

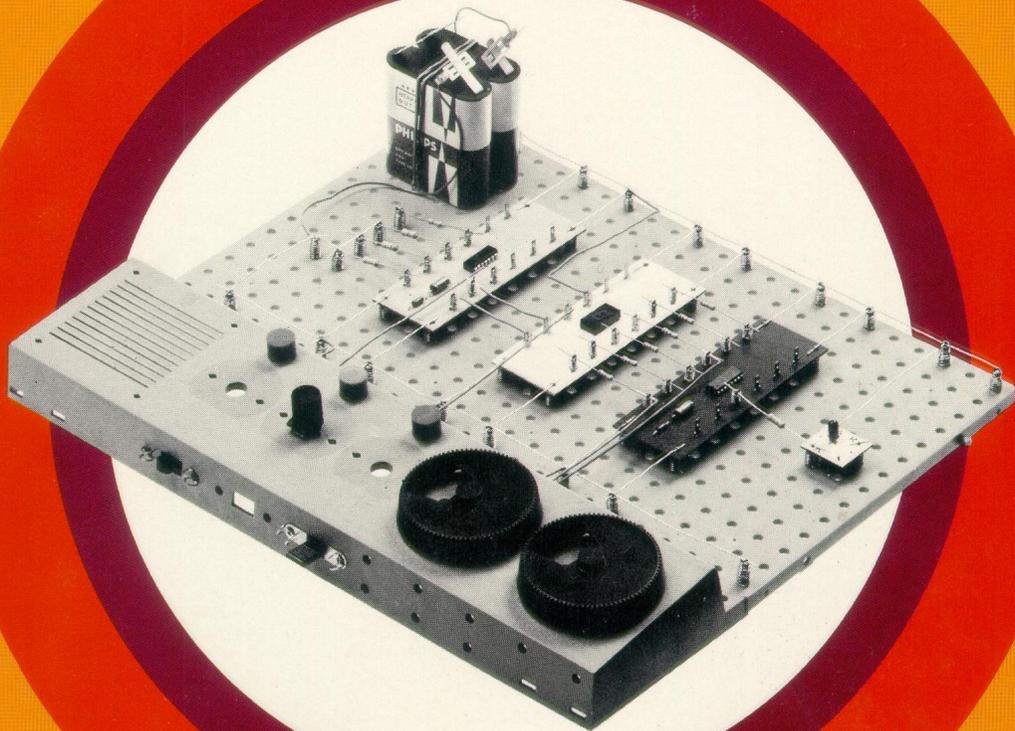
PHILIPS



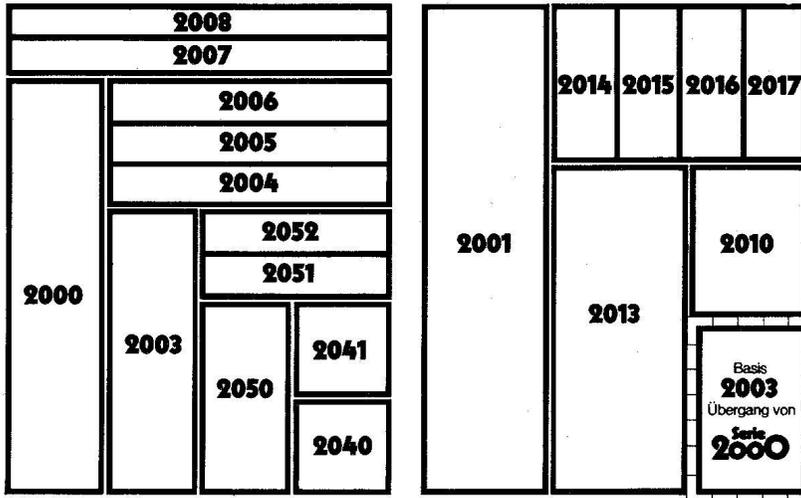
Grundlagen moderner Halbleiterbauelemente

D

Anleitungsbuch für Elektronik-Experte EE 2013



Elektronik-Serie 2000/2001



© Philips GmbH, Bereich Technische Spielwaren, Hamburg – 1976/1

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe – auch auszugsweise – nicht gestattet.

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

Technische Änderungen vorbehalten

Grundlagen
moderner Halbleiterbauelemente

Anleitungsbuch
für Elektronik-Experte
EE 2013

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

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	5
Abbildung der Einzelteile und Inhaltsverzeichnis der Experimentierkästen	6
1. Allgemeine Bauanleitung	
2. Grundlagen moderner Halbleiterbauelemente	17
2.1. Physikalische Grundlagen	17
2.2. Halbleiterbauelemente	20
2.2.1. Leuchtdiode	23
2.2.2. Transistor	26
2.2.3. Integrierter Schaltkreis	30
2.2.4. Kapazitätsdiode	38
2.2.5. Feldeffekt-Transistor	41
3. Elektronische Grundsaltungen	44
3.1. Astabiler Multivibrator	44
3.1.1. Blinklicht	44
3.1.2. Tongenerator	45
3.1.3. Baustellen-Warnlicht	47
3.2. Bistabiler Multivibrator	48
3.2.1. Elektronischer Schalter	48
3.2.2. Alarmanlage	49
3.2.3. Warnanlage	50
3.2.4. Kontrollanlage mit akustischer Anzeige	51
3.2.5. Kombinierte Licht-Ton-Anzeige	51
3.3. Monostabiler Multivibrator	53
3.3.1. Zeitschalter	53
3.4. Schmitt-Trigger	54
3.4.1. Spannungs-Kontrollgerät	54
3.4.2. Feuchtigkeitsmelder mit optischer Anzeige	55
3.4.3. Dämmerungsschalter	56
3.4.4. Belichtungsschalter	57
3.4.5. Langzeitschalter	58
3.5. Logische Schaltungen	60
3.5.1. ODER-Schaltung	60
3.5.2. NOR-Schaltung	61
3.5.3. UND-Schaltung	62
3.5.4. NAND-Schaltung	63
3.6. Verschiedene Spezialschaltungen	64
3.6.1. Integrierer	64
3.6.2. Rechteck-Dreieck-Generator	65
3.6.3. Treppenspannungsgenerator	65
3.6.4. Sägezahngenerator	67
3.7. Verstärker	68
3.7.1. Mikrofon-Vorverstärker	68
3.7.2. Verstärker mit fest einstellbarer Verstärkung	69
3.7.3. Aktiver Lautstärkeinsteller	70
3.7.4. Tiefpaßverstärker	71
3.7.5. Hochpaßverstärker	72
3.7.6. Mischpult mit drei Eingängen	74

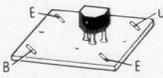
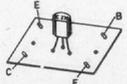
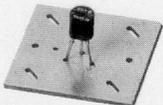
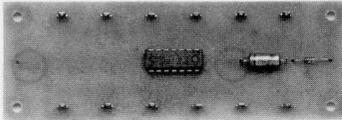
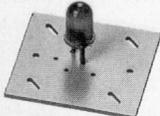
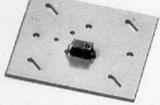
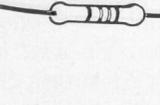
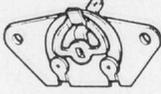
	Seite
4. Elektronische Geräte	75
4.1. Musikerzeugung	75
4.1.1. Tongenerator	75
4.1.2. Elektronischer Schlagbesen	76
4.1.3. Baßtrommel	77
4.1.4. Automatisches Schlagzeug	78
4.2. Elektroakustik	79
4.2.1. Umblendverstärker mit Übersteuerungsanzeige	79
4.2.2. Lichtorgel mit Leuchtdioden	80
4.2.3. Lichtorgel mit Mischpult	81
4.3. Fernmeldetechnik	82
4.3.1. Halbautomatische Sensor-Morsetaste	82
4.4. Elektronische Signalanlagen	83
4.4.1. Elektronische Eieruhr	83
4.4.2. Zweiklangsirene mit optischer Anzeige	84
4.4.3. Helligkeitsgesteuerte Alarmanlage	85
4.4.4. Klatschschalter	85
4.4.5. Elektronische Türglocke	86
4.4.6. Alarmanlage mit Annäherungsschalter	87
4.4.7. Elektronisches Kombinationsschloß	88
4.4.8. Warnblinker	89
4.4.9. Reaktionstester	90
4.5. Meß- und Regeltechnik	91
4.5.1. Belichtungsmesser mit LED-Anzeige	91
4.5.2. Voltmeter	92
4.5.3. Bodenfeuchtigkeits-Kontrollgerät	93
4.5.4. Dimmerschaltung	94
4.5.5. Schmutzwasser-Tester	95
4.5.6. Sensortaster	96
4.5.7. Sensorschalter	96
4.5.8. Lügendetektor	97
4.6. Rundfunkempfangstechnik	99
4.6.1. UKW-Empfänger	99
4.6.2. UKW-Empfänger mit Sensorabstimmung	101
Sachwortverzeichnis	102
Schaltsymbole	104
Verdrahtungsplan-Symbole	105
Technische Daten	106
Codetabelle	107

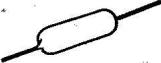
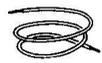
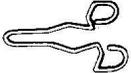
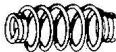
Vorwort

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.

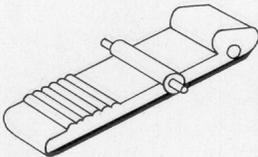
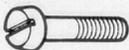
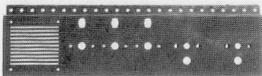
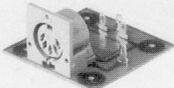
Mit der Entwicklung der Raumfahrttechnik wurde der Zwang zur Miniaturisierung immer stärker, und die Bauteile, die dabei entstanden, kamen allen Bereichen der Elektronik zugute. Mit ständig steigender Nachfrage konnten auch die Kosten so weit gesenkt werden, daß weitere Anwendungen sich zwangsläufig 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 ihre Funktion Erklärung finden. Dabei können die einfachsten Grundlagen der Elektronik nur in sehr geraffter Form dargestellt werden. Es wird für diesen Experimentierkasten vorausgesetzt, daß der Benutzer die Elektronik-Serie 2000 durchgearbeitet hat oder die erforderlichen theoretischen Kenntnisse besitzt. Im Vordergrund steht das Zusammenwirken konventioneller Bauteile, wie z. B. Transistor, Diode, Widerstand und Kondensator, mit einem integrierten Schaltkreis, einer Leuchtdiode und einem Feldeffekt-Transistor.

Teil	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Inhalt	
			EE 2010	EE 2013
	349.1001	Transistor BF 194* Kennfarbe: rot	-	1
	1212	Transistor BC 238* Kennfarbe: weiß	-	1
	1301	Transistor BF 244 oder 245 A* Kennfarbe: gelb	1	1
	1305	Integrierter Schaltkreis (IC) LM 3900* Kennfarbe: gelb	1	1
	1003	Diode BA 318	1	1
	1302	Leuchtdiode grün	1	1
	1303	Leuchtdiode rot	1	1
	1304	Kapazitätsdiode BB 110* Kennfarbe blau	1	1
	1004	Widerstand* ¼ Watt		
		470 Ohm	1	2
		1 000 Ohm	-	1
		1 500 Ohm	2	2
		2 200 Ohm	-	1
		3 300 Ohm	-	1
		4 700 Ohm	-	1
			-	2
		10 000 Ohm	-	1
		15 000 Ohm	-	1
		22 000 Ohm	-	2
		47 000 Ohm	1	3
		100 000 Ohm	1	2
		220 000 Ohm	-	1
		470 000 Ohm	-	1
		1 000 000 Ohm	8	8
		10 000 000 Ohm	1	1
	1011	Potentiometer mit Schalter und Muttern, 10 000 Ohm	-	1
	1040	Trimm-Potentiometer 47 000 Ohm	1	1
	1010	Lichtempfindlicher Widerstand (LDR) 10 000 Lux = 12 Ohm 1 000 Lux = 110 Ohm 100 Lux = 900 Ohm 10 Lux = 9 000 Ohm dunkel = ca. 10 Megohm	-	1

Teil	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Inhalt		
			EE 2010	EE 2013	
	349.1005	Polyester-Kondensator*	0,022 μ F	-	1
			0,047 μ F	-	1
			0,1 μ F	-	2
			0,22 μ F	1	2
	1006	Elektrolyt-Kondensator*	4 μ F	1	2
			10 μ F	1	2
			100 μ F	-	2
	1007	Keramischer Kondensator*	10 pF	-	2
			100 pF	1	1
			470 pF	1	1
			1 000 pF	1	2
			10 000 pF	1	2
	1013	Lautsprecher	-	1	
	1133	Batterieklammer	-	4	
	1016	Blanker Draht	-	4 m	
	1017	Isolierter Draht	-	4 m	
	1020	Haarnadelfeder	-	75	
	1021	Klemmfeder	-	75	
	1022	Spiralfeder	20	40	
	1025	Knopf	-	1	

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

Teil	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Inhalt	
			EE 2010	EE 2013
	349.1028	Gummiband	-	2
	1029	Tastschalter	-	1
	1030	Kontaktstift für Tastschalter	-	1
	1031	Halterung für Tastschalter	-	2
	1032	Madenschraube (M 3)	-	2
	1033	Viereckige Mutter (M 3)	-	10
	1034	Unterlegscheibe für Potentiometer	-	1
	1036	Schraube (M 3)	-	8
	1042	Verlängerungsachse für Trimpotentiometer	1	1
	1130	Grundplatte	-	2
	1153	Schaltpult	-	1
	1306	Normbuchse	1	1
	1737	Anleitungsbuch	1	1

1. Allgemeine Bauanleitung

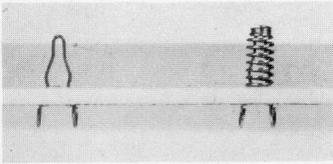


Abb. 1.a

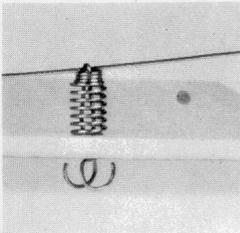


Abb. 1.b

Alle Geräte und Schaltungen werden auf Grundplatten aufgebaut, die Bedienungselemente sitzen im Schaltpult.

Beim Aufbau braucht nicht gelötet zu werden, sondern einwandfreie Verbindungen der Bauelemente untereinander werden mit **Klemmen** hergestellt.

Dieses Klemm-System ist so vielseitig und kontaktsicher, daß damit sämtliche Geräte bis hin zum Fernsehempfänger EE 2007, EE 2008 aufgebaut werden können.

Die Klemmen steckt man aus Haarnadel- und Klemmfedern folgendermaßen nach Abb. 1 zusammen: Von der Unterseite der Grundplatte (1130) wird die Haarnadelfeder (1020) durch ein Loch geschoben, zusammengedrückt und von oben eine Klemmfeder (1021) darübergesteckt, bis sie einrastet. Wenn man die Klemmfeder niederdrückt, erscheint die Schlaufe der Haarnadelfeder. Nun schiebt man die zu verbindenden Anschlußdrähte hinein und läßt die Klemmfeder wieder los: sie sind dadurch festgeklemmt.

1.1. Einbau der Bedienungselemente in das Schaltpult

Die Bedienungselemente im Schaltpult werden nur einmal eingebaut. Man braucht also beim Aufbau neuer Geräte am Schaltpult nichts zu verändern.

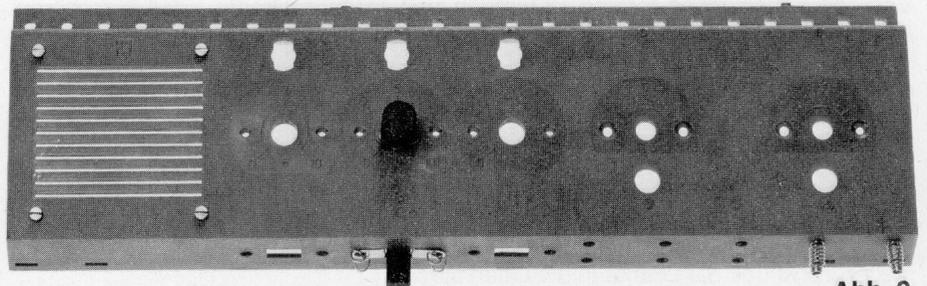


Abb. 2

Einbau des Tastschalters

Dieser Schalter wird zusammengesetzt. Zunächst steckt man von innen durch das Loch N an der Vorderseite des Schaltpultes die beiden Halterungen für Tastschalter (1031). Von außen steckt man je eine Haarnadelfeder (1020) durch die Löcher. Dann wird die Taste (1029) vorbereitet, indem der Kontaktstift (1030) in das Loch geschoben wird (Abb. 3). Diese Einheit klemmt man jetzt von innen in die Halterungen; die geriffelte Seite zeigt nach oben. Man drückt die Halterungen auseinander und steckt die Taste soweit hinein, daß die Kunststoffzapfen in den kleinen Löchern der Halterungen einrasten. Es muß darauf geachtet werden, daß die Bördelungen der Halterungen fest in den Löchern des Schaltpultes sitzen. Zum Abschluß steckt man von der Innenseite je eine Klemmfeder (1021) auf die Haarnadelfeder (Abb. 4).

Beim Niederdrücken der Taste muß der Metallstift auf beiden Seiten die Halterungen berühren. Falls das schon in Ruhestellung erfolgt, müssen die herausragenden Blechlaschen an der Seite, an der sich das dicke Ende des Kontaktstiftes befindet, etwas zusammengedrückt werden. Dann hat die Taste kein Spiel mehr.

Wird die Taste nach unten gedrückt, arbeitet sie als Tastschalter, d. h. der Kontakt ist nur so lange geschlossen, wie die Taste niedergehalten wird. Beim Anheben der Taste rastet sie ein und gibt einen Dauerkontakt.



Abb. 3

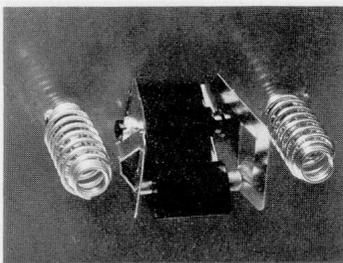


Abb. 4

Einbau des Lautsprechers (1013)

Durch die vier Löcher an den Ecken der Schallschlitz – linke Seite des Schaltpultes – wird von außen je eine Schraube (1036) gesteckt. Von der Unterseite wird der Lautsprecher (1013) daraufgedrückt und mit Muttern (1033) befestigt.

Einbau des Potentiometers mit Schalter (1011)

Von der Unterseite des Schaltpultes wird das Potentiometer mit der Achse durch das Loch G gesteckt und so weit gedreht, bis der Zapfen des Potentiometergehäuses an einem der Stege anliegt.

Von oben wird eine Unterlegscheibe (1034) aufgelegt und das Potentiometer mit einer Mutter festgezogen (Abb. 5).

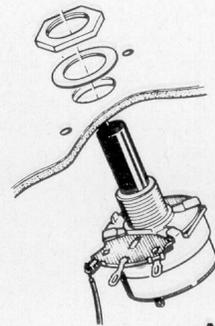


Abb. 5

1.2. Anschließen der Bedienungselemente

Die Bedienungselemente werden mit Anschlüssen an der Rückseite des Schaltpultes verbunden. Beim Aufbau der Geräte werden später nur noch Verbindungen zu diesen Anschlüssen hergestellt.

In die Löcher 12 bis 20 werden Klemmen eingesetzt.

Tastschalter (Anschlüsse 12 und 13)

Von den Anschlüssen 12 und 13 werden zwei isolierte Drähte – das Abisolieren nicht vergessen – zu den Klemmen geführt, mit denen die Metallhalterungen an der Vorderseite des Pultes befestigt sind. Nach dem Niederdrücken der Klemmfedern lassen sich die Drähte in den Schlaufen festklemmen.

Lautsprecher (Anschlüsse 19 und 20)

Von den Anschlüssen 19 und 20 werden zwei Drähte durch einen Schlitz an der Rückseite des Schaltpultes zum Lautsprecher geführt. Auf die beiden Ösen schiebt man je eine Spiralfeder und befestigt die Drähte, indem man die Spiralfedern niederdrückt und die Drähte in die Ösen steckt.

Potentiometer mit Schalter (Anschlüsse 14 bis 18)

Mit dem Potentiometer wird die Leitung zur Batterie ein- und ausgeschaltet und zusätzlich die Spannung geregelt. Von den Anschlüssen 17 und 18 führen Drähte zur Rückseite des Potentiometers (zwei Ösen). Die Drähte befestigt man an diesen beiden Ösen mit Spiralfedern. Von Anschluß 16 führt ein Draht an die linke der drei seitlichen Ösen (Abb. 7) und wird dort mit einer Spiralfeder befestigt. Anschluß 15 wird mit der mittleren, Anschluß 14 mit der rechten Öse verbunden. Es muß darauf geachtet werden, daß diese Anschlüsse nicht verwechselt werden.

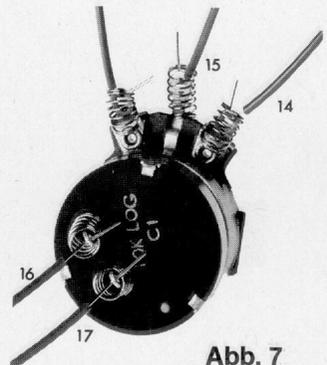


Abb. 7

1.3. Abschließende Arbeiten am Schaltpult

Zum Abschluß muß noch der Knopf (1025) auf der Achse des Potentiometers befestigt werden (Abb. 8).

Beim Anschlag an der linken Seite muß die Nase des Knopfes auf der O der Skala stehen.

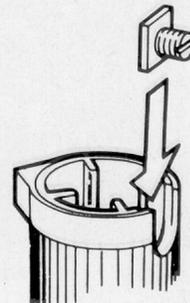


Abb. 8

1.4. Verbindung der Grundplatten (1130)

Die beiden Grundplatten müssen mit den langen Seiten so zusammengesetzt werden, daß die Zapfen jeweils in die gegenüberliegenden Löcher passen. Sie werden dann untereinander mit zwei Schrauben (1036) und Muttern (1033) verschraubt.

1.5. Verdrahtungspläne

Zu jeder Schaltung und zu jedem Gerät ist in diesem Buch ein Verdrahtungsplan abgebildet. Auf ihm ist die Lage der einzelnen Bauelemente innerhalb der Gesamtschaltung angegeben. Dieser Verdrahtungsplan sollte als ein erprobter Vorschlag angesehen werden, der bei einiger Erfahrung natürlich auch abgewandelt werden kann.

1.6. Befestigen der Bauelemente auf der Grundplatte

Die Bauelemente werden an den Klemmen befestigt, die nach dem Verdrahtungsplan einzusetzen sind. Welche Bauteile mit den Zeichen auf den Verdrahtungsplänen gemeint sind und welche Besonderheiten beim Einbau zu beachten sind, soll nun erklärt werden.

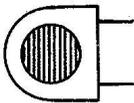
Kohlewiderstände (1004)

Die Kohlewiderstände sind auf dem Verdrahtungsplan durch rechteckige Kästchen dargestellt, in denen der Wert in Ohm angegeben ist, z. B. 27.000 Ω . Auf den Widerständen selbst wird der Wert durch einen Farbcode angegeben. Die Bedeutung der Farbringe kann man der Code-Tabelle am Schluß dieses Anleitungsbuches entnehmen.



Lichtempfindlicher Widerstand – LDR (1010)

Auf dem Verdrahtungsplan wird der LDR abgebildet. Die gestreifte Seite ist die lichtempfindliche.



Polyester-Kondensatoren (1005)

Polyester-Kondensatoren werden auf dem Verdrahtungsplan durch Rechtecke dargestellt, deren kürzere Seiten abgerundet sind. Der Wert ist darin angegeben. Es kann vorkommen, daß der Wert auf dem Kondensator in einer anderen Maßeinheit angegeben ist als auf dem Verdrahtungsplan. Angaben für die Umrechnung findet man in der Code-Tabelle am Ende des Buches.



Elektrolyt-Kondensatoren (1006)

Elektrolyt-Kondensatoren werden auf dem Verdrahtungsplan ihren Umrissen entsprechend dargestellt. Der Wert ist aufgedruckt. Es ist besonders wichtig, daß Elektrolyt-Kondensatoren richtig angeschlossen werden. Bei falscher Polung können sie und andere Teile zerstört werden. Auf der positiven Seite (+) befindet sich eine Rille. Immer darauf achten, zu welcher Seite sie zeigen muß.



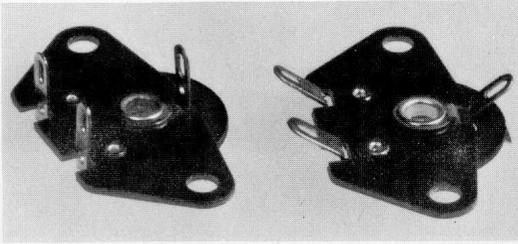


Abb. 9a

Abb. 9b

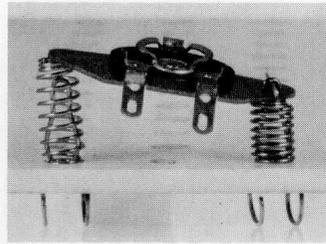


Abb. 9c

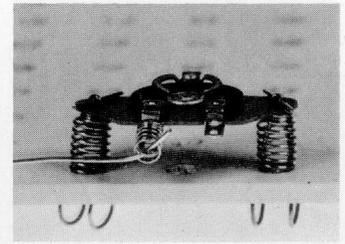
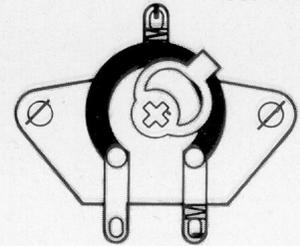


Abb. 9d

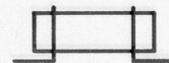
Trimpotentiometer (1040)

Zum Befestigen des Trimpotentiometers werden zwei Haarnadelfedern in die Grundplatte gesteckt und Klemmfedern darüber geschoben. Beim Niederdrücken des Potentiometers müssen die Schlaufen der Haarnadelfedern durch die Bohrungen ragen. Zwei isolierte Drahtstücke werden dann hindurchgesteckt. Die Anschlußdrähte befestigt man mit Spiralfedern (1022) an den Ösen des Trimpotentiometers. Mit der Verlängerungsachse läßt sich das Potentiometer einstellen (Abb. 9).



Keramische Kondensatoren (1007)

Sie sind auf dem Verdrahtungsplan durch Rechtecke dargestellt, an deren einer Längsseite die Anschlüsse herausführen. Der Wert ist angegeben. Da manche auch Farbringe tragen, müssen die Werte nach der Code-Tabelle am Ende des Buches herausgesucht werden.



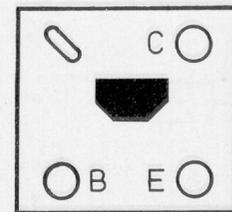
Transistoren (1001, 1212)

Die Transistoren sind auf einer kleinen Platte – einer gedruckten Schaltung – festgelötet.

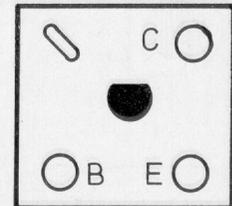
Es ist ganz besonders darauf zu achten, daß sie nicht verwechselt und die Anschlüsse nicht vertauscht werden. Auf den Transistoren findet man auf der Oberseite des Plättchens die Buchstaben B – Anfangsbuchstabe von **B**asis, E – Anfangsbuchstabe von **E**mitter und C – Anfangsbuchstabe von **C**ollector.

Auf einigen Transistoren BC 238 (weiß) sind die Bezeichnungen nur auf der Unterseite. Damit man nicht immer wieder nachsehen muß, schreibt man sie mit einem Bleistift oder mit feinem Filzstift auch auf die Oberseite neben die Schlitzte. Es kann einmal vorkommen, daß in dem Experimentierkasten nicht der Transistor BF 194 liegt, sondern ein anderer, der aber dieselben Aufgaben erfüllen kann. Er hat dann ebenfalls ein rotes Plättchen, und das ist der Hinweis, daß man ihn anstelle des BF 194 einsetzen kann. Ebenso kann auch auf dem weißen Plättchen ein anderer Transistor als der BC 238 festgelötet sein.

Die Transistoren werden auf bereits eingesetzte Klemmen gesetzt. Vor dem Befestigen der Transistoren dreht man die Schlaufen der Haarnadelfedern so, daß sie in die Schlitzte des Plättchens passen. Wenn man es nun niederdrückt, ragen die Schlaufen durch die Schlitzte. In diesen entstehenden Öffnungen befestigt man die Anschlußdrähte (Abb. 10).



BF 194
rot
red
rouge



BC 238
weiß
white
blanc

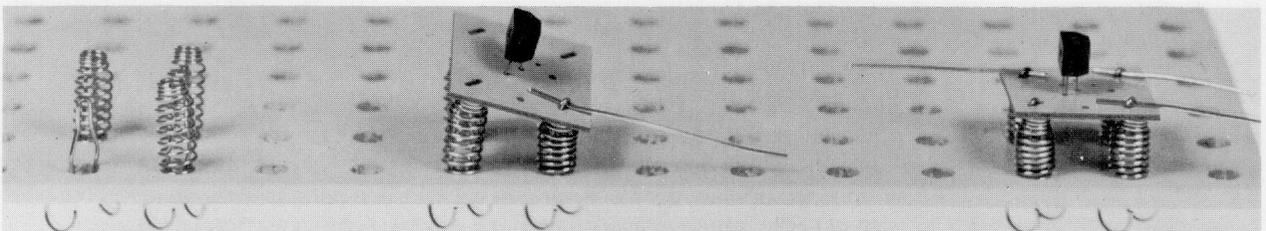
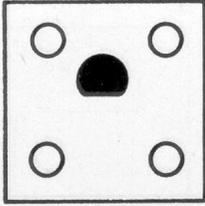


Abb. 10



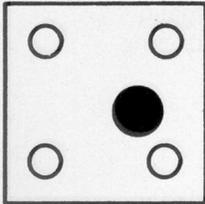
Feldeffekt-Transistor (1301)

Der Feldeffekt-Transistor BF 244 A ist auf einer gelben Platte festgelötet. Die Anschlußbezeichnungen G, S, D auf der Oberseite der Platte erleichtern den richtigen Anschluß. Dieser Transistor wird wie der BF 194 und der BC 238 auf der Grundplatte befestigt, ausgenommen bei den Geräten 4.6.1. und 4.6.2.

Diode (1003)



Auf dem Verdrahtungsplan ist die Diode ihrem Umriß entsprechend eingezeichnet und mit der Typennummer BA 318 (ersatzweise kann eine andere, entsprechende Diode beiliegen) versehen. Da auch sie richtig herum eingebaut werden muß, findet man den roten Farbring, mit dem die eine Seite gekennzeichnet ist, auf dem Verdrahtungsplan als schwarzen Strich.

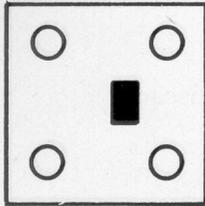


Leuchtdiode (1302, 1303)

Die Leuchtdioden (grün und rot) sind wie auch die Transistoren auf einer gedruckten Schaltung festgelötet. Die Anschlüsse sind durch Aufdrucke gekennzeichnet:

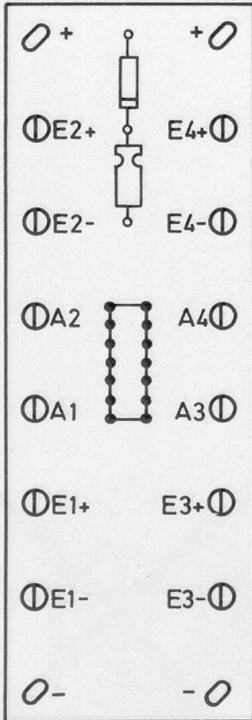
A = Anode, K = Kathode

Befestigt werden die Leuchtdioden wie die Transistoren (Abb. 10).



Kapazitätsdiode (1304)

Wie auch bei den Leuchtdioden sind Anode (A) und Kathode (K) der Kapazitätsdiode durch Aufdrucke markiert. Befestigung s. Abb. 10.



Integrierter Schaltkreis, IC (1305)

Auf dem Verdrahtungsplan ist der Integrierte Schaltkreis LM 3900 (auf gelber Platte) durch das nebenstehende Symbol 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.

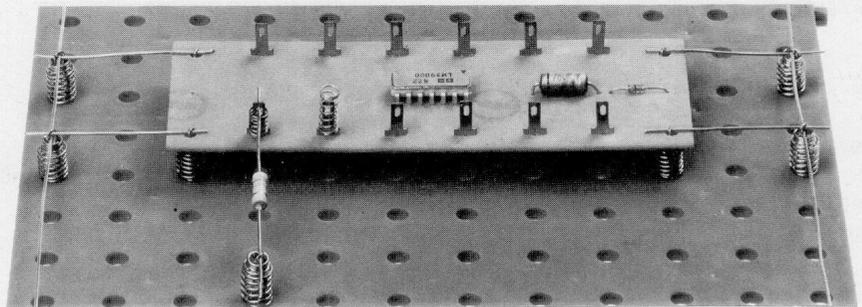
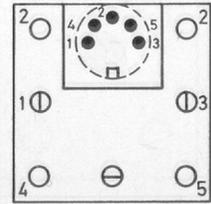


Abb. 11

Diodenbuchse (1306)

Der Anschluß eines aufgebauten Gerätes kann durch die beiliegende Diodenbuchse (1306) erheblich erleichtert werden. In den Verdrahtungsplänen ist diese Buchse nicht eingezeichnet, da die Anschlußbelegung unterschiedlich sein kann. Befestigt wird die Diodenbuchse wie ein Transistor mit den Eckschlitzen (2, 2, 4, 5) der gedruckten Schaltung. Die Anschlüsse 1 und 3 werden mit Spiralfedern hergestellt.

In der folgenden Tabelle sind die Anschlüsse der wichtigsten Rundfunk-, Phono- und Tonbandgeräte aufgeführt. Der Anschluß Null ist immer mit dem Minuspol des aufgebauten Gerätes zu verbinden, der oder die Ausgänge immer mit dem gekennzeichneten Eingang.



Plattenspieler	3pol. Mono	2 = Null	1 + 3 = Ausgang	
	5pol. Mono	2 = Null	3 + 5 = Ausgang	
Plattenspieler	3pol. Stereo	2 = Null	1 = rechter Ausgang	3 = linker Ausgang
	3pol. Stereo	2 = Null	3 = linker Ausgang	5 = rechter Ausgang
Tonbandgerät	3pol. Mono	2 = Null	3 = Ausgang	
	5pol. Mono	2 = Null	3 = Ausgang	
Tonbandgerät	5pol. Stereo	2 = Null	3 = rechter Ausgang	5 = linker Ausgang
Rundfunkgerät	3pol. Mono	2 = Null	1 = Ausgang	
	5pol. Mono	2 = Null	1 = Ausgang	
Rundfunkgerät	5pol. Stereo	2 = Null	1 = linker Ausgang	4 = rechter Ausgang

Verbindungsdrähte

Drahtverbindungen sind auf den Verdrahtungsplänen als schwarze Striche dargestellt. Dünne Striche bedeuten: Blanker Draht, dicke Striche: Roter isolierter Draht. Bitte bedenken, daß die Enden abisoliert werden müssen.

Verbindungsdrähte, die auf dem Verdrahtungsplan mit einem dicken Pfeil enden, werden später als Anschluß des Schaltpultes geklemmt, dessen Nummer über der Pfeilspitze steht.

Es empfiehlt sich, lange durchgehende Drahtverbindungen aus einem Stück herzustellen.

1.7. Zusammenbau von Schaltpult und Grundplatte

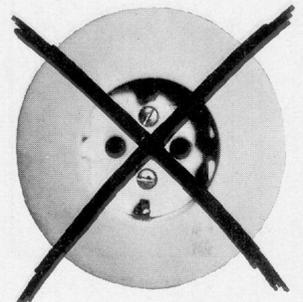
Die Grundplatte und das Schaltpult werden so zusammengesteckt, daß Zapfen und Löcher ineinanderpassen. Die Pfeilspitzen auf den Verdrahtungsplänen müssen zum Schaltpult zeigen, so daß die Zahlen übereinstimmen. Dann verschraubt man das Schaltpult mit der Grundplatte an den äußeren Löchern.

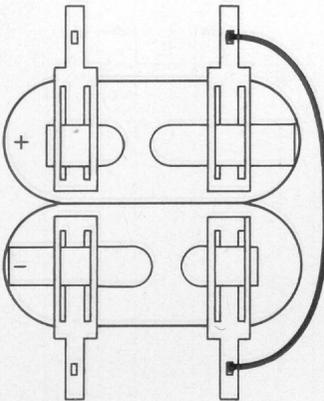
1.8. Anschluß der Batterien

Warnung

Für die elektronischen Geräte aus diesem Experimentierkasten werden nur Batterien als Stromquellen benutzt.

Der Wechselstrom aus den Steckdosen kann tödliche Unfälle verursachen.





Man benötigt für die Geräte und Schaltungen zwei 4,5 V-Flachbatterien. Sie müssen noch zusammengeschaltet werden. Nach Abb. 12 wird auf jede der 4 Batterielaschen je eine Batterieanschlußklemme geschoben. Dann verbindet man die lange Lasche der Batterie 1 (Minuspol) mit der kurzen der Batterie 2 (Pluspol) durch einen isolierten Draht, der mit Spiralfedern festgeklemmt wird. Man stellt die Batterien so auf die Grundplatte, daß der freie Pluspol (kurze Lasche) zum Schaltpult hinzeigt, wie auf dem Verdrahtungsplan angegeben. Um sie zu befestigen, fädelt man unmittelbar neben der Batterie ein Gummiband (1028) durch ein Loch und hakt unten eine Haarnadelfeder ein (Abb. 13). An der anderen Seite der Batterien befestigt man das Gummiband in gleicher Weise. Dazu stellt man die Batterien noch einmal zur Seite. Dann spannt man das Gummiband und schiebt die Batterien darunter. Anschließend verbindet man den freien Pluspol und den freien Minuspol wie auf dem Verdrahtungsplan angegeben.

4,5 V-Anschluß

Bei einigen Geräten wird zusätzlich eine Betriebsspannung von 4,5 V benötigt. Dazu klemmt man ein weiteres Kabel gemäß Abb. 14 an der bezeichneten Batterieanschlußklemme fest.

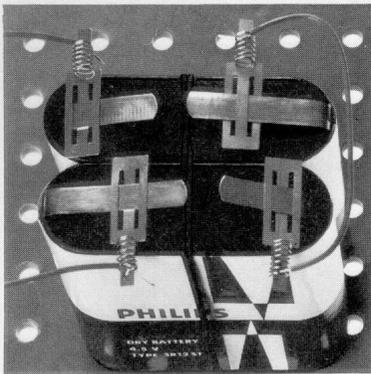


Abb. 12

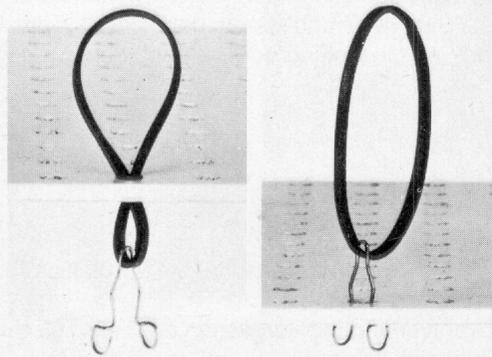


Abb. 13

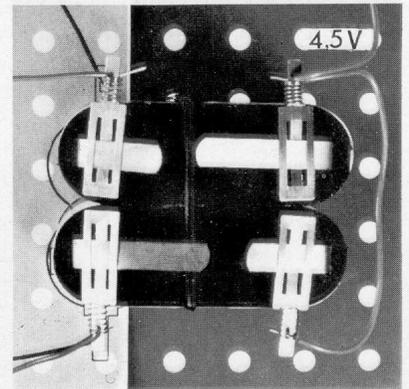


Abb. 14

1.9. Aufbau einer Alarmschleife

Eine Alarmschleife besteht aus mehreren in Reihe (hintereinander) geschalteten Kontaktstellen. Jede Kontaktstelle sichert z. B. eine Tür oder ein Fenster. Wird durch einen Unbefugten das so gesicherte Fenster geöffnet, unterbricht die Kontaktstelle. Die Alarmschleife hat keinen Durchgang mehr, die Alarmanlage spricht an.

Kontaktstellen sind vielfach druckempfindliche Schalter oder können folgendermaßen selbst hergestellt werden:

Man drückt nebeneinander in das Rahmenholz einer Tür oder eines Fensters zwei blanke Heftzwecken. An diesen befestigt man je einen Draht, der zu den weiteren Kontaktstellen führt. Man klebt danach an den beweglichen Teil der Tür in gleicher Höhe eine Metallfolie (Staniolpapier). Bei geschlossener Tür muß die Folie beide Heftzwecken berühren.

Die Endpunkte aller in Reihe geschalteten Kontaktstellen sind an die Alarmanlage anzuschließen (Abb. 15).

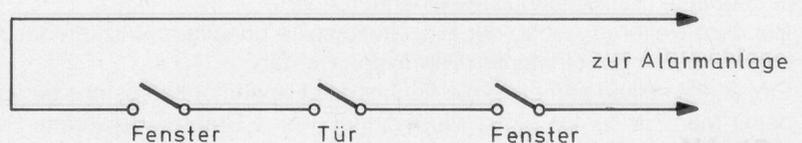


Abb. 15

1.10. Herstellung eines Fühlers

1.10.1. Fühler für feste Stoffe (Erde)

Zwei blanke Drähte oder Metallstäbe werden in ca. 3 cm Abstand 10 bis 20 cm tief in das Erdreich gesteckt. Die Enden der Fühlerstäbe sind mit dem Gerät zu verbinden.

1.10.2. Fühler für flüssige Stoffe

Von zwei isolierten Drähten werden die Enden ca. 15 cm lang abisoliert und, wie in Abb. 16 angegeben, auf einem Löschpapier befestigt. Die Enden der isolierten Drähte führen zum Gerät.

1.11. Letzte Kontrolle

Wenn alle Arbeiten ausgeführt worden sind, sollte noch eine letzte Kontrolle durchgeführt werden. Dabei ist zu prüfen, ob nicht versehentlich etwas falsch gemacht wurde. Sind die Einzelteile richtig angebracht? Wurde kein Teil vergessen? Berühren sich etwa Drähte, die es nicht sollen? Sind alle Elektrolyt-Kondensatoren richtig eingebaut und ihre positiven Seiten (Rillen im Mantel) auch so angeschlossen wie eingezeichnet? Sind die Transistoren, die Diode und das IC richtig eingebaut und angeschlossen? Ist die Polung der Batterien richtig? Dann schaltet man das Gerät ein.

1.12. Fehlersuche

Wenn ein Gerät nicht gleich richtig funktioniert, sofort ausschalten! Sorgfältig Stück für Stück prüfen!

Wahrscheinlich wurde irgendeine Drahtverbindung vergessen oder ein Teil nicht eingebaut oder nicht richtig angeschlossen.

Die Verdrahtung überprüfen. Mit dem Verdrahtungsplan und dem Schaltbild vergleichen.

Darauf achten, daß die Drähte auch guten Kontakt zu den Klemmen haben und sich nirgendwo anders berühren.

Nachsehen, ob die Transistoren oder das IC richtig angeschlossen sind und Kontakt haben. Prüfen, ob die Diode richtig herum angeschlossen ist.

Nachsehen, ob die Elektrolyt-Kondensatoren in der vorgeschriebenen Richtung angeschlossen sind, d. h. mit der Rille an der Seite, wie auf dem Verdrahtungsplan angegeben.

Sind die Widerstände entsprechend dem Farbschlüssel der Code-Tabelle an der richtigen Stelle eingebaut?

Überprüfen, ob die Batterien leer sind.

Sind die Plusleitung und die Minusleitung richtig angeschlossen?

1.13. Abbau

Das Gerät abschalten und die Anschlüsse zu den Batterien abklemmen. Grundplatte und Schaltpult auseinanderbauen.

Bei dem weiteren Abbau der Einzelteile sollte unnötiges Knicken der Anschlußdrähte an den Bauelementen vermieden werden.

Einzelteile sollten sortiert in die Fächer des Experimentierkastens gelegt werden, damit man sie später sofort wiederfindet. Keine Drähte wegwerfen! Sie können beim nächsten Gerät wieder eingesetzt werden.

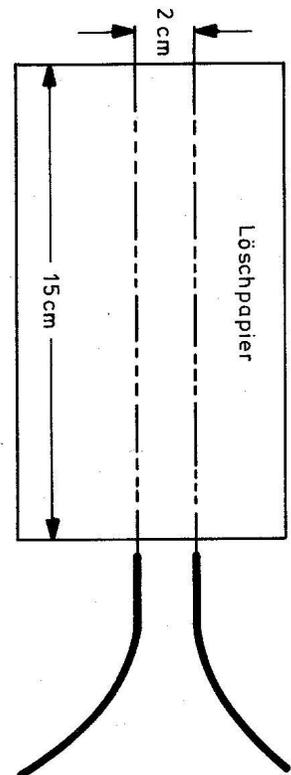


Abb. 16

2. Grundlagen moderner Halbleiterbauelemente

2.1. Physikalische Grundlagen

Ohne Überlegung bedient der Mensch – oft mehrmals täglich – irgendeinen Schalter, um ein elektrisches Gerät in Betrieb zu nehmen. Beim „Einschalten“ wird in einem einfachen oder auch verzweigten Leitungssystem der Strom zum Fließen veranlaßt, und zwar bewegen sich unvorstellbar kleine Teilchen, **Elektronen** genannt. Diese Elektronen sind z. B. in einem Metalldraht und auch in einer Batterie enthalten.

Wird nun ein Draht vom Minuspol der Batterie über eine Lampe zum Pluspol der Batterie geführt, so drängen chemische Vorgänge in der Batterie die Elektronen in den Leitungsdraht, wobei am Minuspol der Batterie Elektronen austreten. Diese schieben die in einem Leiter enthaltenen Elektronen vor sich her.

Ein Kupferdraht besteht aus unzählig vielen Kupferatomen, und im Aufbau der Atome liegt die elektrische Leistungsfähigkeit begründet. Diesen stellt man sich so vor, daß um einen Kern auf unterschiedlichen Bahnen eine bestimmte Anzahl von Elektronen kreist (Abb. 2.1.).

Zwischen dem Kern eines Atoms – er ist immer positiv geladen – und den negativ geladenen Elektronen ergeben sich anziehende elektrische Kräfte, denn ungleiche elektrische Ladungen wirken aufeinander anziehend. Die Anzahl der positiven Ladungen im Kern entspricht der Anzahl der Elektronen auf den Bahnen. Das Atom ist also elektrisch neutral. Durch äußere Einflüsse, z. B. Wärme, können Elektronen der äußeren Schale das Atom verlassen. Sie bewegen sich dann als freie Elektronen zwischen den Atomen. Beim Anschluß an eine Batterie erfahren diese freien Elektronen einen gerichteten Impuls und werden damit zu Leitungselektronen. Diese fließenden Elektronen bilden den elektrischen Strom. Sie bewegen sich alle gleichzeitig mit gleicher Geschwindigkeit. Die Bewegung der Elektronen vom Minus- zum Pluspol ist nur in einem geschlossenen Weg möglich. Dieser Weg ist der **Stromkreis**. Die Elektronen, die dabei z. B. durch den Glühfaden einer Lampe fließen, bringen diesen zum Leuchten.

Wesentlich für die Elektronenbewegung ist ein Druck am Minuspol und ein gleich großer Sog am Pluspol. Dieser Unterschied zwischen Druck und Sog wird als elektrische **Spannung** bezeichnet und in **Volt**, abgekürzt **V**, gemessen.

Durch ständigen Gebrauch verliert eine Batterie die Fähigkeit, immer wieder Elektronen vom Minuspol durch den Leitungsdraht zum Pluspol zu drücken. Die Spannung zwischen den Polen wird immer geringer und ist schließlich überhaupt nicht mehr vorhanden. Man sagt dann, die Batterie ist leer. Die Spannung beträgt in diesem Fall 0 Volt.

Die Menge der fließenden Elektronen, die in einer Sekunde eine bestimmte Stelle des Drahtes passiert, ist die **Stromstärke**; sie wird in Ampere, abgekürzt **A**, angegeben. Die Maßeinheit Ampere (1 A) bezeichnet eine unvorstellbar große Zahl von Elektronen, nämlich mehr als 6 Trillionen, die dann eine Stelle des Drahtes passieren. Je mehr Elektronen sich also in einer Sekunde durch die elektrische Leitung bewegen, desto größer ist der elektrische Strom.

Da in den elektronischen Schaltungen meist wesentlich geringere Ströme fließen, werden hier überwiegend die Bezeichnungen Milliampere, abgekürzt **mA**, oder Mikroampere, abgekürzt **µA**, verwendet.

$$1 \text{ A} = 1\,000 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 1\,000 \text{ µA}$$

$$1 \text{ µA} = 0,001 \text{ mA}$$

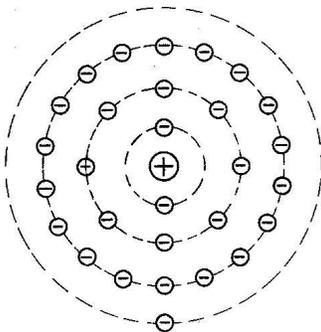


Abb. 2.1.

Auf dem Wege durch den elektrischen Leitungsdraht erfahren die Elektronen einen Widerstand, der durch Reibung erzeugt wird. Er wird **elektrischer Widerstand** genannt. Aber nicht nur elektrische Leitungen haben einen Widerstand. In elektronischen Schaltungen wird es oft notwendig, den Elektronenfluß künstlich zu hemmen. Dafür wurden Bauteile aus bestimmtem Material hergestellt, die allgemein als **Widerstände** bezeichnet werden. Der deutsche Physiker Georg Simon Ohm hat den Widerstand im elektrischen Stromkreis genauer untersucht und gemessen. Deshalb gibt man den Wert eines Widerstandes in **Ohm** an und schreibt dieses Zeichen: Ω (gesprochen Ohm). Große Widerstände werden in Kilo-Ohm (tausend Ohm), abgekürzt $k\Omega$, oder Meg-Ohm (millionen Ohm), abgekürzt $M\Omega$, angegeben.

Die Widerstandswerte werden durch Aufdruck verschiedener Farbringe angegeben. Aus der Tabelle „Farbcode für Widerstände“ im Anhang des Buches lassen sich die Widerstandswerte ermitteln.

Simon Ohm hat auch die Abhängigkeit von Spannung, Stromstärke und Widerstand erkannt. Sie ist im **Ohmschen Gesetz** festgelegt. Es besteht für die drei genannten Größen folgende Beziehung:

1. Die Stromstärke wird immer größer, wenn die Spannung wächst oder der Widerstand abnimmt.
2. Die Stromstärke wird kleiner, wenn die Spannung abnimmt und der Widerstand wächst.

Daraus läßt sich für diese Beziehung die Formel ableiten:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$$

Durch Umstellung erhält man:

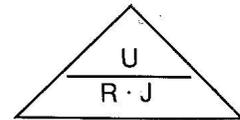
$$\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$$

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}}$$

Zur praktischen Verständigung ist diese Darstellungsform zu umständlich. Deshalb benutzt man festgelegte Abkürzungen:

$$\begin{aligned} \text{Stromstärke} &= I \\ \text{Spannung} &= U \\ \text{Widerstand} &= R \end{aligned}$$

In Kurzschreibweise ergibt sich für das Ohmsche Gesetz folgende Formel:



Durch Abdecken der gesuchten Größe erkennt man in diesem Dreieck die erforderliche Rechenoperation:

$$U = R \cdot I; I = \frac{U}{R}; R = \frac{U}{I}$$

Dazu ein Anwendungsbeispiel:

Der Widerstand einer Glühlampe von 6 V Spannung und 50 mA Stromstärke soll errechnet werden. Die Formel sagt:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{0,05} = 120 \Omega$$

In der Gleichung müssen immer die Grundeinheiten eingesetzt werden, also Volt, Ampere, Ohm!

Ein weiterer wichtiger Begriff ist die **Leistung (P)**. Sie wird verstanden als Produkt aus Spannung und Stromstärke:

$$P = U \cdot I$$

Die Lampe mit 6 V Betriebsspannung und 0,05 A Stromaufnahme hat eine Leistung von

$$P = 6 \cdot 0,05 \text{ [Watt]} \quad P = 0,3 \text{ W}$$

In Kondensatoren läßt sich die Elektrizität speichern. Diese Speichermöglichkeit bezeichnet man als **Kapazität** und mißt sie in **Farad**. Diese Maßeinheit ist für praktische Anwendungen zu groß, deshalb benutzt man die Einheiten Mikro-, Nano-, Picofarad.

Die Kapazitätswerte werden je nach Ausführungsform im Farbcode oder durch aufgedruckte Zahlen angegeben. Aus den Tabellen im Anhang lassen sich alle Kapazitätswerte ermitteln.

Schaltsymbole und Schaltbild

Um eine theoretische Betrachtung elektrischer oder elektronischer Systeme zu ermöglichen, hat man für alle Bauteile **Schaltsymbole** international festgelegt. Das funktionelle Zusammenwirken in einem System wird dann in einem **Schaltbild** dargestellt.

Schaltsymbole

Leitungsdraht



Batterie 9 V (2×4,5 V)



Glühlampe



Widerstand



Diode



Kondensator



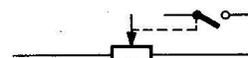
Schalter



Potentiometer



Potentiometer mit Schalter



Tastenschalter

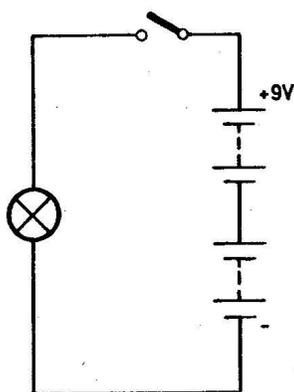


Abb. 2.2.

Abb. 2.2 zeigt ein Schaltbild, in dem ein Stromkreis mit Glühlampen und Schalter dargestellt ist.

2.2. Halbleiterbauelemente

2.2.1. Leuchtdiode (LED)

Alle Vorgänge in elektronischen Schaltungen entziehen sich der direkten Beobachtung. Es bedarf daher in jedem Falle einer Anzeige, um die Abläufe und Gesetzmäßigkeiten in einem elektronischen System sichtbar zu machen. Als einfachstes Anzeigegerät kann eine Glühlampe in den Stromkreis geschaltet werden, die bei Stromfluß aufleuchtet.

In letzter Zeit kann diese Funktion von einem neuen elektronischen Bauteil, der **Leuchtdiode** (abgekürzt LED = light emitting diode) übernommen werden. Manchmal findet man auch die Bezeichnung Lumineszenzdiode. Bei ihr handelt es sich um ein **Halbleiterbauelement**, bei dem elektrische Energie in Licht umgesetzt wird.

Die Leitfähigkeit für den elektrischen Strom ist – wie schon ausgeführt – vom Vorhandensein freier Elektronen abhängig. Fehlen diese, verhält sich das Material wie ein Nichtleiter.

Als **Halbleiter** bezeichnet man einen Stoff, dessen Leitfähigkeit zwischen den Leitern und den Nichtleitern schwankt. Sie ist abhängig von verschiedenen Bedingungen, z. B. auch von der Temperatur.

In reinem Halbleitermaterial wie Germanium oder Silizium sind alle Valenzelektronen – das sind die Elektronen in der äußeren Schale – durch sogenannte Paarbindungen an das Nachbaratom gebunden. Dadurch entsteht ein sehr fester Verband, der kaum einen Stromfluß zuläßt (Abb. 2.3.).

Setzt man nun dem Halbleiter Spuren anderer Elemente zu, die auf der äußeren Schale entweder fünf oder drei Elektronen haben, so wird das regelmäßige Gefüge des Germaniums mit vier Valenzelektronen gestört (Abb. 2.4.).

Diese beabsichtigte Verunreinigung nennt man **Dotieren**.

Wird ein Germaniumkristall mit einem Element, z. B. Antimon, dotiert, das **fünf** Außenelektronen besitzt, wirkt dies als zusätzlicher Elektronenspender.

Dieses fünfte Elektron ist im Gegensatz zu allen anderen Valenzelektronen leicht beweglich, da es zum Aufbau des Kristallgitters nicht benötigt wird.

Beim Anlegen einer Spannung wandert dieses Elektron vom Minus- zum Pluspol. Es hinterläßt eine Lücke. Diese übt nun eine Anziehungskraft auf die Elektronen der benachbarten Germaniumatome aus, so daß auch diese vorher recht unbeweglichen Elektronen am Stromfluß beteiligt sind. Das Fremdatom hat also die Leitfähigkeit des Germaniums erhöht. Der Halbleiterkristall verhält sich jetzt wie ein normaler Leiter.

Bei der Dotierung eines Halbleiterkristalls durch Atome mit je fünf Valenzelektronen entsteht im Kristallgitter ein **Elektronenüberschuß** (n– negativ), der auch als **n-Leitfähigkeit** bezeichnet wird (vgl. Abb. 2.4. – mit Antimon dotiertes Germanium).

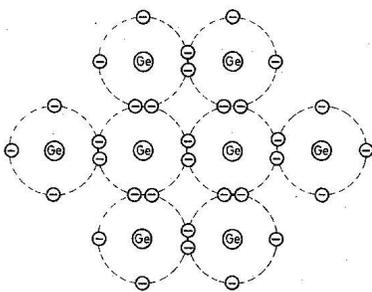


Abb. 2.3.

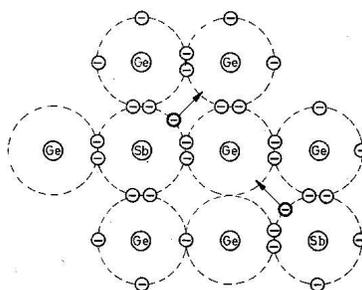


Abb. 2.4.

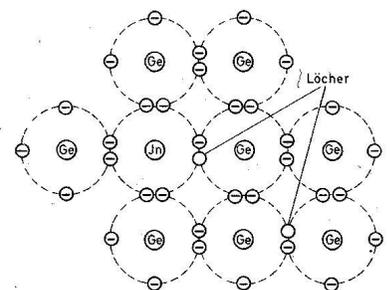


Abb. 2.5.

Umgekehrt kann der Halbleiterkristall auch mit Indium dotiert werden, das auf der Außenschale nur **drei** Elektronen hat. Dabei entsteht im Kristallgitter Elektronenmangel, weil bei der Bindung an die Nachbaratome ein Elektron fehlt. – Es entsteht also ein „Loch“ im Kristallgefüge, das Elektronen der benachbarten Germaniumatome anzieht und beweglicher macht.

Beim Anlegen einer Spannung erfolgt ein Stromfluß, weil die Elektronen nun eine gerichtete Bewegung ausführen.

Bei dieser Form der Dotierung herrscht also im Kristallgitter Elektronenmangel ($p = \text{positiv}$), der auch als **p-Leitfähigkeit** bezeichnet wird (Abb. 2.5.).

Elektronen – als negativ geladene Teilchen – sind **negative Ladungsträger**.

Löcher, die bei Elektronenmangel entstehen, können auch als **positive Ladungen** angesehen werden, weil bei fehlenden Elektronen die positive Ladung des Atomkerns überwiegt. Die Vereinigung von Elektronen mit Löchern zu neutralen Einheiten bezeichnet man als **Rekombination**.

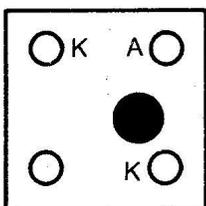
Eine Halbleiterdiode ist nun so konstruiert, daß sie auf der einen Seite n-dotiert, auf der anderen p-dotiert ist. In der Mitte bildet sich eine schmale Übergangszone. Man bezeichnet sie als **pn-Übergang**.

Die n-dotierte Seite ist die **Katode**, die p-dotierte die **Anode**.

Zunächst wechseln im Grenzbereich des pn-Übergangs einige Elektronen in die p-dotierte Zone und umgekehrt einige positive Ladungen – also Löcher – in die n-dotierte Zone. Dadurch entsteht eine an Ladungsträgern verarmte Zone, die praktisch wie ein Isolator wirkt und damit auch ein weiteres Wandern von Ladungsträgern verhindert.

Schaltet man eine Diode so in den Stromkreis, daß die Katode mit dem negativen Spannungspol verbunden ist, so werden sowohl positive Ladungen der p-dotierten Seite als auch Elektronen der n-dotierten Seite in den Grenzbereich des pn-Übergangs gedrückt. Dadurch wird zunächst der Grenzbereich mit freien Ladungsträgern angereichert und die Isolationswirkung abgebaut. Danach bewegen sich die Elektronen zum positiven Spannungspol und positive Ladungen zum negativen Spannungspol. Ein elektrischer Strom kann fließen. Die Diode ist in Durchlaßrichtung geschaltet.

Bei umgekehrter Polung werden sowohl Elektronen als auch positive Ladungen von der Übergangsschicht weggezogen, so daß sich die ladungsarme Zone am pn-Übergang noch verbreitert. Der Halbleiter sperrt – die Diode ist in Sperrichtung geschaltet.



In den folgenden Schaltungen läßt sich der Elektronenfluß im Halbleitermaterial mit der Leuchtdiode überprüfen.

Die Anode der Leuchtdiode ist durch eine Verstärkung am Anschlußdraht gekennzeichnet. Um die Verwendbarkeit im Elektronik-Experimentierkasten zu erleichtern, ist die Diode auf eine Platine gelötet worden, auf der die Anschlüsse $A = \text{Anode}$ und $K = \text{Katode}$ durch die entsprechenden Buchstaben gekennzeichnet sind.

In Anlehnung an das Symbol für die herkömmliche Diode wird für eine Leuchtdiode dieses Schaltsymbol verwendet:



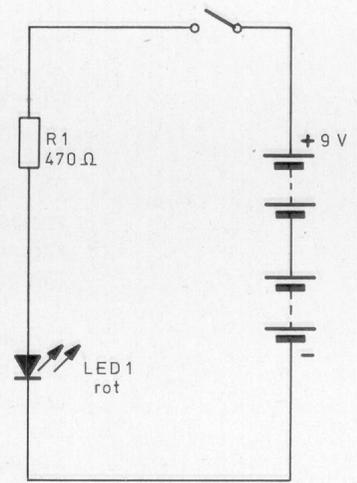
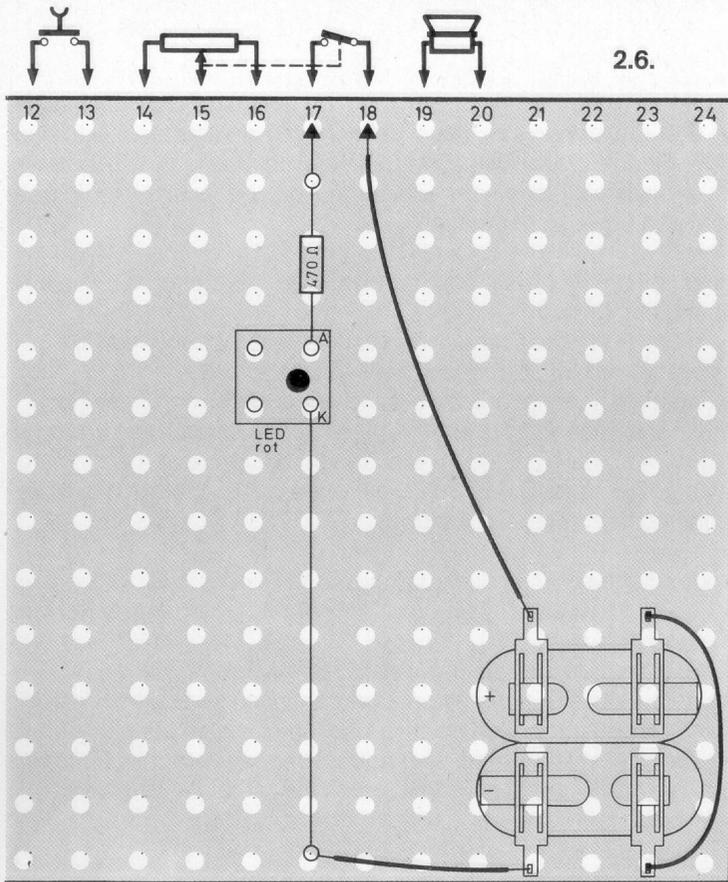


Abb. 2.6.

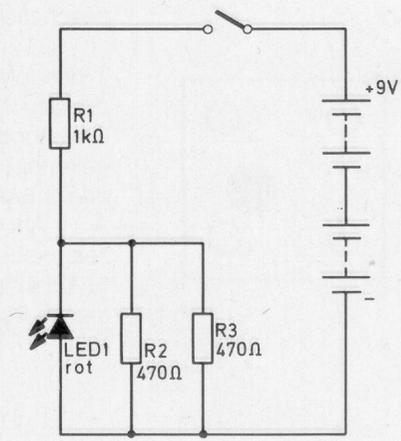
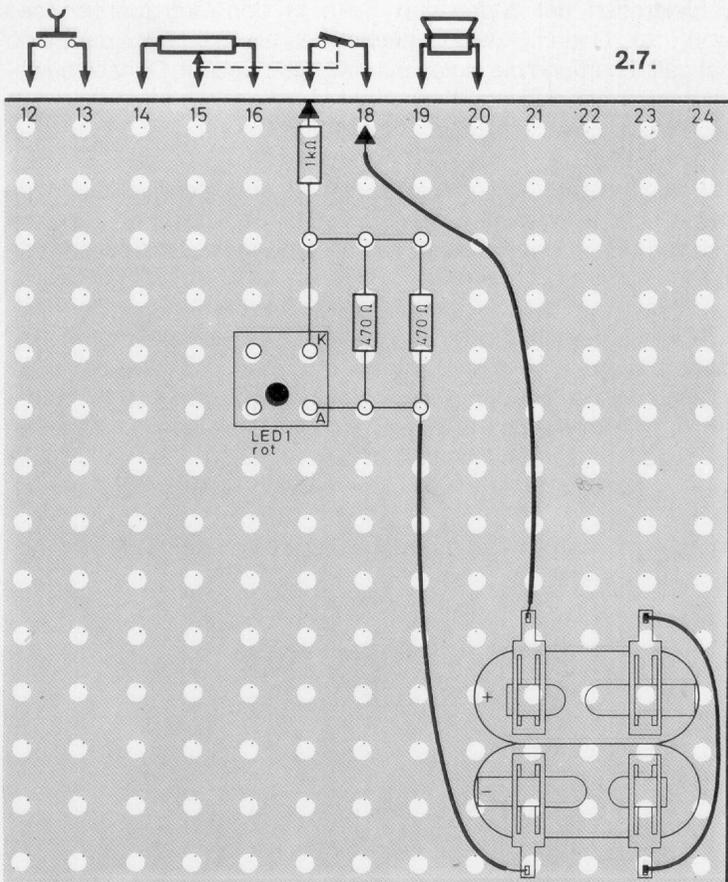


Abb. 2.7.

Nach der Schaltung in Abb. 2.6. strahlt die Leuchtdiode Licht ab, weil sie in Durchlaßrichtung geschaltet ist. Schaltet man sie nach Abb. 2.7., leuchtet sie nicht, da sie sperrt.

Bei Schaltung (Abb. 2.7.) in Sperrichtung darf die Spannung maximal 3 V betragen, da sonst ein Punkt erreicht wird, an dem die Sperrfähigkeit zusammenbricht. Man spricht dann von **Durchbruchspannung**. Die Diode kann den Sperrstrom dann nicht mehr zurückhalten und wird zerstört. Bei der Schaltung nach Abb. 2.7. wird darum die Spannung durch die Widerstände als Spannungsteiler herabgesetzt.

Die beiden parallel geschalteten 470 Ω -Widerstände bilden zusammen mit dem 1 k Ω -Widerstand einen Spannungsteiler, der die 9 V Betriebsspannung auf einen Wert von ca. 2,3 V reduziert.

Ein Vorwiderstand ist notwendig, um den Durchlaßstrom auf einen sicheren Wert zu begrenzen, da bei größerer Stromstärke durch zu hohe Wärmeezeugung das Bauteil zerstört wird. Die elektrische Leistung, die in Wärme umgesetzt wird, bezeichnet man als **Verlustleistung**. Ihr höchst zulässiger Wert wird vom Hersteller angegeben. Er beträgt bei dieser LED 100 mW.

In der Schaltung 2.6. hat die LED 32 mW Verlustleistung:

Mit einem Meßgerät – parallel zur Diode geschaltet – läßt sich die Durchlaßspannung (U_F) ermitteln. Bei einem Durchlaßstrom von $I_F = 20$ mA beträgt $U_F = 1,6$ V.

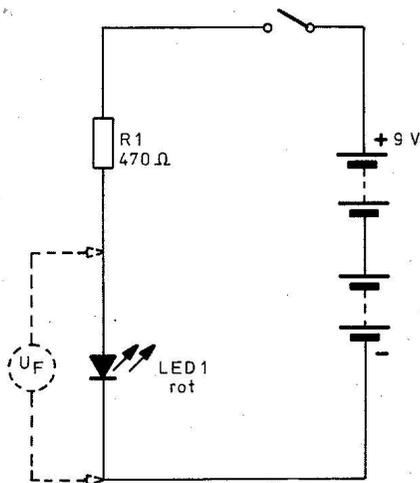


Abb. 2.8.

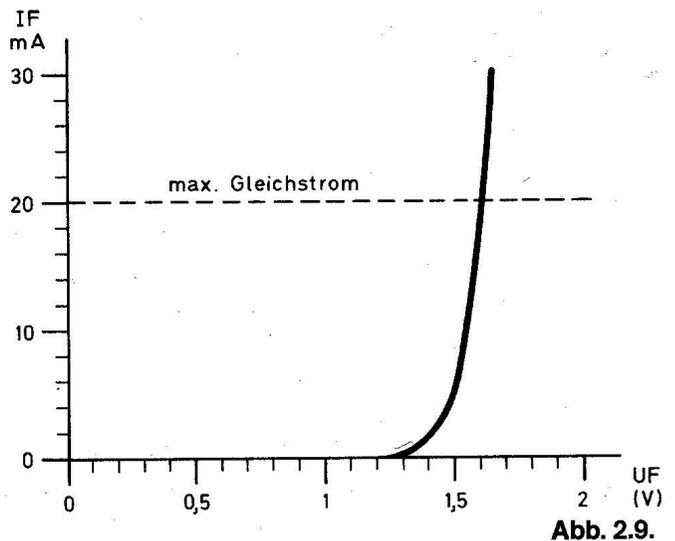


Abb. 2.9.

Abb. 2.9. zeigt in einer graphischen Darstellung die Abhängigkeit des Durchlaßstromes von der anliegenden Spannung.

Daraus ist zu ersehen, daß erst bei einer Spannung von ca. 1,3 V ein Stromfluß möglich wird.

Dann nämlich ist die Isolationswirkung im Grenzbereich des pn-Übergangs so weit abgebaut, daß ein Strom fließen kann, der danach schnell ansteigt.

Die Darstellung des Dioden-Verhaltens in einer Strom-Spannungs-Kurve wird als **Kennlinie** bezeichnet. Von der Größe des Durchlaßstromes ist auch die von der Diode abgegebene Lichtstärke abhängig.

Als **Lichtstärke** wird in der Beleuchtungstechnik das von einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung ausgestrahlte Licht bezeichnet. Als Maßeinheit wird der Begriff **Candela** (cd) verwendet: Die Lichtstärke von 1 cd entspricht ungefähr der, die eine mittlere Wachskerze in waagerechter Richtung aussendet. Geringere Lichtstärken werden auch in Milli-Candela, abgekürzt **mcd**, angegeben.

