

# EL-12

## Leistungs-, Frequenz-, Induktivitäts-, und Kapazitätsmessgerät



## Bau-, Bedienungs- und Funktionsbeschreibung

Option 1, Version 2.0a

3. April 2009

## Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung .....	3
2	Zusammenbau des Gerätes .....	3
2.1	Bauteilelisten .....	5
2.2	„Step by Step“ Aufbau und Test der Platinen .....	8
2.2.1	Bestücken der Hauptplatine.....	8
2.2.2	Initialtest der Hauptplatine .....	9
2.2.3	Bestücken der Zusatzplatine (Bestückungsvariante Option 1).....	10
2.2.4	Mechanischer Zusammenbau des Messgerätes .....	11
2.3	Inbetriebnahme und Abgleich .....	12
2.3.1	Abgleich der Frequenzmessschaltung.....	13
2.3.2	Abgleich der Leistungsmessschaltung .....	14
2.3.3	Abgleich der LC-Messschaltung .....	14
3	Bedienung des L/C-P/F-Messgerät .....	16
3.1	Funktionstasten .....	16
3.2	Anzeige .....	17
3.3	Anschlüsse .....	17
3.3.1	Externer DC-Speiseanschluss .....	17
3.3.2	HF-Eingang (BNC).....	17
3.3.3	Messbuchsen.....	17
3.4	On / Off-Taste.....	18
3.5	Mode-Taste .....	18
3.6	Zero-Taste.....	19
4	Funktion des L/C-P/F-Messgerät .....	20
4.1	Aufbau .....	20
4.2	HF-Leistung- und Frequenz-Messung .....	20
4.2.1	Die Messschaltungen.....	20
4.2.2	Die Berechnung .....	20
4.3	Induktivität- und Kapazitäts-Messung .....	21
4.3.1	Die Messschaltung.....	22
4.3.2	Die Berechnung .....	24
5	Anhang.....	26
5.1	Spezifikationen .....	26
5.2	Leiterplatten Bestückung (Hauptplatine).....	27
5.3	Leiterplatten Bestückung (Zusatzplatine Option 1).....	28
5.4	Schema .....	28



Wichtig! Hinweise oder Tipps für die korrekte Funktion des EL-12.



Vorsicht! Unbedingt beachten.

# 1 Einleitung

Ein Gerät zum Messen von HF-Leistungen, Induktivitäten von Spulen und Kapazitäten von Kondensatoren ist für jeden Funkamateure mit Selbstbauinteresse und jeden Entwickler ein unverzichtbares und sehr hilfreiches Messinstrument.

Die Messbereiche des Gerätes wurden bewusst so gewählt, dass sehr kleine Leistungen z.B. Pegel von Oszillatoren im mW-Bereich bis zu einigen Watt gemessen werden können. Für Induktivitäten und Kapazitäten beginnen die Messbereiche bei wenigen nH bzw. pF und auch dort noch mit einer sehr guten Auflösung und Genauigkeit.

## 2 Zusammenbau des Gerätes

Für den Zusammenbau benötigen Sie folgendes Werkzeug und Zusatzmaterial:

- ◆ Stiftlötkolben 50 bis 80W
- ◆ Lötzinn Ø 0.5mm mit Flussmittelkern
- ◆ kleine Spitzzange
- ◆ div. Schraubenzieher und Sechskantschlüssel
- ◆ Pinzette
- ◆ Skalpell
- ◆ feiner Seitenschneider
- ◆ Sekundenkleber
- ◆ kleine Heissleimpistole
- ◆ Multimessinstrument (Ohmmeter)

Es empfiehlt sich, diese Dokumentation genau zu studieren und auszudrucken, denn es ist eine sichere Referenz, wenn Sie das Gerät zusammenbauen und erlaubt Ihnen die Kontrolle jedes gemachten Schrittes.

Stellen Sie sicher, dass der Arbeitsplatz frei von statischen Aufladungen ist, damit die bereits installierten SMD Elemente nicht beschädigt werden. Helfen kann das Tragen eines antistatischen Armbandes. Die Abbildungen auf den Seiten 7 und 8 der einzelnen Bauelemente sollen Ihnen helfen, die Elemente nach Form und Farbe zu identifizieren.

Die Bauteile sind in drei Beutel verpackt, Hauptplatine, Zusatzplatine und alle mechanischen Bauteile, welche der Bauteilelisten (Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4) entsprechen. Öffnen Sie jeweils nur den Beutel für die Platine, mit welcher Sie gerade arbeiten.



Das Löten ist eine der wichtigsten Arbeiten beim Aufbau dieses Gerätes. Eine schlechte Lötstelle kann auch bei einem sorgfältig zusammengebauten Bausatz ein Funktionieren des ganzen Gerätes verunmöglichen und die ganze Freude verderben.

Es ist einfach, eine gute Lötverbindung zu schaffen, wenn folgende Regeln beachtet werden:

1. Benutzen Sie einen temperaturgeregelten Stift-Lötkolben mit ca. 50 bis 80 Watt. Eine 1 bis 2 mm breite Meissel- oder Pyramidenspitze eignet sich am besten.

2. Stellen Sie die Temperatur für bleifreies Zinn auf maximal 320°C und für bleihaltiges Zinn auf maximal 360°C ein.
3. Die Lötspitze muss immer sauber und gut verzinkt sein. Wischen Sie die Spitze öfters auf Edelstahlwolle ab (gibt es in jedem Supermarkt in der Putzmittelabteilung zu kaufen), nie auf einem nassen Schwamm, denn dann kühlt die LötKolbenspitze unnötig ab und die Wärme fehlt anschliessend auf der Lötstelle.
4. Verwenden Sie keine aggressive Lötpasten sondern qualitativ guten Lötdraht mit einem Flussmittelkern.
5. Halten Sie die LötKolbenspitze nur einmal, dafür lange genug (ca. 2 bis 5s) an die zu lötende Stelle damit das Lötzinn gut fließen kann. Geben Sie während dieser Zeit ganz wenig Lot zwischen Lötstelle und -spitze.
6. Berühren Sie die Platinen nie mit den Fingern an den Lötflächen, sonst ist eine gute Lötstelle nicht möglich. Sollte dies trotzdem passieren, dann reinigen Sie die Platine mit einem mit Haushaltbenzin benetzten, fuselfreien Tuch.
7. Bei mehrpoligen Bauelementen wie z.B. IC-Sockel, Stecker usw. wird das Element zuerst übers Kreuz geheftet (nur wenig Zinn geben). Dies hat den Vorteil, dass die Elemente noch justiert werden können. Anschliessend alle anderen Anschlüsse zuerst einlöten.



Achten Sie stets darauf, dass Sie beim Löten nicht versehentlich bereits bestückte Elemente mit dem LötKolben berühren und diese anschmoren.

Bei den Widerständen in der Bauteileliste steht auch die jeweilige Farbcodierung (siehe auch Tabelle 1). Wenn Sie nicht sicher sind im Umgang mit der Farbcodierung, ist es besser, den Widerstandswert vor dem Einlöten mit einem Ohmmeter zu messen.

Farbkodierung von Widerständen mit 4 Ringen				
Farbe	Widerstandswert in $\Omega$			Toleranz
	1. Ring (1. Ziffer)	2. Ring (2. Ziffer)	3. Ring (Multiplikator)	4. Ring
keine	-	-	-	$\pm 20\%$
silber	-	-	$10^{-2} = 0.01$	$\pm 10\%$
gold	-	-	$10^{-1} = 0.1$	$\pm 5\%$
schwarz	-	0	$10^0 = 1$	-
braun	1	1	$10^1 = 10$	$\pm 1\%$
rot	2	2	$10^2 = 100$	$\pm 2\%$
orange	3	3	$10^3 = 1'000$	-
gelb	4	4	$10^4 = 10'000$	-
grün	5	5	$10^5 = 100'000$	$\pm 0.5\%$
blau	6	6	$10^6 = 1'000'000$	$\pm 0.25\%$
violett	7	7	$10^7 = 10'000'000$	$\pm 0.1\%$
grau	8	8	$10^8 = 100'000'000$	-
weiss	9	9	$10^9 = 1'000'000'000$	-

Tabelle 1



Beachten Sie bei allen polarisierten Bauelementen (Dioden, Transistoren, Elkos, ICs, Relais usw.) die Einbaurichtung.

## 2.1 Bauteilelisten

EL-12 Hauptplatine		
Anzahl	Bauteile Nr.	Beschreibung
2	R101, 112	22Ω 1/8 W (rot-rot-schwarz) [Bauteil 3]
1	R109	180Ω 1/2 W (braun-grau-braun) [Bauteil 4]
4	R108, 110, 113, 114	10kΩ 1/8 W (braun-schwarz-orange) [Bauteil 3]
1	R111	22kΩ 1/8 W (rot-rot-orange) [Bauteil 3]
1	R107	47kΩ 1/8 W (gelb-violett-orange) [Bauteil 3]
5	R102, 103, 104, 106, 115	100kΩ 1/8 W (braun-schwarz-gelb) [Bauteil 3]
1	R105	50kΩ Trimm-Potentiometer [Bauteil 5]
1	C106	6.5-30pF Trimmer (grün) [Bauteil 8]
1	C107	22pF Keramik, bezeichnet mit 220 [Bauteil 10]
1	C103	680pF Keramik bezeichnet mit 681 [Bauteil 11]
1	C104	1000pF Keramik bezeichnet mit 102 [Bauteil 11]
8	C101, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 117	0.1uF Keramik bezeichnet mit 104 [Bauteil 9]
1	C108	1uF/50V Elektrolyt [Bauteil 13]
4	C102, 105, 112, 116	10uF/16V Elektrolyt [Bauteil 12]
2	D101, 102	1N4148 Universaldiode [Bauteil 23]
1	D103	1N4003 Diode 1A [Bauteil 22]
1	L101	40uH Drosselspule [Bauteil 6]
1	X101	4MHz Quarz HC-49U [Bauteil 24]
1	Q101	BC547C NPN-Transistor [Bauteil 21]
1	U102	LCD-Anschlussbuchsenleiste 16pol [Bauteil 37]
1	U101	28pol IC-Sockel [Bauteil 31] (ev. 2x 14pol IC-Sockel)
1	P101	2x5 Stiftleiste [Bauteil 32]
1	J105	USB-A Minibuchse (SMD) [Bauteil 30] <i>Option</i>
1	J106	DC-Buchse (Power-Jack) [Bauteil 28]
2	K101, 102	Read Relais 9007 [Bauteil 27]
3	S101, 102, 103	Drucktaste TS6211T2602AC [Bauteil 25]
3	S101, 102, 103	Kappe zu Drucktaste 2xblau, 1xgelb [Bauteil 26]
1	U101	PIC18F2553A programmiert [Bauteil 20]
1	U102	LCD 16x2 (80x36mm) [Bauteil 35]
1	Flexkabel zu U102	Flachbandkabel 16pol. zu LCD [Bauteil 36]
1	U103	MM74HC164N Schieberegister [Bauteil 18]
1	U104	MAX883CPA+ Spannungsregler [Bauteil 17]
3	Ø12mm	Markierungspunkte 3148 [Bauteil 45]
1	Platine EL-12	Hauptplatine Version 2.0a

