

# Inhoud

---

Voorwoord .....	vii
Gebruikte symbolen .....	xi
1 De fysische achtergronden van elektromagnetische straling.....	1
1.1 Radiocommunicatie.....	1
1.2 Van elektrische netwerken naar velden.....	2
1.3 Vergelijkingen van Maxwell.....	6
1.4 Krachtlijnen.....	8
1.5 Golven.....	9
1.6 Elektrische golven op draden en in de vrije ruimte.....	14
1.7 Elektrisch korte antennes.....	18
1.8 Elektromagnetische straling.....	21
1.9 Warmteverliezen.....	23
1.10 Antenneïmpedantie.....	24
1.11 Stroomverdeling op dunne antennes.....	27
1.12 Berekening van het verre veld.....	28
1.13 Richtingsafhankelijke uitstraling.....	29
1.14 Richtingsafhankelijke ontvangst.....	33
1.15 Transmissie van vermogen tussen antennes in de vrije ruimte.....	34
1.16 Grote stralende, reflecterende of absorberende oppervlakken.....	35
1.17 Stelsels van antennes.....	39
1.18 Richtfactor van een groot stralend oppervlak met een reflecterend oppervlak erachter.....	40
1.19 Transmissie van vermogen tussen een groot stralend oppervlak en een groot absorberend oppervlak.....	43
1.20 Magnetischestroomvlak.....	44
1.21 Propagatie van golven.....	45
1.22 Uitstraling door een grote apertuur.....	47
1.23 Parabolische reflector.....	50
1.24 Lenzen.....	51
1.25 Breedbandige draadantennes.....	51
1.26 Antennes voor verschillende doeleinden en frequentiebereiken.....	52
1.27 Aarde en atmosfeer.....	55
1.28 Theorie en praktijk.....	55
Opgaven.....	57
2 De vergelijkingen van Maxwell.....	61
2.1 Concepten van elektromagnetische velden, en vergelijkingen.....	61
2.2 Vergelijkingen van Maxwell – algemeen en stationair.....	70
2.3 Differentiaalvergelijkingen en randvoorwaarden.....	71
2.4 Elektrische netwerken.....	72
2.5 Energiestroom.....	75
Opgaven.....	77

3	Vlakke golven .....	81
3.1	Classificatie van golven.....	81
3.2	Uniforme vlakke golven.....	81
3.3	Golven tussen parallelle strips.....	86
3.4	Golven geleid over parallelle draden.....	88
3.5	Eendimensionale transmissievergelijkingen .....	91
3.6	Reflectie .....	91
	Opgaven .....	94
4	Bolvormige golven.....	97
4.1	Inleiding .....	97
4.2	Vergelijkingen van Maxwell in bolcoördinaten .....	98
4.3	Rotatiesymmetrische velden.....	101
4.4	Velden die alleen afhangen van de afstand tot de oorsprong .....	102
4.5	Bolvormige golven op grote afstand van hun oorsprong .....	102
4.6	Bolvormige TEM-golven .....	104
4.7	Principale golven op niet-conische draden.....	107
4.8	TEM-golven op coaxiale cilinders .....	109
4.9	TEM-golven op parallelle draden.....	109
4.10	Principale golven op uiteenwijkende draden.....	110
4.11	Principale golven op kooiconstructies.....	111
4.12	Hogere-orde propagatiemodi.....	112
4.13	Een puntlading, een doublet en een elektrischestroomelement .....	115
4.14	Het verre veld van een elektrischestroomelement in de vrije ruimte .....	122
4.15	Vergelijking tussen vrijruimtegolven en principale golven op uiteenwijkende draden.....	122
4.16	Lijnen van vermogensstroom .....	123
4.17	Krachtlijnen van het elektrische veld .....	127
4.18	Spiegelbeeldtheorie .....	133
	Opgaven .....	134
5	Gerichte straling .....	141
5.1	Fundamentele formule.....	141
5.2	Stralingsintensiteit en uitgestraald vermogen.....	142
5.3	Stralingsintensiteit van een stroomelement .....	143
5.4	Door een stroomelement uitgestraald vermogen .....	144
5.5	Stralingspatroon.....	145
5.6	Isotrope straler .....	145
5.7	Golfinterferentie en gerichte straling.....	146
5.8	Stelsel factor .....	147
5.9	Lengtestralerpaar .....	148
5.10	Breedtestralerpaar.....	150
5.11	Uniform lineair stelsel met een progressieve fasevertraging.....	150
5.12	Uniform breedtestralerstelsel.....	152
5.13	Uniform lengtestralerstelsel .....	154
5.14	Continu stelsel .....	155
5.15	Rechthoekig stelsel.....	155
5.16	Berekening van het uitgestraalde vermogen.....	157
5.17	Asymptotisch benaderde formules voor het uitgestraalde vermogen.....	158

