

Digitales L/C-Meßgerät

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

Der Beitrag beschreibt den Aufbau und die Inbetriebnahme eines Kapazitäts- und Induktivitäts-Meßgerätes, das ganz besonders für die kleinen Werte geeignet ist, wie sie in der Hochfrequenztechnik so oft zur Anwendung gelangen.

Vorwort

Die in der nachstehenden Beschreibung genannten Zusatzfunktionen der automatischen Abschaltung und der Batterie-Spannungsüberwachung bedingen eine Änderung der Software, die bis dato leider noch immer nicht zu Ende gebracht ist. Es gibt eine Reihe von Gründen dafür, der wesentliche ist aber der Zeitaufwand für die Einarbeitung in die Eigenheiten der PIC-Programmierung.

Um diejenigen, die lediglich bald messen wollen, aber weniger Wert auf die angeführten Zusatzfunktionen legen, nicht unnötig warten zu lassen, ist derzeit ein lauffähiger Programmcode für den PIC 16F84 Teil der herunterladbaren Datei. Damit kann man uneingeschränkt messen und zu einem späteren Zeitpunkt nach Vorliegen der geänderten Software den 16F84 durch einen 16F628 ersetzen. Auf der Hardwareseite wird lediglich der Austausch des Prozessors notwendig sein.

Ein Hinweis zur Bedienung: Den EIN-Schalter SW1 kann man als Taster oder Schalter ausführen. Verwendet man einen Taster, erfolgt das Einschalten durch kurzes Drücken. Das Ausschalten erfolgt durch etwas längeres Drücken der Taste ZERO (SW2). Beim Schalter ist zum Ausschalten der Knopf in die AUS-Stellung zu bringen und anschließend die ZERO-Taste etwas länger zu drücken. Die endgültige Version der Software geht davon aus, daß für den EIN-Schalter ein Taster eingebaut ist, die nachstehende Beschreibung ist bereits für die endgültige Version der Software gültig.

Der Anstoß für den Aufbau dieses Gerätes kam, wie so oft, von außen: OE5EBL hat mir den Mund wässrig gemacht, nachdem er bei Recherchen im Internet auf einige Bauvorschläge für ein gutes L/C-Meßgerät gestoßen ist: [1], [2], [3], [4], [5] und [7]. Die Vorschläge weichen in Details voneinander ab, alle gehen jedoch auf eine Idee von Neil Heckt zurück, der auch einen Bausatz für ein solches Meßgerät vertreibt.

Übliche Digitalmultimeter der besseren Art haben vielfach einen oder auch mehrere Meßbereiche für Kapazitäten. Fast immer ist der kleinste Bereich aber 1 nF, was bedeutet, daß Kondensatoren im Bereich von einigen Picofarad mit einem 3½-stelligen Gerät wegen der Gerätetoleranzen nicht mehr zuverlässig gemessen werden können. Etwas besser ist man mit einem 4½-stelligen Instrument dran, aber auch dann ist der abgelesene Wert nicht immer der richtige, weil die Eigenkapazität der Schaltung in das Ergebnis eingeht. Diese liegt aber in der Größenordnung des Meßwertes.

Eine Abhilfe wäre ein richtiges L/C-Meßgerät wie beispielsweise das ELC-131D von ESCORT, das aber kaum unter 300.- Euro zu haben ist und vergleichsweise lange für eine Messung braucht. Für ganz kleine Bauteilwerte ist selbst ein solches Gerät aufgrund des Meßprinzips nicht optimal geeignet, denn die Messung wird hier nur mit maximal 1 kHz durchgeführt.

Der große Vorteil der von Neil Heckt gewählten Meßmethode ist, daß die Messung bei einer Frequenz von etwa 500 kHz vorgenommen wird. Auf diese Weise werden die hochfrequenten Bauteileigenschaften schon ein wenig berücksichtigt und die Genauigkeit ist um 2 Zehnerpotenzen besser als beim Multimeter.

Die einzelnen Versionen der im Internet publizierten Bauvorschläge unterscheiden sich in der Art des Controllers (PIC oder AVR, 4 MHz oder schneller, 1 k Programmspeicher oder mehr...), in der Form des Gerätegehäuses und der verwendeten Bauteile (bedrahtet oder SMD wie in [7]). Bei manchen Versionen ist auch die Auflösung der Anzeige um eine Zehnerpotenz geringer als beim Original von Neil Heckt. Wer sich genauer informieren will, wird auf die angeführten Quellen verwiesen, die überwiegend englischsprachig sind. Eine Ausnahme bildet Jörg Bredendiek [4], der auf seiner Internetseite die Funktion des Gerätes in deutscher Sprache sehr verständlich beschreibt.

Keiner der im Internet gefundenen Bauvorschläge verfügt über eine selbsttätige Abschaltung, die Batteriespannung wird nicht überwacht und auch die Möglichkeit einer Messung der mehr und mehr üblichen SMD-Bauteile wird mit Ausnahme von [1] nirgends beschrieben.

