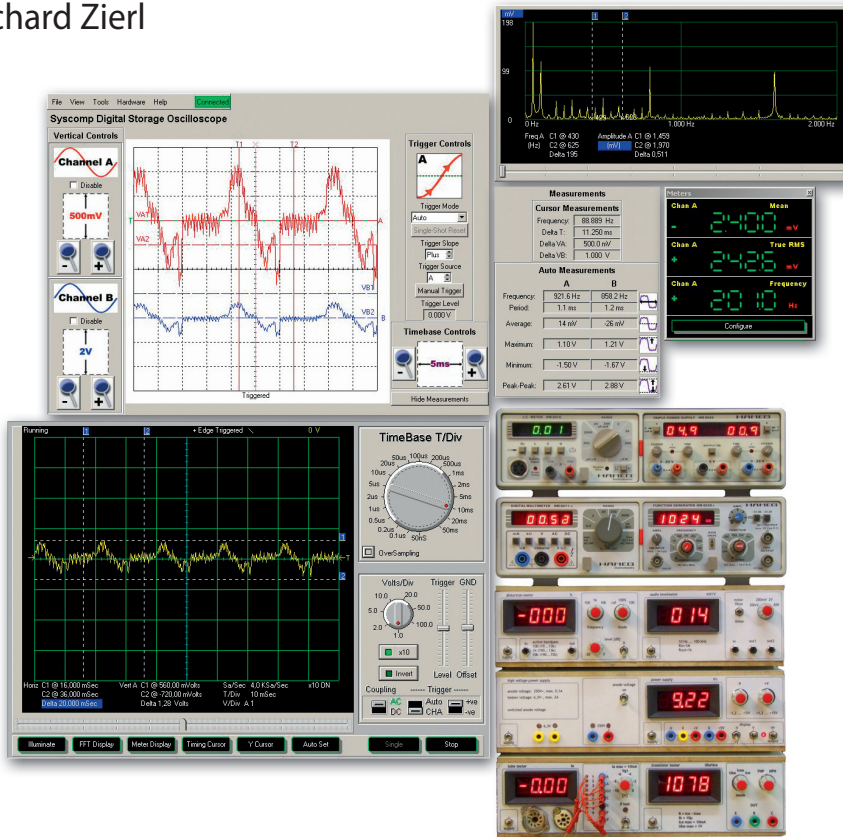


Dr. Richard Zierl



# Fehler in elektronischen Schaltungen finden

Prüf- und Messschaltungen in der Praxis einsetzen

# Vorwort

Jeder Haushalt verfügt heute über eine Vielzahl von elektronischen Geräten (Radio, TV, Hi-Fi-Anlage, mp3-Player, Handy, Türsprechanlage, PC, Videorekorder, Uhr, elektrische Zahnbürste, Brotschneidemaschine, Dimmer usw.). So zuverlässig moderne Elektronik auch ist, ab und zu verweigert ein Gerät seinen Dienst.

Dann ist guter Rat teuer. Werkstätten um die Ecke, die preiswert und zuverlässig reparieren, gibt es immer weniger. Der übliche Rat im „Fachgeschäft“ angesichts einer Reparaturanfrage lautet: „Eine Reparatur bei diesem Gerät lohnt sich nicht mehr, es ist billiger, wenn Sie gleich ein neues kaufen. Wir haben gerade ein Sonderangebot.“

Nicht zuletzt die Wegwerfmentalität ist mitverantwortlich für die nach wie vor zunehmende Umweltproblematik. Elektronikschrott zählt mit zu den giftigsten Hinterlassenschaften unserer Zivilisation. Selbst wenn das neue Gerät im Vergleich zum alten etwas weniger Strom verbraucht, müsste für eine positive Gesamtbilanz auch der nicht unerhebliche Energieverbrauch für die Gewinnung der Rohstoffe sowie die Herstellung und den Transport des neuen Geräts in Rechnung gestellt werden – ebenso wie der Energieverbrauch für das Recycling des Altgeräts.

Lernen Sie auf experimentelle Art, wie typische und häufige Fehler in elektronischen Geräten systematisch gefunden werden können. Einfache und nützliche Hilfsmittel zur Fehlersuche bauen Sie selbst zusammen. So erwerben Sie Schritt für Schritt wertvolle Kenntnisse, die Ihnen helfen, elektronische Geräte zu verstehen und zu reparieren.

Dabei stellen Sie dann fest, dass in der Regel ältere Geräte leichter zu reparieren sind als neuere. Wenn also Ihr alter Kassettenrekorder streikt, sparen Sie sich den Weg zum Wertstoffhof (und Geld für ein neues Gerät) und wagen Sie den Versuch, das ans Herz gewachsene Gerät zu reparieren. Es ist leichter, als Sie denken, und es lohnt sich. Sie sparen nicht nur Geld, Sie erwerben auch wertvolle Kenntnisse über elektronische Schaltungen.

**Warnung:**

Ohne Grundkenntnisse in der Elektronik geht nichts. Es gibt Bücher (z. B. „Elektronische Schaltungen“, ISBN 978-3-7723-5717-6) oder auch Lernpakete (z. B. „Lernpaket Elektronische Schaltungen“, ISBN 978-3-7723-65013-7), die die nötigen Kenntnisse vermitteln. Wenn Sie noch nicht sicher sind, wagen Sie sich nicht an eine Reparatur. Die Gefahr ist groß, dass Sie den Schaden vergrößern, statt ihn zu beheben.

Diese Warnung gilt insbesondere für Reparaturversuche an netzbetriebenen Geräten, an Netzgeräten selbst oder an Geräten mit hohen Betriebsspannungen (z. B. Hi-Fi-Verstärker mit Röhren). Erwerben Sie erst Kenntnisse über die notwendigen Sicher-

heitsmaßnahmen, bevor Sie sich an lebensgefährlich hohe Spannungen wagen (Spannungen über 60 V).

In diesem Buch lernen Sie, einfache Fehler zu finden. Dabei steht der Einsatz einfacher Prüfmittel im Vordergrund. Teure und komplizierte Messmittel werden nicht vorausgesetzt. Die Behandlung komplexer Fehler bleibt außen vor. Damit bleibt das Buch für Anfänger und Quereinsteiger verständlich.

Natürlich dauert es manchmal auch etwas länger, einem Fehler auf die Spur zu kommen, insbesondere wenn kein Schaltplan verfügbar ist. Umso größer ist die Genugtuung, den Fehler schließlich doch gefunden und beseitigt zu haben. Nicht nur, dass damit der Umwelt Gutes getan wurde, auch das persönliche Know-how wurde gestärkt.

Seitdem es leistungsfähige SPICE-Simulatoren kostenlos aus dem Internet gibt (z. B. *LT SPICE IV* von Linear Technologies oder *MultiSIM Analog Devices Edition* von National Instruments), kann sich auch ein Hobby-Elektroniker das Leben erleichtern. Unbekannte oder nicht leicht durchschaubare Schaltungen oder Schaltungsteile lassen sich problemlos mit dem virtuellen Labor des SPICE-Simulators am PC untersuchen. So finden Sie schnell und gefahrlos heraus, wie die Schaltung funktioniert und wo eventuell ein Bauteil defekt ist. Eine leicht verständliche Einführung in SPICE-Simulationsprogramme finden Sie unter anderem in den Büchern „Elektronische Schaltungen“, ISBN 978-3-7723-5717-6, „Schaltungssimulation mit SPICE“, ISBN 978-3-88180-852-1 und im Lernpaket „PC-Messtechnik“, ISBN 978-3-7723-5360-4.

Weitere Informationen unter [www.zierl-richard.de](http://www.zierl-richard.de)

Viel Erfolg bei der Fehlersuche und ein gutes Gefühl dabei, die überbordende Flut von hochgiftigem Elektronikschrott etwas verringert zu haben.

Dr. Richard Zierl

# Inhalt

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....   | 9  |
| 1.1      | Steckboard .....  | 9  |
| 1.2      | Transistoren .....  | 10 |
| 1.3      | Dioden .....  | 10 |
| 1.4      | LED .....   | 11 |
| 1.5      | Piezohörer .....  | 11 |
| 1.6      | Widerstände .....   | 12 |
| 1.7      | Kondensatoren .....   | 15 |
| 1.8      | Batterieanschluss .....   | 16 |
| 1.9      | Schaltdraht .....   | 17 |
| 1.10     | Bezugsquellen .....   | 17 |
| <b>2</b> | <b>Stromversorgung</b> .....  | 18 |
| 2.1      | Experiment 1: Fehlersuche bei einfacher Stromversorgung mit<br>Siebschaltung .....        | 20 |
| 2.2      | Experiment 2: Fehlersuche bei Stromversorgung mit Zenerdiode ...                          | 24 |
| 2.3      | Experiment 3: Fehlersuche bei Stromversorgung mit Linearregler ...                        | 25 |
| 2.4      | Experiment 4: Fehlersuche bei Stromversorgung mit DC-DC-Wandler<br>(Schaltnetzteil) ..... | 28 |
| 2.5      | Experiment 5: Fehlersuche bei Stromversorgung mit Batterien und<br>Akkus .....            | 32 |
| <b>3</b> | <b>Einfache Prüfschaltungen</b> .....   | 37 |
| 3.1      | Experiment 6: NF-/HF-Signalinjektor selbst gebaut .....                                   | 37 |
| 3.2      | Experiment 7: Fehlersuche bei NF-Schaltungen .....  | 40 |
| 3.3      | Experiment 8: Fehlersuche bei Lautsprechern .....   | 41 |
| 3.4      | Experiment 9: Fehlersuche bei HF-Schaltungen .....  | 41 |
| 3.5      | Experiment 10: Breitbanddetektor selbst gebaut .....                                      | 41 |
| 3.6      | Experiment 11: Fehlersuche bei NF-Schaltungen .....                                       | 46 |
| 3.7      | Experiment 12: Fehlersuche bei HF-Schaltungen .....                                       | 46 |
| 3.8      | Experiment 13: Sinusgenerator selbst gebaut .....   | 46 |
| <b>4</b> | <b>NF-Schaltungen mit Signalinjektor und Breitbanddetektor prüfen</b> .....               | 51 |
| 4.1      | Experiment 14: Fehlersuche bei NF-Vorverstärkern .....                                    | 51 |
| 4.2      | Experiment 15: Fehlersuche bei NF-Gegentaktendstufen .....                                | 53 |
| 4.3      | Experiment 16: Fehlersuche bei NF-Filtern (Tiefpass) .....                                | 56 |
| 4.4      | Experiment 17: Fehlersuche bei NF-Filtern (Hochpass) .....                                | 57 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>5 HF-Schaltungen</b> .....   | 60  |
| 5.1 Experiment 18: Fehlersuche bei HF-Verstärkern .....                       | 60  |
| 5.2 Experiment 19: Fehlersuche beim AM-Rundfunkempfänger –<br>Methode 1 ..... | 63  |
| 5.3 Experiment 20: Fehlersuche beim AM-Rundfunkempfänger –<br>Methode 2 ..... | 63  |
| <b>6 Diverses</b> .....   | 64  |
| 6.1 Praktikum 1: Spannungspegel bei Empfängern und Verstärkern ....           | 64  |
| 6.2 Experiment 21: Fehlersuche bei Transistoren .....                         | 68  |
| 6.3 Experiment 22: Messungen bei Netzspannung .....                           | 74  |
| <b>7 Digitalschaltungen</b> .....   | 79  |
| 7.1 Experiment 23: Digitalpegelindikator selbst gebaut .....                  | 79  |
| 7.2 Experiment 24: Fehlersuche bei statischen Digitalsignalen .....           | 80  |
| 7.3 Experiment 25: Fehlersuche bei dynamischen Digitalsignalen .....          | 82  |
| <b>8 Standardmessmittel</b> .....   | 85  |
| 8.1 Praktikum 2: Multimeter in der Praxis .....                               | 85  |
| 8.2 Praktikum 3: Digitale Oszilloskope (DSO) in der Praxis .....              | 89  |
| 8.3 Praktikum 4: LCR-Meter in der Praxis .....                                | 104 |
| 8.4 Praktikum 5: Temperaturmessung in der Praxis .....                        | 107 |
| <b>Sachverzeichnis</b> .....  | 111 |

