



Impedanzmessgerät für ELA-Anlagen

Wir stellen ein einfaches Impedanzmessgerät vor, das zur Ermittlung von Impedanzen in 100-V-Lautsprecher-Systemen (ELA) dient. Anhand der gemessenen Impedanz (Scheinwiderstand) können z. B. Fehlerquellen lokalisiert oder aber die erforderliche Leistung für eine Lautsprecherlinie errechnet werden.

Schnell getestet

100-V-ELA-Anlagen haben nach wie vor unbestrittene Vorteile bei der Beschallung größerer Areale mit vielen Lautsprechern. Mit dem hier vorgestellten Messgerät kann man Fehler in ELA-Anlagen aufspüren, die sich auf die Verkabelung bzw. auf die Lautsprecher beziehen. Durch Messung der Impedanz in einem 100-V-Kreis lässt sich z. B. erkennen, wie hoch die Belastung durch die angeschlossenen Lautsprecher ist. Damit gehört ein solches Prüfgerät zur Ausstattung jedes Technikers, der mit dem Aufbau, der Wartung und Instandhaltung dieser Lautsprecheranlagen betraut ist.

Was ist 100-V-Technik?

Die 100-V-Technik wird vor allem zur Beschallung von Sportplätzen, Kaufhäusern, Kirchen, Krankenhäusern usw. eingesetzt, also überall da, wo viele Lautsprecher benötigt werden. „Normale“ Verstärker und Lautsprecher mit einer Ausgangsimpedanz von 4 bis 16 Ohm eignen sich für diese Art der Beschallung nicht. Grund hierfür ist vor allem die niedrige Ausgangsimpedanz solcher Verstärker. Beim Anschluss mehrerer Lautsprecher müsste man durch eine Kombination aus Serien- und

Parallelschaltung genau die Ausgangsimpedanz des Verstärkers erreichen, ein fehlerträchtiges und bei einem Defekt für den Verstärker gefährliches Verfahren. Ein anderer Punkt ist der relativ hohe Strom, resultierend aus der niedrigen Impedanz. Maßgeblich für die Verluste auf einer Leitung ist ja die Höhe des fließenden Stroms und nicht die der Spannung.

Um diese Probleme zu umgehen, greift man zur so genannten 100-V-Technik. Hierbei wird die Spannung am Verstärker ausgang mit einem Trafo hochtransformiert, so dass sich bei Nennlast eine Spannung von 100 V_{eff} ergibt. Nach der Formel

$$P = \frac{U^2}{R}$$

ergibt sich folgende Aussage: Je höher die Spannung (bei gleicher Leistung!), desto geringer ist der Strom. Am Lautsprecher wird die Spannung mittels eines Trafos wieder herunter transformiert (siehe Abbildung 1). Der Vorteil hierbei ist, dass der fließende Strom relativ gering ist und alle Lautsprecher (mit Trafo) parallel geschaltet werden können.

Die Trafos dienen im Wesentlichen dazu, eine Impedanzwandlung vorzunehmen. Die Leistung, die ein einzelner Lautsprecher dem Verstärker „entzieht“, kann über das Übersetzungsverhältnis des Lautsprechertransformators gewählt werden. Meist verfügen solche 100-V-Lautsprecher über einen Trafo mit mehreren Anzapfungen (siehe Abbildung 2). Wie sich die Lautsprecherleistung und die daraus resultierende Impedanz ergeben, ist in Abbildung 3 dargestellt. Hier ein Beispiel:

Hat der Lautsprecher (ohne Trafo) eine Impedanz (Z_L) von 4 Ω und der Trafo ein Übersetzungsverhältnis von 10:1, ergeben sich folgende Werte:

$$Z = \dot{u}^2 \cdot Z_L = 100 \cdot 4\Omega$$

$$P = \frac{(100 \text{ V})^2}{Z} = \frac{(100 \text{ V})^2}{400 \Omega} = 25 \text{ Watt}$$

Wie man sieht, lässt sich anhand der Impedanz (Z) sehr einfach die Leistung errechnen, die der Lautsprecher dem 100-V-System entnimmt. Die Gesamtleistung aller parallel geschalteten Lautsprecher ergibt sich durch Addition der einzelnen Lautsprecherleistungen.

