



## Nahfeldsonden

- ◆ H-Feld (*Magnetic-Field*)
- ◆ H-Feld (*Magnetic-Field*)
- ◆ E-Feld (*Electric-Field*)
- ◆ Weiche (*Separator*)

Diese aktiven Sonden eignen sich durch ihre kleinen Abmessungen, ihre hohe Empfindlichkeit und ihre hohe Aussteuerbarkeit zur Messung von elektrischen und magnetischen Feldern in Geräten und auf Platinen.

Im Gegensatz zu passiven Sonden mit und ohne Nachverstärker ergeben ihre in weiten Frequenzbereichen konstanten Wandlungsfaktoren ein getreues Abbild der Feldstärken auf Störmeßempfängern oder Spektrum-Analysatoren.

Die zusätzlich erhältlichen Normalisierungssonden HSS 7121 (0-1 GHz, H-Feld) und ESS 7122 (0-1 GHz, E-Feld) erlauben zusammen mit Meßsendern oder Mitlaufgeneratoren die Normalisierung des Restfrequenzganges und die Überprüfung des Wandlungsfaktors durch Substitution.

Die Sonden werden über das Koaxialkabel mit Spannung versorgt. Zur Trennung von Hochfrequenz und Versorgungsspannung dient die Weiche EW 7110, die direkt auf die N-Buchse des Empfängers aufgeschraubt werden kann. Die Stromversorgung kann dem Empfänger oder dem optionalen Steckernetzteil entnommen werden.

## Near Field Probes

- |              |           |
|--------------|-----------|
| 9 kHz-30 MHz | HFSL 7101 |
| 4 MHz-1 GHz  | HFSH 7102 |
| 9 kHz-1 GHz  | EFS 7103  |
| 9 kHz-1 GHz  | EW 7110   |

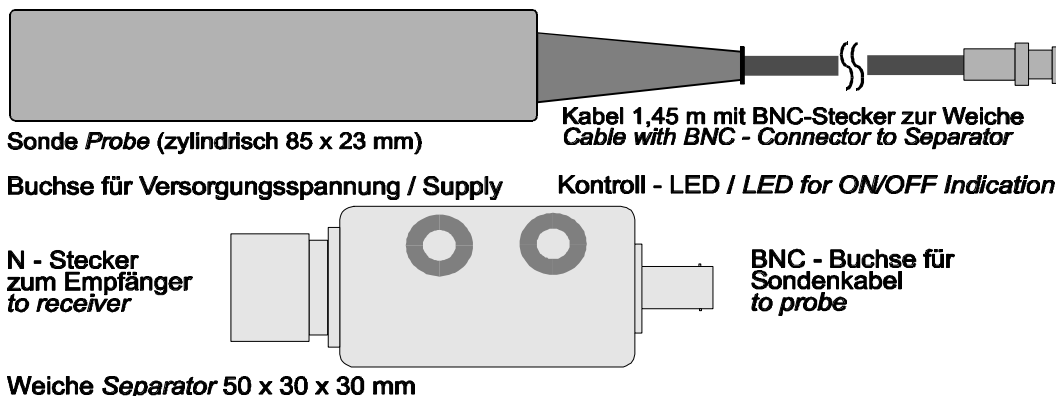
*Their small size, high sensitivity and good large signal handling makes these active probes a good choice for measurement of magnetic and electric fields in electric and electronic equipment and on pc-boards.*

*Unlike passive probes with or without separate amplifiers, their conversion factors are constant over many frequency decades and give a perfect image of the field strength using interference measuring receivers or spectrum analysers.*

*Using the optional normalising probes HSS 7121 (H-Field) and ESS 7122 (E-Field) together with signal generators or tracking generators, the small influence of the frequency on the conversion factor may be eliminated by substitution.*

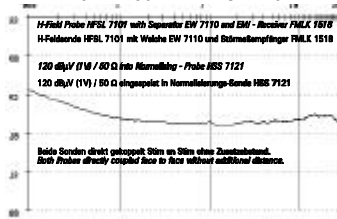
*Supply current comes via the coaxial cable. The separator EW 7110 is used to separate RF and supply voltage. The EW 7110 may be mounted directly on the N - connector of the receiver.*

*The supply voltage is delivered by the receiver or the optional power supply.*



## ◆ Kurzdaten, *Condensed Data* †

### H-Feld-Sonde *H-Field-Probe* 9 kHz-30 MHz HFSL 7101



Prinzip, *Principle of operation:*

Sondenspule mit extrem niederohmigem Verstärker für möglichst frequenzunabhängigen Wandlungsfaktor. *Probe-Coil with Low-Impedance - Amplifier for frequency independent conversion factor.*

Frequenzbereich, *Frequency Range:*

Spezifiziert, *specified:* 9 kHz-30 MHz

Übersichtsber., *Overview:* 1 kHz-100 MHz

Ausgangsimp., *Output Imp.:* 50  $\Omega$  nom.

Wandlung, *Conversion:*

G [dB $\mu$ A/m] = U [dB $\mu$ V] + 10 dB

Kleinste nachweisbare magn. Feldstärke unter Störmeßbedingungen, *smallest signal to measure under practical EMI-conditions*  
F=1 MHz, Quasipeak,  $\Delta F=9$  kHz:

<26 dB $\mu$ A/m (20  $\mu$ A/m)

Kleinere Bandbreiten und Mittelwertdetektor ergeben entsprechend bessere Werte, *smaller bandwidth and average detector lead to better results.*

Maximale Meßfeldst., ein Signal, F=1 MHz:

*Maximum Field Strength, one signal only:*  
>124 dB $\mu$ A/m (1.44 A/m)

Stromverbrauch incl. Weiche, *supply current including separator:* 45 mA

Gehäuse, *Dim.:* 85x23 mm Rohr, *Tube*

Gew. mit Kabel, *Weight incl. cable:* 110 gr.

#### Weiche für Sonden, *Separator for Probes* EW 7110

Eingang Versorgungsspannung, *Input Supply Voltage:* 10 V-15 V DC

Ausgang Versorgungsspannung, *Output Supply Voltage:* 7 V DC

Frequenzb., *Frequ. Range:* 9 kHz-1 GHz nom.

Impedanz Eingang, Ausgang, *Impedance Input, Output:* 50  $\Omega$  nom.

Sondenb., *Probe Connector:* BNC

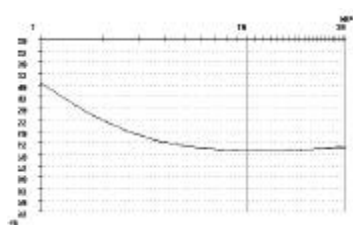
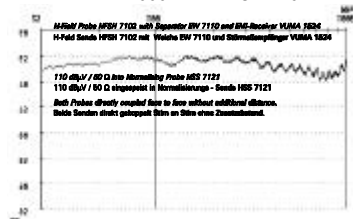
Zum Empfänger, *to receiver:* N

EIN/AUS-Anz. über LED,  
*ON/OFF Ind. by LED*

Gehäuse, *Dimensiones:* 50 x 30 x 30 mm

Kompletter Satz mit allen 3 Sonden, Weiche und Stromversorgung im Koffer, *complete set of all 3 probes incl. separator and power supply in a case:* **FS-SET 7100**

### H-Feld-Sonde *H-Field-Probe* 4 MHz-1000 MHz HFSS 7102



Prinzip, *Principle of operation:*

Abgeschirmte Sondenspule mit extrem niederohmigem Verstärker mit GaAs-MMICs für möglichst frequenzunabhängigen Wandlungsfaktor. *Shielded Probe-Coil with Low-Impedance-Amplifier using GaAs-MMICs for nearly frequency independent conversion factor.*

Frequenzbereich, *Frequency Range:*

Spezifiziert, *specified:* 4 MHz-1000 MHz

Übersichtsber., *Overview:* 1 MHz-1,5 GHz

Ausgangsimpedanz, *Output Imp.:* 50  $\Omega$  nom.

Wandlung, *Conversion:*

G [dB $\mu$ A/m] = U [dB $\mu$ V] - 5 dB (30 MHz)

Kleinste nachweisbare magn. Feldstärke unter Störmeßbedingungen. *Smallest signal to measure under practical EMI-conditions:*  
F=30 MHz, Quasipeak,  $\Delta F=120$  kHz:

<20 dB $\mu$ A/m (10  $\mu$ A/m)

Kleinere Bandbreiten und Mittelwertdetektor ergeben entsprechend bessere Werte. *Smaller bandwidth and average detector lead to better results.*

Maximale Meßfeldstärke, ein Signal, *Maximum Field Strength, one signal only*  
F=30 MHz:

>110 dB $\mu$ A/m (0.32 A/m)

Stromverbrauch incl. Weiche, *supply current including separator:* 85 mA

Gehäuse, *Dimensions:* 85 x 23 mm Rohr, *Tube*

Gew. mit Kabel, *Weight incl. cable:* 110 gr.

