

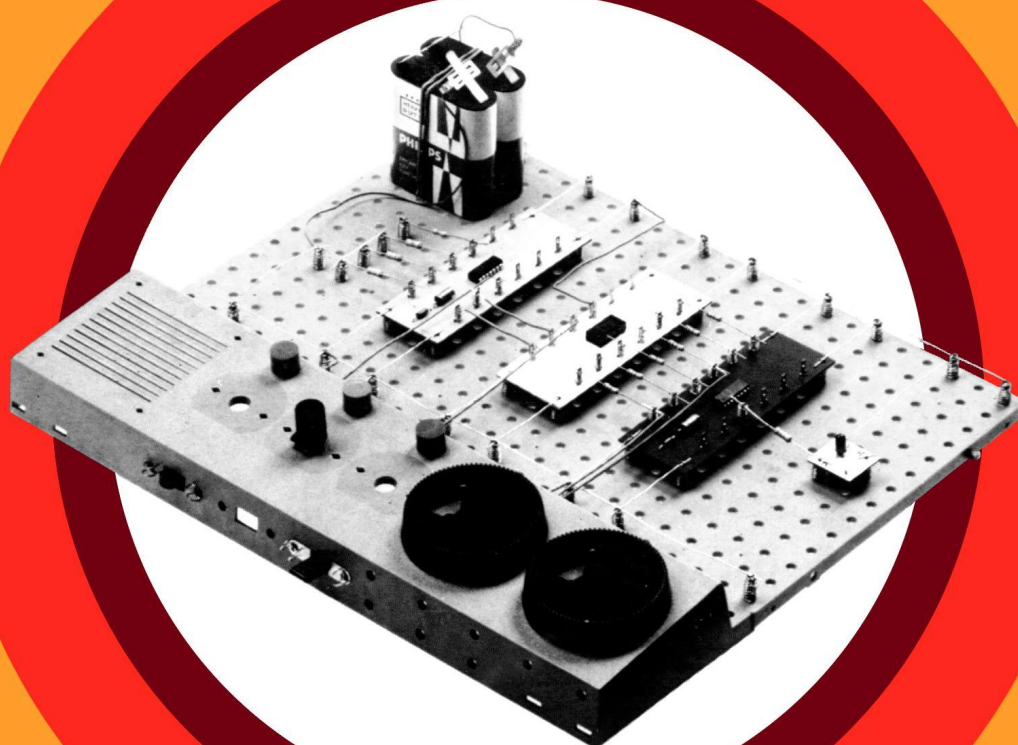
PHILIPS



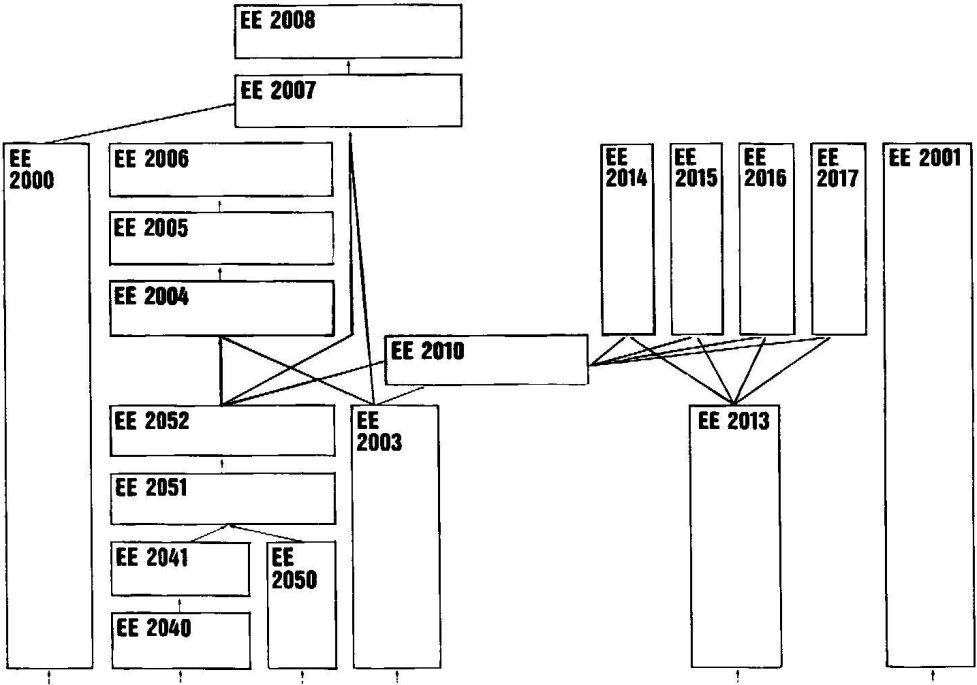
Grondbeginselen van de moderne halfgeleider-technieken

Handleiding voor de
elektronika experimenteerdoos
EE 2015
Digitale techniek

NL



Elektronische Experimenteerdozen



Alle in deze publikatie opgenomen gegevens zijn medegedeeld zonder octrooigarantie van N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden.
Technische wijzigingen voorbehouden.
Uitgave 1977.

**Grondbeginselen van de
moderne halfgeleider-technieken**

**Handleiding
voor de elektronika experimenteerdoos EE 2015**

Digitale techniek

Inhoudsopgave


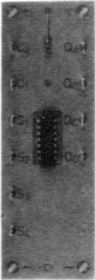



	Pagina		Pagina
Voorwoord	3	4.10.20. Optelschakeling	42
Afbeeldingen van de onderdelen en inhoudsopgave van de experimenteerdoos	4	4.10.21. Aftrekschakeling	43
1. Algemene montagevoorschriften	6	4.10.22. Code-omzetter binair → decimaal (decodeerschakeling)	44
2. De grondbeginselen van de moderne bouwelementen	7	4.10.23. Code-omzetter decimaal → binair (codeerschakeling)	45
2.4. Verschillende bouwelementen	7	Multivibratorschakelingen	46
3. Elektronische basisschakelingen	15	4.10.24. Knipperoscillator	46
3.9. Digitale techniek	15	4.10.25. Start-stop-oscillator	46
3.9.1. Omzetting van binaire in decimale getallen	16	4.10.26. RS-flip-flop	47
3.9.2. Omzetting van decimale in binaire getallen	17	4.10.27. D-flip-flop	48
3.9.3. Het optellen van binaire getallen	18	4.10.28. Monostabiele multivibrator	48
3.9.4. Het aftrekken van binaire getallen	19	4.10.29. Flip-flop met drie stabiele toestanden	49
3.10. Basisverbindingen	20	4.11. Decimaalteller SN 7490	50
3.10.1. Bouwstenen voor basisverbindingen	24	Instelbare teller	52
3.10.2. Inverter SN 7405	26	4.12. Zeven-segments uitleeseenheid CQY 81 (display)	53
3.10.3. NOR SN 7402	28	Weergave van tekens en cijfers	53
4. Elektronische apparaten	29	4.13. Code-omzetter SN 7447	55
4.10. Logische schakelingen	29	BCD-decimaalomzetter	57
Basisschakelingen met inverter SN 7405	30	4.14. Interface (aanpasschakelingen)	58
4.10.1. Inverter	30	5. Apparaten	60
4.10.2. Identiteit	30	5.1. Impulsteller	60
4.10.3. NOR	31	5.2. Trapspanningsgenerator	61
4.10.4. OF	32	5.3. Trapsgewijze toongenerator	62
4.10.5. EN	32	5.4. Teller met cijferaanwijzing tot 10	63
4.10.6. NAND	33	5.5. Elektronische speelautomaat	64
Basisschakelingen met NOR SN 7402	34	5.6. Elektronische dobbelsteen	65
4.10.7. NOR	34	5.7. Totomaat	66
4.10.8. Inverter	34	5.8. Frequentieteller	67
4.10.9. OF	35	5.9. Automatische installatie voor het geven van noodsignalen	68
4.10.10. EN	35	5.10. Digitale voltmeter	70
4.10.11. NAND	36	Functietabel en symbolen	71
4.10.12. Exclusieve OF-functie	36	Technische gegevens	71
4.10.13. Equivalentie	37	Schemasymbolen	72
4.10.14. EN met een inverterende ingang	37	Symbolen van de montagetekeningen	72
4.10.15. NAND met een inverterende ingang	38	Kleurcodetabel	72
4.10.16. OF met een inverterende ingang	38		
4.10.17. NOR met een inverterende ingang	39		
Basisschakelingen met 5 resp. 6 ingangen	40		
4.10.18. NOR met 6 ingangen	40		
4.10.19. OF met 5 ingangen	41		

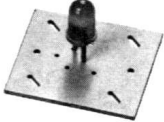


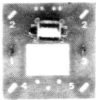


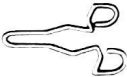


Voorwoord

De technische vooruitgang op alle mogelijke terreinen zou ondenkbaar zijn zonder elektronika. Of het nu gaat om apparaten voor dagelijks gebruik of om ingewikkelde industriële regelininstallaties - zonder elektronische onderdelen functioneren ze niet.

Door de ontwikkelingen op het gebied van de ruimtevaart ontstond de behoefte aan steeds kleinere onderdelen en deze onderdelen konden op alle terreinen van de elektronika worden gebruikt. Door de steeds toenemende vraag konden de kosten zodanig worden verlaagd dat er als vanzelf nieuwe toepassingsmogelijkheden ontstonden. Een goed voorbeeld hiervan is de elektronische rekenmachine die zonder geïntegreerde schakelingen en betrouwbare uitlees-elementen niet zou kunnen worden geproduceerd.

In deze Philips elektronika-experimenteerdoos worden de modernste elektronische onderdelen toegepast en aan de hand van diverse gebruiksmogelijkheden zal duidelijk worden gemaakt hoe ze functioneren en wat hun betekenis is. Voorwaarde voor het gebruik van deze experimenteerdoos is dat men in het bezit moet zijn van de basisdozen EE 2003/2010 of van de doos EE 2013 van de elektronika-serie 2001. Deze doos behandelt hoofdzakelijk de digitale techniek en hierbij worden moderne onderdelen gebruikt zoals b.v. een 7-segments uitleeseenheid, decoders en flip-flops.

Onderdeel	Bestelnummer	Benaming	Inhoud
	349.1312	Geïntegreerde schakeling (IC) Code-omzetter SN 7447* Kleur: groen	1
	1313	Geïntegreerde schakeling (IC) Decimale teller SN 7490* Kleur: rood	1
	1314	Cijferdisplay CQY 81* Kleur: oranje	1
	1315	Geïntegreerde schakeling (IC) NOR-gate SN 7402* Kleur: blauw	1
	1316	Geïntegreerde schakeling (IC) Inverter SN 7405* Kleur: wit	1

Onderdeel	Bestelnummer	Benaming	Inhoud
	349.1317	Lichtgevende diode geel LED 3	1
	1004	Weerstand* 1/4 watt	220 ohm 8 1000 ohm 1
	1007	Keramische condensator*	100 pF 1
	1308	Reed-relais	1
	1016	Blanke draad	4 m
	1017	Geïsoleerde draad	4 m
	1020	Haarspeldveer	25
	1021	Tonveer	25
	1022	Spiraalveer	60
	1756	Handleiding	1

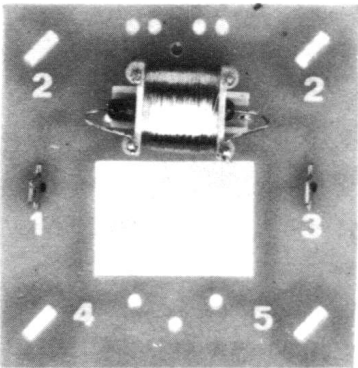
* Deze onderdelen kunnen ook een andere waarde hebben (vergelijk Algemene montagevoorschriften en codetabel).

1. Algemene montagevoorschriften

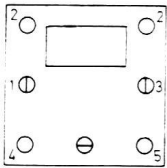
1.6. Het bevestigen van de onderdelen op de montageplaat

Reed-relais (1308)

Het relais is op een klein plaatje vastgesoldeerd. De aansluiting op de stuurstroomkring gebeurt met behulp van spiraalveren aan de contacten 1 en 3. De contacten 4 en 5 dienen voor het aansluiten van de belastingstroomkring. De draden moeten eveneens met spiraalveren worden vastgezet.

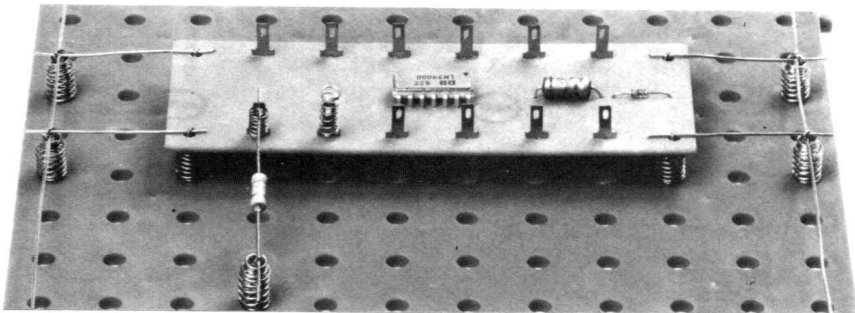


Afb. 2.

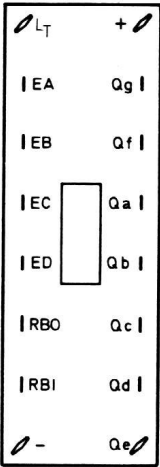


Geïntegreerde schakelingen, IC (1312 - 1316)

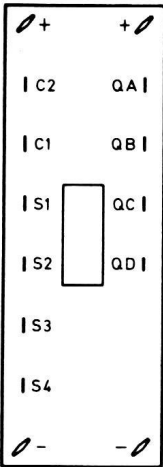
Op de montagetekeningen worden de geïntegreerde schakelingen (op een gekleurd plaatje) weergegeven door onderstaande symbolen. De aansluitpunten zijn gelijk aan die op het plaatje. Op de vier hoeken worden ze met behulp van haarspeld- en tonveren op de montageplaat bevestigd. Alle andere aansluitingen worden gemaakt met behulp van spiraalveren (afb. 11).



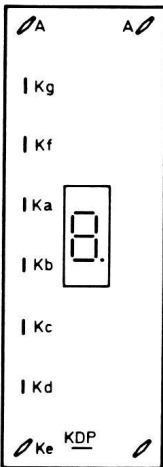
Afb. 11.



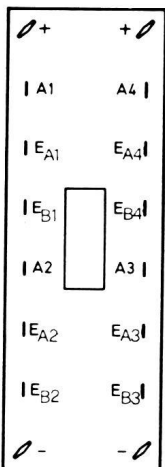
SN 7447
kleur groen



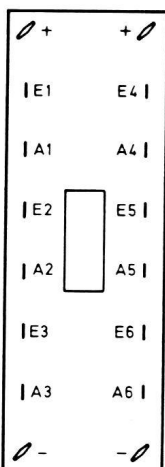
SN 7490
kleur rood



CQY 81
kleur oranje



SN 7402
kleur blauw



SN 7405
kleur wit

2. De grondbeginselen van de moderne bouwelementen

2.4. Verschillende bouwelementen

2.4.1. Reed-relais

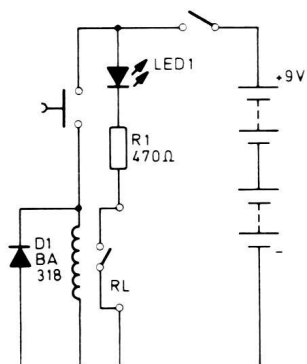
Met een relais kunnen we door middel van een stroomkring andere stroomkringen schakelen. Het voordeel hiervan is dat de stroomkringen gescheiden zijn, wat niet mogelijk is wanneer we alleen gebruik zouden maken van schakeltransistors. Een nadeel van het relais is het mechanische contact dat slijt en vuil wordt. Bij hoge stromen gaat het soms vonken en het verbruikt elektrisch vermogen en tijd om de contacten in beweging te brengen. Bij zeer snelle schakelprocessen is het relais te traag en daardoor onbruikbaar. Ondanks al die nadelen is het relais bij sommige schakelingen onmisbaar.

Het relais uit deze experimenteerdoos is een bijzonder relais dat veel van de hierboven opgesomde nadelen niet heeft.

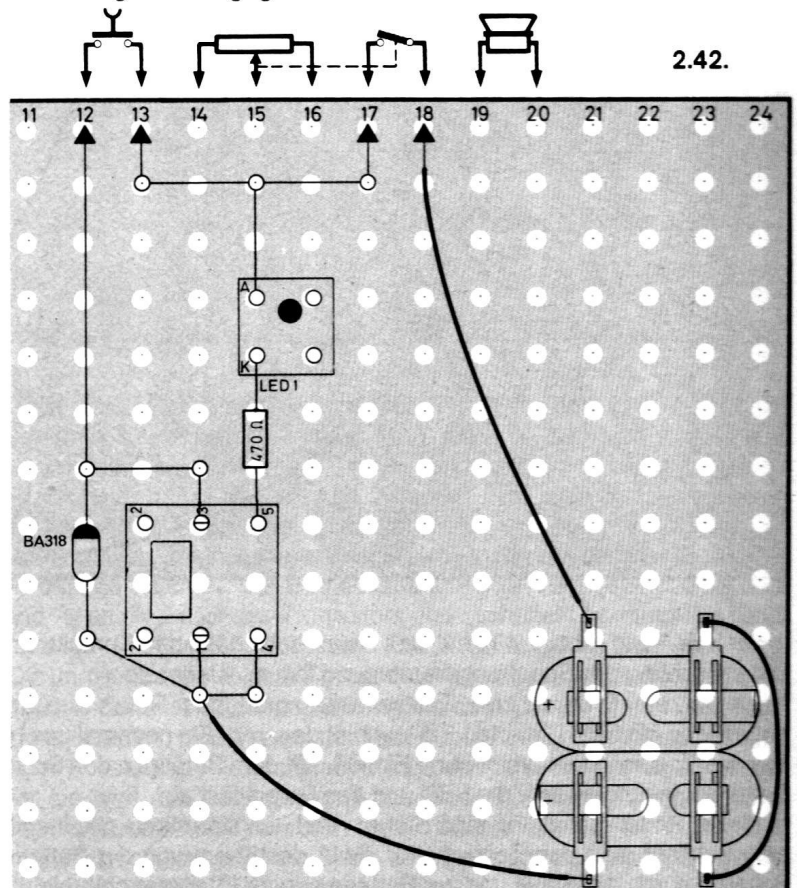
Het bestaat uit een reed-contact, een schakelcontact in een met gas gevuld glazen buisje.

Het **reed-relais** wordt niet vuil, het slijt bijna niet, werkt zeer snel en vonkt veel minder. Het gebruikt bovendien slechts zeer weinig vermogen bij het schakelen (30 mW).

Anderzijds kunnen slechts stromen tot 300 mA worden geschakeld. De spanning in de belastingstroomkring mag in geen geval hoger zijn dan 15 V. We zullen nu twee basisschakelingen met dit relais behandelen. Op afb. 2.42. wordt de eenvoudigste weergegeven.



2.42.

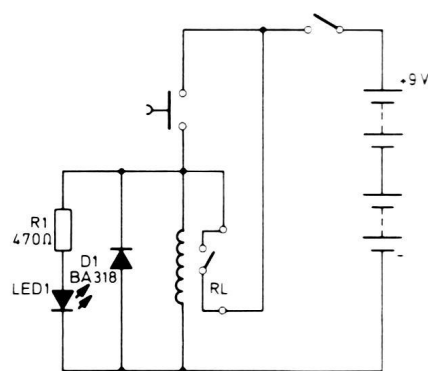
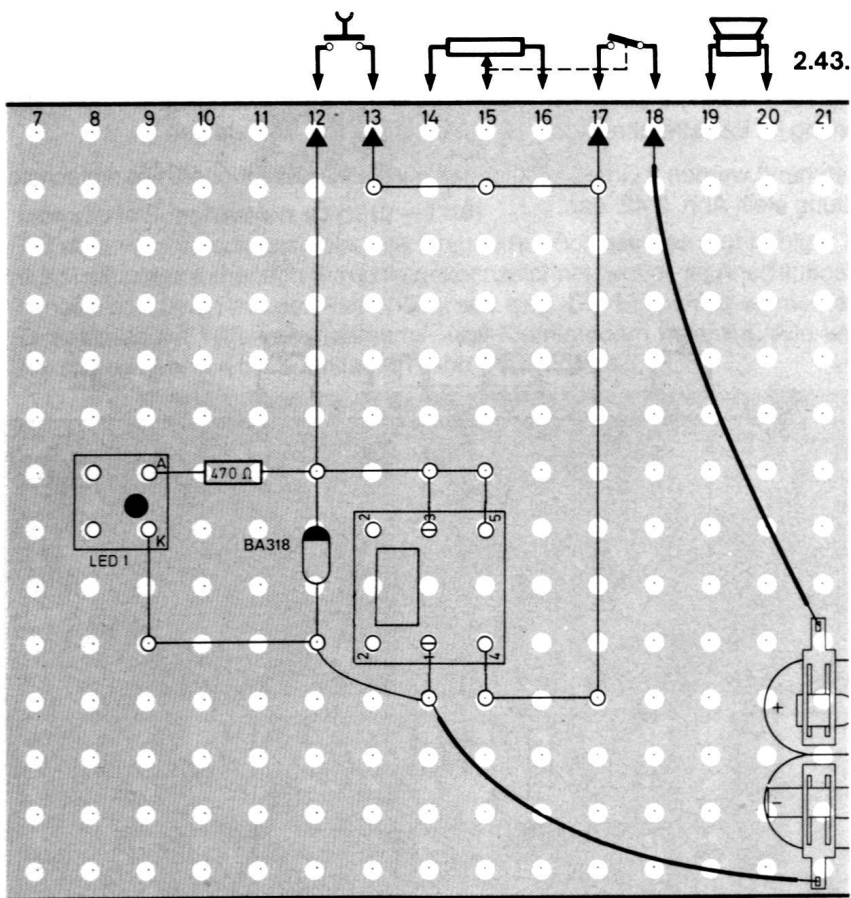


Wanneer we na het inschakelen op de knop drukken schakelt het relais in en de rode LED gaat branden.

De schakeling bestaat uit twee stroomkringen: de **stuurstroomkring** loopt van de minpool van de batterij door de spoel van het relais en vandaar via de drukschakelaar en de aan/uit schakelaar naar de pluspool van de batterij. De **belastingstroomkring** loopt van de minpool van de batterij over de contacten van het relais en R_1 door de LED via de aan/uit schakelaar naar de pluspool van de batterij.

Wanneer we de drukschakelaar sluiten loopt er een stroom door de stuurstroomkring. De spoel van het relais wordt magnetisch en schakelt het relais in. De rode LED brandt. Wanneer we daarna de schakelaar openen schakelt het relais weer uit omdat er geen stroom meer door de spoel loopt. Het magnetische veld van de spoel verdwijnt en hierbij ontstaat een hoge inductiespanningspiek die b.v. transistors kan beschadigen. Dit wordt voorkomen door een diode die parallel aan de spoel in sperrichting is geschakeld.

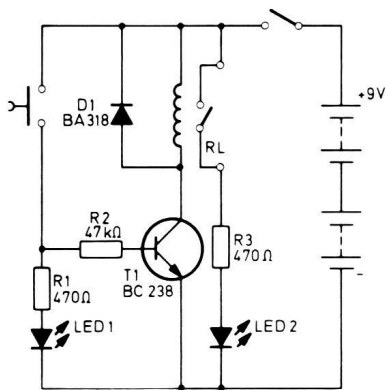
Deze diode is namelijk in doorlaatrichting geschakeld voor de spanningspiek en vormt daarvoor een kleine weerstand, een belastingsweerstand, en daardoor kan de hoge inductiespanning niet ontstaan. Omdat die piek maar van heel korte duur is ondervindt de diode er geen schade van.



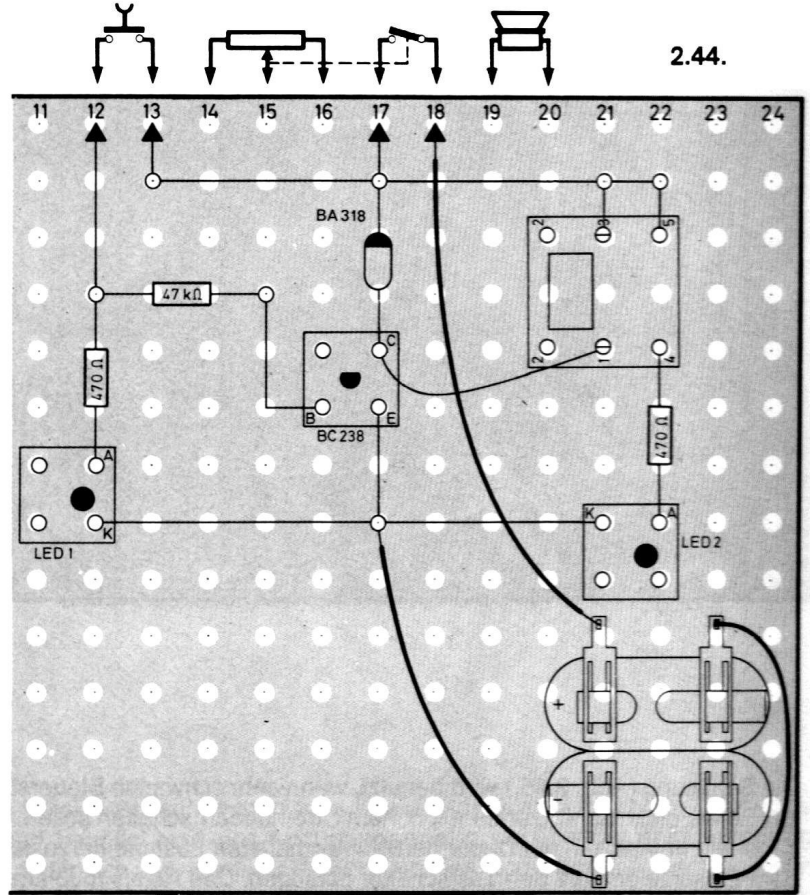
In de schakeling van afb. 2.43. houdt het relais zelf het contact ingeschakeld. Pas wanneer de spanning wordt onderbroken valt het contact weer uit. Wanneer we heel even de schakelaar indrukken moet het relais in werking treden en aangetrokken blijven. De rode LED blijft branden. Als we dan de schakelaar nogmaals indrukken gebeurt er niets. Pas wanneer we de schakelaar in de batterijleiding bedienen gaat de LED uit en het relais wordt uitgeschakeld.

Bij deze relaïsschakeling zijn stuur- en belastingstroomkring met elkaar

gekoppeld. Wanneer we de drukschakelaar sluiten loopt de stroom van de batterij via de schakelaar door de spoel en terug naar de batterij (stuurstroomkring). Parallel aan de spoel van het relais is de rode LED met een stroombegrenzende voorschakelweerstand opgenomen. Wanneer de voedingsspanning over de spoel staat brandt de LED. D₁ voorkomt dat er een hoge inductiespanningspiek ontstaat. De belastingstroomkring loopt van de batterij over de contacten van het relais naar de spoel en weer terug naar de batterij. De spoel blijft dus ook onder spanning staan wanneer de stuurstroomkring wordt onderbroken met de geopende drukschakelaar. De LED blijft branden want die is parallel aan de spoel opgenomen. Het relais houdt zelfstandig het contact ingeschakeld en het wordt pas uitgeschakeld wanneer de stroomkring wordt onderbroken met de aan/uit schakelaar.



2.44.

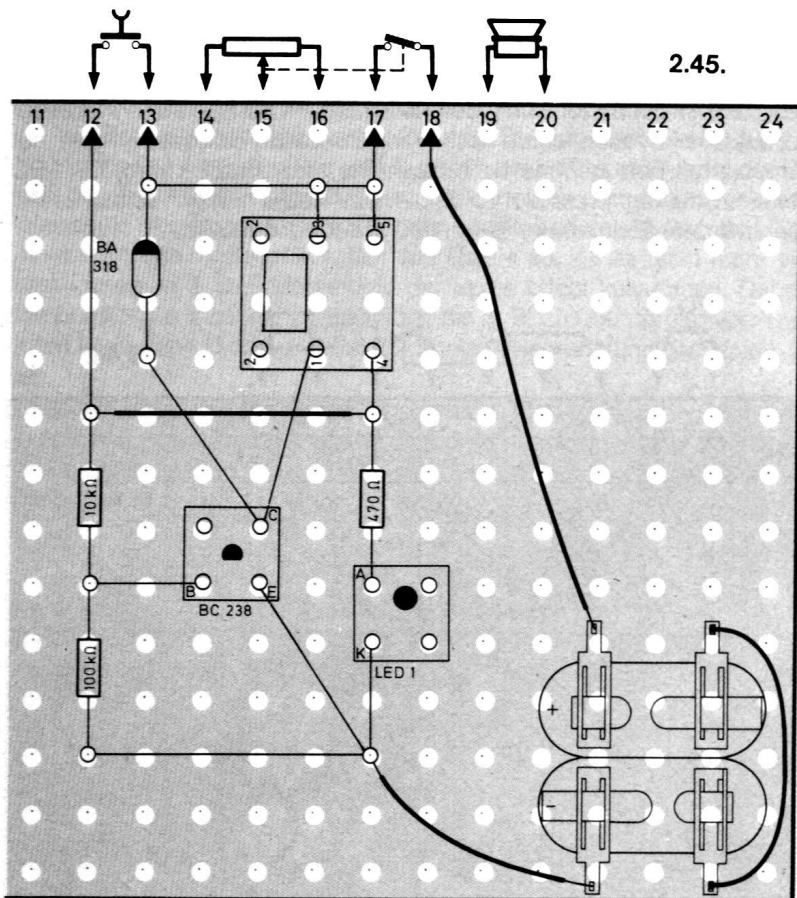


De stroom die nodig is om een relais te laten inschakelen moet in schakelingen vaak worden geleverd door versterkerelementen. Voor dit doel zijn speciale schakeltransistors ontwikkeld. Ook transistor BC 238 kan deze taak vervullen. Op afb. 2.44. wordt zo'n **schakeltrap** weergegeven. Diode D₁ mag bij deze schakeling in geen geval weggelaten worden (verg. schakeling afb. 2.42.).

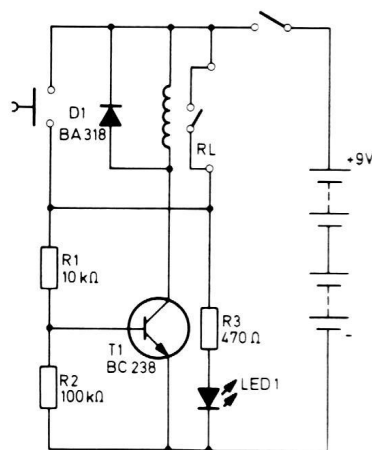
Wanneer de schakelaar wordt ingedrukt sluit de stroomkring zich over R₁ en de rode LED zodat die brandt. De voedingsspanning (9 volt) bereikt via voorschakelweerstand R₂ de basis van de transistor en die „schakelt” door. Er loopt een relatief grote emitter-collectorstroom, maar toch wordt de transistor niet overbelast. De spanning tussen zijn emitter en collector is gering want er vindt een spanningsdeling plaats met de kleine inwendige weerstand van de transistor en de weerstand van de spoel van het relais. Het vermogensverlies blijft klein. De collectorstroom loopt door de spoel van het relais en de contacten worden ingeschakeld. Door deze contacten wordt de belas-

tingstroomkring gesloten waar vaak grotere stromen doorheen lopen dan door een transistor.

Wanneer we de drukschakelaar openen wordt de basis van de transistor stroomloos. De transistor gaat „dicht” en als gevolg daarvan wordt het relais uitgeschakeld en de twee LED's gaan uit.



2.45.

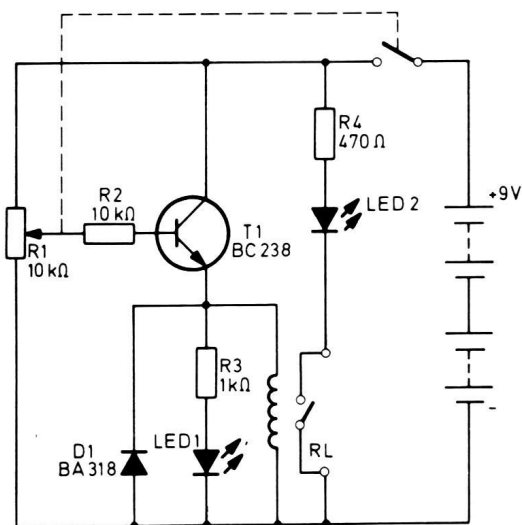


2.45.

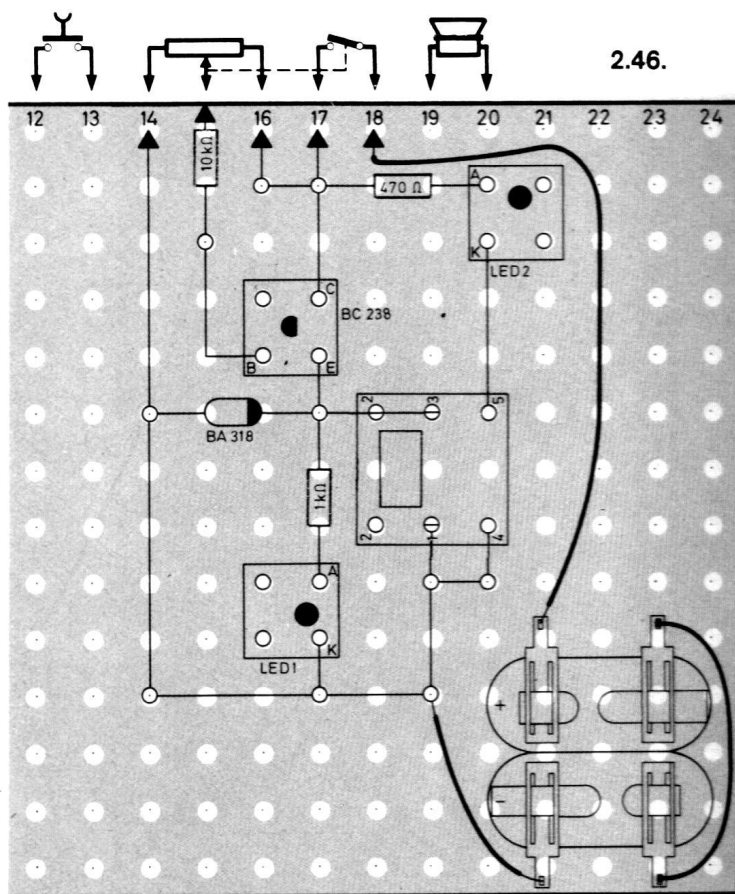
De schakeling van afb. 2.45. wordt gebruikt wanneer zeer zwakke stuurstromen door middel van een relais elektrische toestellen met een hoog stroomverbruik moeten schakelen. Eén impuls is voldoende om het relais gedurende lange tijd in te schakelen. Na het inschakelen heel even de drukschakelaar bedienen. Het relais moet aantrekken en de rode LED moet gaan branden. Dit blijft zo totdat de stroomkring weer wordt onderbroken met de aan/uit schakelaar.

Wanneer we na het inschakelen de drukschakelaar bedienen krijgt transistor T_1 via spanningsdeler R_1/R_2 een basisspanning en hij schakelt in. De collectorstroom van deze transistor loopt door de spoel van het relais en het relais trekt aan. De belastingstroomkring loopt van de batterij via de schakelaar, de contacten van het relais en voorschakelweerstand R_3 naar de LED. Van daaruit sluit zich de kring naar de batterij.

Gelijktijdig bereikt de voedingsspanning over de gesloten relaiscontacten de basisspanningsdeler R_1/R_2 . De transistor blijft ingeschakeld, ook wanneer de drukschakelaar weer geopend is. De uitgangstoestand kan alleen worden teruggebracht door het uitschakelen met de aan/uit schakelaar. Bij het uitschakelen voorkomt diode D_1 , parallel aan de spoel van het relais, dat er een inductiespanningspiek ontstaat.



2.46.

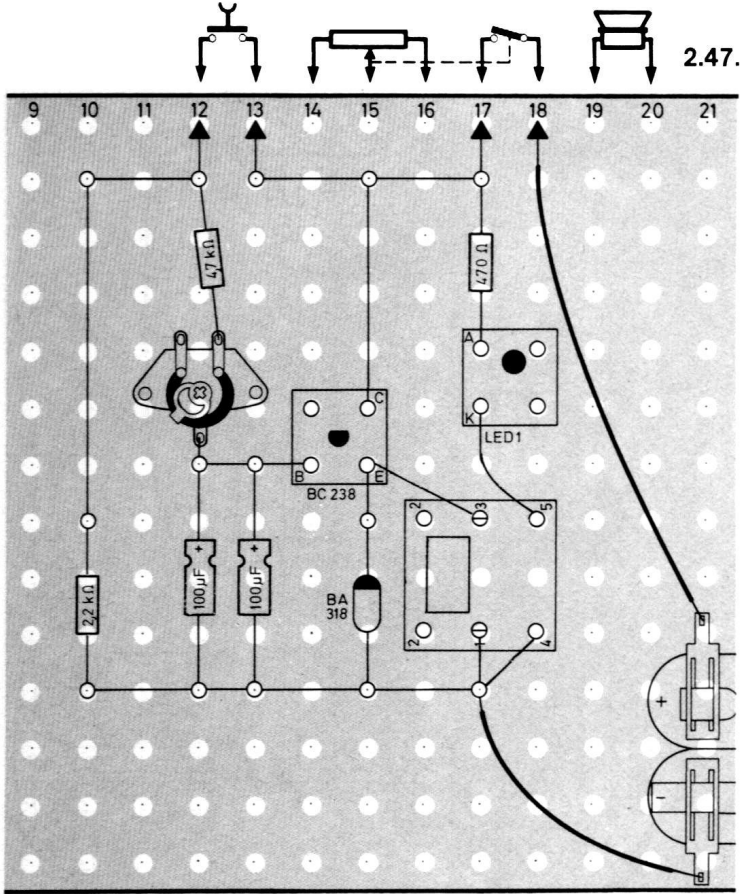


2.46.

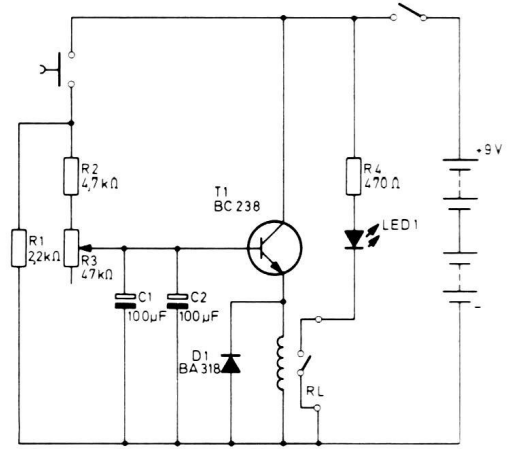
Een relais heeft mechanische contacten en om de traagheid daarvan te overwinnen hebben we een **aantrekspanning** nodig die hoger is dan de **houdspanning**. Wanneer namelijk de contacten ingeschakeld worden en dan in gesloten toestand weer in de ruststand staan is er slechts weinig vermogen nodig om ze vast te houden. In de hierna volgende schakeling (afb. 2.46.) zullen we dit eens onderzoeken. Wanneer we met behulp van de potentiometer de spanning langzaam opvoeren door de knop rechtsom te draaien moet het relais op een gegeven moment in werking treden en de groene LED gaan branden. De rode LED brandt aanvankelijk heel flauw, maar de lichtsterkte neemt toe naarmate de spanning stijgt.

De spoel van het relais is in de emitterkring van de transistor opgenomen. Parallel daaraan is de rode LED met zijn voorschakelweerstand R₃ gemonteerd. D₁ voorkomt het ontstaan van een inductiespanningspiek bij het uitschakelen. Wanneer we met potentiometer R₁ de basisspanning verhogen loopt er na het overschrijden van de sperspanning een stroom door de transistor. De spanning op de emitter is afhankelijk van de basisvoorspanning. Dit is te zien aan de lichtsterkte van de rode LED. Bij een bepaalde basisspanning is de emitterspanning zó groot dat het relais inschakelt. De groene LED in de belastingstroomkring brandt.

Verlagen we nu de spanning op de basis van T₁ door de knop van de potentiometer linksom te draaien dan wordt het relais niet meteen uitgeschakeld. Aan de rode LED kunnen we zien dat de emitterspanning afneemt. De groene LED blijft naar verhouding nog tamelijk lang branden waaruit blijkt dat de contacten van het relais gesloten zijn. Pas wanneer de basisvoorspanning ca 1 volt lager is dan bij het aantrekken van het relais wordt het uitgeschakeld. De groene LED gaat uit.



2.47.

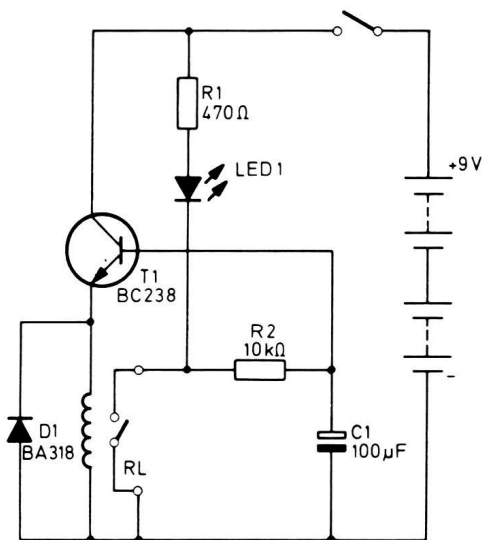


2.47.

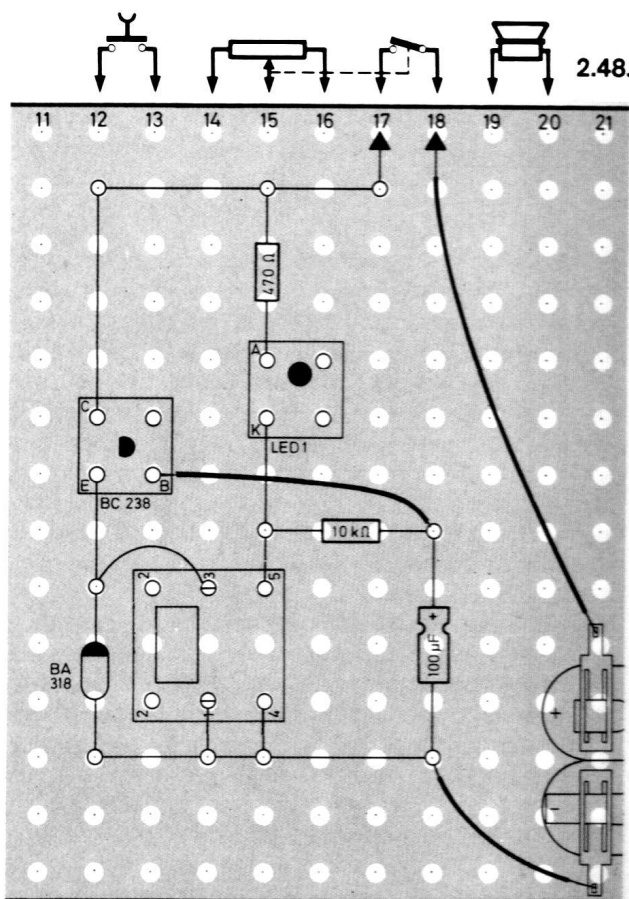
Soms kan het nodig zijn dat een relais vertraagd inschakelt wanneer de stuurstroomkring gesloten wordt. Ook het omgekeerde kan het geval zijn: een relais moet nog enkele seconden na het uitschakelen van de stuurstroomkring aangetrokken blijven. Deze functie wordt vaak gebruikt in de telefoontechniek (afb. 2.47.).

Na het inschakelen houden we de drukschakelaar een tijdje ingedrukt. Na hooguit 10 seconden moet het relais aantrekken en de rode LED moet gaan branden. De tijd kan worden ingesteld met potentiometer R_3 . Wanneer we vervolgens de drukschakelaar loslaten moet de rode LED nog een paar seconden blijven branden. Bedienen we na het uitschakelen van het relais weer de drukschakelaar dan trekt het relais pas met enige vertraging weer aan.

Aantrek- en uitschakeltijden van het relais worden bepaald door de tijdsbepalende onderdelen $R_1/R_2/R_3$ en C_1/C_2 . Wanneer we de drukschakelaar sluiten laden C_1 en C_2 zich op via R_2 en R_3 . Pas wanneer de laadspanning van de condensatoren zó hoog geworden is dat de basisspanning van T_1 een collectorstroom van voldoende sterkte bewerkstelligt schakelt het relais in en brandt de rode LED. Na het openen van de drukschakelaar ontladen C_1 en C_2 zich over R_3 , R_2 en R_1 . Wanneer de spanning over de beide condensatoren daalt onder de waarde van de basisvoorspanning, die nodig is voor het opwekken van de noodzakelijke houdstroom voor het relais, wordt het relais uitgeschakeld. De vertragingstijd kan met R_3 worden geregeld.



2.48.



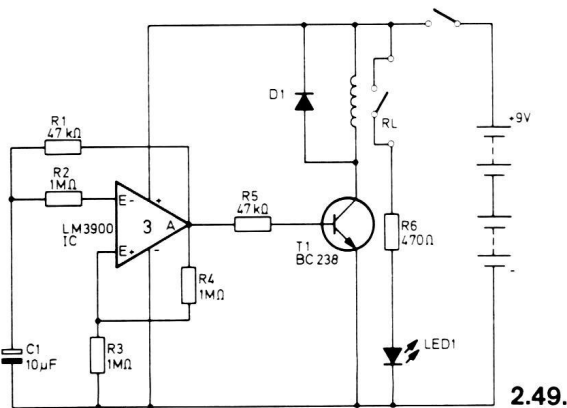
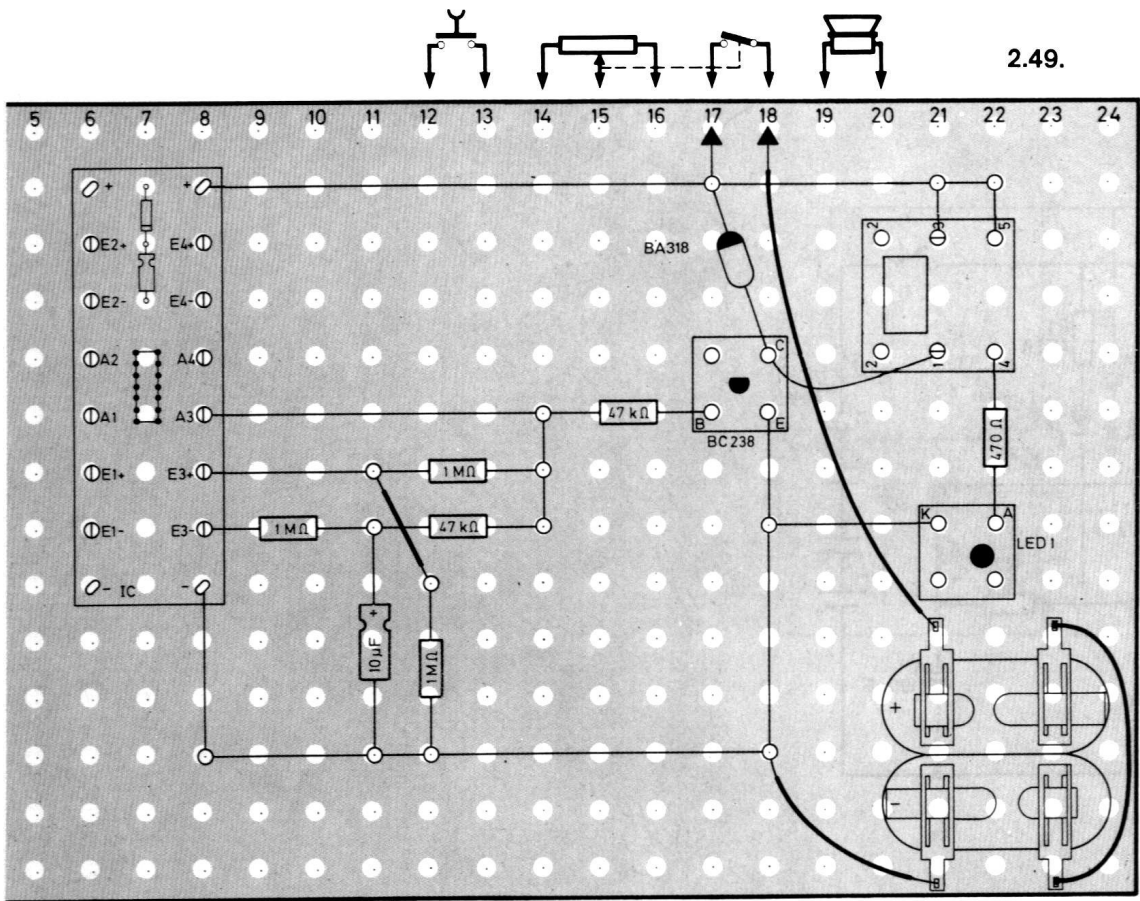
2.48.

Voor elektronische knipperlichtschakelingen zijn altijd minstens twee actieve elementen (transistors) nodig, soms zelfs nog een derde transistor voor het schakelen van grotere stromen. Een relais met een transistor kan dezelfde taak vervullen.

De relais-knipperlichtschakeling van afb. 2.48. maakt gebruik van het verschil tussen aantrek- en houdspanning van een relais. Na het inschakelen laadt C₁ zich op via R₁, de rode LED en R₂. De laadspanning over C₁ staat ook op de basis van T₁. Wanneer die spanning zó hoog geworden is dat de transistor schakelt gaat er een stroom door de spoel van het relais lopen tot de waarde is bereikt waarbij het relais aantrekt. Het contact sluit kort tegen massa. De rode LED brandt. Gelijktijdig ontladend zich C₁ over R₂. De spanning op de basis daalt en op een gegeven moment wordt het punt bereikt waarop de emitterstroom van de transistor te gering is om het relais ingeschakeld te kunnen houden. Het relais schakelt uit en de rode LED gaat uit. Het laadproces van C₁ via R₁ en de LED herhaalt zich tot het relais weer aantrekt. De tijdsduur wordt bepaald door C₁ en R₂.

Het knipperlicht met relais (afb. 2.49.) is een voorbeeld hoe het IC door middel van een transistor-scheidingstrap kan worden verbonden met een relais. In deze schakeling wordt het IC niet belast (R₅ hoogohmig) en het kan daarom ook niet stuk gaan.