Tabelle 2

### EL-12 Zusatzplatine für Bestückungsvariante Option 1

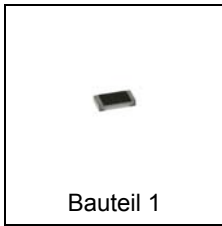
Anzahl	Bauteile Nr.	Beschreibung
8	R201, 202, 203, 204, 210, 211, 212, 213	410Ω 1W (SMD) [Bauteil 2]
1	R209	2.49kΩ 1/8W (SMD) [Bauteil 1] <i>bestückt</i>
1	R214	52.3Ω 1/8W (SMD) [Bauteil 1] <i>bestückt</i>
2	R205, 206	220Ω 1/8W (rot-rot-schwarz) [Bauteil 3]
1	R215	1kΩ 1/8W (braun-schwarz-rot) [Bauteil 3]
4	R207, 208, 216, 217	100kΩ 1/8W (braun-schwarz-orange) [Bauteil 3]
7	C201, 203, 204, 205, 207, 208, 209	0.1uF Keramik [Bauteil 9]
1	C202	10uF/16V Elektrolyt [Bauteil 12]
1	L201	Drossel / 10uH [Bauteil 7]
1	U201	AD606JNZ [Bauteil 19]
1	U202	MAX903EPA [Bauteil 17]
1	P201	BNC-Buchse [Bauteil 34]
1	P202	2x5 Stiftbuchse [Bauteil 33]
1	Platine EL-12-Ext.	Zusatzplatine Version 2.0a

Tabelle 3

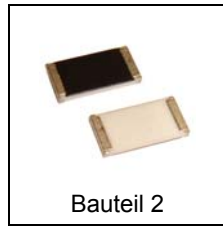
### EL-12 mechanische Bauteile

Anzahl	Bauteile Nr.	Beschreibung
1	Gehäuse mit Batteriefach gebohrt	HP-4AA (Oberteil und Unterteil) [Bauteil 43]
4	Schrauben	Schrauben zu Gehäuse (60228-02)
2	Batterieclip	2x einfach (67257-01) [Bauteil 46]
3	Batterieclip	3x doppel (67256-01) [Bauteil 47]
1	BAT101 +	Draht rot (10cm) [Bauteil 42]
1	BAT101 -	Draht schwarz (15cm) [Bauteil 42]
2	3x5mm	Abstandhülse Nylon R30F6700594 [Bauteil 40]
2	M3x12	Senkkopfschraube Nylon [Bauteil 39]
2	M3	Mutter Nylon mit Flansch [Bauteil 38]
3	M2.5x7	Zylinderskopfschrauben [Bauteil 41]
3	M4x9mm	Unterlegscheiben rostfrei [Bauteil 48]
3	M4	Federringe M4 [Bauteil 49]
1	Frontplattendruck (Option 1)	Folie mit Frontplattenausdruck [Bauteil 44]
3	J102, 103, 104	Buchse gelb, schwarz, rot [Bauteil 29]
1	Klebefolie 100x150mm	Klebefolie einseitig

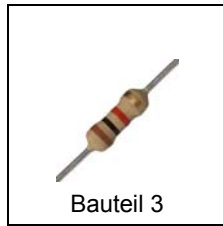
Tabelle 4



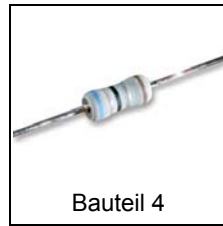
Bauteil 1



Bauteil 2



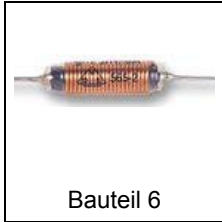
Bauteil 3



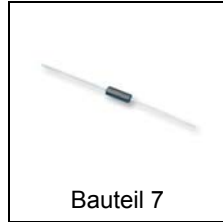
Bauteil 4



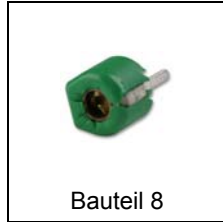
Bauteil 5



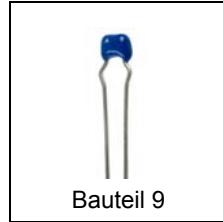
Bauteil 6



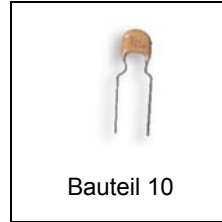
Bauteil 7



Bauteil 8



Bauteil 9



Bauteil 10



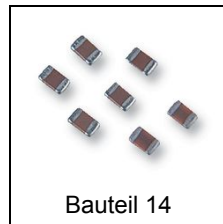
Bauteil 11



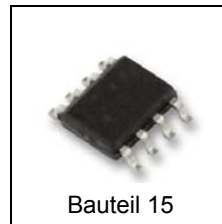
Bauteil 12



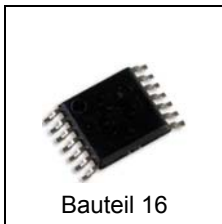
Bauteil 13



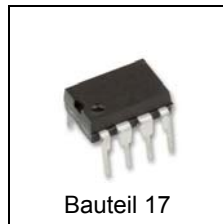
Bauteil 14



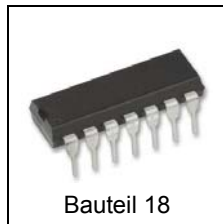
Bauteil 15



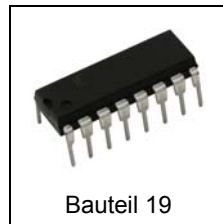
Bauteil 16



Bauteil 17



Bauteil 18



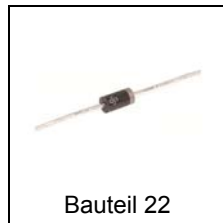
Bauteil 19



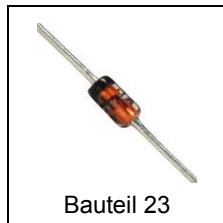
Bauteil 20



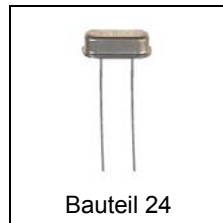
Bauteil 21



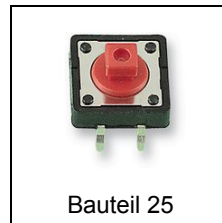
Bauteil 22



Bauteil 23



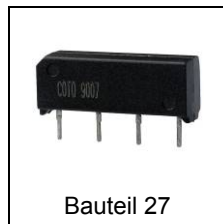
Bauteil 24



Bauteil 25



Bauteil 26



Bauteil 27



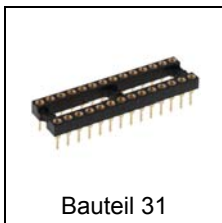
Bauteil 28



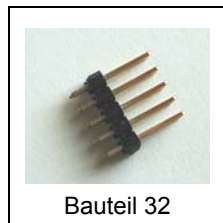
Bauteil 29



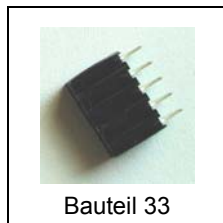
Bauteil 30



Bauteil 31



Bauteil 32



Bauteil 33



Bauteil 34



Bauteil 35



## 2.2 „Step by Step“ Aufbau und Test der Platinen

### 2.2.1 Bestücken der Hauptplatine

Die Bestückungspläne der Ober- und Unterseite der Hauptplatine finden Sie in Kapitel 5.2 (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18). Die SMD Bauteile sind bereits bestückt.



Die ICs U101 und U103 dürfen nicht gesteckt bzw. eingelötet werden!

Bestücken Sie mit Hilfe der Stückliste (Tabelle 1) die folgenden Bauelemente.

- Decken Sie auf der Unterseite der Platine die drei Kontaktflächen J102, 103, 104 mit den Selbstklebepunkten ab. Dies verhindert, dass man aus Versehen mit der LötKolbenspitze die Kontakte mit Lötzinn verschmiert.
- R101 bis R115, Widerstände
- D101 bis D103, Dioden → Polarität beachten!
- L101, Spule 40uH
- X101, Quarz 4MHz → Der Quarz wird mit einem kleinen Abstand zur Platine eingelötet.



Schneiden Sie einen Karton- oder Kunststoffstreifen 4mm x 30mm (dicke ca. 0.5mm) zu und legen Sie diesen auf der Bauteileseite zwischen die beiden Quarz-Anschlüsse. Nach dem Löten entfernen Sie den Streifen wieder.

- U101, IC-Sockel (28polig) → Einbaurichtung beachten!
- U102, LCD-Anschlussleiste 16polig



- C101, bis 117 Kondensatoren → bei Elektrolytkondensatoren auf die Polarität achten!
- U104, IC MAX883 → U104 wird ohne Sockel direkt eingelötet. Einbaurichtung beachten!
- Q101, Transistor BC547C
- J106, Buchse (Power-Jack) → auf die genaue Ausrichtung achten.
- P101, Stiftleiste 2x5 → muss flach auf der Platine aufliegen und senkrecht stehen.
- K101 und K102, Relais → Einbaurichtung beachten! (abgeschrägte Seite  $\hat{=}$  Pin1)
- S101 bis S103, Drucktasten → Die 3 Tasten werden auf der Platinenunterseite bestückt.



Auf der Platine befindet sich kein Bestückungsdruck, positionieren Sie die Tasten gemäss der Abbildung 18.

Achten Sie darauf, dass die Tasten absolut flach auf der Platine aufliegen. Vor dem Löten schneiden Sie die überstehenden Anschlussdrähte auf der Platinenoberseite so kurz wie möglich ab und verlöten anschliessend alle 4 Kontakte jeder Taste mit wenig Zinn.

- Kontrollieren Sie alle Lötstellen sehr genau!  
Ev. hilft dabei eine Lupe, denn bereits kleinste, ungewollte Lötbrücken können sich verhängnisvoll auswirken.

## 2.2.2 Initialtest der Hauptplatine



Achten Sie auf einen sauberen Arbeitsplatz damit die Platine nicht auf abgeschnittenen Drahtstücken liegt, welche zu Kurzschlüssen führen können.

Wenn alle Elemente (ohne U101, 102, 103) bestückt sind kann ein erster elektrischer Test erfolgen.

