KT200 – zwei Geräte in einem

Komponententester und ESR-Messgerät

Diese Schaltung vereint zwei Messgeräte in einem – einen Komponententester und ein ESR-Messgerät. Die ESR-Messfunktion erlaubt die Überprüfung von Bauelementen auch im eingebauten Zustand. Schwerpunktmäßig richtet sich der Bauteiletest auf Elkos (ESR) und Halbleiter. Eine integrierte Ladeschaltung erlaubt den Betrieb mit Akkus, und ein Farb-OLED-Display sorgt für einfache Bedienung und detailreiche Ausgabe.

Bauteile genau verifizieren

Nachdem wir in den letzten Jahren den Komponententester KT100 und das sehr erfolgreiche ESR-Messgerät ESR 1 vorgestellt haben, gibt es nun die beiden nützlichen Messgeräte kombiniert in einem mobilen Gerät. Beide Messgeräte sind bei der Fehlersuche sehr nützlich, man kann sagen – unentbehrlich.

Technische Daten

Geräte-Kurzbezeichnung:	KT200
Versorgungsspannung:	3x 1,2 V NiMH-Akku (HR03/Micro/AAA) oder 7,5-VDC-Netzteil
Stromaufnahme:	500 mA max./typ. 150 mA
Messspannung:	250 mV/60 kHz (ESR), 20 VSS/50 Hz (KT)
Messbereiche	
ESR:	0–20 Ω/Auflösung 0,1 Ω
KT:	±10 V (20 VSS) 50 Hz
Sonstiges:	Ladeschaltung, Auto-Power-off, Durchgangsprüfer
Schutzart:	IP20
Umgebungstemperatur:	5 bis 35 °C
Abmessungen (B x H x T):	58 x 143 x 23 mm
Gewicht:	175 g (inkl. Akkus)

Der Komponententester eignet sich zur Beurteilung unterschiedlicher Bauteile, während das ESR-Messgerät defekte Kondensatoren aufspürt, und dies auch im eingelöteten Zustand, also innerhalb einer Schaltung. In der Praxis hat es sich gezeigt, dass Kondensatoren (Elkos) als Fehlerquelle Nr. 1 einzustufen sind. In modernen elektrischen Consumer-Geräten kommen vorwiegend Schaltnetzteile zum Einsatz. 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. Dazu kommen aufgrund der gedrängten Bauweise oft auch konstruktive Mängel, etwa die Platzierung der Elkos nahe wärmeführenden Bauteilen.

Elkos sind im Gegensatz zu anderen Bauteilen verschleißbehaftet, denn das flüssige Elektrolyt dieser Kondensatoren trocknet mit der Zeit aus, wodurch sich die Kapazität verringert. Allein schon das Lagern von Elkos führt zu einer Alterung der Bauteile. Aus diesem Grund sollten diese Kondensatoren nach ca. 10 Jahren Lagerzeit nicht mehr verwendet werden

und länger gelagerte Kondensatoren sollten vor dem Einsatz einer Formierung unterzogen werden. Durch das Austrocknen bzw. das Verdampfen des Elektrolyts verringert sich nicht nur die Kapazität, sondern auch der serielle Verlustwiderstand (ESR) steigt an. Diese Eigenschaft nutzen wir in unserem Messgerät, um defekte Kondensatoren aufzuspüren. Der ESR kann auch innerhalb einer Schaltung gemessen werden, die Kapazität dagegen nicht.

Der hier vorgestellte KT200 kann für folgende Messungen verwendet werden:

- ESR-Messgerät (Messung des seriellen Verlustwiderstands bei Kondensatoren)
- Komponententester
- Widerstandsmessung 0 bis 20 Ω
- Durchgangsprüfer

Abgerundet wird das Ganze durch ein modernes farbiges OLED-Display und den Betrieb mit Akkus, die das KT200 zu einem nützlichen Begleiter im täglichen Einsatz machen.

ESR-Messung

Mit dem hier vorgestellten ESR-Messgerät kann der Innenwiderstand (ESR) eines Elkos gemessen werden, und das auch, 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 unter „Elektronikwissen“ ausgeführt, der ESR aussagekräftiger als die mit einem Kapazitätsmessgerät gemessene Kapazität.

Der ESR setzt sich aus den Widerständen zusammen, die durch die Anschlussdrähte, den Übergang zu den Elektroden und den Widerstand des Dielektrikums entstehen. Dieser ESR ist eine Wechselspannungsgröße, die nicht mit einem normalen Multimeter gemessen werden kann. Das in dieser Schaltung zur Anwendung kommende Messverfahren ist im Journalartikel des vielfach bewährten ESR1 [1] genau beschrieben.

In Bild 1 ist das Messprinzip dargestellt. Zur Messung wird eine relativ hohe Messfrequenz (ca. 60 kHz) benötigt, um die Auswirkung des Xc (Blindwiderstand des Kondensators) bei der Messung zu minimieren. Dies veranschaulicht das Zeigerdiagramm in Bild 2.

Wenn der Blindwiderstand, bedingt durch die relativ hohe Messfrequenz, sehr klein ist, ist der Scheinwiderstand (Z) nahezu gleich dem ESR. Diese Erkenntnis ist entscheidend für unsere Messung, denn es kann somit ein relativ einfaches Messprinzip zum Einsatz kommen, wie in Bild 1 veranschaulicht.

Da die Spannung und der Vorwiderstand bekannt sind, ergibt sich aus der gemessenen Wechselspannung über den Kondensator der Spannungswert für den ESR, da der Blindwiderstand (Xc) des Kondensators vernachlässigbar klein ist. Die Erzeugung der Wechselspannung geschieht mit Hilfe einer Wien-Brücke (siehe Schaltungsbeschreibung), die gleichzeitig auch das 50-Hz-Messsignal für den Komponententester (KT) bereitstellt. Die Spannungsmessung erfolgt mit Hilfe eines Mikrocontrollers und dessen integrierten A/D-Wandlers.

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, wäre ein anderes Messverfahren mit einem konstanten Strom vorzuziehen, wie es bei den meisten Ohmmetern der Fall ist. Da die Abweichungen im Bereich von 0 bis 20 Ω nicht allzu groß sind, reicht dies für eine Bestimmung des gemessenen ESR-Wertes vollkommen aus. Zudem ist die Interpretation des gemessenen ESR-Wertes reine Erfahrungssache, da man vorwiegend Vergleiche mit neuen Elkos vornehmen sollte.

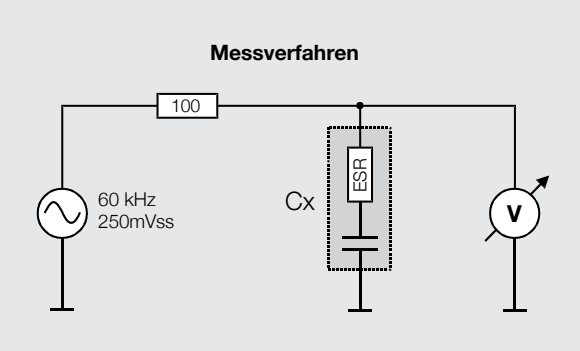


Bild 1: Das gewählte Messverfahren unserer ESR-Messschaltung

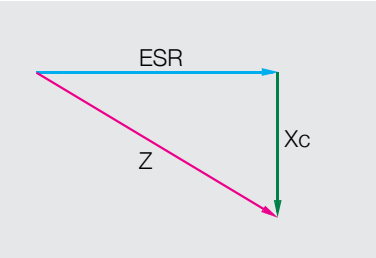


Bild 2: Das Zeigerdiagramm veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Blindwiderstand und Scheinwiderstand.

Komponententester (KT)

Ein Komponententester bezeichnet die bildliche Darstellung der U-I-Kennlinie eines Bauteils. Seit den 1970er-Jahren wird dieses Verfahren zur Beurteilung von Bauteilen in Oszilloskopen der Firma Hameg integriert. Der Schaltungsaufwand in einem Oszilloskop ist vom Bauteileaufwand her sehr gering, da alle wesentlichen Baugruppen bereits vorhanden sind. Hierbei wird über den X-Eingang die Spannung und über den Y-Eingang der Strom gemessen. Durch die Phasenverschiebung von 180° können diese Signale direkt zur Darstellung auf dem Oszilloskop verwendet werden. In Bild 3 ist die Funktion eines Komponententesters an einem Oszilloskop dargestellt. Eigentlich als kleine Zusatzfunktion gedacht, etablierte

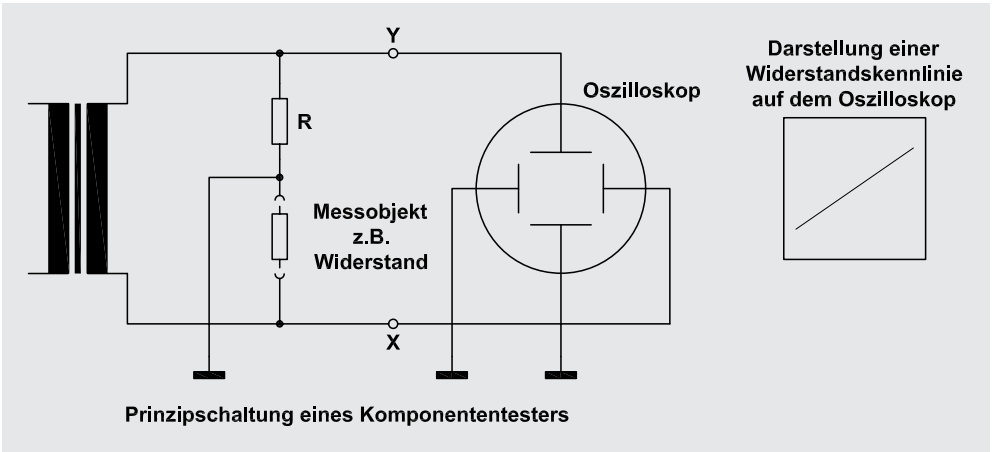


Bild 3: Messverfahren bei Oszilloskopen mit Komponententester (Hameg)

sich der Komponententester als unentbehrliches Messwerkzeug bei der Fehlersuche. Dies hat zur Folge, dass selbst die neueste Generation von digitalen Oszilloskopen der Firma Hameg immer noch mit einem Komponententester ausgestattet ist.