5.18	Energie en vermogen verbruikt in de opwekking van elektromagnetische golven .....	160
5.19	Tegenwerking van een elektrische stroom door de straling: de stralingsweerstand.....	161
5.20	Mutuele stralingsweerstand van twee stroomelementen .....	162
5.21	Momentenmethode voor berekening van het uitgestraalde vermogen .....	165
5.22	Toepassingen van de momentenmethode .....	168
5.23	Richtingsgevoelige ontvangst.....	170
5.24	Synthese van antennestelsels .....	172
	Referenties .....	175
	Opgaven .....	175
6	Richtfactor en effectieve oppervlakte.....	183
6.1	Richtfactor van een zendantenne .....	183
6.2	Efficiency .....	184
6.3	Vermogenswinst.....	185
6.4	Effectieve oppervlakte van een ontvangantenne .....	185
6.5	Formules voor vrijruimtetransmissie .....	187
6.6	Verband tussen richtfactor en effectieve oppervlakte .....	188
6.7	Aanvullende formules voor vrijruimtetransmissie .....	189
6.8	Richtfactor van een lengtestralerpaar .....	189
6.9	Richtfactor van een breedtestralerpaar .....	190
6.10	Verticaal element boven een ideaal geleidend aardvlak.....	191
6.11	Richtfactor van een breedtestralerstelsel .....	192
6.12	Richtfactor van een lengtestralerstelsel .....	194
6.13	Richtfactor van een continu lengtestralerstelsel .....	194
6.14	Richtfactor van een continu breedtestralerstelsel .....	196
6.15	Richtfactor van een continu rechthoekig breedtestralerstelsel .....	197
6.16	Straling van zich langs een draad voortbewegende stroomgolven.....	198
6.17	Richtfactor en de ruimtehoek ingenomen door de hoofdlob .....	199
6.18	Richtfactor en stralingsweerstand.....	200
6.19	Spanningswinst van een niet-vermogensaangepaste antenne.....	201
6.20	Supergerichte antennes.....	201
	Referenties.....	204
	Opgaven .....	204
7	Golven boven het aardoppervlak.....	207
7.1	Spiegelbeeldtheorie voor reflecties .....	207
7.2	Berekening van de reflectiecoëfficiënt.....	208
7.3	Reflectiecoëfficiënt voor reflectie tegen het aardoppervlak.....	212
7.4	Stralingspatroon.....	214
7.5	Radiotransmissie onder lage hoek .....	215
7.6	Voorover kantelen van een golf bij scherende inval .....	217
	Referenties.....	218
8	Antennestroom .....	219
8.1	De elektrische eigenschappen van antennes.....	219
8.2	Effect van de stroomverdeling op stralingspatroon en uitgestraald vermogen.....	219
8.3	Effect van de stroomverdeling op de aansluitimpedantie van de antenne.....	220
8.4	Factoren die de stroomverdeling beïnvloeden.....	221
8.5	Quasistatische en dynamische component van de elektrische veldsterkte .....	223

