

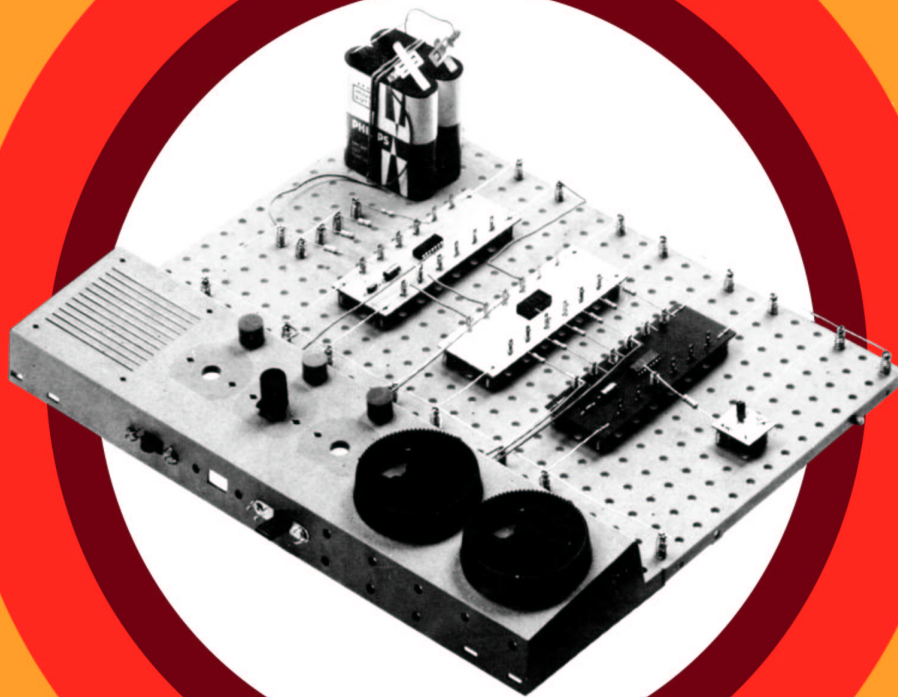
PHILIPS



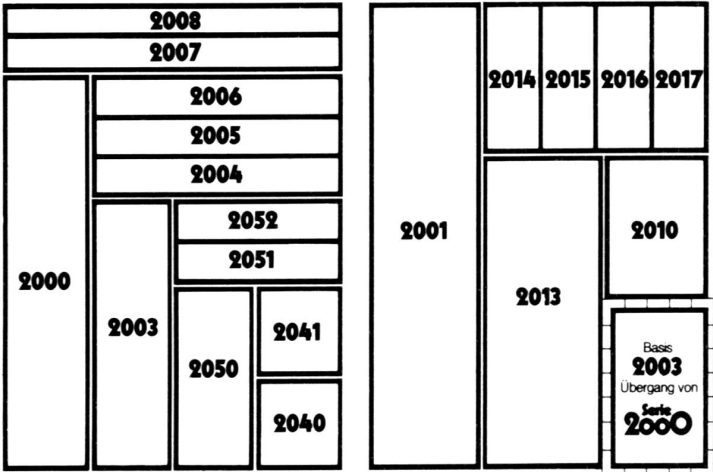
Grundlagen moderner Bauelemente

D

**Anleitungsbuch
für Elektronik-Experte
EE 2015**



Elektronik-Serie 2000/2001



Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und foto-
mechanische Wiedergabe – auch auszugswei-
se – nicht gestattet.

Wir übernehmen keine Gewähr, daß die in
diesem Buch enthaltenen Angaben frei von
Schutzrechten sind.

Technische Änderungen vorbehalten

Grundlagen moderner Bauelemente

Anleitungsbuch für Elektronik-Experte EE 2015 Digital-Technik

© Philips GmbH, Bereich Technische Spielwaren, Hamburg – 1978/2

Herausgeber Philips GmbH
Bereich Technische Spielwaren, Mönckebergstraße 7, 2000 Hamburg 1.

Inhaltsverzeichnis



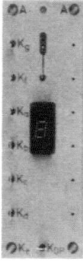
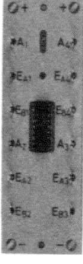

	Seite		Seite
Vorwort	3	4.10.19. ODER mit 5 Eingängen	41
Abbildung der Einzelteile und Inhaltsverzeichnis des Experimentierkastens	4	4.10.20. Halbaddierer	42
1. Allgemeine Bauanleitung	6	4.10.21. Halbsubtrahierer	43
2. Grundlagen moderner Bauelemente	7	4.10.22. Code-Umsetzer Dual → Dezimal (Dekodierer)	44
2.4. Verschiedene Bauelemente	7	4.10.23. Code-Umsetzer Dezimal → Dual (Codierer)	45
3. Elektronische Grundsaltungen	15	Kippschaltungen	46
3.9. Digitaltechnik	15	4.10.24. Blinkoszillator	46
3.9.1. Umwandlung von Dual- in Dezimalzahlen	16	4.10.25. Start-Stop-Oszillator	46
3.9.2. Umwandlung von Dezimal- in Dualzahlen	17	4.10.26. RS-Flip-Flop	47
3.9.3. Addition von Dualzahlen	18	4.10.27. D-Flip-Flop	48
3.9.4. Subtraktion von Dualzahlen	19	4.10.28. Monostabiler Multivibrator	48
3.10. Grundverknüpfungen	20	4.10.29. Zwischenspeicher Flip-Flop	49
3.10.1. Bausteine für Grundverknüpfungen	24	4.11. Der Dezimalzähler SN 7490	50
3.10.2. Inverter SN 7405	26	Einstellbarer Zähler	52
3.10.3. NOR SN 7402	28	4.12. Die Sieben-Segment-Anzeige CQY 81	53
4. Elektronische Geräte	29	Darstellung von Zeichen und Ziffern	53
4.10. Logikschaltungen	29	4.13. Der Code-Umsetzer SN 7447	55
Grundsaltungen mit dem SN 7405-Inverter	30	BCD-Dezimalumsetzer	57
4.10.1. Inverter	30	4.14. Interface (Anpaßschaltungen)	58
4.10.2. Identität	30	5. Geräte	60
4.10.3. NOR	31	5.1. Impulszähler	60
4.10.4. ODER	32	5.2. Treppenspannungsgenerator	61
4.10.5. UND	32	5.3. Stufentongenerator	62
4.10.6. NAND	33	5.4. Zähler mit Ziffernanzeige bis 10	63
Grundsaltungen mit dem SN 7402 – NOR	34	5.5. Elektronischer Spielautomat	64
4.10.7. NOR	34	5.6. Elektronischer Würfel	65
4.10.8. Inverter	34	5.7. Totomat	66
4.10.9. ODER	35	5.8. Frequenzzähler	67
4.10.10. UND	35	5.9. Automatischer Notrufgeber	68
4.10.11. NAND	36	5.10. Digitalvoltmeter	70
4.10.12. Exklusiv-ODER-Funktion	36	Funktionstabellen und Symbole	71
4.10.13. Äquivalenz	37	Technische Daten	71
4.10.14. UND mit einem invertierenden Eingang	37	Schaltsymbole	72
4.10.15. NAND mit einem invertierenden Eingang	38	Vedrahtungs-Symbole	72
4.10.16. ODER mit einem invertierenden Eingang	38	Codetabelle	72
4.10.17. NOR mit einem invertierenden Eingang	39		
Grundsaltungen mit 5 bzw. 6 Eingängen	40		
4.10.18. NOR mit 6 Eingängen	40		

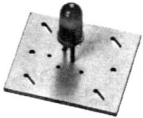





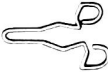


Vorwort

Der technische Fortschritt in allen Lebensbereichen wäre ohne Elektronik gar nicht denkbar. Ob es sich um Geräte des täglichen Gebrauchs oder komplizierte industrielle Steueranlagen handelt –, immer sind elektronische Bauelemente für die Funktion unerlässlich.

Mit der Entwicklung der Raumfahrttechnik wurde der Zwang zur Miniaturisierung immer stärker, und die Bauteile, die dabei entstanden, kamen allen Bereichen der Elektronik zugute. Mit ständig steigender Nachfrage konnten auch die Kosten so weit gesenkt werden, daß weitere Anwendungen sich zwangsläufig ergaben. Als Beispiel dafür sei nur die Produktion moderner elektronischer Taschenrechner genannt, die ohne den Einsatz integrierter Schaltkreise und zuverlässiger Anzeigenelemente nicht möglich gewesen wäre.

In diesem Philips Elektronik-Experimentierkasten werden modernste Bauelemente vorgestellt. Durch verschiedene Anwendungsbeispiele sollen ihre Bedeutung und Funktion Erklärung finden. Es wird für diesen Experimentierkasten vorausgesetzt, daß der Benutzer die Grundkästen EE 2003/2010 oder EE 2013 der Elektronik-Serie 2001 besitzt. Dieser Zusatzkasten behandelt die Digitaltechnik. Dazu werden modernste integrierte Bauelemente vorgestellt, wie z. B. 7-Segment-Anzeigen, Decodierer und Flip-Flops.

Teil	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Inhalt
	349.1312	Integrierter Schaltkreis (IC) Code-Umsetzer SN 7447* Kennfarbe: grün	1
	1313	Integrierter Schaltkreis (IC) Dezimalzähler SN 7490* Kennfarbe: rot	1
	1314	Ziffernanzeige CQY 81* Kennfarbe: orange	1
	1315	Integrierter Schaltkreis (IC) NOR-Gatter SN 7402* Kennfarbe: blau	1
	1316	Integrierter Schaltkreis (IC) Inverter SN 7405* Kennfarbe: weiß	1

Teil	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Inhalt
	349. 1317	Leuchtdiode gelb LED 3	1
	1004	Widerstand* 1/4 Watt	220 Ohm 8 1000 Ohm 1
	1007	Keramischer Kondensator*	100 pF 1
	1308	Reed-Relais	1
	1016	Blanker Draht	4 m
	1017	Isolierter Draht	4 m
	1020	Haarnadelfeder	25
	1021	Klemmfeder	25
	1022	Spiralfeder	60
	1756	Anleitungsbuch	1

* Es können auch abweichende Werte beiliegen (vergleiche Allgemeine Bauanleitung und Codetabelle).

1. Allgemeine Bauanleitung

1.6. Befestigen der Bauelemente auf der Grundplatte

Reed-Relais(1308)

Das Relais ist auf einer Platine festgelötet. Die Anschlüsse für den Steuerstromkreis werden mit Spiralfedern an den Kontakten 1 und 3 hergestellt. Die Kontakte 4 und 5 werden für den Anschluß des Laststromkreises benötigt. Die Kabel müssen ebenfalls mit Spiralfedern festgeklemt werden.

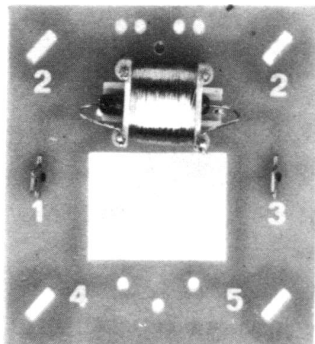
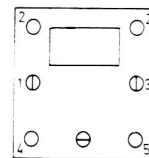


Abb. 2.



Integrierte Schaltkreise, IC (1312 – 1316)

Auf dem Verdrahtungsplan sind die Integrierten Schaltkreise (auf farbiger Platte) durch die untenstehenden Symbole gekennzeichnet, wobei die Anschlußbezeichnungen mit denen auf der Platte identisch sind. Die Eckpunkte werden auf der Grundplatte mit Hilfe von Haarnadel- und Klemmfedern befestigt. Alle anderen Anschlüsse werden mit Spiralfedern (Abb. 11) hergestellt.

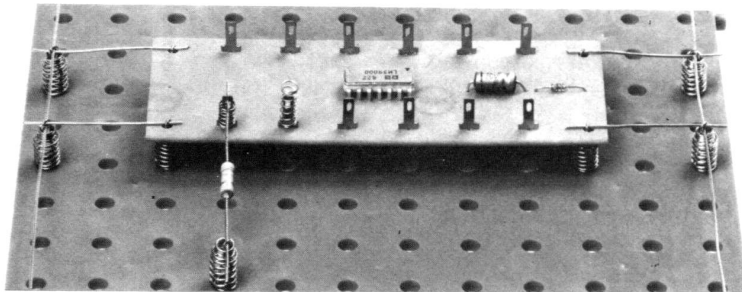
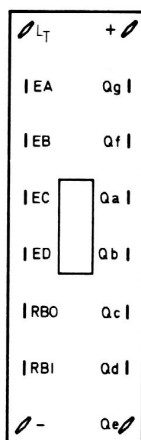
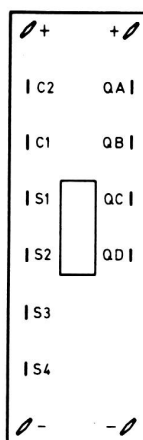


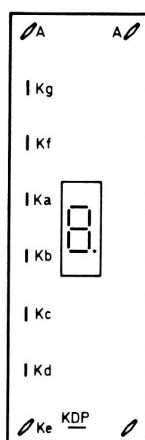
Abb. 11



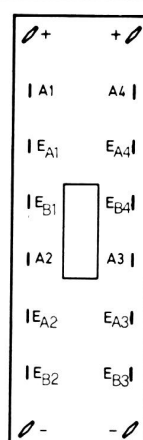
SN 7447
Kennfarbe grün



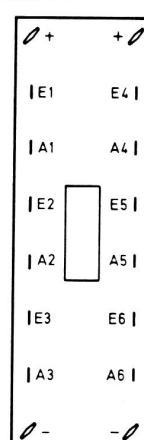
SN 7490
Kennfarbe rot



CQY 81
Kennfarbe orange



SN 7402
Kennfarbe blau



SN 7405
Kennfarbe weiß

2. Grundlagen moderner Bauelemente

2.4. Verschiedene Bauelemente

2.4.1. Reed-Relais

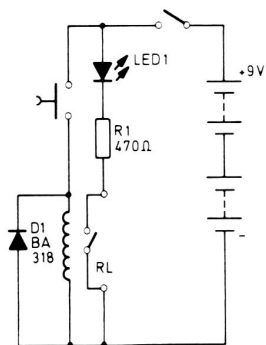
Mit einem Relais lassen sich durch einen Steuerstromkreis andere Stromkreise schalten. Der Vorteil liegt dabei in der Trennung der Stromkreise. Mit Schalttransistoren allein wäre eine solche Trennung von Steuer- und Laststromkreis nicht durchzuführen. Nachteilig ist bei einem Relais der mechanische Kontakt. Er unterliegt dem Verschleiß, verschmutzt, neigt bei hohen Strömen zum Funkenabrieb, benötigt zur Bewegung der Kontakte elektrische Leistung und Zeit. Bei sehr schnellen Schaltvorgängen ist das Relais zu träge und damit unbrauchbar. Trotz der vielen Nachteile kann man in einigen Schaltungen nicht auf Relais verzichten. Das verwendete Relais des EE 2015 ist ein besonderes Relais und besitzt viele dieser Nachteile nicht.

Es besteht aus einem Reed-Kontakt, einem Schaltkontakt in einem gasgefüllten Glasröhrchen.

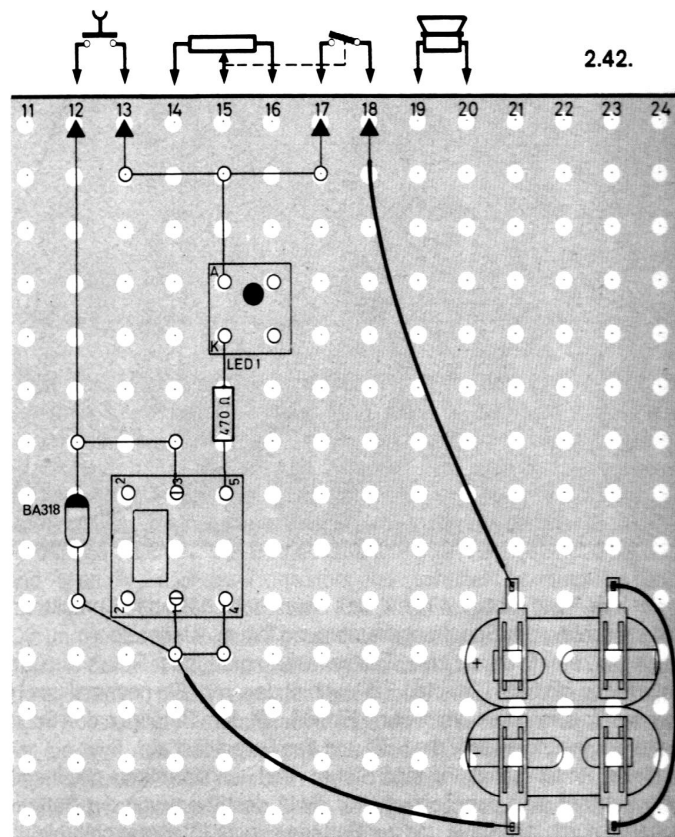
Das **Reed-Relais** verschmutzt nicht, unterliegt nur einem geringen Verschleiß, ist sehr schnell, hat weniger Funkenabrieb. Der Leistungsbedarf zum Schalten ist sehr gering (30 mW).

Andererseits können auch nur Ströme bis 300 mA geschaltet werden. Die Spannung im Laststromkreis darf 15 V auf keinen Fall übersteigen.

Nachstehend werden 2 Grundsaltungen mit Relais beschrieben. Die einfachste Schaltung stellt Abb. 2.42. dar.



2.42.

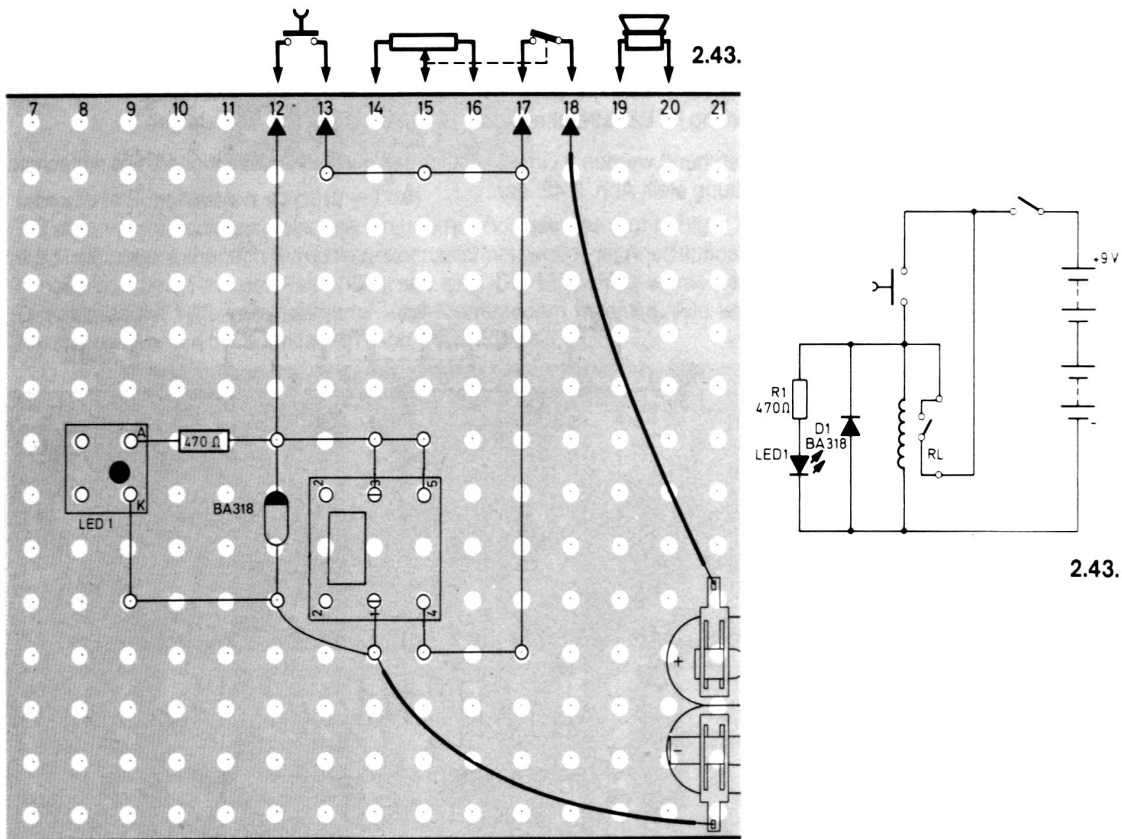


Nach dem Einschalten spricht beim Niederdrücken des Tastschalters das Relais an und die rote LED leuchtet.

Die Schaltung weist zwei Stromkreise auf: Der **Steuerstromkreis** verläuft vom Minuspol der Batterie durch die Relaisspule, weiter über den Tastschalter und den Ein-Aus-Schalter zum Pluspol der Batterie. Der **Laststromkreis** führt dann von Minus über den Relaiskontakt und R_1 durch die LED zum Pluspol der Batterie.

Wird der Tastschalter geschlossen, fließt im Steuerstromkreis ein Strom. Die Relaisspule wird magnetisch und betätigt den Relaiskontakt. Die rote LED leuchtet. Öffnet man den Tastschalter, fällt das Relais ab, da es nicht mehr vom Strom durchflossen wird. Das Magnetfeld der Spule bricht zusammen. Dabei entsteht eine hohe Induktionsspannungsspitze, die z. B. zur Zerstörung von Transistoren führen kann. Eine Diode, parallel zur Spule in Sperrichtung geschaltet, verhindert dies.

Sie liegt nämlich für die Spannungsspitze in Flußrichtung und stellt somit einen kleinen Widerstand dar. Er wirkt als Lastwiderstand, die hohe Leerlaufspannung kann nicht entstehen. Wegen der sehr kurzen Zeit, in der die Spannungsspitze auftritt, nimmt die Diode keinen Schaden.

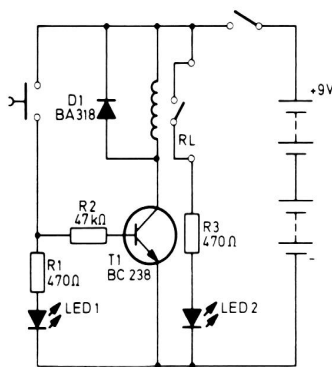


In der Schaltung (Abb. 2.43.) hält das Relais selbsttätig den Kontakt. Erst bei einer Unterbrechung der Spannungsversorgung fällt es wieder ab.

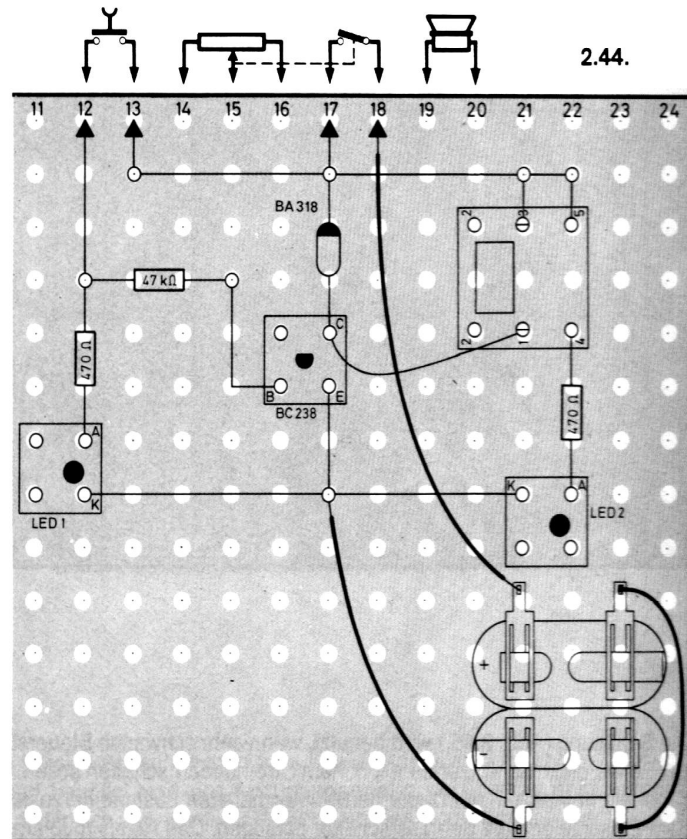
Nach kurzem Drücken des Tastschalters muß das Relais ansprechen und angezogen bleiben. Die rote LED leuchtet dauernd. Ein nochmaliges Niederdrücken des Tastschalters bleibt ohne Einfluß. Mit dem Betätigen des Schalters in der Batteriezuleitung erlischt die LED und das Relais fällt ab.

In dieser Relais-Schaltung sind Steuer- und Laststromkreis miteinander verknüpft. Schließt man den Tastschalter, fließt der Strom von der Batterie über den Schalter durch die Spule und zur Batterie zurück (Steuerstromkreis). Parallel zur

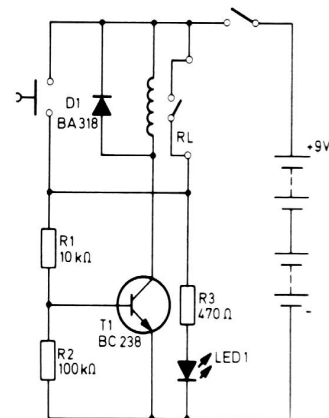
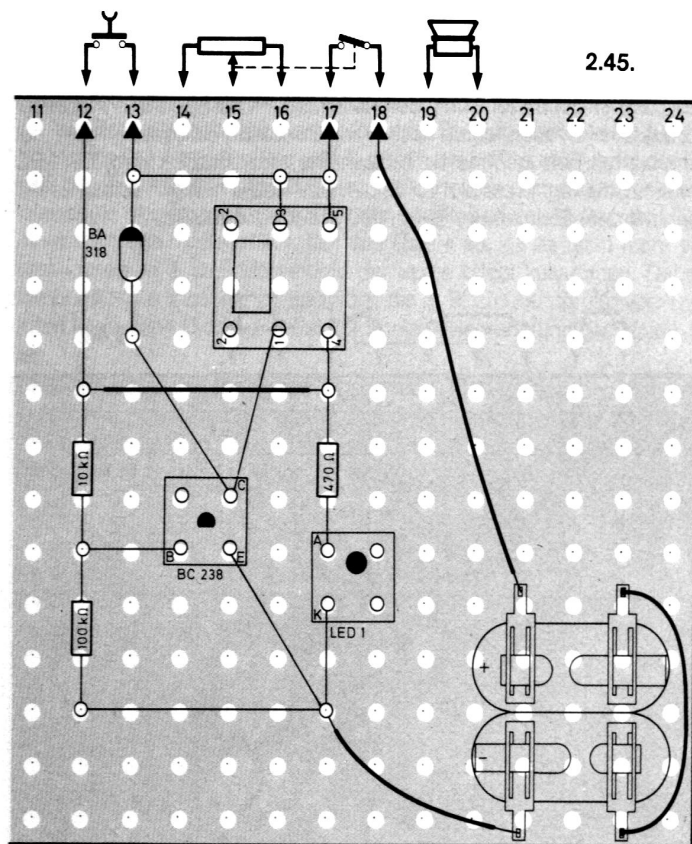
Relaisspule ist die rote LED mit einem strombegrenzenden Vorwiderstand geschaltet. Liegt an der Spule die Betriebsspannung, leuchtet die LED. D₁ verhindert, daß eine hohe Induktionsspannungsspitze entsteht. Der Laststromkreis schließt sich von der Batterie über den Relaiskontakt zur Spule und wieder zur Batterie. Letztere wird auch dann noch vom Strom durchflossen, wenn der Steuerstromkreis mit dem geöffneten Tastschalter unterbrochen wird. Die LED leuchtet weiterhin, sie liegt ja parallel zur Spule. Das Relais hält sich selbst. Es fällt erst ab, wenn mit dem Schalter der Stromkreis unterbrochen wird.



2.44.



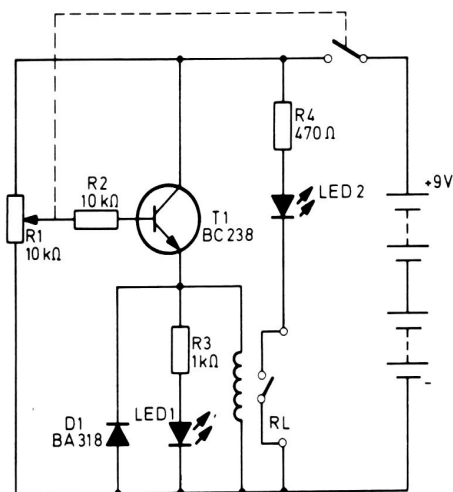
Der zum Betrieb eines Relais erforderliche Strom muß in Schaltungen oft durch Verstärkerelemente bereitgestellt werden. Die Technik hat hierfür spezielle Schalttransistoren entwickelt. Auch der Transistor BC 238 kann diese Aufgaben erfüllen. Eine solche **Schaltstufe** stellt Abb. 2.44. dar. Die Diode D₁ darf bei dieser Schaltung auf keinen Fall weggelassen werden (vergl. Schaltung Abb. 2.42.). Beim Niederdrücken des Tastschalters schließt sich ein Stromkreis über R₁ und die rote LED, so daß sie leuchtet. Die Betriebsspannung (9 Volt) gelangt über den Vorwiderstand R₂ an die Basis des Transistors und „schaltet“ ihn durch. Es fließt ein relativ großer Emitter-Kollektorstrom. Der Transistor ist dennoch nicht überlastet. Die unmittelbar an seinem Emitter und Kollektor liegende Spannung ist gering, denn es findet eine Spannungsteilung mit dem kleinen Innenwiderstand des Transistors und dem Widerstand der Relaisspule statt. Die Verlustleistung bleibt klein. Der Kollektorstrom durchfließt die Relaisspule, die Kontakte werden betätigt. Über sie wird der Laststromkreis geschlossen, in dem häufig größere Ströme fließen als durch einen Transistor. Öffnet man den Tastschalter, wird die Basis des Transistors stromlos. Er sperrt, das Relais fällt ab, die beiden LED erlöschen.



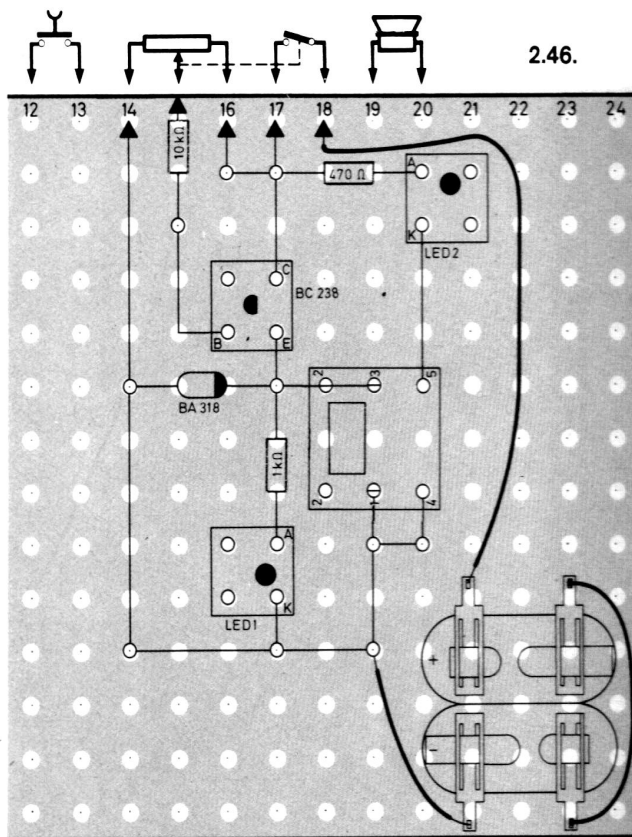
Die Schaltung (Abb. 2.45.) wird benutzt, wenn sehr schwache Steuerströme über ein Relais elektrische Geräte mit hohem Strombedarf schalten sollen. Es genügt dabei ein Impuls, um auf Dauer den eingeschalteten Zustand herzustellen. Nach dem Einschalten kurz den Tastschalter betätigen. Das Relais muß anziehen und die rote LED leuchten. Dieser Zustand bleibt erhalten, bis mit dem Ein-Aus-Schalter der Stromkreis unterbrochen wird.

Drückt man nach dem Einschalten den Tastschalter, erhält der Transistor T_1 über den Spannungsteiler R_1/R_2 eine Basisspannung. Er schaltet durch. Sein Kollektorstrom durchfließt die Relaispule. Das Relais zieht an. Der Laststromkreis verläuft von der Batterie über den Schalter, den Relaiskontakt und den Vorwiderstand R_3 zur LED. Von dort schließt sich der Kreis zur Batterie.

Gleichzeitig gelangt die Betriebsspannung über den geschlossenen Relaiskontakt an den Basisspannungsteiler R_1/R_2 . Der Transistor bleibt im durchgeschalteten Zustand, auch wenn der Tastschalter wieder geöffnet ist. Der Ausgangszustand kann nur durch Ausschalten mit dem Ein-Aus-Schalter wieder hergestellt werden. Beim Ausschalten verhindert die Diode D_1 parallel zur Relaispule, daß eine Induktionsspannungsspitze entsteht.



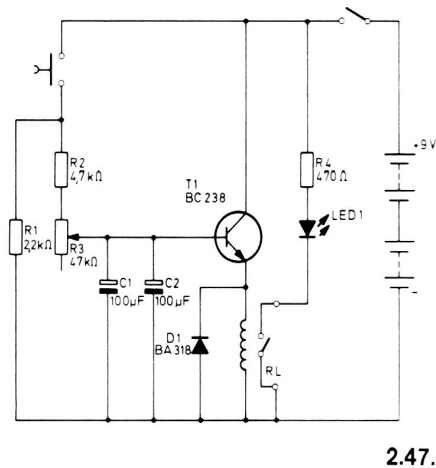
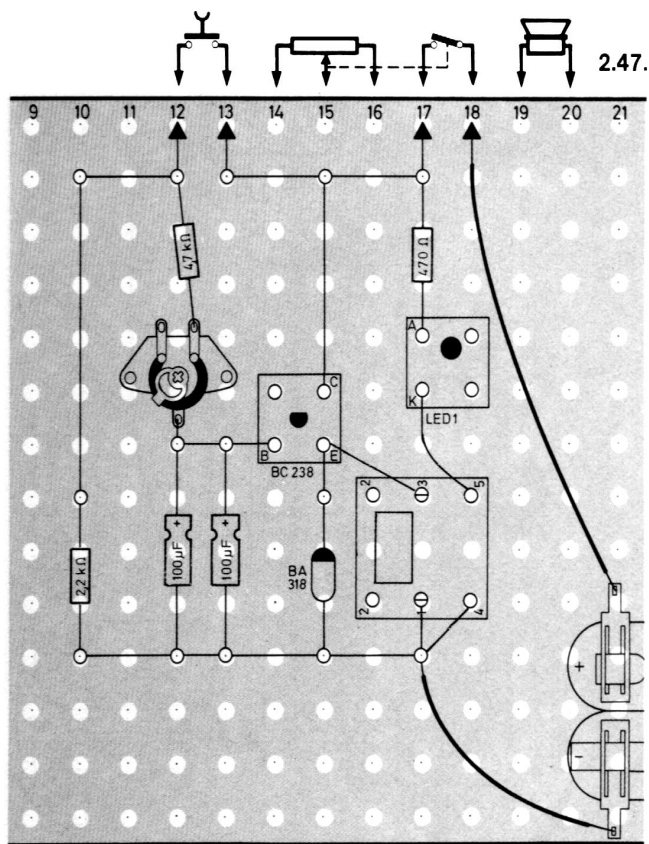
2.46.



In einem Relais werden mechanische Kontakte betätigt. Um deren Trägheit zu überwinden, benötigt man eine **Anzugsspannung**, die über der **Haltespannung** liegt. Sind nämlich die Kontakte bewegt worden und dann im geschlossenen Zustand wieder in Ruhe, reicht eine geringere Leistung aus, um sie zu halten. Die nachstehend beschriebene Schaltung (Abb. 2.46.) untersucht diesen Sachverhalt. Regelt man mit dem Potentiometer vorsichtig die Spannung hoch, indem man nach rechts dreht, muß bei einer bestimmten Stellung das Relais ansprechen und die grüne LED leuchten. Die rote LED glimmt zunächst nur, nimmt aber mit dem Hochregeln des Potentiometers an Lichtstärke zu.

Die Relaispule liegt im Emitterkreis des Transistors. Parallel dazu ist die rote LED mit ihrem Vorwiderstand R_3 geschaltet. D_1 verhindert die Induktionsspannungsspitze beim Abschalten. Erhöht man mit dem Potentiometer R_1 die Basisvorspannung, so fließt durch den Transistor nach dem Überschreiten der Sperrspannung ein Strom. Die Spannung am Emitter ist proportional zur Basisvorspannung. Die Lichtstärke der roten LED zeigt dies an. Bei einer bestimmten Basisvorspannung ist die Emitterspannung so groß, daß das Relais anspricht. Die grüne LED im Laststromkreis leuchtet.

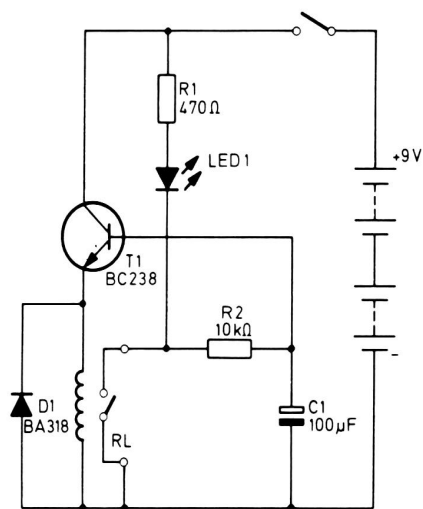
Verringert man die Spannung an der Basis von T_1 , indem man das Potentiometer nach links dreht, fällt das Relais nicht sofort ab. An der roten LED erkennt man, wie die Emitterspannung absinkt. Die grüne LED leuchtet noch relativ lange, den geschlossenen Relaiskontakt anzeigend. Erst wenn die Basisvorspannung um ca. 1 Volt niedriger ist als beim Anzug des Relais, fällt es ab: Die grüne LED erlischt.



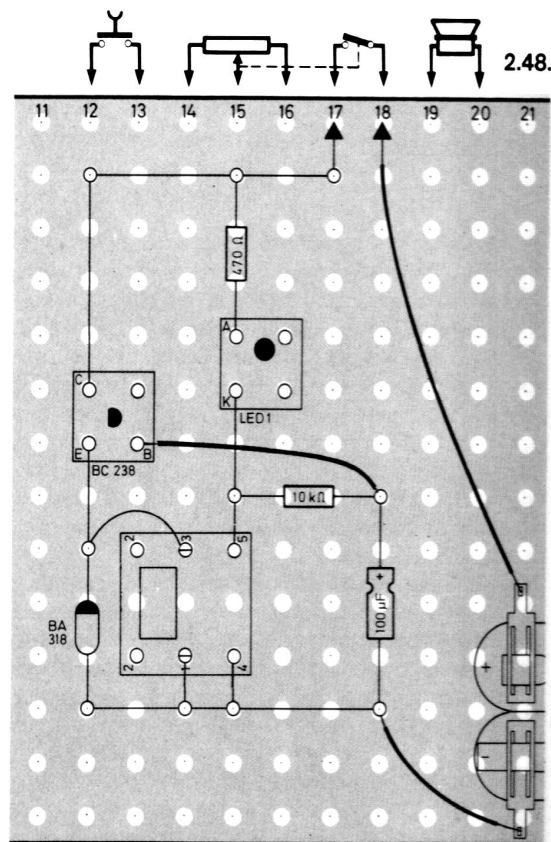
Manchmal ist es erwünscht, daß ein Relais erst mit Verzögerung schaltet, wenn der Steuerstromkreis geschlossen worden ist. Auch das Umgekehrte wird gebraucht: Ein Relais soll noch einige Sekunden nach dem Abschalten des Steuerstromkreises angezogen bleiben. Die geschilderten Funktionen (Schaltung Abb. 2.47.) werden z. B. in der Fernsprechtechnik häufig angewandt.

Nach dem Einschalten drückt man längere Zeit den Tastschalter. Nach längstens 10 sec muß das Relais anziehen und die rote LED leuchten. Die Zeit läßt sich mit dem Potentiometer R_3 einstellen. Läßt man den Tastschalter los, muß die rote LED noch einige Sekunden weiterleuchten. Betätigt man nach dem Abfallen des Relais wieder kurz den Tastschalter, spricht es erst mit Verzögerung an.

Anzugs- und Abfallzeiten des Relais werden durch die Zeitglieder $R_1/R_2/R_3$ und C_1/C_2 bestimmt. Schließt man den Tastschalter, laden sich C_1 und C_2 über R_2 und R_3 auf. Erst wenn die Ladespannung der Kondensatoren so hoch geworden ist, daß sie an der Basis von T_1 einen genügend großen Kollektorstrom bewirkt, spricht das Relais an, und die rote LED leuchtet. Nach dem Öffnen des Tastschalters entladen sich C_1 und C_2 über R_3 , R_2 , R_1 . Unterschreitet die Spannung an den beiden Kondensatoren den Wert der Basisvorspannung, die zur Erzeugung des nötigen Haltestroms für das Relais erforderlich ist, so fällt dieses ab. Die Zeit der Anzugs- und Abfallverzögerung läßt sich mit R_3 beeinflussen.



2.48.

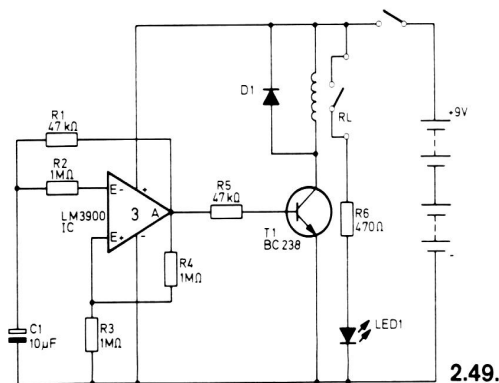
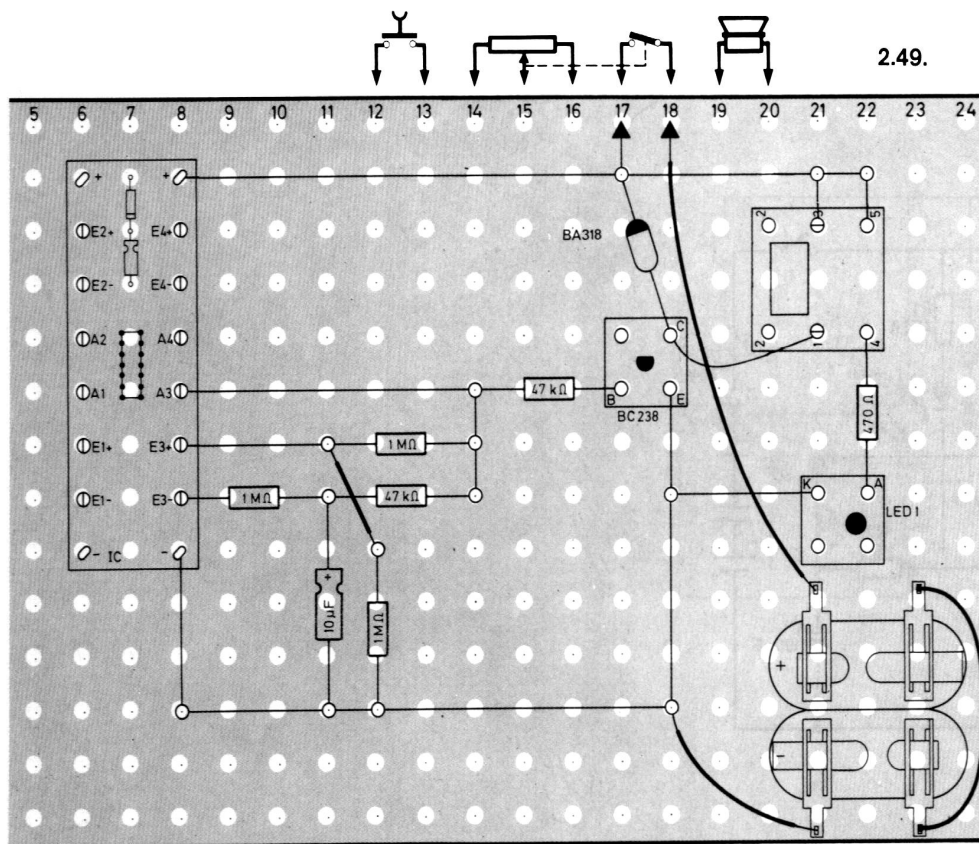


Elektronische Blinkschaltungen benötigen immer mindestens zwei aktive Bauelemente (Transistoren), manchmal sogar noch einen dritten Transistor zum Schalten großer Ströme. Ein Relais mit einem Transistor erfüllt dieselbe Funktion.

Die Relaisblinkschaltung (Abb. 2.48.) nutzt den Unterschied zwischen Anzugs- und Haltespannung eines Relais aus. Nach dem Einschalten lädt sich C_1 über R_1 die rote LED und R_2 auf. Die Ladespannung an C_1 liegt auch an der Basis von T_1 . Ist sie so hoch geworden, daß der Transistor durchgesteuert wird, beginnt Strom durch die Relaispule zu fließen. Schließlich ist der Wert erreicht, bei dem das Relais anzieht. Der Kontakt schließt gegen Masse kurz. Die rote LED leuchtet. Gleichzeitig entlädt sich C_1 und R_2 . Die Spannung an der Basis sinkt ab. Es wird der Punkt erreicht, an dem der Emitterstrom des Transistors zu gering ist, um das Relais noch zu halten. Es fällt ab, die rote LED erlischt. Der Ladevorgang von C_1 über R_1 und die LED wiederholt sich, bis das Relais wieder anzieht. Die Zeitdauer bestimmen C_1 und R_2 .

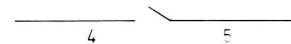
Der Blinkgeber mit Relais (Abb. 2.49.) ist ein Beispiel dafür, wie das IC über eine Transistor-Trennstufe mit dem Relais verbunden werden kann. In dieser Schaltung wird das IC nicht belastet (R_5 hochohmig) und somit vor Zerstörung bewahrt.

