

Untersuchung der Common-Mode und Differential-Mode Abstrahlung von Kabeln mit der Stripline-Methode und im Absorberraum

Dr.-Ing. Peter Reiser, Visteon Electronics Germany GmbH, EE/EMC,
Karlsruhe, Deutschland

1 Einleitung

Heutige KFZ-Kabelbaumtopologien basieren auf einer Vielzahl von elektronischen Steuergeräten, die über Bussysteme miteinander vernetzt sind. Dabei kommen zum Teil serielle Hochgeschwindigkeitsübertragungen (HSVL) zum Einsatz, um auch Video-Streams, z.B. von einer Rückfahrkamera, in HD-Qualität übertragen zu können. Die Begrenzung der parasitären Abstrahlungen stellt eine große Herausforderung bei der Entwicklung der Steuergeräte dar. Damit schon im frühen Entwicklungsstadium Optimierungen von Abstrahlungen durchgeführt werden können, kommen Komponentenmessmethoden zum Einsatz, wie sie in der CISPR 25 [1] beschrieben sind. Dabei war die Messung im Absorberraum eine der ersten vorgeschlagenen Messmethoden, die jedoch relativ aufwändig war. Aufgrund der Absorber wurde eine große Schirmkabine benötigt. Außerdem erforderte die hohe Empfindlichkeit die Verwendung sehr kleiner Auflösungsbandbreiten des Messempfängers, was zu langen Messzeiten führte. Deshalb wurden alternative Messmethoden entwickelt, die in den neueren Ausgaben der CISPR 25 [1] beschrieben worden sind. Eines dieser zusätzlichen Verfahren ist die Stripline-Methode. Mit dieser können auch effiziente Immunitätsprüfungen durchgeführt werden, weil schon kleine HF-Verstärkerleistungen ausreichen, um hohe Feldstärken zu erzeugen. Deshalb hat die Stripline-Methode in vielen Laboren Einzug gehalten und wird weiterhin gerne als Komponentenmessverfahren verwendet, auch wenn die langen Messzeiten im Absorberraum (ALSE) aufgrund der heute zur Verfügung stehenden FFT-Verfahren der Vergangenheit angehören.

Um die zwei Messmethoden bzgl. HSVL besser vergleichen zu können, bieten sich Untersuchungen der Common-Mode und Differential-Mode Abstrahlung von Kabeln an. Dabei wird eine Testanordnung verwendet, die keine galvanische Verbindung zur GND-Plane hat, weil auch die Steuergeräte in den heutigen Fahrzeugen oft keine direkte Verbindung zur Fahrzeugkarosserie haben oder diese durch nichtleitende neue Leichtbaumaterialien ersetzt werden.

2 Messaufbau

2.1 Signalerzeugung

Der Messaufbau besteht aus dem in Bild 1 gezeigten Miniatursignalgenerator mit den Abmessungen 62 mm x 62 mm x 42 mm. Aufgrund der eingebauten Batterien werden keine Stromversorgungsleitungen benötigt. Dies hat den Vorteil, dass keine parasitären Abstrahlungen entstehen, die bei der Striplinemessung und der Messung im Absorberraum unterschiedlichen Einfluss nehmen könnten.



Bild 1: Miniatursignalgenerator

Der Signalgenerator erzeugt innerhalb von 30 ms ein Frequenzsweep von 90 MHz bis 1,06 GHz (Bild 2). Über ein 10 dB Dämpfungsglied werden damit zwei unterschiedliche, 1 m lange Wellenleiter, gespeist. Dabei kommt ein Koaxial-Kabel (RG-214) und eine offene Streifenleiterstruktur zum Einsatz, die eine Breite von 8,3 mm hat und deren Querschnitt in Bild 3 skizziert ist. Die Wellenleiter werden am Ende angepasst (Match), offen (Open) und kurzgeschlossen (Short) betrieben. Die Ausbreitung der Welle kann als Differential-Mode Anregung betrachtet werden. Durch Reflexionen an den Abschlüssen werden stehende Wellen in Wellenleiter erzeugt, die vor allem bei den Resonanzfrequenzen zusätzliche Common-Mode Anteile erzeugen. Zur Erzeugung der Common-Mode Anregung wird ein 1 m langer Draht an den Innenleiter des Ausgangs vom Dämpfungsglied angeschlossen.

