

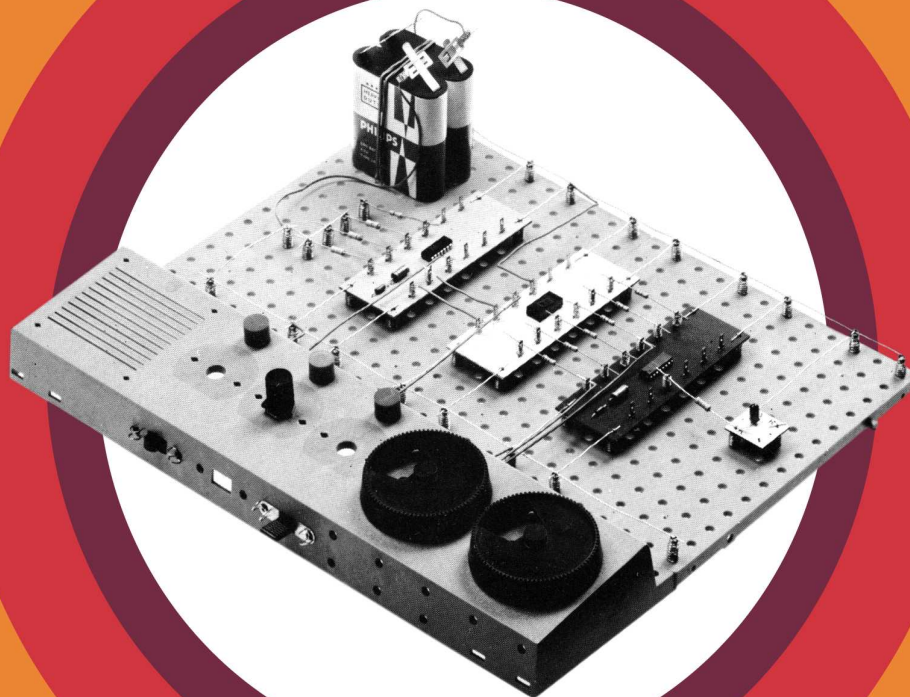
PHILIPS



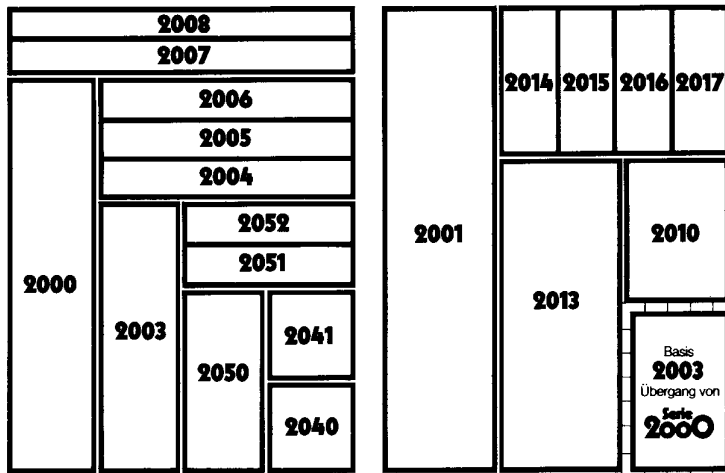
Grundlagen moderner Bauelemente

D

Anleitungsbuch für Elektronik-Experte EE 2014



Elektronik-Serie 2000/2001



© Philips GmbH, Bereich Technische Spielwaren, Hamburg – 1977/1

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

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

Technische Änderungen vorbehalten

**Grundlagen
moderner Bauelemente**

**Anleitungsbuch
für Elektronik-Experte EE 2014
Meßgeräte-Technik**

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

Inhaltsverzeichnis

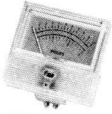
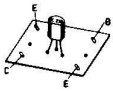
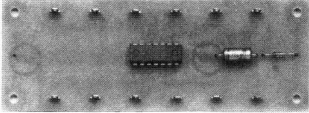










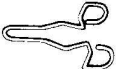



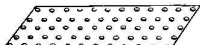


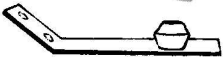
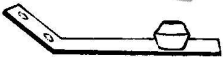
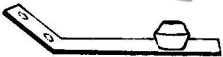
	Seite
Vorwort	3
Abbildung der Einzelteile und Inhaltsverzeichnis des Experimentierkastens	4
1. Allgemeine Bauanleitung	5
2. Grundlagen moderner Bauelemente	6
2.3. Allgemeine Meßtechnik	6
2.3.1. Das Meßwerk	7
2.3.2. Spannungsmessungen	8
2.3.3. Strommessungen	10
2.3.4. Widerstandsmessungen	12
4. Elektronische Geräte	13
4.9. Elektronisches Spannungsmeßgerät	13
4.9.1. FET-Voltmeter	13
4.9.1.1. Eichschaltung für FET-Voltmeter	16
4.9.1.2. Spannungsteiler	16
4.9.1.3. Variable Spannungsteilung	17
4.9.1.4. Hochohmiger Spannungsteiler	18
4.9.1.5. Niederohmiger Spannungsteiler	19
4.9.1.6. Widerstandsnetzwerke	20
4.9.1.7. Messungen an Dioden	21
4.9.1.8. Messungen an einer Zener-Diode	22
4.9.1.9. Messungen an der Kapazitäts-Diode	23
4.9.1.10. Messungen an der Leuchtdiode	24
4.9.1.11. Spannungsangaben in Schaltbildern	25
4.9.1.12. Messungen an Transistoren	26
4.9.1.13. Ausmessen einer Transistorstufe in Kollektor-Basis-Schaltung	27
4.9.1.14. Ausmessen einer Emitter-Basis-Schaltung	28
4.9.1.15. Ausmessen einer Transistor-Schaltstufe	29
4.9.2. FET-Milliamperemeter	30
4.9.2.1. Stromfluß im Reihenstromkreis	31
4.9.2.2. Stromfluß im verzweigten Stromkreis	32
4.9.2.3. Stromfluß in einer Transistorschaltung	33
4.9.3. Wechselspannungsmeßgerät	34
4.9.3.1. Signalgeber	35
4.9.3.2. Hochpaß	36
4.9.3.3. Tiefpaß	37
4.9.3.4. Emitterfolger	38
4.9.3.5. Emitter-Basis-Schaltung	38
4.9.5. Widerstandsmeßgerät	39
4.9.6. Transistormeßgerät für PNP-Transistoren	40
4.9.7. Transistormeßgerät für NPN-Transistoren	42
4.9.8. Frequenzmeßgerät	43
4.9.9. Kapazitätsmeßgerät	44
4.9.10. Beleuchtungsstärkenmeßgerät	45
4.9.11. Elektronisches Thermometer	46
4.9.12. Schallpegelmesser	47
4.9.13. Drehzahlmesser	48
4.9.14. Reaktionszeitmesser	49

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 Grundkästen EE 2010 oder EE 2013 der Elektronik-Serie 2001 besitzt. Dieser Zusatzkasten behandelt vornehmlich die Meßgeräte-Technik. Hierbei kommen moderne Bauelemente wie z. B. Drehspul-Meßwerk, NTC-Widerstand und eine Zener-Diode zum Einsatz.

Teil	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Inhalt	
	349.1218	Meßwerk 200 µA	1	
	1211	Transistor BC 158* Kennfarbe: blau	1	
	1305	Integrierter Schaltkreis (IC) LM 3900* Kennfarbe: gelb	1	
	1003	Diode BA 318*	2	
	1311	Zenerdiode BZX 79 C5 V1	1	
	1004	Widerstand* ¼ Watt	10 Ohm 47 Ohm 100 Ohm 1 000 Ohm 2 200 Ohm 3 900 Ohm 4 700 Ohm 10 000 Ohm 22 000 Ohm 47 000 Ohm 100 000 Ohm 220 000 Ohm 470 000 Ohm 1 000 000 Ohm 2 200 000 Ohm 4 700 000 Ohm 10 000 000 Ohm	1 1 1 2 1 1 1 3 1 1 1 1 2 6 1 1 1
	1040	Trimm-Potentiometer 47 000 Ohm	2	
	1063	NTC-Widerstand 47 kOhm	1	
	1005	Polyester-Kondensator*	0,047 µF 0,1 µF 0,22 µF	1 1 1
	1006	Elektrolyt-Kondensator*	100 µF	1
	1007	Keramischer Kondensator*	100 pF 1 000 pF 10 000 pF	1 1 2
	1016	Blanker Draht	4 m	
	1017	Isolierter Draht	4 m	
	1020	Haarnadelfeder	50	
	1021	Klemmfeder	50	
	1022	Spiralfeder	20	
	1028	Gummiband	2	
	1130	Grundplatte	1	
	1133	Batterieklemme	4	
	1256	Pultsockel	1	
	1265	Klebeband	1	
	5015	Taste	1	
	1754	Anleitungsbuch	1	

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

1. Allgemeine Bauanleitung

1.6. Befestigen der Bauelemente

Das Meßwerk (1218)

Zum Befestigen des Meßwerks auf der Grundplatte wird der Pultsockel (1256) benötigt. Darauf klemmt man zunächst ein Stück doppelseitiges Klebeband und drückt dann – die beiden Zapfen auf der Rückseite müssen in die vorstehenden Führungen passen – das Meßwerk fest auf den Sockel. Es empfiehlt sich, dann zunächst die Anschlußdrähte mit Spiralfedern am Meßwerk zu befestigen. Dabei sollten die Drähte ebenso gekennzeichnet werden wie neben den Lötösen im Meßwerk, nämlich mit Minus- und Pluszeichen.

Die Befestigung des Pultsockels auf der Grundplatte erfolgt in der bekannten Weise mit Haarnadel- und Klemmfedern.

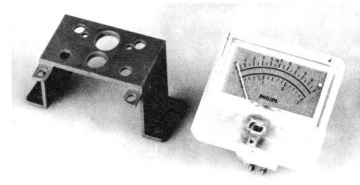
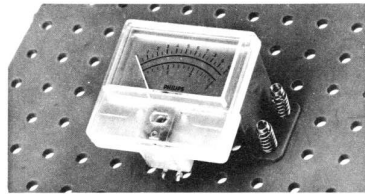
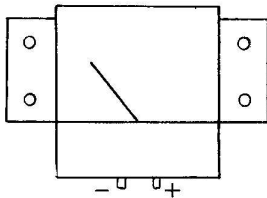


Abb. 1

NTC (1063)

Der NTC – temperaturabhängige Widerstand wird mit den Anschlußdrähten direkt an den Klemmen befestigt.



Abb. 2.

Zenerdiode (1311)

Die Zenerdiode kann direkt mit den Anschlußdrähten an den Klemmen befestigt werden. Die Pole sind auf dem Gehäuse gekennzeichnet. Es ist auf richtige Polung zu achten. Die Katode ist mit einem Farbring gekennzeichnet.

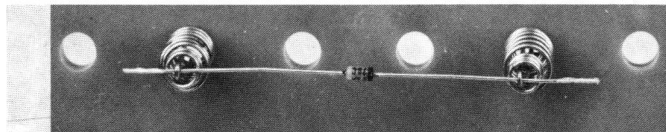


Abb. 3.

Taste (5015)

Die Taste wird mit zwei Klemmen auf der Grundplatte befestigt (s. Abb. 4). Den Gegenkontakt bildet eine weitere Klemme.

Bei einigen Geräten ist es erforderlich, daß diese Taste ständig eingeschaltet ist. Dann kann man die beiden äußeren Klemmen mit einem blanken Draht verbinden.

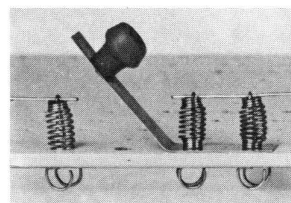
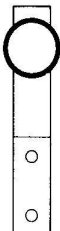


Abb. 4

2. Grundlagen moderner Bauelemente

2.3. Allgemeine Meßtechnik

Messen ist das Bestimmen von Mengen, Größen oder anderen Einheiten, wobei eine zu messende Größe mit einer anderen der gleichen Art, der sog. **Maßeinheit**, verglichen wird. Der Meßvorgang selbst liefert die **Meßzahl**. Aus dem Produkt einer Meßzahl und der Einheit ergibt sich die physikalische Größe (Meßgröße).

Die Bezeichnung Meßtechnik umfaßt alle Verfahren, mit deren Hilfe Messungen ausgeführt werden können. Dazu gehören u. a.: **Waagen**, die das Gewicht über eine Feder in eine Bewegung des Skalenzeigers übertragen, oder **Thermometer**; bei ihnen bewirkt eine Temperaturänderung die Vergrößerung bzw. Verkleinerung eines bestimmten Volumens Quecksilber, so daß die Temperaturänderung auf der Skala abgelesen werden kann.

In der elektronischen Meßtechnik werden alle Arten von Mengen und physikalischen Größen in elektrische Ströme und Spannungen umgewandelt, die dann in elektrischen Schaltkreisen aufbereitet und mit Anzeigeeinheiten sichtbar gemacht werden. Außerdem lassen sich in elektrischen Systemen gemessene Spannungen und Ströme mit bekannten Sollwerten vergleichen.

Da sich die elektrischen Vorgänge im Stromkreis der direkten Beobachtung entziehen, ist es zunächst notwendig, diese Vorgänge selbst durch Messungen zu verfolgen.

Dazu werden Meßgeräte direkt in die entsprechende Schaltung eingebaut und die Wirkung des Stromes z. B. durch ein Zeigerinstrument sichtbar gemacht.

2.3.1. Das Meßwerk

Am häufigsten finden Zeigerinstrumente Verwendung, deren Zeigerausschlag auf der magnetischen Ablenkung einer Drehspule des Meßwerkes beruht. Zur Erzeugung des magnetischen Feldes muß der Strom durch die Meßwerkspule fließen. Die Spule selbst besitzt einen elektrischen Widerstand, den Innenwiderstand, der bei Konstruktion und Anwendung des Meßgerätes von Bedeutung ist. Das Meßwerk in diesem Experimentierkasten hat einen Innenwiderstand von 750Ω und eine Stromaufnahme von ca. $200 \mu\text{A}$ bei vollem Zeigerausschlag.

Zum fachgerechten Messen elektrischer Größen muß man einige Besonderheiten beachten. Die Meßwerke der Instrumente bzw. Geräte sind nach Güteklassen eingeteilt. Man legt damit die Maßgenauigkeit fest. Beträgt diese z. B. 5% , so bezieht sie sich auf den Skalenwert:

$$\begin{aligned} \text{Meßbereich} & 10 \text{ Volt} \\ 5\% \text{ von } 10 \text{ Volt} & = 0,5 \text{ V} \end{aligned}$$

5% Toleranz bedeuten also, daß eine Abweichung von $0,5 \text{ V}$ nach oben und nach unten zulässig ist. Der wahre Wert bei Endausschlag des Instruments kann also zwischen $10,5 \text{ V}$ und $9,5 \text{ V}$ liegen. Diese $0,5 \text{ V}$ Toleranz gelten nun aber auch für den Skalenanfang. Mißt man z. B. eine Spannung von 1 Volt mit dem 10 V -Meßbereich, so kann der absolute Wert

$$\begin{aligned} 1 + 0,5 \text{ V} & = 1,5 \text{ V} \text{ oder} \\ 1 - 0,5 \text{ V} & = 0,5 \text{ V} \end{aligned}$$

betragen. Aus diesem Sachverhalt ergibt sich die Forderung, den Meßbereich immer so zu wählen, daß man im oberen Skalenteil arbeitet, d. h. möglichst nahe dem Endausschlag des Instruments.

Eine weitere Anweisung zum richtigen Umgang mit einem Meßgerät bezieht sich auf das Feststellen unbekannter elektrischer Größen. Man beginnt die Messung immer mit dem größten Meßbereich und verhindert so, daß der Zeiger gegen den Anschlag prellt und sich verbiegt. Bei extremer Fehleinstellung kann auch das Meßwerk zerstört werden.

Bei allen Messungen im elektrischen Stromkreis spielt der gesetzmäßige Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand eine grundlegende Rolle. Er ist im Ohmschen Gesetz festgelegt.:

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

Um mathematische Formulierungen dieser Zusammenhänge zu ermöglichen, wählt man Kurzzeichen für die entsprechenden elektrischen Größen. Das Zeichen I steht stellvertretend für die Stromstärke, U für die Spannung und R für den elektrischen Widerstand. Dann läßt sich die Gesetzmäßigkeit durch folgende Gleichung ausdrücken:

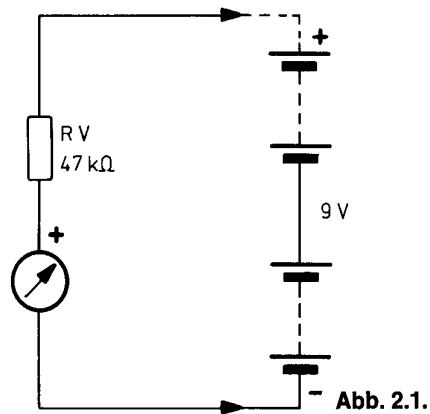
$$I = \frac{U}{R}$$

Daraus ergibt sich durch Umformung:

$$U = R \cdot I \text{ und } R = \frac{U}{I}$$

2.3.2. Spannungsmessungen

Abb. 2.1. zeigt ein einfaches Spannungsmessgerät, das für einen Bereich von 10 Volt – Vollausschlag des Zeigers im Meßgerät – konstruiert ist.



Da das Meßinstrument einen Innenwiderstand (R_i) von 750Ω und bei Vollausschlag eine Stromaufnahme von ca. $200 \mu\text{A}$ besitzt, ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz:

$$\begin{aligned}U &= R_i \cdot I \\U &= 750 \cdot 0,0002 \text{ [V]} \\U &= 0,15 \text{ V}\end{aligned}$$

Für vollen Zeigerausschlag werden demnach 0,15 Volt Spannung benötigt. Um den 10-Volt-Bereich zu realisieren, muß also ein Vorwiderstand (R_V) ermittelt werden. Das Ohmsche Gesetz gibt Auskunft, wie dieser Widerstand zu dimensionieren ist. Da das Meßgerät zum Vollausschlag eine Spannung von 0,15 Volt benötigt, müssen am Vorwiderstand $10 - 0,15 = 9,85$ Volt abfallen.

$$\begin{aligned}R_V &= \frac{U}{I} \\R_V &= \frac{9,85}{0,0002} \text{ [\Omega]} \\R_V &= 49250 \Omega\end{aligned}$$

Bei der Größenordnung des errechneten Wertes kann der Normwert von $47\,000 \Omega = 47 \text{ k}\Omega$ eingesetzt werden.

Die Abweichung liegt innerhalb einer Toleranz von 5 % und kann deshalb vernachlässigt werden.

Zur Vereinfachung der Berechnung kann auch der Eigenspannungsbedarf des Instruments vernachlässigt werden. Bei dem angegebenen Meßbereich von 10 Volt beträgt dann der Fehler von 0,15 Volt nur 1,5 %. Je größer der Meßbereich wird, desto geringer wirkt sich der Fehler aus. Er beträgt z. B. bei 100 Volt nur 0,15 %.

Bei kleineren Meßbereichen allerdings muß der Eigenspannungsbedarf sehr wohl berücksichtigt werden. Bei 1 Volt z. B. würde er das Ergebnis sonst um 15 % verfälschen.

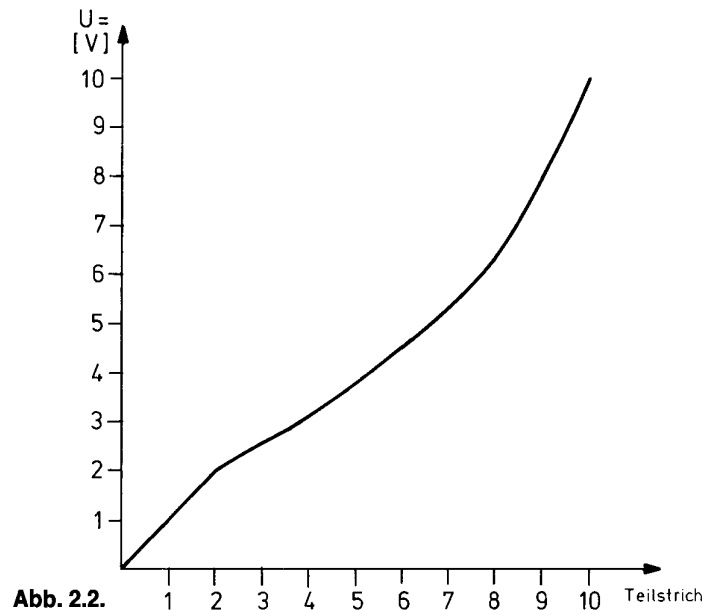
Beim Anlegen der Betriebsspannung von 9 Volt zeigt das Instrument nach Abb. 2.1. fast vollen Zeigerausschlag.

In der Konstruktion des Meßwerkes liegt es begründet, daß das Instrument nicht linear arbeitet.

Um alle Spannungswerte ablesen zu können, muß man nach der folgenden Vergleichstabelle verfahren:

Teilstrich	Spannung
1	1 Volt
2	2 Volt
3	2,6 Volt
4	3,1 Volt
5	3,7 Volt
6	4,4 Volt
7	5,3 Volt
8	6,4 Volt
9	8,0 Volt
10	10,0 Volt

Die Tabelle läßt erkennen, daß bei diesem Meßwerk kein linearer Zusammenhang zwischen der Spannung und der Zeigerstellung besteht. Dies wurde bewußt zugunsten einer sehr stabilen Ausführung mit in Kauf genommen, zumal diese Erscheinung bei den nachfolgenden Geräten durch die elektrischen Schaltungen weitgehend kompensiert wird. Die Werte stellt man auch in einer Eichkurve (Abb. 2.2.) dar.

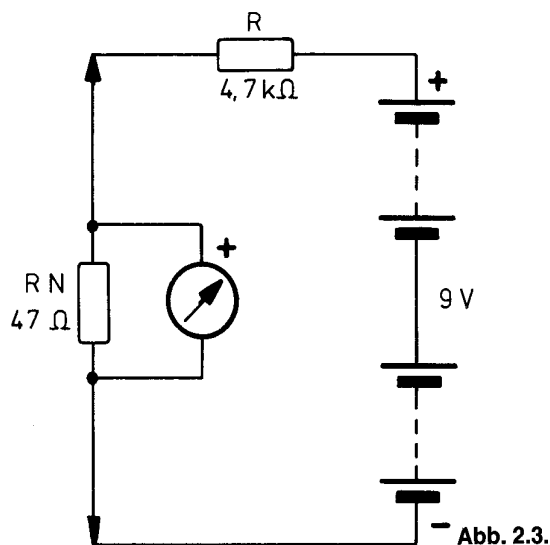


Das Spannungsmeßgerät wird zum Messen von Spannungen mit den Klemmen immer parallel an die Punkte des Stromkreises gelegt, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll. Auf richtige Polung ist dabei zu achten.

2.3.3. Strommessungen

Bei Strommessungen ist der Zeigerausschlag im Meßgerät abhängig vom Strom, der durch das Meßwerk fließt. Bei entsprechender Eichung läßt sich der zu messende Strom ohne Umrechnung direkt ablesen.

Ein Strommeßgerät muß direkt in den Stromkreis hineingeschaltet werden. Der Innenwiderstand der Spule bewirkt eine Minderung des ursprünglichen Stromes. Diese Minderung darf nur vernachlässigt werden, wenn der Innenwiderstand des Meßgerätes im Vergleich zu den übrigen Widerständen im Stromkreis sehr klein ist. Die Meßspule mit ihren feinen Drähten kann diese Bedingung nicht erfüllen. Deshalb schaltet man parallel dazu einen Nebenwiderstand mit kleinem Wert. Er heißt Shunt (engl. to shunt = ableiten). So wird der Gesamtwiderstand dem gewünschten Meßbereich angepaßt.



