

# Feldstärkemessung unter 30 MHz

## Bikonusantennen ermöglichen präzise Messung bei reduziertem Kalibrieraufwand

**I**m Frequenzbereich unterhalb von 30 MHz wurde bislang hauptsächlich die magnetische Feldstärke mit Hilfe von Rahmenantennen gemessen und als ‚fiktive elektrische Feldstärke‘ ausgedrückt, wobei als ‚Proportionalitätsfaktor‘ der Feldwellenwiderstand des freien Raums von 377 Ohm angenommen wird. Vom streng physikalischen Standpunkt aus betrachtet ist diese Umrechnungsweise nicht ganz korrekt, da im Regelfall aufgrund der tiefen Frequenzen und der daraus resultierenden Wellenlängen keine echten Fernfeldbedingungen (zumindest bei EMV-Messungen) vorliegen. Dadurch ergeben sich zum Teil recht beträchtliche Abweichungen zwischen ‚fiktiver E-Feldstärke‘ und tatsächlich gemessener E-Feldstärke.

Neben den schon seit vielen Jahrzehnten genutzten Funkdiensten im Lang-, Mittel und Kurzwellenbereich sind neue Technologien (insbesondere Datenkommunikation auf Netzleitungen, PLC) auf dem Vormarsch. Um einen gleichzeitigen und störungsfreien Betrieb beider Dienste zu gewährleisten, müssen die sogenannten Schutzziele sorgfältig festgelegt werden und natürlich auch im praktischen Betrieb eingehalten werden. Da hierbei relativ wenige Freiheitsgrade vorhanden sind, ist der Einsatz einer präzisen Feldstärkemess-technik, die sowohl E-Felder als auch H-Felder korrekt erfasst, unumgänglich.

### Feldstärkemesstechnik

Die Messung der elektrischen Feldstärke wurde bislang meist mit Hilfe von aktiven Monopolantennen (Stabantennen) durchgeführt. Nachteile dieser Stabantennen sind insbesondere die unhandlichen Abmessungen, der prinzipbedingt unsymmetrische Betrieb (nur

Vertikalpolarisation möglich) und die teilweise relativ ungenauen Kalibrierverfahren. Erschwerend kommt eine deutliche Höhenabhängigkeit des Antennenfaktors hinzu, die bei Stabantennen wesentlich ausgeprägter ist als bei dipolartigen Antennen. Diese starke Höhenabhängigkeit des Wandlungsmaßes wird im Wesentlichen durch die Summe aus Stablänge und der Länge des vertikalen Anschlusskabels bestimmt.

### Kalibrierung der Stabantenne

#### Methode 1: Stabnachbildung

Die Kalibrierung der Stabantenne kann auf verschiedene Weisen durchgeführt werden: Eine Möglichkeit ist die Verwendung eines Netzwerks aus Kondensatoren und Widerständen, das möglichst genau die Kapazitätsverhältnisse des Stabes und seiner Befestigung nachbilden soll. Anstelle des Stabes wird diese Stabnachbildung eingesetzt und eine Dämpfungsmessung durchgeführt. Der Hauptvorteil dieser Methode ist die wetterunabhängige Anwendbarkeit in beliebigen Laborräumen, allerdings muss bei der Ermittlung der Kapazitätswerte sehr sorgfältig vorgegangen werden, da diese sehr gering sind. Typische Werte für die Stabkapazität liegen je nach Stabdicke bei 10 bis 16 pF, die Ableitkapazität der Durchführung am Fußpunkt des Stabes liegt je nach Fabrikat zwischen ca. 2 pF und 12 pF. In der aktuellen Normungssituation werden diese Verhältnisse nur bedingt berücksichtigt, was auch die relativ große Messunsicherheit, insbesondere oberhalb von ca. 20 MHz erklärt.

#### Methode 2: TEM-Zelle oder Streifenleitung

Eine weitere Kalibriermöglichkeit der Stabantenne besteht in der Verwendung einer TEM-Zelle oder Streifenleitung, allerdings kann dieses Verfahren nur bis ca. 3 MHz eingesetzt werden. Nahezu alle Stabantennen für EMV-Anwendungen haben eine Stablänge von 1 m, was eine minimale Septumhöhe des Streifenleiters von ca. 3 m erfordert und somit den nutzbaren Frequenzbereich stark einschränkt. Die Gesamtabmessungen eines geeigneten Streifenleiters liegen bei ca. 3x3x10 m, was den Einsatz nur unter speziellen Bedingungen rechtfertigt.

