

# **Elektronikbasteln**

---

**Kurze Anleitung für Lötanfänger**

**Jürgen Plate, 21. Dezember 2011**

---



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einstieg in die Elektronik</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Spannungsversorgung der Schaltungen</b>	<b>13</b>
2.1	Spannungsregler . . . . .	13
2.2	Netzteilauslegung . . . . .	15
2.3	Abwärtswandler . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Schaltungsaufbau</b>	<b>19</b>
3.1	Löten . . . . .	19
3.2	Fehlersuche . . . . .	20
3.3	Leistungshalbleiter kühlen . . . . .	20
3.4	HF-Spulen herstellen . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Sicherheitshinweise</b>	<b>23</b>
<b>A</b>	<b>Literatur</b>	<b>25</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>27</b>



# 1

## Einstieg in die Elektronik

Manche fürchten jeglichen Kontakt mit der Hardware. Sie sollten aber keine Angst vor der Elektronik haben, es sei denn, es handelt sich um 230-V-Netzspannung. Auch Profis haben schon reihenweise elektronische Bauelemente zur Strecke gebracht<sup>1</sup>. In diesem Kapitel erhalten Sie auch keine umfassende Einführung in die Elektronik, sondern nur eine kleine Auffrischung Ihres Wissens mit Fokus auf die Anwendung der Bauteile beim Bauen von Interface-Schaltungen. Es geht an dieser Stelle nur um ein grundlegendes Minimalwissen. Wenn Sie mehr lernen wollen, schnappen Sie sich eines der im Anhang genannten Fachbücher. Auch die Website des Elektronik-Kompodiums hilft Wissenslücken zu füllen, ebenso die Wikipedia-Seiten.

In diesem Kapitel werden auch einige Eigenschaften von Digitalschaltungen und einfache Interface-Schaltungen besprochen, auf deren Grundlage dann in den späteren Kapiteln aufgebaut wird – wenn es beispielsweise um die Auswertung von Sensordaten oder das Ansteuern von Relais und Motoren geht.

Beginnen werde ich mit den passiven Bauelementen und Transistoren. Danach geht es um die Eigenschaften der Digitalschaltkreise. Anschließend behandle ich erste, ganz einfache Interface-Schaltungen und die Stromversorgung externer Schaltungen.

1. **Widerstände:** Werte sind in  $\Omega$  angegeben,  $1\text{ k}\Omega = 1000\ \Omega$ . Widerstände dienen der Begrenzung von Strömen, zum Vernichten von Spannungen und zur Erzeugung von Wärme. Ist die Wärmeerzeugung nur ein unbeabsichtigter Nebeneffekt, spricht man von Verlustleistung, die abgeführt werden muss. Verlustleistung = Spannung mal Strom ( $P = U * I$ ). Der Spannungsabfall am Widerstand = Strom mal Widerstand ( $U = I * R$ , Ohmsches Gesetz).

Bei der Verwendung und Bestellung von Widerständen ist auch deren Verlustleistung von Interesse, d. h. die maximale Wärmeableitfähigkeit bei Zimmertemperatur, bis der Widerstand aufbrennt. Fängt ein eingebauter Widerstand zu rauchen an oder verbreitet sich ein typischer Lackgeruch, so ist ein Widerstand falsch dimensioniert, die Schaltung (Anordnung) falsch verdrahtet (zusammengefügt), oder ein Halbleiter (Diode, Transistor) hat einen Kurzschluss. Nur ruhig, das sind Ausnahmefälle. Wenn Sie Widerstände kaufen, dann müssen Sie diese auch unterscheiden können. Ist der Widerstandswert nicht aufgedruckt, so gilt folgender Farbcode, der auch bei Kondensatoren und mehradrigen Kabeln zur Nummerierung häufig verwendet wird. Die ersten beiden Farben bezeichnen den Wert, die dritte den Faktor  $10^{\text{Wert}}$ . Der vierte Ring bezeichnet die Toleranz (silber = 10%, gold = 5%). Beispiel: gelb-lila-rot =  $4700\ \Omega$ :

Widerstände (und auch Kondensatoren etc.) gibt es nicht in jedem beliebigen Wert zu kaufen. Für unsere Zwecke reicht die E12-Reihe, die so heißt, weil sie innerhalb einer Dekade zwölf Werte aufweist. Die Werte sind so gewählt, dass bei der üblichen Toleranz von zehn Prozent gerade noch keine Überschneidung der Toleranzbereiche zweier benachbarter Werte auftritt:

1 1.2 1.5 1.8 2.0 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2

---

<sup>1</sup>Und mal ehrlich – macht es was aus, wenn ein 5-Cent-Transistor in Gras beißt?

**Tabelle 1.1:** Beispiel einer Wertetabelle

Wert	Farbe	Wert	Farbe
0	schwarz	5	grün
1	braun	6	blau
2	rot	7	lila
3	orange	8	grau
4	gelb	9	weiß

Lediglich bei Widerständen für Spannungsteiler, Messbrücken usw. müssen wir eine feinere Unterteilung verwenden. Das wird dann in der Schaltungsbeschreibung eigens angemerkt.

Potenzimeter sind Widerstände mit einem verstellbaren Abgriff. Meist verwendet man eine kreisförmige Widerstandsbahn und einen Schleifer aus Metall oder Graphit. Man setzt sie z. B. als Lautstärkeregeler ein. Jedes Poti stellt einen variablen Spannungsteiler dar. Potenziometer ohne Achse, die sich mit einem Schraubendreher verstellen lassen, bezeichnet man auch als Trimmer.

2. **Kondensatoren** dienen der Speicherung von Ladungen. Ihre Werte werden in Picofarad (pF,  $10^{-12}$  F), Nanofarad (nF,  $10^{-9}$  F) oder in Mikروفarad ( $\mu$ F,  $10^{-6}$  F) angegeben. Sie geben die Kapazität (Fassungsvermögen an Ladung) für einen Kondensator an. Daneben ist die zulässige Betriebsspannung (Durchschlagspannung) bzw. die maximale Sperrspannung mit angegeben. Bei maximal 24 V Betriebsspannung in unseren Anwendungen gibt es kaum Probleme, nur wenige Kondensatortypen haben eine Sperrspannung kleiner als 50 V.

Kondensatoren dienen auch der Ankopplung von Impulsen (plötzliche Spannungsänderungen) oder zum kurzzeitigen Speichern von Spannung (Ladungsmengen). Sie lassen keine Gleichspannung bzw. Gleichstrom durch, weil sie eine Isolierschicht besitzen, aber Wechselspannungen (Signale, Impulse) können weitergegeben werden; dabei wird mit höherer Frequenz das Übertragen besser. Der scheinbare Innenwiderstand (Scheinwiderstand) bei Wechselstrom ist zur Frequenz umgekehrt proportional:

$$Z = \frac{1}{2 * \pi * C * f} \quad (1.1)$$

Kondensatoren erhält man in verschiedenen Bauformen, die sich hauptsächlich in der verwendeten Isolationsschicht (Dielektrikum) unterscheiden. Keramische Kondensatoren werden mit Kapazitäten von ca. 1 pF bis 100 nF hergestellt. Folienkondensatoren bis ca. 10  $\mu$ F verwenden Kunststofffolien und können Spannungen bis zu einigen Kilovolt aushalten.

Bei der Wertangabe findet man verschiedene Formen der Bezeichnung. So kann ein Kondensator von 10 nF mit dem Wert „10 nF“ bedruckt sein, aber auch mit „0,01  $\mu$ F“ oder, bei Folienkondensatoren mit „103“. Hier ist die Angabe in pF, wobei die ersten beiden Ziffern den Wert darstellen und die dritte Ziffer die Anzahl der noch hinzuzufügenden Nullen (also 10 000 pF). Schliesslich gibt es auch bei Kondensatoren noch einen Farbcodeaufdruck.

Drehkondensatoren und Kondensator-Trimmer können in ihrer Kapazität verändert werden. Durch Drehen der Achse verändert man die Fläche der sich gegenüberstehenden Kondensatorplatten.

