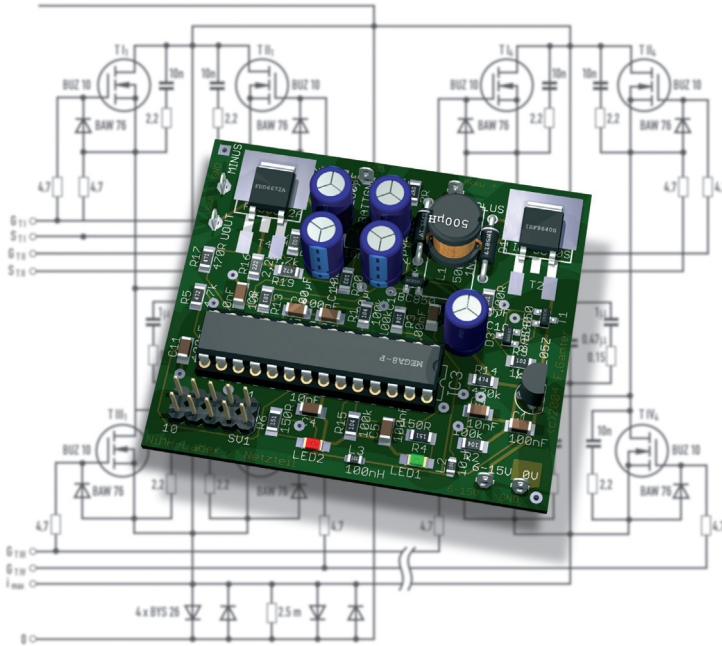


Elektronik

Dietmar Benda



Wie liest man eine Schaltung?

12. vollständig überarbeitete Auflage

FRANZIS

Dietmar Benda

Wie liest man eine Schaltung?

Elektronik

Dietmar Benda

Wie liest man eine Schaltung?

13. vollständig überarbeitete Auflage

Mit 128 Abbildungen

FRANZIS

Vorwort

Das Zeitalter der hochintegrierten Schaltungsfunktionen und das Zusammenfassen dieser Bausteine zu steckbaren und einfach lösbaren Baugruppen in Baugruppenträgern, erfordert vom anwendungsorientierten Elektroniker keine tiefgehenden Grundkenntnisse über die einzelnen Bauelemente und ihre Funktionen.

Die hierfür zur Verfügung stehenden Dokumentationsunterlagen sind Darstellungen (Hardware/Software) der Geräte- und Anlagenfunktionen, mit deren Hilfe der Elektroniker die Softwaresteuerung und die Funktionsabläufe der Schaltungstechnik erkennt und entsprechend auswerten kann.

Wie schnell ein Techniker die für ihn erforderlichen Informationen aus einer Gerätedokumentation auswerten und in entsprechende Maßnahmen seiner Prüf-, Wartungs- und Servicearbeit umsetzen kann, ist im entscheidenden Maße davon abhängig, mit welchem fachlichen und methodischen Rüstzeug er diese Aufgabe angeht.

Bedenkt man, dass das Lesen und Auswerten der Dokumentationsunterlagen einen hohen Prozentsatz an den auszuführenden Arbeiten ausmacht – je nach der Geräte- und Anlagenfunktionen 60 bis 80% –, ist es sinnvoll, auch bei diesem wesentlichen Tätigkeitsmerkmal nach methodisch effektiven Verfahrensweisen vorzugehen.

Daher will dieses Lehrbuch:

das Lesen von Schaltungen unter verschiedenen Funktionsbetrachtungen lehren und üben.

Vor allem den Youngstern, sei es als Berufsanfänger oder Fachschulabgänger, sollen die Lücken geschlossen werden, die ihnen den Übergang von der einfachen Lehrbuchschaltung in die umfangreichen Industrieunterlagen und Dokumentationen erleichtert und die sonst damit verbundenen Anlaufprobleme und Verwirrungen vermeiden helfen.

die unterschiedlichsten Dokumentationsarten auf allen Anwendungsgebieten aufzeigen.

Dies erleichtert nicht nur die Arbeit des Technikers, sondern kann auch denen nützlich sein, die eine Dokumentation erstellen müssen, manuell oder als CAD-Dokumentation.

ein umfangreiches Nachschlagewerk sein.

Vielen Geräten liegen als Unterlagen nur noch Bedienungsanleitungen bei. Die Beigabe der Schaltungsunterlagen ist nicht mehr üblich. Mit Hilfe dieses Buches kann man

sich mit der Technik vertraut machen und die eine oder andere Schaltungsverbindung oder -funktion rekonstruieren.

durch viele Übungs- und Vertiefungsaufgaben richtig fit machen.

In jedem Hauptabschnitt werden Übungsaufgaben angeboten, die das Gelernte wiederholen und vertiefen helfen, mit einem Lösungsangebot im Anhang.

Inhalt

1	Strukturen, Funktionen, Definitionen und Signalformen	11
1.1	Strukturen der Schaltungen und Wirkungen der zu verarbeitenden Signale ..	11
1.2	Bezug herstellen zwischen symbolischem Schaltbild und der Verdrahtungsanordnung	16
1.3	Polarität, Stromrichtung, Bezugspotenzial, Definitionen	17
1.4	Übungen zur Vertiefung	18
2	Schaltungsanalyse ein Puzzlespiel?	20
2.1	Funktionsbetrachtungen	20
2.2	Funktionen von Reihenschaltungen	25
2.3	Funktionen von Parallelschaltungen	28
2.4	Standardisierte Grundsaltungen	30
2.5	Übungen zur Vertiefung	33
3	Das Wesentliche vom Unwesentlichen unterscheiden	34
3.1	Beispiel einer Generatorschaltung	34
3.2	Beispiel einer Impulsformerschaltung	36
3.3	Übungen zur Vertiefung	38
4	Hauptfunktionen aus Neben- oder Hilfsfunktionen erkennen	39
4.1	Beispiele anhand von Verstärkern aus der Praxis	41
4.2	Beispiel anhand einer Impulsschaltung	44
4.3	Beispiel einer Zählkettenschaltung	45
4.4	Beispiel einer Regelschaltung	47
4.5	Übungen zur Vertiefung	49
5	Schaltungsmaßnahmen zur Erzeugung und Stabilisierung von Arbeitspunkten	50
5.1	Gebräuchliche Schaltungen zur Arbeitspunkterzeugung	50
5.2	Schaltungen zur Arbeitspunktstabilisierung	51
5.3	Schutz- und Begrenzerschaltungen in diskreten und integrierten Schaltungen	53
5.4	Beispiele aus der Praxis	55
5.5	Übungen zur Vertiefung	58

6	Kopplungsarten in ihrer Funktion erkennen	59
6.1	Verbindungskopplungen	60
6.2	Gegenkopplungen	62
6.3	Mitkopplungen	66
6.4	Übungen zur Vertiefung	69
7	Signalwege und Funktionsabläufe festlegen	70
7.1	Kennzeichnung der Signalwege in analogen Schaltungen	70
7.2	Kennzeichnung des Funktionsablaufs bei digitalen Schaltungen	72
7.3	Übungen zur Vertiefung	76
8	Schaltungen in Übersichtsplänen dargestellt	77
8.1	Schaltungsbeispiele	77
8.2	Übungen zur Vertiefung	85
9	Schaltungsunterlagen in der Praxis anwenden	86
9.1	Gerätedokumentationen	86
9.2	Beispiel aus der Praxis	87
9.3	Übungen zur Vertiefung	94
10	Computertechnik: Hardware, Software	95
10.1	Tri-state-Ausgänge oder Bus-Funktionen	95
10.2	Mikrocomputer-Schaltung	101
10.3	Software/Hardware-Schnittstellenbausteine	106
10.4	Pegel- und Leistungsanpasserschaltungen am Mikrocomputer	109
10.5	Flussdiagramme, Befehlslisten	115
10.6	DA- und AD-Wandler	119
10.7	Übungen zur Vertiefung	125
11	Bezeichnungs- und Orientierungssysteme gebräuchlicher Industrieunterlagen	127
11.1	Referenzbezeichnungen	127
11.2	Werksnormen für Stromlaufpläne und Funktionsabläufe	128
11.3	Kennwert- und Datenblätter	133
11.4	Serviceunterlagen	135
11.5	Übungen zur Vertiefung	144
12	Darstellungshilfen für speicherprogrammierbare Steuerungen	145
12.1	Betriebsmittel- und Zuordnungsliste	146
12.2	Kontaktplan (KOP)	146
12.3	Logikplan (LOP)	147
12.4	Anweisungsliste (AWL)	147
12.5	Übungen zur Vertiefung	150

13	CAD-Dokumentation	151
13.1	Installations- und Aufbaupläne	151
13.2	Bezeichnungssysteme für Klemmen, Steckverbinder und Kabel.....	158
13.3	Stromlaufpläne	162
13.4	Bauteil- und Gerätelisten.....	171
13.5	Klemmen- und Steckverbinderlisten	172
13.6	Verdrahtungspläne	173
13.7	Übungen zur Vertiefung	175
14	Anhang	176
14.1	Genormte und international angewendete Schaltzeichen	177
14.1.1	Stromquellen	177
14.1.2	Sicherungen, Bezugspotenziale	177
14.1.3	Leitungen und Steckverbindungen	178
14.1.4	Einstellung und Veränderung	178
14.1.5	Widerstände	179
14.1.6	Spulen	179
14.1.7	Kondensatoren	180
14.1.8	Halbleiter	180
14.1.9	Halbleiterdioden und Vierschichtelemente	180
14.1.10	Bipolare Transistoren	182
14.1.11	Unipolare Transistoren	183
14.1.12	Grundform digitaler Verknüpfungsglieder	183
14.1.13	Negation	183
14.1.16	Kippglieder, Register und Speicher	185
14.2	International gebräuchliche Abkürzungen in englischer Sprache	187
14.2.1	Referenzkennzeichnungen – Reference Designators	187
14.2.2	Weitere Abkürzungen – Abbreviations	187
14.3	Teilverhältnisse von Spannungsteilern	189
14.4	Parallelschaltung von Widerständen, Serienschaltung von Kondensatoren	191
14.5	Widerstand, Spannung, Strom, Leistung	192
14.6	Kennzeichnung von Widerständen und IEC-Reihen	193
14.7	Kennzeichnung von Kondensatoren	196
14.8	Transistoranschlüsse	200
14.9	Symbole für Flussdiagramme nach DIN 66001	201
14.10	Erläuterungen der Anschlussbezeichnungen an ICs	202
14.11	ASCII-Zeichen-Zuordnungstabelle	206
14.11	ASCII-Zeichen-Zuordnungstabelle (Fortsetzung)	207
14.12	Griechisches Alphabet für Größen und Maßeinheiten	208
14.13	Dezibel-Tabelle	209
14.14	Stecker und Buchsen für die HiFi- und Videotechnik	211
14.15	Stecker und Buchsen für die Datenübertragung	216

14.15.1	Busbelegung	216
14.15.2	Serielle TTY/V24-Schnittstelle	217
14.15.3	BAS-Monitorschnittstelle	219
14.15.4	IEC-Schnittstelle	220
14.16	Telekommunikations-Anschlusseinheiten	220
14.16.1	Der analoge Netzanschluss	221
14.16.2	Die analoge Telekommunikations-Anschlusseinheit	222
14.16.3	Die Gleichstrombedingungen im analogen Netz	227
14.17	PC- und Notebook- Anschlussfunktionen	228
14.18	Sensoren	234
Lösung zu den Übungen		237
Sachverzeichnis		241

1 Strukturen, Funktionen, Definitionen und Signalformen

Neben der Methodik sind beim Analysieren und Bewerten einer Schaltung bestimmte Grundkenntnisse der Schaltungstechnik Grundvoraussetzung für den Erfolg. Daher wird in den ersten beiden Hauptabschnitten eingehend und ausführlich auf das Verhalten von Bauelementen, Grundsaltungen und Signalformen eingegangen.

1.1 Strukturen der Schaltungen und Wirkungen der zu verarbeitenden Signale

Schaltungen sind wie Schrifttexte strukturiert und können daher ähnlich wie Texte gelesen werden.

Genauso wie bei der Schrift, bei der man die Buchstaben über die einzelnen Wörter zu Sätzen und Texten verbinden kann,

O,R,T,W → WORT → Sätze, Texte,

werden bei elektronischen Schaltungen die Einzelfunktionen der Bauelemente zu Grund- und Einzelschaltungen und diese weiter zu Funktionseinheiten verbunden.

Sinngemäß können die **Bauelemente** oder **Komponenten** (vgl. Abb. 1.1) mit ihren Kurzbezeichnungen:

- C für Kondensator (Kapazität),
- D für Diode,
- L für Spule (Induktivität),
- R für Widerstand,
- T für Transistor,

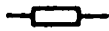
als Buchstabe betrachtet und entsprechend der Wortbildung zu **Grund-** oder **Einzelschaltungen** zusammengeschaltet werden. Dem Zusammensetzen der Wörter würde dann das Verbinden mehrerer **Grund-** oder **Einzelfunktionen** zu mehrstufigen Funktionseinheiten bedeuten. In Abb. 1.1 sind diese **Funktions-** oder **Schaltungseinheiten** zur besseren Übersicht nicht mehr als Einzelfunktionen, sondern vereinfacht mit einem Symbol dargestellt.

Bauelemente, Komponenten



Transistor

T



Widerstand

R



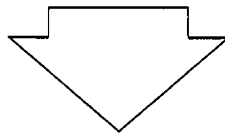
Kondensator

C

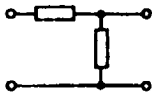


Diode

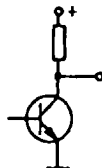
D



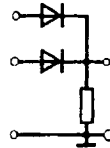
Grund- oder Einzelschaltung



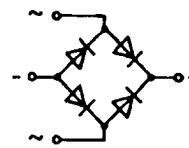
Spannungsteiler



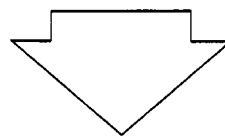
Verstärkerstufe



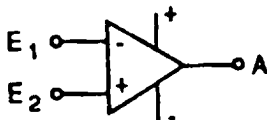
ODER-Logik



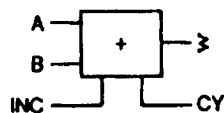
Gleichrichter



Funktionseinheiten



Mehrstufiger Verstärker



Addierwerk

Abb. 1.1: Aufbau von Schaltungen

Neben der Zusammensetzung der Komponenten und Einzelfunktionen zu mehrstufigen Schaltungen müssen die zu verarbeitenden Signalspannungen mit ihren unterschiedlichen Signalformen berücksichtigt werden. Im Wesentlichen werden drei grundsätzlich unterschiedliche Spannungsformen (Abb. 1.2) unterschieden, auf die einzelne Bauelemente mit unterschiedlichen Widerstandsverhalten reagieren.

Spannungsformen werden nach ihrem Zeitverhalten definiert.

Die Gleichspannung (Abb. 1.2a) hat zu jeder Zeit einen gleich hohen Spannungspegel mit gleicher Polarität. z. B. hat die Autobatterie immer eine Spannung von 12 Volt. Der Minuspol der Spannung ist hierbei mit dem Blechchassis des Autos als gemeinsames Bezugspotenzial für alle Verbraucher im Auto (Lampen, Anlasser, Elektronik, Elektromotoren, Radio u.a.) verbunden.

Die sinusförmige Wechselspannung (Abb. 1.2b) ändert ihren festen Amplitudenwert in bestimmten Zeitabständen von Pluswerten nach Minuswerten. Bezogen auf ein Bezugspotenzial der Schaltung, wechselt diese Spannung ständig die Polarität. Die Netzspannung hat z. B. eine gleichbleibende Spannungsamplitude von 230 Volt. Ihr periodisches Wechseln der Polarität innerhalb einer Sekunde wird mit der Frequenz f angegeben, z. B. $f = 50 \text{ Hz}$ bedeuten 50 Polaritätswechsel pro Sekunde.

Die Impulsspannungen (Abb. 1.2c) sind schnell geschaltete Gleichspannungen von einem bestimmten Gleichspannungspegel gegen ein Bezugspotenzial. In der Digitaltechnik, bzw. Computertechnik erfolgt das schnelle Ein- und Ausschalten durch einen Impulsgenerator, der z. B. bei einem PC-Computer die Impulsfolge mit einer Geschwindigkeit von mehreren 100 MHz (100 MHz sind hundert Millionen Schwingungen pro Sekunde) schaltet.