Die Schaltung besteht aus zwei Teilen: Ein Operationsverstärker ist als Taktgeber (astabiler Multivibrator) geschaltet. $R_1/C_1/R_2$ bestimmen die Schaltfrequenz. Dem Taktgeber folgt eine Transistorschaltstufe mit einem Relais. Führt der Ausgang von OP 3 ein 1-Signal, schaltet dies über R_5 den Transistor durch. Das Relais zieht an. In seinem Laststromkreis befindet sich die rote LED mit dem Vorwiderstand R_6 . Solange der Relaiskontakt geschlossen ist, leuchtet die LED. Springt der Ausgang des Multivibrators OP 3 auf 0, sperrt der Transistor, das Relais fällt ab. Im Takte der Schaltimpulse zieht das Relais an und fällt ab. Die LED blinkt.



Das in den vorstehenden Schaltungen und einigen nachfolgenden Geräten beschriebene Relais betätigt jeweils nur eine Leuchtdiode als Funktionsanzeige. Zum Betreiben externer Geräte müssen die Kontakte des Laststromkreises gelöst und mit dem zu schaltenden Gerät verbunden werden. Bei allen Geräten der EE-Serie lassen sich die Funktionen der verschiedenen Ein-Aus-Schalter durch das Relais ersetzen. Dabei ist es möglich, je nach der beabsichtigten Funktion, den bisherigen Schalter zu ersetzen (Abb. 2.50.), das Relais in Reihe zu schalten (Abb. 2.51.) oder parallel zu schalten (Abb. 2.52.). Natürlich ist es auch möglich, Batterie-betriebene Geräte, wie z. B. Kofferradios, Cassetten-Recorder, Plattenspieler usw., mit dem Relais zu schalten.

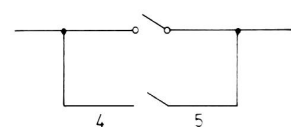
Allerdings darf die zu schaltende Spannung 15 V nicht überschreiten und die Stromstärke 300 mA nicht übersteigen.



2.50.



2.51.



2.52.

3. Elektronische Grundschaltungen

3.9. Digitaltechnik

Spielte die Digitaltechnik früher nur in den engen Bereichen der Technik und der Wissenschaft eine größere Rolle, so hat sie in der vergangenen Zeit immer breiteren Raum – auch im täglichen Leben des „Nicht-Technikers“ – eingenommen. Am bekanntesten sind wohl der Taschenrechner und die Digitaluhr, die z. B. als Quarzuhr in großen Stückzahlen produziert wird. Breite Anwendungsgebiete in der Meßtechnik, der Steuer- und der Regeltechnik und in der Datenverarbeitung sind dem Laien häufig weniger bekannt, obwohl gerade hier der Schwerpunkt der Anwendung liegt.

Der Begriff Digitaltechnik leitet sich ab von dem lateinischen Wort *digitus*, was etwa bedeutet Finger (mit dem man zählt), und kann auch mit ziffernmäßig erklärt werden. Das Kennzeichnende der Digitaltechnik läßt sich leichter im Gegensatz zur **Analogtechnik** erklären.

In einem Quecksilberthermometer z. B. verändert sich die Länge des Fadens in Abhängigkeit von der Temperatur; man sagt, er ist dem Temperaturwert analog. Ebenso ändert sich der Winkelausschlag eines Spannungsmessers analog zur angelegten Spannung. An einem Tachometer eines Kraftfahrzeuges wird eine analoge und eine digitale Anzeige gleichzeitig erkennbar: Der Zeiger schlägt analog zur gefahrenen Geschwindigkeit aus. Mit einem Rollenzählwerk dagegen wird die zurückgelegte Strecke digital angezeigt.

Es läßt sich also allgemein darstellen: Jedes Zeigerinstrument, das ein Meßergebnis als Zeigerausschlag an einer Skala darstellt, ist ein analoges Meßgerät. Wird z. B. ein Ergebnis direkt in Ziffern dargestellt, so handelt es sich bei dem Instrument um ein digitales Gerät.

In Erweiterung zu dem bisher Gesagten spricht man allerdings nicht nur dann von einem digitalen Gerät, wenn das Ergebnis mit Ziffern dargestellt wird, sondern auch, wenn es in Form von elektrischen Signalen zur Verfügung steht. Diese elektrischen Signale wiederum dürfen nur in genau definierten Zuständen auftreten. Darauf wird zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen werden.

Die digitale Anzeige einer Meßgröße besitzt Vorteile, aber auch Nachteile gegenüber analogen Anzeigesystemen. Ein erheblicher Vorteil besteht darin, daß das Ablesen einer Ziffernanzeige aus jedem Blickwinkel fehlerfrei möglich ist, auch aus einer größeren Entfernung. Auf analogen Geräten lassen sich Werte zwischen zwei Skalenstrichen nur schätzen. Mit einer Digitalanzeige können solche Zwischenwerte mit einigen Dezimalstellen angegeben werden. Nachteilig wirkt sich aus, daß z. B. auf einer Digitaluhr nicht mit einem Blick erkennbar ist, wieviel Zeit noch bis zu einem Zeitpunkt verbleibt. Man muß erst rechnen, um die Differenz festzustellen. Im Gegensatz dazu läßt sich auf einem Analoginstrument immer der Ausschlag des Zeigers im Verhältnis zum Vollausschlag des Instruments erfassen. Bei der Überwachung von Fabrikationsanlagen z. B. kann man deshalb eher erkennen, wann sich der Wert eines Instruments der kritischen Größe nähert und damit Gefahr besteht.

Ein erheblicher Vorteil der Digitaltechnik besteht darin, daß sich digitale Signale – im Gegensatz zu analogen – über große Entfernungen fehlerfrei übertragen lassen. Noch wichtiger aber ist, daß diese Signale gespeichert und bei Bedarf wieder abgerufen werden können. Darauf beruht die gesamte Datenverarbeitungstechnik, besser bekannt als Computertechnik. An früherer Stelle wurde bereits ausgeführt, daß in der Digitaltechnik elektrische Signale mit genau definierten Zuständen auftreten müssen. Die einfachste Form dieser exakt zu ermittelnden Werte besteht dann, wenn man alle Signale auf die Zustände „Spannung“ bzw. „keine Spannung“ zurückführen kann.

Als Abkürzung von „Spannung“ – gemessen gegen den Bezugspunkt (0) – wählt man das Zeichen **H**, abgeleitet vom englischen high (hoch), und für „keine Spannung“ lautet die Abkürzung **L**, das vom englischen low (niedrig) hergeleitet ist.

Die beiden elektrischen Zustände H und L sind ausreichend, um in der Digitaltechnik sämtliche Vorgänge zu erfassen und darzustellen. Ein Problem besteht darin, mit diesen beiden Zeichen so zu operieren, daß der Mensch sie richtig deuten kann, und umgekehrt muß der Mensch eine Möglichkeit finden, Aufgaben mit diesen Zeichen so umzuformen, daß die digitale Schaltung in der erwarteten Weise darauf reagieren kann.

Der Schlüssel dazu liegt in einem Zahlensystem, das – im Gegensatz zum bekannten Dezimalsystem mit den Ziffern 0–9 – nur zwei Ziffern kennt, nämlich 0 und 1. Dieses Zahlensystem heißt deshalb auch **Dualsystem**. Die beiden Ziffern des Dualsystems 0 und 1 entsprechen den Dezimalzahlen 0 und 1.

Dualsystem	Dezimalsystem
0	0
1	1

Im Dezimalsystem kommt man bis zur Zahl 9 mit einer Ziffer aus. Dann muß eine zweite Stelle eingerichtet werden; die Zahl 10 ist also die erste zweistellige Zahl. Im Dualsystem benötigt man bereits für die Darstellung der Zwei die zweite Stelle:

Dualsystem	Dezimalsystem
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

Man spricht die Dualzahl 10 allerdings „eins-null“ und entsprechend dual 11 „eins-eins“.

3.9.1. Umwandlung von Dual- in Dezimalzahlen

Für die Dualzahl, die der Dezimalzahl 4 entspricht, werden bereits drei Stellen beansprucht: 100 („eins-null-null“). Im Gegensatz zum Dezimalsystem, das auf der Basis 10 („zehn“) aufgebaut ist, hat das Dualsystem die Basis 2 („zwei“). Jede Ziffernstelle ist also eine Potenz zur Basis 2:

dual	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7
dezimal	1	2	4	8	16	32	64	128

Mit einer solchen Zweierpotenztabelle lassen sich Dezimalzahlen leicht in Dualzahlen umrechnen und umgekehrt.

Es soll die entsprechende Dezimalzahl für die Dualzahl 110 („eins-eins-null“) gesucht werden.

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

1	1	0		
			$1 \cdot 2^2 = 1 \cdot 2 \cdot 2 = 4$	
			$1 \cdot 2^1 = 1 \cdot 2 = 2$	
			$0 \cdot 2^0 = 0 \cdot 1 = 0$	
				<u>6</u>

Die 110 („eins-eins-null“) im Dualsystem entspricht also der 6 im Dezimalsystem.

Ein weiteres Beispiel: Dual 1101001 soll als Dezimalzahl dargestellt werden.

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

1	1	0	1	0	0	1	
							64
							32
							0
							8
							0
							0
							1
							<u>105</u>

Die Dualzahl 1101001 entspricht also der Dezimalzahl 105.

3.9.2. Umwandlung von Dezimal- in Dualzahlen

Hier ein Beispiel für die Umwandlung der Dezimalzahl 77 in das Dualsystem:

gegebene Zahl	Übertrag	2^{er} Potenz	enthalten	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	

Man sucht zunächst die größtmögliche Zweierpotenz, in diesem Beispiel $2^6 = 64$. Ist sie einmal darin enthalten, schreibt man dual 1. Der Rest wird darauf untersucht, ob die nächstkleinere Zweierpotenz, nämlich $2^5 = 32$, enthalten ist. So fährt man fort bis $2^0 = 1$.

In entsprechender Weise lassen sich alle Dezimalzahlen in das Dualsystem übertragen.

3.9.3. Addition von Dualzahlen

Mit Dualzahlen lassen sich alle Rechenoperationen ebenso durchführen wie mit Dezimalzahlen. Der Unterschied besteht nur darin, daß im Gegensatz zum Dezimalsystem mit 10 Ziffern (0–9) dem Dualsystem nur 2 Ziffern (0 und 1) zur Verfügung stehen.

Am Beispiel einer Addition und einer Subtraktion soll das Rechnen mit Dualzahlen erläutert werden. Addiert man im Dezimalsystem zwei oder mehrere Summanden zu einer Summe, so besteht ein Übertrag auf die nächsthöhere Dezimalstelle, wenn die Summenbildung den Wert 9 überschreitet. Der Übertrag wird dann in der nächsten Dezimalstelle mitaddiert:

1. Summand	2 4 3
+ 2. Summand	1 7 8
Überträge	1 1
Summe	4 2 1

Bei der Addition im Dualsystem wird entsprechend verfahren. Ein Übertrag auf die nächsthöhere Nachbarstelle entsteht allerdings bereits, wenn die Summenbildung der Dualzahlen den Wert 1 überschreitet. Es ergibt also:

	Summe	Übertrag
0 + 0 =	0	0
0 + 1 =	1	0
1 + 0 =	1	0
1 + 1 =	0	1

Beispiel:

1. Summand	1 1 1 0	(14)
+ 2. Summand	0 1 0 1	(5)
Übertrag	1 1	
Summe	1 0 0 1 1	(19)

3.9.4. Subtraktion von Dualzahlen

Auch für die Subtraktion zunächst ein Beispiel aus dem Dezimalsystem. Zur Bildung der Differenz wird von einem Minuenden der Subtrahend subtrahiert. Ist auf einer Dezimalstelle der Wert des Subtrahenden größer als der Wert des Minuenden, muß von der nächsthöheren Dezimalstelle ein Rückübertrag – populär auch „Borgen“ genannt – erfolgen. Dieser Rückübertrag wird auf der nächsthöheren Dezimalstelle mitsubtrahiert.

Minuend	1 ⁽¹⁾ 2 ⁽¹⁾ 6
– Subtrahend	8 9
Übertrag	1 1
Differenz	3 7

Bei der Subtraktion im Dualsystem wird wieder entsprechend verfahren. Es ergibt also:

Differenz	Übertrag
0 – 0 = 0	0
1 – 0 = 1	0
1 – 1 = 0	0
0 – 1 = 1	1

Minuend	1 ⁽¹⁾ 0 ⁽¹⁾ 0 1 1	(19)
– Subtrahend	1 1 1 0	(14)
Übertrag	1 1	
Differenz	1 0 1	(5)

Ein computergesteuerter Rechner arbeitet für alle Rechenoperationen mit Addition und Subtraktion im Dualsystem. Er kann diese Leistung vollbringen, da die elektrischen Schaltvorgänge mit unvorstellbarer Schnelligkeit ablaufen. Es wurde bereits erwähnt, daß in der Digitaltechnik eindeutig definierte Signale in eine Schaltung eingegeben oder aus einer Schaltung entnommen werden müssen. Mit dem Dualsystem hat man eine solche Möglichkeit: Der Ziffer 0 dieses Systems entspricht der Zustand „keine Spannung“, die Ziffer 1 bedeutet „Spannung“. Allerdings verwendet man nicht die dualen Ziffern 0 und 1, sondern ersetzt die 0 durch das L (low) und die 1 durch das H (high).

3.10. Grundverknüpfungen

Digitale Schaltungen bestehen aus vielen einfachen Schaltstufen, die lediglich mit den zwei Schaltzuständen „EIN“ (Spannung) und „AUS“ (keine Spannung) arbeiten. Diese elektrischen Potentiale können mit den Binärziffern 0 und 1 ausgedrückt werden, wobei der Binärziffer 1 der Spannungsbereich zugeordnet wird, der näher an + liegt, der Binärziffer 0 der Spannungsbereich, der näher an 0 liegt.

Da die Binärziffern 0 und 1 einen absoluten Wert darstellen, die binären elektrischen Größen jedoch einen Spannungspegel umfassen, werden für digitale integrierte Schaltungen die Zeichen H und L verwendet. Die Bezeichnung H entspricht dem Spannungspegel, der näher bei + liegt, das Zeichen L demjenigen, der näher bei 0 Volt liegt. Daraus ergibt sich:

Spannung – Binärziffer 1 – elektrische Größe H
Keine Spannung – Binärziffer 0 – elektrische Größe L

Um zu ermöglichen, daß Schaltungen Entscheidungen treffen können, werden zwei oder mehrere Eingangssignale logisch miteinander verknüpft. Dabei sind alle logischen Entscheidungen mit den drei Grundverknüpfungen UND, ODER und NICHT realisierbar.

Am Beispiel eines Steuersystems für eine mit Erdgas betriebene Zentralheizung läßt sich der logische Zusammenhang einer UND-Verknüpfung erkennen:

Die Heizungsanlage ist mit einem Raumthermostaten ausgestattet, besitzt daneben einen Sicherungsfühler für die Zündflamme des Gasbrenners. Ist der Raumthermostat auf eine Temperatur von 20° eingestellt, kann das Gasventil nur geöffnet werden, wenn vom Thermostaten eine Temperatur von weniger als 20° angezeigt wird **und** der Sicherungsfühler gleichzeitig meldet, daß die Zündflamme brennt.

Das elektronische System der UND-Verknüpfung erhält an den beiden Eingängen, die mit den Buchstaben E_A und E_B bezeichnet werden, zwei Signale. Die Entscheidung am Ausgang A der Schaltstufe muß anhand dieser Eingangsinformation getroffen werden. Der elektrische Zustand des Ausgangs A ist also abhängig von den beiden Eingangsvariablen an E_A und E_B.

Die Abhängigkeit zwischen Eingangsinformation und Ausgangsentscheidung läßt sich in einer Funktionstabelle darstellen. Für die UND-Verknüpfung gilt:

	Eingänge		Ausgang
	E _A	E _B	A
1.	L	L	L
2.	L	H	L
3.	H	L	L
4.	H	H	H

Das bedeutet: Der Ausgang der UND-Verknüpfung führt nur dann ein H-Signal, wenn auf beiden Eingängen ebenfalls ein H-Signal liegt. Die Funktionstabelle enthält alle Kombinationsmöglichkeiten und die sich daraus ergebenden Entscheidungen für die elektronische Schaltstufe:

Fall 1: Beide Eingangsfühler zeigen ein L-Signal. Die Raumtemperatur ist hoch genug (L), außerdem brennt die Zündflamme nicht (L). Entscheidung: Gasventil nicht öffnen (L).

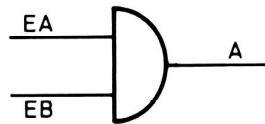
Fall 2: Der Thermostat meldet keinen Wärmebedarf (L). Obwohl die Zündflamme brennt (H), kann die Entscheidung nur heißen: Gasventil nicht öffnen (L).

Fall 3: Der Thermostat meldet, daß Wärme benötigt wird (H), der Sicherungsfühler zeigt jedoch an, daß die Zündflamme nicht brennt (L). Entscheidung: Gasventil nicht öffnen (L).

Fall 4: Der Thermostat (Eingang E_A) meldet, daß Wärme benötigt wird (H), der Sicherungsfühler (Eingang E_B) meldet, daß die Zündflamme brennt (H). Daraus ergibt sich die Entscheidung (Ausgang A): Gasventil öffnen (H).

Mathematisch läßt sich diese Abhängigkeit durch die Gleichung $A = E_A \wedge E_B$ formulieren. Dabei wird das Zeichen \wedge als UND gelesen. In manchen Literaturbeispielen findet man auch $A = E_A \cdot E_B$. Diese logische Verknüpfung bezeichnet man als **UND-Funktion**.

Zu ihrer Darstellung in elektronischen Schaltkreisen verwendet man dieses Schaltsymbol:



Im Gegensatz zur UND-Verknüpfung zeigt der Ausgang A einer ODER-Funktion ein H-Signal, wenn mindestens ein Eingang ein H-Signal erhält.

Am Beispiel eines Türöffnerschalters in einem Zweifamilienhaus läßt sich der logische Zusammenhang einer ODER-Funktion deutlich machen.

In jeder Wohnung ist ein Auslöseknopf installiert, mit dem das Schloß der Hauseingangstür entriegelt werden kann.

Wird Auslöseknopf A (Wohnung Erdgeschoß) gedrückt, läßt sich die Eingangstür öffnen; das gleiche gilt, wenn Auslöseknopf B (Wohnung 1. Stock) gedrückt wird.

Die Entriegelung der Hauseingangstür erfolgt also, wenn A **oder** B betätigt wird.

Natürlich auch in dem Ausnahmefall, wenn beide Knöpfe gleichzeitig gedrückt werden, wird die Verriegelung freigegeben.

Die Abhängigkeit des Ausgangs A (Entriegelung) von den Eingängen E_A und E_B läßt sich wieder in einer Funktionstabelle darstellen:

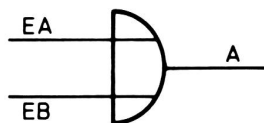
Eingänge		Ausgang
E_A	E_B	A
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

Als mathematische Formulierung für die **ODER-Funktion** gilt:

$A = E_A \vee E_B$. Das Zeichen \vee wird ODER gelesen; ebenfalls gültig ist

$A = E_A + E_B$.

Die Abbildung zeigt das Symbol der ODER-Schaltung in elektronischen Schaltbildern:



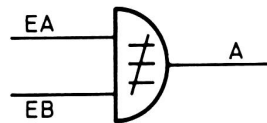
In manchen Fällen muß an die ODER-Funktion die Forderung gestellt werden, daß ein positives Ergebnis (H) am Ausgang dann zustande kommt, wenn nur einer der Eingänge ein H-Signal führt, nicht aber alle.

So kann z. B. bei der Buchung einer Urlaubsreise – wenn die Wahl zwischen Eisenbahn oder Flugzeug als Verkehrsmittel zu treffen ist – die Entscheidung nur entweder für das Flugzeug oder für die Eisenbahn fallen. Diese logische Verknüpfung heißt dementsprechend **ausschließliche ODER-Funktion** bzw. **Exklusiv-ODER-Funktion** (Antivalenz). Im Gegensatz zur einfachen ODER-Funktion ist der Ausgang A **nicht** H, wenn beide Eingänge H sind. In der Funktionstabelle für Exklusiv-ODER sind die Bedingungen für die Ausgangssignale zusammengestellt:

Eingänge		Ausgang
E_A	E_B	A
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Auch in der mathematischen Formulierung kann diese Besonderheit ausgedrückt werden:

$$A = E_A \oplus E_B \text{ (gesprochen: A gleich } E_A \text{ antivalent zu } E_B)$$



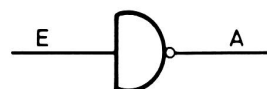
Zur Realisierung weiterer Grundverknüpfungen dient die **NICHT**-Schaltung, auch Negation oder Invertierung genannt. Es handelt sich dabei um eine Schaltung, deren Eingangssignal am Ausgang umgekehrt auftritt.

Eingang	Ausgang
E	A
H	L
L	H

Der Ausgang ist dann L, wenn der Eingang H ist und umgekehrt.

$$A = \bar{E}_A \text{ (gesprochen: A gleich Nicht } E_A)$$

Der Querstrich über dem E_A ist die mathematische Formulierung für NICHT.

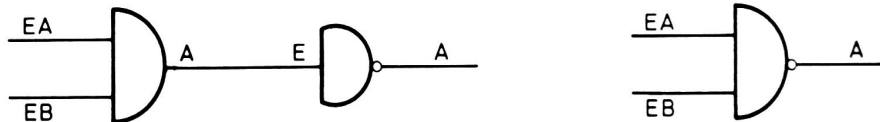


Die Kombination des NICHT-Schaltgliedes mit einer UND-Funktion ergibt eine neue Grundverknüpfung: Das logische **NAND**. Die Bezeichnung NAND ist eine Abkürzung von negated and (engl.), was „negiertes und“ heißt. Eine NAND-Funktion ist also eine UND-Funktion mit negiertem Ausgang.

Die Funktionstabelle verdeutlicht die Negation des Ausgangs gegenüber den Eingängen:

Eingänge		Ausgang
E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

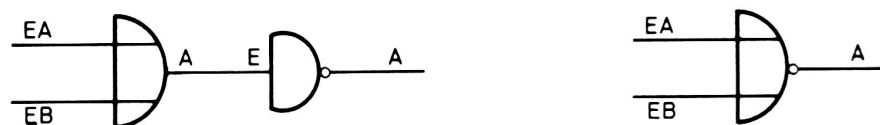
Diese Zusammenstellung läßt sich auch durch die Gleichung $A = \overline{E_A \wedge E_B}$ (gesprochen: A gleich Nicht E_A und E_B) darstellen. Das bedeutet, der Ausgang A ist nur dann H, wenn die Eingänge E_A und E_B **nicht** H sind. Das Schaltzeichen für ein NAND-Glied ergibt sich aus der Kombination des UND-Symbols mit dem NICHT-Symbol.



Die Kombination des NICHT-Schaltgliedes mit der ODER-Funktion ergibt die Grundverknüpfung NOR, abgeleitet aus dem englischen negated or. Eine NOR-Funktion ist also eine ODER-Funktion mit negiertem Ausgang. Funktionstabelle:

Eingänge		Ausgang
E_A	E_B	A
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

Der mathematische Ausdruck $A = \overline{E_A \vee E_B}$ verdeutlicht, daß der Ausgang immer dann L ist, wenn einer der Eingänge oder alle H sind.



Abschließend soll noch auf die **Identitätsschaltung** hingewiesen werden. Unter bestimmten Bedingungen ist es notwendig, ein Signal, meistens verstärkt aber im elektrischen Potential unverändert, weiterzuleiten. Das bedeutet, das Ausgangssignal entspricht dem Eingangssignal.

Mathematisch gilt: $A = E$

Schaltsymbol:

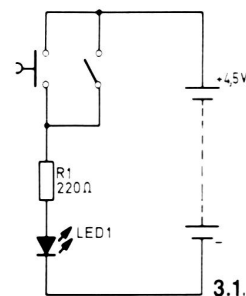


Eingang	Ausgang
E	A
L	L
H	H

3.10.1. Bausteine für Grundverknüpfungen

Logische Verknüpfungen lassen sich auf verschiedene Weise schaltungstechnisch verwirklichen. Man unterscheidet ganze Schaltkreisfamilien. In diesem Kapitel sollen davon die einfache Logik mit Schaltern oder Relais, die passiven Diodenschaltungen (Dioden-Logik), die Dioden-Transistor-Logik (DTL) und die Transistor-Transistor-Logik (TTL) besprochen werden. So läßt sich z. B. die ODER-Funktion verschieden ausführen:

Die Schaltung nach Abb. 3.1. ist ein Beispiel für eine einfache Logik mit Schaltern. In einem Stromkreis liegen zwei Schalter parallel in Reihe mit einer LED. Sie leuchtet, wenn S_1 **oder** S_2 **oder** beide geschlossen sind.

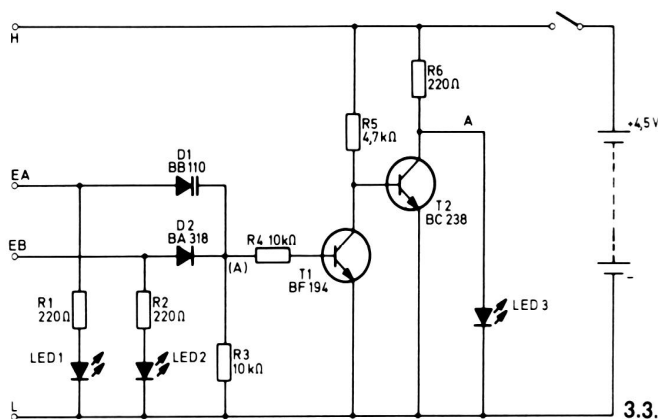
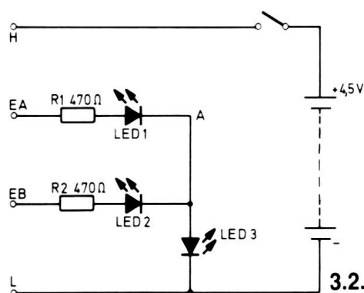


In Abb. 3.2. wird ein Beispiel für eine Dioden-Logik vorgestellt. Zwei Dioden sind mit Widerständen zusammengeschaltet. Diese logische Verknüpfung wird auch ODER-Gatter genannt. Am Ausgang A liegt H, wenn der eine Eingang **oder** der andere **oder** beide Eingänge H führen. Die Diode vor dem jeweils L führenden Eingang verhindert dabei das Einwirken der Spannung vom anderen Eingang.

In dieser Schaltung erfüllen die Dioden LED₁ und LED₂ Doppelfunktionen. Zum einen wirken sie als normale Dioden, zum anderen zeigen sie Eingangszustände an. LED₃ gibt den Ausgangszustand an.

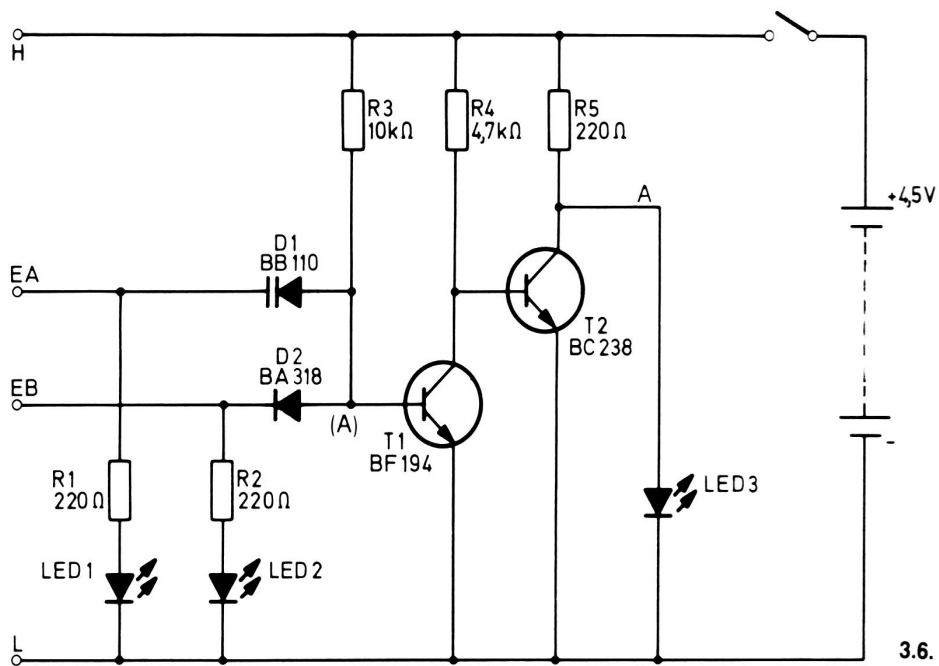
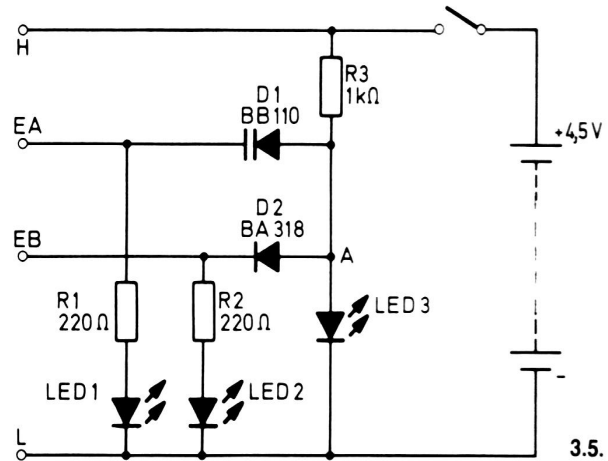
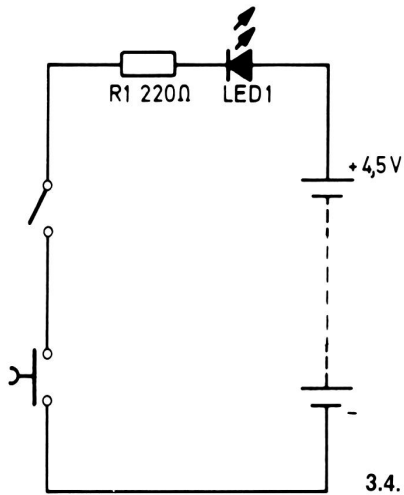
E _A	E _B	A
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

Um den Spannungsverlust in Diodenschaltungen auszugleichen, verwendet man in der Dioden-Transistor-Logik zur Verstärkung aktive Elemente, z. B. Transistoren. In Abb. 3.3. erkennt man wieder das passive Dioden-ODER-Gatter (siehe Abb. 3.2.). Die an seinem Ausgang (A) liegende Spannung steuert zwei nachgeschaltete Transistoren. Es sind zwei Transistoren erforderlich, weil ein H-Signal am Ausgang des Gatters den Transistor T₁ durchschaltet und an seinem Kollektor L bewirkt. (Am durchgeschalteten Transistor fällt nur eine geringe Spannung ab.) L am Kollektor des T₁ sperrt T₂, da seine Basis keine Spannung erhält. An T₂ steht also eine hohe Spannung, so daß sein Kollektor H ist. Führt in dieser Schaltung, die Dioden und Transistoren verwendet (DTL), der eine Eingang **oder** der andere **oder** beide Eingänge H, so befindet sich am Ausgang ebenfalls H. Die ODER-Verknüpfung ist also gewährleistet.

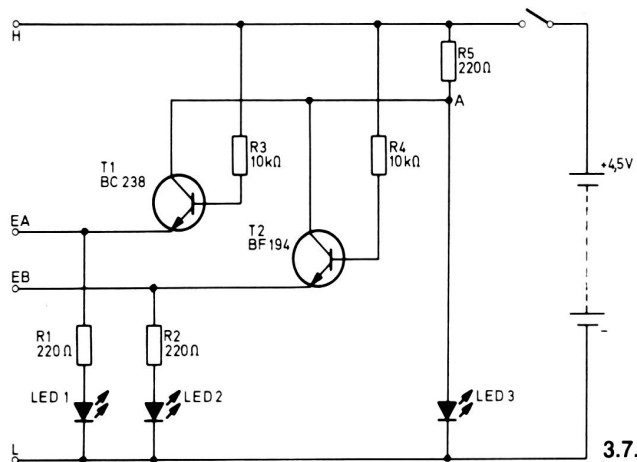


E_A	E_B	A
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

In den Schaltungen nach Abb. 3.4., 3.5. und 3.6. finden sich Beispiele für Schalter-Logik, Dioden-Logik und Dioden-Transistor-Logik für eine UND-Verknüpfung.



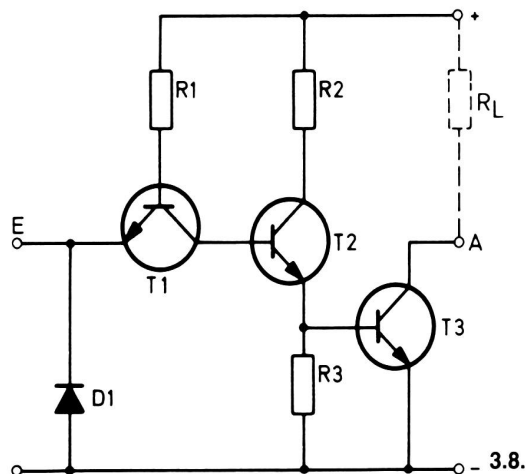
In der TTL-Technik verwendet man im Eingang Transistoren, die im Emitter angesteuert werden. In der Prinzip-Schaltung nach Abb. 3.7. sind zwei Transistoren mit ihren Kollektoren verbunden. Ihre Emittoren erhalten die Steuerspannung. Sind beide Eingänge L, d. h. sind sie mit 0 Volt verbunden oder liegt nur eine geringe Spannung an, so fließt durch beide Transistoren ein Strom, an ihren Kollektoren ist die Spannung dann auch L (Spannungsteilung mit Widerstand R), so daß der Ausgang A ebenfalls L ist. Wird einer der beiden Eingänge H, so ist der betreffende Transistor gesperrt. Das Potential an den Kollektoren ändert sich nicht, da der andere Transistor noch leitet. Nur wenn beide Eingänge H sind, sperren beide Transistoren. Die UND-Verknüpfung ist also wieder gegeben, denn wenn beide Eingänge H führen, liegt am Ausgang H. Man erkennt, daß die TTL erheblich komplizierter ist als die vorher beschriebenen Logiken. Sie hat aber den Vorteil, schneller zu schalten als die anderen.



In diesem Experimentierkasten sind vier TTL-Bausteine in Form von integrierten Schaltkreisen enthalten.

3.10.2. Inverter SN 7405 (Kennfarbe weiß).

Der integrierte Schaltkreis SN 7405 enthält sechs Inverter, die aus je drei Transistoren bestehen. Die Funktion des Inverters wurde bereits beschrieben: Der Ausgang führt H, wenn am Eingang L liegt ($A = \bar{E}$). Diese Bedingung wird von der Schaltung Abb. 3.8. erfüllt, die einen von sechs Invertern des SN 7405 darstellt. Sie arbeitet folgendermaßen: Ist E = L, d. h. E mit 0 Volt verbunden oder liegt zwischen E und 0 Volt nur eine geringe Spannung, so fließt durch T₁ ein Strom, der im wesentlichen durch R₁ bestimmt ist. L ist für diese Inverter genau definiert, und zwar liegt die obere Grenze der L-Spannung bei 0,8 V. Sie darf also keinesfalls überschritten werden.



Ist T_1 in der Schaltung Abb. 3.8. in den leitenden Zustand angehoben, stellt er einen niederohmigen Widerstand dar. An seinem Kollektor steht eine geringe Spannung, also L. T_2 ist gesperrt. Damit fließt auch kein Strom durch R_3 , an dem dann keine Spannung zur Steuerung des Transistors T_3 abfallen kann. Dieser ist dann hochohmig und zeigt, wenn am Ausgang ein Lastwiderstand R_L läge, eine hohe Spannung, also H. L am Eingang bewirkt also H am Ausgang – das Signal ist invertiert. Dieser Schaltkreis hat als Besonderheit keinen Lastwiderstand (offener Kollektor). Gibt man nun H auf den Eingang, so wird T_1 **invers** betrieben, d. h. die Kollektordiode ist in Flußrichtung geschaltet und die Emitterdiode in Sperrrichtung. Am Emitter liegt eine hohe Spannung, am Kollektor eine kleine. Zu diesem umgekehrten Betrieb ist eine Mindestspannung am Eingang E erforderlich, sie muß beim SN 7405 höher als 2 Volt sein. Der Strom durch die Kollektordiode des Transistors T_1 , hebt T_2 in den leitenden Zustand an. Der Strom durch T_2 ruft an R_3 einen Spannungsabfall hervor. Die Basis von T_3 erhält nun Spannung und macht T_3 leitend. Da dieser jetzt niederohmig ist, liegt am Kollektor auch nur eine geringe Spannung, also L, wenn ein Lastwiderstand (R_L) anliegt. H am Eingang hat L am Ausgang bewirkt: $E = \bar{A}$.

In der Emitterzuleitung befindet sich noch die Diode D_1 . Sie verhindert bei hohen Schaltgeschwindigkeiten ein Überspringen der Steuerspannung.

Die „Umkehrung“ des Eingangstransistors ist eine Besonderheit der integrierten Schaltkreise der TTL-Serie mit der Bezeichnung 74 . . .

T_1 in Abb. 3.8. ist nie ausgeschaltet, entweder leitet er im normalen Betrieb mit L am Emitter oder wird invers betrieben. Natürlich sind die Transistoren technisch so ausgeführt, daß sie absolut sicher in beiden Richtungen arbeiten. Als wertvollen Nebeneffekt erreicht man extrem hohe Schaltgeschwindigkeiten, die sich nicht ergeben würden, wenn man in einem Transistor beim Einschalten zuerst die Ladungsbewegungen an den Sperrschichten in Gang setzen müßte.

Das IC SN 7405 enthält sechs solcher NICHT-Stufen. Sie können völlig unabhängig voneinander beschaltet werden, aber auch in Kombination mit anderen.

Einige technische Daten:

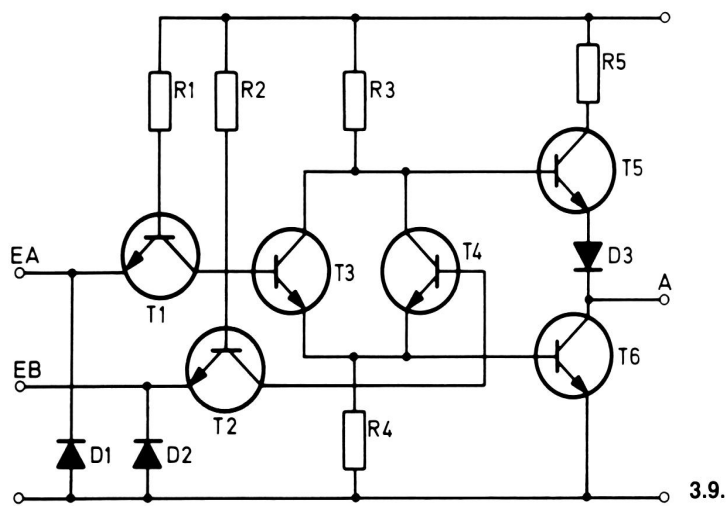
Betriebsspannung max.	5,5 V
Ausgangsstrom max.	16 mA
Eingangsstrom bei L	1,6 mA
Eingangsstrom bei H	40 μ A
Eingangsspannung bei L max.	0,8 V
Eingangsspannung bei H min.	2 V
Eingangsspannung bei H max.	5,5 V

3.10.3. NOR SN 7402 (Kennfarbe blau)

Der integrierte Schaltkreis SN 7402 enthält 4 NOR-Glieder. Die Funktion eines NOR-Gliedes wurde bereits beschrieben: Der Ausgang ist nur dann H, wenn die Eingänge L sind.

($A = \overline{E_A \vee E_B}$). Im SN 7402 wird die Funktion mit der Schaltung nach Abb. 3.9. verwirklicht. Man erkennt wieder das typische Merkmal der IC-Serie SN 74 . . , nämlich die am Emitter gesteuerten und bei H invers betriebenen Eingangstransistoren T_1 und T_2 . Auch die Dioden in der Emitterschaltung sind wieder vorhanden. Eine zweite Besonderheit der IC-Familie SN 74 . . ist der **Standard-Ausgang** mit den Transistoren T_5 und T_6 in Gegentakt-Schaltung. Hier sorgt die Diode D_3 für eine sichere Sperrung von T_5 , wenn T_6 durchgeschaltet ist.

Nun zur Funktion der Schaltung:



Sind beide Eingänge L, so werden T_1 und T_2 normal betrieben, sie stellen infolge des Stromdurchgangs kleine Widerstände dar. Darum erhält die Basis von T_3 und auch von T_4 nur eine sehr kleine Vorspannung, so daß die Transistoren gesperrt sind. Durch R_4 kann jetzt kein Strom fließen, und eine Spannung baut sich an ihm nicht auf. T_6 ist damit gesperrt. Da T_3 und T_4 gesperrt sind, erhält T_5 über R_3 als Begrenzungswiderstand Basisstrom. Er schaltet durch. Die geringe Spannung, die nun zwischen seinem Emitter und Kollektor liegt, sorgt für ein „Hochziehen“ des Ausgangs A. Er ist also H, wenn beide Eingänge L sind. $A = \overline{E_A \vee E_B}$.

Verbindet man z. B. den Eingang E_A mit H, so wird T_1 invers betrieben, wie bereits beim Inverter (3.10.2.) beschrieben. Sein durch die Kollektordiode fließender Strom ist gleichzeitig Basisstrom des T_3 . Dieser leitet nun, und der Strom bewirkt an R_3 und R_4 einen Spannungsabfall. Die an R_3 stehende Spannung sperrt T_5 , der nun hochohmig ist. Die Spannung an R_4 schaltet T_6 durch; er ist jetzt niederohmig. An seinem Kollektor stellt sich L ein. H am Eingang E_A hat also L am Ausgang A bewirkt. Legt man H an den Eingang E_B , stellt sich das gleiche Resultat ein. Jetzt wirken T_2 und T_4 zusammen und steuern T_5 und T_6 . Auch wenn beide Eingänge H sind, ist $A = L$, denn dann wirken T_1 und T_3 sowie T_2 und T_4 gemeinsam auf die Endstufe. Die Bedingung des NOR-Gatters ist also erfüllt: A ist nur dann H, wenn beide (alle) Eingänge L sind. $A = \overline{E_A \vee E_B}$.

Technische Daten: entsprechen SN 7405.

4. Elektronische Geräte

4.10. Logikschaltungen

Im Kap. 3 wurden zwei IC vorgestellt, die in diesem Experimentierkasten eingesetzt werden sollen. Es handelt sich um das IC SN 7405 mit sechs Invertern (Kennfarbe weiß) und das IC SN 7402 mit vier NOR-Gattern (Kennfarbe blau). Von den Herstellerfirmen werden selbstverständlich auch Bauteile mit UND-, NAND-, ODER-Funktionen angeboten. Aus Rationalisierungsgründen verwendet man aber in technischen Geräten häufig IC mit nur einer Funktion und erzielt die übrigen benötigten durch Verknüpfungen mehrerer gleichartiger Gatter. Wie das erreicht werden kann, soll in diesem Abschnitt beschrieben werden.

Zur besseren Handhabung sind alle IC auf Grundplatten montiert. Die Anschlüsse werden über die Löffahnen hergestellt und sind wie folgt gekennzeichnet:

SN 7405 (Kennfarbe weiß)

– = 0 V (Minuspol der Batterie) Diese Anschlüsse dürfen auf keinen Fall vertauscht werden.
+ = 4,5 V

E₁ = Eingang Inverter 1 Inverter 1

A₁ = Ausgang Inverter 1

E₂ Inverter 2

A₂

E₃ Inverter 3

A₃

E₄ Inverter 4

A₄

E₅ Inverter 5

A₅

E₆ Inverter 6

A₆

SN 7402 (Kennfarbe blau)

– = 0 V (Minuspol der Batterie) Diese Anschlüsse dürfen auf keinen Fall vertauscht werden.
+ = 4,5 V

E_{A1} = Eingang A NOR 1

E_{B1} = Eingang B NOR 1 NOR 1

A₁ = Ausgang NOR 1

E_{A2}

E_{B2} NOR 2

A₂

E_{A3}

E_{B3} NOR 3

A₃

E_{A4}

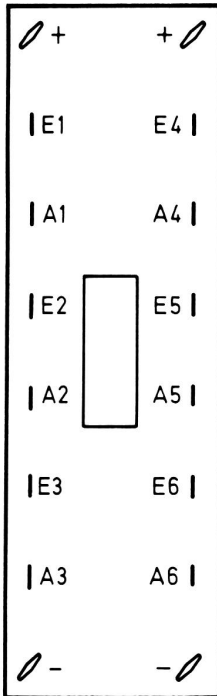
E_{B4} NOR 4

A₄

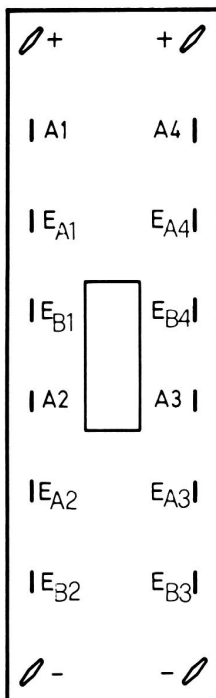
Nur in den ersten Logik-Plänen ist die Spannungsversorgung mit eingezeichnet. In den anderen wird sie vorausgesetzt.

Bei allen Schaltungen mit IC ist darauf zu achten, daß die Eingänge immer entsprechend den Funktionstabellen beschaltet sind. L heißt also z. B. eine Verbindung mit 0 Volt. H-Signal kann nur durch eine Verbindung mit + 4,5 V hergestellt werden.

In den Logik-Plänen sind diese Klemmen ebenfalls durch L und H gekennzeichnet. Ein offener Eingang könnte eine undefinierte Spannung bedeuten und muß vermieden werden.



SN 7405
Kennfarbe weiß



SN 7402
Kennfarbe blau

Grundsaltungen mit dem SN 7405-Inverter (Kennfarbe weiß)

4.10.1. Inverter

In der Schaltung 4.10.1. wird ein Inverter-Baustein des SN 7405 angewendet. Zur Anzeige der Schaltzustände L oder H am Eingang bzw. Ausgang werden Leuchtdioden benutzt. Verbindet man den Eingang E mit H, so leuchtet zwar die LED 1, nicht aber die LED 3. Das H-Signal am Eingang wird zum L-Signal am Ausgang invertiert. Dann fließt also ein relativ großer Strom vom Minuspol der Batterie durch den Inverter und R_2 nach + 4,5 V. Die Spannung an A liegt unter der Brennspannung der LED 3; sie leuchtet deshalb nicht.

