

Ausgewählte Kapitel der Meß- und Laborpraxis

1.	Bauelementprüfung	1
2.	Spannungsmessung	12
3.	Strommessung	17
4.	Kompensationsmeßverfahren	24
5.	Hochhängen	26
6.	Prüf- und Versuchsplattformen	29

1. Bauelementprüfung

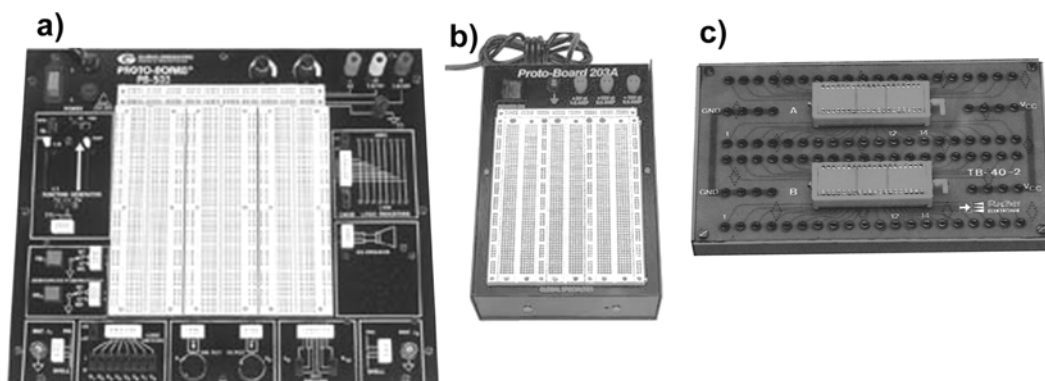
Der Idealfall

Wir haben ein passendes Prüfmittel. Bauelement einstecken oder anschließen – Prüfvorgang auslösen – Ergebnis ablesen – fertig.

Sind diese idealen Bedingungen nicht gegeben, so müssen wir eine jeweils geeignete Prüfanordnung provisorisch aufbauen. Gelegentlich kann man Bauelemente lose auf der Tischplatte prüfen. Das ist aber eine im wörtlichen Sinne wacklige Angelegenheit (unsichere Prüfaussage, Gefahr der Beschädigung des Prüflings).

Einfachste Prüftafeln

Fassungen, Klemmen usw. werden auf Tafeln angeordnet und mit Steckbuchsen verbunden (Abb. 1.1). Auf dieser Grundlage kann man beliebige Prüfschaltungen zusammenstöpseln.



a) - als Prüftafel nutzbares Übungsgerät (Circuit Trainer) mit Steckfeld, Stromversorgung, Stimulusgebern und Anzeigen; b) - Stecktafel mit eingebauter Stromversorgung; c) - Experimentiertafel (Testboard) mit Schwenkhebeln.

Abb. 1.1 Prüftafeln zur Bauelementprüfung

1.1. Passive Bauelemente

Prüfen mit Multimeter oder RLC-Komponententester

Es liegt nahe, passive Bauelemente bzw. die entsprechenden elektrischen Größen (Widerstand, Kapazität, Induktivität) durch einfaches Anschließen an ein entsprechendes Meßgerät zu bestimmen.

Praxistips:

1. Mit dem jeweils höchsten Meßbereich beginnen. (Beispielsweise zeigen manche RLC-Komponententester in zu niedrigen Meßbereichen gelegentlich keine Bereichsüberschreitung, sondern Unsinn an. Beim Wechseln von einem höheren zu einem niedrigeren Meßbereich muß sich der Wert in seiner Genauigkeit bzw. Stellenzahl verbessern. Ergibt sich hingegen eine vollkommen andere Anzeige, stimmt etwas nicht.)
2. Im Zweifelsfall die automatische Bereichswahl (Autoranging) ausschalten (vor allem Bauelemente mit nichtlinearer Kennlinie – z. B. Dioden in Flußrichtung – führen bei aktivem Autoranging gelegentlich zu instabilen, ständig wechselnden Anzeigen).
3. Bauelemente vernünftig adaptieren – sonst messen wir womöglich Wackelkontakte oder Übergangswiderstände. (Wenn Sie beide Kontakte mit der Hand zusammenhalten, kann es sein, daß Sie den Durchgangswiderstand oder die parasitäre Kapazität Ihres Körpers mitmessen.)

Kontakte

Je nach Zustand (offen/geschlossen) sind Kontakte entweder sehr hochohmige oder sehr niederohmige Widerstände. Üblicherweise genügt eine Durchgangsprüfung.

Anregungen zum genaueren Messen:

- Kontaktwiderstand. Prüfung mit Milliohmmeter oder Thomson-Meßbrücke oder Messung als Spannungs-Strom-Verhältnis.
- Isolationswiderstand. Prüfung mit Isolationsprüfgerät oder Megaohm-Meßbrücke oder Messung als Spannungs-Strom-Verhältnis.

Widerstände

Die gängigen Widerstandswerte lassen sich mit einem Digitalmultimeter hinreichend genau prüfen. Wenn für sehr hoch- oder niederohmige Widerstände keine speziellen Meßgeräte greifbar sind, ist die Bestimmung des Spannungs-Strom-Verhältnisses der beste Ausweg.

Praxistips:

1. Bei nichtlinearen Widerständen ergibt die Strom-Spannungs-Messung grundsätzlich zutreffendere Werte als die Messung mittels Multimeter oder Ohmmeter. Anwendungsbeispiel: Plausibilitätsprüfungen. Wenn Sie beispielsweise „schnell mal“ den Widerstand über den Speisespannungsanschlüssen einer Steckkarte messen, erhalten Sie – je nach Gerätetyp – verschiedene Werte. Die Angabe „x mA bei 0,5 V“ ist wesentlich genauer und mit beliebigen Meßgerätetypen nachprüfbar.
2. Wenn Sie einen Komponententester (RLC-Meßgerät) verwenden: nachsehen, womit Widerstände gemessen werden. Manche Geräte messen auch in den Widerstandsmeßbereichen mit Wechselstrom und zeigen den ohmschen Widerstand als Realteil der gemessenen Impedanz an. Das ist gelegentlich sinnvoll. Wenn Sie aber am Gleichstromwiderstand interessiert sind, ist das Meßergebnis nicht immer brauchbar. Das betrifft vor allem: (1) die Durchgangsprüfung von Induktivitäten (wir erwarten einen Gleichstromwiderstand nahe Null und messen einen endlichen Wechselstromwiderstand), (2) das Prüfen von Kondensatoren auf Schluß (wir erwarten einen Gleichstromwiderstand nahe Unendlich und messen einen endlichen Wechselstromwiderstand), (3) das Messen von Widerständen, die zu Kondensatoren parallelgeschaltet sind.

Kondensatoren

Den Verdacht auf Kurzschluß (leitende Verbindung) kann man schnell mittels (Gleichspannungs-) Durchgangsprüfung kontrollieren. Kondensatoren, die keinen Schluß haben, aber irgendwie fehlerverdächtig sind, werden am besten probeweise ersetzt (manchmal bietet es sich an, einen Kondensator gleichen Typs einfach über den verdächtigen zu löten).

Kondensatorprüfung mittels Multimeter

Viele Geräte haben Kapazitätsmeßbereiche. Das übliche Meßverfahren: der Kondensator wird eine gewisse Zeit lang aufgeladen. Die erreichte Spannung wird gemessen und daraus die Kapazität errechnet ($C = I \cdot t / U$, wobei der Stromfluß entweder konstant zu halten oder zu messen und über die Zeit zu integrieren ist). Ein solcher Meßvorgang dauert typischerweise um 1 s und liefert nur dann ein brauchbares Ergebnis, wenn der Kondensator zu Meßbeginn vollständig entladen war.

Kondensatoren von einigen μF an aufwärts kann man auch durch Widerstandsmessung überschlägig prüfen. Bei Anschluß an das Ohmmeter (oder Multimeter) lädt sich der Kondensator auf. Wir messen zunächst einen geringen Widerstand, der mit zunehmender Aufladung immer mehr ansteigt (das ist oft mit einem analogen Meßgerät besser zu sehen (schnelles Ausschlagen des Zeigers und langsames Zurückgehen in die Ausgangsstellung) als mit einem Digitalmultimeter. Will man Kapazitätswerte näher abschätzen, ist es am besten, sich durch Vergleichsmessungen mit Kondensatoren bekannter Kapazität die erforderlichen Erfahrungen zu verschaffen. (Achtung: vor jeder erneuten Messung Kondensator entladen).

Genauere Kondensatorprüfung: mittels Komponententester oder RLC-Meßbrücke (Wechselstrommessung).

Entladen

Unbedenklich kurzschließen kann man Kondensatoren nur unter gewissen Bedingungen: (1) es ist bekanntermaßen nicht allzu viel Ladung gespeichert (das ist z. B. bei der oben beschriebenen Widerstandsmessung der Fall), (2) die Kapazität liegt deutlich unter 1 μF , (3) der Ersatzserienwiderstand ESR ist hinreichend hoch (das betrifft z. B. Energiespeicherkondensatoren – sie werden selbst durch länger dauerndes Kurzschließen nicht vollständig entladen). Ansonsten: grundsätzlich über einen Widerstand entladen. Hinweis: Lade-Elkos in Stromversorgungen sollten – wenn es um große Kapazitätswerte oder um höhere Spannungen geht – mit einem solchen „Bleeder“-Widerstand fest beschaltet sein.

Zur Dimensionierung:

Zeitkonstante RC (R = Bleeder-Widerstand, C = zu entladender Kondensator) = 1...5 s. Daraus ergibt sich $R \approx 1 \text{ s} : C$; also für 1 μF 1 M Ω , für 100 μF 10 k Ω usw.).

Eine Pauschallösung

Ein Prüfkabel mit 2 Prüfspitzen und einem Widerstand etwa 220 k Ω , 2 W anfertigen und damit den Kondensator für 1...2 Minuten überbrücken.

Induktivitäten

Es gibt drei typische Fehlermechanismen: (1) Unterbrechung, (2) Schluß zwischen verschiedenen Wicklungen (Wicklungsschluß), (3) Schluß innerhalb einer Wicklung (Windungsschluß). Unterbrechung und Wicklungsschluß kann man anhand einer einfachen Durchgangsprüfung nachweisen; das Prüfen auf Windungsschluß erfordert eine Induktivitätsmessung (Komponententester oder RLC-Meßbrücke).

Praxistips:

1. Die schwierigste Aufgabe: das Überprüfen auf Windungsschluß. Hierzu werden u. a. spezielle Prüfgeräte angeboten (preisgünstiger als universelle Induktivitätsmeßgeräte).

2. Gleichgültig womit Sie messen: verschaffen Sie sich durch probeweises Messen an bekanntermaßen guten Bauteilen ein Gefühl dafür, welche Induktivitätswerte zu erwarten sind.
3. Vorsicht: beim Messen dürfen Kerne nicht so belastet werden, daß sie in Sättigung geraten. Dies kann zu bleibenden Änderungen der Kennwerte führen (gilt im besonderen bei Ferrit-Ringkernen). Faustregel: Durchgangsprüfung/Widerstandsmessung mit Strömen unter 1 mA (in den Widerstandsmessbereichen der meisten modernen Digitalmultimeter gewährleistet; im Zweifelsfall überprüfen).

Dioden

Zur Durchgangsprüfung von Dioden brauchen wir eine passende Prüfspannung. Sie muß beim Prüfen der Flußrichtung größer sein als die Flußspannung, beim Prüfen in Sperrichtung kleiner als die Sperrspannung. Dioden kann man überschlägig durch Widerstandsmessung mit dem Ohmmeter prüfen (Abb. 1.2). Bei Polung in Sperrichtung muß ein extrem hoher Widerstand (mehrere M Ω oder „unendlich“ = Bereichsüberschreitung), bei Polung in Durchlaßrichtung ein niedrigerer (bzw. endlicher) Widerstand angezeigt werden.

Dioden haben eine nichtlineare Spannungs-Strom- Kennlinie. Der angezeigte Widerstandswert hängt deshalb von der Prüfspannung ab (bei Prüfspannungen < 0,5 V liegt der Wert größenordnungsmäßig zwischen über 1 M Ω bis zu einigen k Ω ; bei Prüfspannungen, die die Flußspannung erreichen oder überschreiten, hingegen nur bei höchstens einigen hundert Ohm).

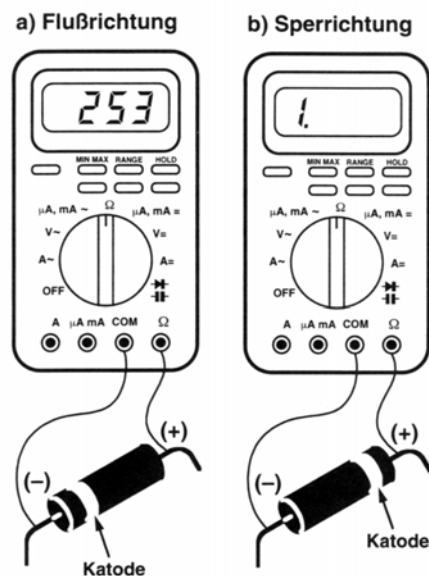


Abb. 1.2 Diodenprüfung mittels Ohmmeter

Achtung: Digitalmultimeter im Autoranging-Betrieb ergeben oft irreführende Messungen (u. a. kann es sein, daß sich in Flußrichtung keine stabile Anzeige ergibt und daß in Sperrichtung, wenn Sie beide Anschlüsse der Diode von Hand an die Prüfleitungen halten, der Durchgangswiderstand Ihres Körpers gemessen wird).

Meßbereiche für den Diodentest

Viele Digitalmultimeter haben so einen Meßbereich. Es wird entweder der Spannungsabfall über der Diode oder der gemessene Durchgangswiderstand angezeigt. Fällt nahezu die gesamte Prüfspannung über der Diode ab oder wird ein extrem hoher Durchgangswiderstand gemessen, so wird typischerweise eine Sondermeldung angezeigt, z.B. OL (Bereichüberschreitung), OPEN o. dergl. (Abb. 1.3). Die typische Auslegung: Prüfspannung 1...4 V, Prüfstrom 1 mA. Der Meßbereich ist somit für Signal- und Kleinleistungsdioden geeignet, nicht aber für Leistungsgleichrichter und LEDs. Die Abhilfe: einfache Prüfaufbauten (Abb. 1.4).

