



# ESR - Messgerät ESR 1

## Technischer Kundendienst

Für Fragen und Auskünfte stehen Ihnen unsere qualifizierten technischen Mitarbeiter gerne zur Verfügung.

**ELV • Herrn Müller • Postfach 1000 • D - 26787 Leer**

## Reparaturservice

Für Geräte, die aus ELV-Bausätzen hergestellt wurden, bieten wir unseren Kunden einen Reparaturservice an. Selbstverständlich wird Ihr Gerät so kostengünstig wie möglich instand gesetzt. Im Sinne einer schnellen Abwicklung führen wir die Reparatur sofort durch, wenn die Reparaturkosten den halben Komplettbausatzpreis nicht überschreiten. Sollte der Defekt größer sein, erhalten Sie zunächst einen unverbindlichen Kostenvoranschlag. Bitte senden Sie Ihr Gerät an:

**ELV • Reparaturservice • Postfach 1000 • D - 26787 Leer**



# ESR – Messgerät ESR 1

*Dieser kleine nützliche Helfer erleichtert die Fehlersuche in modernen elektrischen Geräten, wie z.B. Fernsehgeräte, Monitore, Videorecorder usw. Das Messgerät ermittelt den Ersatz-Serienwiderstand (ESR) eines Elektrolyt-Kondensators (kurz: Elko) - dies sogar im eingebauten Zustand. Der ESR gibt z.B. Aufschluss über den Alterungszustand bzw. die „Qualität“ eines Elkos.*

*Speziell in Schaltnetzteilen altern Elkos, bedingt durch die hohe Schaltfrequenz bzw. hohe Arbeitstemperaturen, schneller als „normal“. Steigt der ESR eines zur Spannungssiebung eingesetzten Kondensators über einen bestimmten Wert an, kann unter Umständen die Funktion des Schaltnetzteiles gestört werden.*

*Selbstverständlich kann das ESR 1 auch zur Messung von ohmschen Widerständen im angegebenen Messbereich verwendet werden.*

## Altern im Zeitraffer

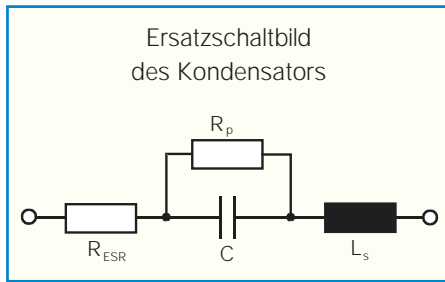
Die meisten elektronischen Bauteile, wie z. B. Halbleiter oder Widerstände, haben im allgemeinen eine fast unbegrenzte Lebensdauer, vorausgesetzt, sie werden nicht überlastet und in der vorgesehenen Arbeitsumgebung betrieben. Es gibt jedoch eine Ausnahme - den Elektrolyt-Konden-

sator (kurz: Elko genannt). Wird ein Elko mit der maximal zulässigen Betriebstemperatur eingesetzt, beträgt die durchschnittliche Lebensdauer 1000 bis 3000 Betriebsstunden. Allein schon die Lagerung bewirkt einen stetigen Kapazitätsverlust, so dass nach ca. 10 Jahren Lagerzeit ein Elko nicht mehr verwendet werden sollte.

Einer der wesentlichen Gründe hierfür ist, dass das flüssige Elektrolyt im Inneren

### Technische Daten:

Spannungsversorgung: ... 9-V-Batterie  
Stromaufnahme: ..... 8 mA  
Messbereich: ..... 0,01 bis 19,99  $\Omega$   
Genauigkeit: .....  $\pm 5\%$   
Sonstiges: ..... Low-Bat-Anzeige  
Auto-Power-Off  
Abmessungen  
(Gehäuse): ..... 140 x 60 x 26 mm



**Bild 1: Das Wechselspannungs-Ersatzschaltbild des Kondensators verdeutlicht den Begriff ESR (Equivalent Series Resistance).**

des Elkos mit der Zeit austrocknet (verdunstet) und die Kapazität sich somit verringert. Maßgeblich entscheidend für den Austrocknungsprozess ist die Betriebstemperatur, die von der Umgebungstemperatur und der vom Elko selbst erzeugten Wärme bestimmt wird. Eine Faustformel besagt, dass eine Temperaturerhöhung um 10 K die Lebensdauer eines Elkos halbiert.

Wird ein Elko zur Spannungsstabilisierung in einem herkömmlichen Netzteil eingesetzt, ist z. B. eine Kapazitätsverringierung von 4700 uF auf 3300 uF üblicherweise noch tolerierbar.

Anders sieht die Sache bei modernen Schaltnetzteilen aus. Hier werden die eingesetzten Elkos extremen Belastungen ausgesetzt. Durch die relativ hohe Schaltfrequenz und die hohen, zum Teil rechteckförmigen Impulsströme erwärmen sich die Elkos, wodurch die Lebensdauer rapide absinkt. Nicht umsonst sind Netzteile in Computern eine der häufigsten Ausfallursachen. Solche Schaltnetzteile finden zunehmend aber auch Einzug in moderne Consumergeräte.

