

- **Abschätzung gestrahlter Emissionen im Kfz-Komponententest bei entwicklungsbegleitenden Prüfungen**

Dipl.-Ing. Daniel Schneider

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen

Mitberichter:

Prof. Dr. rer. nat. F. Gronwald

TU Hamburg-Harburg

Tag der mündlichen Prüfung:

26.02.2016

Moderne Kraftfahrzeuge unterliegen in unterschiedlichen Bereichen einer stetig fortschreitenden Elektrifizierung. Neben Motorsteuerungen, Komforteinrichtungen und sicherheitsrelevanten Systemen wird momentan der elektrische Antrieb im modernen Fahrzeug implementiert. Ein störungsfreier Betrieb aller elektrischen Einrichtungen muss dabei sichergestellt werden, so dass der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) steigende Bedeutung zukommt. Die EMV stellt ein wichtiges Qualitätsmerkmal elektronischer Komponenten dar und folgt gesetzlichen Regelungen sowie Herstellervorgaben.

Der Nachweis der EMV von elektronischen Fahrzeugkomponenten ist eine Voraussetzung für deren Einsatz in einem Automobil. Ihre Ermittlung erfolgt durch Störfestigkeits- und Störaussendungsprüfungen. Dabei werden die Bereiche der leitungsgeführten und der gestrahlten Emissionen unterschieden. Die Durchführung solcher Tests kann abhängig von ihren Anforderungen an die Messgeräte und Messumgebung komplex und zeitaufwändig sein. Hinzu kommt ein entsprechender Kostenfaktor. Um kosteneffiziente EMV-Gegenmaßnahmen einleiten zu können, müssen während des Entwicklungsprozesses aufkommende Probleme frühzeitig erkannt werden. Aus diesem Grund erfolgen EMV-Prüfungen heutzutage parallel zur Entwicklung einer Komponente, um ihre EMV sicherzustellen. Die hierfür notwendige Koordination und der Zeit- und Kostenaufwand stellen einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag an den Gesamtkosten dar. Ziel ist es, mit einem Prüfling auf Anhieb den ersten Messdurchlauf zu bestehen, wodurch Rekursionen entfallen. Zur Einsparung von Zeit und zur Reduktion der entwicklungsbegleitenden Ausgaben für EMV-Messungen sind neue Methoden gefragt, die hinsichtlich erforderlicher Messgeräte und Laborein-

richtungen kostengünstiger und flexibler einsetzbar sind, sogenannte Pre-Compliance-Methoden.

Diese Arbeit beleuchtet den Bereich für gestrahlte Störemissionen nach der Norm CISPR 25. Diese Prüfungen finden in geschirmten Absorberhallen statt. Messplätze dieser Art sind teuer und nur beschränkt verfügbar, woraus sich kostspielige Messzeiten ergeben. Zur Abschätzung der zu erwartenden Abstrahlung eines Prüflings im Komponententest kommen Verfahren zum Einsatz, die auf Störstrommessungen basieren. Die Aufbauten bestehen aus dem Prüfling, ihrem zugehörigen Kabelbaum, der Spannungsversorgung und den Lastsimulatoren. Störstrommessungen erfolgen über Stromzangen, die den auf dem Gesamtkabelbaum fließenden Gleichtaktstörstrom erfassen. Dieser wird als die dominierende Größe für die abgestrahlte Funkstörfeldstärke in dem betrachteten Frequenzbereich angenommen. Ziel ist es, unabhängig von Absorberhallen, das zu erwartende elektrische Feld zu berechnen. Um dem Anspruch an die Flexibilität einer solchen Pre-Compliance-Methode gerecht zu werden, dienen als alternative Messplätze metallische Labortische, auf welchen der Prüfaufbau gemäß CISPR 25 angeordnet ist. So kann der Entwickler unabhängig von speziellen Einrichtungen vorab prüfen, ob eine teure Normprüfung überhaupt bestanden werden kann und inwiefern getroffene Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV greifen.

