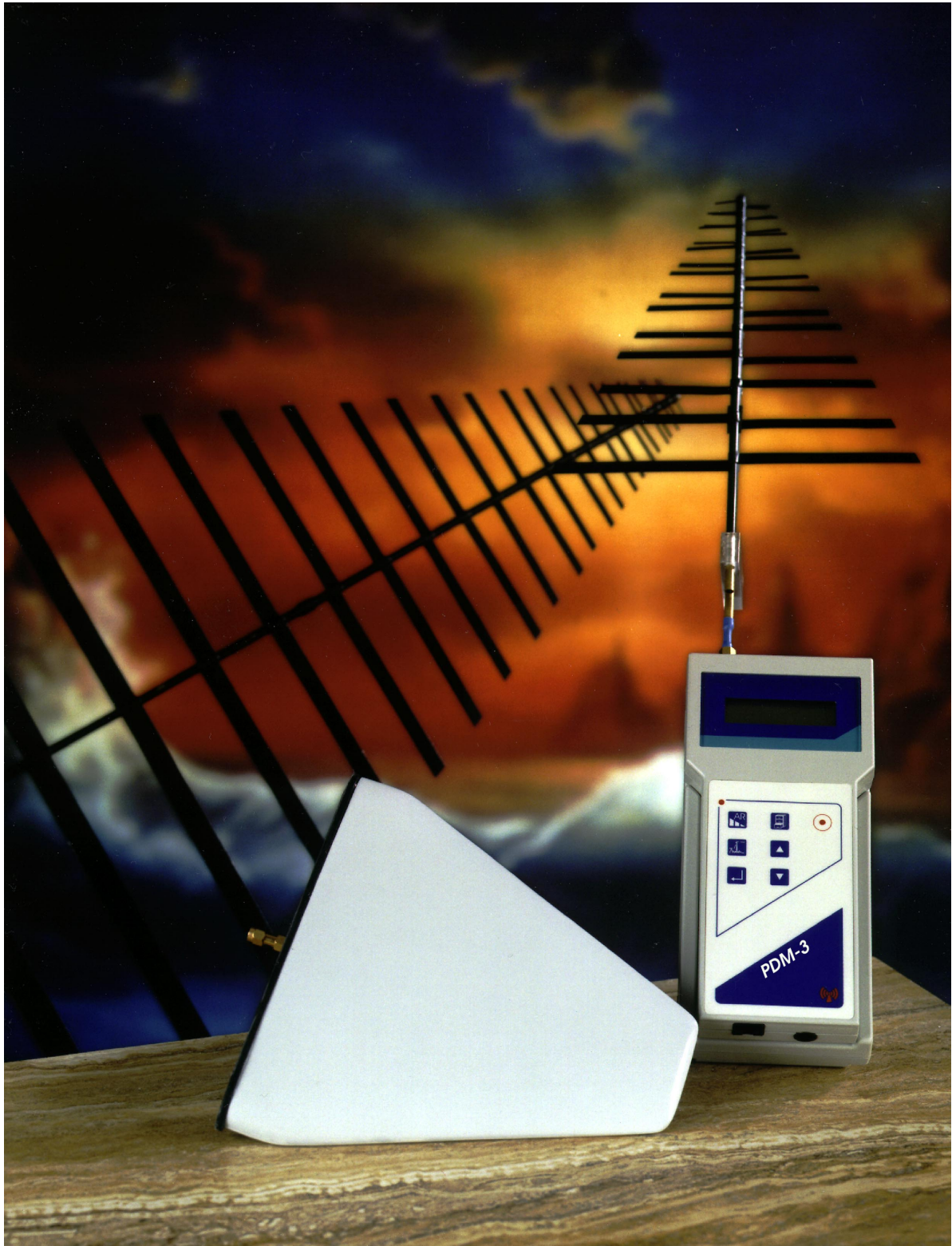


Wissenswertes zum PDM-3



1 Hintergrund

Die Messung der Feldstärke von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen mit einem Spektrumanalysator ist zwar sehr genau, aber auch teuer und aufwändig. Sie stellt außerdem hohe Anforderungen an denjenigen, der die Messung ausführt, da die Feldstärke vom Spektrumanalysator nicht direkt angezeigt wird. Sie muss vom Bediener mit einem relativ komplizierten Verfahren aus den Messwerten berechnet werden.

