

Technische Physik
in Einzeldarstellungen
Herausgegeben von W. Meissner

10

Die
elektromagnetische Schirmung
in der Fernmelde- und
Hochfrequenztechnik

von

Dr. phil. Heinrich Kaden

Oberingenieur der Siemens & Halske AG.

Mit 145 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1950

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1950 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag in Berlin · Göttingen · Heidelberg 1950

ISBN 978-3-662-30239-2 ISBN 978-3-662-30238-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-30238-5

Vorwort.

Ein aus der Forderung nach Wirtschaftlichkeit geborener Grundsatz in der Technik ist der, eine verlangte Wirkung (z. B. die Tragfähigkeit einer Brücke, die Leistung einer Maschine, die Übertragung einer bestimmten Anzahl Gespräche über eine gegebene Entfernung usw.) mit möglichst geringem Aufwand zu erzielen. Zur Verwirklichung dieses Prinzips muß sich die Technik der Methoden und Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften und der Mathematik bedienen. Je mehr die wissenschaftlich arbeitenden Ingenieure hiervon beherrschen, um so wirtschaftlicher und exakter werden sie ihre technischen Aufgaben lösen können. In diesem Sinne soll ihnen dieses Buch Unterlagen auf dem Gebiete der elektromagnetischen Schirmung in die Hand geben. Obgleich Abschirmungsprobleme immer von neuem in der Fernmelde- und Hochfrequenztechnik auftreten, so gibt es doch auf diesem Gebiete keine zusammenfassende systematische Darstellung, so daß sich der Bearbeiter Unterlagen hierüber entweder mühsam aus der Literatur zusammensuchen oder selbst erarbeiten muß. Der Verfasser dieses Buches, der mit diesen Problemen während seiner langjährigen Tätigkeit im Zentrallaboratorium der Siemens & Halske AG. in enger Berührung stand, glaubt nun, mit der Herausgabe dieses Buches einem Bedürfnis der Industrie und Hochschule entgegengekommen zu sein. Das Buch enthält viele Ergebnisse, die bisher noch nicht publiziert worden sind und daher für die breite Fachwelt als neu bezeichnet werden können.

Bei der Anordnung des Stoffes traten didaktische Gesichtspunkte in den Vordergrund, indem die Probleme nach ihrer Schwierigkeit geordnet wurden, wobei jedoch ein absoluter Maßstab hierfür nicht angelegt werden kann. Die Zweiteilung des Buches im 1. Teil: „Schirmung gegen Störfelder“ und 2. Teil: „Schirmung gegen Störströme“ geschah jedoch aus rein systematischen Gründen. Der 1. Teil behandelt im wesentlichen Abschirmungsfragen, die in der Apparate- bzw. Geräte-Technik vorkommen, wo es gilt, irgendwelche Teile gegen fremde Störfelder zu schützen. Aber auch die Fragen, die mit der Rückwirkung des Schirmes auf die elektrischen Eigenschaften des Felderregers zusammenhängen, werden hier untersucht. Hierzu gehört u. a. die Dimensionierung geschirmter Leitungen, die für die Fernkabeltechnik wichtig ist. Während im ersten Abschnitt A die Schirmwände als homogen vorausgesetzt sind, kommen in den folgenden Abschnitten Schirme mit Fugen, Spalten und Löchern vor. Der 2. Teil ist dem Störproblem bei Leitungen gewidmet. Einen breiten Raum nimmt hierbei der Begriff des Kopplungswider-

standes ein, der auf das Nebensprechen zwischen geschirmten Leitungen von Fernmeldekabeln angewendet wird. Besonders in der Kabeltechnik ist es vom wirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen wertvoll, wenn man die elektrischen Eigenschaften in möglichst großem Umfange vorausberechnen kann, dadurch werden nämlich kostspielige Versuchslängen und Meßarbeit an ihnen gespart. Ein ausführliches Literaturverzeichnis am Ende des Buches soll das Auffinden von Arbeiten in den Fachzeitschriften erleichtern. Ferner dient eine Zusammenstellung der Formelzeichen und Funktionssymbole dem leichteren Verständnis.