3. **Elektrolytkondensatoren** sind Kondensatoren mit größeren Kapazitätswerten, typische Werte sind 0,5 ... 10 000  $\mu$ F. Die Sperrspannung muss hier beachtet werden. Sie liegt mit 6 V, 10 V, 16 V, 25 V oder 35 V manchmal sehr niedrig, darf nicht überschritten werden und muss etwas höher als notwendig gewählt werden. Elektrolytkondensatoren (Elkos genannt) sind gepolt und dürfen nicht falsch herum betrieben werden, sonst explodieren sie oder lassen „Dampf“ ab. Sie dienen zum Speichern von größeren elektrischen Ladungen, dem Aussieben von Wechselspannungen (Brummspannungen) und zum Ankoppeln langsamer Spannungssprünge. Die perlenförmigen Tantal-Elkos erlauben kleinere Bauformen und sind für unsere Schaltungen fast immer geeignet. Noch höhere Kapazitäten bei noch kleinerer Bauform haben die sogenannten Gold-Caps.
4. **Dioden und Gleichrichter** sind Halbleiter, gewöhnlich aus Silizium, und dürfen nicht heißer als 150 Grad werden (in der Sperrschicht). Dioden lassen nur Ströme und Spannungen in eine Richtung, in Pfeilrichtung des Schatzeichens durch (Durchlassrichtung). In umgekehrter Richtung

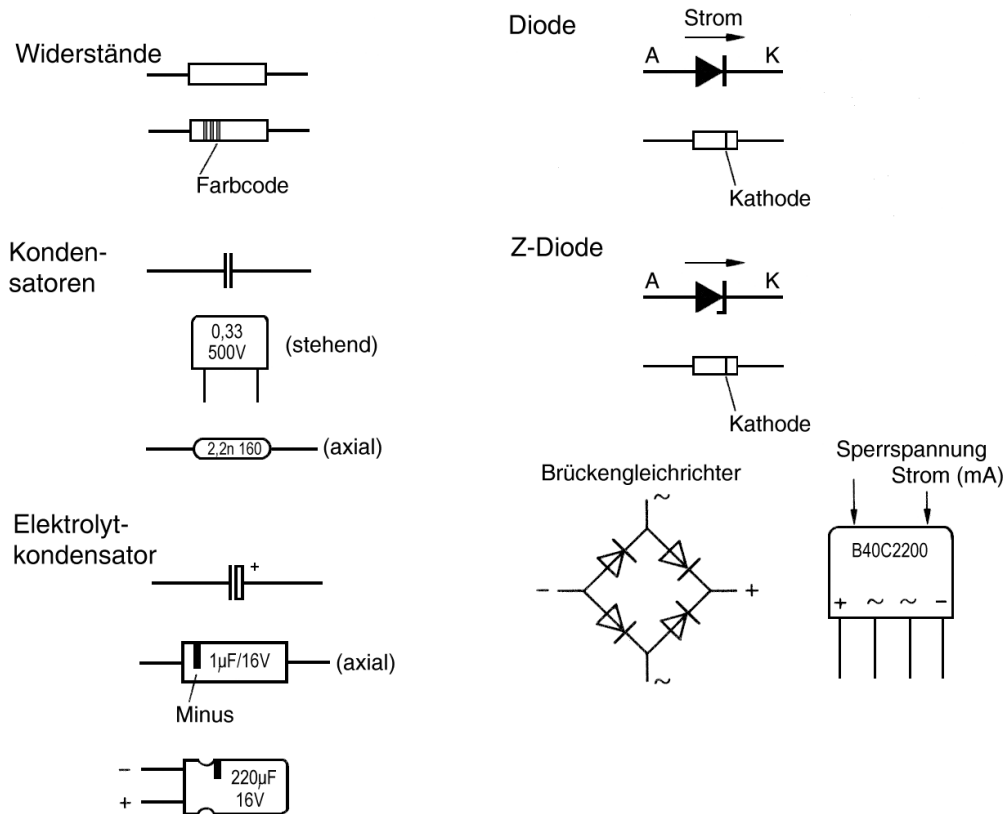


Bild 1.1: Elektronische Bauelemente (Aussehen und Schaltzeichen)

sperrten sie bis zur Höhe der maximalen Sperrspannung, bei noch höherer Spannung gehen sie kaputt. Auch die maximal möglichen Ströme sind unbedingt einzuhalten, Gleichrichter und Dioden (ebenso Transistoren) dürfen nur mit strombegrenzenden Widerständen in Reihe an eine Speisepannung gelegt werden.

- Z-Dioden** sind Dioden mit einer Durchlassspannung von ca. 0,7 V, die aber in diesem Fall nicht besonders interessiert. In Sperrrichtung betrieben, gibt es eine Durchbruch-Spannung, die Z-Spannung (der Strom fließt gegen Pfeilrichtung), welche über einen größeren Strombereich nahezu konstant bleibt. Z-Dioden werden zum Erzeugen einer lastunabhängigen Spannung (Referenzspannung) verwendet. Auch Z-Dioden dürfen nicht ohne strombegrenzenden Widerstand betrieben werden, sonst wird die Sperrschicht zu heiß.
- Leuchtdioden:** Diese Dioden werden aus bestimmten Halbleitermaterialien hergestellt, die bei Stromfluss durch die Leuchtdiode (LED, light emitting diode) an der Sperrschicht Licht abstrahlen. Je nach Material können die Farben Rot, Gelb, Grün, Blau sowie Infrarot und Ultraviolett erzeugt werden. Die Kathode der LED wird durch eine Abflachung am Gehäuse und durch einen kürzeren Anschlussdraht gekennzeichnet (Merkregel „kurz“ = „Kathode“). Sie werden für vielfältige Aufgaben eingesetzt, beispielsweise als Anzeige- oder Kontrollleuchte, aber auch innerhalb sogenannter Optokoppler. Bei diesen ist in geringem Abstand zur LED ein Fotohalbleiter angebracht, der durchschaltet, wenn die LED leuchtet. Auf diese Weise kann eine galvanische Trennung zwischen zwei Schaltungen erreicht werden.

In der Regel muss der Strom durch eine LED begrenzt werden. Dies geschieht normalerweise durch einen passenden Vorwiderstand. Leuchtdioden haben je nach Farbe eine unterschiedliche Durchlass-Spannung  $U_d$ , was bei der Berechnung der Vorwiderstandes eine Rolle spielt (siehe Tabelle 1.2). Der Vorwiderstand berechnet sich bei einer Betriebsspannung von  $U_c$  als

$$R = \frac{U_c - U_d}{I_{LED}} \quad (1.2)$$

Korrekterweise müsste man noch die Kollektor-Emitter-Spannung des schaltenden Transistors abziehen. Da man für den Vorwiderstand aber meist den am nächsten gelegenen Wert der E12-Reihe verwendet, ist das nicht nötig. Werden mehrere LEDs hintereinander geschaltet, addieren sich natürlich auch die Durchlass-Spannungen.

Tabelle 1.2: Durchlass-Spannungen verschiedener LEDs

infrarot	1,5 V	rot	1,6 V	gelb	2,2 V
grün	2,1 V	blau/uv	2,9 V	weiß	4,0 V

Für eine Betriebsspannung von beispielsweise 5 V und einem LED-Strom von 20 mA ist bei einer roten LED ein Widerstand von 170  $\Omega$  nötig, bei einer blauen LED nur 105  $\Omega$ .

7. **Transistoren** dienen der Verstärkung von Gleichströmen und Wechselströmen (Signalen). Zusammen mit Widerständen können sie auch Spannungen verstärken. Die drei Anschlüsse des Transistors werden mit B = Basis (für den Steuerstrom), C = Kollektor (für den verstärkten Strom) und E = Emitter (Steuerstrom und verstärkter Strom) benannt.