Als Stand-alone-Gerät wird die Sache etwas komplizierter und bedeutet mehr Schaltungsaufwand. In unserer Schaltung wird das in Bild 4 dargestellte Verfahren verwendet. Ein von einem Sinusgenerator erzeugtes 50-Hz-Wechselspannungssignal wird über einen Widerstand auf das Prüfobjekt gegeben. Zur Darstellung und Auswertung müssen die Spannungen vor und nach dem Vorwiderstand abgegriffen werden. Diese werden anschließend mit einem A/D-Wandler digitalisiert, ausgewertet und auf einem Display zur Anzeige gebracht.

Anhand der U-I-Kennlinie können vielfältige Aussagen über das zu prüfende Bauteil getroffen werden. In Bild 5 sind die Kennlinien unterschiedlicher Bauteile dargestellt. Einfach zu erkennen ist natürlich die Kennlinie einer Diode. Kondensatoren werden als Kreis dargestellt. Dies ist allerdings nur in einem bestimmten Bereich möglich, und es sind nur Elkos mit einer Kapazität von ca. 1 µF bis 100 µF geeignet. Die Anzeige hat einen Umfang von ±10 V, so dass auch die Durchbruchspannung von Z-Dioden bis 9,1 V dargestellt werden kann. Bei mehreren parallel liegenden Bauteilen ist die Beurteilung jedoch reine Erfahrungssache.

Schaltung

Die Schaltung des KT200 ist in drei Schaltbilder unterteilt. In Bild 6 ist der Analogteil des KT200 dargestellt. Der Operationsverstärker IC6B bildet einen Sinusoszillator, der als Wien-Brücke geschaltet ist. Die Frequenz wird mit zwei unterschiedlichen Netzwerken, bestehend aus R42/C53–R40/C51 und R43/C54–R41/C52, bestimmt. Mit dem Relais REL1-B kann jeweils eines der beiden Netzwerke aktiviert und somit die Frequenz umgeschaltet werden. Für den Komponententester wird eine Frequenz von 50 Hz und für das ESR-Messgerät eine Frequenz von ca. 60 kHz benötigt. Mit dem Trimmer R36 stellt man die Verstärkung und somit den Ausgangspegel ein (20 Vss). Zur Spannungsversorgung wird eine positive Spannung von 13,5 V und eine negative Spannung von -13 V benötigt, die im Netz-/Ladeteil (Bild 7) generiert werden.

Im Fall des Komponententesters gelangt die Sinusspannung mit einer Amplitude von 20 Vss über den Widerstand R47 und das Relais REL1-A auf die Buchse BU2.

Die beiden Messverstärker IC7A und IC7B greifen die Spannung vor und hinter dem Widerstand R47 ab. Das Messverfahren, wie zuvor erwähnt, ist in Bild 4 dargestellt. Die Ausgänge „Mess1“ und „Mess2“ führen zum A/D-Wandler des Mikrocontrollers, die Signale werden dort digitalisiert und ausgewertet. Mit der Spannungsreferenz D14 und dem Spannungsteiler R74/R75 wird eine Spannung von 0,6 V generiert, die als Offset für die beiden Messverstärker dient. Somit steht durch die Invertierung von IC7A und IC7B an Mess1 und Mess2 eine Wechselspannung mit einem DC-Offset von 1,2 V an. Negative Spannungen kann der A/D-Wandler des Mikrocontrollers nicht verarbeiten, weshalb alle Messspannungen positiv sein müssen.

Mit dem Relais REL1-A wird ebenfalls zwischen ESR und Komponententester umgeschaltet. Der Signalweg für die ESR-Messung sieht wie

Elektronikwissen

Der ESR

Mit dem ESR (Equivalent Series Resistance) wird der Serienersatzwiderstand eines Kondensators bezeichnet. Dieser Widerstand stellt die Summe aller seriellen Verluste eines Kondensators dar. Jeder Kondensator ist durch seinen mechanischen Aufbau verlustbehaftet. Diese nicht erwünschten parasitären Einflüsse sind in der Grafik dargestellt.

Für unsere Betrachtung ist der serielle Verlustwiderstand ESR interessant.

Der ESR spielt vor allem bei Elektrolyt-Kondensatoren (Elkos) eine wichtige Rolle. Wenn man sich die Datenblätter von Elkos genauer anschaut, ist dort immer auch der ESR-Wert angegeben. Bei hohen Frequenzen wirkt der ESR zusammen mit der Kapazität wie ein Tiefpass und setzt so die Wirkung der realen Kapazität deutlich herab. Das große Problem ist, dass sich dieser ESR im Lauf der Betriebszeit eines Kondensators verändern kann. Vor allem Kondensatoren mit einem flüssigen Elektrolyt sind hiervon stark betroffen, denn das Elektrolyt kann ausgasen und verdampfen. Keramik-Kondensatoren und Elkos mit einem festen Elektrolyt unterliegen nicht diesem Alterungsprozess. Wesentliche Faktoren für den Alterungsprozess sind Betriebstemperatur und Betriebsfrequenz.

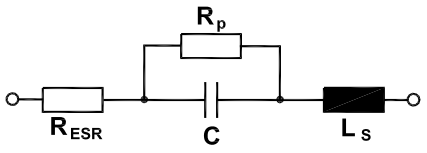
Aber auch schon die Lagerung bewirkt einen stetigen Kapazitätsverlust, so dass nach ca. 10 Jahren Lagerzeit ein Elko nicht mehr verwendet werden sollte.

Fehlerhafte Elkos mit einem hohen ESR können zum Ausfall von elektrischen Geräten führen. Dies zeigt sich vor allem in Schaltnetzteilen, denn hier sind die Kondensatoren extremem „Stress“ ausgesetzt. Bedingt durch hohe Schaltfrequenzen und daraus resultierendem Temperaturanstieg ist ein Ausfall im Prinzip vorprogrammiert. Dies ist keine Absicht des Herstellers von Kondensatoren, sondern ein normaler Vorgang. Hersteller geben in Datenblättern deshalb die Betriebszeit für Kondensatoren an. Die durchschnittliche Lebensdauer beträgt ca. 1000 bis 3000 Betriebsstunden.

Viele Hersteller bieten sogenannte Low-ESR-Elkos an, 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. Um also fehlerhafte Kondensatoren (Elkos) aufspüren zu können, ist der ESR ein wichtiges Entscheidungsmerkmal.

Ersatzschaltbild des Kondensators



R_{ESR} = Serienverlustwiderstand
R_p = Isolationswiderstand (hervorgerufen durch den Leckstrom des Dielektrikums)
L_S = Serieninduktivität der Anschlussdrähte und der Elektroden

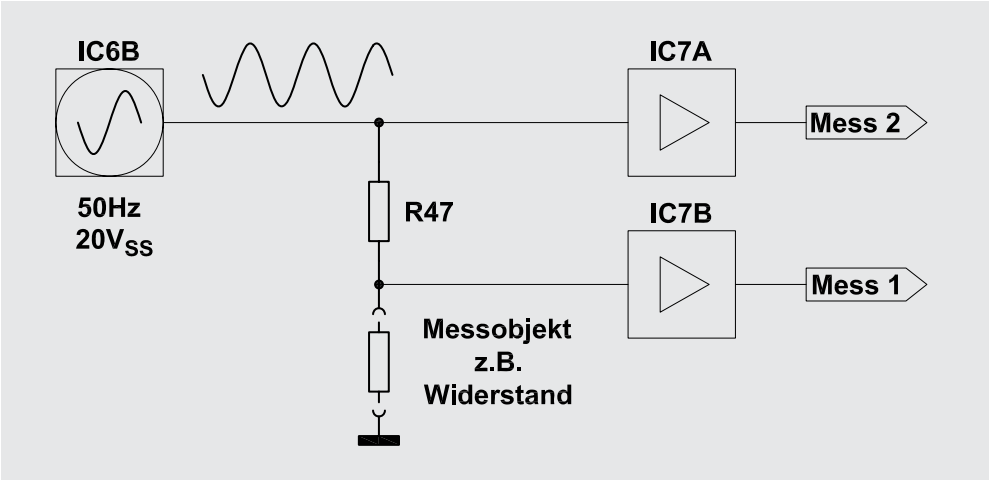


Bild 4: Das Messverfahren beim KT200

folgt aus: Die Ausgangswechselspannung, hier mit 60 kHz, vom Oszillatorausgang (Pin7/IC6B) gelangt zunächst auf den Operationsverstärker IC6A, der als Pufferverstärker und zur Entkopplung dient. Mit dem Spannungsteiler R44/R45 wird die 60-kHz-Wechselspannung auf einen Pegel von ca. 250 mVss abgeschwächt. Dies ist notwendig, da wir für die Messung des ESR einen möglichst kleinen Pegel verwenden

