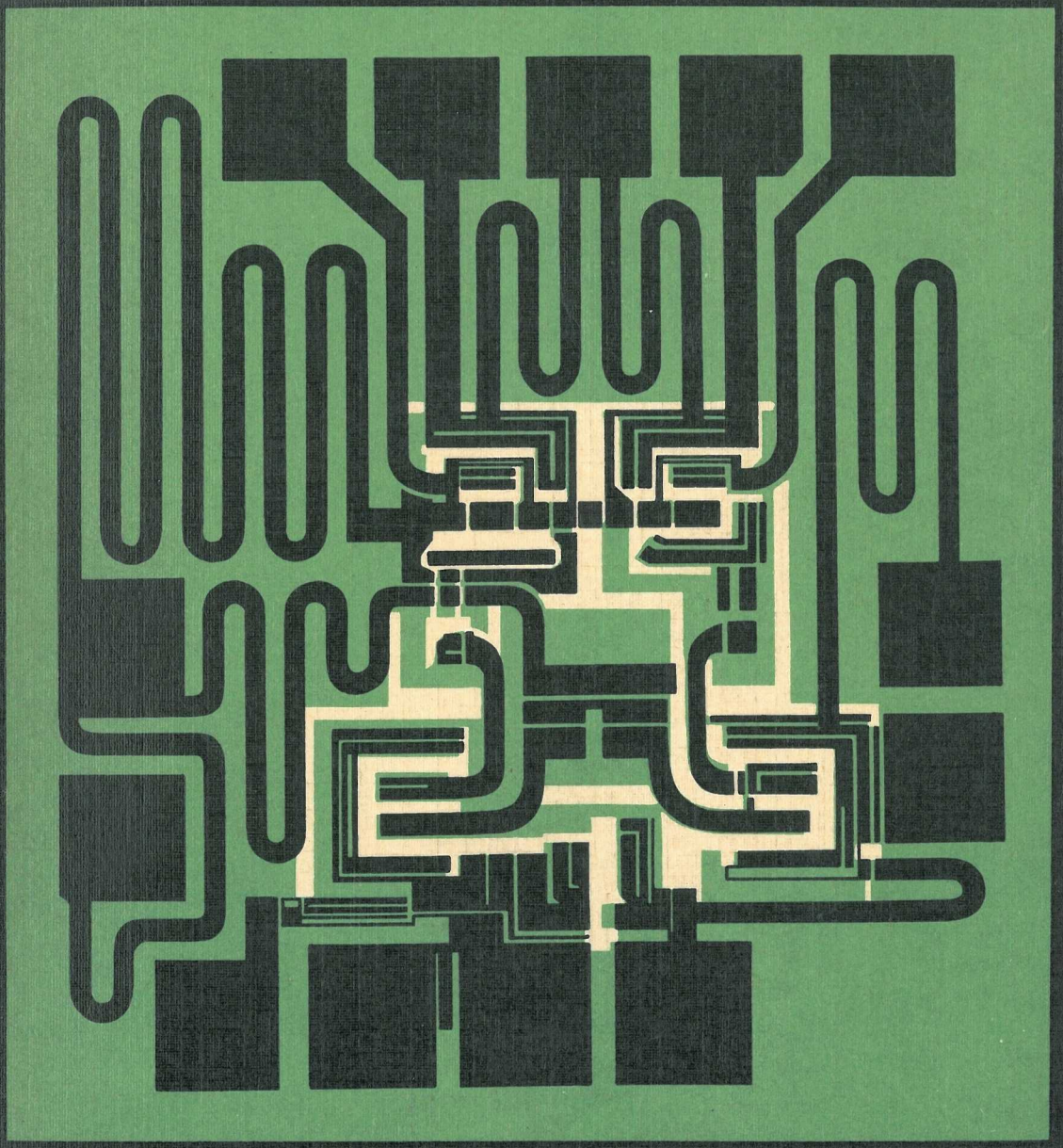
Elektronik

Burmeister/Häsel/Höppner



Burmeister / Häsel / Höppner

Elektronik



Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1980

Autoren:
Dr. rer. nat. Rolf Burmeister Kapitel 1
Helmut Häsel Kapitel 9
Franz Höppner Kapitel 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und Anhang

Dieses Buch kann für Arbeitsgemeinschaften der Klassen 9 und 10 verwendet werden.

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980
1. Auflage
Lizenz Nr. 203/100/80 (E 06 17 07-1)
LSV 0681
Redaktion: Renate Pöpsel
Einband: Hans-Joachim Petzak
Typografische Gestaltung: Atelier vwv
Zeichnungen: Waltraud Schmidt
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Schrift: 9/9/11 Times Linotron
Redaktionsschluß: 20. 12. 1979
Bestell-Nr. 707 173 8
DDR 3,40 M

Inhalt

Zur Benutzung des Buches 6

1.	**Bedeutung und Entwicklung der Elektronik in der DDR**	7
1.1.	Bedeutung des Industriezweiges Elektrotechnik/Elektronik für die gesellschaftliche Entwicklung	7
1.2.	Ausgewählte Anwendungsgebiete der Elektronik	8
1.3.	Zur Entwicklung der Elektronik	11
1.4.	Zu einigen Entwicklungstendenzen in der Elektronik	15
2.	**Widerstand, Kondensator und Spule im Gleich- und Wechselstromkreis**	17
2.1.	Widerstand im Gleichstromkreis	19
2.2.	Kondensator im Gleichstromkreis	20
2.2.1.	Die Kapazität eines Kondensators	22
2.2.2.	Zusammenhang zwischen Kapazität, Widerstand und Zeit	23
2.3.	Spule im Gleichstromkreis	25
2.3.1.	Induktivität einer Spule	26
2.3.2.	Zusammenhang zwischen Induktivität, Widerstand und Zeit	26
2.3.3.	Ermitteln der Induktivität einer Spule	27
2.4.	Kondensator und Spule im Wechselstromkreis	28
2.4.1.	Wechselspannungen und Wechselströme	28
2.4.2.	Kondensator im Wechselstromkreis	31
2.4.3.	Kapazitiver Widerstand eines Kondensators	33
2.4.4.	Spule im Wechselstromkreis	33
2.4.5.	Induktiver Widerstand einer Spule	34
2.4.6.	Transformator	35
3.	**Elektrische Leitungsvorgänge in Festkörpern**	36
3.1.	Leiter, Halbleiter, Isolator	36
3.2.	Elektrische Leitungsvorgänge in metallischen Leitern	37
3.3.	Elektrische Leitungsvorgänge in Halbleitern	38
3.3.1.	Eigenleistung	38
3.3.2.	Störstellenleitung	39
3.3.2.1.	n-Leitung	39
3.3.2.2.	p-Leitung	40
4.	**Halbleiterdiode und ihre technische Anwendung**	41
4.1.	Aufbau, Funktion und Kenngrößen	41
4.2.	Gleichrichtung von Wechselspannungen	44
4.2.1.	Einweggleichrichtung	44

4.2.2.	Glättung und Siebung	46
4.2.3.	Stabilisierung von Gleichspannungen	49
4.2.4.	Zweiweggleichrichtung	50
5.	**Verstärkung von Gleich- und Wechselspannungen**	50
5.1.	Aufbau und Wirkungsweise von Transistoren	51
5.2.	Kennlinien und Kenngrößen eines Transistors	53
5.3.	Arbeitspunkt und seine Einstellung	56
5.4.	Transistor als Verstärker	60
5.4.1.	Gleichstromverstärker	60
5.4.2.	Wechselspannungsverstärker	68
6.	Schwingungserzeugung	74
7.	**Impulstechnik**	79
7.1.	Schalter	79
7.2.	Transistoren als Schalter	80
7.3.	TTL-Schaltkreise	82
7.4.	Multivibratoren	85
7.4.1.	Astabiler Multivibrator	85
7.4.2.	Monostabiler Multivibrator	88
7.4.3.	Bistabiler Multivibrator	90
7.4.4.	Schwellwertschalter	92
7.5.	Leistungsschalter	93
8.	**Meßgrößenwandlung**	95
8.1.	Elektrische Messung der Temperatur	96
8.1.1.	Metallische Leiter als Temperaturwandler	96
8.1.2.	Halbleiter als Temperaturwandler	96
8.2.	Lichtelektrische Wandler	98
8.2.1.	Fotowiderstände	99
8.2.2.	Fotodioden, Fototransistoren, Fotoelemente	100
9.	**Beispiele für Arbeiten in der Arbeitsgemeinschaft „Elektronik“**	100
9.1.	Allgemeine Hinweise zu einigen ausgewählten Arbeitstechniken	100
9.1.1.	Hinweise zum Durchführen von Lötarbeiten	101
9.1.2.	Hinweise zum Anfertigen einer Versuchsschaltung	102
9.1.3.	Hinweise zum Bearbeiten vorgefertigter Universalleiterplatten	102
9.1.4.	Hinweise zum Selbstbau von Leiterplatten	103
9.2.	Ausgewählte Arbeitsbeispiele mit Selbstbauleiterplatten	105
9.2.1.	Arbeitsbeispiel „Elektronischer Türsummer“	106
9.2.2.	Arbeitsbeispiel „Elektronischer Parklichtschalter“	107
9.2.3.	Arbeitsbeispiel „Einfacher Taschenempfänger“	108
9.3.	Hinweise zur Arbeit mit dem Arbeitssatz „Komplexe Amateur-Technik“	109
9.3.1.	Arbeitsbeispiel „Telefonverstärker“	113

9.3.2. Arbeitsbeispiel „Blinkleuchte“ 114
9.3.3. Arbeitsbeispiel „Farbmusikanlage“ 115
9.4. Hinweise zur Arbeit mit integrierten Schaltkreisen 116

Anhang 118

1. **Nennwert, Istwert, Toleranz** 118

2. **Eigenschaften elektronischer Bauelemente** 120

3. **Montagehinweise für elektronische Bauelemente** 121

4. **Kennzeichnung elektronischer Bauelemente** 121
4.1. Kennzeichnung von Halbleiterbauelementen 121
4.1.1. Angabe des Stromverstärkungsfaktors bei Transistoren 122
4.1.2. Kennzeichnung von Halbleiterbauelementen mit Plastgehäuse . . . 122
4.1.3. Gehäuseformen und Anschlußbelegung 123
4.1.4. Kennzeichnung der Halbleiterbauelemente der Bastlerbeutel des Kombinates VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder) 124
4.2. Kennzeichnung von Widerständen 125
4.2.1. Farbkode 125
4.2.2. Buchstaben-Zahlenkode 126
4.2.3. Nennverlustleistung und Grenzspannung 126
4.2.4. Kennzeichnung von Schicht-Drehwiderständen 127
4.2.4.1. Buchstaben-Zahlenkode 127
4.2.4.2. Farbkode 128
4.3. Kennzeichnung von Kondensatoren 128
4.3.1. Keramische Kleinkondensatoren 128
4.3.2. Wickelkondensatoren 129
4.3.2.1. Kennzeichnung der Dielektrika 129
4.3.2.2. Kennzeichnung der Kapazität, Toleranz und Nennspannung 130

5. **Funktionsprüfung und Messung einiger Kennwerte elektronischer Bauelemente** 130
5.1. Prüfen und Messen von Widerständen 131
5.1.1. Indirekte Widerstandsbestimmung aus Strom- und Spannungsmessung 131
5.1.2. Direkte Widerstandsmessung mit dem Vielfachmeßgerät 132
5.1.3. Widerstandsmessung mit der Wheatstoneschen Brückenschaltung . . 133
5.2. Prüfen und Messen von Kondensatoren 133
5.2.1. Indirekte Bestimmung der Kapazität aus Strom-, Spannungs- und Frequenzmessung 134
5.2.2. Direkte Messung der Kapazität eines Kondensators mit dem Vielfachmeßgerät 134

5.2.3. Messung der Kapazität von Elektrolytkondensatoren 134
5.3. Prüfen und Messen von Spulen 135
5.4. Prüfen und Messen von Halbleiterbauelementen 135
5.4.1. Messungen an Dioden 135
5.4.2. Messungen an Transistoren 136

6. Literatur 137
6.1. Im Text verwendete Literatur 137
6.2. Weiterführende Literatur 138

7. Register 139

Zur Benutzung des Buches

Dieses Buch soll den Leser an ausgewählte physikalische Probleme des Aufbaus elektronischer Bauelemente, deren schaltungstechnisches Verhalten und Zusammenwirken in elektronischen Schaltungen heranführen. Die dargestellten Arbeitsbeispiele sollen Anregungen und Hinweise zum Selbstbau von elektronischen Schaltungen geben. Um ein selbständiges Erarbeiten der notwendigen Kenntnisse zu ermöglichen, sind im Text Fragen und Aufgaben zum dargestellten Inhalt enthalten. Die geplanten Experimente sind so konzipiert, daß bestimmte theoretische Erkenntnisse experimentell gewonnen bzw. bestätigt werden. Bei den mit Ziffern gekennzeichneten Experimenten sind die Experimentieranleitungen im Buch enthalten oder selbst zu entwickeln. Die Merksätze fassen die wesentlichen Kenntnisse zu einem Stoffgebiet in kurzer einprägsamer Form zusammen.

In diesem Buch werden folgende Symbole zur einheitlichen Kennzeichnung verwendet:

▶	Merksätze
▽	Experimente
●	Aufgaben und Fragen
↑	Verweise auf andere Abschnitte des Buches, auf Experimentieranleitungen des Baukastens „Elektronik 5 und 6" und auf Bilder
Ph i Üb	Physik in Übersichten
Tech i Üb	Technik und Produktion in Übersichten

1. Bedeutung und Entwicklung der Elektronik in der DDR

Mit Hilfe von Fernsehgeräten, Transistorenempfängern und Kasettenrekordern werden Informationen in Form von Bildern, Sprache und Musik wiedergegeben, die vorher von einer Antenne aufgefangen, auf einem Magnetband oder einer Schallplatte gespeichert worden sind. Niemand, jedenfalls nicht der Normalverbraucher, macht sich Gedanken darüber, welche komplizierten Prozesse ablaufen, wenn er den Einschaltknopf eines solchen Gerätes drückt. Grundsätzlich ist es auch nicht notwendig, daß jeder weiß, wie ein solches Gerät funktioniert, entscheidend ist, daß der Anwender sich an die Bedienungsanweisungen des Herstellers hält. Moderne elektronische Geräte sind so kompliziert aufgebaut, daß der Anwender ohne spezielle Kenntnisse deren Wirkungsweise nur sehr schwer oder gar nicht begreifen kann.

Will man das Zusammenwirken elektronischer Bauelemente in Schaltungen der Elektronik verstehen, muß man sich zunächst mit den physikalischen Grundlagen vertraut machen, den Aufbau und die Wirkungsweise elektronischer Bauelemente begreifen und nicht zuletzt deren Verhalten und Zusammenwirken in elektronischen Schaltungen näher untersuchen. Auf diesem grundlegenden Wissen aufbauend, kann man elementare elektronische Verfahren, wie das Umformen und Verstärken von Signalen, Regeln und Speichern usw., selbst in einfachen Schaltungen nachgestalten.

1.1. Bedeutung des Industriezweiges Elektrotechnik/Elektronik für die gesellschaftliche Entwicklung

Grundlage für die weitere Erhöhung des materiellen und kulturellen Lebensniveaus des Volkes ist ein hohes Entwicklungstempo in der sozialistischen Produktion. Eine wesentliche Voraussetzung, um die wirtschafts- und sozialpolitischen Ziele zu verwirklichen, ist, den wissenschaftlich-technischen Fortschritt zu beschleunigen und dadurch seine ökonomische und soziale Wirksamkeit zu erhöhen.

In diesem Prozeß spielt die Elektrotechnik/Elektronik eine Schlüsselrolle, da die Erzeugnisse dieses Wirtschaftszweiges bei der Entwicklung, Projektierung, Produktion und Montage von Anlagen für die Energiewirtschaft, die chemische Industrie, die Metallurgie, den Anlagen- und Maschinenbau usw. von großer Bedeutung sind.

Ein Hauptweg für die weitere Steigerung der Arbeitsproduktivität ist die Intensivierung der Produktion. Die Entwicklung der Elektronik von den Schaltungen mit Einzelbauelementen zu den integrierten Schaltungen führte zu einer neuen Qualität der Intensivierung und ist durch ein beschleunigtes Tempo der Entwicklung der Mikroelektronik und die schnelle Nutzung der Ergebnisse in der Volkswirtschaft gekennzeichnet.

Daraus können folgende Aufgabenstellungen für den Industriezweig Elektrotechnik/Elektronik abgeleitet werden:

Der Ausbau der Energie- und Rohstoffbasis stellt hohe Anforderungen an die Projektie-

rung und Produktion elektrotechnischer Anlagen und Geräte für die Energiewirtschaft, die Metallurgie und andere Bereiche der Grundstoffindustrie. Dem verstärkten Einsatz der Mikroelektronik kommt dabei große Bedeutung zu.

Die Aufgaben des Maschinen- und Anlagenbaus können nur verwirklicht werden, wenn die Qualität und Leistungsfähigkeit der elektrotechnischen und elektronischen Industrie ihrer Zulieferrolle gerecht wird. Dabei stehen die Geräte und Anlagen zur Betriebs-, Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik an erster Stelle.

Zur Verwirklichung der Aufgaben des Wohnungsbauprogramms werden elektrotechnische und elektronische Anlagen und Geräte zur Energieverteilung, für die Ausrüstung der Zement- und Plattenwerke, Installationsmaterial, nachrichtentechnische Anlagen usw. benötigt.

Zur Verbesserung der medizinischen Betreuung werden zunehmend elektronisch-medizinische Geräte und Anlagen eingesetzt.

Es sind nachrichtentechnische Anlagen bereitzustellen, die es ermöglichen, die Nachrichtenvermittlung weitestgehend zu automatisieren.

Die wachsenden Transportaufgaben und die Erhöhung der Sicherheit im Verkehrswesen erfordern moderne Transportmittel sowie Anlagen und Geräte der Signal- und Sicherheitstechnik.

Leistungsfähige Anlagen der Datenerfassung und Datenverarbeitung haben das Ziel, die Leitungs- und Planungsprozesse in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens zu rationalisieren. In diesem Zusammenhang hat der Einsatz der Prozeßrechentechnik und der Mikrorechner wachsende Bedeutung.

Im Bereich der Nationalen Volksarmee hat der Einsatz modernster Militärtechnik zur Landesverteidigung eine besonders große Bedeutung für die Verteidigung der Errungenschaften des Sozialismus und die Sicherung des Friedens.

Der Einsatz hochwirksamer und zuverlässiger elektronischer Anlagen und Geräte ist hinsichtlich dieser hohen Aufgabenstellung am weitesten entwickelt.

Im Abschnitt 1.2. werden einige ausgewählte Anwendungsgebiete der Elektronik ausführlicher dargestellt.

1.2. Ausgewählte Anwendungsgebiete der Elektronik

Die Elektronik ist eine technische Disziplin, ein Spezialgebiet der Elektrotechnik, in dem die Steuerungsfähigkeit frei beweglicher Elektronen in Stoffen und im Hochvakuum genutzt wird. Dieses Prinzip wird bei der Konstruktion und Herstellung elektronischer Bauelemente angewendet. Solche elektronischen Bauelemente sind Dioden und Transistoren. Hinzu kommen noch elektrische Bauelemente, wie Widerstände, Kondensatoren und Spulen. Elektronische Schaltungen setzen sich aus solchen Bauelementen zusammen. In integrierten elektronischen Schaltungen kann man die einzelnen Bauelemente nicht mehr unterscheiden. Hier ist die gesamte Schaltung in einem Komplexbauelement zusammengefaßt (↑ Abschnitt 9.4.).

Elektronische Schaltungen werden in Geräten, Einrichtungen und Anlagen vielseitig angewendet.

In der folgenden Übersicht sind einige dieser Anwendungsgebiete genannt.

Übersicht: Ausgewählte Anwendungsgebiete der Elektronik

Anwendungsgebiet	Beispiel
Informationselektronik	Funktechnik, Rundkfunktechnik, Fernsprech- und Fernschreibverkehr
Rechenelektronik	Rechentechnik, Prozeßrechner, Datenverarbeitung
Elektronik in der BMSR-Technik	Meßtechnik, Materialprüfung, Prozeßsteuerung, Industrieroboter, Automatisierungstechnik
Raumfahrt- und Verkehrselektronik, Militärelektronik	Radar- und Flugsicherungstechnik, Fernsteuerungstechnik, Raketensteuerungen, Autopilotanlagen, Mikrorechner
Büro- und Druckereielektronik	Automatische Schreibtechnik, Daten- und Textspeicher, automatische Setz- und Druckmaschinen
Medizinische Elektronik	Röntgengeräte, Elektrokardiografen, elektronische Diagnosegeräte, Geräte zur Kurzwellen- und Ultraschalltherapie, Herzschrittmacher
Kraftfahrzeugelektronik	Elektronische Kfz-Diagnostik, elektronische Kraftstoffdosierung
Haushaltselektronik	Automatische Waschmaschinen, Radio- und Fernsehgeräte, Regelung von Heizungs- und Klimaanlagen

Die wichtigsten Impulse für die kontinuierliche Weiterentwicklung der Elektronik werden von der Raumfahrtelektronik und der Rechentechnik gegeben, da auf diesem Gebiet besonders hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit, an einen minimalen Platzbedarf und die zu realisierende Arbeitsgeschwindigkeit elektronischer Schaltungen gestellt werden. Das bekannteste Gebiet ist die Informationselektronik, zu der man auch die Unterhaltungselektronik zählen kann. Dazu gehört aber auch der Funkverkehr mit Flugzeugen und Schiffen oder der Sprechfunk zur Verständigung über kurze Strecken, so z. B. zwischen Montagearbeiter und Kranführer auf einer Baustelle oder zwischen Panzerfahrer und Kommandeur in einer Einheit der NVA.

Weniger bekannt ist die Fernschreibtechnik, die z. B. bei der Übermittlung von Wetterinformationen oder von Zeitungsmeldungen eine große Rolle spielt. Mit einem etwas abgeänderten Verfahren werden auch Bilder über Entfernungen übertragen. In einem Fernschreibsender werden die Buchstaben, Zahlen, Bildpunkthelligkeitswerte und Signalfolgen ähnlich den Morsezeichen umgewandelt und über eine Leitung bzw. drahtlos zum Empfänger übertragen, wo sie in einer automatischen Schreibmaschine wieder zu einem Text oder in einer speziellen Druckmaschine zu einem Bild zusammengestellt werden. Auf diese Weise kann z. B. der gesamte Zeitungstext über Entfernungen übertragen werden.

Eine elektronische Datenverarbeitungsanlage (EDVA) besteht aus einem Rechner und aus Datenerfassungs- und Datenspeichergeräten.

An einigen Beispielen soll im folgenden gezeigt werden, welche Daten in einer EDV-Anlage erfaßt und verarbeitet werden.

Beispiel: Lohnberechnung in einem Betrieb

In der EDVA wird der monatliche Grundlohn, den jeder Arbeiter und Angestellte dieses Betriebes erhält, registriert und neu berechnet. Dieser Grundlohn hängt von der Art der Tätigkeit, der Dauer der Betriebszugehörigkeit, dem Ausbildungsstand und noch anderen Faktoren ab. Hinzu kommen Zuschläge in Form von Leistungslohn und Prämien; abgezogen werden Steuern und Beiträge für die Sozialversicherung. Zuschläge und Abzüge hängen wieder von einer ganzen Reihe Faktoren ab, die für jeden Werktätigen anders sind. Es kommen also viele Daten zusammen, die dazu noch ständig wechseln. Alle Daten werden in der EDVA gespeichert und zum Lohntag so ausgewertet, daß jedem Betriebsangehörigen der richtige Betrag gezahlt werden kann. So hilft die EDVA, Arbeitskräfte in der Verwaltung einzusparen. Die EDVA wird in unserer Republik in fast allen Zweigen der Verwaltung eingesetzt.

Beispiel: Planung von Produktionsabläufen

Eine besondere Form elektronischer Rechner sind die Prozeßrechner. Sie helfen, die günstigsten Möglichkeiten für einen Produktionsablauf zu ermitteln.

In einem Motorradwerk verlassen täglich einige hundert Motorräder das Fließband. Zu ihrer Herstellung müssen ständig Ausgangsmaterial und Halbfertigprodukte bereitstehen, müssen Zulieferungen aus anderen Betrieben wie Reifen, Lampen usw. erfolgen. Im Betrieb muß die Arbeit so organisiert sein, daß keine Stockungen auftreten, günstigste Transportwege sind zu ermitteln, Umstellungen durch Verbesserungen sind störungsfrei in den Produktionsablauf zu übernehmen. Im Prozeßrechner werden alle eingegebenen Daten ausgewertet und ständig günstigste Arbeitsabläufe errechnet.

Beispiel: Steuerung und Regelung von Produktionsabläufen

Ein umfassendes Anwendungsgebiet findet die Elektronik in der Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik (BMSR). Darunter verstehen wir Geräte und Anlagen zur Automatisierung von Arbeitsprozessen in allen Zweigen der Produktion. Betrachten wir als Beispiel die Produktion in der chemischen Industrie. An verschiedenen Stellen einer Produktionsanlage sind Meßeinrichtungen zum Erfassen z. B. der Temperatur, des Druckes und der p_H-Werte vorhanden. Die physikalischen Größen werden in Meßfühlern in elektrische Größen umgewandelt, die über Leitungen einer Meßwarte zugeführt werden. Von mehreren solcher Meßwarten werden die Werte in einer EDVA gesammelt und verarbeitet. Die Ergebnisse werden wieder automatischen Steuerungs- und Regelungseinrichtungen zur Aufrechterhaltung der vorgegebenen Betriebswerte zugeführt. Damit ist gesichert, daß das Produkt auf dieser Fertigungsstrecke immer eine gleichbleibende Qualität aufweist.

Beispiel: Automatisierung einer mechanischen Serienfertigung

In Serienfertigung soll ein Werkstück auf verschiedenen Maschinen bearbeitet werden (drehen, bohren, fräsen). Bei der mechanischen Bearbeitung muß das Werkstück ein- und ausgespannt, gemessen und evtl. nachgearbeitet werden. Das ist sehr aufwendig. In der modernen Fertigungstechnik gibt es Universalmaschinen, die das Werkstück nach einem vorgegebenen Programm bearbeiten. Dieses Programm wird nach einer Zeichenvorlage auf Lochband oder Magnetspeicher von einer elektronischen Einrichtung übertragen. Die Maschine enthält außerdem einen elektronischen Kleinrechner, der die genauen Maschineneinstellungen nacheinander berechnet und an die Steuereinrichtungen weitergibt. Eine Weiterentwicklung solcher automatischer Bearbeitungsmaschinen sind die Industrie-

roboter, die nicht nach einem starren Programm arbeiten, sondern sich – durch entsprechende Meßfühler gesteuert – den jeweiligen wechselnden Bedingungen in der Fertigung anpassen.

1.3. Zur Entwicklung der Elektronik

Verfolgt man die Geschichte der Technik, so wird klar, daß die Elektronik eine vergleichsweise junge Wissenschaft ist. Innerhalb nur eines halben Jahrhunderts hat sie sich aus ihren Anfängen heraus zu einer der bedeutendsten Disziplinen entwickelt. Diese stürmische Entwicklung ist auch heute noch nicht abgeschlossen.

Die elektronischen Bauelemente bestehen zum größten Teil aus Halbleitermaterialien (ausgenommen sind z. B. die Elektronenröhren).

Der Begriff des Halbleiters ist schon weit mehr als einhundert Jahre alt. Im Jahre 1833 untersuchte der englische Physiker Michael FARADAY (1791–1867) verschiedene Stoffe hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeit. Er hatte sich der Untersuchung der damals noch weithin unbekannten Erscheinung „Elektrizität" gewidmet. Ergebnisse dieser Arbeit wurden solche Entdeckungen wie die elektromagnetische Induktion, die später zur Entwicklung des Elektromotors und des Generators führten. Sein wissenschaftliches Interesse und seine Hartnäckigkeit bei der Lösung von Aufgaben waren erstaunlich. Als Sohn eines Hufschmiedes konnte er keine Universität besuchen. Er wurde Buchbinderlehrling, lieh sich Lehrbücher aus, lernte, experimentierte, bewarb sich schließlich als Laborgehilfe und wurde einer der bedeutendsten Naturwissenschaftler seiner Zeit. 1833 – er war bereits ein anerkannter Wissenschaftler – untersuchte er in seinem Labor die elektrische Leitfähigkeit von Metallen bei verschiedenen Temperaturen, besonders der gut leitenden Metalle Silber und Kupfer. Bekannt war, daß die Metalle dem elektrischen Strom bei höheren Temperaturen einen größeren Widerstand als bei tieferen Temperaturen entgegensetzen. Man konnte diese Erscheinung damals zwar noch nicht erklären, aber heute ist bekannt, daß Metalle aus einem Atomgitter aufgebaut sind, zwischen denen sich freie, d. h. nicht gebundene Elektronen bewegen. Diese Elektronen werden bei Energiezufuhr in eine ungeordnete Bewegung versetzt. Die fest gebundenen Gitteratome schwingen ebenfalls und übertragen diese Schwingungsenergie auf die Elektronen.

Bei Anlegen einer elektrischen Spannung fließt ein elektrischer Strom. Der Elektronenfluß wird durch die Bewegung der Elektronen, die mit der Temperatur des Metallkörpers größer wird, behindert. Der elektrische Widerstand nimmt mit Erhöhen der Temperatur zu (↑ Abschnitt 4).

Da FARADAY mit seinen Experimenten die Erscheinung der Elektrizitätsleitung in Metallen zwar festgestellt hatte, ihm aber zu diesem Zeitpunkt Elektronen als Träger der elektrischen Ladung unbekannt waren, wurde das Modell der Elektrizitätsleitung erst rund 80 Jahre später aufgestellt.

FARADAY ging rein experimentell von den Erscheinungen aus. Obwohl Silber ein Edelmetall ist und chemisch kaum reagiert, hat er dieses unterschiedlich chemisch behandelt. Bringt man Silber z. B. mit Schwefelsäure in Berührung, so bildet sich auf der Oberfläche ein schwarzer Belag, das Silbersulfid. Er stellte einen Leiter aus Silbersulfid her und machte eine erstaunliche Entdeckung: Die elektrische Leitfähigkeit dieses speziel-

len Leiters war bedeutend geringer als beim metallischen Silber und der elektrische Widerstand stieg beim Erwärmen nicht an, sondern wurde kleiner, also ein genau entgegengesetztes Verhalten zu Metallen. Er untersuchte daraufhin noch andere Metallverbindungen und stellte bei vielen ähnliches Verhalten fest. All diese Stoffe, die gleiches Verhalten zeigten, nannte er „Halbleiter".

Einige Jahre danach machte der französische Physiker Antoine BECQUEREL (1788–1878), eine Beobachtung, die mit FARADAYS Entdeckung zunächst nichts Gemeinsames zu haben schien. Er untersuchte intensiv die Elektrizitätsleitung in Salzlösungen, Säuren und Laugen. Das wird als Elektrolyse bezeichnet. Taucht man zwei Elektroden aus unterschiedlichem Material, wie z. B. Kohle oder Zink, in einen solchen Elektrolyten, wie z. B. verdünnte Schwefelsäure, so ist zwischen den Elektroden eine Spannung feststellbar. Diese Anordnung entspricht dem Aufbau der Taschenlampenbatterie. BECQUEREL beobachtete, daß eine solche Spannung schon auftritt, wenn zwei gleiche Elektroden, von denen eine hell beleuchtet und die andere abgedunkelt wird, vorhanden ist. Dieser Effekt wurde damals wenig beachtet, bis man 1873 eine ähnliche Erscheinung bei Selen, einem grauen Halbmetall, beobachtete. Selen leitet den Strom im Dunkeln sehr wenig, doch seine elektrische Leitfähigkeit steigt bei Erhöhen der Lichtintensität an. Dieses Verhalten wird bei einem großen Teil der optoelektronischen Bauelemente, wie z. B. dem Fotowiderstand, der Fotodiode und dem Fototransistor, technisch genutzt (↑ Abschnitt 8).

Ein Jahr nach der Entdeckung BECQUERELS, 1874, stellte der deutsche Physiker Ferdinand BRAUN (1850–1918) an Kontakten von Metallen und Mineralien (Bleiglanz, Pyrit), vom Ohmschen Gesetz abweichend, fest, daß der elektrische Widerstand von der Richtung der angelegten Spannung abhängig ist. Setzt man auf einen Pyritkristall eine Metallspitze auf, so ist die Elektrizitätsleitung vom Metall zum Mineral größer als umgekehrt. Damit war die physikalische Grundlage für den Halbleitergleichrichter gefunden. Bemerkenswert ist, daß die Entwicklung der Elektronik mit dem Halbleiter begann und erst viel später auf dem Umwege über die Elektronenröhre wieder zum Halbleiter zurückführte.

Die weitere Entwicklung der Elektronik wurde entscheidend durch die Nachrichtentechnik bestimmt. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts führten eine Reihe von bedeutenden Arbeiten zur drahtlosen Übertragung von Nachrichten.

Der englische Physiker Clerk MAXWELL (1831–1879) hatte 1873, anknüpfend an die Überlegungen von FARADAY zur elektromagnetischen Induktion, das Vorhandensein eines elektromagnetischen Feldes vorausgesagt. Man machte sich zur damaligen Zeit viele Gedanken um die Ausbreitung des Lichtes und nahm an, das gesamte Weltall sei von einem dünnen, unbekannten Gas, dem Äther, erfüllt, in dem sich das Licht ausbreite. Ähnlich wie die Luft der Träger der Schallwellen ist, dachte man sich den Äther als den Träger der Lichtwellen. MAXWELL formulierte nun, daß sich elektrische und magnetische Felder, wenn sie ständig die Stärke verändern, gegenseitig durch die von FARADAY entdeckte Induktion aufrecht erhalten könnten. MAXWELL nahm an, daß das Licht eine elektromagnetische Welle ist und sich daher im luftleeren Raum, also auch ohne den gedachten „Äther" ausbreitet. MAXWELL fand mit seiner Theorie Anerkennung, aber auch viele Zweifler, denn seine Behauptung war noch nicht durch Experimente bestätigt.

Da fand sich 1886 ein junger Wissenschaftler, Heinrich HERTZ (1857–1894), der diese elektromagnetischen Wellen erstmals im Experiment nachwies. Heute trägt eines der größten Elektronik-Forschungsinstitute der DDR seinen Namen. Heinrich HERTZ wurde zum Begründer der Hochfrequenztechnik.

Um die letzte Jahrhundertwende war im damaligen St. Petersburg, dem heutigen Leningrad, der Wissenschaftler Alexander POPOW (1859–1905) als Direktor eines elektrotechnischen Forschungsinstitutes tätig. Er hatte von den Experimenten gelesen, die Heinrich HERTZ durchführte und trachtete danach, diese Versuche zu vervollständigen, um noch besser in die „Geheimnisse" der elektromagnetischen Wellen einzudringen. Er verfolgte damit aber auch ein praktisches Ziel, nämlich ein Gerät zur Übertragung von Signalen mittels elektromagnetischer Wellen zu entwickeln. Man hatte schon häufig beobachtet, daß bei Gewitter zwischen den dicht übereinander stehenden Spitzen zweier längerer Metallstäbe kleine Funken überspringen. Diese Funkenüberschläge werden durch Induktion über eine elektromagnetische Welle von dem Ort der Blitzentladung übertragen. Popow ließ einen großen Funkeninduktor als Blitzerzeuger (Sender) bauen und auf einem 250 m entfernten Kriegsschiff im Petersburger Hafen einen Stabempfänger aufstellen. Die Funkenüberschläge wurden durch einen dünnen Papierstreifen geleitet, in dem winzige Löcher entstanden. Mit dieser Einrichtung wurde so das erste Funktelegramm der Welt mit Hilfe des Morsealphabets durchgegeben. Der Text lautete „Heinrich HERTZ". Bereits 1901 konnte POPOW die Entfernung von Sender und Empfänger auf 112 km steigern. Die Bürokratie des Zarenregimes verhinderte die großtechnische Nutzung dieser bedeutenden Erfindung.

Zur gleichen Zeit und unabhängig von den Ergebnissen POPOWS, führte der italienische Physiker Giuglielmo MARCONI (1874–1937) ähnliche Versuche durch. 1899 übertrug er drahtlos Signale über den Ärmelkanal von Frankreich nach England und 1902 wurde das erste Telegramm von ihm auf diese Weise von Europa über den Atlantik nach Nordamerika gesandt. Während POPOW die Antenne einführte, verwendete MARCONI als erster einen abgestimmten Schwingkreis und eine Hohlspiegelantenne. Er gründete später den ersten Industriebetrieb für Funktechnik, die Marconi-Gesellschaft, und erhielt 1909 für seine wissenschaftlichen Arbeiten den Nobelpreis.

Diese Entwicklung hatte natürlich die Elektronik stark vorangebracht. Man wußte bis dahin, daß elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen von einigen Kilometern bis zu einigen Metern mit Hilfe von Schwingkreisen und Sendeantennen erzeugt werden können. Wollte man diese auf der Empfängerseite nachweisen, so mußten ebenfalls eine Antenne und ein Schwingkreis vorhanden sein, der in Resonanz zur Senderfrequenz eingestellt war. Durch Induktion entstand am Schwingkreis eine hochfrequente Wechselspannung, die gleichgerichtet werden mußte, wollte man sie mit einem Gleichspannungsmesser nachweisen. Als Gleichrichter verwendete man eine Anordnung, wie sie BRAUN bereits beschrieben hatte, den sogenannten Spitzendetektor. Man setzte eine feine Drahtspitze auf einen Kristallsplitter aus Bleiglanz oder Silizium. Diese Art Detektoren arbeiteten aber noch ziemlich unzuverlässig.

Nach 1918 entwickelte sich die Funktechnik schnell weiter. Es wurde die Amplitudenmodulation eingeführt. Danach wird die Amplitude einer elektromagnetischen Welle im Rhythmus einer Signalschwingung (Sprache oder Musik) verändert. Im Empfänger werden dann nach der Gleichrichtung (Demodulation) ebenfalls wieder Spannungsschwankungen registriert. Schaltet man an die Stelle des Meßgerätes einen Kopfhörer, so kann man Sprache und Musik sogar hören.

Der Rundfunk als technische Disziplin trat seinen Siegeszug um die Welt an. Anfangs gab es noch Schwierigkeiten zu überwinden, da die Kristalldetektoren nicht zuverlässig arbeiteten. Es fehlten zu diesem Zeitpunkt die theoretischen und praktischen Voraussetzungen dafür, die Wirkungsweise der Kristalldetektoren zu verstehen und somit auch diese

technische Lösung zu verbessern. So wurde der Kristalldetektor bald durch die besser und zuverlässiger funktionierende Elektronenröhre abgelöst, mit der man nicht nur gleichrichten, sondern auch verstärken konnte.

In den folgenden Jahrzehnten wurde die Elektronenröhre ständig verbessert und weiterentwickelt. Grundlegende theoretische Untersuchungen zur Wirkungsweise der Elektronenröhren hat der Dresdner Professor Heinrich BARKHAUSEN (1881–1956), einer der ersten Nationalpreisträger der DDR, in den 20er Jahren durchgeführt. Die technische Vervollkommnung der Elektronenröhren und das Nutzen dieser Erfindung für das Fernsehen gehen auf Erfindungen M. v. Ardennes zurück, der ebenfalls Nationalpreisträger der DDR ist.

Trotz der breiten technischen Nutzung der Elektronenröhren gingen aber die Forschungsarbeiten zur Halbleiterphysik weiter. Besonders intensiv wurde auf diesem Gebiet in der Sowjetunion und in den USA gearbeitet. So wurde 1930 von WILSON ein verbessertes Modell zur Erklärung der Elektrizitätsleitung in Festkörpern, das Bändermodell, erarbeitet, auf das hier aber nicht eingegangen werden soll. Der sowjetische Physiker DAWYDOW entwickelte 1939 u. a. eine Theorie zum Prinzip der Gleichrichtungswirkung von Halbleitern.

Danach gibt es n-leitende und p-leitende Halbleiter. Die Gleichrichterwirkung findet innerhalb des Halbleiterkristalls in der pn-Übergangszone statt (↑ Abschnitt 4, S. 39, 40).

Im Jahr 1940, zu Beginn des Zweiten Weltkrieges, wurde die Radartechnik entwickelt. Sie hatte die Aufgabe, Flugzeuge und Schiffe zu orten. Bei einem Radargerät werden Stöße hochfrequenter elektromagnetischer Wellen über eine Hohlspiegelantenne ausgesandt, vom Suchobjekt reflektiert und mit einer Antenne wieder aufgefangen. Der Sendeimpuls und der rückkehrende Impuls haben einen Laufzeitunterschied, aus dem man die Entfernung des Suchobjekts vom Sender bestimmen kann. Die elektromagnetische Welle breitet sich nämlich mit einer Geschwindigkeit von nahezu 300 000 km/s aus.

Im Empfänger werden gesendeter und rückkehrender Impuls auf einem Bildschirm dargestellt. Dazu muß man die hochfrequenten Schwingungen gleichrichten. Für diesen Zweck waren aber Elektronenröhren nicht mehr geeignet: Die Elektronen brauchten innerhalb der Röhre mehr Zeit als der Sendeimpuls zum Suchobjekt und wieder zurück. Aus diesem Grunde wurden die Silizium-Gleichrichter wieder interessant.

Natürlich machte man sich auch Gedanken, ob man nicht, ähnlich wie bei der Hochvakuumtriode, einen Kristallverstärker herstellen könnte. Aber alle Versuche führten nicht zu einer technischen Nutzung, da das Halbleitermaterial Silizium noch nicht genügend erforscht war und nicht rein genug hergestellt werden konnte.

Nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges gingen die amerikanischen Physiker J. BARDEEN und W. H. BRATTAIN mit ihren Forschungsgruppen daran, die Oberflächeneigenschaften von Halbleiterkristallen zu untersuchen. Sie gingen dabei von der Erkenntnis aus, daß die Kristalloberfläche ein anderes elektrisches Verhalten als das Kristallinnere hat.

Die beiden Forscher schliffen sich millimetergroße Kristallquader zurecht, versahen sie an den Enden mit Metallkontakten und schlossen einen Strommesser und eine Spannungsquelle an. Danach verbanden sie den einen Kontakt nochmals mit einem Draht und tasteten unter Verwendung einer zusätzlichen Spannungsquelle die Oberfläche des Quaders ab. Dabei machten sie eine erstaunliche Entdeckung. Die im Hauptstromkreis gemessene Stromstärke änderte sich, sobald die Drahtspitze den Kristall berührte. Damit hatten sie einen steuerbaren Widerstand gefunden und nannten dieses neue Bauelement

Transistor. 1948 berichteten sie darüber in einer wissenschaftlichen Zeitschrift. Damals ahnten sie sicher noch nicht, was sie mit ihrem kurzen Artikel von nur zwei Seiten auslösten. Der amerikanische Physiker W. SHOCKLEY erklärte 1949 die Wirkungsweise des Transistors wissenschaftlich und ausführlich. Diese drei Physiker sind die Pioniere und Begründer der eigentlichen Halbleiterelektronik. Für ihre Leistungen wurden sie 1956 mit dem Nobelpreis geehrt.

Sofort nach Bekanntwerden der Arbeiten von BARDEEN, BRATTAIN und SHOCKLEY setzte eine intensive Forschung auf dem Gebiet der Halbleiterphysik und -technik ein. 1950 wurden bereits erste Einkristalle aus Germanium, einem weiteren Halbleitermaterial, hergestellt. Einkristalle sind Kristallkörper mit sehr wenig Fehlern im regelmäßigen Aufbau des Kristallgitters. 1952 wurde die Technologie Zonen-Reinigungsverfahren für Halbleiterkristalle entwickelt und erstmals angewendet. Das Silizium oder Germanium wird zu diesem Zweck in Form von Stäben aus einem Schmelztiegel gezogen. Diese Stäbe werden mit einer „Geschwindigkeit" von etwa 1 cm/Stunde durch eine flache Hochfrequenzspule geführt. An der Stelle, die jeweils von der Spule umgeben ist, werden in dem Stab starke elektrische Wirbelströme induziert. Der Stab erwärmt sich in diesem Abschnitt bis zur Weißglut. Durch das Ziehen wandert die Glühzone durch den Stab hindurch und nimmt alle Verunreinigungen mit sich. Dieser Ziehprozeß wird etwa 30 bis 40mal wiederholt, bis die notwendige Reinheit des Materials erreicht ist. Heute werden hochreine Einkristallstäbe von etwa 10 cm Durchmesser und 70 cm Länge hergestellt. Beim Interkosmos-Experiment, an dem der Fliegerkosmonaut der DDR Sigmund Jähn beteiligt war, wurde das Herstellen und Reinigen von Halbleiterkristallen unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit untersucht. Das Zonenreinigungsverfahren war eine wesentliche technologische Voraussetzung für die Herstellung immer besserer Transistoren. Bereits 10 Jahre nach der Erfindung des Transistors begann dieses Bauelement, sich gegenüber der Elektronenröhre durchzusetzen.

Transistoren sind kleiner im Aufbau, haben eine praktisch unbegrenzte Lebensdauer und eine geringere Energieaufnahme als die Elektronenröhren. Heute sind Elektronenröhren nur noch in älteren Geräten oder bei Spezialanwendungen zu finden. Die Fernseh-Bildröhre ist z. B. eine Elektronenröhre.

1.4. Zu einigen Entwicklungstendenzen in der Elektronik

Die Halbleiterelektronik hat in einem Vierteljahrhundert eine Entwicklung genommen, die in ihrem Ausmaß und dem Grad des Einflusses auf nahezu alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, nur von wenigen technischen Errungenschaften erreicht bzw. übertroffen wird. Durch die internationale intensive Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Elektronik werden immer wieder neue Erkenntnisse zur Funktionsweise und den Herstellungstechnologien halbleiterelektronischer Bauelemente gewonnen und neue Anwendungsgebiete erschlossen. Die gegenwärtige Entwicklung der Elektronik ist durch den Übergang von elektronischen Schaltungen mit Einzelbauelementen (sogenannten diskreten Bauelementen) zu den integrierten Schaltungen (Mikroelektronik) gekennzeichnet. Die ständig steigende Komplexität und Arbeitsgeschwindigkeit elektronischer Anlagen, die Forderungen nach hoher Zuverlässigkeit, geringer Baugröße, kleinem Gewicht und niedrigen Herstellungskosten machten diese Entwicklung erforderlich.

Die Vorteile der integrierten Schaltungen sollen am Beispiel des Operationsverstärkers A 109 (↑ Abschnitt 5, S. 66, 67) erläutert werden.

Der Operationsverstärker A 109 realisiert eine Verstärkung von 15 000 und wird vorrangig im Gebiet der Meßtechnik zur Meßwertverstärkung eingesetzt.

Beim A 109 sind auf einem Siliziumplättchen von 1,3 mm Kantenlänge mit 8 inneren Anschlüssen 15 Transistoren und 15 Widerstände untergebracht. Wenn man Transistoren als diskrete Bauelemente herstellen will, muß man zunächst an den Emitter und die Basis einen feinen Draht anschweißen und mit dem jeweils außen liegenden Anschluß durch Schweißen verbinden. Ein weiterer Anschluß ist zum Kollektor an der Unterseite herzustellen. An einem einzigen Transistor sind also 5 Schweißstellen (in der Fachliteratur als Bondstellen bezeichnet) anzubringen. Für die 15 Transistoren wären das insgesamt 75 Bondstellen. Beim A 109 sind aber nur 17 Bondstellen zu schweißen, was bei einem Integrationsgrad von nur 30 Bauelementen einem Einsparungsfaktor von 4,4 entspricht.

Da die diskreten Bauelemente (Transistoren, Widerstände) noch auf eine Leiterplatte montiert und durch Löten geschaltet werden müssen, sind, den Bauelementanschlüssen entsprechend, 75 Lötstellen zu fertigen. Beim integrierten Schaltkreis sind nur 8 Lötstellen beim Einbau in eine Schaltung herzustellen. Das entspricht einem Einsparungsfaktor von 9,4.

Für den umfassenden Einsatz integrierter Schaltungen der Mikroelektronik spielen die Herstellungskosten eine entscheidende Rolle. Mit steigendem Integrationsgrad ist ein drastisches Absinken der Herstellungskosten verbunden. Es kann eingeschätzt werden, daß die Herstellungskosten in den nächsten 10 Jahren auf ein Hundertstel des gegenwärtigen Standes zurückgehen können.

Der geringe Energiebedarf, die hohe Zuverlässigkeit, die Realisierung hoher Arbeitsgeschwindigkeiten und die enorme Anpassungsfähigkeit integrierter Schaltkreise an die jeweils zu lösende Aufgabe sind entscheidende Gründe für den ständig wachsenden Einsatz der Mikroelektronik in nahezu allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens. Dabei sind viele mögliche Anwendungen der Mikroelektronik technisch und ökonomisch noch nicht ausgeschöpft oder bisher noch nicht einmal bekannt. Die intensive Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Mikroelektronik erschließt immer neue Anwendungsgebiete.

Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Arbeitsteilung und Kooperation mit der Sowjetunion und den anderen sozialistischen Ländern im Rahmen der sozialistischen ökonomischen Integration. Das betrifft solche volkswirtschaftlich wichtigen Bereiche wie die elektronische Rechentechnik, die Bauelementetechnik, die Nachrichtentechnik und den wissenschaftlich-technischen Gerätebau usw.

Der weiteren Entwicklung neuartiger elektronischer Bauelemente und der entsprechenden Herstellungstechnologien dienen die schon langjährigen Beziehungen zu wissenschaftlichen Einrichtungen und Betrieben der Halbleitertechnik in der UdSSR.

2. Widerstand, Kondensator und Spule im Gleich- und Wechselstromkreis

Widerstände, Kondensatoren und Spulen sind wichtige Bauelemente der Elektronik. Mit ihnen lassen sich sowohl der Betrag eines Stromes (Stromstärke) als auch das zeitliche Verhalten von Strömen und Spannungen beeinflussen. Genaue Kenntnisse über das Verhalten dieser Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis ermöglichen es, vielfältige Aufgabenstellungen der Elektronik zu lösen.

1 ▼ Wiederholen Sie den Zusammenhang zwischen den Grundgrößen des elektrischen Stromkreises hinsichtlich der Spannung und der Stromstärke! (↑ [1], E 2)

2 ▼ Untersuchen Sie das Verhalten von Strom und Spannung im Gleichstromkreis beim Einschalten, nach dem Einschalten und beim Ausschalten, wenn sich ein Widerstand, ein Kondensator, eine Spule im Stromkreis befinden!

Bauelemente und Geräte
Gleichspannungsquelle 4 V, Widerstand 47 Ω, Kondensator 500 μF, Spule 2 × 3 800 Windungen in Reihe mit Eisenkern, Schalter, Glimmlampe, Spannungsmesser, Strommesser

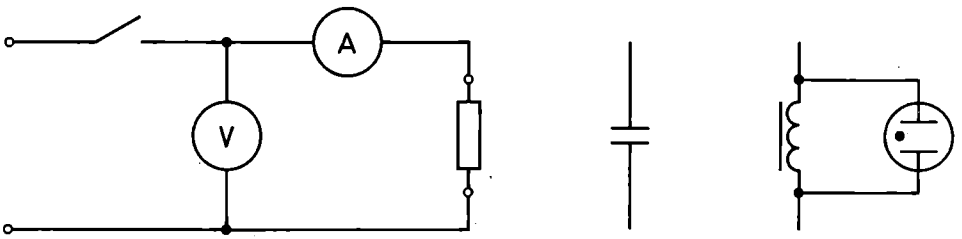


Bild 17/1 Einfacher Stromkreis

Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung entsprechend dem Schaltplan nach Bild 17/1 auf, verwenden Sie zunächst den Widerstand, arbeiten Sie mit etwa 4 V Gleichspannung!

2. Schließen Sie den Schalter und schalten Sie das Meßgerät auf den Meßbereich, bei dem der Zeiger im 2. oder 3. Drittel der Skale stehen bleibt. Öffnen Sie wieder den Schalter!

3. Schließen Sie den Schalter und vergleichen Sie die Zeigerbewegungen am Strom- und Spannungsmesser
a) im Einschaltmoment,
b) nach dem Einschalten,
c) im Moment des Ausschaltens!

4. Messen Sie die Spannung und die Stromstärke und notieren Sie die Werte und Ihre Beobachtungen der Aufgabenstellung 3 entsprechend im Protokoll (↑ Übersicht 18/1).

5. Führen Sie das Experiment entsprechend den Aufgabenstellungen 1 bis 4 mit dem Kondensator durch, achten Sie dabei auf richtige Polung des Kondensators!

6. Wiederholen Sie das Experiment, verwenden Sie jetzt die Spule! Schalten Sie zusätzlich eine Glimmlampe parallel zur Spule!

Auswertung

Übersicht 18/1: Widerstand, Kondensator und Spule im Gleichstromkreis

Bauelement	Verhalten der Bauelemente		
	beim Einschalten	nach dem Einschalten	beim Ausschalten
Widerstand Kondensator Spule			

Fertigen Sie nach dem vorgegebenen Muster eine Tabelle an, und tragen Sie die Ergebnisse des Experiments 2 ein!

Verwenden Sie dazu folgende Formulierungen:

Strom und Spannung steigen gleichzeitig an, — bleiben konstant, — gehen gleichzeitig zurück,

Strom steigt eher an als die Spannung oder umgekehrt, Strom bleibt konstant, — geht auf Null zurück,

Spannung geht sofort oder langsam auf Null zurück, es tritt eine hohe Spannung auf!

▶ Spulen und Kondensatoren speichern elektrische Energie, die nach dem Ausschalten der Betriebsspannung wirksam wird. In Ohmschen Widerständen wird die zugeführte elektrische Energie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt.

3

▼ Untersuchen Sie das Verhalten eines Widerstandes, eines Kondensators und einer Spule im Wechselstromkreis!

