

EMV-Störfestigkeitstests und ihre Analyse mittels Charakteristischer Moden

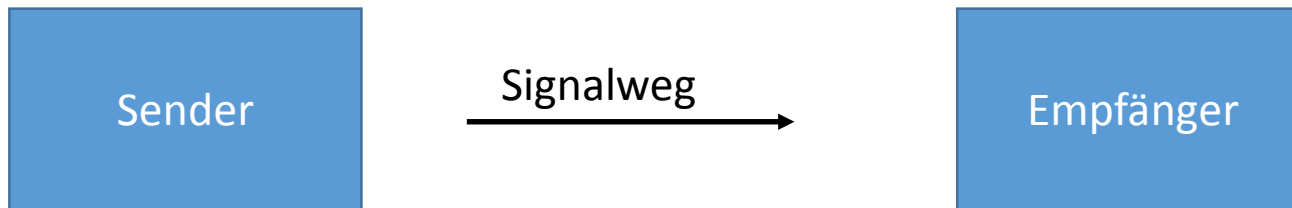
**Zuverlässigkeit Technischer Systeme
und Elektrische Messtechnik
Prof. Dr. Frank Gronwald**

Überblick

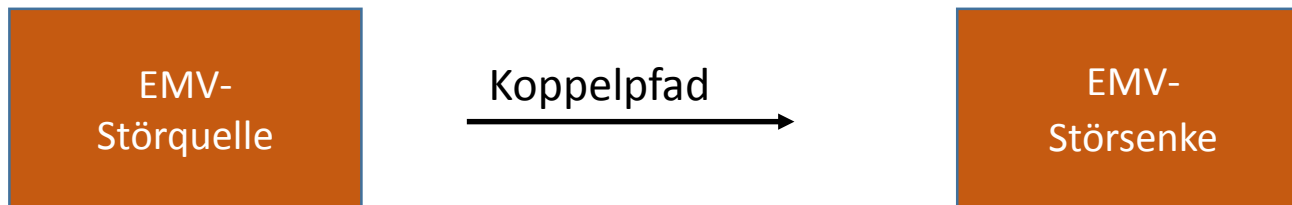
1. Komplexe Probleme der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und Elektromagnetische Simulationen
2. EMV-Störfestigkeitstests im Resonanzbereich und numerische Berechnung von Charakteristischen Moden
3. Anwendungsbeispiel: Vergleich gestrahlter und stromeinspeisender EMV-Störfestigkeitstests mittels Charakteristischer Moden
4. Erfahrungen und Zusammenfassung

Kurze Wiederholung zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV): Signale und Interferenzen

- Viele hochfrequenztechnische Anwendungen übertragen Signale:



- Im Rahmen der EMV werden unerwünschte elektromagnetische Kopplungen untersucht:



Elektromagnetische Kopplungen in komplexe Systeme: Von der Quelle bis zur Senke



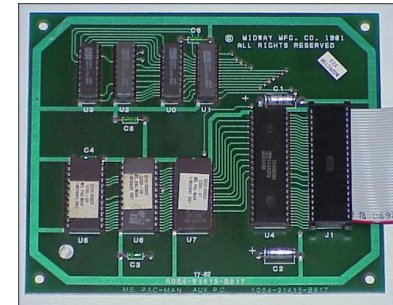
EMV-Quelle



Äußere Kopplung



Innere Kopplung



EMV-Senke

äußeres Problem

inneres Problem

Feldgebundene EMV-Tests zur Nachbildung des Koppelpfades von der Quelle bis zur Senke



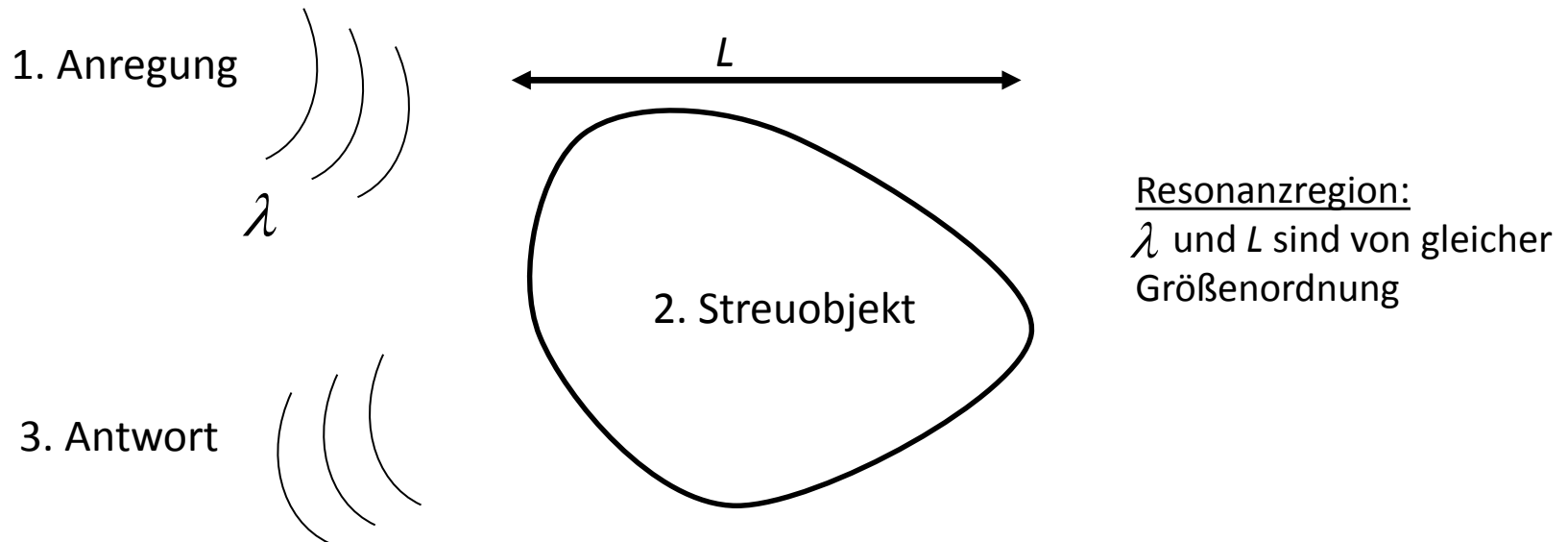
EMV-Test eines komplexen Systems in einer Halbabsorberkammer

siehe: G.A. Rasek et al.: "HIRF Transfer Function Observations: Notes on Results Versus Requirements and Certification Approach", IEEE Trans. on EMC, vol. 57, Issue 2, April 2015, p. 195-202.