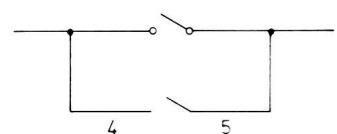
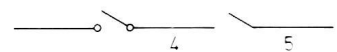
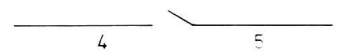
De schakeling bestaat uit twee delen: een operationele versterker is als astabiele multivibrator geschakeld. R₁/C₁/R₂ bepalen het tempo. De multivibrator wordt gevolgd door een transistor-schakeltrap met een relais. Wanneer er op de uitgang van OP 3 een 1-sigitaal staat schakelt deze via R₅ de transistor in. Het relais trekt aan. In de belastingstroomkring van het relais bevindt zich de rode LED met voorschakelweerstand R₆. Zolang het relaiscontact gesloten is brandt de LED. Wanneer de uitgang van multivibrator OP 3 op 0 springt, spt de transistor en wordt het relais uitgeschakeld. Op de maat van de schakelimpulsen schakelt het relais in en uit. De LED knippert.



Het relais dat bij de vorige schakelingen en bij enkele van de hierna volgende toestellen wordt behandeld bedient steeds één lichtgevende diode die dienst doet als verknikker. Wanneer we externe toestellen willen bedienen moeten de contacten van de belastingstroomkring worden losgemaakt en vervolgens worden verbonden met dat toestel. Bij alle toestellen uit de EE-serie kunnen de functies van de verschillende aan/uit schakelaars vervangen worden door een relais. Afhankelijk van de functie is het mogelijk de schakelaar te vervangen (afb. 2.50.) door het relais in serie (afb. 2.51.) of parallel te schakelen (afb. 2.52.).

Natuurlijk is het ook mogelijk om toestellen die werken op batterijen, zoals b.v. draagbare radio's, cassette-recorders, platenspelers e.d. met een relais in en uit te schakelen.

De spanning die geschakeld moet worden mag in geen geval hoger zijn dan 15 V en de stroom mag niet meer bedragen dan 300 mA.



3. Elektronische basisschakelingen

3.9. Digitale techniek

Speelde vroeger de digitale techniek alleen een rol van betekenis op het terrein van wetenschap en techniek, nu gaat zij ook een steeds grotere plaats in het dagelijks leven van de niet-technicus innemen. Men denke slechts aan elektronische zakrekenmachines en aan het digitale horloge die in grote aantallen op de markt zijn verschenen. Het zwaartepunt ligt echter op het gebied van meet- en regeltechniek en de dataverwerking, al zijn die voor de leek minder bekend. Het begrip digitale techniek is afgeleid van het Latijnse woord *digitus* dat we kunnen vertalen met „vinger” (waarmee we tellen) of „in cijfers”. Het kenmerkende van de digitale techniek kan gemakkelijker worden uitgelegd als we haar vergelijken met de **analoge techniek**.

In een kwikthermometer b.v. stijgt of daalt de kwikkolom afhankelijk van de temperatuurvariatie; we zeggen dan dat de kwikkolom analoog is aan de temperatuur. De wijzer van een spanningsmeter slaat uit analoog aan de gemeten spanning. De snelheidsmeter van een auto geeft zowel analoog als digitaal aan: de wijzer slaat uit analoog aan de snelheid waarmee gereden wordt. Tegelijkertijd wordt de afgelegde afstand digitaal weergegeven. Kortom: elk instrument dat een meetresultaat weergeeft door middel van een wijzer is een analoog meetinstrument. Wanneer een resultaat direct in cijfers wordt weergegeven spreken we van een digitaal instrument. We spreken niet alleen van een digitaal instrument wanneer het resultaat wordt weergegeven in cijfers maar óók wanneer dit gebeurt in de vorm van elektrische signalen die echter alleen mogen optreden in nauwkeurig gedefinieerde toestanden. We zullen hier nog nader op ingaan.

De digitale weergave van meetresultaten heeft voordelen, maar ook nadelen in vergelijking met analoge systemen. Een groot voordeel is dat digitale weergave vanuit elke gezichtshoek en zonder kans op vergissingen kan worden afgelezen, ook van enige afstand. Op analoge apparaten kunnen de waarden tussen de twee streepjes op de schaal slechts worden geschat, bij digitale apparatuur kunnen zulke waarden nauwkeurig worden aangegeven. Een nadeel is dat b.v. op een digitaal horloge niet in één oogopslag kan worden afgelezen hoeveel tijd er nog rest tot een bepaald tijdstip. Dit moet eerst worden uitgerekend, dit in tegenstelling tot een normaal horloge met wijzers. Om die reden wordt er in de bedieningspanelen van industriële installaties hoofdzakelijk gebruik gemaakt van wijzerinstrumenten omdat men daarop eerder kan zien wanneer een bepaalde kritieke waarde zal worden bereikt die gevaar kan opleveren.

Een belangrijk voordeel van de digitale techniek is dat digitale signalen – in tegenstelling tot analoge – over grote afstanden zonder fouten kunnen worden uitgezonden. Nóg belangrijker is dat deze signalen kunnen worden opgeslagen tot we ze weer nodig hebben. Op dit principe berust de dataverwerkingstechniek, beter bekend als computertechniek. We hebben al eerder gezegd dat bij de digitale techniek elektrische signalen in nauwkeurig gedefinieerde toestanden moeten optreden. De eenvoudigste vorm is het herleiden van alle signalen tot de toestanden „spanning” resp. „geen spanning”.

Als afkorting van „spanning” – gemeten ten opzichte van het 0-potentiaal (0) – gebruiken we de letter **H**, afgeleid van het Engelse woord *high* (hoog), en voor „geen spanning” gebruiken we de afkorting **L**, afgeleid van het Engelse woord *low* (laag).

De elektrische toestanden H en L zijn voldoende om in de digitaaltechniek alle processen te verwerken en weer te geven. Het enige probleem is om met deze tekens zodanig te kunnen werken dat we ze begrijpen en omgekeerd moeten we een mogelijkheid vinden opgeven met behulp van deze tekens zo om te vormen dat de digitale schakeling er juist op reageert.

De sleutel hiertoe is gelegen in een cijferstelsel dat – in tegenstelling tot het bekende decimale stelsel met de cijfers 0 - 9 – slechts bestaat uit twee cijfers, namelijk 0 en 1. Dit stelsel noemen we daarom **binaire stelsel**. De getallen 0 en 1 van het binaire stelsel komen overeen met de decimale getallen 0 en 1.

Binaire stelsel	Decimaal stelsel
0	0
1	1

In het decimale stelsel hebben we tot en met het getal 9 genoeg aan één cijfer. Daarna moet er een tweede bij; het getal 10 is dus het eerste getal dat uit twee cijfers bestaat. In het binaire stelsel schrijven we het getal twee al met twee cijfers:

Binaire stelsel	Decimaal stelsel
0	0
1	1
10	2
11	3
100	4
101	5
110	6
111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15
10000	16

Het binaire getal 10 wordt uitgesproken als „een-nul” en het binaire getal 11 als „een-een”.

3.9.1. Omzetting van binaire in decimale getallen

Voor het binaire getal dat overeenkomt met het decimale cijfer 4 hebben we al drie cijfers nodig: 100 („een-nul-nul”). In tegenstelling tot het decimale stelsel dat is gebaseerd op 10 („tien”) is het binaire stelsel gebaseerd op 2 („twee”). Elk cijfer is dus een macht van 2:

binaire	2 ⁰	2 ¹	2 ²	2 ³	2 ⁴	2 ⁵	2 ⁶	2 ⁷
decimaal	1	2	4	8	16	32	64	128

Met behulp van een tweede machts tabel kunnen decimale getallen makkelijk worden omgerekend in binaire getallen en omgekeerd.

We moeten het binaire getal 110 („een-een-nul”) omrekenen in een decimaal getal.

2^3	2^2	2^1	2^0
8	4	2	1

$$\begin{array}{rcl}
 1 & 1 & 0 \\
 \hline
 1 \cdot 2^2 & = 1 \cdot 2 \cdot 2 & = 4 \\
 1 \cdot 2^1 & = 1 \cdot 2 & = 2 \\
 0 \cdot 2^0 & = 0 \cdot 1 & = 0 \\
 \hline
 & & 6
 \end{array}$$

Het binaire getal 110 („een-een-nul”) komt dus overeen met het decimale cijfer 6.

Nog een voorbeeld: binair 1101001 moet worden omgerekend in een decimaal getal.

2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
64	32	16	8	4	2	1

105

64
32
0
8
0
0
1

1 0 1 0 0 1

Binair 1101001 komt dus overeen met het decimale getal 105.

3.9.2. Omzetting van decimale in binaire getallen

Hier volgt een voorbeeld van de omzetting van het decimale getal 77 naar het binaire stelsel.

gegeven getal	restgetal	tweede macht	bevat	rest
77		$2^6 = 64$	1	13
	13	$2^5 = 32$	0	13
	13	$2^4 = 16$	0	13
	13	$2^3 = 8$	1	5
	5	$2^2 = 4$	1	1
	1	$2^1 = 2$	0	1
	1	$2^0 = 1$	1	—
			1001101	

We zoeken eerst de grootst mogelijke tweede macht die binnen dit getal voorkomt. in dit geval $2^6 = 64$. Als we dit van het gegeven getal aftrekken schrijven we binair 1. Dan kijken we of we van de rest de daaropvolgende tweede macht, dus $2^5 = 32$ kunnen aftrekken. Zo gaan we door tot $2^0 = 1$. Op overeenkomstige wijze kunnen alle decimale getallen worden omgerekend in binaire getallen.

3.9.3. Het optellen van binaire getallen

Met binaire getallen kunnen dezelfde rekenprocessen worden uitgevoerd als met decimale getallen, met dit verschil dat we bij het decimale stelsel de beschikking hebben over 10 cijfers (0-9) en bij het binaire stelsel slechts over twee (0 en 1).

We zullen nu aan de hand van een optelling en een aftrekking duidelijk maken hoe met binaire getallen gerekend kan worden. Wanneer we in het decimale stelsel twee of meer getallen bij elkaar optellen wordt er een getal getransporteerd (restgetal) naar het volgende decimale cijfer als de som het getal 9 overschrijdt. Het restgetal wordt bij het volgende decimale cijfer opgeteld:

Eerste op te tellen getal	243
+ Tweede op te tellen getal	178
<hr/>	
Restgetal	11
<hr/>	
Som	421

Bij een optelling van binaire getallen gaan we net zo te werk. Er moet echter al getransporteerd worden wanneer de som der binaire getallen het getal 1 overschrijdt. We krijgen dus:

	Som	Restgetal
0 + 0 =	0	0
0 + 1 =	1	0
1 + 0 =	1	0
1 + 1 =	0	1

Voorbeeld:	Eerste op te tellen getal	1110	(14)
	+ Tweede op te tellen getal	0101	(5)
<hr/>			
	Restgetal	11	
<hr/>			
	Som	10011	(19)

3.9.4. Het aftrekken van binaire getallen

We beginnen met een voorbeeld uit het decimale stelsel. Om het verschil tussen twee getallen te kunnen berekenen moeten we ze van elkaar aftrekken. Wanneer de aftrekker groter is dan het aftrektal „lenen” we bij een hoger getal. Dit geleende getal wordt op die plaats afgetrokken.

Aftrektal	1 ⁽¹⁾ 2 ⁽¹⁾ 6
– Aftrekker	8 9
<hr/>	
Restgetal	1 1
<hr/>	
Verschil	3 7

Bij een aftrekking in het binaire stelsel gaan we net zo te werk. We krijgen dus:

Verschil		Restgetal
0 – 0 =	0	0
1 – 0 =	1	0
1 – 1 =	0	0
0 – 1 =	1	1

Aftrektal	1 ⁽¹⁾ 0 ⁽¹⁾ 0 1 1	(19)
– Aftrekker	1 1 1 0	(14)
<hr/>		
Restgetal	1 1	
<hr/>		
Verschil	1 0 1	(5)

Een door een computer bestuurd rekenmachine verwerkt alle optellingen en aftrekkingen in het binaire stelsel. Dit is mogelijk omdat elektrische schakelingen ongelooflijk snel werken. We hebben al gezegd dat in de digitale techniek nauwkeurig gedefinieerde signalen in een schakeling kunnen worden opgeslagen of uit een schakeling kunnen worden opgeroepen. Zo'n mogelijkheid heeft het binaire stelsel: het cijfer 0 van dit systeem komt overeen met de toestand „geen spanning”, het cijfer 1 betekent „spanning”. We gebruiken echter niet de binaire cijfers 0 en 1, maar vervangen de 0 door L (low) en de 1 door H (high).

3.10. Basisverbindingen

Digitale schakelingen bestaan uit vele eenvoudige schakeltrappen die uitsluitend werken met de twee schakeltoestanden „IN” (spanning) en „UIT” (geen spanning). Deze elektrische toestanden kunnen worden uitgedrukt met de binaire cijfers 0 en 1. Het binaire cijfer 1 valt onder het spanningsgebied dat het dichtst bij + ligt en het binaire cijfer 0 valt onder het spanningsgebied dat dichtst bij 0 ligt.

Omdat de binaire cijfers 0 en 1 een absolute waarde vormen en de binaire elektrische grootheden een spanningspeil omvatten gebruiken we bij digitale geïntegreerde schakelingen de tekens H en L. Het teken H omvat het spanningsgebied dat dichtst bij + ligt en het teken L ligt dichtst bij 0 volt. Hieruit volgt:

Spanning – binaire cijfer 1-elektrische grootte H
Geen spanning – binaire cijfer 0-elektrische grootte L

Om mogelijk te maken dat schakelingen beslissingen kunnen nemen nemen twee of meer ingangssignalen logisch met elkaar verbonden. Hierbij zijn alle logische beslissingen met de drie basisverbindingen EN, OF en NIET realiseerbaar.

Aan de hand van een voorbeeld van een centrale verwarmingsinstallatie op aardgas kunnen we het logische verband van een EN-verbinding vaststellen: De verwarmingsinstallatie is voorzien van een kamerthermostaat en bovendien van een veiligheidsvoeler voor de waakvlam van de gasbrander. Wanneer de thermostaat is afgesteld op 20° kan het gasventiel alleen worden geopend wanneer de thermostaat een temperatuur van minder dan 20° aangeeft en de veiligheidsvoeler aangeeft dat de waakvlam brandt.

Het elektronische systeem van de EN-verbinding krijgt aan de beide ingangen, die worden aangegeven met de letters E_A en E_B, een signaal. De beslissing aan uitgang A van de schakeltrap moet worden genomen aan de hand van de ingangsinformatie. De elektrische toestand van uitgang A is dus afhankelijk van de ingangsvariabelen op E_A en E_B.

Het verband tussen ingangsinformatie en uitgangsbepaling kan worden weergegeven in een functietabel. Voor de EN-verbinding geldt:

	Ingangen		Uitgang A
	E _A	E _B	
1.	L	L	L
2.	L	H	L
3.	H	L	L
4.	H	H	H

Dat wil zeggen: aan de uitgang van de EN-verbinding staat alléén een H-signaal wanneer er aan de beide ingangen eveneens een H-signaal staat. De functietabel omvat alle combinatiemogelijkheden en de daaruit voortvloeiende beslissingen voor de elektronische schakeltrap:

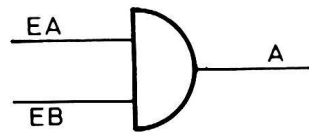
Geval 1: aan beide ingangen staat een L-signaal. De kamertemperatuur is hoog genoeg (L), bovendien brandt de waakvlam niet (L). Beslissing: gasventiel niet openen (L).

Geval 2: de thermostaat geeft aan: geen warmtebehoefte (L). Hoewel de waakvlam brandt (H) is er maar één beslissing mogelijk: gasventiel niet openen (L).

Geval 3: de thermostaat geeft aan dat er behoefte aan warmte bestaat (H), de veiligheidsvoeler geeft echter aan dat de waakvlam niet brandt (L). Beslissing: gasventiel niet openen (L).

Geval 4: de thermostaat (ingang E_A) meldt dat er behoefte aan warmte bestaat (H), de veiligheidsvoeler (ingang E_B) meldt dat de waakvlam brandt (H). Hieruit volgt de beslissing (uitgang A): gasventiel openen (H).

Het verband kan wiskundig worden geformuleerd in de vergelijking $A = E_A \wedge E_B$. Het teken \wedge wordt gelezen als EN. Soms zien we ook wel $A = E_A \cdot E_B$. Deze logische verbinding noemen we **EN-functie (AND)** en ze wordt in elektronische schakelingen weergegeven door onderstaand schakelsymbool:



In tegenstelling tot de EN-verbinding staat er aan uitgang A van een OF-functie (OR) een H-signaal wanneer minstens één ingang een H-signaal krijgt. De logische samenhang van een OF-functie kunnen we verduidelijken aan de hand van het voorbeeld van een schakeling om deuren te openen in een meergezinswoning.

In elke woning bevindt zich een knop waarmee het slot van de voordeur kan worden geopend.

Wanneer knop A (woning op begane grond) wordt ingedrukt gaat de huisdeur open, hetzelfde gebeurt wanneer knop B (woning op eerste verdieping) wordt ingedrukt.

De deur gaat dus open wanneer knop A **of** B wordt ingedrukt. Ook wanneer beide knoppen tegelijk worden ingedrukt gaat de deur natuurlijk open.

Het verband tussen uitgangstoestand A (ontsluiten) en de ingangstoestanden E_A en E_B kan weer worden weergegeven in een functietabel:

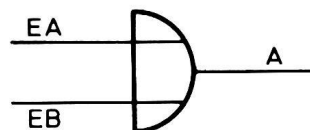
Ingangen		Uitgang A
E_A	E_B	
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

De wiskundige formule van de **OF-functie** is:

$A = E_A \vee E_B$. Het teken \vee betekent OF. Eveneens geldt:

$A = E_A + E_B$.

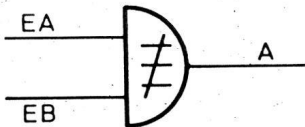
In elektronische schakelschema's wordt de OF-schakeling weergegeven door onderstaand symbool:



In veel gevallen wordt van een OF-functie vereist dat er aan de uitgang een positief resultaat (H) verschijnt wanneer er aan één van de ingangen een H-signaal staat, maar niet aan alle.
 Wanneer we een vakantiereis boeken en we hebben de keus tussen een trein- of een vliegreis moeten we óf het een óf het ander kiezen. Deze logische verbinding noemen we dientengevolge **exclusieve OF-functie** (antivalent). In tegenstelling tot de eenvoudige OF-functie is uitgang A **niet** H wanneer beide ingangen H zijn. In de functietabel voor exclusieve OF zijn de voorwaarden voor de uitgangssignalen samengebracht:

Ingangen		Uitgang A
E_A	E_B	
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

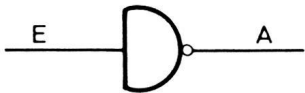
Deze bijzonderheid kan ook worden uitgedrukt in een wiskundige formule:
 $A = E_A \oplus E_B$ (oftewel: A is gelijk aan E_A , antivalent aan E_B)



Voor het realiseren van andere basisverbindingen dient de NIET-schakeling, ook wel negatie of invertering genoemd. Dit is een schakeling waarvan het ingangssignaal omgekeerd aan de uitgang verschijnt.

Ingang E	Uitgang A
H	L
L	H

De uitgang is L wanneer de ingang H is en omgekeerd.
 $A = \bar{E}_A$ (oftewel: A is gelijk aan Niet E_A)
 Het streepje boven E_A is de wiskundige vorm van NIET.

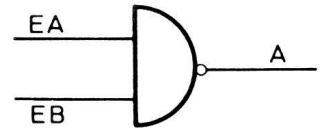
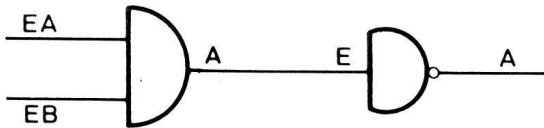


Uit de combinatie van een NIET-schakeling met een EN-functie ontstaat een nieuwe basisverbinding: de logische **NAND**. Dit is een afkorting van het Engelse „negated and” hetgeen betekent „genegeerd en”. Een NAND-functie is dus een EN-functie met een genegeerde uitgang.

De functietabel verduidelijkt de negatie van de uitgang tegenover de ingangen:

Ingangen		Uitgang
E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

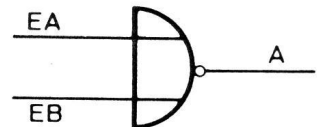
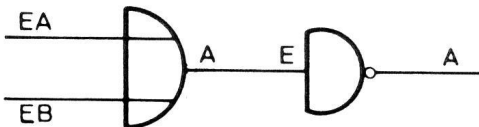
Deze schakeling kan ook worden weergegeven door de vergelijking $A = \overline{E_A \wedge E_B}$ (oftewel: A is gelijk aan NIET E_A en E_B). Dat betekent dat uitgang A alleen H is wanneer óf ingang E_A en/óf ingang E_B **niet** H is. Het schakelsymbool van de NAND-schakeling bestaat uit een combinatie van het EN- met het NIET-symbool.



De basisverbinding NOR bestaat uit een combinatie van een NIET-schakeling met de OF-functie. Het woord NOR is afgeleid van het Engelse „negated or”. Een NOR-functie is dus een OF-functie met genegeerde uitgang. Functie-tabel:

Ingangen		Uitgang
E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

De wiskundige formule $A = \overline{E_A \vee E_B}$ verduidelijkt dat de uitgang altijd L is wanneer één of alle ingangen H zijn.



Ten slotte willen we dan nog wijzen op de **identiteitsschakeling**. Onder bepaalde voorwaarden is het nodig om een signaal, meestal versterkt maar wat polariteit betreft onveranderd, verder te geleiden. Dit betekent dat het uitgangssignaal overeenkomt met het ingangssignaal.

Wiskundige formule: $A = E$

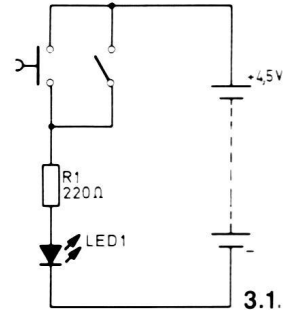
Schemasymbool:



Ingang	Uitgang
E	A
L	L
H	H

3.10.1. Bouwstenen voor basisverbindingen

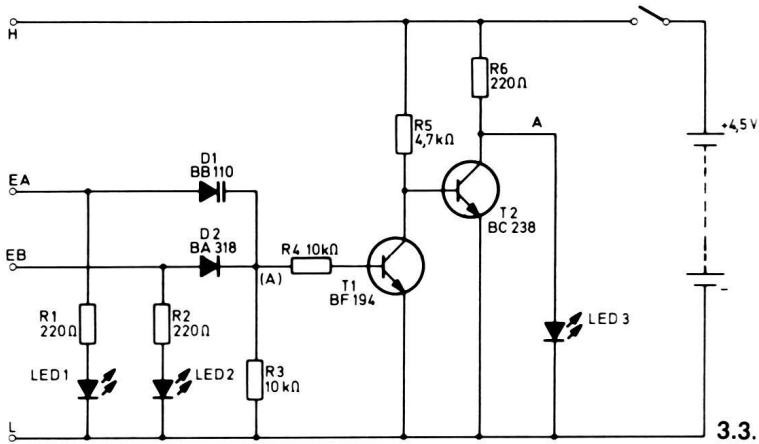
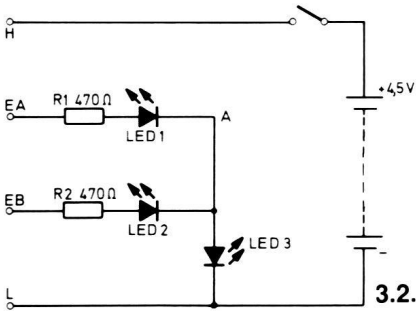
Logische verbindingen kunnen schakeltechnisch op verschillende manieren worden verwezenlijkt. We onderscheiden hele schakelkring-families. In dit hoofdstuk behandelen we de eenvoudige logische schakelingen met schakelaars of relais, de passieve diodenschakelingen (dioden-logica), de dioden-transistor-logica (DTL) en de transistor-transistor-logica (TTL). De OF-functie kan b.v. op verschillende manieren worden uitgevoerd:
De schakeling van afb. 3.1. is een voorbeeld van een eenvoudige logische schakeling met schakelaars. In een stroomkring zijn twee parallel geschakelde schakelaars in serie met een LED opgenomen. Deze brandt wanneer S₁ **of** S₂ **of** beide gesloten zijn.



Afbeelding 3.2. is een voorbeeld van dioden-logica. Twee dioden zijn in serie met weerstanden geschakeld. Deze logische verbinding noemen we ook wel OF-gate (poort). Uitgang A is H wanneer de ene ingang **of** de andere **of** beide H voeren. De diode voor elke ingang waaraan L staat voorkomt daarbij beïnvloeding door de spanning van de andere ingang.
In deze schakeling vervullen de dioden LED₁ en LED₂ een dubbele functie. Enerzijds werken ze als normale dioden en anderzijds geven ze de ingangstoestand aan. LED₃ geeft de uitgangstoestand aan.

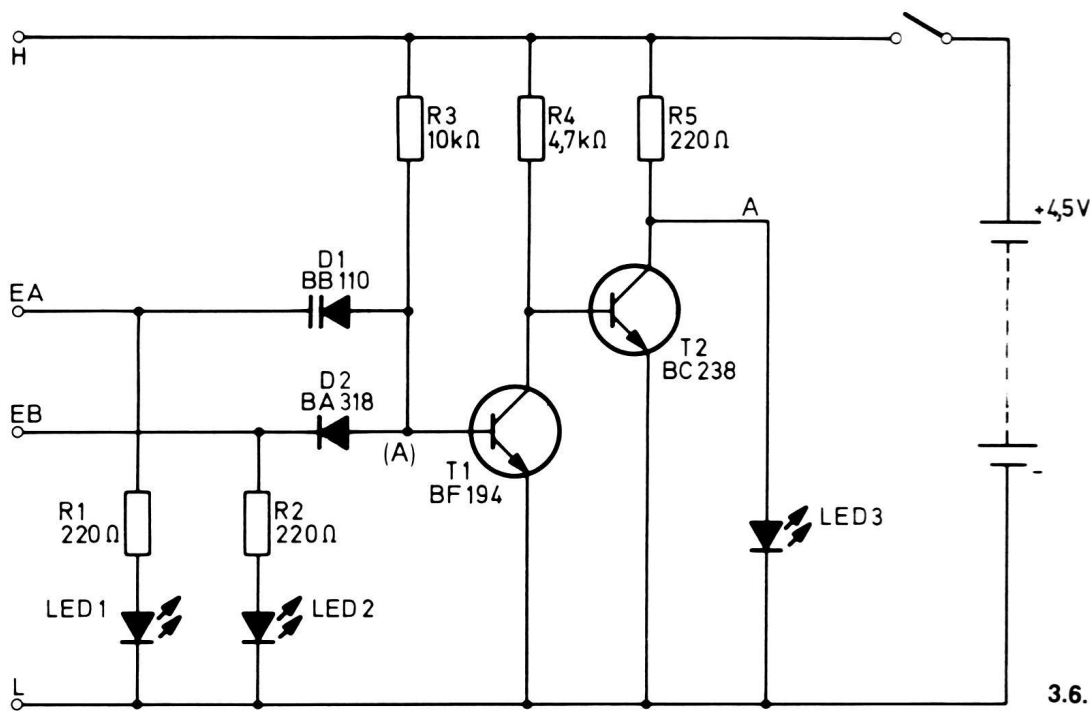
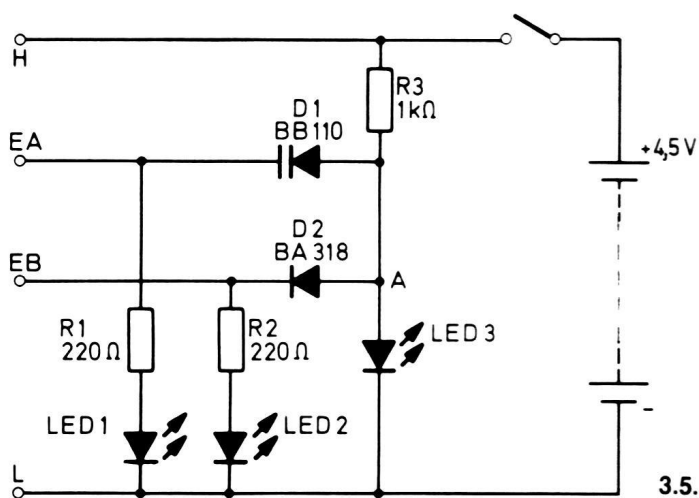
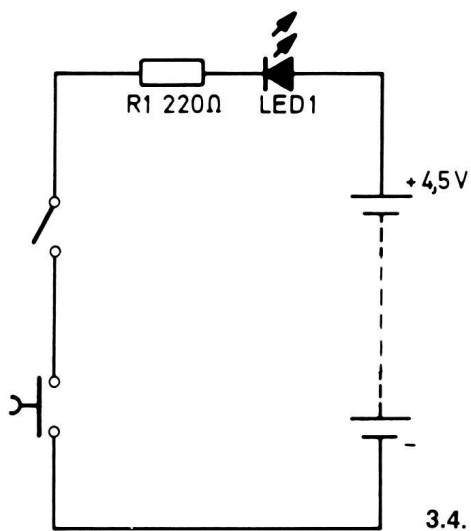
E _A	E _B	A
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

Om het spanningsverlies in diodenschakelingen te compenseren gebruiken we in dioden-transistor-logica actieve elementen voor versterking, zoals b.v. transistors. Op afb. 3.3. zien we weer de passieve dioden-OF-gate (zie afb. 3.2.). De spanning aan de uitgang (A) hiervan schakelt twee daarachtergeschakelde transistors. Twee transistors zijn noodzakelijk omdat een H-signaal aan de uitgang van de diodenschakeling transistor T₁ doorschakelt en aan de collector hiervan L veroorzaakt. (Over de doorgeschakelde transistor valt slechts een geringe spanning). L aan de collector van T₁ spert T₂ omdat de basis hiervan geen voorspanning krijgt. Op T₂ staat dus een hoge spanning zodat zijn collector H is. Wanneer er in deze schakeling, waarin dioden en transistors zijn opgenomen (DTL), aan de ene ingang **of** aan de andere **of** aan allebei H staat dan staat er aan de uitgang eveneens H. De OF-functie is dus verzekerd.



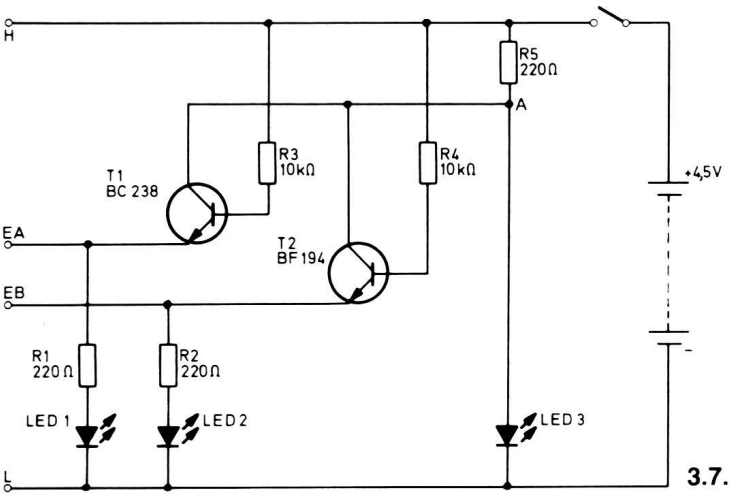
E_A	E_B	A
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

In de afbeeldingen 3.4., 3.5. en 3.6. zien we voorbeelden van schakel-logica, dioden-logica en dioden-transistor-logica voor een EN-verbinding.



In de TTL-techniek gebruiken we aan de ingang transistors die in de emitter worden gestuurd. In de principe-schakeling van afb. 3.7. zijn de collectors van twee transistors met elkaar verbonden. Via hun emitters krijgen ze de stuurspanning.

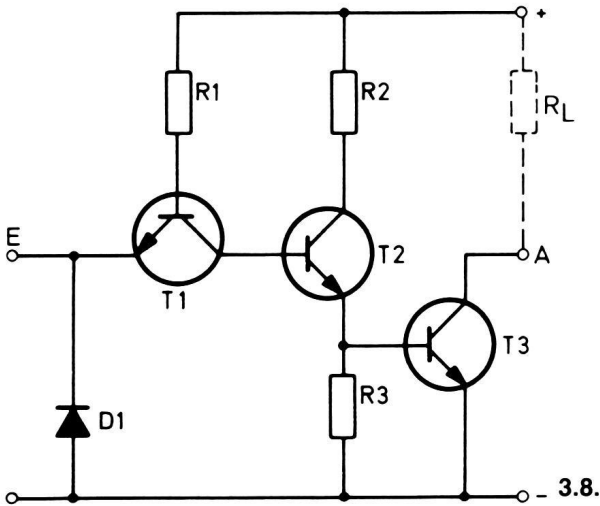
Wanneer beide ingangen L zijn, d.w.z. wanneer ze zijn verbonden met 0 volt of wanneer er slechts een geringe spanning op staat, dan loopt er een stroom door de beide transistors. Aan hun collectors is de spanning dan ook L (spanningsdeling met weerstand R) zodat uitgang A eveneens L is. Wordt een van de beide ingangen H dan is de betreffende transistor gesperd. Het potentiaal aan de collectors verandert niet omdat de andere transistor nog geleidt. Alleen wanneer beide ingangen H zijn sperren de transistors. Hier is dus weer sprake van een EN-verbinding want wanneer er aan beide ingangen H staat dan is de uitgang ook H. We zien hier dat de TTL heel wat gecompliceerder is dan de vorige schakelingen. Een voordeel is echter dat ze veel sneller schakelt dan de andere.



Deze experimenteerdoos bevat vier TTL-bouwstenen in de vorm van geïntegreerde schakelingen.

3.10.2. Inverter SN 7405 (kleur wit)

De geïntegreerde schakeling SN 7405 bevat zes inverters die elk bestaan uit drie transistors. De functie van de inverter hebben we al beschreven: aan de uitgang staat H wanneer aan de ingang L staat ($A = \bar{E}$). Bij schakeling



3.8. wordt aan deze voorwaarde voldaan. Deze schakeling is een van de zes inverters van de SN 7405. Ze werkt als volgt: is $E = L$, d.w.z. is E verbonden met 0 volt of staat er tussen E en 0 volt slechts een geringe spanning dan loopt er door T_1 een stroom die vooral bepaald wordt door R_1 . L is voor deze inverter nauwkeurig gedefinieerd. De bovengrens van de L-spanning ligt bij 0,8 V en deze grens mag in geen geval worden overschreden.

Wanneer T_1 in de schakeling van afb. 3.8. geleidend is vormt hij een laagohmige weerstand. Aan zijn collector staat slechts een geringe spanning (dus L). T_2 is gesperd. Daardoor loopt er ook geen stroom door R_3 waar dus ook geen spanning over kan vallen om transistor T_3 te sturen. Deze is dan hoogohmig en er staat, wanneer aan de uitgang een belastingsweerstand R_L aangesloten zou zijn, een hoge spanning op, dus H. L aan de ingang veroorzaakt dus H aan de uitgang - het signaal is geïnverteerd. Het bijzondere van deze schakeling is dat ze geen belastingsweerstand heeft (open collector). Wanneer er nu H aan de ingang staat wordt T_1 **invers** gestuurd, d.w.z. de collectordiode is in doorlaatrichting geschakeld en de emitterdioden in sperrichting. Op de emitter staat een hoge spanning, aan de collector een kleine. Voor deze omgekeerde werking is aan ingang E een minimale spanning nodig. Bij de SN 7405 moet die hoger zijn dan 2 volt. De stroom door de collectordiode van transistor T_1 maakt T_2 geleidend. De stroom door T_2 veroorzaakt over R_3 een spanningsverlies. De basis van T_3 krijgt nu spanning en maakt T_3 geleidend. Daar deze nu laagohmig is staat er aan de collector ook slechts een geringe spanning, dus L, wanneer er een belastingsweerstand (R_L) is aangesloten. H aan de ingang heeft aan de uitgang L veroorzaakt: $E = \bar{A}$. In de emitterleiding bevindt zich nog diode D_1 die bij hoge schakelsnelheden uitslingerverschijnselen van de stuurspanning voorkomt.

De „omkering” van de ingangstransistor is een eigenschap van de geïntegreerde schakelingen van de TTL-serie met serienummer 74 . . .

T_1 in afb. 3.8. geleidt in normale toestand met L op de emitter óf hij werkt invers. Natuurlijk zijn de transistors technisch zodanig uitgevoerd dat ze absoluut betrouwbaar werken in beide richtingen. Een belangrijk nevenverschijnsel is de extreem hoge schakelsnelheid. Hiervan zou geen sprake zijn als we bij een transistor na het inschakelen eerst de ladingbewegingen in sperlagen op gang zouden moeten brengen.

Het IC SN 7405 bevat zes van zulke NIET-trappen. Ze kunnen onafhankelijk van elkaar geschakeld worden, maar ook in combinatie met andere.

Enige technische gegevens:

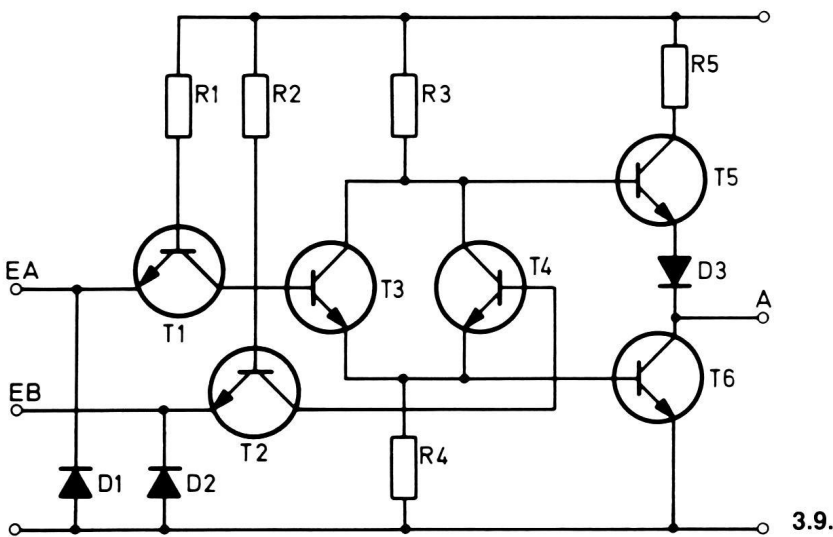
Voedingsspanning	5,5 V
Uitgangsstroom max.	16 mA
Ingangsstroom bij L	1,6 mA
Ingangsstroom bij H	40 μ A
Ingangsspanning bij L max.	0,8 V
Ingangsspanning bij H min.	2 V
Ingangsspanning bij H max.	5,5 V

3.10.3. NOR SN 7402 (kleur blauw)

De geïntegreerde schakeling SN 7402 bevat 4 NOR-elementen. De werking van een NOR-element hebben we al beschreven. De uitgang is alleen H wanneer de ingangen L zijn.

($A = \overline{E_A \vee E_B}$). De werking van de schakeling van afb. 3.9. berust op de SN 7402. We zien weer het typische kenmerk van de IC-serie 74..., namelijk de via de emitter gestuurde en bij H invers werkende ingangstransistors T_1 en T_2 . Ook de dioden in de emitterschakeling ontbreken niet. Een tweede bijzonderheid van IC-familie SN 74.. is de **standaard-uitgang** met de transistors T_5 en T_6 in balansschakeling. Hier zorgt diode D_3 voor een afdoende blokkering van T_5 wanneer T_6 open is.

Nu de werking van de schakeling:



Wanneer beide ingangen L zijn werken T_1 en T_2 normaal. Tengevolge van het feit dat er een stroom loopt vormen ze kleine weerstanden. Daarom krijgt de basis van T_3 , en ook die van T_4 , slechts een zeer kleine voorspanning zodat de transistors gesperd zijn. Door R_4 kan nu geen stroom lopen zodat daarover geen spanning kan vallen. T_6 is daardoor gesperd. Omdat T_3 en T_4 gesperd zijn krijgt T_5 via R_3 als begrenziingsweerstand, basisstroom. Hij gaat open. De geringe spanning die nu tussen zijn emitter en collector staat zorgt ervoor dat uitgang A op hoog potentiaal komt. Hij is dus H als beide ingangen L zijn. $A = \overline{E_A \vee E_B}$.

Verbinden we b.v. ingang E_A met H dan werkt T_1 invers zoals al beschreven bij de inverter (3.10.2.). De stroom die door zijn collectordiode loopt is tegelijkertijd basisstroom van T_3 . Deze geleidt nu en de stroom veroorzaakt over R_3 en R_4 een spanningsverlies. De spanning over R_3 blokkeert T_5 die nu hoogohmig is. De spanning over R_4 stuurt T_6 open; deze is nu laagohmig en aan zijn collector ontstaat L. H aan ingang E_A heeft dus aan uitgang A L opgewekt. Hetzelfde resultaat bereiken we wanneer ingang E_B H is. Nu werken T_2 en T_4 samen en sturen T_5 en T_6 . Ook wanneer beide ingangen H zijn is $A = L$, want in dat geval werken T_1 en T_3 alsook T_2 en T_4 samen op de eindtrap. Er is dus voldaan aan de voorwaarde van de NOR-gate: A is alleen H wanneer beide (alle) ingangen L zijn. $A = \overline{E_A \vee E_B}$.

De technische gegevens komen overeen met die van SN 7405.

4. Elektronische apparaten

4.10. Logische schakelingen

In hoofdstuk 3 hebben we twee IC's voorgesteld die in deze experimenteerdoo worden gebruikt. Het gaat hierbij om IC SN 7405 met zes inverters (kleur wit) en IC SN 7402 met vier NOR-gates (kleur blauw). Er worden natuurlijk ook elementen met een EN-, NAND- en OF-functie geproduceerd. Uit economische overwegingen gebruikt men in technische apparatuur echter vaak IC's met slechts één functie. De andere functies kunnen worden verkregen door samenvoeging van meerdere gelijksoortige onderdelen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe we in dat geval te werk moeten gaan.

Alle IC's zijn op plaatjes gemonteerd zodat ze makkelijker te hanteren zijn. De aansluitingen worden gemaakt aan de soldeerlipjes. Deze aansluitingen zijn als volgt aangegeven:

SN 7405 (kleur wit)

– = 0 V (minpool van de batterij). Deze aansluitingen mogen in geen geval verwisseld worden!
+ = 4,5 V

E ₁	= ingang inverter 1	Inverter 1
A ₁	= uitgang inverter 1	
E ₂		Inverter 2
A ₂		
E ₃		Inverter 3
A ₃		
E ₄		Inverter 4
A ₄		
E ₅		Inverter 5
A ₅		
E ₆		Inverter 6
A ₆		

SN 7405
kleur wit

SN 7402 (kleur blauw)

– = 0 V (minpool van de batterij). Deze aansluitingen mogen in geen geval verwisseld worden!
+ = 4,5 V

E _{A1}	= ingang A	NOR 1
E _{B1}	= ingang B	NOR 1
A ₁	= uitgang	NOR 1
E _{A2}		NOR 2
E _{B2}		
A ₂		
E _{A3}		NOR 3
E _{B3}		
A ₃		
E _{A4}		NOR 4
E _{B4}		
A ₄		

SN 7402
kleur blauw

Aleen in de eerste schakelschema's is de spanningsaansluiting aangegeven, bij de andere wordt dat achterwege gelaten.

Bij alle schakelingen met IC's moet erop gelet worden dat de ingangen geschakeld zijn volgens de functietabellen. L wil dus b.v. zeggen een verbinding met 0 volt. Een H-signaal kunnen we verkrijgen door verbinding met + 4,5 V. Op de montagetekeningen zijn deze klemmen eveneens gemerkt met L en H. Een open ingang zou kunnen duiden op een ongedefinieerde spanning en moet daarom vermeden worden.

Basisschakelingen met inverter SN 7405 (kleur wit)

4.10.1. Inverter

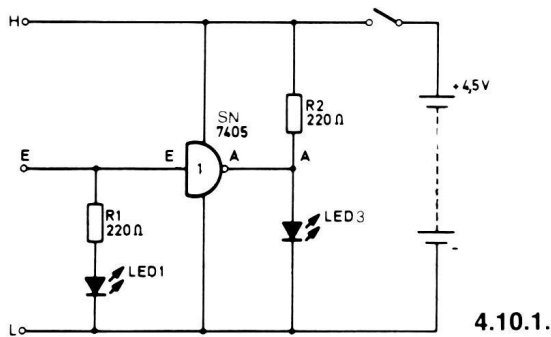
Bij schakeling 4.10.1. gebruiken we een inverter van het type SN 7405. Om aan te geven welke schakeltoestanden (L of H) er aan de ingang resp. aan de uitgang staan maken we gebruik van lichtgevend dioden. Wanneer we ingang E verbinden met H brandt LED 1, maar LED 3 niet. Het H-signaal aan de ingang wordt geïnverteerd tot L-signaal aan de uitgang. Dan loopt er een relatief grote stroom van de minpool van de batterij door de inverter en R₂ naar + 4,5 V. De spanning bij A is niet hoog genoeg om LED 3 te laten branden. Verbinden we daarentegen ingang E met 0 volt dan ontstaat daar een L-signaal. LED 1 brandt niet omdat er geen spanning op staat. Aan uitgang A van de inverter staat H. Hij is dus hoogohmig.

De spanningsverhouding tussen de inverter en R₂ maakt het mogelijk dat LED 3 brandt.

In de functietabel kan worden nagegaan in hoeverre uitgang A afhankelijk is van ingang E.

In deze schakeling kan vanzelfsprekend ook een andere inverter van de SN 7405 worden gebruikt. Elke inverter kan op deze manier worden gecontroleerd.

E	A
L	H
H	L



4.10.2. Identiteit

Voor het realiseren van de identiteitsfunctie hebben we twee inverters van de SN 7405 nodig.

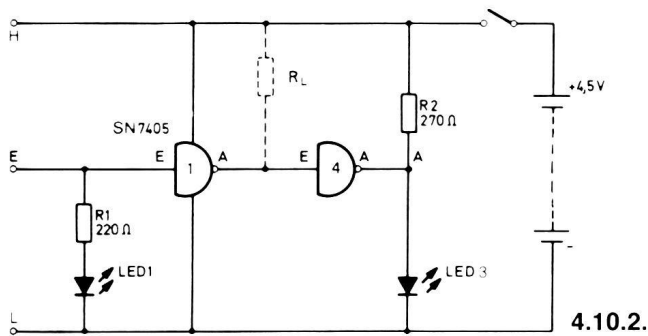
Wanneer we E verbinden met + 4,5 V gaat LED 1 branden en ontstaat er aan uitgang A van inverter 1 een L. Dit signaal wordt door inverter 4 nog eens geïnverteerd en verschijnt als H op zijn uitgang; LED 3 gaat branden. De werking van de identiteit kan worden verduidelijkt aan de hand van de functie-tabel:

E	A
L	L
H	H

Wanneer we ingang E verbinden met 0 volt brandt geen van de beide LED's want L op E₁ betekent H op A₁ en diengevolge L op A₄.

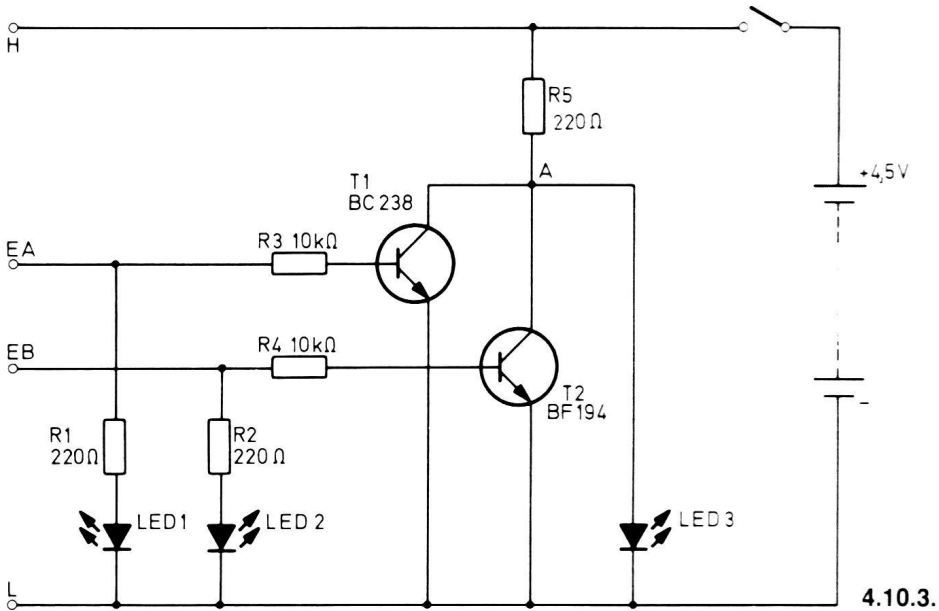
De in schakeling 4.10.2. gestippelde belastingsweerstand R_L moet steeds worden gemonteerd wanneer hogere schakelsnelheden nodig zijn. In het andere geval kan hij achterwege blijven. De stroom door R_L mag niet groter worden dan

$$I_{RL} = I_{A1} - I_{E4}$$
$$= 16 \text{ mA} - 1,6 \text{ mA}$$
$$= 14,4 \text{ mA}$$



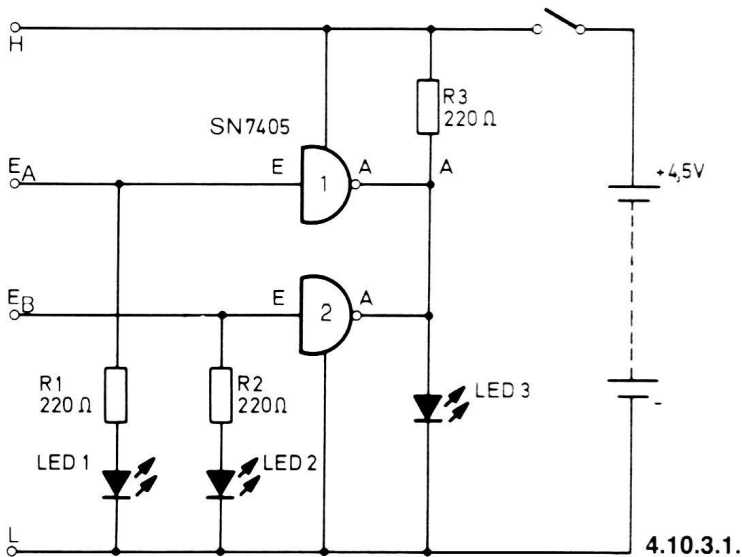
4.10.3. NOR

Met behulp van twee invertertrappen van de SN 7405 kunnen we een logische NOR construeren, gebruik makend van een eigenaardigheid die optreedt bij het parallel schakelen van collectoraansluitingen van verschillende transistors: wanneer we alle collectorweerstand op één na weglaten staat er aan de uitgang steeds L wanneer slechts één van de transistors geleidt (4.10.3.).