Technische Daten: IME 1

Spannungsversorgung: 9-V-Batterie/6LR61
 Stromaufnahme: ca. 2 mA
 Messbereich: 0–2 kΩ/0–20 kΩ
 Toleranz: max. ±5 %
 Abmessungen(Gehäuse): 140 x 60 x 26 mm

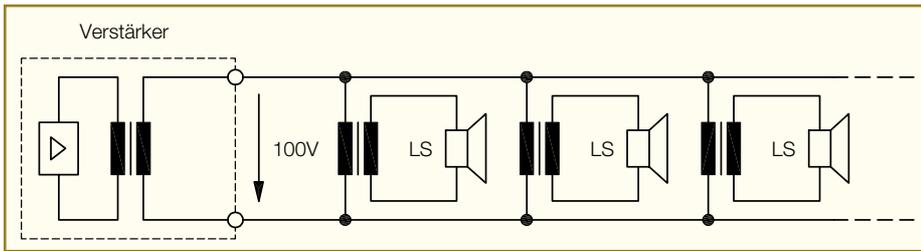


Bild 1: Typische 100-V-Installation mit mehreren Lautsprechern

Schaltung

Das Schaltbild des Impedanz-Messgerätes ist in Abbildung 4 dargestellt. Links unten befindet sich der Oszillator, der von IC 4 mit Außenschaltung gebildet wird.



Bild 2: Mehrere Trafo-Anzapfungen dienen der leistungsmäßigen Anpassung des Lautsprechers an das System.

Die Frequenz wird durch R 17 und C 14 bestimmt, sie liegt bei ca. 1 kHz. Durch die beiden Tiefpassfilter R 18/C16 und R 19 und C 17 wird aus dem Rechtecksignal eine Dreiecksspannung geformt. Ein nachgeschalteter aktiver Tiefpass sorgt dann für ein sauberes Sinussignal, das mit einer Amplitude von ca. 0,5 V_{ss} am Ausgang (Pin 1) ansteht. Der nachfolgende Schaltungsteil, der mit IC 1B und Außenbeschaltung aufgebaut ist, stellt eine spannungsgesteuerte Stromquelle dar. Durch die Ansteuerung mit der 1-kHz-Wechselspannung liefert die Stromquelle am Ausgang (BU 1) einen Wechselstrom. Der Ausgangsstrom wird von den Widerständen R 28 bzw. R 29 bestimmt, je nach Schalterstellung von S2/b (Messbereich). An den Anschlussklemmen BU 1 und BU 2 wird das Messobjekt (Spule, Trafo) angeschlossen und mit einem konstanten Strom beaufschlagt. Bedingt durch den konstanten Strom, ist die über den beiden Buchsen abfallende Spannung linear proportional zum Widerstand des Messobjektes (Z).

