

HF mWatt-Meter

(c) DL4JAL

26. Mai 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
1.1	Software Version 2.0 mit Gleitpunktarithmetik	3
2	Hardware	4
2.1	Grundgerät	4
2.1.1	Schaltungsbeschreibung	4
2.1.2	Anschlüsse auf der Baugruppe	6
2.2	Messköpfe	8
2.2.1	Messkopf AD8362	9
2.2.2	Messkopf AD8307	9
2.2.3	Messkopf AD8307 NF/Audio	10
2.2.4	Messkopf AD8361 linear	10
2.2.5	Messkopf Stecker	11
2.2.6	Messkopf Adapterkabel	11
2.2.7	Messutensilien	11
2.3	Kalibriergenerator	13
3	Software	16
3.1	Version der Firmware	17
3.2	Grundtastenfunktionen	18
3.2.1	Taste 1 Oben	18
3.2.2	Taste 2	18
3.2.3	Taste 3	18
3.2.4	Taste 4 Unten	18
3.3	Menüfunktionen	18
3.3.1	Attenuator	18
3.3.2	Kalibrieren	19
3.3.3	Start Aufzeichnung	23
3.3.4	Stopp Aufzeichnung	24
3.3.5	View Aufz. auto	24
3.3.6	View Aufz. manuell	24
3.3.7	View Messkopfdaten	24
3.3.8	SETUP	24
3.3.9	Eeprom sichern	25
3.3.10	Eeprom restaur.	25
3.4	PC Software	25
4	Schlusswort	27

Abbildungsverzeichnis

2.1	Ansicht des mWatt-Meters	5
2.2	Der Messkopf mit dem IC AD8362.	9
2.3	Der Messkopf mit dem IC AD8307.	10
2.4	Der Messkopf aus dem Schacht herausgenommen.	12
2.5	Mein neues Adapterkabel. Geeignet für das mW-Meter und den NWT01.	12
2.6	Dieses Foto habe ich auch in den Deckel geklebt, damit ich die Vollständigkeit schnell überprüfen kann.	13
2.7	Mein Etui für alles, was zum Messgerät gebraucht wird.	13
2.8	Der Kalibriergenerator im Gehäuse.	14
2.9	Der Kalibriergenerator von oben und unten. Das ist noch der Testaufbau mit SMD.	15
3.1	Mit der obersten Taste kommen wir in die Menüfunktionen	18
3.2	Ansicht der aktiven Bargraphanzeige	18
3.3	Einstellen der Dämpfung	19
3.4	Anzeige im Display mit hoher PA-Leistung	19
3.5	Alle HF-Kalibrierschritte zusammen gefasst.	21
3.6	Alle NF-Kalibrierschritte zusammen gefasst.	23
3.7	LCD Bilder vom Aufzeichnen der Daten. „Start“ der Aufzeichnung, die Aufzeichnung und „Stopp“ der Aufzeichnung.	23
3.8	Es werden in Folge die Konstanten mkx, mky, Messkopfnummer, maximale Aussteuerung und Typ des Messkopfes angezeigt. Neu der neuen FW sehen wir hier die Zahlendarstellung im Exp-Format.	24
3.9	LCD Bilder vom Sichern und Restaurieren der PIC-Eepromdaten	25

Kapitel 1

Vorwort

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

1.1 Software Version 2.0 mit Gleitpunktarithmetik

Mein Wunsch war immer die Mathematikroutinen in meinem Assemblercode auf Gleitpunktarithmetik umzustellen. Aus Gründen der HW-Nähe wollte ich beim Assembler-Code bleiben und nicht auf die Programmiersprache C umsteigen. Da ich mich sehr für Mathematik interessiere habe ich Anfang dieses Jahres begonnen mich mit den Grundlagen der Norm IEEE 754 zu befassen und diese in den PIC18 Assemblercode umzusetzen. Ob das gelingen würde, war damals noch nicht so klar. Ich wollte unbedingt zusätzlich zu den Grundrechenarten noch die Funktionen `exp`, `log` und `sqrt` mit implementieren. Die Funktionen `exp` und `log` brauche ich für Umrechnung dBm \leftrightarrow Watt. Ziel war zusätzlich noch einen Messkopf mit dem AD8361 einzusetzen. Dieser IC arbeitet nicht logarithmisch sondern linear. Will ich die Messwerte in dBm darstellen, muss mit der `log` Funktion rechnen.

Nach einigen Wochen war es dann so weit, die Grundrechenarten-Routinen funktionierten und nun waren die Funktionen `sqrt`, `log`, `exp(10)` zu programmieren. Dazu habe ich Taylor-Reihen verwendet. Nun funktionierten alle Routinen, aber die Rechengenauigkeit war mir nicht gut genug. In der IEEE 754 Norm gibt es mehrere Zahlenformate. Zuerst habe ich das `single` Format programmiert. Eine Variable hat eine Länge von 32 Bit. Die Mantisse hat nur 24 Bit Länge und es lassen sich 7 bis 8 Dezimalstellen darstellen. Das hat mir nicht gereicht. Deshalb bin ich vom `single` Format etwas abgewichen und habe die Mantisse um 1 Byte erweitert und kann damit 9 bis 10 Dezimalstellen darstellen. Auf das `double` Format wollte ich nicht gehen, da zu viel Ramzellen verbraucht werden. Jetzt hat in meinem Gleitpunktpacket eine Variable die Länge von 40 Bit. 1 Bit wird für das Vorzeichen gebraucht, 8 Bit für den Exponent und der Rest von 31 Bit + Hidden-Bit ergeben 32 Bit für die Mantisse.

Das zur Erläuterung warum es notwendig wurde eine neue Softwareversion in das mWatt-Meter zu implementieren.

Kapitel 2

Hardware

2.1 Grundgerät

In der Abbildung 2.1 auf der Seite 5 ist das mW-Meter zu sehen. Es liegt zum Messen ein Zweitonsignal an. Auf der linken Seite ist die Anzeige aller Mittelwerte (AVG/RSM) zu sehen und rechts im LCD-Display werden die Maxima der Hüllkurve (PEP) zur Anzeige gebracht. Die 4 Tasten auf der linken Seite und das Poti rechts sind für die Bedienung des mW-Meters. Rechts unten befindet sich ein Schacht für die Aufnahme der verschiedenen Messköpfe. Im Moment ist der Messkopf mit dem AD8362 gesteckt. Auf dem Messkopf befindet sich eine 4 Bit Kodierung. Diese Kodierung wird für die Identifizierung des Messkopfes benötigt. Wird ein anderer Messkopf in das Grundgerät eingesteckt, erkennt das der PIC, und es werden automatisch die entsprechenden Kalibrierdaten nachgeladen.

