



## USB-HF- Leistungsmesser

- 1 MHz - 1 GHz  
- inkl. Datenlogger

**Der RFP 500 ist ein HF-Leistungsmesser für den Frequenzbereich von 1 MHz bis 1 GHz. Eingangsleistungen im Bereich von -34 dBm bis hin zu +14 dBm lassen sich mit einer Auflösung von 0,1 dB erfassen. Neben den verschiedenen Messmodi zur Mittelwertmessung, Spitzenleistungs- und Impulsleistungserfassung runden verschiedene Messfunktionen wie Minimal- und Maximalwert-Erfassung, Relativwert-Messung, eine Datenloggerfunktion usw. die Features des kompakten Handmessgerätes ab, das mit einem abgesetzten 50-Ω-Abschlussmesskopf ausgestattet ist.**

schwankt die Momentanleistung somit mit doppelter Frequenz um einen über die Zeit konstanten Mittelwert. Dieser Mittelwert entspricht der Wirkleistung  $P$  und ergibt sich durch die Mittelung über die HF-Trägerperiode. Er wird von den meisten Leistungsmessern (so auch vom RFP 500) messtechnisch als Average-Wert (= „Avg.“) erfasst.

In der Nachrichtentechnik sind aber auch häufig nicht rein sinusförmige Signale anzutreffen. So muss für diese modulierten Signale die Definition der Leistung erweitert werden. Bei amplitudenmodulierten oder pulsmodulierten Signalen erhält man bei der Mittelung über die Periode des HF-Trägersignales die so genannte Hüllkurvenleistung  $P_e(t)$ . Diese schwankt entsprechend der Modulation, d. h. es „erscheint“ hierin das Modulationssignal. Der Maximalwert der Hüllkurvenleistung wird als PEP (Peak Envelope Power) bezeichnet, diesen Wert misst das RFP 500 direkt als so genannten „Peak“-Wert.

Auch bei gepulsten Signalen (z. B. Sendern mit 100%iger AM-Pulsmodulation) wird innerhalb der Impulsdauer über die HF-Trägerperioden gemittelt, dies ergibt dann die so genannte Impulsleistung  $P_P$ . Abbildung 1 zeigt die einzelnen Leistungen nochmals übersichtlich. Wie hier zu sehen, ist die Impulsleistung messtechnisch direkt nur schwer zu erfassen, meist wird sie durch die PEP „verdeckt“. Daher bedient man sich hier des Umwegs über das bekannte Tastverhältnis (Duty Cycle = DC) des Signales. Aus dem auch hier einfach zu messenden Mittelwert  $P_{avg}$  lässt sich die Impulsleistung  $P_P$  über folgende Formel einfach berechnen:

$$P_P = P_{avg} \cdot \frac{1}{DC}$$

Der RFP 500 ermittelt die Impulsleistung genau nach dieser Formel, der Messwert wird hier mit „Peak DC“ bezeichnet.

### Leistungsmessung in der HF-Technik

Das Messen der Leistung hat in der Hochfrequenztechnik eine ähnliche Bedeutung wie die Spannungsmessung in der allgemeinen Elektrotechnik. Spannung und Stromstärke sind im Hochfrequenzbereich weniger gut geeignet für die Beschreibung der Stärke eines Signales, da sich diese u. U. schwierig erfassen lassen. So ist z. B. in Hohlleitern keine Spannung bzw. kein Strom definierbar bzw. messbar. Daher

wird in der Mikrowellentechnik fast ausschließlich die Leistung als Maß für die Signalstärke angegeben.

Der Energiefluss pro Zeiteinheit ist ein Maß für die „Stärke“ eines Signales. Dies gilt als allgemeine Definition der Leistung. Ausgehend von Strom und Spannung an einem Punkt der Übertragungsstrecke lässt sich die Momentanleistung wie folgt definieren:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Bei einem rein sinusförmigen Signal

#### Technische Daten: RFP 500

Frequenzbereich: .... 1 MHz–1000 MHz  
Messbereich: ..... -34 dBm – +14 dBm  
Auflösung: ..... 0,1 dBm  
Messgenauigkeit: ..... <2 dB  
Max. Eingangspegel: .. 14 dBm +3 V<sub>DC</sub>  
Eingangsimpedanz: ..... 50 Ω  
Rückflussdämpfung: ..... <-14 dB  
Anschlüsse:  
-HF-Eingang: ..... BNC  
-Daten: ..... USB  
Spannungsversorgung: 9-V-Block/6LR61  
Batterie-Lebensdauer: ..... 33 h (typ.)  
Abmessungen:  
-Basisgerät: ..... 170 x 70 x 28 mm  
-Sensor: ..... 71 x 25 x 20 mm

