

LC-Messgerät Beschreibung

(c) DL4JAL

9. Februar 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	2
2	Die Hardware	3
2.1	Die LC-Messplatine	3
2.1.1	Die Platine mit den 3 Tasten	5
2.1.2	Die Stromversorgung	5
2.1.3	Messanschluss	5
3	Die Software	7
3.1	Messprinzip	7
3.1.1	Kalibrierung des Messgerätes, Taste 1 ganz links	7
3.1.2	Zero oder Nullabgleich, Taste 3 rechts	9
3.2	Kalibrierung der Torzeit des Frequenzzählers, Taste 1 lange gedrückt	10
3.3	LCD Hintergrundbeleuchtung EIN/AUS, Taste 2 lange gedrückt	12
3.4	Kalibrier-Kondensator Wert ändern, Taste 3 lange gedrückt	12
3.5	Verschiedene Messungen	12
3.6	Test der beiden bistabilen Relais	15
4	Schlusswort	16
4.1	PDF-Anhänge	16

Kapitel 1

Vorwort

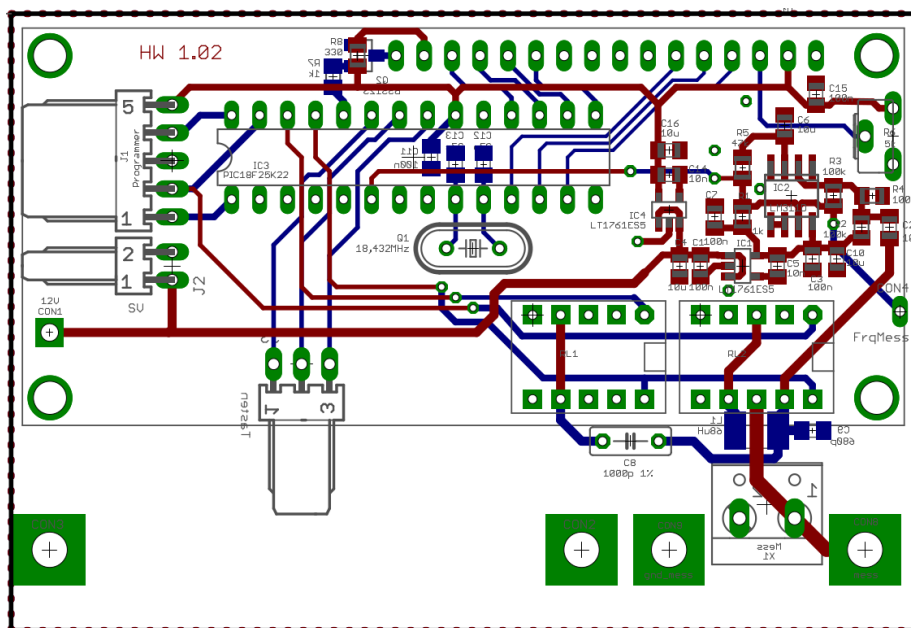
Ich habe bei Ebay ein LC-Messgerät für wenig Geld gekauft und wollte mir eine eigen Konstruktion des LC-Messgerätes ersparen. Der LC-Messer aus China geht aber so ungenau, dass ich es nicht verwenden kann. Also bleibt nur übrig ein LC-Messgerät selbst zu nachzubauen und die neue Software dazu zu schreiben.

Kapitel 2

Die Hardware

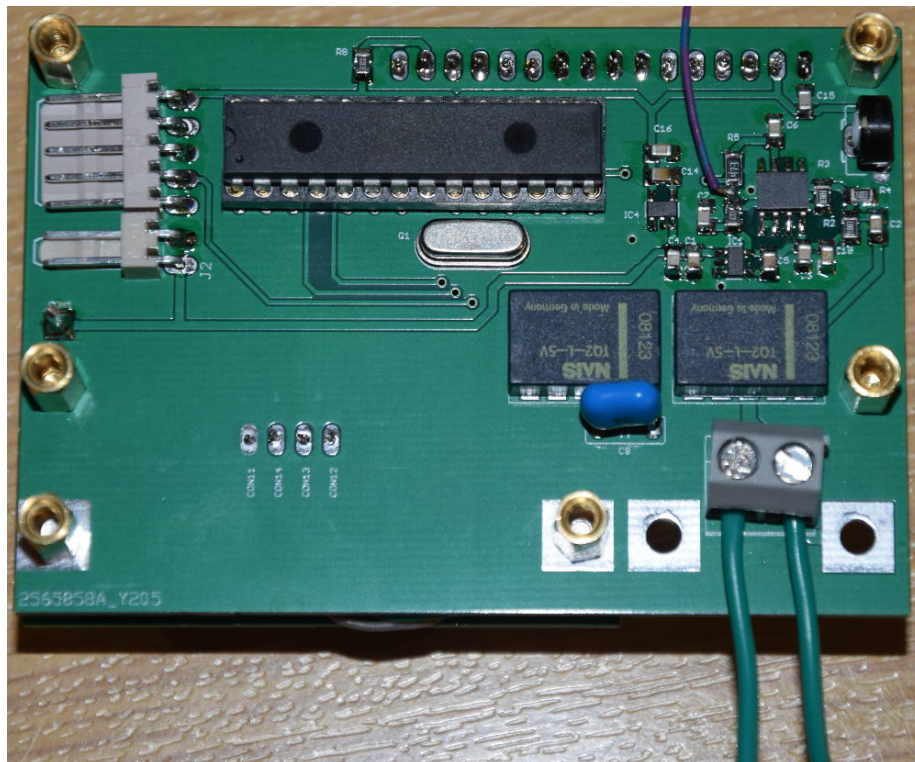
Ich habe eine neue Leiterplatte entwickelt mit Eagle und vorwiegend SMD Bauteile verwendet.