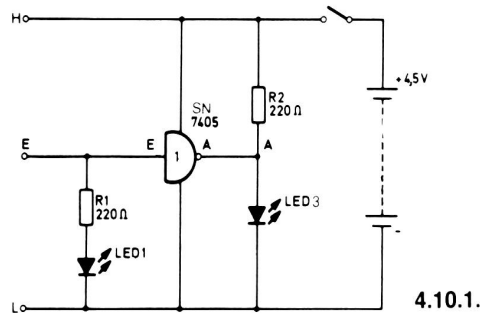
Verbindet man dagegen Eingang E mit 0 Volt, liegt dort ein L-Signal. LED 1 bleibt dunkel, da hier keine Spannung vorhanden ist. Der Ausgang A des Inverters führt H. Er ist also hochohmig.

Das Spannungsverhältnis zwischen dem Inverter und R_2 ermöglicht jetzt ein Leuchten der LED 3.

Die nachstehende Funktionstabelle zeigt die Abhängigkeit des Ausgangs A vom Eingang E:

E	A
L	H
H	L

Selbstverständlich kann diese Schaltung auch mit anderen Invertiern des SN 7405 ausgeführt werden. Zur Überprüfung der Funktion könnte jeder Inverter so geprüft werden.



4.10.2. Identität

Für die Realisierung der Identitäts-Funktion benötigt man zwei Inverterstufen des SN 7405.

Eine Verbindung von E mit + 4,5 V läßt die LED 1 aufleuchten und erzielt am Ausgang A des Inverters 1 ein L. Dieses Signal wird durch den Inverter 4 noch einmal invertiert und erscheint als H an seinem Ausgang; die LED 3 zeigt das durch Aufleuchten an.

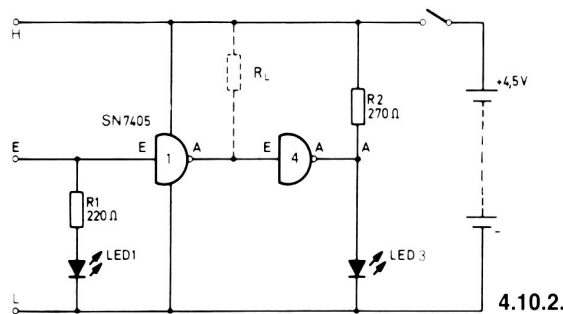
Die Funktion der Identität läßt sich durch die Funktionstabelle erläutern:

E	A
L	L
H	H

Bei einer Verbindung des Eingangs E mit 0 Volt leuchtet keine der beiden Leuchtdioden. Denn L an E_1 bedeutet H an A_1 und demgemäß L an A_4 .

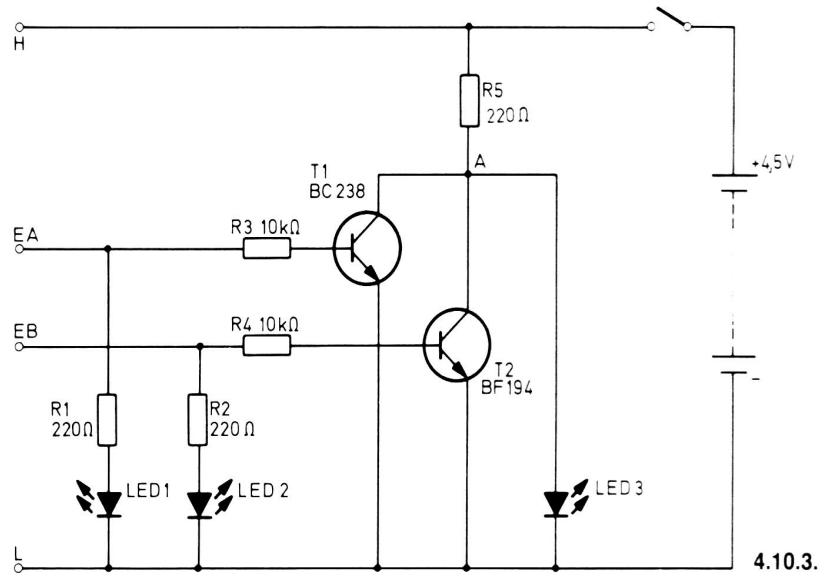
Der in Schaltung 4.10.2. gestrichelte Lastwiderstand R_L muß immer eingesetzt werden, wenn höhere Schaltgeschwindigkeiten gefordert werden. Andernfalls kann man auf ihn verzichten. Dabei darf der Strom durch R_L nicht größer werden als

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



4.10.3. NOR

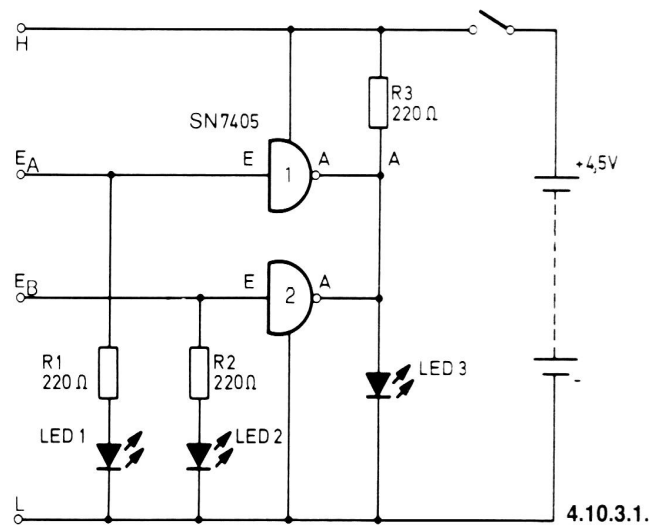
Aus zwei Inverter-Stufen des SN 7405 kann man das logische NOR aufbauen, wenn man sich eine Eigenart zunutze macht, die beim Parallelschalten von Kollektoranschlüssen mehrerer Transistoren auftritt: Läßt man alle Kollektorwiderstände bis auf einen fort, so tritt am Ausgang immer dann L auf, wenn nur einer der Transistoren leitet (4.10.3.).



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

Diese Parallelschaltung der Ausgänge heißt **Wired-AND** und wird sehr oft verwendet, um Bauelemente einzusparen. In der Schaltung 4.10.3.1. wird ein NOR aus zwei Inverter-Stufen mittels Wired-AND dargestellt. Verbindet man z. B. Eingang E_A mit + 4,5 V, dann zeigt das die LED 1 an. Gleichzeitig ist LED 3 dunkel. Mit Eingang E_B allein an + 4,5 V – LED 2 leuchtet – ändert sich der Ausgangszustand nicht, ebenso wenn E_A und E_B H-Signal erhalten.

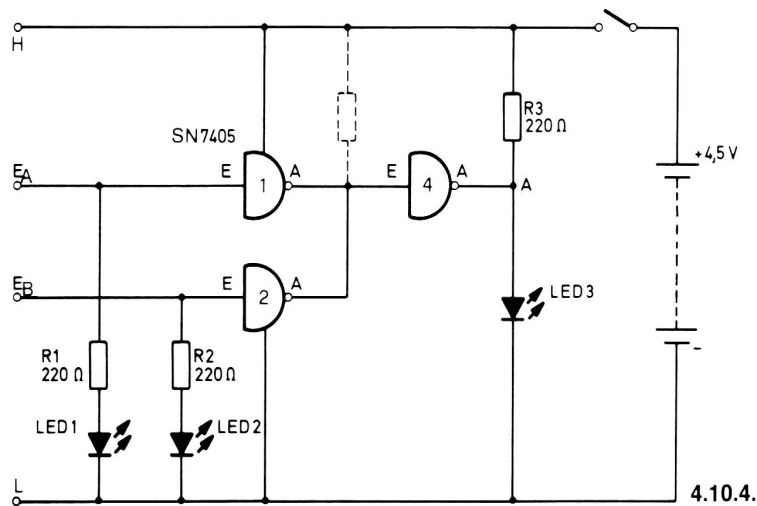
Nur dann, wenn E_A und E_B mit 0 Volt verbunden sind, leuchtet LED 3.



4.10.4. ODER

Bei der Darstellung eines ODER-Gatters aus Invertern nutzt man aus, daß eine doppelte Umkehrung schließlich wieder den Eingangszustand erreichen läßt. Die Schaltung 4.10.4. enthält für jeden Eingang eine Stufe (Inverter 1 und Inverter 2). Ein H-Signal am Eingang E_A – LED 1 leuchtet – erzeugt ein L-Signal am Ausgang A_1/A_2 , das dann durch die Stufe 4 wieder in H umgekehrt wird. Die LED 3 zeigt das durch Leuchten an. L-Signal an beiden Eingängen E_A und E_B erzielt auch ein L am Ausgang A, umgekehrt erzielt H an E_A und E_B auch ein H am Ausgang A. Danach ist die Funktionstabelle für das ODER aufzustellen:

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



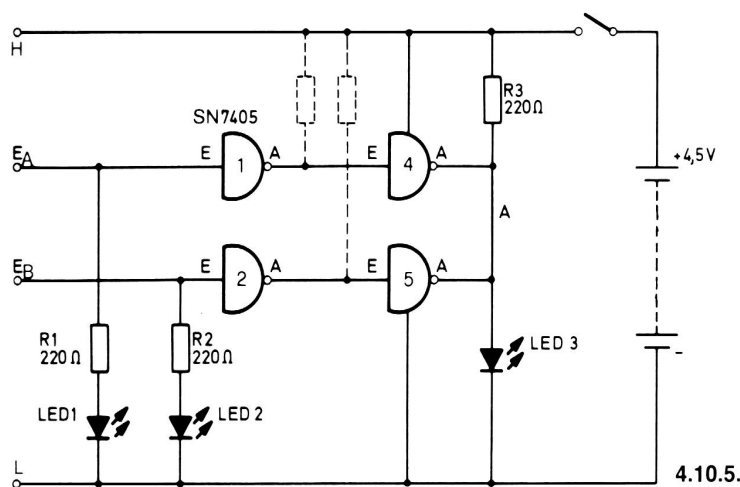
4.10.5. UND

Um ein UND-Gatter aufzubauen, werden wieder die Ausgänge der Inverter-Stufen 4 und 5 parallelgeschaltet. Erhält nur einer dieser Inverter am Eingang ein H-Signal – das wird durch L am Eingang der vorgeschalteten Stufen hervorgerufen –, dann kann A nicht mehr H annehmen. Nur wenn E_A und E_B mit + 4,5 V verbunden sind, leuchtet auch die LED 3 und signalisiert den Ausgangszustand H an A.

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

Ohne die Zwischenstufe zu betrachten, ergibt sich:

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



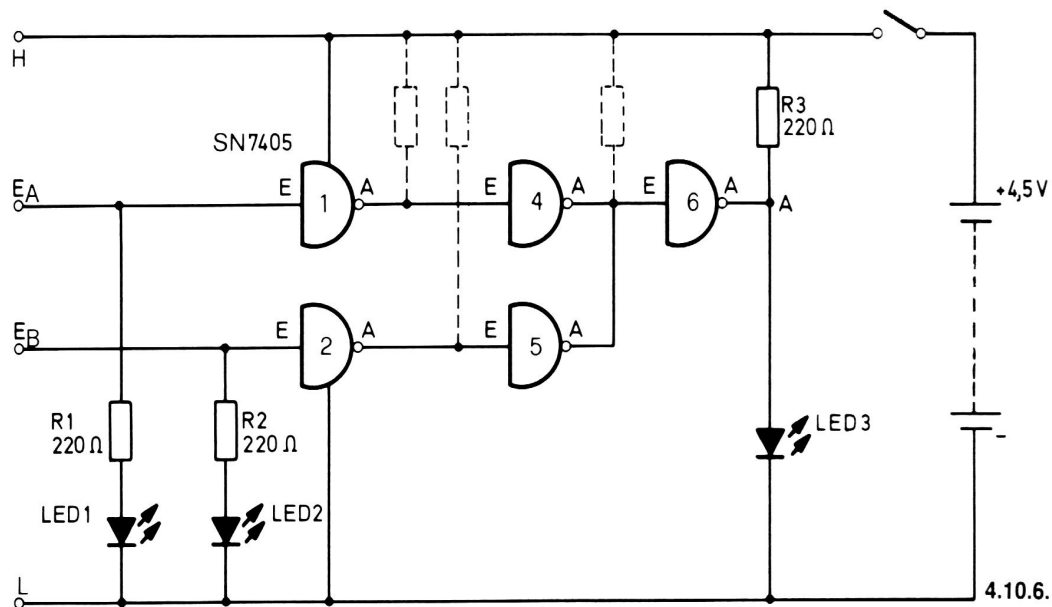
4.10.6. NAND

Durch eine zusätzliche Inverter-Stufe kann aus dem UND ein NAND aufgebaut werden. Verwendet wird der gleiche Aufbau wie in Schaltung 4.10.5., nur daß das Signal der beiden verbundenen Ausgänge A_4 und A_5 in der Stufe 6 noch einmal invertiert werden muß. Dann erkennt man, daß $A = H$ ist, solange keiner oder höchstens einer der Eingänge E_A und E_B ein H-Signal führt.

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

Aus der folgenden Funktionstabelle erkennt man im Vergleich, daß das NAND eine Umkehrung des UND ist

E_A	E_B	UND	NAND
		A	A
L	L	L	H
L	H	L	H
H	L	L	H
H	H	H	L



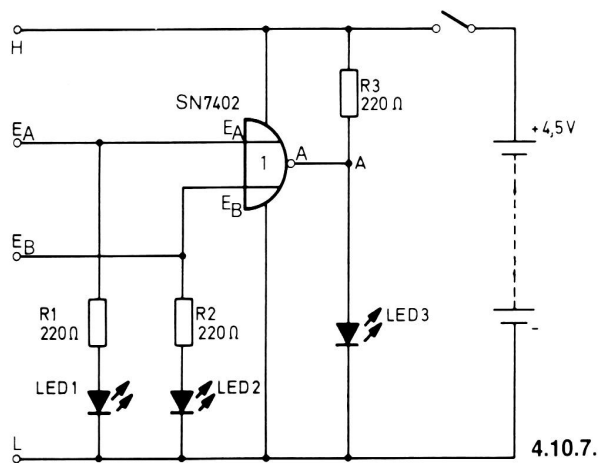
Grundschaltungen mit SN 7402 – NOR (Kennfarbe blau)

4.10.7. NOR

In der Schaltung 4.10.7. wird ein NOR-Gatter aus dem SN 7402 vorgestellt.
Bei einem NOR ist der Ausgang A nur dann H, wenn alle Eingänge L sind (vergl. Kap. 4.10.3.):

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

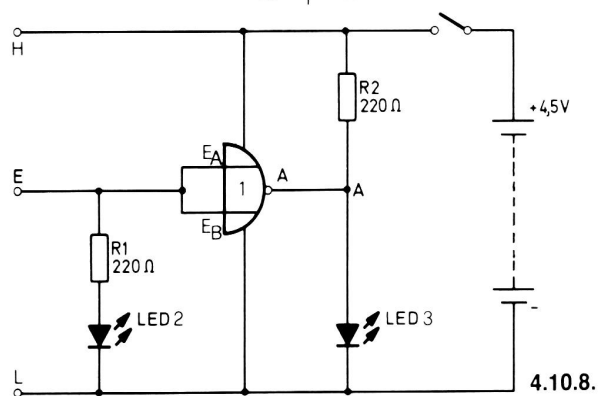
Verbindet man z. B. E_A mit + 4,5 V und E_B mit 0 Volt, leuchtet nur LED 1. LED 3 leuchtet erst, wenn die Eingänge E_A und E_B L-Signal erhalten.
Zur Funktionsprüfung aller vier NOR-Gatter des SN 7402 sollte dieser Aufbau auch mit den Stufen 2, 3, 4 durchgeführt werden.



4.10.8. Inverter

Schaltet man die beiden Eingänge eines NOR parallel, so tritt ein Signal an diesem gemeinsamen Eingang invertiert am Ausgang A wieder auf. Mit der Schaltung nach der Abb. 4.10.8. läßt sich die Funktionstabelle eines Inverters aus NOR überprüfen:

E	A
L	H
H	L

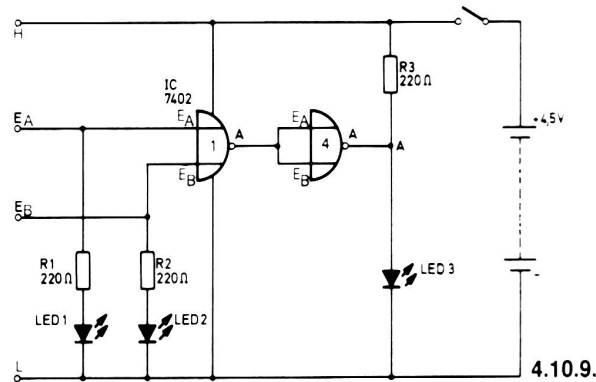


4.10.9. ODER

Einem Inverter, wie er in der Schaltung 4.10.8. beschrieben ist, kann eine NOR-Stufe vorgeschaltet werden, um ein ODER-Gatter auszuführen. Erhält z. B. der Eingang E_A in der Schaltung 4.10.9. ein H-Signal, so tritt es am Ausgang A des NOR 1 als L auf, wird jedoch im NOR 4 wieder invertiert, und die LED 3 zeigt den Zustand H für A an. Ebenso wirkt die Schaltung für den Eingang E_B und wenn beide Eingänge ein H-Signal erhalten.

E_A	E_B	A_1	A_4	entspricht	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

Die Leuchtdioden LED 1 und LED 2 zeigen die Schaltzustände der Eingänge an.

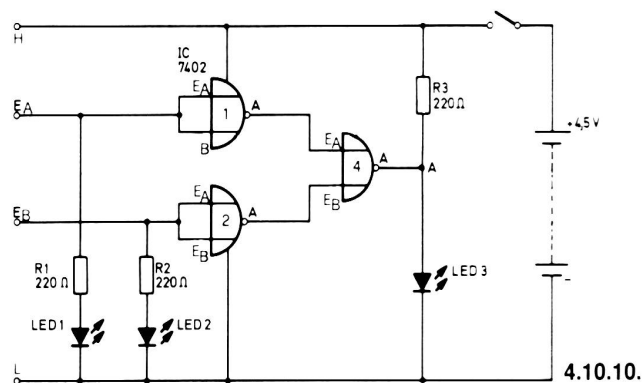


4.10.10. UND

Bei dem UND-Gatter 4.10.10. führen die Eingänge E_A und E_B zu je einer als Inverter geschalteten NOR-Stufe. Die Ausgänge dieser Stufen gelangen auf die Eingänge des NOR 4.

Ein H-Signal am Eingang E_A erzielt ein L an A_1 , L an E_B ein H an A_2 . Unterschiedliche Signale an den Eingängen eines NOR rufen immer am Ausgang ein L hervor. Erhält E_B dagegen auch ein H, dann ist A ebenfalls H, da A_1 und A_2 L führen.

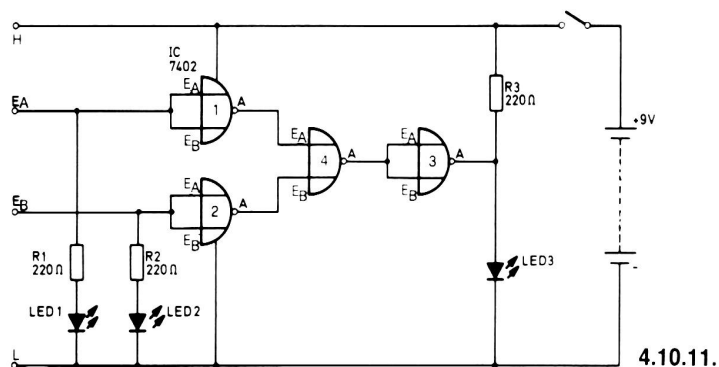
E_A	E_B	A_1	A_2	A_4	entspricht	E_A	E_B	A
L	L	H	H	L		L	L	L
L	H	H	L	L		L	H	L
H	L	L	H	L		H	L	L
H	H	L	L	H		H	H	H



4.10.11. NAND

Eine vierte NOR-Stufe als Inverter hinter einer UND-Schaltung ermöglicht den Aufbau eines NAND, wie aus der Schaltung 4.10.11. zu entnehmen ist.

E_A	E_B	A_1	A_2	UND A_4	NAND A_3	entspricht	E_A	E_B	A
L	L	H	H	L	H		L	L	H
L	H	H	L	L	H		L	H	H
H	L	L	H	L	H		H	L	H
H	H	L	L	H	L		H	H	L

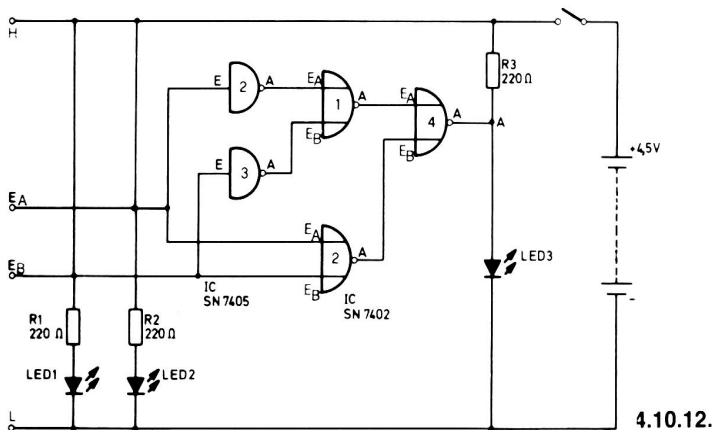


4.10.12. Exklusiv-ODER-Funktion

Die Exklusiv-ODER-Funktion kann durch die Kombination von Inverter- und NOR-Funktionen ausgeführt werden.

Nimmt man an, daß in der Schaltung 4.10.12. $E_A = H$ und $E_B = L$ sei, so erhält NOR 1 von dem Ausgang des Inverters 2 = L und von 3 = H. Ebenso erhält NOR 2 unterschiedliche Eingangssignale. Verschiedene Zustände am Eingang eines NOR rufen am Ausgang immer ein L hervor. Also führen A_1 und $A_2 = L$. Diese gelangen auf die Eingänge des NOR 4, dessen Ausgang dann = H wird: Die LED 3 leuchtet. Im Gegensatz zum ODER darf der Ausgang A eines Exklusiv-ODER nicht H sein, wenn beide Eingänge E_A und $E_B = H$ sind. Das wird in dieser Schaltung durch die Inverter verhindert.

E_A	E_B	A_1	A_2	A_4	entspricht	E_A	E_B	A
L	L	L	H	L		L	L	L
L	H	L	L	H		L	H	H
H	L	L	L	H		H	L	H
H	H	H	L	L		H	H	L

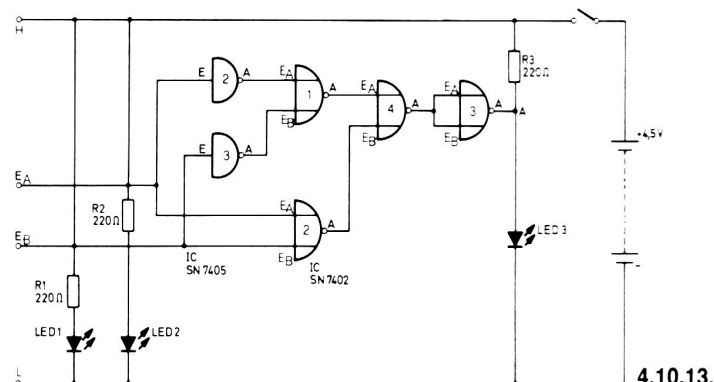


4.10.13. Äquivalenz

Bei der Äquivalenz-Funktion nimmt der Ausgang A den Zustand H an, wenn die Eingänge gleichartige Signale führen. Dieses Verhalten kann als eine Umkehrung der Exklusiv-ODER-Funktion angesehen werden, bei der der Ausgang immer dann den Zustand H führt, wenn die Eingänge ungleich sind.

Durch einen nachgeschalteten Inverter aus einem NOR hinter einem Exklusiv-ODER erzielt man also die beabsichtigte Funktion.

E_A	E_B	A_1	A_2	A_4	A_3	entspricht	E_A	E_B	A
L	L	L	H	L	H		L	L	H
L	H	L	L	H	L		L	H	L
H	L	L	L	H	L		H	L	L
H	H	H	L	L	H		H	H	H



4.10.13.

Schaltungen mit einem negierten Eingang

Zur Verwirklichung einiger technischer Probleme benötigt man die bereits bekannten Grundfunktionen, muß davon jedoch einen, manchmal auch mehrere Eingänge invertieren.

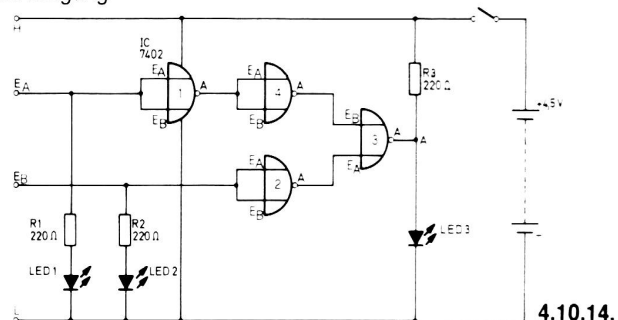
Einige solcher Schaltungsbeispiele mit einem invertierten Eingang sollen im folgenden beschrieben werden.

4.10.14. UND mit einem invertierenden Eingang

Diese Schaltung entspricht dem UND 4.10.10. aus NOR. Einem der Eingänge wurde ein NOR (1) als Inverter vorgeschaltet, so daß dieses Eingangssignal invertiert wird. Ein L an E_A erzeugt an A_1 ein H-Signal. Erhält E_B ebenfalls ein H-Signal, so steht an A_2 L, und am Ausgang A von NOR 3 wird H erzeugt; die LED 3 leuchtet.

E_A^*	E_B	A_1	A_2	A_3	entspricht	E_A^*	E_B	A
L	L	L	H	L		L	L	L
L	H	L	L	H		L	H	H
H	L	H	H	L		H	L	L
H	H	H	L	L		H	H	L

*) mit negiertem Eingang



4.10.14.

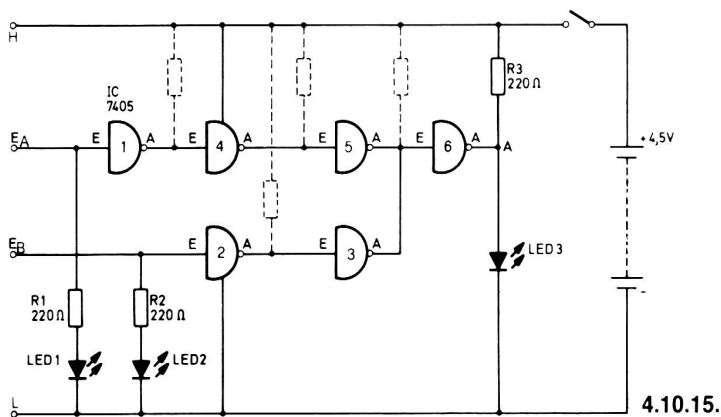
4.10.15. NAND mit einem invertierenden Eingang

Das NAND mit einem negierten Eingang entspricht wieder dem NAND aus Invertieren (s. Schaltung 4.10.6.). Lediglich in den Eingang E_A wird ein zusätzlicher Inverter gesetzt.

E_A^*	E_B	A_4	A_2	$A_{3/5}$	A_6	entspricht	E_A^*	E_B	A
L	L	L	H	L	H		L	L	H
L	H	L	L	H	L		L	H	L
H	L	H	H	L	H		H	L	H
H	H	H	L	L	H		H	H	H

*) mit negiertem Eingang

Der Ausgang ist nur dann L, wenn der invertierende Eingang L und der andere H ist.



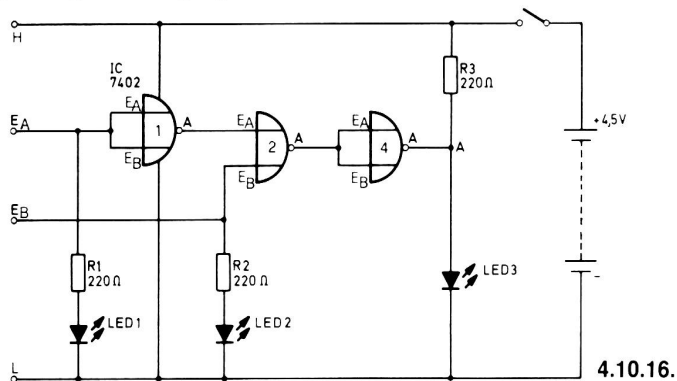
4.10.16. ODER mit einem invertierenden Eingang

Diese Schaltung (Abb. 4.10.16.) wurde durch Ergänzung des ODER 4.10.9. mit einem weiteren NOR gewonnen. Zur Umkehrung des Eingangssignals dient die als Inverter geschaltete NOR-Stufe 1.

Am Ausgang A liegt immer dann ein H-Signal, wenn entweder $E_A = L$ oder $E_B = H$ ist.

E_A^*	E_B	A_2	A_4	entspricht	E_A^*	E_B	A
L	L	L	H		L	L	H
L	H	L	H		L	H	H
H	L	H	L		H	L	L
H	H	L	H		H	H	H

*) mit negiertem Eingang



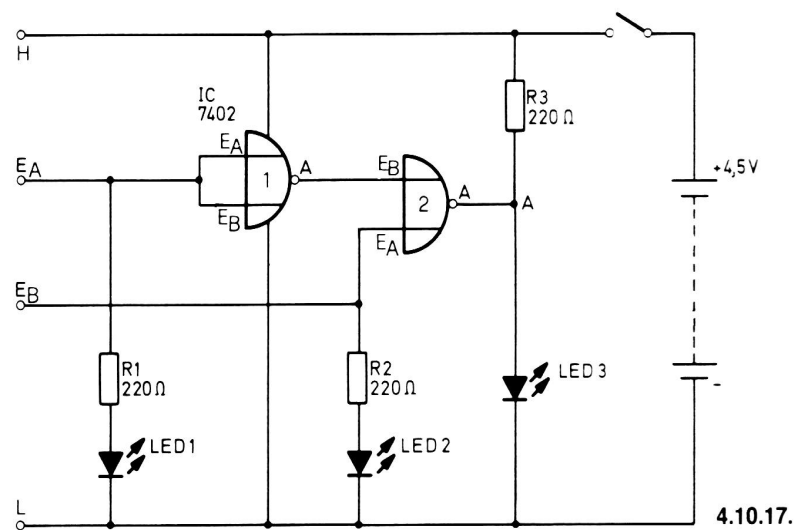
4.10.17. NOR mit invertierendem Eingang

Zu dem im Kap. 4.10.7. beschriebenen NOR benötigt man ein weiteres NOR zur Umkehrung des Signals an einem Eingang. Dann erhält man am Ausgang A ein H-Signal, wenn der invertierende Eingang E_A ebenfalls H führt. Durch die Inversion gelangen dann zwei L-Signale auf die Eingänge des NOR 2, und dadurch wird am Ausgang H erzielt.

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

*) mit negiertem Eingang

Die Schaltzustände an den Eingängen und am Ausgang werden durch LED angezeigt.



Grundsaltungen mit 5 bzw. 6 Eingängen

Zur Lösung umfangreicher technischer Probleme reichen häufig zwei Eingangsvariable nicht aus, sondern man benötigt eine größere Zahl. An zwei Beispielen soll dargestellt werden, wie solche Schaltungen aufzubauen sind.

4.10.18. NOR mit 6 Eingängen

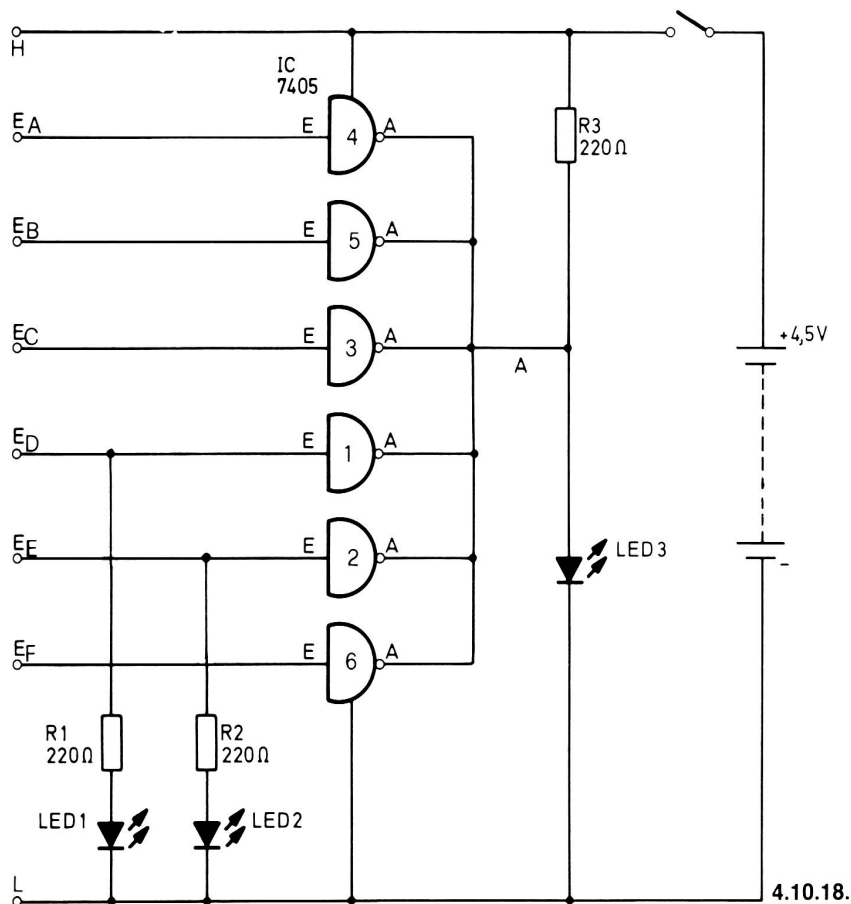
Wie bei dem NOR mit zwei Eingängen aus Invertern nutzt man auch bei diesem NOR die Möglichkeit des Wired-AND aus. Wenn nämlich einer der Eingänge ein H-Signal führt, ist der dazugehörige Ausgang L. Damit nehmen alle anderen auch den Zustand L an. Dadurch erzielt man die Funktion eines NOR.

Von den sechs Eingängen werden die Schaltzustände an den Eingängen E_E und E_F durch Leuchtdioden angezeigt.

Von den insgesamt $2^6 = 64$ Möglichkeiten sollen in der Tabelle nur einige dargestellt werden.

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
L	L	L	H	L	L	L
L	L	L	H	H	L	L
L	L	H	L	L	L	L
L	L	H	H	L	L	L
L	L	H	H	H	L	L
L	L	H	H	H	H	L
L	H	L	L	L	L	L
L	H	L	L	L	H	L
L	H	L	L	H	L	L
L	H	L	L	H	H	L
L	H	L	H	L	L	L
L	H	L	H	L	H	L
L	H	L	H	H	L	L
L	H	L	H	H	H	L
L	H	H	L	L	L	L
L	H	H	L	L	H	L
L	H	H	L	H	L	L
L	H	H	L	H	H	L
L	H	H	H	L	L	L
L	H	H	H	L	H	L
L	H	H	H	H	L	L
L	H	H	H	H	H	L
H	L	L	L	L	L	L
H	L	L	L	L	H	L
H	L	L	L	H	L	L
H	L	L	L	H	H	L
H	L	L	H	L	L	L
H	L	L	H	L	H	L
H	L	L	H	H	L	L
H	L	L	H	H	H	L
H	L	H	L	L	L	L
H	L	H	L	L	H	L
H	L	H	L	H	L	L
H	L	H	L	H	H	L
H	L	H	H	L	L	L
H	L	H	H	L	H	L
H	L	H	H	H	L	L
H	L	H	H	H	H	L
H	H	L	L	L	L	L
H	H	L	L	L	H	L
H	H	L	L	H	L	L
H	H	L	L	H	H	L
H	H	L	H	L	L	L
H	H	L	H	L	H	L
H	H	L	H	H	L	L
H	H	L	H	H	H	L
H	H	H	L	L	L	L
H	H	H	L	L	H	L
H	H	H	L	H	L	L
H	H	H	L	H	H	L
H	H	H	H	L	L	L
H	H	H	H	L	H	L
H	H	H	H	H	L	L
H	H	H	H	H	H	L

Wie man erkennt, ist der Ausgang nur dann H, wenn alle Eingänge L sind.



4.10.19. ODER mit 5 Eingängen

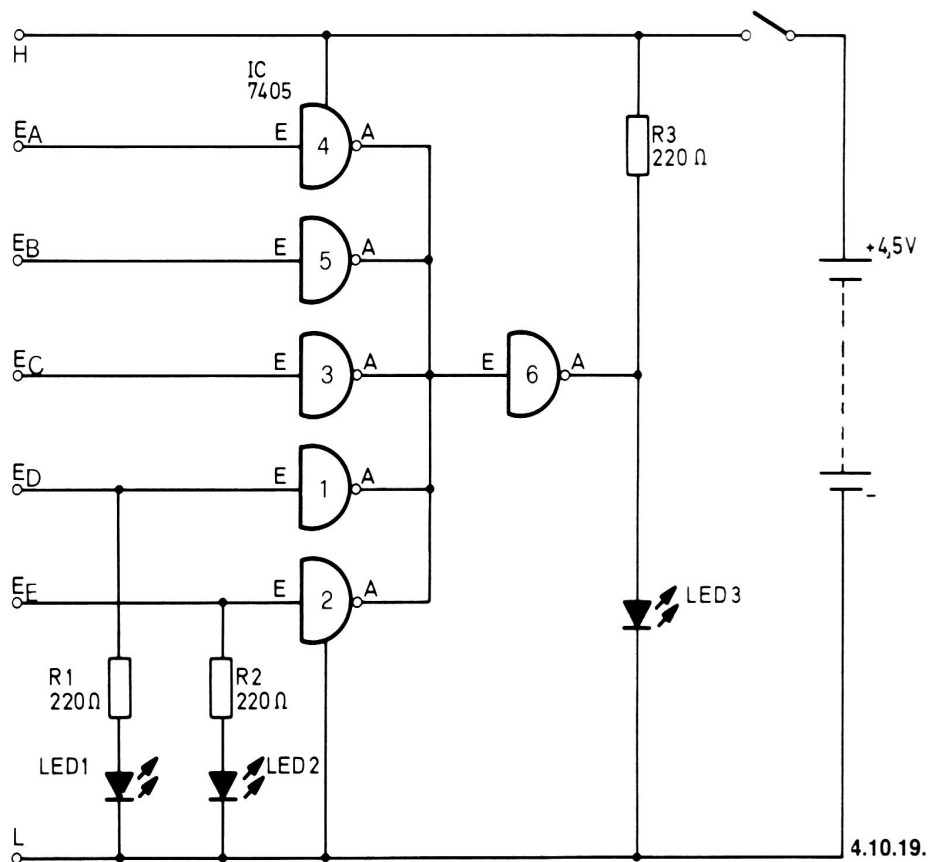
Legt man die Ausgänge von 5 Invertern parallel und schaltet einen weiteren Inverter nach, so erhält man ein ODER mit 5 Eingängen, wie es in der Schaltung nach Abb. 4.10.19. dargestellt ist.

An den Ausgängen A_1 bis A_5 liegt immer dann L, wenn mindestens einer der Eingänge H-Signal führt. Invertiert man dieses Signal erneut, erzielt man die ODER-Funktion.

Von den $2^5 = 32$ Möglichkeiten sind in der Funktionstabelle nur wenige aufgeführt.

E_A	E_B	E_C	E_D	E_E	$A_1 \text{ bis } 5$	A_6
L	L	L	L	L	H	L
L	L	L	L	H	L	H
L	L	L	H	L	L	H
L	L	H	L	L	L	H
L	H	L	L	L	L	H
H	L	L	L	L	L	H
H	L	L	L	H	L	H
H	L	L	H	L	L	H
H	L	H	L	L	L	H
H	L	H	L	H	L	H
H	H	L	L	L	L	H
H	H	L	L	H	L	H
H	H	H	L	L	L	H
H	H	H	L	H	L	H
H	H	H	H	L	L	H
H	H	H	H	H	L	H

Es wird deutlich, daß A immer dann H ist, wenn mindestens einer der Eingänge ebenfalls H ist.



4.10.20. Halbaddierer

Beim elektronischen Rechnen müssen alle Rechenoperationen auf die Addition oder Subtraktion zurückgeführt werden, denn nur diese beiden Grundrechenarten lassen sich mit den Schaltzuständen H und L ausführen. So muß das Malnehmen zweier Zahlen auf das Zusammenzählen von Zahlen zurückgeführt werden, wie einfache Beispiele zeigen:

$$\begin{aligned} 5 \times 4 &= 4 + 4 + 4 + 4 + 4 \\ 3 \times 7 &= 7 + 7 + 7 \\ 9 \times 3 &= 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 \end{aligned}$$

Zur schaltungstechnischen Verwirklichung benötigt man viele Schaltglieder. Sie setzen beim Zusammenzählen die Dualzahlen in entsprechende Schaltzustände um. Ein besonderes Problem ist dabei die Weitergabe der nächsten Stelle, wie die nachstehende Aufgabe als Beispiel zeigt:

$$\begin{array}{r} \text{Dezimal: } 1 + 1 = 2 \\ \text{Dual: } \quad 01 \\ \quad + 01 \\ \hline \quad 10 \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{Übertragssumme} \quad \text{Summe (S)} \\ \text{(ÜS)} \end{array}$$

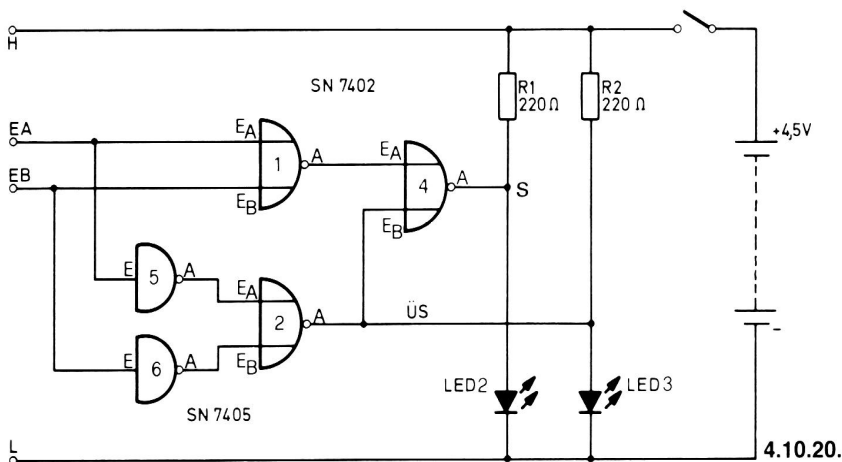
Die Stellen und die Überträge werden durch sog. Halbaddierer errechnet. Das Schaltbild 4.10.20. zeigt einen Halbaddierer aus 3 NOR-Gattern und 2 Invertern. Die Schaltung arbeitet wie folgt: Die LED 2 am Ausgang S leuchtet, wenn sich der Stellenwert $1 \triangleq H$ ergibt. Am Ausgang $\bar{U} = \bar{U}_S$ leuchtet die LED 3, wenn ein H an die nächste Stelle weitergegeben wird.

Die folgende Tabelle gibt diesen Sachverhalt wieder:

$E_A + E_B$		S	\bar{U}_S
L	L	L	L
L	H	H	L
H	L	H	L
H	H	L	H

Aus der Tabelle ist zu erkennen, daß die Summe (S) durch eine Exklusiv-ODER-Funktion dargestellt wird (vergl. Schaltung 4.10.12.). Der Übertrag \bar{U}_S wird durch eine UND-Funktion realisiert (vergl. Schaltung 4.10.10.).

Die beschriebene Schaltung stellt einen Halbaddierer dar, der nur zwei einstellige Dualzahlen zusammenzählt. Für die Addition größerer Dualzahlen (Volladdierer) ist ein erheblich umfangreicherer Schaltungsaufwand notwendig.



4.10.21. Halbsubtrahierer

Während beim elektronischen Rechnen die Multiplikation auf die Addition zurückgeführt werden muß, ist es beim Teilen nötig, auf die Subtraktion zurückzugehen.

Beispiel: $6 : 2 = 3$

$$6 - 2 - 2 - 2 = 0$$

Die 2 läßt sich dreimal von 6 abziehen, d. h. sie ist in 6 dreimal enthalten.

Mit den Bauteilen des EE 2015 läßt sich das Prinzip der elektronischen Subtraktion zweier einstelliger Dualzahlen darstellen:

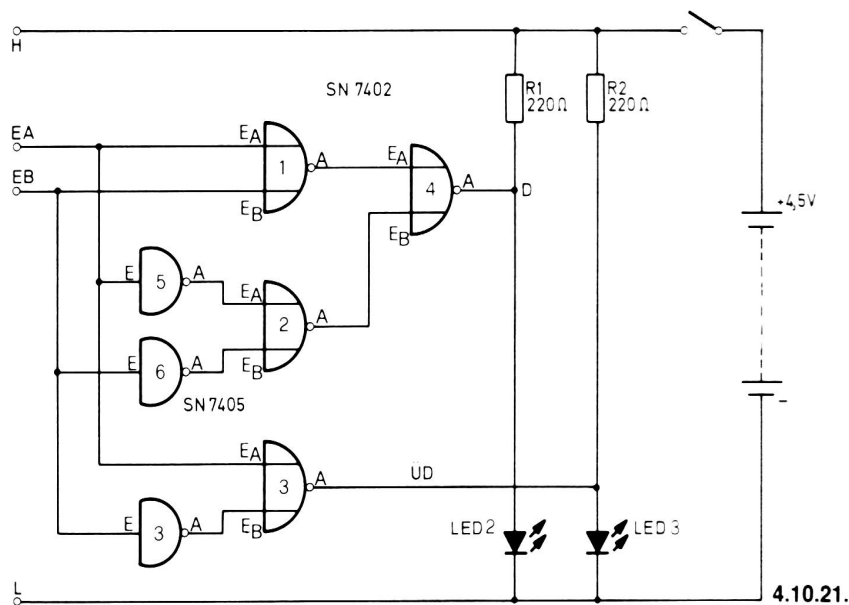
Differenz	Übertragsdifferenz
$1 - 1 = 0$	0
$0 - 1 = 1$	1

Am zweiten Beispiel $0 - 1$ erkennt man, daß sich ein negativer Übertrag ergibt. Dieser wird vom Wert der vorangegangenen Stelle abgezogen (s. auch Kap. 3.9.4.).