2.1.1 Schaltungsbeschreibung

Als zentrale Recheneinheit verwende ich wieder einen PIC 18F4520. Dieser MC hat 40 PINs und ist mehr als ausreichend für unsere Zwecke. Als Anzeige verwende ich eine LCD-Anzeige mit 4 x 20 Zeichen pro Zeile. Zur Bedienung dienen 4 Tasten auf der linken Seite des Displays senkrecht angeordnet werden. Die Tasten werden am besten so angeordnet das die Taste 1 der ersten Zeile im LCD-Display zugeordnet, Taste 2 der zweiten Zeile usw.. Ein Poti dient der Eingabe von Zahlenwerten. Der Zahlenbereich wird entsprechend der Funktion vorgegeben.

Beginnen wir mit der Stromversorgung. Auf der Platine befinden sich 2 12V-Punkte für den Anschluss der Betriebsspannung die mit 2 1A Dioden entkoppelt sind. Einmal die 12V von einem Netzteil. Von diesem Anschluss wird die Hintergrundbeleuchtung der LCD mit gespeist. Der andere 12V-Anschluss ist für den Batteriebetrieb gedacht. An diesem Anschluss bleibt die Hintergrundbeleuchtung dunkel, um Strom zu sparen. In der neuen HW kann die Hintergrundbeleuchtung auch im Batteriebetrieb aktiviert werden. Dazu dient die 3-polige Steckbrücke. Als nächstes kommt der 10V Spannungsregler. Dieser stellt die Rohspannung für den Messkopf und den OPVs und Spannungsreferenz-IC bereit. Die Messspannung vom Messkopf wird mit einem OVP gepuffert (IC4) und auf 2 Messstrecken verteilt. Eine Messstrecke ist für die Mittelwertbildung (IC1)



Abbildung 2.1: Ansicht des mWatt-Meters

und die andere Messstrecke erfasst die Spitzenwerte der HF-Hüllkurve (IC3). Für beide Messstrecken sind getrennte ADC-Eingänge vorgesehen. Anschließend kommt der Spannungsregler 5V für den PIC, LCD und ext. Eeprom. Die Referenzspannung des A/D Wandler wird von einem speziellen Referenzspannungs-IC 5V erzeugt. Mit den Präzisions-OVPs und Referenz-IC wird die Grundlage für geringe Toleranzen und eine möglichst hohe Messgenauigkeit gelegt.

Für den Anschluss an einen PC verwende ich einen USB-Anschluss mit dem IC FT232RL. Da ich alles in Assembler programmiere ist dieses IC am einfachsten für die Ankopplung. Ich brauche nur die Baudrate einstellen und los geht's.

Als akustische Tonausgabe habe ich einen kleinen Lautsprecher vorgesehen, der von einem SMD-Mosfet getrieben wird.

Als großer externer Datenspeicher ist ein Eeprom 24L512 mit 512kBit angeschlossen. In diesem Eeprom können bis zu 64kByte Daten abgelegt werden. Zur Nutzung dieses ICs kommen wir noch einmal im Abschnitt Software auf der Seite [23](#).

2.1.2 Anschlüsse auf der Baugruppe

Es folgt die Beschreibung der Stecker auf der Grundbaugruppe.

J1 Messkopf

An diesem Stecker wird der Messkopf angeschlossen.

- 1 10V Betriebsspannung für den Messkopf
- 2 Messspannung vom Messkopf
- 3 GND Masse

J2 LCD1

Stecker 1 der LCD-Anzeige.

- 1 GND LCD Pin1
- 2 +5Volt LCD Pin2
- 3 Kontrast LCD Pin3
- 4 LCD Pin4
- 5 LCD Pin5
- 6 LCD Pin6
- 7 LCD Pin7
- 8 LCD Pin8

J3 LCD2

Stecker 2 der LCD-Anzeige.

- 1 LCD Pin9
- 2 LCD Pin10
- 3 LCD Pin11
- 4 LCD Pin12
- 5 LCD Pin13
- 6 LCD Pin14
- 7 LCD Pin15 R7 Hintergrundbeleuchtung
- 8 LCD Pin16 GND Hintergrundbeleuchtung

J4 Tasten

Stecker für die 4 Bedientasten.

- 1 Taste 4
- 2 Taste 3
- 3 Taste 2
- 4 Taste 1
- 5 GND

J5 Programmer

Stecker für Programmierung mit einem Programmiergerät. Der PIC kann gleich in der Baugruppe programmiert werden. Das hat Vorteile bei der SW-Entwicklung.

- 1 MLCR
- 2 RB6
- 3 GND
- 4 RB7
- 5 +5V

J6 Lautsprecher

Stecker für den Lautsprecheranschluss.

- Pol 1
- Pol 2

J7 Kodierung Messkopf

Stecker vom Messkopf für das Lesen der Kodierung.

- 1 Bit 2^0 offen ist 1, GND ist 0
- 2 Bit 2^1 offen ist 1, GND ist 0
- 3 Bit 2^2 offen ist 1, GND ist 0
- 4 Bit 2^3 offen ist 1, GND ist 0
- 5 GND

J8 ADC Eingänge

ADC Eingang für das Poti.

- 1 frei
- 2 Poti Schleifer
- 3 frei
- 4 frei
- 5 frei

J9 5V ref.

Spannung für das Poti.

- 1 +5 Volt Referenz zum Poti
- 2 GND zum Poti

12V Netzteil

vom Netzteil die 12V. Mit Hintergrundbeleuchtung.

12V Batt

von der Batterie die 12V. Ohne Hintergrundbeleuchtung oder mit Brücke an SV1 (1,2) auch ständig aktiviert.

2.2 Messköpfe

Am Grundgerät können verschiedene Messköpfe angeschlossen werden. Es funktionieren im Prinzip alle Messköpfe mit einer logarithmischen Funktion. Zur Zeit habe ich 4 verschieden Messköpfe die anschließbar sind. Deren Beschreibung folgt jetzt.

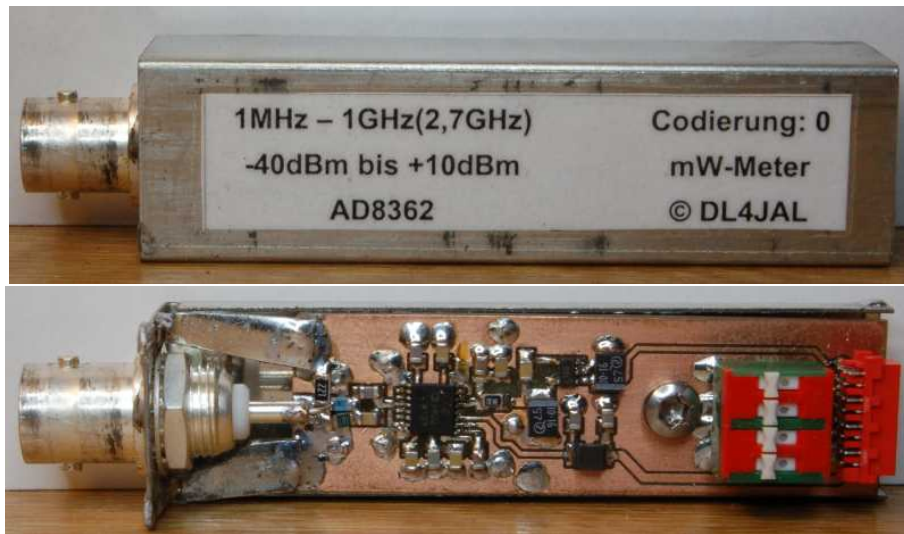


Abbildung 2.2: Der Messkopf mit dem IC AD8362.

