

Elektrische Grundschaltungen

In Reih' und Glied



Der Akku im Auto ist ein weit verbreitetes Beispiel einer Reihenschaltung

Elektrische Schaltpläne sehen für den Laien verwirrend aus. Unter den vielen Möglichkeiten, elektrische Verbraucher und Spannungsquellen miteinander zu verbinden, gibt es zwei Grundschaltungen: die Reihenschaltung und die Parallelschaltung.

Christbaum in Reihe

Bei der Reihenschaltung sind die elektrischen Verbraucher oder Spannungsquellen so geschaltet, dass sie vom gleichen Strom nacheinander durchflossen werden. Deshalb heißt die Reihenschaltung auch Serienschaltung oder einfach Hintereinanderschaltung. Im Stromkreis fließt überall der gleiche Strom und es gibt keine Verzweigungen. Die bekanntesten Reihenschaltungen von Spannungsquellen sind die 4,5-V-Taschenlampenbatterie und die Akkumulatorenbatterie im Auto. Jede einzelne Zelle eines Akkus erzeugt eine Spannung von 2 V. Bei der Reihenschaltung addieren sich

die Spannungen der einzelnen sechs Zellen zu den bekannten 12 V.

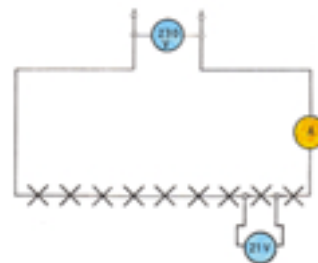
$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6$$

Um die Zahl der einzelnen Zellen zu erhalten, muss man nur die Gesamtspannung durch 2 V teilen. Umgekehrt erhält man die Spannung einer Zelle, indem man die Gesamtspannung durch die Zahl der Zellen teilt. Das Paradebeispiel für eine Reihenschaltung von Verbrauchern ist die elektrische Christbaumbeleuchtung. Die Gesamtspannung geteilt durch die Zahl der Lämpchen ergibt die Spannung eines einzelnen. Bei elf Lämpchen beträgt die Spannung also ($230 \text{ V} : 11 = 20,91 \text{ V}$) rund 21 V. Auch hier ergibt die Summe der Einzelspannungen die Gesamtspannung. Während sich beim Akku die Einzelspannungen addieren, werden sie bei einer Reihenschaltung von elektrischen Verbrauchern von der Gesamt-

spannung abgezogen. Liegt am ersten Lämpchen der Christbaumbeleuchtung noch die volle Spannung von 230 V an, so sind es am zweiten nur noch 209,09 V. Hinter jedem Lämpchen vermindert sich die Spannung um 20,91 V. In der Reihenfolge geht es weiter bis zur letzten Lampe.

Nur zusammen lebensfähig

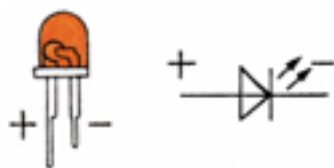
Jedes einzelne Lämpchen würde, für sich allein an die Netzspannung angeschlossen, sofort durchbrennen. Alle zusammen brav hin-



Bilder: BIBB

Die Christbaumbeleuchtung ist ein typisches Modell einer Reihenschaltung

tereinander geschaltet, leuchten prächtig. Bei der Reihenschaltung addieren sich nicht nur die Spannungen der einzelnen Verbraucher, sondern auch ihre Wider-



Leuchtdioden werden seit einigen Jahren in Kraftfahrzeugen als Anzeigelampen eingesetzt

stände. Der Gesamtwiderstand ist die Summe aller Einzelwiderstände:

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Der Gesamtwiderstand wird auch Ersatzwiderstand genannt. Für die Spannungsquelle ist es einerlei, aus welchen und wie vielen Einzelwiderständen er sich zusammensetzt. Für den Gesamtwiderstand gilt das Ohmsche Gesetz:

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I}$$

Das bedeutet, dass der Gesamtwiderstand den Strom bestimmt, der durch den Stromkreis fließt.

$$I = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}}$$

Ebenso unterliegt natürlich auch jeder Einzelwiderstand dem Ohmschen Gesetz. Da in der Reihenschaltung überall derselbe Strom fließt, ist der Spannungsabfall am

größten Widerstand am größten und am kleinsten Widerstand am kleinsten, wenn verschiedene Widerstände in Reihe geschaltet sind. Der Spannungsabfall wird nach der Formel

$$U = R \cdot I$$

berechnet. Nachfolgend sind die Gesetzmäßigkeiten für die Reihenschaltung zusammengefasst:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

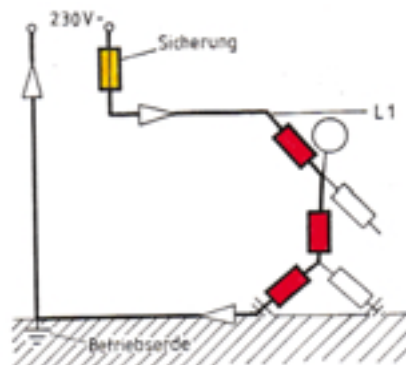
$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Eine praktische Anwendung der Reihenschaltung ist die Schaltung mit Vorwiderstand. Solche Schaltungen werden angewandt, wenn elektrische Verbraucher an eine Spannung angeschlossen werden sollen, die höher als ihre Nennspannung ist. Das wäre der Fall, wenn man eine 3-V-Taschenlampe an eine 12-V-Batterie anschließen will. Die Aufgabe des Vorwiderstandes ist es, die überschüssige Spannung zu vernichten.



Die Leuchtdiode, der Vorwiderstand, der die zu hohe Spannung der Kfz-Batterie von 12 V auf 1,5 V reduzieren soll, und das Ampèremeter sind in Reihe geschaltet



Beim elektrischen Unfall durch Berühren des Außenleiters L1 des 230-V-Netzes führt der Weg des Stroms über eine Reihe von Widerständen

Vorwiderstände richtig berechnen

Heute werden anstelle von Lampen sehr häufig LEDs eingebaut. Die Abkürzung LED stammt vom englischen „light emitting diode“. Gegenüber Glühlampen sind sie kleiner, erschütterungsfester, haben eine höhere Lebensdauer und – eine geringere Stromaufnahme. Sie arbeiten also mit geringeren Spannungen als herkömmliche Lampen. Noch etwas muss man beim Einsatz von LEDs wissen: Als Halbleiterelement kommt es bei ihnen auf die richtige Polung an. Bei vertauschter Polung wirkt die Leuchtdiode wie ein abgesperres Ventil. Sie ist dann stromundurchlässig und leuchtet nicht.

SPEZIAL

Die angelegte Spannung wirkt als Sperrspannung. In den Katalogblättern der Hersteller steht neben der Durchlassspannung (Betriebsspannung) noch die Sperrspannung. Eine zu hohe Sperrspannung zerstört die Diode. Soll nun eine Leuchtdiode mit einer Durchlassspannung von 1,5 V und einem Strom von 20 mA an die Kfz-Batterie von 12 V angeschlossen werden, so ist ein entsprechender Vorwiderstand nötig. Seine Aufgabe ist es, 10,5 V überschüssiger Spannung zu vernichten:

$$U_V = 12 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 10,5 \text{ V}$$

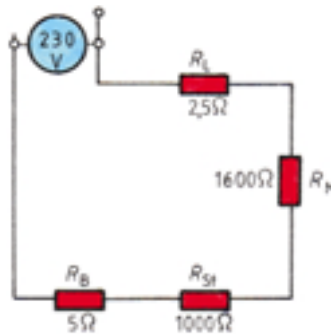
Da durch den Vorwiderstand der gleiche Strom fließt wie durch die Leuchtdiode, lässt er sich nach Papa Ohms Formel leicht berechnen:

$$R_V = \frac{U_V}{I} = \frac{10,5 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 525 \Omega$$