2.1 Die LC-Messplatine

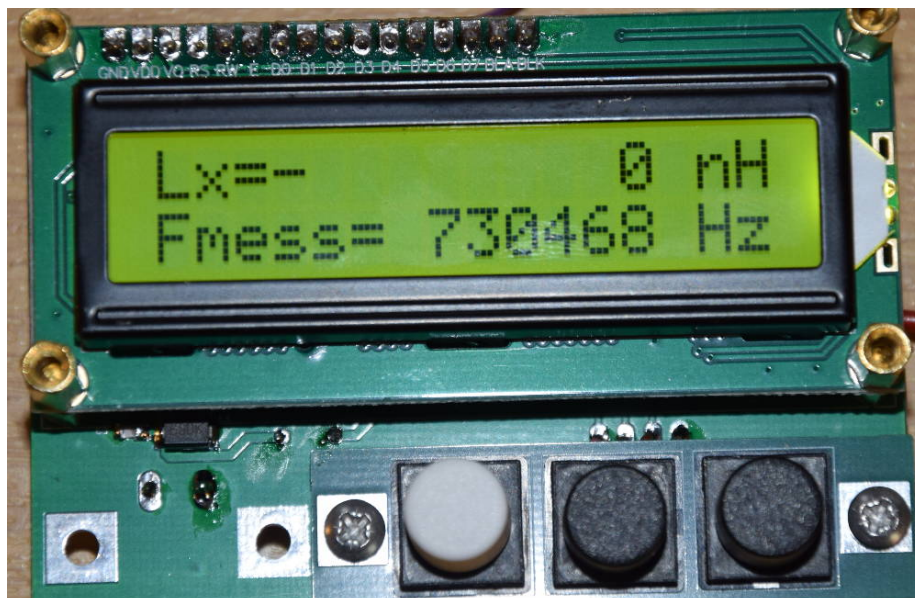


Ein kleiner Überblick der Platine. Auf der Oberseite ist der PIC18F25K22, die Schwingschaltung mit dem LM311D und die beiden Relais. J2 ist der Anschluss für die SV. J1 ist für das Programmiergerät und braucht nicht unbedingt installiert werden. An J3, auf der Unterseite, wird die kleine Leiterplatte mit den 3 Tasten angesteckt.

Die PDF mit dem Schaltbild und die Bestückungspläne findet ihr in den PDF's am Ende des Dokumentes.



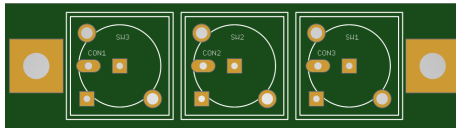
Hier ein Foto der Musterplatine. Die beiden Relais sind eine bistabile Ausführung. Davon habe ich noch genug. Rechts neben dem PIC18F25K22 sind die SMD-Bauteile der Schwingschaltung. Der blaue Kondensator sind die $1000\text{ pF } 1\%$ zum Kalibrieren. Der angelötet Draht ist der Ausgang vom LM311 für die Kalibrierung der Frequenzmessung im PIC18F25K22. Siehe Kapitel [3.2](#) auf Seite [10](#).



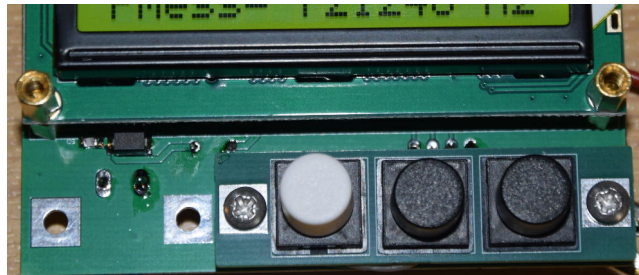
Die LC-Messplatine von unten. Auf der Rückseite der Platine ist das LCD-Display aufgesteckt und im passenden Abstand die kleine Platine mit den 3 Tasten. Links die beiden großen Lötäugen sind für den Messanschluss. Den kann sich jeder selbst gestalten.

2.1.1 Die Platine mit den 3 Tasten

Das LC-Messgerät wird mit 3 Tasten bedient. Links ist Taste 1 gefolgt von Taste 2 und rechts ist Taste 3.



Diese kleine Platine wird neben dem LCD Display auf der Unterseite im passende Abstand montiert.



Ein Bild der 3 Tasten. Der Abstand zur Messplatine wurde so gewählt, dass es mit der Höhe des Displays harmonisiert.

2.1.2 Die Stromversorgung

Die Betriebsspannung des LC-Messgerätes kann sich jeder gestalten wie er möchte. Vorgesehen habe ich dafür die zweipolige liegende Steckerbuchse J2. Der Stromverbrauch ist sehr gering. Ich habe ein LCD Display mit einer sehr sparsamen Hintergrundbeleuchtung gekauft.

- Bei 9 Volt 16 mA mit LCD Hintergrundbeleuchtung.
- Bei 9 Volt 10 mA ohne LCD Hintergrundbeleuchtung.

Das ist so gering das eine 9 Volt Blockbatterie das geeignetste für die Stromversorgung wäre.

Einen Platz für einen EIN/AUS-Schalter ist nicht vorgesehen. Da hat jeder „freie Hand“.

2.1.3 Messanschluss

Für den Anschluss der Messkabel habe ich 2 Möglichkeiten vorgesehen. Einmal eine Anschlussklemme, Rastermaß 5 mm. Da kann man 2 kurze Messkabel anschließen.

- **AKL 101-02** Anschlussklemme (Reichelt).

Als zweite Möglichkeit des Messanschlusses habe ich 2 große Lötaugen mit 3 mm Bohrung vorgesehen. Dort könnte man 2 Messbuchsen für Bananenstecker 4 mm von *Reichelt* anlöten oder mit Kabelschuhen anschrauben. Das muss ich auch noch testen. Die 4 mm Messbuchsen gibt es in verschiedenen Ausführungen und Farben, je nach Wunsch.

- **Polklemmen 4 mm** PK 4 verschiedene Farben.
- **Bananenbuchsen 4 mm** BB 4 verschiedene Farben.
- **Polklemmen 4 mm** PKI 10A verschiedene Farben.
- **Einbaubuchse 4 mm** BIL 20 verschiedene Farben.

Kapitel 3

Die Software

Die Software für den PIC18F25K22 wurde in Assembler geschrieben und optimiert auf Geschwindigkeit. Für die mathematischen Berechnungen verwende ich ein selbst geschriebenes Gleitpunktpaket mit erhöhter Genauigkeit, was ebenfalls in Assembler entwickelt wurde. Die Mantisse hat eine Länge von 4 Byte anstatt der üblichen 3 Byte. Der Exponent hat eine Länge von einem Byte. Somit hat eine Zahl im Gleitpunktdarstellung eine Länge von 5 Byte. Damit erreiche in etwa die Rechengenauigkeit eines wissenschaftlichen Taschenrechners.

In diesem Messgerät ist die hohe mathematische Genauigkeit von Vorteil.