Wechselspannungen und Impulsspannungen können jeweils zusammen mit der Gleichspannung als Mischspannung (Abb. 1.2d) auftreten. In diesem Fall ist die Wechsel- oder Impulsspannung einer Gleichspannung mit unterschiedlicher Polarität überlagert. z. B. sind bei allen elektronischen Schaltungen (Verstärkerstufen), die Wechsel- oder Impulssignale der für diese Schaltungen erforderlichen Betriebsgleichspannung überlagert.

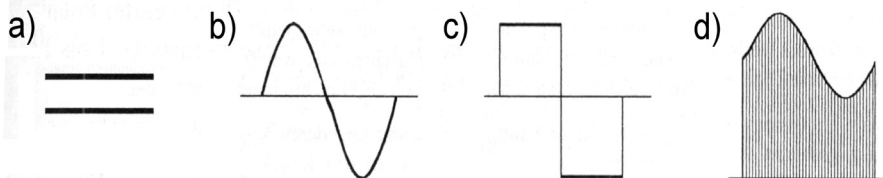


Abb. 1.2: Spannungsformen, a) Gleichspannung, b) Sinusspannung, c) Rechteckspannung, d) Mischspannung

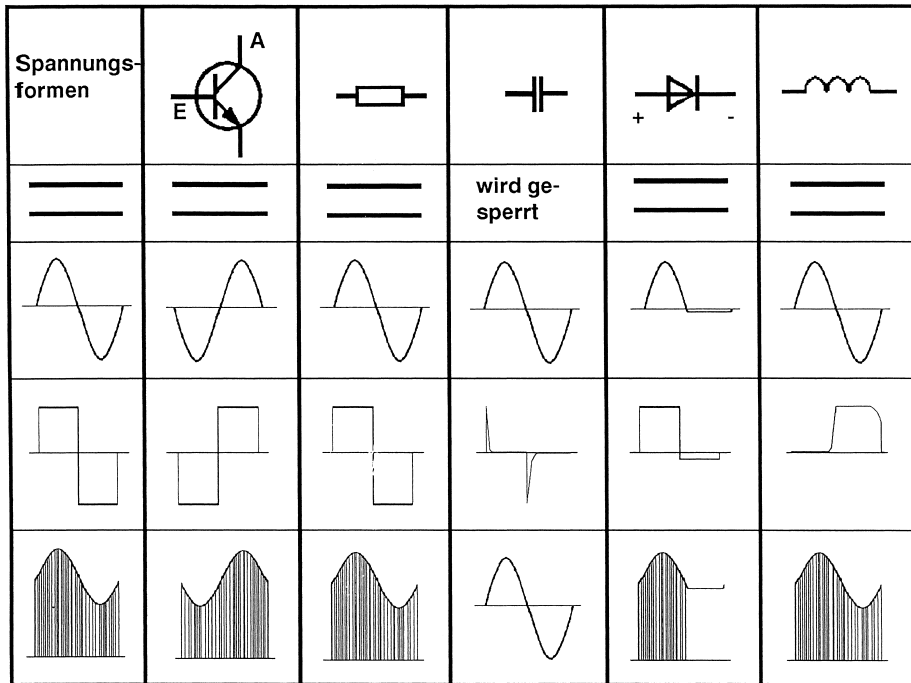


Abb. 1.3: Übertragungsverhalten der unterschiedlichen Bauelemente

Die verschiedenen Bauelemente reagieren unterschiedlich auf die einzelnen Spannungsformen.

Der ohmsche Widerstand in der Übersicht in Abb. 1.3 setzt allen Spannungsformen den gleichen Widerstandswert entgegen, unabhängig von der Polarität und der Wechselfrequenz.

Von der Polarität abhängig ist der Widerstand der Halbleiterdiode. Die Darstellung der Diode an Gleich- und Wechselspannung zeigt, dass der Widerstand beim Pluspol an der Kathode sehr hoch ist, in der Größenordnung Mega-Ohm. Bei umgekehrter Polarität, Minuspol an der Kathode, Pluspol an der Anode, sehr niedrig, im Bereich 1 bis 10 Ohm. Dieses Verhalten wird z. B. zum Gleichrichten von Wechselspannungen ausgenutzt. Diese Dioden bezeichnet man daher auch als Gleichrichterdioden.

Beim Transistor wird der Kollektor-Emitter-Widerstand durch Änderung der Basisspannung gesteuert. Höhere Basisspannung verringert den Kollektor-Emitter-Widerstand und umgekehrt. Eine Spannungsänderung an der Basis (E) bewirkt eine umgekehrte Spannungsänderung am Kollektor (A), wenn im Kollektor ein Arbeitswiderstand liegt.

Das Widerstandsverhalten des Kondensators und der Spule ist nur von der Wechselfrequenz f der anliegenden Spannung abhängig. Der frequenzabhängige Widerstand X des

Kondensators wird mit zunehmender Frequenz der Wechselspannung kleiner und umgekehrt. Gleichspannung sperrt der Kondensator (Abb. 1.3). Impulsspannungen mit steilen Schaltflanken verändern den Widerstand X des Kondensators auf sehr niedrige Werte im Ohm-Bereich, sodass die Schaltflanken des Impulses unverändert übertragen werden.

Genau umgekehrt verhält sich die Spule an Wechselspannung. Der Widerstand X wird mit zunehmender Frequenz der Wechselspannung größer und umgekehrt. Da eine Spule eine durchgehende Leitung darstellt, werden Gleichspannungen übertragen.

Wie wir in den folgenden Abschnitten ansehen, wirken die einzelnen Zusammenschaltungen von Bauelementen daher unterschiedlich auf die einzelnen Spannungsformen.

Der vorgenommene Vergleich der Elektronikfunktionen und ihrer Symbole mit unserem Sprachaufbau ist ein anschauliches Beispiel, Strukturmerkmale in den Zusammenhängen der Schaltelemente, Funktionen und Schaltungen aufzuzeigen.

Die Anwendungselektronik deckt mit wenigen Komponenten (Bauelementen) und Grundfunktionen das gesamte Anwendungsspektrum der Elektronik ab.

Die gebräuchlichsten Komponenten der Elektronik sind die Bauelemente:

- Diode (vgl. Anhang 14.1.9)
- Kondensator (vgl. Anhang 14.1.7)
- Transistor (vgl. Anhang 14.1.10)
- Spule (vgl. Anhang 14.1.6)
- Widerstand (vgl. Anhang 14.1.5)

Diese elementaren Komponenten gibt es in den unterschiedlichsten Funktionsvarianten wie die folgenden Beispiele zeigen:

Diode: Z-Diode für Begrenzer- und Stabilisierungsschaltungen,
Leistungsdioden für Gleichrichterschaltungen,
Dioden für Klammer- und Begrenzerschaltungen,
Vierschichtdioden (Diac, Triac, Thyristor für Schaltfunktionen),
Tunneldioden für Schaltfunktionen.

Kondensator: Fest-, Dreh-, Trimm-, Elektrolytkondensator für Resonanz- und Abstimmkreise, Block- und Siebkondensator, Koppelkondensator.

Spule: Filter-, Drossel-, Resonanzspulen.

Transistor: In der Anwendung unterscheidet man die beiden Transistorarten bipolar- und unipolar.
Bei den bipolaren Transistoren gibt es die NPN- und PNP-Typen und den Fototransistor.
Die unipolaren Feldeffekttransistoren (FET) unterscheidet man nach N- und P-Typen in Sperrschicht- und Anreicherungsfunktion.

Widerstand: Ohmsche Widerstände, temperaturabhängige Widerstände (PTC und NTC), spannungsabhängige Widerstände (VDR).

Diese Komponenten können nun wiederum in den verschiedensten Grundschaltungen zur Anwendung kommen, sowohl in der diskreten Schaltungstechnik (Zusammenschaltung von Bauelementen auf Lötleisten oder Leiterplatten) oder in integrierten Schaltungen (IC-Technik) der Linear-, Digital- oder Computertechnik.

1.2 Bezug herstellen zwischen symbolischem Schaltbild und der Verdrahtungsanordnung

Das Erkennen einer Schaltungsfunktion aus einem Schaltbild, in dem die Komponenten funktionsgerecht angeordnet sind, und das Aufsuchen der Funktionsverbindungen sowie die Zuordnung der symbolischen Komponenten zu den realen Bauelementen in dem dazugehörigen Elektronikgerät sind für die Funktionsprüfung und das Messen der Signale und Potenziale unerlässlich.

In einem elektronischen Gerät oder einer Anlage sind die Komponenten entsprechend ihrer Aufgabe, Form oder Größe in einem Gerät untergebracht. Bedien- oder Abgleichkomponenten müssen von außen zugänglich an den Frontseiten der Geräte angebracht sein. Komponenten mit hoher Verlustleistung können außerdem auf Kühlkörpern befestigt sein. Große Bauelemente, z.B. Elektrolytkondensatoren mit großer Kapazität, Transformatoren, sind häufig außerhalb der Leiterplatten an dem Gehäusechassis befestigt.

Aus der **Abb. 1.4** ist die mögliche Verdrahtungsanordnung eines Spannungsteilers ersichtlich. Abb. 1.4a zeigt die funktionsgerechte symbolische Darstellung, Abb. 1.4b

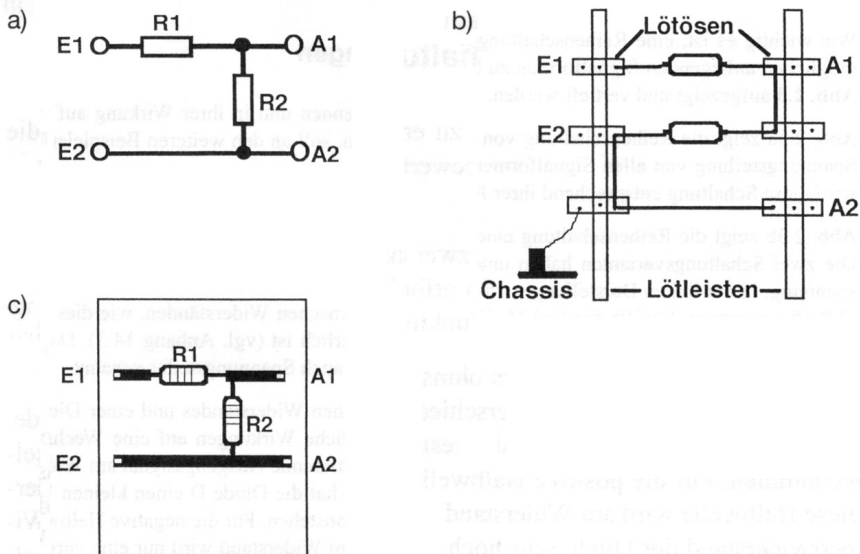


Abb. 1.4: a) Spannungsteiler, b) Anordnung auf Lötleisten, c) Anordnung auf Leiterplatte

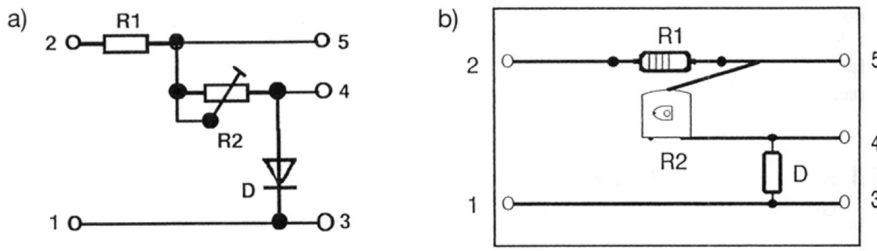


Abb. 1.5: a) Spannungsteiler mit Begrenzerdiode, b) Anordnung auf Leiterplatte

zeigt die mögliche Anordnung der Komponenten auf zwei Lötleisten. Die Abb. 1.4c zeigt die Anordnung der Komponenten auf einer Leiterplatte.

Ein weiteres Beispiel in **Abb. 1.5** zeigt einen einstellbaren Spannungsteiler mit Begrenzerfunktion durch die in Durchlassrichtung geschaltete Diode. Durch die Bauform des Trimmwiderstandes ist eine andere Anordnung der Komponenten und Leiterbahnführung erforderlich.

Diese zwei Beispiele zeigen, dass bei der zeichnerischen Darstellung eine Systematik in der funktionsgerechten Anordnung der Komponenten eingehalten wird.

Dagegen ist dies bei der mechanischen Anordnung der Komponenten aus vielerlei gestalterischen Gründen und Einschränkungen nicht möglich.

1.3 Polarität, Stromrichtung, Bezugspotenzial, Definitionen

Zur Verständigung über Funktionsabläufe und Erklärungen wird vorab auf einige Definitionen der in diesem Buch verwendeten Begriffe hingewiesen.

Polaritätsangabe: Der Spannungspfeil U zeigt vom Pluspol zum Minuspol (Abb. 1.6a).

Stromrichtung: Die in den Abbildungen verwendeten Strompfeile I zeigen die technische Stromrichtung vom Pluspol zum Minuspol an (Abb. 1.6a)

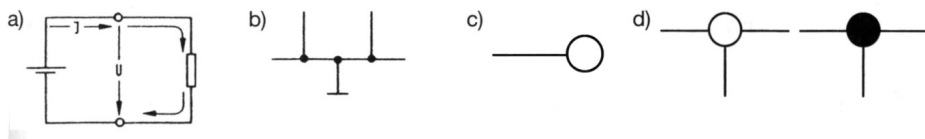


Abb. 1.6: a) Polaritäts- und Stromrichtungsangabe, b) Bezugspotenzial, c) Klemme oder Pol, d) Knoten

Bezugspotenzial: Sämtliche in den Schaltungsfunktionen angegebenen Spannungswerte beziehen sich, wenn nicht besonders gekennzeichnet, auf das in Abb. 1.6b dargestellte Symbol für das Bezugspotenzial.

Klemme oder **Pol** ist ein Anschlusspunkt in einer Schaltung. Die Kennzeichnung in Schaltplänen erfolgt durch einen kleinen Kreis (Abb. 1.6c).

Als **Knoten** bezeichnet man eine Klemme und jede elektrisch leitende Verbindung zwischen mehreren Klemmen. Kennzeichnungen (Abb. 1.6d):

Unter **Bauelement** oder **Schaltelement** versteht man den Baustein eines Geräts oder einer Schaltung mit bestimmten, durch seine Aufgaben festgelegten Eigenschaften.

Netzwerk, **Schaltung** oder **Stromkreis** ist die Zusammenschaltung mehrerer Bauelemente, sodass Ströme fließen können.

Die Definitionen **gesperrt** oder **nichtleitend** wird für Halbleiterbauelemente angewendet, die keinen Strom führen; die Definition **leitend** für Halbleiterbauelemente, die Strom führen.

Rückkopplungen werden nach **Mitkopplungen** und **Gegenkopplungen** unterschieden. Bei **Mitkopplungen** werden Spannungen mit gleicher Polarität und Phase vom Ausgang an den Eingang einer Verstärkerschaltung zurückgeführt. Die Rückführung mit gegensinniger Polarität und Phase definiert die **Gegenkopplung**.

Die Definition **Stufe** (z.B. Verstärker- oder Schaltstufe) bezieht sich immer auf den Transistor und die dazu erforderlichen Funktionselemente, z.B. Kollektor- und Emittterwiderstand sowie Basisspannungsteiler oder Vorwiderstand.

1.4 Übungen zur Vertiefung

Die Übungen am Ende jeden Hauptabschnittes sollen dazu beitragen, das Gelernte zu wiederholen und die dazu angebotenen zahlreichen Hilfsmittel im Anhang 14 anzuwenden.

1. Durch welche elektrischen Eigenschaften unterscheidet sich der Kondensator vom ohmschen Widerstand?
 - A Der Kondensatorwiderstand ist spannungsabhängig,
 - B der Kondensatorwiderstand ist stromabhängig,
 - C der Kondensatorwiderstand ist frequenzabhängig,
 - D der Kondensatorwiderstand ist neutral.
2. Der Widerstand der Diode ist:
 - A Von der Polarität der anliegenden Spannung abhängig,
 - B von der Signalform der anliegenden Spannung abhängig,
 - C bei hohen Spannungen von der Polarität abhängig,
 - D nur bei bestimmten Frequenzen bemerkbar.