- Speisen Sie die Hauptplatine über die Buchse J106 (Power-Jack, Stift ist +Pol) mit einer Gleichspannung zwischen minimal 6V und maximal 10V. Wenn Sie über ein Speisegerät mit Strombegrenzung verfügen, stellen Sie diese auf einen Maximalstrom von 5mA ein.
- Messen Sie mit einem Multimeter die Gleichspannung am Sockel von U101 –Pin8 und +Pin20. Die Spannung muss 0V betragen.
- Drücken und halten Sie die Taste S103 („Power“). Die Spannung an U101 muss nun auf +5V  $\pm$ 0.2V steigen und mit dem Loslassen der Taste wieder auf 0V sinken.
- Ist der Test erfolgreich, können Sie nach dem Ausschalten der Spannungsversorgung das IC U103 (ohne Sockel) einlöten und den PIC in den Sockel von U101 stecken. → Einbaurichtung beachten



Wenn nicht, kontrollieren Sie alle Bauelemente auf ihre Werte und die korrekte Position mit Hilfe des Schemas sowie die Lötstellen genau, und korrigieren Sie die Probleme.

- Drehen Sie das Trimpotentiometer R105 mit einem feinen Schraubenzieher im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag (maximaler Kontrast).

- Schliessen Sie das LCD (Schutzfolie nicht entfernen) mit dem Flexprint-Kabel (Flachbandkabel) an die Buchse U102 an.



Das Flachbandkabel in die beiden Stecker einführen, dass die blaue Verstärkungs-lasche sichtbar ist und die Kontaktflächen unten, zur Platinenseite, liegen.

Auf der Hauptplatine das Kabel bis zum Anschlag in die Buchenleiste schieben und den Klemmbügel vorsichtig zudrücken. Bei der LCD zuerst die braune Klemmklappe der Buchse öffnen, dann das Flachbandkabel einlegen und die Klappe zudrücken bis sie einrastet. Drehen Sie vorsichtig die Platine zusammen mit der LCD, damit Sie die Vorderseite der Anzeige sehen und die Tasten leicht bedienen können.

- Schalten Sie die Spannungsversorgung ein und drücken Sie die Taste S103 („Power“ ganz rechts) nur so lange (ca. 2s) bis Sie auf dem Display den Initialisierungstext sehen. Anschliessend erscheint ein Messwert im Kapazitätsmess-Mode. Sollten Sie auf beiden Zeilen der Anzeige keinen Text sehen, muss ev. der Kontrast mit R105 etwas zurückgestellt werden.
- Drücken Sie die Taste S101 („Zero“ ganz links) bis auf der LCD „Calibrating“ angezeigt wird. Nach ca. 2s kehrt der Anzeigetext des Cx-Modes zurück.

Wenn alle Tests erfolgreich können Sie sich dem Aufbau der Zusatzplatine zuwenden.

### 2.2.3 Bestücken der Zusatzplatine (Bestückungsvariante Option 1)

Die Bestückungspläne der Ober- und Unterseite der Hauptplatine finden Sie in Kapitel 5.3 (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20). Ausser den 8 Leistungswiderständen sind alle SMD Bauteile (blau markiert) bereits bestückt.

Bestücken Sie mit Hilfe der Stückliste (Tabelle 2) die folgenden Bauelemente:

- R201, R202, R210, R211 SMD Widerstände auf der Platinen-Unterseite
- R203, R204, R212, R213 SMD Widerstände auf der Platinen -Oberseite
- Messen Sie mit einem Ohmmeter den Widerstand zwischen des Leiters der BNC-Buchse und Masse, dieser muss  $50.3\Omega \pm 0.2\Omega$  betragen.
- R205, R206, R215, Widerstände
- R207, R208, R216, R217, Widerstände
- L201, Drossel
- C201, C203, C204, C205, C207, C208, C209 Kondensatoren
- C202 Elektrolytkondensator liegend einlöten und auf Polarität achten!
- U201, IC AD606JN → U201 wird ohne Sockel eingelötet.  
ACHTUNG: Einbaurichtung unbedingt beachten, denn U201 ist ein sehr teures IC!
- U202, IC MAX903 → U202 wird ohne Sockel eingelötet. Einbaurichtung beachten!
- P201, BNC-Buchse → nicht vergessen den Buchsenstift auf der Platinenoberseite zu löten!
- P202, 2x5 Stiftbuchse → muss flach auf der Platine aufliegen und senkrecht stehen.


- Kontrollieren Sie alle Lötstellen sehr genau!  
Ev. hilft dabei eine Lupe, denn bereits kleinste, ungewollte Lötbrücken oder Elemente die vergessen wurden einzulöten, können sich fatal auswirken.

#### 2.2.4 Mechanischer Zusammenbau des Messgerätes

Der mechanische Zusammenbau hat strikte nach der folgenden Reihenfolge zu geschehen, da es sonst zu Problemen kommen kann.

- Legen Sie das Gehäuseoberteil mit der Innenseite auf eine flache Unterlage. Stecken Sie die beiden Nylon-Senkkopfschrauben 3x12mm in die Löcher links und rechts unter der Aussparung für die Anzeige. Achten Sie darauf, dass die Schrauben lotrecht nach unten hängen und plan mit der Gehäuseoberfläche sind. Geben Sie jetzt einen Tropfen „Sekundenkleber“ auf jeden Schraubenkopf, so dass sich der Leim durch die Kapillarwirkung gleichmässig verteilen kann und lassen Sie die Klebestelle ohne Berührung ca. 8h trocknen.
- Bekleben Sie mit der Klebefolie die bedruckte Seite des Frontplattendrucks (ohne diesen vorher zuzuschneiden), so dass die gesamte bedruckte Fläche abgedeckt wird. Arbeiten Sie von einer Seite zur anderen, damit keine Luftblasen entstehen.
- Schneiden Sie den Frontplattendruck auf die Aussenmasse 133mm x 78.5mm zurecht und überprüfen Sie das Ergebnis, indem Sie den Frontplattendruck in das Gehäuseoberteil legen (nicht bevor der Sekundenkleber trocken ist!).  
Das Ausrichten der der Frontplattenfolie kann geprüft werden, indem die zugeschnittene Folie auf dem Gehäuse liegend gegen eine Lichtquelle gehalten wird und die Löcher und Aussparung in Übereinstimmung gebracht werden.
- Entfernen Sie die Deckfolie an der Unterseite des Frontplattendrucks und kleben Sie diese seitenrichtig auf den Gehäuseoberteil.
- Schneiden Sie von der Gehäuseinnenseite her mit einem sehr scharfen Messer (Skalpell) alle Aussparungen (LCD, 3 Tasten und 3 Buchsen) exakt aus. Überprüfen Sie Ihre Arbeit durch einpassen einer Tastenkappe und einer Buchse.
- Legen Sie das LCD (ohne Flexkabel) von der Gehäuseinnenseite in die vorgesehene Aussparung, so dass die Platine flach auf dem Gehäuse aufliegt. Der Flexprint-Anschluss muss sich oben befinden, d.h. von den Tastenlöchern weg. Bei den vier Löchern kleben Sie mit Heissleim die Anzeige auf dem Gehäuse fest.
- Montieren Sie die 3 Klemmbuchsen im Gehäuseoberteil, (von links nach rechts: rot - schwarz - gelb). → nur eine Mutter aufsetzen.
- Abisolieren Sie die Drähte (schwarz und rot) an beiden Enden je 5mm und verzinnen Sie diese.
- Nehmen Sie die zwei Batterieclips (einfach, 67257-01) und löten Sie den roten und schwarzen Draht an je einen Clip (Kabel durch das Loch im unteren der viereckigen Laste, vom Federkontakt weg, stecken). Ev. geht der Lötvorgang besser, wenn Sie die Clips vorher gut verzinnen. → nie am Clip löten, wenn dieser im Gehäuseunterteil eingesetzt ist (Halterung schmilzt)!
- Nehmen Sie das Gehäuseunterteil und öffnen Sie das Batteriefach. Legen Sie das Gehäuseenteil so vor sich, dass das Batteriefach zu Ihnen schaut. Nehmen Sie die drei Batte-

rieclips (doppel 67256-01) und setzen Sie diese im Batteriefach ein → auf der linken Seite 2x und auf der rechten Seite in der Mitte 1x.

- Nehmen Sie die beiden Clips mit den angelöteten Drähten und setzen Sie diese im Batteriefach ein, indem Sie zuerst den Draht durch die Aussparung führen → auf der rechten Seite oben den Clip mit dem roten Draht und auf der rechten Seite unten den Clip mit dem schwarzen Draht.
- Verdrillen Sie die beiden Drähte und löten Sie die beiden Enden auf der Hauptplatine ein → BAT1 roter Draht bei + und den schwarzen Draht beim zweiten Anschlussloch.
-  Passen Sie auf, dass beim einlöten der Drähte nicht versehentlich mit dem LötKolben das Gehäuse angesengt wird.

- Nehmen Sie die 3 Tastenkappen (2x blau, 1x gelb) und schneiden Sie auf der Unterseite mit einem kleinen Seitenschneider die 4 überstehenden Kunststoffhaken flach ab (auf keinen Fall herausbrechen!).
- Stecken Sie die 3 Tastenkappen auf die entsprechenden Tasten der Hauptplatine (von links nach rechts: blau - blau - gelb, Ansicht: Tasten am oberen Platinenrand).
- Montieren Sie die Zusatzplatine, mit den Bauteilen nach oben, mit 3 Zylinderkopfschrauben M2.5x6 in den Gehäuseunterteil. → Achtung: die Schrauben nicht zu stark anziehen da diese sonst im Kunststoff ausreißen können.
- Stülpen Sie zwei Nylon-Abstandshülsen 3x5mm über die beiden eingeleimten Kunststoffschrauben im Gehäuseoberteil.
- Versehen Sie jede Buchse mit einer Unterlegscheibe.
- Montieren Sie die Hauptplatine im Gehäuseoberteil. Fixieren Sie diese mit einer Feder-scheibe und Mutter M4 der 3 Klemmbuchsen sowie mit zwei Kunststoffmuttern M3. Ziehen Sie die drei Muttern der Klemmbuchsen erst fest, wenn Sie sich versichert haben, dass die Drucktasten leicht betätigt werden können. Ansonsten muss die Platine etwas justiert werden. Muttern nicht mit Gewalt festziehen.
- Schliessen Sie das Flexprintkabel am LCD an, führen Sie es flach über die Hauptplatine und falten Sie es über die Anzeigeplatine zu einer Z-Schlaufe.

### **2.3 Inbetriebnahme und Abgleich**

Für die Inbetriebnahme und den Abgleich benötigt man folgende Messgeräte und Elemente:

- ◆ Einen Referenz-Kondensator, ca. 1000pF bis 1500pF mit genau bekanntem Wert (gemessen mit einem genauen C-Messgerät) oder einen engtolerierten Kondensator z.B. 0.1%
- ◆ Genauer Frequenzzähler mit einem Messbereich bis 1MHz.
- ◆ Ein HF-Generator im Frequenzbereich 20MHz bei dem das Ausgangssignal als Referenzpegel auf exakt 20dBm (100mW) eingestellt werden kann.
- ◆ Ein 50Ω HF-Dämpfungsglied mit 50dB Dämpfung.
- ◆ Diverse 50Ω Koaxialkabel und ev. Übergangsstecker für BNC zum Anschluss des HF-Generators an das EL-12.