Bauelemente und Geräte

Wechselspannungsquelle (z. B. SVG), Widerstand 47 Ω, Kondensator 500 μF, Spule 2 × 3800 Windungen in Reihe mit Eisenkern, Spannungsmesser, Strommesser, Schalter.

Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung entsprechend dem Schaltplan nach Bild 17/1 auf und verwenden Sie zunächst den Widerstand!

2. Stellen Sie eine Wechselspannung ein, die ungefähr so groß wie die im Experiment 1 verwendete Gleichspannung ist (etwa 4 V)!

3. Messen Sie Spannung und Stromstärke!

4. Führen Sie nun das Experiment mit dem Kondensator durch! Legen Sie die Spannung nur kurzzeitig an, da der Kondensator, den Sie in Ihrem Experiment verwenden, bei längerem Anlegen einer Wechselspannung zerstört wird. Verwenden Sie ausgebaute alte Kondensatoren!

5. Führen Sie das Experiment mit der Spule durch!

6. Berechnen Sie die Widerstände der Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis und tragen Sie Ihre Ergebnisse in die Übersicht 2.2. (Muster) ein!

Vergleichen Sie die Widerstandswerte der Bauelemente!

Übersicht 19/1 Widerstand der Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis

Bauelement	Widerstand	
	im Gleichstromkreis	im Wechselstromkreis
Ohmscher Widerstand		
Kondensator		
Spule		

▶ Widerstände haben im Gleichstrom- und im Wechselstromkreis den gleichen elektrischen Widerstand.
Kondensatoren haben im Gleichstromkreis einen sehr großen Widerstand, im Idealfall ist er unendlich groß, im Wechselstromkreis dagegen einen viel kleineren, einen endlichen Widerstand.
Spulen haben im Wechselstromkreis einen größeren Widerstand als im Gleichstromkreis.

- Definieren Sie den elektrischen Widerstand! (↑ Ph i Üb, S. 120f.)
- Vergleichen Sie im Gleich- und Wechselstromkreis die elektrischen Widerstände! (↑ Ph i Üb, S. 138ff.)

2.1. Widerstand im Gleichstromkreis

In einem Gleichstromkreis, der nur aus einem Ohmschen Widerstand und einer Gleichspannungsquelle besteht, fließt sofort nach dem Einschalten der Gleichspannung (Zeitpunkt t_0) ein zeitlich konstanter Gleichstrom (Bild 20/1a, Übersicht 18/1). Nach dem Einschalten

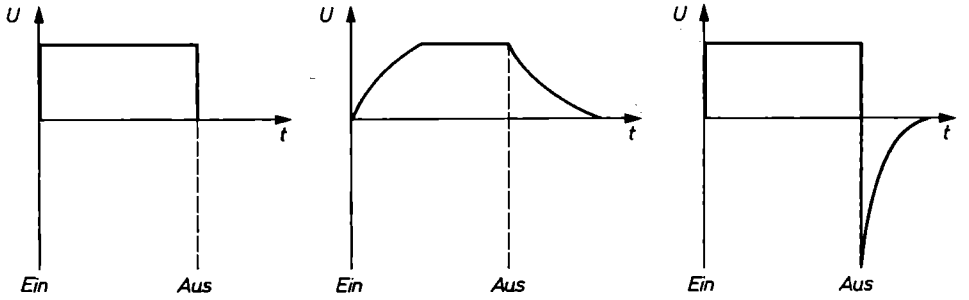


Bild 19/1 Zeitliche Änderung der Spannung beim Ein- und Ausschalten
a) am Ohmschen Widerstand
b) am Kondensator
c) an der Spule

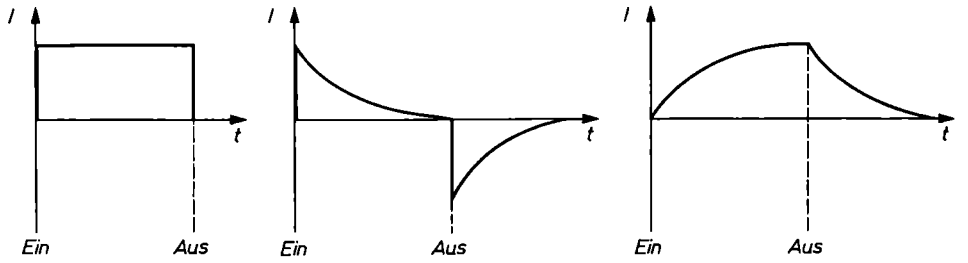


Bild 20/1 Zeitliche Änderung der Stromstärke beim Ein- und Ausschalten
a) am Ohmschen Widerstand
b) am Kondensator
c) an der Spule

liegt die volle Betriebsspannung am Widerstand an (↑ Bild 19/1a, Übersicht 18/1).

Die dem Ohmschen Widerstand zugeführte elektrische Energie wird vollständig in Wäremeenergie umgewandelt. Dabei wird elektrische Arbeit verrichtet. (↑ Ph i Üb, S. 119)

Der Vorgang der Energieumwandlung in Ohmschen Widerständen ist nicht umkehrbar.

Nicht nur in Gleichstromkreisen besteht häufig die Aufgabe, daß eine Spannungsquelle eine größtmögliche Leistung abgeben soll.

4 ▼ Untersuchen Sie für den Gleichstromkreis die Bedingungen, unter denen eine Spannungsquelle eine maximale elektrische Leistung abgibt! (↑ [1], E 8)

- Unter welcher Bedingung tritt an dem Widerstand R_a eine maximale Spannung auf?
- Unter welcher Bedingung ist der Strom, der durch den Widerstand R_a fließt, maximal?
- Wie groß ist in diesen beiden Sonderfällen die abgegebene Leistung?
- Wie groß ist der Wirkungsgrad bei der Leistungsanpassung?

2.2. Kondensator im Gleichstromkreis

Wird ein Kondensator C über einen Widerstand R an eine Spannungsquelle angeschlossen, so fließt sofort ein Strom, der ständig kleiner wird (↑ Bild 20/1b, Übersicht 18/1).

5 ▼ Untersuchen Sie in einem Stromkreis mit zwei parallelgeschalteten Spannungsquellen die Abhängigkeit zwischen der Stromstärke und dem bestehenden Spannungsunterschied!

Bauelemente und Geräte

Spannungsquelle mit konstanter Spannung, Spannungsquelle mit einstellbarer Spannung, Widerstand 47 Ω, Kondensator 500 μF, 2 Spannungsmesser, Strommesser, Schalter, Umschalter.

Durchführung

1. Bauen Sie entsprechend dem Schaltplan nach Bild 21/1 die Schaltung auf!

2. Stellen Sie die Spannung U_2 auf 0 V ein, der Stromkreis darf dadurch aber nicht unterbrochen werden!

3. Vergrößern Sie die Spannung U_2 so lange, bis der Wert von U_1 erreicht ist, und beobachten Sie, wie sich die Stromstärke ändert! Vergrößern Sie U_2 weiter!

4. Stellen Sie U_2 so ein, daß $I = 0$ ist, vergleichen Sie die Spannungen!
5. Betätigen Sie jetzt den Umschalter S 2! Verringern Sie anschließend die Spannung U_2 so lange bis U_2 den Wert 0 hat!

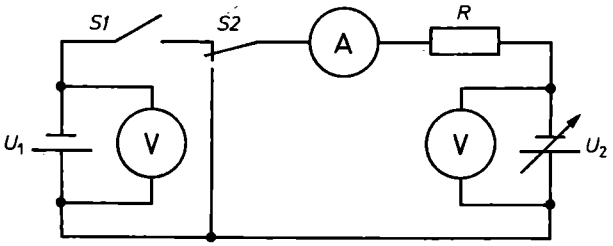


Bild 21/1
Parallelschaltung von Spannungsquellen

Ergebnis

In einem Stromkreis mit zwei parallelgeschalteten Spannungsquellen fließt nur dann ein Strom, wenn sich die Spannungswerte der Spannungsquellen unterscheiden. Der Strom fließt in Richtung der bestehenden kleineren Spannung. Wächst die eine Spannung über den Betrag der anderen hinaus, so ändert sich die Richtung des fließenden Stromes.

6 ▼ Vergleichen Sie das Verhalten eines Kondensators in einem Gleichstromkreis mit der veränderlichen Spannung U_2 aus dem Experiment 5!

Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung nach dem in Bild 21/1 dargestellten Schaltplan auf, verwenden Sie anstelle der Spannungsquelle U_2 den Kondensator!
2. Betätigen Sie Schalter S 1!
3. Beobachten Sie die Meßgeräte!
4. Öffnen Sie Schalter S 1!
5. Vertauschen Sie die Anschlüsse des Strommessers!
6. Betätigen Sie den Umschalter S 2!
7. Vergleichen Sie die Ergebnisse der Experimente 5 und 6 miteinander und ziehen Sie Schlußfolgerungen für den Einsatz von Kondensatoren in elektronischen Schaltungen!

Ergebnis

Der Kondensator verhält sich in einem Gleichstromkreis wie eine Spannungsquelle mit veränderlicher Spannung.

Der Vorgang, bei dem die Kondensatorspannung wächst, heißt Ladevorgang, der dabei fließende Strom ist der Ladestrom. Die beim Laden des Kondensators zugeführte elektrische Energie Q wird bis zum Zeitpunkt des Entladens in Form eines elektrischen Feldes gespeichert. (↑ Ph i Üb, S. 124, 139)

Während des Entladevorgangs fließt der Strom entgegengesetzt zu seiner Richtung beim Laden und die Kondensatorspannung geht auf den Wert Null zurück.

Ein Maß für die Fähigkeit eines Kondensators, elektrische Energie zu speichern, ist die Kapazität C des Kondensators.

2.2.1. Die Kapazität eines Kondensators

7 ▼ Führen Sie einem Kondensator unterschiedliche Ladungen Q zu und vergleichen Sie die zugeführten Ladungen mit der Kondensatorspannung!

Vorbetrachtung

Die elektrische Ladung (↑ Ph i Üb, S. 109) ist bei konstanter Stromstärke gleich dem Produkt aus der Stromstärke und der Zeit ($Q = I \cdot t$).

Beim Durchführen des Experiments kommt es darauf an, daß die Stromstärke konstant bleibt.

Welche Möglichkeiten gibt es, in einem Stromkreis eine konstante Stromstärke einzustellen?

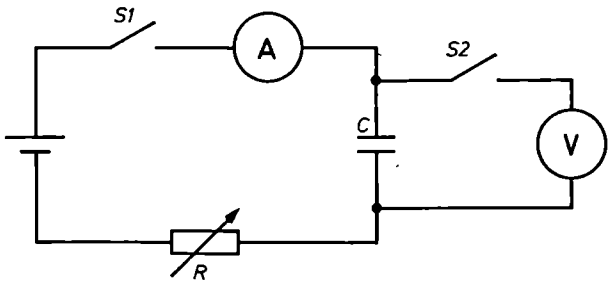


Bild 22/1
Schaltung zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Ladung und Spannung bei einem Kondensator

Bauelemente und Geräte

Spannungsquelle mit einstellbarer Spannung, einstellbarer Widerstand 10 kΩ, Kodensator 5000 μF, Spannungsmesser, Strommesser, Stoppuhr

Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung nach Bild 22/1 auf!
2. Beginnen Sie mit der Zeitmessung genau dann, wenn Schalter S1 geschlossen wird!
3. Versuchen Sie eine konstante Stromstärke einzustellen, indem Sie den Widerstand oder die Spannung ändern!
4. Lesen Sie nach unterschiedlichen Zeiten t die Kondensatorspannung U_c ab! Schließen Sie dazu jeweils den Schalter S 2!
5. Berechnen Sie die Ladung Q!
6. Ermitteln Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Q und U_c!

Beim Durchführen des Experiments 7 hat es sich als schwierig erwiesen, die Stromstärke konstant zu halten.

Im folgenden Experiment übernimmt diese Aufgabe eine Transistorschaltung, die eine automatische Stabilisierung des Stromes bewirkt (Konstantstromquelle, ↑ Anhang S. 132, Bild 132/3).

8 ▼ Wiederholen Sie Experiment 7, und ersetzen Sie den einstellbaren Widerstand durch eine Konstantstromquelle! Lassen Sie sich von Ihrem AG-Leiter das Anschließen des Transistors erklären!

Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Ladung und Spannung in einem Diagramm dar!

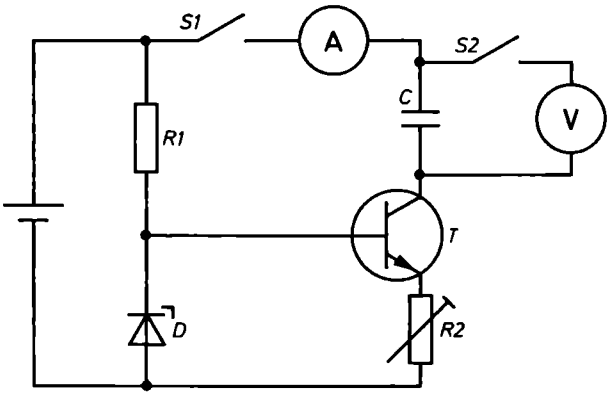


Bild 23/1
Ladung eines Kondensators mit konstantem Strom

Ergebnis
Die Kondensatorspannung U_c ist der dem Kondensator zugeführten elektrischen Ladung Q direkt proportional.

Aus $Q \sim U_c$ folgt $\frac{Q}{U_c} = \text{konst.}$

Aus dieser Beziehung folgt, daß der Kondensator bei angelegter größerer Spannung eine größere elektrische Ladung aufnehmen kann.

Definieren Sie die elektrische Kapazität C eines Kondensators! (↑ Ph i Üb, S. 127)

2.2.2. Zusammenhang zwischen Kapazität, Widerstand und Zeit

Im Experiment 1 wurde ermittelt, daß Kondensatorspannung und Lade- bzw. Entladestrom von der Zeit abhängig sind.

9 ▼ Untersuchen Sie Ladung und Entladung eines Kondensators! (↑ [1], E 15)

10 ▼ Untersuchen Sie zusätzlich den Einfluß des Widerstandes und des Kondensators auf den zeitlichen Verlauf des Stromes, indem Sie diese Bauelemente variieren!

11 ▼ Untersuchen Sie den Spannungsverlauf an einem Kondensator! (↑ [1], E 18)

12 ▼ Untersuchen Sie zusätzlich den Einfluß der Kapazität auf den zeitlichen Verlauf der Spannung, indem Sie Kondensatoren mit unterschiedlicher Kapazität verwenden!

Ergebnis
Die zeitliche Änderung der Spannung und des Lade- bzw. Entladestromes ist sowohl von der Kapazität des Kondensators als auch vom Widerstand abhängig.

Großer Widerstand und große Kapazität: langsame Änderung von Strom und Spannung
Kleiner Widerstand und kleine Kapazität: rasche Änderung von Strom und Spannung.

- Bilden Sie das Produkt aus Kapazität und Widerstand!
- Welche Einheit hat dieses Produkt?
- Ermitteln Sie die Größe dieses Produktes für die in den Experimenten 9 und 11 verwendeten Bauelemente!

- Lesen Sie aus den Grafen $I = f(t)$ (Experiment 9) und $U = f(t)$ (Experiment 11) den Strom und die Spannung für die in der Aufgabenstellung errechnete Zeit ab!
- Ermitteln Sie den Prozentsatz von Strom und Spannung zu diesem Zeitpunkt, der Maximalwert sei 100 %!

Das Produkt aus Widerstand R und Kapazität C bezeichnet man als Zeitkonstante τ des Lade- bzw. Entladevorgangs. $\tau = R \cdot C$

Die Einheit von τ ist 1 s.

Für das Laden eines Kondensators gilt: Nach der Zeit τ ist der Ladestrom auf etwa 37 % des Anfangswertes abgeklungen, die Kondensatorspannung hat dann etwa 63 % des Endwertes erreicht.

Für das Entladen eines Kondensators gilt: Nach der Zeit τ sind Kondensatorspannung und Entladestrom auf etwa 37 % des Anfangswertes abgesunken.

Nach einer Zeit $t = 3\ \tau$ weicht die Kondensatorspannung beim Laden nur noch um 5 % vom Endwert ab, nach $t = 5\ \tau$ beträgt die Abweichung nur noch 1 %, so daß nach dieser Zeit der Lade- bzw. Entladevorgang als praktisch abgeschlossen betrachtet werden kann. Genaugenommen ist dies allerdings erst nach einer Zeit $t = \infty$ der Fall.

- Berechnen Sie die Zeitkonstanten folgender RC-Kombinationen und ermitteln Sie, nach welcher Zeit der Ladevorgang praktisch abgeschlossen ist ($t = 5\ \tau$).

$R = 1{,}5\ \text{k}\Omega$, $C = 10\ \mu\text{F}$
$R = 10\ \text{M}\Omega$, $C = 470\ \text{nF}$

Alle bisherigen Betrachtungen gehen davon aus, daß ein Kondensator nur die Eigenschaft der Kapazität besitzt. Solche idealen Kondensatoren gibt es in der Praxis nicht. Alle Kondensatoren besitzen außer der Kapazität einige Eigenschaften, die in Schaltungen meist unerwünscht sind. Diese unerwünschten Eigenschaften treten bei den unterschiedlichen Kondensatorarten (↑ Ph i Üb, S. 129) in unterschiedlichem Maße auf. In der Elektronik ist deshalb die richtige Wahl der Kondensatorart für einen bestimmten Anwendungszweck von besonderer Bedeutung.

Die Eigenschaften der Kondensatorbauelemente werden im wesentlichen beeinflußt von der Herstellungstechnologie, dem verwendeten Dielektrikum (↑ Ph i Üb, S. 128), der Ausführung der Kondensatorplatten und den Anschlußleitungen.

Das Dielektrikum ist kein idealer Isolator, es besitzt einen sehr großen, aber endlichen Widerstand. Daher fließt bei geladenem Kondensator ein Isolationsstrom, der zur allmählichen Entladung des Kondensators führt.

Maßgebende Größe für die Güte eines Kondensators im Gleichstromkreis ist die Isolationszeitkonstante T_{is}. Sie ist das Produkt aus dem Isolationswiderstand R_{is} und der Kapazität C. $T_{is} = R_{i\,s} \cdot C$

Die Isolationszeitkonstante wird durch die Kondensatorqualität bestimmt und liegt in der Größenordnung zwischen einigen Sekunden und einigen Tagen. Eine besonders geringe Isolationszeitkonstante besitzen Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren.

Bei Kondensatorzuleitungen und Kondensatorplatten macht sich mitunter deren Ohmscher Widerstand störend bemerkbar. Weitere, meist negative Eigenschaften machen sich dann bemerkbar, wenn ein Kondensator mit Wechselspannung betrieben wird.

- Im Datenblatt „Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren" des VEB Kondensatorenwerk Freiberg wird bei Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren bei 20 °C ein Betriebsreststrom von $I_{rb} < 0{,}02 \cdot C_n \cdot U_n + 20$ angegeben.

Berechnen Sie den maximalen Betriebsreststrom eines Kondensators mit $C_n = 100\ \mu F$ und $U_n = 25\ V$!

Berechnen Sie die Isolationszeitkonstante!

● Im Datenblatt „Keramische Kondensatoren, Rohrkondensatoren" des VEB Keramische Werke Hermsdorf wird der Isolationswiderstand eines Dielektrikums mit $R > 10\ G\Omega$ angegeben.

Berechnen Sie die Isolationszeitkonstante eines Kondensators mit $C = 680\ pF$!

2.3. Spule im Gleichstromkreis

Wird eine Spule an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, so fließt ein Strom, der erst nach einer bestimmten Zeit einen konstanten Maximalwert erreicht (↑ Experiment 2, Bild 20/1c, Übersicht 18/1). Diese Erscheinung läßt sich, wie beim Kondensator, mit Hilfe des Experiments 5 erklären. Danach hat auch die Spule Eigenschaften einer Spannungsquelle. Die in der Spule erzeugte Spannung heißt Induktionsspannung, die immer dann auftritt, wenn sich das Magnetfeld in einer Spule ändert.

Da nach dem Einschalten der Spannung der Strom in einer Spule zunächst klein ist und erst allmählich seinen Maximalwert erreicht, ist die Induktionsspannung zu Beginn des Vorgangs gleich der Betriebsspannung und geht allmählich auf den Wert Null zurück. Gleichzeitig wird in der Spule ein magnetisches Feld aufgebaut.

13
▼ Weisen Sie das magnetische Feld der Spule nach und untersuchen Sie seine Abhängigkeit von der Windungszahl, der Stromstärke und dem verwendeten Material im Spuleninneren!

Bauelemente und Geräte

Spannungsquelle mit einstellbarer Spannung, Spannungsmesser, Strommesser, Spule 3 800 Windungen mit U-Kern, Eisenkörper, Schalter.

Durchführung

1. Bauen Sie einen einfachen Stromkreis mit Spule, Schalter, Strom- und Spannungsmesser auf!
2. Weisen Sie das magnetische Feld der Spule bei eingeschalteter Spannung nach, indem Sie die zwischen Spule und Eisenkörper auftretende Kraftwirkung deutlich machen!
3. Verändern Sie je eine der o. g. Größen und untersuchen Sie den Einfluß auf die Stärke der magnetischen Kraftwirkung!

Ergebnis

Die Stärke des magnetischen Feldes ist von der Stromstärke und den konstruktiven Eigenschaften der Spule (z. B. Windungszahl und Material im Inneren der Spule) abhängig.

Das magnetische Feld ist die in der Spule gespeicherte Energie, die mit Hilfe der Kraftwirkung nachgewiesen werden kann. Ein Maß für die Fähigkeit einer Spule, Energie zu speichern, ist die Induktivität L der Spule.

2.3.1. Induktivität einer Spule

Eine Änderung der Induktivität L einer Spule durch Verändern der Windungszahl oder des Materials im Inneren der Spule und eine Stromänderung führen zu einer Änderung des magnetischen Feldes der Spule (Experiment 12). Eine Feldänderung bewirkt aber das Auftreten einer Selbstinduktionsspannung.
Für diese Selbstinduktionsspannung gilt:

$$U_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Der Ausdruck $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ beinhaltet die Stromänderung, das Minuszeichen gibt an, daß die Selbstinduktionsspannung der Stromänderung entgegenwirkt.
Für die Induktivität L der Spule ergibt sich unter Vernachlässigung des Vorzeichens

$$L = \frac{U_{ind} \cdot \Delta t}{\Delta I}.$$

Die Einheit von L ist $1\frac{Vs}{A} = 1\,H$ (Henry).

- Vergleichen Sie die Größen Kapazität und Induktivität miteinander (Definitionsgleichungen, Einheiten)!
  Stellen Sie einander entsprechende Größen gegenüber!
- Durch eine Spule mit der Induktivität $L = 5$ mH fließt ein Strom $I = 1$ A. Innerhalb einer Zeit von a) 1 s, b) 0,1 s, c) 1 ms wird dieser Strom gleich Null.
  Berechnen Sie die an der Spule auftretende Selbstinduktionsspannung!

2.3.2. Zusammenhang zwischen Induktivität, Widerstand und Zeit

Der Strom, der durch eine Spule fließt, ist von der Zeit abhängig, die seit dem Einschalten vergangen ist (↑ Bild 26/1).

Im Unterschied zum Kondensator, bei dem die Spannung allmählich einen Höchstwert erreicht und die Stromstärke gegen Null geht, sind die Verhältnisse an der Spule genau umgekehrt. Dem zeitlichen Verhalten des Kondensatorstromes entspricht die Spulenspannung, der Spannung am Kondensator entspricht der Strom durch die Spule (↑ Bild 26/1).

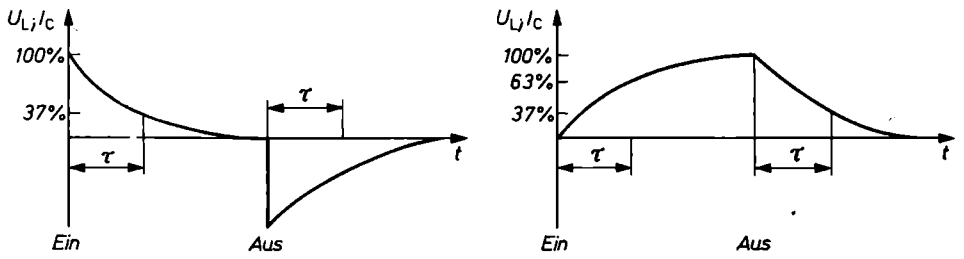


Bild 26/1 Zeitliche Änderung von Spannung und Stromstärke an Spule und Kondensator beim Ein- und Ausschalten

Wie beim Kondensator definiert man für die Spule eine Zeitkonstante τ.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Eine ideale Spule hat nur die physikalische Eigenschaft einer Induktivität, ihr Ohmscher Widerstand ist Null. Bei realen Spulen ist aber mindestens noch der Ohmsche Widerstand des Drahtes zu berücksichtigen.

- Von welchen Größen ist der Ohmsche Widerstand des Spulendrahtes abhängig? Geben Sie den gesetzmäßigen Zusammenhang an!
- Wie muß eine Spule beschaffen sein, damit ihr Ohmscher Widerstand möglichst klein ist?

Der Anteil dieses Ohmschen Widerstandes hat zur Folge, daß sich eine reale Spule wie eine Reihenschaltung aus Induktivität und Ohmschem Widerstand verhält. Der Ohmsche Widerstandsanteil bewirkt, daß elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird.

Wie beim Kondensator das Dielektrikum nicht nur zu einer Vergrößerung der Kapazität führt, sind bei einer Spule durch das Kernmaterial außer einer Vergrößerung der Induktivität noch andere unerwünschte Eigenschaften festzustellen.

Diese unerwünschten Eigenschaften machen sich hauptsächlich dann bemerkbar, wenn Spulen mit Wechselspannung betrieben werden.

2.3.3. Ermitteln der Induktivität einer Spule

Während Kondensatoren nur sehr schwer selbst angefertigt werden können, ist das bei Spulen mit nur geringem technischem Aufwand möglich.

Um Spulen mit einer bestimmten Induktivität selbst anfertigen zu können, sollen einige Hinweise über den Zusammenhang zwischen Induktivität, Windungszahl, Abmessungen der Spule und Kernmaterial gegeben werden.

Zu beachten ist, daß die Induktivität der selbst angefertigten Spulen mit einem Fehler behaftet ist, der durch das Abgleichen (Veränderung der Kernstellung, der Form und gegebenenfalls der Windungszahl) ausgeglichen werden muß.

Für einlagige, lange Zylinderspulen ohne Kern gilt:

$$L = \mu_0 \cdot W^2 \cdot \frac{A}{l}.$$

Die Größen haben folgende Bedeutung:

W – Windungszahl

μ_0 – Induktionskonstante, $\mu_0 = 1{,}256 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}}$

A – Spulenquerschnitt

l – Spulenlänge

Bei Spulen mit Kern vergrößert sich die Induktivität um einen Faktor μ_r (relative Permeabilität), der von verschiedenen Faktoren abhängig ist.

Anstelle der relativen Permeabilität wird bei Ferrit-Kernen häufig der A_L-Wert angegeben.

Die Induktivität beträgt dann $L = A_L \cdot W^2$.

Die Einheit des aufgedruckten A_L-Wertes ist $\mathrm{nH \cdot W^{-2}}$.

Für Spulen im NF-Bereich verwendet man Eisenkerne oder Ferritkerne. Die meisten Ferrite lassen sich bis zu Frequenzen von einigen MHz verwenden (Ferritantenne).

Bei noch höheren Frequenzen werden spezielle Ferrite verwendet oder sogenannte Luftspulen eingesetzt.

Mit einem Al-Kern kann man die Induktivität von Spulen geringfügig verringern. Spulen mit Kern haben den Vorteil, daß man durch unterschiedlich tiefes „Eintauchen" des Kerns die Induktivität verändern kann.

Bei freitragenden Luftspulen kann die Induktivität durch Zusammendrücken oder Auseinanderziehen (Änderung der Länge) verändert werden.

- Wie ändert sich die Induktivität der Spule beim Zusammendrücken?
- Berechnen Sie die Windungszahl einer Luftspule mit einer Induktivität von $L = 10\ \mu H$, einer Länge von $l = 8$ cm und einem Durchmesser von $d = 1$ cm!
- Berechnen Sie die Windungszahl für eine Spule mit einer Induktivität von $L = 10\ \mu H$, wenn ein Spulenkern mit einem A_L-Wert von 1 000 nH W^{-2} verwendet wird!
- Um wieviel Prozent ändert sich die Induktivität einer langen Luftspule, wenn sie um 10 % ihrer ursprünglichen Länge zusammengedrückt wird?
- Wie kann man die Induktivität einer Spule ermitteln?

2.4. Kondensator und Spule im Wechselstromkreis

2.4.1. Wechselspannungen und Wechselströme

Spannungen und Stromstärken sind in der Regel zeitlich veränderliche Größen. So nimmt z. B. die Spannung einer Taschenlampenbatterie mit der Zeit ab, wodurch der Strom, der durch die Lampe fließt, kleiner wird. Die Leuchtintensität der Lampe nimmt immer mehr ab.

Bewegen sich die Ladungsträger stets in der gleichen Richtung, so spricht man von Gleichstrom. Die Ursache für das Fließen eines Gleichstroms ist eine Gleichspannung. Ändert sich die Richtung der Ladungsträgerbewegung, so fließt ein Wechselstrom. Die Ursache ist eine Wechselspannung.

Den zeitlichen Verlauf von Spannungen und Strömen stellt man mit Hilfe von Diagrammen dar. Die folgenden Ausführungen gelten in gleicher Weise für Spannungen wie auch für Ströme, deshalb wird im folgenden nur von Spannungen gesprochen.

Bei Gleichspannungen verläuft die Kurve stets oberhalb oder unterhalb der t-Achse, bei Wechselspannungen schneidet die Kurve die t-Achse.

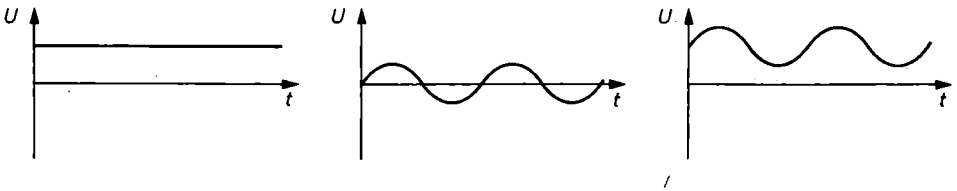


Bild 28/1 Zeitlicher Verlauf
a) einer Gleichspannung
b) einer Wechselspannung
c) einer Gleichspannung mit Wechselspannungsanteil

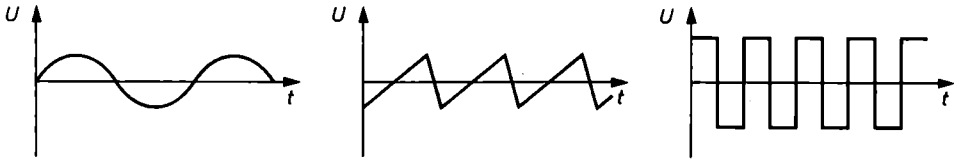


Bild 29/1 Wechselspannungen
a) Harmonische Wechselspannung (sinusförmige Wechselspannung)
b) Dreieckspannung (Sägezahnspannung)
c) Rechteckspannung

Ändert sich der Betrag einer Gleichspannung periodisch, so spricht man von einer Gleichspannung mit Wechselspannungsanteil, der Gleichspannung ist in diesem Fall eine Wechselspannung überlagert. Von besonderer Bedeutung sind Wechselspannungen, die sich periodisch ändern und nach einer Zeit T immer wieder denselben Wert annehmen.

Von den vielen möglichen Schwingungsformen sind im Bild 28/1 die wichtigsten dargestellt.

Die harmonische Wechselspannung ist von besonderer technischer Bedeutung. Ein Beispiel dafür ist die Netzwechselspannung.

Die Kurvenform erhält man, wenn man den Radius eines Kreises rotieren läßt und den Schnittpunkt von Radius und Kreisperipherie auf eine senkrechte Achse projeziert.

Nach der Umlaufzeit T des Radius beginnt die zweite Periode. Außer der Zeit t kann auf der Abszissenachse auch der Drehwinkel φ abgetragen werden. Die Angabe des Winkels erfolgt dabei nicht in Grad-Maß, sondern in Bogenmaß (↑ TuF S. 29). Der Abstand u zwischen der Kurve und der Abszissenachse zu einer beliebigen Zeit t heißt Momentanwert, der größte Abstand Maximalwert (Spitzenwert, Amplitude).

Die Zeit T heißt Periodendauer (Periode, Schwingungsdauer).

Außer im Kurvenverlauf, dem Maximalwert und der Periode können sich Wechselgrößen noch dadurch unterscheiden, daß zum Zeitpunkt $t = 0$ der Winkel φ unterschiedlich groß ist. Die Größe, mit der diese Eigenschaft beschrieben wird, ist die Anfangszeit oder Phase.

Unterscheiden sich zwei Größen in ihrer Phase, so spricht man von einer Phasenverschiebung oder einer Phasendrehung um den Winkel φ.

Mathematisch läßt sich eine harmonische Wechselspannung mit der Gleichung

$u = U_{max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right)$ beschreiben.

Die entsprechende Gleichung für den Strom lautet

$$i = I_{max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right).$$

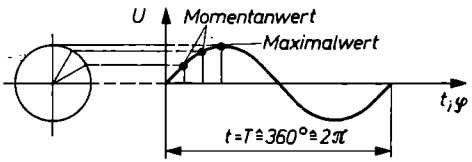


Bild 29/2 Zusammenhang zwischen harmonischer Schwingung und Kreisbewegung

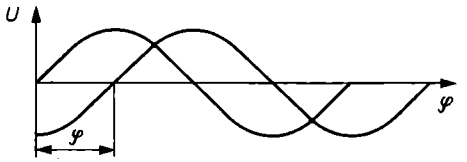


Bild 29/3 Phasenverschiebung zwischen zwei Wechselgrößen

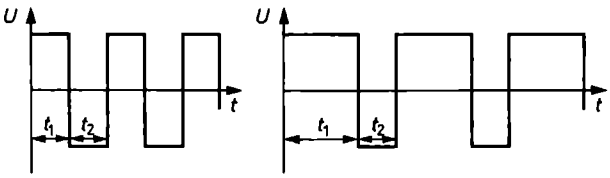


Bild 30/1
Rechteckspannung mit unterschiedlichem Tastverhältnis

Die Symbole bedeuten:

u Spannung zu einer beliebigen Zeit t (Momentanwert)
U_{max} Maximalwert der Spannung (Amplitude, Spitzenwert)
$\sin\varphi$ Symbol für eine Winkelfunktion (↑ TuF, S. 40, S. 24f.)
2π $6{,}28 = 360°$
T Periode, Schwingungsdauer
φ Anfangswinkel

Häufig verwendet man für $\frac{2\pi}{T}$ das Symbol ω,

damit gilt für die Spannung

$$u = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

und für den Strom

$$i = I_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

Die Kleinbuchstaben u und i werden verwendet, damit Verwechslungen mit Größen des Gleichstromkreises vermieden werden. Da T die Dauer eines Umlaufs (einer Schwingung) angibt, ist der Kehrwert von T gleich der Zahl der Umläufe (Schwingungen) je Sekunde.
Diese Größe heißt Frequenz.

$$\frac{1}{T} = f$$

Die Einheit der Frequenz ist 1 Hz (Hertz). $1\ \text{Hz} = \frac{1}{s}$

Mit $\frac{1}{T} = f$ gilt $\omega = 2\pi \cdot f$.

Die mathematische Beschreibung von Rechteck- und Dreieckspannungen ist wesentlich komplizierter, deshalb wird hier darauf verzeichtet.

Bei diesen Spannungen muß zur eindeutigen Beschreibung außer den bereits bei der harmonischen Wechselspannung genannten Größen Perioden (oder Frequenz), Amplitude und Anfangswinkel (Phase) noch die Symmetrie (Tastverhältnis) angegeben werden.

In der Praxis interessiert bei Wechselspannungen vielfach der Effektivwert.

Durch Einführen dieser Größe können harmonische Wechselspannungen unter bestimmten Bedingungen wie Gleichspannungen behandelt werden.

So ist es z. B. bei einer Glühlampe gleichgültig, ob sie mit Gleich- oder mit Wechselspannung betrieben wird. Betreibt man eine Glühlampe einmal mit einer Gleichspannung U und dann mit einer Wechselspannung u mit $U_{max} = U$, so stellt man fest, daß die Glühlampe bei Wechselspannung dunkler als bei Gleichspannung leuchtet. Die Ursache ist darin zu sehen, daß bei der Wechselspannung der Wert $U_{max} = U$ nur jeweils für einen Moment auftritt, bei Gleichspannung aber stets vorhanden ist. (↑ Bild 31/1)

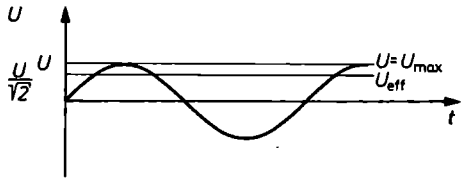


Bild 31/1
Gleichspannung, Spitzenspannung, Effektivwert

Durch Vergrößern der Amplitude (Spitzenspannung) der Wechselspannung erreicht man, daß die Glühlampe bei beiden Spannungen gleich hell leuchtet. Der Faktor, um den die Amplitude der Wechselspannung vergrößert werden muß, ist $\sqrt{2}$.

Es gilt: $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$ und $I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$.

- Berechnen Sie den Maximalwert der Netzwechselspannung mit einem Effektivwert der Spannung von $U_{\text{eff}} = 220$ V!

Vielfachmeßgeräte geben den Effektivwert einer harmonischen Wechselspannung an, auch Spannungs- und Stromangaben an elektronischen und elektrotechnischen Geräten stellen Effektivwerte dar, falls es vom Hersteller auf dem Gerät nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.

In Stromkreisen, die nur aus Ohmschen Widerständen bestehen, gilt für harmonische (sinusförmige) Wechselspannungen:

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}; \quad P = \frac{1}{2} \cdot U_{\max} \cdot I_{\max}.$$

Unabhängig vom zeitlichen Verlauf einer Wechselspannung gilt in Stromkreisen, die nur Ohmsche Widerstände enthalten, das Ohmsche Gesetz:

$$R = \frac{u}{i} = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{U_{\max}}{I_{\max}}.$$

- Eine sinusförmige Wechselspannung $U_{\text{eff}} = 220$ V liegt an einem Widerstand $R = 20\,\Omega$. Berechnen Sie $U_{\max}$, $I_{\max}$, I_{eff} und P!

2.4.2. Kondensator im Wechselstromkreis

Beim Kondensator ist der Quotient aus Ladung und Spannung konstant. Danach hat jede Ladungsänderung auch eine Spannungsänderung zur Folge.

Ladungsänderungen kann man am Fließen eines elektrischen Stromes erkennen. (↑ Experimente 7 und 8.)

Für die folgenden Betrachtungen ist es wichtig, noch einmal darauf hinzuweisen, daß man einen Kondensator als Spannungsquelle mit veränderlicher Spannung betrachten kann.

Wenn die Spannung am Kondensator den Wert Null hat, fließt beim Anlegen einer äußeren Spannung ein maximaler Strom, der dann den Wert Null erreicht, wenn die beiden Spannungen gleich groß sind. Wird die äußere Spannung jetzt Null und der Kondensator entladen, so fließt trotzdem zunächst ein großer Entladestrom in entgegengesetzter Richtung, der allmählich gegen den Wert Null geht.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich, wenn ein Kondensator mit Wechselspannung betrieben wird.

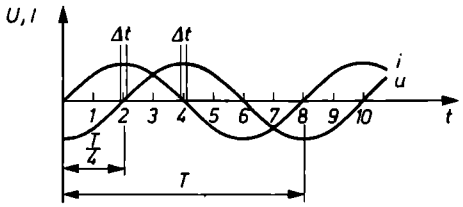


Bild 32/1
Zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung bei einem Kondensator im Wechselstromkreis

Es ist zu beachten, daß sich sinusförmige Spannungen niemals plötzlich, sondern stets allmählich ändern. Dabei gibt es Zeitpunkte, an denen die Änderung der Spannung schnell, andere, an denen sie sehr langsam erfolgt. Es ist einzusehen, daß eine rasche Spannungsänderung einen großen Strom, eine langsame Spannungsänderung einen kleinen Strom zur Folge hat, denn es muß in gleichen Zeiten im ersten Fall eine große, im zweiten Fall eine kleine Ladung transportiert werden. In Bild 32/1 ist die sinusförmige Spannung am Kondensator dargestellt.

- Zu welchen Zeiten t_n (n = 0, 1, 2, ...) ändert sich die Spannung am Kondensator nicht? Was folgt daraus für die Stromstärke? Vergleichen Sie mit Bild 32/1!
- Zu welchem Zeitpunkt ändert sich die Spannung am Kondensator rasch? Was folgt daraus für die Stromstärke? Vergleichen Sie mit Bild 32/1!
- Zu welchen Zeitpunkten wird die Spannung größer? Was folgt daraus für die Stromstärke?

Die Stromstärke an einem Kondensator ist dann Null, wenn der Betrag der Spannung maximal ist und erreicht ein Maximum, wenn die Spannung Null ist.

Ein Vergleich der Kurven im Bild 32/1 zeigt, daß, wenn ein Kondensator mit einer sinusförmigen Wechselspannung betrieben wird, zwischen Spannung und Strom eine zeitliche Verschiebung von $\frac{T}{4}$ auftritt.

Das Maximum der Stromstärke liegt zeitlich vor dem Maximum der Spannung.

Mit $\frac{T}{4} = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2}$ folgt:

▶ Am Kondensator eilt der Strom der Spannung um den Winkel $\varphi = \frac{\pi}{2}$ voraus oder zwischen Strom und Spannung ist eine Phasenverschiebung (-drehung) von $\frac{\pi}{2} = 90°$ vorhanden.

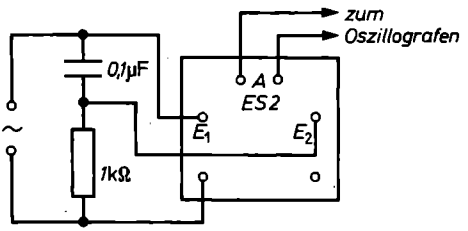


Bild 32/2
Darstellung der Verschiebung von Spannung und Stromstärke mit einem Elektronenstrahloszillografen

Mit einer Schaltung nach Bild 32/2 können mit Hilfe eines elektronischen Umschalters Spannung und Stromstärke mit einem Elektronenstrahloszillografen dargestellt und die Phasenverschiebung demonstriert werden.

Der Widerstand R hat in der Schaltung die Aufgabe, eine stromproportionale Spannung zu liefern, da mit einem Elektronenstrahloszillografen nur Spannungen dargestellt werden können. Der Widerstand sollte möglichst klein sein.

2.4.3. Kapazitiver Widerstand eines Kondensators

Ein Kondensator besitzt im Gleichstromkreis einen sehr großen, im Wechselstromkreis einen wesentlich kleineren Widerstand (↑ Experiment 2). Es soll untersucht werden, von welchen Größen dieser kapazitive Widerstand X_C abhängig ist.

14
▼ Bestimmen Sie den kapazitiven Widerstand von Kondensatoren unterschiedlicher Kapazität! (↑ [1], E 24) Messen Sie zusätzlich die Spannung!

Verwenden sie Kondensatoren unterschiedlicher Kapazität! Steht eine Wechselspannungsquelle mit Wechselspannungen unterschiedlicher Frequenzen, z. B. Universalgenerator UVG zur Verfügung, kann mit dieser Schaltung auch der Einfluß der Frequenz auf den kapazitiven Widerstand untersucht werden.

Ergebnis

Der kapazitive Widerstand Xc ist sowohl der Kapazität C als auch der Frequenz f umgekehrt proportional. Das experimentell gefundene Ergebnis kann folgendermaßen erklärt werden: Jede Spannungsänderung ist mit einer Ladungsänderung und damit mit einem Stromfluß verbunden. Kondensatoren großer Kapazität speichern bei einer bestimmten Spannung eine große Ladung.

Aus $I=\frac{Q}{t}$ folgt, daß zum Umladen in gleichen Zeiten bei größerer Ladung größere Ströme erforderlich sind. Bei Wechselspannungen größerer Frequenz müssen Ladungen in kleineren Zeiten transportiert werden, auch dabei fließen größere Ströme.

● Beweisen Sie, daß bei konstanter Spannung U_{eff} der Widerstand der Stromstärke umgekehrt proportional ist!

2.4.4. Spule im Wechselstromkreis

Bei Spulen im Wechselstromkreis tritt ebenfalls eine zeitliche Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke auf. (↑ Experiment 2)

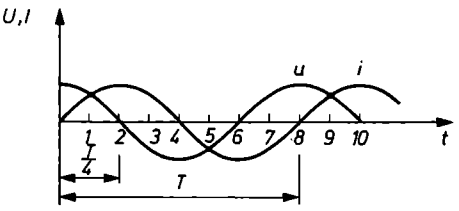


Bild 33/1
Zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung bei einer Spule im Wechselstromkreis

Ursache dieser Verschiebung ist die in Form eines magnetischen Feldes gespeicherte Energie.

Die Betrachtung der Vorgänge soll zu dem Zeitpunkt beginnen, zu dem die an der Spule anliegende Spannung gerade ihren Maximalwert erreicht hat (↑ Bild 33/1).

Zum Zeitpunkt t_0 hat der Strom noch den Wert Null, der aber in der Folgezeit ansteigt, während die Spannung kleiner wird (t_1). Die Spule nimmt Energie auf. Von dem Zeitpunkt t_2 an, zu dem die Spannung den Wert Null hat, wird die magnetische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Dadurch fließt der Strom in der gleichen Richtung weiter. In dem Maße, wie die magnetische Energie der Spule kleiner wird, verringert sich auch der Strom. In der Zwischenzeit hat sich die Spannung weiter verringert (t_3). Der negative Spitzenwert fällt zeitlich mit der Stromstärke Null zusammen. Nun wiederholen sich die Vorgänge in umgekehrter Richtung.

- Erklären Sie die Vorgänge während der zweiten Halbperiode!

Wie beim Kondensator kann die zeitliche Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke mit einem Elektronenstrahloszillografen dargestellt werden. An Stelle des Kondensators in der Schaltung nach Bild 32/2 ist lediglich eine Spule einzusetzen.

- Welche Unterschiede bestehen zwischen einem Kondensator und einer Spule bezüglich der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke?

Vergleichen Sie die Bilder 32/1 und 33/1 miteinander!

- Nennen Sie gemeinsame Eigenschaften von Spule und Kondensator!

2.4.5. Induktiver Widerstand einer Spule

15
▼ Bestimmen Sie experimentell den induktiven Widerstand von Spulen! (↑ [1], E 23).

Messen Sie zusätzlich die Spannung, verwenden Sie Spulen mit unterschiedlichen Windungszahlen!

Hinweis: der Ohmsche Widerstand wird hier vernachlässigt.

Durch Verändern der Windungszahl oder der Kernstellung ändert sich die Induktivität L der Spule.

- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Induktivität einer Spule und dem induktiven Widerstand X_L?
- Überlegen Sie, welchen Einfluß eine Frequenzerhöhung auf den Spulenstrom hat! Betrachten Sie dazu Bild 33/1!

Gehen Sie dabei davon aus, daß bei größerer Frequenz, die für das Anwachsen des Stromes zur Verfügung stehende Zeit kleiner ist. Schließen Sie auf die Widerstandsänderung!

Der induktive Widerstand X_L ist sowohl der Induktivität L als auch der Frequenz f direkt proportional.

Es gilt $X_L \sim L$ und $X_L \sim f$.

Nach Einführen des Proportionalitätsfaktors 2π folgt $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ bzw. $X_L = \omega \cdot L$.

- Berechnen Sie den induktiven Widerstand einer Spule mit einer Induktivität von 1 nH bei einer Frequenz von 50 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz!

2.4.6. Transformator

Ordnet man zwei oder mehrere Spulen so an, daß das magnetische Feld einer Spule das der anderen durchdringt, so sind die Spulen magnetisch gekoppelt. Mit Hilfe eines magnetischen Wechselfeldes kann von einer Spule Energie auf die andere übertragen werden. Eine solche Anordnung bezeichnet man als Transformator (↑ Ph i Üb, S. 187ff).

Damit nicht nur während der Schaltvorgänge Energie übertragen wird, muß der Transformator mit Wechselspannung betrieben werden.

16 ▼ Untersuchen Sie eine induktive Kopplung! (↑ [1], E 20)

17 ▼ Bestimmen Sie das Übersetzungsverhältnis eines Transformators!

Bauen Sie die Schaltung nach dem in Bild 35/1 dargestellten Schaltplan auf!

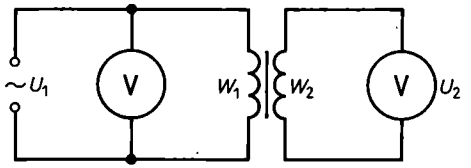


Bild 35/1
Schaltung zur Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses

Arbeiten Sie nur mit den in der Übersicht angegebenen Spannungen und Windungszahlen, lassen Sie ihre aufgebaute Schaltung vom AG-Leiter überprüfen!

W_1	W_2	$\frac{W_1}{W_2}$	U_1	U_2	$\frac{U_1}{U_2}$
500	800		5 V		
500	800		10 V		
800	500		5 V		
800	500		10 V		
80	800		2 V		
800	80		10 V		

Vervollständigen Sie die Übersicht!
Vergleichen Sie die dritte Spalte mit der sechsten Spalte!

Für einen unbelasteten idealen Transformator gilt:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad \text{mit} \quad \frac{W_1}{W_2} = \ddot{u} \quad \text{folgt} \quad \frac{U_1}{U_2} = \ddot{u}.$$

Das Verhältnis der Windungszahlen ü bezeichnet man als Übersetzungsverhältnis.

● Begründen Sie, weshalb Ihre Meßergebnisse die o. g. Gleichungen nur näherungsweise erfüllen!

Nach dem Energieerhaltungssatz gilt für einen verlustfreien Transformator $P_1 = P_2$. Mit $P = U \cdot I$ folgt $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$.
Nach Umstellung der Gleichung erhält man:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{bzw.} \quad \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_2}.$$

Aus den bisherigen Betrachtungen geht hervor, daß mit einem Transformator Wechselspannungen und Wechselströme umgeformt (transformiert) werden können.

Die folgenden Überlegungen zeigen, daß darüberhinaus auch eine Widerstandstransformation erfolgt.

Es gilt $P = U \cdot I$. Mit $I = \frac{U}{R}$ ist $P = \frac{U^2}{R}$.

Setzt man in $P_1 = P_2$ für $P = \frac{U^2}{R}$ ein, erhält man $\frac{U_1^2}{R_1} = \frac{U_2^2}{R_2}$;

nach Umstellen $\frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{R_1}{R_2}$. Aus $\frac{U_1}{U_2} = \ddot{u}$; $\frac{U_1^2}{U_2^2} = \ddot{u}^2$

und somit $\frac{R_1}{R_2} = \ddot{u}^2$ oder $R_1 = R_2 \cdot \ddot{u}^2$.

Aus dieser Gleichung geht hervor, daß ein auf der Sekundärseite des Transformators wirksamer Widerstand R_2 auf die Primärseite wie ein Widerstand $R_2 \cdot \ddot{u}^2$ zurückwirkt.

Damit ist mit Transformatoren eine Anpassung von Widerständen bei Wechselspannungen möglich. (↑ Abschnitt 2.1).

Neben der Transformation von Spannungen, Strömen und Widerständen setzt man Transformatoren zur galvanischen Trennung von Stromkreisen und zur Phasendrehung um 180° (↑ Meißnersche Rückkopplungsschaltung, S. 77) durch Vertauschen der Anschlüsse ein.

3. Elektrische Leitungsvorgänge in Festkörpern

3.1. Leiter, Halbleiter, Isolator

Alle Festkörper lassen sich hinsichtlich ihrer Eigenschaft, dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegenzusetzen, in drei Gruppen einteilen: Leiter, Halbleiter, Isolator. Ein Maß für diese Einteilung ist der spezifische elektrische Widerstand ϱ bzw. der Kehrwert des spezifischen Widerstandes, der Leitwert $\varkappa$ (↑ Ph i Üb, S. 121).

Außer dem spezifischen Widerstand gibt es weitere unterschiedliche Eigenschaften, die die getroffene Einteilung sinnvoll erscheinen lassen. Eine davon ist die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes (↑ Ph i Üb, S. 121, 144).

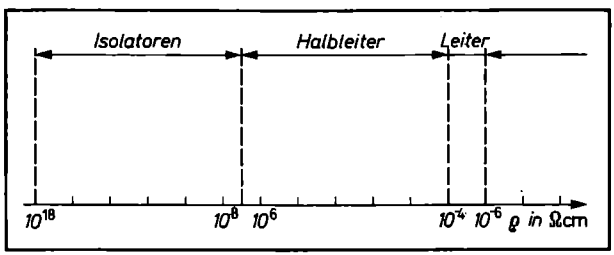


Bild 36/1
Spezifische elektrische Widerstände von Metallen, Halbleitern und Isolatoren bei Zimmertemperatur

1
▼ Vergleichen Sie die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes eines Metalles (Glühfaden einer Glühlampe) und eines Halbleiters (Thermistor)!

Bauelemente und Geräte
Spannungsquelle, Glühlampe, Halbleiterwiderstand (Thermistor), Spannungsmesser, Strommesser, stellbarer Widerstand 100 Ω, Schalter

Durchführung
1. Entwerfen Sie eine Schaltung zum Bestimmen des Ohmschen Widerstandes! Hinweis: Ordnen Sie zwischen Spannungsquelle und der Meßschaltung einen Spannungsteiler an! (Die Erwärmung der Bauelemente Glühlampe und Halbleiterwiderstand erfolgt durch die zugeführte elektrische Energie.)
2. Bauen Sie die Schaltung auf, verwenden Sie zunächst die Glühlampe!
3. Messen Sie Spannung und Stromstärke bei verschiedenen Einstellungen des Spannungsteilers und berechnen Sie den jeweiligen Widerstand!
4. Wiederholen Sie das Experiment mit dem Halbleiterwiderstand!
5. Vergleichen Sie bei beiden Bauelementen die Widerstandsänderung!