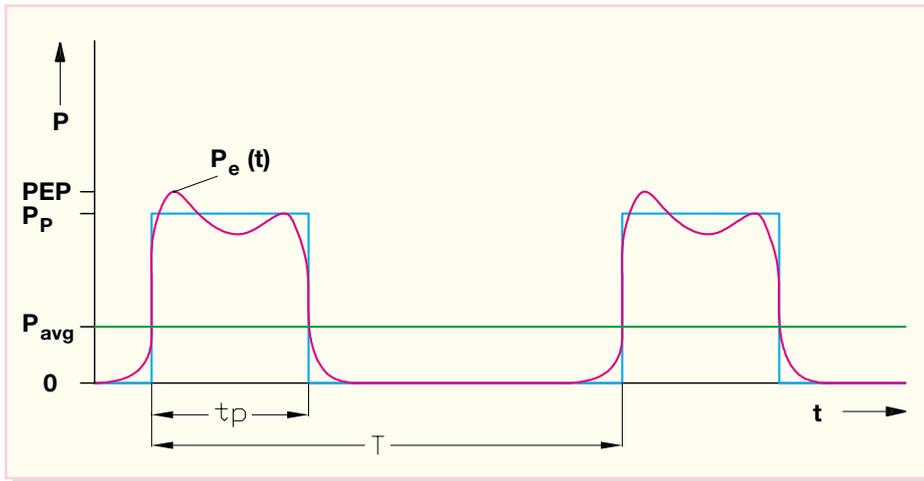


Bild 1: Verschiedene Leistungsbegriffe im Impulsdigramm

### Leistungsmessköpfe

Je nach Betriebsbedingungen, zu messender Leistung etc. kommen verschiedene Varianten von Leistungsmessköpfen zum Einsatz: Durchgangsmessköpfe oder Abschlussmessköpfe.

Ein Durchgangsmesskopf wird in die Leitung eingeschleift, um so die Vor- und Rücklaufleistung in einem System gleichzeitig und unterbrechungsfrei messen zu können. Diese Messköpfe beinhalten einen Richtkoppler, womit durch die Wahl des Koppelfaktors nahezu beliebig große Leistungen gemessen werden können. Die Eigenschaften eines solchen Durchgangsmesskopfes werden im Wesentlichen durch die Qualität des Richtkopplers bestimmt.

Bei Abschlussmessköpfen wird der Messkopf anstelle der Last in das System eingesetzt. Die an dem Messkopf umgesetzte Leistung wird thermisch oder über einen Diodensensor erfasst. Um hier die Messfehler klein zu halten, muss die An-

passung des Sensors besonders gut sein. Der Sensor des RFP 500 besitzt dabei eine Rückflussdämpfung von  $a_r \leq -14$  dB. In Abbildung 2 ist dazu die zugehörige Simulation dargestellt. Inwieweit sich eine Fehl-anpassung auf das Messergebnis auswirkt, lässt sich aus folgender Formel ersehen:

$$P_{Mess} = P_{GZ0} \cdot \left(1 - 10^{\frac{a_r}{10}}\right)$$

Wobei  $P_{GZ0}$  die vorlaufende Leistung darstellt, die aufgrund des nicht idealen Abschlusses (Rückflussdämpfung  $a_r > \infty$ ) teilweise oder ganz am Leistungsmesser reflektiert wird und so nicht zum Messwert beiträgt. Eine Rückflussdämpfung von besser  $-14$  dB schlägt sich dabei in einem Messfehler von  $<0,2$  dB nieder. Daher ist die Güte der Anpassung auf den Systemwellenwiderstand ein wichtiges Merkmal eines Leistungsmesskopfes.

Die Empfindlichkeit eines Leistungssensors ist ein weiteres wichtiges Kriterium. Diese ist vom Messprinzip abhängig. Thermische Sensoren sind ab ca. 1 mW

( $-30$  dBm) verwendbar, Diodensensoren ab 100 pW ( $-70$  dBm). Die obere Messgrenze kann durch Präzisions-Dämpfungsglieder oder Richtkoppler bis in den MW-Bereich ausgedehnt werden.

Prinzipiell gibt es für die Leistungsmessung drei verschiedene Messprinzipien: Messung mit Thermoelementen, Thermistoren oder Dioden.

Bei den thermischen Messverfahren wird die HF-Leistung in Wärme umgesetzt. Diese Umsetzung hat den Vorteil, dass die gemessene Leistung unabhängig von der Kurvenform des Signales ist. Da so keine Bewertungsfehler auftreten, gelten thermische Sensoren als sehr genau. Die größten Ungenauigkeiten kommen durch thermische Umgebungseinflüsse (schwankende Umgebungstemperaturen, thermische Kopplungen usw.) zustande. Bei großen Leistungen ist die thermische Belastung des Sensors noch ein Problem.

Die Messgeschwindigkeit eines thermoelektrischen Sensors ist in erster Linie durch die zu erwärmende Masse bestimmt. Diese thermische Zeitkonstante liegt bei modernen Sensoren im ms-Bereich. Diese Zeitkonstante schränkt somit auch den Einsatzbereich dieses Sensors ein. Er kann nur zur Messung der mittleren Leistung herangezogen werden. Für die Erfassung der Hüllkurvenleistung ist er zu langsam.

Heutzutage ist die Leistungsmessung mit Detektordioden für geringe Leistungen am weitesten verbreitet. Bei Diodensensoren wird der Spannungsabfall an einem Abschlusswiderstand von der Diode gleichgerichtet. Der Gleichanteil des Diodenausgangssignales wird gemessen und als Maß für die HF-Leistung angezeigt. Spezielle Diodensensoren arbeiten hinunter bis in den Pikowattbereich und besitzen so den größten Dynamikbereich für die Messung der Leistung. Im Allgemeinen beginnt der Messbereich allerdings bei  $-40$  dBm bis  $-30$  dBm.