Hierbei ist ein Trend zu beobachten, dass viele dieser elektronischen Geräte wie z. B. Fernseher, Videorecorder, Monitore usw. heute schon nach relativ kurzer Zeit ausfallen. Als Fehlerursache stellt sich oft ein defekter Elko im Schaltnetzteil heraus. Misst man solche Elkos mit einem Kapazitätsmesser nach, stellt man erstaunt fest, dass diese nur unwesentlich an Kapazität verloren haben. Warum ist das Gerät bzw. das Schaltnetzteil dann aber ausgefallen?

Hier kommt der Innenwiderstand des Kondensators ins Spiel, der auch ESR (Equivalent Series Resistance) genannt wird. Dieser Widerstand stellt vielmehr die Summe aller seriellen Verluste eines Kondensators dar. Der Innenwiderstand steht auch in direktem Zusammenhang mit dem Alterungszustand des Elkos, er nimmt mit dem Alter des Elkos zu. Bei hohen Frequenzen wirkt der ESR zusammen mit der Kapazität wie ein Tiefpass und setzt so die Wirkung der realen Kapazität deutlich

herab. Dies hat zur Folge, dass, wie schon erwähnt, ein Schaltnetzteil z. B. nicht mehr einwandfrei arbeitet. Dies äußert sich dann z. B. so, dass das Gerät nur kurz scheinbar einwandfrei arbeitet, aber bald einfach bis auf die Standby-Funktion abschaltet.

Um dieses Problem zu umgehen, setzen die Hersteller sogenannte Low-ESR-Elkos ein, die einen extrem geringen Innenwiderstand aufweisen und speziell für hohe Temperaturen ausgelegt sind. Solche Elkos sind meist am Aufdruck „105°C“ erkennbar - ein Standard-Elko ist nur für Temperaturen bis 85°C geeignet. Aber auch solche Low-ESR-Typen sind nicht vom Alterungsprozess ausgeschlossen. Oft werden aber aus finanziellen Gründen vorwiegend bei billigen Geräten einfach „normale“ Elkos eingebaut, mit den beschriebenen Folgen.

### ESR einfach messen

Mit dem hier vorgestellten ESR-Messgerät kann der Innenwiderstand (ESR) eines Elkos in der Schaltung gemessen werden, ohne diesen auslöten zu müssen. Hierdurch wird das lästige und zeitraubende Auslöten mit dem anschließenden Messen der Kapazität vermieden. Zudem ist in solchen Fällen, wie bereits gesagt, der ESR aussagekräftiger als die mit einem Kapazitätsmessgerät gemessene Kapazität.

Bevor es nun an die Schaltungsbeschreibung des „ESR 1“ geht, widmen wir uns kurz den theoretischen Grundlagen der ESR-Messung.

Jeder Kondensator ist durch seine Bauart verlustbehaftet, dies betrifft vor allem die Elektrolyt-Kondensatoren. Zur besseren Veranschaulichung ist in der Abbildung 1 das Ersatzschaltbild eines mit Wechselspannung betriebenen Kondensators dargestellt. Die parasitären Komponenten sind wie folgt gekennzeichnet:

- $R_{ESR}$  = Serienverlustwiderstand
- $R_p$  = Isolationswiderstand (hervorgehoben durch den Leckstrom des Dielektrikums)
- $L_s$  = Serieninduktivität der Anschlussdrähte und der Elektroden

Der ESR ( $R_{ESR}$ ) setzt sich aus den Widerständen zusammen, die durch die Anschlussdrähte, den Übergang zu den Elektroden und dem Widerstand des Dielektrikums entstehen. Dieser ESR ist eine Wechselspannungsgröße, die nicht mit einem normalen Multimeter gemessen werden kann. Um ein geeignetes Messverfahren zu finden, soll für die weitere Betrachtung nur der  $R_{ESR}$  interessant sein.

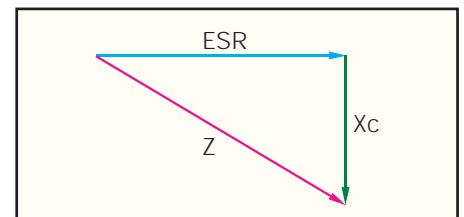
Legt man eine Wechselspannung an den

Kondensator, ergibt sich zwischen den Spannungen am „ESR“ und am „C“ eine Phasenverschiebung von 90°. Der Scheinwiderstand (Z) des Kondensators (ohne Berücksichtigung von  $L_s$  und  $R_p$ ) setzt sich aus den beiden Komponenten Blindwiderstand ( $X_c$ ) und dem ESR zusammen, die in folgender Formel definiert sind:

$$Z = \sqrt{X_c^2 + ESR^2}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Die Formel lässt sich grafisch mit Hilfe eines Zeigerdiagramms darstellen, dass dann folgendermaßen aussieht:



**Bild 2: Das Zeigerdiagramm verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen ESR, Schein- und Blindwiderstand.**

