

Elektronik begegnet uns überall. Und besonders für den Bastler ist daher ein gewisses Wissen um die Funktion der Schaltung von Bedeutung. Wir stellen die wichtigsten Elemente der modernen Elektronik vor.

von Hans-Jürgen Humbert

Dieser Kurs über die Tücken der elektronischen Bauelemente soll kein trockenes Wissen mit viel Mathematik gewürzt vermitteln. Dafür gibt es genügend Lehrbücher. Wir wollen Ihnen die Grundlagen der Elektronik praxisgerecht aufbereitet servieren. Um ein Muß an Mathematik kommen allerdings auch wir nicht herum. Aber sie soll soweit wie möglich vermieden werden. Nach dem Kurs werden Sie die Schaltungen, deren Funktionsbeschreibungen aus Platzmangel meist sehr spartanisch ausfallen, sehr gut allein nachvollziehen können.

Passiv ist immer gut

In der Elektronik unterscheidet man zwischen passiven und aktiven Bauelementen. Zu den aktiven gehören alle Teile, die das Nutzsignal verstärken oder schalten können. Obwohl heute nur noch in Spezialfällen eingesetzt, sind Röhren ebenfalls aktive Elemente. Als passiv bezeichnet man diejenigen

Schaltung sind sie unerlässlich. Was aber tut so ein Widerstand eigentlich? Dazu sehen wir uns einmal den inneren Aufbau an.

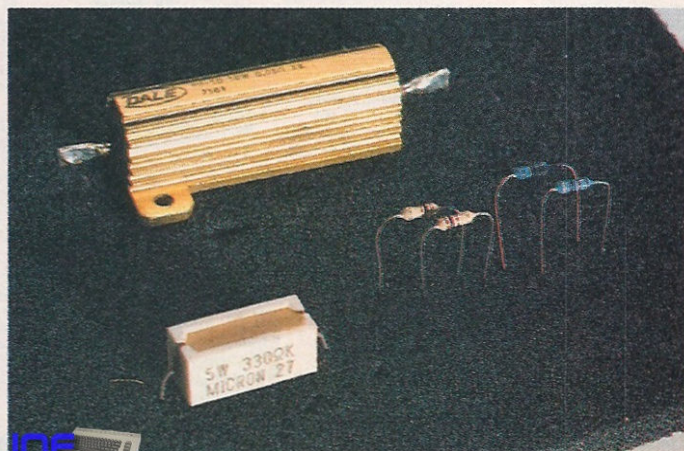
Jeder elektrische Leiter setzt dem ihn durchfließenden Strom einen Widerstand entgegen. Dieser ist einmal abhängig vom Querschnitt des Leiters und vom Material. Ein Widerstand ist aus schlecht leitendem Material aufgebaut, das auf einem Trägerkörper, meist Keramik, aufgebracht wird. Durch bestimmte Fertigungstechniken läßt sich der Widerstandswert sehr genau bestimmen.

Leider wird der Wert des Widerstands nur in den seltensten Fällen aufgedruckt, meist durch einen Farbcode dargestellt. Dieser besteht aus einer Anzahl von Ringen. Damit ist sichergestellt, daß man diesen Wert von jeder Seite des Widerstands erkennen kann. Bei den normalen Kohleschichtwiderständen sind dies vier Ringe. Ein Ring ist mit etwas Abstand zu den übrigen angebracht. Dieser kennzeichnet die Toleranz des Bauteils. Ein silberner Ring symbolisiert eine Toleranz von 10 %. Der Wider-

Elektronische

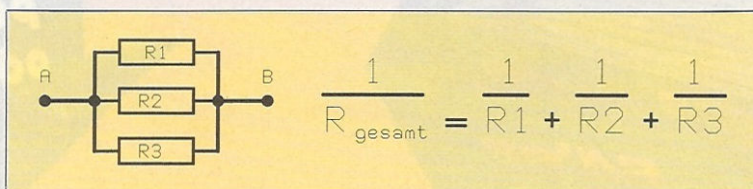
standswert kann also bei einem aufgedruckten Wert von 1000 Ω zwischen 1100 und 900 Ω liegen. Diese Widerstände sollten für unsere Schaltungen nicht in Betracht kommen. Ein goldener Ring steht

für eine Toleranz von 5 %. Hier beträgt die Abweichung bei unserem Beispiel nur noch $\pm 50 \Omega$. Eine zweiprozentige Toleranz wird durch einen roten Ring gekennzeichnet und Widerstände mit 1 %



Widerstände verschiedener Leistungsklassen und Bauformen

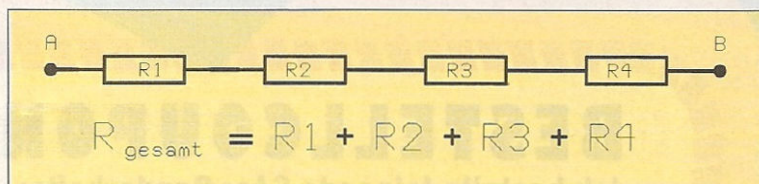
Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtwiderstand immer kleiner als der kleinste eingesetzte Widerstand



Toleranz tragen einen braunen Ring. Hier beträgt die Abweichung nur noch $\pm 10 \Omega$. Die ersten beiden Ringe geben den Widerstandswert an. Dazu ein paar Beispiele für die Farbuweisung von Kohleschichtwiderständen:

Farbkennzeichnung	Wert in Ω	Toleranz
rot rot rot gold	2 2 00	5 %
grün blau gelb rot	5 6 0000	2 %
braun rot gold silber	1 2 x 0,1	10 %

Widerstände werden in den unterschiedlichsten Variationen gefertigt. Deshalb ist nicht nur das Aussehen, sondern auch das Material wichtig aus dem sie bestehen. Da sind einmal die Metall-



In der Reihenschaltung addieren sich die Einzelwiderstände

Bauteile, die das Signal abschwächen. Zunächst wenden wir uns den passiven Elementen zu.

Der Widerstand

Im Schaltplan wird ein Widerstand durch ein rechteckiges Kästchen mit zwei Anschlüssen symbolisiert. Die amerikanische Version ist eine Zickzacklinie. In den Originalschaltplänen von Commodore finden Sie diese Variante. Die Einheit für Widerstände ist das Ohm (Ω).

In fast allen Bauanleitungen kommen Widerstände vor. Sie werden in der Schaltungsbeschreibung meist vernachlässigt. Hier spielen die aktiven Bauelemente diese unscheinbaren Teile weitestgehend ins Abseits. Doch für die ordnungsgemäße Funktion der

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

Der dritte Ring ist der Multiplikator:

silber	x 0,01
gold	x 0,1
schwarz	x 1
braun	x 10
rot	x 100
orange	x 1000
gelb	x 10 000
grün	x 100 000
blau	x 1 000 000



Verschiedene Elektrolytkondensatoren unterschiedlichster Bauform

Bauelemente

schichtwiderstände, dann die Kohleschicht-, und Drahtwiderstände. Alle diese Substanzen besitzen unterschiedliche Eigenschaften. Unsere Bauanleitungen arbeiten fast ausschließlich mit den preiswerten Kohleschichtwiderständen mit einer Toleranz von 5 %.

Nach den mechanischen Eigenschaften dieses passiven Bauteils wenden wir uns nun dem elektrischen Verhalten zu. Hier kommt auch die Mathematik ins Spiel. Ein Widerstand gehorcht dem Ohmschen Gesetz:

$$U = R \times I$$

Dabei steht U für die Spannung in Volt, R für den Widerstand in Ω und I für den Strom in Ampere.

dieren sich bei einer Reihenschaltung die einzelnen Widerstandswerte. Bei einer Parallelschaltung muß man mit folgender Formel arbeiten:

$$1/R (\text{gesamt}) = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$$

Gleiche Werte parallel geschaltet halbieren den Gesamtwert. Werden drei gleiche Widerstände parallel geschaltet, drittelt sich der Gesamtwiderstand.

Gebräuchlich in der Elektronik, sind bis auf Spezialanwendungen, Leistungen der Widerstände von 250 mW.

Die aufgenommene Leistung berechnet sich zu

$$P = U \times I$$

angegebenen Formeln dürfte dies keine Schwierigkeit sein. In unseren Bauanleitungen haben alle eingesetzten Widerstände – sofern nichts anderes angegeben wird – immer eine Leistung von 250 mW.

In der Digitaltechnik spielen die absoluten Widerstandswerte keine so große Rolle, wie in der analogen Welt. Wir arbeiten hier stets nur mit zwei Pegeln. Hauptsächlich kommen TTL-ICs zum Einsatz. Als Anzeigeelemente finden LEDs Verwendung. Bei diesen muß der durch sie hindurchfließende Strom begrenzt werden, da sie sonst sofort zerstört werden. Der Strom durch die LED ist mit einem Widerstand auf maximal 20 mA zu begrenzen. Deshalb können bei einer Versorgungsspannung von 5 V hier Widerstände von 150 Ω bis 1000 Ω zum Einsatz kommen.

Weiterhin werden öfters Transistoren verwendet, die direkt von einem TTL-Ausgang ihr Steuersignal bekommen. Auch hier ist der in die Basis des Transistors fließende Strom zu begrenzen. Der Widerstandswert kann zwischen 2,2 k Ω und 10 k Ω liegen, ohne die Funktion der Schaltung auch nur im mindesten zu beeinflussen.

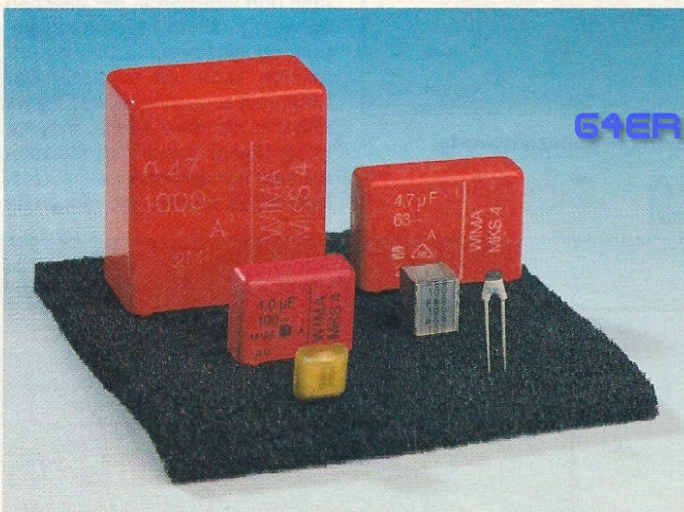
Offene Eingänge der CMOS-ICs müssen auf ein bestimmtes Potential gelegt werden, um den internen Ablauf im Chip nicht durcheinander zu bringen. Wird der Eingang mit der positiven Versorgungsspannung (High-Pegel) verbunden, sollte dies nach Möglich-

elektrische Ladung an. Im internationalen SI-Einheiten-System sind Kapazität und Ladungsmenge folgendermaßen definiert: Ein Kondensator von 1 Farad wird von der Ladung 1 C (Coulomb) auf 1 V aufgeladen. 1 C wird dann transportiert, wenn 1 s lang ein Strom von 1 A fließt.