Für viele Anwendungsfälle sind deshalb preisgünstigere und einfacher zu bedienende Handmessgeräte besser geeignet. Diese sind üblicherweise nicht frequenzselektiv, sondern breitbandig. Das heißt, sie messen die Summe aller im Messfrequenzbereich vorhandenen Frequenzen.

Das rechts abgebildete Gerät gibt es bereits seit einigen Jahren. Zum Messen verwendet es sehr kleine Antennen (Dipole), die im gelben Sensor-kopf angebracht sind. Wegen der sehr geringen Größe der Antennen ist die Antennenausgangsspannung in einem sehr großen Frequenzbereich (100kHz bis 3GHz) frequenzunabhängig. Dadurch ist das Messgerät sehr genau und außerdem isotrop, das heißt richtungsunabhängig. Auf der anderen Seite erzeugen die kleinen Antennen nur eine geringe Ausgangsspannung, wodurch das Gerät verhältnismäßig unempfindlich ist. Sein Messbereich beginnt bei circa 0,6V/m bzw. 1mW/m².



Abbildung 1: EMR 20

Für den Personenschutz in Betrieben oder in der Nähe von Funkanlagen ist das Messgerät wegen seiner hohen Genauigkeit sehr gut geeignet. Möchte man jedoch auch elektromagnetische Felder mit kleineren Feldstärken messen, wie sie z.B. in Wohnungen häufig auftreten, benötigt man andere Geräte.

2 Entwicklung des PDM

Das PDM (Power Density Meter) wurde in seiner ersten Variante (PDM-1) 1995 entwickelt. Ziel war es, ein einfach zu bedienendes Handmessgerät mit einer Empfindlichkeit zu entwickeln, die für Messungen in der Baubiologie ausreichend ist.

Um eine entsprechende Empfindlichkeit zu erreichen, benötigt man Antennen, die in einem großen Frequenzbereich eine hinreichende Ausgangsspannung liefern.

Hierfür sind logarithmisch periodische Antennen (Abb. 2) gut geeignet.

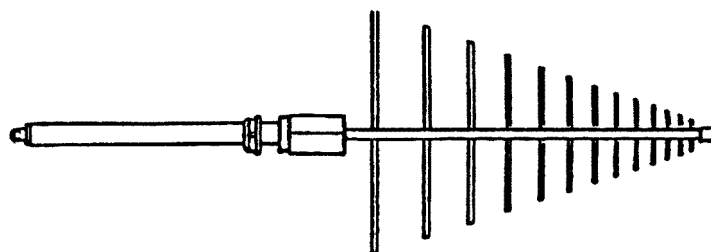


Abbildung 2: Logarithmisch periodische Antenne

Diese haben jedoch den Nachteil, dass ihre **Ausgangsspannung mit dem Quadrat der Frequenz sinkt**. Bei der Messung mit einem Spektrumanalysator kann der dadurch entstehende Fehler aus dem Messergebnis herausgerechnet werden, da die Frequenzen der gemessenen Signale bekannt sind. Bei einem Breitbandmessgerät muss der Fehler dagegen entweder in Kauf genommen oder durch **geeignete Schaltungen kompensiert** werden. Die nachfolgende Grafik zeigt, welcher Fehler entsteht, wenn **keine** Kompensation vorgenommen wird.

