

Tatsächlicher Einfluß von Nahfeld-Effekten auf Störfestigkeitsprüfungen nach ISO 11452-2

Dr.-Ing. Holger Kellerbauer, EMC Test NRW GmbH, Leitung EMV-Labor, 44227 Dortmund, Deutschland

Dipl.-Ing. Martin Seiger, EMC Test NRW GmbH, Systems Engineering, 44227 Dortmund, Deutschland

Dr.-Ing. Ralf Heinrich, Teseq GmbH, Leiter HF-Entwicklung, 12623 Berlin

1 Problemstellung

Die Durchführung von Störfestigkeitsprüfungen in den Radarbändern 1,2-1,4 GHz und 2,7-3,1 GHz nach ISO 11452-2 [1] verlangt in den typischen Werksnormen Pegel bis zu 600 V/m, siehe z.B. Ford EMC-CS-2009 [2], Volvo REQ-043878-2 [3], General Motors GMW 3097 [4] oder Jaguar Land Rover JLR-EMC-CS v1.0 [5]. Mit der Standardentfernung von 100 cm zwischen Antenne und Referenzpunkt benötigt man typischerweise ein Minimum von ca. 400 W HF-Verstärkerleistung und eine spezialisierte, schmalbandige Antenne mit hohem Gewinn. Eine Verkürzung dieses Abstandes zur Reduzierung der erforderlichen Verstärkerleistung bringt die Sorge um mögliche Nahfeldeffekte mit sich, die zu einer Prüfung mit Nicht-TEM-Wellen führen könnten, was nicht im Sinne der Basisnorm sein kann. Dieser Artikel zeigt eine Möglichkeit der Validierung und Berechnung des Schweregrades dieser Nahfeldeffekte anhand eines Beispiels mit nicht optimaler Hornantenne (20 cm kurze Kantenlänge) und einem 200 W Verstärker, bei dem die Verkürzung des Abstandes nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Nahfeldeffekte führt.

2 Einleitung

Für das Testen von elektronischen Unterbaugruppen nach ISO 11452-2 benötigt man sehr teures Equipment - dies trifft umso mehr zu, wenn in den Radarbändern mit 300 V/m oder 600 V/m getestet werden soll. Die notwendige Verstärkerleistung für eine Zielfeldstärkenkalibrierung mit einem unmodulierten Signal (CW) ist etwa 400 W. In Kombination verwendet man typischerweise zwei schmalbandige Antennen (eine für das Band 1,2-1,4 GHz, eine für das Band 2,7-3,1 GHz), um durch eine optimale Richtcharakteristik nicht noch mehr Verstärkerleistung zu benötigen. Günstigere Alternativen sind schmalbandige Pulsverstärker - zusätzliches Equipment für einen sehr überschaubaren Teil des gesamten Prüfprogrammes anzuschaffen, zu warten und zu kalibrieren ist aber eine unerquickliche Lösung.

Das bei der Firma EMC Test NRW GmbH verfügbare Equipment für diesen Test sind ein speziell auf das untere Radarband optimierter 400 W MILMEGA Transistorverstärker (1-2 GHz), ein 200 W Keltec TWT-Verstärker (2-4 GHz) in Kombination mit zwei Breitbandhornantennen (ein Horn für 1-2 GHz, ein Horn für 2-4 GHz) und eine Schmalbandhornantenne (1.1-1.5 GHz). Für die Einpegelung wird eine kalibrierte, Laser-versorgte DARE Radi Sense Feldsonde verwendet.

Mit diesem Equipment sind bei einer Messdistanz von 100 cm Prüfpegel von maximal etwa 600 V/m (1,2-1,4 GHz) und 360 V/m (2,7-3,1 GHz) möglich. Eine Marktrecherche

ergab, dass keine Schmalbandantenne verfügbar ist, die mit 200 W Verstärkerleistung in 100 cm Entfernung ein Feld von 600 V/m erreichen kann.

Da stellt sich die Frage, ob durch Verkleinerung der Messdistanz eine Feldstärke von 600 V/m im oberen Radarband erzielbar ist, ohne inakzeptable Nahfeldeffekte zu generieren und mit Nicht-TEM-Wellen zu testen. Die hier beschriebene Methode kann für andere Prüfaufbauten und Frequenzbänder ebenfalls angewendet werden.