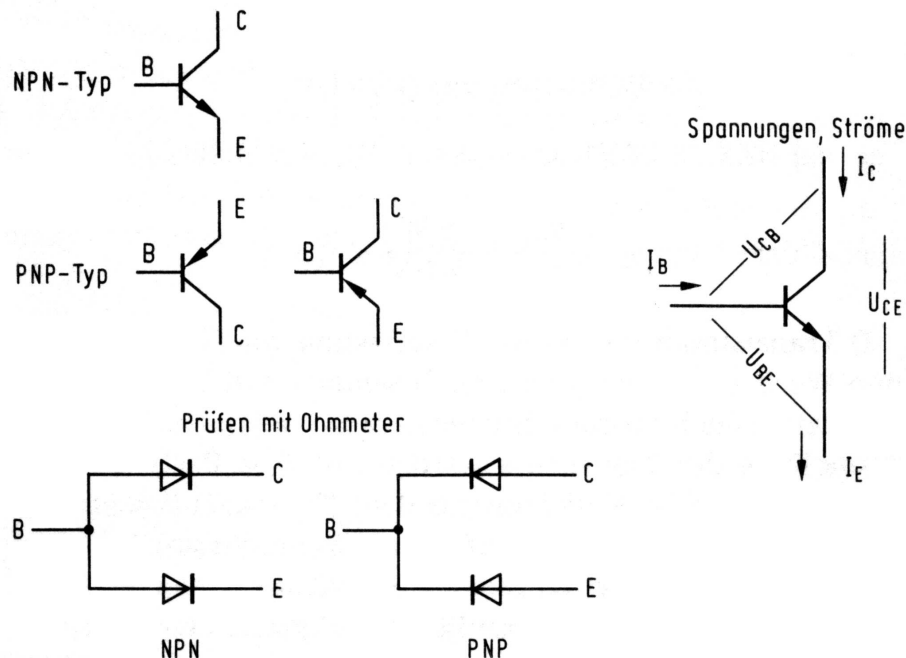


Bild 1.2: Schaltzeichen und Ersatzdarstellung des Transistors

Grundsätzlich gibt es NPN- und PNP-Transistoren, die sich durch die Polarität der Einzeldioden unterscheiden (Bild 1.2). Die Betrachtung eines Transistors als Gebilde aus zwei Dioden (Abbildung 1.2) kommt uns entgegen, wenn man Transistoren mit einem Ohmmeter prüfen will. Auch hier dürfen die einzelnen Dioden nicht ohne strombegrenzende Widerstände an einer Spannungsquelle betrieben werden. Zwischen B und E fließt der Basisstrom (Steuerstrom) in Pfeilrichtung, zwischen C und E fließt der Kollektorstrom in Pfeilrichtung der Emitterdiode und gegen die Pfeilrichtung der gedachten Kollektordiode (Sperrschichtbetrieb). Ein NPN-Transistor beginnt durchzuschalten, wenn die Basisspannung ca. 0,7 V höher ist als die Emitterspannung, wobei der Stromfluss am Kollektor wesentlich größer als der Basisstrom ist (Stromverstärkungsfaktor des Transistors mal Basisstrom). Bei Anwendung als Schalter muss dafür gesorgt werden, dass der Transistor entweder komplett sperrt oder voll durchschaltet. Der lineare Teil der Kennlinie, der bei analogen Anwendungen eine Rolle spielt, ist für uns uninteressant. Der Basisstrom darf aber auch nicht zu groß werden, sonst nimmt der Transistor Schaden. Deshalb werden Sie in den Schaltungen fast immer einen strombegrenzenden Basiswiderstand finden.

Die Spannungen zwischen den Anschlüssen des Transistors werden durch Indizes angegeben, z. B. Spannung zwischen Kollektor und Emitter mit  $U_{CE}$  oder zwischen Emitter und Basis mit  $U_{EB}$ . Die



- L = Leistungs-Hochfrequenztransistoren
- S = Kleinleistungs-Schalttypen
- U = Leistungs-Schalttransistoren

Nach der Typenbezeichnung wird oft auch noch ein Buchstabe oder eine Zahl angehängt. Diese gibt an, welchen Verstärkungsfaktor der entsprechende Typ besitzt. Bei Buchstaben stehen die Werte im entsprechenden Datenblatt. Bei Zahlenangaben ergibt die Zahl mit zehn multipliziert den Verstärkungsfaktor.

8. Für den Einsatz in der Digitaltechnik ist vor allem die Verwendung des Transistors als Schalter interessant. Sehr vereinfacht gesagt, lässt sich mit einem kleinen Strom an der Basis, ein größerer Strom an der Kollektor-Emmitter-Strecke schalten (Bild 1.4).

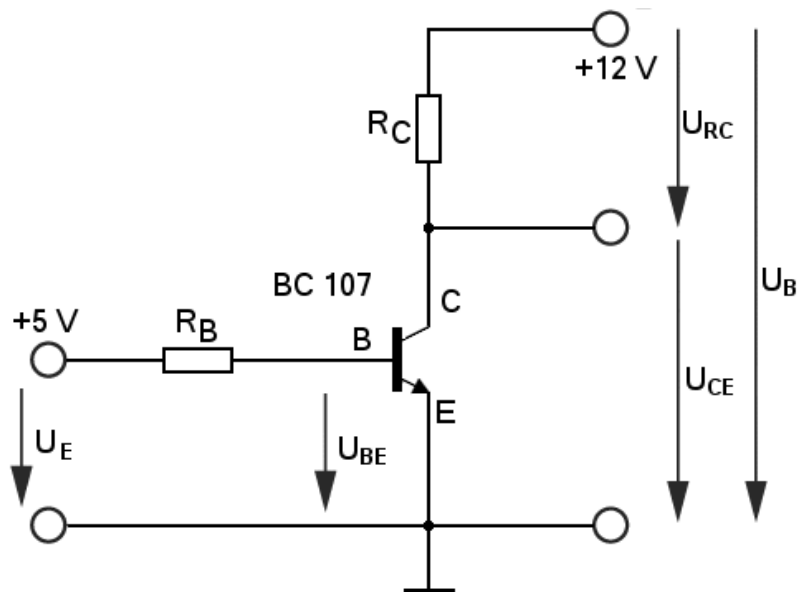


Bild 1.4: Transistor als Schalter

**Berechnung des Basiswiderstandes  $R_B$ :** Dazu benötigen wir folgende Größen aus dem Datenblatt des Transistors:

- Stromverstärkung in Sättigung
- Benötigter Strom des Verbrauchers
- Spannungsfall an der Basis-Emmitter-Strecke

Den benötigten Basisstrom ( $I_B$ ) berechnet man durch dividieren des Verbraucherstroms ( $I_C$ ) durch den Stromverstärkungsfaktor ( $I_B = I_C/h_{fe}$ ). Beträgt z. B. der Kollektorstrom 100 mA, ergibt sich beim Transistor BC 107 ( $h_{fe}$  ist typisch 120 – siehe Bild 1.5) ca. 8 mA.

$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emmitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}$ $I_C = 100 \text{ mA}$	$I_B = 0.5 \text{ mA}$ $I_B = 5 \text{ mA}$		70 200	250 600	mV mV
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emmitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}$ $I_C = 100 \text{ mA}$	$I_B = 0.5 \text{ mA}$ $I_B = 5 \text{ mA}$		750 950		mV mV
$V_{BE(on)}^*$	Base-Emmitter On Voltage	$I_C = 2 \text{ mA}$ $I_C = 10 \text{ mA}$	$V_{CE} = 5 \text{ V}$ $V_{CE} = 5 \text{ V}$	550	650 700	700 770	mV mV
$h_{FE}^*$	DC Current Gain	$I_C = 2 \text{ mA}$ for BC107 for BC107B $I_C = 10 \mu\text{A}$ for BC107 for BC107B	$V_{CE} = 5 \text{ V}$ $V_{CE} = 5 \text{ V}$	110 200 40		450 450	

Bild 1.5: Ausschnitt des Datenblatts BC107

Der Basiswiderstand ( $R_B$ ) lässt sich einfach mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes berechnen. Dazu wird von der Schaltspannung an der Basis ( $U_E$ ) der Spannungsfall der Basis-Emitter-Strecke ( $U_{BE}$ ) abgezogen und durch den Basisstrom ( $I_b$ ) dividiert:  $R_B = (U_E - U_{BE})/I_b$ . Beim Beispiel von oben ergibt sich dann  $R_B = (5 - 0,7)/0,008 = 537,5 \Omega$ . Es wird dann der nächstgelegene Standardwert verwendet, z. B.  $560 \Omega$ .

9. **Thyristoren** sind Halbleiter mit Schaltercharakteristik. Sie besitzen drei Anschlüsse – Anode, Kathode und Gate (Zündelektrode) – und haben drei pn-Übergänge in der Folge pnpn (also einen mehr als der Transistor). Thyristoren werden mit positiver Anodenspannung betrieben und sperren im Ruhezustand. In Durchlassrichtung sperrt er dabei bis zu einer Durchbruchspannung. In Durchlassrichtung kann er durch einen positiven Stromimpuls am Gate in einen leitenden Zustand geschaltet werden. In Sperrrichtung sperrt er den Strom wie eine normale Diode. Es gibt mehrere Möglichkeiten der Zündung: über einen Steuerstrom (positiver Strom oder Stromimpuls am Gate) oder über Licht (Fotothyristor). Daneben gibt es noch unerwünschte Möglichkeiten, das Überschreiten der Nullkippspannung (Überkopfzündung bzw. Breakover), das Überschreiten der zulässigen Spannungsanstiegsgeschwindigkeit oder zu hohe Temperatur.