Ergebnis
Mit steigender Temperatur wird der Widerstand des Metallfadens der Glühlampe größer, der des Halbleiterwiderstandes kleiner.

Die Ursachen dieses unterschiedlichen Verhaltens werden in den folgenden Abschnitten in einer vereinfachten Darstellung beschrieben.

3.2. Elektrische Leitungsvorgänge in metallischen Leitern

In Metallen sind Atome oder Ionen regelmäßig angeordnet. Diese Anordnung nennt man Kristallgitter, die Teilchen heißen Gitterbausteine (↑ Ch i Üb, S. 29f). Die Besonderheit des Metallgitters besteht in der Metallbindung. Gleichartige, positive Metallionen bilden das Kristallgitter. Die Außenelektronen sind am Gitteraufbau nicht beteiligt, sie sind frei beweglich. Man nennt sie Leitungselektronen. Diese Leitungselektronen sind die Ursache für die Leitfähigkeit der Metalle.

Legt man an ein Metall eine Spannung an, so bewegen sich die Leitungselektronen unter dem Einfluß des elektrischen Feldes vom negativen zum positiven Pol der Spannungsquelle (Richtung des Elektronenstromes).

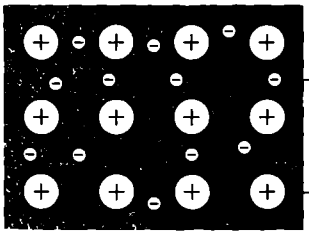


Bild 37/1
Gittermodell eines Metalls

Die Gitterbausteine behindern dabei die Bewegung der Elektronen. Sie sind die Ursache für den elektrischen Widerstand der Metalle.

Zwischen Metallionen und bewegten Elektronen kommt es zu Wechselwirkungen. Die Elektronen geben einen Teil ihrer kinetischen Energie an die Gitterbausteine ab, damit erhöht sich deren kinetische Energie und die Temperatur des Leiters steigt (↑ Ph i Üb, S. 91).

Mit steigender Temperatur erhöht sich die Energie der Gitterbausteine. Das hat zur Folge, daß die Elektronenbewegung immer stärker behindert wird, die Beweglichkeit der Elektronen nimmt ab. Bei konstanter Spannung wird dadurch die Stromstärke kleiner, da sich der elektrische Widerstand erhöht.

- Beweisen Sie diese Aussage mit Hilfe der Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes!

3.3. Elektrische Leitungsvorgänge in Halbleitern

3.3.1. Eigenleitung

Im Unterschied zu den Metallen haben die Halbleiter Atombindung (↑ Ch i Üb, S. 35, 38; LB Ch Kl. 8, S. 27ff).

Benachbarte Halbleiteratome bilden gemeinsame Elektronenpaare (↑ Bild 39/1). Die Kristallstruktur ähnelt der des Diamanten (↑ Ch i Üb, S. 29).

Unter den Bedingungen eines ungestörten, von Verunreinigungen freien Kristallaufbaus sind bei einer Temperatur O K keine frei beweglichen Ladungsträger vorhanden, der Halbleiter verhält sich wie ein Isolator (↑ Ph i Üb, S. 141).

Durch Energiezufuhr (Wärme, Licht, elektrische oder magnetische Felder, mechanische Kräfte) können einzelne Elektronen ihren Gitterplatz verlassen und stehen dann als frei bewegliche Leitungselektronen zum Ladungstransport zur Verfügung.

Der Raumbereich im Kristall, aus dem ein Elektron herausgelöst wurde, hat die Eigenschaften einer frei beweglichen positiven Ladung. Diese Ladung kann durch ein Elektron ausgeglichen werden, das seinerseits an anderer Stelle im Kristall eine positive Ladung hinterläßt. In der Modellvorstellung geht man davon aus, daß sich die positive Ladung von einer Stelle im Kristall zu einer anderen bewegt hat.

Frei bewegliche positive Ladungen in Halbleitern nennt man Defektelektronen oder Löcher.

Legt man an einen Halbleiter bei $T > O$ K eine Spannung an, so bewegen sich die Elektronen vom negativen zum positiven Pol, die Defektelektronen bewegen sich entgegengesetzt also vom positiven zum negativen Pol.

Diese Vorgänge heißen Eigenleitung eines Halbleiters (↑ Bild 39/2, Ph i Üb, S. 141).

Jedes Elektron hinterläßt beim Verlassen seines Gitterplatzes ein Defektelektron, so daß bei eigenleitenden Halbleitern die Zahl der Elektronen gleich der Zahl der Defektelektronen ist. Bei Energiezufuhr steigt die Zahl der frei beweglichen Ladungsträger an. Dadurch wird die Leitfähigkeit größer und der Widerstand kleiner. Bei Halbleitern kann die Abnahme der Beweglichkeit von Ladungsträgern bei steigender Temperatur (↑ Abschnitt 3.2., S. 38) meist vernachlässigt werden, da deren Einfluß sehr klein ist.

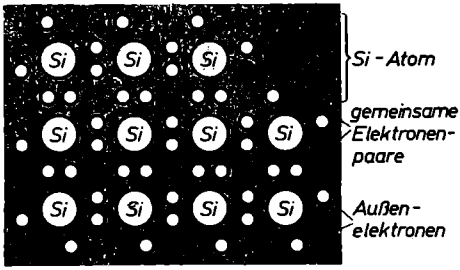


Bild 39/1
Kristallgitter eines Halbleiters
(Si — Einkristall)

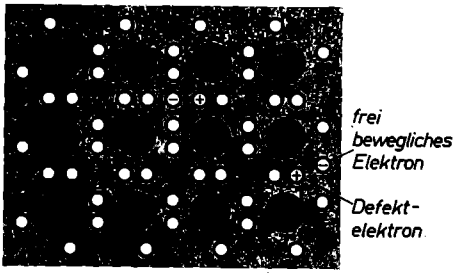


Bild 39/2
Eigenleitung

Die starke Abhängigkeit der Leitfähigkeit der Halbleiter von der zugeführten Energie wird in der Meß- und Regelungstechnik technisch genutzt.

Halbleiterwiderstände (Thermistoren, Varistoren, Fotowiderstände) werden für die unterschiedlichsten Verwendungszwecke produziert.

2
▼ Untersuchen und vergleichen Sie die Abhängigkeit der Leitfähigkeit eines Thermistors und eines Fotowiderstandes von der zugeführten Energie! (↑ [1], E 9, E 13)

Ermitteln Sie anschließend die Widerstände der Bauelemente!

● Begründen Sie, weshalb ein stromdurchflossener Halbleiter (↑ Experiment 1.) unter ungünstigen Bedingungen, z. B. mangelhafte Kühlung oder zu große elektrische Belastung, zerstört werden kann!

● Begründen Sie, weshalb bei Halbleiterwiderständen zur Temperaturmessung mit möglichst kleinen Strömen im Meßfühlerkreis gearbeitet werden soll!

3.3.2. Störstellenleitung

Größere Bedeutung als die Eigenleitung hat die Störstellenleitung. Sie ist Grundlage für die Funktion vieler Halbleiterbauelemente, die wichtigsten sind Halbleiterdiode und Transistor.

Störstellenleitung tritt dann auf, wenn in einem Halbleiterkristall drei- oder fünfwertige *Fremdatome* eingebaut worden sind. Das Einbauen dieser Fremdatome nennt man *dotieren*. Durch das Dotieren vergrößert sich die elektrische Leitfähigkeit des Materials, denn es entstehen dadurch zusätzlich weitere frei bewegliche Ladungsträger (↑ Ph i Üb, S. 141f.).

3.3.2.1. n-Leitung

Durch den Einbau von fünfwertigen Atomen (z. B. Antimon oder Phosphor) in ein Silizium-Kristallgitter entstehen Störstellen im Kreisaufbau (↑ Bild 40/1).

Von den fünf Außenelektronen des Antimon-Atoms werden für die Atombindungen nur vier benötigt, das „fünfte" Elektron hat im Kristallgitter nur eine sehr geringe Bindung. Schon eine minimale Energiezufuhr genügt und das Elektron ist frei beweglich. Es steht zusammen mit den Ladungsträgern der Eigenleitung zum Ladungstransport zur Verfügung. Die durch das Ablösen des Elektrons wirkende positive Ladung des Antimon-Ions hat für

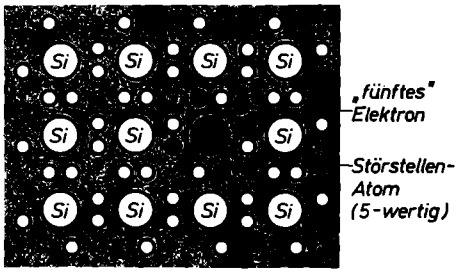


Bild 40/1 n-Leitung

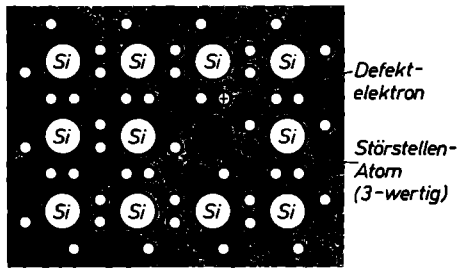


Bild 40/2 p-Leitung

den Leitungsvorgang keine Bedeutung, da sie durch die feste Bindung im Kristallgitter nicht frei beweglich ist. Die Zahl der negativen Ladungsträger ist somit größer als die Zahl der positiven, man spricht von n-leitendem Halbleitermaterial.

In der Halbleiterpraxis wird das Dotieren so durchgeführt, daß die Zahl der Störstellen-Ladungsträger die Zahl der Eigenleitungs-Ladungsträger um ein Vielfaches übersteigt. Es wird dadurch erreicht, daß die Eigenleitung keinen wesentlichen Einfluß auf die Funktion der Halbleiterbauelemente hat.

Bei Silizium ist das in wesentlich größerem Maße möglich als bei Germanium, ein Grund dafür, daß für moderne Halbleiterbauelemente vorwiegend Silizium verwendet wird.

3.3.2.2. p-Leitung

Besetzt man in einem Silizium-Kristall einzelne Gitterplätze mit dreiwertigen Atomen (z. B. Bor), so erhält man p-leitendes Silizium.

Bor hat nur drei Außenelektronen, so daß für das vierte gemeinsame Elektronenpaar ein Elektron fehlt. Es ist damit eine frei bewegliche positive Ladung, ein Defektelektron, vorhanden (↑ Bild 40/2).

In p-leitendem Halbleitermaterial ist die Zahl der Defektelektronen größer als die Zahl der Elektronen.

Die in der Mehrzahl vorhandenen Ladungsträger, die Majoritätsträger, bestimmen den Leitfähigkeitstyp eines Halbleitermaterials. Die in geringerer Zahl vorhandenen Ladungsträger heißen Minoritätsträger.

Durch Dotieren ist es möglich, aus eigen-leitendem Material n-leitendes Material herzustellen. Dotiert man dieses n-leitende Material anschließend mit 3-wertigen Atomen ausreichender Anzahl, so entsteht p-leitendes Material.

● Fertigen Sie nach dem vorgegebenen Muster eine Tabelle an und vervollständigen Sie die Angaben!

Leitungstyp	Wertigkeit der Fremdatome	Majoritätsträger	Minoritätsträger
p-Leitung			
n-Leitung			

Durch mehrmaliges Dotieren mit unterschiedlichen Fremdatomen entstehen Halbleiterbauelemente mit aufeinanderfolgenden Gebieten unterschiedlichen Leitfähigkeitstyps. Bauelemente mit einem p- und einem n-Gebiet nennt man Halbleiterdioden, Bauelemente mit der Zonenfolge pnp oder npn heißen Transistoren. Auch bei komplizierter aufgebauten Halbleiterbauelementen (Integrierte Schaltkreise) beruht die Funktion auf der Aufeinanderfolge von p- und n-leitendem Material.

4. Halbleiterdiode und ihre technische Anwendung

4.1. Aufbau, Funktion und Kenngrößen

1
▼ Untersuchen Sie experimentell das Verhalten der Halbleiterdiode in Abhängigkeit von der Polarität der angelegten Spannung! (↑ [1], E 39)

Ergebnis

Je nach Richtung des von außen angelegten elektrischen Feldes hat die Halbleiterdiode Eigenschaften eines kleinen oder großen Widerstandes.

Liegt am n-Gebiet der positive Pol, am p-Gebiet der negative Pol, so fließt ein sehr kleiner Strom, der Sperrstrom. Die Diode ist in Sperrichtung gepolt.

Liegt am n-Gebiet der negative Pol, am p-Gebiet der positive Pol, so fließt ein größerer Strom, der Durchlaßstrom. Die Diode ist in Durchlaßrichtung gepolt.

Eine Halbleiterdiode hat somit die Eigenschaften eines Gleichrichters (Ventilwirkung).

Die Ventilwirkung von Halbleiterdioden beruht auf den Gesetzmäßigkeiten der Leitungsvorgänge in Halbleitern (↑ Abschnitt 3.3.).

Dabei ist zu beachten, daß bei einer Halbleiterdiode Materialien unterschiedlichen Leitfähigkeitstyps aufeinandertreffen (↑ Bild 41/1).

Die Grenzschicht zwischen p- und n-leitendem Halbleitermaterial nennt man pn-Übergang.

Bei Temperaturen T > O K sind die freibeweglichen Ladungsträger (Elektronen, Löcher)

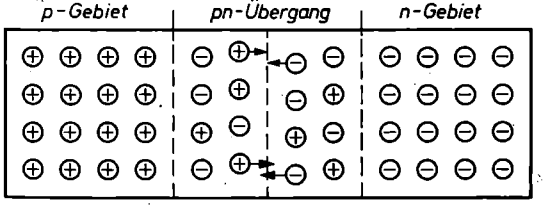


Bild 41/1
pn-Übergang ohne äußere Spannung

in ständiger Bewegung. Dabei wandern Elektronen in das p-Gebiet, Defektelektronen in das n-Gebiet. Dieser Vorgang heißt Ladungsträgerdiffusion.

Mit der Diffusion von Ladungsträgern sind zwei Erscheinungen verbunden:

Elektronen und Defektelektronen vereinigen sich (Rekombination), damit sind in der Grenzschicht praktisch keine Ladungsträger mehr vorhanden.

Durch Abwandern von Ladungen (Diffusion) ist das Ladungsgleichgewicht zwischen ortsfesten Ladungen und freibeweglichen Ladungsträgern gestört.

Im n-Gebiet überwiegen die positiven Ladungen der ortsfesten Fremdionen, im p-Gebiet überwiegen auf Grund der verringerten Löcherzahl die negativen Ladungen.

Am pn-Übergang hat sich ein elektrisches Feld gebildet, das einem weiteren Diffundieren von Ladungsträgern entgegenwirkt. Damit weitere Ladungsträger den pn-Übergang passieren können, muß die Wirkung dieses Diffusionsfeldes durch eine von außen angelegte Spannung aufgehoben werden.

2 ▼ Überprüfen Sie experimentell folgende Hypothese:

Bei Spannungen, die kleiner als die Diffusionsspannung sind, sperrt eine Halbleiterdiode unabhängig von ihrer Polung. Verwenden Sie eine Si-Diode!

Vorbetrachtung

Das Ergebnis von Experiment 1 und die Hypothese lassen sich nur unter der Annahme verstehen, daß die verwendete Spannung wesentlich größer als die Diffusionsspannung ist. Es ist also das Verhalten der Halbleiterdiode in einem Spannungsbereich $0V \leqq U \leqq 1V$ zu untersuchen. Beachten Sie, daß der Effekt möglicherweise durch die Eigenleitung verdeckt wird, wählen Sie gegebenenfalls eine andere Diode aus!

Durchführung

1. Entwerfen Sie eine Schaltung mit der es möglich ist, Spannungen im Bereich $0V \leqq U \leqq 1V$ V bereitzustellen!
2. Achten Sie auf stromrichtige Messung! (↑ Anhang, S. 131)
3. Vergleichen Sie die von Ihnen entwickelte Schaltung mit einem vorgegebenen Schaltplan! (↑ [1], E 40)
4. Diskutieren Sie Ihre Schaltungsvorschläge im Kollektiv!

Ergebnis

Legt man an das n-Gebiet (Katode) einer Halbleiterdiode den negativen Pol und an das p-Gebiet (Anode) den positiven Pol einer Spannungsquelle, so ist die Diode in Durchlaßrichtung gepolt. Der Durchlaßstrom steigt erst dann stark an, wenn das von der angelegten Spannung erzeugte elektrische Feld das Diffusionsfeld in seiner Wirkung aufhebt. Dadurch können weitere Ladungsträger in den pn-Übergang eindringen, es fließt ein Strom (↑ Bild 43/1). Die für den Stromfluß erforderliche Spannung (Diffusionsspannung) ist gerade so groß, daß sie das Diffusionsfeld aufhebt. Sie beträgt bei Germaniumdioden etwa 0,4 V, bei Siliziumdioden etwa 0,7 V. In Sperrichtung sind die Ströme sehr gering. Bei Ge-Dioden liegen sie in der Größenordnung von 1 mA, bei Si-Dioden sind sie nicht selten kleiner als 1 μ A.

Die Ursache für diese kleinen Stromwerte liegt in der Ausbildung eines ladungsträgerfreien Gebietes (↑ Bild 43/2).

Durch das äußere elektrische Feld werden alle noch vorhandenen Ladungsträger aus dem pn-Gebieten abgezogen. Das pn-Gebiet besitzt somit die Eigenschaft eines Isolators.

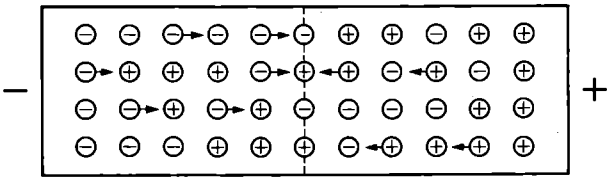


Bild 43/1
pn-Übergang in Durchlaßrichtung

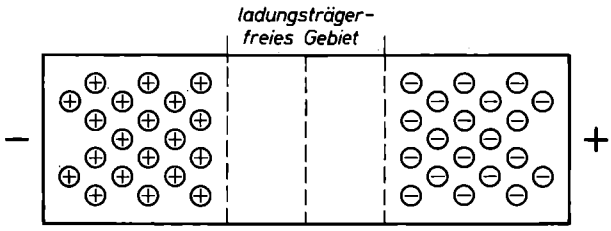


Bild 43/2
pn-Übergang in Sperrichtung

Der trotz Sperrichtung fließende Sperrstrom hat seine Ursache in der Eigenleitung. Wird bei einer in Sperrichtung gepolten Diode die angelegte Spannung ständig erhöht, so beginnt beim Erreichen der maximalen Sperrspannung ein stärkerer Strom zu fließen, dabei kann die Diode ihre Sperrwirkung für immer verlieren.

Z-Dioden (↑ Abschnitt 4.2.3.) werden im Bereich dieses Sperrstromes betrieben, schaltungstechnische Maßnahmen verhindern eine Zerstörung.

Einen vollständigen Überblick über den Zusammenhang von Spannung und Stromstärke bei einer Halbleiterdiode erhält man durch das Funktionsbild $I = f(U)$, die Kennlinie einer Halbleiterdiode (↑ Bild 43/4).

3 ▼ Untersuchen Sie experimentell das Durchlaß- und Sperrverhalten einer Diode! (↑ [1], E40)

4 ▼ Untersuchen Sie experimentell das Durchlaß- und Sperrverhalten einer Z-Diode (alte Bezeichnung Zener-Diode)! (↑ [1], E 41)

Bild 43/4
Kennlinie einer Ge-Diode und einer Si-Diode

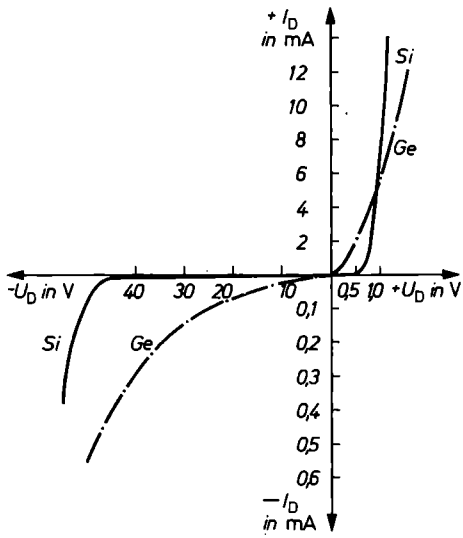
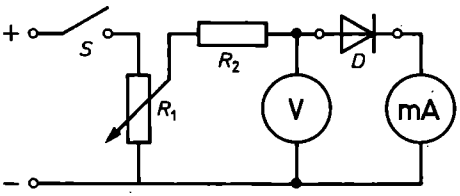


Bild 43/3
Schaltung zur Kennlinienaufnahme einer Halbleiterdiode



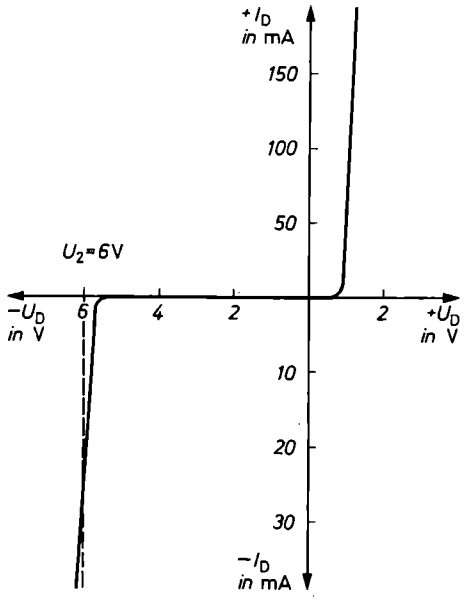


Bild 44/1
Kennlinie einer Z-Diode

- Welche Aufgabe haben die beiden Widerstände R_1, R_2 in Bild 43/3?
- Begründen Sie den Einsatz von Ge-Dioden bei der Gleichrichtung kleiner Spannungen und die Verwendung von Si-Dioden bei der Gleichrichtung großer Spannungen! (↑ Bild 43/4).
- Erarbeiten Sie mit Hilfe der Kennlinien Vor- und Nachteile der Ge- und Si-Dioden!

4.2. Gleichrichtung von Wechselspannungen

Fast alle elektronischen Geräte benötigen zu ihrem Betrieb Gleichspannungen. Diese Gleichspannungen werden durch Gleichrichtung und anschließende Glättung und Siebung aus der Netzwechselspannung gewonnen. Zur Gleichrichtung eignen sich Halbleiterdioden.

4.2.1. Einweggleichrichtung

Liegt an der Anode der Diode der Plus-Pol, so fließt ein Strom durch die Reihenschaltung Diode – Lastwiderstand R_L, da die Diode in Durchlaßrichtung gepolt ist. Wechselt die Polarität, so liegt an der Anode der Minus-Pol, die Diode ist gesperrt, es fließt kein Strom. Der Lastwiderstand wird vom Strom nur in einer Richtung durchflossen (↑ Bild 45/1).

5 ▼ Vergleichen Sie in einem Experiment eine Wechselspannung, eine mit einer Schaltung nach Bild 45/1 gleichgerichtete Wechselspannung mit der Spannung einer Monozelle!

Bauelemente und Geräte
Stromversorgungsgerät SVG 1, Monozelle, Gleichrichterdiode, Kopfhörer

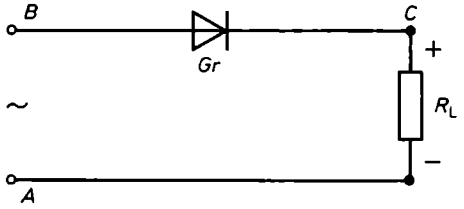


Bild 45/1
Einweggleichrichtung

Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung nach Bild 45/1 auf!
2. Verbinden Sie Ihren Versuchsaufbau mit dem Wechselspannungsausgang des Stromversorgungsgerätes!
3. Schließen Sie den Kopfhörer nacheinander an den Punkten A – B, A – C und an der Monozelle an!

Auswertung

Vergleichen Sie Ihre akustischen Beobachtungen!

Ergebnis

Die Spannung einer Monozelle unterscheidet sich qualitativ von der nach Bild 45/1 gewonnenen Gleichspannung. Der Brummton läßt vermuten, daß die gleichgerichtete Spannung noch Eigenschaften einer Wechselspannung hat.

6 ▼ Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf einer gleichgerichteten Wechselspannung mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen! Der Elektronenstrahl-Oszillograf wird an die im Bild 45/1

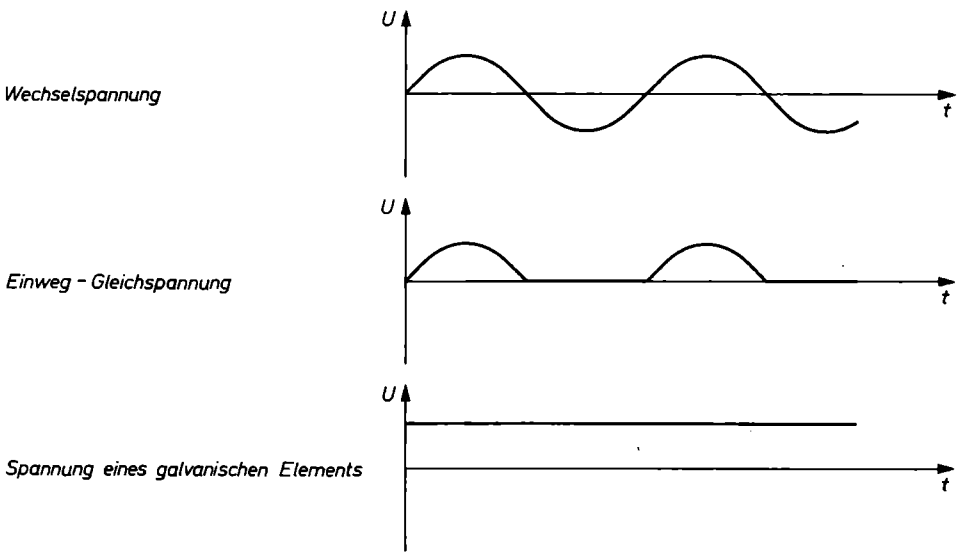


Bild 45/1 Zeitlicher Verlauf einer Wechselspannung, einer Einweggleichspannung und der Spannung eines galvanischen Elements

gekennzeichneten Punkte A–B, A–C und an die Monozelle angeschlossen. Dadurch ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der Spannungen zu untersuchen.

Die mit Hilfe der Einweggleichrichterschaltung gleichgerichtete Wechselspannung ändert ständig ihren Wert zwischen Null und dem Spitzenwert der Wechselspannung. Man kann auch sagen, daß einem Gleichspannungsmittelwert eine nicht sinusförmige Wechselspannung, die Brummspannung, überlagert ist. Diese pulsierende Gleichspannung ist für viele technische Anwendungen nicht geeignet, die Spannung muß noch geglättet und gesiebt werden.

4.2.2. Glättung und Siebung

7

▼ Wiederholen Sie die Experimente 5 und 6 so, daß Sie parallel zum Lastwiderstand R_L einen Kondensator schalten!

Verändern Sie den Wert von R_L!

Ergebnis

Der Kondensator bewirkt eine Glättung der gleichgerichteten Spannung. Die „Welligkeit" der Gleichspannung ist vom Lastwiderstand R_L und damit vom fließenden Strom abhängig (↑ Bild 46/1).

- Erklären Sie die Erscheinung der Glättung und ihre Abhängigkeit vom fließenden Strom! Gehen Sie von der Erkenntnis aus, daß Kondensatoren elektrische Energie speichern können! (↑ Abschnitt 2.2.)
- Erläutern Sie die Abhängigkeit der Brummspannung von der Kapazität des Kondensators und vom Laststrom!
- Warum steigt die Gleichspannung an, wenn einem von pulsierendem Gleichstrom durchflossenen Widerstand ein Kondensator parallel geschaltet wird?

  Wie groß ist dabei der Maximalwert der Gleichspannung?

Pulsierende Gleichspannungen lassen sich durch Kondensatoren glätten. Bei diesem Vorgang erhöht sich der Gleichspannungsanteil, während sich die Brummspannung verringert.
Je stärker eine Gleichrichterschaltung belastet wird, um so mehr erhöht sich die Brummspannung, dabei wird der Gleichspannungsanteil kleiner.

Bei der Dimensionierung einer Gleichrichterschaltung sind die Strom- und Spannungsbelastung der Gleichrichterdiode zu beachten.

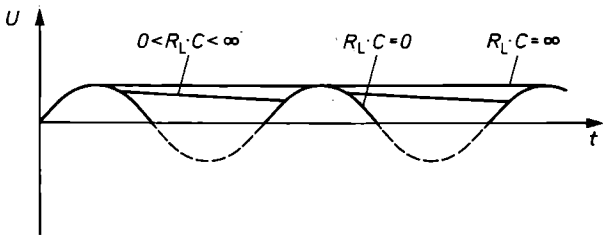


Bild 46/1
Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs einer gleichgerichteten Wechselspannung von der Zeitkonstante $R_L \cdot C$

● Weisen Sie mit dem Satz der Erhaltung der Energie nach, daß der Maximalstrom durch den Gleichrichter wesentlich größer ist als der Strom durch den Lastwiderstand! Welche Schlußfolgerung ergibt sich daraus für die Wahl der Gleichrichterdiode?

Berücksichtigen Sie bei Ihren Überlegungen, daß der Ladestrom des Kondensators nur kurzzeitig, der Gleichstrom dagegen ständig fließt!

8
▼ Untersuchen Sie experimentell die an der Diode anliegende Spannung in Sperrichtung in einer Gleichrichterschaltung ohne und mit Glättungskondensator!

Vorbetrachtung

Untersuchungen dieser Art werden im allgemeinen mit einem Elektronenstrahloszillografen durchgeführt, da der Zeiger eines Drehspulmeßgerätes durch seine Trägheit den schnellen Spannungsschwankungen nicht folgen kann. Da im Experiment 8 aber nicht der zeitliche Verlauf einer Spannung, sondern nur ein Momentanwert untersucht werden soll, erhält man bei entsprechender Anlage des Experiments auch ohne Elektronenstrahloszillografen brauchbare Ergebnisse.

Die Gleichrichterschaltung wird mit einer Gleichspannung gespeist, nicht wie üblich mit einer Wechselspannung. Die wechselnde Polarität der Wechselspannung wird durch das Umpolen der Gleichspannungsquelle simuliert.

Eine Voraussetzung für genaue und brauchbare Meßwerte sind ein ausreichend großer Kondensator und ein großer Lastwiderstand.

Bauelemente und Geräte

Gleichspannungsquelle, Halbleiterdiode, Kondensator, Schalter, Spannungsmesser

Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung nach Bild 47/1 auf!
2. Polen Sie die Spannungsquelle so, daß der Kondensator geladen werden kann, schließen Sie den Schalter!
3. Polen Sie die Spannungsquelle um und lesen Sie sofort die Spannung ab!
4. Vergleichen Sie die gemessene Spannung mit der Betriebsspannung!

Ergebnis

An der Diode liegt die doppelte Betriebsspannung an. Bei Betrieb der Schaltung mit Wechselspannung entspricht das etwa dem 2,8fachen des Effektivwertes der Wechselspannung.

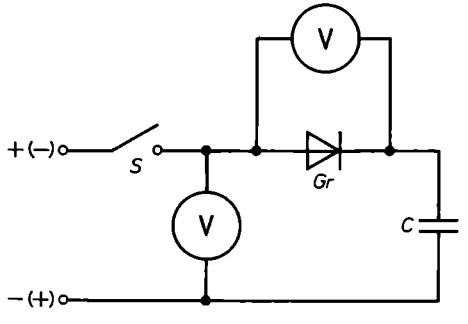


Bild 47/1
Messung der Spannungsbelastung einer Gleichrichterdiode

▶ Bei Gleichrichterschaltungen mit Glättungskondensatoren treten an den Gleichrichterdioden wesentlich größere Maximalwerte von Strom und Spannung auf, als am Ausgang der Schaltung gemessen werden.

Der in Bild 46/1 dargestellte Fall $R_L \cdot C = \infty$, $U_{Br} = 0$ ist praktisch nicht realisierbar.

Bei sehr großer Kapazität des Ladekondensators treten Spitzenströme auf, die Transformator und Gleichrichter gefährden, $R_L = \infty$ bedeutet, daß der Schaltung kein Strom entnommen wird, aber bereits die Kondensatorverluste (↑ Abschnitt 2.2.2.) bewirken einen Stromfluß. Deshalb ist $U_{Br} > 0$.

Diese Brummspannung muß in den meisten Fällen durch eine Siebung weiter verringert werden.

▶ Grundprinzip aller Siebschaltungen ist ein unterschiedlicher Spannungsabfall von Gleichspannungs- und Brummspannungsanteil einer geglätteten Gleichspannung an den Bauelementen eines Spannungsteilers (↑ Bild 48/1).

In den im Bild 48/1 dargestellten Schaltungen bildet der Siebkondensator zusammen mit dem Siebwiderstand bzw. der Spule (Siebdrossel) einen Spannungsteiler. Die gesiebte Gleichspannung wird am Kondensator abgegriffen.

Da der Widerstand des Kondensators für die Brumm(wechsel)spannung kleiner ist als der Widerstand des Siebwiderstandes bzw. der Scheinwiderstand der Spule, ist auch der Brummspannungsanteil am Kondensator entsprechend kleiner.

▶ Der Siebfaktor ist der Quotient der Brummspannungen am Eingang und Ausgang der Siebschaltung.

Nachteil der RC-Siebschaltung ist der laststromabhängige Spannungsabfall der Gleichspannung am Siebwiderstand, um den sich die Ausgangsspannung verringert. Bei größeren Strömen oder großen Laststromänderungen verwendet man deshalb eine LC-Siebschaltung. Noch bessere Ergebnisse hinsichtlich der Brummspannung erreicht man mit elektronischen Sieb- und Stabilisierungsschaltungen.

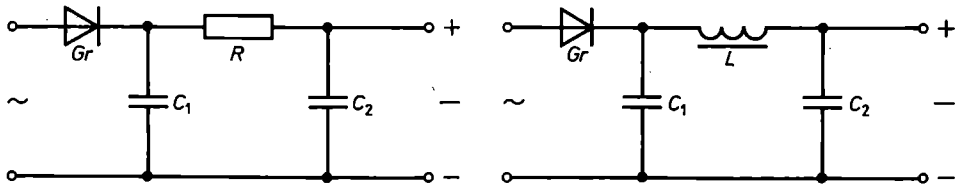


Bild 48/1 RC- und LC-Siebschaltung

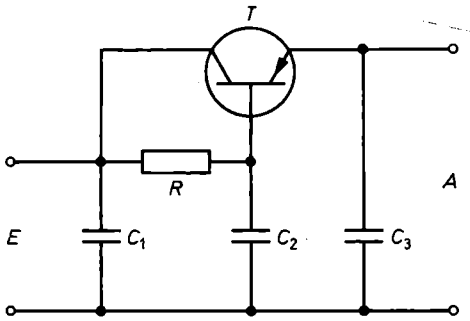


Bild 49/1 Transistorsiebschaltung

Ein wesentlicher Vorteil der elektronischen Siebschaltung (↑ Bild 49/1) ist, daß der Siebwiderstand nur von einem Bruchteil des Laststromes durchflossen wird und somit der Gleichspannungsabfall am Siebwiderstand klein ist. Der Siebfaktor vergrößert sich um den Stromverstärkungsfaktor B des Transistors (↑ Abschnitt 5.4.). Der Kondensator C_3 wirkt der Änderung der Ausgangsspannung bei plötzlichen Laststromänderungen, wie sie beim Betrieb von NF-Verstärkern z. B. ständig auftreten, entgegen.

4.2.3. Stabilisierung von Gleichspannungen

Beim Betrieb elektronischer Geräte machen sich mitunter Schwankungen der Betriebsspannung, hervorgerufen durch Schwankung der Versorgungsspannung, störend bemerkbar. Zur Spannungsstabilisierung werden in erster Linie Z-Dioden eingesetzt.

Z-Dioden werden stets in Sperrichtung oberhalb der Z-Spannung betrieben (↑ Bild 44/1). In diesem Kennlinienabschnitt haben geringe Spannungsänderungen große Änderungen des Diodenstromes zur Folge. Der Stabilisierungseffekt wird durch die Umkehr der Aussage erklärt. Trotz unterschiedlicher Diodenströme, die z. B. durch Schwanken der Versor-

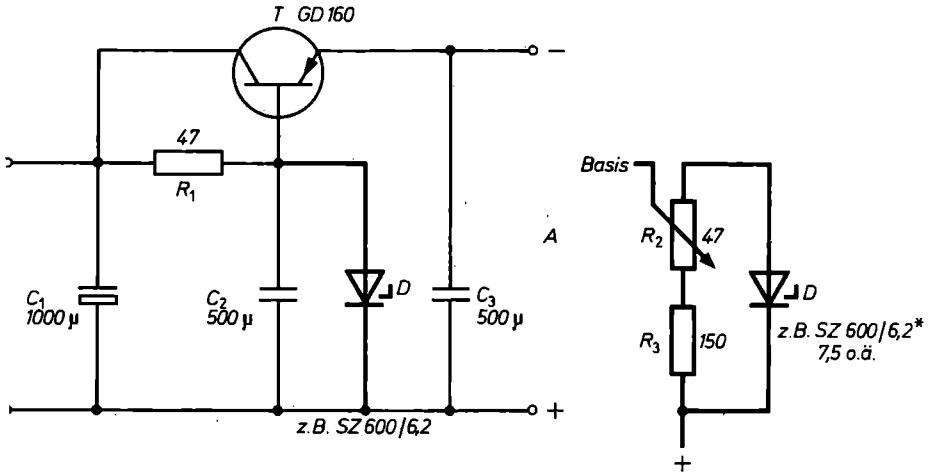


Bild 49/2 Sieb- und Stabilisierungsbaustein

*je nach gewünschter Maximalspannung

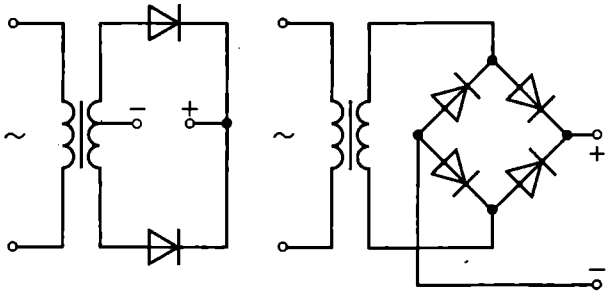


Bild 50/1
Zweiweggleichrichtung
a Gegentaktschaltung
b Brückenschaltung

gungsspannung hervorgerufen werden, bleibt der Spannungsabfall an der Diode annähernd konstant.

9 ▼ Untersuchen Sie die Schaltungen zur Stabilisierung von Gleichspannungen! (↑ [1], E 45, E 46)

Vorteilhaft ist die Kombination der Schaltung zur Stabilisierung mit einer Transistor-Siebschaltung (↑ Bild 43/2), die dadurch erreicht wird, daß dem Kondensator C_2 eine Z-Diode parallel geschaltet wird. Durch zusätzliches Einfügen eines Spannungsteilers erhält man einen Sieb- und Stabilisierungsbaustein mit einstellbarer Ausgangsspannung. Die maximale Ausgangsspannung entspricht etwa der Z-Spannung der verwendeten Z-Diode.

4.2.4. Zweiweggleichrichtung

Den Nachteil der Einweggleichrichtung, daß nur in einer Halbperiode ein Strom fließt und die sich daraus ergebende große Brummspannung, vermeidet die Zweiweggleichrichtung.

In industriellen Geräten wird häufig die Schaltung nach Bild 50/1a angewendet. Sie kommt mit zwei Gleichrichterdioden aus, dafür wird ein spezieller Transformator mit Mittelanzapfung benötigt. Die Schaltung nach Bild 50/1b, die Brücken- oder Graetzschaltung läßt sich mit einem Transformator mit einfacher Sekundärwicklung betreiben, es sind aber vier Gleichrichterdioden notwendig.

5. Verstärkung von Gleich- und Wechselspannungen

In der Elektronik werden elektrische Signale (Spannungen, Ströme) verarbeitet. Neben der Umformung (u. a. Änderung des zeitlichen Verlaufs) sind diese Spannungen und Ströme für die verschiedensten Zwecke zu verstärken.

Bis etwa Mitte dieses Jahrhunderts wurden dafür fast ausschließlich Elektronenröhren verwendet. Heute erfüllen diese Aufgaben zum überwiegenden Teil die Halbleiterbauele-

mente. Den Elektronenröhren sind nur noch wenige spezielle Aufgaben zugeordnet. Die wichtigsten Halbleiter-Verstärker-Bauelemente sind die Transistoren. Während in der Vergangenheit vorwiegend Einzeltransistoren in den Schaltungen eingesetzt wurden, ersetzt man heute ganze Geräteteile durch integrierte Schaltkreise. Grundelemente dieser Schaltkreise sind ebenfalls Transistoren. Mit diesen Schaltkreisen können Aufgaben gelöst werden, die noch vor etwa 20 Jahren undenkbar waren. Als ein Beispiel soll nur der elektronische Taschenrechner erwähnt werden (↑ Abschnitt 1).

5.1. Aufbau und Wirkungsweise von Transistoren

Transistoren sind Halbleiterbauelemente mit zwei eng beieinanderliegenden pn-Übergängen (↑ Abschnitt 4.1).

Je nach Dotierung liegt die Zonenfolge pnp oder npn vor (↑ Bild 51/1).

Neben den hier angeführten sogenannten bipolaren Transistoren werden noch Transistoren hergestellt, die auf ganz anderen Prinzipien beruhen, die sogenannten Feldeffekttransistoren. Die meisten der heute hergestellten Transistoren sind Si-npn-Typen. Deshalb erfolgt die vereinfachte Beschreibung der Vorgänge im Transistor für npn-Typen. Diese Überlegungen gelten analog auch für pnp-Typen.

In den Experimenten werden neben Ge-pnp-Typen auch Si-npn-Typen verwendet.

Für sich betrachtet, haben die pn-Übergänge eines Transistors Eigenschaften einer Halbleiterdiode. Die besonderen Eigenschaften eines Transistors treten erst im Zusammenwirken der Vorgänge in den drei Zonen und den dazugehörigen Grenzschichten auf. Aus dem Gesagten geht hervor, daß einzelne Transistorstrecken wie Halbleiterdioden eingesetzt werden können, die Basis-Emitter-Diode von Si-Transistoren eignet sich nicht selten als Z-Diodenersatz.

1 ▼ Untersuchen Sie das elektrische Verhalten eines Transistors! (↑ [1], E 48)

2 ▼ Wiederholen Sie das Experiment 1 mit einem npn-Transistor! Vergleichen Sie das Verhalten von pnp und npn-Transistoren!

3 ▼ Nehmen Sie die Kennlinie der Basis-Emitter-Diode eines Si-npn-Transistors auf!

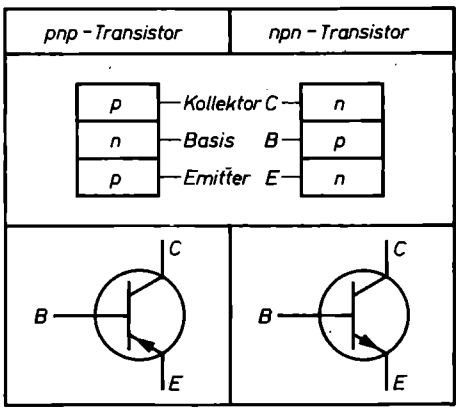


Bild 51/1
Aufbau und Schaltsymbole des Transistors

- Stellen Sie fest, ob sich die Basis-Emitter-Diode des im Experiment 3 untersuchten Transistors als Z-Diode verwenden läßt! Begründen Sie Ihre Meinung!
- Überlegen Sie, ob bei offener Basis (Basisanschluß nicht angeschlossen) ein Strom vom Emitter zum Kollektor fließen kann! Gehen Sie von Ihren Kenntnissen über Durchlaß- und Sperrichtung von Halbleiterdioden aus (↑ S. 43f.), wenden Sie diese Kenntnisse auf die Darstellung im Bild 51/1 an!

4 ▼ Bestimmen Sie die Kollektorstromstärke eines Transistors bei offener Basis! (↑ [1], E 49)

Verwenden Sie dabei einen Ge- und einen Si-Transistor!

- Vergleichen Sie die Restströme I_{CEO} von Ge- und Si-Transistoren! Welche Ursache hat der Reststrom? (↑ S. 43).

Transistoren werden in elektronischen Schaltungen so betrieben, daß die Basis-Emitter-Diode in Durchlaßrichtung, die Basis-Kollektor-Diode in Sperrichtung geschaltet ist.

- Mit welchem Pol der Spannungsquelle müssen Emitter und Kollektor eines pnp-Transistors bzw. eines npn-Transistors verbunden werden?
- Begründen Sie mit Hilfe der Diodenkennlinie (↑ Bild 43/4), daß man zwischen Emitter und Basis nur eine kleine, zwischen Kollektor und Basis dagegen eine viel größere Spannung anlegen kann!
- Nennen Sie die Größenordnung der Basis-Emitter-Spannung eines Transistors, und begründen Sie Ihre Antwort!
- Nachdem das Verhalten der Diodenstrecken eines Transistors bei offenem drittem Anschluß untersucht wurde, (↑ Experimente 1, 2, 3, 4) sollen jetzt beide Diodenstrecken gleichzeitig an Spannungsquellen angeschlossen werden. Nach den bisherigen Erkenntnissen ist zu erwarten, daß, vom Reststrom abgesehen, kein Strom vom Emitter zum Kollektor fließt.

5 ▼ Untersuchen Sie die Verstärkerwirkung eines Transistors in Emitterschaltung! (↑ [1], E 50)

Messen Sie den Basisstrom!

Ergebnis

Werden an einen Transistor Spannungen so angelegt, daß die Basis-Emitter-Strecke in Durchlaßrichtung und die Basis-Kollektor-Strecke in Sperrichtung gepolt ist, so fließt ein Basisstrom und ein Kollektorstrom.

Der Kollektorstrom ist um ein Vielfaches größer als der Basisstrom.

6 ▼ Untersuchen Sie den Einfluß eines Basisvorwiderstandes bei einem in Emitterschaltung geschalteten Transistor! (↑ [1], E 51)

Messen Sie zusätzlich den Basisstrom!

Stellen Sie die Funktion $I_C = f(I_B)$ in einem Diagramm dar!

Ergebnis

Eine kleine Änderung des Basisstromes ist Ursache einer großen Änderung des Kollektorstromes I_C, d. h. man kann den Kollektorstrom I_C mit dem Basisstrom I_B steuern.

Die Tatsache, daß trotz der in Sperrichtung geschalteten Basis-Kollektor-Diode ein Kollektorstrom fließen kann, wenn ein Basisstrom fließt, soll mit folgender, stark vereinfachter Darstellung für den npn-Transistor erklärt werden.

Werden die im Bild 53/1 dargestellten Spannungen an den Transistor angelegt, so ist

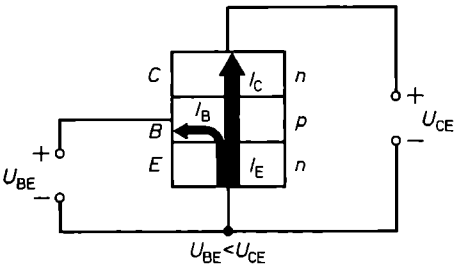


Bild 53/1 Ströme im Transistor

die Basis-Emitter-Diode in Durchlaßrichtung, die Basis-Kollektor-Diode in Sperrichtung gepolt. Vom Emitter aus dringen Elektronen in die sehr schmale und zusätzlich schwach dotierte Basis ein. Die Basis wird gewissermaßen mit Elektronen überschwemmt. Die Zahl der vorhandenen Defektelektronen reicht bei weitem nicht aus, um die in die Basis eingedrungenen Elektronen aufzunehmen. Im Basisgebiet wirken auf die Elektronen keine Kräfte, sie bewegen sich geradlinig gleichförmig. Die meisten Elektronen gelangen deshalb in die Basis-Kollektor-Grenzschicht, hier werden sie unter dem Einfluß eines starken elektrischen Feldes (große Spannung zwischen Basis und Kollektor) beschleunigt und gelangen schließlich in das Kollektorgebiet. Von hier fließen die Elektronen weiter zum positiven Pol der Spannungsquelle.

Die nicht zum Kollektor gelangenden Elektronen müssen aus der Basis entfernt werden, da sonst die Basis zunehmend negativ geladen wird. Dadurch können keine weiteren Elektronen vom Emitter in die Basis einfließen und die Kollektorstromstärke würde ebenfalls Null. Daraus folgt, daß die Anzahl der vom Emitter in die Basis eindringenden Elektronen von der aus der Basis über den Basisanschluß abfließenden Elektronen abhängig ist.

Das Verhältnis der Kollektorstromstärke zur Basisstromstärke bezeichnet man als Stromverstärkungsfaktor eines Transistors.

Es gilt: $B = \frac{I_C}{I_B}$.

Da die Kollektorstromstärke $I_C > I_B$ ist, folgt $B > 1$. (↑ Anhang S. 122, S. 136). Weiterhin gilt $I_E = I_B + I_C$.

5.2. Kennlinien und Kenngrößen eines Transistors

Zur Beschreibung der Eigenschaften von Transistoren dienen, wie auch bei anderen Bauelementen der Elektronik, Kennlinien. Mit einer Kennlinie kann man den Zusammenhang zweier Größen darstellen. Da zur Beschreibung der Eigenschaften eines Transistors mehr Größen notwendig sind, genügt eine Kennlinie nicht, es sind umfangreiche Kennlinienfelder notwendig.

Dazu bedient man sich einer Darstellung in den vier Quadranten des Koordinatensystems. Bei Transistoren ist eine Größe in unterschiedlicher Weise von mehreren anderen Größen abhängig, daraus ergeben sich Kennlinienscharen in den einzelnen Quadranten.

Die Anordnung der Kennlinien erfolgt so, daß mit einfachen grafischen Verfahren zusammengehörige Kenngrößen ermittelt werden können.

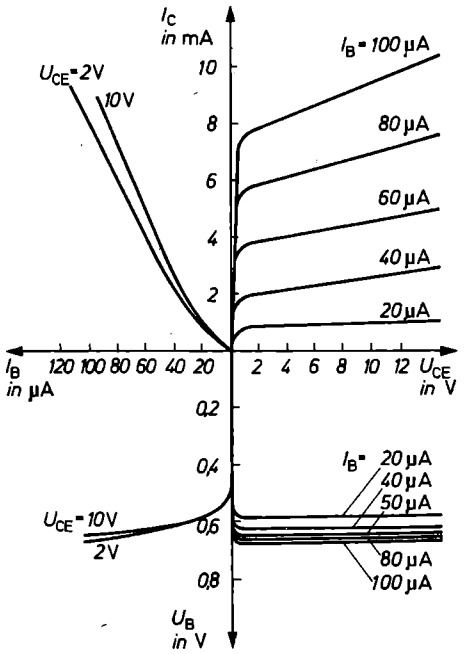


Bild 54/1
Kennlinienfeld des Transistors SC 206

In den einzelnen Quadranten wird folgendes dargestellt:

I. Quadrant: *Ausgangskennlinienfeld*

Das Ausgangskennlinienfeld enthält die für die Dimensionierung einer Transistorstufe wichtigsten Informationen. Es wird der Zusammenhang zwischen der Kollektorspannung U_{CE} und der Kollektorstromstärke I_C für unterschiedliche, konstante Basisströme dargestellt.

II. Quadrant: *Stromübertragungskennlinie*

Für die konstante Kollektorspannung U_{CE} wird der Zusammenhang zwischen der Kollektorstromstärke I_C und der Basisstromstärke I_B dargestellt (↑ Stromverstärkungsfaktor S. 53).

III. Quadrant: *Eingangskennlinie*

Die Darstellung enthält den Zusammenhang zwischen der Basisstromstärke I_B und der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} bei konstanter Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE}.

IV. Quadrant: *Rückwirkungskennlinien*

Unterschiedliche Kollektorspannungen führen bei konstanten Basisströmen zu Veränderungen der Basis-Emitter-Spannung. Diese Spannungsrückwirkung soll in den folgenden Abschnitten unberücksichtigt bleiben.

Die Kennlinienaufnahme erfolgt mit einer Schaltung nach Bild 55/1.

Die Polarität der Spannungen U_1 und U_2 richtet sich nach dem Leitfähigkeitstyp des zu untersuchenden Transistors.

7 ▼ Nehmen Sie das Kennlinienfeld eines Kleinleistungs-Transistors auf!

Bauelemente und Geräte

Spannungsquelle 1,5 V, Spannungsquelle etwa 10 V (z. B. SV 15 – 1,2 – 0,6), 2 Wider-

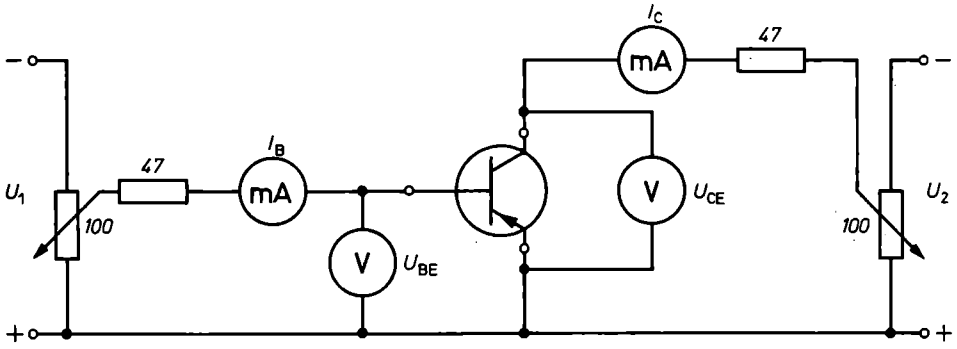


Bild 55/1 Schaltung zur Kennlinienaufnahme von Transistoren

stände etwa 47 Ω, 2 einstellbare Widerstände 100 Ω, Transistorfassung, Transistor, 2 Strommesser, 2 Spannungsmesser.