Das Strommeßgerät nach Abb. 2.3. soll in einem Meßbereich von 3 mA arbeiten. Für diesen Meßbereich muß ein Nebenwiderstand (R_N) eingesetzt werden. Bei einem Meßbereich von 3 mA darf durch das Meßgerät ein Strom von höchstens $200 \mu\text{A}$ fließen, die restlichen 2,8 mA müssen durch den Nebenwiderstand R_N geleitet werden.

Bei der Berechnung geht man davon aus, daß sich bei zwei parallel geschalteten Widerständen die Ströme umgekehrt proportional zu diesen Widerständen verhalten.

$$\begin{aligned} R_N : R_i &= I_2 : I_1 \\ R_N &= \frac{R_i \cdot I_2}{I_1} [\Omega] \\ R_N &= \frac{750 \cdot 0,0002}{0,0028} [\Omega] \\ R_N &\approx 53,6 \Omega \end{aligned}$$

Für den errechneten Wert von $53,6 \Omega$ wird der Normwiderstand von 47Ω eingesetzt.

Nach Abb. 2.3. soll der Strom durch einen Widerstand von $R = 4,7 \text{ k}\Omega$ gemessen werden. Bei einer Betriebsspannung von 9 Volt muß nach dem Ohmschen Gesetz

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

$$I = \frac{9}{4700} \text{ [A]}$$

$$I \approx 0,002 \text{ A}$$

ein Strom von ca. 2 mA fließen.

Auf dem Anzeigeinstrument ist ein Skalenwert von 2,2 abzulesen. Da das Meßgerät aufgrund der Konstruktion nicht linear arbeitet, muß, wie bei der Spannungsmessung, eine Umrechnungstabelle benutzt werden.

Skalenwert	Strom
0,2	0,2
0,4	0,3
0,6	0,4
0,8	0,6
1	0,7
1,2	0,9
1,4	1
1,6	1,1
1,8	1,3
2	1,6
2,2	2
2,4	2,3
2,6	2,6
2,8	2,9
3	3,2

In der Eichkurve nach Abb. 2.4. sind die Werte graphisch dargestellt. Zwischenwerte lassen sich aus der Kurve ablesen.

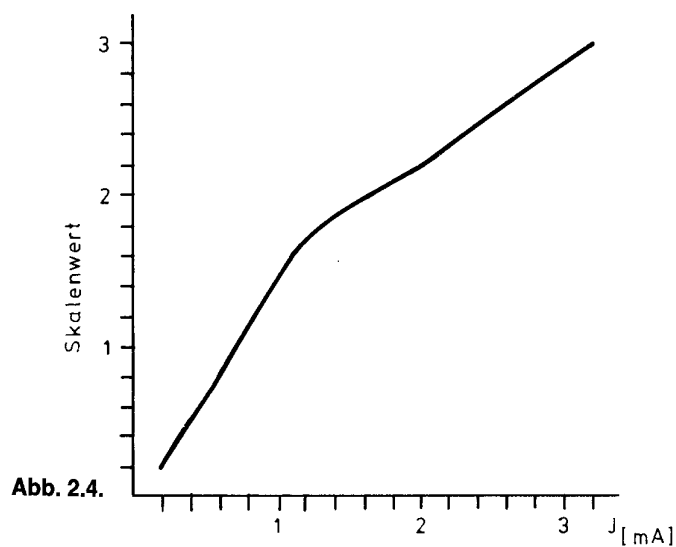


Abb. 2.4.

2.3.4. Widerstandsmessungen

Für das Zusammenspiel der drei elektrischen Größen Strom, Spannung, Widerstand ist es oft wichtig, den Wert eines Widerstandes zu ermitteln.

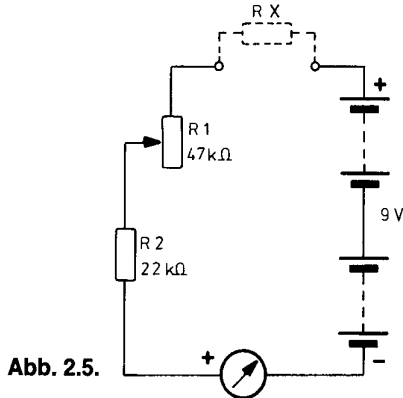


Abb. 2.5.

Bei einer Widerstandsmessung nach Abb. 2.5. muß das Anzeigeinstrument zunächst so abgeglichen werden, daß der Zeiger Vollausschlag aufweist. Dazu überbrückt man die Klemmen A und B mit einer Drahtverbindung und regelt mit dem Potentiometer, bis das Meßgerät Vollausschlag zeigt.

Schaltet man nun einen unbekanntem Widerstand R_x zwischen die Klemmen, kann der Widerstandswert abgelesen werden, da durch jeden eingesetzten Widerstand der Strom im Kreis verringert wird. Je größer der Widerstand ist, desto kleiner wird die Stromstärke. Das Gerät zeigt also umgekehrt an:

- kleiner Widerstand – großer Zeigerausschlag
- großer Widerstand – kleiner Zeigerausschlag

Diese umgekehrte Anzeige ist bei allen herkömmlichen Ohmmetern üblich. Aus der Tabelle kann man von der Anzeige des Instruments auf den Widerstand schließen.

Skalenwert	Widerstandswert
1	180 K Ω
2	120 K Ω
3	82 K Ω
4	68 K Ω
5	56 K Ω
6	39 K Ω
7	27 K Ω
8	18 K Ω
9	8,2 K Ω
10	0 Ω

Zwischenwerte lassen sich aus der Eichkurve nach Abb. 2.6. ablesen.

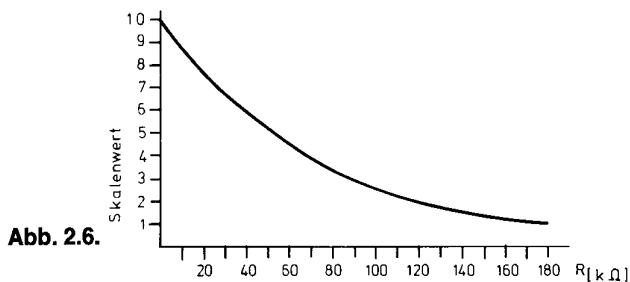


Abb. 2.6.

4. Elektronische Geräte

4.9. Elektronisches Spannungsmeßgerät

Mit den bisher beschriebenen Geräten lassen sich mit geringem experimentellen Aufwand Messungen durchführen. Zur Erlangung genauerer Ergebnisse bedarf es elektronischer Schaltungen, die das Meßinstrument ergänzen. Sie werden im folgenden beschrieben und angewandt.

4.9.1. FET-Voltmeter

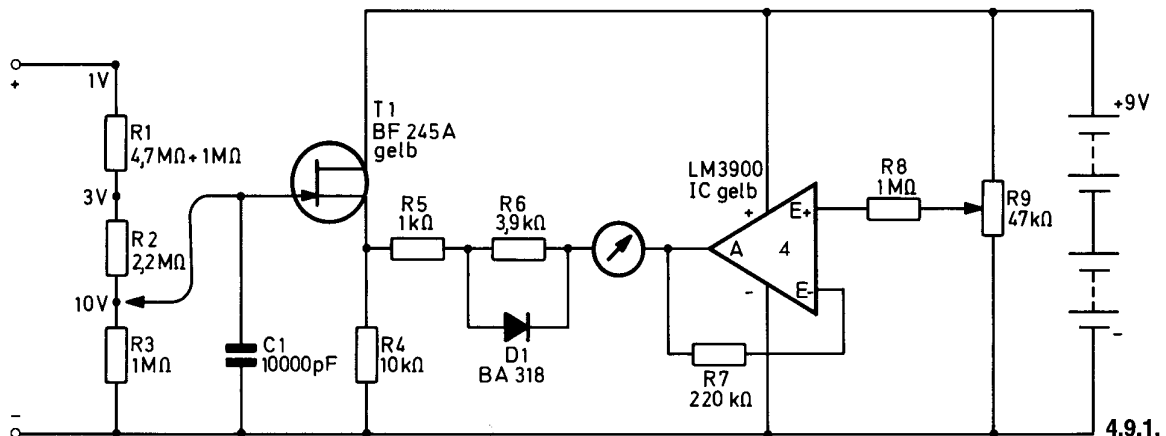
Mit diesem Meßgerät können recht genaue Messungen durchgeführt werden. Es übertrifft in dieser Hinsicht das nach Abb. 2. 1. beschriebene Gerät und in den meisten Anwendungen sogar ein herkömmliches Vielfachmeßgerät. Dabei ist die absolute Genauigkeit nicht so sehr entscheidend; es kommt vielmehr auf das richtige Verhältnis der gemessenen Werte zueinander an.

Diese elektronische Spannungs-Meßeinrichtung ist als Grundgerät gedacht. Mit entsprechenden Erweiterungen eignet es sich auch als

- Widerstandsmesser (Ohmmeter),
- Strommesser (Amperemeter),
- Kapazitätsmeßgerät,
- Frequenzmesser,
- Voltmeter für Wechselspannung,
- Transistortester.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.1. auf getrennter Grundplatte. Der Meßbereich ist auf 10 Volt einzustellen, indem man eine Verbindung zwischen dem Gate T₁ und der Klemme 10 V herstellt. Nach dem Anlegen der Betriebsspannung muß das Instrument beim Drehen des Potentiometers R9 einen Ausschlag zeigen. Mit ihm muß sich auch der Null-Wert einstellen lassen. Zur Überprüfung der Funktion führt man eine Probemessung durch. Dazu legt man den Pluspol des Spannungsteilers an +9 V (Betriebsspannung). Das Gerät muß anzeigen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.

Zum Messen werden immer die Eingänge + und - des Gerätes mit dem Meßobjekt verbunden. Der Meßbereich kann durch Verbindung des Gates mit der entsprechenden Klemme gewählt werden.



Schaltungsbeschreibung

Das elektronische Spannungsmeßgerät enthält zwei Schaltungsteile. Ein FET-Vorsetzer mit T_1 erhöht die Empfindlichkeit und macht den Eingang hochohmig. Eine sog. Brückenschaltung mit einem Operationsverstärker in einem Zweig dient der Nullpunktskorrektur.

Für ein Voltmeter ist die Hochohmigkeit des Eingangs von großer Bedeutung. Je höher er ist, desto genauer werden in den meisten Anwendungen die Meßergebnisse. Dazu ein Berechnungsbeispiel:

Die Spannungen an einem Spannungsteiler gem. Abb. 4.1. sollen ermittelt werden.

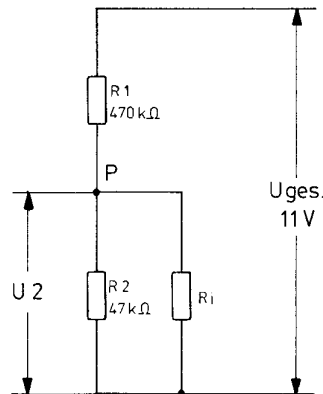


Abb. 4.1.

Rechnerisch ergibt sich für die Spannung am Punkt P nach der 1. Kirchhoff'schen Regel

$$R_{ges} : R_2 = U_{ges} : U_2 \quad (1)$$

$$517000 : 47000 = 11 : x \text{ (Volt)}$$

$$x = 1 \text{ Volt}$$

Legt man nun parallel zu R_2 ein Voltmeter mit einem Innenwiderstand von $R_i = 10 \text{ k}\Omega$, so ist das Widerstandsverhältnis verschoben. Der resultierende Widerstand R' aus R_2 und R_i beträgt nach der 2. Kirchhoff'schen Regel

$$R' = \frac{R_2 \cdot R_i}{R_2 + R_i} \text{ [\Omega]} \quad (2)$$

$$= \frac{47000 \cdot 10000}{47000 + 10000} \text{ [\Omega]}$$

$$\approx 8250 \text{ }\Omega$$

$$\approx 8,25 \text{ k}\Omega$$

Bezieht man den Widerstandswert in die Rechnung nach (1) ein, ergibt sich

$$478,25 : 8,25 = 11 : x \text{ (Volt)}$$

$$x = 0,19 \text{ V}$$

Der Innenwiderstand des Voltmeters hat also den Spannungswert von 1 V auf 0,19 V verschoben und damit erheblich verfälscht! Nun noch eine Rechnung mit einem hochohmigen elektrischen Meßgerät. Bei diesem Gerät beträgt der Innenwiderstand $R_i = 9 \text{ M}\Omega$. Setzt man diesen Wert in die Formel nach (2) ein, so erhält man:

$$R = \frac{47 \cdot 9000}{47 + 9000} \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$\approx 46,7 \text{ k}\Omega$$

Die Spannung an Punkt P beträgt dann nach (1):

$$516,7 : 46,7 = 11 : x \text{ (Volt)}$$

$$x = 0,994 \text{ V}$$

Vergleicht man die angezeigten Meßwerte des hochohmigen mit denen des niederohmigen Voltmeters, nämlich 0,994 V mit 0,19 V, erkennt man, warum der Innenwiderstand von entscheidender Bedeutung für ein Meßgerät ist.

Die Schaltung zeigt den FET als Impedanzwandler mit R_4 als Source-Widerstand. Mit dem Eingangsspannungsteiler $R_1/R_2/R_3$ wird der Meßbereich festgelegt. C_1 verhindert das Auftreten unerwünschter Schwingungen. Die Spannung wird am Source-Widerstand R_4 abgenommen und liegt über R_5 und R_6 am Pluspol des Meßgeräts. D_1 dient zur Verbesserung der Linearität, da sich ihr Widerstand bei anliegender Spannung in gewissen Grenzen ändert. Der Minuspol des Instruments liegt am Ausgang des Gleichspannungsverstärkers Op 4. Der Arbeitspunkt und damit der Innenwiderstand läßt sich mit R_9 an $E+$ einstellen. Mit dieser Regelung kann man vor Messungen den Zeiger des Meßwerks auf Null einstellen.

Die Funktion der Schaltung ist nicht auf den ersten Blick zu erkennen. Das Meßwerk befindet sich nämlich in einer Brückenschaltung, die zum besseren Verständnis schematisch dargestellt werden soll (Abb. 4.2.).

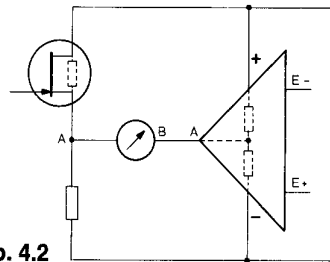


Abb. 4.2

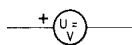
Der Innenwiderstand des T_1 und der Widerstand R_4 sowie der Operationsverstärker mit seinen „Ersatz-Außenwiderständen“ bilden die beiden Spannungsteiler einer Widerstandsbrücke. Dabei stellt T_1 mit R_4 den einen dar, die „Ersatz-Außenwiderstände“ den anderen. Die Spannungen an den Punkten A und B sind gleich, wenn die Widerstandsverhältnisse der beiden Spannungsteiler gleich sind. Zwischen A und B besteht dann kein Spannungsunterschied, da beide Punkte die gleiche Spannung gegen Null aufweisen. Die Brücke ist im Gleichgewicht.

Verschiebt sich nun an einem Spannungsteiler das Widerstandsverhältnis, entsteht zwischen den Punkten A und B eine Spannungs Differenz. Sie wird vom Instrument angezeigt. In der Schaltung arbeitet T_1 als veränderbarer Widerstand. Sein Wert ergibt sich aus der Spannung, die an das Gate gelegt wird. Nimmt der Innenwiderstand von T_1 zu, wächst die Spannung an T_1 und umgekehrt. Veränderbar ist auch das Widerstandsverhältnis des zweiten Brückengliedes. Dadurch läßt sich mit dem Potentiometer R_9 über die an $E+$ eingestellte Spannung verschieben. Es wird darum möglich, die Spannung an den Anschlüssen des Instruments auf Null einzustellen. Man könnte auch mit dem Potentiometer allein den zweiten Spannungsteiler der Brücke darstellen.

Der Einsatz eines Operationsverstärkers erlaubt die genauere Einregelung und Konstanz des Nullpunktes.

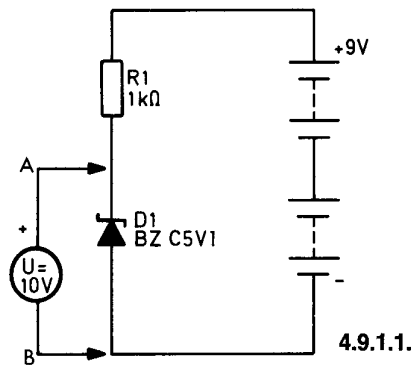
Anmerkung: Die Widerstände R_5 , R_6 sind für die Eichschaltung des Gerätes von Bedeutung, sie haben keinen Einfluß auf die Funktion der Brückenschaltung.

Bei der Verwendung des Gerätes zu Spannungsmessungen in anderen Schaltungen wird immer dieses Symbol verwendet.



4.9.1.1. Eichschaltung für FET-Voltmeter

Mit einer einfachen Schaltung 4.9.1.1. eicht man das Gerät durch Vergleich mit einer Zenerspannung. Dabei bestimmt die zulässige Spannungstoleranz der Zenerdiode die Genauigkeit der absoluten Meßwerte. Bei dieser und den folgenden einfachen Untersuchungsschaltungen sind selbstverständlich keine Verdrahtungspläne vorgezeichnet, da der Aufbau von jedem ohne Schwierigkeiten zu erstellen ist.



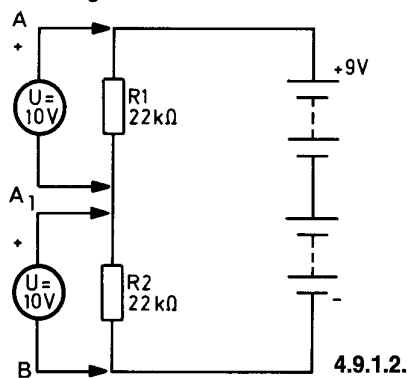
Zur Eichung des Gerätes verwendet man den 10 V-Meßbereich. Diese Angabe findet man im Schaltbild immer im Symbol für das Meßgerät. Man verbindet das Gerät mit den Meßpunkten A und B, und zwar Pluspol an A, Minuspol an B. Das Instrument soll einen Wert zwischen 4,8 und 5,4 Volt anzeigen (Toleranz der Zenerdiode siehe 4.9.1.8.). Ist der angezeigte Wert größer, schaltet man parallel zum Instrument einen Widerstand. Den Wert findet man durch Probieren heraus. Er sollte zwischen 4,7 kΩ und 47 kΩ liegen. Ist der vom Instrument angezeigte Wert kleiner, legt man parallel zum Widerstand R_5 einen anderen. Auch sein Wert ist durch Probieren zu ermitteln. Er beträgt ebenfalls zwischen 4,7 kΩ und 47 kΩ. Hat man das Gerät auf einen Wert zwischen 4,8 und 5,4 Volt eingeschaltet, ist die Eichung beendet. Für alle angegebenen Versuche reicht die absolute Genauigkeit; die Meßwerte im Verhältnis zueinander stimmen genau.

Spannungsmessungen

Nachfolgend können mit dem FET-Voltmeter die Spannungen in verschiedenen elektronischen Schaltungen gemessen werden.

4.9.1.2. Spannungsteiler

Meßbereich 10 Volt verwenden, Minusanschluß des FET-Voltmeters 4.9.1. mit Punkt B der Schaltung 4.9.1.2. verbinden.



Messung 1: Gesamtspannung am Spannungsteiler messen. Sie entspricht der Batteriespannung. Dazu verbindet man den Pluspol des Meßgerätes mit dem Punkt A und liest den Spannungswert am Instrument ab. Bei frischen Batterien kann die gemessene Spannung 9 Volt überschreiten!

Messung 2: Um Teilspannungen am Spannungsteiler zu messen, verbindet man den Pluspol des Meßgerätes mit dem Punkt A₁, der Minuspol bleibt an Punkt B. Am Instrument stellt sich die halbe Gesamtspannung ein. Sie liegt an R₂. – Meßgerät von der Schaltung trennen.

Um die Spannung an R₁ zu messen, verbindet man den Minuspol des Meßgerätes mit dem Punkt A₁, seinen Pluspol mit A. Am Instrument kann man wieder die halbe Betriebsspannung ablesen.

Mit der beschriebenen Messung hat man die 1. Kirchhoff'sche Regel bestätigt. Sie besagt, daß am Spannungsteiler die Gesamtspannung im Verhältnis der Widerstände geteilt wird (siehe auch Kap. 4.9.1.). Also:

$$\begin{aligned} U_{\text{Gesamt}} : U_1 &= R_{\text{Gesamt}} : R_1 & (1) \\ 9 &: x &= 44 &: 22 \text{ [V]} \\ &x &= 4,5 \text{ Volt.} \end{aligned}$$

Die Kirchhoff'sche Regel gilt für alle Widerstandsverhältnisse. Ersetzt man z. B. R₂ in der Schaltung durch einen Widerstand von 47 kΩ, ergeben sich folgende Werte nach (1):

$$\begin{aligned} 9 : x &= 69 : 47 \text{ [V]} \\ x &\approx 6,1 \text{ V} \end{aligned}$$

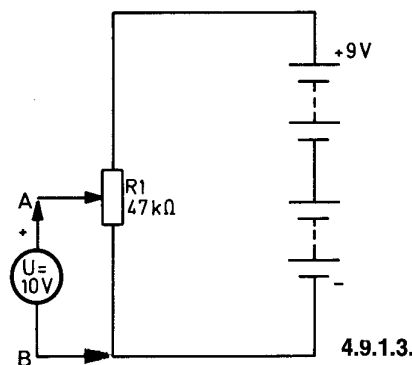
Diese Spannung an R₂ zeigt das Instrument an.

Es sind allerdings Abweichungen möglich, die sich durch die Toleranzen der Widerstände ergeben. Die 5% der Widerstände können sich nämlich kompensieren aber auch addieren. Dies gilt für Messungen in allen Schaltungen.

4.9.1.3. Variable Spannungsteilung

Mit einem Potentiometer läßt sich eine gegebene Gesamtspannung kontinuierlich teilen. Die Widerstandsbahn des Potentiometers wird durch den Schleifer in zwei Abschnitte geteilt. Damit sind zwei Widerstände vorhanden. Ihr Verhältnis bestimmt die gewünschte Teilspannung.

Zum Messen der Teilspannung verbindet man den Minuspol des FET-Voltmeters 4.9.1. (Meßbereich: 10 Volt) mit Punkt B und den Pluspol des Meßgerätes mit dem Schleifer (Punkt A). Dreht man das Potentiometer, zeigt das Instrument verschiedene Teilspannungen an, die mit dem Schleifer an der Widerstandsbahn abgegriffen werden.



Hoch- und niederohmiger Spannungsteiler

Bei der Dimensionierung der Widerstands-Netzwerke kommt es auch darauf an, ob ein Spannungsteiler hoch- oder niederohmig ist. Die Bedingungen sollen an 2 Schaltungen erläutert werden.

4.9.1.4. Hochohmiger Spannungsteiler

Die Schaltung besteht aus dem Spannungsteiler R_1/R_2 und dem zu R_2 parallel geschalteten Widerstand R_3 . Nach Formel (1) errechnet sich die Spannung an Punkt A wie folgt:

$$\begin{aligned} U_{\text{ges}} : U_2 &= R_{\text{ges}} : R_2 \\ 9 : x &= 320 : 100 \text{ [V]} \\ x &\approx 2,8 \text{ Volt} \end{aligned}$$

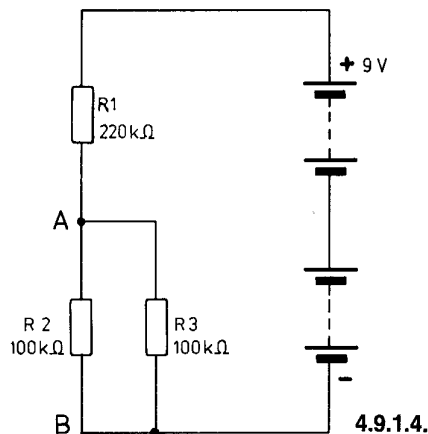
Eine Spannungsmessung an R_2 ergibt allerdings nur etwa 1,6 Volt. Das rechnerische Ergebnis wird durch den parallel zu R_2 liegenden Widerstand R_3 verschoben. Aus R_2 und R_3 resultiert ein Widerstandswert, der kleiner als der kleinste Widerstand von beiden sein muß. Durch die Parallelschaltung der Widerstände ist schließlich die Gesamtleitfähigkeit erhöht worden. Der wirksame Widerstand errechnet sich nach der 2. Kirchhoff'schen Regel (2):

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} &= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ [\Omega]} \\ R_{\text{ges}} &= \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} \text{ [k}\Omega\text{]} \\ &= 50 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Bei der Berechnung des Spannungsteilers muß man als R_2 -Wert also 50 k Ω einsetzen, nämlich den resultierenden Widerstand aus den beiden parallel geschalteten Widerständen:

$$\begin{aligned} U_{\text{ges}} : U_{2/3} &= R_{\text{ges}} : R_{2/3} \\ 9 : x &= 270 : 50 \text{ [V]} \\ x &\approx 1,6 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Meßdaten und theoretischer Wert stimmen also überein.



