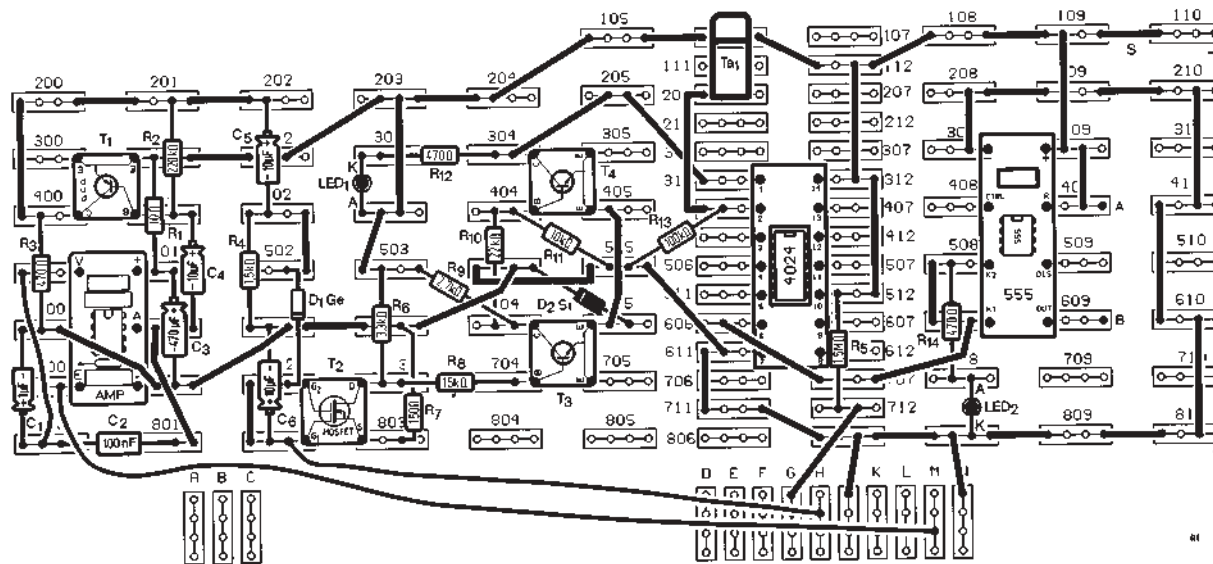


Een spelletje dat je elektronisch kunt nabootsen. In ons modelexperiment zetten we de twee panelen naast elkaar. In de ene bevindt zich de infrarood-zenddiode, in de andere de fototransistor. Tussen die twee in kun je speelgoedautootjes heen en weer laten rijden.

151



Figuur 413. Een gecodeerde huistelefoon-schakelaar: na 8 keer overgaan aan, na nog eens 8 keer uit. Veranderen mag, maar niet op het echte telefoonnet aansluiten! Zie de tekst voor variaties!



Figuur 414. Het opbouwschema bij figuur 413.

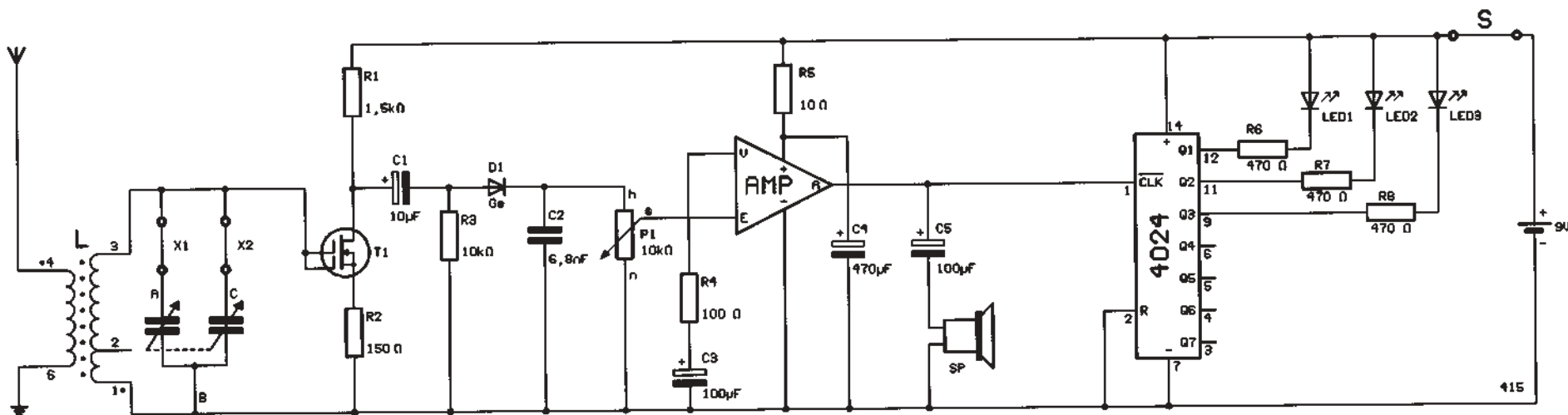
**298** We sluiten LED2 nu in plaats van op Q1 aan op Q3 en onderbreken weer viermaal. Nu licht LED2 pas bij de vierde onderbreking op en dooft bij de achtste. Dit zou dan zo'n moment zijn waarop bijv. met behulp van de AMP als generator een akoestisch alarmsignaal zou kunnen worden opgewekt of waarop na vier pulsen een relais aanspreekt. En dan wordt de vierde gevangen!

De fototransistor (TF) werkt hier "samen" met een MOSFET. Deze MOSFET houdt de collector-emitterspanning van de fototransistor dankzij zijn karakteristieke lijn voor een groot bereik van de helderheid van de omgeving op een tamelijk constante waarde. De weerstand ervan past zich dus aan die van de fototransistor aan. Voor het signaal betekent het een soort basisschakeling. De pnp-transistor versterkt de toon-frequente trilling die vanwege de kleine C1 in de vorm van naaldvormige pulsen aankomt. Deze pulsen worden door D1 gelijkgericht en met C3 geïntegreerd. De spanningsdelers zorgt voor het juiste werkpunt, want de trigger heeft een ingangsdrempelwaarde van ca. 1,2 V. Hij schakelt bij een verlaging van de ingangsspanning als gevolg van de onderbreking van de lichtstraal. Onder invloed van T4 wordt CLK laag en wordt de teller geschakeld.

#### Telefoon-schakelpost

Mooie, oude telefoonapparaten met nog een echte "bel" zijn voor huis-, tuin- en keukengebruik - dus wanneer ze niet zijn aangesloten op het telefoonnet - relatief goedkoop. We kunnen er weer eens even de grote tovenaars mee gaan spelen.

**299** De schakeling zoals aangegeven in figuur 413 bestaat onder meer uit een groot aantal oude bekende; bovendien kan een hoop nog willekeurig worden veranderd.



Figuur 415. Klank- en lichtspel met behulp van je radio. Amplitude-gestuurde licht-emitterende diodes.

Een reeds vele malen beproefde variant is in de figuur afgebeeld. We houden  $R5$  voorlopig nog even buiten de schakeling en stellen  $P2$  in op ca. 30 %. Nadat we even op  $Ta1$  hebben gedrukt, gebruiken we de luidspreker als microfoon. Even over de afdekking krabben moet voldoende zijn om LED1 ten minste een ogenblik lang licht te laten geven. Heb je dat acht keer gedaan, dan licht LED2 op en spreekt het relais aan. Is er vervolgens nog eens acht keer geluid gegenereerd (bijv. door de bel van de telefoon), dan dooft LED2 weer en valt het relais weer af. Gaat de telefoon acht keer over, dan wordt dus ingeschakeld, en nog eens acht keer overgaan betekent uitschakelen, tenminste als het apparaat dicht genoeg in de buurt staat. Dan kun je het zelfs met een telefoon doen die muziek te horen geeft!

Hoe verder  $P2$  wordt opgedraaid, des te langer geeft LED1 licht. Gedurende deze tijd is de schakeling "doof". Bij belsignalen met een interval van 8 seconden moet LED1 dus na het signaal nog maximaal 4 seconden lang licht geven. De  $P2$ -loper mag je dus niet helemaal omlaag draaien~ want anders blijft de schakeling doof!

**300** De "helder"-tijd hebben we zowel met  $P2$  als met de grootte van  $C6$  onder controle. Handig voor telefoonbedrijf: 100  $\mu F$ ,  $P2$  op zo'n 20 % instellen - en 4 seconden "helder"-tijd is het resultaat. Luide tonen doen de "helder"-tijd toenemen. En als er voortdurend leven is, gebeurt er helemaal niets meer.

**301** We nemen nu  $R5$  op en sluiten daarmee  $h$  van  $P2$  via 1,5 M $\Omega$  aan op plus. Om een afstemming zonder vertraging te krijgen, moeten we  $C6$  uit de schakeling trekken.  $P2$  moeten we zo instellen dat LED1 net even licht geeft. En dan terugdraaien totdat de LED dooft. Zie je wel, daar is-ie dan, de hysteresis (die hier zo dringend nodig is)! De met  $P2$  ingestelde waarde moet daar een beetje onder blijven. Hoe lager, hoe ongevoeliger (ook tegen storingen). Breng nu  $C6$  weer aan en "geef geluid". De "helder"-tijd kan nu alleen nog met behulp van  $C6$  worden gewijzigd. 10  $\mu F$  zou deze keer beter kunnen zijn.

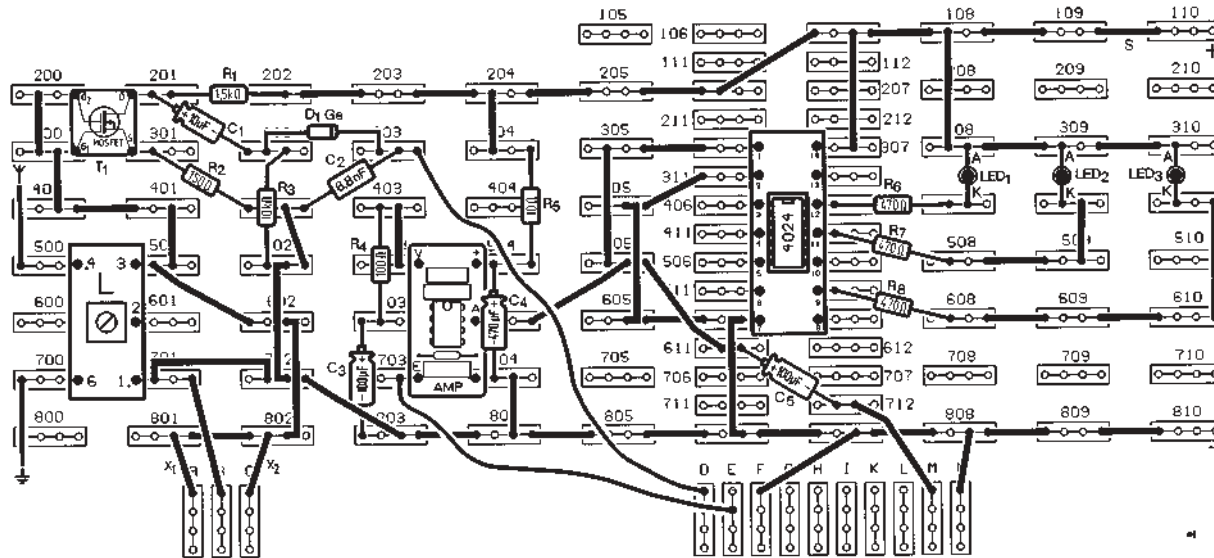
**302** We sluiten  $R14$  (en  $K1$ ,  $K2$ ) in plaats van op  $Q4$  aan op  $Q1$ . Voor de eerste tests is dat zelfs beter, omdat de telfunctie aan de hand van het oplichten van LED2 al kan worden gecontroleerd zodra LED1 voor de eerste keer oplicht. Het relais schakelt na 2 pulsen, wanneer  $R14$  (en  $K1$ ,  $K2$ ) op  $Q2$ , en na 4 pulsen, wanneer hij op  $Q3$  wordt aangesloten. Ook hier dus weer een groot bereik!