Damit ist es aber noch nicht genug. Der Vorwiderstand muss den Strom, der durch ihn fließt, auch aushalten können. Schließlich wird in ihm elektrische Leistung in Wärme umgesetzt. Um den richtigen Widerstand auswählen zu können, muss noch die Leistung ausgerechnet werden:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \\ P &= 10,5 \text{ V} \cdot 0,02 \text{ A} \\ P &= 0,21 \text{ W} \end{aligned}$$

Die Leistung eines Widerstands heißt auch Belastbarkeit. Üblich sind die Abstufungen 0,1 W, 0,3 W, 0,5 W, 1 W und 2 W. Aus dem



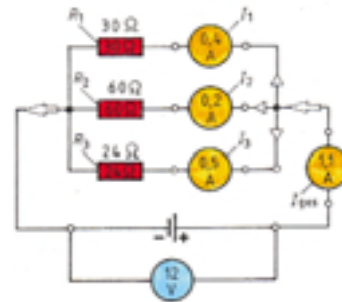
So sieht das Schaltbild des elektrischen Unfalls aus. Der Strom fließt durch die Widerstände R_L (Leitungswiderstand), R_M (menschlichen Körper), R_{St} (Standort) und R_B (Betriebserde)

Katalogblatt eines Herstellers wählt man einen Widerstand mit einer Belastbarkeit von 0,3 W. Verglichen mit der Leistung der Leuchtdiode von 0,03 W ist die des Vorwiderstands sehr hoch. Vorwiderstände zur Spannungsreduzierung kommen deshalb nur bei kleinen elektrischen Verbrauchern in Frage. Denn die Spannungsquelle muss die Leistung liefern, die im Vorwiderstand ohne weiteren Nutzen „verbraten“ wird. In hydraulischer Hinsicht entsprechen Vorwiderstände Strangregulierventilen, voreinstellbaren Heizkörperventilen und Rücklaufverschraubungen.

Vorsicht Spannung

Ein nicht seltener Spezialfall der Reihenschaltung ist der elektrische Unfall. Was beide mit einander zu tun haben, wird deutlich, wenn man den Weg des Stroms beim Unfall verfolgt. Neben der Spannung des berührten Leiters sorgen mehrere Widerstände dafür, wie man sich fühlt,

wenn man einen „gepfeffert“ bekommt. Der Widerstand des menschlichen Körpers R_M beträgt im Durchschnitt 1600 Ω . Ebenso wichtig ist der Widerstand des Standorts R_{St} . Der ist abhängig Materialeigenschaften wie den Schuhen (trockene oder feuchte Sohle oder barfuß) und der Leitfähigkeit des Bodens (Estrich, Parkett, trockene oder feuchte Erde). Wenn man für den Standortwiderstand 1000 Ω in die Rechnung einsetzt, liegt man sicher nicht daneben. Mit diesen Widerständen



Das auffälligste Merkmal der Parallelschaltung ist die Verzweigung des Stromkreises. An allen Verbrauchern (Widerständen) liegt die gleiche Spannung (hier 12 V) an

verglichen ist der Leitungswiderstand R_L mit 2,5 Ω und der Widerstand der Betriebserde R_B mit 5 Ω fast vernachlässigbar. Um die Wirkung des Stroms auf das Unfallopfer beurteilen zu können, muss man die Stromstärke nach dem Ohmschen Gesetz berechnen:

$$I = \frac{U_{ges}}{R_{ges}}$$

Der Gesamtwiderstand beträgt:

$$R_{\text{ges}} = R_L + R_M + R_{\text{St}} + R_B$$

$$R_{\text{ges}} = 2,5 \Omega + 1600 \Omega + 1000 \Omega + 5 \Omega$$

$$R_{\text{ges}} = 2607,5 \Omega$$

Durch diesen Gesamtwiderstand fließt ein Strom von:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{230 \text{ V}}{2607,5 \Omega}$$