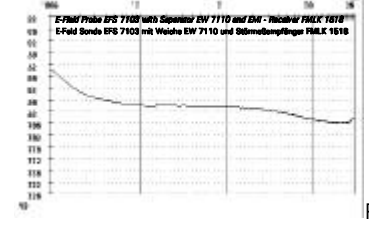
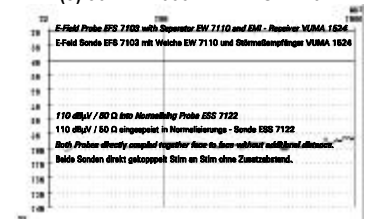
#### Normalisierung-Sonden, *Normalising-Probes*

Option zur Überprüfung des Wandlungsfaktors und zur eventuellen Normalisierung des Frequenzganges. *Option to check the conversion factor and to eventually normalise it.*

E-Feld-Normalisierungssonde ESS 7122

H-Feld-Normalisierungssonde HSS 7121

### E-Feld-Sonde *E-Field-Probe* (9) 30 kHz-1000 MHz HFSS 7102



Prinzip, *Principle of operation:*

Sondenkapazität mit extrem hochohmigem Verstärker mit GaAs-MMICs zur Reduzierung der Frequenzabhängigkeit des Wandlungsfaktors. *Probe-Capacity with High-Impedance-Amplifier using GaAs-MMICs to reduce the influence of the frequency on the conversion factor.*

Frequenzbereich, *Frequency Range:*

Spezifiziert, *specified:* 30 kHz-1000 MHz

Übersicht, *Overview:* 9 kHz-1,5 GHz

Ausgangsimp., *Output Imp.:* 50  $\Omega$  nom.

Wandlung, *Conversion:*

F [dB $\mu$ V/m] = U [dB $\mu$ V] + 5 dB (1 MHz)

Kleinste nachweisbare el. Feldstärke unter Störmeßbedingungen. *Smallest Signal to measure under practical EMI-conditions:*  
F=1 MHz, Quasipeak,  $\Delta F=9$  kHz:

<20 dB $\mu$ V/m (10  $\mu$ V/m)

Kleinere Bandbreiten und Mittelwertdetektor ergeben entsprechend bessere Werte. *Smaller bandwidth and average detector lead to better results.*

Maximale Meßfeldstärke, ein Signal, *Maximum Field Strength, one signal only*  
F=1 MHz:

>120 dB $\mu$ V/m (1 V/m)

Stromverbrauch incl. Weiche, *supply current including separator:* 85 mA

Gehäuse, *Dim.:* 85 x 23 mm Rohr, *Tube*

Gew. mit Kabel, *Weight incl. cable:* 110 gr.

Sondenmessungen sind nicht genau spezifiziert. Die Angaben sind daher nur typisch. Genauere Angaben sind bei vereinbartem Prüfaufbau möglich.

#### Stromversorgungskabel *Power Supply Cable*

Optional, entsprechend den Möglichkeiten des Empfängers oder Analysers.

*Optional, according to receiver or analyser.*

#### Steckernetzteil, *Power supply*

Option, wenn keine andere Versorgung möglich ist.

*Option, if no other source available.*

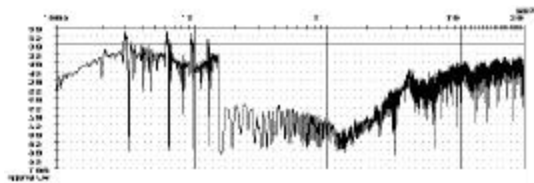
◆ **Messung von elektrischen und magnetischen Feldern mit Nahfeldsonden**

Anders als beim Rundfunk, wo durch die großen Abstände zwischen Sende- und Empfangsantenne immer Fernfeldbedingungen herrschen und damit elektromagnetische Felder bestehen, müssen bei den kurzen Meßentfernungen der Nahfeldsonden elektrische und magnetische Felder getrennt betrachtet werden.

Magnetische und elektrische Sonden zeigen daher hohe Empfindlichkeit für ihre jeweilige Feldart und hohe Unterdrückung für die andere.

Während in einem Meßaufbau sehr reine nur-elektrische oder nur-magnetische Felder erzeugt werden können, werden in der Praxis in komplexen Geräten mit vielen Bauteilen und Baugruppen Gemische auftreten. So stellt zwar der große Halbleiterchip eines Mikroprozessors mit seiner Fläche eine Kapazität dar und die dort gegen die Umgebung bestehenden Spannungen verursachen ein elektrisches Feld, aber auf den Betriebsspannungsanschlüssen fließen Ströme (bis zum nächsten Abblockkondensator nach Masse), deren Verlauf Ähnlichkeit mit dem der Spannungen hat. Werden die den Feldstärken proportionalen Ausgangsspannungen der Sonden nun zum Beispiel einem Störmeßempfänger (oder Spektrumanalysator) zugeführt und aufgezeichnet, so zeigen sich oft Ähnlichkeiten. Je komplexer die Geräte sind, desto weniger können jedoch Vorhersagen dazu gemacht werden. Sicherheit gibt nur die Messung beider Feldarten. Die folgenden Beispiele wurden in einem PC gemacht und geben erste Anhaltspunkte.

Alle Messungen wurden mit den Schwarzbeck Störmeßempfängern FCKL 1528 für den Bereich 9 kHz-30 MHz und FCVU 1534 für den Bereich 30 MHz-1000 MHz gemacht. Da bei den Frequenzen 150 kHz und 30 MHz normgemäß ZF-Bandbreiten und Detektorzeitkonstanten umgeschaltet werden, treten dort Pegelunterschiede auf.



Messung der magnetischen Feldstärke am Boden eines Standard - Graphikprozessors auf einer Graphikkarte in einem PC.  
*Measurement of the magnetic field strength on the bottom of a standard graphic processor as part of a vga-adapter in a PC.*  
 H-Feld - Sonde im Bereich, *Near field probe in the frequency range* 9 kHz-30 MHz: HFSL 7101  
 H-Feld - Sonde im Bereich, *Near field probe in the frequency range* 30 MHz-1000 MHz: HFSH 7102

Im unteren Frequenzbereich zeigen sich hauptsächlich die VGA-Frequenz bei 31 kHz und deren Oberwellen. Eine weitere Spektrallinie erscheint bei 3 MHz. Die Oberwellen dieser beiden Frequenzen sind bis zum Meßende bei 1000 MHz feststellbar, obwohl ihre Amplitude stark abnimmt.

◆ **Measuring electric and magnetic fields with near field probes**

*Looking at the classic am broadcasting with large distances between transmitting and receiving antenna we have only to consider the electromagnetic field. Near field probes however are very close to the "transmitting antenna" and so we have to consider electric and magnetic fields separately.*

*It is for this reason that near field probes are especially developed for high sensitivity concerning the wanted field and high suppression of the unwanted field.*

*In a laboratory environment, extremely "clean" magnetic or electric field can be generated. In the real world of electronic equipment with many components and pc - boards there will be a mixture.*

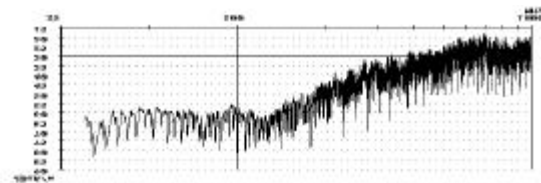
*A microprocessor with its relatively large chip area is a capacitor and the voltages on the chip surely will generate an electric field. On the other hand there are the power supply lines with the current flowing to ground (via the next bypassing capacitor). They surely produce a magnetic field with similarities to the electric field.*

*If we connect the probes to the EMI-receiver or spectrum analyser, these similarities are visible.*

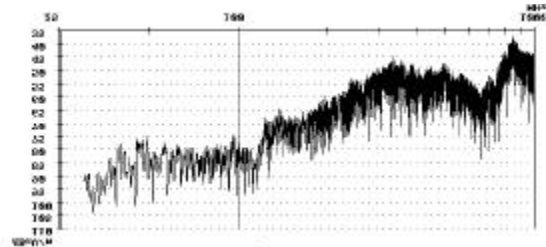
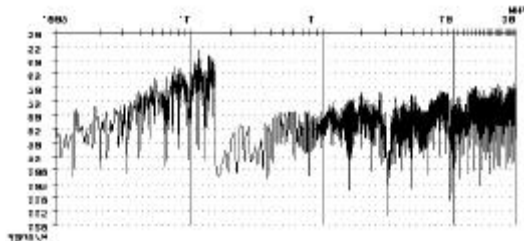
*The more complex the unit under test, the more difficult or impossible it will be to predict similarities. It is always good practice to measure both fields to be sure.*

*The following examples were made inside a standard Personal Computer with Schwarzbeck EMI-receivers FCKL 1528 for 9 kHz-30 MHz and FCVU 1534 for 30 MHz-1000 MHz.*

