

# Untersuchung von Hochfrequenzabsorbern mittels der Simulationstechnik

Thomas Nentzl betreut von Dr.-Ing. Bastian Bandlow

**Abstract**—Es wird das elektrische Verhalten von EMV Hochfrequenzabsorbern mittels der Computer Simulation Technology (CST) Microwavestudio (MW) & der Homogenisierungstheorie (HGST) untersucht. In CST werden verschiedene Modelle der Absorber implementiert und die Einflüsse der Simulationsmodellierungen untersucht. Die Berechnungen in CST werden anschließend mit der HGST verglichen. Es werden Schaumstoffabsorber in Pyramidenform, Ferrite und Hybridabsorber untersucht.

**Index Terms**—EMV, HF-Absorber, CST MICROWAVE STUDIO, Homogenisierungstheorie, Finite Integration Theorie, ECAD

## I. EINFÜHRUNG

ZUR Beurteilung der EMV eines Gerätes sind die Störemissions- und Störfestigkeitsmessung entscheidende Größen. Um von äußeren Einflüssen autark zu bleiben, haben sich metallische Schirmkammern durchgesetzt. Mit Hilfe von Absorbern können in der Schirmkammer Freiraum- bzw. Freifeldbedingungen ohne störende äußere Einflüsse nachgebildet werden. Die Absorber sorgen durch Umwandlung der EM-Wellen in Wärme für die Dämpfung der Reflexion an den metallischen Wänden der Kammer. Im HF-Bereich werden Absorber aus mit Kohlenstoff dotiertem Schaumstoff und Ferriten verwendet. Der wasserdurchlässige Schaumstoff wird dotiert in dem der Absorber in Wasser getaucht wird in welchem Kohlenstoff auf geschwemmt ist. Beim anschließenden trocknen bleiben die Kohlenstoffpartikel auf den Bälkchen des Schaumstoffes zurück. Der Grad der Dotierung wird über das Kohlenstoff zu Wasser Verhältnis bestimmt [3].

Die Absorber arbeiten nur in gewissen Frequenzbereichen zufriedenstellend. Die Ferrite funktionieren vornehmlich im unteren und mittleren MHz-Bereich. Der dotierte Schaumstoff funktioniert in diesem Bereich nur bei sehr großen Abmessungen, arbeitet aber für höhere Frequenzen im GHz-Bereich immer gut. Die Absorber sollten möglichst geringe Abmessungen aufweisen, um nicht zu viel Raum der Kammer einzunehmen. Aus diesem Grund sind für die Dimensionierung einer EMV Kammer, neben ihrem gewünschten nutzbaren Frequenzbereich, genaue Kenntnis über die Absorber erforderlich [3].

Das Verhalten von Absorbern wird im folgenden mit gitterbasierten und analytischen Simulationsansätzen untersucht, wozu das kommerzielle Werkzeug CST MW [5] zum Einsatz kommt und die HGST [1],[2],[4].

T. Nentzl Student der Elektrotechnik, Technische Universität Berlin.  
E-mail: nentzl@ht.tu-berlin.de  
Berlin, 02.03.2012

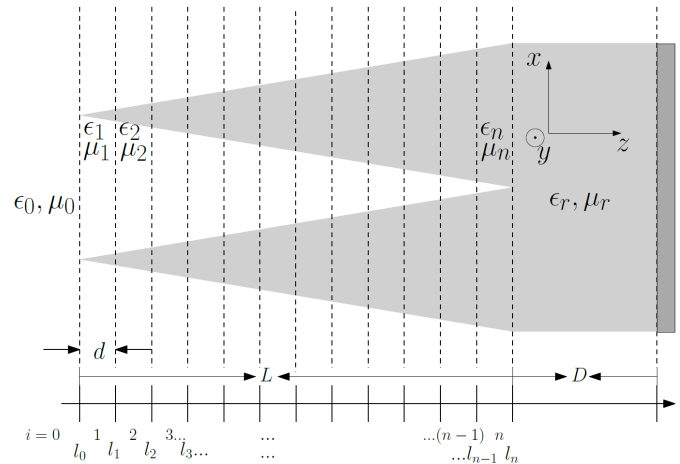


Abb. 1. Schema der HGST für einen Pyramidenabsorber [2]