2.2.1 Messkopf AD8362

Die Daten zum AD8362 sind in [2] zu finden. Dieser Messkopf liefert die genauesten Messergebnisse. Der genaue Anzeigebereich beträgt etwa -40dBm bis +5dBm. Beachtlich ist der grosse Frequenzbereich dieses ICs. In der vorliegenden Beschaltung werden genaue Pegel von 1MHz bis etwa 1000MHz angezeigt. Die Angaben im Datenblatt geben an, dass der AD8362 bis 2,7GHz noch gut funktioniert. Ich kann das aber nicht überprüfen. Ich kann nur dazu sagen, dass ich das Wattmeter zum optimalen Ausrichten meines Fernseh-Satellitenspiegel verwendet habe. Aus dem LNB kommen Frequenzen von 950MHz bis 2150MHz. Mit der weiter hinten beschriebenen Tonausgabe war das Ausrichten ein „Kinderspiel“.

Auf dem Messkopf befindet sich ein DIP-Schalter für das Einstellen der Kopfnummer. Da alle Bauelemente auf der Leiterseite aufgelötet werden ist es günstiger den DIP wegzulassen und 100Ohm SMD als Massebrücken einzulöten. Beim ersten Messkopf mit dem AD8362 sollten alle 4 Kodierpins an Masse gelegt werden. Das ist die Kopfnummer 0. Ich habe in der HEX-Datei des PICs mehrere Kalibrierungen vorab gespeichert. An der Speicherstelle des Kopfes 0 sind die Daten des Messkopfes mit dem AD8362. An der Speicherstelle des Kopfes 1 befinden sich die Kalibrierdaten des Messkopfes mit dem AD8307. So kann jeder auch ohne vorherige Kalibrierung mit dem Messen beginnen. Wenn auch mit verminderter Genauigkeit

2.2.2 Messkopf AD8307

Die Daten zum AD8307 sind in [2] zu finden. Dieser Messkopf hat am Eingang ein Dämpfungsglied und eine Frequenzgangkorrektur. Das ist notwendig, da der zu messende Pegel beim AD8307 nach höheren Frequenzen abfällt. Mit dieser Beschaltung wird der Pegelabfall etwas kompensiert. Die Eingangsbe-



Abbildung 2.3: Der Messkopf mit dem IC AD8307.

schaltung bewirkt einen Messbereich von -50dBm bis $+30\text{dBm}$ (1Watt). Das ist beachtlich! Eine genaue Anzeige ist im Frequenzbereich 1MHz bis 440MHz (mit Abstrichen) zu erwarten. Aber im Kurzwellenbereich lässt sich dieser Messkopf auch gut einsetzen. Positiv ist sind die $+30\text{dBm}$. In Verbindung mit meinem Leistungsdämpfungsglied (40dB), lassen sich Werte bis $+70\text{dBm}$ (10kW) darstellen. Das ist nur Theorie mein Leistungsdämpfungsglied geht nur bis 200W HI.

2.2.3 Messkopf AD8307 NF/Audio

Der AD8307 funktioniert laut Datenblatt [2] bis in den NF-Bereich. Dafür ist aber eine andere Beschaltung notwendig. Die ist in diesem Messkopf realisiert. Die Eingangsimpedanz ist auch nicht 50Ω sondern etwa $2k\Omega$. Deshalb muss beim Kalibrieren anders vorgegangen werden. Dazu später noch Ausführungen. Im ersten Punkt beim Kalibrieren muss die Auswahl „AD8307 NF“ getroffen werden. Wurde dieser Typ gewählt, sind die Pegelangaben nicht dBm sondern dBV. Beim Anstecken des Messkopfes wird dieser Messkopftyp erkannt und die Berechnungen des Eingangspegel erfolgen nach dBV. 0dBV sind hierbei genau 1V effektiv. Zusätzlich werden noch „Volt“ errechnet in Zeile 2. Die Zeile 3 für die Leistungsberechnung bei dBm dient jetzt zur Ausgabe der Spannung Spitze-Spitze (Vss). Beim Kalibrieren müssen wir auch aufpassen, da dBV etwas anderes ist als dBm. Dazu mache ich im Kapitel „Kalibrieren“ noch nähere Angaben.

2.2.4 Messkopf AD8361 linear

Der AD8361 ist kein logarithmisches Mess-IC. Die Ausgangsgleichspannung steigt linear mit der angelegten HF-Spannung an. Dadurch ist der dynamische Messbereich ist nicht sehr groß. Etwa 30dB Dynamik ist erreichbar. Der Vorteil dieses Messkopfes liegt aber in der großen Messauflösung im Bereich der ma-

ximalen Aussteuerung Mit der neuen Software ist es möglich die lineare Messfunktion in dBm-Werte umzurechnen. Dazu wird die Logarithmus-Funktion der Gleitpunktarithmetik verwendet. Bei diesen Messkopf sind beim Kalibrieren die beiden Pegel (0dBm und -6dBm) fest vorgegeben. So richtig lohnt sich aber der Aufbau diese Messkopfes für das mW-Meter nicht. Das muss ich ehrlich zugeben. Einen größeren Nutzen hat er bei der Benutzung im NWT01. Da ist aber schon einer im Grundgerät des NWT01 eingebaut (Kanal 1).

2.2.5 Messkopf Stecker

Am Verbindungskabel zum Messkopf befindet sich ein kleiner Stecker vom Type „MICROMATCH-8“. Hier die Belegung des Steckers. Ich habe jetzt die „MICROMATCH-8“ durch Stiftleisten gewinkelte 2,54mm zweireihige ersetzt. Es war nicht ganz einfach, die eine Stiftreihe musste ich abbiegen, so dass die Lötunkte der „MICROMATCH-8“ genau getroffen wird. Eventuell werde ich das Layout noch einmal abändern. Hier eine Beschreibung der einzelnen Punkte des Steckers.

- 1 Messausgang zum ADC, geschirmte Leitung Seele zum Stecker J1 Messkopf PIN 2
- 2 GND Schirm zum Stecker J1 Messkopf PIN 3
- 3 GND Leitung zum Stecker J7 Kodierung Messkopf PIN 5
- 4 2³ Leitung zum Stecker J7 Kodierung Messkopf PIN 4
- 5 2² Leitung zum Stecker J7 Kodierung Messkopf PIN 3
- 6 2¹ Leitung zum Stecker J7 Kodierung Messkopf PIN 2
- 7 2⁰ Leitung zum Stecker J7 Kodierung Messkopf PIN 1
- 8 10V Leitung zum Stecker J1 Messkopf PIN 1

2.2.6 Messkopf Adapterkabel

Ich habe mir einen Adapterkabel gebaut. Am Grundgerät befindet sich eine 8-polige DIN-Diodenbuchse und am Adapterkabel ein Diodenstecker 8-polig. Am anderen Ende des Adapterkabels habe ich aus Quadratischen Aluminiumprofil 20x20mm und 100mm lang einen Aufnahmeschacht für die Messköpfe gebaut. Dieses Adapterkabel hat eine Länge von 2m und kann auch für meinen NWT01 als zweiter Messkopf verwendet werden. Diese Lösung ist eleganter als die Messköpfe direkt in das Messgerät zu stecken. Im Bild 2.4 auf Seite 12 sehen wir die alte Lösung und im Bild 2.5 auf Seite 12 die Lösung mit dem Adapterkabel.