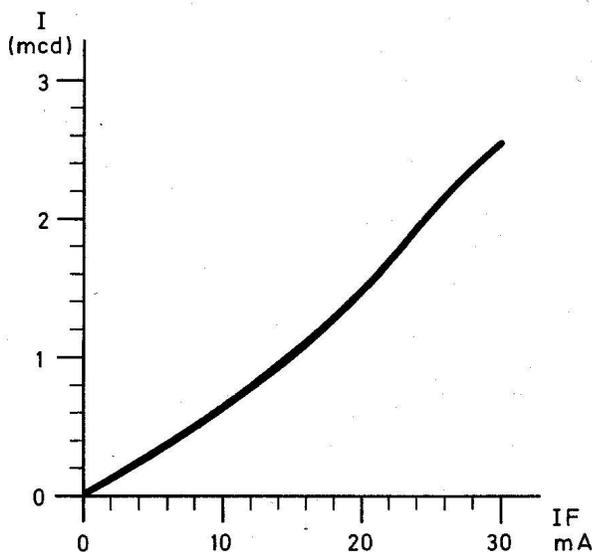


Abb. 2.10.

Die Abb. 2.10. zeigt, daß die Lichtstärke mit steigender Stromstärke zunimmt.

Bei einem Strom von 20 mA beträgt sie 1,5 mcd.

Als Halbleitermaterial für Leuchtdioden verwendet man Galliumarsenid (GaAs), Galliumphosphid (GaP) oder Galliumarsenidphosphid (GaAsP).

Das Anlegen einer Spannung in Durchlaßrichtung bewirkt wie bei der herkömmlichen Diode das Eindringen von Elektronen in die p-Schicht und positiven Ladungsträgern in die n-Schicht. Bei der Rekombination, d. h. der Vereinigung von Elektronen mit positiven Ladungsträgern (Löchern), wird Energie frei, die in diesem besonderen Halbleitermaterial auch Lichtpartikel, sogenannte **Photonen** erzeugt. Bei den herkömmlichen Halbleiterdioden erfolgt zwar auch eine Rekombination, die Energie wird jedoch nur in Form von Wärme freigesetzt.

Der Bereich des sichtbaren Lichtes umfaßt Wellenlängen von 700 nm (nm = Nanometer = 1 Millionstel mm) bis 400 nm.

Die Farbe des Lichtes ist abhängig vom Werkstoff.

Für die Erzeugung des roten Lichtes mit einer Wellenlänge von 700 nm wird z. B. Galliumphosphid oder Galliumarsenidphosphid benötigt. Um grünes Licht mit einer Wellenlänge von 400 nm zu erzeugen, verwendet man nur Galliumphosphid.

Eine LED ist als Halbleiterlichtquelle einsetzbar. Bei Verwendung mehrerer Leuchtdioden nebeneinander kann ein Anzeigenfeld konstruiert werden, wie es z. B. in Taschenrechnern und Meßinstrumenten benutzt wird.

2.2.2. Transistor

Neben der Diode ist auch der Transistor ein Halbleiterbauelement, dessen Funktion von verschiedenen leitenden Zonen abhängt.

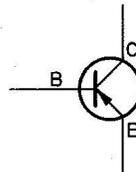
Der Unterschied zur Diode besteht darin, daß der Transistor nicht nur einen, sondern zwei pn-Übergänge besitzt. Bei ihm folgen also drei Zonen aufeinander. Je nach Anordnung des n- und p-Materials unterscheidet man p-n-p- und n-p-n-Transistoren. Bei dem Transistor BC 238, der diesem Elektronik-Experimentier-Kasten beiliegt, handelt es sich um einen n-p-n-Transistor. Die beiden äußeren Schichten sind n-leitend, die mittlere p-leitend (Abb. 2.11.).

Jede dieser drei Schichten hat einen Außenanschluß. Die mittlere p-Schicht heißt **Basis (B)**, die untere n-leitende Schicht ist der **Emitter (E)** und die obere Schicht der **Kollektor (C)**.

Legt man den Transistor so an eine Spannungsquelle, daß der Emitter mit dem Minuspol und der Kollektor mit dem Pluspol der Batterie verbunden ist, werden die negativen Ladungsträger der oberen n-Schicht (C) vom Pluspol der Batterie angezogen, gleichzeitig die positiven Ladungen der mittleren p-Schicht (B) vom Minuspol.

Wie bei der Diode entsteht am pn-Übergang zwischen Basis und Kollektor eine ladungsarme Zone. Obwohl umgekehrt der pn-Übergang zwischen Emitter und Basis mit negativen und positiven Ladungsträgern angereichert wird – also leitet –, kann kein Strom fließen, da die andere Grenzschicht sperrt.

Erst wenn auch die p-leitende Basis mit einer niedrigen Spannung zum Kollektor fließen. Das Anlegen einer niedrigen Spannung am Basisanschluß bewirkt, daß einige rekombinierte Elektronen aus der Sperrschicht zwischen Basis und Kollektor in den Basisstromkreis abgesaugt werden. Dadurch können Elektronen vom Emitter diese Sperrschicht überwinden. Es fließt nun ein Strom vom Emitter über die Basis zum Kollektor. Zum Absaugen der Elektronen aus der p-leitenden Schicht (Basis) ist nur ein kleiner Strom erforderlich. Dieser sehr geringe Stromfluß vom Emitter zur Basis – auch Steuerstrom genannt – ermöglicht einen relativ großen Stromfluß vom Emitter zum Kollektor – den Arbeitsstrom. Dieser ist je nach Transistortype 20- bis 1000mal größer als der Basisstrom. Das Schaltsymbol für einen n-p-n-Transistor:



Wie die Leuchtdiode ist auch der Transistor auf eine Platine gelötet worden, auf der die Anschlüsse Basis (B), Emitter (E) und Kollektor (C) gekennzeichnet sind.

Was beim Schalten im Inneren eines Transistors vorgeht, läßt sich anhand einfacher Grundschaltungen erkennen.

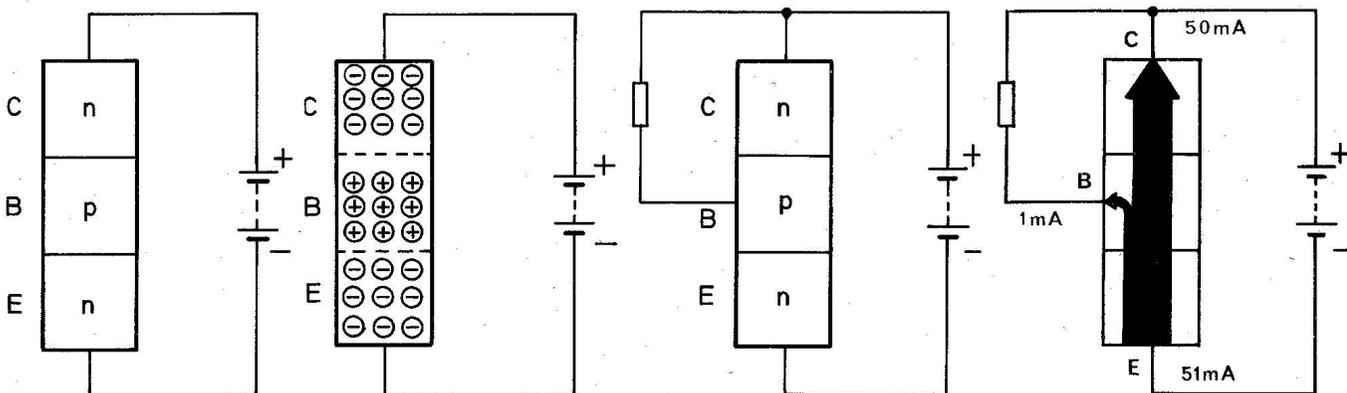
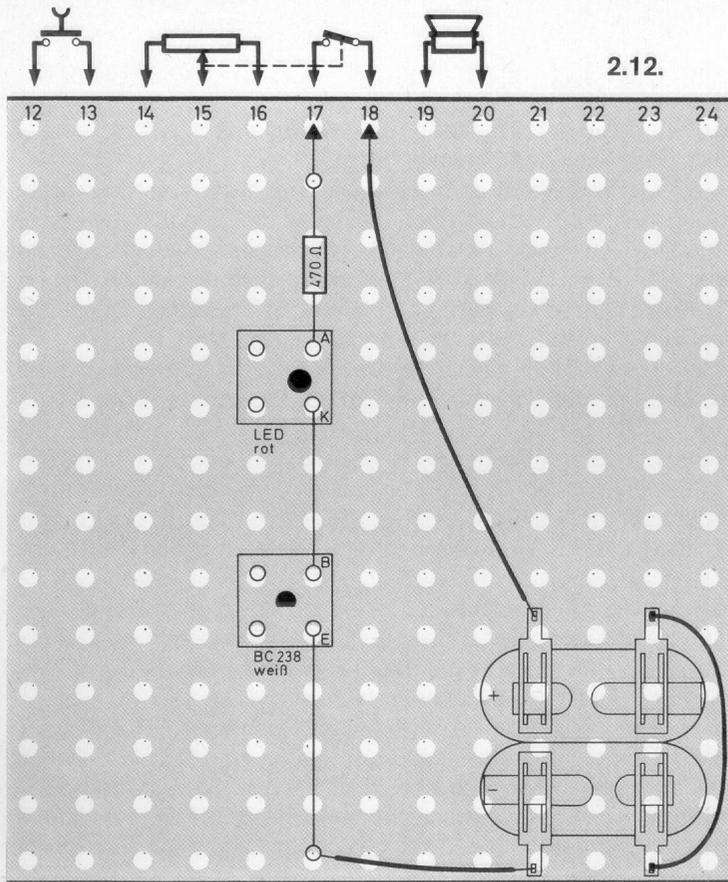


Abb. 2.11.



2.12.

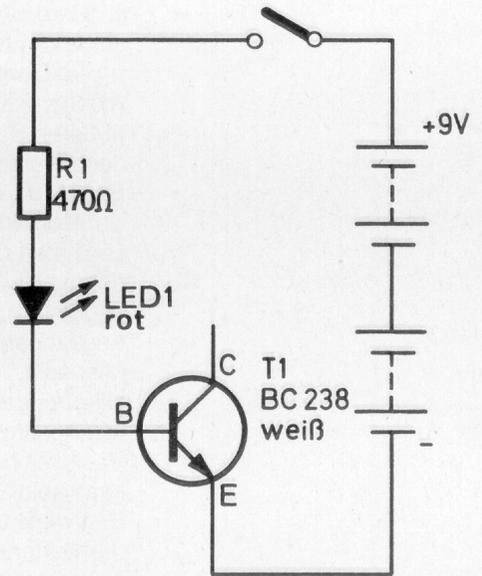


Abb. 2.12.

Zunächst soll die Schaltung nach Abb. 2.12. aufgebaut werden. Nach Betätigung des Schalters muß geprüft werden, ob die LED leuchtet oder nicht. Nun ändert man die Schaltung so ab, daß die Basis (B) mit dem Minuspol und der Emitter (E) mit dem Pluspol der Batterie Verbindung hat, und betätigt wieder den Schalter. Im ersten Fall leuchtet die LED auf, im zweiten nicht.

Bei dieser Schaltungsanordnung verhält sich der n-p-n-Transistor wie eine Diode. Der pn-Übergang zwischen Basis und Emitter wird nur leitend, wenn die Basis (p-leitend) mit dem Pluspol und der Emitter (n-leitend) mit dem Minuspol der Batterie verbunden wird, weil dann positive und negative Ladungsträger in die Grenzschicht wechseln. Im umgekehrten Schaltzustand entfernen sich dagegen die Ladungsträger aus dem Grenzbereich - der Transistor sperrt.

Um das Verhalten am pn-Übergang zwischen Basis und Kollektor zu überprüfen, ist die Schaltung nach Abb. 2.13. aufzubauen und der Schalter zu betätigen. Dann wird der Aufbau der Schaltung so abgeändert, daß der Kollektor (C) mit dem Pluspol und die Basis (B) mit dem Minuspol der Batterie Verbindung hat. Die LED leuchtet nur, wenn die Basis des Transistors mit dem Pluspol und der Kollektor mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist. Der Transistor zeigt bei diesen Schaltungsanordnungen dasselbe Diodenverhalten wie zwischen Basis und Emitter. Jetzt wird nämlich der pn-Übergang zwischen Basis und Kollektor wirksam. Nur wenn die p-leitende Schicht mit dem positiven Pol und die n-leitende Schicht mit dem negativen Pol Verbindung hat, besteht in der bereits beschriebenen Weise eine Durchlaßschaltung, umgekehrt sperrt die Teildiode des Transistors wieder.

Daß zwischen Emitter und Kollektor ein Strom nur dann fließen kann, wenn auch ein geringer Basisstrom (Steuerstrom) fließt, wurde bereits erwähnt.

Zur Überprüfung kann man die Schaltung nach Abb. 2.14. aufbauen. Beim

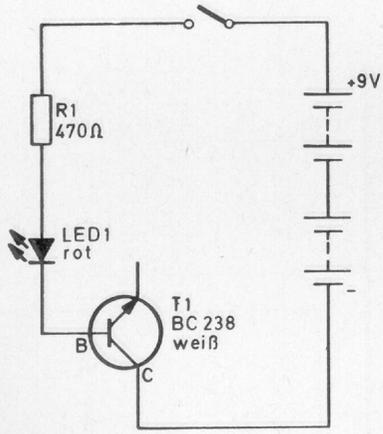


Abb. 2.13.

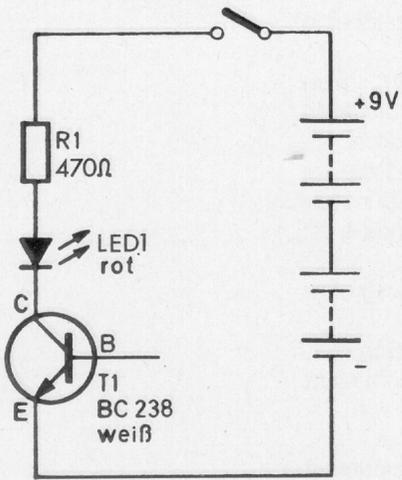
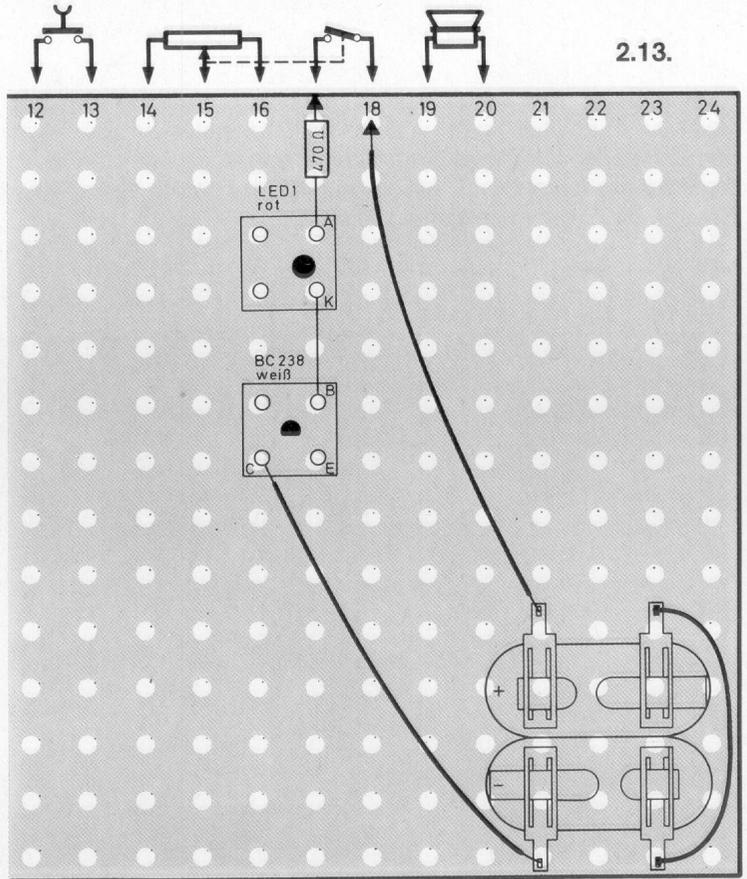
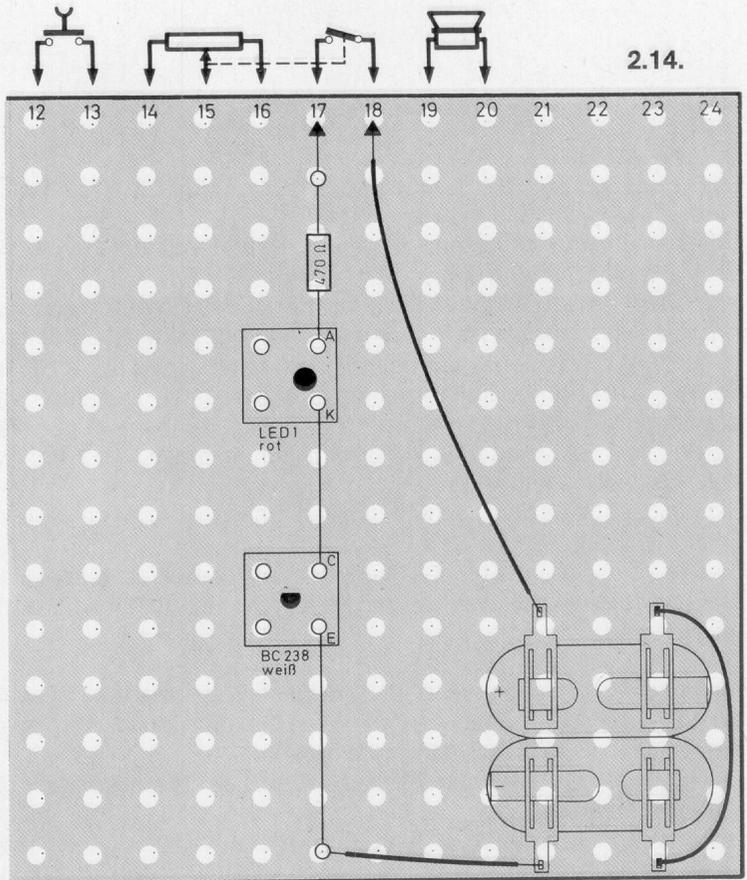
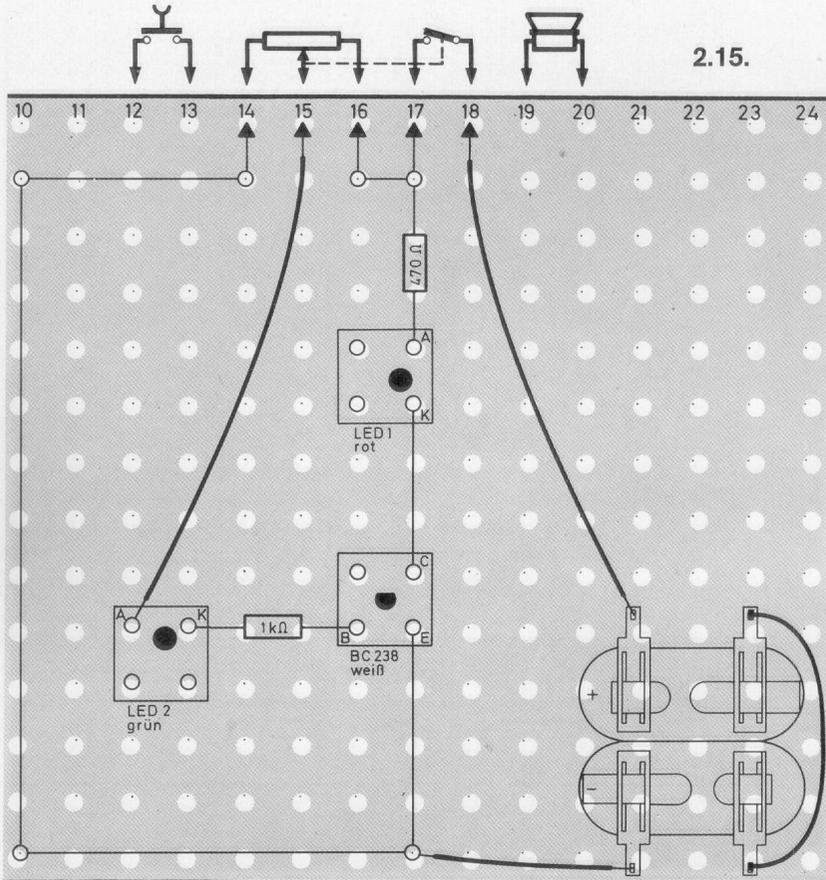


Abb. 2.14.



Niederdrücken des Schalters leuchtet die LED nicht. Der pn-Übergang zwischen Basis und Emmitter sperrt, da sowohl die positiven als auch die negativen Ladungsträger aus dieser Grenzschicht abgezogen werden. Auch bei umgekehrter Polung leuchtet die LED nicht; nun sperrt nämlich der pn-Übergang zwischen Basis und Kollektor in gleicher Weise.



2.15.

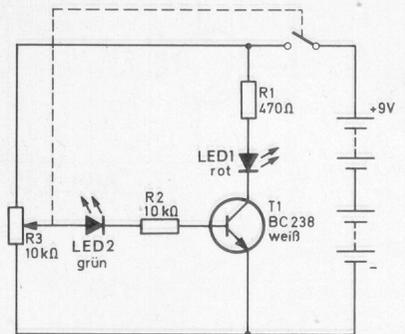


Abb. 2.15.

Mit einem Transistor lassen sich geringe Ströme verstärken. Abb. 2.15. zeigt eine Verstärkerschaltung.

Nach dem Aufbau wird zunächst der Knopf des Potentiometers bis zum linken Anschlag und dann langsam nach rechts gedreht. Dabei ist auf beide Leuchtdioden zu achten. Wenn der Knopf des Potentiometers etwa bis zur Mitte gedreht ist, beginnt die LED im Kollektorstromkreis bereits zu leuchten, während die im Basisstromkreis noch dunkel bleibt. Beim Weiterdrehen wird die erste LED immer heller, die LED vor der Basis glimmt nur schwach, die Stromverstärkung ist dadurch deutlich erkennbar.

Ein geringer Basisstrom genügt, um den Transistor so zu **steuern**, daß ein großer Emmitter-Kollektor-Strom fließt.

Eine weitere wichtige Aufgabe übernimmt der Transistor als kontaktloser Schalter. Er kann Aufgaben erfüllen, die mit herkömmlichen Schaltern (mechanisch) nicht möglich sind.

Aufbau der Schaltung nach Abb. 2.16. Beim Betätigen des Tastschalters leuchtet die LED auf, denn jetzt wird der Weg für den Basisstrom freigegeben. Der Arbeitsstrom fließt vom Emmitter zum Kollektor.

Durch einen sehr geringen Basisstrom wird ein Stromkreis mit einer größeren Stromstärke freigegeben.

Manchmal reicht bereits das Überbrücken der Klemmen 12 und 13 mit der feuchten Fingerkuppe, um den Transistor als kontaktlosen Schalter zu betätigen.

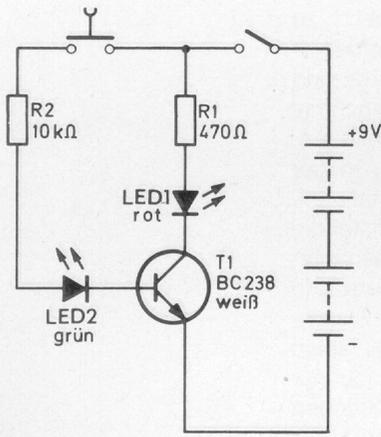
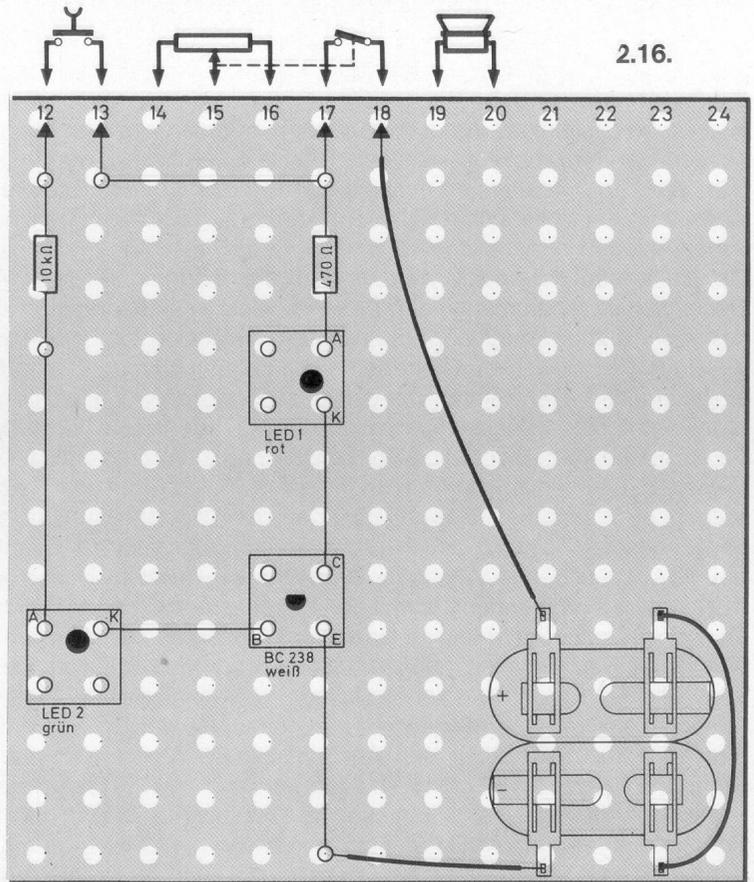
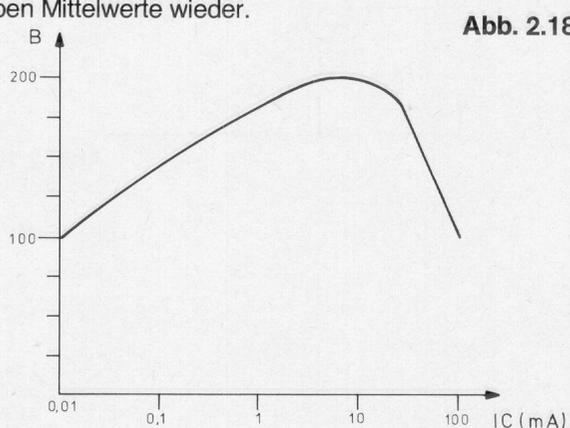
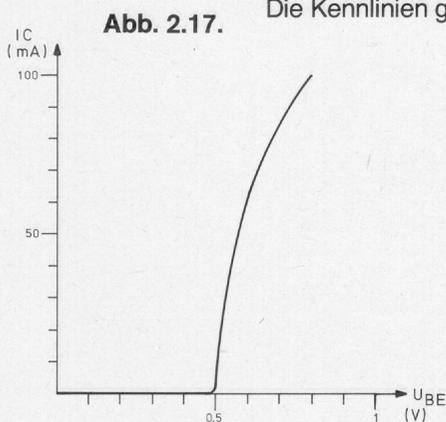


Abb. 2.16.



Der Hersteller gibt für den BC 238 die Betriebsdaten in Form von **Kennlinien** an. Die Kennlinie nach Abb. 2.17. zeigt die Abhängigkeit des Kollektorstroms von der Basis-Emitter-Spannung (U_{BE}) an. Man erkennt, daß erst bei einer Vorspannung von 0,5 V ein Kollektorstrom (I_C) fließt. Bereits bei 0,8 V hat er seinen maximal zulässigen Wert (100 mA) erreicht. Der Anstieg des Kollektorstroms erfolgt sehr steil bei einer geringen Änderung der Basis-Vorspannung. Die Kennlinie nach Abb. 2.18. zeigt den Stromverstärkungsfaktor B in Abhängigkeit vom Kollektorstrom I_C . Man erkennt: Der Transistor verstärkt optimal bei einem Kollektorstrom von 10 mA ($B = 200$). Aus der Kennlinie nach Abb. 2.18. läßt sich der dazugehörige Basisstrom (I_B) errechnen.

$$I_B = \frac{I_C}{B}$$



2.2.3. Integrierter Schaltkreis (IC)

Es sind bereits einige Grundschaltungen mit Dioden und Transistoren vorgestellt worden. Um bestimmte gewünschte Effekte zu erreichen, werden sie oft zu sehr komplizierten Schaltungen miteinander verknüpft. Gemessen an den vielen Anwendungen sind es aber dabei nur wenige Grundschaltungen, die in elektronischen Anlagen immer wiederkehren.

Da diese häufig benutzt werden, hat die moderne Technik sie gleich zu Baueinheiten zusammengefaßt. Besonders die verfeinerten Herstellungsmethoden in der Halbleiterfertigung haben diese Entwicklung vorangetrieben. Heute sind die Bausteine so miniaturisiert, daß sich in einem winzigen Gehäuse manchmal einige hundert Transistoren mit den dazugehörigen Schaltelementen befinden. Man nennt diese miniaturisierten Bausteine **Integrierte Schaltkreise**, in der Fachsprache kurz IS oder IC – vom englischen **integrated circuit** – genannt.

Dieser Experimentierkasten enthält ein IC. Darin befinden sich vollständig aufgebaute Verstärker. Diese IC's wurden ursprünglich bevorzugt in Rechenanlagen eingesetzt. Da man Rechenvorgänge auch „Operationen“ nennt, heißen die in den IC's vorhandenen Verstärker **Operationsverstärker**. Das in diesem Experimentierkasten vorhandene IC mit der Typenbezeichnung LM 3900 enthält gleich vier voneinander unabhängige Operationsverstärker. Damit lassen sich nicht nur elektrische Rechenschaltungen aufbauen, sondern auch viele andere Funktionen verwirklichen. Einige davon sollen in ihrer Wirkungsweise erläutert werden.

Zunächst soll der Operationsverstärker betrachtet werden. Ein einfacher Transistorverstärker bildet dafür den Ausgangspunkt. Wie man in nebenstehendem Schaltbild (Abb. 2.19.) sieht, besteht er aus zwei Transistoren, die direkt miteinander gekoppelt sind. Eine solche Kopplung nennt man **galvanisch**. Wenn Transistor T_2 mit einem Basisstrom angesteuert wird, fließt durch ihn auch ein Kollektorstrom. Steigt der Basisstrom an, nimmt auch der Kollektorstrom zu. Dieser

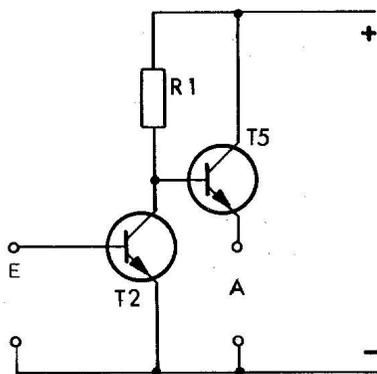


Abb. 2.19.

fließt durch den Widerstand R_1 und bewirkt an ihm einen Spannungsabfall. Nach dem Ohm'schen Gesetz fällt an einem Widerstand bei höherem Strom auch eine höhere Spannung ab. Als Folge verschiebt sich die Spannung an der Basis des Transistors T_5 nach niedrigeren Werten und setzt den Arbeitspunkt herab: Der Kollektorstrom des Transistors T_5 wird kleiner. Da der Kollektorstrom praktisch dem Emittterstrom gleich ist, kann man auch aus der Emittterleitung auskoppeln und die Stromänderungen zu weiteren Steuerzwecken verwenden.

Die Zunahme des Eingangsstroms hat eine Abnahme des Ausgangsstroms bewirkt. Man sagt, die Stromänderung ist **invertiert** worden.

In den Operationsverstärkern, die sich in dem IC LM 3900 befinden, wurden dem galvanisch gekoppelten Transistorverstärker ein weiterer Transistor und eine Diode hinzugefügt (Abb. 2.20.). Mit ihnen hat man einen zweiten Eingang geschaffen. Fließt ein Steuerstrom durch diesen Eingang, so wird er durch die Diode zum Bezugspotential (Masse) geleitet. An der Diode fällt dann eine Spannung ab, die den Transistor T_1 in den leitenden Zustand erhebt. Steigt nun der Steuerstrom an, so steigt auch die Spannung an der Diode und damit an der Basis des Transistors T_1 . Dessen Kollektorstrom wird also stärker. An einem von außen zugeschalteten Widerstand R_2 bewirkt der stärkere Kollektorstrom den Abfall einer höheren Spannung, die den Arbeitspunkt des Transistors T_2 herabsetzt. Durch ihn fließt weniger Kollektorstrom. Da dieser auch durch den Widerstand R_1 fließt, wird der Spannungsabfall an ihm geringer, und die Basis des Transistors T_5 wird angehoben. Ein größerer Emittterstrom von T_5 ist die Folge, der zur weiteren Verwendung abgenommen werden kann.

Eine Stromerhöhung am Eingang E_2 des Operationsverstärkers bewirkt auch eine Erhöhung des Ausgangsstromes. Stromunterschiede werden **nicht invertiert**.

Ein Operationsverstärker hat also **zwei Eingänge**, einen invertierenden und einen nichtinvertierenden, aber nur **einen Ausgang**.

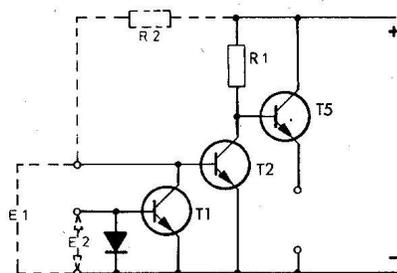


Abb. 2.20.

Die Operationsverstärker in dem IC LM 3900 haben noch weitere Bauteile. Zwei zusätzliche Transistoren (T_3, T_4) sollen den Verstärkungsfaktor erhöhen. Man kommt so mit sehr kleinen Steuerströmen aus.

Außerdem ist ein Kondensator C eingebaut, der eine Schwingneigung verhindert und so zur Stabilität beiträgt. Die Widerstände sind nicht tatsächlich vorhanden, sondern durch sogenannte Konstantstromquellen ersetzt. Diese bestehen aus Transistoren, die in bestimmter Weise geschaltet sind. Abb. 2.21. zeigt das Gesamtschaltbild von einem der vier Operationsverstärker im LM 3900.

Diese hier besprochenen heißen nach dem Erfinder der Schaltung **Norton-Operationsverstärker**.

Alle vier sind auf einem winzigen Siliziumplättchen von wenigen mm Kantenlänge untergebracht. Die Abb. 2.22. zeigt das Foto eines IC's.

Für den praktischen Gebrauch in Schaltbildern verwendet man das Schaltsymbol:

Es zeigt ein Dreieck mit dem invertierenden ($E-$) und nichtinvertierenden ($E+$) Eingang sowie einen Ausgang (A).

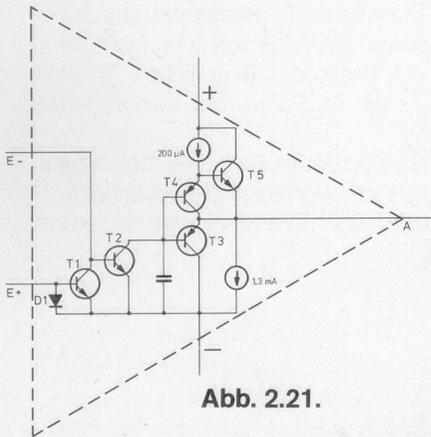
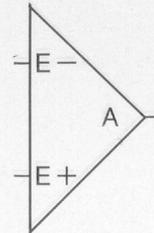


Abb. 2.21.

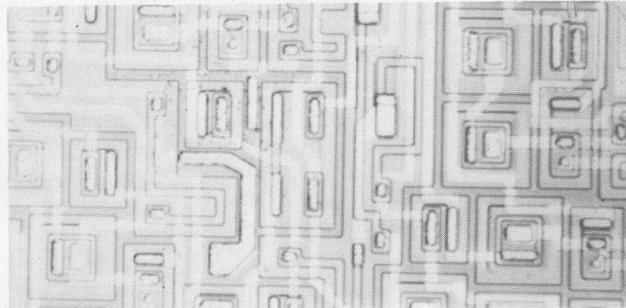


Abb. 2.22.

Für den Gebrauch ist das IC LM 3900 auf eine gelbe Grundplatte montiert, die das Beschalten erleichtert. Auf der Platte befindet sich noch eine Diode. Sie läßt den Strom nur in einer Richtung fließen und dient als Verpolungsschutz. Sollten einmal versehentlich die Batterieanschlüsse vertauscht worden sein, bleibt das IC vor Zerstörung bewahrt, da dann durch die Diode kein Strom fließt. Ferner befindet sich noch ein Elektrolyt-Kondensator auf der Grundplatte. Er trägt zur Entkopplung der Schaltung bei, indem er Spannungsschwankungen ausgleicht. Die Anschlüsse sind bezeichnet, und zwar bedeuten

- | | | | |
|--------|---------------------------------------|---|--|
| - | = 0 Volt (Masse) | } | Diese Anschlüsse gelten für alle Operationsverstärker gemeinsam. |
| + | = +9 V (oder andere Betriebsspannung) | | |
| E_1 | = nichtinvertierender Eingang | } | 1. Operationsverstärker |
| E_1 | = invertierender Eingang | | |
| A_1 | = Ausgang | | |
| E_2+ | } | } | 2. Operationsverstärker |
| E_2- | | | |
| A_2 | | | |
| E_3+ | } | } | 3. Operationsverstärker |
| E_3- | | | |
| A_3 | | | |
| E_4+ | } | } | 4. Operationsverstärker |
| E_4- | | | |
| A_4 | | | |

Alle vier Operationsverstärker des LM 3900 sind einander gleichwertig. Es spielt darum keine Rolle, welcher von ihnen beschaltet wird. Man muß nur darauf achten, daß man neben der Speisespannung auch die zu einem Verstärker gehörigen Anschlüsse benutzt, also z. B. E_4+ ; E_4- ; A_4 oder E_1+ ; E_1- ; A_1 .

Werden bei den später beschriebenen Schaltungen mehr als ein Operationsverstärker eingesetzt, sind sie durch eine Ziffer gekennzeichnet. Die Speisespannung für alle Operationsverstärker ist nur einmal angeben.

Nun noch einiges zu den Betriebswerten: Im Datenblatt gibt der Hersteller einen großen Bereich für die Betriebsspannung an, und zwar von 4 bis 36 V. Da die Schaltungen in der Regel mit 9 V betrieben werden, bleibt die Spannung in absolut sicheren Werten. Die Eingangsströme für die einzelnen Verstärker sollten je 5 mA nicht überschreiten. Darum ist vor die Eingänge stets ein strombegrenzender Widerstand von wenigstens 2,2 k Ω geschaltet. Der Ausgangsstrom soll im Verstärkerbetrieb höchstens 10 mA betragen, beim Einsatz als Schalter maximal 20 mA. Man findet darum in vielen Schaltungen im Ausgang einen Widerstand. Durch ihn wird der Strom begrenzt. Das IC bleibt geschützt. Die Spannungsverstärkung bei Gleichspannung und im Nf-Bereich liegt zwischen 1 200 und 2 800fach.

Es sollen nun einige Schaltungen vorgestellt werden, welche die Funktionen eines Operationsverstärkers erläutern. Um das Verhalten der beiden Eingänge gegenüber verschiedenen Spannungen zu untersuchen, ist die Schaltung nach Abb. 2.24. aufzubauen. Der Eingang $E+$ wird mit Masse (0 V) verbunden. Der Widerstand $R_1 = 220 \text{ k}\Omega$ begrenzt den bei anliegender Spannung fließenden Eingangsstrom, damit das IC nicht übersteuert wird. Am Ausgang befindet sich eine Leuchtdiode als Anzeige. Der Widerstand $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ dient als Schutzwiderstand, weil er den Ausgangsstrom auf einen betriebssicheren Wert begrenzt.

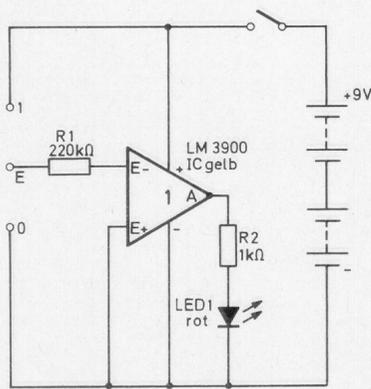
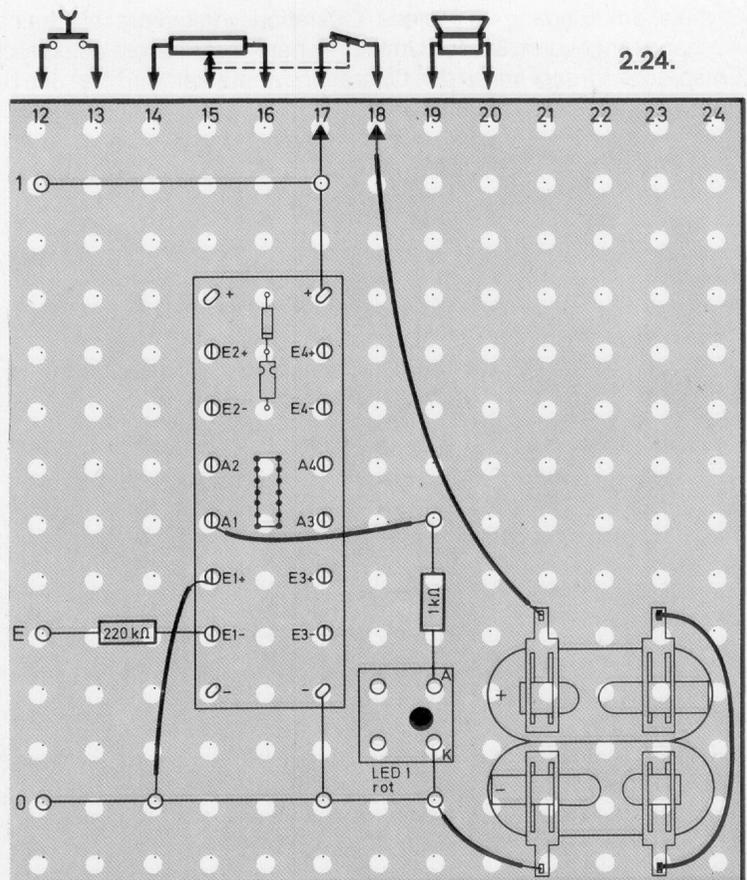


Abb. 2.24.



Für die Schaltung nach Abb. 2.25. gelten folgende Werte:

Betriebsspannung 9 V

max. Ausgangsspannung U_A 9 V

Vorwiderstand R 1 k Ω

Spannung an der LED U_{LED} 1,6 V

$$\text{Ausgangsstrom } I = \frac{V_A - V_{LED}}{R}$$

$$I = \frac{9 - 1,6}{1000}$$

$$I = \frac{7,4}{1000}$$

$$I = 7,4 \text{ mA}$$

Wenn man nun 9 V Spannung an den Eingang legt, leuchtet die LED am Ausgang nicht. Verbindet man dagegen den Eingang E- mit 0 V, leuchtet die LED und zeigt damit einen Strom an. Im Ausgang des Operationsverstärkers fließt also ein Strom, wenn m Eingang E- 0 V liegt. Es fließt kein Ausgangsstrom, wenn an E- eine Spannung liegt. Dieses Verhalten eines Operationsverstärkers stellt man auch in Tabellen zusammen. Eine 0 bedeutet „keine Spannung“, „kein Strom“ oder auch einfach „aus“. Für „ein“ oder „Strom“ oder „Spannung“ steht eine 1. Für den Eingang E- ergibt sich dann

E-	A
0	1
1	0

Signale am Eingang E- eines Operationsverstärkers erscheinen an dessen Ausgang umgekehrt. Dieses Umkehren nennt man in der Fachsprache invertieren. Entsprechend sagt man, der Operationsverstärker wird bei der Schaltung nach Abb. 2.24. als **Inverter** betrieben.

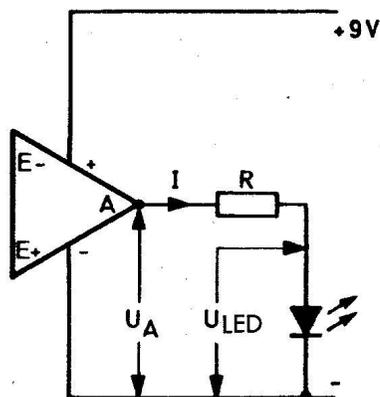


Abb. 2.25.

Es sollen nun Schaltungen untersucht werden, die den Eingang E+ verwenden. Dabei darf aber der Eingang E- nicht auf Masse (0 V) liegen. Es ist eine Besonderheit der Norton-Operationsverstärker im IC LM3900, daß dieser Eingang eine positive Vorspannung erhalten muß. Der Verstärker wird dadurch erst funktionsbereit. Diese Spannung wird mit dem Widerstand R₁ eingestellt (Abb. 2.26.).

Nun verbindet man den Eingang E+ über den Widerstand R₂ = 220 kΩ mit 9 V und beobachtet die Leuchtdiode. Sie leuchtet auf und zeigt damit einen Strom an. Legt man dann den Eingang E+ über den Widerstand R₂ an Masse (0 V), zeigt die LED keinen Strom an. Die nachstehende Tabelle zeigt das Verhalten des Operationsverstärkers, wenn der Eingang E+ beschaltet wird:

E+	A
1	1
0	0

Liegt ein Signal am Eingang E+, fließt auch im Ausgang ein Strom. Befindet sich der Eingang E+ auf Nullpotential, fließt kein Strom im Ausgang. Signale am Eingang E+ eines Operationsverstärkers erscheinen am Ausgang also nicht umgekehrt. Darum nennt man E+ den **nichtinvertierenden** Eingang, im Gegensatz zu E-, dessen Signale invertiert werden:

E- kehrt Signale um
→ invertierender Eingang

E+ kehrt Signale nicht um
→ nichtinvertierender Eingang eines Operationsverstärkers.

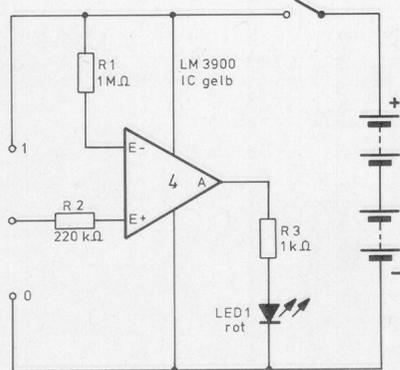
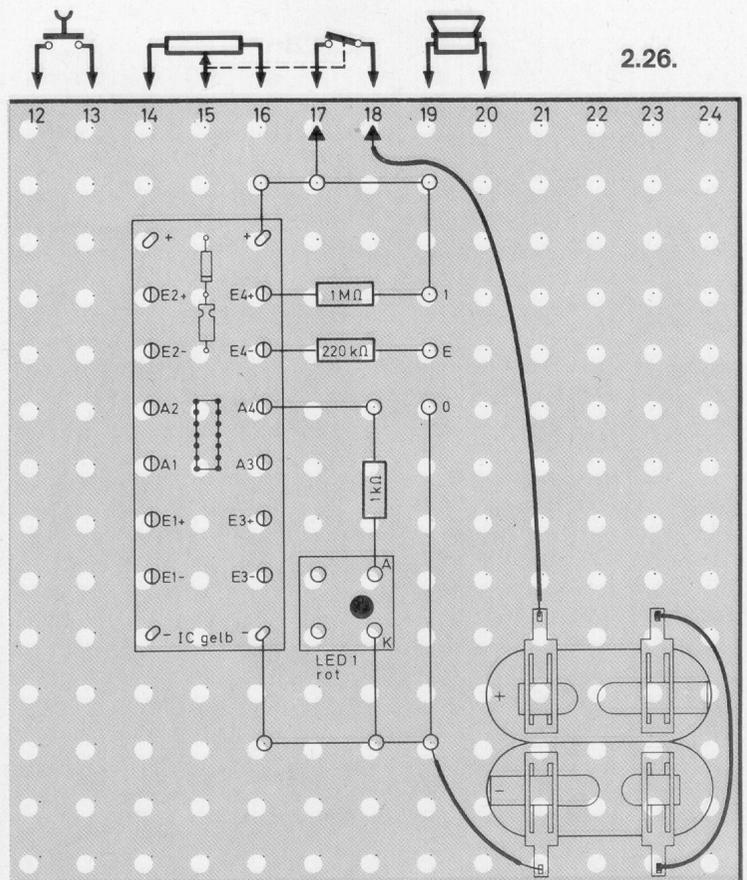


Abb. 2.26.



Die Schaltung nach Abb. 2.27. zeigt einen OP als lineares Verstärkerelement geschaltet. Der Arbeitspunkt wird zum einen bestimmt durch R_4 , zum anderen durch die Rückführung des Ausgangssignals über R_3 auf $E-$ (Gegenkopplung). Die Steuerspannung wird mit R_1 festgelegt. Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis der Widerstände R_3/R_2 bestimmt. In diesem Falle ist $V = 1$. Bei diesem Verstärkungsfaktor muß die Eingangsspannung den größten möglichen Wert annehmen, also 0 bzw. 9 V, wenn am Ausgang 9 bzw. 0 V auftreten sollen. Beträgt $U_A = 9$ V, leuchtet die grüne LED, bei 0 V leuchtet die rote LED. Die gegensinnige Polung der beiden LED's bezeichnet man als **Antiparallelschaltung**. Beide Dioden begrenzen gegenseitig die an ihnen liegende Spannung. Ist z. B. die grüne LED in Durchlaßrichtung geschaltet, liegt an ihr 1,6 V; dann tritt diese Spannung auch an der roten LED auf, die in Sperrrichtung geschaltet ist. Also wird ihre Durchbruchspannung nicht erreicht.

Nun tauscht man R_2 gegen einen Widerstand von 47 kOhm aus und betätigt das Poti. Die LED's leuchten bereits auf, wenn die Stellung des Potis geringfügig von der Mitte abweicht: Daraus läßt sich schließen: Bereits bei einer geringfügigen Änderung der Steuerspannung erzielt man eine beträchtliche Änderung der Ausgangsspannung. Also ist der Verstärkungsfaktor erheblich vergrößert worden. Er errechnet sich jetzt:

$$V = \frac{R_3}{R_2}$$

$$V = \frac{1\,000\,000}{47\,000}$$

$$V = 21,3$$

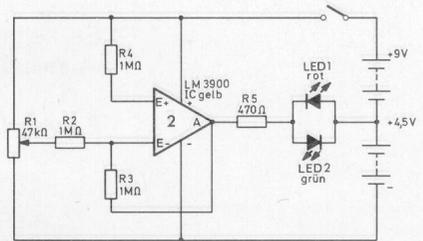
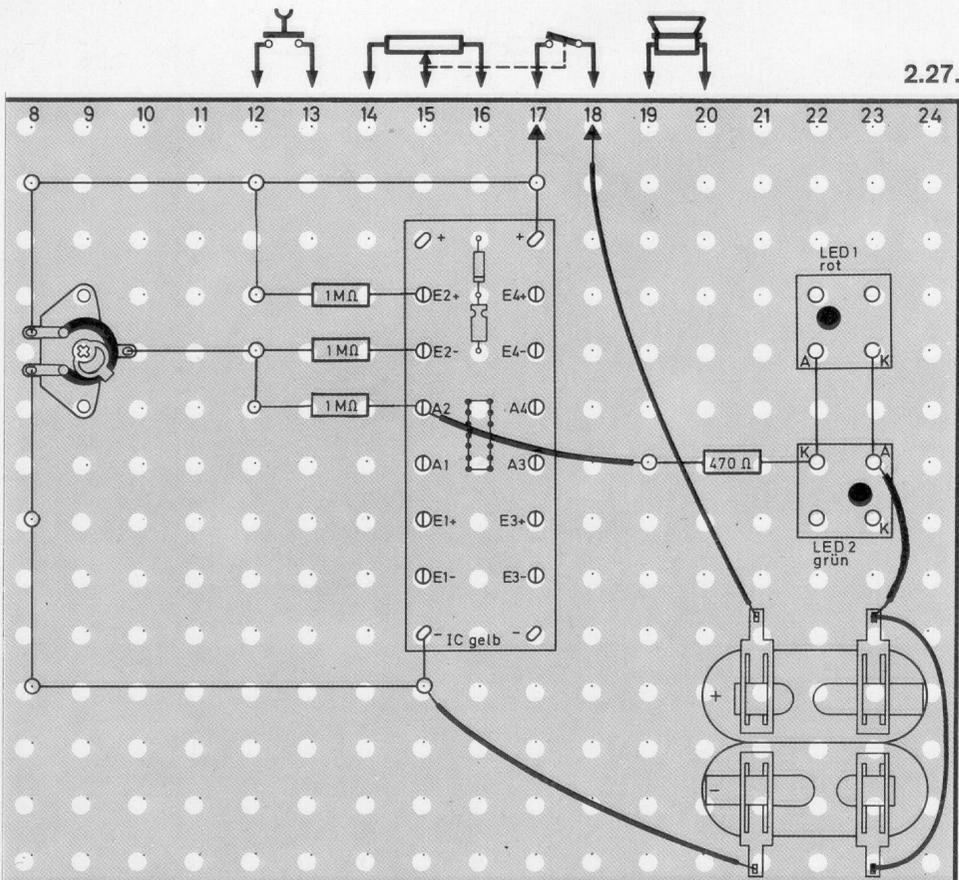


Abb. 2.27.



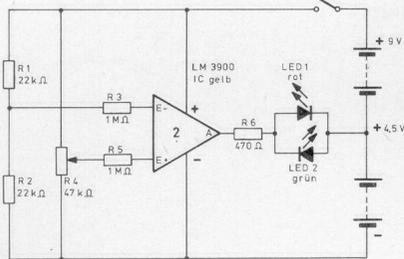
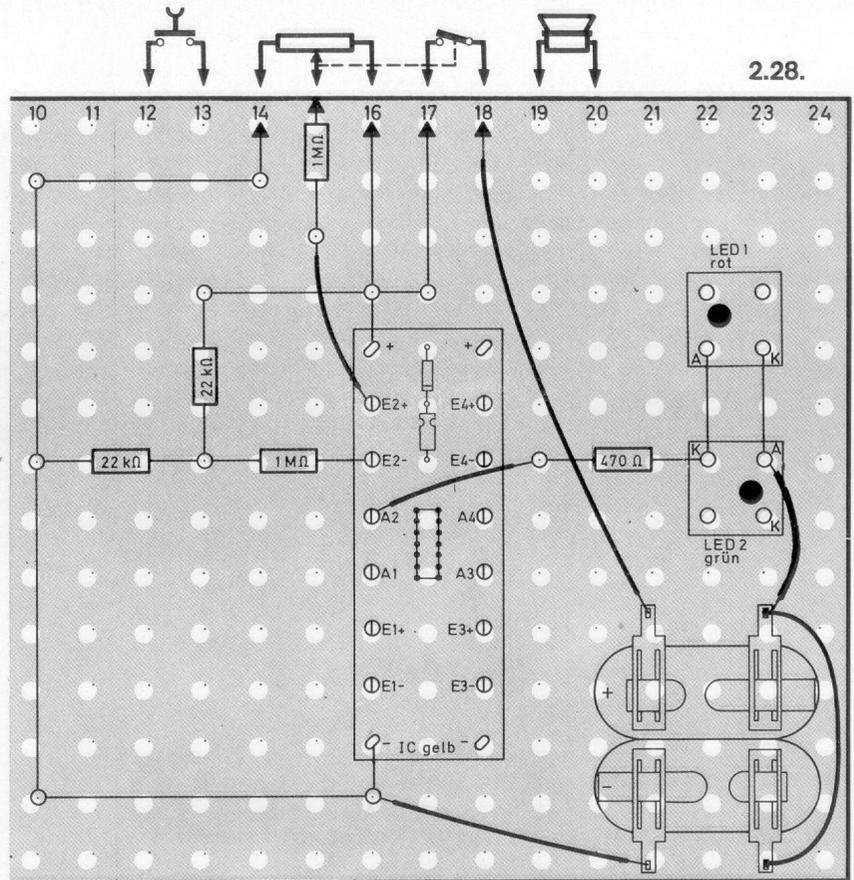


Abb. 2.28.



Mit einem Operationsverstärker lassen sich zwei Spannungen miteinander vergleichen. Die Eingänge des Operationsverstärkers können wahlweise so beschaltet werden, daß ein Eingang Vorrang vor dem anderen hat.

Zum besseren Verständnis kann die Schaltung 2.28. aufgebaut werden. Dreht man das Potentiometer zum negativen Anschlag, erlischt bei einer bestimmten Stellung die rote Leuchtdiode. Dafür beginnt die grüne zu leuchten.

Über die Widerstände R_1 und R_2 als Spannungsteiler erhält der Eingang E^- des Operationsverstärkers eine feste Vorspannung. Das Potentiometer R_4 regelt die Spannung am Eingang E^+ . Solange die Spannung an E^- niedriger ist als an E^+ , ist der Ausgang positiv (+ 9 V), da der Eingang E^- invertiert. Die rote LED ist so geschaltet, daß ihre Katode an +4,5 V liegt. Diese Spannung ist niedriger als am Ausgang des Operationsverstärkers: Also leuchtet die rote LED.

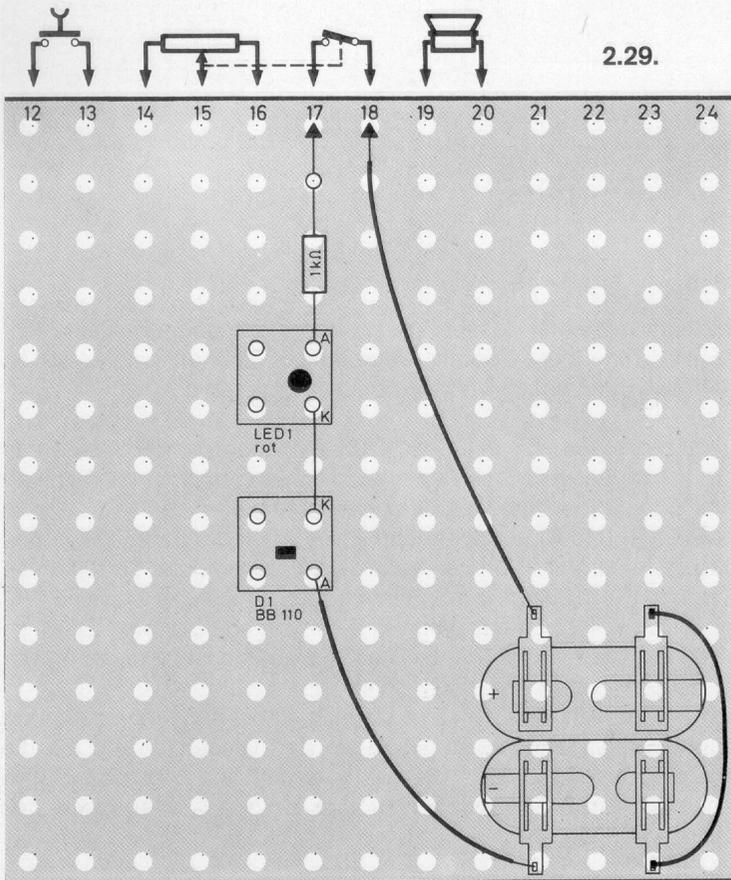
Ist die Spannung an E^+ niedriger als an E^- , bleibt auch die Ausgangsspannung klein. Nun ist die Batteriespannung (+ 4,5 V) an den Dioden größer als die Spannung am Ausgang des Verstärkers. Die grüne Leuchtdiode zeigt einen Strom an. Sie muß aber so gepolt sein, daß sich ihre Katode am Ausgang des Operationsverstärkers befindet.

2.2.4. Kapazitätsdiode

In der Rundfunk-Empfangstechnik wird in der letzter Zeit ein Bauelement verwendet, das Kapazitätsdiode heißt. Aus dieser Bezeichnung läßt sich ableiten, daß es sich um eine Kombination einer Diode mit einem Kondensator handelt. Dabei wurden aber nicht etwa zwei Bauelemente verbunden, sondern man nutzte bewußt ein spezielles Verhalten der Diode aus.

Im Abschnitt über die LED wurde erläutert, daß eine Halbleiterdiode aus zwei unterschiedlich dotierten Materialien besteht. Die Berührungsfläche der beiden Bereiche bezeichnet man als Grenzschicht. Polt man eine Diode in Sperrichtung – Pluspol an der n-Schicht, Minuspol an der p-Schicht –, so verbreitert sich die Grenzschicht und wird zur Sperrschicht.

Es läßt sich leicht mit der folgenden Schaltung experimentell nachweisen, daß die Kapazitätsdiode auch dieses Verhalten zeigt:



2.29.

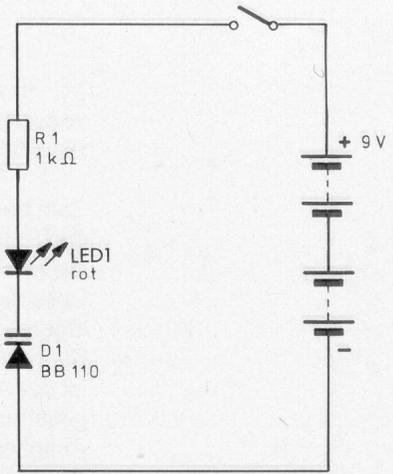


Abb. 2.29.

Ist die Kapazitätsdiode in Sperrichtung (Abb. 2.29.) geschaltet, leuchtet die LED nicht, in Durchlaßrichtung – Kapazitätsdiode umpolen – dagegen wird Licht ausgestrahlt.

Wird eine beliebige Diode in Sperrichtung betrieben, wirkt die fast ladungsträgerfreie Sperrschicht wie ein Isolator. Ähnlich wie bei einem Kondensator trennt in diesem Zustand ein Isolator zwei gut leitende Bereiche. Eine in Sperrichtung betriebene Diode verhält sich also wie ein Kondensator und besitzt eine bestimmte Kapazität.

Man bezeichnet sie als **Sperrschichtkapazität**.

Das Symbol:



Liegt an einer Diode keine Spannung an, ist die Kapazität am größten. Erhöht man die Sperrspannung – Diode in Sperrichtung – verbreitert sich die Sperrschicht, und die Kapazität nimmt ab.

Bei herkömmlichen Dioden ist dieser Effekt gering.

Um spezielle Kapazitätsdioden mit möglichst großer Kapazitätsvariation herzustellen, verwendet man Flächendioden mit großer Grenzfläche. Dabei kann man Werte von einigen hundert pF erzielen. Kapazitätsdioden finden u. a. Anwendung bei der Senderwahl in Rundfunkempfängern und bei der automatischen Scharfabstimmung in UKW- und Fernsehempfängern.

Aus der Kennlinie (Abb. 2.30.) kann die Abhängigkeit der Kapazität von der Sperrspannung entnommen werden. Man erkennt, daß die Kapazität bei 0,5 V 50 pF beträgt und bei 9 V 15 pF.

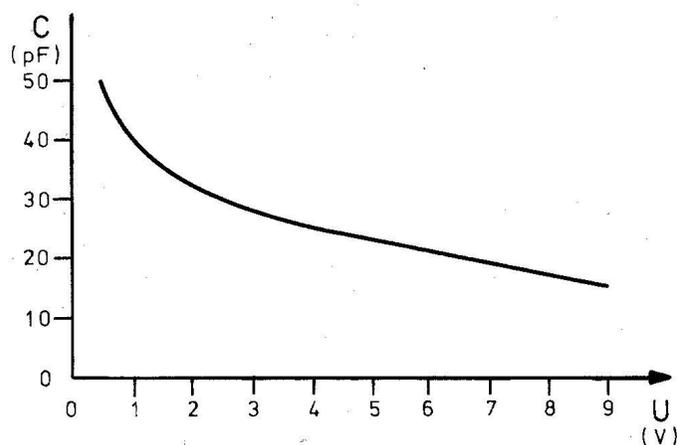


Abb. 2.30.

2.2.5. Feldeffekt-Transistor (FET)

Ein neueres Bauelement der Elektronik ist der Feldeffekt-Transistor, abgekürzt FET genannt. Wenn auch die theoretischen Grundlagen für die Funktion dieses Transistortyps bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannt sind, so fehlte doch das technische „know how“, um dieses Element herzustellen. Erst nach 1960 war man in der Lage, brauchbare Feldeffekt-Transistoren in größerem Umfang herzustellen.

Vor der Erklärung der Funktion eines FET sei noch einmal an die Wirkungsweise eines npn bzw. pnp-Transistors erinnert (vergl. Kap. 2.2.2.).

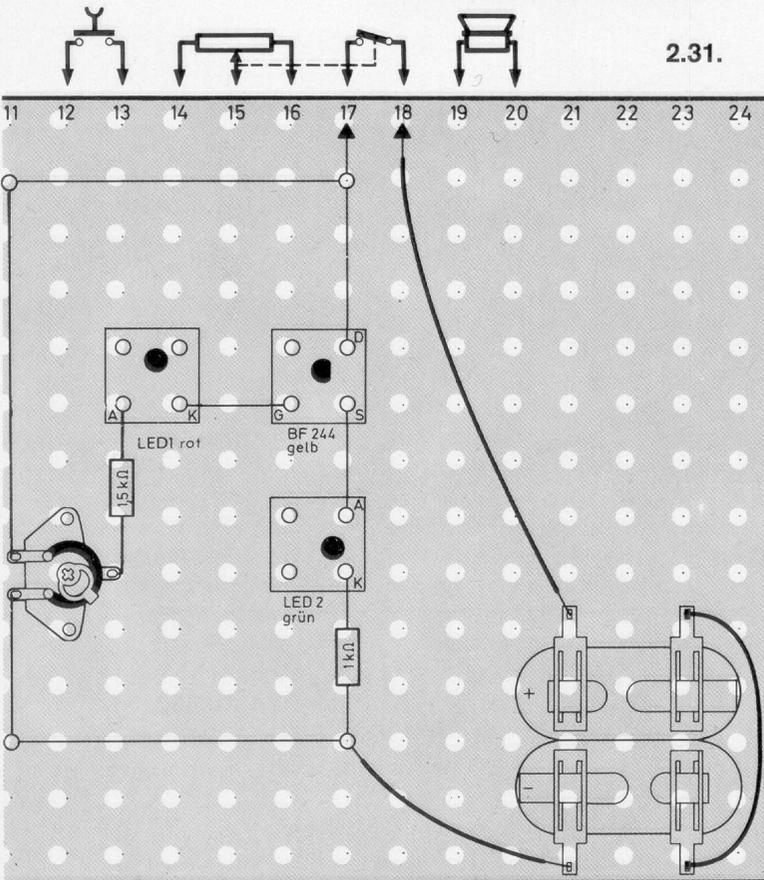
Zum Ansteuern eines Transistors muß eine Leistung P aufgebracht werden, die sich z. B. aus dem Basisstrom und der Basisspannung errechnen läßt nach der Gleichung

$$P = U_B \cdot I_B$$

U_B steht für Basisvorspannung, I_B für Basisstrom.

Die elektrische Steuerleistung ist für einen Transistor BC 238 relativ klein. Sie beträgt nur wenige mW. Bei Leistungstransistoren mit Basisströmen von einigen Ampere spielt die Steuerleistung bereits eine beträchtliche Rolle. Sie muß dann nämlich durch zusätzliche Verstärkerstufen aufgebracht werden, was wieder einen weiteren Schaltungsaufwand bedeutet.

Der FET in diesem Philips Experimentierkasten hat die Typenbezeichnung BF 244. Er ist auf eine gelbe Grundplatte gelötet. Dieser FET besitzt ebenfalls drei Anschlüsse wie der bekannte Transistor, doch sie werden anders bezeichnet. Es sind Source S (Zufluß), Gate G (Tor) und Drain D (Abfluß). Da die Abkürzungen für die Anschlüsse – abgeleitet aus den englischen Bezeichnungen – international üblich sind, ist es schwierig, deutsche Bezeichnungen mit gleichen Anfangsbuchstaben zu finden. Deshalb sollen im folgenden nur die englischen Begriffe Verwendung finden.



2.31.

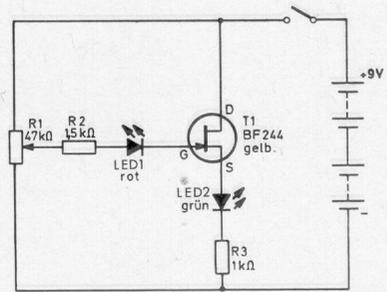
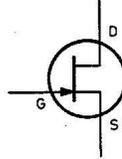


Abb. 2.31.

Das Symbol:



Feldeffekt-Transistoren lassen sich leistungslos steuern, wie sich mit Schaltung (Abb. 2.31.) verdeutlichen läßt.

Im Gegensatz zum herkömmlichen Transistor, bei dem in der vergleichbaren Schaltung sowohl die Leuchtdiode im Basisstromkreis als auch die im Kollektorstromkreis leuchtet, strahlt beim FET nur eine Licht aus, und zwar die im Drain-Source-Stromkreis. Das bedeutet, daß der Transistor zwar angesteuert wird, aber in das Gate kein Strom fließt.

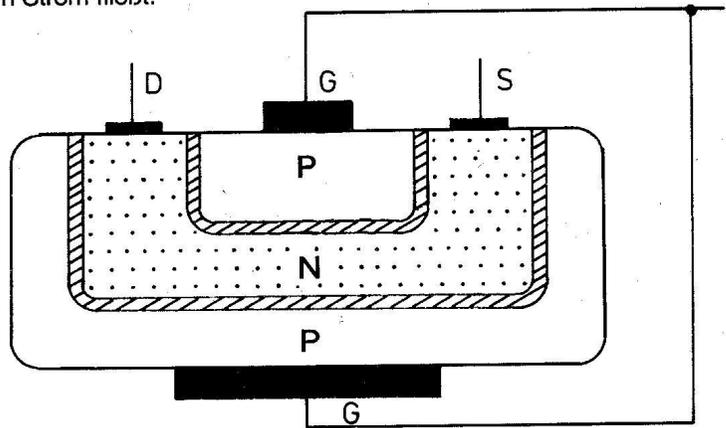


Abb. 2.33.

Bei der schematischen Darstellung eines FET in Abb. 2.32. sind wieder die Anschlüsse Source, Drain und Gate zu erkennen, wobei der Gate-Anschluß zweimal auftritt. Beide sind miteinander verbunden. Man erkennt ebenfalls, daß dieser FET die Schichtenfolge pnp hat. Die obere p-Schicht – den oberen Gate-Anschluß also – muß man sich als eine Insel in einem n-leitenden Material vorstellen. Dieser n-leitende Bereich wird als **Kanal** bezeichnet. Er liegt zwischen den zwei Grenzschichten zur oberen und unteren p-Schicht.

Durch diesen Kanal soll der durch das Gate geschaltete oder verstärkte Strom fließen. Da der Kanal bei diesem FET-Typ aus n-leitendem Material besteht, bezeichnet man ihn als **n-Kanal FET**. Anhand der Schaltung (Abb. 2.33.) läßt sich die Wirkungsweise des FET erproben.

Wird bei dieser Schaltung die Gate-Spannung U_E mit 0 V eingestellt, läßt sich bereits eine Ausgangsspannung U_A am Sourcewiderstand messen, die zwischen Source und Drain anliegt. Dann fließt auch ein Strom durch den Transistor. Erhöht man die positive Gate-Spannung, vergrößert sich der Source-Drain-Strom im Verhältnis zur Spannung. Die Erklärung dafür läßt sich aus der Schemazeichnung des FET ableiten:

Bei 0 V wird die Breite des Kanals durch die verhältnismäßig breiten Grenzschichten ohne Ladungsträger bestimmt. Erhöht sich die positive Spannung, verringert sich dadurch die Breite der Grenzschicht, und der Kanal weitet sich: Es kann also ein größerer Strom hindurchfließen.

Legt man umgekehrt eine negative Spannung an das Gate, werden aus der Grenzschicht Ladungsträger abgezogen – sie wird also breiter –, und der Kanal verengt sich. Es steht also ein schmalerer Weg für den Strom zur Verfügung.

Mit einem Spannungsmeßgerät läßt sich die Abhängigkeit der Ausgangsspannung zwischen Source und Drain von der Gate-Spannung (Eingangsspannung) überprüfen (Schaltung nach Abb. 2.33.).

Transistor T_2 dient zur Verstärkung des FET-Ausgangssignals und treibt die LED als Spannungsindikator.