## II. THEORIE

Die Dämpfungseigenschaft eines Absorbers vor einer metallischen Wand wird durch den Reflexionsfaktor beschrieben. Er stellt das Verhältnis zwischen der einlaufenden und der reflektierten Welle dar. Zur Beurteilung der Absorberleistung genügt die Amplitude (1) des Reflexionsfaktors, die so klein sein sollte wie möglich. Der Einfallswinkel der eintreffenden Welle wird durch den Winkel  $\theta$  beschrieben. Eine zufriedenstellende Dämpfung beträgt  $-20dB$  [1].

$$|\underline{S}_{11}| = \frac{|\underline{E}_r|}{|\underline{E}_e|} \quad (1)$$

### A. Absorber

Es werden 3 populäre Absorbertypen untersucht. Diese werden direkt vor der Metallwand der Schirmkammer angebracht. Die Permittivität (2) und Permeabilität (3) sind komplexe Größen, deren Imaginärteil die Verluste im Absorber beschreibt. Die dispersiven Materialparameter wurden [1] entnommen. Der Einfallswinkel  $\theta$  beeinflusst die Dämpfungsleistung des Absorbers.

$$\underline{\varepsilon} = \varepsilon' + j\varepsilon'' \quad (2)$$

$$\underline{\mu} = \mu' + j\mu'' \quad (3)$$

1) *Schaumstoffpyramidenabsorber*: Schaumstoffpyramidenabsorber bestehen aus einem mit Kohlenstoff dotierten Schaumstoff. Dies bewirkt eine dispersive Permittivität, welche Verluste aufweist. Sie setzen sich, wie in Abb. 1

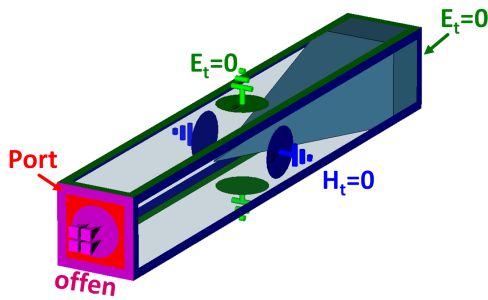


Abb. 2. Modell des Pyramidenabsorbers in der Parallelplattenleitung in CST

dargestellt, aus einem Pyramidenteil (L) und einem Sockel (D) zusammen. Der Pyramidenteil bewirkt einen weniger abrupten Übergang zwischen Luft und Absorber, was für einen geringeren Wellenwiderstandssprung sorgt. Dieser Absorbentyp arbeitet im GHz-Bereich immer zufriedenstellend. Im unteren MHz-Bereich bewirkt eine größere Länge eine bessere Dämpfung der EM-Welle [3],[4]. Für  $\theta > 0$  sinkt die Absorberleistung [4].

2) *Ferritplatten*: Ferritplatten wirken primär über ihre hohen Verluste ihrer dispersiven Permeabilität. Sie besitzen aber auch eine dispersive Permittivität, welche auch Verluste aufweist. Die Dämpfungswirkung ist im unteren MHz-Bereich gut und nimmt mit zunehmender Frequenz ab [1].

3) *Hybridabsorber*: Der Hybridabsorber stellt eine Kombination aus Schaumstoffpyramidenabsorber & Ferritplatten dar. Im Vergleich zum Schaumstoffpyramidenabsorber soll eine besser Dämpfung im unteren MHz-Bereich erreicht werden [1].