Aufgrund ihrer hohen Messgeschwindigkeit sind Diodensensoren für die Messung von Spitzenleistungen und Hüllkurvenleistungen sehr gut geeignet. Außerdem kommen sie oftmals als Ist-Wert-Gebner für Amplitudenregelungen zur Anwendung. Ein Diodensensor enthält einen Abschlusswiderstand, einen Diodengleichrichter in Ein- oder Mehrwegschaltung und ein Anpassnetzwerk zur Kompensation der Diodenkapazität und Anschlussinduktivität, eine Temperaturkompensation und eine DC-Signalaufbereitung.

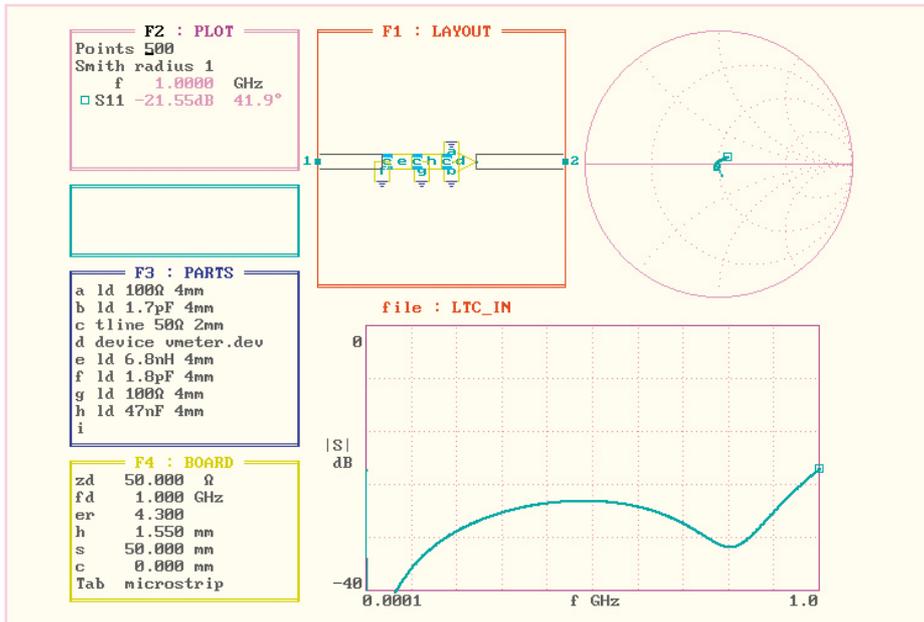
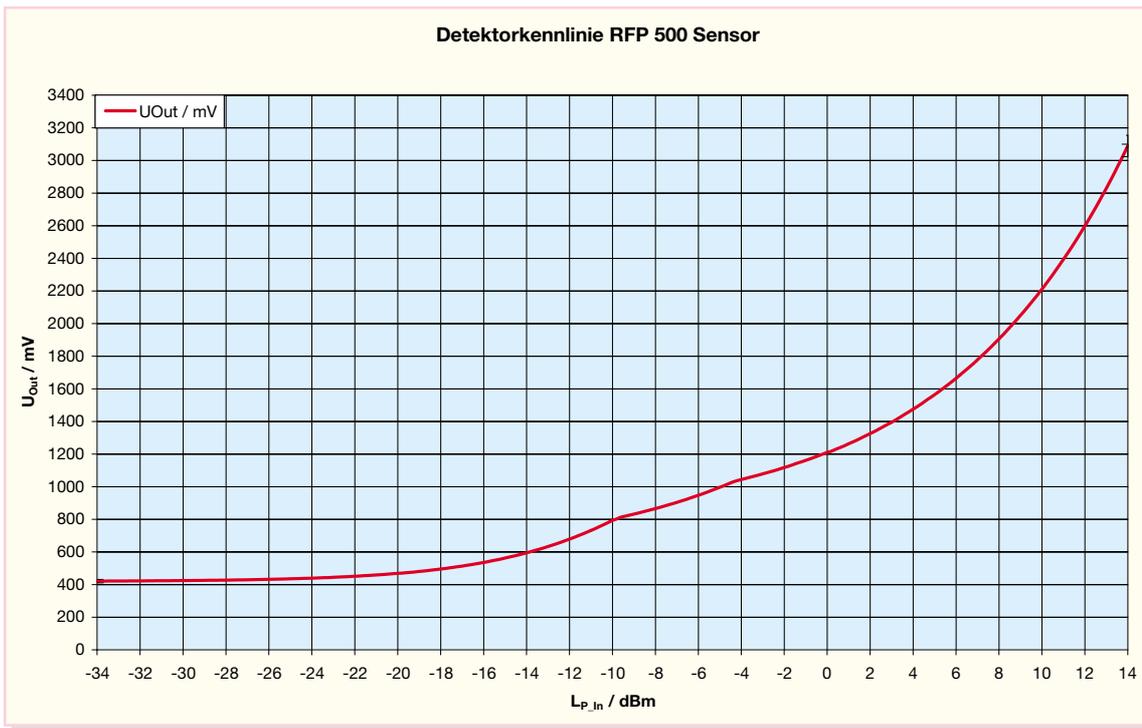


Bild 2: Simulation der Anpassschaltung

### Funktionsprinzip

Der hier verwendete integrierte Sensor LTC 5507i vom Hersteller Linear Technology beinhaltet alle wesentlichen Komponenten eines Diodendetektors. Lediglich

**Bild 3: Typische Detektorcharakteristik**



die Eingangsanpassung auf den 50-Ω-Systemwellenwiderstand ist zu designen.