## 2 Stromversorgung

Die Stromversorgung steht nicht zu unrecht an erster Stelle. Sie ist überproportional oft von Fehlern betroffen. In der Regel stehen dort die höchsten im Gerät vorkommenden Spannungen an und fließen dort die höchsten Ströme. Kein anderes Bauteil im Gerät muss so viel Leistung verkraften wie einzelne Bauteile des Netzteils.

Das macht ein Eingreifen an dieser Stelle auch so gefährlich. Nehmen Sie Abstand von diesen Schaltungsteilen, wenn Sie nicht über ausreichende Kenntnisse im Umgang mit hohen Spannungen verfügen. Häufig werden einzelne Bauteile im Netzteil auch sehr heiß.

Ansonsten beginnt eine systematische Fehlersuche immer damit, die Betriebsspannung(en) zu überprüfen. Im Normalfall wird eine elektronische Schaltung mit Gleichspannung betrieben. Heizschlangen, Glühlampen oder Energiesparlampen, Motoren (Pumpen, Lüfter usw.) und spezielle Relais hingegen geben sich mit Wechselspannung zufrieden.

Bevor Sie mit der Überprüfung des Netzteils beginnen, schalten Sie einen Trenntransformator zwischen Gerät und Netz! Damit wirkt die gefährlich hohe Netzspannung nicht mehr gegen Erde.

Manchmal ist ein am Netz betriebenes Gerät primärseitig abgesichert. Dann ist zu überprüfen, ob die Netzspannung auch wirklich zum Geräteschalter und von dort zum Netztrafo oder Schaltnetzteil gelangt. Bild 2.1 zeigt die Prinzipschaltung. Bei guten Geräten gelangt die Netzspannung vom Netzstecker erst zum geräteinternen Geräteschalter, von dort zur Primärsicherung (Feinsicherung) und dann zum Netzteil. Moderne (nicht so gute) Geräte sind so konstruiert, dass das Netzteil immer mit der Netzspannung versorgt wird, solange der Netzstecker in einer Netzdose steckt, unabhängig davon, ob das zugehörige Gerät eingeschaltet ist oder nicht. So wird ständig elektrische Energie verbraucht – auch bei ausgeschaltetem Gerät. Der Geräteschalter trennt in diesem Fall nur den Gleichspannungsausgang des Netzteils von einem Teil der elektronischen Schaltung. Ein kleiner Teil der Schaltung wird ständig mit Strom versorgt, sodass das Gerät mittels Fernsteuerung ein- und ausgeschaltet werden kann. Fehlt die Primärsicherung, gibt es meist eine sekundäre Absicherung. Dabei sorgt eine Feinsicherung dafür, dass der maximal zulässige Gleichstrom nicht überschritten werden kann.

Bild 2.2 zeigt einen einfachen Trenntransformator. Mehr Möglichkeiten bietet ein regelbarer Trenntransformator (Bild 2.3). Damit kann die Netzspannung, die zum Gerät gelangt, langsam hochgedreht werden. Bei schwerwiegenden Fehlern im Gerät, die eine zu hohe Stromaufnahme bewirken, kann so die thermische Zerstörung von Bauteilen schon beim Einschalten verhindert werden.

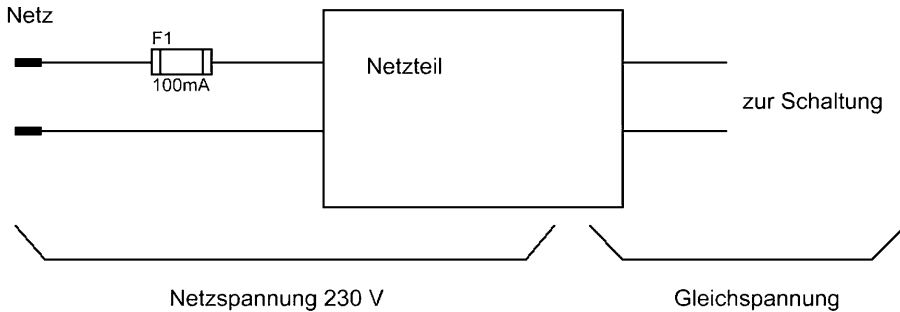


Bild 2.1: Prinzipschaltung eines Netzteils



Bild 2.2: Einfacher Netztrenntransformator

Die ersten Schritte der systematischen Fehlersuche bestehen darin, zu prüfen, ob am Eingang und Ausgang des Netzteils korrekte Spannungswerte anliegen.

Überprüfen Sie also, ob die Netzspannung bei eingeschaltetem Gerät bis zum Netzteil kommt. Es gibt zahlreiche Fehlermöglichkeiten: Netzstecker, Netzkabel, Primärsicherung, Verdrahtung der Netzspannung im Gerät. Messungen sollten Sie nur mit dafür vorgesehenen Multimetern mit abgeschirmten Messleitungen vornehmen. Nehmen Sie dann das Gerät vom Netz, schließen Sie die Messleitungen an und stellen Sie den Messbereich auf 250 V Wechselspannung (oder höher) ein. Dann erst nehmen Sie das Gerät wieder ans Netz.

Als Nächstes wird überprüft, ob die benötigte(n) Gleichspannung(en) nach dem Netzteil zur Verfügung stehen. Ist der gemessene Spannungswert zu niedrig, kann das folgende Ursachen haben: Kurzschluss im Gerät (siehe nachfolgend), die Sekundärsicherung ist ausgefallen oder das Netzteil ist defekt. Ist der gemessene Spannungswert zu hoch, liegt der Fehler im Netzteil.

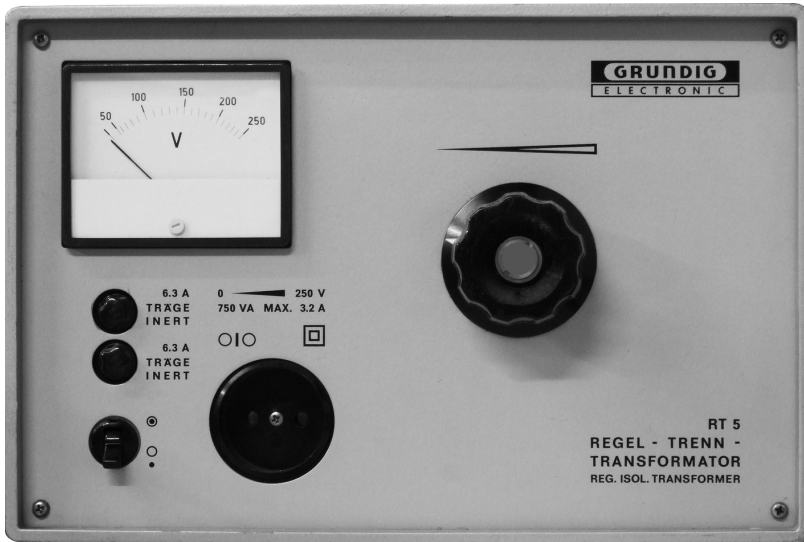


Bild 2.3: Regelbarer Netztrenntransformator

Eventuell muss der Ausgang des Netzteils von der elektronischen Schaltung abgetrennt werden. Liegt der Fehler nämlich an einem zu hohen Stromverbrauch (z. B. verursacht durch einen Kurzschluss in der Schaltung) kann die Funktion des Netzteils nur dann korrekt überprüft werden, wenn dessen Ausgang abgeklemmt ist.

Die Stromversorgung elektronischer Geräte ist (je nach Anforderungen) unterschiedlich ausgelegt. Im Folgenden werden die wesentlichen Varianten besprochen.

## 2.1 Experiment 1: Fehlersuche bei einfacher Stromversorgung mit Siebschaltung

Als Erstes wird ein einfaches Netzteil untersucht. Bild 2.4 zeigt das Schaltbild. Das Netzteil liefert im Normalfall 26 V bei 100 mA.

Die folgenden Experimente lassen sich sinngemäß auf einfache Netzteile mit anderen Spannungs-/Stromwerten übertragen.