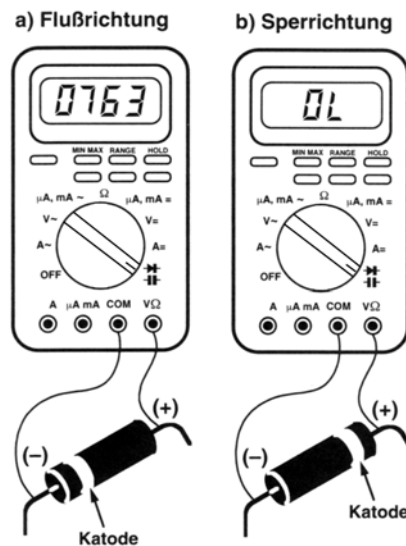


Abb. 1.3 Diodenprüfung im Meßbereich Diodentest. Hier wird beim Prüfen in Flußrichtung die gemessene Flußspannung angezeigt (in mV)

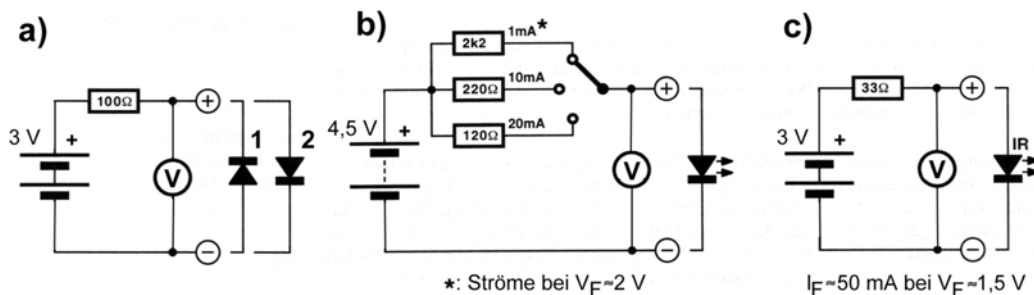


Abb. 1.4 Diodenprüfung - Simple & Stupid

- einfache Diodenprüfschaltung. Die Diode wird in beiden Richtungen angeschlossen. Ist die Diode o. k., so messen wir in Sperrichtung (1) nahezu die Batteriespannung und in Flußrichtung (2) eine Flußspannung (0,4...> 0,8 V).
- LED-Prüfschaltung mit wählbarem Durchflußstrom. Die angegebenen 4,5 V genügen zum Prüfen der meisten Typen. Ggf. eine höhere Prüfspannung wählen.
- Prüfschaltung für Infrarot-LEDs. Solche LEDs werden üblicherweise mit höheren Strömen betrieben. (Die Lichtintensität soll hoch genug sein, um die Abstrahlung mit einfachsten Lichtempfänger-Prüfaufbauten nachweisen zu können.) Oft kann man aber darauf verzichten, die Infrarot-Abstrahlung zu kontrollieren (eine IR-LED, die bei Anschluß in Flußrichtung einen Spannungsabfall auf 1,5...2 V bewirkt, bei Anschluß in Sperrichtung aber nicht, ist sehr wahrscheinlich o. k.).

Auffinden von Dioden-Anschlüssen

Typischerweise ist die Katode besonders gekennzeichnet (z. B. durch einen Farbring, oder einen kürzeren Anschlußdraht). Die Prüfung gemäß den Abb. 1.2 bis 1.4 erlaubt es, eine unbekannte Anschlußbelegung zu erkennen: der Anschluß, an dem in Flußrichtung der Minuspol anliegt, ist die Katode.

Leuchtdioden (LEDs)

LEDs haben Flußspannungen zwischen 1,3 und 5 V und eine niedrige Sperrspannung (typischerweise 5...8 V). Sie vertragen nur geringe Ströme (Richtwerte: Niedrigstrom-LEDs 2 mA, Miniaturbauformen 10 mA, „Wald-und-Wiesen-Typen“ 20 mA, große und ultrahelle LEDs 25...50 mA). 1...2 mA genügen meist, um ein wahrnehmbares Leuchten hervorzurufen. Ob die Prüfung mittels Digitalmultimeter (im Meßbereich „Diodentest“) gelingt, hängt von der Prüfspannung ab. Behelf: gemäß Abb. 1.4b, c.

Zenerdioden

Zenerdioden müssen sich in Flußrichtung genauso verhalten wie gewöhnliche Dioden; in Sperrichtung müssen sie mit einer Spannung geprüft werden, die größer ist als die Zenerspannung (Abb. 1.5, 1.6).

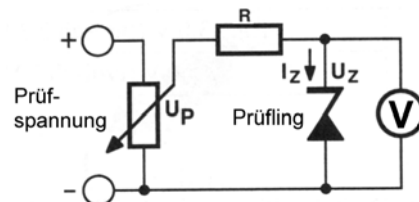


Abb. 1.5 Zenerdiodenprüfung

Beim Durchdrehen des Potentiometers (vom unteren zum oberen Anschlag) muß irgendwann die Zenerspannung meßbar sein. Sie darf sich dann beim Weiterdrehen nicht mehr wesentlich ändern.

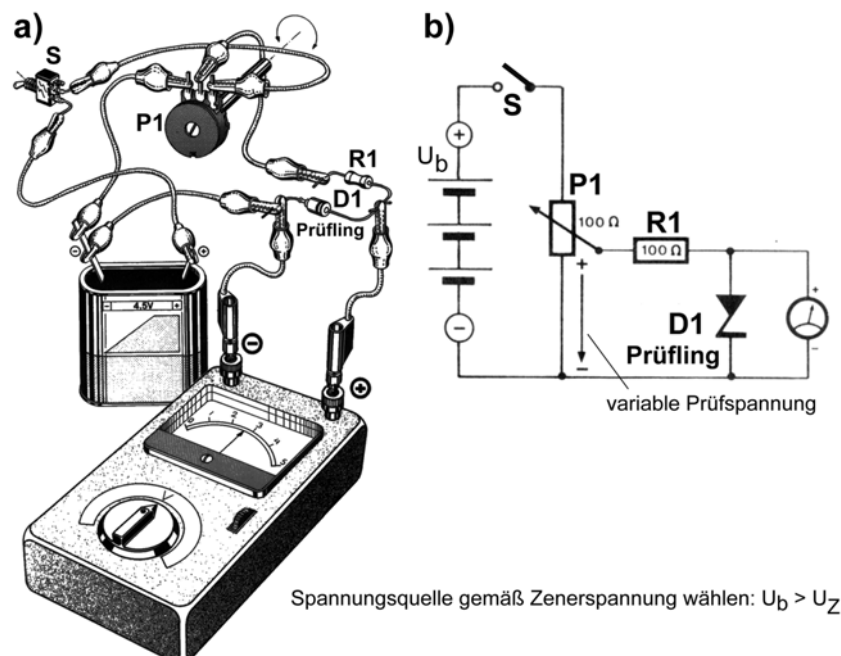


Abb. 1.6 Ein „fliegender“ Aufbau zum Prüfen einer Zenerdiode (Elektor). a) Drahtverhau; b) Schaltplan. Der Schalter S ist ausgesprochener Luxus“...

*) Denksportaufgabe: weshalb? Weil es genügt, die Batterie abzuklemmen...

Suppressordioden (Transient Voltage Suppressors; Transils, TransZorbs usw.)

Unterhalb der Durchbruchspannung verhalten sich diese Bauelemente wie übliche Dioden (bei bidirektionalen Typen darf in beiden Richtungen praktisch kein Strom fließen). Die Bauelemente halten bei kurzzeitiger Belastung geradezu riesige Stromstärken aus ($< 10... > 100$ A), vertragen aber bei Dauerbelastung nicht mehr als übliche Dioden gleicher Bauform. Die Schutzfunktion ist mit genormten impulsförmigen Spannungsverläufen zu prüfen (Abb. 1.7).

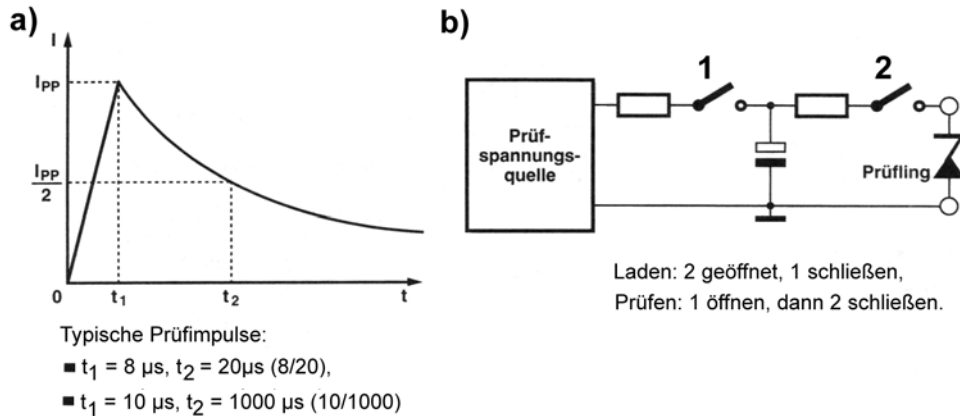


Abb. 1.7 Prüfpulse für Suppressordioden. a) Impulsverlauf; b) Prinzipaufbau einer Prüfschaltung

Behelfsweise Gleichstromprüfung

Der zulässige Dauerstrom im Durchbruchbereich ist meist nicht spezifiziert. Behelfsweise kann man sich an den Stromkennwerten (I_{ZT}) von Zenerdioden vergleichbarer Bauform und vergleichbarer Zenerspannung orientieren und solche Bauelemente in einem Aufbau gemäß Abb. 1.5 mit Gleichstrom prüfen (Richtwert zur Strombegrenzung bei kleinen Bauformen und bei Mehrfachdioden: 5 mA).

Praxistip:

Wichtig ist, daß solche Schutzbauelemente im Fall des Falles auch funktionieren. Der typische Fehlermechanismus bei Überlastung: Zwischen Anode und Katode bildet sich (1) ein Kurzschluß aus. Wenn deshalb ein sehr starker Strom durch das Bauelement fließt, kann es im Innern schmelzen und wird so (2) zum offenen Kontakt (der normalerweise nicht schadet, aber auch nicht mehr schützt). Der Fehler (1) ist leicht mittels Ohmmeter zu erkennen. Deshalb bemühen sich die Hersteller darum, daß dieser Fehler auch bei höheren und länger dauernden Strömen möglichst nicht wieder verschwindet. Ein Fehler (2) ist hingegen bei der Durchgangsprüfung nicht erkennbar. Er kann aber mit der behelfswesisen Gleichstromprüfung nachgewiesen werden. Sehen wir es dem Bauelement schon von außen an, daß es etwas abbekommen haben muß, sollten wir es vorbeugend tauschen

1.2. Transistoren

Schnellprüfung (1): Mehrfacher Diodentest

Mit einem Ohmmeter oder dem Diodentest-Meßbereich eines Digitalmultimeters kann man die Kollektor-Basis- und die Basis-Emitter-Diode des Transistors auf Durchgang bzw. Sperren prüfen (Abb. 1.8). Beim FET wäre sinngemäß zu kontrollieren, ob das Gate gegenüber Source und Drain noch isoliert ist.

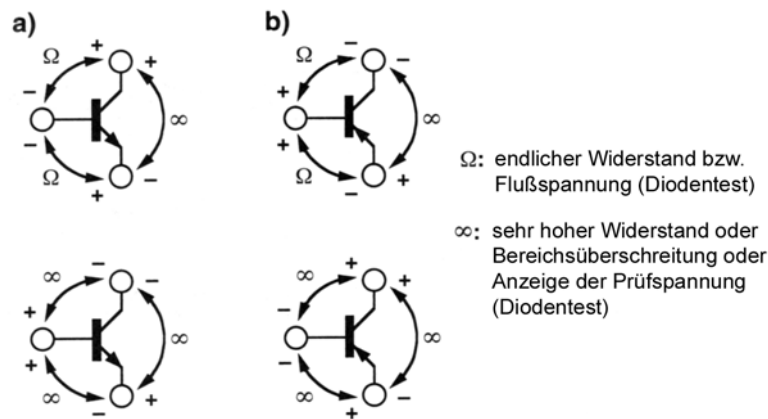


Abb. 1.8 Transistor-Schnellprüfung (1). a) npn-, b) pnp-Transistor

Die Schnellprüfung eines Transistors erfordert insgesamt 6 Durchgangsprüfungen, weil von jedem Anschluß aus der Widerstand zu jedem der beiden anderen Anschlüsse zu prüfen ist, und zwar mit beiden Polungen des Prüfgerätes. Praxistip zum Auffinden der Anschlußbelegung: Messen wir über zwei Anschlüssen bei beiden Polungen des Meßgerätes einen „unendlichen“ Widerstand, so handelt es sich (unter der Annahme, der Transistor sei o.k.) um Emitter und Kollektor. Wenn man weiß, welcher Anschluß die Basis ist, kann man sich in einer einfachen Prüfschaltung (z. B. gemäß Abb. 1.10) davon überzeugen, bei welcher Polung der Transistor am besten verstärkt (dann ist er „richtig herum“ angeschlossen).

Schnellprüfung (2): der Nasse-Finger-Test

Kollektor und Emitter sind an ein Ohmmeter angeschlossen (bei NPN: Pluspol am Kollektor). Basis offen: kein Strom (Kollektor-Emitter-Strecke hochohmig; Instrument zeigt nichts an). Basis und Kollektor werden gleichzeitig mit dem nassen Finger berührt. Somit fließt ein geringer Basisstrom, der bewirkt, daß auch ein Kollektorstrom fließt (Kollektor-Emitter-Strecke niederohmig; Instrument zeigt etwas an).

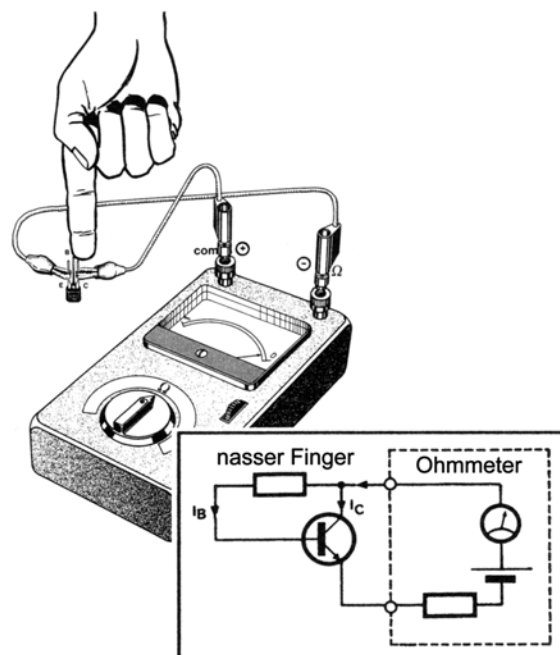


Abb. 1.9 Transistor-Schnellprüfung (2). Der Nasse-Finger-Test (Elektor)

Schnellprüfung (3): Stromverstärkungsprüfung

Eine vereinfachte Funktionsprüfung, die mit einem einzigen Meßgerät auskommt (Abb. 1.10). Der Basisstrom wird gemessen. Meßbereich. 5 mA (Richtwert). Kollektorstromanzeige mit Glühlampe, z. B. 3,8 V, 70 mA. Potentiometer am unteren Anschlag: kein Basisstrom, Glühlampe dunkel. Langsam nach oben drehen. Basisstrom muß zu fließen beginnen, Lampe muß immer heller leuchten. Wenn sie normale Helligkeit hat, Basisstrom ablesen und Stromverstärkung ausrechnen $\beta = \text{Kollektorstrom (z. B. ca. 70 mA)} : \text{gemessenen Basisstrom (SEHR ungenau...)}$.

