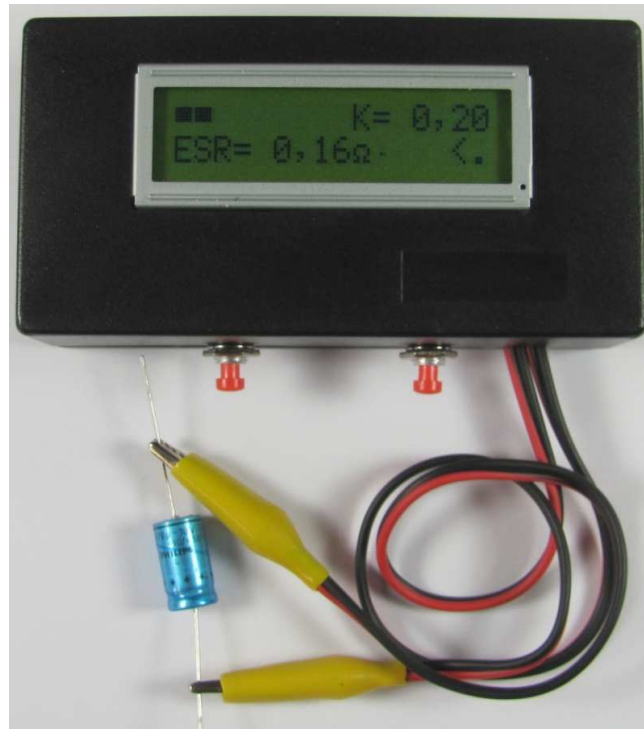


ESR-Messgerät

Ein Gemeinschafts-Bastelprojekt von
Hubert Gschwandtner OE5GHN und Erwin Hackl OE5VLL



Was ist „ESR“?

ESR steht für „Equivalent Series Resistance“, auf deutsch „äquivalenter Serienwiderstand“. Bei Kondensatoren, speziell Elkos, ist damit der unerwünschte Serienwiderstand des Bauteils gemeint. Je niedriger der Wert, desto höher die Qualität des Bauteils.

Warum und wann ist der „ESR“ wichtig?

Speziell bei Elkos, welche in Schaltnetzteilen, Frequenzumrichtern etc. eingesetzt sind, ist ein niedriger ESR wichtig. Ist der ESR hoch, entsteht durch die hohe Schaltgeschwindigkeit Verlustwärme, was wiederum dazu führt, dass der Elektrolyt Schaden nimmt, wodurch der ESR noch größer wird und damit ein verhängnisvoller Kreislauf einsetzt, welcher bis zum Totalausfall des Elkos führen kann. Dadurch können in weiterer Folge auch andere Bauteile Schaden nehmen (z.B. die Schalttransistoren). Geschädigte Elkos sind oft, aber nicht immer, durch eine „aufgeblähte“ Gehäuseoberseite erkennbar.

Warum ist der „ESR“ gerade im Zusammenhang mit Elkos wichtig?

Elkos (Elektrolytkondensatoren) gehören bei den elektronischen Bauteilen zur Ausnahme, da sie eine begrenzte Lebensdauer haben, was bei den meisten anderen Bauteilen so nicht der Fall ist. Der Grund dafür ist der verwendete Elektrolyt, welcher, stark abhängig von der Temperatur, mit der Zeit austrocknet (verdunstet). Normale Elkos sind für 85°C, solche für erhöhte Anforderungen für 105° C spezifiziert. Je höher die Temperatur des Elkos (setzt sich aus Außentemperatur und der Eigenerwärmung des Elkos zusammen), desto schneller findet der Austrocknungsprozess statt. Man kann bei einer um 10°C höheren Temperatur von einer Halbierung der Lebenszeit ausgehen. Gerade in den heutzutage häufig anzutreffenden externen und in Geräten eingebauten Schaltkreisteilen ist die Belastung der Elkos sehr hoch. Mit maximaler Betriebstemperatur arbeitende Elkos haben üblicherweise eine Lebensdauer von sehr wenigen Tausend Betriebsstunden. Ich bin der Meinung, dass vielfach von der Industrie bewusst nicht optimale Elkos eingesetzt werden, um die Lebensdauer der Geräte zu begrenzen – offiziell sind natürlich die Kosten der Grund. Siehe dazu Berichte (z.B. im Fernsehen, Internet, etc.) zum Thema „geplante Obsoleszenz“ – oder „das geplante Verfallsdatum“ (im Idealfall möglichst kurz nach Ablauf der Garantie).

Ein hoher ESR-Wert bei einem Elko ist NICHT gleichbedeutend mit Kapazitätsverlust – ein solcher Elko kann durchaus noch einen Großteil seiner Kapazität besitzen.

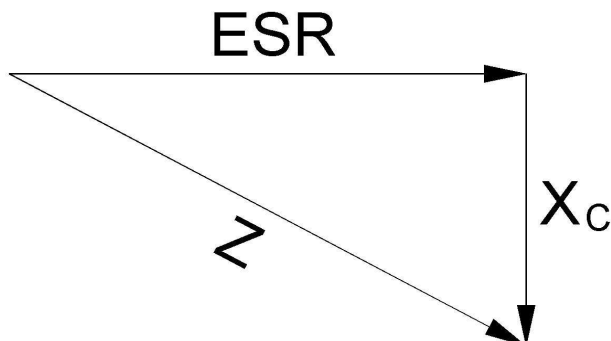
Ein bisschen Theorie und Fachbegriffe

Scheinwiderstand (Impedanz) $Z = \text{Wurzel}(R_{\text{ESR}}^2 + X_C^2)$

Blindwiderstand (Reaktanz, Imaginärteil) $X_C = 1 / (2 * \pi * f * C)$

Der kapazitive Blindwiderstand wird auch als Kapazität bezeichnet.