In der Schaltung 4.10.21. gibt die LED 2 die Differenz D durch Aufleuchten an, daß der nach der Subtraktion verbliebene Wert der Stelle eine 1 ist. LED 3 leuchtet, wenn ein Übertrag von der vorangegangenen Stelle erfolgen soll. Am Eingang E_A liegt das Potential der Dualzahl, von der abgezogen werden soll, am Eingang E_B befindet sich das Potential der Dualzahl, die von E_A abgezogen wird.

Aus der Funktionstabelle ist zu erkennen, daß die Differenz D durch eine Exklusiv-ODER-Funktion (s. 4.10.12.) und der Übertrag \bar{U}_D durch eine UND-Funktion mit negiertem Eingang (s. 4.10.14.) realisiert werden.

$E_A - E_B$	D	\bar{U}_D
L L	L	L
L H	H	H
H L	H	L
H H	L	L



4.10.22. Code-Umsetzer Dual → Dezimal (Dekodierer)

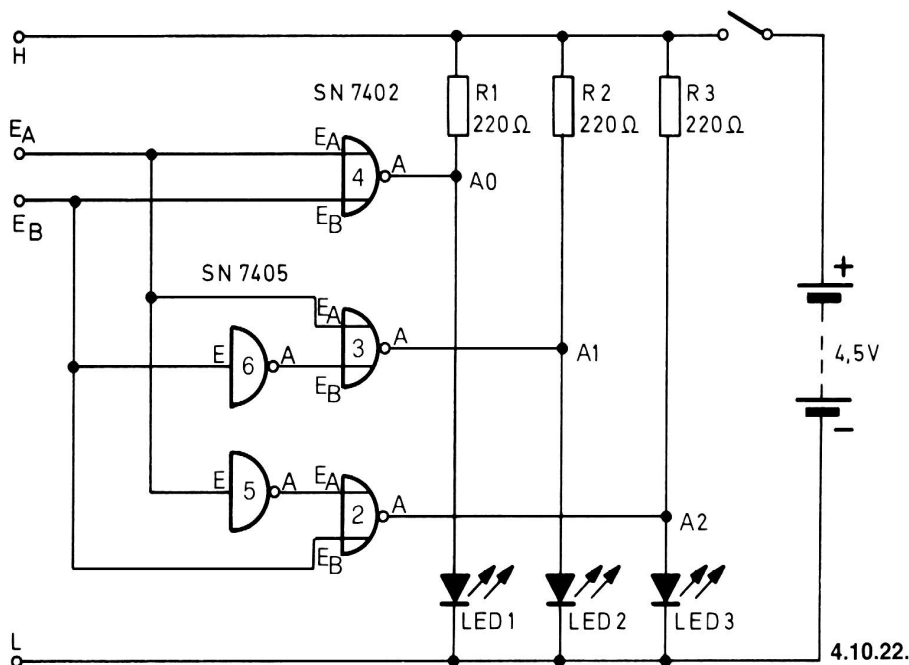
Wie in den vorstehenden Kapiteln bereits erwähnt, ist elektronisches Rechnen nur im dualen System möglich. Es wäre nun aber sehr unbequem, wollte man vorher dezimale Rechenoperationen jedesmal erst manuell digital aufbereiten. Das Umrechnen von Dualzahlen und umgekehrt nimmt man ebenfalls elektronisch vor. Man benutzt dazu Code-Umsetzer.

In der Schaltung 4.10.22. ist ein Code-Umsetzer beschrieben, der Dualzahlen in Dezimalzahlen umsetzt. Wie das geschieht, läßt sich im Prinzip wie folgt darstellen: An den Eingängen E_A und E_B befindet sich die Dualzahl, an den Ausgängen A_0 , A_1 und A_2 die Dezimalzahl. Leuchtet die LED an A_0 , wird 0 angezeigt, bei A_1 eine 1 und bei A_2 eine 2. Die nachstehende Tabelle zeigt den Zusammenhang:

Dezimalzahl	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

Führen beide Eingänge H-Signal, darf kein Ausgang H-Signal führen.

Aus der Funktionstabelle läßt sich ablesen, daß die 0 durch ein NOR-Gatter (NOR 4), die 1 durch ein NOR mit E_B invertiertem Eingang und die 2 durch ein NOR mit E_A invertiertem Eingang realisiert werden. Bei den NOR-Gattern (NOR 2 und NOR 3) mit den invertierenden Eingängen handelt es sich um eine UND-Schaltung mit negierendem Eingang. Im Vergleich zur Schaltung 4.10.14. entfallen die beiden Inverter im Eingang E. Da sie beide in Reihe geschaltet wären, heben sie sich in ihrer Funktion auf.



4.10.23. Code-Umsetzer Dezimal → Dual (Codierer)

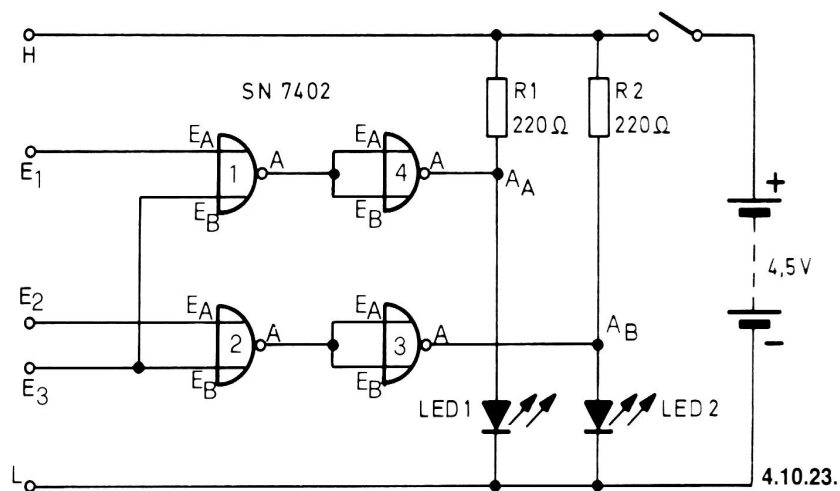
Auch die Dezimalzahlen lassen sich elektronisch in Dualzahlen umrechnen.
In der Schaltung 4.10.23. werden die Dezimalzahlen an den Eingängen durch jeweils H-Signal dargestellt, während die übrigen Eingänge L sind:

H an E_1 = dezimal 1
H an E_2 = dezimal 2
H an E_3 = dezimal 3

Die Tabelle zeigt den Zusammenhang:

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

Aus der Tabelle erkennt man, daß für $A_A = L$ eine ODER-Verknüpfung aus E_1 und E_3 gilt, für A_B eine ODER-Verknüpfung aus E_2 und E_3 . L an allen Eingängen zieht auch L an beiden Ausgängen nach sich.

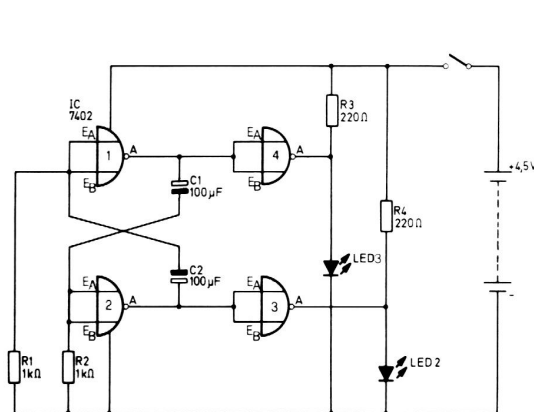


Kippschaltungen

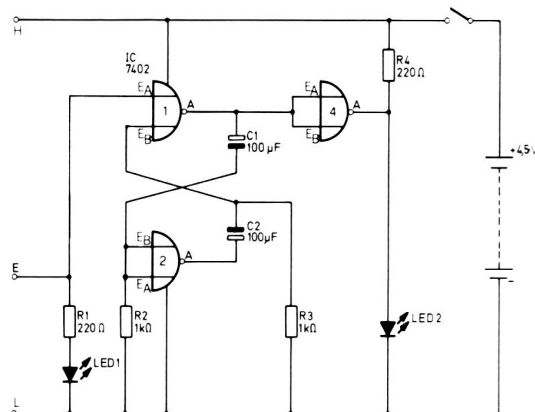
4.10.24. Blinkoszillator

Oszillatoren sind Generatoren oder Schwingungserzeuger, die aus einer Gleichspannung eine beliebige Wechsel- bzw. Rechteckspannung erzeugen. Der Blinkoszillator 4.10.24. wird aus vier NOR-Schaltgliedern realisiert, wobei die jeweiligen Ausgangsschaltzustände des Generators durch die Leuchtdioden angezeigt werden.

Zum Verständnis der Schaltung nimmt man am besten an, daß sich der Oszillator in schwingendem Zustand befindet. Das eigentliche Anlaufen ist durch geringfügige Unterschiede in den elektrischen Werten der Bauteile zu erklären. Hat NOR 1 ein L-Signal an den Eingängen, führt sein Ausgang H. Diese Ausgangsspannung lädt auch den Kondensator C_1 auf. Mit zunehmender Aufladung von C_1 fällt die Spannung an den Eingängen des NOR 2 so weit ab, bis NOR 2 umkippt. Dann steht an dessen Ausgang ein H-Signal. Dieses Signal wird durch NOR 3 invertiert, und die LED 2 erlischt. Dafür leuchtet jetzt die LED 3, da das am Ausgang stehende L-Signal von NOR 1 durch NOR 4 invertiert wird. Über den Kondensator C_2 gelangt allmählich wieder L auf die Eingänge des NOR 1, das damit an seinem Ausgang wieder auf H kippt. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich, und die Leuchtdioden blinken im Wechsel.



4.10.24.



4.10.25.

4.10.25. Start-Stop-Oszillator

Bei einem Start-Stop-Oszillator handelt es sich auch um eine Generatorschaltung, die jedoch im Gegensatz zum Blinkoszillator erst schwingen kann, wenn nach dem Einschalten der Eingang E mit 0 Volt verbunden wird.

In dem beschriebenen Einschaltzustand – E verbunden mit + 4,5 V – erhält NOR 1 ein H an den Eingang, sein Ausgang ist damit L und entlädt den Kondensator C_1 . Verbindet man jetzt den Eingang E mit 0 Volt, erlischt die LED 1. Beide Eingänge des NOR 1 sind jetzt L, sein Ausgang H. Der Kondensator C_1 wird geladen. Dabei fließt der Ladestrom über R_2 und baut an ihm eine Spannung auf. Die Eingänge des NOR 2 sind jetzt H, so daß der Ausgang auf L kippt. Nun entlädt sich der Kondensator C_2 . Sein Entladestrom bewirkt einen Spannungsabfall an R_3 . Der mit dem Widerstand verbundene Eingang des NOR 1 wird H, sein Ausgang kippt auf L. Immer dann, wenn der Ausgang von NOR 1 L-Signal führt, leuchtet die LED 2.

4.10.26. RS-Flip-Flop

Das Flip-Flop ist eine Kippschaltung mit zwei stabilen elektrischen Zuständen. Ein entsprechender Schaltimpuls am Eingang bewirkt ein Umkippen am Ausgang in den jeweils anderen Zustand. Das Flip-Flop verharrt im angenommenen Zustand, bis wieder ein kurzer Impuls auf den Eingang gegeben wird. Damit kann das Flip-Flop als Speicherelement eingesetzt werden, denn duale Informationen, die kurzzeitig an einem Eingang liegen, werden so lange erhalten, bis sie durch eine neue Information gelöscht werden.

Nach den Eingängen, die mit S = setzen und R = rücksetzen benannt sind, ist die Bezeichnung RS-Flip-Flop abgeleitet.

Aus der Funktionstabelle lassen sich die Eingangsbedingungen ablesen, die den entsprechenden Ausgangszustand erzeugen.

R	S	Q ₁	Q ₂
L	L	undefiniert*	
H	L	L	H
L	H	H	L

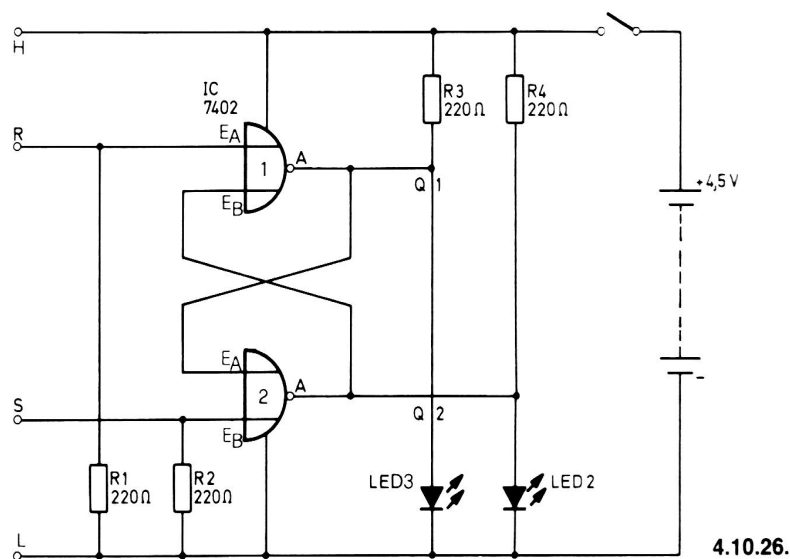
*) Nur im Augenblick des Einschaltens sind die Schaltzustände Q₁ und Q₂ undefiniert. Nach Setzen und Rücksetzen bleibt an den Ausgängen der letzte Schaltzustand erhalten.

In dieser Schaltung ist der Ruhezustand der Eingänge L, da sie über R₁ und R₂ mit 0 Volt verbunden sind.

Das Flip-Flop wird aus zwei NOR-Schaltgliedern aufgebaut, die sich durch Rückkopplung in einem angenommenen Zustand halten.

Setzt man voraus, daß beim Einschalten die LED 3 leuchtet, führt der Ausgang Q₁ ein H-Signal, der Ausgang Q₂ ein L-Signal, das durch die Rückkopplung auch an Eingang B des NOR 1 steht. Bei dieser Ausgangsstellung hat auch der Eingang E_A des NOR 1 ein L-Signal.

Verbindet man jetzt Eingang R mit + 4,5 V, so springt das Flip-Flop um. Die LED 2 leuchtet auf, die LED 3 erlischt. In diesem Schaltzustand erhält der Eingang E_A des NOR 2 ein L-Signal. Da der Ausgang Q₂ bei der Verbindung R mit + 4,5 V ein H-Signal führt, erhält auch der Eingang E_B des NOR 1 über die Rückkopplung ein H-Signal. Damit ist die Voraussetzung für Q₁ = L gegeben. Ein erneutes Umschalten kann durch die Verbindungen S mit + 4,5 V (H) erreicht werden.



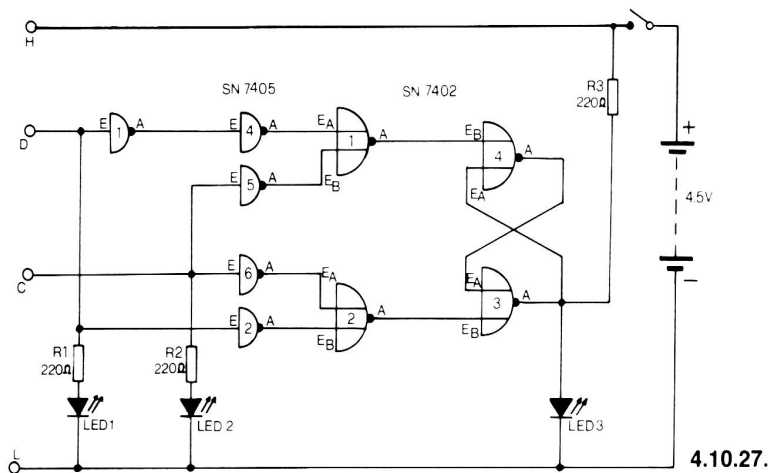
4.10.27. D-Flip-Flop

Das D-Flip-Flop 4.10.27. besteht im wesentlichen aus dem RS-Flip-Flop mit je einem vorgeschalteten UND, die hier aus einem NOR mit zwei Invertern gebildet werden.

Die Eingänge R und S sind zu einem gemeinsamen Eingang D zusammengefaßt worden. Wird der Eingang C auf H gelegt, nimmt der Ausgang Q ebenfalls den Zustand H an, wenn an D ein L-Signal liegt. Springt C auf L, kann sich der D-Eingang beliebig ändern, ohne daß der Ausgang einen anderen Zustand annimmt.

D	Q
L	H
H	L

Diese Zustände gelten bei C = H.



4.10.28. Monostabiler Multivibrator

Monostabile Multivibratoren sind Kippschaltungen, die nur für eine festgelegte Zeit einen elektrischen Zustand annehmen. Sie kippen danach selbständig in den Ausgangszustand zurück (vgl. EE 2013, Kap. 3.3.).

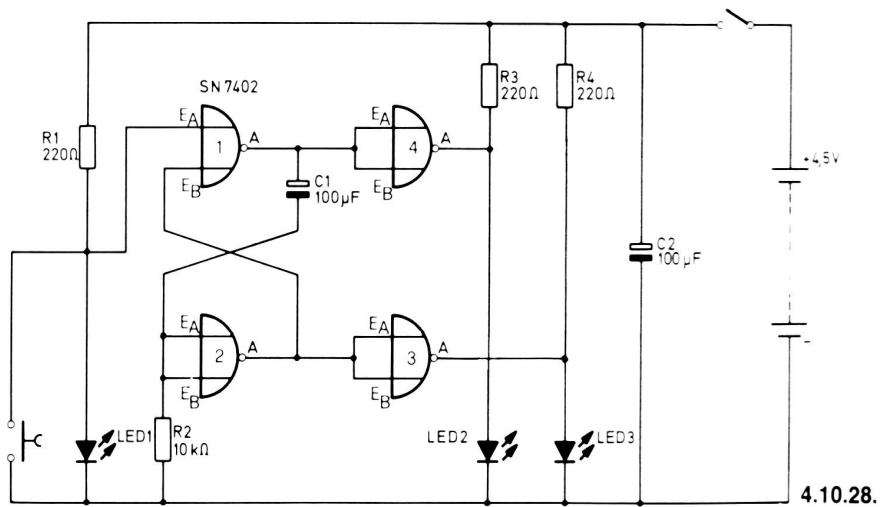
Der monostabile Multivibrator 4.10.28. wird mit dem IC SN 7402 aus 4 NOR-Schaltgliedern realisiert. Seine Umschaltzeit ist durch die Kapazität des Kondensators C_1 und den Widerstand R_2 bestimmt.

Beim Einschalten des Gerätes leuchten alle LED. In diesem Zustand erhält der Eingang E_A des NOR 1 über R_1 ein H-Signal. Am Eingang E_B liegt ein L-Signal über die Rückkopplung von A_2 des NOR-Gatters. Da das L-Signal von NOR 1 durch NOR 4 invertiert wird, leuchtet die LED 2.

Die Eingänge des NOR 2 erhalten über den Widerstand R_2 kein ausreichend negatives Spannungspotential und führen somit H-Signal. Das L-Signal am Ausgang wird an NOR 3 invertiert, die LED 3 leuchtet.

Wird der Taster gedrückt, erlischt für diesen Moment die LED 1. Der Eingang E_B des NOR 1 erhält L-Signal, der Ausgang A_1 springt jetzt auf H. Am NOR 4 wird dieses Signal invertiert, und die LED 2 erlischt. Gleichzeitig wird der Kondensator umgeladen. Dadurch erhalten die Eingänge E_A und E_B des NOR 2 ein L-Signal, der Ausgang springt auf H. Die Invertierung an NOR 3 bewirkt, daß jetzt auch die LED 3 erlischt.

Die Rückkopplung des Ausgangssignals auf E_B des NOR 1 bewirkt dort wieder ein H-Signal, so daß die Schaltung jetzt wieder in den Ausgangszustand zurückkippt. Das Aufleuchten der LED 2 und 3 zeigt diesen Zustand an.



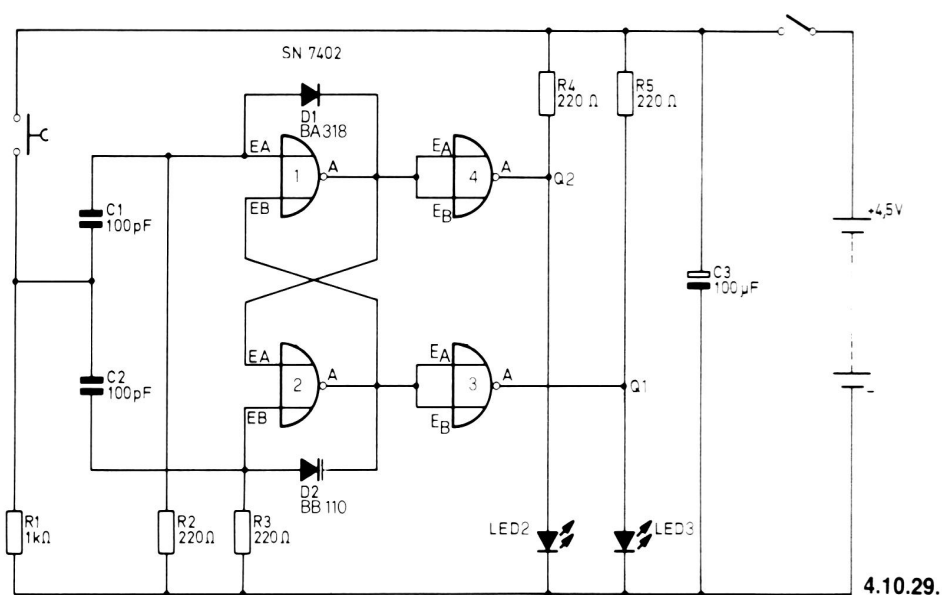
4.10.29 Zwischenspeicher Flip-Flop

Mit den bisher beschriebenen Flip-Flop-Arten kann man nur Werte speichern. Der Zwischenspeicher eignet sich jedoch auch zur Frequenzteilung. Auch dieses Flip-Flop wird aus zwei NOR-Schaltgliedern aufgebaut, die gegeneinander rückgekoppelt sind.

Setzt man voraus, daß beim Einschalten die LED 2 leuchtet, führt der Ausgang A_1 des Zwischenspeicher-Flip-Flop ein L-Signal: der Ausgang A_2 des NOR 2 muß dann auf H stehen.

Drückt man den Tastschalter, kommt ein kurzer positiver Impuls über C_1 und C_2 auf die Eingänge E_{A1} und E_{B2} . An E_{A1} kann er nicht wirksam werden, weil D_1 leitet und ihn unterbricht. D_2 ist aber gesperrt, da am Ausgang A_2 H-Signal steht. Eingang E_{B2} wird also kurzzeitig H; das Flip-Flop kippt um. A_2 ist jetzt L.

Ein erneutes Niederdrücken bewirkt, daß der Ausgang A_2 des NOR-Schaltgliedes 2 auf H kippt, da der positive Eingangsimpuls nur am Eingang E_A des NOR 1 wirksam werden kann. Mit jedem positiven Impuls – ausgelöst durch den Taster – kippt das Flip-Flop in den jeweils anderen Zustand.



4.11. Der Dezimalzähler SN 7490 (Kennfarbe rot)

Da die Digitaltechnik nur mit den Schaltzuständen H und L arbeitet, ist ein dezimales Zählen nicht möglich. Die Dezimalzahlen müssen in Dualzahlen umgesetzt werden. Diese lassen sich dann als eine Folge von Schaltzuständen darstellen.

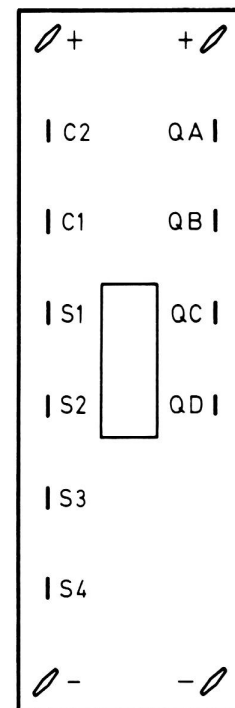
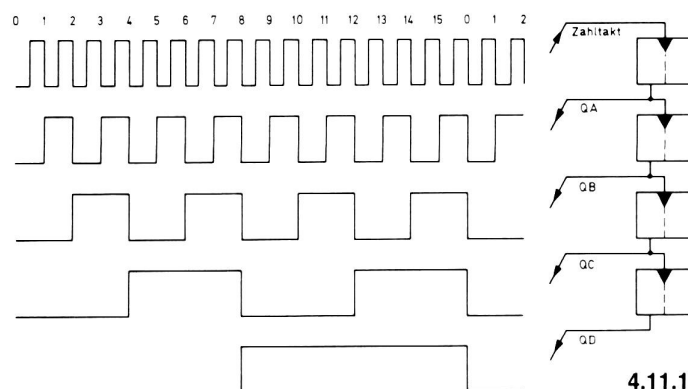
Wie im Kap. 3.9. bereits gezeigt, kann man die Dezimalzahlen 0 bis 9 in 4 Dualzahlen, sog. Tetraden, ausdrücken. Die Folge ihrer Schaltzustände würde dann eine Zahl im dualen System anzeigen. Schaltungstechnisch verwendet man dazu 4 nacheinandergeschaltete Zwischenspeicher-Flip-Flops. Die Funktion des Flip-Flop ist bereits in Kap. 4.10.28. beschrieben. Sein Ausgang schaltet mit jedem Impuls am Eingang in den jeweils anderen Zustand, also H-L-H-L- usw. Im Dezimalzähler schalten sie dynamisch. Darunter versteht man, daß sie nur beim Übergang des Taktimpulses in den jeweils anderen Zustand schalten: Sie sind impulsflanken-gesteuert. Dabei kann sowohl die Einschaltflanke als auch die Ausschaltflanke den Schaltvorgang auslösen. Im Schaltbild eines Flip-Flop besagt ein weißes Dreieck am Anschluß des Takteinganges, daß die Vorder- oder Einschaltflanke den Vorgang auslöst. Ein schwarzes Dreieck steht als Symbol für die Rückflankensteuerung (Ausschaltflanke):

Das nachfolgende Schema soll die Prinzipschaltung eines Dezimalzählers erklären. In der Tabelle gibt ein Pfeil an, wann der Impuls das nachfolgende Flip-Flop auslöst:

Zähltakt	Q _A	Q _B	Q _C	Q _D	Dualzahl
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

Die Schaltzustände müssen spiegelverkehrt gelesen werden, denn das 1. Flip-Flop gibt die letzte Stelle im Dualsystem an, das 2. die vorletzte usw. Wie man aus der Tabelle ersieht, springt das 1. Flip-Flop im Rhythmus des Zähltaktes fortwährend zwischen L und H hin und her. Bei jedem Übergang von H auf L schaltet es das nachfolgende Flip-Flop. Auch dieses schaltet wieder beim Übergang von H auf L die nächste Stufe, so daß die grafische Darstellung der Schaltzustände (Abb. 4.11.1.) entsteht. Betrachtet man die letzte Reihe der Tabelle, also die 9 im Dualsystem, so erkennt man, daß sich mit vierstelligen Dualzahlen noch Zahlen über 9 hinaus darstellen lassen:

1010 ≙ 10
1011 ≙ 11
1100 ≙ 12
1101 ≙ 13
1110 ≙ 14
1111 ≙ 15



SN 7490
Kennfarbe rot

4.11.1.

Diese „Blindtetraden“ verursachen schaltungstechnische Probleme, die nur mit besonderem Aufwand gelöst werden können. Das Blockschaltbild des SN 7490 (Abb. 4.11.2.) ist darum erheblich komplizierter als die bloße Reihenschaltung von 4 Flip-Flops. So ist das 4. Flip-Flop mit einer UND-Schaltung gekoppelt, mit der sich verhindern läßt, daß der Zähler über 9 hinausgeht.

Auch der Takt wird komplizierter auf die Flip-Flops gegeben. Q_A muß z. B. mit Takteingang B verbunden werden. Außerdem sind in das IC zwei NAND-Gatter integriert, die im wesentlichen zum Rückstellen des Zählers dienen.

Der SN 7490 läßt sich als Zähler für unterschiedliche Anwendungen einsetzen:

1. als 2 : 1-Zähler mit Takteingang C_1 und Ausgang Q_A
2. als 5 : 1-Teiler mit Takteingang C_2 und Ausgang $Q_B - Q_D$
3. als 10 : 1-Teiler mit Takteingang C_1 , C_2 an Q_A und Ausgängen $Q_A - Q_D$

Mit den Eingängen $S_1 - S_2$ läßt sich der Zähler auf LLLL rücksetzen, wenn beide Eingänge auf H gelegt werden.

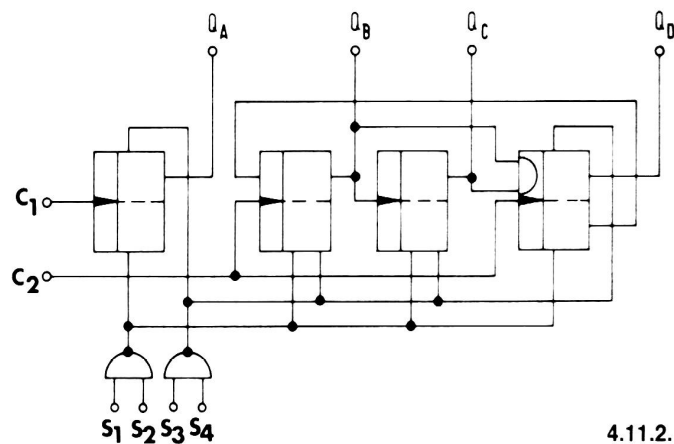
Das kann erforderlich werden, wenn der Zähler einen definierten Anfangszustand haben oder wenn er mit einem anderen Teilerverhältnis arbeiten soll.

Legt man dagegen die Setzeingänge S_3 und S_4 auf H, dann werden Q_A und Q_D H, Q_B und Q_C L.

Beim Zählvorgang muß mindestens 1 Eingang der Setzeingangsgruppen L sein, damit eine Zählung möglich wird.

Einige technische Daten:

max. Betriebsspannung	5,5 V
Ausgangsstrom	16 mA
Eingang C_1 Eingangsstrom L	3,2 mA
Eingang C_2 Eingangsstrom L	6,4 mA
Eingang $S_1 - S_4$ Eingangsstrom L	1,6 mA
Eingangsströme bei H	ca. 0,1 mA



4.11.2.

Einstellbarer Zähler

Der einstellbare Zähler 4.11.3. besteht aus dem monostabilen Multivibrator (zwei NOR-Gatter aus SN 7402) und dem Zähl-Flip-Flop SN 7490. Die Zählimpulse des Multivibrators, die mit dem Tastschalter erzeugt werden, können mit dem Flip-Flop SN 7490 in jedem Verhältnis zwischen 2 und 10 untersetzt werden, je nachdem, wie die Setzeingänge S_1/S_2 mit den Ausgängen Q_A bis Q_D verbunden werden (über die Funktion des Flip-Flop SN 7490 s. Kap. 4.11.).

Die LED 1 zeigt die Zählimpulse des Multivibrators an, die LED 2 – nach dem Verbinden mit dem gewünschten Ausgang – die unteretzten Impulse. Aus der Tabelle kann entnommen werden, wie die Ausgänge mit den Setzeingängen und die LED 2 mit einem Ausgang verbunden werden müssen.

Zähler	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	siehe unten		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

Ein Beispiel für die Einstellung des Zählers:

Das Multivibrator-Signal soll im Verhältnis 5:1 untersetzt werden. Dazu verbindet man Q_A mit S_1 , Q_C mit S_2 und stellt eine Verbindung zwischen LED 2 und Q_C her. Nach fünfmaligem Aufleuchten der LED 1 leuchtet die LED 2 einmal.

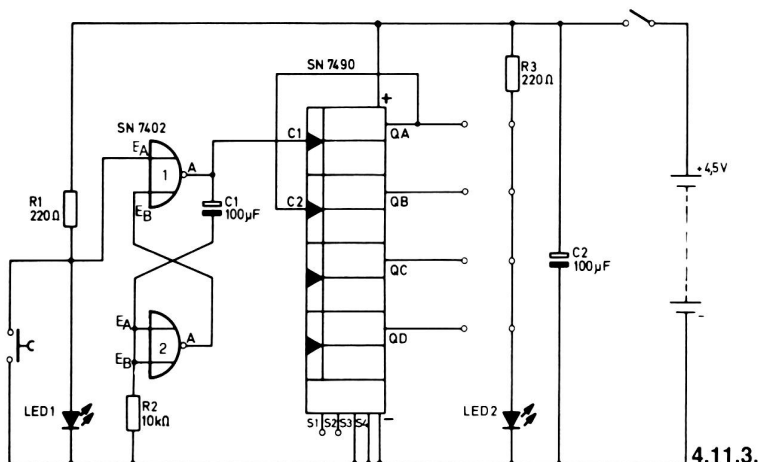
Das Teilverhältnis kann deshalb 5 : 1 sein, weil der Zähler bis zum Zähltakt 4 (siehe Tabelle Kap. 4.11.) einwandfrei durchläuft, beim 5. Taktimpuls Q_A und Q_C H werden wollen und über die Setzeingänge jedoch sofort auf L (Anfangsposition 0) zurückspringen.

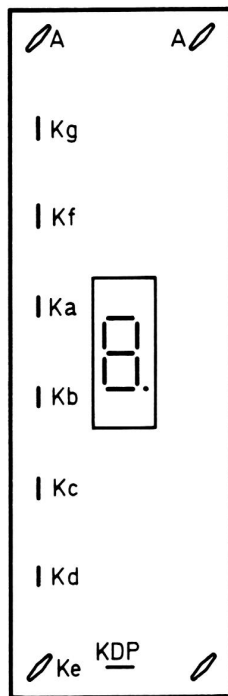
Nach diesem Prinzip lassen sich alle Teilverhältnisse zwischen 2 und 10 mit Ausnahme des 7 : 1-Teilers realisieren.

Für dieses Verhältnis müßte man 3 Setzeingänge haben (Zähltakt 7 – Q_A , Q_B , Q_C werden H). Mit einem Trick läßt sich der SN 7490 auch als 7 : 1-Teiler aufbauen. Dazu verbindet man S_1 und S_2 mit dem Minuspol der Batterie, S_3 mit Q_B und S_4 mit Q_C . LED 2 erhält eine Verbindung zu Q_D .

Der Zähler läuft bis zum Zähltakt 6, Q_B und Q_C werden H (S_3 und S_4 sprechen an), und der Zähler springt auf $Q_A = H$, $Q_B = L$, $Q_C = L$, $Q_D = H$.

Die Positionen 6, 7, 8 sind übersprungen worden, und der Zähler fängt bei 9 wieder an zu zählen.





CQY 81
Kennfarbe orange

4.12. Die Sieben-Segment-Anzeige CQY 81 (Kennfarbe orange)

Zum Ablesen von Dezimalzahlen benötigt man Anzeige-Elemente, die elektronisch gesteuert werden. Weit verbreitet sind Anzeigen aus sieben Segmenten, d. h. sie setzen die Ziffern aus höchstens 7 Teilen zusammen. Man erreicht damit eine gute Lesbarkeit.

Die einzelnen Segmente der Anzeige bestehen aus Leuchtdioden mit dem Halbleitermaterial Gallium-Arsenid-Phosphid.

Ihre Anoden sind miteinander verbunden. Die Segmente leuchten auf, wenn ein Strom fließt. Dazu muß die Anode an + 4,5 Volt liegen, während die Katoden über strombegrenzende Widerstände mit 0 Volt verbunden werden. Zwischen Anode und Katode liegen dann ca. 1,6 Volt.

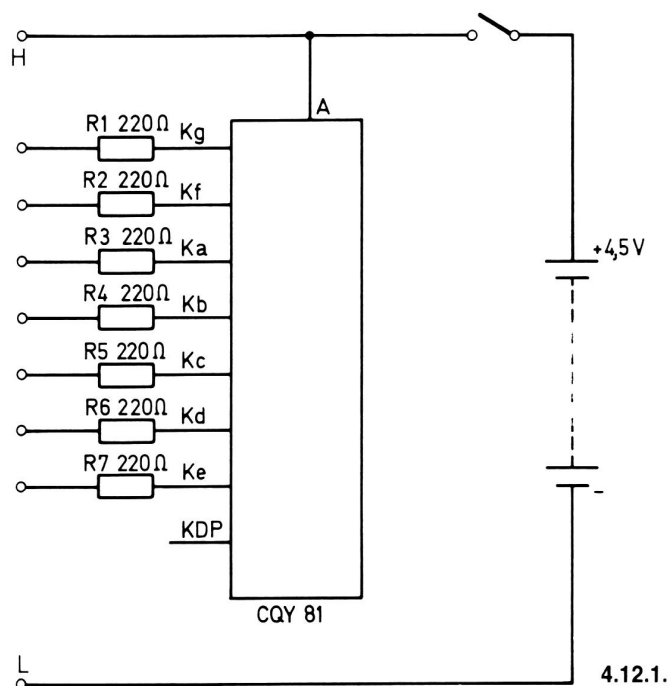
Technische Daten:

Segmentspannung in Sperrichtung	3 V
Segmentspannung in Durchlaßrichtung	1,6 V
Segmentstrom max.	20 mA

Darstellung von Zeichen und Ziffern

Um die Funktion darzustellen, verbindet man die gemeinsame Anode der Anzeige mit + 4,5 Volt und dann nacheinander die einzelnen Katoden über Widerstände (je 220 Ohm) mit L (Minuspol der Batterie). Die Segmente leuchten einzeln auf.

Zur Darstellung der Ziffern verbindet man die Segmente gemäß folgender Tabelle nach Schaltung 4.12.1.:



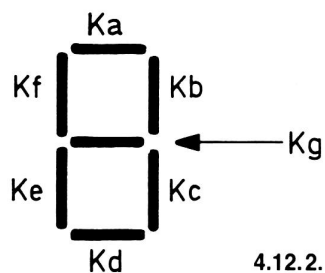
Ziffer	K _a	K _b	K _c	K _d	K _e	K _f	K _g
0	L	L	L	L	L	L	H
1	H	L	L	H	H	H	H
2	L	L	H	L	L	H	L
3	L	L	L	L	H	H	L
4	H	L	L	H	H	L	L
5	L	H	L	L	H	L	L
6	H	H	L	L	L	L	L
7	L	L	L	H	H	H	H
8	L	L	L	L	L	L	L
9	L	L	L	H	H	L	L

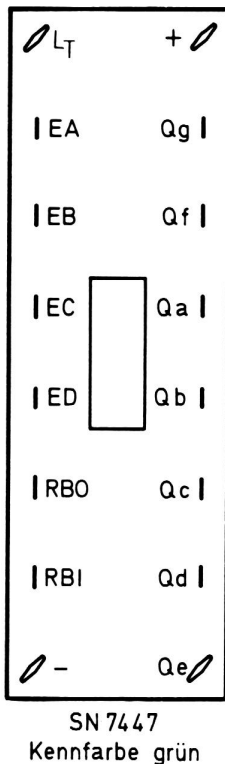
Man erkennt, wie die Ziffern nach dem Anschließen der Segment-Katoden an L aufleuchten. H braucht nicht geschaltet zu werden.

Außer diesen Ziffern lassen sich noch andere Zeichen und Buchstaben sowie der Dezimalpunkt darstellen. Die beschriebene Schaltung dient gleichzeitig zur Funktionskontrolle der 7-Segment-Anzeige.

Zum Betrieb der Anzeige des Zählers benötigt man einen Treiber, z. B. den Code-Umsetzer SN 7447.

Durch ihn werden die benötigten Segmente gesteuert, und das Bild der Ziffer entsteht. Die Dioden sind sehr empfindlich gegenüber Sperrspannungen. Nach dem vom Hersteller im Datenblatt angegebenen Wert darf sie 3 Volt nicht übersteigen. Die einzelnen Segmente bezeichnet man einheitlich mit Buchstaben, wie die Abb. 4.12.2. angibt.





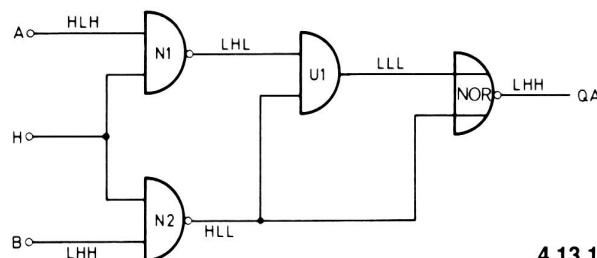
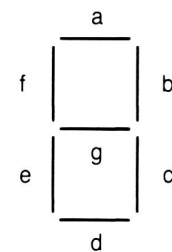
4.13. Der Code-Umsetzer SN 7447 (Kennfarbe grün)

Das Umsetzen von Dual- in Dezimalzahlen und umgekehrt wurde im Prinzip bereits in den Kapiteln 4.10.22. und 4.10.23. beschrieben.

Mit dem Code-Umsetzer SN 7447 setzt man die Dualzahl, die sich als Folge der Schaltzustände an den 4 Ausgängen des Dezimalzählers ergibt, in einen Siebener-Code um und steuert damit 7-Segment-Ziffern, die sich weitgehend als Anzeige eingebürgert haben. Die CQY81 ist eine solche Anzeige und wurde bereits im vorigen Kapitel beschrieben. Schaltungstechnisch kommt es auf die geschickte Verknüpfung der Eingänge mit NAND-, NOR- und UND-Gliedern an, um die Ausgänge Q_a bis Q_f mit entsprechendem Potential zu versehen. Die besondere Schwierigkeit ergibt sich durch die Schreibweise der Ziffern. So erfordert z. B. die Null sechs der sieben Segmente, die 3 fünf, die 4 vier usw., die noch dazu richtig platziert sein müssen.

Die nachstehende Tabelle zeigt, wie der Decoder die binäre Information umsetzt, um lesbare Ziffern zu erhalten. Zum besseren Verständnis verfolge man die Schaltzustände auf dem nachstehenden Schema zur Identifizierung der Segmente.

Ziffer	Eingang				Ausgang 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.

Die schaltungstechnische Umsetzung soll im Prinzip die folgende Darstellung veranschaulichen. Sie bezieht sich auf die Steuerung des Segments K_a bei den Ziffern 1, 2 und 3. Bei der Ziffer 1 wird K_a nicht benötigt, wohl aber bei den Ziffern 2 und 3. Zur Steuerung steht die Binärinformation

1	L	L	L	H	\triangleq	H an Q_a
2	L	L	H	L	\triangleq	L an Q_a
3	L	L	H	H	\triangleq	L an Q_a

am Ausgang Q_a zur Verfügung. Die ersten beiden Stellen werden hier nicht berücksichtigt, obwohl sie natürlich in der Praxis eine Rolle spielen. In der Schaltung 4.13.1., die einen vereinfachten Auszug aus der IC-Schaltung darstellt, sind die Schaltzustände an den Ein- und Ausgängen der Schaltglieder angeführt. Dabei gehören alle 1. Buchstaben zusammen, und zwar stellen sie die Pegel dar, die sich bei der Anzeige 1 einstellen müssen. Alle 2. Buchstaben kennzeichnen die Pegel bei der Anzeige 2 und schließlich alle 3. Buchstaben die Pegel bei der Anzeige 3. Man sieht, daß die Schaltung mit wenigen Grundfunktionen auskommt, nämlich zweimal NAND (N_1 und N_2), einmal UND (U_1) und einmal NOR (NOR_1).

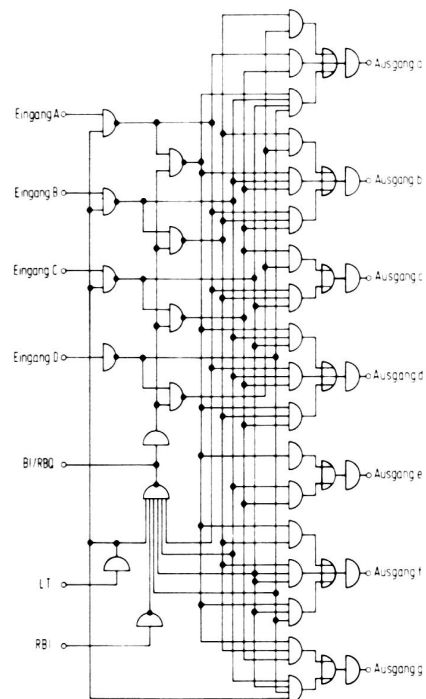
Nun zur Funktion: Das binäre Signal $01 \triangleq LH$ (Anzeige 1) steht mit H am Eingang A und mit L am Eingang B. N_1 zeigt an seinem Ausgang L, da an beiden Eingängen des NAND-Gatters H liegt. (Die zweiten Eingänge der beiden Gatter sind gemeinsam an H. Im IC dient diese Verbindung zu Steuerungszwecken.) U_1 erhält also an einem Eingang L. An B liegt L, das ist die Null der binären Zahl $01 \triangleq \text{dezimal } 1$. Das NAND-Gatter N_2 zeigt darum H an seinem Ausgang. Die Signale der beiden NAND-Gatter werden im UND-Glied kombiniert. L und H ergeben L an seinem Ausgang. Es liegt gleichzeitig an einem Eingang des NOR-Gatters. An dessen zweitem Eingang liegt H von N_2 . Der Ausgang Q_a ist L, da einer der beiden Eingänge H ist. Das Segment a bleibt bei der 1 also dunkel. Zur Darstellung der 2 ergeben sich folgende Pegel:

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

Für die 3:

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

Zur richtigen Steuerung der 7 Segmente – wir haben nur eines für die Ziffern 1 bis 3 betrachtet! – ist ein erheblicher Aufwand erforderlich. Das Block-Schaltbild 4.13.2. des SN 7447 vermittelt einen Eindruck davon. Hat man bei der Betrachtung erst einmal die Scheu verloren, erkennt man, daß das IC mit wenigen Grundfunktionen auskommt. Aber auf die richtige Kombination kommt es an!



4.13.2.

Technische Daten:

max. Betriebsspannung	5,5 V
max. Ausgangsstrom bei L	32 mA
max. Eingangsstrom bei L für LT, $E_A - E_D$	1,6 mA
max. Eingangsstrom bei H für LT, $E_A - E_D$	0,1 mA
max. Eingangsstrom bei L für R_{BI} und R_{BO}	4 mA
max. Eingangsstrom bei H für R_{BI} und R_{BO}	0,2 mA

BCD-Dezimalumsetzer

In der Schaltung 4.13.3. sind der Dezimalumsetzer SN 7447 und die 7-Segment-Anzeige CQY 81 miteinander verbunden. Auf die Eingänge A bis D gibt man die Zahl im Binär-Code, so wie sie sich sonst an den Ausgängen des Zähl-Flip-Flop (Kap. 4.11.) ergibt. Zum Testen der Schaltung geht man am besten die Tabelle durch und verfährt dabei wie folgt:

L bedeutet, daß der betreffende Eingang mit 0 Volt verbunden wird,

H bedeutet, daß der betreffende Eingang mit + 4,5 V verbunden wird.