#### Methode 3: Magnetische Feldstärke

Stabantennen können auch über eine Messung der magnetischen Feldstärke (es müssen Fernfeldbedingungen vorliegen) mittels exakt kalibrierter Rahmenantennen und anschließende Umrechnung auf elektrische Feldstärke unter Verwendung des ‚Feldwellenwiderstands des freien Raums‘ von 377 Ohm kalibriert werden. Der ermittelte Wert der fiktiven elektrischen Feldstärke wird mit dem Messergebnis der Stabantenne verglichen und daraus der Antennenfaktor der Stabantenne bestimmt. Obwohl die letztgenannte Methode aus physikalischer Sicht sicherlich die ‚sauberste‘ Lösung ist, treten bei der praktischen Durchführung diverse Probleme auf. Aufgrund der enorm großen Wellenlängen (z. B. 3 km bei 100 kHz) muss zum Erreichen von Fernfeldbedingungen ein ausreichender Mindestabstand zur Feldquelle eingehalten wer-



**Abb. 1:**  
Aktive und passive  
Rahmenantennen zur  
Messung der magneti-  
schen Feldstärke

#### ► Autor

Dipl.-Ing. DIETER SCHWARZBECK ist Leiter der Antennenentwicklung der Schwarzbeck Mess-Elektronik; An der Klinge 29-31, D-69250 Schönau  
Fon: 06228/1001, Fax: 06228/1003  
e-Mail: schwarzbeck@t-online.de

den. Im Lang- und Mittelwellenbereich kann hierzu auf nicht zu weit entfernte Rundfunksender zurückgegriffen werden, wobei jedoch zusätzliche Vorkehrungen bezüglich Modulation und Trägersteuerung getroffen werden müssen. Außerdem muss ein sehr großes, hindernisfreies Freigelände (ohne störende Hochspannungsleitungen, Gebäude o. ä.) zur Verfügung stehen. Alle zuvor beschriebenen Verfahren haben relativ schwerwiegende Nachteile, sowohl in der praktischen Durchführung als auch in der Rückführbarkeit auf Normale bzw. physikalische Basisgrößen.

## Verwendung einer Bikonusantenne

Eine günstigere Alternative bieten Bikonusantennen: Inzwischen stehen sowohl aktive als auch passive Bikonusantennen (Abb. 2) zur Verfügung, die aufgrund ihrer kompakten Abmessungen mit einer sehr guten Genauigkeit kalibriert werden können.

Für die Messung kleiner Feldstärkepegel (d.h.  $< 1 \text{ V/m}$ ) eignen sich die aktiven Bikonusantennen hervorragend, die ein nahezu konstantes Wandlungsmaß und geringes Eigenrauschen im gesamten Frequenzbereich haben. Diese aktiven Antennen überstreichen einen enorm großen Frequenzbereich (z.B. ‚EFS 9219‘: 9 kHz bis 30 MHz, ‚EFS 9218‘: 9 kHz bis 300 MHz) und bieten aufgrund des nahezu konstanten Wandlungsmaßes schon bei unkorrigierten Messungen ein realistisches Bild der vorliegenden Feldstärken des gesamten Spektrums. Die kleinen Abmessungen der Aktiv-Bikonusantennen erlauben eine Kalibrierung in Streifenleitungen, ein enormer Vorteil hinsichtlich Genauigkeit, praktischer Durchführbarkeit und Darstellbarkeit der Feldstärken. Die Rückführbarkeit der erzeugten E-Felder auf nationale oder internationale Normale erfolgt über die Basisgrößen HF-Wechselspannung und Länge. Die typischen Feldstärkemessbereiche liegen je nach Ausführung zwischen  $12 \mu\text{V/m}$  und  $60 \text{ V/m}$  (‚EFS 9218‘, Antennenfaktor 45 dB/m) und  $3 \mu\text{V/m}$  bis  $3 \text{ V/m}$  (EFS 9219, Antennenfaktor 20 dB/m), wobei sich alle Werte auf die unter 30 MHz üblichen ZF-Bandbreite von 9 kHz