E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

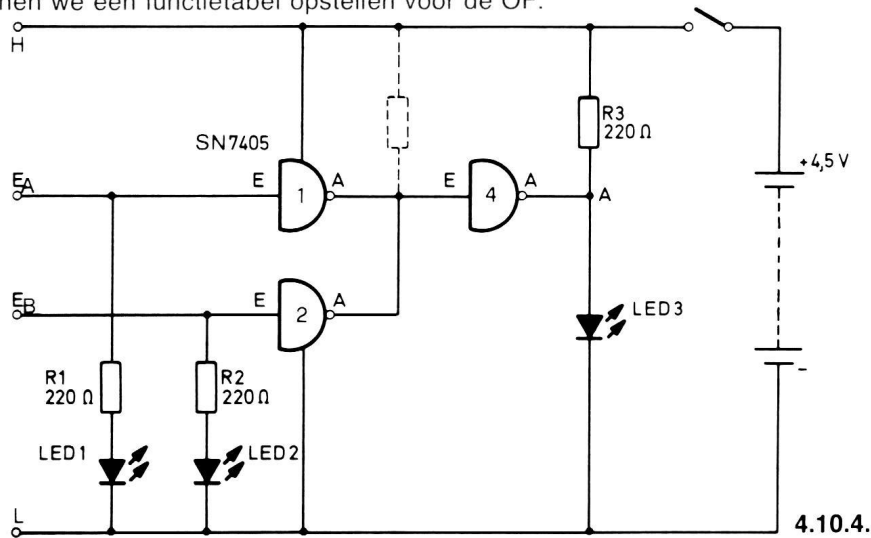
Deze parallelschakeling van de uitgangen noemen we **Wired-AND**. Ze wordt heel vaak gebruikt om onderdelen uit te sparen. Schakeling 4.10.3.1. is een NOR met twee Wired-AND-invertertrappen. Wanneer we b.v. ingang E_A aansluiten op + 4,5 V wordt dat aangegeven door LED 1. LED 3 brandt dan niet. Indien alleen ingang E_B aangesloten is op + 4,5 V – dan brandt LED 2 – verandert de uitgangstoestand niet, ook niet wanneer zowel op E_A als op E_B een H-sigitaal staat. Alleen wanneer zowel E_A als E_B verbonden zijn met 0 volt brandt LED 3.



4.10.4. OF (OR)

Wanneer we een OF-gate construeren met behulp van inverters maken we gebruik van het feit dat een dubbele omkering weer resulteert in de ingangstoestand. Schakeling 4.10.4. bevat voor elke ingang een trap (inverter 1 en inverter 2). Een H-sigitaal op ingang E_A – LED 1 brandt – veroorzaakt op uitgang A_1/A_2 een L-sigitaal dat dan door trap 4 weer wordt omgezet in H. Dit wordt aangegeven door LED 3 die gaat branden. Een L-sigitaal aan beide ingangen E_A en E_B heeft ook een L aan uitgang A tot gevolg, omgekeerd veroorzaakt H aan E_A en E_B ook H aan uitgang A. Aan de hand hiervan kunnen we een functietabel opstellen voor de OF:

E_A	E_B	A
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H



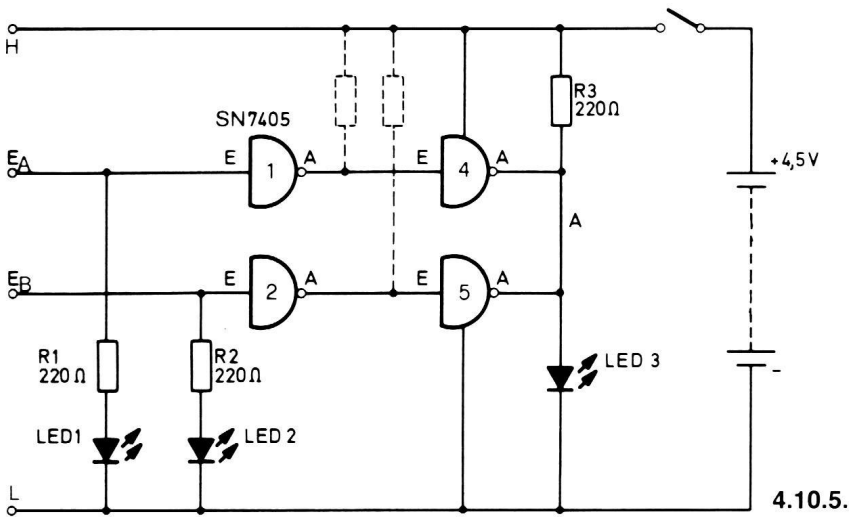
4.10.5. EN (AND)

Om een EN-gate op te bouwen schakelen we de uitgangen van de invertertrappen 4 en 5 weer parallel. Wanneer aan de ingang van één van de inverters een H-sigitaal staat, veroorzaakt door L aan de ingang van de ervoor geschakelde trappen, kan A geen H meer worden. Alleen indien E_A en E_B verbonden zijn met + 4,5 V brandt LED 3 die daarmee de uitgangstoestand H van A aangeeft.

E_A	E_B	A_1	A_2	A
L	L	H	H	L
L	H	H	L	L
H	L	L	H	L
H	H	L	L	H

Zonder acht te slaan op de tussentrap volgt hieruit:

E_A	E_B	A
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H



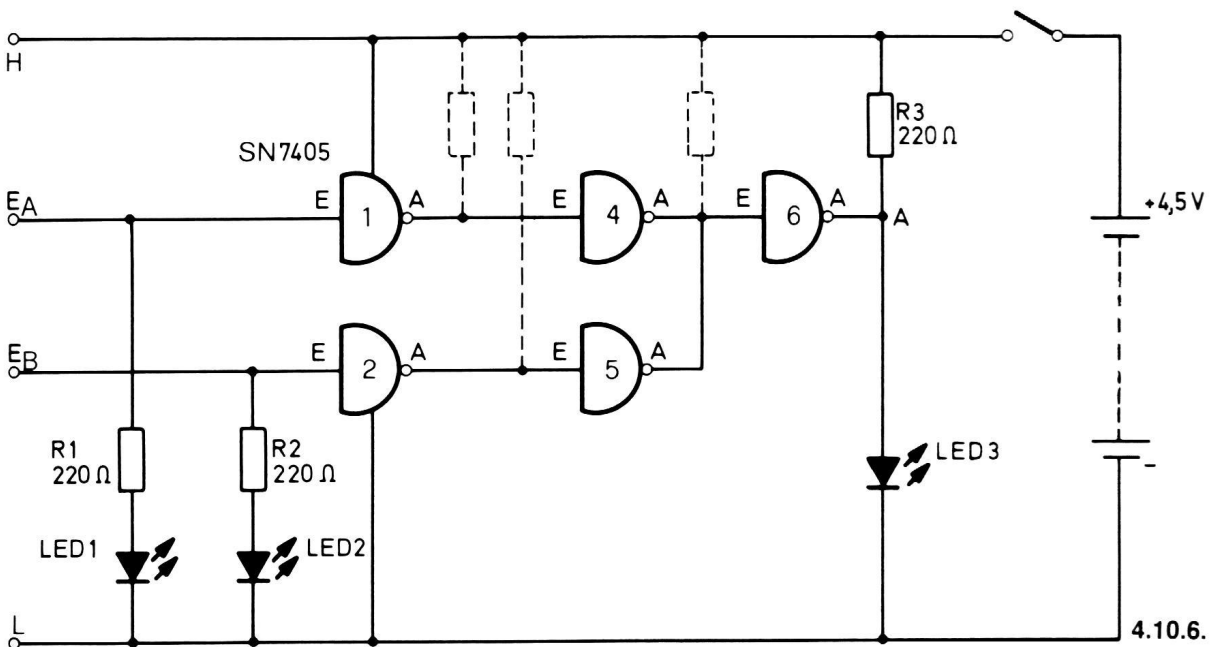
4.10.6. NAND

Door het toevoegen van nóg een invertertrap kunnen we van een EN een NAND maken. We gebruiken dezelfde schakeling als bij 4.10.5., alleen moet het signaal van de met elkaar verbonden uitgangen A_4 en A_5 in trap 6 nog eens geïnverteerd worden. Dan zien we dat $A = H$ is zolang er op geen of hoogstens op één van de ingangen E_A en E_B een H-signaal staat.

E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Aan de hand van de hiernavolgende functietabel kunnen we vaststellen dat de NAND een omgekeerde EN is.

		UND	NAND
E _A	E _B	A	A
L	L	L	H
L	H	L	H
H	L	L	H
H	H	H	L



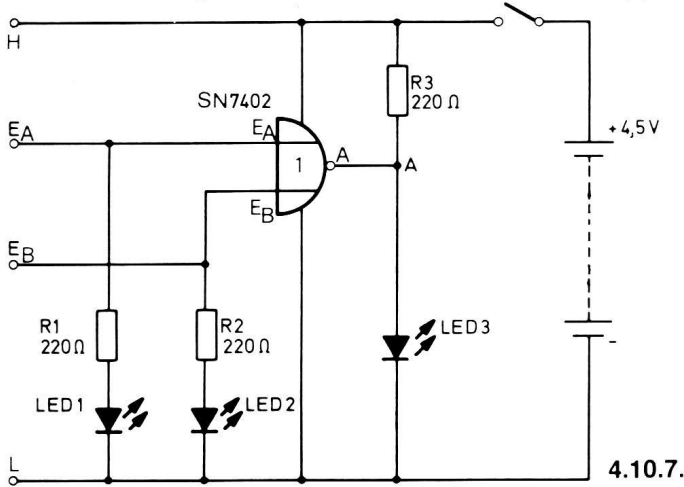
Basisschakelingen met NOR SN 7402 (kleur blauw)

4.10.7. NOR

Schakeling 4.10.7. is een NOR-gate uit een SN 7402.
Bij een NOR is uitgang A alleen H wanneer alle ingangen L zijn (vergelijk hoofdstuk 4.10.3.):

E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

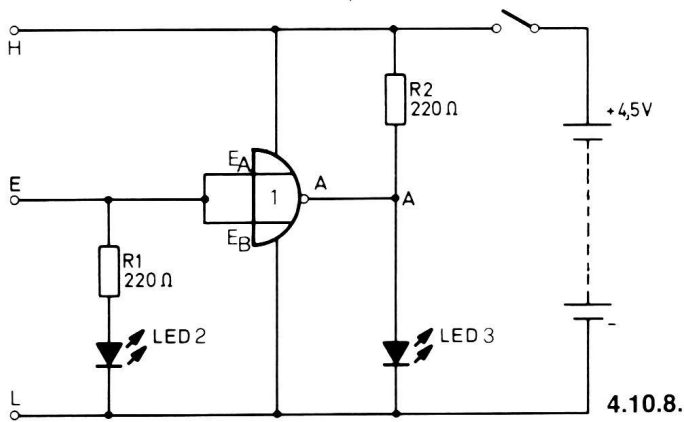
Wanneer we b.v. E_A verbinden met + 4,5 V en E_B met 0 V dan brandt alleen LED 1. LED 3 gaat pas branden wanneer de ingangen E_A en E_B een L-sig-naal krijgen.
Om te controleren of alle vier NOR-gates van de SN 7402 goed functioneren moet de schakeling ook worden opgebouwd met de trappen 2, 3 en 4.



4.10.8. Inverter

Wanneer we beide ingangen van een NOR parallel schakelen verschijnt een signaal dat aan deze ingang wordt toegevoerd geïnverteerd aan uitgang A. Met behulp van schakeling 4.10.8. kunnen we de functietabel van een NOR-inverter controleren:

E	A
L	H
H	L

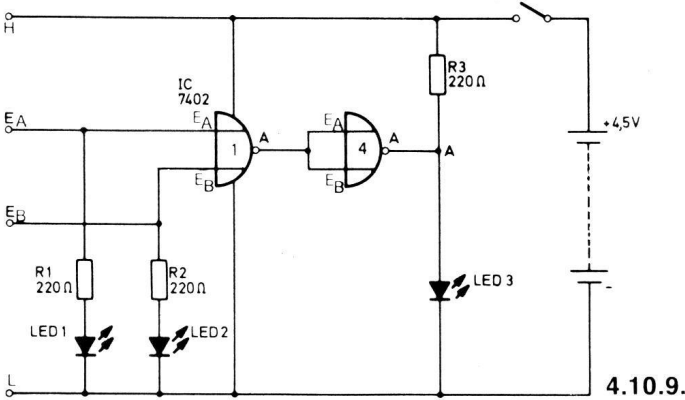


4.10.9. OF (OR)

Indien we voor een inverter, zoals beschreven onder 4.10.8., een NOR-trap schakelen krijgen we een OF-gate. Wanneer er b.v. aan ingang E_A in schakeling 4.10.9. een H-sigitaal staat verschijnt het aan uitgang A van NOR 1 als L, wordt echter in NOR 4 weer geïnverteerd en LED 3 toont aan dat er aan uitgang A_4 een H-sigitaal staat. Indien aan ingang E_B of aan beide ingangen H staat werkt de schakeling precies eender.

E_A	E_B	A_1	A_4	komt overeen met	E_A	E_B	A
L	L	H	L		L	L	L
L	H	L	H		L	H	H
H	L	L	H		H	L	H
H	H	L	H		H	H	H

De lichtgevende dioden LED 1 en LED 2 geven de schakeltoestanden van de ingangen aan.

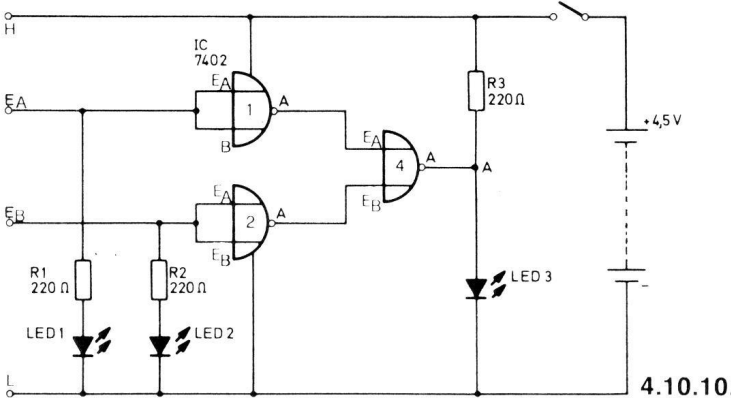


4.10.10. EN (AND)

Bij de EN-gate 4.10.10. besturen de ingangen E_A en E_B elk een als inverter geschakelde NOR-trap. De uitgangen van deze trappen sluiten aan op de ingangen van NOR 4.

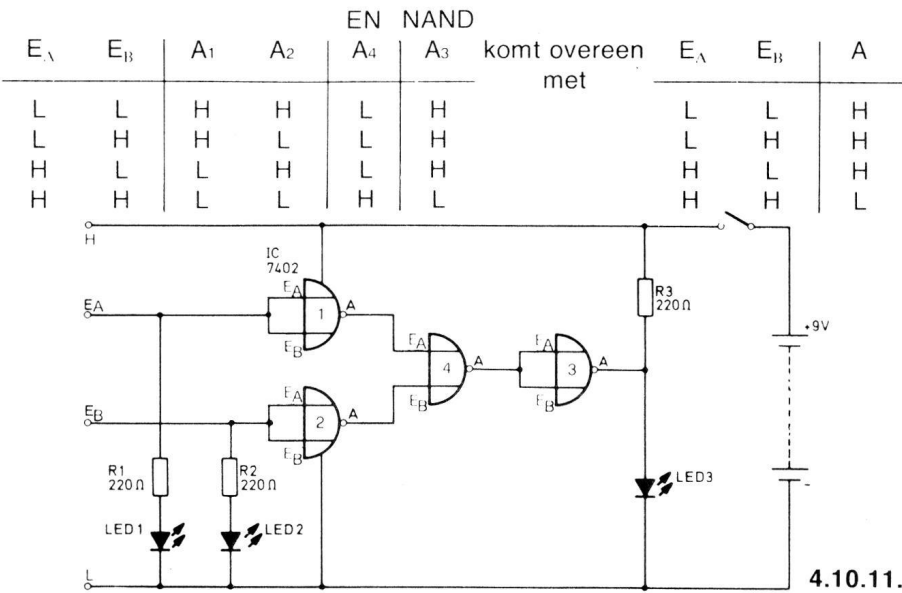
Een H-sigitaal aan ingang E_A veroorzaakt een L aan A_1 , L aan E_B een H-sigitaal aan A_2 . Verschillende signalen aan de ingangen van een NOR veroorzaken aan de uitgang altijd een L. Krijgt E_B daarentegen ook een H dan is A eveneens H omdat aan A_1 en A_2 een L staat.

E_A	E_B	A_1	A_2	A_4	komt overeen met	E_A	E_B	A
L	L	H	H	L		L	L	L
L	H	H	L	L		L	H	L
H	L	L	H	L		H	L	L
H	H	L	L	H		H	H	H



4.10.11. NAND

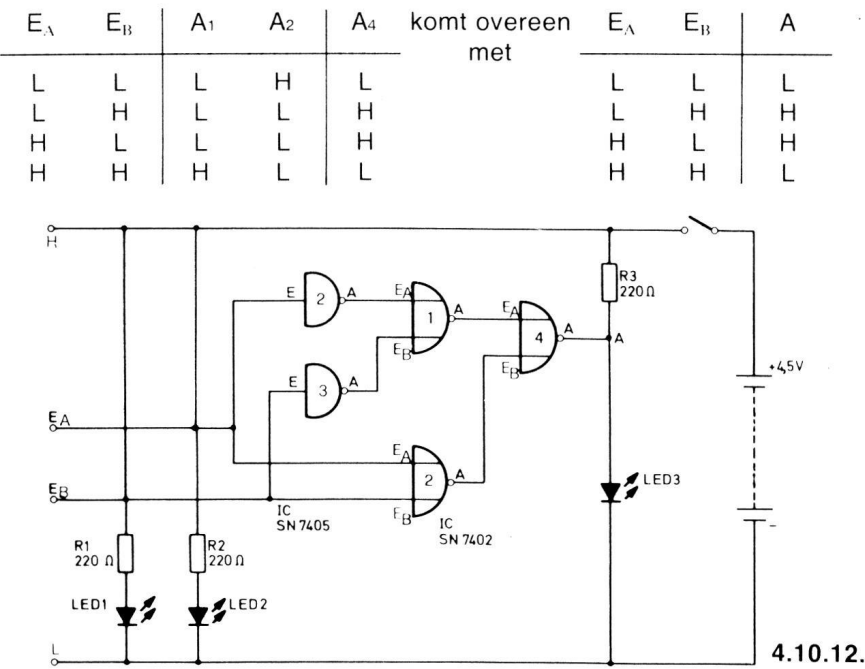
Wanneer we na een EN-schakeling een vierde NOR-trap als inverter inbouwen krijgen we een NAND, zoals blijkt uit schakeling 4.10.11.



4.10.12. Exclusieve OF-functie

Een exclusieve OF-functie kunnen we samenstellen door combinatie van inverter- en NOR-functies.

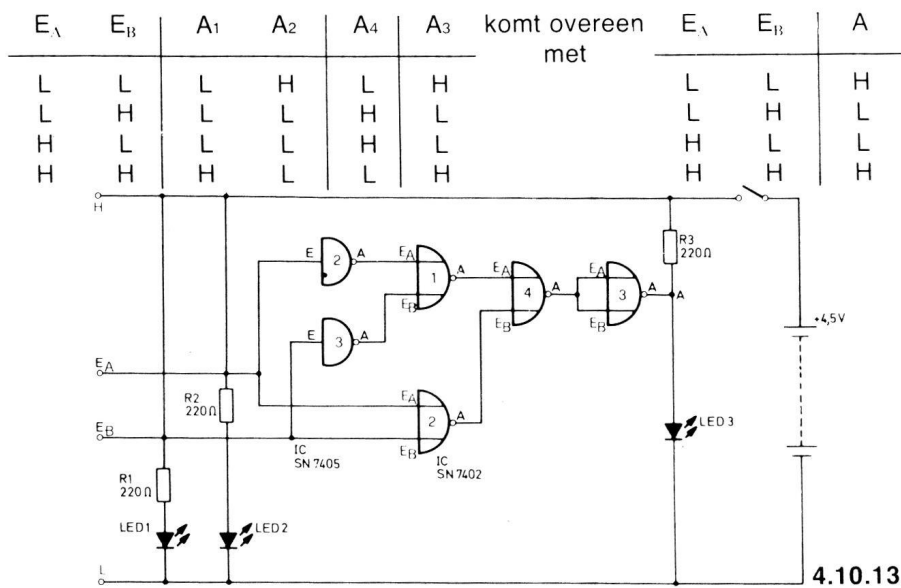
Wanneer we ervan uitgaan dat in schakeling 4.10.12. $E_A = H$ en $E_B = L$ dan krijgt NOR 1 van de uitgang van de inverter 2 een L en van 3 een H. NOR 2 krijgt ook verschillende ingangssignalen. Verschillende toestanden aan de ingang van een NOR veroorzaken aan de uitgang altijd een L. Aan A_1 en A_2 staat dus ook L. Deze signalen bereiken de ingangen van NOR 4 waarvan de uitgang dan H wordt: LED 3 brandt. In tegenstelling tot de OF mag uitgang A van een exclusieve OF niet H zijn als beide ingangen E_A en E_B ook H zijn. In deze schakeling wordt dat verhinderd door de inverters.



4.10.13. Equivalentie

Bij een equivalente-functie neemt uitgang A de toestand H aan wanneer er aan de ingangen gelijksoortige signalen staan. Dit kunnen we beschouwen als een omkering van de exclusieve OF-functie waarvan de uitgang steeds H is wanneer de ingangen ongelijk zijn.

De gewenste functie kunnen we verkrijgen door een nageschakelde inverter samengesteld met een NOR achter een exclusieve OF.



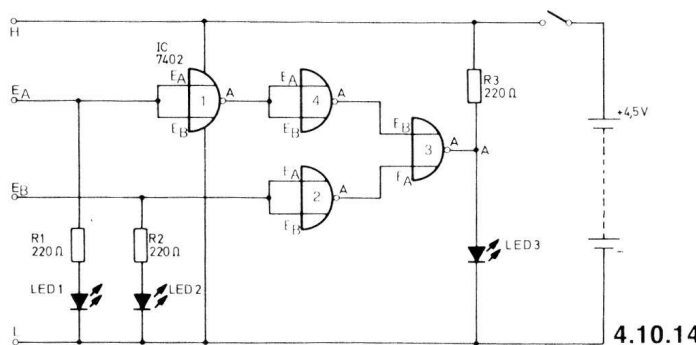
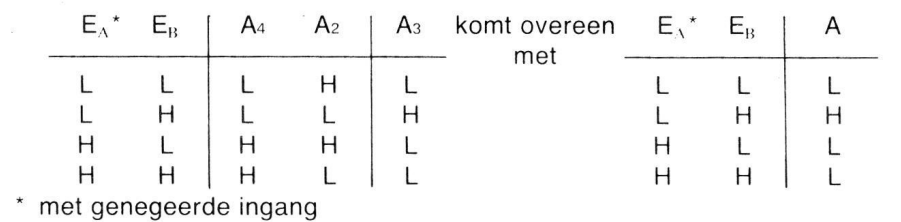
4.10.13.

Schakelingen met een genegeerde ingang

Voor het oplossen van bepaalde technische problemen maken we wel gebruik van bekende basisfuncties die we tot dusver hebben leren kennen, maar we moeten daarvan echter één en soms ook meer ingangen inverteren. Hieronder volgen enkele schakelvoorbeelden met een geïnverteerde ingang.

4.10.14. EN met een inverterende ingang

Deze schakeling komt overeen met de EN-schakeling uit 4.10.10. bestaande uit NOR's. Voor een van de ingangen is een NOR (1) als inverter geschakeld zodat ditingangssignaal geïnverteerd wordt. Een L op E_A produceert op A_1 een H-signaal. Krijgt E_B eveneens een H-signaal dan staat er op A_2 een L en aan uitgang A van NOR 3 ontstaat een H; LED 3 brandt.



4.10.14.

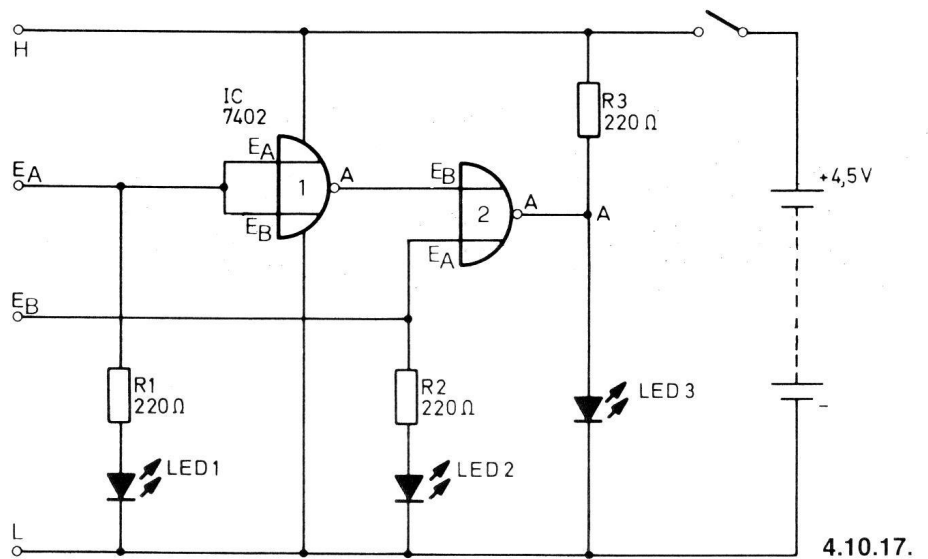
4.10.17. NOR met inverterende ingang

Aan de NOR zoals beschreven onder 4.10.7. voegen we nog een NOR toe die dient voor het omkeren van het signaal bij een van de ingangen. Aan uitgang A staat een H-signaal wanneer er aan de inverterende ingang E_A eveneens H staat. Door het inverteren bereiken dan twee L-signalen de ingangen van NOR 2 en hierdoor staat er aan de uitgang H.

E_A^*	E_B	A
L	L	L
L	H	L
H	L	H
H	H	L

* met genegeerde ingang

De schakeltoestanden aan ingangen en aan de uitgang worden aangegeven door LED's.



Basisschakelingen met 5 resp. 6 ingangen

Twee ingangsvariabelen zijn vaak niet voldoende om ingewikkelde technische problemen op te lossen en in zo'n geval hebben we er méér nodig. Hoe zulke schakelingen opgebouwd worden zullen we aan de hand van twee voorbeelden duidelijk maken.

4.10.18. NOR met 6 ingangen

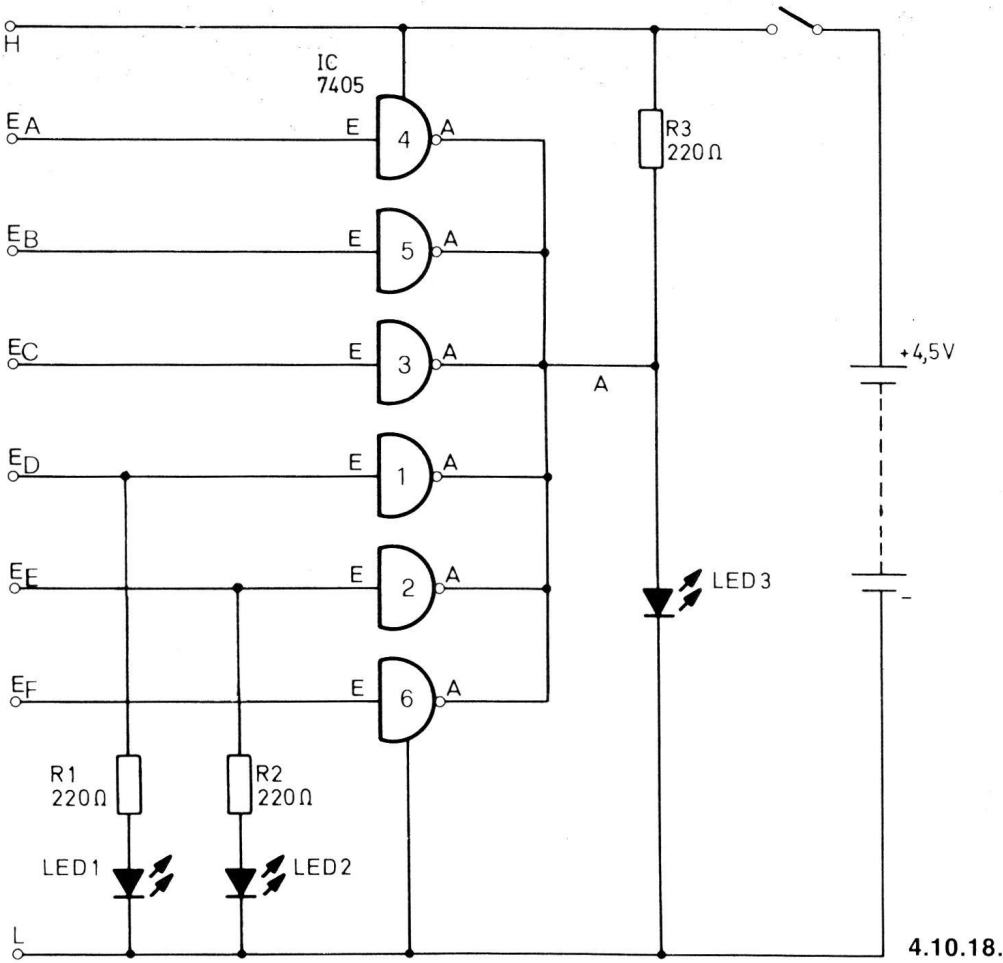
Net zoals bij de NOR met twee uit inverters bestaande ingangen maken we bij deze NOR gebruik van de Wired-AND. Wanneer namelijk op een van de ingangen een H-signaal staat, staat er op de bijbehorende uitgang L. Alle andere uitgangen worden dan ook L. Hierdoor ontstaat een NOR-functie.

Van de zes ingangen worden de schakeltoestanden van de ingangen E_A en E_D aangegeven door lichtgevend dioden.

Van de in totaal $2^6 = 64$ mogelijkheden worden er in onderstaande tabel slechts enkele weergegeven:

E_A	E_B	E_C	E_D	E_E	E_F	A
L	L	L	L	L	L	H
L	L	L	L	L	H	L
L	L	L	L	H	L	L
L	L	L	L	H	H	L
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H	H	H	H	H	H	L

Zoals we zien is de uitgang alleen H wanneer alle ingangen L zijn.



4.10.19. OF met 5 ingangen

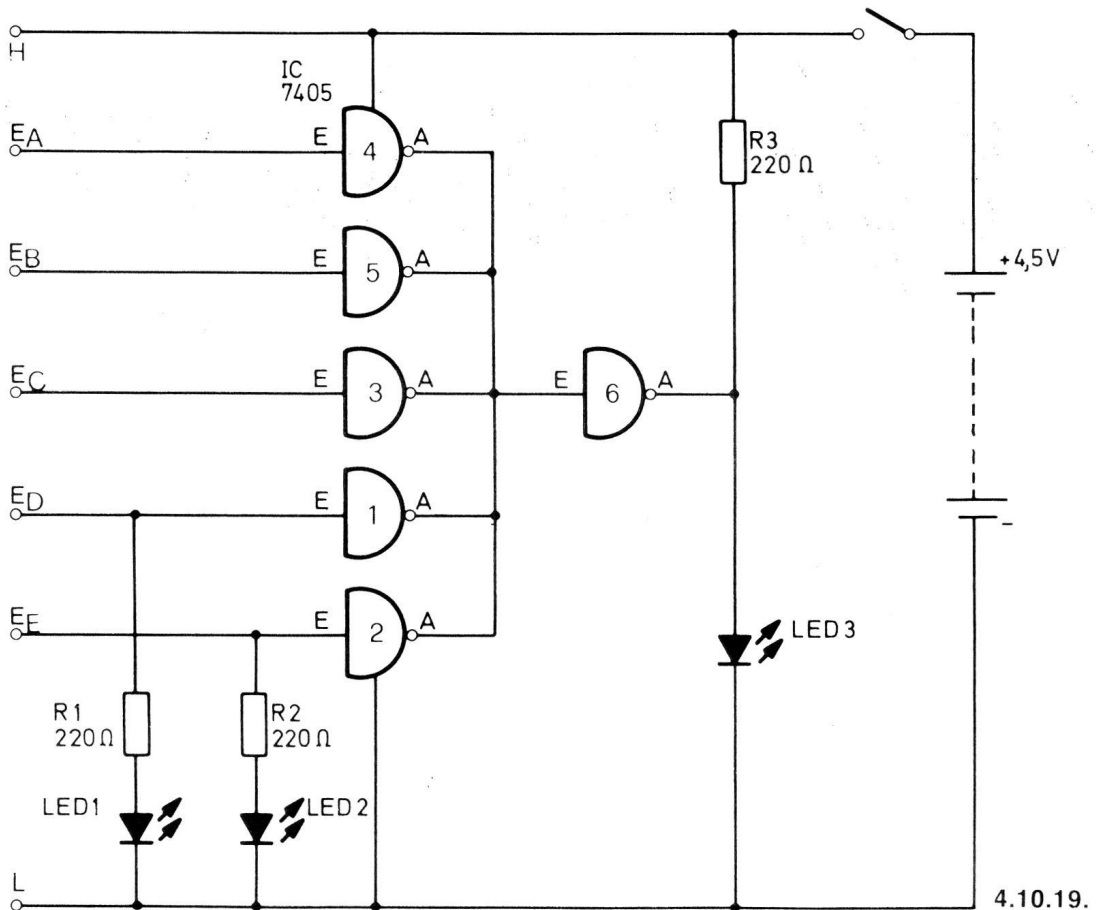
Als we de uitgangen van 5 inverters parallel schakelen en nog een inverter daarachter schakelen krijgen we een OF met 5 ingangen (afb. 4.10.19.).

Op de uitgangen A_1 tot en met A_5 staat altijd L als er op minstens één van de ingangen H staat. Als we dit signaal opnieuw invertieren ontstaat er een OF-functie.

Van de $2^5 = 32$ mogelijkheden worden er in onderstaande tabel slechts enige weergegeven.

E_A	E_B	E_C	E_D	E_E	$A_{1\text{ tot }5}$	A_6
L	L	L	L	L	H	L
L	L	L	L	H	L	H
L	L	L	H	L	L	H
...
H	H	H	H	H	L	H

We zien dat A altijd H is wanneer minstens één ingang ook H is.



4.10.20. Optelschakeling

Bij elektronisch rekenen moeten alle rekenprocessen worden herleid tot optellen en aftrekken, de twee enige mogelijkheden die de schakeltoestanden H en L bieden. Het vermenigvuldigen van twee getallen moet dus worden herleid tot optellen, zoals blijkt uit de hiernavolgende eenvoudige voorbeelden:

$5 \times 4 = 4 + 4 + 4 + 4 + 4$
 $3 \times 7 = 7 + 7 + 7$
 $9 \times 3 = 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3$

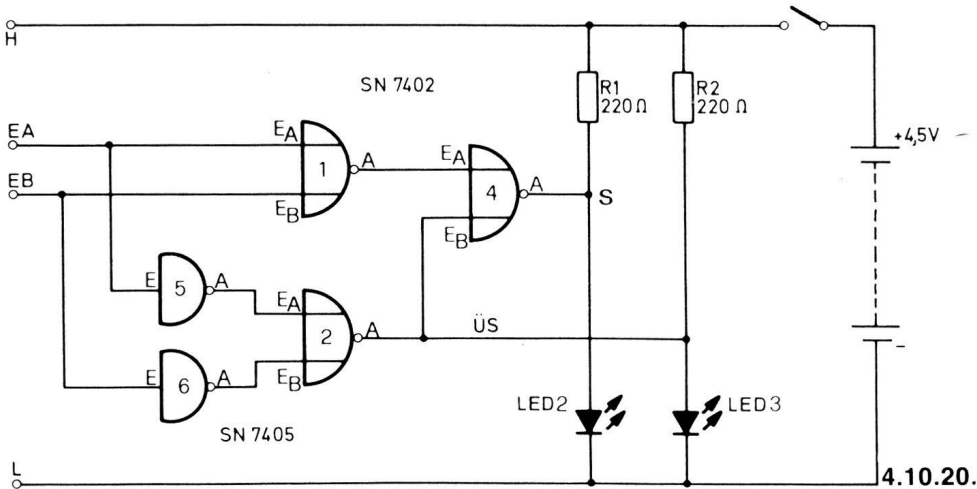
Voor de technische realisatie van dit proces zijn vele schakelementen nodig. Ze zetten bij het optellen de binaire getallen om in de overeenkomstige schakeltoestanden. Een bijzonder probleem hierbij is het doorgeven naar het naastgelegen cijfer zoals hieronder blijkt:

decimaal: $1 + 1 = 2$
binair: $\begin{array}{r} 01 \\ + 01 \\ \hline 10 \end{array}$
 ↙ ↘
doorgeven som (S)
(carry byte)

De getallen en de doorgeef informaties (carry bytes) worden berekend door z.g. optelschakelingen. Afb. 4.10.20. is een optelschakeling bestaande uit 3 NOR-gates en 2 inverters. De schakeling werkt als volgt: LED 2 aan uitgang S brandt wanneer daar $1 \triangleq H$ staat. Aan uitgang CB = carry byte (in afb. 4.10.20: ÜS) brandt LED 3 als er een H wordt doorgegeven. Dit proces wordt verduidelijkt in onderstaande tabel:

$E_A + E_B$		S	CB
L	L	L	L
L	H	H	L
H	L	H	L
H	H	L	H

Uit deze tabel kunnen we aflezen dat de som (S) wordt weergegeven door een exclusive OF-functie (verg. schakeling 4.10.12). Het carry byte wordt uitgevoerd door een EN-functie (verg. schakeling 4.10.10.). De hier beschreven schakeling is een optelschakeling die alleen tweecijferige, binaire getallen optelt. Voor het optellen van grotere binaire getallen is een aanmerkelijk uitgebreidere schakeling nodig.



4.10.21. Aftrekschakeling

Terwijl bij elektronisch rekenen vermenigvuldigen moest worden herleid tot optellen is het noodzakelijk om bij delen te herleiden tot aftrekken.

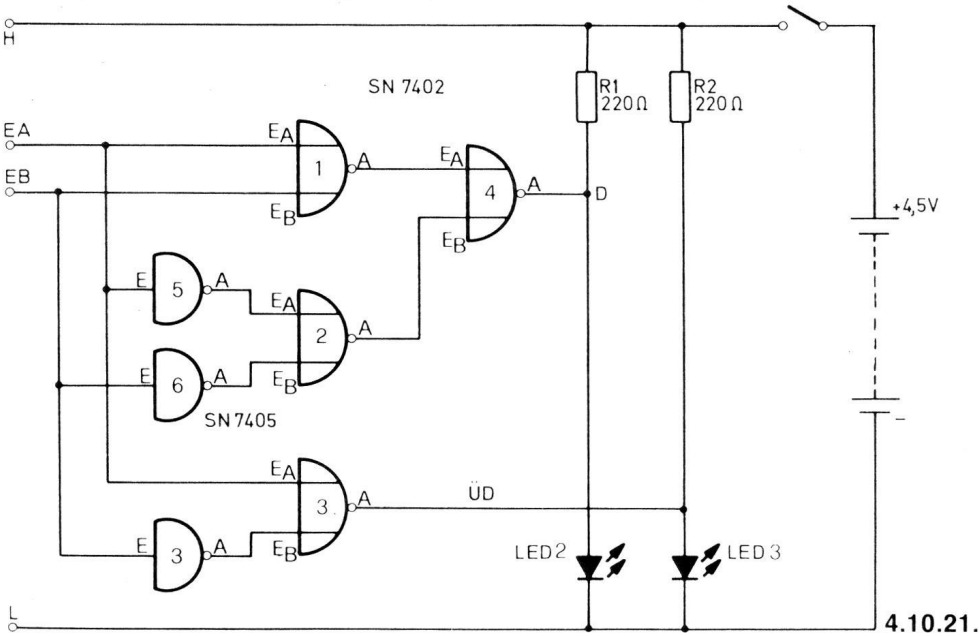
Voorbeeld: $6 : 2 = 3$
 $6 - 2 - 2 - 2 = 0$

2 kan dus driemaal van 6 worden afgetrokken, d.w.z. 6 bevat drie maal 2. Met behulp van deze experimenteerdoos kunnen we het principe van het elektronische aftrekken van twee ééncijferige binaire getallen duidelijk maken:

verschil	carry byte-verschil
$1 - 1 = 0$	0
$0 - 1 = 1$	1

Aan het tweede voorbeeld $0 - 1$ zien we dat er een negatief carry byte ontstaat. Dit wordt afgetrokken van het voorafgaande getal (zie ook 3.9.4.). In schakeling 4.10.21. geeft LED 2 door oplichten het verschil D aan, dat de na het aftrekken overgebleven waarde van het getal een is. LED 3 brandt wanneer er van het voorafgaande getal „geleend” moet worden. Op ingang E_A staat het potentiaal van het binaire getal waarvan moet worden afgetrokken, op ingang E_B staat het potentiaal van het binaire getal dat van E_A wordt afgetrokken. Uit de tabel kunnen we aflezen dat verschil D wordt gerealiseerd door een exclusieve OF-functie (zie 4.10.12.) en carry byte CB_D (in afb. 4.10.21: ÜD) door een EN-functie met genegeerde ingang (zie 4.10.14.).

$E_A - E_B$		D	CB_D
L	L	L	L
L	H	H	H
H	L	H	L
H	H	L	L



4.10.22. Code-omzetter binair → decimaal (decodeerschakeling)

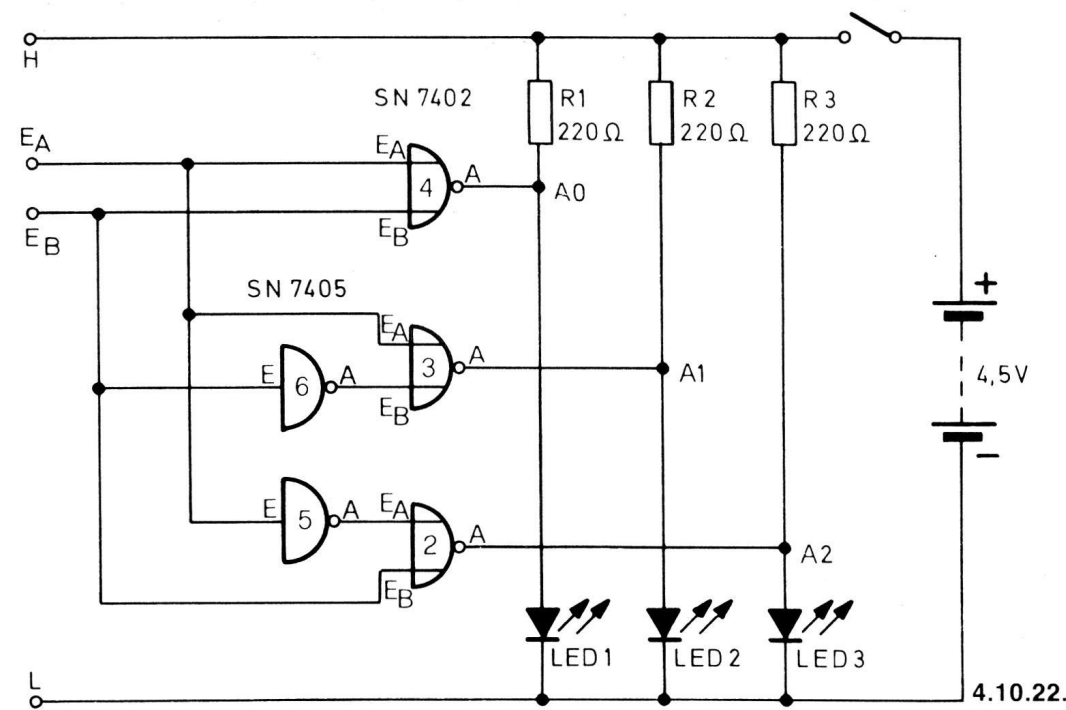
Elektronisch rekenen is alleen mogelijk met behulp van het binaire stelsel. Het zou natuurlijk wel erg omslachtig zijn als we decimale rekenprocessen steeds zelf zouden moeten omrekenen. Het omrekenen van binaire getallen naar decimale getallen en omgekeerd geschiedt langs elektronische weg. Hiervoor gebruiken we code-omzetter.

Schakeling 4.10.22. is een code-omzetter die binaire getallen omzet in decimale. Dit geschiedt als volgt: aan de ingangen E_A en E_B staat het binaire getal en aan de uitgangen A_0 , A_1 en A_2 het decimale. Wanneer de LED aan A_0 brandt staat daar 0; bij A_1 een 1 en bij A_2 een 2. Het verband blijkt uit de hiernavolgende tabel:

decimaal cijfer	E_A	E_B	A_0	A_1	A_2
0	L	L	H	L	L
1	L	H	L	H	L
2	H	L	L	L	H

Indien er op geen van beide ingangen een H-signaal staat mag er op geen van de uitgangen een H-signaal staan.

Uit de tabel kunnen we aflezen dat de 0 wordt verwerkt door een NOR-gate (NOR 4), de 1 door een NOR met geïnverteerde ingang E_B en de 2 door een NOR met geïnverteerde ingang E_A . Bij de NOR-gates (NOR 2 en NOR 3) met de inverterende ingangen hebben we te maken met een EN-schakeling met negerende ingang. In vergelijking met schakeling 4.10.14. vervallen de beide inverters in ingang E. Omdat beide in serie geschakeld beschouwd kunnen worden heffen ze elkaars functie op.



4.10.23. Code-omzetter decimaal → binair (codeerschakeling)

Ook decimale getallen kunnen elektronisch worden omgerekend in binaire. In schakeling 4.10.23. worden de decimale getallen aan de ingangen steeds aangegeven door een H-signaal terwijl de overige ingangen L zijn:

H op E_1 = decimaal 1

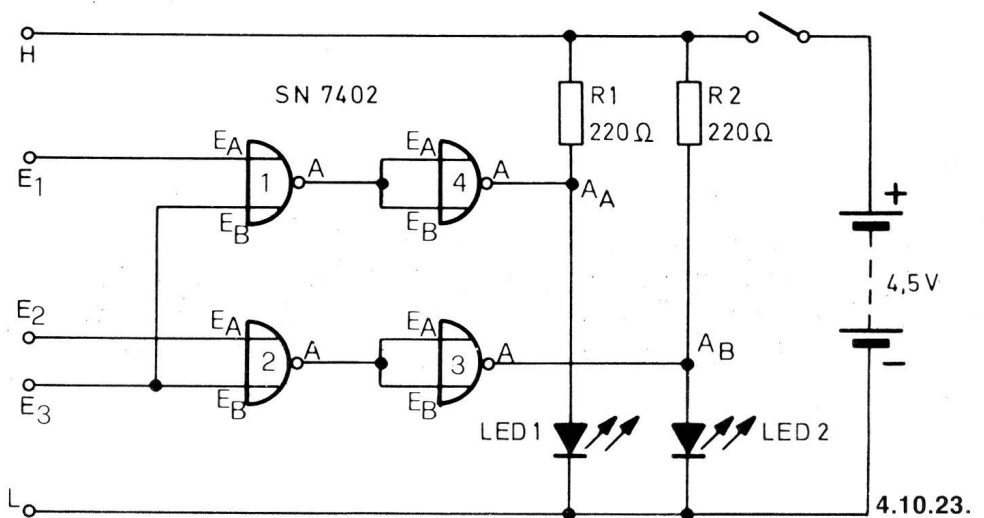
H op E_2 = decimaal 2

H op $E_3 = \text{decimaal } 3$

Het verband blijkt uit de tabel:

E ₁	E ₂	E ₃	A _B	A _A
H	L	L	L	H
L	H	L	H	L
L	L	H	H	H

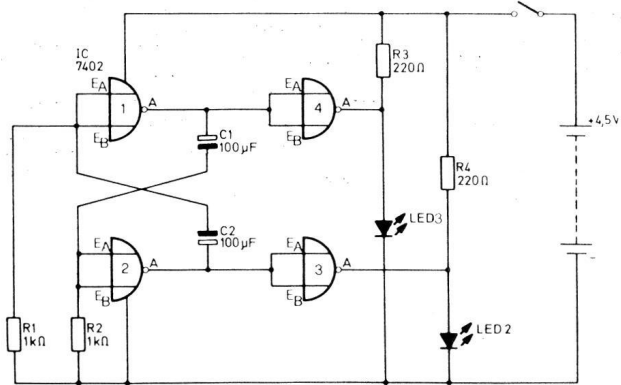
Uit de tabel blijkt dat voor $A_A = L$ een OF-verbinding met E_1 en E_3 geldt en voor A_B een OF-verbinding met E_2 en E_3 . Wanneer op alle ingangen L staat heeft dit tot gevolg dat op beide uitgangen óók L staat.



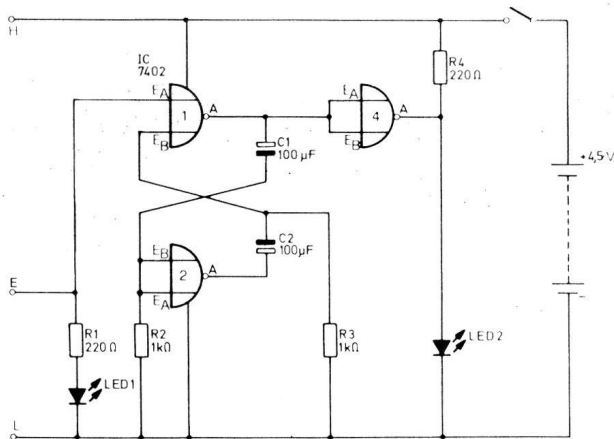
Multivibratorschakelingen

4.10.24. Knipperoscillator

Oscillatoren zijn generators of trillingskringen die uit een gelijkspanning een willekeurige wissel- resp. rechthoekspanning opwekken. Knipperoscillator 4.10.24. bestaat uit vier NOR-schakelementen. De schakeltoestanden van de uitgang van de generator worden aangegeven door lichtgevende dioden. Voor een beter begrip van de schakeling gaan we ervan uit dat de oscillator al oscilleert. Het eigenlijke aanlopen kan worden verklaard door kleine verschillen in de elektrische waarde van de onderdelen. Wanneer er op de ingangen van NOR 1 een L-sigitaal staat, staat er op de uitgang een H. Deze uitgangsspanning laadt ook condensator C₁ op. Naarmate dit proces vordert daalt de spanning op de ingangen van NOR 2 zodanig dat NOR 2 omslaat. Dan staat er op zijn uitgang een H-sigitaal. Dit sigitaal wordt door NOR 3 geïnverteerd en LED 2 gaat uit. Nu gaat LED 3 branden omdat het op de uitgang staande L-sigitaal van NOR 1 door NOR 4 wordt geïnverteerd. Via condensator C₂ ontstaat geleidelijk weer L op de ingangen van NOR 1 waarvan de uitgang dan weer omslaat naar H. Dit proces herhaalt zich en de LED's knipperen afwisselend.