Wirkwiderstand (Realteil) = ESR



Blindwiderstand (Reaktanz, Imaginärteil) unterschiedlicher Kapazitätswerte bei 100 kHz:

			22 μF	0,072 Ω
100 nF	15,92 Ω		33 μF	0,048 Ω
150 nF	10,61 Ω		47 μF	0,034 Ω
220 nF	7,23 Ω		100 μF	0,015915 Ω
470 nF	3,39 Ω		220 μF	0,007234 Ω
			330 μF	0,004823 Ω
1 μF	1,592 Ω		470 μF	0,003386 Ω
1,5 μF	1,061 Ω		1000 μF	0,001592 Ω
2,2 μF	0,723 Ω		2200 μF	0,000723 Ω
3,3 μF	0,482 Ω		3300 μF	0,000482 Ω
4,7 μF	0,339 Ω		4700 μF	0,000339 Ω
10 μF	0,159 Ω		10000 μF	0,000159 Ω

Messprinzip

Es gibt unterschiedliche Messprinzipien. Wir haben uns für jenes entschieden, welches bereits im Elektor Heft September 2002 von Jensen Flemming in einer Schaltung verwendet wurde. Eine modernere Version verwendete er in Elektor Heft 9, 2005.

Diese Schaltung hatte für uns Vorteile, aber auch zwei wesentliche Nachteile: Es wurden zwei PIC-Prozessoren verwendet und die Auflösung betrug nur 0,1 Ohm. Auf die Möglichkeit damit auch Kapazitätswerte zu erfassen haben wir verzichtet.

Wir verwenden einen Atmel ATmega8-Prozessor und änderten die Schaltung so, dass eine Auflösung von 0,01 Ohm erreicht wurde. Das ging natürlich nicht ohne Kompromisse und es waren dadurch auch weitere Klimzüge notwendig, um auch Werte über 10 Ohm messen zu können.

Das eigentliche Messprinzip:

Der Mikroprozessor liefert zwei gegenphasige 100-kHz-Rechteckschwingungen. Diese werden dem zu messenden Elko über jeweils 2,2 kOhm zugeführt. Damit erreicht man einen konstanten „Stromwert“, da die Widerstände ein Vielfaches des ESR betragen. Die am Elko abfallende Spannung wird mittels eines „geschalteten Gleichrichters“ (74HC4066) gleichgerichtet und anschließend verstärkt. Dieser Verstärker (1.OP) ist als Integrator beschaltet, was zur Folge hat, dass der Wechselspannungsanteil des Signals ausgemittelt wird. Das bedeutet, dass zwar der ESR (Realteil), aber nicht der kapazitive Anteil (Imaginärteil) des Kondensators gemessen wird.

Der 2. OP verstärkt dann das Signal derart, dass eine Spannung von 5 Volt einem Widerstand von 10 Ohm entspricht. Da damit aber nur ESR-Werte bis ca. 10 Ohm gemessen werden können, wird das Signal zusätzlich durch 2 geteilt und einem zweiten AD-Wandler-Eingang des Prozessors zugeführt, welcher die Messung übernimmt, wenn der erste AD-Wandler seine Grenze erreicht hat. Da der OP die positive Betriebsspannung direkt von der Batterie bzw. einem Netzteil erhält, ist der maximal messbare ESR-Wert von der Betriebsspannung abhängig. Um diese voll ausnützen zu können, wird diese vor der ESR-Messung gemessen und damit der maximal ermittelbare ESR-Wert berechnet. Bei Erreichen dieser Grenze wird dann anstatt des Ohm-Wertes nur „Max.!“ ausgegeben, da ansonsten falsche Werte angezeigt würden. Will man also auch Widerstände bis ca. 20 Ohm erfassen, sollte das Messgerät mit 12 Volt versorgt werden.

Da mit Spannungen unter 0,2 Volt gemessen wird, können auch Bauteile im eingelöteten Zustand gemessen werden, da dann parallel liegende Halbleiterstrecken nicht mehr zum Tragen kommen. Aber **ACHTUNG: Das zu prüfende Gerät muss ausgeschaltet und die Elkos entladen sein, da sonst die Zerstörung des Messgerätes erfolgen kann!**

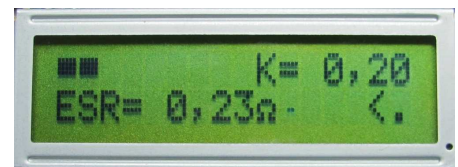
Selbstverständlich können auch normale Widerstände damit gemessen werden.

Die Anzeige

Beim Gerätestart wird u.A. für wenige Sekunden links unten die Versionsnummer der Software und rechts oben die Versorgungsspannung angezeigt. Damit kann man erkennen, wenn die üblicherweise verwendete Batterie „zu Ende geht“.

Im Messbetrieb wird folgendes angezeigt:

Links oben: Graphische Anzeige mittels Balkendiagramm (8 Balken).



Die Anzeige ist logarithmisch (angenähert). Dadurch können sowohl kleine als auch große Werte mittels eines Balkens gut dargestellt werden.

1 Balken: > 0,02 Ohm, 2 Balken: >0,1 Ohm, 3 Balken: >0,25 Ohm, 4 Balken: >0,5 Ohm, 5 Balken: > 1 Ohm, 6 Balken: >2 Ohm, 7 Balken: >4 Ohm, 8 Balken: >8 Ohm

Rechts oben: Der verwendete Kalibrierwert, im Idealfall 0,20 Ohm

Links unten: Der ESR-Wert in Ohm

Rechts unten: Das „<“ bzw. „>“-Zeichen bedeutet kleiner/größer 1 Ohm
Der Punkt bzw. Doppelpunkt bedeutet Messbereich 1 bzw. 2.

Die Kalibrierung und die Messgenauigkeit

Üblicherweise würde die Kalibrierung mittels Kurzschluss der Klemmen und einem für diese Zwecke möglichst hochohmigen Widerstand erfolgen. Bei genauerer Überprüfung konnten jedoch im unteren Bereich gewisse Unlinearitäten festgestellt werden. Um diese gut kalibrieren zu können, wurde folgendes geändert:

Die Kalibrierung erfolgt bei 0 Ohm und bei 1 Ohm. Der 1-Ohm-Widerstand sollte eine möglichst geringe Toleranz aufweisen, z.B. 1 %.