Für den praktischen Gebrauch ist diese Einheit aber viel zu groß. Die Kapazität handelsüblicher Kondensatoren liegt deshalb im Bereich zwischen 10^{-12} und 10^2 Farad. Da diese Werte auf Dauer sehr schwer auszusprechen sind, hat man dafür Abkürzungen eingeführt. 1 pF (sprich picofarad) sind eben 1×10^{-12} Farad. 1000 pF sind 1 nF (sprich nanofarad) oder 1×10^{-9} Farad und 1000 nF entsprechen 1 μ F (sprich microfarad) oder 1×10^{-6} Farad.

Die gebräuchlichsten Kondensatorwerte gehen also über mehrere Dekaden.

Ein wichtiges Kriterium für Kondensatoren ist das Dielektrikum, nämlich der Raum zwischen den beiden Platten. Entsprechend diesem Isolierstoff ändert sich das Verhalten des Kondensators. Die Kapazität wird um so größer, je größer die beiden Platten und je dichter sie zusammen sind. Für kleine Kapazitätswerte reicht z.B. ein Keramikträger, der auf beiden Seiten metallisiert wird. Je nach Bauform des Trägers entstehen die einlagigen Scheiben-, oder Röhrenkondensatoren. Da die Oberfläche



Abblockkondensatoren, hier sind nur Folien, Keramik und Tantalkondensatoren sehr gut geeignet

Mit dieser einfachen Formel läßt sich das Verhalten des Widerstands im Stromkreis leicht berechnen. Dazu ein Beispiel:

Wird ein Widerstand von 680 Ω an eine Spannung von 5 V gelegt, fließt durch ihn ein Strom von ca. 7 mA.

$$U/R = I$$

$$5 \text{ V} / 680 \Omega = 0,0074 \text{ A}$$

Andererseits, wenn durch diesen Widerstand ein Strom von ca. 7 mA fließt, läßt sich über ihm eine Spannung von 5 V messen.

Die Widerstandswerte sind in Reihen abgestuft erhältlich. Wir arbeiten immer mit der E24-Reihe. Sie enthält die gebräuchlichsten Werte, die wir für unsere Bauanleitungen benötigen. Durch Parallel- und Reihenschaltung der einzelnen Werte lassen sich beliebige Widerstände realisieren. Dabei ad-

Um bei unserer obigen Berechnung zu bleiben:

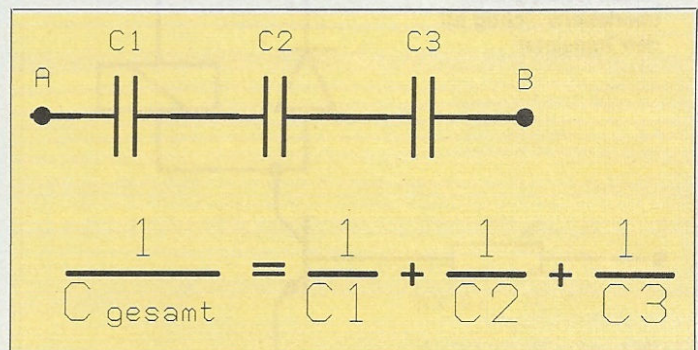
$$5 \text{ V} \times 0,0074 \text{ A} = 37 \text{ mW}$$

Der Widerstand mit 250 mW ist also richtig dimensioniert.

Widerstände setzen die eingebrachte Leistung immer in Wärme um. Da sie ihre Verlustleistung immer über die Anschlüsse und ihre Oberfläche abführen müssen, sollte bei einer Platinenmontage der Widerstand nicht zu dicht eingelötet werden. Dies gilt aber nur für Leistungswiderstände in Netzteilen etc. Unser Widerstand mit seiner Belastung von 37 mW wird nicht einmal handwarm.

Widerstände im Einsatz

Beim Nachbau von Schaltungen oder der Entwicklung eigener Ideen sollte man den Widerstand überschlägig berechnen. Mit den



Bei der Reihenschaltung erhöht sich die Spannungsfestigkeit

keit über einen Widerstand gesehen. Der Wert ist dabei völlig unkritisch. Er kann zwischen 1 k Ω und 100 k Ω liegen.

Kondensatoren

Ein zweites passives Bauelement ist der Kondensator. Dieser wird genau wie Widerstände in den unterschiedlichsten Variationen hergestellt. Nur ist hier die Typenvielfalt noch viel größer.

Schon aus dem Schaltzeichen geht hervor, daß es sich bei einem Kondensator um zwei Platten handelt, die sich ohne elektrische Verbindung gegenüberstehen. Auf diesen beiden Platten lassen sich Elektronen speichern. Die Einheit des Kondensators ist das Farad. Das Farad gibt die speicherbare

dieser Trägermaterialien begrenzt ist, können so nur geringe Kapazitätswerte erreicht werden. Für größere Werte müssen deshalb die Flächen stark vergrößert werden.

Als Ausweg bietet sich die Wickeltechnik an. Hier werden hauchdünn metallisierte Papierfolien aufgewickelt. Die isolierende Zwischenschicht ist nur 20 μ m dick. Damit lassen sich deutlich höhere Kapazitäten erreichen.

Noch größere Werte werden mit Elektrolytkondensatoren erzielt. Diese bestehen nämlich aus zwei Wickeln. Eine Aluminiumfolie bildet eine Elektrode. Die Gegenelektrode wird von einem Elektrolyten gebildet. Eine zweite Wickelung dient dabei nur als Kontakt zur flüssigen zweiten Platte. Die Isolier-

schicht wird durch anodische Oxidation der Aluminiumfolie erzeugt. Diese ist sehr dünn und besitzt eine hohe Dielektrizitätskonstante ($\epsilon_r = 10$ im Gegensatz zu Luft mit dem Wert 1). Aufgrund dieser Faktoren lassen sich leicht hohe Kapazitätswerte auf geringem Raum erzielen. Durch die elektrolytische Oxidierung der Folie sind diese Kondensatoren allerdings gepolt. Sie dürfen niemals verkehrtherum mit Strom beschickt werden. Die Oxidationsschicht würde sich sehr schnell abbauen, es käme zum Kurzschluß. Der nun fließende hohe Strom würde den flüssigen Elektrolyten zum Kochen bringen und der Kondensator **explodiert!** Auch wenn der Elektrolytkondensator richtig gepolt an einer zu hohen Spannung betrieben wird, geschieht ähnliches. Die Oxidationsschicht würde dann weiter wachsen. Dies ist mit einer Wärme- und Gasentwicklung verbunden. Auch hier wird der Kondensator zerstört.

Bei längerer Lagerung baut sich die Oxidschicht teilweise wieder ab. Bei der ersten Inbetriebnahme wird die Schicht aber wieder regeneriert. Deshalb nehmen länger gelagerte Elkos zuerst einen höheren Strom auf, der aber nach einer Weile wieder auf den geringen Reststrom zurückgeht, der schließlich für die Erhaltung des Dielektrikums sorgt.

anleitungen sind deshalb solche Kondensatoren mit dem jeweiligen Typ angegeben. Nur diese garantieren dann auch hinterher die ordnungsgemäße Funktion der Schaltung.

Für die Parallel- und Reihenschaltung der Kondensatoren gelten fast die gleichen Formeln wie für die Widerstände. Nur hier sind beide Formeln vertauscht. Für die Parallelschaltung gilt:

$$C_{\text{gesamt}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

In der Reihenschaltung gilt:

$$1/C_{\text{gesamt}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots$$

Bei der Parallelschaltung weist

samtkapazität der Schaltung halbiert sich hierbei allerdings!

Kondensatoren im Einsatz

In der Digital-Technik werden oft ers Abblock-Kondensatoren eingesetzt. Diese liegen zwischen den einzelnen ICs und puffern die Versorgungsspannung. Sie sollen von der eigentlichen Schaltung selbst erzeugte Störimpulse mindern. Der Wert der Kondensatoren ist völlig unkritisch. Er kann zwischen 100 nF und 10 μ F liegen. Man kann sagen: je größer der Wert ist, desto besser ist die Störunterdrückung. Nur sollte man

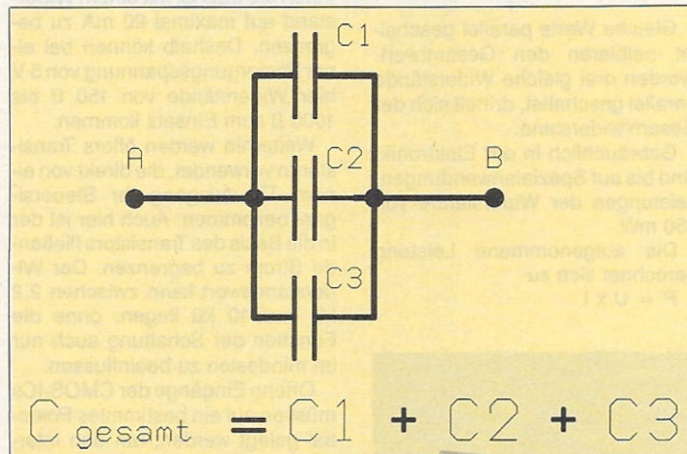
Nur so ist die ordnungsgemäße Funktion des Reglers sichergestellt.