3.1 Messprinzip

Das Messprinzip ist einfach. Im Messgerät ist ein Schwingkreis bestehend aus $L=68\mu\text{H}$ und $C=680\text{pF}$. Dieser Schwingkreis wird mit einem Komperator LM311 zu schwingen gebracht. Mit einem Frequenzmesser wird die Schwingfrequenz am Ausgang des LM311 gemessen. Und unserem Fall wird die Frequenz mit einem PIC18F25K22 gemessen. Die Taktfrequenz des PIC beträgt 18,432 MHz. Aus dieser Frequenz wird die Torzeit (1 Sekunde) für die Frequenzmessung abgeleitet.

3.1.1 Kalibrierung des Messgerätes, Taste 1 ganz links

Als erstes müssen wir den genauen Werte der Induktivität und Kapazität des Schwingkreises wissen. Das wird mit Hilfe des Kalibrier-Kondensators 1000pF 1% berechnet.

Kalibrierung von L1(etwa 68 μH) und C1(etwa 680pF)

Die erste *Kalibrierung* erfolgt nach immer PowerON, kann aber auch mit Taste 1, linke Taste der 3 Tasten, gestartet werden. Die genauen Werte der Kapazität und Induktivität wird durch 2 Frequenzmessungen berechnet. Die erste Frequenzmessung wird nur mit dem Schwingkreis L1(etwa 68 μH) und C1(etwa 680pF) durchgeführt. Für die zweite Frequenzmessung wird ein genauer Kondensator (Genauigkeit mindestens 1%) mit einem Relais parallel zum Schwingkreis zugeschaltet. In meiner Baugruppe hat der Kondensator genau 1000pF1%.

Aus den beiden Messfrequenzen lässt sich der genaue Wert von $C1$ (*genaue Kapazität*) berechnen.

- Frequenzmessung 1, nur $L1(68\mu H)$ und $C1(680pF)$.
- Frequenzmessung 2, $L1(68\mu H)$ **und** $C1(680pF)$ **und** $C_{calib}(1000pF1\%)$ parallel.
- Der genaue Wert von $C1$ errechnet sich aus den beiden Frequenzen der *Frequenzmessung 1* und *Frequenzmessung 2* mit der Formel:

$$C1 = \left(\frac{F1^2}{F2^2} - 1 \right) * C_{calib}(1000pF1\%)$$

- Mit dem genauen Ergebnis von **C1** wird mit Hilfe der Schwingkreisformel nun der Wert von $L1$ (*genaue Induktivität*) berechnet:

$$L1 = \frac{1}{4 * \pi^2 * F1^2 * C_{calib}(1000pF1\%)}$$

Nur mit Hilfe des *Kalibrier* – $C' s1000pF1\%$ haben werden die genauen Werte des Schwingkreises $L1$ und $C2$ ermittelt.

Die Kalibrierung wird immer nach PowerON durchgeführt. Man kann diese Kalibrierfunktion auch noch nachträglich per Tastendruck aktivieren. Zum Beispiel nach dem Umschalten von C-Messung zu L-Messung.

Umschalten Cx/Lx, Taste 2 mitte

Die Umschaltung Cx/Lx erfolgt mit Taste 2, das ist die mittlere Taste der 3 Tasten.

Jetzt kommen wir zur eigentlichen Messfunktion der Baugruppe. Wie wird Cx oder Lx gemessen?

Messung von Cx

Mit den genauen Werten von $C1$ und $L1$ ist die Ermittlung von Cx kein Problem mehr. Der zu messende Kondensator Cx wird parallel zum Schwingkreis ($L1, C1$) gelegt und verursacht eine Frequenzverschiebung zu einer niedrigeren Frequenz. Mit einer erneuten Frequenzmessung wird die Frequenzverschiebung ermittelt. Wir nennen diese Messung *Frequenzmessung 2, F2*. Die *Frequenzmessung 1, F1* ist ja bekannt, durch die *Kalibrier-Funktion* oder *Zero-Funktion*.

Mit der Formel:

$$Cx = \left(\frac{F1^2}{F2^2} - 1 \right) * C1$$

wird die Berechnung von Cx durchgeführt.

Messung von Lx

Ähnlich ist die Ermittlung von Lx. Mit dem Relais wird das L1 vom Schwingkreis abgetrennt und die zu messende Induktivität Lx in Reihe geschaltet. Die Induktivität wird höher. Es wird wieder die *Frequenzmessung 2* durchgeführt. Aus der Frequenzverschiebung zu *Frequenzmessung 1* lässt sich auch wieder mit der Formel:

$$Lx = \left(\frac{F1^2}{F2^2} - 1 \right) * L1$$

der genaue Wert von Lx berechnen.

Das ist das geniale Messprinzip des LC-Messgerätes!

3.1.2 Zero oder Nullabgleich, Taste 3 rechts

Dazu wird die rechte Taste von den 3 Tasten gedrückt, Taste 3. Der Schwingkreis im Messgerät ist etwas Temperaturabhängig. Das sieht man an der Änderung der Frequenzanzeige im Display Zeile 2. Die Schwingfrequenz ändert sich auch durch Bewegungen am Messkabel oder auch eine Verlängerung der Messkabel.

In den genannten Fällen braucht es eine einfache mathematische Funktion die Anzeige von Cx (Messkabel offen) oder Lx (Messkabel kurz geschlossen) wieder auf den Wert „NULL“ zu bringen, möglichst ohne neue Kalibrierung.

Ich habe mir angewöhnt kurz vor der Messung immer die Funktion Zero anzustoßen.

Zero/Null Cx

Folgende Berechnungen werden ausgeführt:

- Zuerst messen und berechnen wir die kapazitive Abweichung. Die beiden Messleitungen offen lassen.

$$C_{Messkabel} = \left(\frac{F1^2}{F2^2} - 1 \right) * C1$$

$C_{Messkabel}$ ist die kapazitive Abweichung von C1.

- $C_{Messkabel}$ addieren wir zu C1. C1 wird der neue Ausgangswert für die nächste Messungen von Cx.

$$C1 = C1 + C_{Messkabel}$$

- Und die neue Messfrequenz F2 wird der neue Wert für F1.

$$F1 = F2$$

Jetzt zeigt das Messgerät die Kapazität 0,0 pF an.

Zero/Null Lx

Noch wichtiger ist die *Zero* Funktion bei der Messung der Induktivität. Die Messleitungen bilden schon eine kleine Induktivität. Hinzu kommt noch die Induktivität der Relaisumschaltung. Sollen alle zusätzlichen Induktivitäten herausgerechnet werden, geht das mit *Zero/Null* auch ganz schnell.