Überblick

1. Komplexe Probleme der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und Elektromagnetische Simulationen
2. EMV-Störfestigkeitstests im Resonanzbereich und numerische Berechnung von Charakteristischen Moden
3. Anwendungsbeispiel: Vergleich gestrahlter und stromeinspeisender EMV-Störfestigkeitstests mittels Charakteristischer Moden
4. Erfahrungen und Zusammenfassung

Elektromagnetische Streuung und die „Singularity Expansion Method“

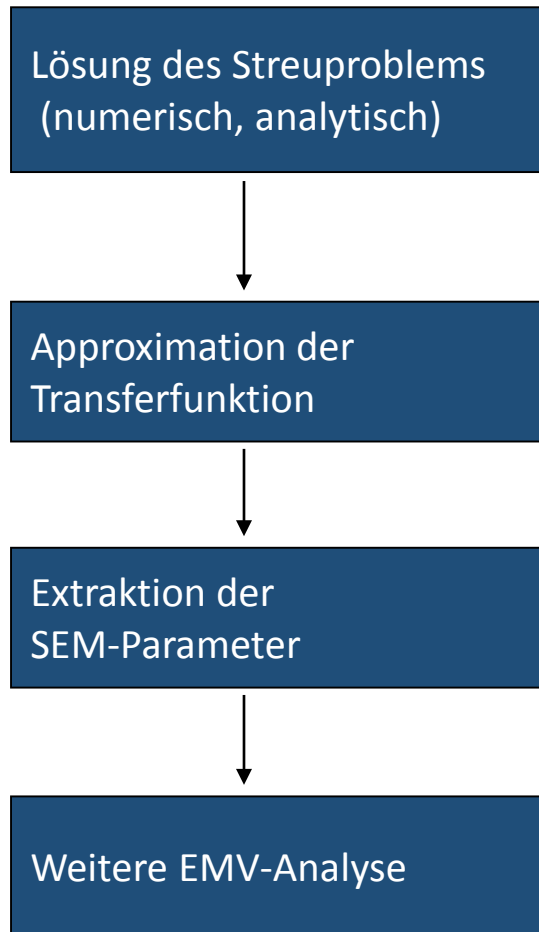


- Singularity Expansion Method: Es folgt mit Linearität und Zeitinvarianz, dass die Transferfunktion, welche Anregung und Antwort verknüpft, geschrieben werden kann als

$$H(s) \approx \sum_{m=1}^M \left(\frac{R_m}{s - s_m} + \frac{R_m^*}{s - s_m^*} \right) \quad \begin{array}{ll} s_m = \sigma_m + j\omega_m & \text{Polstellen} \\ R_m & \text{Residuen} \end{array}$$

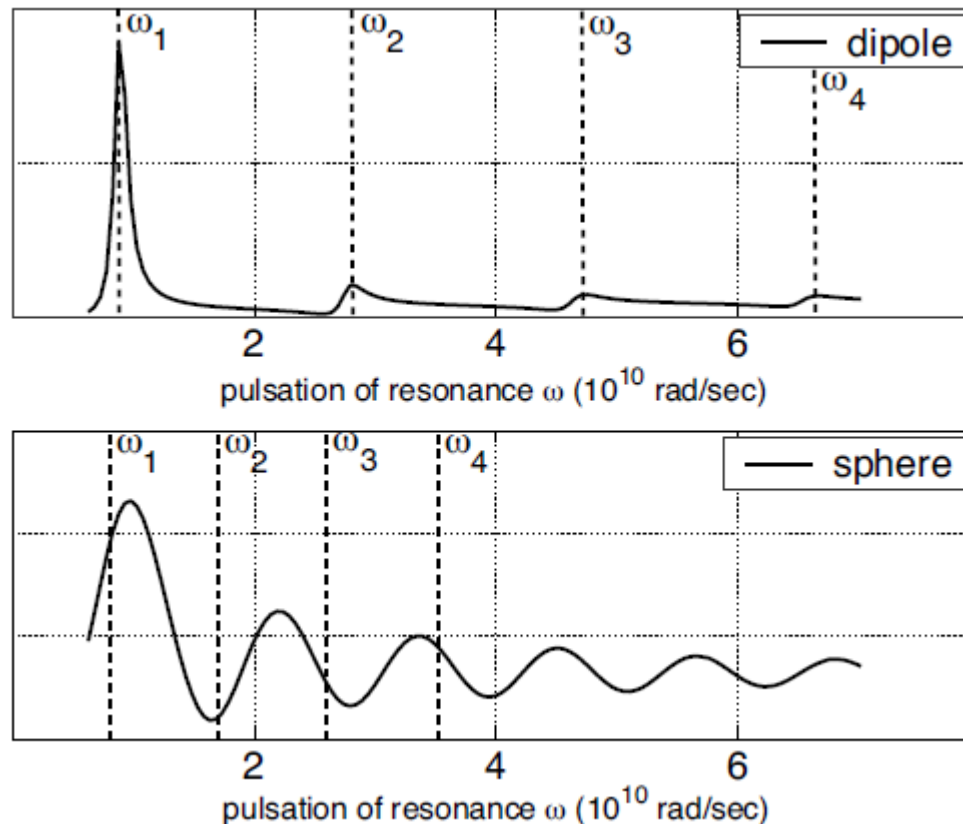
siehe: Baum, C.E.: “The Singularity Expansion Method”, in *Transient Electromagnetic Fields*, L.B. Felsen (ed.), Springer, Heidelberg, 1976, 129-179.