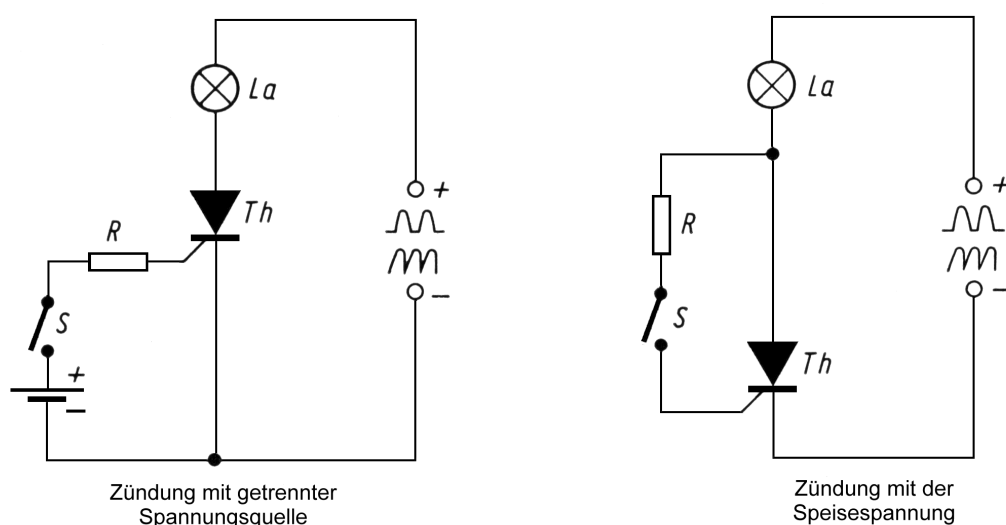


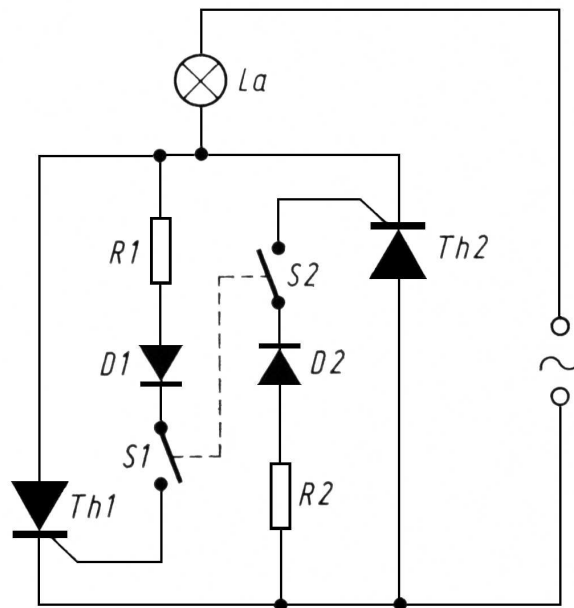
Bild 1.6: Thyristor-Betrieb an pulsierender Gleichspannung

Praktisch wird der Thyristor als steuerbare Diode eingesetzt. Durch Strominjektion in die dritte Schicht (Ansteuerung am Gate) kann der Thyristor gezündet (leitfähig geschaltet) werden. Voraussetzung dafür sind eine positive Spannung zwischen Anode und Kathode sowie ein Mindeststrom durch die mittlere Sperrschicht. Gelöscht (in den Sperrzustand versetzt) wird der Thyristor durch Unterschreiten des Haltestroms, normalerweise durch Abschalten oder Umpolen der Spannung im Laststromkreis.

Betrieibt man den Thyristor mit Wechselspannung, kann er nur bei der positiven Halbwelle zünden. Der Verbraucher ist nur eingeschaltet, wenn eine positive Gatespannung vorliegt und nur während der positiven Halbwelle. Bei der negativen Halbwelle sperrt der Thyristor, und die Schaltung löscht automatisch (Bild 1.6).

Thyristoren werden für große Ströme bis über 100 Megaampere gebaut. Problematisch ist die Stromdichte in der Gateschicht beim Zündvorgang. Beim Injizieren der Elektronen wird die Schicht an der Eintrittsstelle leitend. Bis die gesamte Siliziumfläche leitend ist, konzentriert sich der Strom auf den schon leitenden Bereich, in dem die gesamte Verlustleistung umgesetzt wird. Deshalb ist es besonders wichtig, dass der Zündstrom möglichst steil ansteigt. Übliche Thyristoren haben eine obere Grenzfrequenz von ca. 200 Hz.

Man kann durch Verwenden eines Gleichrichters beide Halbwellen nutzen, das automatische Löschen nach jeder Halbwelle bleibt erhalten. Thyristoren eignen sich vorzüglich zum Schalten von Wechselspannungen. Eine Weiterentwicklung ist der **Triac**, der einen Vollwegbetrieb erlaubt (wie zwei antiparallel geschaltete Thyristoren, siehe Bild 1.7). Oft reicht aber auch die Kombination eines Thyristors wie in Bild 1.6 und eines Brückengleichrichters, um Wechselstromverbraucher zu schalten. Für alle unsere Anwendungsfälle ist der Typ TIC 106 brauchbar.



**Bild 1.7:** Wechselspannungs-Vollwegbetrieb mit zwei Thyristoren

Neben den Standardtypen gibt es noch spezielle Dioden, Transistoren und andere Halbleiter (z. B. Fotodioden und -transistoren, Sensoren etc.), auf die hier nicht eingegangen wird.

# 2

## Spannungsversorgung der Schaltungen

### 2.1 Spannungsregler

Sowohl bei TTL als auch bei CMOS treten bei Schaltvorgängen Spitzen in der Stromaufnahme auf. Diese Lastspitzen sind steilflankig und bewegen sich zeitlich im Nanosekundenbereich. Unter solchen Verhältnissen stellen die Versorgungsleitungen zum einzelnen Gatter oder zu sonstigen Bausteinen bereits nennenswerte Induktivitäten dar – mit dem Resultat, dass die Versorgung des ICs kurzzeitig einbricht (Dip). Nach einigen Nanosekunden erfolgt ein Überschwingen in der Gegenrichtung (Spike). Beides kann zu Störungen im Ablauf des Schaltnetzes oder des Schaltwerks führen. Daher muss jedes IC mit einem Abblock-Kondensator versehen werden (20 bis 100 nF), der durch möglichst kurze Leitungen oder Leiterbahnen mit den beiden Versorgungsanschlüssen (+Vcc und Masse) verbunden ist. Es kann auch nicht schaden, für die gesamte Schaltung einen Elko mit 47 bis 100 µF vorzusehen.

Für fast alle Anwendungen wird eine stabilisierte Gleichspannung benötigt, für die meistens integrierte Festspannungsregler zum Einsatz gelangen. Sie enthalten eine interne Regelstufe für eine bestimmte Spannung (daher der Name). Zusätzlich haben sie eine interne Strombegrenzung, die bei Überlastung und Kurzschluss einsetzt. Bei einem Kurzschluss regelt der Festspannungsregler seine Ausgangsspannung automatisch herunter. Wird der Kurzschluss aufgehoben, stabilisiert sich die Ausgangsspannung wieder auf ihren festen Wert. Eine thermische Schutzschaltung verhindert die Zerstörung des Bausteins durch Überhitzung.

Die bekanntesten Festspannungsregler sind die 78xx-Serie für positive und die 79xx-Serie für negative Spannungen. Die Ausgangsspannungen dieser Bausteine können 5, 6, 8, 9, 12, 15, 18 oder 24 Volt betragen. Damit die Spannungsregler einwandfrei arbeiten, sollte die Eingangsspannung mindestens zwei bis drei Volt über der gewünschten Ausgangsspannung liegen. Die Eingangsspannung darf niemals mehr als 36 Volt betragen. Die Differenz der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung sollte jedoch nicht zu hoch sein, da sonst die Verlustleistung am Festspannungsregler zu groß wird (Wärmeentwicklung). Wenn zum Beispiel beim 1-A-Regler die Eingangsspannung 12 V und die Ausgangsspannung 5 V beträgt, müssen 7 W Verlustleistung über einen passenden Kühlkörper abgeführt werden. Als Faustregel für die Trafospaltung gilt: Ausgangsspannung +4 Volt. Die Kapazität des Lade-Elkos in µF kann man mit  $C = 4000 * \text{Ausgangsstrom}$  veranschlagen.