Die virtuelle Masse (2,5 V) für das Ana-

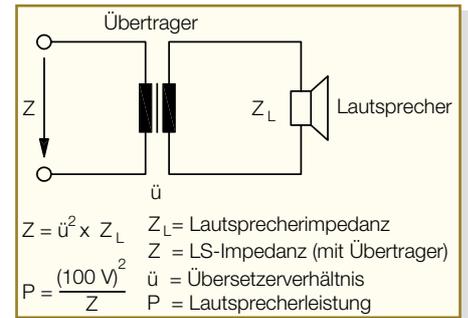
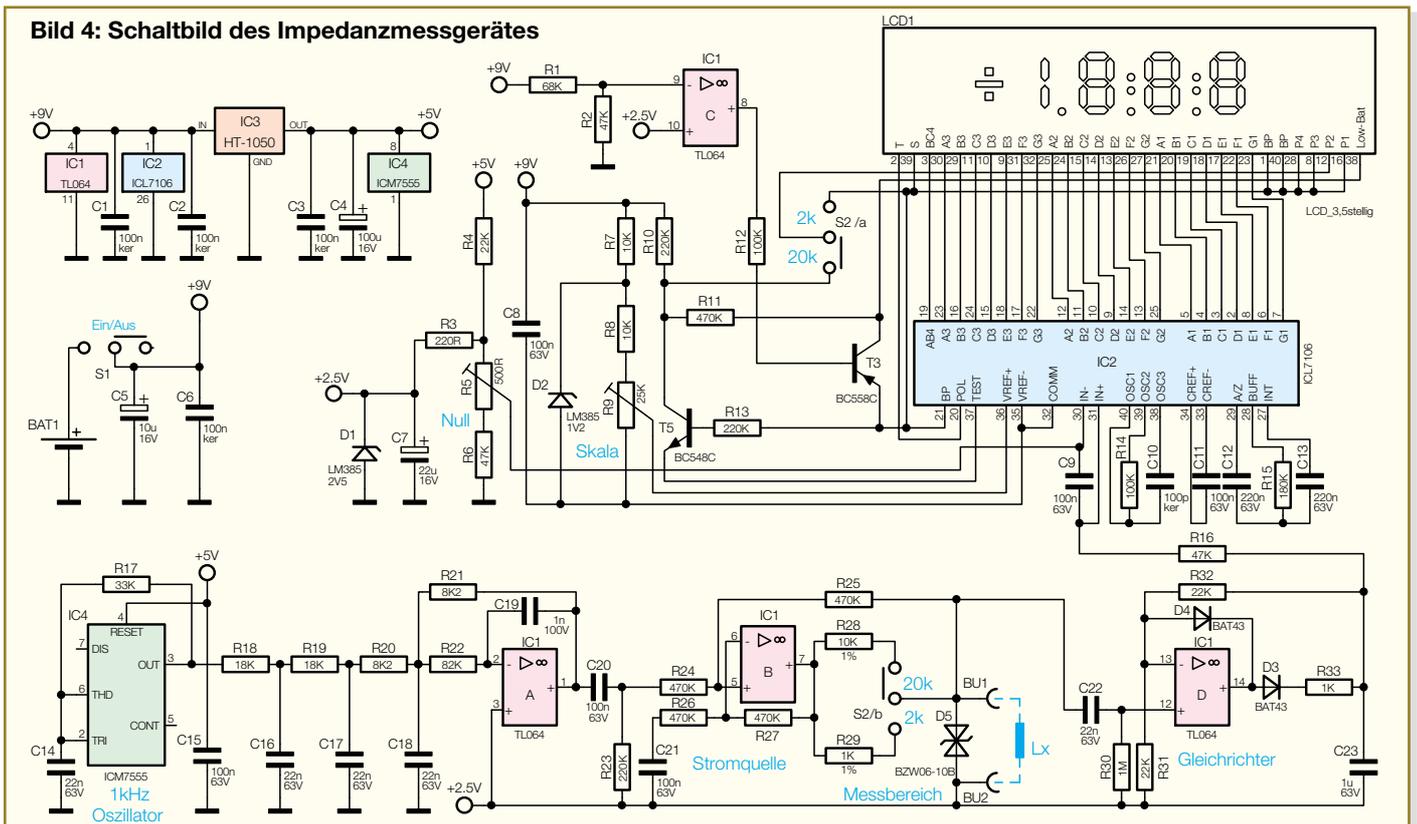