SEM-Strategie zur EMV-Analyse



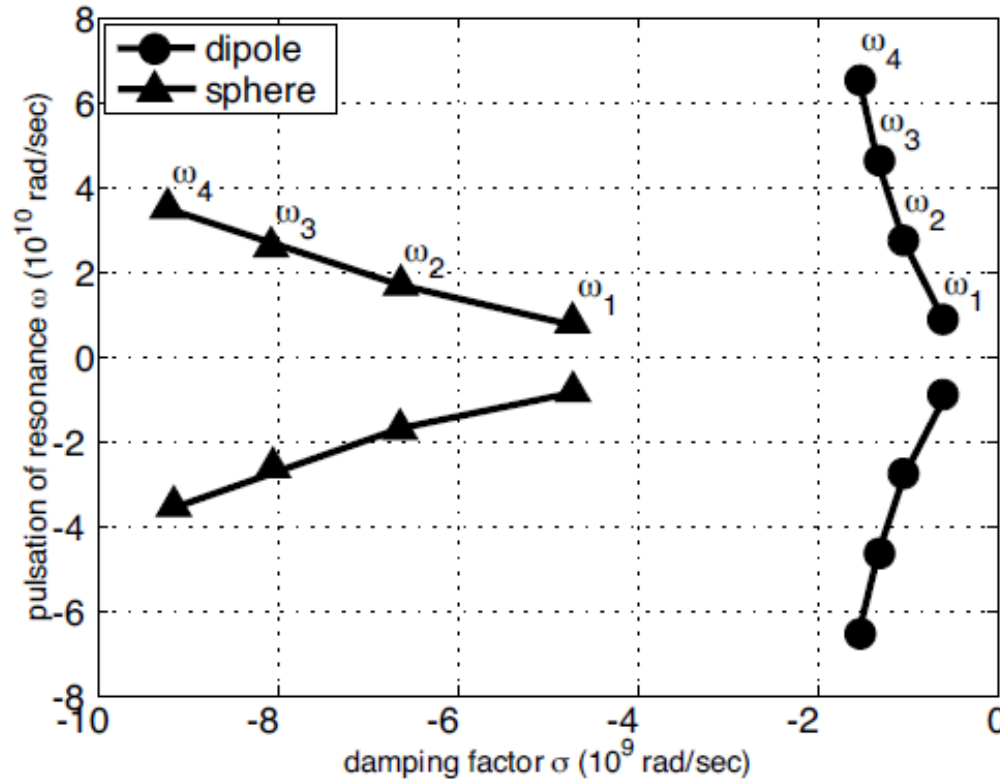
- Elektromagnetische Feldtheorie
- Theorie der Signale und Systeme
- Weitere EMV-Modellierungen

Eine numerische Untersuchung mit FEKO aus dem Jahre 2007



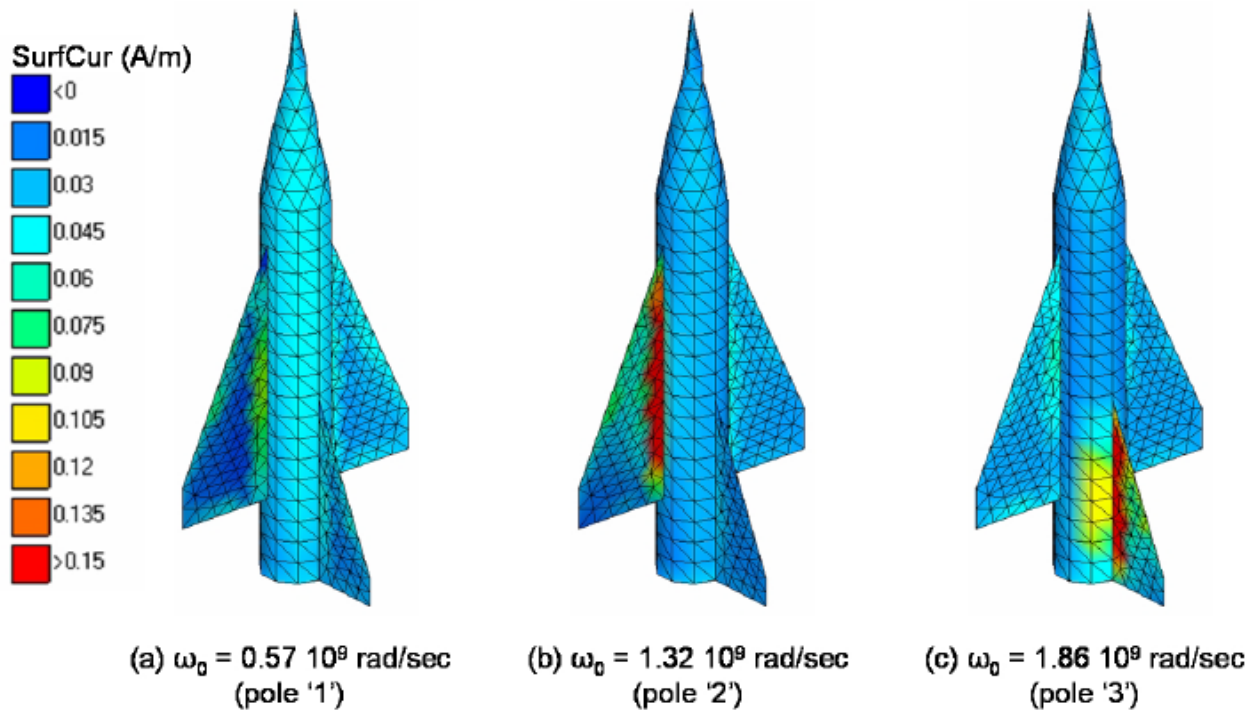
siehe: J. Chauveau, N. de Beaucoudrey, and J. Saillard: "Characterization of perfectly conducting targets in resonance domain with their quality of resonance, Progress in Electromagnetics Research, PIER 74, (2007), pp. 69-84.