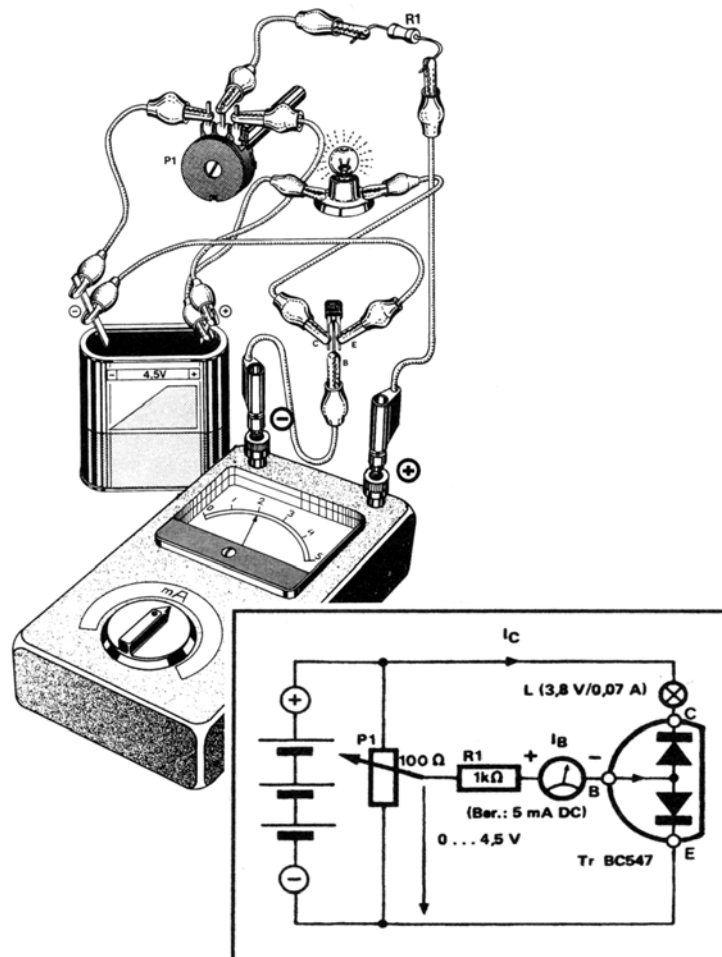


Abb. 1.10 Transistor-Schnellprüfung (3). Stromverstärkungsprüfung (Elektor)

Transistorprüfgeräte

Manche Multimeter haben besondere Meßbereiche zur Transistorprüfung, und es sind verschiedene Typen von Transistortestern am Markt. Ein solcher Tester ist aber nichts anderes, als eine mehr oder weniger komfortabel verpackte einfache Prüfschaltung. Und diese können wir im Sinne einer Prüftafel auch selbst bauen (Abb. 1.11). Das Prinzip: der Transistor wird beispielsweise in Emitterschaltung betrieben; dabei werden die Strom- und Spannungswerte gemessen.

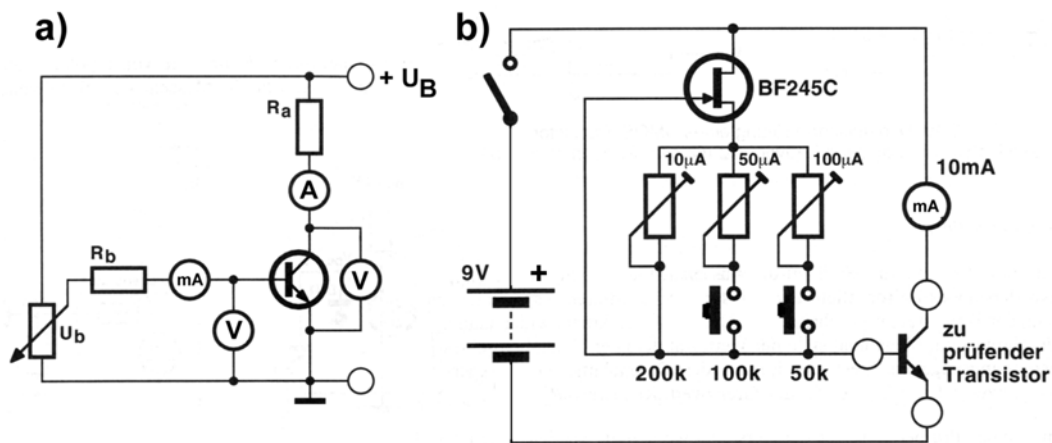


Abb. 1.11 Transistorprüfschaltungen für statische Messungen

- Grundschialtung der statischen Transistorprüfung. Ströme und Spannungen werden sowohl auf der Ansteuer- als auch auf der Lastseite gemessen. Die Schaltung ist sinngemäß auch für N-Kanal-FETs brauchbar. PNP-Transistoren und P-Kanal-FETs brauchen eine negative Betriebsspannung. Arbeitswiderstand R_a und Strombegrenzungswiderstand R_b sind gemäß den jeweiligen Betriebsbedingungen (I_{CEmax} , I_{BEmax}) zu dimensionieren. Bei FETs darf praktisch kein Gatestrom fließen.
- eine typische Schaltung zum Prüfen von Transistoren kleiner Leistung. Die meisten der einfachen Transistortester arbeiten nach diesem Prinzip: Eine Konstantstromquelle (hier mit einem Sperrschicht-FET aufgebaut) liefert den Basisstrom; der Kollektorstrom wird gemessen. Da der Basisstrom bekannt ist, zeigt das Instrument die Stromverstärkung direkt an. Auch Leistungstransistoren kann man so prüfen (wozu die Schaltung für Basisströme zwischen 1 mA und 1 A sowie für Kollektorströme von mehreren A auszulegen ist).

Dynamische Prüfung

Die dynamischen Kennwerte von bipolaren und Feldeffekttransistoren überprüft man zweckmäßigerweise durch Messen der Schaltzeiten mittels Oszilloskop (Abb. 1.12 bis 1.14).

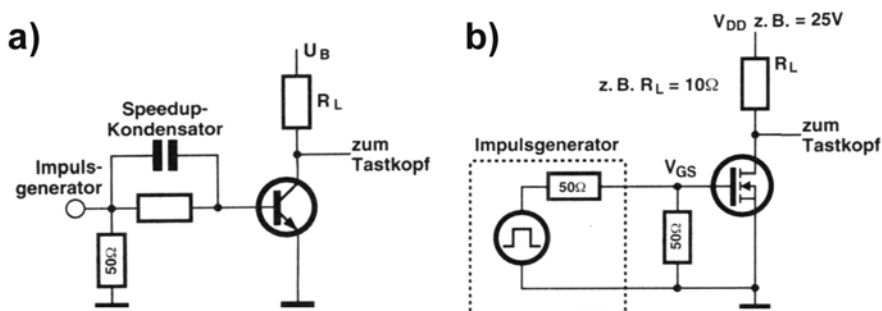


Abb. 1.12 Dynamische Transistorprüfung (1). a) Bipolartransistor; b) DMOS-Transistor

Einzelheiten und Praxistips:

- die Steilheit der Ausschalt-Flanke hängt wesentlich vom Wert des Arbeitswiderstandes ab (da allein über diesen die parasitären Kapazitäten umgeladen werden, wenn der Transistor ausgeschaltet hat). Das heißt: der Arbeitswiderstand muß hinreichend niederohmig sein. Manchmal steht der Wert, mit dem der Hersteller gemessen hat, in den Prüfbedingungenangaben (Test Conditions) des Datenblatts. Zum Experimentieren: $R_{Lmax} = U_B / I_{Cmax}$ bzw. $= V_D / I_{Dmax}$ ist der Grenzwert. Richtwert: $R_L = 2 R_{Lmax}$.

- Ansteuerung: In den Prüfbedingungen der Hersteller werden oft Anstiegszeiten < 1 ns gefordert. Mit Ansteuerung über ABT- oder AC-Treiberstufen erreicht man Anstiegszeiten um 2..5 ns, die für überschlägige Prüfungen vollauf genügen.
- grundsätzlich: Meßschaltung mit geringsten parasitären Kapazitäten aufbauen. Bauelemente gemäß Verlustleistung auswählen; erforderlichenfalls Kühlkörper vorsehen.
- der Nutzen in der Labor- und Servicepraxis: die Schnellprüfung verdächtiger Leistungstransistoren. Hierzu genügt typischerweise eine Pauschalprüfung unter Vernachlässigung von Spitzfindigkeiten; es geht lediglich darum, ob der Transistor unter betriebstypischer Belastung vernünftig schaltet oder nicht. *Praxistip*: Anhand bekanntermaßen funktionsfähiger Transistoren lernen, wie ein vernünftiges Schalten aussehen sollte.

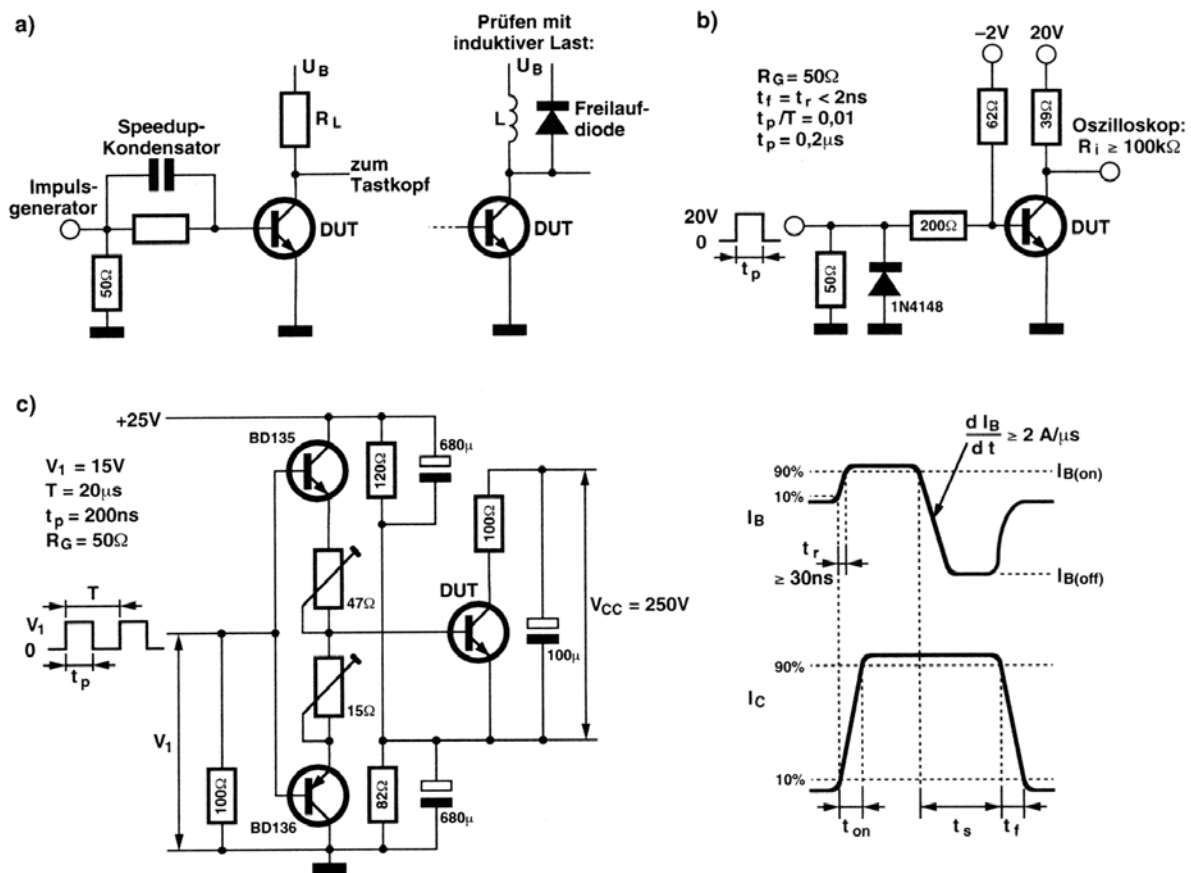


Abb. 1.13 Dynamische Transistorprüfung (2). Bipolartransistor (nach: AEG-Telefunken und Texas Instruments)

Einschalten des Bipolartransistors: Damit der Transistor schnell einschaltet, muß er hinreichend übersteuert werden. Richtwert zum Experimentieren: höchsten Basisstrom aus der U_{CE} - I_C -Kennlinie ⑤.

Ausschalten des Bipolartransistors: Die Basis muß möglichst schnell von Ladungsträgern befreit werden. Ist dies nicht optimal gelöst, messen wir eine um die *Ausräumzeit* u. U. beträchtlich verlängerte Ausschaltzeit. Möglichkeiten der Abhilfe (vgl. Abb. 1.13):

- Verkürzung der Ausräumzeit durch nur geringes Übersteuern der Basis (wozu der Basisvorwiderstand entsprechen zu dimensionieren ist). Für einen kräftigen Stromstoß beim Einschalten sorgt der Speedup-Kondensator.

Wirksamer sind Schaltungen, die beim Ausschalten die Basis an eine negative Vorspannung legen, so so daß die Ladungsträger gleichsam abgesaugt werden:

- b) Betrieb mit negativer Hilfsspannung.
- c) in dieser Schaltung ist der zu prüfende Transistor "hochgehängt" worden. Ist der ansteuernde Impuls Low, so ist der untere Ansteuertransistor leitend, so daß ein Strom aus der Basis herausfließen kann.

Praxistip:

Auf einfachste Weise (z. B. gemäß Abb. 1.13a) prüfen und daran denken, daß die Schaltzeit um die Ausräumzeit verlängert wird (eine Vergleichsmessung mit einem bekanntermaßen funktionsfähigen Transistor ergibt die Größenordnung).

