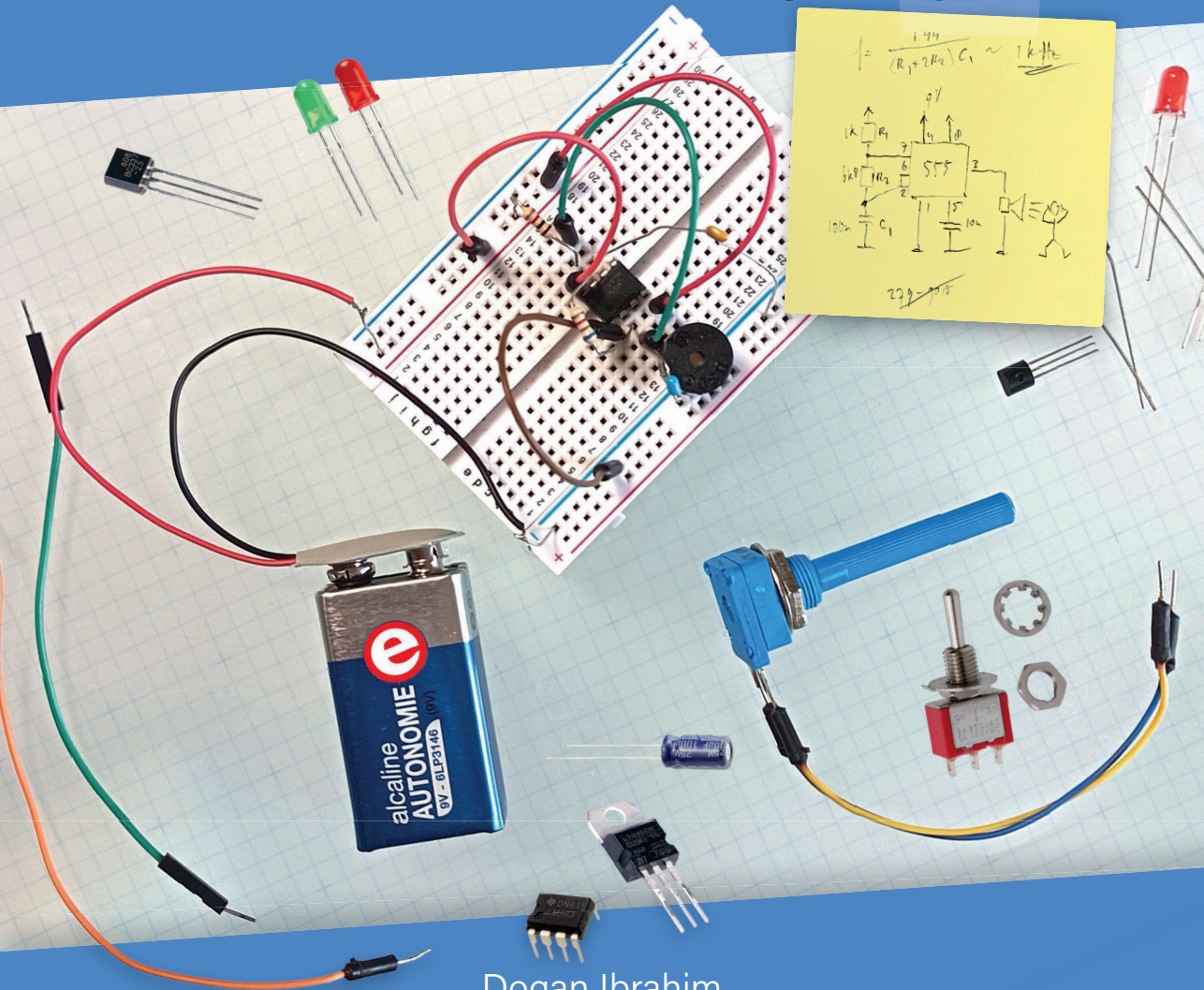


Schnelleinstieg in die Elektronik

Schrittweise Einführung in
das praktische Schaltungsdesign



Dogan Ibrahim
Ahmet Ibrahim

Schnelleinstieg in die Elektronik

Schrittweise Einführung in
das praktische Schaltungsdesign



Dr. Dogan Ibrahim
Ahmet Ibrahim

● © 2025: Elektor Verlag GmbH, Aachen.

1. Auflage 2025

● Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

● Erklärung

Autor und Verlag haben sich nach bestem Wissen und Gewissen bemüht, die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Informationen sicherzustellen. Sie übernehmen jedoch keine Haftung gegenüber Dritten für Verluste oder Schäden, die durch Fehler oder Auslassungen in diesem Buch entstehen, unabhängig davon, ob diese Fehler oder Auslassungen auf Fahrlässigkeit, Unglücksfälle oder andere Ursachen zurückzuführen sind

● **ISBN 978-3-89576-666-4** Print

ISBN 978-3-89576-667-1 eBook

● Satz und Aufmachung: D-Vision, Julian van den Berg | Oss (NL)

Übersetzung: Dr. Gunter Spanner

Druck: Ipskamp Printing, Enschede (NL)

Elektor Verlag GmbH, Aachen

www.elektor.de

Elektor ist die weltweit wichtigste Quelle für technische Informationen und Elektronik-Produkte für Maker, Ingenieure und Elektronik-Entwickler und für Firmen, die diese Fachleute beschäftigen. Das internationale Team von Elektor entwickelt Tag für Tag hochwertige Inhalte für Entwickler und DIY-Elektroniker, die über verschiedene Medien (Magazine, Videos, digitale Medien sowie Social Media) in zahlreichen Sprachen verbreitet werden. **www.elektor.de**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	12
Kapitel 1 • Elektrizität	14
1.1 Überblick	14
1.2 Was ist Elektrizität?	14
1.3 Elektronische Schaltungen	15
1.4 Gleichstrom (DC) und Wechselstrom (AC)	16
1.5 Elektrische Leistung	18
1.6 Einfache Lampen-/Schalter-Schaltungen	19
1.6.1 Nur ein Schalter	19
1.6.2 Mehr als ein Schalter	20
1.6.3 Wechselschalter	21
Kapitel 2 • Passive Komponenten	22
2.1 Überblick	22
2.2 Widerstände	22
2.2.1 Arten von Widerständen	23
2.2.2 Widerstandsmaterialien	25
2.2.3 Widerstandsspezifikationen	26
2.2.4 Widerstandsfarbcodes	27
2.2.5 Das Ohmsche Gesetz	29
2.2.6 Widerstände in Serie und Parallel	29
2.2.7 Widerstände in elektrischen Schaltungen - Beispiele	31
2.2.8 Spannungsteiler	33
2.2.9 Andere Arten von Widerständen	34
2.2.10 Projekt 1 – Widerstandsschaltung	36
2.2.11 Verwendung eines Schaltungssimulationsprogramms	38
2.3 Kondensatoren	41
2.3.1 Kondensatorarten	41
2.3.2 Kapazitätswerte	43
2.3.3 Kennzeichnung von Kapazitätswerten	43
2.3.4 Kondensatoren in Reihen- und Parallelschaltung	44