$$I = 0,088 \text{ A}$$

$$I = 88 \text{ mA}$$

Am menschlichen Körper tritt dabei eine Spannung auf von:

$$U = I \cdot R$$

$$U = 1600 \Omega \cdot 0,088 \text{ A}$$

$$U = 141 \text{ V}$$

Bekanntlich sind bereits Ströme ab 50 mA lebensgefährlich. Wenn die verletzte Person den Unfall überlebt hat, dann deshalb, weil sie beim elektrischen Schlag zusammengezuckt ist und den stromführenden Leiter gleich wieder losgelassen hat.

Unabhängiger mit Parallelschaltung

Die zweite Grundschaltung ist die Parallelschaltung. Wenn in der Christbaumbeleuchtung als typischer Reihenschaltung ein Lämpchen durchbrennt, fällt gleich die ganze Lichterkette aus. Diesen Nachteil vermeidet die Parallelschaltung. Sie ermöglicht es, einzelne elektrische Betriebsmittel

unabhängig von einander zu betreiben. Darum ist sie auch in der Praxis weit häufiger als die Reihenschaltung. Die elektrischen Verbraucher im Haushalt, wie Fernseher, Beleuchtung, Ölbrenner usw., sind alle parallel zueinander angeschlossen. Alle Stromversorgungsnetze sind nach dem Prinzip der Parallelschaltung aufgebaut. Bei der Parallelschaltung liegt an allen elektrischen Verbrauchern die gleiche Spannung an. Durch jeden Verbraucher fließt ein Strom, der seinem Widerstand entspricht. An den Ver-



Im Ladegerät sind die Akkus parallel geschaltet

zweigungspunkten addieren sich die einzelnen Ströme zu einem Gesamtstrom bei gleich bleibender Spannung.

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

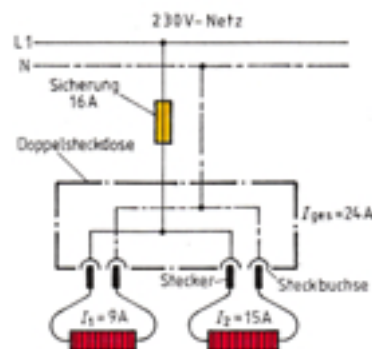
Im Gegensatz dazu addiert sich bei der Reihenschaltung die Spannung bei gleichem Strom. Nicht verwechseln: Würden bei der Autobatterie die einzelnen Zellen parallel geschaltet, so käme eine Spannung von 2 V heraus, aber mit einem

Der Profi erkennt: Mit 24 A ist dieser Stromkreis überlastet

größeren elektrischen Strom als in der üblichen Reihenschaltung. In der Praxis kommt die Parallelschaltung von galvanischen Elementen als Spannungsquelle nur selten vor. Aber zum Wiederaufladen werden die kleinen Nickel-Cadmium-Akkus im Ladegerät parallel geschaltet. Parallel geschaltete Spannungsquellen sind Kraftwerke. Aus der Steckdose kommen fast überall 230 V heraus, unabhängig davon, wie viele Verbraucher am Netz hängen.

Noch ein Ersatzwiderstand

Auch in der Parallelschaltung gilt für den Einzelwiderstand das Ohmsche Gesetz ($I = \frac{U}{R}$). Mit seiner Hilfe lässt sich berechnen, dass durch den kleinsten Widerstand der größte Strom fließt, und umgekehrt durch den größten Widerstand der kleinste Strom. Da das Ohmsche Gesetz in der Parallelschaltung gilt, liegt die Frage nahe, ob es nicht auch einen Ersatzwiderstand wie in der Reihenschaltung gibt. Im Gegensatz zur Reihenschaltung addieren sich die einzelnen Ströme. Wenn man nun in die Formel des Gesamtstroms