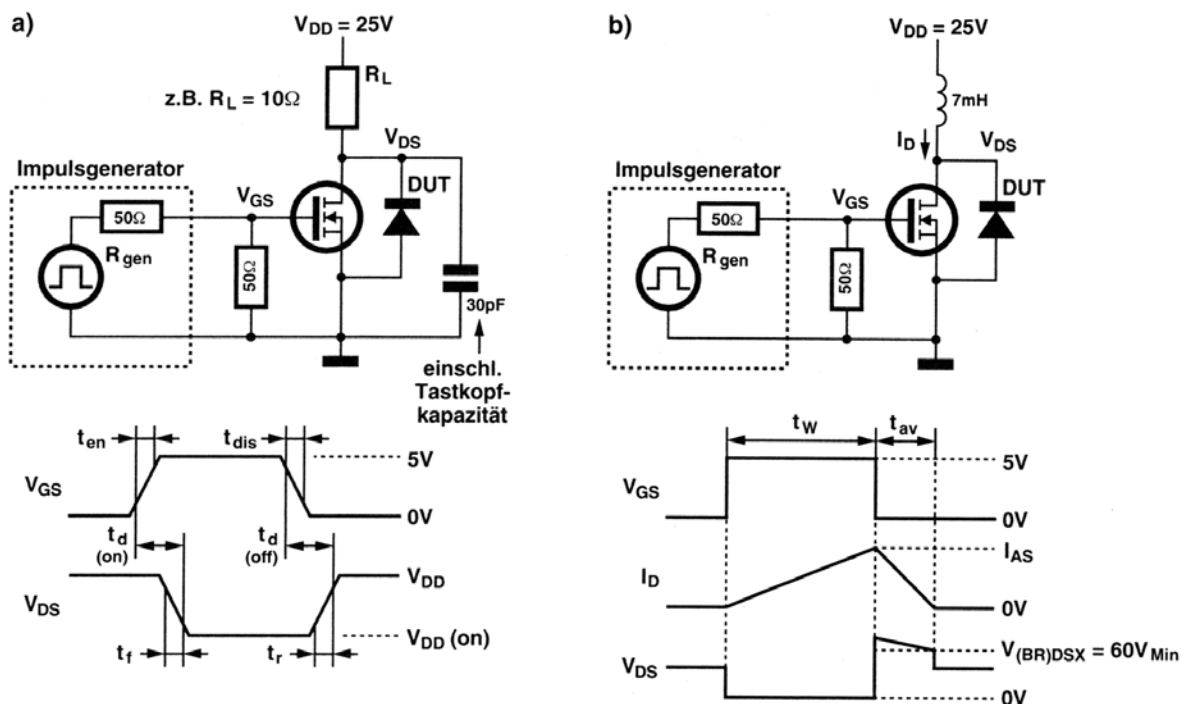


Abb. 1.14 Dynamische Transistorprüfung (3). DMOS-Transistor (nach: Texas Instruments)

2. Spannungsmessung

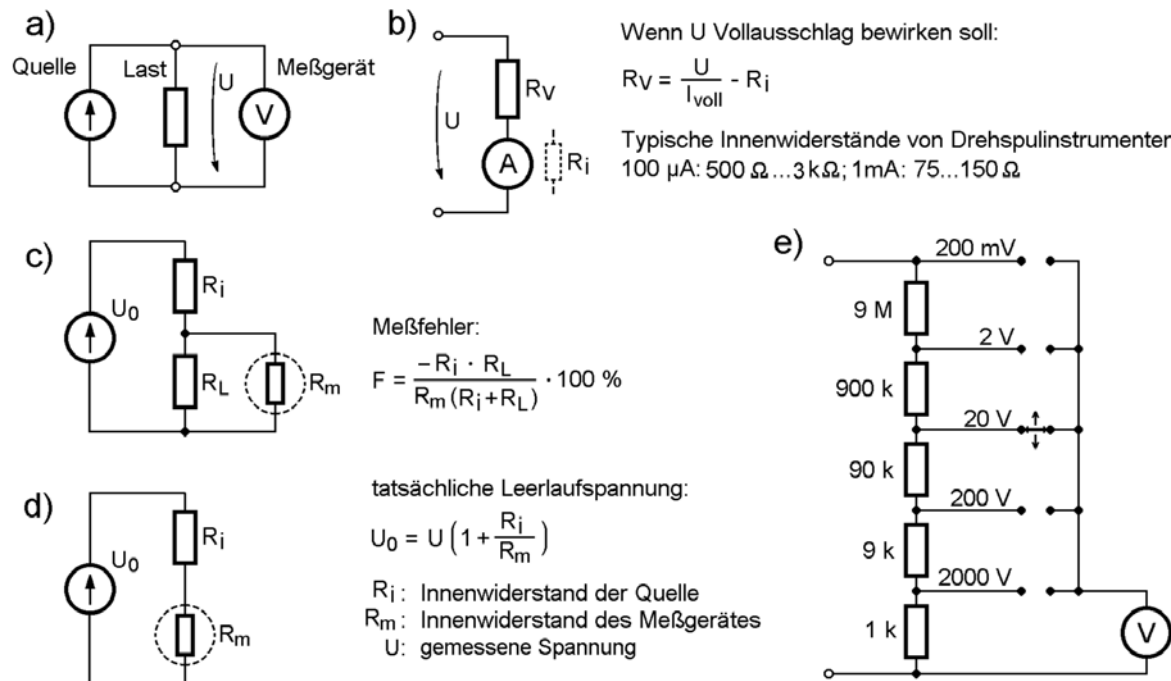
Ein Spannungsmesser (Voltmeter) wird der zu messenden Spannung parallelgeschaltet (Abb. 2.1a). Durch den Spannungsmesser sollte idealerweise kein Strom fließen, das heißt, er sollte einen unendlich großen Innenwiderstand haben.

Analoge Spannungsmessung

Analoge Instrumente sind ihrem Wirkprinzip nach Strommesser. Demzufolge wird die Spannungsmessung auf eine Strommessung zurückgeführt, indem der Strom durch einen in Reihe geschalteten Widerstand gemessen wird (Abb. 2.1b). Als Voltmeter angebotene Analoginstrumente haben einen eingebauten Vorwiderstand.

Digitale Spannungsmessung

Digitale Instrumente sind ihrem Wirkprinzip nach Spannungsmesser.



- a) Anschaltung eines Spannungsmessers,
- b) ein Strommesser (z. B. ein Drehspulinstrument) wird durch einen Vorwiderstand als Spannungsmesser hergerichtet,
- c) Messen unter Betriebsbedingungen. Durch Parallelschalten des Spannungsmessers ergibt sich ein belasteter Spannungsteiler.
- d) Messen der Leerlaufspannung einer Spannungsquelle,
- e) Meßbereichserweiterung eines typischen digitalen Einbauinstruments mit 200 mV Nennspannung. Der Eingangswiderstand ist konstant (im Beispiel = 10 M Ω), unabhängig vom gewählten Meßbereich. Spannungsteiler dieser Art sind marktgängig.

Abb. 2.1 Spannungsmessung

Meßbereichserweiterung

Der Meßbereich eines Spannungsmessers kann durch Vorschalten eines Vorwiderstandes oder eines Spannungsteilers erweitert werden. Über Wahlschalter können mehrere Meßbereiche vorgesehen werden.

Innenwiderstand

Der Innenwiderstand kann in der Praxis nicht unendlich sein. Bei Analoginstrumenten (ohne vorgeschalteten Verstärker) wird er in der Form „k Ω /V“ angegeben (spannungsbezogener Innenwiderstand). Gute Geräte haben – bei Gleichspannungsmessung – Innenwiderstände zwischen 20 und 100 k Ω /V. Wenn man mit einem Gerät von 20 k Ω /V 1 V mißt, beträgt der Innenwiderstand also 20 k Ω , wenn man 5 V mißt, 100 k Ω usw.

Digitale Geräte haben typischerweise einen konstanten Innenwiderstand, ebenso die meisten Analoggeräte mit vorgeschaltetem Verstärker.

Meßfehler

Durch das Parallelschalten des Meßgeräte-Innenwiderstandes entsteht ein negativer Meßfehler (die tatsächliche Spannung ist höher als die gemessene; vgl. Abb. 2.1c).

Störungsprobleme bei Gleichspannungsmessungen

Zu hoher Innenwiderstand des Voltmeters

Die Zuleitungen des Meßgerätes wirken als Antennen, die Störungen aus der Umgebung einfangen. Bei empfindlichen Geräten mit sehr hohem Innenwiderstand kann das ein Problem sein. Manche Geräte haben besondere Meßbereiche mit geringerem Innenwiderstand. In Problemfällen muß man durch einen zusätzlichen Widerstand für eine entsprechende Belastung sorgen. Eine andere Wirkung eines extrem hohen Innenwiderstandes (100 M Ω ...G Ω -Bereich) kann sein, daß die Meßanordnung ins Schwingen gerät. Abhilfe: möglichst nahe an der Prüfspitze einen Serienwiderstand einschalten. Größenordnung: 30...100 k Ω (bei Innenwiderständen im G Ω -Bereich ist der Spannungsabfall über 100 k Ω vernachlässigbar gering.)

Vom Digitalmultimeter verursachte Störungen

Infolge ihrer Arbeitsweise sind digitale Meßgeräte grundsätzlich als Störquellen anzusehen (auch bei Batteriebetrieb!). Abb. 2.2 zeigt eine Abhilfe. Die Filteranordnung soll verhindern, daß Störungen aus dem Meßgerät in die zu prüfende Schaltung gelangen. Die genauen Werte sind jeweils durch Probieren zu bestimmen.

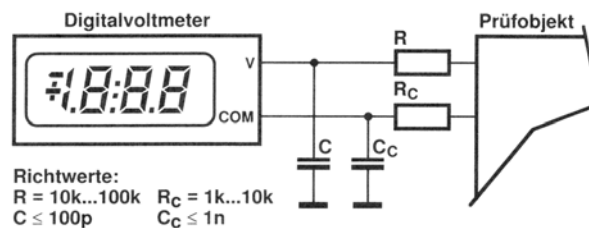


Abb. 2.2 Filterschaltung vor einem Digitalmultimeter (EDN)

Spannungen genauer messen: Hoch- und Hineinhängen

Je kleiner der Meßbereichsendwert, um so geringer der absolute Meßfehler. Es gibt zwei Tricks, um höhere Spannungen genauer zu messen (Abb. 2.3):

1. wir messen nicht gegen Masse, sondern gegen feste Bezugsspannungen ("Hochhängen" des Meßgerätes),
2. wir messen Spannungsabfälle direkt über den Widerständen, an denen sie entstehen ("Hineinhängen" des Meßgerätes).

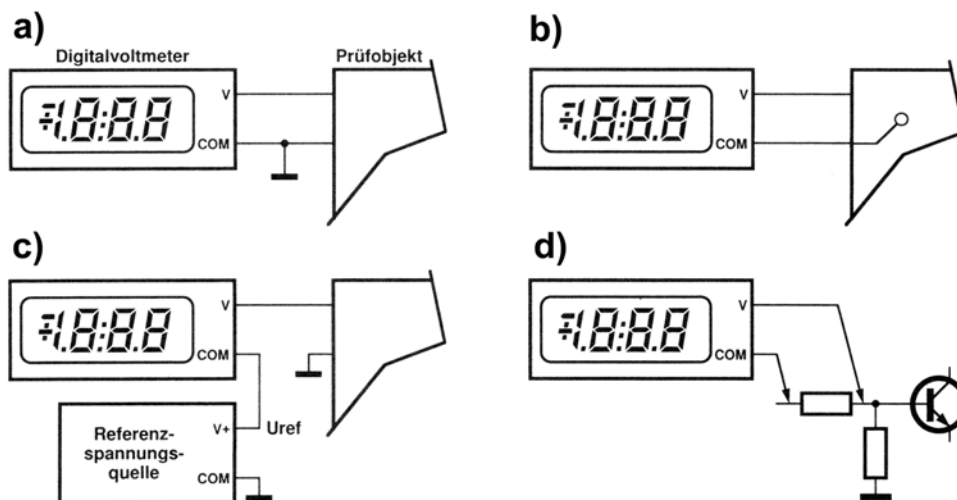


Abb. 2.3 Genauere Spannungsmessungen

- a) die herkömmliche Anordnung: die Spannung wird mit Bezug auf die gemeinsame Masse gemessen.
- b) Hochhängen (1). Der Masseanschluß des Meßgerätes (die COM-Buchse) ist mit einer bestimmten Spannung des Prüfobjekts verbunden. Anwendung: relative bzw. Differenzmessungen. Beispiel: die Logik-Versorgungsspannung (z. B. + 5 V) ist genauer zu untersuchen; wir wollen messen, was an den Logikschaltkreisen tatsächlich ankommt. Messen wir gegen Masse, so arbeiten wir bei einem 3½-stelligen Gerät im 20V-Meßbereich. 1 Digit entspricht hier 10 mV. Besser: wir verbinden die COM-Buchse des Meßgerätes mit den + 5 V unmittelbar am Ausgang des Netzteils. Dann können wir die Spannungsdifferenzen zu den V_{CC} -Anschlüssen der Logikschaltkreise direkt ablesen (es sind negative Werte). Dafür läßt sich meist der niedrigste Meßbereich ausnutzen (z. B. 200 mV; hier entspricht 1 Digit 0,1 mV). Sinngemäß kann man das Meßgerät hochhängen, um Spannungsabfälle über bestimmten Bauelementen zu messen.
- c) Hochhängen (2). Der Masseanschluß (COM) des Meßgerätes ist an eine genaue Bezugsspannung (Referenzspannung) angeschlossen, die ihrerseits z. B. auf Masse bezogen ist. Beispiel: wir wollen eine Logik-Versorgungsspannung von 5 V genau messen. Ein 3½-stelliges Meßgerät mit 1% + 1 Digit mißt 5 V mit einem Gesamtfehler von 1,2 %, = ± 60 mV. Legen wir den COM-Anschluß auf eine Referenzspannung von $5,00 \text{ V} \pm 0,1\%$ (absoluter Fehler: 5 mV), so können wir die Abweichung meist noch im kleinsten Meßbereich erfassen, z. B. mit 200 mV. (Am Bereichsende beträgt der Meßfehler 2,1 mV. Zuzüglich des 5 mV-Fehleranteils der Referenzspannungsquelle ergibt sich ein Gesamtfehler von ± 7 mV.)
- d) Hineinhängen: der Spannungsabfall über dem Basisvorwiderstand wird direkt gemessen, indem das Meßgerät dem Widerstand parallelgeschaltet wird.

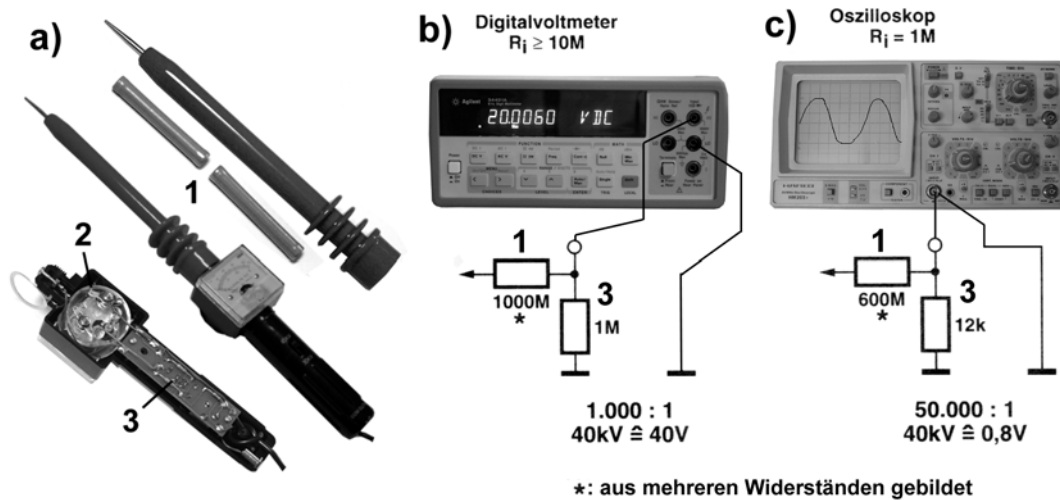
Hinweis: Zu den Grenzen und Problemstellen des Hoch- bzw. Hineinhängens siehe Abschnitt 5.

Hochspannungsmessung

Vorsicht! Genau nachsehen, wofür das Meßgerät spezifiziert ist.

