

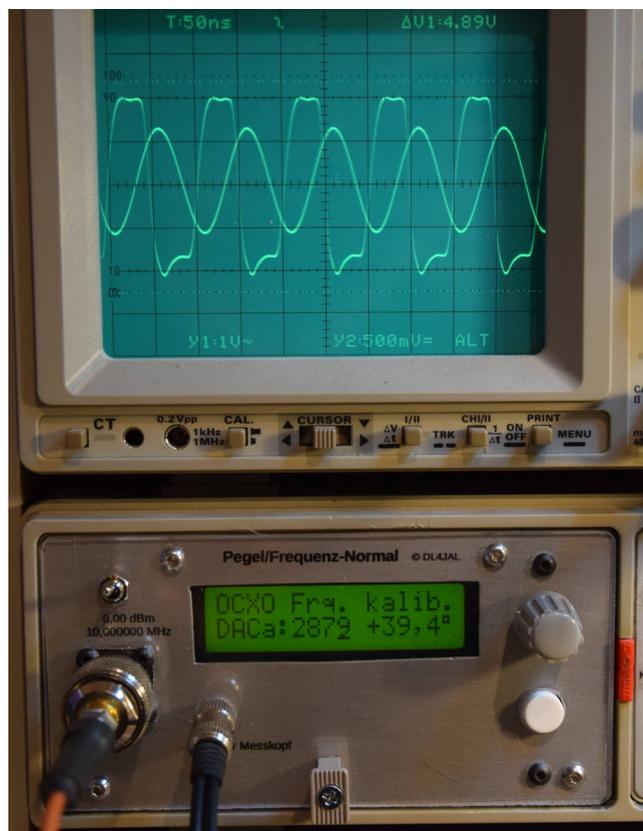
**Frequenznormal 10 000 000,0 Hz**  
und  
**Pegelnormal 0,00 dBm**  
mit  
Pegel-Justage  $\pm 1$  dB  
in 0,01 dB Schritten

(c) DL4JAL

22. Januar 2021



Normalbetrieb, nachmessen mit kalibrierten externen Messkopf.



Frequenzvergleich mit GPS-Frequenznormal. Die Kurven verschieben sich innerhalb 1 Minute kaum. Der OCXO ist sehr stabil.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Hardware</b>	<b>5</b>
2.1	Cal.Gen. Platine	5
2.1.1	Anschlüsse auf der Cal.Gen. Platine	5
2.1.1.1	J2 Verbindung zur MC-Platine J4	6
2.1.1.2	X1 Bruecke	6
2.1.1.3	X2 Koaxbuchse SMA	6
2.1.2	Bauelemente auf der MC-Platine	6
2.1.2.1	IC2 7805/1 Ampere	6
2.1.2.2	XO1 OCXO 10 MHz	6
2.1.2.3	IC3 LTC1050	7
2.1.2.4	Q1 RD06HHF1	8
2.1.3	Cal.Gen Schaltbild	8
2.2	MC-Platine	11
2.2.1	Anschlüsse auf der MC Platine	12
2.2.2	Bauelemente auf der MC-Platine	14
2.2.2.1	IC1 LTC1446	14
2.2.2.2	IC2 LTC1050	14
2.2.2.3	IC3 LP2950CDT-5.0	14
2.2.2.4	IC4 ADT7310	14
2.2.2.5	IC5 PIC18F26K22	14
2.2.2.6	IC6 ADR4533	14
2.2.2.7	U1 LCD 2x16	14
2.2.3	MC Schaltbild	15
2.2.4	MC-Platine Änderungen	16
2.3	Bedienelemente Platine	17
2.4	Externer Messkopf Platine	17
<b>3</b>	<b>Die Inbetriebnahme</b>	<b>20</b>
3.1	Inbetriebnahme der MC-Platine	20
3.2	Inbetriebnahme der Cal.Gen-Platine	21
3.3	Inbetriebnahme der Messkopf-Platine	21
<b>4</b>	<b>Firmware</b>	<b>23</b>
4.1	Normalbetrieb	23
4.1.1	Normalbetrieb Pegel-Modus	24
4.1.1.1	Kalibrierung 0,00 dBm	25

4.1.1.2	Kalibrierung Frequenz 10 000000,0 Hz . . . . .	25
4.2	Menüfunktionen . . . . .	26
4.2.1	[1]Kal. 0,00 dBm . . . . .	26
4.2.2	[2]Info Kal. 0,0 . . . . .	27
4.2.3	[3]DACa < - > DACb . . . . .	28
4.3	SETUP . . . . .	28
4.3.1	[0] Abbruch . . . . .	29
4.3.2	[1]Save DAC-VFC . . . . .	29
4.3.3	[2]Save DACpegel . . . . .	29
4.3.4	[3]Kal.MK-AD8361 . . . . .	29
4.3.5	[4]ViewMK-AD8361 . . . . .	31
4.3.6	[5]MK kalib. man . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Schlusswort</b> . . . . .	<b>32</b>

# Kapitel 1

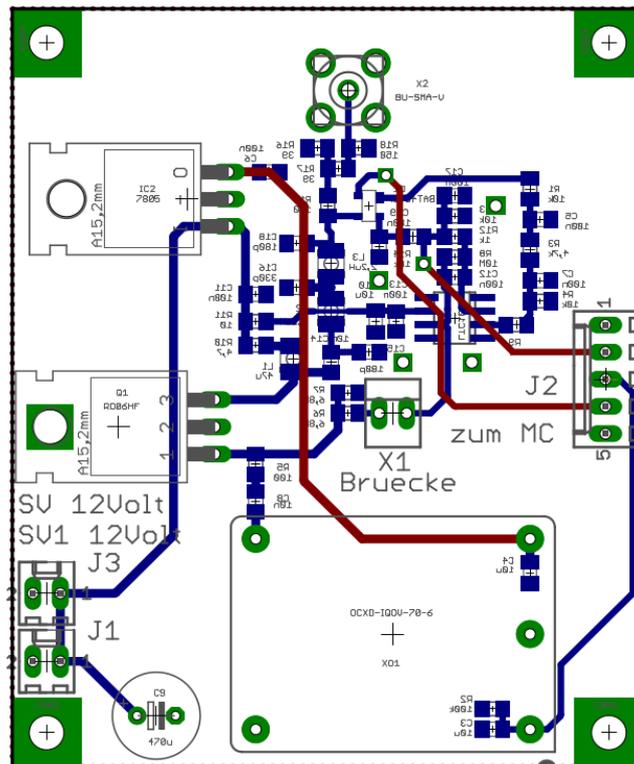
## Vorwort

Dieses Projekt darf nicht kommerziell vermarktet oder genutzt werden. Alle Rechte liegen bei DL4JAL (Andreas Lindenau).

# Kapitel 2

# Hardware

## 2.1 Cal\_Gen. Platine



Ansicht der Cal\_Gen Platine aus Eagle generiert.

### 2.1.1 Anschlüsse auf der Cal\_Gen. Platine

J1, J3 Stromversorgung 12 Volt

J1, J3	Bezeichnung
Pin 1	+12 V
Pin 2	GND

### 2.1.1.1 J2 Verbindung zur MC-Platine J4

J2	Bezeichnung
Pin 1	GND
Pin 2	Messspannung von HF-Gleichrichtung
Pin 3	DACa Regelspannung VFC OCXO
Pin 4	DACb Regelspannung HF-Pegel
Pin 5	GND

### 2.1.1.2 X1 Bruecke

Das ist der Brückenstecker für die Gatespannung des RD06HHF1. **Bei der Inbetriebnahme sollte die Brücke geöffnet bleiben. Erst wenn die Regelschaltung mit dem OPV LTC1050 funktioniert wird X1 gebrückt.**

### 2.1.1.3 X2 Koaxbuchse SMA

Die SMA-Buchse ist der Generatorausgang 0,00 dBm, 10,000000 MHz.

## 2.1.2 Bauelemente auf der MC-Platine

### 2.1.2.1 IC2 7805/1 Ampere

Für den OCXO brauche ich eine kräftige 5 Volt Stromversorgung. Nach PowerON zieht der OCXO etwa 750 mA. Die Auswahl fiel auf einen 7805 im TO220 Gehäuse. Ist der OCXO angewärmt durch den internen Thermostat verringert sich die Stromaufnahme auf 300 mA. Die Kühlung erfolgt durch das Kupfer der Leiterplatte. Der 7805 wird direkt auf die Platine geschraubt, mit etwas Wärmeleitpaste dazwischen.