Es wurde Wert darauf gelegt, den Formalismus so einfach wie möglich zu gestalten. So wurden Zylinderfunktionen im Haupttext soweit wie irgend möglich dadurch vermieden, daß die Schirmhüllen von vornherein als relativ dünn vorausgesetzt wurden. Kugelfunktionen ließen sich nicht umgehen. Da Zylinder- und Kugelfunktionen jedoch dem Ingenieur meistens nicht geläufig sind, wurde im 3. Teil eine kurze Einführung gebracht. Bei einigen mathematischen Beweisen mußten die Anforderungen an die mathematischen Kenntnisse des Lesers höher sein, als man im allgemeinen von Ingenieuren billigerweise voraussetzen darf. Um die Verständlichkeit des Buches hierdurch nicht zu gefährden, wurden solche Beweise in den jeweiligen Anhang zu dem betreffenden Kapitel verlegt, den mathematisch weniger interessierte Leser übergehen können. Zu vielen Kapiteln wurden Beispiele aus der Praxis bis zum numerischen Endresultat durchgerechnet, damit dem Leser einerseits ein Eindruck von der Größenordnung der Effekte und den Abmessungen von Schirmen bei praktisch vorkommenden Anforderungen vermittelt wird und andererseits Übungsaufgaben geboten werden.

Ich empfinde es als angenehme Pflicht, an dieser Stelle auf die Verdienste meines früheren Mitarbeiters, Herrn Dr. Fr. Sommer, an einem Teil der Ergebnisse dieses Buches hinzuweisen. Seine Leistungen sind größer, als durch die Anmerkungen im Text zum Ausdruck gebracht werden konnte. Herr Prof. Dr. W. Magnus gab mir wertvolle Hinweise mathematischer Art für einige Beweise; ihm auch an dieser Stelle zu danken, ist mir ein dringendes Bedürfnis. Ferner haben die Herren Dr.-Ing. R. Otto und Dr.-Ing. C. E. v. Pfaler das Manuskript kritisch durchgesehen; wertvolle Ratschläge sind ihnen zu verdanken.

München, im Januar 1950.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Schirmung gegen Störfelder.

Einleitung: Maxwell'sche Differentialgleichungen und Randbedingungen; äquivalente Leitschichtdicke	1
A. Geschlossene Schirme mit homogenen Wänden	8
I. Schirme im äußeren magnetischen Störfeld	8
1. Schirm aus zwei parallelen Platten	8
Ergänzung zu 1.: Metallplatte im Wechselfeld	13
2. Zylindrischer Schirm im longitudinalen Störfeld (axiale Feldrichtung) Ergänzung zu 2.: Draht im longitudinalen Wechselfeld	14
3. Zylindrischer Schirm im transversalen Störfeld (Feldrichtung senkrecht zur Achse)	16
Ergänzung zu 3.: Draht im transversalen Wechselfeld	21
4. Dünnwandiger Kugelschirm	23
Ergänzung zu 4.: Metallische Vollkugel im Wechselfeld	28
5. Beispiele	29
II. Schirme mit innerer magnetischer Felderregung	33
1. Zylindrischer Schirm mit exzentrisch liegender Doppelleitung	33
2. Doppelleitung parallel einer ebenen Wand	40
Ergänzung zu 1. und 2.: Die Leitungskonstanten einer Stammleitung mit Schirm	42
3. Zylindrischer Schirm mit exzentrisch liegender Sternviererphantomleitung	48
Ergänzung zu 3.: Die Leitungskonstanten der Sternviererphantomleitung	52
4. Metallisch gekapselte Spule	56
Ergänzung zu 4.: Spule mit Eisenkern	61
5. Beispiele	63
III. Mehrschichtige Schirme aus verschiedenen Metallen	68
1. Allgemeine Entwicklungen	68
2. Mehrschichtiger Zylinderschirm mit Eisen	72
3. Mehrschichtiger Kugelschirm mit Eisen	75
4. Gesichtspunkte für die praktische Ausführung mehrschichtiger Schirme	77
5. Beispiele	78
IV. Schirmmatrizen mit Anwendung auf beliebig dicke magnetostatische Schirme	79
B. Zusammengesetzte metallische Hüllen mit Fugen	82
I. Einleitung	82
II. Zylindrische Hülle aus axialen Bändern	86
1. Das Feld innerhalb der Schirmwand	86
2. Das Feld im Außenraum	90