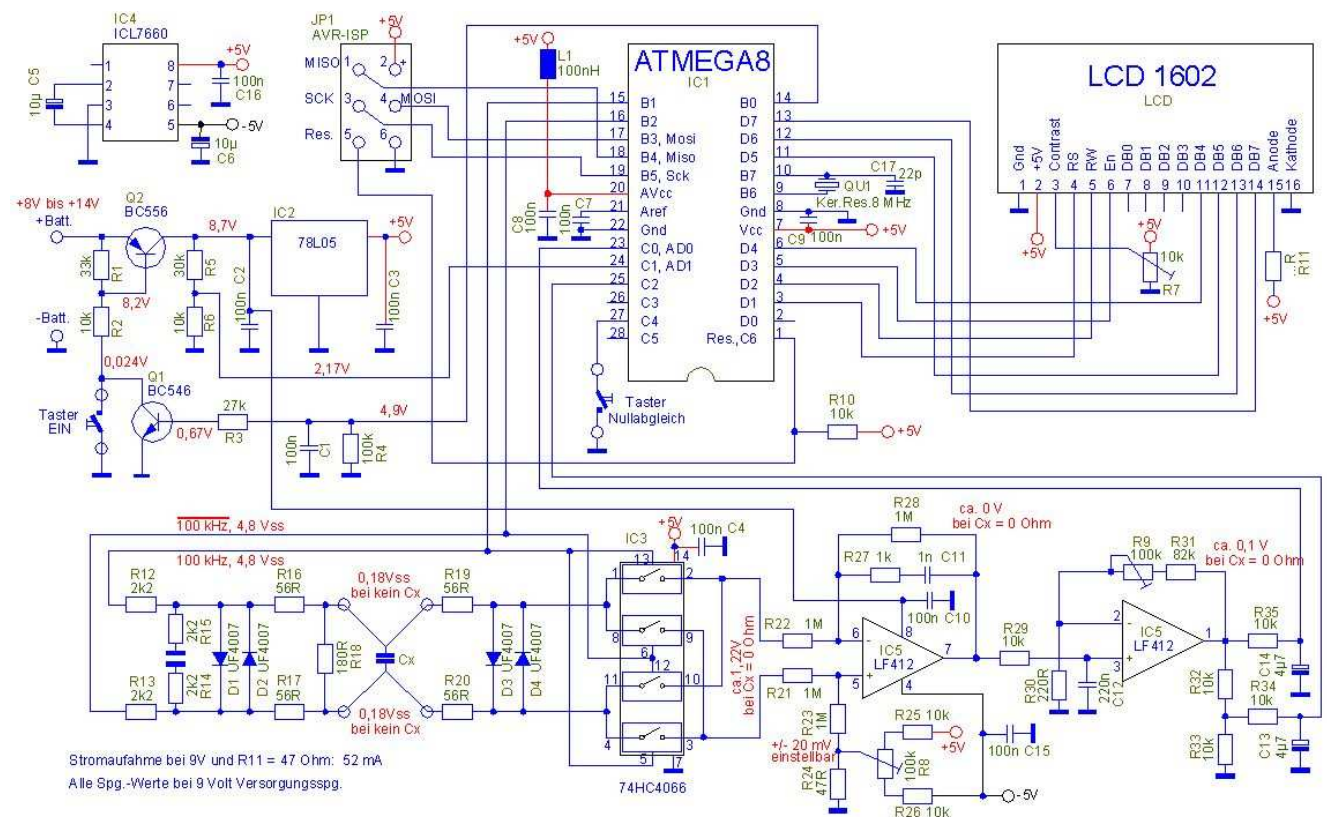
Dadurch wird erreicht, dass Widerstände unter 1 Ohm möglichst genau angezeigt werden. Der dadurch bei Widerständen > 1 Ohm auftretende Fehler wird per Software möglichst gut behoben. Bei 12 Ohm konnte eine Abweichung von ca. 1,2 % festgestellt werden.

Da eine gewisse Temperaturempfindlichkeit besteht, ist es sinnvoll, für genauere Messserien das Gerät von einem Netzteil zu versorgen und den Ein-Taster zu überbrücken (damit das Gerät nicht abschalten kann). Dann unmittelbar vor der Messung jeweils bei kurzgeschlossenen Messkabeln die Taste für den Nullabgleich drücken.

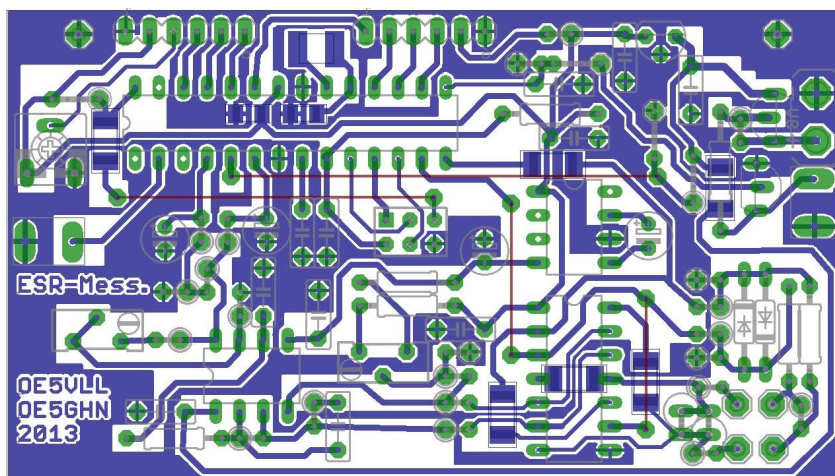
Bezüglich der Messgenauigkeit ist zu erwähnen, dass bei digital anzeigenden Messgeräten generell mit einem Messfehler von +/- einem Digit zu rechnen ist. Das bedeutet in diesem Fall +/- 0,01 Ohm. Dies abgesehen von anderen Einflüssen auf die Genauigkeit.

Eine Überprüfung der Genauigkeit kann relativ einfach mit genauen Widerständen durchgeführt werden. Zu beachten ist auch, dass der Abgleich des Messgerätes einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit hat. Gleichzeitig sollte man die Genauigkeit für normale Messungen aber nicht überbewerten.