4.10.24.



4.10.25.

4.10.25. Start-stop-oscillator

Een start-stop-oscillator is ook een generatorschakeling die echter, in tegenstelling tot de knipperoscillator, pas gaat oscilleren wanneer na het inschakelen ingang E wordt verbonden met 0 volt.

In de beschreven ingeschakelde toestand – E verbonden met + 4,5 V – krijgt NOR 1 een H op de ingang. De uitgang is daardoor L en ontladst condensator C₁. Wanneer we nu ingang E verbinden met 0 volt dan gaat LED 1 uit. Beide ingangen van NOR 1 zijn nu L en de uitgang H. Condensator C₁ wordt opgeladen. Hierbij loopt de laadstroom door R₂ waarover zich een spanning opbouwt. De ingangen van NOR 2 zijn nu H zodat de uitgang op L springt. Condensator C₂ ontladst zich en de ontladstroom veroorzaakt een spanningsval over R₃. De met de weerstand verbonden ingang van NOR 1 wordt H en de uitgang springt op L. Steeds als de uitgang van NOR 1 een L-sigitaal voert brandt LED 2.

4.10.26. RS-flip-flop

Een flip-flop is een multivibrator met twee stabiele elektrische toestanden. Een schakelimpuls aan de ingang maakt dat de uitgang in de andere elektrische toestand springt. De flip-flop blijft staan in de aangenomen toestand tot de ingang weer een korte impuls krijgt. Om deze reden kan de flip-flop als opslagelement worden gebruikt want ingevoerde binaire informatie blijft zo lang opgeslagen tot nieuwe informatie wordt ingevoerd.

De benaming RS-flip-flop is afgeleid van S = set en R = reset.

Uit onderstaande tabel kunnen we de ingangsvoorwaarden en de daarmee overeenstemmende uitgangstoestand aflezen.

R	S	Q ₁	Q ₂
L	L	ongedefinieerd*)	
H	L	L	H
L	H	H	L

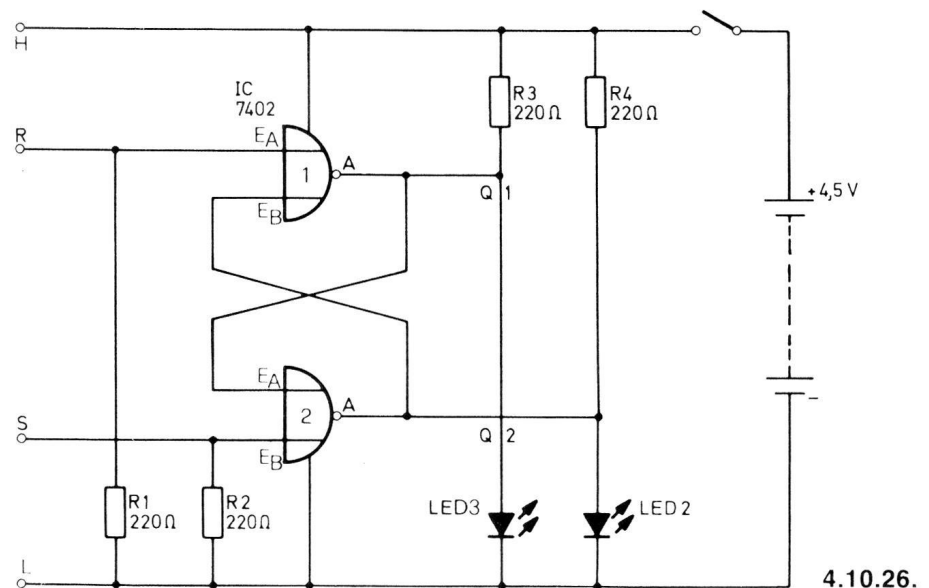
*) Alleen op het moment dat de flip-flop wordt ingeschakeld zijn de schakeltoestanden Q₁ en Q₂ ongedefinieerd. Na set en reset blijft aan de uitgangen de laatste schakeltoestand staan.

Bij deze schakeling is de rusttoestand van de ingangen L omdat ze via R₁ en R₂ zijn verbonden met 0 volt.

De flip-flop bestaat uit twee NOR-schakelementen die door tegenkoppeling in een bepaalde toestand blijven staan.

Wanneer we ervan uitgaan dat bij het inschakelen LED 3 brandt staat er aan uitgang Q₁ een H-sigitaal en aan uitgang Q₂ een L-sigitaal dat door de tegenkoppeling ook op ingang B van NOR 1 staat. In deze uitgangspositie staat er ook op ingang E_A van NOR 1 een L-sigitaal.

Wanneer we nu ingang R verbinden met + 4,5 V springt de flip-flop om. LED 2 brandt en LED 3 gaat uit. In deze schakeltoestand krijgt ingang E_A van NOR 2 een L-sigitaal. Omdat er op uitgang Q₂ bij de verbinding R met + 4,5 volt een H-sigitaal staat krijgt ook ingang E_B van NOR 1 via de tegenkoppeling een H-sigitaal. Dit is de voorwaarde voor Q₁ = L. Wanneer S wordt verbonden met + 4,5 V (H) schakelt de flip-flop weer om.

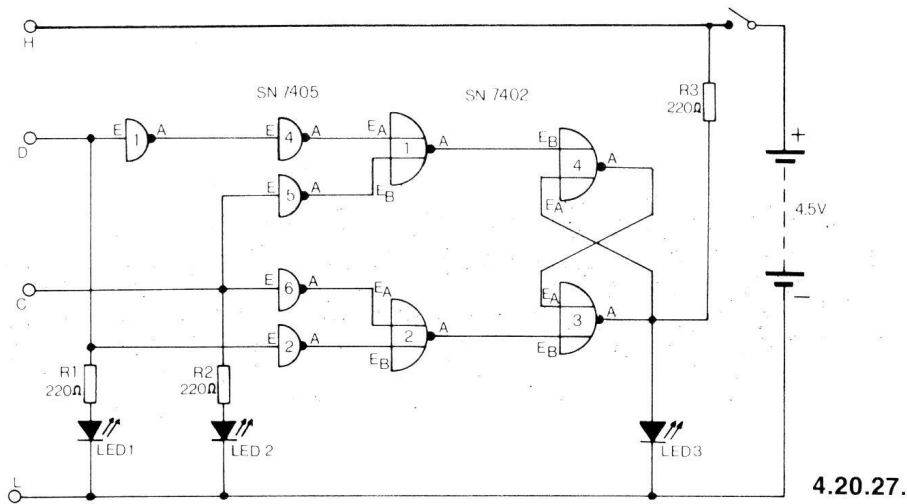


4.10.27. D-flip-flop

D-flip-flop 4.10.27. bestaat in wezen uit de RS-flip-flop met elk een voor-geschakelde EN die hier worden gevormd door een NOR met twee inverters. De ingangen R en S zijn samengevoegd tot één gemeenschappelijke ingang D. Wanneer ingang C wordt aangesloten op H staat er op uitgang Q eveneens H als er op D een L-sig-naal staat. Wanneer C op L springt kan ingang D veranderen zonder dat de uitgangstoestand verandert.

D	Q
L	H
H	L

Deze toestanden gelden bij C = H.



4.10.28. Monostabiele multivibrator

Monostabiele multivibrators zijn schakelingen die enkel gedurende een vast-gestelde tijd een elektrische toestand aannemen. Daarna springen ze vanzelf terug in de uitgangstoestand (vergelijk EE 2013, hoofdstuk 3.3.).

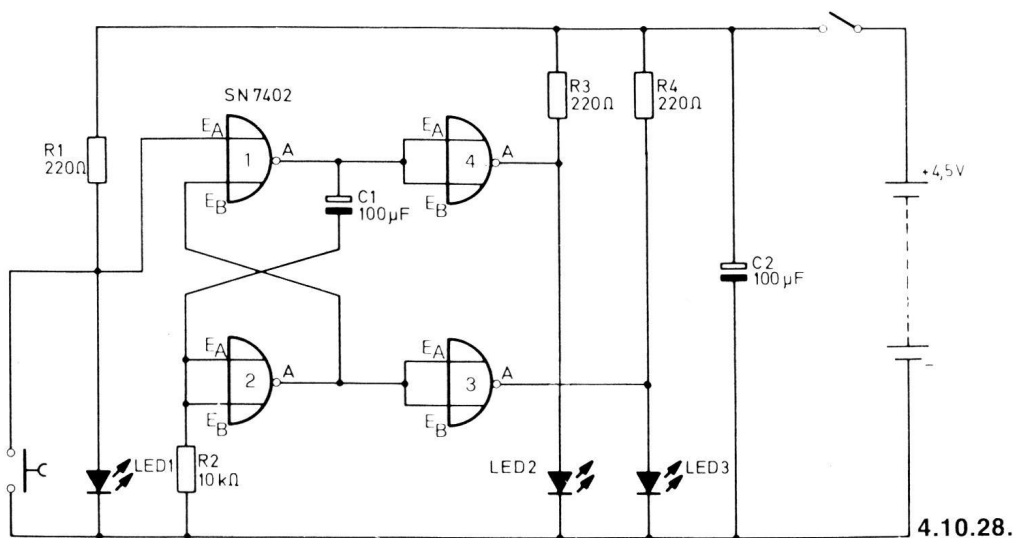
De monostabiele multivibrator 4.10.28. wordt gerealiseerd met behulp van een IC SN 7402, bestaande uit 4 NOR-schakelingen. De omschakeltijd wordt bepaald door de capaciteit van condensator C₁ en weerstand R₂.

Na het inschakelen van het toestel branden alle LED's. In deze toestand krijgt ingang E_A van NOR 1 via R₁ een H-sig-naal. Op ingang E_B staat een L-sig-naal door de tegenkoppeling van A₂ van de NOR-gate. Omdat het L-sig-naal van NOR 1 door NOR 4 wordt geïnverteerd brandt LED 2.

De ingangen van NOR 2 krijgen via weerstand R₂ een onvoldoend negatief spanningspotentiaal en daarom staat er een H-sig-naal. Het L-sig-naal op de uitgang wordt door NOR 3 geïnverteerd en LED 3 brandt.

Wanneer de knop wordt ingedrukt gaat LED 1 even uit. E_B van NOR 1 krijgt een L-sig-naal en uitgang A₁ springt nu op H. Dit sig-naal wordt door NOR 4 geïnverteerd en LED 2 gaat uit. Tegelijkertijd wordt de condensator geladen. Daardoor krijgen de ingangen E_A en E_B van NOR 2 een L-sig-naal en de uitgang springt op H. Als gevolg van de invertering door NOR 3 gaat LED 3 ook uit.

De tegenkoppeling van het uitgangssig-naal op E_B van NOR 1 wekt daar weer een H-sig-naal op zodat de schakeling weer in de uitgangstoestand terugkeert. Dit wordt aangegeven door LED 2 en LED 3.



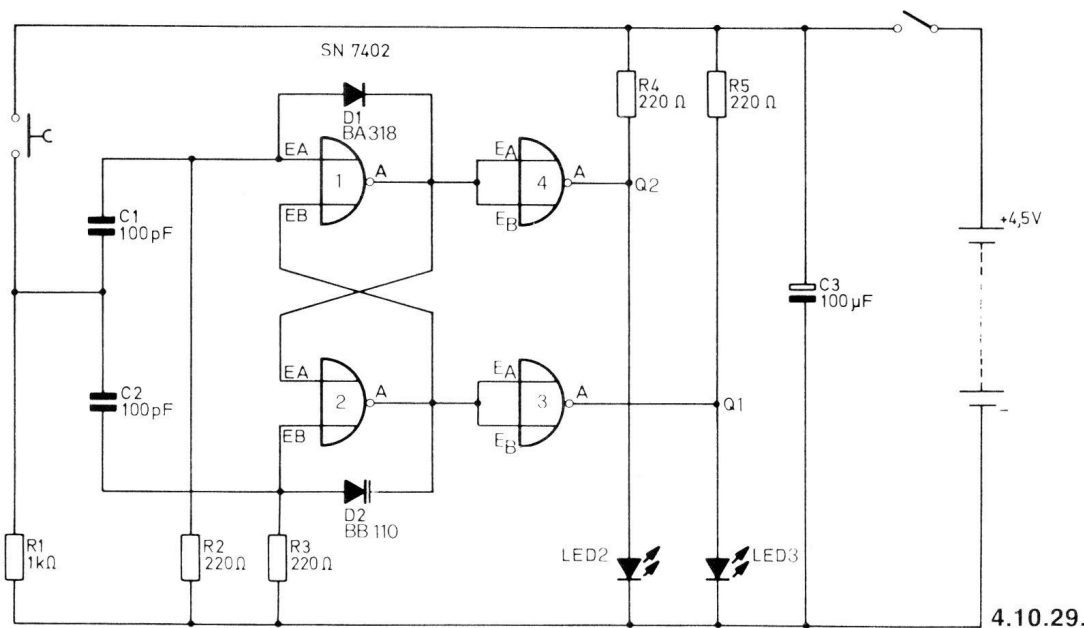
4.10.29. Flip-flop met drie stabiele toestanden

Met behulp van de tot dusver beschreven flip-flops kunnen alleen waarden (L of H) worden opgeslagen. De multivibrator met drie stabiele toestanden is echter ook geschikt voor het delen van frequenties. Deze flip-flop bestaat uit twee NOR-schakelingen die onderling zijn tegengekoppeld.

Wanneer we ervan uitgaan dat bij het inschakelen LED 2 brandt staat er op uitgang A_1 van deze multivibrator een L-sigitaal; uitgang A_2 van NOR 2 moet dan op H staan.

Na het indrukken van de schakelaar krijgen de ingangen E_{A1} en E_{B2} een korte, positieve impuls via C_1 en C_2 . Op E_{A1} heeft dit echter geen resultaat omdat D_1 geleidt. D_2 is echter gesperd omdat op uitgang A_2 een H-sigitaal staat. Ingang E_{B2} wordt dus heel even H; de flip-flop slaat om en A_2 is nu L.

Wanneer de schakelaar weer wordt ingedrukt springt uitgang A_2 van NOR 2 op H omdat de positieve ingangsimpuls alleen iets aan de toestand van ingang E_A van NOR 1 kan veranderen. Bij elke, door de schakelaar opgewekte, positieve impuls springt de flip-flop in een andere toestand.



4.11. Decimaalteller SN 7490 (kleur rood)

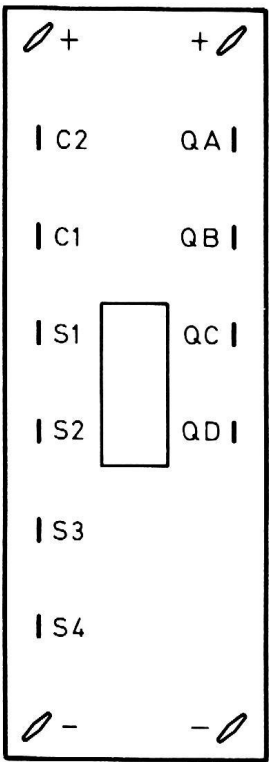
Omdat in de digitale techniek uitsluitend gebruik wordt gemaakt van de schakeltoestanden H en L kunnen we niet decimaal tellen. De decimale getallen moeten eerst worden omgezet in binaire getallen die dan als een reeks schakeltoestanden kunnen worden weergegeven.

Zoals we in hoofdstuk 3.9. al hebben uitgelegd kunnen we de decimale cijfers 0 tot 9 weergeven in 4 binaire cijfers, zogenaamde tetraden. De volgorde van de schakeltoestanden geeft dan een binair getal weer. We gebruiken voor dit doel 4 na elkaar geschakelde multivibrators. De functie van flip-flops is al beschreven in 4.10.28. De uitgang springt bij elke impuls op de ingang in een andere toestand, dus H-L-H-L enz. Bij deze decimaalteller schakelen ze dynamisch, d.w.z. dat ze alleen bij de overgang van de stuurimpuls overspringen in de andere toestand. Ze worden gestuurd door de flank van de impuls. Dit kan zowel de inschakel- als de uitschakelflank zijn.

Als er op het schakelschema van een flip-flop bij de aansluiting van de stuuringang een witte driehoek staat wil dat zeggen dat het proces op gang wordt gebracht door de voorste flank (inschakelflank.) Een zwarte driehoek is het symbool voor sturing door de achterste flank (uitschakelflank).

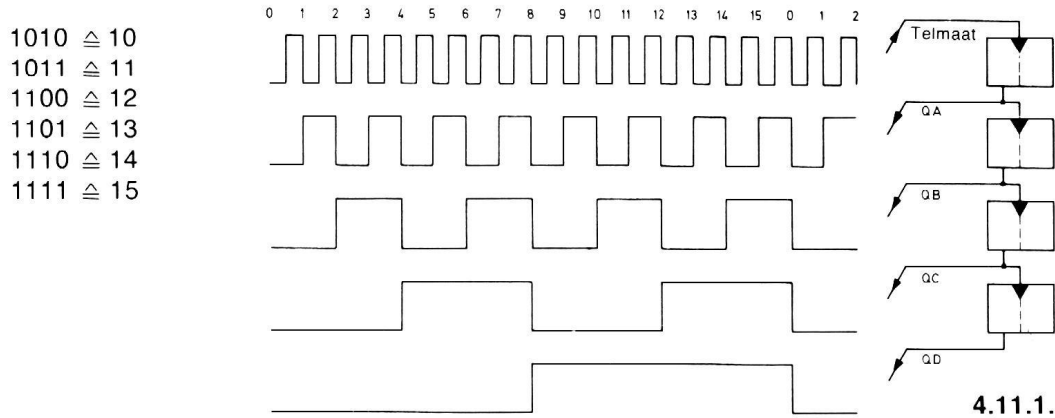
Het hierna volgende schema is een weergave van de principiële schakeling van een decimale teller. De pijl geeft aan wanneer de impuls de volgende flip-flop in werking stelt:

Telmaat	Q _A	Q _B	Q _C	Q _D	Binair getal
0	L	L	L	L	0000
1	H↓	L	L	L	0001
2	L	H	L	L	0010
3	H↓	H↓	L	L	0011
4	L	L	H	L	0100
5	H↓	L	H	L	0101
6	L	H	H	L	0110
7	H↓	H↓	H↓	L	0111
8	L	L	L	H	1000
9	H	L	L	H	1001



SN 7490
kleur rood

De schakeltoestanden moeten van achter naar voren gelezen worden want de eerste flip-flop geeft het laatste cijfer in het binaire stelsel aan, de tweede het voorlaatste enz. Zoals we zien in de tabel springt de eerste flip-flop voortdurend van L op H en bij elke overgang van H op L schakelt hij de volgende flip-flop. Deze schakelt ook weer, bij de overgang van H op L, de volgende trap zodat de schakeltoestanden kunnen worden weergegeven in een grafiek (afb. 4.11.1.). Wanneer we kijken naar de laatste rij in de tabel, de binaire 9, dan zien we dat we met behulp van viercijferige binaire getallen ook decimale getallen boven 9 kunnen weergeven:



4.11.1.

Deze „blinde tetraden” werpen schakeltechnische problemen op die niet één-twee-drie kunnen worden opgelost. Het blokschema van de SN 7490 (afb. 4.11.2.) is daarom heel wat gecompliceerder dan de simpele serieschakeling van 4 flip-flops. De vierde flip-flop is gekoppeld met een EN-schakeling waardoor wordt verhinderd dat de teller verder gaat dan 9. Het impuls patroon wordt ook gecompliceerder. Q_A moet b.v. worden verbonden met ingang Q_B . Bovendien zijn in het IC twee NAND-gates geïntegreerd die vooral dienen voor reset van de teller.

SN 7490 kan als teller op verschillende manieren worden gebruikt:

- 1° als 2:1-teller met maatingang C_1 en uitgang Q_A
- 2° als 5:1-deler met maatingang C_2 en uitgang Q_B - Q_D
- 3° als 10:1-deler met maatingang C_1 , C_2 aan Q_A en uitgangen Q_A - Q_D

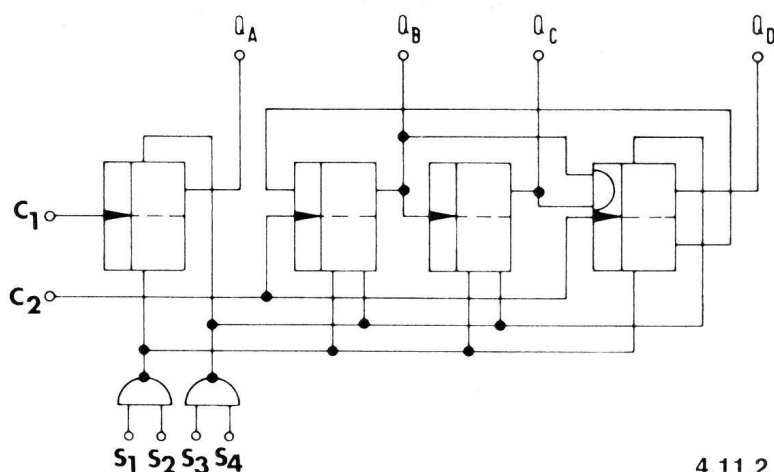
Met de ingangen S_1 - S_2 kan de teller worden teruggezet op LLLL wanneer op beide ingangen H staat.

Dit kan nodig zijn wanneer de teller een gedefinieerde begintoestand heeft of wanneer hij met een andere deelverhouding moet werken. Wanneer we daarentegen de set-ingangen S_3 en S_4 aansluiten op H worden Q_A en Q_D , H en Q_B en Q_C L.

Bij het telproces moet minstens 1 ingang van de set-ingangsgroepen L zijn zodat er geteld kan worden.

Enige technische gegevens:

max. voedingsspanning	5,5 V
uitgangsstroom	16 mA
ingang C_1 ingangsstroom L	3,2 mA
ingang C_2 ingangsstroom L	6,4 mA
ingang S_1 - S_4 ingangsstroom L	1,6 mA
ingangsstromen bij H	ca 0,1 mA



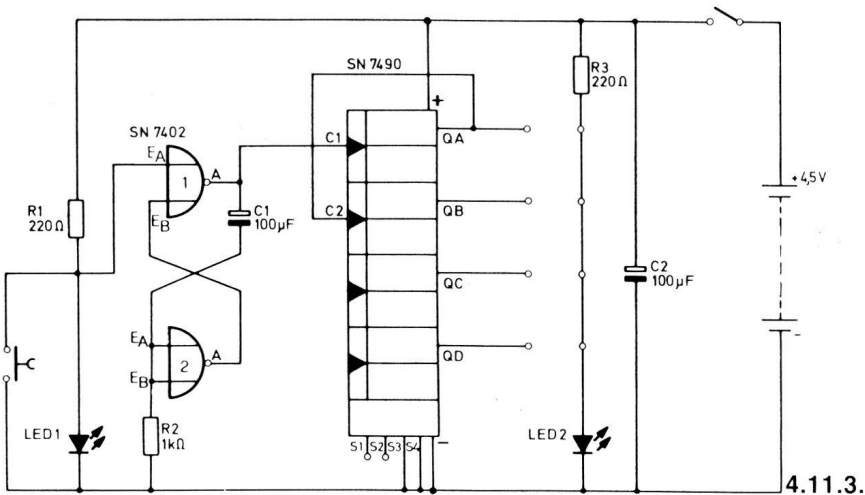
4.11.2.

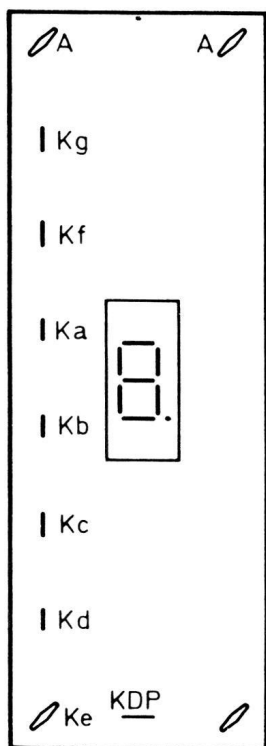
Instelbare teller

De instelbare teller 4.11.3. bestaat uit een monostabiele multivibrator (twee NOR-gates uit SN 7402) en de tel-flip-flop SN 7490. De telimpulsen van de multivibrator die worden opgewekt met de drukschakelaar kunnen met de flip-flop SN 7490 in elke verhouding tussen 2 en 10 gedeeld worden, al naargelang de wijze waarop de set-ingangen S₁/S₂ met de uitgangen Q_A en Q_D verbonden worden (voor de werking van de flip-flop zie hoofdstuk 4.11.). LED 1 geeft de telimpulsen van de multivibrator aan en LED 2 – nadat hij is verbonden met de gewenste uitgang – de gedeelde impulsen. Uit onderstaande tabel kan worden afgelezen hoe de uitgangen met de set-ingangen en LED 2 met een uitgang verbonden moeten worden.

Teller	S ₁	S ₂	LED 2
2 : 1	0 volt	0 volt	Q _A
3 : 1	Q _A	Q _B	Q _B
4 : 1	Q _C	0 volt	Q _B
5 : 1	Q _A	Q _C	Q _C
6 : 1	Q _B	Q _C	Q _C
7 : 1	zie beneden		Q _D
8 : 1	Q _D	Q _D	Q _C
9 : 1	Q _A	Q _D	Q _D
10 : 1	0 volt	0 volt	Q _D

Hier een voorbeeld hoe de teller moet worden ingesteld:
Het signaal van de multivibrator moet gerangschikt worden volgens de verhouding 5:1. We gaan dan als volgt te werk: we verbinden Q_A met S₁ en Q_C met S₂ en maken een verbinding tussen LED 2 en Q_C. Nadat LED 1 vijfmaal is aangeflitst brandt LED 2 éénmaal.
De deilverhouding kan hierom 5 : 1 zijn omdat de teller tot telmaat 4 (zie tabel. 4.11) correct doorloopt. Bij de vijfde impuls willen Q_A en Q_C H worden. Ze springen echter door de set-ingangen direct terug op L (beginpositie 0). Volgens dit principe kunnen alle deilverhoudingen tussen 2 en 10 worden gerealiseerd, met uitzondering van 7 : 1.
Voor deze verhouding zouden we drie set-ingangen nodig hebben (telmaat 7 - Q_A, Q_B en Q_C worden H). Toch kunnen we, op een speciale manier, van een SN 7490 ook een 7:1-deler maken. We verbinden S₁ en S₂ met de min-pool van de batterij, S₃ met Q_B en S₄ met Q_C. LED 2 wordt verbonden met Q_D. De teller loopt door tot 6, Q_B en Q_C worden H (S₃ en S₄ treden in werking), en de teller springt op Q_A = H, Q_B = L, Q_C = L, Q_D = H.
De posities 6, 7 en 8 zijn overgeslagen en de teller begint bij 9 weer te tellen.





CQY 81
kleur oranje

4.12. Zeven segments-uitleeseenheid (display) CQY 81

(kleur oranje)

Voor het aflezen van decimale getallen hebben we elektronisch gestuurde display-elementen nodig. Erg bekend zijn displays, bestaande uit zeven segmenten, d.w.z. dat de cijfers uit hoogstens 7 delen bestaan. Dit komt de leesbaarheid ten goede.

De segmenten van de display bestaan uit lichtgevende dioden met het half-geleider materiaal gallium-arsenide-fosfiet.

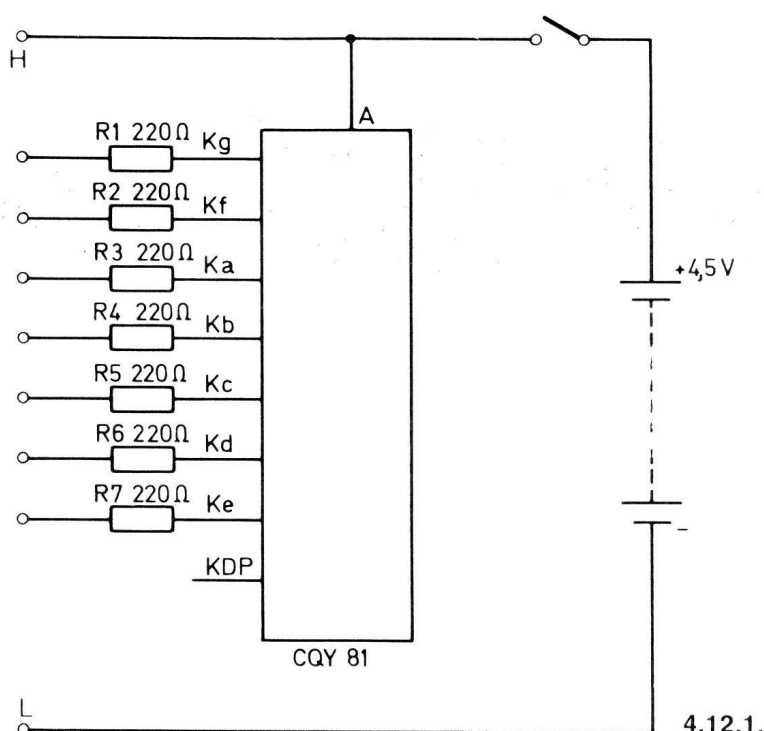
De anoden van deze dioden zijn met elkaar verbonden. De segmenten geven licht wanneer er een stroom doorheen loopt. De anode moet aangesloten zijn op + 4,5 V en de kathoden worden, via stroombegrenzende weerstanden, verbonden met 0 volt. Tussen anode en kathode staat dan ca 1,6 V.

Technische gegevens:

segmentspanning in sperrichting	3 V
segmentspanning in doorlaatrichting	1,6 V
segmentstroom max.	20 mA

Weergave van tekens en cijfers

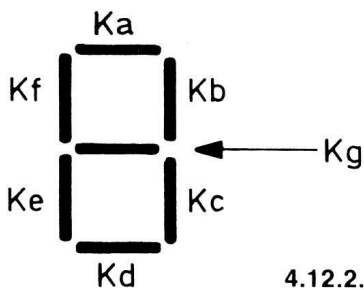
Om te zien hoe de display werkt sluiten we de gemeenschappelijke anode aan op + 4,5 V en daarna achtereenvolgens de verschillende kathodes via weerstanden van elk 220 ohm op L (minpool van de batterij). De segmenten lichten na elkaar op. Wanneer we cijfers willen weergeven verbinden we de segmenten zoals aangegeven in de tabel behorende bij schakeling 4.12.1.:



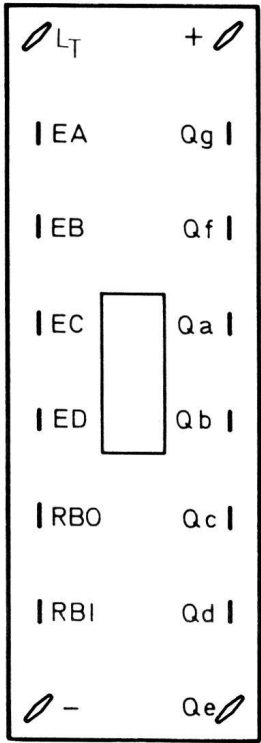
Cijfer	K_{a1}	K_{a2}	K_c	K_{d1}	K_{d2}	K_f	K_g
0	L	L	L	L	L	L	H
1	H	L	L	H	H	H	H
2	L	L	H	L	L	H	L
3	L	L	L	L	H	H	L
4	H	L	L	H	H	L	L
5	L	H	L	L	H	L	L
6	H	H	L	L	L	L	L
7	L	L	L	H	H	H	H
8	L	L	L	L	L	L	L
9	L	L	L	H	H	L	L

We zien dat de cijfers oplichten nadat de segment kathodes zijn aangesloten op L. H hoeft niet omgeschakeld te worden. Behalve cijfers kunnen ook andere tekens en letters en ook de decimale punt worden weergegeven. De hier beschreven schakeling dient tevens ter controle van de zeven segments-display.

De display van de teller wordt gestuurd door b.v. code-omzetter SN 7447. Deze omzetter bestuurt de betreffende segmenten waardoor het cijferbeeld ontstaat. De dioden zijn zeer gevoelig voor sperspanningen en volgens de fabrikant mogen die de 3 volt niet overschrijden. De segmenten worden in afb. 4.12.2. aangegeven met letters.



4.12.2.



SN 7447
kleur groen

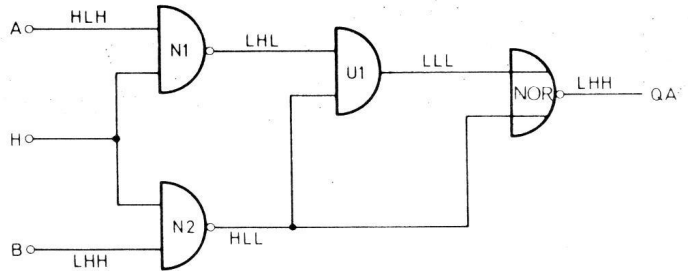
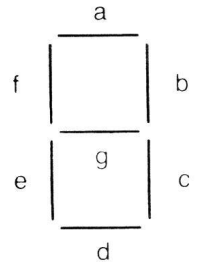
4.13. Code-omzetter SN 7447 (kleur groen)

Het principe van de omzetting van binaire in decimale getallen en omgekeerd is reeds behandeld in de hoofdstukken 4.10.22. en 4.10.23.

Met behulp van code-omzetter SN 7447 zetten we het binaire getal, dat als gevolg van de schakeltoestanden op de 4 uitgangen van de decimaalteller ontstaat, om in een zeven eenheden-code en besturen daarmee de 7-segments-cijfers die dienst doen als display. CQY 81 is zo'n display en deze is al in het vorige hoofdstuk beschreven. Schakeltechnisch gezien komt het aan op de juiste verbinding van de ingangen met NAND-, NOR- en EN-schakelingen om de uitgangen Q_a tot Q_f te kunnen voorzien van het juiste potentiaal. De grootste moeilijkheid is gelegen in de schrijfwijze van de cijfers. Voor een 0 zijn zes van de zeven segmenten nodig, voor een 3 vijf, voor een 4 vier enz. Bovendien moeten ze op de juiste plaats komen.

Uit de hiernavolgende tabel kunnen we aflezen hoe de decoder de binaire informatie omzet om tot leesbare cijfers te komen. Voor een beter begrip verdient het aanbeveling om de schakeltoestanden op het schema na te lopen zodat de segmenten geïdentificeerd kunnen worden.

Cijfer	Ingang				Uitgang Q						
	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g
0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H
1	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	H
2	L	L	H	L	L	L	H	L	L	H	L
3	L	L	H	H	L	L	L	L	H	H	L
4	L	H	L	L	H	L	L	H	H	L	L
5	L	H	L	H	L	H	L	L	H	L	L
6	L	H	H	L	H	H	L	L	L	L	L
7	L	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H
8	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
9	H	L	L	H	L	L	L	H	H	L	L



4.13.1.

Schakeltechnisch verloopt de omzetting zoals weergegeven in het hiernavolgende voorbeeld. Het gaat hierbij om sturing van segment K_a bij de cijfers 1, 2 en 3. Voor het cijfer 1 hebben we K_a niet nodig, maar wél voor 2 en 3. Aan uitgang Q_a staat voor de sturing de volgende binaire informatie ter beschikking:

- 1 L L L H \triangleq H aan Q_a
- 2 L L H L \triangleq L aan Q_a
- 3 L L H H \triangleq L aan Q_a

De eerste twee getallen kunnen buiten beschouwing worden gelaten hoewel ze in de praktijk wel een rol spelen. In schakeling 4.13.1., een vereenvoudigd gedeelte van de IC-schakeling, zijn de schakeltoestanden aan de in- en uitgangen van de diverse schakelingen aangegeven. Alle eerste letters horen bij elkaar want zij stellen het niveau voor als 1 wordt aangegeven. Alle tweede letters vormen het niveau bij een 2 en alle derde letters bij een 3. We zien dat de schakeling bestaat uit slechts enkele basisfuncties, namelijk tweemaal NAND (N_1 en N_2), éénmaal EN (U_1) en éénmaal NOR (NOR_1).

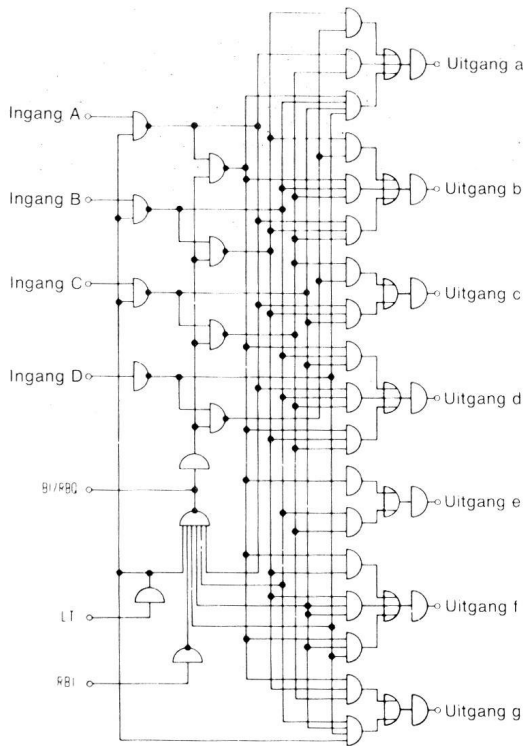
Nu de werking: Het binaire signaal $01 \triangleq LH$ (display 1) ontstaat met H aan ingang A en met L aan ingang B. Op de uitgang van N_1 staat L omdat op de beide ingangen van de NAND-gate H staat. (De tweede ingangen van beide gates liggen samen aan H. In het IC dient deze verbinding voor de sturing). U_1 krijgt dus op één ingang L. Op B staat L, dat is de nul van het binaire getal $01 \triangleq$ decimaal 1. Aan de uitgang van NAND-gate N_2 staat daarom H. De signalen van de twee NAND-gates worden in de EN-schakeling gecombineerd. L en H resulteren in L op zijn uitgang. Tegelijkertijd staat dit signaal op één ingang van de NOR-gate en op de tweede ingang staat H van N_2 . Uitgang Q_{11} is L omdat een van de twee ingangen H is. Segment a brandt bij 1 dus niet. Bij de weergave van de 2 zien we de volgende niveau's:

$$A = L, B = H, N_1 = H, N_2 = L, U_1 = L, NOR_1 = H$$

en bij de 3:

$$A = H, B = H, N_1 = L, N_2 = L, U_1 = L, NOR_1 = H$$

Dit was de sturing van één segment: dat voor de cijfers 1 tot 3. Voor de juiste sturing van 7 segmenten is heel wat meer nodig. Blokschema 4.13.2. geeft daar een indruk van. Als we goed kijken zien we dat de IC maar een paar basisfuncties nodig heeft. Het komt echter alleen maar aan op een juiste combinatie!



4.13.2.

Technische gegevens:

max. voedingsspanning	5,5 V
max. uitgangsstroom bij L	32 mA
max. ingangsstroom bij L voor LT, $E_{\text{V}}-E_{\text{I}}$	1,6 mA
max. ingangsstroom bij H voor LT, $E_{\text{V}}-E_{\text{I}}$	0,1 mA
max. ingangsstroom bij L voor $R_{\text{I}1}$ en $R_{\text{I}0}$	4 mA
max. ingangsstroom bij H voor $R_{\text{I}1}$ en $R_{\text{I}0}$	0,2 mA

BCD-decimaalomzetter

In schakeling 4.13.3. zijn de decimaalomzetter SN 7447 en de 7-segments-display CQY 81 met elkaar verbonden. Aan de ingangen A tot D voeren we een getal toe in binaire code zoals het verschijnt aan de uitgangen van de tel-flip-flop (Hfdst. 4.11.). Wanneer we de schakelingen willen testen kunnen we het beste de tabel volgen en als hierna aangegeven te werk gaan:

L betekent dat de betreffende ingang wordt verbonden met 0 volt.

H betekent dat de betreffende ingang wordt verbonden met + 4,5 V.

Alle ingangen moeten dus aangesloten worden!

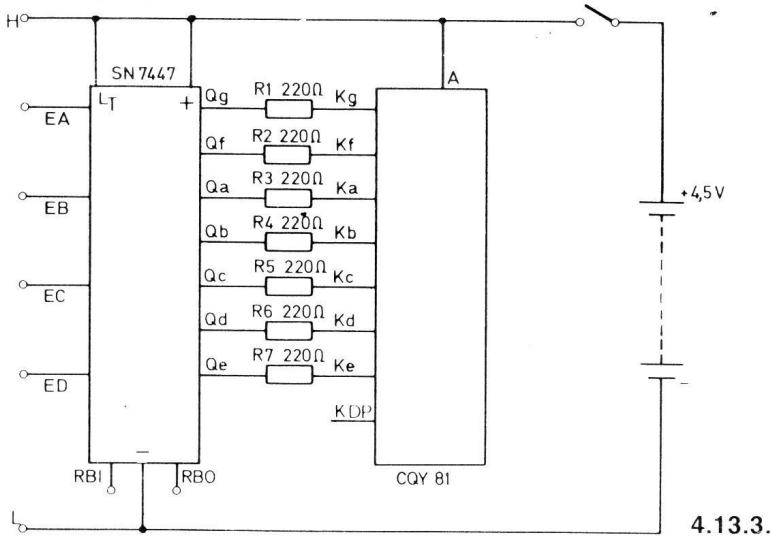
Zoals reeds beschreven in hoofdstuk 4.11. kunnen we met 4 schakeltoestanden getallen tot 15 weergeven. Omdat de decimale getallen slechts één-cijferig zijn tot 9 – bij 10 komt er immers een cijfer bij – ontstaan er 6 „blinde” tetraden” boven de 9. De 7-segments-display schrijft voor de binaire getallen 10 tot 15 de volgende tekens:

D	C	B	A	display	getal
H	L	H	L		10
H	L	H	H		11
H	H	L	L		12
H	H	L	H		13
H	H	H	L		14
H	H	H	H	geen	15

Deze blinde tetraden mogen natuurlijk niet verschijnen wanneer er cijfers worden weergegeven. Het verwezenlijken van schakeltoestanden door het verbinden van de ingangen met 0 resp. + 4,5 V verduidelijkt dus op een heel bijzondere manier de problematiek bij het omzetten van binaire en decimale getallen. De ongewenste weergave die hieruit zou voortvloeien mag niet voorkomen wanneer de teller werkt. Ze moeten worden onderdrukt door bepaalde voorzorgsmaatregelen in de schakeling (verg. hoofdstuk 4.11.).

Behalve de reeds beschreven aansluitingen heeft de code-omzetter nog drie ingangen:

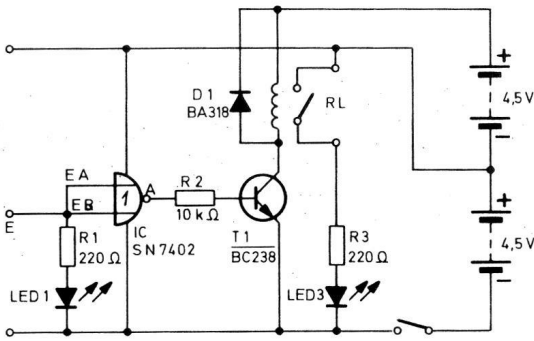
- LT betekent test:
alle segmenten branden wanneer deze ingang aan L wordt gelegd.
- R₁₅₁ betekent onderdrukken van de nul bij het tellen,
wanneer deze ingang aan L wordt gelegd.
- R₁₅₀ betekent onderdrukken van het gehele display wanneer deze ingang aan L wordt gelegd.



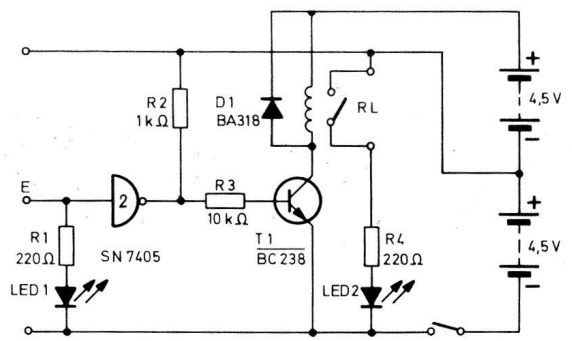
4.14. Interface (aanpasschakelingen)

Apparaten die relatief veel stroom gebruiken kunnen niet zonder meer gestuurd worden door geïntegreerde schakelingen. De uitgang van IC 7405 (wit) mag hoogstens met 16 mA belast worden. Wanneer we desondanks apparaten met een hoger stroomverbruik willen sturen maken we gebruik van een transistor of een relais of allebei zoals in de hierna volgende voorbeelden. Zulke combinaties noemen we interface (aanpasschakelingen).

In schakeling 4.14.1. wordt een NOR-schakeling van de SN 7402 (blauw) gebruikt als inverter. Zijn uitgang stuurt via weerstand R_2 (10 k Ω) de basis van transistor T_1 . Wanneer we nu op ingang E van de NOR een L-sigitaal aansluiten – 0 volt – staat er op de uitgang H. De basisvoorspanning schakelt transistor T_1 . Om er zeker van te zijn dat het relais goed werkt hebben we een hogere voedingsspanning nodig, in dit geval 9 volt. Deze spanning kunnen we verkrijgen door twee 4,5 volt batterijen in serie te schakelen. Door de grote collectorstroom trekt relais R_L aan en LED 2 brandt. Wanneer we daarna ingang E verbinden met + 4,5 volt brandt LED 1. Aan de ingang van de NOR-gate staat een H-sigitaal en aan de uitgang L. De transistor spert en het relais schakelt uit. Diode D_1 voorkomt dat er bij het uitschakelen spanningspieken ontstaan die de transistor zouden kunnen beschadigen.



4.14.1.

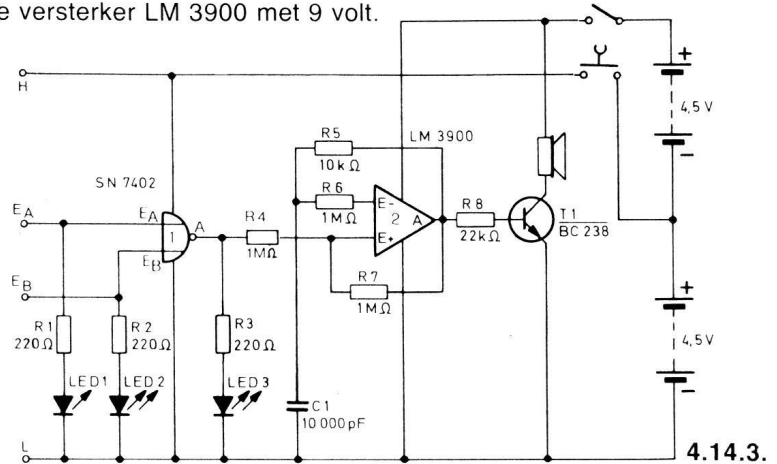


4.14.2.

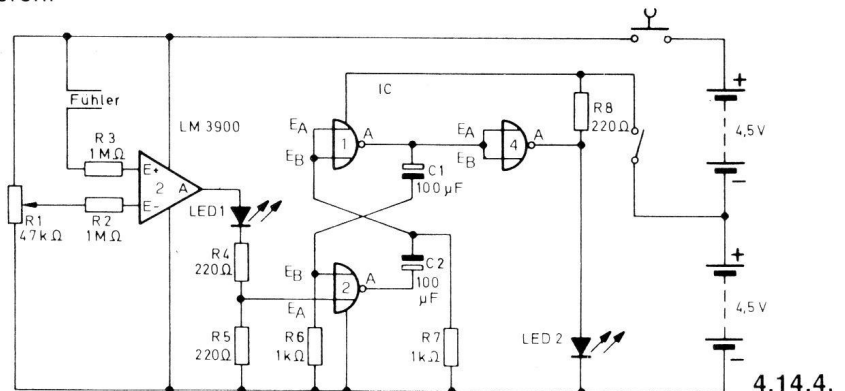
Zoals blijkt uit schakeling 4.12.2. kan elk van de zes inverter-ingangen van de SN 7405 (wit) worden gebruikt voor het sturen van een relais mits er een transistor tussen geschakeld wordt. Wanneer we na het inschakelen van de voedingsspanning ingang E van een inverter verbinden met 0 volt staat er op de uitgang een H-sigitaal dat transistor T_1 stuurt. De collectorstroom door de spoel van het relais zorgt ervoor dat de contacten aantrekken. LED 2 brandt. Wanneer we daarna de ingang weer verbinden met 4,5 V dan staat er op de uitgang van de inverter een L-sigitaal. De transistor spert en het relais wordt uitgeschakeld. Diode D_1 voorkomt dat er een spanningspiek ontstaat die de transistor zou kunnen beschadigen.

Bij aanpasschakelingen met de SN 7405 moeten we er goed op letten dat dit IC uit zichzelf geen H-sigitaal levert. Hiervoor dient in dit voorbeeld weerstand R_2 .

Deze multivibratorschakeling kan aan elke TTL-schakeling worden gekoppeld. Hierbij moeten we echter wel rekening houden met het feit dat de TTL-schakeling werkt met een spanning van 4,5 volt, maar de transistor en de operationele versterker LM 3900 met 9 volt.



Ingang E_A van NOR 2 ligt via R_5 op L. Condensator C_2 wordt geladen. Door de laadstroom door R_7 krijgen de ingangen van NOR 1 nu allebei een H-signaal; de uitgang springt op L. Deze toestand blijft onveranderd tot C_1 geladen is en de oscillator in de rusttoestand terugkeert (zie schakeling 4.10.25.). De daarachter geschakelde inverter keert dit signaal van A_1 om en de LED 2, die dienst doet als verknipper van de TTL-schakeling, gaat knipperen.