### B. Simulationemethode

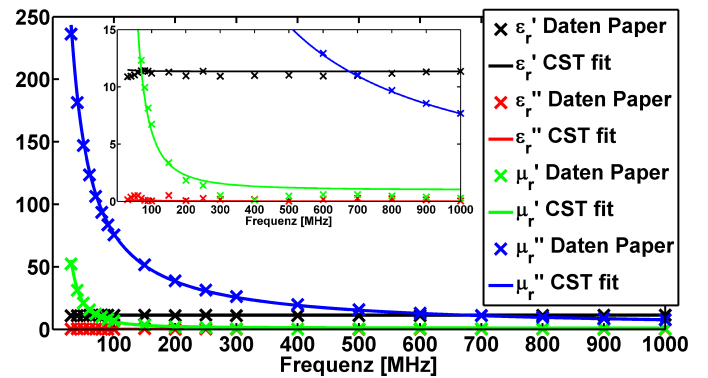
CST MW basiert auf der Methode der finiten Integration (FIT). Es werden die Maxwell-Gleichungen in drei Dimensionen im Frequenz- oder Zeitbereich gelöst [5].

### C. Homogenisierungstheorie

Die HGST unterteilt den Bereich der Pyramide des Absorbers in  $n$  homogene Schichten (siehe Abb. 1), und bestimmt für diese unter Berücksichtigung eines Füllfaktors effektive Permeabilitäten und Permittivitäten. Anschließend werden die Reflexionsfaktoren an den Grenzflächen  $l$  der Schichten bestimmt [1]. Das so auf eine Dimension verringerte Problem kann schnell und effizient berechnet werden.

## III. DURCHFÜHRUNG

Es werden Modelle der Absorbentypen in CST modelliert. Außerdem wird eine Simulation des Pyramidenabsorbers mithilfe der HGST in MATLAB [6] aus der Arbeit [2] verwendet. Die Modelle werden im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz untersucht. In der Literatur [1] befinden sich Materialparameter für 7%, 10%, 26% und 34% dotierten Schaumstoff und Materialparameter für die Ferrite im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz. In Abb. 3 sind exemplarisch die Materialdaten der Ferritplatten dargestellt und die dazugehörige Kurvenanpassung aus CST.

Abb. 3. Dispersion der Materialparameter der Ferritplatten über der Frequenz. Daten aus [1] (X) und Kurvenanpassung in CST (Linie). Im kleinen Bild sind  $\epsilon_r'$  und  $\epsilon_r''$  noch einmal feiner aufgelöst.

### A. Modellierung in CST

Die Absorbentypen werden jeweils in einer Parallelplattenleitung (PPL) und in einer Einheitszelle (EZ) modelliert. Die Materialparameter werden in CST über eine Kurvenanpassung eingefügt. Zum Vergleich mit der HGST wird auch ein einfaches Schichtenmodell in CST implementiert. Die einzelnen Schichten werden mit den effektiven Materialparametern aus [2] versehen.

1) *Parallelplattenleitung*: Das Modell der PPL ist in Abb. 2 mit den Randbedingungen dargestellt. In der Portebene in der die Einspeisung erfolgt, ist eine offene Randbedingung definiert, welche eine ungehinderte Transmission erlaubt. Die metallischen Platten oben und unten, sowie die metallische Rückwand hinten zwingen die tangentele E-Feldkomponente zu Null ( $E_t = 0$ ). Die offenen Seiten geben ein tangenteles H-Feld von Null vor ( $H_t = 0$ ). Die PPL kann im Frequenz- und im Zeitbereich gerechnet werden. Ein schräger Welleneinfall ( $\theta > 0$ ) ist nicht möglich. Die quadratische Form der PPL führt zu entarteten Wellenmoden höherer Ordnung die aber kaum ausbreitungsfähig sind. Die PPL kann im Frequenz- und im Zeitbereich gerechnet werden.

2) *Einheitszelle*: Die Randbedingungen der EZ sind in der Portebene und an der Rückwand identisch mit denen der PPL. In transversaler Richtung ist sie periodisch fortgesetzt. Dies ermöglicht einen schrägen Welleneinfall ( $\theta > 0$ ). Die EZ kann nur im Frequenzbereich gerechnet werden.

## IV. ERGEBNISSE

Es werden die Ergebnisse aus den Simulationen der Versuchsreihen der einzelnen Absorbentypen in CST dargelegt. Gefolgt von einem Vergleich der Berechnungen des Pyramidenabsorbers der CST Resultate und der Ergebnisse der HGST. Im letzten Abschnitt werden die drei untersuchten Absorbentypen verglichen.