Abbildung 3 zeigt eine typische Detektorkennlinie des RFP-500-Sensors. Hier ist die Ausgangsspannung des Sensors über den gesamten Leistungsmessbereich aufgetragen. Wie im Bild gut zu erkennen, gibt es weder einen linearen Zusammenhang zwischen der eingespeisten Leistung und der Ausgangsspannung noch eine einfache mathematische Gleichung, die den gesamten Kurvenverlauf beschreibt. Daher erfolgt die Bestimmung der Leistung aus der gemessenen Spannung im Mikrocontroller mit Hilfe einer so genannten Look-up-Table, einer Tabelle also, in der die Werte abgelegt sind.

Damit liegt dem Messgerät der Messwert in der Einheit dBm vor. Ist eine andere Einheit gewählt, ermittelt der RFP 500 diese mathematisch aus diesem Messwert des absoluten Leistungspegels.

Um vom logarithmischen Pegel eine lineare Anzeige in der Einheit „mW“ zu erhalten, kommt die allgemeine Definition zur Bestimmung des Leistungspegels L<sub>P</sub> zum Tragen:

$$L_P = 10 \text{dBm} \cdot \lg\left(\frac{P}{1 \text{mW}}\right)$$

Umgestellt lässt sich aus dieser Gleichung die Leistung in der Einheit „mW“ wie folgt bestimmen:

$$P = 10^{\frac{L_P}{10 \text{dBm}}} \text{mW}$$

Bei einer Umrechnung in einen Spannungspegel muss der Widerstand bekannt

sein, an dem die gemessene Leistung umgesetzt wird. Dieser Referenzwiderstand ist in der HF-Technik üblicherweise 50 Ω, in seltenen Fällen 75 Ω. Im Prinzip geschieht diese Umrechnung, ausgehend vom Leistungspegel L<sub>P</sub>, über die allgemeine Formel zur Leistungsberechnung:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Setzt man diese Gleichung in die allgemeine Definition zur Leistungspegelberechnung ein, so erhält man letztlich für ein 50-Ω-System den Spannungspegel L<sub>U</sub> über:

$$L_U = \left(\frac{L_P}{\text{dBm}} + 107\right) \text{dB}\mu\text{V}$$

Auch hieraus kann aus der allgemeinen Definition eines Spannungspegels ...

$$L_U = 20 \text{dB}\mu\text{V} \cdot \lg\left(\frac{U}{1 \mu\text{V}}\right)$$

... durch Umstellung der Gleichung auf den „normalen“ Spannungswert umgerechnet werden:

$$U = 10^{\frac{L_U}{20 \text{dB}\mu\text{V}}} \mu\text{V}$$

Ist die Einheit „dB“ gewählt, so wird nicht ein absoluter Leistungs- bzw. Spannungspegel angezeigt, sondern die Relation des Messwertes zu einem festgelegten Referenzpegel L<sub>Ref</sub>. So lassen sich zum Beispiel einfach Verstärkungs- oder Dämp-

fungswerte bestimmen. Diesen relativen Messwert L<sub>rel</sub> bestimmt der Mikrocontroller über folgende Gleichung:

$$L_{rel} = L_P - L_{Ref}$$

Bei den umfangreichen Messfunktionen, mit teilweise recht aufwändigen internen Umrechnungen und den vielfältigen Einstellungen, kommt einer einfachen Bedienung eine große Bedeutung zu. Diese wird im Folgenden ausführlich erläutert.

## Bedienung

Die umfangreichen Funktionen des Gerätes werden über die 8-Tasten-Folientastatur (Abbildung 4) bedient. Das Bedienkonzept basiert dabei auf einer Bedienung in mehreren Tastaturebenen, d. h. die Tasten sind teilweise mit Unterfunktionen belegt. Bedrückt sind die Tasten jeweils mit ihrer primären Funktion; für die eigentliche Bedienung im täglichen Einsatz sind hierüber alle wesentlichen Funktionen erreichbar. Die einmaligen Einstellungen sind in die zweite und dritte Bedienebene gelegt.

Grundsätzlich erreicht man die zweite Bedienebene aus dem normalen Betriebsmode heraus durch Drücken der 2nd-Taste. Die Anzeige „2nd“ unten rechts im Display zeigt dann an, dass das Gerät nun auf Eingabe der Taste für die entsprechende Unterfunktion wartet.

Wurde die Taste „2nd“ versehentlich gedrückt, kommt man mit „On/Off“ wieder in den normalen Betriebsmode zurück. Auch zum Verlassen der Unterfunktionen dient die Taste „On/Off“.