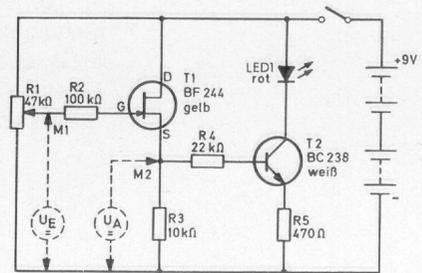
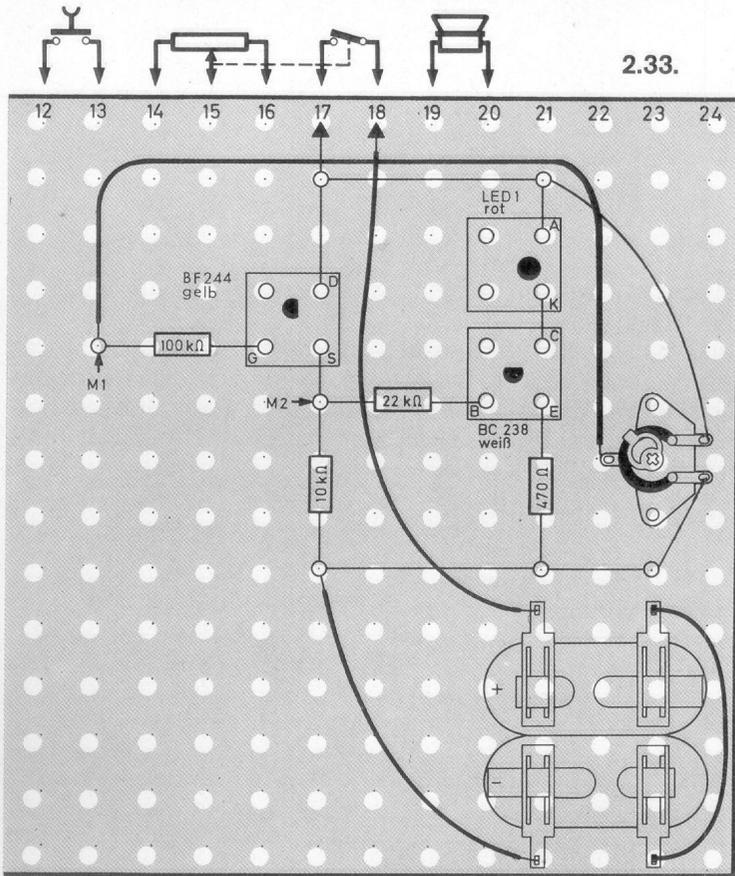


Abb. 2.33.

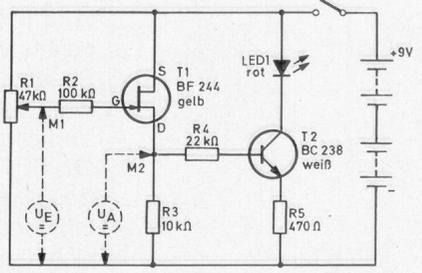
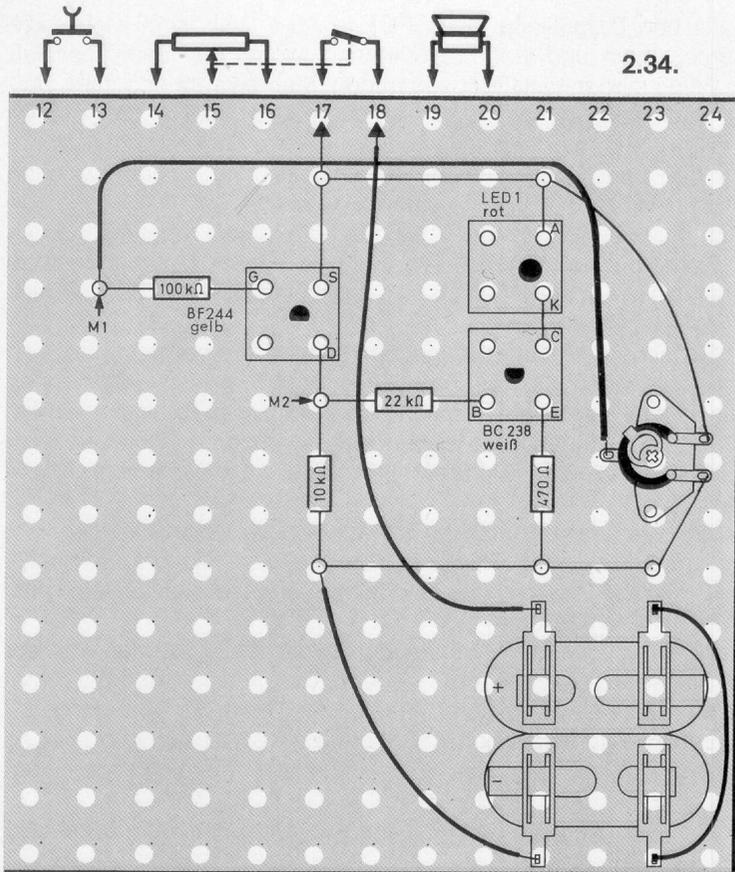


Abb. 2.34.

Meßreihe nach Abb. 2.33.

$U_E(V)$	$U_A(V)$
0	2,5
1	3,5
2	4,5
3	5,5
4	6,5
5	7,5
6	8,0
7	8,2
8	8,5
9	8,8

Im Gegensatz zum herkömmlichen Transistor spielt die Polung von D und S in vielen Fällen keine Rolle. Da zwischen beiden Anschlüssen keine Grenzschichten bestehen, die sich erweitern oder abbauen können, sind D (Drain) und S (Source) bedingt vertauschbar.

Wiederholt man die letzte Meßreihe, nachdem man D und S nach Abb. 2.34. umgepolt hat, erhält man die angegebenen Meßwerte.

$U_E(V)$	$U_A(V)$
0	2,5
1	3,5
2	4,5
3	5,5
4	6,5
5	7,5
6	8,2
7	8,5
8	8,7
9	8,8

Auch bei dieser Schaltung läßt sich die Ausgangsspannung mit nur geringen Abweichungen ermitteln.

Die Sperrschichten werden also ausschließlich von U_E , der Gate-Spannung, beeinflusst.

Da bei diesem Transistor der Drain-Source-Strom durch sich verändernde Sperrschichten gesteuert wird, spricht man von einem **Sperrschicht-Feldeffekttransistor**. Besteht der Kanal wie bei diesem BF 244 aus n-leitendem Material, lautet die Bezeichnung vollständig **n-Kanal Sperrschicht FET**.

Ein besonderes Kennzeichen aller FET ist, daß sie einen sehr großen Eingangswiderstand bei einem relativ kleinen Ausgangswiderstand besitzen, weil im Gate-Kreis kein Strom fließt. Darum eignet sich dieses Bauelement zur Verstärkung von Signalen extrem kleiner Leistungen wie in einem Rundfunk-Eingangskreis.

3. Elektronische Grundschaltungen

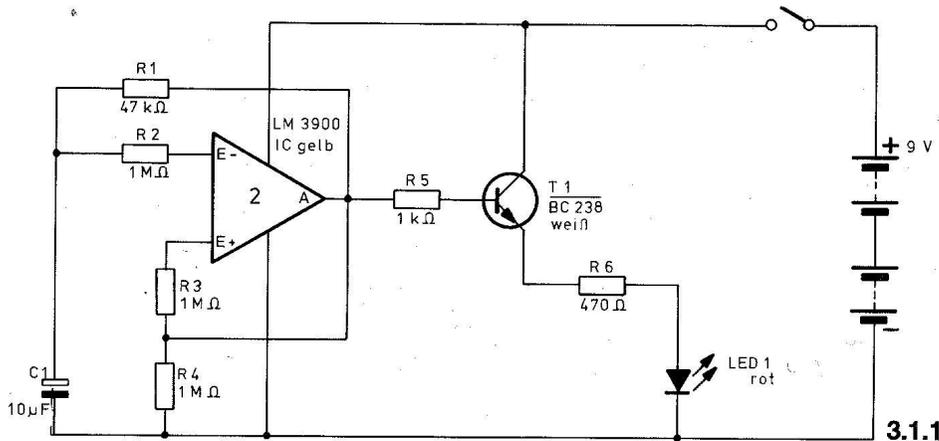
3.1. Astabiler Multivibrator

Astabile Multivibratoren sind Grundschaltungen der Elektronik, bei denen die Ausgangszustände fortwährend zwischen 0 und 1 wechseln. Da sie sich selbständig ein- und ausschalten, werden sie häufig als Generatoren verwendet.

3.1.1. Blinklicht

In den meisten Fällen, in denen ein Alarmzustand optisch angezeigt werden soll, werden Blinklichter verwendet, denn sie besitzen einen wesentlich größeren Signalcharakter als ein Dauerlicht. So werden z. B. bei Baustellen auf den Straßen meistens Blinklichter eingesetzt. Eine solche Einrichtung kann mit einer Lampe erzielt werden, die in einem vom Auge wahrnehmbaren Rhythmus ständig ein- oder ausgeschaltet wird. Es besteht aber auch die Möglichkeit, mehrere Lampen abwechselnd zu schalten. In diesem Gerät soll eine Lampe blinken.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.1.1. Beim Einschalten des Gerätes muß die LED blinken, andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.



3.1.1

Schaltungsbeschreibung

Das Kernstück dieser Blinkschaltung ist der **astabile Multivibrator** mit dem Operationsverstärker und den dazugehörigen Elementen.

Beim Einschalten des Gerätes ist der Kondensator C_1 entladen, deshalb führt der Eingang E^- ein 0-Signal. Dieses wird invertiert, der Ausgang führt damit 1-Signal. Gleichzeitig lädt sich über R_1 der Kondensator C_1 allmählich auf. Zu einem bestimmten Zeitpunkt wird die Kondensatorspannung so groß, daß diese Spannung am E^- Eingang wirksam wird, und der Ausgang führt den Zustand 0. Die LED erlischt nun. Über den Widerstand R_1 entlädt sich der Kondensator allmählich. Führt schließlich der Eingang E^- wieder ein 0-Signal, nimmt der Ausgang den Zustand 1 an, die Schaltstufe mit dem Transistor schaltet wieder durch, und die LED leuchtet. Dieser Vorgang wiederholt sich in ständigem Wechsel. Der Mitkopplungskreis vom Ausgang zum Eingang E^+ mit dem Widerstand R_3 ermöglicht ein schlagartiges Umkippen des Ausgangszustandes nach dem Entladen des Kondensators. Damit wird ein annähernd rechteckiges Ausgangssignal bewirkt.

Bei den ausgewählten Werten für C_1 und R_1 ergibt sich eine Leuchtdauer von 3 s und eine Dunkelphase von gleicher Dauer. Das Verhältnis von Hell und Dunkel – Tastverhältnis genannt – läßt sich mit dem Widerstand R_1 in geringen Grenzen variieren, der auch die Frequenz beeinflusst. Die Abhängigkeit der Frequenz des astabilen Multivibrators läßt sich aus folgender Tabelle entnehmen.

C_1	R_1	$t_{(s)}$
1 μF	10 k Ω	0,06
1 μF	47 k Ω	0,3
4,7 μF	10 k Ω	0,3
4,7 μF	47 k Ω	1,5
10 μF	10 k Ω	0,6
10 μF	47 k Ω	3
100 μF	10 k Ω	6
100 μF	47 k Ω	30

Man erkennt, daß die Frequenz eines astabilen Multivibrators um so langsamer wird, je größer der Widerstandswert und der Kondensator werden.

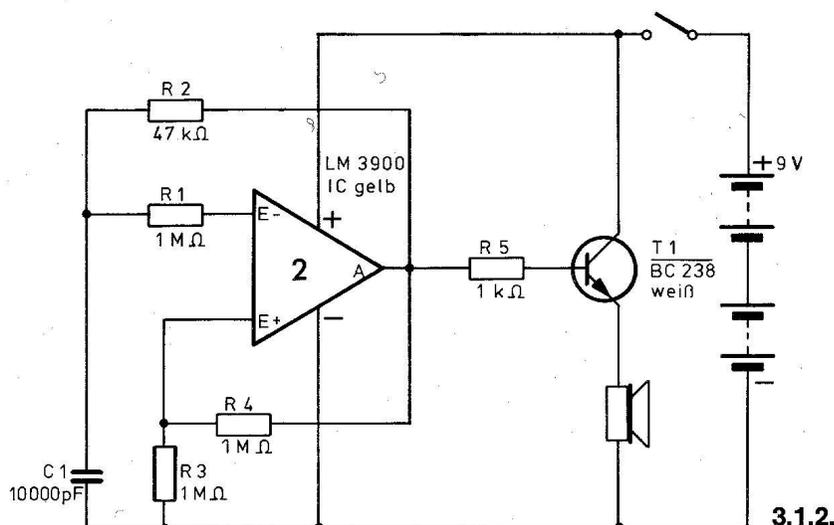
3.1.2. Tongenerator

Mit elektronischen Schaltungen lassen sich Töne in jeder Höhe und Qualität erzeugen. Auch bereitet es gar keine Schwierigkeiten, einzelne Instrumente mit Schaltungen zu imitieren, so daß nur ein sehr geübter Hörer den Unterschied erkennen kann. Mit dieser Schaltung soll zunächst einmal das Prinzip eines solchen Tonerzeugers, auch Tongenerator genannt, erläutert werden. Verfeinerte Anwendungen sind später in Kapitel 4.1. dargestellt.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.1.2. Beim Einschalten des Gerätes strahlt der Lautsprecher einen Ton ab, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Schaltungsbeschreibung

Der Operationsverstärker ist in dieser Schaltung ebenfalls als astabiler Multivibrator angewendet worden (vergl. 3.1.1.). Im Gegensatz zu Schaltung 3.1.1. enthält dieser Tongenerator einen Kondensator von 10.000 pF als frequenzbestimmendes Element. Dadurch verringert sich die Zeit des Aufladens ebenso wie die des



3.1.2.

Entladens. Diese Vorgänge folgen dann so rasch aufeinander, daß man eine Tonfrequenz erhält. Mit jedem Lade- bzw. Entladevorgang wird dann der Transistor durch die Änderung des Ausgangssignals am Operationsverstärker durchgeschaltet bzw. gesperrt und die Membrane des Lautsprechers bewegt. Es entsteht ein durchgehender Ton.

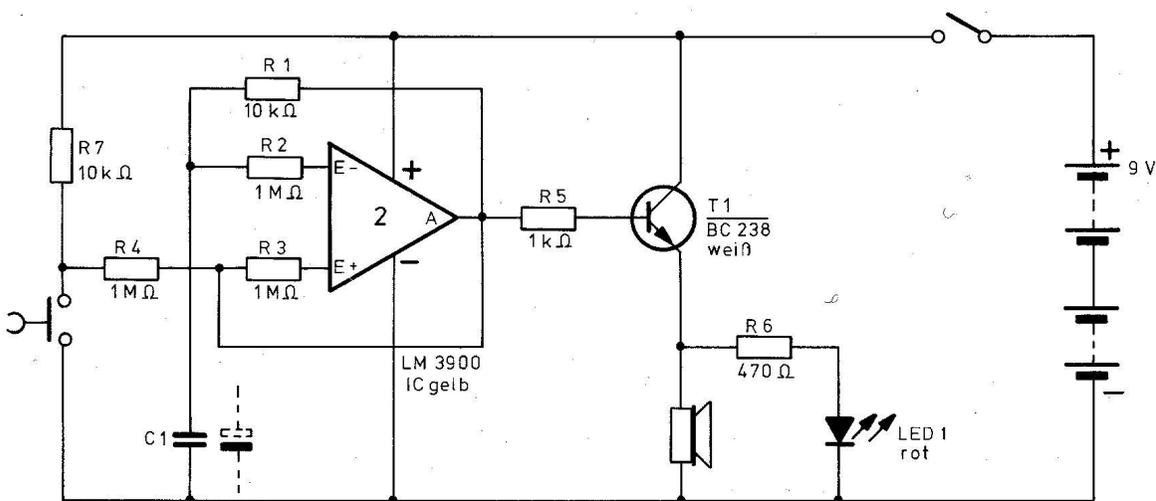
Wenn man den Widerstand $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ gegen einen mit $10 \text{ k}\Omega$ austauscht, wird der Vorgang des Ladens und Entladens weiter beschleunigt. Der Lautsprecher erhält also in noch kürzerer Folge Impulse. Dadurch entsteht ein Ton höherer Frequenz. Die folgende Tabelle zeigt die Abhängigkeit der Frequenz von der Widerstandsänderung bei $C = 10.000 \text{ pF}$:

Widerstand (R)	Frequenz (f)
10 k Ω	1,6 kHz
47 k Ω	333 Hz

3.1.2.1. Schaltungsvariante

Bei größeren Geräten werden astabile Multivibratoren nicht durch Betätigen des Geräteschalters eingeschaltet, sondern eine Fremdspannung steuert den Multivibrator. Aus der Schaltung nach Abb. 3.1.2.2. ist zu ersehen, daß der astabile Multivibrator so lange nicht schwingen kann, wie der Tastschalter geöffnet ist. Durch Drücken des Tastschalters wird der Eingang E+ des Operationsverstärkers über R_3/R_4 mit Masse verbunden. Dadurch erhält der Eingang E- Vorrang vor E+, und der Multivibrator beginnt zu schwingen.

In zusammengesetzten elektronischen Schaltungen wird der Tastschalter ersetzt durch Impulsgeber.



3.1.2.1.

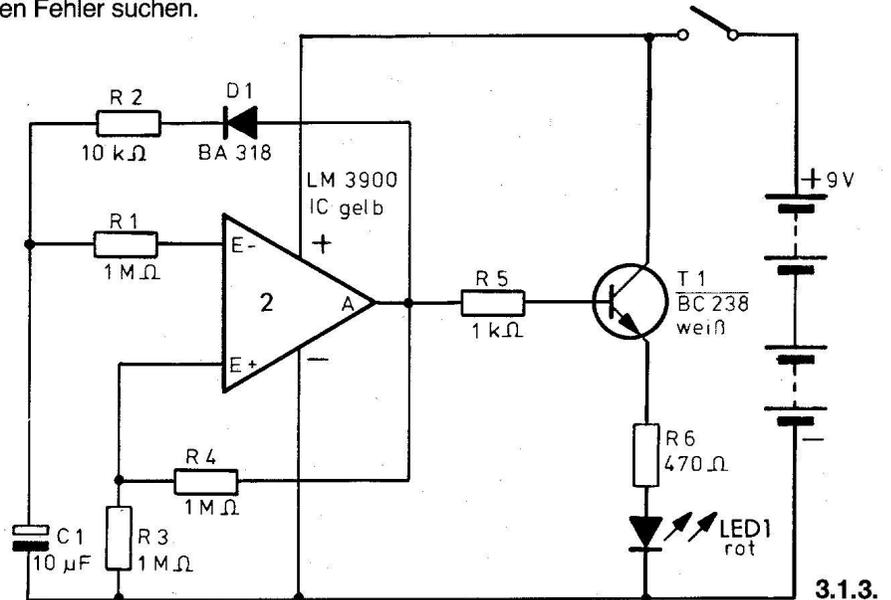
3.1.2.2. Schaltungsvariante

Die beiden Geräte 3.1.1. und 3.1.2. lassen sich zusammenfassen, weil für beide nur eine Grundschaltung verwendet wird. Diese Grundschaltung ist der astabile Multivibrator. Parallel zum Lautsprecher wird die Leuchtdiode mit einem Vorwiderstand von 470 Ohm geschaltet (siehe Schaltbild 3.1.2.1.). Wechselt man C_1 jeweils mit einem niedrigeren Wert aus, wird die Tonfrequenz niedriger, bis schließlich gar kein Ton mehr zu hören ist, sondern nur ein Knacken. Dafür blinkt die LED sichtbar.

3.1.3. Baustellen-Warnlicht

An Baustellen werden Verkehrsteilnehmer häufig durch Warnlampen, die nur sehr kurzzeitig blinken, auf Gefahren hingewiesen. Sie zeichnen sich durch einen hellen Lichtimpuls aus, dem eine längere Dunkelphase folgt.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.1.3. Beim Einschalten des Gerätes leuchtet die LED sehr kurzzeitig auf, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Die Grundschaltung dieser Baustellen-Warnleuchte ist ebenfalls ein astabiler Multivibrator. In die Gegenkopplungsleitung des Operationsverstärkers ist jedoch zusätzlich eine Diode eingefügt worden. Deshalb kann sich der Kondensator C_1 über den Widerstand R_2 zwar schnell aufladen, das Entladen erfolgt dagegen langsam über den Widerstand $1\text{ M}\Omega$. Damit entsteht ein positiver Spannungsimpuls, der steil ansteigt und allmählich abfällt. Die Folge der Lichtblitze läßt sich durch Verändern der Kapazität des Kondensators C_1 einstellen ($100\ \mu\text{F}$ bis $1\ \mu\text{F}$). Je größer die Kapazität wird, desto länger dauert es, bis der nächste Impuls auftritt.

3.2. Bistabiler Multivibrator

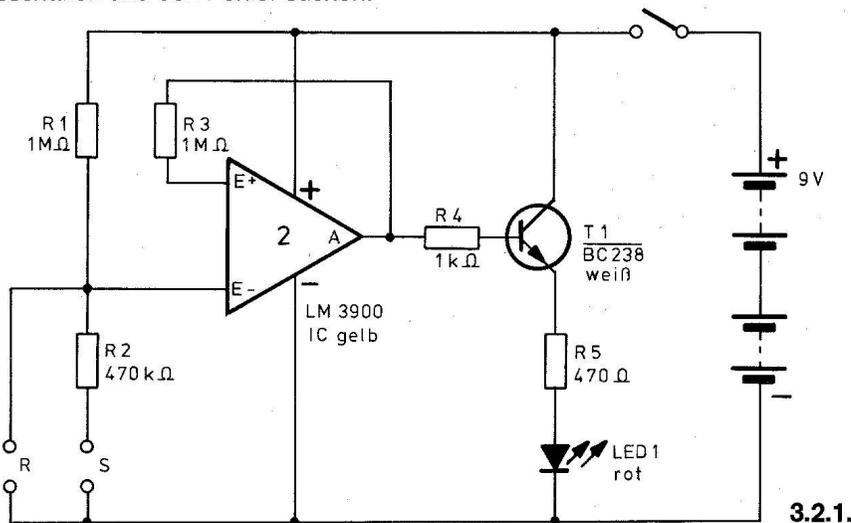
Im Gegensatz zu den astabilen Multivibratoren haben bistabile Multivibratoren zwei Zustände, die nicht selbsttätig wechseln können. Nur durch erneute Impulse ist ein Umschalten möglich.

3.2.1. Elektronischer Schalter

Dieses Gerät kann einen kurzzeitigen Spannungsimpuls so lange speichern, bis man das entsprechende Signal nicht mehr benötigt und es löscht.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.2.1.

Nach dem Einschalten des Gerätes Kontakt S mit einem Draht schließen. Beim Überbrücken des Kontakts S muß die LED aufleuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



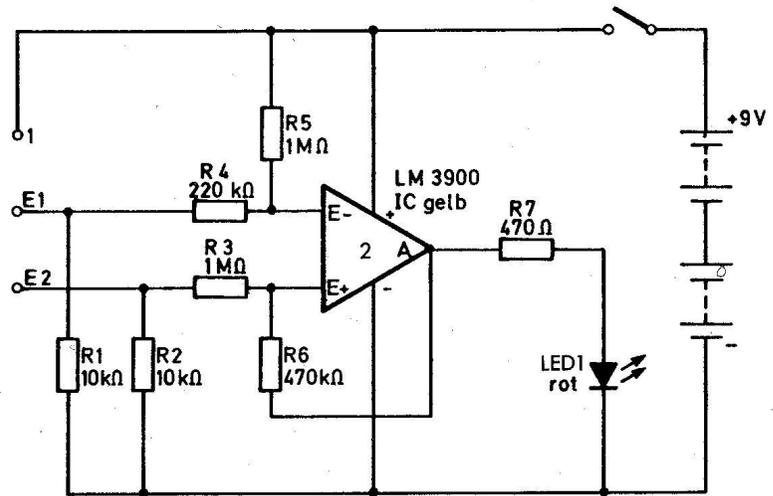
Schaltungsbeschreibung

Im Ruhezustand ist der Kontakt S (S = set, englisch setzen) geschlossen. Wird nun der Kontakt R (R = reset, = englisch rücksetzen) ebenfalls kurzzeitig geschlossen, ist der invertierende Eingang E- eines Operationsverstärkers im IC direkt mit dem negativen Pol der Spannungsquelle (Masse) verbunden. Am Ausgang liegt dann die Betriebsspannung von 9 V – auch als 1-Signal bezeichnet. Über den Vorwiderstand von 1 kΩ wird die Basis des Transistors angesteuert; er leitet dann, und die LED leuchtet.

Legt man die Leuchtdiode direkt über den Widerstand R₄ an Masse, leuchtet sie nur schwach, da die Stromverstärkung durch den Transistor entfällt.

Durch nur kurzzeitiges Öffnen der Brücke S – R muß unterbrochen sein – erhält der Eingang E- ein positives Spannungspotential über R₁, so daß der Ausgang A nun den Schaltzustand 0 annimmt. Der Transistor erhält keine Basisvorspannung mehr; und die LED erlischt. Dieser Schaltzustand bleibt auch erhalten, wenn der Schalter S wieder geschlossen wird, da der Eingang E+ durch die Mitkopplung über R₃ (1 MΩ) weiterhin das 0-Signal erhält; das einmal eingegebene Signal wird also gespeichert. Nur durch erneutes Schließen des Kontaktes R kann der erste Schaltzustand wiederhergestellt werden.

Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen bistabilen Multivibrator oder **Flipflop**. Er kann am Ausgang zwei beständige elektrische Zustände annehmen, nämlich „ein“ oder „aus“.



3.2.1.1.

3.2.1.1. Schaltungsvariante

Ein bistabiler Multivibrator läßt sich auch aufbauen, indem man beide Eingänge des Operationsverstärkers benutzt (Abb. 3.2.1.1.). Wird bei diesem bistabilen Multivibrator der Eingang E- kurzzeitig mit +9 V verbunden, erlischt die LED – der Ausgang führt also ein 0-Signal. Verbindet man dagegen den Eingang E+ kurzzeitig mit +9 V, kippt die Schaltung um, und der Ausgang führt ein 1-Signal. Die LED leuchtet.

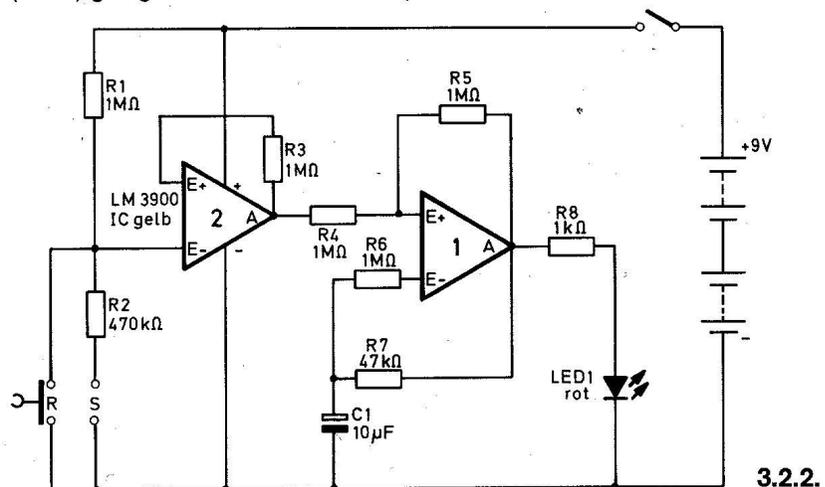
3.2.2. Alarmanlage

Durch die Kopplung einer Blinklichtschaltung mit einem Speicher (bistabiler Multivibrator) läßt sich eine elektronische Alarmanlage konstruieren. Bei Unterbrechung eines Kontaktes wird eine Blinkanlage in Betrieb gesetzt, die erst durch einen Tastendruck wieder ausgeschaltet werden kann.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.2.2. Um das Gerät in Betrieb zu nehmen, werden die Kontakte S durch eine Drahtbrücke verbunden. Nach kurzzeitigem Betätigen der Taste R muß die LED blinken, wenn die Kontakte S geöffnet werden, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Schaltungsbeschreibung

Zunächst erreicht man durch kurzzeitiges Betätigen des Tastschalters R Betriebsbereitschaft der Anlage; die LED leuchtet. Der Ausgang des 2. Operationsverstärkers – er ist als bistabiler Multivibrator geschaltet – führt dann ein 1-Signal, also 9 V Betriebsspannung. Wird sie über R₄ an den Eingang E+ des astabilen Multivibrators (OP 1) gelegt, kann er nicht schwingen.



3.2.2.

Erst wenn Schalter S – es ist der auslösende Unterbrecherkontakt der Alarmanlage – geöffnet wird, führt der bistabile Multivibrator am Ausgang ein 0-Signal. Der astabile Multivibrator beginnt zu schwingen, und die LED blinkt im regelmäßigen Rhythmus.

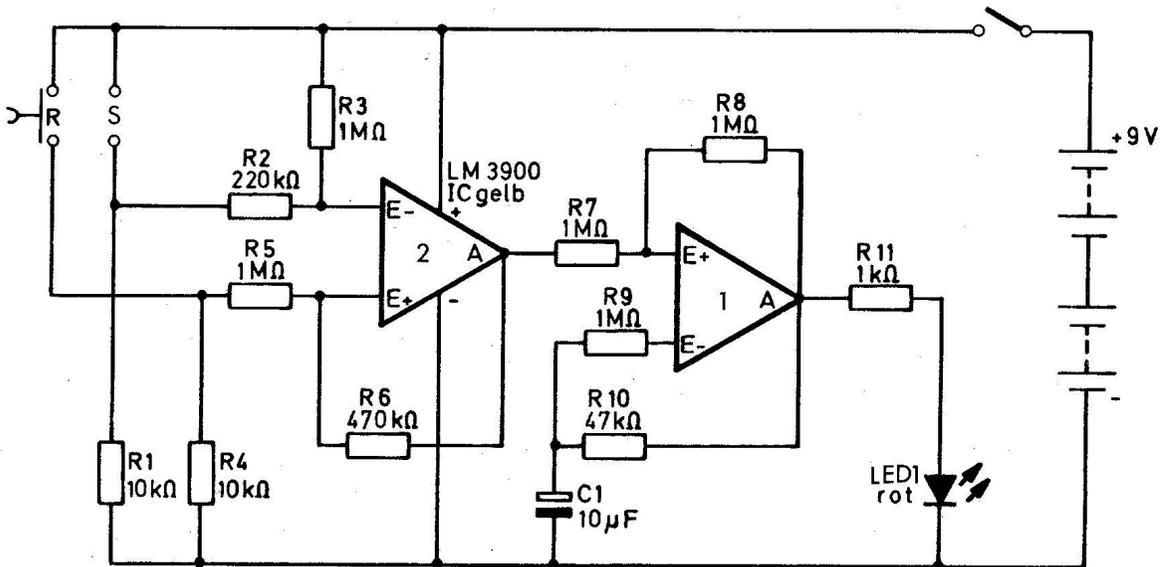
Durch erneutes Überbrücken der Kontakte S wird die Alarmanlage nicht ausgeschaltet, sie blinkt so lange, bis durch Betätigen des Schalters R die Anlage ausgeschaltet und gleichzeitig in erneute Betriebsbereitschaft versetzt wird.

Bei der Verwendung dieses Gerätes als Alarmanlage werden die Kontakte S mit einer durchgehenden Alarmschleife verbunden (Kap. 1.9.).

3.2.3. Warnanlage

Die in Schaltung 3.2.2. beschriebene Alarmanlage läßt sich auch so abwandeln, daß nur beim Schließen des Schalterkontaktes S ein Warnblinklicht aufleuchtet. Das kann z. B. dann wichtig werden, wenn mit dieser Anlage ein mechanischer Druck überwacht werden soll. Wird der Druck überschritten, spricht der Schalter an. Eine Öldruckanzeige kann z. B. nach diesem Prinzip funktionieren.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.2.3. Einschalten des Gerätes durch kurzes Niederdrücken der Taste R und nachfolgendes Schließen des Kontaktes S. Die LED muß blinken, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.2.3.

Schaltungsbeschreibung

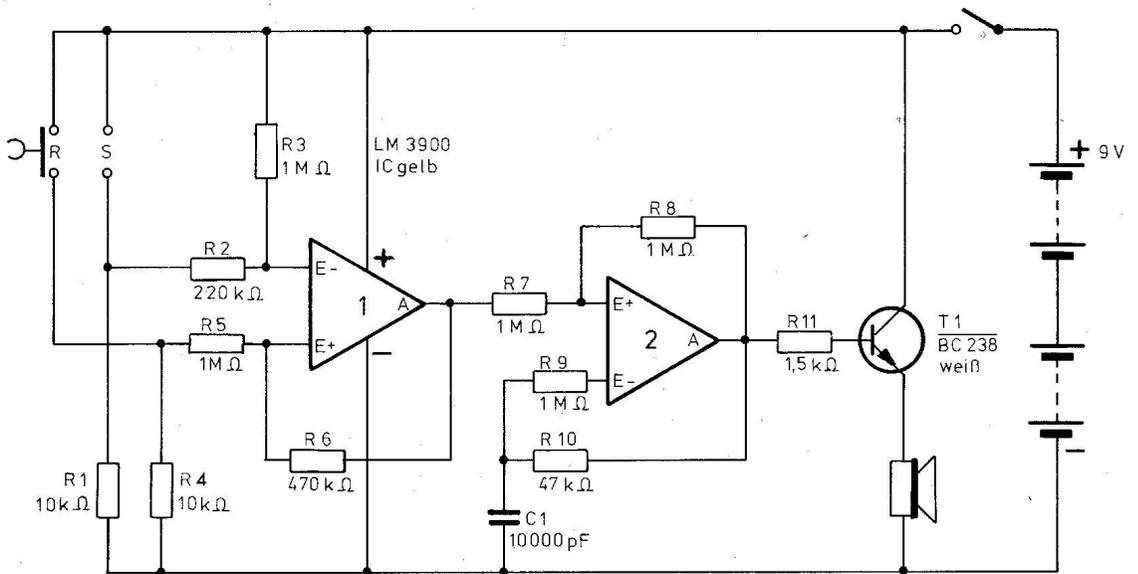
Wird der Kontakt R kurzzeitig geschlossen, erhält der Eingang E+ des bistabilen Multivibrators OP 2 über R₅ ein positives Spannungspotential, der Ausgang führt damit ein 1-Signal. Bei diesem Schaltungszustand schwingt der astabile Multivibrator OP 1 nicht, deshalb leuchtet die LED ständig.

Erst beim Schließen des Kontaktes S wird der invertierende Eingang E- über R₂ mit einer höheren Spannung angesteuert, und der Ausgang führt jetzt ein 0-Signal. Der astabile Multivibrator beginnt zu schwingen, und die LED blinkt. Durch Betätigung des Tasters R wird der Eingang E+ kurzzeitig mit +9 V verbunden, und der Ausgang geht auf 1 – Ruhestellung – zurück. Das Dauerlicht der LED zeigt die erneute Betriebsbereitschaft an.

3.2.4. Kontrollanlage mit akustischer Anzeige

Bei diesem Gerät wird „Gefahr“ über einen Lautsprecher akustisch angezeigt, wobei das Signal wieder durch Schließen eines Schalters ausgelöst wird. Ein solches Gerät kann u. a. als Wasserstandsanzeige eingesetzt werden. Dazu wird der Kontakt S durch einen Schwimmer eingeschaltet.

Aufbau des Gerätes nach Verdrahtungsplan 3.2.4. Einschalten des Gerätes durch kurzes Niederdrücken der Taste R und nachfolgendes Schließen des Kontaktes S. Der Lautsprecher strahlt dann einen Ton ab, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.2.4.

Schaltungsbeschreibung

Schließt man durch Niederdrücken der Taste den Kontakt R, erhält der Eingang E+ des bistabilen Multivibrators über R₅ ein positives Spannungspotential. Der Ausgang führt damit ein 1-Signal, und der nachgeschaltete astabile Multivibrator schwingt nicht.

Beim Schließen von S wird der Eingang E- über R₂ mit einer höheren Spannung angesteuert, und der Ausgang führt ein 0-Signal. Der astabile Multivibrator schwingt durch Rückkopplung über C₁ (10.000 pF) mit hoher Frequenz. Das Signal wird durch den nachgeschalteten Transistor verstärkt dem Lautsprecher zugeführt.

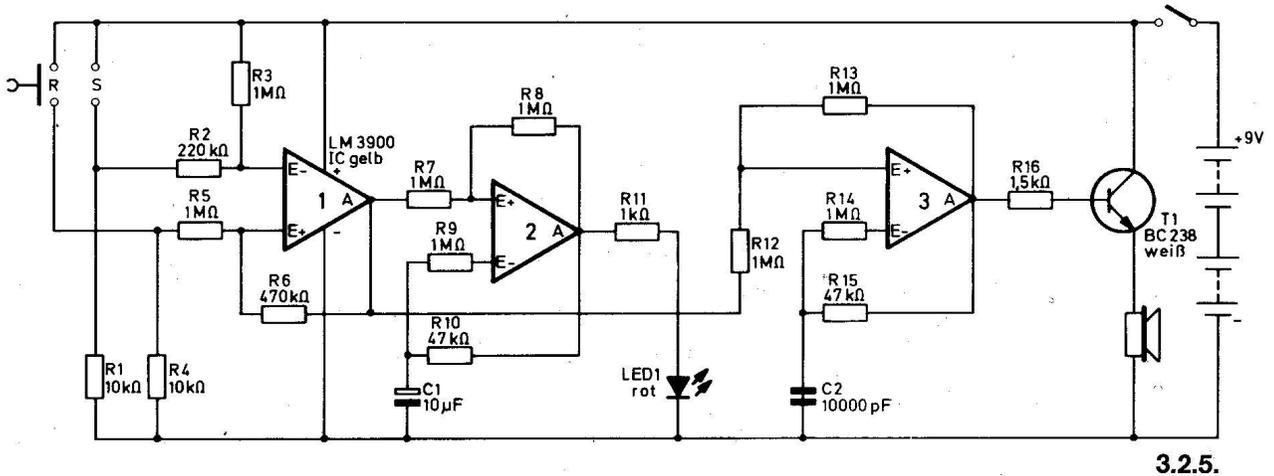
Der Lautsprecher strahlt einen Dauerton ab.

3.2.5. Kombinierte Licht-Ton-Anzeige

Ein Blinklicht als Gefahrenanzeiger kann unter bestimmten Umständen übersehen werden. Deshalb ist es oft wünschenswert, zusätzlich eine akustische Anzeige zu verwenden.

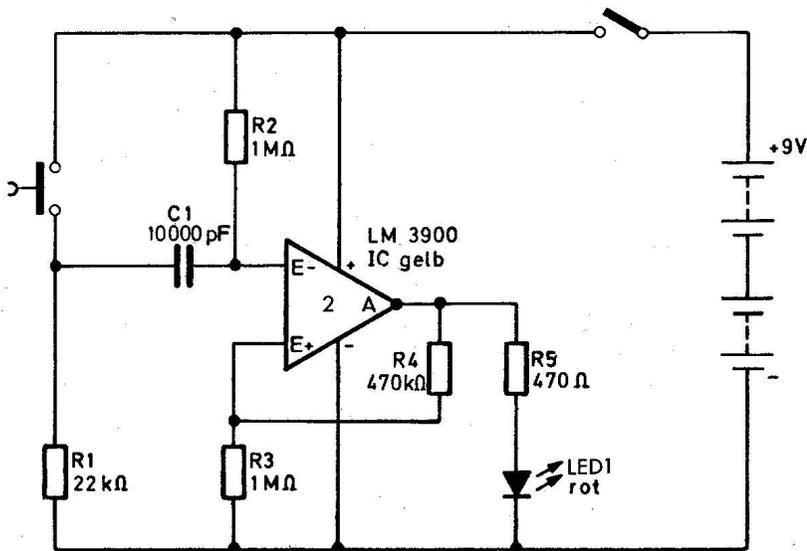
Diese Kombination läßt sich erreichen, wenn einem bistabilen Multivibrator ein Blinklicht und ein Tongenerator nachgeschaltet werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.2.5. Einschalten des Gerätes durch kurzes Niederdrücken der Taste R. Die LED leuchtet ständig und zeigt die Betriebsbereitschaft an. Anschließend muß der Kontakt S geschlossen werden. Jetzt muß die LED blinken und der Lautsprecher einen Dauerton abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Wie bei den Geräten 3.2.3. und 3.2.4. erhält der Eingang E- des bistabilen Multivibrators OP 1 über R₂ erst beim Schließen des Schalters S ein positives Spannungspotential, der Ausgang führt dann ein 0-Signal. Dieses 0-Signal wird jetzt auf den astabilen Multivibrator OP 2 gegeben. Er schwingt, und die LED blinkt. Gleichzeitig erhält auch der Tongenerator OP 3 (astabiler Multivibrator) dieses Signal. Dessen Schwingungen werden im Transistor verstärkt und vom Lautsprecher abgestrahlt.



3.2.5.1.

3.2.5.1. Schaltungsvariante

Impulsgesteuerter bistabiler Multivibrator

Bei der Schaltung nach Abb. 3.2.5.1. muß man davon ausgehen, daß der Ausgang des Operationsverstärkers ein 1-Signal führt. Die LED leuchtet. Drückt man den Tastschalter, wird der Kondensator C₁ mit dem positiven Pol der Spannungsquelle verbunden, und der Eingang E- erhält einen positiven Spannungsimpuls. Damit kippt der Ausgang des Operationsverstärkers von 1 auf 0, die LED erlischt. Läßt man die Taste los, entlädt sich der Kondensator C₁ über R₁, und am Eingang E- des Operationsverstärkers tritt ein negativer Spannungsimpuls auf. Dieser Impuls läßt den Ausgang des Operationsverstärkers wieder den Zustand 1 annehmen.

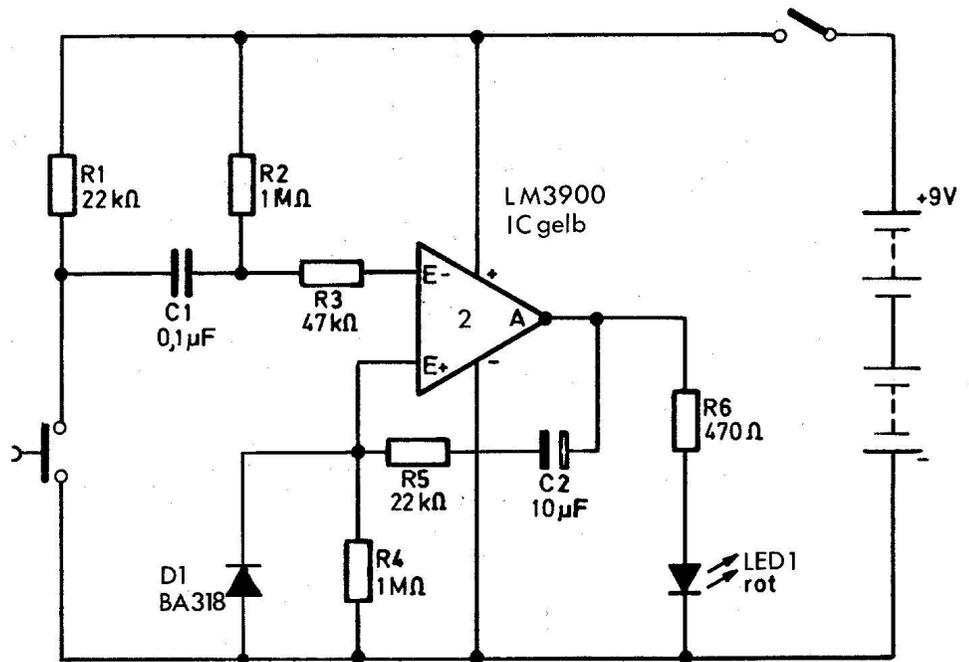
3.3. Monostabiler Multivibrator

Monostabile Multivibratoren können nur für eine festgelegte Zeit einen elektrischen Zustand annehmen. Sie kippen danach selbständig wieder in den ursprünglichen Zustand zurück.

3.3.1. Zeitschalter

Soll z. B. in einem Treppenhaus die Beleuchtung nach einer einmal eingestellten Zeit wieder erlöschen, so kann das u. a. mit einer mechanischen Uhr geschehen. Weniger störanfällig, da keine beweglichen Teile abnutzen können, sind elektronische Schaltungen, die für einen bestimmten Zeitraum eine Glühlampe mit Spannung versorgen können und dann automatisch wieder ausschalten.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.3.1. Beim Einschalten des Gerätes leuchtet die Leuchtdiode und erlischt nach einer bestimmten Zeit wieder, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.3.1.

Schaltungsbeschreibung

Bei geöffnetem Schalter ist der Eingang E+ mit Masse verbunden, und deshalb liegt am Ausgang des Operationsverstärkers ein 0-Signal: die LED leuchtet nicht. Drückt man einmal kurz den Taster, erhält der Eingang E- einen negativen Impuls und der Ausgang ein 1-Signal. Durch die Spannung am Ausgang lädt sich der Kondensator über E+ und R₄/R₅ auf. Solange dieser Ladevorgang anhält, wird auch der Ausgang auf 1 gehalten. Fließt kein Ladestrom mehr, fällt der Ausgang wieder zurück auf 0. Der Kondensator entlädt sich nun über die Diode D₁ und den Ausgangskreis gegen Masse.

Diese Schaltung bezeichnet man als monostabilen Multivibrator, da nur ein stabiler Zustand – 0 am Ausgang – immer wieder eintritt.

Durch Veränderung des Kondensators C₂ (1 μF–100 μF) läßt sich die Zeit einstellen, bis die LED wieder erlischt.

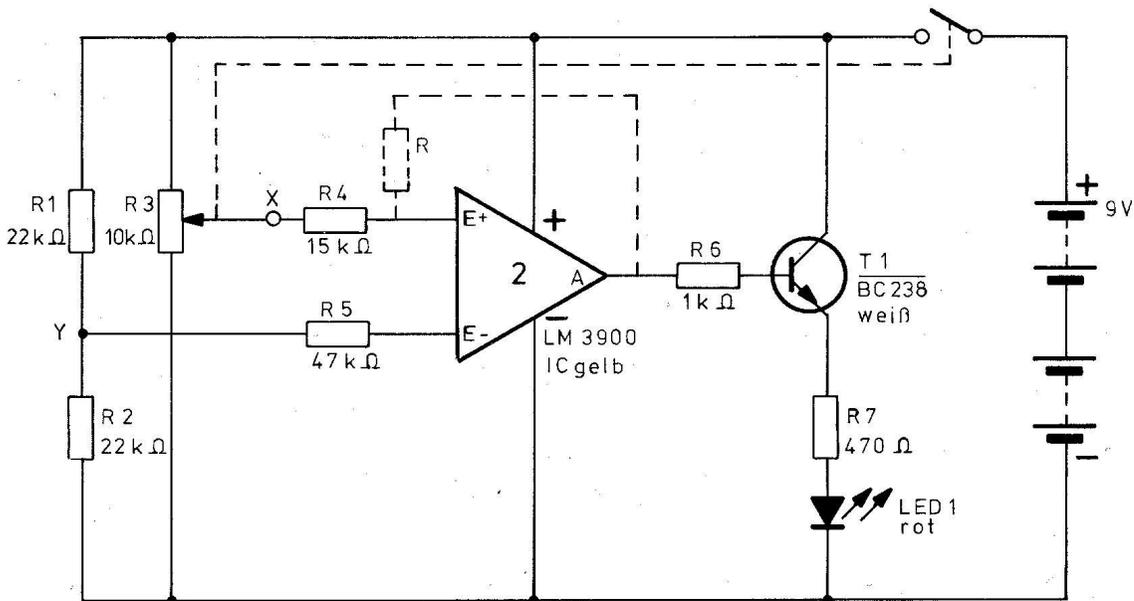
3.4. Schmitt-Trigger

Schmitt-Trigger sind elektronische Schaltungen, die beim Überschreiten eines bestimmten Schwellwertes – einer eingestellten Schwellspannung – ein elektronisches Gerät ein- bzw. ausschalten. Nach dem Erfinder Schmitt heißen sie Schmitt-Trigger (englisch to trigger = auslösen). Verbindet man elektronische Fühlerelemente mit einem solchen Schmitt-Trigger, lassen sich viele automatische Steuer- und Anzeigeräte aufbauen.

3.4.1. Spannungs-Kontrollgerät

Empfindliche elektronische Geräte dürfen nur mit einer bestimmten Spannung betrieben werden. Übersteigt sie jedoch einen bestimmten Wert, muß eine Warnanlage darauf hinweisen, daß Gefahr für dieses Gerät besteht.

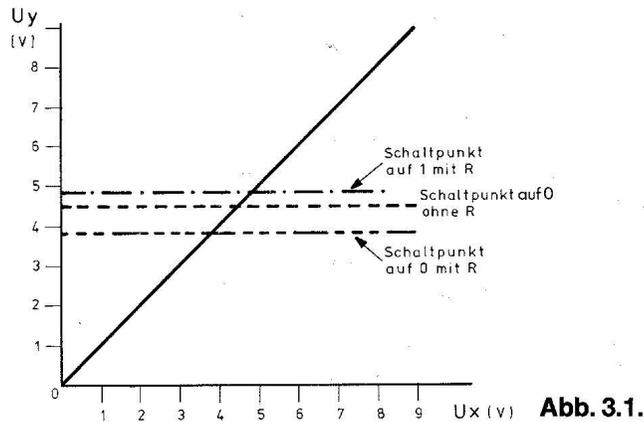
Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.4.1. Nach dem Einschalten des Gerätes muß bei einer bestimmten Stellung des Potentiometerknopfes die LED leuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.4.1.

Schaltungsbeschreibung

Der Eingang E- des Operationsverstärkers liegt über dem Widerstand R₅ an einer festen Bezugsspannung, die durch den Spannungsteiler R₁/R₂ eingestellt wird. Der Eingang E+ liegt über R₄ an einer veränderlichen Spannung, die mit dem Potentiometer R₃ eingestellt werden kann. Ist die Spannung am Punkt X größer (positiver) als am Punkt Y, führt der Operationsverstärker am Ausgang ein 1-Signal. Die LED leuchtet. Unterschreitet am Punkt X die Spannung, die mit dem Potentiometer eingestellt werden kann, den Wert, der am Punkt Y liegt, so schaltet der Operationsverstärker wieder um, und an seinem Ausgang liegt ein 0-Signal. Bei der beschriebenen Schaltung liegt der Unterschied zwischen der Einschaltspannung und der Ausschaltspannung, wie aus der Abbildung 3.1. zu erkennen ist, bei ca. 0,3 Volt. Soll diese Differenz vergrößert werden, so benötigt man einen zusätzlichen Widerstand, der vom Ausgang auf den Eingang E+ zurückgeführt ist. Eine solche Verzögerung, die durch verschiedene Schwellwerte beim Aus- und Einschalten bestimmt ist, nennt man **Hysterese**.



3.4.1.1. Schaltungsvariante

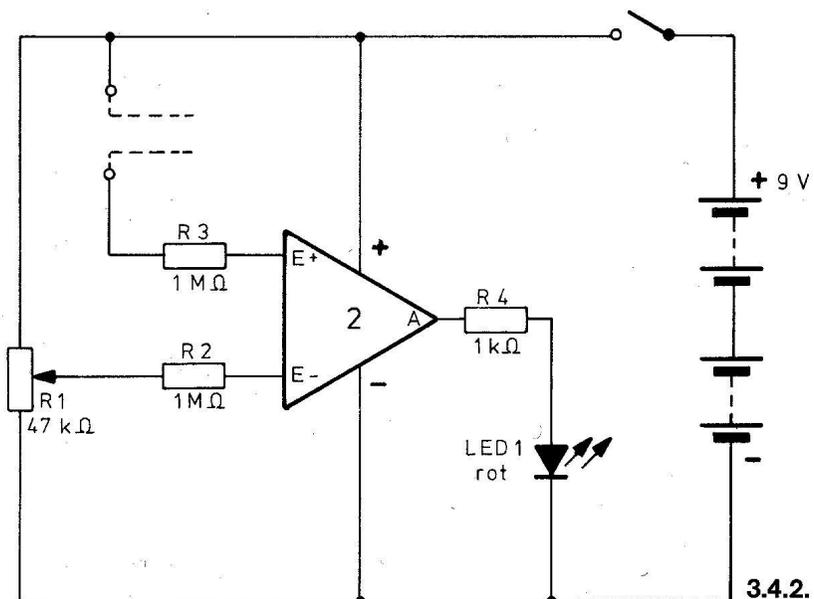
In die Schaltung nach Abb. 3.4.1. kann der gestrichelt eingezeichnete Widerstand R eingesetzt werden. Ist dieser Widerstand sehr hochohmig ($470\text{ k}\Omega$), so ist die Hysterese relativ klein. Je geringer der Wert des Widerstandes wird, desto größer ist die Verzögerung. Bis zu einem Wert von ca. $10\text{ k}\Omega$ funktioniert diese Schaltung.

3.4.2. Feuchtigkeitsmelder mit optischer Anzeige

Dieses Gerät zeigt an, daß in einem Raum Nässe auftritt. Es könnte z. B. in einem Keller installiert sein. Dringt dort Wasser ein, erfolgt auf einem Kontrollstand eine Anzeige.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.4.2. Zum Abgleichen des Gerätes wird der Fühler durch einen Widerstand von $470\text{ k}\Omega$ ersetzt. Das Potentiometer R_1 wird soweit gedreht, bis die LED gerade aufleuchtet. Entfernt man dann den Widerstand, muß die LED erlöschen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Über die Herstellung des Fühlers (Sensor) vergl. Kapitel 1.



Schaltungsbeschreibung

Bei diesem Feuchtigkeitsmelder erhält der invertierende Eingang über das Potentiometer eine Vorspannung, die den Einsatzpunkt des Umschaltens bestimmt. Das Fühlerelement wird an R_3 und +9 V angeschlossen. Wird das Löschblatt feucht, entsteht zwischen den beiden blanken Drähten eine leitende Verbindung, da Wasser Elektrizität leitet. Über den Fühler gelangt nun Spannung an E+. Sobald ihr Wert die Spannung bei E- überschreitet, fließt im Ausgang ein Strom, die LED leuchtet.

In dieser Schaltung werden zwei Spannungen an den beiden Eingängen des Operationsverstärkers miteinander verglichen. Bleibt die Spannung an E- unter dem Wert der Spannung an E+ oder ist ihr gleich, leuchtet die LED im Ausgang nicht. Wird sie aber an E- größer als an E+, verstärkt der Operationsverstärker den im Eingang E- fließenden Strom. Dieser wird von der LED im Ausgang angezeigt. Den Einsatzpunkt, den man auch Schwellwert nennt, bestimmt man mit dem Potentiometer.

3.4.3. Dämmerungsschalter

Das Gerät schaltet beim Dunkelwerden eine Beleuchtung ein. Wenn es wieder hell wird, schaltet es das Licht wieder aus. Ein solcher Dämmerungsschalter wird z. B. zum automatischen Ein- und Ausschalten der Straßenbeleuchtung, als selbsttätiges Parklicht oder zum Einschalten eines Notlichtes bei Lichtausfall benutzt.

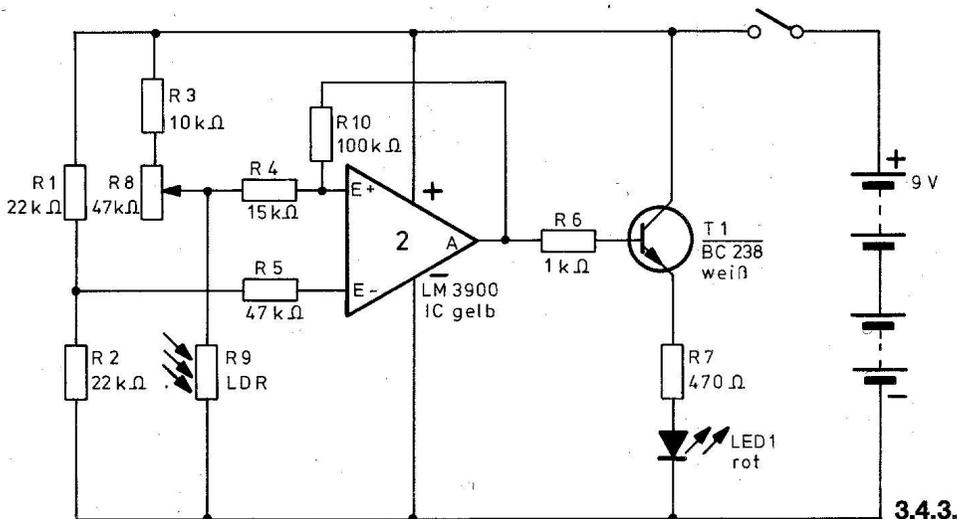
Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.4.3. Beim Einschalten des Gerätes muß die LED beim abgedeckten LDR leuchten, andernfalls sofort ausschalten und Fehler suchen.

Bei welchen Lichtverhältnissen das Gerät schalten soll, bestimmt man mit dem Potentiometer R_8 .

Schaltungsbeschreibung

In dieser Schaltung wird ein Operationsverstärker wieder als Schwellwertschalter benutzt. Der LDR dient als Fühlerelement. Bei Dunkelheit hat er einen sehr hohen elektrischen Widerstand (1 M Ω), bei Tageslicht dagegen einen niedrigen (< 1 k Ω). Ein solcher LDR ist als Widerstand in einen Spannungsteiler mit R_3 und R_{10} geschaltet. Bei einsetzender Dunkelheit erhöht sich der Widerstand des LDR und damit auch die Spannung an E+.

Der Schwellwert ist durch den Spannungsteiler R_1/R_2 vorgegeben. Die Empfindlichkeit wird mit dem Potentiometer R_8 bestimmt.



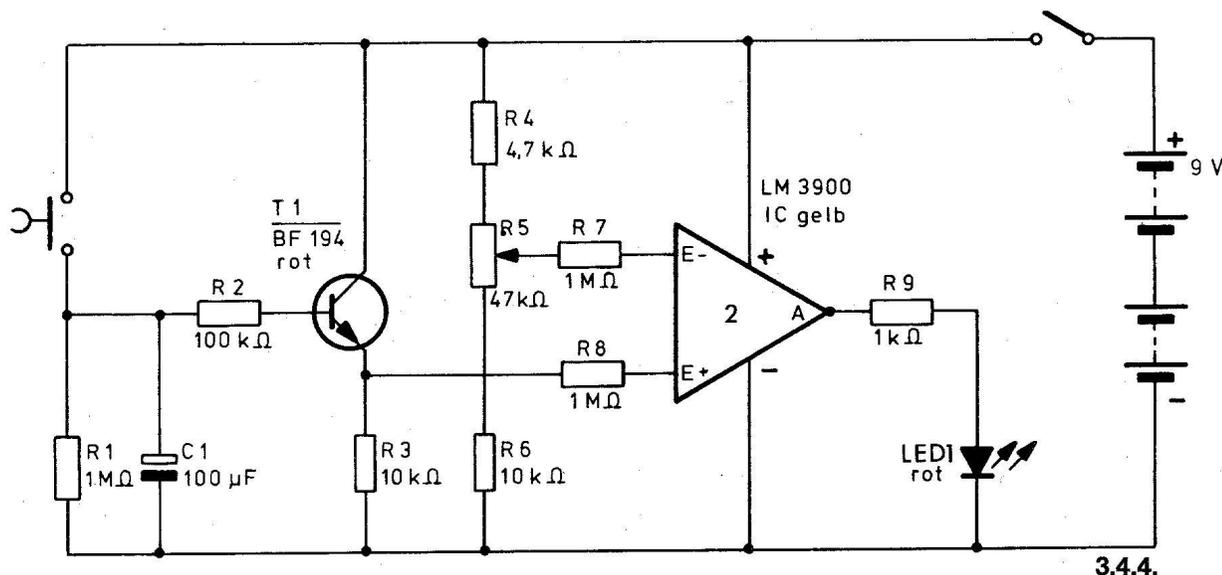
Die Schaltung weist noch eine Besonderheit auf. Der Widerstand R_{10} verbindet den Ausgang des Operationsverstärkers mit $E+$. Wenn am Ausgang +9 V liegen, wird diese Spannung über R_{10} auf $E+$ zurückgeführt. Sollte die Steuerspannung an $E+$ abfallen, z. B. weil der LDR wegen zunehmender Helligkeit seinen Widerstand verringert, wird vom Ausgang her noch Spannung über R_{10} an $E+$ nachgeliefert. Dadurch tritt eine Verzögerung ein (Hysterese). Die Lampe erlischt bei größerer Helligkeit, als sie zu leuchten begann.

3.4.4. Belichtungsschalter

Ein Belichtungsschalter läßt eine Lampe nur für eine bestimmte Zeit leuchten. Das ist z. B. beim Kopieren fotografischer Negative erwünscht. Die Zeitdauer ist einstellbar. Drückt man den Schältknopf, leuchtet die Lampe je nach Größe der zeitbestimmenden Bauelemente 1/10 s bis zu einigen Sekunden auf.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.4.4. Beim Einschalten des Gerätes darf die LED nicht leuchten. Erst nach dem Betätigen des Tastschalters leuchtet sie für eine bestimmte Zeit und muß dann wieder erlöschen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Die Skala des Potentiometers muß in Sekunden geeicht werden. Dazu mißt man bei verschiedenen Potentiometerstellungen die Leuchtdauer der LED. Es genügen einige geeichte Werte, Zwischenwerte lassen sich schätzen und eintragen.



Schaltungsbeschreibung

Ein geladener Kondensator entlädt sich über einen Widerstand (Abb. 3.2.) in bestimmter Weise. Die graphische Darstellung gibt die Entladung wieder. Der Kondensator entlädt sich zunächst schnell, dann immer langsamer. Die Zeit, die vergeht, bis die Spannung des geladenen Kondensators auf 37% ihres ursprünglichen Wertes abgesunken ist, nennt man **Zeitkonstante** (Abb. 3.3).

$$T [s] = R [M\Omega] \times C [\mu F]$$

T (tau) = Zeitkonstante in Sekunden
R = Widerstand in Megohm
C = Kapazität in Mikrofarad

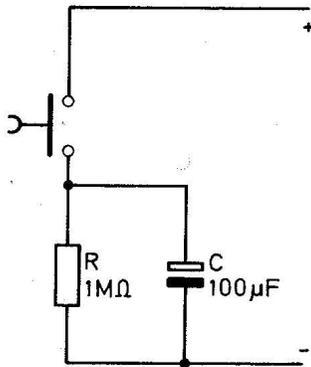


Abb. 3.2.

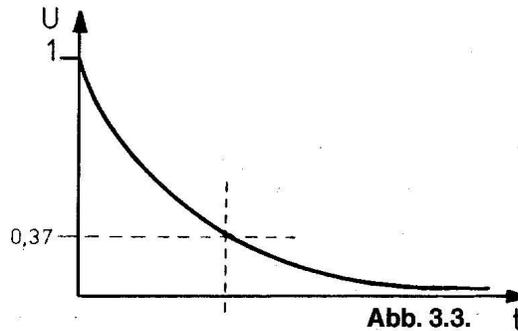


Abb. 3.3.

Rechnung für die in der Schaltung angegebenen Werte:

$$\begin{aligned}
 R &= 1 \text{ M}\Omega \\
 C &= 100 \text{ }\mu\text{F} \\
 T &= 1 \text{ M}\Omega \times 100 \text{ }\mu\text{F} \\
 T &= 100 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dieser rechnerische Wert wird oft durch parallel zum Entladewiderstand liegende Schaltelemente erheblich verkürzt, da auch durch sie Entladeströme fließen können.

Wird in der Schaltung 3.4.4. der Schalter S kurzzeitig geschlossen, lädt sich der Kondensator auf die volle Betriebsspannung (9 V) auf. Nach Unterbrechen des Ladevorganges entlädt er sich über den Widerstand R_1 . Die absinkende Spannung steuert den Transistor T_1 an der Basis. Der Transistor T_1 ist als Emitterfolger geschaltet. Er dient als Trennstufe, damit die Steuerspannung fast rückwirkungsfrei auf den Eingang E+ des Operationsverstärkers gelangt. Der Schwellwert wird wieder mit der Spannung an E- bestimmt, die das Potentiometer regelt. Liegt der Schleifkontakt am positiven Ende, ist die Schaltzeit kurz, da die abgleitende Spannung schnell den vorgegebenen Schwellwert unterschreitet. Je mehr am Potentiometer gegen Masse abgegriffen wird, desto länger wird die Zeit, bis die Entladespannung des Kondensators C_1 den Schwellwert erreicht.

Durch den Transistor T_1 fließt ein Teil des Entladestromes, so daß die theoretisch errechenbare Zeitkonstante erheblich unterschritten wird.

Messungen haben folgende Werte ergeben:

R_1	C_1	T
100 kΩ	100 μF	5 Sekunden
1 MΩ	100 μF	30 Sekunden
10 MΩ	100 μF	50 Sekunden

3.4.5. Langzeitschalter

In Treppenhäusern findet man oft Druckknopfschalter, mit denen das Licht für einige Minuten eingeschaltet werden kann. Es erlischt automatisch. Der Vorgang wird durch einen Langzeitschalter bewirkt. Er ist einstellbar, so daß man beliebige Einschaltzeiten festlegen kann.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.4.5. Nach dem Einschalten leuchtet die LED beim Betätigen des Tastschalters für eine bestimmte Zeit auf, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Mit dem Potentiometer ist die Leuchtdauer der LED in weiten Grenzen einstellbar (siehe Tabelle).

$C_1 = 100 \mu\text{F}$			
R_1	Potentiometer R_5 an $4,7 \text{ k}\Omega$	Potentiometer R_5 in Mittelstellung	Potentiometer R_5 an $10 \text{ k}\Omega$
100 $\text{k}\Omega$	4 s	20 s	1 000 s
1 $\text{M}\Omega$	40 s	200 s	10 000 s *
10 $\text{M}\Omega$	400 s	2 000 s	100 000 s *

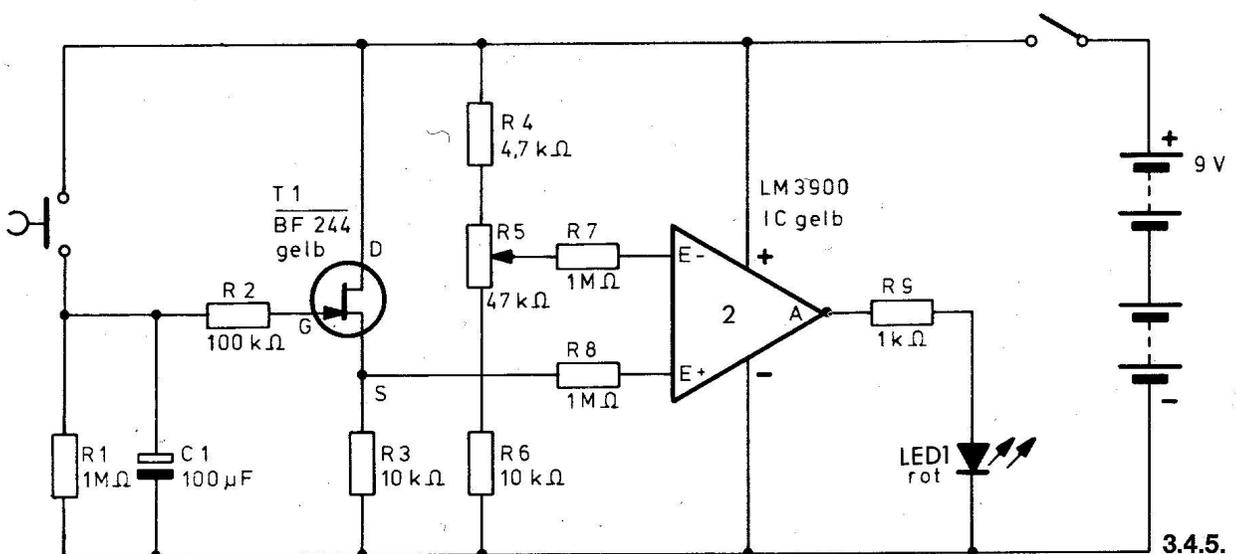
Schaltungsbeschreibung

Die Langzeitschaltung verwendet wie der Belichtungsschalter (3.4.4.) einen Schmitt-Trigger. Der Schwellwert wird von der Spannung bestimmt, die am Eingang E- eines Operationsverstärkers liegt. Sie ist mit dem Potentiometer R_5 einstellbar. Die Widerstände R_4 und R_6 engen den regelbaren Bereich ein und ermöglichen dadurch eine genauere Einstellung.

In dieser Schaltung befindet sich vor dem Operationsverstärker ein FET. Der Eingangsstrom eines solchen FET ist so gering, daß er für die Funktion der Schaltung ohne Bedeutung ist. Der Zeitgeber, bestehend aus R_1 und C_1 , steuert den FET also leistungslos, so daß außer durch den Entladestromwiderstand kein zusätzlicher Strom vom Kondensator abfließt. Durch die Verwendung eines FET erreicht man die Zeitwerte, die sich rechnerisch als Zeitkonstante R und C ergeben. Mit einem FET sind deshalb viel längere Schaltzeiten möglich als mit einem herkömmlichen Transistor.

Die Tabelle zeigt mögliche Schaltzeiten für einen Kapazitätswert von $C_1 = 100 \mu\text{F}$ bei drei unterschiedlichen Potentiometereinstellungen.

Die extrem langen Schaltzeiten von 10.000 bzw. 100.000 Sekunden erreicht man nur mit speziellen Kondensatoren, die sich über einen längeren Zeitraum nicht entladen. Sie sind mit den vorhandenen Bauelementen nicht realisierbar.



3.4.5.

3.5. Logische Schaltungen

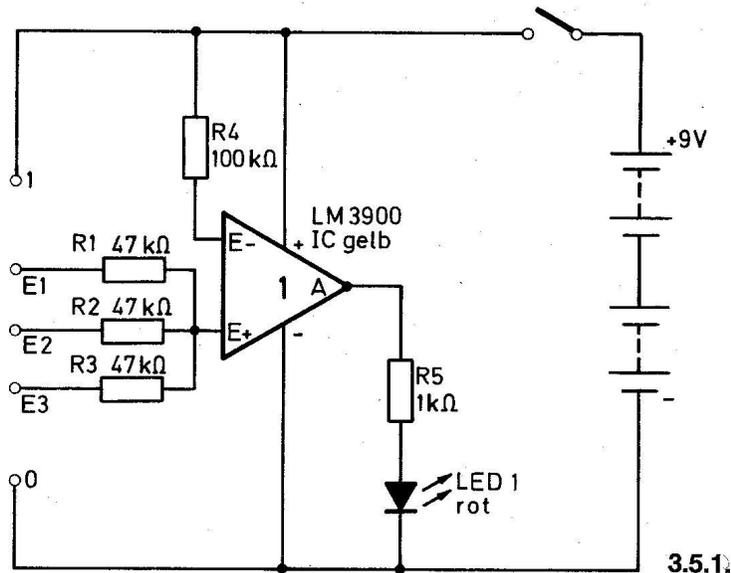
Im Abschnitt 2.2.3. wurde bereits darauf hingewiesen, daß integrierte Schaltkreise in Rechenanlagen eingesetzt werden. In solchen Anlagen finden IC's ausschließlich als Schalter Verwendung. Es können folglich nur die elektrischen Zustände 0 bzw. 1 auftreten; Zwischenzustände sind nicht möglich. Elektronische Schaltungen, die mit diesen Betriebszuständen operieren, bezeichnet man als **digitale Schaltungen**, der Gesamtbereich wird **Digitaltechnik** genannt. Das bekannteste Gerät dieser Technik ist der Computer.