### A. Simulationen in CST

Die Simulation in der EZ und in der PPL weisen für einen senkrechten Welleneinfall eine gute Übereinstimmung auf. Die Rechenzeit für den Pyramidenabsorber ist im Zeitbereich ca. 40 mal geringer als im Frequenzbereich (Rechenzeit im

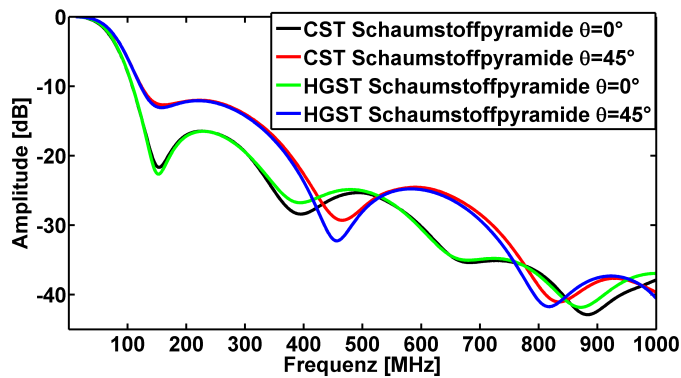


Abb. 4. Vergleich des Reflexionsfaktors des Pyramidenabsorbers, berechnet mit CST und mit der HGST für eine TE-Welle mit einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  und  $45^\circ$

Zeitbereich: 11s; Rechenzeit im Frequenzbereich: 411s). Das Gitter wurde für beide Berechnungen nicht verändert.

Die Absorber wirken besonders gut wenn sich die Feldstärke der einfallenden Welle über die gesamte Absorberlänge abbaut, das heißt dass das Maximum der E-Feldstärke sich auf der halben Länge des Pyramidenteils befindet. Besonders schlecht ist die Pyramidenabsorberleistung wenn das E-Feld-Maximum kurz vor dem Sockel auftritt. Ein schräger Welleneinfall ( $\theta > 0$ ) bewirkt eine Verschlechterung der Dämpfungsleistung des Absorbers für TE- & TM-Wellen. Eine zu hohe Dotierung des Schaumstoffes führte zu einem hohen Wellenwiderstandssprung am Luft-Absorber Übergang. Die Welle dringt kaum in den Absorber ein und wird zum groß teil reflektiert. Der Absorber funktioniert nur schlecht. Eine zu geringe Dotierung sorgt dagegen für eine zu schlechte Dämpfung der Welle im Absorber. Die an der metallischen Rückwand des zu gering dotierten Absorbers reflektierte Welle wird nur ungenügend gemindert. Eine verlängerung des Pyramidenabsorbers bewirkt eine bessere Dämpfung für tiefere Frequenzen.

Der Ferritabsorber dämpft für eine Dicke von ca. 6mm am besten.

### B. Pyramidenabsorber: CST vs HGST

1) *CST 10 Schichtenmodell vs HGST*: Das 10 Schichtenmodell in CST ergibt im Vergleich mit der HGST einen gut übereinstimmenden Reflexionsfaktor. Wenn die effektiven Materialparameter für die HGST zuerst in CST über die Frequenz kurvenangepasst werden und dann in MATLAB importiert werden, stimmen die Reflexionsfaktoren absolut überein.

2) *Pyramidenabsorber CST vs HGST*: Die Ergebnisse der beiden Modelle sind in Abb.4 dargestellt. Die Reflexionsfaktoren stimmen für die beiden Einfallswinkel  $\theta$  der TE-Wellen gut überein und weisen erst im höheren MHz Bereich eine gewisse Frequenzverschiebung auf. Die Dämpfungsleistung für den Einfallswinkel  $\theta = 45^\circ$  ist im durchschnitt schlechter als für den senkrechten Welleneinfall  $\theta = 0^\circ$ .

