

Charakterisierung realer Testanlagen zur Messung und Erzeugung elektromagnetischer Felder

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
der Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Sven Battermann
geboren am 13. Dezember 1974 in Minden

2006

1. Referent Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe
2. Referent Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Gonschorek
Vorsitz Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach
Tag der Promotion: 18.01.2006

Berichte aus der Hochfrequenztechnik

Sven Battermann

**Charakterisierung realer Testanlagen zur Messung
und Erzeugung elektromagnetischer Felder**

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2006

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5054-9

ISBN-13: 978-3-8322-5054-6

ISSN 0945-0793

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik der Universität Hannover.

Herrn Professor Dr.-Ing. Heyno Garbe gilt mein besonderer Dank für die Anregung zu dieser Arbeit. Die stete Förderung und das Interesse an der Thematik haben sehr zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen. Herrn Professor Dr.-Ing. Karl-Heinz Gonschorek danke ich rechtherzlich für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Koreferates sowie die konstruktiven Optimierungsvorschläge. Außerdem möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes danken.

Weiterhin bedanke ich mich bei den Angehörigen des Institutes für die kooperative und angenehme Arbeitsatmosphäre.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern des Arbeitskreises „Feldstärke“. In den vielen Diskussionen war eine optimale Integration von Theorie und Praxis möglich.

Ganz besonders aber danke ich meiner Familie Karl-Heinz, Brigitte, Kay und Katja Battermann für die tatkräftige Unterstützung, Ablenkung und Motivation.

For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for Nature cannot be fooled.

Richard Feynman

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Einflussfaktoren realer Testeinrichtungen hinsichtlich der Messung und Erzeugung elektromagnetischer Felder. Diese Faktoren müssen möglichst genau definiert sein, um reproduzierbare und vergleichbare Emissions- und Störfestigkeitsmessungen von Geräten auf unterschiedlichen Messeinrichtungen zu ermöglichen.

Für den Freifeldmessplatz werden die Effekte der Begrenzung und Formgebung der metallischen Bodenfläche (Groundplane) bei Emissionsmessungen per Simulation bestimmt. Es werden Optimierungshinweise für die Gestaltung des Messplatzes gegeben. Die Berechnungen werden durch Messungen auf skalierten Messplätzen validiert. Zu den Einflussfaktoren gehören neben der Fläche und Form der Groundplane auch die Terminierung am Rand, reflektierende Objekte in der Umgebung und die Gestaltung der Oberfläche. Die Auswirkung der aufgezeigten Effekte auf die normierte Messplatzdämpfung (NSA) war bekannt, aber die Bestimmung des Einflusses einzelner Effekte war nicht möglich. So konnte bei einer Abweichung der normierten Messplatzdämpfung beispielsweise nicht unterschieden werden, ob es eine Reflexion vom Zaun neben dem Messplatz ist oder aber die Größe oder Terminierung der Groundplane unzureichend ist. Maßnahmen zur Verbesserung der normierten Messplatzdämpfung waren daher auf die Erfahrung des Errichters oder Betreibers angewiesen. Die normierte Messplatzdämpfung ist als Quantifizierung der Abweichung gegenüber der idealen Groundplane zwar notwendig aber im Fall einer zu großen Abweichung enthält sie keine Informationen zur Optimierung.

Basierend auf den analysierten Effekten wird ein neues Messverfahren entwickelt, mit dem eine Erkennung, Lokalisierung und Bewertung von Stör- und Fehlstellen auf metallischen Flächen vorgenommen werden kann. Aufgrund der hohen Messgeschwindigkeit eignet sich das Verfahren auch zur regelmäßigen Kontrolle der Messeinrichtung. Der Messaufbau besteht aus einem vektoriellen Netzwerkanalysator und Antennen, mit denen komplexe Reflexions- oder Transmissionsparameter im Frequenzbereich mit hoher Dynamik gemessen werden. Im Gegensatz zur skalaren Messung der normierten Messplatzdämpfung steht auch die Phaseninformation zur Verfügung und es kann eine Transformation in den Zeitbereich erfolgen. Anhand der Größe und zeitlichen Position des Sprunges des Reflexionsparameters ist eine Quantifizierung und Lokalisierung von Fehlstellen möglich. Damit kann eine Optimierung der Messeinrichtung bei gleichzeitiger Kontrolle vorgenommen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass Zeitbereichsmessungen ein leistungsfähiges Werkzeug darstellen, um Fehlstellen in der Groundplane oder reflektierende Objekte in der Umgebung zu detektieren. Daher sollte dieses Verfahren ergänzend zur normierten Messplatzdämpfung zur Charakterisierung des Messplatzes verwendet werden.

Schlagworte: OATS, NSA, NMD, Freifeldmessplatz, Messplatzdämpfung, Zeitbereichsreflektometrie, TDR, Störstellenanalyse

Abstract

This thesis deals with the influencing factors of real test sites on the measurement and excitation of electromagnetic fields. These factors have to be defined, to ensure repeatable and comparable emission and susceptibility measurements of devices on different test sites.