3. Das Feld im Innenraum	91
4. Grenzbedingungen	92
5. Näherungslösung des unendlichen Gleichungssystems	93
6. Ergebnisse	99
III. Zylindrische Hülle aus ringförmigen Stücken	101
1. Das Feld innerhalb der Schirmwand	101
2. Das Feld im Außenraum	103
3. Das Feld im Innenraum	104
4. Grenzbedingungen	104
5. Näherungslösung des unendlichen Gleichungssystems	106
6. Ergebnisse	107
IV. Kugelförmige Hülle aus zwei Halbschalen	108
1. Das Feld in der Schirmwand	108
2. Das Feld im Außenraum	113
3. Das Feld im Innenraum	113
4. Grenzbedingungen	114
5. Näherungslösung des unendlichen Gleichungssystems	115
6. Ergebnisse	118
V. Anhang: Beweis der Gleichung (330)	119
VI. Zusammenfassung	123
C. Schirme mit Spalten	125
I. Das magnetische Wechselfeld in der Umgebung von Hochfrequenzleitern	125
1. Einleitung	125
2. Erste Näherung	127
3. Zweite Näherung	130
II. Anwendung auf den Durchgriff des elektrischen und magnetischen Feldes durch Schirme mit Spalten	136
1. Das elektrische Feld (Die Durchgriffskapazität)	137
2. Das magnetische Feld (Der Kopplungswiderstand)	142
III. Anhang	144
a) Erste Näherung für das Feld außerhalb der Schirmwand	144
1. Konforme Abbildung des Schirmes	144
2. Das komplexe Potential des Feldes	147
α) im äußeren Bereich des Schirmes	148
β) im Spaltbereich	149
γ) im Bereich des abgeschirmten Raumes	150
b) Zweite Näherung für das Feld außerhalb der Schirmwand	151
c) Breite Spalte	152
IV. Zusammenfassung	156
D. Der Durchgriff des elektrischen und magnetischen Feldes durch Löcher und der Umgriff um den Rand offener Schirme	158
I. Der Durchgriff des Feldes durch ein Kreisloch	158
1. Elektrisches Feld	158

Erste Anmerkung zu 1.: Elektrischer Kamin	165
Zweite Anmerkung zu 1.: Geschlossene Lösung in elliptischen Koordinaten nach Fr. Ollendorf	167
2. Magnetisches Feld (Kopplungswiderstand eines Rohres mit Loch)	169
Erste Anmerkung zu 2.: Magnetischer Kamin	181
Zweite Anmerkung zu 2.: Geschlossene Lösung in elliptischen Koordinaten	182
II. Umgriff des Feldes um eine dünne Kreisplatte	184
1. Elektrisches Feld (Teilkapazität zwischen zwei durch eine geerdete Kreisplatte geschirmten Körpern)	184
2. Magnetisches Feld (Gegeninduktivität zwischen zwei durch eine Kreisplatte geschirmten Spulen)	187
III. A n h a n g: Beweis für die Lösung der unendlichen Gleichungssysteme (472) und (497)	189
E. Gitterschirme	191
I. Magnetisches Feld	191
II. Das elektrische Feld	197

Zweiter Teil.

Schirmung gegen Störströme.

I. Einleitung: Allgemeine Definition des Kopplungswiderstandes	199
II. Der Kopplungswiderstand spezieller Leiterkonstruktionen	202
1. Zylindrisches Rohr aus schraubenförmig aufgebrachtten Metallbändern (gewendelter Leiter)	202
2. Rohr mit Spalten	206
3. Gewendelter Leiter mit äußerem homogenem Mantel	207
Ergänzung zu 3.: Leitungskonstanten eines koaxialen Kabels mit gewendelttem Außenleiter und äußerem homogenem Mantel	212
4. Zylindrischer Schirm mit Drahtbeiläufen	213
Ergänzung zu 4.: Der Reusenleiter	218
5. Zwei koaxiale Leitungen mit gemeinsamem Kabelmantel (koaxiales Doppelkabel)	219
6. Koaxiales Vierfachkabel	223
7. Anhang. Homogener zylindrischer Schirm	225
8. Beispiele	228
III. Das Nebensprechen zwischen koaxialen Leitungen	231
1. Das Nebensprechen innerhalb eines Verstärkerfeldes	232
2. Das Nebensprechen bei mehreren Verstärkerfeldern	234
3. Beispiel	240
IV. Das Nebensprechen zwischen einer verdrahten und einer koaxialen Leitung	240
Beispiel	249
V. Das Nebensprechen zwischen verdrahten Leitungen mit Zwischenschirm	250
Beispiel	255

D r i t t e r T e i l .

Anhang.

Die wichtigsten Eigenschaften der Zylinder- und Kugelfunktionen	257
a) Zylinderfunktionen	257
b) Kugelfunktionen	259
Erklärung der Formelzeichen	264
Literaturverzeichnis	268
Sachverzeichnis	271