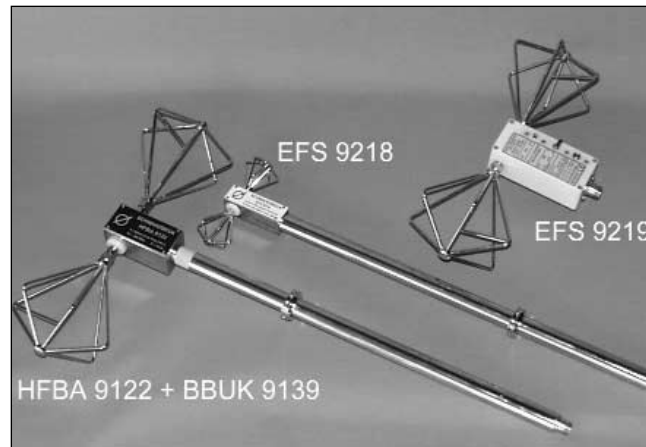


Abb. 2:  
Aktive und passive  
Bikonusantennen zur  
Messung der elek-  
trischen Feldstärke

beziehen. Die EFS 9218 kann durch die Verwendung von extrem rauscharmen Feldefekt-Transistoren auch mit einem 20 dB-Verstärker sinnvoll ergänzt werden, damit ergibt sich ein konstantes Gesamt-Wandlungsmaß von 25 dB/m.

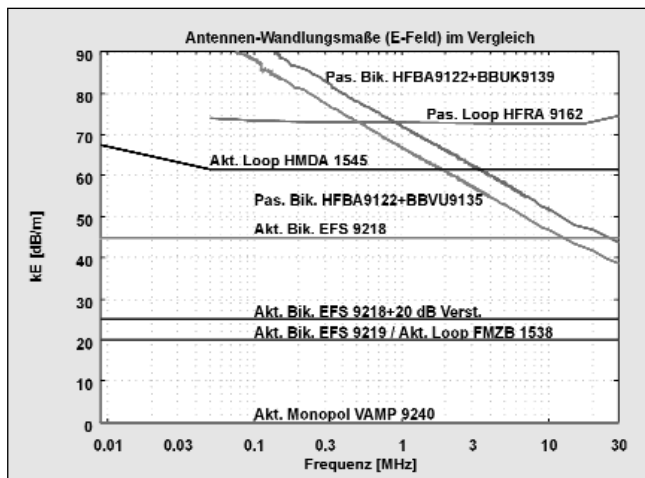
## Symmetrie

Neben einer exakten Kalibrierung ist bei praktischen Messaufgaben die Symmetrie der Antenne von großer Bedeutung. Bei Drehung der Polarisation um 180 Grad muss bei perfekter Symmetrie das Messergebnis unverändert bleiben. Bei allen praktischen Realisierungen von Antennen kann nur eine endliche Symmetrie erreicht werden, typische Werte qualitativ hochwertiger Antennen liegen bei  $< 1 \text{ dB}$  Symmetriefehler beim Umpolarisieren (sog. Inversionssymmetrie). Besonders im Frequenzbereich unter 30 MHz stellt die Einhaltung dieses Symmetriekriteriums höchste Anforderungen an die technische Realisierung. In Abbildung 3 sind die Wandlungsmaße (sog. Antennenfaktoren) für das E-Feld (bzw. fiktives E-Feld bei magnetischen Antennen) als Übersicht dargestellt.

Das Antennen-Wandlungsmaß wird bei Messungen genau wie Dämpfungen aufgefasst, d.h. hohe Antennenfaktoren machen das Gesamtmesssystem unempfindlich, niedrige Wandlungsmaße haben eine hohe Empfindlichkeit zur Folge. Addiert man das Wandlungsmaß zur Grundrauschanzeige des Mess-

geräts (üblicherweise Messempfänger oder Spektrumanalysator), so erhält man das auf Feldstärke bezogene Grundrauschen des Messsystems. Kabeldämpfungen sind im Frequenzbereich bis 30 MHz im Regelfall so gering, dass diese nur bei äußerst hohem Genauigkeitsanspruch berücksichtigt werden müssen. Die Untergrenze des Feldstärkemessbereichs ist die Summe aus Gerätegrundrauschen, Antennenfaktor, Kabeldämpfung und Rauschabstand.