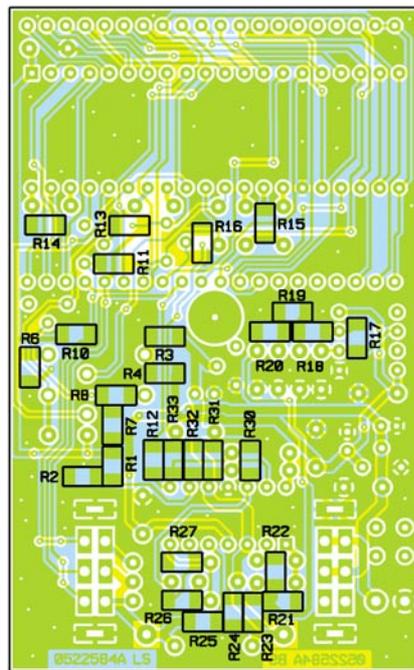
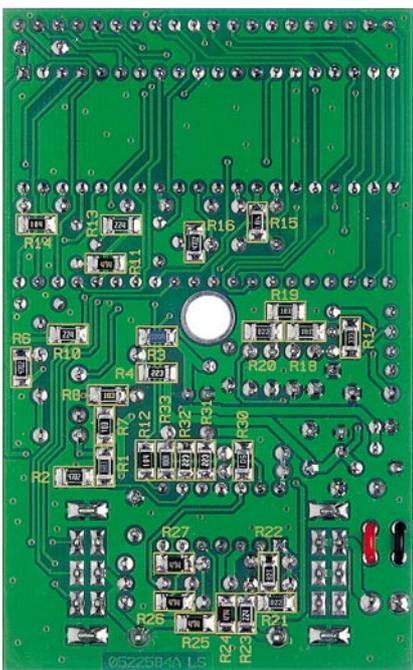
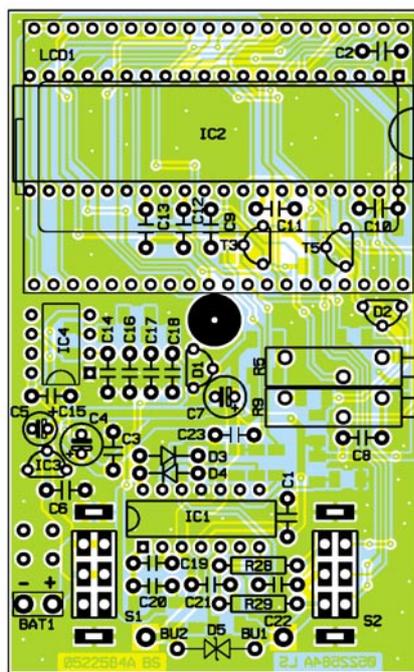
Bild 3: Berechnung von Ausgangsleistung und Impedanz des Lautsprechers

logteil wird mit der Referenzspannungsdioden D 1 vom Typ LM385-2,5 V erzeugt. Auf diesem Potential liegt auch der Anschluss BU 2. Die Transildiode D 5 schützt den Eingang (BU 1 und BU 2) vor ESD-Entladungen.

Über den Koppelkondensator C 22 gelangt die gemessene Wechselspannung auf den Gleichrichter IC 1D mit Außenbeschaltung. Die gleichgerichtete Spannung wird mit einer 3,5-stelligen LCD-Anzeige angezeigt. Diese Einheit besteht aus dem Anzeigentreiber IC 2 und dem LC-Display LCD 1. Der bewährte Anzeigentreiber ICL 7106 mit integriertem, nach dem Dual-Slope-Verfahren arbeitenden AD-Wandler, zeichnet sich besonders durch sehr gute technische Daten sowie einen relativ günstigen Preis aus. Der Messeingang von IC 2 besteht aus Pin 30 (-) und Pin 31 (+). Über den Widerstand R 16 gelangt die Spannung vom Gleichrichter auf den Ein-

Bild 4: Schaltbild des Impedanzmessgerätes





Ansicht der fertig bestückten Platine des IME 1 mit zugehörigem Bestückungsplan, oben von der Bestückungsseite, unten von der Lötseite

gang Pin 31 (IC 2). Zur Offsetkorrektur (Nullpunkt) ist Eingang Pin 30 (-) mit dem Trimmer R 5 verbunden, mit dem eine geringe Potentialverschiebung gegenüber der Referenzspannung von 2,5 V vorgenommen werden kann. Der Skalenfaktor wird durch die Spannung zwischen Pin 35 (Vref-) und Pin 36 (Vref+) bestimmt, die mit dem Trimmer R 9 einstellbar ist.