Die einzelnen Typen unterscheiden sich nicht nur durch die Ausgangsspannung, sondern auch durch ihren Maximalstrom. In Tabelle 2.1 ist die Stromentnahme bei ausreichender Kühlung durch einen passenden Kühlkörper angegeben. Ohne Kühlung ist nur etwa die Hälfte der Stromentnahme möglich (eher weniger). Das „xx“ bezeichnet den Wert der Ausgangsspannung in zwei Zahlen. „05“ steht demnach für 5 Volt, „15“ für 15 Volt.

Tabelle 2.1: Festspannungsregler

Bezeichnung	Stromentnahme
78Lxx	0,1 A
78Mxx	0,5 A
78xx	1 A
78Sxx	2 A
78Txx	3 A
78Hxx	5 A

Tipp

Normalerweise reicht für alle Schaltungen in diesem Buch ein Steckernetzteil mit maximal 1 A Ausgangsstrom. Es gibt im Handel recht kleine Schaltnetzteile mit einstellbarer, geregelter Spannung, die zwar etwas mehr kosten als entsprechende Varianten mit Trafo, dafür aber kleiner und leichter sind. Wenn zusätzliche Spannungen benötigt werden, können Sie diese mit Hilfe eines Spannungsreglers aus der Gleichspannung des Netzteils gewinnen.

In der Regel wird im Buch die 1-A-Version des Spannungsreglers im TO-220-Gehäuse verwendet (Bild 2.1), die Pinbelegung der anderen Varianten lassen sich den Datenblättern der Hersteller (z. B. National Semiconductor, siehe Links im Anhang) entnehmen. Lediglich dort, wo eine Referenzspannung benötigt wird und nur wenige Milliampere Strom fließen, wird die Variante im TO92-Gehäuse eingesetzt.

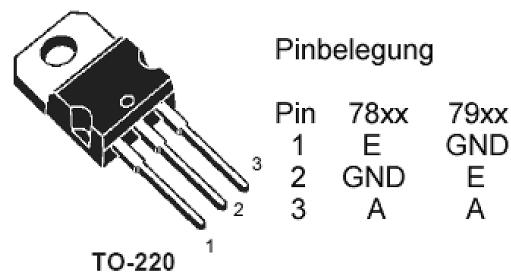


Bild 2.1: Pinbelegung von Festspannungsreglern

Einzig notwendige Beschaltung des Festspannungsreglers sind zwei Kondensatoren, die Regelschwingungen verhindern sollen. Jeweils am Eingang und am Ausgang müssen diese möglichst nahe am Baustein zwischen Eingang bzw. Ausgang und Masse liegen (Wert: 0,33 bis 1  $\mu\text{F}$ ). Bild 2.2 zeigt eine typische Schaltung. Vor dieser Schaltung befindet sich die Gleichrichterschaltung mit Ladekondensator. Als Block- und Lade-Elektrolytkondensatoren sollten Standard-Typen verwendet werden. Wenn es unbedingt Tantal-Elkos sein müssen, ist auf gute Spannungs- und Schaltfestigkeit zu achten.

Bild 2.2 zeigt außerdem die Version eines dreibeinigen einstellbaren Spannungsreglers. Die Ausgangsspannung wird mit R1 und R2 dimensioniert. Sie ergibt sich zu

$$U_a = 1.25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.1)$$

Die Diode D1, welche zwischen Ein- und Ausgang in Sperrichtung geschaltet ist, schützt den Baustein. Wird die Ausgangsspannung größer als die Eingangsspannung (etwa durch Entladen von Schaltungskapazitäten über den Regler nach dem Abschalten der Versorgungsspannung), gibt es einen Kurzschluss im Spannungsregler. Gleichzeitig gelangt auch die unregulierte Versorgungsspannung an den Rest der Schaltung. Die Diode verhindert diesen GAU.

Für die hier verwendeten Spannungsregler gilt eine minimale Stromlast, ohne die der interne Regler des Chips nicht immer einwandfrei arbeitet. Als typische Minimallast gilt 5, besser 10 mA. Bei den Lowpower-Versionen ist der Minimalstrom noch geringer, dafür liefern sie aber auch weniger Maximalstrom. Gegebenenfalls hilft ein Blick in die Datenblätter.

Neben den typischen Festspannungsreglern werden verschiedene Low-Drop-Typen angeboten, bei denen die Eingangsspannung nur knapp 1 Volt höher als die gewünschte Ausgangsspannung sein

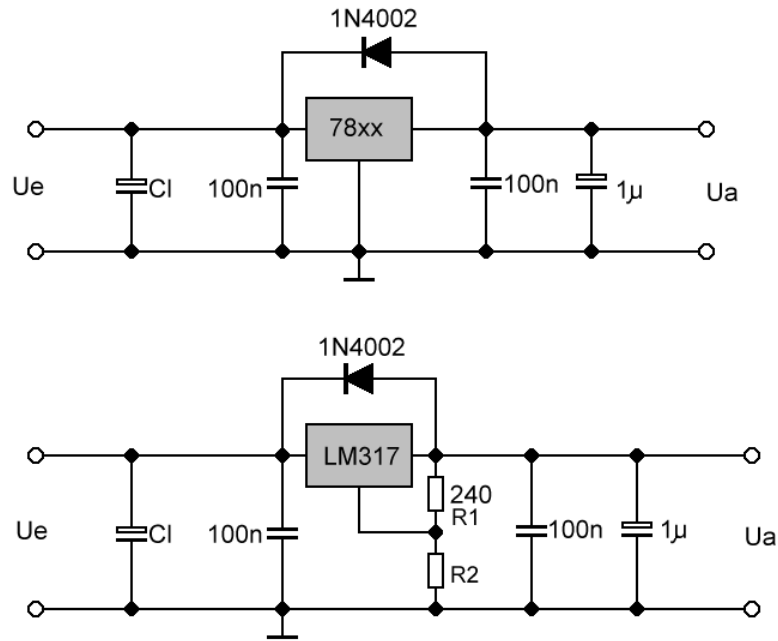


Bild 2.2: Beschaltung von Festspannungsreglern

muss (beim 78xx sind es ca. 3 Volt). Bei höherem Strombedarf könnte man einen Schaltregler einsetzen, dessen Verlustbilanz wesentlich besser aussieht. Den LM 2576 von National Semiconductor gibt es beispielsweise für 3,3 V, 5 V, 12 V oder 15 V. Er liefert einen Ausgangsstrom von bis zu drei Ampere.

## 2.2 Netzteilauslegung

Normalerweise sind Transformator und Ladekondensator beim Steckernetzteil auf die maximal zu entnehmende Leistung abgestimmt. Für diejenigen, die das Netzteil komplett selbst bauen wollen, hier ein paar Tipps. Bild 2.3 zeigt die Schaltung von Ladeelko und Gleichrichter.

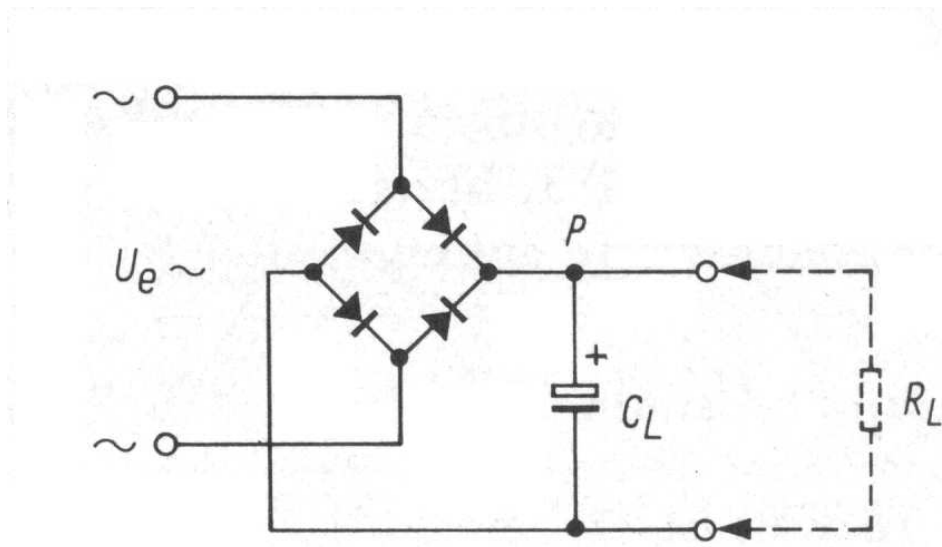


Bild 2.3: Trafo und Ladeelko

Zur Ermittlung der maximal erlaubten Leerlaufspannung des Transformators für eine Eingangsspannung des Reglers  $U_b$  geht man von folgender Beziehung aus:

$$U_0 = \frac{U_b + 1,5}{\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

Der Ladeelko sollte so dimensioniert werden, dass Amplitude der Brummspannung am Ladekondensator  $C_l$  möglichst klein bleibt. Seine Kapazität hängt von der Ausgangsspannung und dem Ausgangsstrom ab. Bei steigendem Strom steigt auch die Amplitude der Brummspannung (die man ja möglichst niedrig haben will). Die (Näherungs-)Formel für die Berechnung der Brummspannung lautet:

$$U_{bss} = \frac{0,75 * I_a}{f * C_l} \quad (2.3)$$

$U_{bss}$  = Amplitude der Brummspannung,

$I_a$  = max. Ausgangsstrom,

$f$  = Frequenz der Brummspannung (bei Zweiweggleichrichtung 100 Hz)

Alle Angaben in der Grundeinheit (also Farad und Ampere) vornehmen. Bild 2.4 zeigt den Verlauf der Spannung am Ladeelko bei Belastung.