3. Welches Bauelement hat 2 Stromkreise?
 - A Der Widerstand,
 - B die Diode,
 - C der Kondensator,
 - D der Transistor.
4. Welches Bauelement kann Rechteckimpulse verformen?
 - A Der Kondensator,
 - B der Widerstand,
 - C die Induktionsspule,
 - D die Diode.
5. Welches Schaltungssymbol ist der Z-Diode zugeordnet (siehe Anhang)?
6. Welches Schaltungssymbol ist den temperaturabhängigen Widerstand (PTC) zugeordnet (siehe Anhang)?
7. Welches Schaltungssymbol ist den Thyristor zugeordnet (siehe Anhang)?
8. Welche Darstellung zeigt die Lage des Bauelementes auf einem Baugruppenträger (z.B. Leiterplatte, Lötleisten)?
 - A Schaltbild,
 - B symbolisches Schaltbild,
 - C Verdrahtungsplan,
 - D elektrisches Schaltbild.
9. Die symbolische Darstellung eines Bauelementes in einem elektrischen Stromlaufplan (Schaltbild) gibt Auskunft über:
 - A Die Größe des Bauelementes,
 - B die Funktion des Bauelementes,
 - C die Anordnung des Bauelementes,
 - D die elektrischen Eigenschaften des Bauelementes.

Lösungen im Anhang

2 Schaltungsanalyse ein Puzzlespiel?

Ganz gleich ob kleine oder große Schaltbilder gelesen werden müssen. Im Detail handelt es sich immer um Reihen- oder Parallelschaltungen von unterschiedlichen Bauelementen, die Spannungswerte und Signalformen beeinflussen.

Beim Lesen von Schaltungen gibt es drei wesentliche Funktionsmerkmale zu prüfen und zu beachten:

1. Wo teilt sich eine Spannung auf?

In der Reihenschaltung von Bauelementen

2. Wo verzweigen sich Ströme?

In der Parallelschaltung von Bauelementen

3. Wo verändern sich Strom- und Spannungsformen?

Durch Zusammenschaltung von Bauelementen unterschiedlicher Funktionen

2.1 Funktionsbetrachtungen

Betrachten wir diese wesentlichen Funktionsmerkmale von elektronischen Schaltungen an den folgenden Beispielen:

An der Reihenschaltung von ohmschen Widerständen verteilt sich die anliegende Spannung proportional zu den Widerständen.

Je größer das Widerstandsverhältnis um so größer das Spannungsverhältnis (Spannungsteilerprinzip).

In der Abb. 2.1a sind die Widerstände gleich groß, entsprechend verhalten sich die Spannungen an den Widerständen. Sie teilen sich in drei gleich große Spannungen auf.

Diese Aufteilung der Spannung ist bei ohmschen Widerständen unabhängig von den Signalformen (Gleich- oder Wechselspannung) und deren Frequenz (niedrige, hohe oder wechselnde Frequenzen), vgl. hierzu die Erläuterungen der Tabelle in Abb. 1.3.

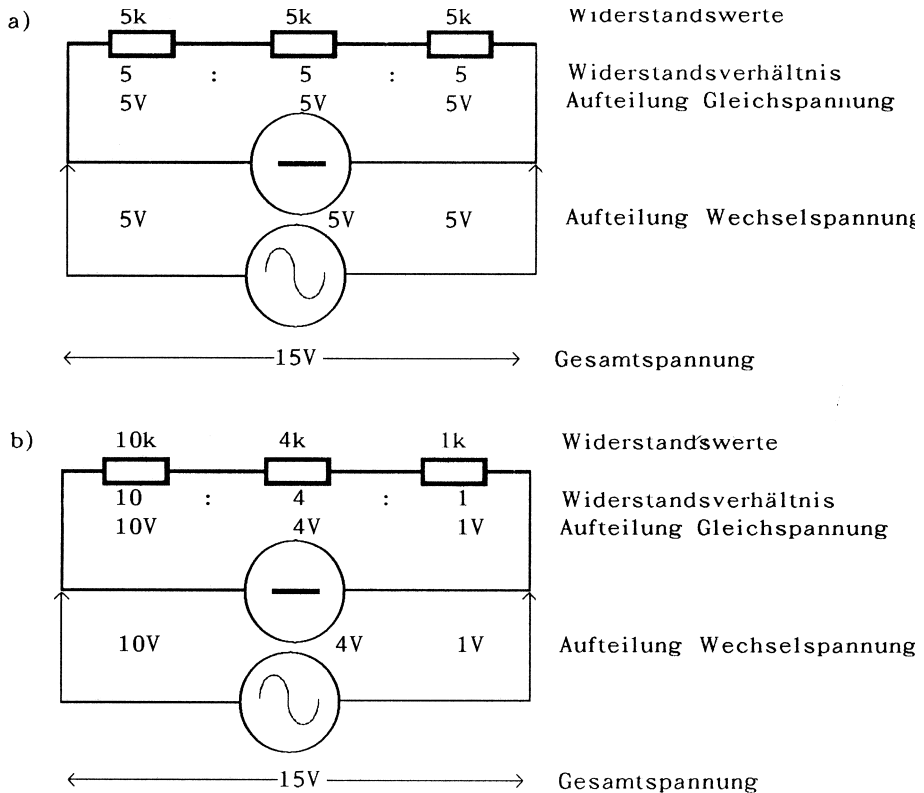


Abb. 2.1: Spannungsaufteilung an Reihenschaltungen von Widerständen

a) mit gleich großen Widerstandswerten

b) mit unterschiedlich großen Widerstandswerten

In der Abb. 2.1b sind drei unterschiedliche Widerstandswerte dargestellt. Entsprechend den Widerstandsverhältnis 10:4:1 teilt sich auch die anliegende Spannung im Verhältnis 10:4:1 auf.

In einer Reihenschaltung fließt nur ein Strom, der sich aus der anliegenden Spannung und den Gesamtwiderstand ergibt.

Bei dem zweiten Funktionsmerkmal der Parallelschaltung von Bauelementen verzweigen sich die Ströme entsprechend der Anzahl von Strompfaden. In der Abb. 2.2a sind die drei gleich großen Widerstandswerte von $R = 5\text{ k}$ parallel geschaltet. Daraus ergeben sich drei Strompfade mit gleich großen Strömen von $I = 3\text{ mA}$. Die Summe der parallel fließenden Ströme ergibt den Gesamtstrom von 9 mA .

In der Abb. 2.2b sind die drei Widerstandswerte aus Abb. 2.1b parallel geschaltet. Entsprechend teilen sich die Ströme im Verhältnis 10:4:1 auf.

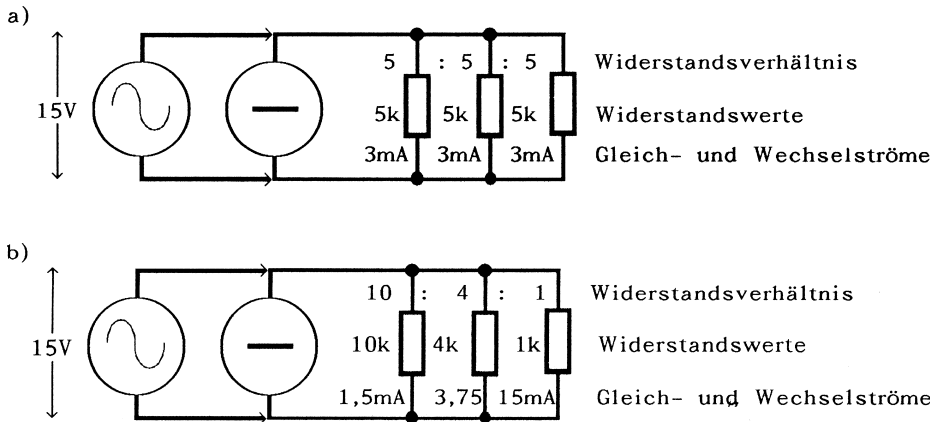


Abb. 2.2: Stromaufteilung an Parallelschaltung von Widerständen

a) mit gleich großen Widerstandswerten

b) mit unterschiedlichen Widerstandswerten

Der Vergleich der beiden Schaltungen zeigt uns:

Der kleinste Widerstand erzeugt in der Reihenschaltung den kleinsten Spannungsabfall, aber in der Parallelschaltung den größten Strom.

Der Gesamtwiderstandswert ergibt sich bei der Reihenschaltung aus der Summe der Einzelwiderstandswerte, bei der Parallelschaltung bestimmt der kleinste Widerstandswert den Gesamtwiderstand.

Das Widerstands- bzw. das Teilverhältnis bei der Reihenschaltung von zwei Widerständen kann mit Hilfe der Tabelle 14.3 im Anhang bestimmt werden.

Der Gesamtwiderstand bei der Parallelschaltung von Widerständen kann mit Hilfe der Tabelle 14.4 im Anhang bestimmt werden.

In der Abb. 2.3 ist die Reihenschaltung einer Diode mit einem Widerstand dargestellt. Die Abb. 2.3a zeigt die Spannungsaufteilung bei einer in Durchlassrichtung geschalteten Diode (Widerstand der Diode mit 10 Ohm sehr klein). Im Gegensatz dazu kehrt sich das Widerstandsverhältnis bei Umkehrung der Polung (Abb. 2.3b), der die Diode in Sperrbereich schaltet (Widerstand der Diode mit 1 Megaohm sehr groß). Siehe hierzu auch die Erläuterungen der Abb. 1.3.

Die Abb. 2.4 zeigt die Spannungsaufteilung bei einer Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand. Aus der Abb. 2.4a ist ersichtlich, dass der Kondensator der Gleichspannung einen nahezu unendlichen Widerstand entgegengesetzt und daher für die Gleichspannung sozusagen eine Unterbrechung darstellt. Daraus resultiert die Gesamtspannung am Kondensator und keine Spannung am Widerstand.

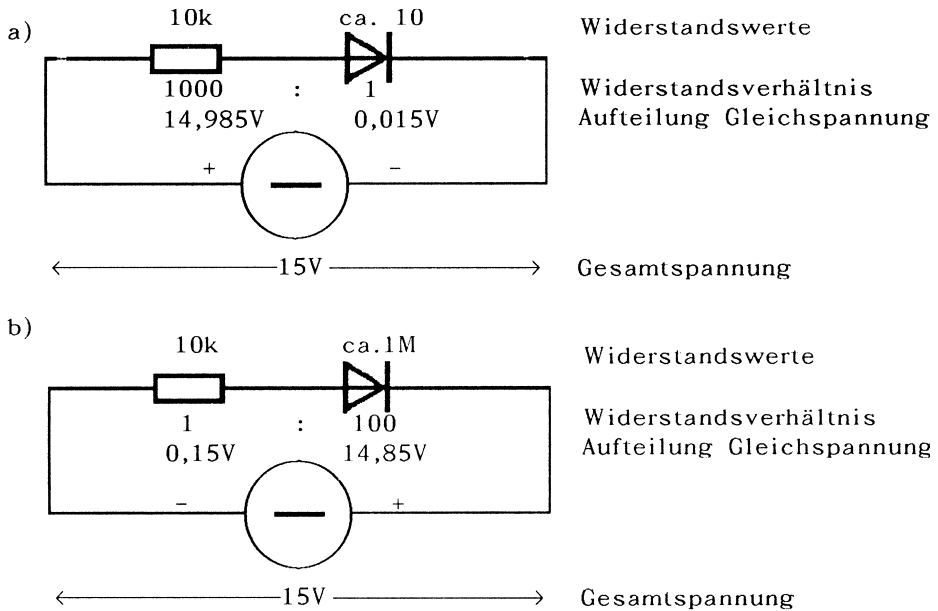


Abb. 2.3: Spannungsaufteilung an Reihenschaltung von Diode und Widerstand

a) Diode mit leitender Polarität

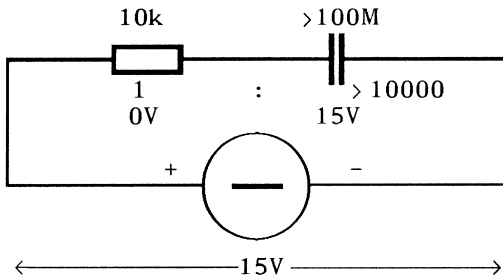
b) Diode mit nichtleitender (gesperrter) Polarität

Anders sieht die Spannungsaufteilung bei Wechselspannung aus (Abb. 2.4b.) Hier hat der frequenzabhängige Widerstand X des Kondensators die gleiche Wirkung für die Wechselspannung wie der ohmsche Widerstand.

Die Kombination von Reihen- und Parallelfunktionen finden wir nicht nur durch das Zusammenschalten von Bauelementen in Schaltungen sondern auch bei bestimmten Bauelementen, wie z.B. Transistoren und Thyristoren. Diese Bauelemente haben daher nicht nur zwei Anschlüsse, sondern deren drei.

Abb. 2.5a zeigt jeweils zwei in Reihe geschaltete Widerstände in Parallelschaltung und die entsprechenden Spannungsaufteilungen. Die gleiche Schaltung ergibt sich bei der Schaltungsanordnung mit einem Transistor in Abb. 2.5b. Wir sehen aus der Schaltungsanordnung, dass der Übergangswiderstand zwischen C und E (Kollektor-Emitter des Transistors) in seiner Wirkung ebenfalls einen Widerstand darstellt. Gesteuert wird dieser C-E-Widerstandswert durch den B-E-Stromkreis (Basis-Emitter-Stromkreis), der den Diodenstromkreis in Abb. 2.3a entspricht. Die Summe der beiden Ströme fließt über den Emitteranschluss E des Transistors.

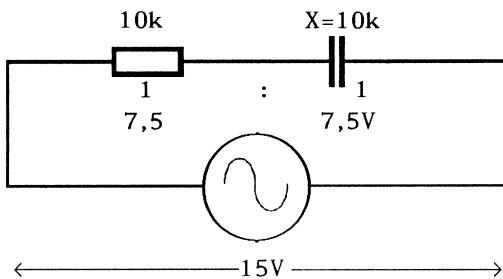
a)



Widerstandswerte

Widerstandsverhältnis
Aufteilung Gleichspannung

b)



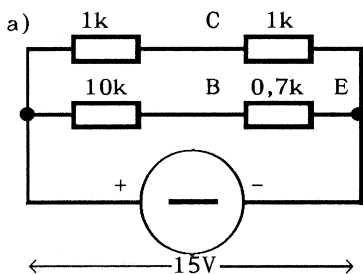
Widerstandswerte

Widerstandsverhältnis
Aufteilung Gleichspannung

Abb. 2.4:

Spannungsaufteilung an Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand

a) Kondensator im Gleichstromkreis



Spannungsaufteilung: 7,5V:7,5V

Strom C: 7,5mA

Spannungsaufteilung: 14V:1V

Strom B: 1,4mA

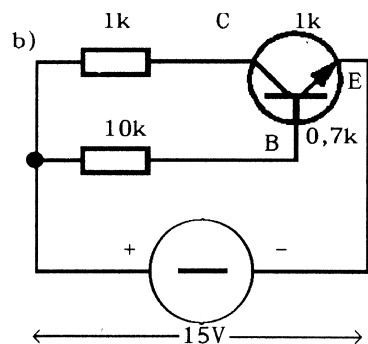
Gesamtstrom E: $C+B = 7,5\text{mA}+1,4\text{mA}=8,9\text{mA}$ 

Abb. 2.5: Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen und Transistor

a) Widerstandsersatzschaltung der Transistorschaltung

b) Transistorschaltung

2.2 Funktionen von Reihenschaltungen

Wie wichtig es ist, eine Reihenschaltung zu erkennen und in ihrer Wirkung auf die möglichen anliegenden Signalformen zu bewerten, soll an den weiteren Beispielen in **Abb. 2.6** aufgezeigt und vertieft werden.

Abb. 2.6a zeigt die Reihenschaltung von zwei ohmschen Widerständen, wie dies zur Spannungsteilung von allen Signalformen erforderlich ist (vgl. Anhang 14.3). Daher wird diese Schaltung entsprechend ihrer Funktion auch Spannungsteiler genannt.

Abb. 2.6b zeigt die Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes und einer Diode. Die zwei Schaltungsvarianten haben unterschiedliche Wirkungen auf eine Wechselspannung. In der linken Darstellung wird das resultierende Ausgangssignal am Widerstand R abgenommen. Für die positive Halbwelle hat die Diode D einen kleinen Widerstand. Diese Halbwelle wird am Widerstand R anstehen. Für die negative Halbwelle ist der Sperrwiderstand der Diode sehr hoch. Am Widerstand wird nur eine geringfügige Spannung abgenommen. Diese Schaltung dient zur Gleichrichtung von Wechselspannungen und wird dann als Einweg-Gleichrichterschaltung bezeichnet, wobei der Widerstand R den Verbrauchswiderstand darstellt.