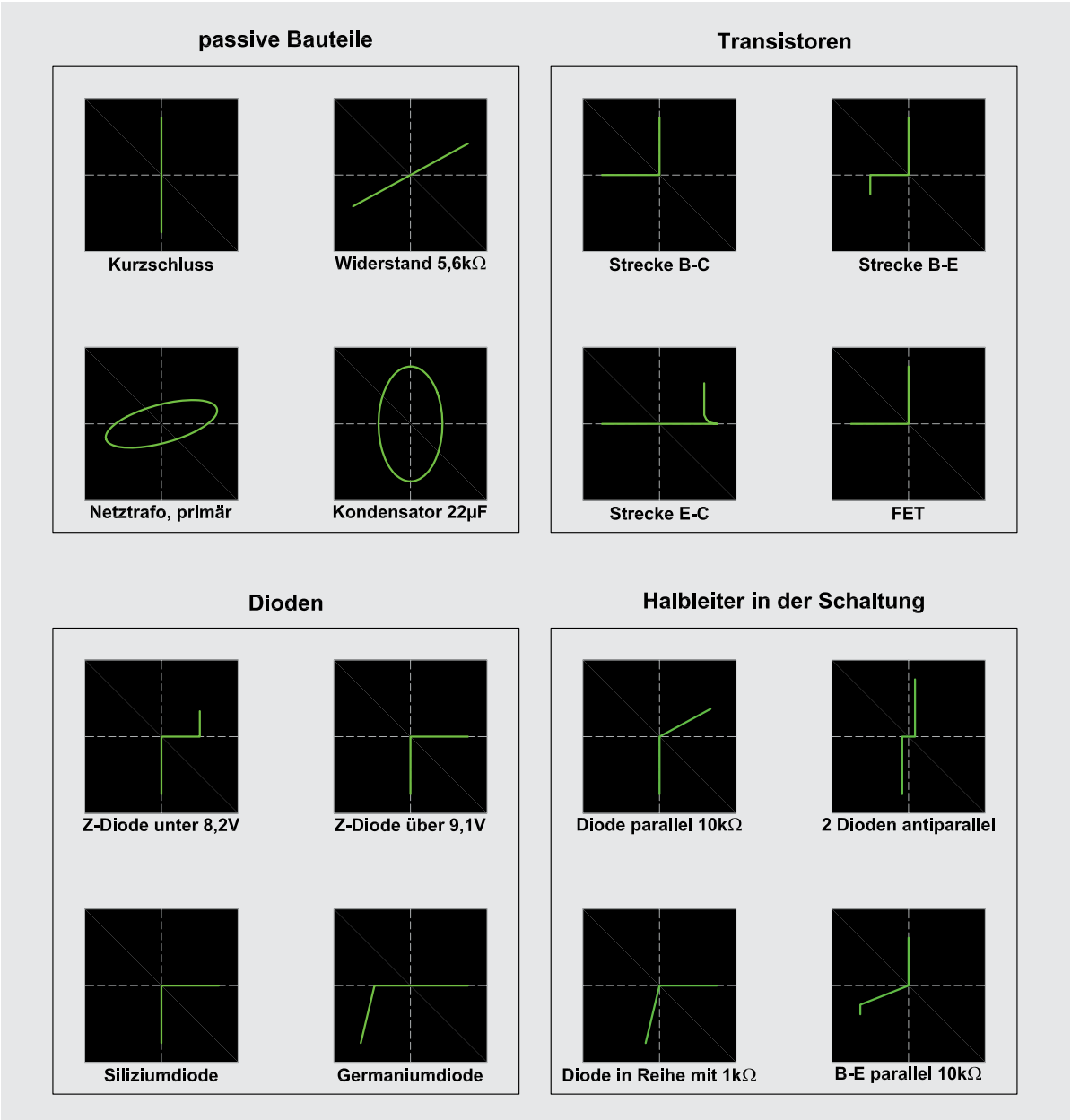


Bild 5: Kennlinien unterschiedlicher Bauteile

wollen, damit auch Messungen direkt in der Schaltung möglich werden. Wäre die Spannung größer, würden eventuell parallel geschaltete Dioden leitend, die das Messergebnis verfälschen. Das so abgeschwächte Signal mit einer Frequenz von 60 kHz führt zum einen über R46 und das Relais REL1-A auf die Messbuchse BU2 und zum anderen auf den vierstufigen Messverstärker (IC8). Der mit vier Operationsverstärkern aufgebaute Verstärker (IC8A-D) hat eine Gesamtverstärkung von 137. Die letzte Stufe (IC8D) bildet einen Spitzenwertgleichrichter, der am Ausgang „Mess3“ eine Gleichspannung bereitstellt, die proportional zur gemessenen Wechselspannung über dem Messobjekt (Kondensator) ist. Diese Spannung wird vom Mikrocontroller ausgewertet und der ESR berechnet.

Zwischen den Messeingängen BU2 und BU3 (Masse) befinden sich ein Widerstand (R73) und eine Schutzdiode (D20), die die Spannungsspitzen unterdrücken und einen eventuell aufgeladenen Elko vor der eigentlichen Messung entladen. Hierbei ist zu beachten, dass der Widerstand R73 nur eine begrenzte Entladung vornehmen kann.

Schauen wir uns nun die Spannungsversorgung und den Digitalteil an, welche in Bild 7 dargestellt sind. Im oberen Teil ist die Ladeschaltung zu sehen. Das über BU1 angeschlossene Netzteil (7,5 V) erfüllt zwei Aufgaben. Zum einen werden hiermit die drei Akkus geladen und zum anderen kann eine Spannungsversorgung erfolgen (Netzteilbetrieb).

Der Widerstand R1 ist ein „Polyswitch“, der die Aufgabe einer reversiblen Sicherung erfüllt. Über die Diode D5 erfolgt die Spannungsversorgung der Schaltung. Der Transistor T3 dient als Schalter und wird über den Transistor T4 gesteuert. Das Einschalten geschieht zunächst durch Betätigen (Drücken) des Inkrementalgebers DR1. Durch den internen Taster von DR1 wird über die Diode D6 das Gate von T3 auf Masse gelegt, wodurch T3 leitend wird. Nun wird über den Spannungsregler IC4 eine Spannung von 2,5 V erzeugt, die zur Spannungsversorgung des Mikrocontrollers IC1 dient. Nachdem IC1 seine interne Firmware startet, wird der Portausgang PB12 von IC1 auf High-Pegel gelegt und über R17 der Transistor T4 angesteuert. T4 übernimmt nun die Selbsthaltung, das heißt, auch wenn der Taster „losgelassen“ wird, bleibt T3 leitend und die Schaltung befindet sich im eingeschalteten Zustand. Der Mikrocontroller kann jederzeit die Selbsthaltung lösen und die Spannungsversorgung somit von der Schaltung trennen. Das Ausschalten erfolgt entweder durch eine einstellbare Ausschaltzeit oder durch wiederholtes Betätigen von DR1 (Ausschalten).