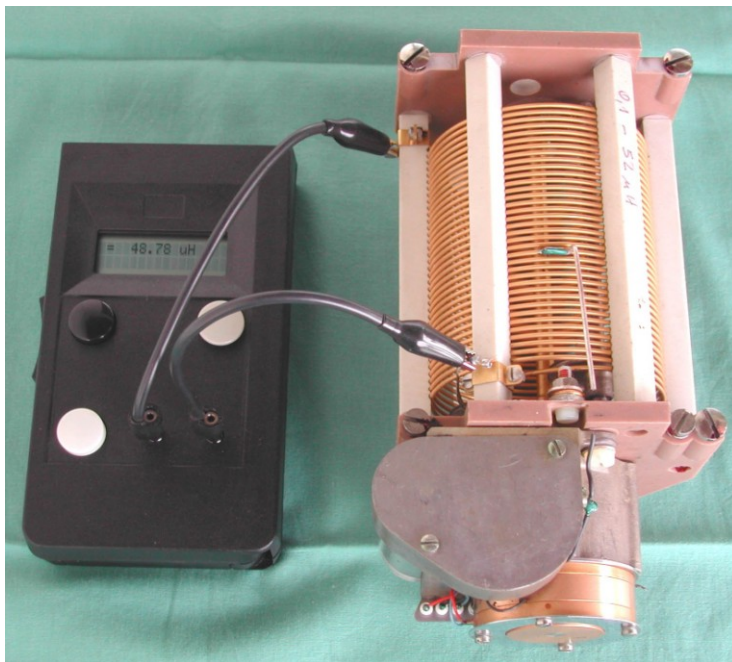


Abb. 1: Messung einer Rollspule mit dem fertigen L/C-Meßgerät

Anforderungen an das Gerät

Das Endergebnis soll ein Meßgerät sein, das

- ergonomisch gestaltet und leicht zu bedienen ist. Das bedingt die Form eines Hand-Multimeters mit Standbügel, sodaß bei schräger Aufstellung gute Sicht auf die Anzeige gewährleistet ist und die Buchsen für den Anschluß des Meßobjektes bequem zugänglich sind
- ein bei einem Elektronik-Versender erhältliches Gehäuse hat
- die Messung von SMD-Bauteilen erlaubt. Ein Adapter, der in die Buchsen gesteckt wird, ist Teil des Bauvorschlages
- die Batteriespannung überwacht
- sich bei Nichtgebrauch nach ca. einer Minute selbsttätig ausschaltet, um Batterien zu sparen (diese

Forderung hat OE5VLL eingebracht). Das Gerät hat deswegen auch keinen direkten Ausschalter

- sowohl mit einer 9 V-Batterie als auch mit einem externen Netzgerät zu betreiben ist. Selbstverständlich muß die Spannung des Netzgerätes höher sein als die Batteriespannung.

Unterschiede zum Multimeter

Die Auflösung des Meßwertes bei Kapazitäten ist im kleinsten Bereich um eine Zehnerpotenz geringer als beim Original von Neil Heckt, aber noch immer um zumindest eine Zehnerpotenz besser als bei einem normalen Multimeter. Der große Unterschied zum Multimeter ist das Meßverfahren: Hier wird der Meßwert von einer Frequenzzählung abgeleitet, die während des Einschaltvorganges, aber auch durch Drücken der Taste „ZERO“ jedes Mal neu kalibriert wird. Somit entfällt die einem Multimeter innewohnende Langzeitdrift völlig, die Genauigkeit ist ausschließlich von der Referenzkapazität und der Güte der eingebauten Induktivität abhängig.

Bei kleinen Induktivitätswerten zeigt das Gerät im Mikrohenry-Bereich 2 Stellen hinter dem Komma an, der passende Meßbereich wird automatisch gewählt. Multimeter haben üblicherweise keinen Induktivitätsmeßbereich.

Verwendete Bauteile

Anzeige:

Das einzige im Mustergerät verwendete spezielle Bauteil ist die LC-Anzeige mit dem zugehörigen Bandkabel und dem passenden Hauptplatinen-Steckverbinder. Die beiden Leiterplatten sind für diesen No-Name-Typ ausgelegt, der sich durch kleine Abmessungen auszeichnet und aus ausgemusterten Telefonen stammt. Die Abmessungen der Platine des LCD-Moduls betragen 71 * 39 mm, das Modul ist 8 mm dick und hat 2 * 20 Zeichen.

Läßt sich ein solches Modul nicht auftreiben, so ist deswegen die Schlacht keineswegs verloren: In den Katalogen diverser Elektronik-Versandfirmen sind moderne Anzeigemodule beschrieben, deren Platine bei 2 * 16 Zeichen nur 68 * 27 mm groß ist. Auch das Bandkabel zur Verbindung mit der Hauptplatine ist nicht unbedingt erforderlich, denn man kann ebenso dünne Litzendrähte verwenden oder ein entsprechend zugerichtetes Flachkabel.



Abb. 2: Die im Mustergerät eingesetzte Anzeige

Taster und Schalter:

Die beiden Taster (ZERO, SW1 und EIN, SW2) und der Schalter zur Wahl der Art des Prüflings (L/C, SW3) stammen aus den Bedienpaneelen von alten Rechnern der 486-er und der Pentium1-Ära. Sie werden aber auch in einem Elektronikladen zu haben sein.

Relais:

Hier handelt es sich um ein Reed-Relais in Dual-In-Line-Bauform für 5 V Betriebsspannung. Es sollte fast jede Type mit 1 Arbeitskontakt und ohne eingebaute Freilaufdiode zu verwenden sein. Am besten vor dem Einlöten durchmessen! Das im Mustergerät eingesetzte Exemplar hat einen Spulenwiderstand von 490 Ohm.

Transistoren:

Exemplare mit Stromverstärkung der Gruppe B haben bei der Stromversorgungsbaugruppe nicht den gewünschten Erfolg gebracht, sodaß schließlich die in den Unterlagen angeführten Typen der Stromverstärkungsgruppe C zum Einsatz gekommen sind. Für den Regeltransistor Q5 ist ein Darlington-Typ erforderlich, denn nur so können auf der 5-V-Seite die angeführten Spannungsgrenzen eingehalten werden. Es eignen sich die Typen BC516, BC876, BC878, BC880 und andere pnp-Darlingtontransistoren. Bei den 3 letztgenannten Typen ist auf die abweichende Anschlussbelegung zu achten!

Schwingkreis-Kondensatoren:

Im Mustergerät wurden für C1 und C2 Styroflex-Kondensatoren eingesetzt, wobei der Kalibrier-Kondensator C2 mit 1002 pF gemessen wurde. Je genauer dieser Wert ermittelt werden kann, desto genauer werden später auch die Meßergebnisse bei den Prüflingen sein. Das Hinzufügen von kleinen keramischen Kondensatoren zu einem Styroflex-Kondensator, der weniger als 1000 pF mißt, hat einen Nachteil gezeigt: Nach dem Kalibriervorgang wandert der angezeigte Wert eine zeitlang, selbst wenn es sich bei den zusätzlichen Kondensator um einen NP0-Typ handelt.

Schwingkreis-Induktivität:

Notwendig ist ein Bauteil mit möglichst hoher Güte und geringem Temperaturgang. Im Mustergerät wurde anfangs eine Induktivität in Widerstands-Bauform verwendet (Bild 7), die aber nur eine verhältnismäßig geringe Güte aufweist. Dies hat zu einem erhöhten Fehler bei der Messung von größeren Werten, insbesondere bei Induktivitäten, geführt, sodaß letztendlich ein kleiner Schalenkern (11 mm Durchmesser, 6,5 mm hoch) mit 0,4-mm-Kupferlackdraht bewickelt worden ist. Der Kern hat einen ganz kleinen Luftspalt, die Schalenkern-Hälften fixiert man zueinander und auf der Leiterplatte mit dauerelastischem Kleber. Den bewickelten Kern auf jeden Fall vor dem Einbau durchmessen. Versuche haben gezeigt, daß Ringkerne aus Schaltnetzteilen in der Regel nicht zufriedenstellend funktionieren!