2.4 Induktivitäten (Spulen)	46
2.4.1 Arten von Induktivitäten	47
2.4.2 Inductor Values	48
2.4.3 Kennzeichnung von Induktivitäten	48
2.4.4 Induktivitäten in Reihe und Parallel.	49
2.4.5 Wechselseitige Induktivität	51
2.5 Ein einfaches RC-Netzwerk	51
2.5.1 Projekt 2 – Widerstand-Kondensator - Transientenantwort.	54
2.6 Widerstand-Kondensator-Spule - Transientenantwort.	55
2.7 Widerstand und Impedanz	58
Kapitel 3 • Magnetismus	60
3.1 Überblick	60
3.2 Magnete in der Elektronik.	60
3.3 Elektromagnete.	60
3.4 Reed Schalter	61
3.5 Lautsprecher.	62
3.6 Transformatoren	64
3.7 Relais.	66
Kapitel 4 • Aktive Komponenten	70
4.1 Überblick	70
4.2 Halbleiterdioden	70
4.2.1 Diodentypen	71
4.2.2 Diodenschaltungen	77
4.2.2.1 Einfache LED-Schaltungen.	77
4.2.2.2 Projekt 1 – LED mit Drucktaster.	78
4.2.2.3 Projekt 2 – RGB-LED mit Drucktastern	79
4.2.2.4 Projekt 3 – Zener-Dioden-Spannungsregler.	81
4.2.2.5 Gleichrichterschaltungen.	85
4.3 Bipolartransistoren	91
4.3.1 DC-Spannungen und Ströme in einem Transistor	92
4.3.2 Emitter-Verstärker	93

4.3.3 Transistor als Schalter	98
4.3.3.1 Projekt 4 – Transistor-Schalter für eine LED	100
4.3.4 MOSFET als Schalter	102
4.3.4.1 Projekt 5 – MOSFET-Schalter für LEDs	104
4.3.4.2 Projekt 6 – Die ruhige Hand (Geschicklichkeitsspiel).	106
Kapitel 5 • Einfache Schaltungen basierend auf den vorherigen Kapiteln.	109
5.1 Überblick	109
5.2 Mechanische Schalter.	109
5.2.1 Projekt 1 – Wechselschaltung für Ober- und Untergeschoss	113
5.2.2 Kontaktprellen	114
5.3 Projekt 2 – Relais mit LED	114
5.4 Elektronische Summer	115
5.5 Optokoppler	117
5.5.1 Beispiel für eine Optokoppler-Schaltung	117
5.6 Transistor-Oszillatoren und andere Schaltungen	118
5.6.1 Sinus-Oszillatoren.	118
5.6.2 Der Multivibrator	123
5.6.2.1 Projekt 3 – Astabiler Multivibrator mit blinkenden LEDs	125
5.6.2.2 Projekt 4 – Monostabiler Multivibrator mit zeitgesteuerter LED	127
5.7 Der 555 Timer.	128
5.7.1 Projekt 5 – Eine LED mit dem 555-Timer blinken lassen	129
5.7.2 Projekt 6 – LED-Wechselblinker	132
5.7.3 Projekt 7 – 1 kHz Summer.	133
5.7.4 Projekt 8 – Durchgangsprüfer.	136
5.7.5 Projekt 9 – Alarm mit drei Tönen	137
5.7.6 Projekt 10 – Mückenvertreiber	139
5.7.7 Projekt 11 – Dunkelheitsdetektor	140
5.7.8 Projekt 12 – Metronom	142
5.7.9 Projekt 13 – LED-Timer	144
5.7.10 Projekt 14 – Außenlicht mit langer Einschaltzeit	146
5.7.11 Projekt 15 – Verbessertes Metronom.	148
5.7.12 Bistabiler 555 Timer	149

5.8 Projekt 15 – Zwei-Transistor-Blinker	150
5.9 Festspannungsregler-ICs	151
5.10 Schutz vor Verpolung	152
Kapitel 6 • Operationsverstärker	154
6.1 Überblick	154
6.2 Aufbau eines Operationsverstärkers.	154
6.3 Invertierender Verstärker	155
6.4 Nichtinvertierender Verstärker	157
6.5 Spannungsfolger	159
6.6 Summierender Verstärker.	159
6.7 Differenzverstärker	160
6.8 Integrator.	161
6.9 Differenzierer	162
6.10 Komparator.	162
6.11 Simulation eines Summierenden Verstärkers.	163
6.12 Projekt 1 – Komparator mit LED	164
Kapitel 7 • Logikgatter.	167
7.1 Überblick	167
7.2 Häufig verwendete Logikgatter	167
7.2.1 AND-Gatter	167
7.2.2 OR-Gatter	168
7.2.3 NOT-Gatter	168
7.2.4 NAND-Gatter	169
7.2.5 NOR-Gatter	169
7.2.6 XOR-Gatter	169
7.2.7 XNOR-Gatter	169
7.3 Logikgatter-IC-Familien	170
7.3.1 Mischen verschiedener Logikfamilien.	172
7.4 Projekt 1 – UND-Gatter mit LED und Taster	175
7.5 Diodenlogik.	177
7.5.1 Dioden-ODER-Gatter.	177
7.5.2 Dioden-UND-Gatter.	177

7.5.3 Gemischtes Dioden-UND- & ODER-Gatter	178
7.5.4 Diodenlogik vs. Digitale Logik.	178
7.5.5 Einzelgatter-Logikbausteine	179
7.6 Flip-Flops	179
7.7 Zähler	181
7.8 Das 74595 Schieberegister	184
7.9 Was ist ein FPGA?	185
Kapitel 8 • Weiterführende Themen.	187
8.1 Überblick	187
8.2 Wechselstrom (AC) Analyse	187
8.2.1 Effektivwert (RMS - Root Mean Square).	188
8.2.2 Widerstände und Wechselstrom	188
8.2.3 Induktivitäten und Wechselstrom	188
8.2.4 Kondensatoren und Wechselstrom	189
8.2.5 RLC-Schaltungen und Resonanz	190
8.2.6 Leistung im Wechselstromkreis.	194
8.3 Verstärker	195
8.3.1 Verstärker	195
8.3.2 Der LM386 Verstärker-IC	197
8.4 Oszillatoren.	200
8.4.1 Phasenschieber-Sinuswellen-Oszillator	200
8.4.2 Rechteck-Oszillator	201
8.5 Filter	202
8.5.1 Filter-Roll-Off und Filterordnung	203
8.5.2 Filter-Design-Programm	204
8.5.3 Aktiver Tiefpass-Filter	204
8.5.4 Aktiver Hochpassfilter	205
8.5.5 Bandpass-Aktive Filter.	207
8.5.6 Passives Tiefpassfilter	208
8.6 Sensoren	209
8.6.1 Temperatursensoren	211
8.6.2 Kraftsensoren.	217

8.7 Interessante Elektronik-Kits	222
Kapitel 9 • Messen und Testen	225
9.1 Überblick	225
9.2 Netzteile.	225
9.2.1 Feste oder variable Spannung	225
9.2.2 Anzahl der Ausgangskanäle	226
9.2.3 Stromkapazität.	226
9.2.4 Strombegrenzung	226
9.3 Multimeter	226
9.3.1 Eigenschaften eines Multimeters.	227
9.3.2 Spannungsmessung	228
9.3.3 Strommessung	229
9.3.4 Widerstandsmessung	230
9.4 Das Oszilloskop	230
9.4.1 Spezifikationen.	231
9.4.2 Verwendung des Oszilloskops.	232
9.5 Funktionsgeneratoren	234
9.6 Weitere Werkzeuge	234
9.6.1 Lötkolben.	234
9.6.2 Entlötpumpe	235
9.6.3 Sonstige Werkzeuge	235
9.6.4 Steckbrett mit integriertem Netzteil	235
9.6.5 Günstige Werkzeugsets	236
Kapitel 10 • Mikrocontroller Boards und MCU Programmierung	237
10.1 Überblick	237
10.2 Mikrocontroller-Boards & -Module	237
10.3 Der Arduino UNO R4	238
10.3.1 Projekt 1 – Eine externe LED blinken lassen.	243
10.4 Das ESP32-DevKitC	248
10.4.1 Projekt 2 – Blinken einer LED mit dem ESP32.	251
10.5 Der Raspberry Pi Pico	254
10.5.1 Pinbelegung des RP2040 und des Pico	256

10.5.2 Programmierung des Pico	257
10.5.3 Projekt 3 – Blinken einer LED mit MicroPython	261
10.6 Der Raspberry Pi	265
10.6.1 Installation des Raspberry Pi Betriebssystems	266
10.6.2 Projekt 4 – Blinken einer LED mit einem Raspberry Pi	273
Kapitel 11 • Weitere interessante Themen	277
11.1 Übersicht	277
11.2 Komponentenauswahl	277
11.3 Schaltplanerfassung und Platinen-Design	282
11.4 EMV und EMI.	286
11.5 Normen und Vorschriften	288
Anhang	290
Index	291

Vorwort

Willkommen in der Welt der Elektronik!