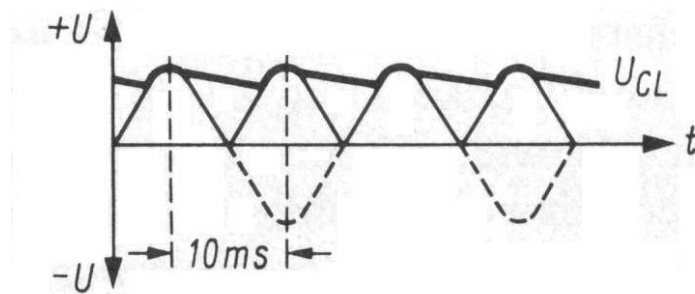


Bild 2.4: Spannungsverlauf am Ladeelko

Beispiel: 3300 Mikrofarad, 9 Volt, 1 Ampere

$$U_{bss} = (0,75 * 1) / (100 * 0,0033) = 0,75 / 0,33 = ca. 2,3V$$

Beispiel: 4700 Mikrofarad, 9 Volt, 1 Ampere

$$U_{bss} = (0,75 * 1) / (100 * 0,0047) = 0,75 / 0,47 = ca. 1,6V$$

Die Brummspannung muss so gering sein, dass der Regler immer noch genügend „Luft“ zum Ausregeln seiner Ausgangsspannung hat. Da beim Spannungsregler die Eingangsspannung immer 2 – 3 Volt über der Ausgangsspannung legen sollte, wäre für einen 5-V-Regler der größere Kondensator die bessere Wahl. Eine weitere Vergrößerung von  $C_l$  würde aber nur noch die Verlustleistung im Regler erhöhen.

Günstiger sieht die Energiebilanz mit einem Abwärtswandler aus, allerdings ist hier der Schaltungsaufwand größer.

## 2.3 Abwärtswandler

Der Abwärtswandler (Tiefsetzsteller, engl. Buck-Converter, Step-Down-Converter) ist ein Gleichspannungswandler, bei dem der Betrag der Ausgangsspannung  $U_a$  stets kleiner als der Betrag der Eingangsspannung  $U_e$  ist. Auch ist der Ausgangsstrom eines Abwärtswandlers stets höher als dessen mittlerer Eingangsstrom ist. Jeweils für kurze Zeit fließt jedoch am Eingang ein Strom, der sogar noch etwas höher als der mittlere Ausgangsstrom ist. Deshalb muss besonders bei Abwärtswandlern mit großem Unterschied zwischen Ein- und Ausgangsspannung eingangsseitig ein Stützkondensator mit

besonders geringem äquivalentem Serienwiderstand (engl. low ESR) eingesetzt werden, um externe Leistungsverluste und Störungen der Speisespannung zu vermeiden. Die Schaltung muss entweder genau an die Last angepasst werden oder der Halbleiterschalter über einen Regelkreis angesteuert werden, um die Spannung an der Last zu regeln.

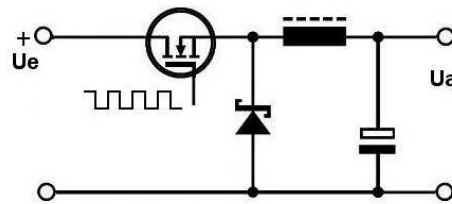


Bild 2.5: Prinzip des Buck-Converters

Für die Funktion der Schaltung in Bild 2.5 ist entscheidend, dass der Strom durch eine Spule beim Einschalten gleichmäßig zunimmt. Während der Einschaltphase wirkt die Spule als magnetischer Speicher, der geladen wird. Die Spulenspannung ( $U_e - U_a$ ) ist näherungsweise konstant, die Diode sperrt. In der darauffolgenden Ausschaltphase liegt die Ausgangsspannung an der Induktivität an. Der Ausgangsstrom nimmt kontinuierlich ab, da die Polarität der Spulenspannung nun gewechselt hat. Danach wiederholt sich der gesamte Vorgang. Durch die Wahl des Verhältnisses von Ein- und Ausschaltzeit kann die Ausgangsspannung eingestellt werden. Abwärtswandler (und ebenso Aufwärtswandler) sind insofern bemerkenswert, da sie Spannungen transformieren können, ohne dass dafür ein technischer Transformator benötigt wird.

Bei allen Schaltreglern fließt am Eingang ohne zusätzliche Maßnahmen ein rechteckförmiger, gepulster Strom. Zusätzliche Stromspitzen entstehen beim Umladen parasitärer Kapazitäten am Schaltknoten. Am Eingang muss die Rückwirkungen auf die Eingangsspannung verringert werden. Das bedeutet, dass direkt am Eingang des Schaltreglers ein Kondensator mit geringem ESR notwendig ist, um die Pulsströme direkt an der Quelle zu puffern. Die Stromzuführung wird über eine breitbandige Entstördrossel sichergestellt. Grundsätzlich sollten die gepulsten Ströme nur in einem möglichst kleinen Bereich innerhalb des Schaltreglers fließen. Die Speicherdrossel sollte neben einem geringen Innenwiderstand (ESR) auch ein gutes HF-Verhalten aufweisen.

Der gesamte Bereich des DC/DC-Wandlers sollte auf der Platine als Insel ausgeführt werden. Auch die Anbindung der Masse an die restliche Schaltung sollte nur an einem einzigen Punkt erfolgen, um die gepulsten Ströme des Wandlers von der Umgebung abzuschirmen. Normalerweise sind die Verbindungen im Leistungsbereich so kurz und breit wie möglich auszuführen. Insbesondere sollte die Fläche, die durch das von Eingangskondensator, MOSFET und Catchdiode Dreieck gebildet wird, minimiert werden. Wichtig ist auch die Anbindung des Ausgangskondensators. Auch darf die Ausgangsspannung nicht an der Drossel, sondern erst hinter dem Kondensator abgegriffen werden. Alle Masseverbindung sollten ebenfalls möglichst kurz und breit sein.

Weiterführende Informationen:

[http://www.joretronik.de/Web\\_NT\\_Buch/Vorwort/Vorwort.html](http://www.joretronik.de/Web_NT_Buch/Vorwort/Vorwort.html)

<http://schmidt-walter.eit.h-da.de/smps/smps.html>

Für Buck-Converter gibt es zahllose Schaltungen und Bausteine, die meist für die Stromerzeugung von LEDs gedacht sind. Die Schaltung in Bild 2.6 versteht sich als Beispiel, stellvertretend für viele andere. Der Wandler setzt die Eingangsspannung (Gleich- oder Wechselspannung) auf die gewünschte Gleichspannung herunter. Über das Trimpotentiometer Tr1 wird die Ausgangsspannung eingestellt; sie kann zwischen 1,5 V und 22 V legen (bei 24 V Eingangsspannung). Mit dem Jumper J1 kann der Wandler leistungslos ein- und ausgeschaltet werden, dazu wird nur ein potentialfreier Schalter benötigt. Der Ausgangsstrom kann bis zu 2 A betragen, der Eingangsstrom ist ca. 10 höher.