Mit dem Multimeter können Spannungs- und Stromwerte einfach überprüft werden. Ist der Spannungswert zu niedrig, kann dies an einem zu hohem Stromverbrauch der elektronischen Schaltung oder an einem defekten Elektrolytkondensator liegen. Der Elektrolytkondensator kann durchschlagen und einen dauerhaften Kurzschluss verursachen (eher selten). Der gleiche Fehler kann auch in der elektronischen Schaltung auftreten. Anfällig sind unter anderem Tantalkondensatoren, die im Schadensfall einen kräftigen Kurzschluss darstellen.



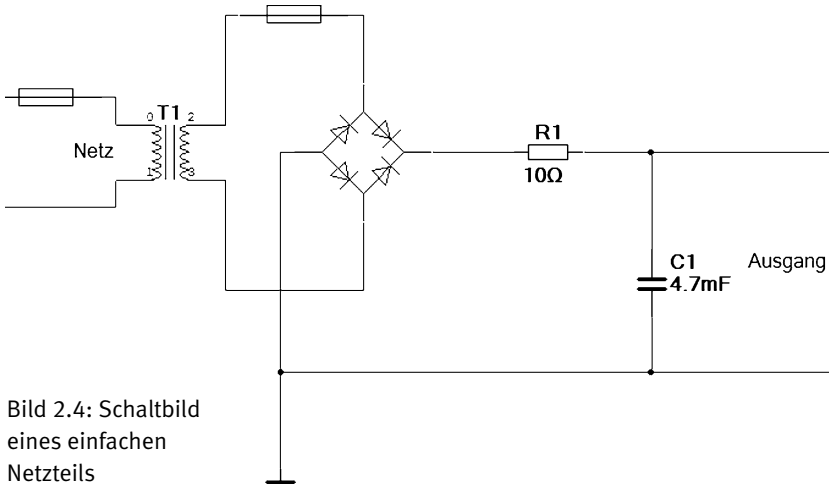


Bild 2.4: Schaltbild eines einfachen Netzteils

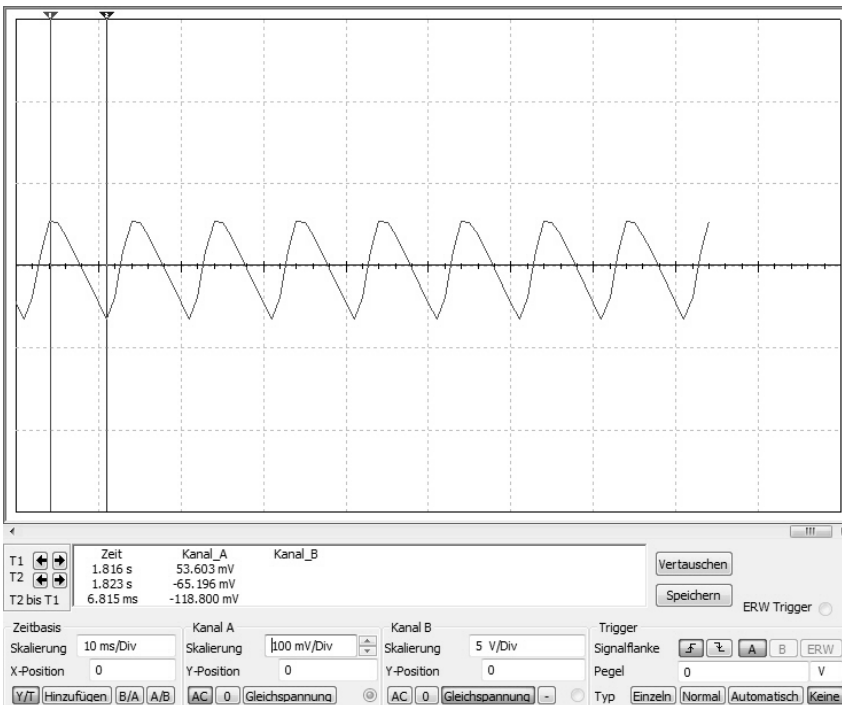


Bild 2.5: Brummspannung eines einfachen Netzteils bei normaler Belastung

Ein Oszilloskop (Bild 2.5) zeigt, dass der Gleichspannung bei normalem Betrieb eine 100-Hz-Restwechselfspannung (Brummspannung) in der Größenordnung von rund 110 mVss überlagert ist.

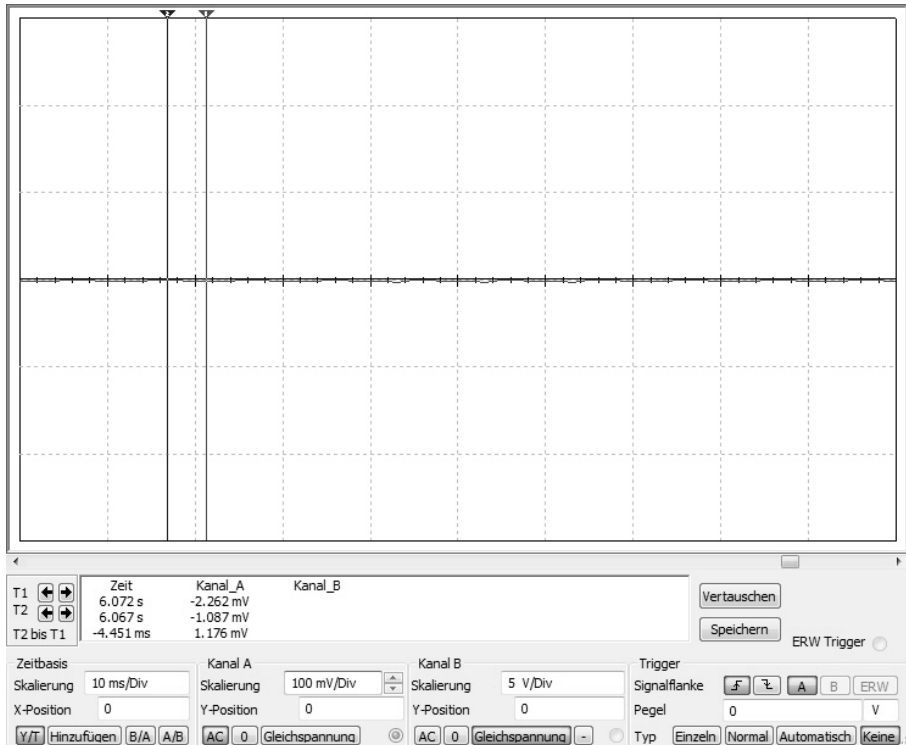


Bild 2.6: Brummspannung eines einfachen Netzteils ohne Belastung

Führt ein Fehler in der elektronischen Schaltung dazu, dass kein Strom mehr fließt, sinkt diese Restwechselspannung auf nahezu Null ab (Bild 2.6). Die Höhe der Restwechselspannung hängt bei diesem Netzteiltyp von der Höhe des Stroms ab, der dem Netzteil entnommen wird.

Bei zu hohem Strom steigt die Restwechselspannung stark an (Bild 2.7).

In seltenen Fällen (speziell bei alten Geräten) kann der Elektrolytkondensator C1 defekt sein. Tritt die Elektrolytflüssigkeit aus, geht die Kapazität stark zurück. Selbst bei normalem Stromverbrauch steigt in diesem Fall die Restwechselspannung stark an, wie Bild 2.8 zeigt.

Ein (Teil-)Kurzschluss von C1 führt zu einer zu geringen Ausgangsspannung des Netzteils.

Bei einem Kurzschluss von R1 steigt die Ausgangsspannung von 26 V auf 30 V, auch die Restwechselspannung steigt an.

Brennt dieser Widerstand durch, liefert das Netzteil am Ausgang keine Spannung mehr.

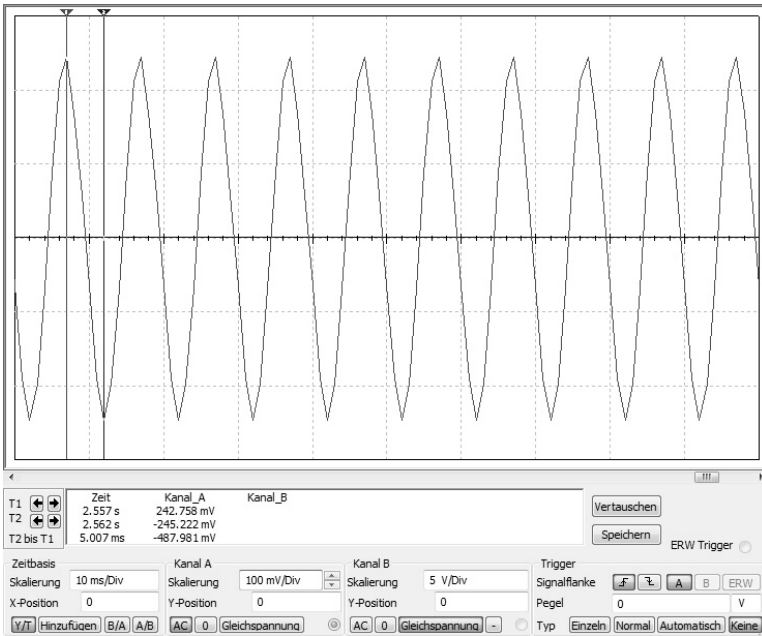


Bild 2.7: Brummspannung eines einfachen Netzteils bei zu hoher Belastung

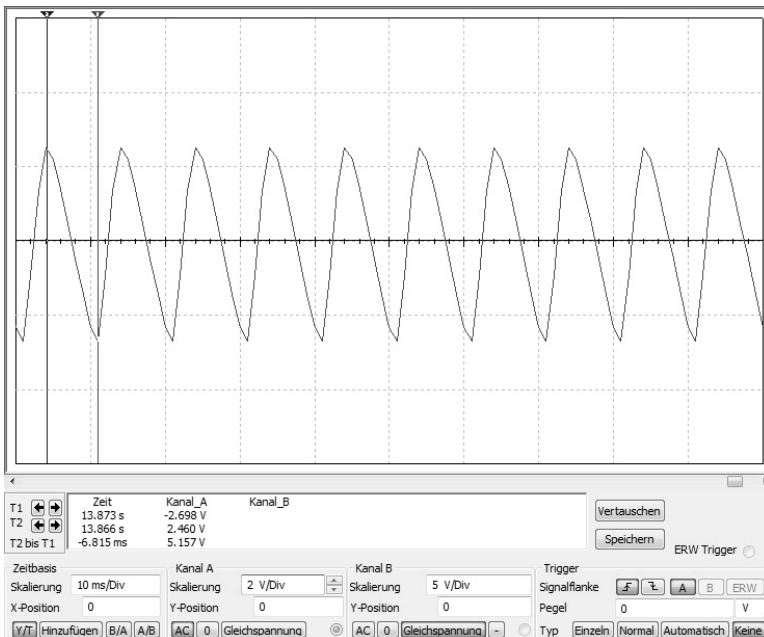


Bild 2.8: Brummspannung eines einfachen Netzteils bei defektem Elektrolytkondensator

Weniger häufig liegt ein Defekt beim Brückengleichrichter oder am Netztransformator vor. Ein defekter Brückengleichrichter liefert entweder keine Spannung mehr oder nur noch Wechsel- statt Gleichspannung.