In diesem anfangergefreundlichen Buch werden auf spielerische Weise die wichtigsten Konzepte der Elektrotechnik und Elektronik durch verschiedene Experimente und Schaltungssimulationen erkundet und vorgestellt. Das Ziel des Buches ist es, die Grundlagen der Elektronik zu erlernen, ohne in komplexe Fachwörter und Berechnungen einzutauchen. Das Erlernen der Elektronik ist nicht so schwierig, wie es scheinen mag. Mit diesem Buch kann man schneller als man denkt eigenen Projekte erstellen.

Das Buch beginnt mit den absoluten Grundlagen, wie z.B. was ist Elektrizität? Was ist Spannung? Was ist Strom? Und so weiter...

Dann lernt man schnell einfache elektronische Schaltungen und die darin verwendeten Symbole kennen. Es sind keine Elektronik-Vorkenntnisse erforderlich, nur einige einfache Algebra-Grundlagen, um einfache Berechnungen durchführen zu können. Um den Lesern das Experimentieren mit verschiedenen Schaltungen zu ermöglichen, wird zudem frühzeitig das Arbeiten mit Schaltungssimulationen eingeführt.

Lernziele:

- Konzepte von Spannung, Strom, Schaltung und Leistung
- Wechsel- und Gleichspannungen
- Grundlegende Lampenschaltungen mit Schaltern
- Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten und wie man sie identifiziert
- Grundlegende RC und RCL Schaltungen
- Elektromagnetismus
- Lautsprecher, Reed-Schalter und Transformatoren
- Dioden, BJT- und MOSFET-Transistoren und Schaltschaltungen
- Optokoppler Schaltungen
- Multivibrator- und astabile/monostabile Schaltungen
- Verwendung des 555-Chips
- Operationsverstärker in verschiedenen Schaltungskonfigurationen
- Logikgatter
- Verstärker, Oszillatoren und elektrische Filter
- Sensoren
- Elektrische Test- und Messwerkzeuge
- Mikrocontroller-Entwicklungsboards: Arduino Uno, ESP32, Raspberry Pi Pico und Raspberry Pi 5
- Auswahl elektronischer Bauteile und Lesen von Datenblättern
- Elektrische EMV und EMI sowie Normen und Vorschriften

Zudem wird ein Vielzahl von getesteten und funktionierenden Projekten und Simulationen vorgestellt. Damit wird man schnell mit dem Aufbau und der Prüfung der im Buch beschriebenen grundlegenden elektronischen Schaltungen vertraut.

Viel Freude beim Lesen des Buches!

Dr. Dogan Ibrahim,
Ahmet Ibrahim.

Kapitel 1 • Elektrizität

1.1 Überblick

Wir alle nutzen täglich Elektrizität und können kaum ohne sie auskommen. Kann man sich auch nur vorstellen, was passieren würde, wenn es ein paar Tage lang keine Elektrizität gäbe? Man stelle sich ein Leben ohne Heizung, ohne Beleuchtung, ohne Radio, ohne Fernsehen, ohne Internet, ohne Computer, ohne Mikrowelle und ohne Kühlschrank vor ...

Aber hast du dich jemals gefragt: Was ist Elektrizität? Was ist Spannung? Was ist ein elektrischer Schaltkreis? Wie kann ich Lampen auf verschiedene Arten anschließen?

Das Ziel dieses Kapitels ist es, diese Fragen ausführlich zu beantworten.

1.2 Was ist Elektrizität?

Atome sind die Bausteine der Materie. Sie sind die kleinsten Einheiten der Materie, die die chemischen Eigenschaften einer bestimmten Substanz besitzen. Atome bestehen aus drei grundlegenden Komponenten: Protonen, Neutronen und Elektronen (Abbildung 1.1). Die Protonen und Neutronen befinden sich im Zentrum des Atoms, dem sogenannten Atomkern, während die Elektronen in einem beträchtlichen Abstand um den Kern kreisen.

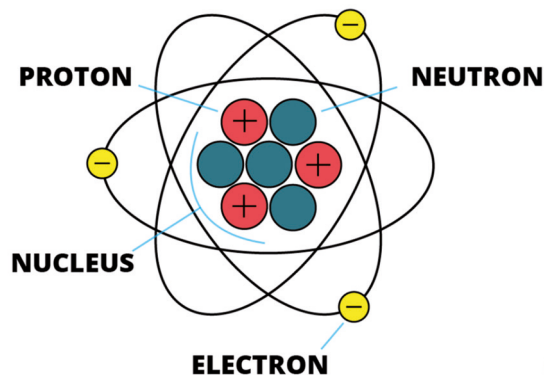


Abb. 1.1 Ein Atom (Quelle: www.vedantu.com)

Die Ordnungszahl eines Atoms entspricht der Anzahl der Protonen im Atomkern. Ein Kohlenstoffatom hat beispielsweise sechs Protonen im Kern, daher beträgt seine Ordnungszahl sechs. Die Summe der Anzahl der Protonen und Neutronen bestimmt die Atommasse eines Atoms.

Protonen sind positiv geladene Teilchen im Atomkern. Die Neutronen im Kern besitzen keine elektrische Ladung. Die Masse eines Neutrons ist größer als die eines Protons. Elektronen sind negativ geladene Teilchen, die den Kern in Orbitalhüllen umkreisen. Sie sind viel kleiner als Protonen und Neutronen. Die Gesamtladung eines Atoms wird durch die Differenz zwischen der Anzahl der Protonen und Elektronen bestimmt. Wenn es mehr Protonen als Elektronen gibt, ist die Nettoladung positiv. Wenn die Anzahl der Protonen und Elektronen gleich ist, beträgt die Nettoladung null.

Elektrizität bezeichnet die physikalischen Phänomene, die mit der Anwesenheit und Bewegung elektrischer Ladung verbunden sind. Elektronen können nur fließen, wenn in einer Substanz freie Elektronen vorhanden sind. In Bezug auf den Elektronenfluss lassen sich Materialien in drei Kategorien einteilen:

Isolatoren: Einige Materialien wie Holz, Papier, Kunststoff, Gummi usw. leiten keinen Strom und sind daher gute Isolatoren. Dies liegt an der (sehr) geringen Anzahl freier Elektronen, die zur Verfügung stehen.

Leiter: Viele Metalle wie Kupfer, Eisen, Silber, Stahl usw. sind ausgezeichnete elektrische Leiter. Dies liegt daran, dass sie eine große Anzahl freier Elektronen besitzen.

Halbleiter: Materialien wie Germanium, Arsen, Bor und Silizium haben nur wenige freie Elektronen. Sie leiten Strom besser als Isolatoren, aber nicht so gut wie Leiter. Halbleiter werden zur Herstellung von Transistoren und integrierten Schaltkreisen (ICs) verwendet.