Eine numerische Untersuchung mit FEKO aus dem Jahre 2007



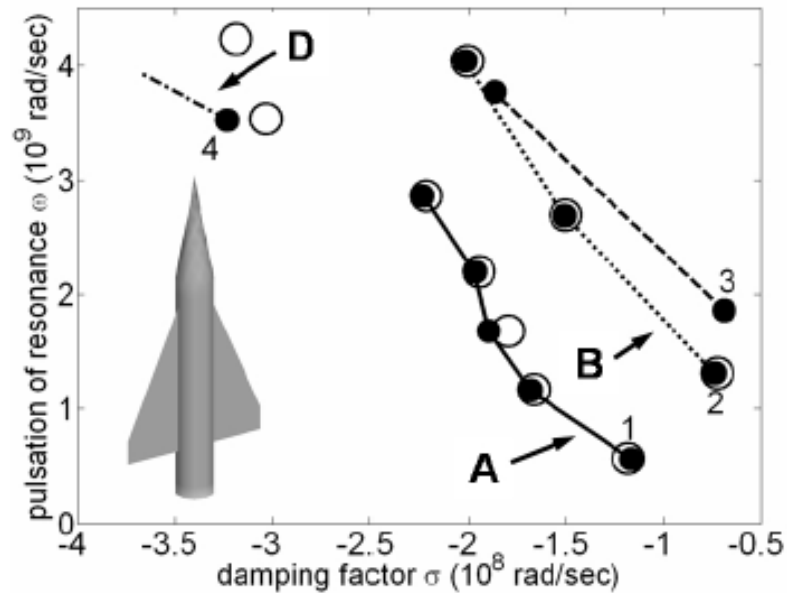
siehe: J. Chauveau, N. de Beaucoudrey, and J. Saillard: "Characterization of perfectly conducting targets in resonance domain with their quality of resonance, Progress in Electromagnetics Research, PIER 74, (2007), pp. 69-84.

Eine numerische Untersuchung mit FEKO aus dem Jahre 2007

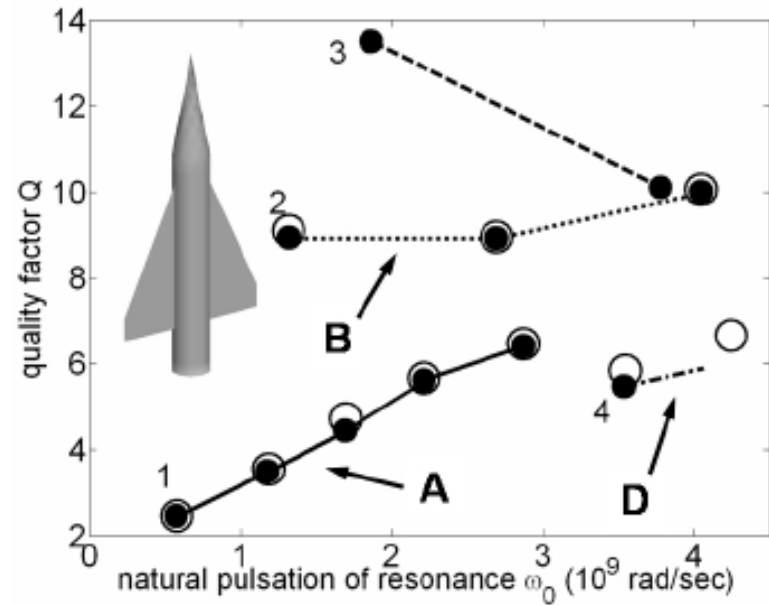


siehe: J. Chauveau, N. de Beaucoudrey, and J. Saillard: "Characterization of perfectly conducting targets in resonance domain with their quality of resonance, Progress in Electromagnetics Research, PIER 74, (2007), pp. 69-84.

Eine numerische Untersuchung mit FEKO aus dem Jahre 2007



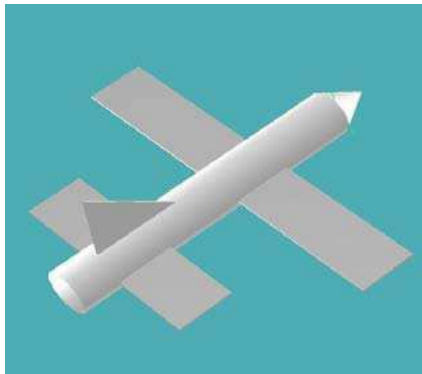
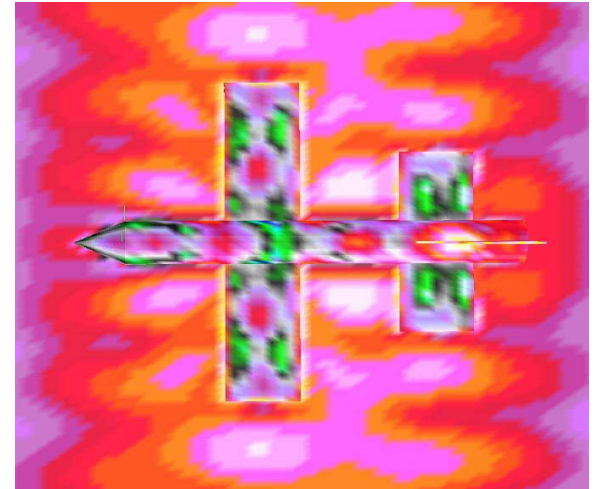
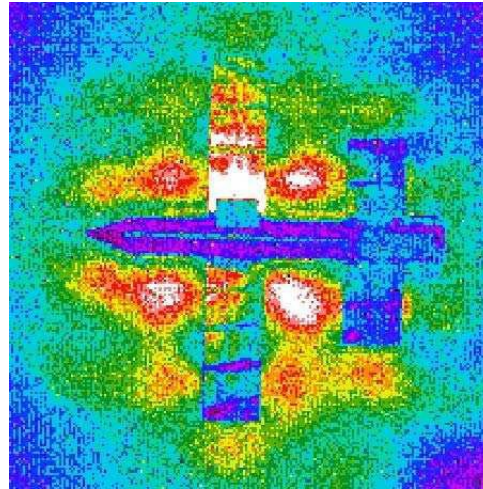
(a)