**303** De mogelijkheid bestaat dat de schakeling, gevoelig als ze is, gaat oscilleren. Dan zal LED1 continu licht geven en LED2 knippert. Hiertegen helpt bijv. een weerstand van 100  $\Omega$  in plaats van, of gewoon parallel aan  $D2$ . Als het nodig is, weten we dus wat ons te doen staat.

### Een vuurwerk van tonen

Eigenlijk zijn het dus alleen maar spanningsveranderingen die bij spraak en muziek veroorzaakte trillingen aan de uitgang van de AMP voldoende zijn om de 4024 te (doen) schakelen. Wat is er dan nog op tegen om een klein lichtorgel te bouwen, dat je met de AMP als uitgangstrap met voldoende hoge spanning-spieken, op alle radio-schakelingen kunt aansluiten?

**304** We bouwen de schakeling zoals aangegeven in figuur 415 op, of sluiten een andere geluidsbron met een voedingsspanning van 9 V aan op de ingang van de 4024. Vervolgens veranderen we de geluidssterkte en letten op wat de licht-emitterende diodes doen. Het is een duidelijke zaak: alleen wanneer de uitsturing groot genoeg is, zal CLK telkens voldoende ver naar min (laag) worden getrokken. Logisch, want alleen wanneer LED1 knippert kan (bij elke tweede neergaande flank) ook LED2 licht geven enzovoort.



Figuur 416. Het opbouwschema bij figuur 415.

## 29. De speeltuin (2)

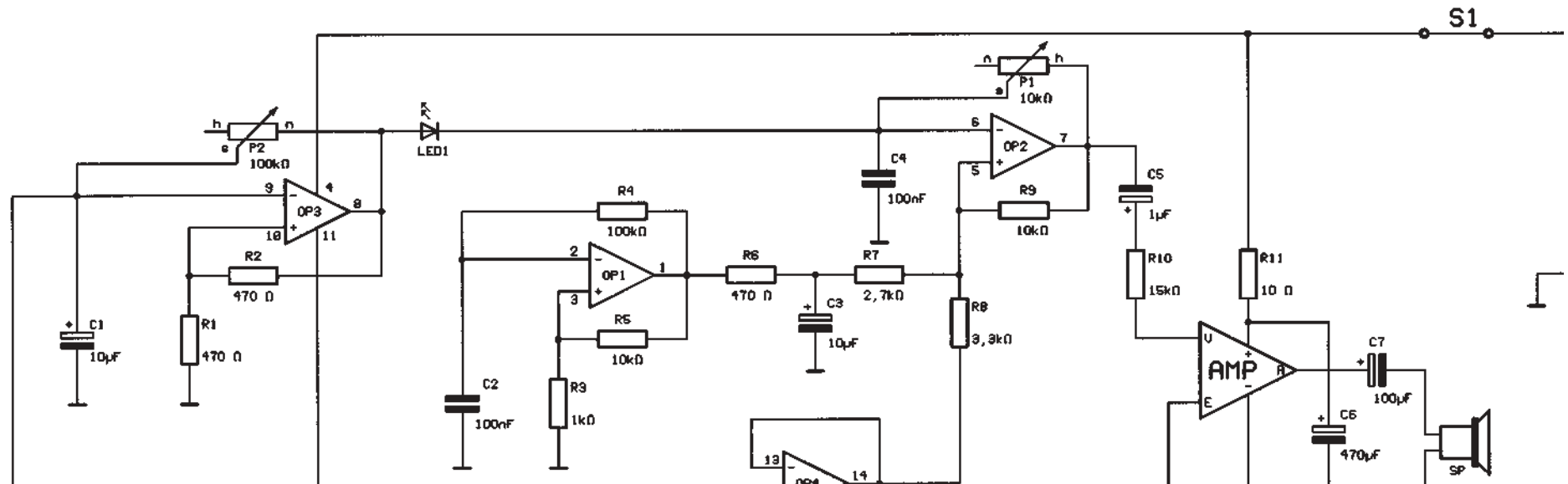
Spelen is niet alleen maar lol maken. Spelen kan er ook toe bijdragen dat je leert te begrijpen.

### Van Star Pieps tot Star Wars

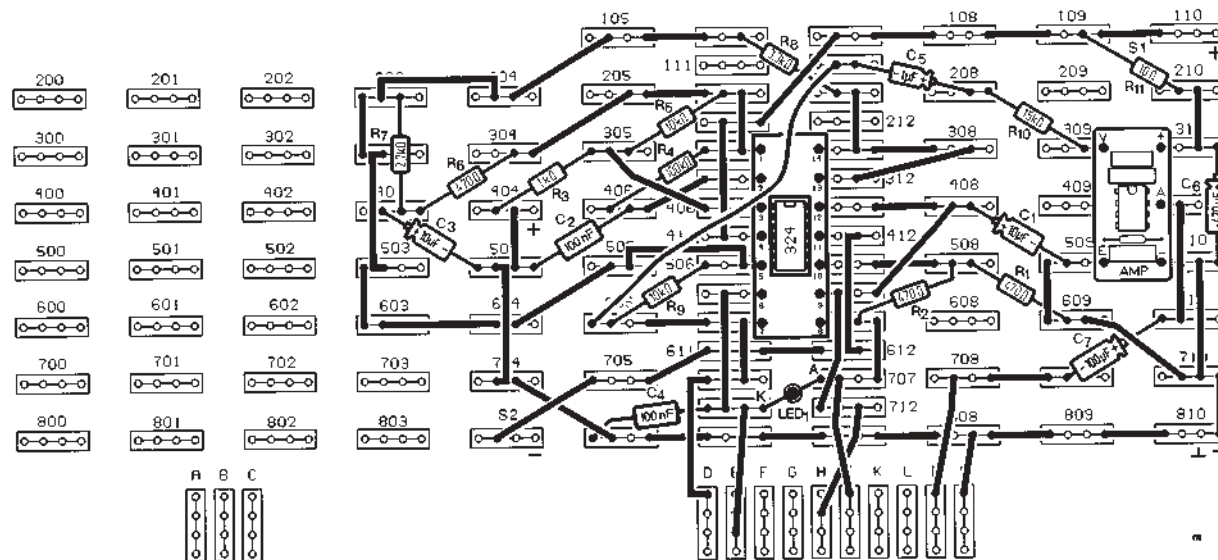
Drie blok golfgeneratoren zijn voldoende om allerlei geluiden, van het piepen van een jong kuikentje en het krijsen van kraaien tot een huiveringwekkend geluid te kunnen krijgen dat uit de ruimte schijnt te komen. Denk eraan dat je dat na 10 uur 's avonds alleen mag doen met tenminste 100  $\Omega$  voor de luidspreker.

**305** Bouw de schakeling op zoals aangegeven in figuur 417; je kunt het beste beginnen met  $C1 = 10 \mu F$  en met de potmeters in de middenpositie. Draai vervolgens aan P2 en let daarbij op het geluid en op de LED1. Je zult merken dat als LED1 licht geeft, het stil is. Hoe verder je S naar h toe draait, hoe langer de pauzes en de tijden dat er geluid is, duren. Bij P1 zitten de kuikentjes in de buurt van h, draai je naar n toe, dan komen de kraaien steeds dichterbij.

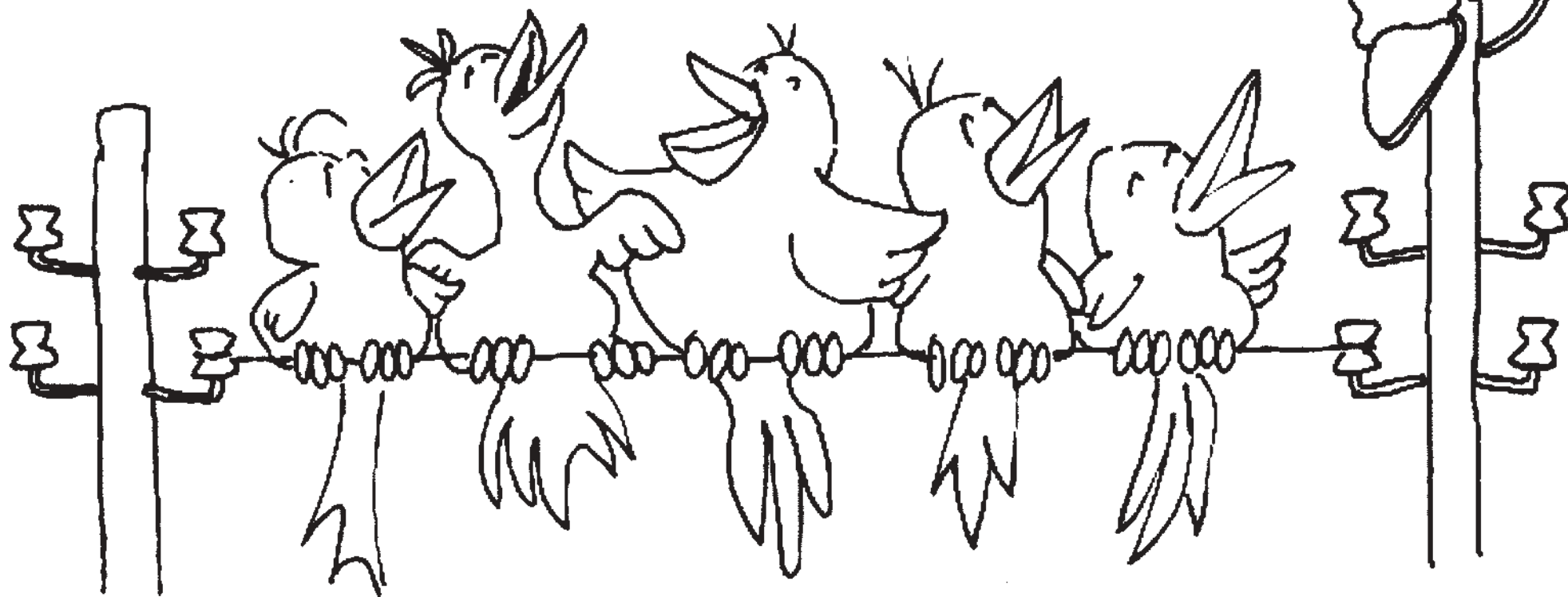
**306** Gebruik nu voor  $C1$  100  $\mu F$  en verklein  $R6$  tot 150  $\Omega$ . Een hoop gerammel van blik is het resultaat, en dat is lachen geblazen. Omdat je nu alle basis-schakelingen inmiddels kent, kun je zelf de effecten verklaren!

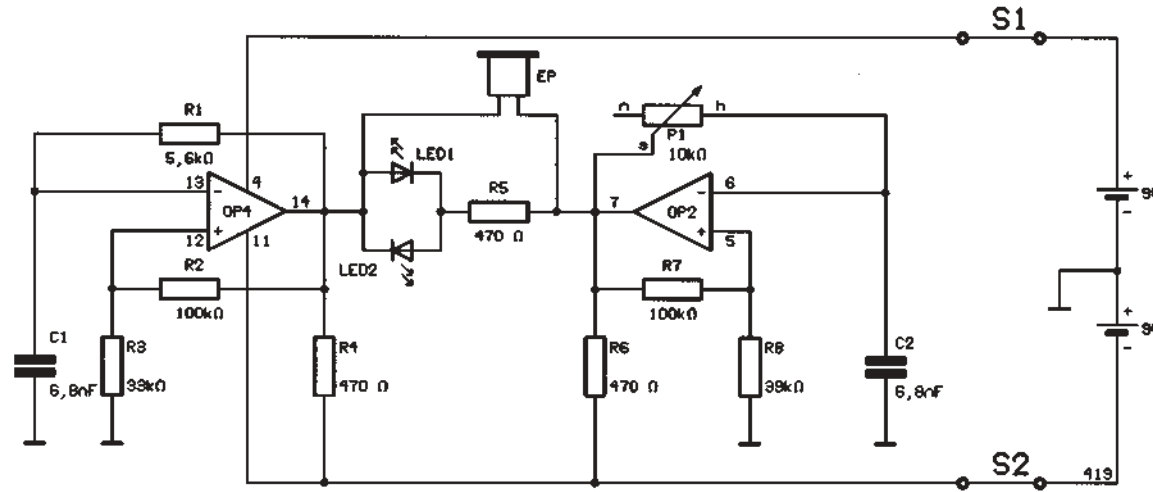


Figuur 417. Voor allemaal een eigen vogel: een grote variatie aan geluiden kan met P1 (toonhoogte) en P2 (duur van de pauzes) worden ingesteld.