1.3 Elektronische Schaltungen

Damit Elektronen fließen können, ist eine elektronische (oder elektrische) Schaltung erforderlich. Eine Schaltung ist ein geschlossener Kreis aus leitendem Material, z. B. einem Draht. Jede elektronische Schaltung enthält Bauteile, jedoch dürfen sich im geschlossenen Stromkreis keine Isolatoren befinden.

Die Elektronen in einer elektronischen Schaltung bewegen sich nicht von selbst – sie müssen durch eine äußere Kraft angetrieben werden. Diese Kraft kann eine Batterie oder eine andere Energiequelle sein, die mit der Schaltung verbunden ist. Die Bewegung der Elektronen im Stromkreis stellt den elektrischen Strom dar.

Wird eine Spannungsquelle an die Schaltung angeschlossen, kann Strom fließen. Die Elektronen bewegen sich dabei vom negativen zum positiven Pol. Da Elektronen jedoch eine negative Ladung haben, wird der Stromfluss konventionell von Plus nach Minus definiert.

Die Einheit der Spannung ist das Volt (V), mit dem Formelzeichen U. Die Einheit des Stroms (I) ist das Ampere (A). In der Elektronik werden häufig kleinere Einheiten verwendet:

$$1 \text{ V} = 1.000 \text{ Millivolt (mV)}$$

$$1 \text{ mV} = 1.000 \text{ Mikrovolt (}\mu\text{V)}$$

Bzw. für den Strom:

$$1 \text{ A} = 1.000 \text{ Milliampere (mA)}$$

$$1 \text{ mA} = 1.000 \text{ Mikroampere (}\mu\text{A)}$$

1.4 Gleichstrom (DC) und Wechselstrom (AC)

Es gibt zwei Arten von Spannungsquellen: Gleichstrom (DC) und Wechselstrom (AC)

Gleichstrom (DC – „Direct Current“)

In einem Gleichstromkreis fließt der Strom immer in derselben Richtung. Eine Gleichspannungsquelle hat nicht unbedingt einen konstanten Wert, aber sie ändert niemals ihr Vorzeichen.

Ein Beispiel für eine Gleichspannungsquelle ist eine ideale Batterie, die über die Zeit eine konstante Spannung liefert. Eine PP3-Blockbatterie (z. B. Eine 9 V-Batterie) stellt eine Gleichspannung von 9 V bereit, wie in Abbildung 1.2 dargestellt.

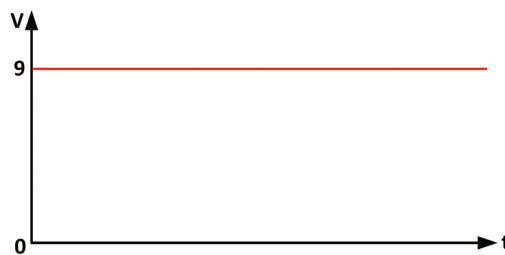


Abb. 1.2: Batteriespannung von 9 V

Mathematische Darstellung:

$$V_{(t)} = 9V$$

Natürlich entlädt sich eine reale Batterie im Laufe der Zeit und ihre Spannung nimmt ab. Für die Betrachtung hier nehmen wir jedoch an, dass die Spannung konstant bleibt.

Wechselstrom (AC – „Alternating Current“)

In einem Wechselstromkreis kehrt sich die Richtung des Ladungsflusses und damit das Spannungsniveau periodisch um.

Elektrizitätsversorger liefern Wechselspannung als sogenannte Netzspannung an Gebäude. Die meisten elektronischen Geräte wie Mobiltelefone, Computer, Radios, Fernseher usw. arbeiten jedoch mit Gleichspannung. Daher muss die Wechselspannung in Gleichspannung umgewandelt werden.

Beispiel

Ein Handy wird mit Gleichspannung betrieben, aber das Ladegerät wird in eine Wechselstrom-Steckdose gesteckt. Das Ladegerät wandelt die Wechselspannung (AC) in Gleichspannung (DC) um, um die Batterie des Handys zu laden.

Wechselspannungen können verschiedene Wellenformen haben, z. B.:

- Sinusförmig (die klassische Netzspannung)
- Rechteckförmig
- Dreieckförmig
- Sägezahnförmig

Die von Energieversorgern bereitgestellte Wechselspannung hat eine Sinusform (siehe Abbildung 1.3) und wird mathematisch beschrieben durch:

$$V(t) = V_p \sin(\omega t) \quad V(t) = V_p \sin(\omega t)$$

wobei:

- $V(t)$ die Spannung als Funktion der Zeit,
- V_p die Amplitude (Spitzenwert) der Welle ist (von $-V_p$ bis $+V_p$),
- ω die Kreisfrequenz ($\omega = 2\pi f$, wobei f die Frequenz in Hertz ist),
- t die Zeit in Sekunden ist

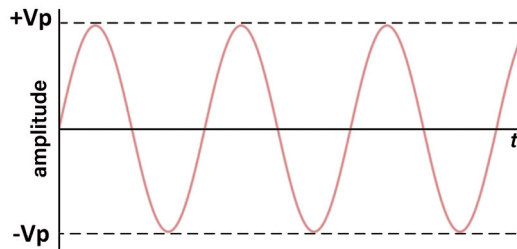


Abb. 1.3 Sinusspannung

Die Periode (T) einer Sinuswelle ist die Zeit für einen vollständigen Zyklus und steht mit der Frequenz f in folgender Beziehung:

$$T = 1/f$$

Beispiel

Finde die Periode und die Frequenz der in Abbildung 1.4 gezeigten Sinuswelle. Schreibe den mathematischen Ausdruck für die Wellenform auf.

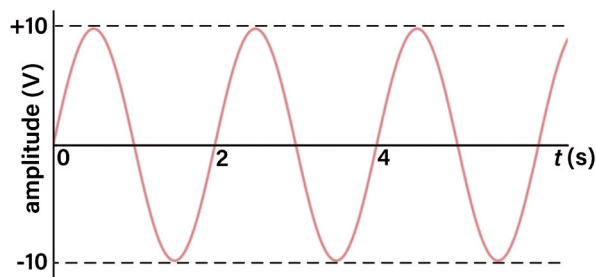


Abb. 1.4 Beispiel einer Sinuswelle

Lösung

Gegeben sei eine Sinuswelle mit einer Amplitude von 10 V und einer Periodendauer von $T = 2 \text{ s}$. Die Frequenz beträgt:

$$f = 1/2s = 0,5 \text{ Hz}$$

Die Kreisfrequenz ist:

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3,14 \times 0,5 = 3,14 \text{ rad/s}$$

Daraus ergibt sich die mathematische Beschreibung der Welle:

$$V(t) = 10 \sin(3,14 t)$$

1.5 Elektrische Leistung

Die elektrische Leistung gibt an, wie schnell elektrische Energie in einem Stromkreis übertragen wird. Anders ausgedrückt: Sie beschreibt die Arbeitsleistung pro Zeiteinheit eines elektrischen Stromkreises.

Die Einheit der elektrischen Leistung (P) ist das Watt (W), berechnet durch:

$$P = \text{Strom} \times \text{Spannung}$$

wobei:

- P die Leistung in Watt (W) ist
- der Strom in Ampere (A) gemessen wird
- die Spannung in Volt (V) gemessen wird

Umrechnungen von Leistungseinheiten:

- 1 kW = 1.000 Watt (1000 W)
- 1 W = 1.000 Milliwatt (1000 mW)
- 1 mW = 1.000 Mikrowatt (1000 μW)

Die Leistung kann auch aus der Energie (in Joule) über eine bestimmte Zeit berechnet werden:

$$P \text{ (in W)} = \text{Energie / Sekunde in Joule / Sekunde}$$

Beispiel

Ein Wasserkocher wird mit 230 V betrieben und verbraucht 2 A Strom.