Gehäuse:

Das Gehäuse ist bei CONRAD unter der Bestellnummer 52 25 97-77 zu haben (Hand-Gehäuse mit Displayausschnitt, Ausf. GEG 252). Es bietet Platz für ein LCD-Modul mit 73 mm Länge und maximal 44 mm Breite, sofern das Modul den Raum für Quarz und Siebelko freiläßt, wie das bei der im Mustergerät verwendeten Anzeige der Fall ist. Verwendet man für Quarz und Siebelko moderne Bauteile mit niedriger Bauform, dann umgeht man diese Einschränkung.

Es ist durchaus möglich, daß auch andere Anbieter Gehäuse haben, die bei gleichem oder besserem Platzangebot die gestellten Anforderungen erfüllen (Batteriefach, Ausschnitt für Display, Aufstellbügel, Lage der Befestigungspunkte für die Haupt-Leiterplatte).

Digitales L/C-Meßgerät

Buchsen für Meßobjekt:

Wegen der kleineren Bauform sind Buchsen für 2 mm-Stifte mit 15 mm langem Isolierkörper anzuraten, die überall erhältlich sein sollten. Diese Buchsen werden so montiert, daß sie bündig mit der Oberseite der oberen Gehäuseschale abschließen. Sie gehen durch die Oszillator-Leiterplatte hindurch, sind an ihr oben und unten mit je 1 Mutter befestigt und werden mit ganz kurzen Drahtstücken an dieser Leiterplatte angeschlossen.

Buchse für externe Stromversorgung:

Hier kommt eine übliche Niedervolt-Printbuchse zum Einsatz, die normale Hohlstecker von Standard-Steckernetzteilen mit 5,5 mm Durchmesser aufnimmt.

Schaltung

Die grundsätzliche Schaltung des hier beschriebenen Gerätes entspricht der von Phil Rice, VK3BHR veröffentlichten Version [3]. Der Oszillator und die Beschaltung des Controllers wurden mit ganz wenigen Änderungen aus dem Bauvorschlag von VK3BHR übernommen. Die Änderungen sind:

- Der Spannungsregler 78L05 ist durch eine diskrete Schaltung ersetzt, die nunmehr ein durch den Prozessor gesteuertes Abschalten möglich macht. Dieser Teil der Schaltung stammt aus einer Digitalwaage, ist also ebenfalls kein Produkt des eigenen Erfindergeistes. Für die Abschaltung wurde der Pin 10 des PIC verwendet, der bei VK3BHR für die Anpassung von nicht standardmäßigen Displays zuständig war.
- Der Spannungsfühler-Ausgang der Stromversorgung geht jetzt auf den Eingang 11 des PIC, der beim VK3BHR-Entwurf nicht verwendet ist.
- Anstatt des PIC 16F84 wurde der PIC 16F628 verwendet, um Platz für den zusätzlichen Code zu haben.

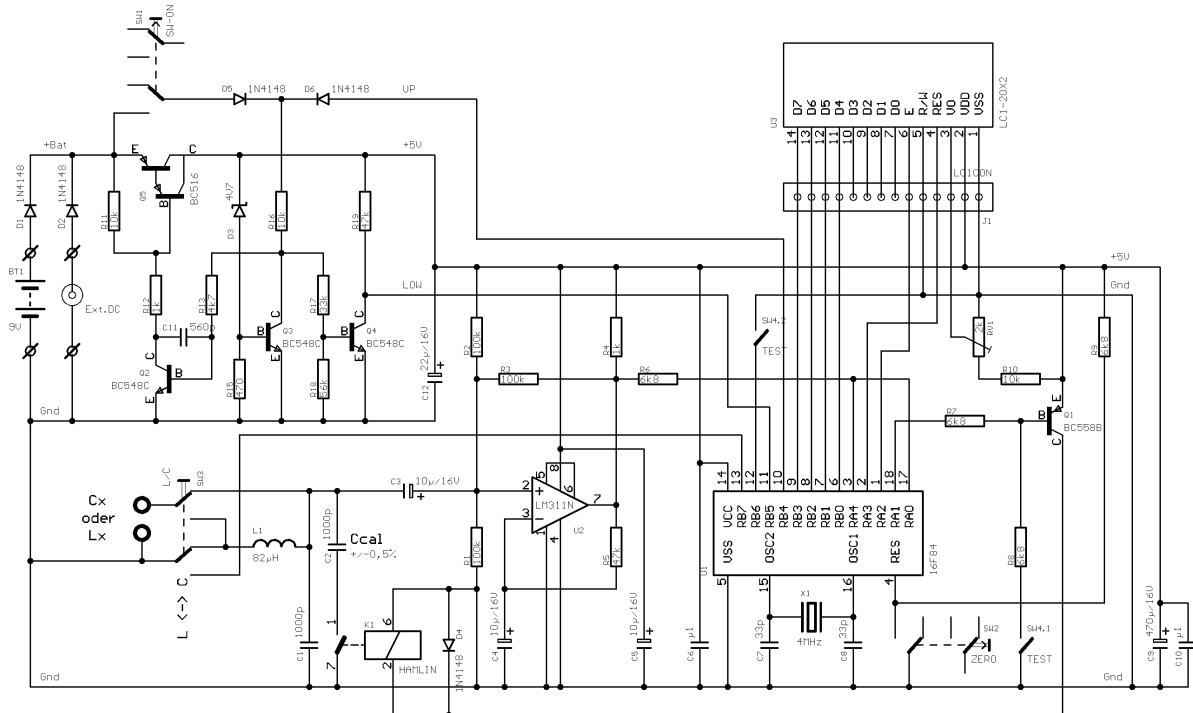
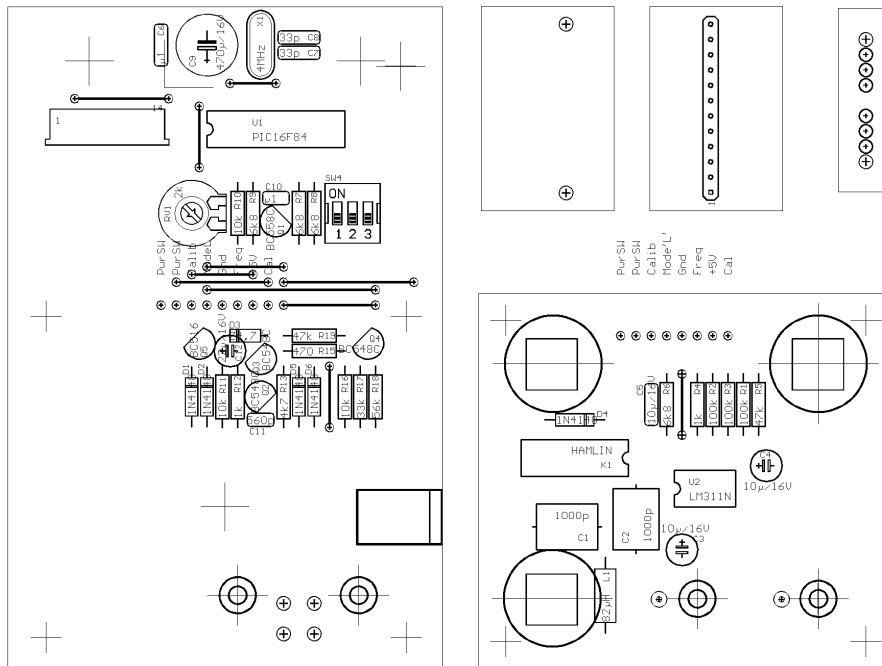