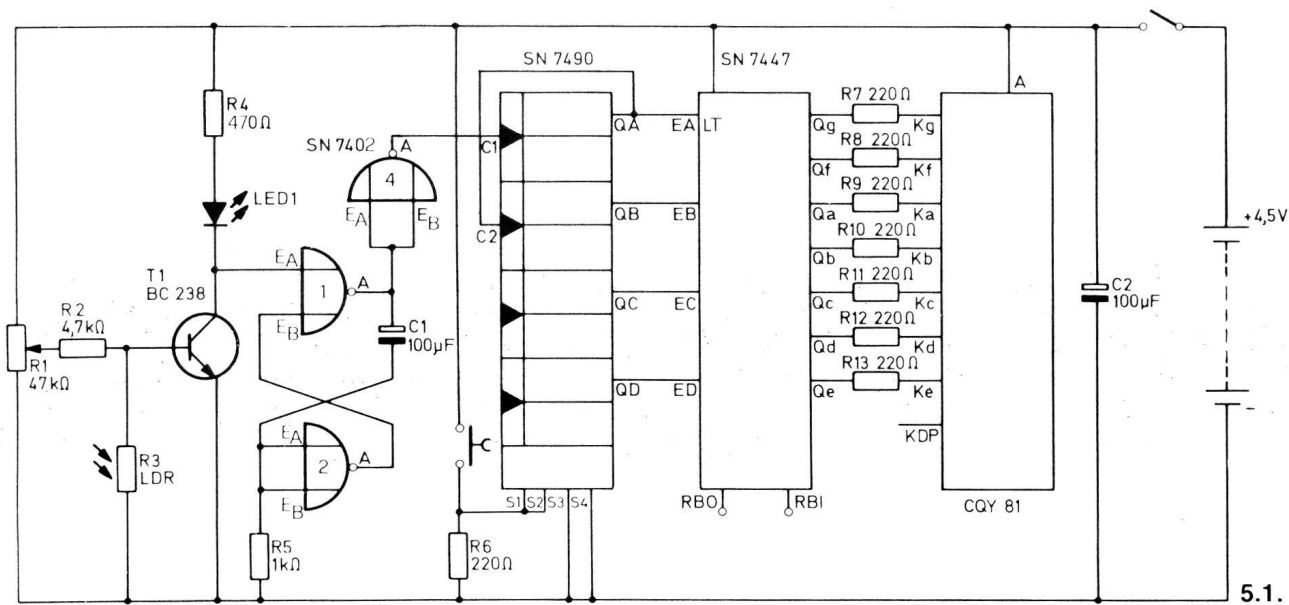


5. Apparaten

5.1. Impulsteller

Impulstellers worden b.v. gebruikt om goederen te tellen op een lopende band. Een lichtbrug geeft lichtimpulsen door aan een LDR die ze omzet in stroomimpulsen. Deze impulsen worden verwerkt in een teller.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.1. Na het inschakelen stellen we de potentiometer zodanig in dat de LED gaat branden bij veranderingen in het lichtniveau (b.v. wanneer de LDR wordt afgedekt). Zo niet, dan onmiddellijk uitschakelen en de fout opsporen. Met de drukschakelaar zetten we de teller terug op 0. Elke keer dat de LDR wordt afgedekt moet de 7-segments-display één cijfer verspringen.



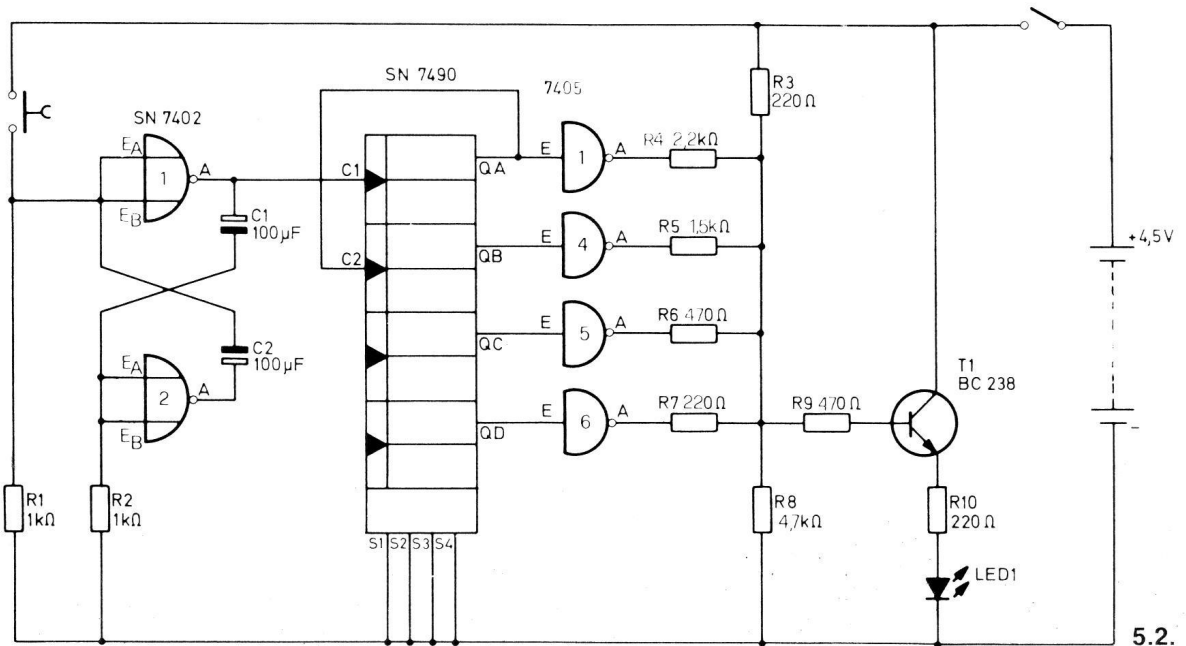
Beschrijving van de schakeling

Wanneer er licht op de LDR valt daalt zijn weerstand zodat er aan de basis van transistor T₁ geen spanning staat. Met potentiometer R₁ stellen we het toestel zodanig in dat de transistor gesperd is wanneer er licht op de LDR valt. Dekken we de LDR af – wat overeenkomt met een telimpuls – dan stijgt zijn weerstand. De basis van T₁ krijgt een voorspanning en de transistor schakelt in. Hierdoor gaat LED 1 branden. De nageschakelde monostabiele multivibrator springt heel even in de andere elektrische toestand - dus L. Dit signaal wordt geïnverteerd door de NOR-gate die als inverter is geschakeld en bereikt ingang C₁ van tel-flip-flop SN 7490. Via decoder SN 7447 worden de uitgangstoestanden naar display CQY 81 geleid en decimaal weergegeven. Met de drukschakelaar krijgen de ingangen S₁/S₂ een H-signaal. Daardoor springt de tel-flip-flop op 0 terug.

5.2. Trapspanningsgenerator

Deze trapspanningsgenerator wekt een trapsgewijs afnemende spanning op die ten slotte zó laag wordt dat de LED uitgaat. Daarna stijgt ze weer in één keer tot de maximale hoogte om daarna weer trapsgewijs af te nemen. Zulke generators kunnen worden gebruikt voor het regelen van lichtsterkte en het sturen van motoren. Bovendien kan digitale informatie worden omgezet in analoge waarden (omzetting digitaal-analoog).

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.2. Na het inschakelen van het toestel moet de drukschakelaar geopend worden. De lichtsterkte van de LED moet dan trapsgewijs afnemen. Is dit niet het geval, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout opsporen.



Beschrijving van de schakeling:

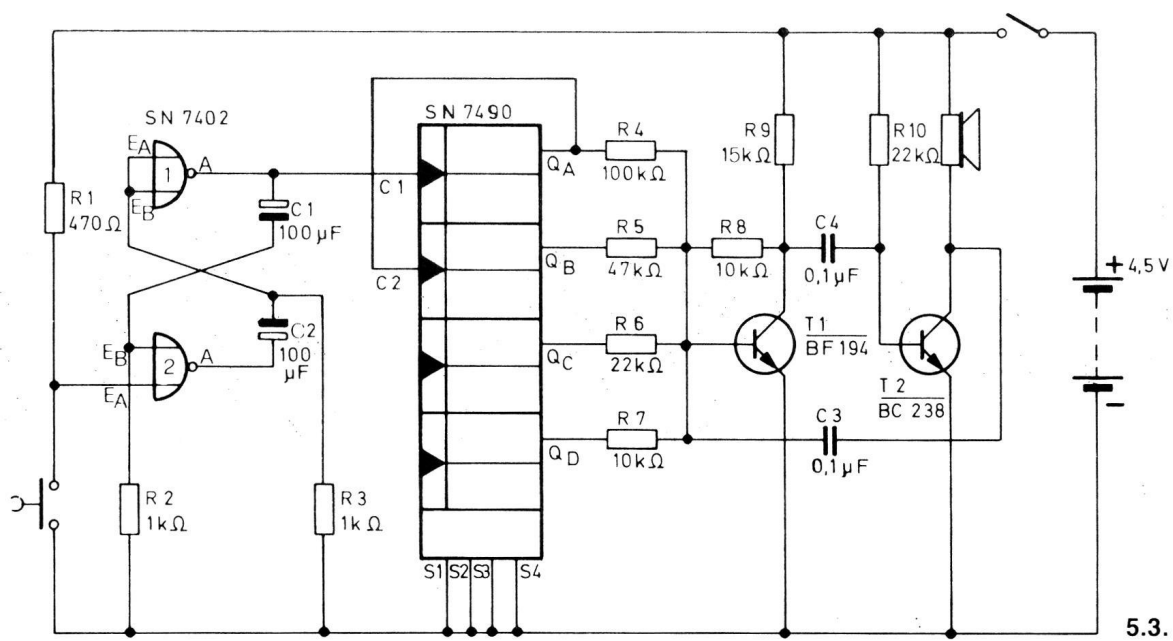
De trapspanningsgenerator bestaat uit een astabiele multivibrator wiens uitgang tel-flip-flop SN 7490 stuurt. De multivibrator wordt ingeschakeld met de schakelaar (drukschakelaar moet geopend zijn). De teller telt 10 stappen en begint dan weer bij 0. Bij 0 voeren alle uitgangen Q_A tot Q_D een L-signaal en de inverters in de uitgangen negeren dit signaal. Weerstanden R_4 tot R_7 hebben dan geen functie en de basis van transistor T_1 krijgt via R_3/R_9 een hoge, positieve voorspanning.

Wanneer een van de uitgangen Q_A tot Q_D toestand H aanneemt – door de inverter omgezet naar 0 – dan ligt de weerstand in de betreffende uitgang parallel aan R_8 en de basisvoorspanning daalt. Bij elke volgende H uit een van de uitgangen Q_A tot Q_D , verandert de weerstandsverhouding R_3/R_8 met dan weer parallel aangesloten weerstanden zodat de basisvoorspanning van de transistor in dezelfde verhouding daalt.

5.3. Trapsgewijze toongenerator

Trapsgewijze toongenerators kunnen worden gebruikt voor de automatische controle van het frequentiegebied van versterkers. We verbinden de uitgang van de generator met de ingang van een versterker en onderzoeken dan hoe de versterker reageert bij verschillende frequenties. Met dit toestel kunnen – met behulp van decimaalteller SN 7490 – door een daarachter geschakelde multivibrator tien verschillende frequenties worden opgewekt.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.3. Na het inschakelen moet er uit de luidspreker een toon weerklinken die na het indrukken van de schakelaar trapsgewijs hoger wordt. Is dit niet het geval dan meteen het toestel uitschakelen en de fout opsporen.



5.3.

Beschrijving van de schakeling:

De schakeling bestaat uit de drempelspanningsgenerator (verg. 5.2.) en de toongenerator met de transistors T₁ en T₂.

Tel-flip-flop SN 7490 wordt gestuurd door de astabiele multivibrator. Wanneer er aan uitgangen Q_A tot Q_D L-signalen staan, oscilleert de toongenerator op een frequentie die is bepaald door de waarde van zijn onderdelen. Wanneer b.v. aan uitgang Q_A H staat verandert de basisvoorspanning van transistor T₁ en de toonhoogte stijgt. Hoe meer uitgangen een H-signaal hebben, hoe hoger de frequentie van de door de luidspreker weergegeven toon.

5.4. Teller met cijfer-aanwijzing tot 10

Met behulp van deze teller kunnen we nagaan hoe vaak de drukschakelaar bediend is. Dat is b.v. van belang wanneer men het aantal bezoekers wil tellen die door een deur binnenkomen. Een contact aan die deur zet dan de teller in werking.

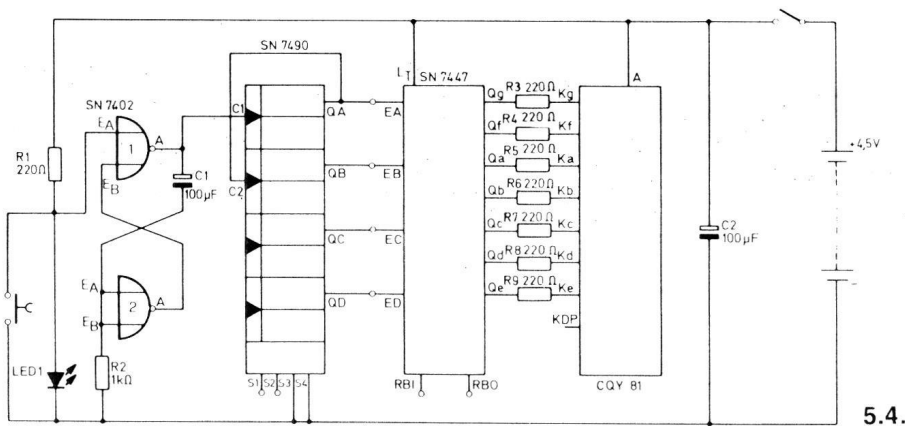
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.4. Bij het inschakelen van het toestel brandt de LED ten teken dat de installatie werkt. Is dit niet het geval, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout opsporen. Voor het in gebruik kan worden genomen moet het toestel geprogrammeerd worden aan de hand van de hiernavolgende tabel.

Programmeringsvoorbeeld:

S₁ verbinden met Q_B
S₂ verbinden met Q_C
Het display moet nu de impulsen van de schakelaar weergegeven tot max. 5

Teller tot	S ₁	S ₂
1	0 volt	0 volt
2	Q _A	Q _B
3	Q _C	0 volt
4	Q _A	Q _C
5	Q _B	Q _C
6	zie onder	
7	Q _D	Q _D
8	Q _A	Q _D
9	0 volt	0 volt

Bij teller tot 6 S₁ en S₂ aan 0 volt, S₃ aan Q_B, S₄ aan Q_C.
Bij deze programmering telt de teller echter van 0 tot 5;
6, 7 en 8 worden overgeslagen en inplaats van 9 wordt 6 aangegeven.



Beschrijving van de schakeling:

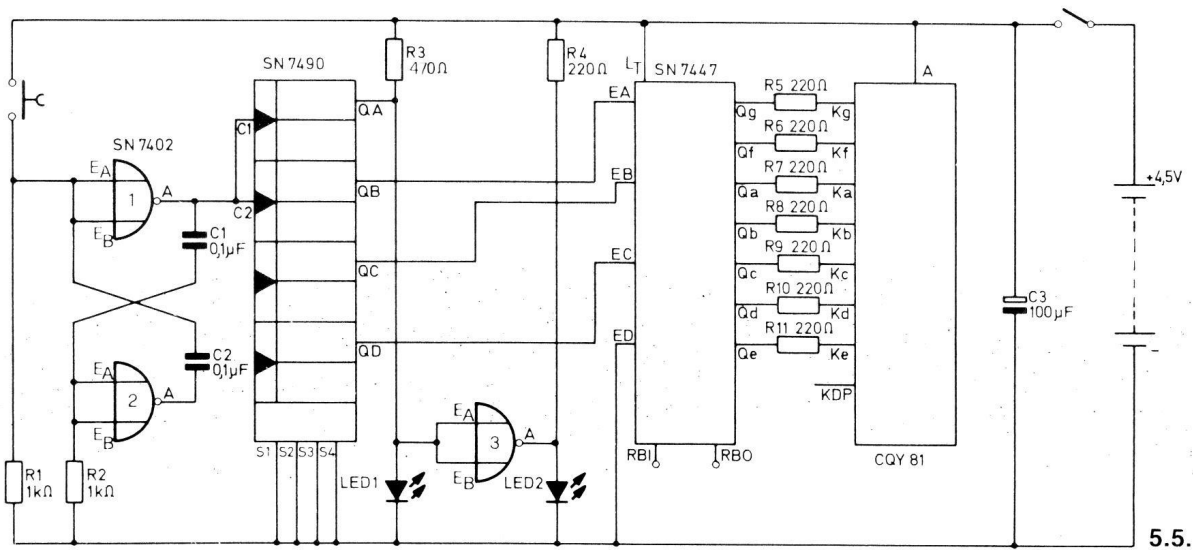
In het schema van schakeling 5.4. herkennen we de 7-segments-display CQY 81, daarvoor de BCD-omzetter SN 7447 die de signalen van teller SN 7490 krijgt.

Aan de ingang bevinden zich 2 NOR-gates van de SN 7402 die als monostabiele multivibrator geschakeld zijn. Wanneer we de schakelaar indrukken springt de monostabiele multivibrator in de andere toestand. Zijn impuls komt op telingang C₁ van SN 7490. Bij elke dalende impulsflank tellen de flip-flops, zoals beschreven bij 4.11. en aan de uitgangen Q_A tot Q_D verschijnt het binaire getal als gevolg van de schakeltoestanden. De decimale converter zet de 4 ingangssignalen om ter sturing van de 7-segments-display. Zo wordt het aantal impulsen aangegeven die worden opgewekt door de drukschakelaar. LED 1 geeft elke impuls aan want hij gaat alleen maar uit wanneer de schakelaar goed is ingedrukt.

5.5. Elektronische speelautomaat

Met behulp van dit toestel kunnen twee of meer personen proberen om langs elektronische weg een zo hoog mogelijk puntenaantal te vergaren. Dit is een zuiver geluksspel omdat door de hoge frequentie van de oscillator de cijfers pas kunnen worden afgelezen wanneer ze stil staan.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.5. Wanneer we na het inschakelen de schakelaar openen moet één van de twee LED's branden en er moet een cijfer tussen 0 - 5 worden aangegeven. Is dit niet het geval, dan meteen het toestel uitschakelen en de fout opsporen.



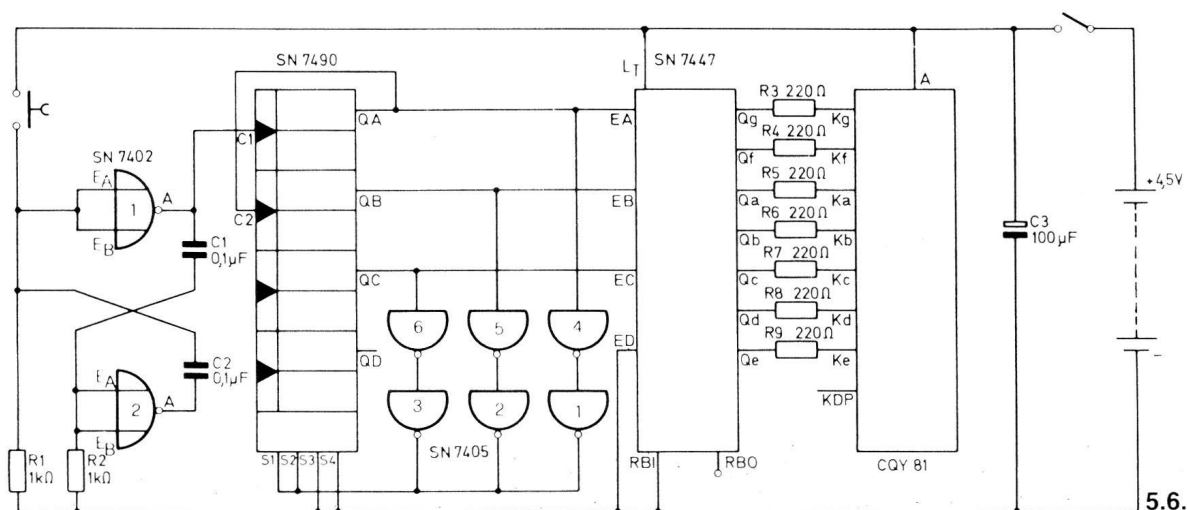
Beschrijving van de schakeling:

Wanneer de drukschakelaar geopend is oscilleert de oscillator die bestaat uit 2 NOR-gates van de SN 7402 en de condensatoren C₁ en C₂. In de tel-flip-flop SN 7490 worden de impulsen van de oscillator omgezet in het binaire stelsel. De eerste flip-flop – die parallel loopt met flip-flop 2 – telt niet mee, maar stuurt alleen de twee LED's. LED 1 geeft elke eerste maat aan en LED 2, die door een extra inverter wordt gestuurd, de tegenmaat. Decimaal-converter SN 7447 zet de binaire getallen om voor besturing van de 7-segments-display. Condensator C₃ dient voor het ontkoppelen van de voedingsspanning.

5.6. Elektronische dobbelsteen

Met dit apparaat kunnen langs elektronische weg de puntentallen voor alle dobbelspellen worden bepaald. De hoge frequentie van een oscillator voorkomt dat er een vooraf bepaald getal op de display verschijnt.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.6. Na het inschakelen van het toestel moeten de segmenten van de display in snelle opeenvolging oplichten. Als de schakelaar wordt ingedrukt verschijnt er een cijfer. Zo niet, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout opsporen.



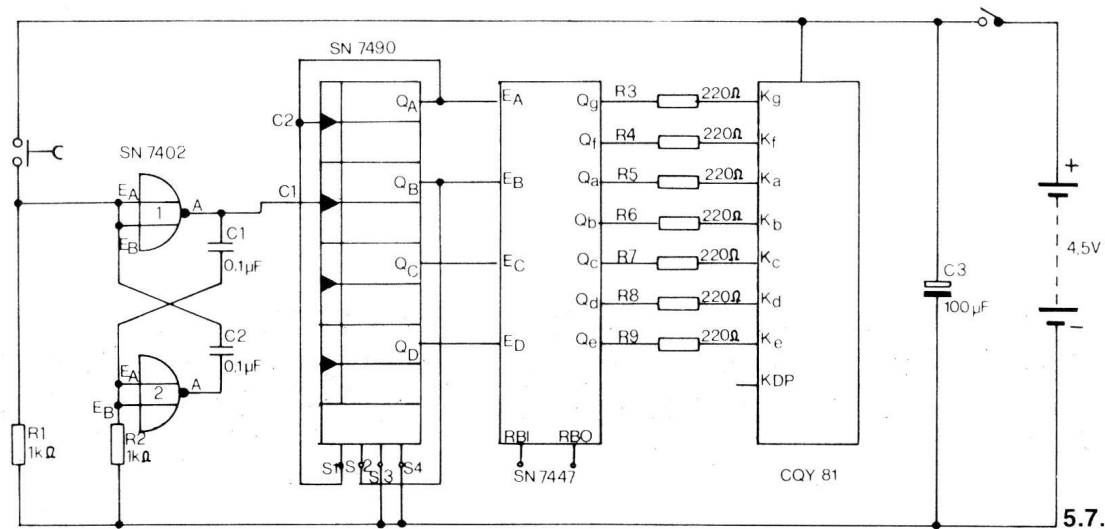
Beschrijving van de schakeling

De oscillator, bestaande uit twee NOR-gates van de SN 7402 en de condensatoren C_1 en C_2 oscilleert op een hoge frequentie zolang de schakelaar geopend is. De impulsen van de oscillator worden aan tel-flip-flop SN 7490 toegevoerd. Door een juiste EN-verbinding van de uitgangen Q_A - Q_D op de ingangen geeft de 7-segments-display alleen de getallen 1 tot 6 weer. Flip-flop D is niet geschakeld omdat we tot 7 genoeg hebben aan 3 binaire getallen. Decimaalomzetter SN 7447 zet de binaire impulsen van de flip-flop om in decimale getallen om CQY 81 te kunnen besturen. Pas wanneer de schakelaar wordt ingedrukt verschijnt op de display een stilstaand cijfer. Indien de werking van de oscillator zodanig wordt onderbroken dat er een getal verschijnt „brandt” de dobbelsteen. Om die reden ligt ingang R_{B1} op L-potentiaal.

5.7. Totomaat

Dit toestel biedt de mogelijkheid voetbaluitslagen te „tippen” voor het invullen van het totoformulier. Een 1 op de display wil zeggen een zege voor de thuisclub, een 2 betekent een overwinning voor de bezoekers en de 0 betekent gelijkspel.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.7. Bij het inschakelen van het toestel moeten de segmenten van het display in een snel ritme oplichten en na het indrukken van de schakelaar moet het cijfer 1, 2 of 0 verschijnen. Is dit niet het geval, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout zoeken.



Beschrijving van de schakeling:

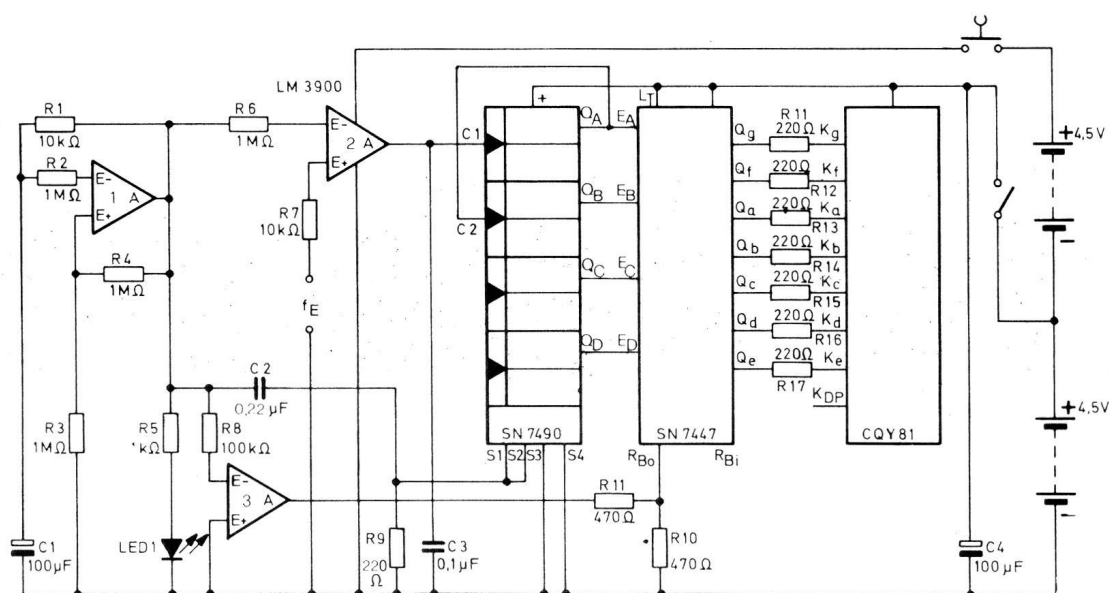
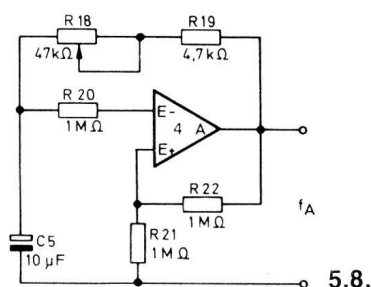
Wanneer de drukschakelaar geopend is bereiken de impulsen van de oscillator, die bestaat uit twee NOR-gates van de SN 7402 en de condensatoren C₁ en C₂, tel-flip-flop SN 7490. Door de tegenkoppeling van Q_A naar S₁ en Q_B naar S₂ verschijnen op de 7-segments-display de cijfers 0, 1 of 2. Decimaal-omzetter SN 7447 zet de binaire impulsen van de tel-flip-flop om waarmee de 7-segments-display wordt gestuurd. Condensator C₃ dient voor het ontkoppelen van de voedingsspanning.

Wanneer we de schakelaar indrukken stopt de oscillator en de display geeft een cijfer weer.

5.8. Frequentieteller

Deze frequentieteller kan periodiek terugkerende processen in stroomkringen tellen en de geregistreeerde impulsen decimaal weergeven. Zo'n toestel kan b.v. worden gecombineerd met een lichtbrug. De snelle onderbrekingen van de lichtstraal kunnen dan direct worden aangegeven.

Opbouw van het toestel volgens montagekening 5.8. Na het inschakelen licht LED 1 op in het ritme van multivibrator 1. Wanneer we uitgang f_A van de impulsgever aansluiten op ingang f_E van de frequentieteller moet CQY 81 het aantal impulsen aangeven zolang we de knop ingedrukt houden. Is dit niet het geval, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout zoeken.



Beschrijving van de schakeling

Het toestel bestaat uit de teller van 0 tot 9 en de daarop volgende omzetter met cijfer-display.

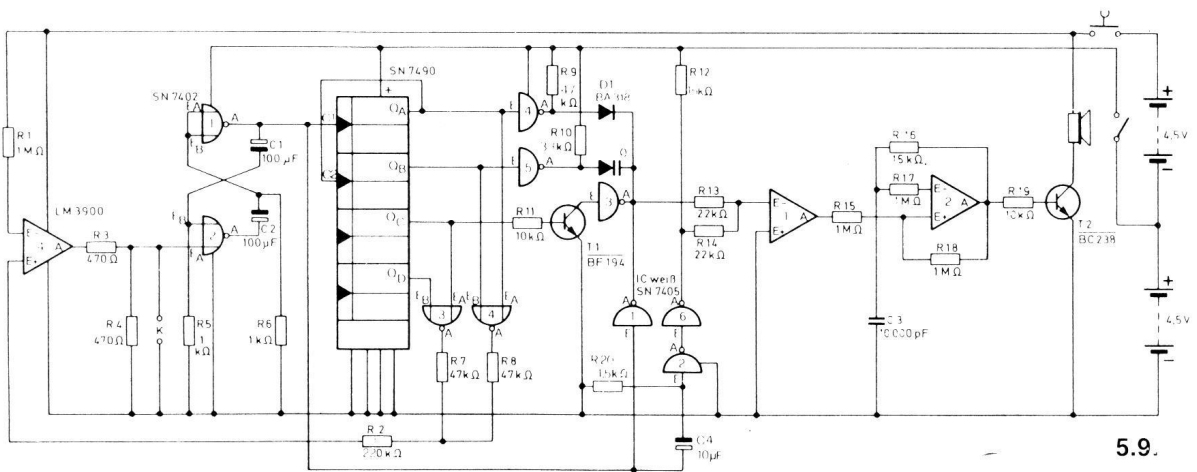
Operationele versterker OP 1 fungeert als astabiele multivibrator. Hij doet dienst als impulsgever voor poort OP 2. Ingangsimpulsen aan f_E kunnen OP 2 namelijk slechts passeren zolang de uitgang van OP 1 = H is. Bij deze schakeling is dat ongeveer 2 seconden. De rechthoekimpulsen van f_E bereiken via OP 2 de teller en worden daar geteld. Wanneer de uitgang van OP 1 op L springt is het telproces beëindigd omdat nu poort OP 2 spert. L-sigitaal op ingang E - van inverter OP 3 - op de uitgang staat dan H - zet de display weer in werking. Op het moment dat de uitgang van OP 1 weer op H springt bereikt een korte impuls, via C1, S1/S2 van SN 7490 en de teller springt op 0.

5.9. Automatische installatie voor het geven van noodsignalen

In geval van nood zenden schepen en vliegtuigen noodsignalen uit. Het meest gebruikelijk zijn SOS en Mayday. SOS (save our souls = redt onze zielen) wordt in morse uitgezonden: . . . — — — . . .

Het hier beschreven toestel zendt een SOS-signaal uit wanneer er op de knop wordt gedrukt. Dit signaal wordt door de luidspreker weergegeven.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.9. Wanneer we de contacten K heel kort overbruggen moet het noodsignaal weerklinken. Zo niet, dan meteen uitschakelen en de fout zoeken. We gaan daarbij als volgt te werk: we scheiden ingang E+ van de als toongenerator geschakelde operationele versterker OP 2 van R₁₅ en verbinden de weerstand met 0 volt. Nu moet er een toon weerklinken. Gebeurt dit niet dan zit de fout in de toongenerator of in de transistoreindtrap. Als het toestel tot zover in orde is verbinden we ingang E- van OP 1 via een weerstand R = 4,7 kΩ met + 4,5 V. Weer moet er een toon weerklinken. Anders zit de fout in de schakeling rondom OP 1. Het ingangsgedeelte van de schakeling kunnen we controleren door weerstand R₁₉ van de uitgang van OP 2 los te maken en te verbinden met de pluszijde van condensator C₄. Uit de luidspreker moet nu een tikkend geluid weerklinken, veroorzaakt door de impulsgever. Horen we niets dan zit de fout in de impulsgever met de beide NOR-gates NOR 1 en NOR 2 en operationele versterker OP 4. Worden er wel impulsen gegeven dan is er iets niet in orde in de trap met de tel-flip-flop.



Beschrijving van de schakeling

Een start-stop-oscillator bestaande uit NOR 1 en NOR 2 (verg. 4.10.25.) wekt voortdurend impulsen op van ca 1 Hz die aan tel-flip-flop SN 7490 worden toegevoerd. Ter verduidelijking worden in onderstaande tabel de schakeltoestanden van de 4 uitgangen van deze flip flop weergegeven:

Telmaat	Q _A	Q _B	Q _C	Q _D
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H
9	H	L	L	H
0	L	L	L	L

Wanneer op alle vier uitgangen L staat springen de NOR-gates 3 en 4 op H en leiden dit signaal verder naar de ingang + van OP 4 waarvan de uitgang nu ook op H springt. Dit potentiaal stopt de impulsgever. Het noodsignaal wordt dus steeds maar één keer gegeven. Wanneer we op de knop drukken herhaalt het proces zich.

Het signaal drie maal kort – drie maal lang – drie maal kort wordt opgewekt door de uitgangen Q_A, Q_B en Q_C van SN 7490. Met Q_A en Q_B zijn de inverters I₄ en I₅ verbonden die samen via de dioden D₁ en D₂ als OF werken. Zolang er op één of op beide ingangen L staat, staat er op de uitgang H dat echter wordt onderdrukt door inverter 3. Dit potentiaal staat ook op ingang E – van operationele versterker OP 1.

De sturende operationele versterker OP 1 stopt dus toongenerator OP 2. Dit wordt tegengewerkt door differentieerelement C₄ met de inverters I₂ en I₆. Door middel van een lading van de condensator wekt het korte, positieve impulsen op die via OP 1 de toongenerator laten werken: nu ontstaan de korte tekens (punten).

Vanaf de vierde impuls staat er op uitgang Q_C van SN 7490 H, net zoals aan de uitgang van inverter I₃. Op ingang E – van OP 1 werkt het door zolang er aan de uitgang van inverter 1 een H-signaal staat, dat wordt gestuurd door de impulsgenerator. Via OP 1 wordt toongenerator OP 2 gestuurd en zo ontstaan de lange tekens (strepen). Staat er aan de uitgang van inverter 1 L, dan stopt de generator (ruimte tussen de streepjes).

Bij de zevende impuls ontstaan de volgende combinaties: op Q_C staat H en dat zou bij de impulsen 4 tot 6 weer een lang teken veroorzaken. Dat is echter fout want de O van SOS bestaat uit drie maal „lang”. Op de ingangen Q_A en Q_B staat echter een H-signaal zodat de als OF geschakelde inverters I₄ en I₅ aan hun uitgang L hebben en er dus korte tekens ontstaan.

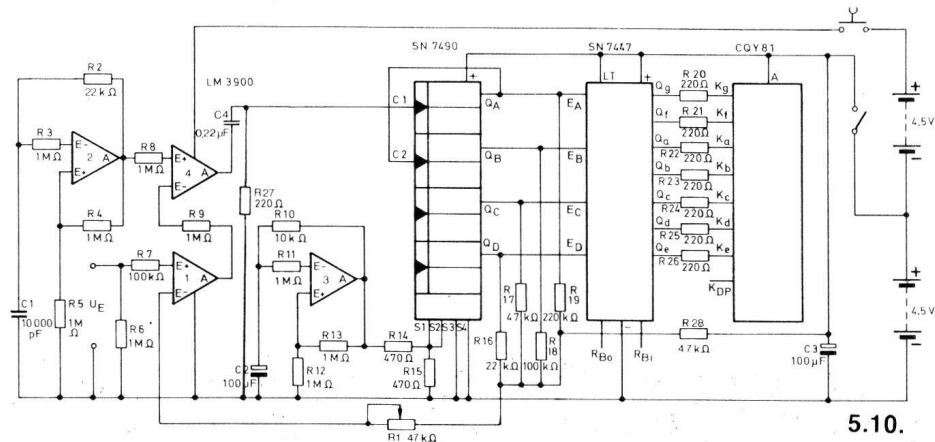
Bij de tiende impuls (telmaat 0) stoppen NOR 3 en NOR 4 de impulsgever.

5.10. Digitale voltmeter

Met behulp van dit toestel kunnen onbekende spanningen tussen 0 en 9 volt worden gemeten. De meetresultaten worden echter niet weergegeven door een schaal met een wijzer, maar door CQY 81. De meetspanning kan direct in cijfers worden afgelezen.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 5.10. Voor het meten van de spanning verbinden we ingang U_i met de meetpunten van de te meten schakeling.

Om de schakeling te ijken sluiten we op ingang U_i een bekende spanning aan (max. 0 volt gelijkspanning) en dan ijken we het toestel door middel van potentiometer R_1 . De display moet de gemeten spanning aangeven in cijfers. Zo niet, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout zoeken.



Beschrijving van de schakeling

De astabiele multivibrator OP 2 wekt rechthoekimpulsen van een lage frequentie op. De H-signalen van zijn output kunnen OP 4 alleen bereiken wanneer op ingang U_i een spanning wordt aangesloten en de output van OP 1 L is. De uitgangsimpulsen van OP 4 wisselen dan overeenkomstig de frequentie van OP 2 tussen L en H en bereiken dan decimaalteller SN 7490. Deze vormt samen met de weerstanden R_{16} - R_{19} een drempelspanning waarbij de drempelspanningsamplitude wordt ingesteld met R_1 en teruggeleid naar OP 1 (comparator). Bij elke impuls van astabiele multivibrator OP 2 stijgt de spanning op $E+$ van OP 1. Overschrijdt ze de aangesloten meetspanning van U_i , dan springt de output van OP 1 op H. Poort OP 4 spert.

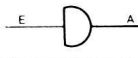
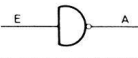
De teller geeft op zijn uitgangen Q_A - Q_D de spanning aan in binaire code:


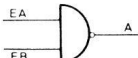




Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	Spanning in volt
L	L	L	L	0
L	L	L	H	1
L	L	H	L	2
L	L	H	H	3
L	H	L	L	4
L	H	L	H	5
L	H	H	L	6
L	H	H	H	7
H	L	L	L	8
H	L	L	H	9

Deze binaire getallen worden door decoder SN 7447 omgezet in de overeenkomstige schakeltoestanden voor de 7-segments-display.

OP 3 is als langzame multivibrator geschakeld. Hij zet de decimaalteller terug op 0 wanneer er op zijn output een H-sigitaal staat. Om er zeker van te zijn dat de schakeling goed werkt moeten de OP's worden gevoed met 9 volt en de flip-flop, de decoder en de display met 4,5 volt.

Functietabellen en symbolen

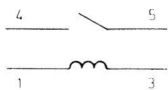
Ingang	Uitgangen	
E	Identiteit	NIET (Inverter)
		
L H	L H	H L

Ingangen		Uitgangen					
E _A	E _B	EN	NAND	OF	NOR	Exclusieve OF	Equivalent
							
L	L	L	H	L	H	L	H
L	H	L	H	H	L	H	L
H	L	L	H	H	L	H	L
H	H	H	L	H	L	L	H

Technische gegevens

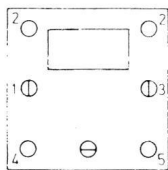
IC	SN 7405	SN 7402	SN 7490	SN 7447	CQY 81
Voedingsspanning max.	5,5 V	5,5 V	5,5 V	5,5 V	
Uitgangsstroom max.	16 mA	16 mA	16 mA	32 mA	
Ingangsstroom bij L	1,6 mA	1,6 mA	ca 0,1mA		
Ingangsstroom bij H	40 µA	40 µA			
Ingangsspanning bij L max.	0,8 V	0,8 V			
Ingangsspanning bij H min.	2 V	2 V			
Ingangsspanning bij H max.	5,5 V	5,5 V			
Ingang C ₁ ingangsstroom L			3,2 mA		
Ingang C ₂ ingangsstroom L			6,4 mA		
Max. ingangsstroom bij L voor LT, E _A -E _D				1,6 mA	
Max. ingangsstroom bij H voor LT, E _A -E _D				0,1 mA	
Max. ingangsstroom bij L voor R _{B1} en R _{B0}				4 mA	
Max. ingangsstroom bij H voor R _{B1} en R _{B0}				0,2 mA	
Segmentspanning in sperrichting					3 V
Segmentspanning in doorlaatrichting					1,6 mV
Segmentstroom max.					20 mA

Schemasymbolen

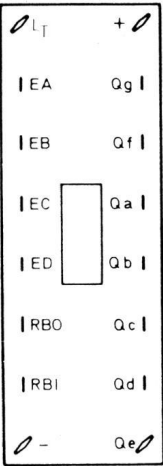


Reed-relais

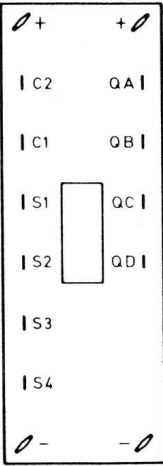
Symbolen van de montagetekeningen



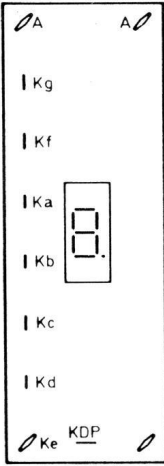
Reed-relais



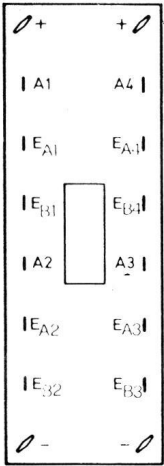
SN 7447
Kleur groen



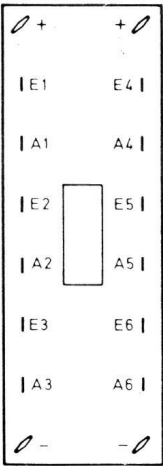
SN 7490
Kleur rood



CQY 81
Kleur oranje



SN 7402
Kleur blauw



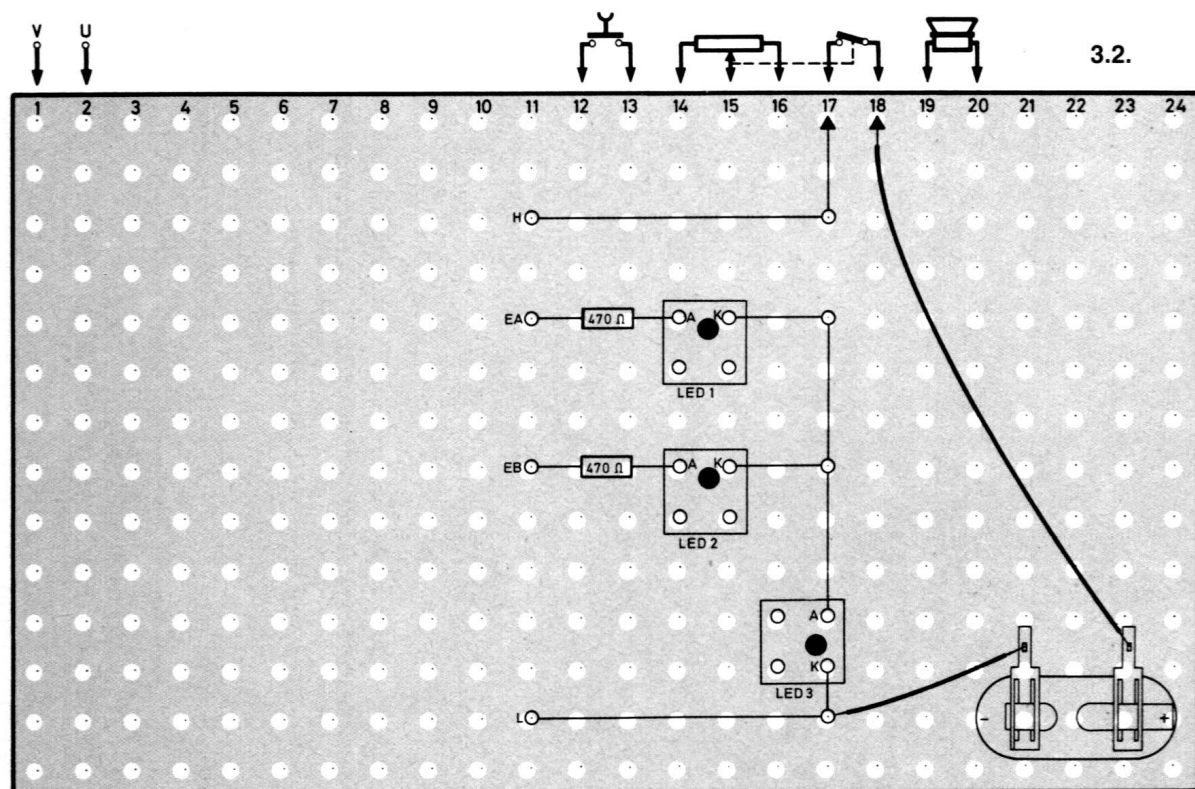
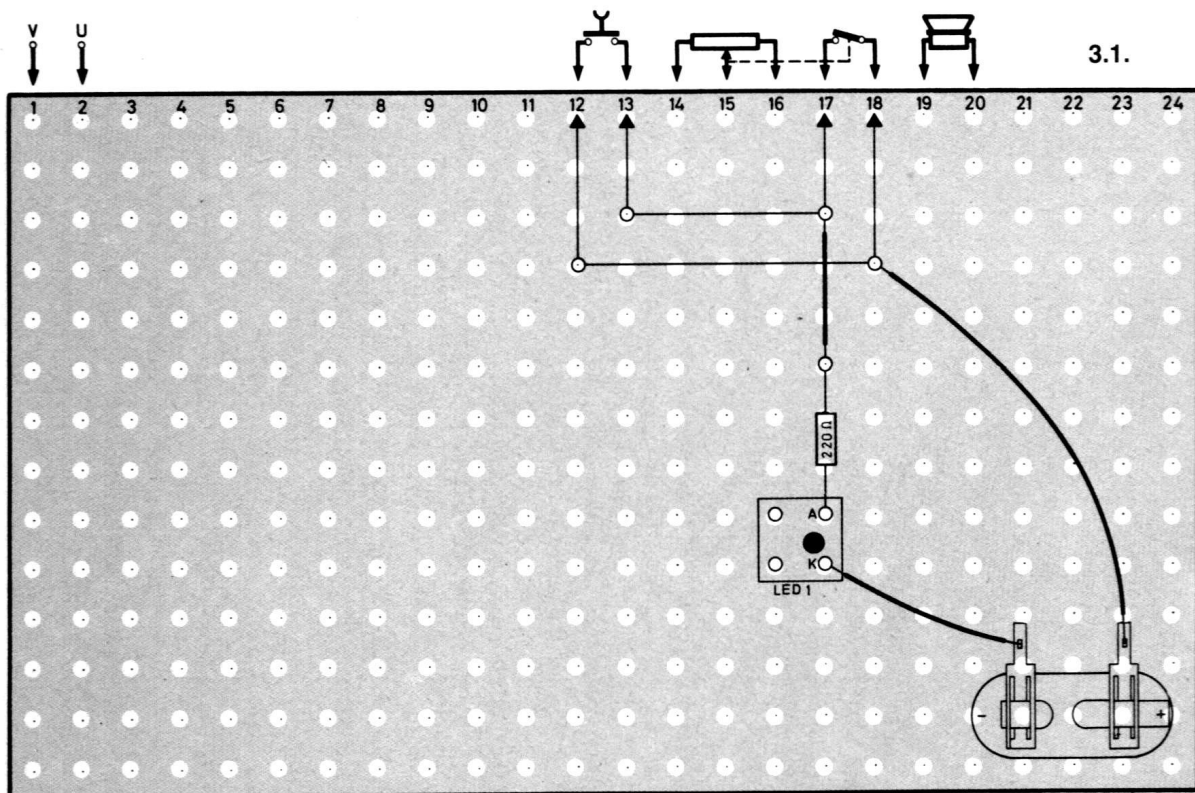
SN 7405
Kleur wit