1. Berechne die aufgenommene Leistung.
2. Berechne die verbrauchte elektrische Energie, wenn der Wasserkocher 10 Sekunden lang betrieben wird.

Lösung

- Die Leistung beträgt: $P = 230 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 460 \text{ W}$
- Die verbrauchte Energie beträgt: $E = P \times t = 460 \text{ W} \times 10 \text{ s} = 4.600 \text{ Joule}$

1.6 Einfache Lampen-/Schalter-Schaltungen

Angenommen, man hat einige Lampen und ein paar Schalter. Untersuchen wir, auf wie viele verschiedene Arten man sie in einer Schaltung verbinden können.

In den folgenden Schaltungen ist V_{L_n} die Spannung über der Lampe n , und I_{L_n} ist der Strom durch die Lampe n . Außerdem wird angenommen, dass die Helligkeit der Lampen gleich bleibt, solange Strom durch sie fließt.

1.6.1 Nur ein Schalter

Reihenschaltung von Lampen

Abbildung 1.5 zeigt eine Reihenschaltung von drei Lampen und einem Schalter. Hier fließt derselbe Strom durch jede Lampe. Die Summe der Spannungen über jeder Lampe ist gleich der angelegten Spannung. Wenn der Schalter geschlossen wird, gehen alle Lampen an.

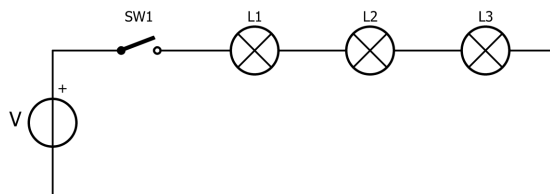


Abb. 1.5 Reihenschaltung: Der gleiche Strom fließt durch alle Lampen.
Wenn der Schalter geschlossen wird, gehen alle Lampen an: $V = V_{L1} + V_{L2} + V_{L3}$

Parallelschaltung von Lampen

Abbildung 1.6 zeigt eine Parallelschaltung von drei Lampen und einem Schalter. Hier liegt die gleiche Spannung über jeder Lampe. Die Summe der Ströme durch die Lampen ist gleich dem Gesamtstrom. Wenn der Schalter geschlossen wird, gehen alle Lampen an.

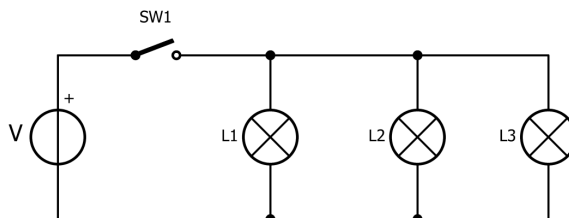


Abb. 1.6 Parallelschaltung. Jede Lampe führt die gleiche Spannung. Wenn der Schalter geschlossen wird, gehen alle Lampen an: $I = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$

Reihen- und Parallelschaltung von Lampen

Abbildung 1.7 zeigt eine gemischte Reihen- und Parallelschaltung von drei Lampen und einem Schalter. Hier liegt die gleiche Spannung über $L2$ und $L3$. Die Summe der Spannungen über $L1$ und $L2$ (oder $L3$) ist gleich der angelegten Spannung. Der Strom durch $L1$ ist gleich

der Summe der Ströme durch L2 und L3.

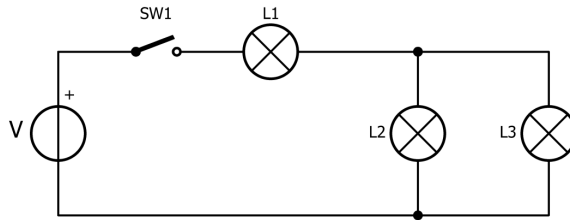


Abb. 1.7: Reihen- und Parallelschaltung. Die Lampen L2 und L3 haben führen die gleiche Spannung. Wenn der Schalter geschlossen wird, gehen alle Lampen an: $V = V_{L1} + V_{L2}$ or $V = V_{L1} + V_{L3}$; $I_{L1} = I_{L2} + I_{L3}$

1.6.2 Mehr als ein Schalter

Die Abbildungen 1.8 bis 1.10 zeigen verschiedene Konfigurationen von Lampen und Schaltern. Die Funktionsweise jeder Schaltung wird unterhalb der jeweiligen Abbildung beschrieben.

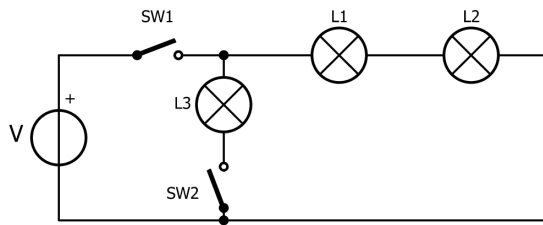


Abb. 1.8: L1 und L2 gehen an, wenn SW1 geschlossen wird. L3 geht an, wenn SW2 geschlossen wird.

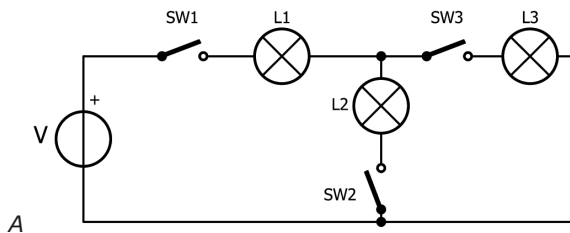


Abb. 1.9: L1 geht an, wenn SW1 geschlossen wird und auch SW2 oder SW3 geschlossen sind. L2 geht an, wenn SW1 und SW2 geschlossen sind (L1 geht auch an). L3 geht an, wenn SW1 und SW3 geschlossen sind (L1 geht auch an). Alle Lampen gehen an, wenn alle Schalter geschlossen sind.

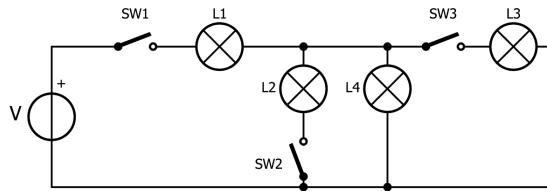


Abb. 1.10: L1 und L4 gehen an, wenn SW1 geschlossen wird. L2 geht an, wenn SW1 und SW2 geschlossen sind (L1 und L4 gehen auch an). L3 geht an, wenn SW1 und SW3 geschlossen sind (L1 und L4 gehen auch an). Alle Lampen gehen an, wenn alle Schalter geschlossen sind.

1.6.3 Wechselschalter

Man ist wahrscheinlich mit Wechselschaltern vertraut, wenn das Zuhause eine Treppe oder einen langen Flur hat. Sie kommen auch häufig in Schlafzimmern vor. In einer Wechselschalter-Konfiguration wird eine Lampe von zwei Schaltern gesteuert, zum Beispiel einem unten und einem oben. Wenn die Lampe aus ist, kann sie mit dem Schalter unten eingeschaltet werden. Sobald man oben sind, können man sie mit dem Schalter oben ausschalten und umgekehrt. Abbildung 1.11 zeigt das Schaltbild eines Wechselschalters. Dieser Stromkreis verwendet zwei Schalter des Typs SPDT („Single Pole Double Throw“). Die Funktionsweise verschiedener Schalter wird in Kapitel 5 besprochen.

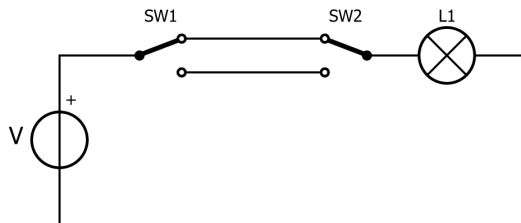


Abb. 1.11: Wechselschalter. Wenn die Lampe eingeschaltet ist, kann sie mit entweder mit SW1 oder SW2 ausgeschaltet werden. Wenn die Lampe ausgeschaltet ist, kann sie entweder mit SW1 oder SW2 eingeschaltet werden.