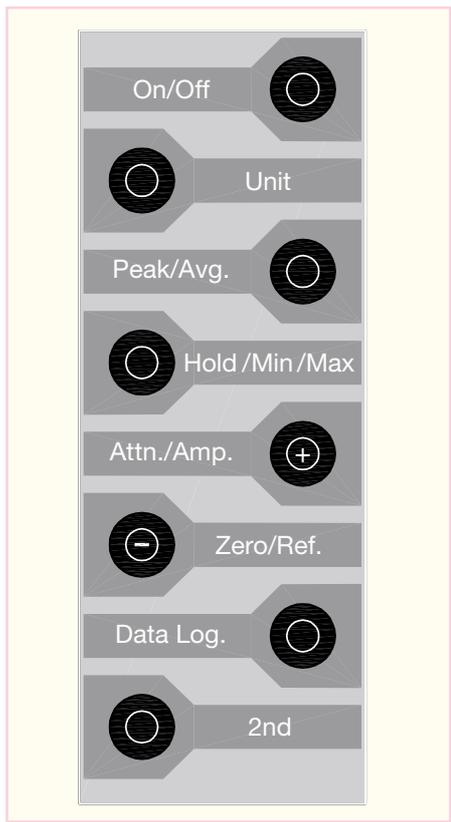


Bild 4: Folientastatur des RFP 500

Einige Tasten sind mit einer dritten Unterfunktion belegt. Diese wird von der zweiten Unterfunktion aus durch nochmaliges Betätigen der 2nd-Taste aktiviert.

Die Einstellungen in den einzelnen Funktionen erfolgen dabei immer mit den Tasten „+“ und „-“ (Nebenfunktion der Tasten „Attn./Amp.“ bzw. „Zero/Ref.“). Die eingestellten Werte werden mit dem Verlassen der Unterfunktion automatisch gespeichert.

Folgendes Beispiel verdeutlicht die einfache Bedienung: Soll die Unterfunktion zur Eingabe der Verstärkung eines vorgeschalteten HF-Verstärkers aufgerufen werden, sind die Tasten „2nd“ und „Attn./Amp.“ in angegebener Reihenfolge zu betätigen. Mit den Tasten „+“ und „-“ ist die Verstärkung einzustellen, die Speicherung geschieht automatisch beim Verlassen der Unterfunktion mittels „On/Off“. Soll nun auch noch die Frequenz des zu messenden Signales eingegeben werden, so ist die dritte Bedienebene durch folgende Tastenfolge zu erreichen: „2nd“, „Attn./Amp.“, „2nd“.

#### On/Off

Hauptfunktion:

- Ein- und Ausschalten des Gerätes
- Stoppen der Messwertspeicherung im Datenloggermodus
- Verlassen von Unterfunktionen mit automatischer Speicherung der eingestellten Werte

Nach dem Einschalten des Gerätes erfolgt zunächst ein Segmenttest des Dis-

plays. Danach wird kurz die Versionsnummer der Firmware angezeigt. Nach dem Einschalten wird immer der zuletzt aktive Betriebsmode wiederhergestellt.

#### Unit

Hauptfunktion: Auswahl der Einheit des angezeigten Messwertes

Bei jeder Tastenbetätigung wird die nächste Einheit in folgender Reihenfolge ausgewählt:

dBm → mW → dBu(V) → mV → dB → dBm ...

Die angezeigte Einheit „dBu“ repräsentiert dabei einen Messwert mit der mathematisch korrekten Bezeichnung „dBμV“, dies lässt sich auf dem Display so leider nicht darstellen.

Die eigentliche Messung beruht auf der Ermittlung des Leistungswertes in der Einheit „dBm“. Die Darstellung der Messwerte in den anderen Einheiten basiert auf entsprechenden mathematischen Umrechnungen (siehe oben). Die dazu benötigten Zusatzinformationen wie Systemwellenwiderstand und Referenzpegel sind in der zweiten und dritten Bedienebene einstellbar.

#### Zweite Bedienebene: Einstellung des Systemwellenwiderstandes

Der Systemwiderstand ist üblicherweise 50 Ω. Dies entspricht auch dem Abschlusswiderstand des Messkopfes. Um den Leistungsmesswert in einen Spannungspegel umzurechnen, muss ein Referenzwiderstand zugrunde gelegt werden. Der hier eingestellte Systemwiderstand gibt an, mit welchem Widerstandswert die Berechnung erfolgt. Zur Auswahl stehen hier die Werte 50 Ω und 75 Ω.

Zu beachten ist dabei, dass damit nicht der Abschlusswiderstand des Sensors selbst umgestellt wird; dieser ist unverändert 50 Ω. Bei Messungen in einem 75-Ω-System ist der Messkopf somit nicht exakt angepasst und es ergeben sich entsprechende Messunsicherheiten aufgrund der Fehlanpassung (siehe oben).

Die Eingabe dieses Wertes hat nur Einfluss bei der Anzeige eines Spannungswertes (Einheiten „dBμV“ und „mV“). Beispielsweise würde ein Messwert von 0 dBm im 50-Ω-System einem Spannungswert von 224 mV entsprechen, im 75-Ω-System einem Wert von 274 mV.

#### Dritte Bedienebene: Eingabe des Referenzpegels

Die Darstellung des Messwertes als relative Messgröße („dB“) bedingt die Definition eines Referenzpegels, auf den sich die Messung beziehen soll. Dieser Referenzpegel ist im Bereich von -40 dBm bis +20 dBm einstellbar. Der angezeigte Messwert in „dB“ ist dabei die Differenz zwischen dem eigentlichen Messwert (in „dBm“) und dem Referenzpegel. Bei einem eingestellten Referenzpegel von -25 dBm

und einem Messwert von +6 dBm würde beim Umschalten in die Einheit „dB“ ein Messwert von +31 dB [ $+6 - (-25) = 31$ ] angezeigt.