Wenn es uns gelingt, den Blindwiderstand des Kondensators so weit zu verkleinern, dass dieser ungefähr Null ist, können wir die Formel ganz einfach nach ESR auflösen. Die veränderbaren Parameter für  $X_c$  sind zum einen die Frequenz und zum anderen die Kapazität. Die Kapazität wird ja durch den Prüfling vorgegeben, somit bleibt nur noch die Frequenz übrig. D. h., wenn wir die Messfrequenz hoch genug wählen, tendiert  $X_c$  gegen Null, wie das folgende Beispiel beweist:

Beispiel:  $f = 60 \text{ kHz}$ ,  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6,28 \cdot 60 \text{ kHz} \cdot 100 \text{ }\mu\text{F}} = 0,03 \Omega$$

Durch diese Erkenntnis können wir die Formel für den Scheinwiderstand Z nach ESR auflösen, die dann folgendermaßen aussieht:

$$Z = \sqrt{X_c^2 + ESR^2} \approx \sqrt{0 + ESR^2} = ESR$$

Mit einem AC-Widerstandsmessgerät, das mit einer relativ hohen Frequenz (in unserem Fall mit 60 kHz) arbeitet, können wir also den ESR eines Kondensators bestimmen.

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Messverfahren für solche „Ohmmeter“: Man misst mit konstantem Strom oder mit einer konstanten Spannung. Wir haben uns für die Variante mit einer konstanten Spannung entschieden. Das Messprinzip ist in

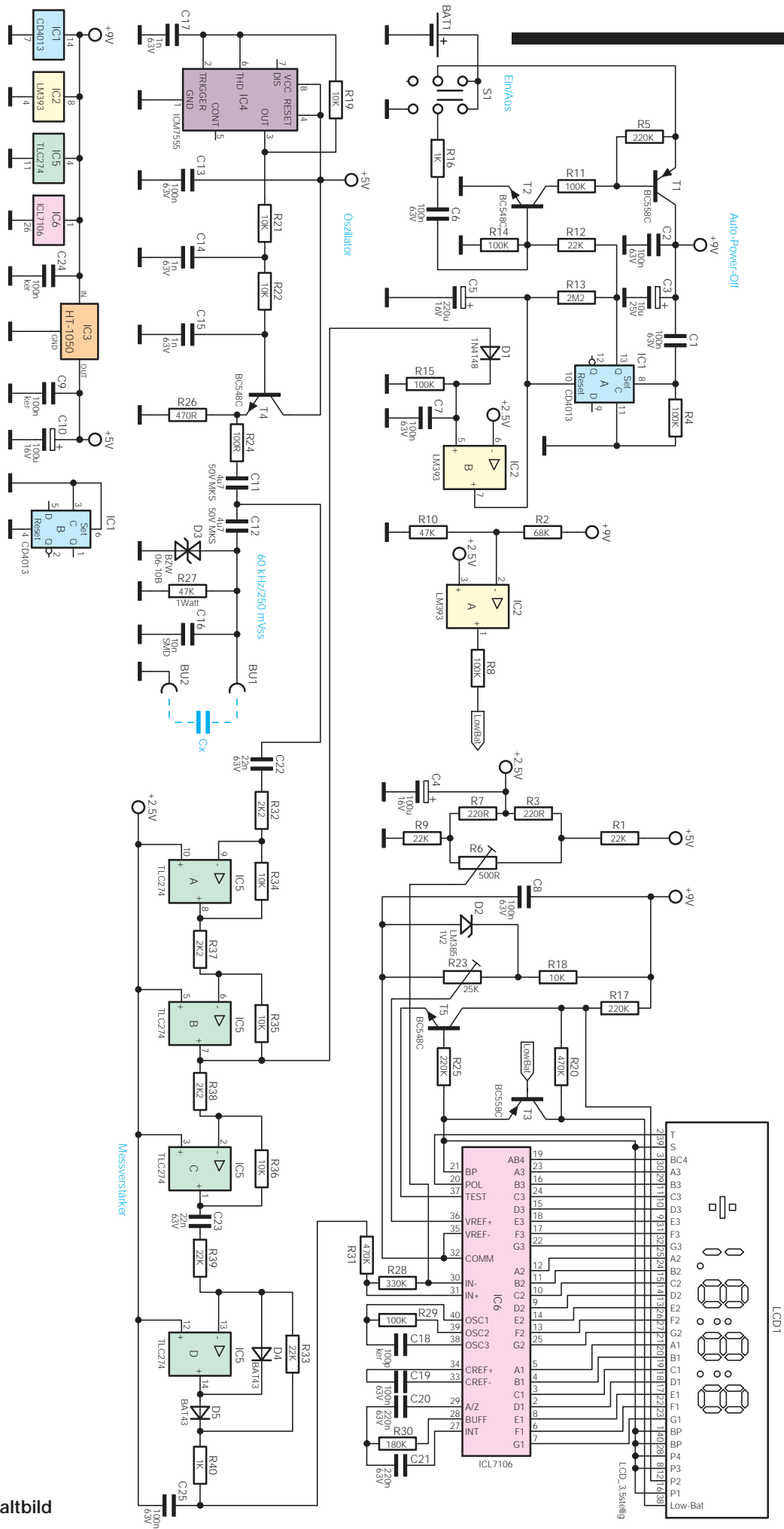
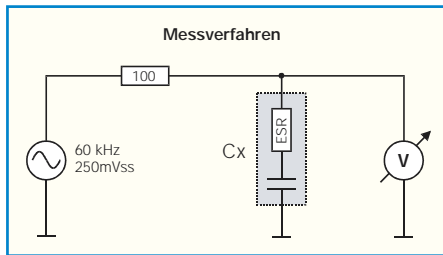