Die Digitaltechnik basiert nur auf sehr wenigen Grundsaltungen, mit denen in Bruchteilen von Sekunden unter anderem Rechenoperationen ausgeführt werden können. Mit den Grundsaltungen lassen sich logische Verknüpfungen ODER, NOR, UND, NAND realisieren. Eine weitere logische Grundsaltung, der INVERTER, wurde bereits im Abschnitt 2.2.3. beschrieben.

3.5.1. ODER-Schaltung

Die logische Grundsaltung ODER findet auch in elektrischen bzw. elektronischen Schaltungen ihre Anwendung. Soll ein Gerät von verschiedenen Punkten aus in Betrieb gesetzt werden können, muß die Schaltung so aufgebaut sein, daß entweder an E_1 **oder** E_2 **oder** E_3 die Betriebsspannung angelegt werden kann.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.5.1. Wird nach dem Einschalten einer der drei Eingänge mit +9 V verbunden, leuchtet die LED. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Solange die Eingänge $E_1/E_2/E_3$ nicht belegt sind, erhält der Eingang E- des OP +9 V Spannung; am Ausgang tritt deshalb 0-Signal auf.

Verbindet man nur einen der Eingänge E_1 bis E_3 mit +9 V, ist die positive Spannung am Eingang E+ größer als die an E-, und der Ausgang führt ein 1-Signal. Die LED leuchtet.

Auch wenn 2 oder alle 3 Eingänge an +9 V liegen, leuchtet die LED.

Im Abschnitt 2.2.3. wurden bereits Tabellen eingeführt, aus denen die Zustände an den Eingängen einer Schaltung und die daraus resultierenden Signale am Ausgang abgelesen werden können. Für die logischen Schaltungen stellt man alle elektrischen Zustände in solchen **Funktionstabellen**, auch Wahrheitstabellen genannt, zusammen. Man erkennt daraus auf einen Blick, welcher Ausgangszu-

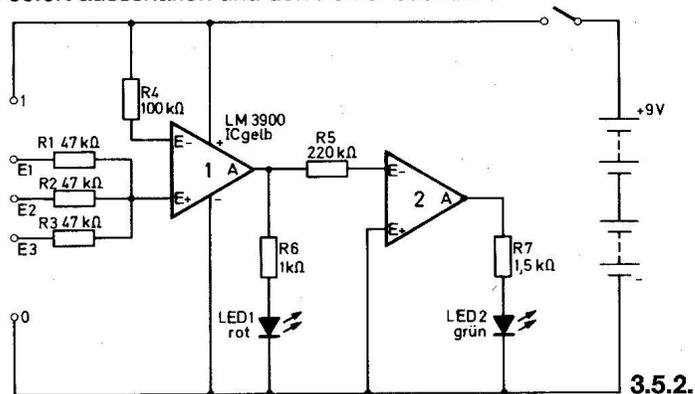
stand A herrscht bei einer bestimmten Signalkombination an den Eingängen. Für die ODER-Schaltung sieht die Funktionstabelle folgendermaßen aus:

E ₁	E ₂	E ₃	A
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

3.5.2. NOR-Schaltung

In manchen Schaltungsbeispielen ist es notwendig, gerade dann ein 0-Signal zu erhalten, wenn an einem Meßpunkt ein Strom fließt (1-Signal). Dafür eignet sich die NOR-Schaltung, deren Bezeichnung von engl. *not or* abgeleitet ist, was etwa bedeutet „invertiertes ODER“.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.5.2. Nach dem Einschalten darf die LED nur leuchten, wenn keiner der drei Kontakte mit +9 V verbunden ist. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Die NOR-Schaltung besteht aus einer ODER-Schaltung OP 1 (vergl. 3.5.1.) mit einem nachgeschalteten Inverter OP 2 (vergl. 2.2.3.). Dadurch ergibt sich, daß ein 0-Signal am Ausgang des OP 1 im Inverter OP 2 invertiert wird und ein 1-Signal erzeugt. Ein 1-Signal an einem der drei Kontakte erzielt 1-Signal am Ausgang des OP 1. Dieses Signal wird anschließend invertiert; die grüne LED erlischt. Aus der Funktionstabelle läßt sich die Abhängigkeit des Ausgangssignals von den Eingangszuständen entnehmen.

E ₁	E ₂	E ₃	A
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

3.5.3. UND-Schaltung

Können Maschinen, die von Menschen bedient werden, bei Unachtsamkeit oder Fahrlässigkeit während des Betriebes schwere Verletzungen hervorrufen, dann müssen häufig mehrere Sicherheitseinrichtungen bedient werden, ehe die Maschine eingeschaltet werden kann. Ein Stanzgerät z. B. kann nur arbeiten, wenn eine Lichtschranke nicht unterbrochen ist – die Hände sind nicht im Gefahrenbereich – **und** ein Schutzgitter vorgeschoben ist **und** der Bedienungsschalter betätigt wird. Eine solche Prinzipschaltung läßt sich aufbauen.

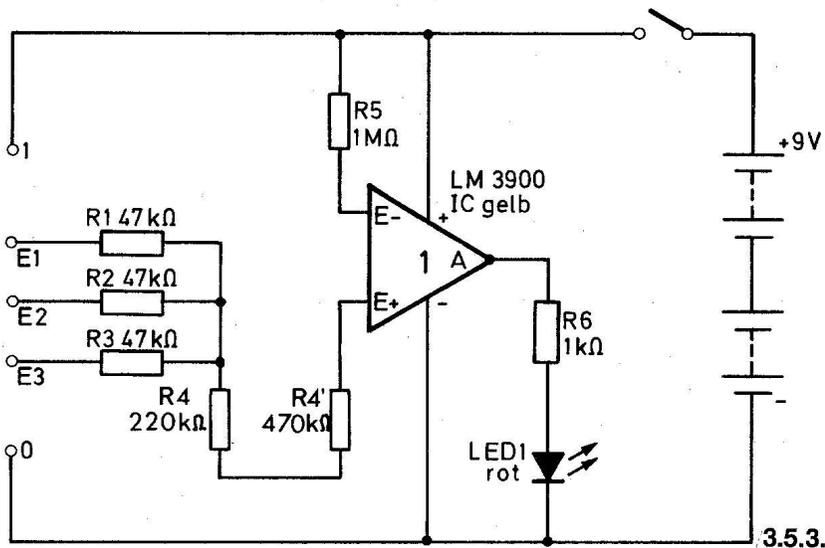
Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.5.2. Nach dem Einschalten darf die LED nur leuchten, wenn E₁ **und** E₂ **und** E₃ mit +9 V verbunden sind.

Schaltungsbeschreibung

Solange nur ein Kontakt oder auch 2 mit +9 V verbunden sind, kann die LED nicht leuchten, da die positive Spannung an E⁻ des OP 1 größer ist als die am E⁺ Eingang. Erst wenn E₁ **und** E₂ **und** E₃ mit +9 V verbunden sind, kippt der Ausgang des OP 1 um – die LED leuchtet.

Die Funktionstabelle läßt erkennen, daß alle Eingänge ein 1-Signal führen müssen, um am Ausgang ebenfalls 1-Signal hervorzurufen.

E ₁	E ₂	E ₃	A
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	1



3.5.4. NAND-Schaltung

Die logische Schaltung NAND kann dann eingesetzt werden, wenn ein Gerät ausgeschaltet werden soll, nachdem von mehreren Meßfühlern 1-Signale angezeigt wurden. Auf diese Art kann z. B. eine Temperaturregelung vorgenommen werden. Erreicht an allen drei Fühlern die Temperatur einen eingestellten Wert – dem entspricht ein 1-Signal – dann schaltet der Kessel aus.

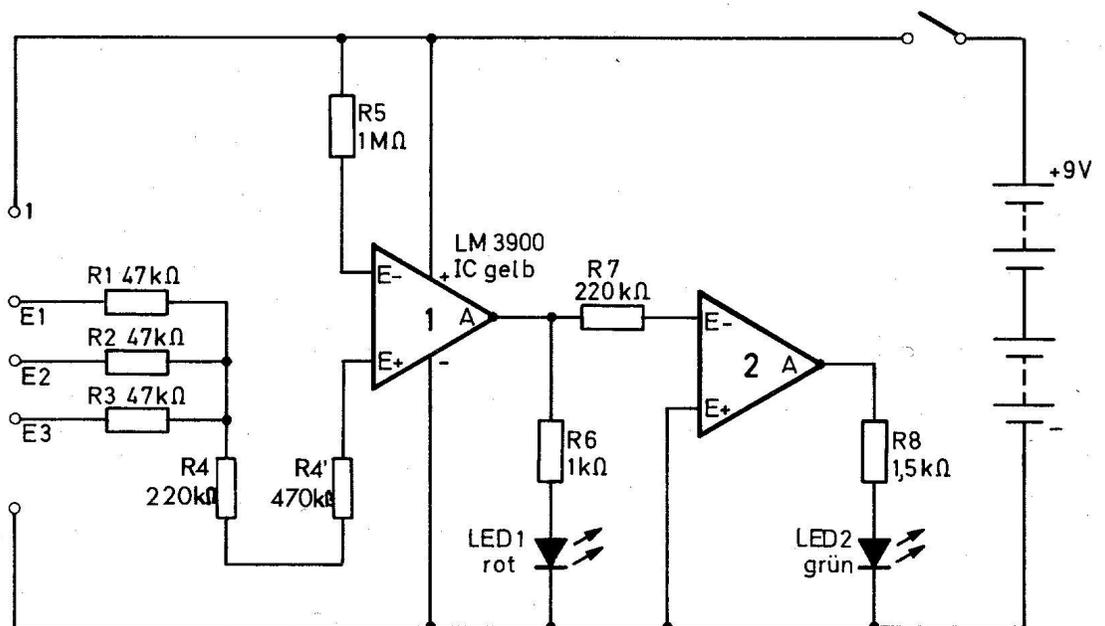
Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.5.4. Nach dem Einschalten muß die LED solange leuchten, wie höchstens 2 der 3 Eingänge mit +9 V verbunden sind. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Schaltungsbeschreibung

Diese Schaltung setzt sich aus der logischen Schaltung **UND** OP 1 sowie dem nachgeschalteten Inverter OP 2 zusammen. Wenn alle drei Eingänge mit +9 V verbunden sind, liegt am Ausgang des UND ein 1-Signal, das durch den OP 2 invertiert wird. Dann leuchtet die LED nicht mehr.

Aus der Funktionstabelle lassen sich die Zustände beim logischen NAND ablesen:

E ₁	E ₂	E ₃	A
0	0	0	1
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	0



3.5.4.

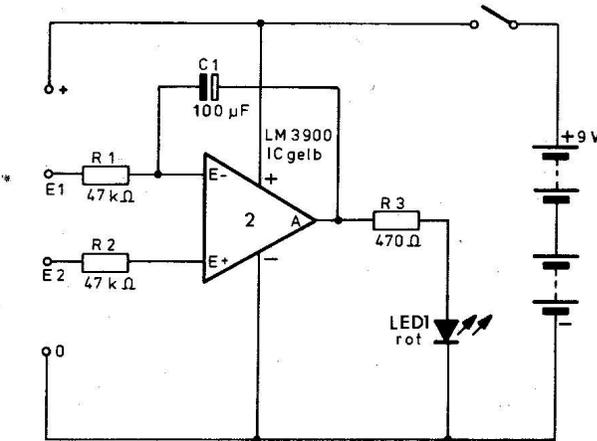
3.6. Verschiedene Spezialschaltungen

Nach den in diesem Anleitungsbuch bereits beschriebenen Grundschaltungen benötigt man speziell in der Rundfunk- und Fernsehtechnik weitere, von denen einige in diesem Kapitel vorgestellt werden sollen. Sie alle wandeln Gleichspannungen in charakteristische Impulse um.

3.6.1. Integrierer

In der Mathematik nennt man ein Rechenverfahren, bei dem viele kleine Änderungen zu einem Ganzen summiert werden, integrieren. In Angleichung dazu versteht man in der Elektronik unter Integrieren, aus einzelnen Spannungsimpulsen ein stetig ansteigendes Signal zu erzielen. Gleichzeitig verwendet man diesen Begriff noch in einem anderen Zusammenhang: Sind viele einzelne elektronische Bauelemente auf einem Siliziumplättchen zu einem Ganzen, einer Gesamtschaltung zusammengefaßt, dann spricht man von einer Integrierten Schaltung (vergl. Kap. 2.2.3.).

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.6.1. Wird nach dem Einschalten der Eingang E_2 mit +9 V verbunden, steigt die Helligkeit der LED langsam an. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.6.1.

Schaltungsbeschreibung

Verbindet man den Eingang E_2 mit +9 V, wird der Kondensator mit einem konstanten Strom allmählich aufgeladen. Es baut sich langsam eine Spannung am Ausgang auf, und in dem Maß, in dem das geschieht, steigt die Helligkeit der LED an. Wird anschließend E_1 mit +9 V verbunden, entlädt sich C allmählich wieder, und die LED wird langsam dunkler. Die Ausgangsspannung steigt also bei voller Betriebsspannung am Eingang bis fast auf die Batteriespannung stetig an und fällt ebenso stetig ab.

Der Anstieg bzw. der Abfall der Ausgangsspannung hängt von Lade- bzw. Entladezeit des Kondensators und damit von seiner Kapazität sowie vom Wert der Widerstände R_1/R_2 ab. Sind beide Eingänge frei, also nicht an +9 V, bleibt die Ausgangsspannung für längere Zeit erhalten (Abb. 3.4.). Dieses Signal kann also gespeichert werden.

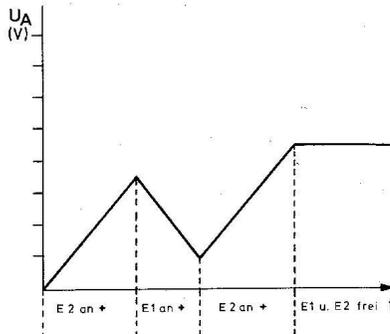
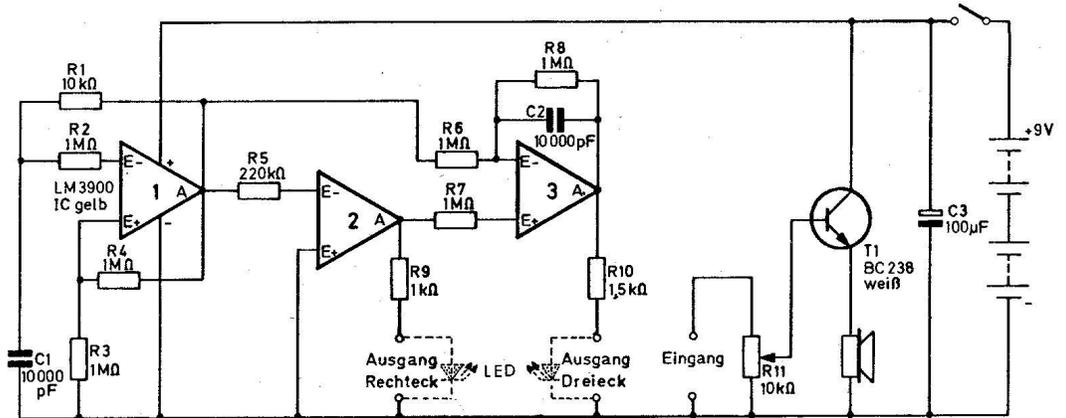


Abb. 3.4.

3.6.2. Rechteck-Dreieck-Generator

Nach der vorliegenden Schaltung können gleichzeitig Rechteck- und Dreieckimpulse erzeugt, abgeleitet und der weiteren Verwendung zugeführt werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.6.2. Nach dem Einschalten des Gerätes muß der Eingang des Endverstärkers mit einem der Ausgänge verbunden werden. Der Lautsprecher strahlt dann einen Ton ab. Andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.6.2.

Schaltungsbeschreibung

Der astabile Multivibrator OP 1 erzeugt ein Rechtecksignal, das zum einen direkt auf den Eingang E- des Integrierers OP 3 geführt wird, zum anderen über den Inverter OP 2 auf den Eingang E+ des OP 3. Damit erhalten die beiden Eingänge des Integrierers abwechselnd 1-Signale, und es entsteht an seinem Ausgang ein Dreiecksignal. Den Anstieg der Dreieckspannung bestimmen R_7 und C_2 , den Abfall R_6 und C_2 . Wählt man für R_6 und R_7 gleiche Werte aus, ist das Signal symmetrisch, bei unterschiedlichen Werten entsteht ein asymmetrisches Dreieck. Mit dem Widerstand R_8 läßt sich der Arbeitspunkt des OP 3 einstellen. Das Dreiecksignal erkennt man im Lautsprecher an einem weicheren Klang, als ihn ein Rechtecksignal erzeugt.

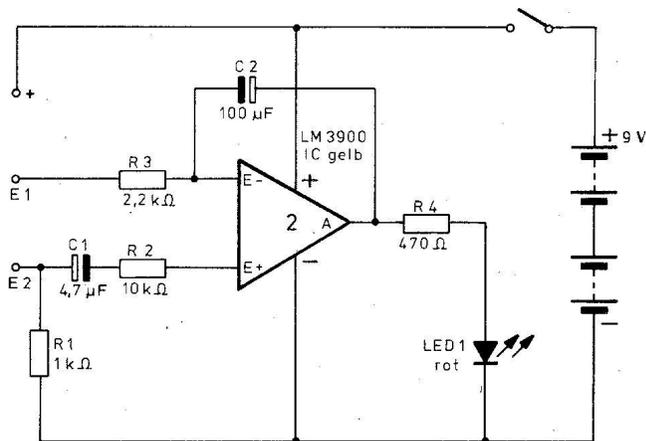
3.6.2.1. Schaltungsvariante

Der Verlauf der beiden Ausgangsspannungen läßt sich gleichzeitig darstellen, wenn zusätzlich die beiden Leuchtdioden in die Ausgänge geschaltet werden. Um den Anstieg und Abfall sichtbar zu machen, muß die Taktfrequenz herabgesetzt werden. Dazu müssen die Kondensatoren C_1 und C_2 gegen solche von $10 \mu\text{F}$ ersetzt werden. (C_1 = Minuspol an Masse, C_2 = Minuspol an E-!)

3.6.3. Treppenspannungsgenerator

Treppenspannungsgeneratoren werden zum Steuern von Motoren und Lampen benötigt. Mit der vorliegenden Schaltung läßt sich z. B. die Helligkeit einer LED stufenweise steigern. Beim Betätigen eines Schalters erlischt sie schlagartig.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.6.3. Nach dem Einschalten des Gerätes muß der Eingang E 2 mehrfach hintereinander mit +9 V verbunden werden. Die Helligkeit der LED steigt dann stufenweise an, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



3.6.3.

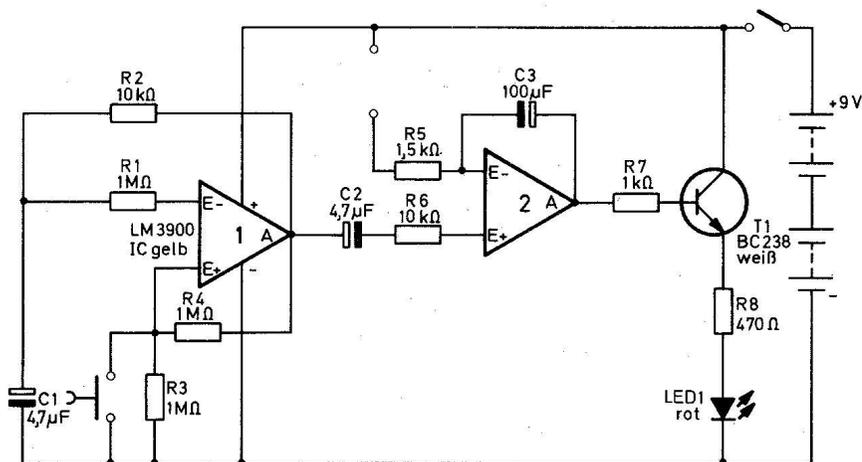
Schaltungsbeschreibung

Erhält der Eingang E 2 eine positive Spannung, so entsteht an E+ ein kurzer Impuls, der verstärkt am Ausgang auftritt. Dadurch wird C₂ zu einem Teil aufgeladen; die LED leuchtet. C₁ entlädt sich über R₁ bzw. R₂ und E+ des OP. Danach kann ein erneuter Impuls an E 2 zur weiteren Aufladung von C₂ führen, und die LED leuchtet schlagartig heller. Das kann so lange fortgeführt werden, bis C₂ völlig geladen ist.

Die Anzahl der Impulse bis zur vollständigen Ladung läßt sich errechnen aus

$$\frac{C_2 [\mu\text{F}]}{C_1 [\mu\text{F}]} = n \text{ [Anzahle der Schritte]}$$

Für das vorliegende Beispiel sind ca. 20 Schritte notwendig. Der Kondensator C₂ lädt sich also in 20 Sprüngen stufenweise auf. Legt man E 1 an +9 V, so erlischt die LED schlagartig, da C₂ schnell entladen wird.



3.6.3.1.

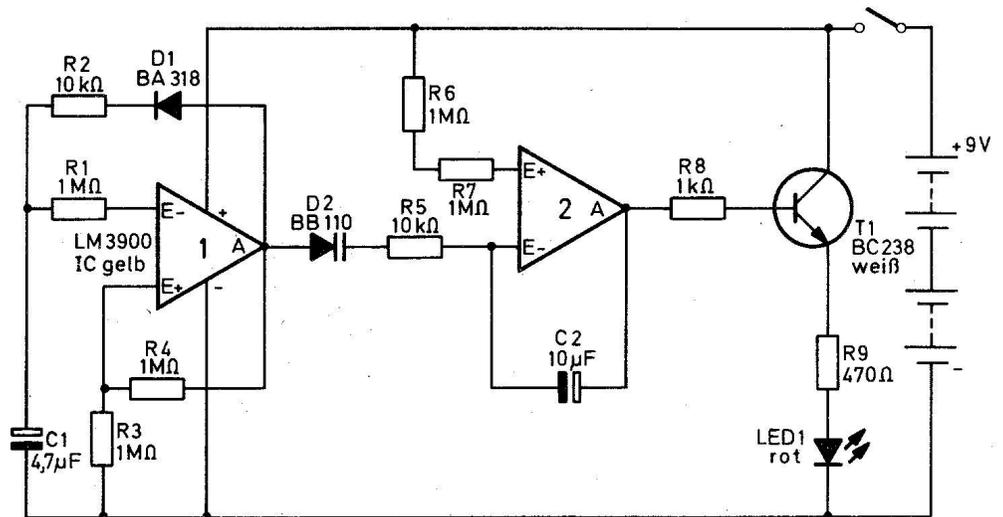
3.6.3.1. Schaltungsvariante:

Nun verbindet man E 2 mit dem Ausgang eines astabilen Multivibrators (vergl. Kap. 3.1.), so erfolgt das Ansteigen der Helligkeit der LED im Rhythmus seiner Ausgangssignale. Der astabile Multivibrator muß eine langsame Taktfrequenz haben. Dazu darf C₁ höchstens 4,7 μF betragen.

3.6.4. Sägezahngenerator

In Fernsehbildröhren benötigt man zur Ablenkung des Elektronenstrahls Spannungen bzw. Ströme, die geradlinig ansteigen und schnell abfallen. Der Anstieg muß jedoch länger dauern als der Abfall. Eine Spannung mit diesem Verlauf nennt man Sägezahnspannung.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.6.4. Nach dem Einschalten muß die LED allmählich heller werden, um dann sehr plötzlich zu erlöschen.



3.6.4.

Schaltungsbeschreibung

Der Sägezahngenerator enthält einen Impulsgenerator OP 1, einen nachgeschalteten Integrierer OP 2 und eine Transistor-Endstufe.

Über die Widerstände R_6/R_7 lädt sich der Kondensator C_2 vom Ausgang des Integrierers OP 2 allmählich auf. Im Verhältnis zur Aufladung steigt die Helligkeit der LED an. Tritt jedoch am Ausgang des Impulsgenerators OP 1 schlagartig ein positiver Spannungsimpuls auf, entlädt sich C_2 schnell, da dieser Impuls am Eingang E- den Ausgang umkippen läßt. Damit fällt die Helligkeit der LED plötzlich ab.

3.7. Verstärker

Alle elektrischen Signale, die z. B. von Mikrofonen, Plattenspielern, Tonbandgeräten usw. erzeugt werden, können nicht direkt von Lautsprechern abgestrahlt werden, sondern müssen diesen über eine oder mehrere Verstärkerstufen zugeführt werden.

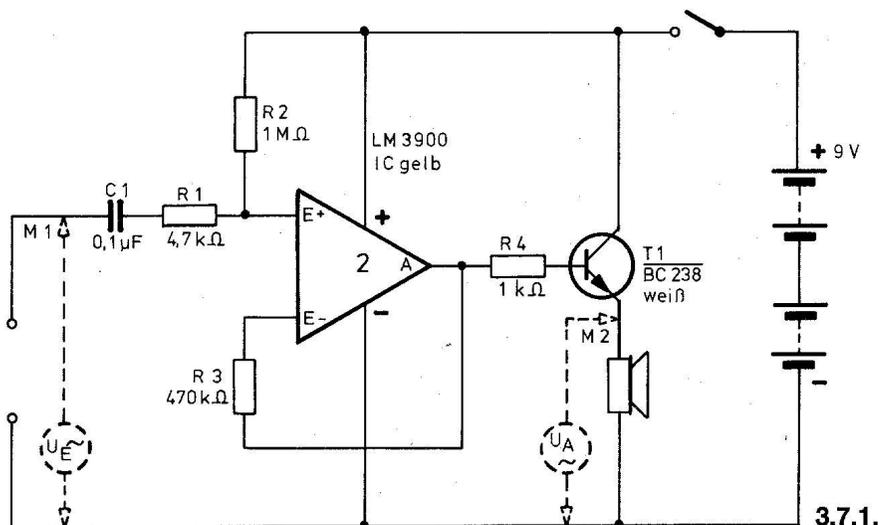
3.7.1. Mikrofon-Vorverstärker

Das Gerät verstärkt schwache Signale bis zu einem Pegel, der für die Ansteuerung von Leistungsverstärkern ausreichend ist. Solche Vorverstärker werden z. B. in der HiFi-Technik eingesetzt.

An den Eingang schließt man einen Plattenspieler oder ein hochohmiges Mikrofon an. Aus dem Lautsprecher ertönt dann das verstärkte Signal.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.7.1. Beim Einschalten muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort abschalten und den Fehler suchen.

Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1).



Schaltungsbeschreibung

Diese Schaltung zeigt einen Operationsverstärker, der Signale nichtinvertierend verstärkt. Über den Widerstand $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ gelangt die Betriebsspannung an den Eingang $E+$ und hebt ihn so in den leitenden Zustand an. Der Eingang $E-$ erhält seine Vorspannung über den Widerstand $R_3 = 470 \text{ k}\Omega$ vom Ausgang. Damit ist der Arbeitspunkt des Verstärkers festgelegt (Abb. 3.5.). Das ist erreicht, wenn am Ausgang die halbe Betriebsspannung (4,5 V) anliegt. Diese Einstellung erzielt man bei dem Verhältnis der Widerstände $R_2 : R_3 = 2:1$.

Durch die Gegenkopplung ergibt sich ein stabilisierender Effekt: Zum einen werden Schwankungen der Ausgangsspannung bei Temperaturänderungen kompensiert, zum anderen bleibt der Verstärkungsfaktor konstant. Erhöht sich die Ausgangsspannung, steigt auch die Spannung an $E-$ an; die Ausgangsspannung wird um einen bestimmten Teilbetrag herabgesetzt. Das Verhältnis der Widerstände $R_3 : R_1$ bestimmt den Verstärkungsfaktor des Gerätes.

V beträgt 100 ($470 \text{ k}\Omega : 4,7 \text{ k}\Omega = 100$).

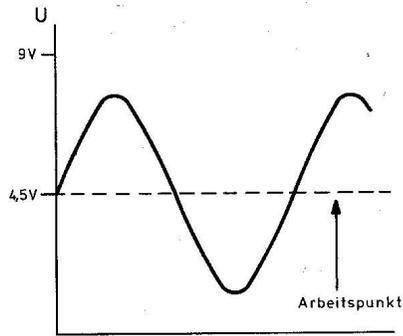


Abb. 3.5.

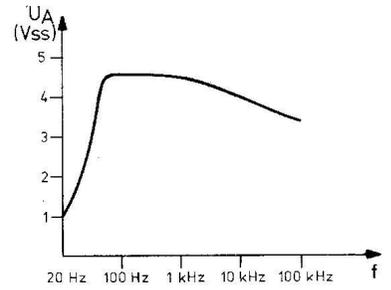


Abb. 3.6.

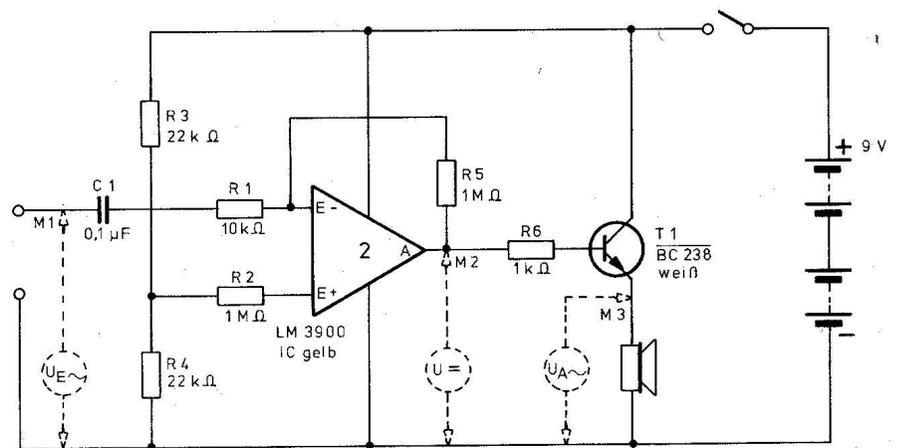
Der Widerstand $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$ erhöht den Eingangswiderstand des Verstärkers. Außerdem übt er eine Schutzfunktion aus. Eine schwache Wechselspannung am Eingang wird um den Verstärkungsfaktor des Gerätes verstärkt und schwankt am Ausgang um den Arbeitspunkt (+ 4,5 Volt) herum. (Abb. 3.5.).

In einem Verstärker werden nicht alle Frequenzbereiche gleichmäßig verstärkt. Wie die Grafik Abb. 3.6. zeigt, ist die Verstärkung bei 20 Hz sehr gering, da der Kondensator C_1 für diese Frequenz einen sehr hohen Wechselstromwiderstand besitzt. Zwischen 50 Hz und 10 kHz ist die Verstärkung nahezu linear. Frequenzen oberhalb von 10 kHz werden ebenfalls nicht gut verstärkt, weil der Operationsverstärker interne frequenzabhängige Bauteile enthält (vergl. Abb. 2.21).

3.7.2. Verstärker mit fest einstellbarer Verstärkung

Solche Verstärker werden in der NF-Technik oft eingesetzt. Sie dienen zur Vorverstärkung von Mikrofonsignalen oder anderen Wechselspannungen. Mit dem einstellbaren Verstärkungsfaktor verhindert man das Übersteuern nachgeschalteter Verstärker. Dadurch werden z. B. Verzerrungen und Überlastungen bei der Wiedergabe vermieden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.7.2. Nach dem Einschalten muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (Kap. 1.).



3.7.2.

Schaltungsbeschreibung

Der Operationsverstärker wird hier als gegengekoppelter Wechselspannungsverstärker betrieben. Der Arbeitspunkt liegt mit der Spannung am Eingang E+ fest.

Man stellt diese Spannung über die Widerstände R_3/R_4 und R_2/R_5 ein. Da das Verhältnis der Widerstände $R_3 : R_4$ gleich 1 ist und somit die halbe Betriebsspannung erzeugt, muß auch das Verhältnis der Widerstände $R_2 : R_5$ gleich 1 sein. Das Eingangssignal, das verstärkt werden soll, gibt man auf E-. Es erscheint verstärkt und invertiert am Ausgang. Von der Ausgangsspannung wird über den Widerstand R_5 ein Teil auf E- zurückgeführt. Dieser Anteil ist gegenphasig, d. h. der positiven Halbwelle der Eingangsspannung wirkt die negative Ausgangsspannung entgegen und umgekehrt. Es erfolgt also eine Abschwächung des steuernden Signals. Diese nennt man **Gegenkopplung**. Der Grad der Gegenkopplung bestimmt den Verstärkungsfaktor. Die Rückführung des Ausgangssignals erfolgt über den Spannungsteiler aus R_5 und R_1 , wobei man sich den Widerstand R_1 über C_1 und die Wechselspannungsquelle (z. B. ein Mikrofon) an Masse liegend vorstellen muß. Da die gegengekoppelte Spannung durch R_5/R_1 geteilt wird, bestimmt deren Widerstandsverhältnis den Verstärkungsfaktor V .

$$V = \frac{R_5}{R_1}$$

$$V = \frac{1000 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$V = 100$$

Dieser Wert würde nur erreicht, wenn der Operationsverstärker eine unendlich hohe Leerlaufverstärkung hätte. Da diese aber endlich ist (ca. 1200 bis 2600fach), verringert sich der durch das Widerstandsverhältnis errechnete Wert.

Da der Verstärkungsfaktor auch durch das Verhältnis der Ausgangsspannung zur Eingangsspannung bestimmt wird, ergeben Messungen den tatsächlichen Verstärkungsfaktor:

$$V = \frac{U_A}{U_E}$$

$$V = \frac{6}{0,07}$$

$$V = 85\text{fach}$$

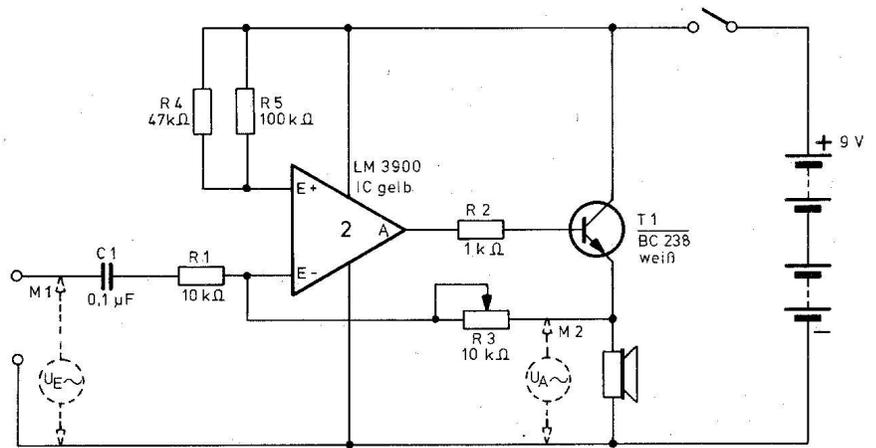
Da der Operationsverstärker einen Lautsprecher nicht direkt betreiben kann, ist eine Endstufe mit dem Transistor BC 238 nachgeschaltet.

3.7.3. Aktiver Lautstärkeinsteller

Solche Verstärker werden in hochwertigen NF-Anlagen eingesetzt. Sie setzen hochohmige Eingänge von Vorverstärkern in niederohmige Ausgangssignale um. Dadurch wird verhindert, daß sich Brummeinstreuungen auswirken können.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.7.3. Beim Einschalten muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1).



3.7.3.

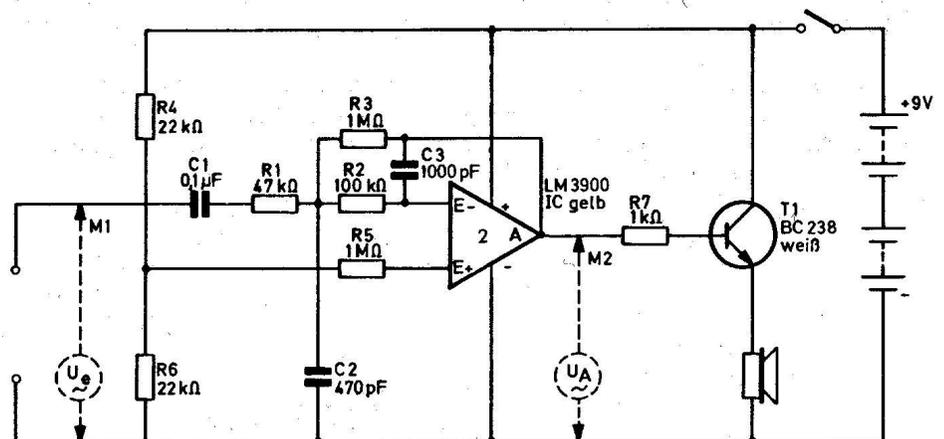
Schaltungsbeschreibung

Im Gegensatz zum Verstärker mit fest eingestelltem Verstärkungsfaktor ist er hier veränderlich. Dies wird erreicht durch das Potentiometer R_3 im Gegenkopplungszweig. Durch die starke Gegenkopplung ergibt sich außerdem ein hochohmiger Eingangswiderstand. Hat das Potentiometer den höchsten Wert, ist der Verstärkungsfaktor 1. Ist sein Wert dagegen $1 \text{ k}\Omega$, beträgt die Verstärkung nur 0,1fach ($V = 1 \text{ k}\Omega : 10 \text{ k}\Omega$). Liegt der Schleifer des Potentiometers bei 0Ω , ist der Verstärkungsfaktor unendlich klein.

3.7.4. Tiefpaßverstärker

Dieses Gerät verstärkt bevorzugt tiefe Frequenzen, also die Bässe, während es Töne mittlerer und hoher Frequenz stark abschwächt. Es wird z. B. bei Lichtorgeln benutzt.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.7.4. Beim Einschalten muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1).



3.7.4.

Schaltungsbeschreibung

Die frequenzselektierenden Bauteile in der Schaltung sind R_1/C_2 und R_2/C_3 . Es handelt sich hierbei um sog. RC-Glieder. Wie bei der Schaltung des Zeitschalters bereits besprochen (s. Kap. 3.3.1.), hat ein solches RC-Glied eine Zeitkonstante, die von der elektrischen Größe des Widerstandes und des Kondensators abhängt.

Eine Zeitkonstante läßt sich auch als Frequenz auffassen. Ist z. B. $T = 0,1 \text{ s}$, spielt sich der Lade- und Entladevorgang 10mal in der Sekunde ab. Das entspricht einer Frequenz von 5 Hz. Ist das RC-Glied nach Abb. 3.7. angeordnet, läßt es bevorzugt alle Frequenzen durch, die unterhalb seiner Zeitkonstante liegen. Da der Widerstand des Kondensators frequenzabhängig ist, werden höhere Frequenzen bevorzugt nach Masse abgeleitet.

Tiefere Frequenzen finden einen höheren Wechselstromwiderstand vor und fließen darum nur geringfügig nach Masse ab.

Eine solche Anordnung, die alle Frequenzen oberhalb eines Wertes schwächt und Frequenzen darunter passieren läßt, nennt man **Tiefpaßfilter**.

Ein Tiefpaßfilter R_1C_2 liegt am Eingang und beschneidet bereits die hohen Frequenzen. R_2/C_3 liegen im Gegenkopplungszweig. Über C_3 werden die hohen Frequenzen besonders stark gegengekoppelt. Die Filterwirkung wird deshalb um ein Vielfaches angehoben.

Die Widerstände $R_4/R_5/R_6$ bestimmen die Spannung am Eingang E+ und legen damit den Arbeitspunkt fest.

Filter, die mit verstärkenden Bauteilen aufgebaut sind, nennt man „**aktive Filter**“. Dem als Tiefpaßverstärker geschalteten Operationsverstärker ist eine NF-Stufe nachgeordnet, die einen Lautsprecher betreibt. Die Grafik Abb. 3.8. gibt den Frequenzgang der Anordnung wieder:

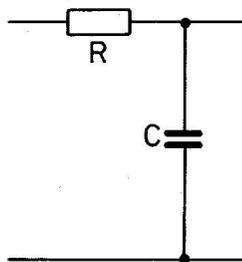


Abb. 3.7.

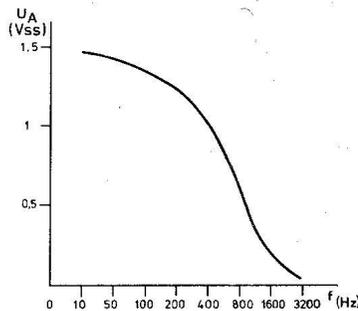
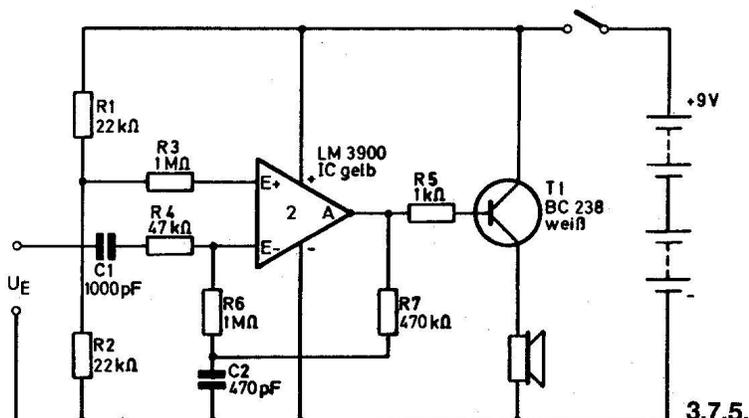


Abb. 3.8.

3.7.5. Hochpaßverstärker

Dieser Verstärker läßt bevorzugt alle Frequenzen oberhalb eines gegebenen Wertes passieren. Die Höhen werden also angehoben. Der Hochpaßverstärker wird zur Klangregelung in HiFi-Anlagen eingesetzt.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.7.5. Nach dem Einschalten muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1).



3.7.5.

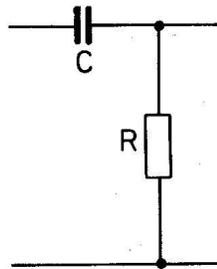


Abb. 3.9.

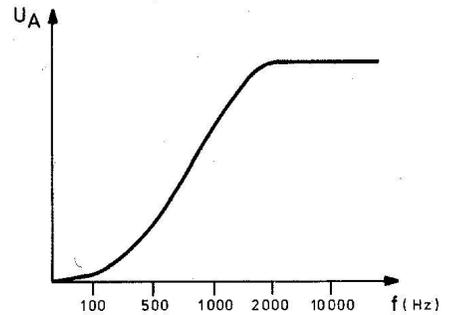


Abb. 3.10.

Schaltungsbeschreibung

Auch bei einem Hochpaß handelt es sich um eine frequenzabhängige Anordnung eines RC-Gliedes (siehe Abb. 3.9.). Während aber beim Tiefpaß die hohen Frequenzen über den Kondensator bevorzugt nach Masse abfließen, werden beim Hochpaß die tiefen Frequenzen durch den Kondensator geschwächt. Er liegt nämlich in der Zuleitung, während der Widerstand mit Masse verbunden ist. R und C bestimmen wieder die Zeitkonstante und damit die Frequenz, bei der die Abschwächung der tiefen Töne einsetzt.

Ein RC-Glied besteht im vorliegenden Verstärker aus dem Kondensator C_1 und dem Eingangswiderstand des Operationsverstärkers. Ein zweites RC-Glied, bestehend aus R_7 und C_2 , liegt im Gegenkopplungsweig. Es ist ein Tiefpaß; damit werden die tiefen Frequenzen besonders stark gegengekoppelt. Die Filterwirkung wird dadurch erheblich verstärkt. Bei solchen Schaltungsanordnungen spricht man von Aktiv-Filtern; in diesem Fall handelt es sich um ein **Hochpaß-Aktivfilter**.

Der Eingang $E+$ des Operationsverstärkers erhält über die Widerstände $R_2/R_3/R_1$ eine Vorspannung, die den Arbeitspunkt festlegt. Dem Operationsverstärker ist eine NF-Endstufe mit einem Lautsprecher nachgeschaltet.

Man hört die Höhen bevorzugt aus dem Lautsprecher.

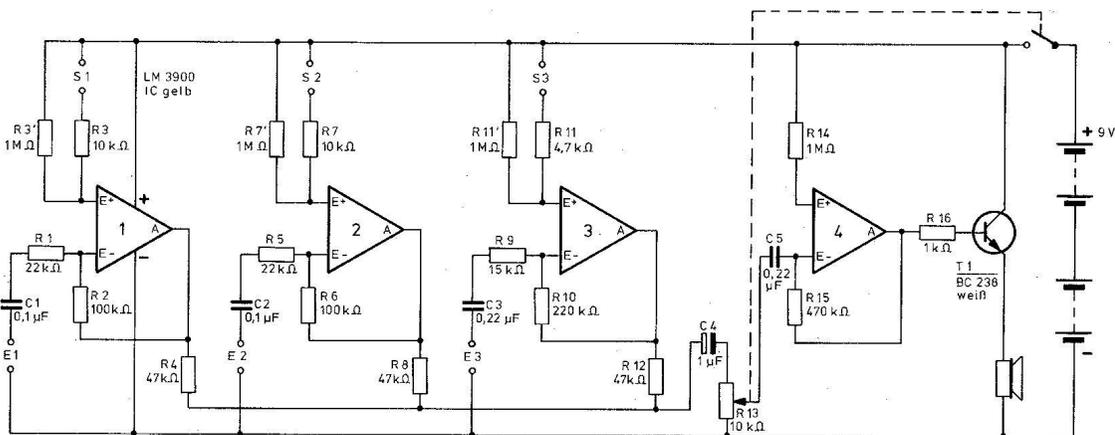
Die nachstehende Graphik Abb. 3.10. gibt den Frequenzgang wieder.

3.7.6. Mischpult mit 3 Eingängen

Ein Mischpult braucht man, wenn mehrere Signalspannungsquellen einen Endverstärker ansteuern sollen. In einer Diskothek muß man z. B. wahlweise zwei Plattenspieler und ein Mikrophon auf die Verstärkeranlage schalten können. Das beschriebene Gerät hat 3 Eingänge, die sich mit Gleichspannung einschalten lassen. Es werden keine Leitungen geschaltet, die Signalspannungen führen. Dadurch wird die Einströmung von Störspannungen herabgesetzt.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 3.7.6. Nach dem Einschalten muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1). Weitere Signalquellen werden direkt an den Klemmen angeschlossen.



3.7.6.

Schaltungsbeschreibung

Für die Schaltung des Mischpultes werden alle 4 Operationsverstärker benutzt. Drei dienen zur Wahl des Eingangs. Sie sind unterschiedlich aufgebaut, um für verschiedene Signalquellen (Kanal) unterschiedliche Verstärkungsfaktoren zu bieten. Der vierte arbeitet als nachgeschalteter Vorverstärker (OP 4). Wird der Kontakt S_1 kurzgeschlossen, ist der Operationsverstärker 1 gesperrt, und kein Signal gelangt durch ihn hindurch. Ist der Kontakt geöffnet, gelangt über den Widerstand R_3 eine geringe Spannung an den Eingang E_+ , die den Arbeitspunkt des Verstärkers festlegt.

Alle drei Kanalverstärker sind über Widerstände ($R_2/R_6/R_{10}$) gegengekoppelt. Dadurch erreicht man ein stabiles Verhalten des Gerätes. Der Kondensator C_4 trennt gleichspannungsmäßig die Eingangsstufen vom nachfolgenden Vorverstärker OP 4. Sein Arbeitspunkt kann nicht von den Verstärkern der einzelnen Eingänge beeinflusst werden. Signale an seinem Eingang E_- werden verstärkt und über die Endstufe dem Lautsprecher zugeführt.

Die Eingänge 1 und 2 eignen sich für den Anschluß von Plattenspielern, Tonbandgeräten und Rundfunkempfängern. Die Verstärker OP 1 und OP 2 verstärken nur gering. Ihr Verstärkungsfaktor ist durch das Verhältnis der Widerstände $R_2 : R_1$ bzw. $R_6 : R_5$ festgelegt und beträgt ca. 5. Der Verstärker OP 3 besitzt einen relativ großen Verstärkungsfaktor und eignet sich deshalb für den Anschluß von Kristall-Mikrofonen. Soll ein Verstärker nicht benutzt werden, so muß der dazugehörige Kontakt überbrückt werden. Der betreffende Verstärker ist dann ausgeschaltet.

4. Elektronische Geräte

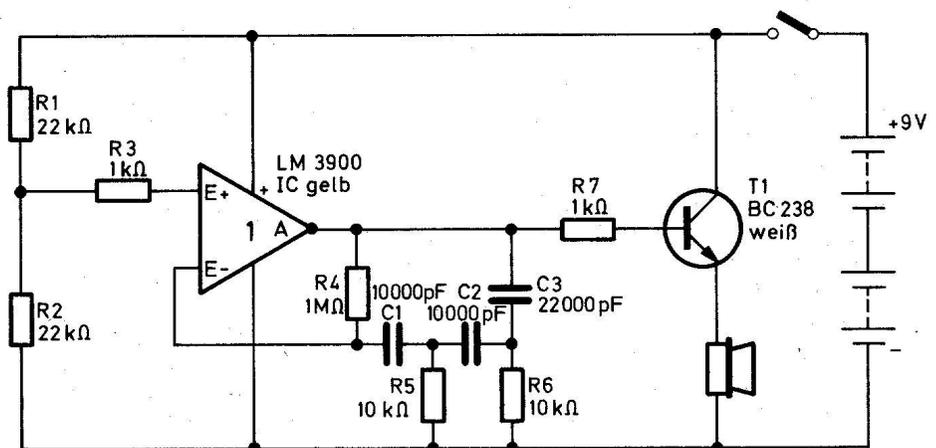
4.1. Musikerzeugung

In der modernen Musik werden heute auch vielfach Instrumente verwendet, in denen die Töne elektronisch erzeugt werden. Bei herkömmlichen Musikinstrumenten werden Töne durch schwingende Saiten, z. B. Geige, Klavier, oder schwingende Luftsäulen, z. B. Flöte, Orgel, erzeugt. Die Tonhöhe bei diesen Instrumenten ist abhängig von der Länge der Saiten bzw. von der Höhe der Luftsäulen. Elektronische Musik erzeugt man dagegen mit elektrischen Schwingungen.

4.1.1. Tongenerator

Zur Tonerzeugung in elektronischen Geräten, z. B. in Orgeln, greift man immer wieder auf wenige Grundschaltungen zurück, zu denen auch dieser R-C-Tongenerator gehört. Damit läßt sich durch Veränderung weniger Bauelemente fast jede beliebige Tonhöhe erzielen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.1.1. Nach dem Einschalten muß der Lautsprecher einen Ton abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.1.1.

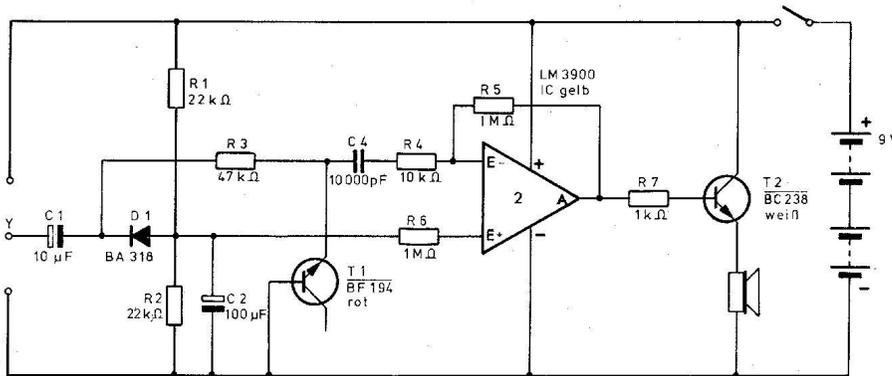
Schaltungsbeschreibung

Im Prinzip ist der Operationsverstärker über den Widerstand R_4 gegengekoppelt. Diese Gegenkopplung wird durch die RC-Glieder C_3/R_6 , C_2/R_5 bzw. C_1 für eine einzige Frequenz nicht wirksam, aus der Gegenkopplung wird eine Mitkopplung. Dadurch gerät diese Schaltung in Schwingungen, der Lautsprecher strahlt einen Ton ab. Durch die Kondensatoren C_1 bis C_3 und die Widerstände R_5 und R_6 kann die Tonhöhe verändert und damit die Frequenz des Generators bestimmt werden.

4.1.2. Elektronischer Schlagbesen

Soll Musik elektronisch erzeugt werden, muß man versuchen, Instrumente mit geeigneten Schaltungen zu imitieren. Um z. B. ein Schlagzeug zu kopieren, muß man auch eine Schaltung für einen Schlagbesen einsetzen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.1.2. Nach dem Einschalten des Gerätes wird der Kontakt Y kurzzeitig mit 0 Volt verbunden. Legt man danach Y an +9 Volt, muß aus dem Lautsprecher ein Rauschen ertönen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.1.2.

Schaltungsbeschreibung

Eine in Sperrichtung geschaltete Diodenstrecke eines Transistors erzeugt in dieser Schaltung das Rauschen (Abb. 4.1.). Das ist nur möglich, indem die Durchbruchspannung überschritten wird. Beim Transistor BF 194 beträgt diese etwa 10 Volt. Der Transistor leitet dann, obwohl er in Sperrichtung geschaltet ist.

Im Augenblick des Durchbruchs sinkt die Spannung zwischen dem Emitter und der Basis schlagartig, so daß die Diodenstrecke anschließend wieder sperrt und die Durchbruchspannung wieder anliegt. Dieser Vorgang wiederholt sich in rascher Folge. Es entsteht ein Frequenzgemisch, das als Rauschen vom Lautsprecher abgestrahlt wird. Der Widerstand R_1 (Abb. 4.1.) begrenzt den Durchbruchstrom, um die Zerstörung des Transistors zu verhindern. Zur Erzeugung der Durchbruchspannung, die über der Batteriespannung liegt, werden 12,5 Volt benötigt.

Über den Spannungsteiler mit den beiden Widerständen R_1/R_2 von je 22 k Ω wird die halbe Betriebsspannung (4,5 V) erzeugt und im Kondensator C_2 gespeichert (Abb. 4.2.). Legt man den Kondensator $C_1 = 10 \mu\text{F}$ gegen Masse (Minuspol), wird er über die Diode aufgeladen, und zwar mit ca. 3,5 V. Diese Spannung entsteht aus der halben Betriebsspannung abzüglich der Diodenspannung. Verbindet man nun C_1 mit +9 V, so kann am Kondensator eine Spannung von 12,5 V ($9 \text{ V} + 3,5 \text{ V}$) gemessen werden, weil die Batteriespannung mit der Kondensatorspannung in Reihe liegt. Diese erhöhte Spannung steht jedoch nur kurzzeitig zur Verfügung, was durchaus erwünscht ist.

Dem Schaltbild Abb. 4.1.2. ist zu entnehmen, daß die Rauschspannung über C_4/R_4 dem Eingang E- des OP 2 zugeführt und darin verstärkt wird und über die Transistorendstufe zum Lautsprecher gelangt. Die nachstehende Grafik (Abb. 4.3.) zeigt den Verlauf der Rauschspannung in Abhängigkeit von der Eingangsspannung.

4.1.2.1. Schaltungsvariante

Soll sich das Rauschen in gleichbleibendem Rhythmus wiederholen, kann C_1 an den Ausgang eines astabilen Multivibrators angeschlossen werden (vergl. 3.1.).

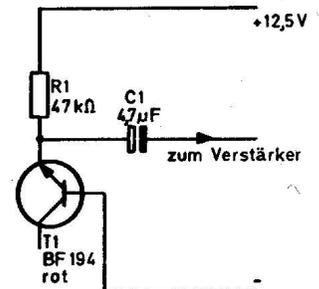


Abb. 4.1.

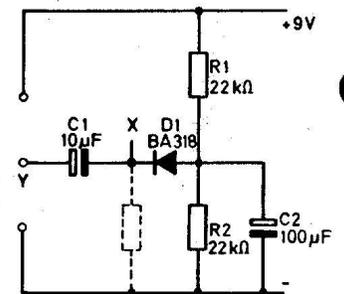


Abb. 4.2.

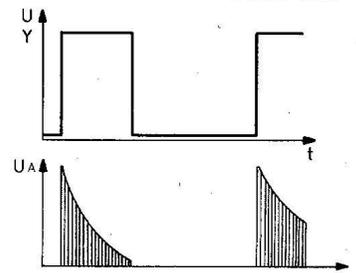
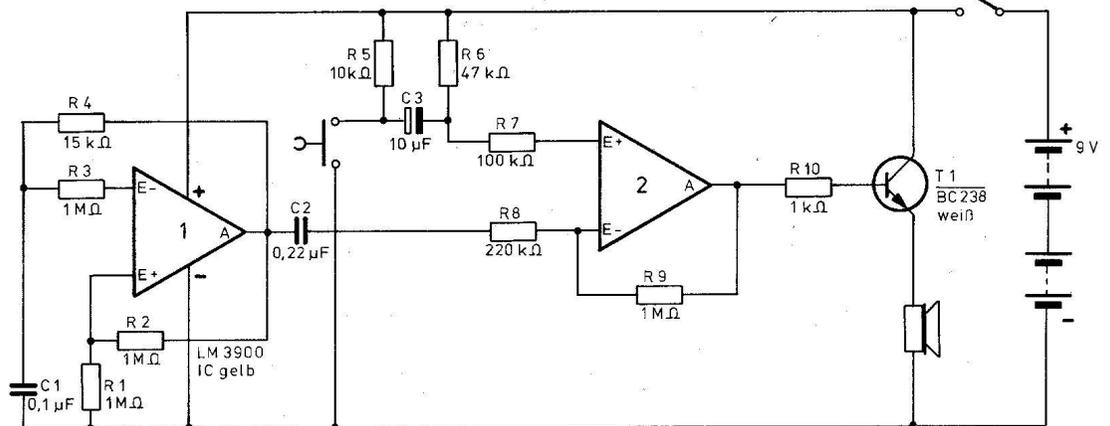


Abb. 4.3.

4.1.3. Baßtrommel

Die Baßtrommel wird als begleitendes Schlaginstrument eingesetzt, das besonders tiefe Töne erzeugt. Sie findet Verwendung zur Betonung des Rhythmus.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.1.3. Nach dem Einschalten muß beim Betätigen des Tastschalters der Lautsprecher im Schallrhythmus Baßöne abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.1.3.

Schaltungsbeschreibung

Die tiefen Töne einer Baßtrommel können durch eine sinusförmige Schwingung von ca. 100 Hz mit abnehmender Amplitude hervorgerufen werden.

In dieser Schaltung erzeugt der astabile Multivibrator OP 1 als Rechteckgenerator die Schwingungen. Sie werden über den Kondensator C_2 einem Verstärker OP 2 mit gleichbleibender Amplitude zugeführt. Durch eine veränderliche Gleichspannung – hervorgerufen über die Widerstände R_6/R_7 und den Kondensator C_3 – kann sein Arbeitspunkt eingestellt werden.

Im Ruhezustand ist der Verstärker gesperrt, da an den Eingang $E+$ über R_6/R_7 ein positives Spannungspotential gelangt und die Spannung am Eingang $E-$ keine Änderung am Ausgang hervorrufen kann. Wird jedoch der Kondensator C_3 über den Tastschalter mit Masse (0 V) verbunden, lädt er sich auf. Dadurch entstehen an R_6/R_7 für kurze Zeit 0 V, und der Verstärker ist für die Rechteckimpulse am Eingang $E-$ voll geöffnet. Mit steigender Ladespannung wird der Verstärker allmählich wieder gesperrt. Am Ausgang liegt die gewünschte Rechteck-Wechselspannung mit abnehmender Amplitude (Abb. 4.4.).

Bei geöffnetem Tastschalter entlädt sich C_3 über R_5 . Der Verstärker bleibt gesperrt. Durch ständiges Umschalten von 9 auf 0 V kann die Baßtrommel als rhythmisches Schlaginstrument betrieben werden.

Die Rechteckschwingungen am Ausgang des Verstärkers werden durch den Endstufentransistor verstärkt und vom Lautsprecher abgestrahlt.

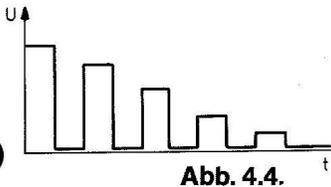


Abb. 4.4.

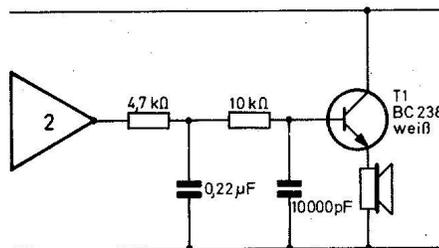


Abb. 4.5.

4.1.3.1. Schaltungsvariante

Der abgestrahlte Ton enthält viele Oberwellen, so daß der Klang der Trommel noch unsauber ist. Mit einem Tiefpaßfilter, das zwischen OP 2 und Endstufe T_1 geschaltet wird, lassen sich diese Oberwellen herausfiltern (Abb. 4.5.). Es entsteht eine fast sinusförmige Spannung (Abb.4.6.).

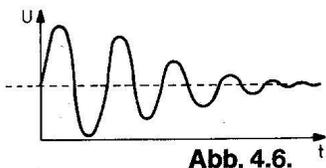
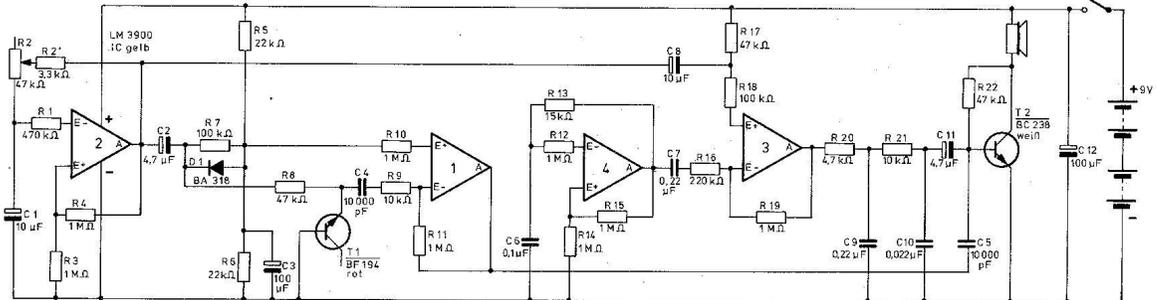


Abb. 4.6.

4.1.4. Automatisches Schlagzeug

Durch die Kombination eines Rauschgenerators mit der Baßtrommel läßt sich ein Rhythmusinstrument konstruieren, das in einem festgelegten Wechsel die typische Lautuntermalung eines Schlagzeugs liefert. Auf einer elektronischen Orgel z. B. kann es als zusätzliches Begleitinstrument mit festem Rhythmus eingeschaltet werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.1.4. Nach dem Einschalten des Gerätes strahlt der Lautsprecher abwechselnd ein Rauschen bzw. einen tiefen Baßton ab, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.1.4.

Schaltungsbeschreibung

Die automatischen Umschaltimpulse für Rauschen und Baßton erzeugt der als astabiler Multivibrator geschaltete Taktgeber OP 1. Die Taktfrequenz kann mit dem Potentiometer R_2 festgelegt werden.

Führt der Ausgang des Taktgenerators ein 1-Signal, also +9 V, wird der Rauschgenerator (vergl. Schaltung 4.1.2.) über C_2 eingeschaltet. Das vom Transistor T_1 erzeugte Rauschen, das rasch abklingt, wird im nachgeschalteten Vorverstärker OP 2 verstärkt und gelangt über die Endstufe T_2 zum Lautsprecher. Sinkt die Spannung am Ausgang des Taktgebers auf 0 (Ausschaltflanke des Rechteckimpulses), wird der Rauschgenerator ausgeschaltet. Gleichzeitig lädt sich der Kondensator C_8 positiv auf, am Spannungsteiler R_{17}/R_{18} liegen dadurch kurzzeitig 0 V. Dann ist der Verstärker OP 4 voll geöffnet, und die Signale des Generators für die Baßtrommel OP 3 erzeugen am Ausgang des Verstärkers OP 4 die gewünschte, stetig abnehmende Wechselspannung (vergl. Schaltung 4.1.3.). Über das Tiefpaßfilter gelangt dieses Signal auf die Endstufe des Transistors T_2 und wird als tiefer Baßton abgestrahlt. Mit steigender Ladespannung von C_8 wird der Verstärker OP 4 wieder gesperrt. Er bleibt auch gesperrt, wenn der Ausgang des Taktgenerators wieder ein 1-Signal führt, da der Verstärker nur auf die Ausschaltflanken seiner Impulse anspricht.

4.2. Elektroakustik

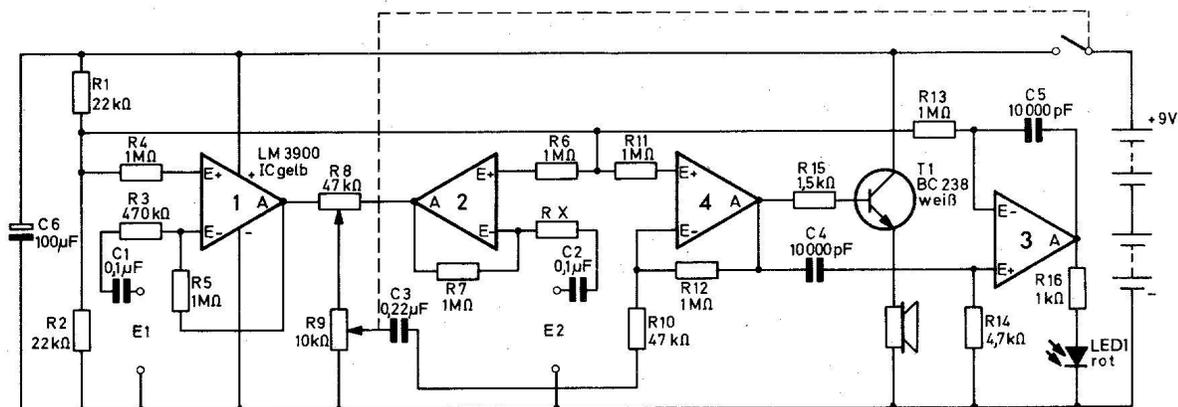
Im Kapitel 3.7. wurden bereits einige Geräte der Elektroakustik vorgestellt. Die folgenden Geräte erweitern diesen Bereich.

4.2.1. Umblendverstärker mit Übersteuerungsanzeige

Bei diesem Umblendverstärker können Signale mit sehr unterschiedlichem Pegel wechselweise oder gemeinsam verstärkt werden. Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, sich mit einem Mikrophon in die laufende Musik von einer Schallplatte einzublenden.

Wird dabei ein Eingangsspannungspegel überschritten – der Verstärker also übersteuert – so zeigt die Leuchtdiode dieses an.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.2.1. Nach dem Einschalten des Gerätes muß der Lautsprecher die verstärkten Signale abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Zum Anschluß eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1). Weitere Signalquellen werden direkt an den Klemmen angeschlossen.



4.2.1.

Schaltungsbeschreibung

Die beiden Eingänge E– der Operationsverstärker OP 1 und OP 2 sind über die Koppelkondensatoren C₁ bzw. C₂ mit den Eingängen E 1 und E 2 für die Signalquellen verbunden. Der hochohmige Eingang E 1 läßt den Anschluß von Signalquellen mit hoher Spannung zu, wie sie z. B. bestimmte Plattenspieler erzeugen. Dynamische Mikrofone dagegen liefern eine erheblich geringere Spannung; deshalb ist der Eingang E– des OP 2 direkt oder über R_x mit C₂ verbunden.

Mit dem Potentiometer R₈ können die verstärkten Spannungen der Eingangsverstärker wahlweise oder gemeinsam dem Ausgangsverstärker OP 4 zugeführt werden, dessen Ausgang den Endtransistor steuert. Mit R₉ läßt sich die Lautstärke regeln. OP 3 stellt einen Schwellwertschalter dar. Die Bezugsspannung wird am Spannungsteiler R₁/R₂ abgenommen. Gelangt über C₄ eine genügend große Spannung an E+ des OP 3, so leuchtet die LED mit kurzer Verzögerung auf, die durch C₅ bestimmt wird.

Mit R₁₄ läßt sich die Spannung einstellen, bei der die LED eine Übersteuerung anzeigen soll.

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, bei welcher Ausgangsspannung eine Übersteuerung angezeigt wird, wenn R_{14} verändert worden ist.

R_{14}	U_A
2,2 k Ω	6 V_{SS}
3,3 k Ω	5,5 V_{SS}
4,7 k Ω	5,2 V_{SS}

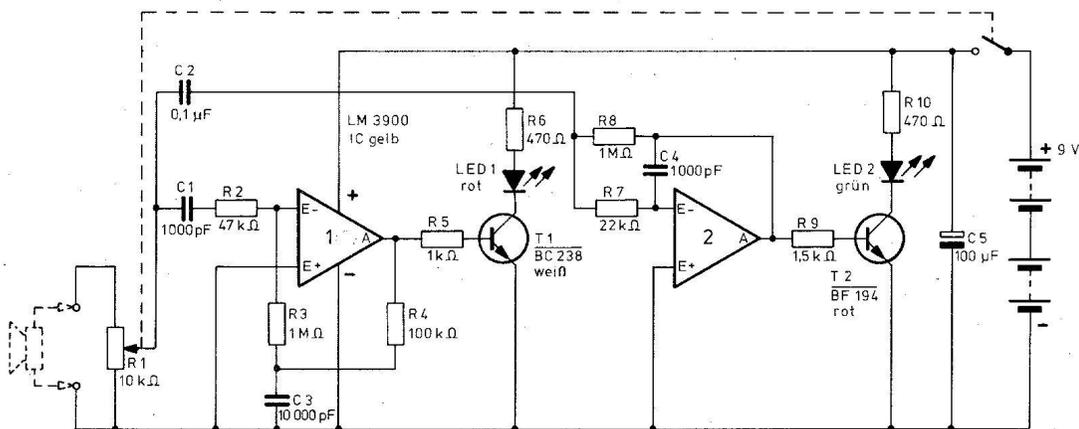
V_{SS} wird gesprochen Volt-Spitze-Spitze und gibt die Spannung zwischen dem positiven und negativen Höchstwert einer Wechselspannung an.

Für jede Stufe dieses Verstärkers läßt sich der Verstärkungsfaktor durch die Änderung der Gegenkoppelung einstellen. So kann für OP 1 der Widerstand R_3 zwischen 0 Ω und 1 M Ω variiert werden, für OP 2 kann R_x bis zu 1 M Ω betragen. Mit R_{10} , dessen Wert zwischen 47 k Ω und 1 M Ω schwanken kann, ist der Verstärkungsfaktor von OP 4 einzustellen.

4.2.2. Lichtorgel mit Leuchtdioden

Diese Lichtorgel arbeitet mit einer grünen und einer roten Leuchtdiode. Je nach Anteil der hohen und tiefen Frequenzen leuchtet die eine oder andere heller. Als Mikrofon dient der Lautsprecher.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.2.2. Wird nach dem Einschalten des Gerätes an den Eingang z. B. ein Plattenspieler angeschlossen, so müssen die Leuchtdioden im Rhythmus der Ausgangswechselspannung leuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Zum Anschließen eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (siehe Kapitel 1). Es kann auch der Lautsprecher angeschlossen werden, der dann als Mikrofon dient.



4.2.2.

Schaltungsbeschreibung

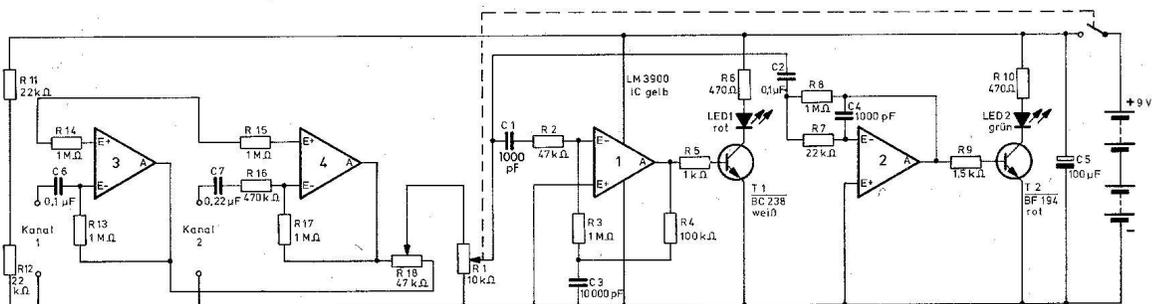
Die Schaltung besteht aus 2 getrennten Kanälen, nämlich einem Hochpaßverstärker (vergl. 3.7.5.) und einem Tiefpaßverstärker (vergl. 3.7.4.), jeder mit einer nachgeschalteten Transistorendstufe. Beide Verstärker werden gemeinsam angesteuert. R_1 gestattet eine Regelung der Verstärkung. Die Kondensatoren C_1 und C_2 verhindern, daß die Gleichspannungen an den Eingängen E- der Operationsverstärker durch R_1 beeinflußt werden können.