Die Eingabe dieses Referenzwertes kann unter bestimmten Bedingungen auch über die Funktion „Zero/Ref.“ erfolgen. Dies wird dort entsprechend näher erläutert.

#### Peak/Avg.

Hauptfunktion: Einstellung der Messmodi

Bei jeder Tastenbetätigung wird in folgender Reihenfolge zwischen den Erfassungsmodi umgeschaltet:

Avg. → Peak → Peak DC → Avg. ...

In der Position „Avg.“ erfasst das Messgerät die mittlere am Mess-Sensor umgesetzte Leistung modulierter oder unmodulierter Signale. Im Modus „Peak“ wird die Spitzenleistung, auch maximale Hüllkurvenleistung (PEP = Peak Envelope Power) genannt, gemessen. Bei gepulsten Signalen ist es bei bekanntem Tastverhältnis (Duty Cycle) auch möglich, aus dem gemessenen Mittelwert die Hüllkurvenleistung theoretisch zu berechnen, diese wird üblicherweise mit Impulsleistung („Peak DC“) bezeichnet. Für diese Messung muss dann der Duty Cycle in der zweiten Bedienebene angegeben werden.

#### Zweite Bedienebene: Eingabe des Duty Cycle

Für die theoretische Berechnung der Impulsleistung ist hier der Duty Cycle (Verhältnis der Pulsbreite  $t$  zur Periodendauer  $T$ , siehe auch Abbildung 1) im Bereich von 1 % bis 100 % anzugeben.

#### Hold/Min/Max

Hauptfunktion: Speichern der aktuellen Anzeige und Abrufen der Extremwerte

Bei jeder Tastenbetätigung wird in folgender Reihenfolge zwischen den Messwerten umgeschaltet:

normale Messung → Hold → Min → Max → normale Messung

Aus dem normalen Messmode heraus bewirkt diese Funktion zunächst das „Einfrieren“ des aktuellen Messwertes („Hold“), nochmaliges Drücken der Taste zeigt den kleinsten Wert („Min“) seit dem Einschalten des Gerätes, ein weiterer Tastendruck bringt den größten Messwert („Max“) zur Anzeige. Die Segmente in der unteren Displayzeile kennzeichnen die Messwerte entsprechend.

#### Zweite Bedienebene: Aufrufen der Werkseinstellungen (Reset)

Nach dem Aufrufen der Funktion zeigt das Gerät im Display „RES“. Der Reset wird dann mit Betätigung der „+“-Taste ausgeführt. Sowohl alle Einstellungen als auch durchgeführte Kalibrierungen sind anschließend in den Werkzustand zurückgesetzt.

### **Attn./Amp.**

Hauptfunktion: Aktivieren und Deaktivieren der Pegelkorrektur

Diese Funktion korrigiert den Messwert um den Wert einer eingestellten Dämpfung bzw. Verstärkung und um den Wert einer ggf. definierten Frequenzgangkorrektur.

Ist dem Messkopf ein Verstärker oder ein Dämpfungsglied vorgeschaltet, lässt sich dies in der Messwertanzeige berücksichtigen. Ist dem Messkopf beispielsweise ein 20-dB-Dämpfungsglied vorgeschaltet, so ist der vor dem Messkopf anliegende und zu ermittelnde Pegel um diese 20 dB höher als der tatsächlich gemessene Pegel. Bei eingestellter Pegelkorrektur wird der Anzeigewert so automatisch auf den zu ermittelnden Pegel korrigiert.

Parallel dazu wird auch die Frequenzgangkorrektur mit aktiviert. Ist die Frequenz des zu messenden Signales bekannt, lässt sich damit die Messgenauigkeit erhöhen.

Erfolgt eine Korrektur der Messwerte aufgrund des eingestellten Verstärkungs- bzw. Dämpfungswertes oder aufgrund der Frequenzgangkorrektur, so leuchtet im Display der Dezimalpunkt ganz rechts. Zu beachten ist noch, dass diese Korrekturfunktion nur in Verbindung mit der Messwertanzeige in dBm wirksam ist.

### **Zweite Bedienebene: Eingabe einer Dämpfung bzw. Verstärkung**

Vorgeschaltete Dämpfungsglieder oder Verstärker lassen sich hier definieren, um so eine entsprechend korrigierte Messwertanzeige zu erhalten. Es lassen sich Werte im Bereich von -50 dB bis +50 dB einstellen, wobei negative Werte für ein Dämpfungsglied und positive für einen vorgeschalteten Verstärker gelten. Soll keine Korrektur erfolgen, ist hier 0 dB einzustellen.

### **Dritte Bedienebene: Eingabe der Frequenz für die Frequenzgangkorrektur**

Die Eingabe der Frequenz, bei der gemessen wird, ermöglicht die Korrektur des Frequenzgangs des Messkopfes. Diese Korrektur verbessert die Messgenauigkeit bei Frequenzen im Bereich von 100 MHz bis 1000 MHz. Geräteintern sind hier Korrekturwerte abgelegt, um die der gemessene Leistungspegel korrigiert wird. Die Eingabe erfolgt in 10-MHz-Schritten. Soll keine Korrektur erfolgen, ist hier 100 MHz einzustellen.