Mit den im Messgerät implementierten Abgleichroutinen kann das Gerät für alle Betriebsarten einfach kalibriert werden.



Möchten Sie die Abgleich-Routinen abbrechen, dann können Sie das Set-Up Menu mit der Taste „On/Off“ bzw. **Exit** tun, ohne dass dabei die bereits gespeicherten Daten verändert werden.

Sollten Sie beim Abgleich, z.B. bei der Leistungsmessschaltung, falsche Werte eingestellt und abgespeichert haben, dann wird zwar das Messgerät falsche Werte indizieren, aber Sie können die Abgleichprozedur beliebig oft wiederholen und das Gerät erneut kalibrieren.

### 2.3.1 Abgleich der Frequenzmessschaltung

Für den Frequenzabgleich muss das Gerät geöffnet sein d.h. die Hauptplatine darf keine Verbindung mit der Zusatzplatine haben.

- Schalten Sie das Gerät mit der Taste „On/Off“ ein. Wählen Sie mit gedrückter Taste „Mode“ den **Frequency** Mode aus.
- Schalten Sie jetzt das Gerät mit der Taste „On/Off“ wieder aus.
- Verbinden Sie den Eingang des Frequenzzählers mit der Stiftleiste P101 (Pin6 Gnd / Pin7 Freq.-Out) auf der Hauptplatine.
- Drücken und halten Sie die Taste „Zero“ und drücken Sie anschliessend kurz die Taste „On/Off“. Wenn die Anzeige **set-Up Fx-Mode** zeigt, können Sie die Taste „Zero“ loslassen. Sie werden nun aufgefordert die Frequenz einzustellen.

```
set Fx to 500kHz
Exit
```

- Stellen Sie die Frequenz mit einem nichtleitenden Schraubenzieher am Trimmkondensator C106 exakt auf 500.000 kHz bzw. die Periodendauer auf 2.000us ein (siehe Abbildung 1).

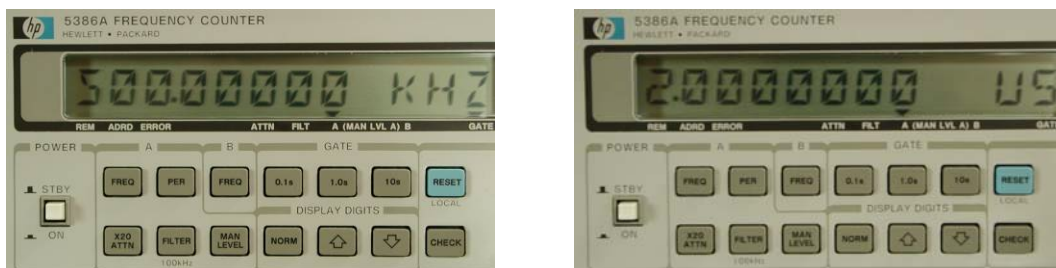


Abbildung 1

- Der Abgleich ist beendet. Drücken Sie kurz die Taste „On/Off“ bzw. **Exit**. und das Gerät schaltet sich ab.
- Schliessen Sie das Gehäuse. Achten Sie darauf, dass die Hauptplatine über die Stiftleiste mit der Zusatzplatine verbunden ist.

### 2.3.2 Abgleich der Leistungsmessschaltung



Für diesen Abgleich muss das Gehäuse geschlossen sein.

Gehen Sie nach den folgenden Schritten vor:

- Schalten Sie das Gerät mit der Taste „On/Off“ ein. Wählen Sie mit gedrückter Taste „Mode“ den **RF-Power** Mode aus.
- Schalten Sie jetzt das Gerät mit der Taste „On/Off“ wieder aus.
- Schliessen Sie den HF-Signalgenerator an den HF-Eingang des Messgerätes an und stellen Sie die Frequenz auf 20 MHz ein.
- Drücken und halten Sie die Taste „Zero“ und drücken Sie anschliessend kurz die Taste „On/Off“. Wenn die Anzeige **set-Px** zeigt, können Sie die Taste „Zero“ loslassen. Sie werden nun aufgefordert, den Pegel für den ersten Eichpunkt einzustellen.

```
set Px to +20dBm
Next Exit
```

Abbildung 2

- Wenn Sie den Ausgangspegel des HF-Generators exakt auf  $20\text{dBm} \hat{=} 100\text{mW}$  eingestellt haben, drücken Sie kurz die Taste „Mode“ bzw. **Next**. Sie werden nun aufgefordert den Pegel für den zweiten Eichpunkt einzustellen.

```
set Px to -30dBm
Next Exit
```

Abbildung 3

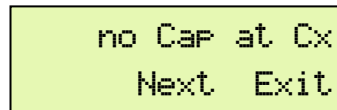
- Wenn Sie den Ausgang des HF-Generators exakt auf  $-30\text{dBm} \hat{=} 1\text{uW}$  eingestellt haben, drücken Sie auf die Taste „Mode“ bzw. **Next**. Das Gerät berechnet aus den Eichpunkten die notwendigen Werte und schaltet sich danach ab.

Der Abgleich ist beendet, und die Kalibrier-Werte sind im Gerät permanent gespeichert.

### 2.3.3 Abgleich der LC-Messschaltung

- Schalten Sie das Gerät mit der Taste „On/Off“ ein.
- Wählen Sie mit gedrückter Taste „Mode“ den **Capacitance** Mode aus.
- Schalten Sie jetzt das Gerät mit der Taste „On/Off“ wieder aus.
- Drücken und halten Sie die Taste „Zero“ und drücken Sie anschliessend kurz die Taste „On/Off“. Wenn die Anzeige **set-Cx** zeigt, können Sie die Taste „Zero“ loslassen.

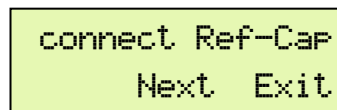
- Entfernen Sie sämtliche an den Messbuchsen Cx / Lx angeschlossene Kabel oder Kondensatoren und Spulen.



```
no Cap at Cx
Next Exit
```

Abbildung 4

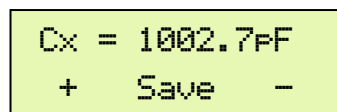
- Drücken Sie nur kurz die Taste „Mode“ bzw. Next. Während der Messung (ca. 1s) sollte keine Taste gedrückt werden.
- Schliessen Sie an die Mess-Buchsen Cx den Referenz-Kondensator an (gemessen mit einem externen C-Messgerät z.B. 1000.0 pF).



```
connect Ref-Cap
Next Exit
```

Abbildung 5

- Drücken Sie nur kurz die Taste „Mode“ bzw. Next. Die Referenz-Kapazität wird gemessen und der Wert auf der LCD angezeigt. Während der Messung (ca. 1s) sollte keine Taste gedrückt werden.



```
Cx = 1002.7pF
+   Save   -
```

Abbildung 6

- Mit den Tasten „Zero“ bzw. + oder „On/Off“ bzw. – stellen Sie den angezeigten Wert auf den Referenzwert des angeschlossenen Kondensators ein.
- Mit der Taste „Mode“ bzw. Save speichern Sie den Kalibrierwert permanent. Der Abgleich ist beendet, und das Gerät schaltet sich ab.

### 3 Bedienung des L/C-P/F-Messgerät

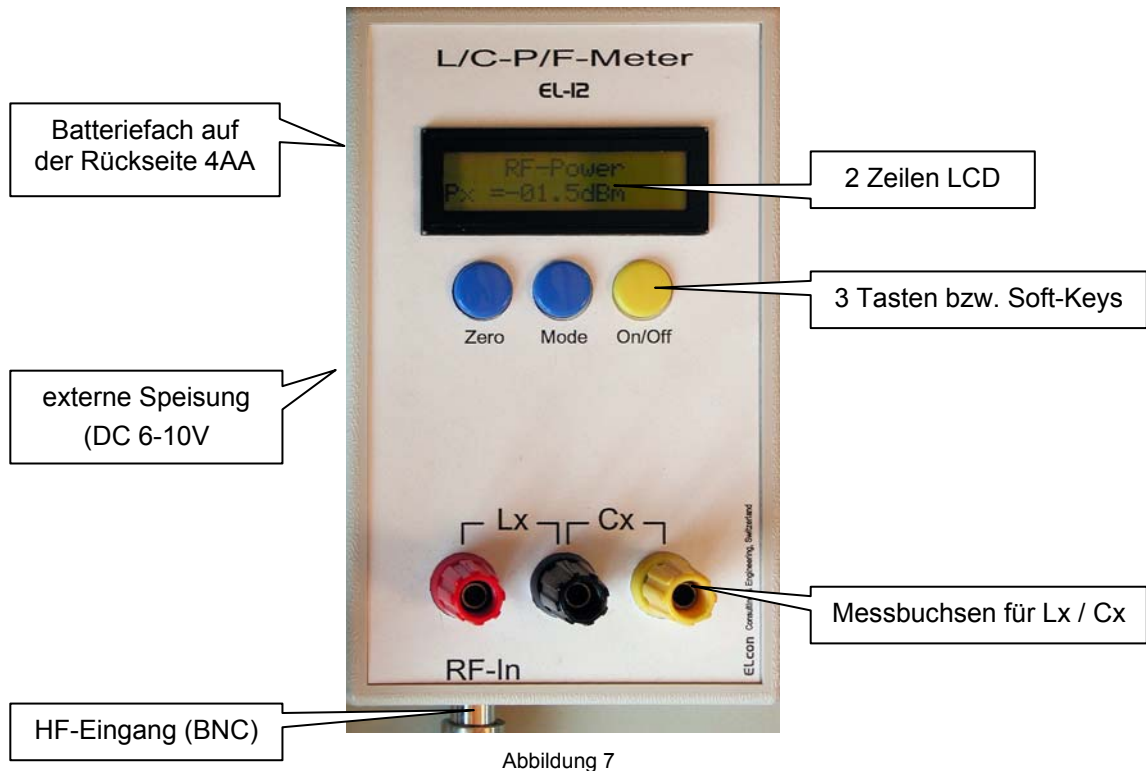


Abbildung 7

#### 3.1 Funktionstasten

Die drei Tasten (T1 bis T3 siehe Abbildung 8) unterhalb des Displays haben zum Einen eine fest zugeordnete Funktion. In bestimmten Betriebsarten werde diese aber als so genannte Soft-Keys verwendet, d.h. dass die Funktion der Tasten je nach Betriebszustand des EL-12 unterschiedlich sein kann. Die Softkey-Funktionen der Tasten werden über die Software gesteuert und auf dem Display über der jeweiligen Taste angezeigt.

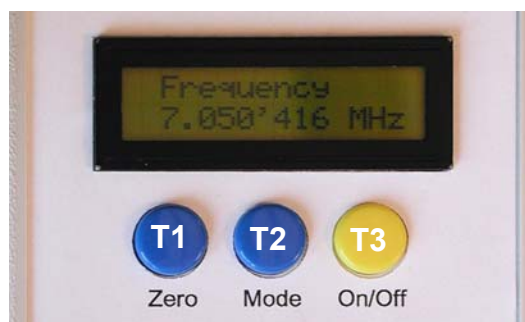


Abbildung 8



Im ausgeschalteten Zustand wird der EL-12 durch längeres Drücken der Taste On/Off (T3) > 2s eingeschaltet.