Der Schaltplan



Das Platinenlayout

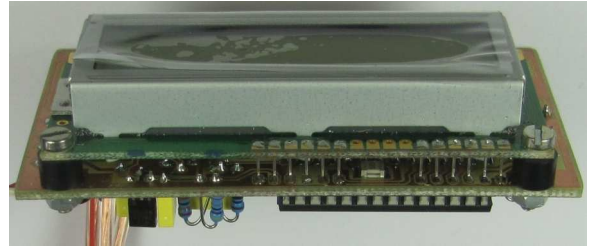


Das Platinenlayout wurde mit „Eagle“ erstellt. Hier ist die Lötseite dargestellt.

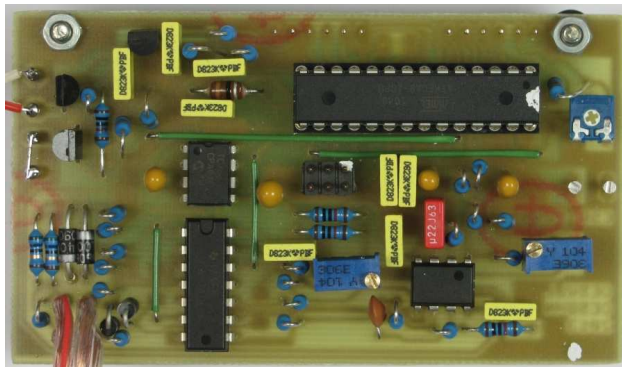
Die Stückliste des Bausatzes

Stück	Bezeichnung	
1	22p SMD	C17
1	1n	C11
1	100n SMD	C9
9	100n oder 82n	C1, C2, C3, C4, C7, C8, C10, C15, C16
1	220n	C12
2	4 μ 7 Tanatal	C13, C14
2	10 μ Tantal	C5, C6
6	0R	R36, R37, R38, R39, R40, R41
1	47R (je nach LCD)	R11
1	47R	R24
4	56R	R16, R17, R19, R20
1	180R	R18
1	220R	R30
1	1k	R27
4	2k2	R12, R13, R14, R15
10	10k	R2, R6, R10, R25, R26, R29, R32, R33, R34, R35
1	27k	R3
1	30k	R5
1	33k	R1
1	82k	R31
1	100k	R4
4	1M	R21, R22, R23, R28
1	ER 10k	R7
2	ER 100k	R8, R9
1	100 nH	L1
4	UF4007	D1, D2, D3, D4
1	BC546	Q1
1	BC556	Q2
1	ATmega8	IC1
1	78L05	IC2
1	74HC4066	IC3
1	ICL7660	IC4
1	LF412	IC5
1	LCD	LCD
1	Ker.Osz. 8MHz	QU1
1	IC-Sockel 28-pol.	
1	Platine	
1	Batt.Anschluss	
2	Taster	
1	Zwillingskabel	
1	Krokoklemmenkabel	
2	Schrauben M3x12 Zylinderkopf	
2	Muttern M3	
2	Abstandshülsen 5 mm	
1	Gehäuse	

6. Das LCD wird zuerst mittels der M3-Schrauben und den 5mm-Abstandshülsen mit der Platine verschraubt (die beiden Lötseiten zeigen zueinander). Anschließend werden Drähte (Durchmesser max. 0,5mm) durch die 12 Lötungenpaare geschoben, dann verlötet und an den äußeren Seiten so kurz als möglich abgezwickt.



7. Wer will kann in die 10 Lötungen für die diversen Anschlüsse auch Lötstützpunkte etc. einlöten (nicht im Bausatz enthalten). Das Gleiche gilt für den 6-poligen Programmiersockel. Dieser ist nur nötig, wenn man den Prozessor in dieser Platine programmieren will.



Die fertigbestückte Platine sollte nun so aussehen.

Die Inbetriebnahme der Platine

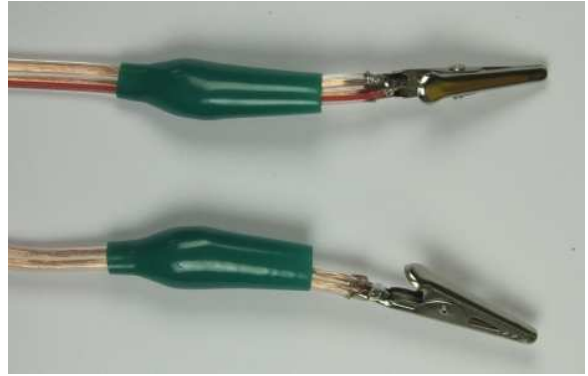
Sind alle Bauteile bestückt, vorsichtshalber eine genaue Sichtkontrolle aller Lötstellen durchführen. Speziell „vergessene“ Lötstellen kommen häufig vor. Auch die SMD-Bauteile kontrollieren.

Bevor man den Prozessor einsetzt, kann man die Platine an ein Netzgerät (möglichst mit Strombegrenzung, ca. 100 mA) anschließen und kontrollieren, ob die +5 Volt vom 78L05 und die -5 Volt vom ICL7660 in Ordnung sind. Zu diesem Zweck ist der „Taster EIN“ kurzzuschließen. Am Besten Drahtbrücke auf die beiden Lötstellen.

Anschließend bei ausgeschalteter Versorgungsspannung den Prozessor (Pin1 beachten!) einsetzen und dann Stromversorgung wieder einschalten. Die Hintergrundbeleuchtung des LCD sollte nun leuchten. Mit dem 10-kOhm-Poti R7 wird nun der Kontrast des LCD so eingestellt, dass man die Schrift deutlich sieht. Damit wäre die Funktion von Prozessor und LCD OK.

Die Stromaufnahme beträgt ca. 50 mA. Ohne Hintergrundbeleuchtung des LCD beträgt die Aufnahme ca. 25 mA. Wer Strom sparen will, kann durch Entfernen von R11 (47 Ohm) die LCD-Beleuchtung abschalten. Auch ein Schalter wäre möglich.

Vor dem Abgleich sind noch die Messleitungen herzustellen. Dazu werden die 2 Krokoklemmen vom beigelegten Kabel abmontiert. Die Klemmen werden dann jeweils an einem Ende des $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ -Kabels mit beiden Enden verlötet und die Isolierhülle aufgeschoben. Dazu ist es günstig, wenn man das Loch bei der Kabeleinführung vorher etwas aufweitet. Die Länge der Messleitungen beträgt jeweils ca. 20 bis 25 cm.



