

Digitales HF-Wattmeter

HF-Leistungsmessung von 1 kHz bis 1 GHz

Entwurf von Thomas Scherrer OZ2CPU

www.webx.dk

Ein präzises HF-Wattmeter ist ein relativ kostspieliges Messgerät. Das gilt aber nicht für den hier vorgestellte Selbstbau-Wattmeter. Es verfügt mit einem Frequenzbereich von 1 kHz bis 500 MHz (Relativmessung bis 1 GHz) und einem Dynamikbereich von 90 dB über professionelle Eigenschaften und ist trotzdem erschwinglich. Die Anzeige erfolgt sowohl digital als auch analog auf einem zweizeiligen LC-Display.



Spezifikationen

Frequenzbereich:	1 kHz bis 500 MHz (kalibriert) 1 kHz bis 1000 MHz (unkalibriert, für Relativmessungen)
Nenn-Eingangsimpedanz:	50 Ω
Eingangs-Leistungsbereich:	-60 dBm bis +30 dBm (1 Nanowatt bis 1 Watt).
Eingangs-Leistungsbereich mit externem 50-dB-Abschwächer:	bis zu 100 kW
Dynamikbereich:	90 dB (bei gut abschirmendem Gehäuse)
Auflösung:	0,1 dBm (Balkenanzeige 1 dBm)
Eingangs-Reflexionsverlust/ Input return loss:	@300kHz: -35dB @100MHz: -27dB @500MHz: -25dB
Eingangs-SWR:	@ 300kHz: 1,036 @100MHz: 1,094 @500MHz: 1,12
Genauigkeit ohne Abgleich:	±1 dB von 1 MHz bis 450 MHz.
Genauigkeit nach Abgleich:	±0,2 dB bei Abgleichfrequenz
DC-Volt-Messbereich:	0 bis 20 V
DC-Volt-Auflösung:	20 mV
DC-Volt-Genauigkeit nach Abgleich:	±20 mV
Betriebsspannung:	9 bis 20 V Gleichspannung
Stromaufnahme:	30 mA ohne Displaybeleuchtung; 120 mA mit normaler Displaybeleuchtung

Als Messwandler dient in diesem Messgeräte-Projekt ein AD8307, dessen Signal von einem PIC-Mikrocontroller mit 10-bit-A/D-Wandler ausgewertet wird. Der AD8307 ist frequenzkompensiert und bietet eingangsseitig ein optimales Stehwellenverhältnis (SWR) über einen weiten Frequenzbereich.

Als Mikrocontroller wird ein PIC16F876 verwendet, der über einen eingebauten 10-bit-Analog/Digital-Wandler verfügt.

Mit Hilfe von Lookup-Tabellen wandelt der Controller die dBm-Werte in eine Anzeige der HF-Spannung in Volt und der HF-Leistung in Watt.

Die Anzeige aller Werte (inklusive Balkenanzeige) erfolgt auf einem zweizeiligen Flüssigkristall-Display (20x2) mit Hintergrundbeleuchtung. Weitere Funktionen sind zum Beispiel ein DC-Messbereich mit Speicherfunktion (siehe Kapitel Software-Beschreibung).

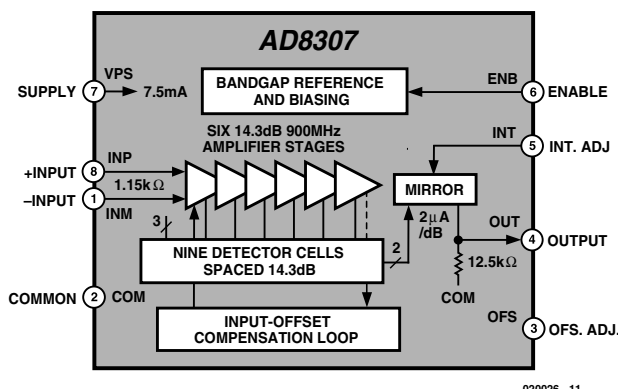


Bild 1. Blockschaubild des AD8307.

Dezibelmilliwatt (dBm)

Analog zum Dezibel in der Pegelmessung verwendet man für die logarithmische HF-Leistungsmessung dBm als Einheit. 0 dBm sind dabei 1 Milliwatt an 50 Ω. Größere Leistungen werden auch in dBW angegeben, wobei 0 dBW eine Leistung von 1 Watt an 50 W ist. Entsprechend sind: +10 dBm = 10 mW; +20 dBm = 100 mW; +30 dBm = 0 dBW = 1 W und so weiter.

Neben der relativen Leistungsangabe in 'dBm' ist das digitale HF-Wattmeter auch in der Lage, gleichzeitig die Absolutwerte an 50 Ω anzuzeigen, also die Leistung in Watt und ebenso die Signalspannung als Effektivwert (Veff).

Der AD8307

Wie das Blockschaubild (Bild 1) erkennen lässt, handelt es sich beim AD8307 von Analog Devices im Wesentlichen um einen integrierten logarithmischen Verstärker. Der AD8307 ist laut Datenblatt auch „kosteneffektiv“, in der Praxis liegt der Einzelstückpreis unter 15 €. Die vom Entwickler ursprünglich vorgesehene DIL-Version des ICs ist zwar einfacher in der Handhabung und Montage, zeigt aber aufgrund der viel längeren Anschlusspins bei Frequenzen über 500 MHz und mit Einschränkungen bis 1 GHz verwenden lässt, insbesondere nach mehrfacher Optimierung des Platinenlayouts. Allerdings ändert auch ein optimales Layout nichts an der Tatsache, dass der Dynamikbereich des ICs bei sehr hohen Frequenzen zurückgeht. Über 300 MHz sollte die Eingangsleistung nicht höher als +20 dBm (100 mW) sein, um die Messgenauigkeit zu erhalten. Dieses gut dokumentierte Manko des AD8307 ist aber kein großes Problem, wenn man es weiß und für entsprechende Abschwächung am Eingang sorgt. Der Autor dankt an dieser Stelle befreundeten HF-Entwicklern und Funkamateuren, die mit Rat, Tat und Messgeräten mit dazu beigetragen haben, die Eingangsschaltung zu optimieren.