### **Zero/Ref.**

Hauptfunktion: Nullpunktabgleich oder Setzen des Referenzwertes

Die einzelnen Messköpfe unterscheiden sich hauptsächlich durch unterschiedliche Nullpunkt-Spannungen, d. h. durch die Ausgangsspannung ohne Eingangsleistung. Um verschiedene Sensoren an das Basis-

gerät anzupassen, ist bei jedem Sensorwechsel ein neuer Nullpunktabgleich durchzuführen. Um die Messgenauigkeit vor allem im Messbereich unterhalb -15 dBm zu verbessern, ist es ratsam, diesen Abgleich auch nach jedem Einschalten durchzuführen. Zum korrekten Nullpunktabgleich schließt man den HF-Eingang des Sensors mit einem 50-Ω-Abschlusswiderstand ab und betätigt die „Zero/Ref.“-Taste. Da in der Praxis oftmals kein passender Abschlusswiderstand verfügbar ist, kann auch bei offenem HF-Eingang am Sensor abgeglichen werden, der Unterschied wirkt sich nur unwesentlich aus.

Liegt beim Abgleich ein Signalpegel von  $\geq -10$  dBm am HF-Eingang an, so erfolgt kein Nullpunktabgleich, sondern es wird der aktuelle Messwert als Referenzpegel für die in „Unit“ beschriebene relative Leistungsmessung gesetzt. Prinzipiell entspricht dies der manuellen Eingabe des Referenzpegels lt. der Beschreibung in „Unit“.

### **Zweite Bedienebene: Kalibrierung des Gerätes**

Um die Messgenauigkeit im Bereich von -10 dBm bis +14 dBm zu verbessern, kann eine Kalibrierung vorgenommen werden. Dazu ist am HF-Eingang des Sensors ein definierter Pegel von genau 0 dBm bei einer Signalfrequenz im Bereich von 1 MHz bis 100 MHz anzulegen. Nach dem Aufrufen der Funktion zeigt das Gerät mit „CAL“ im Display an, dass es für eine Kalibrierung bereit ist. Durch Betätigen der Taste „+“ wird die Kalibrierung ausgeführt.

### **Data Log.**

Hauptfunktion: Starten der Messwert-Speicherung (Datenloggerfunktion)

Sofort nach Betätigung der „Data Log.“-Taste beginnt das Gerät mit der Aufzeichnung der gemessenen Werte, wobei alle im Speicher befindlichen Werte automatisch überschrieben werden. Die Aufzeichnung erfolgt dabei in der Einheit, die zuvor mit „Unit“ ausgewählt wurde. Der Messabstand ist vor Beginn der Messung in der zweiten Bedienebene einzustellen. Bei insgesamt 21.000 speicherbaren Messwerten ergibt sich bei einem minimalen Messintervall von 1 Sekunde eine Aufzeichnungsdauer von 5 Stunden und 50 Minuten, ist das maximale Intervall von 10 Minuten gewählt, so können theoretisch 145 Tage aufgezeichnet werden. Bei aktiviertem Datenlogger schaltet das Gerät zwischen den einzelnen Messungen in einen Stromsparmode um, so dass eine 145-Tage-Messung mit einer Batterieladung möglich ist. Im Stromsparmode zeigt das Gerät jeweils den letzten erfassten Messwert an.

Mit der Taste „On/Off“ lässt sich die Aufzeichnung stoppen. Die mitgelieferte PC-Software liest dann die Daten via USB-

Schnittstelle aus und stellt sie für die weitere Verarbeitung zur Verfügung. Zum Auslesen der Daten ist keine Bedienung am Gerät erforderlich, diese Steuerung erfolgt über die PC-Software.

### **Zweite Bedienebene: Einstellen der Abtastzeit bzw. des Messintervalls**

Hier lässt sich das Messintervall für den Datenloggermode in 1-Sekunden-Schritten im Bereich von 1 Sekunde bis 600 Sekunden (= 10 Minuten) eingeben.

### **RFP-500-Software**

Die mitgelieferte Software dient nur zum Auslesen der mittels Datenlogger aufgezeichneten Messwerte. Neben den eigentlichen Messwerten werden auch alle eingestellten Parameter vom RFP 500 zum PC übertragen. Die Speicherung der Daten geschieht dabei in einem Datenformat, das von allen gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen (z. B. Microsoft Excel) gelesen und weiterverarbeitet werden kann. Damit sind die Erläuterungen zur Bedienung abgeschlossen, und es folgt die Schaltungsbeschreibung.

### **Schaltung**

Die Schaltung des HF-Leistungsmessers ist funktionell getrennt in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Die Schaltung des eigentlichen Leistungsdetektors zeigt Abbildung 5, in Abbildung 6 ist das Basisgerät mit den Schaltungsteilen zur Signalaufbereitung, -auswertung und -verarbeitung zu sehen.

### **Sensor**

Kernstück des Sensorteils des RFP 500 ist der HF-Leistungsdetektor IC 1 vom Typ LTC 5507i. Dieser integrierte Leistungsdetektor ist prinzipiell für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 1000 MHz ausgelegt und arbeitet über einen Leistungsbereich von -34 dBm bis +14 dBm. Dabei handelt es sich um einen (Schottky-) Diodendetektor, der allerdings bereits die Stufen zur Temperaturkompensation und einen Ausgangspuffer beinhaltet.