SPEZIAL

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

die Formel

$$I = \frac{U}{R}$$

für den Strom einbaut, erhält man folgende Formel:

$$\frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots$$

Da in der Reihenschaltung überall die gleiche Spannung anliegt, kann man die Gleichung durch die Spannung dividieren und erhält:

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Das ist der Ersatzwiderstand der Reihenschaltung. Nur leider ist die Formel etwas unhandlich, und Bruchrechnen ist auch nicht jedermanns Sache. Einfacher wird es, wenn eine Parallelschaltung nur aus zwei Widerständen besteht. Der Ersatz- oder Gesamtwiderstand lautet dann:

$$R_{\text{ges}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung ist immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand. Jeder parallel geschaltete Widerstand bedeutet zusätzlichen Leiterquerschnitt, durch den Strom fließen kann. Je mehr Widerstände in einer Parallelschaltung vor-

handen sind, desto kleiner wird der Gesamtwiderstand, und desto größer wird der Strom, der fließen kann. In der Praxis bedeutet das, dass man beliebig viele Verbraucher an eine Parallelschaltung anschließen kann – vorausgesetzt, die Spannungsquelle macht nicht schlapp. Sind zum Beispiel ein Heizlüfter mit einer Stromstärke von 9 A und eine Waschmaschine, die dem Netz bei vollen Touren 15 A entnimmt angeschlossen, fließt bei gleichzeitigem Betrieb beider Geräte ein Gesamtstrom von:

$$\begin{aligned} I_{\text{ges}} &= I_1 + I_2 \\ I_{\text{ges}} &= 9 \text{ A} + 15 \text{ A} \\ I_{\text{ges}} &= 24 \text{ A} \end{aligned}$$

Eine 16-A-Sicherung setzt diesem Exzess ein Ende und sorgt dafür, dass die Zuleitungen nicht überlastet werden und durch Überhitzung in Brand geraten.

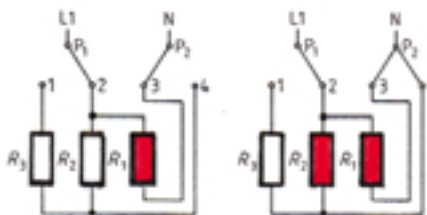
Warmwasserbereiter mit Widerständen

Zwei praktische Beispiele parallel geschalteter elektrischer Verbraucher sind die Heizwiderstände in elektrischen Warmwasserbereitern und Kochplatten. Einerlei, ob es sich um Kochendwassergeräte, Speicher oder Durchlauflauferhitzer handelt, der Heizwiderstand ist immer in einzelne parallel geschaltete Widerstände unterteilt. Die Heizleistung ist meist in sechs Stufen unterteilt, wie aus den Ziffern am Drehknopf des Schalters hervorgeht. In ebenso viele Ein-

Dictionary

Beleuchtung	lighting
Sicherung	fuse
Sicherungsautomat	automatic cut-out
Elektrischer Widerstand	electrical resistance
Spannung	voltage
Strom	current

zelwiderstände ist der gesamte Widerstandsheizkörper unterteilt. Mit jeder höheren Schaltstufe wird ein weiterer Heizwiderstand dazugeschaltet.



In elektrischen Warmwasserbereitern ist der Heizwiderstand immer in einzelne parallel geschaltete Widerstände unterteilt

Reihen- und Parallelschaltungen trifft man – wie man sieht – in der Elektrotechnik häufiger an. Nicht umsonst bezeichnet man sie als Grundsaltungen, an den der Anlagenmechaniker SHK als Elektrofachkraft ganz sicher nicht vorbeikommt.



Dipl.-Ing. Ronald Fischer betreibt ein Ingenieurbüro für technische Gebäudeausrüstung und ist als Fachautor tätig. Telefon und Telefax (0 71 52) 2 88 44 E-Mail: felix_angler@web.de