

Klaus Kark

Antennen und Strahlungsfelder

**Elektromagnetische Wellen auf Leitungen,
im Freiraum und ihre Abstrahlung**

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 253 Abbildungen, 79 Tabellen
und 125 Übungsaufgaben

Studium Technik



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Frequenzbereiche.....	1
1.2 Elektromagnetische Grundgrößen.....	2
1.3 Antennen und Strahlungsfelder im Überblick.....	4
2 Mathematische Grundlagen	7
2.1 Vektorrechnung.....	7
2.1.1 Skalarprodukt.....	8
2.1.2 Vektorprodukt.....	9
2.1.3 Spatprodukt.....	10
2.2 Vektoranalysis.....	12
2.2.1 Differenziation von skalaren Feldern.....	12
2.2.2 Differenziation von Vektorfeldern.....	15
2.2.3 Rechnen mit dem Nabla-Operator.....	19
2.2.4 Integralsätze der Vektoranalysis.....	22
2.2.5 Helmholtzsches Theorem.....	25
2.3 Koordinatensysteme.....	26
2.4 Übungen.....	28
3 Grundlagen der Elektrodynamik	29
3.1 Energieerhaltungssatz.....	29
3.1.1 Darstellung im Zeitbereich.....	29
3.1.2 Darstellung im Frequenzbereich.....	31
3.2 Maxwell'sche Gleichungen.....	32
3.2.1 Grundgleichungen.....	32
3.2.2 Einteilung der elektromagnetischen Felder.....	34
3.2.3 Prinzip von der Ladungserhaltung.....	34
3.2.4 Quellen der Vektorfelder.....	36
3.3 Wellengleichung.....	38
3.4 Helmholtz-Gleichung.....	39
3.5 Wellenausbreitung in anisotropen Medien.....	41
3.6 Rand- und Stetigkeitsbedingungen.....	42
3.7 Relativitätsprinzip.....	44
3.7.1 Lorentz-Transformation.....	45
3.7.2 Feld einer gleichförmig bewegten Ladung.....	50
3.8 Strahlung beschleunigter Elektronen.....	52
3.8.1 Strahlungsleistung.....	54
3.8.2 Linear beschleunigte Punktladung.....	55
3.8.3 Kreisförmig beschleunigte Punktladung.....	56
3.9 Übungen.....	57
4 Ebene Wellen	58
4.1 Ebene Wellen im Dielektrikum.....	58
4.1.1 Lösung der Helmholtz-Gleichung.....	58

4.1.2 Geschwindigkeitsdefinitionen.....	62
4.2 Ebene Wellen im Leiter.....	67
4.3 Ebene Wellen im Supraleiter.....	72
4.3.1 Londonsche Gleichungen.....	73
4.3.2 Telegrafен-und Helmholtz-Gleichung.....	74
4.4 Leistungstransport.....	78
4.5 Übungen.....	80
5 Ausbreitungseffekte.....	81
5.1 Polarisatіon.....	81
5.2 Senkrechter Einfall auf eine ebene Trennfläche.....	85
5.2.1 Reflexions- und Durchlassfaktoren.....	86
5.2.2 Stehende Wellen.....	89
5.2.3 Leistungstransport.....	92
5.2.4 Strahlungsdruck.....	93
5.3 Radarreflexion an bewegten Objekten.....	94
5.3.1 Gleichförmig bewegter ebener Metallspiegel.....	94
5.3.2 Doppler-Effekt und Aberration.....	96
5.4 Schiefer Einfall auf eine ebene Trennfläche.....	99
5.4.1 Brechungsgesetz.....	99
5.4.2 Fresnelsche Formeln.....	103
5.4.3 Totaltransmission.....	107
5.4.4 Totalreflexion.....	113
5.5 Ebenes Drei-und Vierschichtenproblem.....	116
5.6 Beugung an einer metallischen Schirmkante.....	119
5.7 Übungen.....	121
6 Wellenleiter.....	122
6.1 Schwingungsformen in Hohlleitern.....	123
6.2 Rechteckhohlleiter.....	127
6.2.1 Eigenwellen.....	127
6.2.2 Hohlleiterschaltungen und Orthogonalentwicklung.....	136
6.3 Rundhohlleiter.....	141
6.3.1 Eigenwellen.....	141
6.3.2 Feldbilder.....	146
6.4 Besondere Hohlleitertypen.....	147
6.5 Hohlraumresonatoren.....	150
6.6 Koaxialleitung.....	151
6.6.1 Grundwelle.....	151
6.6.2 Höhere Wellentypen.....	153
6.7 Übungen.....	156
7 Grundbegriffe der Antennentechnik.....	157
v 7.1 Isotroper Strahler.....	157
•? 7.2 Hertzscher Dipol.....	157
%J 7.3 Kenngrößen von Antennen.....	159
*''' ''' 7.3.1 Richtdiagramm.....	159
*:_r 7.3.2 Richtfaktor und Gewinn.....	164