An der rechten Schaltung wird die Wechselspannung an der Diode abgenommen. Daher wird als Ausgangsspannung die negative Halbwelle gemessen und die positive Halbwelle nur als geringfügige Schwellenspannung der Diode gemessen. Diese Schaltung entspricht ebenfalls der Wirkung einer Gleichrichterfunktion.

Die Reihenschaltung eines Widerstandes mit einer Z-Diode zeigt Abb. 2.6c. Da die Z-Diode Gleichspannungsänderungen einen nahezu konstanten Widerstand entgegensetzt, wirkt diese Schaltung als Begrenzer- und Stabilisierungsschaltung für Gleichspannungen.

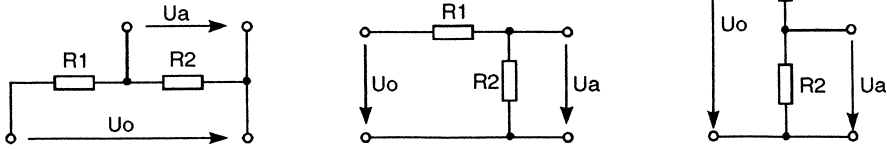
Die linke Darstellung in Abb. 2.6d zeigt die Reihenschaltung eines NPN-Transistors mit einem ohmschen Widerstand als Arbeitswiderstand R_C im Kollektor des Transistors (vgl. Emitter-Schaltung in Tabelle 2.1). Eine Eingangsspannung wird dadurch in der Polarität am Ausgang umgekehrt. Dieser Arbeitswiderstand kann auch im Emitter des Transistors liegen (R_E in rechter Darstellung). Die Eingangsspannung wird dadurch am Ausgang nicht umgekehrt.

Die Reihenschaltung von Transistoren (Abb. 2.6e) finden wir bei Ausgangsschaltungen von Nf-Verstärkern oder linearen und digitalen IC's.

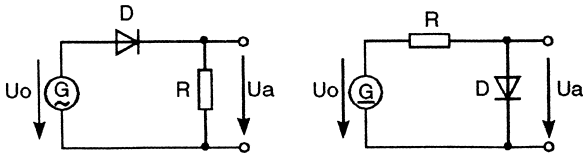
Die Aussteuerung der Transistoren erfolgt gegensinnig. Wenn T_1 hochohmig gesteuert wird, dann wird T_2 niederohmig und umgekehrt. Dadurch erhöht sich die dynamische Spannungsteilerwirkung der Schaltungsanordnung.

Die Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes mit einem frequenzabhängigen Widerstand zeigt die Abb. 2.6f. Damit wird am Ausgang der Schaltungen die Teilerwirkung für die Eingangswechselspannung abhängig von der Frequenz.

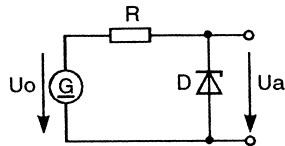
a) Unterschiedliche Darstellung des Spannungsleiters



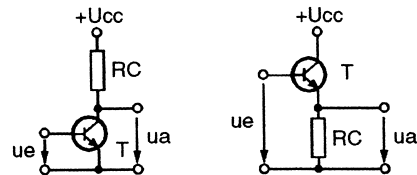
b) Gleichrichter- und Begrenzerschaltung



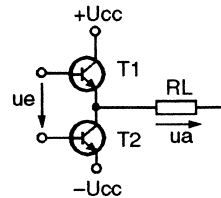
c) Stabilisierungsschaltung



d) Arbeitswiderstand am Transistor



e) Transistor in Reihenschaltung



f) Reihenschaltung aus ohmschen- und frequenzabhängigen Widerständen

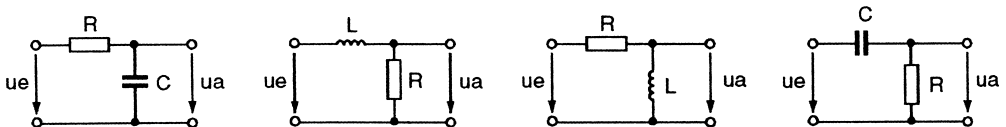


Abb. 2.6: Reihenschaltung von Komponenten

In den beiden linken Abbildungen liegt die Ausgangsspannung einmal am Kondensator und einmal am ohmschen Widerstand. Dadurch ergeben sich für beide Schaltungsvarianten das gleiche Frequenzverhalten für die Ausgangsspannung.

Der Kondensator in der ersten Abbildung verringert seinen frequenzabhängigen Widerstand mit zunehmender Frequenz. Das Widerstandsverhältnis wird dadurch größer, die Ausgangsspannung am Kondensator kleiner. In der zweiten Abbildung erhöht sich der frequenzabhängige Widerstand der Spule mit zunehmender Frequenz. Das Widerstandsverhältnis wird dadurch auch größer und die Ausgangsspannung am ohmschen Widerstand wird dadurch auch kleiner (Funktion eines Tiefpasses).

Überträgt man dieses Funktionsverhalten auf die beiden rechten Bilder, dann wird es verständlich, dass bei diesen Schaltungsanordnungen die frequenzabhängige Ausgangsspannung mit zunehmender Frequenz ansteigt (Funktion eines Hochpasses).

Abb. 2.7 zeigt die Schaltung eines einstufigen Transistor-Spannungsverstärkers. Dieser Verstärker wird auch in seiner Standard-Grundsaltung als Emitterschaltung bezeichnet. Kennzeichnend für die Grundsaltungen sind die Zuordnungen des Ein- und Ausganges zu den Elektrodenanschlüssen des Transistors. Bei der Emittter-Grundsaltung ist der Eingang dem Basisanschluss zugeordnet, der Ausgang dem Kollektoranschluss, das gemeinsame Bezugspotenzial dem Emitteranschluss.

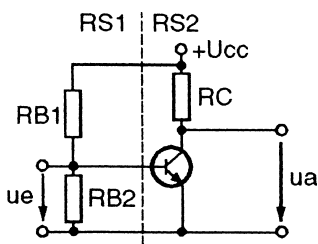


Abb. 2.7: Kombination von Reihenschaltungen am Beispiel einer Verstärkerstufe

Aus der Abbildung sehen wir, dass die Verstärkerstufe aus zwei Reihenschaltkreisen besteht, dem Basisspannungsteiler zur Erzeugung des Arbeitspunktes AP, bestehend aus den ohmschen Widerständen RB1 und RB2 (Reihenschaltung RS1) und der Reihenschaltung RS2 des Arbeitswiderstandes RC mit dem Transistor.

Abschließend zu den Betrachtungen von Reihenschaltungen schauen wir uns etwas eingehender das Schaltungsbeispiel eines Rechteckgenerators in **Abb. 2.8** an.

In einem Gesamtschaltbild sind Einzelfunktionen immer etwas schwerer zu erkennen, deshalb sind in Abb. 2.8 die einzelnen Reihenschaltungen mit Linien abgegrenzt und mit Kleinbuchstaben wie folgt gekennzeichnet:

- Reihenschaltung der Widerstände R23 und R24 (Spannungsteiler zur Erzeugung des Arbeitspunktes für die Basis des Transistors T8);
- Reihenschaltung des Kondensators C12 und der Spule L1/1-2 (Serienresonanzkreis);
- Reihenschaltung der Spule L1/3-4, Transistor T8 (Kollektor-Emitter) und Emitterwiderstand R25;

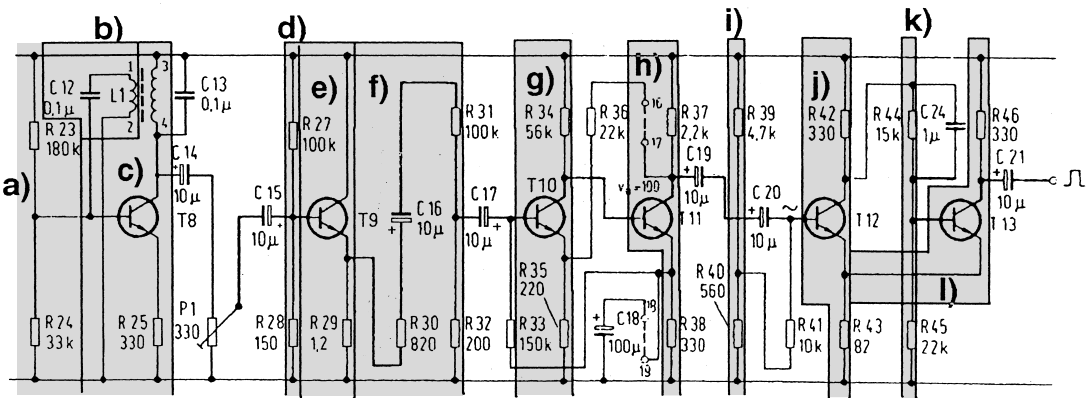


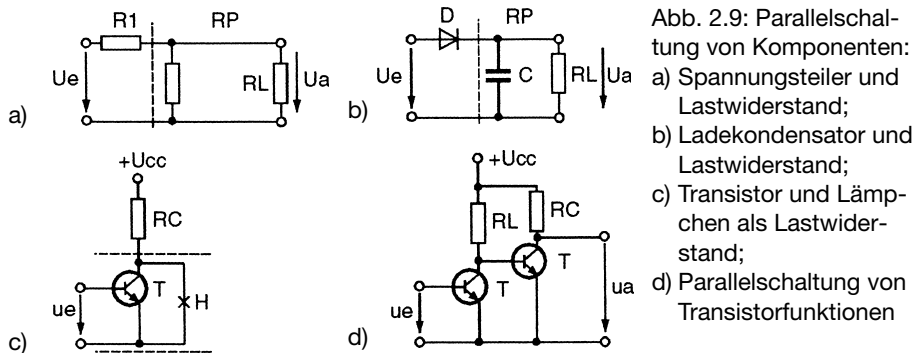
Abb. 2.8: Schaltungsbeispiel für Reihenschaltungen

- d) Reihenschaltung der Widerstände R27 und R28 (Spannungsteiler für Basis T9);
- e) Reihenschaltung des Transistors T9 (Kollektor-Emitter) und des Emittterwiderstandes R29;
- f) Reihenschaltung des Widerstandes R30, Kondensator C16 und die Widerstände R31 und R32;
- g) Reihenschaltung des Kollektorwiderstandes R34, Transistor T10 (Kollektor-Emitter) und des Emittterwiderstandes R35;
- h) Reihenschaltung des Kollektorwiderstandes R37, des Transistors T11 (Kollektor-Emitter) und des Emittterwiderstandes R38;
- i) Reihenschaltung des Spannungsteilers R39 und R40;
- j) Reihenschaltung Kollektorwiderstand R42, Transistor T12 (Kollektor-Emitter) und der mit T13 gemeinsame Emittterwiderstand R43;
- k) Reihenschaltung des Spannungsteilers R44 und R45;
- l) Reihenschaltung des Kollektorwiderstandes R46, Transistor T13 (Kollektor-Emitter) und des mit T12 gemeinsamen Emittterwiderstandes R43.

2.3 Funktionen von Parallelschaltungen

Eine weitere wichtige Funktion hat die Parallelschaltung von Komponenten in elektronischen Schaltungen. Eine Parallelschaltung ist vor allem dann gegeben, wenn am Ausgang einer Elektronikschaltung die nächstfolgende Schaltungsfunktion oder ein Verbraucher angeschlossen ist. Hierzu die folgenden Beispiele der **Abb. 2.9**:

In Abb. 2.9a ist am Ausgang des Spannungsteilers ein Lastwiderstand angeschlossen. Dieser Lastwiderstand R_L bildet mit dem Widerstand R_2 einen Parallelwiderstand R_P mit einem daraus resultierenden neuen Widerstandswert, der das Widerstandsverhältnis zusammen mit R_1 bestimmt.



In Abb. 2.9b ist an den Ausgang der Gleichrichterdiode D ein Ladekondensator C und ein Lastwiderstand R_L angeschlossen. C und R_L sind parallel geschaltet und liegen als resultierender frequenzabhängiger Gesamtwiderstand in Reihenschaltung zu der Diode D .

Abb. 2.9c zeigt ein am Ausgang des Transistorverstärkers angeschlossenenes Lämpchen H an. Dieses Lämpchen liegt als Lastwiderstand parallel zu dem Transistor T . Der resultierende Gesamtwiderstand aus T und H liegt in Reihe zu dem Widerstand R_C .

Abb. 2.9d zeigt zwei Transistorverstärkerstufen T , die hintereinander geschaltet sind. Hierbei liegt der Basis-Emitterwiderstand des zweiten Transistors parallel zum Ausgang (Kollektor-Emitter-Widerstand) des ersten Transistors.

Die Parallelschaltung der beiden Verstärkerstromkreise über die Widerstände R_L und R_C an der Versorgungsspannung U_{cc} hat auf die Funktionsbetrachtung der Verstärkerstufen keinen Einfluss.

Abschließend zu den grundsätzlichen funktionalen Betrachtungen über Parallelschaltungen werden wieder in der Schaltungsvorlage des Rechteckgenerators von Abb. 2.8 einige Parallelschaltungen definiert. Hierzu sind wiederum in der **Abb. 2.10** die Parallelschaltungen durch Eingrenzungslinien gekennzeichnet und mit fortlaufenden Kleinbuchstaben versehen:

- Im Basis-Emitter-Stromkreis liegen Widerstand R_{24} , parallel dazu die Reihenschaltung C_{12} und $L_{1/1-2}$ und parallel dazu die Reihenschaltung von Basis-Emitter-Widerstand T_8 und Emitterwiderstand R_{25} .
- Die Spule $L_{1/3-4}$ und der Kondensator C_{13} bilden einen Parallelschwingkreis
- Der Widerstand R_{28} liegt parallel zur Reihenschaltung des Basis-Emitter-Widerstands T_9 und dem Emitterwiderstand R_{29} .
- Dem Widerstand R_{40} liegen parallel die in Reihe geschalteten Widerstände R_{41} , Basis-Emitter-Widerstand T_{12} und der Emitterwiderstand R_{43} .
- R_{44} und C_{24} bilden eine Parallelschaltung als Koppelement zwischen Transistor T_{12} und Transistor T_{13} .

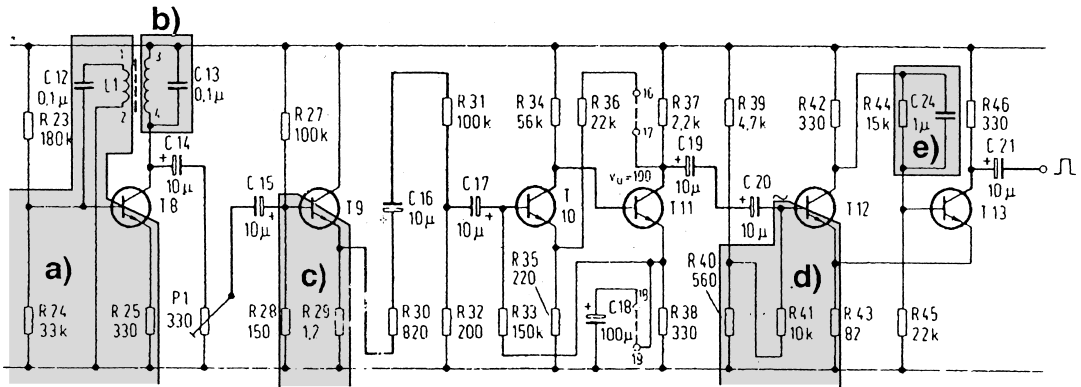


Abb. 2.10: Schaltungsbeispiel für Parallelschaltungen

Die hier als Beispiel für Reihen- und Parallelschaltungen eingesetzte Schaltung wird in Hauptabschnitt 7 nochmals näher in ihrer Funktion (Abb. 7.3) beschrieben.

2.4 Standardisierte Grundsaltungen

Die Kombination von Reihen- und Parallelschaltungen der Komponenten ergeben dann die ganze Vielfalt der zur Anwendung kommenden Schaltungsvarianten. Daraus haben sich einige Standard-Grundsaltungen entwickelt, wie sie in der folgenden **Übersichtstabelle 2.1** beispielhaft dargestellt sind:

Die Verstärker-Grundsaltungen haben unterschiedliche Leistungskennwerte:

Die **Emitter**-Schaltung ist eine Spannungs- und Stromverstärkerstufe. Der gebräuchlichste Einsatz ist der als Spannungsverstärkerstufe.