3 Berechnung der Inhomogenität

3.1 Minimalabstand für echte Fernfeldbedingungen

Der Minimalabstand für das Erreichen von Fernfeldbedingungen kann für Hornantennen nach [6] berechnet werden:

$$d_{far} = \frac{2D^2}{\lambda_0} \quad (1)$$

Für das Horn (2-4 GHz) mit 20 cm Kantenlänge ergibt sich aus (1) ein Wert von etwa 80 cm für die Mittenfrequenz des oberen Radarbandes von 2900 MHz. Dies ist die Entfernung, bei der das abstrahlende Nahfeld in das Fernfeld übergeht. Die Distanz, bei der das reaktive Nahfeld in das abstrahlende Nahfeld übergeht berechnet sich mit:

$$d_{near} = \frac{\lambda_0}{2\pi} \quad (2)$$

Für die Mittenfrequenz des oberen Radarbandes von 2900 MHz ergibt sich aus (2) ein Wert von ca. 1,6 cm.

3.2 Inhomogenitätsgrad

DEFINITION: Der prozentuale Anteil der vektoriellen Komponenten, die nicht zur eigentlichen Polarisation beitragen, an der erwünschten Vektorkomponente wird als Inhomogenitätsgrad definiert. Der Einheitsvektor x zeige in vertikale Polarisation, der Einheitsvektor y zeige in horizontale Polarisation, der Einheitsvektor z stehe senkrecht auf x und y in Richtung der Flächennormalen der Hornantennenstirnfläche. Die Vektorkomponenten E_x , E_y und E_z zeigen in Richtung der jeweiligen Einheitsvektoren (kartesische Koordinaten). Der Inhomogenitätsgrad ϑ_x für die vertikale Polarisation berechnet sich dann zu:

$$\vartheta_x [\%] = \frac{\sqrt{E_y^2 + E_z^2}}{E_x \times 0.01} \quad (3)$$

Der Inhomogenitätsgrad ϑ_y für die horizontale Polarisation berechnet sich dann zu:

$$\vartheta_y [\%] = \frac{\sqrt{E_x^2 + E_z^2}}{E_y \times 0.01} \quad (4)$$

Der Faktor 0,01 erlaubt die Angabe in [%]. Diese Formel wird auf das Messergebnis einer dreidimensionalen Feldsonde angewendet.

4 Messaufbau

Ein Prüfaufbau wie in ISO 11452-2 für Messungen oberhalb von 1 GHz wurde aufgebaut. Sechs Sondenpositionen wurden zur Abdeckung einer 10 cm x 20 cm großen Fläche in 5 cm Höhe über der Massefläche in einer Entfernung von d zur Antenne ausgewählt. Ein zusätzlicher Punkt wurde 10 cm hinter der mittleren unteren Sondenposition ausgewählt (siehe Bild 1).

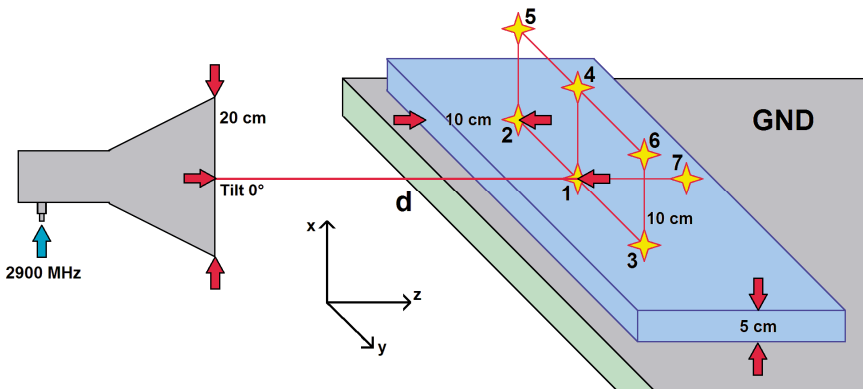


Bild 1: Messaufbau

Punkt 1 aus Bild 1 wurde als Referenzpunkt für die drei Messentfernungen $d = 100$ cm (ISO Standard), $d = 80$ cm (berechnetes d_{far}) und $d = 60$ cm (Entfernung, in der mit 200 W Verstärkerleistung 600 V/m erzielt werden können) festgelegt. Die Zielfeldstärke wurde zu 25 V/m gewählt, um den Verstärker nur im linearen Bereich auszusteuern.