Bild 3: Das Schaltbild des ESR 1





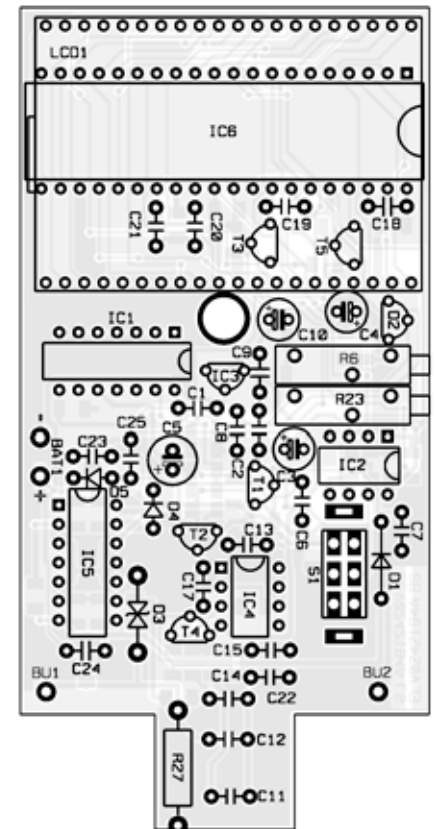
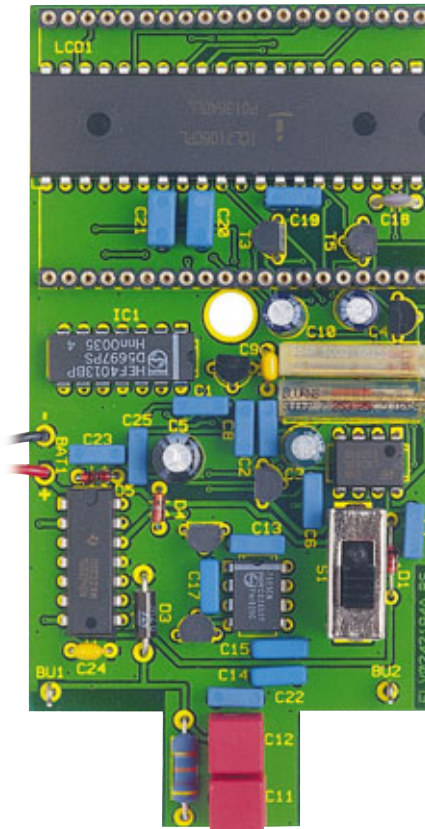
**Bild 4: Das gewählte Messverfahren unseres ESR-Messgerätes**

Abbildung 4 dargestellt. Da die Spannung und der Vorwiderstand bekannt sind, ergibt sich aus der gemessenen Wechselspannung über den Kondensator der Wert für den ESR. Der Nachteil dieser Schaltung soll allerdings nicht verschwiegen werden: Es gibt keinen linearen Verlauf zwischen dem ESR und der gemessenen Spannung. Wollte man hiermit Widerstände in einem großen Bereich messen, ist das Messverfahren mit einem konstanten Strom vorzuziehen, wie es bei den meisten Ohmmetern der Fall ist. Da wir aber nur einen kleinen Teil dieser Kennlinie nutzen, und zwar den von 0 bis 20 Ohm, sind die Abweichungen nicht allzu groß. Es soll ja auch kein hoch genaues ESR-Messgerät entstehen, sondern eine preisgünstige und einfach aufzubauende Schaltung, mit der man defekte Elkos aufspüren kann. Zudem ist die Interpretation des gemessenen ESR-Wertes reine Erfahrungssache, da man vorwiegend Vergleiche mit neuen Elkos vornehmen sollte.

