

Res Electricae Magdeburgenses
Magdeburger Forum zur Elektrotechnik

Analytische Beschreibung der Kopplung
elektromagnetischer Felder durch Aperturen in Resonatoren

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

von **Dipl.-Phys. Jörg Petzold**

geb. am 19.11.1981 in Freiberg

genehmigt durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick

Univ.-Prof. Dr.-rer.nat. Frank Gronwald

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
1.1	Problemstellung	12
1.2	Auftreten von Aperturen in Theorie und Praxis	13
1.3	Zielstellung und Gliederung der Arbeit	14
2	Grundlagen	16
2.1	Maxwell-Gleichungen	16
2.1.1	Potentiale	17
2.1.2	Linearität	19
2.1.3	Kontinuitätsgleichung	19
2.2	Verallgemeinerter Strom	19
2.3	Felder an Grenzflächen	22
2.3.1	Ableitung der Randbedingungen	22
2.3.2	Randbedingungen an perfekten leitfähigen Medien	24
2.4	Methoden und Prinzipien	25
2.4.1	Äquivalenz-Prinzip	25
2.4.2	Energieerhaltung	26
2.4.3	Eindeutigkeit	27
2.4.4	Dualität	28
2.4.5	Spiegellandungsmethode	29
2.4.6	Induktionsprinzip	29
2.4.7	Babinet-Prinzip	31
2.5	Greensche Funktionen	32
2.5.1	Anwendung auf die Helmholtzgleichung	33
2.5.2	Assoziierte Greensche Funktionen	34
2.5.3	Dyadische Greensche Funktionen	35
2.6	Multipol-Entwicklung	37
2.7	Abstrahlung im Freiraum	40
2.7.1	Rayleigh-Zone	41
2.7.2	Fresnel-Zone	41
2.7.3	Fraunhofer-Zone	41
2.7.4	Nahfeld und Fernfeld	42
2.7.5	Elementarstrahler	42

2.8	Simulationsverfahren	43
2.8.1	Finiten Differenzen im Zeitbereich	43
2.8.2	Momenten-Methode	44
3	Elektrisch kleine Aperturen	46
3.1	Bethe-Theorie kleiner Aperturen	46
3.1.1	Randbedingungen der Apertur	46
3.1.2	Magnetisches Feld	48
3.1.3	Gestreutes Feld der Apertur	49
3.1.4	Lösen des Integrals	50
3.1.5	Elektrisches Feld	53
3.2	Kleine Apertur in der unendlichen Ebene	54
3.2.1	Regularisierung der Greenschen Funktion	55
3.2.2	Renormalisierte Polarisierbarkeit	56
3.2.3	Energieerhaltung	57
3.3	Kleine Apertur im quaderförmigen Hohlraumresonator	59
3.3.1	Greensche Funktion des quaderförmigen Hohlraumresonators	60
3.3.2	Güte rechteckiger Hohlraumresonatoren	64
3.3.3	Regularisierung im Hohlraumresonator	65
3.3.4	Renormalisierte Polarisierbarkeit	67
3.3.5	Felder im Inneren des Resonators	68
3.3.6	Schirmdämpfung	69
3.3.7	Hohlraumresonanzen im äußeren Feld	69
3.3.8	Untersuchungen im Zeitbereich	73
3.4	Verallgemeinerung des Modells	75
3.4.1	Verallgemeinerung der Einfallsrichtung	75
3.4.2	Beladung des Hohlraumresonators	77
3.4.3	Validierung des eingekoppelten Stromes	78
4	Elektrisch große Aperturen	80
4.1	Elektrisch langer dünner Draht	80
4.1.1	Quasi-stationärer Realteil	84
4.1.2	Imaginärteil	86
4.1.3	Regularisierter Realteil	87
4.1.4	Gesamtlösung	88
4.1.5	Validierung für den Strom	89
4.1.6	Konvergenz	90
4.1.7	Gestreute Nahfelder	94
4.1.8	Validierung für die Nahfelder	95
4.1.9	Gestreute Fernfelder	97

4.1.10	Validierung für die Fernfelder	98
4.2	Elektrisch langer Draht im Resonator	100
4.2.1	Validierung des eingekoppelten Stromes und der Felder	102
4.3	Elektrisch langer Schlitz in der Resonatorwand	108
4.3.1	Validierung für die Felder	110
4.4	Elektrisch langer Schlitz mit elektrisch langem Draht im Resonator	117
4.4.1	Validierung und Einfluss der Beladung auf die inneren und äußeren Felder	118
4.5	Vergleich des Berechnungsaufwandes	123
5	Zusammenfassung	125
5.1	Ergebnisse	125
5.2	Ausblick	127
5.3	Thesen	128
	Literatur	129