- Die Messkabel am Ende kurz schließen und *Taste 3 Zero* drücken.

$$L_{Messkabel} = \left(\frac{F1^2}{F2^2} - 1 \right) * L1$$

Das Messergebnis $L_{Messkabel}$ sind alle zusätzlichen Induktivitäten. $L_{Messkabel}$ addieren wir zu $L1$.

$$L1 = L1 + L_{Messkabel}$$

- Auch hier wird die neue Messfrequenz $F2$ der neue Wert für $F1$.

$$F1 = F2$$

Jetzt zeigt das Messgerät nach *Zero/Null* die Induktivität 0 nH an. $L1$ wird der neue Ausgangswert für die nächste *Lx-Messung*.

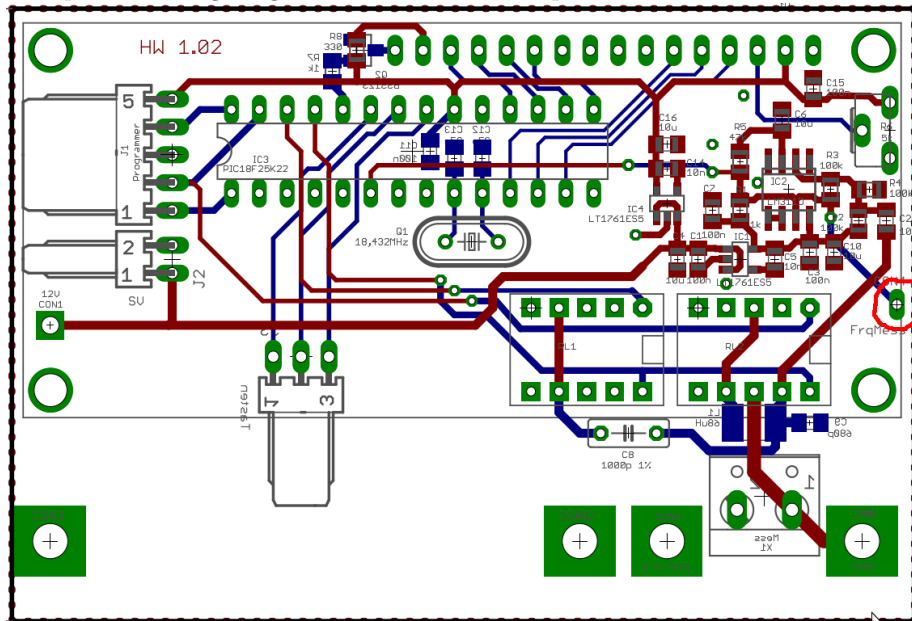
3.2 Kalibrierung der Torzeit des Frequenzzählers, Taste 1 lange gedrückt

Für das Messergebnis der Frequenzmessung im PIC18F25K22 habe ich einen Korrektur-Faktor vorgesehen. Die Taktfrequenz des PIC18F25K22 weicht immer etwas von 18,432 MHz und die Torzeit ist auch nicht exakt 1 Sekunde, durch Laufzeiten im Programm. Wenn ich das Messergebnis der Frequenz im PIC mit dem Korrektur-Faktor multipliziere, erhalte ich die genaue Messfrequenz. Die Voreinstellung des Faktors habe ich auf 0,99 gesetzt. Mit einem langen Tastendruck Taste 1, linke Taste kommen wir in das *SETUP Frq-Messung*.

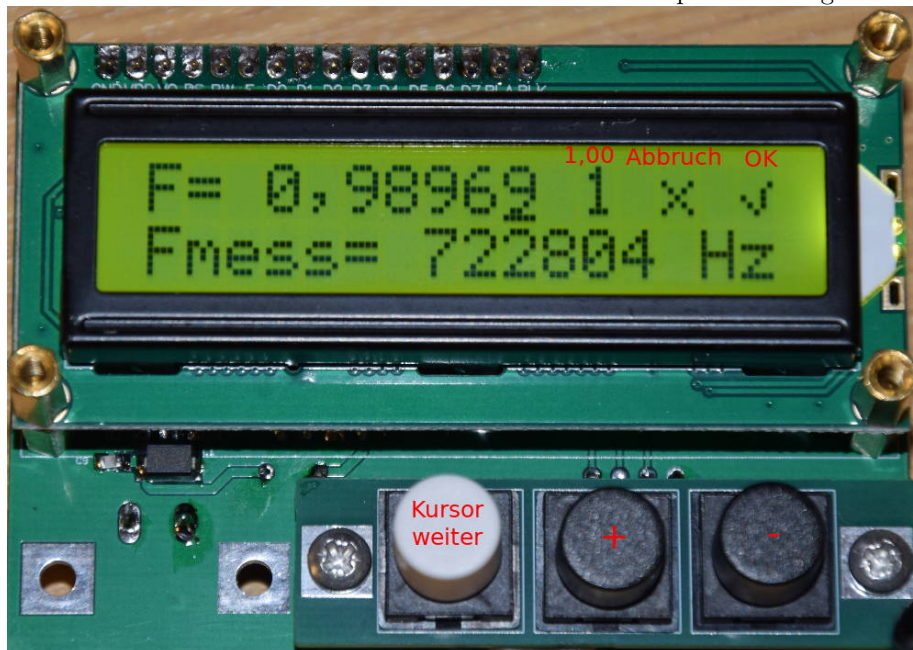


An R5 1 kOhm, am Ausgang des LM311 (Pin 7), wird der Frequenzzähler angeschlossen. Auf den neuesten Platinen habe ich einen PIN (CON4) für die

Frequenzmessung vorgesehen. Bei den Musterplatten fehlt dieser PIN noch.



Ganz rechts der rote Kreis ist der PIN für die Frequenzmessung.



In Zeile 1 links steht der Kalibrier-Faktor, dann folgt eine „1“ für 1,00, dann das Zeichen für „Abbruch der Funktion“ und ganz rechts der Quittungs-Haken für „OK und Speichern“. In Zeile 2 steht die Messfrequenz nach der Multiplikation mit dem Korrektur-Faktor. Diese Frequenzangabe sollte mit der Messfrequenz des externen Frequenzzählers überein stimmen. Frequenzzähler siehe Bild oben. Mit den Tasten können wir den Faktor verändern, so lange bis beide Frequenz fast überein stimmen.

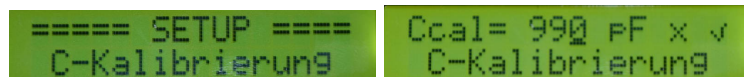
Als Abschluss mit Taste 1 den Cursor weiter nach rechts bewegen. Stimmt der Faktor, bewegen wir den Cursor ganz nach rechts zum Quittungshaken und bestätigen mit Taste 2 oder 3. Der neue Kalibrier-Faktor wird gespeichert und die Funktion ist beendet.