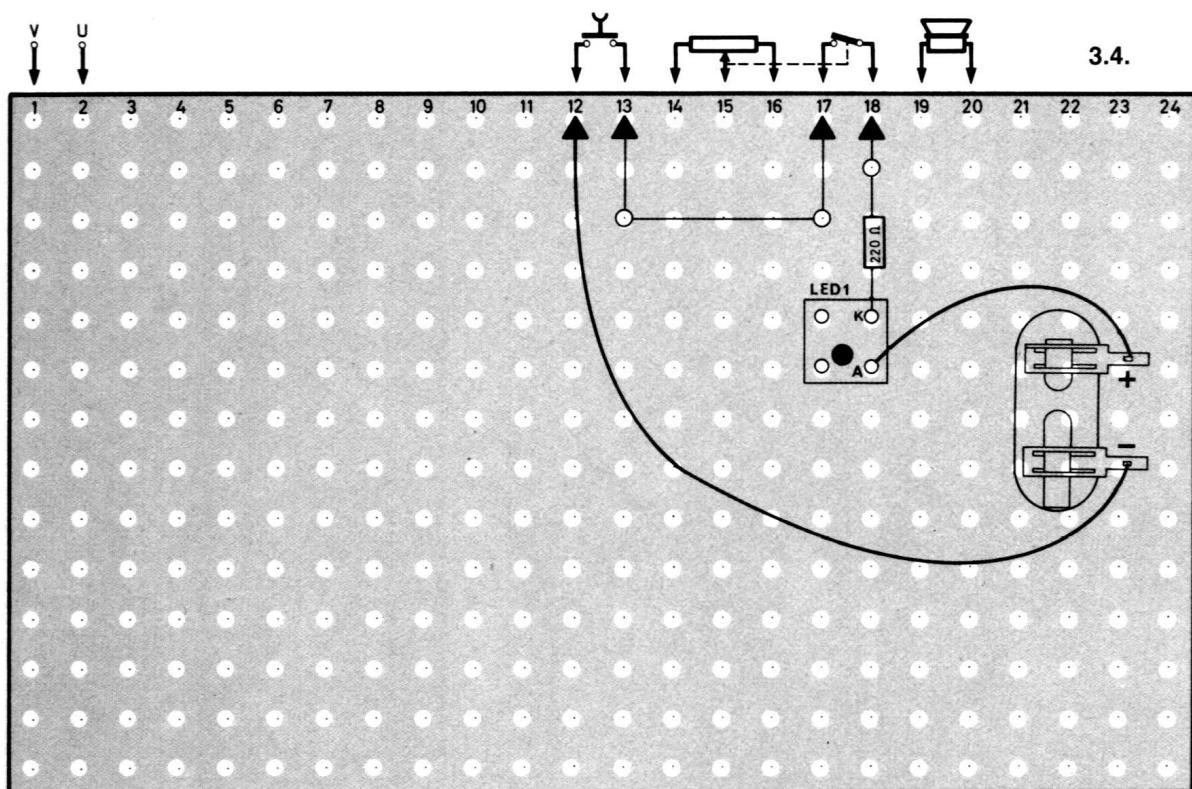
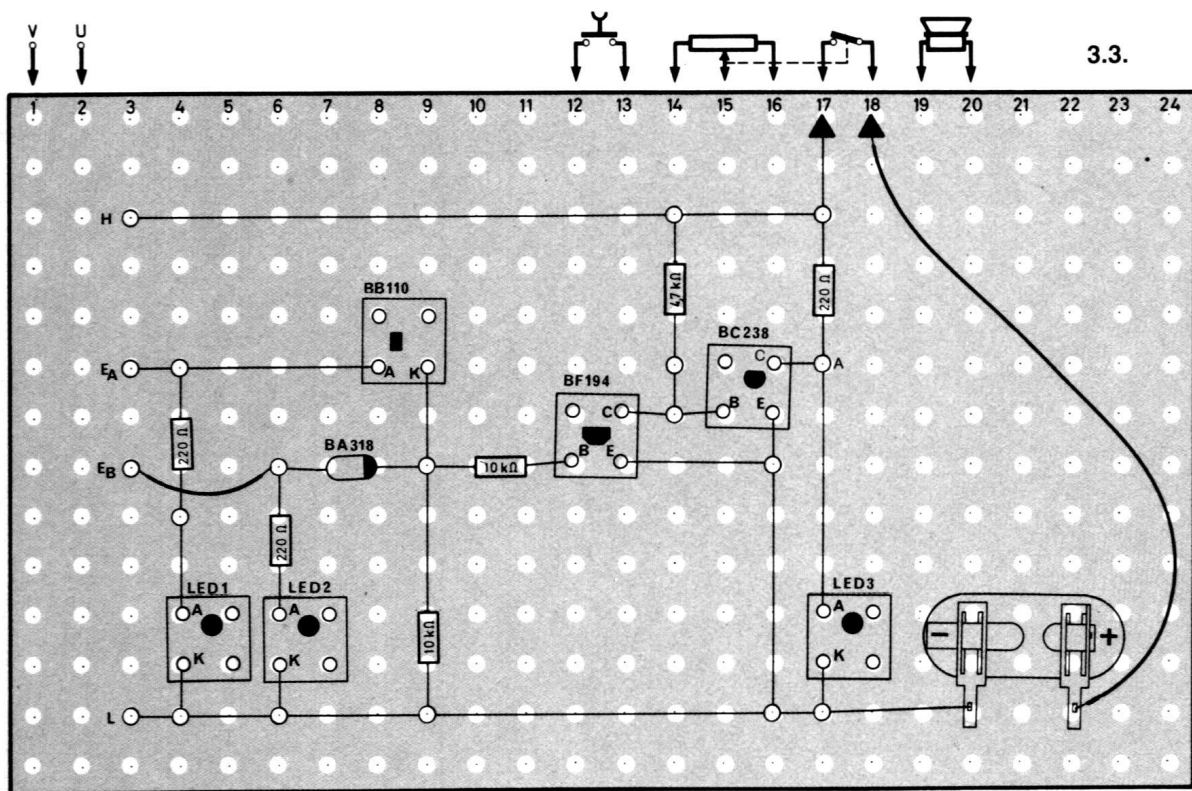
Kleurcodetabel

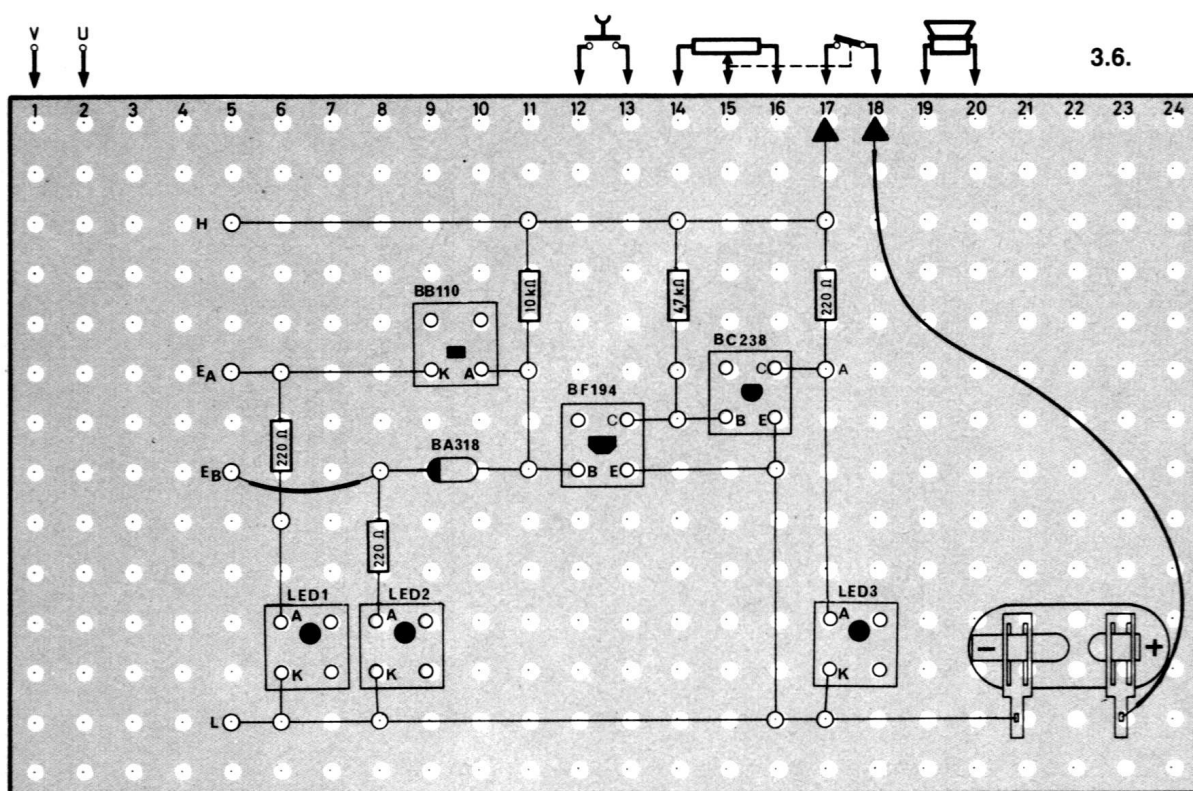
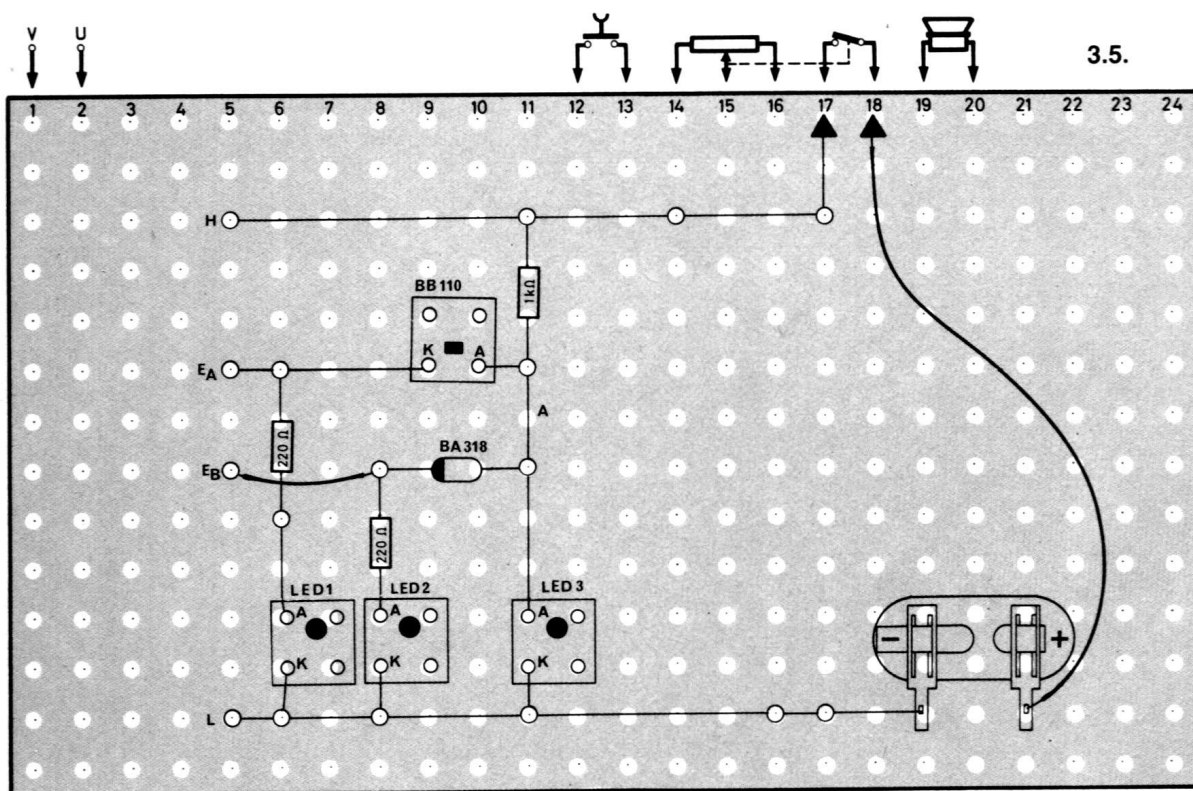
(Aanvulling bij EE 2013)

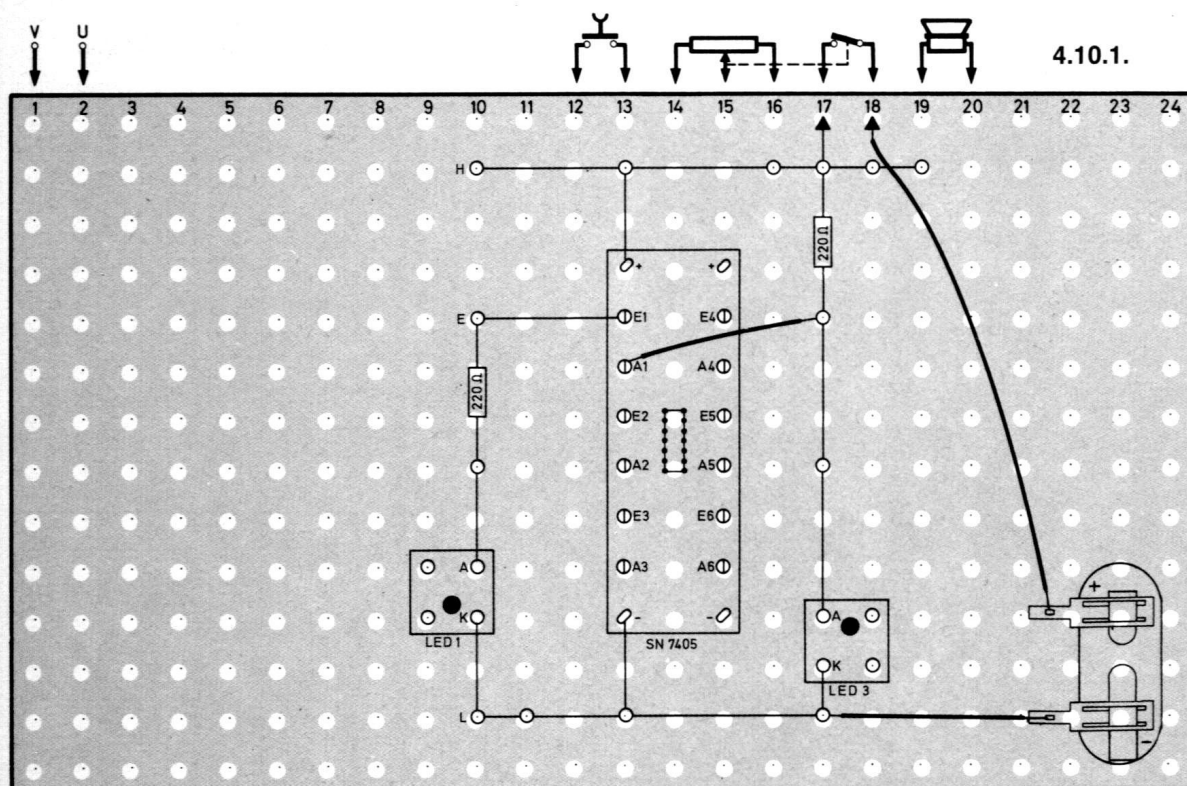
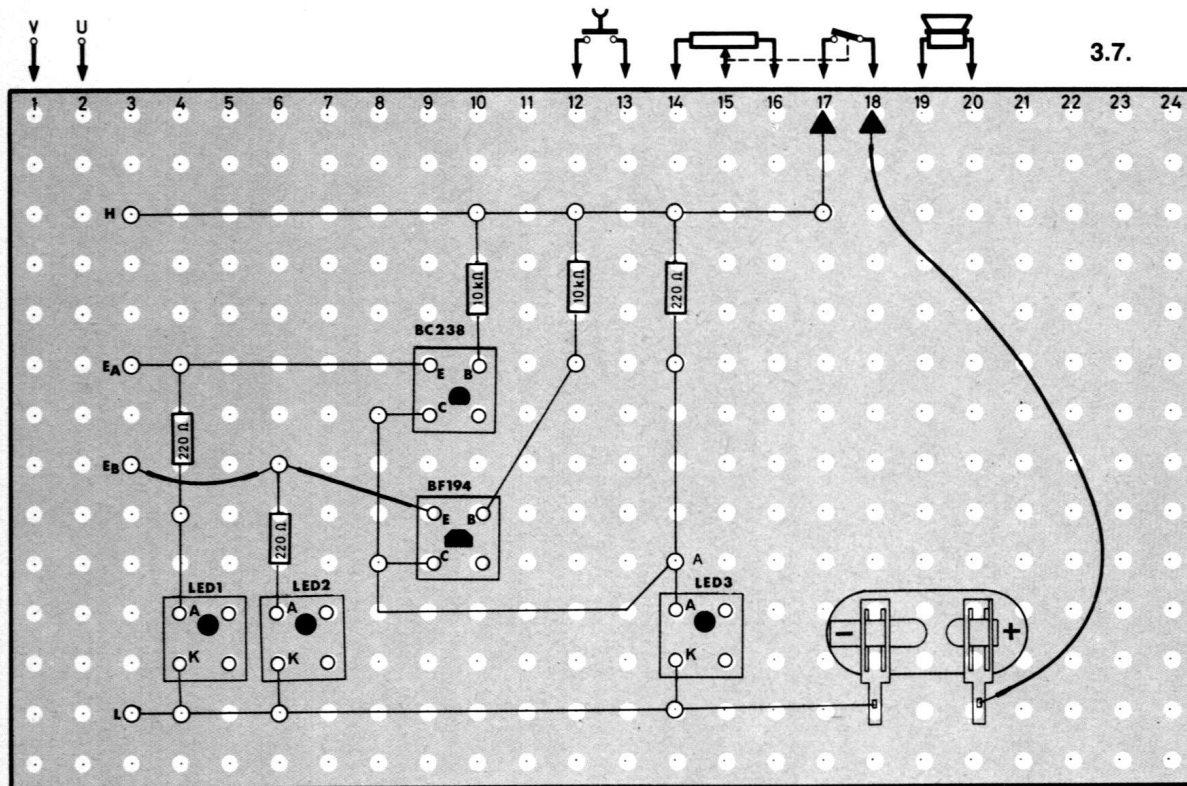
Weerstand

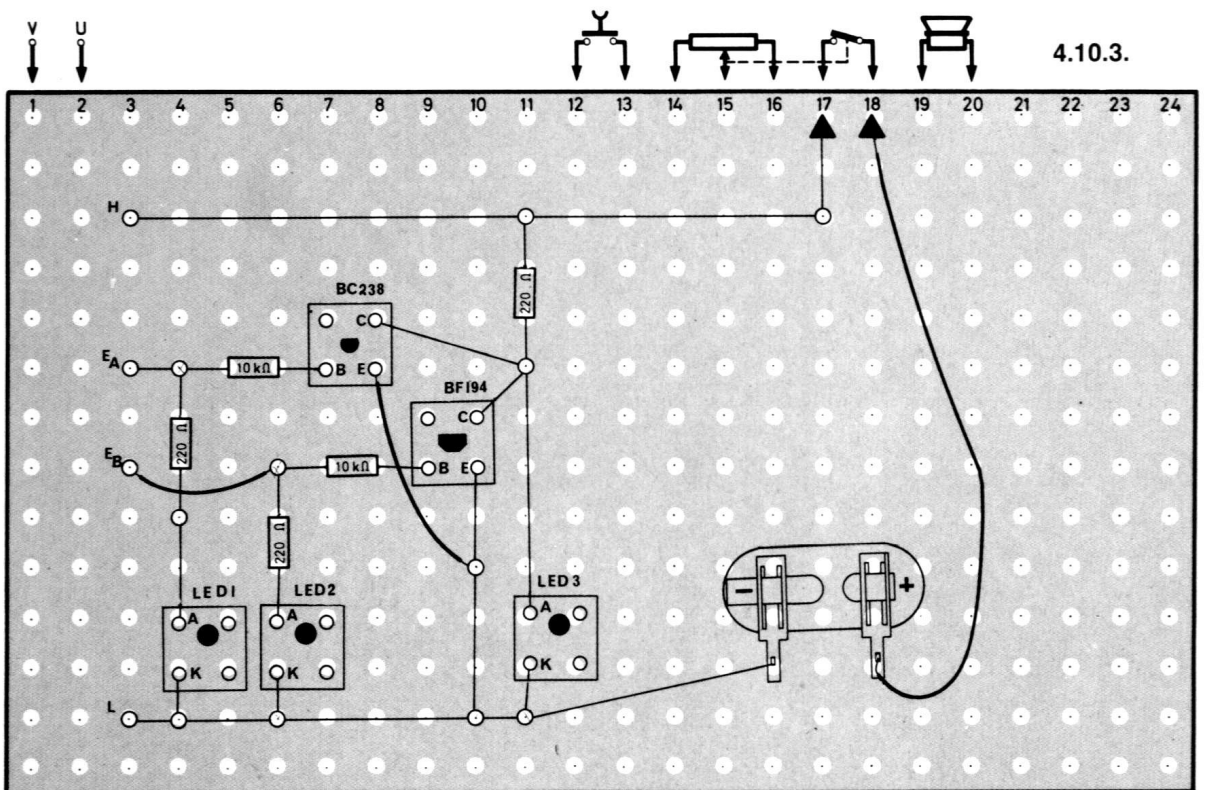
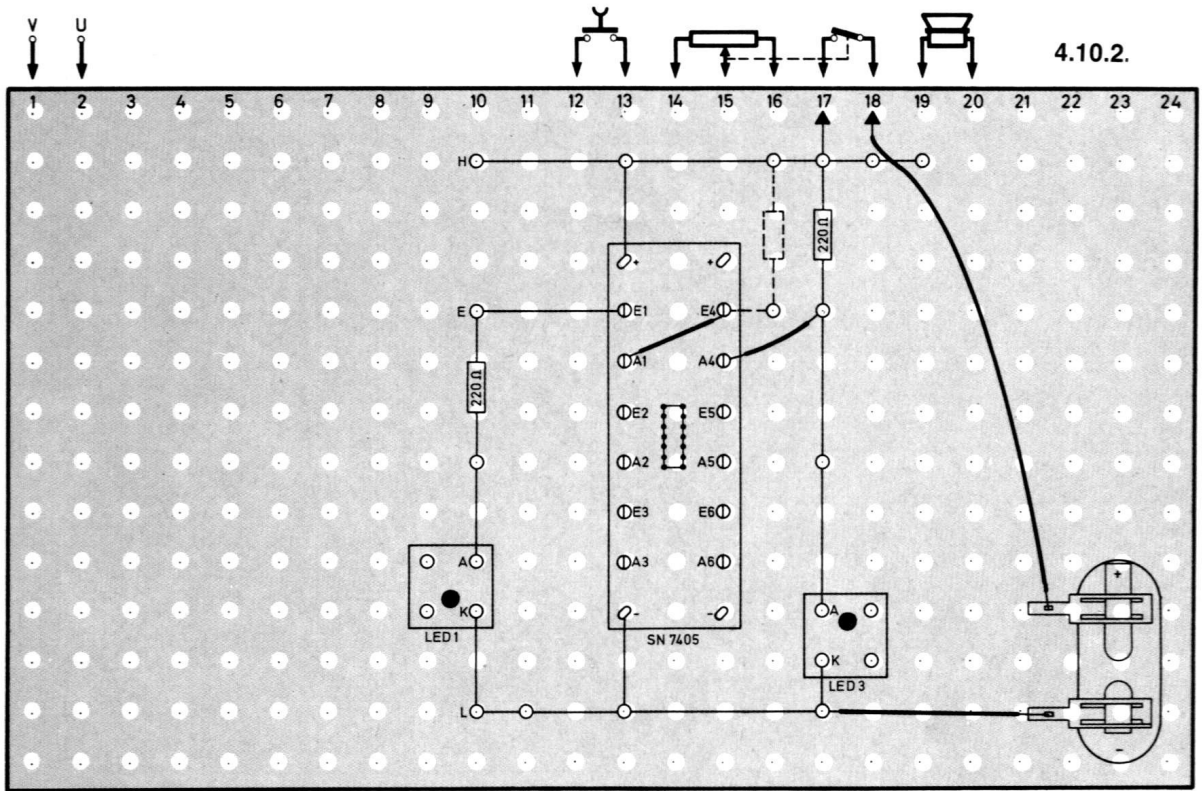
Weerstand	Gekleurde ringen	Min. waarde	Max. waarde
220 ohm	rood, rood, bruin	200 ohm	240 ohm

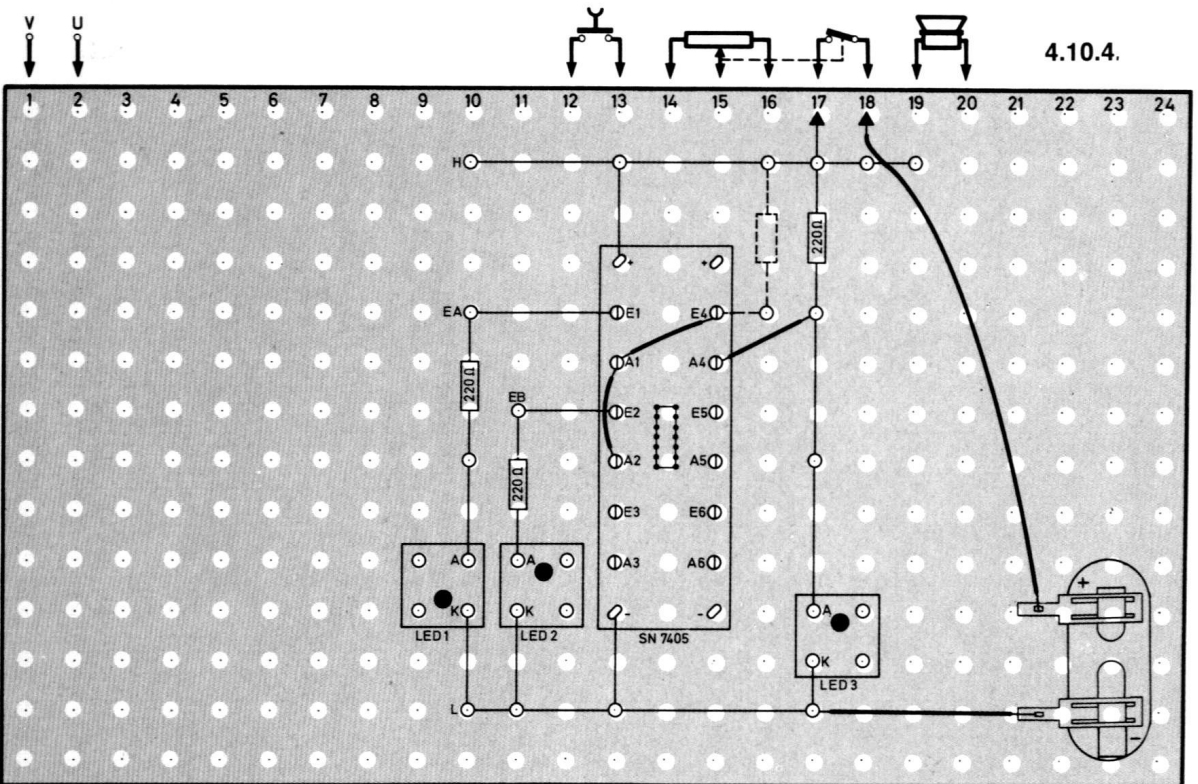
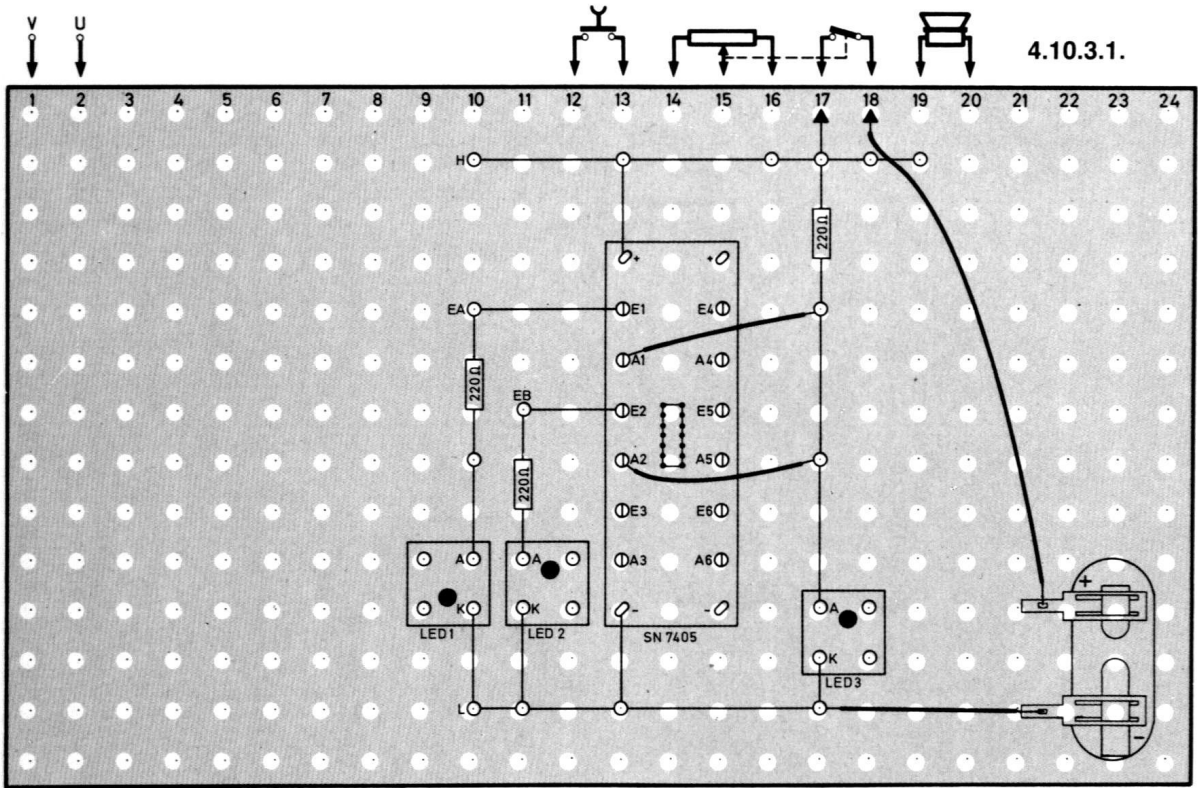


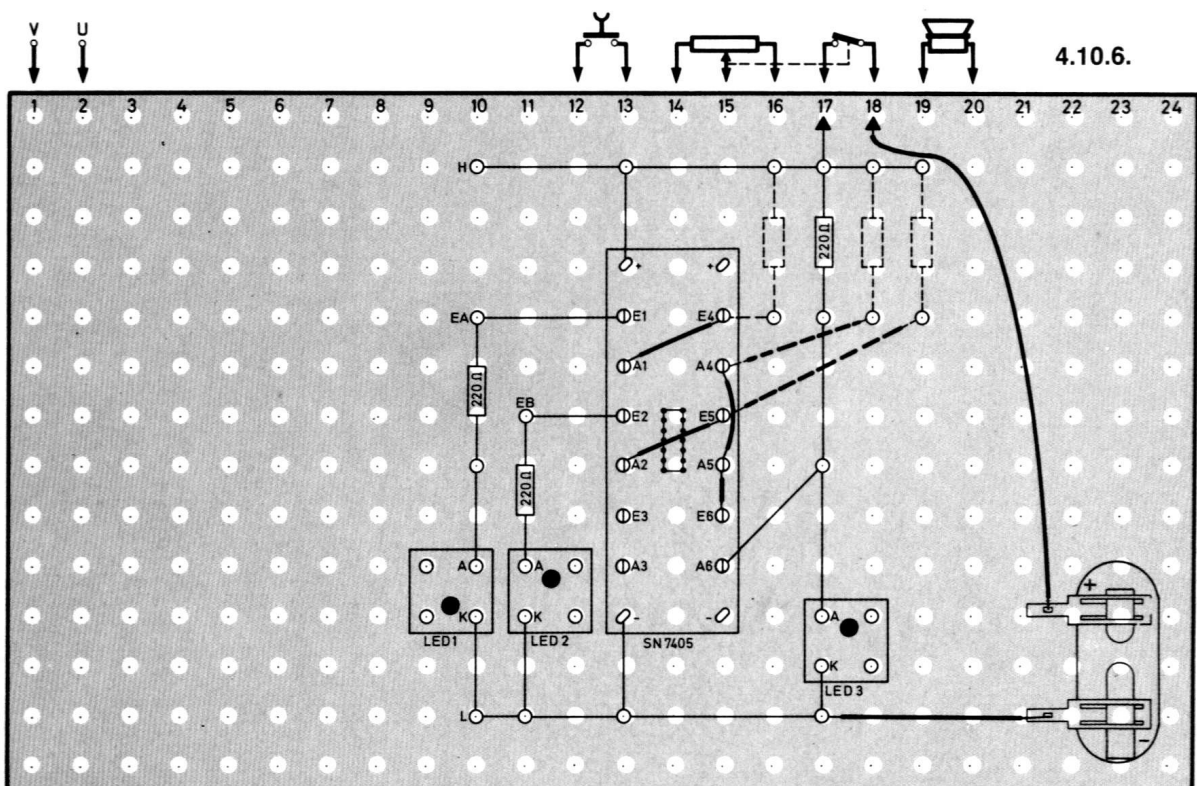
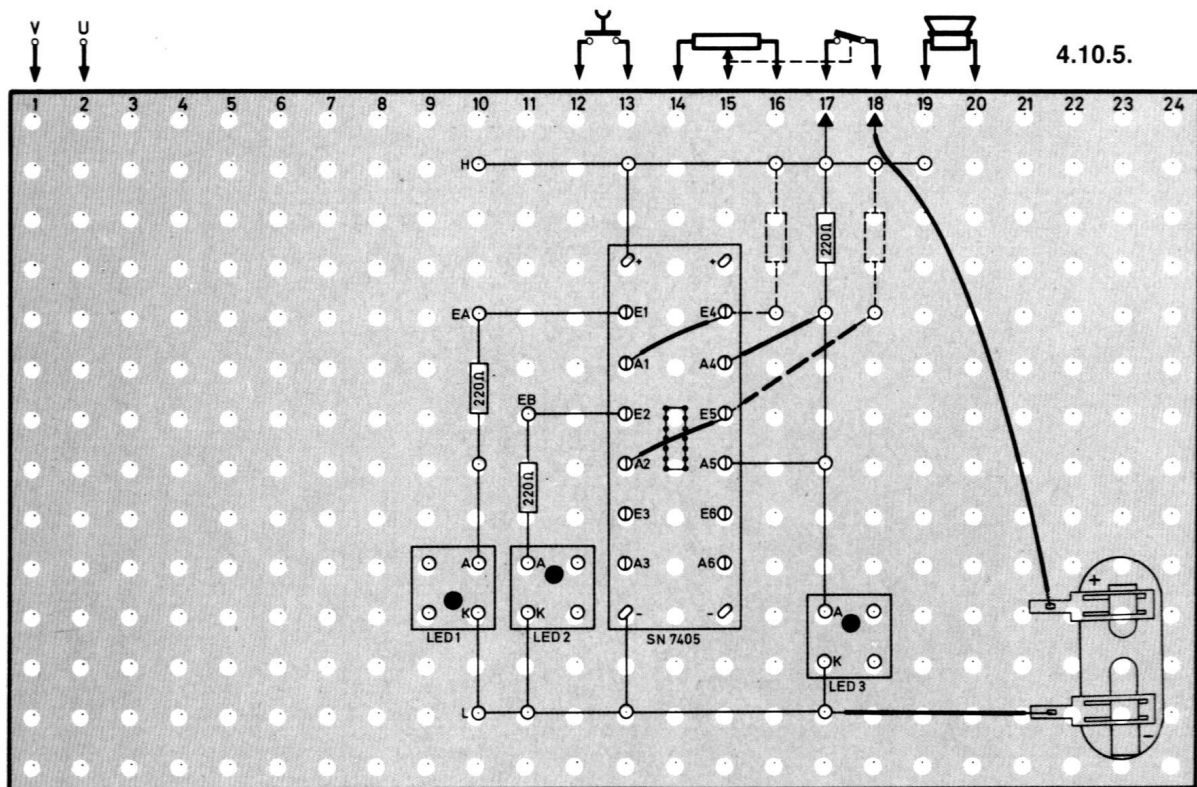


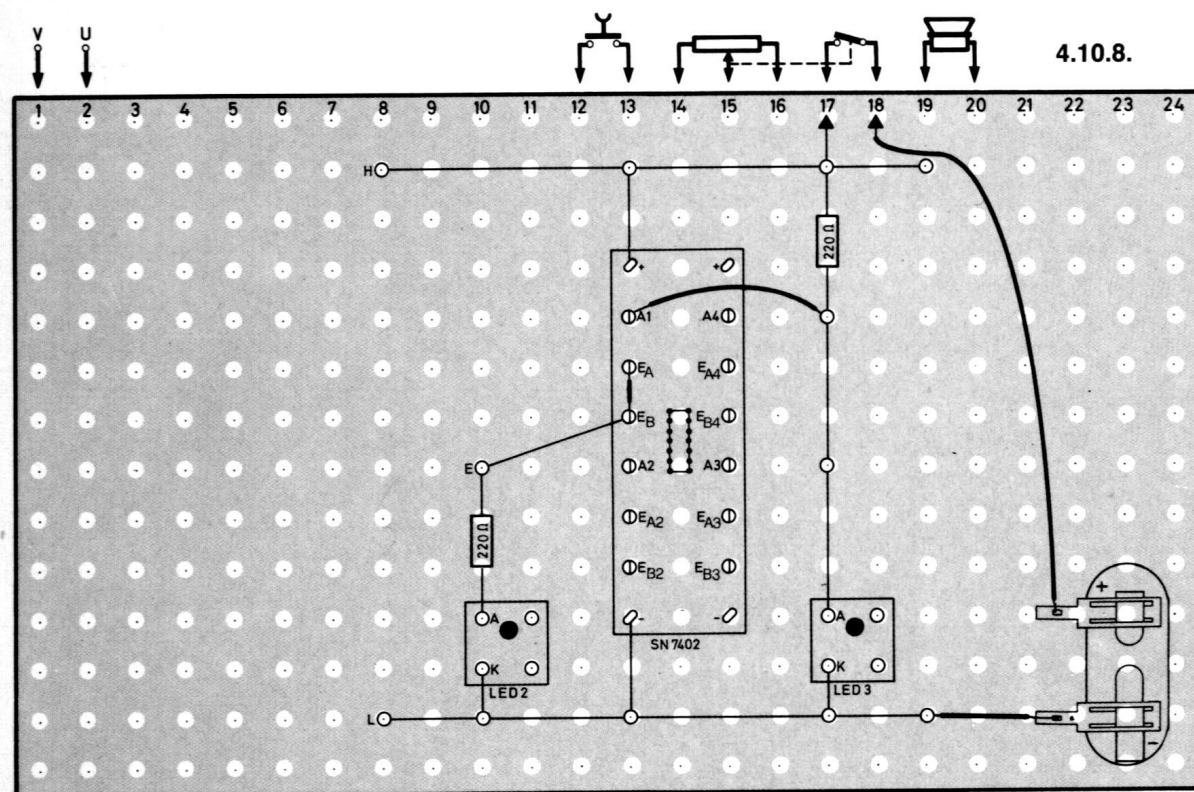
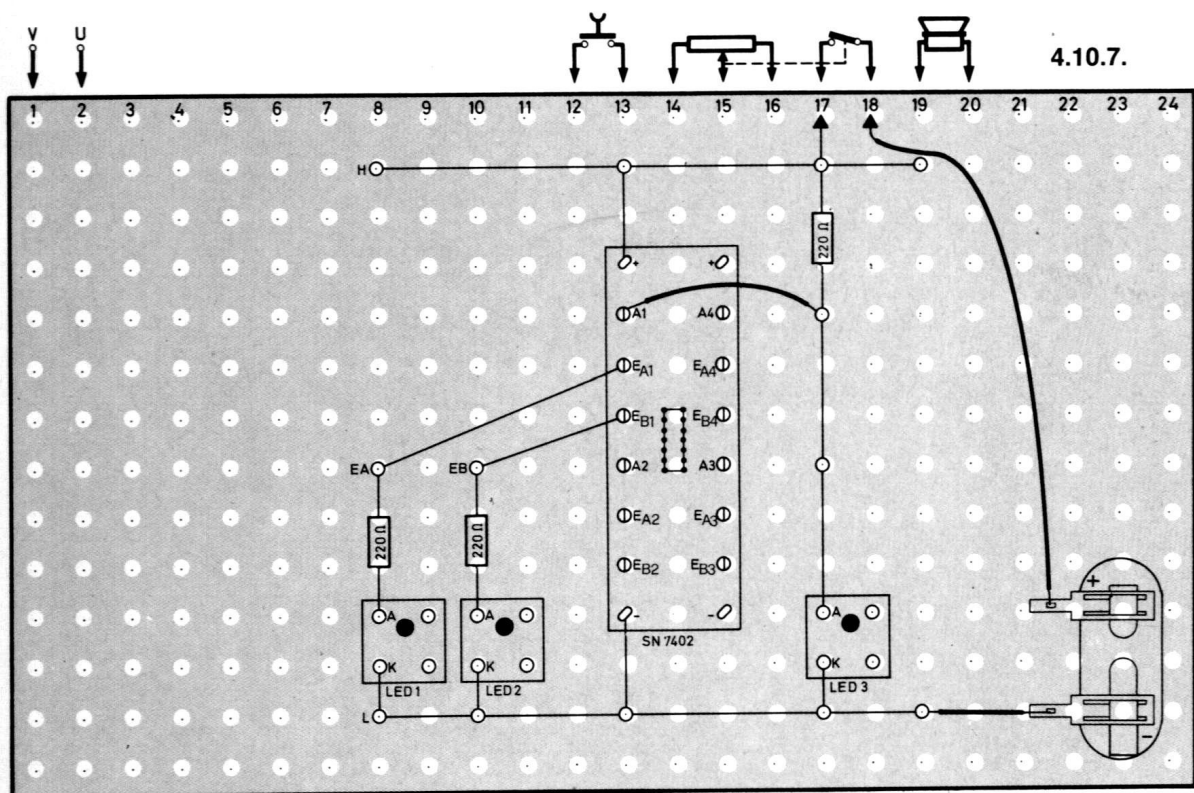


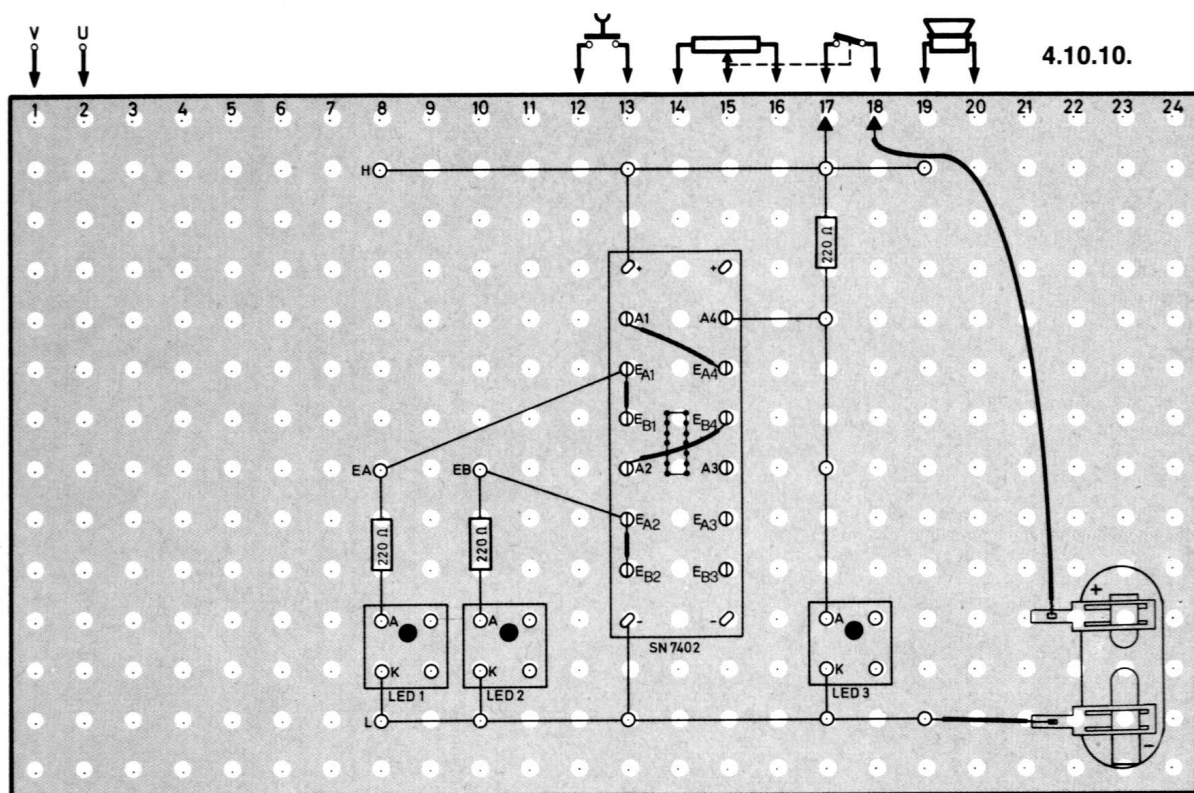
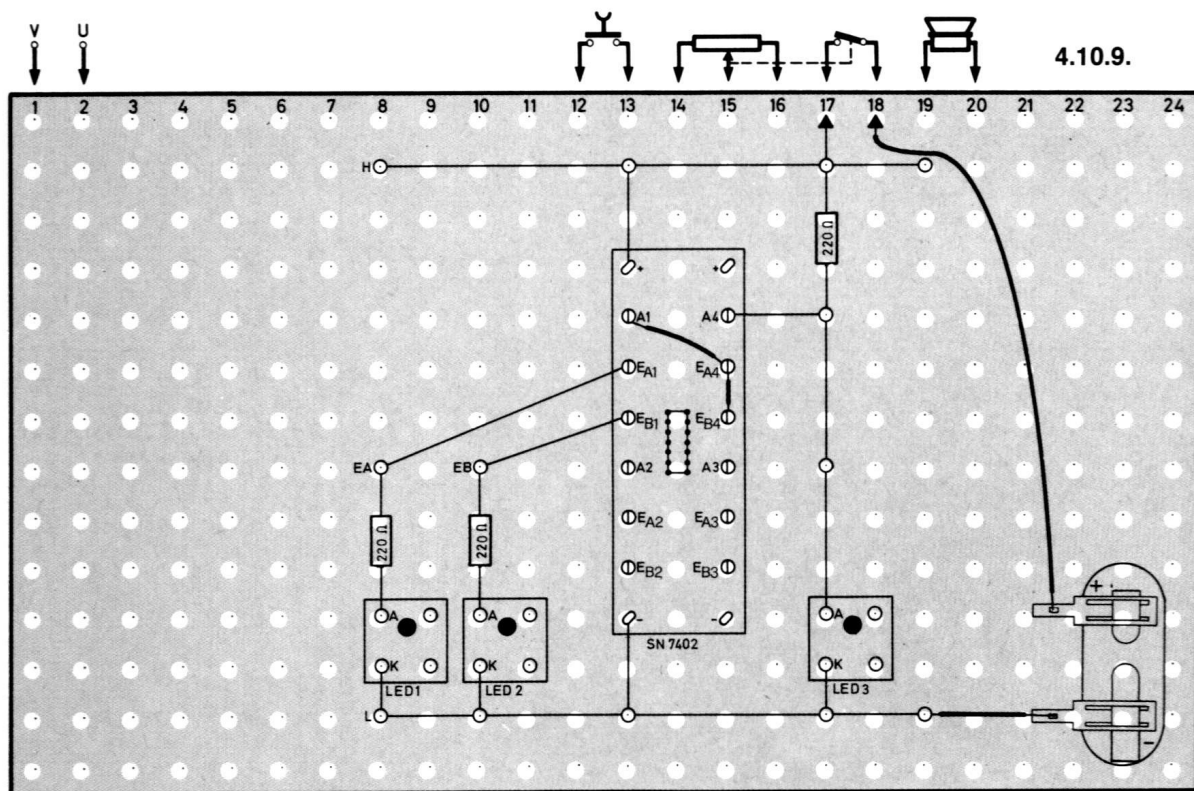


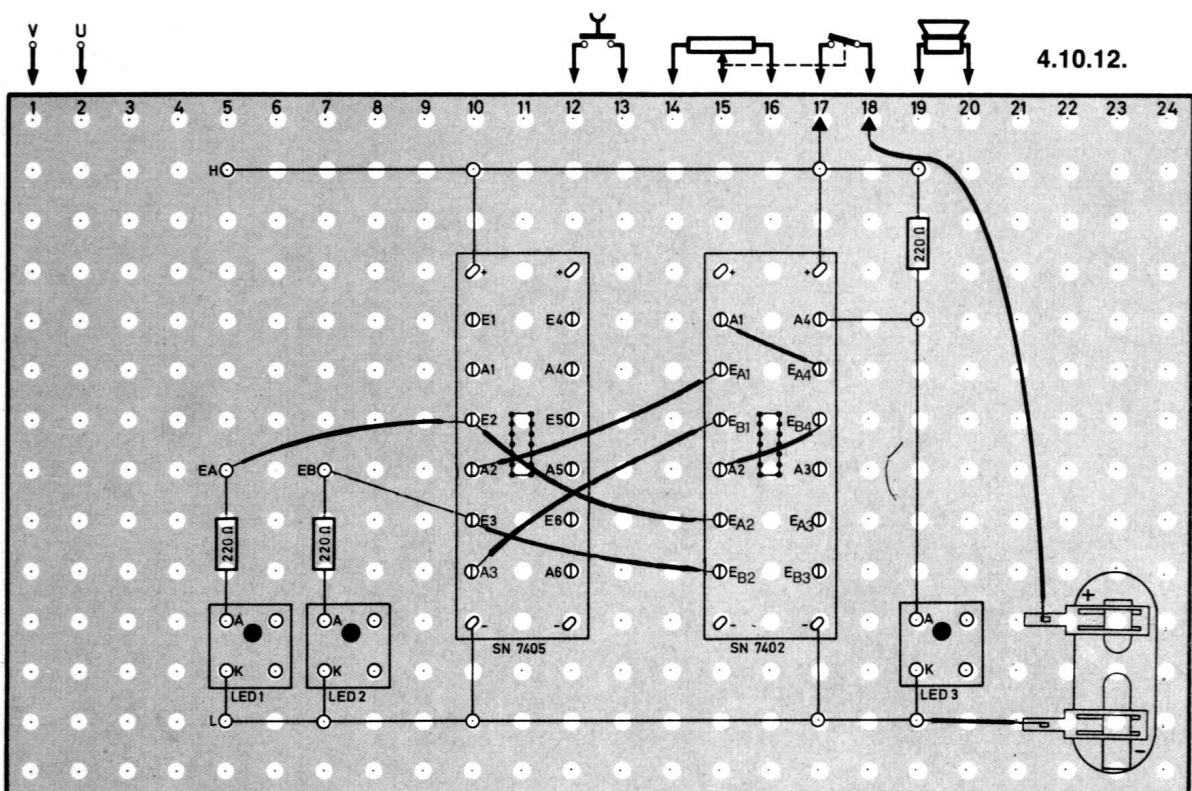
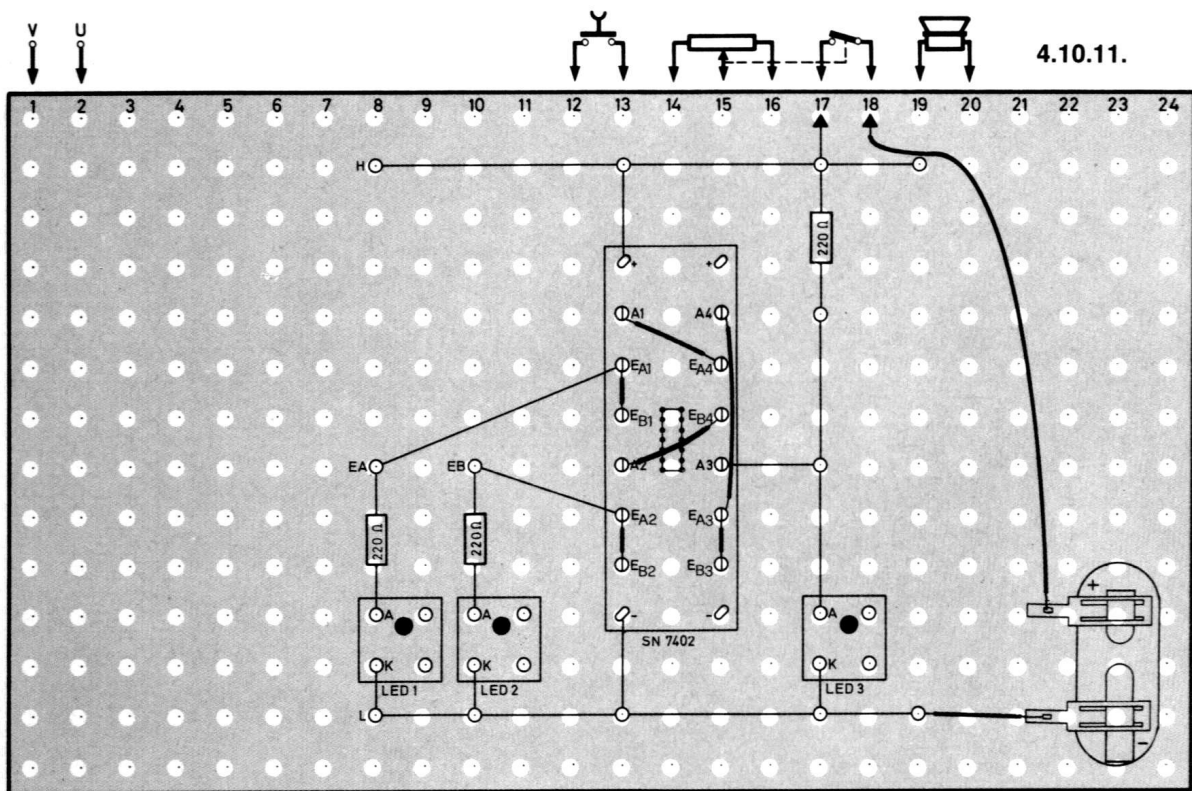