Abb. 3: Schaltplan

Der Eingangsspannungsbereich, in dem eine zuverlässige Funktion des Meßgerätes gewährleistet ist, reicht von 6,5 V bis 14 V. Die Stabilisierungsschaltung bewirkt, daß sich die Spannung im vorgenannten Bereich auf der geregelten 5-V-Seite zwischen Leerlauf und 32 mA Belastung nur um ca. 50 mV ändert, was eine Frequenzänderung des leerlaufenden Oszillators von 9 Hz zur Folge hat. Weil man bei längeren Meßreihen ohnedies zwischendurch das Gerät hin und wieder durch Drücken der Taste

Digitales L/C-Meßgerät

ZERO neu kalibrieren sollte, ist eine durch Spannungsänderung hervorgerufene Änderung der Meßfrequenz somit in der Regel bedeutungslos.



Digitales L/C-Meßgerät

Funktion des Gerätes in Deutsch beschrieben, [1], [2], [3] und [5] sind in Englischer Sprache verfaßt und noch ausführlicher.

Phil Rice hat freundlicherweise auch das Programmlisting zugänglich gemacht, was für die Originalversion von Neil Heckt nicht zutrifft. Somit entsprechen die Meßbereiche des hier beschriebenen Gerätes jenen des VK3BHR-Entwurfes, auch wenn die für den recht kleinen PIC 16F84-Controller geschriebene Software mittlerweile von [8] auf den 16F628 portiert worden ist.

Bei der Erstellung eines solchen Programms steht man vor der Wahl, entweder den im Programm hinterlegten Wert des Kalibrier-Kondensators aus einer Anzahl von Bauteilen mittels Messung mit einem bekannt zuverlässigen Gerät möglichst genau herauszusuchen, oder einen Kondensator, dessen Wert annähernd dem Sollwert des Kalibrier-Kondensators entspricht, genau auszumessen und diesen Wert im Programm einzutragen. Neil Heckt hat bei seinem Bausatz den ersten Weg eingeschlagen, indem er mehrere Kondensatoren so kombiniert, daß der im Programm festgeschriebene Wert möglichst genau erreicht wird. Nachdem im gegenständlichen Fall der Quellcode vorliegt und jeder Nachbauwillige seinen Controller ohnedies programmieren muß, ist eine Anpassung des Programms mit nur mäßigem Aufwand verbunden. Daher wurde hier der zweiten Variante der Vorzug gegeben. **Damit sich auch diejenigen zu-rechtfinden, die mit den PIC-Eigenheiten nicht so vertraut sind, ist die entsprechende Stelle im Quellcode deutlich gekennzeichnet.**

Weil die beim Nachbau verwendeten LC-Displays abweichende Abmessungen und 2*16 anstatt 2*20 Stellen haben können, ist mitunter auch eine Anpassung der horizontalen Lage der angezeigten Zeichen durch Einfügen oder Auslassen von Leerstellen erforderlich. Auch dieser Teil des Quellcodes ist entsprechend gekennzeichnet, so daß leichte Änderbarkeit gewährleistet ist.

Sollte der Fall eintreten, daß das Display nur einen Teil der Zeichen anzeigt, dann ist ebenfalls der Quellcode zu ändern. Die Eigenheiten solcher LC-Displays und entsprechende Abhilfe bei Problemen sind auf der Internetseite von Jörg Bredendiek sehr gut beschrieben [4].

Jener Programmteil, der für die automatische Abschaltung bei Nichtgebrauch und für die Batteriespannungs-Überwachung zuständig ist, wurde zum Code von [8] hinzugefügt.

Aufbauhinweise

Zweckmäßigerweise beginnt man mit einer Sichtprüfung der angefertigten Leiterplatten, um ungewollte Brücken zu entdecken, die beim Ätzvorgang stehen geblieben sind. Sie sind mit einem scharfen Tapeutenmesser sorgfältig zu beseitigen. Besonders kritisch ist in dieser Hinsicht der Bereich um den LCD-Anschluß auf der Hauptplatine. Dort werden die Grenzen eines 600-dpi-Druckers deutlich sichtbar.

Die Schaltung wird auf 2 einseitigen Platinen aufgebaut, wobei die Hauptplatine den Controller und die Stromversorgung trägt und die zweite Platine den Oszillator, die Buchsen und die Bedienelemente. Dies war notwendig, weil ansonsten die Montage der Bedienelemente in der richtigen Position schwierig ist. Die kleinere Leiterplatte wird mittels 4 Distanzstücken von je 7 mm Länge auf der Hauptplatine befestigt. Diese 4 Teile sind beim Mustergerät aus 4 mm Rundalu angefertigt. Die Schrauben haben ein M2,5-Gewinde, für die elektrische Verbindung zwischen den Leiterplatten kann man ein kurzes Stück Bandkabel oder auch Schalllitze nehmen.