### 2.1.2.2 XO1 OCXO 10 MHz



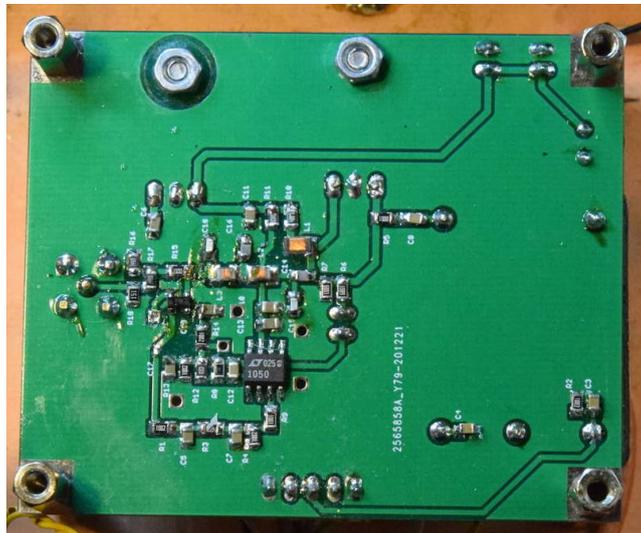
Bild aus dem Internet. Dieser OCXO ist sehr stabil.

Den OCXO habe ich bei „Ebay“ gekauft. Es ist der Typ „CTS 970-2178-46 10,000 MHz“. Der OCXO hat ein internen Thermostat. Ist der OCXO aufgeheizt und in der Temperatur stabil ändert sich die Frequenz kaum. Am PIN „VFC“

wird mit einer Steuerspannung 0 bis 4 Volt die genaue Frequenz eingestellt. Die Steuerspannung kommt von der MC-Platine LTC1446 (2-Kanal, 12Bit D/A-Wandler) Ausgang DACa.

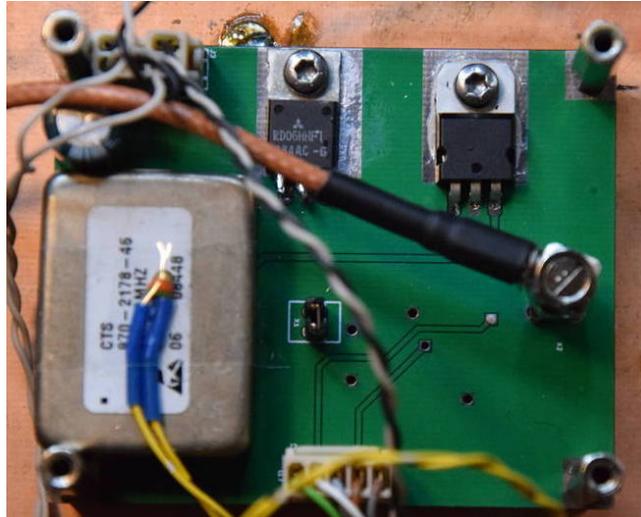
### 2.1.2.3 IC3 LTC1050

Der LTC1050 ist ein Operationsverstärker mit hoher Präzision und sehr hoher Leerlaufverstärkung (130 dB). Die beiden Eingänge des OPV haben die Aufgabe 2 Spannungen zu vergleichen. Einmal die Spannung der gleichgerichtet HF nach Diode D1B und einmal die Referenzspannung nach Diode D1A. Am Ausgang des OPV entsteht eine Regelspannung für das *Gate* des HF-Mosfet RD06HHF1, die ein Verstärkungsänderung des RD06HHF1 bewirkt. Somit bleibt die Amplitude des HF-Pegels am Ausgang des Tiefpasses immer stabil im Pegel. Jede kleinste Veränderung der Amplitude regelt der OPV LTC1050 sofort nach.



Zu sehen ist der OPV LTC1050. Links oben davon die Doppeldiode BAS40-07, die für den Regelkreis der Amplitude verantwortlich ist. Ich habe extra eine Doppeldiode heraus gesucht. Die thermische Kopplung ist besser.

#### 2.1.2.4 Q1 RD06HHF1



Oben links der RD06HHF1 und rechts der Spannungsregler 7805. Beide nutzen die Kupferfläche der Leiterplatte zur Kühlung. Links der OCXO mit dem aufgeklebten NTC-Widerstand. Rechts die SMA-Buchse mit angeschraubten Koaxkabel

Der HF-Mosfet RD06HHF1 verstärkt das Sinussignal 10 MHz aus dem OCXO kommend. Am Drain schließt sich ein Tiefpass an. Die Oberwellen werden entfernt.

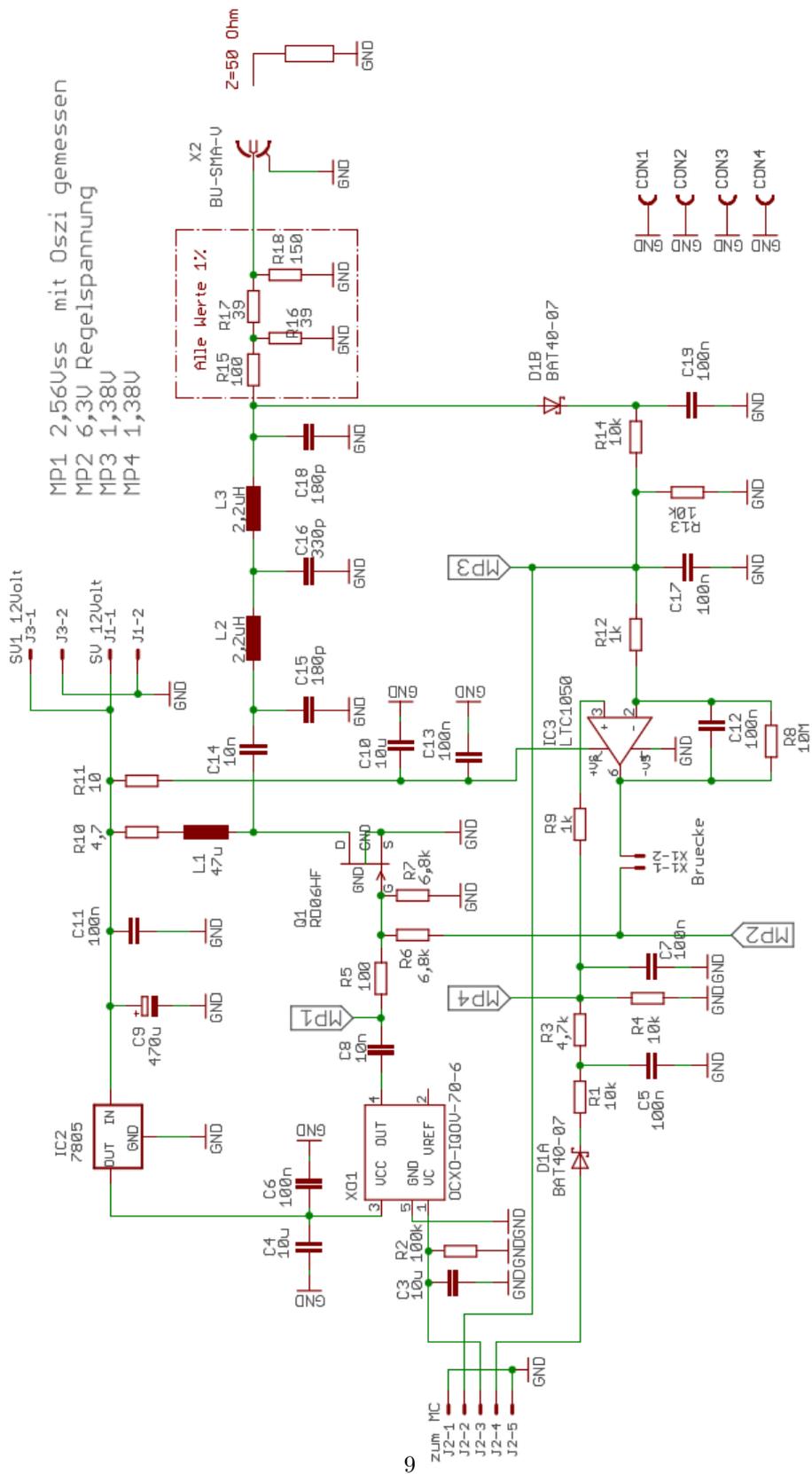
#### 2.1.3 Cal\_Gen Schaltbild

Es folgt das Schaltbild der Generator-Platine.