Figuur 418. Het opbouwschema bij figuur 417.



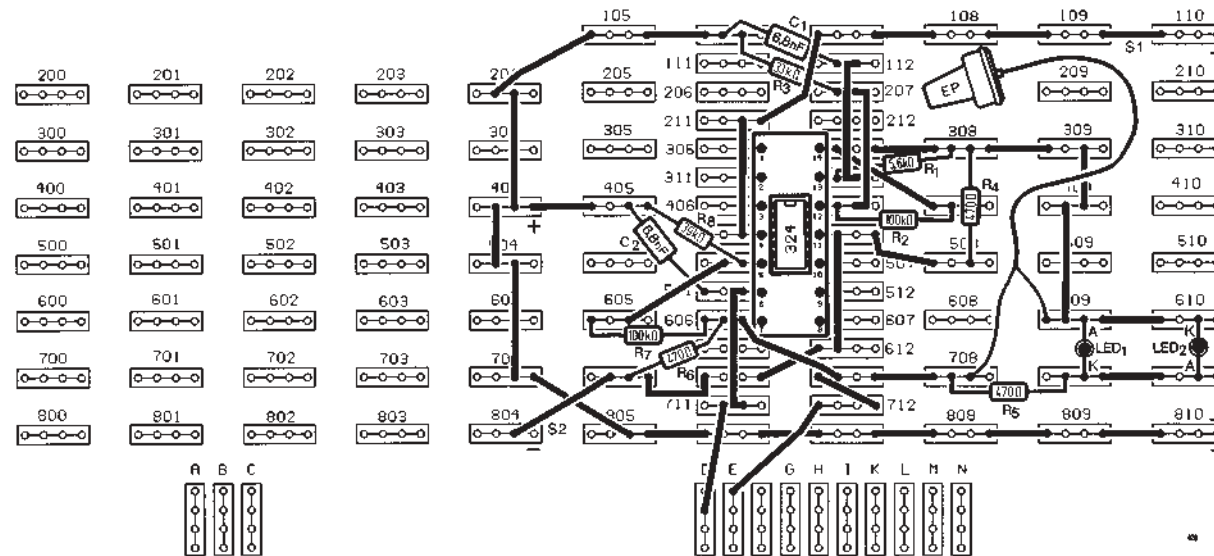


Figuur 419. Zwevingen, deze keer rechtstreeks in de oortelefoon: uit bij gelijk aanbod van links en rechts.

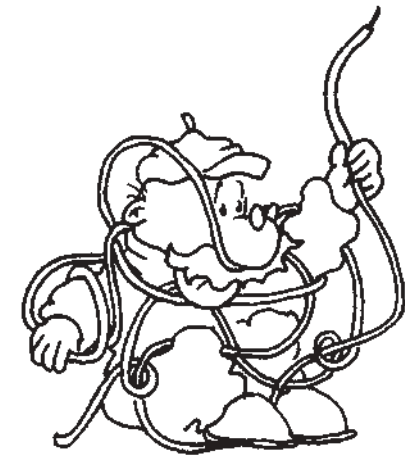
### Geluid dat zweeft in de ruimte

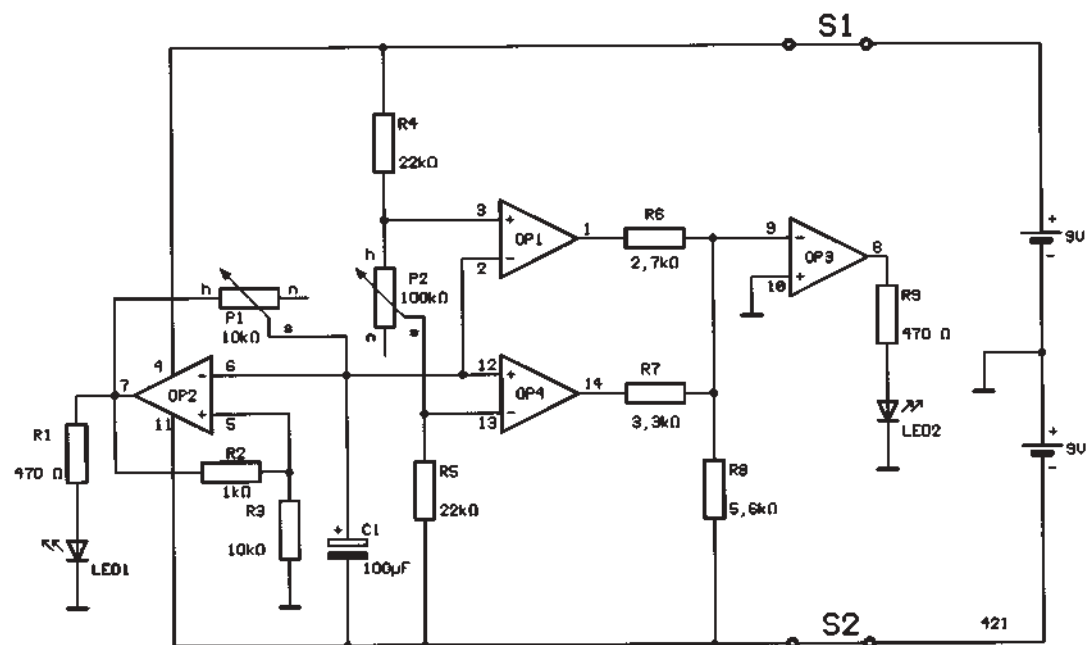
Zwevingen hebben we al gehad - in het oor. Deze keer koppelen we de generatoren zelf.

**307** Wie de frequenties van de beide generatoren in figuur 419 te hoog vindt, kan voor C1 en C2 in plaats van 6,8 nF ook gelijk 100 nF kiezen. Draai daarna P1 maar eens langzaam heen en weer en kijk wat de licht-emitterende diodes en het geluid doen. Pas wanneer de diodes minder licht geven en het geluid zachter wordt, steek je de oortelefoon in je oor. Dat is het geval wanneer P1 ongeveer in het midden van het instelbereik staat. Bij een bepaalde stand van de potmeter hoor je helemaal niets meer. Alleen door de oortelefoon afwisselend aan te sluiten op elke uitgang en min blijkt dat beide generatoren nog steeds flink trillen. Alleen is nu het verschil binnen een smal instelbereik gelijk aan nul. Beide uitgangen hebben daarbij dus tegelijkertijd dezelfde amplitude en fase en natuurlijk dezelfde frequentie.



Figuur 420. Het opbouwschema bij figuur 419.



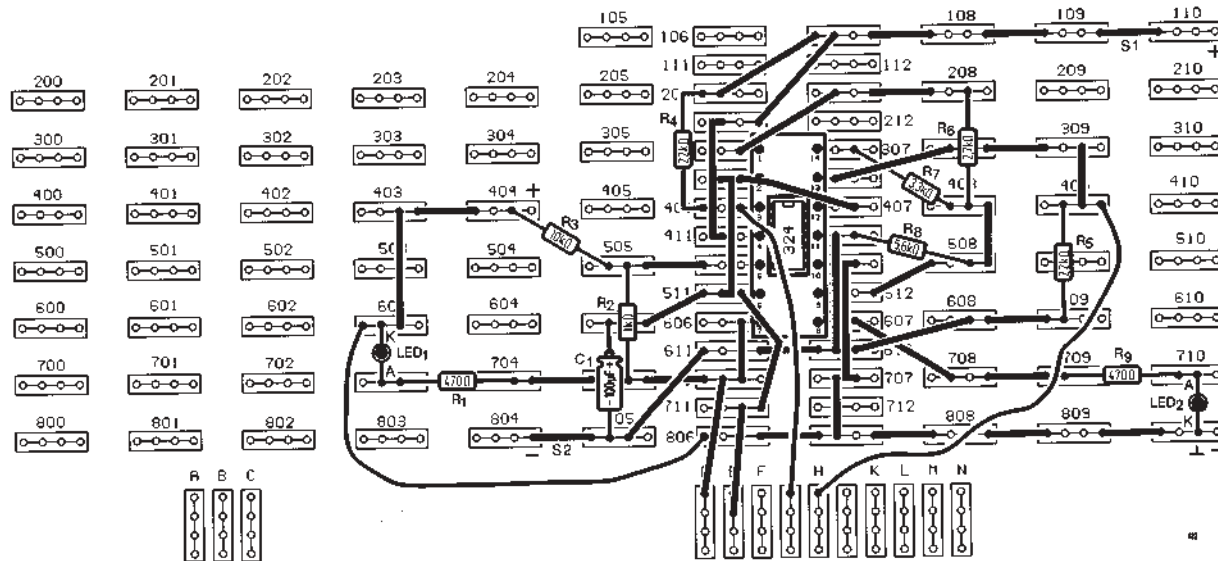
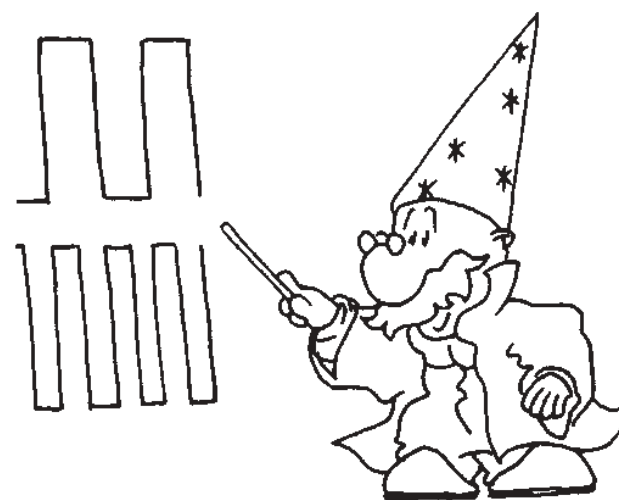


Figuur 421. Een dubbel venster: venstercomparator met instelbare opening (P2) verdubbelt de ingangsfrequentie (instelbaar met P1).

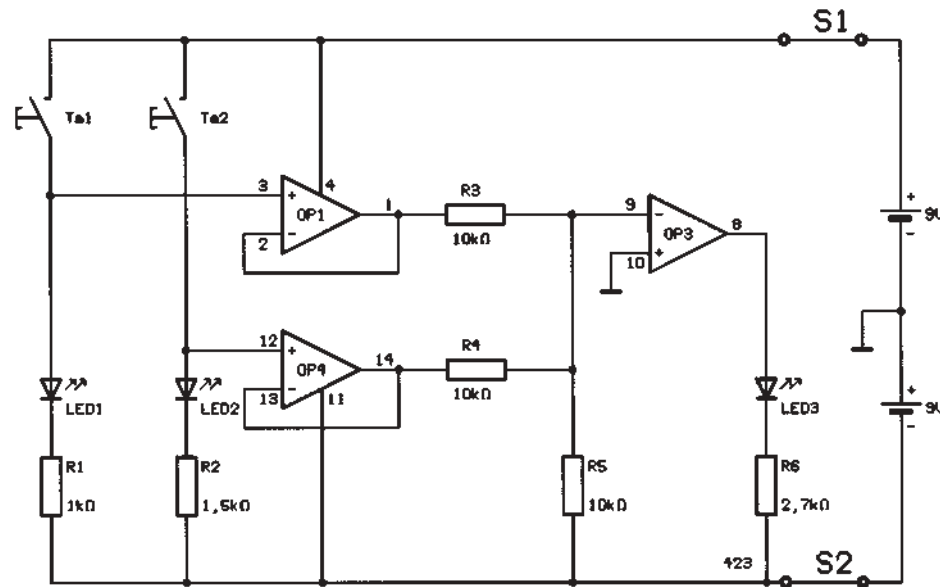
### Uit één twee maken

Door generatoren en comparatoren op een handige manier met elkaar te combineren.