Durchführung

1. Lassen Sie sich vom AG-Leiter die Grenzwerte des Transistors nennen, die während des Experimentes nicht überschritten werden dürfen!

2. Bereiten Sie Meßwerttabellen und ein Koordinatensystem vor! Tragen Sie in das Koordinatensystem die Verlustleistungskurve ein! Sie erhalten einzelne Punkte dieser Kurve, indem Sie für unterschiedliche Spannungen U_{CE} die zugehörigen Ströme I_C mit Hilfe der Gleichung

$$I_C = \frac{P_{V\,max}}{U_{CE}} \quad \text{berechnen.}$$

3. Bauen Sie die Schaltung nach Bild 55/1 auf!

4. Stellen Sie eine Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} = 1 V, 2 V, ... ein!

5. Stellen Sie, bei Null beginnend, unterschiedliche Basis-Emitter-Spannungen U_{BE} ein, und lesen Sie die zugehörigen Basis- und Kollektorstromstärken ab. Achten Sie dabei darauf, daß die von Ihnen gewählte Spannung U_{CE} konstant bleibt bzw. stellen Sie diese Spannung gegebenenfalls bei jeder Messung nach!

Mit Hilfe dieser Meßwerte können die Eingangskennlinie und die Stromübertragungskennlinie für die gewählte Spannung U_{CE} punktweise in das Koordinatensystem eingetragen werden.

6. Stellen Sie eine bestimmte Basisstromstärke ein, verändern Sie die Spannung U_{CE} und lesen Sie die zugehörigen Werte für I_C ab! Achten Sie besonders darauf, daß I_B konstant bleibt!

Mit Hilfe dieser Meßwerte erhalten Sie eine Ausgangskennlinie.

7. Stellen Sie andere Basisstromstärken I_B ein und nehmen Sie weitere Ausgangskennlinien auf!

8. Achten Sie bei allen Messungen darauf, daß die Grenzwerte der Bauelemente nicht überschritten werden!

Insbesondere gilt das für die Kollektorverlustleistung, alle Meßpunkte müssen unterhalb der Verlustleistungskurve bleiben. Aus diesem Grunde ist es günstig, die Meßwerte sofort in das Koordinatensystem einzutragen.

Auswertung(↑ Bild 54/1)

Alle Kennlinien sind mehr oder weniger nichtlinear, d. h. daß die Eigenschaften von Transistoren u. a. von den anliegenden Spannungen und den fließenden Strömen abhängig sind. Für den Fall, daß sich die Variablen nur geringfügig ändern, kann man in erster Näherung lineares Verhalten annehmen.

Aus dem Kennlinienfeld lassen sich eine Vielzahl von Transistoreigenschaften ablesen.

- Welche Größen erhält man, wenn der Quotient der Variablen in den einzelnen Quadranten gebildet wird?

Aus den Kennlinienfeldern lassen sich folgende Kenngrößen ermitteln:

I. Quadrant: Ausgangswiderstand bzw. Ausgangsleitwert

II. Quadrant: Stromverstärkungsfaktor

III. Quadrant: Eingangswiderstand

- Ermitteln Sie aus dem von Ihnen aufgenommenen Kennlinienfeld bzw. aus Bild 54/1 für bestimmte, vom AG-Leiter genannte Betriebsbedingungen (z. B. U_C, I_B) den Eingangswiderstand, den Stromverstärkungsfaktor und den Ausgangswiderstand!

Wie verhalten sich diese Größen, wenn sich die Betriebsbedingungen ändern?

Die von Ihnen errechneten Kenngrößen eines Transistors gelten nur für einen bestimmten Kennlinienpunkt, es handelt sich um statische Größen, die u. a. bei der Anwendung des Transistors als Schalter sehr wichtig sind. Liegt an der Basis zusätzlich eine Wechselspannung, so ändern sich die Betriebsbedingungen laufend. Anstelle der statischen Größen müssen deshalb dynamische Größen eingesetzt werden.

5.3. Arbeitspunkt und seine Einstellung

Für die Funktion einer Transistorstufe ist das Einstellen eines Arbeitspunktes ausschlaggebend. Man versteht darunter das Einstellen einer bestimmten Kollektorstromstärke I_C bei einer bestimmten Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE}.

Im Ausgangskennlinienfeld läßt sich der Arbeitspunkt durch einen Punkt AP angeben (↑ Bild 57/1).

Bei der Wahl des Arbeitspunktes sind hauptsächlich die Betriebsspannung, die Kollektorstromstärke und der Außenwiderstand von Interesse. Zwei dieser Größen sind in gewissen Grenzen frei wählbar, die dritte Größe wird mit der Wahl der beiden anderen eindeutig festgelegt. Bei der Wahl der Betriebsspannung ist die maximale Kollektor-Emitter-Spannung U_{CEmax} zu beachten, bei der Wahl des Außenwiderstandes R_A muß die maximale Kollektorstromstärke I_{Cmax} berücksichtigt werden.

Eine sehr übersichtliche Darstellung der Verhältnisse ergibt sich durch das Einzeichnen der Außenwiderstandsgeraden in das Ausgangskennlinienfeld des Transistors.

Man geht dabei von folgenden vereinfachten Überlegungen aus: Wenn die Kollektorstromstärke I_C Null ist, ist die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} gleich der Betriebsspannung U_B. Damit erhält man nach Wahl des Basisstromes I_B den Punkt 1 (↑ Bild 57/1).

Verbindet man nun den Punkt 1 mit dem Arbeitspunkt AP durch eine Gerade, so schneidet die Verlängerung dieser Geraden über den Punkt AP hinaus die I_C-Achse im Punkt 2.

Für den sich im Punkt 2 ergebenden Strom ist die Spannung U_{CE} gleich Null.

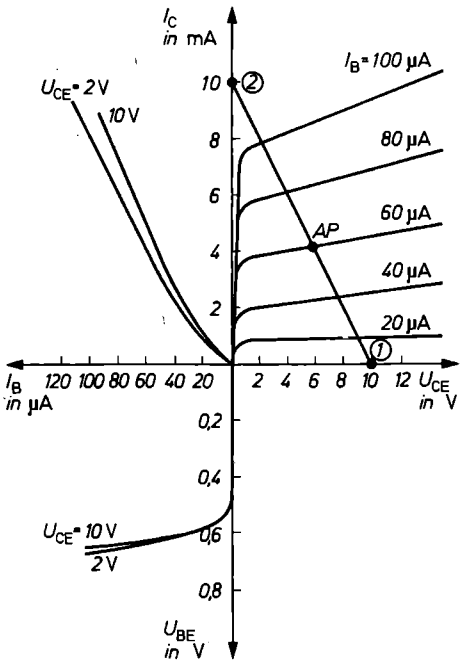


Bild 57/1
Arbeitspunkt und Widerstandsgerade

Damit liegt die Größe des Außenwiderstandes mit

$$R_A = \frac{U_B}{I_C} \quad \text{fest.}$$

In Verstärkerschaltungen wählt man den Arbeitspunkt häufig so, daß die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} etwa halb so groß ist, wie die Betriebsspannung (Prinzip der halben Speisespannung). Zum Einstellen der Kollektorstromstärke I_{CAP} im Arbeitspunkt und damit der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} ist eine Basistromstärke I_B notwendig, die auf der I_B-Achse der Stromübertragungskennlinie (II. Quadrant) abgelesen werden kann. Die zugehörige Basis-Emitter-Spannung U_{BE} ist der U_{BE}-Achse der Eigangskennlinie zu entnehmen (II. Quadrant) (↑ Bild 57/1)

- Ermitteln Sie aus Bild 57/1 folgende Größen: U_B, I_{Cmax}, U_{CE} und I_C im Arbeitspunkt, R_A, I_B und U_{BE} im Arbeitspunkt!
- Ermitteln Sie den Arbeitspunkt nach dem Prinzip der halben Speisespannung für $R_A = 2\,k\Omega$ und $U_B = 12\,V$!
  Berechnen Sie dazu zunächst $I_{C\,max}$, zeichnen Sie die Widerstandsgerade und lesen Sie die Kollektorstromstärke I_{CAP} für $\frac{U_B}{2}$ ab!
- Berechnen Sie die zum Einstellen des Arbeitspunktes notwendige Basisstromstärke für einen Transistor mit einem Stromverstärkungsfaktor $B = 120$!
- Berechnen Sie für den in Bild 57/1 dargestellten Transistor den Stromverstärkungsfaktor im Arbeitspunkt!
- Wie ändert sich der Stromverstärkungsfaktor, wenn ein größerer (kleinerer) Kollektorstrom fließt?

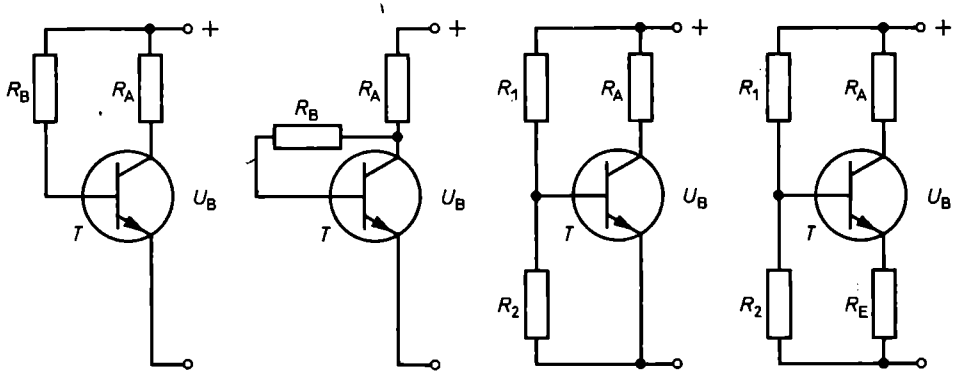


Bild 58/1
Arbeitspunkteinstellung
a durch Basisvorwiderstand
b durch Basisvorwiderstand mit Spannungsgegenkopplung
c durch Spannungsteiler
d durch Spannungsteiler und Stromgegenkopplung

Die zum Einstellen einer bestimmten Kollektorstromstärke I_{CAP} notwendige Basisstromstärke (bzw. die zugehörige Basisspannung) kann auf unterschiedliche Weise erzeugt werden. Die gebräuchlichsten Schaltungen sind im Bild 58/1 dargestellt.

Bei der Schaltung nach Bild 58/1a wird der Basis über R_B der Strom I_B zugeführt. Wenn $U_B \gg U_{BE}$ gilt: $I_B = \frac{U_B}{R_B}$.

Da die zum Einstellen des Arbeitspunktes notwendige Basisstromstärke vom Stromverstärkungsfaktor des Transistors abhängig ist, muß der Widerstand R_B für jeden Transistor gesondert ermittelt werden. Wesentlicher Nachteil dieser Schaltung ist, daß sich beim Schwanken der Betriebsspannung und beim Ändern der Temperatur der Arbeitspunkt verschiebt.

Bei der Schaltung nach Bild 58/1b ist der Basisvorwiderstand nicht mit der Betriebsspannung U_B sondern mit dem Kollektor des Transistors verbunden. Damit ist die Basisstromstärke von der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} abhängig.

- Überlegen Sie, wie sich die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} und damit die Basisstromstärke I_B ändern, wenn die Kollektorstromstärke I_C auf Grund einer Temperaturerhöhung ansteigt?

Welche Wirkung hat die sich ändernde Basisstromstärke auf die Kollektorstromstärke?

Gemeinsames Merkmal der Schaltungen 58/1b und 58/1d ist eine Verringerung der Verstärkung durch Gegenkopplung. Den Verstärkungsverlust nimmt man in Kauf, denn dieser Nachteil wird durch eine Reihe von Vorteilen aufgehoben. Die Stabilisierung des Arbeitspunktes wurde bereits erwähnt. Weiterhin verringert sich durch eine Gegenkopplung der Klirrfaktor, der Frequenzgang (↑ S. 71) wird linearisiert, bzw. man kann durch geeignete Gegenkopplungsschaltungen den Frequenzgang der konkreten Aufgabenstellung anpassen. Weiterhin wird erreicht, daß Änderungen der Betriebsspannung oder der Kennwerte der Bauelemente nur geringen Einfluß auf die Eigenschaften des Verstärkers haben.

Prinzip jeder Gegenkopplung ist es, einen Teil der Ausgangsenergie auf den Eingangskreis so zurückzuführen, daß diese der Eingangsenergie entgegenwirkt.
In Bild 58/1b wird ein Teil der Kollektor-Emitter-Spannung über den Widerstand R_B auf die Basis zurückgeführt, man spricht von einer Spannungsgegenkopplung.

Dagegen ist in Schaltung 58/1d der Emitterstrom die Ursache für den Spannungsabfall am Emitterwiderstand, der zu einer Verringerung der wirksamen Basis-Emitter-Spannung führt. Diese Art der Gegenkopplung nennt man Stromgegenkopplung. Die Stromgegenkopplung in Bild 58/1d kann in Wechselstromkreisen dadurch unwirksam gemacht werden, daß man dem Emitterwiderstand einen Kondensator parallel schaltet, dessen Wechselspannungswiderstand wesentlich kleiner ist als der Widerstand R_E. Die Stabilisierung des Arbeitspunktes wird dadurch nicht beeinflußt, die Verstärkung erreicht aber den Wert ohne Gegenkopplung, da der Emitterwiderstand für Wechselspannungen nicht wirksam ist.

Eine andere Möglichkeit der Arbeitspunkteinstellung zeigen die Bilder 58/1c und 58/1d.

Hier wird der Basis über einen an der Betriebsspannung liegenden Spannungsteiler die Spannung U_{BE} zugeführt.

In der industriellen Schaltungstechnik wird häufig die Schaltung nach Bild 58/1d angewendet.

Der Emitterwiderstand R_E bewirkt bei unterschiedlichen Stromverstärkungsfaktoren sowohl eine Temperaturstabilisierung als auch eine Arbeitspunktstabilisierung. Dadurch ist es bei geeigneter Dimensionierung nicht notwendig, den Arbeitspunkt jeder Transistorstufe individuell einzustellen, wenn Transistoren der gleichen Stromverstärkungsgruppe verwendet werden. (↑ Anhang S. 122) Im Interesse einer wirksamen Stabilisierung sollte der Widerstand R_E möglichst groß sein. Dem sind dadurch Grenzen gesetzt, daß an diesem Widerstand ein Teil der Betriebsspannung abfällt und sich die Verstärkung verringert.

Eine ausreichende Stabilisierung erhält man, wenn der Spannungsabfall am Emitterwiderstand R_E etwa 10% der Betriebsspannung beträgt. Damit gilt: $5\ R_E \leqq R_A \leqq 10\ R_E$.

Nach Festlegen der Betriebsspannung U_B und Wahl der Kollektorstromstärke I_C ist der Widerstand R_A festgelegt. Damit läßt sich der Emitterwiderstand R_E wählen.

Wenn der Emitterwiderstand R_E bekannt ist, kann der Basis-Spannungsteiler berechnet werden.

Der Strom, der durch den unbelasteten Spannungsteiler fließt, soll etwa das Dreifache der für die Arbeitspunkteinstellung notwendigen Basisstromstärke betragen. $I_T = 3 \cdot I_B$.

Der Spannungsabfall am Widerstand R_2 muß gleich der Summe aus U_{BE} und dem Spannungsabfall U_E am Emitterwiderstand sein.

Damit ergibt sich für $R_2 = \dfrac{U_E + U_{BE}}{I_T}$.

Am Widerstand R_1 tritt der Spannungsabfall $U_B - (U_{BE} + U_E)$ auf. Außer dem Teilerstrom fließt durch R_2 noch der Basisstrom. Es gilt daher $R_1 = \dfrac{U_B - (U_{BE} + U_E)}{I_T + I_B}$.

5.4. Transistor als Verstärker

5.4.1. Gleichstromverstärker

Der Quotient aus der Änderung der Ausgangsgröße und der Änderung der Eingangsgröße ist die Verstärkung einer Größe.

8 ▼ Untersuchen Sie die Anwendung des Transistors als elektronischer Schalter! (↑ [1], E 53)
Schalten Sie zusätzlich zum Widerstand im Basisstromkreis eine Glühlampe in Reihe!
Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten der beiden Glühlampen!

9 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 60/1 auf und ermitteln Sie die Stromverstärkung, die Spannungsverstärkung und die Leistungsverstärkung!

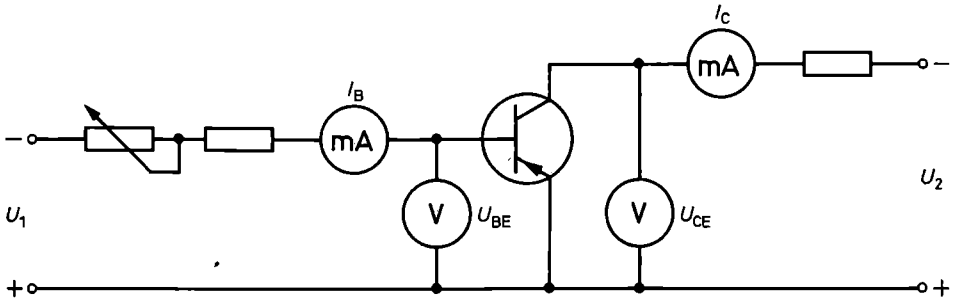


Bild 60/1 Gleichstromverstärker in Emitterschaltung

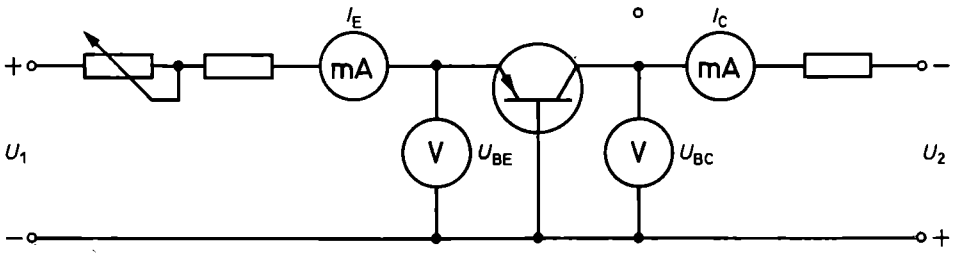


Bild 60/2 Gleichstromverstärker in Basisschaltung

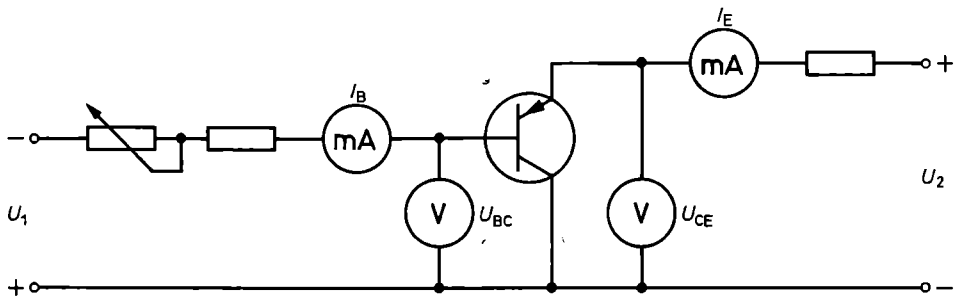


Bild 60/3 Gleichstromverstärker in Kollektorschaltung

10 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 60/2 auf und ermitteln Sie die Stromverstärkung, die Spannungsverstärkung und die Leistungsverstärkung!

11 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 60/3 auf und ermitteln Sie die Stromverstärkung, die Spannungsverstärkung und die Leistungsverstärkung!

Berechnen und vergleichen Sie die Eingangs- und Ausgangswiderstände der Transistoren in den drei Grundschaltungen! (↑ Experimente 9, 10 und 11)

Übersicht: Eigenschaften der Transistorgrundschaltungen

	Emitterschaltung	Basisschaltung	Kollektorschaltung
Stromverstärkung	10 . . . 500	1	10 . . . 500
Spannungsverstärkung	groß	groß	1
Leistungsverstärkung	sehr groß	groß	klein
Eingangswiderstand	klein	sehr klein	groß
Ausgangswiderstand	groß	sehr groß	sehr klein
Grenzfrequenz		größer als in Emitter- und Kollektorschaltung	
Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung	180°	0°	0°

Die mit Hilfe der Experimente 9, 10 und 11 ermittelten Eingangs- und Ausgangswiderstände sind Gleichstromwiderstände. Sie können aus dem Quotienten von anliegender Spannung und fließendem Strom ermittelt werden.

Die Gleichstromwerte unterscheiden sich z. T. sehr wesentlich von den Wechselspannungswiderständen, die als Quotient der Spannungsänderung und der Stromänderung definiert sind. Alle diese Widerstände sind von dem Arbeitspunkt abhängig, bei dem sie gemessen werden.

In Bild 62/1 wird dargestellt, wie man diese Widerstände mit Hilfe des Kennlinienfeldes ermitteln kann.

In den folgenden Experimenten sollen einfache Anwendungen des Transistors als Gleichstromverstärker untersucht werden.

12 ▼ Untersuchen Sie das Temperaturverhalten einer Halbleiterdiode! (↑ [1], E 42)

13 ▼ Entwerfen Sie auf der Grundlage von Experiment 12 eine Meßschaltung, die es ermöglicht, kleine Ströme, insbesondere Restströme von Si-Transistoren zu messen!

Geben Sie ein Verfahren an, mit dem aus dem gemessenen Strom der Reststrom berechnet werden kann!

14 ▼ Messen Sie die Restströme I_{CEO} verschiedener Si-Transistoren! Beachten Sie dabei, daß für den Verstärkertransistor ein Exemplar mit sehr geringem Reststrom verwendet werden muß, günstig ist auch hier ein Si-Transistor!

Achten Sie auf richtige Polung der Spannungsquelle!

Welchen Einfluß hat der Stromverstärkungsfaktor des Verstärkertransistors auf den Meßbereich?

15 ▼ Entwerfen Sie eine Experimentieranordnung zur elektrischen Messung von Temperaturen!

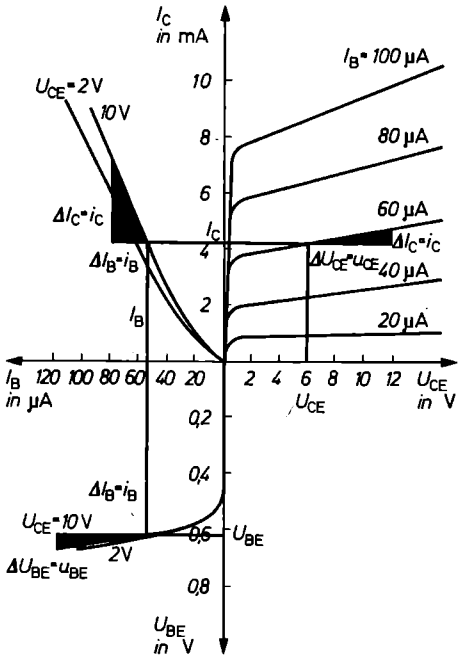


Bild 62/1
Ermittlung von Stromverstärkung, Eingangs- und Ausgangswiderstand eines Transistors mit Hilfe des Kennlinienfeldes

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

$$R_{ein} = \frac{U_{BE}}{I_B}; \quad R_{aus} = \frac{U_{CE}}{I_C}$$

$$r_{ein} = \frac{u_{BE}}{i_B}; \quad r_{aus} = \frac{u_{CE}}{i_C}$$

Gehen Sie dabei davon aus, daß diese Anordnung im Physikunterricht der Klassen 6 und 8 eingesetzt werden soll!

Als Meßgerät soll ein Demonstrations-Drehspul-Instrument vom Typ DSD verwendet werden. Beachten Sie bei Ihrer Planung, daß es neben den Halbleiterdioden auch andere Bauelemente gibt, deren Kennwerte von der Temperatur abhängig sind. Untersuchen Sie unterschiedliche Bauelemente hinsichtlich der Eignung für diese Aufgabe. Fertigen Sie eine Temperaturskale für das Meßgerät an!

Die bisher betrachteten Meßschaltungen besitzen einige störende Eigenschaften. Auf Grund des stets fließenden Kollektorreststromes I_{CEO} ist eine exakte Nullpunkteinstellung nicht möglich, weiterhin bereitet die Einstellung des Vollausschlages Schwierigkeiten. Schließlich sei noch auf die Temperaturabhängigkeit der Transistoreigenschaften verwiesen, dadurch ergeben sich mitunter erhebliche Meßfehler.

Eine Schaltung, die eine stromunabhängige Nullpunkteinstellung gestattet, ist die Brükkenschaltung (↑ LB Ph Kl. 8, S. 94f., Anhang S. 133).

Für $R_1:R_2 = R_3:R_4$ gilt $U_1 = U_3$ und $U_2 = U_4$. Damit ist zwischen den Punkten A und B kein Spannungsunterschied vorhanden, der Strom durch das Instrument ist demzufolge Null, die Brücke befindet sich im Gleichgewicht. Ändert sich einer der vier Widerstände, so tritt zwischen den Punkten A und B eine Spannung auf, und durch das Instrument fließt ein Strom.

16
▼ Untersuchen Sie das elektrische Verhalten einer Brückenschaltung! (↑ [1], E 7)

● Ermitteln Sie im Bild 63/1 die Richtung des fließenden Stromes durch das Instrument, wenn nach Einstellen des Brückengleichgewichts einmal der Widerstand R_2, ein andermal der Widerstand R_4 verkleinert wird (Regelwiderstand 100 Ω entspricht R_1, R_2)!

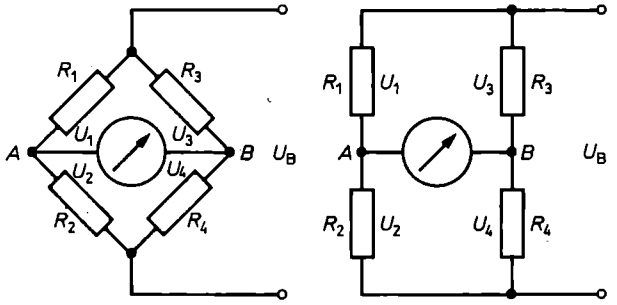


Bild 63/1
Brückenschaltung

17
▼ Entwickeln Sie ein Experiment, mit dessen Hilfe Sie die Antwort zur Aufgabenstellung experimentell überprüfen können! Entwickeln Sie dazu zunächst eine geeignete Schaltung, verwenden Sie zwei Regelwiderstände 100 Ω und zwei Widerstände 47 Ω! Verwenden Sie nach Möglichkeit ein Meßinstrument mit Ruhestellung des Zeigers in Skalenmitte, z. B. Polytest 1 mit eingelegtem galvanischem Element!

Ersetzt man z. B. den Widerstand R_2 durch die Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors, so erhält man die Anordnung nach Bild 64/1.

Anstelle des Widerstandes R_2 wirkt jetzt der arbeitspunktabhängige Ausgangswiderstand des Transistors.

● Welche Aufgaben haben die Widerstände R_1 und R_2?

Nach Einstellen des Arbeitspunktes kann durch Ändern eines der drei Brückenwiderstände, z. B. R_3, das Brückengleichgewicht eingestellt werden.

Die wesentlichen Nachteile der Schaltung nach Bild 64/1 sind die Abhängigkeit der Anzeige von der Temperatur und von der Betriebsspannung. Mit dem Ändern der Betriebsspannung ändert sich auch die Spannung zwischen den Punkten A und B, da der Kollektorstrom des Transistors nur in geringem Maße von der Kollektorspannung abhängig ist. Bei Erhöhen der Betriebsspannung wirkt sich also ein Vergrößern des Widerstandes der Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors aus.

Dieser Einfluß kann dadurch verhindert werden, daß man den Widerstand R_4 ebenfalls durch einen (datengleichen) Transistor ersetzt (↑ Bild 64/1). Diese Schaltung nennt man Differenzverstärker. Dieser Begriff stammt aus der Rechentechnik. Differenzverstärker sind Bestandteile von Operationsverstärkern, mit deren Hilfe Spannungen durch bestimmte mathematische Operationen verknüpft werden können.

● Weisen Sie nach, daß bei einem Differenzverstärker nur dann zwischen den Punkten A und B eine Spannung auftritt, wenn sich die Eingangsspannungen U_1 und U_2 um eine Spannungsdifferenz ΔU unterscheiden!

Die Vorteile eines Differenzverstärkers kommen nur dann voll zur Geltung, wenn zwei exakt gleiche Transistoren eingesetzt werden, die außerdem stets gleiche Temperatur haben müssen. Diese Forderungen sind nur schwer erfüllbar, deshalb wird auf Experimente mit Einzeltransistoren verzichtet.

Bild 64/1 zeigt einen Gleichstromverstärker mit Eigenschaften, die für viele praktische Anwendungen ausreichend sind.

Die Brückenschaltung wird gebildet von dem Transistor T und den Widerständen R_3, R_4,

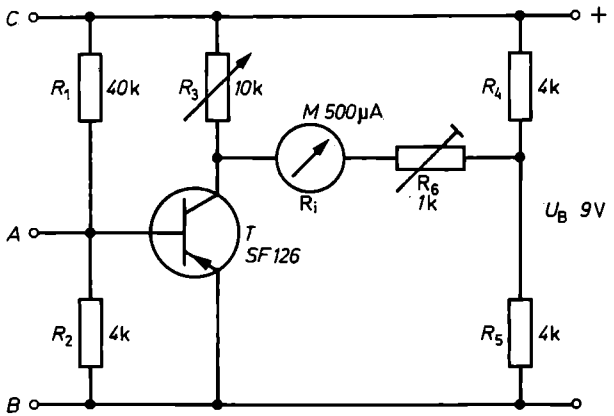


Bild 64/1
Gleichstromverstärker in Brückenschaltung

R_5. Mit den Widerständen R_1 und R_2 kann der Arbeitspunkt des Transistors eingestellt werden. Mit dem Widerstand R_3 wird der Nullpunkt, mit dem Widerstand R_6 wird der Zeigervollausschlag eingestellt. Da sich die Einstellungen gegenseitig beeinflussen, sind sie mehrmals nacheinander zu wiederholen

- Begründen Sie, daß mit R_3 tatsächlich eine Nullpunkteinstellung, mit R_6 eine Einstellung des Vollausschlags möglich ist!

Die Schaltung eignet sich besonders zur Messung kleiner Ströme, mit einem Eingangsspannungsteiler erhält man ein einfaches Transistorvoltmeter.

An den Anschlüssen A und B oder A und C können auch ein Thermistor oder ein Fotowiderstand angeschlossen werden. Man erhält damit Meßgeräte zum Messen der Temperatur bzw. der Helligkeit.

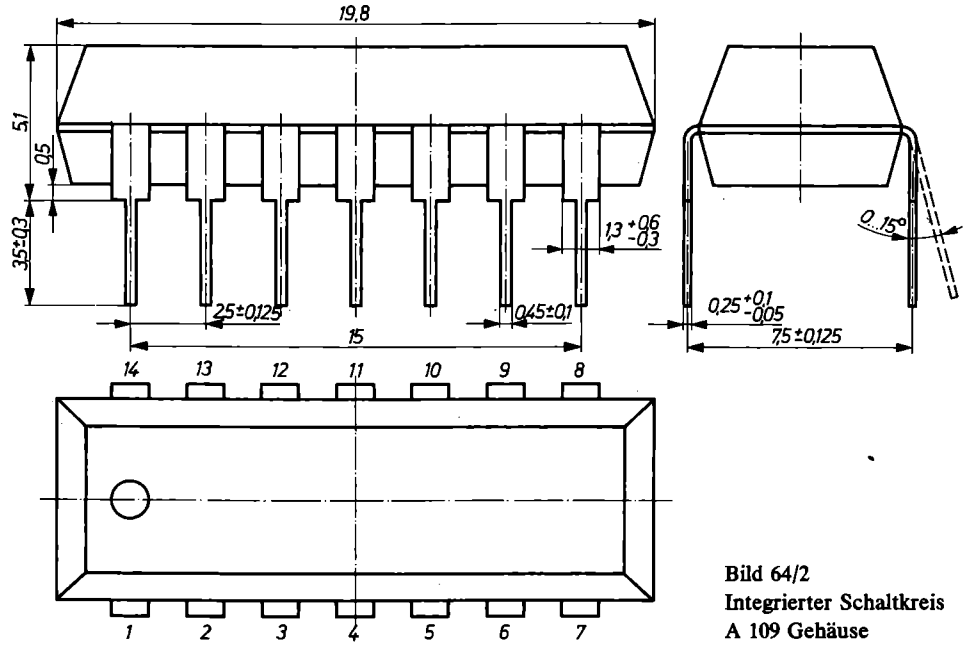
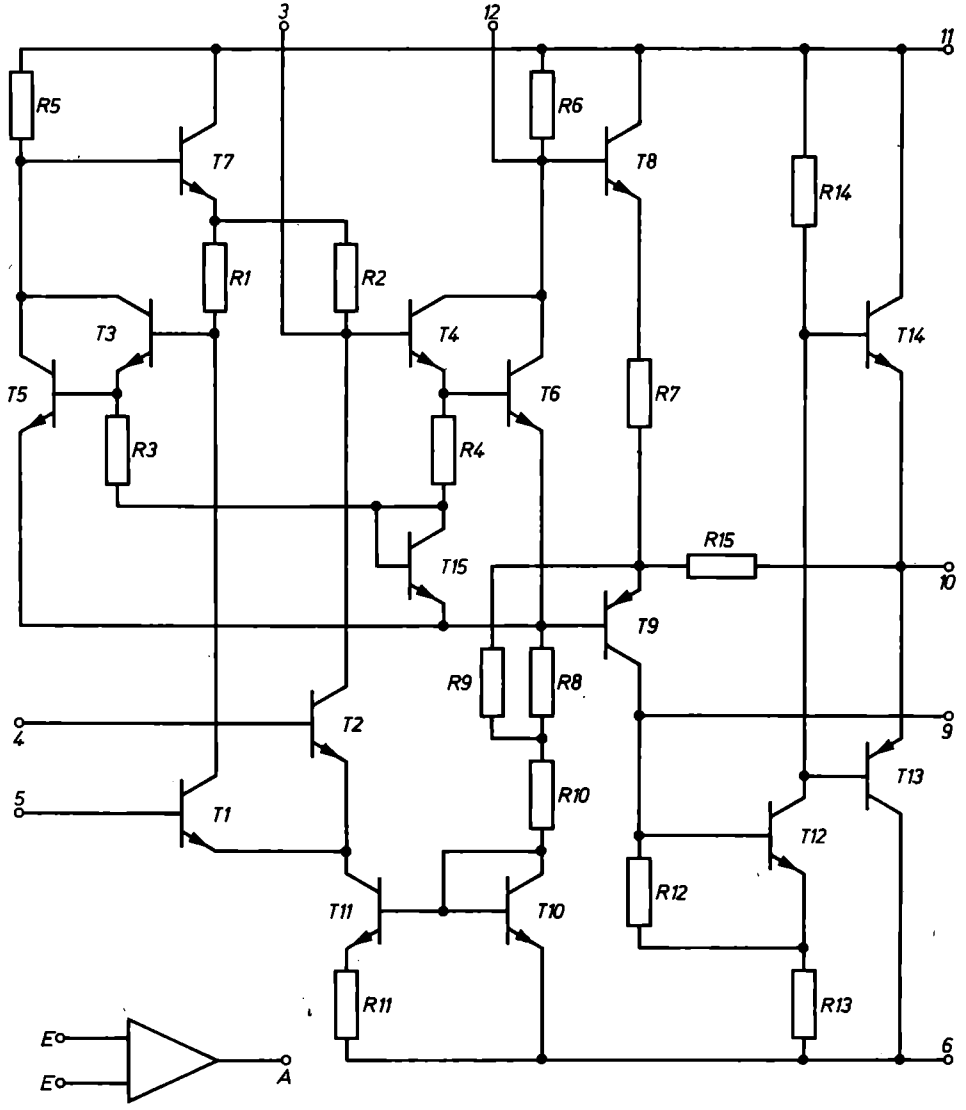


Bild 64/2
Integrierter Schaltkreis A 109 Gehäuse



18 ▼ Bild 65/1 Integrierter Operationsverstärker A 109
Schaltung und Symbol

Bauen Sie eine Schaltung nach Bild 64/1 auf und überlegen Sie, welche Aufgabenstellungen damit gelöst werden könnten!

19 ▼ Untersuchen Sie eine Schaltung zur Temperaturfernmessung! (↑ [2], E 85)

● Welche Aufgabe haben die einzelnen Bauelemente im Experiment 19?

Im Unterschied zu den bisher untersuchten Schaltungen werden beim Experiment 19 zwei Transistoren zur Verstärkung verwendet. Die von Transistor T_1 verstärkte Spannung wird am Kollektor abgegriffen und über eine leitende Verbindung der Basis von Transistor T_2 zugeführt (galvanische Kopplung).

- Überlegen Sie, ob eine Temperaturänderung der Transistoren einen Einfluß auf das Meßergebnis hat! Welche Schlußfolgerungen ergeben sich daraus für die Praxis?

  Bei der galvanischen Kopplung von Transistorstufen ist der Arbeitspunkteinstellung besonderes Augenmerk zu schenken, denn die Kollektor-Emitter-Spannung der ersten Stufe ist Eingangsspannung der folgenden Stufe. Durch geeignete Schaltungsmaßnahmen muß dafür gesorgt werden, daß eine besonders gut wirksame Arbeitspunktstabilisierung erreicht wird.
- Untersuchen Sie die Schaltung aus Experiment 19 hinsichtlich der Arbeitspunktstabilisierung!
- Begründen Sie, weshalb man bei der Arbeitspunkteinstellung der ersten Stufe nicht das Prinzip der halben Speisespannung anwenden kann!
- Welchen Einfluß hätte ein Emitterwiderstand von T_2
  a) auf die Stabilisierung der Schaltung,
  b) auf die Verstärkung,
  c) auf die Wahl des Arbeitspunktes von T_1?
- Begründen Sie, daß die Funktion der Schaltung in hohem Maße vom Sperrwiderstand der Diode abhängig ist!

Stabile Gleichstromverstärker erfordern eine starke Gegenkopplung, die nur geringe Verstärkungen erlaubt. Werden Verstärker mit hoher Verstärkung benötigt, so ist ein großer Aufwand an Bauelementen notwendig. Das Angleichen dieser Verstärker ist zeitaufwendig und kompliziert. Deshalb verwendet man für diese Fälle integrierte Verstärker, sogenannte Operationsverstärker. Vom VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder wird der OPV A 109 (Basteltyp R 109) hergestellt. Dieser Verstärker enthält 13 Transistoren (T_{10} und T_{15} sind als Diode geschaltet) und 15 Widerstände (↑ Bild 65/1).

Operationsverstärker weisen einige Besonderheiten auf, die hier nur z. T. genannt werden können:

1. Zur Spannungsversorgung sind zwei gleich große aber entgegengesetzt gepolte Spannungen notwendig.

2. Es sind zwei Eingänge vorhanden, der invertierende Eingang $\bar{E}$ und der nichtinvertierende Eingang E.

Eine Vergrößerung der Spannung am nichtinvertierenden Eingang führt zu einer Vergrößerung der Ausgangsspannung, wird die Spannung am invertierenden Ausgang vergrößert, so wird die Spannung am Ausgang kleiner.

3. Die Ausgangsspannung kann je nach verwendetem Eingang und je nach Polarität der Eingangsspannung positiv oder negativ sein.

4. Die Eigenschaften des Verstärkers lassen sich durch die äußere Beschaltung in weiten Grenzen verändern.

5. Operationsverstärker können auch als Wechselspannungsverstärker verwendet werden.

Für die praktische Anwendung integrierter Schaltkreise ist die Innenschaltung dieser Schaltkreise von geringem Interesse, deshalb werden integrierte Schaltkreise in Schaltbildern nur durch die entsprechenden Symbole dargestellt (↑ Bild 65/1).

Die mit integrierten Operationsverstärkern theoretisch erreichbare Verstärkung kann praktisch nicht genutzt werden, deshalb wird mit einer starken Gegenkopplung gearbeitet. Dabei ist die Verstärkung nur noch vom Verhältnis zweier Widerstände abhängig (↑ Bild 67/1).

Der in den Bildern 67/1a und 67/1b angegebene Widerstand R_M hat die Aufgabe, für einen

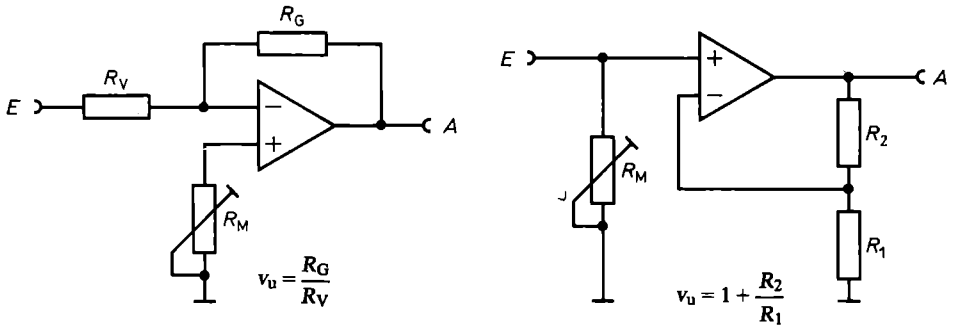


Bild 67/1 Gegenkopplung bei Operationsverstärkern
a) invertierender Betrieb
b) nichtinvertierender Betrieb

Ausgleich von Schaltungsunsymmetrien zu sorgen. Mit ihm kann bei $u_E = 0$, u_A auf Null eingestellt werden. Für den Operationsverstärker A 109 beträgt R_M einige 100 kΩ bis zu einigen MΩ.

Bild 67/2 zeigt einen universell anwendbaren Experimentierbaustein mit dem Operationsverstärker A 109.

Die Dioden D_1 und D_2 schützen die Eingänge vor zu großen Spannungen, die Dioden D_3 und D_4 verhindern falsches Polen der Betriebsspannung. Der Widerstand R_6 begrenzt bei ausgangsseitigem Kurzschluß den Strom. Der aus den Widerständen R_7, R_8 und R_{10} bestehende Spannungsteiler teilt die Versorgungsspannung in die zwei gleichgroßen, entgegengesetzt gepolten Betriebsspannungen, die zum Betrieb des Operationsverstärkers notwendig sind. R_8 dient der Symmetrieeinstellung, damit ist der in den Bildern 67/1a und b angegebene Widerstand R_M entbehrlich.

C_1, R_5 und C_2 erfüllen ebenfalls die Aufgabe der Gegenkopplung.

Für die Kondensatoren gilt: $C_1 = \frac{5}{v_u}\text{nF} > 10\,\text{pF}$; $C_2 = 0{,}04\,C_1 > 3\,\text{pF}$.

R_4 ist der in den Bildern 67/1a und b mit R_2 bzw. R_G bezeichnete Gegenkopplungs-Widerstand. Der Schleifer von R_8 wird mit Masse verbunden.

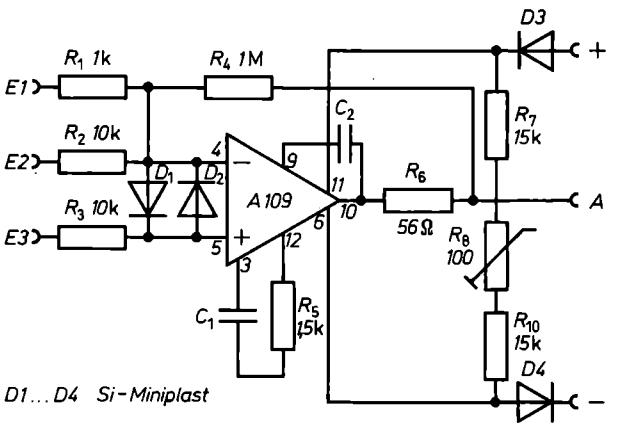


Bild 67/2
Experimentierbaustein mit OPV A 109

Mit der angegebenen Dimensionierung der Widerstände R_1 bis R_4 lassen sich Verstärkungen von 1, 10, 100, 1000 einstellen, wenn die in der folgenden Übersicht angegebenen Verbindungen hergestellt werden.

V_u	E_1	E_2	E_3	Betriebsart
10	E	A	–	invertierend
100	–	E	⊥	invertierend
1000	E	–	⊥	invertierend
1	A	⊥	E	nichtinvertierend
10	⊥	A	E	nichtinvertierend
100	–	⊥	E	nichtinvertierend
1000	⊥	–	E	nichtinvertierend

Zeichenerklärung

E; an diesen Eingang ist die zu verstärkende Spannung anzulegen

A: dieser Eingang ist mit dem Ausgang zu verbinden

—: dieser Eingang bleibt frei

⊥: der Eingang ist mit Masse zu verbinden

● Überprüfen Sie nacheinander alle in der Übersicht getroffenen Aussagen durch Vergleich mit Bild 67/1 und Berechnen der Verstärkung!

20 ▼ Überprüfen Sie die Verstärkung des integrierten Operationsverstärkers A 109 experimentell! Entwickeln Sie dazu zunächst ein einfaches Verfahren zum Bereitstellen und Messen kleiner Eingangsspannungen!

5.4.2. Wechselspannungsverstärker

Wechselspannungsverstärker kann man hinsichtlich der Frequenz der zu verstärkenden Spannung in Niederfrequenzverstärker (Frequenzen bis 20 kHz) und Hochfrequenzverstärker (Frequenzen über 20 kHz) einteilen. Eignet sich ein Verstärker zum Übertragen sehr unterschiedlicher Frequenzen, so spricht man von einem Breitbandverstärker. Nach der zu verarbeitenden Amplitude der Wechselspannung unterscheidet man Kleinsignal- und Großsignalverstärker.

Bei einem Kleinsignalverstärker ist die Amplitude der verstärkten Wechselspannung viel kleiner als die Betriebsspannung, bei einem Großsignalverstärker liegt diese Spannung in der Größenordnung der Betriebsspannung.

Kleinsignalverstärker haben meist die Aufgabe einer möglichst großen Spannungsverstärkung, während es bei Großsignalverstärkern auf die Erzeugung einer großen Ausgangsleistung ankommt. Eine Sonderstellung nehmen die Anpassungs- oder Trennstufen ein. Hier kommt es in erster Linie nicht auf eine große Verstärkung an, sondern es soll der unerwünschte Spannungsabfall am Innenwiderstand der Signalquelle bzw. der Verstärkerstufe sowie die ebenfalls unerwünschte Rückwirkung der Folgestufen auf die vorhergehenden Verstärkerstufen verhindert werden.

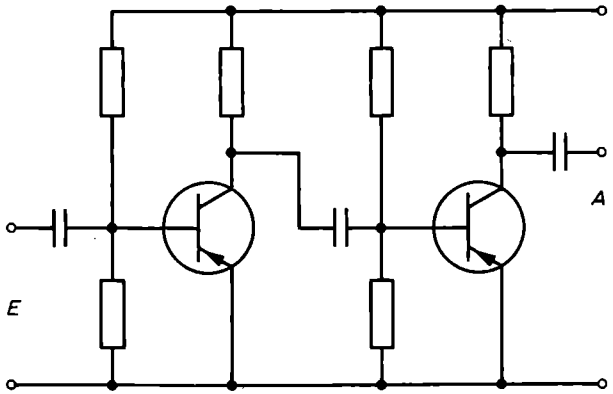


Bild 69/1
NF-Verstärker mit kapazitiver Kopplung

21
▼ Untersuchen Sie eine Leistungsanpassung! (↑ [1], E 8)

Unter welcher Bedingung tritt an R_a maximale Spannung auf?

Unter welcher Bedingung ist der Strom durch R_a maximal?

Grundsätzlich lassen sich Gleichspannungsverstärker bei entsprechender Arbeitspunkteinstellung auch zur Verstärkung von Wechselspannungen einsetzen. Probleme treten allerdings dadurch auf, daß durch die Ohmschen Widerstände der Signalquelle (Mikrofon, Plattenspieler) und des Lautsprechers unerwünschte Gleichströme fließen.

● Begründen Sie, daß ein dem Widerstand R_2 parallelgeschalteter Ohmscher Widerstand einer Signalquelle zu einer Beeinträchtigung der Funktion dieser Verstärkerstufe führt! (↑ Bild 58/1d)

Um diese Einflüsse zu vermeiden, arbeitet man mit einer Kopplung, bei der nur die Wechselspannungsanteile übertragen werden.

Übertrager als Koppelglieder werden häufig bei HF-Verstärkern angewendet, bei NF-Verstärkern haben sie nur bei wenigen speziellen Anwendungen Bedeutung. Ist eine galvanische Kopplung nicht möglich, verwendet man die kapazitive Kopplung.

22
▼ Untersuchen Sie die Anwendung eines Transistors als Wechselspannungsverstärker! (↑ [1], E 54)

Als NF-Generator kann auch der Generator UVG 1 oder eine aus der Netzspannung gewonnene Wechselspannung entsprechender Amplitude verwendet werden.

● Vergleichen Sie die Art der Kopplung zwischen NF-Generator und Verstärker sowie zwischen Verstärker und Kopfhörer!

23
▼ Koppeln Sie den Kopfhörer kapazitiv an den Verstärker an! Hinweis: In der Schaltung nach Experiment 22 bildet der Kopfhörer gleichzeitig den Arbeitswiderstand des Transistors.
Schließen Sie an Stelle des Kopfhörers einen Widerstand $R = 5{,}1\ \text{k}\Omega$ an!
Schließen Sie am Kollektor einen Kondensator $C = 0{,}1\ \mu\text{F}$ an! (↑ Bild 69/1)

Verbinden Sie den Kopfhörer mit dem Kondensator und einmal mit dem Pluspol, zum anderen mit dem Minuspol der Spannungsquelle und vergleichen Sie die Ergebnisse!
Beachten Sie bei diesem und den folgenden Experimenten, daß Schaltungsänderungen mit Arbeitspunktverschiebungen verbunden sein können. Deshalb ist vor jedem Experiment der Arbeitspunkt neu einzustellen!

24
▼ Messen Sie die Leerlauf-Ausgangs-Spannung der Verstärkerstufe aus Experiment 23!

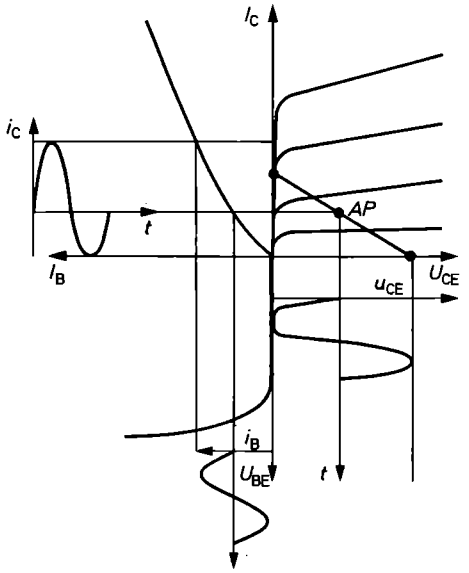


Bild 70/1 Übersteuerung

Schließen Sie dazu anstelle des Kopfhörers einen möglichst hochohmigen Spannungsmesser an!

25 ▼ Messen Sie die maximale Ausgangsleistung!

Gehen Sie dabei analog zum Experiment 21 vor!

Beachten Sie, daß der Koppelkondensator zwischen Transistor und Lastwiderstand bei der von Ihnen verwendeten Frequenz der Wechselspannung einen viel kleineren Widerstand hat als der Lastwiderstand; verwenden Sie gegebenenfalls einen anderen Kondensator, der diese Bedingung erfüllt!

Die in den Experimenten 24 und 25 gemessene Ausgangsspannung und Ausgangsleistung sind von der Eingangsspannung abhängig. Bei kleinen Eingangsspannungen steigt die Ausgangsspannung linear mit der Eingangsspannung. Bei Überschreiten einer u. a. von der Dimensionierung der Verstärkerstufe abhängigen Eingangsspannung, der maximalen Eingangsspannung, steigt die Ausgangsspannung nicht mehr an. Mit dem Kopfhörer kann man feststellen, daß sich die Klangfarbe des Tones verändert.

Die Ursache dieser Erscheinung, der Übersteuerung, kann man mit Hilfe des Kennlinienfeldes erklären (↑ Bild 70/1).

Bedingt durch die Arbeitspunkteinstellung liegt an der Basis des Transistors eine Basisgleichspannung U_{BE}.

Liegt an der Basis zusätzlich die zu verstärkende Wechselspannung u_{BE}, so ändert sich die an der Basis wirksame Spannung im Rhythmus dieser Wechselspannung.

Diese Spannungsänderung bewirkt eine Basisstromänderung, die zu einer Änderung des Kollektorstromes führt, dadurch kommt es zu einer Wanderung des Arbeitspunktes auf der Widerstandsgeraden. Auf der U_{CE}-Achse kann man die Änderung der Kollektor-Emitter-Spannung ablesen.

Wird die maximale Eingangsspannung überschritten, kommt es zu einer Verformung der Ausgangsspannung, die Kurvenform der Ausgangsspannung weicht von der Kurvenform

der Eingangsspannung ab. Das ist die Ursache für die o. g. Änderung der Klangfarbe. Diese Erscheinung kann mit einem Oszillografen dargestellt werden.

- Weisen Sie nach, daß es zweckmäßig ist, den Arbeitspunkt eines Großsignalverstärkers nach dem Prinzip der halben Speisespannung zu wählen!
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen maximaler Ausgangsspannung, Betriebsspannung und Arbeitswiderstand?
  Begründen Sie, daß man bei Kleinsignalverstärkern nicht das Prinizp der halben Speisespannung anwenden muß!
- Überlegen Sie, wie man den Arbeitspunkt von Kleinsignalverstärkerstufen bei batteriegespeisten Geräten im Interesse einer langen Betriebsdauer mit einem Batteriesatz wählt!

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde die Frequenz der zu verstärkenden Wechselspannung außer acht gelassen.

26 ▼ Messen Sie an einer Verstärkerstufe die Ausgangsspannung bei unterschiedlicher Frequenz, aber gleicher Amplitude der Eingangsspannung! (↑ [1], E 54)

Ersetzen Sie den Kopfhörer durch einen Ohmschen Widerstand!