## 3.2 Anzeige

Das Anzeigemodul ist ein zweizeiliges, alphanumerisches LCD mit je 16 Zeichen pro Zeile. Auf der Anzeige können z.B. folgende Werte und Funktionen angezeigt werden:

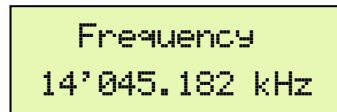


Abbildung 9

In der 1. Zeile wird der Mode angezeigt. Die Anzeigeformen für die verschiedenen Funktionen sind ab Kapitel 3.4 beschrieben.

## 3.3 Anschlüsse

### 3.3.1 Externer DC-Speiseanschluss

Wird das Messgerät stationär verwendet, raten wir Ihnen, die Batterien wegen ev. Auslaufgefahr aus dem Batteriefach zu entfernen.

Durch ein kleines Adapternetzgerät mit einer Spannung von minimal 6V und maximal 10V kann das Gerät gespeist werden.



Achtung: Messen Sie vor dem Einsatz eines Netzgerätes die Leerlaufspannung, denn diese kann bei ganz einfachen, unstabilierten Netzgeräten gut das 1.5 Fache des angeschriebenen Spannungswertes erreichen und so das EL-12 zerstören.

### 3.3.2 HF-Eingang (BNC)

Der HF-Eingang ist für die Messung von Leistung und Frequenz. Der Eingang ist mit 50Ω abgeschlossen. Die maximale Eingangsleistung beträgt 8W bei einer maximalen Dauer von 2 Minuten.

Bedenken Sie, dass anschliessend eine Abkühlzeit des Gerätes von ca. 10 Minuten nötig ist, denn es besteht keine forcierte Kühlung.



Wir empfehlen, dass für längere Messungen bei Leistungen >2W ein externes Dämpfungsglied vorgeschaltet wird. Der Wert des Dämpfungsglied kann im RF-Power-Mode eingestellt werden, so dass die angezeigte Leistung wieder korrekt ist (siehe Kapitel 3.5).

### 3.3.3 Messbuchsen

Die zu messenden Elemente, Induktivitäten und Kapazitäten, sind an die entsprechenden Messbuchsenpaare (Lx bzw. Cx) anzuschliessen. Für genaue Messungen ist ein guter und stabiler Kontakt wichtig.

Für SMD-Elemente wird ein entsprechender Aufsteck-Adapter verwendet.

Werden Messkabel eingesetzt, so ist auf eine stabile Anordnung während der Messung zu sorgen. Die Zusatz-Induktivitäten und -Kapazitäten, welche durch die Messkabel oder Adap-

ter entstehen, dürfen sich nach dem Kalibrieren nicht mehr ändern, damit das Messergebnis nicht verfälscht wird.

### 3.4 On / Off-Taste

Das Messgerät wird durch Drücken der gelben Taste On/Off (T3) von > 2s eingeschaltet. Die zeitverzögerte Einschaltung verhindert das unbeabsichtigte Einschalten des Gerätes, wenn nur kurz die Taste berührt wird. Sobald auf dem Display eine Anzeige sichtbar ist, kann die Taste losgelassen werden.

Durch Drücken der Taste On/Off (T3) >2s wird das Gerät ausgeschaltet. Beim Drücken der Taste On/Off, wird die momentane Batteriespannung angezeigt.

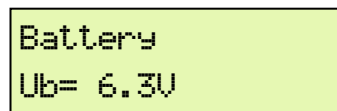


Abbildung 10

Wird die Taste vor dem Ablauf von 2s wieder losgelassen, wird das Gerät nicht ausgeschaltet, und es wird der letzte Mode wieder angezeigt.

### 3.5 Mode-Taste

Mit der Drucktaste „Mode“ können die vier verschiedenen Betriebsarten ausgewählt werden. Dazu muss die Taste Mode (T2) länger als 1s gedrückt bleiben. Danach werden die folgenden Betriebsarten der Reihe nach (ca. im 1s Takt) auf dem Display angezeigt:

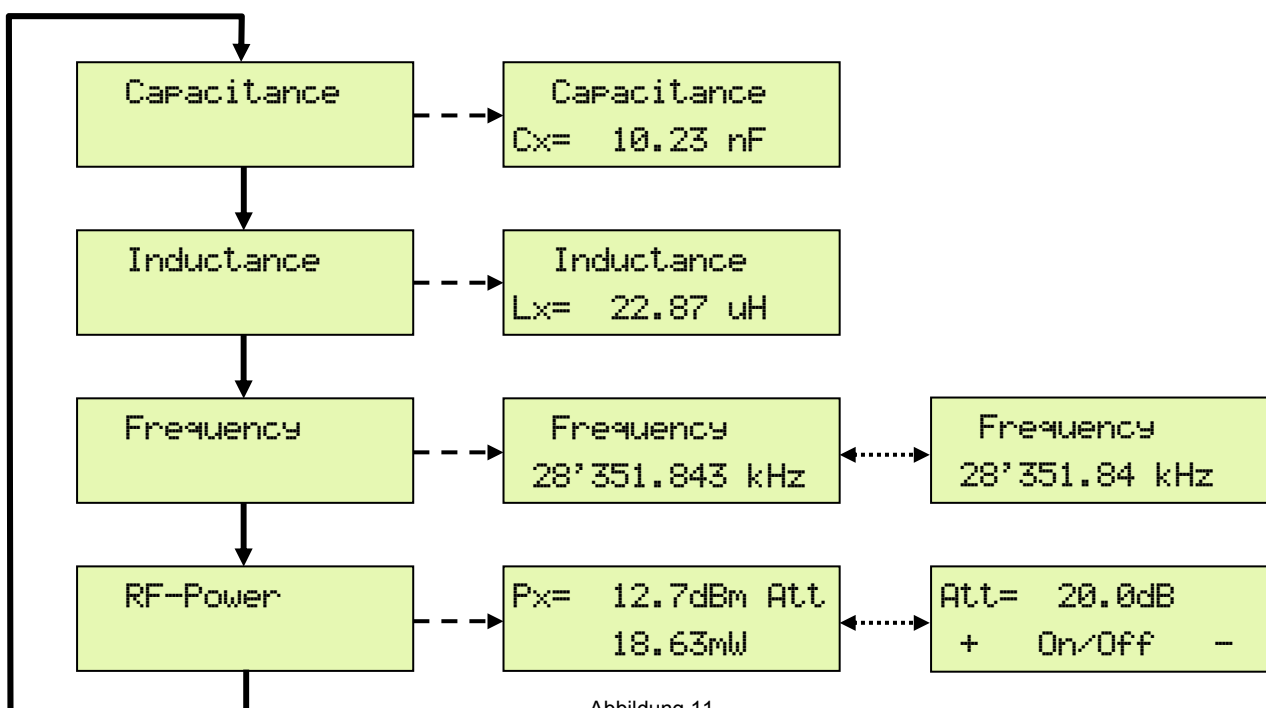


Abbildung 11

Um eine Betriebsart auszuwählen, wird die Taste „Mode“ während der entsprechenden Anzeige losgelassen (– – →), und im Display werden die Werte für diesen Mode angezeigt.

Durch kurzen Tastendruck (<1s) der Taste Mode (T2) können in den Betriebsarten **Frequency** und **RF-Power** zusätzliche Einstellungen vorgenommen werden (←.....→). (siehe Abbildung 11).

- ◆ In der Betriebsart **Frequency** wird der Messzyklus von 1.0s ↔ 0.1s umgeschaltet. Dabei wechselt Auflösung der Frequenzanzeige von 1Hz ↔ 10Hz.
- ◆ In der Betriebsart **RF-Power** kann der Wert eines externen Dämpfungsglieds im Bereich von 0.0 bis 50.0dB in 0.1dB Schritten definiert werden. Ein eingestellter Dämpfungswert wird abgespeichert. Ein aktives Dämpfungsglied wird in der Anzeige mit **Att.** indiziert. Die angezeigten Leistungswerte in **dBm** und **W** werden entsprechend dem Dämpfungswert korrigiert berechnet.

### 3.6 Zero-Taste

Durch kurzen Tastendruck (<1s) der Taste Zero (T1) wird in den Betriebsarten **Capacitance** und **Inductance** das Messgerät kalibriert.

- ◆ In der Betriebsart **Capacitance** müssen alle Elemente an den Messbuchsen entfernt werden. Vermeiden Sie Handkapazitäten, indem Sie während des Kalibriervorganges die Messbuchsen nicht berühren.
- ◆ In der Betriebsart **Inductance** müssen die Messbuchsen Lx mit einem Draht oder besser mit einem Kurzschlussstecker kurzgeschlossen werden.

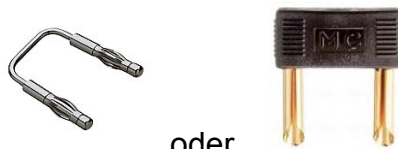


Abbildung 12



Werden Adapter oder Messkabel verwendet, so muss das Messgerät immer mit diesen zusammen kalibriert werden. Anschliessend ist der Messaufbau so zu belassen.

## 4 Funktion des L/C-P/F-Messgerät

### 4.1 Aufbau

Das Messgerät ist modular aufgebaut und besteht aus fünf Funktionsgruppen:

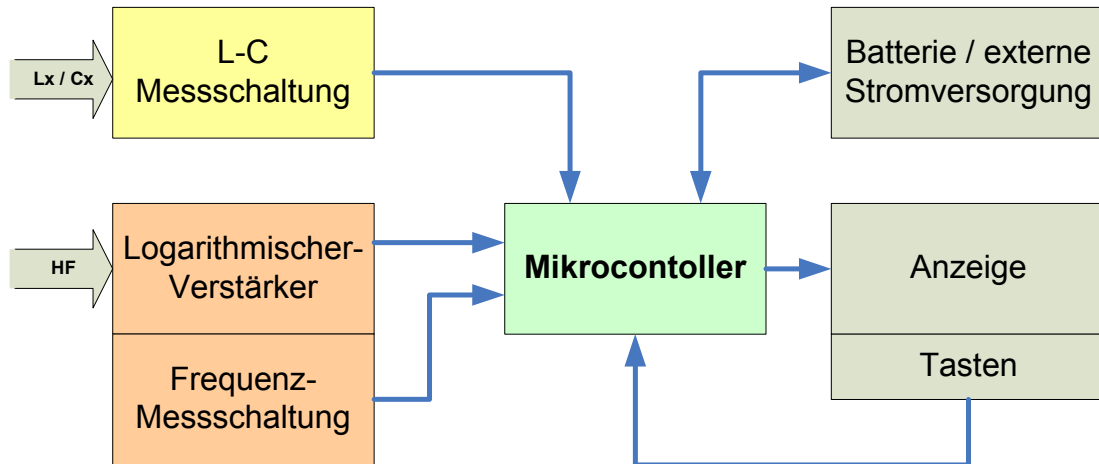


Abbildung 13

### 4.2 HF-Leistung- und Frequenz-Messung

#### 4.2.1 Die Messschaltungen

Zum Messen von HF-Leistungen gibt es verschiedene Methoden wie z.B. messen der Erwärmung des Lastwiderstandes (Bolometer), oder messen der Spannung über einem bekannten Lastwiderstandes. Hier wird die letztgenannte Methode angewendet.