Es darf also kein Eingang unbeschaltet bleiben!

Wie im Kap. 4.11. bereits beschrieben, lassen sich mit 4 Schaltzuständen bis zu 15 Zahlen darstellen. Da das Dezimalsystem mit einer Stelle aber nur bis zur 9 zählt – bei 10 kommt die nächste Stelle hinzu –, ergeben sich 6 „Blindtetraden“ über die 9 hinaus. So schreibt die 7-Segment-Anzeige für die Dualzahlen 10 bis 15 folgende Zeichen:

D	C	B	A	Anzeige	Zahl
H	L	H	L	c	10
H	L	H	H	3	11
H	H	L	L	u	12
H	H	L	H	E	13
H	H	H	L	t	14
H	H	H	H	keine Anz.	15

Diese Blindtetraden dürfen natürlich nicht erscheinen, wenn die Anzeige Zahlen schreiben soll. Das Darstellen der Schaltzustände durch Verbinden der Eingänge mit 0 Volt bzw. + 4,5 Volt verdeutlicht also in besonderer Weise die Problematik, die bei der Umsetzung von Dual- und Dezimalzahlen auftreten. Die unbrauchbaren Anzeigen, die sich daraus ergeben, dürfen beim Betrieb eines Zählers nicht auftreten. Sie müssen also durch gezielte Schaltungsmaßnahmen (vergl. Kap. 4.11.) unterdrückt werden.

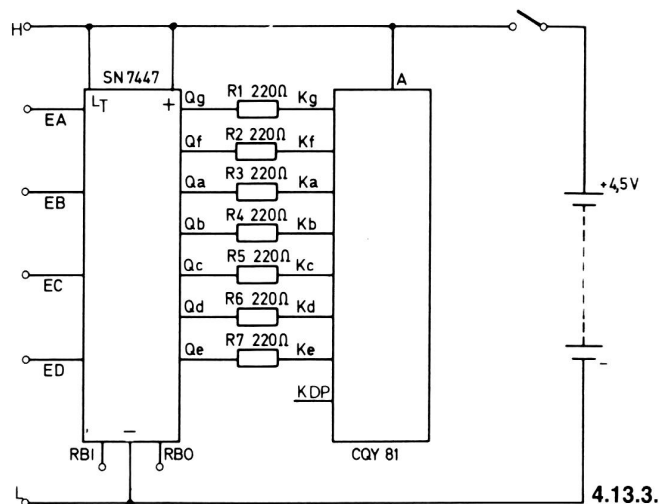
Außer den beschriebenen Anschlüssen hat der Code-Umsetzer noch drei weitere Eingänge:

LT bedeutet Lampentest;

alle Segmente leuchten auf, wenn er an L gelegt wird.

R_{BI} bedeutet Unterdrückung der Null beim Zählvorgang, wenn er auf L gelegt wird.

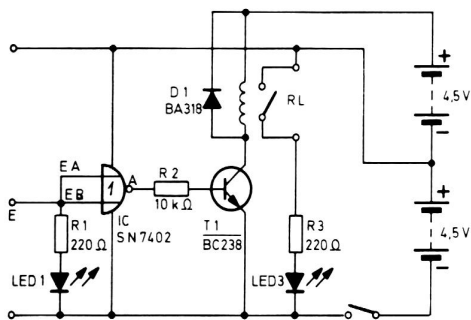
R_{BO} bedeutet Unterdrückung der gesamten Anzeige, wenn er auf L gelegt wird.



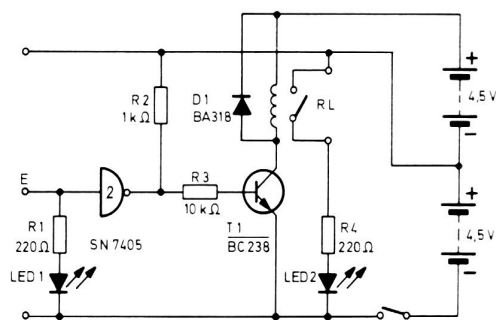
4.14. Interface (Anpaßschaltungen)

Mit integrierten Schaltungen lassen sich direkt keine Verbraucher steuern, die einen relativ großen Strom benötigen. Da der Ausgang des IC 7405 (weiß) nur mit max. 16 mA belastet werden kann, darf diese Stromstärke auch nicht überschritten werden. Um trotzdem Verbraucher mit größerer Aufnahme steuern zu können, bedient man sich eines Transistors oder eines Relais oder gar beider Elemente, wie in den folgenden Beispielen dargestellt wird. Solche Kombinationen nennt man Interface (Anpaßschaltungen).

In der Schaltung 4.14.1. wird ein NOR-Glied des SN 7402 (blau) als Inverter verwendet. Sein Ausgang steuert über den Widerstand R_2 (10 k Ω) die Basis des Transistors T_1 an. Legt man nun ein L-Signal – Verbindung mit 0 Volt – an den Eingang E des NOR, so führt der Ausgang H-Signal. Die Basisvorspannung schaltet den Transistor T_1 . Für den sicheren Betrieb des Relais wird eine höhere Betriebsspannung benötigt. In diesem Falle beträgt sie 9 Volt. Diese Spannung erzielt man, indem man eine zweite 4,5-Volt-Batterie in Reihe zur ersten hinzuschaltet. Durch den großen Kollektorstrom zieht das Relais R_L an. Die LED 2 leuchtet. Verbindet man anschließend den Eingang E mit + 4,5 Volt, leuchtet die LED 1. Am Eingang des NOR-Gatters liegt H-Signal, am Ausgang L. Der Transistor sperrt, das Relais fällt ab. Die Diode D_1 verhindert, daß beim Ausschalten Spannungsspitzen auftreten, die den Transistor zerstören könnten.



4.14.1.



4.14.2.

Auch jedes der sechs Inverter-Gatter des SN 7405 (weiß) kann über einen Transistor zum Ansteuern eines Relais verwendet werden, wie aus der Schaltung 4.14.2. ersichtlich.

Wird nach dem Einschalten der Betriebsspannung der Eingang E eines Inverters mit 0 Volt verbunden, führt der Ausgang ein H-Signal, das den Transistor T_1 steuert. Der Kollektorstrom durch die Relaisspule läßt die Kontakte anziehen. Die LED 2 leuchtet auf.

Verbindet man wiederum den Eingang mit + 4,5 Volt, steht am Ausgang des Inverters ein L-Signal. Der Transistor sperrt, und das Relais fällt ab. Die Diode D_1 verhindert, daß beim Ausschalten Spannungsspitzen auftreten, die den Transistor zerstören könnten.

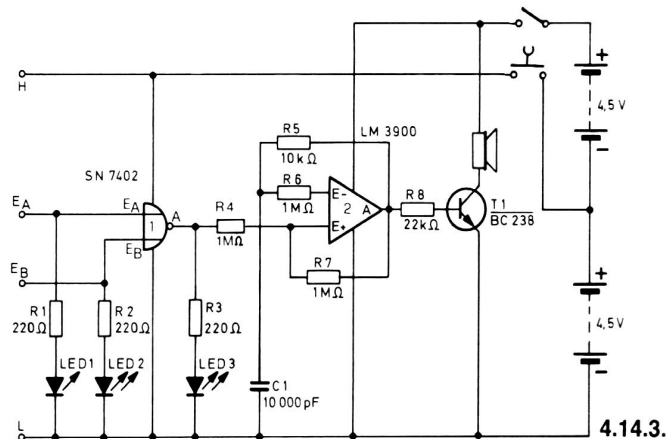
Bei Anpaßschaltungen mit dem SN 7405 ist zu beachten, daß dieser Baustein von sich aus kein H-Signal liefert. Dazu dient in diesem Beispiel der Widerstand R_2 .

Abb. 4.14.3. zeigt einen als astablen Multivibrator geschalteten Operationsverstärker (vergl. EE 2013), der über den Ausgang eines TTL-Schaltkreises gesteuert wird, wobei das NOR-Gatter für den Ausgang einer umfangreichen Schaltung steht.

Führt der Ausgang dieses NOR-Schaltgliedes ein L-Signal, schwingt der Multivibrator, und der Lautsprecher strahlt einen Ton ab.

Bei H-Signal am Ausgang des NOR-Gatters arbeitet der Multivibrator nicht, aus dem Lautsprecher ist kein Ton zu hören. Dafür leuchtet die LED 3.

Diese Multivibratorschaltung läßt sich an jeden TTL-Schaltkreis ankoppeln. Hierbei ist zu beachten, daß der TTL-Schaltkreis mit 4,5 Volt betrieben wird, der Transistor und der Operationsverstärker LM 3900 jedoch eine Betriebsspannung von 9 Volt benötigen.



In der Schaltung 4.14.4. wird ein TTL-Schaltkreis durch eine externe Schaltungsanordnung, einen Operationsverstärker, gesteuert.

Der Operationsverstärker arbeitet als Schmitt-Trigger und stellt einen Feuchtigkeitsmelder dar (vergl. EE 2013).

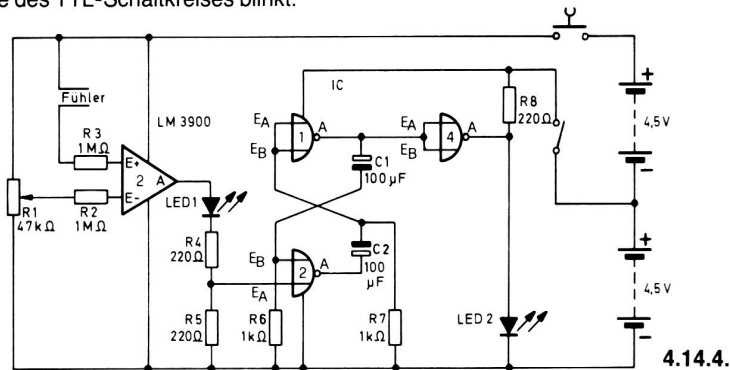
Werden die Fühlerkontakte geschlossen, fließt am Ausgang des Operationsverstärkers ein Strom, die LED 1 leuchtet.

Gleichzeitig erhält nun der Eingang E_A des NOR 2 über den Spannungsteiler R₄/R₅ H-Signal, der Oszillator stoppt.

Sinkt die Feuchtigkeit unter den am Schmitt-Trigger eingestellten Wert, führt der Ausgang des OP ein L-Signal, die LED 1 erlischt.

Der Eingang E_A des NOR 2 liegt über R₅ auf L. Der Kondensator C₂ wird geladen. Durch den Ladestrom über R₇ erhalten die Eingänge des NOR 1 jetzt beide H-Signal; der Ausgang kippt auf L. Dieser Zustand bleibt so lange erhalten, bis C₁ geladen ist und den Oszillator zurückfallen läßt (s. Schaltung 4.10.25.).

Der nachgeschaltete Inverter kehrt dieses Signal von A₁ um, und die LED 2 als Anzeige des TTL-Schaltkreises blinkt.

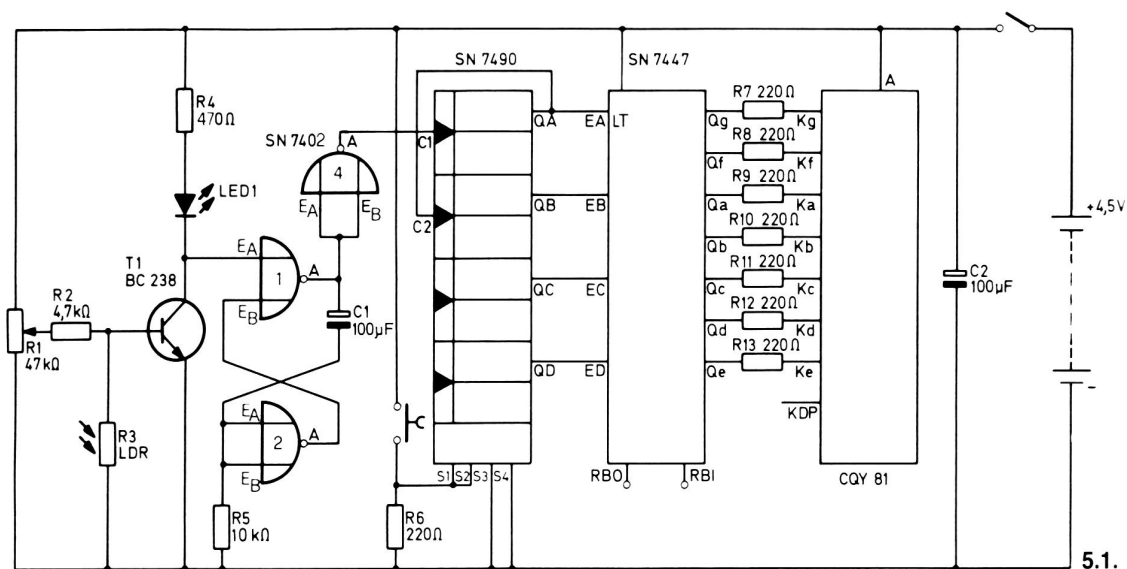


5. Geräte

5.1. Impulszähler

Impulszähler benötigt man z. B. zum Zählen von Waren auf einem Fließband, die zum Versand gelangen. Eine Lichtschranke gibt dabei die Licht-Impulse auf einen LDR. Dieser setzt sie in Stromimpulse um, die im Zähler aufbereitet werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.1. Nach dem Einschalten regelt man das Potentiometer so ein, daß die LED bei Helligkeitsänderungen (z. B. durch Abdecken des LDR) aufleuchtet. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen. Mit dem Tastschalter setzt man den Zähler auf 0 zurück. Jedesmal, wenn nun der LDR abgedunkelt wird, muß die 7-Segment-Anzeige um eine Ziffer weiter-springen.



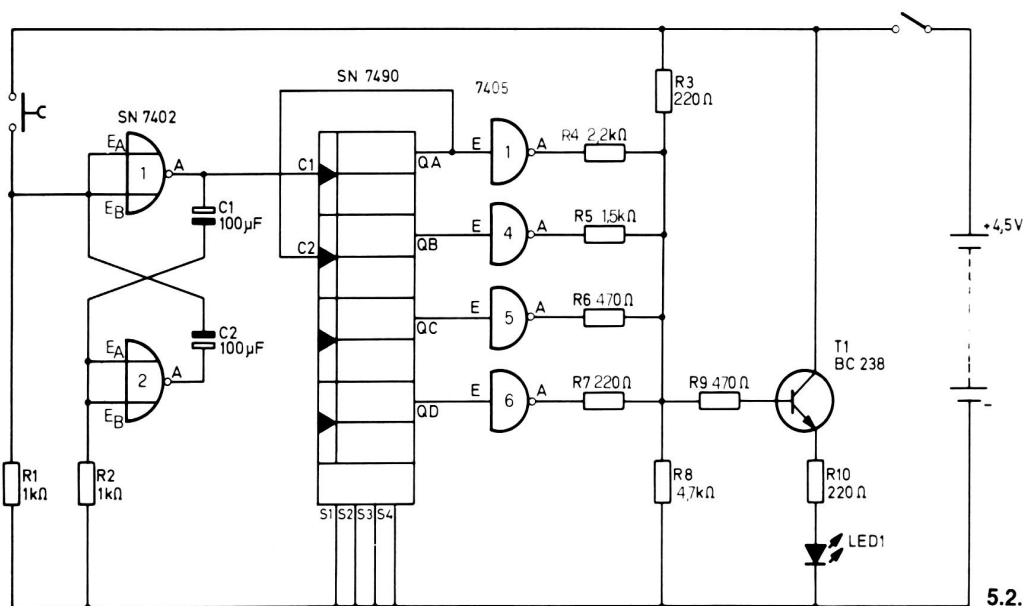
Schaltungsbeschreibung:

Fällt Licht auf den LDR, sinkt sein Widerstand ab, so daß an der Basis des Transistors T_1 keine Spannung anliegt. Mit dem Potentiometer R_1 stellt man das Gerät so ein, daß der Transistor bei beleuchtetem LDR sicher gesperrt ist. Dunkelt man ihn ab – das entspricht einem Zählimpuls –, vergrößert sich sein Widerstand. Die Basis von T_1 erhält eine Vorspannung, und der Transistor schaltet durch. Das zeigt die LED 1 durch Aufleuchten an. Der nachgestaltete monostabile Multivibrator kippt kurzfristig in den anderen elektrischen Zustand – also L – um. Dieses Signal wird durch das NOR-Gatter invertiert, das als Inverter geschaltet ist, und gelangt auf den Takteingang C_1 des Zähl-Flip-Flops SN 7490. Über den Decoder SN 7447 werden die Ausgangszustände der Ziffernanzeige CQY 81 zugeführt und dezimal dargestellt. Mit dem Tastschalter erhalten die Stelleingänge S_1/S_2 H-Signal. Dadurch springt das Zähl-Flip-Flop auf 0 zurück.

5.2. Treppenspannungsgenerator

Dieser Treppenspannungsgenerator erzeugt eine stufenweise abnehmende Spannung, die schließlich so niedrig wird, daß die LED erlischt. Danach steigt sie wieder in einem Sprung zu einem Maximalwert an, um anschließend wieder in Stufen geringer zu werden. Solche Generatoren können zur Helligkeitsregelung und Motorsteuerung benutzt werden. Außerdem lassen sich digitale Informationen in analoge Werte umformen (Digital-Analog-Umwandlung).

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.2. Nach dem Einschalten des Gerätes muß der Tastschalter geöffnet werden. Die LED muß dann stufenweise dunkler werden. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung:

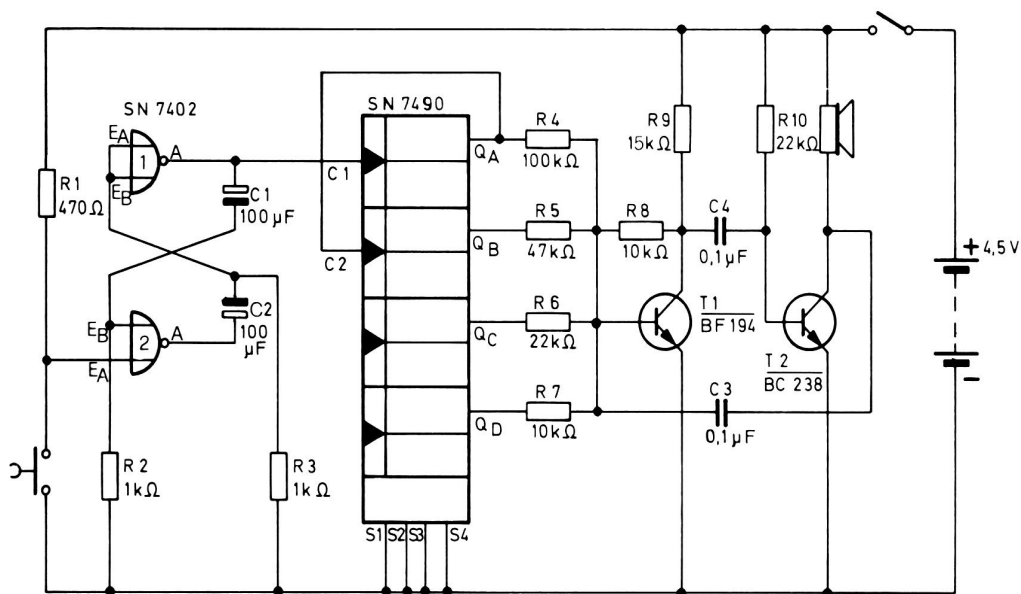
Der Treppenspannungsgenerator besteht aus einem astabilen Multivibrator, dessen Ausgang das Zähl-Flip-Flop SN 7490 ansteuert. Der Multivibrator wird mit dem Taster eingeschaltet (Tastschalter muß geöffnet sein). Der Zähler zählt 10 Stufen und beginnt anschließend wieder bei 0. Bei 0 führen alle Ausgänge Q_A bis Q_D L-Signal, und die Inverter in den Ausgängen negieren dieses Signal. Dann sind die Widerstände R_4 bis R_7 ohne Wirkung, und die Basis des Transistors T_1 erhält über R_3/R_9 eine hohe positive Vorspannung.

Nimmt dann einer der Ausgänge Q_A bis Q_D den Zustand H an – durch den Inverter negiert zu L –, so liegt der Widerstand im betreffenden Ausgang parallel zu R_8 , und die Basisvorspannung verringert sich. Mit jedem zusätzlichen H aus einem der Ausgänge Q_A bis Q_D verschiebt sich das Widerstandsverhältnis R_3 zu R_8 mit den dann parallel liegenden Widerständen, so daß die Basisvorspannung für den Transistor sich im selben Verhältnis verringert.

5.3. Stufentongenerator

Stufentongeneratoren eignen sich zur automatischen Prüfung von Frequenzgängen in Verstärkern. Dazu verbindet man den Ausgang des Generators mit dem Eingang eines Verstärkers und untersucht dann, wie der Verstärker bei verschiedenen Frequenzen arbeitet. Mit diesem Gerät können mit Hilfe des Dezimalzählers SN 7490 zehn verschiedene Frequenzen durch einen nachgeschalteten Multivibrator erzeugt werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.3. Beim Einschalten des Gerätes muß der Lautsprecher einen Ton abstrahlen, der sich beim Niederdrücken des Tasters stufenweise erhöht. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



5.3.

Schaltungsbeschreibung:

Die Schaltung besteht aus dem Treppenspannungsgenerator (vergl. 5.2.) und dem Tongenerator mit den Transistoren T_1 und T_2 .

Durch den astabilen Multivibrator wird das Zähl-Flip-Flop SN 7490 angesteuert. Führen die Ausgänge Q_A bis Q_D L-Signale, so schwingt der Tongenerator mit einer Frequenz, die durch seine Bauelemente festgelegt ist.

Nimmt z. B. der Ausgang Q_A den Zustand von H an, verändert sich die Basisvorspannung am Transistor T_1 , und die Tonhöhe steigt an. Je mehr Ausgänge H-Signal führen, desto höher wird die Frequenz des vom Lautsprecher abgestrahlten Tons.

5.4. Zähler mit Ziffernanzeige bis 10.

Mit dem Zähler kann man nachweisen, wie oft der Tastschalter betätigt worden ist. Das ist z. B. von Bedeutung, wenn man Besucher zählen will, die durch eine Tür eintreten. Ein Türkontakt setzt dann den Zähler in Funktion.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.4. Beim Einschalten des Gerätes leuchtet die LED als Betriebsanzeige. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Zum Betrieb muß das Gerät zunächst gemäß der nachstehenden Tabelle programmiert werden.

	Zähler bis	S ₁	S ₂
	1	Q _B	4,5 Volt
	2	Q _A	Q _B
	3	Q _C	4,5 Volt
	4	Q _A	Q _C
	5	Q _B	Q _C
	6	siehe unten	
	7	Q _D	Q _D
	8	Q _A	Q _D
	9	0 Volt	0 Volt

Programmierungsbeispiel:

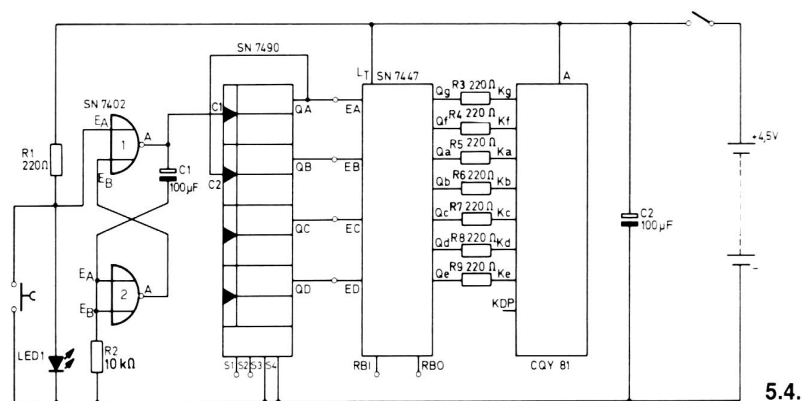
S₁ mit Q_B verbinden

S₂ mit Q_C verbinden

Die Ziffernanzeige muß jetzt die Impulse des Tasters bis maximal 5 wiedergeben.

Bei Zähler bis 6 S₁ und S₂ an 0 Volt, S₃ an Q_B, S₄ an Q_C.

Bei dieser Programmierung zählt der Zähler jedoch von 0 bis 5; 6, 7 und 8 werden übersprungen, und die 9 wird statt der 6 angezeigt.



Schaltungsbeschreibung:

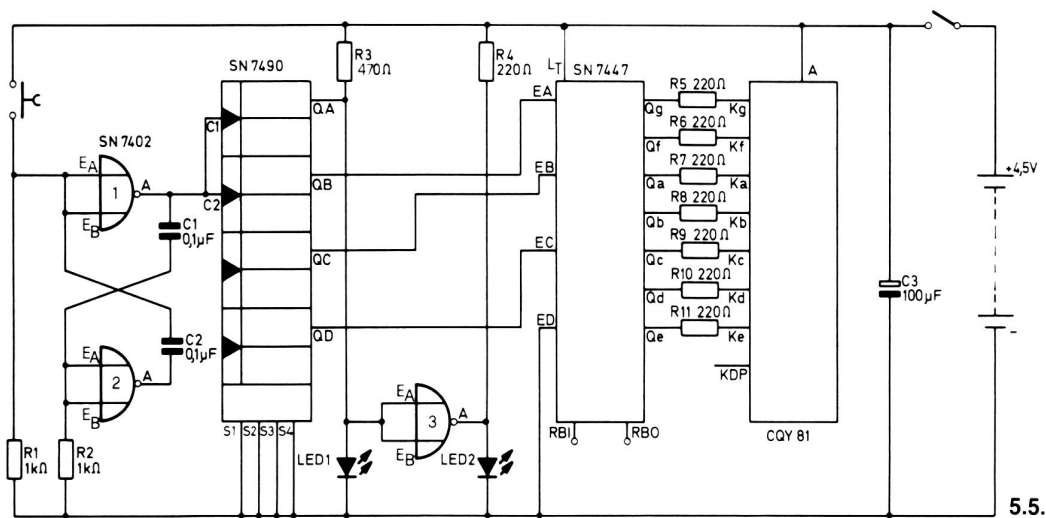
In der Schaltung 5.4. erkennt man die 7-Segment-Anzeige CQY 81, davor den BCD-Umsetzer SN 7447, der die Signale vom Zähler SN 7490 erhält.

Am Eingang befinden sich 2 NOR-Gatter des SN 7402, die als monostabiler Multivibrator geschaltet sind. Drückt man den Tastschalter, kippt der monostabile Multivibrator in den anderen Zustand. Sein Impuls gelangt auf den Zähl Eingang C₁ des SN 7490. Bei jeder abfallenden Impulsflanke zählen die Flip-Flops, wie in Kap. 4.11. bereits beschrieben, und an den Ausgängen Q_A bis Q_D erscheint die Dualzahl als Folge der Schaltzustände. Der Dezimalumsetzer setzt die 4 Eingangssignale in 7 Ausgangssignale zur Steuerung der 7-Segment-Anzeige um. So wird die Anzahl der Impulse angezeigt, die durch den Tastschalter ausgelöst wurden. Die LED 1 zeigt jeden sicheren Impuls an, indem sie nur erlischt, wenn der Taster einwandfrei gedrückt worden ist.

5.5. Elektronischer Spielautomat

Mit diesem Gerät können zwei oder mehrere Personen versuchen, auf elektronischem Wege eine möglichst hohe Punktzahl auf der Anzeige zu erreichen. Es handelt sich dabei um ein reines Glücksspiel, da aufgrund der hohen Schwingfrequenz des Oszillators die Ziffern auf der Anzeige erst bei Stillstand eindeutig zu erkennen sind.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.5. Wird nach dem Einschalten des Gerätes der Taster geschlossen, muß eine der beiden LED leuchten und eine Ziffer zwischen 0–5 angezeigt werden. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



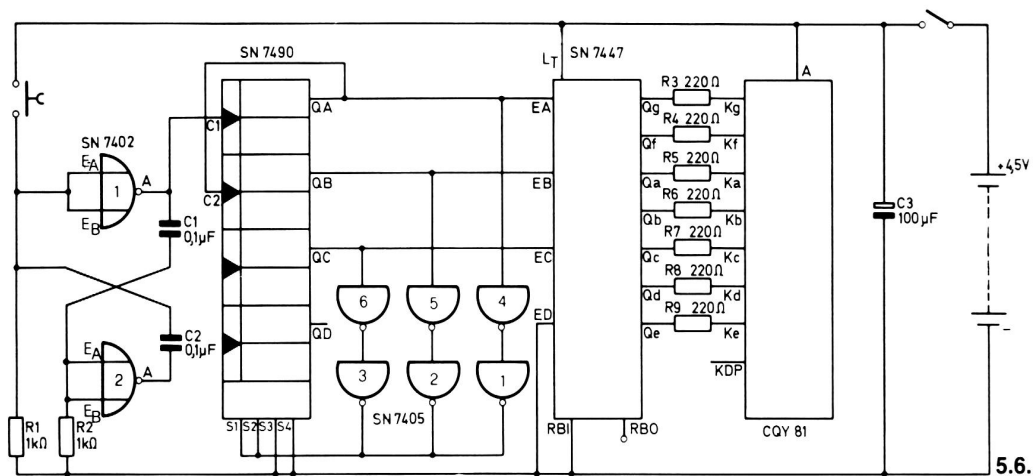
Schaltungsbeschreibung:

Ist der Tastschalter geöffnet, schwingt der Oszillator, der aus 2 NOR-Gattern des SN 7402 und den Kondensatoren C_1 und C_2 besteht. Im Zähl-Flip-Flop SN 7490 werden die Impulse des Oszillators ins Dualsystem übersetzt. Das erste Flip-Flop – es läuft parallel mit Flip-Flop 2 – zählt nicht mit, sondern steuert nur die beiden LED. Dabei zeigt die LED 1 jeden 1. Takt an, die LED 2, die über einen zusätzlichen Inverter gesteuert wird, jeweils den Gegentakt. Der Dezimalumsetzer SN 7447 setzt die Dualzahlen zur Steuerung der 7-Segment-Anzeige um. Der Kondensator C_3 dient zur Stabilisierung der Betriebsspannung.

5.6. Elektronischer Würfel

Mit diesem Gerät können auf elektronischem Wege die Punktzahlen für alle Würfelspiele ermittelt werden. Die hohe Schwingfrequenz eines Oszillators verhindert, daß eine gewollte Punktzahl auf der Anzeige erscheint.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.6. Beim Einschalten des Gerätes müssen die Segmente der Anzeigeeinheit in schnellem Wechsel aufleuchten. Beim Niederdrücken des Tasters erscheint eine Ziffer. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



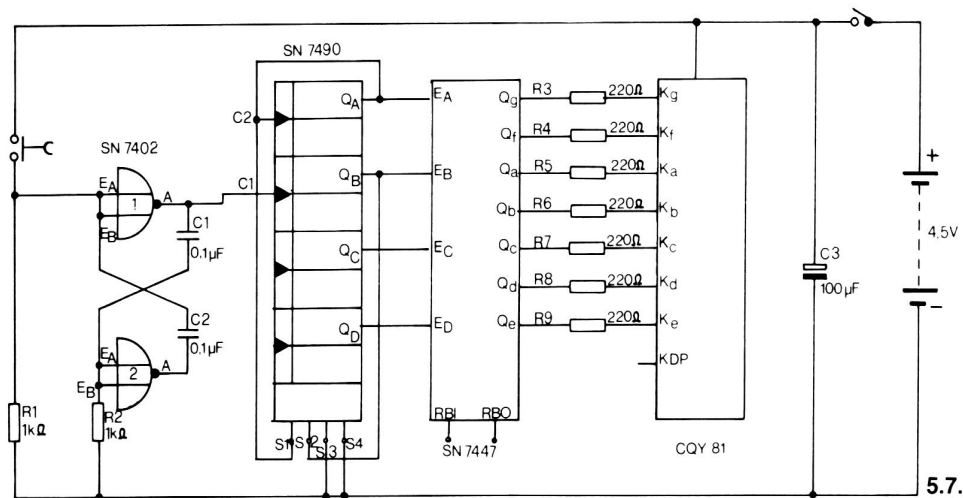
Schaltungsbeschreibung:

Der Oszillator – bestehend aus zwei NOR-Gattern des SN 7402 und den Kondensatoren C_1 und C_2 – schwingt mit hoher Frequenz, solange der Taster geöffnet ist. Die Impulse des Oszillators werden auf das Zähl-Flip-Flop SN 7490 gegeben. Durch entsprechende UND-Verknüpfung von den Ausgängen Q_A – Q_C auf die Stell-eingänge wird erreicht, daß auf der 7-Segment-Anzeige nur die Zahlen 1 bis 6 angezeigt werden. Flip-Flop D ist nicht beschaltet, da man bis zur Ziffer 7 mit drei Dualstellen auskommt. Der Dezimalumsetzer SN 7447 setzt die Dualimpulse des Flip-Flop zur Steuerung der 7-Segment-Anzeige CQY 81 in Dezimalzahlen um. Erst wenn der Taster gedrückt wird, erscheint auf der Anzeigeeinheit eine feststehende Ziffer. Wird das Schwingen des Oszillators so unterbrochen, daß keine Zahl angezeigt wird, „brennt“ der Würfel. Aus diesem Grund liegt der Eingang R_{BI} auf L-Potential.

5.7. Totomat

Dieses Gerät bietet die Möglichkeit, Ergebnisse von Fußballspielen zu „tippen“, um einen Toto-Wettschein auszufüllen. Eine 1 auf der Anzeige heißt Sieg der Heimmannschaft, eine 2 bedeutet Sieg der Gastmannschaft. Die Anzeige 0 steht für Unentschieden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.7. Beim Einschalten des Gerätes müssen die Segmente der Anzeigeeinheit in schnell wechselnder Folge aufleuchten, und beim Betätigen des Tasters tritt eine der Ziffern 0–2 auf. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung:

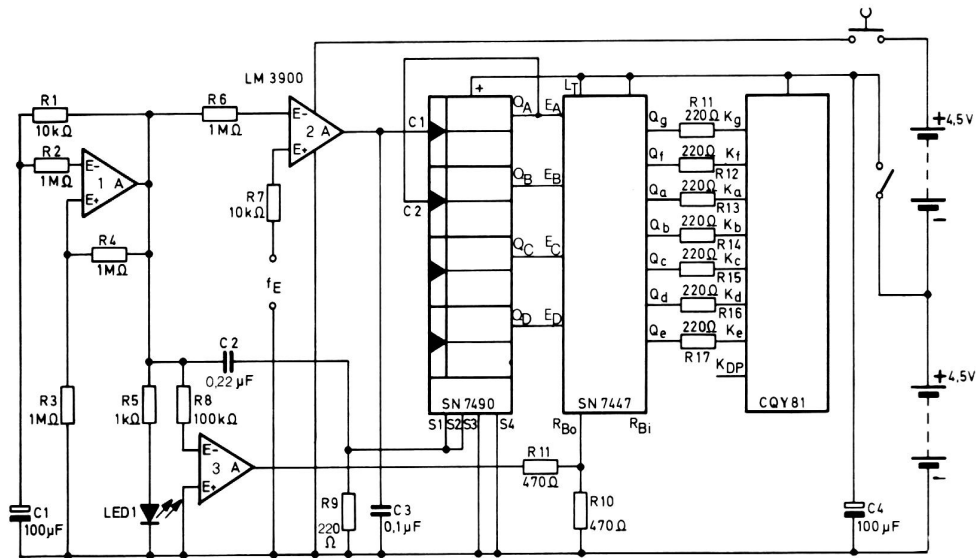
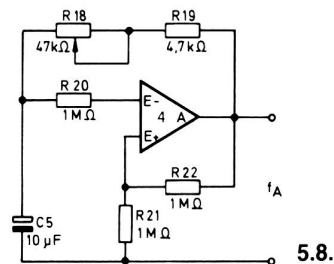
Bei geöffnetem Tastschalter gelangen die Impulse des Oszillators, der aus zwei NOR-Gattern des SN 7402 und den Kondensatoren C₁ und C₂ gebildet wird, auf das Zähl-Flip-Flop SN 7490. Durch die Rückkopplung von Q_A auf S₁ und Q_B auf S₂ wird erreicht, daß auf der 7-Segment-Anzeige nur die Ziffern 0, 1, 2 erscheinen. Der Dezimalumsetzer SN 7447 wandelt die Dualimpulse des Zähl-Flip-Flop zur Steuerung der 7-Segment-Anzeige um. Der Kondensator C₃ dient zur Stabilisierung der Betriebsspannung.

Drückt man den Tastschalter, wird der Oszillator gestoppt. Auf der Anzeige leuchtet die zuletzt aufgetretene Ziffer auf.

5.8. Frequenzzähler

Dieser Frequenzzähler kann periodisch wiederkehrende Vorgänge in Stromkreisen zählen und die erfaßten Impulse dezimal anzeigen. Ein solches Gerät ließe sich z. B. mit einer Lichtschranke kombinieren, und die schnellen Unterbrechungen des Lichtstrahls können dann direkt angezeigt werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.8. Nach dem Einschalten des Geräts leuchtet die LED 1 im Takt des Multivibrators 1. Schließt man den Ausgang f_A des Taktgebers an den Eingang f_E des Frequenzzählers, so muß die Zahl der Impulse von der Anzeige CQY 81 angezeigt werden, solange man die Tasten drückt. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Das Gerät besteht aus dem Zähler 0 bis 9 und dem folgenden Dekodierer mit der Ziffernanzeige.

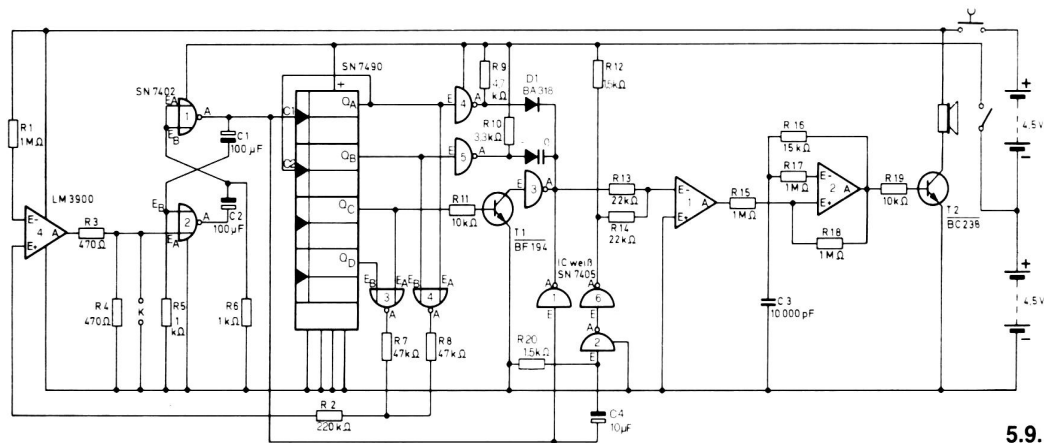
Der Operationsverstärker OP 1 stellt einen astabilen Multivibrator dar. Er wirkt als Taktgeber für das Tor OP 2. Eingangsimpulse an f_E können OP 2 nämlich nur so lange passieren, wie der Ausgang von OP 1 = H ist. In dieser Schaltung sind das etwa 2 sec. Die Rechteckimpulse an f_E gelangen über OP 2 auf den Zähler und werden gezählt. Kippt der Ausgang des OP 1 auf L, ist der Zählvorgang beendet, da nun das Tor OP 2 sperrt. L-Signal am Eingang E- des Inverters OP 3 – am Ausgang steht dann H – läßt die Anzeige nun aufleuchten. In dem Augenblick, in dem der Taktgeber OP 1 am Ausgang wieder auf H schaltet, gelangt über C₁ ein kurzer Impuls an S₁/S₂ des SN 7490, und der Zähler wird auf 0 zurückgestellt.

5.9. Automatischer Notrufgeber

Im Falle ernster Gefahr werden von Schiffen und Flugzeugen Notrufe abgestrahlt. International gebräuchlich sind S O S und Mayday, wobei SOS (save our souls, engl., rettet unsere Seelen) in Morsezeichen gesendet wird: ... — — — ...

Das hier vorgestellte Gerät gibt auf Knopfdruck SOS, welches im Lautsprecher hörbar wird.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.9. Überbrückt man kurzfristig den Kontakt K, muß das Notzeichen ertönen. Anderenfalls abschalten und den Fehler suchen. Dabei geht man folgendermaßen vor: Man trennt den Eingang E+ des als Tongenerator geschalteten Operationsverstärkers OP 2 an R₁₅ auf und legt den Widerstand an 0 Volt. Ein Ton muß hörbar sein. Geschieht das nicht, liegt der Fehler im Tongenerator oder in der Transistor-Endstufe. Ist das Gerät soweit in Ordnung, verbindet man den Eingang E– des Operationsverstärkers OP 1 über einen Widerstand R = 4,7 kΩ mit + 4,5 Volt. Der Ton muß wieder hörbar werden. Anderenfalls liegt der Fehler in der Stufe um OP 1. Den Eingangsteil der Schaltung kann man prüfen, indem man den Widerstand R19 in der Endstufe vom Ausgang des OP 2 löst und mit dem Pluspol des Kondensators C₄ verbindet. Im Lautsprecher muß der Taktgeber durch Klicken hörbar werden. Hört man nichts, liegt der Fehler im Taktgeber mit den beiden NOR-Gliedern NOR 1 und NOR 2 sowie dem Operationsverstärker OP 4. Erfolgt die Taktgabe, ist etwas in der Stufe mit dem Zähl-Flip-Flop nicht in Ordnung.



5.9.

Schaltungsbeschreibung

Ein Start-Stop-Oszillator aus NOR 1 und NOR 2 (vgl. 4.10.25.) erzeugt fortlaufend Impulse von etwa 1 Hz, die dem Zähl-Flip-Flop SN 7490 zugeführt werden. Zum weiteren Verständnis ist es notwendig, dessen Schaltzustände an den 4 Ausgängen vor Augen zu haben:

Zähltakt	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

Liegen alle vier Ausgänge auf L, springen die NOR-Gatter 3 und 4 auf H und führen dies Signal dem Eingang + des OP 4 zu, dessen Ausgang nun ebenfalls auf H schaltet. Dies Potential stoppt den Taktgeber. Der Notruf läuft also jeweils einmal durch. Ein erneuter Knopfdruck bewirkt dann ein erneutes Ablaufen der Vorgänge.

Zur Erzeugung des Signals 3mal kurz – 3mal lang – 3mal kurz wirken die Ausgänge Q_A, Q_B und Q_C des SN 7490 zusammen. Mit Q_A und Q_B sind die Inverter I₄ und I₅ verbunden, die zusammen über die Dioden D₁ und D₂ als ODER wirken. Solange also einer der beiden Eingänge oder beide L führen, steht am Ausgang H, das jedoch über den Inverter 3 unterdrückt wird. Dieses Potential liegt auch am Eingang E– des Operationsverstärkers OP 1.

Der steuernde Operationsverstärker OP 1 stoppt also den Tongenerator OP 2. Diesem Stopp wirkt nun das Differenzierglied C₄ mit den Invertern I₂ und I₅ entgegen. Es erzeugt über die Kondensatorladung kurze positive Impulse, die über OP 1 den Tongenerator ausschwingen lassen: Die kurzen Zeichen (Punkte) entstehen.

Ab dem 4. Impuls führt der Ausgang Q_C des SN 7490 H, das ebenfalls am Ausgang des Inverters I₃ ansteht. Am Eingang E– des OP 1 ist es allerdings nur solange wirksam, wie am Ausgang vom Inverter 1 H-Signal steht, das vom Taktgenerator gesteuert wird. Über OP 1 wird der Tongenerator OP 2 angesteuert und die langen Zeichen entstehen (Striche). Liegt am Ausgang von Inverter 1 L, wird der Generator gestoppt (Pause zwischen den Strichen).

Beim 7. Takt ergeben sich folgende Kombinationen: Q_C führt H und würde wie bei den Takten 4 bis 6 wieder ein langes Zeichen hervorrufen. Das wäre aber falsch, denn das O von SOS besteht nur aus dreimal „lang“. Die Eingänge Q_A und Q_B führen aber beide H-Signal, so daß die als ODER geschalteten Inverter I₄ und I₅ am Ausgang L haben und die kurzen Zeichen nach dem oben beschriebenen Schema entstehen.

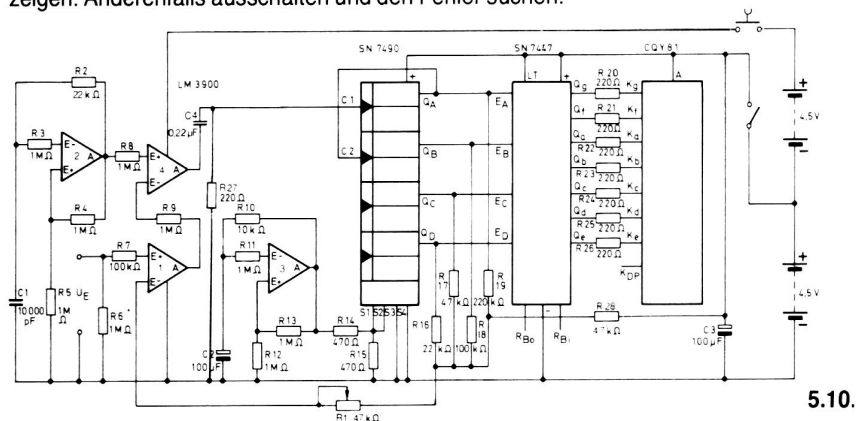
Beim 10. Takt (Zähltakt 0) stoppen NOR 3 und NOR 4 den Taktgeber.

5.10. Digitalvoltmeter

Mit diesem Gerät können unbekannte Spannungen zwischen 0 und 9 Volt gemessen werden. Als Anzeige wird jedoch kein Zeigermesswerk verwendet, sondern die Ziffernanzeige CQY 81. Die angelegte Meßspannung kann direkt als Zahlenwert abgelesen werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 5.10. Zur Spannungsmessung verbindet man den Eingang U_E mit den Meßpunkten der Prüfschaltung.

Zur Eichung legt man den Eingang U_E eine bekannte Spannung (max. 9 Volt Gleichspannung) und eicht das Gerät mit dem Potentiometer R_1 . Die Ziffernanzeige bei gedrücktem Taster muß den Wert der angelegten Spannung als Zahlenwert anzeigen. Anderenfalls ausschalten und den Fehler suchen.