Beachten Sie den Frequenzbereich der verwendeten Meßgeräte!

27 ▼ Wiederholen Sie das Experiment, ersetzen Sie den Kondensator $C = 50\ \mu F$ durch einen Kondensator $C = 0{,}1\ \mu F$!

Den Zusammenhang zwischen Verstärkung und Frequenz nennt man Frequenzgang des Verstärkers (↑ Bild 71/1).

Die Frequenzen, bei denen die Verstärkung auf das 0,71fache der maximalen Verstärkung abgefallen ist, nennt man Grenzfrequenzen des Verstärkers.

- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der unteren Grenzfrequenz f_u und der Kapazität des Koppelkondensators? Werten Sie die Ergebnisse der Experimente 26 und 27 aus!

Während die untere Grenzfrequenz durch Schaltungsmaßnahmen beeinflußt werden kann, ist die obere Grenzfrequenz hauptsächlich durch Eigenschaften des Transistors bestimmt.

- Weisen Sie nach, daß man bei bekannter Kapazität des Koppelkondensators und der unteren Grenzfrequenz einer Verstärkerstufe den Wechselspannungs-Eingangswiderstand der Verstärkerstufe näherungsweise bestimmen kann.

Hochwertige NF-Verstärker erfordern eine Vielzahl von Bauelementen und umfangreiche Kenntnisse beim Aufbau und beim Abgleichen der einzelnen Stufen. Unproblematisch ist der Aufbau von NF-Verstärkern unter Verwendung von integrierten Schaltkreisen.

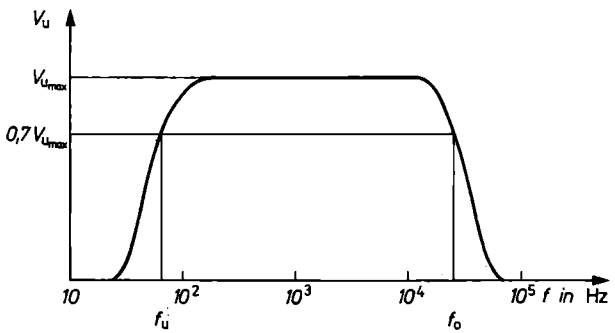


Bild 71/1
Frequenzgang
eines NF-Verstärkers

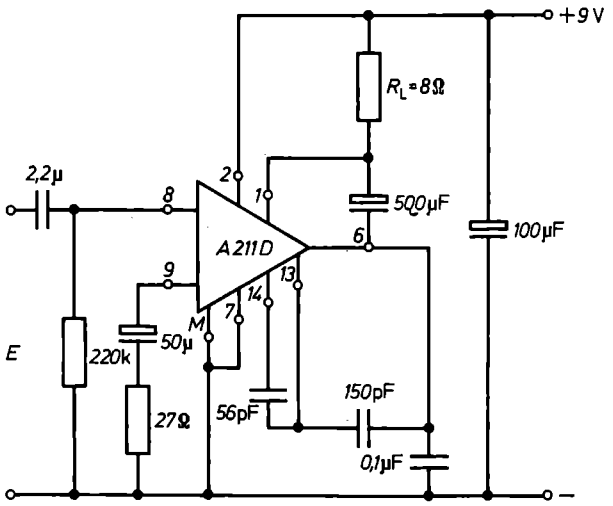


Bild 72/1
NF-Verstärker mit A 211

Bild 72/1 zeigt die Schaltung eines NF-Verstärkers mit dem Schaltkreis A 211 (Basteltyp R 211).

In der Rundfunk- und Fernsehtechnik werden Verstärker benötigt, die wesentlich höhere Frequenzen verarbeiten als ein NF-Verstärker. Die Schaltungstechnik dieser HF-Verstärker unterscheidet sich hauptsächlich von der des NF-Verstärkers durch den Einsatz von Schwingkreisen (↑ Abschnitt 2., Ph i Üb, S. 191). Dadurch wird erreicht, daß nur Schwingungen (Wechselspannungen) in einem bestimmten Frequenzbereich verstärkt werden. Die größte Verstärkung erfolgt bei Frequenzen, die mit der Eigenfrequenz des Schwingkreises übereinstimmen.

Durch Änderung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises kann man den Verstärker für unterschiedliche Frequenzen verwenden. Dieser Vorgang wird als Abstimmen des Verstärkers (Empfängers) auf die gewünschte Frequenz (des Senders) bezeichnet.

- Geben Sie den Zusammenhang zwischen Kapazität, Induktivität und Resonanzfrequenz eines Schwingkreises an! (↑ Ph i Üb, S. 179)

Nennen Sie Möglichkeiten der Veränderung der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises!

Bei der Schaltung nach Bild 73/1 gelangt die Hochfrequenz von der Antenne über den Kondensator C_1 zum Schwingkreis C, L_1. Über die Spule L_2 (induktive Kopplung) gelangt die Spannung, deren Frequenz mit der Eigenfrequenz des Schwingkreises übereinstimmt, zur Basis des Transistors.

Der Arbeitspunkt wird mit dem Einstellregler R_3 eingestellt, der Widerstand R_1 dient der Erhöhung des Eingangswiderstandes des Transistors, R_2 ist der Arbeitswiderstand des Verstärkers. Der Kondensator C_2 ist notwendig, um einen Kurzschluß zwischen Basis und Emitter über den sehr kleinen Gleichstromwiderstand von L_2 zu verhindern.

Soll der Verstärker zum Rundfunkempfang genutzt werden, so ist die verstärkte Hochfrequenz noch zu demodulieren.

Dazu dient eine Diode, die über einen Kondensator mit dem Kollektor verbunden werden kann. Die empfangenen Signale sind im Kopfhörer hörbar.

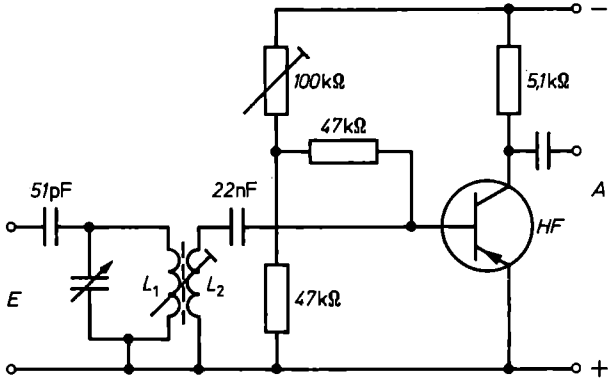


Bild 73/1
Hochfrequenzverstärker

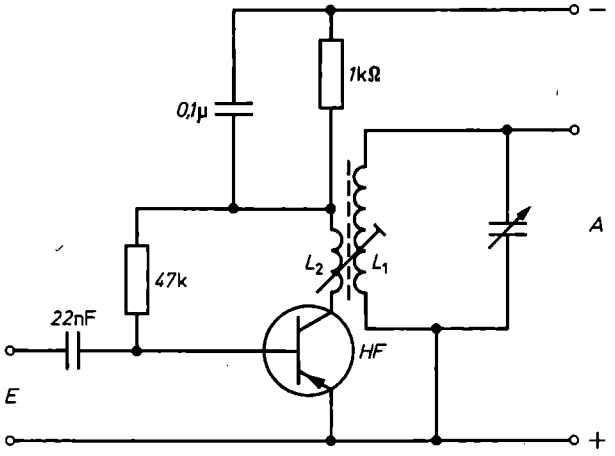


Bild 73/2
Aperiodischer
Hochfrequenzverstärker

Eine andere Schaltung zum Rundfunkempfang zeigt Bild 73/2. Der Transistor verstärkt alle über die Antenne zur Basis gelangenden Frequenzen. Die Abstimmung auf die Empfangsfrequenz erfolgt erst durch den induktiv an den Kollektor des Transistors gekoppelten Schwingkreis.

Der Kondensator C_2 verhindert einen Verstärkerverlust durch Gegenkopplung. Die zur Arbeitspunktstabilisierung notwendige Gegenkopplung wird dadurch nicht beeinflußt.

28 ▼ Bauen Sie die Schaltungen nach Bild 73/1 und 73/2 auf! Schließen Sie Antenne und Erde an! Erproben Sie die Schaltung!

Am Ausgang von HF-Verstärkern können über eine Diode NF-Verstärker angeschlossen werden. Dadurch wird eine größere Ausgangsspannung erreicht. Schließen Sie

29 ▼ an den Ausgang eines HF-Verstärkers einen NF-Verstärker an! (↑ Experiment 28) Beachten Sie die Aussagen über die Kopplung von Transistorstufen und die Arbeitspunkteinstellung!

6. Schwingungserzeugung

In vielen Bereichen der Elektronik, hauptsächlich aber bei der Übertragung und Verarbeitung von Informationen, werden Wechselspannungen unterschiedlichster Frequenz benötigt. Schaltungen, mit denen man Wechselspannungen erzeugen kann, nennt man Oszillator- oder Generatorschaltungen.

Bekannt ist das mitunter auftretende Pfeifen einer Mikrofonanlage. Diese Erscheinung tritt dann auf, wenn Schallwellen vom Lautsprecher auf das Mikrofon gelangen. Ist die Verstärkung ausreichend groß, erfolgt die erneute Wiedergabe durch den Lautsprecher mit größerer Lautstärke. Dieser Vorgang wiederholt sich innerhalb sehr kurzer Zeit viele Male, schließlich tritt der Pfeifton auf. Die Mikrofonanlage ist ein Schwingungserzeuger geworden.

1 ▼ Erzeugen Sie nach dem angegebenen Prinzip Schwingungen!

Verwenden Sie einen zweistufigen NF-Verstärker! (↑ [3], V 1, Schaltbild 2)
Als Mikrofon kann ein zweiter Lautsprecher oder ein Kopfhörer dienen.

Ergebnis: Bei diesem Experiment wird ein Teil der über den Lautsprecher abgegebenen Ausgangsenergie des Verstärkers über das Mikrofon dem Verstärkereingang zugeführt. Der Lautsprecher wandelt elektrische Energie in mechanische (Schall-)Energie um, das Mikrofon hat die entgegengesetzte Aufgabe. Aus dieser Tatsache läßt sich die Hypothese ableiten, daß auch ohne diese zweimalige Energieumwandlung Schwingungen erzeugt werden.

2 ▼ Weisen Sie die Richtigkeit dieser Hypothese experimentell nach, indem Sie den Eingang des Verstärkers mit seinem Ausgang verbinden! Schließen Sie zum Nachweis der Schwingungen anstelle des Lautsprechers den Kopfhörer an!

Ergebnis: Im Kopfhörer ist ein Ton zu hören, aus dem Verstärker ist ein Schwingungserzeuger geworden.

Die verwendete Schaltung wird ausführlich auf Seite 85 beschrieben, an dieser Stelle soll nur das Prinzip der Schwingungserzeugung erläutert werden.

● Überlegen Sie, ob das Erzeugen von Schwingungen nach dem Prinzip von Experiment 2 auch mit einem ein- oder dreistufigen Verstärker in Emitterschaltung gelingt!

Beachten Sie dabei die Aussagen auf S. 61 und die Phasenverhältnisse von Eingangs- und Ausgangsspannung in Emitterschaltung!

● Welcher Unterschied besteht zwischen der Gegenkopplung und dem im Experiment 2 angewendetem Prinzip der Rückkopplung der Energie vom Ausgang auf den Eingang?

Aus all diesen Vorbetrachtungen können folgende Bedingungen für die Erzeugung von Schwingungen abgeleitet werden:

1. Jeder Schwingungserzeuger enthält mindestens ein Verstärkerbauelement.

2. Die Ausgangsspannung muß so auf den Eingang zurückgeführt werden, daß eine steigende Eingangsspannung ein Anwachsen der Ausgangsspannung bewirkt (Ausgangsspannung und Eingangsspannung müssen phasengleich sein). Wird dies nicht wie im Experiment 2 durch den Verstärker selbst bewirkt, muß eine geeignete Maßnahme zur Phasenverschiebung angewendet werden. Die dabei auftretende Amplitudenverringerung muß durch den Verstärker ausgeglichen werden.

Wird die Bedingung der Phasengleichheit nur für eine bestimmte Frequenz erreicht, so entsteht eine sinusförmige Wechselspannung dieser Frequenz, sind dagegen Eingangs- und

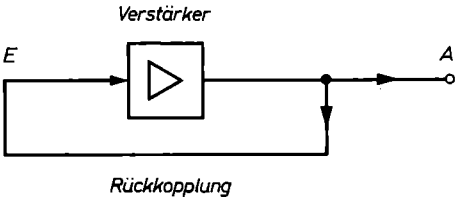


Bild 75/1
Prinzip einer Rückkopplungsschaltung

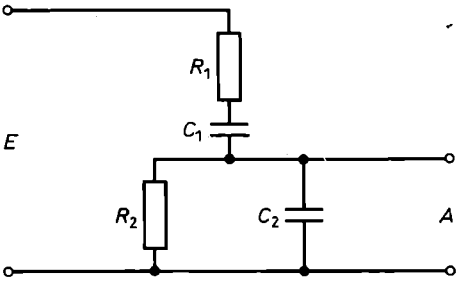


Bild 75/2
Wien-Glied

Ausgangsspannungen, wie im Experiment 2 bei allen Frequenzen in gleicher Phase, so entsteht eine nichtsinusförmige Wechselspannung. Das Prinzip einer Rückkopplungsschaltung ist in Bild 75/1 dargestellt.
Um mit Hilfe dieser Schaltung Schwingungen erzeugen zu können, muß der Spannungsabfall über dem Rückkopplungsnetzwerk durch den Verstärker ausgeglichen werden. Wird die rückgekoppelte Spannung um den Faktor k verringert, muß die Verstärkung der Spannung mindestens $\frac{1}{k}$ betragen.

$$v_u \geqq \frac{1}{k} \quad \text{oder} \quad v_u \cdot k \geqq 1.$$

Mit einer Schaltung analog Experiment 2 lassen sich sinusförmige Schwingungen erzeugen, wenn zwischen Ausgang und Eingang des Verstärkers ein Rückkopplungsnetzwerk geschaltet wird, das nur bei einer bestimmten Frequenz keine Phasenverschiebung hervorruft. Ein solches Netzwerk ist das Wien-Glied (↑ Bild 75/2).
Mit dem Verstärker bildet das Wien-Glied eine Brücke, man nennt solche Schwingungserzeuger Wienbrücken-Generator.
Die Frequenz, bei der keine Phasendrehung erfolgt, wird mit

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 R_2 C_1 C_2} \quad \text{berechnet.}$$

Vielfach wählt man $R_1 = R_2$ und $C_1 = C_2$. Damit vereinfacht sich die Gleichung zu

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}.$$

Bei dieser Frequenz wird k maximal und zwar $k \approx \frac{1}{3}$. Die Verstärkung, die zur Schwingungserregung notwendig ist, muß somit etwas größer als drei sein.

Ein zweistufiger Transistorverstärker erreicht eine wesentlich größere Verstärkung als drei. Deshalb kann man den Verstärker durch eine starke Gegenkopplung stabilisieren. Günstig ist weiterhin ein mögliches Einstellen der Verstärkung über einen Spannungsteiler.

3 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 76/1 auf und weisen Sie die Wechselspannung nach!

Hinweis: Zunächst sind die Bauelementedaten zu ermitteln. Berechnen Sie die Bauelemente nach den auf der Seite 56ff. angegebenen Hinweisen! Berechnen Sie die Kondensatoren des Wien-Gliedes für eine bestimmte Frequenz, z. B. 1 kHz nach Wahl von $R_1 = R_2 = 5\ \text{k}\Omega$!
Die Niederfrequenz greifen Sie kapazitiv am Emitter ab!

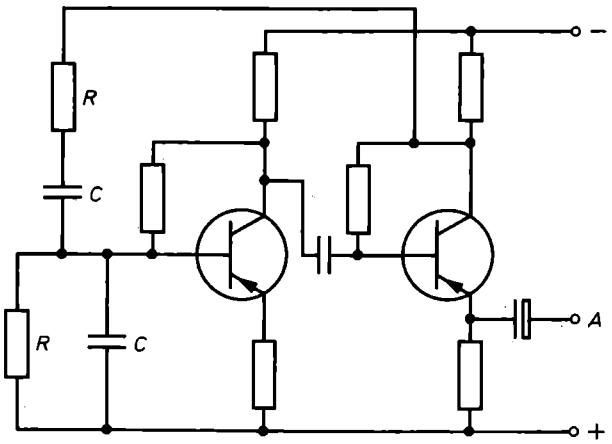


Bild 76/1
Wienbrücken-Generator

4 ▼ Messen Sie die Frequenz der erzeugten Wechselspannung, indem Sie einen Vergleich der Tonhöhe mit dem UVG 1 durchführen. Messen Sie die Frequenz mit Hilfe des Polydigit 1! Hinweise erhalten Sie dazu vom AG-Leiter!

5 ▼ Untersuchen Sie ein Morsegerät! (↑ [3], V 26)
Berechnen und messen Sie die Frequenz des Generators!

● Wie kann erreicht werden, daß mit dem Generator Spannungen unterschiedlicher Frequenz erzeugt werden können?

Ersetzen Sie die Widerstände 5,1 kΩ des Wien-Gliedes durch Regelwiderstände 10 kΩ! Messen Sie die niedrigste und die höchste Frequenz des Generators!

● Wie kann der Frequenzbereich erweitert werden?

Führen Sie entsprechende Experimente durch!

Neben der Wien-Brücke kann man auch eine RC-Kette in den Rückkopplungszweig schalten.

Dabei ist zu beachten, daß durch diese RC-Kette bei der Frequenz, für die sie dimensioniert wurde, eine Phasendrehung von 180° erfolgt. (Mit einem RC-Glied kann die Phasendrehung je nach Frequenz zwischen 0° und 90° liegen, bei drei Gliedern kann die Phasendrehung folglich zwischen 0° und 270° liegen. Es gibt eine Frequenz, bei der der Winkel genau 180° beträgt.)

Damit Schwingungen erzeugt werden können, muß diese Phasendrehung aufgehoben werden. Das kann durch einen einstufigen Verstärker in Emitterschaltung geschehen, der ebenfalls eine Phasendrehung von 180° hervorruft (↑ S. 61). Dadurch wird die Phasendrehung $180° + 180° = 360° \triangleq 0°$.

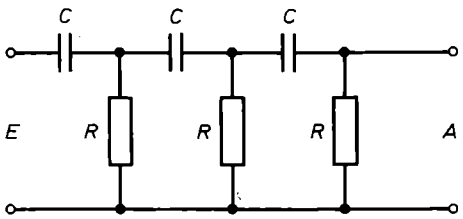


Bild 76/2 RC-Kette

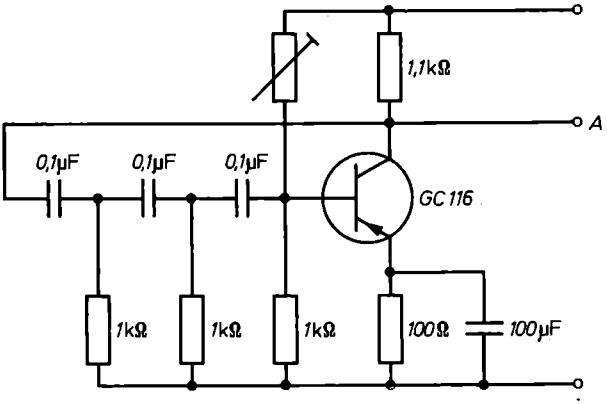


Bild 77/1 RC-Generator

Der Rückkopplungsfaktor k beträgt bei der im Bild 76/2 dargestellten dreigliedrigen RC-Kette $k = \frac{1}{29}$.

Die Verstärkung muß deshalb größer als 29 sein, ein Wert, den man mit Transistoren mit hohem Stromverstärkungsfaktor erreichen kann.

Der erforderliche Stromverstärkungsfaktor beträgt

$$B = 23 + 29\frac{R}{R_A} + 4\frac{R_A}{R},$$

die Frequenz der erzeugten Wechselspannung ist

$$f = \frac{1}{\sqrt{6} \cdot 2\pi \cdot R \cdot C}.$$

- Berechnen Sie die Frequenz des RC-Generators nach Bild 77/1!
- Berechnen Sie den minimalen Stromverstärkungsfaktor des verwendeten Transistors!

6 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 77/1 auf, weisen Sie die Wechselspannung nach, und messen Sie deren Frequenz!

7 ▼ Untersuchen Sie einen RC-Generator und eine Meßbrücke! (↑ [3], V 27, V 28)
Wie kann die Frequenz eines RC-Generators verändert werden? Berechnen Sie eine RC-Kette für die Frequenz $f = 1$ kHz!

8 ▼ Bauen Sie einen RC-Generator mit einer Frequenz $f = 1$ kHz auf, weisen Sie die Wechselspannung nach und messen Sie die Frequenz!

Die bisher untersuchten Schaltungen eignen sich nur zur Erzeugung von Frequenzen bis zu einigen 100 kHz.

Wechselspannungen höherer Frequenzen werden mit anderen Schaltungen erzeugt. Bestandteil dieser Schaltungen ist ein Schwingkreis. Ein Beispiel aus der Vielzahl der möglichen Schaltungen ist die Meißnersche Rückkopplungsschaltung (↑ Bild 78/1).

Bei der Meißnerschen Rückkopplungsschaltung liegt im Rückkopplungsweg einer Verstärkerstufe ein Parallelschwingkreis. Bei einer bestimmten Frequenz, der Eigen- oder Resonanzfrequenz des Schwingkreises sind induktiver und kapazitiver Widerstand gleich groß und die Phasenverschiebung ist Null. Ein Schwingkreis im Rückkopplungsweg bewirkt daher, daß nur die Resonanzfrequenz f_o ohne Phasenverschiebung übertragen wird. Die durch den Verstärker verursachte Phasenverschiebung von 180° wird durch eine zusätz-

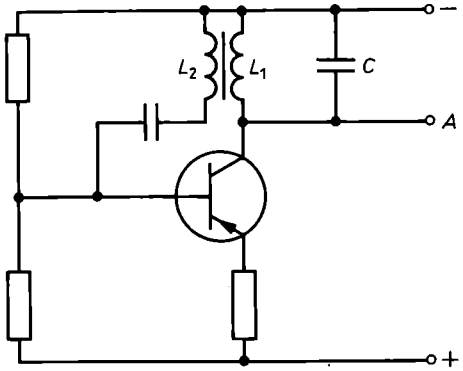


Bild 78/1
Meißnersche Rückkopplungsschaltung

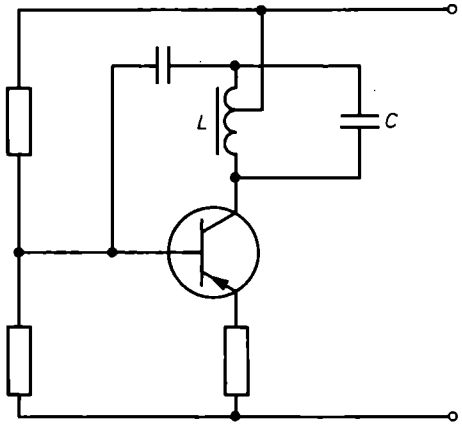


Bild 78/2
Induktive Dreipunktschaltung

liche, mit der Schwingkreisspule induktiv gekoppelten Spule L_2 aufgehoben.

- Überlegen Sie, welchen Einfluß das Vertauschen der Anschlüsse der Rückkopplungs- oder der Schwingkreisspule auf die Funktion der Meißnerschen Rückkopplungsschaltung hat!

9 ▼ Untersuchen Sie eine Meißnersche Rückkopplungsschaltung! (↑ [2], E 69)

Weisen Sie die Abhängigkeit der Frequenz von der Induktivität der Spule und der Kapazität des Kondensators experimentell nach!

- Geben Sie ein Verfahren an, mit dem näherungsweise die Induktivität der Schwingkreisspule bestimmt werden kann! (↑ Ph i Üb, S. 179)

Weitere Schaltungen zur Schwingungserzeugung sind die induktive und die kapazitive Dreipunktschaltung (↑ Bilder 78/2 und 78/3).

Bei diesen Schaltungen liegt der Schwingkreis zwischen Basis und Kollektor. Durch Spannungsteilung der Schwingkreisspannung und Verbinden des Teilerpunktes mit einem Pol der Betriebsspannung entstehen an den Spulenenden zwei Spannungen, die eine Phasenverschiebung von 180° aufweisen.

10 ▼ Untersuchen Sie eine induktive Dreipunktschaltung! (↑ [2], E 70)

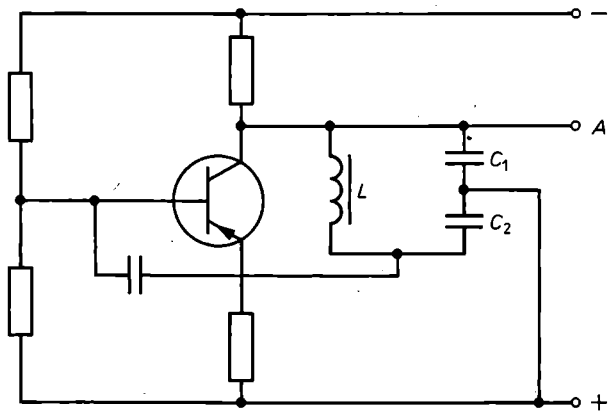


Bild 78/3
Kapazitive Dreipunktschaltung

● Zeigen Sie, daß man die induktive Dreipunktschaltung aus der Meißnerschaltung entwickeln kann, indem man je ein Ende der Schwingkreis- und der Rückkopplungsspule miteinander verbindet und die Reihenschaltung beider Spulen als Schwingkreisspule verwendet! Beachten Sie dabei, daß weitere Änderungen nur die Aufgabe haben, eine Arbeitspunkteinstellung des Transistors zu ermöglichen!

11 ▼ Untersuchen Sie eine kapazitive Dreipunktschaltung! (↑ [2], E 71)

12 ▼ Untersuchen Sie einen HF-Generator in Emitterschaltung! (↑ [3], V 7)

Aufgabe der bisher betrachteten Schaltungen war die Erzeugung von Sinusschwingungen. Abweichungen von der Sinusform treten dann auf, wenn die Verstärkung und damit die auf den Eingang des Verstärkers rückgekoppelte Spannung zu groß ist. Hochwertige Sinusgeneratoren zeichnen sich durch eine sogenannte Amplitudenstabilisierung aus, die u. a. durch eine Verstärkungsregelung realisiert werden kann.

Schaltungen, bei denen es weniger auf die Erzeugung sinusförmiger Spannungen ankommt, sind der Sperrschwinger und der Transverter.

Kennzeichen beider Schaltungen ist die sehr starke Rückkopplung. Dadurch entstehen beim Sperrschwinger nichtlineare Impulse, beim Transverter Rechteckschwingungen.

Mit einem Transverter kann man aus kleinen Gleichspannungen größere Spannungen erzeugen. Besonderes Augenmerk legt man bei der Dimensionierung von Transvertern auf einen möglichst großen Wirkungsgrad.

13 ▼ Untersuchen Sie eine Transverterschaltung! (↑ [2], E 72)

7. Impulstechnik

7.1. Schalter

In der Elektronik unterscheidet man zwei Arten der Informationsverarbeitung: die Analogtechnik und die Digitaltechnik. Bei der Analogtechnik kann sich ein Signal zwischen zwei Grenzwerten kontinuierlich ändern. So kann man mit einem Spannungsteiler beliebige Spannungen zwischen Null und der Maximalspannung einstellen. Diese Spannung kann mit einem Drehspulinstrument gemessen werden. Der Zeigerausschlag ist der Spannung proportional.

In der Digitaltechnik werden nur zwei Zustände unterschieden. Bauelemente, mit denen diese zwei Zustände realisiert werden können, sind Schalter.

Mechanische Schaltgeräte haben viele Nachteile, wie z. B. geringe Schaltgeschwindigkeit, Abnutzung bewegter Teile, Funkenbildung. Deshalb verwendet man elektronische Bauelemente als Schalter. Im allgemeinen dienen Schalter zum Schalten eines Stromes. Ist ein Schalter geöffnet, so ist sein Widerstand sehr groß, es fließt praktisch kein Strom. Ein geschlossener Schalter hat einen sehr kleinen Widerstand, der Strom wird nur durch die Spannung und die weiteren im Stromkreis befindlichen Widerstände bestimmt.

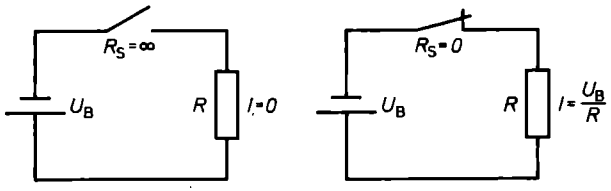


Bild 80/1
Reihenschaltung von Widerstand und Schalter

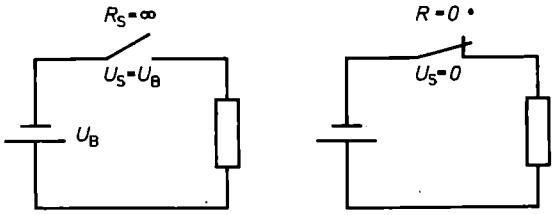


Bild 80/2
Spannung an einem Schalter

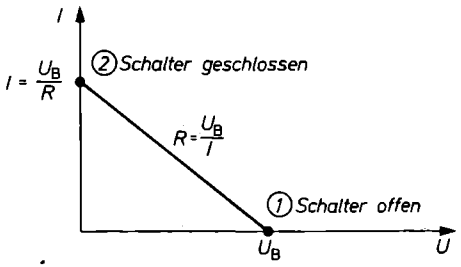


Bild 80/3
I-U-Diagramm eines Schalters

Es gilt $I = \frac{U_B}{R}$ (↑ Bild 80/1).

In der Digitaltechnik interessieren weniger der fließende Strom als vielmehr die Spannung an den Schalterkontakten (↑ Bild 80/2).
Bei geöffnetem Schalter liegt an den Schalterkontakten die volle Betriebsspannung an, ist der Schalter geschlossen, so ist die Spannung am Schalter Null. Bild 80/3 zeigt diese Zusammenhänge im *I-U*-Diagramm.
Auf der Widerstandsgeraden werden die zwei möglichen Zustände durch die beiden Punkte 1 und 2 dargestellt.
1 – offener Schalter ($U = U_B$, $I = 0$)
2 – geschlossener Schalter $\left(U = 0,\ I = \frac{U_B}{R}\right)$

7.2. Transistoren als Schalter

Betrachtet man das Ausgangskennlinienfeld eines Transistors mit eingetragener Widerstandsgeraden (↑ Bild 57/1), so erkennt man, daß sich diese beiden Zustände in erster Näherung auch mit einem Transistor realisieren lassen.

Im Kapitel 5 wurde der Kennlinienverlauf in der Nähe der Achsen nicht genauer betrachtet, da diese Bereiche in der Verstärkertechnik nur wenig interessieren. In der

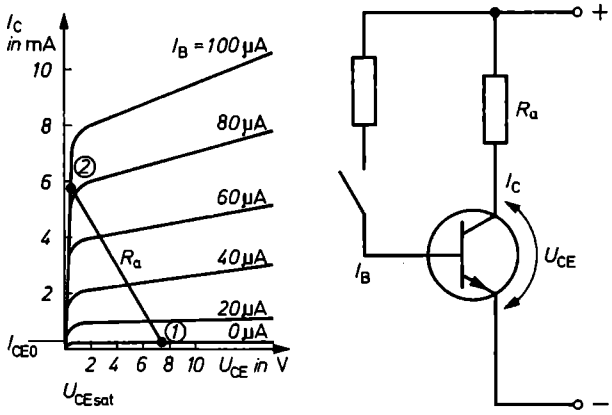


Bild 81/1
Transistor als Schalter
a Ausgangskennlinienfeld
b Schaltung

Digitaltechnik ist das gerade entgegengesetzt, hier interessiert die Lage der beiden Punkte 1 und 2 wie im Bild 81/1a dargestellt.

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, daß sich ein Transistor von einem idealen Schalter unterscheidet. In der Aus-Stellung beim Transistor fließt noch ein geringer Strom, der Kollektor-Reststrom I_{CEO}, in der Ein-Stellung liegt zwischen Kollektor und Emitter noch eine geringe Spannung an, die Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung U_{CEsat}.

● Welche technischen Daten eines Transistors sind für seine Anwendung als Schalter von besonderem Interesse?

1 ▼ Untersuchen Sie einen Transistor als Schalter! Verwenden Sie den im Bild 81/1b dargestellten Schaltplan!

Ergänzen Sie die Übersicht, beantworten Sie die Fragen mit ja oder nein!

Schalter-stellung	Basis-Emitter-spannung > 0	Kollektor-Emitter-spannung (groß)	Basisstrom >0	Kollektorstrom >0
offen				
geschlos-sen				

An Stelle der Worte ja und nein verwendet man in der Digitaltechnik die Symbole 0 und L.

0 – die Größe ist nicht vorhanden (oder sehr klein)

L – die Größe ist vorhanden (oder viel größer als 0)

● Tragen Sie die Symbole 0 und L in die Übersicht ein!

2 ▼ Führen Sie ein entsprechendes Experiment mit einem pnp-Transistor durch und tragen Sie Ihre Ergebnisse in eine Übersicht ein! (↑ Experiment 2)

Bezeichnet man die Eingänge der Schaltungen mit A (B, C, ...) und die Ausgänge mit Q_1 (Q_2, Q_3, ...) so erhält man folgende Ergebnisse:

Schalter	Ströme		Spannungen	
	A	Q	A	Q
0 L	0 L	0 L	0 L	L 0

Betrachtet man die Ströme, so herrscht an Eingang und Ausgang Übereinstimmung (Identität).

Betrachtet man dagegen die Spannungen, so liegen am Eingang und am Ausgang entgegengesetzte Signale (Negation).

Von besonderer Bedeutung sind in der Digitaltechnik Anordnungen mit mehreren Eingängen. Sie dienen der logischen Verknüpfung mehrerer Eingangssignale. Schaltungen dieser Art heißen Gatter.

● Informieren Sie sich über die Wirkungsweise grundlegender Verknüpfungsschaltungen! (↑ Lb ESP, Kl. 10, S. 114ff.)

3 ▼ Untersuchen Sie eine UND – bzw. eine ODER – Schaltung mit Transistoren! (↑ [2], E 75, E 76)

Tragen Sie die Ergebnisse dieser Experimente in eine Schaltbelegungstabelle ein, verwenden Sie die Symbole O und L.

Wird das Signal einer UND oder ODER-Schaltung zusätzlich negiert, erhält man die

4 NAND- bzw. NOR-Schaltung.

▼ Untersuchen Sie eine NAND-Schaltung bzw. NOR-Schaltung! (↑ [2], E 78, E 79)

5 ▼ Untersuchen Sie eine UND- bzw. ODER-Schaltung mit Dioden! (↑ [2], E 73, E 74)

7.3. TTL-Schaltkreise

Schaltungen, die logische Verknüpfungen von Spannungen ergeben, werden von der Industrie in großer Zahl benötigt. Deshalb werden in der DDR seit 1971 integrierte Schaltkreise (IS) der Serie D 10 produziert.

Diese IS enthalten NAND-Schaltungen (NAND-Gatter) mit zwei und mehr Eingängen. So enthält ein Schaltkreis D 100 vier NAND-Gatter mit je zwei Eingängen (↑ Bild 83/1).

Da die Innenschaltung von Logik-Gattern nur selten von Belang ist, verwendet man Symbole (↑ Bild 83/2), die nur die logische Funktion, nicht aber die Innenschaltung erkennen lassen.

Mitunter werden neben der NAND-Funktion andere logische Funktionen benötigt, es stehen aber nur NAND-Gatter zur Verfügung. In Bild 83/3 werden einige Möglichkeiten der Realisierung logischer Verknüpfungen mit NAND-Gattern dargestellt.

Beim Experimentieren mit integrierten Schaltkreisen ist zu beachten, daß im Unterschied zu anderen Bauelementen auch bei der Reihe D 10 die Anschlüsse in der Ansicht von oben dargestellt sind.

Bild 83/4 zeigt die Anschlußbelegung des Schaltkreises D 100 — IS 1 aus Bastlerbeutel 8.

Die Betriebsspannung wird über die Anschlüsse 7 (Minuspol) und 14 (Pluspol) zugeführt und muß 5 V ± 5% betragen.

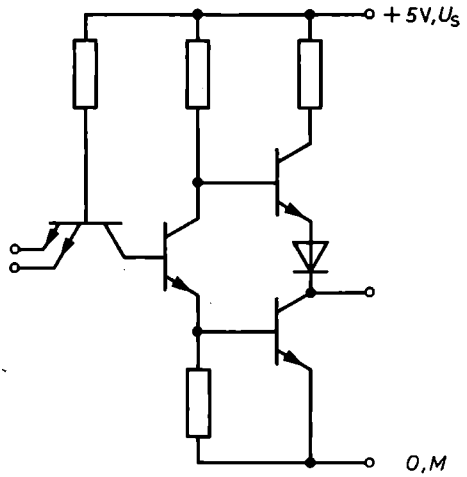


Bild 83/1 Schaltung eines NAND-Gatters des IS D 100

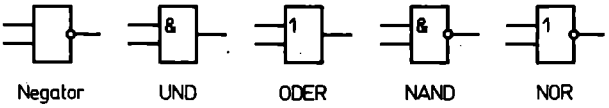


Bild 83/2 Symbole zur Darstellung logischer Schaltungen

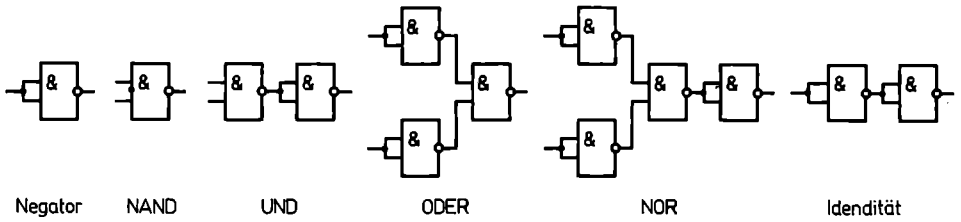


Bild 83/3 Realisierung verschiedener logischer Verknüpfungen mit NAND-Gattern

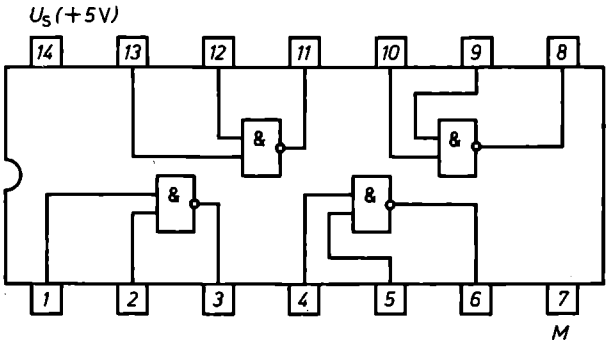


Bild 83/4 Anschlußbelegung des Schaltkreises D 100

6 ▼ Messen Sie bei angelegter Betriebsspannung bei einem Schaltkreis D 100 die Spannungen an den Ein- und Ausgängen der einzelnen Gatter! Bezugspunkt der Spannungsmessung ist der negative Pol der Spannungsquelle (Anschluß 7).

7 ▼ Messen Sie die Ausgangsspannung der Gatter, wenn
a) am ersten Eingang,
b) am zweiten Eingang,
c) an beiden Eingängen eine Spannung von 5 V anliegt!

8 ▼ Messen Sie die Ausgangsspannung der Gatter, wenn
a) am ersten Eingang,
b) am zweiten Eingang,
c) an beiden Eingängen eine Spannung von 0 V anliegt!

Ergebnisse der Experimente 6, 7 und 8

Sind alle Eingänge eines Gatters unbeschaltet (↑ Experiment 6), so liegt an diesen Eingängen eine Spannung von $U_L > 2{,}2$ V (Signal L) an.

Am Ausgang wird eine Spannung von $U_O < 0{,}5$ V (Signal 0) gemessen. Wird an einen oder an beide Eingänge eine positive Spannung $2{,}2\ V < U < 5{,}5$ V angelegt, so ändert sich die Ausgangsspannung nicht.

A	B	Q
L	L	0

Liegt entsprechend Experiment 7 am Eingang A **und** am Eingang B eine Spannung $U_L > 2{,}2$ V (Signal L), so ist die Ausgangsspannung klein (Signal 0).

Es genügt, an einen der beiden Eingänge eine Spannung $U_0 < 0{,}7$ V anzulegen, und das Gatter schaltet um, am Ausgang liegt dann eine Spannung von $U_L > 2{,}4$ V (Signal L).

A	B	Q
0	L	L
L	0	L
0	0	L

Das Ergebnis der Experimente 7 und 8 wird in der Funktionstabelle eines NAND-Gatters dargestellt:

A	B	Q
L	L	0
0	L	L
L	0	L
0	0	L

Bei Eingangsspannungen 0,7 V > U > 2,2 V nimmt das Gatter keinen definierten Schaltzustand ein, diese („verbotenen") Eingangsspannungen sind deshalb zu vermeiden.

● Begründen Sie, weshalb sich die Eingangsspannung beim Umschalten von L nach O oder umgekehrt sehr schnell ändern muß!
Gilt diese Forderung auch für Schaltstufen mit Transistoren in Emitterschaltung?

● Kann ein NAND-Gatter mit sinusförmiger Wechselspannung angesteuert werden?

7.4. Multivibratoren

7.4.1. Astabiler Multivibrator

Verbindet man bei einem zweistufigen Verstärker in Emitterschaltung den Ausgang mit dem Eingang (Rückkopplung), so können Schwingungen erzeugt werden (↑ Abschnitt 6, Experiment 2). Schaltungen dieser Art bezeichnet man als astabile Multivibratoren. (↑ Bild 85/1)

9
▼ Untersuchen Sie einen astabilen Multivibrator! (↑ [2], E 57, E 58)

Bei der Durchführung des Experiments 9 wurde erkannt, daß die Transistoren als Schalter arbeiten. Bedingt durch die sehr starke Rückkopplung erfolgt das wechselseitige Umschalten der Transistoren aus dem leitenden Zustand in den gesperrten und umgekehrt sehr schnell, an den Kollektoren entstehen rechteckförmige Spannungssprünge. Bei symmetrischer Dimensionierung ($R_{B1} = R_{B2}$, $C_1 = C_2$) beträgt die Frequenz der Rechteckspannung etwa

$$f = \frac{1}{1{,}4 \cdot R_B \cdot C}.$$

Bei Schaltstufen in Emitterschaltung tritt die mit Negation bezeichnete Signalumkehr zwischen Aus- und Eingang ein (↑ S. 82). Wendet man das Symbol für den Negator an, kann der astabile Multivibrator (↑ Bild 83/2) vereinfacht dargestellt werden. Die Widerstände R_1 und R_2 und die Kondensatoren C_1 und C_2 sind die frequenzbestimmenden Glieder der Schaltung. (↑ Bild 85/2) Aus dieser Art der Darstellung läßt sich die Hypothese ableiten, daß man Rechteckgeneratoren nach dem Prinzip des astabilen Multivibrators auch mit NAND-Gattern integrierter Schaltkreise aufbauen kann.

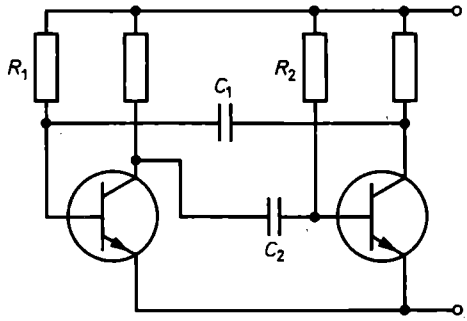


Bild 85/1
Astabiler Multivibrator
mit Transistoren

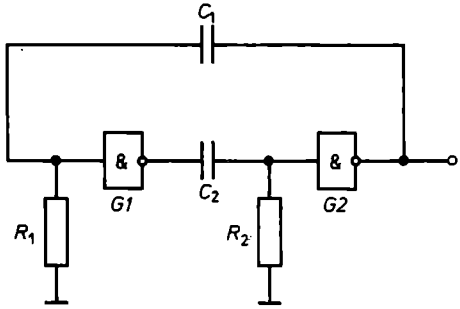


Bild 85/2
Astabiler Multivibrator
mit NAND-Gattern

10
▼ Überprüfen Sie diese Hypothese, indem Sie die Schaltung nach Bild 85/2 aufbauen! Beachten Sie dabei folgende Bedingungen:
$R_1 = R_2 = R$ mit $1\ k\Omega \leqq R \leqq 2{,}5\ k\Omega$
$C_1 = C_2 = C$.

Wählen Sie Kondensatoren mit einer Kapazität von etwa 0,1 μF!

11
▼ Überprüfen Sie, welchen Einfluß die Beschaltungsmöglichkeiten der freien Eingänge auf die Funktion der Schaltung nach Bild 83/1 haben. Verbinden Sie dazu die freien Eingänge
a) mit dem beschalteten Eingang des jeweiligen Gatters,
b) mit dem positiven Pol der Spannungsquelle,
c) mit dem negativen Pol der Spannungsquelle!

Bestätigen Sie die Gleichung der Schwingfrequenz $f = \frac{1}{2 \cdot R \cdot C}$ durch akustischen Frequenzvergleich mit dem UVG 1!
Der Kopfhörer ist nach der in Bild 92/2 dargestellten Schaltung anzuschließen.

Nachteil des Impulsgenerators mit NAND-Gattern ist der geringe Variationsbereich der Widerstände und der zur Funktion notwendige symmetrische Aufbau.
In Bild 86/1 ist ein Impulsgenerator dargestellt, dessen Frequenz kontinuierlich eingestellt werden kann. Für die Frequenz gilt:

$$f = \frac{1}{3 \cdot C \cdot (R + P)}.$$

12
▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 86/1 auf und weisen Sie die Schwingungen nach!

Wird die Schaltung nach Bild 86/1 mit einem Schaltkreis D 100 aufgebaut, so kann das vierte Gatter zur Sperrung der Schwingungen genutzt werden, indem der Ausgang des Generators mit einem Eingang des vierten Gatters verbunden wird (↑ Bild 86/2).

● Wie muß der freie Eingang des vierten Gatters beschaltet werden, damit am Ausgang dieses Gatters keine Schwingungen nachweisbar sind?

Nutzen Sie zur Beantwortung dieser Frage die Funktionstabelle des NAND-Gatters. (↑ S. 84)!

13
▼ Überprüfen Sie Ihre Antwort experimentell!

Der Vorteil dieser Schaltung im Unterschied zu Experiment 11 ist darin zu sehen, daß trotz Sperrung des Ausgangs der Generator weiterhin Schwingungen erzeugt.

14
▼ Weisen Sie nach, daß der Generator trotz gesperrtem Ausgang weiterhin schwingt!

Schaltungen dieser Art, bei denen die Weiterleitung eines Signals durch Anlegen einer Spannung gesperrt werden kann, heißen Torschaltungen.

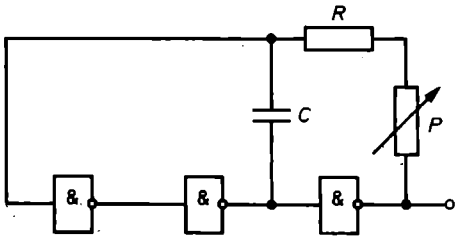


Bild 86/1
Impulsgenerator mit NAND-Gattern

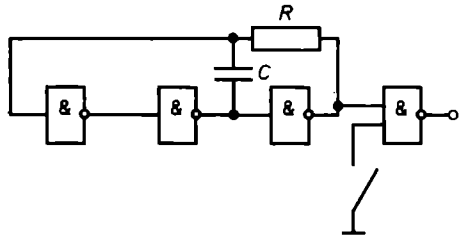


Bild 86/2
Impulsgenerator mit nachgeschaltetem Tor

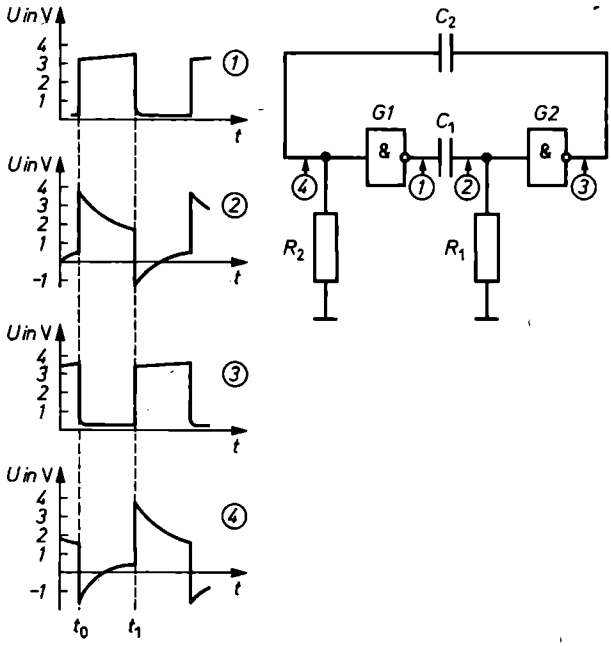


Bild 87/1
Impulsgenerator mit NAND-Gattern und zugehöriges Impulsdiagramm

Die Funktion eines Multivibrators nach Bild 85/1 kann man mit Hilfe der Negatorfunktion folgendermaßen erklären (↑ Bild 86/2):

Zum Zeitpunkt t_0 habe Gatter 1 gerade am Ausgang auf das Signal L umgeschaltet, dadurch lädt sich der Kondensator C_1 über den Widerstand R_1 auf. Durch den Ladestrom bedingt, liegt zu diesem Zeitpunkt am Eingang von Gatter 2 ebenfalls das Signal L an. Damit ist am Ausgang von Gatter 2 das Signal 0. Gatter 1 hat am Eingang das Signal 0, da an seinem Ausgang das Signal L anliegt.

Mit zunehmender Ladung von C_1 wird der Ladestrom geringer, gleichzeitig verringert sich dadurch die Spannung am Eingang von Gatter 2. In der vorhergehenden Halbperiode wurde C_2 geladen, da am Ausgang von Gatter 2 jetzt das Signal 0 anliegt, entlädt sich C_2 über R_2 und am Eingang von Gatter 2 liegt eine sich mit der Zeit verringernde Spannung negativer Polarität.

Zum Zeitpunkt t_1 ist bedingt durch den symmetrischen Aufbau an den Eingängen beider Gatter etwa gleichzeitig die Umschaltspannung erreicht. Beide Gatter schalten um und die Vorgänge wiederholen sich an den einander entsprechenden Bauelementen. Die Vorgänge am Multivibrator mit Transistoren sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß das Aufladen des Kondensators über den Kollektorwiderstand des einen und die Basis-Emitter-Strecke des anderen Transistors erfolgt, während das Entladen über den Basiswiderstand erfolgt. Durch entsprechende Dimensionierung ist hier im Unterschied zur Dimensionierung mit Schaltkreisen durch das Verwenden von Kondensatoren unterschiedlicher Kapazität und verschieden großen Basiswiderständen die Möglichkeit gegeben, bei den einzelnen Transistoren unterschiedliche Impulslängen zu realisieren.

● Begründen Sie die Polarität der Eingangsspannungen der Gatter 1 und 2 bei Ladung und Entladung der Kondensatoren!

- Begründen Sie die Zweckmäßigkeit der im Schaltungsheft zum Bastlerbeutel 8, S. 8 an den Eingängen angeordneten Dioden! Beachten Sie dabei, daß die Gatter-Eingangsspannung nicht negativ werden soll, keinesfalls aber unter −1,5 V liegen darf!
- Zeichnen Sie ein Impulsdiagramm entsprechend Bild 87/1 unter Beachtung der genannten Dioden!

7.4.2. Monostabiler Multivibrator

Ersetzt man einen Kondensator in der Schaltung nach Bild 87/1 durch eine galvanische Verbindung, so erhält man die Schaltung nach Bild 88/1. Der Widerstand R_2 in Schaltung nach Bild 87/1 kann ebenfalls entfernt werden, da er nur zum Auf- und Entladen des entfernten Kondensators dient.

- Welche Signale (0 oder L) liegen an den Gatteranschlüssen, wenn der Eingang E der Schaltung frei bleibt? Beachten Sie, daß Gatter 2 – Eingang über R – an 0 liegt! (↑ Bild 88/1)
- Welche Spannung (0 oder L) muß an den Eingang der Schaltung angelegt werden, damit beide Gatter umschalten? (↑ Bild 88/1)
- Erklären Sie die im Impulsdiagramm dargestellten Vorgänge (↑ Bild 89/1)!

Beachten Sie dabei die Erklärung der Funktion des astabilen Multivibrators!

Monostabile Multivibratoren haben einen stabilen Zustand, eine Ruhelage. Durch einen geeigneten Impuls geht die Schaltung in eine instabile Lage über, nach einer, von R und C abhängigen Zeit, der Haltezeit, kehrt der monostabile Multivibrator von selbst wieder in die Ruhelage zurück. Monostabile Multivibratoren können zum Erzeugen von Impulsen bestimmter Impulsdauer verwendet werden.

Werden NAND-Gatter eingesetzt, beträgt die Haltezeit der Schaltung entsprechend Bild 88/1 $t = R \cdot C$.

15 ▼ Untersuchen Sie einen monostabilen Multivibrator mit Transistoren! (↑ [2], E 59)

- Weisen Sie nach, daß die Schaltung nach Experiment 15 mit der Darstellung mit Negator-Symbolen in Bild 88/1 übereinstimmt!
- Welche Bauelemente entsprechen dem Kondensator C und dem Widerstand R?

16 ▼ Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Haltezeit des monostabilen Multivibrators vom Basiswiderstand des Transistors T_2 bei konstanter Kapazität des Koppelkondensators. Ersetzen Sie dazu den Regelwiderstand durch verschieden große Festwiderstände.