4.9.1.5. Niederohmiger Spannungsteiler

Niederohmige Spannungsteiler sind nicht so lastabhängig wie hochohmige. Je mehr Strom am Spannungsteiler abgenommen wird, desto niederohmiger muß er sein. Sonst würde die abgegriffene Spannung zusammenbrechen.

Gegenüber dem hochohmigen Spannungsteiler (s. 4.9.1.4.) sind hier für $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$ und für $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ gewählt. Daraus errechnet sich nach Formel (1) die Teilspannung wie folgt:

$$\begin{aligned} U_{\text{ges}} : U_2 &= R_{\text{ges}} : R_2 \\ 9 : x &= 32 : 10 \text{ [V]} \\ x &\approx 2,8 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Man erhält also die gleiche Spannungsteilung wie bei hochohmigen Widerständen (s. 4.9.1.4.). Die Formel besagt ja auch, daß das Widerstandsverhältnis die Spannungsteilung bestimmt, nicht die Größe der Widerstände.

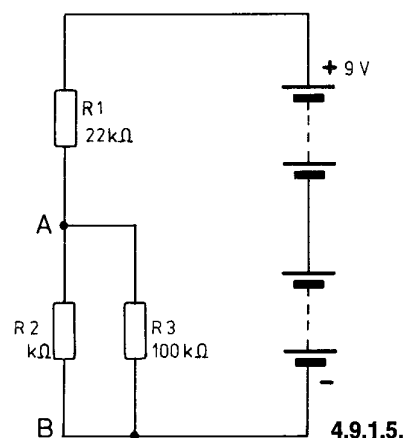
Schaltet man nun parallel zu R_2 wieder einen Widerstand von $100 \text{ k}\Omega$, so ergibt sich nach Formel (2) als wirksamer Widerstand aus R_2 und R_3

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} &= \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \\ R_{\text{ges}} &= \frac{10 \cdot 100}{10 + 100} \text{ [k}\Omega\text{]} \\ R_{\text{ges}} &\approx 9 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Mit diesem Wert, eingesetzt in Formel (1), errechnet man die sich tatsächlich einstellende Spannung an R_2 wie folgt:

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} : R_{2/3} &= U_{\text{ges}} : U_{2/3} \\ 31 : 9 &= 9 : x \text{ [V]} \\ x &\approx 2,6 \text{ V} \end{aligned}$$

Vergleicht man die errechneten Spannungen miteinander ($2,8 \text{ V}$ und $2,6 \text{ V}$), erkennt man die relativ geringe Verschiebung. Die Abweichung ist auf jeden Fall viel kleiner als beim hochohmigen Spannungsteiler ($1,6 \text{ V}$). Man sagt, je niederohmiger ein Spannungsteiler ist, desto „steifer“, d. h. lastunabhängiger ist die abgegriffene Spannung.



4.9.1.6. Widerstandsnetzwerke

In Schaltungen sind Widerstände oft parallel oder hintereinander geschaltet, manchmal auch beides zugleich. Die sich einstellenden Spannungen muß man berechnen, um die sichere Funktion der Schaltung zu gewährleisten.

Die Schaltung 4.9.1.6. besteht aus 2 Spannungsteilern, von denen der zweite parallel zu einem Teilwiderstand des ersten liegt: R_1/R_2 teilen die Gesamtspannung (Betriebsspannung). R_3/R_4 unterteilen noch einmal die Spannung an R_2 .

Für R_2 , R_3 , R_4 errechnet sich ein Widerstandswert R_2' nach Formel (2):

$$R_2' = \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \quad [\text{k}\Omega]$$

$$R_2' = \frac{22 \cdot (100 + 220)}{22 + 100 + 220} \quad [\text{k}\Omega]$$

$$R_2' \approx 20,6 \text{ k}\Omega$$

Dieser Wert wird für R_2 eingesetzt, damit errechnen sich die Spannungswerte nach Formel (1):

$$U_{\text{ges}} : U_2 = R_{\text{ges}} : R_2'$$

$$9 : x = 30,6 : 20,6 \quad [\text{V}]$$

$$x = 6,1 \text{ V}$$

Diese Spannung liegt auch am Spannungsteiler R_3/R_4 . Sie wird nach Formel (1) weiter geteilt:

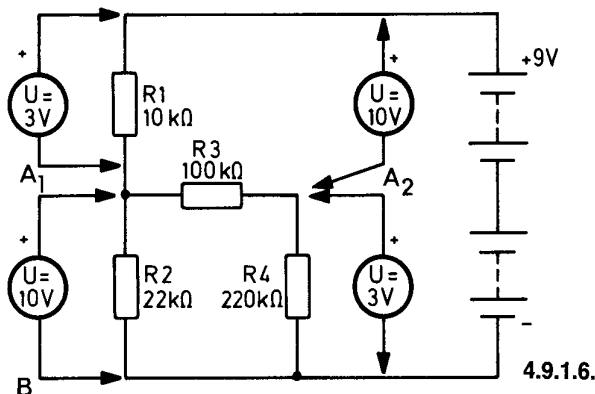
$$U_{\text{ges}} : U_4 = R_{\text{ges}} : R_4$$

$$6,1 : x = 320 : 220 \quad [\text{V}]$$

$$x = 4,2 \text{ V}$$

Am Widerstand R_4 liegen 4,2 V. Dann stehen an R_3 $6,1 \text{ V} - 4,2 \text{ V} = 1,9 \text{ V}$.

Durch Nachmessen überzeugt man sich, daß die Werte richtig sind. Dazu verbindet man den Minuspol des Meßgerätes mit Punkt B der Schaltung, seinen Pluspol zuerst mit Punkt A_1 . Hier mißt man die Spannung an R_2 . Dann verbindet man den Pluspol des Gerätes mit Punkt A_2 und stellt den Spannungswert an R_4 fest. Ergeben sich nun Abweichungen vom rechnerischen Wert über die Toleranz der Bauteile hinaus, so liegt in der Schaltung ein Fehler vor. Das ist bei Widerständen z. B. durch Alterungserscheinungen bedingt. Durch Überhitzung können sich erheblich höhere Widerstandswerte einstellen. Das Bauteil muß dann ausgewechselt werden.



4.9.1.7. Messungen an Dioden

Diese Messung gibt Aufschluß über das Verhalten einer Diode. Die Diode ist mit einem Vorwiderstand in einen Stromkreis geschaltet. Gemessen wird die Spannung an der Diode. Dazu legt man den Minuspol des FET-Voltmeters 4.9.1. an Punkt B, seinen Pluspol an A.

1. Messung: $U = 9\text{ V}$; $R_1 = 1\text{ k}\Omega$; Meßbereich 10 V

Man mißt an der Diode die volle Betriebsspannung.

2. Messung: $U = 9\text{ V}$; $R_1 = 470\text{ k}\Omega$; Meßbereich 10 V

Das Meßinstrument zeigt wieder die volle Batteriespannung an.

Es stellt sich also keine Spannungsteilung ein. Die Diode verhält sich wie ein sehr hoher Widerstand. Sie ist in Sperrichtung geschaltet.

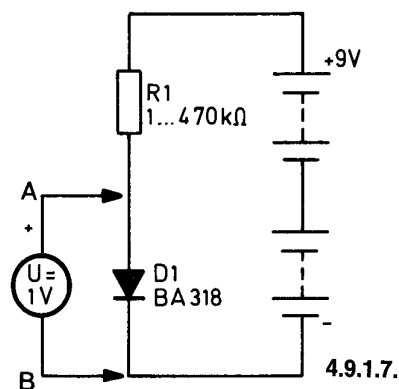
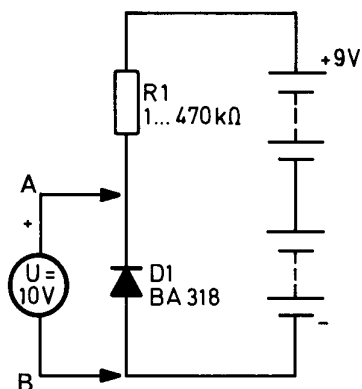
3. Messung: $U = 9\text{ V}$; $R_1 = 1\text{ k}\Omega$; Meßbereich 1 V

Die Diode umpolen. Minuspol des Meßgerätes mit Punkt B verbinden, den Pluspol mit A.

Das Instrument zeigt einen Wert zwischen 0,5 V und 0,8 V an.

4. Messung: In der vorstehend beschriebenen Schaltung wird der Widerstand $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ durch einen von $470\text{ k}\Omega$ ersetzt.

Das Instrument zeigt etwa 0,5 V an. Die Diode ist in Durchlaßrichtung geschaltet. Sie hat dann einen niedrigen Eigenwiderstand. Sein Wert ist nicht konstant, sondern vom durchfließenden Strom abhängig. Darum ändert sich die Spannung an der Diode in Durchlaßrichtung nur geringfügig. Eine beträchtliche Änderung des Widerstandswertes von R_1 ändert die Spannung kaum, wie die Messungen 3 und 4 zeigen. Eine Diode kann darum eingesetzt werden, um Spannungen konstant zu halten.

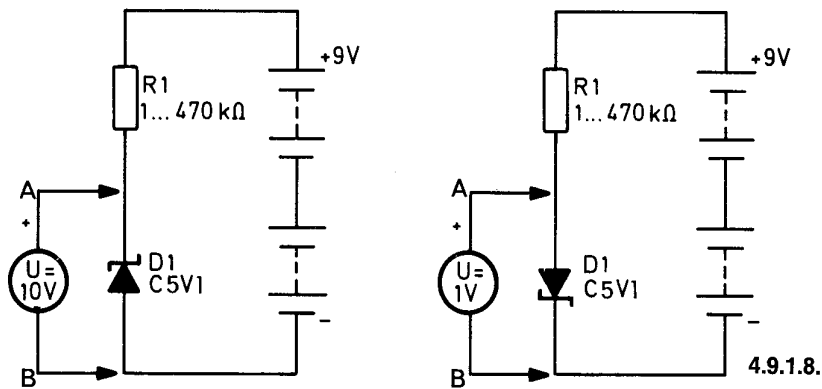


4.9.1.8. Messungen an einer Zener-Diode

Zener-Dioden sind speziell für das Konstanthalten von Spannungen entwickelte Bauelemente. Ihr elektrisches Verhalten wird in der folgenden Meßschaltung untersucht.

Die Zener-Diode liegt in Sperrichtung in einem Stromkreis, mit $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ in Reihe geschaltet. Legt man das Meßgerät – Bereich 10 Volt – an die Zener-Diode (Punkte A und B), so zeigt es 5,1 Volt an. Ersetzt man R_1 durch einen 470-k Ω -Widerstand, werden wieder etwa 5,1 Volt gemessen. Die Spannung an der Diode liegt also konstant bei 5,1 Volt, unabhängig von der in weiten Grenzen schwankenden Größe des Widerstandes. Diese Spannungskonstanz wird auf wesentlich andere Weise als bei einer einfachen Diode erreicht (s. 4.9.1.7.). Die Zener-Diode ist nämlich in Sperrichtung geschaltet, während sich bei der einfachen Diode der Effekt in Durchlaßrichtung einstellt. Bei der hier verwendeten Zener-Diode bricht bei etwa 5,1 Volt die Sperrwirkung zusammen, so daß ein Strom zu fließen beginnt. Hält man diesen Strom über Vorwiderstände in zulässigen Grenzen, erreicht man durch das **kontrollierte Durchbruchverhalten** einen konstanten Spannungsabfall an der Zener-Diode.

Natürlich läßt sich eine Zener-Diode auch in Durchlaß-Richtung schalten. Vertauscht man die Anschlüsse der Diode und mißt die Spannung, die an ihr liegt, so erhält man einen Wert zwischen 0,6 V und 0,8 V. In Durchlaßrichtung verhält sich also die Zener-Diode wie eine normale Diode.



4.9.1.9. Messungen an der Kapazitäts-Diode

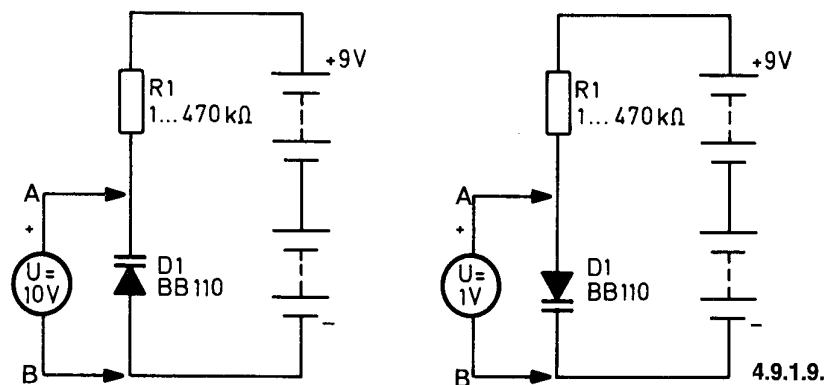
Kapazitäts-Dioden sind Sonderformen von Halbleiterdioden. Sie verhalten sich gegenüber Spannungen wie normale Dioden, wie die nachstehend beschriebene Meßschaltung ergibt.

Die Kapazitäts-Diode wird zusammen mit einem Widerstand in einen Stromkreis geschaltet. Die Spannung an der Diode wird gemessen.

1. Messung: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, D_1 in Sperrichtung (Katode an Punkt A, Batteriespannung 9 Volt).

Das Meßinstrument zeigt die volle Betriebsspannung an. Der Widerstand $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ wird durch $470 \text{ k}\Omega$ ersetzt. Es liegt wieder die volle Betriebsspannung an der Kapazitäts-Diode. Sie ist in Sperrichtung geschaltet und verhält sich darum wie ein hoher Widerstand. R_1 und D_1 kann man als Spannungsteiler ansehen, bei dem der Diodenwiderstand extrem hoch ist.

2. Messung: Die Kapazitäts-Diode wird in Durchlaßrichtung geschaltet. Dazu vertauscht man ihre Anschlüsse, so daß jetzt die Katode an Punkt B liegt, die Anode an A. Man mißt die Spannung an der Kapazitäts-Diode zuerst mit einem $1 \text{ k}\Omega$ Widerstand als R_1 , dann mit einem $470 \text{ k}\Omega$ Widerstand. Dabei wählt man den Meßbereich 1 Volt. In beiden Fällen liest man am Instrument etwa 0,7 Volt ab. Die Kapazitäts-Diode verhält sich wie eine normale Diode, wenn sie in Durchlaßrichtung geschaltet ist. Im Spannungsteiler mit R_1 fällt an ihr darum eine kleine Spannung ab.

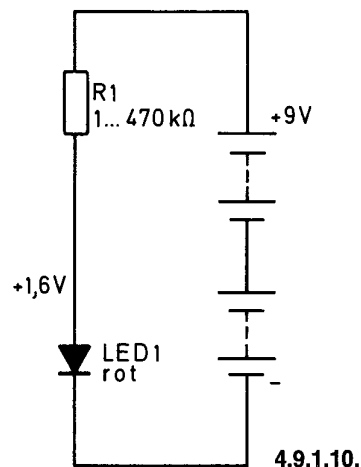


4.9.1.10. Messungen an der Leuchtdiode

Leuchtdioden sind Halbleiterelemente, die sich wie normale Dioden verhalten und zusätzlich Licht aussenden, wenn sie in Durchlaßrichtung geschaltet sind. Die nachstehenden Messungen ergeben eine Aussage über die Abhängigkeit von Lichtstärke und Spannung.

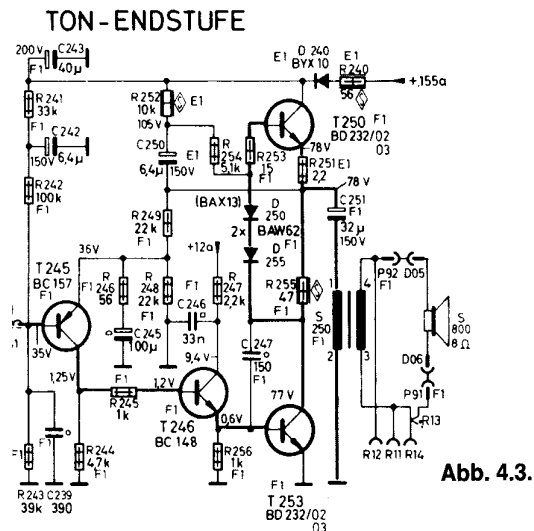
Im Schaltbild ist nicht mehr das Meßgeräte-Symbol angegeben, sondern nur noch die Spannung. Ihr Wert ist immer auf ein Bezugspotential bezogen, in der Regel 0 Volt (Minuspol der Batterie).

Die Leuchtdiode liegt in Durchlaßrichtung mit einem Vorwiderstand im Stromkreis. R_1 und der Widerstandswert der Leuchtdiode bilden einen Spannungsteiler. Die Betriebsspannung wird dabei immer so geteilt, daß + 1,6 V an der LED liegen, unabhängig von der Größe des Widerstandes R_1 . Wählt man z. B. für R_1 einmal den Wert 1 k Ω und das andere Mal den Wert 470 k Ω , so ändert sich die Spannung kaum. Zu dieser relativ konstanten Spannung an der Leuchtdiode steht die Lichtaussendung scheinbar in einem Widerspruch. Durch die verschieden großen Werte des Widerstandes R_1 wird aber der Strom, der durch die LED fließt, auch verschieden groß. Die Lichtaussendung ist von der Stromstärke abhängig, nicht von der Spannung. Bei 470 k Ω ist der Strom so gering, daß die LED nicht mehr leuchtet.

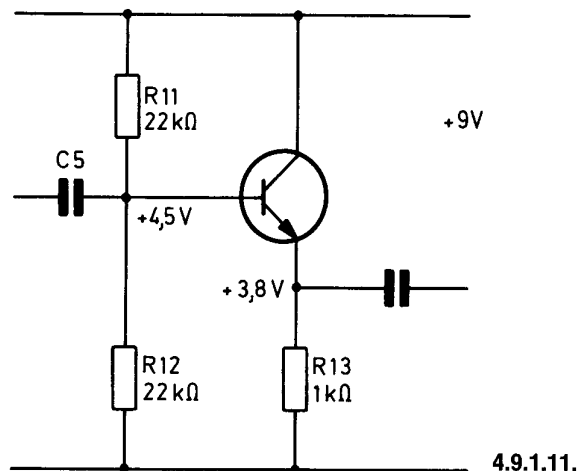


4.9.1.11. Spannungsangaben in Schaltbildern

Heute werden allen elektronischen Geräten vom Hersteller Schaltbilder für den Service, d. h. für eine evtl. Reparatur mitgegeben. Um die Fehlersuche zu erleichtern, werden an bestimmten Meßpunkten Spannungswerte angegeben. Die Abb. 4.3. zeigt den Ausschnitt aus einem Schaltbild.



Man baut zunächst die Schaltung 4.9.1.11. auf und legt die Betriebsspannung an. Zum Nachmessen der angegebenen Werte verbindet man das Meßgerät mit dem Bezugspotential. Wenn hierüber keine Angabe gemacht ist, ist dies Null oder Masse (Minuspol der Batterie). Mit einem Verbindungskabel am Pluspol des Meßgerätes „tastet“ man die Meßpunkte ab. Dabei ist unbedingt auf den richtigen Meßbereich zu achten. Die angegebene Spannung muß im Anzeigebereich liegen. Weichen die gemessenen Werte von den angegebenen ab, liegt an der betreffenden Stelle ein Fehler vor. Er kann von schadhafte Bauteilen herrühren oder ein falsches Zusammenschalten beim Aufbau anzeigen. Der Fehler wird also durch Nachmessen der angegebenen Werte eingekreist. Bei hochohmigen Spannungsteilern, wie sie z. B. zur Erzeugung der Basisvorspannung von Transistoren angewandt werden, ist der Innenwiderstand des Meßgerätes von entscheidender Bedeutung (s. 2.3.2.). Darum findet man in den Schaltbildern kommerzieller Geräte meist auch eine Angabe über die Daten des zu verwendenden Meßgerätes.



4.9.1.12. Messungen an Transistoren

Einfach auszuführende Messungen geben bereits Aufschluß, ob ein Transistor defekt oder in seiner Funktion beeinträchtigt ist.

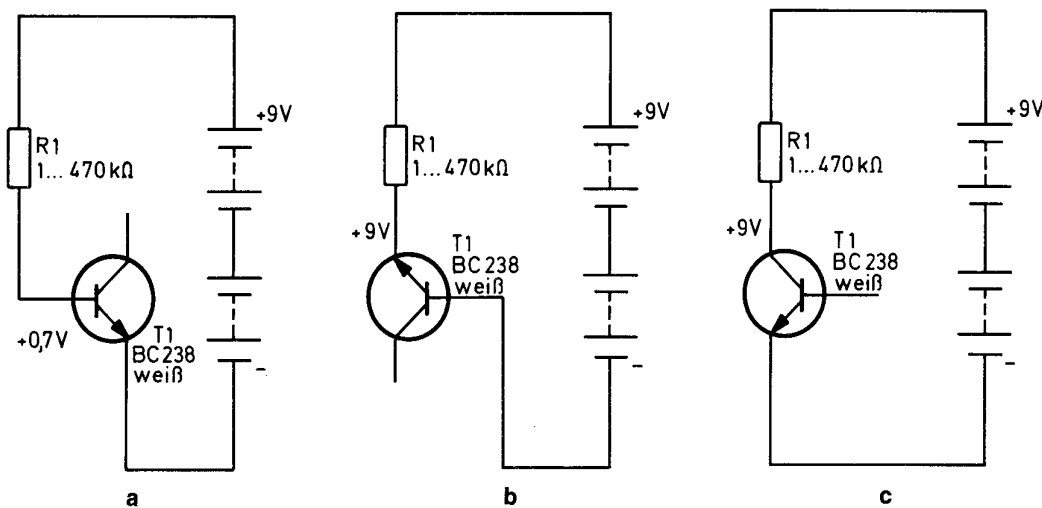
In der Schaltung a ist die Basis-Emitter-Strecke eines Transistors zusammen mit einem Widerstand in einen Stromkreis geschaltet. Der Kollektor bleibt offen, d. h. an ihm liegt keine Spannung.

Wählt man $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, mißt das Instrument 0,7 V zwischen Emitter und Basis. Ersetzt man den Widerstand durch einen von $470 \text{ k}\Omega$, verändert sich die Vorspannung nicht.

Die Basis-Emitter-Strecke verhält sich wie eine Diode, die in Durchlaßrichtung geschaltet ist (s. Abb. 4.9.1.7.). In der Schaltung b ist die Basis-Emitter-Strecke, die Emitterdiode des Transistors, in Sperrichtung mit einem Widerstand in Reihe geschaltet. Wählt man für $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, so liegt die volle Betriebsspannung am Emitter, wie das Meßgerät anzeigt. Ersetzt man den Widerstand durch $470 \text{ k}\Omega$, steht die volle Betriebsspannung weiterhin am Emitter. Es kann bei dieser Messung u. U. auch eine geringere Spannung zwischen Emitter und Basis des Transistors gemessen werden. Dann ist die Durchbruchspannung der Emitter-Diode überschritten, und sie verhält sich wie eine Zener-Diode (s. Abb. 4.9.1.8.). Sinkt die Spannung jedoch unter 4 Volt, so liegt kein Zener-Effekt vor, sondern der Transistor ist defekt.