Induktivitäten

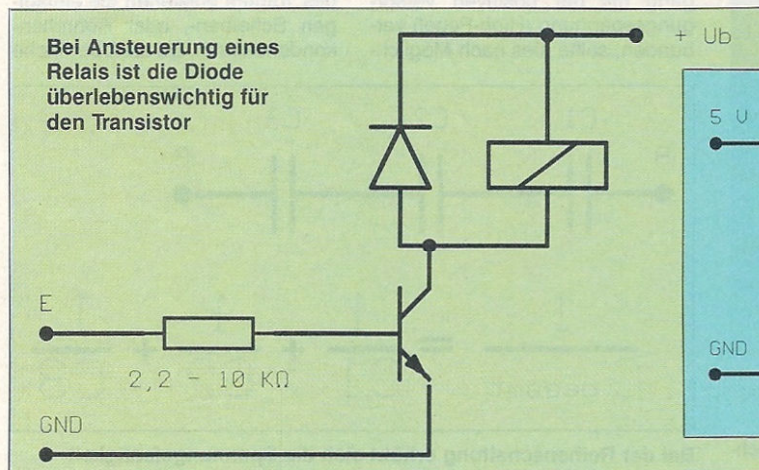
Als seltenes, von den meisten Hobbyelektronikern geahntes Bauteil, kommen auch Spulen in den Bauanleitungen vor. Auf die Berechnung dieser Elemente wollen wir nicht näher eingehen, da wir meist fertig im Handel erhältliche Induktivitäten einsetzen. Wird wirklich einmal eine selbstanzufertigende Spule verwendet, ist die Induktivität derart unkritisch, daß es auf ein paar Windungen mehr oder weniger nicht ankommt.

Spulen befinden sich aber auch in Relais und da sind einige Sicherheitsbedingungen zu beachten. Obwohl eine Spule nur aus etlichen Windungen Draht besteht, besitzt sie doch Eigenschaften, die einen schon mal verzweifeln lassen.

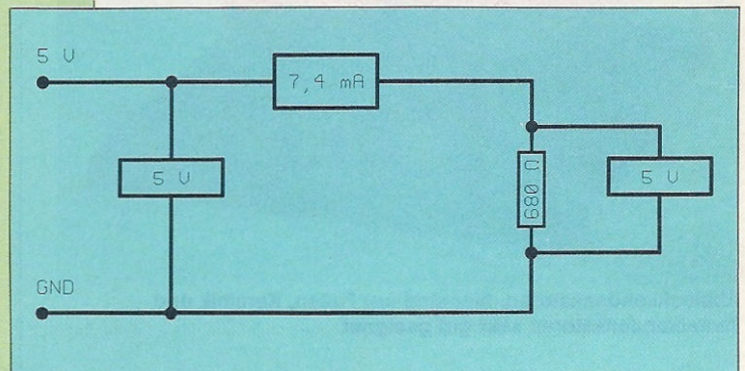
Wird sie nämlich von Strom durchflossen, baut sich um die Wicklung ein Magnetfeld auf. Beim Abschalten des Stroms bricht dieses Magnetfeld zusammen und induziert in der gleichen Wicklung einen Spannungsimpuls, der eine beachtliche Höhe erreichen kann. Je schneller der Stromfluß abgeschaltet wird, desto höher ist die induzierte Spannung. In der Digital-Technik arbeitet man mit sehr kurzen Schaltzeiten. Deshalb ist es wichtig, die induzierte



In der Parallelschaltung summieren sich die Kapazitätswerte



Bei Ansteuerung eines Relais ist die Diode überlebenswichtig für den Transistor



So werden Ströme und Spannungen richtig erfaßt

Die aufgedruckten Kapazitätswerte sind mit Vorsicht zu genießen. Die meisten Kondensatoren besitzen Toleranzen von 20 %. Besonders die Elektrolytkondensatoren weisen hier die größten Unterschiede auf. Hier sind Abweichungen von -10 bis +50 % die Regel.

Bei der Schaltungsentwicklung wird aber diesem Umstand schon Rechnung getragen. Im Netzteil z.B. ist es bei richtiger Schaltungsauslegung völlig unerheblich, ob der Kondensator nun 4000 μ F oder 6000 μ F besitzt. Der Wert darf nur nicht zu weit unterschritten werden. Für frequenzbestimmende Kreise sind natürlich nur Kondensatoren bester Qualität zu gebrauchen. In den Stücklisten der Bau-

die gesamte Schaltung nur die Spannungsfestigkeit des Kondensators mit der kleinsten Nennspannung auf. Die Kapazitäten addieren sich alle. In der Reihenschaltung addieren sich die maximal zulässigen Betriebsspannungen. Dies gilt allerdings nur für Kondensatoren mit gleichen elektrischen Werten. Bei sehr stark voneinander abweichenden Kapazitäts- und Spannungswerten, kann die Spannungsverteilung in der Reihenschaltung für die einzelnen Kondensatoren extrem unterschiedlich sein. Deshalb sollten sicherheitshalber nur Kondensatoren mit gleichen Kapazitätswerten und gleichen Nennspannungen in Reihe geschaltet werden. Die Ge-

auch nicht übertreiben. Die Größe der Kondensatoren nimmt nämlich bei steigender Kapazität stark zu und die Schaltung sollte ja auch noch auf die Platine passen.

In Netzteilen eingesetzte Siebkondensatoren sollten immer die größtmögliche Kapazität aufweisen, die gerade noch auf die Platine paßt. Dabei darf aber unter keinen Umständen die Nennspannung (ist in der Bauanleitung immer angegeben) unterschritten werden.

Direkt an den Anschlüssen der Stabilisierungs-ICs befinden sich auch immer zwei Kondensatoren. Diese haben einen Wert von 100 bis 470 nF. Der angegebene Wertebereich ist unbedingt einzuhalten.

Spannung sofort kurzzuschließen, damit keine Störimpulse die TTL-ICs aus dem Tritt bringen können und der Treibertransistor keinen Schaden nimmt. Sonst funktioniert die Schaltung genau einmal. Dann ist der Schalttransistor im Silizium-Himmel.

Kursübersicht

1. Passive Bauelemente: Widerstände, Kondensatoren, Spulen
2. Aktive Bauelemente: Dioden, Z-Dioden, Transistoren, Operationsverstärker
3. Aktive Bauelemente: TTL-ICs, CMOS-ICs, Sensoren, allgemeine Aufbauhinweise

von Hans-Jürgen Humbert

Aktive Bauelemente stellen die Seele einer jeden Schaltung dar. Sie bestehen aus einem speziellen Halbleitermaterial, meistens Silizium. Gezielt verunreinigt (man spricht hier von Dotierung mit Fremdatomen) erreichen sie die Eigenschaften, die für die Elektronik wichtig sind. Eine genaue Beschreibung des Innenlebens würde den Rahmen des Kurses sprengen. Deshalb kommen wir gleich zum Einsatz dieser Bauteile.

Aktiv sein ist wichtig

Das einfachste aktive Bauelement ist die Diode. Sie wird in den verschiedensten Variationen und Leistungsklassen gefertigt. Eine Diode kann als Ventil aufgefaßt werden, da sie den Strom nur in einer Richtung durchläßt.

Eingesetzt werden Dioden hauptsächlich als Gleichrichter. Die Schaltung kann einmal als Einweg- (Bild 1), als Zweiweg- (Bild 2) oder als Brücken-Gleichrichter (Bild 3) ausgeführt werden. Die Einweg-Gleichrichtung wird nur bei sehr kleinen Versorgungsströmen angewendet, da die Welligkeit entsprechend hoch ist. Bei der Einweg-Gleichrichtung wird nämlich immer nur eine Halbwelle durchgelassen, jede zweite wird einfach abgeschnitten. Die Zweiweg-Gleichrichtung erfordert jedoch einen höheren Aufwand, und zwar zwei identische Wicklungen auf den Transformator, die jeweils eine Halbwelle liefern. Diese Technik stammt noch aus dem Röhrenzeitalter, wo Transformatoren preiswerter als entsprechende Gleichrichter-Röhren waren. Heute wird hauptsächlich auf die Brücken- oder Graetzschaltung zurückgegriffen. Sie bietet viele Vorteile. Da die benötigten Dioden nur Pfennige kosten, spart man sich hier eine doppelte Wicklung, die den Transformator nur unnötig groß machen würde. Die Welligkeit liegt in der gleichen Größenordnung wie die der Zweiweg-Gleichrichtung, da beide Halbwellen gleichgerichtet werden. Zur Siebung der nun entstandenen gleichgerichteten Wechselspannung werden Kondensatoren eingesetzt. Diese liefern zwischen den beiden Halbwellen die notwendige Energie, um die Spannung am Ausgang halbwegs konstant zu halten.

Um die Ausgangsspannung überschlägig berechnen zu können, bedienen wir uns folgender Formeln.

$$U_{\text{aus}} = (U_{\text{ein}} - (2 \times 0,7)) \times 1,41$$

Bei einer Eingangsspannung von 12 Volt beträgt die unbelastet am Kondensator gemessene Gleichspannung also:

$$(12 - 1,4) \times 1,41 = 14,946 \text{ Volt}$$

Da die Ausgangsspannung ei-

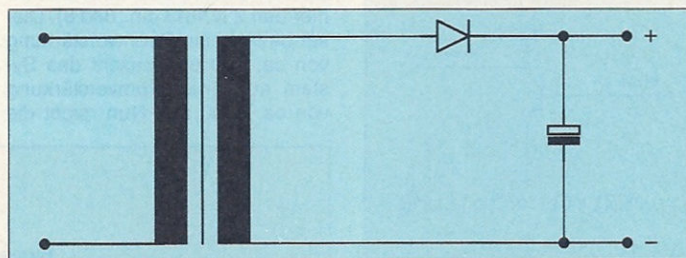
Elektronische Bauelemente Teil 2

Im zweiten Teil unseres praxisorientierten Bauelementekurses wenden wir uns den aktiven Halbleiterelementen zu. Sie erst erwecken eine elektronische Schaltung zum Leben.