OP 1 ist als aktives Hochpaßfilter, OP 2 als aktives Tiefpaßfilter geschaltet. Die frequenzbestimmenden RC-Glieder sind $R_4/R_3/C_1/C_3$ bzw. R_7/C_4 und C_1 . Die Arbeitspunkte der Operationsverstärker sind so weit verschoben, daß ohne Ansteuerung kein Strom fließt. Dazu werden die Eingänge E+ nicht mit einer Vorspannung versorgt, sondern liegen direkt auf Masse. Diese Einstellung der Arbeitspunkte ist notwendig, da sonst beide Leuchtdioden dauernd leuchten würden. Die Ansteuerspannung muß relativ hoch sein, damit die Operationsverstärker leitend werden. Die Transistoren BC 238 und BF 194 verstärken den Ausgangsstrom der beiden Operationsverstärker, so daß die Leuchtdioden betrieben werden können.

4.2.3. Lichtorgel mit Mischpult

Mit diesem Gerät lassen sich wirkungsvolle Effekte erzielen, da man die Lichtorgel über einen Umblendverstärker von zwei verschiedenen Signalquellen betreiben kann. Dabei können beide Signale gemischt oder jedes für sich die Lichtorgel steuern.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.2.3. Wird nach dem Einschalten des Gerätes an den Eingang 1 ein Lautsprecher und an den Eingang 2 ein Plattenspieler über die Leuchtdiodenbuchse angeschlossen, so müssen die Leuchtdioden im Rhythmus der Wechselspannung leuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Zum Anschließen eines Plattenspielers empfiehlt sich die Verwendung der Diodenbuchse (Kap. 1).



4.2.3.

Schaltungsbeschreibung

In diesem Gerät sind 2 Schaltungen vereinigt. In der ersten Stufe OP 1 und OP 2 erkennt man den Umblendverstärker nach 4.2.1., in der zweiten Lichtorgel nach 4.2.2. mit dem Einstellwiderstand R_{18} bevorzugt man den einen oder den anderen Kanal. Das Potentiometer R_1 gestattet eine Empfindlichkeitsregelung der nachgeschalteten zweikanaligen Lichtorgel.

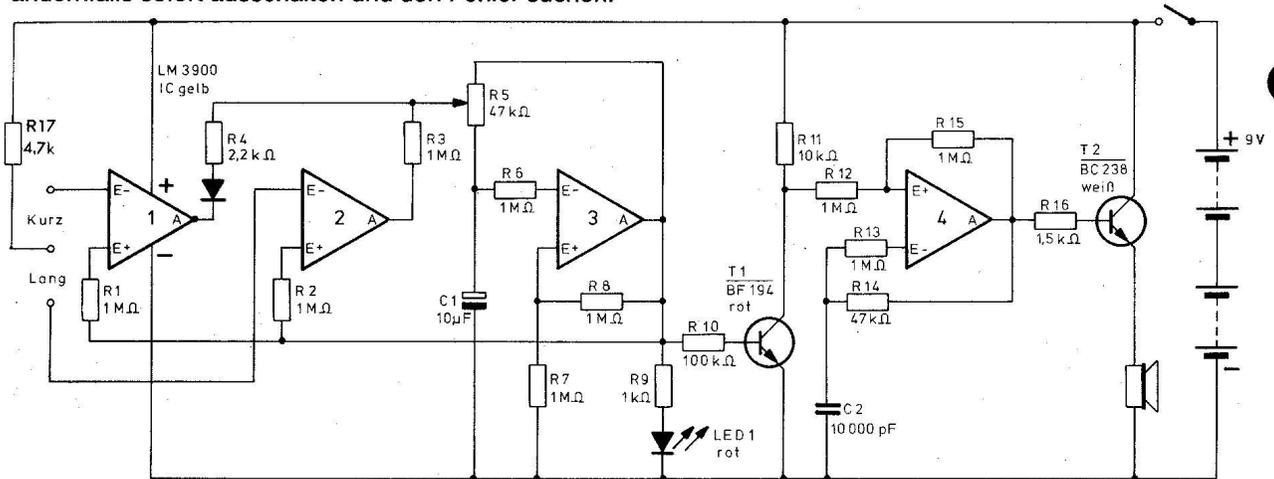
4.3. Fernmeldetechnik

In diesem Kapitel wird ein Gerät vorgestellt, das für die Übermittlung von Nachrichten von Bedeutung ist.

4.3.1. Halbautomatische Sensor-Morsetaste

Mit der halbautomatischen Sensor-Morsetaste erzeugt man Morsezeichen. Der Vorteil dieser Taste gegenüber der Handtaste liegt in der sauberen Zeichengebung bei hohen Schreibgeschwindigkeiten. In der Praxis betätigt man einen Hebelumschalter, der in Mittelstellung keine Zeichen, in der einen „Striche“ und in der anderen Einschaltstellung „Punkte“ auslöst.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.3.1. Wird nach dem Einschalten eine der beiden Sensortasten berührt, strahlt der Lautsprecher entweder kurze oder lange Töne ab, und die LED leuchtet im selben Rhythmus, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Kern der Schaltung ist ein astabiler Multivibrator OP 3. Kondensator C_1 und der Widerstand R_5 bestimmen die Zeitkonstante und damit die Taktfrequenz. Mit dem Potentiometer legt man das Verhältnis zwischen Punkt- und Strichlänge der Morsezeichen fest. Als optische Anzeige dient eine LED im Ausgang des astabilen Multivibrators.

Vor diesem Multivibrator OP 3 liegt ein elektronischer Schalter mit OP 1 und OP 2. Im Ruhezustand schwingt der Multivibrator nicht, da über die Widerstände $R_3/R_5/R_6$ eine positive Spannung ständig an E^- liegt. Wird einer der beiden Sensoren des elektronischen Schalters berührt, springt der Ausgang des betreffenden Operationsverstärkers auf 0. Damit ist die positive Spannung an E^- des Multivibrators aufgehoben; die Schwingungen setzen ein. Der Ausgang des Taktgebers OP 3 ist über die Widerstände R_1/R_2 an die nichtinvertierenden Eingänge der beiden als elektronischer Schalter betriebenen Operationsverstärker zurückgeführt. Als Folge springt auch der Ausgang des betätigten Sensor-Verstärkers im Rhythmus der Taktfrequenz von 0 auf 1. Liegt dann im Ausgang des Sensors ein kleiner Widerstand (R_4), so ist die Einschaltzeit kurz. R_4 liegt dann nämlich zu R_5 parallel, und der Kondensator C_1 wird schneller entladen (Punkte der Morsezeichen). Ist der Sensor lang eingeschaltet, liegt der große Widerstand $R_3 = 1\text{ M}\Omega$ im Stromkreis, der die Ent- und Aufladezeit des Kondensators praktisch nicht beeinträchtigt.

Das Ausgangssignal wird zu hörbaren Zeichen weiter aufbereitet. Eine Umkehrstufe mit dem Transistor T_1 invertiert das Signal und steuert am Eingang E^+ einen weiteren astabilen Multivibrator OP 4. Seine Schwingfrequenz liegt im Hörbereich bei etwa 1.000 Hz. Die Zeichen werden in einer Endstufe mit dem Transistor BC 238 verstärkt, so daß ein Lautsprecher betrieben werden kann.

4.3.1.

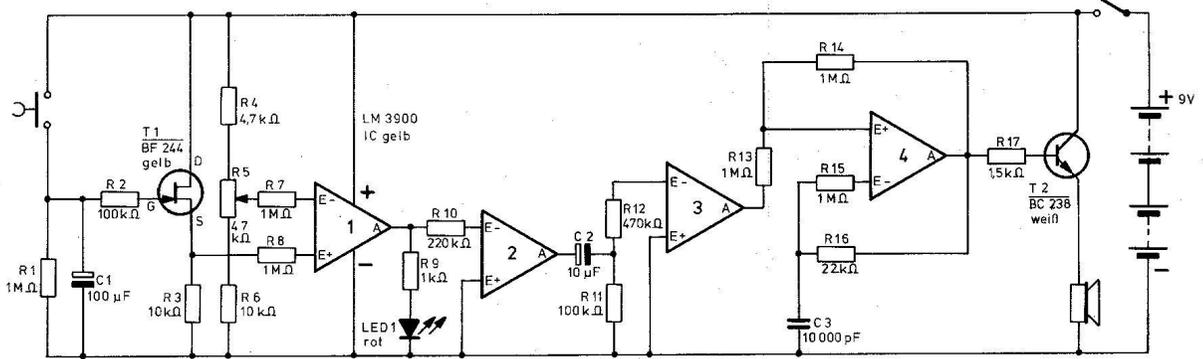
4.4. Elektronische Signalanlagen

Mit den beschriebenen elektronischen Grundschaltungen lassen sich verschiedene Signal- und Alarmanlagen aufbauen. Einige davon werden in diesem Kapitel vorgestellt.

4.4.1. Elektronische Eieruhr

Mit diesem Gerät kann das Ende einer eingestellten Schaltzeit über einen Lautsprecher akustisch angezeigt werden. Es könnte z. B. als elektronische Eieruhr benutzt werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.1. Nach dem Einschalten muß der Taster kurz gedrückt werden. Wenn der Schleifer des Potentiometers zum Widerstand R_4 zeigt, strahlt der Lautsprecher nach ca. 40 Sekunden ein kurzes Signal ab, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.4.1.

Schaltungsbeschreibung

Das zeitbestimmende Schaltungselement besteht aus dem Feldeffekttransistor T_1 und dem Schwellwertschalter OP 1. Dabei hat der FET die Aufgabe, C_1 von der nachfolgenden Stufe zu trennen, so daß keine Verfälschung des Zeitfaktors auftreten kann.

Beim Niederdrücken des Tastschalters lädt sich der Kondensator C_1 bis zur positiven Betriebsspannung auf. Dann erhält der Eingang $E+$ über den FET ein positives Spannungspotential und führt somit auch am Ausgang ein 1-Signal. Die LED leuchtet auf. Da dieses Ausgangssignal über den invertierenden Eingang OP 2 umgekehrt wird, am Ausgang also kein Strom mehr fließt, können die nachgeschalteten Stufen nicht angesteuert werden.

Wenn der Kondensator entladen ist, kippt der Schwellwertschalter um, und an seinem Ausgang liegt ein 0-Signal – die LED erlischt. Dieses Signal wird über den invertierenden Eingang $E-$ des OP 2 umgekehrt. Der Kondensator C_2 wird aufgeladen. Der dabei auftretende Spannungsimpuls steuert den nachfolgenden Inverter OP 3. Für die Dauer des Aufladevorgangs führt der Ausgang dieses 2. Inverters ein 0-Signal. Solange schwingt der über R_{13} angesteuerte astabile Multivibrator OP 4. Sein Ausgangssignal wird vom Transistor T_2 verstärkt und vom Lautsprecher als kurzes akustisches Signal abgestrahlt.

Die Zeitdauer wird durch den Widerstand R_1 bestimmt und läßt sich mit dem Potentiometer R_6 am Schwellwertschalter zusätzlich stufenlos regeln.

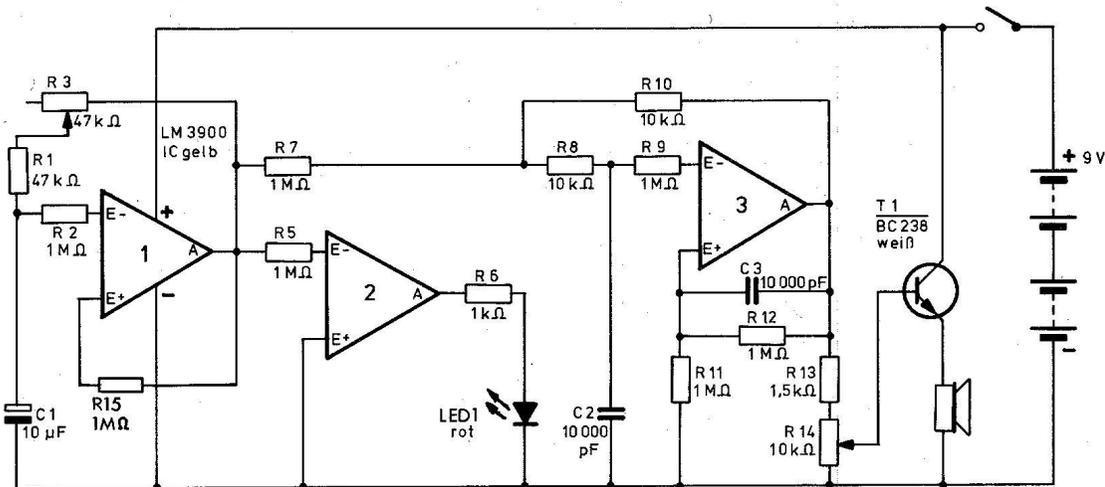
Möglichkeiten zur Verlängerung der Schaltzeiten sind in der Tabelle bei 3.4.5. angegeben.

4.4.2. Zweiklangsirene mit optischer Anzeige

Das Gerät erzeugt elektronisch zwei Töne unterschiedlicher Höhe, die in rascher Folge einander abwechseln. Dadurch entsteht der typische Zweiklang, den z. B. die Martinshörner von Feuerwehr und Rettungswagen abstrahlen.

Eine optische Anzeige zeigt zusätzlich den Rhythmus des Tonintervalls an.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.2. Nach dem Einschalten des Gerätes strahlt der Lautsprecher das Zweiklangsignal ab, und die LED leuchtet im Rhythmus, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.4.2.

Schaltungsbeschreibung

Beim Einschalten des Gerätes erhält der astabile Multivibrator OP 1 seine Betriebsspannung und schwingt. Die Frequenz wird durch den Kondensator C_1 bestimmt. Da im Rhythmus dieser Schwingungen der Tongenerator OP 3 beeinflusst wird, bezeichnet man ihn auch als Taktgeber. Am Ausgang treten im ständigen Wechsel 0- bzw. 1-Signale auf, die gleichzeitig dem Tongenerator OP 3 und dem Inverter OP 2 zugeführt werden. Ein positives Signal am Ausgang des Taktgebers kehrt sich in der Inverterstufe um – die LED leuchtet nicht. Ebenso wird ein negatives Signal durch den Inverter umgekehrt. – Bei dieser Ansteuerung leuchtet die LED.

Die Höhe des im OP 3 erzeugten Tones wird durch $R_8/C_2/R_{10}$ bestimmt. Ohne Beeinflussung durch den astabilen Multivibrator würde vom Lautsprecher nur ein tiefer Ton abgestrahlt werden.

Gelangt nun über R_7 ein 0-Signal des Taktgebers auf die frequenzbestimmenden Bauteile $R_8/C_2/R_{10}$ vor dem Tongenerator, entlädt sich der Kondensator C_2 zusätzlich über R_7 . Durch die schnellere Entladezeit steigt die Frequenz am Generator – der abgestrahlte Ton ist höher. Im Rhythmus der vom Taktgeber ausgehenden Signale ändert sich die Frequenz des Tongenerators. Seine Ausgangssignale gelangen über den Widerstand R_{13} und das Potentiometer R_{14} an die Basis des Transistors, werden hier verstärkt und vom Lautsprecher als Zweiklang abgestrahlt.

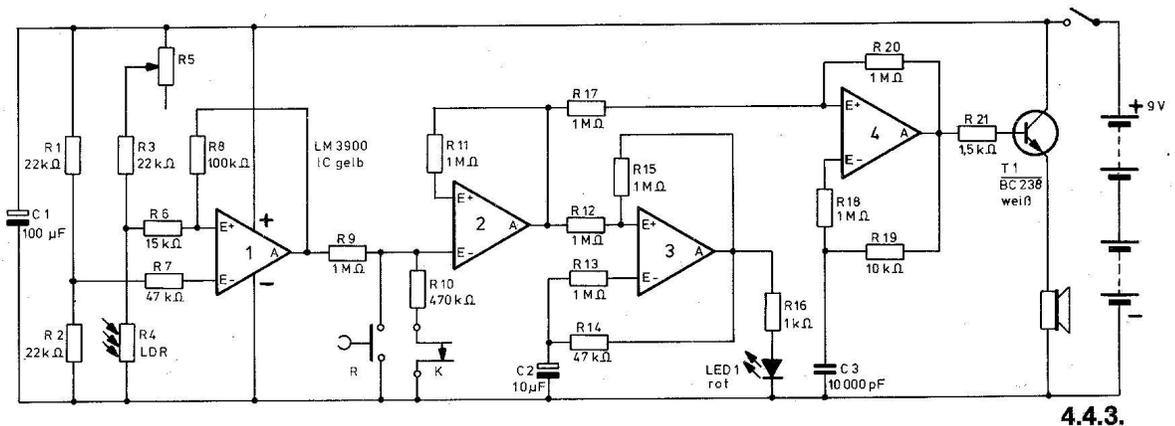
Die Taktfrequenz des astabilen Multivibrators OP 1 kann mit dem Trimpotentiometer R 3 zusätzlich eingestellt werden. Der höhere Ton läßt sich durch Verändern des Widerstandes R_8 beeinflussen, weil davon auch der Lade- bzw. Entladevorgang von C_2 abhängt.

4.4.3. Helligkeitsgesteuerte Alarmanlage

Diese Alarmanlage soll automatisch nur während der Dunkelheit betriebsbereit sein. Das bedeutet, daß dieses Gerät von einem lichtempfindlichen Bauteil gesteuert werden muß. Diese Aufgabe übernimmt der lichtabhängige Widerstand (LDR).

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.3. Nach dem Einschalten des Gerätes kurz den Tastschalter bei überbrücktem Kontakt K drücken. Die Anlage ist betriebsbereit – die LED leuchtet, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Wird der Kontakt K bei abgedunkelter LDR unterbrochen, blinkt die LED. Zur Verwendung als Alarmanlage muß der Kontakt mit der Alarmschleife verbunden werden (Kap. 1.).



Schaltungsbeschreibung

Durch Niederdrücken des Tastschalters R erhält der bistabile Multivibrator OP 2 am Eingang E– ein 0-Signal; führt damit am Ausgang ein 1-Signal, das auf den Eingang E+ des OP 3 gegeben wird. Die Anlage ist nun betriebsbereit – die LED leuchtet mit Dauerlicht.

OP 1 arbeitet als Schwellwertschalter. Da bei leuchtender LED die am Spannungsteiler R₁/R₂ abgenommene Spannung für den Eingang E– größer ist als die an E+, führt der Ausgang des Schwellwertschalters ein 0-Signal.

Bei abnehmender Helligkeit erhöht sich der Widerstand des LDR, der Eingang E+ des Schwellwertschalters erhält ein positives Spannungspotential gegenüber E–, und der Ausgang führt damit ein 1-Signal. Wird jetzt der Kontakt K kurzzeitig geöffnet, erhält der Eingang E– des bistabilen Multivibrators dieses 1-Signal und führt am Ausgang 0. Dadurch schwingt der astabile Multivibrator, und die LED blinkt. Gleichzeitig wird auch der Tongenerator OP 4 angesteuert, und der Lautsprecher in der Emitterleitung des Transistors strahlt einen Dauerton ab.

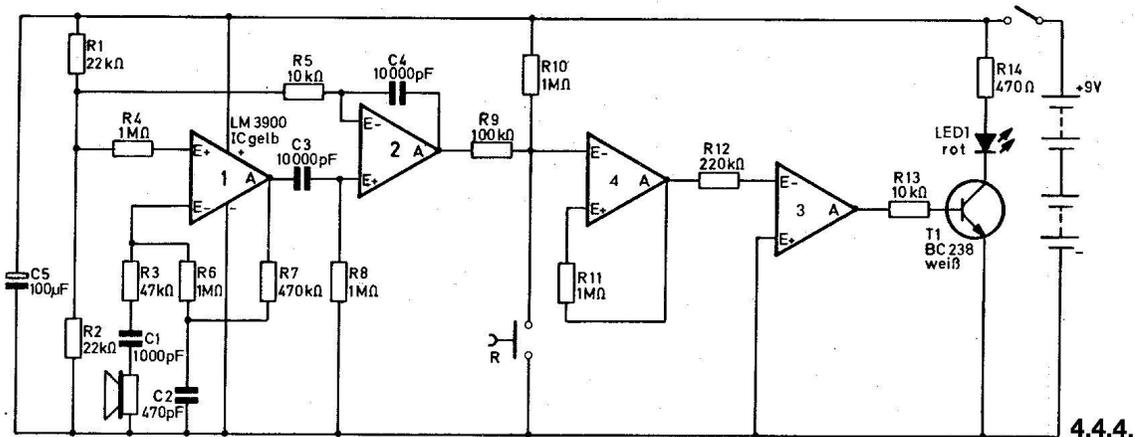
Der Helligkeitswert, bei dem der Schwellwertschalter anspricht, kann mit dem Potentiometer R₅ eingestellt werden, da es mit dem LDR einen Spannungsteiler bildet.

Nach einem angezeigten Alarm kann durch Betätigen der Taste R die Anlage bei geschlossenem Kontakt K erneut in Betriebsbereitschaft versetzt werden.

4.4.4. Klatschschalter

Mit diesem Schalter kann man mit akustischen Signalen akustisch-elektronisch Vorgänge auslösen. Wenn man in die Hände klatscht, schaltet sich z. B. das Radio ein, oder die Spielzeugeisenbahn beginnt zu fahren. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß andere als die Klatschfrequenzen nicht zum Auslösen einer Funktion führen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.4. Klatscht man nach dem Einschalten des Gerätes in die Hände, leuchtet die LED auf, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Das Ausschalten erfolgt mit dem Tastschalter.



Schaltungsbeschreibung

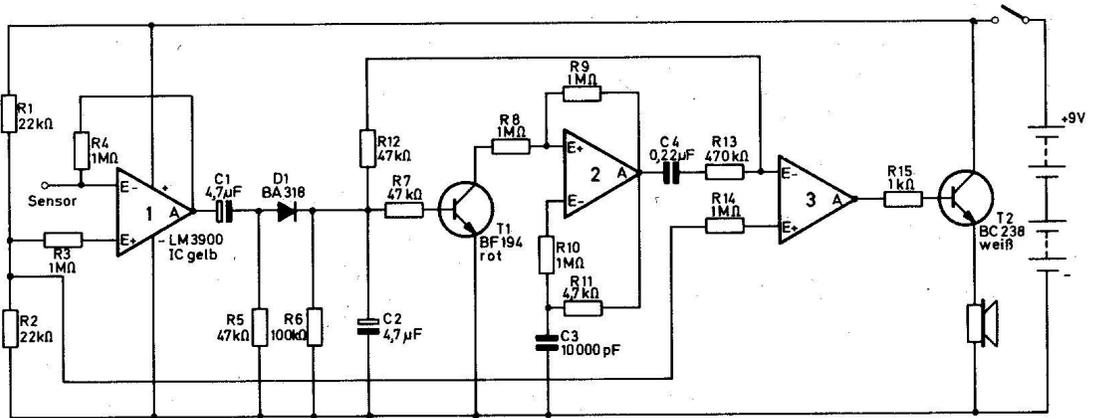
Bei dem Klatschschalter kommt es darauf an, das Frequenzgemisch, das beim Klatschen entsteht, herauszusieben. Da es sich um hohe Frequenzen handelt, lassen sich mit einem Hochpaßfilter alle Frequenzen unterhalb einer Nennfrequenz abschwächen. Die Schaltung enthält darum einen Hochpaßverstärker, der aus dem OP 1 und dem Siebglied $R_6/C_2/R_7$ aufgebaut ist. Dem Hochpaßfilter folgt der Schwellwertschalter OP 2. Überschreitet der Signalpegel an dessen nicht invertierenden Eingang den Schwellwert, wird sein Ausgang positiv. Dabei erfolgt gleichzeitig eine Gleichrichtung des aus Wechselfspannungen verschiedener Frequenzen bestehenden Eingangssignals (Klatschen). Die Gleichspannung wird durch den Kondensator C_4 geglättet und dem bistabilen Multivibrator OP 4 (Flipflop) zugeführt. Gelangt ein positiver Impuls, wie er z. B. durch einmaliges Klatschen ausgelöst wird, an den Eingang E^- des OP 4, kippt das Flipflop von 1 auf 0. Dem bistabilen Multivibrator (Flipflop) ist ein Inverter OP 3 nachgeschaltet. Er soll das Signal umkehren und damit eine optische Anzeige mit einer LED ermöglichen. Der Inverter steuert aber die LED nicht direkt, sondern den Schalttransistor BC 238. Beim Betätigen des Tasters R erhält der Eingang E^- des OP 4 ein 0-Signal. Das Flipflop kippt auf 1 zurück, die LED erlischt.

4.4.5. Elektronische Türglocke

Als akustische Signalanlage, mit der sich Besucher bemerkbar machen können, ist die herkömmliche Klingel heute schon vielfach durch den „Gong“ verdrängt worden, weil dessen Töne viel angenehmer empfunden werden. Mit dieser Schaltung kann eine elektronische Türglocke konstruiert werden, die zwei Töne unterschiedlicher Frequenz abstrahlt.

Die Auslösung des Signals erfolgt durch eine Sensortaste.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.5. Beim Berühren der Sensortaste strahlt der Lautsprecher zwei Töne unterschiedlicher Frequenz ab, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.4.5.

Schaltungsbeschreibung

Beim Berühren der Sensortaste verstärkt der Sensorverstärker OP 1 die anliegende Brummspannung, die an der Diode D_1 eine Gleichrichtung erfährt.

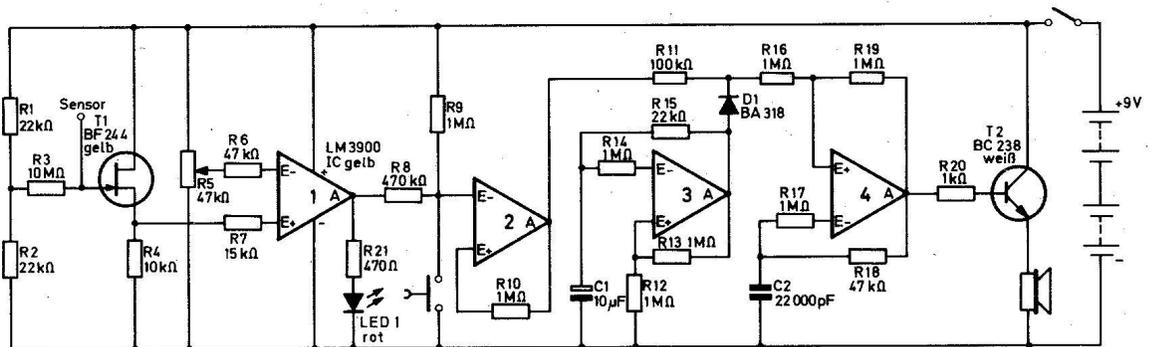
Brummspannungen werden hervorgerufen durch elektromagnetische Felder, die z. B. bei technischem Wechselstrom entstehen. Diese elektromagnetischen Felder breiten sich um die Leitungen herum aus und werden vom menschlichen Körper aufgenommen, der wie eine Antenne wirkt.

An R_6 wird ein positives Spannungspotential erzeugt, wodurch sich auch der Kondensator C_2 positiv auflädt. Diese Spannung – dem Eingang E_- des Verstärkers OP 3 zugeführt – öffnet diesen Verstärker. Gleichzeitig wird durch die positive Spannung über R_7 die Basis des Transistors T_1 angesteuert. Der nachgeschaltete astabile Multivibrator OP 2 schwingt, und sein Ausgangssignal wird über den Verstärker OP 3 und den Endstufen-Transistor so verstärkt, daß es der Lautsprecher als Ton abstrahlt. Wird der Kontakt an der Sensortaste gelöst, sinkt die Spannung an C_2 durch Entladen des Kondensators langsam ab. Ein geringerer Basisstrom an T_1 hat auch einen geringeren Strom an dessen Kollektorleitung zur Folge. Dadurch ändert der astabile Multivibrator OP 2 seine Frequenz, und die Höhe des abgestrahlten Tones ändert sich.

Unterschreitet die Spannung an C_2 schließlich einen bestimmten Wert, sperrt der Verstärker OP 3. In diesem Schaltzustand wird vom Lautsprecher kein Ton mehr abgestrahlt.

4.4.6. Alarmanlage mit Annäherungsschalter

Diese Anlage löst bereits Alarm aus, wenn man sich der zu schützenden Einrichtung nähert. Ein unterbrochener Warnton wird solange abgegeben, wie sich z. B. eine Person im kritischen Bereich befindet.



4.4.6.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.6. Nach dem Einschalten des Gerätes muß daß Potentiometer soweit eingestellt werden, bis die LED gerade erlischt. Beim kurzzeitigen Drücken der Taste darf der Lautsprecher keinen Ton abstrahlen. Berührt man den Sensor dagegen, muß die LED aufleuchten und der Lautsprecher einen unterbrochenen Ton abstrahlen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

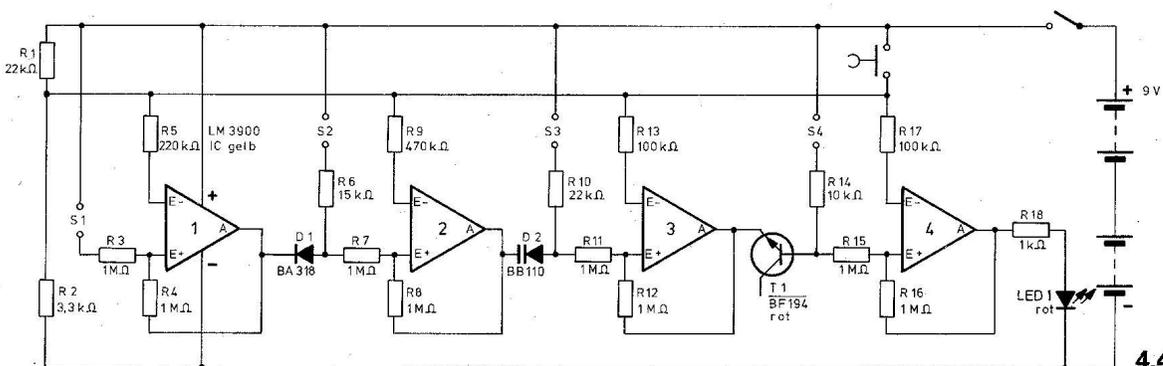
Schaltungsbeschreibung

Der Feldeffekt-Transistor T_1 arbeitet mit einem Operationsverstärker OP 1 als Schwellwertschalter zusammen und gibt die hohe Empfindlichkeit, die man bei einem Annäherungsschalter benötigt. Als Sensor dient ein möglichst großflächiges Blech oder Metallstück. Ein Türdrücker z. B. reicht schon aus, um die Funktion der Anlage zu gewährleisten. Gegenstände oder auch Menschen und Tiere, die in die Nähe des Gerätes geraten, beeinflussen den Sensor kapazitiv. Die Ladungsänderung am Gate des Feldeffekt-Transistors bewirkt eine Steuerung des Source-Stromes. Am Arbeitswiderstand R_4 fällt dann eine Spannung ab, die den nachgeschalteten Schmitt-Trigger OP 1 ansteuert. Die Empfindlichkeit der Anordnung bestimmt man mit dem Potentiometer R_5 ; es legt die Spannungsschwelle fest, bei der der Schmitt-Trigger umkippt. Bei einem 1-Signal am Ausgang des OP 1 leuchtet die LED. Das Signal wird gleichzeitig dem bistabilen Multivibrator OP 2 zugeführt. Sein Ausgangssignal 0 schaltet den Tongenerator OP 4 ein, der eine Lautsprecherstufe mit dem Transistor BC 238 ansteuert. Damit nun kein Dauerton entsteht, wird der langsame Multivibrator OP 3 dazugeschaltet. Im Rhythmus seiner Taktfrequenz unterbricht dieser den Ton, den OP 4 erzeugt. Die Diode ist so geschaltet, daß ein 1-Signal periodisch in die Leitung zum Tongenerator OP 4 gelangt und ihn damit kurzzeitig außer Funktion setzt. Der Ton wird unterbrochen.

4.4.7. Elektronisches Kombinationsschloß

Diese Schaltung bietet die Möglichkeit, ein elektronisches Schloß zu realisieren, so daß z. B. ein Safe auf diese Weise elektronisch gesichert und nur von eingeweihten Personen geöffnet werden kann. Mit einem Schalterdruck wird dieses Schloß verriegelt. Die Entriegelung kann nur dann erfolgen, wenn vier Kontakte in richtiger Reihenfolge kurzzeitig geschlossen werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.7. Werden nach dem Einschalten des Gerätes die Kontakte in der Reihenfolge S_1, S_2, S_3, S_4 kurzzeitig geschlossen, muß die LED aufleuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.4.7.

Schaltungsbeschreibung

Die Verriegelungsschaltung besteht aus vier bistabilen Multivibratoren (OP 1 – OP 4), deren Eingänge E+ jeweils mit einem Kontakt verbunden sind.

Wird der Tastschalter R gedrückt, erhalten alle Eingänge E– der vier Operationsverstärker ein positives Spannungspotential – die Ausgänge führen dann ein 0-Signal. Damit ist das Schloß verriegelt, die LED leuchtet nicht.

Überbrückt man jetzt kurzzeitig die Kontakte in der Reihenfolge S₁ – S₂ – S₃ – S₄, führen die Ausgänge der vier Operationsverstärker ein 1-Signal, die LED leuchtet.

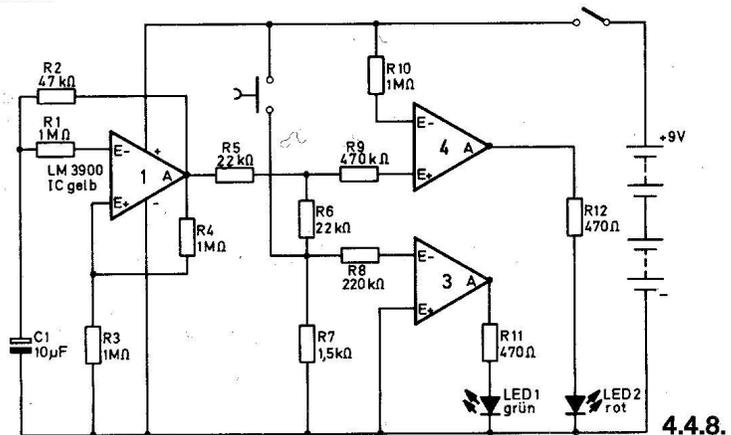
Dann ist das Schloß geöffnet. Werden die Kontakte in einer anderen Reihenfolge gedrückt, bleibt die LED dunkel – das Schloß also verriegelt. Das wird durch Dioden erreicht, die nur dann das 1-Signal der betreffenden Kontakte auf die E+ Eingänge passieren lassen, wenn an den jeweiligen Ausgängen ein 1-Signal steht. Sonst sind die Dioden leitend, die positive Spannung fließt über die Diode zum Ausgang des betreffenden Verstärkers.

Am Ausgang von OP 3 ist als Diode der Transistor T₁ eingesetzt – es ist nur die Basis-Emitterstrecke beschaltet.

4.4.8. Warnblinker

Mit der nachfolgenden Schaltung kann eine elektronische Signalsteuerung realisiert werden, die durch grünes Dauerlicht (Betriebsbereitschaft) an einem ungesicherten Bahnübergang oder einer Baustelle „Freie Fahrt“ anzeigt. Löst z. B. ein herannahender Zug einen Schaltkontakt aus, springt die Signalanzeige automatisch auf rotes Blinklicht um. An Baustellen kann der Schaltkontakt auch manuell betätigt werden, um eine Fahrtrichtung zu sperren.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.8. Nach dem Einschalten des Gerätes zeigt die grüne LED Dauerlicht. Beim Betätigen des Tastschalters blinkt die rote LED und die grüne erlischt, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



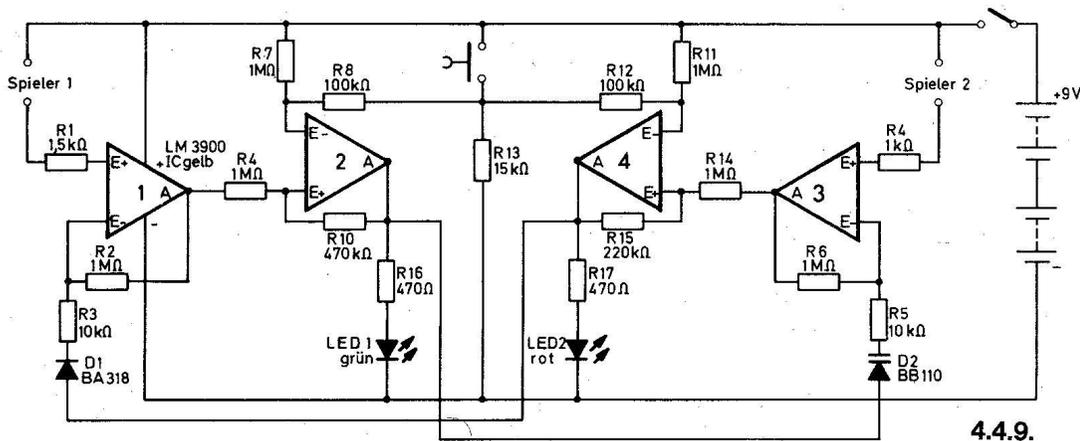
Schaltungsbeschreibung

Beim Einschalten des Gerätes ist der Tastschalter geöffnet. Der Inverter OP 3 erhält über den Widerstand R₇ ein negatives Spannungssignal, sein Ausgang führt ein 1-Signal. Die LED leuchtet mit grünem Dauerlicht und zeigt damit gleichzeitig die Betriebsbereitschaft an. Wird der Tastschalter geschlossen, ist der Eingang E– mit +9 V verbunden, der Ausgang führt ein 0-Signal, und die grüne LED erlischt. Gleichzeitig gelangen die Schwingungen des astabilen Multivibrators OP 1 über die Widerstände R₅/R₉ auf den Eingang +E des Verstärkers OP 2. Im Rhythmus dieser Schwingungen führt sein Ausgang abwechselnd 1- bzw. 0-Signale. Die rote LED blinkt. Durch Öffnen von Tastschalter kann der Ausgangszustand wiederhergestellt werden.

4.4.9. Reaktionstester

Mit diesem Gerät kann im Vergleich die Reaktionsfähigkeit von zwei Personen getestet werden. Auf ein Kommando – Zuruf oder ein anderes akustisches bzw. optisches Signal – betätigen die „Testpersonen“ eine Sensortaste. Die dazugehörige Leuchtdiode zeigt an, wer von beiden schneller reagiert hat.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.4.9. Nach dem Einschalten des Gerätes dürfen nach dem Drücken des Tastschalters die Leuchtdioden nicht leuchten. Beim Berühren einer Sensortaste leuchtet die dazugehörige LED, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.4.9.

Schaltungsbeschreibung

Damit für beide Testpersonen die gleiche Ausgangsposition herrscht, ist dieses Gerät mit zwei Sensortasten ausgestattet, im Schaltbild mit Spieler 1 und Spieler 2 bezeichnet.

Wird durch Berühren mit dem Finger die Sensortaste des Spielers 1 zuerst geschlossen, führt der Sensorverstärker OP 1 am Ausgang ein 1-Signal, das auf den Eingang E+ des bistabilen Multivibrators OP 2 gelangt. Dieser speichert das Signal – an seinem Ausgang liegen damit ständig +9 V –, und die grüne LED leuchtet auf.

Gleichzeitig gelangt das Ausgangssignal von OP 2 auf den Eingang E– des zweiten Sensorverstärkers OP 4 – also der langsameren Testperson – und verriegelt den Sensor 2, weil an seinem Ausgang ein 0-Signal erzeugt wird. Reagiert die 2. Testperson schneller, wird über den Sensorverstärker OP 4 das Signal auf das Speicherelement OP 3 gegeben, und die rote LED leuchtet auf. Gleichzeitig wird über die Rückführung des Signals vom Ausgang auf den Eingang E– des OP 1 dort eine Verriegelung erreicht.

Die Rückstellung der Schaltung in Ausgangsposition erfolgt mit dem Tastschalter über R₈ bzw. R₁₂, weil über die jeweiligen invertierenden Eingänge der Speicherelemente an deren Ausgängen ein 0-Signal steht.

4.5. Meß- und Regeltechnik

In der elektronischen Meßtechnik werden alle Arten von Mengen, Abmessungen usw. in elektrische Ströme und Spannungen umgesetzt, die dann in elektronischen Schaltkreisen verarbeitet und mit Anzeigeeinheiten sichtbar gemacht werden.

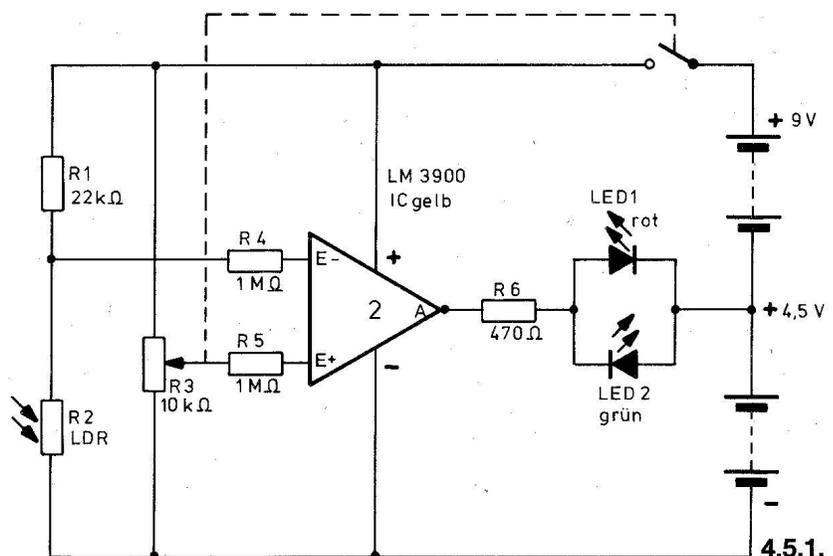
4.5.1. Belichtungsmesser mit LED-Anzeige

Mit dem Belichtungsmesser lassen sich Belichtungszeiten ermitteln. Zur Anzeige dienen zwei Leuchtdioden. Der richtige Wert kann auf der Skala des Potentiometers abgelesen werden, wenn die Anzeige gerade von einer LED auf die andere umspringt. Ist die eingeschaltete Zeit zu lang, leuchtet die grüne LED, ist sie zu kurz, leuchtet die rote.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.1. Nach dem Einstellen des Gerätes muß eine der beiden Leuchtdioden leuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Spezielle Arbeiten

Für die verlässliche Anzeige der Belichtungszeit ist die genaue Eichung der Skala eine Vorbedingung. Dazu zieht man die Werte heran, die ein handelsüblicher Belichtungsmesser liefert, und überträgt diese (bei verschiedenen Belichtungsstärken) auf die Skala des Gerätes. Diese Werte gelten dann jeweils für eine bestimmte Belichtungszeit, z. B. für 1/30 Sekunde. Andere Einstellungen werden folgendermaßen berücksichtigt: Die nächst kleinere Blendenzahl (5,6) erfordert die halbe Belichtungszeit, die nächst höhere (11) die doppelte. Ein Beispiel: Anzeige des Belichtungsmessers 1/30 Sekunde bei Blende 8. Es soll mit Blende 11 fotografiert werden: 11 ist die nächste Blendenzahl nach 8; die Belichtungszeit muß also verdoppelt werden = 1/15 Sekunde.



Schaltungsbeschreibung

Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers 1 erhält über den Spannungsteiler R_1 /LDR eine Vorspannung, deren Höhe wegen des LDR lichtabhängig ist. An Eingang $E+$ befindet sich eine über das Potentiometer R_3 einstellbare Spannung. Liegt an $E-$ eine niedrigere Spannung als an $E+$, ist der Ausgang des OP 1 leitend (1). Von den beiden antiparallel geschalteten Anzeigedioden leuchtet die rote. An ihrer Katode liegen sich dann +4,5 V, an der Anode über den Widerstand R_6 die Ausgangsspannung des Schmitt-Triggers, also +9 V.

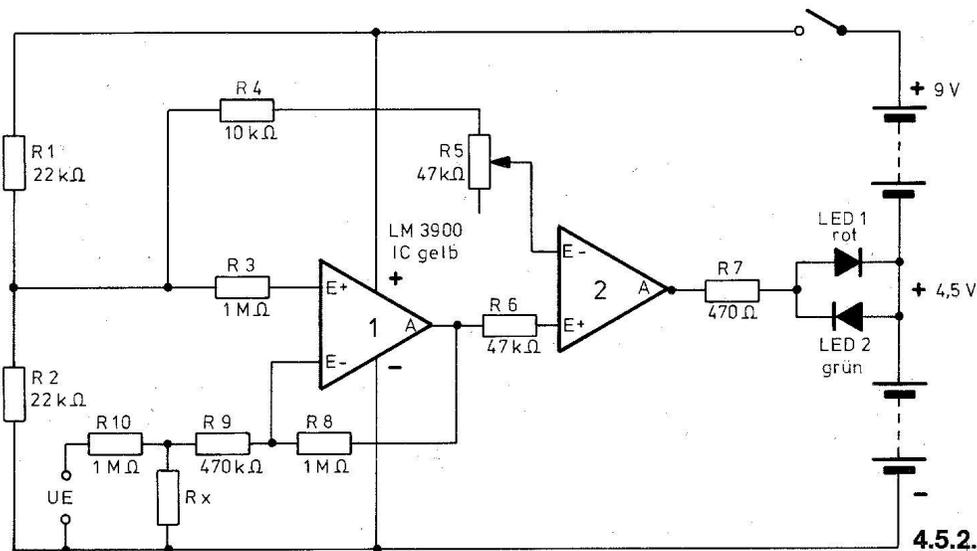
Bleibt die Spannung an E- des OP 1 niedriger als an E+, wird die Schwelle des Schmitt-Triggers nicht überschritten. Am Ausgang liegen dann 0 V. Es leuchtet die grüne LED, denn sie ist mit der Katode an 0 V und mit der Anode an +4,5 V geschaltet. Beim Umspringen der Anzeige von Rot auf Grün oder umgekehrt ist der genaue Wert der Belichtungszeit ermittelt worden. Dann entspricht der Widerstandswert des Potentiometers dem des LDR, und damit ist die Spannung an E+ genauso groß wie an E-.

4.5.2. Voltmeter

Das Gerät dient zur Anzeige von unbekanntem Spannungen. Zur Angabe verwendet es jedoch kein Meßwerk, sondern Leuchtdioden. Dabei leuchtet die rote LED, wenn die Spannung niedriger als der eingestellte Wert ist, die grüne, wenn sie darüber liegt. Die zu messende Spannung entspricht dem eingestellten Wert, wenn die Anzeige der Leuchtdioden von Rot auf Grün umspringt. Zur Spannungsmessung verbindet man den Eingang U_E mit den Meßpunkten der Prüfschaltung.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.2. Beim Einschalten des Gerätes muß die rote LED leuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Zum Eichen des Gerätes wird an den Eingang U_E eine Batterie mit 4,5 V Spannung angelegt. Dabei ist darauf zu achten, daß der Minus-Pol der Schaltung gegen den Minus-Pol der Batterie liegt. Für R_x muß dann ein Widerstand von 100 k Ω eingesetzt werden. Mit dem Potentiometer regelt man so lange, bis die grüne LED gerade zu leuchten beginnt. Weitere Messungen können dann durchgeführt werden, wenn für R_x der in der Tabelle angegebene Wert jeweils eingesetzt wird.



Schaltungsbeschreibung

Die Schaltung des Spannungsindikators besteht aus dem Gleichspannungsverstärker OP 1 und dem Schwellwertschalter OP 2 sowie zwei Leuchtdioden. Durch die Verwendung eines stark gegengekoppelten Gleichspannungsverstärkers erreicht man einen hohen Eingangswiderstand. Das ist z. B. von besonderer Bedeutung, wenn in einer Schaltung Spannungen an sehr hohen Widerständen (ca. 100 k Ω) gemessen werden sollen. Herkömmliche Meßgeräte versagen hier. Das relativ niederohmige Meßwerk verschiebt nämlich die Spannung, weil es parallel zu einem hochohmigen Widerstand angelegt werden muß.

Der nichtinvertierende Eingang E+ des OP 1 erhält eine feste Vorspannung über den Spannungsteiler R₁/R₂. Die Vorspannung an E- wird durch die Widerstände R₆/R₉ und R_X bestimmt. R₁₀ dient zur Entkopplung des Gerätes vom Meßpunkt in einer zu untersuchenden Schaltung.

OP 1 arbeitet als linearer Verstärker mit Verstärkungsfaktor 2.

Der nachgeschaltete Schmitt-Trigger verarbeitet das Signal vom Ausgang des OP 1. Den Schwellwert (Eichung) stellt man mit R₅ ein. Man erreicht dadurch eine eindeutige Anzeige mit den Leuchtdioden.

Da die Dioden an +4,5 V liegen, der Ausgang des Schmitt-Triggers aber den Zustand 1 (+9 V) oder den Zustand 0 (0 V) annimmt, leuchtet entweder die rote oder die grüne LED, je nach Polung.

Die Spannung, die gemessen werden soll, läßt sich mit dem Widerstand R_X bestimmen. Die Tabelle gibt seine Werte für 1 bis 10 V an:

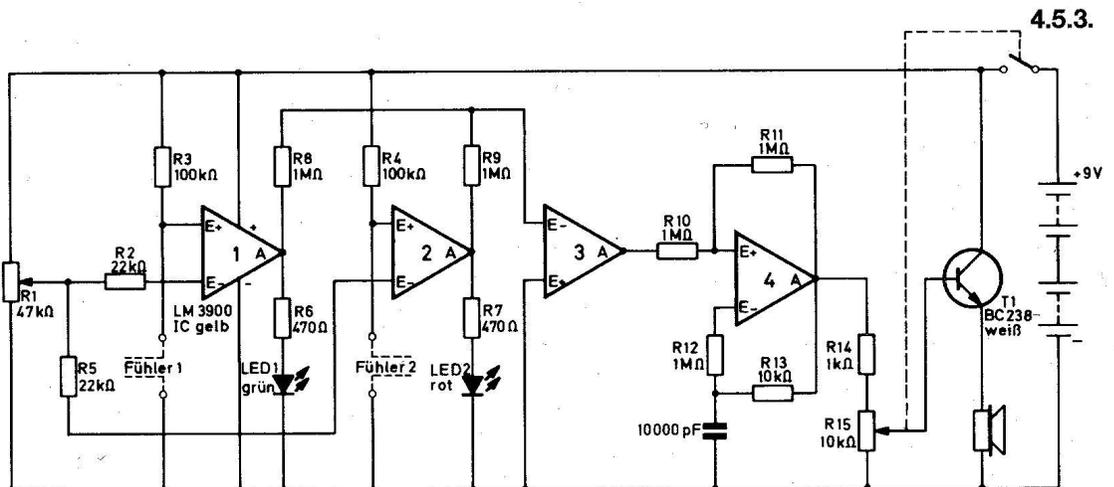
R _X	Spannung U _E
500 kΩ = 2mal 1 MΩ parallel	1 V
267 kΩ = 220 kΩ + 47 kΩ in Reihe	2 V
220 kΩ	3 V
100 kΩ	4 V
62 kΩ = 100 kΩ + 220 kΩ parallel	5 V
57 kΩ = 47 kΩ + 10 kΩ in Reihe	6 V
50 kΩ = 2mal 100 kΩ parallel	7 V
47 kΩ	8 V
42 kΩ	9 V
36 kΩ	10 V

Für die Spannungsmessung in einem engen Bereich bietet sich der Einsatz eines Potentiometers anstelle von R_X an. Dazu müßte dann aber eine geeichte Skala hergestellt werden.

4.5.3. Bodenfeuchtigkeits-Kontrollgerät

Bei einer Neuaussaat, z. B. im Frühbeet, ist es sehr wichtig, daß ein bestimmter Feuchtigkeitsgehalt des Bodens nicht unterschritten wird.

Dieses Gerät ermöglicht eine solche Kontrolle. Es ist mit zwei Fühlerelementen ausgestattet, so daß sich gleichzeitig zwei voneinander unabhängige Bereiche überwachen lassen.



Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.3. Um die Funktion des Gerätes zu überprüfen, können auch mit Wasser gefüllte Behälter verwendet werden. Ragt nach dem Einschalten des Gerätes eines der beiden Fühler Elemente nicht in den Wasserbehälter – das entspricht der feuchten Erde –, leuchtet die entsprechende LED, und der Lautsprecher strahlt einen Warnton ab, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen. Über die Herstellung des Fühlers s. Kap. 1.

Schaltungsbeschreibung

Die Fühler 1 und 2 sind mit je einem Schwellwertschalter OP 1 und OP 2 verbunden. Bei ausreichender Feuchtigkeit muß das Potentiometer R_1 so eingestellt sein, daß die Leuchtdioden nicht leuchten. Die Eingänge E– der beiden Schwellwertschalter erhalten dann ein ausreichend positives Spannungspotential, so daß sie nicht ansprechen. Reicht die Feuchtigkeit nicht aus; erhält der betreffende Eingang E+ des Schwellwertschalters über R_3 bzw. R_4 ein positives Spannungspotential. Die zu dem Fühler gehörige LED leuchtet auf.

Das positive Ausgangssignal der Schwellwertschalter kehrt sich im Inverter OP 3 um und schaltet den nachgeschalteten astabilen Multivibrator ein. Dessen Schwingungen werden im Endstufentransistor verstärkt, und der Lautsprecher in der Emitterstrecke strahlt einen zusätzlichen Warnton ab.

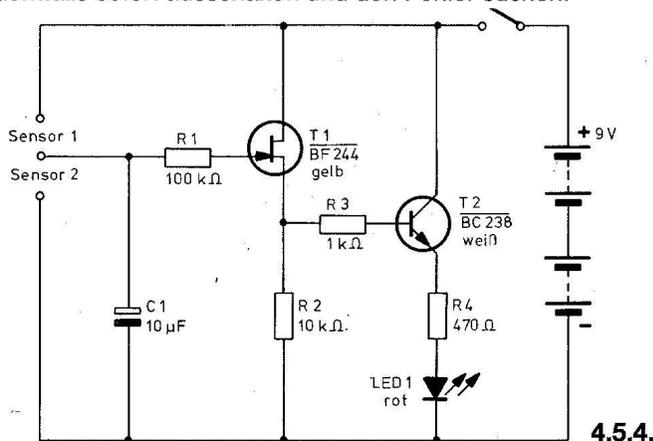
4.5.3.1. Schaltungsvariante

Soll, um nächtliche Störungen zu vermeiden, das akustische Signal nur am Tage ertönen, kann man den Widerstand R_{14} durch einen LDR ersetzen. Bei Dunkelheit erhöht sich sein Widerstand, so daß die Basis des Transistors nicht mehr angesteuert wird und damit kein Ton vom Lautsprecher abgestrahlt werden kann.

4.5.4. Dimmerschaltung

Mit diesem Gerät kann man die Helligkeit einer Lampe über einen Sensorschalter stufenlos regeln.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.4. Nach dem Einschalten des Gerätes muß die Helligkeit der LED ansteigen, wenn man mit dem Finger den Sensor 1 berührt, sie muß abfallen, wenn man mit dem Finger den Sensor 2 berührt, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Beim Berühren des Sensors 1 wird über den Hautwiderstand der Kondensator C_1 mit einer positiven Spannung aufgeladen. Durch den hohen Eingangswiderstand des Feldeffekttransistors, der als Impedanzwandler geschaltet ist, wird ein

Entladen des Kondensators C_1 verhindert. Die Kondensator-Spannung steht damit auch an der Basis des Transistors T_2 zur Verfügung. Die LED leuchtet im Verhältnis zur Spannung des Kondensators C_1 . Berührt man dagegen den Sensor 2, entlädt sich der Kondensator C_1 und die Helligkeit der LED nimmt in diesem Verhältnis ab.

4.5.5. Schmutzwasser-Tester

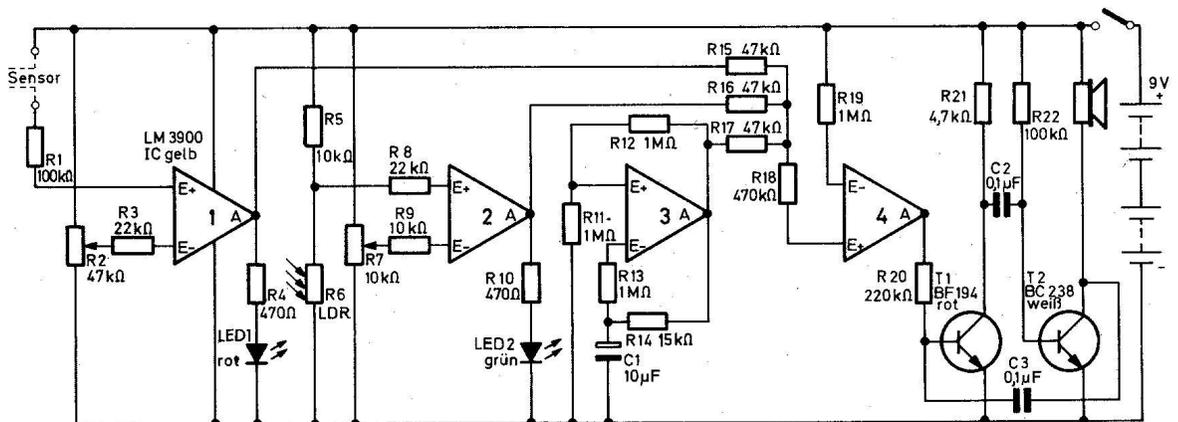
Mit diesem Gerät läßt sich elektronisch der Reinheitsgrad einer Wasserprobe überwachen. Zwei Abtastelemente – ein Feuchtigkeitsfühler (Sensor) und ein LDR – liefern die entsprechenden Meßdaten. Der Sensor spricht nur an, wenn in dem zu überwachenden Behälter Wasser vorhanden ist; der LDR registriert Verunreinigungen, die sich in geringerer Lichtdurchlässigkeit ausdrücken.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.5. Nach dem Einschalten des Gerätes muß der Sensor im Wasser sein und der LDR abgedunkelt werden. Dann müssen beide LED leuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Spezielle Arbeiten

Um das Gerät zur Überwachung einzusetzen, muß der Sensor in ein Glas mit klarem Leitungswasser eintauchen. Dieses Glas ist vor dem LDR so aufzustellen, daß das Licht einer Taschenlampe durch die Flüssigkeit hindurch auf den LDR fallen kann.

Als Verunreinigung kann man Tinte oder verschmutztes Wasser hinzugeben. Ist ein bestimmter Schmutzgehalt überschritten, der mit dem Potentiometer R_7 eingestellt werden kann, leuchtet die grüne LED.



4.5.5.

Schaltungsbeschreibung

Tauchen die Fühler des Sensors in Wasser, führt der OP 1 an seinem Ausgang ein 1-Signal, die rote LED leuchtet. Potentiometer R_2 muß dabei in Mittelstellung stehen. Damit wird angezeigt, daß Wasser im Behälter vorhanden ist.

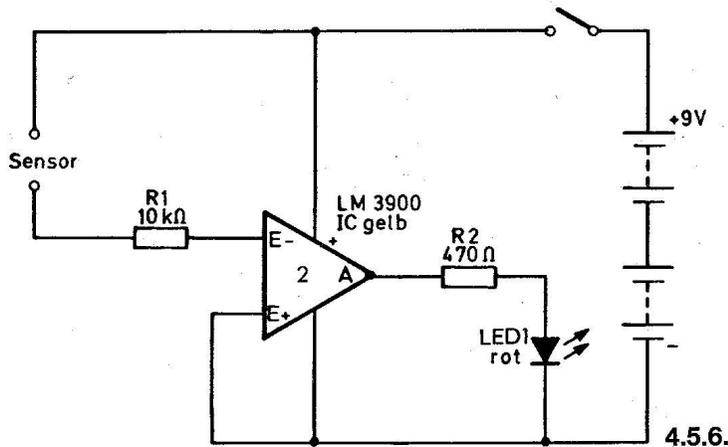
Tritt nun im Wasser eine Verunreinigung auf, z.B. bei Zugabe von Tinte, so verringert sich die Lichtdurchlässigkeit, und es erhöht sich der Widerstandswert des LDR. Bei einem bestimmten Wert – er ist mit dem Potentiometer R_7 einstellbar – spricht der Schwellwertschalter OP 2 an. Sein Ausgang führt dann ebenfalls ein 1-Signal, die grüne LED leuchtet.

Die Ausgangssignale von OP 1 und OP 2 werden über R_{15}/R_{16} der UND-Schaltung am OP 4 zugeführt. Gleichzeitig erhält OP 4 über R_{17} vom astabilen Multivibrator OP 3 im Wechsel ständig 0- bzw. 1-Signale, so daß der Ausgang des UND ebenfalls im Wechsel 0- und 1-Signale führt. Damit wird der Tongenerator T_1/T_2 ständig ein- und ausgeschaltet, so daß der vom Lautsprecher abgestrahlte Ton eine rhythmische Unterbrechung erfährt.

4.5.6. Sensortaster

Im Gegensatz zu herkömmlichen Schaltern besitzt ein Sensorschalter keine beweglichen Teile. Der Kontakt wird allein durch Berühren einer Sensortaste geschlossen bzw. geöffnet.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.6. Nach dem Einschalten erlischt beim Berühren der Sensortaste die rote LED, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Beim Einschalten des Gerätes leuchtet die LED, da der Ausgang des Operationsverstärkers ein 1-Signal führt.

Wird der Sensorkontakt mit dem Finger berührt, wirkt der menschliche Körper als Antenne für elektromagnetische Felder. Der Eingang E- des Verstärkers erhält einen positiven Spannungsimpuls, und die LED wird dunkler.

Der Sensoreffekt läßt sich deutlicher machen, wenn mit dem Finger eine Verbindung zwischen der Sensortaste und +9 V hergestellt wird. Der Eingang E- des Verstärkerelements erhält dann ein höheres positives Spannungspotential, als es durch die Brummspannung allein hervorgerufen wird. Damit ist die Anzeige sicherer.

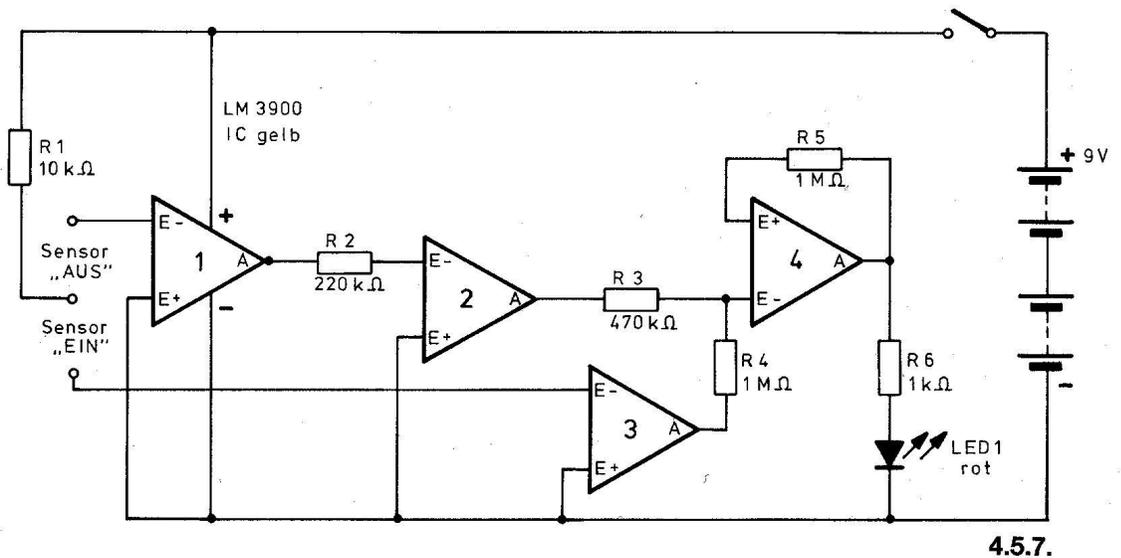
4.5.6.1. Schaltungsvariante

Dem Verstärkerelement kann ein Inverter OP 2 nachgeschaltet werden. In diesem Fall leuchtet die LED im Ruhezustand nicht, sondern erst beim Berühren des Tastkontaktes, der als Inverter das Ausgangssignal des Verstärkers OP 1 umkehrt.

4.5.7. Sensorschalter

Dieser Sensorschalter besitzt zwei Sensortasten, so daß die Schaltzustände „Ein“ und „Aus“ durch separate Kontakte erzeugt werden können. Das kann z. B. dann wichtig werden, wenn auf einem Förderband Ein- und Ausgabe räumlich weit auseinanderliegen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.7. Beim Berühren der Sensortaste „Ein“ muß die LED aufleuchten, beim Berühren der Taste „Aus“ muß sie erlöschen, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



Schaltungsbeschreibung

Der Ein- bzw. Ausschaltzustand wird durch den bistabilen Multivibrator OP 4 ausgelöst und von der LED angezeigt. Die Sensortasten sind jeweils mit dem Eingang E- eines Verstärkerelements OP 1 und OP 3 verbunden.

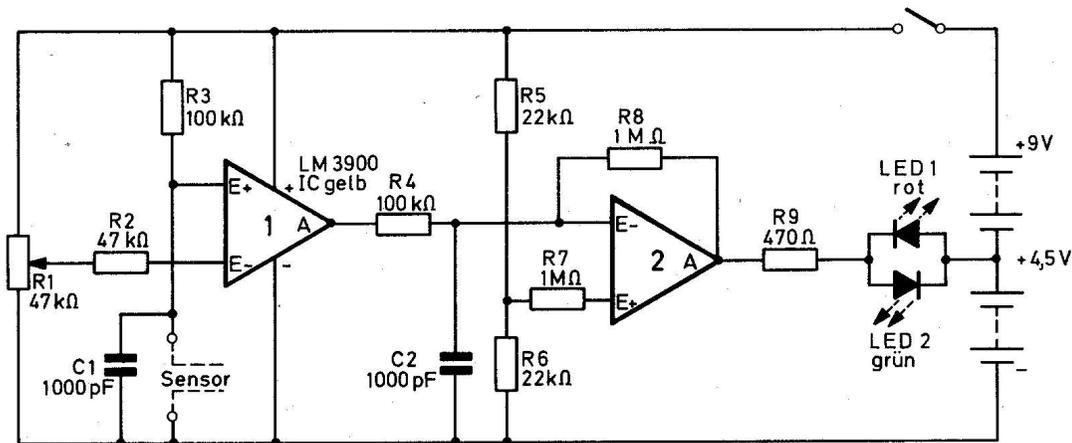
Beim kurzzeitigen Berühren der Sensortaste „Ein“ erhält der Eingang E- von OP 3 ein positives Spannungspotential, sein Ausgang führt dann ein 0-Signal. Dieses Signal gelangt auf den Eingang E- des bistabilen Multivibrators OP 4 – sein Ausgang nimmt dann den Zustand 1 an, und die LED leuchtet.

Wird nun die Sensortaste „Aus“ betätigt, führt der Ausgang des Verstärkerelementes OP 1 ebenfalls ein 0-Signal, das aber durch den nachgeschalteten Inverter OP 2 invertiert wird. Dadurch gelangt auf den Eingang E- des bistabilen Multivibrators OP 4 ein 1-Signal, sein Ausgang führt dann 0, und die LED erlischt.

4.5.8. Lügendetektor

Mit dem folgenden Gerät lassen sich Änderungen des Körperwiderstandes feststellen, wie sie z. B. bei Schweißbildung auf der Haut hervorgerufen werden. Da bei vielen Menschen, wenn sie die Unwahrheit sagen, an den Händen leichte Schweißbildung auftritt, kann dieses Gerät auch als Lügendetektor eingesetzt werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.5.8. Nach dem Einschalten des Gerätes den Potentiometerknopf nach links drehen und den Sensor mit trockenem Finger berühren. Die rote LED leuchtet. Am Potentiometer dann so weit regeln, daß keine LED leuchtet. Beim Berühren des Sensors mit feuchtem Finger muß nun die grüne LED aufleuchten, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.5.8.

Schaltungsbeschreibung

Ändert sich beim Berühren des Sensors mit angefeuchtetem Finger der elektrische Widerstand der Haut, verringert sich die positive Spannung am Eingang E+ von OP 1 und am Ausgang A, wird die Spannung geringer. Damit spricht der Verstärker OP 2 an. Das Spannungspotential an seinem Ausgang erhöht sich so weit, daß über die grüne LED gegen den Bezugspunkt mit +4,5 V eine Spannung abfallen kann. Die grüne LED leuchtet dann.

4.5.8.1. Schaltungsvariante

Das Gerät läßt sich auch zum Vergleichen von Widerständen einsetzen. Zum Eichen wird der Sensor mit einem Widerstand von 100 kOhm überbrückt. Das Potentiometer wird so eingestellt, daß beide LED nicht leuchten. Unbekannte Widerstände werden dann an den Sensor gelegt. Ist der Wert dieses unbekanntes Widerstandes größer als 100 kOhm, leuchtet die rote LED, ist er kleiner, leuchtet die grüne LED. Will man einen anderen Vergleichswiderstand heranziehen, muß R₃ ausgetauscht werden. Er darf jedoch nicht unter 2,2 kOhm absinken.

4.6. Rundfunk-Empfangstechnik

In älteren Rundfunkempfängern werden Drehkondensatoren verwendet, mit denen Sender eingestellt werden. Bei den im folgenden beschriebenen Geräten verzichtet man auf den Drehkondensator und verwendet dafür ein neues modernes Bauelement, die Kapazitätsdiode.

4.6.1. UKW-Empfänger

Das Gerät nimmt Rundfunksender im UKW-Bereich auf. Durch Verändern der Spule, z. B. durch Verringern der Windungszahl, können auch andere Bereiche erfaßt werden, wie etwa Flugfunk und Amateurfunk.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.6.1. Nach dem Einschalten des Gerätes muß aus dem Lautsprecher ein starkes Rauschen hörbar sein, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Setzt das Rauschen jedoch ein, wird mit dem Potentiometer R_1 ein Sender eingestellt.

Wichtig

Der Aufbau des Gerätes muß sehr sorgfältig vorgenommen werden. Auf sehr kurze Leitungen ist großer Wert zu legen.

Es ist notwendig, den BF 244 und die Kapazitätsdiode von unten zu beschalten, damit die Klemmfedern nicht als kleine Induktivitäten wirken und die Funktion des Gerätes in Frage stellen können (Abb. 4.7.).

Aufbau der Spule L_1 :

Länge	40 mm
L_1	30 mm
L_2	10 mm
Durchmesser	9 mm
Windungen	7
davon L_1	5
L_2	2

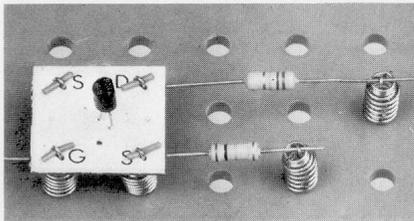


Abb. 4.7.