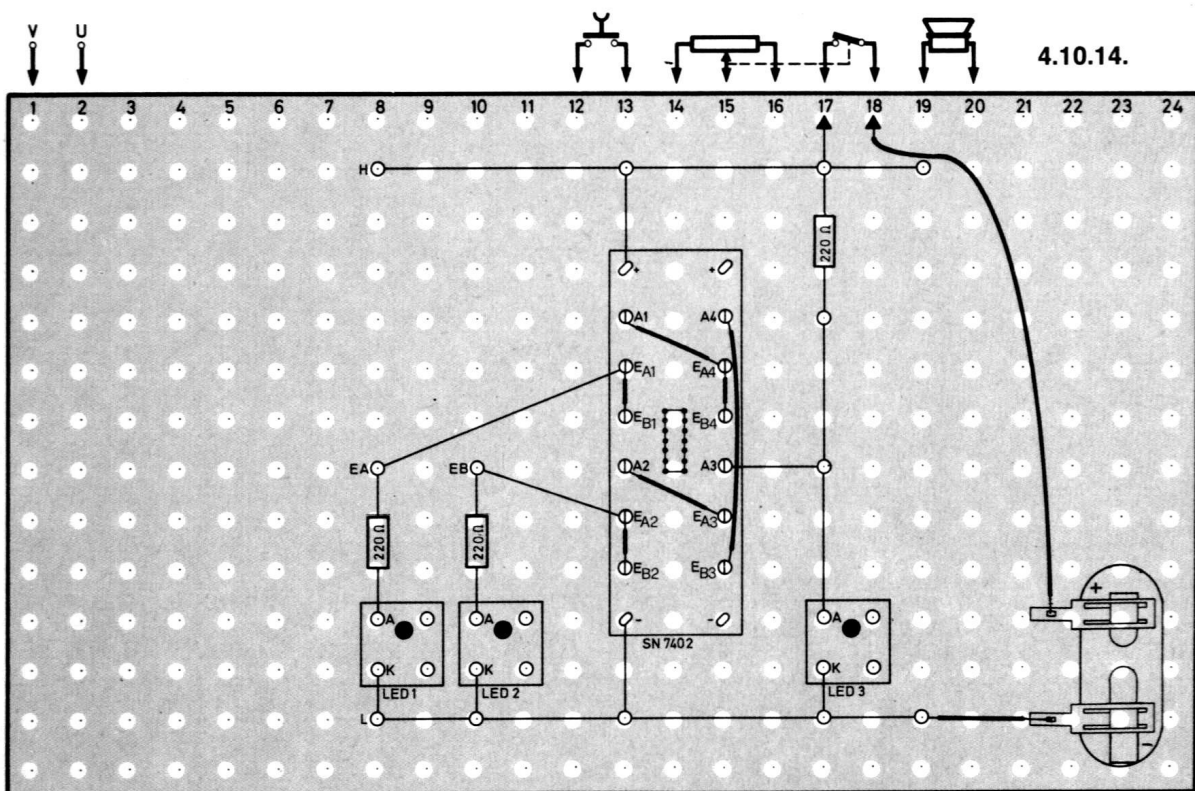
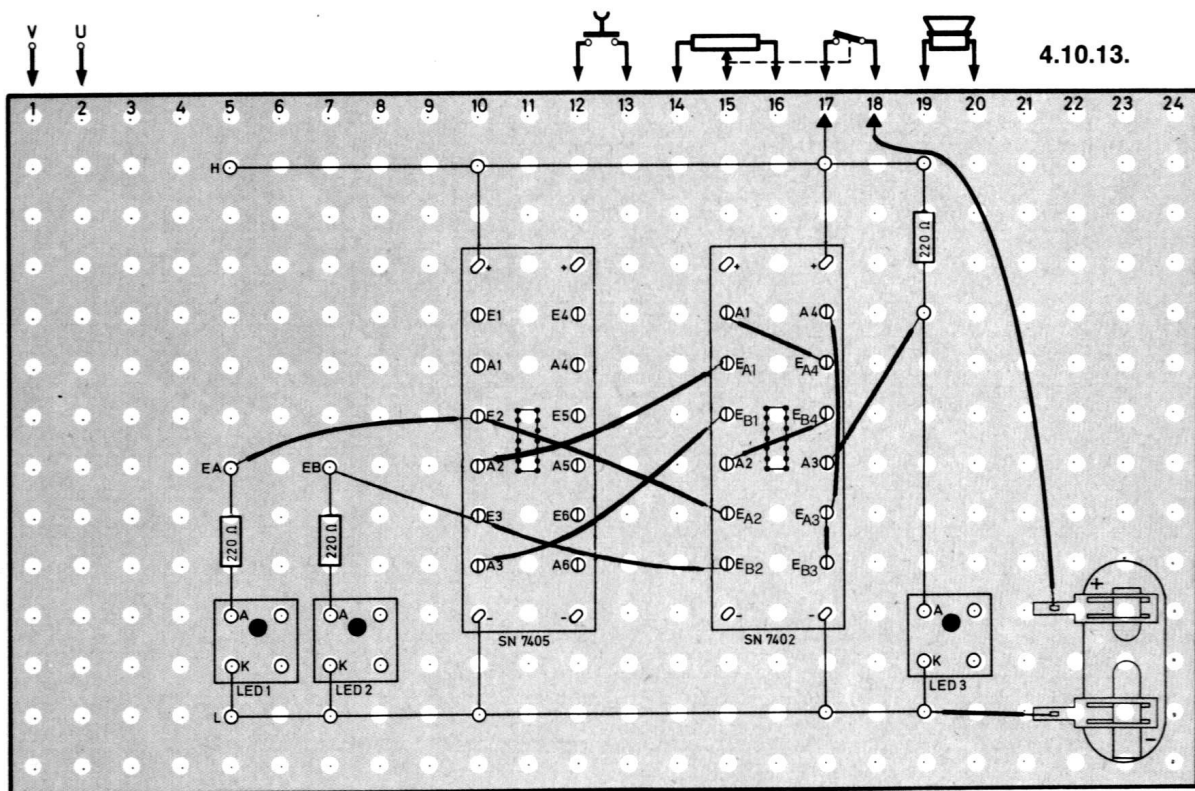


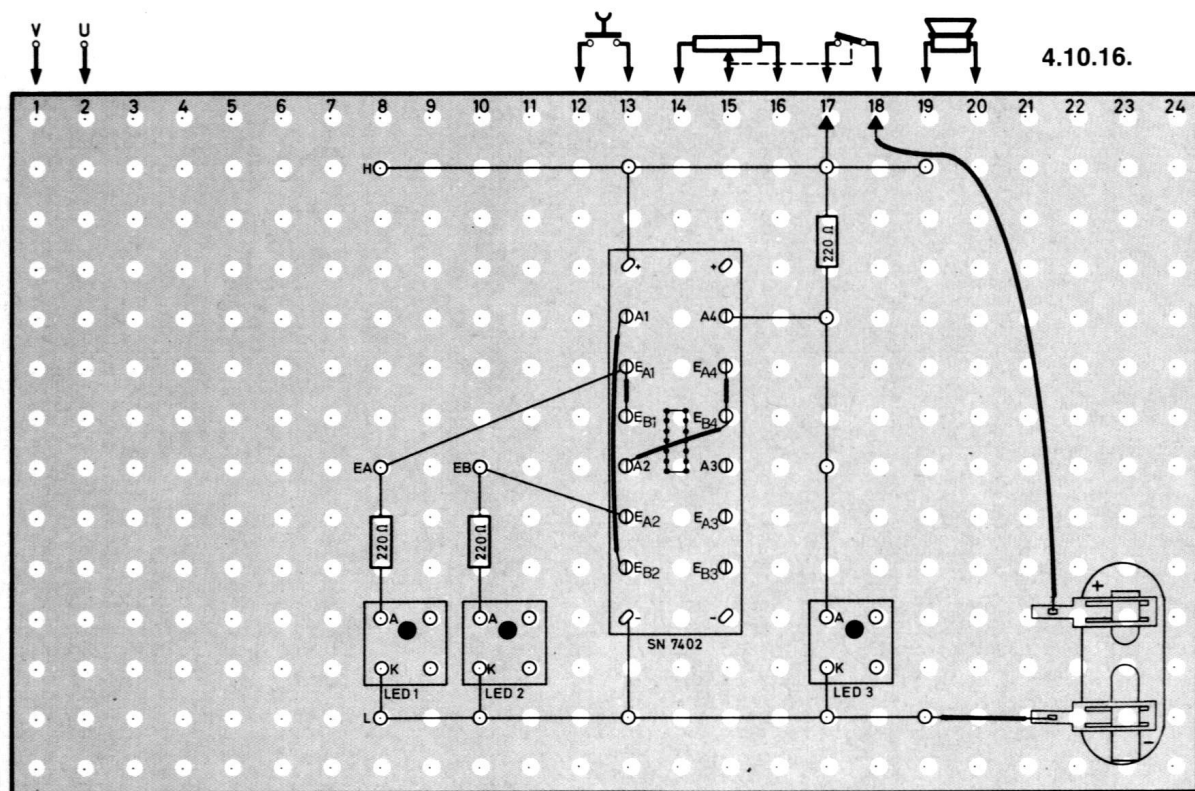
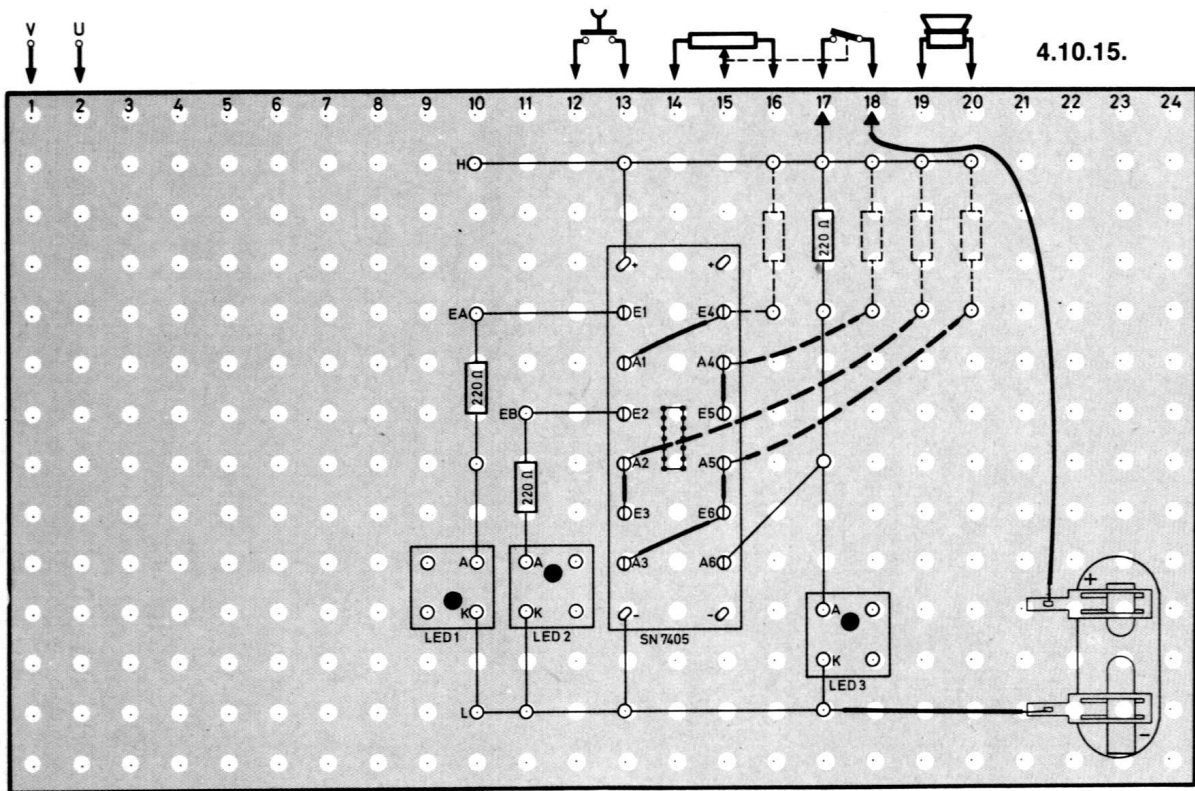


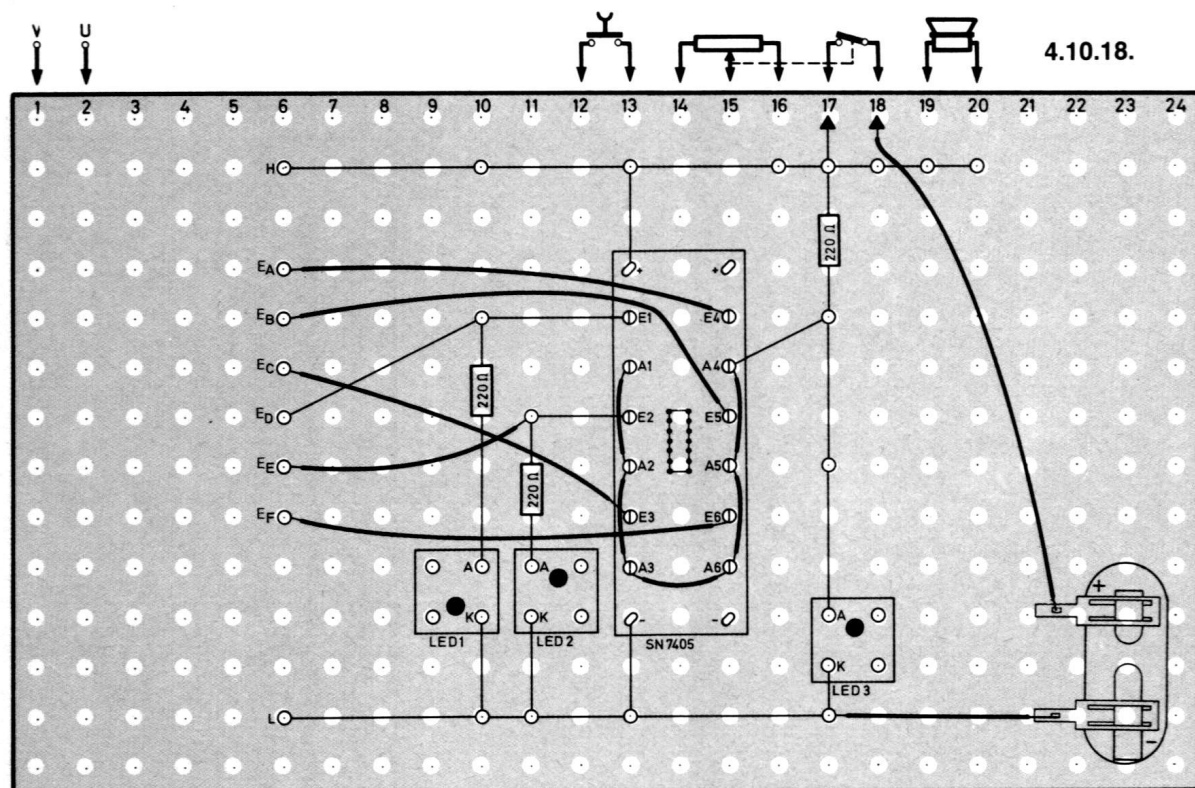
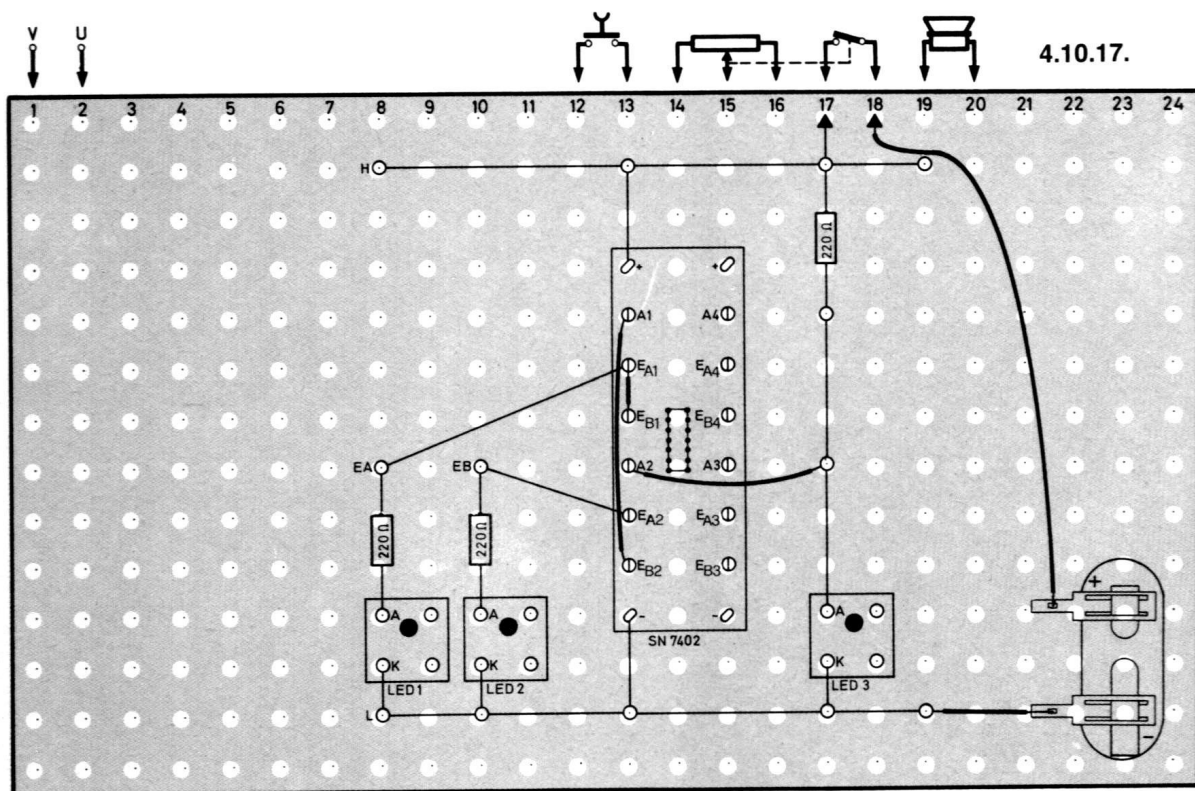


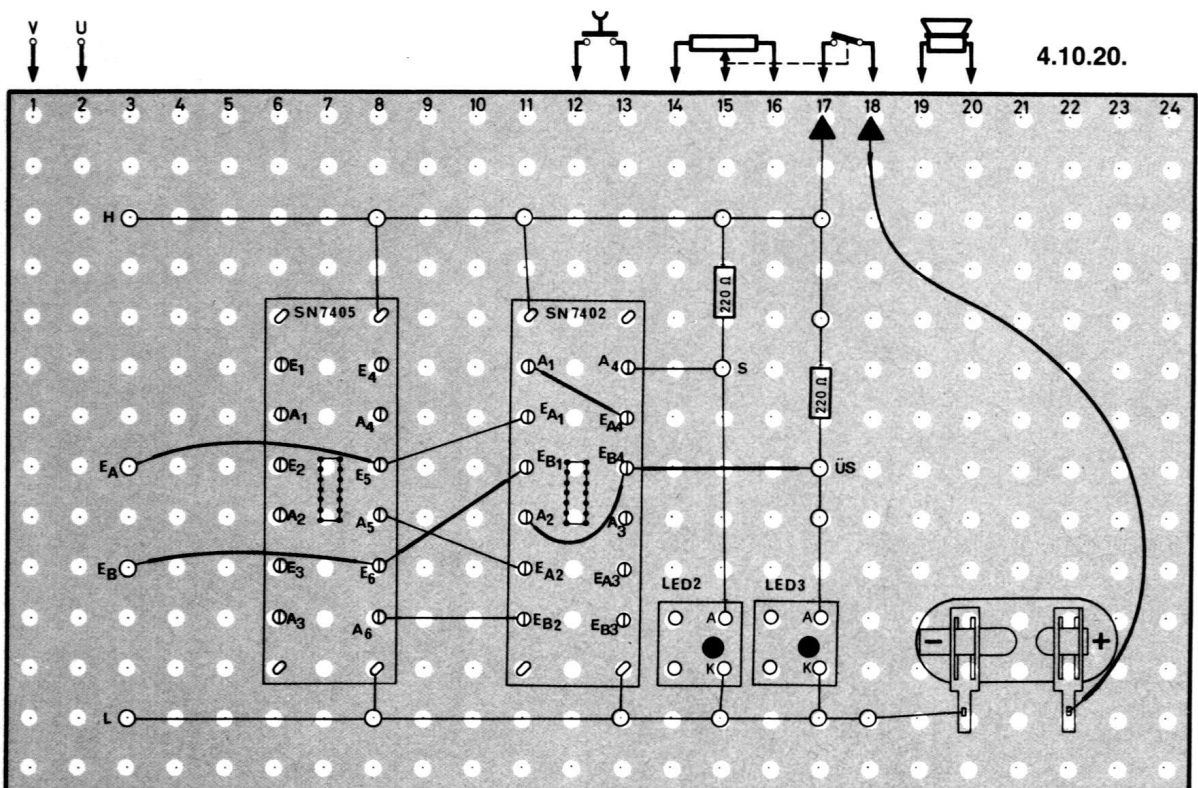
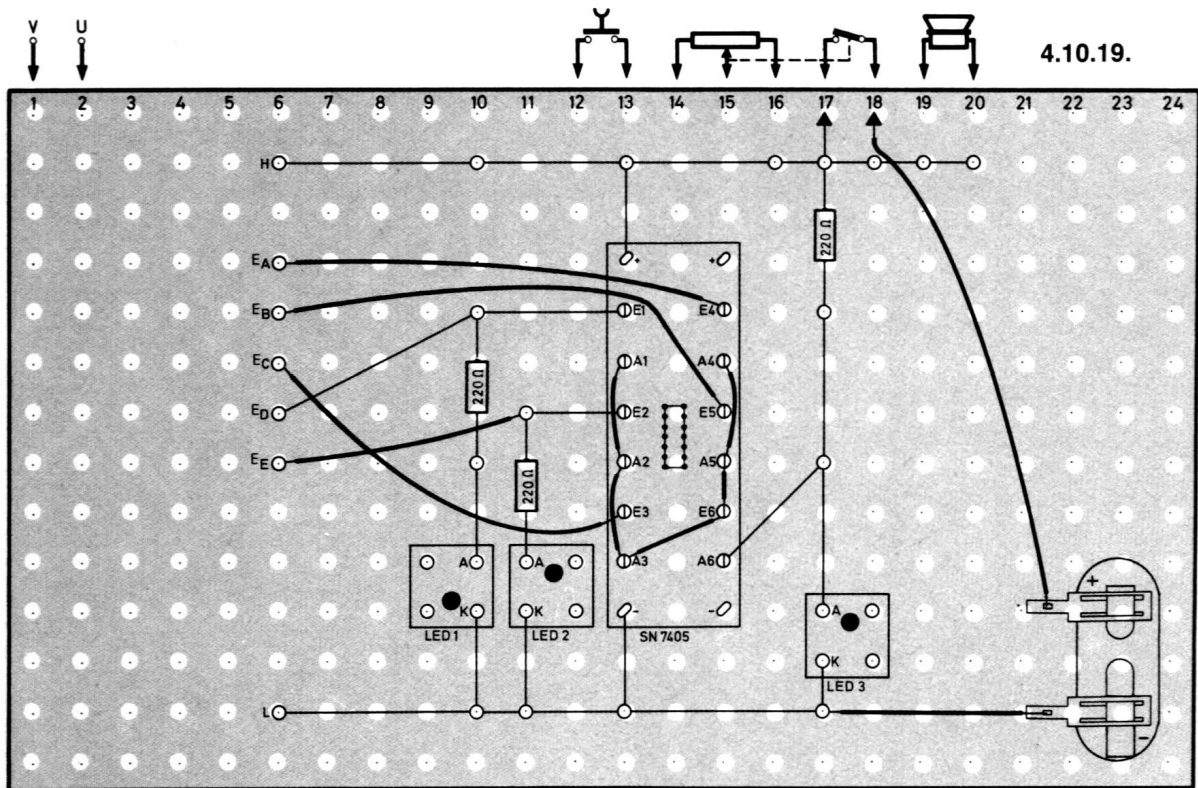


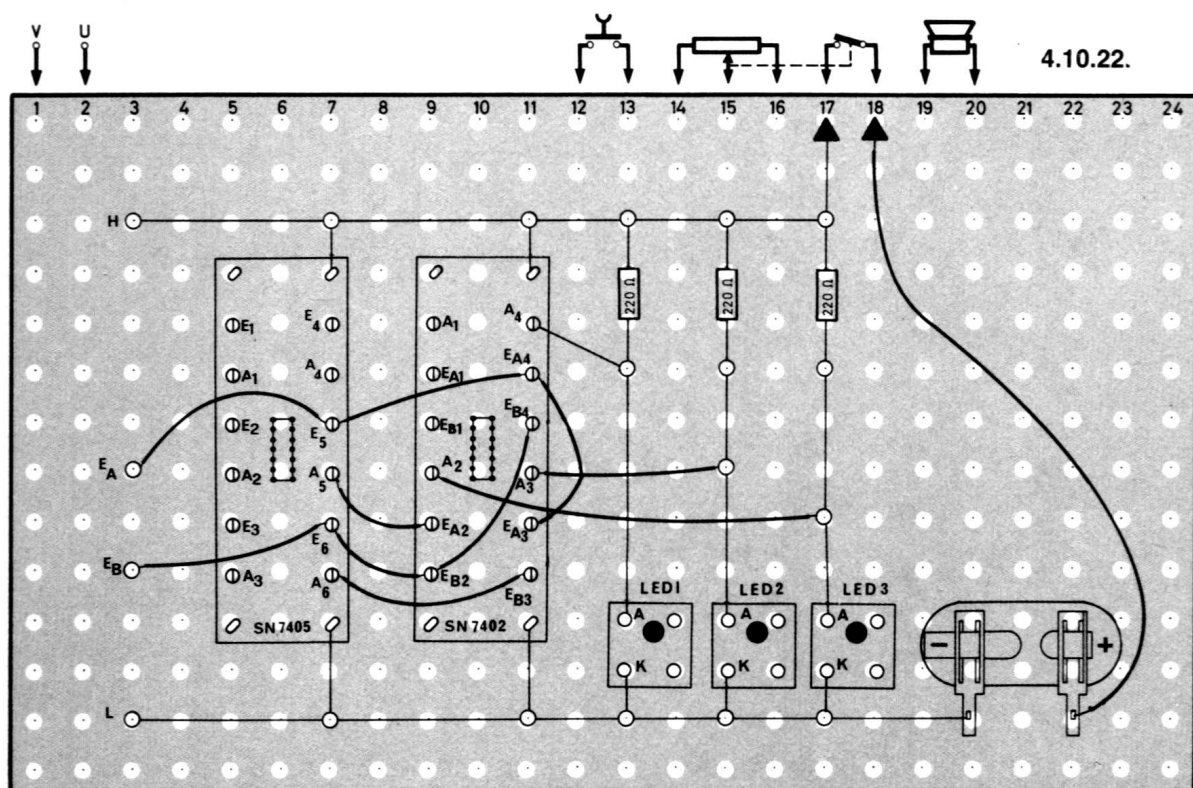
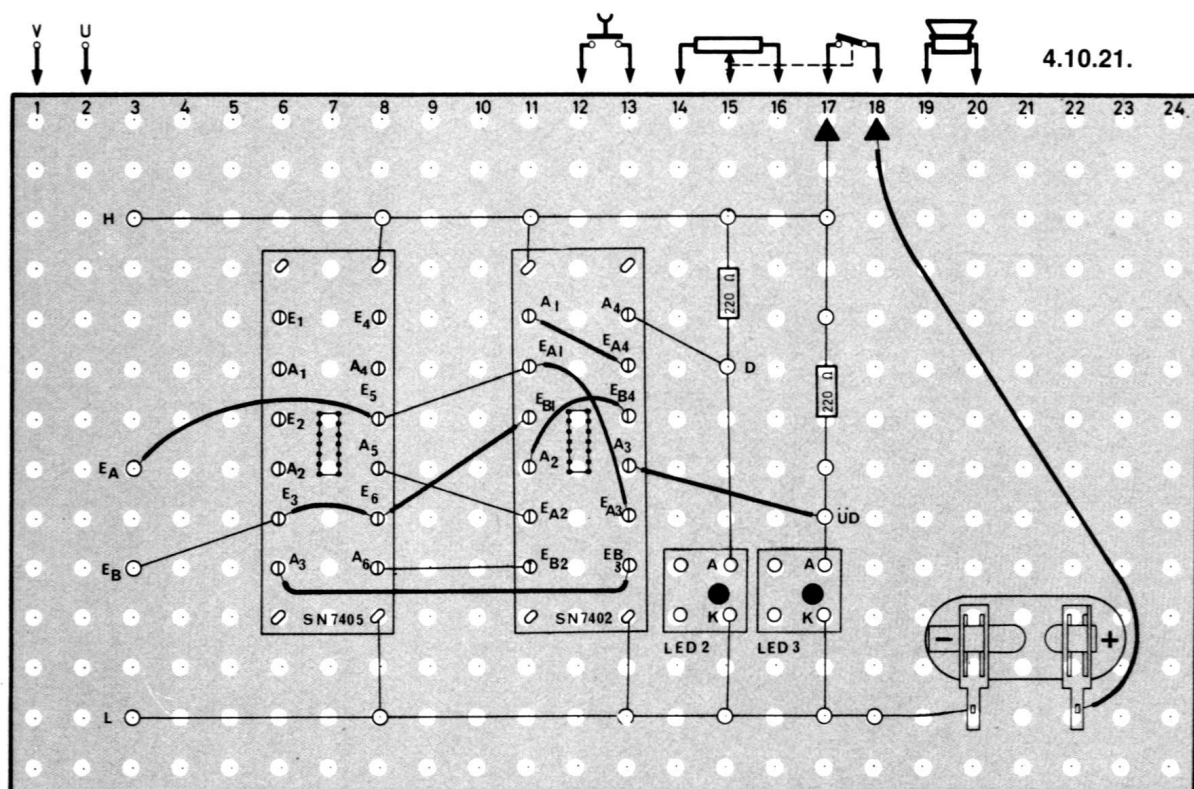


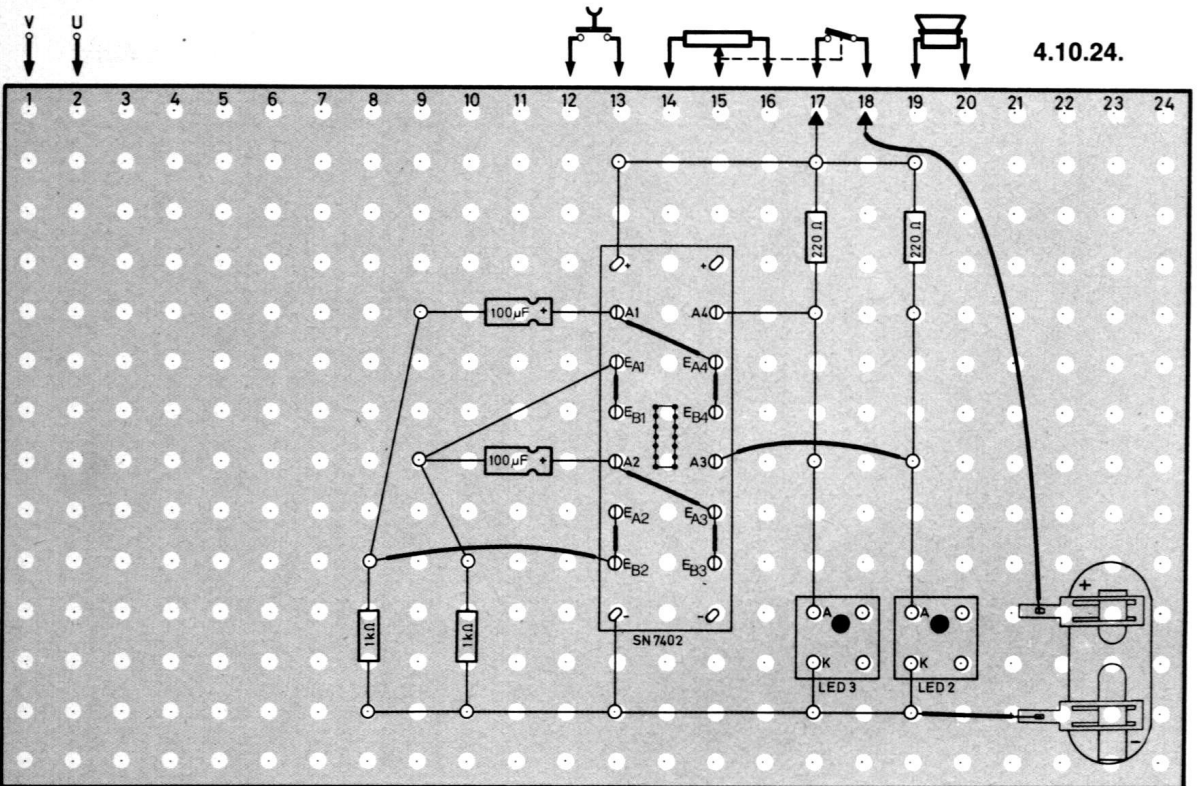
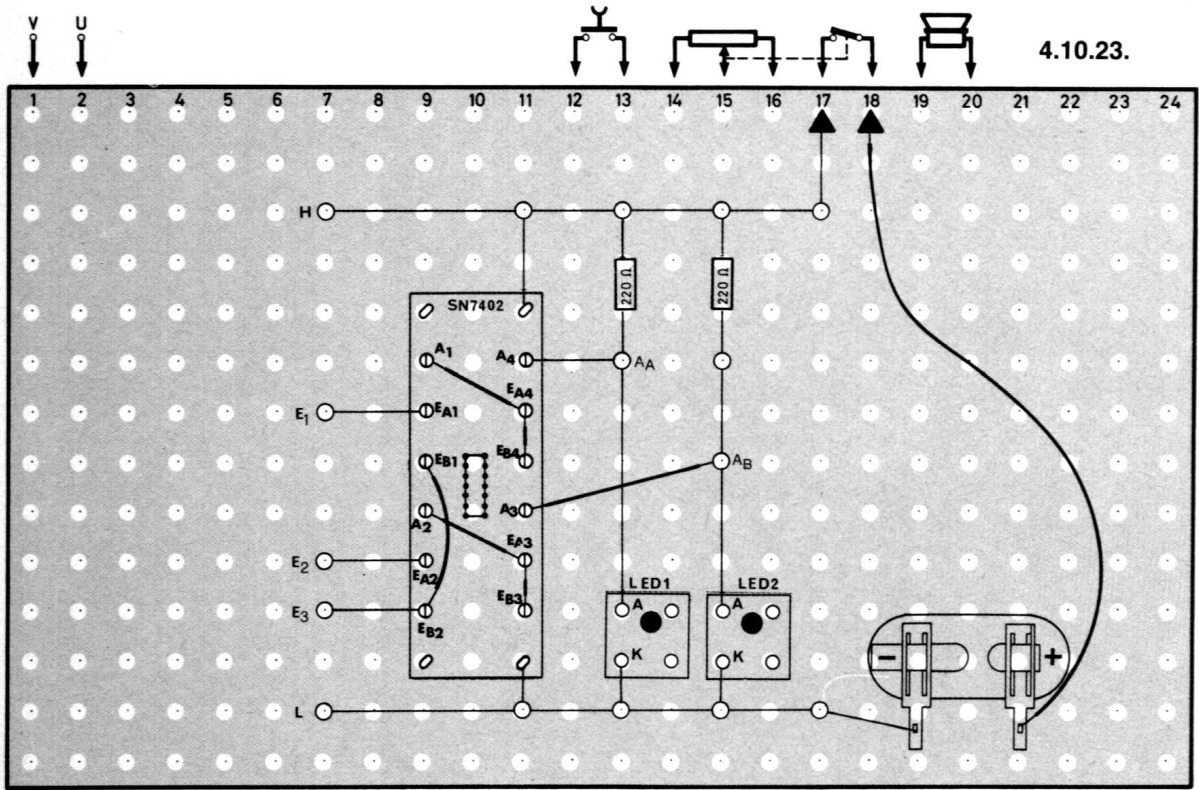


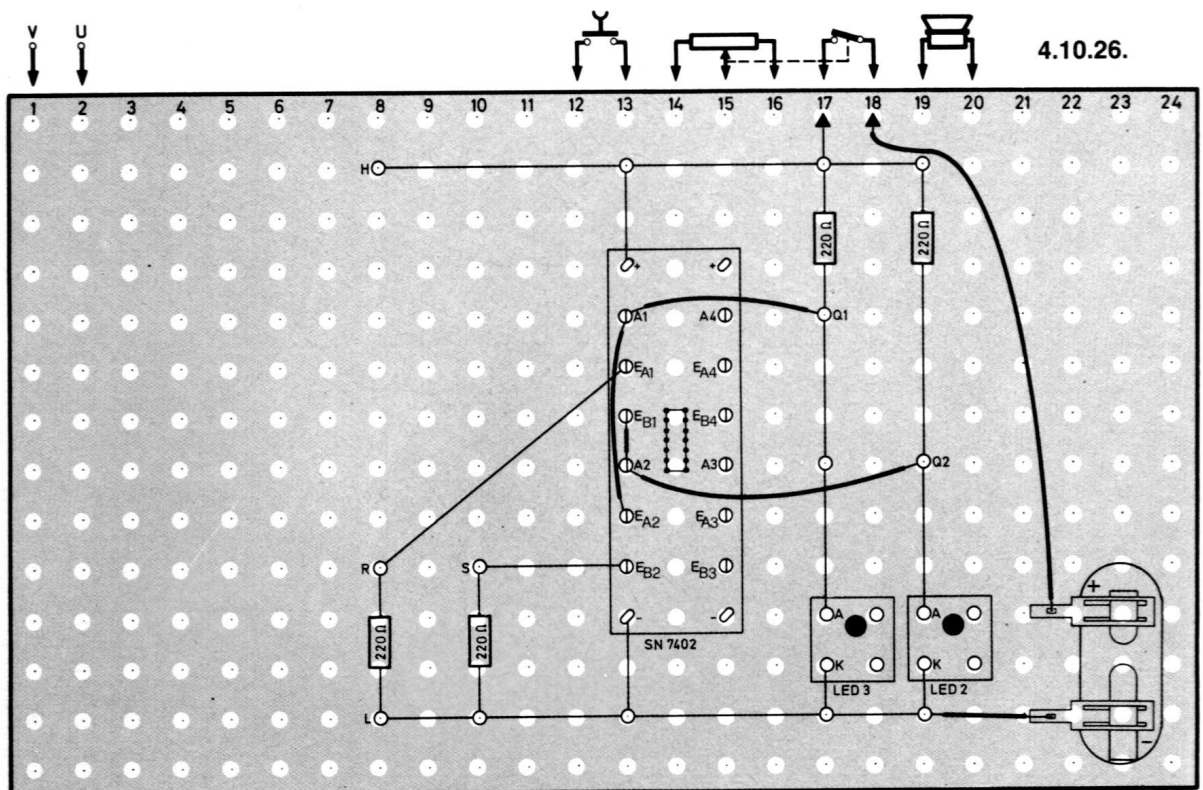
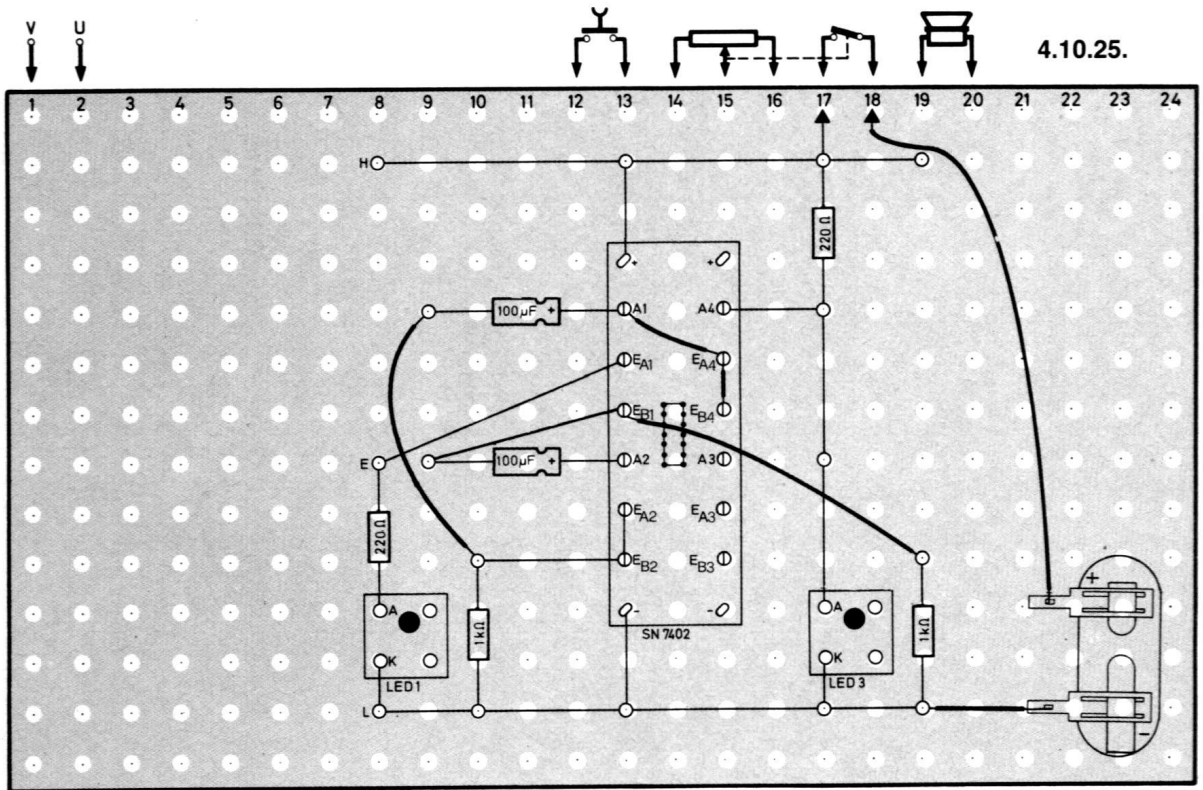


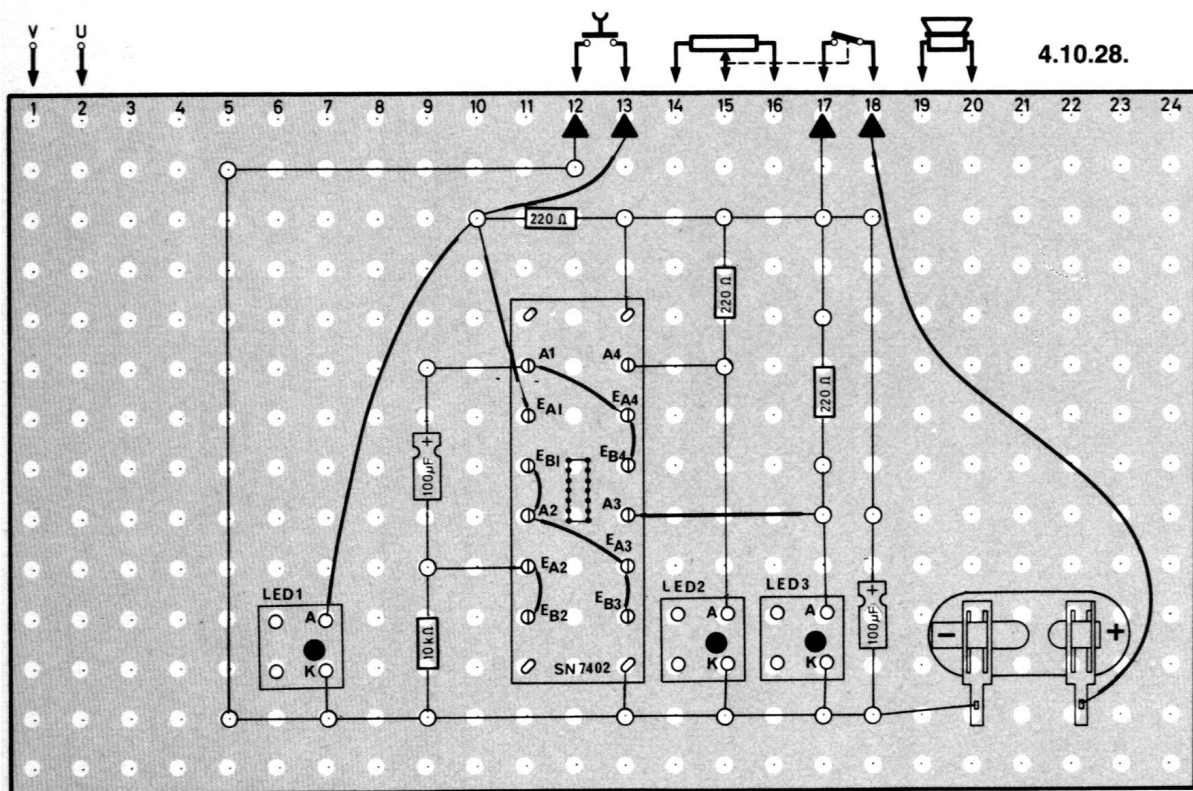
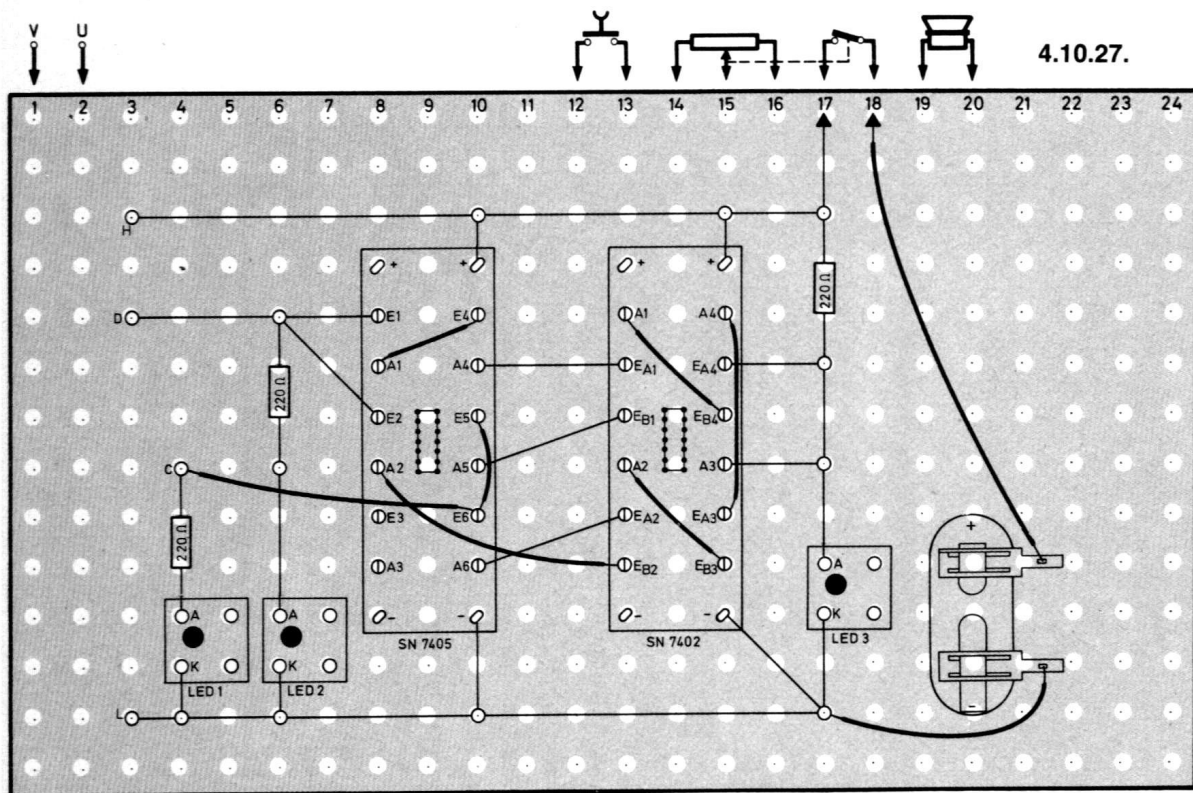