5 Messergebnisse

Die Tabellen 1 bis 3 zeigen die gemessenen elektrischen Feldstärken an den ausgewählten Sondenpositionen für alle drei Messentfernungen. Es ist eine leichte Unsymmetrie der Ausleuchtung der homogenen Feldfläche erkennbar, die vermutlich auf die nicht perfekte Zentrierung der Hauptstrahlkeule zurückzuführen ist.

TABELLE I: GEMESSENE FELDSTÄRKE MIT D = 100 CM

Sondenposition	Gemessene Feldstärke E [V/m]					
	vertikal			horizontal		
	x	y	z	x	y	z
1	25.7	1.16	5.49	1.23	25.9	1.10
2	21.8	1.76	4.24	1.27	21.7	1.35
3	25.5	1.83	5.77	1.02	27.0	1.13
4	40.7	1.17	1.65	0.76	18.3	0.91
5	35.1	1.78	1.91	0.75	15.9	0.95
6	37.1	1.60	2.34	0.69	17.8	1.13
7	21.4	1.14	6.16	1.14	22.5	1.00

TABELLE II: GEMESSENE FELDSTÄRKE MIT D = 80 CM

Sondenposition	Gemessene Feldstärke E [V/m]					
	vertikal			horizontal		
	x	y	z	x	y	z
1	26.2	1.22	6.16	1.23	25.9	1.12
2	24.1	1.24	5.05	1.21	22.8	1.48
3	23.6	1.12	5.65	0.87	24.4	1.23
4	39.4	1.05	3.07	0.65	16.3	0.81
5	37.0	1.25	2.90	1.12	15.5	0.83
6	33.7	0.89	2.03	0.81	15.4	1.17
7	21.1	1.09	5.77	1.04	22.2	0.89

TABELLE III: GEMESSENE FELDSTÄRKE MIT D = 60 CM

Sondenposition	Gemessene Feldstärke E [V/m]					
	vertikal			horizontal		
	x	y	z	x	y	z
1	25.4	1.11	5.59	1.27	25.9	0.98
2	21.2	1.20	4.75	1.09	20.3	1.64
3	22.5	1.50	5.16	0.81	25.2	1.36
4	36.5	1.00	2.64	0.62	16.0	0.61
5	31.6	0.98	2.57	1.01	13.3	1.30
6	32.0	0.77	2.23	0.79	15.1	1.46
7	18.5	0.98	5.83	0.99	22.0	0.89

Die Tabellen 5 und 6 zeigen den berechneten Inhomogenitätsgrad für beide Polarisierungen für alle drei Messdistanzen. Die Tabellen 6 und 7 zeigen die Abweichung der Ergebnisse der 60 cm und der 100 cm Messung bezogen auf die 80 cm Messung.

TABELLE IV: BERECHNETE INHOMOGENITÄT (VERTIKAL)

Sondenposition	Inhomogenität ϑ [%]		
	d = 100 cm	d = 80 cm	d = 60 cm
1	21.8	24.0	22.4
2	21.1	21.6	23.1
3	23.7	24.4	23.9
4	5.00	8.20	7.70
5	7.40	8.50	8.70
6	7.60	6.60	7.40
7	29.3	27.8	32.0

TABELLE V: BERECHNETE INHOMOGENITÄT (HORIZONTAL)

Sondenposition	Inhomogenität ϑ [%]		
	d = 100 cm	d = 80 cm	d = 60 cm
1	6.4	6.4	6.2
2	8.5	8.4	9.7
3	5.6	6.2	6.3
4	6.5	6.4	5.4
5	7.6	9.0	12.4
6	7.4	9.2	11.0
7	6.7	6.2	6.1

TABELLE VI: ABWEICHUNG (VERTIKAL)

Sondenposition	$\Delta(\vartheta_{80\text{cm}} - \vartheta_{100\text{cm}})$ [%]	$\Delta(\vartheta_{80\text{cm}} - \vartheta_{60\text{cm}})$ [%]
1	2.1	1.5
2	0.5	-1.5
3	0.7	0.5
4	3.3	0.5
5	1.1	-0.2
6	-1.1	-0.8

TABELLE VII: ABWEICHUNG (HORIZONTAL)

Sondenposition	$\Delta(\vartheta_{80\text{cm}} - \vartheta_{100\text{cm}})$ [%]	$\Delta(\vartheta_{80\text{cm}} - \vartheta_{60\text{cm}})$ [%]
1	0.1	0.2
2	-0.2	-1.3
3	0.5	-0.1
4	-0.1	0.9
5	1.4	-3.4
6	1.8	-1.8

Alle ermittelten Abweichungen liegen unterhalb von 3,5%. Für die meisten Messpunkte ergeben sich Abweichungen von ca. 1,0% (Punkt 7 wurde aus der Betrachtung ausgeblendet, da er nicht zur homogenen Feldfläche gehört). Die Bilder 2 und 3 verdeutlichen grafisch die Ergebnisse, um einen besseren Überblick zu bekommen.