Zur Bestimmung des elektrischen Feldes bedarf es der Ermittlung des Störstromes entlang des sich im Messaufbau befindlichen Kabelbaumes. Um die Stromverteilung komplett zu beschreiben, sind Betrag und Phase zu ermitteln. Dies erfolgt über messtechnische Verfahren, welche eingeführt und untersucht werden. Da Störströme die Grundlage der späteren Berechnungsmethoden bilden, wird untersucht, ob eine relevante Beeinflussung der Ströme durch die eingesetzten Ermittlungsverfahren vorhanden ist. Eine Analyse zur Reproduzierbarkeit dieser Ströme bei Messungen innerhalb und außerhalb einer Absorberhalle bestätigt diese Voraussetzungen.

In der Arbeit werden zwei Berechnungsmethoden betrachtet: Ein analytisches Modell, welches den Messaufbau auf Grundlage von Hertzschen Dipolen abbildet, und ein messtechnisches Verfahren mit Transferfunktionen. Über Transferfunktionen lassen sich Störstrom und elektrisches Feld in Relation setzen. Diese Transferfunktionen sind vorab in einer Absorberhalle zu ermitteln, wobei der betrachtete Frequenzbereich dieser Arbeit zwischen 0,15 und 200 MHz liegt.

Das analytische Modell reduziert den Kabelbaum eines Prüflings auf ein Hertzsches-Dipol-Array, bei dem der Kabelbaum in einzelne Segmente unterteilt wird. Die Überlagerung der berechneten Felder der einzelnen Segmente bildet das Gesamtfeld. Der Prüfling und die angeschlossene Versorgungsseite werden über rudimentäre vertikale Dipole berücksichtigt. Durch Einsatz der Image-Theorie sind Effekte des Messtisches und des Bodens der Absorberhalle Bestandteil der Modellierung. Anhand von Simulationen und Messungen entsteht eine Begutachtung des Modells, die Rückschlüsse auf die Anwendbar- und Genauigkeit der Abschätzung ermöglichen.

Die analytische Modellierung besitzt Schwachstellen, wie zum Beispiel die Vernachlässigung der Antennenstruktur und ihrer Nahfeldkopplung mit dem Prüfaufbau. Zur Berücksichtigung solcher Faktoren wird auf Transferfunktionen zurückgegriffen. Es ergeben sich drei Varianten messtechnischer Transferfunktionsansätze, die hier vorgestellt und untersucht werden. Die erste spiegelt den gesamten Kabelbaum inklusive Last über eine einzelne Transferfunktion wieder. Die zweite Variante führt, ähnlich dem Dipol-Array-Modell, eine Segmentierung des Kabelbaumes durch, wobei für jedes einzelne Kabelbaumsegment eine messtechnische Transferfunktion zu erstellen ist. Eine Untersuchung von Einflussfaktoren und von Anwendungsbeispielen findet statt. Die dritte Variante, die der kombinierten Transferfunktionen, berücksichtigt den Bereich des elektrischen Antriebs, in dem verteilte Systeme vorherrschen. Anhand eines Pulswechselrichter-Prüfaufbaus mit elektrischer Maschinennachbildung zeigt sich eine sehr gute Anwendbarkeit. Hieraus entsteht eine eingehende Untersuchung kombinierter Transferfunktionen. Die Vorhersageergebnisse im Vergleich zur Referenzmessung haben Abweichungen von weniger als 5 dB. Eine Entstörung unter Verwendung vorhandener Transferfunktionen stellt sich als durchführbar heraus.

■ **Estimation of Radiated Emissions of Automotive Components for Pre-Compliance Tests**

Dipl.-Ing. Daniel Schneider

The electrification of modern cars is steadily increasing. This occurs in different areas. Besides electric engine management, comfort systems and multiple safety systems, the electric drive system is entering the automotive area. A major task is to ensure undisturbed operation of all electronic devices. Therefore, the electromagnetic compatibility (EMC) becomes more important. The EMC itself is a major quality feature of electronic devices and components due to safety and customer satisfaction reasons. The EMC is regulated by law and manufacturer demands.