Hinweise:

1. Viele Multimeter haben Gleich- und Wechselspannungs-Meßbereiche von jeweils 1000 V.
2. Nur Meßzubehör (Kabel, Klemmen, Stecker, Prüfspitzen usw.) verwenden, dessen Prüfspannung wenigstens das Vierfache der höchsten zu messenden Spannung beträgt. Bei Wechselspannungsmessungen entspricht die zu messende Spannung der Spannung Spitze-Spitze (U_{SS}). ($230 \text{ V} \sim \hat{=} 640 \text{ V}_{SS}$, $1000 \text{ V} \sim \hat{=} 2800 \text{ V}_{SS}$.)
3. Extreme Vorsicht beim Hochhängen des Masseanschlusses (der COM-Buchse des Meßgerätes). Zum Hochhängen vgl. Abschnitt 5.
4. Extreme Hochspannungen (mehrere kV, z. B. an Bildröhren) nur mit speziellen Tastköpfen messen (Abb. 2.4). Solche Tastköpfe haben typischerweise Teilverhältnisse von 1000 : 1 ($40 \text{ kV} \hat{=} 40 \text{ V}$) bis 50 000:1 ($40 \text{ kV} \hat{=} 0,8 \text{ V}$). Sie enthalten Vorwiderstände der Größenordnung 500...1000 M Ω . Es gibt Typen mit eingebautem Instrument und solche zum Anschließen an Digitalmultimeter oder Oszilloskope. Bei Multimeteranschluß ist das Teilverhältnis üblicherweise geringer (höhere Meßgenauigkeit).
5. Tastköpfe, Prüfspitzen, Kabel usw. sauber und trocken halten. Nicht bei extremer Luftfeuchtigkeit messen. Beim Messen eine Hand in die Hosentasche!



1 - die Hochohmwiderstände des Spannungsteilers (Hochspannungsbereich); 2 - Meßinstrument; 3 - der Fußpunktwiderstand des Spannungsteilers (Niederspannungsbereich).

- Ausführungsbeispiel (zwischen 30 und 45 kV umschaltbar, Messung über das eingebaute Instrument oder durch Anschließen an ein Oszilloskop; Meßfehler $\pm 3\%$).
- Anschluß an Digitalmultimeter. Teilverhältnis 1 000 : 1 (Dimensionierungsbeispiel).
- Anschluß an Oszilloskop. Teilverhältnis 50 000 : 1 (Dimensionierungsbeispiel).

Abb. 2.4 Hochspannungs-Tastköpfe

Achtung:

- Der Eingangswiderstand des angeschlossenen Meßgerätes geht in das Teilverhältnis ein. Also: darauf achten, ob der Tastkopf für den Anschluß eines Digitalmultimeters (Eingangswiderstand wenigstens 10 MΩ) oder eines Oszilloskops (Eingangswiderstand typischerweise 1MΩ) vorgesehen ist. Beispielsweise hätte der Multimeter-Tastkopf nach Abb. 2.4b am Oszilloskop ein Teilverhältnis von 2000 : 1, da dem 1-MΩ-Widerstand 3 weitere 1 MΩ (nämlich der Oszilloskop-Eingang) parallelgeschaltet sind.
- Messen mittels Oszilloskop: auf die Eingangsempfindlichkeit achten. Viele Geräte haben im größten Meßbereich 5 V/cm, manche sogar noch weniger (z. B. 2 V/cm). Meßspannungen von 20...40 V (vgl. Abb. 2.4b) können hier schon zu Schäden führen.
- Wechselspannungsmessungen: einfache Tastköpfe ähnlich Abb. 2.4 sind an sich nur für Gleichspannungsmessungen vorgesehen. Wollen wir Wechselspannungen, Impulse, Störungen usw. genauer messen (oder auf dem Oszilloskop ansehen), brauchen wir einen Hochspannungstastkopf mit frequenzkompensiertem Spannungsteiler – eine nicht ganz billige Angelegenheit.

Praxistip:

Das Teilverhältnis eines fertigen Tastkopfs kann man ändern, indem man den Fußpunktwiderstand austauscht (z. B. in Abb. 2.4c die 12 kΩ gegen 60 kΩ, so daß sich ein Teilverhältnis von 10 000 : 1 ergibt). Vorsicht: Das Teilverhältnis stets so wählen, daß die Ausgangsspannung 40...50 V nicht übersteigt.

3. Strommessung

Ein Strommesser (Amperemeter) wird in den zu messenden Strom eingeschaltet (Reihenschaltung; Abb. 3.1). Über dem Strommesser sollte idealerweise keine Spannung abfallen, das heißt, dessen Innenwiderstand sollte 0 sein.

Analoge Strommessung

Analoge Instrumente sind ihrem Wirkprinzip nach Strommesser.

Digitale Strommessung

Digitale Instrumente sind ihrem Wirkprinzip nach Spannungsmesser. Demzufolge wird die Strommessung auf eine Spannungsmessung zurückgeführt, indem der Spannungsabfall über einem Widerstand gemessen wird, durch den der zu messenden Strom fließt.

Strommessung mit dem Oszilloskop

Da das Oszilloskop ein Spannungsmesser ist, muß die Strommessung auf eine Spannungsmessung zurückgeführt werden (Spannungsabfall über Meßwiderstand, Stromwandler).

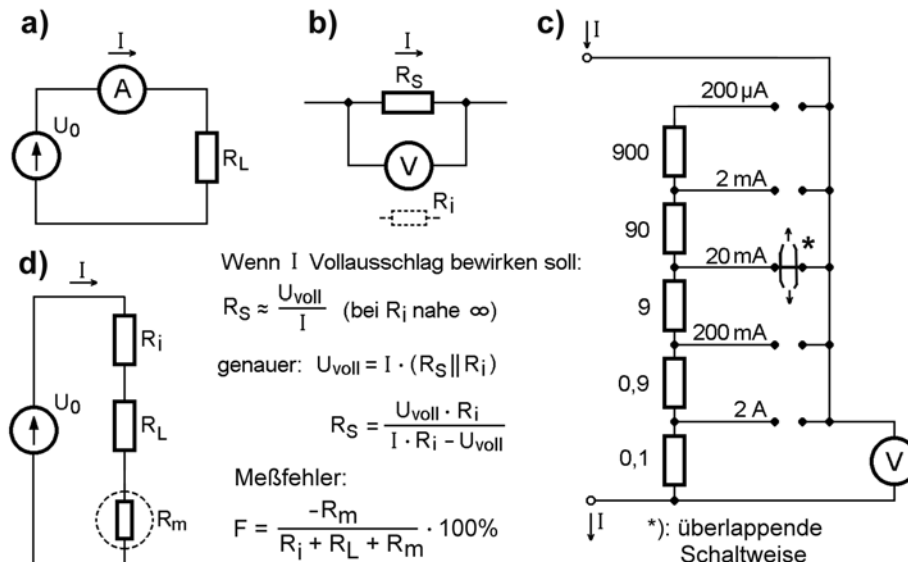


Abb. 3.1 Strommessung

- der Strommesser wird in Reihe geschaltet,
- ein Spannungsmesser (z. B. ein Digitalvoltmeter) wird durch einen Nebenwiderstand (Shunt; sprich: Schannt) als Strommesser hergerichtet,
- Meßbereichserweiterung durch Stromteiler. Das Beispiel zeigt die Meßbereichserweiterung eines typischen digitalen Einbauinstrumentes mit 200 mV Meßbereich und 10 MΩ Innenwiderstand. Die 200 mV werden, wenn ein Meßbereich voll ausgenutzt wird, als Spannungsabfall wirksam.
- Messen unter Betriebsbedingungen. Der Meßwiderstand R_m erhöht den Innenwiderstand des Stromkreises.

Meßbereichserweiterung

Der Meßbereich eines Strommessers kann durch Parallelschalten eines Nebenwiderstandes (Shunt, Stromteiler) erweitert werden. Über Wahlschalter können mehrere Meßbereiche vorgesehen werden.

Hinweis:

Wahlschalter, die Stromwege auswählen, müssen (1) überlappend schalten (sonst fließt während des Umschaltens der gesamte Strom - womöglich etliche A - durch das Meßinstrument) und (2) den maximalen Strom aushalten.

Innenwiderstand

Der Innenwiderstand kann in der Praxis nicht Null sein. Meist wird aber nicht ein Widerstandswert, sondern ein Spannungsabfall bei Strommessung angegeben (Belastungsspannung, Burden Voltage). Der Spannungsabfall über einem Widerstand hängt von der Stromstärke ab (strombezogener Spannungsabfall U_{IS} , angegeben in mV/A). Viele Datenblätter nennen jedoch lediglich eine einzige Spannungsangabe (die auf den jeweiligen Meßbereichsendwert bezogen ist).

Meßfehler

Infolge des in den Stromkreis eingeschalteten Meßwiderstandes entsteht ein negativer Meßfehler (der tatsächliche Strom ist höher als der gemessene; vgl. Abb. 3.1d).

Strom messen ohne Auftrennen

Den durch einen Leiter fließenden Strom kann man indirekt messen, indem man das begleitende Magnetfeld auswertet. Auf dieser Grundlage beruhen Stromwandler, Stromzangen und Zangen-Amperemeter (Abb. 3.2 bis 3.4). Es gibt zwei Wirkprinzipien:

- Halleffekt (für Gleich- und Wechselströme),
- elektromagnetische Induktion (Transformatorprinzip; nur für Wechselströme).

Technische Daten: Auflösung 10...100 mA, Genauigkeit 1...2 %, Meßbereiche 20...600 A.

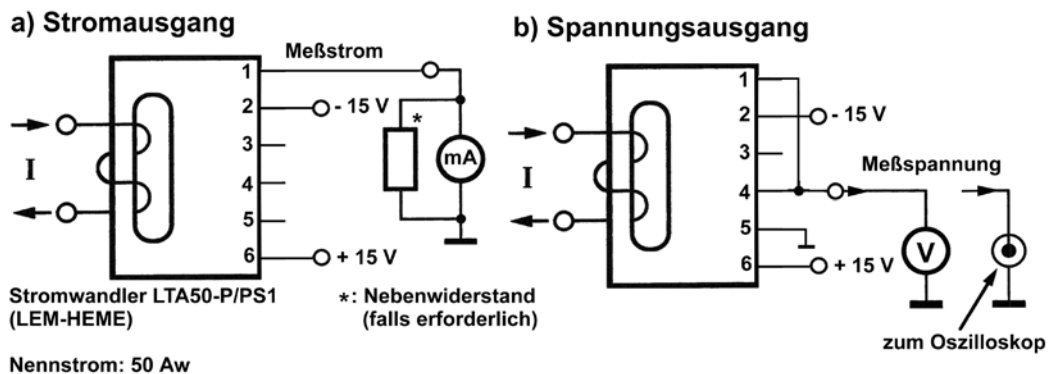


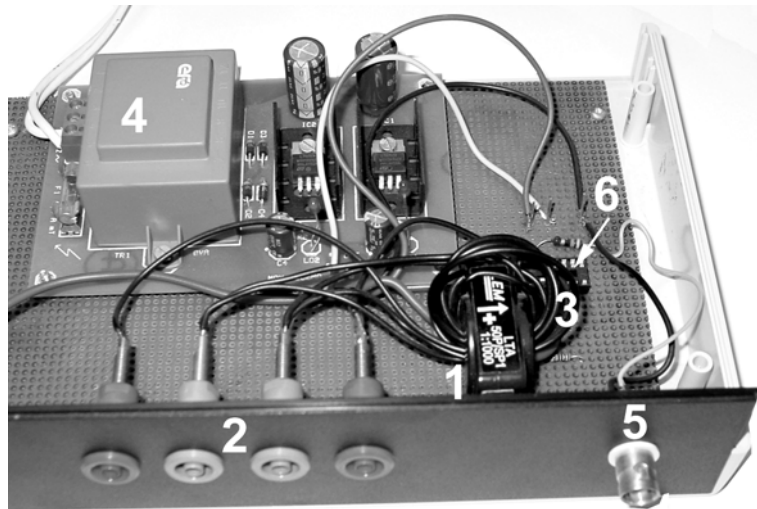
Abb. 3.2 Halleffekt-Stromwandler

Die hier gezeigte Bauform hat ein Kernloch, durch das der stromdurchflossene Leiter zu führen ist. Indem man den Leiter in mehreren Windungen um der Kern führt, kann man die Empfindlichkeit erhöhen. Der Nennstrom beträgt 50 Aw (Ampere-Windungen), d. h.: 50 A bei direkter Durchführung, 5 A bei 10 Durchführungen (= Windungen) usw. Ausgangsseitig kann das Bauelement wahlweise einen Meßstrom (a) oder eine Meßspannung (b) liefern, wobei Meßstrom bzw. Meßspannung dem primären Strom jeweils proportional sind.

Hinweise:

1. Es gibt auch Bauformen mit aufklappbarem Kern und solche mit eingebautem Stromweg (zur Leiterplattenmontage). Des weiteren sind Typen verfügbar, die den echten Effektivwert (TRMS) messen.

2. Der in Abb. 3.2 gezeigte Typ bildet den primären Strom nach Betrag und Polung in einen Ausgangsstrom oder in eine Ausgangsspannung ab. Fließt der primäre Strom in die eine Richtung, ist der ausgangsseitige Meßwert positiv, fließt der primäre Strom in die andere Richtung, ist der Meßwert negativ. Die Anordnung ist für Gleich- und Wechselströme geeignet.
3. Es gilt: 1 Windung = 1 Durchführung durch den Kern. Eine Umschlingung des Kerns = 2 Durchführungen = 2 Windungen. 5 Windungen entsprechen 4 Umschlingungen usw.
4. Der besondere Vorteil des Stromwandlers: die vollständige galvanische Trennung zwischen Stromweg und Meßgerät.
5. Ein Problem aller Stromwandler: sie beruhen auf Magneteffekten und sind deshalb gegen magnetische Fremdfelder empfindlich.
6. Ein Problem aller Stromwandler, die einen Kern haben, der zu öffnen ist (Split Core): die Öffnung ist ein Luftspalt, der den Magnetkreis merklich beeinflusst. Also: dafür sorgen, daß die Trennflächen stets sauber sind und nicht beschädigt werden (hochwertige Strommeßzangen (Abb. 3.4) haben keinen Klapp-, sondern einen Schiebemechanismus; wird die eine Kernhälfte beim Schließen über die andere geschoben, so bewirkt dies eine gewisse Selbstreinigung).



1 - Stromwandler gemäß Abb. 1.9; 2 - Meßbuchsen; 3 - verschiedene durch das Kernloch geführte Windungen; 4 - Stromversorgung (± 15 V); 5 - Meßgeräteanschluß (Oszilloskop, Multimeter); 6 - Pufferstufe (für 50- Ω -Ausgang). Meßbereiche: 50, 25, 10, 5 A.