2.2.7 Messutensilien

Ich habe in einem Etui, was für eine Digitale-Schiebelehre war, meine Messutensilien untergebracht. Es passt alles rein, was ich so für das mW-Meter brauche. Die Messköpfe, die verschiedenen Dämpfungsglieder, der Kalibriergenerator und



Abbildung 2.4: Der Messkopf aus dem Schacht herausgenommen.



Abbildung 2.5: Mein neues Adapterkabel. Geeignet für das mW-Meter und den NWT01.



Abbildung 2.6: Dieses Foto habe ich auch in den Deckel geklebt, damit ich die Vollständigkeit schnell überprüfen kann.



Abbildung 2.7: Mein Etui für alles, was zum Messgerät gebraucht wird.

ein Powersplitter/combiner mit Widerständen. Den Powersplitter benutze ich für die Verzweigung des Messsignals (mW-Meter und z.B.: Spektrumanalyser). Das nur als kleine Anregung für Euch. Das Etui ist auf Seite 13 Abbildung 2.7 zu sehen.

Zusätzlich werden aber noch jede Menge Adapterstecker benötigt. Diese habe ich in einer größeren Metallschachtel. Ein Bild ist auf Seite 13 Abbildung 2.6 zu sehen.

2.3 Kalibriergenerator

Zum Kalibrieren der Messköpfe wird eine HF-Generator mit genau bekannten Pegel benötigt. Hier ist mir eine Schaltung von Thomas Molière, DL7AV (Siehe [1]) in die Hände gefallen. Dieser Generator eignet sich zum Kalibrieren aller HF-Messköpfe. Leider ist die Frequenz für die Kalibrierung des NF-Messkopfes zu hoch.

Ich habe die Schaltung etwas abgewandelt und auf SMD-Bauteile umgestellt. Der konstante HF-Pegel wird durch den Vergleich der Sinusspannung mit einer



Abbildung 2.8: Der Kalibriergenerator im Gehäuse.

Gleichspannung erreicht. Als Regelbaustein habe ich einen OPV mit hoher Genauigkeit verwendet. Der Ausgang der Regelschleife verändert die Gatespannung des HEX-Mosfets, so dass der Ausgangspegel von 0dBm stabil bleibt. Das HF-Signal wird von einem CMOS-Oszillator erzeugt und geht anschließend auf den HEX-Mosfet. Die Ausgangs-HF wird in einem TP von den Oberwellen befreit und mit einem Dämpfungsglied auf 0dBm gebracht.

Bei der Inbetriebnahme des Generators wird anfangs der „R4 12k“ nicht bestückt. Ohne diesen Widerstand muss ein Pegel kleiner 0dBm größer -10dBm aus dem Baustein kommen. Ist das der Fall wird der R4 eingelötet. Jetzt funktioniert die Amplitudenreglung und es stellen sich 0dBm am Ausgang ein. Wer die Möglichkeit hat den Generator mit einer genauen Referenz zu vergleichen kann mit den Widerständen „R10_1“ oder „R13_1“ den Pegel genau auf den Sollwert einstellen.

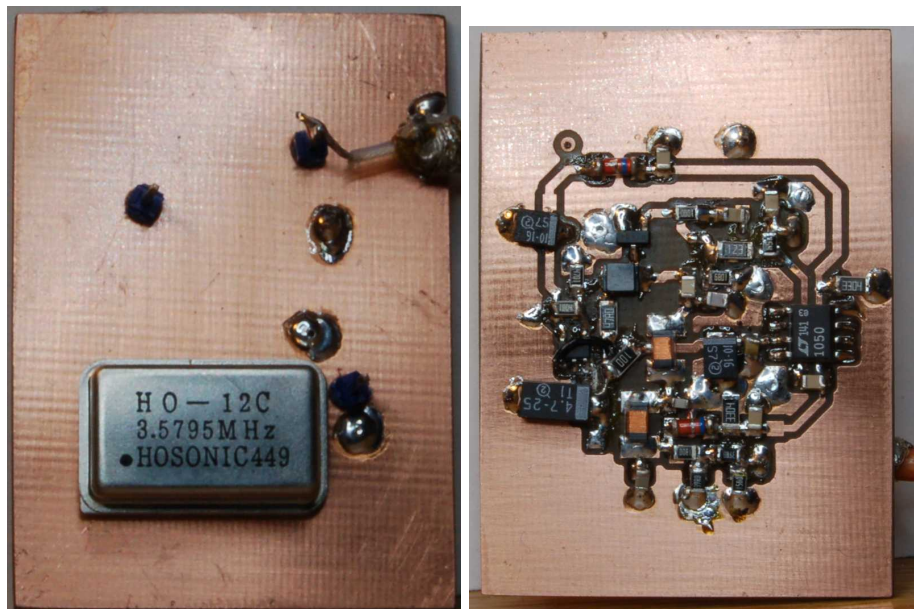


Abbildung 2.9: Der Kalibriergenerator von oben und unten. Das ist noch der Testaufbau mit SMD.

Kapitel 3

Software

Die Hauptarbeit des Projektes steckt in der Entwicklung der Software. Ich habe alles mit Assembler geschrieben und Kompiliert. Die ADC- Eingänge haben eine Wandlerbreite von 10Bit. Das sind 1023 Abstufungen in einem Spannungsbe- reich von 0V bis 5V. Da der AD8362 im ungünstigsten Fall laut Datenblatt eine Ausgangsspannung von etwa 0,48V bis 3,44V liefert bei 60dB Dynamik, kann man mit dem ADC-Eingang des PIC die kleinsten messbaren dB Schritte mit etwa 0,1dB ansetzen. Der ADC-Eingang des PIC ist also um den Faktor 5 besser als die Genauigkeit des AD8362. Die wird mit +/-0,5dB bei Frequenz kleiner 2,7GHz im Datenblatt [2] angegeben. Das sind schon mal gute Voraussetzungen für die Genauigkeit des gesamten Messgerätes. Ich nehme an im Kurzwel- lenbereich ist die Messungenauigkeit geringer als die angegebenen 0,5dB. Ich habe die Genauigkeit der AD-Wandlung noch einmal erhöht, indem ich 32 AD- Wandlungen zu einem Messergebnis zusammenfasse.

Die Analyse der Messgenauigkeit ist die eine Sache. Ein anderer Punkt sind die Messungenauigkeiten durch die Bauelementtoleranzen Ich habe durch den Einsatz von guten ICs versucht das zu minimieren, aber ein Rest bleibt. Die beste Lösung ist eine Kalibrierroutine für jeden Messkopf. Damit würden alle Bauelementstreuungen mit in den Kalibriervorgang eingerechnet.