Das an Pin 6 zugeführte HF-Signal wird intern über den Diodendetektor gleichgerichtet. Die untere Grenzfrequenz ist dabei von der Dimensionierung der Entkoppelkapazitäten C 2 und C 3 abhängig. Bei ca. 47 nF ergibt sich eine untere Grenzfrequenz von  $\leq 1$  MHz bei angegebener Genauigkeit. Auch die Entkoppelkapazitäten C 6 und C 7 beeinflussen den Frequenzgang und sind entsprechend gewählt. Die Parallelschaltung der beiden Werte bringt Vorteile zu hohen Frequenzen hin. Hier wirkt der 47-nF-Kondensator nicht mehr als ideale Kapazität und würde so die Anpassung stark verschlechtern. Dem wirkt



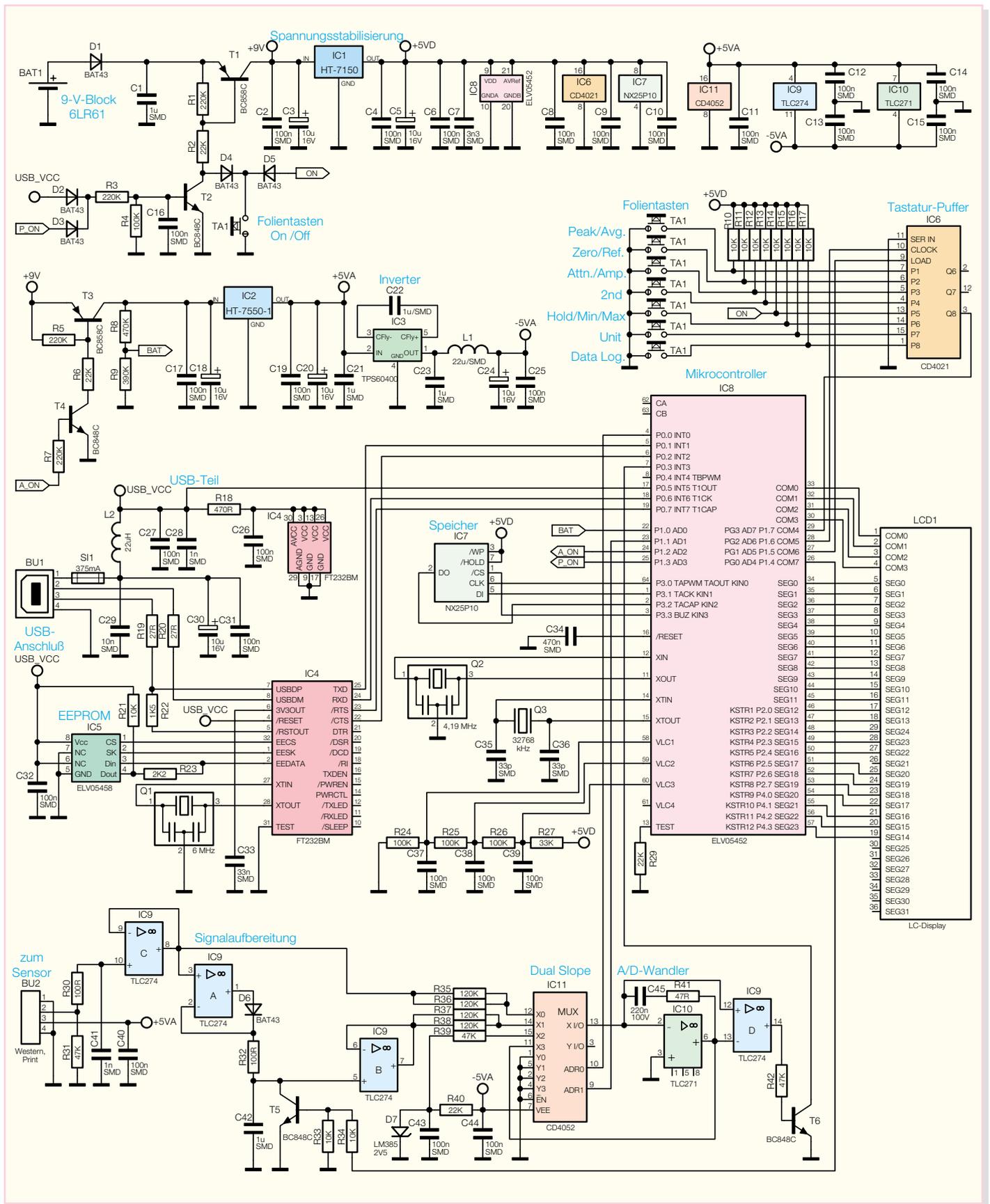


Bild 6: Schaltbild des Basisgerätes

Slope-Wandler für seinen Betrieb auch eine negative Betriebsspannung benötigt, wird aus diesen +5 V mit Hilfe eines Inverters eine negative Betriebsspannung erzeugt. Kernelement des Inverters ist der integrier-

te Inverterbaustein IC 3. Dieser arbeitet nach dem Prinzip der Ladungspumpe und benötigt für seinen Betrieb nur einen Flyback-Kondensator C 22 und ein- und ausgangsseitige Pufferung.

Damit ist die Schaltungsbeschreibung abgeschlossen, und im nächsten Teil des Artikels folgt dann die Beschreibung zum Nachbau und zur Inbetriebnahme des HF-Leistungsmessers RFP 500. **ELV**