Abb. 3.3 Strommeßadapter mit Halleffekt-Stromwandler (Labormuster)



Abb. 3.4 Präzisions-Strommeßzange mit transformatorischem Wandler und Schiebemechanismus (Tektronix). a) Ansicht; b) geöffneter Kern mit eingelegtem Draht

Praxistip:

Der vorstehend beschriebene Trick – mehrere Windungen, um die Empfindlichkeit zu erhöhen – ist auch auf Stromzangen anwendbar.

Direkte Strommessung oder Spannungsmessung?

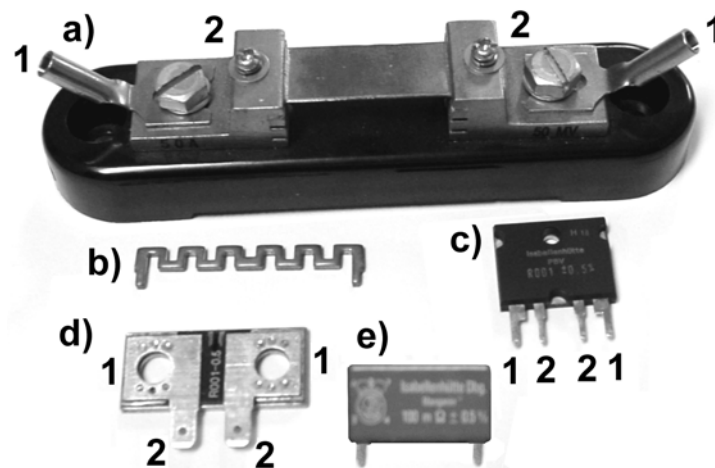
Die Spannungsmessung ist in der Praxis – mit modernen Meßgeräten – meist genauer. Deshalb bestimmt man Ströme häufig durch Messen des Spannungsabfalls über einem bekannten Widerstand.

Hinweise:

1. Manche Billigmodelle haben durchaus brauchbare Spannungs-, aber lausige Strommeßbereiche (ein extremes Beispiel: bei 400 mA maximal 2,5 V Spannungsabfall – der Hersteller hätte besser daran getan, auf die Strommessung ganz zu verzichten...).
2. Es gibt hochwertige Multimeter *ohne* Strommeßbereiche. Sie sind deutlich preisgünstiger, da der Meßstrom nicht durchs Gerät fließt. Hierdurch vereinfacht sich der Meßbereichumschalter, und es können einige kostspielige Sicherheitsvorkehrungen entfallen.

Strommeßwiderstände

Strommeßwiderstände sind für verschiedene Nennströme und in verschiedenen Genauigkeitsklassen marktgängig (Abb. 3.5, Tabelle 3.1).



- a) - Hochstrom-Shunt (1 m Ω , 50 A); b) - Hochstrom-Shunt in kostengünstiger Ausführung (10 m Ω , 20 A); c) - Präzisionsshunt 10 W (bei Montage auf Kühlkörper); d) - Präzisionsshunt 1 m Ω für Montage zwischen Stromschiene (max. 20 W); e) - Präzisionsshunt 1 W. a), c) und d) sind für Vierdrahtanschluß ausgelegt. 1 - Stromweganschlüsse; 2 - Spannungsmessanschlüsse.

Abb. 3.5 Strommeßwiderstände

Strommeßadapter

Bei „fliegenden“ Laboraufbauten macht es nicht viel Mühe, ein Amperemeter in einen Stromweg einzuschleifen. Ist hingegen an „richtiger“ (= solide aufgebauter) Hardware zu messen, geht es aber kaum so einfach. Der Ausweg: entsprechende Prüfhilfsmittel (Meßadapter). Im folgenden wollen wir die grundsätzlichen Alternativen der Strommeßvorkehrungen betrachten (Abb. 3.6).

Widerstandswert	strombezogener Spannungsabfall	Strommeßbereich	Richtwerte ²⁾
1 Ω	1 V/A = 1 mV/mA	200 mA ¹⁾	200 mA \times 200 mV; 40 mW
0,1 Ω	100 mV/A	2 A ¹⁾	2A \times 200 mV; 0,4 W
0,01 Ω	10 mV/A	20 A ¹⁾	20 A \times 200 mV; 4 W
0,001 Ω	1 mV/A	50...> 100 A	100 A \times 100 mV; 10 W
0,0001 Ω	100 μ V/A	\approx 150 A	150A \times 15 mV; 2,25 W

1): betrifft Digitalvoltmeter im Meßbereich 200 mV; 2): angegeben sind jeweils: Strom - Spannungsabfall (Belastungsspannung) - Verlustleistung

Tabelle 3.1 Strommeßwiderstände (Auswahl)

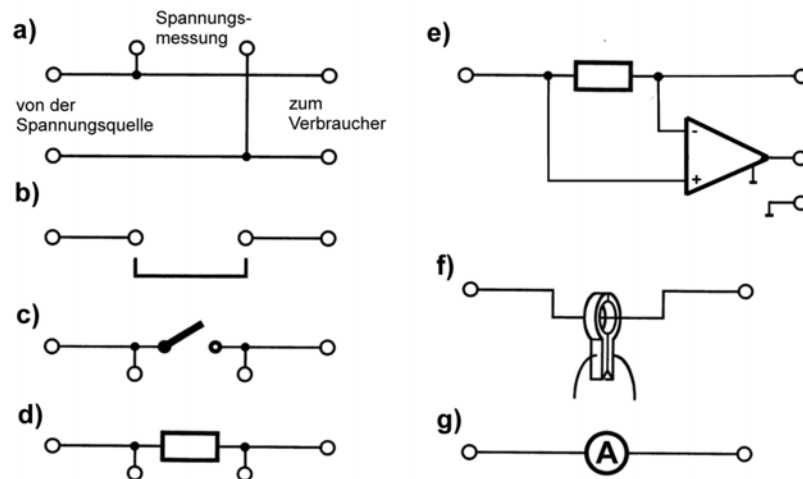


Abb. 3.6 Strommessung mittels Meßadapter

- grundsätzlicher Aufbau eines Meßadapters. Es gibt viele Möglichkeiten, die Strommessung zu unterstützen. Wir wollen uns auf einige typische Beispiele beschränken.
- Amperemeter-Meßbuchsen; Überbrückung durch Brückenstecker. Einfach, aber wenig komfortabel. An- und Abklemmen des Amperemeters nur in stromlosem Zustand. (Eine übliche Ausführung preisgünstiger Netzmeßadapter.)
- Amperemeter-Meßbuchsen; Überbrückung durch Schalter. Komfortabler als b), aber für hohe Ströme (über 1..2 A) aufwendig. Fehlbedienung möglich (Unterbrechen des Meßkreises, im besonderen beim Abklemmen des Amperemeters).
- fest eingebauter Strommeßwiderstand. Teurer als b) oder c); erlaubt auch dynamische Strommessungen (mittels Oszilloskop). Meßkreis wird garantiert nie unterbrochen. Meßwiderstand kann im Fehlerfall überlastet werden.
- fest eingebauter Strommeßwiderstand mit Differenzmeßverstärker. Führt die Strommessung auf eine Spannungsmessung gegen Erdpotential zurück. Das Meßgerät (z. B. ein Oszilloskop) muß nicht hochgehängt werden.
- Messen mit Stromzange oder Stromwandler. Vergleichsweise aufwendig. Galvanische Trennung (vollständige Isolation) zwischen Last- und Meßstromkreis. Weitere Vorteile wie d).

- g) fest eingebautes Strommeßinstrument (digital oder analog). Komfortabel, aber aufwendig. Bei preisgünstigen Instrumenten geringe Genauigkeit. Gefahr der Überlastung.

Messen mit der Stromzange:

- statt des Amperemeters ein kurzes Laborkabel einstöpseln, das mit der Zange umfaßt werden kann,
- eigentlich brauchen wir eigentlich gar keinen richtigen Adapter (als Kästchen mit Buchsen); es genügen einzelne Drähte, die mit der Zange umschlossen werden können. *Achtung:* mehrere gleichartige Drähte (vgl. die Anschlüsse der PC-Netzteile) müssen entweder alle gleichzeitig umschlossen oder zu einem einzigen Leiter zusammengefaßt werden.

Shunt oder Stromwandler?

Je höher der zu messende Strom, um so überzeugender die Vorteile des Stromwandlers: (1) kein Spannungsabfall im Stromweg, (2) galvanische Trennung. Die Preise von Hochstrom-Shunts und Stromwandlern liegen in vergleichbarer Größenordnung. Die Nachteile des Stromwandlers: (1) er braucht Speisespannung(en), (2) geringere Genauigkeit.

Die Strommessung über einen Shunt ist eine Spannungsdifferenzmessung

Zum Messen greifen wir die Spannung über den beiden Anschlüssen des Meßwiderstandes ab. Der betreffende Leiter kann aber auf einem beliebigen Potential gegen Erde liegen. Das können mehrere hundert Volt sein, z. B. beim Messen am 230-V-Netz. Brauchen wir eine Meßspannung gegen Erdpotential (z. B. zum Messen mittels Oszilloskop), so ist der Spannungsabfall über dem Shunt mit einem präzisen Differenzverstärker abzugreifen (Abb. 3.6e).

Die Strommessung in der Labor- und Servicepraxis

Es gibt verschiedene Anlässe, Ströme zu messen. Begnügen wir uns hier mit einigen Stichworten:

- der Strombedarf der heutigen Hardware,
- die Stromversorgung über Bussysteme (USB, IEEE 1394),
- die Kontrolle von Stromsparvorkehrungen,
- die Kontrolle von Lade- und Entladevorgängen,
- die Kontrolle der Netzbelastung und des Leistungsfaktors,
- Untersuchungen von Schaltvorgängen und Netzstörungen.

Typische Prüfaufgaben betreffen sowohl die Stromquellen (das 230-V-Netz, Netzteile, Akkus usw.) als auch die Verbraucher (Messung der Stromentnahme). Hierbei sind oft zeitliche Verläufe zu messen (Einschaltströme, Laden und Entladen, Zustandswechsel beim Stromsparen, Stromentnahme aus dem Netz).

Der Vierdrahtanschluß (Kelvin Sensing)

Wenn wir den Spannungsabfall über einem niederohmigen Widerstand messen wollen, durch den ein „dicker“ Strom fließt, müssen wir das Voltmeter über gesonderte Leitungen unmittelbar mit dem Widerstand verbinden, ansonsten messen wir falsch (nämlich auch noch den Spannungsabfall über den stromführenden Zuleitungen; Abb. 3.7).

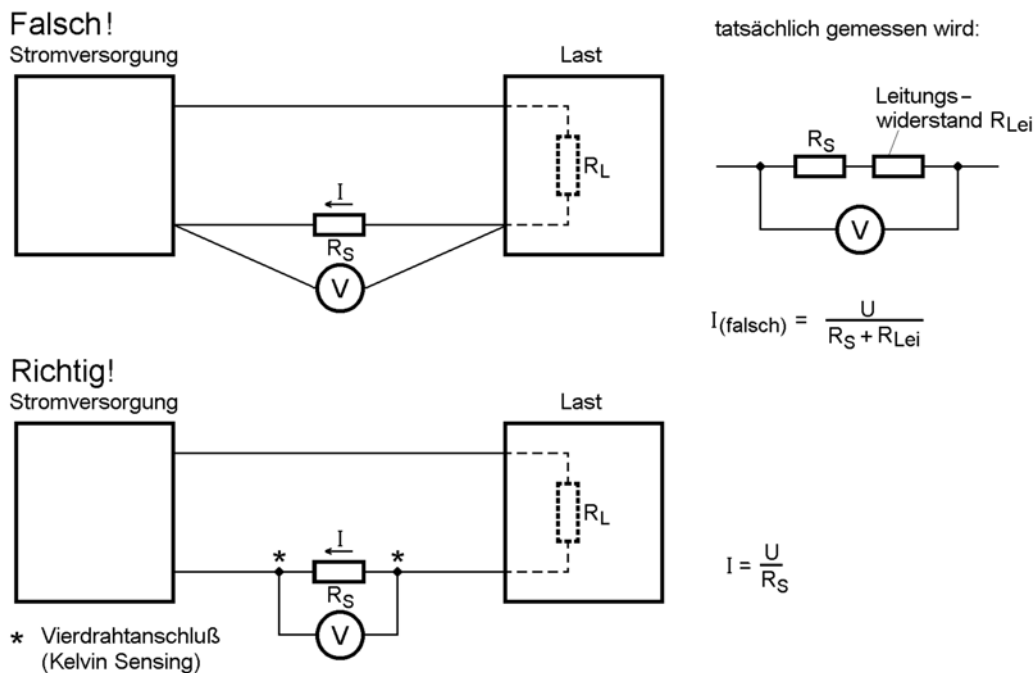
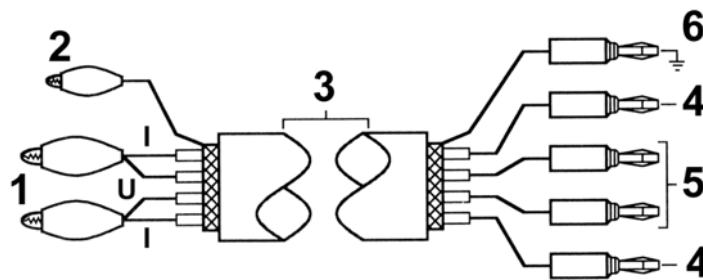


Abb. 3.7 Vierdrahtverfahren (Kelvin Sensing)

Präzisions-Strommeßwiderstände haben eigens unabhängige Anschlüsse für Stromweg und Spannungsmessung. Auch manche Strommeßwiderstände in Anwendungsschaltungen (Current Sensing Resistors; z. B. in Leistungsbaustufen) sind so angeschlossen.

Kelvin-Prüfkabel

Ein Kelvin-Prüfkabelsatz (Abb. 3.8) hat zwei Klemmen, wobei jede Klemme mit zwei Kabeln verbunden ist. Über das eine Kabel wird der Stromweg geführt; das andere dient zur Spannungsmessung.



- 1 - Anschlußklemmen (für den zu messenden Widerstand);
- 2 - Schirmklemme;
- 3 - Schirm;
- 4 - Stecker für Stromweg (I);
- 5 - Stecker für Spannungsmessung (U);
- 6 - Massestecker.

Abb. 3.8 Kelvin-Prüfkabel (Elektor). Hier sind die vier Einzelleitungen zu einem abgeschirmten Kabel zusammengefaßt

4. Kompensationsmeßverfahren

Kompensationsmeßverfahren wandeln die zu messende elektrische Größe nicht unmittelbar in einen ablesbaren Zeigerausschlag um. Statt dessen wird die zu messenden Größe mit einem bekannten Wert verglichen. Abb. 4.1 zeigt das Prinzip.