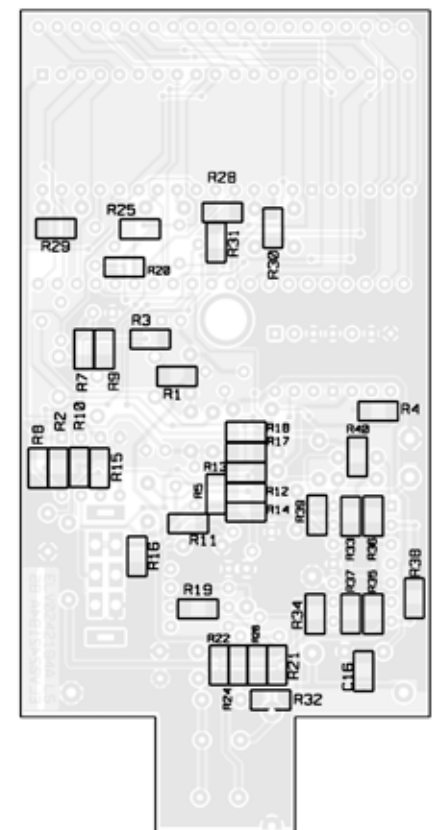
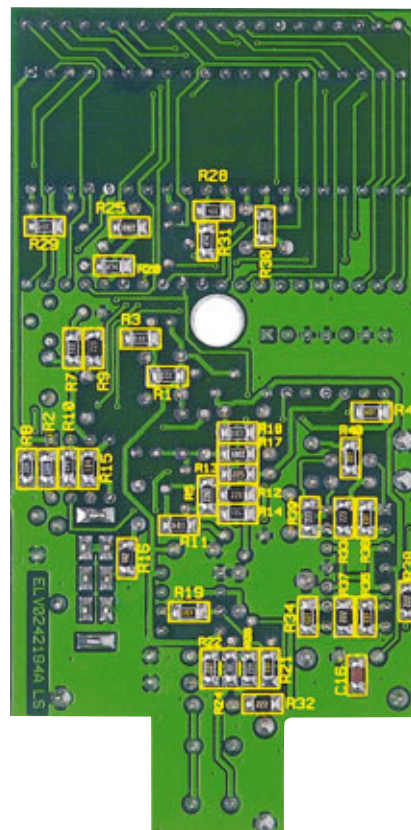
## Schaltung

Das Schaltbild des ESR-Messgerätes ist in Abbildung 3 dargestellt. Links unten ist der Oszillator zu sehen, der von IC 4 mit Außenbeschaltung gebildet wird. Die Frequenz wird durch R 19 und C 17 bestimmt, sie liegt bei ca. 60 kHz. Durch den Tiefpass R 21, C 14, R 22 und C 15 wird aus dem Rechtecksignal annähernd eine Sinusschwingung, welche mit einer Amplitude von 250 mVss am Emitter des Transistors T 4 anliegt. Über R 24 sowie den beiden Kondensatoren C 11 und C 12 gelangt das Signal auf die Messbuchse BU 1. Die Transildiode D 3 schützt den Eingang des Messgerätes (BU 1 und BU 2) dabei vor Spannungsspitzen. Der Widerstand R 27 sorgt für eine evtl. notwendige Entladung des zu prüfenden Kondensators. Zwischen C 11 und C 12 wird die Wechselspannung entnommen, die beim Messvorgang über den Prüfelko abfällt. Der dreistufige Messverstärker, gebildet von IC 5 A bis IC 5 C, verstärkt das Signal, um den Faktor 94. Mit IC 5 D wird das so verstärkte Signal gleichgerichtet und anschließend mit R 40 und C 25 geglättet.

Die gleichgerichtete Spannung wird mit



**Ansicht der fertig bestückten Platine des ESR-Messgerätes ESR 1 mit zugehörigem Bestückungsplan, oben von der Bestückungsseite (LC-Display nicht bestückt), unten von der Lötseite**



### Stückliste: Elko-Prüfgerät ESR 1

#### Widerstände:

10 $\Omega$ .....	Abgleichwiderstand
100 $\Omega$ /SMD .....	R24
220 $\Omega$ /SMD .....	R3, R7
470 $\Omega$ /SMD .....	R26
1 k $\Omega$ /SMD .....	R16, R40
2,2 k $\Omega$ /SMD .....	R32, R37, R38
10 k $\Omega$ /SMD/1 % .....	R18, R19, R21, R22, R34-R36
22 k $\Omega$ /SMD ...	R1, R9, R12, R33, R39
47 k $\Omega$ /SMD .....	R10
47 k $\Omega$ /1 W/Metalloxid .....	R27
68 k $\Omega$ /SMD/1 % .....	R2
100 k $\Omega$ /SMD .....	R4, R8, R11, R14, R15, R29
180 k $\Omega$ /SMD .....	R30
220 k $\Omega$ /SMD .....	R5, R17, R25
330 k $\Omega$ /SMD .....	R28
470 k $\Omega$ /SMD .....	R20, R31
2,2 M $\Omega$ /SMD .....	R13
Spindeltrimmer, 500 $\Omega$ .....	R6
Spindeltrimmer, 25 k $\Omega$ .....	R23

#### Kondensatoren:

100pF/ker .....	C18
1nF/63 V/MKT .....	C14, C15, C17
10nF/SMD .....	C16
22nF/63 V/MKT .....	C22, C23
100nF/ker .....	C9, C24
100nF/63 V/MKT .....	C1, C2, C6-C8, C13, C19, C25
220nF/63 V/MKT .....	C20, C21
4,7 $\mu$ F/50 V/MKS2 .....	C11, C12

10 $\mu$ F/25 V .....	C3
100 $\mu$ F/16 V .....	C4, C10
220 $\mu$ F/16 V .....	C5

#### Halbleiter:

CD4013/Philips .....	IC1
LM393 .....	IC2
HT1050 .....	IC3
ICM7555 .....	IC4
TLC274 .....	IC5
ICL7106 .....	IC6
BC558C .....	T1, T3
BC548C .....	T2, T4, T5
1N4148 .....	D1
LM385/1,2 V .....	D2
BZW06-10B .....	D3
BAT43 .....	D4, D5