*According to the standards on the frequencies 150 kHz and 30 MHz both i.f.-bandwidth and detector time constants are changed. This may result in different measuring levels.*



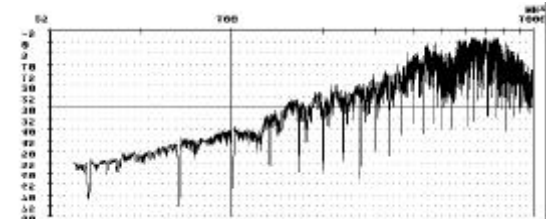
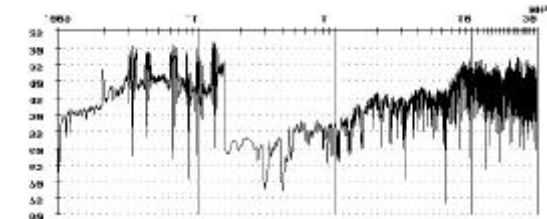
*In the lower frequency range the vga-frequency and harmonics dominate the spectrum. A second line appears near 3 MHz. The harmonics of both frequencies are present until the end of the measurement at 1000 MHz, though the amplitude decreases rapidly*



Messung der elektrischen Feldstärke am Boden eines Standard - Graphikprozessors auf einer Graphikkarte in einem PC.  
*Measurement of the electric field strength on the bottom of a standard graphic processor as part of a vga-adapter in a PC.*  
 E-Feld-Sonde im Bereich, *Near field probe in the frequency range 9 kHz-1000 MHz: EFS 7103*

Die E-Feld-Messung hat Ähnlichkeit zur H-Feldmessung . Die Spektral-linien der VGA-Freq. heben sich jedoch vom Grundpegel weniger gut ab.

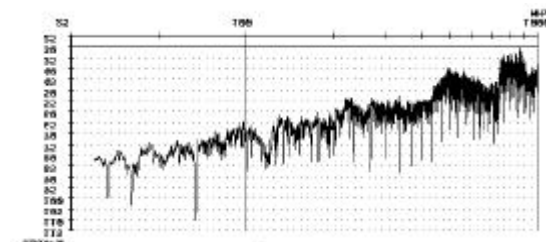
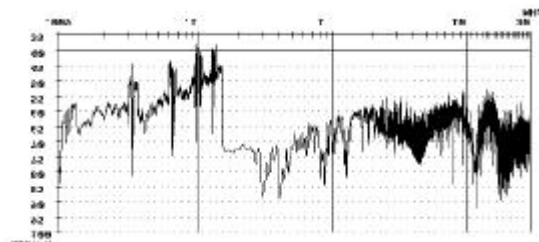
*E-Field and H-Field show a certain similarity, but the measurement of the electric field seems to be more "noisy".*



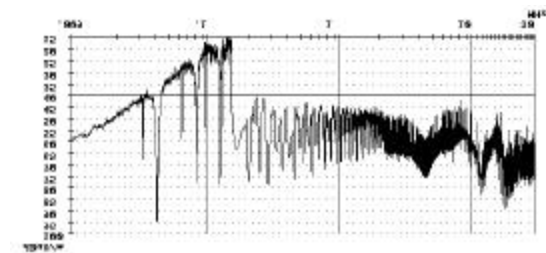
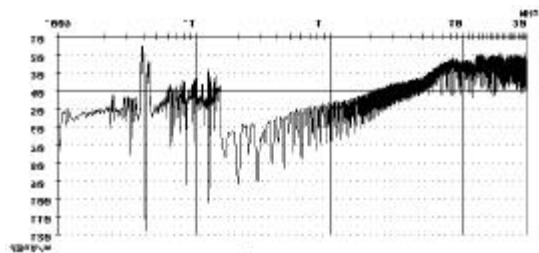
Messung der mag. Feldstärke auf einem 80486 Prozessor mit den H-Feld-Sonden HFSL 7101 ( 9 kHz-30 MHz) und HFSH 7102 ( 30 MHz-1000MHz )  
*Measurement of the mag. field strength on a 80486 processor with H - Field Probes HFSL 7101 ( 9kHz-30 MHz) and HFSH 7102 ( 30 MHz-1000MHz )*

Im unteren Frequenzbereich zeigen sich hauptsächlich die VGA-Frequenz bei 31 kHz und die Schaltfrequenz des Netzteiles bei 40 kHz. Im oberen Bereich bis 1000 MHz dominiert der Prozessortakt bei 33 MHz.

*In the lower frequency range the vga-frequency and the switching frequency dominate the spectrum. The upper range to 1000 MHz is dominated by the 33 MHz processor clock frequency.*



Messung der elektrischen Feldstärke auf einem 80486 Prozessor mit der E-Feld-Sonde EFS 7103 ( 9 kHz 1000 MHz )  
*Measurement of the electric field strength on a 80486 processor with E-Field Probe EFS 7103 ( 9 kHz 1000 MHz )*



HFSL 7101 außerhalb des Gehäuses nahe beim Trafo. Dominierend sind Netzteil-Schaltfrequenz und VGA-Frequenz mit Oberwellen. Magnetische Feldstärke eines PC-Schaltnetzteiles mit der H-Feldsonde. *Magnetic field-strength outside a PC power supply measured with magnetic probe HFSL 7101. Most important signals are switching frequency and vga-frequency and their harmonics.*

Wie linke Seite, aber elektrisches Feld gemessen mit E-Feld-Sonde EFS 7103. Oberhalb 1 MHz zeigt sich ein hoher Grundpegel durch eine Vielzahl von Spannungen auf dem Netzteilgehäuse. *See left side, but measuring electric field strength with E-Field-Probe EFS 7103. Beyond 1 MHz a multitude of voltages on the shielding box pushes up the baseline.*

# Betriebsanleitung für Schwarzbeck Nahfeldsonden

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Thema</b>	<b>Seite</b>
1. Warnungen, Gefahrenhinweise		1
2. Überblick		2
3. Inbetriebnahme		2
3.1 Weiche		2
3.2 Stromversorgung		3
3.3 Sonden		3
4. Elektrische und magnetische Felder		4
5. Die Sonde als Hilfsgerät		5
6. Die H-Feld-Sonde 9 kHz - 30 MHz HFSL 7101		6
6.1 Grundlagen		6
6.2 Schaltungsprinzip		6
6.3 Richtwirkung		6
6.4 Frequenzgang		7
6.5 Antennenfaktor		7
6.6 Nachweisgrenze		8
6.7 Maximalfeldstärke		8
6.8 Nebeneffekte		8
7. Die H-Feld-Sonde 4 MHz - 1 GHz HFSH 7102		9
7.1 Grundlagen		9
7.2 Schaltungsprinzip		9
7.3 Richtwirkung		9
7.4 Frequenzgang		9
7.5 Antennenfaktor		10
7.6 Nachweisgrenze		10
7.7 Maximalfeldstärke		10
7.8 Nebeneffekte		10
8. Die E-Feld-Sonde 9 kHz - 1 GHz EFS 7103		11
8.1 Grundlagen		11
8.2 Schaltungsprinzip		11
8.3 Richtwirkung		11
8.4 Frequenzgang		11
8.5 Antennenfaktor		12
8.6 Nachweisgrenze		12
8.7 Maximalfeldstärke		12
8.8 Nebeneffekte		12

# **1. Warnungen, Gefahrenhinweise**

Bei Messungen in der Nähe spannungsführender Bauteile oder Leitungen usw. ist größte Vorsicht angebracht.

Stellen mit gefährlichen Spannungen müssen gegebenenfalls vorher abgedeckt werden.

Die Sondengehäuse sind aus lackiertem Isolierrohr aufgebaut.

Das Typenschild jedoch besteht aus dünnem, eloxiertem Alublech und ist damit potentiell elektrisch leitfähig, kann also Schaltungsteile kurzschließen oder mit der Haut kontaktieren.

Die Berührung spannungsführender Teile mit dem Typenschild ist unbedingt zu vermeiden.

Die Tastkopfmasse (hinterer Abschlußstopfen mit Koaxialkabeldurchführung) ist über den Außenleiter des Koaxialkabels mit der Weiche und weiter mit dem Gehäuse des Meßempfängers oder Spektrumanalysators leitend verbunden.

Liegt diese an Schuko, so besteht Kurzschlußgefahr, wenn die Tastkopfmasse spannungsführende Teile berührt.

Besteht keine Schuko-Verbindung, so wird das Gehäuse angeschlossener Geräte auf das Spannungspotential angehoben, ohne daß dies erkennbar ist.

Die Tastköpfe sind absichtlich mechanisch klein gehalten, um das Feld nicht zu stören und um auch schlecht zugängliche Stellen erreichen zu können.

Bei Arbeiten in der Nähe gefährlicher Spannungen sollte zu Ihrer Sicherheit eine Verlängerung oder Halterung aus Isolierstoff benutzt werden.