Nun folgt der Abgleich.

Mit kurzgeschlossenen Messleitungen mit Poti R8 an Pin 7 des LF412 ca. 1,7 Millivolt einstellen. Danach das Poti so nachregeln, dass ein ESR-Wert von $0,00 \Omega$ angezeigt wird.

Anschließend einen möglichst genauen $1\text{-}\Omega$ -Widerstand zwischen die Messleitungen klemmen und mit Poti R9 (jenes welches näher am Rand der Platine) $1,00 \Omega$ einstellen. Die $0,00 \Omega$ und die $1,00 \Omega$ -Einstellung ein paar mal wechselweise wiederholen, bis sich am Display die Werte nicht mehr ändern. Der Abgleich wäre somit beendet. Es kann aber sein, dass nach dem Einbau ins Gehäuse nochmals nachjustiert werden soll. Zur Kontrolle kann man einen genauen $12\text{-}\Omega$ -Widerstand messen. Wird ein Wert von z.B. $11,88 \Omega$ angezeigt, so ist alles bestens.

Messungen

Erste Messungen können schon durchgeführt werden, bevor das Gerät in das Gehäuse eingebaut wird.

Durch Drücken des „EIN-Tasters“ wird das Gerät eingeschaltet. Die Abschaltung erfolgt automatisch nach ca. einer Minute – manuell kann es nur durch Trennen von der Stromversorgung ausgeschaltet werden. Die ersten Messungen können aber auch noch mit kurzgeschlossenem „EIN-Taster“ durchgeführt werden.

Unmittelbar nach dem Einschalten wird für ca. 2 Sekunden u.A. die Versorgungsspannung rechts oben angezeigt. Danach schaltet das Gerät automatisch in den Messbetrieb.

Schließt man die Messkabel kurz, sollte ein ESR-Wert von ca. $0,00 \Omega$ angezeigt werden. Zur exakten $0,00\text{-}\Omega$ -Anzeige wird die Taste „Nullabgleich“ gedrückt (kann beliebig oft geschehen).

Anschließend wird das zu messende Bauteil angeklemmt und der ESR wird sowohl numerisch als auch als Balken angezeigt.

Misst man mehrfach, empfiehlt sich zwischendurch ein Nullabgleich.

Bauteile können auf Grund der niedrigen Messspannung ($<0,2$ Volt) auch im eingebauten, ABER STROMLOSEN Zustand gemessen werden. Sind mehrere Elkos parallelge-

schaltet kann aber ein hoher ESR eines einzelnen Elkos wegen der parallelgeschalteten anderen Elkos nicht erfasst werden! In solchen Fällen müssen die Elkos dann doch ausgebaut werden.

Fehlersuche

Sollte das Gerät nach Fertigstellung nicht funktionieren, hier ein paar Tipps, was die eventuelle Ursache sein könnte bzw. wo man suchen sollte:

Generell gilt: Lötstellen überprüfen, speziell auf Kurzschlüsse zu benachbarten Leiterbahnen. Auch überprüfen, ob nicht Lötstellen beim Löten übersehen wurden. Auch die SMD-Bauteile überprüfen.

Die Stromaufnahme sollte mit LCD-Beleuchtung ca. 52 mA bzw. ohne LCD-Beleuchtung ca. 25 mA betragen.

Gar keine Funktion, LCD-Hintergrundbeleuchtung leuchtet nicht:
Stromversorgung checken, am 78L05 Eingangs- und Ausgangsspannung prüfen, eventuell Kurzschluss oder Unterbrechung der +5-Volt-Versorgung.

LCD-Hintergrundbeleuchtung leuchtet, aber keine Zeichen auf dem LCD: Einstellung der Spannung am Pin 3 des LCD überprüfen – Poti R7. Die Spannung am Pin 3 sollte knapp über 0 Volt liegen. Auch die 0 Volt an Pin 1 und die +5 Volt an Pin 2 des LCD überprüfen.

LCD zeigt keinen sinnvollen Text oder eine Zeile nur ausgefüllte Rechtecke:
Fehler liegt im Bereich der Steuer- und Datenleitungen des LCD. Speziell diese Leitungen (Pin 4 bis Pin 14 des LCD) auf Kurzschlüsse, Unterbrechungen und Falschverdrahtung prüfen.

Überprüfung, ob der Prozessor aktiv ist:
An den Pins 9 und 10 muss mit einem Oszilloskop die 8-MHz-Schwingung feststellbar sein. Wenn nicht, den Kondensator C17 (SMD) und den Keramikresonator überprüfen.
Des Weiteren muss an den Ausgängen Pin 15 und 16 die 100-kHz-Rechteckschwingung feststellbar sein.
An den Pins 20 und 21 des Prozessors sollten ca. +5 Volt zu messen sein.

Beim Abgleich mit Poti R8 lässt sich nicht 0 Volt am Pin 7 des OP einstellen:
Prüfen ob die Versorgungsspannung des OP passt (ca. 8,7 Volt am Pin 8 bei 9 Volt Versorgungsspannung und ca. -4,8 Volt am Pin 4.
Bei „offenen“ Messklemmen sollte man an allen 4 Messleitungsanschlüssen eine Rechteckspannung von 100 kHz und ca. 190 mV_{ss} messen können.
Bei kurzgeschlossenen Messleitungen sollen an den beiden Widerständen R21 und R22 auf der Seite, welche zum 74HC4066 zeigt, jeweils eine Spannung von ca. 1,2 Volt und auf der dem OP zugewandten Seite ca. 0,6 Volt gemessen werden können.
Am Schleifer des Poti R8 sollte sich die Spannung zwischen +20 mV und -20 mV einstellen lassen.

Am Pin 7 des OP (IC5) lassen sich ca. 1,7 mV einstellen, trotzdem keine 0-Ohm-Anzeige:

Einstellung von Poti R9 überprüfen, am Ausgang des OP (Pin 1 von IC5) sollten ca. 0,1 Volt zu messen sein. Ebenso an den beiden Tantals C13 und C14.