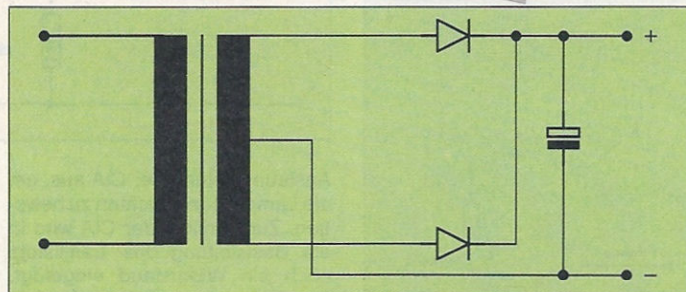
nes Transformators aber im unbelasteten Zustand noch um bis zu 30% höher liegen kann, lassen sich am Kondensator leicht Spannungen von über 20 Volt messen.

Die Spannungsfestigkeit des eingesetzten Elkos muß also entsprechend bemessen sein.

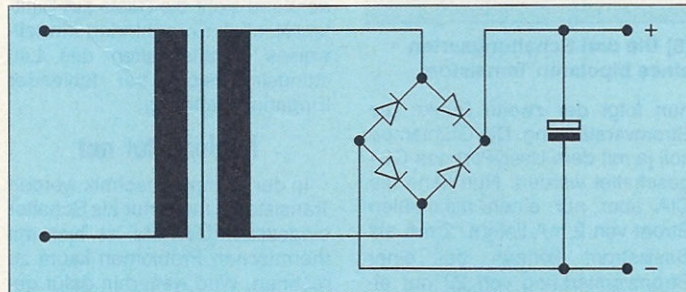
In der HF-Technik dienen Dioden als sehr schnelle Schalter.



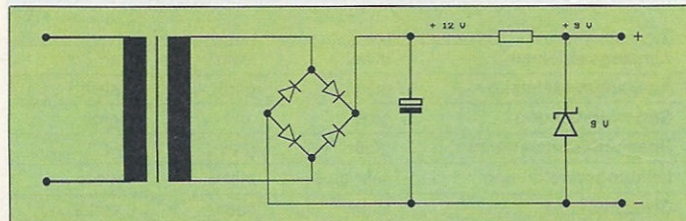
[1] Die Einweg-Gleichrichtung wird nur bei geringem Strombedarf eingesetzt



[2] Eine Zweiweg-Gleichrichtung erfordert immer eine doppelte Transformatorwicklung



[3] Ein Brückengleichrichter liefert die gleiche Restwelligkeit wie die Zeig-Schaltung, bei geringeren Trafokosten



[4] Mit Hilfe einer Z-Diode lassen sich auf einfache Weise Spannungen stabilisieren

Die Z-Diode

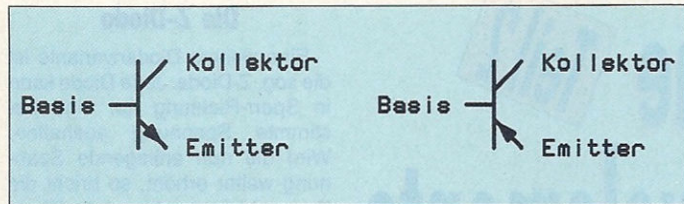
Eine weitere Diodenvariante ist die sog. Z-Diode. Jede Diode kann in Sperr-Richtung nur eine bestimmte Spannung aushalten. Wird die nun anliegende Spannung weiter erhöht, so bricht die Sperrschicht durch und die Diode leitet auch in Gegenrichtung. Dieser Effekt ist im Normalfall unerwünscht. Jedoch bei speziellen Anwendungen kann er sehr nützlich sein. Durch besondere Behandlung des Halbleitermaterials (höhere Dotierung) wird die Durchbruchspannung schon bei geringen Voltzahlen erreicht. Nun muß natürlich der stark ansteigende Strom mit einem Widerstand begrenzt werden. Diese Dioden werden zur Spannungsstabilisierung eingesetzt. Eine schwankende Versorgungsspannung wird hinter dem Widerstand durch die Diode stabilisiert. Änderungen der Eingangsspannung wirken sich auf den Ausgang kaum aus, allerdings nur solange, wie die Eingangsspannung keinen Wert unterhalb der Z-Spannung annimmt. Durch den Widerstand muß aber der gesamte Nutzstrom fließen. Auch muß er der Leistung der Z-Diode angepaßt sein. Man spricht hier von einer Parallel-Stabilisierung (Bild 4).

Der Transistor

Als richtig aktives Bauelement besitzt der Transistor einen weiteren Anschluß. Mit Hilfe dieses Dreiebers ist es nun möglich, Strom bzw. Spannung zu verstärken. Transistoren werden in vielen unterschiedlichen Variationen gefertigt. Als für uns wichtigste Bauelemente betrachten wir erst einmal die beiden bipolaren Typen. Man unterscheidet zwischen npn- und pnp-Transistoren. Die Kennzeichnung npn und pnp steht für den inneren Aufbau der beiden Arten. Beim npn ist eine Schicht p-dotiertes Silizium zwischen zwei Schichten n-dotiertem eingeschlossen. Beim pnp-Transistor sind die Schichten in umgekehrter Reihenfolge angebracht.

Der Transistor besitzt, wie schon erwähnt, drei Anschlüsse. Sie werden der Emitter, Basis und Kollektor benannt (Bild 5). Ein Transistor kann in drei unterschiedlichen Grundschaltungen arbeiten (Bild 6). Je nach der an einer Betriebsspannung liegenden Elektrode bezeichnet man sie als Emitter-, Basis- und Kollektorschaltung. Sie unterscheiden sich dabei in der Wirkungsweise.

In der Emitterschaltung weist der Transistor die höchste Spannungs- und Stromverstärkung auf. Die Basisschaltung hat etwas geringere Verstärkungen, dafür arbeitet sie jedoch auch bei höheren Frequenzen. In der Kollektorschaltung wird nur eine



[5] Die Schaltzeichen von npn- und pnp-Transistoren

Spannungsverstärkung von 1 erzielt, dafür jedoch eine hohe Stromverstärkung.

Die verschiedenen Grundsaltungen sind für npn und pnp im Prinzip gleich, nur muß die Spannungsversorgung, je nach eingesetztem Transistor, anders gepolt werden. Der pnp-Transistor verlangt an seinem Emitter immer eine positive Spannung gegenüber dem Kollektor. Beim npn-Transistor ist es umgekehrt.

Wichtige Werte beim Transistor sind:

Vec: gibt die maximale Spannung zwischen Emitter und Kollektor des Transistors an. Sie darf auf keinen Fall, auch nicht kurzfristig, überschritten werden. Eine sofortige Zerstörung des Halbleiters wäre die Folge.

I_{max}: gibt den maximalen Kollektorstrom des Transistors an.

P_{tot}: maximale Verlustleistung des Transistors, meist bei 45 Grad des Halbleiters gemeint. Dieser Wert wird ganz schamhaft irgendwo im Datenblatt angegeben. Wie man den Transistor auf dieser Temperatur hält, wird aber nicht erwähnt.

β: gibt die Stromverstärkung des Halbleiters an. Hiermit ist das Verhältnis Basis-Strom zu Kollektor-Strom gemeint.

ft: Grenzfrequenz des Transistors.

Mit diesen Angaben läßt sich der für den jeweiligen Zweck am besten geeignete Transistor leicht aussuchen.

Als Beispiel dimensionieren wir einen Schalt-Transistor für eine Glühlampe (Bild 7).

Die Glühlampe besitzt folgende Daten:

12 V / 18 W

Mit $I = P / U$ errechnet sich ein Strom von 1,5 A. Ein Transistor mit einer maximalen Sperrspannung von 20 V und einem maximalen Kollektorstrom von 2 A wäre auf den ersten Blick ausreichend. Aber leider besitzt der Glühfaden der Lampe ein paar unangenehme Eigenschaften. Im kalten Zustand ist sein Widerstand wesentlich geringer. In der Praxis stellt sich der Strom von 1,5 A erst nach einigen Millisekunden ein. Vorher fließt der wesentlich höhere Einschaltstrom. Man kann bei Glühlampen mit ca. dem 10fachen Nominalstrom rechnen. Ein Transistor mit $I_c = 5$ A wäre schlichtweg überfordert und würde spätestens nach ein paar Schaltvorgängen im Siliziumhimmel sein.

Nach dem Studium der Datenblätter stellt sich der 2 N 3055 als der geeignete Typ heraus. Er besitzt folgende Daten:

U_{ec}: 60 V

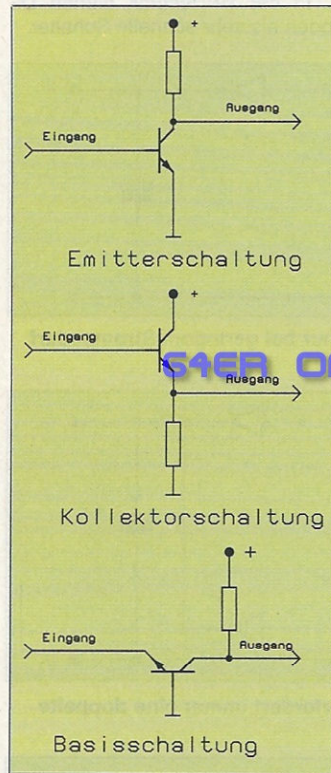
I_c: 15 A

P_{tot}: 115 W

β: 20

f_t: 1 MHz

Damit lassen sich leicht die geforderten Werte schalten. Aber



[6] Die drei Schaltungsarten eines bipolaren Transistors

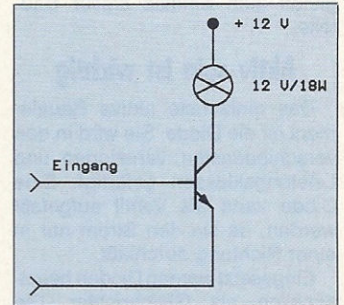
nun folgt der zweite Punkt: die Stromverstärkung. Die Glühlampe soll ja mit dem User-Port des C64 geschaltet werden. Nun kann die CIA aber nur einen maximalen Strom von 2 mA liefern. 2 mA als Basisstrom können bei einer Stromverstärkung von 20 nur ei-

nen Kollektorstrom von 40 mA hervorgerufen. Der Ausgang der CIA wäre hoffnungslos überlastet. Der kleine Strom aus dem Ausgang müßte also erst einmal tüchtig verstärkt werden, bis der die Lampe zum Leuchten bringt. Nun hilft uns hier ein Trick weiter.