Eine weitere Messung am Transistor ist in c dargestellt. Ein Transistor liegt mit einem Widerstand in Reihe in einem Stromkreis. Gemessen wird an der Emitter-Kollektorstrecke bei offener Basis.

Das Meßgerät zeigt immer die volle Betriebsspannung an. Dabei ist es gleichgültig, ob $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ oder bis $470 \text{ k}\Omega$ groß ist. Der Transistor verhält sich wie ein sehr großer Widerstand. Da seine Basis nicht beschaltet ist, kann er auch nicht in den leitenden Zustand angehoben werden. Treten bei der Messung Abweichungen vom Sollwert auf, ist der Transistor defekt.



4.9.1.12.

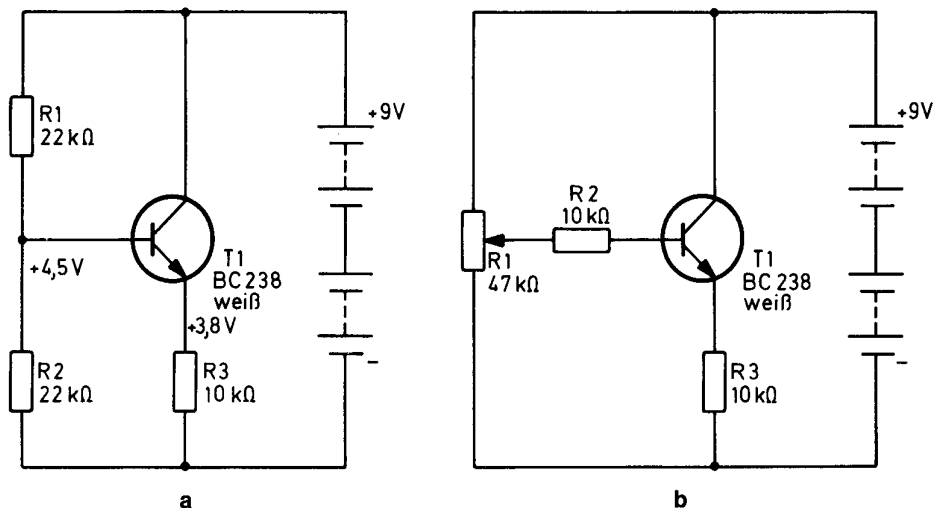
4.9.1.13. Ausmessen einer Transistorstufe in Kollektor-Basis-Schaltung

In der Schaltung a ist eine Emitterfolgstufe (Transistor in Kollektor-Basis-Schaltung) dargestellt. Die Basisvorspannung wird über den Spannungsteiler R_1/R_2 gewonnen, R_3 als Arbeitswiderstand befindet sich in der Emitterleitung.

Da der Spannungsteiler aus gleich großen Widerständen besteht ($R_1 = R_2 = 22 \text{ k}\Omega$), wird die Betriebsspannung im Verhältnis 1 : 1 geteilt, so daß an der Basis 4,5 V anstehen. Der Transistor leitet. Der durch ihn fließende Strom erzeugt am Emitter-Widerstand R_3 einen Spannungsabfall, in diesem Fall 3,8 V. Der Emitter ist also gegenüber dem Bezugspunkt der Schaltung (Minuspol der Batterie) um 3,8 V angehoben. Die Spannungsdifferenz zwischen Basis und Emitter beträgt $4,5 - 3,8 = 0,7 \text{ V}$. Ergeben die Messungen ein solches Resultat, ist der Transistor mit großer Wahrscheinlichkeit in Ordnung.

Im Schaltungsaufbau b ersetzt man den Spannungsteiler aus 2 Widerständen durch ein Potentiometer $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$. Dadurch kann man verschiedene Spannungen an die Basis legen und das Verhalten des Transistors studieren. In die Basiszuleitung ist $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ eingefügt. Man verhindert so, daß die volle Betriebsspannung an die Basis gelangt, wenn der Schleifer des Potentiometers an + 9 V liegt. Das Meßgerät ist zwischen Basis (+) und Emitter (-) geschaltet.

Regelt man die Basisspannung von 0 Volt hoch, fließt nach Überschreiten von 0 Volt hoch, fließt nach Überschreiten der Schwellspannung ein Strom. Dadurch ändert sich die Spannung am Emitter, die Differenz von 0,7 V zwischen Basis und Emitter bleibt jedoch gleich.



4.9.1.13.

4.9.1.14. Ausmessen einer Emitter-Basis-Schaltung

4.9.1.14. zeigt eine übliche Verstärkerstufe. R_1/R_2 stellt den Spannungsteiler zur Erzeugung der Basisspannung dar, R_3 den Arbeitswiderstand und R_4 den Stabilisierungswiderstand im Emitter.

Mit dem angegebenen Spannungsteiler befinden sich an der Basis 1,8 V. Am Emitter stehen dann $1,8 - 0,7 = 1,1$ V.

Diese Spannung fällt am Emitterwiderstand $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$ ab. Es fließt durch ihn nach dem Ohmschen Gesetz folgender Strom:

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

$$I = \frac{1,1}{1000} \text{ [A]}$$

$$I = 0,0011 \text{ A}$$

$$I = 1,1 \text{ mA}$$

Dieser Strom fließt, um den Basisstrom reduziert, auch im Kollektor. Da der Basisstrom sehr gering ist, kann er für die weitere Rechnung unberücksichtigt bleiben.

Am Kollektorwiderstand R_3 fällt dann eine Spannung von ca. 5 V ab (Ohmsches Gesetz). Damit verbleiben zwischen Emitter und Kollektor des Transistors

$$9 - 5 - 1,1 = 2,9 \text{ V.}$$

Weichen die gemessenen Spannungen von den Sollwerten ab, ist der Transistor beschädigt oder zerstört.

Eine Änderung der Basisspannung, die man z. B. durch andere Widerstandsverhältnisse des Spannungsteilers erreichen kann, verschiebt natürlich die Meßwerte. Eine höhere Basisspannung hebt auch das Emitterpotential an, wie folgende Rechnung zeigt:

$$\text{Basisvorspannung} = 2,0 \text{ V}$$

$$\text{Spannung zwischen Basis-Emitter} = 0,7 \text{ V}$$

$$\text{Spannung am Emitter} = 2,0 - 0,7 = 1,3 \text{ V.}$$

Dann beträgt der Strom durch R_4 nach dem Ohmschen Gesetz

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

$$I = \frac{1,3}{1} \text{ [mA]}$$

$$I = 1,3 \text{ mA}$$

An $R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$ fällt dann, ebenfalls nach dem Ohmschen Gesetz berechnet, folgende Spannung ab:

$$U = I \cdot R$$

$$U = 1,3 \cdot 4,7 \text{ [V]}$$

$$U \approx 6,1 \text{ V}$$

Unmittelbar am Transistor verbleiben danach zwischen Emitter und Kollektor $9 - (6,1 + 1,3) = 1,6 \text{ V}$.

Vergleicht man die Ergebnisse der 1. Messung mit denen der zweiten, erkennt man die Verschiebung der Spannungen bei anderen Stromwerten: Je höher der Strom, desto kleiner wird die Kollektorspannung, aber desto größer ist auch die Emitterspannung.

4.9.1.15. Ausmessen einer Transistor-Schaltstufe

Die Schaltung 4.9.1.15. enthält einen Schalttransistor T_1 mit spannungsbestimmenden Widerständen sowie einen Tastschalter zum Auslösen des Schaltvorgangs.

Ist der Tastschalter geöffnet, erhält die Basis des Transistors keine Vorspannung. Er leitet darum nicht, und an seinem Kollektor steht die volle Betriebsspannung (+ 9 V).

Betätigt man nun den Tastschalter, so legt man über den Spannungsteiler R_1/R_2 Spannung an die Basis. T_1 leitet; man sagt auch, er schaltet durch. Der relativ hohe Strom erzeugt an R_3 einen Spannungsabfall, der möglichst nahe der Betriebsspannung sein soll. Am Kollektor des Transistors liegt dann nur noch eine kleine Restspannung. Ihre Größe ist von der Bauart her bestimmt und wird vom Hersteller angegeben ($U_{CE\ sat}$).

Die Verlustleistung des Transistors bleibt auch im durchgeschalteten Zustand klein, wie folgende Rechnung zeigt:

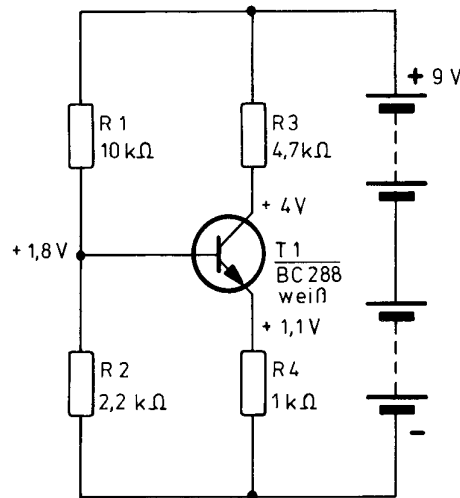
$$I = 10 \text{ mA}, U_{CE\ sat} = 0,8 \text{ V}$$

$$P = U \cdot I$$

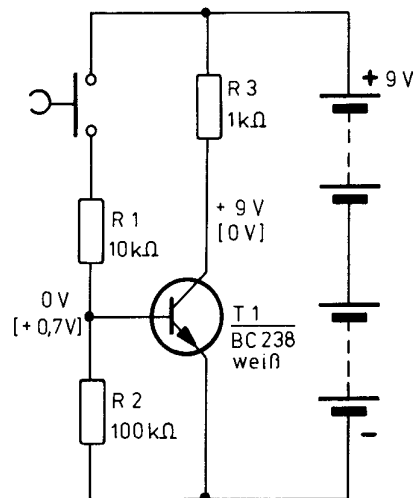
$$P = 0,8 \cdot 0,01 \text{ [W]}$$

$$P = 0,008 \text{ W}$$

Schalttransistoren sollen darum eine möglichst kleine Kollektorrestspannung aufweisen.



4.9.1.14.



4.9.1.15.

4.9.2. FET-Milliamperemeter

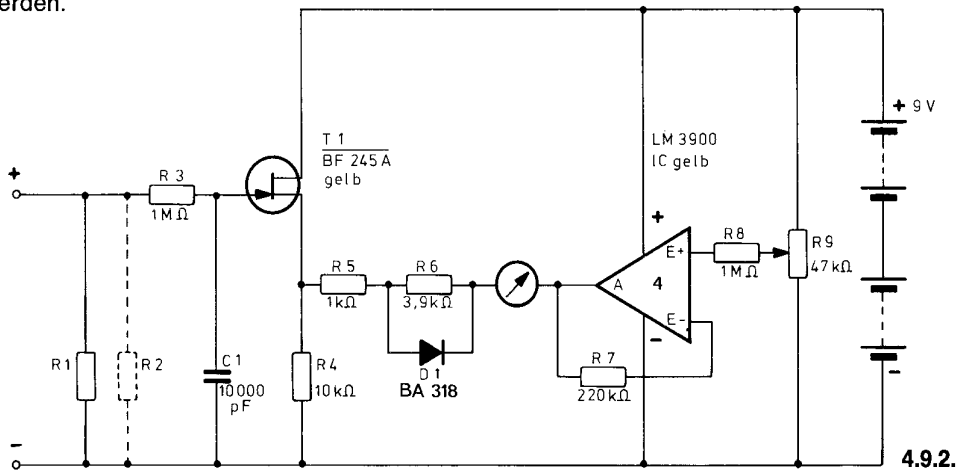
Mit diesem Gerät lassen sich Strommessungen in verschiedenen Meßbereichen durchführen. Die Festlegung des Meßbereiches wird mit dem Widerstand R_1 oder zwei parallelen Widerständen (R_1/R_2) erreicht.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.2.

Je nach gewünschtem Meßbereich müssen für die Widerstände R_1/R_2 folgende Werte eingesetzt werden.

Meßbereich	R_1	R_2
1 mA	1 k Ω	entfällt
3 mA	1 k Ω	470 Ω
10 mA	100 Ω	entfällt
30 mA	100 Ω	47 Ω
100 mA	10 Ω	entfällt

Wichtig: Bei der Strommessung ist auf die Polarität des fließenden Stromes zu achten – das Meßinstrument würde sonst zur falschen Seite ausschlagen. Die mit + bezeichnete Klemme des Milliamperemeters muß deshalb immer an den positiven Punkt des Meßstromkreises gelegt werden.



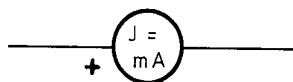
Schaltungsbeschreibung

Kernstück der Schaltung ist das FET-Voltmeter nach Abb. 4.9.1. Als Spannungsmeßgerät eingesetzt, würde 1 Volt schon Vollausschlag hervorrufen. Das bedeutet, daß an den Nebenwiderständen R_1 bzw. R_1/R_2 bei Vollausschlag des Instruments immer eine Spannung von 1 Volt abfallen muß. Dieser Spannungsabfall kann sich in der zu messenden Schaltung u. U. auswirken. Da das Gerät selten vollen Ausschlag zeigt, kann dieser Wert bei vielen Messungen vernachlässigt werden.

Das Potentiometer R_9 dient der Nullpunkteinstellung.

Anmerkung:

Bei der Verwendung des Gerätes zur Strommessung in Schaltungen wird immer dieses Symbol verwendet:



Das Pluszeichen gibt die entsprechende Klemme des Instruments an.

Strommessungen

Bei allen Messungen der Stromstärke muß das Meßinstrument **in** den Stromkreis geschaltet werden.

Wird das Symbol des Meßgerätes mehrfach angegeben, so soll das Instrument **nacheinander** an diesen Meßpunkten eingesetzt werden. Die dabei nicht benutzten Meßpunkte müssen durch Drahtverbindungen überbrückt werden.

4.9.2.1. Stromfluß im Reihenstromkreis

Im Stromkreis 4.9.2.1. wird das Gerät an den 3 bezeichneten Punkten (*) eingesetzt. Für diese Messungen wird der Bereich von 30 mA gewählt. Das Instrument zeigt immer einen Ausschlag von ca. 16 mA.

Die Messung zeigt, daß der Strom mit gleicher Stärke durch alle Verbraucher fließt.

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3$$

Da der Gesamtwiderstand in einer Reihenschaltung sich aus der Summe der Einzelwiderstände zusammensetzt ($R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots$), muß zunächst R_{ges} ermittelt werden:

Der Widerstand R_1 beträgt 470Ω .

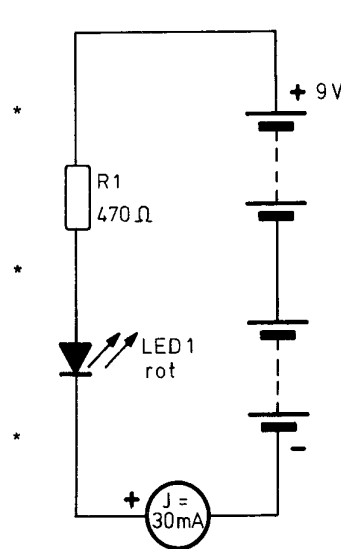
Der Durchlaßwiderstand (R_D) der Leuchtdiode beträgt ungefähr 100Ω .

Daraus ergibt sich:

$$R_{\text{ges}} = 470 + 100 [\Omega]$$

$$R_{\text{ges}} = 570 \Omega$$

Bei einer Betriebsspannung von 9 Volt beträgt der Stromfluß nach dem Ohmschen Gesetz:



$$I = \frac{U}{R}$$
$$I = \frac{9}{570} [\text{A}]$$
$$I = 0,016 \text{ A}$$
$$I = 16 \text{ mA}$$

4.9.2.1.

Anmerkung:

Die Übereinstimmung von rechnerischem Wert und Meßwert ist natürlich nur zu erreichen, wenn die Betriebsspannung tatsächlich 9 Volt beträgt.

4.9.2.2. Stromfluß im verzweigten Stromkreis

In der Schaltung 4.9.2.2. sind zwei Widerstände mit unterschiedlichen Werten parallel geschaltet.

Für die Messung an R_1 ist der Bereich 10 mA, für die Messung an R_2 der Bereich von 1 mA zu wählen.

Bei einer Betriebsspannung von 9 Volt lassen sich folgende Meßergebnisse ermitteln:

1. Messung für $R_1 = 9 \text{ mA}$
2. Messung für $R_2 = 0,9 \text{ mA}$

Nach einem der Kirchhoffschen Gesetze setzt sich der Gesamtstrom aus der Summe der Teilströme zusammen:

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + \dots$$

Nach dem Ohmschen Gesetz beträgt der Zweigstrom

$$\text{durch } R_1: I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{9}{1000} \text{ [A]}$$

$$I_1 = 0,009 \text{ A}$$

$$I_1 = 9 \text{ mA}$$

$$\text{durch } R_2: I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{9}{10000} \text{ [A]}$$

$$I_2 = 0,0009 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,9 \text{ mA}$$

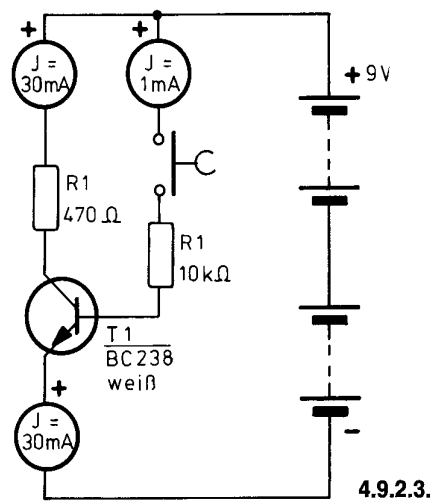
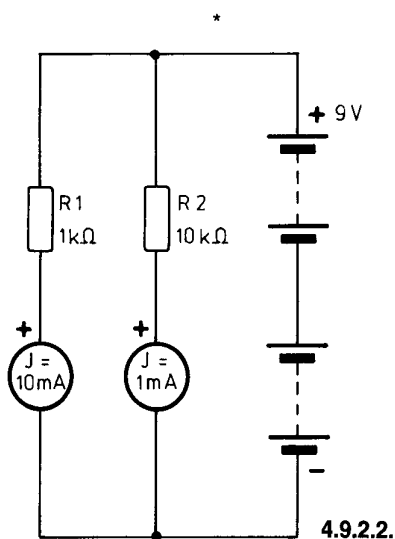
Der Gesamtstrom beträgt dann:

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2$$

$$I_{\text{ges}} = 9 + 0,9 \text{ [mA]}$$

$$I_{\text{ges}} = 9,9 \text{ mA}$$

Dieser Wert läßt sich mit dem Gerät nachprüfen. Dazu schaltet man es in den Hauptstromkreis an der angegebenen Stelle.



4.9.2.3. Stromfluß in einer Transistorschaltung

In der Transistorschaltung 4.9.2.3. können die unterschiedlichen Ströme an der Basis eines Transistors einerseits und in der Kollektor-Emitterstrecke andererseits gemessen werden.

Für den Basisstromkreis muß der Meßbereich 1 mA und für die Kollektor-Emitterströme der Bereich von 30 mA gewählt werden.

Messungen bei geöffnetem Tastschalter ergeben, daß weder ein Basisstrom noch ein Kollektor- bzw. Emitterstrom fließt. Der Transistor befindet sich im nichtleitenden Zustand, weil seine Basis nicht angesteuert wird.

Erst wenn der Tastschalter geschlossen wird, lassen sich die entsprechenden Ströme mit dem Meßinstrument nachweisen.

1. Messung – Basisstrom: ca. 0,8 mA

2. Messung – Kollektorstrom: ca. 18 mA

3. Messung – Emitterstrom: ca. 18,8 mA

Da am Transistor zwischen Basis und Emitter immer eine Spannung von 0,7 Volt abfällt, stehen am Widerstand R_1

$$9 - 0,7 = 8,3 \text{ V.}$$

Die rechnerische Überprüfung ergibt für den Basisstrom:

$$I_B = \frac{U}{R_1}$$

$$I_B = \frac{8,3}{10000} \text{ [A]}$$

$$I_B = 0,00083 \text{ A}$$

$$I_B = 0,83 \text{ mA}$$

und für den Kollektorstrom nach Abzug der Kollektor-Emitter-Restspannung (vgl. Abb. 20):

$$I_C = \frac{U}{R_2}$$

$$I_C = \frac{8,3}{470} \text{ [A]}$$

$$I_C = 0,018 \text{ A}$$

$$I_C = 18 \text{ mA}$$

Da sich für die Kollektor-Emitter-Restspannung andere Werte einstellen können (Toleranzen der Transistoren), erhält man evtl. abweichende Meßergebnisse.

Rechnerisch ergibt sich für den Emitterstrom nach

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 18,8 \text{ mA}$$

ein etwas größerer Stromfluß, der aber mit dem Meßinstrument kaum nachgewiesen werden kann.

In dieser Schaltung arbeitet dieser Transistor als Schalttransistor mit einer Stromverstärkung B von:

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

$$B = \frac{18}{0,8}$$

$$B \approx 23$$

Der Kollektorstrom ist also 23fach stärker als der Basisstrom.

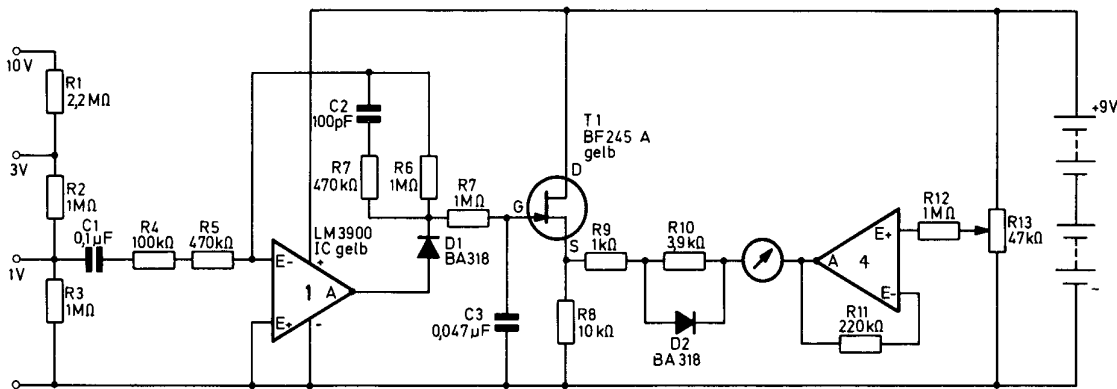
Wechselspannungen

Mit dem bisher beschriebenen Meßgerät konnten lediglich Gleichspannungen gemessen werden. Bei Wechselspannungen würde der Zeiger des Anzeigeinstruments dem Spannungsverlauf folgen und deshalb immer um einen Nullpunkt herum schwanken müssen. Schon bei Frequenzen von ca. 20 Hz jedoch ist die Trägheit des Zeigers so groß, daß er dem Spannungsverlauf nicht mehr folgen kann.

4.9.3. Wechselspannungsmeßgerät

Mit diesem Gerät für Wechselspannungen lassen sich solche Signale messen, die einen sinus- oder rechteckförmigen Verlauf haben. Rechteckspannungen müssen allerdings ein Tastverhältnis 1 : 1 besitzen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.3.



Schaltungsbeschreibung:

4.9.3.

Das Wechselspannungsmeßgerät enthält einen Gleichrichtungsteil und das nachgeschaltete FET-Voltmeter nach Abb. 4.9.1.