Die **Kollektor**-Schaltung hat die größte Stromverstärkung, aber die Spannungsverstärkung ist <1 . Aufgrund des großen Eingangs-, Ausgangs-Widerstandsverhältnisses wird sie als Impedanzwandler eingesetzt.

Die **Basis**-Schaltung hat die größte Spannungsverstärkung, aber eine Stromverstärkung <1 . Ihr Einsatz erfolgt bevorzugt für kleine Spannungen (Antennenverstärker).

Die **Differenz**-Verstärkerstufe ist ein Brückenverstärker, der nur die Differenzspannung zwischen den Eingängen verstärkt am Ausgang wiedergibt. Spannungen mit gleicher Polarität und Amplitude werden nicht verstärkt. Aufgrund der daraus resultierenden Gleichtaktunterdrückung, die Störspannungen unterdrückt, wird dieser Verstärkertyp als Eingangsstufe für Operationsverstärker eingesetzt.

Der **Darlington**-Verstärker hat ausgesprochene Stromverstärkerfunktion und wird entsprechend zur Steuerstromanpassung eingesetzt.

Tabelle 2.1 Grundsaltungen

Ermittler- Schaltung	Kollektor- Schaltung	Basis- Schaltung	Differenz- Verstärker	Darlington- Verstärker
Einweg- Gleichrichter	Zweiweg- Gleichrichter	Brücken- Gleichrichter	Einweg- Verdoppler	Zweiweg- Verdoppler
Nichtinvertierender Operationsverstärker	Invertierender Operationsverstärker	Impedanz- Verstärker	Differenz- Verstärker	Stromquelle
Bi-stabiler Multivibrator	A-stabiler Multivibrator	Monostabiler Multivibrator	Schmitt-Trigger	NAND-Logik

Die Gleichrichter-Grundsaltungen haben zur Aufgabe, Wechselspannungen zu Gleichspannungen umzuformen.

Der **Einweg**-Gleichrichter verwertet nur eine Halbwelle zur Gleichspannungsgewinnung. Daher wird diese Gleichrichtung nur für geringe Leistungsanforderungen eingesetzt.

Der **Zweiweg**-Gleichrichter verwertet beide Halbwellen zur Gleichspannungsgewinnung. Außerdem werden die Sekundärwicklungen des Transformators nicht durch den Laststrom vormagnetisiert.

Der **Brücken**-Gleichrichter nutzt ebenfalls beide Halbwellen zur Gleichspannungsgewinnung.

Die **Einweg-Spannungsverdoppler**-Schaltung lädt den Kondensator C2 auf den doppelten Wert der Eingangsspitzenspannung.

Die **Zweiweg-Spannungsverdoppler**-Schaltung lädt beide Kondensatoren auf den doppelten Wert der Eingangsspitzenspannung.

Der Operationsverstärker ist der universellste Verstärkertyp. Als IC's werden diese Verstärker mit den unterschiedlichsten Leistungsmerkmalen angeboten.

Beim **nichtinvertierenden** Verstärker wird das Eingangssignal an den +-Eingang gelegt.

Beim **invertierenden** Verstärker erfolgt die Ansteuerung über den —Eingang. Die Spannungsverstärkung wird über den Teilungsfaktor der ohmschen Widerstände bestimmt.

Beim **Impedanz**-Verstärker wird der invertierende Eingang mit dem Ausgang kurzgeschlossen. Die Stromverstärkung ist hoch. Es erfolgt keine Spannungsverstärkung.

Die Eigenschaften des **Differenz**-Verstärkers entsprechen der Differenzstufe.

Die **Stromquelle** hält die mit dem Widerstand R2 eingestellte Spannung konstant. Die Referenzspannung wird durch die Z-Diode erzeugt.

Bei den Impulserzeugerschaltungen (Multivibratoren) unterscheidet man die folgenden Standardfunktionen:

Die rechteckförmige Umschaltung der **bistabilen** Kippstufe erfolgt über Eingangsimpulse an den beiden Eingängen. Die Impulszeiten werden durch die zeitliche Folge der Eingangsimpulse bestimmt.

Die **astabile** Kippstufe ist ein freischwingender Rechteckgenerator. Die Impulszeiten werden durch die zwei RC-Glieder bestimmt, die gegenseitig Eingang und Ausgang miteinander verkoppeln

Die **monostabile** Kippstufe benötigt am Eingang einen Startimpuls, damit ein einmaliger Rechteckimpuls am Ausgang abgegeben wird. Der zeitliche Ablauf des Impulses

wird dann durch das RC-Koppelglied zwischen Kollektor der ersten Stufe und Basis der zweiten Stufe bestimmt.

Der **Schmitt-Trigger** benötigt zur Erzeugung eines Rechteckimpulses am Ausgang zwei unterschiedliche Spannungspegel beliebiger Signalform am Eingang.

Die **NAND-Logik** besteht aus dem UND-Diodengatter und der nachfolgenden Emitterschaltung (Umkehrfunktion).

2.5 Übungen zur Vertiefung

In den folgenden Übungsbeispielen wollen wir das bisher Gelernte weiter vertiefen und anwenden.

1. Welche Funktion haben die Widerstände RB und RQ in der Emitter-Schaltung der Tabelle 2.1?
2. Welche Aufgabe hat der Kondensator C in der Basis-Schaltung der Tabelle 2.1?
3. Wie viele Strompfade hat der Darlington-Verstärker in Tabelle 2.1?
4. Welche Aufgabe hat der Kondensator CL in den Gleichrichterschaltungen der Tabelle 2.1?
5. An den Eingängen der Gleichrichterschaltungen in Tabelle 2.1 liegt eine sinusförmige Wechselspannung an. Welche Ausgangsspannungen sind die Folge, wenn sich an den Ausgängen keine Ladekondensatoren befinden?
6. An beide Eingänge des Operationsverstärkers in Tabelle 2.1 wird eine Wechselspannung angelegt. Welche Spannung erhält man am Ausgang?
7. Welcher Unterschied in der Ausgangsfunktion besteht zwischen dem bistabilen und dem monostabilen Multivibrator?
8. Bezüglich der Ausgangsfunktion sind die Emitter- und die Kollektorschaltung jeweils identisch mit den invertierenden-, bzw. den nichtinvertierenden Operationsverstärker. Für welche Stufen trifft dies zu?
9. Wann leuchtet das Lämpchen in der Schaltung Abb. 2.9c? Bei einem Eingangssignal oder ohne Eingangssignal am Transistor?
10. In der Schaltung Abb. 2.9d ist am Eingang eine positive Halbwelle wirksam. Welche Polarität hat die Halbwelle am Ausgang?
11. In der Schaltung Abb. 2.5b bestimmt die Basisspannung den Übergangswiderstand R zwischen Kollektor (C) und Emitter (E).
Wenn die Basisspannung $U_B = 0V$ beträgt, in welcher Größenordnung befindet sich der Übergangswiderstand Kollektor-Emitter?
 $R = \underline{\hspace{2cm}}$
Wie groß wird die Spannung an dem Widerstand $R = 1\text{ k}\Omega$?
 $U = \underline{\hspace{2cm}}$
12. Der Gesamt Widerstand in der Abb. 2.2a ist überschlägig zu bestimmen:
 $R = \underline{\hspace{2cm}}$
13. Der Gesamt Widerstand in der Abb. 2.2b ist überschlägig zu bestimmen:
 $R = \underline{\hspace{2cm}}$

Lösungen im Anhang

4 Hauptfunktionen aus Neben- oder Hilfsfunktionen erkennen

Die Schaltungsfunktionen der Industrieschaltungen setzen sich überwiegend aus Grundsaltungen zusammen. Leider nicht in ihren Grundformen, sondern versteckt in den mannigfaltigsten Netzwerken und Nebenfunktionen. Wodurch sich nicht nur die meisten Berufsanfänger, sondern auch viele Routiniers entmutigen lassen und deshalb den Funktionsablauf oder Signalweg mehr erraten als folgerichtig festlegen.

In den meisten Fällen handelt es sich bei den sogenannten Nebenfunktionen um wesentliche immer wiederkehrende Hilfsfunktionen. Dies können z.B. sein: Schaltungen zur Erzeugung von Arbeitspunkten, Stabilisierungsschaltungen, Siebschaltungen, Filterschaltungen, Schaltungen zur Erzeugung von Hilfsspannungen, Gegenkopplungen und Entkopplungsschaltungen. Hierzu ein einfaches Beispiel:

Die Abb. 4.1 zeigt eine komplette Verstärkerstufe. Die eigentliche Verstärkerfunktion wird durch den Transistor und den Arbeitswiderstand im Kollektor ausgeübt. Dazu gehört die Anordnung des Einganges an der Basis und des Ausganges am Kollektor.

Alle anderen Hilfs- oder Nebenfunktionen sind nicht spezifisch für die Funktion, sie könnten daher entfallen oder in einer anderen Schaltungsvariante dargestellt sein. Zum Beispiel könnte der Spannungsteiler zur Erzeugung des Arbeitspunktes in abgewandelter Form nur aus dem oberen Widerstand bestehen.

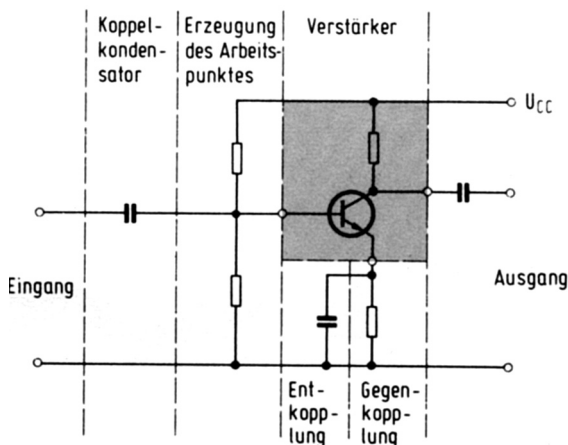


Abb. 4.1: Verstärkerstufe

Anstelle der kapazitiven Kopplung könnte eine direkte Kopplung oder eine Widerstandskopplung vorhanden sein. Auch der Emitterwiderstand als Stromgegenkopplung ist für die Grundfunktion nicht erforderlich. Eine ähnliche Wirkung könnte eine Schaltungsanordnung an anderer Stelle erzielen. Entsprechende Veränderungen können auch an der Wirkung des Entkopplungskondensators vorgenommen werden.

Dieses Beispiel hat gezeigt, dass eine Grundfunktion unter den unterschiedlichsten Schaltungsvarianten auftreten kann. Es hat daher keinen Zweck, sich nur eine oder mehrere Schaltungsvarianten einzuprägen und mit diesen Vorbildern sozusagen im Soll-Ist-Vergleich die Schaltungen abzuprüfen. Viel leichter tut man sich, wenn man nach den Grundfunktionen sucht und die daran angeordneten Bauelemente und Netzwerke auf ihre Funktionsaufgaben überprüft.

Man würde bei einer Verstärkerschaltung entsprechend Abb. 4.1 wie folgt vorgehen:

- Grundsicherung aufgrund der Anordnung von Ein- und Ausgang definieren;
- Bauelemente zur Erzeugung des Arbeitspunktes bestimmen;
- weitere Bauelemente auf ihre Funktionen als Gegenkopplung (Arbeitspunktstabilisierung), Kopplungselemente oder frequenzabhängige Netzwerke überprüfen.

Diese Überlegungen können bei Impuls- oder Digitalschaltungen ebenfalls angewendet werden. In Abb. 4.2 ist ein Flipflop dargestellt. Bekanntlich liegt allen Flipflops als Zähl- oder Speicherfunktion die bistabile Kippstufe als Schaltung zugrunde.

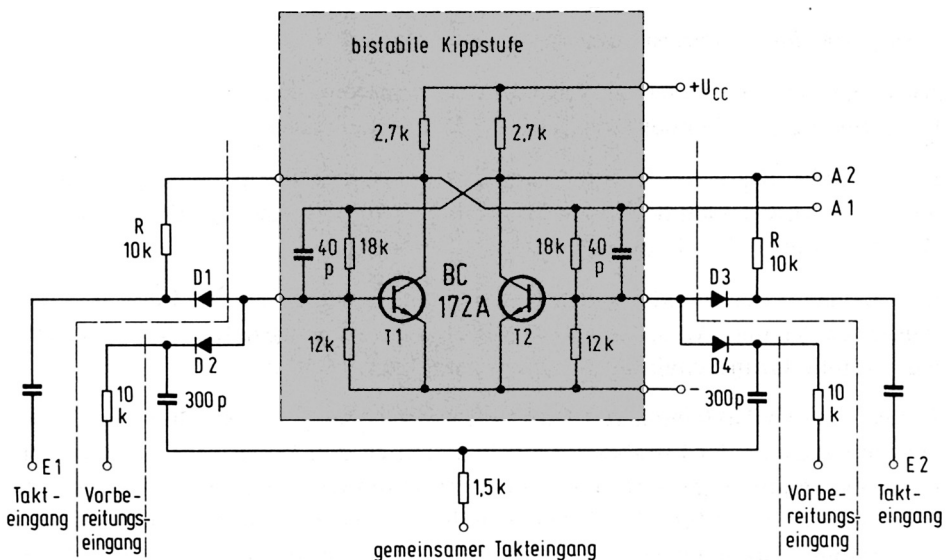


Abb. 4.2: Flipflopschaltung

Auch hier gilt es, zuerst die Grundfunktion anhand der dazu erforderlichen Bauelemente zu erkennen und dann die Nebenfunktionen zu definieren.

Die bistabile Kippstufe in ihrer Grundfunktion wird durch die Transistoren, die Kollektorwiderstände $R = 2,7 \text{ k}$ und die Koppelnetzwerke $R = 18 \text{ k}$ und $R = 12 \text{ k}$ sowie $C = 40 \text{ p}$ dargestellt.

Entsprechend der Funktion befinden sich die Eingänge an der Basis und die Ausgänge A1 und A2 an den Kollektoren. Die Eingangsnetzwerke erweitern die bistabile Grundschaltung zu einem getakteten Flipflop.

Die getrennten Takteingänge E1 und E2 wirken über C und die Dioden D1 und D3 auf die Eingänge der bistabilen Kippstufe. Durch den Widerstand $R = 10 \text{ k}$ wird der Takteingang immer gesperrt, der an den nichtleitenden Transistor angeschlossen ist, da die Diode D1 bzw. D3 durch die hohe positive Spannung gesperrt ist. Der gemeinsame Takteingang wirkt über die Kondensatoren $C = 300 \text{ p}$ und die Dioden D2 und D4 auf die Eingänge der Kippstufe. Die negative Polarität des differenzierten Rechteckimpulses wird jeweils am leitenden Transistor wirksam, dieser Transistor wird nichtleitend und löst den Kippvorgang aus. Der gemeinsame Takteingang kann über die Vorbereitungseingänge jeweils blockiert bzw. freigegeben werden.

Zur Blockierung des Takteinganges ist eine positive Gleichspannung in Höhe von U_{cc} , erforderlich, damit die Dioden D2 und D4 gesperrt werden. Freigegeben wird der Takteingang durch Nullpotenzial am Vorbereitungseingang.

4.1 Beispiele anhand von Verstärkern aus der Praxis

Nachdem anhand von zwei grundlegenden Beispielen der Sinn dieser Betrachtungsweise dargestellt wurde, werden nun einige Schaltungsbeispiele aus der Industriepaxis nach dieser Methode analysiert. In Abb. 4.3 ist ein dreistufiger Spannungsverstärker als Bestandteil einer größeren Funktionseinheit (TF-Verstärker) dargestellt.

Aus der Anordnung der Ein- und Ausgänge ist ersichtlich, dass die Stufen T22 und T23 als Spannungsverstärker (Emittergrundsaltung) wirksam sind. Transistor T24 arbeitet als Emitterfolger (Kollektorgrundsaltung), diese Funktion kann man an der Anordnung des Ausgangs am Emitter erkennen. Die Arbeitswiderstände für die Stufen T22 und T23 sind die Widerstände R116 und R117, für die Stufe T24 der Emitterwiderstand R120.

Die Erzeugung der Spannung für den Arbeitspunkt erfolgt an der Stufe T22 durch den Vorwiderstand R113, der an 0 V angeschlossen ist, wodurch die Basis des pnp-Transistors negative Spannung zu dem an +24 V angeschlossenem Emitter anliegen hat. Für die Stufen T23 und T24 wird aufgrund der direkten Kopplung kein Vorwiderstand bzw. Basisspannungsteiler benötigt.