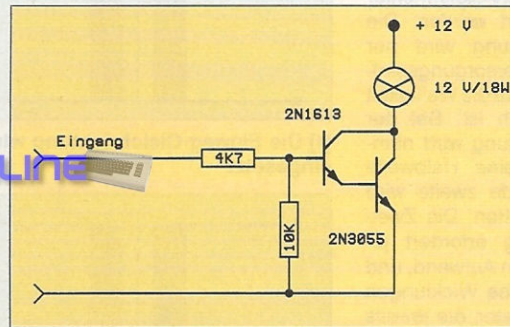
Die Darlingtonschaltung

Bei dieser Schaltungsart werden zwei Transistoren so miteinander kombiniert, daß sich die Stromverstärkungsfaktoren beider Halbleiter miteinander multiplizieren. Der erste Transistor liefert hierbei den Basis-Strom für den zweiten. Der Steuertransistor braucht deshalb nur die relativ geringe Leistung für die Ansteuerung des eigentlichen Schalt-Transistors aufzubringen und kann dementsprechend kleiner dimensioniert werden. Für unsere Zwecke setzen wir hier den 2 N 1613 ein (Bild 8). Dieser besitzt eine Stromverstärkung von ca. 200 und puscht das System auf eine Stromverstärkung von ca. 4000 auf. Nun reicht die

sorgt, daß der Transistor immer schnell genug ein- oder ausschaltet, ist die Erwärmung des Bauteils minimal. In unserem vorherigen Beispiel wird der 2 N 3055 spielend mit der anstehenden Verlustwärme fertig. Falls aber durch eine zu geringe Verstärkung der Treiberstufe der Transistor nicht vollständig durchgeschaltet, so fällt ein großer Teil der Versorgungsspannung an dem Halbleiter selbst ab. Er wird sehr heiß und kann bei fehlender Kühlung zerstört werden.



[7] Die grundsätzliche Schaltung eines elektronischen Schalters



[8] Die fertig dimensionierte Schaltung

Ansteuerleistung der CIA aus, um die Lampe zum Leuchten zu bewegen. Zum Schutz der CIA wird in die Basisleitung des Transistors noch ein Widerstand eingefügt. Dieser begrenzt den maximal in die Basis fließenden Strom auf ungefährliche Werte. Ein zweiter Widerstand zieht die Basis auf Emitterpotential. Er verhindert ein teilweises Durchschalten des Leistungstransistors bei fehlender Eingangsspannung.

Kühlung tut not

In der Computertechnik werden Transistoren meist nur als Schalter eingesetzt. Deshalb ist hier mit thermischen Problemen kaum zu rechnen. Wird weiterhin dafür ge-

Moderne Technik

In den heutigen Schaltungen besitzen Transistoren zwar immer noch ihre Daseinsberechtigung, aber sie werden mehr und mehr von integrierten Schaltkreisen verdrängt. Auf dem analogen Sektor findet man eigentlich nur noch Operationsverstärker. Diese bestehen aus vielen einzelnen Transistoren, die im Zusammenspiel bessere Eigenschaften als eine konventionell mit Transistoren aufgebaute Schaltung besitzen. Da alle Transistoren auf dem gleichen Chip sitzen, bekommt man auch keine thermischen Probleme mit unterschiedlichen Temperaturen der einzelnen Bausteine.

Verstärker verhalten sich wesentlich stabiler als man es von diskret aufgebauten Schaltungen her kennt.

Der Operationsverstärker

Dieses praktisch universelle Bauelement verstärkt sowohl Gleich-, wie auch Wechselspannungen. Es besitzt eine hohe Spannungsverstärkung (Werte von 200000 sind die Regel), einen hohen Eingangs- und einen kleinen Ausgangswiderstand. Das

Transistordaten in der Grundsaltung

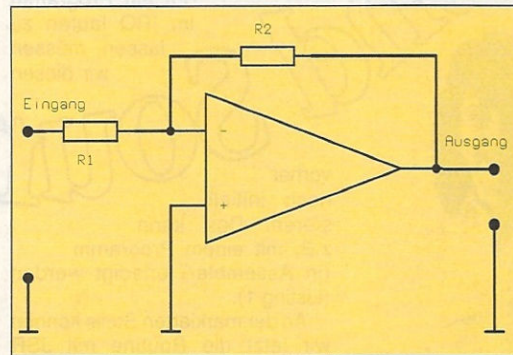
	Emitter-schaltung	Basis-schaltung	Kollektor-schaltung
Eingangswiderstand	mittel	klein	groß
Ausgangswiderstand	mittel	groß	klein
Stromverstärkung	groß	< 1	groß
Spannungsverstärkung	groß	groß	< 1
Leistungsverstärkung	sehr groß	mittel	klein
Grenzfrequenz	mittel	hoch	mittel
Anwendung	NF-Verstärker	HF-Verstärker	Impedanzwandler

Schaltzeichen des Operationsverstärkers zeigt schon, daß es sich um ein mehrpoliges Bauelement handelt. Jeder Operationsverstärker (Opamp) besitzt zwei Eingänge und einen Ausgang. Normalerweise braucht ein Opamp zwei Betriebsspannungen um arbeiten zu können. Die beiden Spannungen sind nötig, damit die internen Transistoren auch kleinste Spannungen sicher und ohne Verzerrungen verarbeiten können. Sorgt man jedoch dafür, daß das Signal weit von 0 V entfernt bleibt, begnügen sich die Opamps im asymmetrischen Betrieb auch mit nur einer Versorgungsspannung.

Genau wie beim Transistor existieren auch für den Operationsverstärker mehrere Grundschaltungen. Aufgrund des komplexen Innenaufbaus und des zweigeteilten Eingangs sind hier viel mehr Kombinationsmöglichkeiten gegeben.

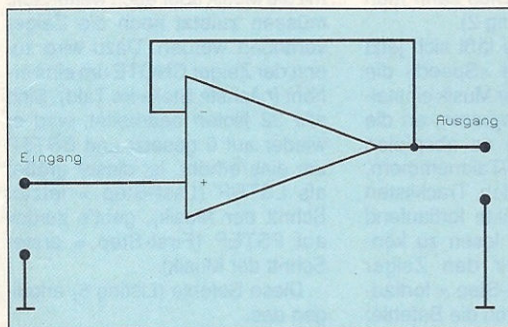
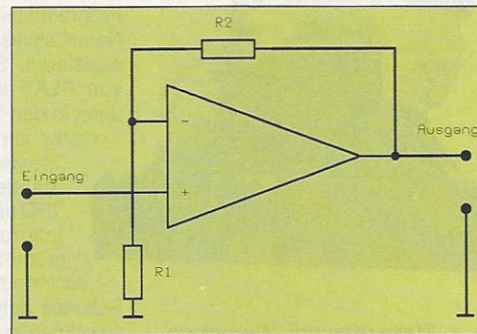
Die wichtigsten stellen wir hier kurz vor.

Der invertierende Verstärker:

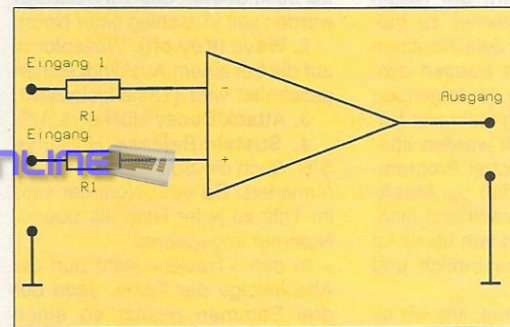


[9] Beim invertierenden Verstärker erscheint das verstärkte Signal mit umgekehrter Polarität am Ausgang

[10] Zwei Widerstände bestimmen die Gesamtverstärkung des Opamps



[11] Ein Spannungsfolger dient zur Pufferung einer hochohmigen Spannungsquelle



[12] Der Komparator dient zum Vergleich zweier Spannungen

Wie bereits beschrieben besteht der Operationsverstärker aus einer Anzahl Transistoren, die als Gleichspannungsverstärker zusammengeschaltet sind. Die Spannungsverstärkung ist typisch größer als 100000. Ohne äußere Beschaltung wird diese Verstärkung tatsächlich erreicht. Bereits bei den kleinsten Eingangsspannungen fährt der Opamp seinen Ausgang in die Begrenzung. Um die Verstärkung auf ein sinnvolles Maß zurückzuschrauben ist eine Minimalbeschaltung von zwei Widerständen notwendig (Bild 9). Mit den beiden Widerständen R1 und R2 wird die Verstärkung wie folgt bestimmt:

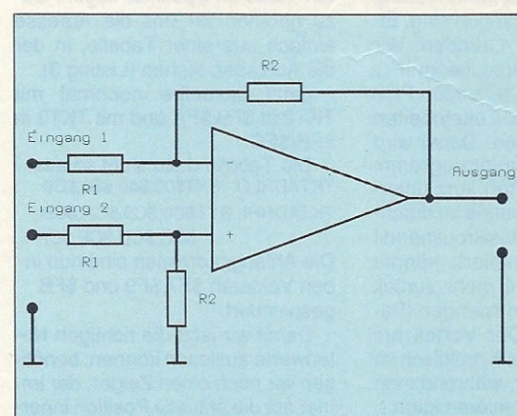
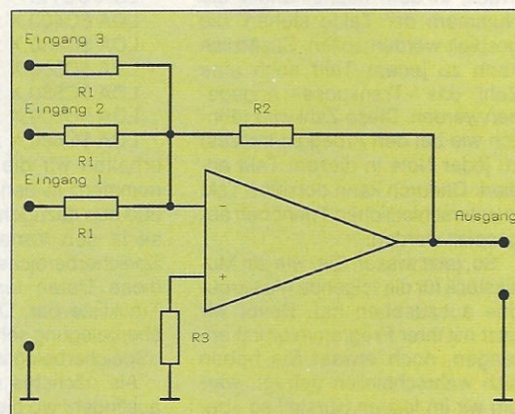
$$V = - (U_a / U_e) = - (R_2 / R_1)$$

Der nichtinvertierende Verstärker: Während beim invertierenden Verstärker die Ausgangsspannung mit umgekehrtem Vorzeichen am Ausgang des Opamps erscheint, bleibt bei nichtinvertierender Grundschaltung die Polarität des Eingangssignals erhalten. Auch hier bestimmen zwei Widerstände (Bild 10) die Gesamtverstärkung:

$$V = 1 + (R_2 / R_1)$$

Der Spannungsfolger: Oft steht man in der Elektronik vor dem Problem, eine Spannungsquelle nicht belasten zu dürfen. Um das Meß-

[13] Addierer finden ihren Einsatz nicht nur in Analog-Computern, auch in Mischpulten sind sie zu finden



[14] Differenzverstärker lassen sich bei gleichen Widerstandswerten hervorragend als Subtrahierer einsetzen

tionsverstärker seine hohe Verstärkung voll ausspielen. Die Eingangssignale werden auf beide Eingänge des Opamps gegeben (Bild 12). Er verstärkt die Unterschiede mit seiner vollen Leerlaufverstärkung. Diese Schaltung kann z.B. als sehr empfindlicher Brückengleichspannungsdetektor eingesetzt werden.