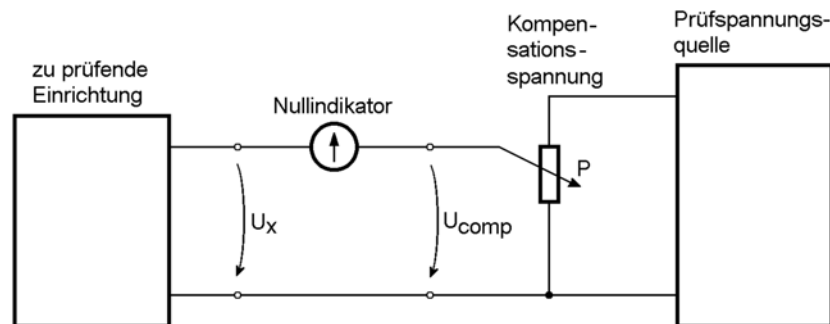


Abb. 4.1 Kompensationsverfahren zur Spannungsmessung (Prinzip)

Wir wollen die Spannung U_x messen. Dazu schalten wir eine weitere Spannungsquelle an und überwachen den Stromfluß (der Nullindikator ist ein empfindliches Drehspulinstrument mit Nullpunktmittellage). Den Schleifer des Potentiometers P verstellen wir nun solange, bis der Nullindikator keinen Stromfluß mehr anzeigt. Fließt aber kein Strom mehr, so bedeutet dies, daß die Kompensationsspannung U_{COMP} der zu messenden Spannung U_x gleich ist. Aus dem Drehwinkel des Schleifers ergibt sich dann unmittelbar die gesuchte Spannung (dazu könnte das Potentiometer mit einer in Volt unterteilten Skala versehen sein).

Die Vorteile:

- die Messung belastet die zu prüfende Einrichtung nicht (es fließt kein Meßstrom),
- die Meßgenauigkeit hängt nicht von der Skalenteilung eines Meßinstruments ab. (Beim Ablesen des Nullindikators geht es nur um die Unterscheidung „Null oder nicht Null“.) Die Prüfspannungsquelle kann man hingegen sehr präzise ausführen (z. B. kein Potentiometer verwenden, sondern feinstufig schaltbare hochgenaue Widerstände).

Meßbrücken

Brückenschaltungen ermöglichen es, Meßwerte, im besonderen Bauelementekennwerte, nach einem Kompensationsverfahren zu bestimmen. Es gibt Brückenschaltungen mit Gleich- und mit Wechselspannungspeisung. Mit Wechselstrombrücken kann man Induktivitäten, Kapazitäten, Frequenzen, Klirrfaktoren usw. messen. Die besseren Komponententester bzw. RLC-Meßgeräte (von etwa 1000 € an aufwärts) sind üblicherweise Wechselstrommeßbrücken mit automatischem Abgleich. (Über die internen Einzelheiten muß man nicht viel wissen. Auspacken, Dokumentation lesen und üben.) Im folgenden wollen wir lediglich kurz auf zwei Arten von Gleichstrom-Brückenschaltungen eingehen (Abb. 4.2).

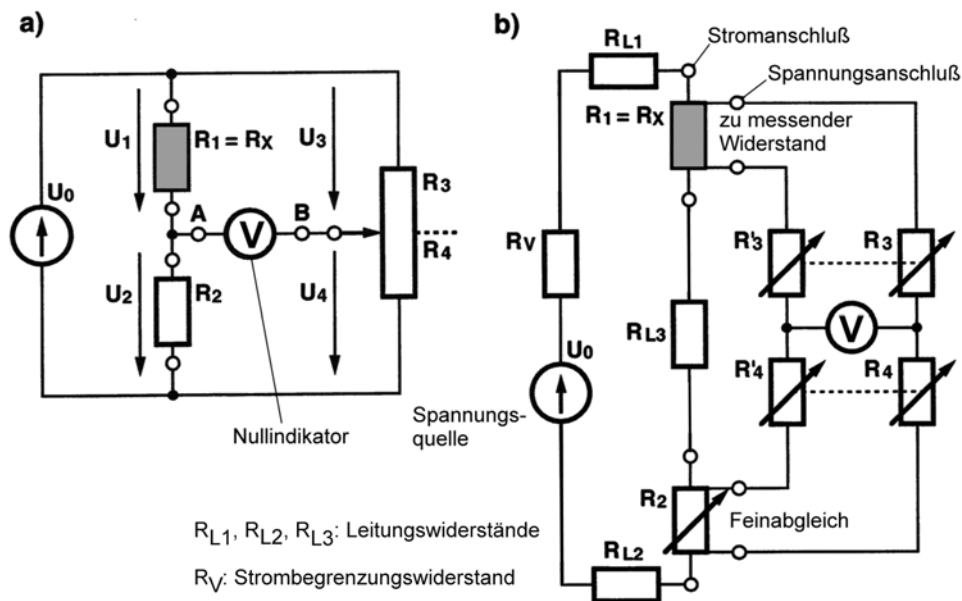


Abb. 4.2 Gleichstrom-Brückenschaltungen. a) Wheatstone-Brücke, b) Thomson-Brücke

- a) Wheatstone-Brücke. Die einfachste Brückenschaltung. Es fließt offensichtlich kein Strom durch den Nullindikator, wenn die Spannungsabfälle über beiden Spannungsteilern gleich sind und somit kein Spannungsunterschied zwischen den Punkten A und B besteht (Abgleichbedingung $U_{AB} = 0$). Es muß also gelten:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4} \quad \text{und demzufolge} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Um die Abgleichbedingung ($U_{AB} = 0$) herbeizuführen, muß das Teilverhältnis $R_3 : R_4$ einstellbar sein. Ist R_1 der unbekannte Widerstand (R_x), so ergibt er sich nach dem Abgleich aus den bekannten Widerstandswerten folgendermaßen:

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Der Spannungsteiler R_3, R_4 wird in der Praxis aus hochgenauen zusammenschalt- oder stöpselbaren Einzelwiderständen (Widerstandsdekaden) aufgebaut. Oft ist dann R_2 als Präzisionspotentiometer für den Feinabgleich ausgeführt. Mit solchen Meßbrücken kann man Widerstandswerte zwischen 10Ω und $1 \text{ G}\Omega$ bestimmen. Die Meßgenauigkeit liegt im Bereich von 0,1 bis zu 0,001 %.

- b) Thomson-Brücke. Diese Schaltung dient zum Messen sehr niederohmiger Widerstände (Bereich: $0,1 \mu\Omega \dots 100 \Omega$). Das Problem bei solchen geringen Werten sind die Leitungswiderstände (in der Abb. mit $R_{L1} \dots R_{L3}$ bezeichnet). Sowohl der zu messende Widerstand R_1 (R_x) als auch der Feinabgleichwiderstand R_2 werden nach dem Vierdrahtprinzip an den zweiten Spannungsteiler angeschlossen, der aus zwei Zweigen besteht. Die Widerstände in beiden Zweigen ($R_3' - R_3, R_4' - R_4$) werden beim Abgleichen jeweils gleichsinnig verändert (durch mechanische Kopplung). Wenn man die Schaltung rechnerisch behandelt (worauf wir hier verzichten wollen), so rechnen sich alle Leitungswiderstände heraus, und der zu messende Widerstand ergibt sich genauso wie bei der Wheatstone-Brücke.

5. Das Hochhängen

Die hier in Rede stehende Betriebsweise betrifft das gemeinsame Bezugspotential zwischen Meßgerät und Meßobjekt (zu prüfender Einrichtung DUT).

Die normale Betriebsweise

Bezugspotential = Erdpotential. Bei netzbetriebenen Meßgeräten ist das Bezugspotential stets die Gehäusemasse. Das Gehäuse aber liegt über den Schutzleiteranschluß auf Erdpotential.

Hochhängen

Bezugspotential ... Erdpotential. Das Meßgerät wird an beliebige Punkte der zu prüfenden Schaltung angeschlossen, z. B. „quer“ über eine Emitter-Kollektor-Strecke, über einen Widerstand usw.; Abb. 5.1).

Zum Fach-Englisch:

Normale Betriebsweise = Grounded Operation, Hochhängen = Floating Operation.

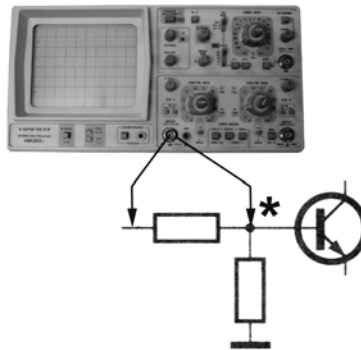


Abb. 5.1 Mitten in der Schaltung messen - manchmal eine Herausforderung. Wenn wir nichts tun, wird der Punkt * über das Oszilloskop auf Erdpotential gezogen...

Was läßt sich bedenkenlos hochhängen?

Alles, was dafür von Grund auf vorgesehen ist (Tabelle 5.1. Im Zweifelsfall in der Betriebsanleitung nachsehen.

Merkmale, die dafür sprechen	Vorsicht bei folgenden Merkmalen
<ul style="list-style-type: none"> rundum isoliertes Gehäuse, alle Meßbuchsen sind isoliert, Batteriebetrieb 	<ul style="list-style-type: none"> Metallgehäuse, Masseanschlüsse metallisch blank, Netzbetrieb und dreiadrige Anschlußleitung
Was sich typischerweise hochhängen läßt	Was sich typischerweise <i>nicht</i> hochhängen läßt
<ul style="list-style-type: none"> alle batteriebetriebenen Multimeter, die meisten modernen netzbetriebenen Multimeter, batteriebetriebene Oszillokope 	<ul style="list-style-type: none"> manche ältere netzbetriebene Digitalvoltmeter und -multimeter, die meisten anderen netzbetriebenen Meßgeräte, vor allem dann, wenn sie 50-Ω-Eingänge haben. netzbetriebene Geräte, die ein Schaltnetzteil haben

Tabelle 5.1 Was läßt sich hochhängen, was nicht?

Hinweise:

1. Das Hochhängen ist nur dann (mehr oder weniger) unproblematisch, wenn der Referenzanschluß (COM-Buchse) gegen die (geerdete) Meßgerätemasse isoliert ist. Am besten: Vollisolation und Batteriebetrieb.
2. Im Niederspannungsbereich (bis ca. 50 V) ist das Hochhängen unbedenklich (Ausnahme: netzbetriebene Geräte mit Schaltnetzteilen).
3. Wenn es um höhere Spannungen geht: in der Betriebsanleitung nachsehen. Es sind zwei Angaben von Bedeutung: (1) die zulässige Spannung zwischen dem *geerdeten* Referenzanschluß (COM) und einer beliebigen anderen Gerätebuchse (Gleichtaktspannung), (2) die Isolation (bzw. zulässige Spannung) des Referenzeingangs COM gegen das Gehäuse. Moderne Digitalmultimeter sind im Sinne von (1) typischerweise für 1000 V spezifiziert (Achtung: manche für 1000 V RMS, manche für 1000 V = (was 700 V RMS entspricht)). Nur eine Angabe im Sinne von (2) sagt etwas über die Grenzen des Hochhängens aus – und dieser Einsatzfall ist bei Meßgeräten niederer Preisklassen zumeist gar nicht erst spezifiziert. Praxistip: Man kann batteriebetriebene und voll isolierte Geräte durchaus bis auf Netzspannung hochhängen, und zwar unter folgenden Vorkehrungen: (a) das Gerät wird beim Messen nicht berührt, (b) das Gerät liegt auf einer isolierten Auflage.
4. Hochhängen von Analogmultimetern: auch das ist möglich, allerdings sind einige "Knackpunkte" zu beachten: (1) die Polarität wird nicht automatisch berücksichtigt, (2) geringere Eingangswiderstände können die zu prüfende Schaltung bis hin zur Funktionsunfähigkeit beeinflussen, (3) die Bewegung des Zeigers induziert Spannungsspitzen (der Einfluß kann merklich sein, wenn mit Geräten ohne Verstärker in empfindlichen Schaltungsteilen gemessen wird).

Der bekannte Behelf: Betrieb ohne Schutzleiteranschluß

(Gewiefte Praktiker halten dafür entsprechend hergerichtete Verlängerungskabel bereit.) Das wird von Herstellern und Sicherheitsfachleuten zwar grundsätzlich nicht gern gesehen, ist aber weitgehend unbedenklich, wenn (1) das Meßgerät (z.B. Oszilloskop) sicherheitstechnisch in Ordnung ist (also die einschlägigen Anforderungen erfüllt; vgl. VDE 701 und 413) und wenn (2) das Bezugspotential nur wenige Volt (sagen wir: höchstens 24 V) vom Erdpotential abweicht. Das betreffende Netzanschlußkabel eindeutig kennzeichnen! Meßaufbau nicht unbeaufsichtigt stehenlassen! Besser: Meßgerät über Trenntransformator anschließen (Schutztrennung).

Grenzen des Hochhängens (gegen die auch kein Trenntransformator hilft):

- die parasitäre Kapazität des Meßgerätegehäuses wirkt als kapazitive Belastung des Prüflings,
- die Isolation im Innern des Meßgerätes (z. B. zwischen den Wicklungen des Netztrafos) ist oftmals nicht für den Betriebsfall des Hochhängens auf mehrere hundert V ausgelegt,
- viele Meßgeräte haben heutzutage Schaltnetzteile. Diese haben eingangsseitig Netzfilter. Ohne Verbindung zum Schutzleiter (= Erdpotential) liegt somit am Gerätegehäuse die halbe Netzspannung (Spitzenwert $U_s \cdot 320$ V) an – und die ganze Anordnung wirkt als Antenne, die die Störstrahlung in die Luft bläst.
- betrachten wir nochmals Abb. 5.1: wird das Oszilloskop hochgehängt, so ist der Punkt * der Schaltung mit dem Gerätegehäuse verbunden und wird folglich mit dessen Kapazität gegen Erde belastet. Hat das Oszilloskop ein Schaltnetzteil, so werden die Fehlerströme des Netzfilters über den Punkt * in die zu prüfende Schaltung eingespeist (wobei an Punkt X bis zu 230 V ~ anliegen können ...).

Fach- und sicherheitsgerechtes Messen:

- nur dafür zugelassene Meßgeräte hochhängen. Es gibt z. B. Oszilloskope, die ausdrücklich zum Hochhängen eingerichtet sind. Die einzelnen Kanäle sind gegeneinander und gegen das Gehäuse isoliert. Typischerweise werden Spannungen von 600...700 V (Effektivwert) gegen Erde zugelassen, so daß man z. B. mit einem solchen Oszilloskop direkt am 230-V-Netz messen kann. *Achtung*: hierfür sind spezielle (isolierte) Tastköpfe zu verwenden.
- Ersatz des Hochhängens durch Differenzmessungen. Das gelingt manchmal durch Nutzung von zwei Kanälen. Ansonsten ist dem jeweiligen Eingang ein Differenz-Vorverstärker (oder Differenzverstärker-Tastkopf) vorzuschalten. Mit solchen Zusätzen (Differential Probes) kann man etwa 500...2000 V (Effektivwert) gegenüber dem Erdpotential überbrücken.
- Ersatz des Hochhängens durch galvanische Trennung des Meßsignals vom Meßgerät. Hierfür gibt es Isolations-Vorverstärker, Tastköpfe usw. Die Isolationsspannungen reichen von rund 1000 V gegen Erde bis in den Bereich „echter“ Hochspannung.

Schutztrennung

Schutztrennung bedeutet, daß der Verbraucher über einen Trenntransformator angeschlossen wird und somit vom Netz galvanisch getrennt ist. Mit anderen Worten: beide Leiter des verbraucherseitigen Stromkreises haben keinerlei Bezug zum Erdpotential (Abb. 5.2).