17 ▼ Ermitteln Sie den Zusammenhang zwischen der Haltezeit und der Kapazität des Koppelkondensators bei konstantem Basiswiderstand! Verwenden Sie mehrere Kondensatoren $C = 50\ \mu F$, durch Reihen- und Parallelschaltung der Kondensatoren erhalten Sie unterschiedliche Kapazitätswerte!

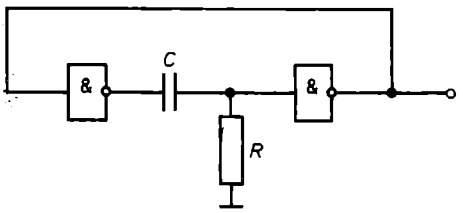


Bild 88/1
Monostabiler Multivibrator mit NAND-Gattern

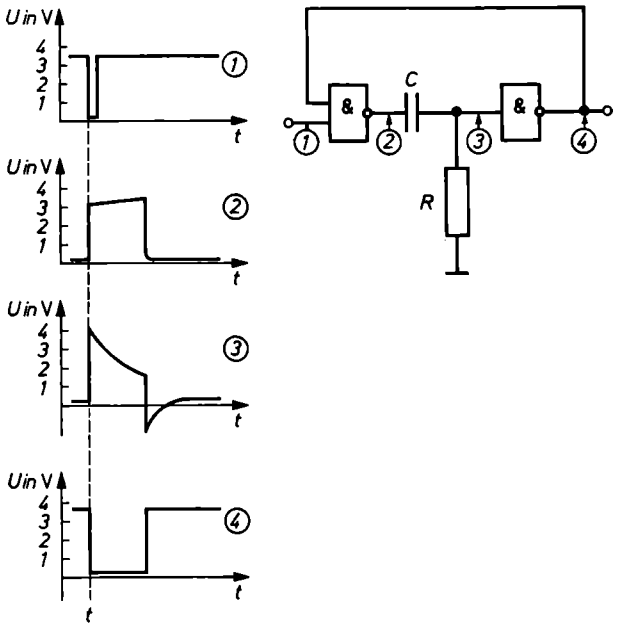


Bild 89/1
Impulsdiagramm des monostabilen Multivibrators

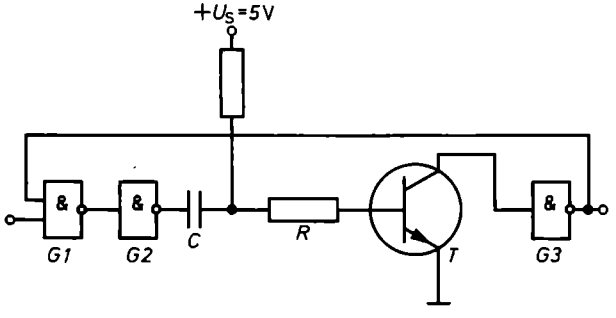


Bild 89/2
Monostabiler Multivibrator mit drei NAND-Gattern und einem npn-Transistor

Stellen Sie das Ergebnis grafisch dar!

● Überprüfen Sie die Gleichung $T = 0{,}7 \cdot C \cdot R_B$ für die Haltezeit des monostabilen Multivibrators mit Transistoren!

18

▼ Untersuchen Sie eine weitere Schaltung des monostabilen Multivibrators! (↑ [2], E 60)

Haltezeiten in der Größenordnung, wie sie im Experiment 15 erreicht wurden, kann man ausschließlich mit Gattern der Serie D 10 nicht erzielen, da der Widerstand R maximal 1 kΩ betragen darf.

Größere Haltezeiten sind dann möglich, wenn der monostabile Multivibrator durch einen Transistor erweitert wird. Ein Beispiel ist im Bild 89/2 dargestellt.

Der in den Signalweg eingefügte Transistor bewirkt eine Negation, mit einem weiteren Negator wird die durch den Transistor hervorgerufene Negation wieder aufgehoben.

Der Widerstand R_1 hat zwei Aufgaben: Über ihn fließt im stabilen Zustand der Basisstrom

des Transistors, während der Haltezeit entlädt sich der Kondensator über den Widerstand R_1. Für die Haltezeit t gilt:

$t = 0{,}6 \cdot R_1 \cdot C$.

● Berechnen Sie den Kondensator C für eine Haltezeit $t = 3$ s!

19 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 89/2 auf und messen Sie die Haltezeit, schließen Sie dazu am Ausgang A einen Spannungsmesser an!

20 ▼ Weisen Sie mit einem Experiment nach, daß durch zweifache Negation das ursprüngliche Signal wiederhergestellt wird, verwenden Sie NAND-Gatter!

7.4.3. Bistabiler Multivibrator

Entfernt man in der Schaltung nach Bild 85/1 die Widerstände und werden beide Kondensatoren durch galvanische Verbindungen ersetzt, so erhält man die einfachste Schaltung eines bistabilen Multivibrators nach Bild 90/1.

Die beiden in Bild 90/1 gezeigten Schaltungen sind identisch, in der Literatur wird meist die rechte Darstellung verwendet. Von den bisher behandelten Schaltungen haben die bistabilen Multivibratoren in der Impulstechnik die größte Bedeutung. Sie werden z. B. in Speichern, Zählern und Frequenzteilern angewendet. Entsprechend der großen Bedeutung dieser Schaltungen gibt es eine Reihe von Schaltungsvarianten mit speziellen, der jeweiligen Anwendung angepaßten Eigenschaften, die hier nicht alle dargestellt werden können.

Der bistabile Multivibrator nach Bild 90/1 hat zwei Ausgänge, Q und $\bar{Q}$. An $\bar{Q}$ ist stets das zu Q negierte Signal vorhanden, das heißt, wenn $Q = L$, dann $\bar{Q} = 0$ und umgekehrt.

Die Eingänge werden mit S (engl. set – setzen) und R (engl. reset = zurücksetzen) bezeichnet.

Liegt der Eingang S auf 0, so führt der Ausgang Q das Signal L.

● Überlegen Sie, welchen Einfluß eine Signaländerung am Eingang S von 0 auf L hat! (↑ Bild 90/1)

● Was geschieht, wenn anschließend der Eingang R auf 0 gelegt wird? (↑ Bild 90/1)

21 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 90/1 unter Verwendung von D 10 – NAND-Gattern auf und überprüfen Sie Ihre Antworten! Die Eingänge R und S werden über zwei Ein-Taster mit Masse (Signalspannung 0) verbunden.

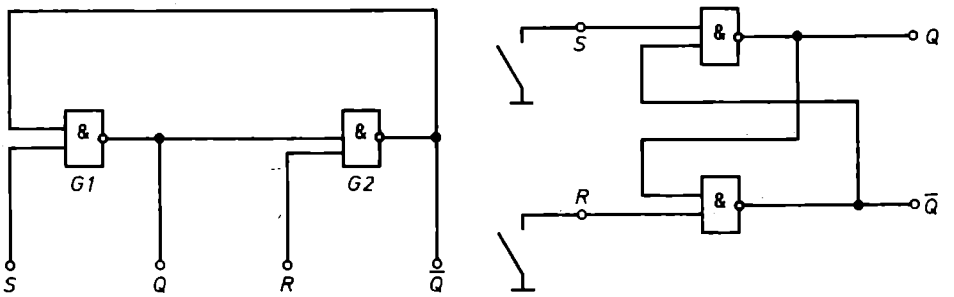


Bild 90/1 Bistabiler Multivibrator (RS-Flip-Flop)

Durchführung

1. Betätigen Sie einen der Taster mehrmals hintereinander und beobachten Sie den Schaltzustand des bistabilen Multivibrators!

2. Schließen Sie beide Schalter (beide Eingänge auf L) und öffnen Sie die Schalter in unterschiedlicher Reihenfolge nacheinander!

3. Ermitteln Sie, wodurch erkennbar ist, welcher Schalter zuerst geöffnet wurde!

Die im Experiment erprobte Schaltung wird zum Registrieren des zeitlichen Ablaufs zweier Schaltvorgänge (Überprüfung des menschlichen Reaktionsvermögens, Quiz-Spiele, Justierung von Relaiskontakten) angewendet.

Wird die Schaltung nach Bild 90/1 durch zwei Kondensatoren und zwei Widerstände erweitert, (↑ Bild 91/1) so erhält man einen bistabilen Multivibrator mit einem Eingang T. Diese Schaltung eignet sich als Frequenzteiler mit dem Teilungsverhältnis 2:1. Durch Hintereinanderschalten mehrerer bistabiler Multivibratoren können beliebige Teilverhältnisse erreicht werden (↑ Schaltungsheft zum Bastlerbeutel 8).

22 ▼ Bauen Sie mit dem integrierten Schaltkreis D 100 (IS 1) die Schaltungen nach Bild 85/1 und Bild 91/1 auf (↑ Bild 92/1)!

1. Verbinden Sie den Ausgang des astabilen Multivibrators mit dem Eingang des bistabilen Multivibrators!

2. Vergleichen Sie die Frequenzen der Schwingungen am Eingang und am Ausgang des bistabilen Multivibrators durch akustische Kontrolle mit dem Kopfhörer!

Der Anschluß des Kopfhörers erfolgt über eine Schutzschaltung, die die bei den Schaltvorgängen in den Spulen des Kopfhörers auftretenden hohen Induktionsspannungen unterdrückt. Damit wird einer Spannungsüberlastung vorgebeugt, die mit Sicherheit zur Zerstörung der Schaltkreise führt (↑ Bild 92/1b).

23 ▼ Entwickeln Sie die Schaltung eines bistabilen Multivibrators mit Transistoren aus der Schaltung des astabilen Multivibrators! (↑ Bild 91/1)

24 ▼ Untersuchen Sie verschiedene Schaltungen eines bistabilen Multivibrators! (↑ [2], E 61, E 62, E 63)

Vergleichen Sie die Ergebnisse des Experiments 24 mit den bereits kennengelernten Eigenschaften bistabiler Multivibratoren!

Vergleichen Sie den Bauelementeaufwand bei der Realisierung von bistabilen Multivibratoren mit Schaltkreisen und mit Transistoren!

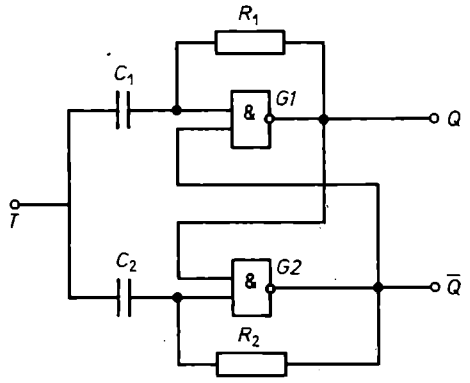


Bild 91/1
Bistabiler Multivibrator als Frequenzteiler 2:1
(Flankengetriggertes Flip-Flop)

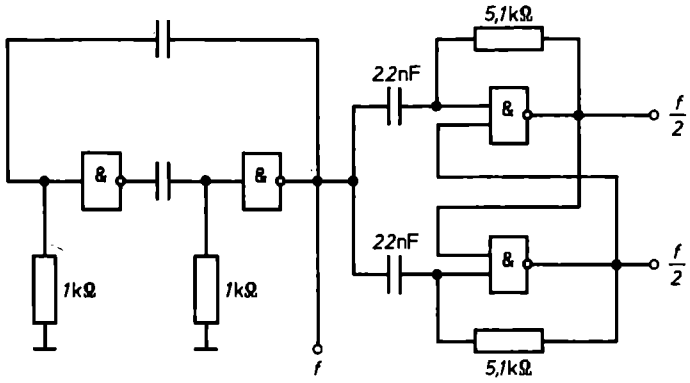


Bild 92/1
Frequenzteilung mit bistabilem Multivibrator

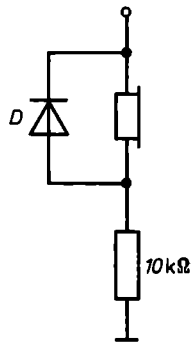


Bild 92/2
Beschaltung des Kopfhörers

25 ▼ Wiederholen Sie das Experiment 22! Verwenden Sie als Bauelemente Transistoren, Widerstände und Kondensatoren!

Eine geeignete Schaltung eines bistabilen Multivibrators finden Sie im Schaltungsheft zum Bastlerbeutel 6 bzw. 7, S. 4 bis 6. Verwenden Sie die Eingänge E_1 und E_2! Die anderen Eingänge werden nicht benötigt, die Bauelemente entfallen!

Verwenden Sie in beiden Multivibratoren nur Transistoren mit gleicher Zonenfolge!

7.4.4. Schwellwertschalter

Vielfach besteht die Notwendigkeit, bei veränderlichen Spannungen nach Erreichen eines bestimmten Wertes einen Schaltvorgang auszulösen. Dazu geeignete Schaltungen nennt man Schwellwertschalter oder Schmitt-Trigger. Einen besonders einfachen Schwellwertschalter stellt das Relais dar. Bei einer bestimmten Spannung, der Ansprechspannung des Relais, wird der Anker angezogen, und die Kontakte schalten um. Anschließend kann die Spannung verringert werden, ohne daß sich am Schaltzustand etwas ändert. Erst beim Erreichen der Rückgangsspannung geht das Relais in die Ruhelage zurück. Die Differenz zwischen Ansprechspannung und Rückgangsspannung heißt Hysterese.

26 ▼ Messen Sie bei einem Relais die Ansprechspannung und die Rückgangsspannung, und berechnen Sie die Hysterese!

● Begründen Sie, weshalb die Verwendung von Relais als Schwellwertschalter nicht üblich ist!

Schwellwertschalter lassen sich mit Transistoren und mit Schaltkreisen aufbauen.

Kennzeichen von Schwellwertschaltern mit Transistoren ist ein gemeinsamer Emitterwiderstand. Dieser Widerstand beeinflußt wesentlich das Schaltverhalten der Schaltung.

27 ▼ Untersuchen Sie die Schaltung eines Schmitt – Trigger! (↑ [2], E 64)

28 ▼ Untersuchen Sie weitere Schaltungen des Schmitt – Trigger! (↑ [2], E 65, E 66)

Im Zusammenhang mit NAND-Gattern wurde erkannt, daß sich die Eingangsspannung nicht langsam ändern darf (↑ Abschnitt 7.3.). In den Fällen, in denen man das nicht mit Sicherheit ausschließen kann oder wenn kontinuierliche Spannungsänderungen mit diesen

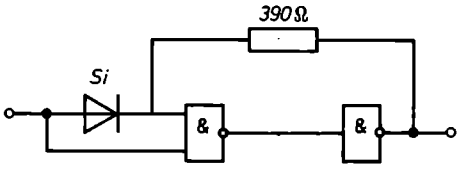


Bild 93/1
Schwellwertschalter mit D 10-NAND-Gattern

Schaltkreisen verarbeitet werden sollen, ordnet man am Eingang der Schaltung einen Schwellwertschalter an.

Bild 93/1 zeigt einen Schwellwertschalter mit zwei NAND-Gattern.

29 ▼ Bauen Sie die Schaltung nach Bild 93/1 auf, und untersuchen Sie das Schaltverhalten!

Beachten Sie beim Aufbau besonders die Polung der Diode (Druckfehler im Schaltungsheft zum Bastlerbeutel 8!).

7.5. Leistungsschalter

Elektronische Schaltungen verarbeiten Informationen. Diese Informationen werden am Ausgang der Schaltung ausgegeben. Die von den Schaltungen betätigten Ausgabeorgane, wie Glühlampe, Relais, Motor oder Lautsprecher benötigen eine bestimmte Leistung. Bei Schaltungen mit Einzeltransistoren werden die einzelnen Stufen so dimensioniert, daß die Ausgangsstufe die erforderliche Leistung aufbringen kann. Ein Beispiel dafür ist der NF-Leistungsverstärker (↑ Abschnitt 5.4.2.).

Mitunter ist es notwendig oder sinnvoll, zwischen elektronischer Schaltung und Ausgabeorgan noch eine Trennstufe oder Leistungsstufe einzufügen oder besondere Maßnahmen zum Schutz der elektronischen Bauelemente zu ergreifen. Besonders gilt dies bei der Anwendung digitaler Schaltkreise, da diese Schaltkreise sowohl bei Überspannungen

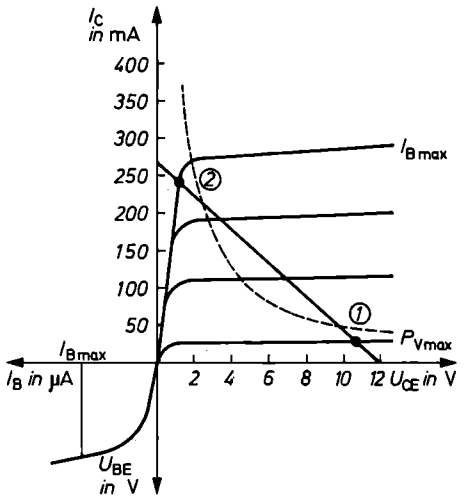


Bild 93/2
Ausgangskennlinienfeld eines Leistungsschalters

als auch bei zu großen Stromstärken zerstört werden können. Nur bei Einhaltung aller Grenzwerte arbeiten elektronische Schaltungen zuverlässig.

In diesem Zusammenhang muß hier erwähnt werden, daß Transistoren im Schalterbetrieb Leistungen schalten können, die über der maximalen Verlustleistung des Transistors liegen. Im Ausgangskennlinienfeld erkennt man das daran, daß die Widerstandsgerade die Kurve der maximalen Verlustleistung zweimal schneidet (↑ Bild 93/2).

Im Schalterbetrieb liegt der Arbeitspunkt des Transistors bei 1 oder bei 2. In beiden Fällen ist die Leistung viel kleiner als die maximale Verlustleistung.

- Berechnen Sie die im Transistor in Wärme umgesetzte Leistung im Punkt 1 und im Punkt 2!

Die geschaltete Leistung ist das Produkt aus Spannung im Punkt 1 und Stromstärke im Punkt 2.

- Vergleichen Sie die geschaltete Leistung mit der in den rechnerisch ermittelten Leistungswerten der obenstehenden Aufgabe!

Beim Auslegen von Schaltstufen nach diesen Grundsätzen ist unbedingt zu beachten, daß der Umschaltvorgang von Punkt 1 nach Punkt 2 und umgekehrt sehr schnell erfolgt und daß die Punkte 1 und 2 mit Sicherheit unterhalb der Kurve der maximalen Verlustleistung liegen.

Besondere Bedingungen sind beim Anschalten von Glühlampen und Spulen (Relais, Motor, aber auch Kopfhörer) an Schaltstufen zu beachten.

Glühlampen haben bei kaltem Glühfaden einen etwa um den Faktor 10 kleineren Widerstand als bei Nennspannung. Dadurch fließt im Einschaltmoment ein starker Strom, der größer als die maximale Kollektorstromstärke sein kann. Um diesen Einschaltstromstoß zu verhindern, kann man Glühlampen vorheizen.

Der parallel zur Kollektor-Emitter-Strecke angeordnete Widerstand wird so gewählt, daß die Glühlampe bei gesperrtem Transistor gerade noch nicht glüht (↑ Bild 94/1a).

Die Gefahr beim Schalten von induktiven Widerständen tritt im Ausschaltmoment durch eine hohe Induktionsspannung ein. Diese Induktionsspannung kann durch eine richtig gepolte Diode unwirksam gemacht werden.

Die Diode ist dann richtig gepolt, wenn sie für die Betriebsspannung Sperrichtung aufweist (↑ Bild 94/1b).

Sinngemäß gelten die Ausführungen auch für Schaltkreise. In den meisten Fällen wird die von einem Schaltkreis abgegebene Leistung nicht ausreichen, Ausgabeorgane zu be-

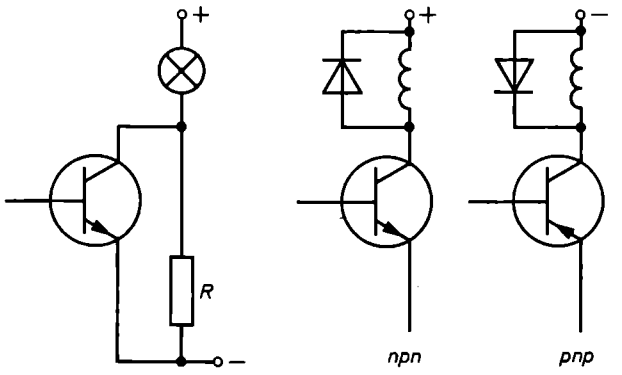
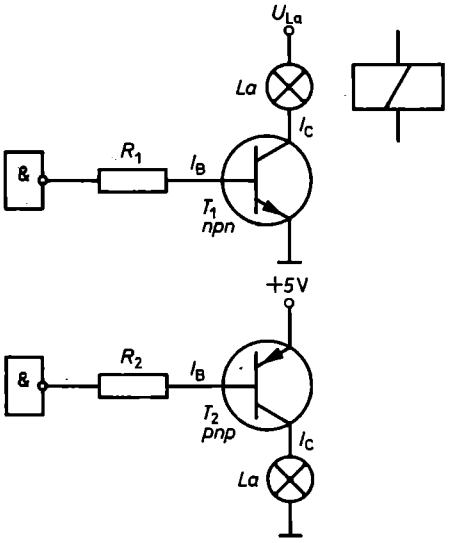


Bild 94/1
Schutz eines Transistors
a) vor Stromüberlastung infolge des Kaltwiderstandes von Glühlampen
b) vor Spannungsüberlastung beim Ausschalten durch Induktionsspannungen



$$R_1 \approx \frac{1{,}5\,V}{I_C} \cdot B$$

$$R_2 \approx \frac{1\,V}{I_C} \cdot B$$

Bild 95/1
Vergrößerung der Schaltleistung von D 10-Schaltkreisen durch nachgeschalteten Transistor

tätigen. Deshalb werden Transistoren zur Leistungsverstärkung nachgeschaltet. Ohne auf alle Einzelheiten einzugehen, sollen hier zwei Möglichkeiten dargestellt werden (↑ Bild 95/1).

Der Widerstand R muß berechnet werden. Er ist abhängig vom Stromverstärkungsfaktor des Transistors und vom maximal zu schaltenden Strom.

8. Meßgrößenwandlung

In allen Bereichen des menschlichen Lebens treten Meßvorgänge auf, wobei die zu messenden Größen unterschiedlichster Natur sein können. Vielfach dienen Meßgrößen zur Steuerung und Regelung automatisierter Produktionsprozesse oder der Überwachung der Produktionsanlagen und der Qualität der Produkte. Zur Verarbeitung der Meßgrößen, wie Temperatur, Druck, Volumen, Masse, Helligkeit, Geschwindigkeit, Länge usw. werden in zunehmendem Maße elektronische Anlagen verwendet. Dazu ist es notwendig, die unterschiedlichen Größen in eine einheitliche Größe umzuwandeln. Als besonders vorteilhaft hat sich die Umwandlung in elektrische Spannungen erwiesen. Man spricht dabei von elektrischer Messung nichtelektrischer Größen. Für die Meßgrößenwandlung werden Meßgrößenwandler verwendet. Diese Meßgrößenwandler müssen dem jeweiligen Prozeß angepaßt werden, um eine zuverlässige Arbeitsweise mit ausreichender Genauigkeit zu garantieren.

In besonderen Fällen werden die in Spannungen umgewandelten Meßgrößen noch in Impulsfolgen umgeformt, deren Frequenz oder Dauer ein Maß für die zu messende Größe

ist. Dadurch ist es möglich, diese Größen mit Digitalzählern anzuzeigen. Meßfehler werden wesentlich verringert, Ablesefehler sind kaum möglich.

8.1. Elektrische Messung der Temperatur

● Nennen Sie elektronische Bauelemente mit temperaturabhängigen Eigenschaften!

Sehr viele Werkstoffe und Bauelemente haben temperaturabhängige Eigenschaften. Vielfach sind diese Eigenschaften unerwünscht und müssen beim Bau von Geräten und Anlagen berücksichtigt werden.

In den vorangehenden Abschnitten wurde mehrfach auf diese Eigenschaften hingewiesen (↑ Abschnitt 3).

Für die elektrische Messung der Temperatur wird in erster Linie die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Leitern und Halbleitern angewendet.

8.1.1. Metallische Leiter als Temperaturwandler

Die Ursache der Vergrößerung des elektrischen Widerstandes von Metallen bei Erwärmung wurde auf Seite 36f. vereinfacht dargestellt. Für die Anwendung dieser Eigenschaft der Metalle für Temperaturmessungen ist es wesentlich, daß die Widerstandsänderung ΔR der Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ näherungsweise proportional ist.

Bei geringen Temperaturänderungen gilt $\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$ mit α = konstant. α ist der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes.

● Geben Sie ein Verfahren an, mit dem der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes von Metallen ermittelt werden kann!

Der Temperaturkoeffizient von Metallen ist sehr klein, damit ergibt sich auch eine relativ geringe Widerstandsänderung beim Erwärmen oder Abkühlen.

Der Vorteil beim Verwenden von Metallen in Temperaturfühlern liegt in der großen Langzeitkonstanz und in ihrer Austauschbarkeit. Nachteile sind der hohe Preis (als Leitermaterial wird Platin verwendet) und die Verwendung spezieller (Kreuzspul-)Anzeigegeräte.

8.1.2. Halbleiter als Temperaturwandler

Während bei Metallen der Widerstand beim Erwärmen größer wird, zeigen Halbleiter entgegengesetztes Verhalten (↑ Experiment 1, Kapitel 3).

In Bild 97/1 ist die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur von Kupfer und von einem Halbleiterwiderstand dargestellt. Der Anstieg der Kurven ist der Temperaturkoeffizient.

● Vergleichen Sie die Temperaturkoeffizienten von Kupfer und von dem Halbleiterwiderstand

a) hinsichtlich des Vorzeichens,

b) hinsichtlich des Betrages bei unterschiedlichen Temperaturen!

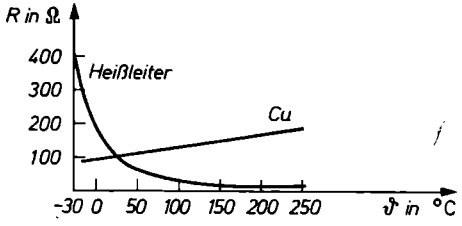


Bild 97/1
Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur bei Kupfer und einem Halbleiterwiderstand

Halbleiterwiderstände für die unterschiedlichsten Anwendungen werden in der DDR vom Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf hergestellt.

Halbleiterwiderstände mit negativem Temperaturkoeffizienten heißen NTC-Widerstände oder Heißleiter.

● Begründen Sie die Bezeichnung Heißleiter!

Widerstände der Typenreihe TNM sind speziell für Meßzwecke hergestellte Halbleiterwiderstände. Zur Kennzeichnung des Nennwiderstandes (Widerstand bei 20 °C) dient der Farbkode für Widerstände (↑ Anhang S. 125).

Der im Baukastensatz Elektronik 5 vorhandene Heißleiter gehört zur Typenreihe TNM.

1 ▼ Nehmen Sie die Widerstands-Temperatur-Kennlinie eines Halbleiterwiderstandes auf, verwenden Sie den Widerstand aus dem Baukastensatz Elektronik 5! Erwärmen Sie den Widerstand in einem Wasserbad!

Beim Experiment 1 ist zu beachten, daß die zum Messen erforderliche elektrische Energie den Halbleiterwiderstand nicht erwärmt, da sonst die Meßwerte verfälscht werden. Dazu ist mit einer sehr kleinen Meßspannung ($U \ll 1$ V) zu arbeiten.

Der Spannungsteiler zum Bereitstellen der Meßspannung ist so zu dimensionieren, daß der Widerstand, an dem die Meßspannung abgegriffen wird, wesentlich kleiner als der Nennwiderstand des Heißleiters ist. Dadurch ist es möglich, die Meßspannung indirekt aus der Betriebsspannung und dem Spannungsteilerverhältnis zu ermitteln.

● Entwerfen Sie die Schaltung für ein einfaches Temperaturmeßgerät mit einem Thermistor als Temperaturfühler!

2 ▼ Ändern Sie die Schaltung einer Temperaturfernmessung so, daß als Meßfühler ein Thermistor eingesetzt werden kann! (↑ [2], E 85)

Bauen Sie die Schaltung auf!

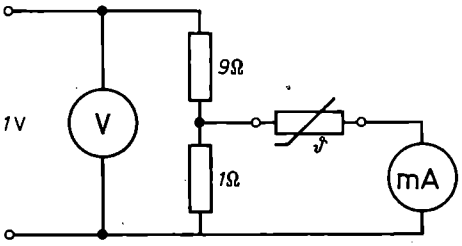


Bild 97/2
Schaltung zur Kennlinienaufnahme eines Thermistors

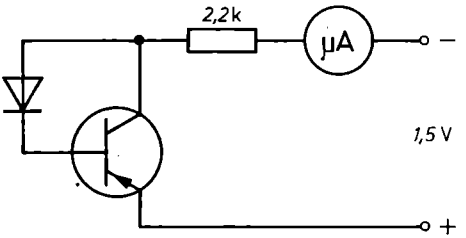


Bild 97/3
Temperaturmeßfühler aus Diode und Transistor

Um Temperaturen messen zu können, muß die Skale des Meßgerätes entsprechend geteilt werden.

Dazu ist bei unterschiedlichen Temperaturen die Spannung abzulesen. Die Darstellung im Temperatur-Spannungs-Diagramm ergibt die Kurve $U = f(\vartheta)$. Bei Messungen liest man dann im Diagramm die der gemessenen Spannung entsprechende Temperatur ab. Darüber hinaus kann auch eine Skale zum Auflegen auf den Spannungsmesser angefertigt werden.

Neben Thermistoren lassen sich auch andere Halbleiterbauelemente als Temperatur-Meßwandler einsetzen. An Stelle der Diode D in der Schaltung (↑ Experiment 2) kann z. B. die Kollektor-Emitter-Strecke eines Ge-Transistors angeschlossen werden. Temperaturabhängige Größe ist der Kollektor-Emitter-Reststrom I_{CEO}.

In Bild 97/3 ist eine Kombination aus einer Ge-Diode und einem Ge-Transistor dargestellt, die sich als Meßfühler bewährt hat. Die angegebene Betriebsspannung sollte nicht überschritten werden, da sonst die Eigenerwärmung des Transistors das Meßergebnis verfälscht.

Schließlich soll noch die Temperaturabhängigkeit der Z-Spannung von Z-Dioden erwähnt werden, die ebenfalls zur Temperatur-Spannungs-Umwandlung genutzt werden kann.

8.2. Lichtelektrische Wandler

Neben einer optimalen Temperatur ist das Licht eine physikalische Größe, die wesentlich das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen beeinflußt. Deshalb kommt beispielsweise einer richtigen und ausreichenden Arbeitsplatzbeleuchtung große Bedeutung zu. Da unsere Sinnesorgane, wie das Auge, nur subjektive Eindrücke vermitteln, sind exakte Messungen notwendig.

Auch bei der Fotografie müssen Messungen vorgenommen werden, damit eine exakte Belichtung des Filmes erfolgt.

Licht wird darüber hinaus auch in der Steuerungs- und Regelungstechnik angewendet. Selbst Nachrichtenübertragungen sind mit Licht möglich.

In all diesen Fällen ist es zweckmäßig, eine Meßgrößenwandlung vorzunehmen, bei der z. B. die Helligkeit in eine entsprechende Spannung umgewandelt wird.

Als Wandler finden u. a. der Fotowiderstand, die Fotodiode, der Fototransistor und das Fotoelement Verwendung. Diese Bauelemente gehören zur Gruppe der optoelektronischen Bauelemente.

Im Abschnitt 3.3 wurde dargestellt, daß in Halbleitern bei Energiezufuhr freibewegliche Ladungsträger entstehen. Wärme und Licht sind sehr verwandte Energieformen (elektromagnetische Wellen, ↑ LB Ph. Kl. 10, S. 108). Werden Halbleitermaterialien mit Licht bestrahlt, so erhalten die Elektronen des Körpers eine höhere kinetische Energie und der elektrische Widerstand wird kleiner. Dieser Vorgang tritt ebenfalls beim Erwärmen der Halbleiter ein (↑ Ph i Üb, S. 143). Es gibt Bauelemente, die bei Zufuhr beider Energieformen ihren Widerstand verringern (z. B. Fotodiode), andere reagieren nur bei einer bestimmten Energieform (Fotowiderstand, Thermistor).

8.2.1. Fotowiderstände

Fotowiderstände werden aus halbleitenden chemischen Verbindungen hergestellt, wie Kadmiumsulfid CdS, Bleisulfid PbS oder Kadmiumselenid CdSe.

Die Verbindungen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit bei unterschiedlichen Licht-Wellenlängen. (↑ Bild 99/1)

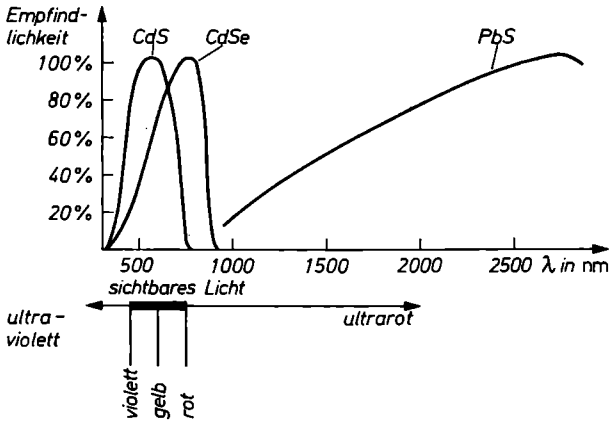


Bild 99/1
Spektrale Empfindlichkeit von CdS, CdSe und PbS

Jeder Licht-Wellenlänge entspricht eine bestimmte Frequenz und eine bestimmte Farbe (↑ Lb. Ph. Kl. 10, S. 113 und 133).

● 3 Welche der angegebenen Materialien eignen sich für sichtbares Licht?

▼ Untersuchen Sie die Abhängigkeit des Widerstandes eines Fotowiderstandes von der Beleuchtungsstärke!

Verwenden Sie dazu Bauteile des SEG Optik!

Beachten Sie, daß die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung kleiner wird, d. h., eine kleine Entfernung entspricht einer großen Beleuchtungsstärke. Wird die Entfernung verdoppelt, so beträgt die Beleuchtungsstärke nur noch $^1/_4$, wird sie verdreifacht, $^1/_9$ vom ursprünglichen Wert. Setzen Sie die maximale Beleuchtungsstärke (minimale Entfernung) gleich 100 %.

Beim Vergrößern der Entfernung um die in der Tabelle, erste Zeile, angegebenen Faktoren verringert sich die Beleuchtungsstärke um die in der zweiten Zeile stehenden Faktoren. Den Widerstand berechnen Sie aus dem Strom und der Spannung!
Stellen Sie das Ergebnis des Experimentes 1 grafisch dar!

Änderung der Entfernung		$2\sqrt{1/3}$	$\sqrt{1,5}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2,5}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	3
Änderung der Beleuchtungsstärke	1	3/4	2/3	1/2	2/5	1/3	1/4	1/5	1/9

8.2.2. Fotodioden, Fototransistoren, Fotoelemente

Fotodioden, Fototransistoren und Fotoelemente sind im Unterschied zu Fotowiderständen Sperrschichthalbleiter. Bei der Anwendung ist deshalb die Polung zu beachten.

Bei Fototransistoren bleibt der Basisanschluß ungeschaltet, meist ist gar kein Basisanschluß vorhanden. Maß für die Beleuchtungsstärke ist der Kollektor-Emitter-Strom. Fotodioden können unter Beachtung der Polarität wie Fotowiderstände eingesetzt werden. Darüber hinaus tritt an den Anschlüssen bei Belichtung eine von der Beleuchtungsstärke abhängige Fotospannung auf, die bei entsprechender Verstärkung ausgewertet werden kann. Besonders ausgeprägt ist die direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie bei Fotoelementen (Solarzellen), die z. B. bei Raumflügen große Bedeutung für die Energieversorgung haben.

Gegenüber Fotowiderständen haben die hier genannten Bauelemente eine geringere Trägheit bei Schwankungen der Beleuchtungsstärke, deshalb setzt man Fotodioden dort ein, wo schnelle Änderungen der Beleuchtungsstärke ausgewertet werden. Hier sei nur die Nachrichtenübertragung mit Hilfe von Licht erwähnt, die immer größere Bedeutung erlangt.

9. Beispiele für Arbeiten in der Arbeitsgemeinschaft „Elektronik"

9.1. Allgemeine Hinweise zu einigen ausgewählten Arbeitstechniken

In dem folgenden Kapitel sollen dem Leser praktische Hinweise zum Aufbau elektronischer Schaltungen gegeben werden. Die hier beschriebenen Arbeitsbeispiele können als Anregung zum Selbstbau eines elektronischen Gerätes oder einer kompletten Anlage genutzt werden. Bei der Auswahl der Arbeitsbeispiele wurde bewußt auf das Darstellen komplizierter Schaltungen verzichtet, um die Möglichkeit zu geben, in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraum ein Gerät oder eine Anlage vollständig aufbauen zu können. Bei den Beispielen wurde ebenfalls bewußt darauf verzichtet, die Wirkungsweise der entsprechenden Schaltung theoretisch bis ins Detail zu beschreiben. Bei den meisten dargestellten Beispielen ist es möglich, daß gleichzeitig mehrere Personen an einer Schaltung arbeiten können.

Beim Aufbau von elektronischen Schaltungen ist es zweckmäßig, entsprechend der folgenden Arbeitsschritte vorzugehen.

1. Arbeitsschritt: *Aufbau einer Versuchsschaltung*
2. Arbeitsschritt: *Entwerfen einer Leiterplatte*
3. Arbeitsschritt: *Herstellen der Leiterplatte*
4. Arbeitsschritt: *Bestücken der Leiterplatte*

Besteht die Möglichkeit, fertige Leiterplatten zu kaufen, können die Arbeitsschritte 2 und 3 natürlich entfallen. In jedem Fall sollte aber eine Versuchsschaltung aufgebaut werden,

da es, wenn die fertige Schaltung nicht die entsprechende Funktion zeigt, nur schwer möglich ist, Änderungen an der komplett bestückten Leiterplatte vorzunehmen.

Im folgenden werden Hinweise zu ausgewählten Arbeitstechniken gegeben, die beim Ausführen der geplanten Arbeitsvorhaben immer wieder bewältigt werden müssen.

9.1.1. Hinweise zum Durchführen von Lötarbeiten

Mit den Baukästen „Elektronik 5 und 6" ist möglich, elektronische Schaltungen relativ schnell aufzubauen. Ein solcher Schaltungsaufbau ist jedoch für den Dauerbetrieb ungeeignet, da die hergestellten Verbindungen der einzelnen Bauelemente nicht fest genug sind. Beim Einbau in ein Gehäuse können sich dann leicht die provisorisch gesteckten Kontakte lösen und die empfindlichen elektronischen Bauelemente werden im Fall, daß Kurzschlüsse auftreten, zerstört. Die Bauelemente müssen deshalb auf eine Leiterplatte montiert, festgelötet und durch entsprechende Leiterzüge verbunden werden, damit die Schaltung stets funktionstüchtig ist. Zum Löten elektronischer Bauelemente darf neben dem Lötdraht nur Kolophonium als Flußmittel (in Form von Brocken oder als Lösung) verwendet werden. Das im Bereich der Leistungselektrotechnik gebräuchliche Lötfett ist wegen seiner ätzenden Wirkung für diese Arbeiten ungeeignet. Kolophonium kann man als Geigenharz in jedem Musikgeschäft kaufen. Es ist in Spiritus löslich und kann so mühelos auf die entsprechenden Lötstellen aufgetragen werden. Da flüssiges Zinn sehr schnell oxydiert, ist es zweckmäßig, die Lötkolbenspitze von Zeit zu Zeit in Kolophonium hineinzudrücken. Reicht das Zinn auf der Lötkolbenspitze nicht mehr aus, kann man etwas Lötdraht auf der Spitze schmelzen lassen und so sauber weiterarbeiten.

Vor dem Löten müssen die Anschlußdrähte der Bauelemente die richtige Lage erhalten. Das Abbiegen sollte stets mit einer kleinen Flachzange erfolgen, damit die Bauelemente nicht beschädigt werden. Die Zange muß dabei zwischen Biegestelle und Bauelement gehalten werden (↑ Bild 101/1).

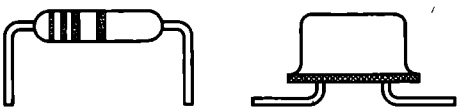


Bild 101/1
Richtiges Vorbereiten der Bauelemente

Der zum Löten verwendete Lötkolben soll ungefähr eine elektrische Leistung von 20 W bis 40 W haben. Bei höheren Leistungen des Lötkolbens kann sich durch die zu starke Wärmeentwicklung die Folie auf der Leiterplatte ablösen, oder die elektronischen Bauelemente werden unbrauchbar.

- Begründen Sie, weshalb bei zu starker Wärmezufuhr die elektronischen Bauelemente beschädigt werden können!

Für das Löten der wärmeempfindlichen Halbleiterbauelemente sollten folgende Arbeitsregeln beachtet werden:

1. Die Lötzeit auf etwa 5 Sekunden für jede Lötstelle begrenzen.
2. Reicht diese angegebene Zeit nicht aus, dann die Arbeit kurze Zeit unterbrechen, bis die Lötstelle abgekühlt ist. Erst danach weiterarbeiten.
3. Anschlußdrähte mit Hilfe einer Pinzette oder Flachzange zwischen der Lötstelle und dem Halbleiterbauelement kühlen.

9.1.2. Hinweise zum Anfertigen einer Versuchsschaltung

Bevor die Bauelemente auf einer Leiterplatte entsprechend dem Schaltplan festgelötet werden, ist es zweckmäßig eine Versuchsschaltung anzufertigen. Dadurch hat man die Möglichkeit, die Bauelemente zu überprüfen und im Falle eines Defekts durch andere zu ersetzen. So hat man die Gewißheit, daß die Schaltung funktioniert. Für den Aufbau einer Versuchsschaltung gibt es verschiedene Möglichkeiten, die jedoch insgesamt folgende Bedingungen erfüllen müssen:

1. Die Bauelemente müssen übersichtlich angeordnet sein.
2. Die Bauelemente müssen leicht auswechselbar sein.
3. Die Schaltung muß schnell aufgebaut werden können.
4. Die Bauelemente müssen so fest auf einer Unterlage montiert sein, daß bei Erschütterungen keine Kurzschlüsse auftreten können.

Eine Variante für den Aufbau einer Versuchsschaltung, die diese genannten Bedingungen erfüllt, soll nun beschrieben werden.

Man benötigt dazu ein etwa 5 mm dickes Brett aus Sperrholz, dessen Größe von der anzufertigenden Schaltung abhängig ist. Dieses Brett wird mit Reißnägeln bestückt. Da die Reißnagelköpfe verzinnt werden sollen, ist als Material Messing zweckmäßig. Gut geeignet für diesen Zweck sind CONTI – Reißbrettstifte. In einem Abstand von 10 ... 12 cm werden die Plus- und Minusleitung für die spätere Energieversorgung befestigt. Sie bestehen aus je einem Stück blankem Kupferdraht mit etwa 1 ... 1,5 mm Durchmesser. Dieser Draht wird auf eine Reihe Reißnägel, die etwa einen Abstand von 30 mm voneinander haben, aufgelötet. Die anderen Reißnägel werden nun so plaziert, daß die Bauteile genau in der räumlichen Anordnung befestigt werden können, wie sie auch auf dem Schaltplan eingezeichnet sind (↑ Bild 102/1).

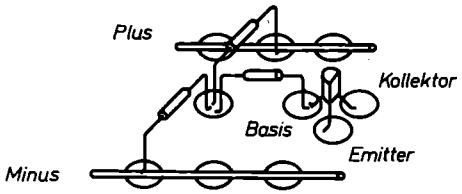


Bild 102/1 Beispiel für eine Brettschaltung

Um eventuelle Kurzschlüsse zu vermeiden, werden die langen Anschlußdrähte der Bauelemente mit Isolierschlauch überzogen. Es ist nicht ratsam, diese Anschlußdrähte zu kürzen, da die Bauelemente später noch weiterverwendet werden sollen. Sind die Reißnägel verzinnt, lassen sich die Bauelemente leicht und bequem auflöten und die Versuchsschaltung kann auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft werden. Bei defekten Bauelementen kann noch sehr schnell die Schaltung verändert werden.

9.1.3. Hinweise zum Bearbeiten vorgefertigter Universalleiterplatten

Eine Versuchsschaltung ist im Arbeitsstadium des Ausprobierens und Experimentierens sicher sehr praktisch; soll aber ein gebrauchsfähiges Gerät mit entsprechenden Gebrauchseigenschaften entstehen, muß eine sogenannte „gedruckte" Schaltung auf Leiterplattenmaterial entworfen und angefertigt werden.

In vielen Fällen ist es möglich, eine Universalleiterplatte zu verwenden. Man kann sie in größeren Stückzahlen herstellen und für viele verschiedene Schaltungen einsetzen. Gut geeignet sind Leiterplatten mit nebeneinander angeordneten Kupferbahnen. Die Breite der Kupferbahnen beträgt 3 mm, der Isolationszwischenraum ist 2 mm breit. Daraus ergibt sich der senkrechte und waagerechte Lochabstand mit 5 mm. Der Lochdurchmesser der Bohrungen beträgt 1 mm (↑ Bild 103/1).

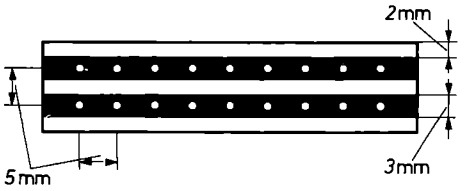


Bild 103/1 Schema einer Universalleiterplatte

Müssen die Leiterbahnen getrennt werden, so kratzt man mit einem scharfen, spitzen Messer eine etwa 1 mm breite Trennlinie. Die Anordnung der einzelnen Bauelemente kann sowohl liegend als auch stehend erfolgen.

9.1.4. Hinweise zum Selbstbau von Leiterplatten

Für den ungeübten Elektronikamateur sind die im Handel erhältlichen Leiterplatten oft nur schwer mit den angegebenen Bauelementen zu bestücken. Die Leiterbahnen sind verhältnismäßig schmal und die geringen Abstände zwischen den Leiterbahnen können beim Löten die Ursache für Kurzschlüsse werden. Deshalb ist es zweckmäßig die Leiterplatten selbst anzufertigen. Eine Möglichkeit soll im folgenden näher beschrieben werden.

Für die Arbeit wird kupferkaschiertes Material und ein handelsüblicher Ätzsatz benötigt.

Hat man eine geeignete Schaltung ausgewählt, und alle Bauteile beschafft, beginnt man mit dem Entwurf einer gedruckten Schaltung auf Millimeterpapier. Man fertigt sich also zunächst eine Schablone an. Je nach der Größe der Bauelemente wird ein Raster angefertigt, d. h., es werden alle die Stellen auf dem Millimeterpapier markiert, an denen später auf der Leiterplatte die Löcher für die Anschlußdrähte der Bauelemente gebohrt werden müssen. Der Entwurf muß also genau der Größe der fertigen Leiterplatte entsprechen. Eine große Schwierigkeit besteht zum Anfang der Arbeit darin, daß man vom Elektronikbaukasten daran gewöhnt ist, die Bauelemente von „oben" zu betrachten. Jetzt befinden sich die Leiterzüge jedoch „unten" und es muß spiegelbildlich gezeichnet werden. Hat man alle Punkte markiert, werden auf dem Millimeterpapier die Bauelemente entsprechend dem Schaltplan eingezeichnet. Ist diese Arbeit beendet, können die Leiterzüge markiert werden. Es ist darauf zu achten, daß sich keine Leiterzüge kreuzen, da sonst zusätzlich Leiterzüge eingelötet werden müßten, die sich bei einfachen Schaltungen auf jeden Fall vermeiden lassen.

Hat man sauber gezeichnet und das Papier auf die entsprechende Größe geschnitten, wird das Stück des kupferkaschierten Materials auf die gleiche Größe gebracht. Es läßt sich mit einer Metallsäge gut bearbeiten. Die entstehenden Kanten werden mit feinem Sandpapier gebrochen. Die Kupferschicht der zukünftigen Leiterplatte wird mit feinem Scheuersand gereinigt.

Die auf Millimeterpapier angefertigte Schablone wird mit Klebeband auf der Leiterplatte befestigt. Liegt das Papier glatt auf der Leiterplatte auf, ist ein Verschieben also nicht mehr möglich, wird an den markierten Stellen mit einem Körner vorsichtig gekörnt. Damit entsteht ein Raster auf der Leiterplatte. Die Schablone wird entfernt. Nun können die Leiterzüge auf die Leiterplatte gezeichnet werden. Dazu wird Abdecklack mit Kaliumpermanganat eingefärbt und mit einem Skribent aufgetragen. Um saubere Leiterzüge zu erhalten, wird mit dem Lineal gearbeitet. Die Breite der Leiterzüge hängt in erster Linie von der Größe der Leiterplatte ab. Es sollte darauf geachtet werden, daß die Leiterzüge nicht zu nahe nebeneinander stehen, da sonst leicht Kurzschlüsse in der Schaltung durch Berühren zweier Leiterzüge möglich sind.

Anschließend werden mit einer Lochschablone die Lötpunkte, daß sind die Stellen der Körnungen, mit dem Lack abgedeckt.

Auch alle Stellen, die später als Leiterzüge benötigt werden, sind mit Lack gut abzudecken. Der Lack benötigt zum Trocknen etwa eine Stunde. Anschließend wird die Leiterplatte geätzt, d. h. von allen Stellen auf der Leiterplatte, die nicht mit Abdecklack versehen sind, wird das Kupfermaterial herausgeätzt. Die eingezeichneten Leiterzüge bleiben dagegen erhalten.

Für das Ätzbad benötigt man ein wasserfestes und mechanisch stabiles Gefäß. Die Ätzflüssigkeit wird entsprechend der Gebrauchsanleitung des Herstellers mit Wasser verdünnt.

ACHTUNG! Gummihandschuhe, Schutzbrille und Arbeitskittel tragen! Die Leiterplatte wird vorsichtig, unter Beachtung des Arbeitsschutzes in die Ätzflüssigkeit getaucht und im Gefäß bewegt. Nach etwa 15 bis 30 min wird die geätzte Platte aus der Ätzflüssigkeit genommen. ACHTUNG! Arbeitsschutz beachten!

Sollte eine Nachbehandlung der Leiterplatte notwendig sein, wird ein mit Ätzflüssigkeit vollgesogener Wattebausch mit einer Fotoklammer gehalten und vorsichtig über die Platte gewischt, bis die Kupferreste vollständig entfernt sind. Danach wird die Leiterplatte sorgfältig unter fließendem Leitungswasser abgespült. Nun entfernt man mit Spiritus den Abdecklack von den Leiterzügen und Lötpunkten, so daß die hellen Kupferbahnen deutlich sichtbar werden. Es empfiehlt sich, die Leiterplatte anschließend vollständig mit farblosem Lack zu streichen, damit sie vor Verschmutzung geschützt ist. Der Abdecklack beeinflußt die späteren Lötarbeiten nicht. Ist der Lack gut getrocknet, werden an den markierten Stellen die Löcher gebohrt. Es genügt in den meisten Fällen ein Lochdurchmesser von

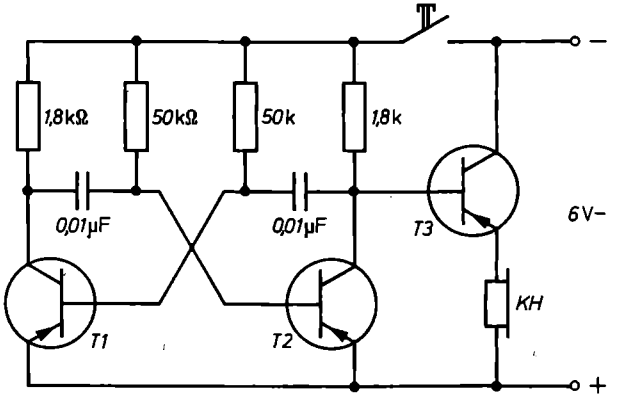


Bild 104/1
Schaltplan des astabilen Multivibrators

1 mm. Zum Bohren hat sich die PIKO-Bohrmaschine gut bewährt. Sind alle Arbeiten abgeschlossen, wird die Leiterplatte entsprechend dem Entwurf mit den Bauelementen bestückt und werden die Anschlußdrähte festgelötet.

Zum Entwerfen von Leiterplatten benötigt man doch einige praktische Erfahrung. Deshalb soll an einem Beispiel gezeigt werden, wie man dabei zweckmäßig vorgehen kann.

Es soll ein astabiler Multivibrator gebaut werden, der als Prüfgerät verwendet wird. Alle Bauelemente sind dabei so zu dimensionieren, daß das Gerät als Tongenerator arbeitet. Der Schaltplan des astabilen Multivibrators ist im Bild 104/1 dargestellt. Neben dem Funktionalen muß auch die äußere Form des Gerätes vorher genau überlegt werden.

Im gegebenen Beispiel werden die Bauelemente hintereinander angeordnet. Dadurch erreicht man eine sehr schmale Leiterplatte, die leicht in ein entsprechendes Gehäuse eingebaut werden kann. Zunächst werden alle Anschlußdrähte der Bauelemente so gebogen, daß sie auf der Leiterplatte Platz finden. Das heißt, man muß sich z. B. überlegen, ob die Widerstände liegend oder stehend angeordnet werden sollen. Dann werden die Abstände der Anschlußdrähte gemessen und die Bauelemente, ausgenommen der Kopfhörer, der Schalter und die Spannungsquelle, werden auf Millimeterpapier in wahrer Größe aufgezeichnet. Das geschieht am besten von rechts nach links, da sich die Leiterzüge später auf der Rückseite der Leiterplatte befinden. Die Stellen, an denen die Löcher gebohrt werden müssen, werden markiert. Dabei dürfen die Markierungen für die Anschlußdrähte der Bauelemente, die außerhalb der Leiterplatte montiert werden, nicht vergessen werden (↑ Bild 105/1).