Wie die Kalibrierroutine gestaltet werden muss, hängt von der Funktion der Messköpfe ab. Betrachten wir die Wirkungsweise des AD8362 stellen wir fest, dass mit steigender HF-Leistung in dBm (logarithmischer Anstieg), die an den Eingang gelegt wird, sich proportional die Messausgangsspannung des AD8362 ändert. Das ist beim AD8307 ähnlich, nur in einem anderen dB-Bereich. Der Logarithmus der Eingangsleistung verhält sich also genau linear zur Ausgangs- spannung (Messspannung) des ICs. Das ist schon mal eine wichtige Feststellung. Es handelt sich also um eine lineare Funktion zwischen der Ausgangsspannung und dem logarithmischen Eingangspegel der HF. Logischerweise verwenden wir als Maßeinheit dBm. Um den Verlauf einer linearen Funktion zu errechnen, braucht man nur 2 Messpunkte. Der erste Messpunkt wären idealerweise 0dBm (1mW an 50Ohm). Dazu brauchen wir einen Generator der genau 0dBm liefert. Diesen Generator beschreibe ich in einem späteren Kapitel. Den 2 Messpunkt erhalten wir durch vorschalten eines genauen Dämpfungsgliedes (mindestens 20dB) vor die 0dBm Quelle. Diese Dämpfungsglieder sind meistens Vorhanden. Wenn nicht sind sie beschaffbar siehe [3].

Nun zur Mathematik der Kalibrierung. Den Verlauf einer linearen Funktion

kann man mit zwei Konstanten genau beschreiben. Diese Konstanten müssen wir beim Kalibrieren errechnen. Ich habe 2 Formeln dazu entwickelt.

Im Vorfeld eine Erklärung der verwendeten Bezeichnungen in den Formeln:

Bezeichner	Erklärung
dBmpunkt1	Messpunkt1 in dBm
dBmpunkt2	Messpunkt2 in dBm
adcpunkt1	Werte des AD Wandlers im PIC am Messpunkt1
adcpunkt2	Werte des AD Wandlers im PIC am Messpunkt2
mkx	Wert X der linearen Funktion
mky	Wert Y der linearen Funktion

$$\text{Formel1: } mkx = \frac{dbmpunkt1 - dbmpunkt2}{adcpunkt1 - adcpunkt2}$$

$$\text{Formel2: } mky = (adcpunkt1 * mkx * -1) + dbmpunkt1$$

Angenommen wir Messen beim Messpunkt1 (0dBm) 0x433C (Summe der 32 ADC Wandlung). Dezimal sind das 17212. Messpunkt2 (-20dBm) hat den Wert 0x28DC, dezimal 10460. Wir setzen alles in die Formeln ein.

$$mkx = \frac{0 - -20}{17212 - 10460} = 0,002962085308$$

$$mky = 0,002962085308 * 17212 * -1 + 0 = -50,98341232$$

Jetzt können wir aus jedem ADC-Wert den passenden Pegel errechnen. Nehmen wir mal an der ADC-Wert ist 17000.

$$17000 * 0,002962085308 + -50,98341232 = -0,627dBm$$

Oder der ADC-Wert 10000 müsste einen dBm-Wert kleiner -20 ergeben.

$$10000 * 0,002962085308 + -50,98341232 = -21,362dBm$$

Das passt! Die beiden errechneten Konstanten der Kalibrierung werden im Eeprom des PIC abgespeichert und stehen immer zur Verfügung wenn dieser Messkopf angeschlossen wird. Die Software erkennt die Nummer der Codierung und lädt automatisch die richtigen Kalibrierwerte.

Mit dieser Kalibrierung ist es möglich die verschiedensten Messköpfe an das Grundgerät anzuschließen. Vorausgesetzt sie besitzen eine logarithmische Messfunktion. Mit der neuen Firmware ist auch der lineare Messkopf mit dem IC AD8361 einsetzbar. Hier werden allerdings in der Kalibrierroutine 2 Kalibrierpegel fest vorgelegt. Einmal 0dBm und der zweite Pegel beträgt -6dBm. Das liegt an der geringen Messdynamik des Messkopfes.

3.1 Version der Firmware

Diese Beschreibung bezieht sich auf die Versionen 2.xx ab 22.04.2014.

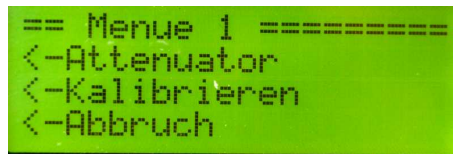


Abbildung 3.1: Mit der obersten Taste kommen wir in die Menüfunktionen



Abbildung 3.2: Ansicht der aktiven Bargraphanzeige

3.2 Grundtastenfunktionen

3.2.1 Taste 1 Oben

Diese Taste ist der Eingang in die Menüfunktionen. Siehe [Abbildung 3.1](#) auf Seite [18](#). Mit der untersten Taste 4 verlassen wir das Menü.

3.2.2 Taste 2

Mit der Taste 2 wird umgeschaltet auf eine Tonausgabe über den kleinen Lautsprecher. Je nach HF-Eingangspegel ändert sich die Tonhöhe. Ich habe die Tonberechnung so gestaltet, dass ein Delta von 0,1dB gut zu hören ist. Je höher der Pegel um so höher der Ton. Die Taste 3 dient in dieser Funktion als Tonhöhere-set auf etwa 400 Hz, egal was für ein HF-Pegel anliegt. Mit der Taste 4 verlassen wir die Tonausgabe.

3.2.3 Taste 3

Die Taste 3 hat hier keine Funktion.

3.2.4 Taste 4 Unten

Mit Taste 4 wird die 4. LCD Zeile verändert. Im Wechsel wird eine Bargraphanzeige mit 60 Abstufungen eingeblendet. Einmal für „AVG/RMS“ und einmal für „PEP“. Die 3. Auswahl ist „kein“, also keine Bargraphanzeige. Siehe [Abbildung 3.2](#).