8.6 Een elektrischestroomelement.....	226
8.7 Een oneindig dunne stroomvoerende draad .....	229
8.8 Een dunne stroomvoerende draad .....	230
8.9 Exacte vergelijkingen voor de verdeling van quasistatische potentiaal en de dynamische component van de elektrische veldsterkte op een stelsel van parallelle dunne draden.....	232
8.10 Exacte vergelijkingen voor een stelsel van gekromde draden.....	233
8.11 Randvoorwaarden in knooppunten van een netwerk van draden .....	234
8.12 Randvoorwaarden ter plaatse van een lokale bron .....	234
8.13 Asymptotisch benaderde uitdrukkingen voor het veld aan het oppervlak van een dunne stroomvoerende draad.....	235
8.14 Asymptotisch benaderde uitdrukkingen voor potentiaal en stroom van een dunne draad .....	237
8.15 Bepaling van de karakteristieke impedantie van een draad.....	239
8.16 Asymptotisch benaderde formules voor de potentiaal- en stroomverdeling op een dunne draad .....	242
8.17 Coördinaten op een onderbroken draad.....	243
8.18 Asymptotisch benaderde stroomverdeling op een dipoolantenne .....	244
8.19 Asymptotisch benaderde stroomverdeling op een reflecterende antenne.....	248
8.20 Asymptotisch benaderde stroomverdeling op een ontvangantenne .....	249
8.21 Asymptotisch benaderde potentiaalverdeling op een dipoolantenne.....	250
8.22 Effect van uitstraling op de antennestroom.....	250
8.23 Eindeffecten in een dipool-zendantenne .....	251
8.24 Stroomverdeling op een antenne met een inductieve of capacatieve load.....	253
8.25 Asymptotisch benaderde formules voor de stroomverdeling op zwak gekoppelde netwerken van geleiders .....	254
8.26 Potentiaal en stroom voor dunne, sterk gekoppelde parallelle draden .....	257
8.27 Netwerken met sommige van de onderdelen sterk gekoppeld .....	259
8.28 Effect van een abrupte stap in de straal van de antenne .....	260
8.29 Enkele gelijke conclusies maar vanuit een ander gezichtspunt.....	262
8.30 Geleid en uitgestraald vermogen .....	265
8.31 Serieresonantie en parallelresonantie .....	267
8.32 Effect van geleiderweerstand op de antennestroom .....	270
8.33 Effect van zich dicht bij elkaar bevindende antenneklemmen .....	270
Opgaven .....	271
9 Impedantie, reciprociteit en equivalentie .....	277
9.1 Impedanties als functie van een complexe variabele.....	277
9.2 Nulpunten en punten met oneindige waarde van impedantiefuncties .....	279
9.3 Uitdrukkingen voor $Z(p)$ en $Y(p)$ in termen van nulpunten en polen .....	283
9.4 Serieresonantie en parallelresonantie in eenvoudige netwerken .....	291
9.5 Serieresonantie en parallelresonantie in uitgebreidere netwerken .....	295
9.6 Elektrisch kleine dipool- en lusantennes .....	296
9.7 Lineaire transducers .....	297
9.8 Reciprociteitstheorema's .....	300
9.9 Netwerkequivalentietheorema's .....	301
9.10 Reciprociteit van stroomverdelingen.....	304
9.11 Reflecterende antennes .....	306
9.12 Ontvangantennes .....	306
9.13 Reciprociteit van zenden en ontvangen.....	307

9.14 Reciprociteit van het stralingspatroon .....	307
Opgaven .....	308
10 Elektrisch kleine antennes .....	311
10.1 Elektrisch kleine antennes .....	311
10.2 Impedantie van een elektrisch kleine antenne .....	311
10.3 Capaciteit van een elektrisch kleine antenne .....	312
10.4 Stroom in een elektrisch kleine antenne .....	316
10.5 Stralingsweerstand en effectieve lengte van een elektrisch kleine antenne .....	317
10.6 Zelfinductie van een elektrisch kleine antenne .....	320
10.7 Berekening van de antennecapaciteit .....	321
10.8 Een tweede methode om de antennecapaciteit te berekenen .....	322
10.9 Elektrisch kleine lusantenne .....	329
10.10 Stralingsweerstand van een elektrisch kleine lus .....	330
10.11 Zelfinductie van een elektrisch kleine lus .....	331
10.12 Capaciteit van een elektrisch kleine lus .....	332
10.13 Praktische lusantennes .....	334
10.14 Effect van magnetische en diëlektrische materialen .....	336
10.15 Langegolfantennes .....	337
10.16 Meervoudig afgestemde antennes .....	339
Referenties .....	340
Opgaven .....	340
11 Zelfresonante antennes .....	343
11.1 Halvegolfantenne in de vrije ruimte en overeenkomstige kwartgolf verticale antenne boven aarde .....	343
11.2 Stralingspatroon van een sinusvormig verdeelde stroom .....	345
11.3 Stralingspatroon van een halvegolfantenne .....	346
11.4 Door een halvegolfantenne uitgestraald vermogen .....	347
11.5 Richtfactor en effectieve oppervlakte van een halvegolfantenne .....	348
11.6 Ingangsimpedantie van een halvegolfantenne .....	348
11.7 Impedantieaanpassing .....	349
11.8 Warmteverliezen in de antenne .....	349
11.9 Gevouwen dipool .....	351
11.10 Halvegolfantenne gebruikt voor ontvangst .....	352
11.11 Omgebogen gestrekte en gevouwen kwartgolfantennes .....	353
11.12 Helegolfantenne in de vrije ruimte en overeenkomstige halvegolf verticale antenne boven aarde .....	355
11.13 Stralingspatroon van een helegolfantenne .....	357
11.14 Uitgestraald vermogen van een helegolfantenne .....	358
11.15 Richtfactor en effectieve oppervlakte van een helegolfantenne .....	359
11.16 Ingangsimpedantie van een helegolfantenne .....	360
11.17 Effect van de spleetopening op de ingangsimpedantie van een helegolfantenne .....	362
11.18 Stroomverdeling op een helegolfantenne .....	364
11.19 Eindgevoede antennes .....	366
11.20 Kwaliteitsfactor (Q) van antennes .....	367
11.21 Invloed van de aarde op de antenneimpedantie .....	368
Referentie .....	371