Die Schaltung

Der Schaltplan des HF-Wattmeters in Bild 2 lässt sich in vier Baugruppen unterteilt betrachten. Der geringe Schaltungsumfang ergibt sich dadurch, dass alle wesentlichen Funktionen mit zwei Komponenten realisiert werden, nämlich mit IC1 und IC2.

Die gesamte analoge Signalaufbereitung, die für die Genauigkeit des Ergebnisses maßgeblich ist, übernimmt die separat dargestellte Messwandlerschaltung mit IC1, dem AD8307. Dieses IC wandelt die HF-Spannung

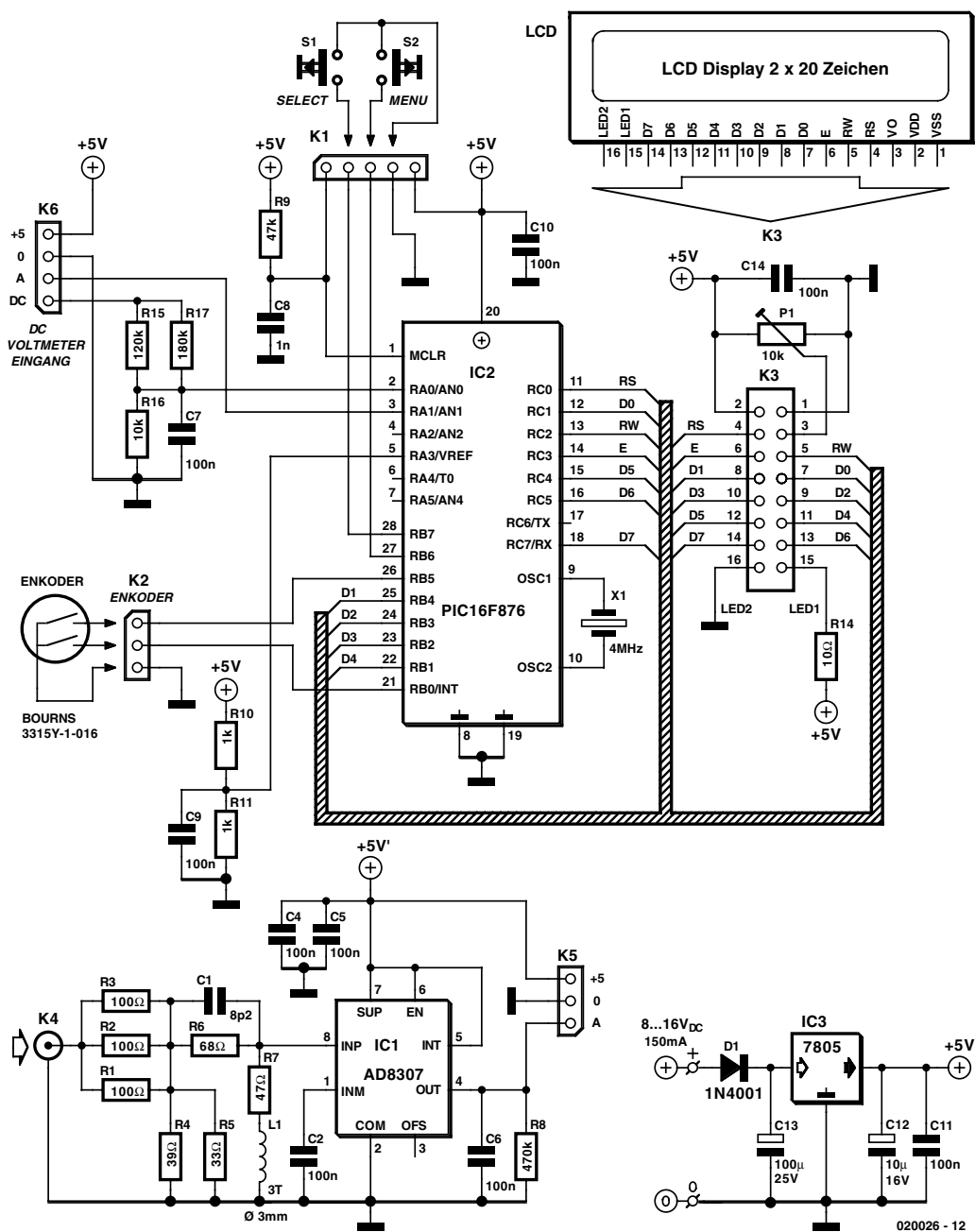


Bild 2. Schaltbild des HF-Wattmeters. Die wichtigsten Bauteile sind der AD8307 als Signalkonverter am Eingang und der Mikrocontroller PIC16F876 für die digitale Signalaufbereitung und Displaysteuerung.

am Eingang K4 in eine logarithmisch abgestufte Gleichspannung, die zwischen 0 V und 2,5 V verläuft und am Ausgang K5 anliegt. Das Widerstands-Netzwerk am Eingang bildet die im HF-Bereich übliche Standard-Eingangsimpedanz von 50 Ω und ist bis zu 1 W belastbar. C1 und L1 dienen der Anpassung und sorgen durch Kompensation von Streukapazitäten und Induktivitäten für eine Optimierung des SWRs (Stehwellenverhältnisses) am Messeingang bei hohen Frequenzen. Den Rest der Signalverarbeitung besorgt IC2, der Mikrocontroller PIC16F876, der mit Hilfe

der vom Entwickler geschriebenen Software die folgenden Funktionen realisiert:

- Digitalisierung der vom AD8307 gelieferten Gleichspannung
- Umwandlung in die genannten Anzeige-Einheiten
- Steuerung des Displays
- Abfrage der Bedienelement (Taster S1 und S2 sowie Drehenkoder K2).