(b)

siehe: J. Chauveau, N. de Beaucoudrey, and J. Saillard: "Characterization of perfectly conducting targets in resonance domain with their quality of resonance, Progress in Electromagnetics Research, PIER 74, (2007), pp. 69-84.

Thermographische Untersuchungen von Resonanzen



thermographisch gemessene
Resonanzen

numerisch berechnete
Resonanzen

siehe: A. Drozd, I. Kasperovich, J. Norgard, and R. Musselman: "Feature Selected Validation and Verification (FSVV) of CEM Code Predictions using IR Thermal Images of EM Fields", 2008 Asia-Pacific Symposium on EMC, Singapore (2008).

Thermographische Untersuchungen von Resonanzen

Proc. of the 2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2019), Barcelona, Spain, September 2–6, 2019.

Thermo-fluorescent images of electric and magnetic near-fields of a High Impedance Surface

Hugo Ragazzo
ONERA/ DEMR

Université de Toulouse
F-31055Toulouse, France
hugo.ragazzo@onera.fr

Daniel Prost
ONERA/ DEMR

Université de Toulouse
F-31055Toulouse, France
daniel.prost@onera.fr

François Issac
ONERA/ DEMR

Université de Toulouse
F-31055Toulouse, France
francois.issac@onera.fr

Stephane Faure
LPCNO
INSA

Toulouse, France
s-faure@insa-toulouse.fr

Julian Carrey
LPCNO
INSA

Toulouse, France
julian.carrey@insa-toulouse.fr

Jean-François Bobo
CNRS
CEMES

Toulouse, France
jfbobo@cemes.fr

Resonanzen, Eigenmoden, Singularitäten, and Charakteristische Moden

- Die Konzepte der „Resonanzen“, „Eigenmoden“, „Singularitäten“, und „Charakteristischen Modem“ charakterisieren

„eine große Systemantwort bei gegebener Anregung und Frequenz“

- Etwas Literatur:
 - R.F. Harrington, J.R. Mautz, and J.Y. Chang: „The theory of characteristic modes for conducting bodies“, IEEE Trans. Antennas Propag. vol. 19, no. 5, (May 1971), pp. 629-639.
 - C.E. Baum: „On the Eigenmode Expansion Method for Electromagnetic Scattering and Antenna Problems, Part I: Some Basic Relations for Eigenmode Expansions, and Their Relation to the Singularity Expansion“, Interaction Note 229, (January 1975), 94 pages.
 - C.E. Baum: „Toward an Engineering Theory of Electromagnetic Scattering: The Singularity and Eigenmode Expansion Methods, in *Electromagnetic Scattering*, P.L.E.-Uslenghi (ed.), (Academic Press, New York, 1978).
 - M. Vogel, C. Gampala, D. Ludick, U. Jacobus, and C.J. Reddy: „Characteristic Mode Analysis: Putting Physics back into Simulation“, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 57, no. 2, (April 2015), pp. 307-317.

Überblick

1. Komplexe Probleme der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und Elektromagnetische Simulationen
2. EMV-Störfestigkeitstests im Resonanzbereich und numerische Berechnung von Charakteristischen Moden
3. Anwendungsbeispiel: Vergleich gestrahlter und stromeinspeisender EMV-Störfestigkeitstests mittels Charakteristischer Moden
4. Erfahrungen und Zusammenfassung

EMV-Tests: gestrahlt (HIRF) und mit direkter Stromeinspeisung (DCI)



HIRF test

G.A. Rasek et al.: "HIRF Transfer Function Observations: Notes on Results Versus Requirements and Certification Approach", IEEE Trans. on EMC, vol. 57, Issue 2, April 2015, p. 195-202.