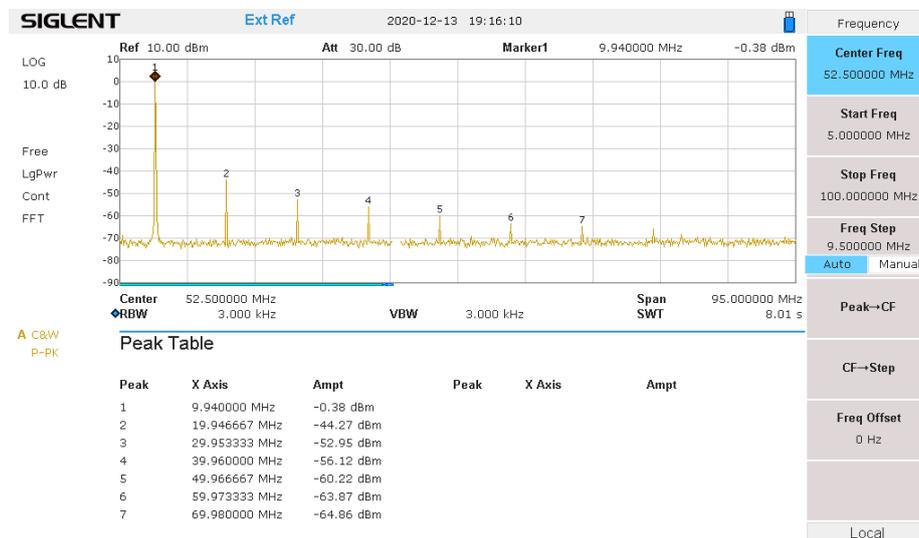
IC2, 7805 versorgt den OCXO mit 5 Volt Betriebsspannung. Aus dem OCXO kommt an PIN 4 die Sinusfrequenz 10 MHz heraus. An *MP1* sollte mit einem Oszilloskop die Sinusspannung nachgemessen werden. Die gemessene Spannung ist bei mir etwa 2,5 V<sub>ss</sub> (Volt, Spitze, Spitze). Kleiner sollte die Spannung nicht sein, sonst reicht die Ansteuerung für den RD06HHF1 nicht.

Der OPV LTC1050 vergleicht an seinen beiden Eingängen, Pin 2 und Pin 3, die von beiden Dioden kommende Gleichspannung und erhöht oder verringert die Spannung am Ausgang des OPV Pin 6 entsprechend. Ist die Brücke X1 geschlossen steuert der OPV die Verstärkung des RD06HHF1 indem die Gatespannung über den Widerstand R6 erhöht oder verringert wird. Da die Regelkurve des OPV sehr steil ist, sollt an Anfang die Brücke X1 offen bleiben. Fehlt die gleichgerichtet Spannungen an Diode D1B, wird die Gatespannung sehr weit hoch geregelt. Der Drainstrom steigt stark an, so das R10 4,7 Ohm oder L1 47uH kaputt gehen. Ein Grund für die fehlende Spannung an D1B könnte zum Beispiel ein falsch dimensionierter Tiefpass sein.

MP1 2,56Vss mit Oszi gemessen  
 MP2 6,3U Regelspannung  
 MP3 1,38V  
 MP4 1,38V



Am Ausgang des RD06HHF1 ist ein Tiefpass. Die Impedanz des Tiefpasses beträgt am Eingang und Ausgang etwa 150 Ohm. Der Tiefpass soll die Oberwellen so gut wie möglich unterdrücken.



Ich habe mit dem SIGLENT Speki die Unterdrückung der Oberwellen gemessen. Die Unterdrückung ist größer 40dB. Das ist ausreichend.

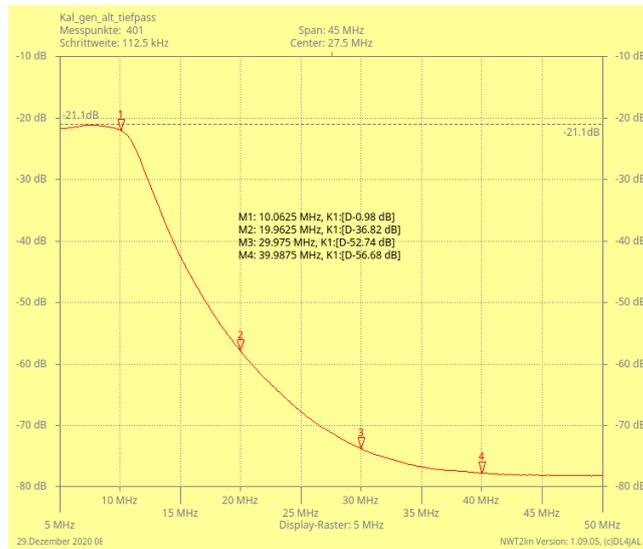
Nach dem Tiefpass wird über die Diode *D1B*, *BAT40-07* die HF-Spannung gleichgerichtet und über einen Spannungsteiler dem *OPV LTC1050 Pin 2* zugeführt. Diese Spannung wird, wie schon weiter vorn beschrieben, für die Verstärkungsregelung am *Gate RD06HHF1* benötigt. Ist die Spannung an *Pin 2* niedriger als an *Pin 3* erhöht der *OPV LTC1050 an Pin 6* die Spannung am Widerstand *R6* 6,8 kOhm. Der Verstärkung des *RD06HHF1* erhöht sich so weit, bis beide Spannungen *Pin 2 und Pin 3 LTC1050* gleich groß sind.

Die Inbetriebnahme der Cal-Gen-Platine beschreibe ich in Kapitel 3.2 auf Seite 21.

Über *J2*, zum *MC* werden die Steuerspannungen vom *DAC-Wandler LTC1446 (MC-Platine)* zugeführt.

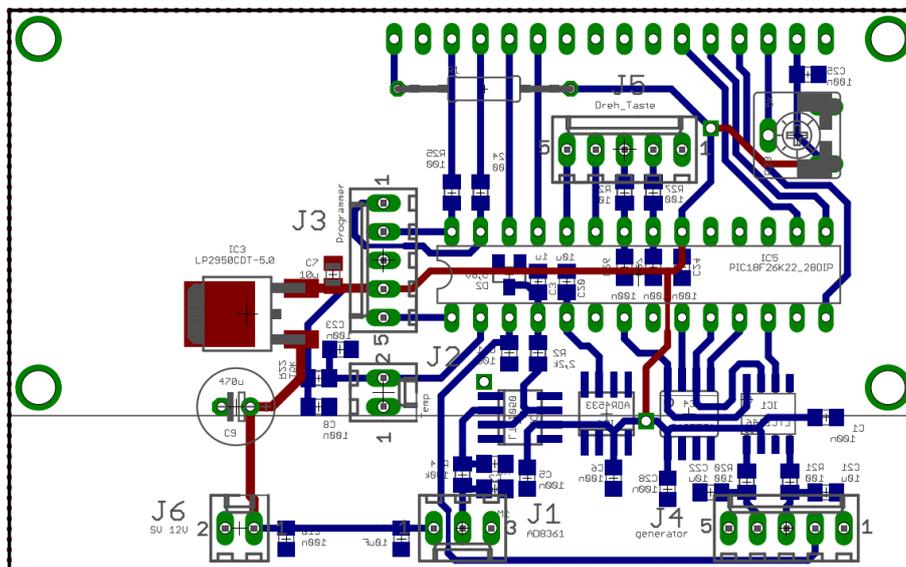
Nach dem Tiefpass ist ein Widerstandsnetzwerk. Das hat mehrere Aufgaben. Erstens sorgt diese Widerstandskombination für den richtigen Impedanzabschluss des Tiefpasses (etwa 150 Ohm) und zweites wird der Pegel auf 0,00 dBm abgesenkt. Und drittens wird an der SMA-Buchse die Impedanz von 50 Ohm bereit gestellt. Das ist auch sehr wichtig.

**Bevor der RD06HHF1 eingelötet wird sollte der Tiefpass kontrolliert werden.** Der NWT2 Output wird über einen Serienwiderstand 100 Ohm mit *MP5* verbunden. Der Serienwiderstand ist notwendig für die richtige Impedanzanpassung von etwa 150 Ohm. Der NWT2 Eingang wird mit der SMA-Buchse *X2* verbunden.



Es ergibt sich folgendes Wobbelbild. Die Dämpfung bei 10 MHz beträgt etwa 22 dB. Diese Dämpfung entsteht durch den Serienwiderstand 100 Ohm und dem Widerstandnetzwerk am Ausgang des Tiefpasses.

## 2.2 MC-Platine



Anblick der MC-Platine mit Eagle erzeugt.

Die MC-Platine dient der Steuerung des Kalibriergenerators, Pegelinstellung und Frequenzkorrektur des OCXOs. Bedienelemente sind ein Drehgeber mit Taste und eine Einzeltaste. Als Anzeige habe ich ein LCD-Display 2 Zeilen a' 16 Zeichen vorgesehen.

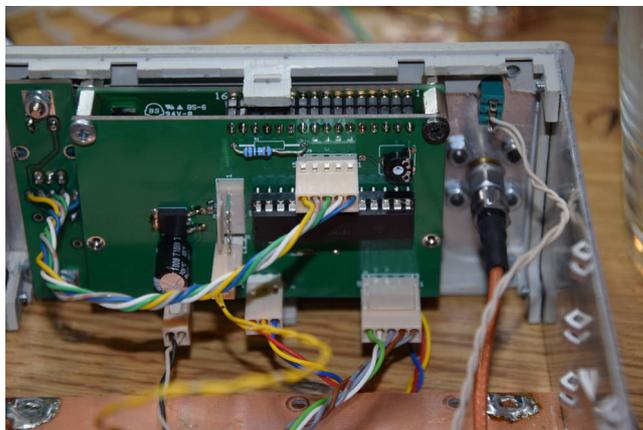
Die Messung des dBm-Pegels geschieht mit einem externen Messkopf. Am externen Messkopf befindet sich ein Anschlusskabel von etwa 1,5 m. Es werden

nur Gleichspannungen übertragen. Mit einem 3mm Stereo-Klinkenstecker wird der Messkopf an der Frontplatte angesteckt.