Der Addierer: Diese Schaltung addiert die drei Eingangsspannungen und gibt die Summenspannung auf den Ausgang (Bild 13).

Der Differenzverstärker: Hier arbeitet der Operationsverstärker als Differenzverstärker (Bild 14). Die Verstärkung wird durch das Verhältnis der beiden Widerstände R1 und R2 bestimmt ($V = R_1 / R_2$). Haben R1 und R2 gleiche Werte, arbeitet die Schaltung als analoger Subtrahierer.

Kursübersicht

1. Passive Bauelemente: Widerstände, Kondensatoren, Spulen
2. Aktive Bauelemente: Dioden, Z-Dioden, Transistoren, Operationsverstärker
3. Aktive Bauelemente: TTL-ICs, CMOS-ICs, Sensoren, allgemeine Aufbauhinweise

nem Rauschen der sonst so »klaren« Stimmen bemerkbar. Um dieses Problem zu beseitigen, darf die Lautstärke nicht unter einen bestimmten Pegel fallen, damit die SID-Stimmen nicht allzusehr abgedämpft werden. Dies können wir erreichen, indem wir zu jedem Sample den Mittelwert 8 addieren. Da aber der maximale Wert eines Samples plus 8 größer als 15 ist, müssen wir den Wertebereich der Samples verkleinern. Wir wollen hier aus den 4-Bit-Samples 3-Bit-Samples machen, die dann allerdings nur noch 8 Werte annehmen können. Um die Samples so zu konvertieren, können wir sie zum einen in der Abspielroutine mit einem LSR durch zwei teilen, oder vorher komplett mit folgender Basic-Zeile umwandeln (dadurch entfällt das LSR, und die Abspielroutine wird nicht unnötig langsamer):

```
FOR I= Anfangsadresse TO Endadresse : POKE I, (PEEK(I)/2)
AND 247 : NEXT
```

Und noch etwas zur Soundqualität: Benutzt man den Filter des SIDs, werden die Digi-Sounds leiser (je nachdem, welcher Filtermodus gewählt wird). Da man den Filter in einer Musik wahrscheinlich sowieso irgendwann benutzen will, sollte man beim Start der Musik den (Tiefpaß-) Filter einschalten und die Filterfrequenz auf 255 setzen, denn dadurch ist der Filter anfangs nicht hörbar (»abgeschaltet«), läßt sich aber dann ohne Probleme immer wieder an- und abschalten. Sind die Digi-Sounds jetzt zu leise, kann man mit den Sustain-Pegeln in den normalen Sounds die Lautstärke an die Digi-Sounds anpassen. Kommen wir zu etwas, was sonst kaum zu finden ist: fünf unabhängig voneinander programmierbare Stimmen. Sie werden sich wahrscheinlich jetzt fragen, wie man die fünfte Stimme erzeugt, denn das Lautstärkeregister ist ja schon benutzt. Nun – benutzen wir es doch einfach nochmal! In der aktuellen Version unserer Abspielroutine hatten wir ja zu jedem Sample acht addiert. Der Trick ist nun der, daß wir anstatt »acht« genauso gut einen anderen Sample (z.B. aus einem anderen Speicherbereich) addieren können. Dadurch muß unsere Routine natürlich noch stark erweitert werden, was sich etwas nachteilig auf die Ausführungszeit auswirkt. Die zweistimmige Digi-So- und Abspielroutine ist in Listing 1 abgedruckt. Die genauere Funktionsweise können Sie wieder aus den Kommentaren entnehmen. Dabei wurde die Routine auch um die Befehle ORA \$FE erweitert, wobei man jetzt in \$FE (nur in das obere Nibble) Werte für den Filter schreiben kann. Im letzten Teil stellen wir Ihnen eine Musikroutine vor, die die drei Stimmen mit den besprochenen Effekten und zusätzlich zwei Digi-Stimmen abspielen kann. (aw)

Elektronische Bauelemente Teil 3

Der dritte Teil unseres praxisorientierten Bauelementekurses beschäftigt sich mit der digitalen Schaltungs-Technik.

von Hans-Jürgen Humbert

Moderne elektronische Geräte arbeiten fast immer rein auf digitaler Basis: z.B. Computer. Auch für den Hobby-Bastler ist der Einsatz digitaler Bausteine öfters sehr nützlich.

Digitale Logik kennt nur zwei Zustände: nämlich die Pegel 0 V und + 5 V: Spannung ein = High-Pegel und Spannung aus = Low-Pegel. Diese ICs sind also gezwungen, mit einer besonderen Art der Mathematik zu arbeiten. Das führte zu einer Renaissance des Dualsystems und der Booleschen Algebra. Benannt nach dem englischen Mathematiker George Boole (1815 bis 1864). Er hat im vorigen Jahrhundert die Grundlagen zu dieser Art von Mathematik gelegt. Sie benutzt nur die beiden Aussagen: wahr oder unwahr. Auch mit nur zwei Zahlen lassen sich größere Zahlen ausdrücken.

Dabei folgen die Zahlen der Zweier-Potenz (Binär), während wir normalerweise mit der Zehner-Potenz (Dezimal) rechnen. In der Informatik hat sich noch eine weitere Schreibweise der Zahlen eingebürgert, nämlich Hexadezimal. In der untenstehenden Tabelle sind die

Binär	Dezimal	Hex
00000	0	0
00001	1	1
00010	2	2
00011	3	3
00100	4	4
00101	5	5
00110	6	6
00111	7	7
01000	8	8
01001	9	9
01010	10	A
01011	11	B
01100	12	C
01101	13	D
01110	14	E
01111	15	F
10000	16	F0

Die ersten 16 Zahlen in binärer, dezimaler und hexadezimaler Schreibweise

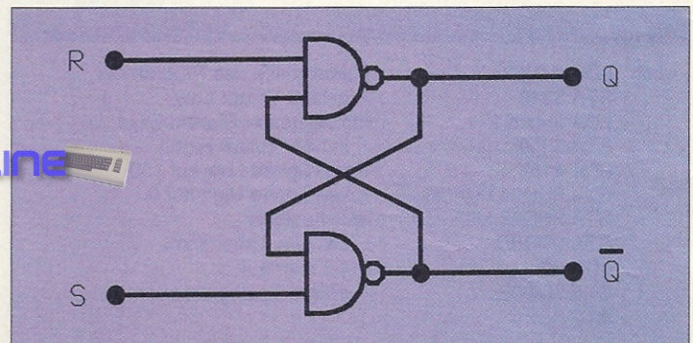
ersten 16 Werte jeder Zahlenreihe nebeneinander aufgeführt.

In der Digital-Technik unterscheidet man mehrere Familien

von integrierten Bausteinen. Computer der ersten Generation wurden mit Relais aufgebaut. Durch die technisch bedingten langen Schaltzeiten waren diese Geräte naturgemäß sehr langsam. Dann kam die Röhrentechnik. Diese Computer gingen mit Strom nicht gerade sparsam um. Einer dieser Giganten (von den Abmessungen her, nicht von der Rechenleistung)

burtsstunde der TTL-Reihe (Transistor Transistor Logik). Diese Technik wird auch heute noch, allerdings mit verbesserten Bausteinen, eingesetzt. Man erkennt die Bausteine am Aufdruck 74 XXX. Der Nachfolger dieser Reihe sind Chips mit dem Aufdruck 74 LS XXX, wobei das LS für Low Power Schottky (eine besondere Art des Chipaufbaus) steht. Sie sind pin-kompatibel zu den älteren Typen. Die Stromaufnahme wurde allerdings auf ein Viertel gesenkt. Dafür liegt die Arbeitsgeschwindigkeit auch wesentlich niedriger. Modernste Digital-Chips sind vollständig in CMOS-Technik aufgebaut. Diese vereinigen geringen Stromverbrauch und hohe Arbeitsgeschwindigkeit.

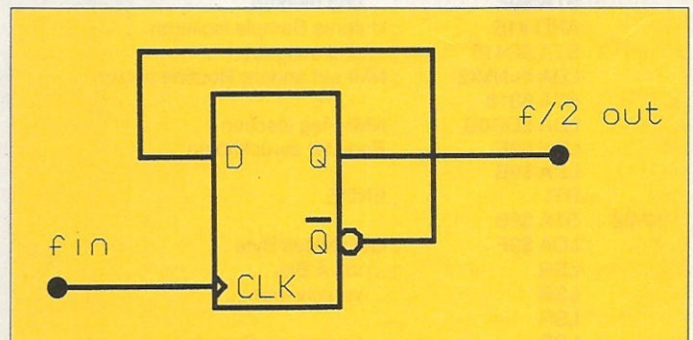
Diese ICs hatten allerdings auch wieder ihre Nachteile: Die ersten Exemplare waren so empfindlich, daß sie nur mit einigen Vorsichtsmaßnahmen zu handhaben waren. Bedingt durch den hochhohmigen Aufbau, konnten sehr leicht statische Spannungen den Eingängen der ICs den Garaus machen.