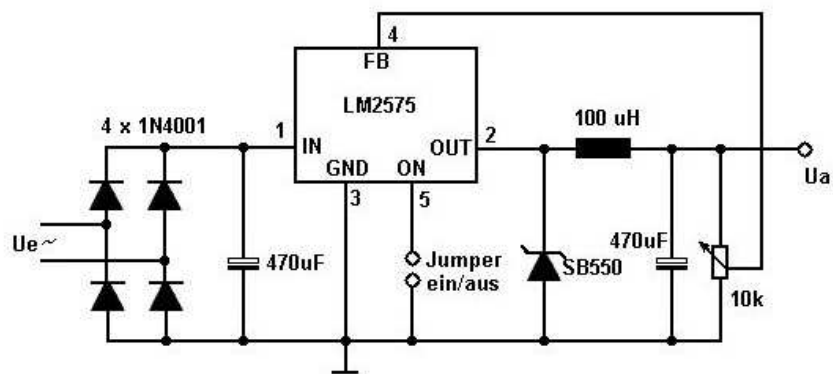


Bild 2.6: Beispiel eines Buck-Converters

## Schaltungsaufbau

### 3.1 Löten

Wenn Sie im Löten noch nicht so geübt sind, lesen Sie bitte zuerst diese Lötanleitung, bevor Sie zum LötKolben greifen. Denn Löten will gelernt sein.

- Verwenden Sie beim Löten von elektronischen Schaltungen grundsätzlich nie Lötwater oder Löt fett. Diese enthalten eine Säure, die Bauteile und Leiterbahnen zerstört.
- Als Lötmaterial darf nur Elektronikzinn (Zinn-Silber-Legierung) mit einer Kolophoniumseele verwendet werden, die zugleich als Flussmittel dient.
- Verwenden Sie einen kleinen LötKolben mit max. 30 Watt Heizleistung. Die Lötspitze sollte zunderfrei sein, damit die Wärme gut abgeleitet werden kann. Das heißt: Die Wärme des LötKolbens muss gut an die zu lötende Stelle geleitet werden.
- Die Lötung selbst muss zügig vorgenommen werden, denn durch zu langes Löten werden Bauteile zerstört. Zum Löten wird die gut verzinnete Lötspitze so auf die Lötstelle gehalten, dass zugleich Bauteildraht und Leiterbahn berührt werden.

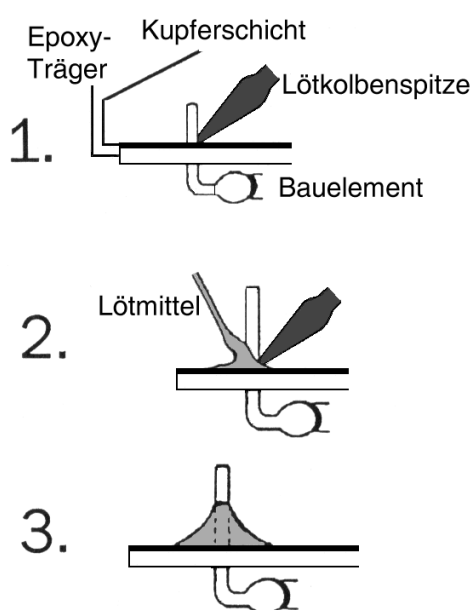


Bild 3.1: Richtig löten

- Gleichzeitig wird (nicht zuviel) Lötzinn zugeführt, das mit aufgeheizt wird. Sobald das Lötzinn zu fließen beginnt, nehmen Sie es von der Lötstelle fort. Dann warten Sie noch einen Augenblick, bis das zurückgebliebene Lot gut verlaufen ist, und nehmen dann den LötKolben von der Lötstelle ab.
- Das soeben gelötete Bauteil darf ca. drei bis fünf Sekunden, nachdem Sie den Kolben abgenommen haben, nicht bewegt werden. Zurück bleibt dann eine silbrig glänzende, einwandfreie Lötstelle.
- Voraussetzung für eine einwandfreie Lötstelle und gutes Löten ist eine saubere, nicht oxydierte Lötspitze. Denn mit einer schmutzigen Lötspitze ist es absolut unmöglich, sauber zu löten. Nehmen Sie daher nach jedem Löten überflüssiges Lötzinn und Schmutz mit einem feuchten Schwamm ab.
- Nach dem Löten werden die Anschlussdrähte direkt über der Lötstelle mit einem Seitenschneider abgeschnitten.
- Beim Einlöten von Halbleitern, LEDs und ICs ist besonders darauf zu achten, dass die maximale Lötzeit nicht mehr als ca. fünf Sekunden beträgt, da sonst das Bauteil zerstört wird. Ebenso ist bei diesen Bauteilen auf richtige Polung zu achten.
- Nach dem Bestücken kontrollieren Sie grundsätzlich jede Schaltung noch einmal darauf hin, ob alle Bauteile richtig eingesetzt und gepolt sind. Prüfen Sie auch, ob nicht versehentlich Anschlüsse oder Leiterbahnen mit Zinn überbrückt wurden. Das kann nicht nur zur Fehlfunktion, sondern auch zur Zerstörung von teuren Bauteilen führen.

## 3.2 Fehlersuche

Die Chance, dass nach dem Zusammenbau alles auf Anhieb funktioniert, lässt sich durch einen gewissenhaften und saubereren Aufbau drastisch steigern. Kontrollieren Sie jeden Arbeitsschritt und jede Lötstelle, bevor Sie weitermachen! Halten Sie sich an eine ggf. vorhandene Bauanleitung, und lassen Sie sich Zeit (Sie müssen ja keine Bombe entschärfen). Die beim Aufbau aufgewendete Sorgfalt und Zeit sind um Vielfaches geringer als der Aufwand bei der Fehlersuche.

Eine häufige Ursache für das Nichtfunktionieren der Schaltung ist ein Bestückungsfehler, z. B. verkehrt bzw. verpolt eingesetzte Bauteile (ICs, Dioden, Elkos usw.). Beachten Sie auch die Farbringe der Widerstände genau. Da erwischt man schnell mal eine Zehnerpotenz zuviel oder zuwenig. Achten Sie auch auf die Kondensator-Werte so bedeutet beispielsweise der Aufdruck „n 10“ 100 pF und nicht 10 nF. Gegen solche Fehler hilft nur sorgfältiges Prüfen.

Achten Sie auch darauf, dass alle Beinchen eines ICs wirklich **in** der Fassung stecken. Oft biegt sich eines beim Einstecken um. Ein kleiner Druck, und das IC muss nahezu von selbst in die Fassung springen. Tut es das nicht, ist sehr wahrscheinlich ein Beinchen verbogen.

Stimmt hier alles, dann ist als Nächstes eventuell die Schuld bei einer kalten Lötstelle zu suchen. Diese treten auf, wenn entweder die Lötstelle nicht richtig erwärmt wurde, so dass das Zinn mit den Leitungen keinen richtigen Kontakt hatte, oder wenn man beim Abkühlen die Verbindung gerade im Moment des Erstarrens bewegt hat. Derartige Fehler erkennt man meistens am matten Aussehen der Oberfläche der Lötstelle. Einzige Abhilfe ist, die Lötstelle nochmals nachzulöten. Leider sehen Lötstellen mit bleifreiem Lot immer matt aus.

Ist bis hierher alles in Ordnung und läuft die Sache trotzdem noch nicht, dann ist wahrscheinlich ein Bauelement defekt oder das Zusammenspiel zwischen Hard- und Software klappt nicht.

## 3.3 Leistungshalbleiter kühlen

In jeder elektronischen Schaltung geht Energie in Form von Wärme verloren. Jedes stromdurchflossene Bauteil setzt dem Strom einen Widerstand entgegen, und somit wird auch Wärme frei. Problematisch wird es jetzt, wenn die Wärmemenge so groß ist, dass mehr Wärme pro Zeiteinheit erzeugt wird, als in der gleichen Zeit an die Umgebung abfließen kann – das Bauteil überhitzt und wird zerstört.

In der Regel brauchen die Ausgangstransistoren auch eine zusätzliche Kühlung durch einen Kühlkörper. Diese bestehen üblicherweise aus einem gut wärmeleitfähigen Metall, meist Aluminium oder Kupfer. Je nach Anforderungen werden Kühlkörper in den unterschiedlichsten Ausführungen

hergestellt: gerippter Metallblock, gestanzte und geformte Bleche, aufsteckbare Kühlsterne und Kühlfahnen aus Aluminium oder Federbronze. Der Transistor wird durch Schrauben, Klemmen, Kleben oder Klammern befestigt.