Kapitel 2 • Passive Komponenten

2.1 Überblick

Passive Komponenten sind Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten, Kabel, Schalter, Lüfter, Lampen, Antennen, Steckverbinder, Spulen, Transformatoren, Leiterplatten (printed circuit boards: PCBs) und so weiter. Diese Komponenten können auf Dauer keine Energie abgeben aber sie empfangen elektrische Energie die sie entweder absorbieren in Wärme umwandeln oder speichern können. Passive Komponenten können elektrische Signale nicht verstärken. Sie können entweder alleine verwendet oder in Serie oder parallel mit anderen Komponenten in elektrischen Schaltungen verbunden werden um den Stromfluss zu steuern eine Phasenverschiebung zu erzeugen, die Spannung über einem Bauteil zu ändern und so weiter. Passive Komponenten sind bidirektional (d. h. sie haben keine Polarität), da sie in beide Richtungen innerhalb eines Stromkreises angeschlossen werden können (mit Ausnahme von elektrolytischen Kondensatoren da diese Polarität haben).

In diesem Kapitel werden wir die am häufigsten verwendeten passiven Komponenten untersuchen: Widerstände, Kondensatoren und Induktivitäten sowie deren Kombinationen in elektrischen Schaltungen.

2.2 Widerstände

Widerstände spielen eine entscheidende Rolle in elektrischen Schaltungen indem sie den Fluss von elektrischem Strom behindern. Um die Funktion eines Widerstands leichter zu verstehen, kann man eine Analogie zwischen elektrischem Strom und Wasser das in einem Rohr fließt ziehen. In dieser Analogie entspricht ein Widerstand einer Verengung im Rohr die den Wasserfluss durch das Rohr einschränkt. Der Grad der Verengung im Rohr korreliert mit dem Widerstand in der elektrischen Schaltung. Einfach gesagt: Je höher der Widerstand desto stärker wird der Fluss des elektrischen Stroms eingeschränkt. Ähnlich führt eine erhöhte Verengung im Rohr dazu, dass weniger Wasser hindurchfließen kann.

Widerstände haben viele Funktionen in elektrischen Schaltungen. Einige gängige Verwendungen von Widerständen sind:

- **Potentialteiler:** Zwei oder mehr Widerstände in Serie werden verwendet um eine Eingangsspannung auf das erforderliche Niveau zu reduzieren.
- **Strombegrenzung:** Ein Widerstand wird verwendet um den Stromfluss in einer elektrischen Schaltung zu begrenzen, meist zum Schutz eines Geräts. Ein Beispiel hierfür ist der Strombegrenzungswiderstand in LED-Schaltungen der den Strom begrenzt und somit sowohl die Stromquelle als auch die LED schützt.
- **Operationsverstärker:** Hier werden Widerstände verwendet um die Verstärkungsrate des Verstärkers festzulegen.
- **Aktive Filter:** Widerstände werden in aktiven Filterkreisen verwendet um die Filterverstärkung, Frequenz und Phasenantwort festzulegen.

- **Strommessung:** Widerstände werden verwendet um den Strom durch Schaltungen zu messen.
- **In aktiven Schaltungen:** Widerstände werden in verschiedenen aktiven Schaltungen wie Verstärkern, Mischern, Oszillatoren, Komparatoren, Puffern, Sendern, Empfängern usw. verwendet um die Schaltungsmerkmale festzulegen.

Widerstandswerte

Widerstandswerte werden in Ohm angegeben und mit dem griechischen Großbuchstaben Omega (Ω) bezeichnet. Zum Beispiel 100 Ohm oder 100 Ω . Größere Werte sind als Kiloohm ($k\Omega$) oder Megaohm ($M\Omega$) erhältlich. 1 $k\Omega$ entspricht 1.000 Ω und 1 $M\Omega$ entspricht 1.000.000 Ω . Daher entspricht 1 $M\Omega$ = 1.000 $k\Omega$.

Widerstandswerte haben eine Toleranz die als Prozentsatz angegeben wird. Zum Beispiel kann der Wert eines 100 Ω Widerstands mit einer Toleranz von 10 % im Bereich von 90 Ω bis 110 Ω liegen. Gängige Toleranzen sind 10 %, 5 % und 1 %.

Da es schwierig ist Widerstände mit jedem möglichen Wert zu produzieren und auf Lager zu haben, wurden Serien bevorzugter Werte festgelegt, die als E-Serien bekannt sind. Die E-Serien basieren auf Toleranzen. Die Zahl hinter dem „E“ gibt die Anzahl der verschiedenen Werte in einer Serie an. Die E12-Serie, die am häufigsten verwendet wird, basiert auf einer Toleranz von 10 % und hat 12 Werte pro Dekade:

1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8 und 8,2.

Zum Beispiel können wir innerhalb der E12-Serie Widerstände mit den folgenden Werten im Bereich von 1,8 finden: 1,8 Ω , 18 Ω , 180 Ω , 1,8 $k\Omega$, 18 $k\Omega$, 180 $k\Omega$, 1,8 $M\Omega$ und so weiter.

Die E24-Serie basiert auf einer Toleranz von 5 % und hat 24 Werte pro Dekade:

1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0;
2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3;
4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2 und 9,1.

Widerstände mit 1 % Toleranz sind in der E96-Serie erhältlich. Widerstände aus der E192-Serie haben eine Toleranz von 0,5 %, sie sind jedoch teurer. Es gibt auch E3-, E6- und E48-Serien.

Wenn wir zum Beispiel einen 185 Ω Widerstand benötigen wäre der nächstgelegene Wert aus der E12- und E24-Serie 180 Ω . Beachten Sie, dass in historischen Schaltungen oft nur Widerstände mit Werten aus der E12-Serie verwendet werden, jedoch mit einer Toleranz von 5 %.

2.2.1 Arten von Widerständen

Widerstände sind in verschiedenen Bauformen und Konfigurationen erhältlich.

Widerstände mit festem Wert

Wie der Name schon sagt, haben diese Widerstände feste Widerstandswerte (Abbildung 2.1 links). Ein Widerstand mit festem Wert ist ein Bauteil mit zwei Anschlüssen. Sie können verschiedene Formen haben, wie z.B. rechteckig, zylindrisch, chassismontiert, Widerstandsarrays, oberflächenmontiert usw. Widerstände mit festem Wert werden in elektrischen Schaltungen auf zwei verschiedene Arten dargestellt: entweder als Zickzack-Linie (US-Stil; Abbildung 2.1 Mitte) oder als Rechteck (europäischer Stil; Abbildung 2.1 rechts). In einem Schaltplan wird der Wert eines Widerstands in Kurzform nahe oder innerhalb des Symbols unter Verwendung von Multiplikatoren wie „k“ und „M“ geschrieben. Das Symbol für Ω wird normalerweise weggelassen. Werte unter 1 k Ω werden häufig mit dem Symbol „ Ω “ durch „R“ ersetzt (z.B. 470R). Werte mit Dezimalstellen wie 2,2 k Ω oder 5,6 M Ω können als 2k2 oder 5M6 geschrieben werden. Ein Wert von 3,9 Ω kann als 3R9 geschrieben werden. Wenn nur Bezeichner wie R1, R2, R3 usw. verwendet werden, sind die Werte in einer Tabelle (der Bauteilliste) oder im Text aufgelistet, zum Beispiel R1 = 10 k Ω .