Für hohe und höchste Feldstärken, z.B. in der Umgebung von Sendeanlagen, werden vorzugsweise passive Bikonusantennen eingesetzt. Eine Übersteuerungs- oder Intermodulationsgefahr besteht bei diesen elektrisch kurzen Antennen nicht, da sie vollkommen ohne Halbleiter auskommen. Im Lang- und Mittelwellenbereich lassen sich damit (in Verbindung mit qualifizierten Messempfängern) Feldstärken von  $10 \text{ mV/m}$  bis über  $1000 \text{ V/m}$  messen. Der Antennenfaktor dieser passiven Bikonusantennen fällt mit etwa 20 dB pro Frequenzdekade ab (Betrieb weit unterhalb der Element-Resonanzfrequenz). In Verbindung mit einem hochselektiven Messempfänger mit guter Großsignalfestigkeit lassen sich mit passiven Bikonusantennen auch in unmittelbarer Umgebung von Sendeanlagen, die auf mehreren Frequenzen arbeiten, Messungen ohne störende Intermodulationsprodukte durchführen. Durch die sorgfältige Balun-Dimensionierung wurden auch bei der Antenne ‚HFBA 9122‘ hervorragende Symmetriewerte erreicht, die im Bereich von 100 kHz bis über



**Abb. 3:**  
Antennen-Wandlungsmaße im Vergleich

**Fazit**

Zur präzisen Messung von E-Feldstärken im Frequenzbereich unter 30 MHz eignen sich aktive Bikonusannten wesentlich besser als die derzeit noch häufig verwendeten Stabantennen. Durch die symmetrische Betriebsart der aktiven Bikonusannten können Probleme, die durch die Montagehöhe von Monopolantennen entstehen, vollständig eliminiert werden. Aufgrund der deutlich kleineren Abmessungen der aktiven Bikonusannten sind genauere Kalibrierungen über einen größeren Frequenzbereich möglich. **TEST**

**Literatur**

- [1] Meinke, Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik Band 2 Komponenten, Springer Verlag
- [2] Stirner, E.: Antennen Band 1 und 2, Hüthig Verlag

www.publish-industry.net  
more @ click TK3B0303

**B.03**

300 MHz deutlich besser als 1 dB sind! Durch die Auswahl unterschiedlicher Bikonus-Elementgrößen kann das Antennenwandlungsmaß um ca. 5 dB parallelverschoben werden. Naturgemäß haben elektrisch sehr kleine passive Breitbandantennen ein recht hohes Steh-

wellenverhältnis. Mit Hilfe eines Dämpfungsglieds (z. B. 6 dB) an der Antennenbuchse kann eine breitbandige Zwangsanzpassung erreicht werden, in diesem Fall muss der Dämpfungswert zum Antennenwandlungsmaß addiert werden.

**LESERTIPP**

**? Sie möchten in Zukunft regelmäßig mit aktuellen Produktinformationen und praxisorientierten Fachbeitragswissen zu den Themengebieten COMPONENTS, DESIGN & DEVELOPMENT, SOFTWARE, EMC JOURNAL, SUBSYSTEMS, TEST, MANAGEMENT, DISTRIBUTION und SERVICES versorgt sein?**

**Fordern Sie Ihre Leseprobe für DESIGN & VERIFICATION, das Magazin für Elektronik-Entwicklung von der Idee zum Produkt an. Das Magazin liefert Ihnen regelmäßig alle relevanten Informationen rund um aktuelle Produkt- und Marktentwicklungen.**

**Sichern Sie sich Ihre kostenfreie Leseprobe im Internet unter [www.publish-industry.net](http://www.publish-industry.net)!**



Gollierstraße 23 · D-80339 München · Fon. +49/89/500383-0 · Fax. +49/89/500383-10 · info@publish-industry.net · www.publish-industry.net