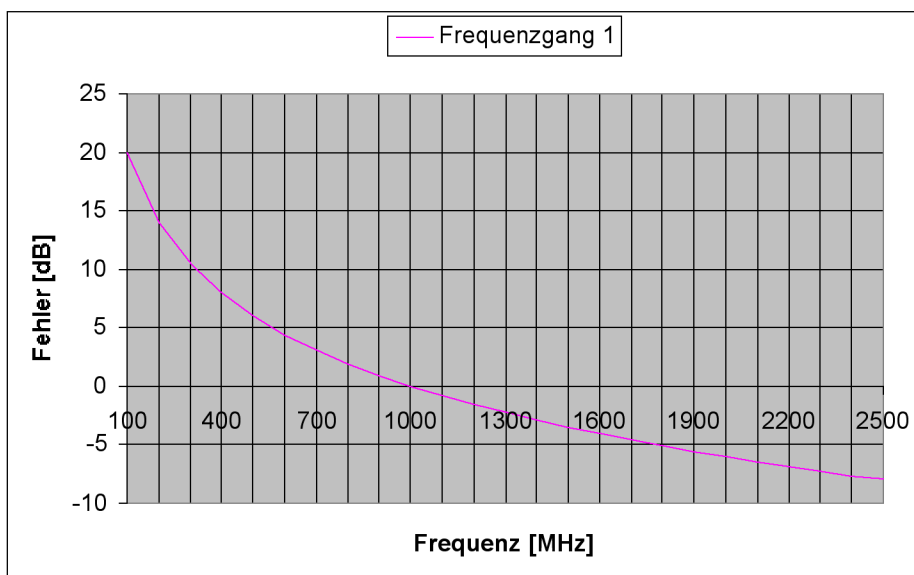


Abbildung 3: Frequenzgang eines idealen (linearen), nicht kompensierten Feldstärkemessgeräts mit idealer logarithmisch periodischer Antenne

Die Grafik zeigt z.B., dass der Fehler bei 1900 MHz cirka -6 dB beträgt. Bei einer Feldstärkemessung würde das Messgerät somit nur die **Hälfte der tatsächlichen Feldstärke anzeigen**.

Um es noch einmal klar zu sagen: Die gezeigte Fehlerkurve gilt für ein ideales, nicht kompensiertes Messgerät mit einer idealen Antenne.

„Ideales Messgerät“ heißt hier: Ein frequenzunabhängiges und sehr präzises Leistungsmessgerät.

„Ideale Antenne“ heißt hier: Eine Antenne mit frequenzunabhängigem Antennengewinn.

In Wirklichkeit sind die Messgeräte und Antennen aber nicht ideal und ihre Fehler addieren sich zu der oben gezeigten Fehlerkurve.

Bei ROM-Elektronik wurde von vornherein versucht, eine Kompensation der quadratischen Frequenzabhängigkeit der Antenne im Messgerät vorzunehmen. Dies ist beim PDM-1 einigermaßen und beim PDM-2 hinreichend gut gelungen. Problematisch wurde es, als sich die Einführung von UMTS in Deutschland abzeichnete, denn der Frequenzbereich der UMTS-Basisstationen reicht bis 2170 MHz (Abb. 4).