**308** We bouwen om te beginnen alleen het linker deel van figuur 421 op en nemen voor C1 100  $\mu$ F (resp. twee anti-serieel geschakelde elco's, zoals we al hebben uitgelegd). LED1 dient alleen als functie-indicator; deze LED knippert met frequentie  $f_1$ . Laten we eens naar de rest van de schakeling kijken. Deze wordt gevoed met de zaagtand op C1, die bijna tussen de positieve en de negatieve verzadigingsspanning heen- en weer "wandelt". Met P1 ongeveer in het midden wordt de afstand tussen de schakeldrempels van de beide comparatoren bepaald. Wat zien we nu? LED2 knippert tweemaal zo snel als LED1. We hebben dus een *frequentie-verdubbelaar* gekregen. Deze werkt op basis van de verschillende stromen die naar het knooppunt van de laatste operationele versterker stromen, en wel al naar gelang het niveau van de comparatoruitgangen. Maar laten we daar niet teveel woorden aan vuil maken. Kijk er maar eens naar, je kunt er de kennis die je met je experimenteerdoos hebt opgedaan, goed mee testen! Het hart van deze schakeling noemen we trouwens een *venstercomparator*. Het "venster" wordt met behulp van P2 ingesteld. De laatste operationele versterker functioneert in combinatie met de weerstanden als logische schakeling - bij "positieve logica" als NEN-schakeling. Immers: R6 en R7 moeten een positieve spanning voeren om te bereiken dat de uitgang omschakelt naar geïnverteerd plus (dus naar min).



Figuur 422. Het opbouwschema bij figuur 421.

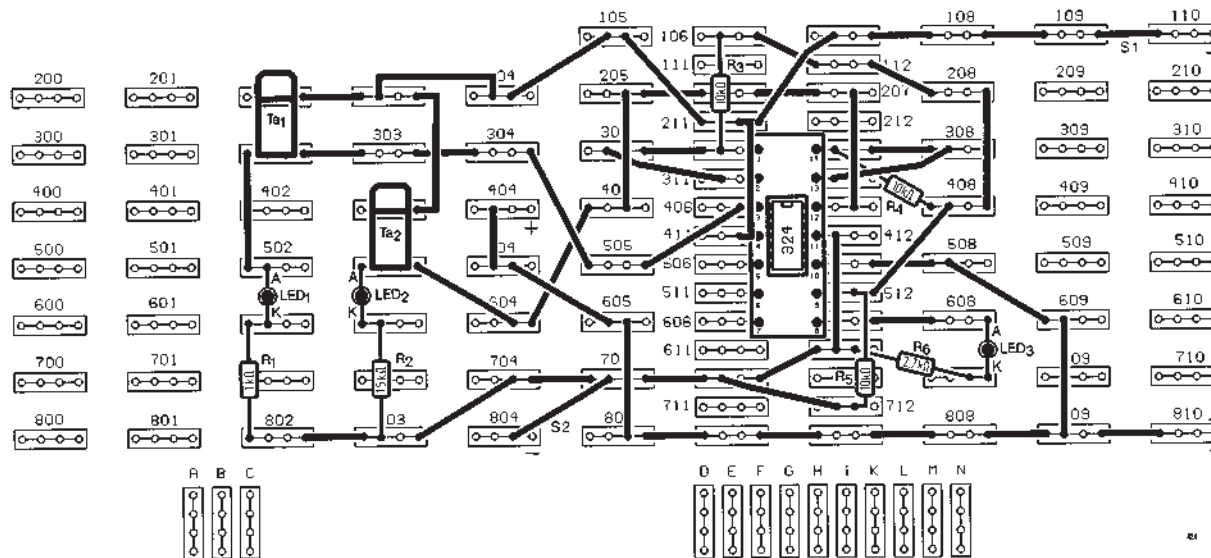
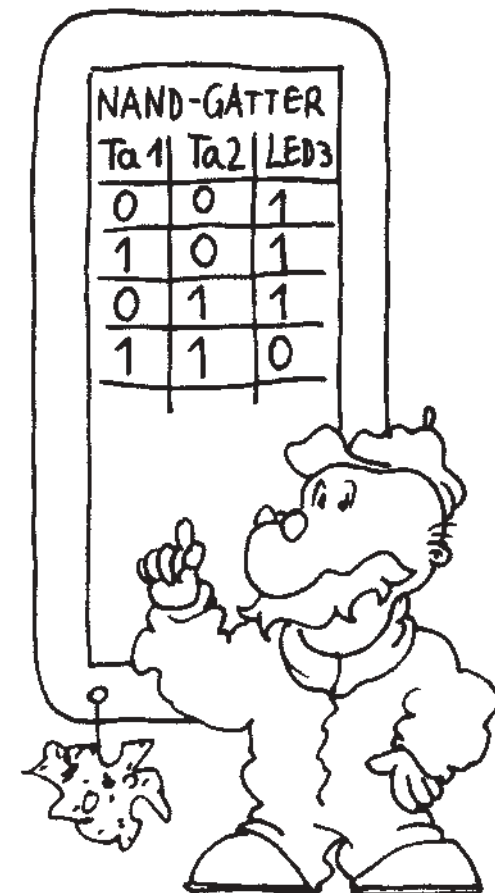


Figuur 423. NEN-bewerking met een operationele versterker: gebufferde ingangen ontlasten de signaalbronnen.

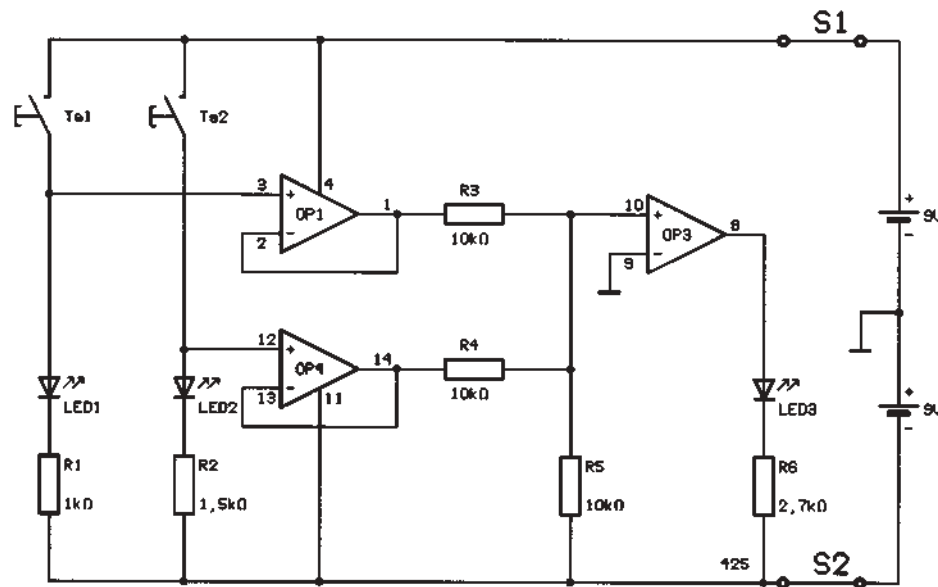
### Operationele versterker-logica

Logisch dat we nog meer willen weten over wat we net hebben gezien. EN, NEN, OF, NOF - alles in de hand van een enkel element, een viervoudige OP-chip.

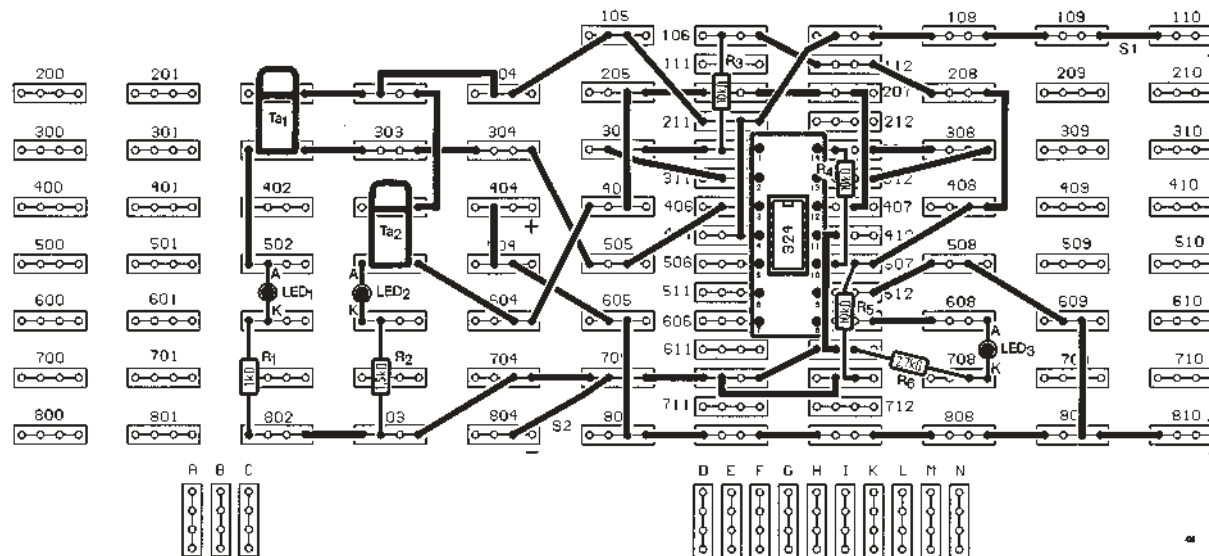
**309** Aan de hand van figuur 423 hebben we de NEN-schakeling van de verdubbelaar - zoals het goede logische schakelingen betaamt - met twee buffertrappen uitgebreid. LED1 en LED2 geven door op te lichten aan, waar sprake is van "ja". Druk nu maar eens op allebei de toetsen tegelijk, dan zul je zien dat LED3 dooft (maar dan ook alléén nu!).



Figuur 424: Het opbouwschema bij figuur 423.

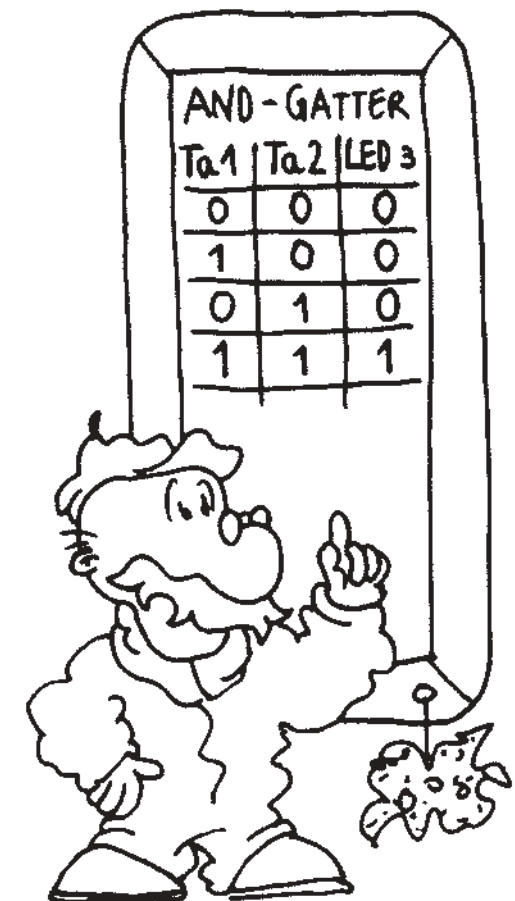


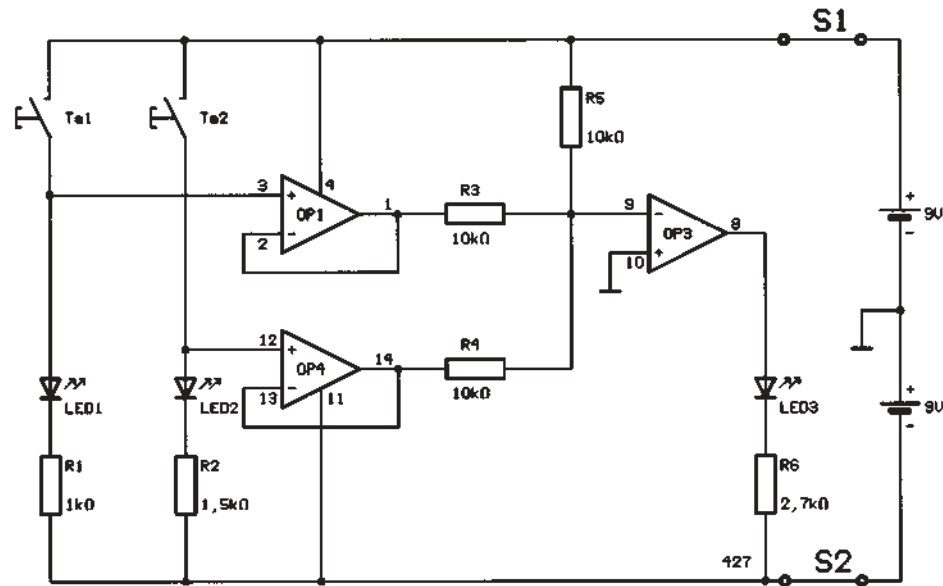
Figuur 425. EN-bewerking, van NEN afgeleid: de ingangen omwisselen is al voldoende.