The effects of the limited size and geometry of the groundplane will be exemplarily shown with numerical calculations for a typical emission test on the open area test site. Hints for the optimization of the groundplane design will be given. These calculations will be validated by measurements on scaled models of open area test sites. The measurement setup and the used antenna (as a model of the equipment under test) will be presented. Influencing factors are the size and geometry of the ground plane, termination at the rim of the plane, reflecting objects in the environment and the design of the surface. The effects of these factors on the normalized site attenuation (NSA) are known but a direct allocation to the different effects was impossible. If the measured normalized site attenuation deviates from the calculated one it cannot be distinguished if it is caused by the reflection of the metallic fence beside the test site or if the size or termination of the groundplane is insufficient. Any taken steps for the improvement of the normalized site attenuation are normally based on the constructor's and operator's experience. The normalized site attenuation is necessary for the quantification of the deviation against the ideal groundplane but this quantity does not include any information for a possible optimization if the deviation is too large.

Based on the analyzed effects a new measurement technique has been developed. This technique makes it possible to detect, analyze and evaluate imperfections in and on metallic surfaces. A regular check of the test site is possible as this method is quite fast. The measurement setup consists of a vectorial network analyzer with broadband antennas. Thus the complex reflection or transmission parameter can be measured in the frequency domain with a high dynamic range. Contrary to the scalar measurement of the normalized site attenuation the phase information is available for the transformation to time-domain. The quantification and localization of discontinuities can be derived from the amplitude and time position of the change of the reflection-parameter. Therefore the test site can be optimized with a simultaneous check of the improvement.

The presented results show, that time domain measurements provide a powerful tool to detect errors of the ground plane or the influence of reflecting objects in the environment. This method should be used as an extension of the normalized site attenuation measurement to characterize the test site.

Keywords: Open Area Test Site, OATS, Site Attenuation, Normalized Site Attenuation, NSA, Time Domain Reflectometry, TDR

Inhaltsverzeichnis

FORMELZEICHEN	X
ABKÜRZUNGEN	XIV
1 EINLEITUNG	1
1.1 FREIFELDMESSPLATZ	1
1.2 BEWERTUNG DES MESSPLATZES	3
1.3 PROBLEM	4
1.4 STRUKTUR DER ARBEIT	5
2 EINFLUSSFAKTOREN BEI FREIFELDMESSPLÄTZEN	7
2.1 LITERATUR	7
2.2 MESSPLATZDÄMPFUNG.....	9
2.3 THEORETISCHE FREIRAUM-MESSPLATZDÄMPFUNG.....	12
2.4 THEORETISCHE MESSPLATZDÄMPFUNG OHNE NAHFELDDERME	15
2.5 THEORETISCHE MESSPLATZDÄMPFUNG MIT NAHFELDDERMEN	17
2.6 OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN BEI DER MESSPLATZBEWERTUNG	21
3 NUMERISCHE SIMULATION VON MESSPLÄTZEN	24
3.1 MODELLBILDUNG	24
3.2 HERTZ'SCHER DIPOL ALS PRÜFLING	26
3.3 FELDVERTEILUNG AUF VERSCHIEDENEN GEOMETRIEN	26
3.4 ABWEICHUNG ZUM IDEALEN MESSPLATZ.....	33
3.5 OPTIMIERUNG DER GROUNDPLANE	37
4 MESSTECHNISCHE VALIDIERUNG DER EINFLUSSGRÖßEN	52
4.1 DER MESSAUFBAU	52
4.2 DIE BIKONISCHE ANTENNE ALS EUT	54
4.3 MINIMALE EBENE	63
4.4 MESSUNG AUF DER ELLIPSE	64
4.5 TERMINIERUNG DER GROUNDPLANE.....	66
5 MESSVERFAHREN ZUR LOKALISIERUNG UND QUANTISIERUNG VON EINFLUSSGRÖßEN	69
5.1 GRUNDIDEE DES VERFAHRENS	69
5.2 MESSAUFBAU MIT DEM TDR	70
5.3 MESSAUFBAU MIT DEM VEKTORIELLEN NETZWERKANALYSATOR.....	72
5.4 TRANSFORMATION IN DEN ZEITBEREICH	74
5.5 EIGENSCHAFTEN VON TEM-HORN ANTENNEN	80
5.6 TEM-HORN ANTENNE FÜR DIE MESSUNGEN	83
5.7 PULSBEAUFSCHLAGUNG DER TEM-HORNANTENNE	84

6	MESSUNGEN ZUR UNTERSUCHUNG DER FEHLERSZENARIEN	89
6.1	REFLEKTIERENDE OBJEKTE AUF DER EBENE	89
6.2	ÜBERGÄNGE IN DER EBENE	93
6.3	REFLEXIONEN AM RAND DER EBENE.....	94
7	ZUSAMMENFASSUNG	99
ANHANG A	MATHEMATISCHE HERLEITUNGEN	101
ANHANG B	HERTZ'SCHER DIPOL.....	105
ANHANG C	MESSACHSENAUSRICHTUNG	107
ANHANG D	VERGLEICH DER FELDVERTeilUNGEN	109
ANHANG E	CHIRP-Z UND FOURIER-TRANSFORMATION.....	119
LITERATUR.....		123
STICHWORTVERZEICHNIS.....		131