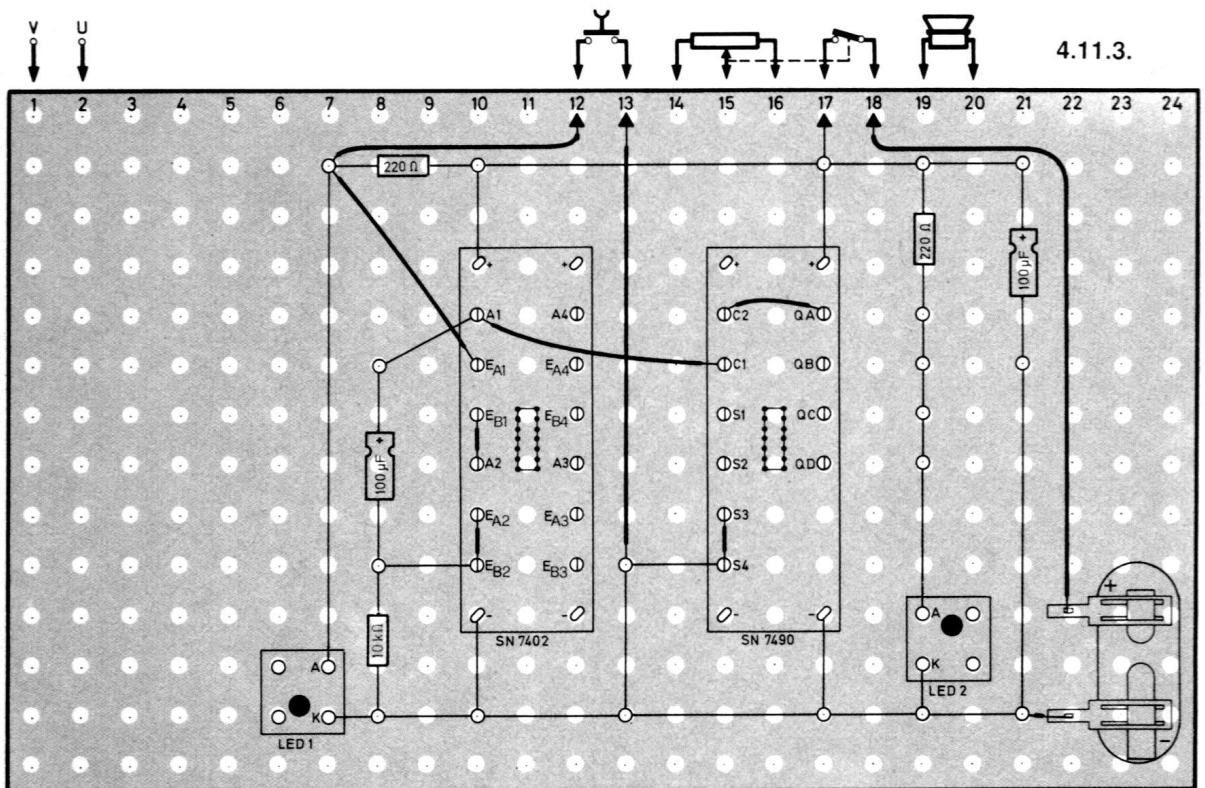
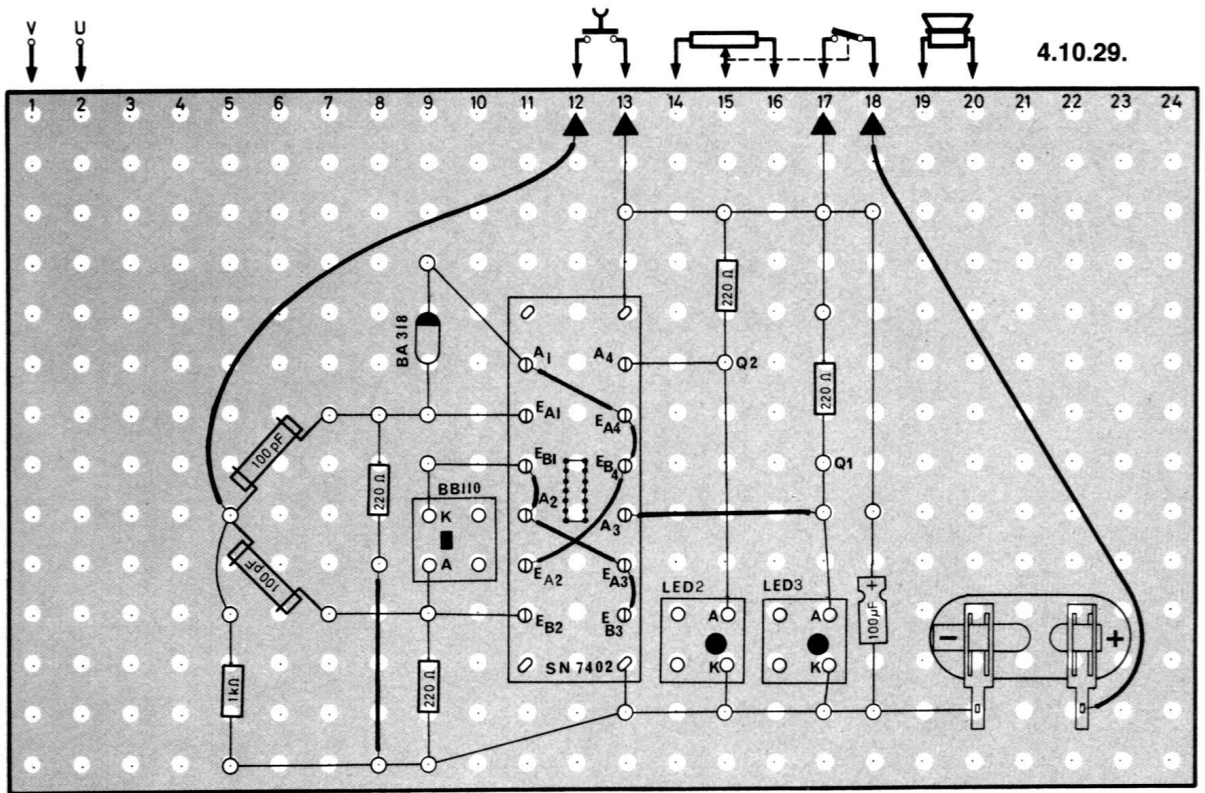


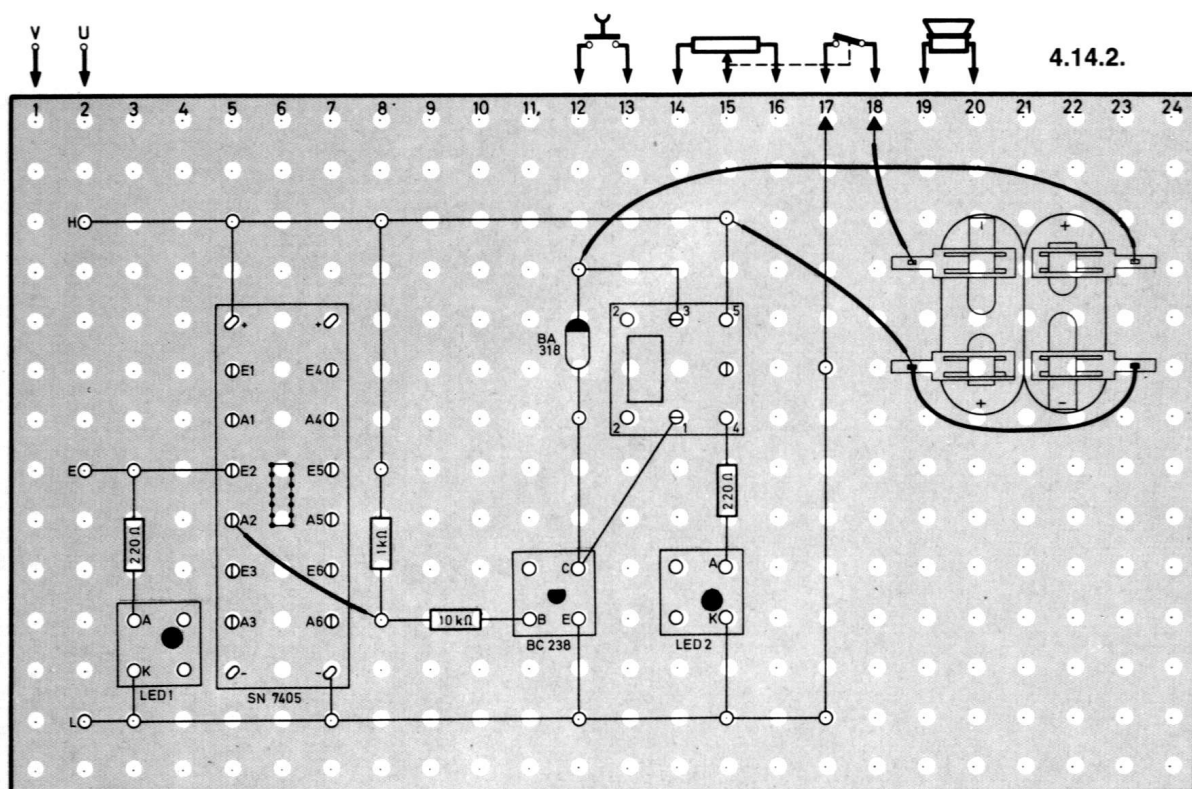
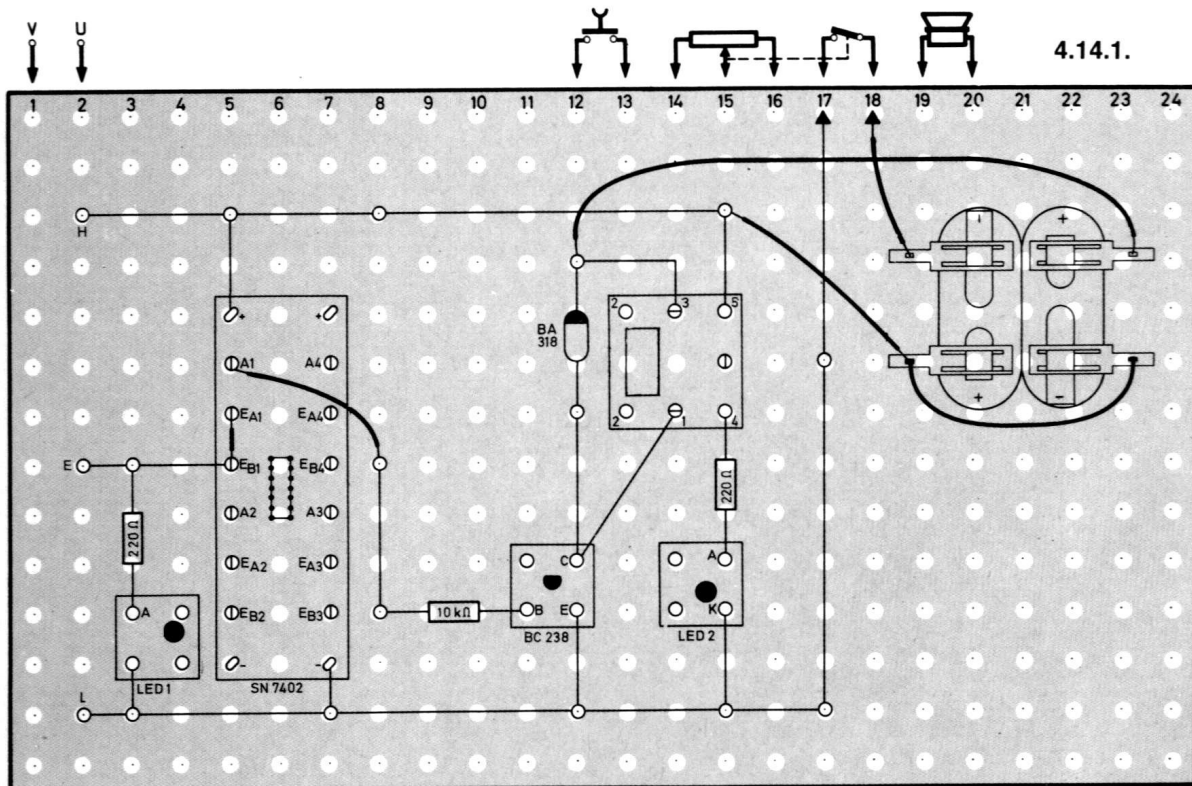


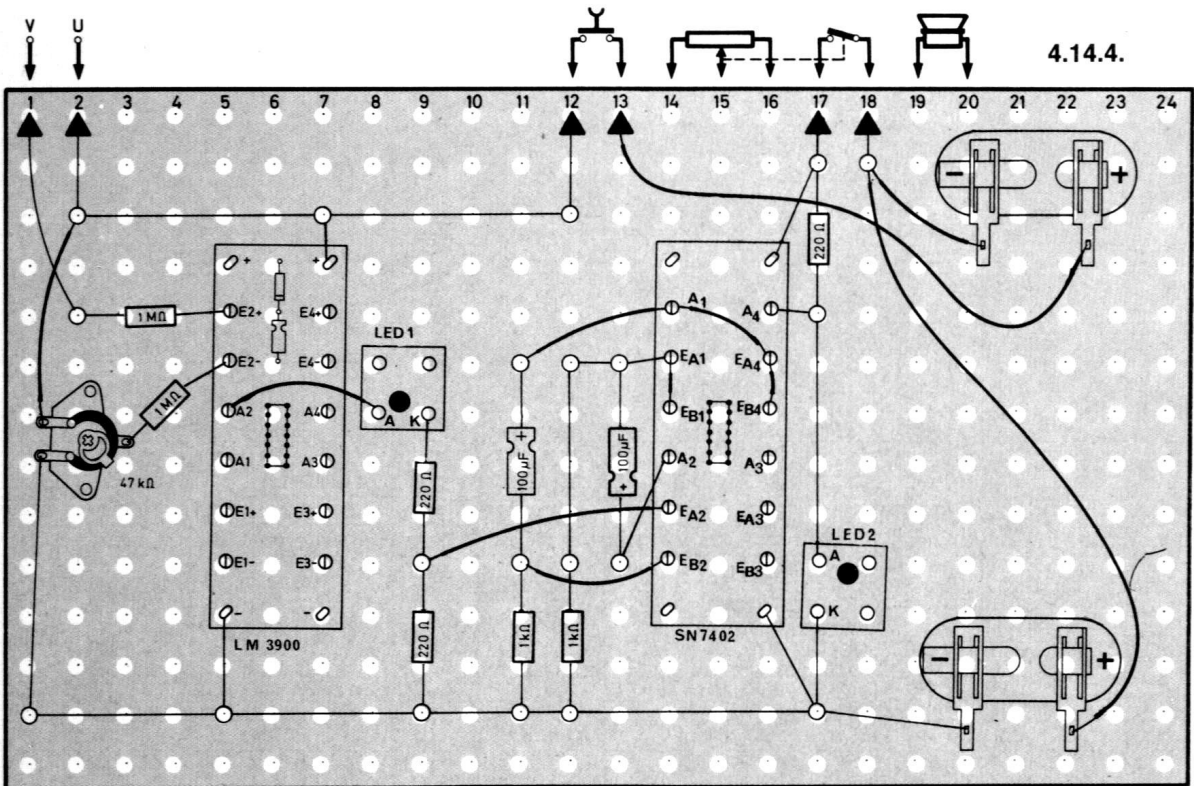
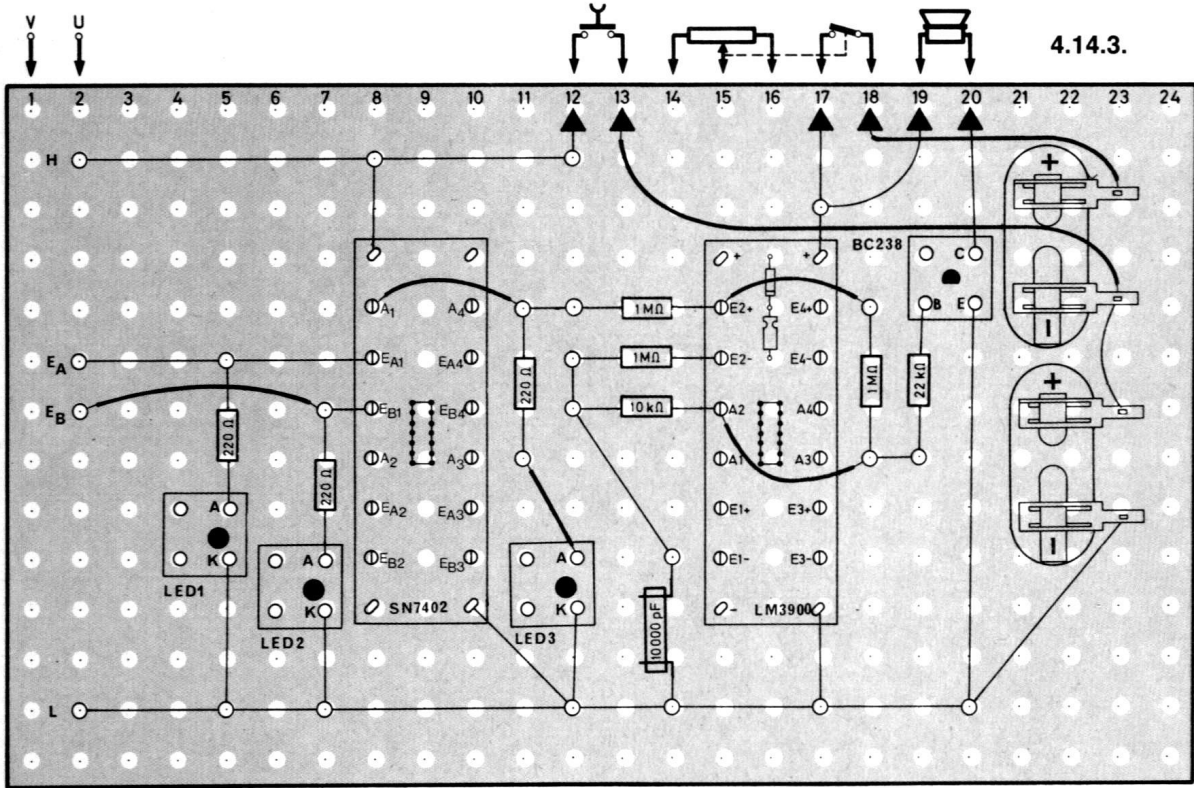


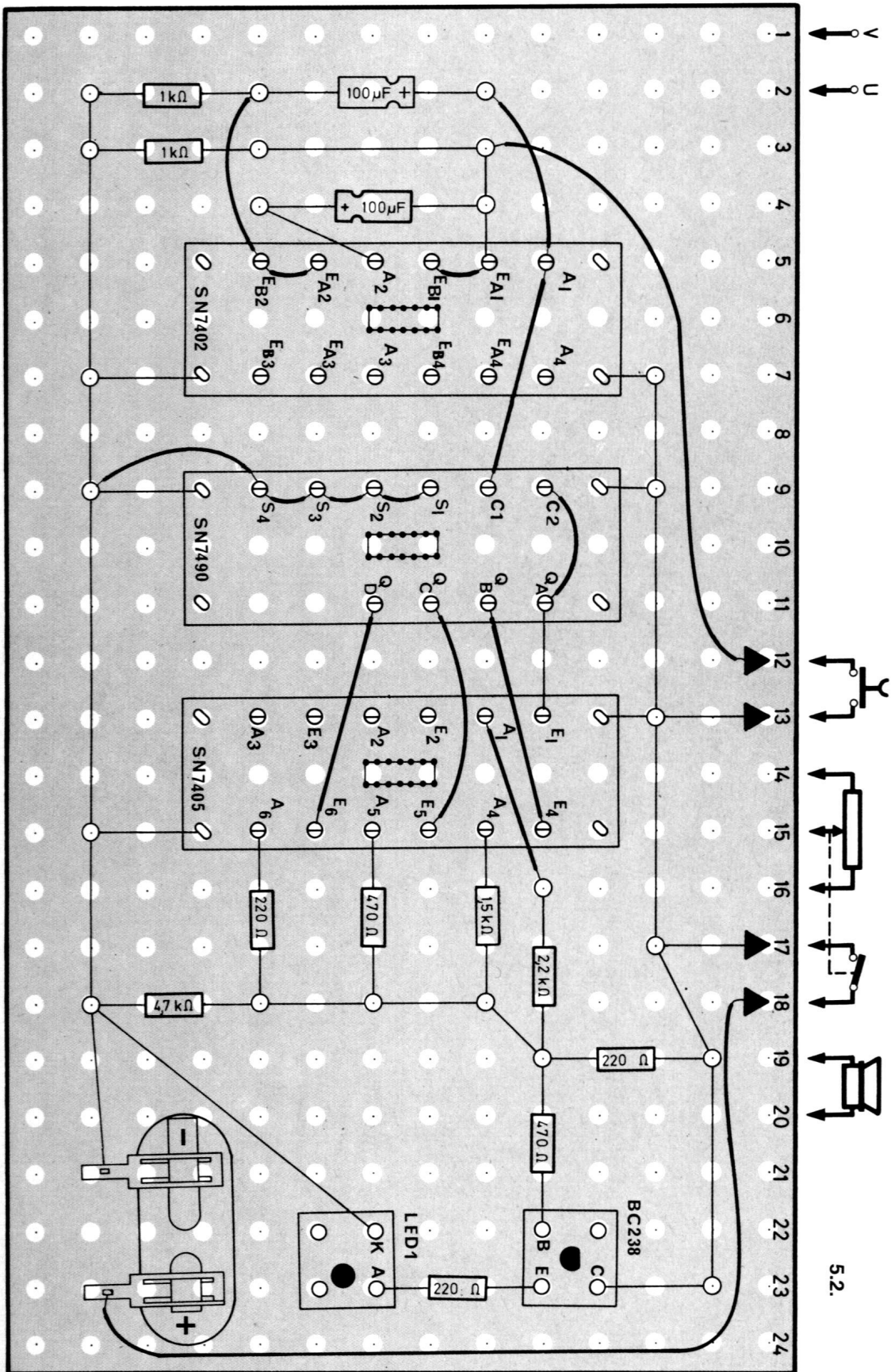


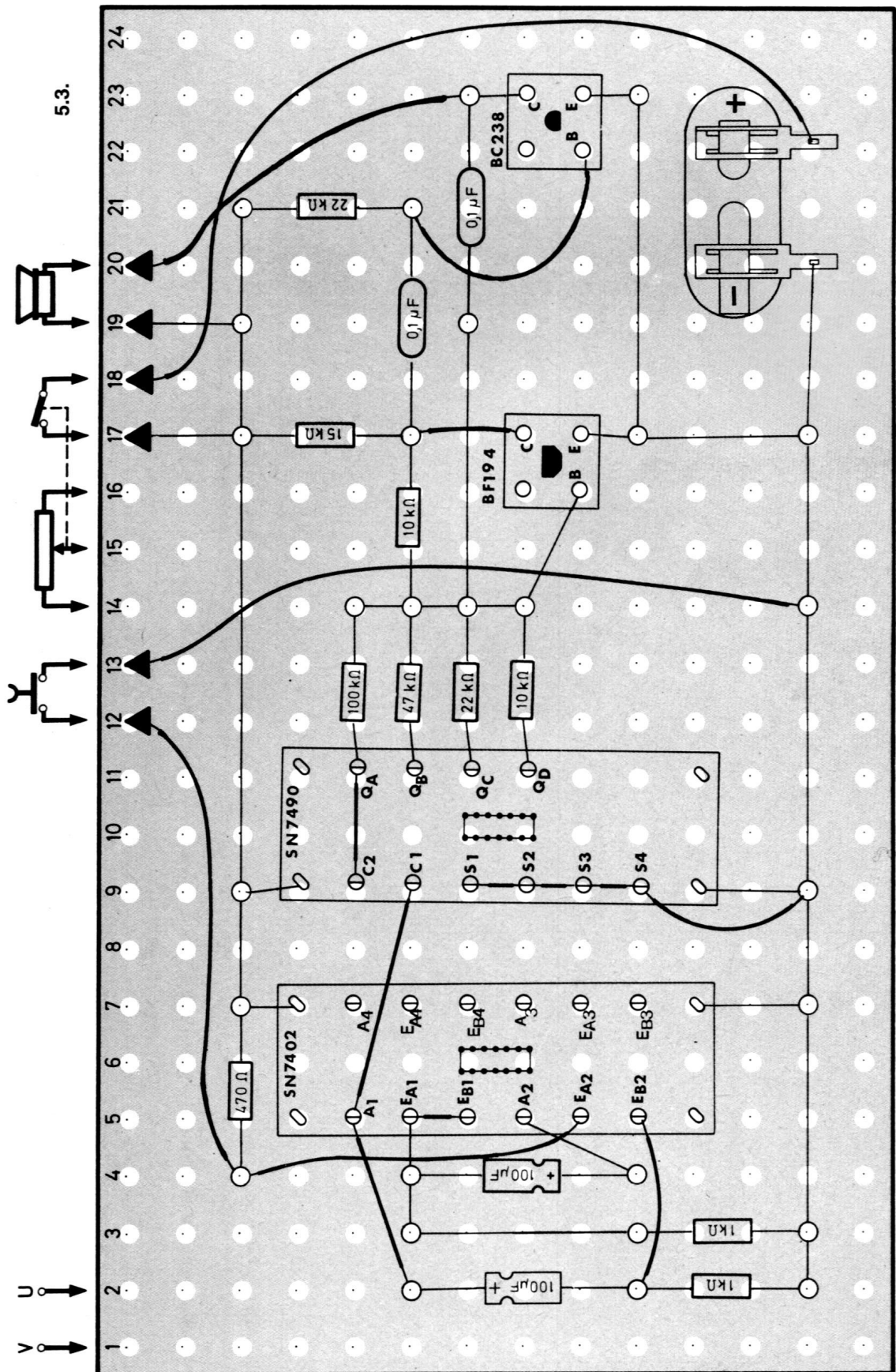


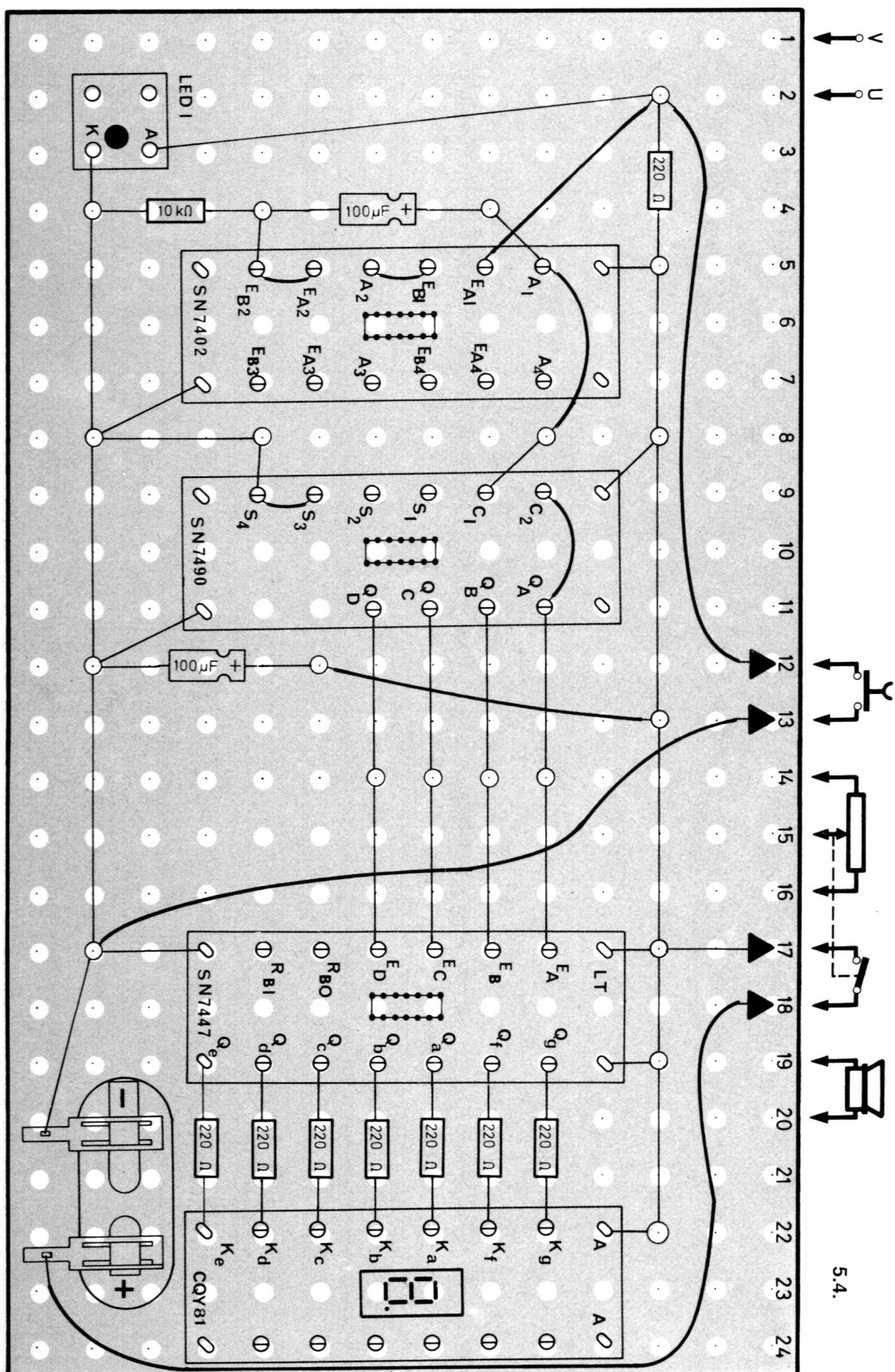




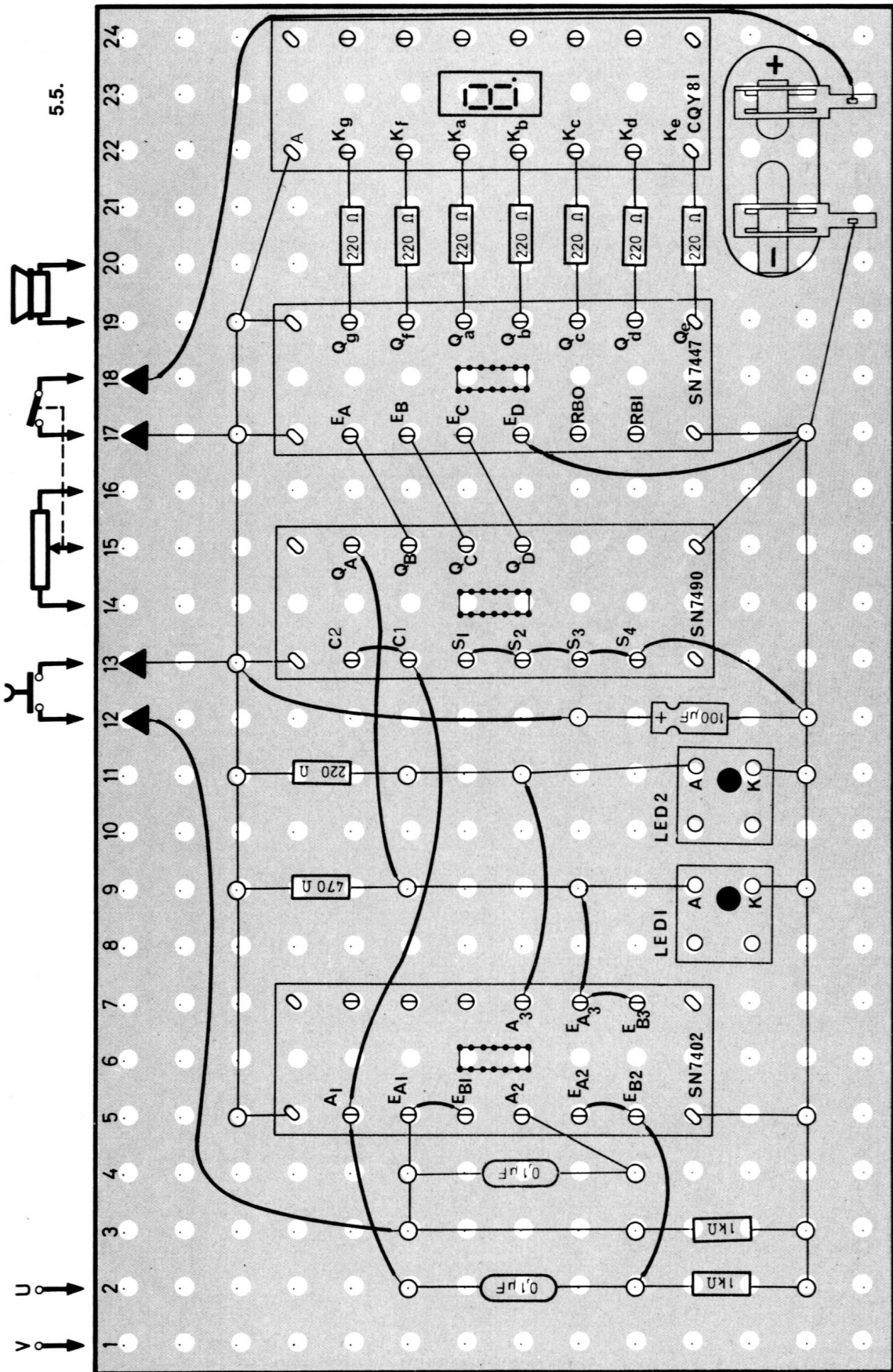


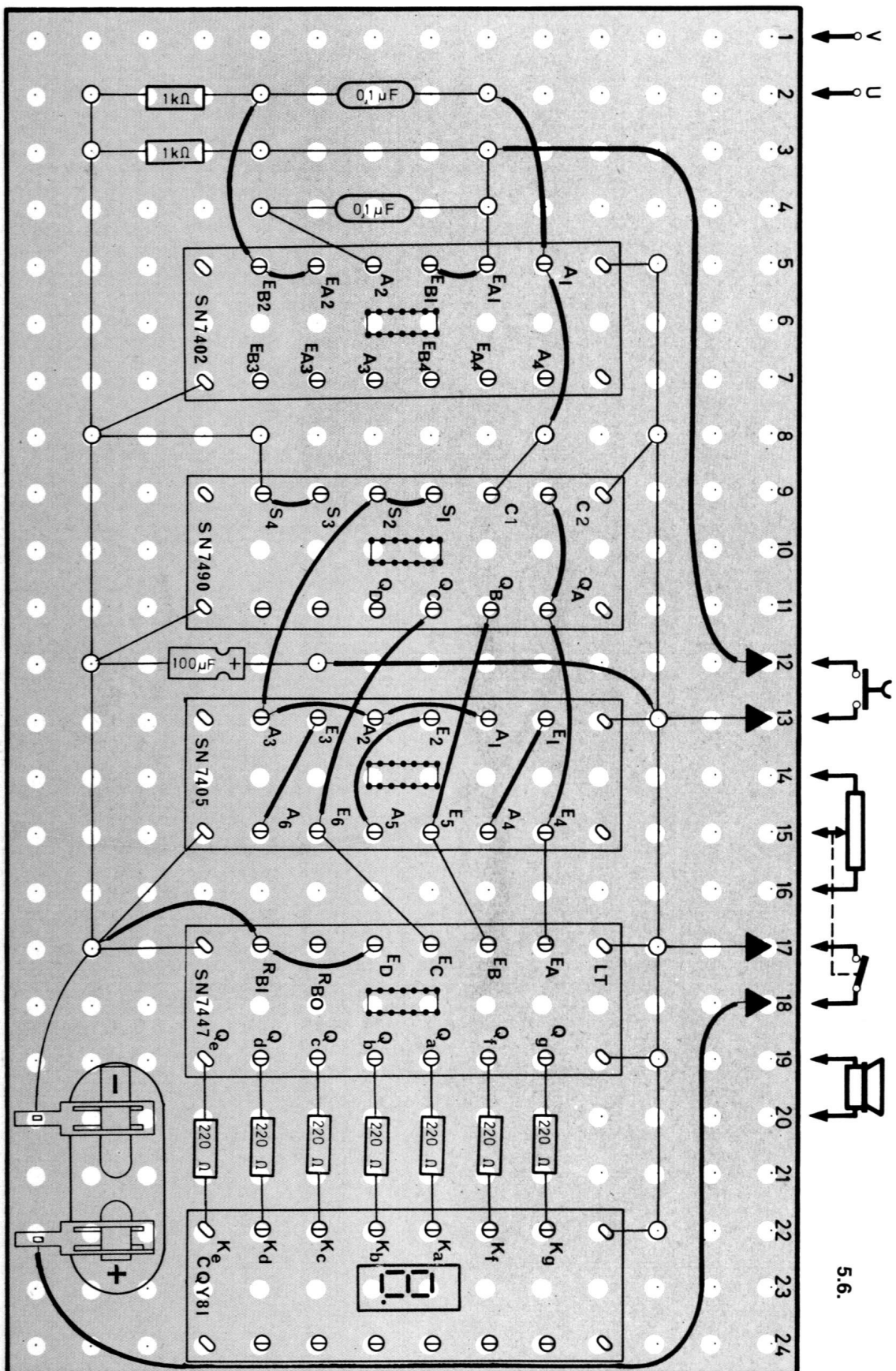


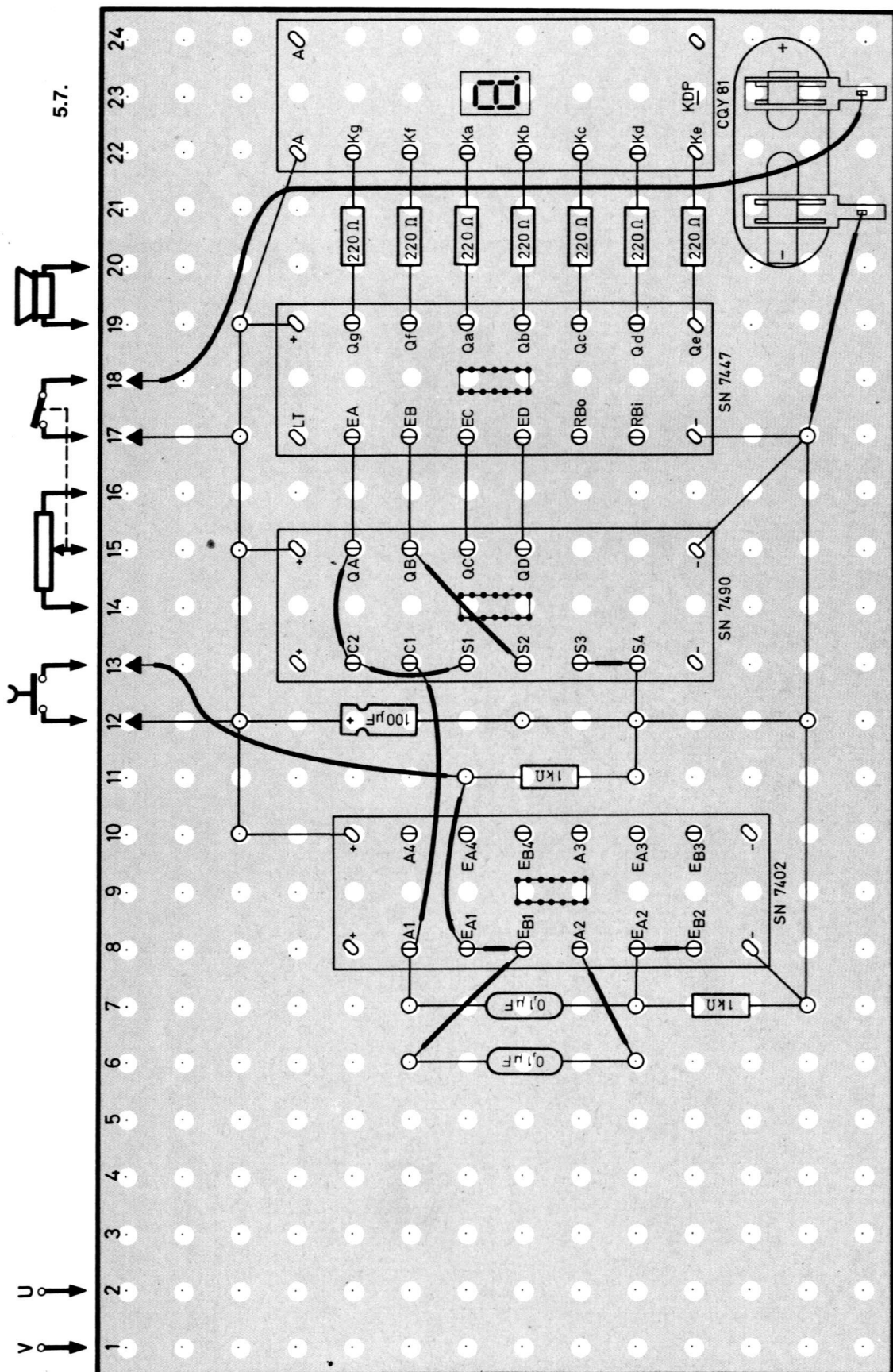


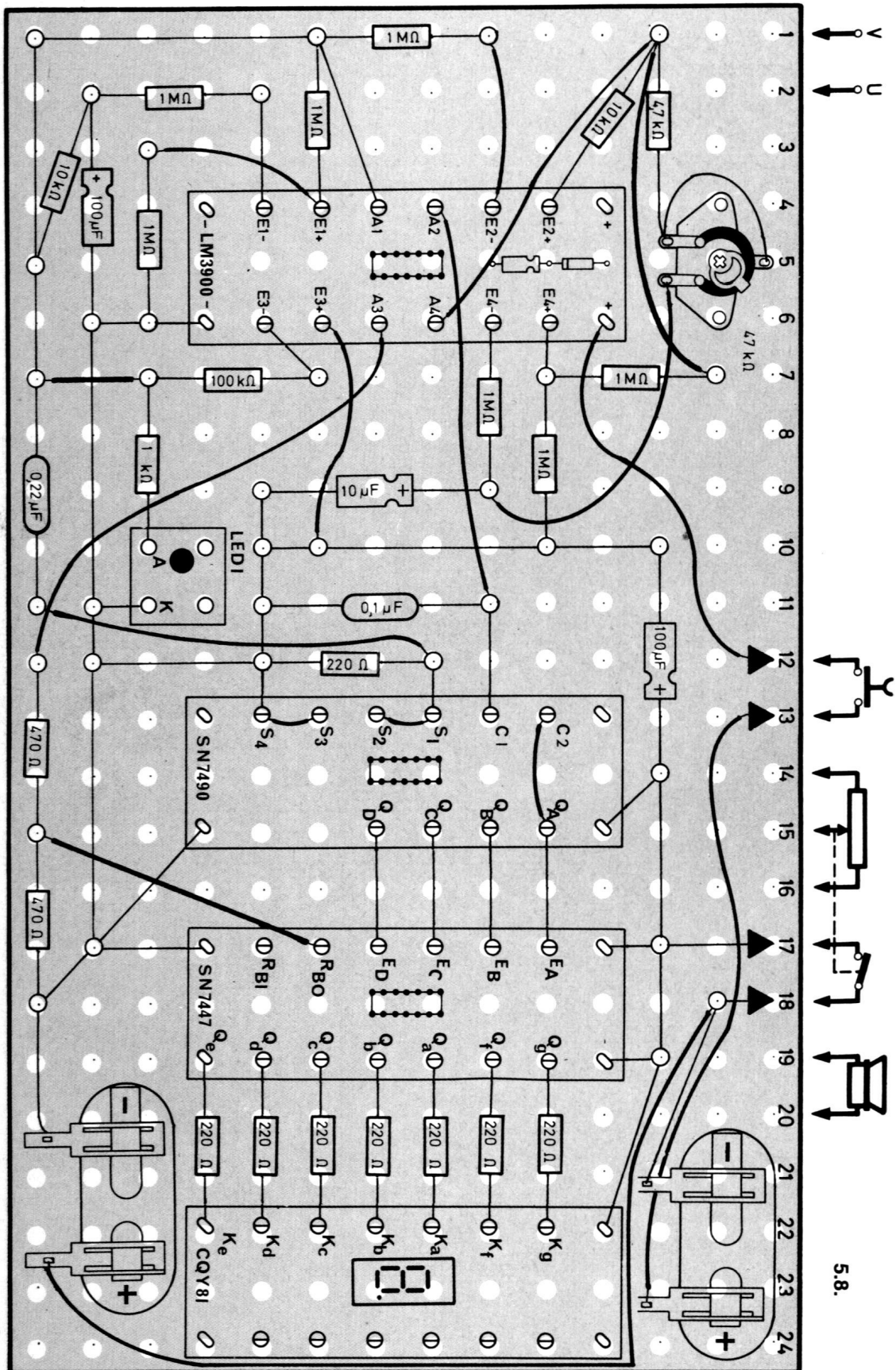


5.4.

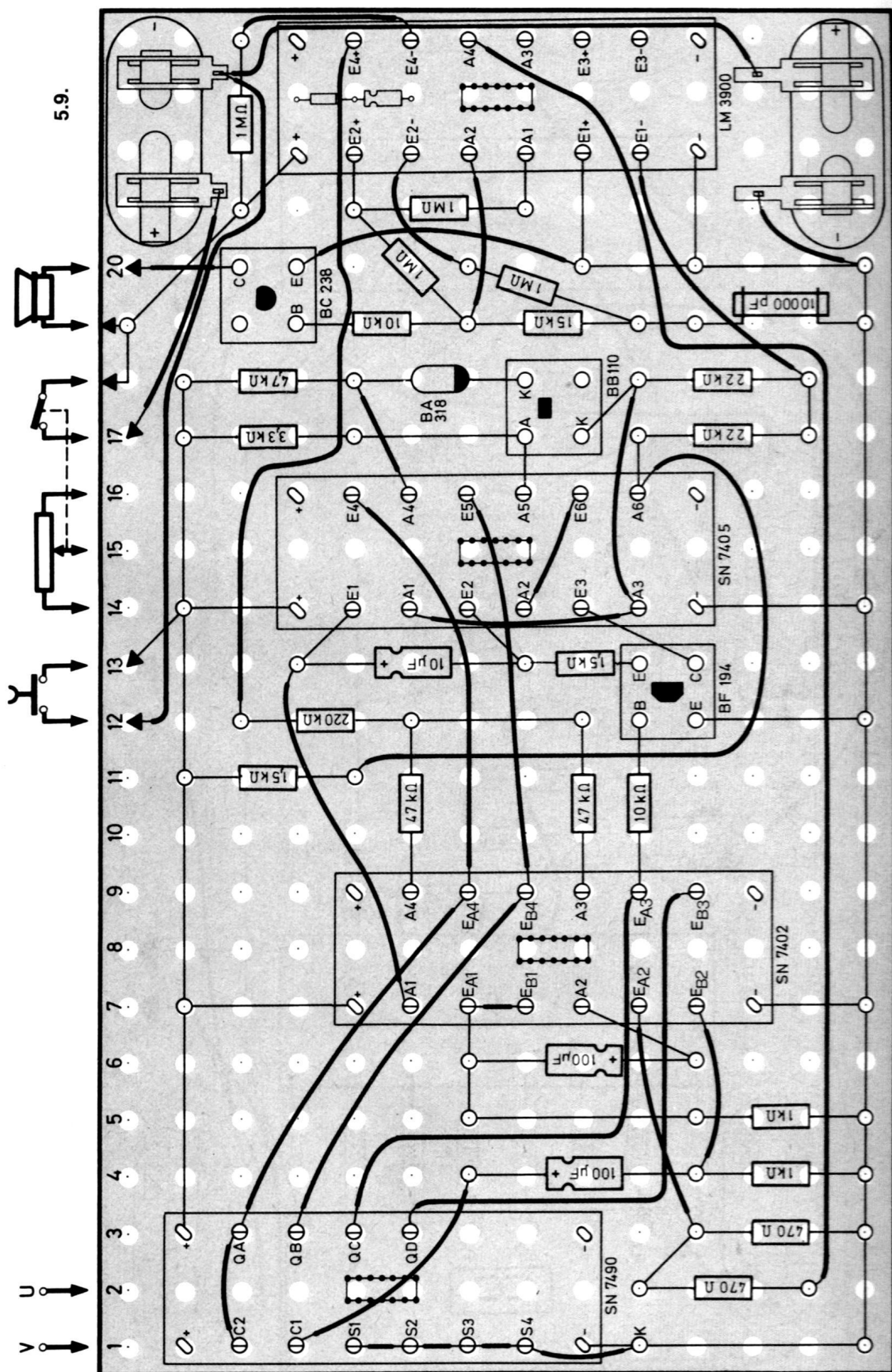


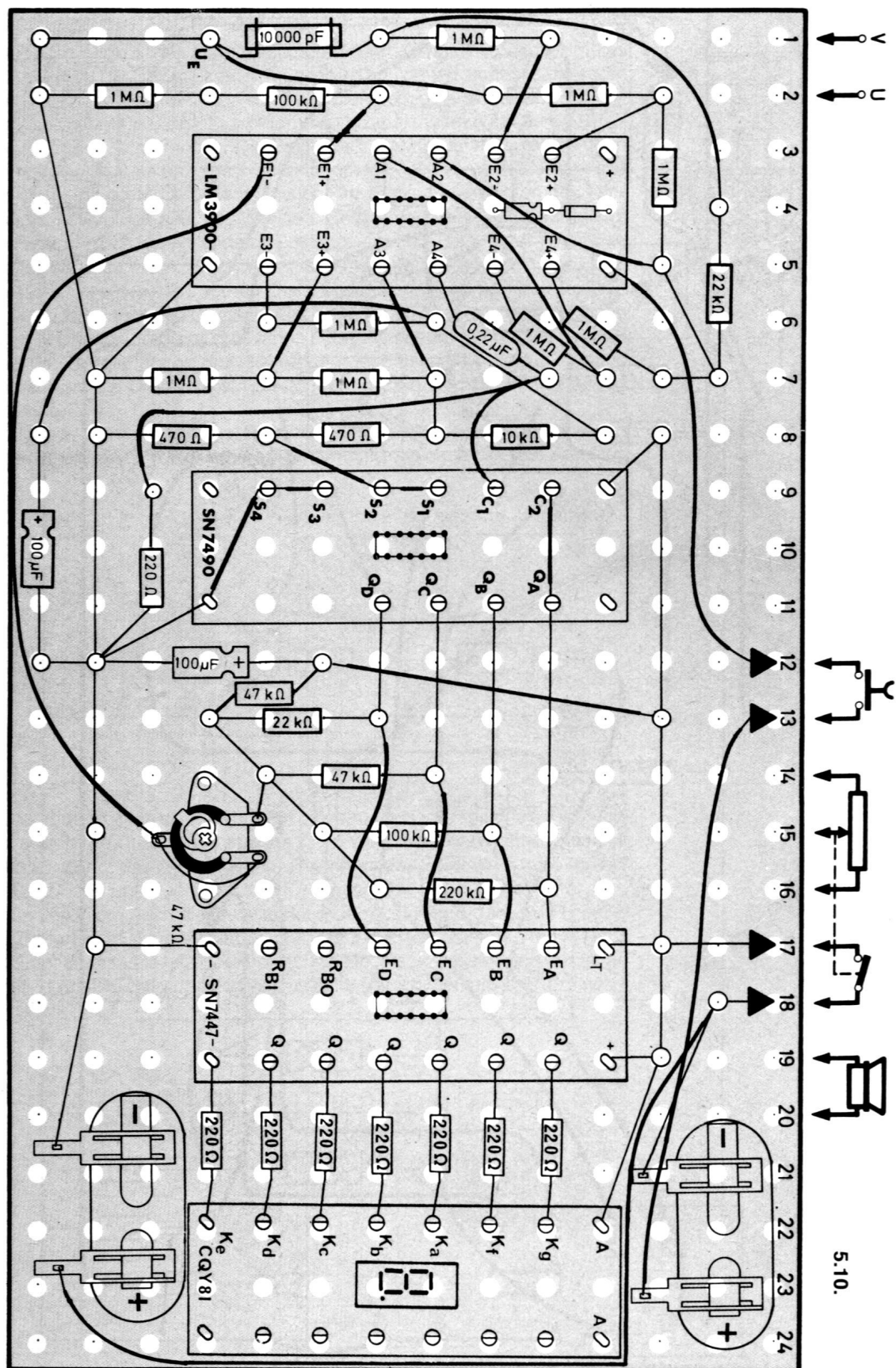






5.8.





NL