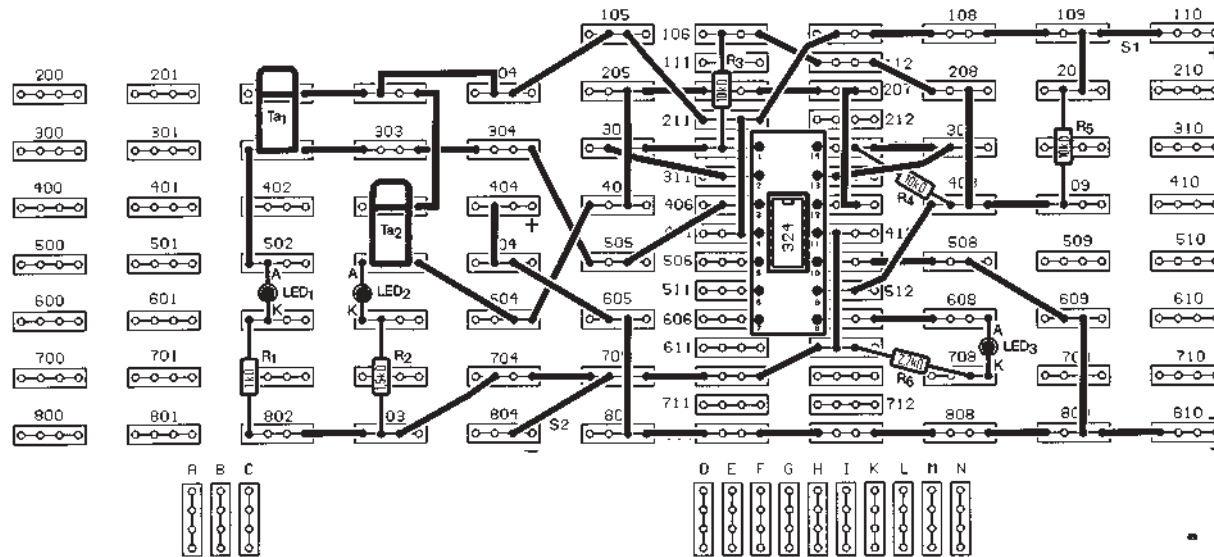
Figuur 426. Het opbouwschema bij figuur 425.

**310** Van NEN naar EN. Op een heel eenvoudige manier: je hoeft op de derde operationele versterker alleen maar ingangen andersom aan te sluiten (zie figuur 425). Dan druk je op beide toetsen en LED3 geeft licht (maar dan ook alléén nu!).



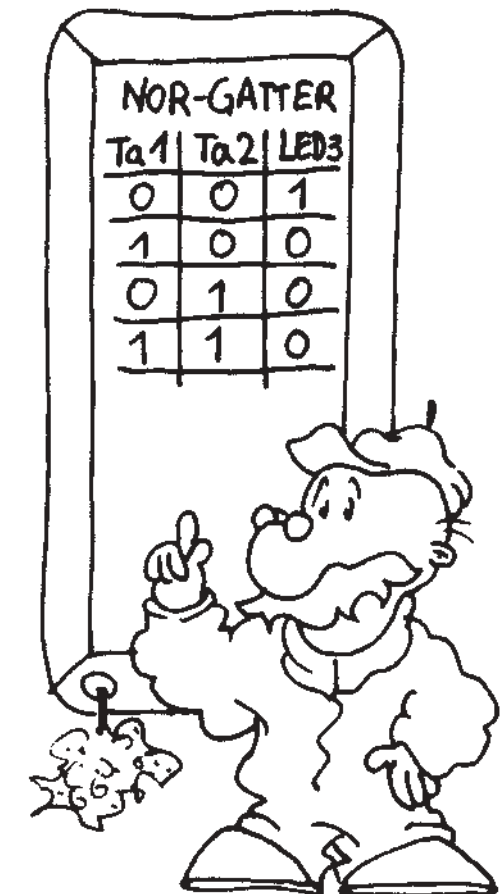


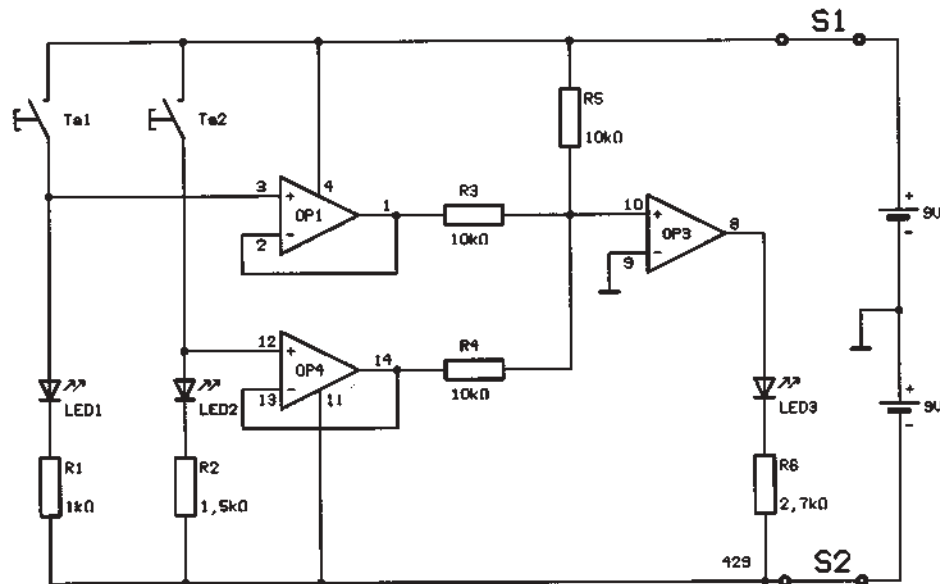
Figuur 427. NEN door te verwisselen: R5 op plus aansluiten (bij NEN op min).



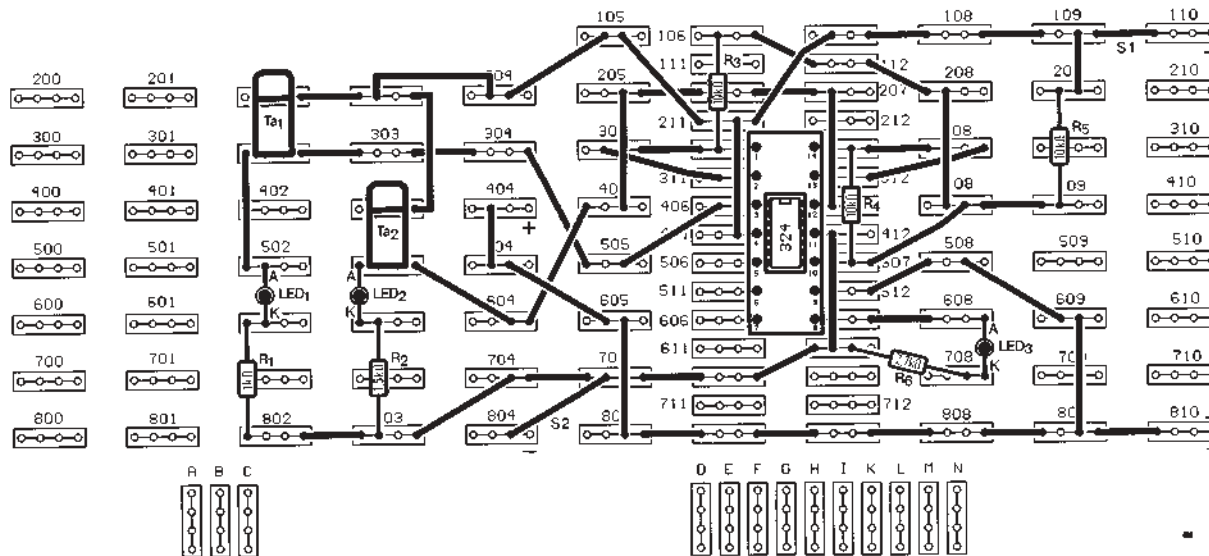
Figuur 428. Het opbouwschema bij figuur 427.

**311** De schakeling zoals aangegeven in figuur 427 wijkt maar weinig af van haar voorgangsters (R5 is nu op plus aangesloten). Maar ze werkt wel als NOR. Druk maar eens op Ta1, op Ta2 of op allebei: LED3 dooft nu.



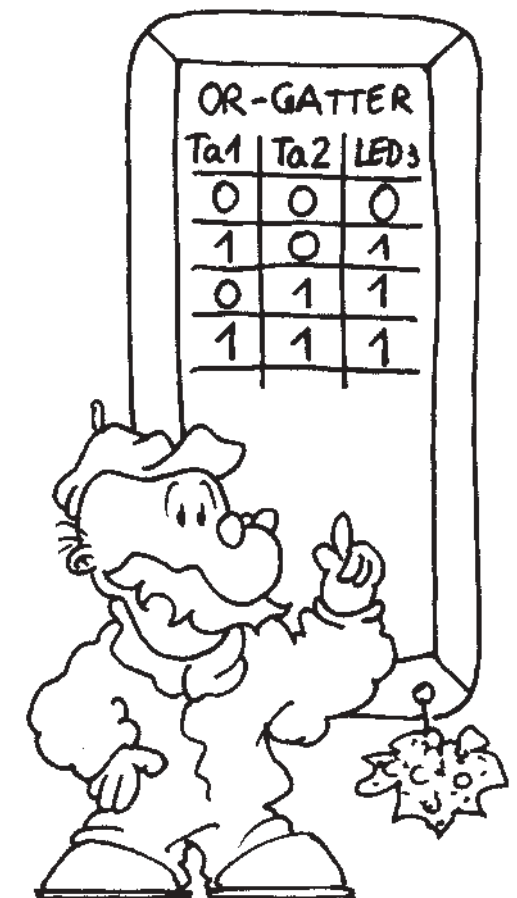


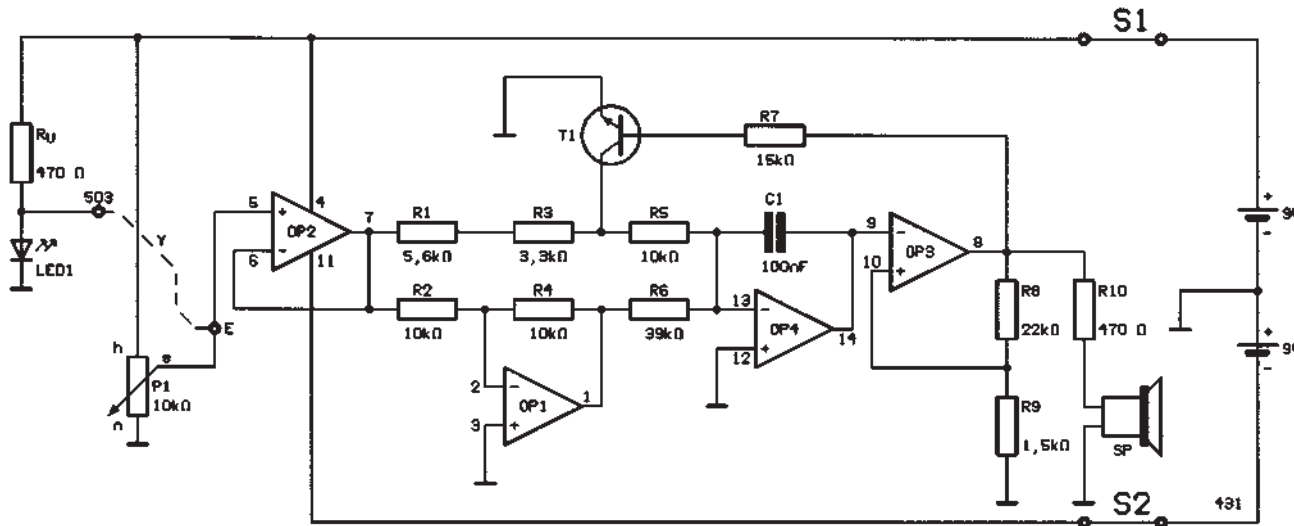
Figuur 429. OF uit NOF: de ingangen verwisselen. Net als bij EN dus.