Wie bei jedem Aufenthalt in Anwesenheit von Feldern sind die Grenzwerte zu beachten und Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

## 2. Überblick

Der SONDENSATZ FS-SET 7100 besteht aus

H-Feld-Sonde	9 kHz-30 MHz	HFSL 7101
H-Feld-Sonde	4 MHz-1 GHz	HFSH 7102
E-Feld-Sonde	9 kHz-1 GHz	EFS 7103
Weiche	9 kHz-1 GHz	EW 7110

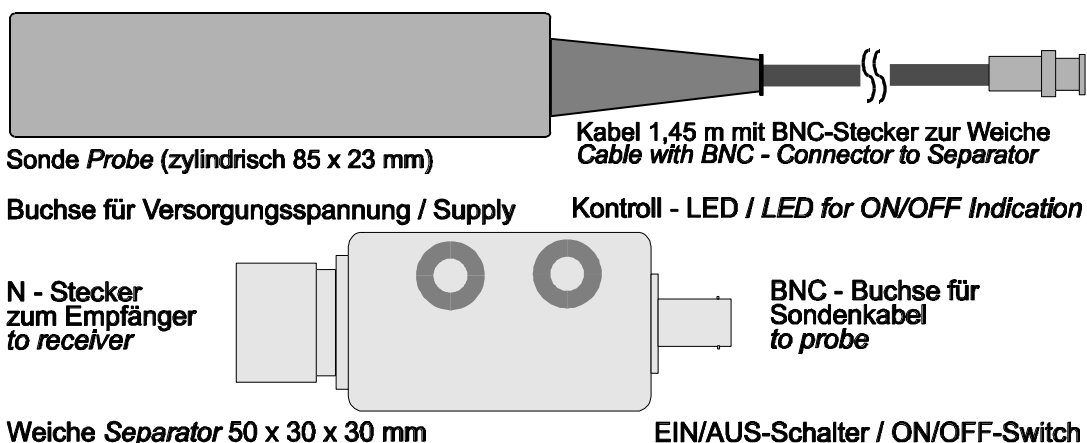
und Steckernetzteil oder Stromversorgungskabel zusammen im Koffer.

Zusätzlich sind noch als **Option** die Normalisierungs sonden

H-Feld-Sonde	0-1 GHz	HSS 7121
E-Feld-Sonde	0-1 GHz	ESS 7122

erhältlich. Die Normlisierungs sonden erlauben die Eliminierung des Restfrequenzganges "über alles" und damit höchste Meßgenauigkeit.

## 3. Inbetriebnahme



### 3.1 Weiche

Um sowohl die Spannungsversorgung als auch das Nutzsignal auf *einem* einzigen Koaxialkabel führen zu können, wird eine Weiche eingesetzt.

Gegenüber anderen Lösungen mit Spezialkoaxialkabeln oder mehreren Kabeln besteht hier unter anderem der Vorteil, daß die Kabelverbindung jederzeit mit üblichen Koaxialkabeln verlängert werden kann.

**Es ist jedoch Vorsicht geboten, weil die BNC-Buchse in Richtung zur Sonde Spannung führt. Keinesfalls darf diese Seite der Weiche mit dem Empfänger oder Spektrumanalysator verbunden werden, da sonst Eichteiler und/oder Mischer zerstört werden können. Deshalb immer zuerst das Sondenkabel (BNC-Stecker) mit der Sondenbuchse der Weiche (BNC-Buchse) verbinden.**

Der N-Stecker auf der anderen Seite der Weiche kann im Idealfall direkt auf die N-Buchse des Empfängers oder Spektrumanalysators aufgeschraubt werden. Sollte dieser keine N-Buchse haben, sondern eine BNC-Buchse, wie dies bei Geräten bis 30 MHz oft der Fall ist, so muß ein Übergang N-Buchse/BNC-Stecker zwischengeschaltet werden.

### 3.2 Zur Stromversorgung gibt es folgende Möglichkeiten:

a) Steckernetzteil 230 V AC/12 V DC

Die Speisung erfolgt dabei unabhängig vom Empfänger oder Spektrumanalysator. Das Steckernetzteil wird in eine 230 V-Steckdose gesteckt und das 12 V-Kabel mit der entsprechenden Buchse der Weiche verbunden.

b) Stromversorgungskabel für Schwarzbeck Störmeßempfänger

Diese stellen an der rückseitigen 25-poligen Sub-D-Buche +12 V zur Verfügung. Das Kabel macht die +12 V für die Weiche zugänglich.

c) Gerätespezifische Kabel

Viele Empfänger und Spektrumanalysatoren haben Anschlüsse für externe Geräte oder aktive Tastköpfe, die geeignete Spannungen führen. Die Nutzung für die Weiche ist einfach, da diese einen eigenen 7-V-Spannungsregler und eine Diode als Verpolungsschutz besitzt. Gleichspannungen im Bereich von +9 V bis +15 V/80 mA Belastbarkeit sind geeignet.

### Kontroll-LED

Ist die Spannungsversorgung vorhanden, so muß die rote Kontroll-Leuchtdiode leuchten. Diese zeigt nur an, daß die Betriebsspannung vorhanden ist, nicht aber ob Strom fließt. Sie leuchtet also auch ohne angeschlossene Sonde.

### 3.3 Sonden

Es braucht jetzt nur noch der BNC-Stecker der Sonde mit der BNC-Buchse der Weiche verbunden zu werden. Damit ist die Betriebsbereitschaft hergestellt. Jetzt können erste Versuche gemacht werden. Dazu eignen sich gut Platinen oder Baugruppen mit Mikroprozessoren und deren Taktoszillatoren.

Der einfache Mechanismus der kapazitiven Kopplung und die Breitbandigkeit der kapazitiven Sonde machen die EFS 7103 für erste Versuche besonders geeignet.

Für erste Versuche im Bereich bis 30 MHz kann am Schwarzbeck-Störmeßempfänger 30 dB $\mu$ V für Instrumentenmitte eingestellt werden. Dieser Ausgangswert stellt sicher, daß Signale am Empfänger sichtbar sind. Im weiteren Verlauf der Messung muß natürlich die Einstellung an starke bzw. schwache Signale angepaßt werden.

Am Spektrumanalysator sollte zum Schutz des Eichteilers und Mischers die erste 10 dB-Stufe geschaltet sein, dies ist meist automatisch der Fall.

Befindet sich auf der Platine oder im Gerät ein Prozessor mit bekannter Taktfrequenz oder ein Quarz mit bekannter oder aufgedruckter Frequenz, so kann diese Frequenz für den ersten Versuch am Meßempfänger eingestellt oder am Spektrumanalysator besonders herausgedehnt werden.

Um mit den Sonden vertraut zu werden, sollten nun bekannte Störquellen wie z. B. der Quarzoszillator "angepeilt" werden. Die Amplitudenwerte können als Anhaltswerte für weitere Messungen dienen.

In unmittelbarer Nähe der Störquelle ändert sich die Amplitude schon bei kleinen Abstandsänderungen sehr stark. Deshalb befindet sich an der Sondenpitze ein Plastikstopfen von 5 mm Dicke. Dieser erzwingt einen Minimalabstand zur direkt dahinter liegenden Sondenwindung oder Sondenkapazität.



#### 4. Elektrische und magnetische Felder, Nahfeld

Im Bereich der Störmeßtechnik haben wir es primär mit Frequenzen im Bereich von 9 kHz bis 1 GHz zu tun. Dies entspricht Wellenlängen von über 30 km bis 30 cm. Selbst bei den heute üblichen Meßstrecken für Antennenmessungen befinden wir uns für Frequenzen von 9 kHz bis zu einigen 100 kHz im Nahfeld. Bei 3 m Meßentfernung sogar bis hinein in das MHz-Gebiet. In diesem Nahfeld müssen elektrische und magnetische Komponenten getrennt betrachtet werden. Erst im Fernfeld sind E und H phasengleich und durch den Feldwiderstand des freien Raums miteinander verbunden.

Was schon für die 3 m-Antennen-Meßstrecke gilt, gilt für die meist nur wenige cm großen Meßstrecken der Sonden ganz besonders. Hier liegt immer das Nahfeld vor.

Beispiel 1: Ein Drahtstück wird von einem Strom durchflossen. Das Drahtstück ist sehr niederohmig, der Strom ruft also zwischen dem Anfang und dem Ende des Drahtes nur eine sehr kleine Spannungsdifferenz hervor. Daraus resultiert ein kräftiges Magnetfeld. Das elektrische Feld ist durch die kleine Potentialdifferenz und den großen Abstand gering. Durch den kleinen Sondenabstand befinden wir uns im Nahfeld, ein elektromagnetisches Feld ist noch nicht etabliert. Die H-Feld-Sonde wird eine große Anzeige erbringen, die E-Feld-Sonde nur eine verschwindend kleine.

