

# Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen 11

## 1. Einführung 15

1.1. Frequenzbereiche und Anwendungsgebiete 15

1.2. Schaltelemente und Schaltungsanalyse 17

Literatur 23

## 2. Elektromagnetische Theorie 25

2.1. Maxwellsche Gleichungen 25

2.2. Grundbeziehungen 31

2.3. Statische Felder 36

2.4. Wellengleichung 38

2.5. Energie und Leistung 40

2.6. Randbedingungen 47

2.7. Ebene Wellen 51

2.8. Reflexion an einer dielektrischen Trennfläche 56

2.9. Reflexion an einer leitenden Ebene 60

2.10. Potentialtheorie 63

2.11. Ableitung der Lösung für das Vektorpotential 66

2.12. Das Lorentzsche Reziprozitätstheorem 69

Übungsaufgaben 72

Literatur 78

## 3. Lecherleitungen und Wellenleiter 79

3.1. Klassifizierung der Lösungen der Wellengleichung 80

3.2. Lecherleitungen (Feldanalyse) 87

3.3. Lecherleitungen (Analyse mit verteilten Ersatzschaltbildelementen) 95

3.4. Kenngrößen der Lecherleitung 99

3.5. Lecherleitung mit Abschlußwiderstand 104

3.6. Hohlleiter mit rechteckigem Querschnitt (Rechteckhohlleiter) 110

3.7. Hohlleiter mit kreisförmigem Querschnitt (Rundhohlleiter) 124

3.8. Oberflächenwellenleiter 130

3.9. Orthogonalität der Leistung 138

3.10. Dämpfung bei entarteten Wellentypen 142

3.11. Wellengeschwindigkeiten 150

Übungsaufgaben 156

Literatur 163

4. Schaltungstheorie für Wellenleitersysteme 165

- 4.1. Ersatzspannungen und -ströme 165
- 4.2. Widerstandsdarstellung von Wellenleiterelementen und -schaltungen 169
- 4.3. Das Fostersche Reaktanztheorem 174
- 4.4. Gerade und ungerade Frequenzfunktionen des Eingangsscheinwiderstandes 176
- 4.5. N-Tor-Schaltungen 177
- 4.6. Zweitore 181
- 4.7. Streumatrix 191
- 4.8. Streumatrix für ein Zweitor 199
- 4.9. Schaltungsdarstellung mit Übertragungsmatrizen 203
- 4.10. Anregung von Hohlleiterwellen 210
- 4.11. Kopplung von Hohlleitern durch Öffnungen 217

Übungsaufgaben 224

Literatur 230

5. Widerstandstransformation und Anpassung 231

- 5.1. Smith-Diagramm 231
- 5.2. Widerstandsanpassung mit Blindschaltelelementen 236
- 5.3. Anpassungstransformation mit zwei Stichleitungen 240
- 5.4. Anpassungstransformation mit drei Stichleitungen (triple-stub-tuner) 243
- 5.5. Hohlleiter-Blindschaltelelemente 245
- 5.6. Viertelwellenlängen-Transformatoren 249
- 5.7. Theorie kleiner Reflexionen 252
- 5.8. Näherungstheorie für mehrstufige  $\lambda_L/4$ -Transformatoren 253
- 5.9. Binomialtransformator 255
- 5.10. Tschebyscheff-Transformator 257
- 5.11. Tschebyscheff-Transformator (exakte Ergebnisse) 261
- 5.12. Inhomogene Lecherleitungen zur Anpassungstransformation 265
- 5.13. Synthese inhomogener Leitungstransformatoren 269
- 5.14. Leitungstransformator mit Tschebyscheff-Charakteristik 275
- 5.15. Exakte Gleichung für den Reflexionsfaktor 279

Übungsaufgaben 282

Literatur 287

6. Passive Mikrowellenbauelemente 289

- 6.1. Leitungsabschlüsse 289
- 6.2. Dämpfungsglieder 292
- 6.3. Phasenschieber 294
- 6.4. Richtkoppler 300
- 6.5. Hybridverzweigungen 312
- 6.6. Mikrowellenausbreitung in Ferriten 316
- 6.7. Faraday-Drehung 326
- 6.8. Mikrowellenbauelemente auf der Grundlage der Faraday-Drehung 329
- 6.9. Zirkulatoren 334
- 6.10. Andere Ferritbauelemente 338