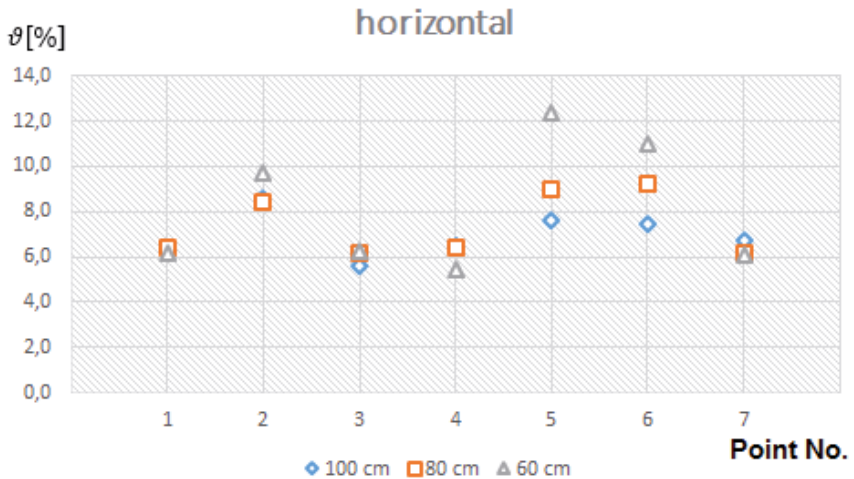


Bild 2: Inhomogenitätsgrad bei verschiedenen Abständen (horizontale Polarisation)

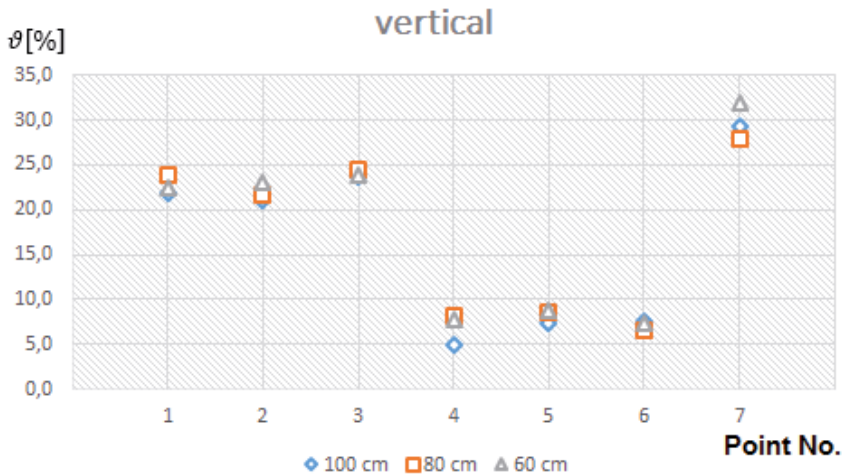


Bild 3: Inhomogenitätsgrad bei verschiedenen Abständen (vertikale Polarisation)

Neben der Bestimmung des Inhomogenitätsgrades wurde zusätzlich eine Feldmessung mit einem Nahfeldscanner im Nahbereich der Apertur der Hornantenne bei 2900 MHz durchgeführt. Mit dieser Messung kann die Wirkung der Nahfeldeffekte messtechnisch erfasst und veranschaulicht werden. Bild 4 zeigt den schrittweisen, abstandsabhängigen Aufbau der Feldverteilung des H_y -Feldes im abstrahlenden Nahfeld. Die Feldstärkewerte sind normiert auf das Maximum und in die Bereiche 0...-3 dB, -3...-6 dB und -6...-9 dB eingeteilt. Insbesondere bei kleinen Abständen ist eine starke Inhomogenität der Ausleuchtung zu erkennen. Erst ab ca. 30 cm Abstand bildet sich die erwartete Feldverteilung vor der Apertur der Hornantenne aus, die sich mit zunehmendem Abstand zu einer größeren Fläche aufweitet.