Figuur 430. Het opbouwschema bij figuur 429.

**312** Deze serie proeven sluiten we af met OF zoals aangegeven in figuur 429. Commentaar overbodig, nietwaar?





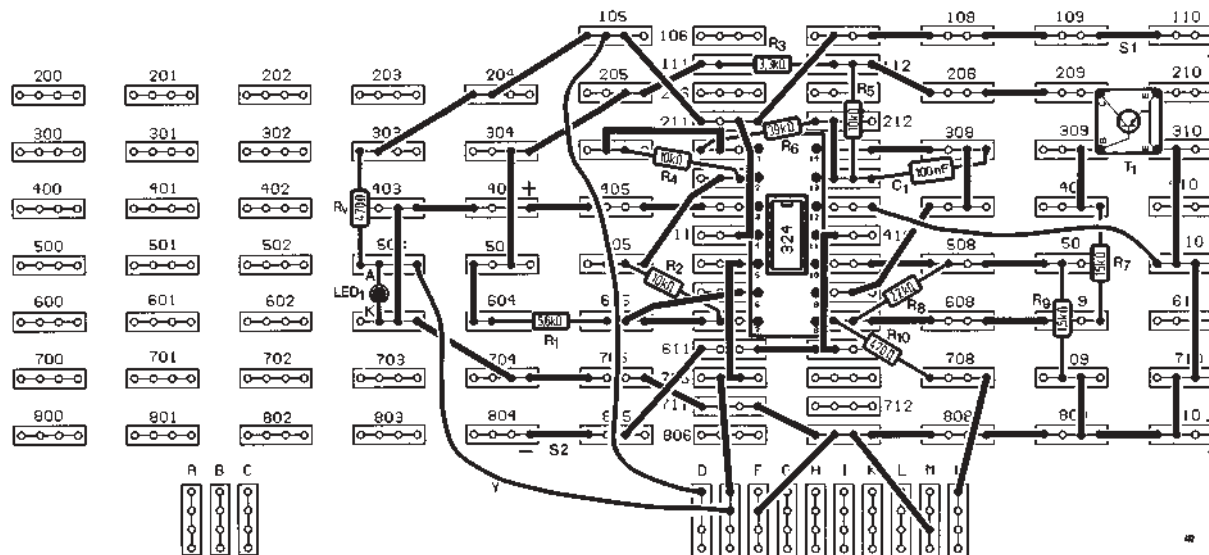
Figuur 431. Horen i.p.l.v. zien: LED's bekenen kleur door verandering van de toonhoogte.

### Geluid in kleur

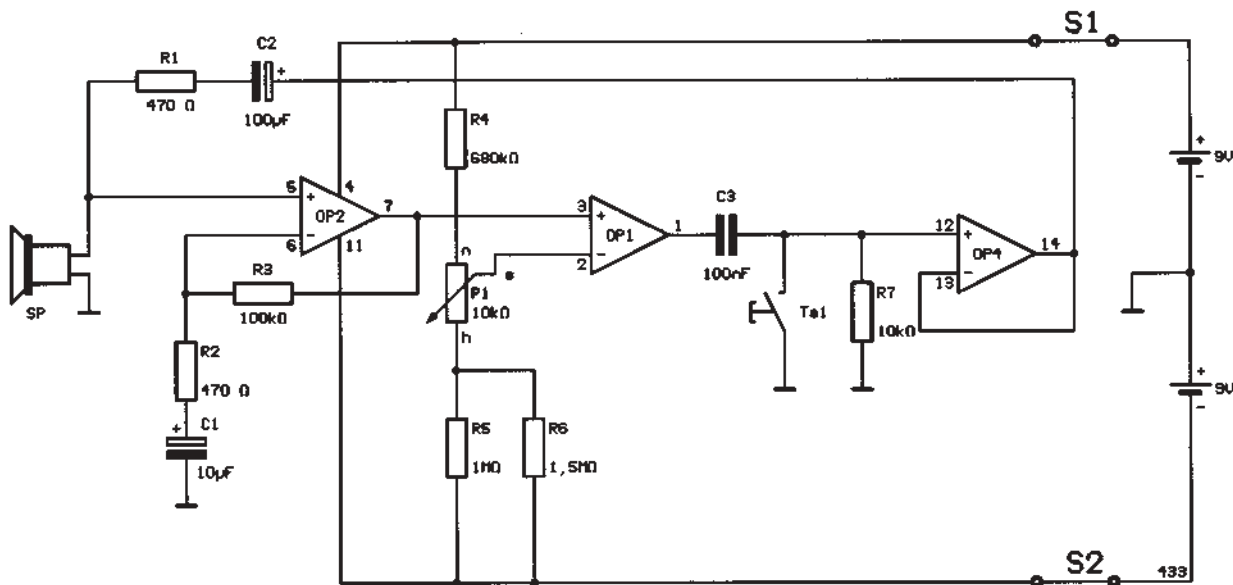
Bij gebruik van licht-emitterende diodes van verschillende kleuren blijkt dat de spanning over de licht-emitterende diodes - bij gelijke stroomsterkte! - *niet* gelijk is. Bij bepaalde types zijn deze verschillen niet erg groot. Soms gaat het zelfs maar om enkele tientallen millivolt. Voor de volgende schakeling is zelfs dit kleine verschil al voldoende. Van deze schakeling kunnen bijv. mensen die vanwege een oogafwijking het verschil tussen rood en groen niet kunnen zien, gebruik maken om de diodes te onderscheiden.

**313** De schakeling zoals aangegeven in figuur 431 wekt een toon op. Hoe lager de looper van P1, des te lager is deze toon. Steek nu eens een stuk draad (brug Y) in het verbindingsstuk tussen LED1 en R<sub>v</sub> (contact 503) en raak met het andere uiteinde heel even aansluiting E (en dus de lopers van de potmeter) aan. Draai zolang aan de potmeter totdat geen verandering van de toon meer hoorbaar is. Nu de andere LED gebruiken en de proef herhalen. Herhaal de test. Is de toon nu hoger, dan geeft dit aan dat de spanning over deze LED hoger is dan die over zijn collega, en omgekeerd. Op basis van eerdere metingen kunnen we de kleuren bepalen die bij de veranderingen horen.

De schakeling waar we dat mee doen, noemen we een *spanning-frequentie-omzetter*. Het is een handige combinatie van een "één-versterker" (die de bron van de rest van de schakeling ontkoppelt), een invertor (onderste operationele versterker draait de LED-spanning om), een integrator en comparator alsmede een schakeltransistor. De omzetter reageert op verschillen in de ingangsspanning met verschillende toonhoogten. Het is allemaal nog beter te begrijpen, wanneer je de van de ingangsspanning afhankelijke stromen door R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> en R<sub>5</sub> enerzijds en door R<sub>6</sub> anderzijds bekijkt. De stroom die door R<sub>6</sub> vloeit, is altijd half zo groot als die door de andere weerstanden bij gesperde transistor. Gebruik de verklaringen bij de al behandelde deelschakelingen maar eens bij dit probleem, dan begrijp je alles vast wel!



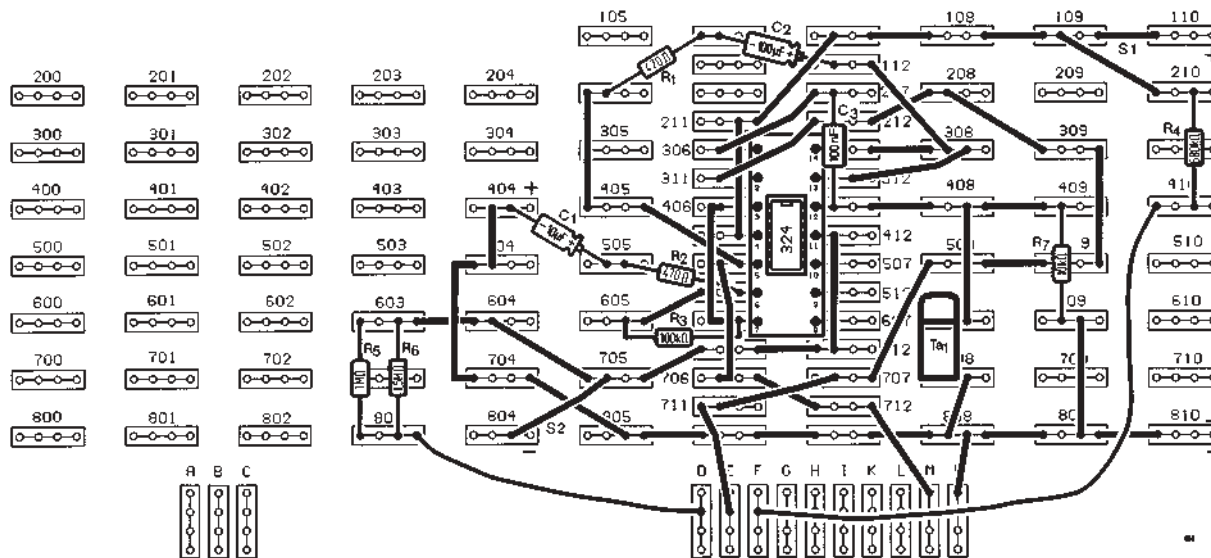
Figuur 432. Het opbouwschema bij figuur 431.



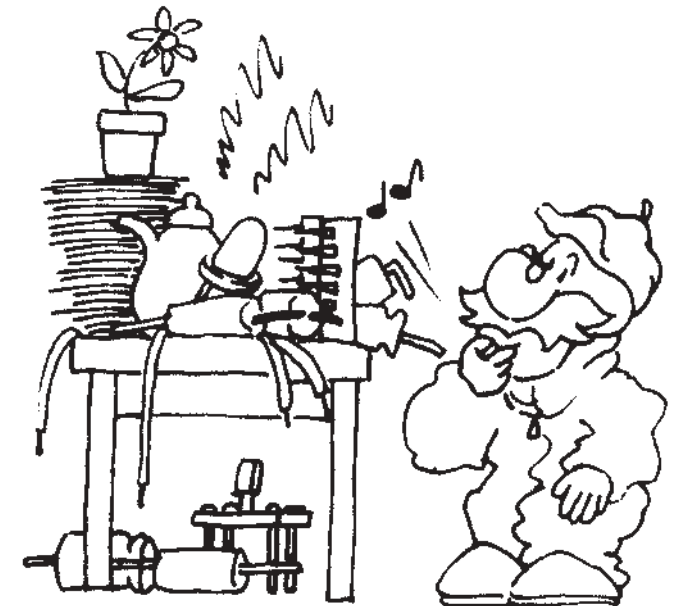
Figuur 433. Wie roept, zal vinden: het principe van de zelfmeldende sleutelhanger nagebootst. Kan ook worden gebruikt als geluidsgevoelige alarminstallatie.