#### Sonstiges:

LC-Display, 3,5-stellig .....	LCD1
Telefonbuchse, 4 mm, rot .....	BU1
Telefonbuchse, 4 mm, schwarz ...	BU2
Schiebeschalter, 2 x um, hoch, print .....	S1
Lötstift mit Lötöse .....	BU1, BU2
9-V-Batterieclip .....	BAT1
4 IC-Buchsenleisten, 1 x 20-polig	
1 Softline-Gehäuse, bearbeitet und bedruckt	
1 Plexiglasscheibe, bearbeitet	
1 Prüfkabel-Set (rot und schwarz)	
4 cm Schaltdraht, blank, versilbert	
1 Schaumstoffstück (selbstklebend)	

einer 3,5-stelligen LC-Anzeige angezeigt. Diese Einheit besteht aus dem Anzeigentreiber IC 6 und dem LC-Display LCD 1. Der nach dem Dual-Slope-Verfahren arbeitende Anzeigentreiber ICL 7106 mit integriertem AD-Wandler zeichnet sich besonders durch sehr gute technische Daten sowie einem relativ günstigen Preis aus. Der Messeingang von IC 6 besteht aus Pin 30 (-) und Pin 31 (+). Über den Spannungsteiler R 31 und R 28 gelangt die Spannung vom Gleichrichter auf den Eingang Pin 31 (IC 6). Zur Offsetkorrektur (Nullpunkt) ist Eingang Pin 30 (-) mit dem Trimmer R 6 verbunden, mit dem man eine geringe Potentialverschiebung gegenüber der Referenzspannung von 2,5 V vornehmen kann. Der Skalenfaktor wird durch die Spannung zwischen Pin 35 (Vref-) und Pin 36 (Vref+) bestimmt, die mit dem Trimmer R 23 einstellbar ist.

Auf dem LC-Display befinden sich einige zusätzlich benötigte Segmente (Dezimalpunkt und Low-Bat-Segment), die nicht direkt von IC 6 ansteuerbar sind. Um diese Segmente dennoch anzeigen zu können, wird mit T 5 ein zum Backplane-Signal (BP) gegenphasiges Rechtecksignal erzeugt, das vom Kollektor T 5 direkt auf

Anschlusspin 12 (P2) des LC-Displays gelangt und den Dezimalpunkt aktiviert. Das Segment für die Low-Bat-Anzeige wird durch den Transistor T 3 geschaltet, der wiederum vom Low-Bat-Detektor IC 2 A angesteuert wird. IC 2 A ist ein Komparator, der beim Absinken der Betriebsspannung auf einen Wert unterhalb von 6,2 V den Ausgang Pin 1 auf „High“ schaltet. Die Schaltschwelle ist mit R 2 und R 10 festgelegt.

Kommen wir nun zur Auto-Power-Off Schaltung, die im oberen linken Teil des Schaltbildes dargestellt ist. Die Betriebsspannung wird zusätzlich zum Schalter S 1 über den Transistor T 1 aktiviert. Der Ablauf beim Einschalten ist folgender: Im ausgeschalteten Zustand liegt der Widerstand R 16 über dem zweiten Schaltkontakt von S1 an Masse. Nachdem S 1 auf „Ein“ gestellt wird, ist R 16 mit +9V verbunden und es fließt ein Stromimpuls über R 16 und C 6 in die Basis des Transistors T 2. Dieser steuert über R 11 den Schalttransistor T 1 an, der die Betriebsspannung für das Gerät einschaltet. Hierdurch gelangt über den Kondensator C 1 ein Spannungsimpuls auf den „Set“-Eingang des RS-Flip-Flops IC 1 A. Das Flip-Flop ist nun

gesetzt, der „Q“-Ausgang Pin 13 führt High-Pegel und steuert T 2 an, wodurch sich der Kreislauf schließt und sich die Schaltung selbst „hält“. Jetzt ist der Auto-Power-Off-Timer aktiviert, der eigentlich nur aus dem Zeitglied R 13 und C 5 besteht. Der relativ große Elko C 5 lädt sich nun langsam über R 13 auf. Steigt die Spannung an C 5 auf ca. 2/3 der Betriebsspannung an (entspricht ca. 4 Minuten), wird über den Reset-Eingang (Pin10) das Flip-Flop zurückgesetzt. Da der „Q“-Ausgang nun auf „Low“ wechselt, sperren T 1 und T 2 und die Betriebsspannung wird abgeschaltet. Erst ein erneutes Aus- und wieder Einschalten mit S1 aktiviert das Gerät wieder.

Wird während der Einschaltzeit eine Messung vorgenommen, registriert dies der Komparator IC 2 B, der über seinen Ausgang (Pin 7) den Elko C 5 entlädt und somit der Timer neu startet. Hierzu gelangt die Wechselspannung vom Ausgang der zweiten Verstärkerstufe IC 5 B auf die Gleichrichterdiode D 1. Sobald die Spannung am Speicherkondensator C 7 unter 2,5 V abfällt, schaltet der Komparator durch.