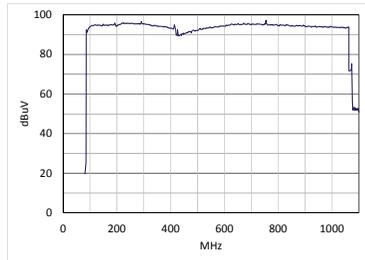


Bild 2: Signalpegel an 50 Ohm

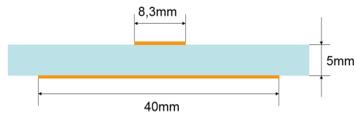


Bild 3: Dimension der Streifenleitung

2.2 Messaufbau unter der Stripline

Der Messaufbau unter der Stripline ist in Bild 4 dargestellt. Dabei kommt eine 90 Ω Stripline mit HF-Breitbandtransformatoren zum Einsatz. Der Signalgenerator und das angeschlossene Kabel befinden sich dabei mittig unter dem Septum. Der Abstand zur Grundplatte beträgt 5 cm. Der Signalgenerator befindet sich auf der Abschluss-Seite der Stripline, wo sich normalerweise das zu messende Modul befindet.

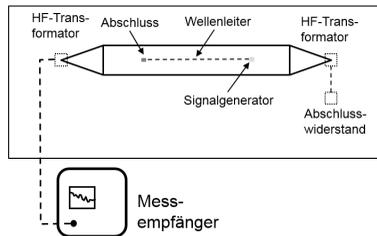


Bild 4: Messaufbau unter der Stripline

2.3 Messaufbau im Absorberraum

Bild 5 zeigt den Aufbau im Absorberraum. Von 80 MHz bis 300 MHz wird mit einer Bikonischen Antenne und im Bereich von 300 MHz bis 1,1 GHz mit einer Logarithmisch-Periodischen-Antenne gemessen. Bei allen Messungen ist die Abstrahlung bei horizontaler Polarisation höher als bei vertikaler Polarisation. Deshalb werden im Weiteren nur die Ergebnisse der Messung bei horizontaler Polarisation gezeigt.

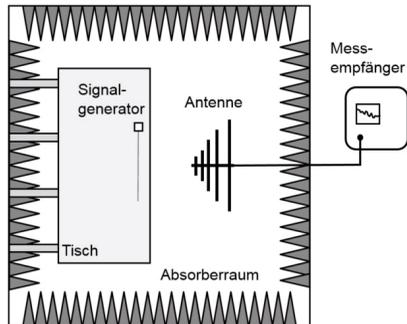


Bild 5: Messaufbau im Absorberraum

3 Messergebnisse

3.1 Koaxialkabel

In den Bildern 6 bis 8 sind die Messergebnisse gegenübergestellt, die sich bei der Messung des Koaxialkabels in der Stripline und im Absorberraum für die verschiedenen Abschlüsse ergeben. Durch die nicht idealen Abschlüsse oder auch durch eine Abweichung des Wellenwiderstands des Koaxialkabels von 50Ω bilden sich im Koaxialkabel stehende Wellen, die im Resonanzfall das Vielfache von $\lambda/2$ betragen [2]. Die Grundresonanzfrequenz f_0 liegt sowohl bei der Striplinemessung als auch bei der Messung im Absorberraum bei ca. 100 MHz. Daraus berechnet sich für eine Länge $l = 1m$ des Koaxialkabels eine Ausbreitungsgeschwindigkeit c im Kabel von

$$c = 2lf_0 = 2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

Damit beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit ca. 66% der Lichtgeschwindigkeit, was mit dem im Datenblatt angegebenen Wert für das verwendete RG-214 Kabel übereinstimmt. Überraschend ist, dass für die gewählten Abschlüsse (Match, Open und Short) das Abstrahlverhalten bei allen Striplinemessungen ähnlich ist. Das Gleiche gilt für die 2 Resonanzstellen die im Absorberraum erkennbar sind. Deutlich ist zu sehen, dass die Messung mit der Stripline im Vergleich zur Messung im Absorberraum empfindlicher ist, denn bei der Messung im Absorberraum liegen nur 2 Resonanzstellen über dem Rauschpegel.