Im Messkopf ist ein *linear Detector AD8361 von Analog Devices* verbaut. Die Messgenauigkeit dieses IC's ist im Bereich von 0 dBm hervorragend. Die Messauflösung im 0 dBm-Bereich ist für unsere Zwecke mehr als ausreichend ( $\pm 0,01$  dB).

Die Justage der genauen Frequenz von 10,000000 MHz erfolgt über den DACa-Kanal des IC's LTC1446. Die Einstellung ist genauer 1 Hz  $\pm$  und sollte durch den Vergleich mit einer sehr genauen Referenz erfolgen. Ich besitze eine GPS disziplinierte 10,000000 MHz Referenz mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,05$  Hz.

### 2.2.1 Anschlüsse auf der MC Platine



An der Frontplatte befindet sich die LCD-Anzeige. Die LCD-Anzeige ist auf die MC-Platine aufgesteckt. Rechts das Koaxkabel, was zu N-Buchse führt. Links ist die *Bedienelemente-Platine* zu sehen. Über dem Elko ist der *SMD 5 Volt Spannungsregler* aufgelötet.

#### J1 Anschluss zum Messkopf AD8361

An J1 wird eine Verbindung zur 3mm Stereo-Klinkenbuchse hergestellt. Dazu benötigen wir 3 Drähte. Die 3mm Stereo-Klinkenbuchse befindet sich an der Frontplatte. An die Klinkenbuchse wird der externe Messkopf für die Messung des genauen HF-Pegels angeschlossen. Über das Anschlusskabel von etwa 1,5 m Länge werden nur Gleichspannungen übertragen. Der AD8361 im Messkopf wandelt den HF-Pegel in eine Gleichspannung um.

J1	Bezeichnung
Pin 1	+12 V
Pin 2	Messspannung
Pin 3	GND

#### J2 Anschluss NTC 15kOhm

An diesen Stecker wird der NTC-Widerstand 15kOhm mit 2 Drähten angelötet. Den NTC kleben wir mit Tesafilm auf den OCXO. Der NTC-Widerstand soll signalisieren, wenn der OCXO in etwa betriebsbereit ist.

J2	Bezeichnung
Pin 1	GND, NTC Pin1
Pin 2	Messspannung, NTC Pin2

### J3 Programmer

J3 ist für den Programmer „PicKit3“ vorgesehen. Die Verbindungen zwischen J3 und Pickit3 ist *1:1 spiegelbildlich*. **Das ist zu beachten!**

J3 Pin	PIC Pin	PIC Bezeichnung	Pickit3 Bezeichnung	Pickit3 Pin
1	27	RB6	PGC	5
2	28	RB7	PGD	4
3	8/19	GND	VCC	3
4	20	5V	VDD	2
5	1	MCLR	VPP	1

### J4 zum Generator

J4 ist der Stecker für die 4 Steuerdrähte zur Cal.Gen. Platine.

J3	Bezeichnung
Pin 1	frei
Pin 2	Messspannung von HF-Gleichrichtung zum ADC RA1
Pin 3	DACa Steuerspannung OCXO VLF Frequenzreglung
Pin 4	DACb Steuerspannung HF Pegelreglung
Pin 5	GND Masseleitung

### J5 Drehgeber und Einzeltaste

Der Drehgeber mit Taste und die Einzeltaste befinden sich auf einer extra kleinen schmalen Platine. 5 Drähte verbinden diese Platine mit dem Stecker J5.

J3	Bezeichnung
Pin 1	GND Masse
Pin 2	Drehgeber Impulse
Pin 3	Drehgeber Drehrichtung
Pin 4	Drehgeber Taste
Pin 5	Einzeltaste

### J6 Stromversorgung 12 Volt

Die Spannungsversorgung erfolgt vom Stecker J1 oder J2 auf der Cal.Gen. Platine.

J1, J3	Bezeichnung
Pin 1	+12 V
Pin 2	GND

## **2.2.2 Bauelemente auf der MC-Platine**

### **2.2.2.1 IC1 LTC1446**

Der LTC1446 ist ein DAC-Wandler mit 12 Bit Wandlungsbreite und hat 2 getrennt programmierbare Ausgänge. Ein Ausgang steuert die Frequenz des OC-XO und ein Ausgang ist für die Pegeländerung. Der LTC1446 hat eine interne Referenz-Spannungsquelle und ist dadurch sehr Temperaturstabil.

### **2.2.2.2 IC2 LTC1050**

Der Operationsverstärker LTC1050 dient als Pufferverstärker des externen Messkopfes mit dem AD8361. Der niederohmige OPV-Ausgang wird dem AD-Wandler im PIC zugeführt.

### **2.2.2.3 IC3 LP2950CDT-5.0**

Die MC-Platine hat einen eigenen Spannungsregler in SMD-Bauform. Der PIC18F26K22, die ICs und die LCD-Anzeige arbeiten alle mit 5 Volt.

### **2.2.2.4 IC4 ADT7310**

Für die Messung der Temperatur im Geräte habe ich einen ADT7310 eingesetzt. Für die Beurteilung des genauen Generatorpegels von 0,00 dBm ist es notwendig die Temperatur im Gerät zu wissen. Entsprechend kann der Generatorpegel nachgeregelt werden.

### **2.2.2.5 IC5 PIC18F26K22**

Der Mikroprocessor PIC18F26K22 steuert mit seiner Firmware die ganze Baugruppe.

### **2.2.2.6 IC6 ADR4533**

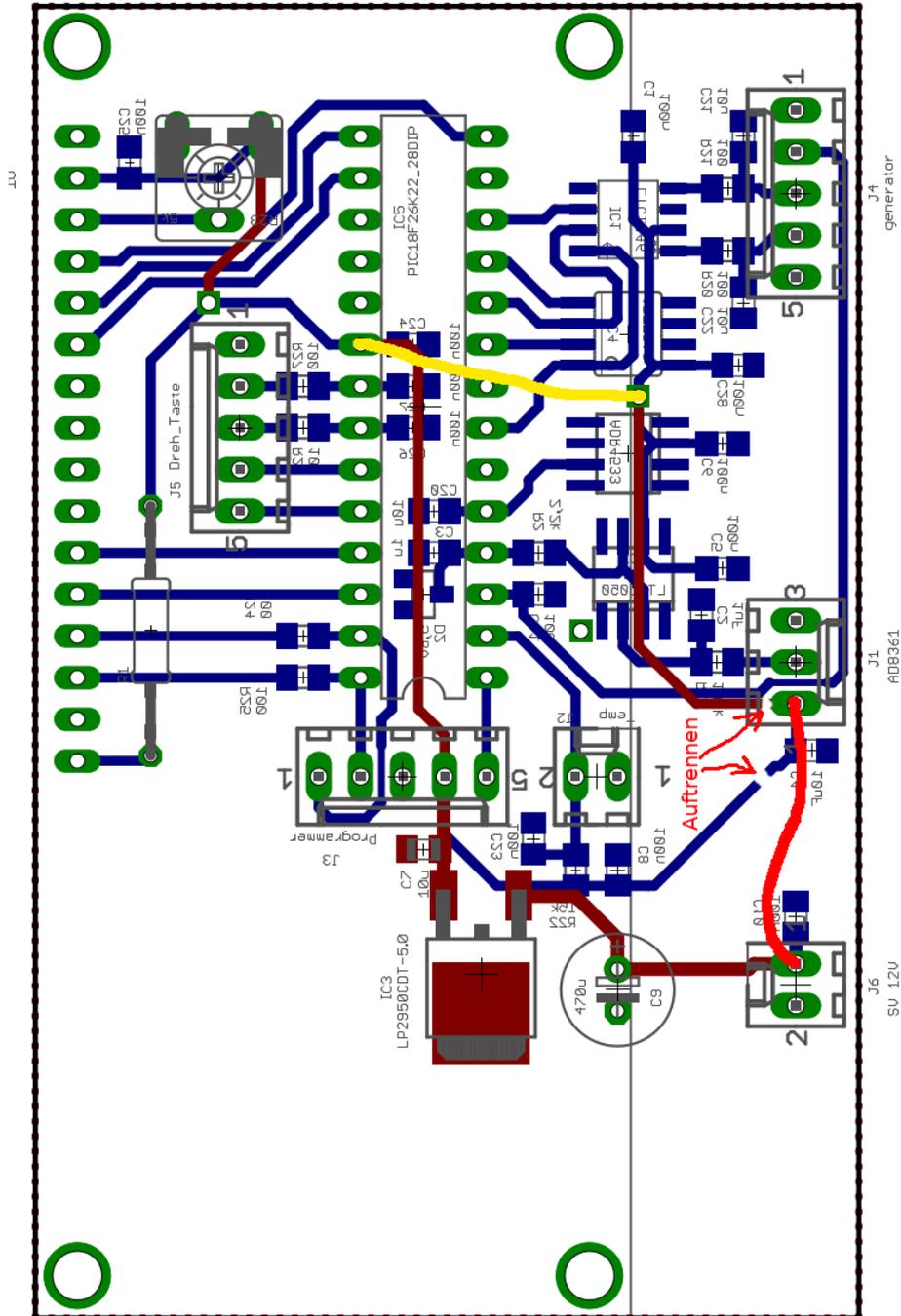
Für den Analog/Digitalwandler im PIC18F26K22 habe ich eine externe hoch konstante Spannungsquelle von genau 3,3 Volt vorgesehen. Der Spannungsausgang vom ADR4533 geht auf PIN5, RA3, VREF des PIC.