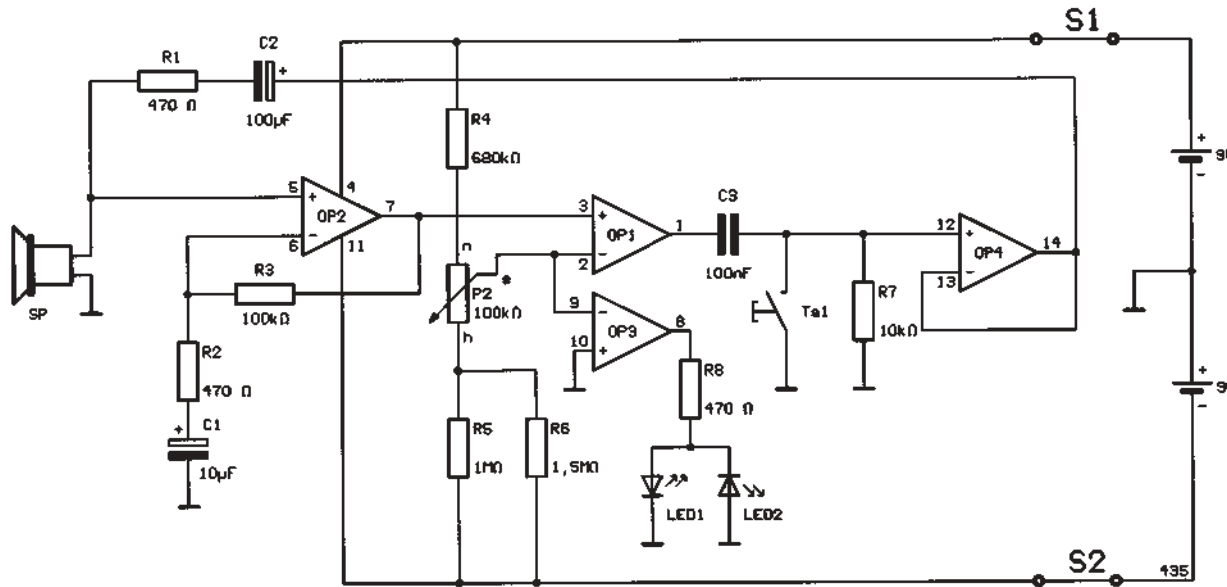
**Een zelfgemaakte sleutelhanger die je altijd terugvindt**  
Van deze dingen moet je er nooit meer dan één in je kamer hebben, want anders houdt het piepen nooit op!

**314** Bouw de basis-schakeling voor deze kleine voorbeelden op zoals aangegeven in figuur 433. Of je nu in je handen klapt, fluit of op de tafel slaat, het alarm gaat bij ieder geluid af. En je kunt het pas uitzetten als je op Ta1 drukt. Wel voorzichtig zijn dat er niet weer een ander geluid ontstaat dat het alarm laat afgaan. Van de toleranties van de weerstanden hangt het af, hoe gevoelig P1 kan worden ingesteld. We geven dan ook een mogelijkheid om het geheel verder uit te breiden:

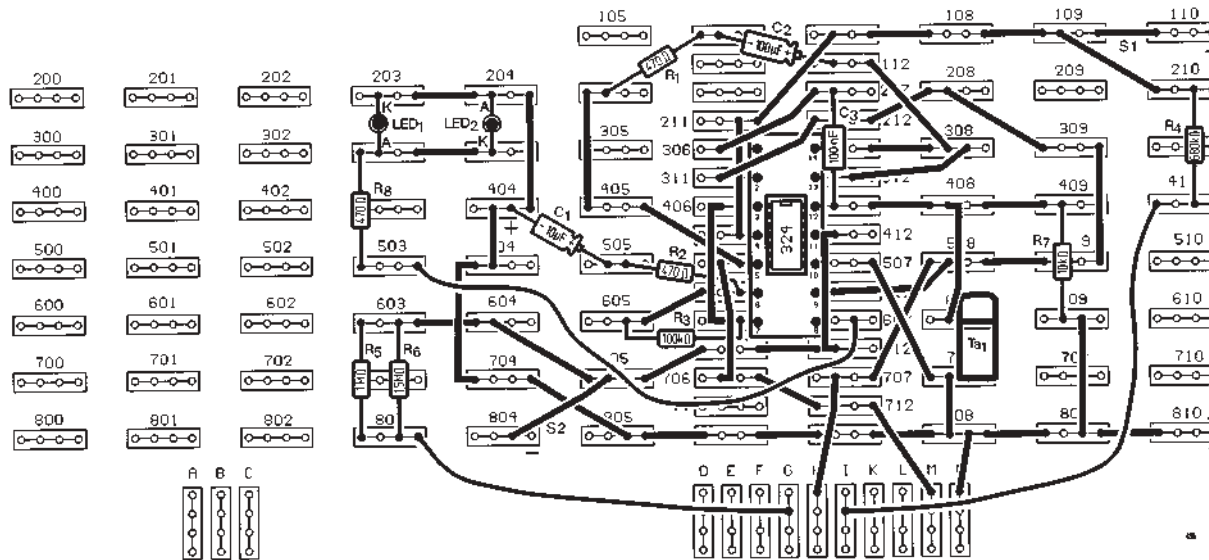


Figuur 434. Het opbouwschema bij figuur 433.





Figuur 435. Optisch geregelde gevoeligheidsinstelling bij de schakeling van figuur 433.

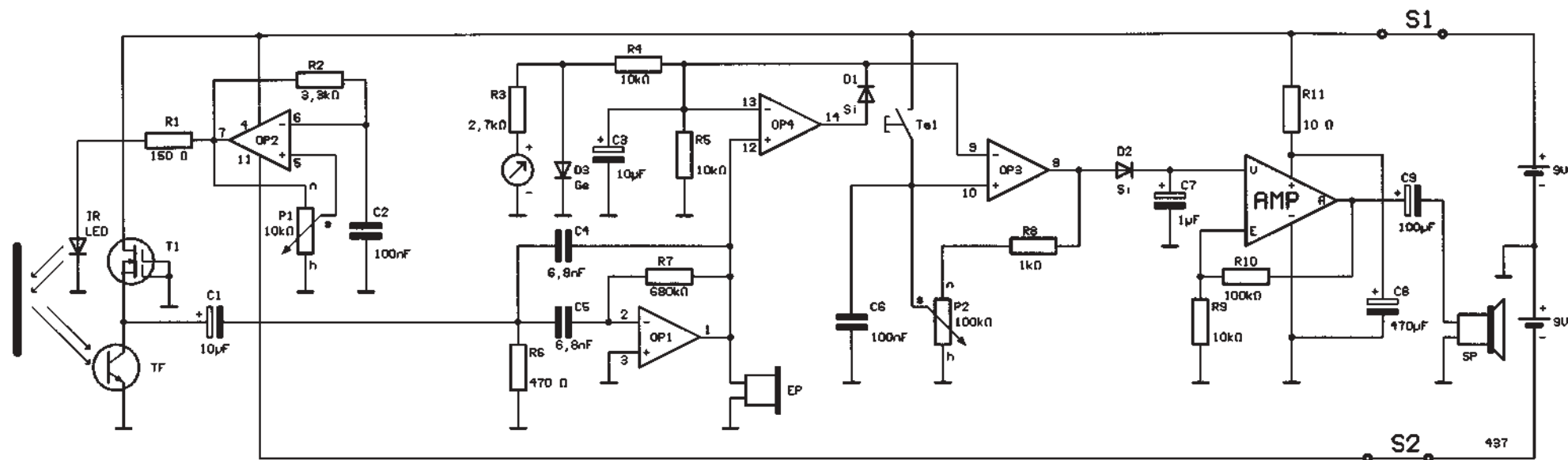


Figuur 436. Het opbouwschema bij figuur 435.

**315** Er is nog één operationele versterker vrij. Deze kun je gebruiken voor het uitbreiden van de schakeling zoals aangegeven in figuur 435. Weliswaar wordt nu de instelling een beetje "smaller", maar uiteindelijk wordt onze waakhond nu ook veel "waakser". Houd tijdens het instellen Ta1 ingedrukt en draai aan de potmeter zodat net de ene of de andere LED oplicht. Bewaar nu je kalmte! Want gewoon de potmeter loslaten alleen al is voldoende om het alarm te laten afgaan.

Zo werkt het: de linker operationele versterker (OP2) geeft een grote versterking voor wisselspanning, maar een stabiel werkpunt bij gelijkstroom (in de buurt van 0 V). De middelste operationele versterker (OP1) is de comparator met positieve of negatieve uitgangs (verzadigings-)spanning. C3 blokt dat naar de rechter operationele versterker (OP4) toe af, die in rusttoestand als "een-versterker" eveneens tamelijk stabiel 0 V aan de uitgang heeft. C2 zorgt aan de kant van de gelijkspanning voor de scheiding van dit punt van de luidspreker, die tevens als microfoon dienst doet. Wat er gebeurt als geluid "in de microfoon" komt, kun je nu makkelijk verklaren.





Figuur 437. Storingsvrij dankzij selectie: een op de frequentie van de zender afgestemd operationele versterker-filter in een alarminstallatie met reflex-fotocel.

### Alarm - maar dan wel exclusief!

Bij deze installatie wordt de van het paneel af komende infra-rood-straal door reflecterende voorwerpen teruggekaatst naar de fototransistor in hetzelfde paneel. We hebben dus te maken met een zogenaamde *reflex-fotocel*.

### 316

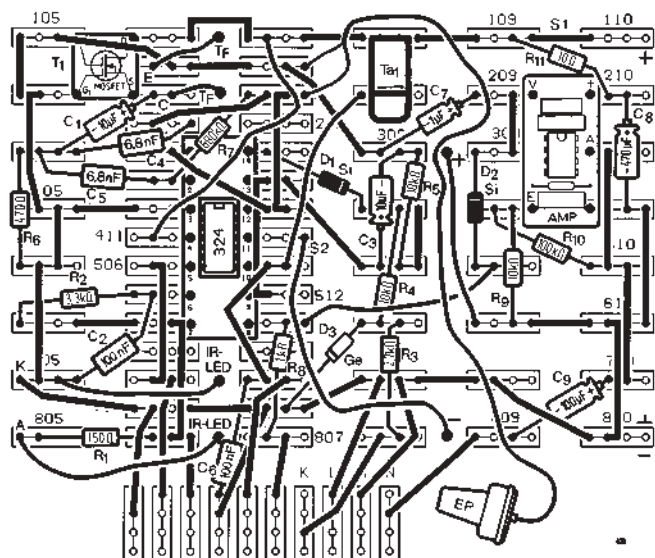
Nadat we de complete schakeling zoals aangegeven in figuur 437 hebben opgebouwd, controleren we eerst de deelschakelingen. P1 en P2 worden in hun middenstand ingesteld. Hierna trekken we D2 uit de schakeling en horen nu, als de AMP tenminste correct is aangesloten, het alarmsignaal. Steek nu D2 weer in de schakeling en maak een verbinding met de fototransistor. Verbind nu het knooppunt van de IR-LED en R1 over een weerstand van 1,5 M $\Omega$  met de plus-aansluiting van C1 en let daarbij op wat EP en het meetinstrument doen. Draai nu aan P1; de geluidssterkte resp. de uitslag wordt maximaal. Verwijder de weerstand van 1,5 M $\Omega$  en sluit de fototransistor weer aan. Houd nu je hand, een stuk karton of iets dergelijks op een afstand van een paar centimeter voor de openingen van de IR-LED en de fototransistor en zoek opnieuw de maximale geluidssterkte met P1. De geluidssterkte hangt af van de afstand tot de "reflector". Draai nu P2 langzaam in de richting van n, totdat het alarmsignaal te horen is. Haal het reflectorvlak weg en schakel het alarm af door op Ta1 te drukken. Ga er nog maar eens opnieuw op af, dan is waarschijnlijk ook het alarm weer te horen.

De schakeling is echt iets voor de "analytici" onder jullie. Het zijn bijna allemaal bekende deelschakelingen, op de operationele versterker met C4 en C5 na, want dat is een zogenaamd *tweede orde-bandfilter*. Met dit filter stemmen we met behulp van P1 de zenderfrequentie af, omdat deze trap immers slechts voor een door de RC-schakeling bepaalde frequentie voor een zeer goede versterking zorgt. Alle andere frequenties worden, net als bij de trillingskring, sterk gedempt.

### 317

Met behulp van de waarden van R7 en R6 kan een beetje worden geëxperimenteerd: R7 tot 1,5 M $\Omega$ , R6 tussen 150  $\Omega$  en 2,7 k $\Omega$ .