Der PIC wird beim Einschalten über

R9 und C8 zurückgesetzt (Power-on-reset). Seine integrierte Oszillatorschaltung erzeugt in Verbindung mit dem externen Keramikresonator eine Taktfrequenz von 4 MHz. Die dritte Baugruppe ist das LC-Display. Mit zwei Zeilen zu 20 Zeichen handelt es sich um ein marktgängiges Display, das in dieser Form von verschiedenen Herstellern gefertigt wird. Der Kontrast lässt sich mit einem externen Trimpotentiometer einstellen.

Als vierter und letzter Schaltungsteil ist die völlig konventionelle Stromversorgung mit IC3 zu nennen. Der 5-V-Spannungregler ist am Eingang durch eine Diode (D1) vor Verpolung der angelegten Gleichspannung geschützt. Der Eingang ist für den Anschluss eines einfachen Steckernetzteils ausgelegt, das eine Gleichspannung im Bereich zwischen 8 und 16 V bei einer Belastbarkeit von 150 mA liefert.

PIC16F876

Den Anforderungen für dieses Projekt kommt ein preiswerter Mikrocontroller mit integriertem 10-bit-A/D-Converter (ADC) sehr entgegen. Für die einfache Entwicklung sollte er möglichst auch über ein entsprechendes Programmierinterface und einen Flash-Programmspeicher ver-

fügen. Wichtig ist auch die Anzahl der verfügbaren digitalen I/O-Leitungen. Benötigt werden zwei Eingänge für die beiden Taster und weitere zwei für den Drehenkoder sowie sieben Ausgänge für das LC-Display im 4-bit-Modus oder 11 Ausgänge im 8-bit-Modus. In der PIC-Familie von Microchip kommen dafür die Typen 16F873 und 16F876 in Frage. Diese beiden Mikrocontroller unterscheiden sich nur in der Größe des Flash-Programmspeichers (4 oder 8 kB). Da der preisliche Unterschied nicht sehr groß ist, wird in der Schaltung der Controller mit dem größeren Flash-Speicher eingesetzt.

Der 16F876 hat fünf analoge Eingänge und einen Wandler mit 10 bit Auflösung. Der Eingangsspannungswert im Bereich zwischen 0 und 5 V wird in Zahlenwerte von 0 bis 1023 umgesetzt. Der AD8307 liefert aber eine Spannung zwischen 0

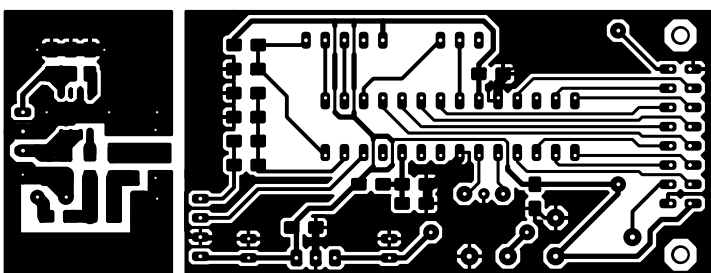
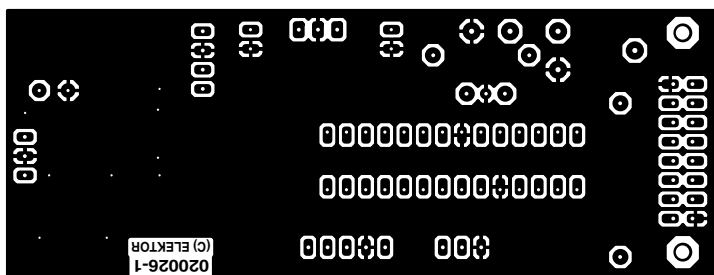
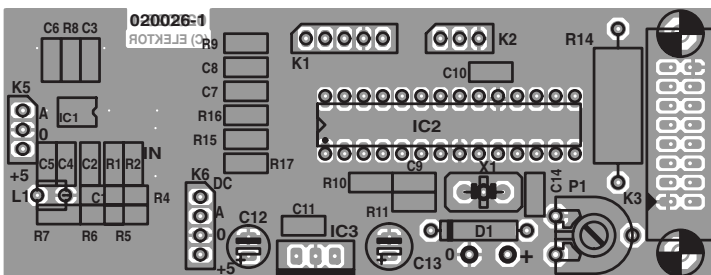


Bild 3. Die doppelseitige und durchkontaktierte Platine des digitalen HF-Wattmeters, die in Eingangs-Platine und Controller-Platine aufgeteilt wird.