5.10.

Schaltungsbeschreibung

Der astabile Multivibrator OP 2 erzeugt Rechteckimpulse von niedriger Frequenz. Die H-Signale an seinem Ausgang können nur dann durch OP 4 gelangen, wenn am Eingang U_E eine Spannung angelegt wird und der Ausgang von OP 1 L-Signal führt. Die Ausgangsimpulse von OP 4 wechseln dann entsprechend der Frequenz von OP 2 ständig zwischen L und H und gelangen auf den Dezimalzähler SN 7490. Dieser bildet zusammen mit den Widerständen $R_{16}-R_{19}$ eine Treppenspannung, wobei die Treppenspannungsamplitude mit R_1 eingestellt und auf OP 1 (Komparator) zurückgeführt wird.

Mit jedem Impuls des astabilen Multivibrators OP 2 steigt die Spannung an $E+$ von OP 1. Übersteigt sie den Wert der angelegten Meßspannung an U_E , kippt der Ausgang von OP 1 auf H. Das Tor OP 4 sperrt.



Der Zähler zeigt jetzt an seinen Ausgängen Q_A-Q_D die Spannung in Dualcode an:







Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	Spannung 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

Diese Dualziffern werden durch den Decodierer SN 7447 in die entsprechenden Schaltzustände für die 7-Segment-Anzeige umgesetzt.

OP 3 ist als langsamer Multivibrator geschaltet. Er setzt den Dezimalzähler auf 0 zurück, wenn sein Ausgang H-Signal führt. Zum sicheren Betrieb benötigen die Operationsverstärker 9 Volt, während das Flip-Flop, der Decodierer und die Ziffernanzeige mit 4,5 Volt auskommen.

Funktionstabellen und Symbole

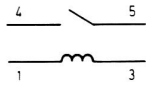
Eingang	Ausgänge	
E	Identität	NICHT (Inverter)
		
L H	L H	H L

Eingänge		Ausgänge					
E _A	E _B	UND	NAND	ODER	NOR	Exklusiv- ODER	Äquivalenz
							
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 Daten

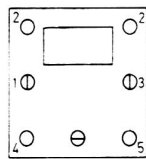
IC	SN 7405	SN 7402	SN 7490	SN 7447	CQY 81
Betriebsspannung max. Ausgangsstrom max.	5,5 V 16 mA	5,5 V 16 mA	5,5 V 16 mA	5,5 V 32 mA	
Eingangsstrom bei L Eingangsstrom bei H	1,6 mA 40 µA	1,6 mA 40 µA	ca. 0,1 mA		
Eingangsspannung bei L max. Eingangsspannung bei H min. Eingangsspannung bei H max.	0,8 V 2 V 5,5 V	0,8 V 2 V 5,5 V			
Eingang C ₁ Eingangsstrom L Eingang C ₂ Eingangsstrom L			3,2 mA 6,4 mA		
max. Eingangsstrom bei L für LT, E _A –E _D max. Eingangsstrom bei H für LT, E _A –E _D max. Eingangsstrom bei L für R _{BI} und R _{BO} max. Eingangsstrom bei H für R _{BI} und R _{BO}					1,6 mA 0,1 mA 4 mA 0,2 mA
Segmentspannung in Sperrichtung Segmentspannung in Durchlaßrichtung Segmentstrom max.					3 V 1,6 mA 20 mA

Schaltsymbole

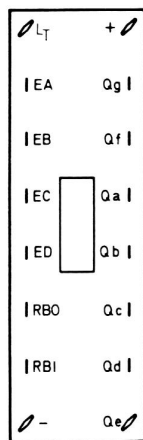


Reed-Relais

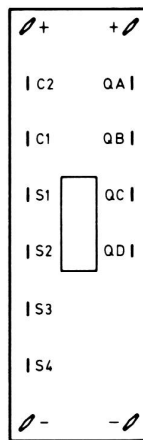
Verdrahtungsplan-Symbole



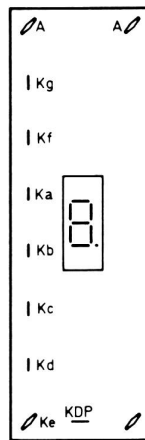
Reed-Relais



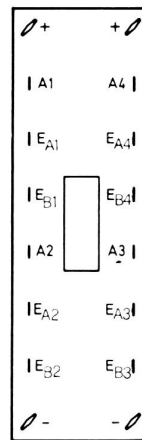
SN 7447
Kennfarbe grün



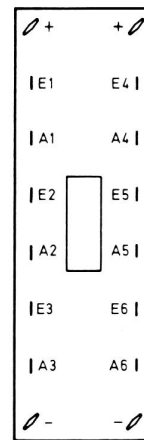
SN 7490
Kennfarbe rot



CQY 81
Kennfarbe orange



SN 7402
Kennfarbe blau



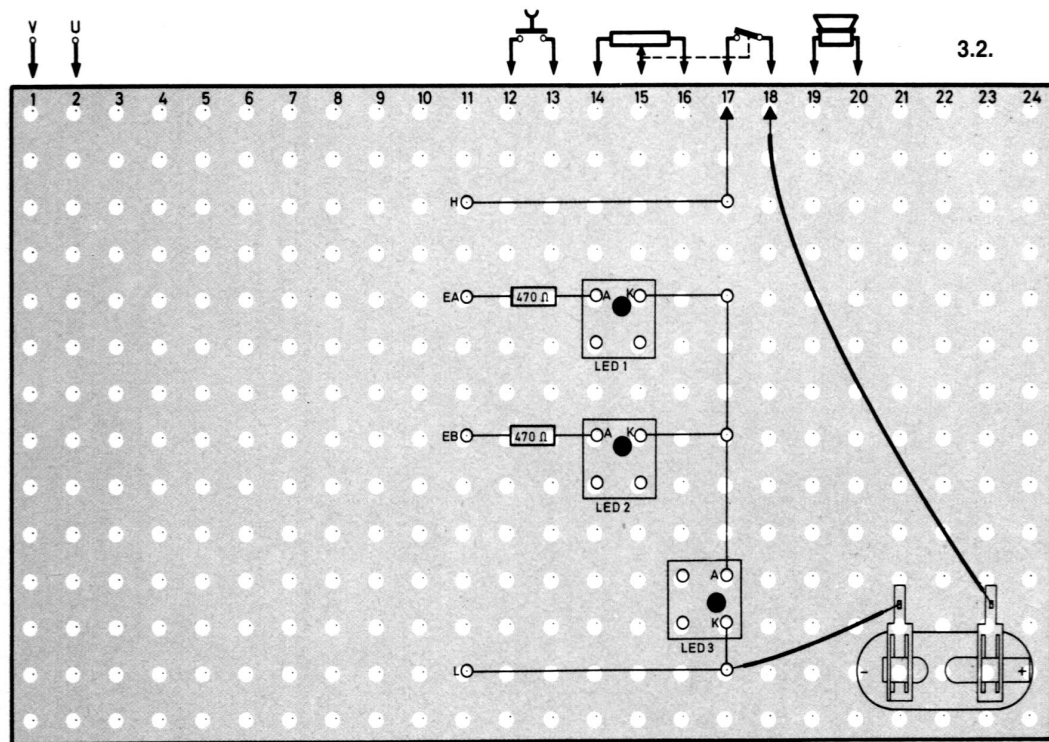
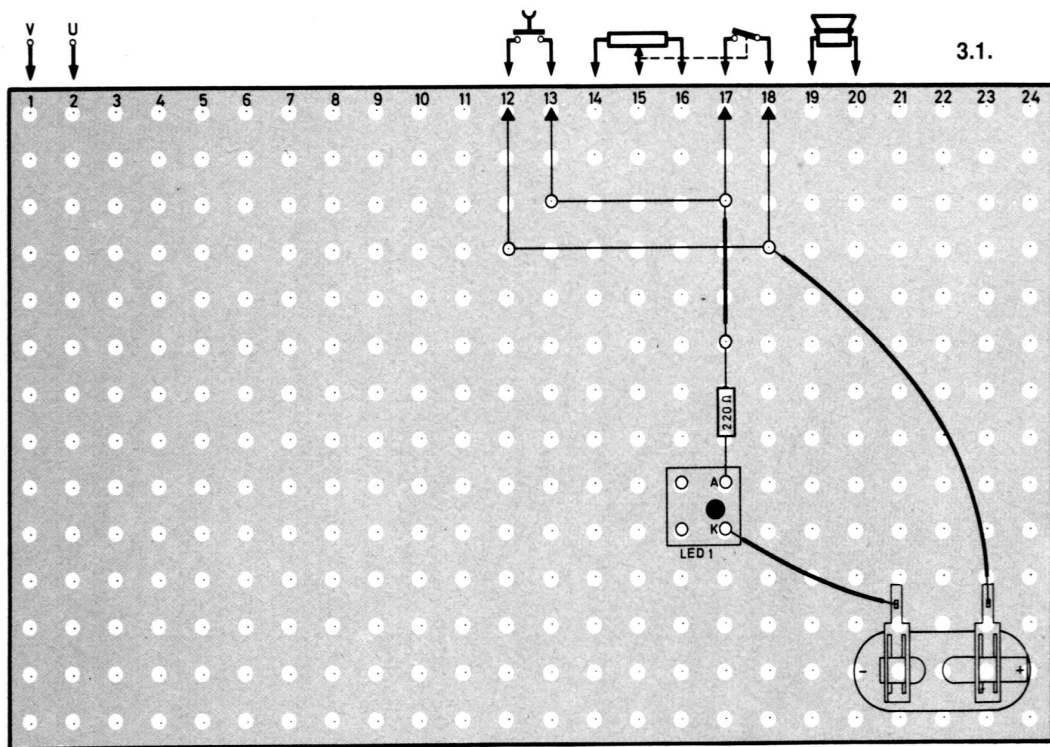
SN 7405
Kennfarbe weiß

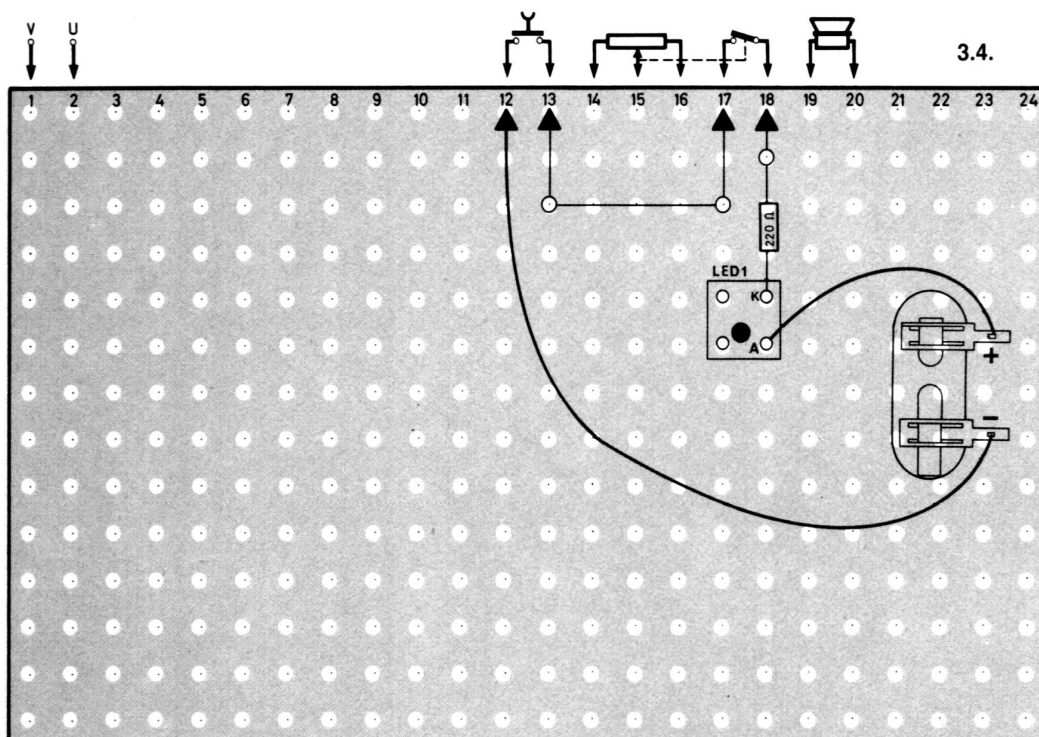
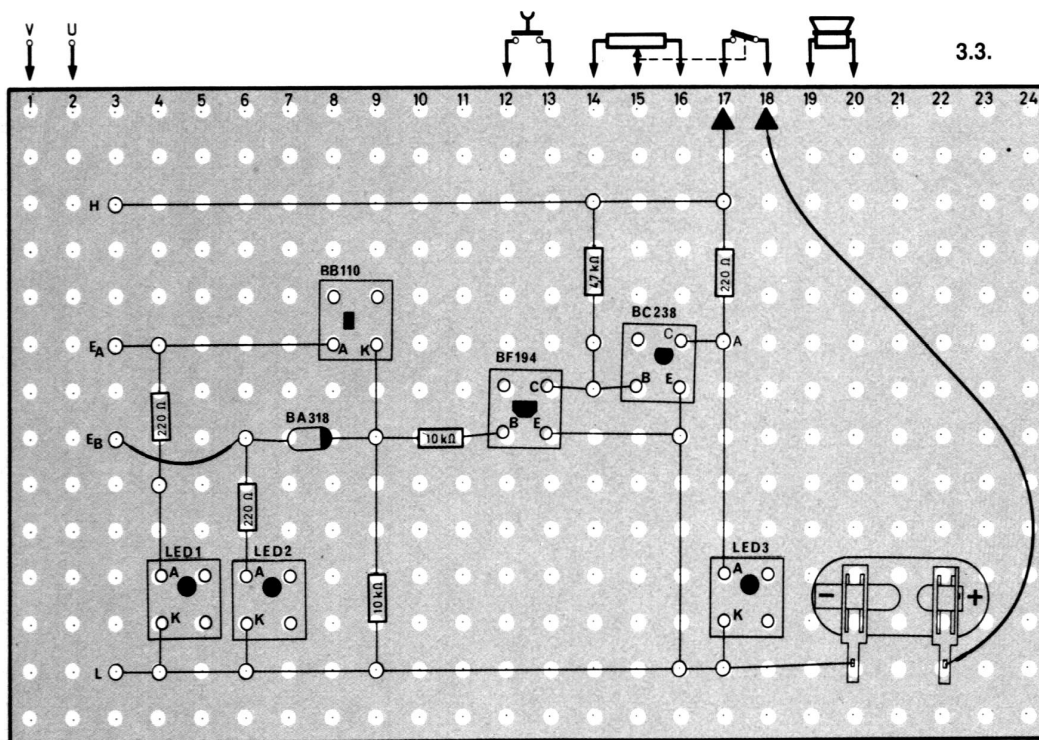
Codetabelle

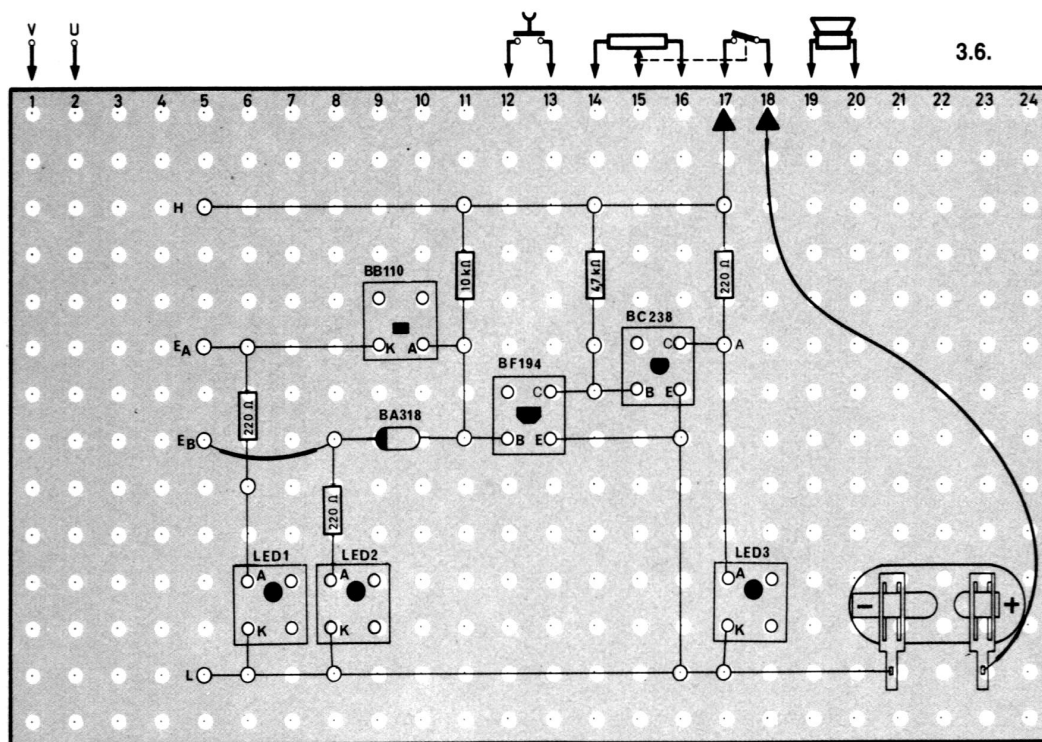
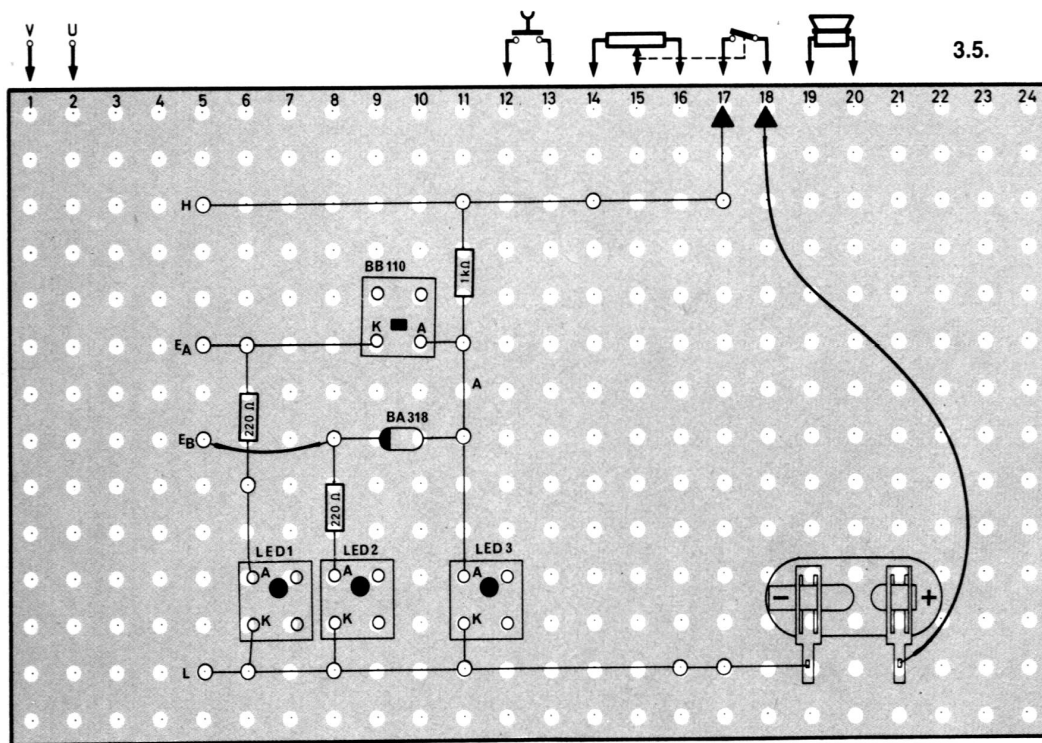
(Ergänzung zu EE 2013)

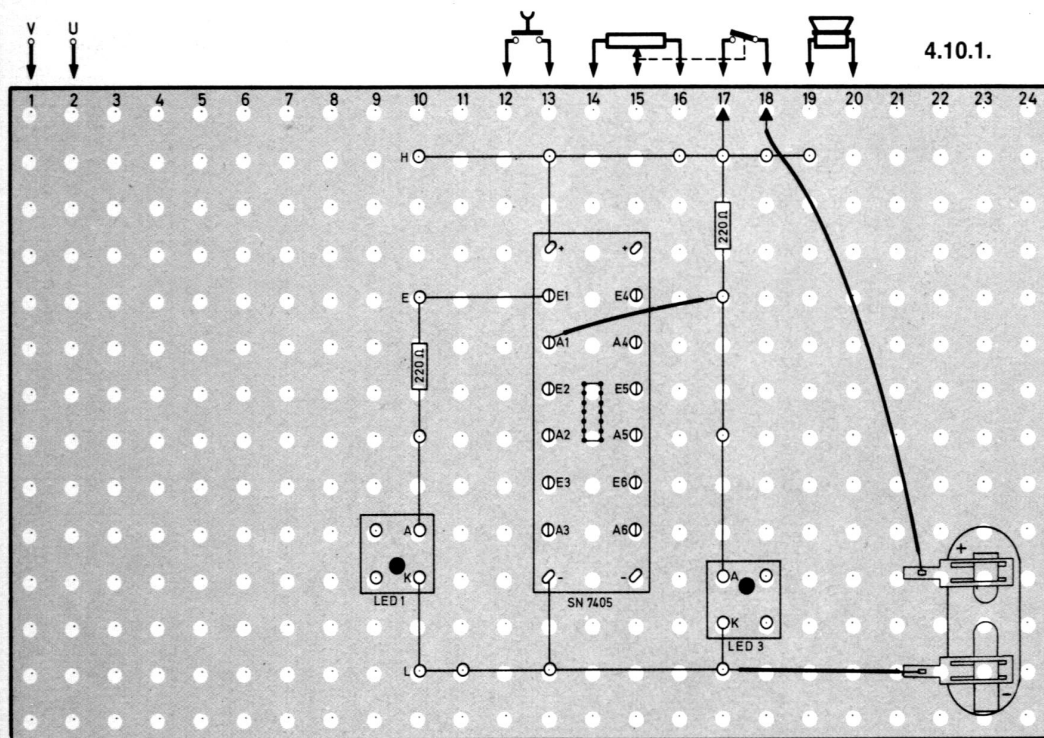
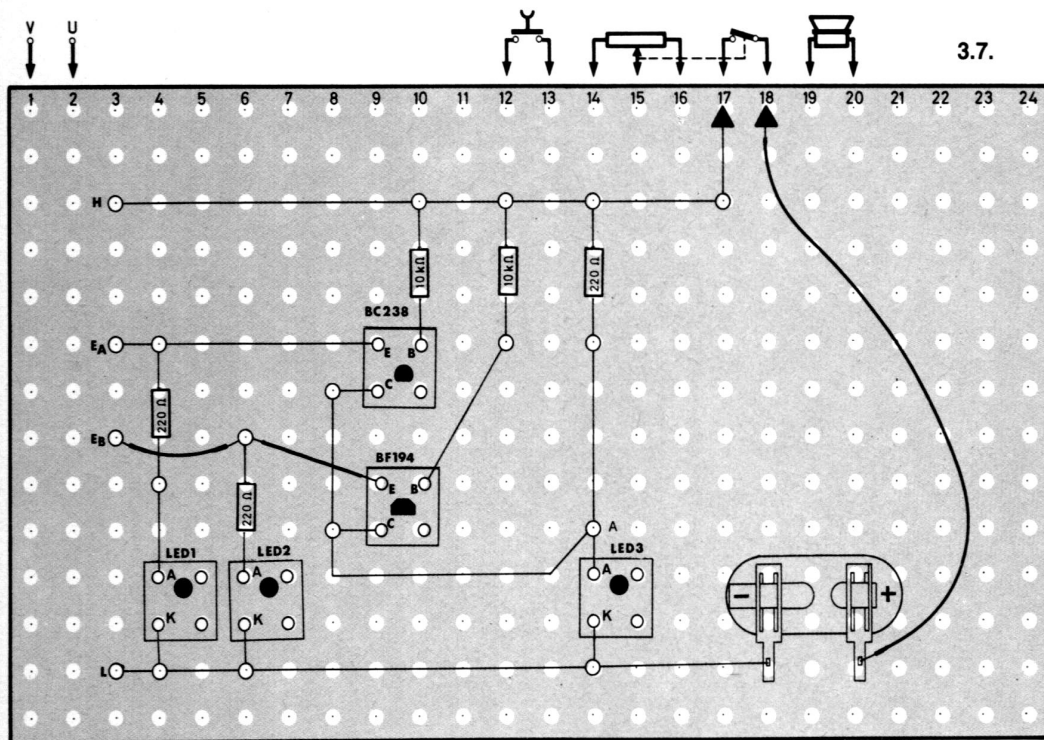
Widerstände

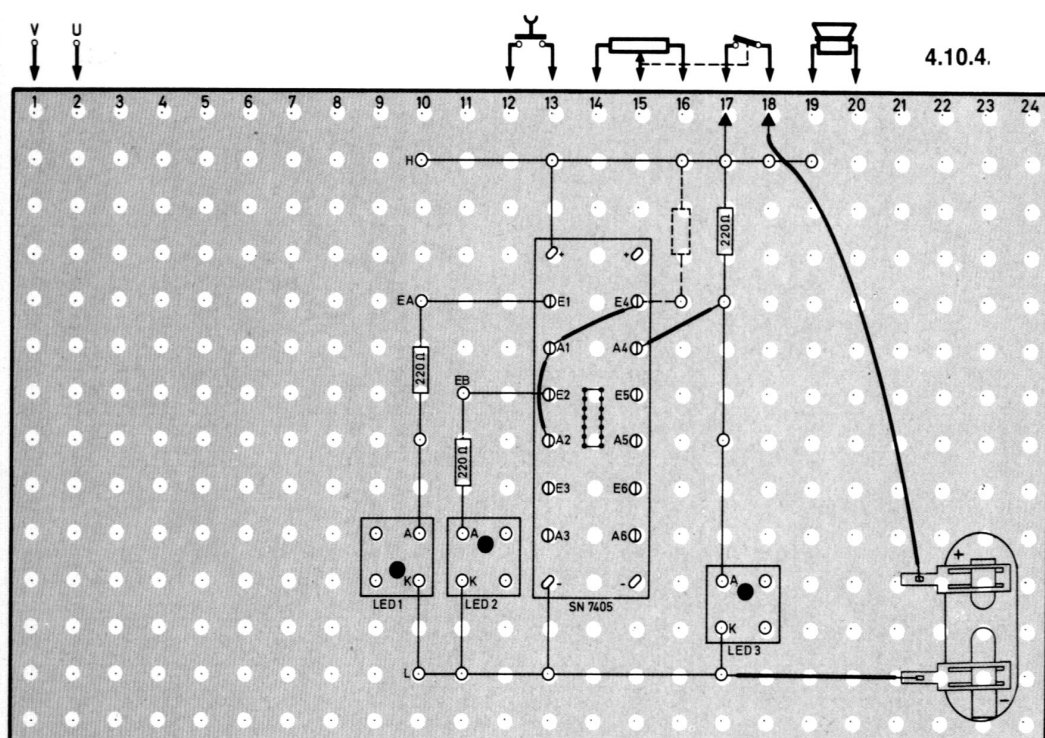
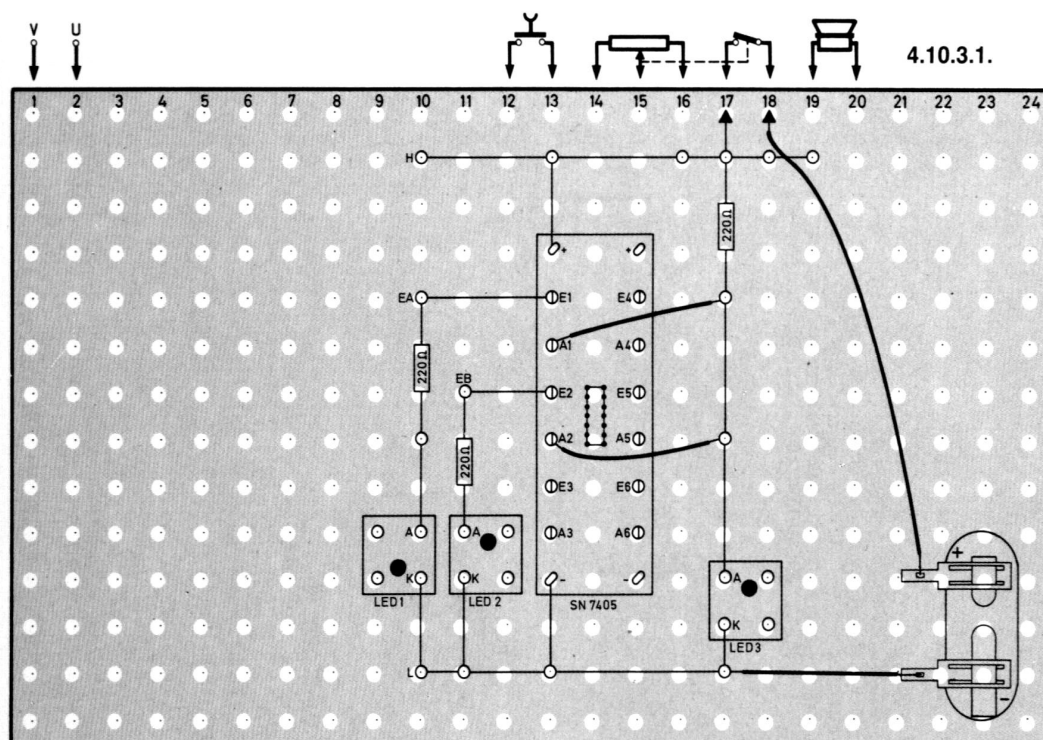
Widerstand	Farbringe	Ersatzwert	Ersatzwert
220 Ohm	rot, rot, braun	200 Ohm	240 Ohm

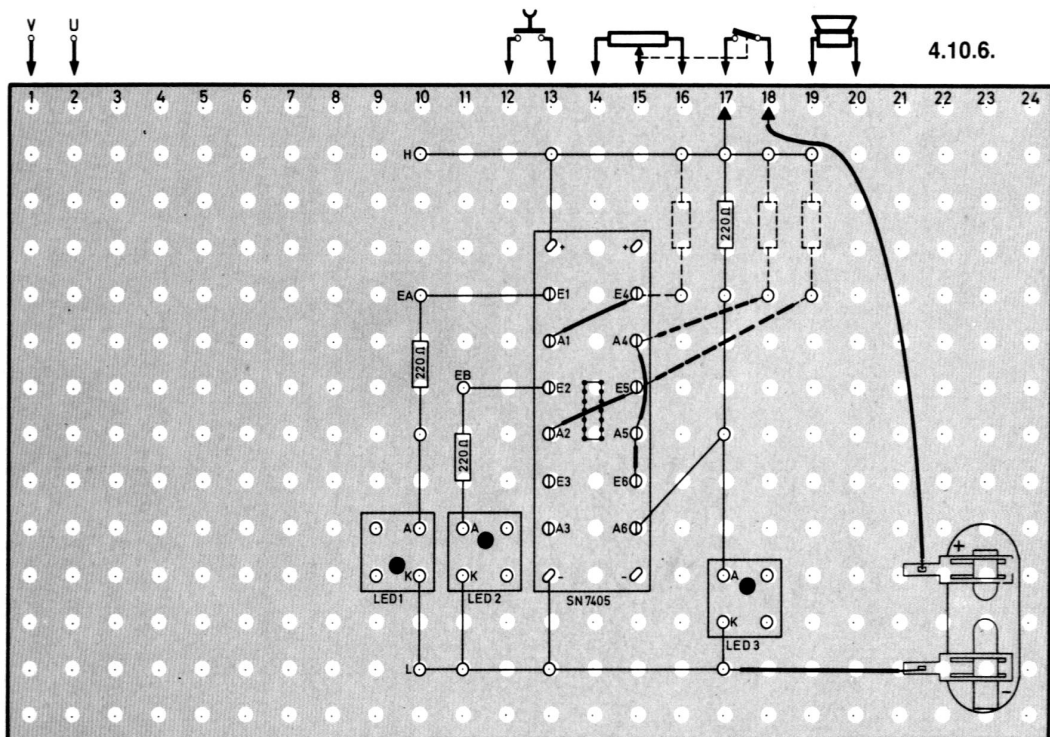
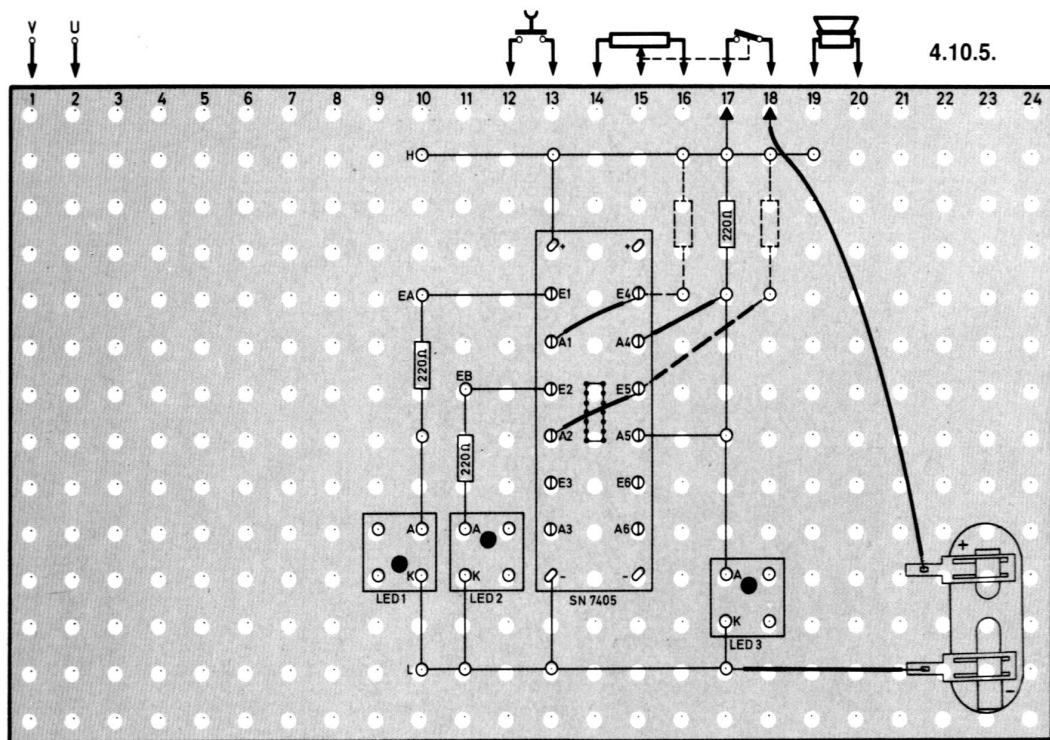


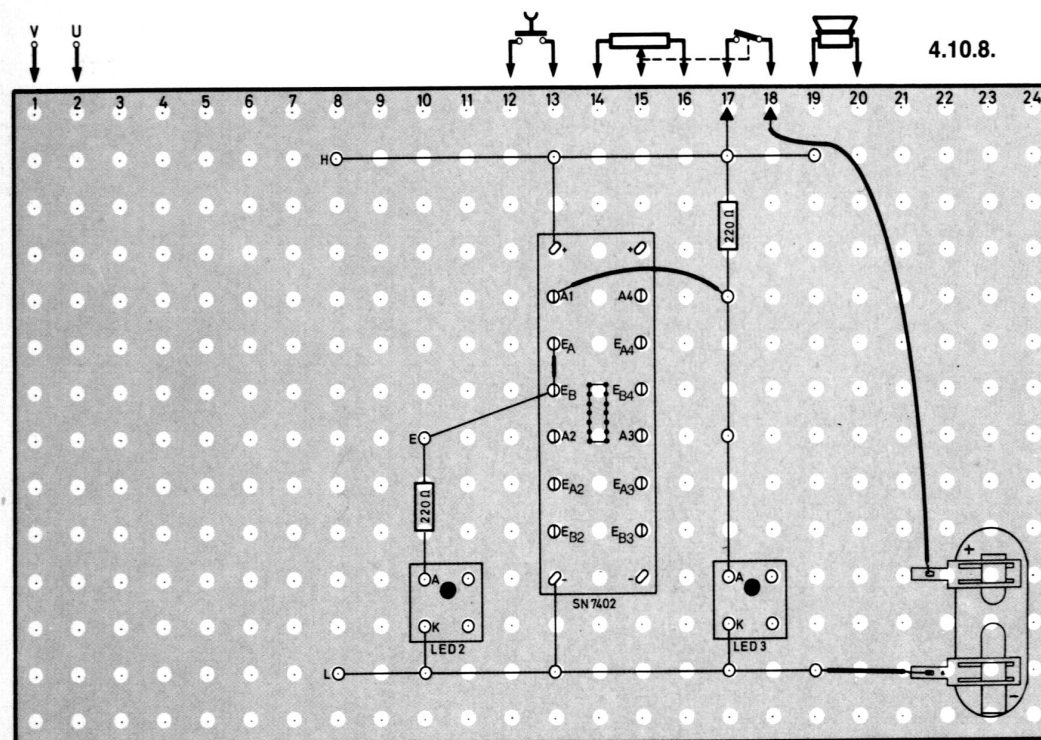
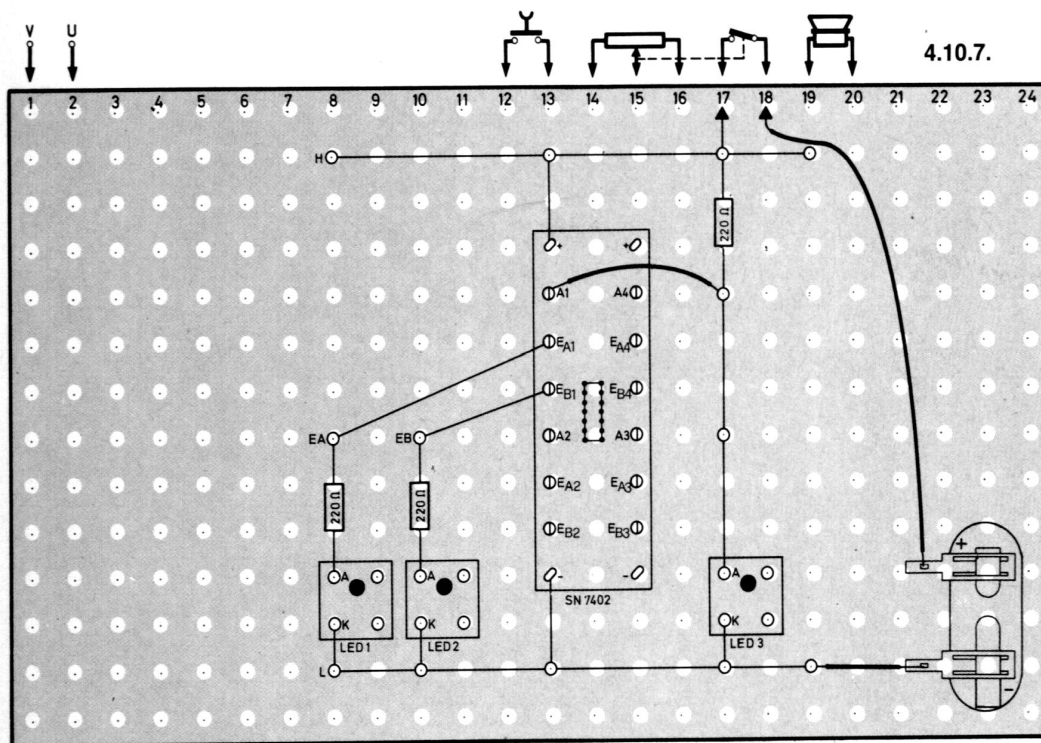


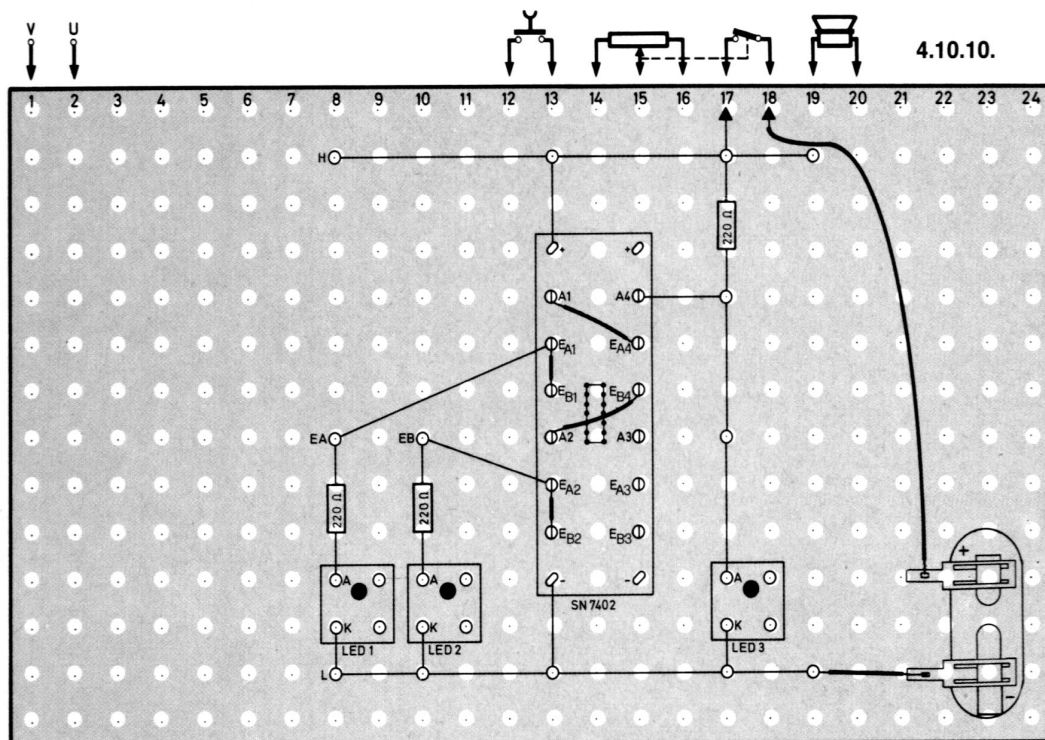
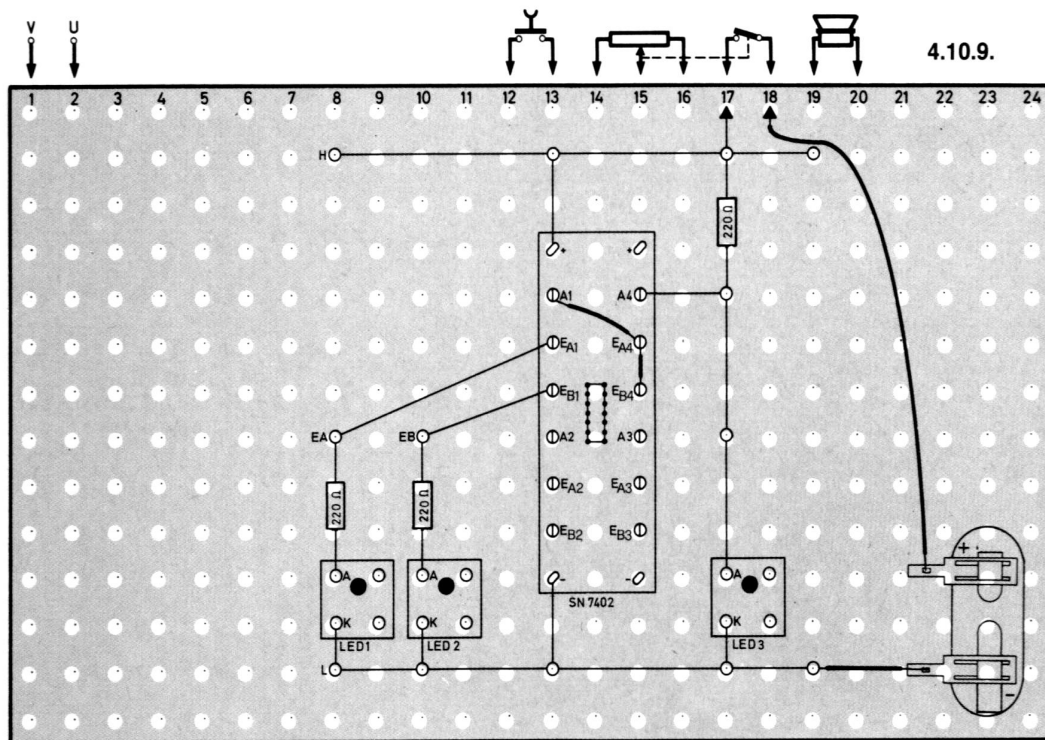