### C. Die Absorbertypen im Vergleich

Die drei optimierten Absorbertypen sind in Abb.5 dargestellt. Der Ferrit ist 6.1 mm Dick. Der Pyramidenteil ( $L$ )

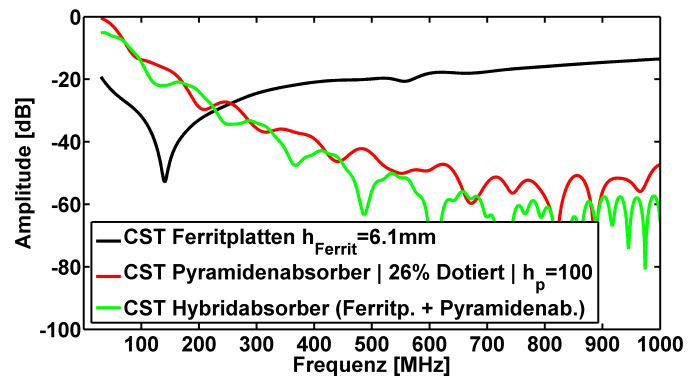


Abb. 5. Vergleich des Reflexionsfaktors für die drei optimierten Absorbertypen, berechnet in CST

des 26 % dotierten Schaumstoffabsorbers ist 1 m lang und der Sockel ( $D$ ) ist 10 cm hoch. Der Ferrit arbeitet im Bereich von 30...500 MHz gut, der Pyramidenabsorber ab ca. 175 MHz und der Hybridabsorber ab ca. 110 MHz. Für den unteren MHz-Bereich ist der Ferrit gut geeignet. Für höhere Frequenzen eignen sich der Pyramidenabsorber und der Hybridabsorber besser.

Der Hybridabsorber weist im Vergleich mit dem Pyramidenabsorber mit identischen Abmessungen aufgrund der Ferritplatte eine bessere Dämpfungsleistung für tiefere Frequenzen auf. Dies ermöglicht den Einsatz kürzere Hybridabsorber bei gleichbleibender Dämpfungsleistung der Absorber in der Schirmkammer. Der effektiv nutzbare Messraum kann so vergrößert werden.

## V. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden verschiedene Modellierungen in der CST-Umgebung untersucht. Es konnte gezeigt werden dass diese Modelle gut übereinstimmen. Der Pyramidenabsorber arbeitet besonders gut, wenn das E-Feldmaximum auf halber Höhe der Pyramide liegt. Es konnte die Übereinstimmung der HGST mit den CST-Modellen aufgezeigt werden. Am Ende wurden die drei Absorbertypen verglichen. Dies ermöglicht je nach Einsatzgebiet den richtigen Absorber auszuwählen.

## REFERENZEN

- [1] C. L. Holloway, R. R. DeLyser, R. F. German, P. McKenna, and M. Kanda: *Comparison of electromagnetic absorber used in anechoic and semi-anechoic chambers for emissions and immunity testing of digital devices*. IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 39, no. 1, pp. 33–47, Feb. 1997.
- [2] Olaf Sandstede: *Masterarbeit: Leistungsabsorption in GTEM-Zellen*. Technische Universität Berlin, Institut für Hochfrequenztechnik und Halbleitertechnik, 2011.
- [3] Gerhard Mönich: *Vorlesungsskript: Elektromagnetische Verträglichkeit II*. Technische Universität Berlin, Institut für Hochfrequenztechnik und Halbleitertechnik, 2000.
- [4] Pouchè, David: *Dissertation: Analytische Modellierung von Keil- und Pyramidenabsorbern unter Berücksichtigung der anisotropen Eigenschaften*. 1. Auflage. Berlin: MENSCH & BUCH VERLAG, 1999. - ISBN 3-933346-31-
- [5] CST MICROWAVE STUDIO is a specialist tool for the 3D EM simulation of high frequency components CST Studio Suite Version 2011. <http://www.cst.com/content/products/mws/overview.aspx> vom März 2012.
- [6] MATLAB ist eine Hochsprache und eine interaktive Umgebung, mit der Sie rechenintensive Aufgaben schneller als mit herkömmlichen Programmiersprachen wie C, C++ und Fortran ausführen können MATLAB R2009a. vom März 2012.