Eine Wechselspannung gelangt über C_1 , R_4 und R_5 auf den Eingang E_- des OP 1. Die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 stellen den Eingangsspannungsteiler dar und dienen zur Wahl des Meßbereichs. Im Ausgang des OP 1 und gleichzeitig in seinem Gegenkopplungszweig liegt die Diode D_1 , die eine doppelte Funktion zu erfüllen hat:

Sie richtet das Wechselspannungssignal gleich. Da sich die Diode bei der Gleichrichtung nicht linear verhält, gelangt bei niedrigen Spannungen ein kleiner Anteil über den Gegenkopplungszweig auf den Eingang E_- zurück, bei großen Spannungen dagegen wird relativ stark gegengekoppelt. Somit gelangt auf den Eingang des FET-Voltmeters ein Signal, dessen Gleichspannungsanteil in einem linearen Verhältnis zur Eingangswechselspannung steht.

Mit R_7 und C_3 wird die Spannung gesiebt und anschließend dem Anzeigeteil zugeführt.

In diesem Meßgerät wird nicht der Unterschied zwischen dem größten positiven und dem höchsten negativen Spitzenwert der Wechselspannung angezeigt. Diese Größe bezeichnet man als U_{ss} ; das bedeutet Spannung von Spitze zu Spitze. Das Instrument gibt einen Effektivwert an, der allgemein Verwendung findet und abgekürzt wird mit U_{eff} . Man kann U_{ss} errechnen, indem man U_{eff} mit $2 \cdot \sqrt{2}$ multipliziert.

Mit diesem Gerät lassen sich Messungen an allen Geräten der EE-Serie durchführen, sofern ein Frequenzbereich von 30 Hz bis 10 kHz eingehalten wird. Auch NF-Verstärker fallen in dieses Aufgabengebiet.

4.9.3.1. Signalgeber

Zur Fehlersuche an Verstärkerschaltungen benötigt man ein Eingangssignal, das im Verstärker an verschiedenen Meßpunkten nachgewiesen werden kann.

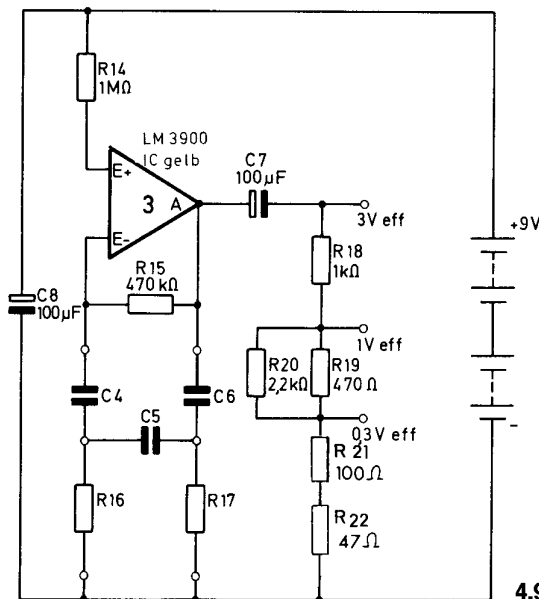
Mit diesem Generator lassen sich Rechtecksignale mit Frequenzen zwischen 50 Hz und 10 kHz erzeugen. Die Ausgangsspannung beträgt wahlweise 0,3 V_{eff}, 1 V_{eff} oder 3 V_{eff}.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.3.1.

Da dieser Generator hauptsächlich im Zusammenwirken mit dem Wechselspannungsmeßgerät nach Abb. 4.9.3. eingesetzt wird, baut man es wie das Gerät auch auf eine einzelne Grundplatte. Zur Kontrolle kann man zwischen 0 und dem Ausgang 0,3 V_{eff} einen Lautsprecher anschließen. Beim Einschalten muß ein leiser Dauerton abgestrahlt werden. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.

Schaltungsbeschreibung:

Der Tongenerator besteht aus einem Operationsverstärker OP 3 mit einem Gegenkopplungswiderstand R₁₅, über den zusammen mit R₁₄ der Arbeitspunkt des OP 3 eingestellt wird. Parallel zu R₁₅ liegen die frequenzbestimmenden Elemente R₁₆, R₁₇, C₄, C₅, C₆, mit denen die Frequenz fest eingestellt ist. Lediglich durch Auswechseln eines oder mehrerer Bauteile kann die Frequenz geändert werden, wie aus der folgenden Tabelle zu entnehmen ist:



Frequenz (Hz)	R ₁₆	R ₁₇
250	47 KΩ	22 KΩ
500	15 KΩ	10 KΩ
1 000	1,5 KΩ	10 KΩ
2 500	1,5 KΩ	470 Ω
5 000	470 Ω	100 Ω
10 000	100 Ω	1500 Ω

C₅ C₆ je 10 000 pF
C₄ 10 000 pF (bei 10 000 Hz – 1000 pF)

4.9.3.1.

Mit diesem Signalgeber lassen sich die Spannungsverhältnisse in Verstärkungsschaltungen feststellen. Mit der bekannten Eingangsspannung – 0,3 V_{eff} oder 1 V_{eff} oder 3 V_{eff} – können die Spannungen in den einzelnen Verstärkerstufen sowie am Ausgang gemessen werden. Man kann so sehr schnell feststellen, ob eine Verstärkerstufe korrekt arbeitet.

Ob ein Verstärker in allen Frequenzbereichen gleich gut arbeitet, kann man erkennen, indem man ein Signal gleicher Höhe aber mit unterschiedlichen Frequenzen auf einen Verstärkereingang gibt. An der Stärke des Ausgangssignals liest man ab, bei welcher Frequenz der betreffende Verstärker am besten arbeitet.

Verschiedene Wechselspannungsmessungen

In verschiedenen Schaltungen und Geräten der EE-Serien sind u. a. Hochpässe bzw. Tiefpässe eingesetzt und beschrieben worden. Mit dem Meßgerät (4.9.3.) und dem Signalgeber (Gerät 4.9.3.1.) können die Frequenzgänge dieser Schaltungen gemessen und graphisch dargestellt werden.

4.9.3.2. Hochpaß

Ein Hochpaß unterdrückt alle tiefen Frequenzen unterhalb einer Polfrequenz, läßt hohe dagegen ungehindert passieren. Gibt man mit dem Signalgeber-Gerät 4.9.3.1. Signale mit steigenden Frequenzen auf den Eingang des Hochpasses, so lassen sich mit dem Meßgerät Ergebnisse feststellen, die etwa dem Verlauf der Graphik (Abb. 4.4.) entsprechen:

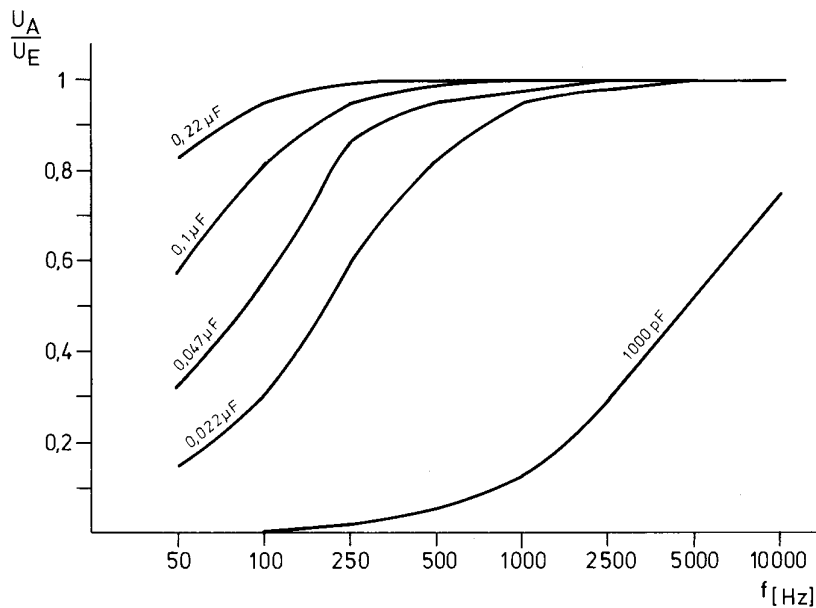
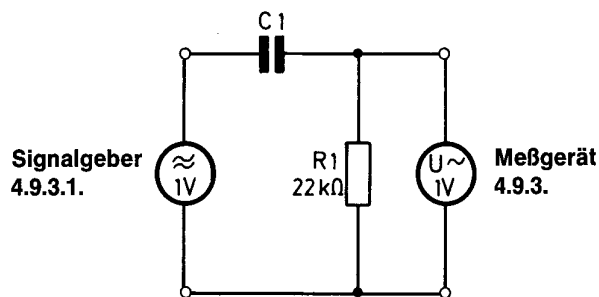


Abb. 4.4.

Es wird deutlich, daß das Verhältnis der Ausgangsspannung zur Eingangsspannung ($U_A : U_E$) bei tiefen Frequenzen gleich 0 ist, während bei zunehmender Frequenz die Ausgangsspannung fast bis auf die Höhe der Eingangsspannung ansteigt.

Wechselt man den Kondensator C des Hochpasses gegen solche mit anderen Werten aus, dann erkennt man, daß sich die Kurve zu den hohen Frequenzen verschiebt, je kleiner der Kondensator ist.



4.9.3.2.

4.9.3.3. Tiefpaß

An einem Tiefpaß ist die Spannung U_A am Ausgang bei niedrigen Frequenzen fast so groß wie die Spannung U_E am Eingang unter einer gegebenen Polfrequenz. Erhöht man mit dem Generator (Gerät 4.9.3.1.) die Eingangsfrequenz, so sinkt der Wert des Wechselstromwiderstands von C_1 immer mehr, so daß schließlich keine Spannung mehr daran abfällt. Der Kurvenverlauf entspricht dann etwa der Graphik (Abb. 4.5.).

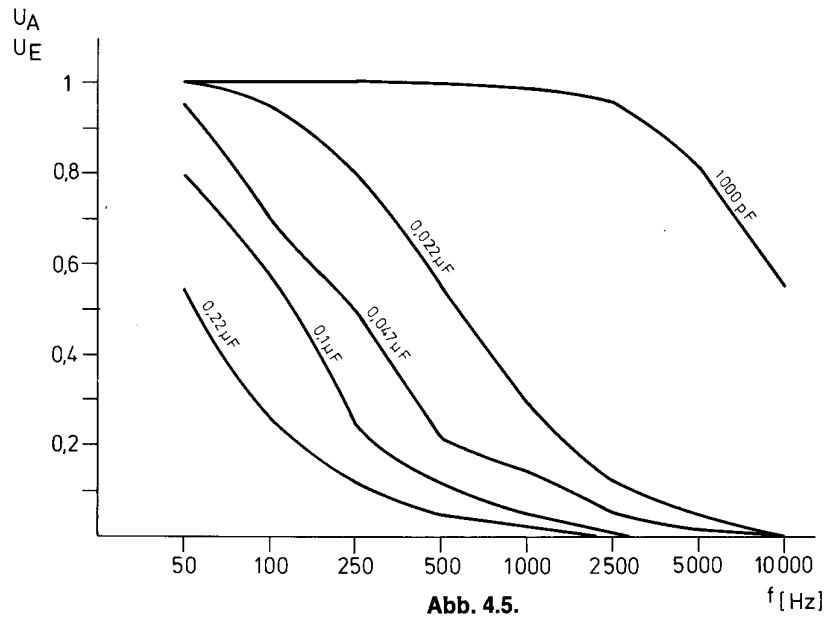
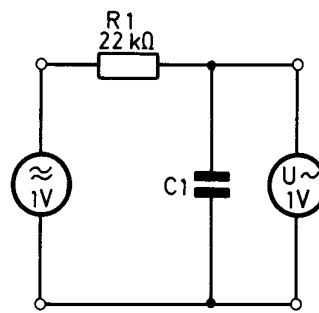


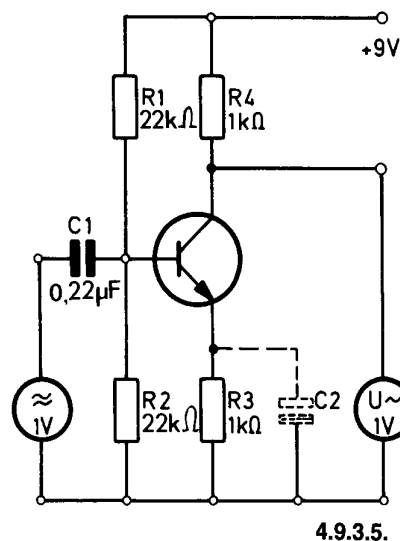
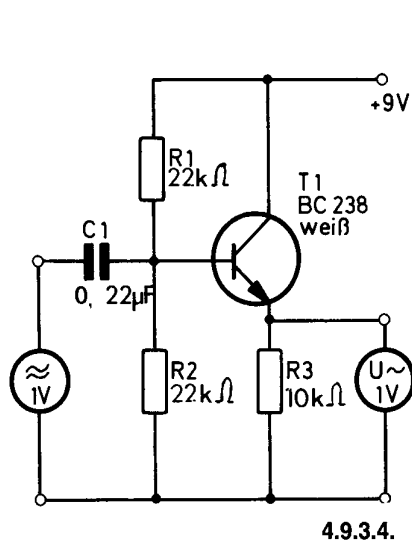
Abb. 4.5.



4.9.3.3.

4.9.3.4. Emitterfolger

Mit dem Wechselspannungsmeßgerät und dem Tongenerator lassen sich auch an Transistorschaltungen Messungen durchführen. Legt man an den Eingang der Schaltung 4.9.3.4. ein Wechselspannungssignal mit einer Spannung von $1 V_{\text{eff}}$, so mißt man auch am Ausgang – hier am Emitter des Transistors – eine Spannung von $1 V_{\text{eff}}$. Diese Spannungen sind unabhängig von der Frequenz des Signals. Eine Grenze ist nur durch die Bauart des Transistors gegeben. Die Spannungsverstärkung dieser Schaltung ist also gleich 1. Ein solcher Emitterfolger wird allerdings auch nicht als Spannungsverstärker eingesetzt, sondern als Stromverstärker und Impedanzwandler. Einem hohen Eingangswiderstand steht nämlich ein kleiner Ausgangswiderstand gegenüber.



4.9.3.5. Emitter-Basis-Schaltung

Legt man an den Eingang der Emitter-Basis-Schaltung eine Wechselspannung $U_{\text{eff}} = 1 V$, so mißt man am Kollektor dieser Schaltung ebenfalls eine Spannung von 1 Volt. Bevor man den Kondensator $C_2 = 100 \mu\text{F}$ einfügt, muß die Eingangsspannung auf $0,3 V_{\text{eff}}$ reduziert und am Meßgerät der Bereich 10 V eingestellt werden.

Die Ausgangsspannung wird nach dem Einfügen von C_2 erheblich größer, der Verstärkungsfaktor steigt also beträchtlich an. Der Wechselstromwiderstand des Kondensators C_2 ist sehr viel kleiner als der des Widerstandes R_3 ($1 k\Omega$). Dadurch wird die Wechselspannung an R_3 vorbeigeleitet und für sie die Gegenkopplung durch den Widerstand aufgehoben. Verändert man den Wert von C_2 – bei unterschiedlichen Eingangsfrequenzen –, so ist festzustellen, daß zwischen der Frequenz und der Kapazität eine Abhängigkeit besteht. Je kleiner C_2 wird, desto mehr werden die hohen Frequenzen bevorzugt und die niedrigen geschwächt.

Auch die Größe des Koppelkondensators C_1 ist für die Verstärkung von Wechselspannungen verschiedener Frequenzen von Bedeutung. Je kleiner C_1 , desto mehr werden die hohen Frequenzen angehoben und verstärkt, die niedrigen dagegen geschwächt.

4.9.5. Widerstandsmeßgerät

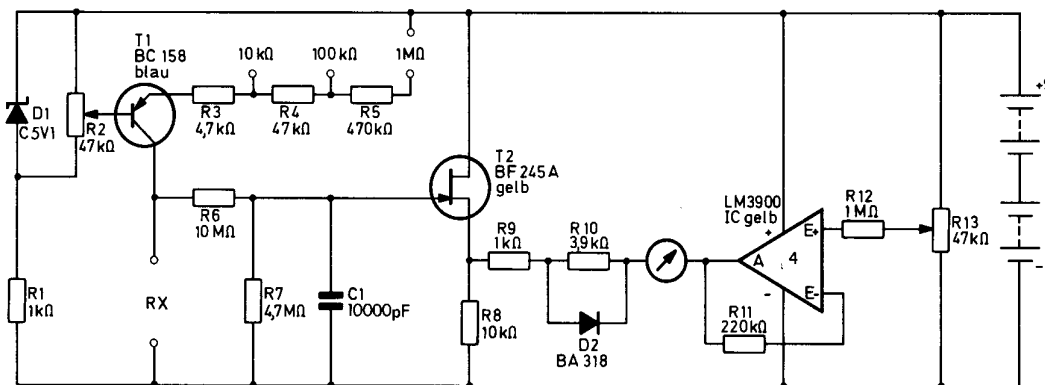
Dieses Gerät kann eingesetzt werden, um die Werte unbekannter Widerstände zu ermitteln. Die zu messenden Widerstände rufen im Gerät eine Spannungsänderung hervor, die auf dem Meßinstrument angezeigt wird. Da die Spannungsänderung proportional zum Widerstandswert ist, können nach Eichung der Skala die entsprechenden Werte direkt abgelesen werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.5.

Zur Überprüfung des Gerätes stellt man eine Verbindung zwischen dem Widerstand R_3/R_4 und $+9\text{ V}$ her und überbrückt die mit R_x bezeichneten Anschlüsse. Regelt man am Potentiometer R_{13} , muß das Anzeigeinstrument einen Ausschlag zeigen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.

Eichung des Geräts:

In R_x eine Drahtbrücke einsetzen. Zur Eichung wird mit dem Potentiometer R_{13} der Nullpunkt eingestellt. Nun schaltet man zwischen die Anschlüsse R_x einen $100\text{ k}\Omega$ -Widerstand. Da durch die Verbindung R_4 mit $+9\text{ V}$ der $100\text{ k}\Omega$ -Bereich geschaltet ist, muß das Potentiometer R_2 so eingestellt werden, daß das Meßinstrument Vollausschlag (Skalenwert 10) zeigt.



4.9.5.

Schaltungsbeschreibung:

Grundlage der Schaltung ist das FET-Voltmeter 4.9.1. (Meßbereich 3 V) mit T_2 , dem Anzeigeinstrument und dem Operationsverstärker. Der Transistor T_1 mit der Zener-Diode D_1 bildet die für genaue Messungen notwendige Konstantstromquelle. Die gewünschte Spannung ist mit dem Potentiometer R_2 an der Basis von T_1 einstellbar. Bei festliegender Basis-Spannung ist auch die Emitterspannung konstant.

Mit den Widerständen $R_3 - R_4 - R_5$ läßt sich durch die entsprechende Verbindung mit + 9 Volt der Bereich für die erforderliche Widerstandsmessung festlegen.

Durch diesen Widerstand im Emitterkreis des Transistors fließt dann ein konstanter Strom, der dem im Kollektor entspricht.

Bereich	Konstantstrom
10 k Ω	300 μ A
100 k Ω	30 μ A
1 M Ω	3 μ A

An einem unbekannter Widerstand zwischen den Anschlüssen R_x ruft dieser Strom einen Spannungsabfall hervor, der dem Widerstand direkt proportional ist. Dieser Spannungsabfall wird durch das Meßinstrument angezeigt.

Wird bei einem gewählten Meßbereich von 1 M $\Omega - R_5$ an + 9 V - zwischen den Anschlüssen R_x ein Widerstand von 470 k Ω gelegt, so ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz:

$$U = R \cdot I$$

$$U = 470000 \cdot 0,000003 \text{ [V]}$$

$$U = 1,41 \text{ V}$$

Auf der 10teiligen Skala des Anzeigeinstrumentes wird dieser Wert bei richtiger Eichung mit einem Ausschlag von 4,7 angezeigt. Im Meßbereich 1 M Ω (Maximalwert) entspricht das einem Widerstandswert von 470 k Ω .

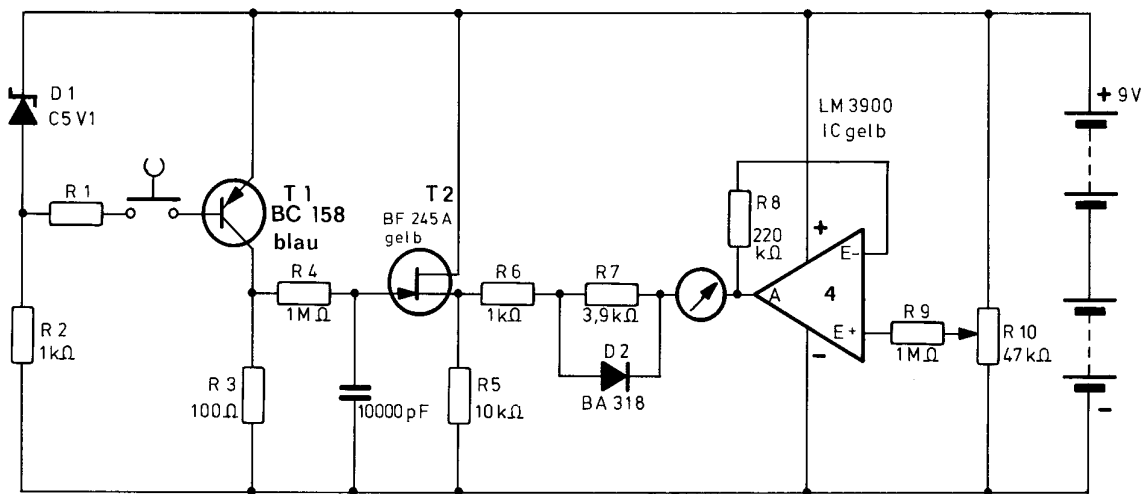
4.9.6. Transistormeßgerät für PNP-Transistoren

Eine wesentliche Aufgabe des Transistors besteht darin, in Schaltungen aus kleinen Leistungen am Eingang große Leistungen am Ausgang entstehen zu lassen. Dabei können entweder die Ströme oder die Spannungen oder aber beide verstärkt werden. Das Verhältnis zwischen Kollektor- und Basisstrom ist der Verstärkungsfaktor B. Mit diesem Gerät kann die Verstärkung des Stromes in PNP-Transistoren gemessen werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.6.

Zur Funktionskontrolle schaltet man das Gerät ohne einen zu prüfenden Transistor ein. Auf dem Anzeigeinstrument muß sich jetzt der 0-Punkt mit dem Potentiometer R_{10} einstellen lassen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.

Jetzt den Transistor, wie im Verdrahtungsplan angegeben, einsetzen. Beim Schließen des Tastschalters muß das Anzeigegerät einen Ausschlag zeigen und beim Öffnen auf 0 zurückfallen. Geht die Anzeige bei geöffnetem Tastschalter nicht auf 0 zurück, ist der Transistor defekt.



4.9.6.

Schaltungsbeschreibung:

Die Zenerdiode D_1 liefert eine Konstanzspannung von 5,1 Volt. Da an Basis-Emitterstrecke eine Spannung von ca. 0,7 Volt abfällt, liegen bei gedrücktem Tastschalter an R_1 [$R_1 = 470 \text{ k}\Omega$ oder $120 \text{ k}\Omega$] ca. 4,4 Volt. Der entsprechende Basisstrom I_B beträgt bei $R_1 = 470 \text{ k}\Omega$ nach dem Ohmschen Gesetz:

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

$$I = \frac{4,4}{470000} \text{ [A]}$$

$$I = 0,00001 \text{ [A]}$$

$$I = 10 \text{ }\mu\text{A}$$

Bei einem Stromverstärkungsfaktor von 1 000 fließt im Kollektorkreis des Transistors ein Strom von 10 mA. Dieser Strom bewirkt an R_3 im Kollektorstromkreis des Transistors einen Spannungsabfall von 1 Volt. Da mit $R_3 = 100 \text{ }\Omega$ gleichzeitig für das Anzeigeeinstrument ein Meßbereich von 10 mA eingestellt ist, zeigt das Meßinstrument Vollausschlag.