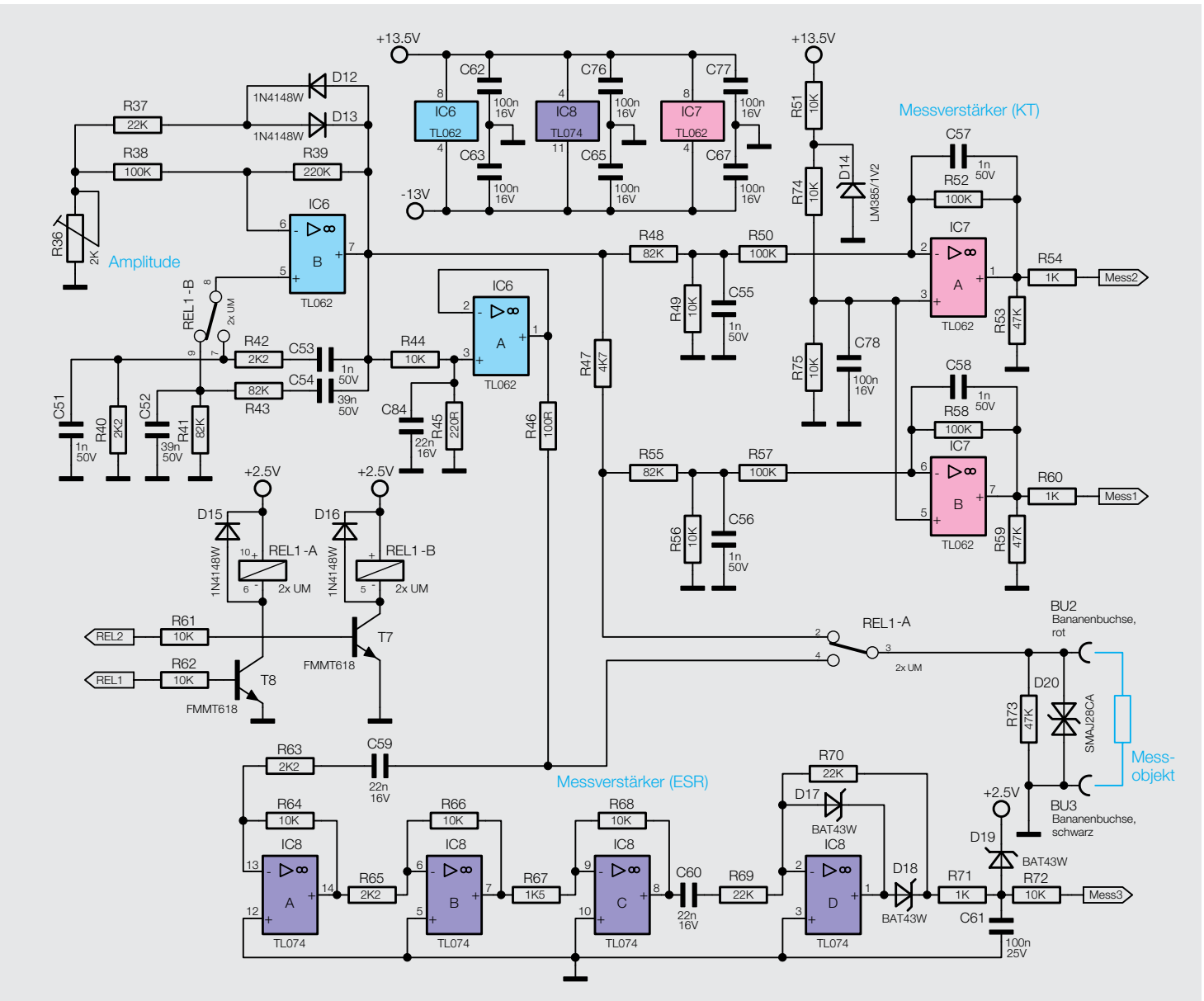


Bild 6: Schaltbild des Analogteils des KT200

Für die Spannungsversorgung der Operationsverstärker wird eine positive und eine negative Spannung benötigt, die höher als die Betriebsspannung sind. Hier kommt ein Step-up-Wandler zum Einsatz. Der integrierte Schaltkreis IC5 ist solch ein Step-up-Wandler, auch Hochsetzsteller genannt. Mittels einer intern erzeugten Rechteckfrequenz (ca. 1,2 MHz), der Speicherspule L2 und der Diode D8 wird eine stabile Spannung von 13,5 V generiert. Vor der Diode D8 steht eine Rechteckspannung mit einer Amplitude von ca. 14 V an. Dieses Signal wird zur Erzeugung der negativen Spannung genutzt. Hierzu wird die Spannung mit C12 und Diode D9 auf 0,3 V „geklemmt“. Durch die Gleichrichtung mit D10 wird eine Spannung von -13 V gewonnen.

Schauen wir uns nun die Spannungsversorgung über die internen Akkus (BAT1 bis BAT3) an. Hier dient ebenfalls ein Polyswitch (R8) zur Absicherung. Wenn das Steckernetzteil nicht angeschlossen ist, wird der Schalttransistor T2 leitend und die Spannung der Akkus gelangt auf den Transistor T3. Den

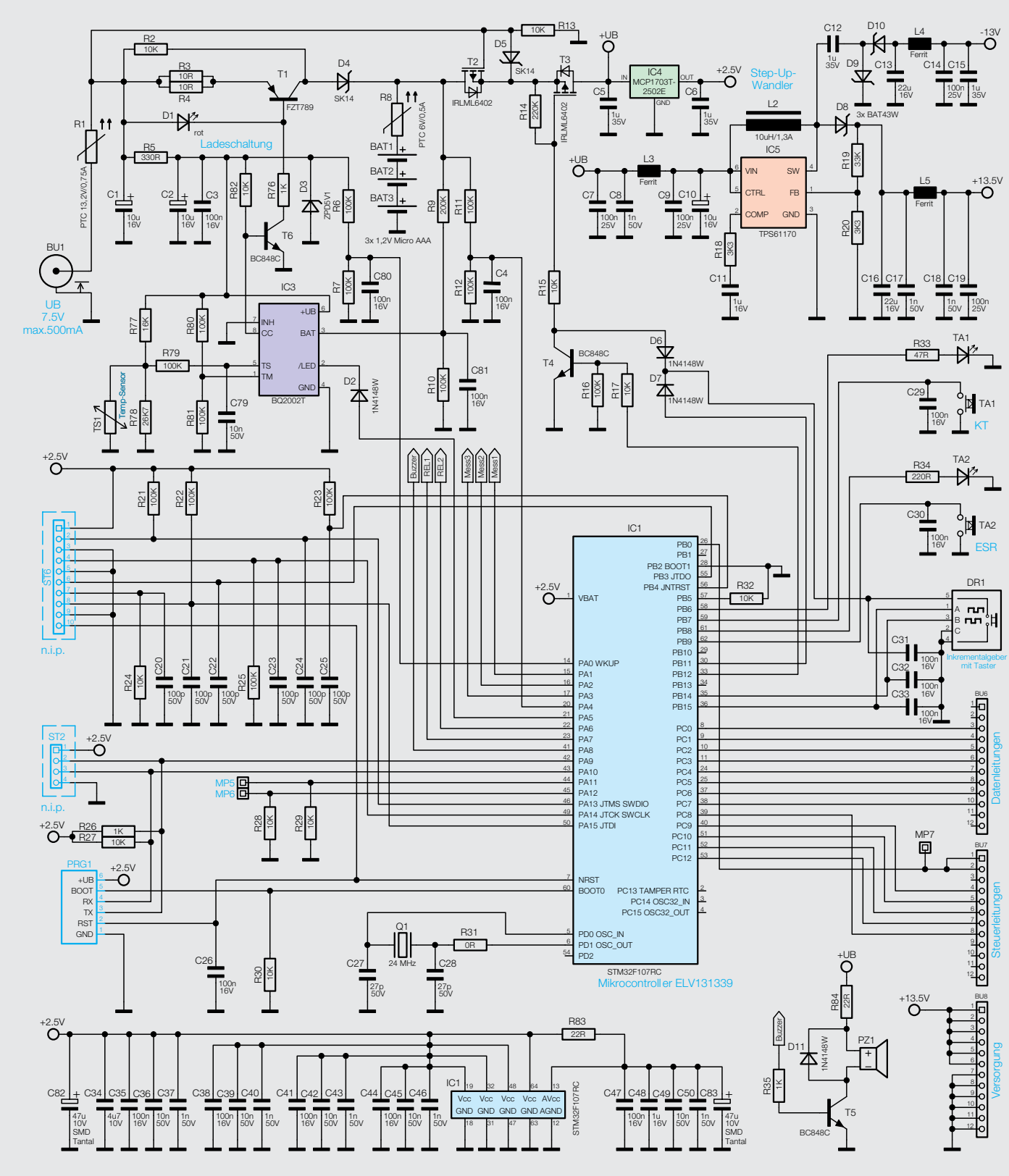


Bild 7: Schaltbild von Stromversorgung, Ladeteil und Prozessorschaltung des KT200

weiteren Signalweg der Spannung haben wir ja schon beschrieben.

Das Laden der Akkus erfolgt parallel zum Netzbetrieb mit dem externen Steckernetzteil. Der Transistor T1 bildet eine Stromquelle, die einen konstanten Ladestrom von ca. 200 mA erzeugt. Der Ladestrom fließt über die Diode D4 zu den Akkus. Der Transistor T2 ist bei angeschlossenem Netzteil nicht leitend. Die Stabilisierung des Ladestroms geschieht mit der Leuchtdiode D1, die gleichzeitig zur optischen Ladekontrolle dient. Im Fall, dass über den Widerstand R76 ein Strom fließt, fällt über D1 eine Spannung von ca. 2 V ab. Bekanntermaßen weisen LEDs eine ähnliche Kennlinie wie Z-Dioden auf, so dass der Spannungsabfall über einer LED, unabhängig vom Strom, relativ stabil bleibt. Über den fließenden Basisstrom von T1 wird dieser Transistor leitend, und es kann ein Strom über D4 in die Akkus fließen. Die Spannung über den parallel liegenden Widerständen R3 und R4 ergibt sich aus der LED-Spannung plus der Basis-Emitter-Spannung von T1. Das Interessante hierbei ist, dass der Strom durch diese beiden Widerstände konstant bleibt, da die LED-Spannung für eine Stabilisierung sorgt. Diese Schaltungstechnik wird als Konstantstromquelle bezeichnet.

Die Steuerung des Ladevorgangs übernimmt der spezielle Laderegler IC3 vom Typ BQ2002T. Über den Anschluss CC (Pin 8) wird der Widerstand R76 gegen Masse geschaltet. Die Stromquelle kann also nur ein- und ausgeschaltet werden.

IC1 hat zwei Überwachungsfunktionen. Zum einen wird während des Ladens die Akkuspannung gemessen und bei Erreichen einer bestimmten Akkuspannung der Ladevorgang abgebrochen und zum anderen die Temperatur der Akkus überwacht. Der Temperaturfühler TS1 befindet sich in der Nähe der Akkus, besser gesagt direkt darunter. Steigt die Temperatur an, wird ebenfalls der Ladevorgang abgebrochen. Der Schaltausgang /LED ist normalerweise für eine LED vorgesehen, die zur Ladekontrolle dient. In unserem Fall wird über die Diode D2 dem Mikrocontroller der momentane Ladezustand mitgeteilt. Nachdem der Ladevorgang abgebrochen wurde, wird der sogenannte „Tricklemode“ aktiviert, der kurzzeitig die Stromquelle aktiviert. Hierdurch wird der Ladezustand aufrechterhalten und eine Selbstentladung vermieden. Nähere Informationen finden sich auch im Datenblatt des BQ2002 [2].

Über dem Spannungsteiler R11/R12 wird die Akkuspannung dem Mikrocontroller zugeführt, der die Akkuspannung überwacht und den Ladestatus im Display anzeigt.