Die Löcher in den Lötäugen für den Anschluß der Anzeige auf der Hauptplatine sind wegen der besonders kleinen Augen vorteilhaft mit einem 0,7-mm-Bohrer zu machen. Eine ruhig und rund laufende Bohrmaschine ist notwendig, damit man beim Bohren auch tatsächlich die Mitte der Lötäugen trifft.

Die Anzeige selbst ist im Mustergerät an einem 11 mm langen Distanzstück aus 4 mm Rundalu befestigt, das am oberen Ende ein 3 mm langes M2-Gewinde und am unteren Ende ein M2,5-Gewinde hat. Das M2-Gewinde ist notwendig, weil in das Loch dieser Anzeige keine dickere Schraube paßt.

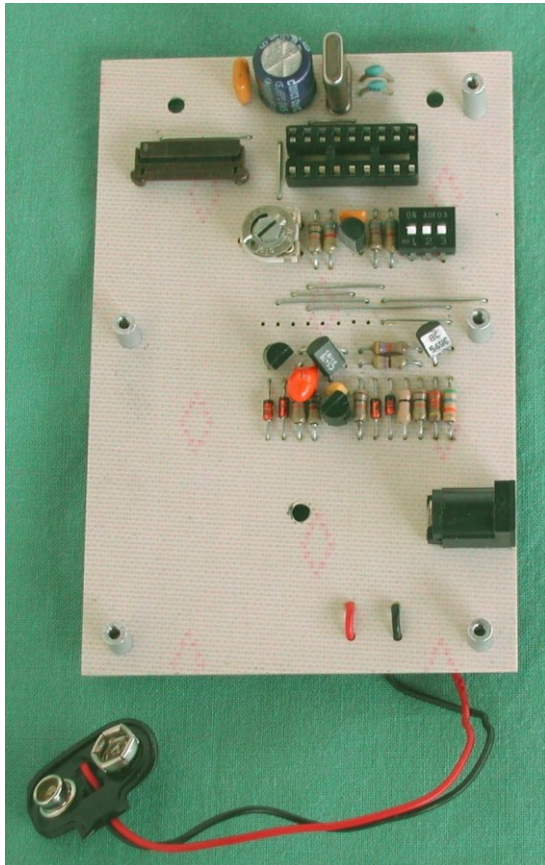


Abb. 6: Bestückte Hauptplatine

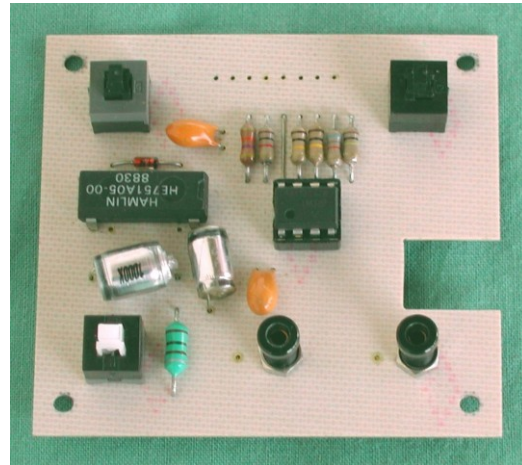


Abb. 7: Bestückte Oszillatorplatine

Die beiden Leiterplatten bestehen beim Mustergerät aus gewebeverstärktem Phenolharz (weiße Farbe), es läßt sich genauso gut auch glasfaserverstärktes Epoxidharz (FR4) mit 1 mm Dicke verwenden. Von normalem Hartpapier ist wegen der geringen mechanischen Festigkeit abzuraten, denn die Stifte der Kabel und Adapter gehen mitunter streng in die Meßbuchsen und dadurch würden Hartpapier-Leiterplatten zu sehr verbogen.



Abb. 8: Die eingebauten Leiterplatten mit der Anzeige

Das übliche 1,5 mm starke Material schränkt die für die Bauteile verfügbare Höhe zu sehr ein: Es sind auf der oberen Platine bei 1 mm dickem Material nur 8 mm Bauhöhe frei und unter der Oszillatorplatine sind es gar nur 6 mm. Die Transistoren müssen dort also so knapp wie möglich über der Platine eingebaut und abgewinkelt werden, damit dieses Maß nicht überschritten wird. Die 4 Tantal-Ekos sind in horizontaler Richtung abgewinkelt einzulöten. Die Verwendung von Fassungen für die beiden ICs wird angeraten, sofern die zulässige Bauhöhe nicht überschritten wird.

Die Anschlüsse der LC-Anzeige auf der Hauptplatine lassen sich wegen der sehr geringen Abstände nur mit einer bleistiftförmigen LötKolbenspitze unter Verwendung von 0,5 mm dickem Lötinn ohne Probleme einlöten. Verwendet man eine andere Anzeige als die im Mustergerät eingesetzte, so kann man durch Einfügen von Schaumstoff zwischen Hauptplatine und LCD-Modul die Anzeige den Erfordernissen entsprechend positionieren und fixieren.

Damit die Drähte des Batterieclips im Lauf der Zeit nicht, wie üblich, knapp an den Lötstellen abbrechen, werden sie von der Unterseite der Platine her durch kleine Löcher eingefädelt und dann von oben in die Lötäugen gesteckt und verlötet. Damit wird auch eine zufriedenstellende Zugentlastung erreicht.

Inbetriebnahme

Benötigte Geräte:

- Digitalmultimeter
- Regelbares Netzgerät 0 – 15 VDC
- Verlustarmer, temperaturstabiler Kondensator mit möglichst genau bekannter Kapazität (ca. 1 nF Styroflex- oder Glimmerkondensator) als Referenz
- Widerstand 270 Ohm / 0,25 W
- Oszilloskop (falls verfügbar)

Hardware:

Wir beginnen mit der Prüfung der Spannungsversorgung, wobei die beiden ICs noch nicht in den Fassungen stecken und auch das Display nicht angeschlossen ist. Zu diesem Zweck ist der Einschalt-Taster provisorisch mit einem Drahtbügel zu überbrücken. Bei 9 V Eingangsspannung soll die Spannung am Ausgang der Regelschaltung zwischen 4,9 und 5,1 V liegen. Die Spannung hängt vom tatsächlichen Wert der 4,7-V-Zenerdiode ab; durch Wechseln der Diode läßt sich die Spannung auf den richtigen Wert bringen.