Die Torzeit ist auf schon auf einen passenden Wert eingestellt. Normalerweise braucht hier nichts geändert werden!!!.

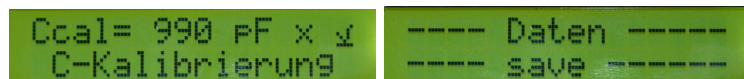
3.3 LCD Hintergrundbeleuchtung EIN/AUS, Taste 2 lange gedrückt

Die Hintergrundbeleuchtung kann ausgeschaltet oder eingeschaltet werden. Der Zustand wird gespeichert.

3.4 Kalibrier-Kondensator Wert ändern, Taste 3 lange gedrückt



Auch hier wird mit *Taste 1* der Cursor bewegt. Ist der Cursor unter der Zahl wird mit Taste 2 der Wert größer und mit Taste 3 der Wert kleiner. Die rechten Symbole sind *Abbruch* und *OK*.

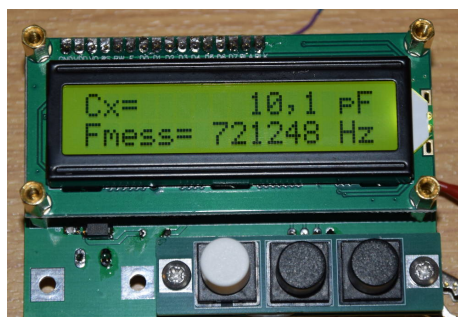


Der Kondensator C_{cal} sollte genau 1000 pF haben. Deshalb hatte ich vorgeschlagen einen Kondensator mit 1% Abweichung einzusetzen. In dieser

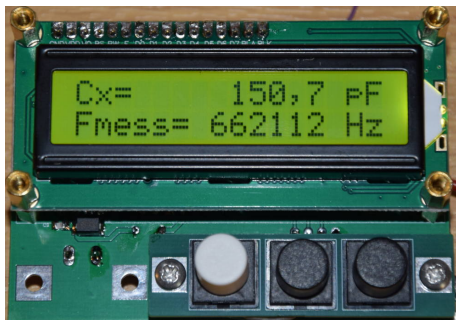
Funktion ist es aber möglich einen anderen Kondensator mit **genau bekannter Kapazität** einzusetzen. Dieser Wert wird hier eingestellt. Mein Kondensator im Mustergerät weicht etwas nach unten ab $C_{cal} = 990\text{pF}$.

Normalerweise braucht hier nichts geändert werden, da schon ein Kondensator mit 1% Abweichung eingesetzt wird!!!.

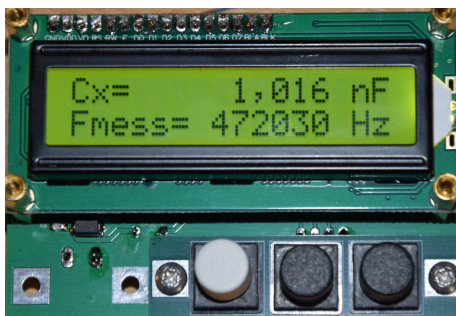
3.5 Verschiedene Messungen



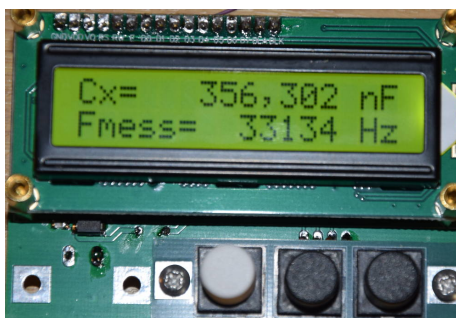
Keramischer Kondensator 10pF.



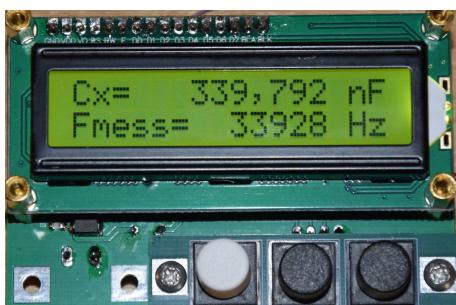
Glimmerkondensator 150pF.



Glimmerkondensator 1000pF.



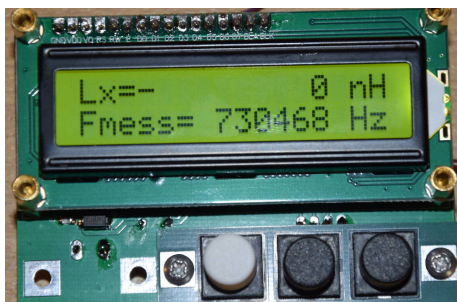
Foliekondensator 330nF. Das ist etwa die obere Grenze bei Cx. Die Anzeige wird schon etwas unruhig.



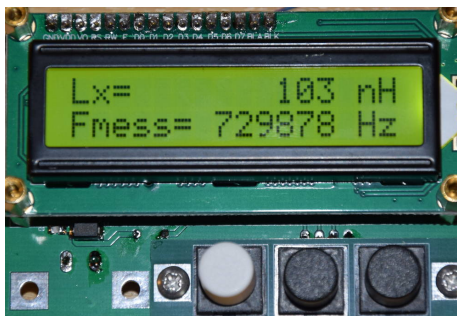
Foliekondensator anderer Typ 330nF. Das ist etwa die obere Grenze bei Cx. Die Anzeige wird schon etwas unruhig.



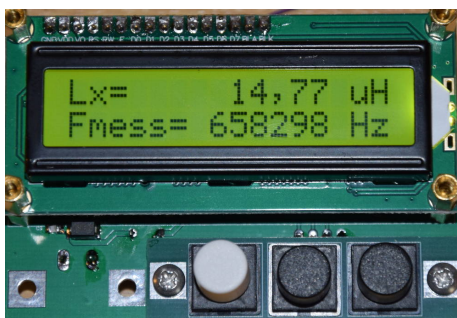
Umgeschaltet auf Lx Messung. Messkabel offen.



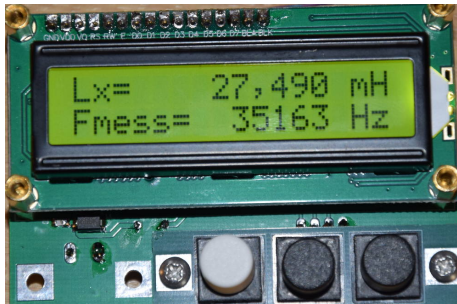
Messkabel kurz geschlossen und Taste 3 „Zero/Null“ gedrückt.