Opgaven .....	372
12 Algemene theorie van draadantennes .....	375
12.1 Algemene formule voor de stralingsintensiteit van een stelsel van stroomelementen .....	375
12.2 Formules voor het uitgestraalde vermogen .....	378
12.3 Ingangsimpedantie en mutuele impedantie .....	380
12.4 Een tweede stel formules voor de mutuele impedantie en deingangsimpedantie .....	380
12.5 Mutuele admittantie.....	382
12.6 Nabije veld van een rechte stroomvoerende draad.....	383
12.7 Nabije veld van een rechte draad met sinusvormige stroom .....	385
12.8 Methoden van antenneanalyse.....	385
12.9 Antennes, lokale netwerken en voedingslijnen .....	389
12.10 Het gebied rond de antenneaansluiting.....	390
12.11 Propagatiemodi in kooiconstructieantennes .....	396
12.12 Lusanntennes en shuntgevoede antennes .....	401
12.13 Elliptisch gepolariseerde golven.....	402
12.14 Uitzenden en ontvangen van elliptisch gepolariseerde golven.....	404
12.15 Richtwerkingsvector en effectieve lengte van een antenne .....	408
Referenties.....	409
Opgaven .....	409
13 De impedantie van de dipoolantenne .....	419
13.1 Wisselwerking tussen antennes .....	419
13.2 Asymptotisch benaderd veld van een rechte antenne.....	423
13.3 Asymptotisch benaderde uitdrukking voor de mutuele impedantie van twee parallelle in het midden gevoede antennes .....	424
13.4 Mutuele impedantie van oneindig dunne halvegolfantennes .....	426
13.5 Impedantie van een horizontale halvegolfantenne boven een ideaal geleidende aarde.....	428
13.6 Mutuele uitstraling van parallelle antennes.....	429
13.7 Uitstraling van een enkele antenne.....	429
13.8 Halvegolf verticale antenne boven aarde .....	430
13.9 Asymptotisch benaderde formule voor de opgedrukte spanning .....	430
13.10 Asymptotisch benaderde formule voor deingangsimpedantie van een symmetrische antenne .....	432
13.11 Asymptotisch benaderde formule voor deingangsadmittantie .....	433
13.12 Algemene formule voor deingangsimpedantie van een dunne symmetrische antenne .....	434
13.13 Modale theorie van antennes .....	438
13.14 Karakteristieke impedantie van een antenne .....	442
13.15 Ingangsimpedantie van een dunne symmetrische antenne volgens de modale theorie .....	448
13.16 Nulpunten en polen .....	452
13.17 Serie- en parallelresonantiefrequenties.....	452
13.18 Kwaliteitsfactor .....	453
13.19 Impedantie bij parallelresonantie .....	453
13.20 Ingangsimpedanties van een cilindrische en een biconische antenne .....	454
13.21 Vergelijking van theoretische en experimentele waarden voor de impedantie bij parallelresonantie .....	458
13.22 Effecten van de capaciteit van antennebasis en -omgeving – experimenteel.....	461
13.23 Impedantie bij serieresonantie – theorie en experiment .....	465