Schaltungsbeschreibung

Das Kernstück der UKW-Empfängerschaltung ist das Pendelaudio mit dem FET BF 244. Als Schwingungsschaltung wurde der sogenannte Hartley-Oszillator mit der angezapften Spule gewählt, bei dem der Schwingungseinsatz weich und sicher erfolgt. Die Frequenz wird durch den Schwingkreis $L_1/D_1/C_2/C_3$ bestimmt. Mit dem Potentiometer R_1 läßt sich die Spannung an der Kapazitätsdiode verändern. Diese nimmt dann andere Kapazitätswerte an und verschiebt damit die Empfangsfrequenz des Schwingkreises. Durch die Spannungsänderung an R_1 stimmt man also den Empfänger ab. Die Empfindlichkeit der Schaltung wird durch die Überlagerung der Empfangsfrequenz mit einer relativ langsamen Schwingung (ca. 50 kHz) bewirkt. Während der positiven Halbwelle dieser Schwingung arbeitet die Schaltung als Oszillator, während der negativen Halbwelle setzen die hochfrequenten Schwingungen aus. Die Stufe „pendelt“ also im Takt der Überlagerungsfrequenz zwischen dem schwingenden und nicht schwingenden Zustand hin und her.

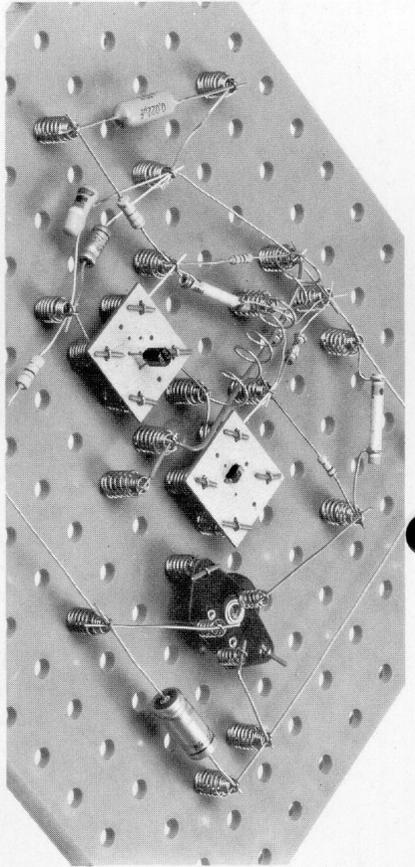


Abb. 4.8.

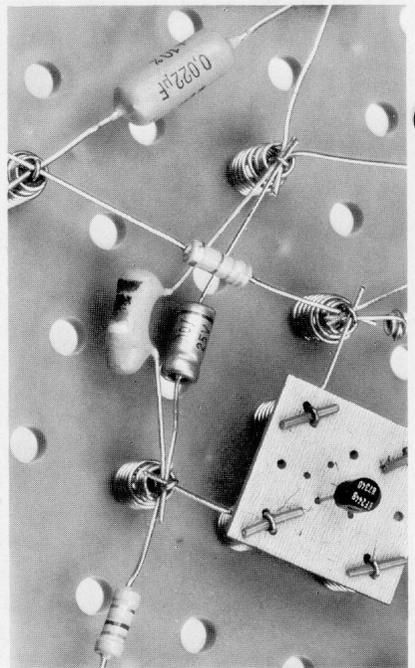
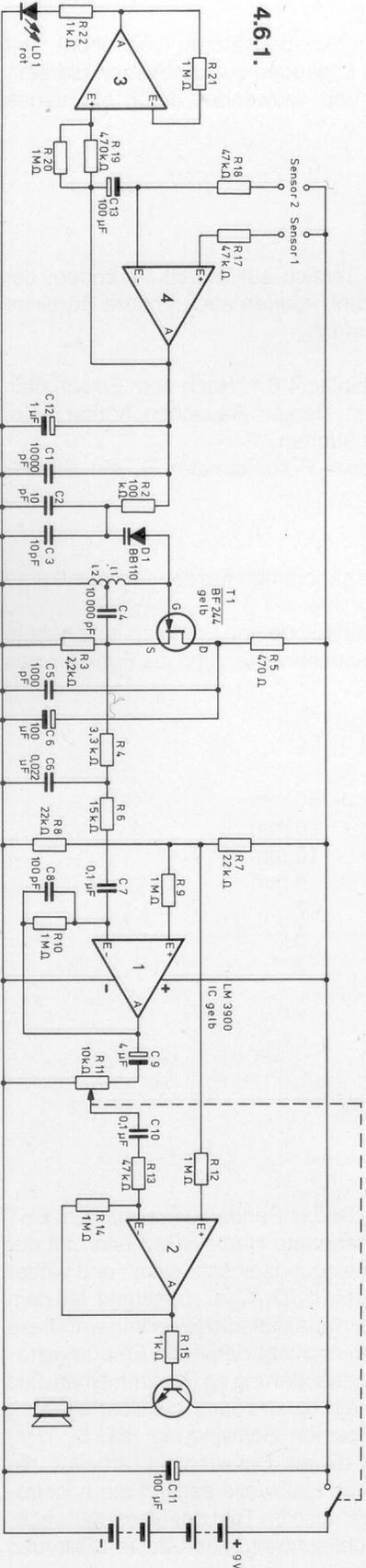
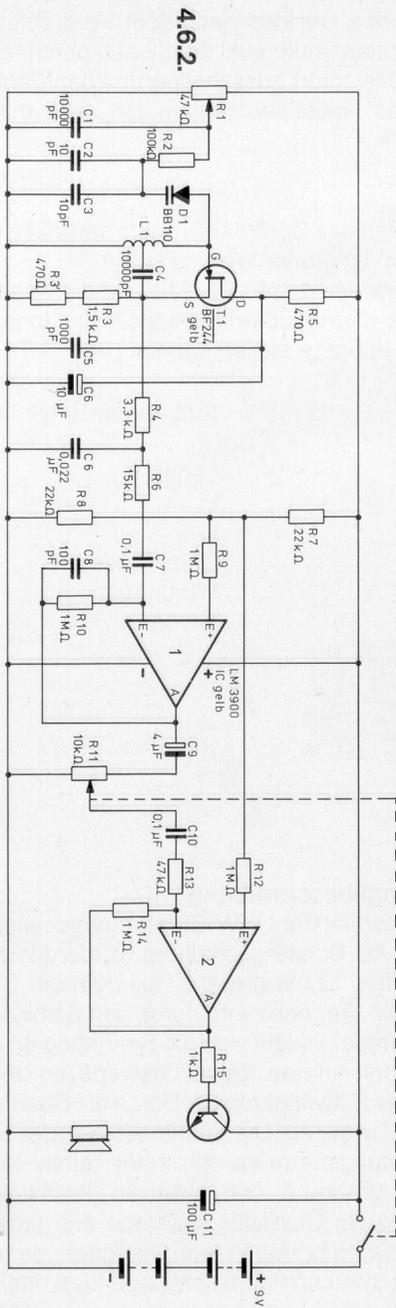


Abb. 4.9.



Dieses Verhalten entspricht dem eines entdämpften Schwingkreises und bewirkt die große Empfindlichkeit der Schaltung. Zugleich wird durch das Ein- und Aussetzen der Schwingungen eine Demodulation des hochfrequenten Signals vorgenommen, so daß am Schwingkreis gleich die Niederfrequenz anfällt. Die Pendelschwingung wird durch R_3/C_4 bestimmt, d. h. der Kondensator lädt und entlädt sich im Rhythmus der Pendelfrequenz über R_3 .

Um das Signal von der Pendelfrequenz zu befreien, wird vor den als Verstärker geschalteten OP 1 ein Tiefpaßfilter R_4/C_6 eingefügt. Weiter wirken im Gegenkopplungsweig des OP 1 $R_6/C_8/R_{10}$ als aktives Tiefpaßfilter. Damit wird eine weitere Siebung der 50 kHz-Schwingungen vorgenommen, OP 2 dient als Nachverstärker. Er steuert eine Transistor-Endstufe an. Die Lautstärke läßt sich mit dem Potentiometer R_{11} vor OP 2 regeln.

C_{11} dient als sog. Puffer. Bei plötzlich einsetzenden starken Signalen vermag die Batterie nicht den erforderlichen Strom aufzubringen. Der Kondensator liefert dann Energie nach: Der Empfang erfolgt unverzerrt.

4.6.2. UKW-Empfänger mit Sensorabstimmung

Dieses UKW-Radio wird durch Sensortasten auf den gewünschten Sender abgestimmt. Dabei dient die eine Taste zum automatischen Vorlauf der Abstimmfrequenz und die andere zum Rücklauf.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.6.2. Besonderheiten siehe 4.6.1. Beim Einschalten des Gerätes muß ein starkes Rauschen, das durch die Pendelschwingungen hervorgerufen wird, hörbar werden, andernfalls sofort ausschalten und den Fehler suchen.

Setzt das Rauschen ein, wird mit den Sensoren ein Sender gesucht. Wünscht man einen anderen, betätigt man wieder eine Sensortaste, bis das gewünschte Signal ertönt. Die Sensorabstimmung erfaßt den ganzen UKW-Rundfunkbereich. Als Frequenzanzeige dient eine LED. Sie leuchtet am hellsten, wenn die eingestellte Empfangsfrequenz am höchsten ist. Sie leuchtet nur schwach am niederfrequenten Ende des Bereichs.

Schaltungsbeschreibung

Im Schaltbild erkennt man den UKW-Empfänger nach 4.6.1. mit der Pendelstufe BF 244, den Verstärkern OP 1 und OP 2 sowie die Lautsprecher-Endstufe mit dem Transistor T_2 . Während bei dem Gerät nach 4.6.1. die Kapazitätsdiode D_1 die Abstimmung über ein Potentiometer erhielt und so die Frequenz des Schwingkreises $L_1/C_2/C_3/D_1$ bestimmt wurde, wird hier die Abstimmspannung über OP 3 gewonnen.

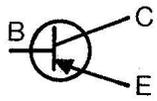
Betätigt man die Sensortaste 1, erhält der Eingang E+ des OP 3 über R_{17} eine positive Spannung, und die Ausgangsspannung gleitet bis zum 1-Signal. Der Kondensator C_{13} wird aufgeladen und hält längere Zeit die Spannung. Je höher die Güte des C_{13} ist, desto konstanter bleibt die Spannung. Betätigt man die Sensortaste 2, wird C_{13} langsam entladen. Die jeweils an C_{13} anstehende Spannung wird über R_{16} und C_{12} gesiebt und der Kapazitätsdiode D_1 zur Abstimmung zugeführt. Ist C_{13} entladen, also die niedrigste Frequenz im Abstimmbereich erreicht, muß man die Sensortaste 1 drücken und so C_{13} wieder aufladen. Mit der höchstmöglichen Spannung an C_{13} und damit auch an D_1 wird die höchste Abstimmfrequenz erreicht. Die an C_{13} anliegende Spannung wird über die hochohmigen Widerstände R_{19}/R_{20} auch dem Eingang E+ des OP 4 zugeführt. Er setzt die Eingangsspannung an E+ in entsprechenden Strom im Ausgang um. Dieser als Impedanzwandler geschaltete Operationsverstärker gestattet den Betrieb einer LED als Frequenzanzeige, ohne daß der durch sie hindurchfließende Strom die Ladung des Kondensators C_{13} beeinträchtigt. Man kann darum die Stufe mit OP 4 auch als Trennstufe auffassen.

Sachwortverzeichnis

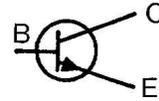
A	Aktive Filter – Schaltungen, in denen bestimmte Frequenzbereiche bevorzugt verstärkt werden	72
	Antiparallelschaltung – zwei parallelgeschaltete, gegensinnig gepolte Dioden	36
	Anode – positiver Pol, z. B. einer Diode oder Röhre	21
B	Basis – Steuerelektrode eines Transistors	25
C	Candela – Maßeinheit für die Lichtstärke	24
D	Digitaltechnik – Elektronische Schaltungen, die mit nur zwei Schaltzuständen arbeiten	60
	Dotieren – Zusetzen von Fremdatomen zu Germanium oder Silizium, um die Leitfähigkeit zu erhöhen	20
	Durchbruchspannung – Spannung, bei der ein pn-Übergang in Sperrichtung leitend wird	23
E	Elektronen – negative Ladungskörper	17
	Elektronenüberschuß – Ladungszustand am negativen Pol einer Spannungsquelle oder eines Kondensators	20
	Emitter – eine Elektrode eines Transistors	25
F	Feldeffekt-Transistor (F E T) – leistungslos steuerbarer Transistor	40
	Funktionstabelle – Tabelle, in der die Abhängigkeit verschiedener Werte voneinander dargestellt wird	60
G	Galvanische Kopplung – direkte Verbindung zweier Bauelemente	30
	Gegenkopplung – Rückführung eines Teils der Ausgangsspannung eines Verstärkers auf den Eingang	
H	Halbleiter – Material, dessen Leitfähigkeit von bestimmten Bedingungen abhängt	20
	Hochpaß-Filter – Schaltung, die bevorzugt hohe Frequenzen passieren läßt	73
	Hysterese – Verzögerungsschaltung	54
I	IC (engl. integrated circuit) – integrierter Schaltkreis (IS)	30
	Integrierter Schaltkreis – zu einer Einheit zusammengefaßte elektronische Bauelemente in Miniaturtechnik	30
	Inverter – Schaltung zum Umkehren elektrischer Signale	34
	Invertieren – umkehren, z. B. ein elektrisches Signal	31
K	Kapazität – Aufnahmefähigkeit eines Kondensators für elektrische Ladungen	19
	Kapazitätsdiode – Diode, deren Kapazität sich am pn-Übergang mit einer angelegten Spannung ändert	38
	Katode – negativer Pol, z. B. einer Diode oder Röhre	21
	Kennlinie – graphische Darstellung der Abhängigkeit eines Bauelements bei unterschiedlichen Bedingungen	29
	Kollektor – eine Elektrode eines Transistors	25

L	Leistung, elektrische – Produkt aus Spannung und Stromstärke; $P = U \cdot I$	19
	Leuchtdiode (LED) – Diode, die beim Stromdurchgang Licht emittiert	20
	Lichtstärke – Intensität der Strahlung einer Lichtquelle	24
N	NAND-Schaltung – Grundsaltung der Digitaltechnik	63
	n-Kanal-FET – Feldeffekt-Transistor, bei dem das leitende Material n- dotiert ist	41
	n-Leitfähigkeit – Leitfähigkeit, die durch Elektronenüberschuß (negativ) im Halbleitermaterial hervorgerufen wird	20
	NOR-Schaltung – Grundsaltung der Digitaltechnik	61
O	Norton Operationsverstärker – Verstärker bestimmter Bauart, benannt nach dem Erfinder Norton	32
	ODER-Schaltung – Grundsaltung der Digitaltechnik	60
	Ohmsches Gesetz – Gesetz, das die Abhängigkeit von Spannung, Stromstärke und Widerstand in einem Stromkreis regelt; $U = R \cdot I$	18
P	Operationsverstärker – Verstärker mit zwei Eingängen und einem Ausgang	30
	Photonen – Lichtpartikel	24
	p-Leitfähigkeit – Leitfähigkeit, die durch Elektronenmangel (positiv) im Halbleitermaterial – auch Löcherstrom genannt – hervorgerufen wird	21
R	pn-Übergang – Grenzschicht, die sich zwischen p- und n- dotiertem Material aufbaut	21
	Rekombination – Vereinigung von positiven und negativen Ladungsträgern	21
S	Schaltensymbole – international gebräuchliche Abkürzungszeichen für Bauelemente	19
	Spannung – Ladungsunterschied zwischen zwei Elektroden, z. B. einer Stromquelle	17
	Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor – siehe n-Kanal-Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor	43
	Sperrschichtkapazität – Kapazität am pn-Übergang bei angelegter Sperrspannung	39
	Stromkreis – Schaltung, in der die Elektrizität wirksam werden kann	17
	Stromstärke – Durchfluß einer bestimmten Anzahl von Elektronen pro Sekunde in einem Leiter	17
T	Tiefpaß-Filter – Schaltung, die bevorzugt tiefe Frequenzen passieren läßt	72
U	UND-Schaltung – Grundsaltung der Digitaltechnik	62
V	Verlustleistung – elektrische Leistung, die von einem Bauelement in Wärme umgewandelt wird	23
W	Widerstand – elektronisches Bauelement, meistens zur Erzeugung von Spannungsabfällen in Stromkreisen	18

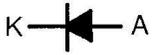
Schaltsymbole



Transistor PNP



Transistor NPN



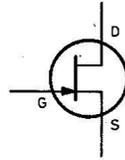
Diode



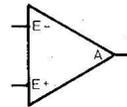
Kapazitätsdiode



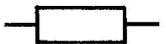
Leuchtdiode (LED)



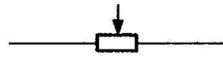
Feldeffekt-Transistor (FET)



Operationsverstärker



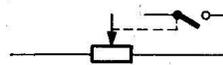
Widerstand



Potentiometer



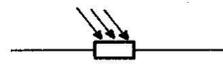
Kondensator



Potentiometer mit Schalter



Elektrolyt-Kondensator



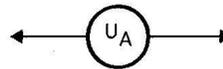
Lichtempfindlicher Widerstand (LDR)



Spule



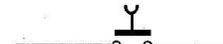
Lautsprecher



Spannungsmeßgerät



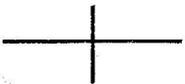
Ein-Ausschalter



Tastenschalter



Verbindungsleitung



Leitungskreuz ohne Verbindung



Leitungskreuz mit Verbindung



Außenanschlüsse



Batterie



Verbindungsline zwischen Einzelteilen, die gleichzeitig bedient werden (z. B. Potentiometer mit Schalter, Zweifach-Drehkondensator)



Antenne



Erde

Verdrahtungsplan-Symbole



Transistor



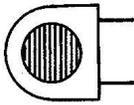
Transistor



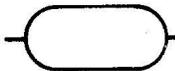
Diode



Widerstand



Lichtempfindlicher Widerstand – LDR



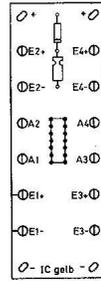
Polyester-Kondensator



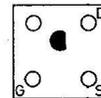
Elektrolyt-Kondensator



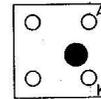
Keramischer Kondensator



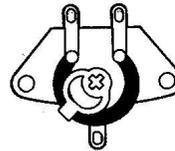
Integrierter Schaltkreis (IC)



Feldeffekt-Transistor (FET)



Leuchtdiode (LED)



Trimpotentiometer



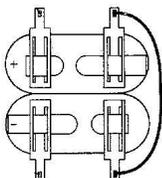
Blanker Schaltdraht



Isolierter Schaltdraht (Enden abisoliert)



Drahtverbindung zum Schaltpult



Batterie

Technische Daten

Transistoren	BF 194 rot	BC 238 weiß
Maximaler Basisstrom	10 mA	100 mA
Maximaler Kollektorstrom	25 mA	100 mA
Maximale Verlustleistung	200 mW	200 mW
Maximale Kollektor-Emitterspannung	15 V	15 V
Stromverstärkungsfaktor	50 – 150	100 – 900
Anwendungsgebiet	HF-NF- und Gleichspannungs-Verstärkung	NF- und Gleichspannungs-Verstärkung

Transistor	BF 244 A / 245 A
Maximale Betriebsspannung	20 V
Drain-Source Kurzschlußstrom	2–6 mA
Maximale Verlustleistung	150 mW
Maximaler Drainstrom	10 mA
Anwendungsgebiet	HF-Verstärkung

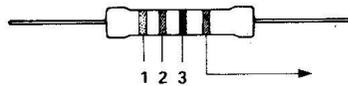
IC	LM 3900
Betriebsspannungsbereich	4–36 V
Ausgangsstrom Linearbetrieb	10 mA
Ausgangsstrom Schalterbetrieb	20 mA
Verstärkungsfaktor	1200–1800fach
Maximaler Eingangsstrom	5 mA

Dioden	BA 318	LED	BB 110
Sperrspannung	30 V		30 V
Durchlaßstrom	100 mA	20 mA	
Durchlaßspannung bei einem Strom von 10 mA	0,7 V		
Strom von 20 mA		1,6 V	
Kapazität bei Sperrspannung 0,5 V			50 pF
Sperrspannung 9 V			15 pF
Sperrspannung 30 V			11 pF
Lichtausbeute		1,5 mCd	

LDR	
Beleuchtungsstärke in Lux	Widerstandswert in Ohm
10 000	12
1 000	110
100	900
10	9 000
dunkel	ca. 10 Mega Ohm

Lautsprecher 100 Ohm Impedanz 1 Watt Leistung

Codetabelle



Toleranz gold 5%
und silber 10%

Farbe	Erster Farbring	Zweiter Farbring	Dritter Farbring
schwarz	0	0	-
braun	1	1	0
rot	2	2	00
orange	3	3	000
gelb	4	4	0000
grün	5	5	00000
blau	6	6	000000
lila	7	7	
grau	8	8	
weiß	9	9	

Widerstände

Auf dem Widerstand sind vier farbige Ringe. Einer dieser Ringe ist silbern oder golden. Wenn man den Farbschlüssel liest, muß sich der silberne oder goldene Ring an der rechten Seite befinden. Dann bedeutet die Farbe des ersten Ringes (von links nach rechts) die erste Zahl, die Farbe des zweiten Ringes die zweite Zahl und die Farbe des dritten Ringes die Anzahl der Nullen.

Ein goldener Ring zeigt an, daß der Widerstand eine Genauigkeitstoleranz von $\pm 5\%$ und der silberne Ring eine von $\pm 10\%$.

(Der übliche Toleranzwert ist 10%. Hieraus erklärt sich, daß die Widerstandswerte solche „eigenartigen“ Zahlen sind. Die Werte sind 10, 12, 15, 18, 27, 33 usw. Ein 10-Ohm-Widerstand kann als Maximalgröße also $10 \text{ Ohm} + 10\% = 11 \text{ Ohm}$ haben. Ein 12-Ohm-Widerstand kann auch 10% weniger sein: $12 \text{ Ohm} - 10\% = 10,8 \text{ Ohm}$. Wenn ein Widerstand mehr als 10% abweicht, fällt er automatisch unter eine andere Wertbezeichnung und wird natürlich entsprechend benannt.

Lege einen Widerstand so vor dich hin, daß der goldene oder silberne Farbring rechts liegt, z. B. gelb, lila, rot (gold). Nun liest du von links ab:

1. Farbring: gelb = 4
 2. Farbring: lila = 7
 3. Farbring: rot = 00
 Ergebnis: 4700 Ohm 4700

oder 1. Farbring: braun = 1
 2. Farbring: rot = 2
 3. Farbring: schwarz = -
 Ergebnis: 12 Ohm 12

Widerstände (Ω)	Farbringe	Widerstände (Ω)	Farbringe
470 Ohm	gelb lila braun	15 000 Ohm	braun grün orange
1 000 Ohm	braun schwarz rot	22 000 Ohm	rot rot orange
1 500 Ohm	braun grün rot	47 000 Ohm	gelb lila orange
2 200 Ohm	rot rot rot	100 000 Ohm	braun schwarz gelb
3 300 Ohm	orange orange rot	220 000 Ohm	rot rot gelb
4 700 Ohm	gelb lila rot	470 000 Ohm	gelb lila gelb
10 000 Ohm	braun schwarz orange	1 000 000 Ohm	braun schwarz grün
		10 000 000 Ohm	braun schwarz blau

Für die im Inhaltsverzeichnis aufgeführten Widerstände können folgende Ersatzwerte verwendet werden:

Widerstände	Ersatzwert	Ersatzwert
470 Ohm	430 Ohm	510 Ohm
1 000 Ohm	910 Ohm	1 100 Ohm
1 500 Ohm	1 300 Ohm	1 600 Ohm
2 200 Ohm	2 000 Ohm	2 400 Ohm
3 300 Ohm	3 000 Ohm	3 600 Ohm
4 700 Ohm	4 300 Ohm	5 100 Ohm
10 000 Ohm	9 100 Ohm	11 000 Ohm
15 000 Ohm	13 000 Ohm	16 000 Ohm
22 000 Ohm	20 000 Ohm	24 000 Ohm
47 000 Ohm	43 000 Ohm	51 000 Ohm
100 000 Ohm	91 000 Ohm	110 000 Ohm
220 000 Ohm	200 000 Ohm	240 000 Ohm
470 000 Ohm	430 000 Ohm	510 000 Ohm
1 000 000 Ohm	820 000 Ohm	1 200 000 Ohm
10 000 000 Ohm		

Keramische Kondensatoren

Für die Bestimmung der Werte keramischer Kondensatoren gilt die gleiche Tabelle wie für die Widerstände. Nur haben sie nicht gold oder silber als vierte (für uns unbedeutende) Farbe. Die Grundfarbe hat übrigens auch keine Bedeutung. Dafür können sie je nach Temperatur- und Spannungsbelastbarkeit einen vierten und fünften Farbring tragen.

Der keramische Kondensator hat zwei Drahtanschlüsse. Wenn du genau hinsiehst, kannst du feststellen, daß diese Anschlüsse nicht den gleichen Abstand vom jeweiligen Ende des Kondensators haben. Der eine Zwischenraum zwischen Kondensator-Ende und Draht ist kürzer. Den legst du immer nach links. Dann kannst du die Werte der drei Farbringe genauso ablesen wie bei den Widerständen:

a) Drei Farbringe

Sie geben die Kapazität in pF an laut Tabelle.

b) Vier Farbringe

Die ersten drei Ringe geben die Kapazität in pF laut Tabelle an, der letzte vierte Farbring bleibt unbeachtet.

c) Fünf Farbringe

Die beiden äußeren Farbringe läßt du unberücksichtigt, die drei mittleren geben dann die Kapazität in pF laut Tabelle an.

d) Aufgedruckte Zahlen

Nicht alle keramischen Kondensatoren haben Farbringe, sondern auf einige ist der Wert als Zahl gedruckt. Steht die Zahl allein, drückt der Wert die Kapazität in pF aus. Folgt ein **kleiner** Buchstabe, gilt die Maßeinheit:

$$\begin{array}{ll}
 p = & \text{pF} \\
 n = & \text{nF} = 1000 \text{ pF} \\
 k \text{ (kilo pF)} = & \text{nF} = 1000 \text{ pF}
 \end{array}$$

Große Buchstaben haben für die Bestimmung des Wertes **keine** Bedeutung.

Wert	Farbcode	oder Aufschrift			
10 pF	braun schwarz schwarz	10	10 p		
100 pF	braun schwarz braun	100	100 p		
470 pF	gelb lila braun	470	470 p		
1 000 pF	braun schwarz rot	1 000	1 000 p	1 k	1 n
10 000 pF	braun schwarz orange	10 000	10 000 p	10 k	10 n

Für die im Inhaltsverzeichnis aufgeführten keramischen Kondensatoren können folgende Ersatzwerte verwendet werden:

Wert	Ersatzwert	Ersatzwert
10 pF	-	11 pF
100 pF	91 pF	110 pF
470 pF	430 pF	510 pF
1 000 pF	820 pF	1 200 pF
10 000 pF	8 200 pF	12 000 pF

Polyester-Kondensatoren

Auf die Polyester-Kondensatoren sind die Werte aufgedruckt, die in pF, nF oder μ F angegeben sind. Die Umrechnung kannst du folgender Aufstellung entnehmen:

Aufschrift	Ersatzwert	Ersatzwert
22 000 pF = 22 nF = 0,022 μ F	0,018 μ F	0,027 μ F
47 000 pF = 47 nF = 0,047 μ F	0,039 μ F	0,056 μ F
100 000 pF = 100 nF = 0,1 μ F	0,082 μ F	0,12 μ F
220 000 pF = 220 nF = 0,22 μ F	0,18 μ F	0,27 μ F

Elektrolyt-Kondensatoren

Auf den Elektrolyt-Kondensatoren sind die Werte in μ F aufgedruckt. Es kann aber auch Zahl/Zahl zu finden sein. Dann hat die Zahl hinter dem Schrägstrich für die Bestimmung des Wertes keine Bedeutung. Ebenfalls keine Bedeutung für den Wert haben die Zahlen, die mit ° C gekennzeichnet sind.

Aufschrift	Ersatzwert	Ersatzwert
4 μ F = 4/.....	3,3 μ F	4,7 μ F
10 μ F = 10/.....	6,8 μ F	15 μ F
100 μ F = 100/.....	-	125 μ F

Weitere Elektronische Geräte

EE 2014 Meßtechnik

EE 2015 Digitaltechnik

EE 2016 Ultraschall

EE 2017 Optoelektronik

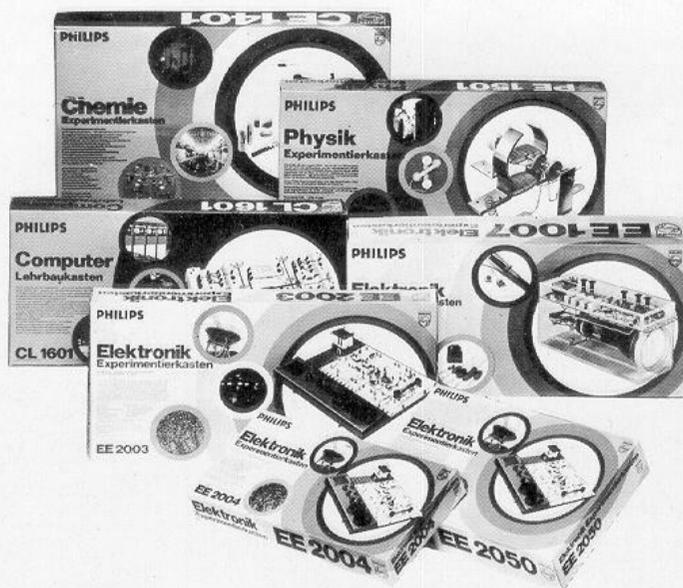
Philips hat das große Programm

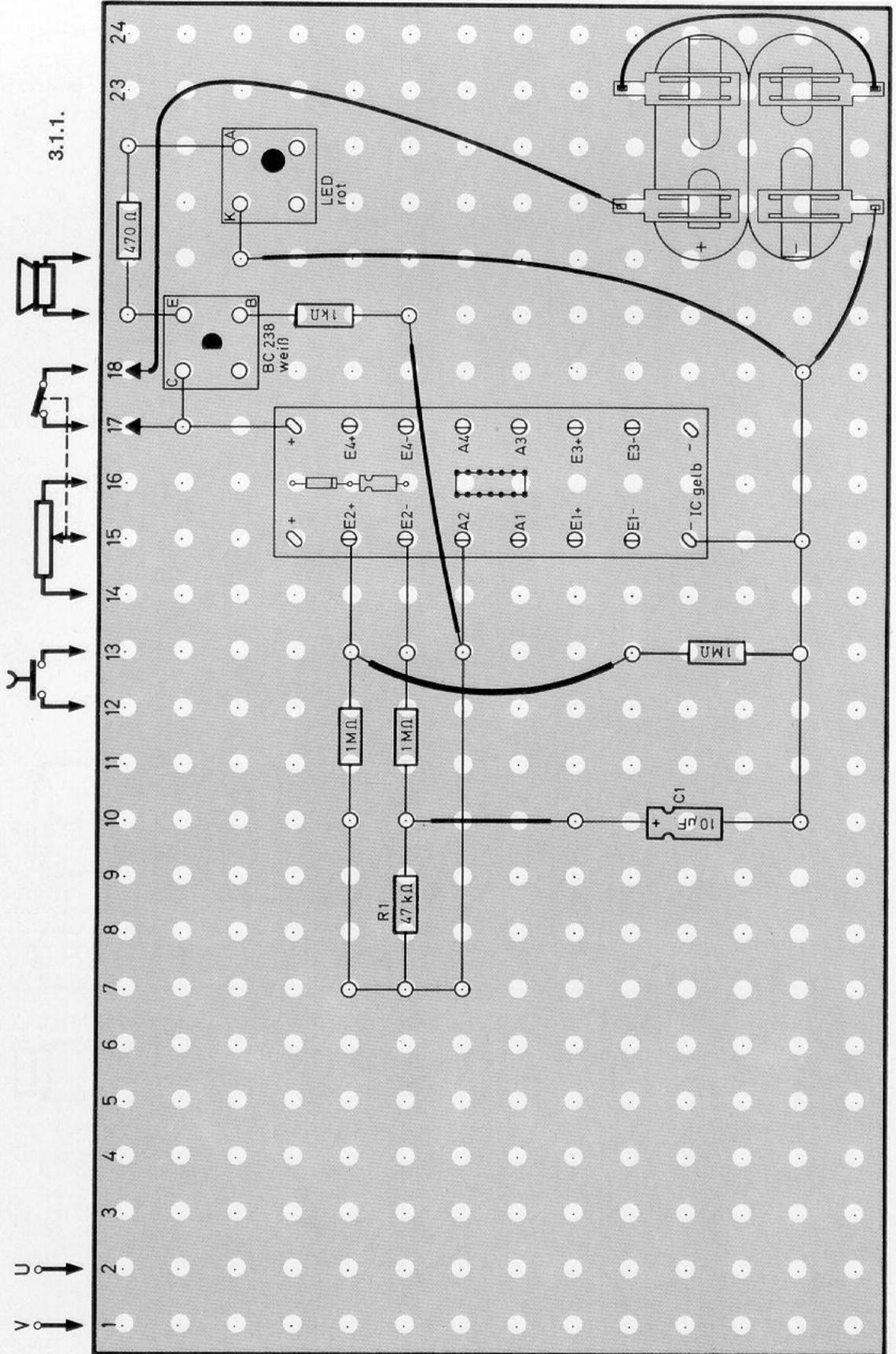
Experimentier- und Lehrbaukästen für Elektronik, Physik, Chemie und Computertechnik.

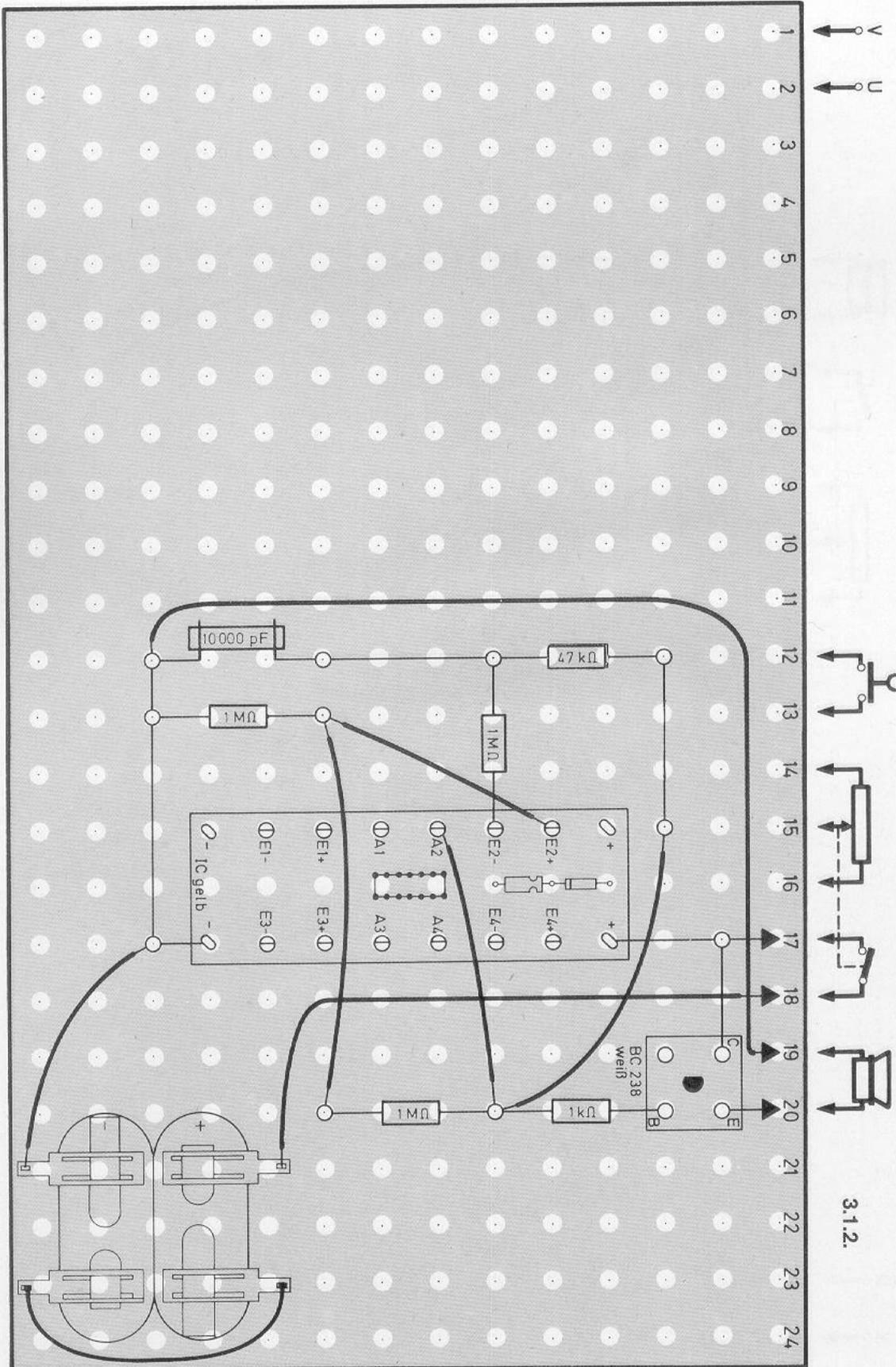
Ergänzungsfähige Serien für jedes Alter: vom Grundschulwissen bis zum ernstzunehmenden

Hobby. Zusammengestellt von Fachleuten aus den Philips Labors und Forschungsabteilungen und erfahrenen Pädagogen; vielfach ausgestattet mit Originalteilen aus der Industrie-Produktion.

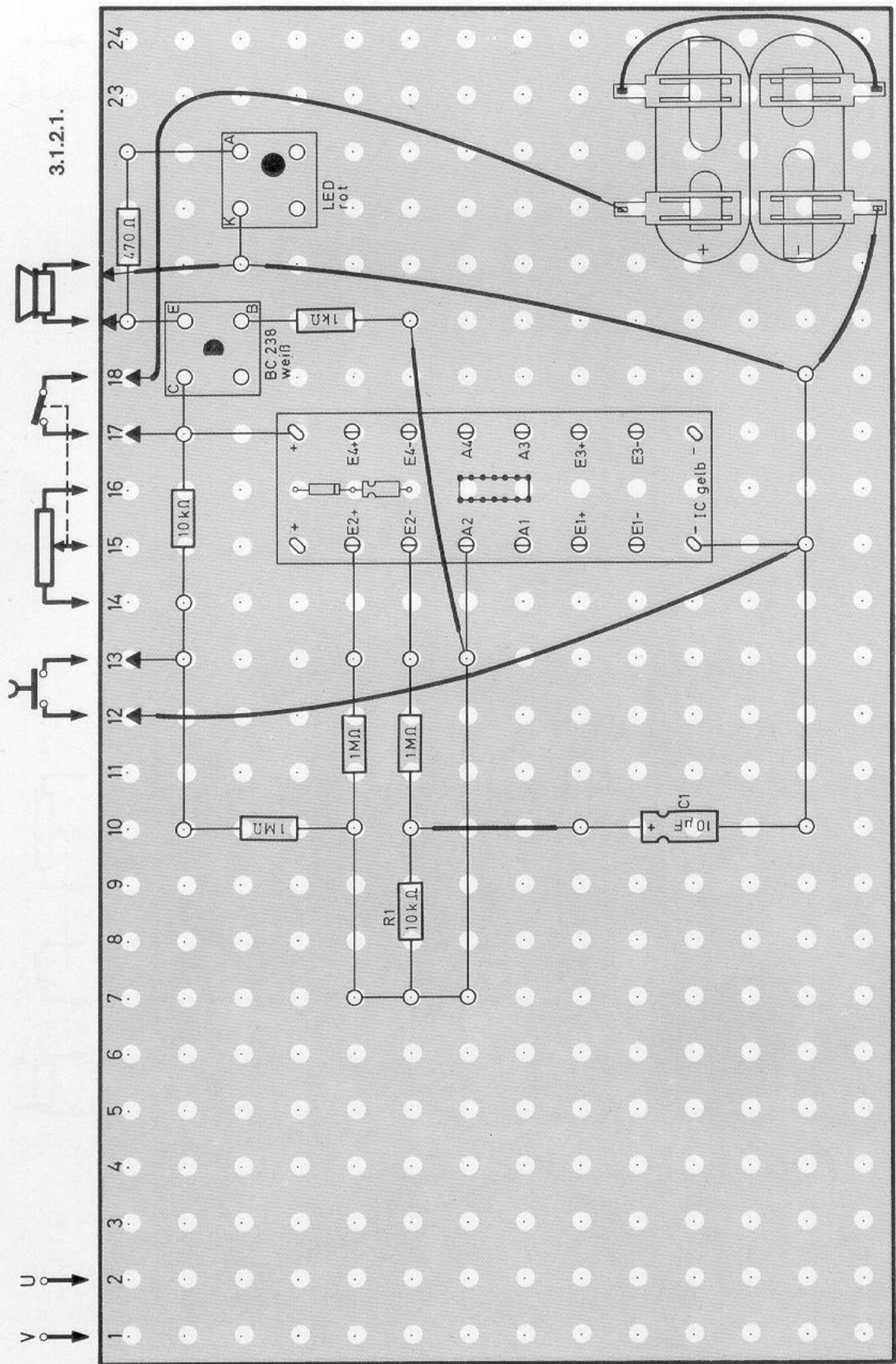
Philips Experimentierkästen – das Programm, das aus der Praxis kommt.

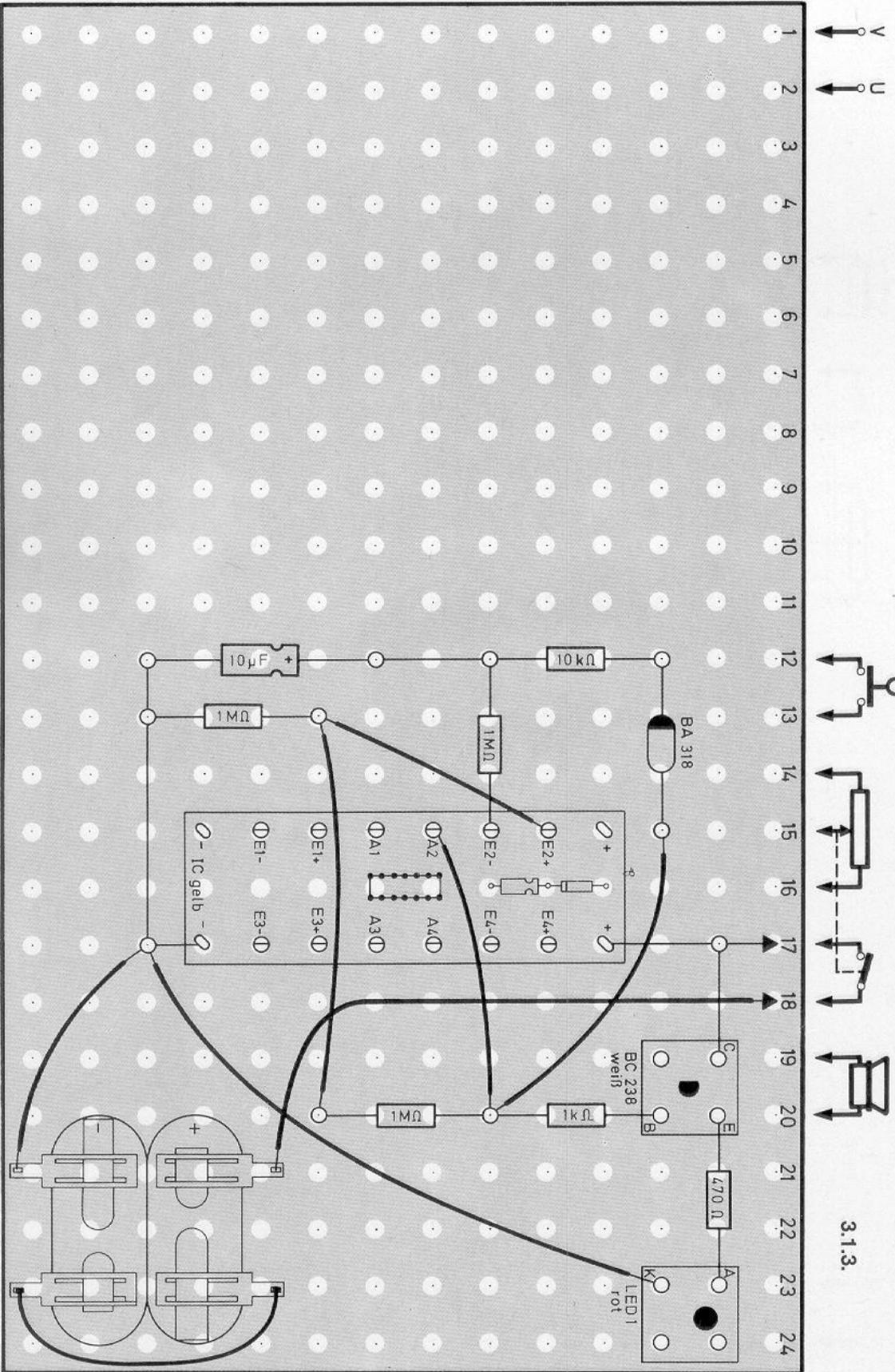




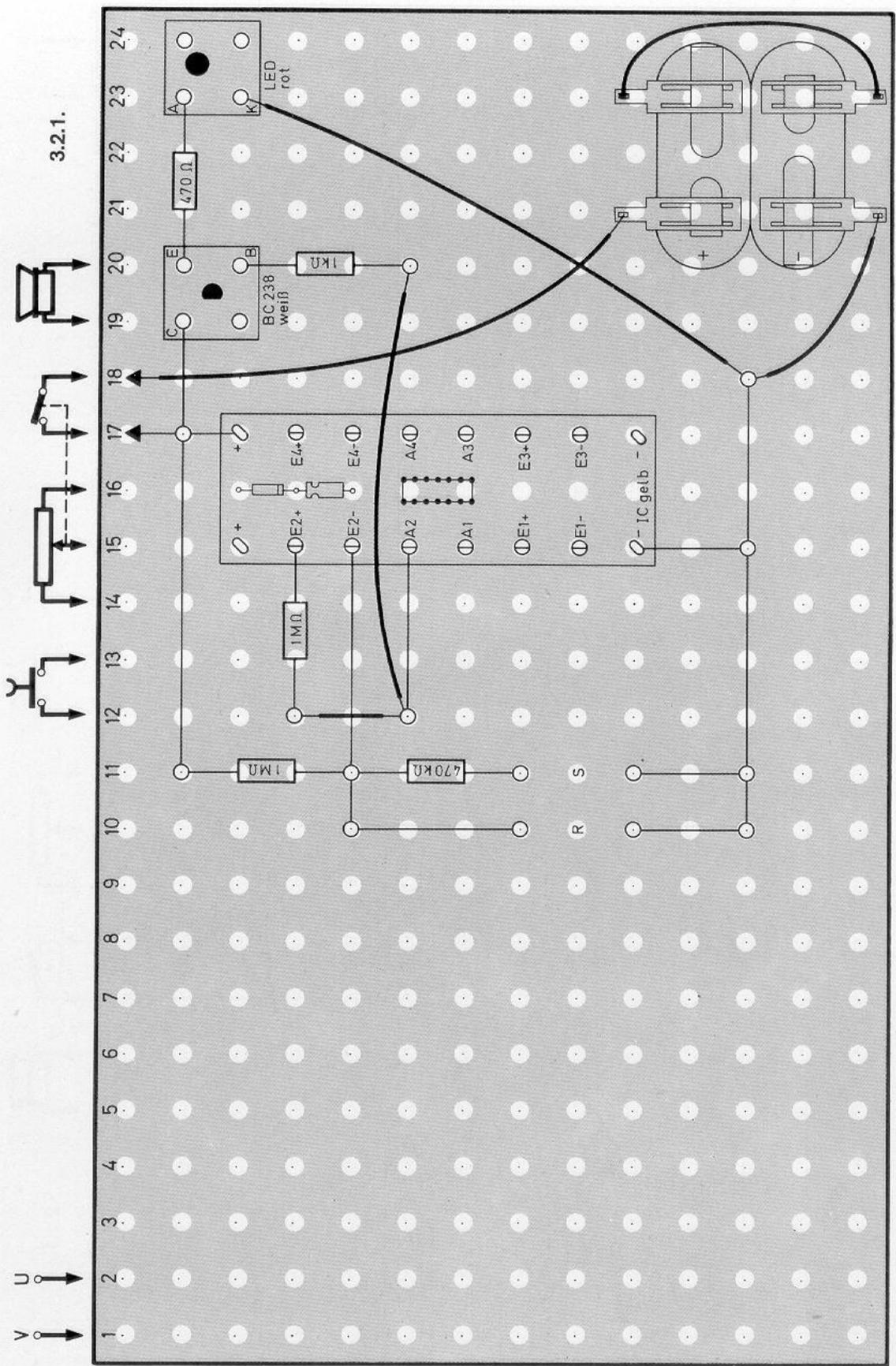


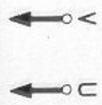
3.1.2.



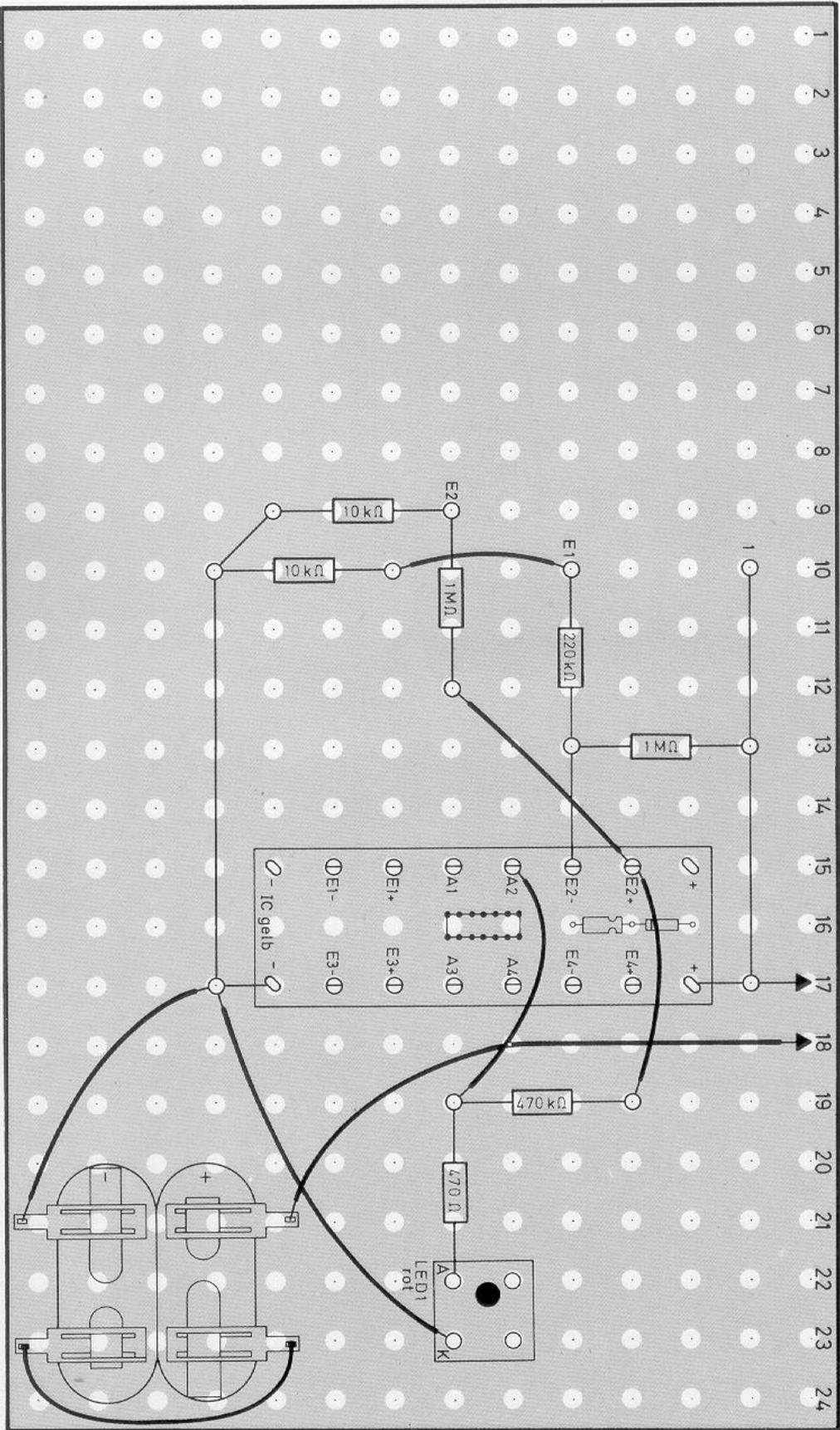


3.1.3.

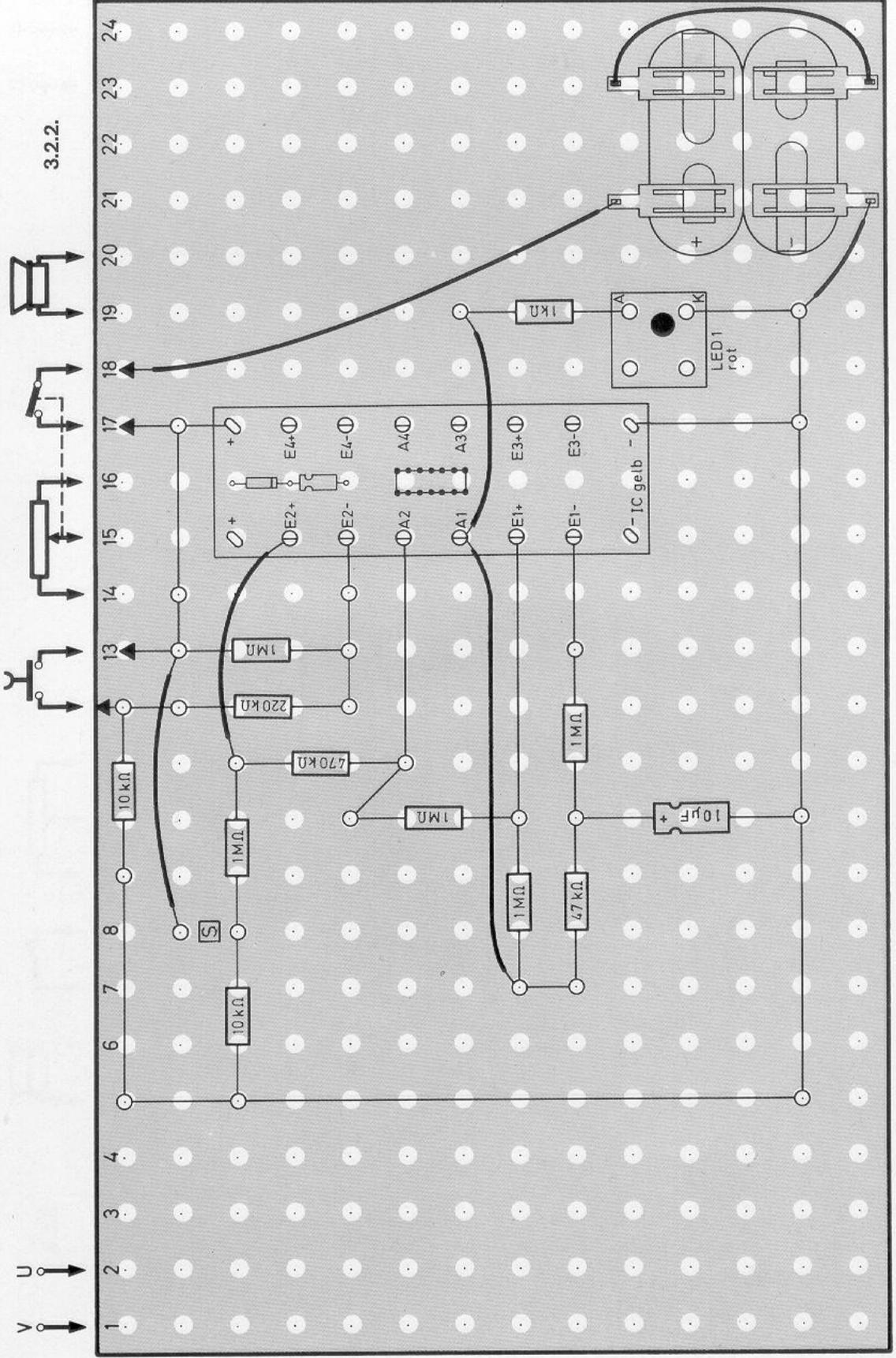


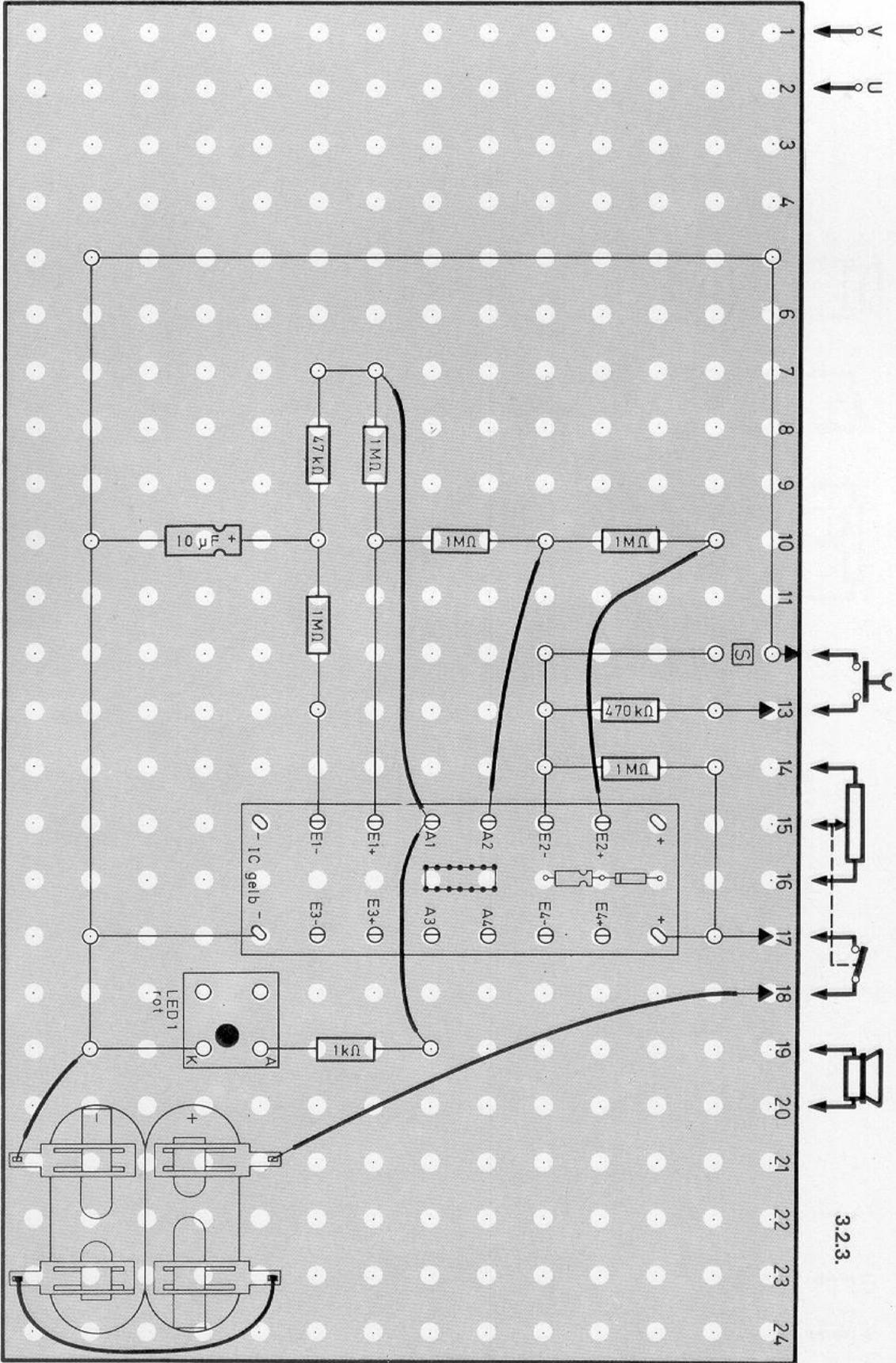


3.2.1.1.

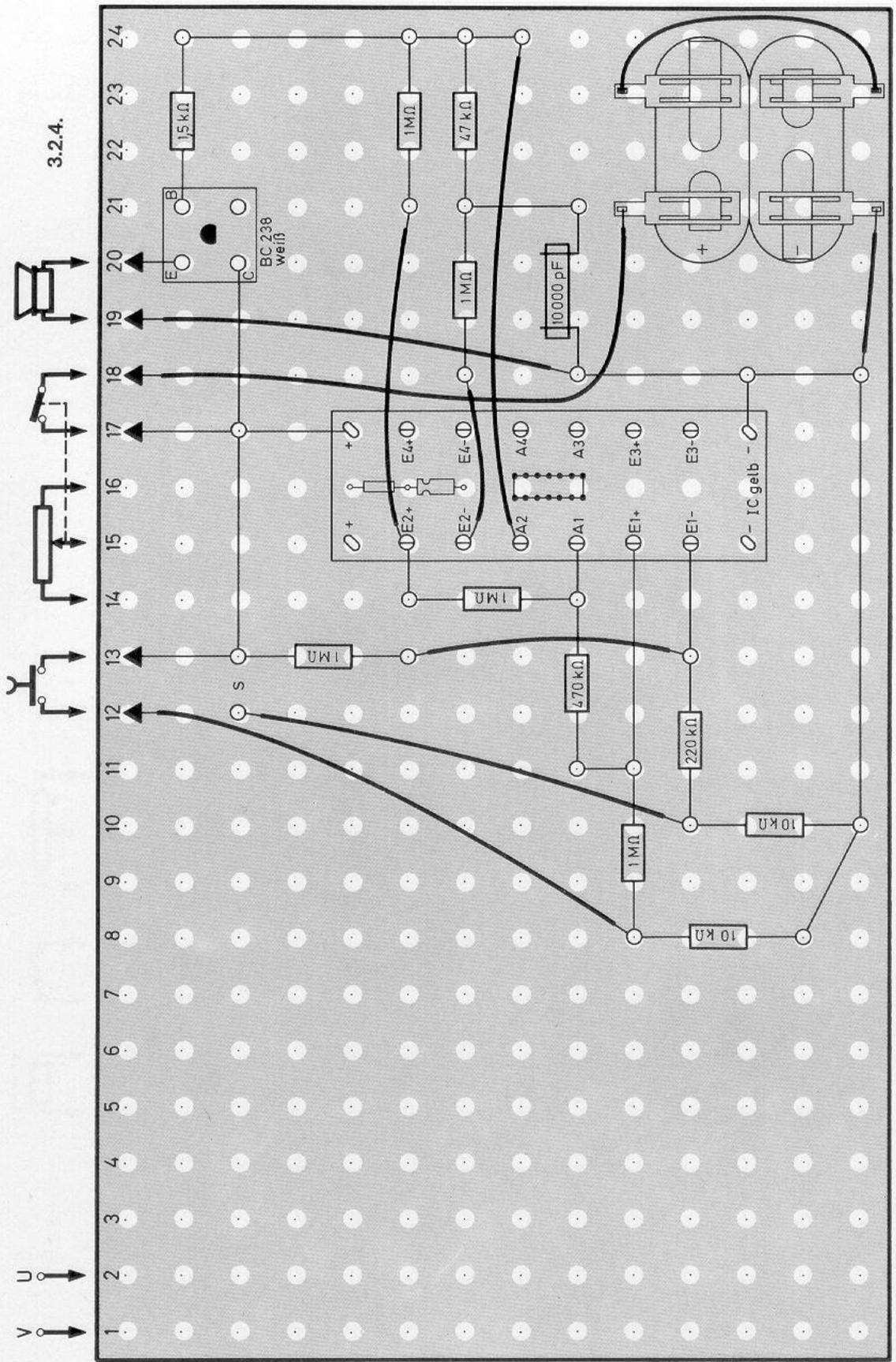


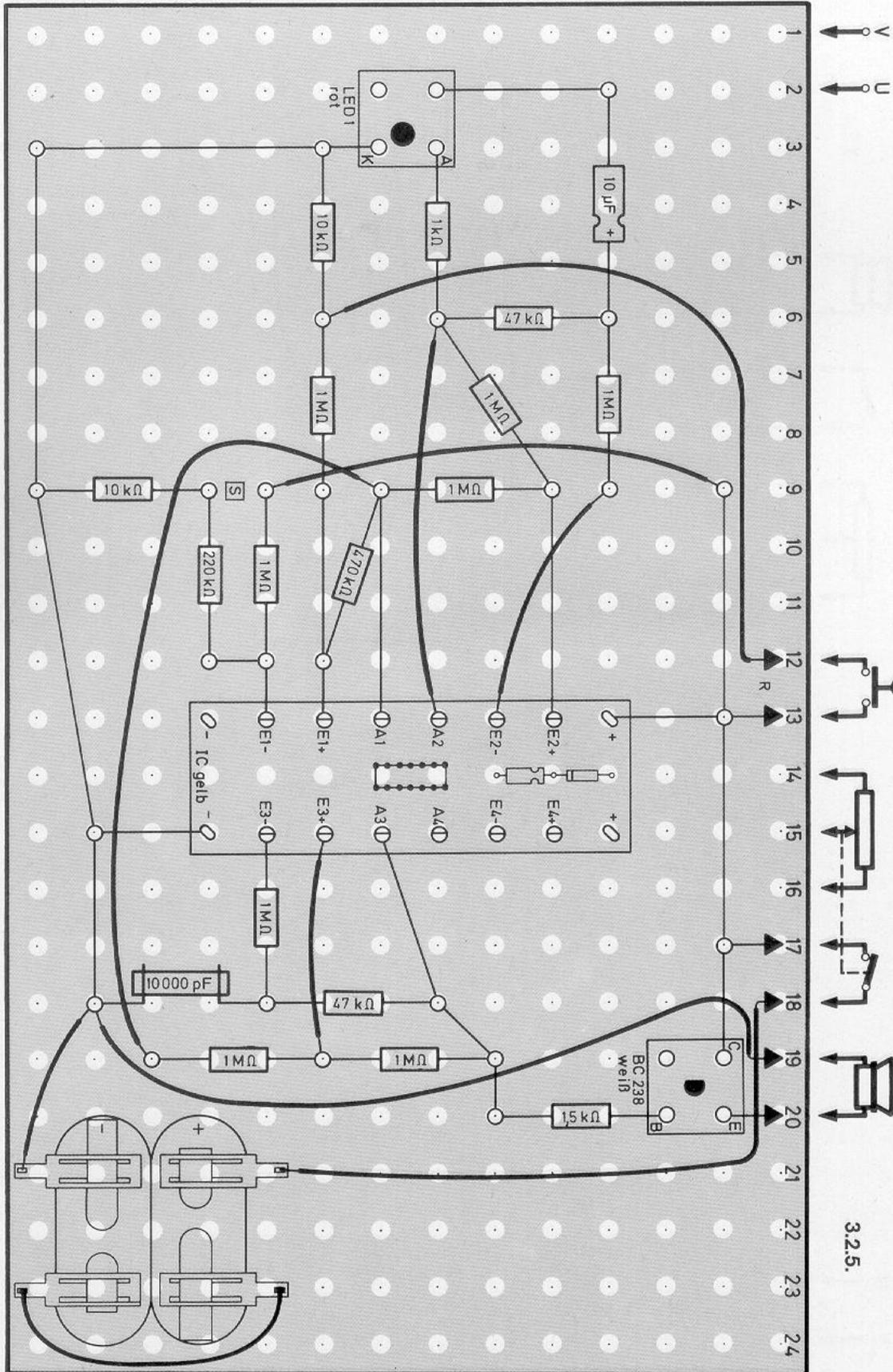
3.2.2.



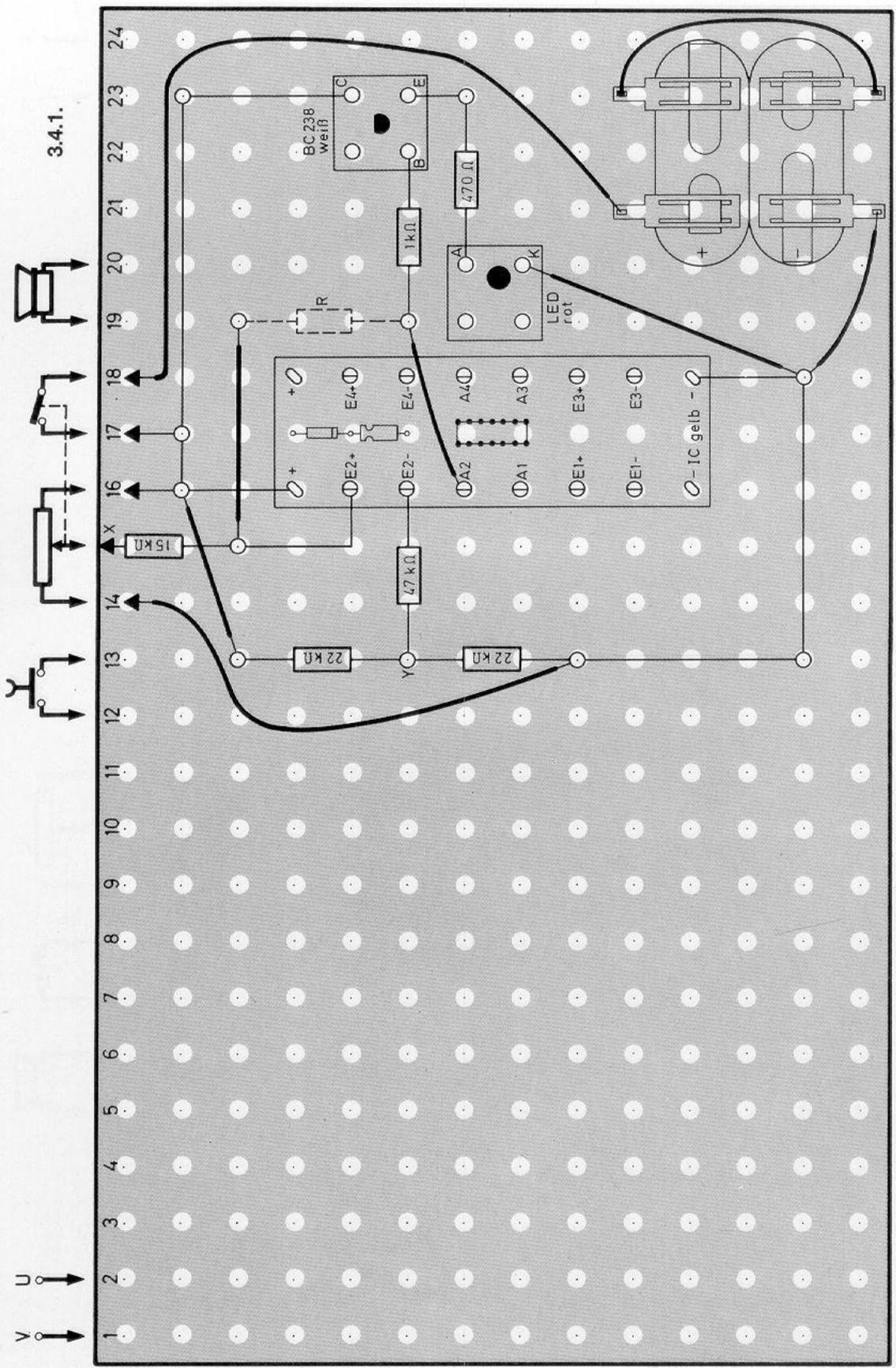


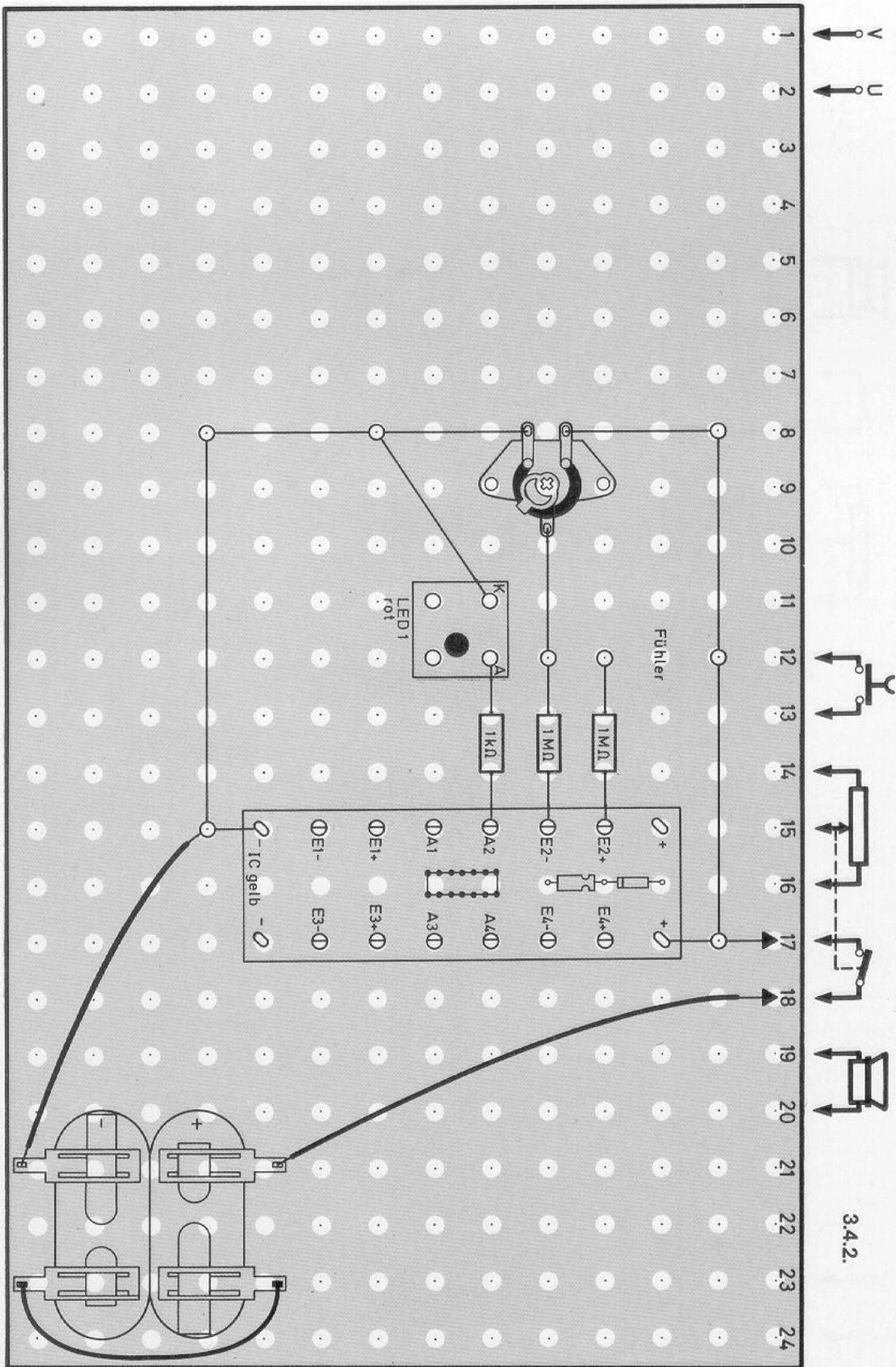
3.2.3.