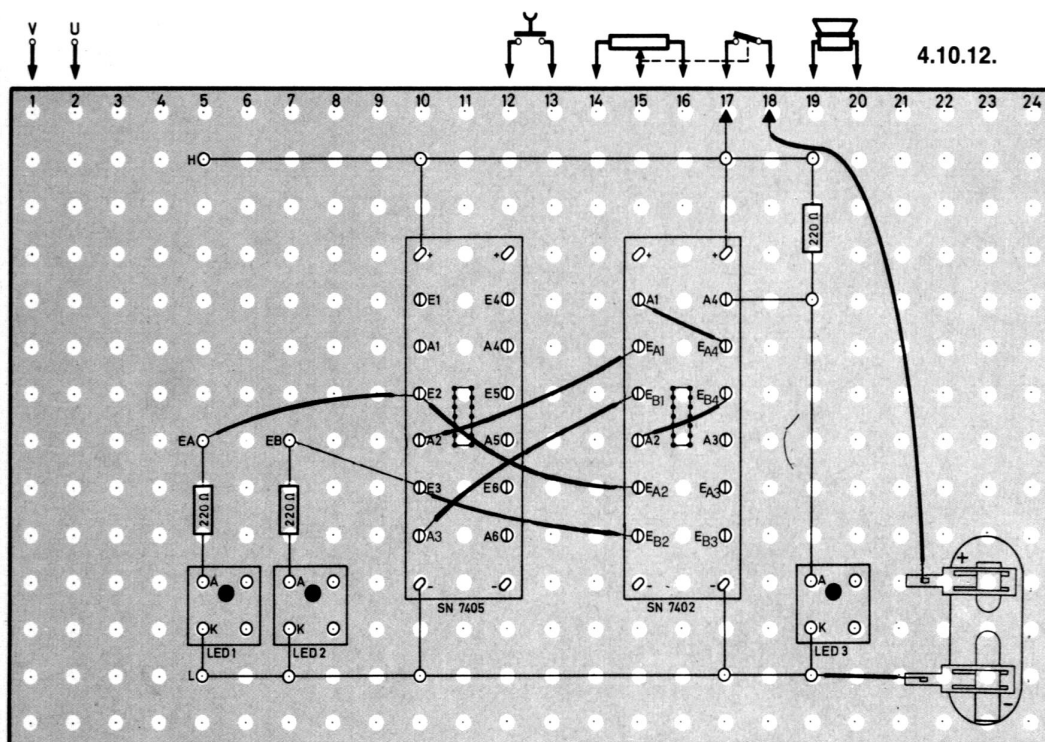
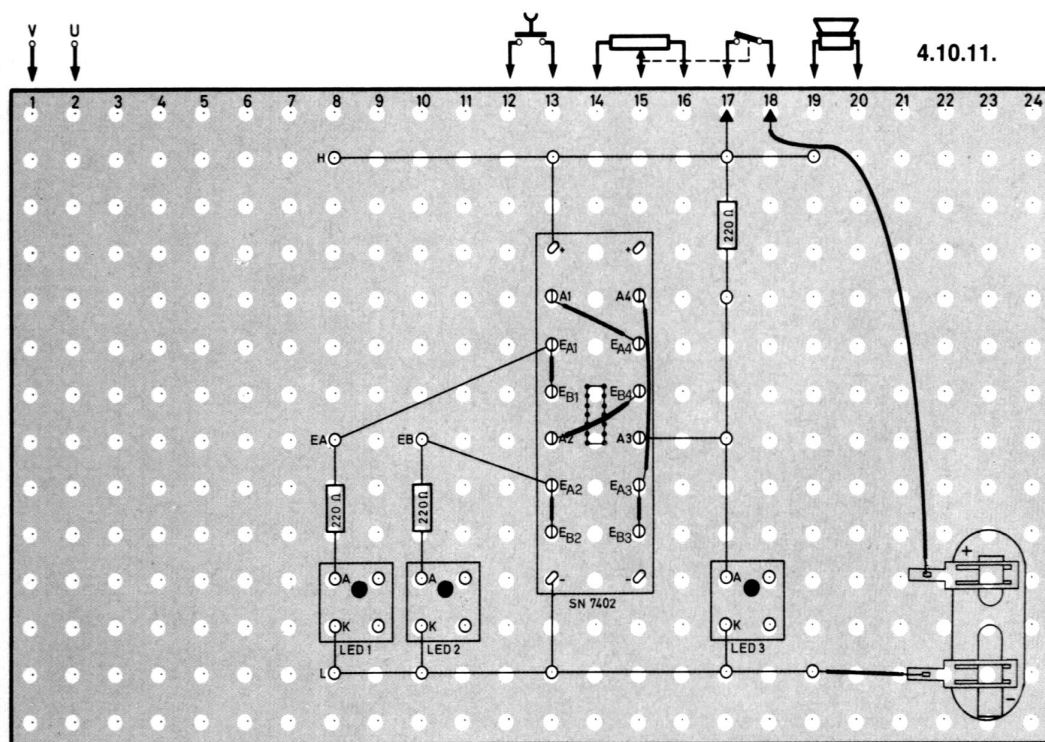


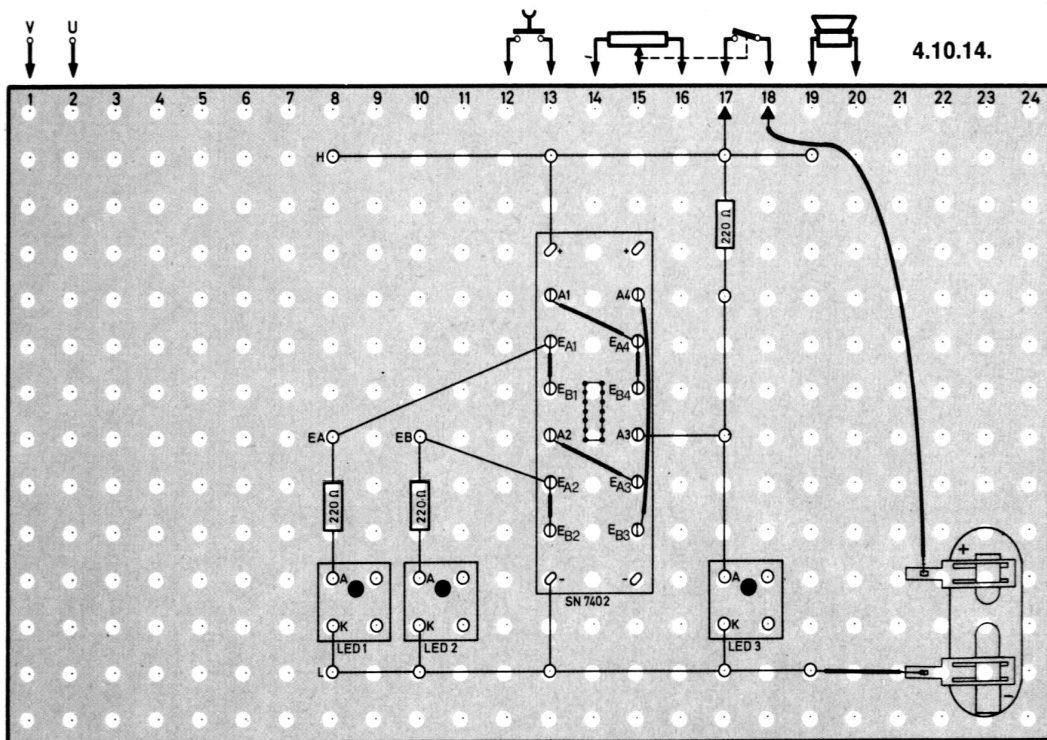
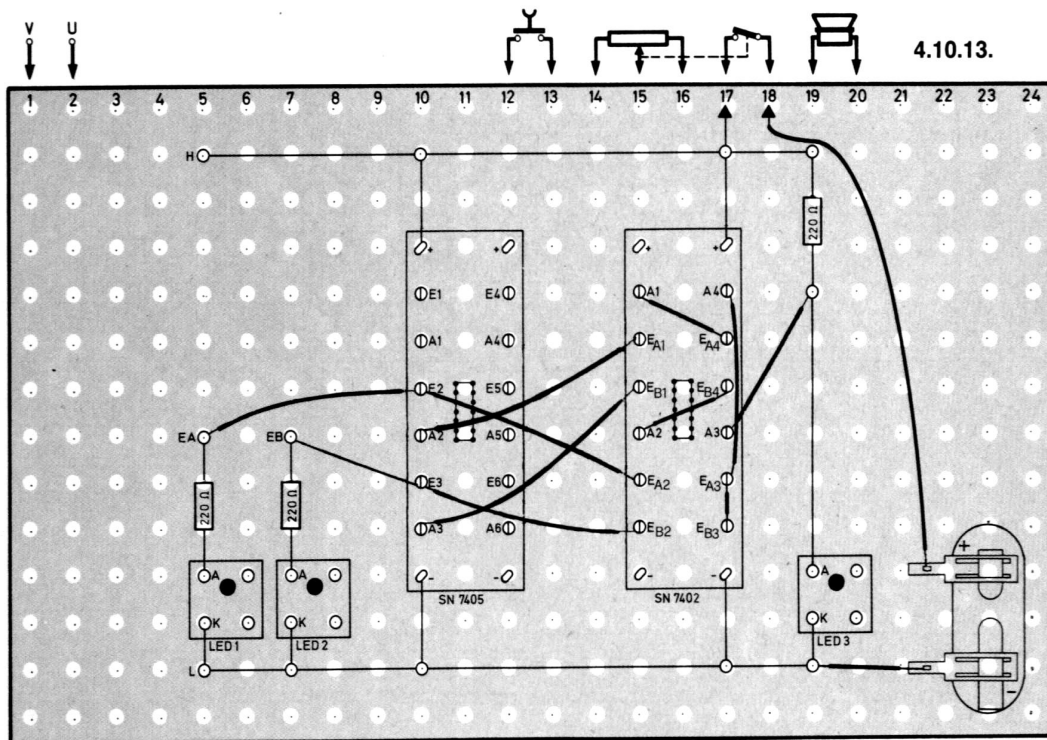


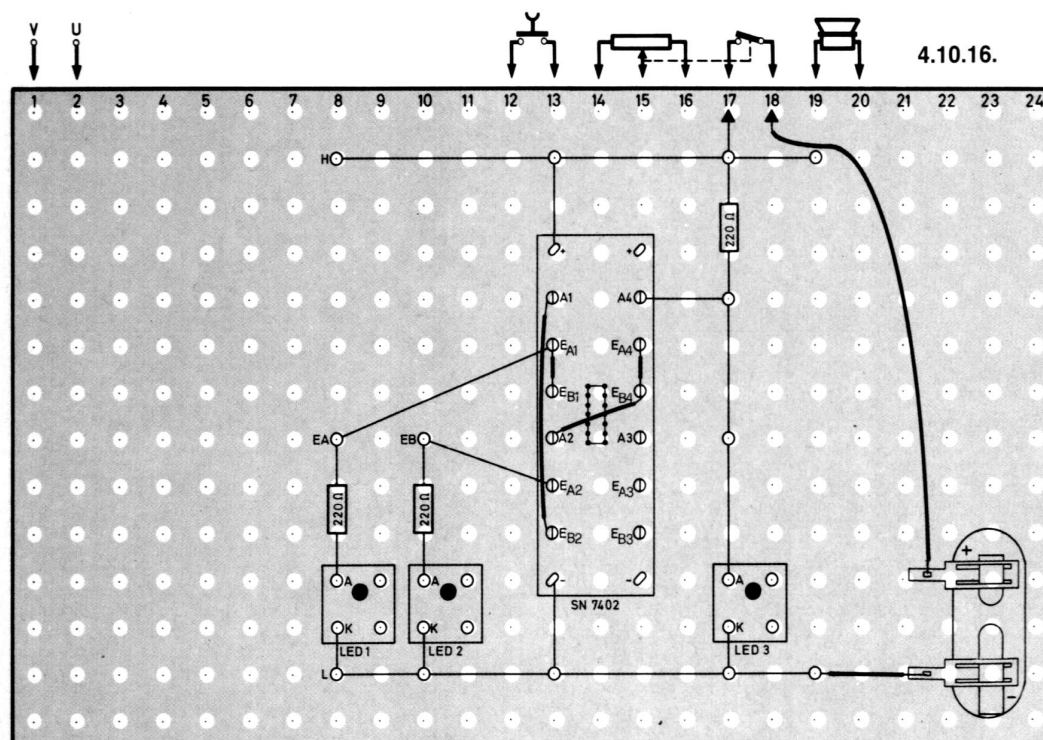
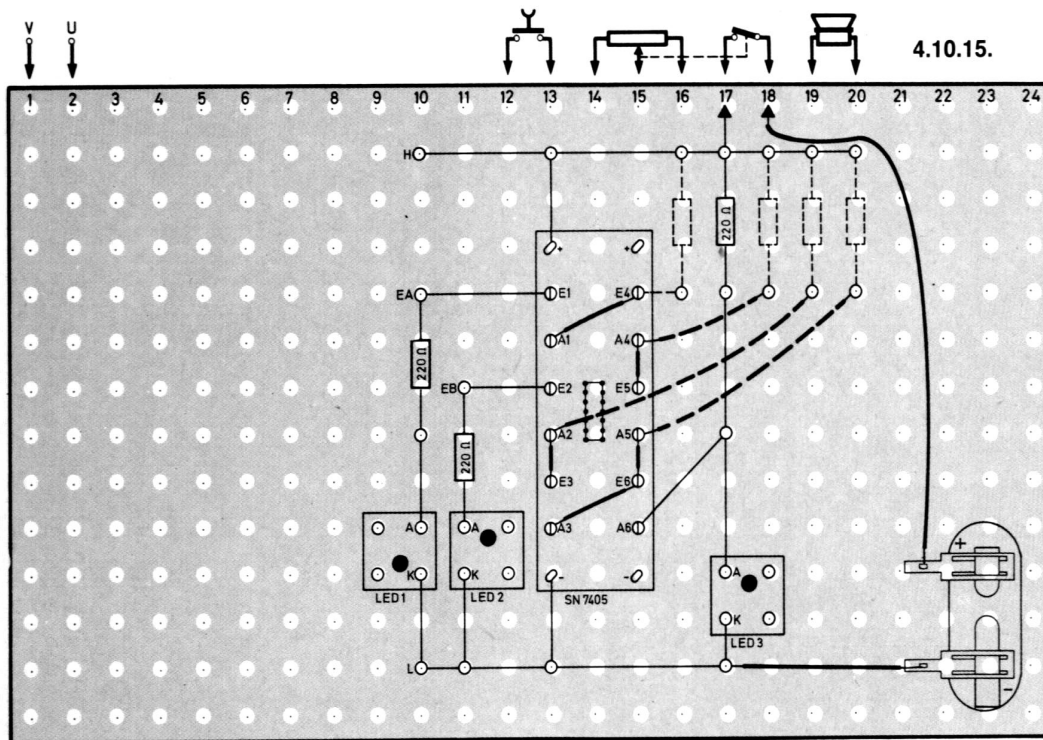


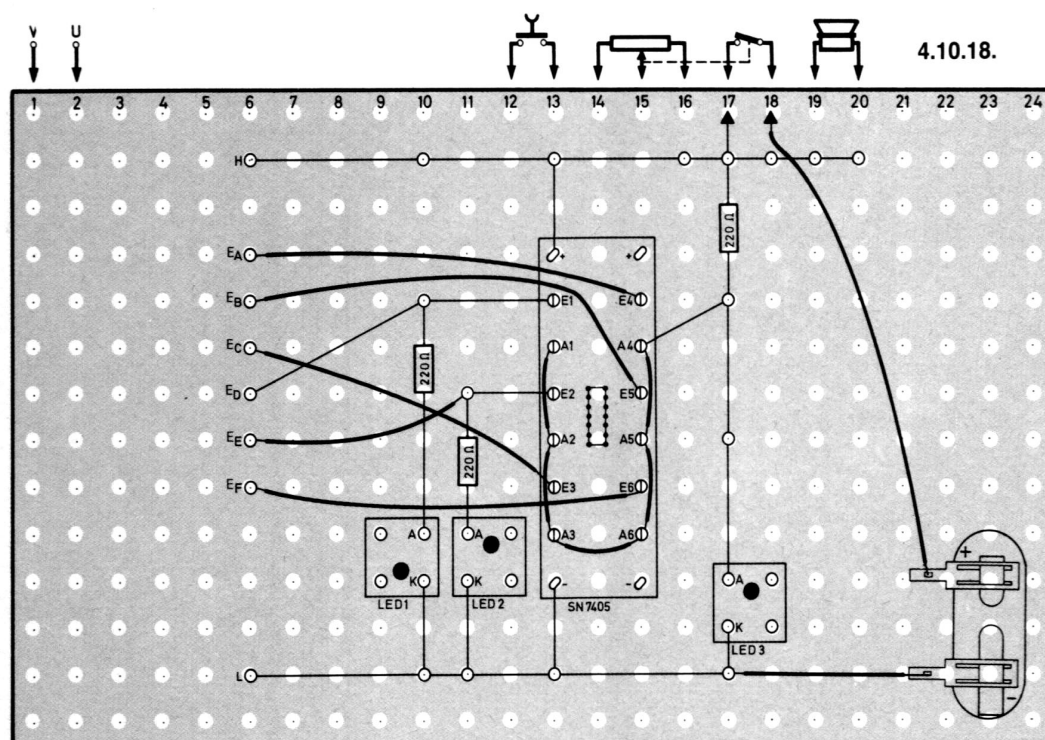
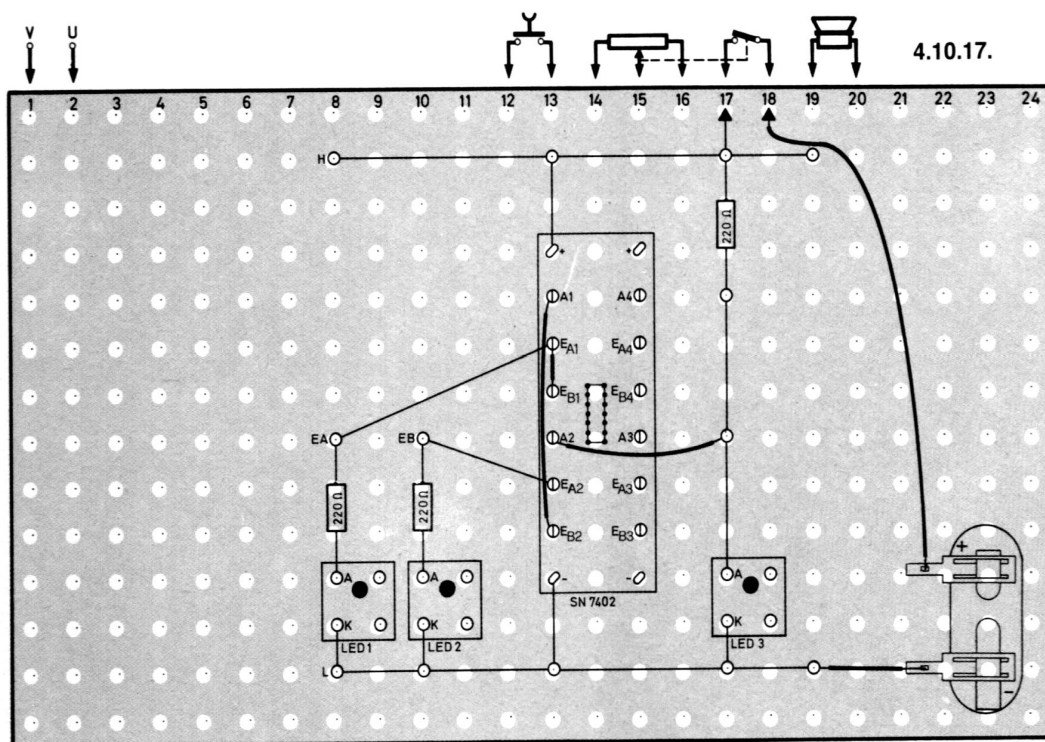


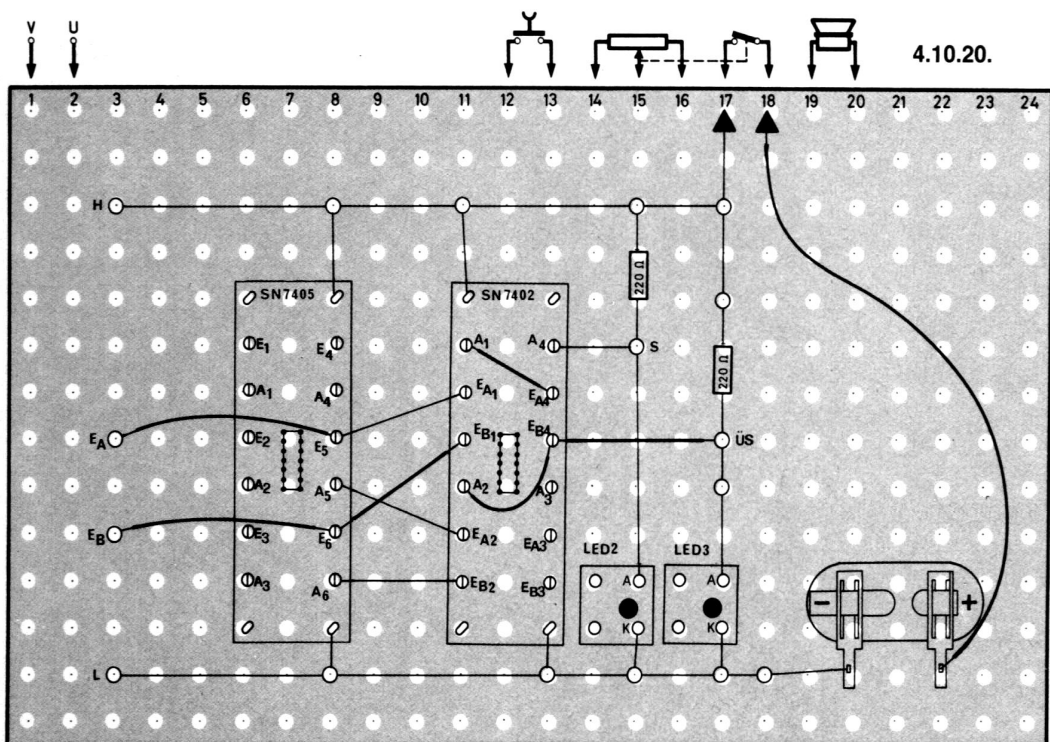
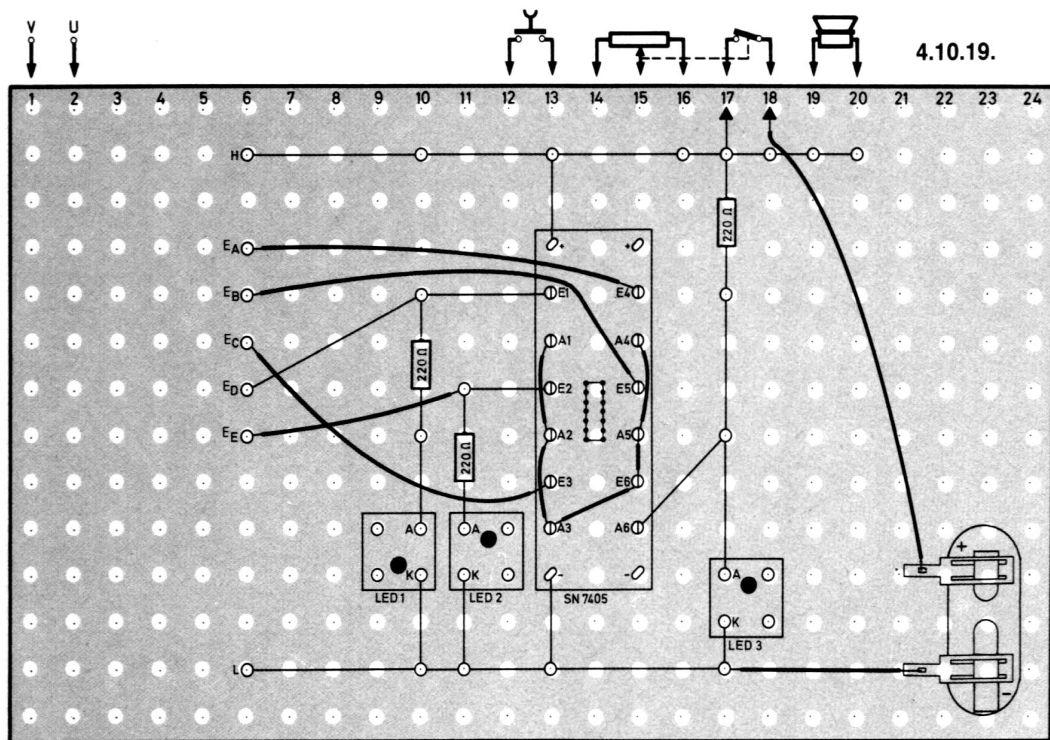


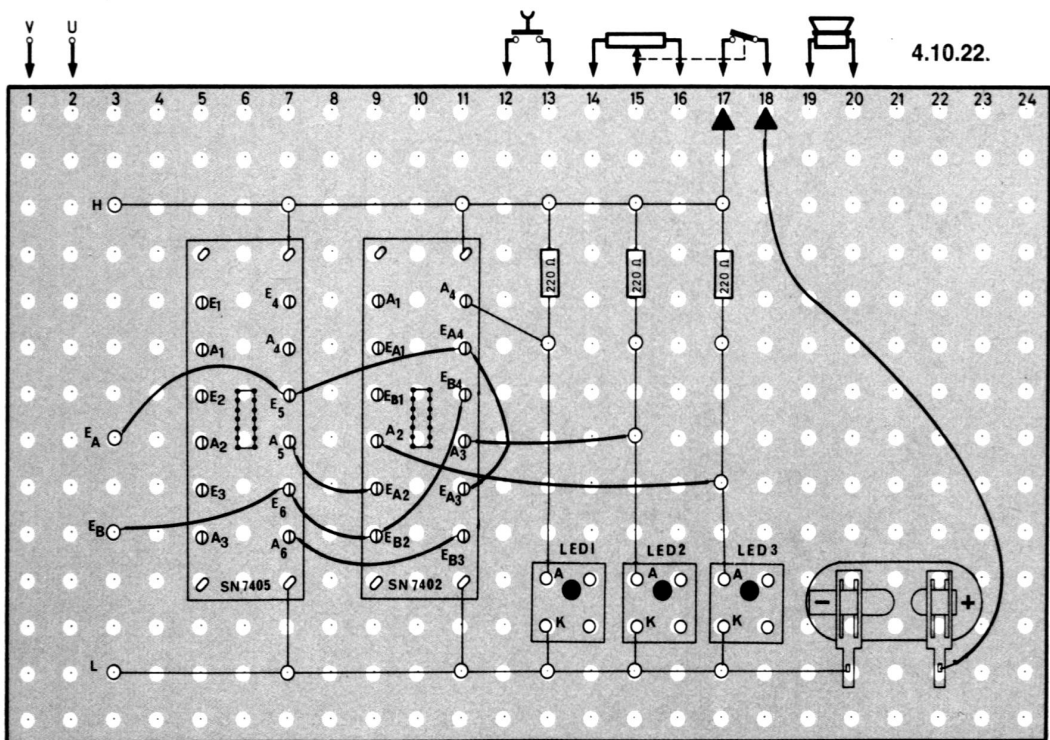
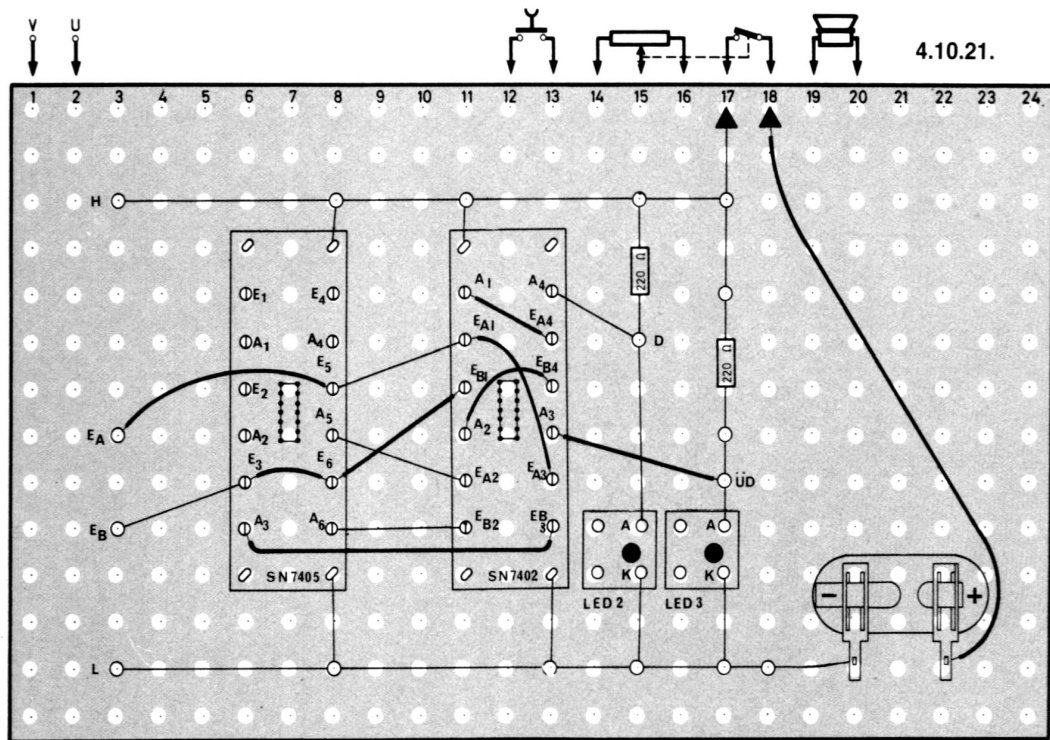


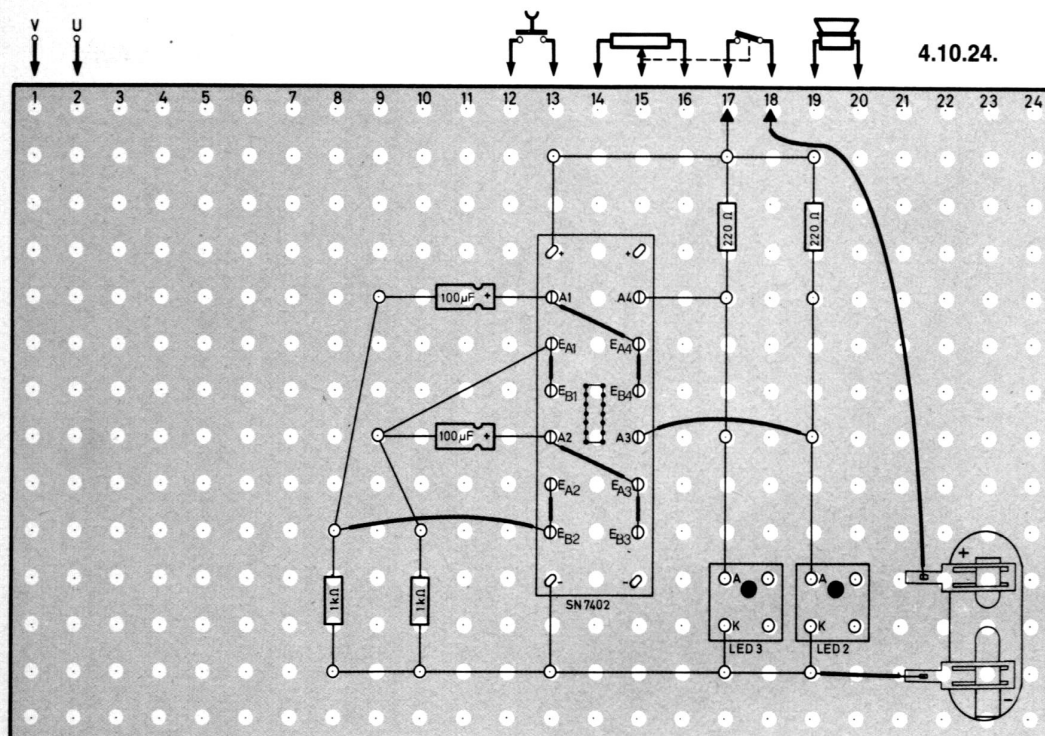
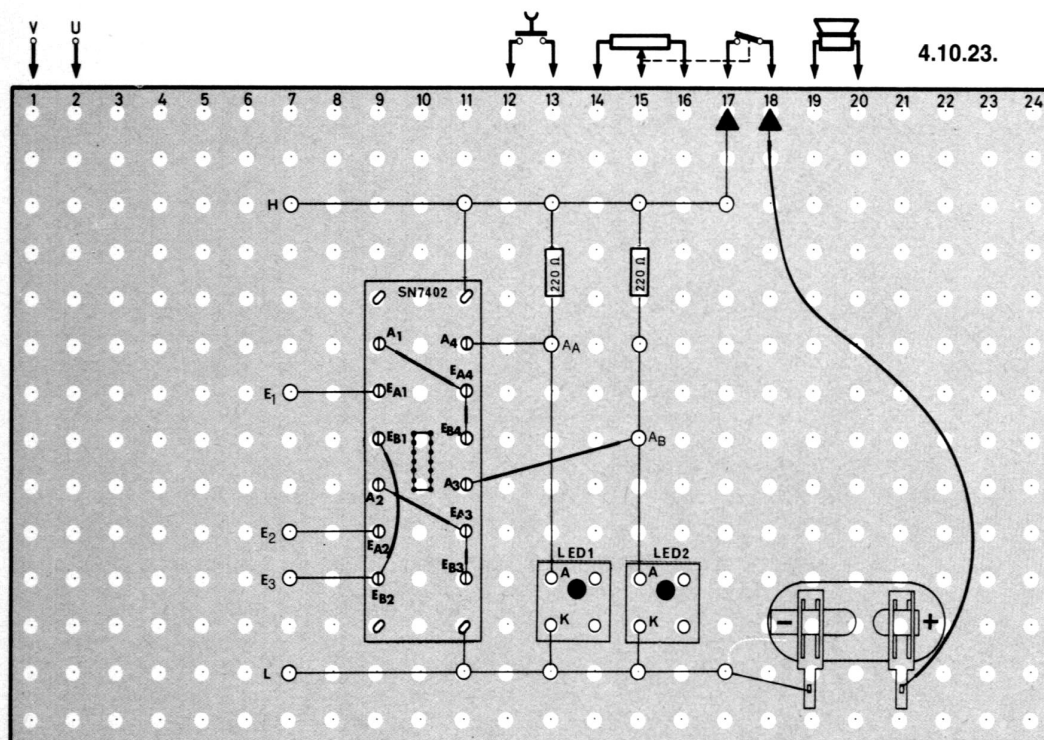


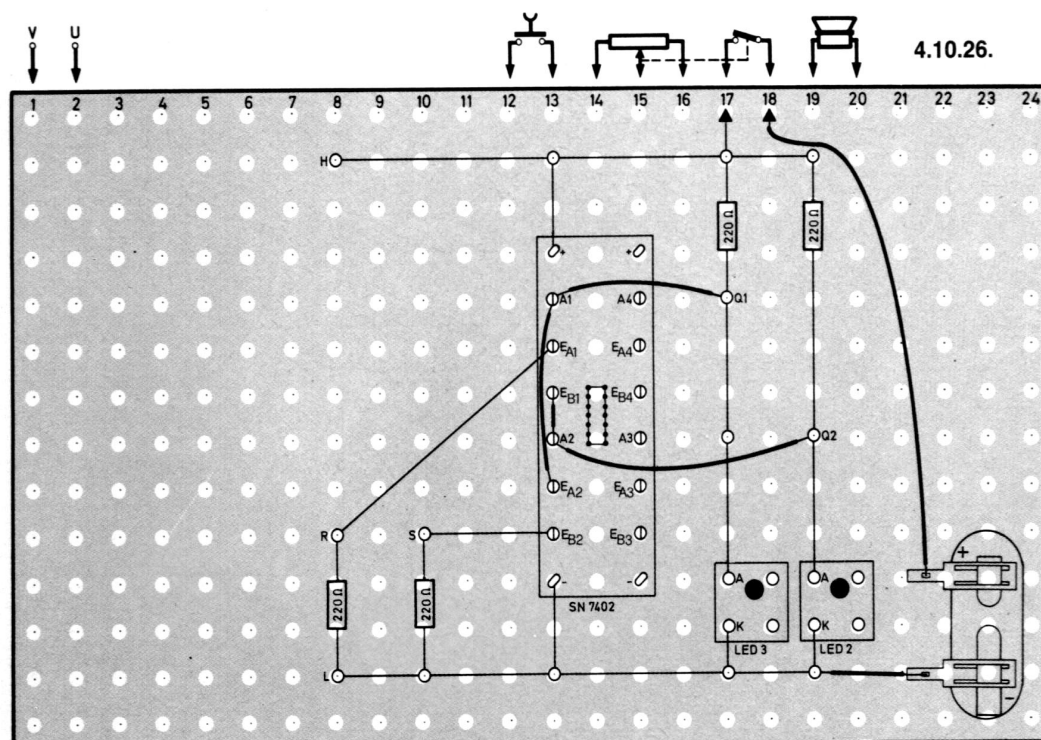
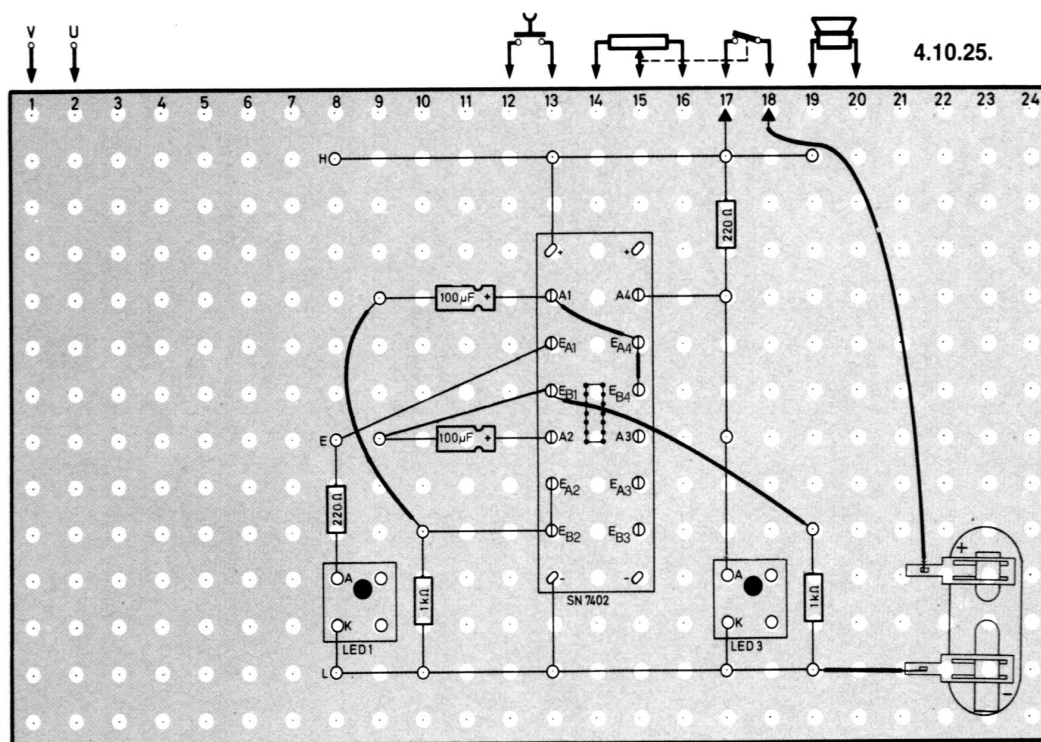


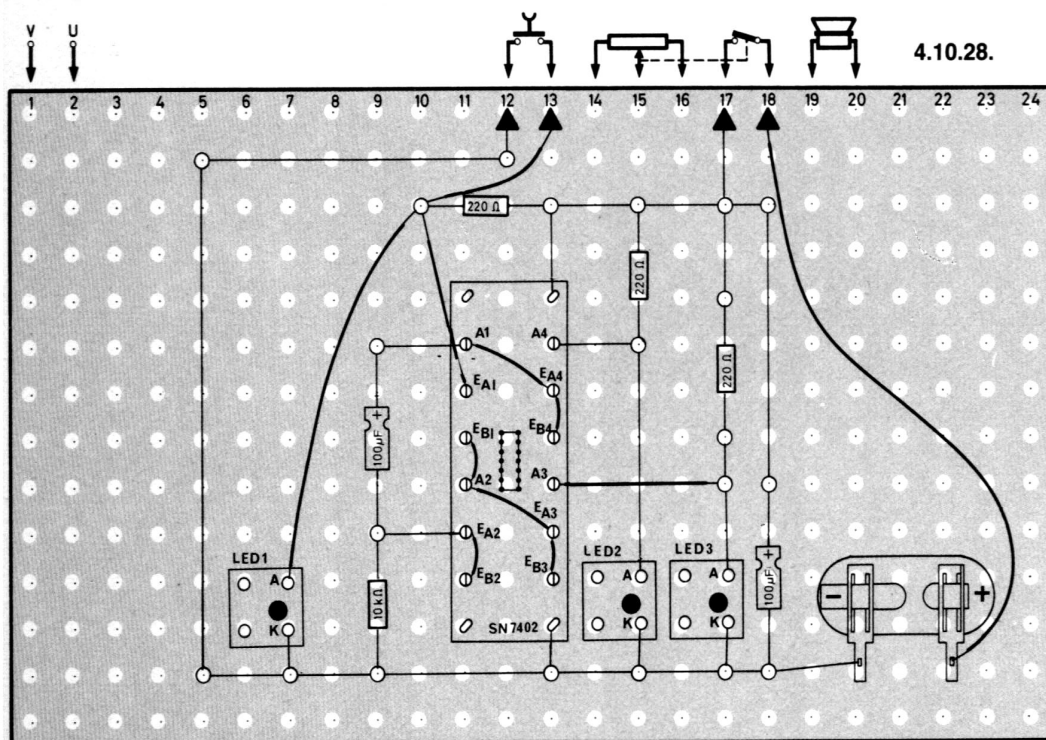
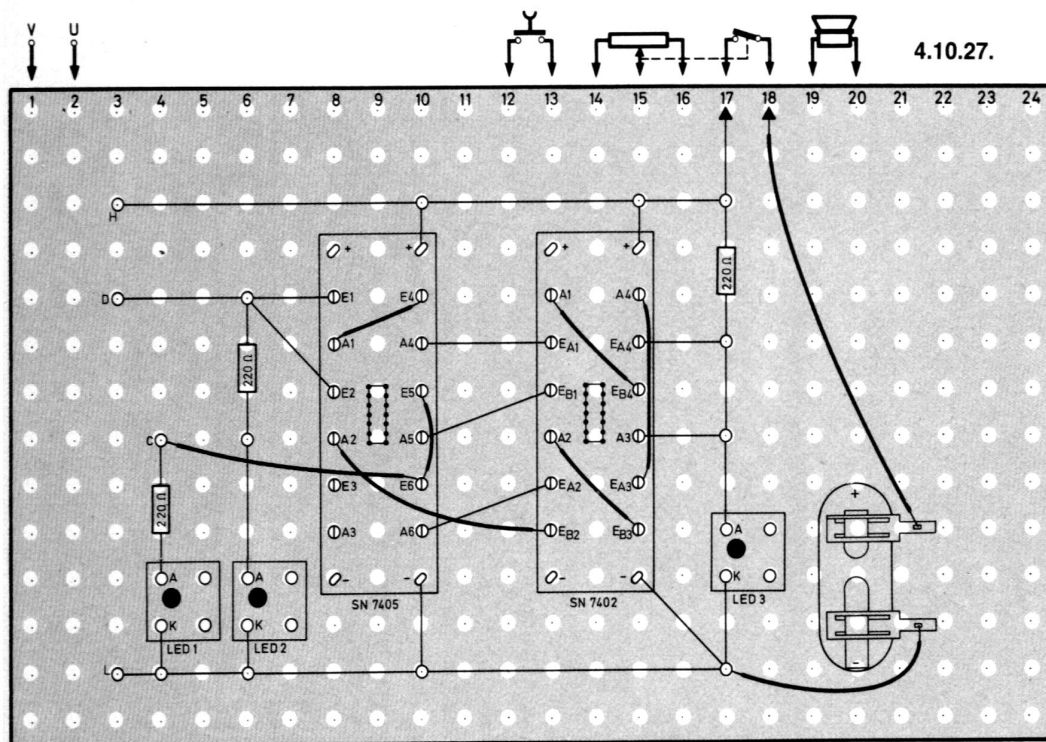


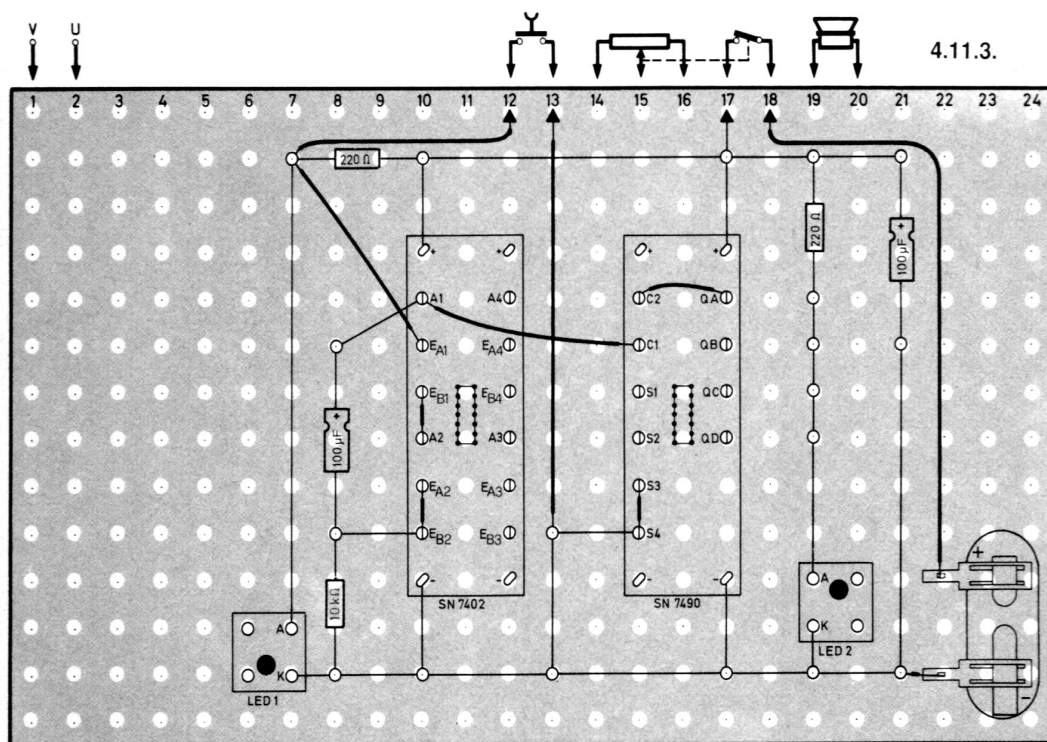
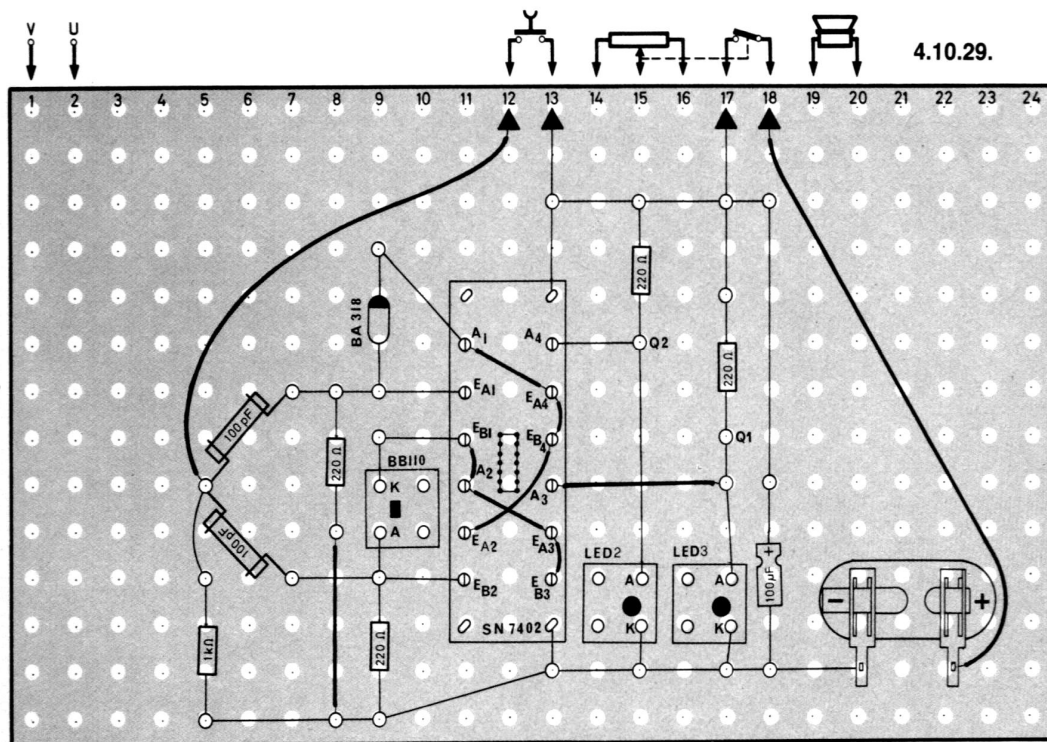


