

# Ergänzung zum Beitrag „Komfortables HF-Milliwattmeter von 20 Hz bis 1 GHz im Eigenbau“ in FA 3/13, S. 278 ff.; FA 4/13, S. 390 ff.

## ■ Kalibrieren des HF-Milliwattmeters

Nachdem ein neuer Messkopf aufgebaut wurde, ist mithilfe dieses Menüpunkts die Leistungsanzeige des Messkopfes zu kalibrieren. Erst nach dieser Prozedur werden die richtigen dBm-Werte im Display angezeigt. Die Details der Funktionsweise sind im Kasten erläutert.

Beim Kalibrieren ist wie folgt vorzugehen:

1. Mit dem Potenziometer wird der angelegte HF-Pegel *Pegel1*: eingestellt (Wertebereich von -50 dBm bis +30 dBm in 1-dB-Abstufungen). Beim Kalibriergenerator wären das 0 dBm (Bilder 15, 16, 17).

```
== Kalibrieren ==
Pegel1: -50,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 15: Minimumpegel des Kalibriervorgangs.

```
== Kalibrieren ==
Pegel1: +10,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 16: Maximumpegel des Kalibriervorgangs.

```
== Kalibrieren ==
Pegel1: +0,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 17: Erster Pegel der erwartet wird. Hier die 0 dBm vom Kalibriergenerator.

```
== Kalibrieren ==
Kal_Pegel1: 00431C
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 18: Die Anzeige des HEX-Werts vom AD-Eingang. Das ist die Summe von 32 Messungen.

```
== Kalibrieren ==
Pegel2: -30,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 19: weiter Pegel der erwartet wird. Hier sind das -30 dBm. Kalibriergenerator mit einem 30 dB Dämpfungsglied.

2. Nach dem Drücken der Taste *Weiter* wird zunächst gewartet, bis sich die Anzeige „beruhigt“ hat.

*Kal\_Pegel1*: Angezeigt wird eine Hex-Zahl, die aus der Addition der Werte von 32 A/D-U-Messungen besteht (Bild 18).

3. Nun ist ein hochwertiges Dämpfungsglied einzuschleifen, das einen genau bekannten Dämpfungsbetrag aufweist (z.B. 30 dB).

4. Anschließend wird die Taste *Weiter* betätigt, mit dem Potenziometer ist der angelegte HF-Pegel *Pegel2*: einzustellen (Wertebereich von -50 dBm bis +30 dBm in 1-dB-Abstufungen).

Der Kalibriergenerator liefert 0 dBm, unter Berücksichtigung des 30-dB-Dämpfungsgliedes wären -30 dBm einzustellen (Bild 19).

5. Nach dem erneuten Drücken der Taste *Weiter* wird zunächst wieder gewartet, bis sich die Anzeige „beruhigt“ hat. *Kal\_Pegel2*: Angezeigt wird eine Hex-Zahl, die ebenfalls aus der Addition von 32 A/D-U-Messungen besteht (Bild 20).
6. Dann wird wieder die Taste *Weiter* betätigt.

*dBm maximal*: Es wird der maximale Pegel angegeben, den der Messkopf verträgt. Ein höherer Pegel würde den Messgleichrichte zerstören oder zu Messungenauigkeiten führen.

Man kann mit dieser Einstellung eine dBm-Grenze setzen. Wenn ein Leistungsdämpfungsglied vorgeschaltet ist, kann man leicht den Überblick über den maximal zulässigen Eingangspegel verlieren. Wird bei einer Messung dieser maximale Pegel überschritten, ertönt aus dem Lautsprecher ein Warnton (Bilder 21, 22, 23).

7. Nachdem erneut auf *Weiter* gedrückt wurde, folgt nun die Angabe des im Messkopf verwendeten IC. Folgende Auswahl kann mittels Potenziometer getroffen werden:

IC: AD8362  
IC: AD8362 NF  
IC: AD8307  
IC: AD8307 NF  
IC: unbekannt

Bei der Auswahl eines Audio-NF-Messkopfes erfolgt die Anzeige in *dBV* und

auch die Kalibrierung verläuft etwas anders. Darauf gehe ich im nächsten Abschnitt ein. Bei der Anzeige in *dBV* bleibt der 0-dB-Bezug auf  $U_{\text{eff}} = 1 \text{ V}$  ohne Berücksichtigung der Impedanz (Bild 24).

8. Nach der Betätigung der Taste *Weiter* werden die beiden errechneten Konstanten angezeigt und es wird zum Speichern aufgefordert. Mittels Druck auf *Taste 3* werden die Angaben im EEPROM abgespeichert. Alle anderen Tasten bewirken einen Abbruch der Kalibrieroutine (Bild 25).

9. Drückt man die Taste *Speichern*, werden alle Angaben noch einmal gezeigt und anschließend gespeichert.

```
== Kalibrieren ==
Kal_Pegel2: 001B60
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 20: Die Anzeige des HEX-Werts vom AD-Eingang. Das ist die Summe von 32 Messungen für den Pegelpunkt2.

```
== Kalibrieren ==
dBm maximal: -10,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 21: Der minimale einstellbare Pegel -10 dBm.

```
== Kalibrieren ==
dBm maximal: +30,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 22: Der maximale einstellbare Pegel +30 dBm.

```
== Kalibrieren ==
dBm maximal: +5,0dBm
<-Weiter
<-Abbruch
```

Bild 23: Bei diesem Messkopf wird +5 dBm als maximal Verträglich eingestellt.