An der Sperrschicht eines Halbleiters fällt bei Stromfluss immer eine Spannung ab. Diese liegt je nach Anwendung zwischen 0,3 V (Shottky-Diode) bis fast zur Höhe der Betriebsspannung (Verstärker-Transistor). Je nach Stromfluss wird eine Verlustleistung  $P = U * I$  in Form von Wärme freigesetzt. Weil die Sperrschicht nur eine gewisse Temperatur erreichen darf, bevor sie zerstört wird, gilt es, die Verlustwärme abzuführen. Die jeweils maximale Sperrschichttemperatur ist im Datenblatt des Bauteils zu finden. Dort finden wir auch alle weiteren wichtigen Daten zur Kühlkörperberechnung. Dazu gehören die thermischen Widerstände ( $R_{th}$ ) zwischen Sperrschicht und Gehäuse ( $R_{thj}$ ) oder zwischen Sperrschicht und Umgebung (nur bei Verwendung ohne Kühlkörper interessant).

Zusätzlich entsteht noch ein thermischer Widerstand  $R_{thm}$  beim Übergang vom Gehäuse auf den Kühlkörper. Dieser Übergang kann mit 0,4 K/W abgeschätzt werden. Nun kann der  $R_{th}$  des Kühlkörpers ( $R_{thk}$ ) bei gegebener Verlustleistung und maximaler Sperrschicht-Temperatur errechnet werden:

$$R_{thj} + R_{thm} + R_{thk} = \frac{T_j - T_u}{P} \quad (3.1)$$

$$R_{thk} = \frac{T_j - T_u}{P} - (R_{thj} + R_{thm}) \quad (3.2)$$

Dabei ist  $T_j$  die maximale Sperrschichttemperatur und  $T_u$  die maximale Umgebungstemperatur. Welchen Wärmewiderstand ein Kühlkörper besitzt, erfahren Sie aus seinem Datenblatt.

Im folgenden Beispiel gehen wir das Problem einmal „von hinten“ an. Ein Leistungstransistor hat laut Datenblatt folgende Werte:  $T_j = 200^\circ\text{C}$ ,  $R_{thj} = 1,5 \text{ K/W}$ ,  $R_{thm}$  beträgt etwa 0,3 K/W. Die maximale Umgebungstemperatur liegt bei  $40^\circ\text{C}$ . Die Verlustleistung beträgt 15 W. Dann ergibt sich:

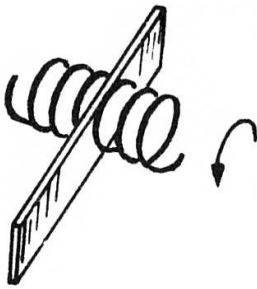
$$R_{thk} = \frac{200 - 40}{15} - (1,5 + 0,3) = 8,867 \text{ K/W} \quad (3.3)$$

Im Katalog finden wir einen Fingerkühlkörper mit ca. 6 K/W, so dass noch ein kleiner Sicherheitsfaktor bleibt. Wenn Ihnen die Rechnerei zu lästig ist, finden Sie auf der Webseite zum Buch eine kleine Excel-Tabelle als Rechenhilfe. Die Tabelle berücksichtigt auch die Isolierung zwischen Transistor und Kühlkörper.

**Merke:** Wenn Sie den Kühlkörper anfassen und dann zählen „eins ... zwautsch“, ist er zu klein bemessen.

### 3.4 HF-Spulen herstellen

Für den Einsatz der Funkmodule braucht man gelegentlich eine sauber gewickelte HF-Spule. Zuerst besorgt man sich ein Stück Rundmaterial mit dem passenden Durchmesser, auf das unter scharfer Spannung die Spulenspirale – unter Hinzurechnung des erforderlichen Anfangs und Endes – Windung an Windung aufgewickelt wird. Um den richtigen Windungsabstand herzustellen, schraubt man, wie es Bild 3.2 zeigt, ein Stück Pappe oder Plastik (das etwa so dick wie der Draht ist) durch die Spule hindurch. Der Windungsabstand wird nun nahezu genau so groß wie die Dicke der Pappe. Die Spule sieht sehr gleichmäßig aus. Um die Politur des Drahtes zu schonen und ein Verkratzen zu vermeiden, kann man ein Stückchen Stoff beilegen. Genauso kann man beim Ausbiegen von Anfang und Ende der Spule verfahren.



**Bild 3.2:** Herstellen des gleichmässigen Windungsabstandes

# 4

## Sicherheitshinweise

Beim Umgang mit Produkten, die mit elektrischer Spannung in Berührung kommen, müssen die gültigen VDE-Vorschriften beachtet werden, insbesondere VDE 0100, VDE 0550/0551, VDE 0700, VDE 0711 und VDE 0860. Vor allem für Spannungen über 24 Volt gilt:

Vor Öffnen eines Gerätes stets den Netzstecker ziehen oder sicherstellen, dass das Gerät stromlos ist. Bauteile, Baugruppen oder Geräte dürfen nur in Betrieb genommen werden, wenn sie vorher berührungssicher in ein Gehäuse eingebaut wurden. Während des Einbaus müssen sie stromlos sein. Werkzeuge dürfen bei Geräten, Bauteilen oder Baugruppen nur benutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Geräte von der Versorgungsspannung getrennt sind und elektrische Ladungen, die in den im Gerät befindlichen Bauteilen gespeichert sind, vorher entladen wurden. Spannungsführende Kabel oder Leitungen, mit denen das Gerät, ein Bauteil oder eine Baugruppe verbunden sind, müssen stets auf Isolationsfehler oder Bruchstellen hin untersucht werden.

Die Inbetriebnahme darf grundsätzlich nur erfolgen, wenn die Schaltung absolut berührungssicher in ein Gehäuse eingebaut ist. Sind Messungen bei geöffnetem Gehäuse unumgänglich, so muss aus Sicherheitsgründen ein Trenntrafo zwischengeschaltet oder die Spannung über ein geeignetes Netzteil (das den Sicherheitsbestimmungen entspricht) zugeführt werden. Alle Verdrahtungsarbeiten dürfen nur im spannungslosen Zustand ausgeführt werden.

Vor der Inbetriebnahme eines Gerätes ist generell zu prüfen, ob dieses Gerät oder diese Baugruppe grundsätzlich für den jeweiligen Anwendungsfall und Einsatzort geeignet ist bzw. eingesetzt werden kann. Im Zweifelsfall sind unbedingt Rückfragen bei Fachleuten, Sachverständigen oder den Herstellern der verwendeten Baugruppen notwendig!



# A

## Literatur

- Dieter Zastrow: *Elektronik*, Vieweg-Verlag
- G. Koß, W. Reinhold, F. Hoppe: *Lehr- und Übungsbuch Elektronik*, Fachbuchverlag Leipzig
- U. Tietze, Ch. Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*, Springer-Verlag
- Helmut Lindner: *Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik*, Hanser
- E. Prohaska: *Digitaltechnik für Ingenieure*, Oldenbourg
- Ch. Siemers, A. Sikora: *Taschenbuch der Digitaltechnik*, Hanser
- Don Lancaster: *Das CMOS-Kochbuch*, VMI Buch AG
- Don Lancaster: *TTL-Cookbook*, Sams Publishing
- Hans-Dieter Stölting, Eberhard Kallenbach: *Handbuch Elektrische Kleinantriebe*, Hanser
- Elmar Schrüfer: *Elektrische Messtechnik*, Hanser
- *Zeitschrift Elektor*, Elektor-Verlag, Aachen
- *Elrad-Archiv 1977–1997 DVD*, eMedia GmbH, Hannover



# Stichwortverzeichnis

<b>B</b>		<b>L</b>	
Basiswiderstand .....	10	Löten .....	19
		LED .....	7
<b>D</b>		Leistungshalbleiter kühlen .....	20
Diode .....	6	Leuchtdiode .....	7
Drehkondensator .....	6		
<b>E</b>		<b>P</b>	
E12-Reihe .....	5	Potenziometer .....	6
Elektrolytkondensator .....	6		
<b>F</b>		<b>S</b>	
Farbcode .....	5	Spannungsregler .....	13
Fehlersuche .....	20	Spannungsversorgung .....	13
Feldeffekt-Transistor .....	8		
Festspannungsregler .....	13	<b>T</b>	
<b>G</b>		Thyristor .....	11
Gleichrichter .....	6	Transistor .....	8
		Transistor, FET .....	8
<b>H</b>		Transistor, NPN .....	8
HF-Spulen herstellen .....	21	Transistor, PNP .....	8
		Transistor-Schalter .....	10
<b>K</b>		Triac .....	11
Kühlkörper .....	20	Trimmer .....	6
Kondensator .....	6	<b>W</b>	
		Widerstand .....	5
		<b>Z</b>	
		Z-Diode .....	7