Um einen grossen Messbereich abzudecken, wird als Messverstärker ein logarithmischer Verstärker eingesetzt. Dieser Verstärker hat einen Dynamikbereich von mehr als 80dB, so können Leistungen von einigen Mikrowatt bis in den Watt-Bereich ohne Bereichsumschaltung gemessen werden.

Der logarithmische Verstärker misst die HF-Spannung an einem eingebauten 50Ω-Widerstand im ganzen Frequenzbereich von >1 - 50MHz (Option 1). Am Ausgang des Verstärkers steht eine pegelabhängige Gleichspannung von ca. 35mV/dB zur Verfügung. Dieses analoge Signal wird vom Mikrokontroller mit einem 12 Bit A/D-Wandler in einen digitalen Wert umgesetzt, der dann weiterverarbeitet werden kann.

Für die Frequenzmessung wird die Eingangsfrequenz (bis ca. 70MHz) über einen Komparator direkt vom Mikrokontroller über einer Zeitdauer von einer Sekunde ausgezählt.

#### 4.2.2 Die Berechnung

Die Anzeige für die Leistungsmessung im dB-Mass ist für viele nicht sehr aussagekräftig oder zumindest gewöhnungsbedürftig. Das Messgerät ist so geeicht, dass eine Leistung an

50Ω dem Wert 0dBm = 1mW entspricht (siehe Tabelle 5). Das Messgerät zeigt sowohl die Leistung in dBm und in Watt an.

### Vergleichstabelle Pegel-Spannung-Leistung an 50 Ohm

dBm	U	P
+40	22.4V	10.0W
+35	12.6V	3.2W
+30	7.07V	1.0W
+25	3.98V	320mW
+20	2.24V	100mW
+15	1.26V	32mW
+10	707mV	10mW
+5	398mV	3.2mW
+0	224mV	1.0mW

dBm	U	P
-5	126mV	320uW
-10	70.7mV	100uW
-15	39.8mV	32uW
-20	22.4mV	10uW
-25	12.6mV	3.2uW
-30	7.07mV	1.0uW
-35	3.98mV	320nW
-40	2.24mV	100nW

Tabelle 5

Die Berechnung der Leistung bzw. der Spannung erfolgt im Messgerät mit folgenden Formeln und immer auf 50Ω bezogen:

$$(1) P = 1mW \cdot 10^{\left(\frac{L_p(dBm)}{10}\right)}$$

L<sub>p</sub> : Leistungspegel in dBm  
P: Leistung in mW

$$(2) U = 0.224V \cdot 10^{\left(\frac{L_p(dBm)}{20}\right)}$$

U: Spannungspegel in V

### 4.3 Induktivität- und Kapazitäts-Messung

Das Bestimmen der verschiedenen Parametern einer Induktivität oder Kapazitäten kann nach verschiedenen Methoden geschehen. Auf die Messung von Güte und Verlustfaktoren wie bei Profigeräten wird hier bewusst verzichtet, um das Messverfahren möglichst einfach zu halten.

Durch Parallelschalten einer bekannten Kapazität zu einer Induktivität erhält man einen Parallel-Schwingkreis. Misst man dessen Resonanzfrequenz, kann man daraus auf die Induktivität schliessen. Diese Methode ist auch ohne spezielle Geräte durchführbar und daher unter Bastlern und Amateuren weit verbreitet. Die Genauigkeit ist recht hoch und der Aufwand sehr gering.

Da bei PIC Mikrocontrollern bereits Komparatoren integriert sind, war es naheliegend, diese als aktive Elemente für den Aufbau eines Oszillators zu verwenden. So konnte die einfache L/C-Messschaltung noch zusätzlich in das Leistungs-Messgerät eingebaut werden.

### 4.3.1 Die Messschaltung

Die Abbildung 14 zeigt die Schaltung einer astabilen Kippschaltung mit einem Operationsverstärker, welche in der L/C-Messschaltung eingesetzt wird. In diesem Beispiel ist die Speisespannung  $\pm 5V$ .

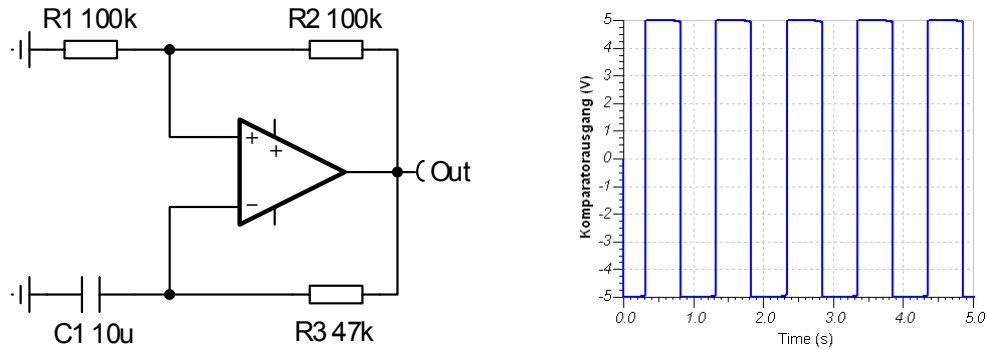


Abbildung 14

Die Funktion der Schaltung ist sehr einfach zu verstehen.

$C_1$  sei zu Beginn der Betrachtungen entladen und damit liegt der invertierende Eingang (-) auf  $0V$ . Der Operationsverstärker bildet mit den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  einen Komparator. Ein Komparator vergleicht zwei Spannungen, und am Ausgang wird angezeigt, welche der beiden Eingangsspannungen höher ist. Stabil sind nur Zustände, bei denen die Ausgangsspannung maximal ( $+5V$ ) oder minimal ( $-5V$ ) ist. Beim idealen OP ist dies die positive bzw. negative Speisespannung ( $+U_b$  bzw.  $-U_b$ ). Ist die Ausgangsspannung positiv, so ist auch die Spannung am nichtinvertierenden Eingang positiv ( $\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_b$ ). Der Kondensator  $C_1$  wird sich über  $R_3$  aufladen und damit steigt die Spannung am invertierenden Eingang. Erreicht sie den Wert  $\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_b$  des nichtinvertierenden Eingangs, dann „kippt“ die Schaltung. Der Ausgang springt von  $+U_b$  nach  $-U_b$ , gleichzeitig wird die Spannung am nichtinvertierenden Eingang negativ ( $-\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_b$ ), so dass sich wieder ein stabiler Zustand einstellt. Der Kondensator  $C_1$  wird umgeladen, und wenn er das negative Potential des nichtinvertierenden Eingangs erreicht, kippt die Schaltung von  $-U_b$  nach  $+U_b$ .

Der Schaltungsausgang erzeugt eine Rechteckspannung mit einer Periodendauer, die durch die Zeit für das Umladen des Kondensators gegeben ist.

$$(3) \quad T = 2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot \ln \left( 1 + 2 \cdot \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Wenn  $R_1 = R_2$  ist, dann vereinfacht sich die Berechnungsformel.

$$(4) \quad T \approx 2.2 \cdot R_3 \cdot C_1$$

Bei der obigen Dimensionierung beträgt die Periodendauer  $T \approx 1s$ .

Nun wird die Schaltung mit einem L-C Parallel-Schwingkreis, mit der Kapazität  $C = 680pF$  und der Induktivität  $L = 40\mu H$ , ergänzt (siehe Abbildung 15).

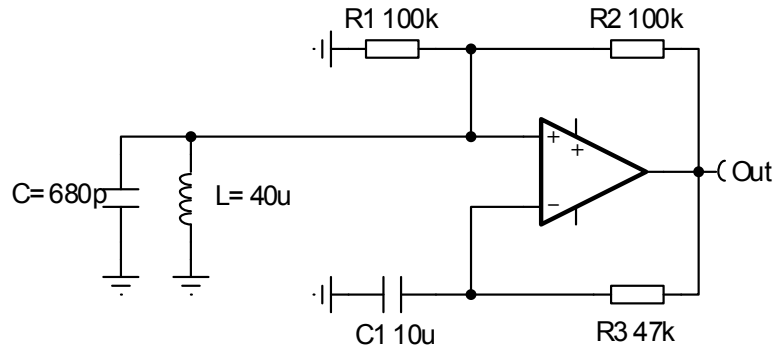


Abbildung 15

Die astabile Kippschaltung regt durch das Umkippen mit ihrem Impuls über den Mitkopplungswiderstand  $R_2$  den Schwingkreis an, welcher nun selbstständig auf seiner Resonanzfrequenz zu oszillieren beginnt. Die Schwingung erzeugt am nichtinvertierenden Eingang des Komparators eine kleine Spannungsänderung, welche diesen zum kippen bringt. Damit entsteht am Ausgang des Komparators eine Rechteckschwingung, welche exakt der Resonanzfrequenz des frei schwingenden Schwingkreises entspricht. Die Ausgangsfrequenz wird via  $R_2$  auf den Schwingkreis zurückgekoppelt und hält so die Oszillation aufrecht.

Die Abbildung 16 zeigt den Einschwingvorgang d.h. die Sinusschwingung am freischwingenden Parallel-Schwingkreis bzw. am nichtinvertierenden Eingang sowie die Rechteckschwingung am Ausgang des Komparators.