Stückliste

Widerstände:

SMD-Bauform 1206 oder 0805:

- R1,R2,R3 = 100 Ω
- R4 = 39 Ω
- R5 = 33 Ω
- R6 = 68 Ω
- R7 = 47 Ω
- R8 = 470 k
- R9 = 47 k
- R10,R11 = 1 k
- R15 = 120 k
- R16 = 10 k
- R17 = 180 k
- R14 = 10 Ω/1 W
- P1 = 10 k Trimpotentiometer

Kondensatoren:

SMD-Bauform 1206 oder 0805:

- C1 = 8p2
- C2-C7,C9,C10,C11,C14 = 100 n
- C8 = 1 n
- C12 = 10 μ/16V stehend
- C13 = 100μ/25V stehend

Spule:

- L1 = Luftspule, mit 3 Wdg. 0,5-mm-CuL und 0,5mm Windungsabstand auf 3-mm-Wickeldorn wickeln

Halbleiter:

- D1 = 1N4001
- IC1 = AD8307AR (SMD)
- IC2 = PIC16F876-04/SP, programmiert, EPS 020026-41*
- IC3 = 7805

Außerdem:

- K1 = 5-polige Stiftleiste
- K2,K5 = 3-polige Stiftleiste
- K3 = 16-polige Stiftleiste, einreihig
- K4 = BNC-Buchse mit Flansch
- K6 = 4-polige Stiftleiste
- S1,S2 = Taster, 1-polig, Schließer
- PC1,PC3,PC8,PC10,PC12 = Lötnägel
- X1 = 4-MHz-Keramikresonator (siehe Text)
- LCD-Modul mit 2 Zeilen zu 20 Zeichen, z.B. LM032L (PC2002LRS-BEA-C)
- Drehenkoder Typ 3315Y-I-016 (Bourns)
- Steckernetzteil-Buchse für Platinenmontage
- 28-polige IC-Fassung, schmal
- Platine EPS 020026-I
- Diskette mit Quellcode EPS 020026-I I (Disketteninhalt auch als Gratis-Download verfügbar)*

*Programmierte Controller, Platinen, Disketten und Gratis-Downloads siehe Serviceseite in der Heftmitte und Website www.elektor.de

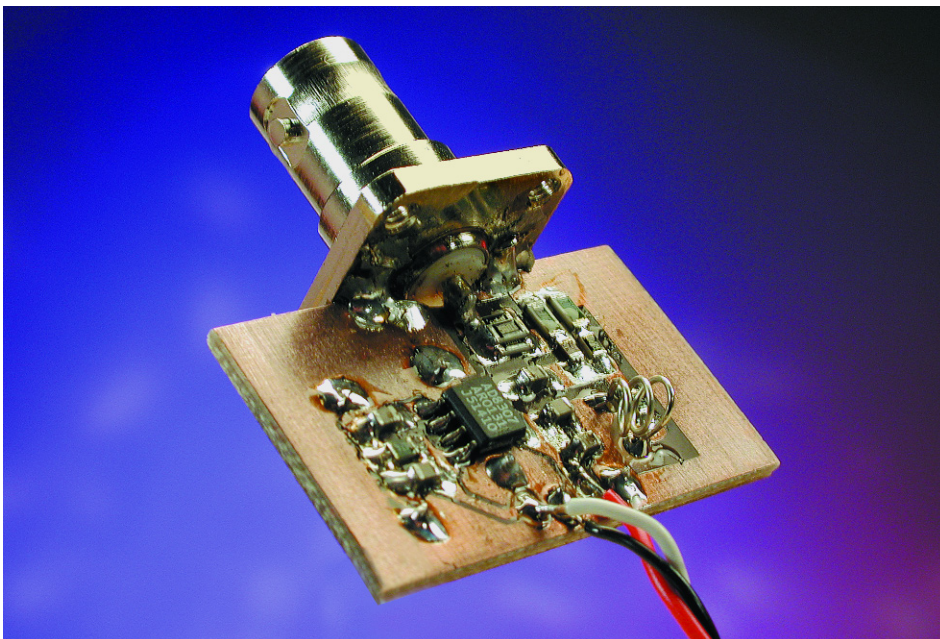


Bild 4. Die Eingangs-Platine mit angelötetem BNC-Buchsen-Flansch.

und 2,5 V. Um trotzdem die volle Auflösung des ADCs im PIC zu nutzen, besteht die Möglichkeit, den Bereich durch eine externe positive Referenzspannung anzupassen. Dies geschieht mit Hilfe des Spannungsteilers R10 und R11, der aus der 5-V-Betriebsspannung der Schaltung 2,5 V ableitet. Der absolute Wert der Spannung ist nicht kritisch, da ein Offset beim Abgleich des 0-dBm-Punkts in der Software korrigiert werden kann. Als Programmierer für den PIC eignet sich sehr gut der von Johann Aichinger entwickelte

PROPIC. Schaltung und Software können von folgender Webadresse heruntergeladen werden:

<http://jaichi.virtualave.net/>

Es gibt natürlich auch andere PIC-Programmer, die den 16F876 unterstützen, wie beispielsweise der 'IC-PROG' von Bonny Gijzen, der sehr universell ausgelegt und bei www.ic-prog.com zu finden ist. Die Software für das HF-Wattmeter wurde mit der PIC-Entwicklungs-

umgebung 'MPLAB' von Microchip in Verbindung mit dem externen C-Compiler PICC von HI-Tech entwickelt. Bei www.htsoft.com ist eine kostenlose Demo-Version des Compilers verfügbar. Wenn man die Software des Wattmeters recompiliert, kann man beispielsweise den Eröffnungstext auf dem Display ändern und den eigenen Namen oder das eigene Rufzeichen einbringen. Der Quellcode der Wattmeter-Software steht auf dem Elektor-Webseite (www.elektor.de) zum kostenlosen Download zur Verfügung. Die entsprechende Download-Datei hat die Nummer **020026-11** und ist in der Liste zu Elektor Oktober 2002 zu finden. Natürlich gibt es diese Software auch auf Diskette, falls benötigt (siehe Service-Anzeige in der Heftmitte).

Praxis

Die Praxistauglichkeit eines Selbstbau-Messgeräts hängt maßgeblich von der mechanischen Konstruktion ab. Bei einem HF-Projekt kommt es natürlich immer auch auf die richtige Abschirmung an.