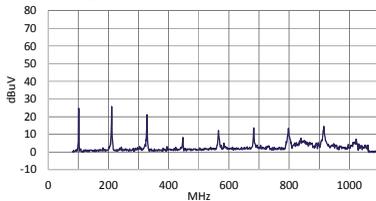


Bild 6a: Koaxialkabel, Match unter Stripline

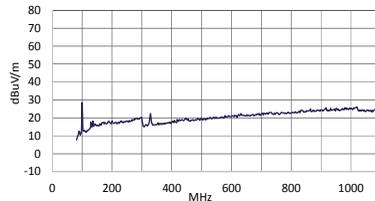


Bild 6b: Koaxialkabel, Match im Absorberraum

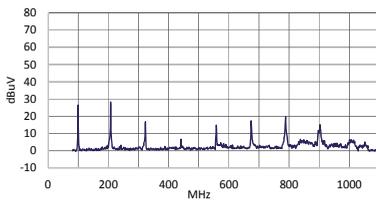


Bild 7a: Koaxialkabel, Open unter Stripline

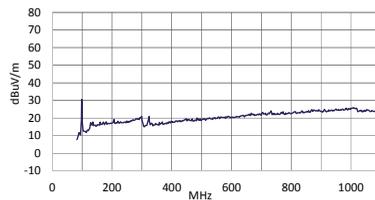


Bild 7b: Koaxialkabel, Open im Absorberraum

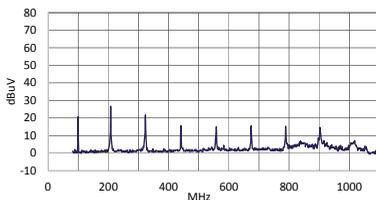


Bild 8a: Koaxialkabel, Short unter Stripline

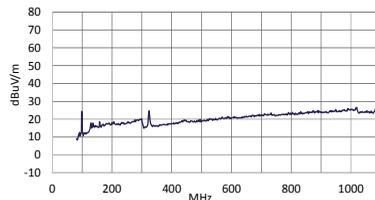


Bild 8b: Koaxialkabel, Short im Absorberraum

3.2 Streifenleiterstruktur

In Bild 9 ist die Messung der Streifenleiterstruktur unter der Stripline gezeigt. Erwartungsgemäß sind die Abstrahlungen in der Stripline sowie im Absorberraum größer als mit dem Koaxialkabel. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit liegt im gleichen Bereich wie beim Koaxialkabel, weil auch hier der Abstand der Resonanzstellen etwas über 100 MHz beträgt. Bei der Messung unter der Stripline ist der Frequenzverlauf des Ausgangspegels zu erkennen (siehe Bild 2), wenn die Resonanzstellen unberücksichtigt



Bild 9: Streifenleiterstruktur unter der Stripline

bleiben. Bei der Messung im Absorberraum ist dieser Frequenzverlauf nicht erkennbar, weil die Messergebnisse stärker von zusätzlich überlagerten Resonanzerscheinungen geprägt sind.

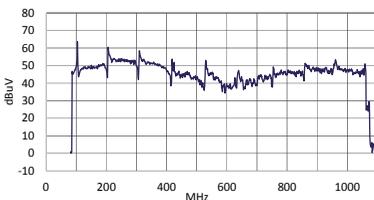


Bild 10a: Streifenleiter, Match unter Stripline

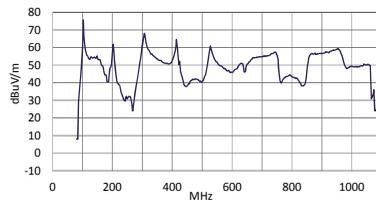


Bild 10b: Streifenleiter, Match im Absorberraum

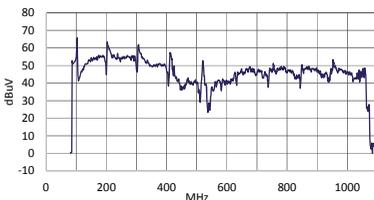


Bild 11a: Streifenleiter, Open unter Stripline

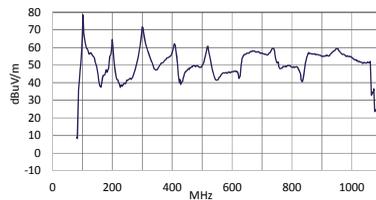


Bild 11b: Streifenleiter, Open im Absorberraum

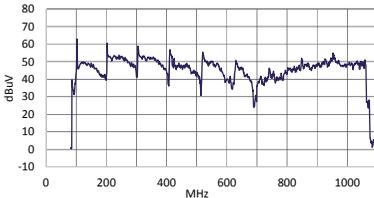


Bild 12a: Streifenleiter, Short unter Stripline

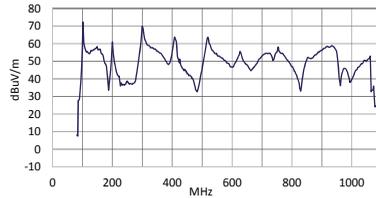


Bild 12b: Streifenleiter, Short im Absorberraum

3.3 Draht

In Bild 13 ist die Abstrahlungsmessung des Drahts im Absorberraum gezeigt. Für die Abstrahlung des Drahts kann das Abstrahlverhalten einer Stabantenne herangezogen werden. Die Grundresonanzfrequenz f_0 berechnet sich dabei bei gegebener Länge l und der Lichtgeschwindigkeit c_0 zu [2]