Das verwendete LC-Display weist einige zusätzliche Segmente auf (Dezimalpunkt und Low-Bat-Segment), die nicht direkt von IC 2 gesteuert werden können. Um diese Segmente dennoch anzeigen zu können, wird mit T 5 ein zum Backplane (BP) gegenphasiges Rechtecksignal erzeugt, das vom Kollektor T 5 zum Schalter S2/a gelangt. Im Messbereich (0–20 kΩ) wird dieses Signal dann auf den Anschluss „P2“ des LCD gegeben, wodurch der De-

zimalpunkt erscheint. Das Segment für die Low-Bat-Anzeige wird durch den Transistor T 3 geschaltet, den wiederum der Low-BAT-Detektor IC 1C ansteuert. IC 1C ist ein Komparator, der beim Absinken der Betriebsspannung auf einen Wert unterhalb von 6,2 V den Ausgang Pin 8 auf „low“ schaltet. Die Schaltschwelle ist mit R 1 und R 2 festgelegt.

Zur Spannungsversorgung der Schaltung dient eine 9-V-Batterie (BAT 1). Um die Genauigkeit der Schaltung auch bei absinkender Spannung zu garantieren, wird die Batteriespannung mit dem Spannungsregler IC 3 auf 5 V stabilisiert.

Nachbau

Der Nachbau erfolgt auf einer doppelseitigen Platine. Aus Platzgründen sind

alle Widerstände, die sich auf der Platinenunterseite befinden, in SMD-Technik ausgeführt. Die restlichen Bauteile sind in konventioneller Weise in bedrahteter Bauform auf der Platinenoberseite untergebracht.

Wir beginnen mit dem Bestücken der SMD-Widerstände auf der Lötseite der Platine. Grundsätzlich sollte für die Lötarbeiten ein LötKolben mit schlanker Spitze verwendet werden. Dies garantiert ein sauberes Verlöten der SMD-Bauteile und schützt die empfindlichen Bauteile vor Überhitzung.

Zusätzliche und ausführliche Informationen zum Thema „SMD-Löten“ sind im Internet unter [1] abrufbar.

Anhand der Stückliste und des Bestückungsplans werden die Widerstände mit einer Pinzette auf der Platine positioniert und zuerst nur an einer Seite angelötet. Nach der Kontrolle der korrekten Position des Bauteils sind die restlichen Anschlüsse zu verlöten. Nachdem alle SMD-Bauteile bestückt sind, folgt das Einsetzen der bedrahteten Bauteile.

Hier beginnen wir mit den niedrigen Bauteilen (Widerstände, Dioden usw.), gefolgt von den höheren bzw. mechanischen Bauteilen. Entsprechend dem Rastermaß sind die Bauteilanschlüsse abzuwinkeln und anschließend in die dafür vorgesehenen Bohrungen zu stecken. Auf der Platinenunterseite werden die Anschlüsse verlötet und überstehende Drahtenden mit einem Seitenschneider abgeschnitten, ohne die Lötstelle dabei selbst zu beschädigen.

Bei den Halbleitern sowie den Elkos ist unbedingt auf die richtige Einbaulage bzw. Polung zu achten. Während die Elkos mit einer Markierung am Minuspol versehen sind, ergibt sich die Einbaulage der Transistoren und der beiden Dioden D 1 und D 2 aus der Lage der zugehörigen Bohrungen. Die übrigen Dioden sind an der Katode mit einem Farbring markiert, bei D 5 ist keine Polung zu beachten.

Als Hilfe kann hier auch das Platinenfoto dienen. Um die richtige Einbauhöhe im verwendeten Gehäuse zu erhalten, wird die LCD-Anzeige auf IC-Sockelleisten gesetzt. Hierzu sind jeweils zwei der 20-poligen Buchsenleisten zusammenzustecken und anschließend auf der Platine einzulöten.

Nun wird die LCD-Anzeige von oben in die Sockel gesteckt (die linke Seite des Displays ist durch eine Verdickung markiert), bis sich ein Abstand von 15 mm zur

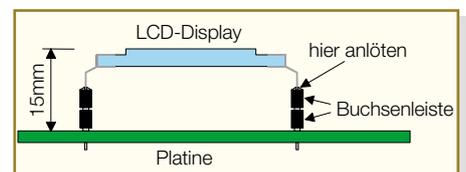


Bild 5: So wird das LC-Display montiert.