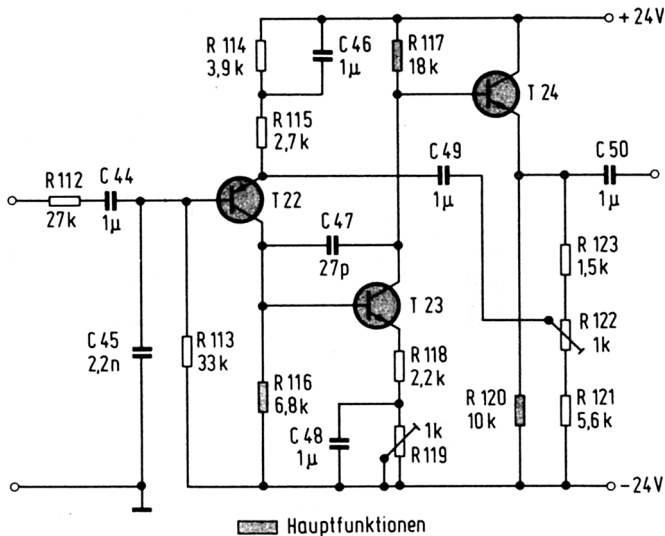


Abb. 4.3: Dreistufiger Verstärker

Als Gegenkopplungsmaßnahme sind in der Stufe T22 im Emitter die Widerstände R114 und R115 wirksam. Die Gegenkopplungswirkung des Widerstandes R114 für Wechselspannungen ist durch den Kondensator C46 unwirksam gemacht. In der Stufe T23 befindet sich die gleiche Schaltungsanordnung. Lediglich der Gegenkopplungswiderstand R119 ist in dieser Stufe einstellbar, wodurch der Verstärkungsgrad in kleinen Grenzen verändert werden kann (Erhöhung oder Verminderung der Gegenkopplungswirkung).

Als weitere Gegenkopplungsmaßnahme wirkt der Kondensator C47, der allerdings durch seine geringe Kapazität von $C = 27 \text{ pF}$ lediglich als Phasenkompensation für hohe Frequenzen wirksam wird, wodurch die Selbsterregung der Stufen vermieden werden soll.

Eine weitere, nicht sofort in ihrer Funktion durchschaubare, einstellbare Rückkopplung für Wechselspannung bildet der Kondensator C49 zusammen mit den Widerständen R122, R123 und dem Widerstand R121. Durch diese Schaltungsfunktion wird die Gegenkopplungswirkung des Widerstandes R115 in der Stufe T22 verstärkt oder abgeschwächt.

Diese Wirkung wird durch folgende Überlegung deutlich: Das Eingangssignal gelangt mit gleicher Polarität an den Ausgang, das zurückgekoppelte Signal ist daher auch polaritätsgleich mit der Wechselspannung am Emitter von T22. Je nach Stellung des Potentiometers wird dadurch die Emitterwechselspannung in ihrer Gegenkopplungswirkung mehr oder weniger erhöht oder vermindert.

Ein weiteres Schaltungsbeispiel aus einem TF-Messverstärker zeigt die Abb. 4.4.

An dem Eingang des Übertragers liegt im Betriebsfall eine NF-modulierte HF-Trägerfrequenz an. Da hier die Basisanschlüsse der Transistoren T2 und T3 gesteuert werden

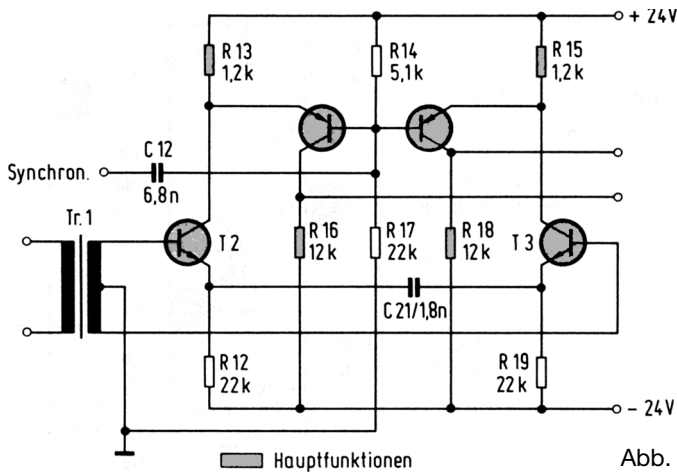


Abb. 4.4: TF-Messverstärker

und an den Kollektorausgängen die nächstfolgenden Stufen T4 und T5 angeschlossen sind, kann es sich nur um Verstärkerstufen (Emittergrundsaltungen) handeln.

Ein Merkmal für die Definition von Eingang und Ausgang einer Schaltung sind immer die Elektrodenbelegungen der Transistorgrundsaltungen. An einem Transistor kann immer nur Basis oder Emmitter als Eingang benutzt werden (vgl. Tab. 4.1). Als Ausgänge kommen nur Emmitter und Kollektor in Frage.

Tabelle 4.1

Signale an	Eingang	Ausgang
Basis-Kollektor	Basis	Kollektor
Emmitter-Basis	Basis	Emmitter
Kollektor-Emmitter	Emmitter	Kollektor

Bei Beachtung dieser Definition lässt sich die Verstärkerrichtung sehr schnell feststellen. Für das Beispiel in Abb. 4.4 sind die Signalanschlüsse die Basen der Transistoren T2 und T3 und die Kollektoren der Transistoren T4 und T5. Somit steht, entsprechend der Definition in Zeile 1 der Tabelle 4.1, die Verstärkerrichtung fest. Eingang an T2 und T3; Ausgang an T4 und T5.

Nachdem bereits zuvor die Stufen T2 und T3 in ihren Funktionen definiert waren, verbleiben noch die Stufen T4 und T5. Aus der Schaltung ist ersichtlich, dass die Emmitteranschlüsse dieser Stufen an den Kollektoren der Stufen T2 und T3 direkt angeschlossen sind. Die Ausgänge befinden sich, entsprechend der Definition in Tabelle 4.1, Zeile 3, an den Kollektoren. Dies entspricht der Funktion einer Basisgrundsaltung (vgl. Tab. 2.1).

Die Arbeitswiderstände liegen jeweils in den Elektrodenzuleitungen, die auch den Anschlusspunkt für den Ausgang bilden.

Für dieses Schaltungsbeispiel sind dies daher die Widerstände R13 und R15 für die Stufen T2 und T3, für die Stufen T4 und T5 die Widerstände R16 und R18.

Nebenfunktionen haben folgende Bauelemente: Die Widerstände R14 und R17 wirken als gemeinsamer Spannungsteiler zur Arbeitspunkterzeugung der Stufen T4 und T5. Die Emitter-Widerstände R12 und R19 wirken als Stromgegenkopplung für die Stufen T2 und T3. Die gleiche Aufgabe haben die Widerstände R13 und R15 für die Stufen T4 und T5. Diese Widerstände üben damit eine Doppelfunktion aus. Der Kondensator C21 zwischen den Emitteranschlüssen der Stufen T2 und T3 dient zur Phasenkompensation.

Zur Synchronisation des Trägerfrequenzverstärkers wird über den Kondensator C12 ein Teil des Trägerfrequenzsignals eingespeist.

4.2 Beispiel anhand einer Impulsschaltung

In Abb. 4.5 ist der Schaltungsausschnitt eines Signalgenerators dargestellt.

Die Art der Darstellung ist sehr verwirrend und lässt nur schwer die Grundfunktionen erkennen.

Da es sich hier mit Sicherheit um eine selbsterregte Schaltung handelt, muss als erstes nach der Anzahl und der Art der Rückkopplungen gesucht werden. Von allen Rückkopplungen bei selbsterregten Generatoren ist bekannt, dass sie als Mitkopplungen wirken.

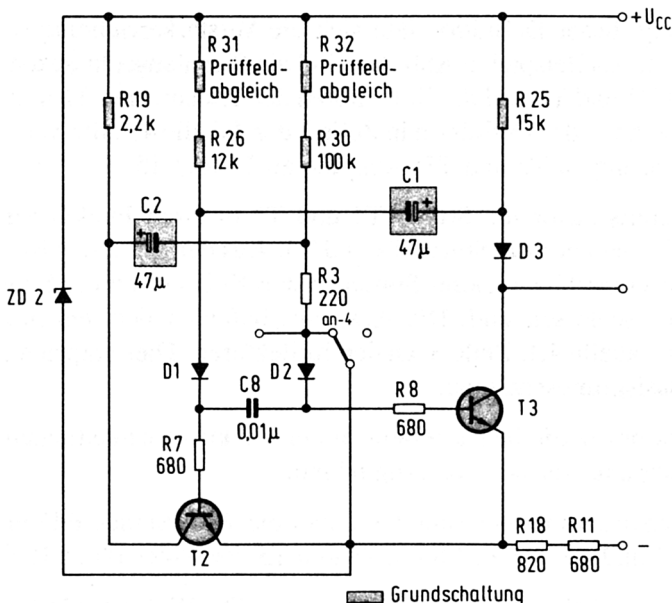


Abb. 4.5: Signal-generator

In der Regel führen die Mitkopplungen vom Kollektor zur Basis. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Kopplung zwischen den Emittern.

Entsprechend diesen Überlegungen beginnt man, eine Kopplung am Kollektor von T2 nach der Basis von T3 zu suchen. Man findet auch eine kapazitive Kopplung C2, die über R3, D2 und R8 an die Basis von T3 führt. Umgekehrt führt ebenfalls eine kapazitive Kopplung vom Kollektor T3 über D3, C1, D1 und R7 an die Basis von T2.

Diese beiden Kopplungsarten lassen die Vermutung zu, dass es sich hier um eine astabile Kippschaltung, also um einen Rechteckgenerator handelt.

Ausgehend von diesem Schaltungsprinzip, werden jetzt noch die dazu fehlenden Bauelemente gesucht.

Die Basiswiderstände erkennt man an den aufgeteilten Widerständen R26 und R31 bzw. R30 und R32. Die Widerstände R19 und R25 sind die Kollektorwiderstände. Damit ist die Prinzipschaltung des astabilen Multivibrators fixiert. Alle anderen Bauteile haben Nebenfunktionen, die auf das Funktionsprinzip keinen Einfluss haben.

Die Diode D3 verhindert, dass Entladeströme des Kondensators C1, die infolge der Spannungsschwankungen von U_{cc} auftreten können, den Transistor T2 sperren.

Die Dioden D1 und D2 schützen die Transistoren T2 und T3 vor zu hohen Spannungen.

Die Widerstände R7 und R8 haben ebenfalls eine Schutzfunktion gegenüber zu hoher Basisströme.

Aufgrund der Darstellungsform ist sehr schwer zu erkennen, welche Funktion die Z-Diode ZD2 und die Widerstände R18 und R11 haben.

Da die Z-Diode zwischen $+U_{cc}$ und den Emitteranschlüssen der Transistoren liegt, zur Schaltung also parallel liegt, ist ersichtlich, dass diese Diode die eigentliche Versorgungsspannung für die Schaltung erzeugt, die über die Vorwiderstände R11 und R18 aus der Betriebsspannung $+U_{cc}$ gewonnen wird.

4.3 Beispiel einer Zählkettenschaltung

In Abb. 4.6 ist die Schaltung einer dreigliedrigen Zählkette dargestellt. Bevor die Schaltfunktion im einzelnen besprochen wird, soll auch diese Industrieschaltung – die ebenfalls nach räumlichen und nicht nach funktionalen Gesichtspunkten dargestellt ist – nach ihren Hauptfunktionen und der dazugehörigen Bauelemente geordnet werden.

Entsprechend der Funktionsbezeichnung muss es sich um Schaltstufen handeln, die miteinander nach einem bestimmten Funktionsprinzip gekoppelt sind.

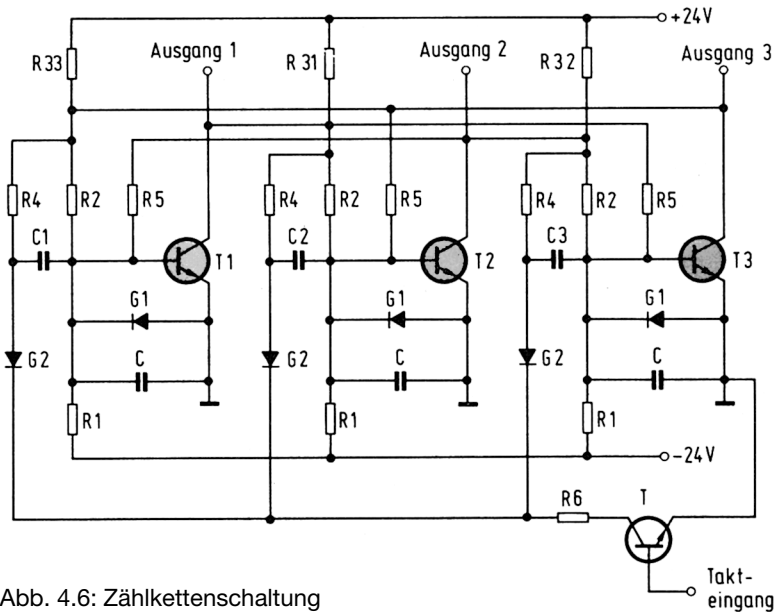


Abb. 4.6: Zählkettenschaltung

Aus der Bezeichnung der Kollektorwiderstände R31 bis R33 ist die Zuordnung zu den einzelnen Kollektoranschlüssen ersichtlich.

Der Widerstand R33 ist der Kollektorwiderstand von Transistor T3, entsprechend R32 von T2 und R31 von T1.

Aus der Schaltungsanordnung sind außerdem die Kopplungen der einzelnen Schaltstufen ersichtlich.

Die Stufe T3 koppelt vom Kollektor (Anschluss R33) über den Widerstand R2 an die Basis der Stufe T1 und über den Widerstand R5 an die Basis von T2. Die Stufe T2 (Anschluss R32) koppelt vom Kollektor über den Widerstand R2 an die Basis der Stufe T3 und über R5 an die Basis von T1.

Die Stufe T1 (Anschluss R31) koppelt vom Kollektor T1 über den Widerstand R2 auf die Stufe T2 und über den Widerstand R5 auf die Stufe T3.

Somit ergibt sich für die Funktionserklärung ein wichtiger Tatbestand. Dadurch, dass immer zwei Stufen an eine Stufe gekoppelt sind, ist der Schaltzustand zweier Stufen immer vom Schaltzustand einer Stufe abhängig, d.h., ein Transistor ist gesperrt, die anderen zwei leiten.

Nachdem die Anordnung der Stufen und die Kopplungen der Stufen untereinander definiert sind, kann die Eingangsschaltung geklärt werden.

Die Eingangsschaltung besteht bei jeder Stufe aus der Diode G2, dem Widerstand R4 und dem Kondensator C1, bzw. C2 und C3.

Diese Schaltungsanordnung ist mit dem dynamischen Takteingang eines Flipflops vergleichbar.

Die Widerstände R4 dienen zur Vorbereitung der Eingänge. Aus der Schaltung ist ersichtlich, dass nur der Widerstand R4 Plussspannung an den Koppelkondensator legt, der am Kollektor des gesperrten Transistors liegt. In diesem Beispiel ist dies der Widerstand der zweiten Stufe, der am Kollektor des gesperrten Transistors T1 angeschlossen ist.

Im Ruhezustand ist der Transistor T1 nichtleitend, die parallelgeschalteten Dioden G2 sind daher gesperrt. Dadurch ist es möglich, dass sich der Kondensator C2 auf die über R4 angebotene Plusspannung aufladen kann.

Beim nächsten Taktimpuls wird der Transistor T leitend, wodurch sich der Kondensator C2 über die jetzt leitende Diode G2 entladen kann. Dieser Entladestrom durch den Widerstand R2 zieht das Pluspotenzial von der Basis von T2 weg, wodurch dieser gesperrt wird. Der Transistor T1 wird dadurch leitend. Transistor T3 bleibt leitend.

Somit sind die an der Funktion direkt beteiligten Bauelemente und zugleich der Funktionsablauf definiert.

Die Widerstände R1, die Kondensatoren C und die Dioden G1 haben eine Nebenfunktion und sind daher für den Funktionsablauf ohne Bedeutung, d.h., auch wenn man diese Bauelemente entfernt, ändert sich nichts an der Schaltungsfunktion.

Die -24 V erzeugen über die Vorwiderstände R1 an den leitenden Dioden G1 eine Basisvorspannung von ca. $-0,8\text{ V}$. Diese Vorspannung dient zur Sperrung von Störspannungen. Die Kondensatoren C blocken zusätzlich hochfrequente Störspannungen gegen das Bezugspotenzial ab.