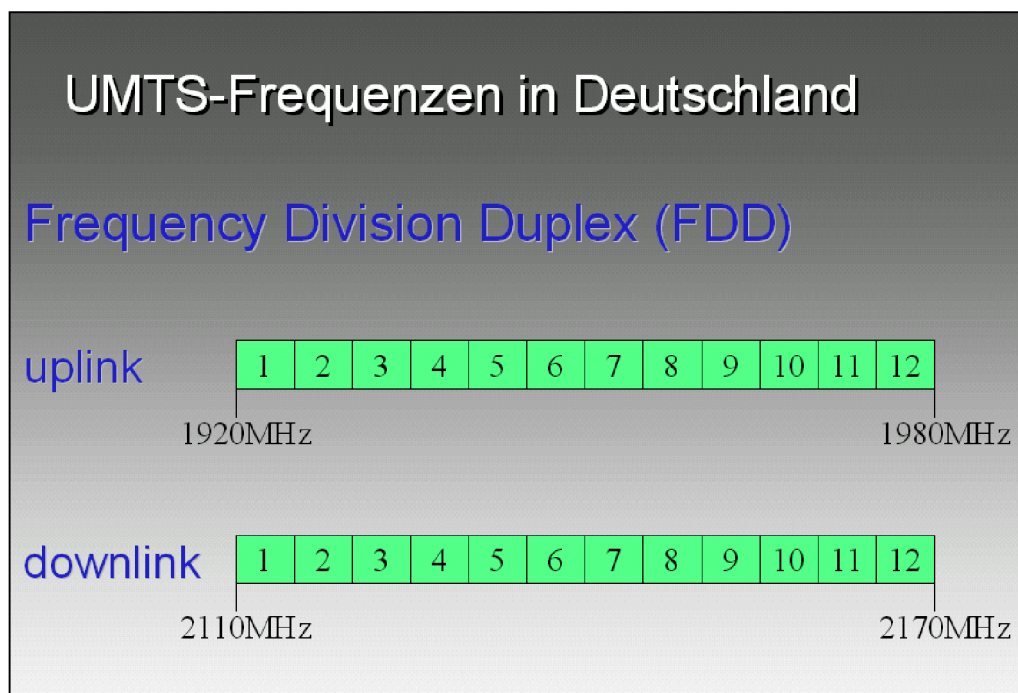


Abbildung 4: UMTS Frequenzbereiche

Das PDM wurde deshalb erneut überarbeitet mit dem Ziel, den Frequenzbereich entsprechend zu erweitern und auch die Messgenauigkeit zu erhöhen. Es zeigte sich, dass es mit der bis dahin verwendeten herkömmlichen Hochfrequenzschaltung nicht möglich war, eine hohe Messgenauigkeit im gesamten geforderten Frequenzbereich (400MHz bis 2200MHz) zu

erreichen. Bei derartig hohen Frequenzen beträgt die Wellenlänge auf der HF-Platine nur noch wenige Zentimeter und es kommt an vielen Stellen der Schaltung zu Fehlanpassungen, die nicht breitbandig kompensiert werden können. Das spezielle **HF-Material** der Platine, der genaue Verlauf der Leiterbahnen und die Abmessungen der Platine haben **entscheidenden Einfluss** auf das **Hochfrequenzverhalten**.

Mit Unterstützung der **Universität der Bundeswehr München** konnte schließlich eine geeignete Hochfrequenzschaltung durch folgende Maßnahmen entwickelt werden:

1. Verwendung von speziellem (teuren) Platinenmaterial, das nur in den USA hergestellt wird und nur von Spezialfirmen bearbeitet werden kann.
2. Völlig neues Design der Hochfrequenzplatine. Optimierung des Verlaufs und der Abmessungen der Leiterbahnen.
3. Verwendung von hochwertigen Hochfrequenz-Bauelementen.
4. Abschirmung der gesamten Schaltung gegen Einstreuungen von Störstrahlung.
5. Anpassung der Leiterbahnabmessungen an die Bauteilabmessungen, um einen optimalen Übergang der elektromagnetischen Wellen von der Leiterbahn auf die Bauteile und umgekehrt zu gewährleisten.

Da die verwendeten Bauelemente trotz ihrer Hochwertigkeit natürlich nicht ideal sind und deshalb auch ungewollte Frequenzabhängigkeiten aufweisen, wurden in der Entwicklungsphase mehrere verschiedene Schaltungsvarianten aufgebaut und getestet. Die Schaltungsvariante mit der höchsten Messgenauigkeit wurde schließlich ausgewählt (Abb. 5) und wird seitdem für das PDM-3 verwendet.

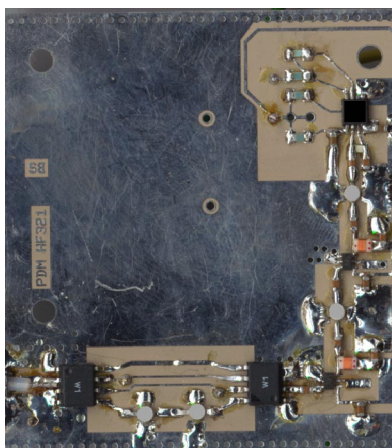


Abbildung 5: HF-Platine PDM-3, Maßstab 1:1

Die Entwicklung der neuen Hochfrequenzplatine war aufwändig und teuer, aber das Ergebnis zeigt, dass sich der Aufwand gelohnt hat. In der nachfolgenden Grafik ist eine typische Fehlerkurve der PDM-3-Hochfrequenzschaltung dargestellt (Frequenzgang 2, blau).