### **2.2.2.7 U1 LCD 2x16**

Die LCD-Anzeige wird direkt von unten auf die Platine aufgesteckt. Die 2 Zeilen mit je 16 Zeichen dient der Anzeige aller wichtigen Informationen.



## 2.2.4 MC-Platine Änderungen

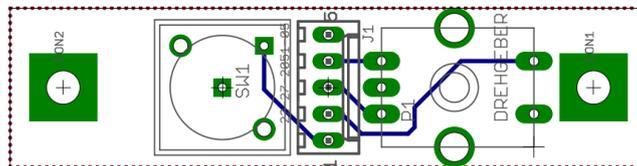


Leider haben sich Änderungen auf der Platine ergeben. Den Messkopf musste ich mit einem extra Spannungsregler 5 Volt ausstatten. Im Gehäuse wird es sehr warm. Der SMD-Spannungsregler ändert dadurch seine Ausgangsspannung.

Folglich ändern sich dadurch auch die Messwerte des AD8361. Deshalb musste ich J1-Pin1 mit 12 Volt versorgen und im externen Messkopf zusätzlich einen 5V Spannungsregler einsetzen. Das Schaltbild und die Ansicht der LP ist schon aktuell. Aber auf der Muster-Platine ist noch das alte Layout. Die 2 Leiterzüge zu J1-Pin1 werden aufgetrennt. 2 Drahtbrücken gelb und rot werden zusätzlich eingelötet.

Es folgt noch eine Änderung die im Bild nicht enthalten ist. Ein zusätzlicher Widerstand von 1 MOhm. Der Widerstand von 1 MOhm wird zwischen J1-Pin2 und J1-Pin3 eingelötet. Ist kein Messkopf angeschlossen, zieht dieser Widerstand den Messeingang auf 0 Volt. Ohne Widerstand ist eine undefinierbare Spannung am Messeingang. *Ohne diesen Widerstand funktioniert in der Software keine Erkennung des nicht angesteckten Messkopfes.*

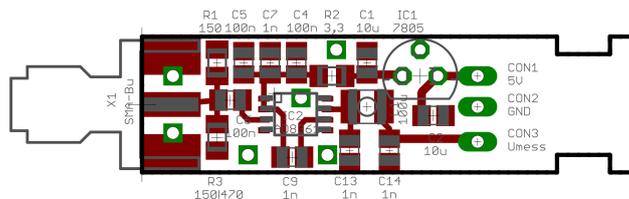
## 2.3 Bedienelemente Platine



Zu dieser Platine gibt es nicht viel zu sagen. Mit 5 Drahtlitzen wird die Platine mit dem Stecker J5 MC-Platine verbunden.

## 2.4 Externer Messkopf Platine

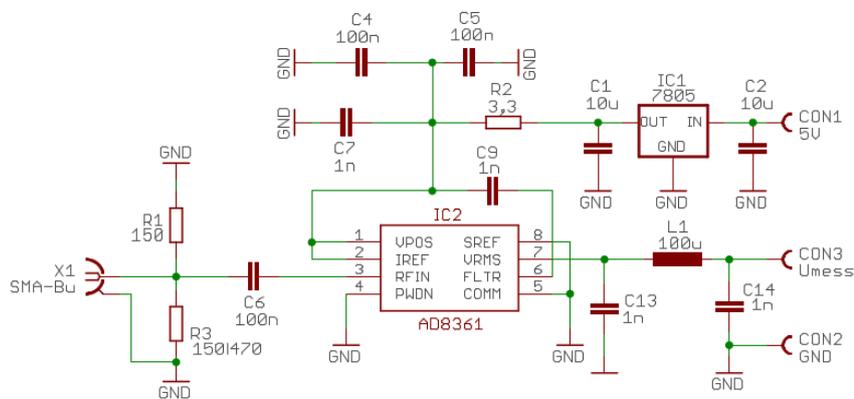
Für die genaue Messung des Pegel benutzen wir einen Messkopf, der über ein Anschlusskabel von etwa 1,5m Länge an der Frontplatte angesteckt wird.



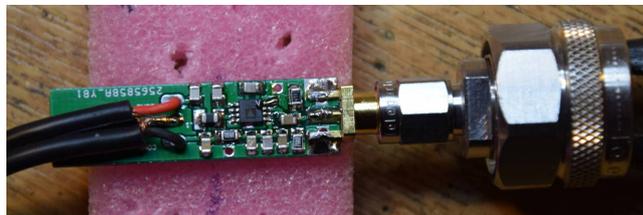
Ansicht der Platine mit Eagle erzeugt. Das ist schon die geänderte Platine mit dem Spannungsregler.

Der Messkopf befindet sich auf einer kleinen Platine. Leider muss hier auch etwas geändert werden. AD8361 Pin4 hängt in der Luft. Pin4 muss aber mit GND/Masse verbunden werden. Dazu wird neben Pin4 der Schutzlack etwas entfernt und eine Lötbrücke Pin4 -> GND eingelötet.

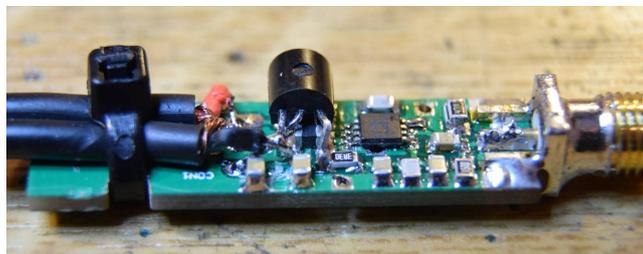
Weiterhin ist in der Ansicht der Platine der Spannungsregler 7805 zu sehen. In der Musterplatine fehlt dieser IC in der Bestückung. Also den Leiterzug zwischen C1/10uF und CON1 auftrennen und den Spannungsregler einfügen. Zusätzlich habe ich noch einen Kondensator 10uF zwischen CON1 und CON2 eingefügt.



Das aktuelle Schaltbild des Messkopfes.



Der Messkopf, die alte Ausführung, ohne Spannungsregler 7805. Die 5 Volt kommen direkt von der MC-Platine. Das ist zu unstabil und ich musste es ändern.



Die geänderte Platine mit dem Spannungsregler 5 Volt.



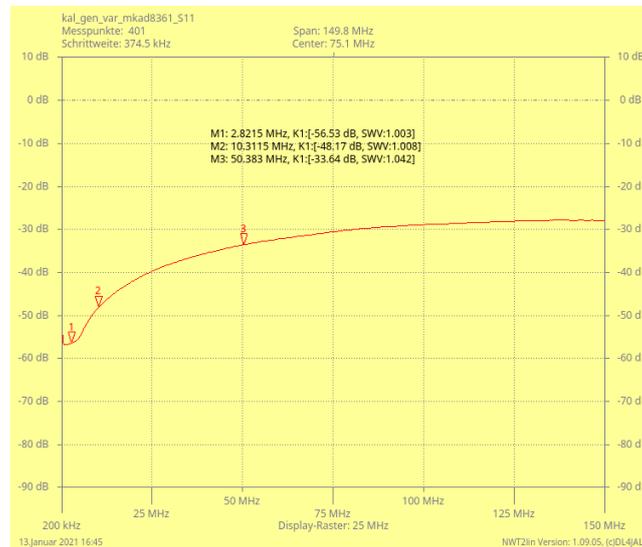
Die Platine im Schrumpfschlauch. Ich habe 2 Schrumpfschläuche verwendet. Zuerst innen eine Schrumpfschlauch einfach und außen einen Schrumpfschlauch mit Innenkleber. Ein N-Adapter ist aufgeschraubt.

Die Besonderheit des AD8361 im Messkopf ist die Wandlung des HF-Pegel in Gleichspannung. Dabei ist die Funktion der Wandlung in Gleichspannung nicht logarithmisch sondern linear. Die HF-Spannung am Eingang des AD8361 und

die Gleichspannung am Ausgang des AD8361 sind eine lineare Funktion. Darauf kommen wir noch in der Beschreibung der einzelnen Firmwarefunktionen zurück.