$$f_0 = \frac{c_0}{4l}$$

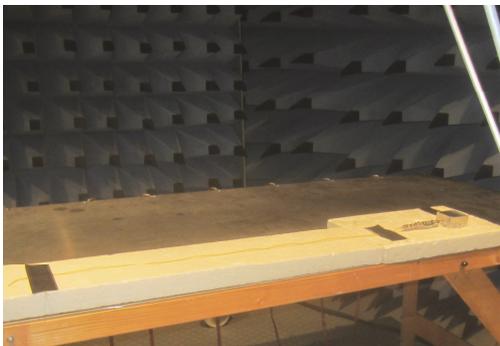


Bild 13: Messung Draht im Absorberraum

Bei einer Länge $l = 1\text{ m}$ erhält man eine Grundresonanzfrequenz von ca. 75 MHz. Die gemessene Grundresonanzfrequenz lag sowohl bei der Striplinemessung als auch bei der Messung im Absorberraum bei ca. 90 MHz (Bild 14), was einer kürzeren Antenne entsprechen würde. Erklärbar ist dieses durch die Massefläche unter dem Messaufbau, deren kapazitiver Einfluss zu einer kürzeren effektiven Länge führt, wie dies z.B. auch durch eine Dachkapazität bei einer Stabantenne der Fall ist. Die weiteren Resonanzfrequenzen sind bei der Striplinemessung deutlicher ausgeprägt, wie dies im Absorberraum zu sehen ist. Bei beiden Messungen fehlt die 4. Oberwelle, die sich bei ca. 550 MHz befinden sollte. Der Betrag zwischen Maxima und Minima ist im Absorberraum größer als bei der Striplinemessung.

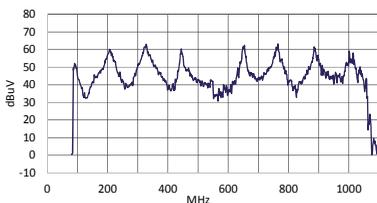


Bild 14a: Draht unter der Stripline

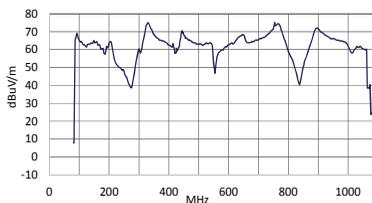


Bild 14b: Draht im Absorberraum

3.4 Vergleich Differential-Mode und Common-Mode

Zum Vergleich der Differential-Mode und Common Mode Abstrahlung sind die Messungen unter der Stripline und die Messungen im Absorberraum in der Tabelle 1 gegenübergestellt. Bei den Wellenleitern wird dabei nur der abgeschlossene Fall (Match) gezeigt. Um eine bessere Übersicht zu haben, werden die Messergebnisse der Bilder 6, 10 und 14 noch einmal klein abgebildet. Es wird ein grober Korrekturfaktor angegeben, der bei den Resonanzstellen ermittelt worden ist und der eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Feldstärken angibt, wenn die Pegel in der Stripline gemessen worden sind.

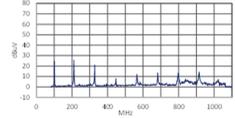
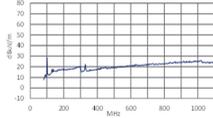
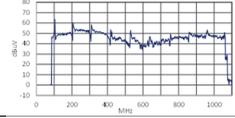
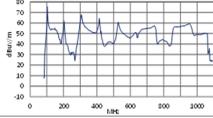
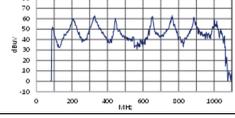
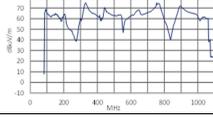
	Stripline	Absorberraum, horizontal	Korrelation bei den Resonanzfrequenzen
Koaxial- kabel			Bei 100 und 300MHz Resonanz ca. 0 dB/m
Streifen- leiter			ca. +10 dB/m
Draht			ca. +15 dB/m

Tabelle 1: Vergleich Wellenleiter und Draht, unter der Stripline und im Absorberraum

4 Zusammenfassung

Die Untersuchung der Common-Mode und Differential-Mode Abstrahlung hat ergeben, dass keine eindeutige Korrelation zwischen der Stripline-Methode und der Messung im Absorberraum möglich ist. Die Ergebnisse sind stark von Resonanzen geprägt. Diese sind im Absorberraum besonders ausgeprägt. Beide Methoden sind zur Untersuchung der Abstrahlung geeignet. Die Messung mit der Stripline ist für Koaxialkabel bzw. deren Steckverbindungen empfindlicher, wohingegen die Messung im Absorberraum die Common-Mode Abstrahlung höher bewertet. Damit ergänzen sich die Methoden bei Abstrahlungsmessungen.

5 Literatur

- [1] CISPR 25, Edition 3.0, 2008-03: Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers
- [2] Meinke, Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Springerverlag, Berlin, 5. Auflage