3.3 Menüfunktionen

3.3.1 Attenuator

In dieser Funktion wird für die richtige Berechnung und Anzeige der Pegel mit der Nutzung eines Leistungsdämpfungsgliedes gebraucht. Ich habe eine Dummyload mit -40dB Messausgang. Der Wert 40dB kann im mW-Meter eingestellt werden, wenn ich das Leistungsdämpfungsglied vor das Wattmeter stecke. Im

```

== Attenuator =====   == Att. Zehntel =====
ATT: +40,0dB              ATT: +40,5dB
<-Weiter                  <-OK
<-ATT = 0dB               <-ATT = 0dB

```

Abbildung 3.3: Einstellen der Dämpfung

```

+54,70dBm | +59,48dBm
 121,4V   |  210,6V
 295,1W   |  887,1W
AUG-RMS +60,0dB PEP

```

Abbildung 3.4: Anzeige im Display mit hoher PA-Leistung

ersten Schritt den Dämpfungsbereich von -30dB (bedeutet Verstärkung) bis +70dB (bedeutet Dämpfung) einstellen. Ich habe den Bereich in der neuen FW auf 70dB erhöht. Siehe Abbildung 3.3 Seite 19. Im zweiten Schritt mit der Taste „Weiter“ kommt noch eine zusätzliche Eingabe der dB-Zehntelwerte im Bereich „-0,9“ bis „+0,9“, die noch aufaddiert werden. Wird der Zehntelbereich nicht gebraucht auf „0,0“ stellen. Damit wird es möglich auch genau bekannte „krumme“ dB-Werte einzustellen. Die Prozedur „Einstellung ATT-Dämpfung“ besteht also immer aus zwei Einstellschritten und wird abschließend mit „OK“ Taste 3 quittiert. Die 4. Taste setzt unabhängig von der Potieinstellung den ATT-Wert auf 0dB (normale Anzeige, kein Dämpfungsglied) und kehrt in die dBm-Anzeigefunktion zurück. Ist der ATT-Wert ungleich 0dB wird in der 4. Zeile des Displays der ATT-Wert anstelle der Messkopfnnummer eingeblendet. Siehe Abbildung 3.4 Seite 19. Der eingestellte ATT-Wert bleibt erhalten, auch wenn das mW-Meter ausgeschaltet wird!

3.3.2 Kalibrieren

Das Kalibrieren ist unbedingt durchzuführen. Da im Messgerät hochwertige Bauteile verwendet wurden, reicht es die Kalibrierung nur in größeren Zeitabständen durchzuführen. Bei gleichbleibender Temperatur eventuell sogar nur einmalig.

Ich habe die Kalibrierung in zwei Kapitel aufgegliedert. Meistens werden wir die HF-Messköpfe benutzen. Wie der NF-Messkopf kalibriert werden kann beschreibe ich weiter unten. Für die HF-Messköpfe kommt unser „Eigenbau Kalibriergenerator“ zum Einsatz. Er liefert exakt 0dBm. Für den NF-Messkopf wird ein Generator im NF-Bereich benötigt. Eventuell würde auch eine 50Hz Wechselspannung aus einem Trafo gehen. Das habe ich noch nicht ausprobiert. **Achtung mehr als $2V_{eff}$ verträgt der AD8307 nicht!!!**

Kalibrieren HF Messköpfe

Bei den HF-Messköpfen wird die Maßeinheit „dBm“ verwendet. „dBm“ ist eine logarithmische Maßeinheit. 0dBm ist der Bezugspunkt. 0dBm ist genau 1mW an einer Impedanz von 50Ohm. Diesen Pegel liefert unser „Kalibriergenerator“. Die Berechnungsformel für „dBm“ aus „Leistung“ und umgekehrt lautet:

Watt in dBm $dBm = \log(Watt * 1000) * 10$

dBm in Watt $Watt = \frac{10^{\frac{dBm}{10}}}{1000}$

Nachdem ein neuer Messkopf aufgebaut wurde, wird mit diesem Menüpunkt „Kalibrieren“ die Leistungsanzeige des Messkopfes kalibriert. Erst nach dieser Prozedur werden die richtigen dBm-Werte im Display angezeigt. Auf Seite 16 werden auch noch einmal die mathematischen Zusammenhänge erklärt. In diesem Abschnitt erkläre ich die Bedienung des Wattmeters beim Kalibrieren. Es werden folgende Schritte durchlaufen.

1. Zuerst folgt die Angabe des verwendeten ICs im Messkopf. Folgende Auswahl kann mit dem Poti getroffen werden. Siehe Abbildung ??.
 - (a) IC: AD8362
 - (b) IC: AD8362 NF
 - (c) IC: AD8307
 - (d) IC: AD8307 NF
 - (e) IC: log.unbekannt
 - (f) IC: AD8361 (linearer IC)

Der AD8361 ist in der neuen Firmware hinzu gekommen.

Die Auswahl des Messkopftyps entscheidet über die Art der weiteren Kalibrierschritte.

2. Mit dem Poti wird der angelegte HF-Pegel „Pegel1:“ eingestellt (Wertebereich -50dBm bis +30dBm in 1dB Abstufungen). Wurde der AD8361 ausgewählt, liegen die beiden Kalibrierpegel fest. Beim Pegel1 muss 0dBm und beim Pegel2 muss -6dBm an den Messkopf angelegt werden. **Diese Werte sind für den AD8361 vorgegeben.**
3. Taste „Weiter“. Warten wir auf das Beruhigen der Anzeige. „Kal_Pegel1:“ Angezeigt wird eine HEX-Zahl die aus der Addition von 32 ADC-Messungen besteht.
4. Ein bekanntes Dämpfungsglied einschleifen.
5. Taste „Weiter“. Mit dem Poti wird der angelegte HF-Pegel „Pegel2:“ eingestellt (wieder Wertebereich -50dBm bis +30dBm in 1dB Abstufungen)
6. Taste „Weiter“. Warten wir auf das Beruhigen der Anzeige. „Kal_Pegel2:“ Angezeigt wird eine HEX-Zahl die wieder aus der Addition von 32 ADC-Messungen besteht. Wurde der AD8361 ausgewählt, liegen die beiden Kalibrierpegel fest. Beim Pegel1 muss 0dBm und beim Pegel2 muss -6dBm an den Messkopf angelegt werden. **Diese Werte sind für den AD8361 vorgegeben.**
7. Taste „Weiter“. „dBm maximal:“ Es wird der maximale Pegel angegeben, welcher vom Messkopf noch getragen wird. Ein höherer Pegel würde das IC zerstören oder zu Messungenauigkeiten führen. Man kann mit dieser Einstellung eine dBm-Grenze setzen. Wird bei einer Messung dieser Pegel

```

== Kalibrieren =====
IC: AD8362
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Pegel1(dBm): - 0
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Kal_P1(HEX): 00433C
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Pegel2(dBm): - 30
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Kal_P2(HEX): 001BA0
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
maximal(dBm):+ 10
<-Weiter
<-Abbruch

= Messkopfdaten =====
x:+2,9585798829e-3
y:-5,0923076923e+1
<-Speichern

```

Abbildung 3.5: Alle HF-Kalibrierschritte zusammen gefasst.

überschritten ertönt aus dem Tonausgabelautsprecher ein Warnton. Auch bei der Verwendung eines Leistungsdämpfungsgliedes mit einer Attenuatoreinstellung wird dieser max. Pegel überwacht.

8. Taste „Weiter“. Es erscheinen auf der Anzeige die beiden errechneten Konstanten, und es wird zum „Speichern“ aufgefordert. Die Taste 3 Speichert die Angaben in den Eeprom ab. Alle anderen Tasten bedeuten „Abbruch“.
9. Taste „Speichern“. Es werden alle Angaben noch einmal gezeigt und gespeichert.