### Nachmessen S11, Messkopf

Wichtig ist noch die Eingangsimpedanz des externen Messkopfes nachzumessen. In dem Datenblatt wird ein Widerstand von 75 Ohm empfohlen. Damit soll sich eine Impedanz von 50 Ohm ergeben. Wenn man genauer ins Datenblatt schaut, sieht man das bei 100 MHz 63,4 Ohm Shunt benötigt wird. Deshalb habe ich noch einen Widerstand von 470 Ohm parallel aufgelötet. Jetzt sind im Schaltbild 2x 150 Ohm und zusätzlich 470 Ohm zu sehen. Das ergibt 64,7 Ohm. Das passt so. Ich habe nachgemessen. Bei 10 MHz ist das Return Loss 48 dB (SWR 1,008). Ich nutze auch zum Kalibrieren „HP Power-Meter 437B“, PWR Ref 50 MHz 0,00 dBm. Bei 50 MHz ist mit diesem Messkopf das Return Loss immer noch 33 dB (SWR 1,04). Das ist sehr gut.



# Kapitel 3

## Die Inbetriebnahme

Bevor beide Baugruppen in Betrieb genommen werden testen wir die Funktion der MC-Platine.

### 3.1 Inbetriebnahme der MC-Platine

- Die Bedienelemente-Platine, mit Drehgeber und Einzeltaste, an J5 der MC-Platine anschließen.
- Auf J2, *Temp* stecken wir einen Brückenstecker. Das ist ein Kurzschluss zwischen Pin 1 und Pin 2. Damit bekommt die FW das Signal *OCXO aufgeheizt*.
- Jetzt können wir den Stecker J6 mit 12 Volt versorgen. Es fließen etwa 75 mA bei 12 Volt.
- Im Display erscheint Infotext der FW-Version usw. Eventuell mit R23, 5 kOhm den Kontrast im Display korrigieren.
- An J4 Pin 3 und Pin 4 messen wir die Spannung. Das sind die beiden DAC-Ausgänge des LTC1446.
  - an J4 Pin 3 messen wir 2,99 Volt. Einstellung DACa = Wert 3000 (default).
  - an J4 Pin 4 messen wir 1,99 Volt. Einstellung DACb = Wert 2000 (default). Den Wert von DACb sehen wir im LCD-Display Zeile 2.
- Im Drehgeber ist auch eine Tastenfunktion. Im Display der Cursor steht unterhalb der Einerstelle. Mit einem kurzen Tastendruck am Drehgeber ändert sich die Cursorposition. **Den Wert von DACb stellen wir auf 0. Die Spannung J4 Pin 4 geht jetzt auch auf 0 Volt.**
- **Drehgeber Tastendruck lang** wechselt in die DACa-Anzeige / Einstellung. Den Wert *DACa:3000* lassen wir so stehen.
- Mit einem *langen Tastendruck der Einzeltaste* kommen wir in das *SETUP*. Mit dem Drehgeber wählen wir *[2] Save Pegel* aus und speichern den Wert *DACb:0* in den Eeprom ab (*mit kurzen Tastendruck Einzeltaste*).

## 3.2 Inbetriebnahme der Cal\_Gen-Platine

- Jetzt nehmen wir die Cal\_Gen-Platine noch in Betrieb. J4 auf der MC-Platine verbinden wir mit J2 auf der Cal\_Gen-Platine. Die Pin-Belegung ist 1:1.

J2 Cal_Gen	Bezeichnung	J4 MC
Pin 1	bleibt frei	Pin 1
Pin 2	Messspannung von HF-Gleichrichtung	Pin 2
Pin 3	DACa Regelspannung VFC OCXO	Pin 3
Pin 4	DACb Regelspannung HF-Pegel	Pin 4
Pin 5	GND	Pin 5

- Jetzt verkabeln wir noch die Stromversorgung, Cal\_Gen-Platine J1 oder J3 und MC-Platine J6.
- Beide Platinen 12 Volt einschalten. Der Stromverbrauch beider Platinen liegt bei etwa 720 mA. Nach einiger Zeit sinkt der Stromverbrauch auf etwa 350 mA (OCXO Thermostat ist warm).
- Sicherheitshalber messen wir an J2 Pin 4 Cal\_Gen-Platine und am Brückenstecker X1 Pin 2 nach. **Beide Pin's dürfen nur 0 Volt haben.**
- Jetzt können wir am Brückenstecker X1 den Brücken-Jumper aufstecken. So dass der OPV-Ausgang mit R6, 6,8 kOhm verbunden ist.
- Jetzt drehen wir mit dem Drehgeber den Wert von DACb langsam hoch und messen am Brückenstecker X1 die Spannung. Beim Wert DACb= 47 beträgt die Spannung an X1 etwa 1 Volt. Mit dem mW-Meter MK-AD8307 messe ich jetzt etwa -50dBm.
- Bei Einstellung DACb= 1000 messe ich etwa -10 dBm. Die Spannung an X1 steigt auf 5,5 Volt. J2, Pin 4 hat jetzt 1,0 Volt.
- Bei Einstellung DACb= 3660 messe ich den Pegel 0,00 dBm an der SMA Buchse. Die Spannung an X1 beträgt 6,3 Volt. J2, Pin 4 beträgt die Spannung 3,66 Volt.

**Der Kalibriergenerator funktioniert!**

## 3.3 Inbetriebnahme der Messkopf-Platine

*Bitte als Erstes die Änderungen, in Kapitel 2.4 auf Seite 17, auf der Platine beachten.* Ich habe eine 3 mm Stereo-Kopfhörerbuchse in die Frontplatte eingeschraubt. Da kann ich den Messkopf anstecken.

- Ist kein Messkopf angesteckt steht im Display [*kein Messkopf*].
- Sobald der Messkopf angesteckt wird ändert sich die Displayanzeige in  $< -10 \text{ dBm}$ . Rechts im Display steht der Wert des AD-Wandlers vom PIC. Der angezeigte Wert besteht aus 8 Messungen des A/D Wandlers, die addiert werden. Es schließt sich eine Mittelwertberechnung an mit einer

Exponentialfunktion, ähnlich einer Kondensator Lade/Entlade-Funktion.  
Ich zeige eine Nachkommastelle mit an, um die Bit-Kipper mit zu sehen.

- Mit der Cal\_Gen-Platine, SMA Buchse, oder eine externe HF-Quelle können wir den Messkopf überprüfen. Sehr gut eignet sich auch der *0-dBm-Generator*. Die Anzeige in Zeile 1 ändert sich entsprechend.

**Der externe Messkopf funktioniert!**

## Kapitel 4

# Firmware

Es folgt die Beschreibung der Firmware. Die Firmware wurde in Assembler erstellt und kompiliert. Für alle mathematischen Berechnungen verwende ich meine selbst geschriebenes Gleitkommazahlen-Bibliothek.

### 4.1 Normalbetrieb

Nach PowerON wird der OCXO Thermostat aufgeheizt. Das dauert etwas. Über den NTC-15k-Widerstand wird an den PIC signalisiert wenn etwa die Betriebstemperatur des OCXO erreicht ist.



Display nach *PowerON*. Der OCXO muss erst warm werden. Die Referenzspannung für den Pegelgenerator ist auf 0 eingestellt. Erst wenn der OCXO warm ist, wird der DACb-Wert für den Pegel 0,00 dBm geladen.

### 4.1.1 Normalbetrieb Pegel-Modus



Bedeutung der Displaytexte und Bedienelemente. Der externe Messkopf ist angesteckt. Den Messkopf habe ich vorher auf *0,00 dBm kalibriert*. Ich musste den DACb-Wert etwas herunter drehen. Bei einer Temperatur von über 30°C ist DACb-Wert 3653.

**N-Buchse links** Aus der N-Buchse kommt der genaue 0,00 dBm Pegel. Die Frequenz ist 10,000 Mhz. Nach der Frequenzkalibrierung ist die Abweichung kleiner als 0,1 Hz. Der externe Messkopf mit dem AD8361 ist gerade angeschraubt.

**Ext. Mk. Pegel** Hier wird der Pegel des externen Messkopfes mit dem AD8361 angezeigt. Die Messauflösung, bedingt durch die A/D Wandlerbreite von 10 Bit, ist etwa 0,01 dB. Ich zeige aber die Tausendstel dBm mit an, um zu sehen in welche Richtung der dBm-Wert tendiert.

**Ext. Mk. A/D Wandler** Die Messspannung des externen Messkopfes wird am PIC, Pin 4 mit dem internen A/D Wandler gemessen. Diese Zahl ist ein Mittelwert mit einer Kommastelle. Ist die Nachkommastelle ungleich Null, treten Bit-Kipper auf. Das ist die Information das der Messwert sich ständig etwas ändert. Dazu sollte man wissen die Wandlerbreite des A/D Wandler nur 10 Bit ist. Ich addiere immer 8 Messungen zu einer Messung. Das ist eine Zahl zwischen 0 und 8184. Es ist gut den A/D Wert mit im Display anzuzeigen.