Beispiel 2: Ein Blechwinkel, der eine kleine Platine mechanisch mit einem Plastikgehäuse verbindet, führt eine hohe Störspannung gegenüber dem Hauptchassis. Es besteht ein starkes elektrisches Feld. Da nur geringer Strom fließt, ist das Magnetfeld sehr klein. Durch den kleinen Sondenabstand befinden wir uns im Nahfeld. ein elektromagnetisches Feld ist noch nicht etabliert. Jetzt wird die E-Feld-Sonde eine große Anzeige bringen, die H-Feld-Sonde jedoch nur eine verschwindend kleine.

Ist die Betrachtung einzelner "Nur-Magnetfeld-Erzeuger" und "Nur-elektrisches-Feld-Erzeuger" noch überschaubar, haben wir es bei einer Platine, einer Baugruppe oder einem Gerät mit einer fast unüberschaubaren Zahl von Feldquellen zu tun, die noch dazu nicht voneinander unabhängig sind. Obwohl wir von der Theorie her wissen, daß im extremen Nahfeld elektrisches und magnetisches Feld unabhängig voneinander zu betrachten sind, zeigen die Messungen mit E-Feld-Sonden und H-Feld-Sonden doch oft ähnlichen Verlauf. Woher kommt das?

In der praktischen Schaltungstechnik bilden äußerst niederohmige Schaltungsteile (kleine Spannung, großer Strom, primär magnetisches Feld) und äußerst hochohmige Schaltungen (kleiner Strom, große Spannung, primär elektrisches Feld) eher die Ausnahme. Meist liegen "mittelohmige" Verhältnisse vor im Bereich einige 100  $\Omega$  bis einige k $\Omega$ . Dabei verursachen Spannungen im Voltbereich Ströme im Milliamperebereich. Es finden sich sowohl spannungsführende Flächen in Gestalt von großen Halbleiterchips und Kühlkörpern als auch stromdurchflossene Leitungen und Spulen in Form von Kabelbäumen, Drosseln und Leiterbahnen. Spannungen und Ströme haben dabei oft einen ähnlichen zeitlichen Verlauf. Dieser äußert sich dann natürlich auch in einem ähnlichen Frequenzspektrum.

Obwohl die Spektren durch ihre Ähnlichkeit Verhältnisse wie im elektromagnetischen Fernfeld vorgaukeln, sind elektrisches und magnetisches Feld durch verschiedene, vielleicht jedoch eng benachbarte Quellen hervorgerufen worden.

## 5. Die Sonde als Hilfsgerät

Ziel aller Entstörungsbemühungen ist die Einhaltung der Grenzwerte. Diese beziehen sich jedoch nicht auf die Sondenmessung, sondern auf die Grenzwerte von Störspannung (Netznachbildung), Störleistung (MDS-Zange) und Störfeldstärke (Antennen). Die Störfeldstärke zum Beispiel wird dabei mit Antennen in z. B. 3 m Abstand vom Gerät gemessen. Die vorgegebenen Grenzwerte beziehen sich auf diese Meßanordnung, nicht auf die Sondenmessung. Direkte Rückschlüsse von der Sondenmessung auf die Antennenmessung sind also sicher nicht möglich. Die Sonden ermöglichen machen es jedoch möglich, Störungen mit bestimmten Eigenschaften nachher im Gerät wiederzufinden. Es ist daher besonders wichtig, zum Beispiel während der Antennenmessung nach solchen "Fingerabdrücken" besonders starker Störer gezielt zu suchen. Solche "Fingerabdrücke" sind:

### a) Charakteristische Frequenzen

Dazu gehören die Quarzfrequenzen von Mikroprozessoren, die diversen VGA-Frequenzen, die Taktfrequenzen von Schaltnetzteilen usw.

### b) Modulationen

Klassische Rundfunksender bedienen sich im LMK-Bereich der Amplitudenmodulation und im UKW-Bereich der Frequenzmodulation. Daneben sind auch Mischformen bekannt, die sich beider Formen gleichzeitig bedienen. Die eigentliche Nachricht, z. B. Sprache oder Musik steckt in der Modulation. Ein Teil der in der Praxis auftretenden Störsignale verhält sich ähnlich, da sie charakteristische Modulationen haben. Störmeßempfänger besitzen normalerweise einen Mithörlautsprecher und mehrere Demodulatoren. Im Normalfall arbeitet der Amplitudendemodulator. Frequenzdemodulatoren und Telegraphieüberlagerer (BFO) geben zusätzliche Hinweise. Letzterer gibt besonders gute Hinweise auf die Frequenzkonstanz. Geachtet werden sollte auf den 50 Hz- Netzbrumm und die Vielfachen davon. Oft sind auch langsamere Taktfrequenzen (Cursortakt) oder wechselnde Bildinhalte zu "hören". Die Vielfalt der Formen ist bei den Störern ungleich größer als bei den Rundfunksendern, die auf Grund internationaler Vereinbarungen gehalten sind, sehr saubere, also schmalbandige Signale zu produzieren. Während ein amplitudenmodulierter Mittelwellensender mit 9 kHz Bandbreite auskommen muß, können Störsignale in diesem Bereich hunderte von kHz "breit" sein. Alle diese Eigenschaften geben Möglichkeiten zur Identifizierung.

Ist keine Mithörmöglichkeit vorhanden, so müssen z. B. beim Spektrumanalysator Amplituden- und Frequenzauflösung so eingestellt werden, daß Schwankungen sichtbar werden. Hinterher kann dann im Labor mit der Sonde der Schaltungsteil mit diesem "Fingerabdruck" gesucht werden.

Es liegt nun nahe, durch geeignete schaltungstechnische Maßnahmen die erkannte Störung auf ein Minimum zu bringen. Obwohl dies der einzig gangbare Weg ist, besteht nur die berechnete Hoffnung, nicht jedoch die Garantie, daß sich die mit der Sonde festgestellte Verbesserung überhaupt oder im selben Maße bei der normgerechten Messung bestätigt. Werden die Ursachen der Störung nicht wirklich beseitigt, z. B. durch verbesserte Masseführung, bessere Betriebsspannungsabblockung oder dichtere Abschirmung, sondern wird diese nur etwa durch Verschiebung eines Kabels "weggezaubert", so kann sich auch durchaus eine Verschlechterung einstellen. Keinesfalls sollten umfangreiche und teure Maßnahmen nur auf Grund von Sondenmessungen eingeleitet werden, vielmehr müssen Verbesserungen, die mit der Sonde ermittelt worden sind, möglichst oft mit normgerechten Messungen überprüft werden.

## **6. Die H-Feld-Sonde 9 kHz - 30 MHz HFSL 7101**

### **6.1 Grundlagen**

Die einfachste Form einer Magnetsonde ist eine Spule, die über ein Koaxialkabel mit dem Empfängereingang verbunden ist.

Die Vorteile dieser auch heute noch anzutreffenden Anordnung sind einfachster Aufbau und hohe Übersteuerungsfestigkeit wegen passiver Schaltung. Häufig gibt es dazu noch einen abgesetzten Vorverstärker am Empfängereingang.

Nachteilig sind der schlechte Wandlungsfaktor, seine Frequenzabhängigkeit und die geringe Empfindlichkeit. Der Empfindlichkeitsanstieg beträgt anfangs 20 dB/Dekade und flacht ab, wenn sich die Spulenimpedanz dem 50  $\Omega$ -Eingangswiderstand des Empfängers oder Vorverstärkers nähert.

Eine Anpassung an das Koaxialkabel ist ohne zusätzliche Dämpfung nicht möglich. Eine realitätsnahe Abbildung eines breiten Spektrums ist so nicht sinnvoll. Der eventuell vorhandene Vorverstärker hebt zwar die Empfindlichkeit an, beseitigt jedoch nicht das Grundübel des Frequenzganges.

### **6.2 Schaltungsprinzip**

Die H-Feld-Sonde HFSL 7101 bedient sich eines Prinzips, das auch bei großen Feldstärkemeßzusätzen angewendet wird, um den Antennenfaktor über viele Dekaden unabhängig von der Frequenz zu halten. Dazu wird eine Rahmenspule mit dem sehr niedrigen Innenwiderstand eines Verstärkers belastet. Dieser Verstärker mißt also den frequenzunabhängigen Rahmenstrom, nicht jedoch die frequenzabhängige Rahmenspannung. Wegen der äußerst niederohmigen Rahmenspule muß der Rahmenverstärker direkt beim Rahmen sitzen, ein abgesetzter Verstärker kann wegen des Kabels die Belastung nicht liefern. Leider ist es aus technischen Gründen nicht möglich, ohne zu große Kompromisse mit einer Sonde den gesamten Bereich von 9 kHz bis 1 GHz abzudecken. Mit 2 Sonden ergibt sich jedoch ein breiter Überlappungsbereich. Oberhalb und unterhalb des spezifizierten Bereiches sind ebenfalls noch Übersichtsmessungen möglich, da der Verstärkungsabfall nicht dramatisch ist.