Damit haben Sie die typischen Fehlermöglichkeiten eines einfachen Netzteils kennengelernt. Wurde das Gerät infolge eines Fehlers zu lange mit zu hohem Stromverbrauch betrieben, kann auch der Netztransformator Schaden nehmen, z. B. durch einen Kurzschluss einzelner Windungen oder infolge eines Durchbrennens auf der Primärseite.

## 2.2 Experiment 2: Fehlersuche bei Stromversorgung mit Zenerdiode

Das Schaltbild einer einfachen Stromversorgung mit Zener-Diodenstabilisierung zeigt Bild 2.9. Der Vorwiderstand R3 ist kritisch. Ist sein Wert zu klein, wird die Zenerdiode heiß, da ein zu großer Strom durch sie fließt. Ist der Widerstandswert zu groß, können Spannungsschwankungen nicht korrekt ausgeregelt werden.

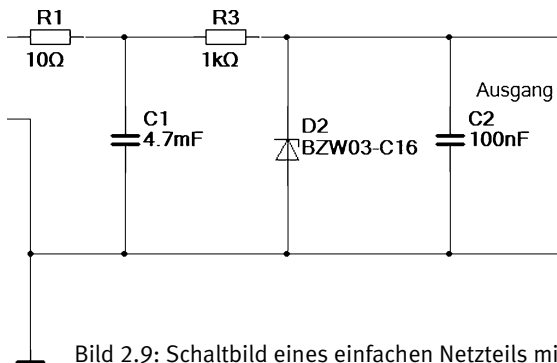


Bild 2.9: Schaltbild eines einfachen Netzteils mit Zenerdiode

Der korrekte Wert für den Vorwiderstand R3 errechnet sich folgendermaßen:

$$R_3 = \frac{U_{\text{ein}} - U_Z}{I_{\text{min}} + I_{Z\text{max}}}$$

$R_3$  Vorwiderstand

$U_{\text{ein}}$  Spannung am Ladekondensator C1

$U_Z$  Nennspannung der Zenerdiode

$I_{\text{min}}$  minimaler Laststrom

$I_{Z\text{max}}$  maximaler Zenerdiodenstrom

Die verbleibende Restwechselspannung liegt im  $\mu\text{V}$ -Bereich (Bild 2.10).

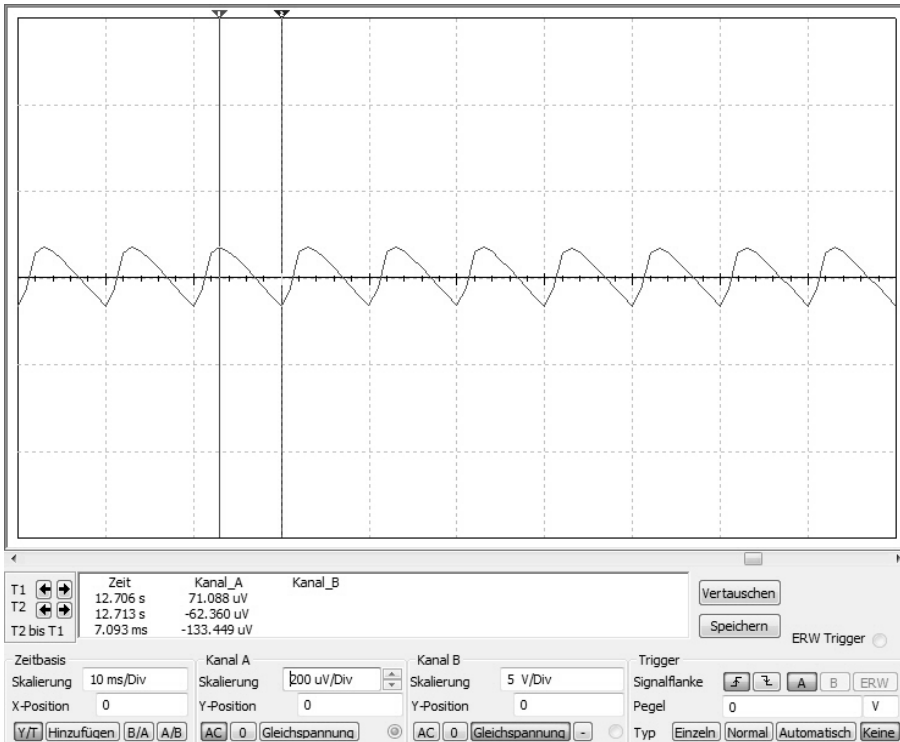


Bild 2.10: Brummspannung des Netzteils mit Zenerdiode bei normaler Belastung

Die Zenerdiode wird in Sperrrichtung betrieben. Wird sie versehentlich in Durchlassrichtung eingebaut, brennt sie entweder infolge Überlastung durch oder die Ausgangsspannung der Schaltung liefert nicht den korrekten Wert, sondern nur etwa 1 V (unstabilisiert).

Der Kondensator C2 dient dazu, das unvermeidliche Diodenrauschen der Zenerdiode auf unschädliche Werte zu mindern. Ist C2 defekt (offen), wird der Gleichspannung eine Rauschspannung überlagert (Bild 2.11).

Für das Netzteil vor der Zenerdiode gelten die im Experiment 1 gemachten Bemerkungen.

## 2.3 Experiment 3: Fehlersuche bei Stromversorgung mit Linearregler

Häufig werden in Netzteilen Linearregler zur Erzeugung konstanter Versorgungsspannungen eingesetzt. Sie kosten wenig und liefern zuverlässig eine sehr konstante Ausgangsspannung. Der Schaltungsaufwand ist minimal, wie Bild 2.12 zeigt.

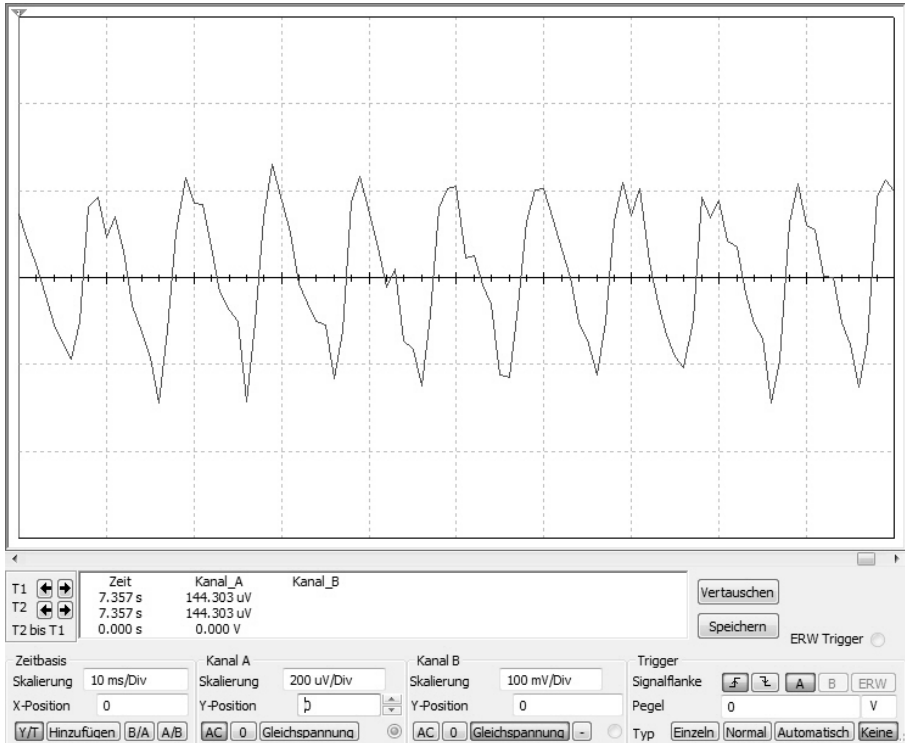


Bild 2.11: Brumm- und Rauschspannung des Netzteils mit Zenerdiode

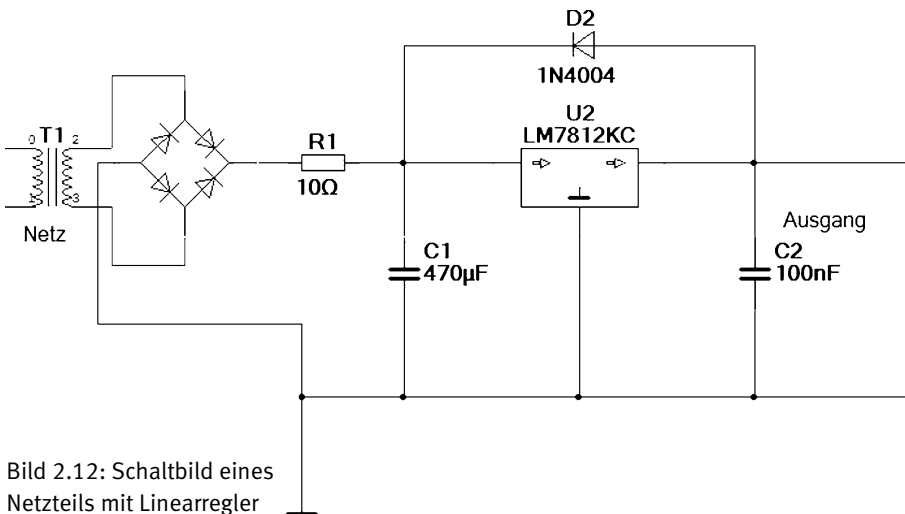


Bild 2.12: Schaltbild eines Netzteils mit Linearregler

Kondensator C2 unterdrückt Rauschspannungen am Ausgang. Häufig fehlt die Diode D2. Sie sorgt dafür, dass der Linearregler nicht zerstört wird, wenn (selbst nur kurzzeitig) am Ausgang eine auch nur geringfügig höhere (positive) Spannung auftritt als am Eingang des Reglers. Das kann z. B. passieren, wenn eine induktive Last (Spule, Relais, Motor usw.) angeschlossen ist.