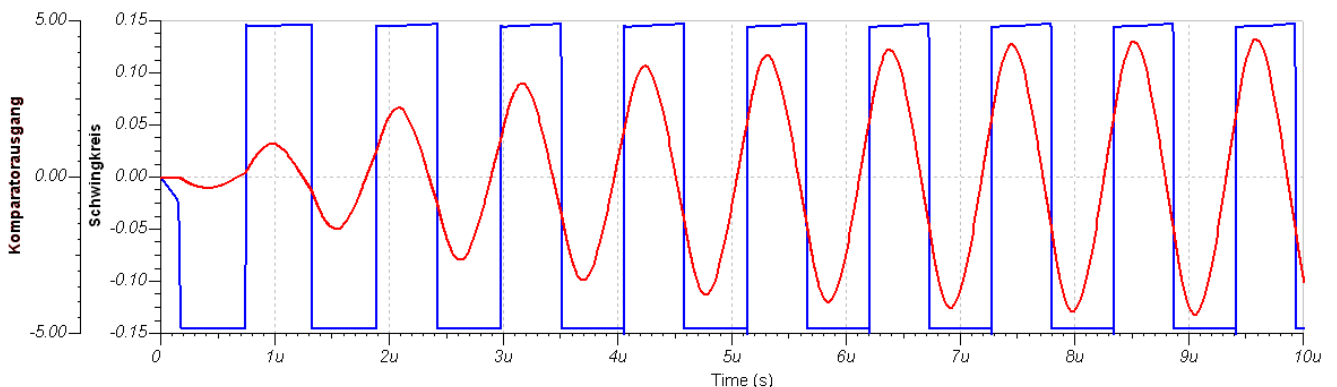


Abbildung 16

Bei Werten von  $C = 680pF$  und  $L = 40\mu H$  schwingt die Schaltung bei ca.  $1MHz$ . Eine Veränderung der Kapazität von  $|\Delta C_1| = \pm 0.01pF$  ändert die Frequenz um ca.  $7Hz$ , ein  $|\Delta L_1| = \pm 1nH$  um ca.  $12Hz$ . Damit wäre bei einer Messdauer von  $1s$  eine Auflösung von  $0.0014pF$  oder  $0.083nH$  zu erreichen. Es ist jedoch zu bedenken, dass verschiedene externe Einflüsse (z.B. Temperaturänderungen) das Messergebnis empfindlich beeinflussen können.

### 4.3.2 Die Berechnung

Die Oszillator-Frequenz ist nur von den Werten des Kondensators und der Spule abhängig.

$$(5) f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Wird ein unbekannter Kondensator  $C_x$  parallel zum bestehenden Schwingkreis geschaltet, so verringert sich die Frequenz des Schwingkreises, da sich die beiden Kapazitäten addieren.

Wird in Serie zur Induktivität  $L$  eine unbekannte Induktivität  $L_x$  geschaltete, so verringert sich die Frequenz des Schwingkreises wegen der Addition der beiden Induktivitäten ebenfalls.

Der Mikrocontroller misst die tiefere Frequenz  $f_3$  und berechnet mit Hilfe von  $f_1$  den Wert des unbekanntes Kondensators  $C_x$  bzw.  $L_x$ .

Damit die Werte genau berechnet werden können, ist es erforderlich, die exakten Werte von  $L$  und  $C$  zu kennen. Das Messgerät wird kalibriert, indem man einen genau bekannten Kondensator  $C_{cal}$  parallel zum Kondensator  $C$  schaltet.

$$(6) f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot (C + C_{cal})}}$$

Aus der Veränderung der Frequenz  $f_1 \rightarrow f_2$  lassen sich die Werte von  $C$  berechnen und daraus  $L$ .

$$(7) C = \frac{1}{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1} \cdot C_{cal} ; \quad (8) L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_1)^2 \cdot C} \Rightarrow L = \frac{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1}{(2 \cdot \pi \cdot f_1)^2 \cdot C_{cal}}$$

Die Genauigkeit, mit der  $C$  und  $L$  bestimmt werden können, hängt nur von der Präzision des Kalibrierkondensators  $C_{cal}$  ab. Damit nicht engtolerierete, ausgesuchte und damit teure Kondensatoren eingesetzt werden müssen, kann der Wert von  $C_{cal}$  mittels einer einmaligen Eichprozedur mit einem externen Eich-Kondensator bestimmt werden.

Aus der Verstimmung des Schwingkreises kann für einen unbekanntes Kondensator  $C_x$  bzw. eine unbekannte Spule  $L_x$  die Kapazitäts- bzw. der Induktivitätswert berechnen werden.

$$(9) f_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot (C + C_x)}} \quad \text{bzw.} \quad (10) f_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L + L_x) \cdot C}}$$



Durch Einsetzen von (5) in (9) und (10) erhält man die folgende Gleichungen:

$$(11) \ C_x = \left( \left( \frac{f_1}{f_3} \right)^2 - 1 \right) \cdot C \quad \text{bzw.} \quad (12) \ L_x = \left( \left( \frac{f_1}{f_3} \right)^2 - 1 \right) \cdot L$$

oder von (7) in (11) bzw. (8) in (12)

$$(13) \ C_x = \frac{\left( \frac{f_1}{f_3} \right)^2 - 1}{\left( \frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1} \cdot C_{cal} \quad \text{bzw.} \quad (14) \ L_x = \frac{\left( \left( \frac{f_1}{f_3} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left( \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1 \right)}{(2 \cdot \pi \cdot f_1)^2 \cdot C_{cal}}$$

Auftretende Streuinduktivitäten bzw. -kapazitäten, z.B. hervorgerufen durch Anschlusskabel oder Messadaptern, werden beim automatischen Kalibrieren durch das Messgerät mitberücksichtigt und vom Resultat subtrahiert.

## 5 Anhang

### 5.1 Spezifikationen

#### Messbereiche:

Kapazität:	~1pF – 1uF	(Auflösung 0.1pF, Toleranz $\leq 1\%$ )
Induktivität:	~0.1uH – 200mH	(Auflösung 0.01uH, Toleranz $\leq 1\%$ )
Frequenz:	~1MHz – 50MHz	bei Option 1 (Tol. $\leq 5\text{ppm}$ , Empf. -30dBm)
Pegel:	~ -45dBm – +39dBm $\hat{=}$ ~30nW – 8W	(Toleranz $\leq 5\%$ )
Eingangsimpedanz:	50 $\Omega$	(Frequenz- und Pegelmessungen)
Speisung:	intern 4x1.5V (AA-Zellen)	extern 6V bis 10V, ca. 30-70mA (je nach Betriebsart)
Abmessungen:	160(L) × 90(B) × 35(H)	mm

Alle Spezifikationen können ohne weitere Mitteilung oder Verpflichtung geändert werden.