Im unteren Teil des Schaltbildes (Bild 7) ist der Mikrocontroller dar-

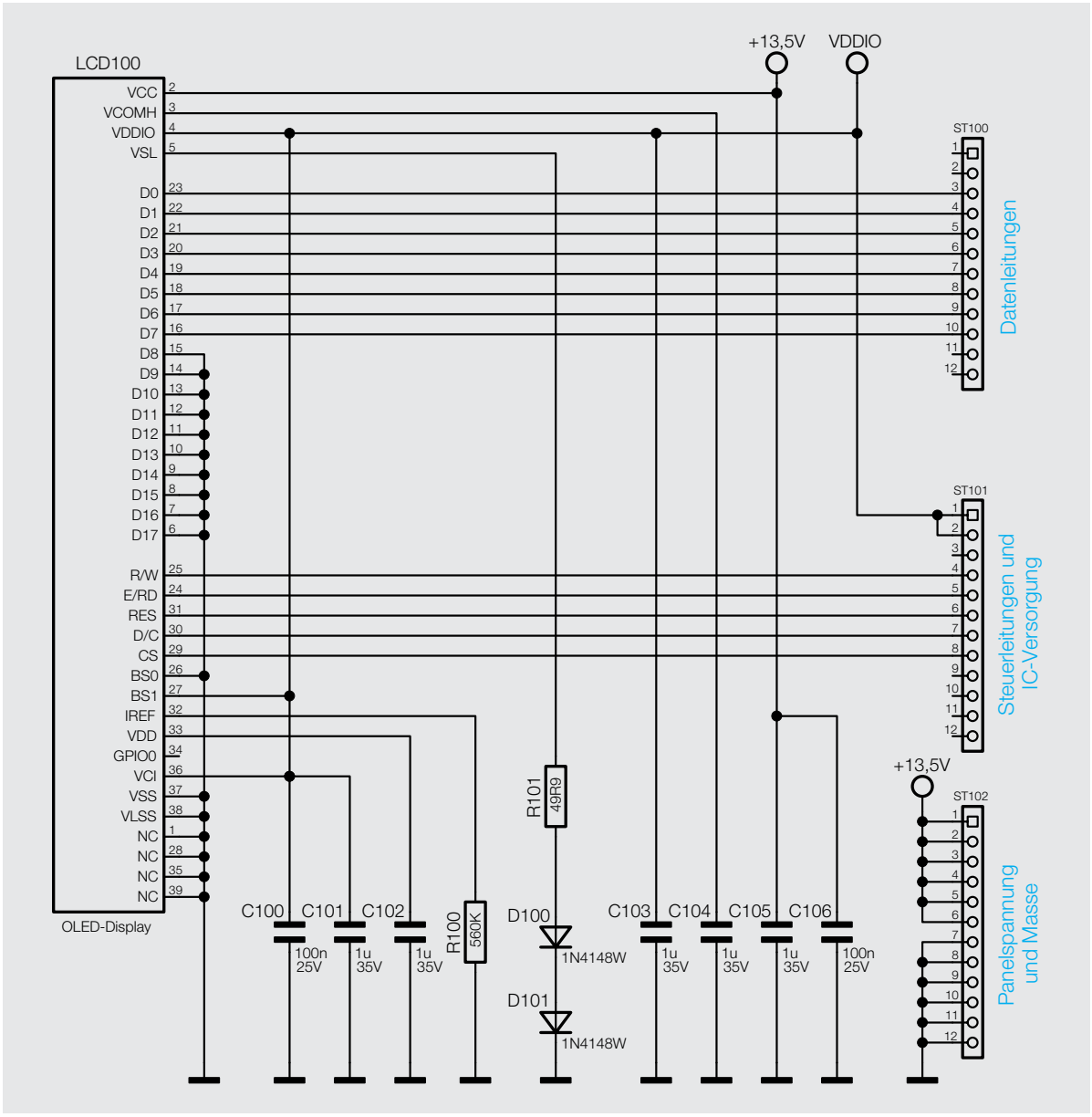


Bild 8: Das Schaltbild des Anzeigeteils

gestellt. Es handelt sich hierbei um einen STM32F107RC mit ARM®32-Bit-Cortex®-Architektur und einem internen Speicher von 256 KB. Für die Ansteuerung des OLED-Displays ist eine etwas höhere Rechenleistung und Geschwindigkeit von Vorteil. Die Taktfrequenz liegt bei 24 MHz und wird durch den externen Quarz Q1 bestimmt.

Das Display (OLED) ist im dritten Schaltbild (Bild 8) dargestellt. Die Verbindung wird über die Steckkontakte BU6 bis BU8 hergestellt. Zum wichtigsten Bedienelement gehört der Drehwinkelgeber DR1, mit dem das Gerät ein- bzw. ausgeschaltet wird. Über die Drehfunktion werden Einstellungen im Menü vorgenommen. Für die Umschaltung zwischen der ESR- und KT-Funktion sind die beiden Taster TA1 und TA2 zuständig. Die Taster sind jeweils mit einer LED ausgestattet.

Für die akustische Signalisierung ist ein Piezo-Signalgeber (PZ1) zuständig, der über den Transistor T5 angesteuert wird. Die auf der linken Seite im Schaltbild dargestellten Stiftleisten bzw. Buchsen (ST2, ST6 und PRG1) sind nur für die werkseitige Programmierung der Firmware zuständig.

Nachbau

Dank der vorbestückten SMD-Bauteile gestaltet sich der Nachbau relativ einfach. Die Displayplatine mit dem OLED ist fertig aufgebaut. Auf der Basisplatine sind lediglich die bedrahteten Bauteile zu bestücken. Eine gute Orientierung geben die Platinenfotos sowie die Bestückungspläne in Bild 9a–c. Nach der genauen Kontrolle der bereits vorgenommenen Bestückung kann das Bestücken der restlichen Bauteile beginnen.

Die Bauteile werden von oben in die dafür vorgesehenen Bohrungen eingesetzt und ihre Anschlüsse anschließend auf der Platinenunterseite verlötet. Hierbei ist es ganz wichtig, die überstehenden Drahtenden auf eine Länge von max. 1 mm abzuschneiden, da der Zwischenraum zwischen Platine und dem Gehäuse nur 1,5 mm beträgt.

Besondere Sorgfalt gilt der Bestückung der beiden Taster TA1 und TA2. Diese sind mit einer LED ausgestattet, die polrichtig eingesetzt werden muss. Der Anschlussdraht der Katode ist farblich markiert. Auf der Platine ist das Diodensymbol aufgedruckt. Die Taster und der Drehgeber müssen unbedingt plan auf der Platine aufliegen, da ansonsten die aufgesetzten Tasterkappen und das Drehrad nicht durch die Bohrungen im Gehäusedeckel passen. Bei den Batteriehalterungen ist ebenfalls auf das polrichtige Einsetzen zu achten (+ und - müssen sich mit dem Platinenaufdruck decken). Die mittlere Batteriehalterung hat eine Aussparung, unter der sich der Temperaturfühler befindet. Dieser Sensor muss entsprechend der Zeichnung in Bild 10 vorbereitet und anschließend

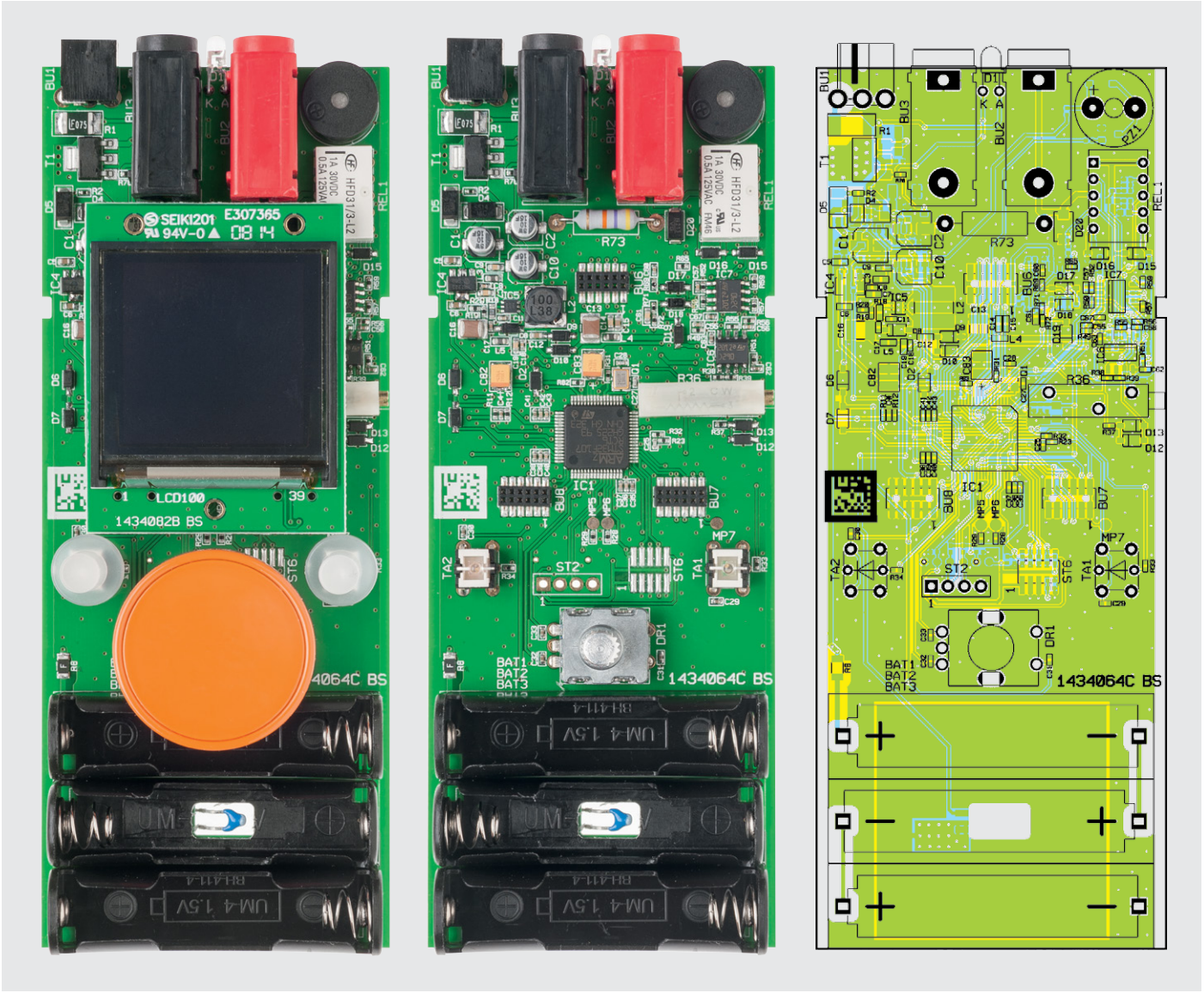


Bild 9a: Platinenfoto und Bestückungsplan der Basisplatine von der Bestückungsseite (links mit und rechts ohne Displayplatine und Bedienelemente)