Bei Nennstrom (1 A) liegt die Restwechselspannung am Ausgang im Millivoltbereich (Bild 2.13). Mit einem Ladekondensator C von 10 mF reduziert sich dieser Wert auf rund ein Zehntel (Bild 2.14). Bei noch höheren Anforderungen an die Brummfreiheit (z. B. bei Tonaderspeisung T12 für hochwertige HF-Kondensatormikrofone) muss am Ausgang eine weitere Stabilisierschaltung, am einfachsten mittels Zenerdiode, ihren Dienst verrichten. Dann sinkt die Restwechselspannung auf wenige Mikrovolt.

Ein Ladekondensator C1, der leckgeschlagen ist, führt unmittelbar zu einer stark erhöhten Restwechselspannung bei immer noch korrekter Gleichspannung am Ausgang. Hat C1 einen Kurzschluss, sinkt die Ausgangsspannung des Netzteils auf nahezu Null.

Fehlt die Schutzdiode D2 und ist die Ausgangsspannung kurzzeitig höher als die Eingangsspannung, brennt der Linearregler sofort durch. Am Ausgang erscheint dann

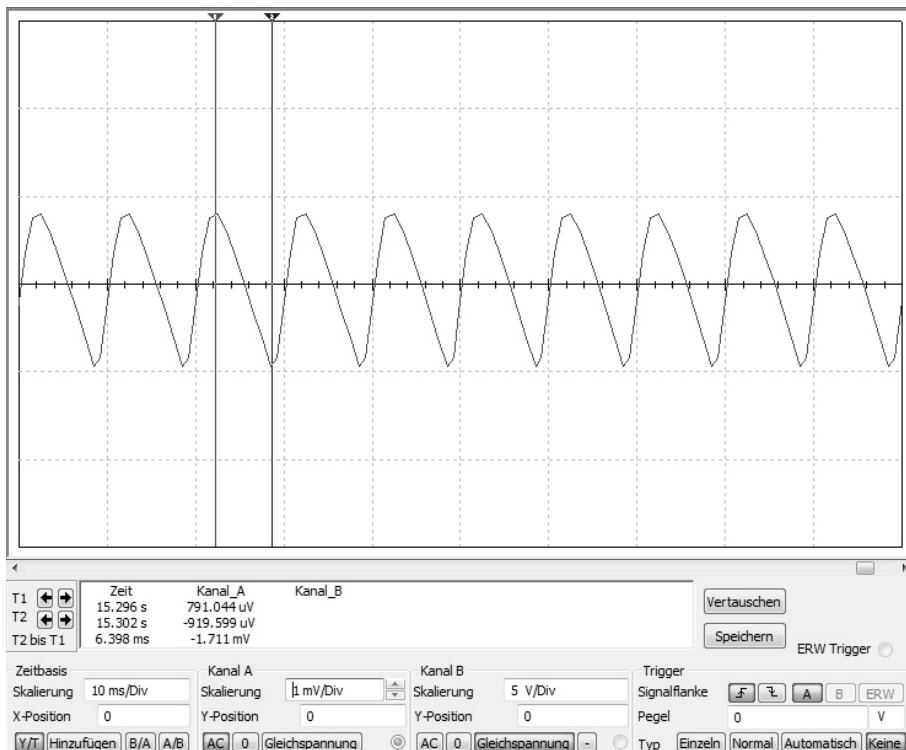


Bild 2.13: Brummspannung des Netzteils mit Linearregler bei normaler Belastung

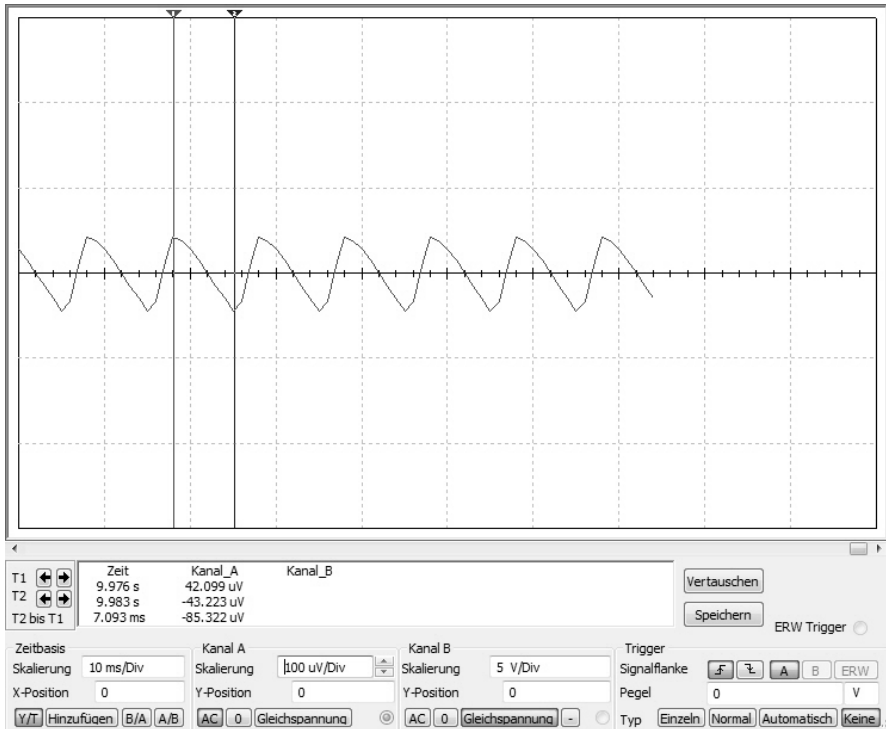


Bild 2.14: Brummspannung des Netzteils mit Linearregler bei großem Elektrolytkondensator

die deutlich höhere Spannung des Ladekondensators C1, z. B. 20 V im vorliegenden Fall.

Für das Netzteil vor dem Linearregler gelten die im Experiment 1 gemachten Bemerkungen.

## 2.4 Experiment 4: Fehlersuche bei Stromversorgung mit DC-DC-Wandler (Schaltnetzteil)

Schaltnetzteile sind heute Stand der Technik. Das liegt unter anderem daran, dass der Wirkungsgrad mit 90 % bis 95 % erfreulich hoch liegt. Außerdem kann am Eingang eine stark schwankende Spannung (z. B. 100 V bis 240 V) verkräftet werden. Am Ausgang steht eine stabilisierte, vom Netz isolierte Gleichspannung zur Verfügung. Bei gleicher Leistung sind Schaltnetzteile wesentlich kleiner und leichter als die bisher besprochenen Netzteile.

Im Prinzip setzt sich ein Schaltnetzteil aus folgenden Komponenten zusammen, siehe Bild 2.15. Die Netzspannung wird gleichgerichtet und anschließend mittels elektroni-



schem Schalter in eine Rechteckspannung im Frequenzbereich 20 kHz bis 150 kHz verwandelt. An dieser Stelle liegt bereits „der Hund begraben“. Dieser Wandlungsprozess erzeugt jede Menge Störspannungen bis hinein in den UKW-Bereich. Sämtliche Rundfunkbereiche sind betroffen. Nur wirklich sorgfältiges Schaltungsdesign und aufwendige Abschirmmaßnahmen sorgen dafür, dass die Störstrahlung ausreichend gedämpft wird. Infolge der gegenüber der Netzfrequenz von 50 Hz erheblich höheren Frequenz genügt anschließend ein kleiner Übertrager (hoher Güte), um die notwendige Potenzialtrennung herbeizuführen. Damit liegt der Wirkungsgrad dieses Netzteils im Vergleich zum Netzteil mit normalem (50-Hz-)Transformator deutlich höher. Anschließend wird die Spannung wieder gleichgerichtet und einem DC-DC-Wandler zugeführt. Dort wird ein elektronischer Schalter (T1) von einem Regler IC1 angesteuert. T1 schaltet den Strom durch die Induktivität L1. Durch die Induktivität entsteht beim Abschaltvorgang (kurzzeitig) ein hoher Spannungspuls. Dieser wird gleichgerichtet und dem Ladekondensator C1 zugeführt. Dieser Kondensator stellt die Ausgangsspannung zur Verfügung. Zur Konstanzhaltung der Ausgangsspannung wird diese dem Regelschaltkreis IC1 zugeführt. Dort wird die Pulsbreite der Rechteckspannung (manchmal auch die Frequenz), mit der T1 angesteuert wird, geregelt, sodass bei schwankender Last oder schwankender Netzspannung die Ausgangsgleichspannung konstant bleibt.

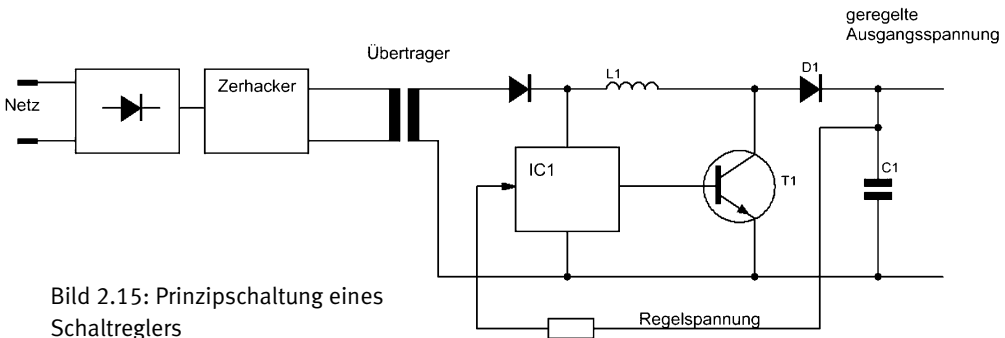


Bild 2.15: Prinzipschaltung eines Schaltreglers

Soweit das Funktionsprinzip. Bauteile (Drosseln und Kondensatoren), die dazu dienen, die erhebliche Störstrahlung vom Netz und vom Verbraucher fernzuhalten, sind hier nicht berücksichtigt.