Gerät schaltet sich nicht nach ca. einer Minute ab:

Bereich „Taster-EIN“, Q1, R3, R4, C1 überprüfen. Eventuell wurde der eingelötete Kurzschlussbügel noch nicht wieder entfernt.

Falsche Spannungsanzeige beim Einschalten des Gerätes:

Die Anzeige ist auf 9 Volt optimiert, bei 12 Volt kann es kleine Abweichungen geben. Bei größerer Abweichung (mehr als 0,5 Volt bei 12 Volt Versorgungsspannung) die Widerstände R5 (30 kOhm) und R6 (10 kOhm) überprüfen.

Einbau ins Gehäuse

Da im verwendeten Gehäuse (Type PB-103, 115x60x44 mm, Fa. Neuhold, Graz) akuter Platzmangel herrscht, mussten ein paar Kompromisse eingegangen werden.

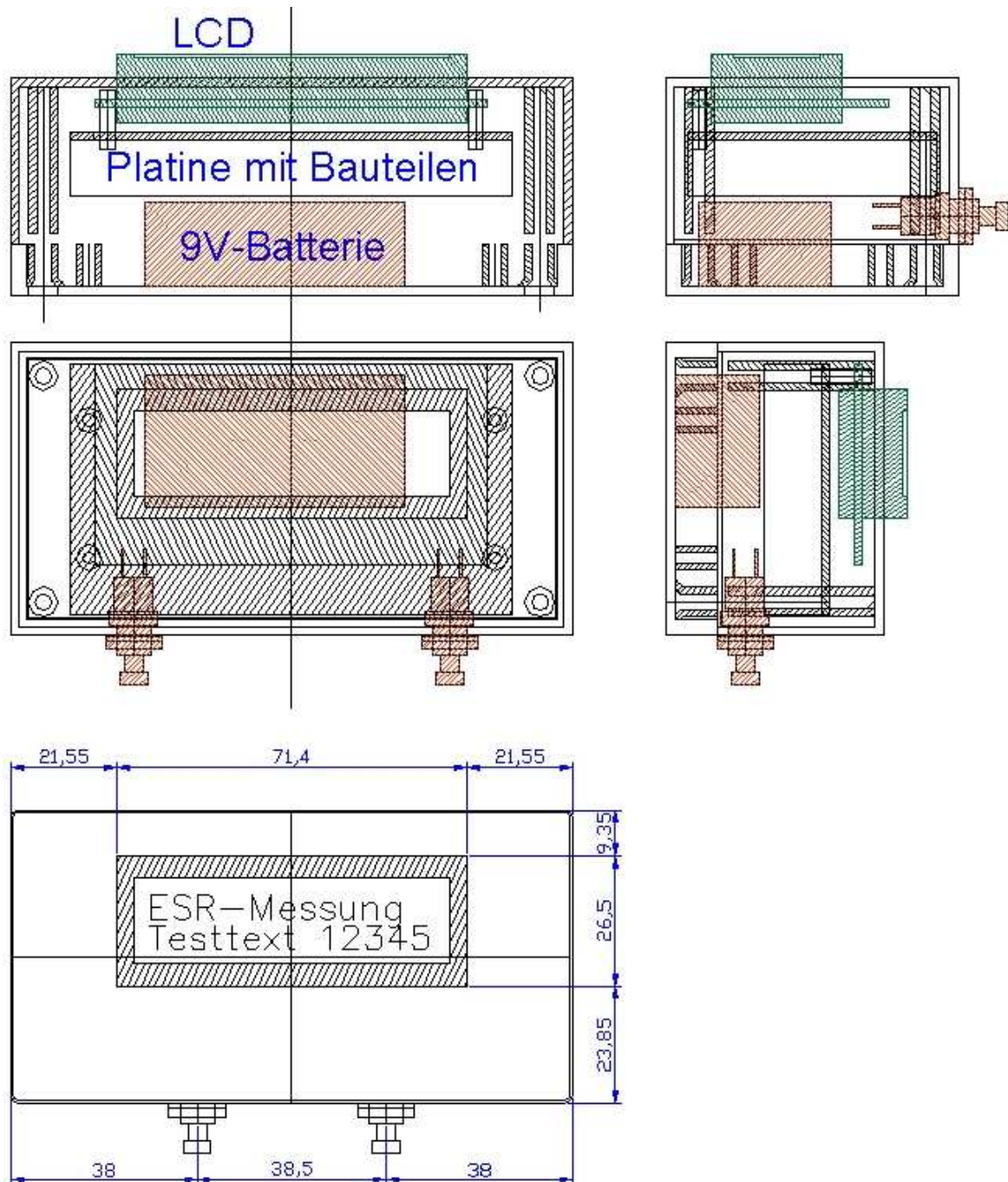
Damit sich Batterie, Platine und LCD übereinander ausgehen, werden LCD und Platine mit nur 5 mm Abstand verschraubt. Das LCD steht mindestens 2,7 mm aus dem Gehäuse hervor. Die beiden Taster wurden an der Frontseite platziert.

Beim Ausschnitt für das LCD ist es günstig, wenn so genau geschnitten wird, dass das LCD „streng“ darin Platz findet. Die Positionierung des Ausschnitts soll möglichst genau erfolgen, da die ESR-Platine relativ wenig Spielraum hat. Die Herstellung des Ausschnittes kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Eine davon ist, auf der Innenseite rundherum Bohrungen mit z.B. 6 mm anzubringen, die dazwischenliegenden Stege mit einer Säge, einem Seitenschneider oder einem Fräsbohrer aufzutrennen und dann mit einer Feile den Ausschnitt in die genaue Form bringen. Man kann auch wenige Bohrungen anbringen und dann mit einer Laubsäge ausschneiden. Rest wieder mit Feile erledigen.



Hat man öfter solche Ausschnitte zu machen, bewährt es sich ein Stück Stahlblech mit z.B. 1 mm Stärke so zurechtzuschneiden und zu biegen, dass man es passgenau über das Gehäuse stülpen kann. Dieses versteht man auch mit dem passenden Ausschnitt als Vorlage. Nun kann man beliebig oft ein Gehäuse z.B. mit dem Fräsbohrer bearbeiten und den Rest mit der Feile erledigen ohne dass man jedesmal genau anzeichnen muss. Außerdem besteht nicht

die Gefahr, dass der Ausschnitt versehentlich zu groß gerät. Eine Methode, welche sich sehr bewährt hat – einzig eine Fräsmaschine wäre hier noch besser – aber die hat halt nicht jeder.