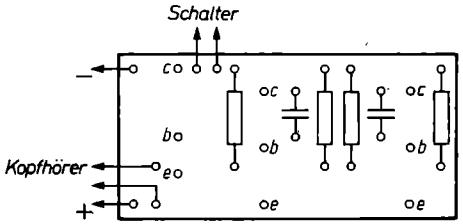


Bild 105/1 Entwurf der Leiterplatte

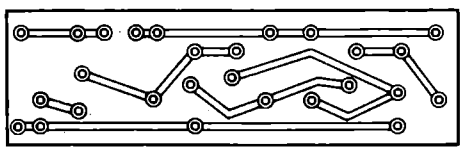


Bild 105/2 Aufbringen der Leiterzüge vor dem Ätzvorgang

Nun werden die Markierungen entsprechend dem Schaltplan verbunden. Die Strichbreite muß dabei mit der Breite der Leiterzüge übereinstimmen, um zu erkennen, ob die Abstände zwischen den Leiterzügen groß genug sind (↑ Bild 105/2). Der Entwurf wird noch einmal genau überprüft, da nach dem Ätzvorgang Fehler kaum noch korrigiert werden können.

9.2. Ausgewählte Arbeitsbeispiele mit Selbstbauleiterplatten

In der Elektronik gibt es eine Reihe von elektronischen Grundschaltungen, die bei einzelnen Geräten und Anlagen immer wieder zu finden sind wie z. B. Multivibratoren, Triggerschaltungen und Verstärkerschaltungen.

9.2.1. Arbeitsbeispiel „Elektronischer Türsummer“

Funktion des Gerätes: In vielen Fällen ist es angenehm, wenn sich eine Tonfolge von zwei oder drei verschiedenen Tönen gut von Klingeln und Türgongs abhebt. Eine solche Signalanlage kann dann deutlich von der des Nachbarn unterschieden werden. Es handelt sich bei dieser Schaltung um die Kombination von zwei Multivibratoren, die je nach Einstellung über den Ausgangstransistor an den Lautsprecher eine 2- oder 3-Tonfolge periodisch abgeben kann.

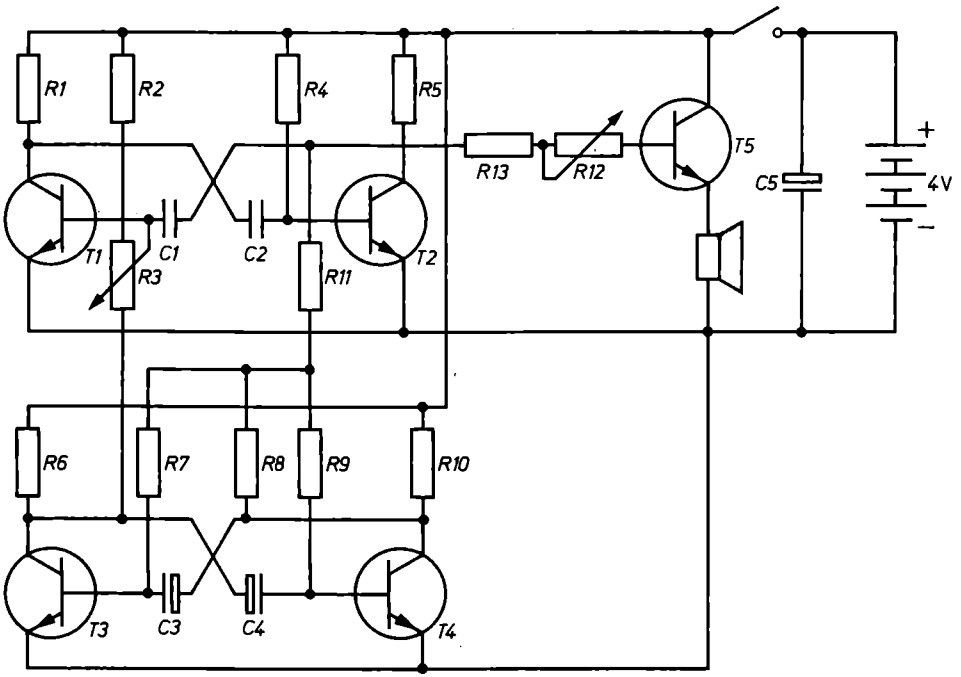


Bild 106/1 Schaltplan eines elektronischen Türsummers

R 3 Potentiometer 1 MΩ
R 12 Potentiometer 10 MΩ
R 1, R 5, R 6 6,8···8,2 kΩ
R 10 8,2···10 kΩ
R 2 10···22 kΩ
R 7, R 8, R 9 150···180 kΩ
R 11 150···220 kΩ
R 4 180···220 kΩ
R 13 0···10 kΩ (je nach B von T 5)
C 1, C 2 4,7···6,8 nF
C 3, C 4 5···10 μF/10 V
C 5 1000 μF/10 V
T 1, T 2, T 3, T 4 npn-Basteltransistoren
T 5 npn-Transistor SF 126, B >300
Lautsprecher 4···15 W

Aufbau des Gerätes: Zunächst fertigt man eine Brettschaltung an. Die Werte für die Widerstände und Kondensatoren sind von der Stromverstärkung der einzelnen Transistoren abhängig, so daß man die günstigsten Werte durch Probieren ermitteln muß.

Für T 1 ... T 4 eignen sich gut die Miniplast-Transistoren aus dem Bastlerbeutel 6 mit $B > 100$. Sollte $B < 100$ sein, dann müssen die Basiswiderstände verkleinert werden. Für die Verstärkerstufe wählt man einen Transistor aus dem Bastlerbeutel 7 mit $B > 300$. Mit dem Basisvorwiderstand von T 5 lassen sich die Lautstärke und der Klangcharakter in bestimmten Grenzen verändern. Deshalb wird als Basisvorwiderstand ein Potentiometer eingesetzt. Da die Kollektorstromstärke von T 5 jedoch 150 mA nicht übersteigen soll, muß ein Festwiderstand in Reihe geschaltet werden. Sein Wert richtet sich nach der Stromverstärkung von T 5 und liegt zwischen 1 KΩ und 10 KΩ.

An die Qualität des Lautsprechers werden keine besonderen Anforderungen gestellt, denn die Wiedergabetreue spielt für dieses Beispiel keine Rolle. Es empfiehlt sich aber, ein Modell mit möglichst großer Membran zu benutzen. Die Potentiometer sollten so angeordnet werden, daß auch nach fertiggestellter Schaltung die Widerstandswerte leicht geändert werden können. Soll das Gerät als Klingelanlage für die Wohnung dienen, muß vorher die Betriebsspannung der Klingelanlage überprüft werden. Auf keinen Fall darf das Gerät an eine Wechselspannung angeschlossen werden.

9.2.2. Arbeitsbeispiel „Elektronischer Parklichtschalter"

Funktion des Gerätes: In diesem Beispiel soll eine Anwendung der Schmitt-Trigger-Schaltung beschrieben werden. Man kann diese Schaltung als Parklichtschalter für Kraftfahrzeuge einsetzen.

Für den Signaleingang wird ein Photowiderstand verwendet. Durch die Abhängigkeit des Widerstandes von der Lichtintensität bekommt der Transistor T 1 bei Helligkeit ein positives Potential an der Basis und der Transistor wird durchlässig. Bei Dunkelheit ist es gerade umgekehrt. Der Ansprechwert des Schmitt – Triggers für das Umschalten kann durch den Widerstand R 1 eingestellt werden.

Um eine Lampe schalten zu können, ist eine Leistungsstufe erforderlich, die vom Trigger geschaltet wird. Der Leistungstransistor ist so zu bemessen, daß er den höheren Einschaltstrom der Lampe aufnehmen kann. Während die Triggerstufe npn – Transistoren besitzt, wird für die Leistungsstufe ein pnp – Transistor gewählt. Der Emitter dieses Transistors liegt am Pluspol, der Kollektor über die zu schaltende Lampe am Minuspol der Betriebsspannungsquelle (↑ Bild 108/1). Dadurch wird erreicht, daß die Leistungsstufe dann sperrt, wenn auch der Transistor T 2 des Triggers gesperrt ist. Bei gesperrtem Transistor T 2 hat die Basis des Transistors T 3 gleiches Potential wie der Emitter. Damit der Dämmerungsschalter kurzzeitige Helligkeitsänderungen nicht registriert (z. B. am Tage durch Schattenwirkung vorbeifahrender Fahrzeuge oder bei Dunkelheit durch Scheinwerferlicht), wird eine Ansprechverzögerung eingebaut. Sie besteht aus dem Widerstand R 2 und dem Kondensator C 1. Bei Schwankungen der Eingangsspannung muß sich der Kondensator über den Widerstand R 2 erst aufladen, bevor sich die Änderung der Eingangsspannung an der Basis des Transistors T 1 bemerkbar macht.

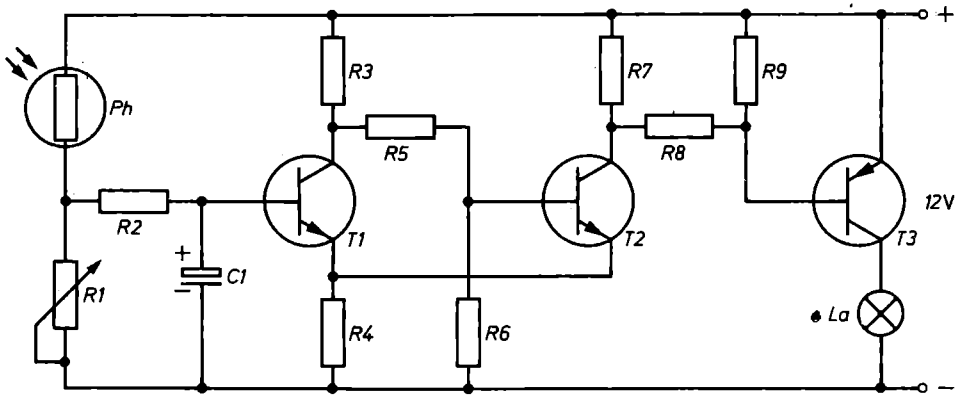


Bild 108/1 Schaltplan des elektronischen Parklichtschalters

R 1	Regelwiderstand 10 kΩ		
R 2	2,4 kΩ	R 8	620 Ω
R 3	2 kΩ	R 9	200 Ω
R 4	130 Ω	C 1	500 µF
R 5	3,9 kΩ	T 1, T 2	npn-Basteltransistoren
R 6	6,8 kΩ	T 3	pnp-Leistungstransistor
R 7	3 KΩ	Ph	Photowiderstand z. B. FOK 3

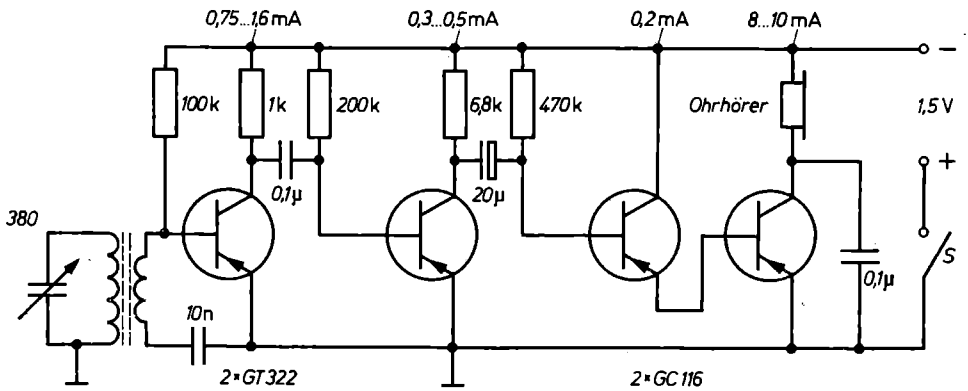


Bild 108/2 Schaltplan eines Taschenempfängers

9.2.3. Arbeitsbeispiel „Einfacher Taschenempfänger"

Der Bau einfacher Rundfunkgeräte bereitet wohl jedem Bastler stets viel Vergnügen. Kaum ein anderes Gerät ist in so vielen Varianten erprobt und veröffentlicht worden, wie der einfache Transistorempfänger. Von der Vielzahl der Möglichkeiten soll eine näher beschrieben werden. Die angebotene Schaltung hat den Vorzug, daß zur Stromversorgung eine Spannungsquelle von 1,5 V ausreicht. Das Gerät kann daher sehr klein aufgebaut werden.

Aufbau des Gerätes: Der Schwingkreis des Empfängers soll für den Mittelwellenbereich

ausgelegt werden. Zu diesem Zweck wickelt man auf einen Ferritstab 80 bis 90 Windungen Kupferdraht mit einem Durchmesser von 0,2 mm. Diese Spule entspricht der Schwingkreisspule L 1 und wird mit dem Drehkondensator verbunden. Auf die Spule L 1 wird die Koppelspule L 2 gewickelt. Sie besteht aus 7 bis 8 Windungen des gleichen Drahtes wie Spule L 1. Dieser Schwingkreis kann dann später leicht mit der Leiterplatte verbunden werden. Es werden in der Schaltung weiterhin Germaniumtransistoren eingesetzt, die dem Bastlerbeutel 1 und 2 entnommen werden. Transistor T 1 dient zur Verstärkung der Hochfrequenz HF, während T 2 zur Demodulation der HF genötigt wird. Man benutzt in beiden Stufen HF-Transistoren. Die Transistoren T 3 und T 4 bilden den NF-Verstärker. Die angegebenen Werte für die Basisvorwiderstände stellen nur Richtwerte dar, da sie stark von der Stromverstärkung der Transistoren abhängig sind.

9.3. Hinweise zur Arbeit mit dem Arbeitssatz „Komplexe Amateur-Technik"

In der modernen Elektronikindustrie werden heute viele Schaltungen aus Baugruppen aufgebaut. Das erleichtert die Fehlersuche und führt in der Industrie zu einer wesentlichen Steigerung der Arbeitsproduktivität. Durch das Auswechseln einer ganzen Baugruppe verringern sich die Reparaturzeiten erheblich und die Stillstandszeiten einer Anlage werden weitgehend herabgesetzt.

Auch in der Arbeitsgemeinschaft „Elektronik" ist der Aufbau von komplexen Schaltungen aus Bausteinen interessant und zeigt die Vorteile dieses Systems.

Nachfolgend sollen deshalb einige Schaltungen beschrieben werden, die sich mit dem System „Komplexe Amateurelektronik" leicht aufbauen lassen.

Der Arbeitssatz enthält neben den geätzten Leiterplatten zahlreiche Teile, die es ermöglichen, schnell und einfach Experimentierschaltungen, Baugruppen, Bausteine und komplette Geräte mit Gehäusen aufzubauen. Die Leiterplatten können mit Steckanschlüssen versehen werden, die einen einfachen Zusammenbau gestatten. Nähere Einzelheiten sind im Anleitungsheft zu diesem Arbeitssatz ausführlich beschrieben.

Grundlage für den Aufbau der Bausteine bilden die entsprechenden Leiterplatten. In der nachfolgenden Übersicht sind die für den Arbeitssatz ausgewählten Schaltungen und Leiterplatten zusammengestellt.

Übersicht: *Bausteinschaltungen und Leiterplatten*

Kleinsignal – Universalverstärker K U V 2 (↑ Bild 110/1)

Verwendung: Universelle Eingangsverstärkerstufe für NF und HF – Verstärkung

Zweistufiger Niederfrequenzverstärker 2 N V 2 (↑ Bild 110/2)

Verwendung: NF-Verstärker für Sprechanlagen, induktive Fernsteuerungen, Lichtmodulationsempfänger, akustischer Schalter

Zweistufiger Gleichstromverstärker 2 G V 2 (↑ Bild 110/3)

Verwendung: Universeller Gleichstromverstärker für Lichtschranken, Relaisschaltverstärkung, Thermoschalter usw. erweiterungsfähig für Multivibrator- und Triggerschaltungen

Leistungsverstärkerbaustein L V B 1 (↑ Bild 110/4)

Verwendung: Schaltverstärker zum direkten Schalten von Lampen und Motoren, NF-Verstärker

Komplementärendstufe K E S 1 (↑ Bild 111/1)

Verwendung: NF-Verstärker bis 10 mW

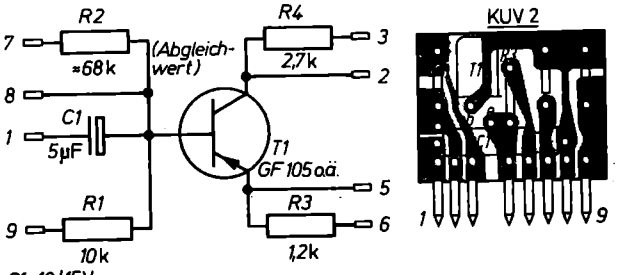


Bild 110/1 C1: 10/15 V

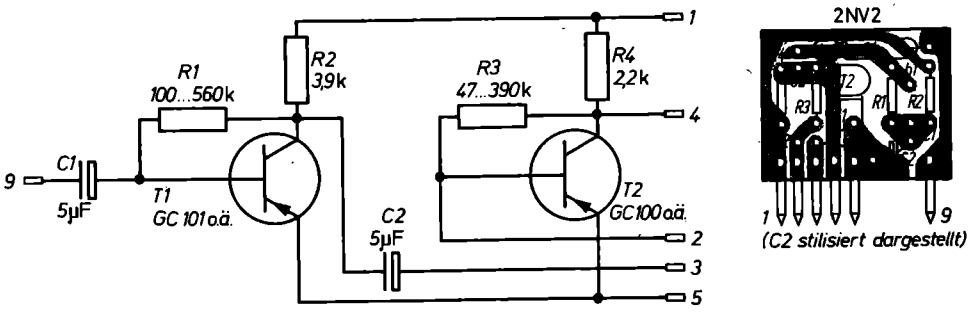


Bild 110/2

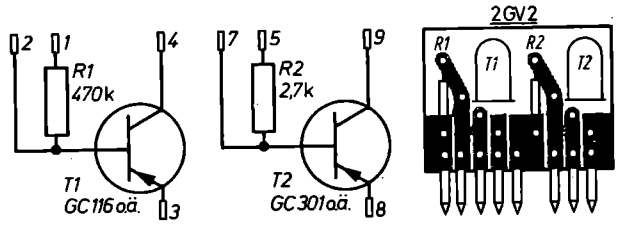
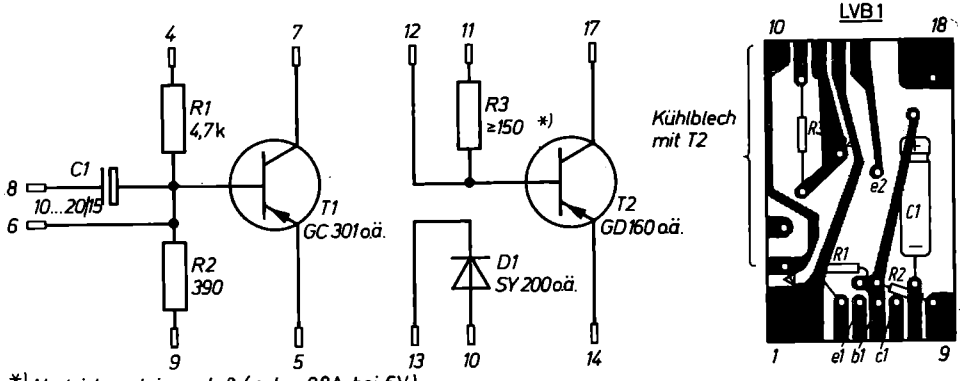
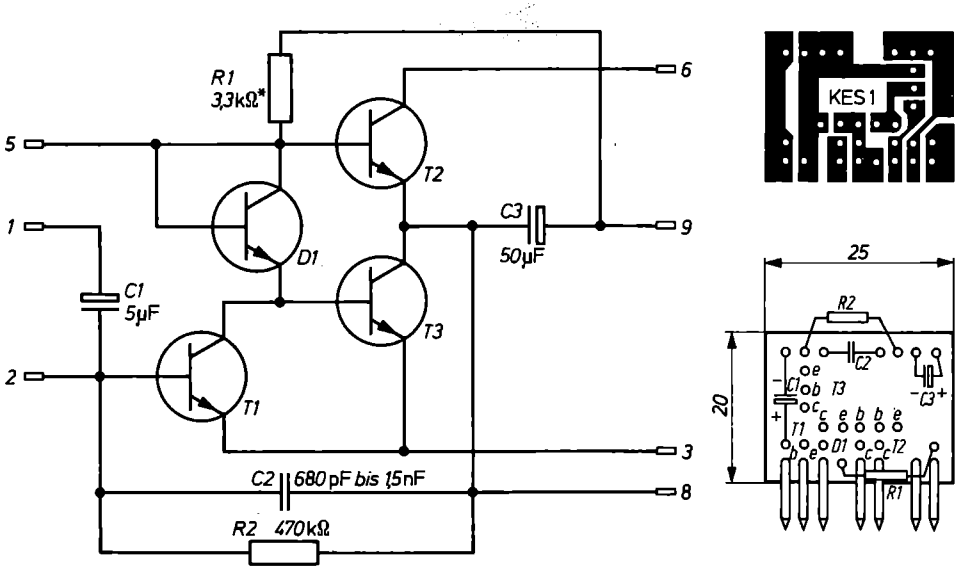


Bild 110/3



*) Abgleichwert je nach β (→ I_{C2} ≈ 0,8 A bei 6 V)
C1: TGL 200-8308 R1,2: 1/8 W, vertikal mont. R3: 1/4 W

Bild 110/4



*Abgleichwerte T1, T2, D1 = SS 216 (Basteltyp)
T3 = GC 121 oder 301 (Basteltyp)
T2, T3 : C bis D

Bild 111/1

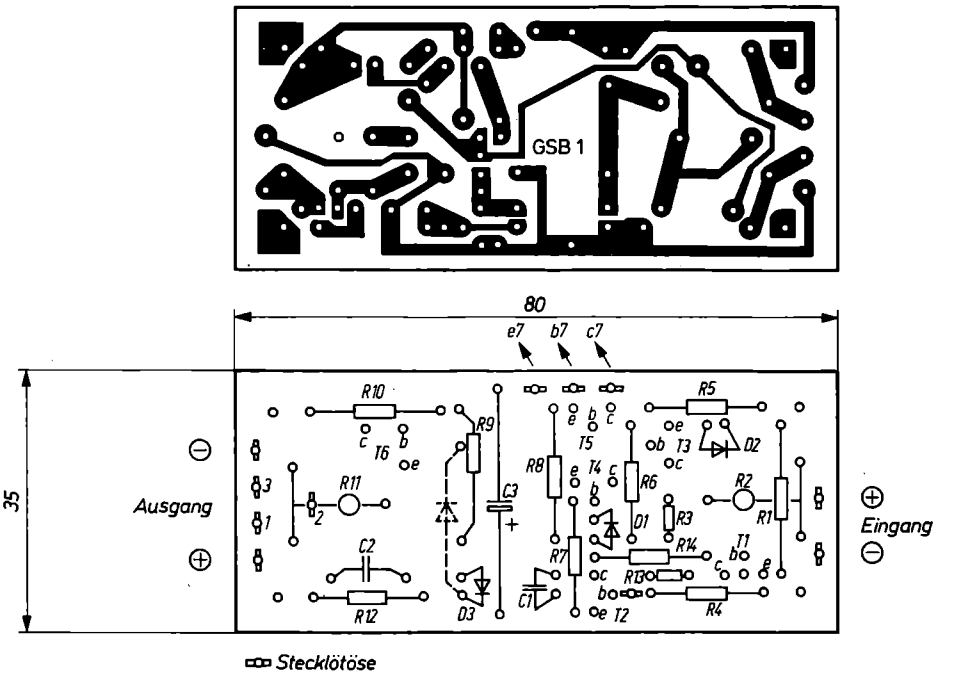
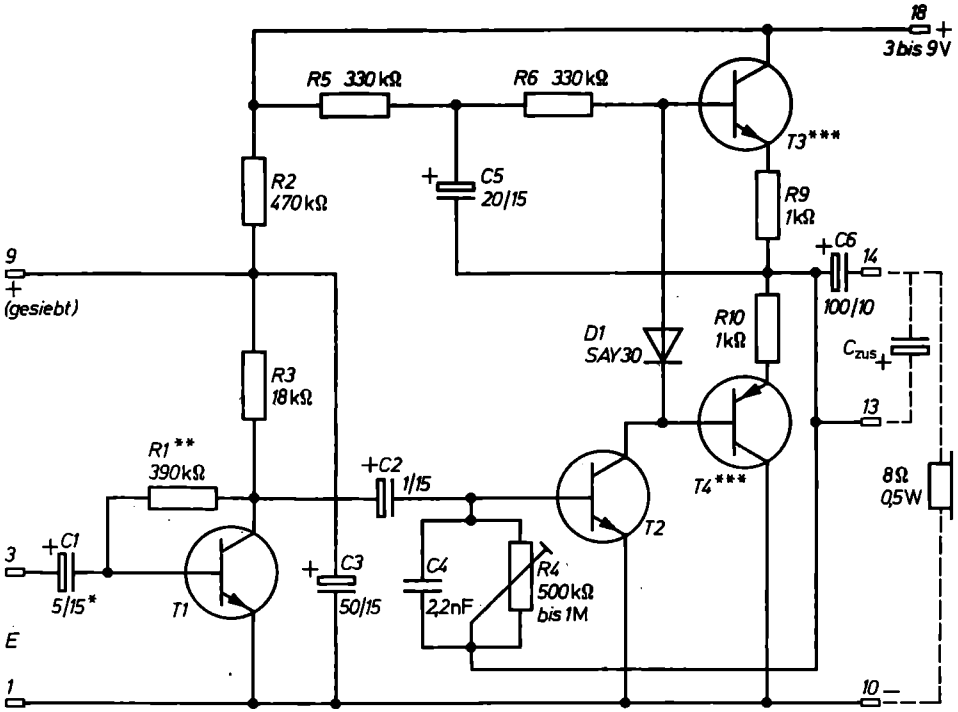
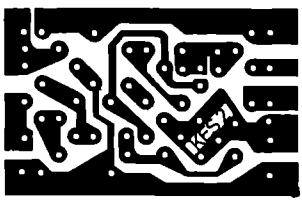


Bild 111/2



T1, T2 SC 206 (C bis D) *) *bei negativen Spannungen am Eingang, Polarität umdrehen!*
T3 SF 126 C (B) **) *Abgleichwert*
T4 GC 301 C (B) ***) *gepaart bei etwa 5,50 und 100 mA*
1Ω-Widerstände: Eigenbau auf 1/8 W-Körper (Drahtwickel)



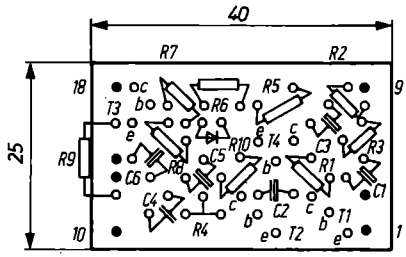
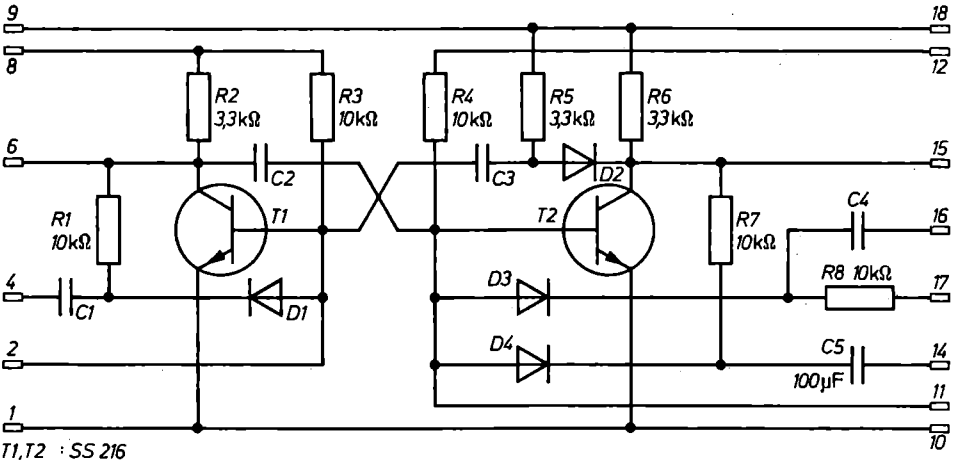
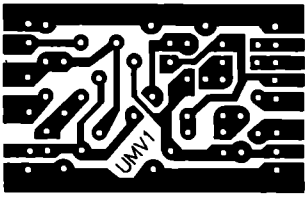


Bild 112/1

Gleichspannungs – Stabilisator – Baustein G S B 1 (↑ Bild 111/2)
Verwendung: Stabilisierte Stromversorgung mit elektronischer Kurzschlußsicherung
Komplementärendstufe K E S 2 (↑ Bild 112/1)
Verwendung: NF-Verstärker bis 100 mW
Universeller Multivibratorbaustein U M V 1 (↑ Bild 113/1)
Verwendung: Mono-, bi- und astabiler Multivibrator für die Digitaltechnik
Schwellwertschalter S W S 1 (↑ Bild 114/1)
Verwendung: Triggerschaltungen für Steuerungen und Regelungen



T1,T2 : SS 216
C2,C3 : 100pF bzw. bis 100µF, je nach Einsatz
D1 bis D4 : SAY 30, GAY 60



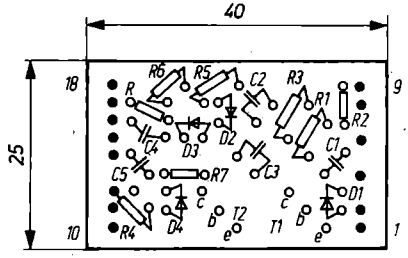


Bild 113/1

9.3.1. Arbeitsbeispiel „Telefonverstärker"

Sind die einzelnen Leiterplatten mit den erforderlichen Bauelementen bestückt, bereitet der Zusammenbau komplexer Schaltungen kaum noch Mühe, da nur wenige zusätzliche Bauteile erforderlich sind. Der Telefonverstärker ermöglicht das Mithören eines Telefongespräches über einen Lautsprecher für einen größeren Personenkreis. Da sich in unmittelbarer Nähe des Fernsprechapparates ein niederfrequentes Wechselfeld aufbaut, kann durch einen induktiven Empfänger mit nachfolgender Verstärkung ein Mithörverstärker realisiert werden 113/2.

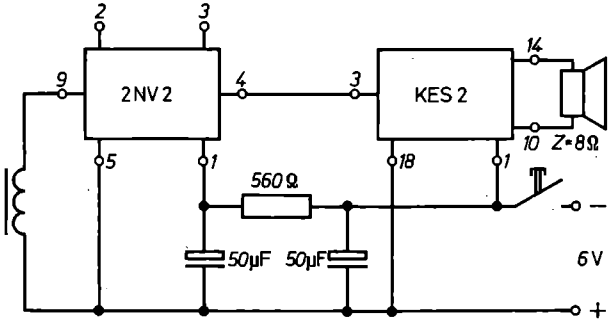


Bild 113/2 Schaltplan eines Telefonverstärkers

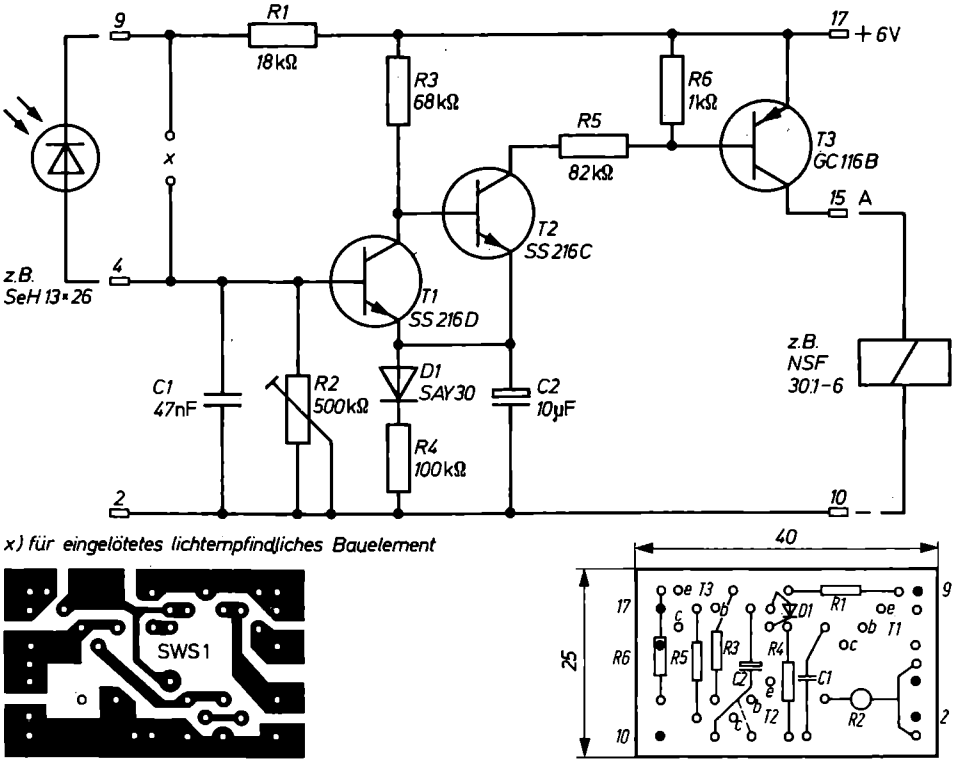


Bild 114/1

Dabei dient der Baustein *2 N V 2* als Vorverstärker und der Baustein *K E S* als Endverstärker. Am Eingang des Vorverstärkers liegt eine Aufnahmespule mit einem magnetisch nicht geschlossenen Eisenkern. Es eignet sich ein kleiner U-Eisenkern ohne Querblech oder ein kleiner E-Schnitt ohne Gegenblech. Der Spulenkörper wird mit dünnem Kupferlackdraht von 0,1 mm Durchmesser bewickelt (etwa 4 500 Windungen).

Die offene Stelle der Aufnahmespule nähert man dem im Telefongehäuse befindlichen Leistungsübertrager von außen. Achtung! Keine Eingriffe in den Apparat vornehmen!

Mit Hilfe eines solchen Gerätes können auch andere niederfrequente Wechselfelder nachgewiesen werden. So ist es z. B. möglich, den Verlauf von Niederspannungsleitungen unter Putz zu überprüfen.

9.3.2. Arbeitsbeispiel „Blinkleuchte“

Mit dem Baustein *L V B 1* können Lampen größerer Leistung geschaltet werden. Deshalb ist diese Schaltung für eine Blinkleuchte besonders geeignet. Blinkleuchten sind für den Aufbau optischer Warnanlagen und Richtungsanzeiger erforderlich, da hier die Aufmerksamkeit besonders auf eine optische Anzeige gerichtet ist. So findet man Blinkschal-

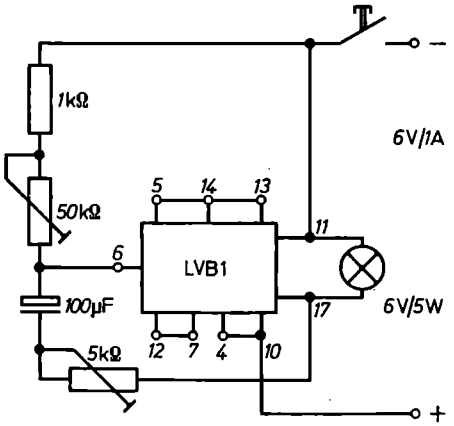


Bild 115/1 Schaltplan einer Blinkleuchte

tungen bei Warnanlagen an Eisenbahnübergängen, zur Kennzeichnung stehender Fahrzeuge oder auch zur Signalisierung des Schaltzustandes einer Anlage.

Der Aufbau der Schaltung geht aus dem Schaltplan Bild 115/1 hervor. Mit Hilfe der Regelwiderstände wird das Verhältnis von Leuchtdauer und Pause eingestellt. Zuvor ist bei unterbrochener Verbindung zwischen dem 5 kΩ Stellwiderstand und dem Anschluß 17 die Kollektorstromstärke im Glühlampenkreis mit Hilfe des 50 kΩ Stellwiderstandes auf den für die Lampe erforderlichen Wert zu begrenzen.

9.3.3. Arbeitsbeispiel „Farbmusikanlage"

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, eine Lichtorgel aufzubauen. Viele Schaltungen werden jedoch mit Netzspannung betrieben, so daß sie nur unter Aufsicht eines Fachmannes angefertigt werden dürfen. Trotzdem ist es auch in der Arbeitsgemeinschaft möglich, eine leistungsstarke Lichtorgel zu bauen, die allen Diskofreunden gefallen wird. Zur Stromversorgung dient ein Stromversorgungsgerät, das die im Schaltplan angegebene Spannung liefert. Farbmusikanlagen arbeiten nach dem im folgenden beschriebenen Prinzip. Das NF-Signal wird am Diodenbuchsenausgang des Rundfunkempfängers oder Tonbandgerätes entnommen und im nachgeschalteten NF-Verstärker auf den zur Vollaussteuerung notwendigen Pegel verstärkt. Nach dem Vorverstärker wird das Frequenzspektrum durch R C-Filter in drei Kanäle aufgeteilt und dem Leistungsverstärker zugeführt. Den Kanälen sind verschiedenfarbige Lampen zugeordnet. Die hier beschriebene Schaltung benutzt als Vorverstärker den Baustein *K U V 2*. Zur Aussteuerung der Lampen dienen die Leistungsverstärker *L V B 1 (↑ Bild 116/1)*.

Im Schaltplan sind zwischen dem Vorverstärker und den Leistungsverstärkern die R C-Filter zu erkennen. Als Widerstände werden Potentiometer verwendet, mit denen die maximale Helligkeit für jeden Kanal einzeln kontinuierlich eingestellt werden kann.

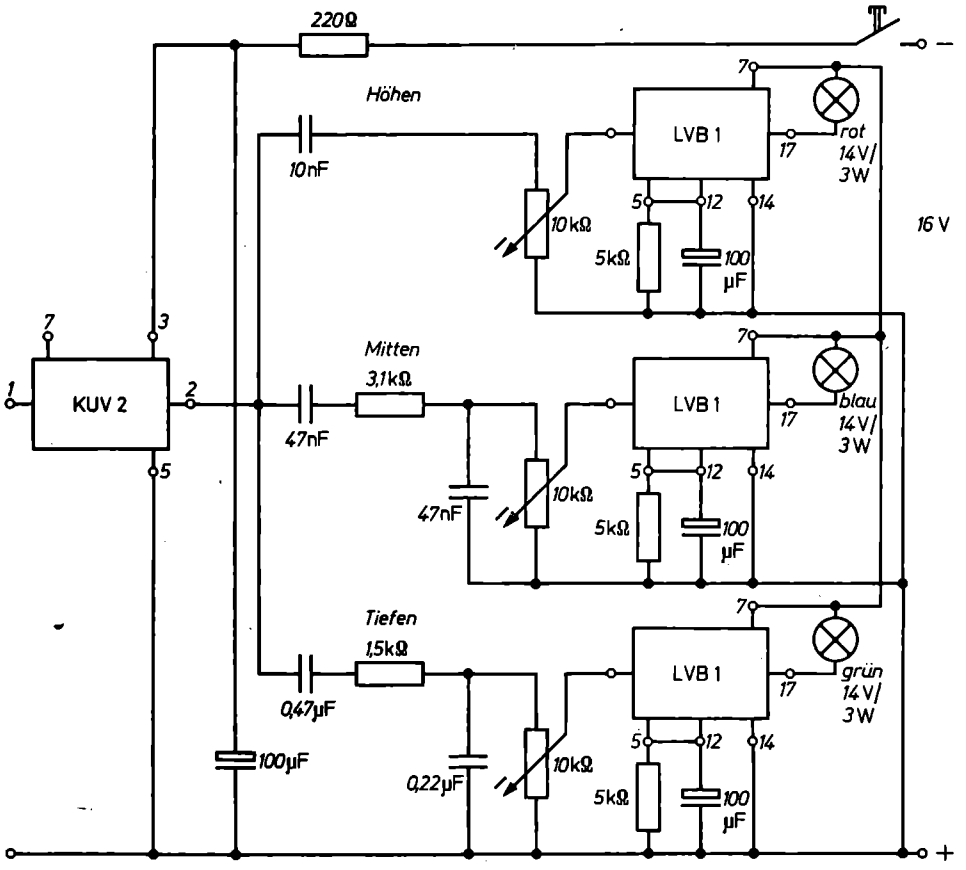


Bild 116/1 Schaltplan einer Farbmusikanlage

9.4. Hinweise zur Arbeit mit integrierten Schaltkreisen

Seit einigen Jahren ist es auch in Arbeitsgemeinschaften möglich, mit integrierten Schaltkreisen zu experimentieren. Um erste Erfahrungen auf diesem Gebiet zu sammeln, wird eine Schaltung mit einem digitalen Schaltkreis beschrieben, der dem Bastlerbeutel 8 entnommen werden kann. Für diese Schaltung benutzt man einen I S 1 (ohne Kennzeichnung). Er besitzt 4 N A N D-Gatter mit je zwei Eingängen. Damit ersetzt dieser Baustein mehrere Transistoren, so daß der Aufbau besonders leicht wird.

Bild 117/1 zeigt das Anschlußschema in der Ansicht von oben.

Der Anschluß 7 stellt die Masse dar, an die der Minuspol der Spannungsquelle gelegt wird. An den Anschluß 14 kommt der Pluspol. Die Betriebsspannung soll 5 V betragen. Um einen

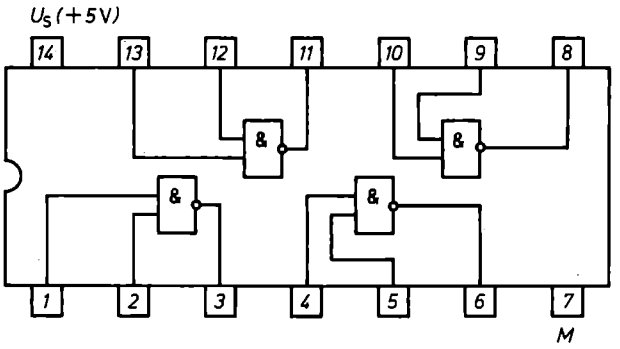


Bild 117/1 Anschlußbelegung für den IS 1

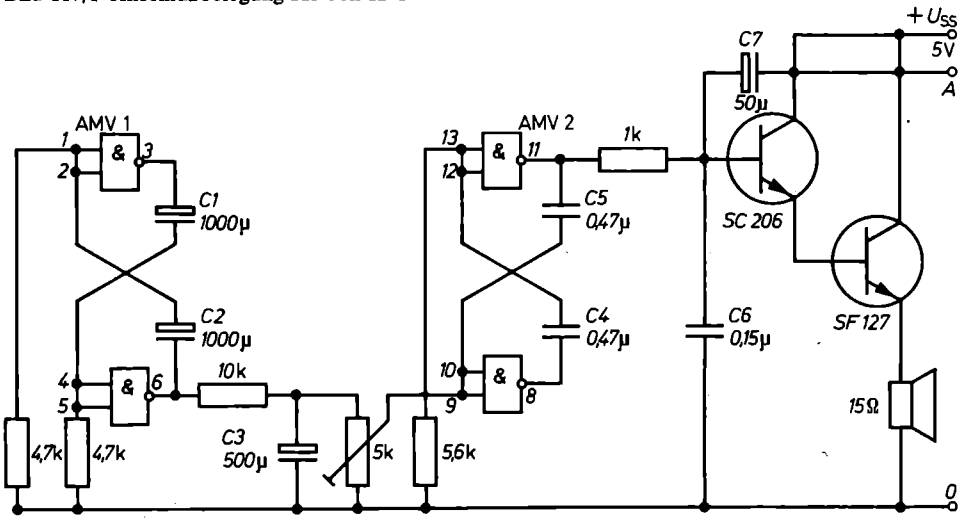


Bild 117/2 Schaltplan einer elektronischen Sirene

Vergleich mit herkömmlichen Schaltungen zu haben, wird als Beispiel die im Abschnitt 9.2.1. beschriebene elektronische Sirene dargestellt.

Aus dem im Bild 117/2 gezeigten Schaltplan erkennt man, daß hier zwei astabile Multivibratoren zusammengeschaltet sind. Dabei wird jeder Transistor durch ein N A N D-Gatter ersetzt. Da der I S 1 vier N A N D-Gatter besitzt, benötigt man nur einen Baustein, bei dem beide Eingänge zusammengeschaltet werden. Die Zahlen im Bild ergeben den entsprechenden Anschluß am Baustein. Die beiden Kondensatoren C 1 und C 2 des ersten Multivibrators (A M V 1) bestimmen den Rhythmus der Tonhöhenschwankungen. Die Kondensatoren C 4 und C 5 im zweiten Multivibrator (A M V 2) beeinflussen die Tonhöhe. Die beiden Transistoren verstärken die Signale. Sollte die Lautstärke nicht ausreichen, kann an Stelle des zweistufigen Verstärkers in A ein Leistungsverstärker angeschlossen werden. Wird dagegen kein zusätzlicher Verstärker benötigt, entfällt Kondensator C 7.

Anhang

1. Nennwert, Istwert, Toleranz

Elektronische Bauelemente werden durch bestimmte Kennwerte charakterisiert.

Kennwerte sind konstante oder in Grenzen veränderliche physikalische Eigenschaften der Bauelemente. Die Kennwerte werden in Form von Tabellen oder grafischen Darstellungen (Kennlinien) angegeben. Wichtigste Kennwerte werden aber auch häufig in kodierter Form, auf das Bauelement aufgedruckt.

Elektronische Bauelemente können nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn ihre Kennwerte bekannt sind und bei der Anwendung berücksichtigt werden.

Da die Kennwerte physikalische Größen sind, können sie gemessen werden. Je nach dem Meßverfahren unterscheidet man *statische Kennwerte* (die Messung erfolgt mit Gleichspannung) und *dynamische Kennwerte* (die Messung erfolgt mit Wechselspannung). Besondere Beachtung verdienen die *Grenzwerte*, die, um eine Überlastung des Bauelements zu vermeiden, keinesfalls überschritten werden dürfen.

Die Kennwerte der Bauelemente sind mit *Toleranzen* behaftet. Der *Nennwert* (aufgedruckter oder in Tabelle bzw. Kennlinie angegebener Wert) weicht mehr oder weniger vom tatsächlichen Wert, dem *Istwert*, des Bauelements ab.

Die Toleranzen werden meist in Prozent, bei manchen Bauelementen aber auch als absolute Abweichung vom Nennwert angegeben.

$$\text{Toleranz} = \frac{\text{Istwert} - \text{Nennwert}}{\text{Nennwert}} \cdot 100\,\%$$

■ Ein Widerstand hat laut Kennzeichnung den Nennwert 100 Ω, die Toleranz beträgt ± 10%. 10% von 100 Ω sind 10 Ω, der Istwert liegt zwischen 100 Ω − 10 Ω = 90 Ω (Minimalwert) und 100 Ω + 10 Ω = 110 Ω (Maximalwert).

Stufung der Nennwerte von Widerständen und Kondensatoren (Internationale E-Reihen)

Reihe	Toleranz						
E 3	±50%	1,00		2,20		4,70	
E 6	±20%	1,00	1,50	2,20	3,30	4,70	6,80
E 12	±10%	1,00 1,20	1,50 1,80	2,20 2,70	3,30 3,90	4,70 5,60	6,80 8,20
E 24	±5%	1,00 1,10 1,20 1,30	1,50 1,60 1,80 2,00	2,20 2,40 2,70 3,00	3,30 3,60 3,90 4,30	4,70 5,10 5,60 6,20	6,80 7,50 8,20 9,10

Die Nennwerte von Widerständen und Kondensatoren sind meist nach geometrischen Reihen gestuft.

Neben den angeführten E-Reihen ist noch die Reihe E 48 mit einer Toleranz von ±2 % üblich.

● Wodurch unterscheiden sich Widerstände der Reihen E 6, E 12, E 24 mit dem Nennwert 2,2 kΩ?

Berechnen Sie die Minimal- und die Maximalwerte!

Der Nennwert eines Widerstandes oder Kondensators ist das Produkt aus einem Element einer Reihe (Zahlenwert in der Tabelle), einer ganzzahligen Potenz von Zehn und der entsprechenden Einheit.

■ $1{,}5 \cdot 10^3 \cdot \Omega = 1{,}5\ \text{k}\Omega$

Die Stufung der Nennwerte und die Toleranzen sind bei den Reihen E 6, E 12, E 24 und E 48 so gewählt, daß alle bei der Herstellung anfallenden Bauelemente einem Nennwert zugeordnet werden können. Diese Tatsache hat große ökonomische Bedeutung. Bei der Herstellung elektronischer Geräte muß geprüft werden, ob die Toleranzen der Bauelemente die Funktion beeinträchtigen können. Für viele Anwendungen genügen Bauelemente der Reihen E 6 und E 12. Werden geringere Toleranzen gefordert (z. B. im Eingangsspannungsteiler eines Meßgerätes) und stehen Bauelemente der Reihen E 24 und E 48 nicht zur Verfügung, so können aus den Reihen E 6 und E 12 Bauelemente durch Messen ausgesucht werden. Dabei muß der Meßfehler der verwendeten Meßgeräte beachtet werden.

Zwischenwerte, die z. B. für Spannungsteiler in Meßgeräten von Bedeutung sind, erhält man durch parallel oder in Reihe geschaltete Widerstände der E-Reihen. Durch geschickte Auswahl der Bauelemente ist so eine wesentliche Verringerung der Toleranzen möglich.

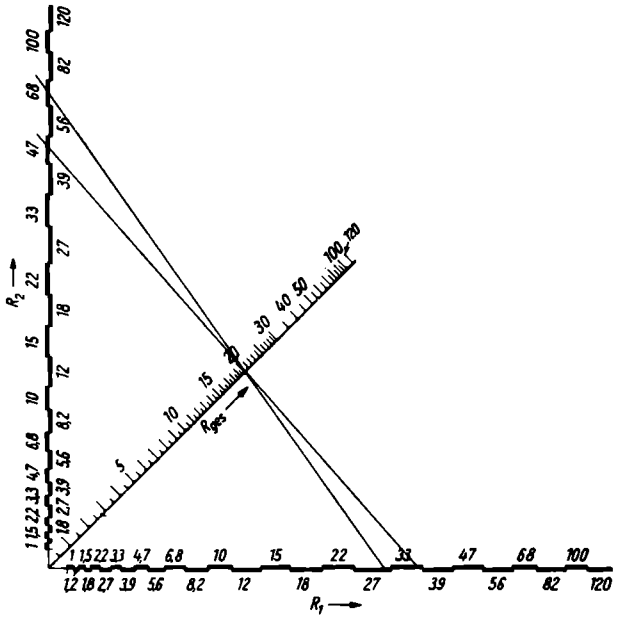


Bild 119/1
Nomogramm für zwei parallelgeschaltete Widerstände der Reihe E 12

Mit dem Nomogramm (↑ Bild 119/1) kann man aus den vorhandenen Widerständen diejenigen ermitteln, die bei Parallelschaltung den gewünschten Widerstandswert ergeben. Eine Kontrolle durch eine Messung und eine eventuelle Korrektur ist notwendig, da die Ablesegenauigkeit des Nomogramms nicht in allen Fällen ausreichend ist.

Das Nomogramm besteht aus drei Leitern, an denen die Widerstände R_1, R_2 und R_{ges} abgelesen werden können.

Der Zusammenhang zwischen diesen drei Widerständen wird durch einzutragende Geraden hergestellt.

Die eingetragenen Geraden zeigen, daß eine Parallelschaltung der Widerstände $R_1 = 27\ \Omega$ und $R_2 = 68\ \Omega$ genauso den Gesamtwiderstand $R_{ges} = 20\ \Omega$ ergibt, wie die Parallelschaltung der Widerstände 33 Ω und 47 Ω.

Die Leiterteilungen des Nomogramms können mit ganzzahligen Potenzen von 10 multipliziert werden, ohne daß sich an diesem Zusammenhang etwas ändert.

- Geben Sie zwei weitere Widerstandspaare an, deren Gesamtwiderstand bei Parallelschaltung 20 Ω beträgt!
- Es wird in einer Schaltung ein Widerstand von R = 2,2 kΩ benötigt. Ein Teilwiderstand hat 5,6 kΩ. Ermitteln Sie den notwendigen zweiten Teilwiderstand!

Kontrollieren Sie Ihre Ergebnisse durch eine Rechnung!

2. Eigenschaften elektrischer Bauelemente

Alle Bauelemente besitzen eine Vielzahl von physikalischen Eigenschaften. In Schaltungen sind nur einige dieser Eigenschaften erwünscht, andere können die Funktion stören. Aus der Kennzeichnung der Bauelemente gehen diese unerwünschten Eigenschaften in der Regel nicht hervor.

Deshalb sollen hier einige allgemeingültige Hinweise gegeben werden, damit Fehlschläge beim Bau von Geräten vermieden werden.

Zeigt eine Schaltung nicht die gewünschte Funktion, so müssen nicht immer Schaltfehler oder defekte Bauelemente die Ursache sein. Vielfach ist der Grund im falschen Einsatz von Bauelementen zu suchen. So lassen sich z. B. „normale" Schichtwiderstände in UKW-Geräten nicht ohne Einschränkung verwenden. Widerstände haben bei hohen Frequenzen auch Eigenschaften, die sonst nur bei Spulen und Kondensatoren auftreten (induktiver und kapazitiver Widerstand). Wird das nicht beachtet, so kann der Widerstand in einer Schaltung die Funktion einer Spule oder eines Kondensators übernehmen. Ähnliches gilt auch für Spulen und Kondensatoren. Nicht immer darf der Ohmsche Widerstand des Drahtes oder der Isolationswiderstand des Kondensators vernachlässigt werden. Bei Halbleiterbauelementen sind die Restströme und die Temperaturabhängigkeit aller Daten zu beachten.