Der nächste Schritt ist die Überprüfung der korrekten Funktion der Spannungsregelung bei sich ändernder Eingangsspannung und wechselnder Belastung. Verändert man die Eingangsspannung zwischen 12 und 6,5 V, so sollte sich die Ausgangsspannung um nicht mehr als 5 mV ändern. In diesem Zustand nimmt die Schaltung etwa 3 mA auf. Nun schaltet man bei 6,5 V Eingangsspannung den 270 Ohm-Widerstand zwischen 5 V und Masse, wodurch der Strom um 18,5 mA ansteigt. Dabei sollte die Ausgangsspannung nur um 1 mV absinken. Ändert sich die Ausgangsspannung um mehr als diesen Wert, dann ist wahrscheinlich die Stromverstärkung von Q5 nicht ausreichend und man sollte den Transistor durch ein besseres Exemplar ersetzen.

Anschließend ist noch die Funktion des Spannungsüberwachungssignals zu prüfen: Verändert man die Eingangsspannung zwischen 6,4 V und 6,1 V, so muß am Pin 11 der PIC-Fassung eine Spannungsänderung von etwa 4,9 V auf weniger als 0,4 V zu messen sein. Diese Schaltschwelle läßt sich nicht wesentlich anders einstellen.

Funktioniert die Stromversorgung zufriedenstellend, dann ist der LM311 einzusetzen und die Funktion des Oszillators zu überprüfen. Sind nur C1 und L1 im Schwingkreis, so sollte die Frequenz bei ca. 550 kHz liegen und die Schaltung zwischen 7,5 und 8,5 mA aufnehmen. Es hat sich bei Versuchen herausgestellt, daß die Stromaufnahme des LM311 auch ein wenig vom Fabrikat abhängt. Am besten hat ein IC von TEXAS INSTRUMENTS abgeschnitten, das um gut 1 mA weniger braucht als ein anderes Fabrikat – auch ein Gesichtspunkt für ein batteriebetriebenes Gerät.

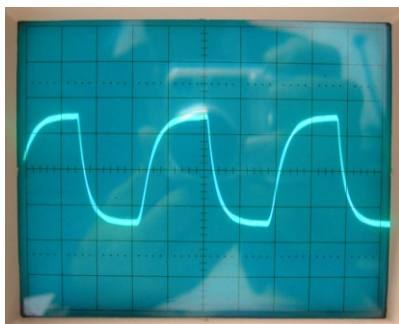


Abb. 9: Kurvenform des Oszillatorsignals am Pin 3 des PIC mit 1:10-Tastkopf

Die Kurvenform am Pin 7 des LM311 kann man mit dem Oszilloskop überprüfen. Es sollte eine Rechteckschwingung sichtbar sein. Zur Beurteilung der Kurvenform am Pin 3 des PIC ist allerdings ein Tastkopf mit ganz geringer Eingangskapazität erforderlich, wenn möglich also einer mit dem Teilverhältnis 1:100. Mit normalen Tastköpfen macht man eine Fehlmessung, weil die Kapazität des Tastkopfes dann weitaus größer ist als die des untersuchten Schaltungsteils. Das Ergebnis wären stark verschliffene Signalfanken, die im normalen Betrieb gar nicht auftreten.

Nun ist es an der Zeit, den programmierten PIC einzusetzen und die Anzeige anzuschließen. Nach Zuschalten der Spannungsversorgung stellen wir mit RV1 den Kontrast der Anzeige auf den passenden Wert ein. Die Stromaufnahme wird bei ca. 10 mA liegen und während des Kalibriervorganges für ganz kurze Zeit um knapp 10 mA ansteigen, weil das Relais anzieht.

Digitales L/C-Meßgerät

Das Display sollte nun **CALIBRATING** anzeigen. Falls es das nicht tut, ist die Funktion des PIC-Oszillators mit dem Oszilloskop zu prüfen. Wenn der einwandfrei schwingt, bleibt bei korrekt programmiertem PIC noch die Möglichkeit, daß eine ungewollte Lötbrücke vorliegt (LCD-Anschluß auf der Hauptplatine!) oder ein Bauteil falsch eingesetzt worden ist. Die provisorische Brücke beim EIN-Taster ist nun zu entfernen.

Software:

Der Mikrocontroller PIC16F628 rechnet derzeit mit 24-Bit-Fließkomma-Arithmetik. Dadurch ist bei einer Torzeit von 0,1 Sekunden der maximale Zählerstand mit 65535 vorgegeben und damit auch die erreichbare Auflösung bei kleinen Werten. Der Controller ist mittels eines passenden Programmiergerätes, wie es beispielsweise bei [4] beschrieben ist, zu programmieren. Zur Erstellung des HEX-Codes ist eine entsprechende Programmierumgebung erforderlich, die bei MICROCHIP frei verfügbar ist [9].

Durch Drücken des EIN-Tasters wird das Gerät mit Spannung versorgt, der Controller arbeitet sein Programm ab und hält über den Pin 10 unabhängig von der Tasterstellung die Spannungsversorgung aufrecht.

Die Frequenz, auf welcher der Schwingkreis arbeitet, läßt sich auch ohne einen externen Zähler leicht überprüfen, wenn die Brücke LK2 geschlossen und der Taster ZERO gedrückt wird. VK3BHR hat seine Software so aufgebaut, daß sich das Programm dann in einer Testschleife befindet und die Resonanzfrequenz mit einer Torzeit von 0,1 s anzeigt, also etwa 55000. Mit LK1 läßt sich das Relais probeweise zuschalten, wobei die Anzeige im Display dann etwa 39000 beträgt.

Sind soweit alle Prüfungen zur Zufriedenheit ausgefallen, dann sind die Brücken LK1 und LK2 wieder zu öffnen. Durch langsames Verringern der Versorgungsspannung ist zu kontrollieren, ob auch die Spannungsüberwachung ordnungsgemäß funktioniert und ob die automatische Abschaltung nach etwa 1 Minute Nichtgebrauch eintritt.