### Nachbau

Der Nachbau erfolgt auf einer doppel-seitigen Platine. Bis auf die SMD-Widerstände sind alle Bauteile in bedrahteter Form ausgeführt.

Wir beginnen mit dem Bestücken der SMD-Widerstände auf der Lötseite der Platine. Die Widerstände sind in der größtmöglichen noch erhältlichen Bauform 1206 ausgeführt, um auch demjenigen die Arbeit zu erleichtern, der kein „SMD-Lötprofi“ ist. Grundsätzlich sollte für die Lötarbeiten ein LötKolben mit schlanker Spitze und mittlerer Leistung verwendet werden. Dies ermöglicht ein sauberes Verlöten der SMD-Bauteile und schützt die empfindlichen Komponenten vor Überhitzung.

Anhand der Stückliste und des Bestückungsplans werden die Widerstände mit einer Pinzette auf der Platine fixiert und zuerst nur an einer Seite angelötet. Nach der Kontrolle der korrekten Position des Bauteils erfolgt das Verlöten der restlichen Anschlüsse.

Nachdem alle SMD-Bauteile bestückt sind, folgt das Einsetzen der bedrahteten Bauteile, beginnend mit den niedrigen Bauteilen (Widerstände, Dioden usw.) weitergeführt mit den höheren bzw. mechanischen Bauteilen. Entsprechend dem Rastermaß sind die Bauteile 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 Lötstellen selbst dabei zu beschädigen.



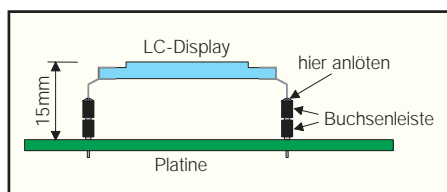


Bild 5: Die Montage des LC-Displays

Bei den Halbleitern sowie den Elkos ist unbedingt auf die richtige Einbaulage bzw. Polung zu achten (Halbleiter entsprechend Bestückungsdruck einsetzen, Elkos sind am Minuspol gekennzeichnet und die 1-Markierung an den ICs (Kerbe) Pin muss ebenfalls mit der Markierung im Bestückungsdruck korrespondieren). Als Hilfe kann hier auch das Platinenfoto dienen.

Eine Besonderheit stellt der Einbau des LC-Displays dar. Um die richtige Einbauhöhe zu erhalten, wird die Anzeige auf IC-Sockelleisten gesetzt. Hierzu sind jeweils zwei 20-polige Buchsenleisten zusammenzustecken und anschließend auf der Platine einzulöten. Nun wird die LCD-Anzeige so weit von oben in die Sockel gesteckt, bis sich ein Abstand von 15 mm zur Platine ergibt (siehe Abbildung 5). So ist gewährleistet, dass sich die Anzeige direkt unter dem Sichtfenster im Gehäuse befindet. Die Anschlussbeine der Anzeige werden nun mit dem oberen Sockel verlötet, um einen festen Sitz zu gewährleisten.

Zum Schluss erfolgt das Einsetzen des Schiebeschalters sowie der Lötstifte. Der Batterieclip wird wie folgt angeschlossen: rotes Kabel an + Bat und schwarzes Kabel an - Bat.

Im nächsten Arbeitsschritt bereiten wir die Gehäuseunterschale vor. Die beiden 4-mm-Buchsen werden zunächst ausein-

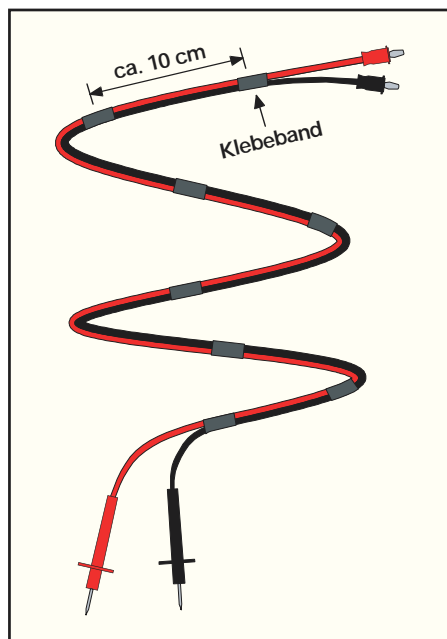


Bild 6: So werden die Messleitungen vorbereitet

andergeschraubt und am Ende der Metallhülse ein ca. 2 cm langes Stück Silberdraht angelötet. Das Auseinanderbauen der Buchse vor dem Anlöten ist deshalb notwendig, weil sich die Kunststoffteile der Buchse bei Hitzeeinwirkung sonst verformen würden.

Nun werden die beiden Buchsen wieder zusammengesetzt, in das Gehäuseunterteil eingesetzt und verschraubt. Zum Schluss legt man die Platine in das Gehäuseunterteil und lötet die an den Buchsen befindlichen Anschlussdrähte an die Lötstifte BU 1 und BU 2 an. Als nächstes wird die durchsichtige Plexiglasscheibe von innen in das Gehäuseoberteil eingesetzt und an den Rändern mit etwas Kunststoffkleber fixiert. Vorsicht dabei, ein Klebertropfen auf der Sichtfläche ist nicht mehr zu entfernen und die Sichtscheibe wird „blind“.