### **6.3 Richtwirkung**

Ideal wäre eine Anordnung aus 3 orthogonalen Spulen, wie sie von großen isotropen Magnetfeldmessern bekannt ist. Dieser Aufwand ist für eine Sonde jedoch zu groß. Hier wird eine Spule verwendet, deren Achse der des zylindrischen Sondenkörpers entspricht. Nähert sich die Sondenachse der Achse einer Sendespule, so erreicht die Anzeige ein Maximum, wenn beide Achsen zusammenfallen.

Nähert man sich dagegen einem stromdurchflossenen Draht, so ergibt sich ein Minimum wenn die Sonde mit ihrer Spitze genau senkrecht über der Drahtachse ist. Dieser Effekt eignet sich zur Suche nach Störern (Minimumpeilung). Hält man die Sonde so, daß ihre Achse eine Tangente bezüglich der Feldlinien darstellt, die den Draht kreisförmig umgeben, so erhält man ein Maximum. Der Draht liegt dabei nicht auf der Spitze der Sonde, sondern seitlich am Rohr etwa 10 mm hinter der Spitze Richtung Kabeldurchführung.

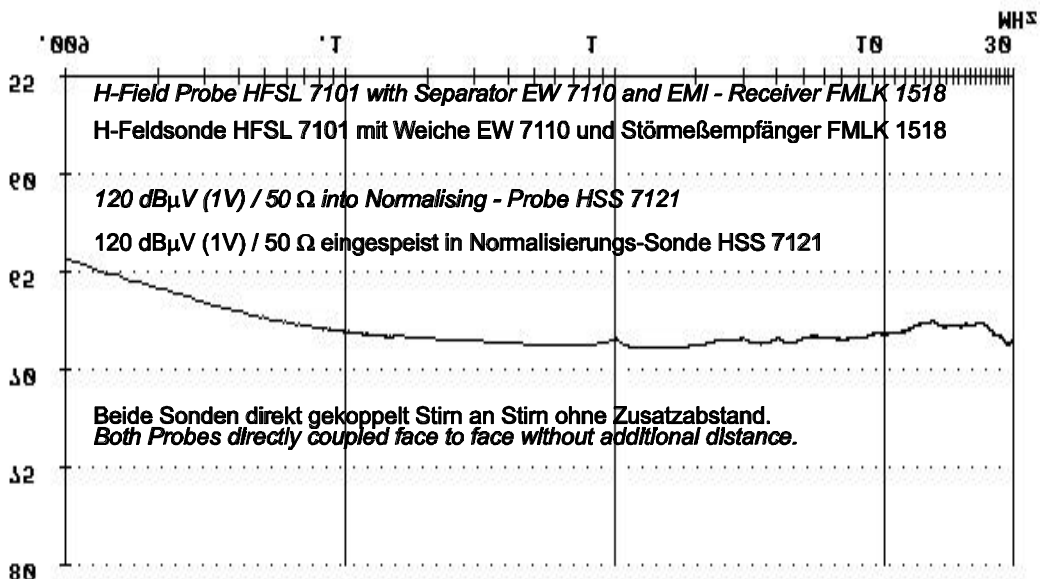
In der Praxis liegen auf einer Platine komplizierte Netzwerke mit vielen Maschen und Knoten innerhalb der "Reichweite" der Sonde. Dadurch werden die Verhältnisse weniger übersichtlich und die Ergebnisse sollten in solchen Fällen immer kritisch bewertet werden.

## 6.4 Frequenzgang

Die Messung des Frequenzganges muß unter definierten Bedingungen erfolgen. Dazu dient für die Magnetfeldsonden die **optionale** Normalisierungssonde HSS 7121 von 0 bis 1 GHz. Diese enthält einen elektrisch abgeschirmten Rahmen mit einer Windung. Ein Vorwiderstand macht den Rahmenstrom unabhängig von der Frequenz. Ein Parallelwiderstand vervollständigt die Anpassung an 50  $\Omega$ . Durch die rein passive Schaltung wird ein so guter Frequenzgang erreicht, daß der gemessene Frequenzgang voll auf die Magnetfeldsonde zurückzuführen ist.



Die beiden Sonden werden Spitze an Spitze gekoppelt. Die Normalisierungssonde wird mit dem Mitlaufgenerator (Tracking Generator) des Meßempfängers (Spektrumanalysators) verbunden. Als Auflage sollte Holz oder ähnliches dienen. Es dürfen keine Metallflächen in der Nähe sein. Das Diagramm zeigt einen Frequenzgang im Bereich von 9 kHz-30 MHz von besser +2,5 dB. Im Bereich 100 kHz-30 MHz ist er sogar besser als +0,75 dB. Dieser Frequenzgang ist zwar etwas schlechter als der eines großen Feldstärkemeßzusatzes, stellt aber für eine Sonde einen ausgezeichneten Wert dar.



Die in der Meßpraxis mit Sonden auftretenden Unwägbarkeiten sind wesentlich größer als der Frequenzgang. In besonderen Fällen kann es jedoch sinnvoll sein, diesen Frequenzgang durch Normalisierung zu eliminieren. Spektrumanalysatoren haben dazu oft eine Normalisierungsroutine. Diese ist dem Handbuch des Gerätes zu entnehmen. Bei Meßempfängern ergibt sich die Möglichkeit, die Korrekturwerte als Antenne (Transducer) einzugeben. Diese Möglichkeit verbleibt auch bei Spektrumanalysatoren ohne Normalisierungsroutine.

## 6.5 Antennenfaktor

Der Antennenfaktor beträgt +10 dB.

Mit der Beziehung

$$G [\text{dB}\mu\text{A/m}] = U [\text{dB}\mu\text{V}] + 10 \text{ dB}$$

erhält man aus der abgelesenen Empfängerspannung die magnetische Feldstärke.

Eine Berechnung der fiktiven elektrischen Feldstärke ist wegen der extremen Nahfeldbedingungen nicht sinnvoll. Vielmehr muß die am Ort bestehende elektrische Feldstärke mit der E-Feld-Sonde bestimmt werden.

## 6.6 Nachweisgrenze

Die kleinste nachweisbare magnetische Feldstärke unter realistischen Störmeßbedingungen beträgt  $<26 \text{ dB}\mu\text{A/m}$  ( $20 \mu\text{A/m}$ ). Dabei wird eine Störmeßbandbreite von 9 kHz (-6 dB) und der CISPR Quasi-Peak-Detektor gewählt, die Meßfrequenz ist 1MHz. Voraussetzung dafür ist natürlich ein entsprechend qualifizierter Empfänger.

Diese Nachweisgrenze reicht immerhin aus, um Ortssender im Lang- und Mittelwellenbereich nachweisen zu können (Richtwirkung beachten). Auch ein Großteil der Grenzwerte in 3 m Entfernung ist noch nachweisbar, vorausgesetzt es wird ein entsprechend qualifizierter Empfänger nachgeschaltet.

Werden für diese Angaben kleinere Bandbreiten gewählt, so läßt sich diese Nachweisgrenze datenblattmäßig fast beliebig verbessern, auch die Wahl des Mittelwertgleichrichters führt hier zu besseren Werten.

## 6.7. Maximalfeldstärke

Die größte Feldstärke, die die Sonde noch verarbeiten kann, beträgt  $124 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ . Darüber hinaus treten Sättigungserscheinungen auf, die zu Signalverfälschungen führen. Je mehr Signale an der Aussteuerung beteiligt sind, desto mehr muß das einzelne Signal gegenüber dem Vollaussteuerungswert abgesenkt werden. Werden Spektrumanalysatoren als Empfänger eingesetzt, so tritt bei diesen ebenfalls Intermodulation auf, da sie meist über keine Vorselektion verfügen. Es sollten daher die Warnzeichen für Intermodulation am Schirmbild beachtet werden. Wenn bei Vergrößerung der Aussteuerung der Sonde durch Annäherung an den Störer sich plötzlich das Bild stark verändert, kann das Intermodulation sein. Dazu gehören völlig neue Spektrallinien, die sich z. B. um 30 dB ändern, wenn sich die vorher schon vorhandenen nur um 10 dB ändern. Störmeßempfänger sind durch ihre Vorselektion besser vor Intermodulation geschützt.

## 6.8 Nebeneffekte

Ebenso wie große Feldstärkemesser haben auch Magnetsonden nur eine endliche Unterdrückung des elektrischen Feldes. Dies ist im Normalfall kein Problem, sollte aber in Grenzfällen berücksichtigt werden. Ein solcher Grenzfall wäre es, wenn in einem Monitor eine kleiner Störstrom auf einer Leiterbahn gemessen wird, während das Sondengehäuse in der Nähe des Hochspannungskabels für die Bildröhre liegt. In diesem Fall muß die Entkopplung durch eine andere Anordnung verbessert werden.