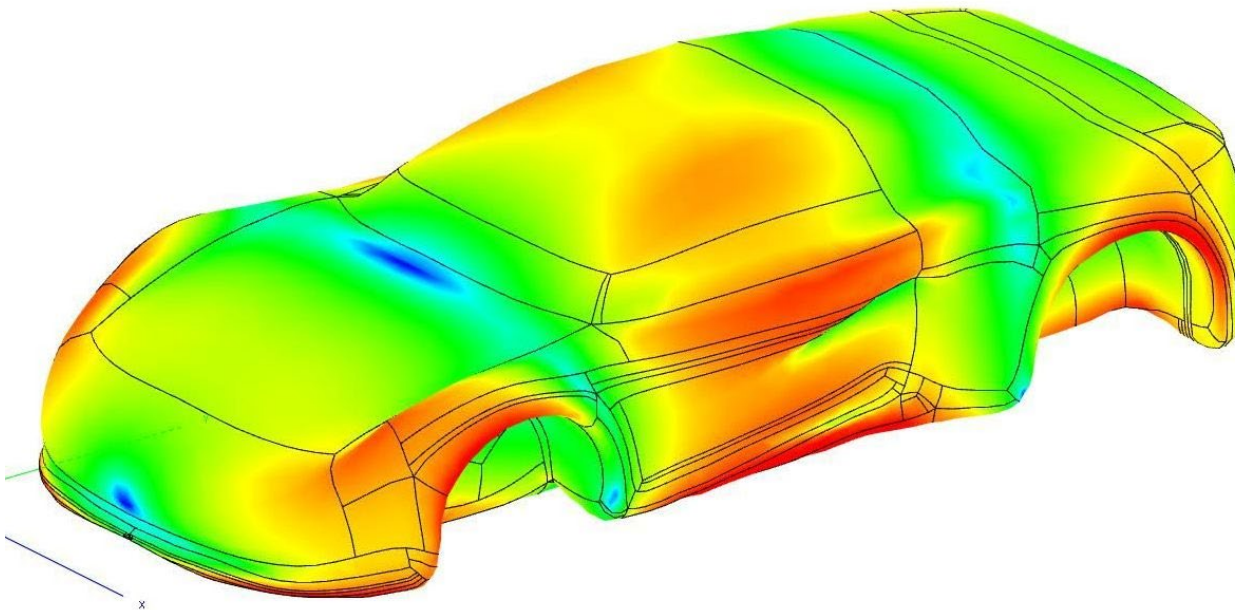


DCI test

C. Leat: "The Safety of Aircraft Exposed to Electromagnetic Fields: HIRF Testing of Aircraft using Direct Current Injection", Report DSTO-RR-0329, Australian Government Department of Defence, (June 2007), 107 pages.

Motivation

BMVI-Projekt „Anpassung und Erweiterung von Testverfahren für vernetzte Luftfahrzeuge auf Testverfahren vernetzter Automobile im Straßenverkehr“



Supported by:



Federal Ministry
of Transport and
Digital Infrastructure

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Motivation

Proc. of the 2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2019), Barcelona, Spain, September 2–6, 2019.

A Numerical Analysis of HIRF- and DCI-Equivalence by Characteristic Mode Theory

Jan Ückerseifer*, Martin Aidam[†], Markus Rothenhäusler[‡], and Frank Gronwald*

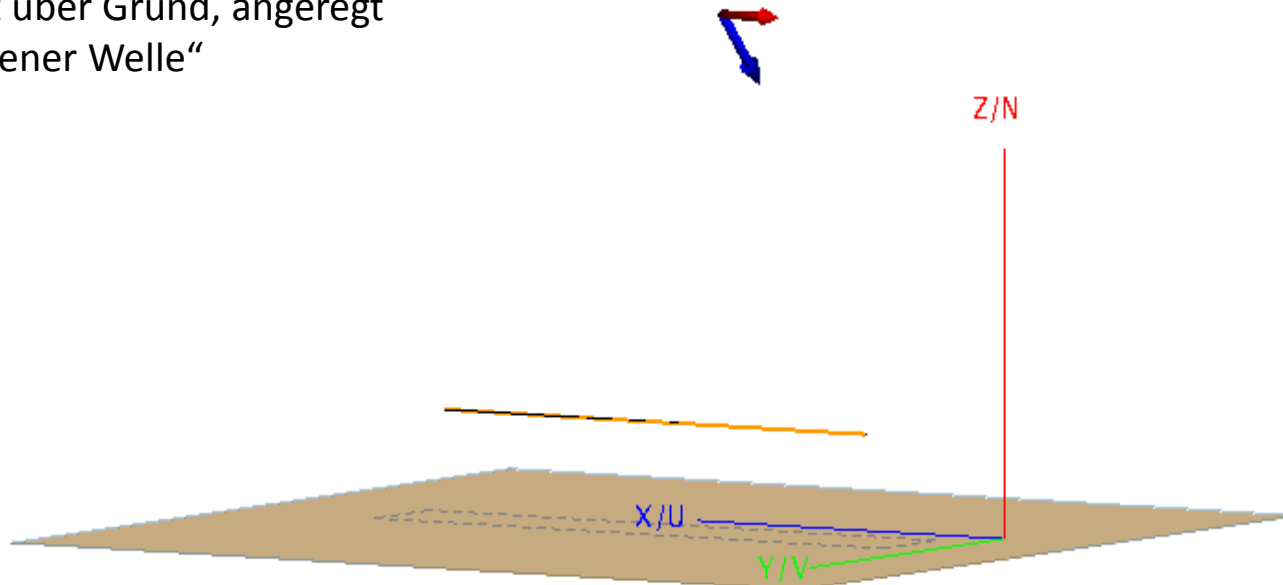
*University of Siegen, Reliability of Technical Systems and Electrical Measurement, Siegen, Germany
Email: jan.ueckerseifer@uni-siegen.de

[†]Daimler AG, HV and EMC System Technology, Sindelfingen, Germany
Email: martin.aidam@daimler.com