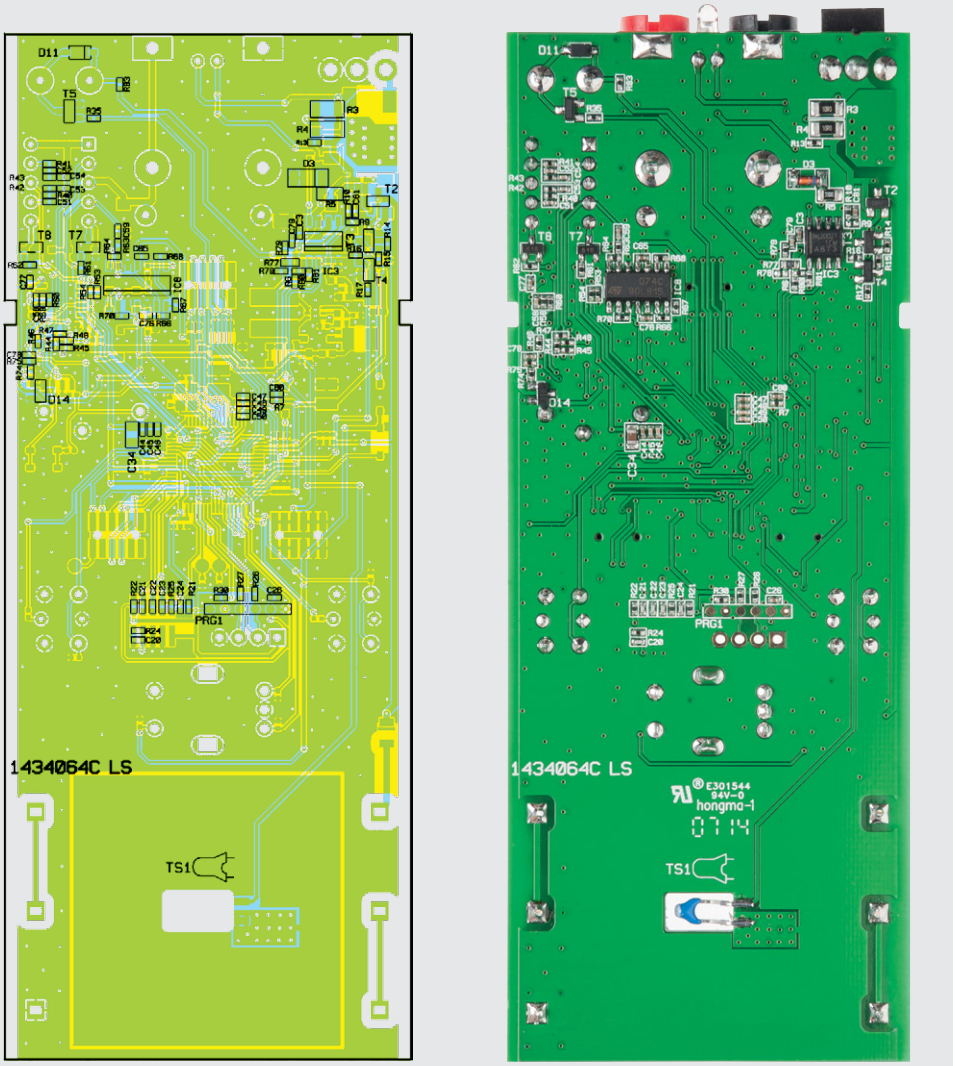


Bild 9b: Platinenfoto und Bestückungsplan der Basisplatine von der Lötseite

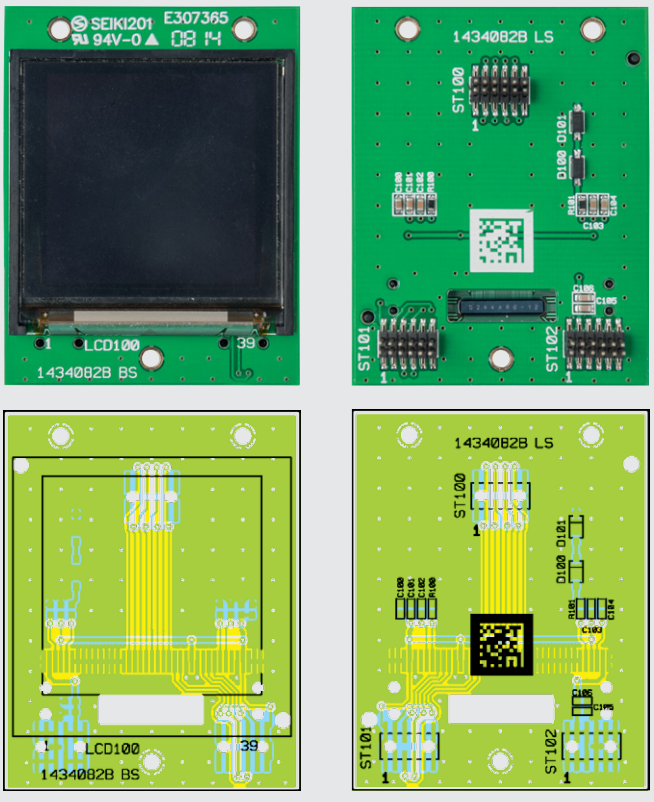


Bild 9c: Platinenfoto und Bestückungsplan der Displayplatine

von der Platinenunterseite her angelötet werden. Auf eine Polung braucht bei diesem Sensor nicht geachtet zu werden.

Die Anschlussdrähte für die bedrahtete LED D1 sind, wie in Bild 11 dargestellt, abzuwinkeln. Hierbei muss unbedingt auf die richtige Polung geachtet werden. Der etwas längere Anschlussdraht stellt die Anode (A) der LED dar. Auf der Platine ist die Anode durch den Aufdruck „A“ gekennzeichnet.

Als Nächstes werden die restlichen Bauteile anhand des Platinenfotos und des Bestückungsplans bestückt und verlötet. Bei dem Relais (REL1) ist unbedingt auf die richtige Einbaulage, die durch einen Strich gekennzeichnet ist, zu achten.

Nachdem die Basisplatine fertig aufgebaut ist, kann die Displayplatine aufgesteckt werden (Bild 12). Hier ist besondere Sorgfalt angebracht, da die Stiftleisten sehr empfindlich sind und leicht verbiegen können. Man muss darauf achten, dass die Stiftleisten nicht versetzt aufgesteckt werden, dies könnte bei der Inbetriebnahme zur Fehlfunktion bzw. zur Zerstörung von Bauteilen führen.

Nach dem Aufsetzen der beiden Tasterkappen und des Drehknopfes für den Inkrementalgeber (Bild 13) ist der Aufbau beendet und die Platine kann in das Gehäuse eingebaut werden. Zuvor kann ein Funktionstest – wie im Abschnitt „Inbetriebnahme“ beschrieben – durchgeführt werden.

Der Einbau der Platine in das Gehäuse ist recht einfach zu bewerkstelligen. Die Platine wird einfach

Stückliste Display-Einheit

Widerstände:	
49,9 Ω/1 %/SMD/0603	R101
560 kΩ/SMD/0603	R100
Kondensatoren:	
100 nF/SMD/0603	C100, C106
1 µF/SMD/0603	C101–C105
Halbleiter:	
1N4148W/SMD	D100, D101
Sonstiges:	
OLED-Display-Modul	LCD100
Stiftleisten, 2x 6-polig, 8,8 mm, gerade, SMD	ST100–ST102
Displayrahmen, schwarz	LCD100
6 cm Klebeband, doppelseitig, 12 x 0,1 mm, transparent	

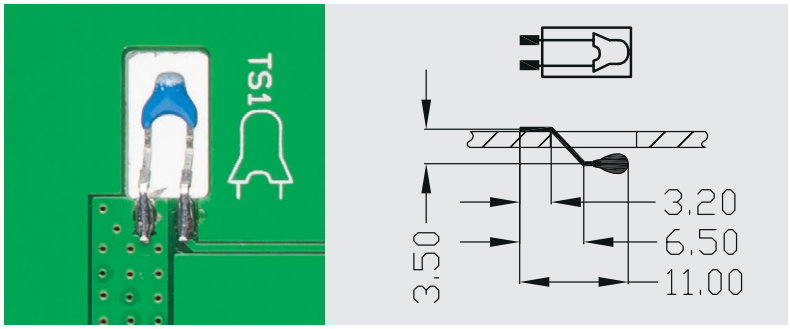


Bild 10: Die Montage des Temperatursensors (NTC)