Bei Anschluß eines Referenz-Kondensators sollte nun dessen Kapazität richtig angezeigt werden. Weicht die Anzeige von Wert der Referenz um mehr als 1 % ab, dann ist der Wert des mit dem Relais zuschaltbaren internen Kalibrier-Kondensators zu wenig genau ermittelt worden. Durch Ändern der im Programm angegebenen Kapazität und anschließender Neuprogrammierung des Controllers läßt sich die Anzeige auf den richtigen Wert korrigieren. Diese Vorgangsweise ist ein wenig umständlich, schadet aber dem Controller in keiner Weise.

Meßkabel für größere Bauteile:

Um auch größere Bauteile, wie Verlängerungsspulen von KW-Antennen, Anodendrosseln und ähnliches messen zu können, empfiehlt sich die Anfertigung von 2 Meßkabeln, die an einem Ende einen 2 mm-Stecker für die Meßgerätebuchsen haben und am anderen Ende eine kleine, mit Plastik teilisolierte Krokodilklemme. Die Länge der Kabel wird je nach dem vorgesehenen Einsatzzweck zwischen 10 und 15 cm betragen.

Meßadapter für normale, bedrahtete Bauteile:

Auf der Unterseite einer kleinen Platine sind 2 Stifte angebracht, die in die Buchsen des Meßgerätes passen. Die Oberseite trägt eine einreihige Kontaktleiste mit gedrehten Federkelchkontakten, die elektrisch gesehen in der Mitte geteilt ist und von einem Präzisions-IC-Sockel stammt.

Weil der Abstand der 2-mm-Stifte nicht von vornherein genau mit dem Abstand der Buchsen übereinstimmen wird, sind die Stifte mit M2,5-Schrauben an der Platine befestigt. So hat man die Möglichkeit, die Löcher in der Platine notfalls ein klein wenig auszufeilen und die Schrauben im eingesteckten Zustand passend festzuziehen.

Wer keine passenden 2 mm-Stifte auftreibt, kann sie, wie in der Zeichnung dargestellt, aus Rundmessing (Messingschweißdraht!) auch selbst anfertigen.

Digitales L/C-Meßgerät

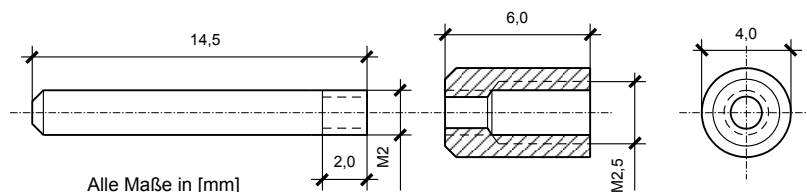


Abb. 12: 2 mm-Stifte für die Adapter

Nach dem Einstecken des Adapters ist die Anordnung durch Drücken des ZERO-Tasters zu kalibrieren, weil der Adapter eine Eigenkapazität von ca. 1 pF aufweist. Zur Messung wird das zu prüfende Bauteil in die passenden Kontakte gesteckt.

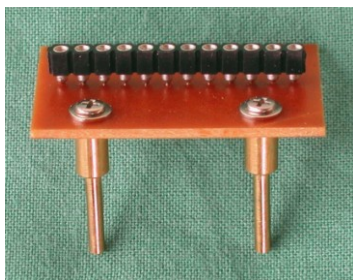


Abb. 10: Meßadapter für bedrahtete Bauteile (vergrößert)

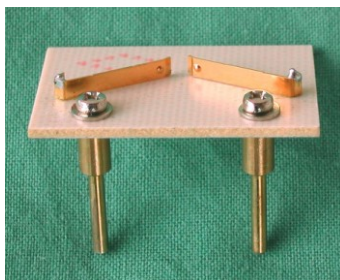


Abb. 11: Ein fertiger SMD-Adapter (vergrößert)

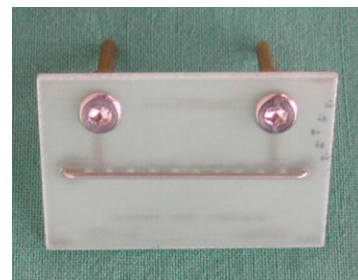


Abb. 12: Der Kalibrier-Adapter für bedrahtete Induktivitäten (vergrößert)

Meßadapter für SMD-Bauteile:

Dieses Teil besteht ebenfalls aus einer kleinen Platine, an deren Unterseite wiederum 2 Stifte befestigt sind. Auf der Oberseite werden an stehend eingelöteten Drahtstücken waagerecht 2 kleine, leicht gebogene Streifen aus Federbronze angelötet, die sich in der Mitte gerade noch nicht berühren. Mit einer Pinzette kann dann von unten her das SMD-Bauteil zwischen die Federbronzestreifen eingeschoben und kontaktiert werden.

Als Drähte, an denen die Federbronzestreifen angelötet sind, haben sich kurze Drahtstückchen von axial bedrahteten Widerständen mit einem Durchmesser von 0,8 oder 0,9 mm bewährt. Sie sind so steif, daß sie dem Federdruck beim Einführen des Prüflings nicht nachgeben, sich aber dennoch ein wenig verwinden, wenn einmal ein größeres SMD-Bauteil gemessen werden soll. Die passenden Federbronzestreifen kann man beispielsweise aus Relais-Kontaktfedern gewinnen. Die in Abb. 11 sichtbaren Kontaktstreifen stammen aus einem MOTOROLA-Mobiltelefon D520 und waren dort für die Kontaktierung des Piezo-Lautsprechers zuständig. Eine vorläufige Version eines solchen Adapters hat sich beim Verfasser jahrelang zur Messung von SMD-Bauteilen mit dem ELC-131D bewährt.

Messung von Induktivitäten an der unteren Meßbereichsgrenze:

Will man Bauteile mit sehr kleinen Werten ausmessen, dann kommt es ganz wesentlich darauf an, daß die Leitungslänge im Meßkreis so gering wie möglich und der Nullabgleich möglichst präzise ist. Dies ist bei Kondensatoren kein Problem, denn hier wird bei offenem Meßkreis kalibriert. Bei Induktivitäten ist hingegen der Abgleich bei kurzgeschlossenem Meßkreis durchzuführen, was bei Meßleitungen oder SMD-Adapter ebenfalls keine Schwierigkeit bereitet: Man verbindet die Krokodilklemmen, falls die Kabel zur Messung erforderlich sind, oder man verbindet während des Kalibrierens mit der Pinzette auf kurzem Weg die beiden Federkontakte.