Die Bohrungen für die Taster sollten 7 mm vom unteren Rand des Gehäuse-Obertells entfernt sein.

Die Befestigung der ESR-Platine samt LCD geschieht an den 4 Ecken der Platine mittels einer Heißklebepistole – hat sich bewährt und kann auch wieder gelöst werden.

Für die beiden Messleitungen werden an der Unterkante des Gehäuse-Obertells entsprechende Ausnehmungen geschaffen – am besten so, dass die beiden Kabel nebeneinander zu liegen kommen – sie können dann mit der Heißklebepistole im Inneren des Gehäuses fixiert werden.

Zum Verdrahten der beiden Taster wegen des Platzmangels dünne Litzendrähte verwenden!

Der Einbau einer Buchse zum Anschluss eines Netzteils kann empfohlen werden. Die Buchse ist aber nicht Bestandteil des Bausatzes. Bei der Platzierung der Buchse darauf achten, dass keine räumlichen Konflikte mit den anderen Einbauten auftreten.

Selbstverständlich kann hier jeder Änderungen nach eigenem Gutdünken vornehmen, auch die Wahl eines anderen Gehäuses ist möglich – aber immer vorher gut planen!

Erfahrungen mit dem Messen des ESR

Im Gegensatz zu üblichen elektronischen Messungen unterscheidet sich das Messen des ESR grundsätzlich. Ein und dasselbe Ergebnis kann in einem Fall ein guter Wert, im anderen Fall aber ein schlechter Wert sein. Es bedarf also einer gewissen Erfahrung, um die gemessenen Werte richtig zu interpretieren.

Das Ganze hängt damit zusammen, dass Elkos mit kleinen Kapazitätswerten von vornherein höhere ESR-Werte haben, als solche mit höheren Kapazitäten. Für Elkos mit Werten bis 4,7 μF sind Werte von mehreren Ohm durchaus normal. Dem gegenübergestellt haben Elkos für erhöhte Anforderungen mit 1000 oder mehr μF Werte von üblicherweise wesentlich unter 0,1 Ohm. Hat ein solcher Elko z.B. 2 Ohm, so ist er als nicht mehr brauchbar einzustufen und am besten zu entsorgen.

Um gewisse Erfahrungswerte zu sammeln wurde der ESR von ca. 1200 Bauteilen (Elkos, Goldcaps, Tantals, Kondensatoren etc. auch in SMD-Ausführungen, sowohl neuwertige als auch ausgelötete Bauteile) gemessen. Von diversen Typen wurden 10 und mehr Stück gemessen, um auch Aussagen über die Streuung der Werte innerhalb einer Produktserie machen zu können. Die erhaltenen Werte wurden in einer Excel-Tabelle erfasst um sie nach unterschiedlichen Kriterien sortieren und vergleichen zu können. So manche Überraschung tauchte durch diese Tabelle auf.

Sehr zu danken ist in diesem Zusammenhang auch OM **Peter OE5PLN**. Er baute sich ein ESR-Messgerät nach dem ELV-Schaltungsvorschlag und kaufte weit über 100 unterschiedliche fabriksneue Elkos von einem japanischen Hersteller. Sowohl die erhaltenen Messwerte als auch die Elkos stellte er zur Verfügung und ich hatte dadurch die Gelegenheit, nicht nur die Bauteilwerte in meine Tabelle einfließen zu lassen, sondern auch seine Messergebnisse mit den unsrigen zu vergleichen.

Auch OM **Helmut OE5GPL** sei bei dieser Gelegenheit für viele Tipps und klärende Gespräche herzlicher Dank ausgesprochen.

Desweiteren wurden ca. 180 Elkos erfasst, welche die Fa. Neuhold anbietet und bei welchen die ESR-Werte angegeben sind. Bei einer Serie sind die ESR-Werte sogar auf mOhm genau angegeben. Es werden „Low-ESR“-Elkos und „Lowest-ESR“-Elkos angeboten. Leider sind bei den letzteren keine konkreten ESR-Werte angegeben, sodass mit diesen kein Vergleich durchgeführt werden konnte. Allerdings besitze ich 2 Stück dieser Lowest-ESR-Typen mit 470 μF /6,3V. Eine ESR-Messung ergab 0,03 bis 0,04 Ohm. Mit Sicherheit ein sehr guter Wert für einen Elko mit 470 μF .

Es fiel auch auf, dass Elkos „nach Lebensdauer“ gruppiert angeboten werden. Z.B. Elkos für 1000-5000 Std (RAD-FC-Typen) und 5000-10000 Std (RAD-FR-Typen). Wobei es vorkommen kann, dass die „Besseren“ unter Umständen billiger sind – hängt womöglich mit den Verkaufszahlen zusammen.

Beispiele für 1- μ F-Bauteile mit den gemessenen ESR-Werten

SMD-Kondensator	0,05 Ohm
Kondensator	0,05 – 0,13 Ohm
SMD-Tantal	0,73 – 1,20 Ohm
Tantal	1,50 – 8,50 Ohm
Elko	2,20 – 7,50 Ohm

Beispiele Herstellerangaben ESR-Werte (alle Elkos für „erhöhte Anforderungen“)

Elkos bis 10 μ F	0,85 – 5,00 Ohm
Elkos 22 μ F bis 47 μ F	0,30 – 2,00 Ohm (eine Ausnahme mit 0,08 Ohm)
Elkos 56 μ F bis 470 μ F	0,04 – 0,80 Ohm
Elkos 560 μ F bis 10000 μ F	0,01 – 0,09 Ohm (eine Ausnahme mit 0,15 Ohm)

Auf jeden Fall muss man mit der Interpretation der Messergebnisse sehr vorsichtig sein, da sehr leicht Faktoren übersehen werden können, welche die Ergebnisse stark beeinflussen können, aber nicht als solche wahrgenommen werden.