Das einfachste Flip-Flop besteht aus zwei Nand-Gattern

brauchte noch fast ein Kraftwerk zur Stromversorgung. Erst die Erfindung des Halbleiters brachte den Durchbruch. Computer wurden damals aus einzelnen Transi-

Deshalb sind CMOS-ICs grundsätzlich auf einer speziellen Matte gesteckt. Diese besitzt eine elektrische Leitfähigkeit, wodurch Zerstörungen weitgehend vermie-



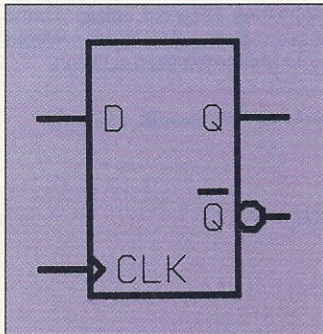
Ein D-Flip-Flop teilt in dieser Beschaltung Frequenzen durch zwei

storen und Widerständen aufgebaut. Diese Technik nannte man RTL (Resistor Transistor Logik). Die nächste Generation arbeitete mit Transistoren und Dioden DTL (Diode Transistor Logik). Erst die Erfindung der integrierten Schaltungstechnik brachte die entscheidende Wende. Nun ließen sich die einzelnen Funktionsgruppen auf einem Chip integrieren. Das war die Ge-

den werden. Lassen Sie diese ICs nach Möglichkeit immer in der Matte stecken und nehmen Sie sie erst kurz vor dem Einsetzen in die Schaltung heraus. Dabei sollten Sie darauf achten, daß Sie selbst zu diesem Zeitpunkt nicht aufgeladen sind. Fassen Sie also vorher einen geerdeten Gegenstand (z.B. die Heizung) an, um auch die geringste statische Aufladung loszu-

werden. Jetzt können Sie das IC ohne Angst vor Beschädigung aus der Matte ziehen.

Die CMOS-ICs lassen sich auch in einem erweiterten Spannungsbereich einsetzen. Die Versorgungsspannung darf dabei in einem Bereich von 3 bis 15 Volt liegen. Je nach Hersteller kann die Versorgungsspannung sogar bis auf 20 Volt steigen. Je höher die Betriebsspannung ist, desto höher auch die maximale Frequenz, die das IC noch verarbeiten kann. Dies ist besonders beim Oszillator/Teil-



Schaltsymbol des D-Flip-Flop

lerbaustein CD 4060 zu beachten. Bei einer Versorgungsspannung von 5 Volt ist der Baustein nur für eine maximale Frequenz von 1,75 MHz geeignet. Dieses kann aber je nach Hersteller variieren. Schwingt ein mit diesem IC aufgebauter Oszillator nicht an, sollte man erst die Betriebsspannung auf ca. 10 Volt erhöhen. Dabei dürfen sich natürlich keine weiteren Halbleiter in der Schaltung befinden. Arbeitet er jetzt wunschgemäß, sind der IC und seine Beschaltung in Ordnung. Sie können nun einen IC eines anderen Herstellers einsetzen. Anderenfalls brauchen Sie einen Transistor, der die hohe Ausgangsspannung des ICs auf ungefährliche 5 Volt herabsenkt. Natürlich ist dann der IC mit der hohen Spannung zu versorgen. Die restliche Schaltung bekommt aber nur 5 Volt. Der Transistor dient nur zur Anpassung. Allerdings ist nicht zu vergessen, daß diese hohe Betriebsspannung nur für ICs aus der Reihe der CD 40XX gilt. Die Bausteine der anderen Familien vertragen nur eine maximale Betriebsspannung von 5 Volt. Schon ein Tick mehr führt zur sofortigen Zerstörung der ICs.

Ein Problem stellt in diesem Zusammenhang die Zusammenschaltung digitaler ICs verschiedener Familien dar. Wie eben schon erwähnt, müssen die Ausgänge der vorherigen Schaltung den Eingang der nachfolgenden auch treiben können. Da die Schaltungen aber immer hochohmiger werden, können sie nur noch geringe Ströme liefern. Während ein TTL-IC problemlos 100 CMOS-ICs bedient, sieht es umgekehrt schon schlechter aus. Ein CMOS-Ausgang kann in vielen Fällen zwar ein

TTL-LS-IC bedienen, bei einem normalen IC ist der maximale Strom aber zu gering. Hier muß nun ein Treiber nachgeschaltet werden. Geeignete Treiber-ICs sind der CD 4049 und der CD 4050. Während der CD 4050 das Signal unverändert an die nachfolgende Schaltung weitergibt, invertiert der erstgenannte das Eingangssignal. Beide Bausteine beinhalten jeweils sechs Treiberbausteine. Diese ICs nehmen auch eine Pegelanpassung vor. Sie werden mit der Betriebsspannung der nachfolgenden Stufen verbunden. Sie können sowohl eine Umsetzung von kleinerer auf höhere Versorgungsspannung, als auch umgekehrt vornehmen.

Die digitalen CMOS-ICs kommen in zwei Familien vor:

CCD 40XX, wobei das XX die Funktion des ICs angibt

74 HC XXX

74 HCT XXX

Alle digitalen ICs stellen relativ hohe Anforderungen an die Versorgungsspannung. Die Betriebsspannung von +5 Volt muß mit einer maximalen Toleranz von +/- 5 Prozent eingehalten werden. Die ICs werden sofort zerstört, wenn die Spannung auf über 7 Volt steigt. Dem Netzteil gebührt deshalb besondere Aufmerksamkeit.

Die einzelnen Bausteine können wir getrost als »Black Boxes« auffassen. Wie die internen Vorgänge ablaufen, überlassen wir den Chip-Designern. Alle Bausteine einer Familie können problemlos miteinander verschaltet werden. Wie mit einem LEGO-Baukasten lassen sich die größten Schaltungen konstruieren.

Die Bausteine

Der einfachste Baustein in der Digital-Technik enthält einen Inverter. Einfach bezieht sich hier nur auf seinen Einsatz. Das komplizierte Innenleben ist für die Schaltungsentwicklung nicht wichtig. Ein Inverter hat die Aufgabe, sein Eingangssignal mit umgekehrtem Pegel am Ausgang zur Verfügung zu stellen. Die Eingänge werden in den folgenden Wahrheitstabellen mit A und B und der Ausgang mit Y gekennzeichnet

A	Y
0	1
1	0



Dann folgen die Gatter. Sie unterteilen sich in folgende Spezialbausteine:

AND-Gatter

...dient zur Verknüpfung zweier oder mehrerer Eingangs-Signale und folgt dieser Wahrheitstabelle dargestellt für zwei Eingänge:

A	B	Y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1



NAND-Gatter

...arbeitet ähnlich wie das AND-Gatter, aber mit invertiertem Ausgang:

A	B	Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0



OR-Gatter

...dient zur Oder-Verknüpfung von Signalen:

A	B	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1



NOR-Gatter

...dient zur Oder-Verknüpfung von Signalen mit anschließender Invertierung:

A	B	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0



EXOR-Gatter

...wird für spezielle Logikverknüpfungen eingesetzt:

A	B	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1



Aus diesen Grundelementen sind auch die kompliziertesten

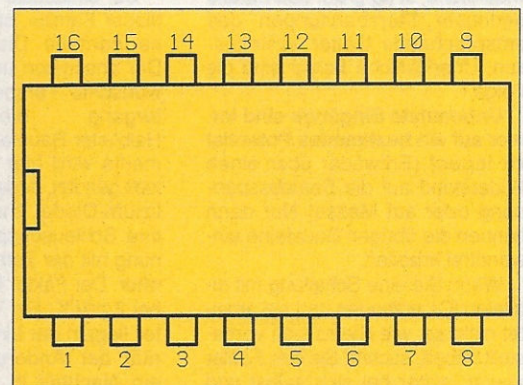
Computer aufgebaut. Nur befinden sich die Gatterschaltungen nun zu mehreren Tausend auf einem Chip. Als Beispiel wählen wir eine Flip-Flop-Schaltung, aufgebaut aus NAND-Gattern.

Diese bildet das Grundgerüst jedes Computers. Der Flip-Flop kann einen elektronischen

Zustand speichern. Mit mechanischen Mitteln läßt er sich leicht simulieren. Legen Sie zwei Kugelschreiber mit Druckmechanik hintereinander. Ein Kugelschreiber muß dabei gedrückt sein. Drücken Sie nun auf beide Kugelschreiber gleichzeitig, so werden beide ihren Zustand ändern. Der obere ist jetzt schreibbereit, während der untere seine Mine eingezogen hat. Ein erneuter Druck auf beide, vertauscht die Zustände.

Genauso, nur im elektrischen Sinn, arbeitet ein Flip-Flop. Während an einem Ausgang ein High-Pegel anliegt, steht am anderen ein Low-Pegel an. Ein Impuls am Eingang steuert das Element in die entgegengesetzte Position. Solange die Versorgungsspannung ansteht, bleibt dieser Zustand erhalten, nur ein erneuter Impuls am Eingang kann das Flip-Flop wieder in die andere Lage »kippen«. Nur beim Einschalten der Betriebsspannung nimmt dieses Bauelement einen willkürlichen Zustand ein. Je nach den elektrischen Eigenschaften der einzelnen Transistoren wird die eine oder andere Seite zuerst durchgeschaltet und damit einen stabilen Zustand erzwingen. ICs werden in großen Stückzahlen hergestellt und sind entsprechend preiswert.

Alle diese elektronischen Bausteine befinden sich in kleinen schwarzen Gehäusen mit vielen Anschlüssen. Die Pinbelegung ist genormt. Die Anschlüsse sind durchnummeriert. Dabei wird grundsätzlich die Belegung mit Sicht von oben auf das IC angegeben. Ganz egal, wie viel Anschlüsse ein IC auch hat. Die Zählung beginnt immer bei der Kerbe mit Anschluß 1. Wenn man das IC so legt, daß die Kerbe oben ist, werden die Pins gegen den Uhrzeigersinn durchnummeriert. Wird allerdings von unten an der Platine gemessen, liegen die Pins natürlich spiegelbildlich. An sehr großen Bausteinen, mit 40 Pins und mehr, wächst natürlich die Möglichkeit einer Verwechslung der Anschlüsse stark. Zählen Sie deshalb ruhig zweimal, um den richtigen Anschluß zu finden.



Beim IC erfolgt die Betrachtung der Anschlußpins grundsätzlich von oben

Wie schon gesagt, lassen sich die Chips einer Logik-Familie einfach wie mit einem LEGO-Baukasten aneinanderreihen. In der Regel stimmt diese Aussage, aber in der Praxis ist mehr zu beachten.