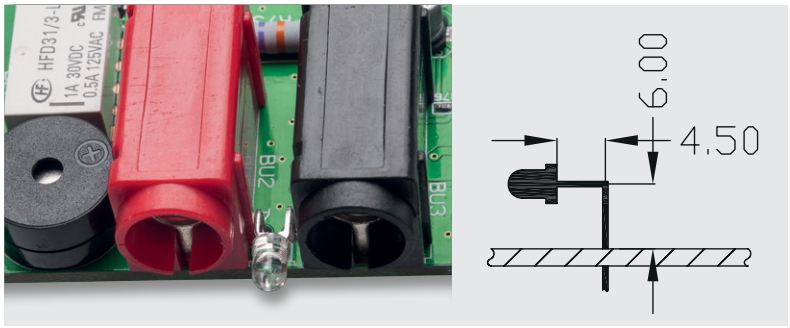


Bild 11: Montage der LED, rechts die Maßzeichnung

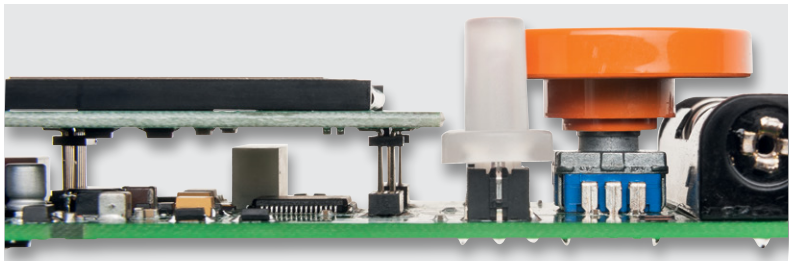


Bild 12: Seitenansicht der fertig aufgebauten Platine mit aufgesetzter Displayplatine

in das Gehäuseoberteil eingelegt und anschließend das Gehäuseunterteil „aufgeschoben". Hierbei ist zu beachten, dass die Einstellschraube von Trimmer R36 durch die Bohrung im Gehäuse ragt. So ist R36 auch von außen zugänglich. Vor der Inbetriebnahme ist das Einlegen der Akkus nicht zu vergessen.

Inbetriebnahme und Abgleich

Damit das Gerät korrekt arbeitet, ist ein hard- und softwaremäßiger Abgleich notwendig. Der Abgleich erfolgt nach der ersten Inbetriebnahme. Hierzu sind die entsprechenden Akkus einzulegen bzw. das Netzteil anzuschließen. Es ist darauf zu achten, dass nur NiMH-Akkus (AAA) verwendet werden dürfen.

Das Einschalten geschieht durch einfaches Betätigen des Drehgebers DR1. Auf dem Display erscheint zunächst die Versionsangabe der Firmware.

Im Komponententester-Modus (KT) wird zunächst mit dem Trimmer R36 die Ausgangsamplitude der 50-Hz-Signalspannung auf 20 V_{SS} (Spitze-Spitze) eingestellt. Hierfür stehen zwei Abgleichverfahren zur Verfügung.

Ganz genau geschieht dies mit Hilfe eines Oszilloskopes, das an die Messbuchsen angeschlossen wird. Es geht aber auch ohne Oszilloskop, indem der Pegel so weit erhöht wird, bis der grüne Strich (aktive Darstellungslinie) auf dem Display (Messbuchsen sind offen) die Markierungen auf der horizontalen Linie erreicht. Ist dieser Punkt erreicht, darf der Pegel nicht weiter erhöht werden, da eine Übersteuerung des Signals auf dem Display sonst nicht mehr erkennbar ist.

Ist der hardwaremäßige Abgleich abgeschlossen, erfolgt als Nächstes der softwaremäßige Abgleich. Durch Betätigen des Drehknopfes wird das Menü aufgerufen. Hier wählt man den Punkt „Einstellungen" und dann das Untermenü „Kalibrierung".

In mehreren Schritten wird nun der Abgleich durchgeführt, wobei der jeweilige nächste Abgleichschritt durch Betätigen des Drehgebers erfolgt. Im ersten Schritt werden die Einstellungen für den Komponententester durchgeführt. Hierzu folgt man den Anweisungen auf dem Display.

Beim Abgleich des ESR muss der beiliegende Messwiderstand (10 Ω) verwendet werden. Die ohmschen Widerstände der Messkabel werden in diesen Abgleich mit einbezogen, weshalb der Abgleichwiderstand an den Spitzen der Messkabel kontaktiert wird. Null Ohm wird durch festes Kontaktieren der Messspitzen erreicht. Hat man alle Abgleichpunkte absolviert, springt die Anzeige wieder in den normalen Betriebsmodus zurück. Bei Bedarf kann dieser Abgleichvorgang wiederholt werden.

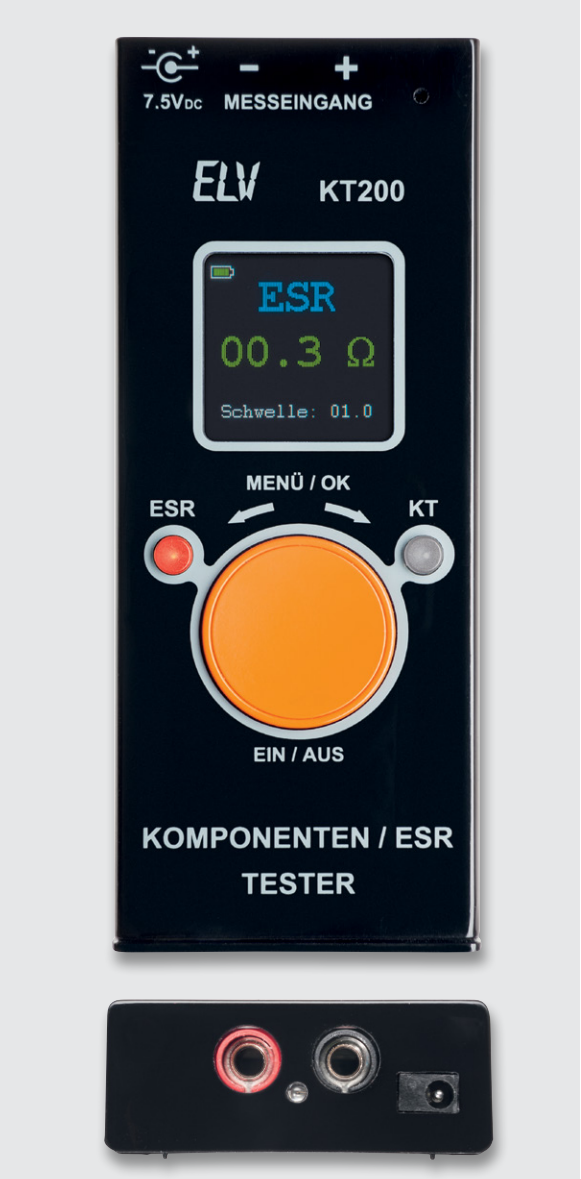


Bild 13: Frontansicht mit den aufgesetzten Bedienelementen, man sieht die in der Taste liegende LED für die ESR-Funktion leuchten. Darunter die Sicht auf die Mess- und Stromversorgungsbuchsen.

Noch ein Hinweis zum Betrieb mit Netzteil: Es sollte das als Zubehör aufgeführte Netzteil verwendet werden. Die Spannung muss 7,5 V betragen und darf auf keinen Fall höher sein, da sich die Ladeschaltung ansonsten zu stärk erwärmt. Hat man das Netzteil angeschlossen, findet eine Ladung der Akkus statt – dies wird durch Aufleuchten der roten LED D1 angezeigt. Gleichzeitig kann der parallele Betrieb des Gerätes erfolgen. Die Spannungsversorgung findet in diesem Fall nur durch das angeschlossene Netzteil statt. Der Ladevorgang wird automatisch beendet, wenn die Akkus geladen sind. Dies wird durch schwaches Aufleuchten der LED signalisiert. Das Netzteil braucht in diesem Fall nicht vom Gerät getrennt zu werden.

Bedienung und Menü

Das Einschalten geschieht durch einmaliges Betätigen von DR1. Nach dem Begrüßungsbildschirm mit Versionsangabe wird automatisch der Komponententester-Modus (KT) eingestellt. Mit den beiden Tasten kann zwischen KT und ESR gewechselt werden. Im Modus Komponententester besteht die Möglichkeit der Zoomfunktion. Durch Drehen von DR1 kann die horizontale Achse „gezoomt“ werden. Der Zoomfaktor wird oben rechts im Display angezeigt. Es steht ein Zoomfaktor bis max. 5 zur Verfügung.