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

Bild 24: Bei diesem Messkopf wird das IC AD8362 ausgewählt.

```
= Messkopfdaten =
mkx: +0,029492
mky: -50,6672560
<-Speichern
```

Bild 25: Angezeigt wird das errechnete Ergebnis der Konstanten für die spätere dBm-Berechnung und die Aufforderung zum Abspeichern.

Der Abstand der beiden Bezugspunkte für die Kalibrierung sollte mindestens 20 dB betragen, ein größerer Abstand wäre noch besser. Jedoch spielt auch der Dynamikbereich des Messkopfes eine Rolle. Ich würde zum Beispiel beim AD8362 den Abstand nicht größer als 30 dB wählen.

Die Kalibrierung eines Audio-NF-Messkopfes funktioniert etwas anders. Am einfachsten ist die Verwendung einer regelbaren 50-Hz-Spannungsquelle. Zum Einen brauchen wir 0 dBV als Bezug auf  $U_{\text{eff}} = 1 \text{ V}$ . Der zweite Messpunkt könnte mit einer Spannung von 0,01 V definiert werden. Das entspräche dann einem Anzeigewert von -40 dBV. Ansonsten ist der Ablauf wie unter Punkt 1 bis 9 beschrieben.

### Das Kalibrieren des Audio-NF-Messkopfes

Bei einem Audio-NF-Messkopf sind die Pegel etwas anders einzustellen. Die Audio-NF-Pegel werden nicht in dBm sondern in dBV gemessen, ohne Bezug auf die Impedanz. 0 dBm entspricht genau 1 mW an 50  $\Omega$ . Bei der Masseinheit dBV ist der 0 dB Bezugspunkt genau 1 V. Ich müsste also zum Kalibrieren bei 0 dBV einen NF-Pegel von 1 V einstellen und -40 dBV wären davon ein Hunderstel, also 0,01 V.

Da beim Kalibrieren zwei Punkte mit möglichst weit auseinanderliegenden Pegeln benutzt werden müssen, ist die Kalibrierung des Audio-NF-Messkopfes auch möglich, wenn man einen genauen NF-Pegel zur Verfügung hat, den man eventuell mit einem Potenziometer reduzieren kann. Sinnvoll wäre ein Spannungsteiler von 1 : 100. Das wäre der besagte Unterschied von 40 dB. Ist die NF-Spannung bekannt kann man aus der Spannung den Wert dBV errechnen. Dieser wird dann beim Kalibrieren eingestellt. Die Maßeinheit beim Kalibrieren bleibt im Display

### Funktionsweise der Kalibrieroutine

Den Verlauf einer linearen Funktion kann man mit zwei Konstanten beschreiben. Diese müssen beim Kalibrieren errechnet werden. Dazu dienen die beiden nachstehenden Gleichungen.

Verwendete Variablen:

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| <i>dBmpunkt1</i> | Kalibrierpunkt 1 in dBm  |
| <i>dBmpunkt2</i> | Kalibrierpunkt 2 in dBm  |
| <i>adcpunkt1</i> | A/D-Umsetzerwert 1       |
| <i>adcpunkt2</i> | A/D-Umsetzerwert 2       |
| <i>mkx</i>       | Wert x der lin. Funktion |
| <i>mky</i>       | Wert y der lin. Funktion |

Gleichung 1:

$$mkx = (dbmpunkt1 - dbmpunkt2) / (adcpunkt1 - adcpunkt2)$$

Gleichung 2:

$$mky = (adcpunkt1 \cdot mkx \cdot (-1)) + dbmpunkt1$$

Mithilfe der berechneten Konstanten *mkx* und *mky* wird unmittelbar aus dem A/D-Umsetzerwert das Messergebnis in dBm berechnet. Dazu ein Beispiel:

Gegeben:

A/D-Umsetzerergebnis *ue1* = 17 000  
 A/D-Umsetzerergebnis *ue2* = 10 000  
 Kalibrierkonstante *mkx* = 0,002962085308  
 Kalibrierkonstante *mky* = -50,98341232

Gesucht:

Anzeigewerte *aw1* und *aw2* in dBm

Lösung:

$$\begin{aligned} aw1 \text{ [dBm]} &= ue1 \cdot mkx + mky \\ &= 17\,000 \cdot 0,002962085308 + (-50,98341232) = -0,627 \end{aligned}$$

Der A/D-Umsetzerwert 10 000 müsste hingegen einen Messergebnis von weniger als -20 dBm ergeben:

$$\begin{aligned} aw2 \text{ [dBm]} &= ue2 \cdot mkx + mky \\ &= 10\,000 \cdot 0,002962085308 + (-50,98341232) = -21,362 \end{aligned}$$

Wie wir sehen, passt es. Die beiden errechneten Konstanten der Kalibrierung werden im EEPROM des PIC abgespeichert und stehen immer zur Verfügung wenn der entsprechende Messkopf mit der eingestellten Codierung angeschlossen wird. Mit dieser Art der Kalibrierung ist es möglich, unterschiedlichste Messköpfe an das Grundgerät anzuschließen, vorausgesetzt sie besitzen eine logarithmische Messfunktion.

bei dBm. Daran darf man sich nicht stören. Die Formel für das Errechnen des dBV-Werts aus der NF-Spannung lautet:

$$U \text{ [dBV]} = 10^{(1V/U_{\text{NF}})} \cdot (-20)$$