## 5.2 Leiterplatten Bestückung (Hauptplatine)

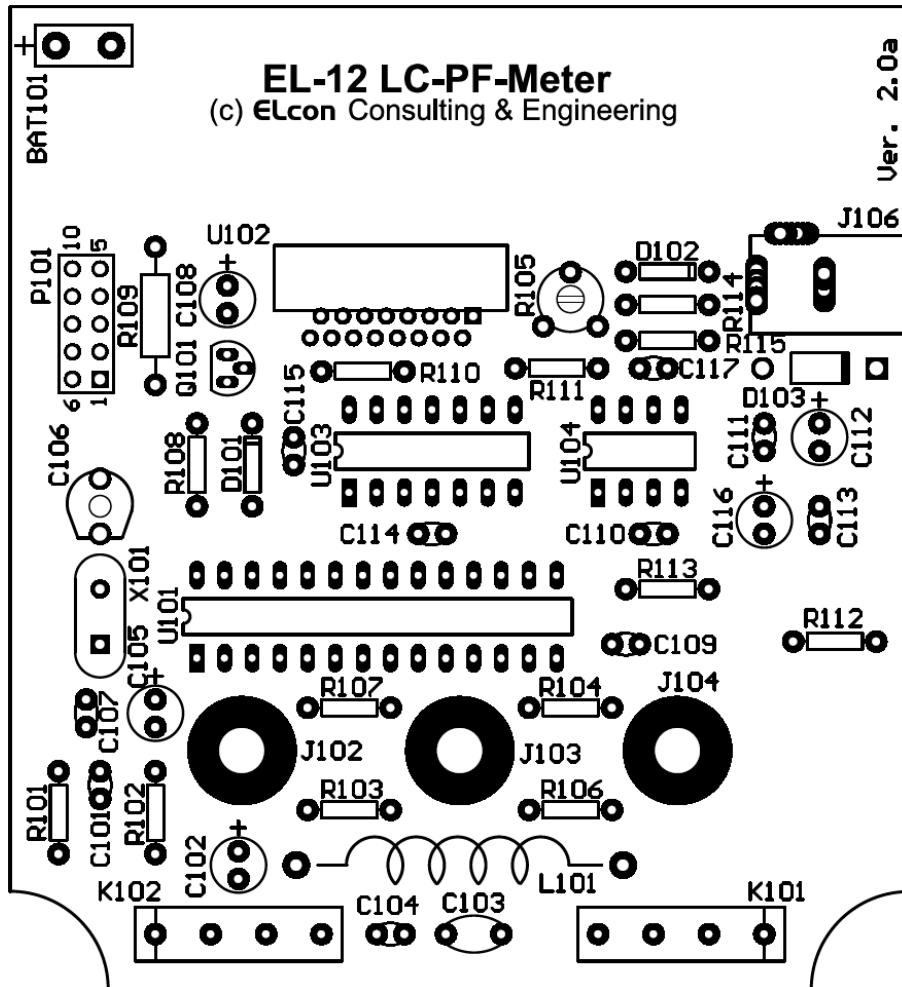


Abbildung 17

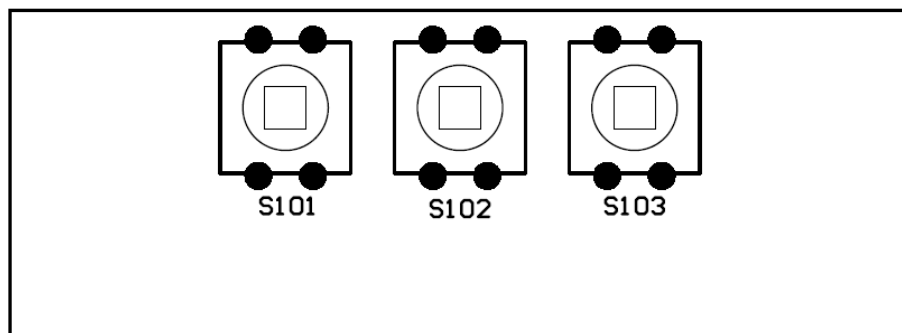


Abbildung 18

### 5.3 Leiterplatten Bestückung (Zusatzplatine Option 1)

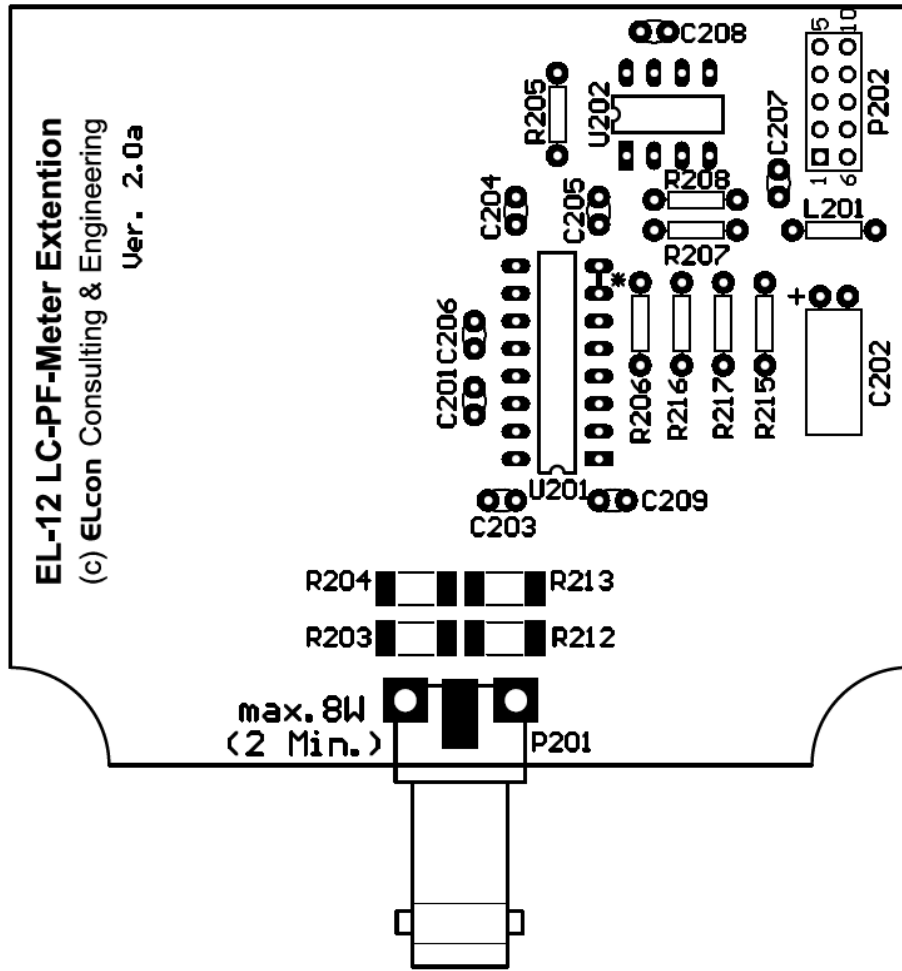


Abbildung 19

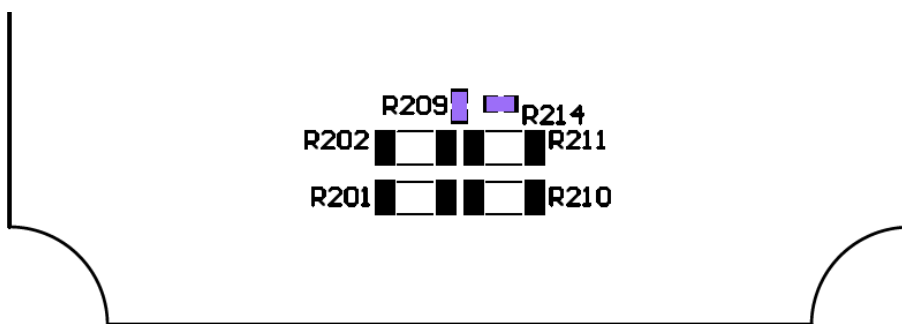
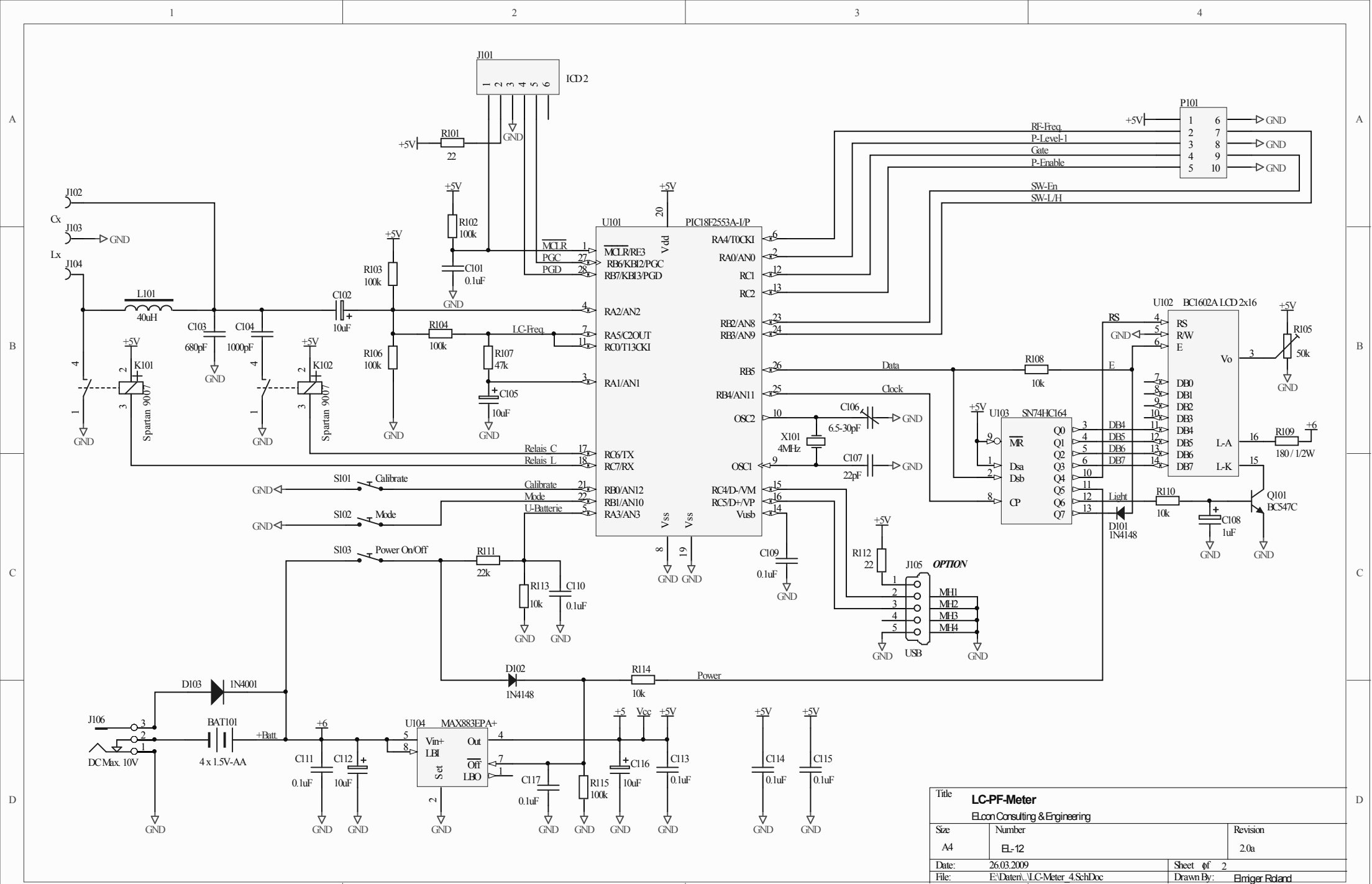


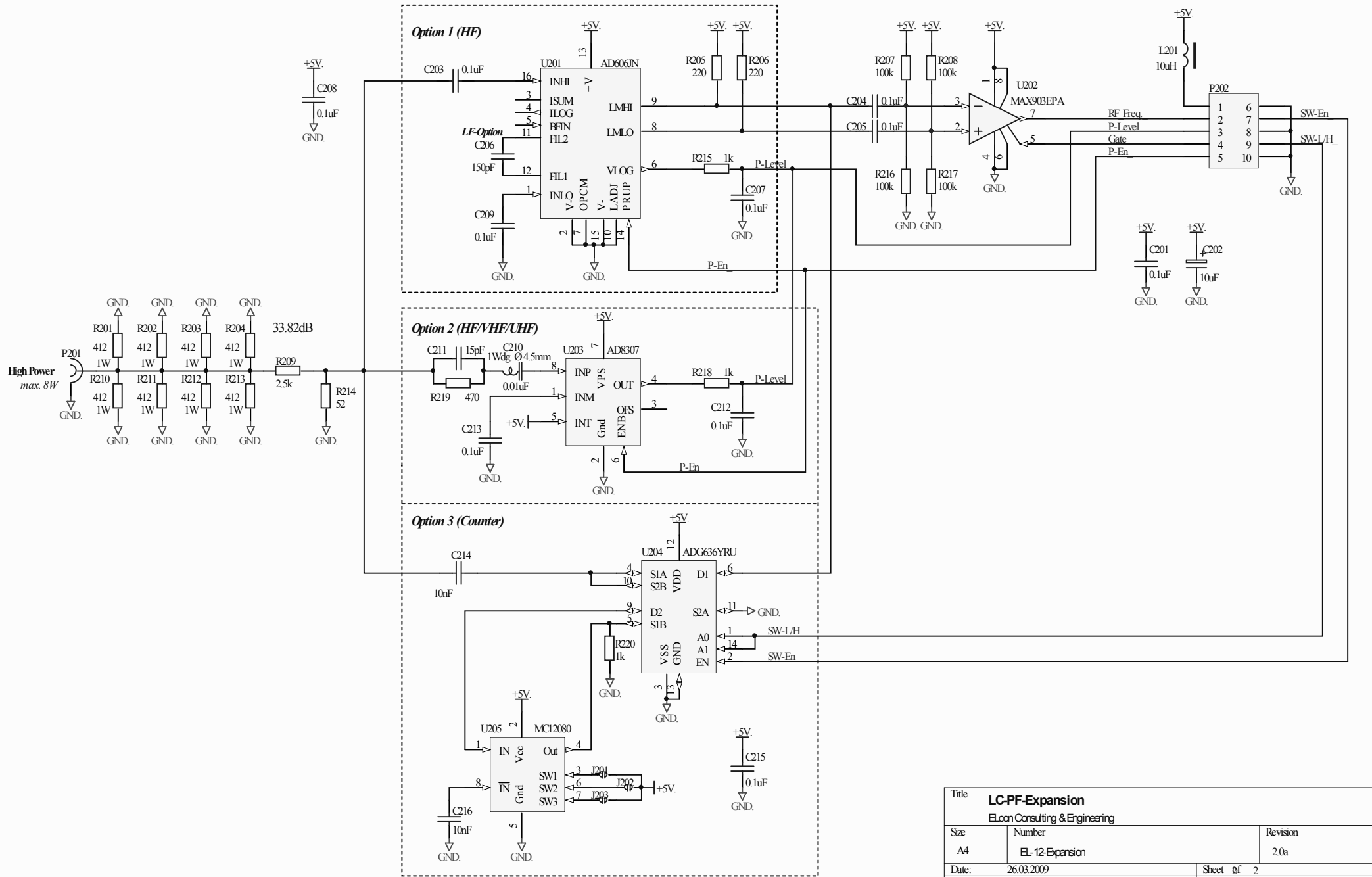
Abbildung 20

### 5.4 Schema

Siehe folgende Seiten



Title		
<b>LC-PF-Meter</b>		
Elcon Consulting & Engineering		
Size	Number	Revision
A4	EL-12	2.0a
Date:	26.03.2009	Sheet of 2
File:	E:\Daten\_LC-Meter 4.SchDoc	Drawn By: <b>Erniger Roland</b>



Title		
LC-PF-Expansion		
ELcon Consulting & Engineering		
Size	Number	Revision
A4	EL-12-Expansion	2.0a
Date:	26.03.2009	Sheet of 2
File:	E:\Daten_\LC-Expansion 4.SchDoc	Drawn By: Eringer Roland