Anders sieht es aus, wenn axial oder radial bedrahtete Induktivitäten zu messen sind. Hier hilft beim Nullabgleich ein zusätzlicher Adapter, der anstatt der Federkelch-Kontaktreihe lediglich einen Kurzschlußbügel aus Draht hat. Dieser Adapter ist ausschließlich zum Kalibrieren erforderlich und vor der Messung durch den richtigen Meßadapter zu ersetzen.

Digitales L/C-Meßgerät

Dateien:

Die zum Nachbau erforderlichen Unterlagen (übersichtlicher Schaltplan, Bestückungsplan, Leiterplatten-Layout als *.ps-Datei, Programmlisting als *.asm-Datei, Programmlisting als *.hex-Datei, Maßblatt des Gehäuses) sind in der gepackten Datei 'lcmess01.zip' enthalten. Die Datei ist von [10] herunterzuladen. Wie man mit der *.ps-Datei verfährt, ist im Verzeichnis „Tipps“ unter „Platinenentwurf“ nachzulesen.

Es besteht nicht die Absicht, Leiterplatten oder programmierte Controller für das Projekt anzubieten, weil das einerseits in Summe zu viel Zeit in Anspruch nähme, die dann für andere Projekte fehlt, und andererseits auch nicht ganz der Idee des Selberbauens entspräche. Nachbauwillige sind somit auf Selbstherstellung angewiesen. Zu Auskünften bin ich jedoch gerne bereit.



Abb. 13: Ermittlung von Referenzkondensatoren mit dem LCR-Meter HP 4271B

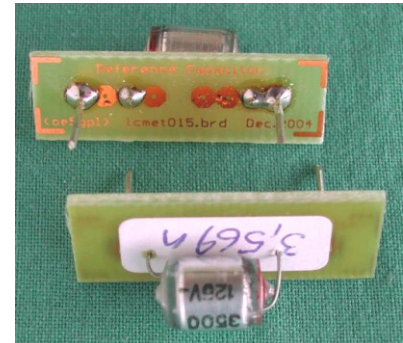


Abb. 14: 2 Fertige Referenzkondensatoren

Ebenso sind gegen einen Unkostenbeitrag und je nach Verfügbarkeit konfektionierte Referenzkondensatoren in folgenden Wertebereichen erhältlich: Ca. 10 pF, ca. 100 pF, ca. 1 nF und ca. 10 nF. Diese Kondensatoren sind mit einem 4½-stelligen LCR-Meter HP 4271B ausgemessen und haben eine Genauigkeit von 0,5 %.

Zusammenfassung:

Der Beitrag beschreibt den Aufbau eines Meßgerätes, mit dem sich ganz vorzüglich die in der Funktechnik verwendeten kleinen Kapazitäts- und Induktivitätswerte bestimmen lassen, und das mit überraschend guter Genauigkeit. Schaltungsidee und Software stammen von den angeführten Quellen. Hier wurde lediglich versucht, das Ganze in ein handliches Gehäuse zu packen und ein wenig Bedienkomfort zu ergänzen.

Es ist daran gedacht, zu einem späteren Zeitpunkt versuchsweise die Software auf 32-bit-Fließkommadarstellung umzustellen und die Hardware dafür geringfügig anzupassen. Damit sollte es möglich sein, die Auflösung bei kleinen Werten um eine Zehnerpotenz zu steigern. Über die Notwendigkeit dieses Unterfangens für die praktische Anwendung läßt sich allerdings streiten, denn Werte in der Größenordnung von Hundertstel Picofarad oder wenigen nH ergeben sich alleine durch unterschiedliche Anordnung von Bauteilen auf einer Platine oder durch geänderte Leiterbahnführung und werden erst im UHF-Bereich maßgeblich.

73!

Helmut, OE5GPL

Digitales L/C-Meßgerät

Quellen und Verweise:

- [1] Neil Heckt, AADE: <http://www.aade.com/lcmeter.htm>
- [2] Ian C. Purdie, VK2TIP: <http://my.integritynet.com.au/purdic/lc-meter-project.htm>
- [3] Phil Rice, VK3BHR: <http://ironbark.bendigo.latrobe.edu.au/~rice>
- [4] Jörg Bredendiek: <http://www.sprut.de/electronic/pic/projekte/lcmeter/lcmeter.htm>
- [5] Talino Tribuzio, IZ7ATH: http://www.qsl.net/iz7ath/web/02_brew/21_LCMeter01
- [6] Eamon Skelton, EI9GQ: <http://homepage.tinet.ie/~ei9gg/stab.html>
- [7] Alexander Buevsky, RU3GA: http://www.cqham.ru/lc_meter.phtml
- [8] Egbert Jarings, PA0EJH: <http://ironbark.bendigo.latrobe.edu.au/~rice/lc/lc628.asm>
- [9] MICROCHIP: <http://www.microchip.com>

Nachbemerkung

Auch bei mir ist derzeit nur die Version mit der 16F84-Software in Betrieb, ich bin aber dennoch mit dem Gerät schon jetzt höchst zufrieden und möchte es nicht mehr missen. Vor kurzem habe ich meine reichlichen Bestände an ausgeschlachteten SMD-Kondensatoren klassifiziert und bei der Gelegenheit sicher mehr als 1000 dieser Winzlinge gemessen, von Baugröße 1206 über 0805 bis hin zu 0603-Typen.

Der SMD-Adapter ist dazu unverzichtbares Hilfsmittel und Messungen an den 1206-Bauteilen gehen zügig vonstatten. Bei den kleineren Bauteilen wird die Positionierung zwischen den Kontaktfedern allerdings zunehmend schwieriger und beansprucht den Großteil der Meßzeit. Eine Lupe und eine gute Pinzette mit ganz schlanken, gekrümmten Spitzen sind dafür notwendig. Als Pluspunkt bleibt, daß damit eine Messung so kleiner Bauteile überhaupt möglich ist.

Auf der heurigen HAM-Radio war auf dem Stand von QRP-Projects eine andere Version eines solchen Meßgerätes zu haben, die zusätzlich einen Pegelmesser von -40 dBm bis + 10dBm und einen Frequenzzähler bis ca. 1,3 GHz enthält – vielleicht eine gute Alternative für diejenigen, denen diese Meßmöglichkeiten bisher noch fehlen.