Unterhalb von 20 kHz tritt erhöhtes Rauschen auf. Verursacht wird es durch eine erhöhte Nachverstärkung des Rahmenverstärkers zum Zwecke der Einebnung des Restfrequenzganges. Da bei diesen niedrigen Empfangsfrequenzen ohnehin mit schmalen Bandbreiten gemessen werden muß, ist damit keinerlei meßtechnische Einschränkung verbunden.

## 7. Die H-Feld-Sonde 4 MHz - 1 GHz HFSH 7102

### 7.1 Grundlagen

Von der Aufgabenstellung her unterscheidet sich diese Sonde von der vorstehend beschriebenen HFSL 7101 nur durch den Frequenzbereich. Auch hier zeigt die passive Anordnung eine starke Abhängigkeit des Wandlungsfaktors von der Frequenz. Die aktive Sonde schafft hier Abhilfe.

### 7.2 Schaltungsprinzip

Auch die H-Feld-Sonde HFSH 7102 bedient sich eines Prinzips, das auch bei großen Feldstärkemeßzusätzen angewendet wird, um den Antennenfaktor über viele Dekaden unabhängig von der Frequenz zu halten. Durch die hohe obere Grenzfrequenz von 1 GHz besteht die Rahmenspule nur noch aus einer Windung vom Innendurchmesser des Sondenrohres. Zur Unterdrückung des elektrischen Feldes ist dieser Rahmen abgeschirmt. Der Rahmenverstärker mißt den frequenzunabhängigen Rahmenstrom, nicht die frequenzabhängige Rahmenspannung. Unterhalb von 4 MHz wird die Rahmenimpedanz kleiner als der Eingangswiderstand des Rahmenverstärkers und der Antennenfaktor wird höher. Dies bedeutet daß für eine bestimmte magnetische Feldstärke weniger Ausgangsspannung an den Empfänger geliefert wird. Trotzdem sind auch hier oberhalb und unterhalb des spezifizierten Bereiches ebenfalls noch Übersichtsmessungen möglich, da der Verstärkungsabfall nicht dramatisch ist.

### 7.3 Richtwirkung

Auch hier gilt das für die vorher beschriebene HFSL 7101 gesagte.

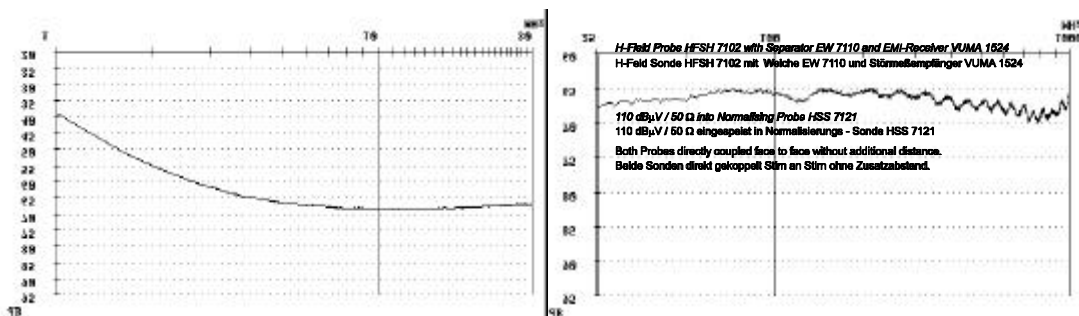
Nähert sich die Sondenachse der Achse einer Sendespule, so erreicht die Anzeige ein Maximum, wenn beide Achsen zusammenfallen. Nähert sich die Sonde dagegen einem stromdurchflossenen Draht, so ergibt sich ein Minimum wenn die Sonde mit ihrer Spitze genau senkrecht über der Drahtachse ist.

### 7.4 Frequenzgang

Die Messung des Frequenzganges muß unter definierten Bedingungen erfolgen. Dazu dient für die Magnetfeldsonden die **optionale** Normalisierungssonde HSS 7121 von 0 bis 1 GHz. Diese enthält einen elektrisch abgeschirmten Rahmen mit einer Windung. Ein Vorwiderstand macht den Rahmenstrom unabhängig von der Frequenz. Ein Parallelwiderstand vervollständigt die Anpassung an 50  $\Omega$ . Durch die rein passive Schaltung wird ein so guter Frequenzgang erreicht, daß der gemessene Frequenzgang voll auf die Magnetfeldsonde zurückzuführen ist.



Die beiden Sonden werden Spitze an Spitze gekoppelt. Die Normalisierungssonde wird mit dem Mitlaufgenerator (Tracking Generator) des Meßempfängers (Spektrumanalysators) verbunden. Als Auflage sollte Holz oder ähnliches dienen. Es dürfen keine Metallflächen in der Nähe sein. Das Diagramm zeigt einen Frequenzgang im Bereich von 3 MHz-1 GHz von besser  $\pm 2,5$  dB.



Obwohl der Frequenzgang sehr gering ist, kann es doch sinnvoll sein, ihn durch Normalisierung zu eliminieren. Spektrumanalysatoren haben dazu oft eine Normalisierungsroutine. Diese ist dem Handbuch des Gerätes zu entnehmen. Bei Meßempfängern ergibt sich die Möglichkeit, die Korrekturwerte als Antenne (Transducer) einzugeben. Diese Möglichkeit verbleibt auch bei Spektrumanalysatoren ohne Normalisierungsroutine.

### **7.5 Antennenfaktor**

Der Antennenfaktor beträgt -5 dB. Mit der Beziehung  $G [\text{dB}\mu\text{A/m}] = U [\text{dB}\mu\text{V}] - 5 \text{ dB}$  erhält man aus der abgelesenen Empfängerspannung die magnetische Feldstärke. Eine Berechnung der fiktiven elektrischen Feldstärke ist wegen der extremen Nahfeldbedingungen nicht sinnvoll. Vielmehr muß die am Ort bestehende elektrische Feldstärke mit der E-Feld-Sonde bestimmt werden.

### **7.6 Nachweisgrenze**

Die kleinste nachweisbare magnetische Feldstärke unter realistischen Störmeßbedingungen beträgt  $<20 \text{ dB}\mu\text{A/m}$  ( $10 \mu\text{A/m}$ ). Dabei wird eine Störmeßbandbreite von 120 kHz (-6 dB) und der CISPR Quasi-Peak-Detektor gewählt, die Meßfrequenz ist 30 MHz. Voraussetzung ist natürlich ein entsprechend qualifizierter Empfänger. Diese Nachweisgrenze reicht immerhin aus, um Ortssender nachweisen zu können (Richtwirkung beachten). Es wurden mit voller Absicht die für diesen Frequenzbereich vorgeschriebene Bandbreite von 120 kHz (-6 dB) und der CISPR Quasi-Peak-Detektor gewählt, um eine praxisgerechte realistische Angabe zu liefern. Werden für diese Angaben kleinere Bandbreiten gewählt, so läßt sich diese Nachweisgrenze datenblattmäßig fast beliebig verbessern, auch die Wahl des Mittelwertgleichrichters führt hier zu besseren Werten.

### **7.7. Maximalfeldstärke**

Die größte Feldstärke, die die Sonde noch verarbeiten kann, beträgt  $110 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ . Darüber hinaus treten Sättigungserscheinungen auf, die zu Signalverfälschungen führen. Je mehr Signale an der Aussteuerung beteiligt sind, desto mehr muß das einzelne Signal gegenüber dem Vollaussteuerungswert abgesenkt werden. Werden Spektrumanalysatoren als Empfänger eingesetzt, so tritt bei diesen ebenfalls Intermodulation auf, da sie meist über keine Vorselektion verfügen. Es sollten daher die Warnzeichen für Intermodulation am Schirmbild beachtet werden. Wenn bei Vergrößerung der Aussteuerung der Sonde durch Annäherung an den Störer sich plötzlich das Bild stark verändert, kann das Intermodulation sein. Dazu gehören völlig neue Spektrallinien, die sich z. B. um 30 dB ändern, wenn sich die vorher schon vorhandenen nur um 10 dB ändern. Störmeßempfänger sind durch ihre Vorselektion besser vor Intermodulation geschützt.

### **7.8 Nebeneffekte**

Ebenso wie große Feldstärkemesser haben auch Magnetsonden nur eine endliche Unterdrückung des elektrischen Feldes. Dies ist im Normalfall kein Problem, sollte aber in Grenzfällen berücksichtigt werden. Ein solcher Grenzfall wäre es, wenn in einem Monitor eine kleiner Störstrom auf einer Leiterbahn gemessen wird, während das Sondengehäuse in der Nähe des Hochspannungskabels für die Bildröhre liegt. In diesem Fall muß die Entkopplung durch eine andere Anordnung verbessert werden.