Ausgangspunkt für den Aufbau ist die doppelseitige und durchkontaktierte Platine (**Bild 3**), die vor der Bestückung in zwei Teilplatinen (Controller- und Eingangs-Platine) zu trennen (sägen) ist.

Eingangs-Platine

Diese Platine (**Bild 4**) wird wegen der besseren HF-Eigenschaften mit SMDs (surface mount devices) bestückt. Im Folgenden einige Hinweise zur SMD-Bestückung:

Wenn Sie mit der rechten Hand löten, zuerst ein klein wenig Zinn auf die rechten Löt-Pads aufbringen. Dann das SMD-Bauteil mit der linken Hand mit einer Pinzette aufnehmen, in Position bringen, gerade halten und auf der rechten Seite festlöten. Damit ist das Bauteil auf der rechten Seite fixiert und kann nun einfach auch auf der linken Seite gelötet werden.

Für das Einlöten des AD8307 bringt man zuerst ein klein wenig Zinn möglichst schnell und präzise auf das Löt-pad für Pin 3 des ICs auf. Dann das IC in Position bringen, anpressen und die Lötstelle für Pin 3 kurz erwärmen, so dass Pin 3 des ICs mit

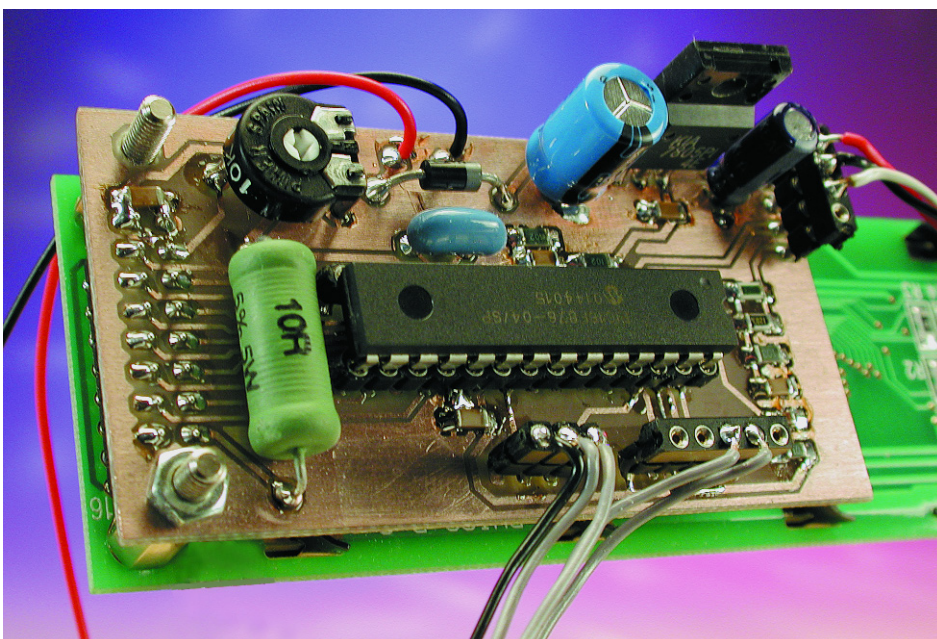


Bild 5. Die Controller-Platine wird auf der Rückseite des LCD-Moduls montiert.

dem Lötpad verlötet wird. Gegebenenfalls dabei die Position des ICs korrigieren und anschließend die anderen Pins verlöten.

Das Layout der Eingangsplatine ist so ausgelegt, dass SMD-Bauteile der Bauformen 1206 und 0805 verwendet werden können. Die Spule L1 besteht aus 3 Windungen mit 0,5-mm-CuL und einem Wicklungsdurchmesser von 3 mm, der Abstand der Windungen beträgt etwa 0,5 mm.

Die Eingangs-Platine wird direkt am Flansch einer BNC-Buchse montiert, zur Befestigung dienen M2,5-Gewindebohrungen. Bei einigen BNC-Buchsen ist der mittlere Pin mit einem 3-4 mm langen Teflonstück

Fassung (gedrehte Pins) verwendet werden. Im Prinzip kann man den Controller auch direkt in die Platine löten, da er sich in-circuit updaten lässt, wenn man über geeignete Programmierwerkzeuge verfügt. Allerdings sollte man damit noch warten (siehe Kapitel „Hardwaretest“). Außerdem erschwert ein eingelöteter Controller die Fehlersuche, da ein Austausch des ICs oder ein Test außerhalb der Platine ein Aus- und Einlöten mit den damit verbundenen Risiken für Controller und Platine erfordert.

Die Frequenz des Keramikresonators von 4 MHz ist nicht besonders kritisch. Normalerweise wird eine 2-polige Ausführung verwendet. Ver-

man (Batterie-) Strom sparen möchte, kann man auch 20 Ω einsetzen und einen Schalter für die Beleuchtung vorsehen.

Der Spannungsregler 7805 wird etwas heiß, wenn das Steckernetzteil mehr als 10 V liefert. In diesem Fall ist für Kühlung zu sorgen (Kühlkörper oder Montage am Metallgehäuse).

Drehenkoder und Schalter

Der einfache und preiswerte Drehenkoder hat einen Doppelkontakt und liefert Gray-Code. Er wird zur Auswahl von Menüpunkten und für Einstellungen verwendet (siehe Softwarebeschreibung). Wenn die Drehrichtung nicht zu stimmen scheint, sind die Anschlussdrähte an den beiden Datenausgänge vertauscht.