Ferner konnte mit dieser Messung bestätigt werden, dass der – im Verhältnis zur Wellenlänge – recht grobe Abstand der Feldsondenmessung von 10 cm als ausreichend zu betrachten ist, da die Feldverteilung ab 30 cm Abstand schon recht homogen ist.

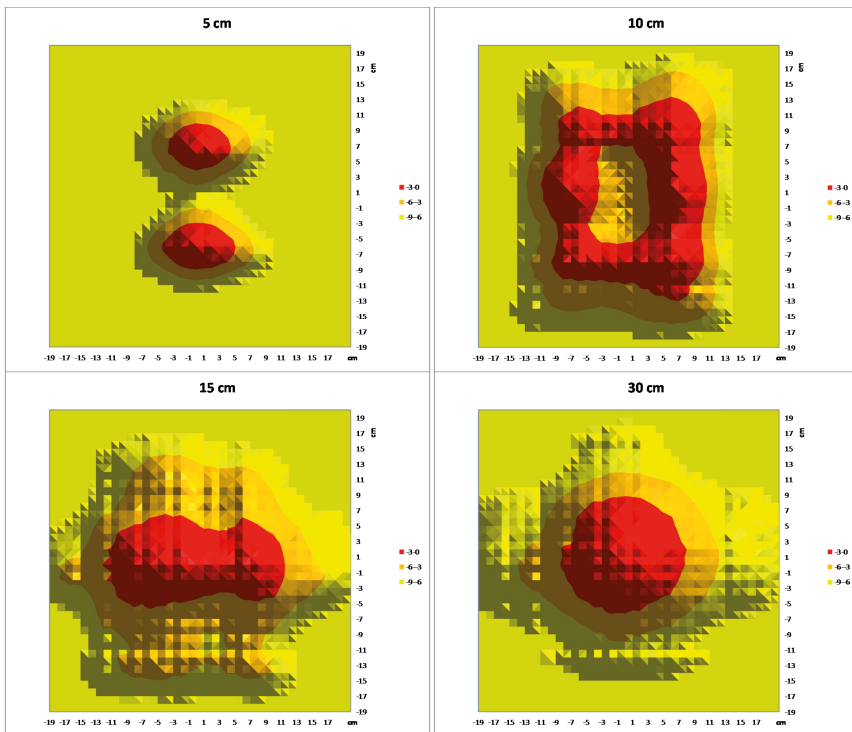


Bild 4: Feldverteilung des H_y -Feldes vor der Apertur der Hornantenne bei verschiedenen Abständen, normiert auf Maximum (0 dB)

6 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass – nach vorheriger sorgfältiger Prüfung - für bestimmte Konstellationen von Prüfaufbauten und Frequenzbereichen auch abweichend von den normativen Vorgaben technisch gleichwertige Prüfbedingungen generiert werden können, da trotz Verkürzung der Messdistanz die befürchteten Nahfeldeffekte kaum von denen abweichen, die auch schon bei Normdistanz auftreten.

7 Danksagungen

Die Autoren möchten den Teams von Ingenieuren, Technikern und Studenten für ihre großartige und engagierte Unterstützung danken. Weiterer Dank geht an Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch vom Lehrstuhl für Energietransport und -speicherung der Universität Duisburg-Essen für die anregenden Diskussionen und seine kompetente Unterstützung in schwierigen Detailfragen.

Referenzen

[1] ISO 11452-2 - "Road vehicles - Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy - Part 2: Absorber-lined shielded enclosure" (2004-11)

[2] Ford EMC-CS-2009.1 General Specification Electrical / Electronic - Electromagnetic Compatibility Specification for Electrical / Electronic Components and Subsystems (2009)

[3] Volvo Car Corporation REQ-043878-2 VCG EMC: Component Requirements Electromagnetic Compatibility Specification - Components (2014-02)

[4] GM Worldwide Engineering Standards General Specification GMW 3097 - General Specification for Electrical / Electronic Components and Subsystems, Electromagnetic Compatibility (2012-04)

[5] Jaguar Land Rover Limited - Engineering Standard JLR-EMC-CS v1.0 Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical / Electronic Components and Subsystems (2014-03)

[6] Antenna Near Field
<http://www.phys.hawaii.edu/~anita/new/papers/militaryHandbook/antnrfld.pdf>
(Last checked 17.03.2015)