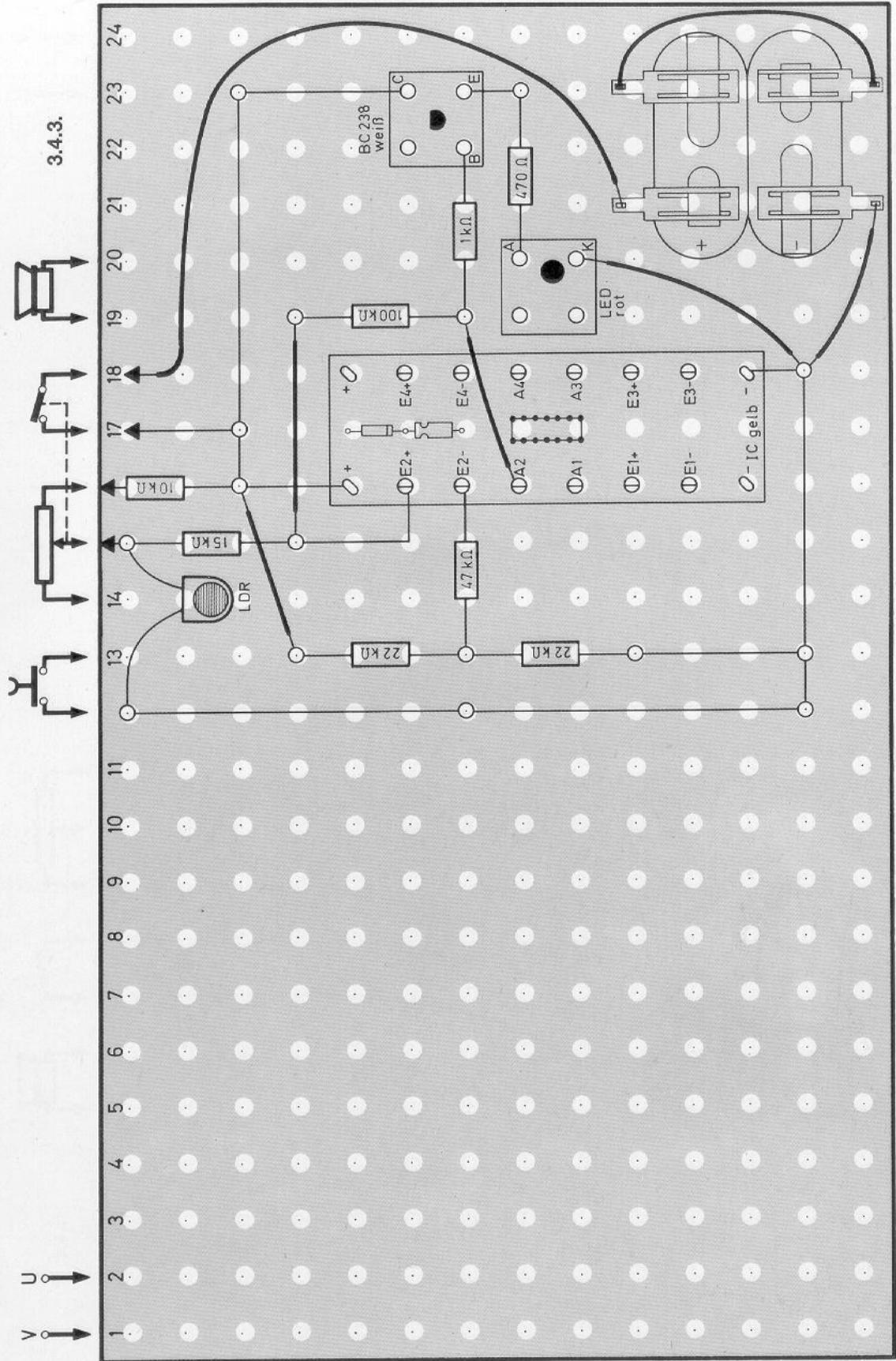


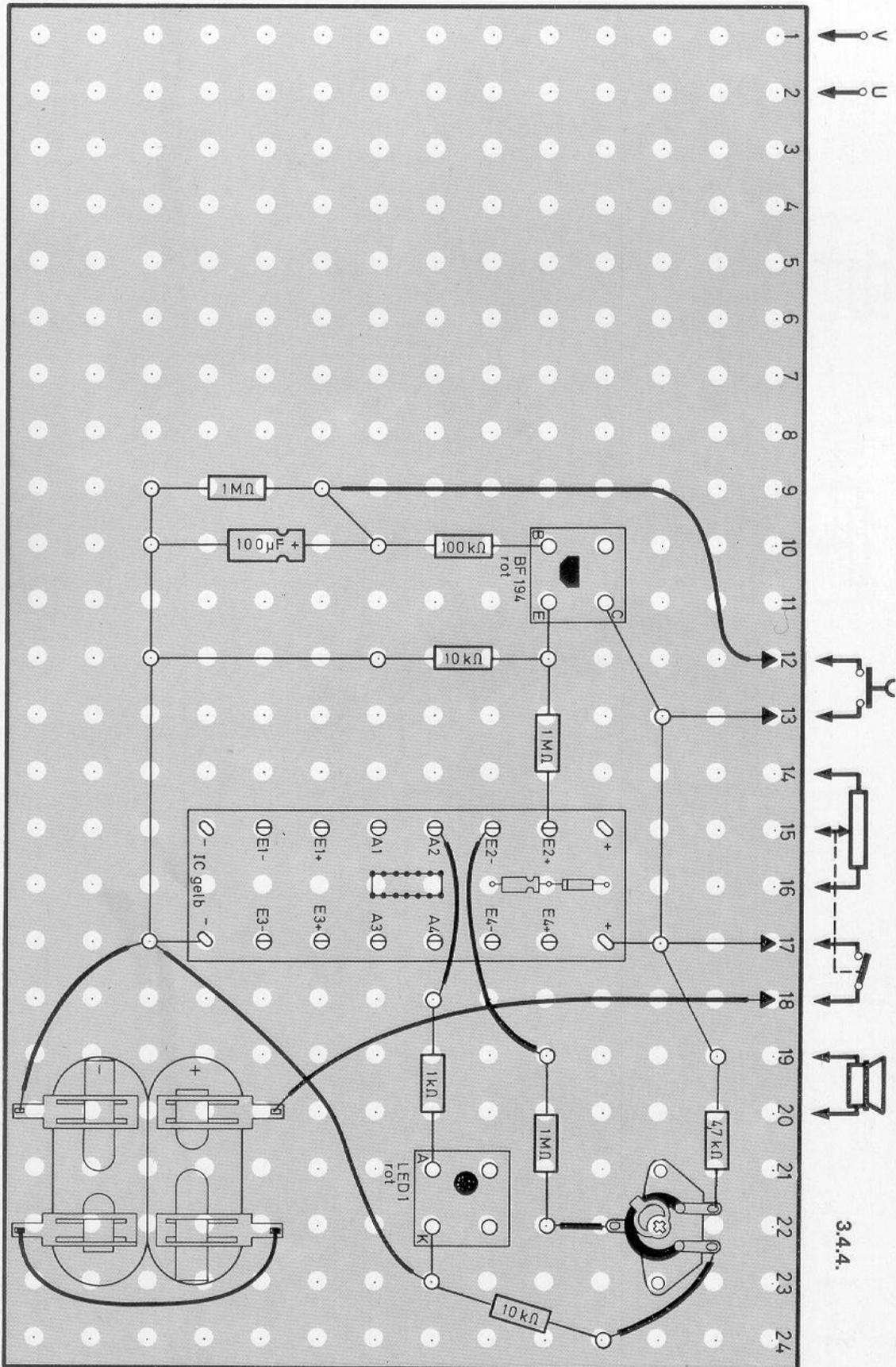
3.2.5.



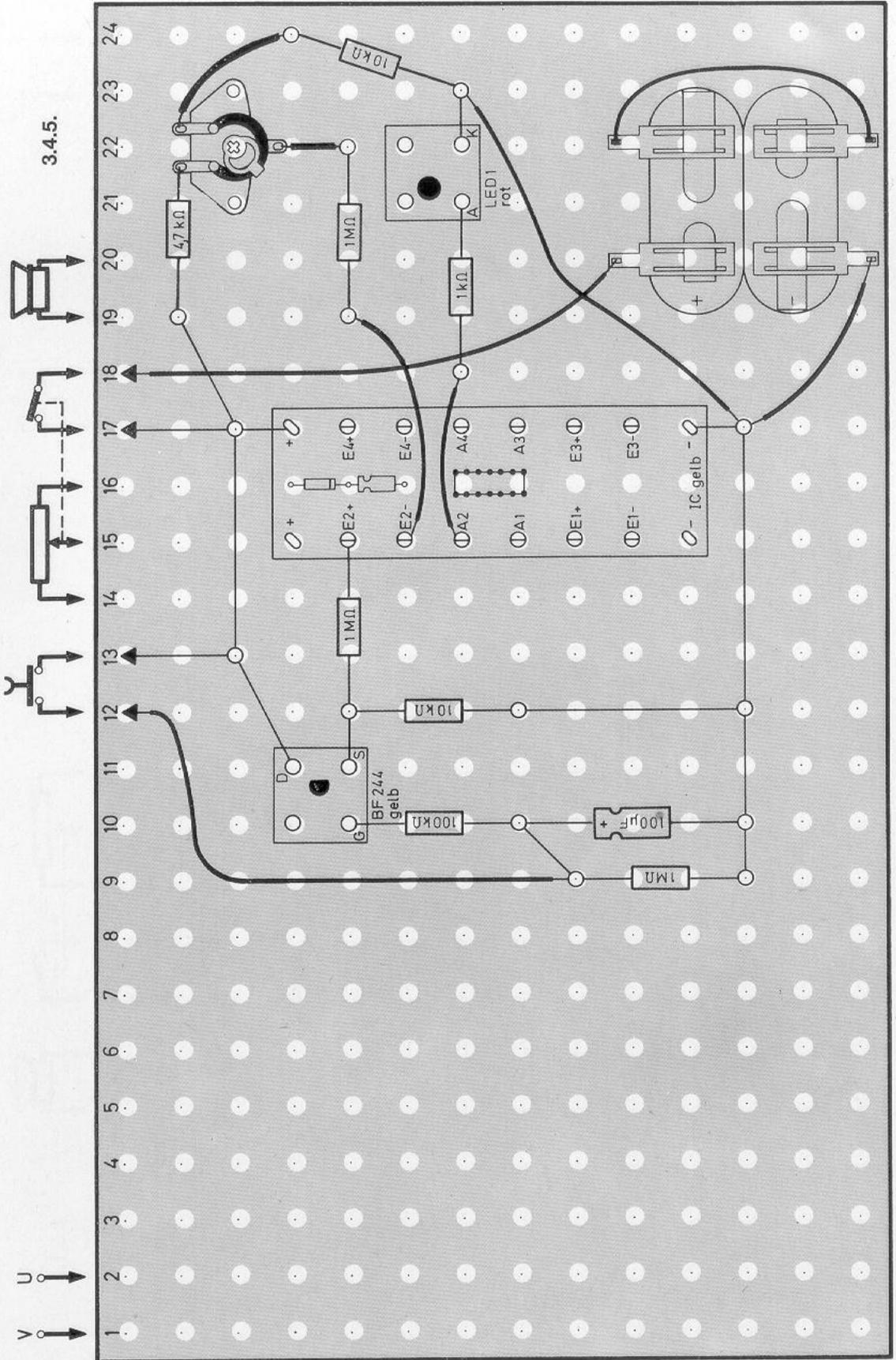


3.4.2.

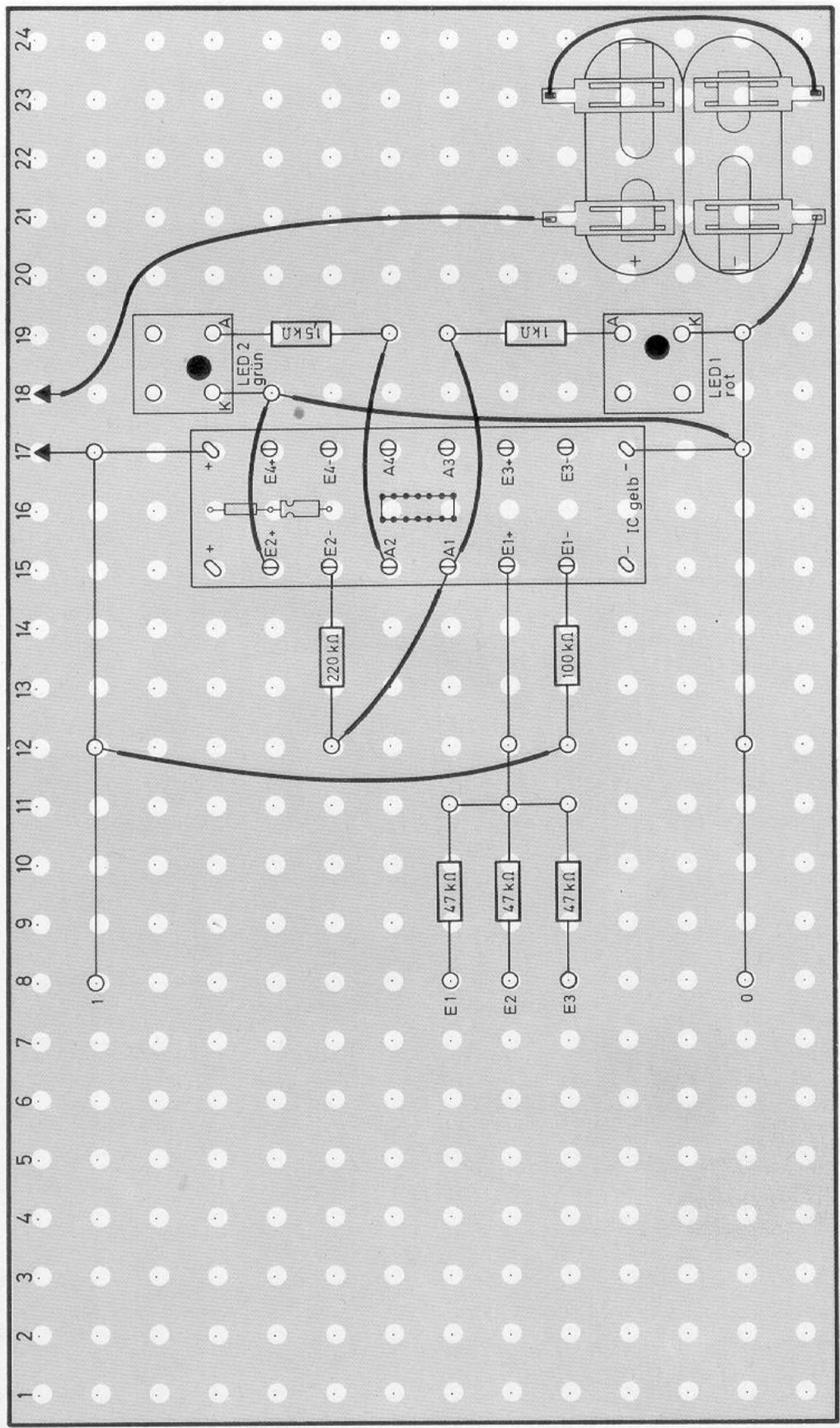
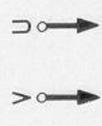


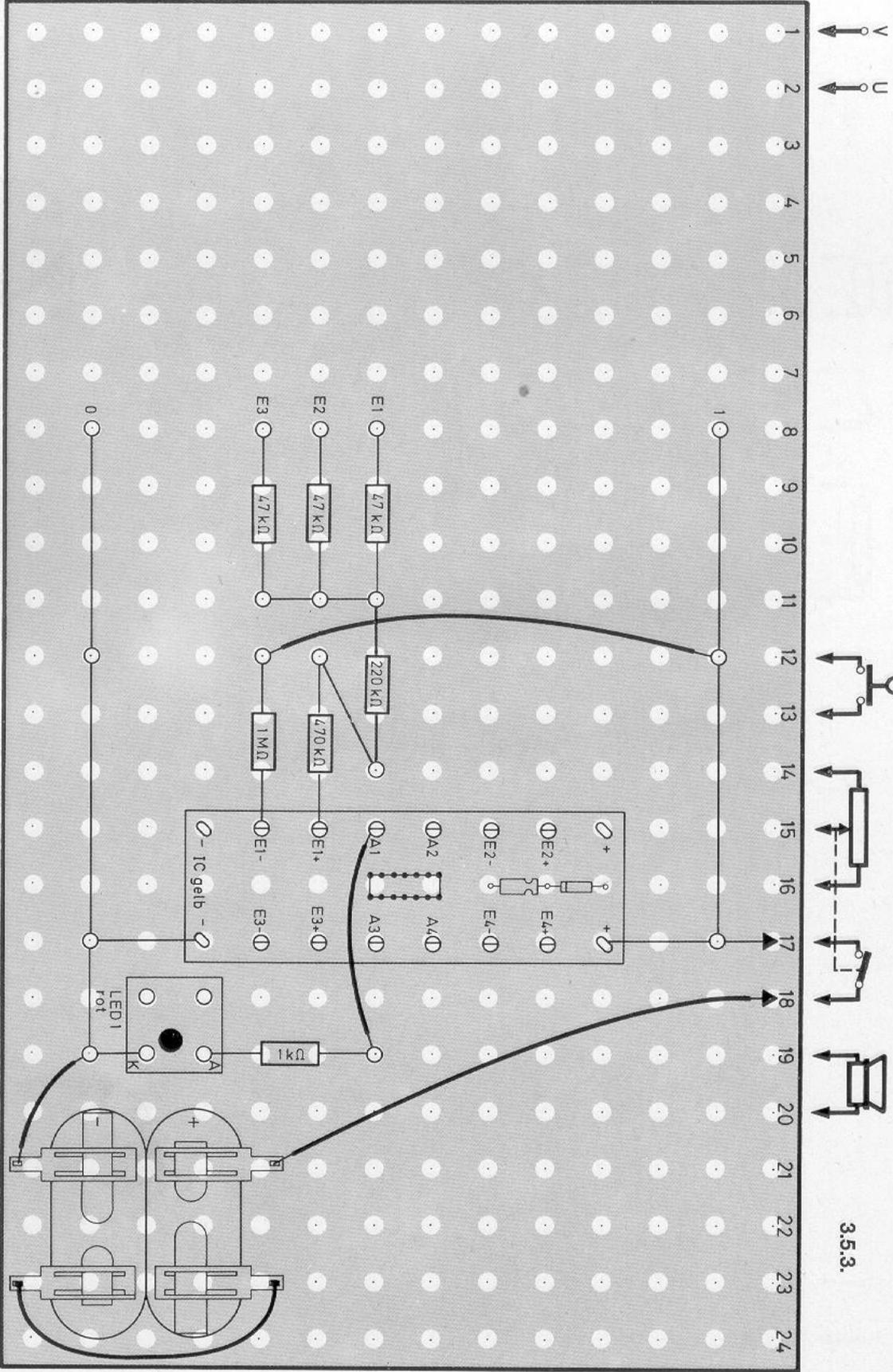


3.4.4.



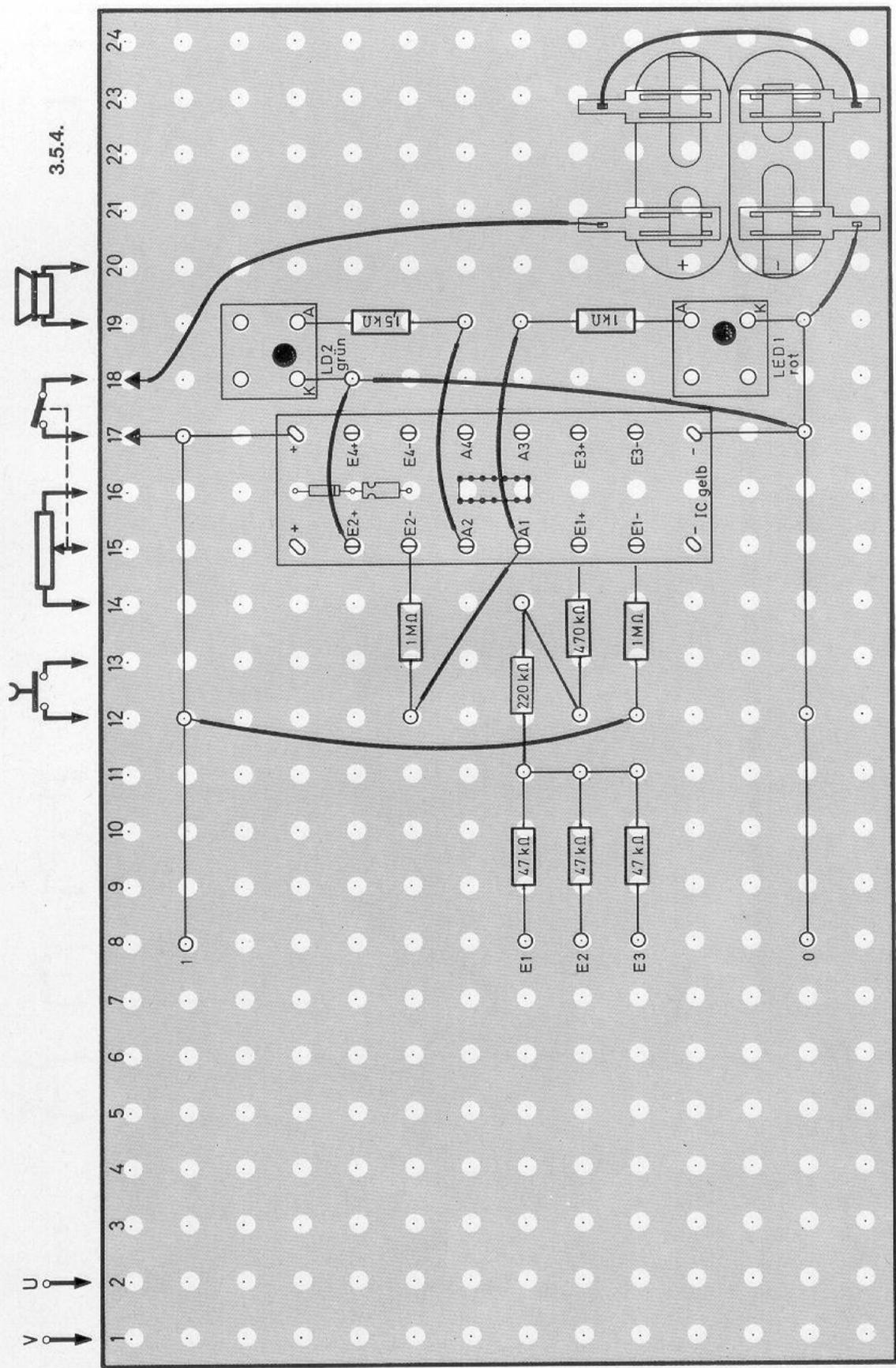
3.5.2.

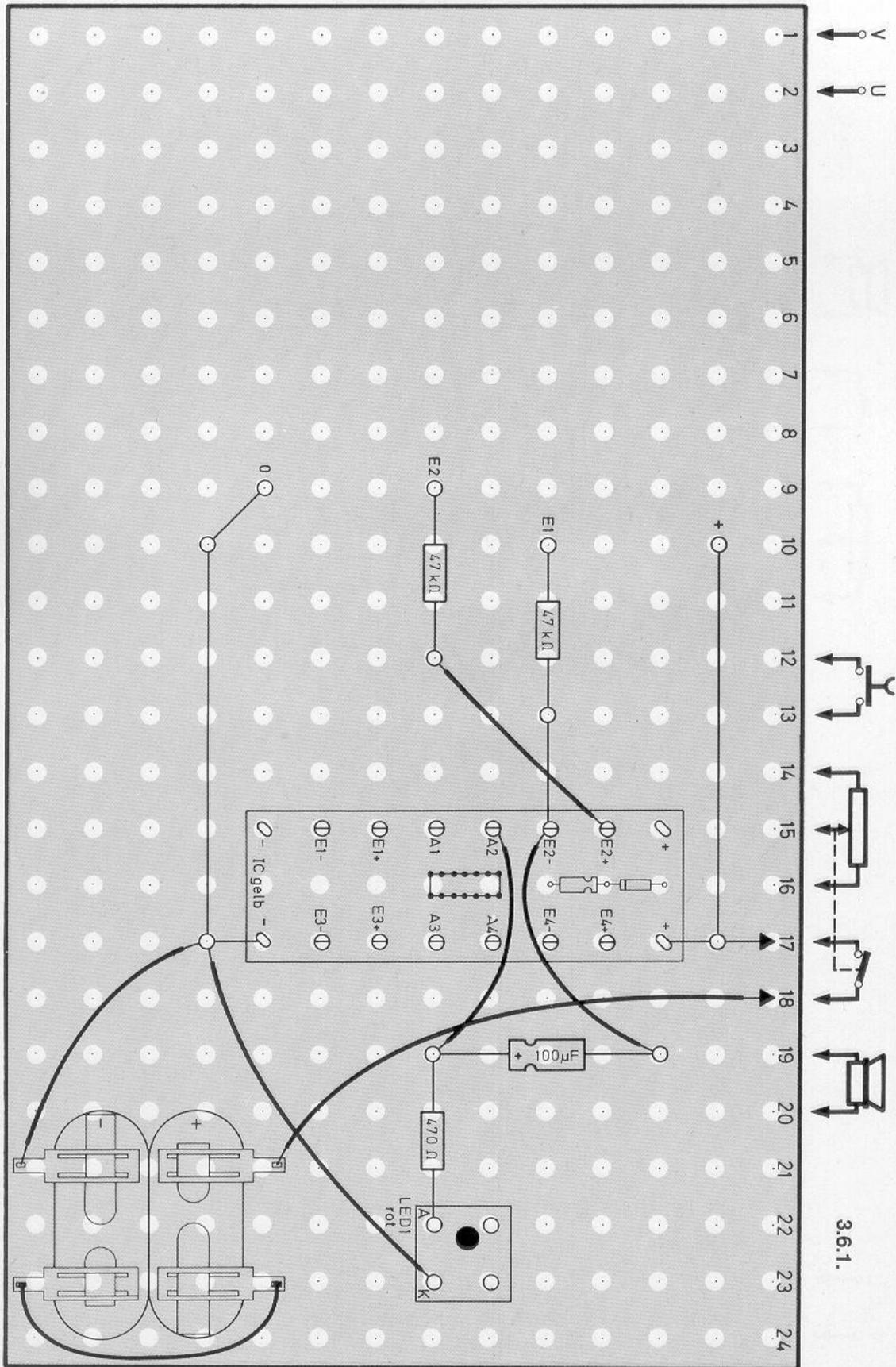




3.5.3.

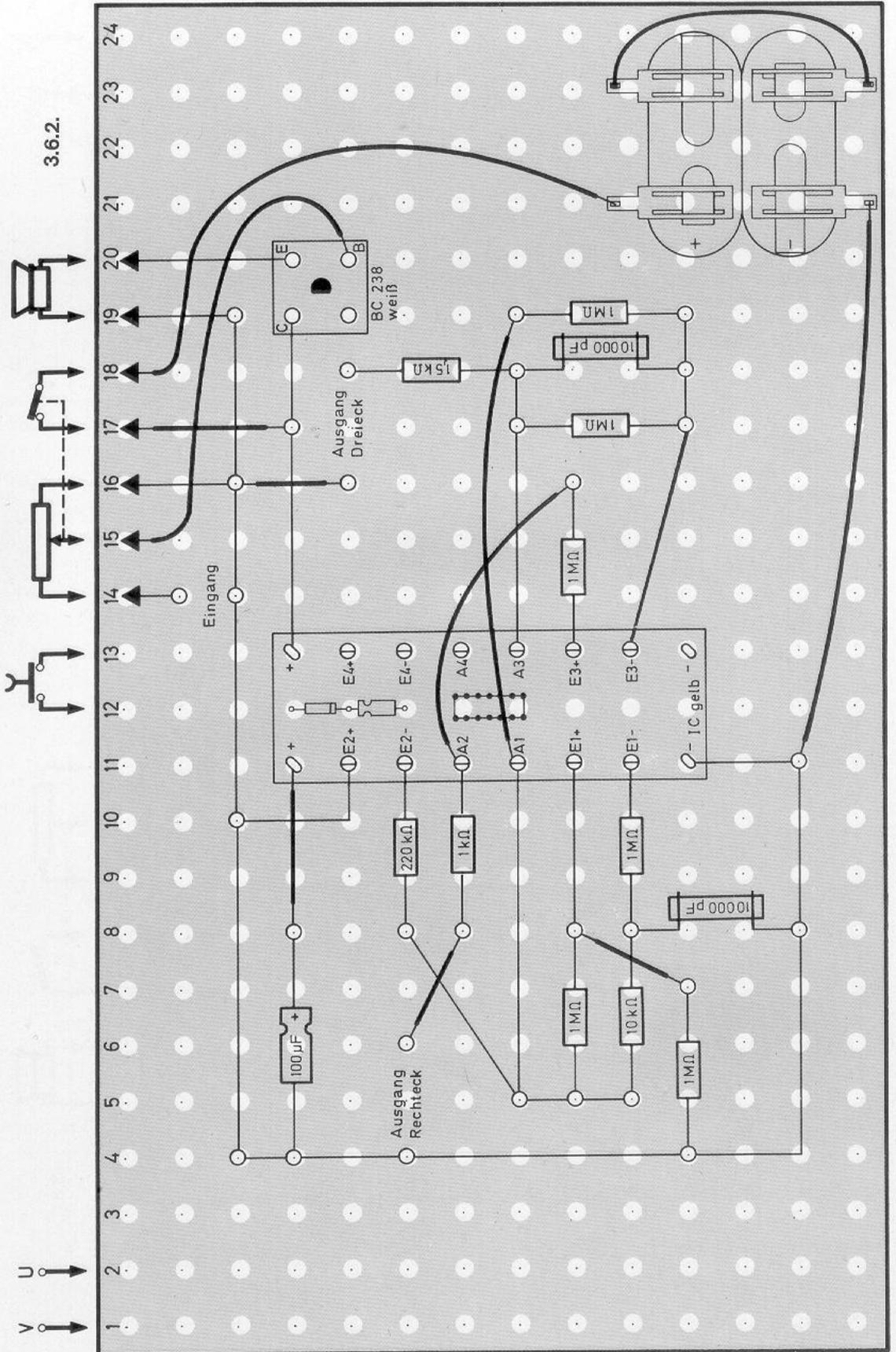
3.5.4.

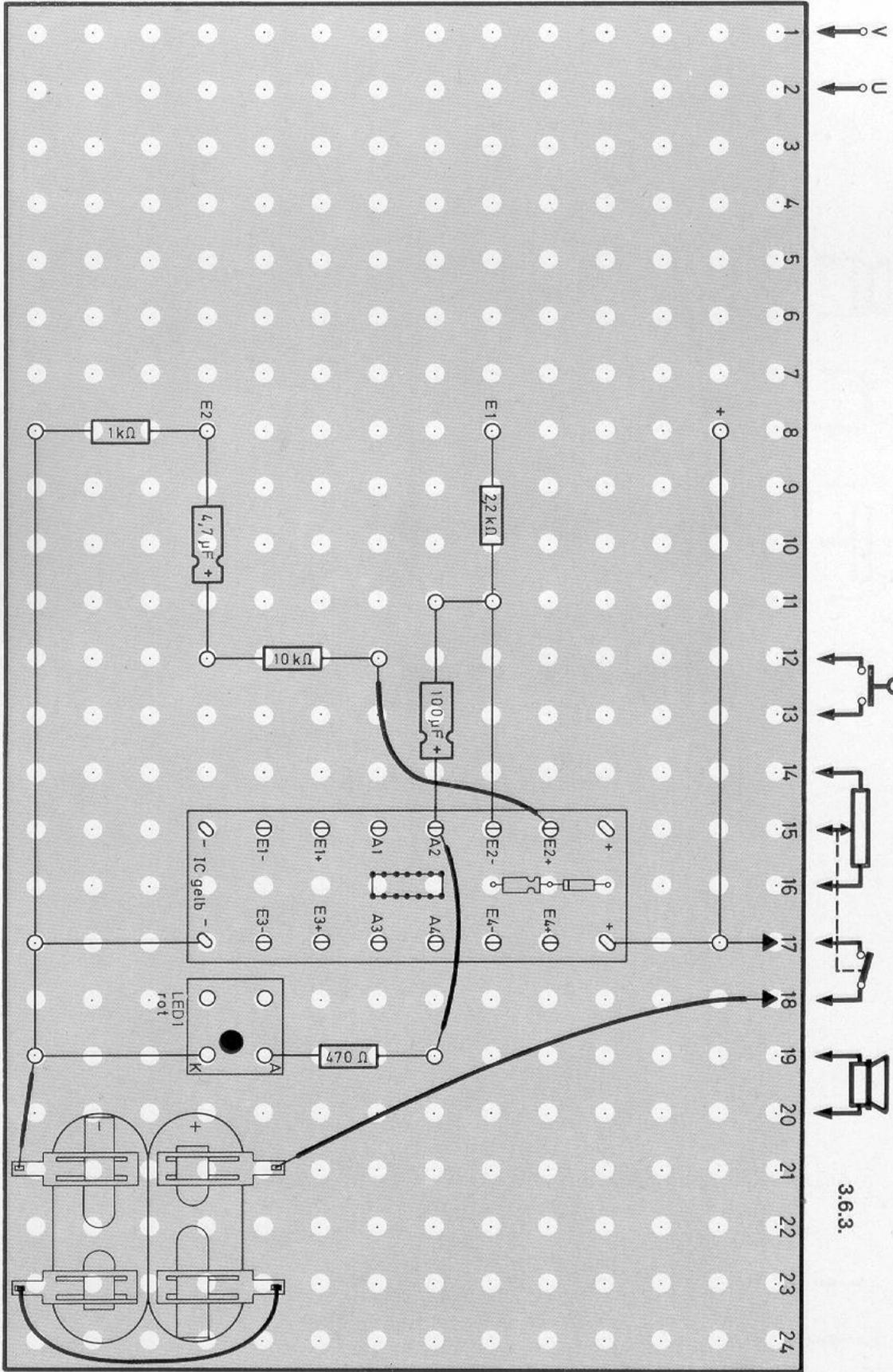




3.6.1.

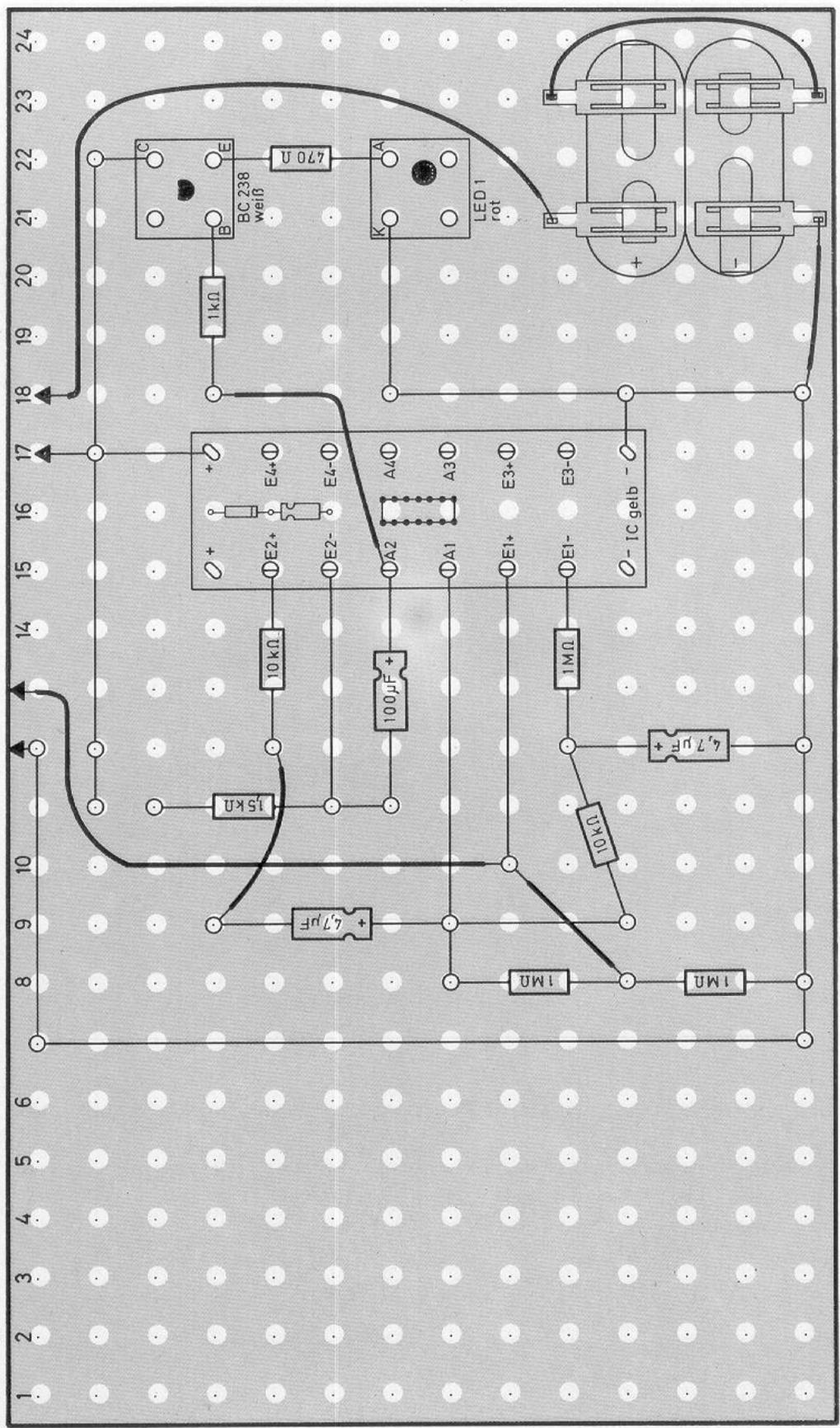
3.6.2.

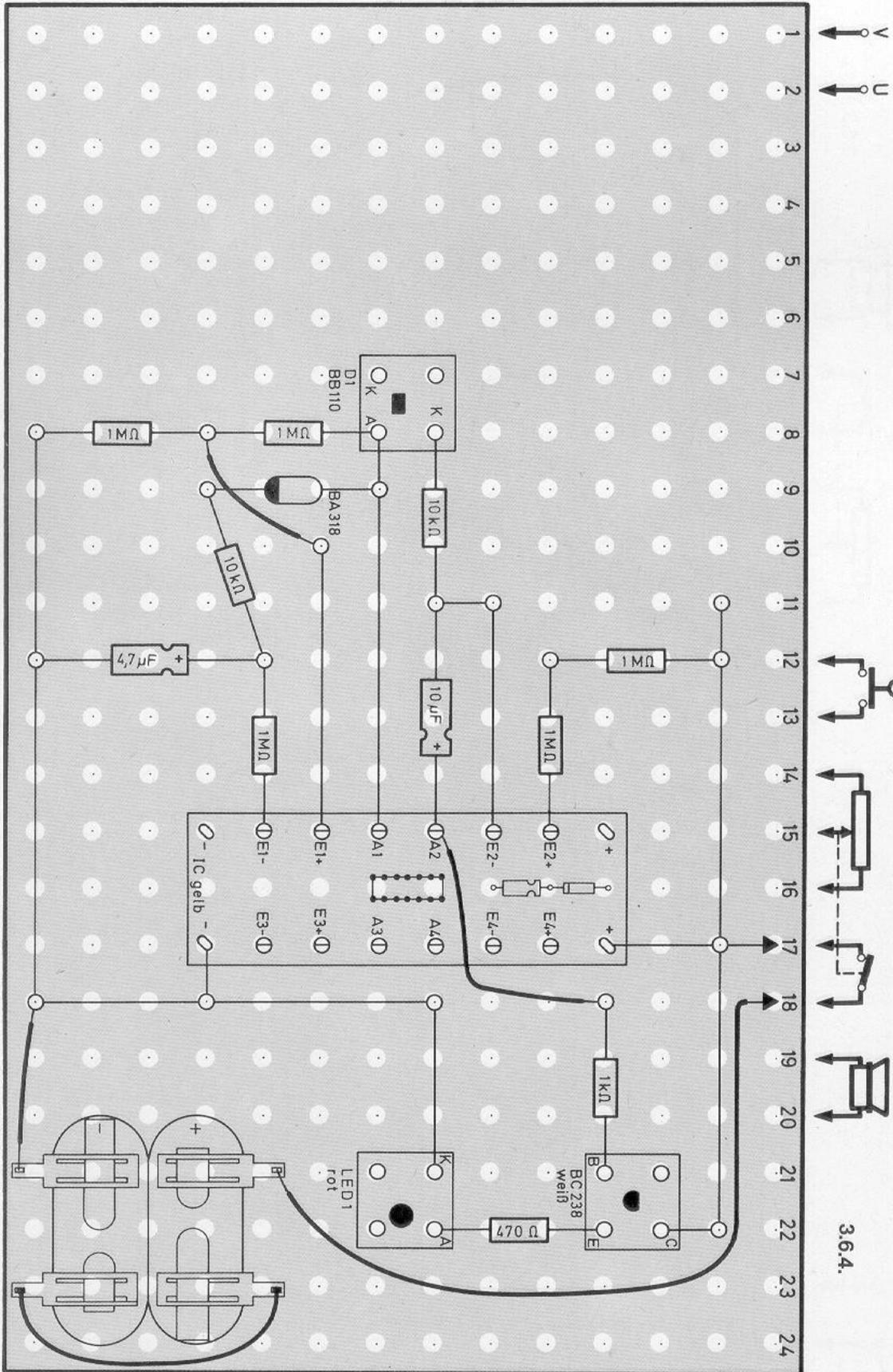




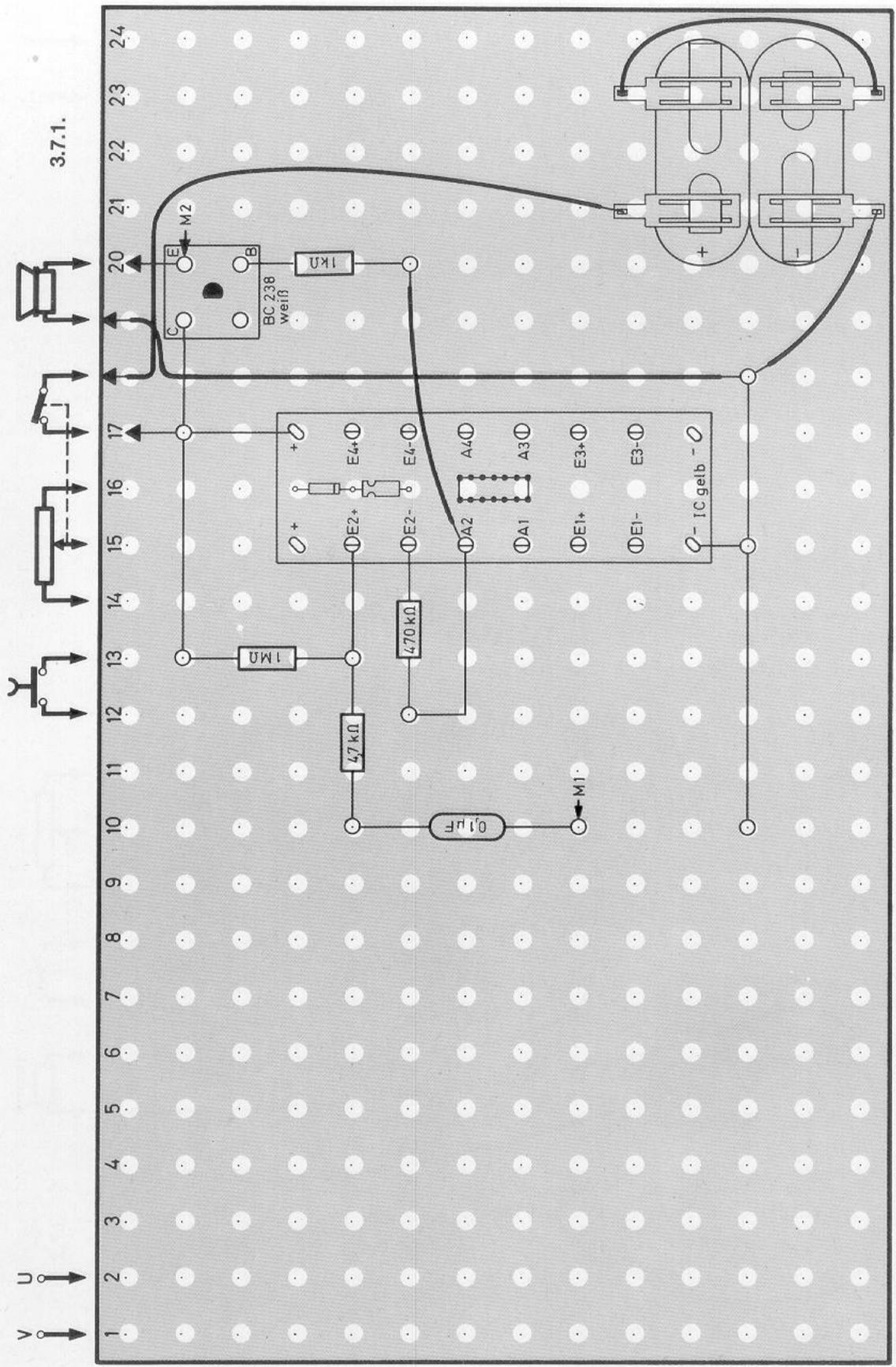
3.6.3.

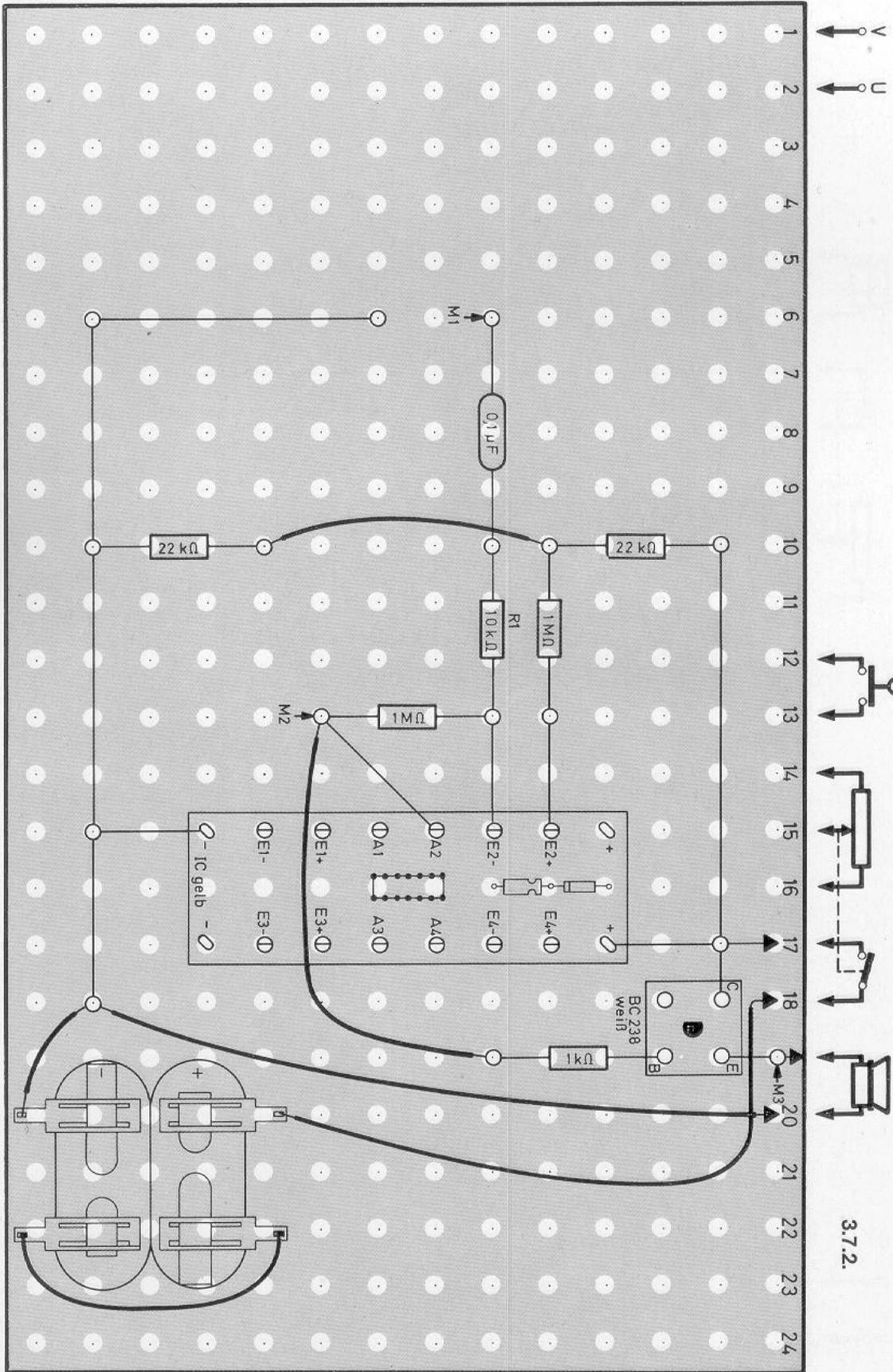
3.6.3.1.



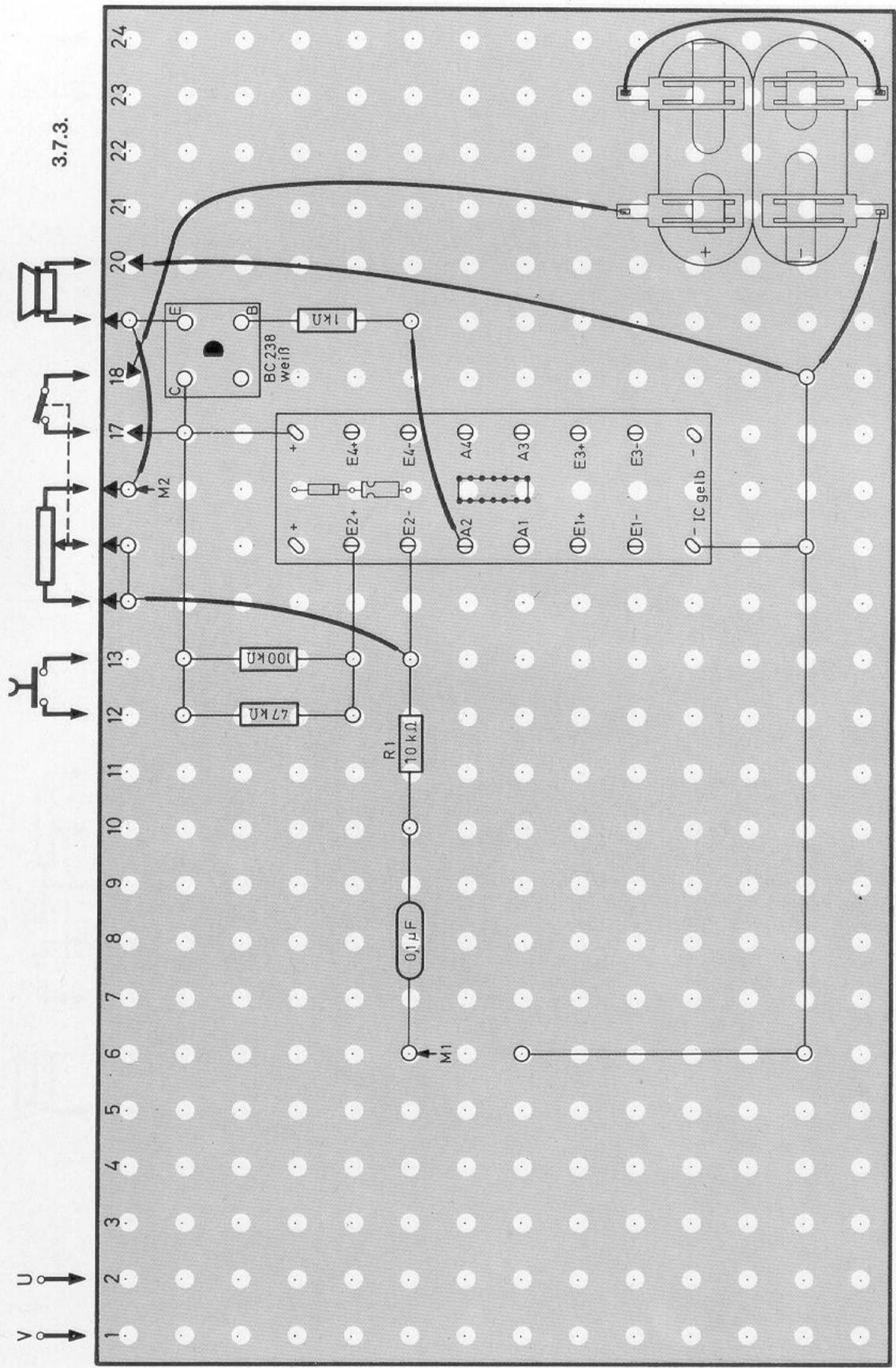


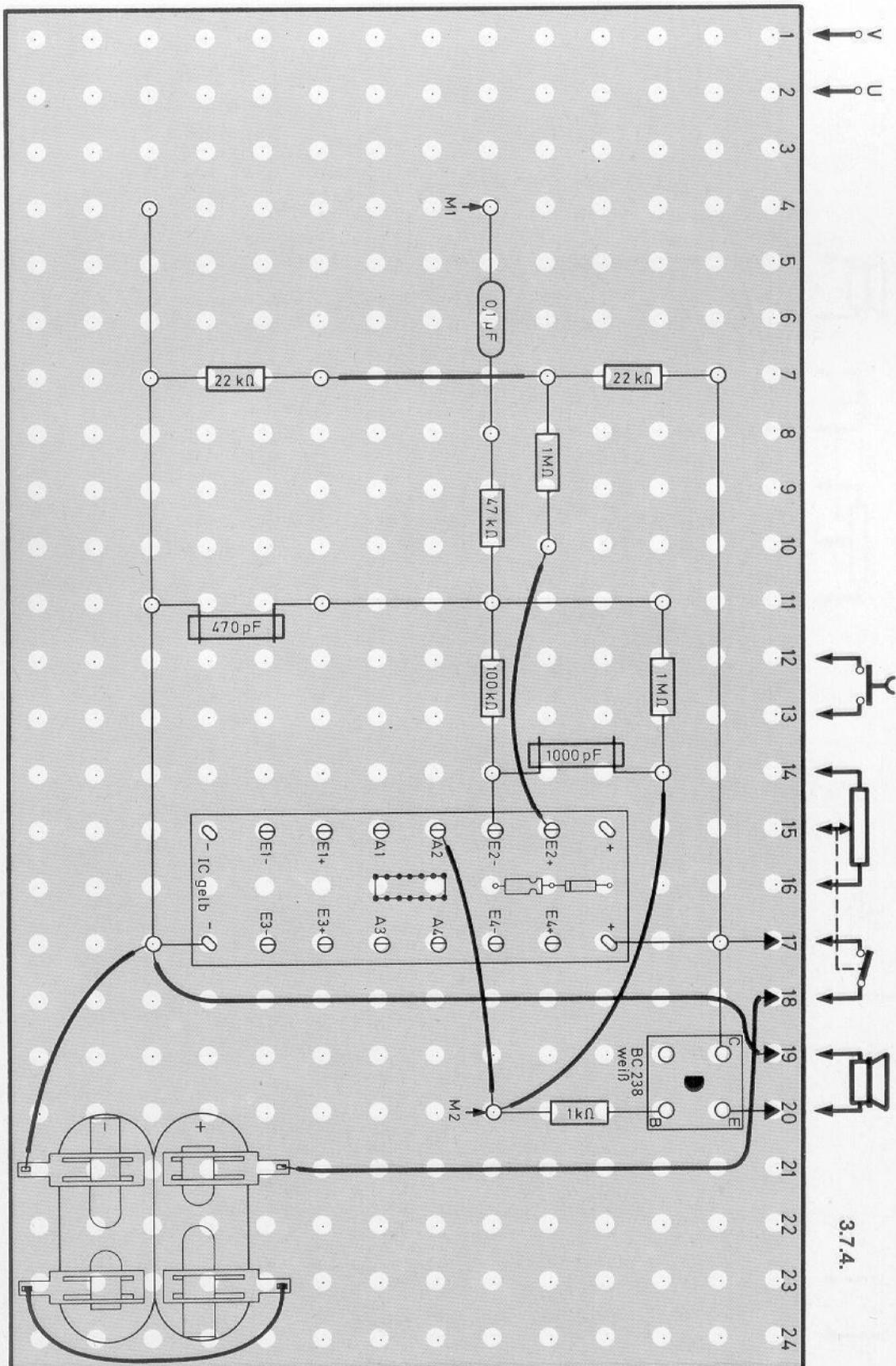
3.6.4.





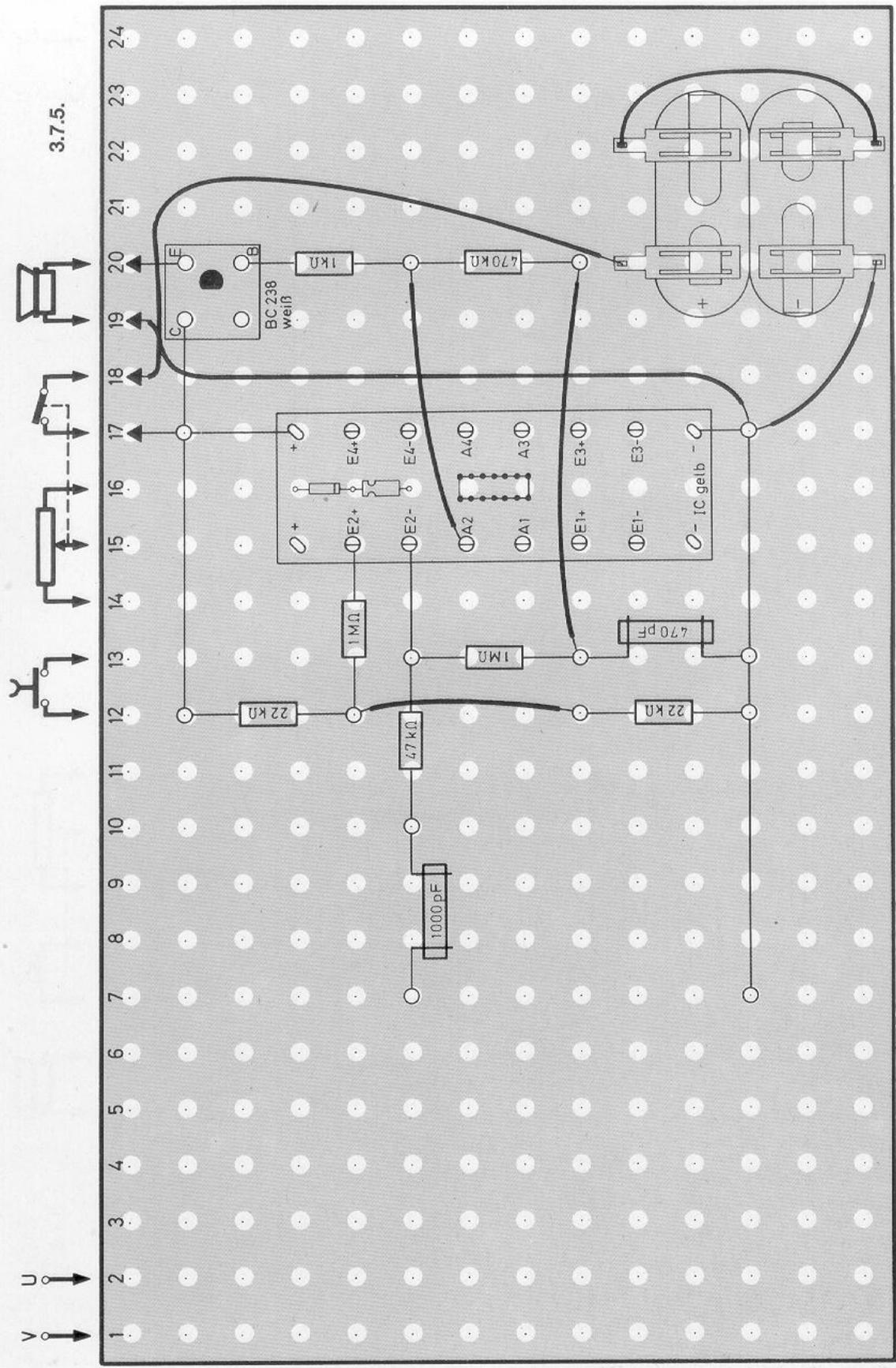
3.7.2.



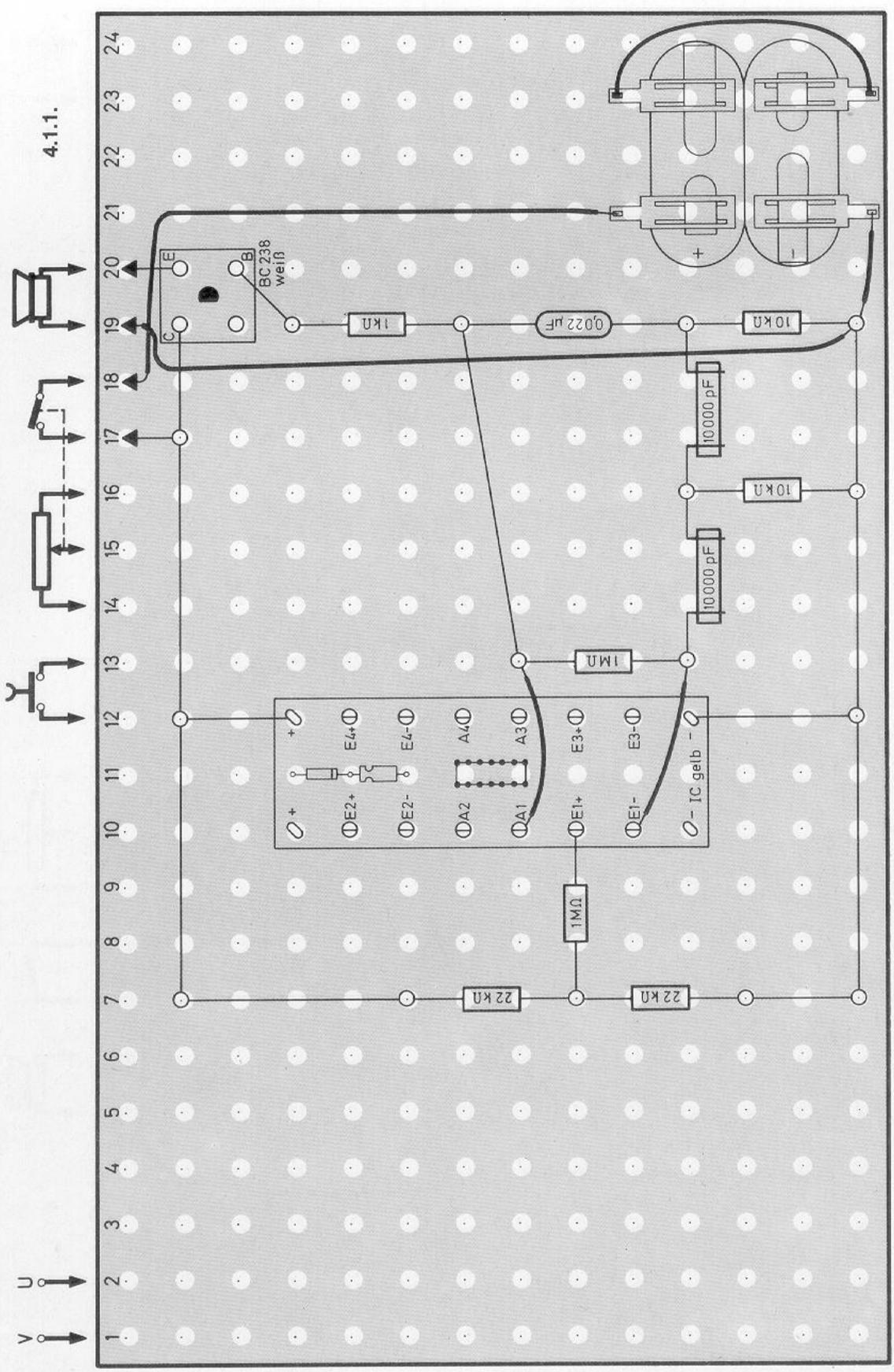


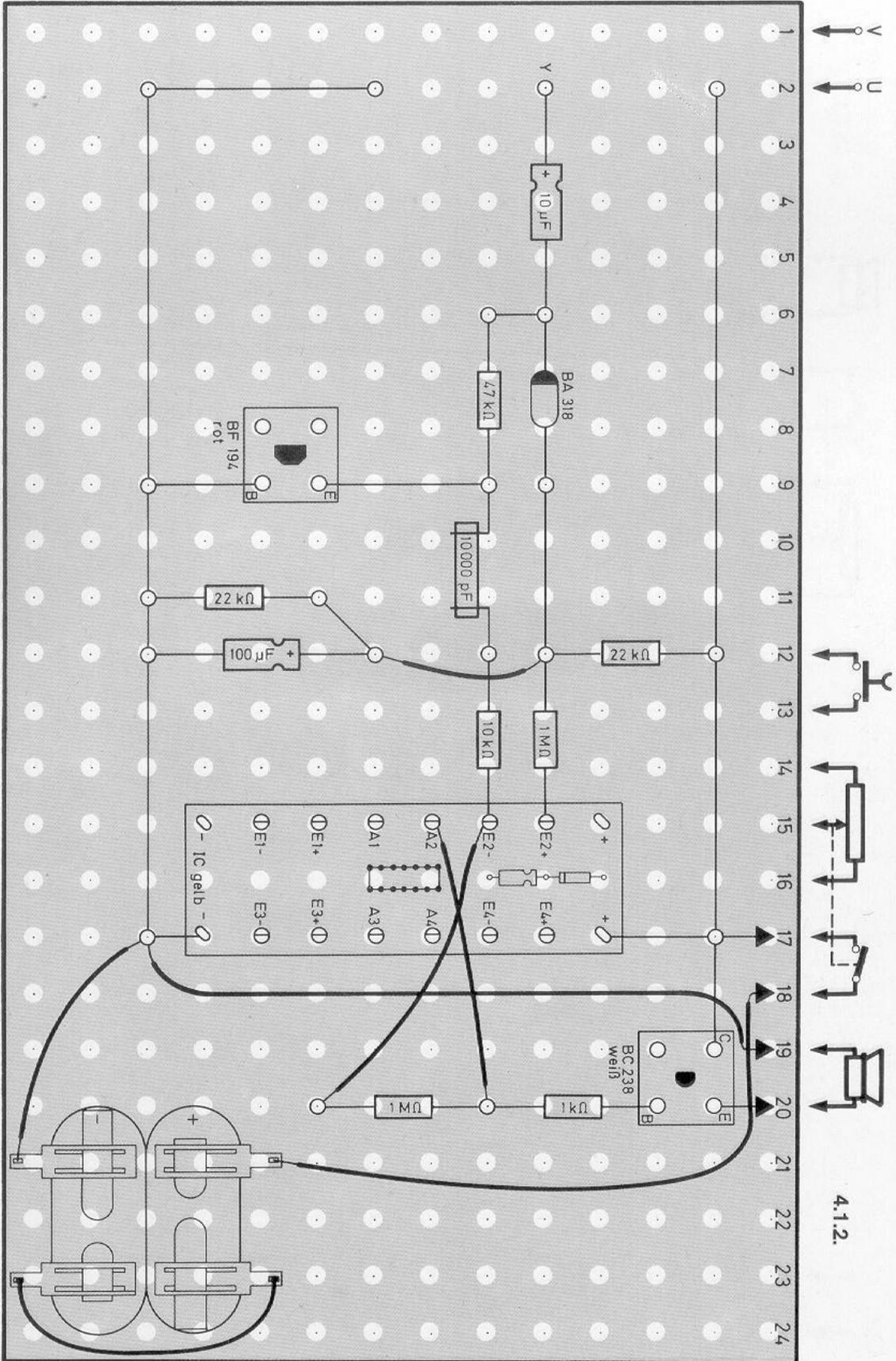
3.7.4.

3.7.5.