**D/A Wandler Pegelgen. Referenzspannung** Der Pegelgenerator hat in sich eine eigene Pegelreglung und überwacht sich selbst. Der Pegelgenerator regelt seinen Ausgangspegel mit Hilfe einer Referenzgleichspannung. Diese Referenzspannung wird vom IC LTC1446 Kanal B bereit gestellt. Der Wert des D/A Wandlers steht im Display und kann mit dem Drehgeber geändert werden. Der D/A Wandler hat eine Wandlerbreite von 12 Bit. Das ist eine Auflösung von 1 mV. Die Einstellung der Referenzspannung ist also sehr fein.

**Temperatur auf der MC-Platine** Ich habe für die Messung der Temperatur im Gerät einen separaten IC verwendet. Die Temperaturanzeige hilft mir

die Einstellung des Pegel, ohne zu messen, zu korrigieren. Dazu muss man sich allerdings die Mühe machen und eine List der DACb-Werte für die verschiedenen Temperaturen erstellen.

**Drehgeber mit Taste** Der Drehgeber mit seiner Tastenfunktion dient der Bedienung des Gerätes. Durch *langes drücken der Drehgebertaste* wechselt die D/A Wandler-Einstellung in den Frequenzmodus

**Einzeltaste** Die Einzeltaste ist meistens eine Quittungstaste. Wird die Taste lang gedrückt löst es fast immer den *Abbruch* aus.

**Anschluss für externen Messkopf AD8361** Hier wird der Messkopf mit einem Stereo-Klinkenstecker 3 mm angeschlossen. Die Firmware erkennt anhand des Wertes des A/D Wandler ob der Messkopf angesteckt ist. Wird der Messkopf abgezogen geht der Wandlerwert auf Null. Es kommt die Anzeige [**kein Messkopf** ].

#### 4.1.1.1 Kalibrierung 0,00 dBm

Ist das Pegel/Frequenz-Normal eine Weile gelaufen wird der 0,00 dBm Punkt neu kalibriert. Ich empfehle etwa 30 Minuten nach *PowerON* zu warten.



In diesem Beispiel habe ich die Kalibrierung mit meinem mW-Meter vorgenommen. Der Messkopf, links angeschraubt, wurde vorher auf 0,00 dBm, mit der *Referenz 1,00 mW meines HP 437B*, kalibriert.



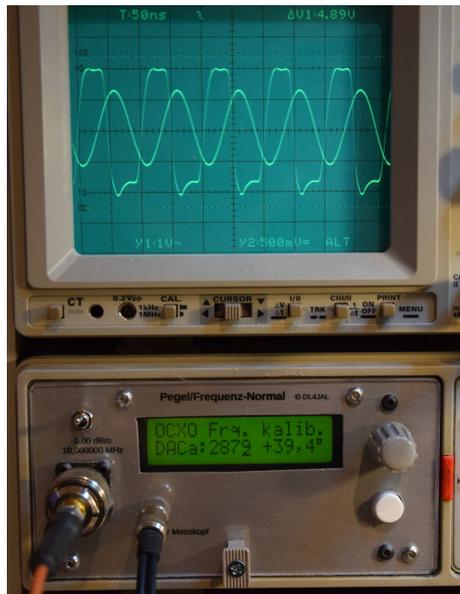
In diesem Beispiel habe ich den externen Messkopf zum Kalibriern verwendet. Der externe Messkopf wurde vorher auch wieder mit dem *0 dBm-Generator Homemade* auf 0,00 dBm kalibriert. Bei 26°C muss ich den D/A Wandler etwas zurück drehen. Steigt die Temperatur auf 30°C gilt wieder der DACb-Wert von 3653. Die Pegelabweichung ist aber nur 0,01 dB. Es ist also fast nichts.

#### 4.1.1.2 Kalibrierung Frequenz 10 000000,0 Hz

Mit einem *langen Tastendruck Drehgeber* oder Menüfunktion siehe Kapitel 4.2.3 auf Seite 28 wechseln wir in die Einstellung der genauen Frequenz.



Mit dem Drehgeber ändern wir die Einstellung des DACa-Wertes. Die Einstellung ist sehr fein.



Hier das Bild mit dem Frequenzvergleich GPS-Frequenznormal und unsere neue Baugruppe. Die Frequenz steht etwa 1 Minute ohne Änderung. Das ist hervorragend.

## 4.2 Menüfunktionen

Mit einem kurzen Tastendruck der Einzeltaste kommen wir in die Menüfunktionen. Das Menü hat keine separate Abbruchfunktion. Abbrechen kann man das Menü mit einem langen Tastendruck der Einzeltaste.

Der folgende Menüpunkt erscheint immer zuerst.

### 4.2.1 [1]Kal. 0,00 dBm

Vor jeder Messung mit dem externen Messkopf sollte diese Funktion ausgeführt werden.



Es wird die Abweichung der Messung zu einer genauen Referenz 0,00 dBm festgestellt und mit eingerechnet.

Im *SETUP* [3] *Kal.MK-AD8361* wird die *Funktion HF-Pegel*  $\rightarrow$  *Berechnung dBm* durchgeführt. Die Eckdaten dieser Funktion werden gespeichert und ändern sich nicht. Ändert sich aber die Umgebungstemperatur für den externen Messkopf verschiebt sich der 0,00 dBm Punkt etwas. Diesen Ausgleich führen wir hier durch.

Mit der *Kalibrierung 0,00 dBm* wird die Temperaturabweichung korrigiert. Die *Kalibrierung 0,00 dBm* läuft automatisch ab.

- Den externen Messkopf verbinden wir mit einer genauen Referenz-Pegelquelle. Bei mir ist das ein *HP Power Meter 437B-Power REF 1,00 mW 50 MHz*.
- Mit einem *kurzen Tastendruck Einzeltaste* startet die Funktion. Es läuft folgendes automatisch ab.
  - 1. Löschen Offset = 0,0 dB
  - 2. Messen der Referenz-Pegelquelle 5 Sekunden lang.
  - 3. Ist die Abweichung kleiner  $\pm 1$  dB: Gemessener Pegel wird als neuer Offset abgespeichert, auch im Eeprom des PIC wird dieser Wert gespeichert.
  - 4. Der Wert des Offsets wird anschließend im Display angezeigt.

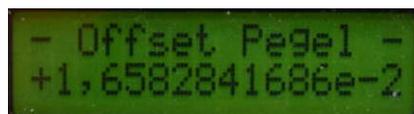


Der Offset-Wert wird angezeigt und mit bei der Messung des Messkopfes eingerechnet. Jetzt sind es genau 0,000 dBm aus unserem Pegelnormal.

Bei jeder Messung des Pegels wird ab jetzt der *Offsetwert in dB* subtrahiert. Ich zeige im Display immer die tausendstel dBm mit an, damit ich die Tendenz der Abweichung besser einschätzen kann. **Wichtig!!! Ist beim Messen der Abweichung die Abweichung größer  $\pm 1$  dB wird das Offset nicht gemessen sondern auf den Wert 0,00 dB gesetzt.**

Das nutzen wir um den Offsetwert zu löschen. Also einfach den Messkopf abschrauben. Die Funktion *Kalibrierung 0,00 dBm* starten. der Offsetwert ist gelöscht.

#### 4.2.2 [2]Info Kal. 0,0

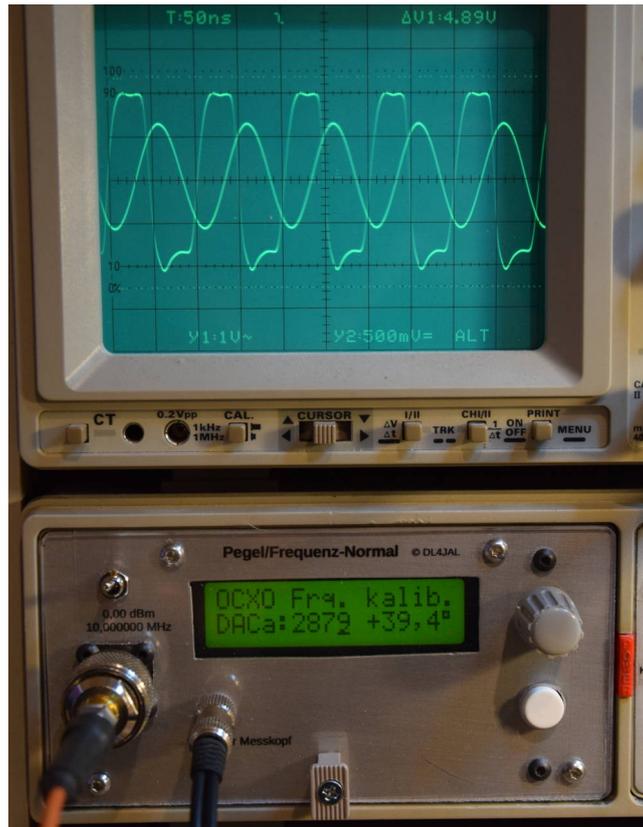


Der Offset-Wert wird angezeigt. Der Wert wird in exponentieller Darstellung angezeigt.