Stückliste Basis-Einheit

Widerstände:

0 Ω/SMD/0402	R31
10 Ω/1 %/SMD/1206/0,5 W	R3, R4
22 Ω/SMD/0402	R82, R83
47 Ω/SMD/0402	R33
100 Ω/SMD/0402	R46
120 Ω/SMD/0402	R45
220 Ω/SMD/0402	R34
330 Ω/1 %/SMD/0805	R5
1 kΩ/SMD/0402	R26, R35, R54, R60, R71, R76
1,5 kΩ/SMD/0402	R67
2,2 kΩ/SMD/0402	R40, R42, R63, R65
3,3 kΩ/SMD/0402	R18
4,7 kΩ/SMD/0402	R47
10 kΩ/SMD/0402	R2, R13, R15, R17, R24, R27–R30, R32, R44, R49, R51, R56, R61, R62, R64, R66, R68, R72, R74, R75, R82
16 kΩ/1 %/SMD/0603	R77
22 kΩ/SMD/0402	R37, R69, R70
26,7 kΩ/SMD/0402	R78
33 kΩ/SMD/0402	R19
47 kΩ/SMD/0402	R53, R59
47 kΩ/1W/Metalloxid	R73
51 kΩ/1 %/SMD/0603	R18
82 kΩ/SMD/0402	R41, R43, R48, R55
100 kΩ/SMD/0402	R6, R7, R10–R12, R16, R21–R23, R25, R38, R50, R52, R57, R58, R79–R81
200 kΩ/SMD/0402	R9
220 kΩ/SMD/0402	R14, R39
Spindeltrimmer/2 kΩ	R36
Polyswitch/13,2 V/0,75 A/SMD/1812	R1
Polyswitch/6 V/0,5 A/SMD/1206	R8

Kondensatoren:

27 pF/50 V/SMD/0402	C27, C28
100 pF/50 V/SMD/0402	C20–C25
1 nF/50 V/SMD/0402	C8, C17, C18, C37, C40, C43, C46, C50, C55–C58
1 nF/SMD/0402	C51, C53
10 nF/50 V/SMD/0402	C36, C39, C42, C45, C49, C79
22 nF/16 V/SMD/0402	C59, C60, C84
39 nF/SMD/0402	C52, C54
100 nF/16 V/SMD/0402	C3, C4, C26, C29–C33, C35, C38, C41, C44, C47, C62, C63, C65, C67, C76–C78, C80, C81
100 nF/SMD/0603	C7, C9, C14, C19, C61
1 µF/16 V/SMD/0402	C11, C48
1 µF/SMD/0603	C5, C6, C12, C15
4,7 µF/SMD/0805	C34
10 µF/16 V	C1, C2, C10
22 µF/SMD/1210	C13, C16
47 µF/10 V	C82, C83

Halbleiter:

ELV131339/SMD	IC1
BQ2002T/SMD/TI	IC3
MCP1703T-2502E/MB	IC4
TPS61170QDRVRQ1/TI	IC5
TL062C/SMD/SGS	IC6, IC7
TL074/SMD	IC8
FZT789A/SMD	T1
IRLML6402/SMD	T2, T3
BC848C	T4, T5, T6
FMMT618/SMD	T7, T8
1N4148W/SMD	D2, D6, D7, D11–D13, D15, D16
BAT43W/SMD	D8-D10, D17–D19
SMAJ28CA/SMD	D20
SK14/SMD	D4, D5
ZPD5,1V/SMD	D3
LED/3 mm/rot/low current/klares Gehäuse	D1
LM385M3-1,2V/SMD	D14

Sonstiges:

Speicherdrossel, SMD, 10 µH/1,3 A	L2
Chip-Ferrite, 1000 Ω bei 100 MHz, 0603	L3–L5
Quarz, 24 MHz, SMD	Q1
Subminiatur-Relais/2x um/3 V	REL1
Inkrementalgeber mit Achse und Tastschalter, print, liegend	DR1
Sound-Transducer, 3 V, print, 6,5 mm Höhe	PZ1
DC-Buchse, print	BU1
Print-Bananenbuchse, 4 mm, rot	BU2
Print-Bananenbuchse, 4 mm, schwarz	BU3
Buchsenleisten, 2x 6-polig, SMD	BU6–BU8
Drucktaster mit LED grün, 1x ein, print	TA1
Drucktaster mit LED rot, 1x ein, print	TA2
Tastkappen, transparent	TA1, TA2
Batteriehalter für eine Microzelle	BAT1, BAT3
Batteriehalter für eine Microzelle, gefräst	BAT2
NTC/10 kΩ	TS1
1 Profil-Gehäuse, Typ 222 IR, bearbeitet und bedruckt	
1 Handdrehrad, glänzend orange mit Schutzlack lackiert	
1 Handdrehradkappe, glänzend orange mit Schutzlack lackiert	
1 Displayscheibe	
1 Prüfkabel-Set (rot und schwarz)	
1 Abgleichwiderstand, 10 Ω	

Im ESR–Modus gibt es noch eine Besonderheit. Hier kann, wie im Menüpunkt „Buzzer“ beschrieben, ein akustischer Signalgeber aktiviert werden, der einen „guten“ Wert als Piepton anzeigt. Die Schaltschwelle kann jederzeit mit Drehgeber DR1 verändert werden. Der eingestellte Wert wird im Display als „Schwelle“ angezeigt. ESR-Werte oberhalb der Schwelle werden rot und Werte unterhalb der Schwelle grün dargestellt. Die Funktion ist auch als Durchgangsprüfer nutzbar. Neben dem ESR können natürlich auch normale ohmsche Widerstände gemessen werden. Allerdings ist der Messbereich auf 20 Ω begrenzt. Zur Messung von Schutzwiderständen reicht dieser Bereich aber vollkommen aus.

Wie schon erwähnt, können im Menü zahlreiche Einstellungen vorgenommen werden, die hier im Folgenden erklärt werden.

Hinweis: Es gibt unterschiedliche Menüeinstellung für ESR und KT.

Ausschalten (ESR und KT)

Das Ausschalten des Gerätes erfolgt durch zweimaliges Drücken des Drehrades. Die erste Betätigung ruft das Menü auf, nochmaliges Betätigen schaltet das Gerät aus. Möchte man Einstellungen im Menü vornehmen, wird nach der ersten Betätigung des Drehrades ein Menüpunkt durch Drehen des Einstellrades ausgeführt.

Einstellungen (ESR und KT)

- **Auto-Power-off:**
  Hier kann eine Zeit eingestellt werden, nach der eine automatische Abschaltung erfolgen soll. Wenn ein dauerhafter Betrieb erwünscht ist, muss der Wert „nie“ gewählt werden. Mit „Exit“ verlässt man das Menü wieder.
- **Ausrichtung:**
  Es besteht die Möglichkeit, das Display softwaremäßig zu drehen. Mit den Einstellwerten 0°(normal), 90°, 180° und 270° kann das Display auf verschiedene Betrachtungsrichtungen eingestellt werden
- **Kalibrierung (ESR und KT):**
  Der Punkt „Abgleich“ ist ja schon im gleichnamigen Abschnitt beschrieben.
- **Werkseinstellung:**
  Hier werden alle Einstellungen auf den Auslieferungszustand zurückgesetzt.
  Achtung! Alle Einstellungen gehen dabei verloren. Das Gerät führt anschließend einen Reset durch.
- **Referenzkennlinie (nur KT):**
  In diesem Menüpunkt kann die aktuelle Kennlinie gespeichert werden (Speichern). Durch Aktivieren der Anzeige „ON“ wird die gespeicherte Kennlinie in einer anderen Farbe (Blau) der aktuellen Messung hinterlegt.
- **Buzzer (nur ESR):**
  Der Punkt „Buzzer“ betrifft nur den ESR-Modus. Ist der Signalgeber aktiviert, kann im normalen Betrieb eine Schaltschwelle eingestellt werden, unterhalb derer ein akustisches Signal ausgegeben wird.

Tabelle 1

Richtwerte für ESR von ELKOs

	10–63 V	100–400 V
1 µF	< 6,0 Ω	< 15 Ω
2,2 µF	< 4,0 Ω	< 15 Ω
4,7 µF	< 2,0 Ω	< 10 Ω
10 µF	< 1,5 Ω	< 7 Ω
22 µF	< 1,0 Ω	< 5 Ω
47 µF	< 0,6 Ω	< 5 Ω
100 µF	< 0,2 Ω	< 5 Ω
220 µF	< 0,1 Ω	< 5 Ω
470 µF	< 0,1 Ω	–
1000 µF	< 0,1 Ω	–
2200 µF	< 0,1 Ω	–

Allgemeine Hinweise, elektrische Sicherheit

Achtung! Messungen dürfen niemals an spannungsführenden Geräten oder Schaltungen durchgeführt werden. Ziehen Sie zur Sicherheit immer das Netzkabel. Auch wenn an dem zu messenden Gerät die Spannungsversorgung unterbrochen wurde, können Elkos immer noch geladen sein und hohe Spannungen führen. Hier ist eine gewisse Wartezeit nach dem Abschalten angebracht.

Die Nichtbeachtung dieser Hinweise kann zu Verletzungen, Schäden am zu prüfenden Gerät sowie am KT200 führen.

Der Komponententester (KT) sollte grundsätzlich nicht in der Schaltung verwendet, sondern nur zum Prüfen von ausgelöteten Bauteilen dienen.

Die ESR-Messfunktion kann dagegen auch innerhalb von Schaltungen genutzt werden, da die Messspannung sehr gering ist und unterhalb der Durchlassspannung von Dioden liegt. Einzig parallel geschaltete niederohmige Widerstände können das Ergebnis verfälschen.

In Tabelle 1 sind die gängigen Werte für verschiedene Kapazitäten dargestellt. Allgemein kann man sagen, dass ein ESR unterhalb von 1 Ω zu keiner Fehlfunktion in einem elektronischen Gerät führt. Oberhalb von 1 Ω sollte man schon genauer hinschauen. Hierbei spielt natürlich auch die Kapazität sowie die Spannungsangabe der Elkos eine Rolle. Wie Tabelle 1 zeigt, steigt der ESR mit zunehmender Spannung an. Auch sollte berücksichtigt werden, dass die Umgebungstemperatur einen nicht unerheblichen Einfluss auf den ESR hat. ELV

Weitere Infos:

[1] Produktseite zum ESR1:
www.elv.de: Webcode #1298
[2] Datenblatt des BQ2002:
http://www.ti.com/lit/gpn/bq2002t