Induktivität SMCC 0,1uH.



Induktivität SMCC 15uH.



Induktivität 27mH. Festinduktivität stehend bedrahtet. Das ist etwa die obere Grenze bei L_x .

3.6 Test der beiden bistabilen Relais

Auf der LC-Messplatine befinden sich 2 Relais. Ich habe dafür bistabile Relais mit einer Spulenwicklung eingesetzt. Möchte man testen ob die Relais schalten, so ist das während *PowerON* möglich. ***Beim Einschalten muss irgend eine Taste gedrückt werden.*** Die Relais schalten der Reihe nach für eine Sekunde um. Der Vorgang wird erst beendet wenn die Taste wieder los gelassen wird.

Kapitel 4

Schlusswort

Dieses Projekt ist ein Nachbau des ursprünglichen LC-Meters von „Almost All Digital Electronics“ (AADE).

Das ist aber schon viele Jahre her. Diese Internetseite ist nicht mehr vorhanden.

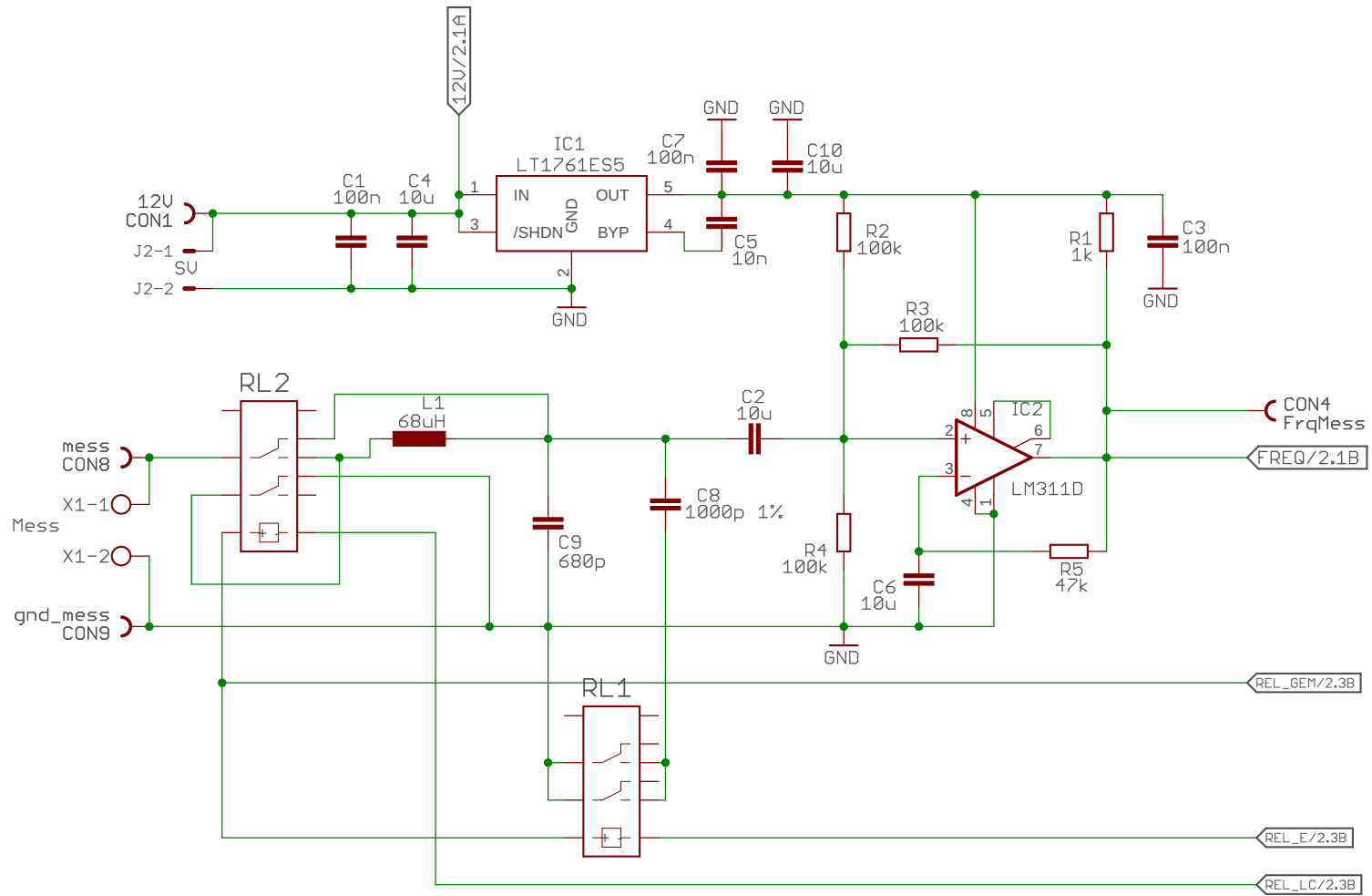
Ich wünsche viel Spaß beim Basteln!

vy 73 Andreas DL4JAL

✉ DL4JAL@t-online.de

4.1 PDF-Anhänge

Anschließend zu diesem Dokument habe ich noch zusätzliche PDFs angehängt.