### 4.2.3 [3]DACa < - > DACb

Mit einem *langen Tastendruck Drehgeber* wird auch die Funktion [3]DACa < - > DACb ausgeführt.

Beim Programmstart ist immer die Einstellung des HF-Pegels mit DACb aktiv. Mit dem DACa-Wert wird die Regelspannung VFC für den OCXO eingestellt. Ist der DACa-Wert einmal eingestellt braucht er kaum ein Korrektur. Die Frequenz des OCXO ist sehr stabil. Die Abweichungen sind kleiner 0,1 Hz.



Im Bild sehen wir den Vergleich zweier Frequenzen. Die Rechteckfrequenz kommt von meinem GPS-Frequenznormal 10 000 000,00 Hz. Die Sinuswelle ist von unserem **Pegel/Frequenz-Normal**. Die beiden Kurven ändern erst nach Minuten ihre Position. Diese hohe Frequenzstabilität hatte ich nicht vermutet.

Mit dem Drehgeber ändern wir den Zahlenwert des D/A-Wandlers. Durch die Wandlerbreite von 12 Bit ist Auflösung sehr hoch. 1 Digit entspricht etwa 1 mV. **Wichtig! Der DACa-Wert muss im SETUP[1] separat noch einmal im Eeprom abgespeichert werden.**

## 4.3 SETUP

Mit einem *langen Tastendruck Einzeltaste* kommen wir ins **SETUP**. Das **SETUP** merkt sich die zuletzt benutzte Funktion. Diese wird im Display anfangs angezeigt.

### 4.3.1 [0] Abbruch

Das SETUP-Menü hat eine eigene Abbruchfunktion. Auch ein *langer Tastendruck Einzeltaste* bricht das SETUP ab.

### 4.3.2 [1]Save DAC-VFC

Abspeichern der DACa-VFC Einstellung in den Eeprom des PIC. Der Wert von DACa ist die Regelspannung der Frequenznachreglung des OCXO.

### 4.3.3 [2]Save DACpegel

Abspeichern des DACb-Pegel Einstellung in den Eeprom des PIC. Der Wert von DACb ist die Regelspannung der PegelEinstellung des Pegelgenerators.

### 4.3.4 [3]Kal.MK-AD8361



Mit dieser Funktion kalibrieren wird den Funktionsverlauf der Messfunktion des AD8361. Der AD8361 ist ein *RF-Power Detector* mit linearer Funktion RF-RMS-Spannung  $\rightarrow$  Messgleichspannung.

- Legen wir am Eingang des IC einen Pegel von 0,0 dBm an und messen am Messausgang des AD8361 Pin 7 VRMS die Spannung, so sind das etwa 2,0 Volt.
- Reduzieren wir den Pegel mit einem 6 dB Dämpfungsglied, halbiert sich die HF-Spannung am Eingang des AD8361. Am Pin 7 VRMS messen wir etwa 1,0 Volt. Die Ausgangsspannung hat sich auch halbiert.

Durch die lineare Funktion HF-Spannung  $\rightarrow$  Messspannung ergibt sich eine sehr große Auflösung der Messspannung im oberen Pegel-Bereich. Uns interessiert der Pegelbereich um 0,0 dBm.

Den Anstieg und die Position der linearen Funktion im Koordinatensystem berechnen wir mit diesen Formeln. Zur Berechnung des Funktionsverlaufes benötigen wir nur 2 Messpunkte. Der erste Messpunkt ist ein Pegel von 0,00 dBm und der zweite Messpunkt ist  $-6$  dBm. Das ist eine Halbierung der Eingangsspannung. Der zweite Pegel ist einfach durch ein Dämpfungsglied von 6 dB zu realisieren. Das ist nicht genau die halbe Eingangsspannung, aber das wird in der Berechnung mit berücksichtigt. Diese ganzen Berechnungen sind eine etwas *schwere Kost*. Wer sich dafür interessiert, hier die Berechnungen im Detail.

#### Der Ablauf der Kalibrierung:

- Als erstes benötigen wir eine genaue 0,0 dBm Pegelquelle. Dazu haben wir unseren *0,0 dBm Generator*. Diesen *0,0 dBm Generator* bietet die ATTIS als Bausatz an. Ich benutze das *HP Power Meter 437B, Power REF 1,00 mW 50 MHz*

- Wir warten bis die Anzeige des A/D Wandler-Wertes ruhig steht und sich nicht mehr ändert. Es kann sein, das die Nachkommastelle hin und her wandert. Mit *kurzen Tastendruck Einzeltaste* bestätigen wir den A/D-Wert.
- Jetzt fügen wir das Dämpfungsglied von 6 dB ein und warten erneut, bis die Anzeige sich nicht mehr ändert. Es kann sein, das die Nachkommastelle hin und her wandert. Das ist nicht weiter schlimm. Für die Berechnung wird ganzzahlig gerundet. Mit *kurzen Tastendruck Einzeltaste* bestätigen wir den A/D-Wert.
- Jetzt beginnt die Berechnung. Ein lineare Funktion wird mit 2 Variablen beschrieben werden. Die **Variable x** bestimmt den Anstieg der linearen Funktion im Koordinatensystem. Die **Variable y** bestimmt die Verschiebung der linearen Funktion auf der Y-Achse im Koordinatensystem

$$\text{Funktion} = x * \text{Messwert} + y$$

Die Variablen x und y berechnen wir jetzt.

- Als erstes die Variable x. Ich nenne sie **mkx**.

$$mkx = \frac{(1.0 - 0,501187233)}{(ADC0dBm - ADC - 6dBm)}$$

$$mkx = \frac{(1.0 - 0,501187233)}{(4352 - 2257)} = 2,380967862e^{-04}$$

- Die Variable y nenne ich **mky**.

$$mky = (ADC0dBm * mkx * -1) + 1.0$$

$$mky = (4352 * mkx * -1) + 1.0 = -0,036197213$$

Zum Abschluss der Berechnungen werden die ADC-Werte und mkx, mky noch einmal auf dem Display angezeigt und anschließend im Eeprom des PIC gespeichert. Jeder Schritt ist mit einen *kurzen Tastendruck der Einzeltaste* zu bestätigen.

Jetzt machen wir die Berechnungsüberprüfung der beiden Variablen **mkx** und **mky** mit einer Beispielberechnung. Angenommen der A/D Wandler gibt die Zahl 2257 aus. Die Zahl 2257 müsste den dBm-Pegel -6 dBm ergeben.

- Zuerst die Formel für die Berechnung

$$\text{Faktor} F = AD - \text{Wert} * mkx + mky$$

$$\text{Faktor} F = 2257 * 2,380967862e^{-04} + -0,036197213 = 0,501187233$$

- Das Ergebnis ist aber erst einmal nur ein linearer Faktor. Der Faktor muss noch über den Logarithmus in dBm umgerechnet werden. Der AD8361 ist ja ein linearer Detector.

$$\text{Pegel}(dBm) = \log(\text{Faktor}) * 20 = \log(0,501187233) * 20 = -6,00dBm$$

**Jetzt bin ich mir sicher die Formeln für die Berechnung der beiden Variablen mkx und mky sind richtig!**

Jetzt folgen noch Bilder einer Messkopfkalibrierung. Allerdings weichen die A/D Werte etwas ab. Das ist der Einfluss der geänderten Umgebungstemperatur. Es soll ja nur ein Beispiel zum anschauen sein.



Zuerst die AD-Werte 0 dBm und -6dBm ermitteln.



Daraus berechnet die Funktion die beiden Variablen mkx und mky. Bei diesen Fotos sind die Messwerte etwas anders als im oberen Berechnungsbeispiel.

#### 4.3.5 [4]ViewMK-AD8361



Wir können uns in dieser Funktion alle Daten der Messkopf-Kalibrierung noch einmal anschauen.

#### 4.3.6 [5]MK kalib. man



Eine sinnvolle Funktion ist nur die Eingabe der beiden ADC-Werte für 0,0 dBm und -6 dBm ohne mit HF-Pegelquellen zu kalibrieren. Das geht natürlich nur wenn diese beiden Zahlen bekannt sind. Wurde einmal richtig mit der Funktion [3]Kal.MK-AD8361 kalibriert, sollte man sich die beiden Zahlen notieren. Steht ein Update der Firmware an, gibt man einfach diese beiden Zahlen ein und kann sich den Aufwand mit dem Referenz-Pegel-Generator und dem Dämpfungsglied sparen.

- **kurzer Tastendruck Drehgeber** schalten den Cursor weiter.
- **kurzer Tastendruck Einzeltaster** bestätigt die beiden ADC-Werte.

Es werden alle Berechnungen wie im Kapitel 4.3.4 ausgeführt.

## Kapitel 5

# Schlusswort

**Dieses Projekt darf nicht kommerziell vermarktet oder genutzt werden. Alle Rechte liegen bei DL4JAL (Andreas Lindenau).**

Ich wünsche viel Spaß beim Basteln.

vy 73 Andreas DL4JAL

✉ DL4JAL@t-online.de