**Zo, we zijn er. Je bent nu een echte elektronica-bolleboos geworden. Je bent vertrouwd geraakt met allerlei apparaten en schakelingen en je kunt nu ook begrijpen hoe "zoiets" functioneert.**



Figuur 438. Het opbouwschema bij figuur 437.

### 30. Zo spoor je fouten op.

Wanneer het met een schakeling helemaal niet wil lukken, dan heb je meestal bij het opbouwen een foutje gemaakt. De schakelingen zelf werken absoluut correct en zijn al heel wat keren met succes opgebouwd. Is er een probleem, dan kun je het beste aan de hand van de volgende controlelijst het probleem proberen op te lossen.

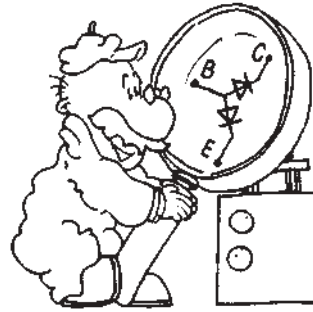
1. Controleer de conditie van de batterij.



2. Ga na of de diodes, de LED's en de elco's in de goede richting zijn aangesloten.



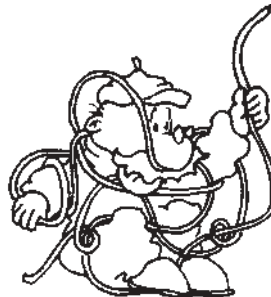
3. Ga na of de transistoren correct zijn aangesloten.



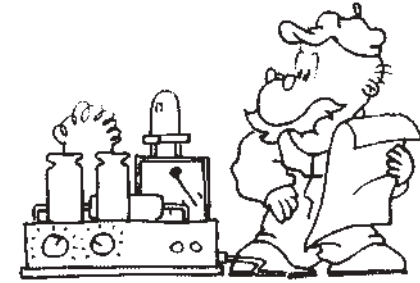
4. De weerstanden  $10\Omega$  (bruin-zwart-zwart),  $100\Omega$  (bruin-zwart-bruin),  $1\text{ k}\Omega$  (bruin-zwart-rood),  $10\text{ k}\Omega$  (bruin-zwart-oranje),  $100\text{ k}\Omega$  (bruin-zwart-geel) en  $1\text{ M}\Omega$  (bruin-zwart-groen) alsook  $3,3\text{ k}\Omega$  (oranje-oranje-rood) en  $33\text{ k}\Omega$  (oranje-oranje-oranje) en ook  $150\Omega$  (bruin-groen-bruin) en  $15\text{ k}\Omega$  (bruin-groen-oranje), eventueel zelfs  $1,2\Omega$  (bruin-rood-goud) en  $12\Omega$  (bruin-rood-zwart) worden vaak verwisseld!



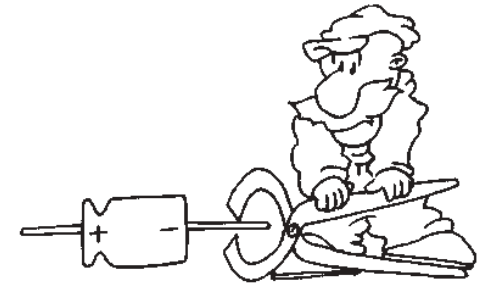
5. Zijn alle draadbruggen correct ingestoken? Ieder onderdeelje dat eenmaal is ingestoken, kun je het beste in het opbouwschema doorstrepen. En bovendien kun je vergelijken of alle insteekgaatjes net zo zijn bezet (of leeg zijn) als in het opbouwschema is aangegeven.



6. Of een onderdeel kapot is, kun je aan de hand van de schakeling controleren, waarin het onderdeel voor het eerst is gebruikt.



7. Van sommige elementen kunnen de aansluitdraden te lang zijn. Je moet die dan korter maken, omdat ze anders aan de onderzijde (van het paneel) uit de klemveren steken en elkaar kunnen raken. Dat zou dan weer kortsluiting veroorzaken, en dat is niet de bedoeling.



8. Zijn de modules met de IC's in de juiste richting aangebracht? Een omgekeerd aangebrachte module kan onder bepaalde omstandigheden op een voedingsspanning worden aangesloten met verkeerde polariteit: de module wordt warm en gaat kapot.



9. De isolatie van een aansluitdraad mag nooit mee in de gaten van de klemveren worden gestoken (geen contact)!

# Trefwoordenregister

## A

A-D omzetter 145  
aarde 57  
afschermen 56  
afstand bedienen, op 36  
AM 58  
ampère 20  
ampèremeter 133  
amplitudemodulatie 58, 66  
analoog 45  
analoog/digitaal omzetter 145  
anode 22  
audio 69

## B

balanseindtrap 74  
bandfilter 165  
basisschakeling 66  
bedrijfsspanning 133  
belastingkring 35  
bias-stroom 135  
bistabiele multivibrator 39  
botsen 147  
brugschakeling 82

## C

chip 16  
collectorvolger 35  
Colpitts 66  
comparator 83  
complementair 48  
computer 39, 53  
condensator 27  
condensator, instelbare 56

## D

Darlington-schakeling 38  
data sheet 134  
diëlektricum 27  
diëlektrische constante, relatieve 28  
digitaal 45  
dimmer 62,100,106  
diode 31  
doteren 19, 30  
draaggolf 58  
drain 58  
DRAM 62  
drempelspanning 33

drempelwaardeschakelaar 44  
driehoekstrilling 121  
driftsnelheid 20  
druktuets, niet-botsende 147  
dynamisch 40, 77,94

## E

elco 28  
elektriciteit 18  
elektriciteit, statische 17  
elektrode 58  
elektrolyse 18  
elektronen 18  
element, galvanisch 21  
emitterschakeling 35  
emittervolger 37  
EN 53  
evenwicht 83

## F

farad 27  
fase 48, 66  
fase-verschuivings-generator 93  
flip-flop 39  
foto-Darlington-schakeling 104  
frequentie 41  
frequentie-modulatie 115  
frequentiedeler 41  
frequentieverdubelaar 157

## G

gate 58  
geheugen, analoog 62  
geleider 19  
geleidingsvermogen 24  
gelijkrichter, dubbelzijdige 144  
gelijkrichter, enkelzijdige 84  
gelijkrichter, ideale 84  
geluidssterktemeter 126  
generator 21  
golf 66  
golf lengte 57

## H

halfgeleider 19,30  
Henry 64  
Hertz 41  
HF 57  
high 87  
hysteresis 44

## I

inductiviteit 64  
inschakelvertraging, instelbaar 148  
integrator 118  
inverteren 84  
invertor 36  
inwendige weerstand 26,133  
isolatoren 19

## K

kamerantenne 57  
kanaal 58  
karakteristieken 47,133  
kathode 22  
knipperversmeltingsfrequentie 129  
knooppunt 25  
KOSMOS-netschakelapparaat 5  
KOSMOS-nettransformator X 5

## L

ladingdrager 18  
LED 102  
LED-spanning 22  
licht-emitterende diode 22, 32  
lichtorgel 153  
lithium-batterij 21  
logica, positieve 54  
loodaccumulator 21  
low 87  
lux-meter, akoestische 107

## M

magisch oog 68  
massa 84  
massa, virtuele 119  
mazenregel 25  
meekoppelen 75  
meekoppeling 71,93  
middengolfmodule 56  
middengolfzender 66  
minimum 82  
moduleren 57, 93  
monoflop 43  
MOSFET 58  
multivibrator, monostabiele 43

## N

NEN 53  
Niet-Of-poort 54  
NOF 53, 54  
nominale spanning 21

## O

OF 53,55  
ohm 22  
onderdeel, elektrisch en elektronisch 16  
ontkoppelen 41  
operationele versterker (OP) 55,116  
opto-elektronica 102  
opto-elektronische koppelaar 106  
oscilloscoop 65

## P

parallel 23  
parallelschakeling 24  
polariteit 19  
poort 53  
potentiaal 59  
potentiometer 23  
potmeter 23  
PUT 49

## R

rechthoekstrilling 121  
reed-relais 40  
referentierichtingspijlen 25  
reflex-fotocel 165  
reflextrap 70  
refresh 62  
rekenmachine, analoge 116  
rekenmachine, digitale 116  
resetten 49  
resonantiefrequentie 57, 65  
retriggeren 94  
RS flip-flop 49

## S

schakelaar, lichtgestuurd en voor contact zorgend 98  
schakeling, geïntegreerde 16  
sensordimmer 62  
serieschakeling 24,28  
setten 49  
shunt 133  
signaalspanning 46  
sinus-curve 65  
source 58  
spanning 19  
spanning-frequentie-omzetter 162  
spanningsdeler 22  
spanningsdeler, capacitieve 66  
spanningsverschil 76, 80  
stroom 19  
stroombron, constante 59

stroomkring 19  
stroomrichting, natuurkundige 20  
stroomrichting, technische 20  
stroomspiegel 78  
stroomversterking 36  
stuurkring 35  
stuurtransistor 74  
synchronisatie 114

**T**

temperatuurcompensatie 39  
temperatuurverschil 82  
terugkoppelen, negatief 46  
terugkoppeling, negatieve 46  
terugkoppeling, positieve 71

thermometer, akoestische 82  
thyristor 48  
tijdconstante 28  
timer 85, 94  
toggle 40  
transistor 33  
transistor, unipolaire 58  
trapspanning 122  
triac 48  
trilling, gedempte 65  
trillingskring 56  
trillingskring, open 66

**U**

unijunction-transistor 49

**V**

veldconstante 27  
veldeffecttransistor 58  
veldkracht 17  
venstercomparator 157  
verarmingstype 58  
vermogen 21  
vermogen, selectief 69  
verschil-versterker 80  
versterker, inverterende 124  
versterker, niet-inverterende 124  
verzadiging 36,47  
verzadigingsstroom 33  
vierlagendiode 48  
volt 21  
voltmeter 133

**W**

weerstand, soortelijke 20  
werkpunt 46  
Wien 124  
wisselstroom 29

**Z**

zaagtandtrilling 75  
zelfinductie 63  
zweving 114

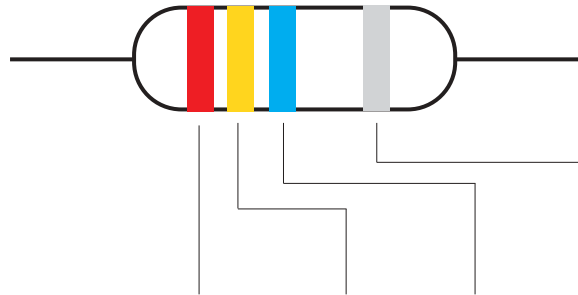


|                   |                    |                    |                   |
|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1000 pF<br>= 1 μF | 100 nF<br>= 0,1 μF | = 6800pF<br>6,8 nF | 1000 pF<br>= 1 nF |
|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|

electronic system I

electronic system II

Als je wilt, kun je de kleurcode van de weerstanden en de omreken Tabellen van nanofarad in picofarad resp. microfarad uitknippen en opplakken op de daarvoor bestemde plaatsen op de panelen, zoals aangegeven op de verpakking. Dat ziet er leuk uit en is handig bij het experimenteren.



|             | Kleur                                                                               | 1e ring<br>(1e cijfer) | 2e ring<br>(2e cijfer) | 3e ring<br>(aantal<br>nullen) | 4e ring<br>(tolerantie) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| zwart       |    | 0                      | 0                      | -                             |                         |
| bruin       |    | 1                      | 1                      | 0                             | ± 1%                    |
| rood        |    | 2                      | 2                      | 00                            | ± 2%                    |
| oranje      |    | 3                      | 3                      | 000                           |                         |
| geel        |    | 4                      | 4                      | 0 000                         |                         |
| groen       |    | 5                      | 5                      | 00 000                        |                         |
| blauw       |   | 6                      | 6                      | 000 000                       |                         |
| violet      |  | 7                      | 7                      |                               |                         |
| grijs       |  | 8                      | 8                      |                               |                         |
| wit         |                                                                                     | 9                      | 9                      |                               |                         |
| goud        |  |                        |                        | x 0,1                         | ± 5%                    |
| zilver      |  |                        |                        | x 0,01                        | ± 10%                   |
| zonder ring |                                                                                     |                        |                        |                               | ± 20%                   |