Ersetzt man den Widerstand $R_1 = 470 \text{ k}\Omega$ durch einen mit dem Wert von $120 \text{ k}\Omega$, zeigt das Meßinstrument mit Vollausschlag den gleichen Kollektorstrom an. Da nach

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

$$I = \frac{4,4}{120000} \text{ [A]}$$

$$= 0,000037$$

$$I = 37 \text{ }\mu\text{A}$$

jetzt ein Basisstrom von $37 \text{ }\mu\text{A}$ fließt, beträgt der maximale Verstärkungsfaktor B ca. 300.

Der Stromverstärkungsfaktor wird vom Hersteller für jeden Transistortyp angegeben.

Die Exemplarstreuungen können so beträchtlich sein, daß der Maximalwert ein Vielfaches des Minimalwertes beträgt. Laut Datenblatt liegt er zwischen 75 und 500.

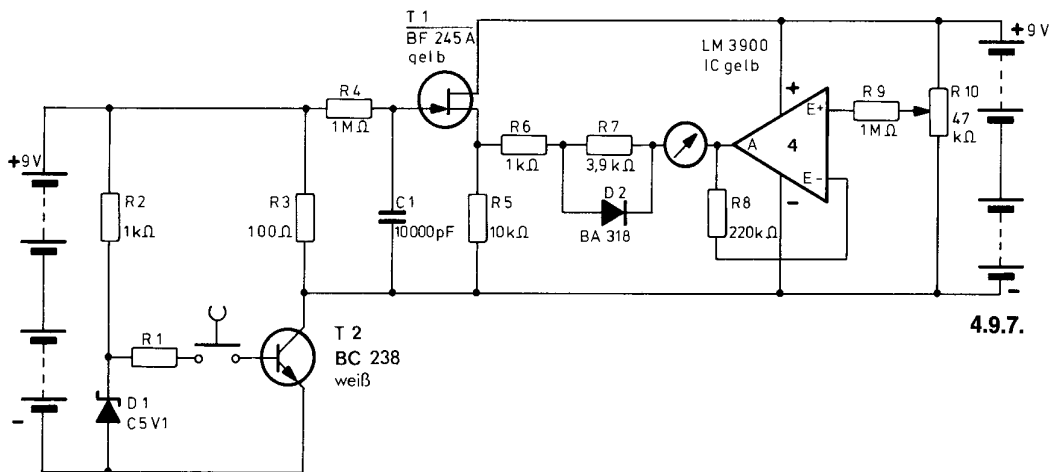
4.9.7. Transistormeißgerät für NPN-Transistoren

PNP- und NPN-Transistoren leisten – was ihre Funktion betrifft – das gleiche. Obwohl beide mit entgegengesetzten Stromrichtungen arbeiten, was natürlich in einer Schaltung berücksichtigt werden muß, schalten und verstärken sie elektrische Ströme. Mit diesem Meißgerät kann die Stromverstärkung in NPN-Transistoren nachgewiesen werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.7.

Um den Strom im Kollektorkreis messen zu können, benötigt man wegen der Polarität der Spannungen eine zweite Spannungsquelle.

Zur Nullpunkteinstellung wird die Prüfschaltung mit dem NPN-Transistor am Widerstand R_3 abgeklemmt. Dreht man am Potentiometer R_{10} , muß das Anzeigeinstrument einen Ausschlag zeigen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen. Ist ein Zeigerausschlag vorhanden, mit R_{10} Nullpunkt einstellen.



Schaltungsbeschreibung:

Das Gerät arbeitet nach dem gleichen Prinzip, wie in Schaltung 4.9.6. beschrieben.

Konstantstromquelle ist wieder die Zenerdiode D_1 . Ist der Tastschalter geschlossen, fließt in die Basis des Transistors bei $R_1 = 470 \text{ k}\Omega$ ein Strom von $10 \mu\text{A}$. Da das Meißgerät mit R_3 für einen Bereich von 10 mA ausgelegt ist, zeigt das Anzeigeinstrument Vollausschlag, denn am Widerstand R_3 fällt eine Spannung von 1 Volt ab. Das trifft allerdings nur bei einem Stromverstärkungsfaktor von $B = 1000$ zu, weil dann im Kollektorkreis des Transistors ein Strom von 10 mA fließt, in der Basis einer von $10 \mu\text{A}$. Bei $R_1 = 120 \text{ k}\Omega$ beträgt der Verstärkungsfaktor $B = 300$, da durch einen Basisstrom von $35 \mu\text{A}$ der gleiche Kollektorstrom von 10 mA hervorgerufen wird. Für den Transistor BC 238 darf der Stromverstärkungsfaktor lt. Herstellerangaben zwischen 125 und 900 liegen.

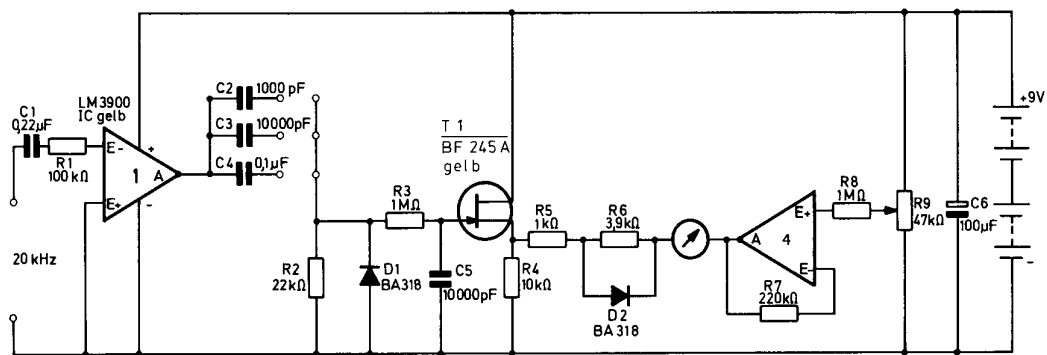
4.9.8. Frequenzmeßgerät

Frequenzmeßgeräte finden nicht nur in der Sende- und Empfangstechnik ihre Anwendung, wo sie zur exakten Bestimmung ausgesandter oder empfangener Signale unumgänglich sind. Sie werden darüber hinaus überall dort eingesetzt, wo die Frequenzen periodisch ablaufender Vorgänge – mechanischer oder elektrischer Art – festgehalten werden müssen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.8.

Der Meßbereich beträgt bei $C_2 = 10 \text{ kHz}$, bei $C_3 = 1 \text{ kHz}$ und bei $C_4 = 100 \text{ Hz}$.

Durch Verringerung des Widerstandswertes von R_2 sind andere Meßbereiche möglich. Legt man parallel zu R_2 einen Widerstand von $10 \text{ k}\Omega$, so erhält man 3 kHz , 300 Hz und 30 Hz Meßbereiche. Eine Überprüfung des Gerätes kann vorgenommen werden, indem man den Kondensator C_1 im Eingang mit dem Finger berührt. Hat man den Meßbereich 100 Hz gewählt, zeigt das Instrument 50 Hz an. Der menschliche Körper nimmt wie eine Antenne die elektromagnetischen Schwingungen der Netzwechselspannung auf, und das Meßgerät reagiert bereits auf diese geringen Wechselspannungen.



4.9.8

Schaltungsbeschreibung:

Grundprinzip dieses Frequenzmeßgerätes ist die Tatsache, daß an einem Differenzierglied (Hochpaß) aus einer Rechteckspannung eine resultierende Spannung entsteht, die proportional zur Frequenz ist. Diese Spannung wird durch das FET-Voltmeter 4.9.1. gemessen und zur Anzeige gebracht.

Im Operationsverstärker OP 1 wird aus jeder beliebigen Wechselspannung am Eingang eine Rechteckspannung erzeugt, die die Kondensatoren $C_2/C_3/C_4$ im Ausgang des OP 1 auflädt. Die Entladung des durch den Meßbereich gewählten Kondensators kann nur über den Widerstand R_2 des Differenziergliedes erfolgen. Die Diode D_1 unterdrückt den negativen Spannungsanteil. Somit entsteht eine Spannung mit steil ansteigender und langsam abfallender Flanke. Der anschließende Tiefpaß R_3/C_5 erzeugt an dem Sägezahnimpuls eine Gleichspannung, deren Höhe einen Mittelwert darstellt zwischen 0 und positivem Maximalwert. Das Anzeigementriometer kann diese Gleichspannung anzeigen, deren Wert proportional zur Frequenz ansteigt oder abfällt.

Mit dem astabilen Multivibrator 3.1. aus dem EE 2013 können verschiedene Frequenzen erzeugt werden, die sich mit diesem Gerät messen lassen. Durch Verändern der frequenzbestimmenden Elemente R_2 und C_1 läßt sich nachweisen, welcher Zusammenhang zwischen den Widerstands- und Kapazitätswerten einerseits und der Frequenz andererseits besteht.

4.9.9. Kapazitätsmeßgerät

Dieses Kapazitätsmeßgerät ermöglicht die Bestimmung unbekannter Kapazitäten. Auch Messungen über den exakten Wert bekannter Kondensatoren in Reihen- und Parallelschaltungen können durchgeführt werden. Sehr kleine Kapazitäten (mit einem Wert unter 100 pF) lassen sich allerdings nicht feststellen.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.9.

Der Nullpunkt kann mit R_{13} einreguliert werden, wenn C_x offen ist. Zum Abgleich des Gerätes wird für C_x ein Kondensator mit einem Wert von 0,1 μF und für R_1 ein Widerstand von 10 $\text{k}\Omega$ eingesetzt. Mit dem Potentiometer R_2 muß auf den Skalenwert 10 eingestellt werden, alle anderen Werte stimmen dann ohne weitere Korrektur.

Schaltungsbeschreibung:

Das Gerät entspricht in seinem Aufbau dem Frequenzmeßgerät 4.9.8. OP 1 stellt einen Rechteckgenerator dar, dessen Frequenz in bestimmtem Umfang mit R_2 verändert werden kann. Das Rechtecksignal lädt den Kondensator C_x auf. Die Entladung kann nur über R_1 erfolgen. C_x und R_1 stellen ein Differenzglied dar, in dem aus der Rechteckspannung ein Nadelimpuls erzeugt wird. Die Diode D_1 unterdrückt die negativen Spannungsimpulse. Die Ausgangsspannung, die an R_1 gemessen wird, ist um so größer, je höher die Frequenz des Generators bzw. je größer die Kapazität von C_x ist. Die Entladezeit von C_x hängt von R_1 ab: Ist der Wert groß, ist auch die Dauer der Entladung groß.

Der Tiefpaß R_7/C_2 erzeugt aus der pulsierenden Gleichspannung eine Gleichspannung mit einem mittleren Wert, die das Meßinstrument anzeigen kann.

Durch den Einsatz von Kondensatoren in Reihen- oder Parallelschaltung an Stelle von C_x lassen sich die Gesamtkapazitäten experimentell bestimmen. Schaltet man z. B. zwei Kondensatoren in Reihe, so läßt sich messen, daß die Gesamtkapazität C kleiner ist als die kleinste Einzelkapazität. Rechnerisch ergibt sich für zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren von 1000 pF und 10 000 pF folgender Wert:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C = \frac{22000 \cdot 1000}{22000 + 1000} \text{ [pF]}$$

$$C = 957 \text{ pF}$$

Bei Parallelschaltungen läßt sich messen, daß die Gesamtkapazität größer ist als der größte Einzelwert.

Ein Beispiel:

C_1 beträgt 1000 pF,

$C_2 = 22\ 000$ pF.

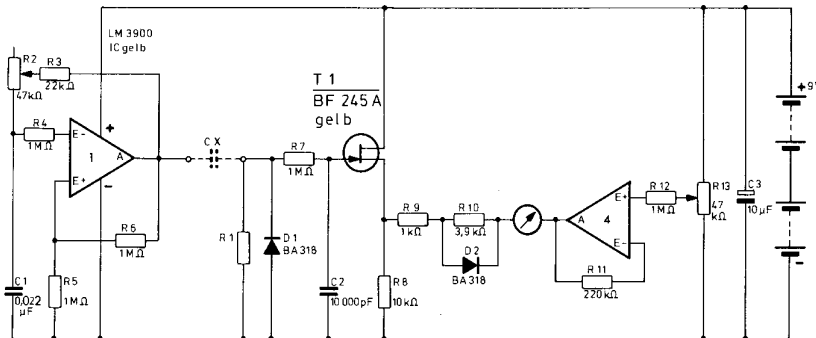
$C = C_1 + C_2$

$C = 1000 + 22\ 000$ [pF]

$C = 23\ 000$ pF

Ebenso wie andere Bauelemente haben auch Kondensatoren Toleranzen. Sie können betragen:

Polyester-Kondensatoren	$\pm 20\ \%$	Keramische Kondensatoren	$\pm 10\ \%$
Elektrolyt-Kondensatoren	$+ 100\ \%$	unter 1000 pF	$+ 100\ \%$
	$- 20\ \%$	über 1000 pF	$- 20\ \%$



4.9.9.

4.9.10. Beleuchtungsstärken-Meßgerät

Beleuchtungstechniker haben die Aufgabe, die Lichtverhältnisse an Arbeitsplätzen, auf Straßen und anderen Verkehrsräumen zu prüfen und, falls notwendig, zu korrigieren. Für die Messungen wird in jedem Fall ein Beleuchtungsstärken-Meßgerät verwendet.

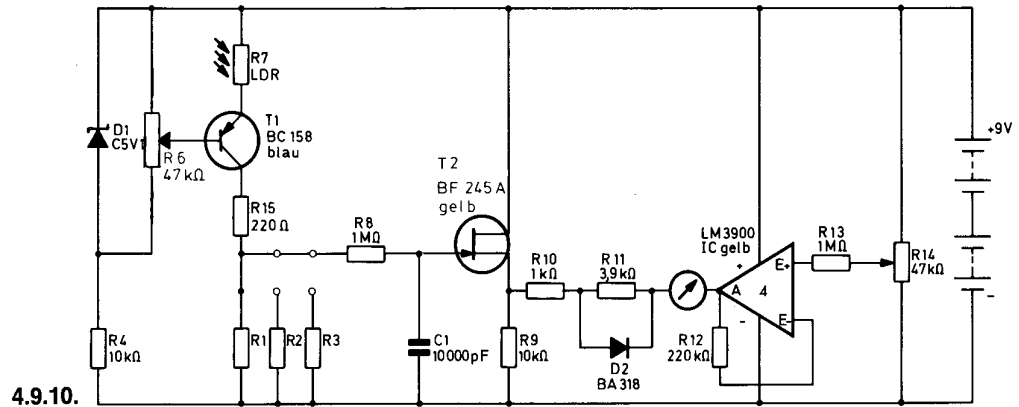
Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.10.

Der Meßbereich wird durch die Veränderung des Spannungsteilers, bestehend aus R_{15} und R_1 oder R_2 oder R_3 ausgewählt.

$R_1 = 100 \Omega$	Bereich 100 lx – 1000 lx
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$	10 lx – 100 lx
$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$	1 lx – 10 lx

Beim Einschalten muß – sofern Licht auf den LDR fällt – eine Anzeige erfolgen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.

Eichung: Nullpunkt mit R_{14} einstellen und dann den Meßbereich $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ einschalten. Den LDR durch einen Festwiderstand von $1 \text{ k}\Omega$ ersetzen. Jetzt den Zeigerausschlag auf Maximum durch das Poti R_6 einstellen.



4.9.10.

Schaltungsbeschreibung:

Abb. 4.6. gibt die Abhängigkeit zwischen dem Widerstand des LDR und der Beleuchtungsstärke wieder. Es ist zu erkennen, daß der Widerstand bei steigender Beleuchtungsstärke abnimmt. Durch das Verhältnis der Widerstände R_5/R_6 ist bestimmt, daß am Emitter von T_1 stets eine Spannung von 1 V abfällt. Der Strom durch die Kollektor-Emitter-Strecke von T_1 besitzt für jeden Widerstandswert des LDR (R_7) einen bestimmten Wert, der sich nach der Beleuchtungsstärke richtet. Nimmt man z. B. für $R_7 = 100 \Omega$ an – das entspricht 1000 lx – so fließt nach

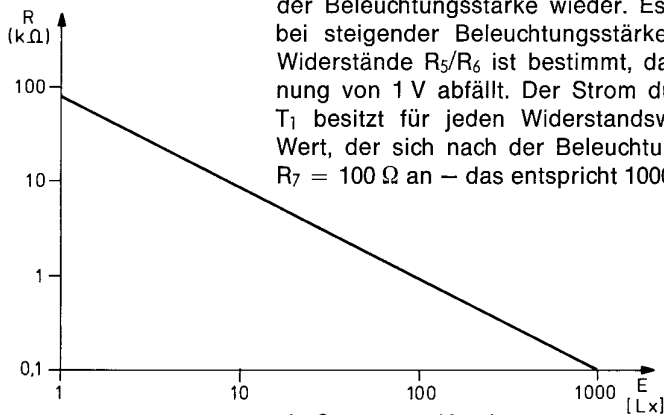


Abb. 4.6.

ein Strom von 10 mA.

Wurde der Bereich 100 lx – 1000 lx gewählt, so fällt an $R_1 = 100 \Omega$ eine Spannung von 1 V ab. Entsprechend zeigt das Meßinstrument 10 an. Den genauen Wert der Lichtstärke erhält man, wenn man mit 100 multipliziert. Dann entspricht der Vollausschlag einer Beleuchtungsstärke von 1000 lx. Der übrige Teil der Schaltung entspricht dem FET-Voltmeter 4.9.1.

Mit diesem Gerät kann die Beleuchtungsstärke an verschiedenen Stellen gemessen werden, vor allem auch, welche Lichtquellen objektiv ausreichende Beleuchtungsverhältnisse schaffen.

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

$$I = \frac{1}{100} \text{ [mA]}$$

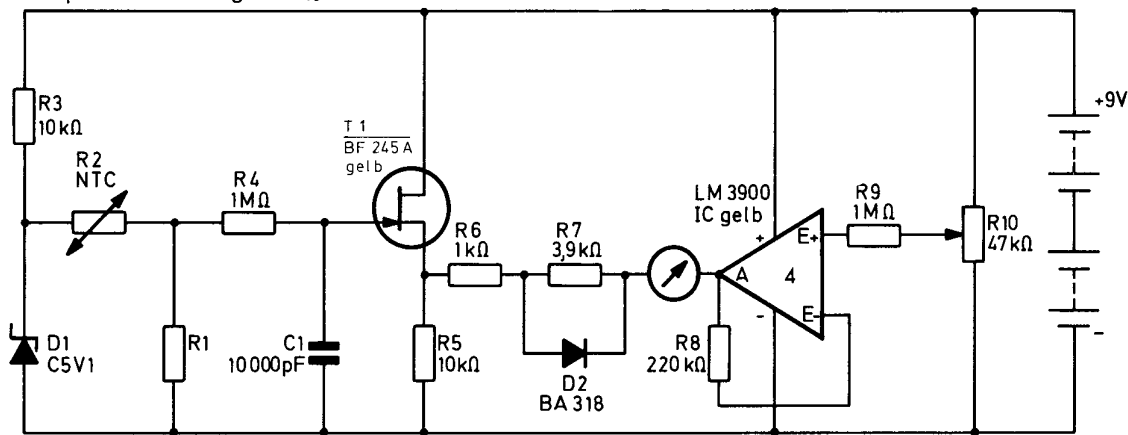
$$I = 10 \text{ mA}$$

4.9.11. Elektronisches Thermometer

Thermometer mit analoger oder digitaler Anzeige werden überall dort eingesetzt, wo der Meßpunkt vom Ablesort entfernt ist. Man kann dafür einen Meßfühler, z. B. einen NTC, am gewünschten Ort installieren und Zuleitungen zum Anzeigeinstrument verlegen. Auf diese Art lassen sich auch solche Temperaturen messen, die kein Flüssigkeits-Thermometer mehr aushalten kann. Dann allerdings müssen andere Meßfühler eingesetzt werden.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.11.

Mit dem Widerstand $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$ ist ein Temperaturbereich zwischen 0° und $+30^\circ \text{ C}$ eingestellt. Durch Veränderungen von R_1 läßt er sich anders festlegen. Beim Einschalten des Gerätes muß – bei Zimmertemperatur – eine Anzeige erfolgen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen. Nullpunkteinstellung mit R_{10} vornehmen.



4.9.11.

Schaltungsbeschreibung:

Abb. 4.7. läßt erkennen, daß das Verhältnis zwischen Temperatur und Widerstand am NTC nicht linear verläuft. Der Ausschlag des Zeigers – er entspricht einer bestimmten Spannung – muß lt. Tabelle in eine Temperatur umgerechnet werden.

Temp. °C	R_{NTC}	U an $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$
30°	$25 \text{ k}\Omega$	1 V
25°	$47 \text{ k}\Omega$	0,51 V
20°	$57 \text{ k}\Omega$	0,42 V
15°	$70 \text{ k}\Omega$	0,34 V
10°	$90 \text{ k}\Omega$	0,26 V
5°	$120 \text{ k}\Omega$	0,2 V
0°	$150 \text{ k}\Omega$	0,15 V

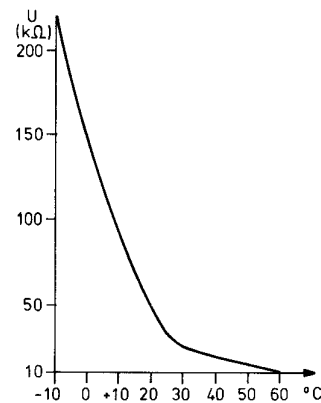


Abb. 4.7.

Durch einen anderen Wert für R_1 läßt sich ein anderer Temperaturbereich einstellen.

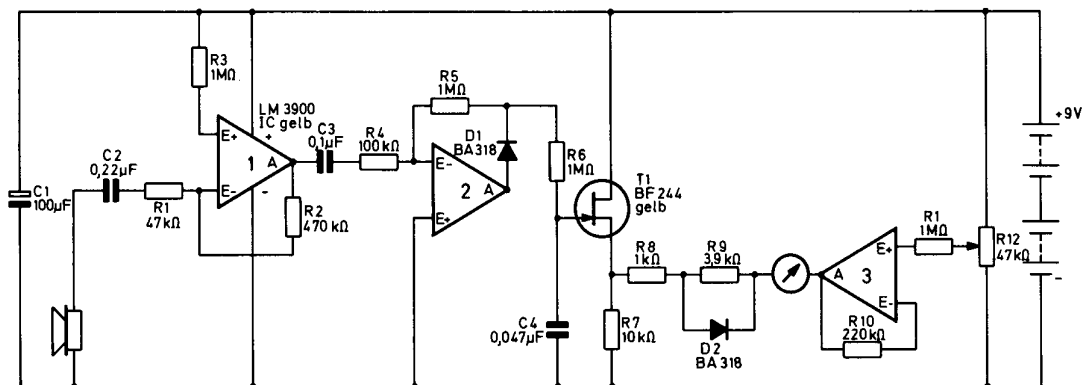
Über die Zenerdiode D_1 wird der NTC mit einer konstanten Spannung versorgt. Da sich sein Widerstand mit sinkender Temperatur erhöht, fällt an ihm eine immer größere Spannung ab. Das FET-Voltmeter nach 4.9.1. läßt sich also auch für die Temperaturmessungen auf dem Umweg über einen veränderlichen Spannungsabfall verwenden.

4.9.12. Schallpegelmesser

Unser Ohr empfindet die einwirkenden Kräfte eines Schallerregers als Lautstärke. Sie wird allgemein in Phon angegeben und ist keine einfach zu messende Größe. Leichter meßbar dagegen ist die Schallstärke.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.12.

Spricht man gegen den als Mikrofon geschalteten Lautsprecher, muß der Zeiger des Meßgerätes ausschlagen. Ist das nicht der Fall, sofort ausschalten und den Fehler suchen.



4.9.12.

Schaltungsbeschreibung

Dem FET-Voltmeter 4.9.1 ist der Wechselspannungsverstärker OP₁ und der im Zusammenwirken mit der Diode D₁ als Gleichrichter arbeitende OP₂ vorgeschaltet.