7.3.3 Äquivalenter Raumwinkel.....	166
7.3.4 Antennenwirkfläche.....	168
7.3.5 Polarisation.....	172
7.4 Übungen.....	174
8 Grundbegriffe von Strahlungsfeldern.....	175
8.1 Grundgleichungen.....	175
8.2 Potenziallösung der Feldgleichungen.....	177
8.2.1 Magnetisches Vektorpotenzial.....	178
8.2.2 Elektrisches Vektorpotenzial.....	184
8.2.3 Darstellung der Feldstärken.....	185
8.3 Fernfeldnäherungen.....	188
8.3.1 Fresnel-Näherung.....	190
8.3.2 Fraunhofer-Näherung.....	191
8.3.3 Fernfeldabstand und Antennengewinn.....	194
8.3.4 Fernfelder und Fourier-Transformation.....	196
8.4 Ausstrahlungsbedingung.....	199
8.5 Kantenbedingung.....	200
8.6 Huygenssches Prinzip.....	202
8.6.1 Vektorielle Formulierung.....	202
8.6.2 Skalare Formulierung.....	205
8.7 Kopolarisation und Kreuzpolarisation.....	210
8.8 Übungen.....	213
9 Elementardipole und Rahmenantennen.....	214
9.1 Elektrischer Elementarstrahler.....	214
9.1.1 Strahlungsfelder.....	215
9.1.2 Wellengeschwindigkeiten und Nahfeldablösung.....	221
9.2 Magnetischer Elementarstrahler.....	225
9.3 Kreisförmige Rahmenantenne beliebigen Umfangs.....	227
9.3.1 Vektorpotenzial eines kreisförmigen Ringstroms.....	228
9.3.2 Kreisförmige Rahmenantenne mit Umfang $U=nX_0$	231
9.3.3 Erweiterung auf beliebigen Umfang.....	233
9.4 Übungen.....	239
10 Lineare Antennen.....	240
10.1 Zylinderantenne.....	241
10.2 Dünne Linearantenne.....	242
10.2.1 Strahlungsfelder.....	242
10.2.2 Wanderwellenantenne (Langdrahtantenne).....	251
10.2.3 Strahlungswiderstand.....	254
10.2.4 Verkürzungsfaktor.....	261
10.2.5 Richtfaktor und Gewinn.....	264
10.3 Übungen.....	267
11 Gruppenantennen.....	268
11.1 Gruppenfaktor bei räumlicher Anordnung.....	270
11.2 Lineare Gruppen.....	271
11.2.1 Gruppencharakteristik.....	271