3. Montagehinweise für elektronische Bauelemente

1. Anschlußdrähte möglichst lang lassen und nicht scharfkantig biegen.
2. Bei Glasdurchführungen ist besondere Vorsicht notwendig, nicht auf Zug oder Drehung beanspruchen, erst in einem Mindestabstand von 3 mm biegen.
3. Bauelemente vor der Lötwärme schützen, kurzzeitig löten, evtl. Wärme ableiten, indem das Bauelement mit einer Flachzange an den Anschlußdrähten gehalten wird.
4. Nur mit ordnungsgemäß geerdetem bzw. genulltem Lötkolben arbeiten.
5. Niemals mit Lötwasser oder Lötfett arbeiten, Kolophonium verwenden.
6. Spezielle Montagehinweise der Bauelemente-Hersteller beachten.

4. Kennzeichnung elektronischer Bauelemente

Die Kennzeichnung elektronischer Bauelemente ermöglicht es dem Anwender, den Bauelementetyp und die technischen Daten zu erkennen. Der Platz auf den Bauelementen reicht meist nicht aus, um alle Angaben unterzubringen. Zur eindeutigen Kennzeichnung eines Widerstandes z. B. gehören über zehn verschiedene Angaben. Deshalb werden nur die wichtigsten Angaben auf dem Bauelementekörper, häufig in verschlüsselter (kodierter) Form angebracht. Die fehlenden Angaben sind meist von zweitrangiger Bedeutung und müssen den Prospektmaterialien der Hersteller oder der Fachliteratur entnommen werden.

In den folgenden Abschnitten wird die Bedeutung ausgewählter Bauelemente-Kennzeichnungen erläutert.

4.1. Kennzeichnung von Halbleiterbauelementen

Halbleiterdioden, Transistoren und einige andere Halbleiterbauelemente der DDR-Produktion werden mit zwei oder drei Buchstaben und einer drei- oder zweistelligen Zahl gekennzeichnet. Die Zahl dient nur der Unterscheidung der einzelnen Typen. Die Buchstaben haben folgende Bedeutung:

1. Buchstabe Halbleitermaterial

G Germanium
S Silizium

2. Buchstabe Art des Bauelements, Anwendung

A Diode
C NF-Transistor
D NF-Leistungs-Transistor
E Tunneldiode
F HF-Transistor
M MOSFET
P Photodiode, -transistor
S Schalttransistor
T Thyristor
Y Gleichrichter-Diode
Z Z-Diode

Ein eventuell vorhandener dritter Buchstabe gibt an, daß das Bauelement nicht für die Anwendung in der Konsumgüterelektronik entwickelt wurde.

Bei einer Reihe im Aufbau komplizierterer Bauelemente hat der erste Buchstabe folgende Bedeutung:

A Analog-Schaltkreis
B Analog-Schaltkreis
D Digital-Schaltkreis
E Digital-Schaltkreis
M Optoelektronischer Koppler
U MOS-Schaltkreis
V Lumineszenzdioden, -anzeigeeinheiten

Diese Bauelemente verdrängen in zunehmenden Maße die herkömmlichen Bauelemente wie Diode, Transistor, Widerstand u. a., sie stellen komplette Funktionseinheiten dar. Durch den Einsatz dieser Bauelemente ergeben sich für den Hersteller und den Nutzer elektronischer Geräte wesentliche Vorteile.

4.1.1. Angabe des Stromverstärkerfaktors bei Transistoren

Verschiedene Transistoren eines Typs unterscheiden sich u. a. durch den Stromverstärkungsfaktor. (↑ S. 53). Waren in der Vergangenheit unterschiedliche Kennzeichnungen üblich, wendet man heute einen Buchstabenkode an.

Stromverstärkungsgruppe	Stromverstärkungsfaktor bei	
	Germanium-	Silizium-Transistoren
A	18... 35	18... 35
B	28... 56	28... 71
C	45... 90	56...140
D	71...140	112... 280
E	112...224	224... 560
F		450...1120

4.1.2. Kennzeichnung von Halbleiterbauelementen mit Plastgehäuse

Der zur Verfügung stehende Platz reicht für eine vollständige Typenbezeichnung nicht aus. Deshalb werden einzelne Symbole weggelassen.

Bei Transistoren mit Plastgehäuse (Miniplast-Transistoren) entfällt der erste Buchstabe und die erste Ziffer. Bei plastverkappten Dioden fehlen die ersten beiden Buchstaben oder man wendet einen Farbkode an.

Bei Feldeffekt-Transistoren (MOSFET) wird, um Verwechslungen zu vermeiden, nur der erste Buchstabe weggelassen.

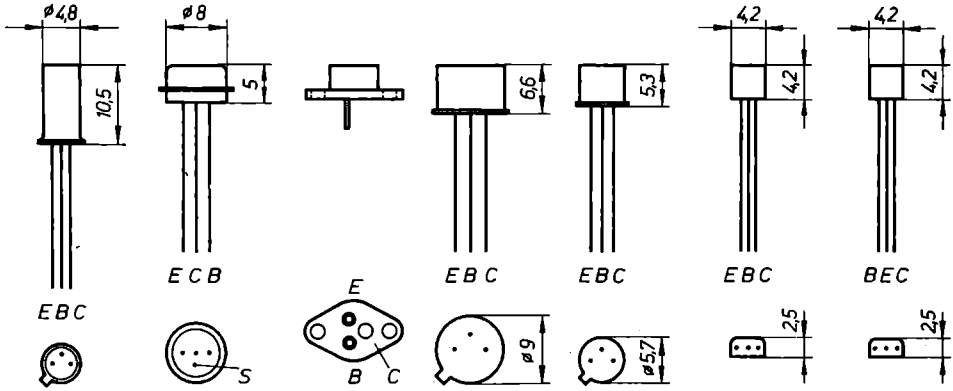
■ C 06 = SC 206 S 01 = SS 201 MY 51 = SMY 51 M 42 = SAM 42
F 15 = SF 215 M 103 = SM 103 Y 30 = SAY 30



Bild 122/1 Beschriftung von Halbleiter-Bauelementen mit Plastgehäuse

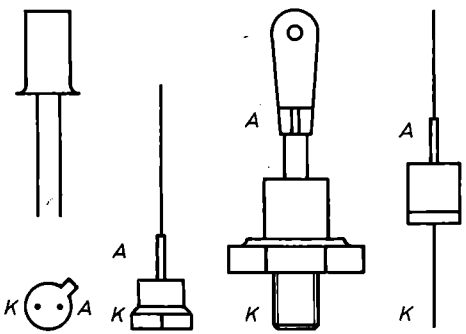
4.1.3. Gehäuseformen und Anschlußbelegung

Um Halbleiter-Bauelemente in Schaltungen einsetzen zu können, muß die Anschlußbelegung bekannt sein. (↑ Bilder 123/1 und 123/2)



GC100, ... 123 GC300, GC301	ΓT313A	GD160 ... 180 GD240 ... 244	SF121 ... SF123 SF126 ... SF128 SF150, SSY20	SF131, SF132 SF136, SF137 SS106 ... 109	SC206, SC207 SC236 ... 239 SF215, SF216 SF235 SS200 ... 202 SS216 ... 219	SF225 SF240 SF245

Bild 123/1 Anschlußbelegung einiger Transistoren



0,1A Ge | 1A Ge | 10A | 1A Si

Bild 123/2
Anschlußbelegung einiger Halbleiterdioden

Bei Halbleiterdioden wird der Katodenanschluß mit einer Farbmarkierung (Punkt oder Ring) gekennzeichnet, wenn ein Unterscheiden auf andere Weise nicht möglich ist.

Bei den nicht mehr produzierten Ge-Fotodioden kennzeichnet die Farbmarkierung die Anode.

4.1.4. Kennzeichnung der Halbleiterbauelemente der Bastlerbeutel des Kombinates VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

Die Bauelemente, die in den Bastlerbeuteln enthalten sind, unterscheiden sich, abgesehen von typisierten Importbauelementen, von Bauelementen mit aufgedruckter Typenbezeichnung nur durch größere Toleranzen der Kennwerte.

Bauelemente *eines* Beutels, die sich durch die Herstellungstechnologie, die Grenzfrequenz, die max. Verlustleistung oder unterschiedliche Anschlußbelegung unterscheiden, werden durch Farbmarkierungen gekennzeichnet, wenn ein Unterscheiden auf andere Weise nicht möglich ist.

Die in den Bastlerbeuteln enthaltenen Bauelemente gehören zu folgenden Typenreihen:

Bastlerbeutel 1: Ge-NF-Transistoren

ohne Farbpunkt:	GC 100 ... 123	(50 ... 120 mW)
roter Punkt:	GC 300, GC 301	(400 mW)

Bastlerbeutel 2: Ge-HF- und UKW-Transistoren

ohne Farbpunkt:	GF 100 ... 105	(HF-Transistoren)
	ГТ 313 A	(Mesa-Transistor, Import)

Bastlerbeutel 3: Ge-Leistungstransistoren

ohne Farbpunkt:	GD 160 ... 180	(5,6 W)
blauer Punkt:	GD 240 ... 244	(10 W)

Bastlerbeutel 4: Gleichrichter-Dioden

	GY 099 ... 105	(0,1 A)
	GY 109 ... 115	(1,0 A) oder
	SY 200 ... 210	(1,0 A)

Bastlerbeutel 5: Gleichrichter-Dioden

	SY 160 ... 166	(10 A) oder
	GY 120 ... 125	(10 A)

Bastlerbeutel 6: Si-Miniplast-Transistoren

	SC 206, 207	
	SC 236 ... 239	(200 mW)

Bastlerbeutel 7: Si-Transistoren im Metallgehäuse

kleines Gehäuse:	SF 131 ... 137	
großes Gehäuse		
ohne Farbpunkt:	SF 121 ... 123	(500 mW, 100 mA)
roter Farbpunkt:	SF 126 ... 129	(500 mW, 500 mA)

Bastlerbeutel 8: Digitale Schaltkreise

Bastlerbeutel 9: Si-Transistoren

Plast-Gehäuse ohne Farbpunkt:	SF 240
Plast-Gehäuse mit Farbpunkt:	SF 245
Metallgehäuse:	SF 150

4.2. Kennzeichnung von Widerständen

Die Angabe des Nennwertes und der Toleranz eines Widerstandes erfolgt mit einem Farbkode oder durch eine Buchstaben-Zahlenkombination. Nennverlustleistung und Grenzspannung kann man an den Abmessungen der Widerstände erkennen.

Widerstände mit verringerter Frequenzabhängigkeit werden durch einen zusätzlichen weißen Farbring gekennzeichnet.

4.2.1. Farbkode

Der Farbkode besteht aus mehreren Farbringen oder -punkten. Die Leserichtung beginnt bei der Farbmarkierung, die einem Widerstandsanschluß am nächsten liegt.
Übersicht: Farbkode

Farbe	1. Ring 1. Ziffer	2. Ring 2. Ziffer	3. Ring Faktor	4. Ring Toleranz
Silber			10^{-2}	± 10 %
Gold			10^{-1}	± 5 %
Schwarz		0	10^{0}	
Braun	1	1	10^{1}	± 1 %
Rot	2	2	10^{2}	± 2 %
Orange	3	3	10^{3}	
Gelb	4	4	10^{4}	
Grün	5	5	10^{5}	
Blau	6	6	10^{6}	
Violett	7	7	10^{7}	
Grau	8	8	10^{8}	
Weiß	9	9	10^{9}	

Fehlt die vierte Farbmarkierung, so hat der Widerstand eine Toleranz von ± 20 %.

- Braun – Blau – Rot – Gold
  1 6 10^{2} ± 5 % $R = 16 \cdot 10^{2}\ \Omega \pm 5\% = 1{,}6\ k\Omega \pm 5\%$
- Rot – Rot – Grün – Braun
  2 2 10^{5} ± 1 % $R = 22 \cdot 10^{5}\ \Omega \pm 1\% = 2{,}2\ M\Omega \pm 1\%$

4.2.2. Buchstaben-Zahlenkode

Die aufgedruckten Zahlen stellen die ersten Ziffern des Nennwertes dar. Der erste Buchstabe ist ein Faktor, der an der Stelle des Kommas steht. Der zweite Buchstabe gibt die Toleranz an. Wenn der Platz auf dem Widerstandskörper ausreicht, wird durch eine Punkt-Strich-Kombination die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes und durch einen Kleinbuchstaben das Herstellungsjahr angegeben.

1. Buchstabe	Bedeutung	2. Buchstabe	Bedeutung
R	$\cdot 1$	K	$\pm 10\%$
K	$\cdot 10^3 = 1\text{k}$	J	$\pm 5\%$
M	$\cdot 10^6 = 1\text{M}$	G	$\pm 2\%$
G	$\cdot 10^9 = 1\text{G}$	F	$\pm 1\%$
T	$\cdot 10^{12} = 1\text{T}$	D	$\pm 0{,}5\%$
		C	$\pm 0{,}25\%$
		B	$\pm 0{,}1\%$

Bei einer Toleranz von $\pm 20\%$ erfolgt keine Kennzeichnung.

Aufdruck	Bedeutung
R08 F	$0{,}08 \pm 1\%$
2K2 K	$2{,}2\,\text{k} \pm 10\%$
10M	$10\,\text{M} \pm 20\%$

4.2.3. Nennverlustleistung und Grenzspannung

Zwischen Nennverlustleistung, Grenzspannung und den Abmessungen eines Widerstandes besteht ein Zusammenhang. Für die Baureihe 25 des Kombinat VEB Elektronische Bauelemente ist im einzelnen festgelegt:

d in mm	*l* in mm	*P* in W bei 40 °C	*U* in V
2,3	6,9	0,25	150
2,5	11,1	0,22	250
4,4	11,9	0,66	350
5,1	17,9	1	500
7,2	31,9	1,5	750
9,4	47,8	2,5	750
9,6	48	5	750

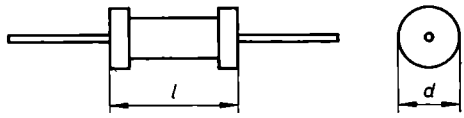


Bild 126/1

Es ist zu beachten, daß sich Widerstände während des Betriebs erwärmen, bei höheren Temperaturen ist die Nennverlustleistung kleiner. Nennverlustleistung und Grenzspannung sind Grenzwerte und dürfen nicht überschritten werden, in Zweifelsfällen wird die nächste Größe verwendet.

4.2.4. Kennzeichnung von Schicht-Drehwiderständen

Bei Schicht-Drehwiderständen interessieren hauptsächlich der Nennwiderstand (Widerstand zwischen Anfangs- und Endanschluß) und die Kurve (Zusammenhang zwischen Teilwiderstand und Drehwinkel). Außerdem wird die Anschlußbelegung gekennzeichnet. Zur Bezeichnung werden Buchstaben-Zahlen-Kode oder Farbkode verwendet.

4.2.4.1. Buchstaben-Zahlenkode

Die Angabe des Nennwiderstandes erfolgt durch Angabe von Zahlenwert und Einheit. Nach der Einheit steht die Kurvenbezeichnung in Form einer ein- oder zweistelligen Zahl.

Vorhandene Anzapfungen werden durch eine zweistellige Kurvenbezeichnung zum Ausdruck gebracht (↑ Bild 127/1).

Die Bezeichnung der Anschlüsse hat folgende Bedeutung:

a Anfangslötfahne
b Schleiferlötfahne
c Endlötfahne
Z Anzapfungslötfahne
⏚ Erdlötfahne

Es werden z. Z. noch Schicht-Drehwiderstände hergestellt, bei denen noch die alte Kennzeichnung der Lötfahnen angewendet wird. Danach bedeuten

A Anfangslötfahne
S Schleiferlötfahne
E Endlötfahne

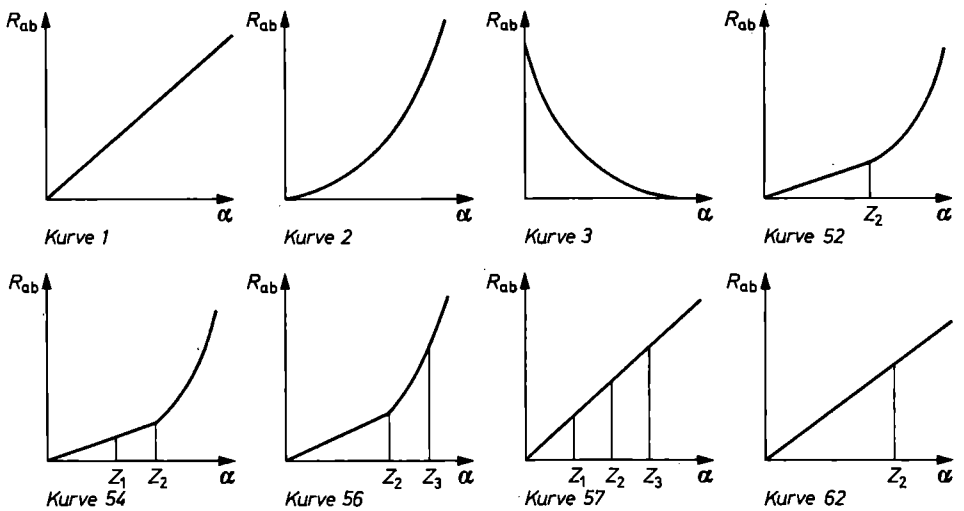


Bild 127/1 Zusammenhang zwischen Drehwinkel und Teilwiderstand (Kurve)

4.2.4.2. Farbkode

Die Kennzeichnung besteht aus maximal sieben Farbpunkten. Der erste Farbpunkt ist deutlich größer als die anderen. Die ersten drei Farbpunkte kennzeichnen den Nennwiderstand (↑ Abschnitt 4.2.1.). Die folgenden Punkte bezeichnen die Qualitätsgruppe, die Kurve, die Prüfklasse und eine besondere Oberfläche der Kontaktteile. Die Angabe für Kurve 1 kann entfallen.

4.3. Kennzeichnung von Kondensatoren

Beim Einsatz von Kondensatoren müssen außer der Kapazität und der Kapazitätstoleranz noch andere Eigenschaften bekannt sein.

Kondensatoren unterscheiden sich u. a. im Aufbau und in den eingesetzten Werkstoffen. Von besonderem Interesse ist das Dielektrikum, von ihm hängen wichtige Eigenschaften des Kondensators ab, so z. B. die Kapazitätskonstanz, die Temperaturkonstanz der Kapazität, der Isolationswiderstand, das Volumen, die max. Betriebsspannung.

4.3.1. Keramische Kleinkondensatoren

Bei keramischen Kleinkondensatoren unterscheidet man zwei Gruppen: Typ I und Typ II.

Typ I: Die Kondensatoren zeichnen sich durch hohe Kapazitätskonstanz, geringe Verluste auch bei hohen Frequenzen, einen hohen Isolationswiderstand, Unabhängigkeit der Kapazität von der Spannung und weitgehend lineare Abhängigkeit der Kapazität von der Temperatur aus.

Kondensatoren vom Typ I werden auch als NDK-Kondensatoren bezeichnet (Niedrige Dielektrizitätskonstante).

Typ II: Die Kondensatoren haben bei kleinen Abmessungen große Kapazitäten, die Stabilität der Kapazität ist gering, die Verluste sind relativ groß. Die Kapazität ist von der Temperatur und der Spannung nichtlinear abhängig.

Kondensatoren vom Typ II werden auch als HDK-Kondensatoren bezeichnet (Hohe Dielektrizitätskonstante).

Die Kennzeichnung des Kondensator-Typs erfolgt durch die Farbe der Oberflächenschutzschicht oder durch Farbmarkierungen.

Grundfarbe Typ I	Grundfarbe Typ II
farblos	farblos
grau	braun
blau	
beige	

Farblos lackierte Rohr- und Durchführungskondensatoren vom Typ II tragen auf der Seite des Außenbelag-Anschlusses eine zusätzliche gelbe, blaue oder violette Farbmarkierung.

Die Angabe der Kapazität erfolgt bei Kondensatoren vom Typ I in pF, bei Typ II in nF. Der Buchstabe (p oder n) steht anstelle des Kommas.

Bei Kondensatoren vom Typ I wird durch Farbzeichen der Temperaturbeiwert der Kapazität angegeben.

Die Angabe der Kapazitätstoleranz und der Nennspannungen erfolgt mit Buchstabenkodes:

Kapazitätstoleranz

C	D	F	G	J
±0,25 pF	±0,5 pF	±1%	±2%	±5%
K	M	S	W	Z
±10%	±20%	+50% −20%	+80% −20%	+100% − 20%

Nenngleichspannung

a	b	c	d	e	kein Kennzeichen
50 V	125 V	160 V	250 V	350 V	400 V
f	g	h	i	m	t
500 V	750 V	1000 V	630 V	10 V	63 V

Nennwechselspannung

u	v	w
250 V	350 V	500 V

4.3.2. Wickelkondensatoren

Gemeinsames Merkmal aller Wickelkondensatoren ist, daß Metallfolien, zwischen denen sich ein biegsames Dielektrikum befindet, zu einem Wickel geformt sind.

Die Eigenschaften dieser Kondensatoren hängen weitgehend vom verwendeten Dielektrikum ab.

4.3.2.1. Kennzeichnung der Dielektrika

Papier-Kondensatoren	kein Kennzeichen
Metall-Papier-Kondensator	MP
Metallisierte Lack-Kondensatoren	MKL
Metallisierte Polyester-Kondensatoren	MKT
Metallisierte Polykarbonat-Kondensatoren	MKC
Polyester-Kondensatoren	KT
Polykarbonat-Kondensatoren	KC
Polystyrol-Kondensatoren	KS
Aluminium-Elektrolytkondensatoren	Elyt

Polystyrol-Kondensatoren sind auch unter der Bezeichnung Styroflex-Kondensator oder Kunststoffolienkondensator bekannt. Bei Polyesterkondensatoren kann die Bezeichnung KT durch einen Punkt am Beginn des Schriftbildes ersetzt werden.

4.3.2.2. Kennzeichnung von Kapazität, Toleranz und Nennspannung

Während die Kapazität immer unverschlüsselt angegeben wird, werden für die Angabe der Kapazitätstoleranz und der Nennspannung verschiedene Kodes verwendet.

Kapazitätstoleranz: Buchstabenkode (↑ Abschnitt 4.3.1.)

Zusätzlich bedeutet H 2,5%.

Nennspannung: Farbkode, es wird bei Polyesterkondensatoren eine Stirnseite eingefärbt, bei Polystyrolkondensatoren wird die Anschlußseite des Schirmbelages durch einen Farbring gekennzeichnet.

Bedeutung der Farben:

blau	25 V	rot	160 V	braun	400 V	orange	1 000 V
gelb	63 V	grün	250 V	schwarz	630 V		

5. Funktionsprüfung und Messung einiger Kennwerte elektronischer Bauelemente

Beim Bau von elektronischen Geräten und Anlagen ist es notwendig, die einwandfreie Funktion der verwendeten Bauelemente genau zu prüfen.

In einigen Fällen ist es sogar zweckmäßig, Kennwerte der Bauelemente durch Messung zu ermitteln. Auf diese Weise kann eine umfangreiche Fehlersuche beim fertigen Gerät vermieden werden.

Die Entscheidung darüber, welche Eigenschaften überprüft oder gemessen werden sollten, ergibt sich aus den Anforderungen, die in dem Gerät an das Bauelement gestellt werden.

Zum Prüfen und Messen werden Meßgeräte, wie z. B. Vielfachmesser, Meßbrücken, Oszillografen, Digitalzähler u. a., verwendet. Wenn ein Meßgerät nicht vorhanden ist oder ein vorhandendes für eine spezielle Messung nicht geeignet ist, sollte das entsprechende Gerät selbst gebaut werden. Treten bestimmte Prüfungen oder Messungen selten auf, so genügt auch der Aufbau einer Prüf- oder Meßschaltung.

Beim Prüfen und Messen ist folgendes zu beachten:

1. Durch Unsicherheit im Umgang mit den Prüf- und Meßgeräten, wie z. B. falsche Bedienung, falsche Verwendung und Nichtbeachten besonderer Bedingungen kann eine Beschädigung der Geräte oder der Bauelemente eintreten, bzw. große Meßfehler lassen die Messung sinnlos werden. Hinweise der Hersteller in den Bedienungsanleitungen der Meßgeräte sind deshalb unbedingt zu beachten.
2. Der Prüf- oder Meßvorgang sollte annähernd unter den Bedingungen erfolgen, denen das Bauelement im späteren Betrieb ausgesetzt ist.
3. Anfertigen eines Meßprotokolls, das Angaben über die verwendeten Geräte, die verwendete Schaltung und über alle Größen enthält, die einen merklichen Einfluß auf die zu messenden Eigenschaften des Bauelements ausüben.
4. Durchführen einer Fehlerbetrachtung, eventuell Abschätzen oder Berechnen von möglichen Meßfehlern.

5.1. Prüfen und Messen von Widerständen

Legt man an einen Widerstand R eine Spannung U an, so fließt der Strom $I = \frac{U}{R}$.

Das Prüfen beschränkt sich auf die Feststellung, ob bei angelegter Spannung ein Strom fließt oder nicht.

Das Prüfergebnis gestattet nur in Ausnahmefällen eine Aussage über die Verwendbarkeit des Widerstandes in einer elektronischen Schaltung. Deshalb wird an Stelle einer Prüfung häufig eine Messung durchgeführt.

5.1.1. Indirekte Widerstandsbestimmung aus Strom- und Spannungsmessung

Laut Definition ist der Widerstand der Quotient aus Spannung und Stromstärke.

Um genaue Meßergebnisse zu erhalten, müssen die Eigenschaften der verwendeten Geräte bekannt sein und in der Rechnung berücksichtigt werden.

Zum Bestimmen des Widerstandes sind zwei Schaltungen möglich (↑ Bilder 131/1 und 131/2).

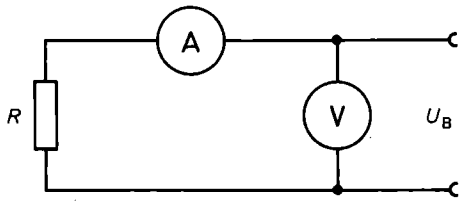


Bild 131/1 Stromrichtige Messung

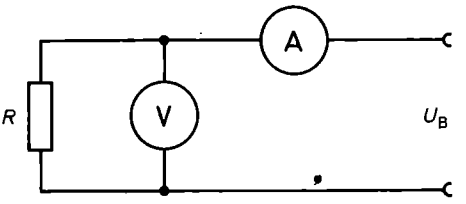


Bild 131/2 Spannungsrichtige Messung

Bei der Schaltung nach Bild 131/1 wird nicht die Spannung am Widerstand, sondern an der Reihenschaltung Widerstand und Innenwiderstand des Strommessers gemessen. Die Schaltung liefert nur dann brauchbare Werte, wenn $R \gg R_i$ des Strommessers ist. Ist der Innenwiderstand des Strommessers bekannt, kann mit

$$R = \frac{U}{I} - R_i \tag{1}$$

der durch den Eigenverbrauch des Strommessers bedingte Fehler korrigiert werden.

Hat der zu messende Widerstand die Größenordnung des Innenwiderstandes des Strommessers, so ist die Schaltung nach Bild 131/2 günstiger, vorausgesetzt der verwendete Spannungsmesser erfüllt die Bedingung $R \ll R_i$.

Bei hinreichend großem Innenwiderstand des Spannungsmessers ist der Meßfehler, der durch den Eigenverbrauch des Spannungsmessers entsteht, so klein, daß er vernachlässigt werden kann. Bei bekanntem Innenwiderstand des Spannungsmessers gilt

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_i}}. \tag{2}$$

Bei der Berechnung des Widerstandes ist die Genauigkeitsklasse der verwendeten Meßgeräte zu beachten.

5.1.2. Direkte Widerstandsmessung mit dem Vielfachmeßgerät

Moderne Vielfachmeßgeräte haben häufig eine Sonderskale für die direkte Widerstandsmessung. Die zum Messen notwendige Spannung liefern in eine Batteriekammer eingelegte galvanische Elemente.

Diesen Geräten liegt die Schaltung nach Bild 132/1 zugrunde. Das Meßprinzip beruht auf der indirekten Proportionalität von Widerstand und Stromstärke. Vor der Messung wird für $R_x = 0$ mit R_V Vollausschlag an der Meßskale eingestellt.

Die Skale ist gegenläufig (Nullpunkt rechts) und nichtlinear. Der Meßfehler kann bis 10 % betragen.

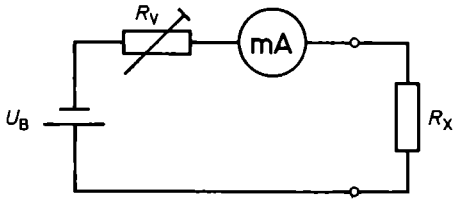


Bild 132/1 Prinzipschaltung eines Ohm-Meters

Ein anderes Meßprinzip beruht auf der Proportionalität von Spannung und Widerstand bei konstanter Stromstärke (↑ Bild 132/2).

Die Konstantstromquelle wird in der Praxis durch eine elektronische Regelschaltung realisiert. Eine einfache Schaltung für kleine Ströme zeigt Bild 132/3.

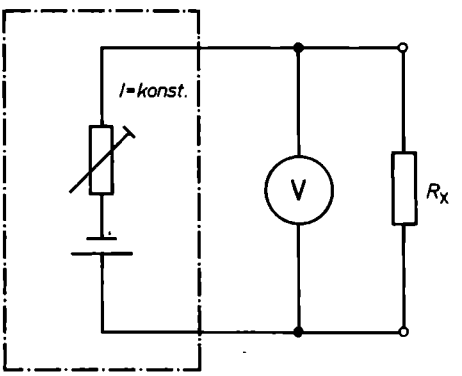


Bild 132/2
Widerstandsmessung mit Konstantstromquelle (Prinzipschaltung)

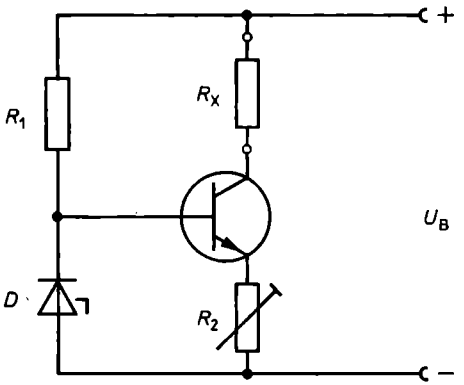


Bild 132/3
Konstantstromquelle

Mit R_2 kann der von U_B und R_X weitgehend unabhängige Strom I_c eingestellt werden. Ein Schaltungsvorschlag für ein Widerstandsmeßgerät nach diesem Prinzip ist im Schaltungsheft zum Bastlerbeutel 3 zu finden.

5.1.3. Widerstandsmessung mit der Wheatstoneschen Brückenschaltung

Unter einer Wheatstoneschen Brückenschaltung versteht man eine Anordnung von vier Widerständen und einem Strommesser (↑ Bild 133/1).

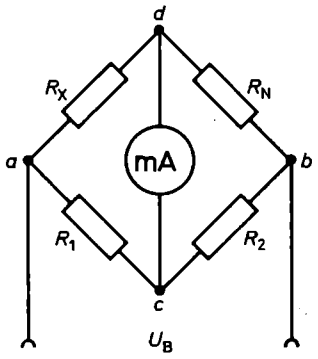


Bild 133/1
Wheatstonesche Brückenschaltung

Unter Wheatstonescher Brückenschaltung versteht man eine Anordnung von vier Widerständen und einen Strommesser (↑ Bild 133/1). R_1 und R_2 sind Teilwiderstände eines einstellbaren Spannungsteilers. Durch Verändern des Verhältnisses $R_1 : R_2$ wird erreicht, daß die Spannung an den Punkten c und d Null wird.

Dann gilt $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_N}$. (3)

R_N ist ein Vergleichswiderstand, durch unterschiedliche R_N erhält man unterschiedliche Meßbereiche für R_x.

Eine geeichte Skale am einstellbaren Widerstand gestattet das Ermitteln von R_x.

Mit industriell hergestellten Meßbrücken erreicht man eine Meßgenauigkeit von etwa einem Prozent.

5.2. Prüfen und Messen von Kondensatoren

Beim Prüfen und Messen von Kondensatoren kommt es hauptsächlich darauf an, die Kapazität und den Isolationswiderstand zu ermitteln.

Legt man an einen Kondensator mit der Kapazität C eine konstante Spannung U an, so fließt ein zeitabhängiger Ladestrom. Hat die Spannung am Kondensator den Wert U erreicht, ist der Strom bei einem idealen Kondensator auf den Wert Null zurückgegangen. Der Kondensator speichert jetzt die Ladung $Q = U \cdot C$. Bedingt durch den endlichen Isolationswiderstand entlädt sich der Kondensator wieder.

Verbleibt der Kondensator weiterhin an der Spannungsquelle, kann mit einem empfindlichen Strommesser dieser Strom gemessen und damit der Isolationswiderstand berechnet werden.

Wird die Messung mit Wechselspannung durchgeführt, so fließt ein weiterer Strom, der Blindstrom.

Es gilt $X_c = \frac{U}{I}$. (4)

X_c ist der (kapazitive) Blindwiderstand des Kondensators, U und I sind die Effektivwerte von Spannung und Stromstärke. X_c ist von der Frequenz der Wechselspannung abhängig.

Es gilt $X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$. (5)

5.2.1. Indirekte Bestimmung der Kapazität aus Strom-, Spannungs- und Frequenzmessung

Der Kondensator wird an eine sinusförmige Wechselspannung angeschlossen.

Aus (4) und (5) folgt für die Kapazität des Kondensators

$$C = \frac{I}{2\pi \cdot f \cdot U}.$$

Gemessen werden Spannung, Stromstärke und Frequenz. Wird mit Netzspannung gearbeitet, entfällt die Frequenzmessung. Bei Kondensatoren mit kleiner Kapazität C ergeben sich kleine, schlecht meßbare Ströme. Deshalb mißt man diese Kondensatoren mit Wechselspannungen höherer Frequenz, die man dem Universalgenerator UVG 1 entnehmen kann.

Selbst bei Beachtung aller Fehlerquellen wird der Meßfehler in der Größenordnung von 10 % liegen. Für viele Messungen ist diese Genauigkeit aber noch ausreichend.

5.2.2. Direkte Messung der Kapazität eines Kondensators mit dem Vielfachmeßgerät

Einige Vielfachmeßgeräte ermöglichen bei Verwenden einer externen Wechselspannungsquelle eine Kapazitätsmessung. Der Messung liegt das im Abschnitt 5.1.2. beschriebene Verfahren zugrunde. Hinweise sind den Bedienungsanleitungen der Meßgeräte zu entnehmen.

5.2.3. Messung der Kapazität von Elektrolytkondensatoren

Die Kapazität von Elektrolytkondensatoren läßt sich mit den beschriebenen Verfahren nur dann messen, wenn dafür gesorgt wird, daß die Meßwechselspannung nicht zu einer Zerstörung des Kondensators führt. Das kann erreicht werden, wenn man außer der Meßwechselspannung noch eine ausreichend große Gleichspannung an den Kondensator anlegt. Es muß darauf geachtet werden, daß nur die Wechselgrößen in die Messung eingehen.

5.3. Prüfen und Messen von Spulen

Ein einfaches Verfahren ähnelt dem im Abschnitt 5.2.1. beschriebenen Verfahren zur Messung der Kapazität eines Kondensators.

Für die Induktivität L gilt $L = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot I}$ für $X_L \gg R$.

Bei der Messung einer Induktivität sind eine Reihe weiterer Faktoren zu beachten.

5.4. Prüfen und Messen von Halbleiterbauelementen

5.4.1. Messungen an Dioden

Bei Halbleiterdioden interessieren hauptsächlich die maximale Sperrspannung U_R und der Sperrstrom I_R.

Als Spannung U_R ist die Spannung definiert, bei der ein typenabhängiger, konstanter Sperrstrom fließt.

Für die einzelnen Typen gelten folgende Werte:

Typ	Sperrstrom
0,1 A Ge-Gleichrichter	100 μA
1 A Ge-Gleichrichter	200 μA
10 A Ge-Gleichrichter	2 mA
1 A Si-Gleichrichter	10 μA
10 A Si-Gleichrichter	3 mA

Bei geringeren Ansprüchen an die Bauelemente können als Sperrspannungen höhere Werte angesetzt werden, bei Germanium-Gleichrichtern darf der Strom I_R das 1,5-fache, bei Silizium-Gleichrichtern das 5-fache des genannten Wertes betragen. Die Messung der Sperrspannung und des Sperrstromes erfolgt mit einer Schaltung nach Bild 135/1.

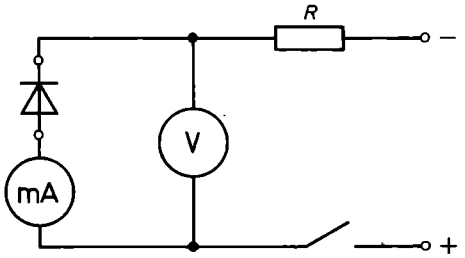


Bild 135/1
Meßschaltung zur Bestimmung der Sperrspannung

Der Widerstand R ist so zu bemessen, daß beim Durchschlagen des Gleichrichters der Strommesser nicht zerstört wird.

Bei Spannungen $U > 42$ V sind die entsprechenden Arbeitsschutzbestimmungen zu beachten.

5.4.2. Messungen an Transistoren

Für den praktischen Einsatz von Transistoren ist es häufig nicht notwendig, das gesamte Kennlinienfeld zu kennen. Bekannt sein sollten aber mindestens der Stromverstärkungsfaktor und bei Ge-Transistoren der Reststrom I_{CEO}. Der Stromverstärkungsfaktor B ist definiert als Verhältnis $I_C : I_B$. Unter Berücksichtigung des Reststromes (nur bei Ge-Transistoren notwendig) ergibt sich

$$B = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B}$$

Die Messung der Ströme erfolgt mit einer Schaltung nach Bild 136/1.

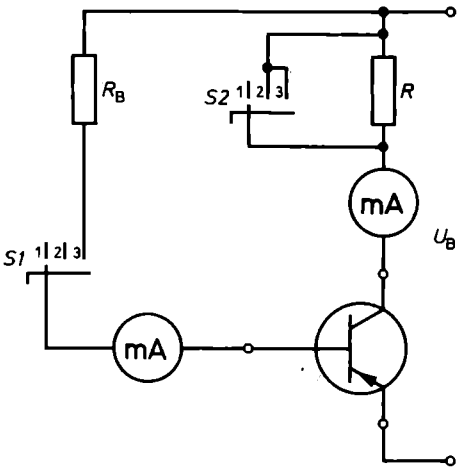


Bild 136/1
Meßschaltung zur Bestimmung von I_{CEO} und B

Auf die direkte Messung des Basisstromes wird häufig verzichtet, da dieser mit $I_B = \frac{U_B - U_{BE}}{R_V}$ ausreichend genau berechnet werden kann.

U_B ist die Betriebsspannung, U_{BE} die Basis-Emitter-Spannung des Transistors. Für Ge-Transistoren kann man die Basis-Emitter-Spannung mit 0,2 V, für Si-Transistoren mit 0,8 V ansetzen. In Schalterstellung 1 liegt an der Basis keine Spannung, in Reihe zum Meßgerät ist ein Widerstand R geschaltet. In dieser Schalterstellung erfolgt eine Kollektor-Emitter-Schlußprüfung. In Schalterstellung 2 wird der Widerstand im Kollektorkreis überbrückt, am Strommesser kann der Reststrom I_{CEO} abgelesen werden. In Schalterstellung 3 wird über R_B eine Spannung an die Basis des Transistors gelegt. Es fließt der Basisstrom I_B, und im Kollektorstromkreis kann der Strom $I_C = I_B \cdot B + I_{CEO}$ am Meßgerät abgelesen werden. Durch Einschalten unterschiedlicher Widerstände R_B erhält man verschiedene Meßbereiche für B.

Die Dimensionierung der Bauelemente richtet sich nach den zu messenden Transistoren (max. Verlustleistung, max. Kollektorstrom, Betriebsspannung, zu erwartende Stromverstärkung).

6. Literatur

6.1. Im Text verwendete Literatur

Experimentieranleitungen zum Baukastensystem Elektrotechnik Elektronik

[1] Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik.
Stufe 5. Grundlagen der Elektronik. Versuchsanleitungen, Teil 1. APW der DDR, Institut für Unterrichtsmittel.
[2] Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik.
Stufe 5. Grundlagen der Elektronik. Versuchsanleitungen, Teil 2. APW der DDR, Institut für Unterrichtsmittel.
[3] Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik.
Stufe 6. Angewandte Elektronik. Versuchsanleitungen.
APW der DDR, Institut für Unterrichtsmittel.

Lehrbücher

Chemie – Lehrbuch für Klasse 8. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.
Einführung in die sozialistische Produktion – Lehrbuch für die Klasse 10. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.
Physik – Lehrbuch für die Klasse 8. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.
Physik – Lehrbuch für die Klasse 10. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

Wissensspeicher für den Unterricht

Chemie in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.
Physik in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.
Technik und Produktion in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

Lehrbücher für die Berufsbildung

Gubsch, G.; Gottschall, R.; Klimant, D.: Lehrbuch für die Berufsbildung. Elektronische Meßtechnik. VEB Verlag Technik, Berlin, 1976.
Liebscher, S.: Lehrbuch für die Berufsbildung. Fachzeichnen Informationselektrik.
VEB Verlag Technik, Berlin 1978.

6.2. Weiterführende Literatur

Wissensspeicher für die Berufsbildung

Ausborn, W.: Wissensspeicher für die Berufsbildung. Elektronik-Bauelemente.
VEB Verlag Technik, Berlin 1976.
Bähr, K.-H.; Ecke, W.: Wissensspeicher für die Berufsbildung.
Grundlagen der Elektrotechnik. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.
Semrad, H.; Otto, W.: Wissensspeicher für die Berufsbildung.
Grundlagen der Elektronik. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.

Allgemeine Fachliteratur

Kühn, E.; Schmied, H.: Handbuch-Integrierte Schaltkreise.
1. Auflage. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.
Möschwitzer, A.; Rumpf, K.-H.: Einführung in die Elektronik.
1. Auflage. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.
Papst, B.; Finke, K.-H.: Rundfunk- und Fernsehbauteile mit Bauteilen der Elektroakustik, 3. stark bearbeitete Auflage.
VEB Verlag Technik, Berlin 1978.
Jakubaschk, H.: Amateurlaborbuch.
Militärverlag der DDR, Berlin 1980.
Autorenkollektiv: Mikroelektronik in der Amateurpraxis.
Militärverlag der DDR, Berlin 1980.
Schubert, K.-H.: Elektronisches Jahrbuch für den Funkamateur 1981.
Militärverlag der DDR, Berlin 1980.
Amateurreihe „electronica" (erscheint laufend).
Militärverlag der DDR.
Reihe „Original-Baupläne" (erscheint laufend).
Militärverlag der DDR.

7. Register

A

Abdecklack 104
Abgleichen 27
Abstimmung 72
Amplitude 31
Anfangswinkel 30
Anpassung von Widerständen 36
Arbeitspunkteinstellung 58
Arbeitspunktstabilisierung 59
Arbeitspunkt, Transistor 56
Aperiodischer Hochfrequenzverstärker 73
Astabiler Multivibrator 85
Astabiler Multivibrator, Schaltplan 104
Atombindung 38
Ätzbad 104
Ätzsatz 103
Ausgangskennlinienfeld 54, 56, 80
Ausgangskennlinienfeld, Leistungsschalter 93
Ausgangsspannung 70
Ausgangswiderstand 62
Außenwiderstandsgerade 56

B

Basis-Emitter-Diode 51 f.
Basis-Kollektor-Diode 52
Basis-Kollektor-Grenzschicht 53
Basis-Kollektor-Strecke 52
Basisspannung 56
Basisvorwiderstand 52, 58
Betriebsspannung 20
Bistabiler Multivibrator 90
Blinkleuchte 114
Brettschaltung 102
Brückenschaltung 50, 63
Brummspannung 46, 48

D

Defektelektronen 38, 40, 53
Dielektrikum 24
Dielektrikum, Kennzeichnung 129
Differenzverstärker 63
Diffusionsfeld 42
Diffusionsspannung 42
Digitale Schaltkreise 124
Digitaltechnik 80
Diode 41
Dotieren 39
Drehwinkel 29
Dreieckspannung 29
Durchlaßrichtung 41, 42, 52
Durchlaßstrom 41, 42
Durchlaßverhalten 43

E

Effektivwert 30
Eigenleitungsladungsträger 40
Eigenleitung 38 f.
Eingang, invertierend 66
Eingang, nicht invertierend 66
Eingangskennlinie 54
Eingangsspannung 70
Eingangswiderstand, Transistor 62
Einstellbare Spannung 22
Einstellbarer Widerstand 22
Einweggleichrichtung 44 f.
Einweggleichrichterschaltung 46
Einweg-Gleichspannung 45
Emitterschaltung 52
Energieumwandlung 20
Entladevorgang 21
Entladestrom 23
Elektrische Energie 20 f.
Elektrisches Feld 21, 37
Elektrische Ladung 23
Elektrische Leistung 20
Elektronenpaare 38

Elektronischer Parklichtschalter 106
Elektronischer Türsummer 106
Elektronischer Umschalter 33

F

Farbmusikanlage 115
Feldeffekt-Transistor 122
Flankengetriggertes Flip-Flop 91
Fremdatome 39
Frequenzgang 71
Fotodiode 100
Fotoelement 100
Fototransistor 100
Fotowiderstand 99

G

Gatter 82
Galvanische Trennung 36
Gegenkopplung 58, 67
Gegenkopplungsschaltung 58
Ge-HF- und UKW-Transistoren 124
Ge-Leistungstransistoren 124
Generatorschaltung 74
Ge-NF-Transistoren 124
Ge-Transistor 52
Gitterbausteine 37
Glättungskondensator 47f.
Gleichrichtung 44
Gleichrichter-Dioden 124
Gleichspannung 28
Gleichspannungsanteil 46
Gleichspannungs-Stabilisator-Baustein GSB 1 112
Gleichspannungsverstärkung 50
Gleichrichterdiode 47
Gleichstrom 28
Gleichstromverstärker 59
Gleichstromverstärker, Basisschaltung 60
Gleichstromverstärker, Brückenschaltung 64
Gleichstromverstärker, Emitterschaltung 60
Gleichstromverstärker, Kollektorschaltung 60
Graetzschaltung 50
Grenzfrequenz 71
Grenzschicht 41f.
Grenzwert 118
Großsignalverstärker 68

H

Halbleiter 36
Halbleiterdioden, Anschlußbelegung 123
Heißleiter 97
HDK-Kondensator 128
Hochfrequenzverstärker 68, 73

I

Idealer Transformator 35
Impulsdiagramm 88
Impulsgenerator 86
Impulsgenerator mit nachgeschaltetem Tor 86
Impulsgenerator mit NAND-Gattern 86
Induktionsspannung 25
Induktive Kopplung 35
Induktive Dreipunktschaltung 77, 78
Induktiver Widerstand 34
Induktivität 25, 28, 34
Isolationsstrom 24
Isolationswiderstand 24, 133
Isolationszeitkonstante 24
Isolationszwischenraum 103
Isolator 36

K

Kapazität 21, 33, 133
Kapazität, direkte Messung 134
Kapazität, indirekte Bestimmung 134
Kapazitive Dreipunktschaltung 78
Kapazitiver Widerstand 33
Kennlinienfeld 54
Kennlinie, Ge-Diode 43
Kennlinienscharen 53
Kennlinie, Si-Diode 43
Kennlinie, Z-Diode 44
Kennwert, dynamisch 118

Kennwert, statisch 118
Kernstellung 34
Kleinkondensator, keramisch 128
Kleinsignalverstärker 68
Kleinsignal-Universalverstärker KUV 2 109
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung 81
Kollektor-Emitter-Spannung 54, 58
Kollektorgebiet 53
Kollektor-Reststrom 81
Kollektorstromstärke 53
Kollektorverlustleistung 55
Komplementärendstufe KES 1 109
Komplementärendstufe KES 2 112
Kondensator 19, 33, 133
Kondensatorspannung 21, 23
Konstantstromquelle 22, 132
Kristallgitter 37
Kristallstruktur 38
Kupferkaschiertes Material 103

L

Ladestrom 21 ff.
Ladevorgang 21
Ladung 22, 33
Ladungsträger 28, 38
Ladungsträgerbewegung 28
Ladungsträger, bewegliche 39
Ladungsträgerdiffusion 42
Ladungstransport 38 f.
Lastwiderstand 47
LC-Siebschaltung 48
Leerlaufausgangsspannung 69
Leiter 36
Leitfähigkeit 37 f.
Leitfähigkeitstyp 40
Leitungselektronen 37
Leitungselektronen, bewegliche 38
Leistungsanpassung 69
Leistungsschalter 93
Leistungsverstärkung 59
Leistungsverstärkerbaustein LVB 1 109
Leitwert 36
Logik-Gatter 82
Lötarbeiten 101
Löcher 38
Löcherzahl 42
Lötstelle 101
Lötzeit 101

M

Magnetisches Feld 25, 35
Magnetisches Wechselfeld 35
Majoritätsträger 40
Maximalwert 29
Meißnersche Rückkopplungsschaltung 77
Meßgrößenwandler 95
Meßgrößenwandlung 95
Metallbindung 37
Miniplast-Transistoren 122
Minoritätsträger 40
Momentanwert 29
Monostabiler Multivibrator 88
Morsegerät 76
Multivibrator 85

N

NAND-Schaltung 82
NDK-Kondensator 128
Negatorfunktion 87
Nennwert 118
n-Gebiet 41
Niederfrequenzverstärker 68
n-leitendes Halbleitermaterial 41
n-Leitung 39
Nomogramm 119
NOR-Schaltung 82
NTC-Widerstände 97

O

ODER-Schaltung 82
Ohmsches Gesetz 31
Ohmscher Widerstand 19
Operationsverstärker 63, 65
Oszillatorschaltung 74

P

Periode 29
Periodendauer 29
p-Gebiet 41
Phasendrehung 29, 76
Phasenverschiebung 92, 32
p-leitendes Halbleitermaterial 41
p-Leitung 40
pn-Übergang 41
Pulsierende Gleichspannung 46

R

RC-Generator 77
RC-Kette 76
RC-Siebschaltung 48
Rechteckspannung 29
Rekombination 42
Relative Permeabilität 27
Resonanzfrequenz 72
Reststrom 52
RS-Flip-Flop 90
Rückkopplungsnetzwerk 75
Rückkopplungsschaltung 75
Rückkopplungsspule 79
Rückwirkungskennlinie 54

S

Schaltkreis A 211 72
Schaltkreis D 100, Anschlußbelegung 83
Schaltung zur Kennlinienaufnahme, Halbleiterdiode 43
Schicht-Drehwiderstände, Buchstaben-Zahlencode 127
Schicht-Drehwiderstände, Farbcode 128
Schmitt-Trigger 92
Schwellwertschalter SWS 1 112
Schwellwertschaltung 92
Schwingungsformen 29
Selbstinduktionsspannung 26
Siebbaustein 49
Siebdrossel 48
Siebfaktor 48
Siebung 48
Si-Einkristall 39
Si-Miniplast-Transistoren 124
Si-Transistor 52
Si-Transistoren im Metallgehäuse 124
Spannungsabfall 20
Spannungsänderung 31
Spannungsgegenkopplung 58
Spannungsrichtige Messung 131
Spannungsrückwirkung 54
Spannungsverstärkung 59
Sperrichtung 41
Sperrschaltung 43
Sperrschichthalbleiter 100
Sperrschwinger 79
Sperrspannung 43
Sperrstrom 41, 43
Sperrverhalten 43
Spezifischer elektrischer Widerstand 36
Spule 19
Stabilisierungsbaustein 49
Stabilisierungseffekt 49
Stabilisierungsschaltung 48
Störstellen 39
Störstellenladungsträger 40
Störstellenleitung 39
Stromrichtige Messung 131
Stromstärke 22
Stromstärke, konstante 22
Stromübertragungskennlinie 54, 57
Stromverstärkung 59
Stromverstärkungsfaktor 53, 57, 77, 122
Stromverstärkungsgruppe 122
System „Komplexe Amateurelektronik" 109

T

Tastverhältnis 30
Telefonverstärker 113
Temperaturfernmessung 97
Temperaturfühler 96
Temperaturmessung, elektrische 96
Temperaturmeßwandler 98
Temperaturspannungsdiagramm 98
Thermistor 97
Toleranz 118
Torschaltung 86
Transformator 35
Transformator, Primärseite 36
Transformator, Sekundärseite 36
Transistor, Anschlußbelegung 123
Transistor, Gehäuseform 123
Transistorsiebschaltung 49
Transistorstufe 54
Transistorvoltmeter 64
Transverter 79
Transverterschaltung 79
TTL-Schaltkreise 82

U

Übersetzungsverhältnis 35
Umlaufzeit 29
UND-Schaltung 82
Universalleiterplatte 102
Universeller Multivibratorbaustein
UMV 1 112

V

Verstärker, dreistufig 74
Verstärker, einstufig 74
Verstärkerstufe 69
Verstärkerverlust 73
Verstärkerwirkung 52
Verstärker, zweistufig 74
Verstärkung, Gleichspannung 50
Verstärkung, Wechselspannung 50
Versuchsschaltung 102

W

Wahrheitstabelle 84
Wechselspannung 28
Wechselspannungsverstärkung 50
Wechselstrom 28
Wheatstonesche Brückenschaltung 133
Wickelkondensator 129
Widerstand, Buchstaben-Zahlencode 126
Widerstand, Farbcode 125
Widerstandsbestimmung, indirekte 131
Widerstandsgerade 80
Widerstandsmessung, direkt 132
Widerstandspaare 120
Widerstandstemperatur-Kennlinie 97
Widerstandstransformation 36
Wien-Brückengenerator 75
Wien-Glied 75
Windungszahl 34

Z

Z-Diode 43, 49
Zeitkonstante 24, 27
Z-Spannung 49
Zweistufiger Gleichstromverstärker 2
GV 2 109
Zweistufiger Niederfrequenzverstärker 2
NV 2 109
Zweiweggleichrichtung 50

Kurzwort: 06 17 07 Elektronik
DDR 3,40 M