Bild 2.16 bringt einen Schaltungsauszug mit dem wesentlichen Funktionsblock eines DC-DC-Wandlers: Induktivität L1, Schalttransistor Q1 und Ladekondensator C1. Das Ansteuerungssignal des Schalttransistors zeigt Bild 2.17. In diesem Fall handelt es sich um eine Rechteckspannung mit 50 kHz. Die Pulsweite liegt bei 2  $\mu$ s, das Tastverhältnis beträgt 10:1. Das Signal an der Induktivität L1 sieht so aus, wie Bild 2.18 zeigt. Am Ausgang steht eine saubere Gleichspannung zur Verfügung, die Restwechselspannung (Bild 2.19) liegt im mV-Bereich.

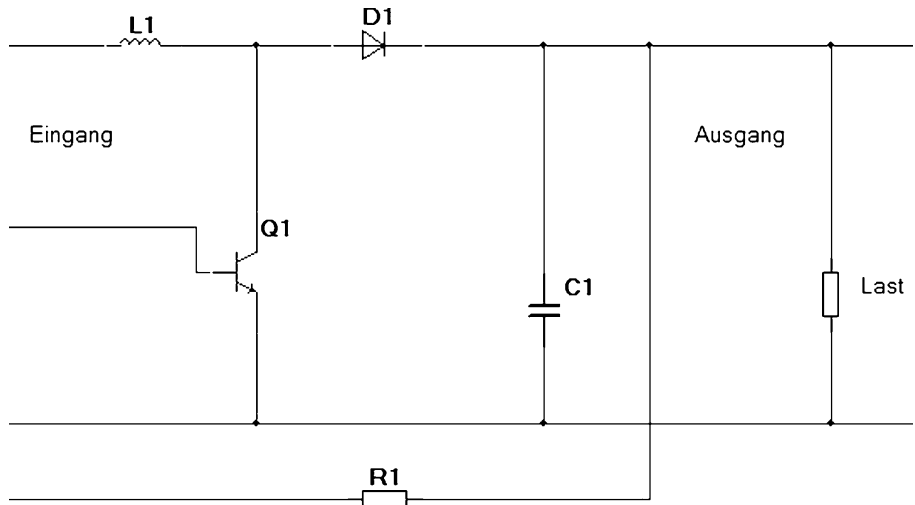


Bild 2.16: Detailschaltung eines Schaltnetzteils

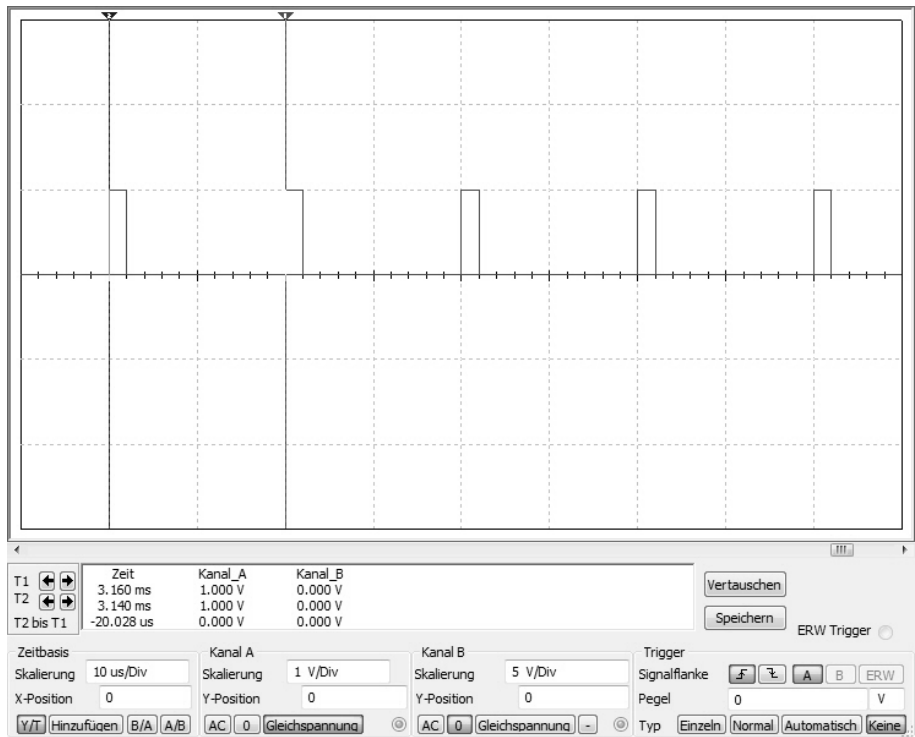


Bild 2.17: Typisches Ansteuersignal eines Schaltreglers

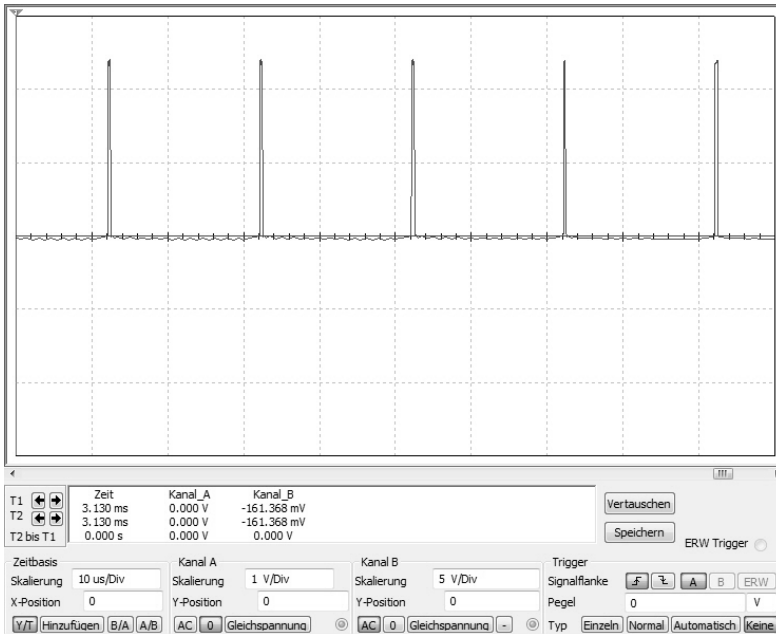


Bild 2.18: Typisches Kondensatorladesignal eines Schaltreglers

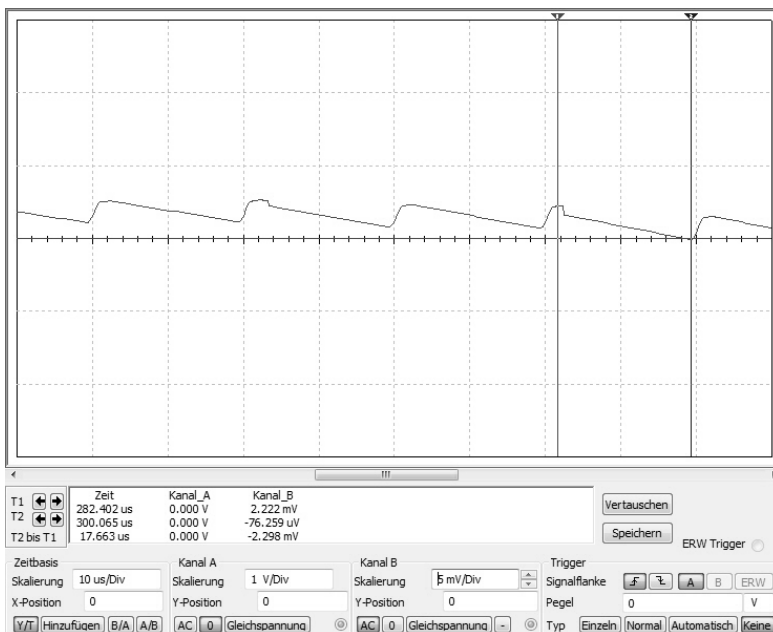


Bild 2.19: Welligkeit des Ausgangssignals eines Schaltreglers

Bei Problemen an Schaltnetzteilen prüfen Sie als Erstes, ob die Gleichspannung, die L1 zugeführt wird, in korrekter Höhe anliegt. Fehlt sie, liegt der Fehler in der vorgelagerten Schaltung. Untersuchen Sie dann den Gleichrichter, den Zerhacker sowie den Isolationsübertrager. Im Normalfall muss an der Primär- und der Sekundärseite ein annähernd sinusförmiges Signal mit einer Frequenz zwischen etwa 20 kHz und 150 kHz vorliegen. Auch starke Verzerrungen sind an dieser Stelle zulässig. Häufig finden Sie den Fehler im Zerhacker, der entweder mit diskreten Bauteilen realisiert oder als IC ausgeführt ist.

Ist die Eingangsspannung vorhanden, prüfen Sie als Nächstes, ob der Schalttransistor Q1 richtig angesteuert wird. Entweder handelt es sich um eine Rechteckspannung, deren Tastverhältnis (Pulsweite) bei konstanter Frequenz gesteuert wird, oder um eine Rechteckspannung, deren Frequenz bei gleich bleibendem Tastverhältnis (meist 1:1) gesteuert wird.

Nun müsste der Schalttransistor arbeiten und den korrekten Signalverlauf an L1 (Bild 2.18) zeigen. Falls nicht, kann dies an einem defekten Transistor Q1 oder an einem defekten Kondensator C1 liegen. In Experiment 21 lernen Sie, wie mit einem Multi-meter die korrekte Funktion von Transistoren überprüft werden kann. Einen Ladekondensator mit Kurzschluss entlarven Sie mit einer Widerstandsmessung (minimaler Widerstand in beiden Polungsrichtungen). Nutzen Sie hingegen die Funktion *Kapazitätsmessung*, kann in diesem Fall kein vernünftiger Kapazitätswert gemessen werden.