Stückliste:

Impedanzmessgerät für ELA-Anlagen IME 1

Widerstände:

220 Ω/SMD/1206	R3
1 kΩ/SMD/1206	R33
1 kΩ/1%	R29
8,2 kΩ/SMD/1206	R20, R21
10 kΩ/SMD/1206	R7, R8
10 kΩ/1%	R28
1,5 k/1%	R-Abgleich
18 kΩ/SMD/1206	R18, R19
22 kΩ/SMD/1206	R4, R31, R32
33 kΩ/SMD/1206	R17
47 kΩ/SMD/1206	R2, R6, R16
68 kΩ/SMD/1206	R1
82 kΩ/SMD/1206	R22
100 kΩ/SMD/1206	R12, R14
180 kΩ/SMD/1206	R15
220 kΩ/SMD/1206	R10, R13, R23
470 kΩ/SMD/1206	R11, R24–R27
1 MΩ/SMD/1206	R30
Spindeltrimmer, 500 Ω	R5
Spindeltrimmer, 25 kΩ	R9

Kondensatoren:

100 pF/ker	C10
1 nF/100 V/MKT	C19
22 nF/63 V/MKT ..	C14, C16–C18, C22
100 nF/ker	C1–C3, C6
100 nF/63 V/MKT	C8, C9, C11, C15, C20, C21
220 nF/63 V/MKT	C12, C13
1 µF/63 V/MKT	C23
10 µF/16 V	C5
22 µF/16 V	C7
100 µF/16 V	C4

Halbleiter:

TL064	IC1
ICL7106	IC2
HT1050 (7150)	IC3
ICM7555	IC4
BC558C	T3
BC548C	T5
LM385-2,5 V	D1
LM385-1,2 V	D2
BAT43	D3, D4
BZW06-10B	D5
LC-Display, 3,5-stellig	LCD1

Sonstiges:

Sicherheits-Bananenbuchse, 4 mm, Rot	B1
Sicherheits-Bananenbuchse, 4 mm, Schwarz	B2
Schiebeschalter, 2 x um, print	S1, S2
9-V-Batterieclip	BAT1
4 IC-Buchsenleisten, 20-polig	LCD1
Lötstift mit Lötöse	BU1, BU2
1 Ferrit-Ringkern, ø 10 x 4 mm	
1 Plexiglasscheibe, bearbeitet	
1 Schaumstoff, selbstkl., 20 x 40 x 3 mm	
1 Prüfkabel-Set (Rot und Schwarz)	
1 Softline-Gehäuse, Grau, komplett, bearbeitet und bedruckt	
11 cm flexible Leitung, 0,22 mm ² , Rot	BU1
11 cm flexible Leitung, 0,22 mm ² , Schwarz	BU2

Platine ergibt (siehe Abbildung 5). So ist gewährleistet, dass sich die LCD-Anzeige direkt unter dem Sichtfenster im Gehäuse befindet. Die Anschlussbeine des Displays werden nun mit dem oberen Sockel verlötet.

Als Nächstes erfolgt das Einsetzen des Schiebeschalters sowie der Lötstifte. Der Batterieclip ist durch die entsprechenden Bohrungen zu fädeln und wie folgt anzuschließen: rotes Kabel an +Bat und schwarzes Kabel an -Bat.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die beiden 4-mm-Buchsen in das Gehäuseoberenteil eingesetzt und verschraubt. Die Anschlusskontakte sind, wie in Abbildung 6 dargestellt, zur Seite zu biegen. Zum Schutz gegen HF-Einstrahlung wird in die Zuleitung zu den Buchsen ein Ferritkern eingearbeitet. Hierzu werden die beiden Kabel (gemeinsam) viermal durch den Ferritkern geführt, so dass eine Spule mit drei Windungen entsteht (siehe Abbildung 6).