Übungsaufgaben 339

Literatur 343

- 7. Elektromagnetische Resonatoren 345
  - 7.1. Schwingkreise 345
  - 7.2. Lecherleitungsresonatoren 348
  - 7.3. Hohlraumresonatoren 353
  - 7.4. Ersatzschaltungen für Hohlraumresonatoren 361
  - 7.5. Fabry-Perot-Resonatoren 369
  - 7.6. Feldentwicklung in einem allgemeinen Hohlraumresonator 376
  - 7.7. Schwingungen in einem quellenfreien Hohlraumresonator 385
  - 7.8. Anregung von Hohlraumresonatoren 390
- Übungsaufgaben 394
- Literatur 397
- 8. Periodische Strukturen und Filter 399
  - 8.1. Kapazitiv belastete Leitungen. Schaltungsanalyse 399
  - 8.2. Wellenanalyse von periodischen Strukturen 406
  - 8.3. Periodische Strukturen, die aus unsymmetrischen Zweitornetzwerken zusammengesetzt sind 408
  - 8.4. Abgeschlossene periodische Strukturen 410
  - 8.5. Anpassung von periodischen Strukturen 412
  - 8.6.  $k_0, \beta$ -Diagramm 413
  - 8.7. Gruppengeschwindigkeit und Energiefluß 415
  - 8.8. Floquetsches Theorem und räumliche Harmonische 418
  - 8.9. Periodische Strukturen für Wanderfeldröhren 420
  - 8.10. Schichtwendel 429
  - 8.11. Einige allgemeine Eigenschaften der Wendelleitung 432
  - 8.12. Einführung in die Mikrowellenfilter 434
  - 8.13. Wellenparametermethode zur Filterdimensionierung 436
  - 8.14. Filterdimensionierung mit der Betriebsparametermethode 439
  - 8.15. Vergleich der Leistungsübertragungsmaße 441
  - 8.16. Einige Dimensionierungen von Tiefpaßfiltern 443
  - 8.17. Frequenztransformationen 446
  - 8.18. Impedanzinverter 452
  - 8.19. Filter mit Lecherleitungen 459
  - 8.20. Filter aus Hohlraumresonatoren mit  $\lambda_L/4$ -Kopplung 462
  - 8.21. Filter aus direkt gekoppelten Hohlraumresonatoren 466
- Übungsaufgaben 468
- Literatur 472
- Mikrowellenröhren 475
  - 9.1. Einführung 475
  - 9.2. Elektronenstrahlen unter Gleichstrombedingungen 476
  - 9.3. Raumladungswellen auf Elektronenstrahlen mit gebündelter Strömung 479
  - 9.4. Raumladungswellen auf unfokussierten Strahlen 486
  - 9.5. Wechselstromleistung 492
  - 9.6. Geschwindigkeitsmodulation 495
  - 9.7. Zweikammerklystron 502

- 9.8. Reflexklystron 511
  - 9.9. Magnetron 514
  - 9.10. Wanderfeldröhre (O-Typ) 517
  - 9.11. Wanderfeldröhre (M-Typ) 524
  - 9.12. Weitere Typen von Mikrowellenröhren 525
  - 9.13. Rauschen in Mikrowellenröhren 526
- Übungsaufgaben 530
- Literatur 534
10. Mikrowellenmaser 537
- 10.1. Einige quantenmechanische Grundlagen 537
  - 10.2. Absorption und Emission von Strahlung 545
  - 10.3. Beschreibung eines Maserverstärkers 552
  - 10.4. Energieniveaus im Rubin 553
  - 10.5. Analyse der Wirkungsweise eines Maser 557
  - 10.6. Makroskopische magnetische Suszeptibilität 563
  - 10.7. Ersatzschaltung eines Maserverstärkers 567
  - 10.8. Verstärkfaktor eines Maserverstärkers 572
  - 10.9. Maserrauschen 575
  - 10.10. Wanderfeldmaser 577
  - 10.11. Laser 580
- Übungsaufgaben 582
- Literatur 584

11. Parametrische Verstärker 585
- 11.1. pn-Flächendioden 585
  - 11.2. Manley-Rowe-Beziehungen 589
  - 11.3. Linearisierte Gleichungen für parametrische Verstärker 593
  - 11.4. Parametrischer Aufwärts-Konverter 594
  - 11.5. Parametrischer Verstärker mit negativem Widerstand 599
  - 11.6. Rauscheinigenschaften von parametrischen Verstärkern 606
- Übungsaufgaben 614
- Literatur 617

- Anhang 619
- A.1. Wichtige Formeln aus der Vektoranalysis 619
  - A.2. Zylinderfunktionen (Bessel-Funktionen) 623
  - A.3. Physikalische Konstanten und andere Daten 628

Sachwörterverzeichnis 631