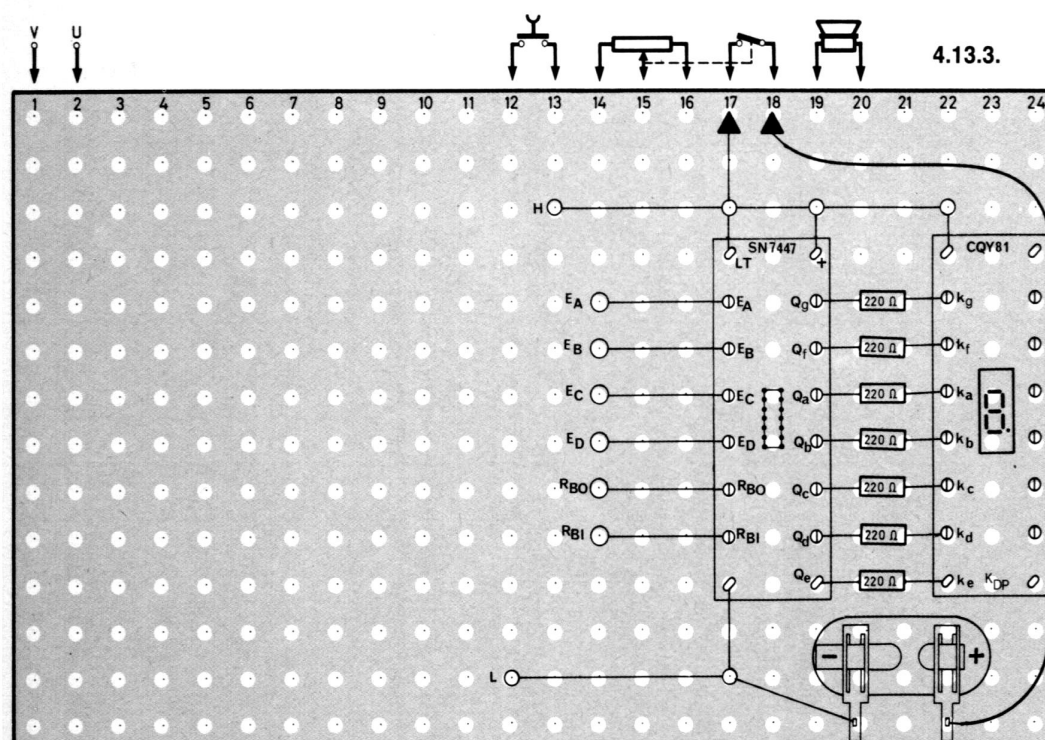
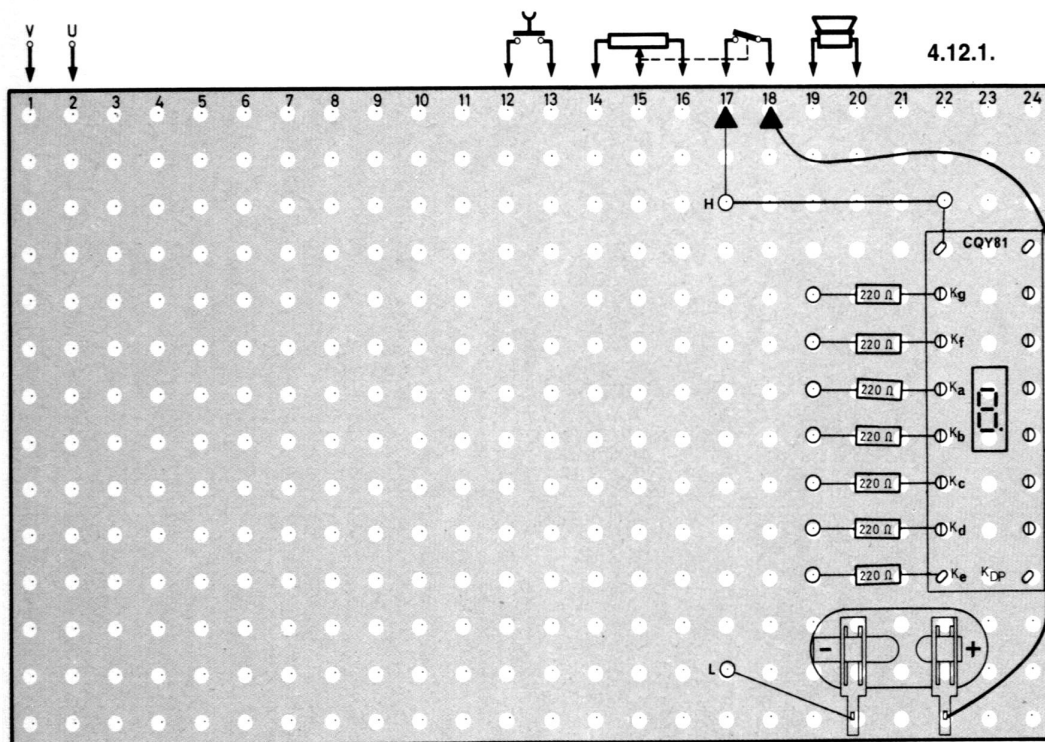


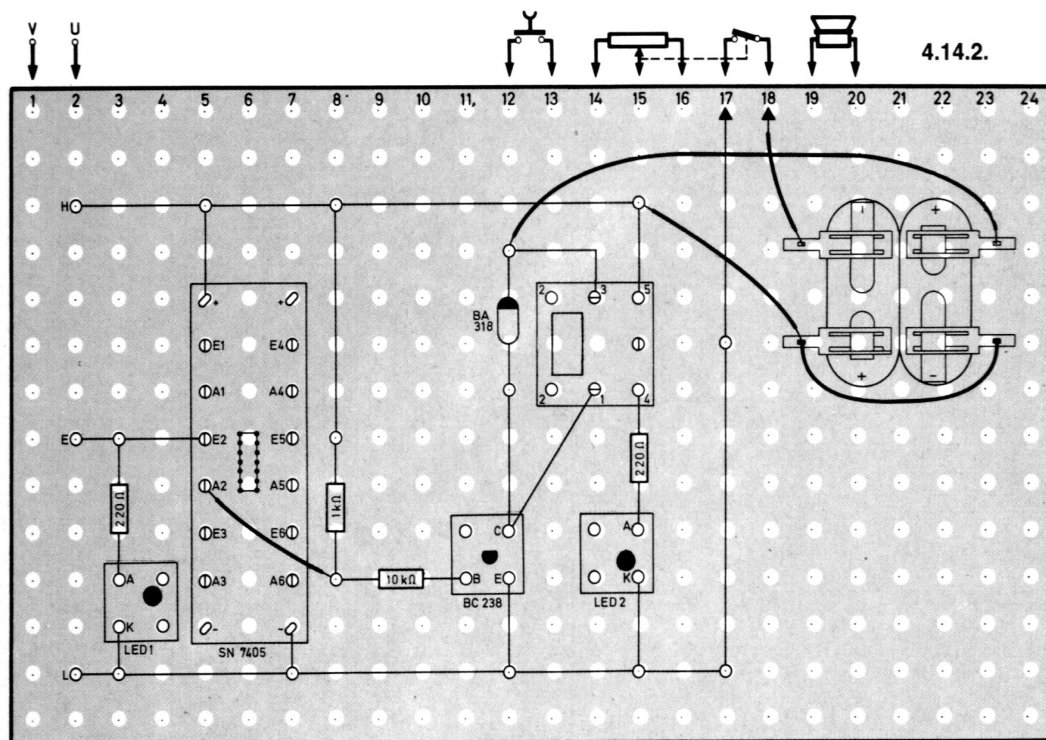
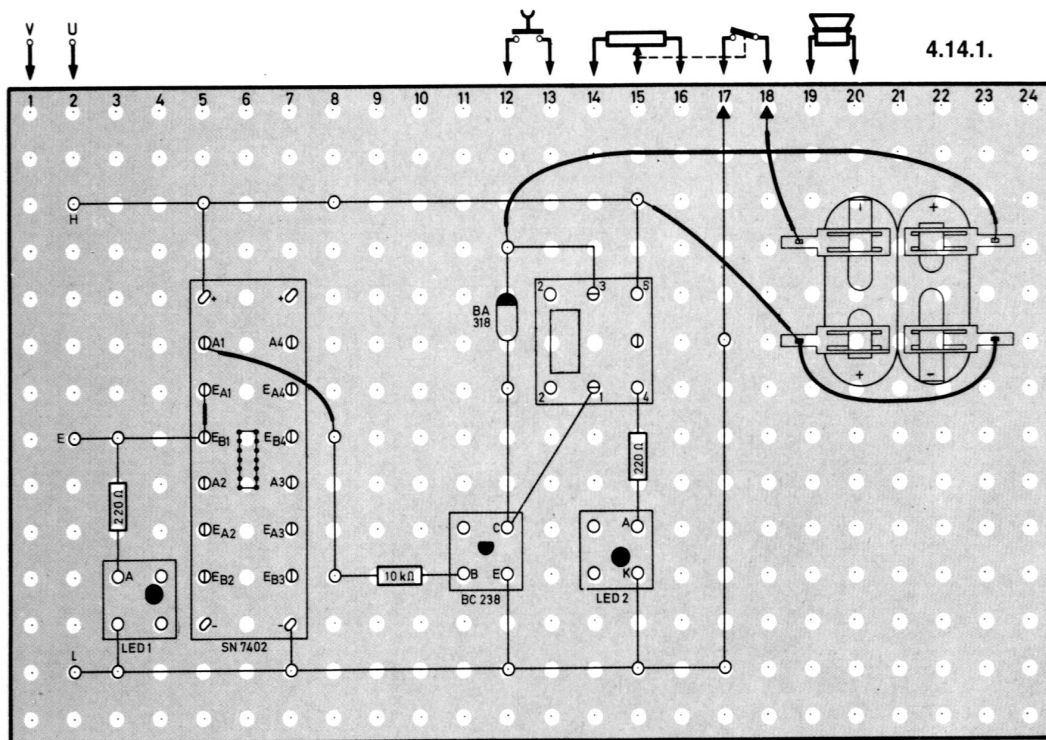


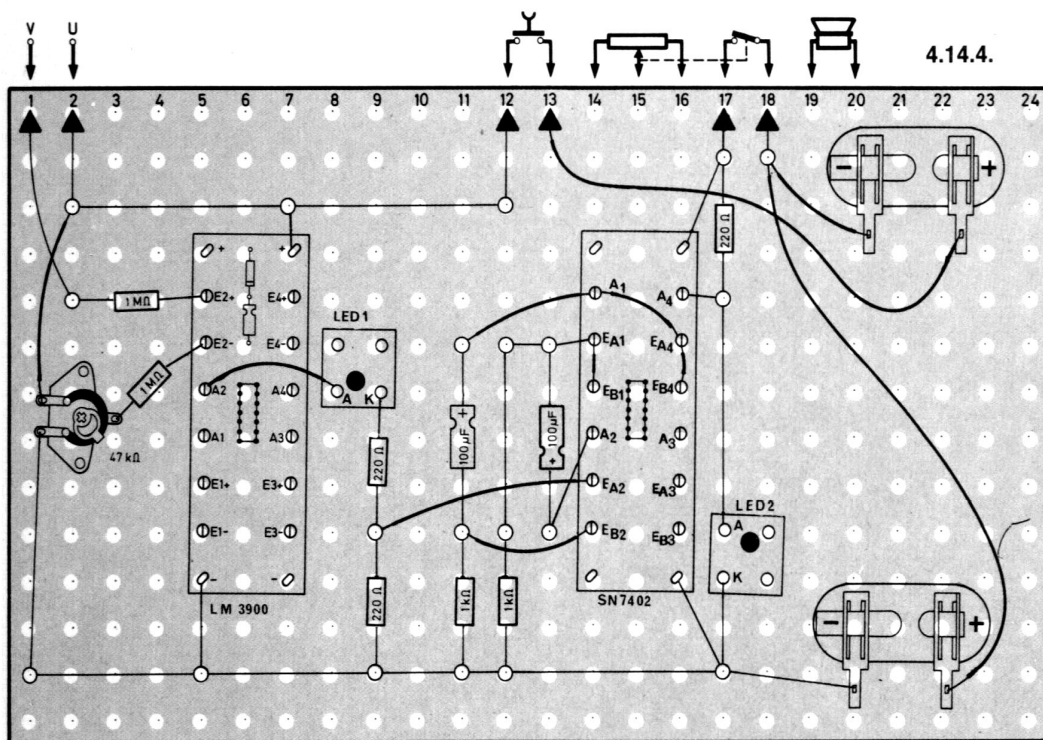
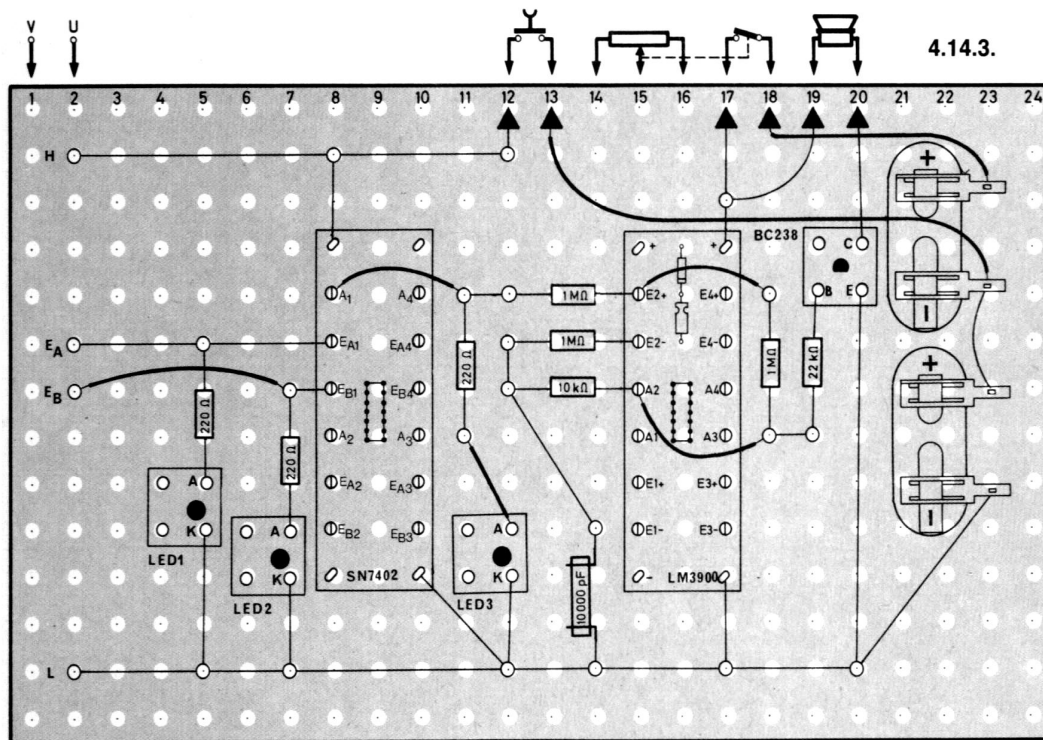


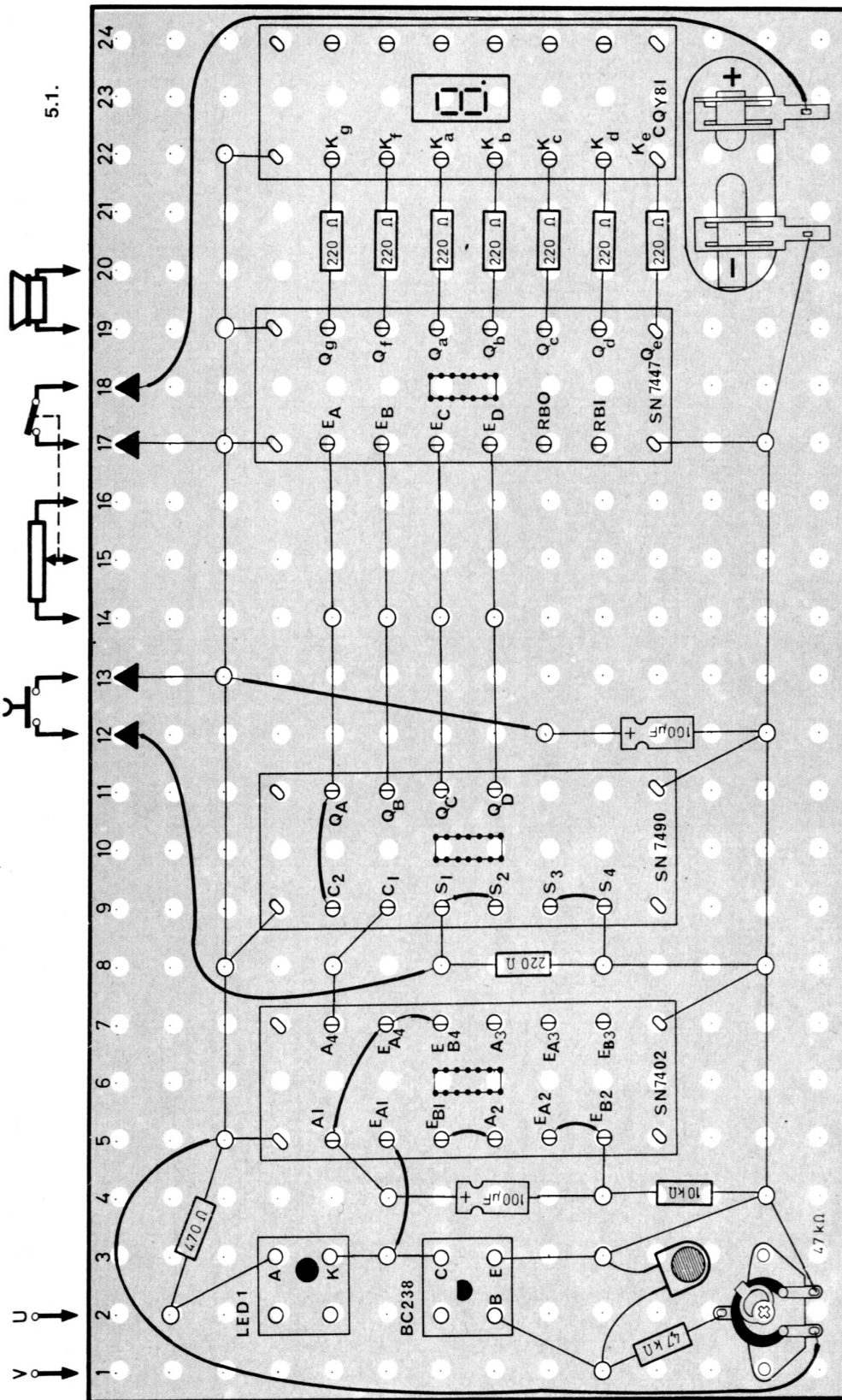


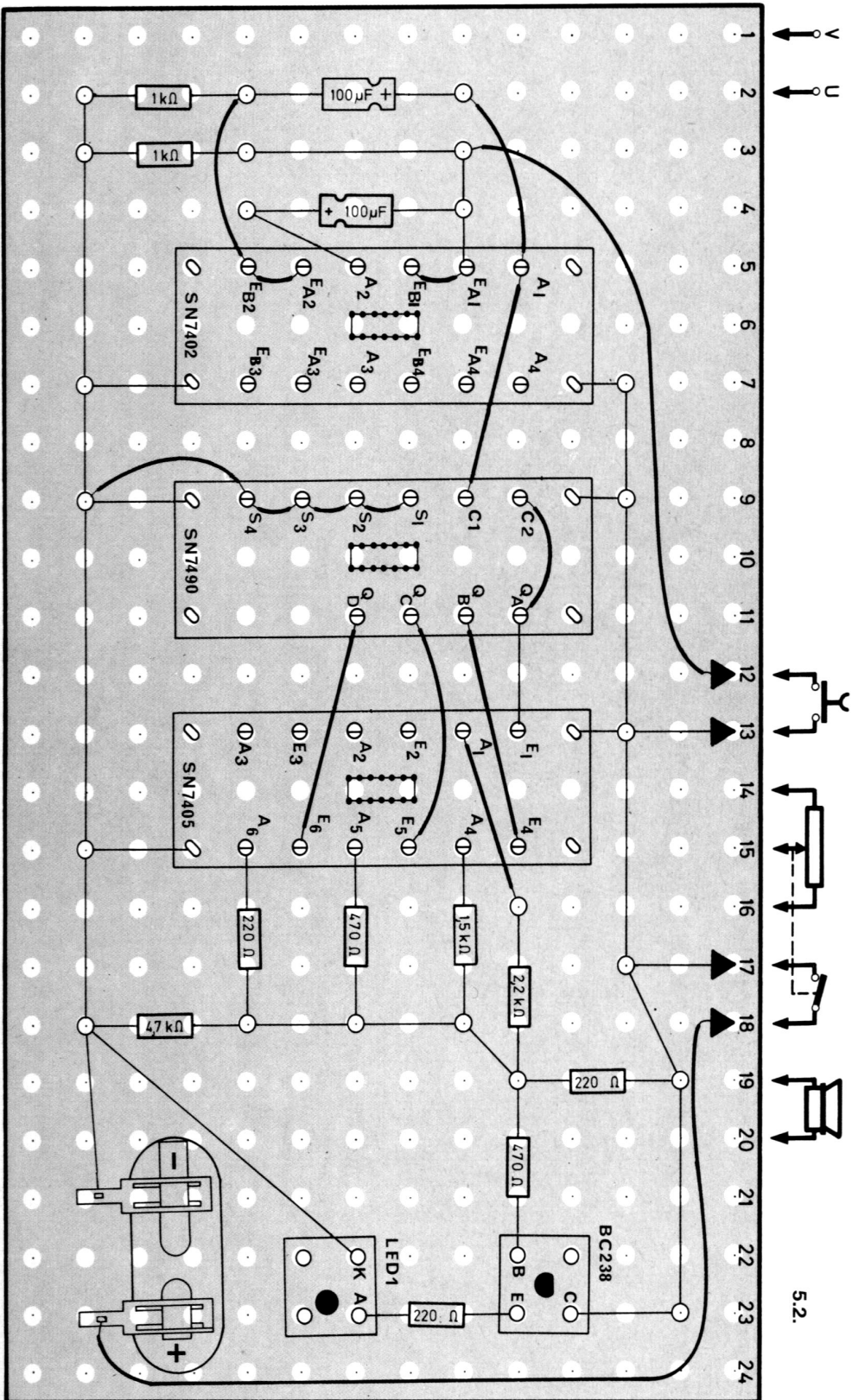


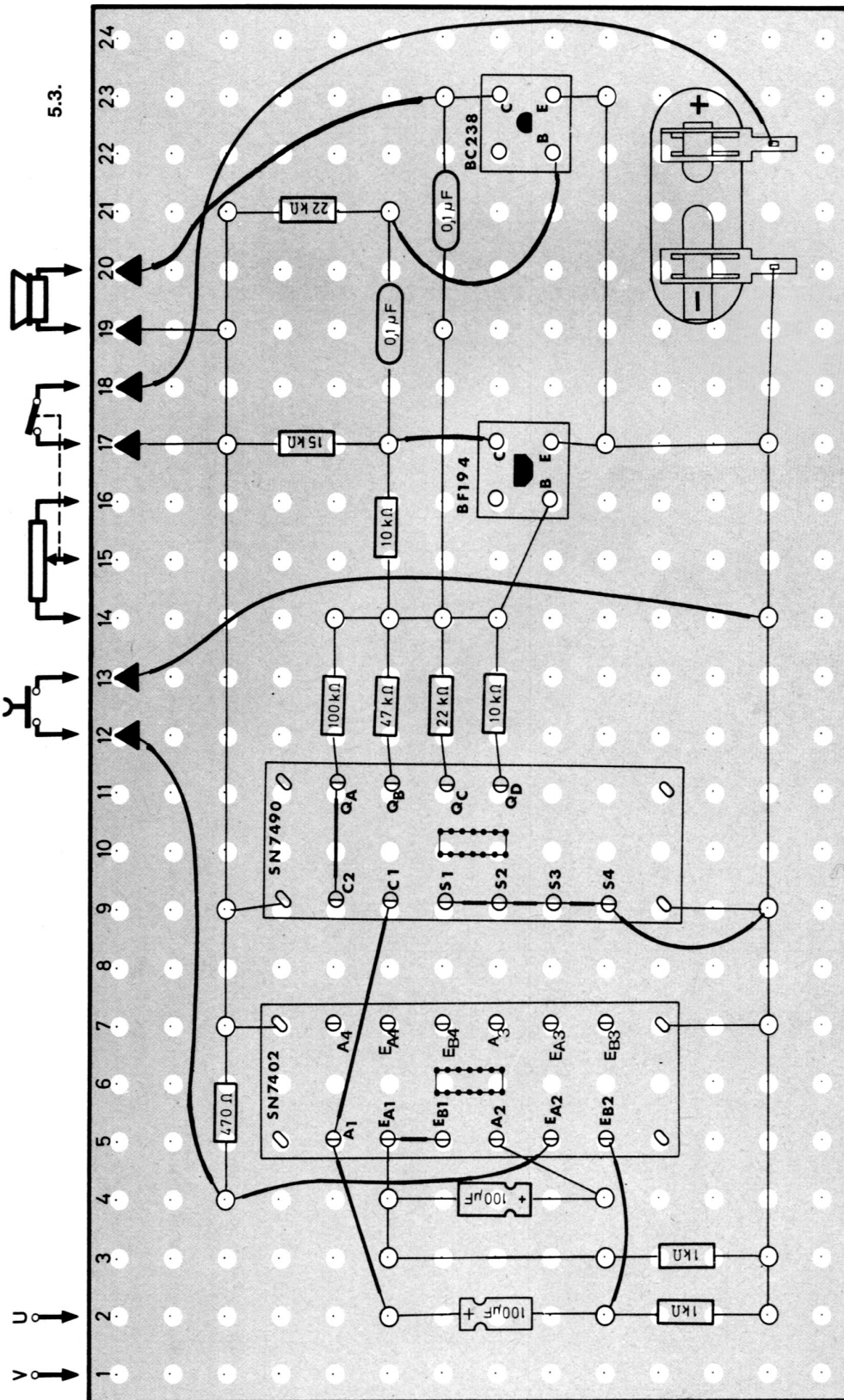


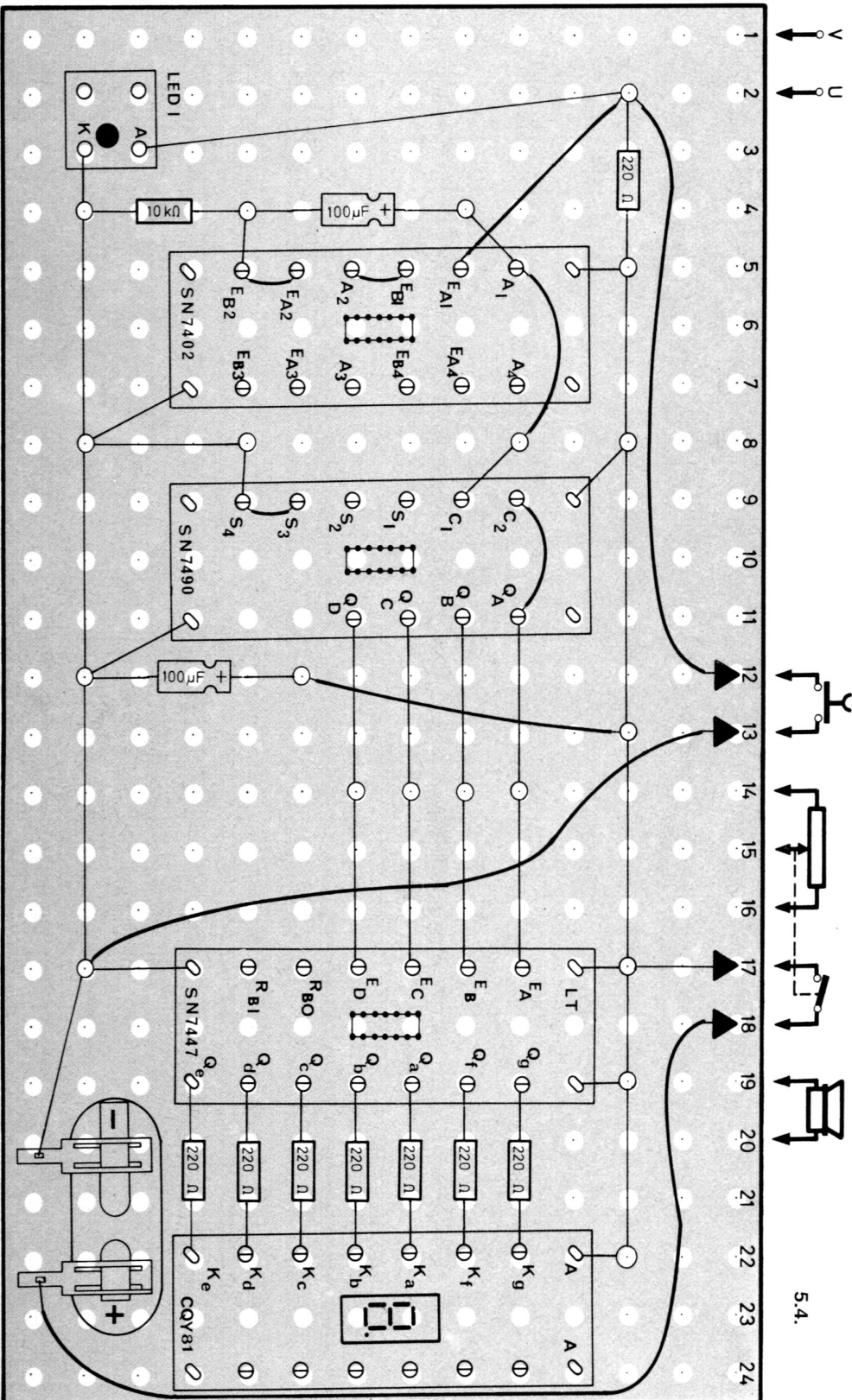


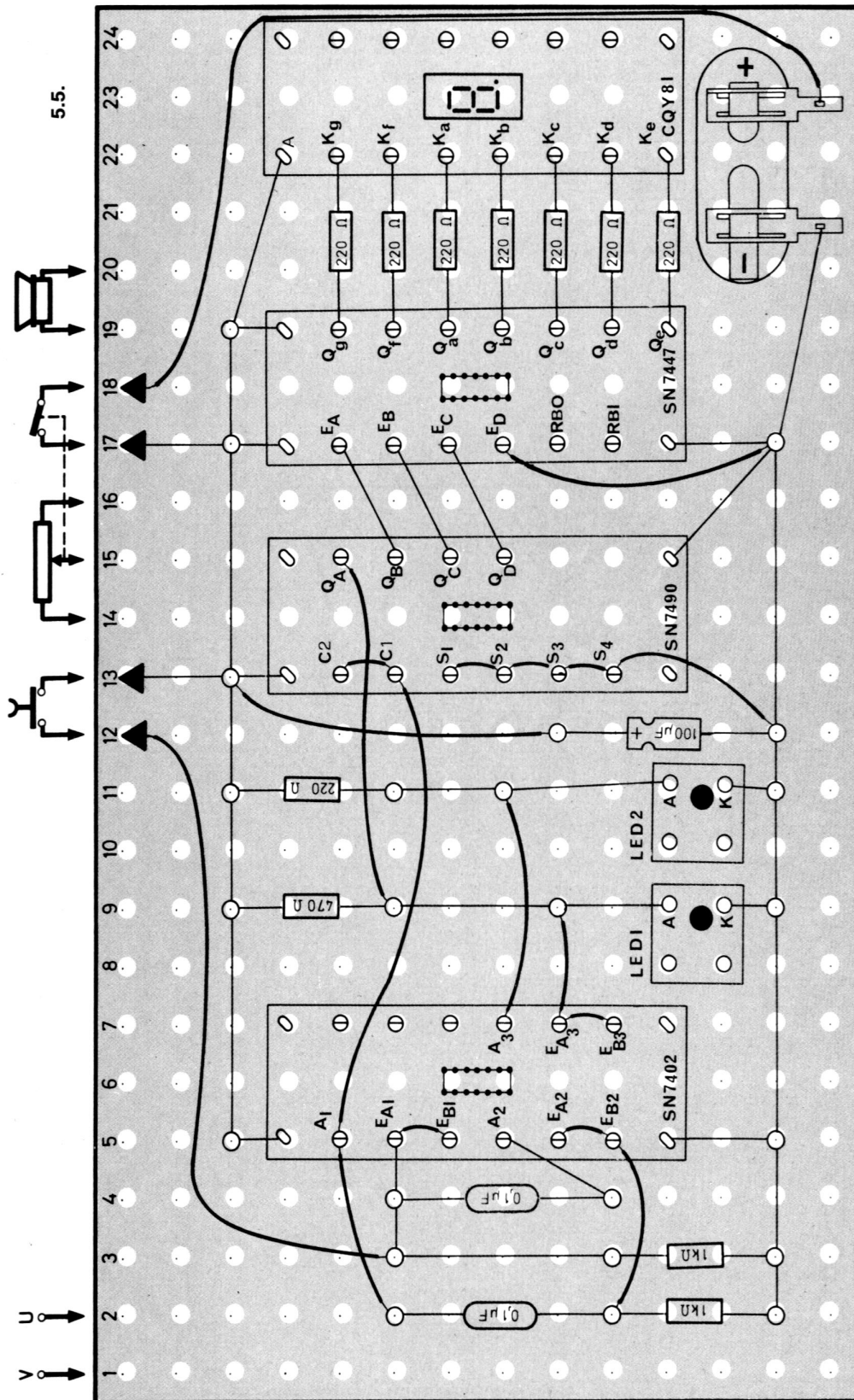


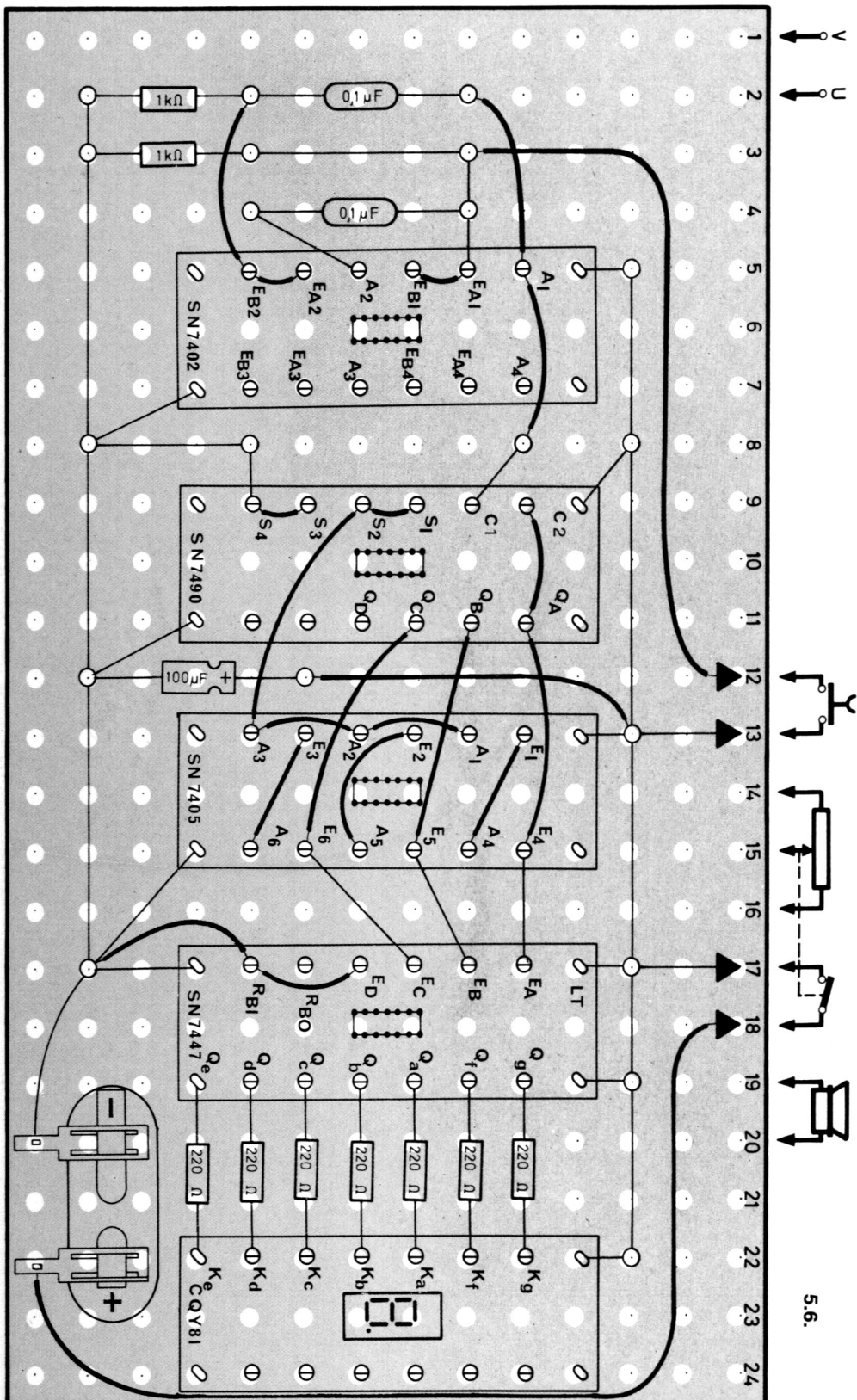


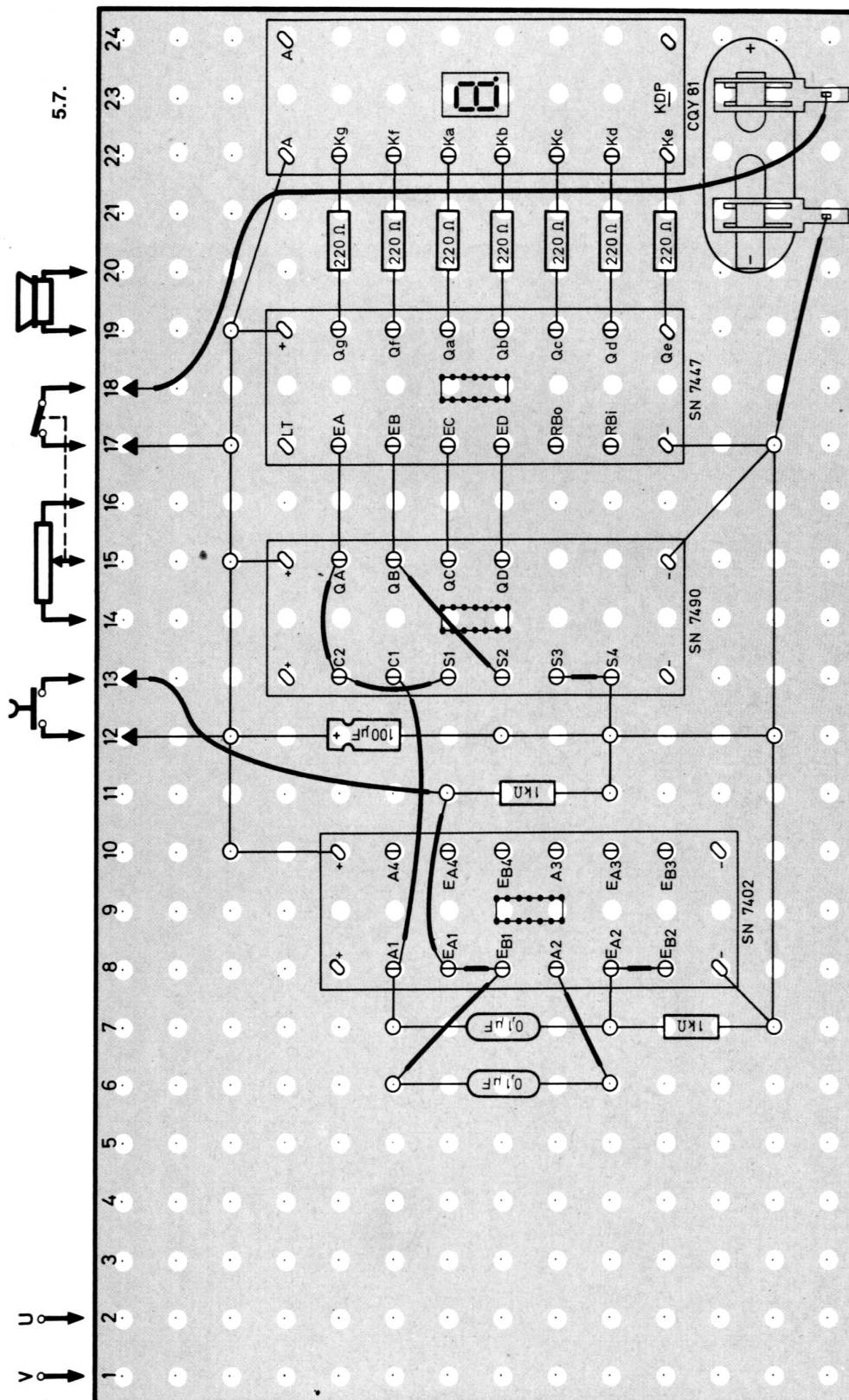




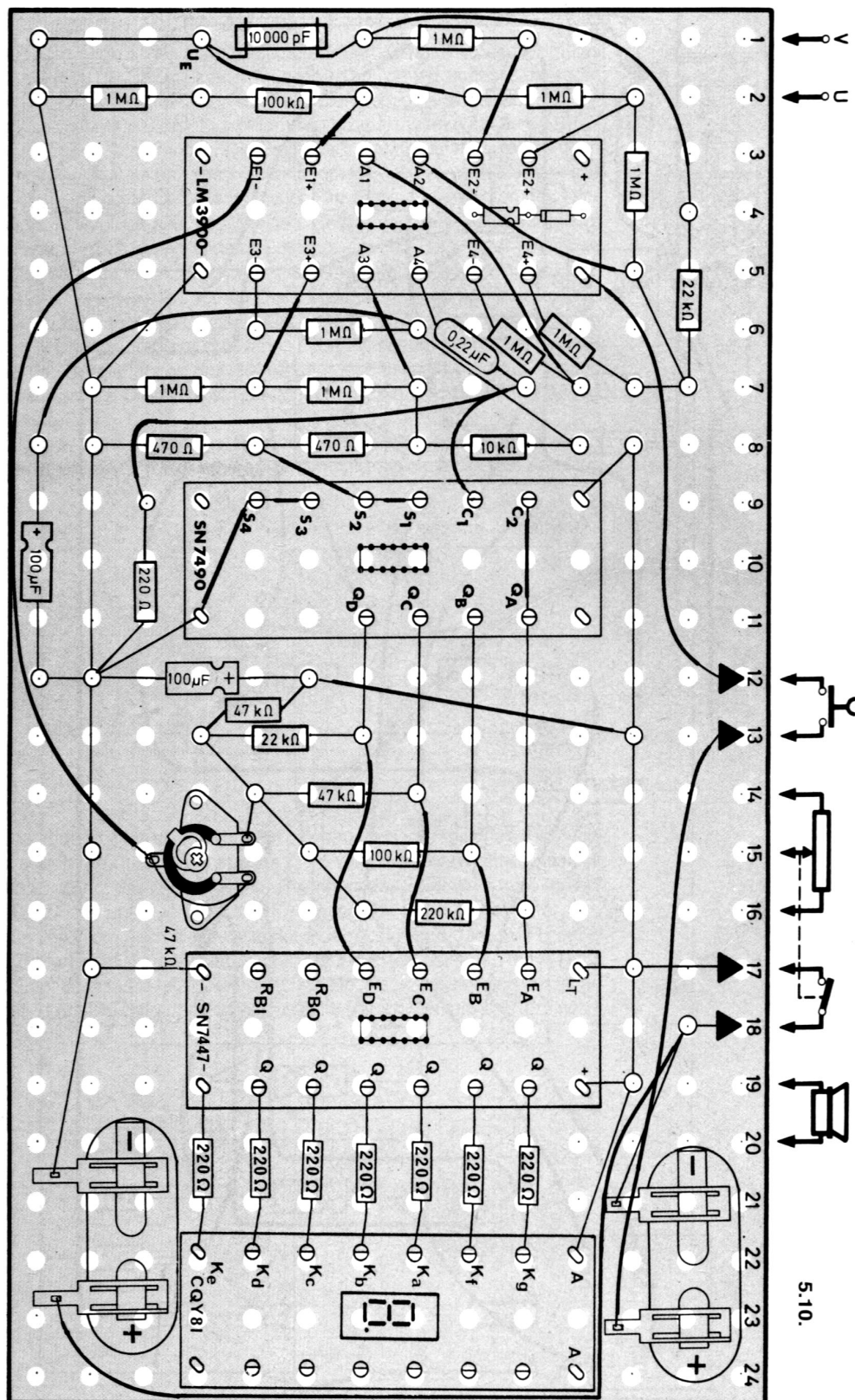












Unsere Anschrift lautet:

in Deutschland PHILIPS GMBH
Bereich Technische Spielwaren
Postfach 10 14 20
2000 Hamburg 1

in Österreich Spiel und Sport
Hermann Stadlbauer
5027 Salzburg, Postfach 93

in der Schweiz Waldmeier AG
Auf dem Wolf 30
4052 Basel

D