Man vergißt nur allzu leicht, daß man nicht mit idealen Bausteinen arbeitet, sondern mit realen und die verbrauchen dummerweise auch Strom. Jeder Ausgang eines ICs kann nur eine bestimmte Menge Strom abgeben. Man bezeichnet

die Menge an Strom nicht in Milliampere, sondern rechnet einfach mit der Anzahl der Eingänge, die ein IC-Ausgang versorgen kann. Denn in jeden IC-Eingang fließt ein kleiner Strom, wenn er angesteuert wird. Dementsprechend kann jeder IC-Ausgang nur eine bestimmte Zahl von Eingängen versorgen. Man bezeichnet die Anzahl mit »Fan Out«. In einigen ICs sind intern einige Eingänge zusammengeschaltet, die dann natürlich den Ausgang des vorherigen Bausteins zusammen belasten. Dies ergibt dann den »Fan In«. Dazu ein kleines Beispiel:

Ein normaler TTL-Chip hat ein »Fan Out« von 10, d.h. er kann zehn Eingänge sicher mit dem nötigen Strom versorgen. Ein SN 7475 (Speicherbaustein für 4 Bit) besitzt einen Speichereingang für vier Flip-Flops; intern sind bei ihm vier Eingänge parallel geschaltet (»Fan In« von 4). Für unser Beispiel bedeutet das, daß ein TTL-IC nur zwei von diesen Bausteinen versorgen kann.

In manchen ICs sind mehrere gleichartige Funktionsgruppen enthalten, die völlig unabhängig von einander in der fertigen Schaltung ihren Dienst versehen. Manchmal braucht man von den sechs Bausteinen nur drei. Was aber passiert mit den anderen? Handelt es sich um normale TTL-Bausteine, können wir die drei übrigen Funktionsgruppen einfach unbeschaltet lassen. Intern werden die Eingänge mit Pull-Up-Widerständen auf + 5 V gezogen. Sie liegen also auf einem definierten Pegel und der IC arbeitet stabil. Anders sieht es schon bei den hochohmigeren CMOS-ICs aus. Deren Eingangswiderstand ist so groß, daß bereits geringste Störspannungen das entsprechende Gatter beeinflussen. Unerkklärliche Fehler sind die Folge.

Unbenutzte Eingänge sind immer auf ein bestimmtes Potential zu legen! (Entweder über einen Widerstand auf die Betriebsspannung oder auf Masse) Nur dann können die übrigen Bausteine einwandfrei arbeiten.

Wenn Sie eine Schaltung mit digitalen ICs aufbauen und sie arbeitet nicht so, wie Sie es sich vorgestellt haben, suchen Sie den Fehler zuerst immer bei sich selbst und zuletzt bei den ICs. Nehmen Sie immer an, daß etwas unglaublich falsch in Ihrer Schaltung ist. Das unmögliche Verhalten eines ICs ist meist nur der Versuch, trotz falscher Beschaltung seine Arbeit auszuführen.

Spezielle Bauteile

In der Elektronik werden immer mehr Spezial-Bauteile eingesetzt. Mußten früher noch etliche Klimzüge und einiger Aufwand beim Abgleich der Schaltung betrieben werden, liefert die Industrie heute für fast jeden Zweck maßge-

schneiderte ICs. Mit diesen lassen sich auch von nicht versierten Hobbybastlern schnell und problemlos Schaltungen aufbauen, an die früher nicht zu denken war.

Diese Methode besitzt jedoch auch Nachteile. Beim Aufbau einer komplexen Schaltung aus mehreren kleinen Funktionsgruppen, läßt sich jede einzelne getrennt testen. Sind aber alle Funktionen in einem IC vereint, kann man die evtl. nicht funktionierende Gruppe nicht herausfinden. Die Schaltung geht, oder sie arbeitet nicht. Dann legen Sie die Schaltung weg und sehen Sie erst am nächsten Tag wieder nach ihr. Bei selbst verursachten Fehlern neigt man nämlich dazu, sie ständig zu übersehen. Oder bitten Sie einen Freund, sich einmal kurz die Schaltung anzusehen. Er wird mit Sicherheit auf einen Blick die Fehler sehen, die Ihnen immer entgangen waren.

Sensoren

Um auch Umwelteinflüsse elektronisch erfassen zu können, liefert die Industrie eine Vielzahl von Sensoren. Mit diesen läßt sich jede physikalische Größe in ein elektrisches Signal umwandeln.

Temperatur-Sensoren

Der einfachste aus dieser Familie ist eine normale Diode. Der ansonsten unerwünschte Temperatureingang dieses Halbleiter-Bauelements wird hier gezielt genutzt. Jede Silizium-Diode ändert ihre Schwellenspannung mit der Temperatur. Der Faktor liegt bei 2 mV/K. Ein Vorteil liegt in der Linearität der Änderung, ein Nachteil in der geringen Spannung.

NTCs (Negative Temperature Coefficient) ändern ihren Widerstand mit der Temperatur. Die Änderung ist sehr groß, aber nicht linear. Diese Sensoren werden deshalb nicht in Meßschaltungen eingesetzt.

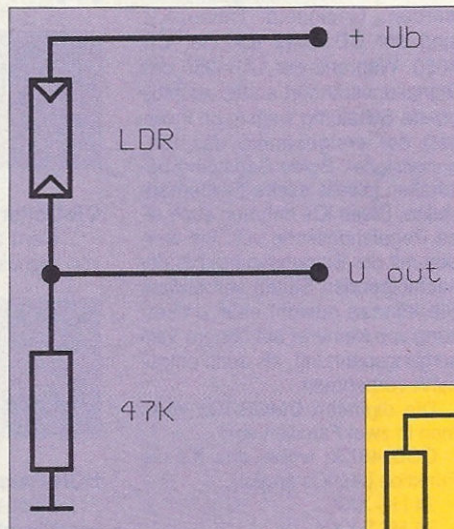
Zur Messung von Temperaturen werden heute meist integrierte Schaltkreise eingesetzt. Sie sind nicht viel teurer als NTCs, bieten aber neben einer ausgezeichneten Linearität gleich die Temperatur als

Spannung in Kelvin an. Der LM 35 liefert beispielsweise bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad

vollkommen linear verläuft. Filter passen den Sensor der Empfindlichkeit des menschlichen Auges an.

Drucksensoren

Früher waren Luftdruckmessungen nur mit großem Aufwand zu realisieren. Die schon bei der Diode beschriebene Temperaturabhängigkeit des Halbleitermaterials machte die Messung sehr schwierig. Diese Abhängigkeit mußte mit großem Aufwand neutralisiert werden. Heute gibt es Luftdrucksensoren, die schon eine Verstärker- und Temperaturkompensations-Schaltung integriert haben. Damit lassen sich auf einfache Weise gute Meßergebnisse erzielen.

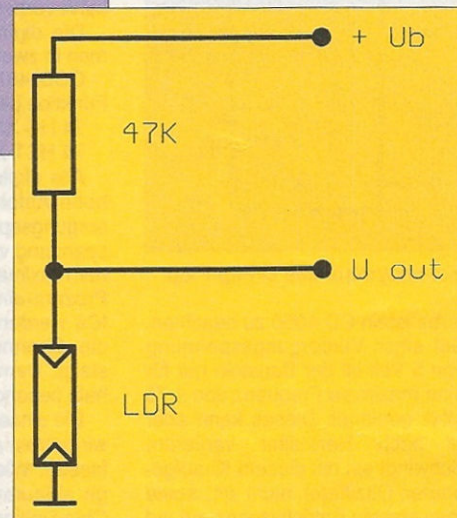


Grundschaltung eines LDRs: mit steigender Beleuchtung nimmt auch die Ausgangsspannung zu.

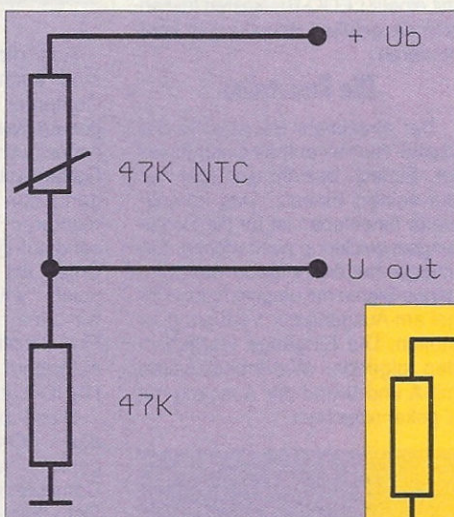
eine Ausgangsspannung von 2,98 V. Dies entspricht genau der Temperatur in Kelvin.

Lichtsensoren

Als einfachster Lichtsensor wird immer noch der LDR (Light Dependence Resistor) eingesetzt. Er ändert seinen Widerstand mit der Be-

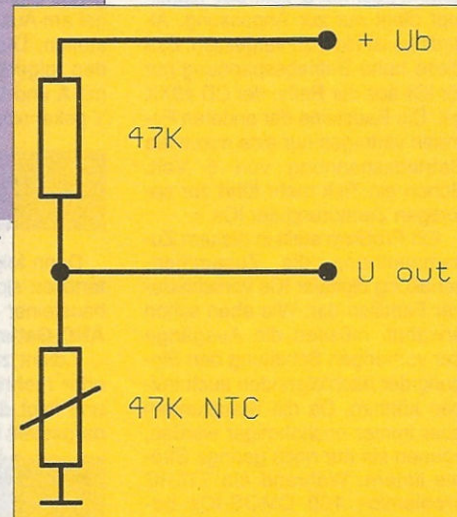


Hier sinkt bei größerer Helligkeit die Ausgangsspannung



Grundschaltung einer Temperaturmessung: mit steigender Temperatur bewegt sich auch die Ausgangsspannung nach oben

leuchtungsstärke um mehrere Zehnerpotenzen. Für Meßzwecke bevorzugt man allerdings spezielle Fotodioden. Diese liefern bei Beleuchtung einen Fotostrom, der bei geeigneter Beschaltung



In dieser Schaltungsvariante sinkt bei steigender Temperatur die Ausgangsspannung

Kursübersicht

1. Passive Bauelemente: Widerstände, Kondensatoren, Spulen
2. Aktive Bauelemente: Dioden, Z-Dioden, Transistoren, Operationsverstärker
3. Aktive Bauelemente: TTL-ICs, CMOS-ICs, Sensoren, allgemeine Aufbauhinweise