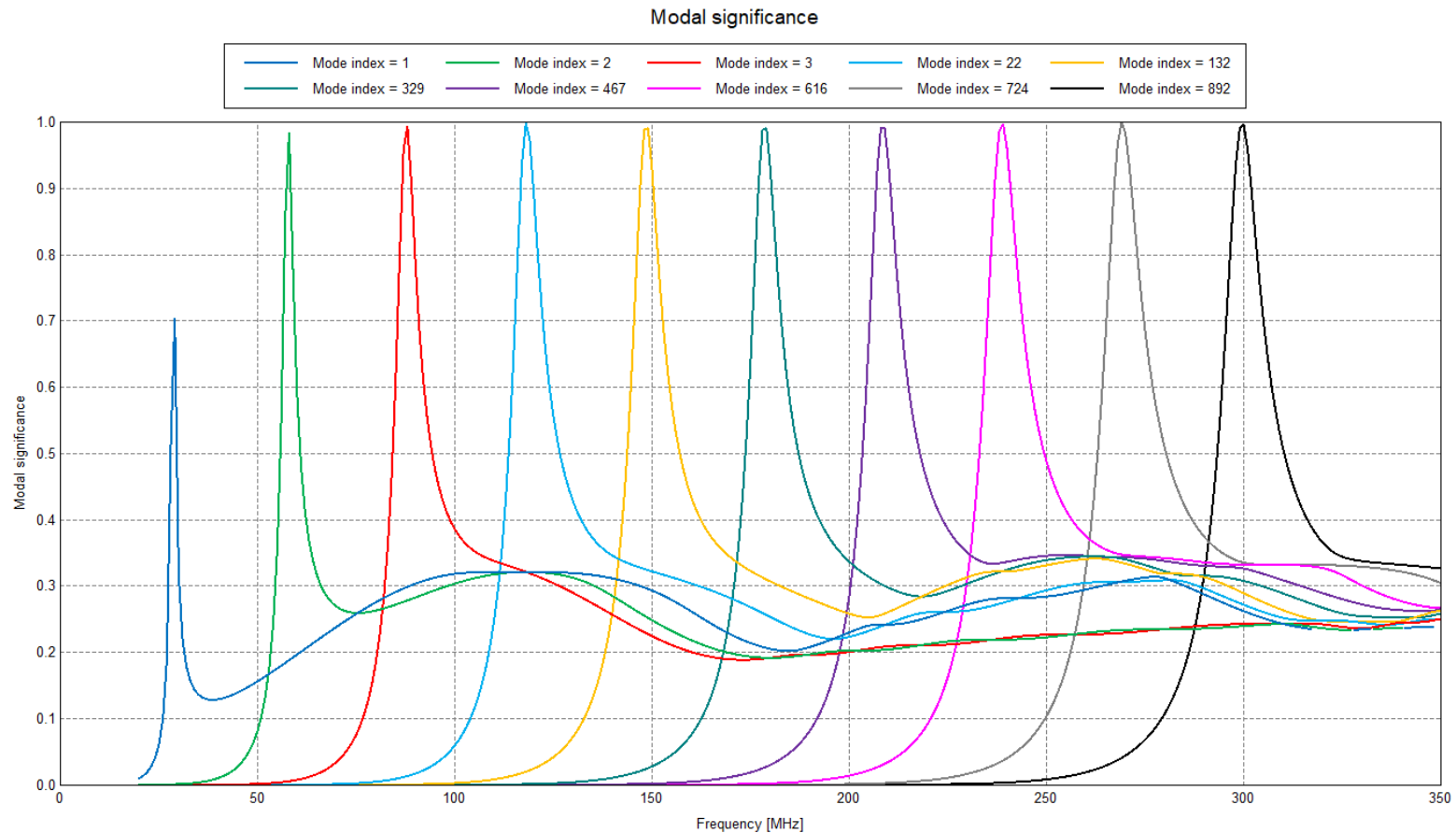
[‡]Airbus Defence and Space, Electromagnetic Effects Systems Engineering, Manching, Germany
Email: markus.rothenhaeusler@airbus.com

Eine einfache Beispielkonfiguration

„Draht über Grund, angeregt
mit ebener Welle“



Beurteilung charakteristischer Moden mit modaler Signifikanz

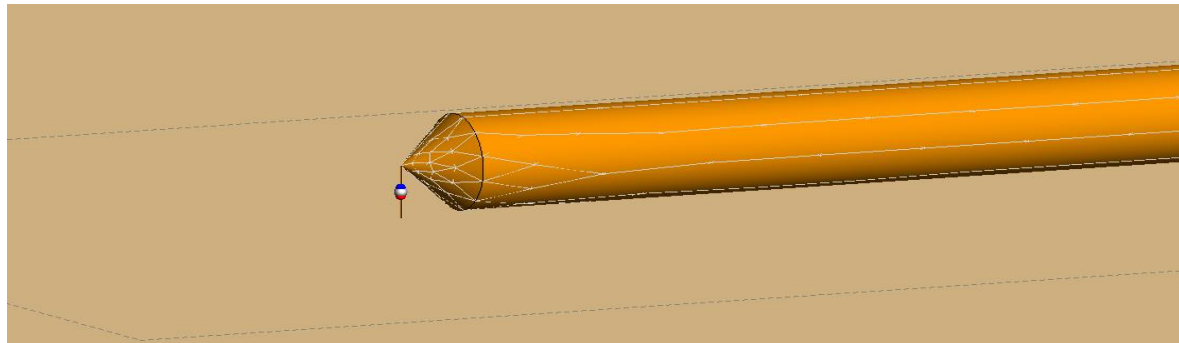
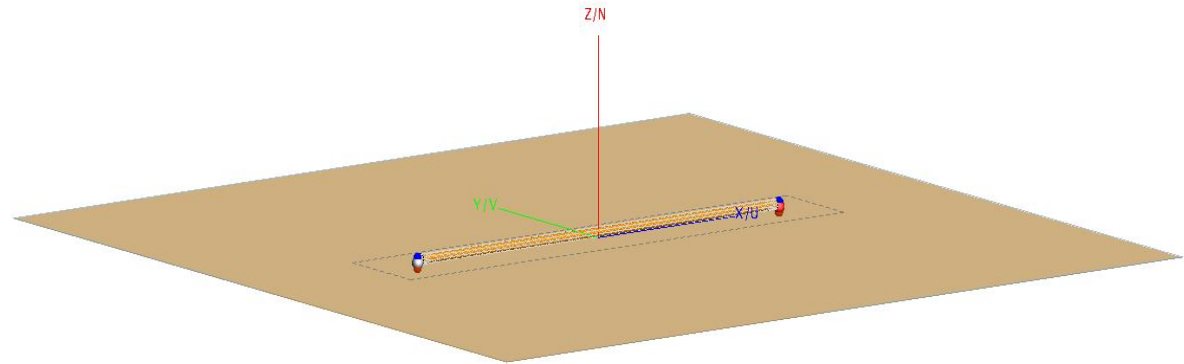