Abb. 2.1: Ein Widerstand mit festem Wert (links); das US-Symbol (Mitte) und das europäische Symbol rechts

Variable Widerstände

Auch bekannt als Potentiometer („Potis“) und Trimmer, der Wert eines variablen oder einstellbaren Widerstands wird entweder durch Drehen einer Welle oder einer Schraube (Abbildung 2.2 links) oder durch Verschieben eines Knopfs eingestellt. Ein variabler Widerstand ist ein Bauteil mit drei Anschlüssen. Der mittlere Anschluss, der im Schaltplan mit einem Pfeil dargestellt wird (Abbildung 2.2 rechts), ist als Wischer bekannt und an diesem Anschluss ist der variable Widerstand verfügbar.

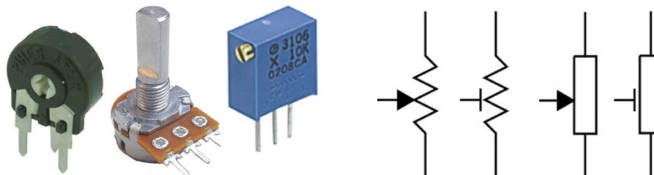


Abb. 2.2: Variable Widerstände und ihre Symbole. Wenn der Wischer als Pfeil dargestellt wird, handelt es sich um ein Potentiometer. Andernfalls ist es ein einstellbarer Widerstand oder Trimmer.

Widerstandsnetzwerke

Widerstandsnetzwerke können verwendet werden, um Platz zu sparen, wenn mehrere Widerstände mit demselben Wert benötigt werden. Für solche Anwendungen ist es möglich, Widerstandsnetzwerke entweder als Einzel-inline (SIL; Abbildung 2.3 links) oder Doppel-inline (DIL; Abbildung 2.3 rechts) Gehäuse zu kaufen. Sie können entweder als mehrere einzelne Widerstände oder mit einem Pin jedes Widerstands, der mit einem gemeinsamen Kontakt verbunden ist, angeboten werden.



Abb. 2.3: Widerstandsnetzwerke gibt es in SIL- (links) und DIL- (rechts) Gehäusen

2.2.2 Widerstandsmaterialien

Verschiedene Materialien werden bei der Herstellung von Widerständen verwendet. Einige häufig verwendete Materialien, ihre Vor- und Nachteile, sind in diesem Abschnitt zusammengefasst.

Kohlewiderstände

Kohlewiderstände werden hergestellt, indem Kohlenstoffgranulate mit einem Bindematerial gemischt und zu einem kleinen zylindrischen Stab geformt werden. Diese Art von Widerstand leidet unter Temperaturänderungen, Widerstandsänderungen durch Alterung und hohem Rauschen. Kohlewiderstände, obwohl sie in älteren Geräten noch verwendet werden, werden heute kaum mehr verwendet.

Kohlefilmwiderstände

Diese Widerstände (Abbildung 2.4a) werden für allgemeine Anwendungen verwendet. Sie bestehen aus einem Kohlenstofffilm, der auf ein zylindrisches keramisches Substrat aufgebracht wird. Mehr Kohlenstoff führt zu einem niedrigeren Widerstand. Der Vorteil dieser Konstruktion ist die niedrige Induktivität, wodurch Kohlefilmwiderstände für Hochfrequenzanwendungen geeignet sind. Zudem ist das Keramikmaterial ein ausgezeichneter Wärmedämmer.

Metallfilmwiderstände

Metallfilmwiderstände (Abbildung 2.4b) werden hergestellt, indem bestimmte Metalle auf ein isolierendes Substrat aufgebracht werden. Ihre Konstruktion ist einfacher als die von Kohlenstofffilmwiderständen, und sie können in großen Mengen mit weniger Aufwand hergestellt werden. Die Vorteile von Metallfilmwiderständen sind geringeres Rauschen, engere Toleranzen und bessere Temperaturkoeffizienten, was bedeutet, dass sich ihr Wert bei Temperaturänderungen nur wenig ändert. Sie ersetzen langsam die Kohlenstofffilmwiderstände.

Drahtwiderstände

Drahtwiderstände (Abbildung 2.4c) werden hergestellt, indem ein Draht auf ein Substrat gewickelt wird. Sie werden in Anwendungen verwendet, die sehr enge Toleranzen (weniger als 0,01%) und niedrige Temperaturkoeffizienten erfordern. Drahtwiderstände werden auch in Hochleistungsanwendungen eingesetzt. Aufgrund des gewickelten Drahtes haben diese Widerstände jedoch eine hohe Induktivität und sind daher für Hochfrequenzanwendungen ungeeignet.

Metallbandwiderstände

Diese Widerstände (Abbildung 2.4d) werden hauptsächlich in Stromversorgungen zur Messung von Strömen verwendet. Sie haben sehr niedrige ohmsche Werte und sehr niedrige Temperaturkoeffizienten. Metallbandwiderstände werden durch Lasertrimmen eines Metallbandes hergestellt.

Metalloxidwiderstände

Metalloxidwiderstände (Abbildung 2.4e) ähneln Metallfilmwiderständen, jedoch wird Zinnoxid als Widerstandsmaterial verwendet. Sie sind in der Regel besser für Hochspannungs- und Hochleistungsanwendungen geeignet als Metallfilmwiderstände. Metalloxidwiderstände sind auch zuverlässiger als Metallfilmwiderstände.

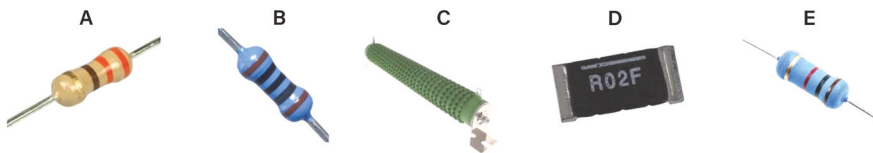


Abb. 2.4: Verschiedene Widerstandstypen. Von links nach rechts: Kohlenstofffilm, Metallfilm, Drahtwiderstand, Metallband und Metalloxid

2.2.3 Widerstandsspezifikationen

Es ist wichtig, die wichtigsten Eigenschaften und Spezifikationen von Widerständen zu kennen, bevor sie in elektrischen Schaltungen verwendet werden. Einige gängige Spezifikationen werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

Temperaturkoeffizient

Der Temperaturkoeffizient ist ein Maß für die Veränderung des Widerstandswerts aufgrund von Temperaturänderungen. Der Temperaturkoeffizient kann entweder positiv oder negativ sein. In Anwendungen, bei denen die Umgebungstemperatur starken Schwankungen unterliegt, werden Widerstände mit niedrigem Temperaturkoeffizienten bevorzugt.

Alterung

Alterung ist die Veränderung des Widerstandswerts im Laufe der Zeit aufgrund von Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit, Umgebungstemperatur usw. In der Regel steigt der Widerstandswert im Laufe der Zeit an.

Thermischer Widerstand

Der thermische Widerstand ist ein Maß dafür, wie gut ein Widerstand Wärme ableiten kann. Dieser Parameter ist wichtig für Anwendungen mit hoher Leistung, bei denen der Widerstand eingekapselt ist und keinen direkten Kontakt mit der freien Luft hat.

Rauschen

Wie alle anderen elektronischen Bauteile erzeugen auch Widerstände Rauschen, was in Niederspannungs- und Präzisionsanwendungen wichtig werden kann. Der Großteil des Rauschens in Widerständen wird durch hohe Temperaturen verursacht. Das Rauschlevel kann durch Senkung des Widerstandswerts, Senkung der Betriebstemperatur und durch

Reduzierung der im Widerstand umgesetzten Leistung verringert werden.