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 ESR-Messgerät einsatzbereit.

### Abgleich und Bedienung

Vorweg hier ein paar wichtige Hinweise, die für ein einwandfreies Funktionieren des Messgerätes notwendig sind:

Um die induktive Beeinflussung des Messergebnisses durch die Prüfleitungen zu minimieren, sind die beiden Leitungen in Abständen von ca. 10 cm mit etwas Klebeband miteinander zu verbinden (siehe Abbildung 6).

Die 4-mm-Stecker der Prüfleitungen sollten sehr stramm in den Buchsen am Messgerät sitzen. Eventuell sind die Kontakte des Steckers etwas auseinander zu biegen, denn nur bei festem Sitz ist ein guter Kontakt gewährleistet, der Fehlmessungen verhindert.

Vor der ersten Inbetriebnahme ist ein Abgleich notwendig, der jedoch nur einmalig durchzuführen ist (bei höheren Anforderungen ist er vielleicht einmal jährlich zu wiederholen). Zum Abgleich sind keine speziellen Messgeräte erforderlich, lediglich ein 10-Ohm-Widerstand mit einer Toleranz <1% wird benötigt. Nach dem Einschalten des Messgerätes hält man beide Prüfspitzen der Messleitungen zusammen, und gleicht die Anzeige mit dem Trimmer R 6 genau auf „0,00“ ab. Eine Abweichung von bis zu  $\pm 5$  Digit ist noch tolerierbar.

Als nächstes kontaktiert man den 10- $\Omega$ -Widerstand zwischen den beiden Prüfspitzen. Mit dem Trimmer R 23 (Skala) wird die Anzeige jetzt auf „10,00“ eingestellt. Damit ist der Abgleich beendet und das Gerät betriebsbereit.

Bei der Messung in elektrischen Geräten ist unbedingt darauf zu achten, dass diese nicht eingeschaltet bzw. vom Netz getrennt sind. Es gibt keine generelle Aussage darüber, ab welchem ESR ein Elko defekt ist oder nicht. Hier zählen Erfahrungswerte und Vergleiche mit neuen, intakten Elkos. Zeigt ein gemessener Elko einen Wert von unter 1  $\Omega$  an, ist dieser auf jeden Fall als „OK“ einzustufen. Ein ESR von über 10  $\Omega$  ist für einen Elko nicht ungewöhnlich, aber für einen Einsatz in einem Schaltnetzteil ist dieser Elko nicht zu gebrauchen.

Grundsätzlich gilt:

- Je höher die Spannungsfestigkeit eines Elkos, desto größer ist auch sein ESR, dies betrifft vor allem Elkos im Bereich von 1  $\mu\text{F}$  bis 47  $\mu\text{F}$ .
- Je größer die Kapazität, um so kleiner ist der ESR.
- Elkos größer 100  $\mu\text{F}$  sollten auf jeden Fall einen ESR unter 1  $\Omega$  aufweisen.
- Ein ESR mit mehr als 20  $\Omega$  deutet sicher auf einen defekten Elko hin.

In der folgenden Tabelle sind einige vom ELV-Labor gemessene Werte für verschiedene Elkos dargestellt.

	25 V	63 V	100 V	350 V
1 $\mu\text{F}$			3,86 $\Omega$	
2,2 $\mu\text{F}$			2,76 $\Omega$	
4,7 $\mu\text{F}$	1,68 $\Omega$	1,25 $\Omega$		2,37 $\Omega$
10 $\mu\text{F}$	0,9 $\Omega$	1,46 $\Omega$		2,94 $\Omega$
22 $\mu\text{F}$	0,74 $\Omega$	0,95 $\Omega$		
47 $\mu\text{F}$	1,1 $\Omega$	0,4 $\Omega$		
100 $\mu\text{F}$	0,12 $\Omega$	0,47 $\Omega$	0,12 $\Omega$	
220 $\mu\text{F}$	0,23 $\Omega$	0,16 $\Omega$	0,1 $\Omega$	
470 $\mu\text{F}$	0,36 $\Omega$	0,4 $\Omega$		
1000 $\mu\text{F}$	0,01 $\Omega$	0,01 $\Omega$		
2200 $\mu\text{F}$	0,01 $\Omega$	0,01 $\Omega$		

Diese Werte sind natürlich nicht verbindlich, aber sie können als Anhaltspunkte dienen. Durch die verschiedenen Hersteller der Elkos ergibt sich beim Test keine erkennbare Struktur. Auch sollte berücksichtigt werden, dass die Umgebungstemperatur einen nicht unerheblichen Einfluss auf den ESR hat.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass mit dem „ESR 1“ natürlich auch rein ohmsche Widerstände gemessen werden können, und zwar ebenfalls im eingebauten Zustand! Die Messspannung von 250 mVss ist so klein, dass z. B. parallelliegende Halbleiter in der Schaltung nicht leitend werden und so das Ergebnis nicht beeinflussen. Eine Ausnahme bilden hier sehr niederohmige Induktivitäten, die das Messergebnis verfälschen können.