Der Abstand der beiden Pegelpunkte für die Kalibrierung sollte mindestens 20dB sein oder auch größer. Aber die Dynamik des Messkopfes spielt auch eine Rolle. Ich würde zum Beispiel beim AD8362 den Abstand nicht größer als 30dB wählen. Wurde im ersten Kalibrierschritt der AD8361 ausgewählt, liegt der Abstand der beiden Kalibrierpegel fest und kann nicht eingestellt werden. Eine Zusammenfassung aller Kalibrierschritte sehen wir auf Seite 21 Abbildungen 3.5.

Kalibrieren NF Messköpfe

Wie schon erwähnt ist die Maßeinheit bei allen HF Messungen dBm. Der Pegel von 0dBm ist genau 1mW bei einer Impedanz von 50Ohm. Bei den Audiomessköpfen wird der Pegel auch logarithmisch angezeigt, aber die Maßeinheit ist dBV. Der Bezugspunkt 0dBV ist genau $1V_{eff}$. Die Eingangsimpedanz des NF-Messkopfes ist hochohmig, so etwa 1,5kOhm. Ist ein NF-Generator im Shack vorhanden können wir den NF-Messkopf kalibrieren. Für die Ermittlung der Pegel gibt es verschiedene Wege. Ich besitze einen kalibrierten Oszi „OWON DS8102“. Damit wäre es möglich den Pegel des NF Generators zu ermitteln.

Ein gutes Multimeter eignet sich aber auch. Was benötigen wir zum Kalibrieren des NF-Messkopfes?

1. NF-Generator mit einer Frequenz im Messbereich des Messkopfes eventuell 10kHz oder 1kHz Sinus. Günstig wäre eine Feinreglung der Amplitude.
2. Zwei BNC T-Stücke und zwei BNC Verbindungskabel.
3. Einen BNC Abschlusswiderstand 50Ohm
4. Ein Messgerät für den Pegel. Eventuell ein Oszi. Ich habe noch ein Multimeter HM8012. Das zeigt auch sehr genau V_{eff} an.
5. ein Dämpfungsglied 20dB oder auch einen größeren Wert.

Jetzt verkabeln wir das ganze.

1. ein BNC T-Stück stecken wir an den Messkopf und ein BNC T-Stück an den Oszi
2. jetzt Verbinden wir mit einem BNC Kabel den Generator mit dem Messkopf und mit einem weiteren Kable den Messkopf mit dem Oszi.
3. am Oszi wird am BNC T-Stück der Abschlusswiderstand 50Ohm angeschlossen. Der NF-Messkopf ist ja hochohmig und wir wollen unser 20dB Dämpfungsglied für den Pegel 2 verwenden. Das Dämpfungsglied hat nur die richtigen Dämpfungswerte bei einer Impedanz von 50Ohm. Deshalb ist dieser Abschlusswiderstand für eine richtige Kalibrierung notwendig.

Jetzt ermitteln wir am Oszi die Sinusspannung. Ich kann 2 Cursor setzen und die Spannung Spitze - Spitze ablesen. Angenommen wir haben $1,144V_{ss}$ ermittelt. Daraus errechnen wir den dBV Wert. Benutzen wir als Messgerät das Multimeter HM8012 können wir gleich V_{eff} ablesen und der Berechnungsschritt 1 fällt weg.

Schritt 1: $\frac{1,144V_{ss}}{2 * \sqrt{2}} = 0,400447V_{eff}$

Schritt 2: $\log(0,400447V_{eff}) * 20 = -7,95dBV$

Die Formel für die Berechnung von dBV ist einfach

$$dBV = \log(V_{eff}) * 20$$

Jetzt wissen wir welcher Pegel ohne Dämpfungsglied am Messkopf anliegt. Die Einstellung für Pegel 1 wäre also -8dBV. Für den Pegel 2 stecken wir das 20dB Dämpfungsglied dazwischen und die Einstellung ist jetzt -28dBV. Jetzt ist es kein Problem mehr den Messkopf richtig zu kalibrieren.

Ich hoffe mit diesem Kapitel etwas „Licht“ ins Dunkel der NF Kalibrierung gebracht zu haben. Eine Zusammenfassung aller Kalibrierschritte sehen wir auf Seite 23 Abbildungen 3.6.

```

== Kalibrieren =====
IC: AD8307 NF
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Pegel1(dBU): - 8
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Kal_P1(HEX): 0035BC
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Pegel2(dBU): - 28
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
Kal_P2(HEX): 002820
<-Weiter
<-Abbruch

== Kalibrieren =====
maximal(dBU):+ 6
<-Weiter
<-Abbruch

= Messkopfdaten =====
x: +5,7405281271e-3
y: -8,6966704949e+1
<-Speichern

```

Abbildung 3.6: Alle NF-Kalibrierschritte zusammen gefasst.

```

= Speicherabstand ==
Abstand: 5 Sekunden
<-OK
<-Abbruch

-15,98dBm -11,24dBm
35,52mV 61,30mV
25,234uW 75,161uW
D: 0 3 0:00:05

= Aufzeichnung STOP
Datensätze: 2
Dauer: 0:00:15

```

Abbildung 3.7: LCD Bilder vom Aufzeichnen der Daten. „Start“ der Aufzeichnung, die Aufzeichnung und „Stopp“ der Aufzeichnung.

3.3.3 Start Aufzeichnung

Im externen Eeprom können bis zu 16000 Messdatensätze aufgezeichnet werden. Diese Menüpunkt startet die Aufzeichnung. Als Eingabe mit dem Poti folgt die Angabe des Sekundenabstandes zwischen jedem Datensatz (Bereich 1Sekunde bis 20Sekunden). Anschließend beginnt die Aufzeichnung bis manuell gestoppt wird oder die Datensatzanzahl 16000 überschritten ist. Sinnvoll ist diese Funktion für die Verwendung des Wattmeters als abgesetztes Feldstärkemessgerät. Zum Beispiel bei Test von verschiedenen Tunern oder Antennen. Die Aufzeichnung bleibt gespeichert. Auch nach dem Ausschalten ist alles noch vorhanden. Eine Löschfunktion gibt es nicht. Mit dem Start einer neuen Aufzeichnung werden die alten Werte überschrieben. Die genauen dBm Werte im Gleitpunktformat werden in 2 Byte Integerzahlen umgewandelt. Nur so konnte ich die Kompatibilität der Datensätze zur alten SW beibehalten. Die dBm Werte multipliziere ich mit 100 und wandle anschließend in Integer. Somit habe ich



Abbildung 3.8: Es werden in Folge die Konstanten mkx, mky, Messkopfnummer, maximale Aussteuerung und Typ des Messkopfes angezeigt. Neu der neuen FW sehen wir hier die Zahlendarstellung im Exp-Format.

den dBm Wert mit 2 Stellen nach dem Komma in einem Integer-Format. Ein Beispiel:

-23,567 dBm ergeben -2357 als Integer.

3.3.4 Stopp Aufzeichnung

Die Aufzeichnung wird beendet.

3.3.5 View Aufz. auto

Die Datensätze werden im gleichen Sekundenabstand, wie bei der Aufzeichnung im Display angezeigt.