Maximale Belastung

Dies ist ein wesentlicher Parameter für jeden Widerstand, der in einer Schaltung verwendet wird. Alle Widerstände haben eine Maximalleistung. Im Allgemeinen gilt: Je größer der Widerstand, desto mehr Leistung kann er aufnehmen. Es ist wichtig, einen Widerstand auszuwählen, der die maximale auf ihn angewandte Leistung ohne Schaden umsetzen kann. Die Leistung, die ein Widerstand abgibt, wird durch den Strom, der durch ihn fließt, und seinen Widerstand bestimmt (siehe unten). Kleine Widerstände, die in den meisten elektrischen Schaltungen verwendet werden, sind so ausgelegt, dass sie nicht mehr als etwa 0,25 W oder 0,125 W abgeben.

2.2.4 Widerstandsfarbcodes

Der Wert eines zylindrischen, bedrahteten Widerstands wird durch Farbbänder angezeigt (siehe Abbildung 2.5). Jeder Widerstand hat drei oder vier Bänder, die den Wert angeben, sowie ein Toleranzband. Bei einem 4-Band-Widerstand entsprechen die ersten beiden Bänder numerischen Werten, das dritte Band ist ein Multiplikator, und das letzte Band gibt die Toleranz an. Bei einem 5-Band-Widerstand sind die ersten drei Bänder numerische Werte, das vierte Band ist der Multiplikator, und das letzte Band gibt die Toleranz an. Es fällt auf, dass zwischen dem Toleranzband und den anderen Bändern ein größerer Abstand besteht.

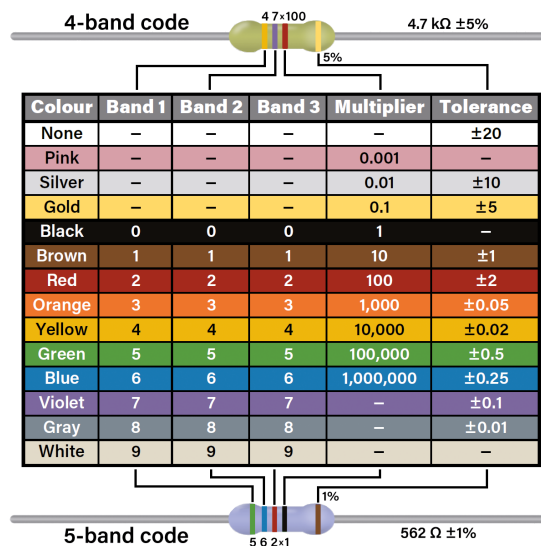


Abb. 2.5: Widerstandsfarbcodes. Widerstände mit sechs Bändern existieren ebenfalls. Die ersten fünf Bänder bilden einen 5-Band-Code, das sechste Band gibt den Temperaturkoeffizienten an.

Beispiel 1

Ein 4-Band-Widerstand hat die Farben Rot, Rot, Orange, Braun. Berechne seinen Wert und die Toleranz.

Aus Abbildung 2.5 ergibt sich:

Rot: 2
Rot: 2
Orange: 1.000
Braun: 1%

Der Wert ist: $22 \times 1.000 = 22.000 \, \Omega$ oder $22 \, \text{k}\Omega$ mit $\pm 1\%$ Toleranz.

Die Werte könnten auch von rechts nach links gelesen werden, d. h. Braun, Orange, Rot, Rot, was $1.300 \, \Omega$ mit $\pm 2\%$ Toleranz entspricht. Die Leserichtung wird durch das Toleranzband angezeigt, das entweder breiter oder von den anderen Bändern getrennt ist. Im Zweifelsfall verwendet man ein Ohmmeter.

Beispiel 2

Ein 4-Band-Widerstand hat die Farben Gelb, Violett, Gelb, Gold. Berechne seinen Wert und die Toleranz.

Aus Abbildung 2.5 ergibt sich:

Gelb: 4
Violett: 7
Gelb: 10.000
Gold: 5%

Der Wert ist: $47 \times 10.000 = 470.000 \, \Omega$ oder $470 \, \text{k}\Omega$ mit $\pm 5\%$ Toleranz.

Beispiel 3

Ein 5-Band-Widerstand hat die Farben Braun, Schwarz, Schwarz, Braun, Braun. Berechne seinen Wert und die Toleranz

Aus Abbildung 2.5 ergibt sich:

Braun: 1
Schwarz: 0
Schwarz: 0
Braun: 10
Braun: 1%

Der Wert ist: $100 \times 10 = 1.000 \, \Omega$ oder $1 \, \text{k}\Omega$ mit $\pm 1\%$ Toleranz.

Dieser Wert könnte auch von rechts nach links gelesen werden, d. h. Braun, Braun, Schwarz, Schwarz, Braun, was $110\ \Omega$ mit $\pm 1\%$ Toleranz entspricht. Die Leserichtung wird durch das Toleranzband angezeigt, das entweder breiter ist oder von den anderen Bändern getrennt ist. Im Zweifelsfall verwendet man ein Ohmmeter.

Wegen ihrer kleinen Größe wird auf Widerständen in der Oberflächenmontagetechnologie (SMT) der Wert in Ohm als 3- oder 4-stelliger Wert aufgedruckt. In einer 3-stelligen Darstellung sind die ersten beiden Ziffern die numerischen Werte, und die letzte Ziffer ist die Anzahl der Nullen. Zum Beispiel stellt 102 (Abbildung 2.6, links) „10 00“ dar, was $1.000\ \Omega$ oder $1\ \text{k}\Omega$ entspricht. Ebenso stellt 103 „10 000“ dar, was $10.000\ \Omega$ oder $10\ \text{k}\Omega$ entspricht.

Für niedrige Werte wird der Buchstabe „R“ als Dezimalpunkt verwendet. Zum Beispiel bedeutet 4R7 = $4,7\ \Omega$ (Abbildung 2.6, rechts).

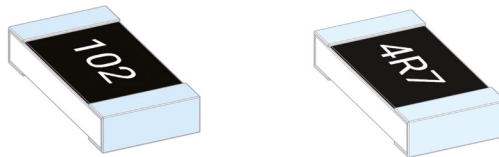


Abb. 2.6: $1\ \text{k}\Omega$ und $4,7\ \Omega$ Oberflächenmontage-Widerstände

Für sehr kleine Widerstände wird das EIA96-System verwendet, das eine Nachschlagetabelle enthält, in der ein 3-stelliger Wertecode verwendet wird.

2.2.5 Das Ohmsche Gesetz

Das Ohmsche Gesetz ist eines der grundlegenden Gesetze in der Elektronik. Es besagt, dass der Spannungsabfall (U in Volt) über einem Widerstand gleich dem Produkt aus dem Strom (I in Ampere) dividiert durch den Widerstand (R in Ohm) ist. Als Gleichung:

$$U = I \times R \quad \text{oder} \quad I = U / R \quad \text{oder} \quad R = U / I$$

In vielen elektronischen Schaltungen wird der Strom in Milliampere (mA) gemessen, was einem Tausendstel eines Amperes entspricht. Als Beispiel betrachten wir eine Schaltung, bei der die Spannung über einem Widerstand $5\ \text{V}$ beträgt und der Strom durch diesen Widerstand mit $100\ \text{mA}$ gemessen wird. Der Wert des Widerstands kann dann wie folgt berechnet werden:

$$R = U / I = 5 / 0,10\ \text{V/A} = 50\ \Omega$$

2.2.6 Widerstände in Serie und Parallel

Widerstände können in Serie, parallel oder in einer Kombination aus Serie und Parallel geschaltet werden. Durch das Verbinden von Widerständen können wir größere oder kleinere Werte erzielen. Auch verschiedene spezielle passive elektrische Schaltungen können durch Kombination von Widerständen entworfen werden.