Ein Beispiel soll dies näher erläutern:

Man misst z.B. je 10 Stück Bauteile von zwei Gruppen, um diese zu vergleichen. Bemerkte aber womöglich nicht, dass die eine Gruppe ein wesentlich älteres Herstellungsdatum hat, was man aber nicht weiss. Schon kann damit die Aussage darüber verfälscht sein.

Richtwerte für den ESR von Elkos

Die angegebenen Werte sind nur Richtwerte und stützen sich auf die Erfahrungen vieler gemessener Elkos. „Gute Werte“ beziehen sich auf Elkos, welche höheren Ansprüchen genügen müssen. Die besten gemessenen Werte sind unter 0,05 Ohm.

Bis 4,7 μ F	Bis ca. 4 Ohm, bei Elkos mit hohen Spannungen auch bis 8 Ohm
10 μ F	Bis ca. 3 Ohm, gute Werte sind unter 1 Ohm
22 μ F bis 68 μ F	Bis ca. 1 Ohm, gute Werte unter 0,5 Ohm
100 μ F	Bis ca. 0,5 Ohm, gute Werte unter 0,3 Ohm
220 μ F bis 470 μ F	Bis ca. 0,5 Ohm, gute Werte unter 0,25 Ohm
ab 680 μ F	Bis ca. 0,2 Ohm, gute Werte deutlich unter 0,1 Ohm

Defekte Elkos

Elkos haben meistens sogenannte Sollbruchstellen an ihrer Oberseite. Dabei handelt es sich um Einkerbungen im Gehäuse. Werden solche Elkos zu heiß, dehnt sich das Gehäuse meist im oberen Bereich, wodurch es zu Aufwölbungen kommt. Wird die Erhitzung fortgesetzt, kann das Gehäuse an den Sollbruchstellen aufplatzen.



Beispiel für einen aufgeplatzten Elko. Man kann deutlich erkennen, dass das Gehäuse exakt an der Sollbruchstelle platzt. Man sieht aber auch deutlich die zusätzliche Ausbuchtung links oben, unter der schwarzen Folie.



Beispiel für einen defekten Elko, dessen Gehäuse an der Oberfläche deutlich aufgewölbt ist. Die ESR-Messung bestätigte den Defekt. Es wurde ein ESR von 1,68 Ohm gemessen. Für einen solchen Elko viel zu viel.



Beispiel für eine Serie Elkos aus einem defekten Motherboard. Einzig der ganz linke Elko ist OK, alle anderen haben aufgewölbte Oberflächen, was in einigen Fällen nur undeutlich zu erkennen ist. Der ganz rechts abgebildete Elko hat bereits ein aufgeplatztes Gehäuse.

Manchmal findet man Elkos, deren Defekt daran erkennbar ist, dass man sie „nicht mehr findet“, einzig die Anschlusspins findet man noch in den Lötstellen, der eigentliche Elko „hat die Platine verlassen“.

Wichtig ist aber:

Geräte können auch wegen Kapazitätsverlust eines Elkos ausfallen, was nicht generell über die ESR-Messung festgestellt werden kann. Da ist dann die Messung der Kapazität nötig, welche mit einem gewöhnlichen Kapazitätsmessgerät durchgeführt werden kann.

Hat ein Elko einen schlechten ESR so ist das zwar oft, aber nicht in allen Fällen an der Gehäusewölbung erkennbar.

ESR in der Praxis, Konsequenzen aus den Erfahrungen

Nicht jeder Elko muss einen sehr kleinen ESR haben. Bestes Beispiel: Die sogenannten Goldcap-Elkos (Kapazitäten bis über 10 Farad!) haben einen „sehr schlechten“ ESR. Das hat hier aber keine Bedeutung, da dies für die vorgesehenen Einsatzzwecke (Ersatz für Bufferbatterien etc.) völlig unerheblich ist.

In Schaltungen, wo es auf den ESR drauf ankommt (Schaltnetzteile etc.), sollten Elkos mit dem niedrigsten möglichen ESR gerade gut genug sein.

Meiner Erfahrung nach verschlechtert sich der ESR durch Lagerung über Jahre hinweg nur unwesentlich.

Baut man selber Schaltungen auf und verwendet gebrauchte Elkos, tut man gut daran, vorher den ESR zu messen. Empfiehlt sich auch bei neuen Elkos.

Es gibt auch Geräteausfälle, welche nicht durch einen schlechten ESR eines Elkos sondern wegen Kapazitätsverlust desselben entstehen. Somit ist ein gar nicht so schlechter ESR keine Garantie für einen guten Elko. Aber auch der umgekehrte Fall, dass der ESR zu hoch, aber praktisch kein oder nur wenig Kapazitätsverlust aufgetreten ist.

Elkos mit kleinen Kapazitätswerten haben generell höhere ESR-Werte.

Es gibt Bauteile, welche innerhalb einer Serie nur sehr geringe Schwankungen des ESR aufweisen, aber auch welche, die extreme Unterschiede haben – deshalb: Messen!

Bei extrem kritischen Schaltungen (z.B. Frequenzumrichter) werden statt eines großen Elkos mehrere mit kleineren Kapazitäten parallelgeschaltet. Dadurch verringert sich der ESR dementsprechend. Beispiel: Statt 1 x 4700 μ / 0,02 Ohm werden 5 x 1000 μ F / 0,06 Ohm genommen, ergibt $0,06 / 5 = 0,012$ Ohm, ein fast auf die Hälfte reduzierter ESR.

Bessere Elkos sind nicht unbedingt auch teurere Elkos – und natürlich auch umgekehrt.

Der Bausatz

Beinhaltet sämtliche Teile wie in der Stückliste aufgeführt – inklusive Gehäuse. Nicht im Bausatz enthalten sind Netzteilbuchse, Programmierstecker, Schaltdraht, Lötzinn.

Es ist nur eine begrenzte Anzahl an Bausätzen vorgesehen, welche auch auf diversen AFU-Flohmärkten angeboten werden. Preis 29.- Euro + ev. Versandkosten.

Die Bausätze können bei OE5VLL per email bestellt werden.

Viel Bastelspaß wünschen Euch

Hubert Gschwandtner OE5GHN und Erwin Hackl OE5VLL
oe5ghn@schorsch.at erwin.hackl@pc-club.at