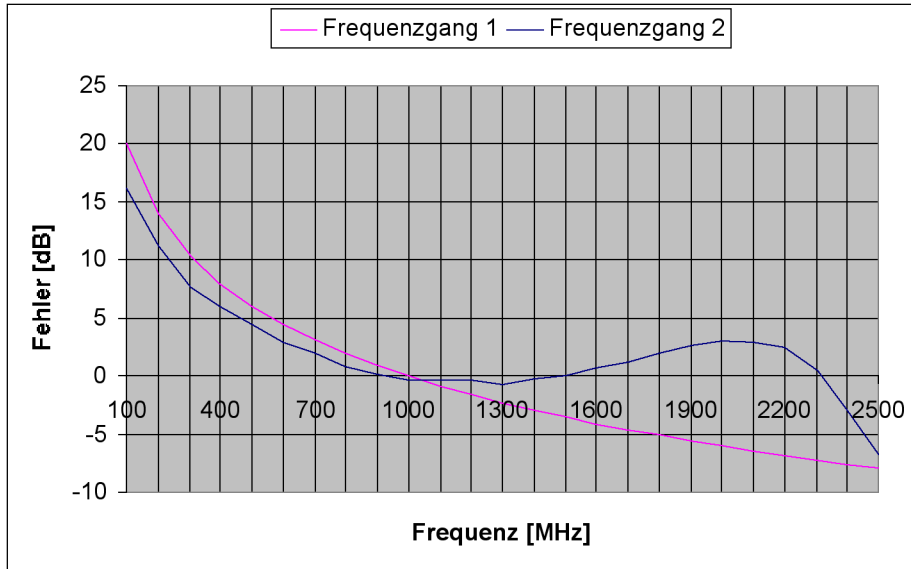


Abbildung 6: Vergleich der Fehlerkurve eines frequenzunabhängigen Breitbandmessgeräts (Frequenzgang 1) mit einer typischen Fehlerkurve des PDM-3 im empfindlichen Messbereich (Frequenzgang 2) bei einer Eingangsleistung von -40dBm .

In der folgenden Tabelle werden die Fehler bei verschiedenen wichtigen Frequenzen verglichen:

Tabelle 1: Fehlervergleich eines idealen Breitbandmessgeräts mit der PDM-3-Hochfrequenzplatine bei Verwendung einer idealen logarithmisch periodischen Antenne

		Breitbandmessgerät	PDM3
430 MHz	freie Frequenzen	+ 7,5 dB	+ 5,5 dB
950 MHz	GSM 900	+ 0,5 dB	+ 0,0 dB
1900 MHz	GSM 1800	- 5,5 dB	+ 3,0 dB
2200 MHz	UMTS	- 7,0 dB	+ 3,0 dB

Die Kurve zeigt, dass der typische Fehler der PDM-3-Hochfrequenzschaltung im empfindlichen Messbereich in einem großen Frequenzbereich kleiner oder gleich 3 dB ist. Man könnte bei der Kalibrierung (die bei der Produktion für jede Hochfrequenzschaltung durchgeführt wird) den Fre-

quenzbereich, in dem der Fehler unter 3 dB liegt, noch vergrößern, indem man die Kurve – z.B. um 1,5 dB - nach unten schiebt. Dies wäre durch entsprechende Einstellung der Kalibrierfaktoren ohne Weiteres möglich. Mehrere Gründe sprechen allerdings dagegen:

1. Da das PDM-3 vor allem im EMVU-Bereich (Personenschutz) verwendet wird, ist ein positiver Messfehler, der zu einem zu hohen Messwert führt, eher zu tolerieren, als ein negativer Messfehler.
2. Die bisher verwendete Antenne und das verwendete Antennenkabel haben ein Frequenzverhalten, das bei steigenden Frequenzen eher zu kleineren Messwerten führt. Der dadurch entstehende Messfehler hat ein negatives Vorzeichen, so dass positive Messfehler der Hochfrequenzschaltung teilweise wieder kompensiert werden.

Natürlich ist es wünschenswert, die Messgenauigkeit und die Möglichkeiten des PDM-3 noch weiter zu verbessern. Hieran wird kontinuierlich gearbeitet.

Die Aufrüstung von alten PDM-2 mit der neuen Hochfrequenzplatine des PDM-3 ist möglich.