Treffen Schallsignale auf die Membran des Lautsprechers, erzeugen diese eine Wechselspannung, die in OP₁ verstärkt und in OP₂ mit der Diode D₁ gleichgerichtet werden.

Das Meßinstrument zeigt mit seinem Zeigerausschlag die Stärke der auf den Lautsprecher auftreffenden Schallsignale an.

4.9.13. Drehzahlmesser

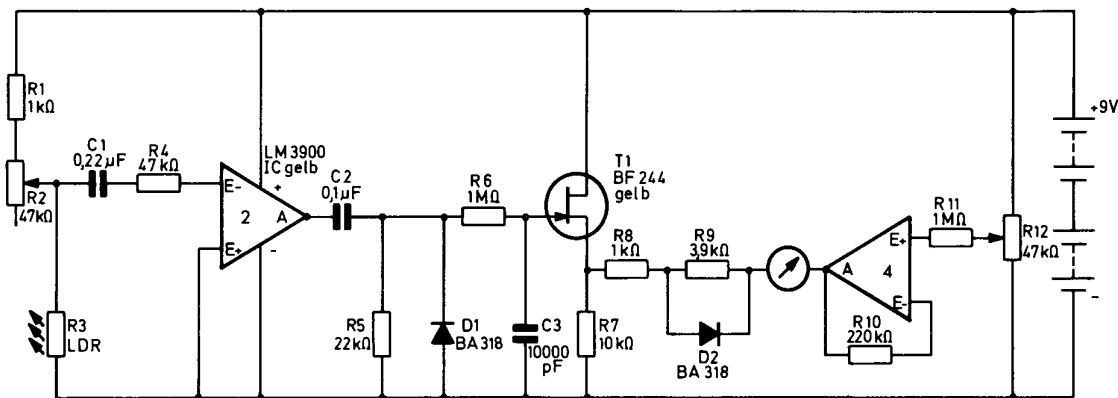
Als Drehzahl bezeichnet man ganz allgemein die Anzahl der Umdrehungen eines Maschinenteils in einer bestimmten Zeiteinheit. Manche Teile einer Maschine oder eines Autos besitzen außerdem Eigenschwingungen. Fällt nun die Drehzahl des Motors mit der Eigenfrequenz eines solchen Teils zusammen, so entstehen Resonanzschwingungen, die zu Zerstörungen führen können. Drehzahlmesser kennzeichnen auf einem Anzeigegerät solche kritischen Drehzahlen.

Mit diesem Gerät lassen sich die Umdrehungen einer Welle – z. B. eines Motors – ermitteln.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 6.9.13.

Bewegt man die Hand mit gespreizten Fingern vor dem LDR auf und ab, muß auf dem Meßinstrument eine Anzeige erfolgen. Andernfalls ausschalten und den Fehler suchen.

Auf einer rotierenden Scheibe, die z. B. durch einen Elektromotor angetrieben wird, muß ein deutlicher Kreidestrich angebracht werden. Man kann auch eine Lochscheibe verwenden, durch die Licht hindurchfällt. Dann stellt man den Motor mit der Scheibe vor den LDR des Meßgerätes. Auch ein Generator mit einer Frequenz von höchstens 100 Hz (entsprechend 6000 U/min) der eine LED treibt, kann verwendet werden (z. B. Gerät 3.1.4. aus EE 2013).



4.9.13.

Schaltungsbeschreibung:

Der LDR nimmt die Lichtstärkeschwankungen auf, z. B. die durch die Markierung auf der umlaufenden Scheibe hervorgerufen werden. Die dabei entstehende Wechselspannung erzeugt im OP₂ eine Rechteckspannung, die den Kondensator C₂ auflädt.

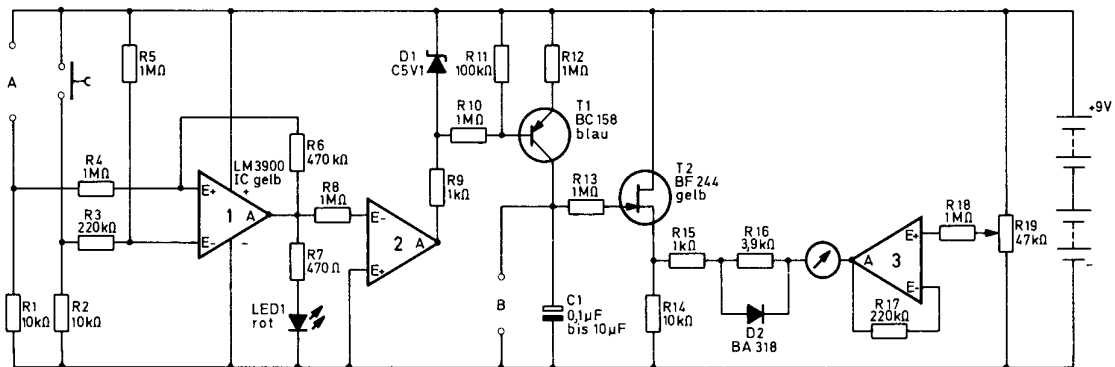
Die weitere Aufbereitung des Signals erfolgt wie in Gerät 4.9.8. Die Anzeigeschaltung mit den zeitbestimmenden Bauteilen C₂/R₅ ist so ausgelegt, daß bei Vollausschlag des Instruments 6000 U/min angezeigt werden.

4.9.14. Reaktionszeitmesser

Solche Geräte zum Messen der Reaktionszeit finden häufig Verwendung, um festzustellen, welche Zeit zwischen dem Auftreten eines Signals und dem Auslösen eines Kontaktes verstreicht. Dazu drückt die Testperson eine Taste, wenn ein optisches oder akustisches Signal auftritt.

Aufbau des Gerätes nach dem Verdrahtungsplan 4.9.14.

Nach dem Schließen des Kontaktes A leuchtet die LED auf. Wird anschließend sofort der Tastschalter gedrückt, kann die verstrichene Zeit am Meßinstrument abgelesen werden. Allerdings ist das Gerät nicht auf Zehntel- oder Hundertstelsekunden geeicht.

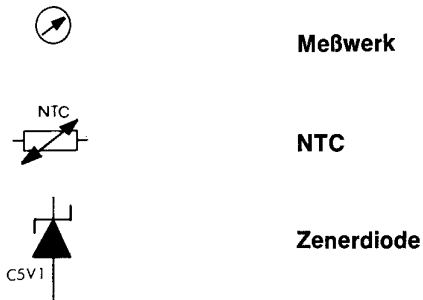


4.9.14.

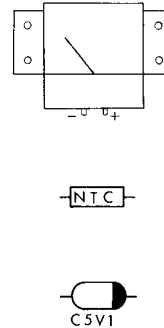
Schaltungsbeschreibung:

OP₁ stellt ein RS-Flipflop dar, dessen Eingänge E⁺ und E⁻ mit dem Kontakt A bzw. dem Taster verbunden sind. Wird A geschlossen, führt der Ausgang von OP₁ ein 1-Signal, die LED leuchtet. Gleichzeitig führt der Ausgang des OP₂ ein 0-Signal, und dadurch wird die Konstantstromquelle T₁ mit der Zenerdiode D₁ eingeschaltet. Der Kondensator C₁ wird solange mit einem konstanten Strom aufgeladen, bis die Taste gedrückt worden ist. Die Größe der Ladung zeigt das Instrument proportional an. Mit dem Betätigen des Tasters steigt der Zeiger nicht weiter an, da der Ladevorgang unterbrochen ist. Damit wurde nämlich das Flipflop zurückgesetzt, was ein 0-Signal am Ausgang von OP₁ und ein 1-Signal am Ausgang des OP₂ bewirkte. Um das Gerät wieder betriebsbereit zu machen, muß man die Kontakte B kurzschließen. Dann kann sich C₁ entladen.

Schaltsymbole



Verdrahtungsplan-Symbole



Technische Daten

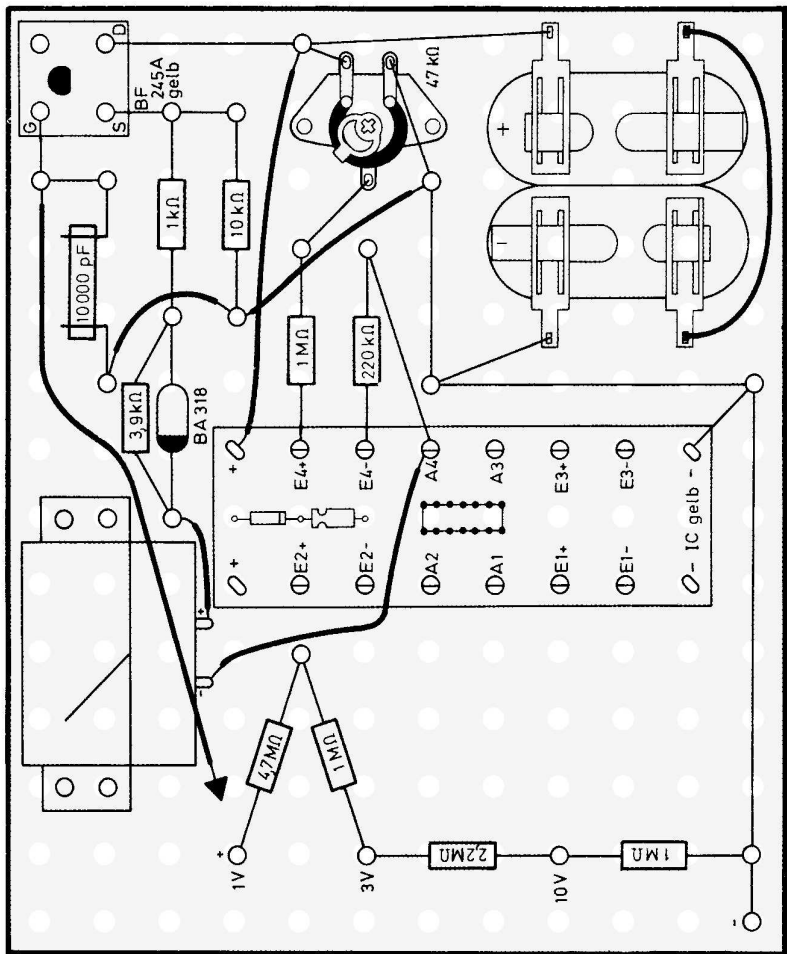
Transistor	BC 158	Zenerdiode	BZX 79 C5 V1
Maximaler Basisstrom	10 mA	Zenerspannung	5,1 V
Maximaler Kollektorstrom	100 mA	Zenerstrom	10 mA
Maximale Verlustleistung	200 mW		
Maximale Kollektor-Emitterspannung	15 V		
Stromverstärkungsfaktor	100–900		
Anwendungsgebiet	NF-und Gleichspannungs-Verstärkung		

Codetabelle

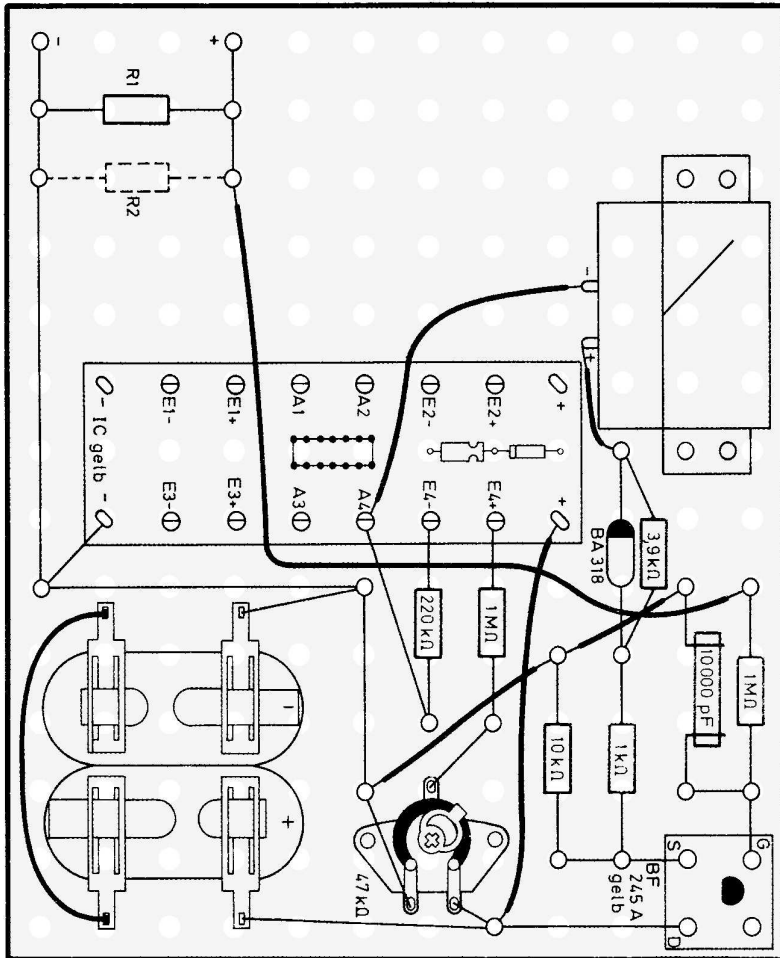
(Ergänzung zu EE 2013)

Widerstände

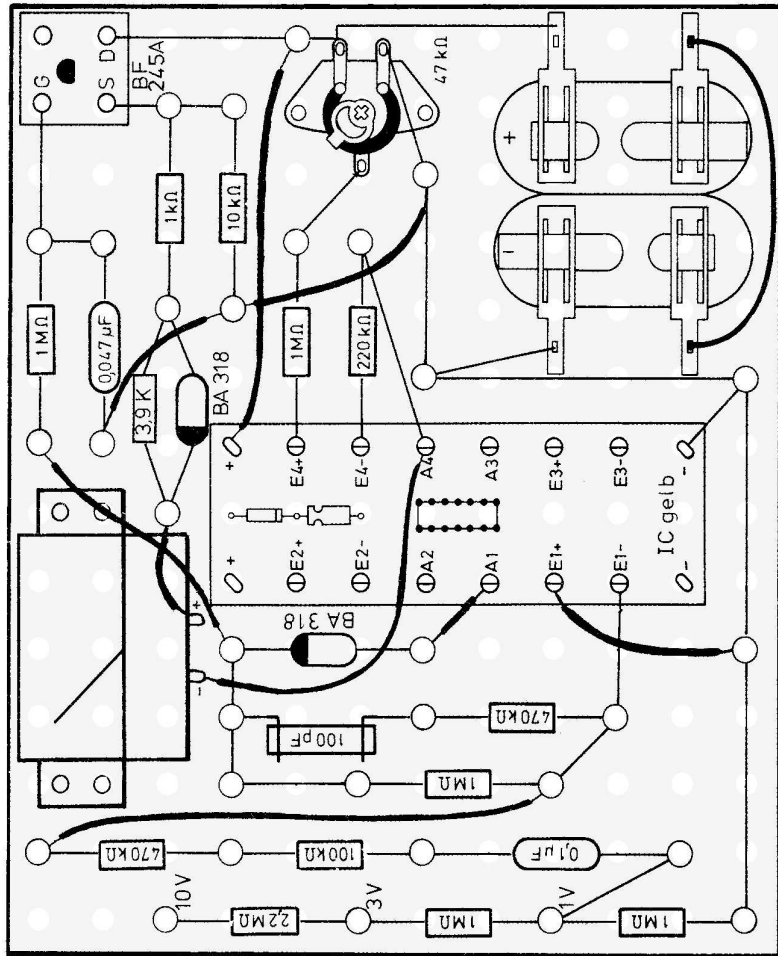
Widerstand	Farbringe	Ersatzwert	Ersatzwert
10 Ohm	braun schwarz schwarz	–	11 Ohm
47 Ohm	gelb lila schwarz	43 Ohm	51 Ohm
100 Ohm	braun schwarz braun	91 Ohm	110 Ohm
3 900 Ohm	orange weiß rot	3 600 Ohm	4 300 Ohm
2 200 000 Ohm	rot rot grün	–	–
4 700 000 Ohm	gelb lila grün	–	–



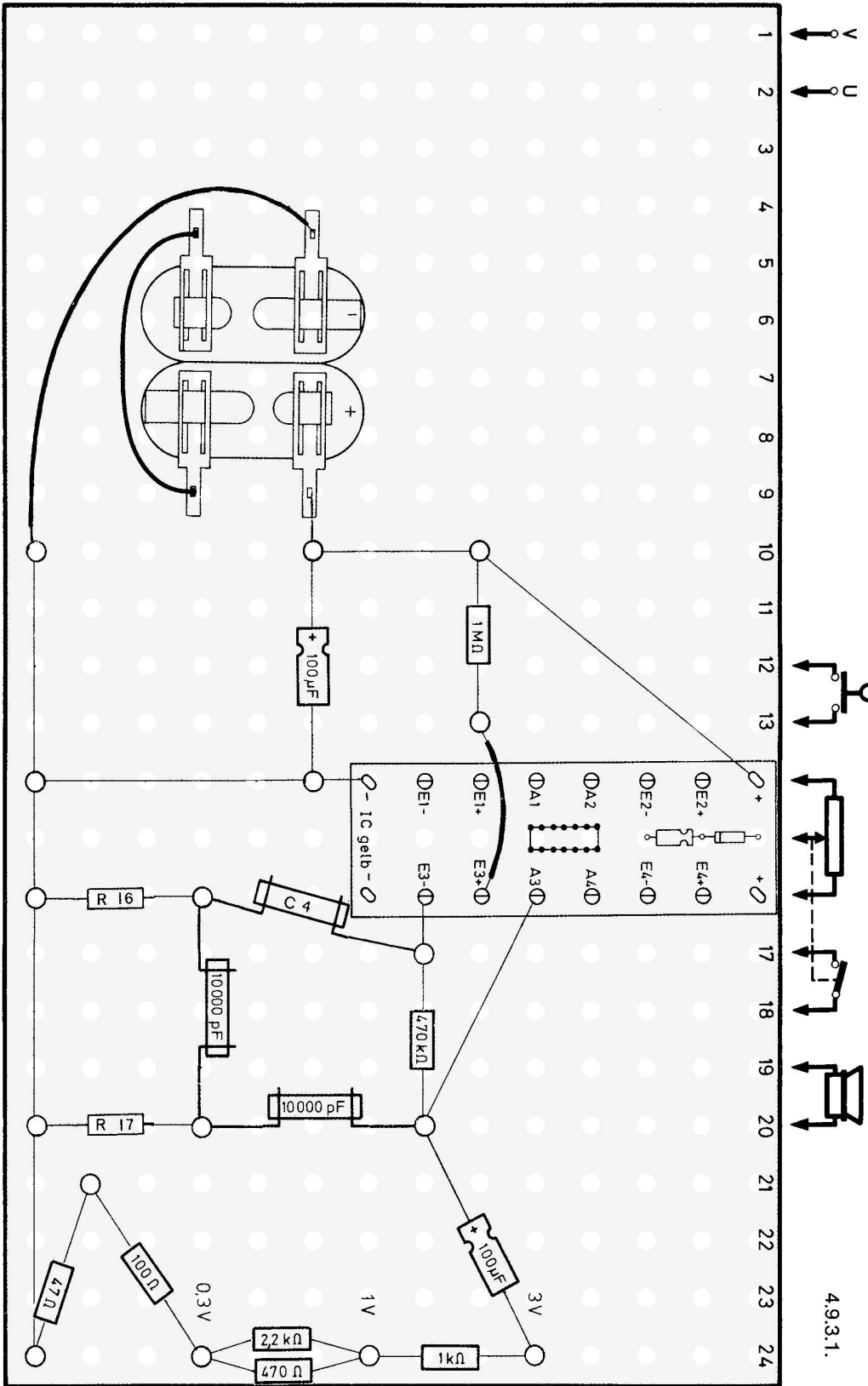
4.9.1.

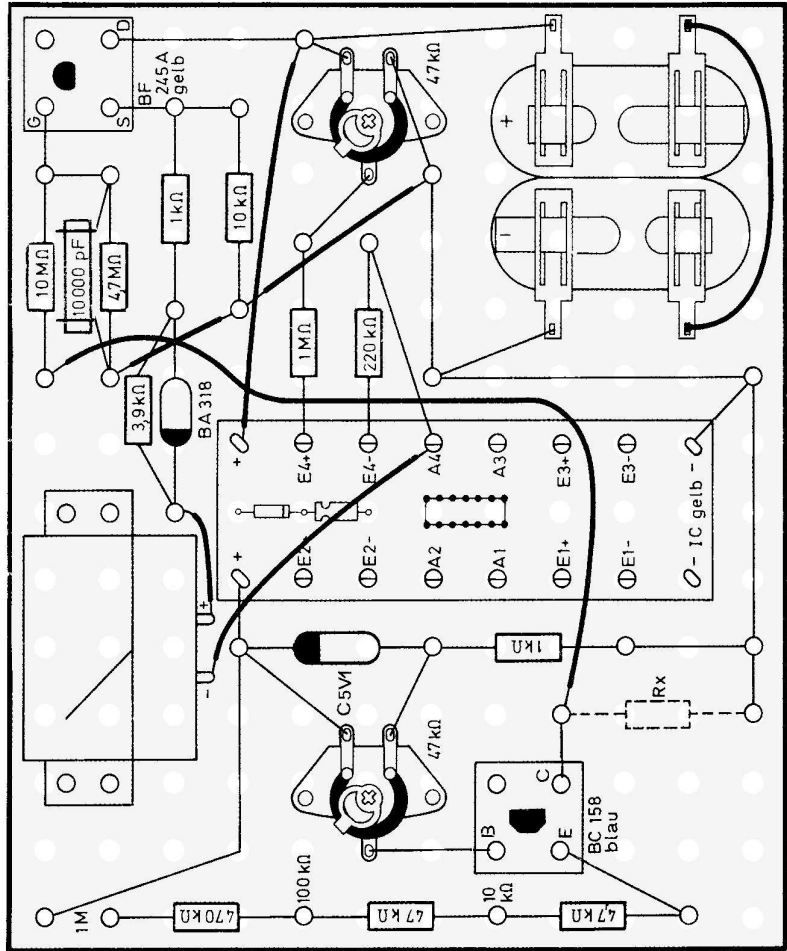


4.9.2.

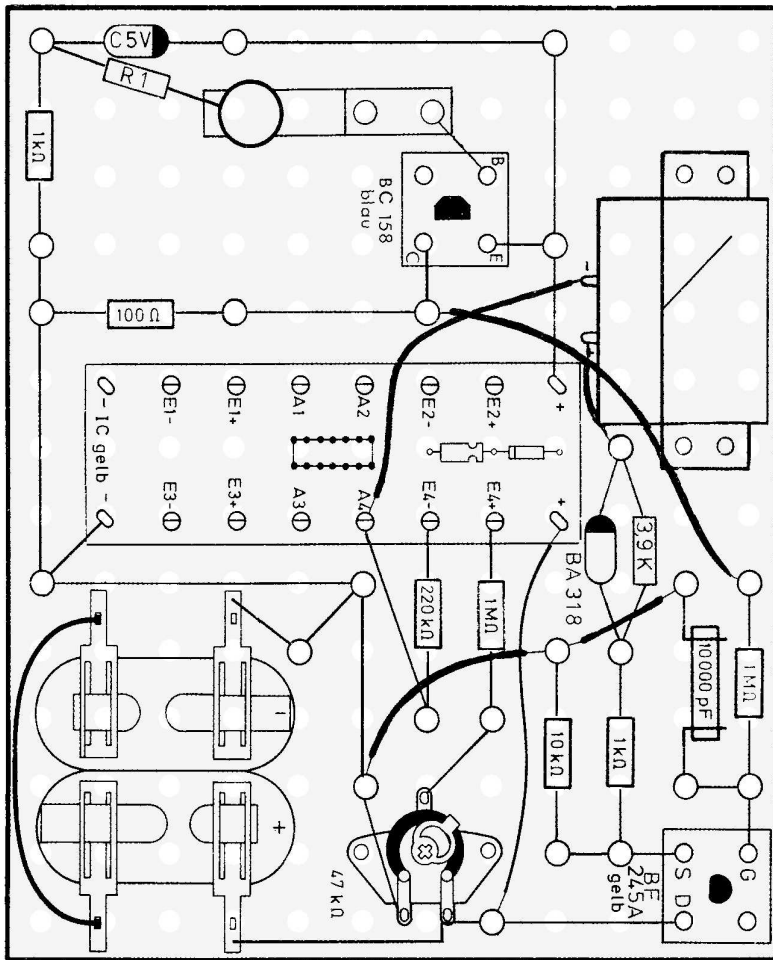


4.9.3.