Der Taster S1 dient zur Bestätigung (Aktivie-

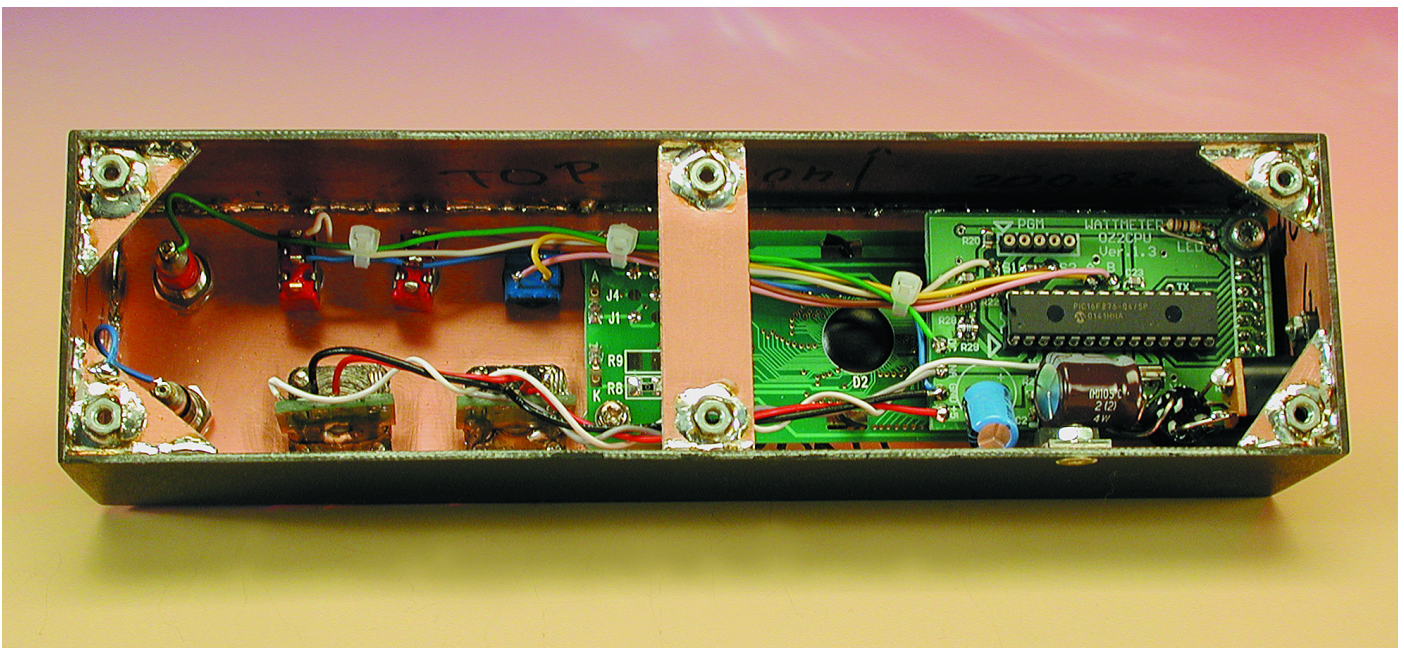


Bild 6. Vorschlag für ein abschirmendes Gehäuse aus einseitig beschichtetem Platinenmaterial.

ummantelt. Diese Isolation muss entfernt und der mittlere Anschlusspin auf etwa 2 mm Länge gekürzt werden.

Die Flansch-Rückseite muss sich verlöten lassen. Eine eventuell vorhandene Isolierschicht ist daher zu entfernen. Die Buchse ist mit beiden Platinenseiten zu verlöten, dabei sollte man nicht zu sparsam mit Lötzinn sein.

Controller-Platine

Ein früher Prototyp dieser Platine ist in **Bild 5** zu sehen. Für den PIC16F876 sollte eine hochwertige

zichtet man auf den optionalen seriellen Ausgang (siehe Textkasten über die Menübedienung), kann man auch einen 3-poligen Resonator mit integrierten Kondensatoren verwenden.

Die Controller-Platine wird auf der Rückseite des LCD-Moduls mit zwei Abstandshaltern von etwa 10 mm oder mehr montiert. Für die Montage des LCD-Moduls auf der Gehäuse-Frontplatte benötigt man vier Abstandshalter. Der Widerstand R14 für die Hintergrundbeleuchtung ist eine 1-W-Ausführung. Ein Wert von 10 Ω ergibt gute Helligkeit, wenn

nung) von Menü-Optionen, mit S2 erfolgt der Menü-Aufruf.

Hardware-Test

Dieser Abschnitt setzt voraus, dass beide Platinen sorgfältig bestückt und kontrolliert wurden. Der PIC sollte noch nicht bestückt beziehungsweise eingelötet sein. Man beginnt mit dem Test des Controllerboards, das mit dem 7805 bestückt ist. Nach Anlegen von 9 V an die Platine wird die 5-V-Spannung am 5-V-Anschlusspunkt für die Eingangs-Platine (in der Nähe von C12) gemessen sowie die Spannung von 2,5 V, die an der Fassung von IC1 (Pin 5) anliegen sollte. An Pin 1 von IC1 sollten

Menüs der Software V. 1.03

Die vom Entwickler geschriebene Software für den Mikrocontroller PIC16F876 realisiert und steuert die meisten Funktionen des HF-Wattmeters. Der Quellcode der Wattmeter-Software kann vom Elektor-Website (www.elektor.de) kostenlos heruntergeladen werden. Die entsprechende Download-Datei hat die Nummer 020026-11 und ist in der Liste zu Elektor Oktober 2002 zu finden. Natürlich gibt es diese Software auch auf Diskette, falls benötigt. Ebenfalls erhältlich sind fertig programmierte Controller (EPS 020026-41, siehe Service-Anzeige in der Heftmitte).