11.2.2	Querstrahler.....	276
11.2.3	Längsstrahler.....	278
11.2.4	Richtfaktor linearer Gruppen.....	282
11.2.5	Kreuzdipol.....	285
11.2.6	Yagi-Uda-Antenne.....	286
11.2.7	Phasengesteuerte Gruppenantennen.....	288
11.2.8	Inhomogene Amplitudenbelegung.....	290
11.2.9	Verdünnte Gruppen.....	294
11.3	Ebene Gruppen.....	297
11.4	Antennen über Erde.....	298
11.5	Strahlungskopplung in ebenen Dipolgruppen.....	305
11.6	Übungen.....	307
12	Breitbandantennen.....	308
12.1	Doppelkonusantenne.....	308
12.1.1	Unendlich lange symmetrische Doppelkonusleitung.....	309
12.1.2	Symmetrische Doppelkonusantenne endlicher Länge.....	310
12.1.3	Näherungslösung bei kleinem Reflexionsfaktor.....	317
12.1.4	Doppelkonusantenne mit optimiertem Gewinn.....	322
12.2	Logarithmisch-periodische Antenne.....	323
12.3	Spiral-und Fraktalantennen.....	327
12.4	Übungen.....	328
13	Aperturstrahler I (Hohlleiterantennen).....	329
13.1	Prinzipien der Aperturstrahler.....	329
13.2	Ebene Apertur im freien Raum (Chu-Modell).....	331
13.3	Ebene Apertur im unendlichen ebenen Schirm (E-Feld-Modell).....	337
13.3.1	Hohlleiterstrahler.....	338
13.3.2	Richtfaktor und Flächenwirkungsgrad.....	343
13.4	Übungen.....	345
14	Aperturstrahler II (Hornantennen).....	346
14.1	Bauformen.....	346
14.2	Sektorhorn.....	346
14.3	Pyramidenhorn.....	350
14.4	Kegelhorn und Rillenhorn.....	356
14.4.1	Phasenfehler in der ebenen Hornapertur.....	356
14.4.2	Berechnungsverfahren.....	357
14.4.3	Optimale Bauweise.....	359
14.5	Übungen.....	360
15	Aperturstrahler III (Linsenantennen).....	361
15.1	Konvexe Verzögerungslinse.....	361
15.2	Konkave Beschleunigungslinse.....	364
15.3	Luneburg-Linse.....	365
15.4	Übungen.....	366
16	Aperturstrahler IV (Reflektorantennen).....	367
16.1	Bauformen.....	367

16.2 Mehrspiegelantennen.....	370
16.3 Entwurf einer Cassegrain-Antenne.....	371
16.4 Gewinn von Reflektorantennen.....	375
16.5 Fehler der Oberflächenkontur.....	376
16.6 Amplitudenbelegung einer kreisförmigen Apertur.....	380
16.7 Übungen.....	383
17 Spezielle Antennenformen.....	384
17.1 Streifenleitungsantenne.....	384
17.1.1 Grundlegende Entwurfsrichtlinien.....	384
17.1.2 Strahlungsfelder nach dem Cavity-Modell.....	387
17.1.3 Gruppenantennen in Streifenleitungstechnik.....	391
17.2 Schlitzantenne.....	393
17.3 Wendel-oder Helixantenne.....	397
17.4 Dielektrische Oberflächenwellenantenne.....	400
17.5 Übungen.....	401
Anhang.....	402
A Mathematische Formeln.....	402
A.1 Konstanten.....	402
A.2 Trigonometrische Beziehungen.....	402
A.3 Reihenentwicklungen für kleine Argumente.....	402
A.4 Asymptotische Darstellungen für große Argumente.....	403
A.5 Beziehungen zwischen Besselfunktionen.....	403
A.6 Nützliche Integrale.....	403
A.7 Lommelsche Funktionen mit einem Index und zwei Argumenten.....	404
A.8 Krummlinige orthogonale Koordinatensysteme.....	405
B Elektrotechnische Formeln.....	406
B.1 Abkürzungen.....	406
B.2 Grundgleichungen.....	406
B.3 Vektorpotenziale.....	406
B.4 Feldgrößen.....	406
B.5 Verschiedenes.....	406
C Formeln zum Antennendesign.....	407
C.1 Schlanke Dipolantennen im Freiraum mit Mittelpunktspeisung.....	407
C.2 Gruppencharakteristik linearer Antennengruppen.....	407
C.3 Strahlung einer linearen Belegung bzw. einer Rechtekapertur.....	408
C.4 Strahlung einer Kreisapertur.....	408
C.5 Ausbreitungskonstanten von Hohlleiterwellen.....	408
C.6 Hornstrahler mit Maximalgewinn bei fester Baulänge.....	409
C.7 Beam efficiency und pattern factor elektrisch großer Antennen.....	409
Englische Übersetzungen wichtiger Fachbegriffe.....	410
eraturverzeichnis.....	411
^Wortverzeichnis.....	418
Dnenverzeichnis.....	424