3.3.6 View Aufz. manuell

Die Datensätze werden werden angezeigt. Weiterschalten mit Taste 3 „vor“ und Taste 2 „zurueck“. Taste 4 ist „Abbruch“.

3.3.7 View Messkopfdaten

Die Messkopfdaten werden angezeigt. Siehe Abbildung [3.3.7](#) auf Seite [24](#).

3.3.8 SETUP

Zugang zum SETUP.

dBm Praezision

Standardeinstellung ist eine Stelle nach dem Komma. Das entspricht etwa der erreichbaren Genauigkeit des Messgerätes. Es können aber auch die Hundertstel dBm dargestellt werden, wenn man mal diese braucht. Der dBm-Wert wird immer als Gleitpunktzahl berechnet und hat viele Stellen nach dem Komma. Nur bei der Darstellung auf der LCD-Anzeige hat die Präzision einen Einfluss. Die Genauigkeit der Berechnungen von Leistung und Spannung wird durch die „dBm Praezision“ nicht beeinflusst.

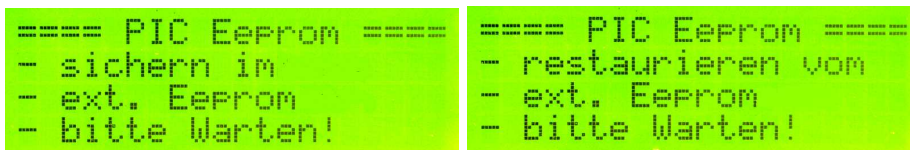


Abbildung 3.9: LCD Bilder vom Sichern und Restaurieren der PIC-Eepromdaten

PEP Haengezeit

Die Hängezeit für PEP ist die Anzeigedauer des höchsten Wertes beim Messen. Jeder höhere Wert startet die Zeit neu. Damit wird der höchste Werte gehalten und die Anzeige bleibt ruhig.

3.3.9 Eeprom sichern

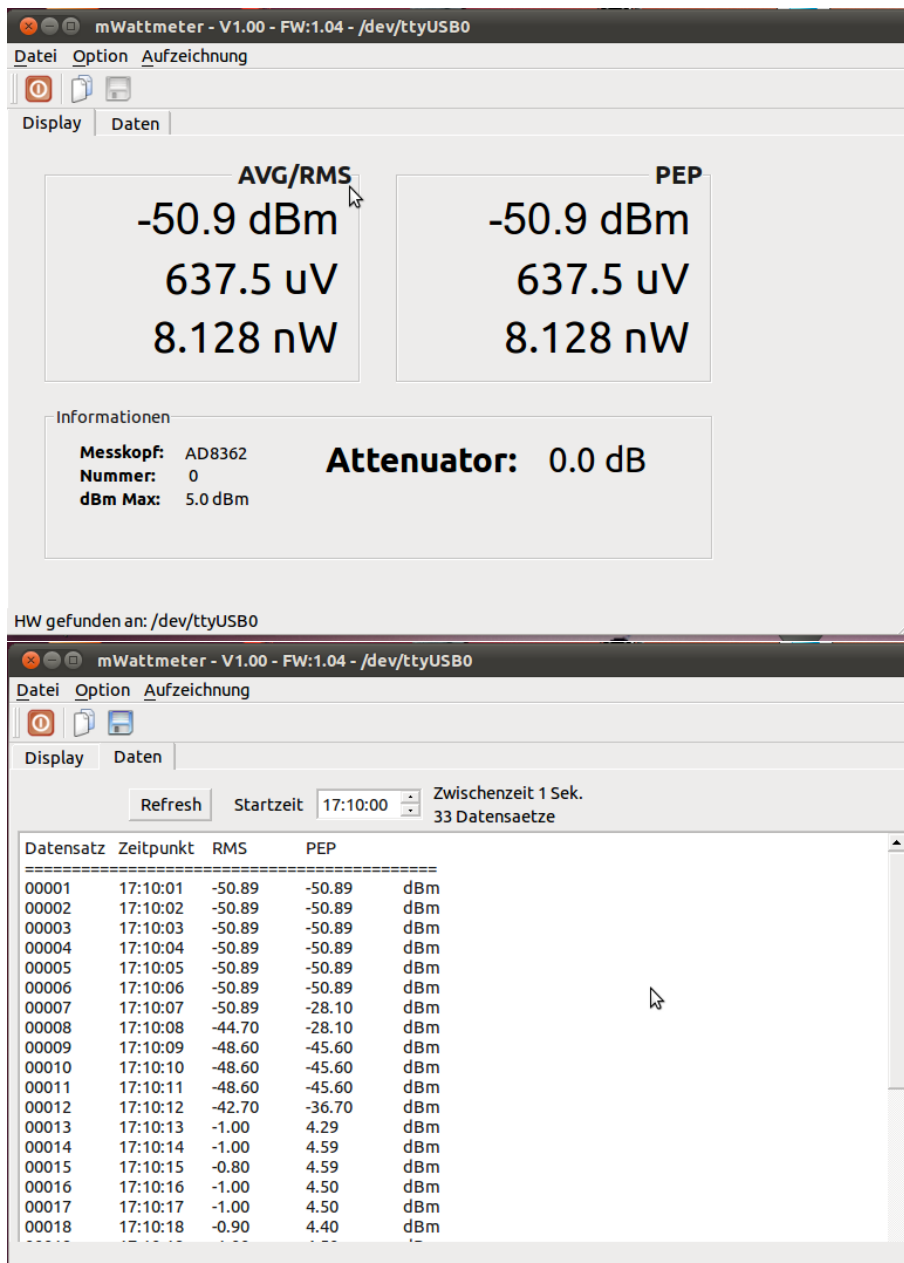
Der Inhalt des PIC-Eeproms wird in einem separaten Adressbereich des externen Eeproms gespeichert. Sinnvoll ist das, wenn der PIC neu programmiert werden muss und alle Kalibrierdaten im PIC-Eeprom würden gelöscht werden.

3.3.10 Eeprom restaur.

Der gesicherte Dateninhalt wird wieder zurück in den PIC-Eeprom gespielt. Damit sind alle alten Kalibrierdaten wieder vorhanden.

3.4 PC Software

Die neue FW brachte eine Änderung in der PC-Software mit sich. Für die Verbindung zum PC ist eine USB-Schnittstelle vorgesehen. Ich habe wieder Software unter Linux entwickelt. Auch für Windows habe ich eine Variante bereitgestellt. Die USB-Schnittstelle wird automatisch gesucht. Es findet ein kurzer Datenaustausch statt, ob auch die richtige HW gefunden wurde. Also muss man unbedingt das mWattmeter einschalten und mit USB verbinden.



Im unteren Fenster wurden die Daten ausgelesen und mit einer definierten Anfangszeit synchronisiert, mit Button „Refresh“.

Kapitel 4

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@darc.de

☎ 037291-68873

Literaturverzeichnis

- [1] CQDL (6/99ff)
- [2] <http://www.analog.com>
- [3] Online-Shop-Funkamateuer. <http://www.box73.de>