Die Begrüßungs-Anzeige auf dem LC-Display sieht so aus:



Die Haupt-Start-Anzeige enthält die Angaben: dBm, status, HF-voltage Bargraph, HF-power watts



Wird keine Abschwächung verwendet, erstreckt sich der dBm-Messbereich von -63 dBm (Rauschboden) bis +30 dBm (1 W). Die Status-Anzeige zeigt den gewählten Frequenzbereich (frequency band) und den Abschwächungs-Modus (attenuation mode). Mit dem Drehgeber erfolgt die Auswahl der folgenden Frequenzbereiche mit den zugehörigen Abgleich-Speichern (calibration memories): LF, HF, VHF, UHF und SHF. Es wird empfohlen, die jeweiligen 0-dBm-Punkte bei folgenden Frequenzen abzugleichen: LF = 3,5 MHz, HF = 14 MHz, VHF = 145 MHz, UHF = 430 MHz, SHF = 440 MHz. Natürlich kann man auch bei anderen Frequenzen abgleichen, wenn man den Referenzpunkt in



einem bestimmten Frequenzabschnitt innerhalb des Bereichs haben möchte.

Im Wattmeter-Menü aktiviert das Drücken des SELECT-Tasters den RELATIVE-Modus. Im Gegensatz zur gleichzeitigen Anzeige von dBm und Bar-Graph (Balken-Anzeige) zeigt in diesem Modus nur der Bar-Graph die Leistung, während die dBm-Anzeige auf Null bleibt.

Das Menü

Um zu menu/settings zu gelangen, betätigt man den MENU-Taster (S2). Innerhalb eines Menüs erfolgt mit dem Drehkoder die Anwahl der gewünschten Einstellung, deren Aktivierung noch ein Drücken des Tasters SELECT erfordert und auf dem Display bestätigt wird.



Verfügbare Menüpunkte:

- 0: 0 dB, kein externer Abschwächer, 1 W max.
- 1: -10 dB externer Abschwächer, 10 W max.
- 2: -20 dB externer Abschwächer, 100 W max.
- 3: -30 dB externer Abschwächer, 1 kW max.
- 4: -40 dB externer Abschwächer, 10 kW max.
- 5: -50 dB externer Abschwächer, 100 kW max.
- 6: DC-Voltmeter, aktueller Wert und Min. und Max.
- 7: HF-Power-Meter, voreingestellte Startanzeige (default start up screen)
- 8: SSB-PEP- (Peak Envelope Power) Wattmeter, mit Peak-hold und variablem Decay.
- 9: Reflexionsverlust mit SWR-Anzeige (nur in Verbindung mit SWR-Brücke verwendbar)
- 10: 0-dBm-Abgleich im gewählten Frequenzbereich
- 11: Lese alle Abgleichwerte
- 12: Lösche alle Abgleich-Speicher.
- 13: Zeige Update-delay 2-80 ms, Peak-hold und Decay-speed
- 14: About-Info, zeigt Software-Version etc.

DC-Voltmeter

Der Eingang ist verpolungsfest, aber nicht überspannungsgeschützt. Die DC-Voltmeter-Anzeige umfasst den aktuellen Wert sowie Maximal- und Minimalwert (Max./Min.-Speicherfunktion). Das Löschen der gespeicherten Max./Min.-Werte erfolgt mit dem SELECT-Taster. Mit dem DC-Voltmeter kann man zum Beispiel bei Batteriebetrieb die Batteriespannung messen. Der Messbereich beträgt 0-20 V bei einem Eingangswiderstand von etwa 80 k Ω .

Extras

Für einen seriellen Ausgang gibt es an Pin 17 des PICs ein serielles Signal, das mit dem bekannten Pegelkonverter MAX232 zu einem RS232-kompatiblen Ausgangssignal aufbereitet werden kann. Damit ist ein Anschluss an jeden PC mit seriellem Port möglich. Jedes übliche Terminal-Programm wie zum Beispiel HyperTerminal kann die Werte dann einlesen und anzeigen. Die Einstellung der COM-Schnittstelle: 38400 Baud, 8-bit-ASCII, keine Parität, 1 Stopp-Bit (Kurz: 38K4 8 N 1).

ebenfalls 5 V anliegen.

Ist so weit alles in Ordnung, kann man die 9-V-Spannung wieder entfernen, den PIC einsetzen, das LCD-Modul anschließen und die 9-V-Spannung wieder anlegen.

Mit P1 wird jetzt der Display-Kontrast entgegen dem Uhrzeigersinn auf Maximum eingestellt (0 V an Pin 3), um zu sehen, ob das Display funktioniert. Anschließend P1 auf beste Ablesbarkeit der Anzeige einstellen. Die Hintergrundbeleuchtung sollte ausreichend hell sein (eventuell Wert von R14 überprüfen).

Als Erstes zeigt das Display die Begrüßungsmeldung des Mikrocontrollers (siehe Textkasten). Wenn man jetzt den Anschlusspunkt „A“ für die Eingangsplatine mit dem Finger berührt (und somit Brummspannung an Punkt „A“ anlegt), sollte auf dem Display eine Reaktion sichtbar sein. Damit ist der Test der Controllerplatine vorerst beendet, die 9-V-Spannung wird wieder entfernt.

Auf der Eingangs-Platine kontrolliert man zuerst noch einmal alle Lötstellen am AD8307 und den anderen Bauteilen, bevor man die Platine an die Controller-Platine anschließt. Für die Signalverbindung kann man am besten normales abgeschirmtes NF-Kabel verwenden. Jetzt wieder die 9-V-Betriebsspannung anlegen und die Stromaufnahme überprüfen, die unter 150 mA liegen muss.

Wenn kein HF-Generator zur Verfügung steht, kann man ersatzweise für einen ersten Test auch ein Handfunkgerät verwenden. Ein Stück Draht als Antenne am BNC-Eingang der Eingangs-Platine sorgt dafür, dass das Funkgerät beim Senden ein Eingangssignal für das HF-Wattmeter liefert. Je kleiner der Abstand, desto höher wird naturgemäß der empfangene Pegel sein.