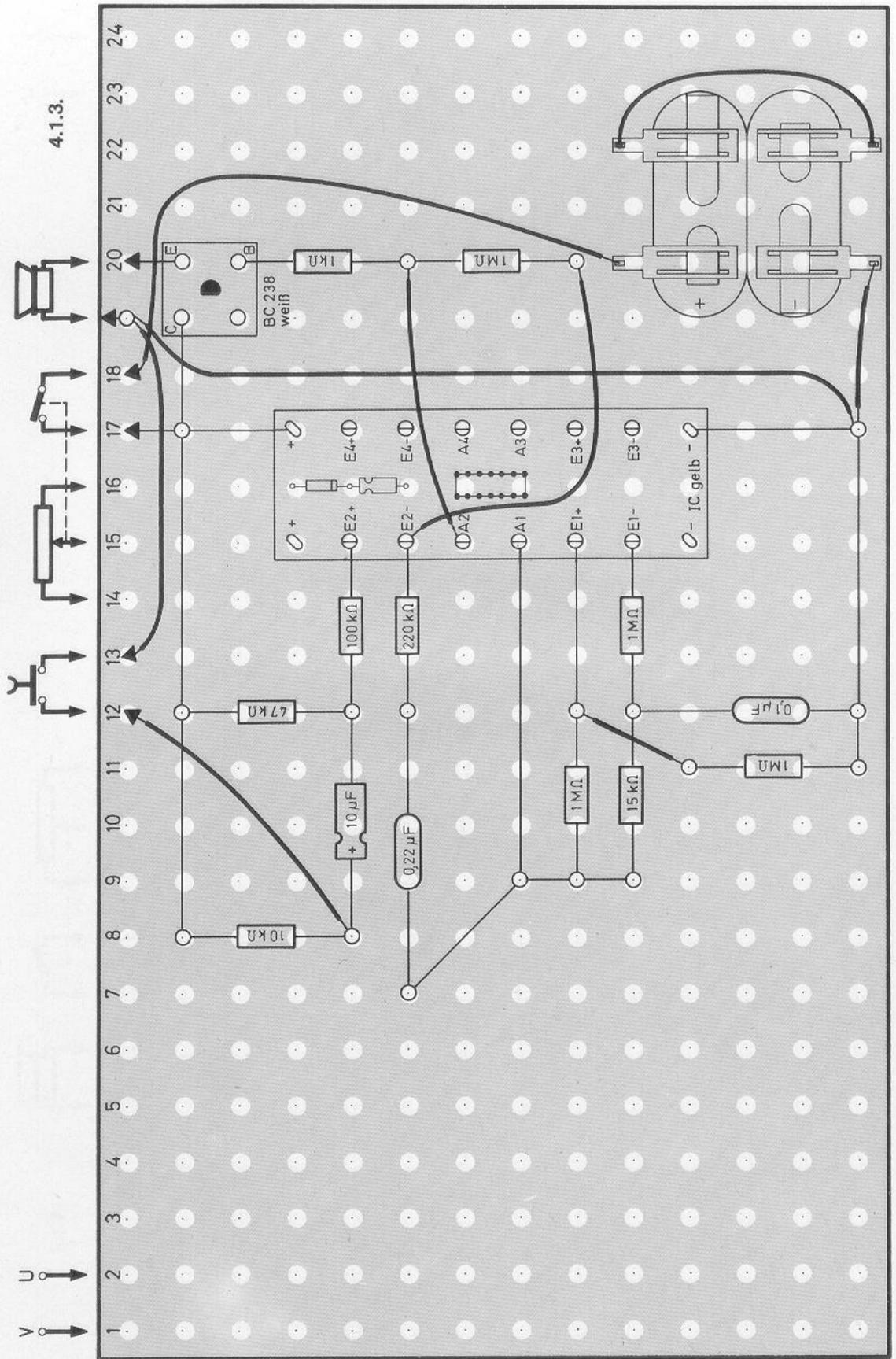
4.1.1.

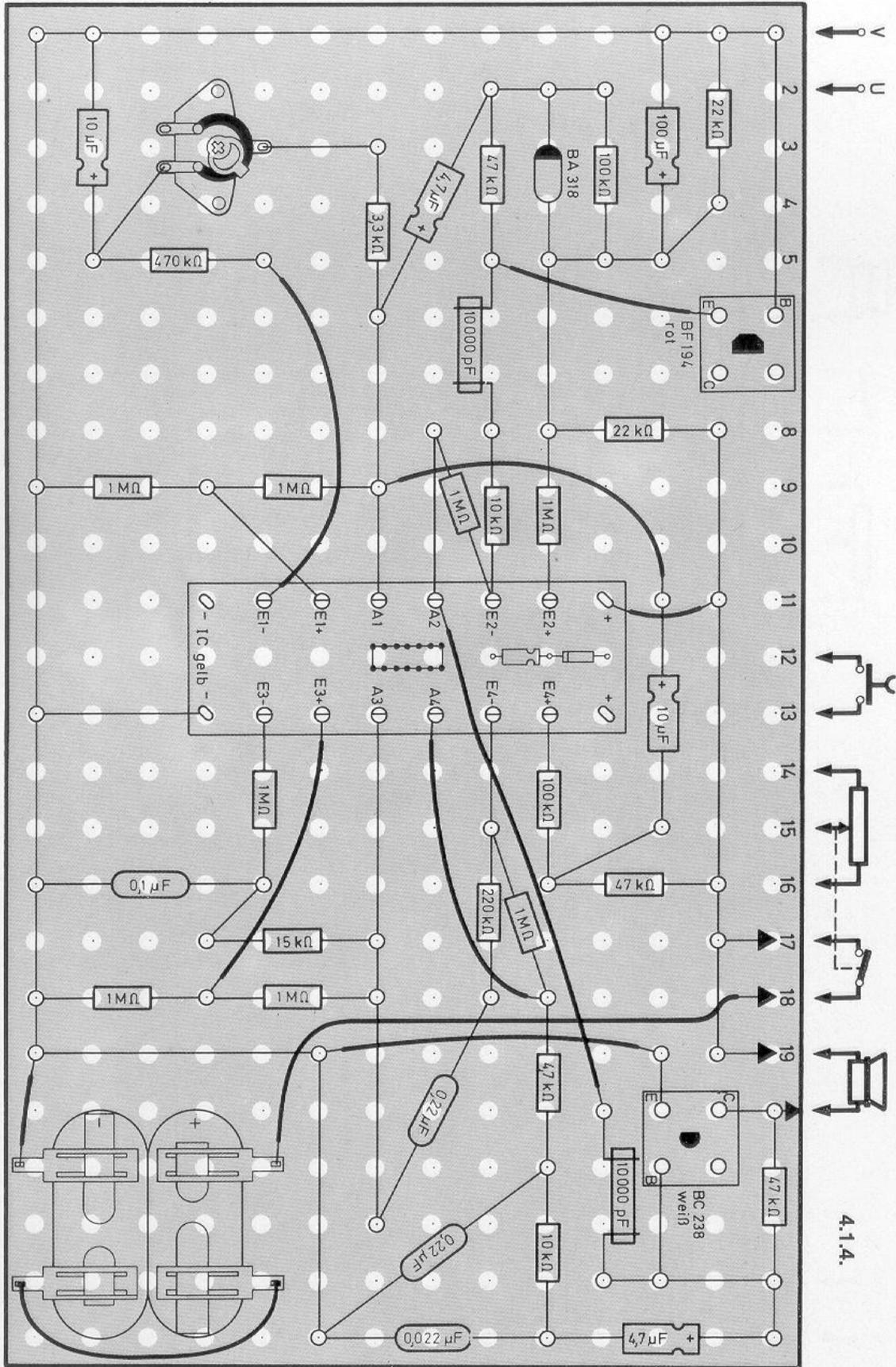




4.1.2.

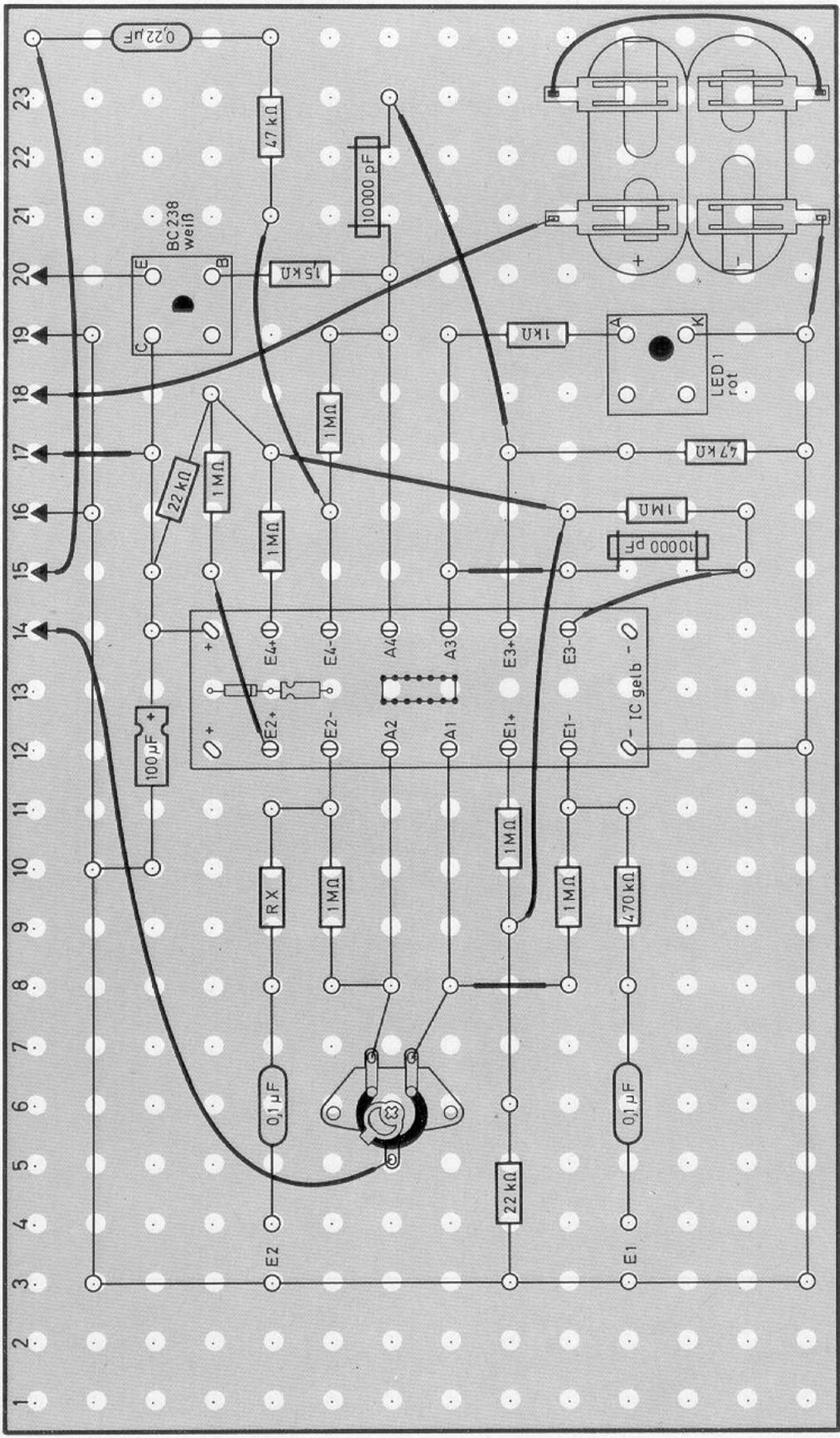
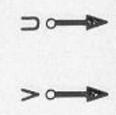
4.1.3.

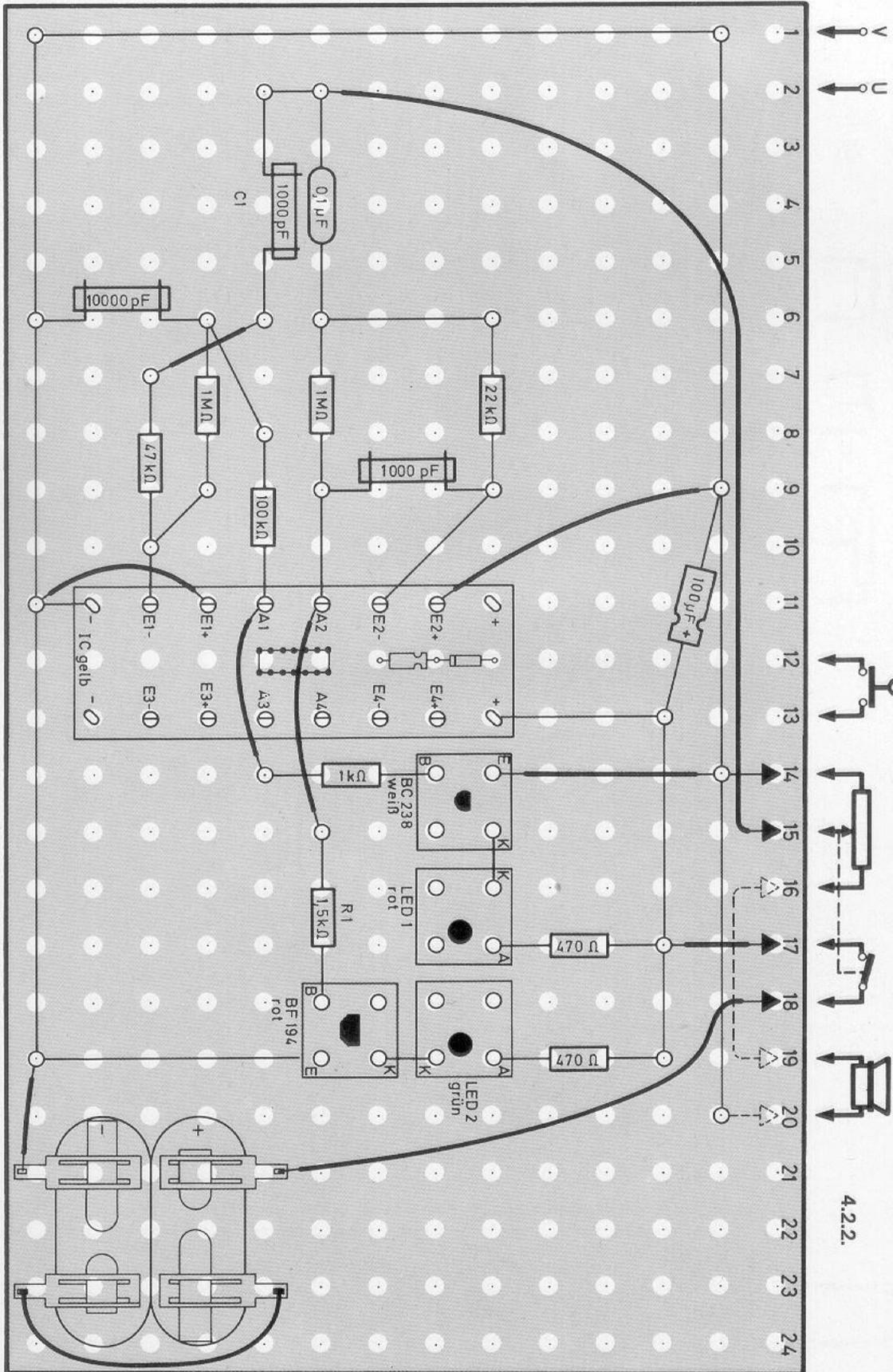




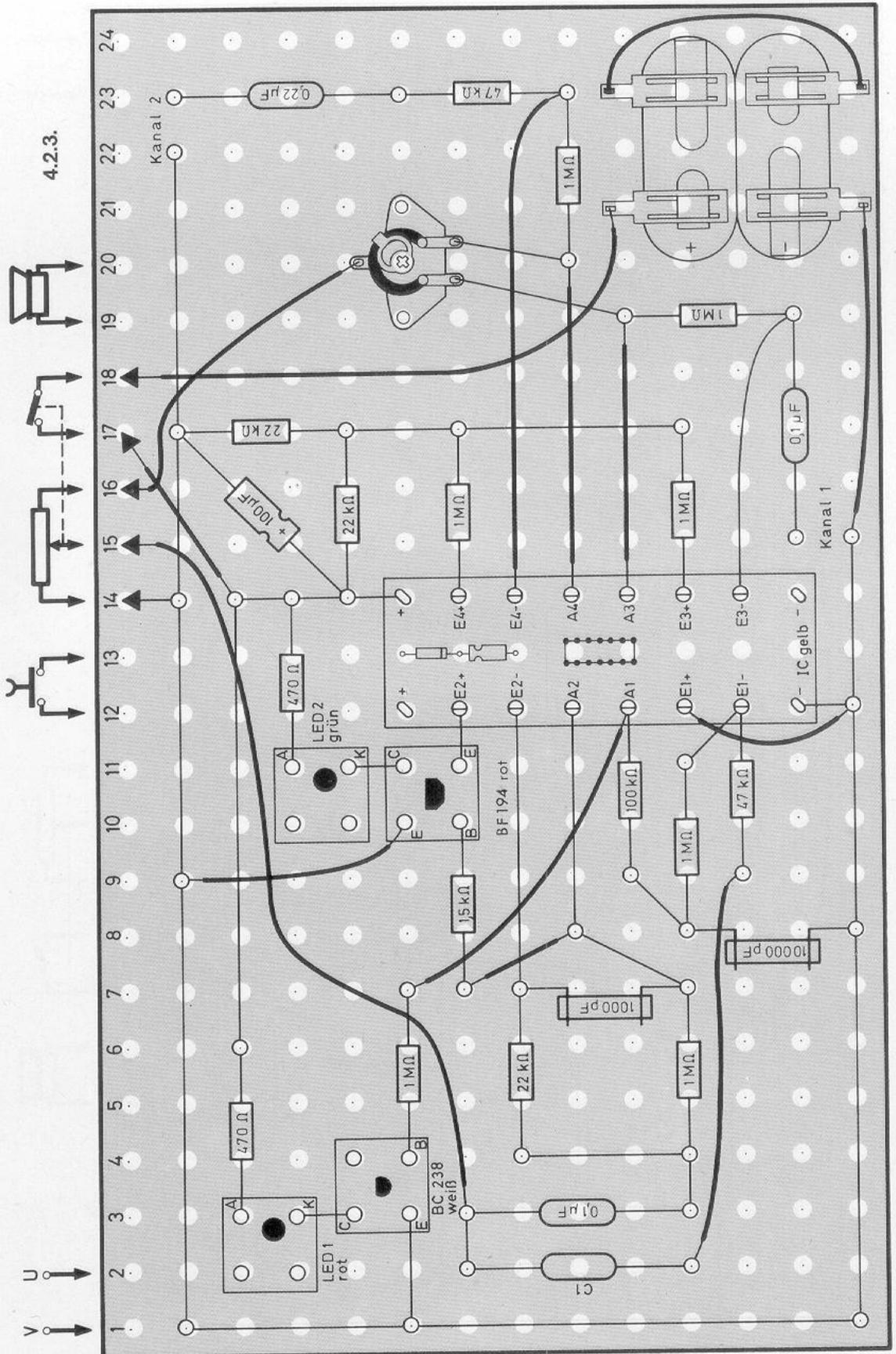
4.1.4.

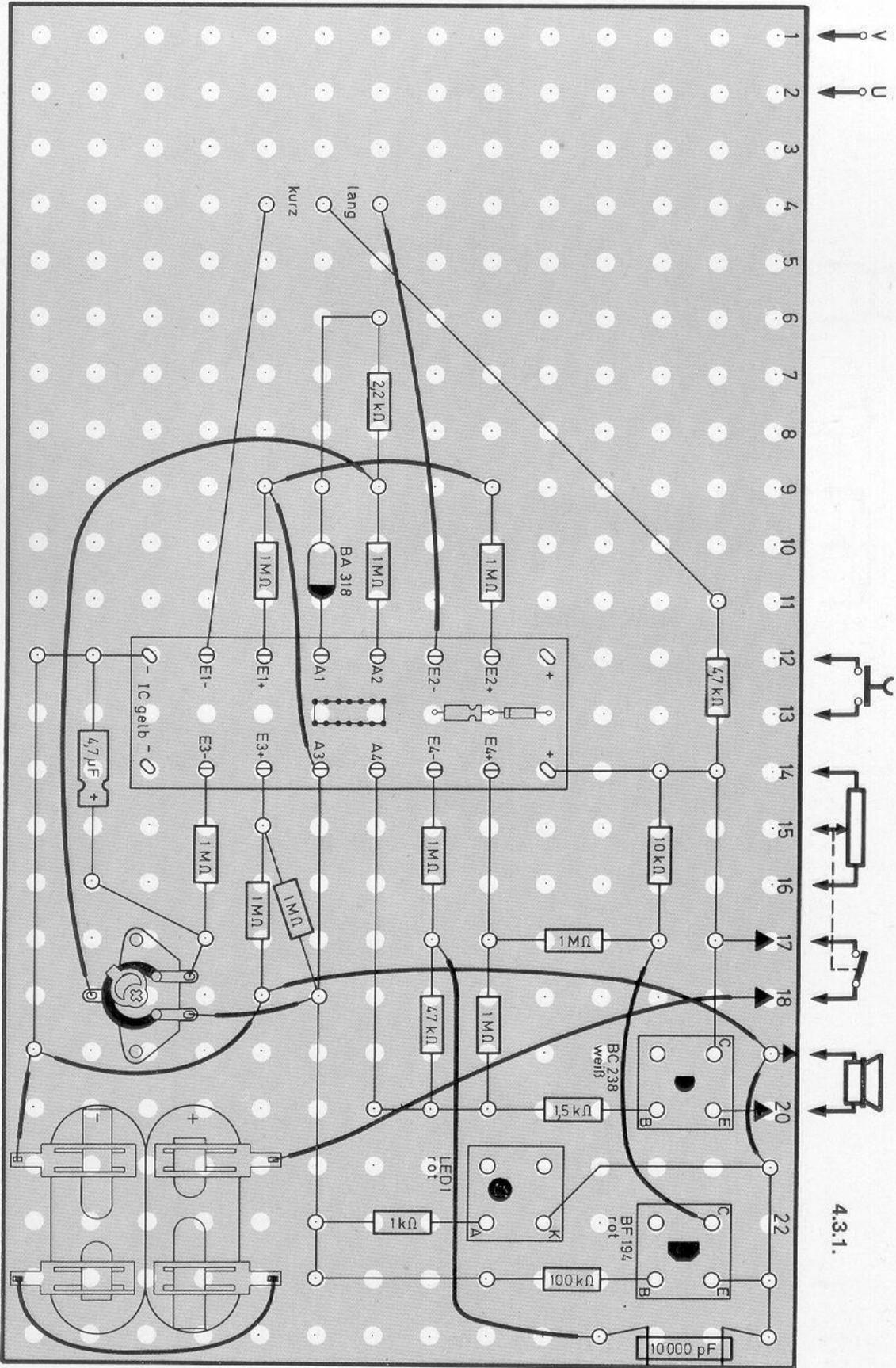
4.2.1.





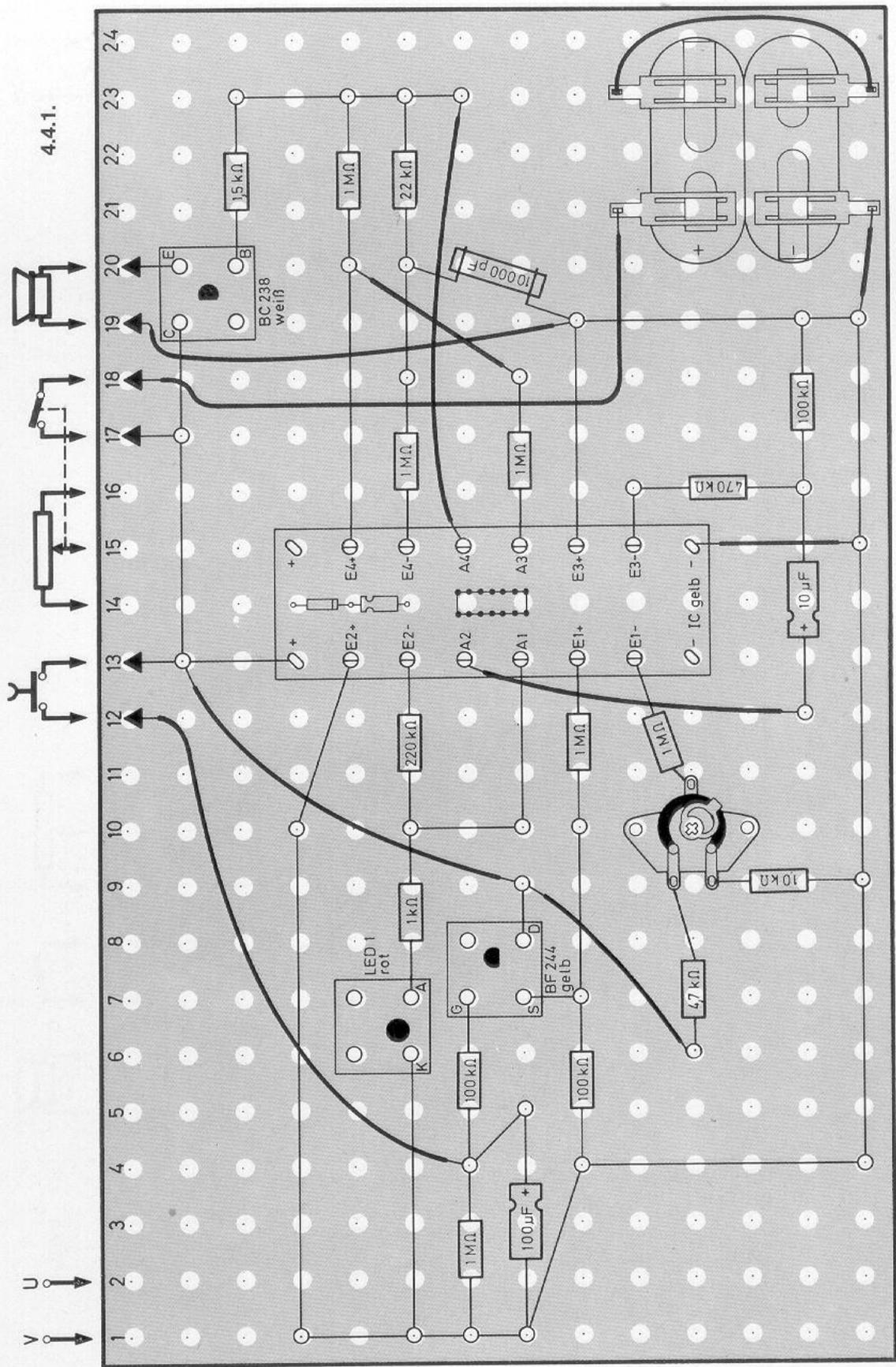
4.2.3.

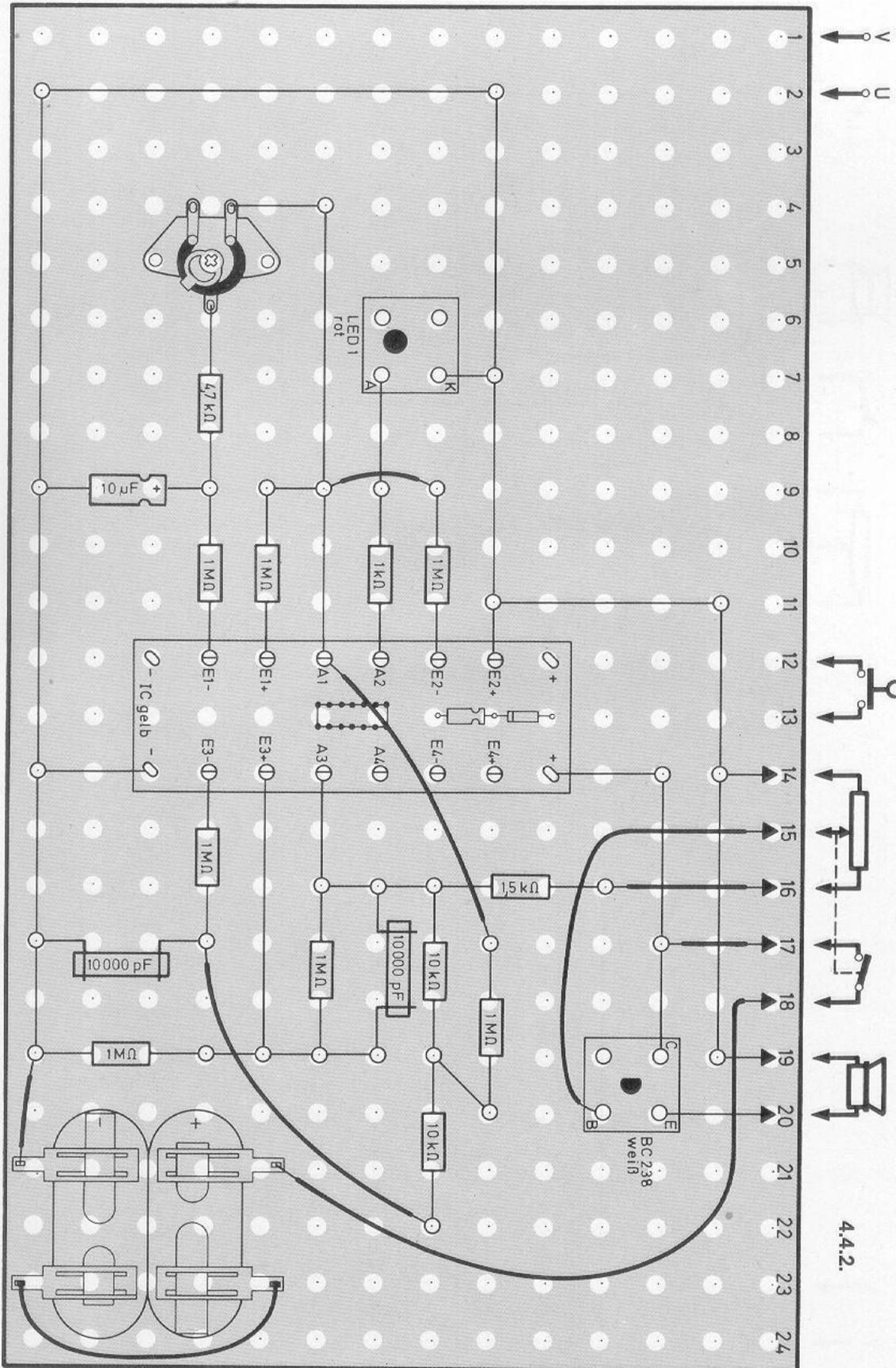




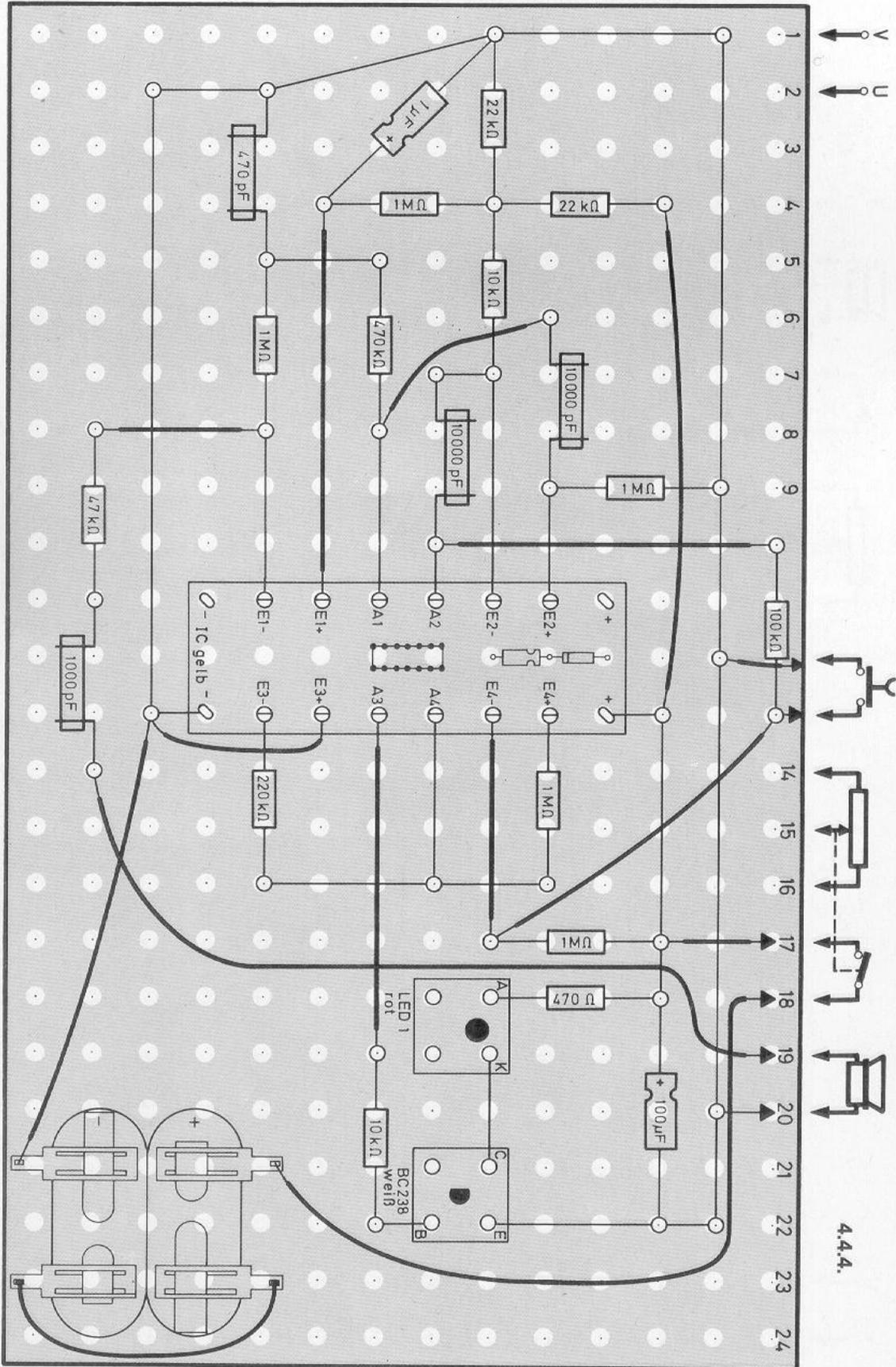
4.3.1.

4.4.1.



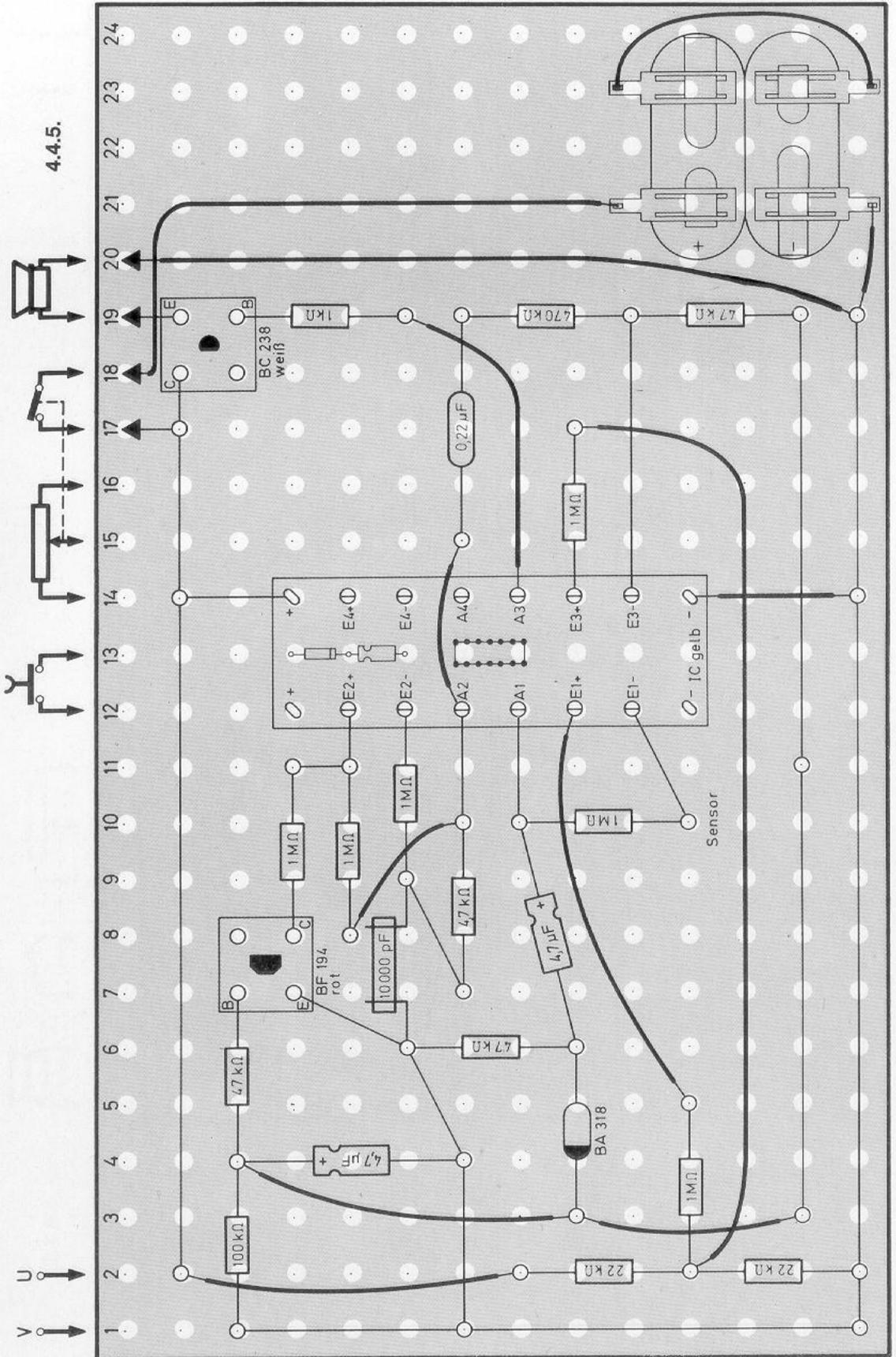


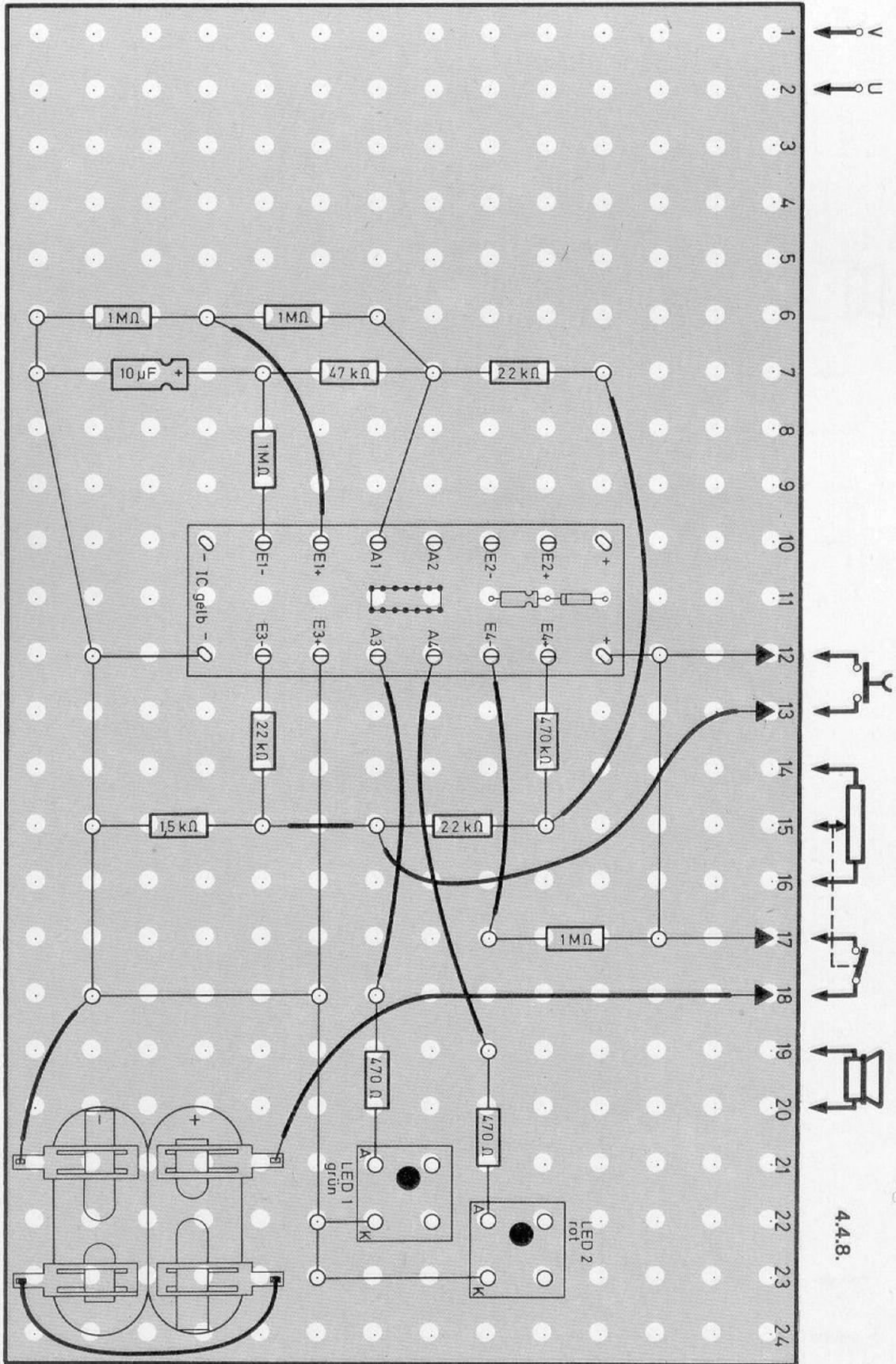
4.4.2.



4.4.4.

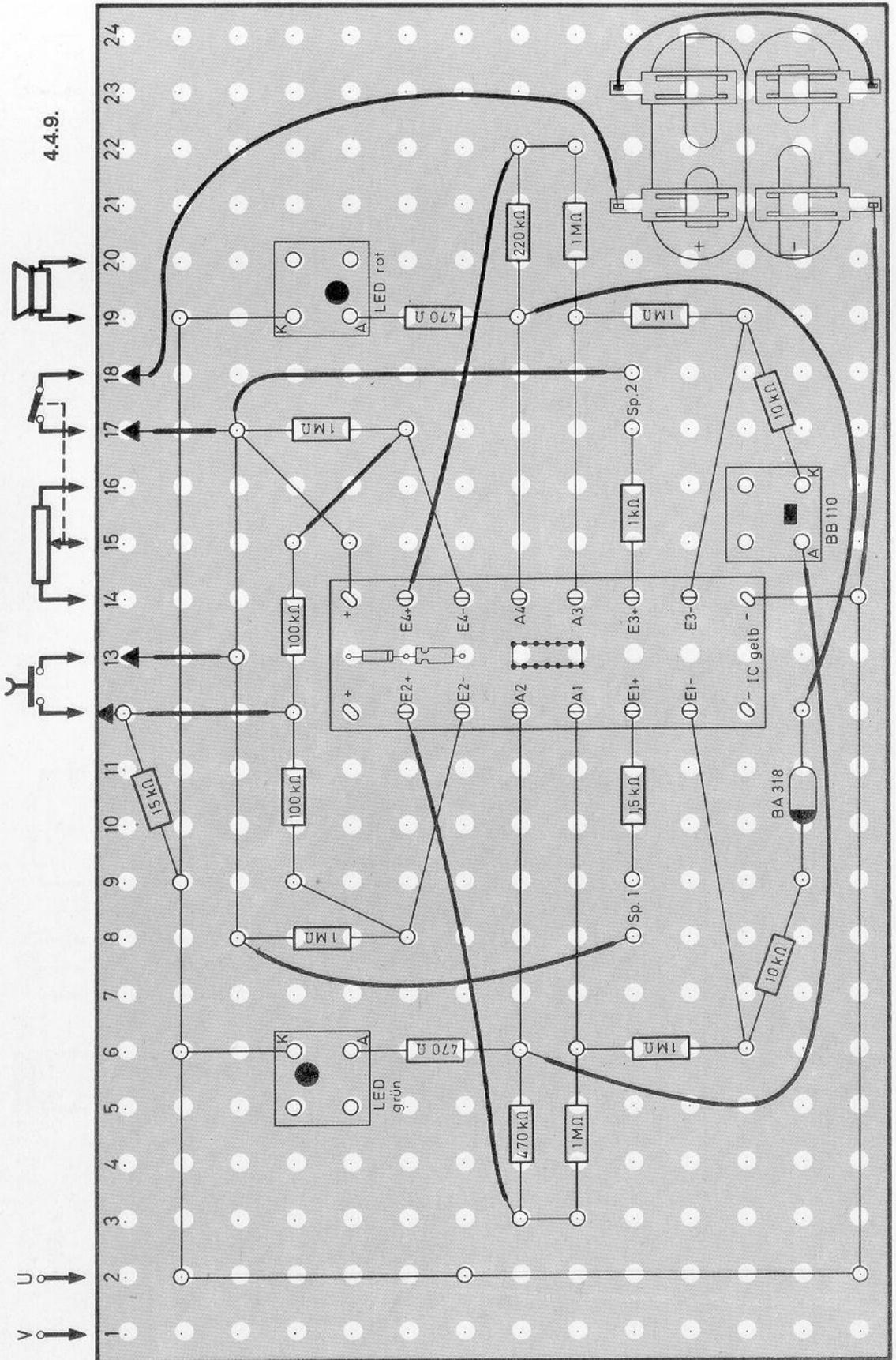
4.4.5.

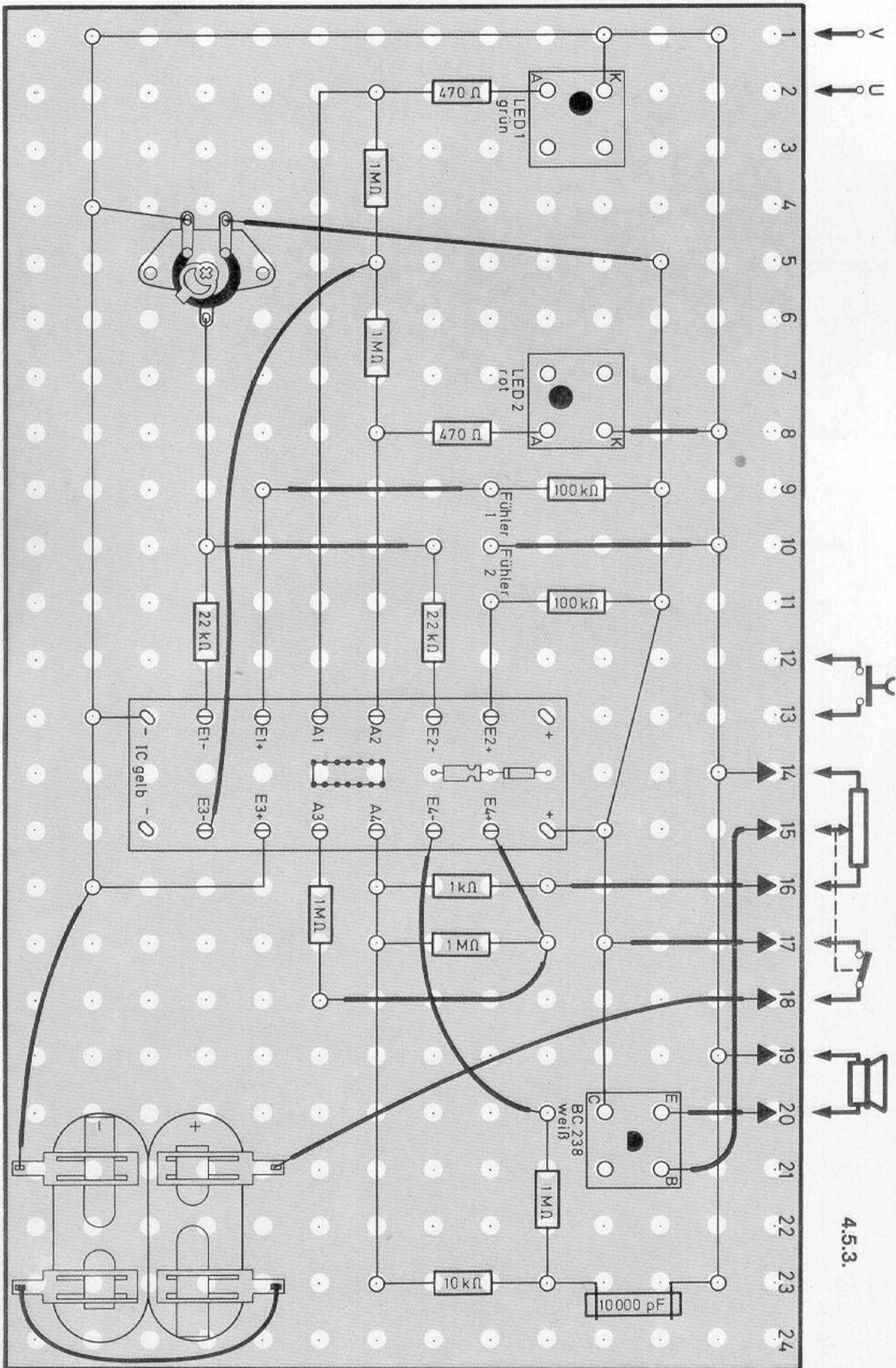




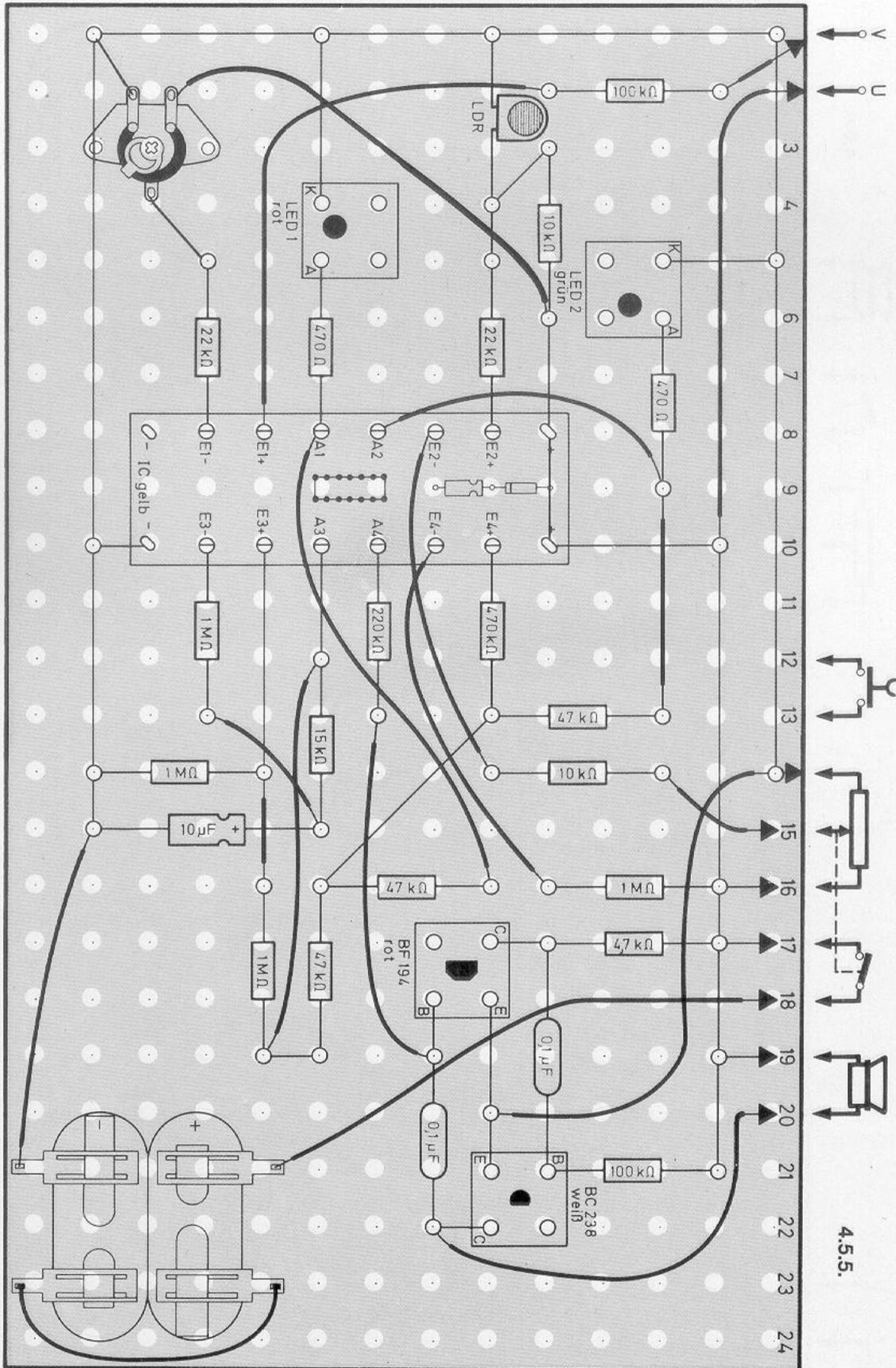
4.4.8.

4.4.9.



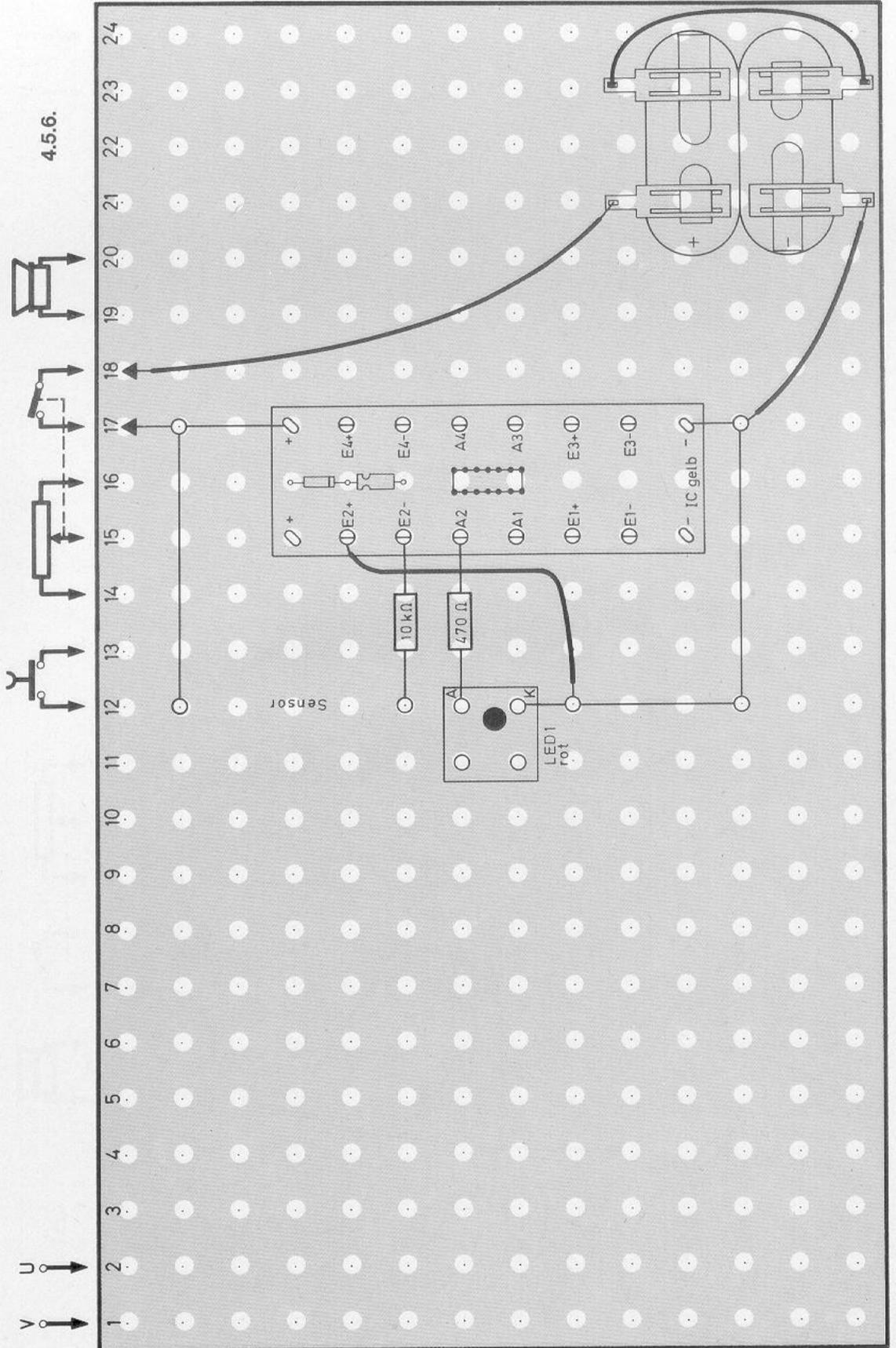


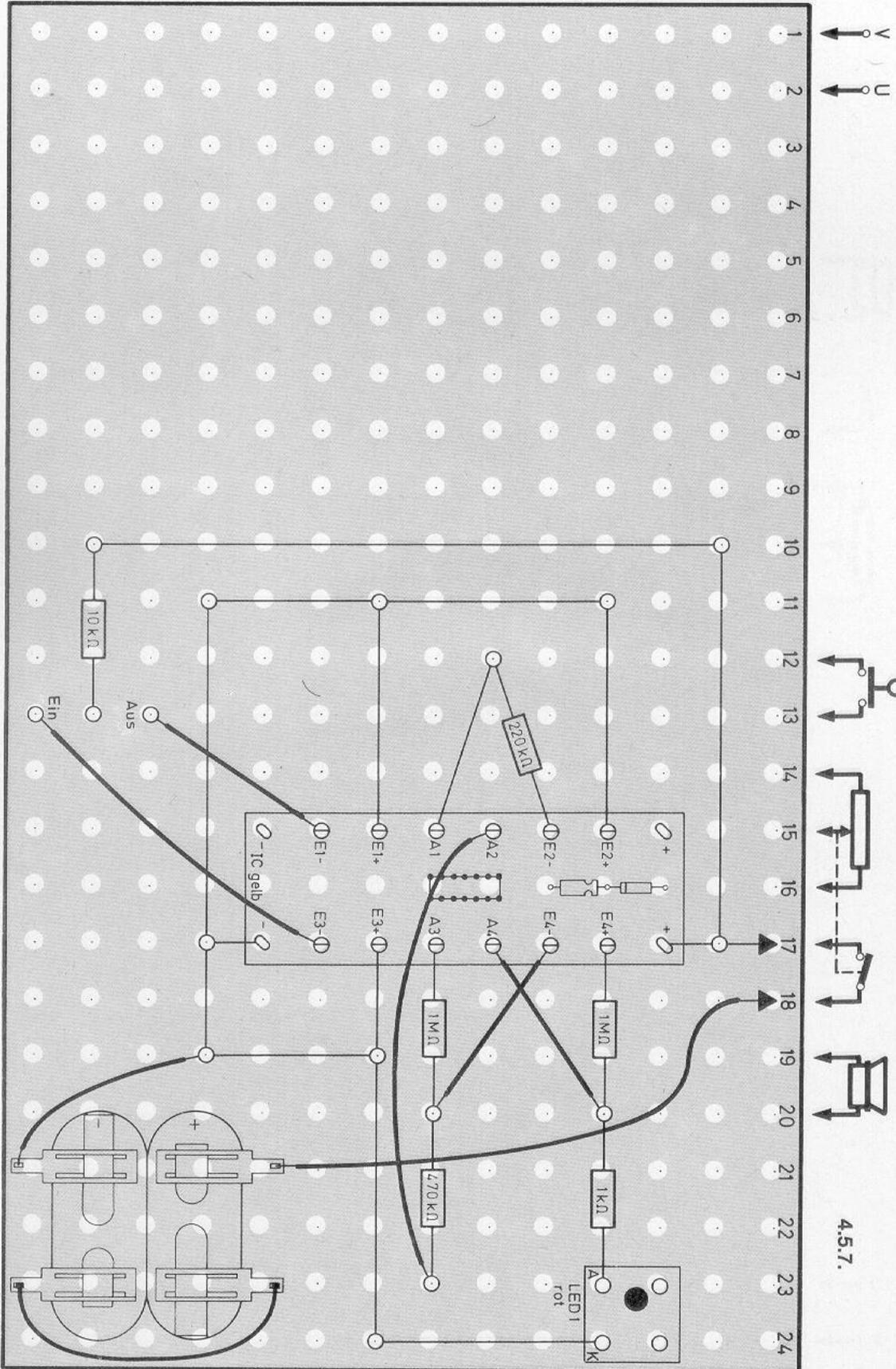
4.5.3.



4.5.5.

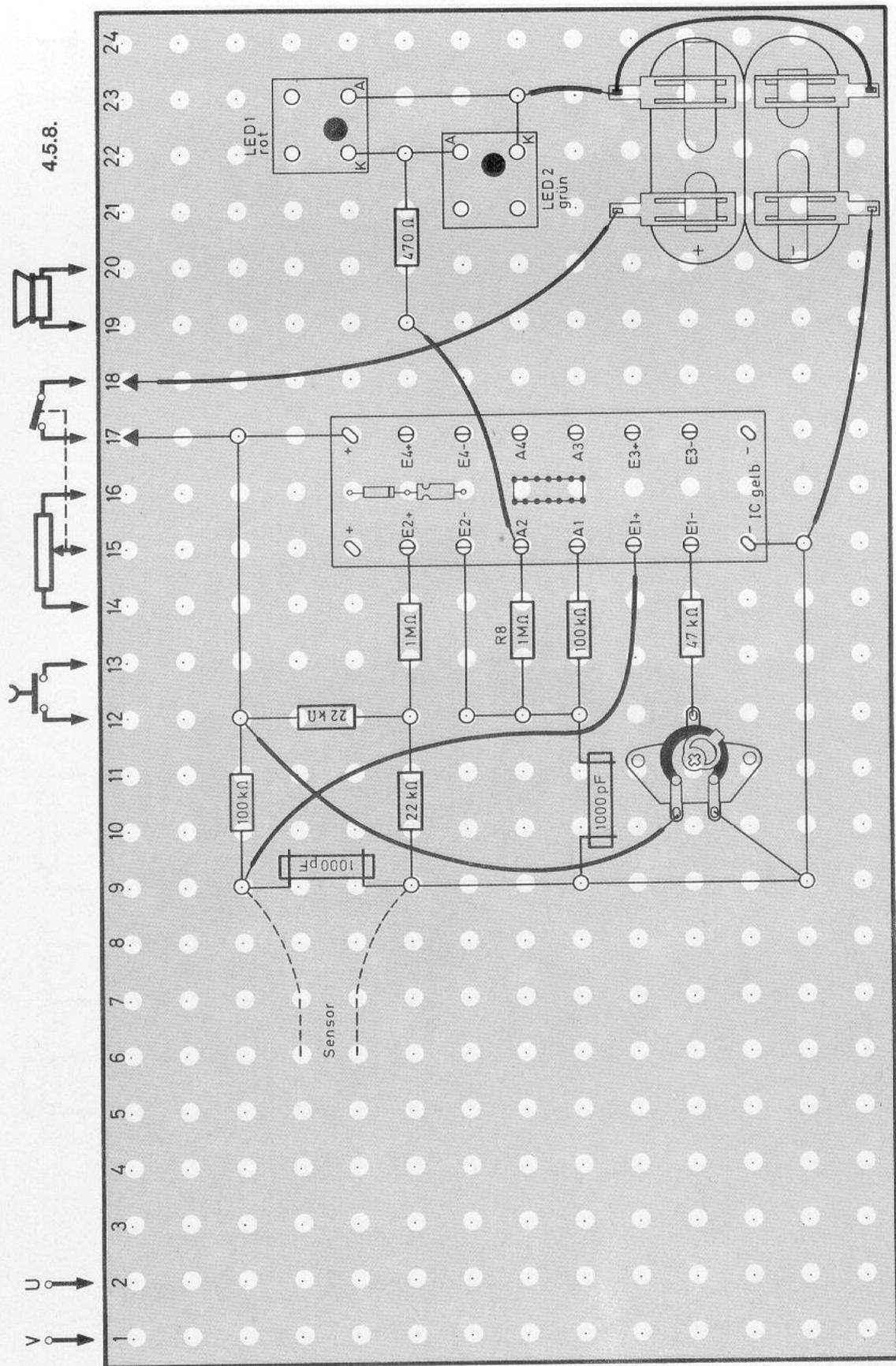
4.5.6.

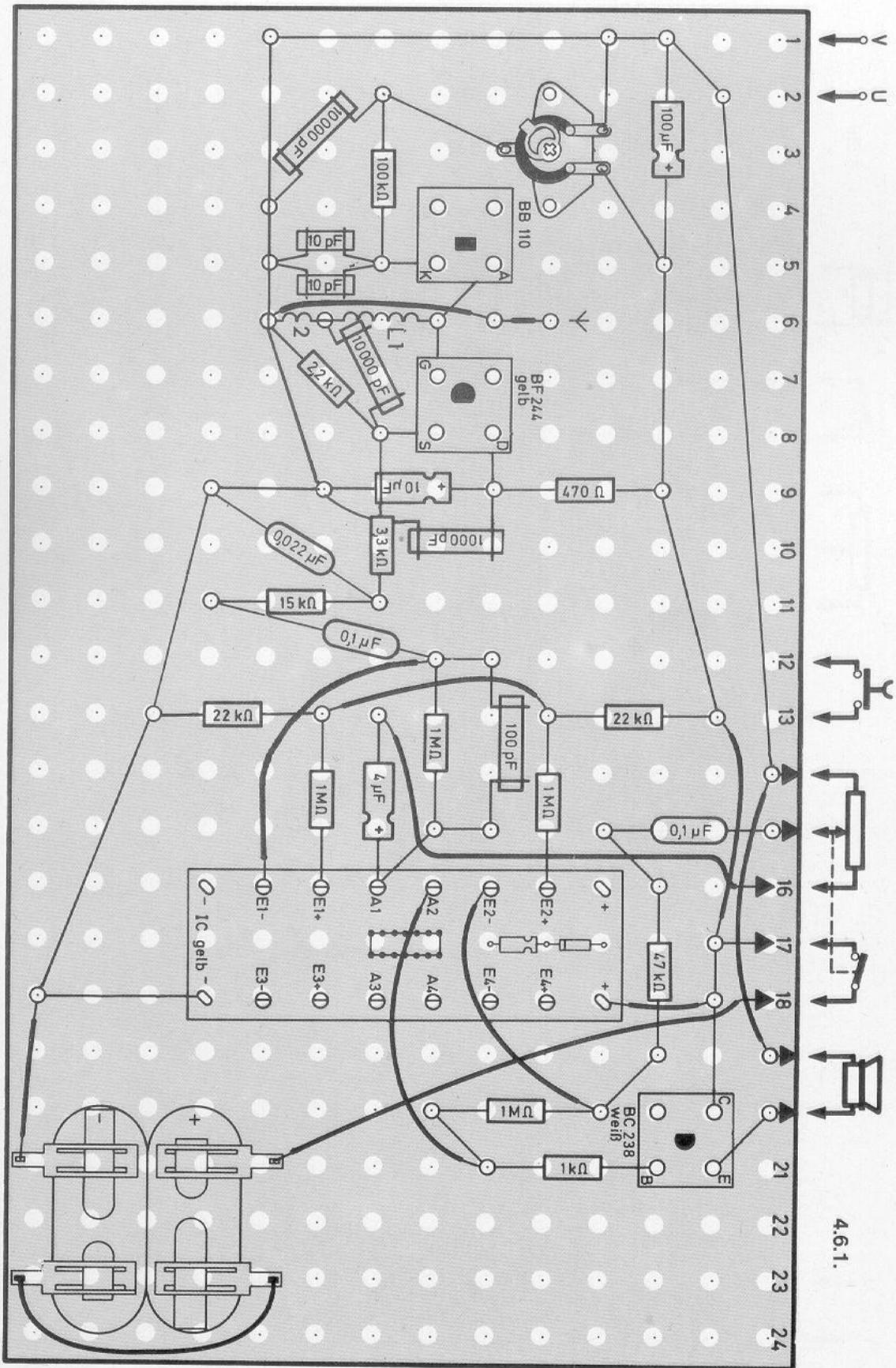




4.5.7.

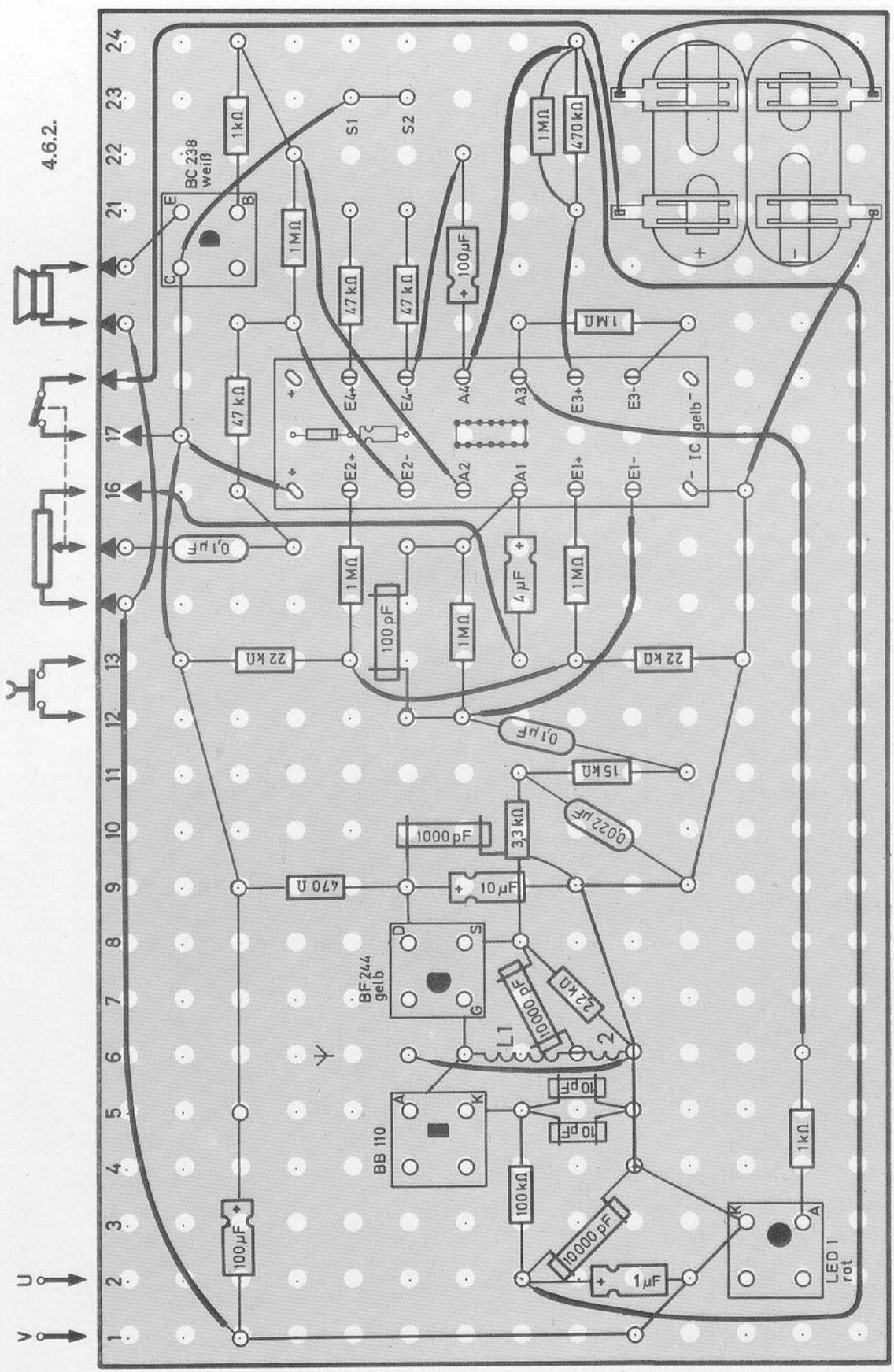
4.5.8.





4.6.1.

4.6.2.



Notizen

Notizen

Notizen

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