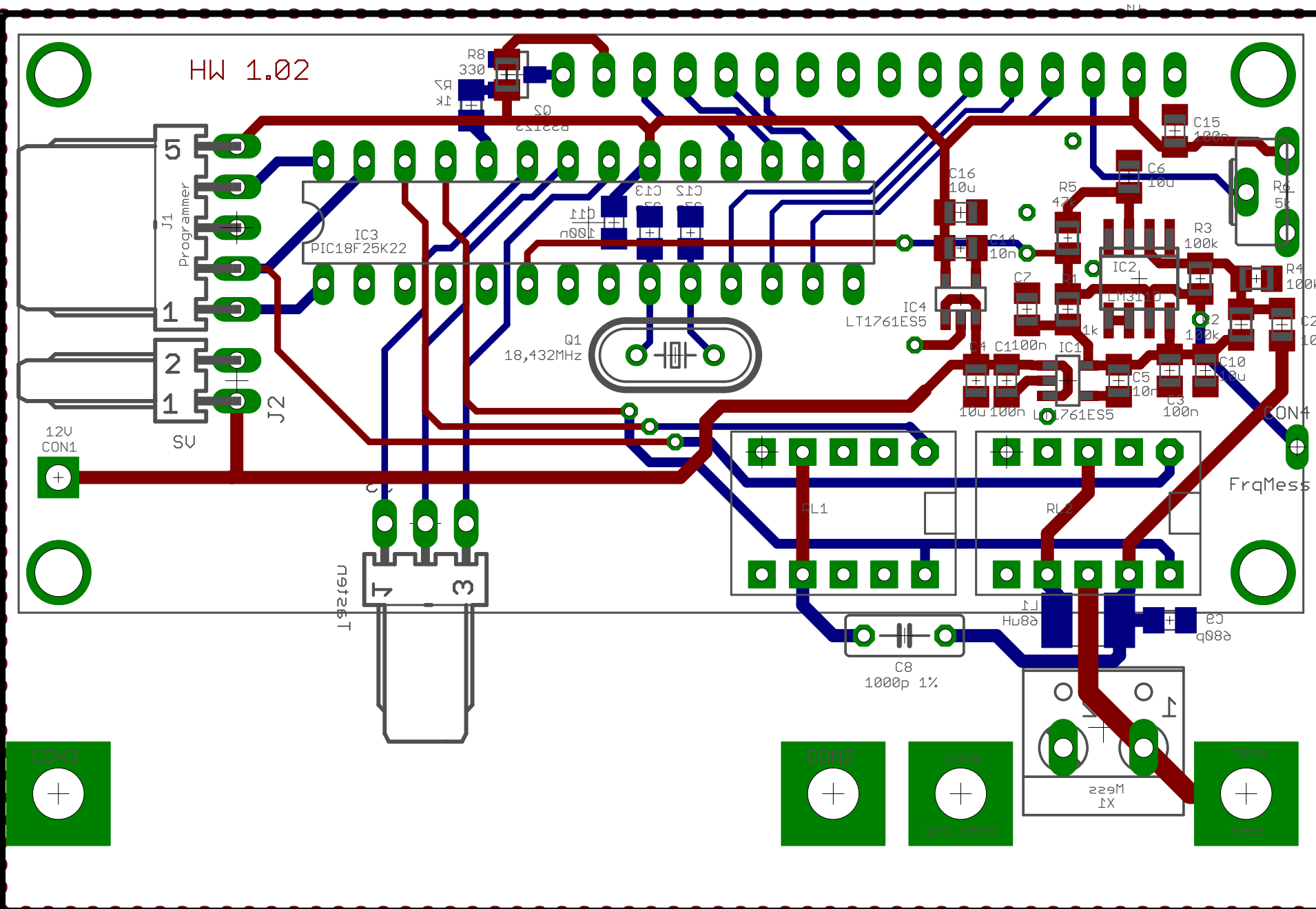
TITLE: lc_mc_2

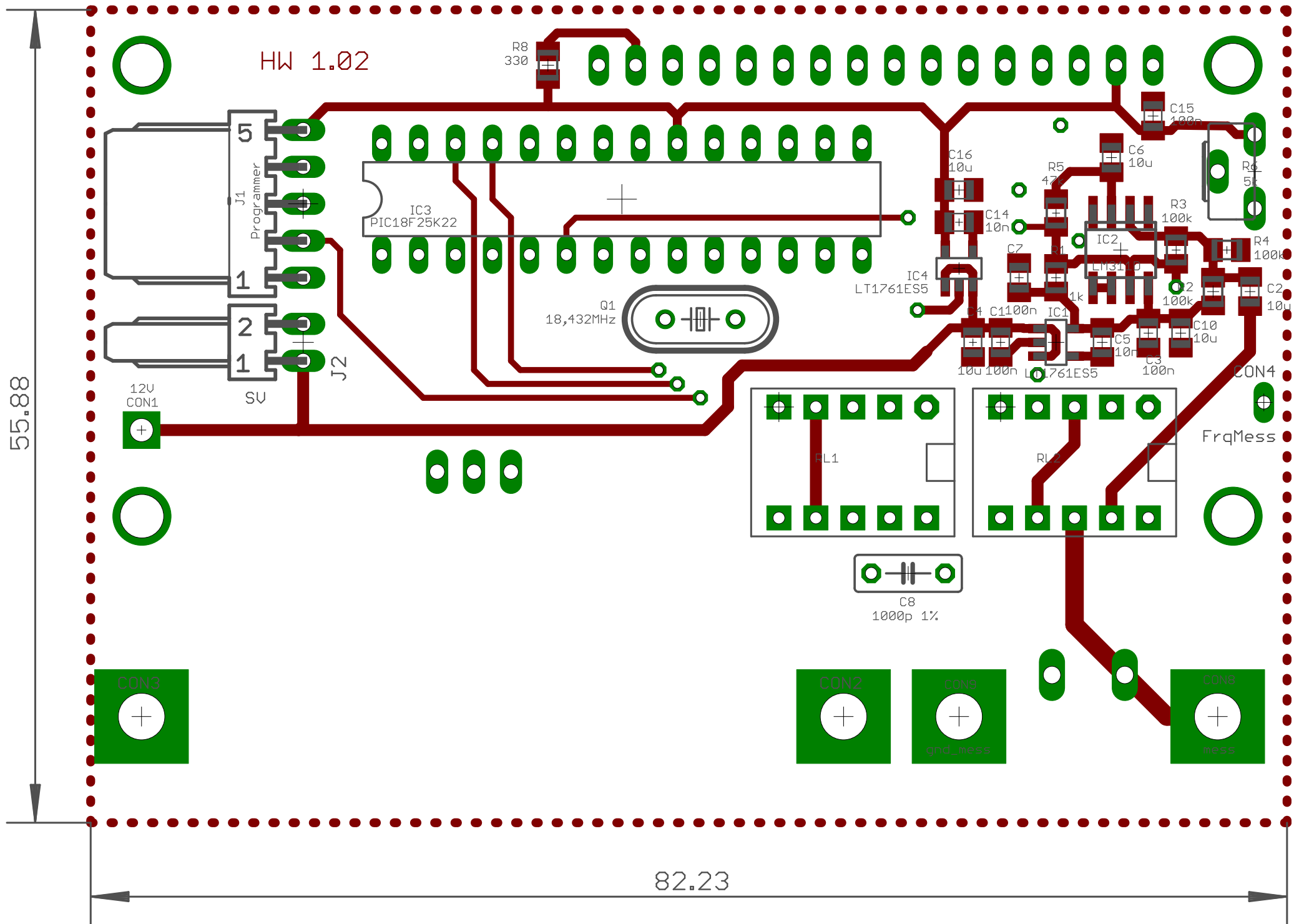
Document Number:

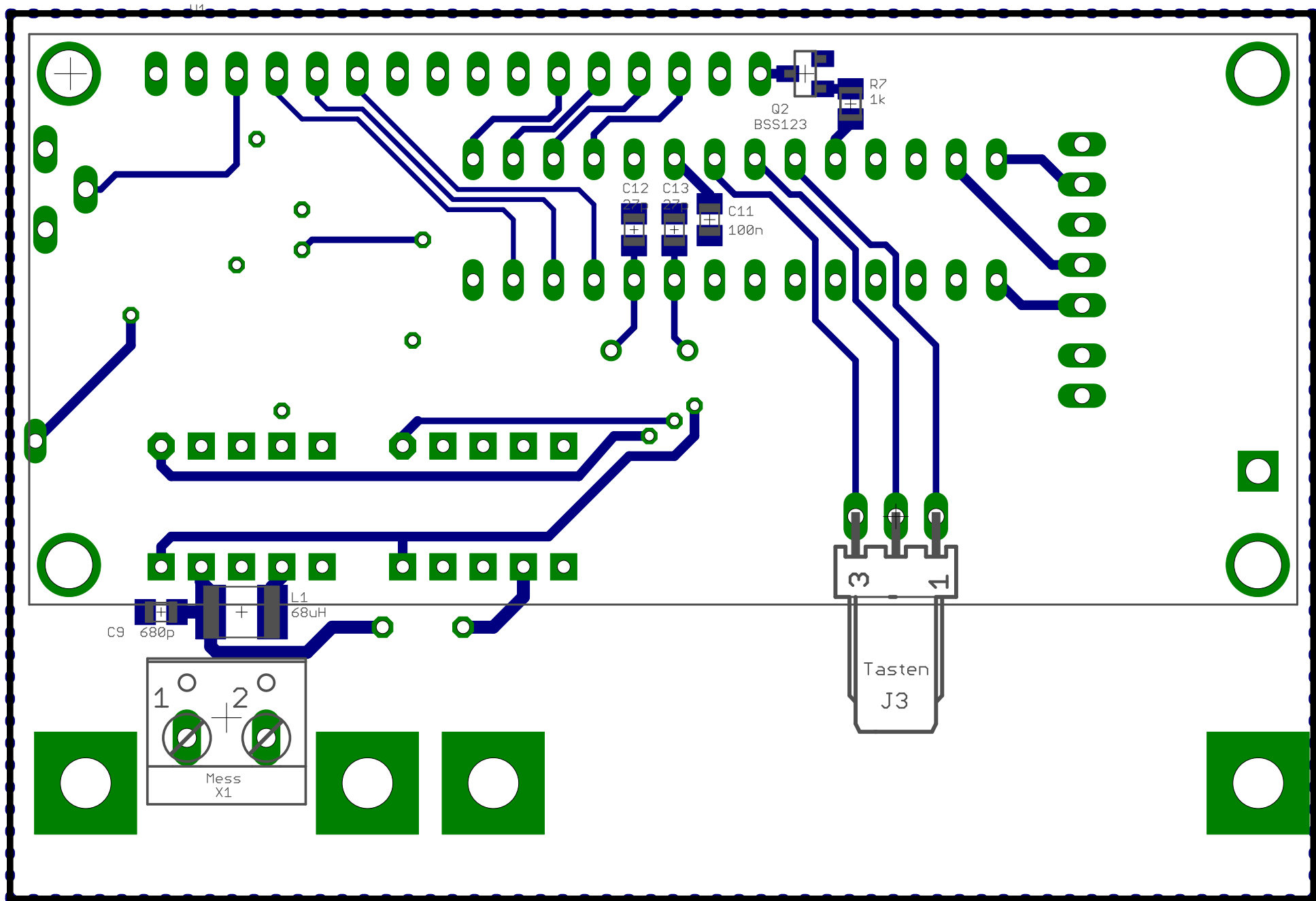
REV:

Date: nicht gespeichert!

Sheet: 1/2







Qty	Value	Package	Parts	Provider	Einzel	Gesamt	Provider2	Bestellnr.	Einzel2	Gesamt2
5	100n	C0805K	C1, C3, C7, C11, C15				Reichelt	X7R-G0805 100N		
2	27p	C0805K	C12, C13				Reichelt	KEM C0G0805 27P		
5	10u	C0805K	C2, C4, C6, C10, C16				Reichelt	X5R-G0805 10/16		
2	10n	C0805K	C5, C14				Reichelt	X7R-G0805 10N		
1	1000p 1%	C050-025X075	C8	DL4JAL	1,10 €	1,10 €	Reichelt	CY 22-3 1,0N	2,30 €	
1	680p	C0805K	C9	DL4JAL	0,15 €	0,15 €	Reichelt	NPO-G0805 680P		
2	LT1761ES5	SOT23-5	IC1, IC4				Reichelt	LT 1761 ES5-5	3,15 €	
1	LM311D	SO08	IC2	DL4JAL	0,80 €	0,80 €	Mouser	595-LM311DR	0,44 €	
1	PIC18F25K22	DIL28-3	IC3	DL4JAL	5,00 €	5,00 €				
1	Programmer	7395-05	J1				Reichelt	PSK/PSS		
1	SV	7395-02	J2				Reichelt	PSK/PSS		
1	68uH	L1812	L1	DL4JAL	0,50 €	0,50 €	Reichelt	L-1812AS 68μ		
1	18,432MHz	HC49/S	Q1				Reichelt	18,4320-HC49U-S		
1	BSS123	SOT23	Q2				Reichelt	BSS 123 SMD		
2	1k	M0805	R1, R7				Reichelt	SMD-0805 1,00K		
3	100k	M0805	R2, R3, R4				Reichelt	SMD-0805 100K		
1	47k	M0805	R5				Reichelt	SMD-0805 47,0K		
1	5k	CA6H	R6				Reichelt	PT 6-S 5,0K		
1	330	M0805	R8				Reichelt	SMD-0805 330		
2		TF2-L	RL1, RL2	DL4JAL	3,00 €	6,00 €	Mouser	769-TQ2-L-5V	2,55 €	
1		LCD2X16_1	U1				Reichelt	Kontakte oben		
1	Mess	W237-102	X1				Reichelt	siehe PDF		
3		MTG	SW1, SW2, SW3				Reichelt	TASTER 1032.7		
1	Leiterplatten			DL4JAL	5,00 €	5,00 €				
1		Versand			2,00 €	2,00 €				
				Gesamt		20,55 €				
		1000p 1%		680p		LM311D			68uH	