Lässt sich so die prinzipielle Funktion feststellen, ist es jetzt unumgänglich, für den genauen Abgleich einen HF-Signalgenerator zu besorgen. Vorher sollte man die Platinen aber in ein abschirmendes Gehäuse einbauen.

Gehäuse

Wenn man ein Gehäuse selbst anfertigt, kann man es den Abmessungen der Komponenten anpassen. Eine bewährte Lösung für HF-Geräte ist

die Verwendung von einseitig beschichtetem Platinenmaterial, das sich einfach schneiden, bohren und zusammenlöten lässt. Etwas Sorgfalt erfordert das Aussägen des rechteckigen Display-Fensters. Das fertige Gehäuse kann man beispielsweise mit schwarzer Sprühfarbe lackieren und mit weißen Aufreibbuchstaben beschriften, die mit einer transparenten Lackschicht fixiert und geschützt werden. Das Mustergerät des Autors ist in **Bild 6** zu sehen.

HF- und DC-Abgleich

Der Abgleich erfolgt über die Software durch menügesteuerte Einstellungen (siehe Textkasten). Dazu wird ein Referenzpegel von 0 dBm an die Eingangsbuchse angeschlossen. Für die Einstellung wählt man zuerst mit dem Drehkoder den Abgleichspeicher für den entsprechenden Frequenzbereich, drückt dann auf die Menü-Taste, wählt „Calibrate 0 dBm“ und drückt die Auswahl-taste. Der 0 dBm-Signalpegelwert wird nun im Controller gespeichert. In dem damit abgeglichenen Frequenzbereich liegt die Genauigkeit ab sofort innerhalb von $\pm 0,2$ dB. Genau so werden jetzt auch die anderen Frequenzbereiche abgeglichen, insgesamt sind es fünf Frequenzbereiche, denen jeweils ein Abgleichspeicherplatz zugeordnet ist (LF, HF, VHF, UHF und SHF). Jeder einzelne Bereich kann jederzeit neu abgeglichen werden – so oft, wie man möchte.

Der Abgleich des DC-Messbereichs erfolgt hardwaremäßig durch einen Feinabgleich des Spannungsteilers am DC-Voltmeter-Eingang, der aus R15 mit parallel geschaltetem Widerstand R17 als oberem Widerstand und R16 als unterem Widerstand besteht. Für den Abgleich benötigt man eine auf 20 V einstellbare Gleichspannung und ein genaues Voltmeter (Digitalmultimeter) zum Vergleich. Das Wattmeter stellt man mit Menu -> Dial -> Select in den DC-Voltmeter-Modus. Nach Anlegen von 20,00 V an den DC-Eingang sollte die Anzeige idealerweise auch 20,00 sein. Ist der angezeigte Wert kleiner, schaltet man einen 10-M Ω -Widerstand parallel zum oberen Widerstand R17; ist der angezeigte Wert zu groß, wird

der 10-M Ω -Widerstand parallel zu R16 geschaltet. Vor dem Löten wird die Spannung vom Eingang genommen und das Wattmeter ausgeschaltet. Bei 20 V am Eingang kann ein Kurzschluss der Widerstände R15 oder R17 den Mikrocontroller killen, weil dann 20 V an seinem Pin 2 anliegen.

Warnungen

Hohe HF-Spannungen von Sendern können Verbrennungen und andere Hautschäden verursachen, im UHF- und Mikrowellenbereich genügen dafür schon einige Volt. **Das Berühren von Leitungen und Anschlüssen, die das Ausgangssignal eines stärkeren Senders führen, ist daher unbedingt zu vermeiden.**

Der AD8307 nimmt schon Schaden, wenn man seinen Ausgang versehentlich an +5 V legt. Man sollte beim Anschluss an die Controllerplatine die Verbindungen daher sehr genau kontrollieren.

Die Eingangsplatine verträgt **maximal 1 Watt Leistung** am Eingang. Das Display gibt keine Warnung, bei einer Überlastung des Eingangs geht der angezeigte Displaywert sogar zurück! Zu viel Power am Eingang wird den AD8307 zerstören, und zwar schon lange bevor die Widerstände zu rauchen beginnen. Es gibt **keinen Eingangs-Überlastschutz**, weder am DC-Voltmeter-Eingang noch am HF-Eingang.

Für Messungen an Sendern mit mehr als 1 W Leistung benötigt man daher einen geeigneten Abschwächer oder Koppler mit gleicher Funktion. Informationen über die vom Autor gebauten und verwendeten Abschwächer für VHF/UHF (30 dB, max. 50 W) und Kurzwelle (50 dB, max. 1 KW) sind auf seiner Website zu finden.

Zum Schluss

Das Mustergerät ist seit über einem Jahr in Betrieb und hat sich in dieser Zeit sehr gut bewährt.

Bei nur geringen Unterschieden bei Genauigkeit sowie Frequenz- und Dynamikbereich ergibt sich gegenüber professionellen HF-Leistungsmessern eine Kostenersparnis um den Faktor 20 bis 40.

Als künftige Erweiterung ist die Verwendung von zwei Eingangsplatinen denkbar, um in Verbindung mit einer entsprechenden Ergänzung der Software eine Differenzmessung (Eingang A minus Eingang B) zu ermöglichen, wodurch sich neben dem berechneten SWR auch die reflektierte Leistung anzeigen lässt. Prophylaktisch hat der Autor bei seinem Mustergerät schon eine zweite Eingangsbuchse vorgesehen, die aber noch nicht belegt ist...

(020026-1e)