4.4 Beispiel einer Regelschaltung

Der Regelverstärker in Abb. 4.7, Bestandteil eines industriell gefertigten Druckvorverstärkers, steuert zwei Motoren, die den kapazitiven und ohmschen Anteil einer Druckmessbrücke abgleichen.

Wenn man das Schaltbild etwas genauer betrachtet, sieht man die Funktion schon nahezu aus der sinngemäßen Anordnung der Bauelemente. Dieser Eindruck entsteht durch zwei wesentliche Merkmale:

Zum einen ist die Schaltung nahezu funktionsgerecht dargestellt. An der übersichtlichen und logischen Anordnung der Bauelemente ist die Funktion gut ersichtlich. Die

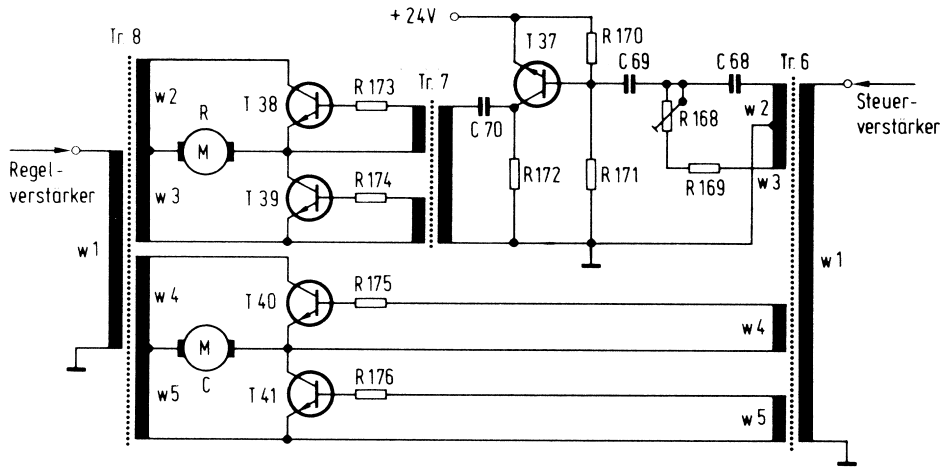


Abb. 4.7: Regelverstärker

zu einer Funktion gehörenden Bauelemente brauchen sozusagen nicht erst zusammengesucht werden.

Zum anderen gibt es nahezu keine Bauelemente, die eine Nebenfunktion erfüllen, wodurch der verwirrende Eindruck, der durch viele in einer Schaltung angeordneten Bauelemente entsteht, entfällt. Nebenfunktionen haben in dieser Regelschaltung nur die als Spannungsteiler eingesetzten Widerstände R170 und R171 sowie die Basisvorwiderstände R173 bis R176. Die kapazitiven Koppelemente C69 und C70 gehören ebenfalls dazu.

Die Schaltung besteht aus zwei aktiven Brücken, in deren Brückenweig die Motoren liegen.

Der Übertrager Tr6 verteilt die Steuerspannung an die Transistoren T40 und T41 direkt. Für die Transistoren T38 bis T39, zur Steuerung des Motors für den ohmschen Abgleich, muss das Steuersignal um 90° phasenverschoben werden. Dies erfolgt über das Phasenverschiebungsglied C68, R168 und R169.

Über den Impedanzwandler T37 wird dieses Signal an den Übertrager Tr7 übertragen.

Versuchen wir abschließend, aus diesen Beispielen die wichtigsten Merkmale festzuhalten:

- Grundfunktionen von Schaltungseinheiten und Baugruppen herausfinden;
- wesentliche Funktionselemente von Bauelementen mit Nebenfunktionen unterscheiden;
- Wirkung der Nebenfunktionen der Hauptfunktion richtig zuordnen.

4.5 Übungen zur Vertiefung

Versuchen Sie grundsätzlich bei allen Schaltungen die Grundfunktionen und die Nebenfunktionen zu definieren sowie ihre Wirkungen richtig einzuordnen:

1. Ordnen Sie die Verstärkerstufe in Abb. 4.1 der entsprechenden Grundschtaltung in Tabelle 2.1 zu.
2. Welcher Grundschtaltung in Tab. 2.1 entspricht die Schaltung in Abb. 4.2?
3. Welcher Grundschtaltung in Tab. 2.1 entspricht die Transistorstufe T24 in Abb. 4.3?
4. Die in Tab. 4.1 aufgeführten Schaltungsvarianten entsprechen welchen Grundschtaltungen in Tab. 2.1?
5. Welche Funktion hat der Schaltkontakt an-4 in Abb. 4.5?

Lösungen im Anhang

Sollten Sie auch bei diesen Übungen keine Schwierigkeiten haben, können Sie den nächsten Hauptabschnitt übergehen. Im anderen Fall ist das Studium des folgenden Abschnitts sehr zu empfehlen.

7 Signalwege und Funktionsabläufe festlegen

Es gibt leider nur wenige Serviceunterlagen, in denen vom Hersteller bereits der Signalweg oder der Funktionsablauf im Gesamtbild durch besondere Kennzeichnungen oder Markierungen hervorgehoben ist.

Gerade in umfangreichen Schaltungen ist es vorteilhaft, den Signalweg oder den Funktionsablauf zu kennzeichnen, damit ein zügiges Vorgehen bei der Überprüfung und Fehlersuche der Schaltung ermöglicht wird.

Bei analogen Schaltungen (z.B. Verstärker, Oszillatoren) genügt es, die Verbindungswege (Verbindungskopplungen) durch eine breitere Strichstärke zu kennzeichnen. Man muss sich aber noch weitere „Gedächtnisstützen“ anmerken. Etwa den Verstärkungsfaktor jeder Stufe; oder bei konstanter Eingangsamplitude, die Spannungen an den Ausgängen jeder Stufe.

7.1 Kennzeichnung der Signalwege in analogen Schaltungen

Die Schaltung in Abb. 7.1 stellt einen aktiven Klangeinsteller dar. Die erste Stufe ist ein Emitterfolger und hat daher die Verstärkung $v_u \leq 1$. Das NF-Signal teilt sich nach dieser Stufe in zwei Signalwege für hohe und tiefe Frequenzen. Vor dem Eingang der zweiten Verstärkerstufe ($v_u = 5$) werden beide Signalwege zusammengeführt. Die dritte Stufe ist ebenfalls ein Emitterfolger mit der Verstärkung $v_u \leq 1$.

Der Signalweg im NF-Verstärker nach Abb. 7.2 führt vom Eingang über C1 und R1 an den nichtinvertierenden Eingang des integrierten Vorverstärkers. Aufgrund des Widerstandsverhältnisses R2 und R4 liegt die Verstärkung mit $v_u = 22$ fest.

Das NF-Signal gelangt vom Ausgang des ICs an den Eingang des Transistors T2 und über die Dioden D1 und D2 an die Basis von T1.

Am zusammengeführten Emitter der beiden Transistoren wird das Signal wieder abgenommen. Grundsätzlich soll man verzweigte Signalwege, sofern sie für die Funktion von Bedeutung sind, mit kennzeichnen.

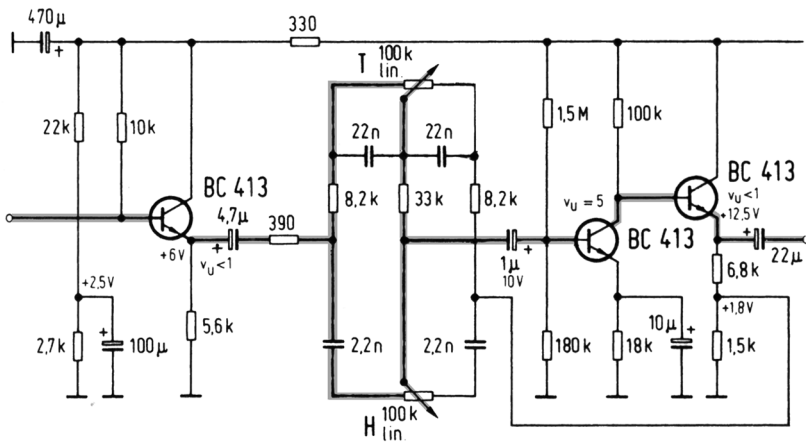


Abb. 7.1: Aktiver Klangeinsteller

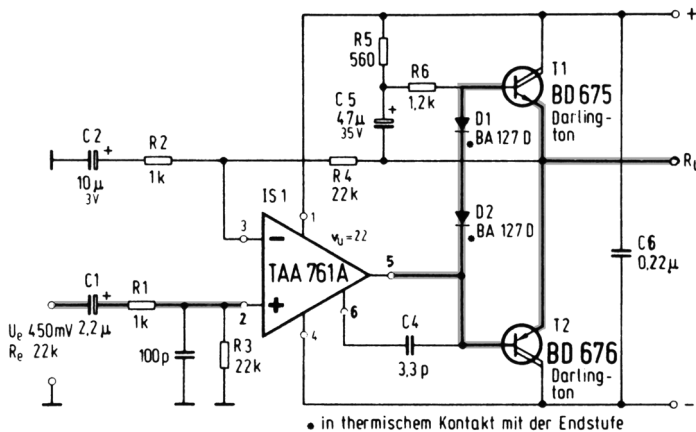


Abb. 7.2: NF-Verstärker

Dies empfiehlt sich für Differenzverstärker (vgl. Abb. 5.7). Vom Eingang A führt der Signalweg über T8a (Gate-Drain) zur Basis T9. Weiter vom Kollektor T9 zur Basis T10. Am Kollektor T10 wird das Signal abgenommen. Der zweite Signalweg führt über T8b (Gate-Drain) zur Basis T12. Weiter vom Kollektor T12 zur Basis T11.

Die Abb. 7.3 zeigt einen Funktionsablauf, an dem verschiedene Grundschaltungen beteiligt sind. Die Stufe T8 wirkt mit der äußeren Beschaltung als Meißner-Generator. Der Signalweg beginnt deshalb am Ausgang dieser Schaltung.

Die Stufe T9 ist ein Impedanzwandler, von dessen Emitterausgang das Signal zur weiteren Verstärkung an einen zweistufigen Verstärker T10 und T11 führt. Der Verstär-

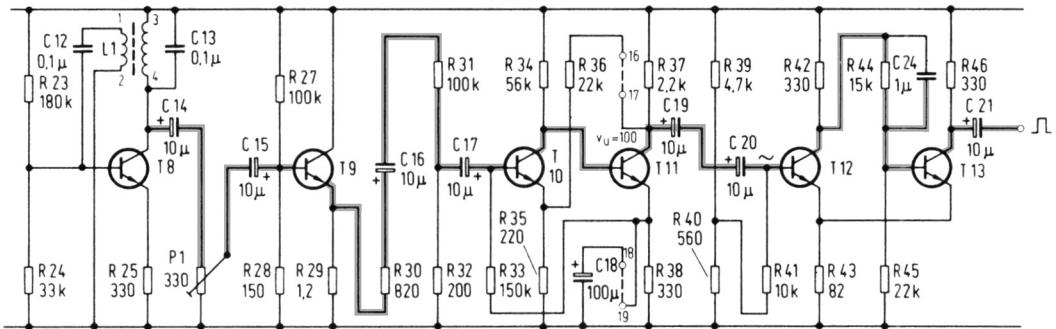


Abb. 7.3: Rechteckgenerator

kungsfaktor dieser Stufen liegt bei $v_u = 100$. Dies ergibt sich aus dem Widerstandsverhältnis R_{35} und R_{36} (vgl. dazu Abb. 6.2).

Nach diesem Verstärker folgt eine Kippstufe in Form eines Schmitt-Triggers.

Bei Kippstufen ist es nicht sinnvoll, den Funktionsablauf über jede einzelne Stufe festzulegen. Dies würde nur zu Verwirrungen führen, da hier die Funktion selbsttätig, sozusagen innerhalb der Schaltung abläuft, d.h. keine Verstärkung des angelegten Signals erfolgt.

Sinnvoller ist es, den Eingang und den Ausgang mit der jeweiligen Signalf orm zu kennzeichnen. Die Signalwegmarkierung endet am Eingang der Kippstufe oder Impulserzeugerschaltung und wird am Ausgang fortgeführt.

Die gleichen Überlegungen gelten für Synchronsignale. Der Signalweg für das Synchronsignal endet an der zu synchronisierenden Stufe.

7.2 Kennzeichnung des Funktionsablaufs bei digitalen Schaltungen

Die Markierung der Signalwege bei digitalen IC-Schaltungen ist weniger sinnvoll, da damit keine verwertbare Aussage über die Funktion entsteht.

Mehr Vorteile und verwertbare Aussagen bringen hier Pegelangaben an Ein- oder Ausgängen.

Als Beispiel wird die in Abb. 7.4 dargestellte Zählerschaltung mit selbsttätiger Rückstellung auf ihren Funktionsablauf überprüft.

Der 4-Bit-Binarzähler 7493 wird über den Eingang E_A (14) mit v_h -Impulsen getaktet. Die Verbindung des Ausgangs A_A (12) und des Eingangs E_B (1) sagt aus, dass dieser Binarzähler 1:16 untersetzt, bzw. codiert ist.

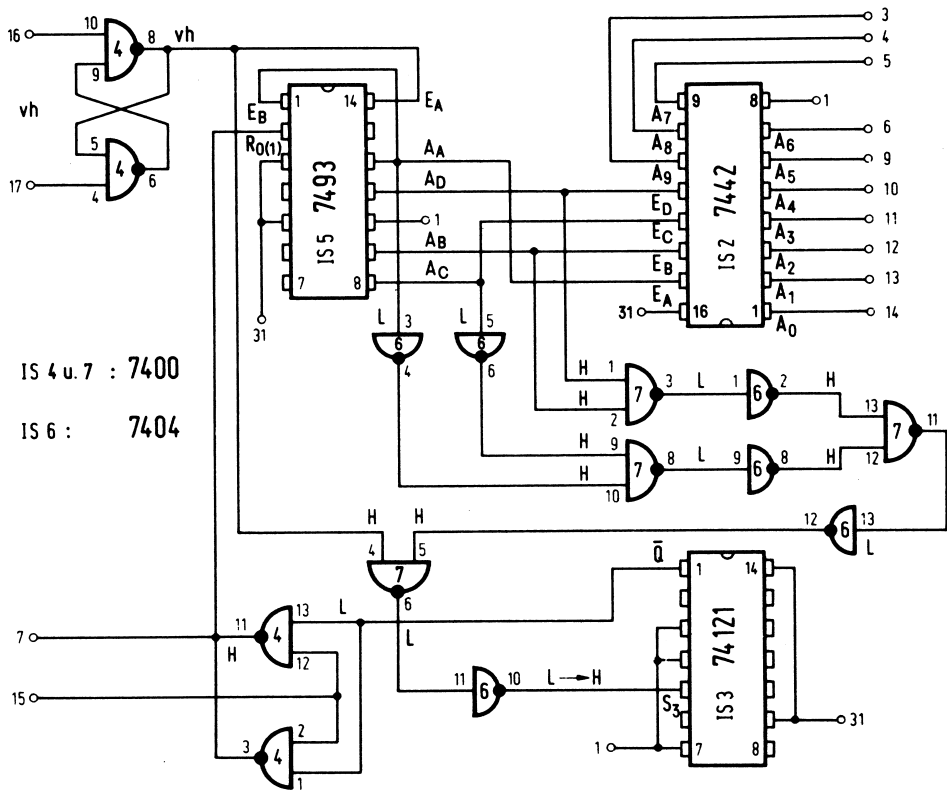


Abb. 7.4: Zählerschaltung mit Rückstellung

An den Ausgängen A_A bis A_D sind zwei weitere Funktionseinheiten angeschlossen.

Es sind dies der BCD-Dezimal-Decodierer 7442, der den Binär-Code in dezimale Zählung umwandelt und die Logikschaltung, die das Monoflop 74121 steuert. Dieses Monoflop setzt über eine weitere Logik den 4-Bit-Binarzähler am Rückstelleingang $R_{o(1)}$ zurück.

Nicht sofort ersichtlich ist, bei welcher Taktzahl an E_A (7493) die Rückstellung erfolgt.

Um dies herauszufinden, ist es bei Digitalschaltungen sinnvoll, von den Bedingungen auszugehen, die erforderlich sind, das Monoflop 74121 am Ausgang $\bar{Q}(1)$ von H nach L zu kippen.