Frequenzen der Charakteristischen Moden

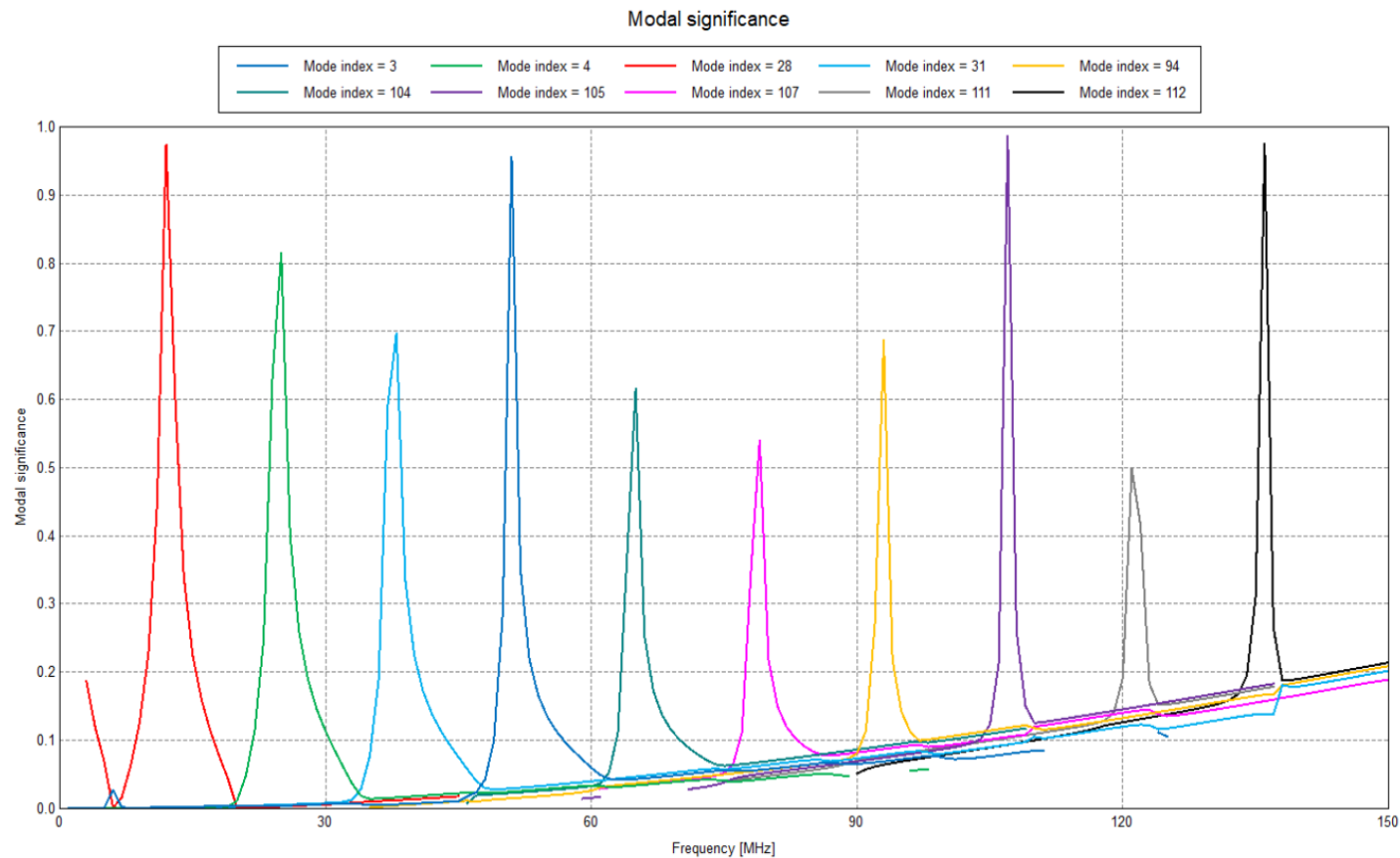
Modenindex	Frequenz in MHz, bei denen die modale Signifikanz ein Maximum erreicht	Approximativ analytische Resonanzfrequenz in MHz
1	28	30
2	58	60
3	88	90
22	118	120
132	148	150
329	178	180
467	208	210
616	238	240
724	268	270
892	298	300

Eine weitere einfache Beispielfigur

„Dicker Draht über Grund mit
direkter Stromeinspeisung“



Beurteilung charakteristischer Moden mit modaler Signifikanz



Frequenzen der Charakteristischen Moden

Modenindex	Frequenz in MHz, bei denen die modale Signifikanz ein Maximum erreicht	Approximativ analytische Resonanzfrequenz in MHz
28	12	14
4	25	29
31	38	43
3	51	58
104	65	72
107	79	86
94	93	100
105	107	115
111	122	130
112	136	144

Überblick

1. Komplexe Probleme der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und Elektromagnetische Simulationen
2. EMV-Störfestigkeitstests im Resonanzbereich und numerische Berechnung von Charakteristischen Moden
3. Anwendungsbeispiel: Vergleich gestrahlter und stromeinspeisender EMV-Störfestigkeitstests mittels Charakteristischer Moden
4. Erfahrungen und Zusammenfassung

Erfahrungen und Zusammenfassung

- Die Charakteristische Modenanalyse, wie in FEKO implementiert, erlaubt ein bequemes Untersuchen resonanter Strukturen, hier illustriert am Beispiel von EMV-Störfestigkeitstests im Resonanzbereich (und nicht am Beispiel des Antennenentwurfs)
- Bei etwas komplizierteren Strukturen kann das Auffinden interessierender Moden recht umständlich werden - einfacheres Postprocessing möglich?
- Lassen sich mit der Charakteristischen Modenanalyse neben der Resonanzfrequenz auch die Resonanzbreite bestimmen?

Vielen Dank für Ihre Zeit und Aufmerksamkeit!