13.24 Lengte voor serie- en parallelresonantie – theorie en experiment.....	468
13.25 Afhankelijkheid van deingangsimpedantie van de vorm van de antenne.....	469
13.26 Ingangsweerstand van oneindig dunne antennes.....	471
13.27 Vergelijking tussen de elementaire theorie en de modale theorie van antennes .....	473
Referenties.....	473
Opgaven .....	474
14 De rombusantenne .....	477
14.1 Rombusantenne .....	477
14.2 Ingangsimpedantie.....	477
14.3 Stroomverdeling .....	478
14.4 Stralingsintensiteit .....	479
14.5 Optimale hoek .....	479
14.6 Vorm van de hoofdlob.....	480
14.7 Nevenlobben.....	480
14.8 De aarde.....	482
14.9 Vermogenswinst.....	483
14.10 Richtfactor .....	485
14.11 Verlies in de afsluitweerstand .....	486
14.12 Het MUSA-ontvangststelsel .....	490
Referenties.....	493
15 Stelsels van draadantennes .....	495
15.1 Stelsels van draadantennes .....	495
15.2 Impedantieaanpassing .....	495
15.3 Sperkringen .....	496
15.4 Een transformator tussen een gebalanceerde antenne en een ongebalanceerde voedingslijn..	497
15.5 Voedingssystemen.....	497
15.6 Visgraatantenne.....	501
15.7 Gordijnantenne .....	511
15.8 Beverage-antenne .....	514
15.9 Shuntgevoede antenne .....	519
15.10 Adcock-antenne.....	520
15.11 V-antenne .....	521
15.12 Horizontaal gepolariseerde rondstralende antennes .....	524
15.13 Spacediversitysystemen.....	531
15.14 Benaderde analyse van antennestelsels .....	531
15.15 Antennemodellen.....	533
Referenties.....	535
16 Hoornantennes.....	537
16.1 Hoornantenne .....	537
16.2 Inductietheorema .....	538
16.3 Veldequivalentietheorema's .....	540
16.4 Elementaire bronnen in de vrije ruimte .....	541
16.5 Huygensbron in de vrije ruimte .....	543
16.6 Stralingspatroon.....	544
16.7 Richtfactor .....	545
16.8 Dihedrale hoorn.....	551

16.9 Platte hoorn.....	553
16.10 Diëlektrische golfgeleiderantenne .....	556
Referenties.....	558
17 Slotantennes .....	559
17.1 Elektrische en magnetische stroom; elektromotorische en magnetomotorische kracht .....	559
17.2 Magnetischestroomelement.....	562
17.3 Uitstraling van magnetische stromen .....	563
17.4 Uniforme-magnetischestroom voerende draad en uniform gevoede sleuf.....	565
17.5 Condensatorantenne en ringvormige sleuf in een geleidend vlak .....	567
17.6 Golfpijp met een sleuf .....	568
17.7 Stralingspatronen van antennes van golfpijp met een sleuf .....	574
17.8 Magnetische dipoolantenne.....	575
17.9 Gebied rond de antenneaansluiting .....	578
Referenties.....	579
Opgaven .....	580
18 Reflectoren .....	583
18.1 Reflectoren .....	583
18.2 Stralingspatroon.....	584
18.3 Richtfactor .....	586
18.4 Reflecterende eigenschappen van een parabool .....	588
18.5 Hoekreflectoren, dihedraal en trihedraal .....	590
18.6 Hoornreflectorantenne.....	592
18.7 Experimentele gegevens van draadreflectoren en reflectorvlakken .....	594
Referenties.....	595
19 Lenzen .....	597
19.1 Lenzen .....	597
19.2 Golfpijplens .....	599
19.3 Kunstmatig diëlektricum .....	600
19.4 Polariseerbaarheid van een geïsoleerde dunne staaf.....	601
19.5 Elektrische polariseerbaarheid van een geïsoleerde metalen bol .....	603
19.6 Magnetische polariseerbaarheid van een geïsoleerde metalen bol.....	604
19.7 Polariseerbaarheden van andere objecten.....	605
19.8 Polarisatie en depolarisatie door nabije burens .....	608
19.9 Reflectie tegen een lens .....	609
19.10 Methoden voor het verhogen van de permeabiliteit van kunstmatige diëlektrica .....	609
19.11 Kunstmatige diëlektrica met hoge diëlektrische constante.....	611
19.12 Voorbeelden van lenzen .....	614
Referenties.....	616
Boeken over antennes.....	617
Appendix I Karakteristieke impedantie van transmissielijnen .....	619
Appendix II Patronen van continue antennestelsels .....	621
Appendix III Stralingsweerstand en winst van cilindrische antennes .....	623
Appendix IV Stelfactoren van uniforme antennestelsels .....	625
Appendix V Winst van antennestelsels .....	627
Appendix VI Hoornantennes.....	629



Appendix VII Lenzen .....	631
Appendix VIII Mutuele impedantie van parallelle antennes, gezien aan de aansluitklemmen .....	633
Appendix IX Constanten van een fysiek medium .....	635
Appendix X Samenvatting van Maxwells vergelijkingen voor de propagatie van elektromagnetische golven .....	637
Index van auteurs .....	639
Index van onderwerpen .....	643