Nur in seltenen Fällen liegt das Problem am Reglerschaltkreis IC1. Bei wechselnder Last muss die Ansteuerung des Schalttransistors zu veränderter Pulsbreite oder veränderter Frequenz führen.

Beim Zusammenbau eines Schaltnetzteils nach erfolgreicher Reparatur achten Sie peinlich genau darauf, alle Abschirmungen und Masseverbindungen wieder in den ursprünglichen Zustand zu versetzen. Nur so lassen sich Störspannungen im Zaum halten. Bild 2.20 zeigt das Oberwellenspektrum eines schlecht gefilterten Schaltnetzteils. Das Spektrum beginnt bei 50 kHz und bedient alle Frequenzen bis 1 MHz (rechter Displayrand).

## 2.5 Experiment 5: Fehlersuche bei Stromversorgung mit Batterien und Akkus

Eine mobile Gesellschaft verlangt nach mobilen Geräten. Kein Wunder also, dass viele elektronische Geräte mit Batterien oder Akkus betrieben werden. Aus Umweltschutzgründen sinnvoll ist die Verwendung von Akkus anstelle von Batterien. Allerdings sammeln sich dann im Lauf der Zeit einige Akkus im Haushalt an, und wenn sie nicht ständig im Einsatz sind, weiß man nie genau, wie viel Ladung sie noch haben und ob man sie noch bei akzeptabler Laufzeit in einem Gerät verwenden kann.

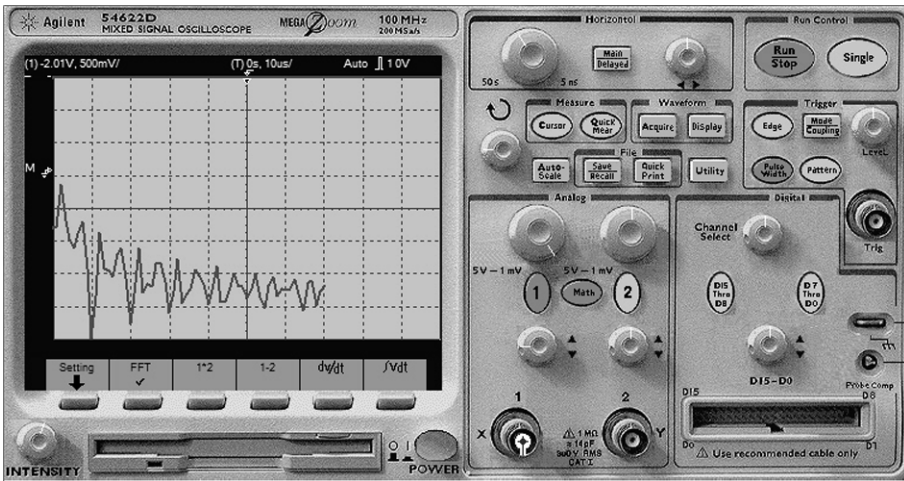


Bild 2.20: Spektraldarstellung der Ausgangswelligkeit

Antwort gibt ein geeigneter Belastungstest. Die Betonung liegt auf „geeignet“. Es gibt viele billige Akkutester, die mittels LED-Leuchtbalken den Ladungszustand eines Akkus anzeigen (Bild 2.21). Die angezeigten Werte sind allerdings nur in wenigen Einsatzfällen aussagekräftig, oft versagen die Tester kläglich.



Bild 2.21: Einfacher Akku-Ladungstester

Deshalb soll erst einmal geklärt werden, wie eine Akku- oder Batterieprüfung sinnvollerweise ablaufen sollte. Einfach nur die Leerlaufspannung des Akkus zu messen hilft nicht viel. Ist der Akku nicht tiefentladen, wird immer ein Wert angezeigt, der zwischen 1,1 und 1,3 V liegt. Trotzdem kann es sein, dass dieser Akku im gewünschten Gerät nicht einsetzbar ist. Bei Hochstromanwendung kann der Innenwiderstand der Zelle zu hoch sein. Dann erreicht die Akkuspannung unter Belastung nicht mehr den minimal benötigten Wert. Wird hingegen nur wenig Strom entnommen, kann die Spannung zusammenbrechen, weil die Restkapazität zu gering ist.

Im Normalfall sinkt die Akkuspannung bei der Entladung in etwa kontinuierlich von 1,2 V auf 1 V ab, wie Bild 2.22 zeigt. An diesem Punkt hat der Akku dann 100 % seiner Kapazität abgeliefert. Wird weiter Strom entnommen, sinkt die Akkuspannung weiter ab. Spätestens bei Werten von 0,85 V beginnt die schädliche Tiefentladung. In diesem Stadium wird die Zelle bei weiter anhaltender Stromentnahme dauerhaft geschädigt und verliert zunehmend an Kapazität. Nach erneuter Ladung kann bei diesem Akku nur mehr ein Teil der ursprünglichen Nennkapazität genutzt werden.

Vor der Prüfung eines Akkus muss deshalb erst der konkrete Einsatzfall ermittelt werden.

Als Beispiel wird ein Akku in NiCd- oder NiMH-Technologie mit 2.000 mAh Nennkapazität angenommen. Auf Akkus anderer Größe und/oder Kapazität lässt sich das Folgende dann sinngemäß übertragen.

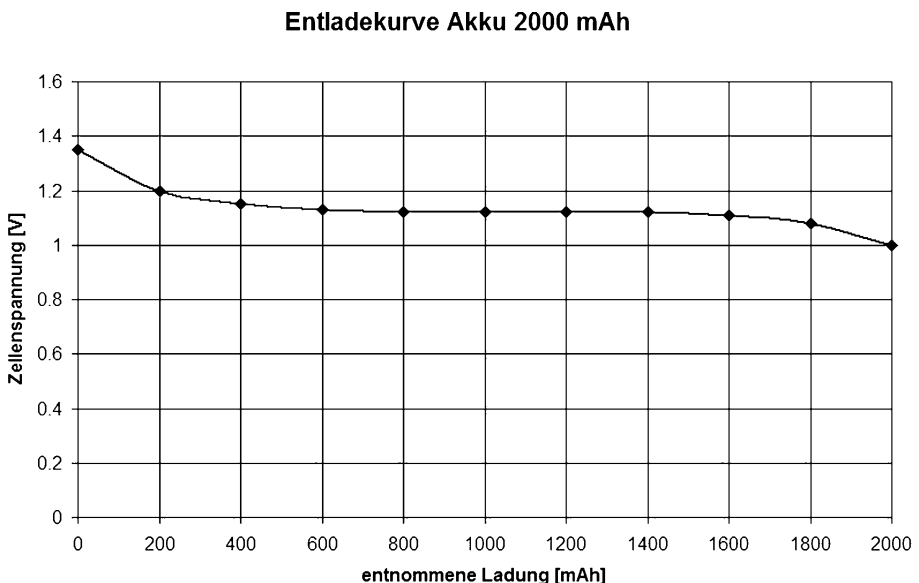


Bild 2.22: Typische Entladekurve eines Akkus

Wird dieser Akku in einem ferngesteuerten Rennauto- (RC) oder Schiffsmodell eingesetzt, liegt eine Hochstromanwendung vor. Der Stromverbrauch ist so hoch, dass die gesamte Akkukapazität in etwa 1 bis 2 Std. aufgebraucht sein wird, beträgt also 1 A bis 2 A. Diese hohe spezifische Strombelastung dämpft die Kristallbildung auf den Elektroden, damit bleibt der Akkuinnenwiderstand klein. Auch bei dieser hohen Stromabgabe bleibt deshalb der vom Innenwiderstand verursachte Spannungsabfall klein. Dafür aber steigt die Selbstentladungstendenz des Akkus an. Nach einer Vollladung verliert ein solcher Akku schon innerhalb einer Woche einen Großteil seiner Ladung. Für den Einsatz in Geräten mit geringem Stromverbrauch (z. B. 10 mA) ist dieser Akku also nicht mehr geeignet, da er durch seine hohe Selbstentladungsrate viel schneller Energie verliert als durch die eigentliche Nutzung. Einen Akku dieser Art laden Sie am besten bei einem Ladestrom von 1 A für etwas mehr als 2 Std. unmittelbar vor dem geplanten Einsatz.

Wollen Sie nun testen, ob dieser Akku noch genügend Ladung für den Einsatz enthält, brauchen Sie eine Testschaltung entsprechend Bild 2.23. Bei der Messung der Akkuspannung mit dem Multimeter sorgt ein Belastungswiderstand von  $1,2 \Omega$  dafür, dass Strom in Höhe der geplanten Anwendung entnommen wird. Messen Sie über eine Zeitspanne von etwa 1 Minute Werte größer  $1,1 \text{ V}$ , trägt der Akku noch ausreichend Ladung für den geplanten Einsatz.

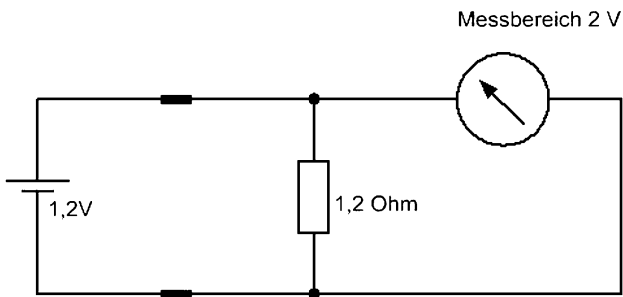


Bild 2.23: Schaltbild für einen Akkutest bei hoher Belastung

Akkus, die mit geringem (etwa 20 mA) oder mittlerem (etwa 200 mA) Stromverbrauch genutzt werden, verhalten sich anders. Zwar wird nach einigen Lade- und Entladezyklen bei geringer Strombelastung durch Kristallwachstum der Innenwiderstand größer, die Selbstentladungsrate aber bleibt erfreulich niedrig. Auch noch nach einigen Monaten Lagerzeit kann ein zuvor vollgeladener Akku noch verwendet werden. Der höhere Innenwiderstand macht sich infolge des kleineren Akkunutzstroms nicht störend bemerkbar. In einer Hochstromanwendung versagt ein solcher Akku, der höhere Innenwiderstand erzeugt bei 1 A Entladestrom einen so hohen Spannungsabfall, dass die Klemmenspannung auf Werte unter 1 V abfällt, obwohl er noch genügend Ladung besitzt.