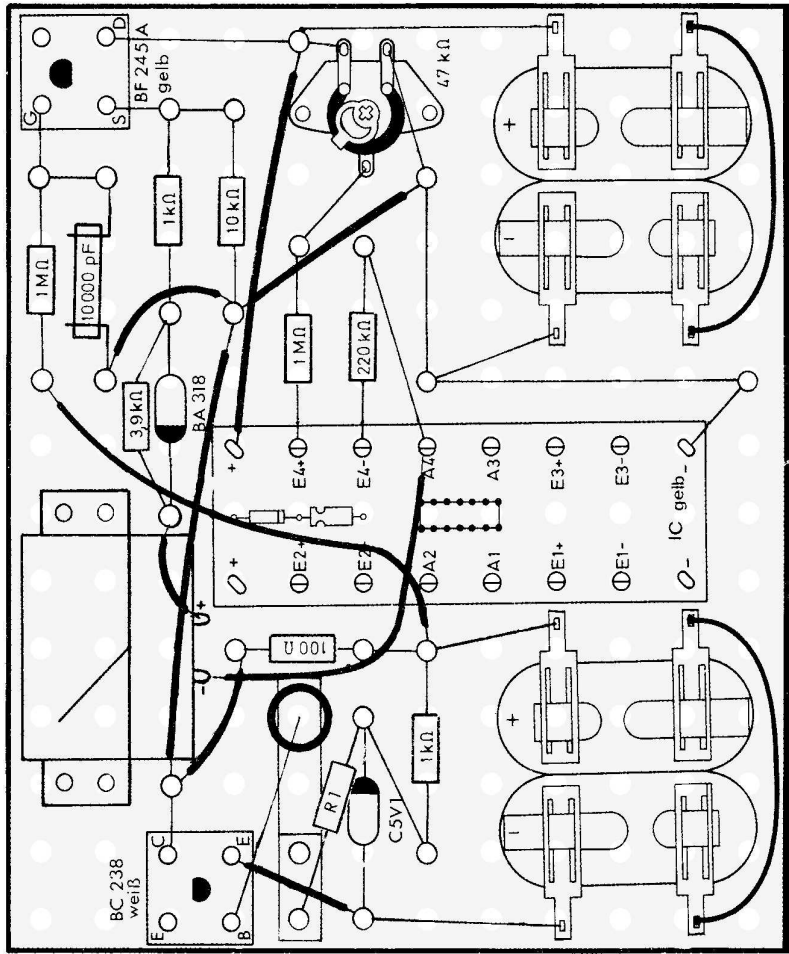




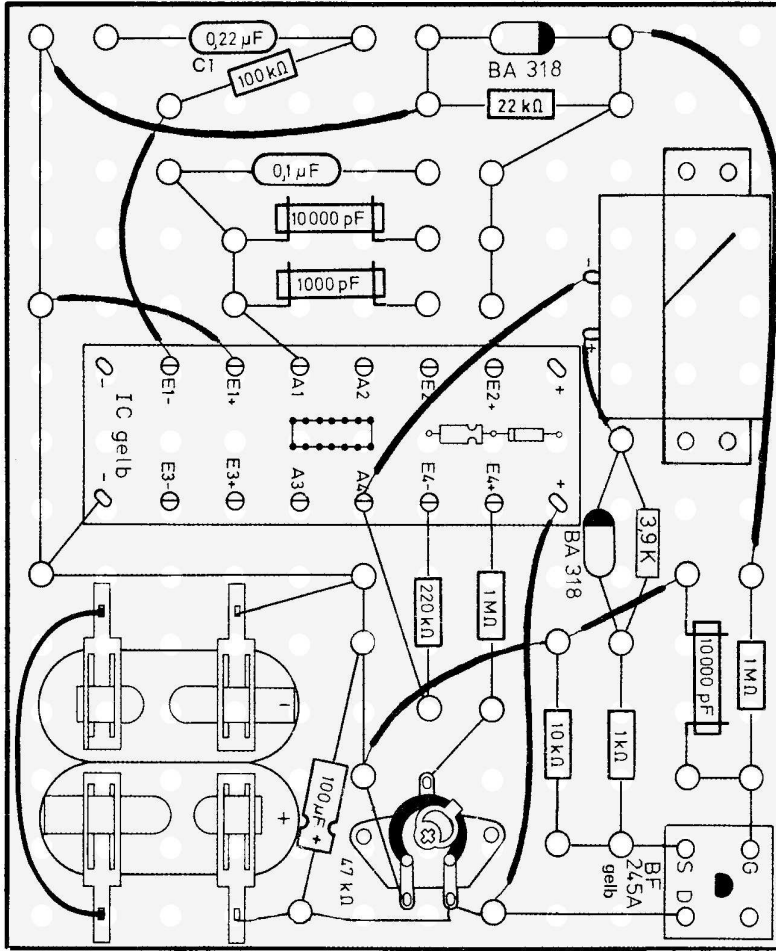
4.9.5.



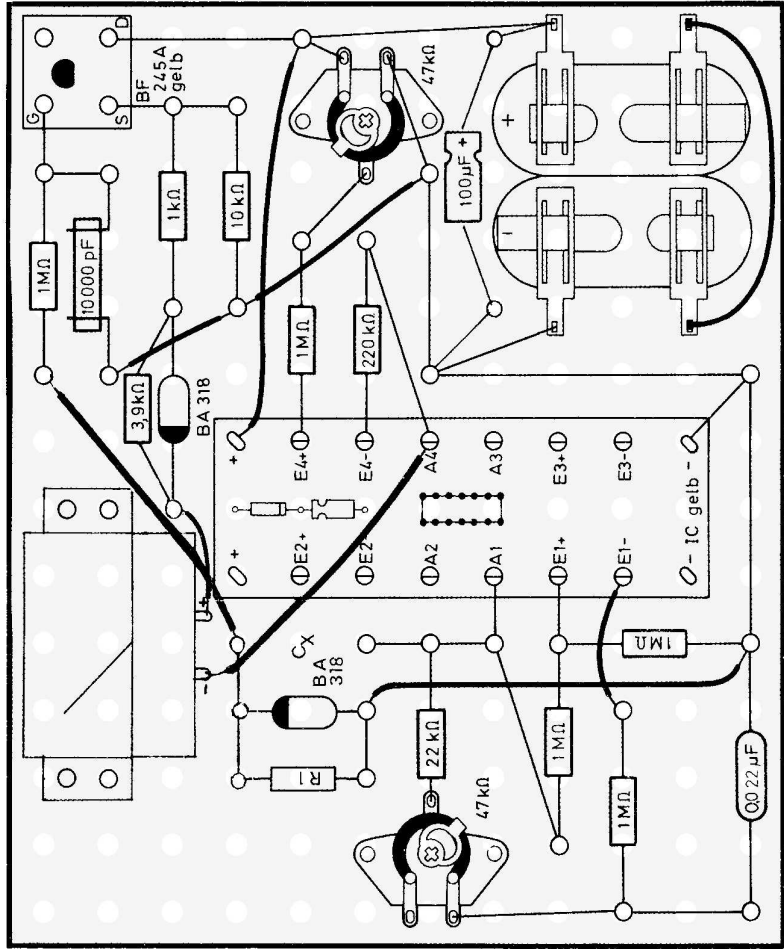
4.9.6.



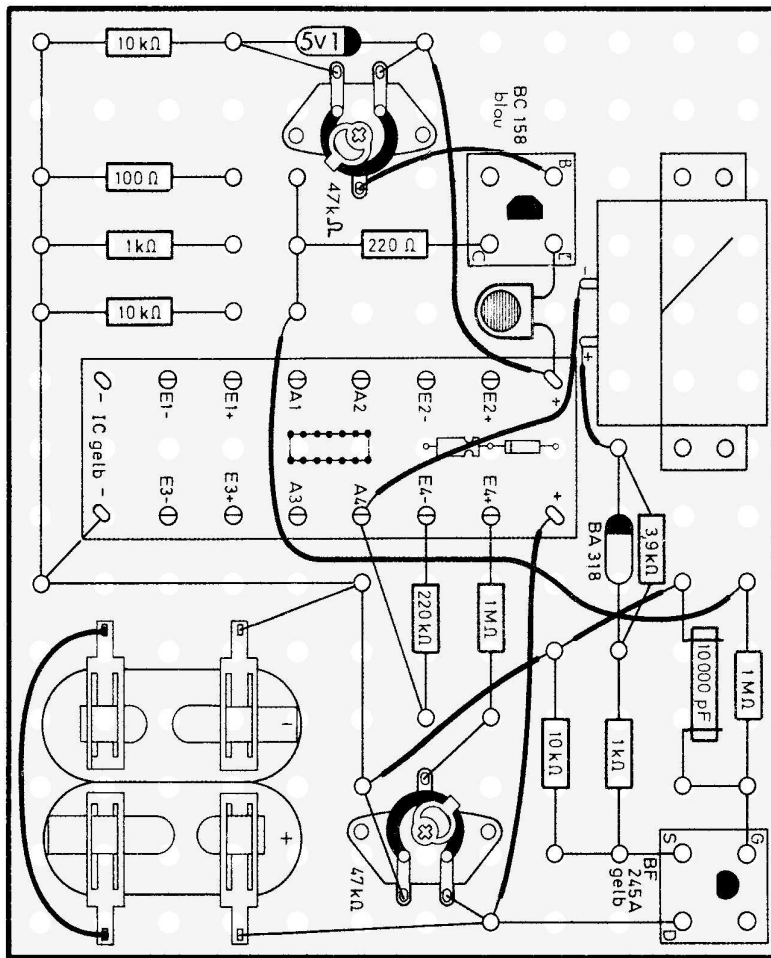
4.9.7.



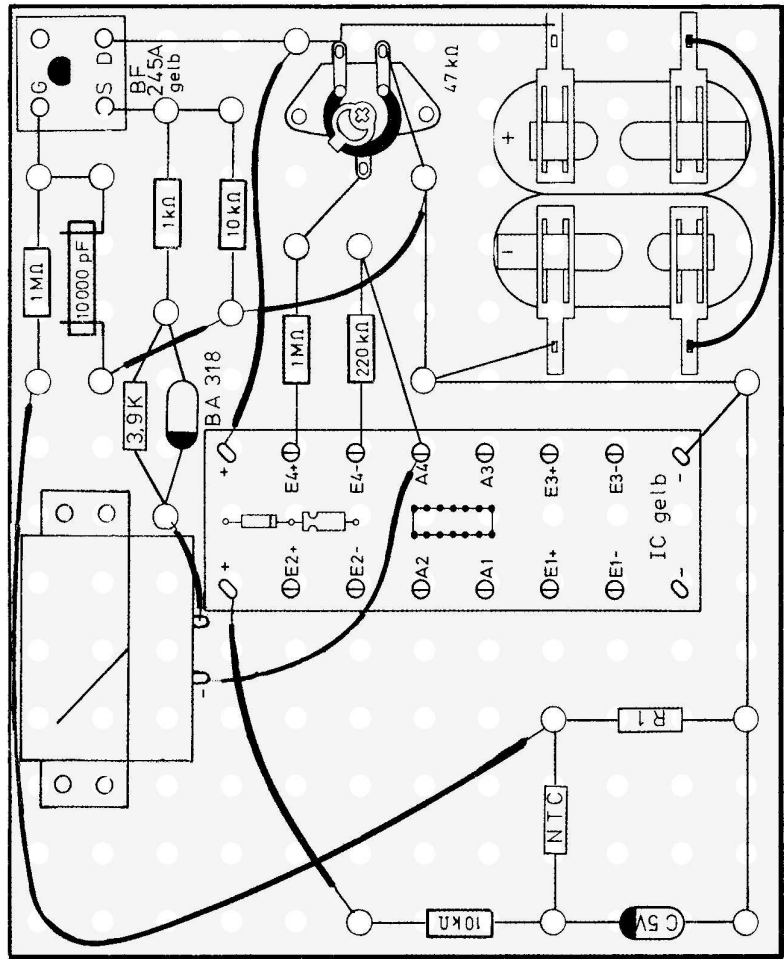
4.9.8.



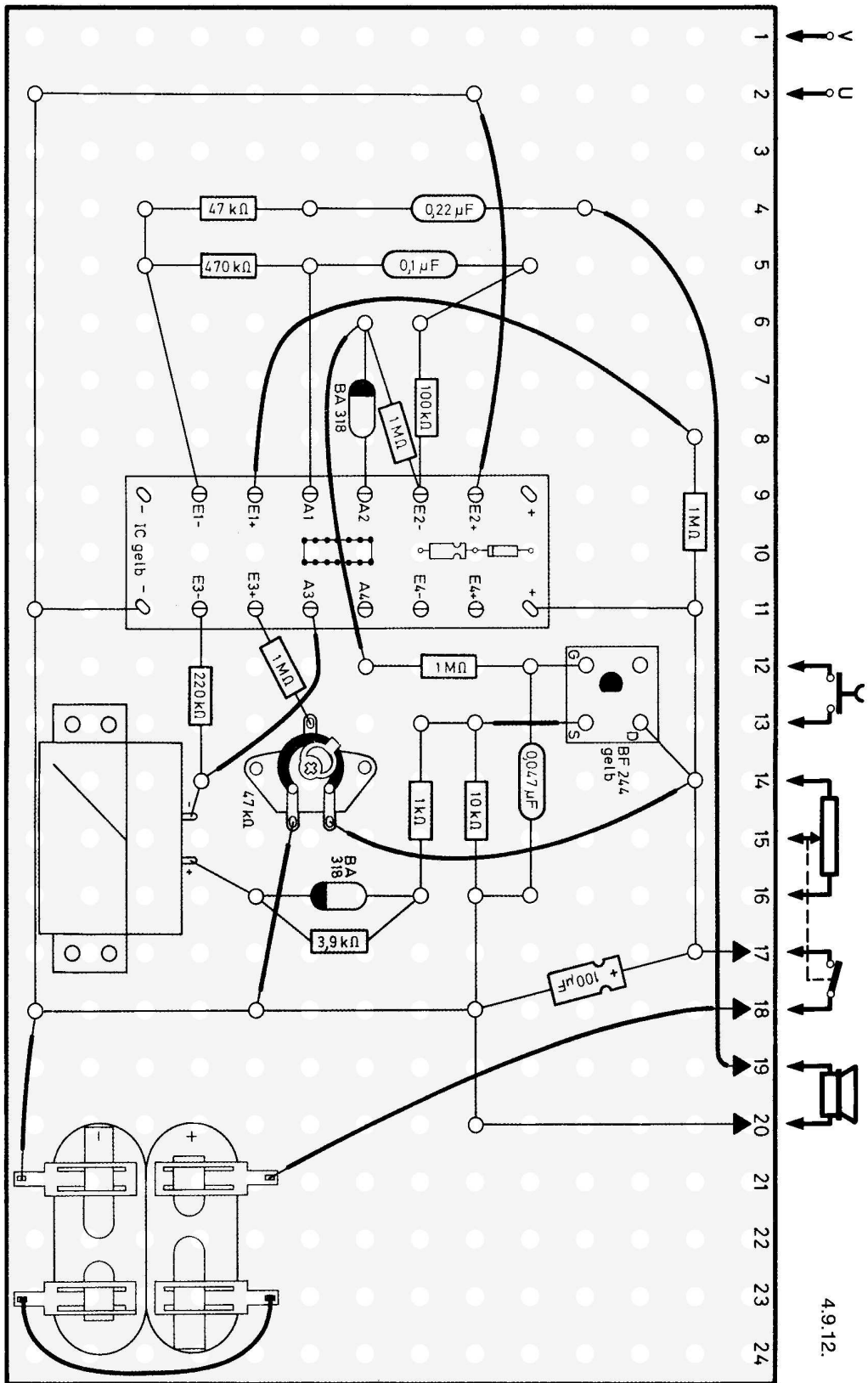
4.9.9.



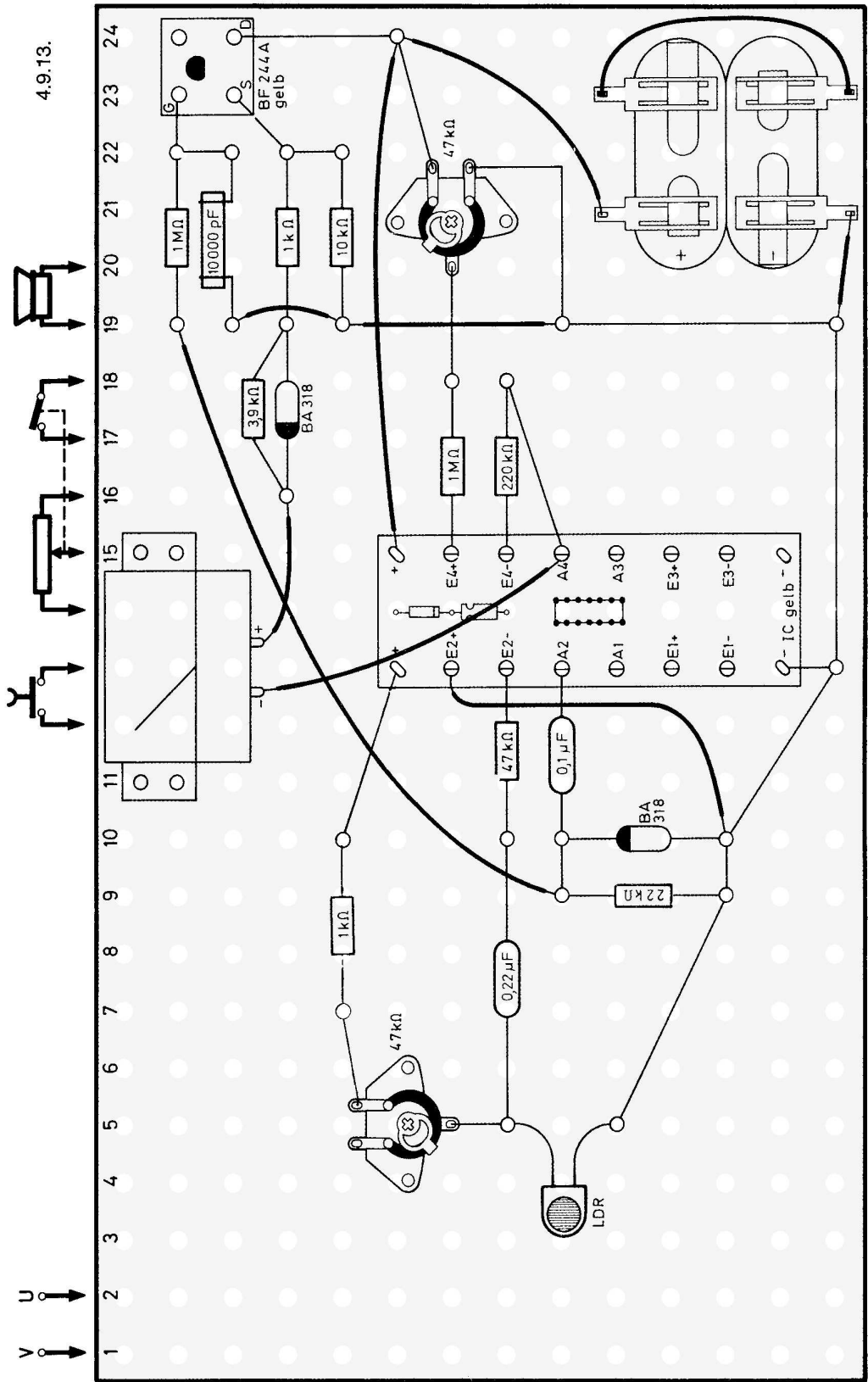
4.9.10.

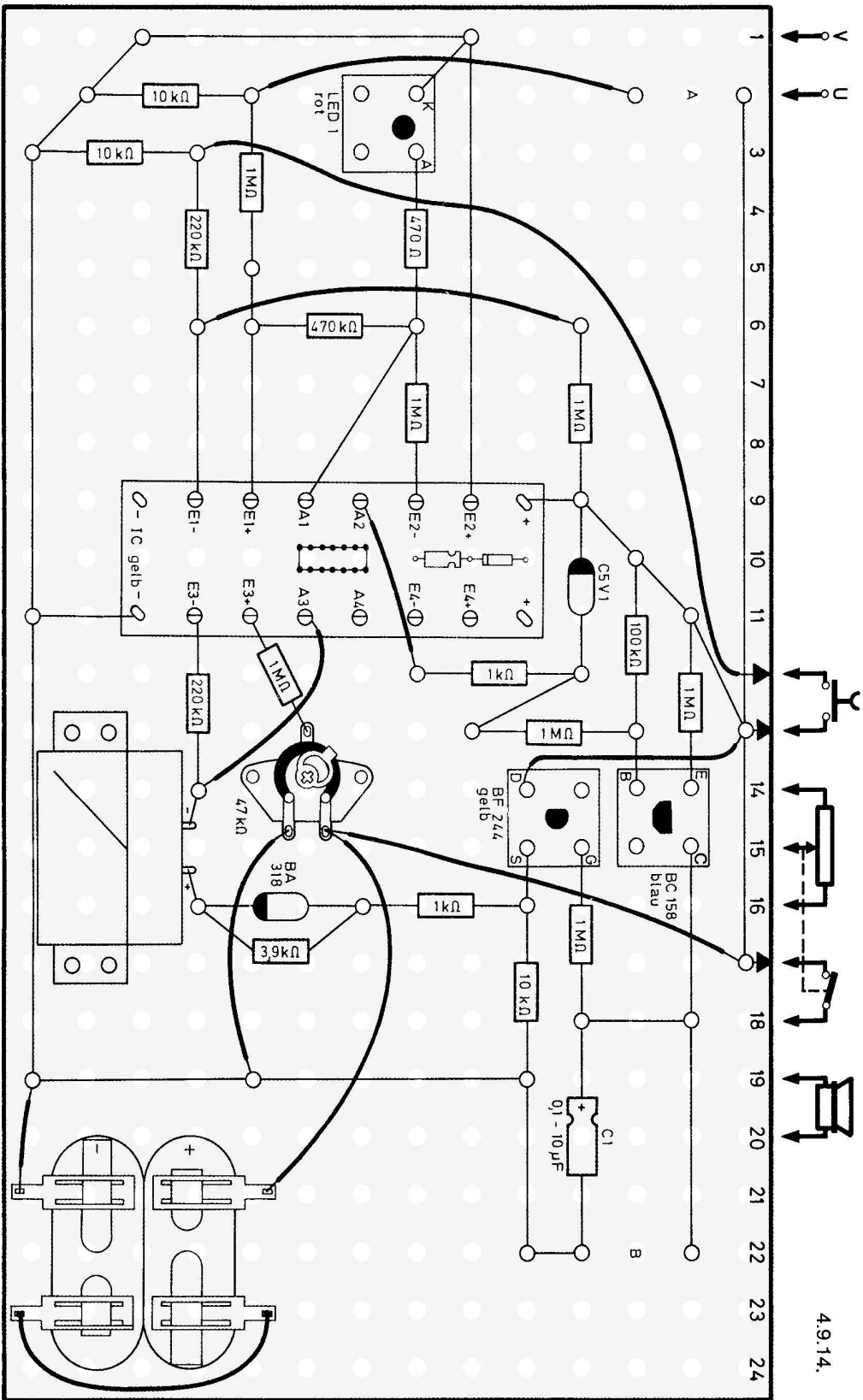


4.9.11.



4.9.12.





4.9.14.

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