The verification of conformity of electronic car components, within the underlying EMC standards, is a basic requirement for its deployment in an automobile. EMC verification is performed by emission and susceptibility tests. Both types of tests are subdivided into the areas of conducted and radiated emissions. Performing such tests can be complex, expensive and time-consuming depending on the requirements like measurement environment and equipment. During the development process, upcoming issues should be detected and addressed as soon as possible. Nowadays, for these reasons, in parallel to the development process of a component there is an EMC development ensuring the component's compatibility. The coordination, the time needed and resulting costs for such services are a considerable contri-

bution to the total costs. As usual, a component does not pass a test the first time. Multiple runs have to be performed. New methods are desired, which help to save time and reduce development-accompanying costs for EMC measurements. Those methods have to be cost-effective and flexible concerning needed test environment and equipment. They are known as pre-compliance methods.

This work is oriented solely towards the area of radiated emissions according to the standard CISPR 25. Under the terms of CISPR 25, those tests take place in absorber lined shielded enclosures (ALSE). This kind of measurement facility is expensive and its availability is limited. Hence, demanded measurement time is costly. As a base of estimation methods to predict the electric field strength occurring during a component test, approaches using disturbance current measurements are used. The setups consist of the device under test, its cable harness, a power supply and a load simulator. Disturbance current measurements are carried out by the use of current probes around the whole harness recording the common mode current which is supposed to be field-dominating in the considered frequency range. The objective is to become independent from an ALSE, and to have a possibility to calculate the expected field strength. As such pre-compliance methods should be flexible, the alternative measurement bench can be any table with metallic surface and with a setup according to the standard. This allows the developer to check a component independently from special testing facilities. With those results he is able to estimate whether an expensive validation measurement can be successfully accomplished or whether applied EMC counter measures take effect.

The disturbance current distribution along cable harnesses of a setup has to be known in order to calculate the electric field strength. To describe entirely the current distribution, the amplitude and phase are determined by measurement and calculation procedures. As the calculation of the field is based on those currents, an analysis of the influence of the applied current probe on the currents is conducted. Further the reproducibility of those currents inside and outside of an ALSE environment are investigated. Under right circumstances the measured currents are a correct and proper basis for calculations.

In this work, two calculation methods are investigated: An analytic model, which represents the setup using Hertzian dipoles and a measurement approach applying transfer functions. The transfer functions used relate disturbance currents to the electric field strength. They have to be generated in advance in an ALSE. The considered frequency range is from 0,15 to 200 MHz.

The analytic model reduces a component's cable harness to a Hertzian dipole array, which divides the harness into multiple segments. The superposition of the calculated fields of the single segments leads to the entire field strength. The device under test and the equipment on the supply side are modeled by simple vertical dipoles. By application of the image theory, effects of the measurement table and the floor of the ALSE are integrated into the model. Simulation and measurement results allow to

analyze the applied model and influencing factors. From these results, conclusions on the applicability and accuracy can be drawn.

As the investigated analytic model contains weak points like the neglected antenna structure and its near field coupling with the setup, a different approach is examined. In order to include such effects, measurable transfer functions are used. Three types of transfer functions are introduced and investigated. One considers the whole harness and its attached load in a single transfer function. The second divides the harness into cable bundle segments, like the dipole array model, and generates a single transfer function for each segment. An analysis of influencing factors and use cases is performed. The third type, the combined transfer functions, brings the method into the area of electric drive systems, which are distributed systems. A setup consisting of a high voltage line impedance stabilization network, a high voltage power inverter and an electric machine emulation, shows very good applicability of the method. Therefore, a detailed investigation on the combined transfer function method is performed. The attained prediction results are in good agreement to reference measurements with deviations mainly below 5 dB. Thus, interference suppression on the basis of this method is feasible.