Anhand einer Funktionstabelle und der Beschaltung der Eingänge S1 und S2 sind die Eingangsvoraussetzungen für S3 gegeben.

Wenn die Eingänge S1 und S2 an Pegel L liegen, ist eine L→H-Pegeländerung am Eingang S3 erforderlich, damit Ausgang Q von Pegel H nach Pegel L springt. Diese Eingangsbedingung wird am Ausgang des Negators 6/10 (Abb. 7.5b) eingetragen.

Der Endzustand $t = t_n + 1$, Pegel H, erfordert daher am Eingang des Negators und damit am Ausgang 6 der NAND-Schaltung 7 (Abb. 7.5.a) den Pegel L.

An einem NAND-Ausgang steht am Ausgang nur dann der Pegel L, wenn beide Eingänge Pegel H führen. Dies ergibt bereits die Aussage, dass das Monoflop nur dann gesetzt wird, wenn der Taktimpuls vom Eingang und der Impuls von den Ausgängen des 4-Bit-Binarzählers am NAND-Gatter anliegen.

Am Eingang 5 des NAND-Gatters 7 liegt der Pegel an, der durch die Ausgänge des Binarzählers bestimmt wird. Da die Rückstellung nur bei einer bestimmten Wertigkeit der Binausgänge erfolgen soll, kann der Pegel H am Eingang des NAND-Gatters 7/5 nur bei einer bestimmten Konfiguration der Ausgänge erscheinen. Dies lässt sich durch weitere Rückverfolgung der Pegel an den Gattern bestimmen. Wenn am Ausgang des Negators 6/12 H-Pegel anliegt, dann muss am Eingang 6/13 L-Pegel anstehen.

Dies hat wiederum zwangsweise Pegel H an den Eingängen 12 und 13 des NAND-Gatters 7 zur Voraussetzung. An den Eingängen 1 und 9 der Negatoren 6 steht dadurch Pegel L, der wiederum Pegel H an den Eingängen 1, 2, 9 und 10 der NAND-Gatter 7 voraussetzt.

Die Eingänge 3 und 5 der Negatoren 6 haben dann Pegel L. Jetzt ist auch ersichtlich, welche Pegel die Ausgänge des Binarzählers haben und welcher Wertigkeit dies entspricht.

Ausgang A _A	Pegel L ($2^0 = 0$)
Ausgang A _B	Pegel H ($2^1 = 2$)
Ausgang A _C	Pegel L ($2^2 = 0$)
Ausgang A _D	Pegel H ($2^3 = 8$)

Somit steht fest, dass der Binarzähler nach dem zehnten Taktimpuls zurückgestellt wird.

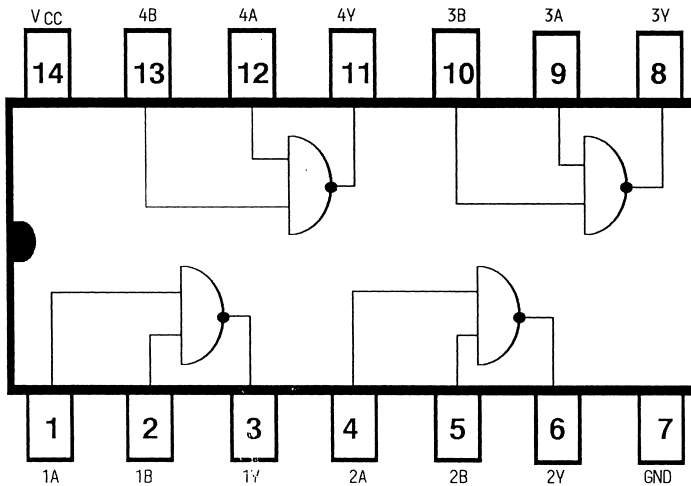
Durch diese Kennzeichnung des Funktionsablaufes hat man zwei wesentliche Vorarbeiten, geleistet. Man weiß jetzt definitiv, wann sich der Zähler zurückstellt, und hat damit gleichzeitig den Funktionsablauf für alle Logikschaltungen gekennzeichnet. Verbleibt nur noch die Feststellung, mit welchem Pegel an Eingang R₀(1) der Binarzähler zurückgestellt wird.

Wenn am Eingang S3 des Monoflop ein L→H-Sprung erfolgt, springt der Ausgang \bar{Q} von Pegel H nach Pegel L. Dieser Pegel steht dann am Eingang des NAND-Gatters 4/13. Das Gatter muss dann am zweiten Eingang 12 ebenfalls Pegel L anstehen haben, damit am Ausgang 4/11 ein H-Pegel entsteht. Dieser Pegel ist erforderlich, um den Binarzähler an R₀(1) zurückzustellen.

Fassen wir die Funktion der Rückstellung des Binarzählers noch einmal zusammen:

Der zehnte Taktimpuls am Eingang des Binarzählers setzt die Rückstelllogik bis zum Eingang 5 des NAND-Gatters 7. Mit dem elften Taktimpuls (Pegel H an Eingang 4 des Gatters 7) wird das Monoflop am Ausgang \bar{Q} auf Pegel L gesetzt. Dieser Pegel bewirkt zusammen mit einem weiteren L-Pegel am Eingang 15 die Rücksetzung des Binarzählers.

a)



b)

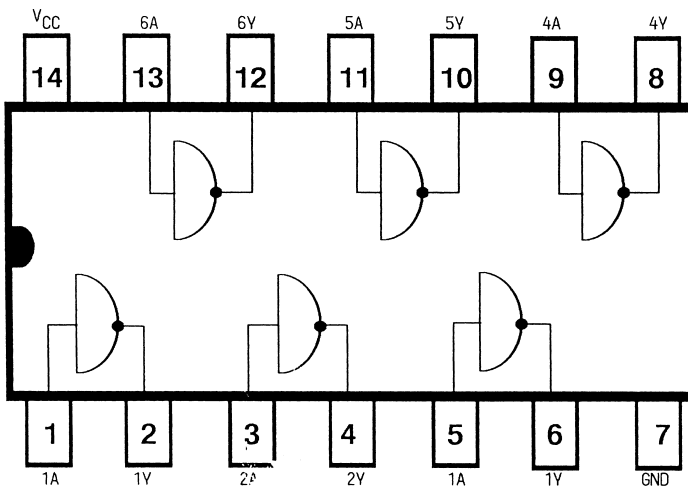


Abb. 7.5: Logik-ICs zur Abb. 7.4

a) NAND-Gatter

b) Negatoren (NICHT-Funktion)

7.3 Übungen zur Vertiefung

1. Der Signalweg für den Sinusoszillator in den drei Transistorstufen T1 bis T3 der Abb. 3.1 ist zu definieren!
2. Für die Impulsformerschaltung in Abb. 3.2 ist der Signalweg zu definieren!
3. Der Signalweg für den Verstärker in Abb. 4.3 ist anzugeben!
4. Der Signalweg für den Rechteckgenerator in Abb. 5.6 ist zu finden?
5. Der Signalweg des Gleichspannungsverstärkers in Abb. 5.7 mit symmetrischen Eingang und unsymmetrischen Ausgang ist festzulegen!
6. Der Signalweg für den Antennenverstärker in Abb. 5.8 ist zu definieren!
7. Der Signalweg der Stereo-Endstufe in Abb. 6.3 ist für den oberen Kanal festzulegen!
8. Für die Stabilisierungsschaltung in Abb. 6.4 ist der Signalweg für das Regelsignal festzulegen!
9. Die in der Zäblerschaltung in Abb. 7.4 einzeln dargestellten Logikschaltungen sind mit Verbindungsleitungen den Ein- und Ausgängen der in Abb. 7.5 dargestellten ICs zuzuordnen!

Lösungen im Anhang

Sachverzeichnis

A

Ablaufdiagramm 132
Adernquerschnitt 162
Aktiver Klangeinsteller 71
Amplitudeneinstellung 34
Anschlussverbindungen 89
Anweisungsliste 145
Arbeitsspeicher (RAM)-Fach 228
Arbeitswiderstand 25
Assemblerprogramm 117
astabile Kippstufe 32
Aufbaupläne 151
Aufnehmer 235

B

Basis-Schaltung 30
Baugruppe 89, 170
Bauelement 18
Bauelemente 12
Bedienerführung 140
Befehlssatz 116
Begrenzerschaltung 26
Begrenzerwiderstand 54
Belegungsplan 89
Betriebssoftwaresysteme 116
Bezugspotenzial 18
bidirektionaler Bus 100
Binärzähler 72
bipolarer Betrieb 121
bistabile Kippstufe 32
Blockkondensatoren 56
Blockschemata 77
Brücken-Gleichrichter 32
Brückenzweig 48
Bus 95

C

Clamping-Diode 54
Codeadresse 170
Codierung 170
Controller 220

D

Darlington-Verstärker 30
Datenquelle 98
Datenterminal 145
Datenziel 98
Destination 98
Differenz-Verstärker 32
Differenz-Verstärkerstufe 30
Diode 14
direkte Kopplung 40
Display (Monitor)-Ausgang 228
Dreieckfunktion 67
Dreistufiger Verstärker 42
Druckmessbrücke 47
Druckvorverstärker 87
Durchlassrichtung 22
DVI-D-Ausgang 229
dynamische Kopplung 67
dynamischer Takteingang 47

E

Einbau-Ort 172
Einweg-Gleichrichter 32
Einweg-Spannungsverdoppler 32
Einzelfunktionen 27
Emitterfolger 35
Emitter-Schaltung 30
Endgeräte 221
Endstelleneinrichtung 221

Entkopplung 59
Entprellschaltung 81
Ersatztypen 134
Explosionszeichnungen 86
ExpressCard 229

F

Fernschreiberrelais 115
Flash-Speicher-Schacht 229
Flipflopschaltung 40
Flussdiagramm 116
Fotoleitfähigkeit 234
Frequenzeinstellung 34
Funktion 135
Funktionseinheiten 12
Funktionsgenerator 36, 67
Funktionsgruppen 36
Funktionsplan 148

G

Geber 235
Gegenkopplung 60
Generator 235
Geräteabbildungen 86
Gesamtschaltbild 36
Gesamtwiderstandswert 22
gesperrt 18
Gleichrichtung 25
Gleichspannung 13
Gleichspannungsverstärker 56
Grenzwerte 134

H

Halleffekt 234
Hauptsignale 137
Hilfssignale 137
Hochpass 27

I

Identifikationsnummer 135
Impedanz-Verstärker 32
Impedanzwandler 34, 35
Impulsformerschaltung 37
Impulsspannungen 13

Indizienkette 34
Induktion 234
induktiver Blindwiderstand 50
Industrieschaltungen 39
Infrarot-Anschluss (IrDA) 230
Input-Output-Port 106
Installation 151
Installationsplan 157
Interface-Schaltungen 54
invertierenden Verstärker 32

K

Kabelbezeichnungen 162
Kabelbezeichnungsliste 162
Kapazität 234
kapazitive Kopplung 40
Kennwerte 134
Klemme 18
Klemmenbezeichnung 137, 157
Klemmendarstellung 157
Klemmenleiste 157
Knoten 18
Kollektor-Schaltung 30
Kommandoart 140
Kommandoausführung 140
Kondensator 14
Konstantstromquelle 51
Kontakt funktionen 135
Kontaktbezeichnungen 166
Kopfhörerbuchse 230
Koppelemente 59
Kopplungen 46

L

LAN-Port 230
Lastwiderstand 29
Leiterplatte 17
Linearisierung 60
Linearverstärker 60
Listener 220
Listenform 116
Lötleisten 17
Lötstützpunkte 89
LSB 120

M

Magnetowiderstand 234
Maschinensprache 116
Mikrocomputer 95
Mikrofoneingang (Mic-In) 231
Miniatursteckverbinder 224
Minuspol 17
Mischspannung 13
Mitkopplung 60
Modem-Port 231
Monoflop 74
monostabile Kippstufe 32
Motorenanschlüsse 89
MSB 120

N

NAND-Gatter 74
NAND-Logik 33
Netzabschlusseinheit 221
Netzwerk 18
nichtinvertierender Verstärker 32
nichtleitend 18
Nullpunkt 119

O

Optokoppler 114
Oszillator-Netzwerk 36

P

Parallelschaltung 21
Pegelangaben 72
Piezoeffekt 234
Planquadrat 130, 135
Pluspol 17
Pol 18
Polaritätsangabe 17
Programmablaufplan 116, 142
Programmfunktion 140
Prozessor (CPU) 231
Prüfsteuerung 101

Q

Querverweise 151

R

Rechteck-/Sinusfunktion 34
Rechteckgenerator 55, 72
Ref.-Bez. 94
Referenzbezeichnung 130
Referenznummern 94
Referenzplan 91
Regelschaltung 65
Reihenschaltung 21
Relaisschaltungen 114
Ringverstärker 66
Rückstellung 72

S

Schaltelement 18
Schaltung 18
Schleifenwiderstand 227
Schlossbuchse 232
Schmitt-Trigger 33
Schützkontakt-Bezeichnung 167
Seebeck-Effekt 234
Seite/Pfad 173
Signalflussdiagramme 139
Signalgenerator 44
Signalzustände 129
sinusförmige Wechselspannung 13
Skalenendwert 119
Skalenfaktorabgleich 119
Source 98
Source-Anschlüsse 56
Spannungsteiler 25
Spannungsverhältnis 20
SPDIF-Ausgangsbuchse 232
Speicherfunktionen 148
Sperrbereich 22
Spule 14
Stabilisierungsschaltung 26
Stellmotoren 87
Stereo-Endstufe 64
Steuerbus 100
Steuerschrank 156
Störsignale 114
straight-binär 119

Stromgegenkopplungen 62
Stromkreis 18
Strompfad 166
Stromquelle 32
Stromrichtung 17
Stromzweigen 166
Stufe 18
Systembeschreibungen 86

T

TAE-Anschlusseinheit 224
TAE-Steckdose 221
Taktingänge 41
Taktzahl 73
Talker 220
TEIL 172
Teileliste 92
Temperaturbereich 134
TF-Messverstärker 43
Tiefpass 27
Trägerfrequenz 87
Transistor 14
Trimpotentiometer 36
TV-Ausgangsanschluss 232
Typengruppen 134

U

Übergangswiderstand 23
Überlastschutz 54
Überspannungsableiter 54
Übertrager 48
Übertragerkopplung 50

Übertragungsgeschwindigkeiten 109
UKW-Eingangsstufe 57
Umsetzerprogramm 116
UND-Diodengatter 33
unidirektionaler Bus 100
USART 108
USB Port (2.0/1.1) 232

V

V24-Empfängerkennwerte 217
V24-Senderkennwerte 217
Verstärkerstufen 34
Vorwiderstand 53

W

Wandler 235
Wechselstromgegenkopplung 62
Western-Steckverbinder 224
Widerstand 234
Widerstandskopplung 40
Widerstandsverhältnis 20
Wien-Robinson-Brücke 36
Wireless LAN-Verbindung 233

Z

Zählerschaltung 72
Z-Diode 25
Zelle 235
Zweiweg-Gleichrichter 32
Zweiweg-Spannungsverdoppler 32
Bluetooth-Wireless-Verbindung 228
IEEE 1394-Port 229

Elektronik

Dietmar Benda

Wie liest man eine Schaltung?

Das Buch zeigt ganz systematisch – anhand praktischen Beispielen von Industrieschaltungen aus allen Bereichen der Elektronik – sichere Wege auf, diese Schaltpläne zu deuten, zu lesen und zu verstehen.

Das Auswerten von teilweise computererstellten Schaltungen aus der Elektronikindustrie ist eine wichtige Vorarbeit für die Konstruktion und den Service. Besonders Berufsanfängern und Schulabgängern wird zielgerichtet das nötige Industriewissen vermittelt und der Übergang von der „abstrakten“ Lehrbuchschaltung in die Industrieschaltung erleichtert.

Aus dem Inhalt:

- Grundregeln für die erfolgreiche Instandhaltung
- Schaltbeispiele aus der Praxis: Verstärken, Regeln und Schalten
- Stabilisierungen
- Kopplungsarten
- Signalwege
- Bezeichnungs- und Orientierungssysteme von Industrieanlagen
- Darstellungshilfen für speicherprogrammierbare Steuerungen
- Genormte und internationale Schaltzeichen
- CAD-Dokumentation

ISBN 3-7723-4355-4



9 783772 343551

Euro 19,95 [D]

Besuchen Sie uns im Internet: www.franzis.de

FRANZIS