## 8. Die E-Feld-Sonde 9 kHz - 1 GHz EFS 7103

### 8.1 Grundlagen

Im Gegensatz zu den beiden vorigen Magnetfeldsonden ist diese eine Sonde nur für das elektrische Feld bestimmt. Auch hier wäre eine passive Anordnung in Form einer kleinen leitenden Fläche möglich, die direkt mit dem Innenleiter des Koaxialkabels verbunden ist. Der einfache Aufbau und das gute Großsignalverhalten dieser Anordnung werden jedoch erkauft mit niedriger Empfindlichkeit und frequenzabhängigem Wandlungsfaktor. Eine Anpassung an das Koaxialkabel ist ohne zusätzliche Dämpfung nicht möglich. Ein eventuell vor den Empfänger geschalteter Vorverstärker hebt zwar die Verstärkung an, beseitigt jedoch nicht den Frequenzgang.

### 8.2 Schaltungsprinzip

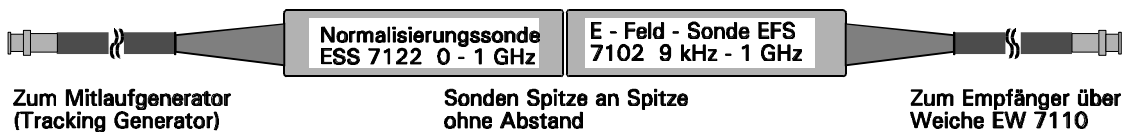
Die E-Feld-Sonde EFS 7103 bedient sich eines Prinzips, das auch bei großen E-Feld-Messern angewendet wird, um den Antennenfaktor über viele Dekaden konstant zu halten. Dazu wird die Sondenkapazität mit einem extrem hochohmigen Verstärker gekoppelt. Da dieser die Sondenkapazität praktisch nicht belastet, steht die frequenzunabhängige Leerlaufspannung zur Messung zur Verfügung. Ein weiterer Verstärker übernimmt die Anpassung an das Koaxialkabel. Um die große Meßbandbreite zu erreichen, werden GaAs-MMICs eingesetzt.

### 8.3 Richtwirkung

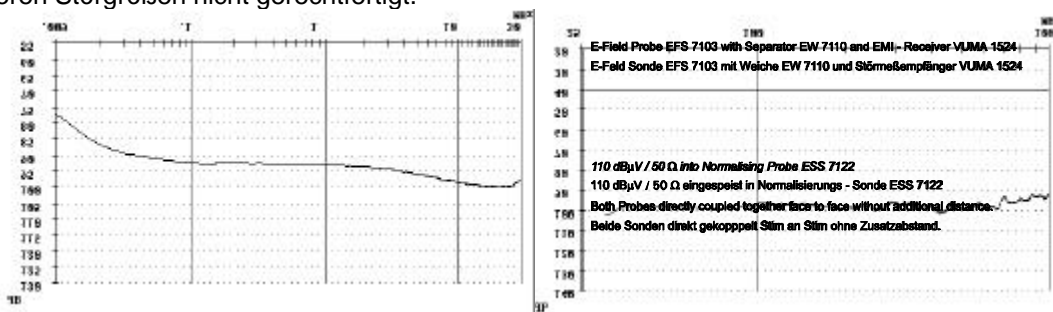
Eine nur wenige mm<sup>2</sup> große Kupferfläche befindet sich senkrecht zur Sondenachse 5 mm hinter der Sondenspitze. Eine Maximumpeilung durch hin- und herbewegen im Raum führt zum Störer.

### 8.4 Frequenzgang

Die Messung des Frequenzganges muß unter definierten Bedingungen erfolgen. Dazu dient für die E-Feld-Sonde die **optionale** Normalisierungssonde ESS 7122 von 0 bis 1 GHz. Diese enthält eine kleine Kupferfläche, die mit dem Innenleiter des Koaxialkabels verbunden ist. Ein 50 Ω-Widerstand schließt das Kabel dort auch wellenwiderstandsrichtig ab. Der kleinen Flächenkapazität wird die Spannung eingepreßt, so daß sich ein frequenzunabhängiger Wandlungsfaktor einstellt. Durch die rein passive Schaltung wird ein so guter Frequenzgang erreicht, daß der gemessene Frequenzgang voll auf die Empfangsprobe zurückzuführen ist.



Die beiden Sonden werden Spitze an Spitze gekoppelt. Die Normalisierungssonde wird mit dem Mitlaufgenerator (Tracking Generator) des Meßempfängers (Spektrumanalysators) verbunden. Ein breites leitendes Band (Kupferfolie) zwischen den Masseanschlüssen beider Sonden ist empfehlenswert. Ansonsten sollten keine weiteren leitenden Flächen in der Nähe sein. Holz ist als Auflage zu bevorzugen. Das Diagramm zeigt einen Frequenzgang im Bereich von 30 kHz-1 GHz von besser +-5 dB. Unterhalb von 30 kHz sinkt die Empfindlichkeit ab (der Antennenfaktor steigt). Bei 9 kHz beträgt der Abfall 15 dB. Eine Verbesserung hätte nur durch Aufteilung des Frequenzbereiches auf 2 Sonden erreicht werden können. Dieser Aufwand wäre bei Abwägung der anderen Störgrößen nicht gerechtfertigt.



E-Feld Probe EFS 7103 with Separator EW 7110 and EMI - Receiver FMLK 1518  
E-Feld Sonde EFS 7103 mit Weiche EW 7110 und Störmeßempfänger FMLK 1518



Auch hier kann der Frequenzgang durch Normalisierung eliminiert werden. Spektrumanalysatoren haben dazu oft eine Normalisierungsroutine. Wenn der Normalisierungsumfang zu hoch ist, sollten Teilbereiche mit geringerem Umfang normalisiert werden. Bei Meßempfängern ergibt sich die Möglichkeit, die Korrekturwerte als Antenne (Transducer) einzugeben. Diese Möglichkeit verbleibt auch bei Spektrumanalysatoren ohne Normalisierungsroutine, oder wenn der Umfang nicht ausreicht.

### **8.5 Antennenfaktor**

Der Antennenfaktor beträgt +5 dB. Mit der Beziehung  $F \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = U \text{ [dB}\mu\text{V]} + 5 \text{ dB}$  erhält man aus der abgelesenen Empfängerspannung die elektrische Feldstärke.

### **8.6 Nachweisgrenze**

Die kleinste nachweisbare elektrische Feldstärke unter realistischen Störmeßbedingungen beträgt <20 dB $\mu\text{V/m}$  (10  $\mu\text{V/m}$ ). Dabei wird eine Störmeßbandbreite von 9 kHz (-6 dB) und der CISPR Quasi-Peak-Detektor gewählt, die Meßfrequenz ist 1 MHz. Voraussetzung ist natürlich ein entsprechend qualifizierter Empfänger. Diese Nachweisgrenze reicht immerhin aus, um Ortssender nachweisen zu können. Es wurden mit voller Absicht die für Störmessungen vorgeschriebene Bandbreite von 9 kHz (-6 dB) und der CISPR Quasi-Peak-Detektor gewählt, um eine praxisgerechte realistische Angabe zu liefern. Werden für diese Angabe kleinere Bandbreiten gewählt, so verbessert sich diese Nachweisgrenze datenblattmäßig ebenso wie durch die Wahl des Mittelwertgleichrichters.

### **8.7. Maximalfeldstärke**

Die größte Feldstärke, die die Sonde noch verarbeiten kann, beträgt 120 dB $\mu\text{V/m}$ . Darüber hinaus treten Sättigungserscheinungen auf, die zu Signalverfälschungen führen. Je mehr Signale an der Aussteuerung beteiligt sind, desto mehr muß das einzelne Signal gegenüber dem Vollaussteuerungswert abgesenkt werden. Werden Spektrumanalysatoren als Empfänger eingesetzt, so tritt bei diesen ebenfalls Intermodulation auf, da sie meist über keine Vorselektion verfügen. Es sollten daher die Warnzeichen für Intermodulation am Schirmbild beachtet werden. Wenn bei Vergrößerung der Aussteuerung der Sonde durch Annäherung an den Störer sich plötzlich das Bild stark verändert, kann das Intermodulation sein. Dazu gehören völlig neue Spektrallinien, die sich z. B. um 30 dB ändern, wenn sich die vorher schon vorhandenen nur um 10 dB ändern. Störmeßempfänger sind durch ihre Vorselektion besser vor Intermodulation geschützt.

### **8.8 Nebeneffekte**

Ebenso wie große Feldstärkemesser hat auch diese Sonde nur eine endliche Unterdrückung des magnetischen Feldes, da starke magnetische Felder den Sondenverstärker beeinflussen können. Die Kleinheit der Sonde vermindert solche Einflüsse. Weitergehende Unterdrückung wäre nur durch magnetische Abschirmung möglich, die aber auch das Feld in der Umgebung der Sonde erheblich stören würde. In Grenzfällen können Beeinflussungen möglich sein. Ein solcher Grenzfall wäre es, wenn in einem Monitor das kleine elektrische Störfeld einer integrierten Schaltung gemessen wird, während sich das Sondengehäuse in unmittelbarer Nähe des Zeilentransfos befindet. In diesem Fall muß die Entkopplung durch eine andere Anordnung verbessert werden.