Nun ist die durchsichtige Plexiglasscheibe von innen in das Gehäuseoberenteil einzusetzen und mit etwas Klebstoff an den Ecken zu fixieren. Hier darf man keinesfalls Sekundenkleber verwenden, da dieser erstens meist sehr dünnflüssig ist und zweitens – selbst, wenn er nicht stark verläuft (z. B. Gel-Kleber) – durch die Verdunstung beim Trocknen den sichtbaren Bereich der Scheibe beschädigen kann (Kunststoff wird matt!).

Zum Schluss wird die Platine in das Gehäuseunterteil gelegt, und die Verbindungsleitungen zu den Buchsen sind an die Lötstifte BU 1 und BU 2 anzulöten. Damit die Batterie im Gehäuse nicht „klappert“, wird in die Gehäuseoberschale (oberhalb der Batterie) ein Stück Schaumstoff geklebt. Nach dem Einsetzen einer 9-V-Blockbatterie und dem Verschrauben des Gehäuses ist das Messgerät einsatzbereit.

Abgleich

Vor der ersten Inbetriebnahme ist ein Abgleich notwendig, der in der Regel allerdings nur einmalig durchzuführen ist. Zum Abgleich sind keine speziellen Messgeräte erforderlich, man benötigt lediglich einen Widerstand von 1,5 kΩ mit einer Toleranz $\leq 1\%$. Es kann natürlich auch ein anderer, genau bekannter Wert verwendet werden. Wichtig hierbei ist nur, dass dieser



Bild 6: Montage der Ferritspule auf den Zuleitungen zu den Messbuchsen

Referenzwiderstandswert im oberen Drittel des Messbereich-Endwertes liegen sollte (1,5 kΩ bis 1,8 kΩ).

Zunächst erfolgt der Nullpunkt-Abgleich. Nach dem Einschalten wird der Messbereich „0–2 kΩ“ gewählt. Nun hält man beide Prüfspitzen der Messleitung zusammen und gleicht die Anzeige mit dem Trimmer R 5 (null) genau auf „0,00“ ab. Eine Abweichung von einigen Digits (1 Digit = kleinstmöglicher Anzeigewert) in der letzten Stelle ist tolerierbar.

Als Nächstes kontaktiert man einen 1500-Ω-Widerstand zwischen den beiden Prüfspitzen. Mit dem Trimmer R 9 (Skala) wird die Anzeige jetzt auf „1500“ eingestellt. Damit ist der Abgleich beendet und das Gerät betriebsbereit. Im Messbereich 0–20 kΩ sollte das Display „1,50“ anzeigen, wobei es hier durch Toleranzen zu einer Abweichung von ca. ± 3 Digits kommen kann.

Sicherheitshinweis!

Es darf mit dem Impedanzmessgerät in spannungslosen Anlagen gemessen werden. Bei einem voll ausgesteuerten Verstärker (maximale Leistung) können Spannungen auftreten, die für den Menschen gesundheitsschädlich sind. Der Verstärker muss deshalb vor der Messung (Fehler-

Watt	Z	Watt	Z
1	10 kΩ	15	666 Ω
2	5 kΩ	20	500 Ω
3	3,3 kΩ	30	333 Ω
4	2,5 kΩ	40	250 Ω
5	2 kΩ	50	200 Ω
6	1,7 kΩ	60	166 Ω
7	1,4 kΩ	70	142 Ω
8	1,3 kΩ	80	125 Ω
9	1,1 kΩ	90	111 Ω
10	1 kΩ	100	100 Ω

Tabelle 1: Umrechnungstabelle

suche) immer ausgeschaltet bzw. dessen Ausgänge müssen vom 100-V-Lautsprecherkreis getrennt werden. Des Weiteren sind die allgemeinen Sicherheitsbestimmungen (VDE) zu beachten.

Hinweis zum praktischen Einsatz

Da das hier vorgestellte Impedanzmessgerät „nur“ die Impedanz anzeigt, kann man mit Hilfe von Tabelle 1 die Werte in Watt umrechnen. Alternativ ist auch eine Berechnung nach der bereits genannten Formel möglich. 

[1] Mehr zum Umgang mit SMD-Bauteilen: www.elv-downloads.de/downloads/journal/smd-anleitung.pdf