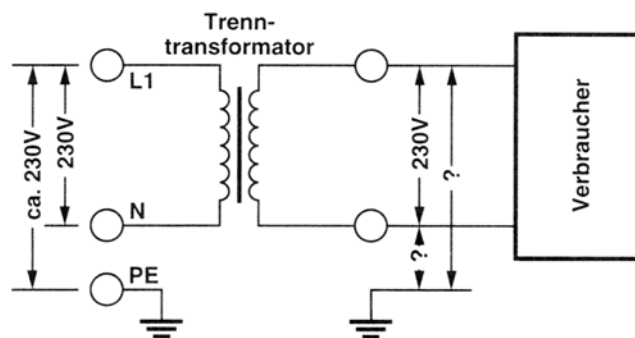


Abb. 5.2 Schutztrennung über Trenntransformator (Prinzip)

Das TN-Netz stellt infolge der Erdung eine Spannungsquelle dar, die gegen Erde nahezu einen Innenwiderstand von Null hat. Der Phasenleiter L1 führt unter allen Umständen 230 V- gegen Erde – und wenn Ihr Körper Erdverbindung hat und Sie berühren einen Leiter, an dem Netzspannung anliegt, so ist dies wirklich zu spüren. „Keine Erdverbindung“ auf der Sekundärseite des Trenntrafos bedeutet aber nichts anderes, als daß beide Leiter gegen Erde jeweils eine Spannungsquelle mit einem Innenwiderstand von nahezu ∞ (Unendlich) darstellen. Bei Innenwiderstand Unendlich führt aber schon die kleinste Belastung (z. B. durch den Übergangswiderstand Ihres Körpers) dazu, daß die Spannung zusammenbricht. Damit ist es ungefährlich, mit nur einem der Leiter Körperkontakt zu haben (aber selbstverständlich nicht mit beiden Leitern gleichzeitig!!!), und es ist auch möglich, wahlweise jeden der beiden Leiter auf Erdpotential zu ziehen (z. B. beim Messen mit einem geerdeten Meßgerät).

Hinweise:

1. Trenntransformatoren müssen sekundärseitig kurzschlußfest sein (entweder ist der sekundärseitige Innenwiderstand so hoch, daß ein Kurzschluß nicht schadet oder es ist eine passende Sicherung erforderlich).
2. Trenntransformatoren haben sekundärseitig zwar eine Schutzkontaktsteckdose, deren Schutzkontakt darf aber nirgends angeschlossen sein.

3. An einen Trenntransformator darf normalerweise nur ein Verbraucher angeschlossen werden. Mehrere Verbraucher, die der Schutzklasse I entsprechen, dürfen dann angeschlossen werden, wenn ihre Schutzleiter zusammengeführt sind (Potentialausgleich). Praxistip: Anschluß über eine Schuko-Steckdosenleiste.
4. Es gibt 1:1-Trenntransformatoren und Trennstelltransformatoren. Zum bloßen Hochhängen bzw. erdfreiem Betreiben zu prüfender Geräte ist die Stellfunktion (Spannungseinstellung) nicht erforderlich; es genügt ein 1:1-Trenntransformator.
5. Zu beachten: (1) die Leistungswerte des Transformators müssen der Leistungsaufnahme des anzuschließenden Verbrauchers angemessen sein (hierbei auf den Unterschied zwischen Wirkleistung - in W - und Scheinleistung - in VA - achten!), (2) wenn sich trotz offensichtlich ausreichender Trafo-Leistung das angeschlossene Gerät nicht so verhält wie bei direktem Netzbetrieb, kann es sein, daß der Trafo extrem stoßweise oder in beiden Halbwellen ungleichmäßig belastet wird (z. B. durch ein Gerät mit netzseitiger Einweggleichrichtung). Praxistip: im Verdachtsfall sekundärseitigen Netzspannungsverlauf mittels Oszilloskop prüfen.

6. Prüf- und Versuchsplattformen

Schaltungen sind nicht nur aufzubauen, sondern auch im Betrieb zu erproben. Meistens klappt es nicht auf Anhieb. Dann wird die (meist mühelose) Erprobung (zusehen, wie es läuft) zur (typischerweise mühevollen) Fehlersuche (richtig scharf nachdenken und immer wieder probieren).

Jedes Prüfen ist im Grunde ein Vergleichen des tatsächlichen Verhaltens der zu prüfenden Einrichtung (Device under Test DUT) mit dem erwarteten fehlerfreien Verhalten (Sollverhalten). In diesem Sinne kann die zu prüfende Einrichtung als Black Box mit Ein- und Ausgängen dargestellt werden (Abb. 6.1). Beim Prüfen werden die Eingänge in bestimmter Weise beaufschlagt (Stimulus). Das Verhalten der Ausgänge wird beobachtet, aufgezeichnet, gemessen oder direkt mit Sollwerten verglichen. Es ist im einzelnen die Frage, welche Ausrüstung wir hierfür benötigen.

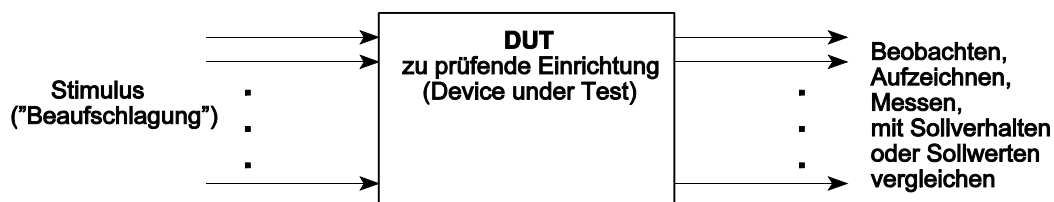


Abb. 6.1 Das Prüfen in Black-Box-Darstellung

Abb. 6.2 veranschaulicht den klassischen Prüfaufbau. Die zu prüfende Einrichtung ist gleichsam allseitig von Prüf- und Meßmitteln umgeben. Zur Stimuluserzeugung dienen passende Signalquellen. Die Ausgänge können teils direkt beobachtet werden, teils sind Meß- oder Prüfgeräte anzuschließen. Dabei ist es gelegentlich erforderlich, für eine entsprechende Belastung von Ausgängen zu sorgen. Schließlich muß die zu prüfende Einrichtung mit Energie beliefert werden (Stromversorgung). Hierbei ist es manchmal von Interesse, die Stromaufnahme zu messen oder zu auszuprobieren, in welchem Bereich der Versorgungsspannung die Einrichtung noch funktioniert (Grenzwertprüfung).

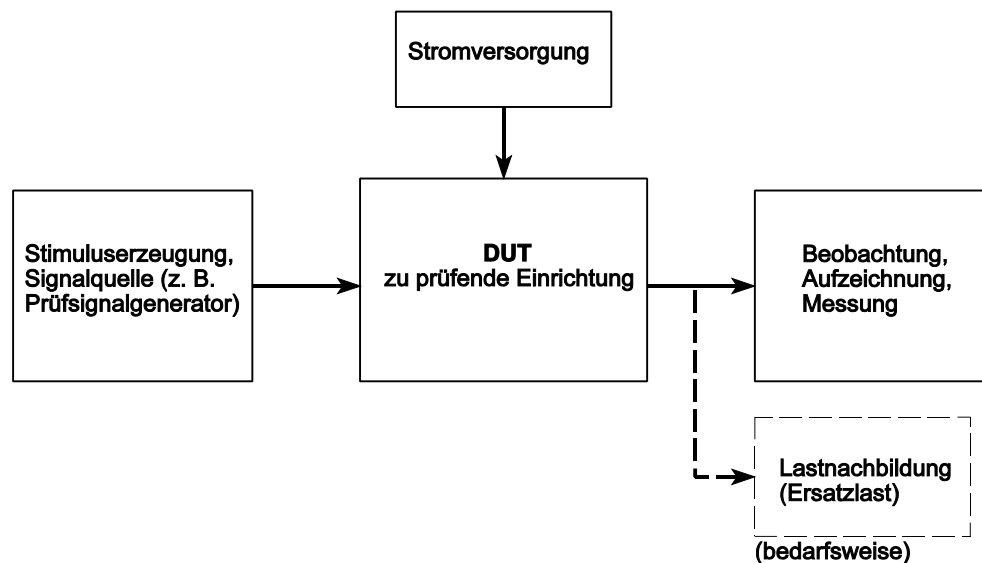


Abb. 6.2 So werden elektronische Einrichtungen geprüft

Fehlersuchen in der Entwicklung

Das typische Szenarium im Entwicklungsablauf: das erste Muster ist fertiggestellt worden und soll nun zum "Spielen" gebracht werden (Erstinbetriebnahme). Hierbei gilt der Grundsatz: das Muster hat noch niemals funktioniert, folglich ist buchstäblich mit allem zu rechnen. Vor allem können funktionelle Fehler (Netzleitungsfehler) vorhanden sein.

Fehlersuchen im Service

Im Gegensatz zur Erstinbetriebnahme kann man im Service davon ausgehen, daß die betreffende Einrichtung ursprünglich fehlerfrei gewesen war. Der Fehler muß also durch einen internen Vorgang oder durch äußere Einwirkung verursacht worden sein. Mit anderen Worten: wir können annehmen, daß ein bestimmter Fehler- bzw. Ausfallmechanismus wirksam geworden ist. Trotzdem sind alle anderweitigen Ursachen nicht vollkommen auszuschließen (sie sind eben nur wesentlich unwahrscheinlicher).

Die Wahl der Prüf- und Meßmittel richtet sich nach der Art der zu prüfenden Einrichtung und dem Zweck der Prüfung (Tabellen 6.1 und 6.2). Schlimmstenfalls entspricht jedes der Kästchen in Abb. 6.1 einem Meß- oder Prüfgerät. Weiterentwicklung: automatisches Prüfen in einer Prüfplattform, in der Stimuluserzeugung, Stromversorgung, Ergebnisauswertung usw. vereinigt sind (Abb. 6.3). Oftmals kann man in der zu prüfenden Einrichtung ohnehin vorhandene Vorkehrungen ausnutzen oder die Einrichtung in ihrer Einsatzumgebung prüfen.

Prüfanordnungen fertig beziehen - improvisieren - einbauen

In der Praxis kommt alles vor. Das Angebot der einschlägigen Industrie ist reichhaltig, aber kostspielig. Auch kann es nicht wirklich *alle* Anforderungen abdecken. Die Prüfaufbauten sind deshalb - ähnlich denen des Praktikums - zumeist Kombinationen aus fertigen Meß- und Prüfgeräten, Eigenbauten und Maßnahmen, die innerhalb der zu prüfenden Einrichtungen vorgesehen werden (vom einfachen Meßpunkt über Triggervorkehrungen, auftrennbare Rückführungen usw. bis hin zu komplexen Analyse- und Selbsttest-schaltungen).

Stimuluserzeugung, Prüfsignalquelle	Stromversorgung	Beobachtung, Aufzeichnung, Messung
<ul style="list-style-type: none"> • Signalgenerator, • Meßsender • Bildmustergenerator, • Datengenerator, • Schnittstellentester, • PC mit Software, • Handbetrieb (z. B. Tastenbetätigung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Labornetzgerät, • Batteriesimulator, • Trennstelltransformator, • Batterie oder Akkumulator, • die ohnehin vorhandene Stromversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • unmittelbares Beobachten des Verhaltens (Sehen, Hören), • Leuchtanzeigen, • Spannungs- oder Strommessung, • Oszilloskop, • Logikanalysator, • PC mit Software, • Schnittstellentester

Tabelle 6.1 Typische Prüf- und Meßmittel (Auswahl)

Beispiel	Eingänge	Ausgänge	Stromversorgung
Prüfen eines NF-Verstärkers	Signalgenerator	Oszilloskop oder NF-Millivoltmeter, Ersatzlast	Selbstversorgung (z. B. über das eingebaute Netzteil)
Prüfen eines Fernsehgerätes (1)	Bildmustergenerator	Beobachten der Testbilder	Trennstelltrafo
Prüfen eines Fernsehgerätes (2)	Antenne (Betrieb in der Einsatzumgebung)	Signalverfolgung mittels Oszilloskop	Selbstversorgung

Tabelle 6.2 Einige herkömmliche Prüfbeispiele

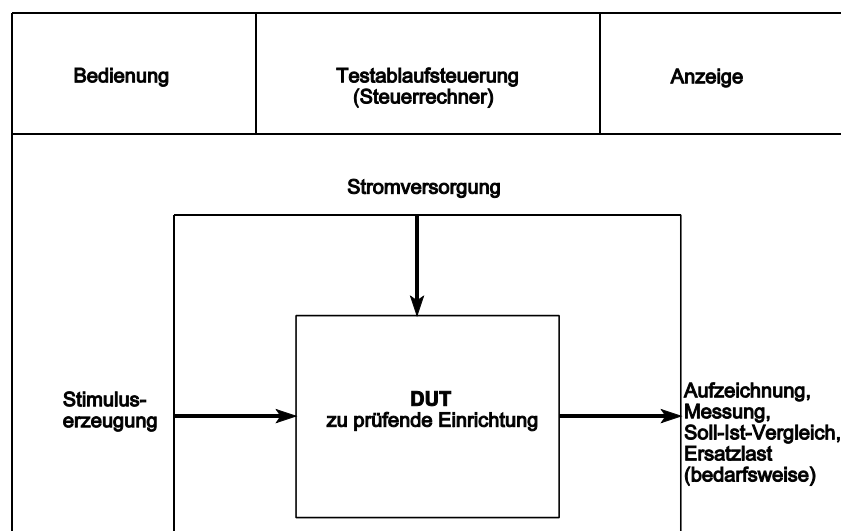


Abb. A.3 Vollautomatisches Prüfen (Prüfplattform)

Die in Abb. 6.2 gezeigten Prüf- und Meßmittel sind hier zu einem Komplex zusammengefaßt, um die Prüfabläufe zu automatisieren. Typische Ausführungsformen:

- Testautomaten, also Komplettsysteme für bestimmte Prüfaufgaben (Speichertester, Schaltkreistester, Steckkartentester usw.),
- Konfigurationen aus einzelnen mit Computerschnittstellen ausgerüsteten Meß- und Prüfgeräten, die an einen Steuerrechner (heutzutage meist an einen PC) angeschlossen sind.

Fremdprüfung und Selbstprüfung

Die Abb. 6.2 und 6.3 zeigen eine zu prüfende Einrichtung, die an besondere Prüfmittel anzuschließen ist (Fremdprüfung). Das ist mit Aufwand verbunden (sowohl an Ausrüstung als auch an Zeit), wobei sich die eigentliche Prüfzeit um entsprechende Rüstzeiten (zum Aufbauen der Anordnung, zum Anschließen des Prüflings usw.) verlängert. Deshalb entschließt man sich gelegentlich dazu, Prüfvorkehrungen in die zu prüfenden Einrichtung einzubauen oder ohnehin vorhandene Funktionseinheiten zu Prüfzwecken auszunutzen (Selbstprüfung).