Nutzen Sie für den Test von Akkus für geringen Stromverbrauch eine Testschaltung, wie in Bild 2.24 zu sehen. Beim Test fließen 10 mA, das Multimeter sollte über die

gesamte Messzeit (etwa 1 min) einen Spannungswert von über 1,1 V zeigen. Laden Sie diesen Akku am besten mit einem Ladestrom von nicht mehr 100 mA über 24 Std. Auf diese Weise wird er bis zu 1.000 Ladezyklen und Lagerungszeiten bis zu 3 Monaten schadlos überstehen. Eine sogenannte Schnellladung würde diesem Akku nicht gut tun. Die damit verbundene Wärmeentwicklung im Akku würde die Selbstentladungsrate erhöhen, der Akku würde danach bei der Lagerung und auch während der Nutzungsdauer schnell seine Ladung verlieren. Warum gerade auch Akkuhersteller immer mehr sogenannte Schnellladegeräte anbieten, liegt auf der Hand: Akkus, die auf diese Art und Weise geladen werden, verlieren rasch ihre Ladung. Wird ein solcher Akku nicht gerade ausschließlich bei Hochstrom betrieben, bleibt dem Kunden nichts anderes übrig, als neue Akkus zu kaufen – ganz im Sinn der Akkuhersteller.

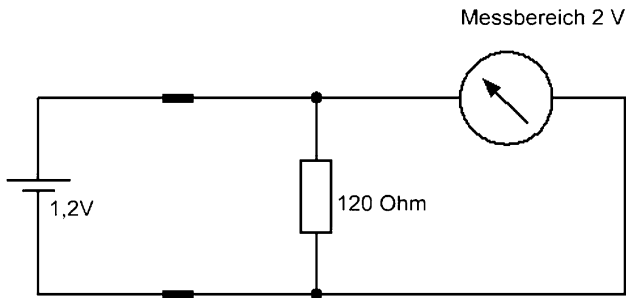


Bild 2.24: Schaltbild für einen Akkutest bei niedriger Belastung

**Merkregel:** Schnellladung kommt nur für Akkus infrage, die anschließend ausschließlich in Hochstromanwendungen zum Einsatz kommen.

Entsprechend verfahren Sie bei Akkus, die dort eingesetzt werden, wo mittlere Stromstärken (100 mA) gefragt sind. Der Belastungswiderstand hat in diesem Fall einen Wert von  $12 \Omega$ , ansonsten bleibt das Prozedere dasselbe. Geladen wird ein solcher Akku mit 120 mA über gut 18 Std.

Bei guten Ladegeräten können Sie den Ladestrom einstellen, am besten auf Werte zwischen 100 mA und 1 A. Über die Ladezeit müssen Sie sich keine Gedanken machen, das Gerät erkennt selbstständig den Zustand „Akku zu 100 % geladen“ und schaltet dann auf Erhaltungsladung.

Wird ein Akku bei der erstmaligen Anwendung einer der drei Belastungsgruppen zugeordnet, sollte er sein ganzes Akkuleben lang dort bleiben und weder zwischen- noch dauerhaft in einer anderen Belastungsgruppe eingesetzt werden. So nutzen Sie Ihre (teuren) Akkus optimal und erzielen in jeder Gruppe die spezifisch maximal mögliche Ladungszyklenzahl, bei Hochstromanwendung einige hundert und bei Niedrigstromanwendung etwa tausend Zyklen.

Im Lernpaket finden Sie die passenden Widerstandswerte für die beschriebenen Akku-Testschaltungen.



# Sachverzeichnis

## Numerics

4-Draht-Messleitung 105

## A

Akku 34

Akkutester 33

AM-Modulation 41

Analog-/Digitaloszilloskop 89

## B

Balkenanzeige 87

Bandbreite 61

Bandfilter 60

Batterieanschluss 16

Bauteile 9

Belastungsgruppe 36

Bezugswert 66

Bipolartransistor 70

Breitbanddetektor 41

Brückengleichrichter 24

## D

D:S-Verhältnis 110

dB (Dezibel) 66

DC-DC-Wandler 29

Differenzialtaktkopf 76, 102

Differenzspannungsmessung 75

Digitaloszilloskop 99

Digitalpegel 79

Diodentest 88

distance to spot size 109

## E

E-12-Reihe 14

E-24-Reihe 14

E-96-Reihe 14

Echtzeit-Abtastrate 92

Effektivwert (true rms) 86

Elektrolytkondensator 16, 20

Entladekurve 34

## F

Farbcode 13

Farbring 13

FFT = fast fourier transformation 92

Filter 56

Frequenzgang 46, 57

Frequenzmessung 87

Frequenzzähler 88

## G

Gleichstromverstärkung 72

Grenzfrequenz 56

Güte 106

## H

$h_{FE}$  71

Hochpass 57

## I

Infrarotthermometer 107, 109

Innenwiderstand 34

## K

Kabeltemperaturfühler 107

Kennlinien 74

Keramikkondensator 15

Klirrfaktor 46, 54

## L

Labormultimeter 87

Ladekondensator 27

Lagerung 36

Lautsprecher 41

LCR-Labormeter 104

LCR-Meter 105

LED 11  
Leerlaufspannung 34  
Linearregler 25  
Logikanalysator 81

## M

Multimeter 70, 85

## N

Netzspannung 74  
Netzteil 18  
Netztrafo 18  
Netztransformator 24  
NF-Gegentaktverstärker 53  
NF-Vorverstärker 51

## O

Oszilloskop 75, 89

## P

Pegel 64  
Pegelindikator 79  
Piezohörer 11  
Potenziometer 49

## Q

Quasi-Abtastrate 92  
Quellenwiderstand 64

## R

RC-Filter 56  
Resonanzfrequenz 61  
Restwechselspannung 22

## S

Schalt draht 17  
Schaltnetzteil 28  
Schnellladung 36  
Schutzdiode 27

Signalinjektor 37  
Signalpegel 64  
Signalquelle 37  
Signalverfolger 42  
Siliziumdiode 10  
Sinusgenerator 46  
Spannungspegel 64  
Spannungsteiler 41  
Steckboard 9  
Störstrahlung 29  
Stromversorgung 18  
Stromzange 88

## T

Taktgenerator 83  
Tastkopf 76, 83  
Temperaturmessung 107  
Thermoelement-Prozessor 109  
Thermoelement-Tastkopf 108  
Tiefentladung 34  
Tiefpass 56  
Toleranz 13  
Toleranztabellen 14  
Transistor 10, 68  
Transistorprüfgerät 72  
Transistortest 88  
Trenntransformator 18, 74

## U

USB-Oszilloskop 91

## W

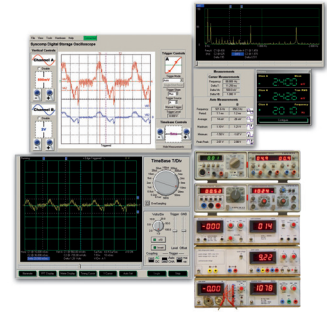
Widerstand 12

## Z

Zenerdiode 24  
Zerhacker 32  
ZF-Verstärker 60  
Zwischenfrequenz 62

Dr. Richard Zierl

# Fehler in elektronischen Schaltungen finden



Lernen Sie, einfache Fehler zu finden.

**Auf experimentelle Art erfahren Sie, wie typische und häufig vor-kommende Fehler in elektronischen Geräten systematisch aufgespürt werden können. Einfache und nützliche Hilfsmittel zur Fehlersuche bauen Sie selbst zusammen. So erwerben Sie Schritt für Schritt wertvolle Kenntnisse, die Ihnen helfen, elektronische Geräte zu verstehen und zu reparieren.**

In fünf Experimenten lernen Sie die wichtigsten Fehlermöglichkeiten in elektronischen Stromversorgungen kennen. Systematisches Vorgehen erleichtert und beschleunigt die Fehlersuche. Auch DC-Wandler und die Stromversorgung mit Akkus werden nicht vergessen. Eine praktische Akkutestschaltung hilft Ihnen künftig beim richtigen Umgang mit Ihren kostbaren Akkus.

Mit einem Signalinjektor und einem Breitbanddetektor bauen Sie sich zwei ebenso einfache wie nützliche Prüfschaltungen. Komplettiert wird Ihr Prüfgerätepark mit einem selbst gebauten Sinusgenerator. Mehr als zehn Experimente geben Ihnen Gelegenheit, den erfolgreichen Einsatz dieser Prüfmittel bei der Fehlersuche in NF- und HF-Schaltungen zu üben.

Nicht vergessen werden wichtige Hinweise zum Messen bei Netzspannung mittels Multimeter bzw. Oszilloskop, Stichwort Differenzial-tastkopf. Auch die einfache Überprüfung und die Bestimmung der Anschlussfolge eines unbekanntens Transistors mit einem Multimeter werden in Experimenten eingeübt.

Abgerundet wird dieser Kurs über die Fehlersuche in elektronischen Schaltungen mit mehreren Praktika, in denen Sie den richtigen Umgang mit Multimeter, Digital-Oszilloskop, LCR-Meter und Infrarot-Thermometer kennenlernen.

## Aus dem Inhalt:

- Fehlersuche bei Stromversorgungen
- Einfaches Akkuprüfgerät selbst bauen
- Einfache Prüfschaltungen selbst bauen
- NF-Schaltungen mit Signalinjektor und Breitbanddetektor prüfen
- HF-Schaltungen prüfen
- Übersicht typischer Spannungspegel
- Transistoren prüfen
- Einfachen digitalen Pegelindikator selbst bauen
- Statische und dynamische Digitalpegel prüfen
- Fehlersuche bei Netzspannung
- Multimeter in der Praxis
- Digitale Oszilloskope (DSO) in der Praxis
- LCR-Meter in der Praxis
- Temperaturmessung in der Praxis

ISBN 978-3-7723-4815-0



9 783772 348150

Euro 19,95 [D]