

微波网络

国防工业出版社

微波网络

林 为 干

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分十二章。其中一至四章扼要地介绍了低频电路理论在微波网络中常用的一些定理及概念、滤波器的特性，特别是椭圆函数滤波器的所谓最佳特性以及滤波器的构成方法。第五章及第八章讨论了波导中小孔耦合理论及定向耦合器的设计。第六章讨论带状线及微带。第七章讨论一般微波网络基本理论。以后各章分别讨论了阻抗变换器、波型变换器、功率分配器以及微波测量的一些基本理论。而第四章则对一腔多模的简并型结构、第十一章对椭圆函数滤波器作了详细的描述。本书可供从事微波技术方面的工人、大专院校师生以及科研人员阅读参考。

微 波 网 络

林 为 干

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 37 861千字

1978年6月第一版 1978年6月第一次印刷 印数：0,001—8,500册

统一书号：15034·1620 定价：3.75元

目 录

第一章 引论	9
第二章 网络函数的解析性	15
§ 2-1 复数介入损耗函数	15
§ 2-2 反射系数	16
§ 2-3 网络函数的解析性 (共性)	17
§ 2-4 如何实现预给的介入损耗函数	19
§ 2-5 一些典型的电路处理方法	20
$ABCD$ 矩阵表示法	21
散射矩阵表示法	24
映像参数表示法	26
阻抗及频率归一化	26
通带归一化	27
介入损耗的计算	29
§ 2-6 一些典型电路; M 推导式全节及半节	30
§ 2-7 理想低通滤波器特性及其实现形式	33
最大平滑型滤波器	34
等波纹型滤波器	38
椭圆函数滤波器	49
椭圆函数型滤波器的元件数目	57
偶函数型及其特性	58
频率变换	61
节数的选择	63
举例	67
带通或带阻滤波器	70
有耗元件的影响	70
§ 2-8 微波滤波器有耗元件影响的其他计算公式	74
§ 2-9 自然振荡频率	77
附录 I 最大平滑型及等波纹型滤波器的元件值	79
附录 II 椭圆函数	80
附录 III 对称椭圆函数型滤波器	84
附录 IV 椭圆函数型滤波器的设计表	85
第二章 思考题	88
第三章 微波滤波器初步理论	89
§ 3-1 宽带传输线式微波滤波器	89
§ 3-2 微波带阻滤波器的设计	93

设计方案的选择——等元滤波器	94
最小通带衰减的条件	100
微波滤波器本身的设计	100
击穿功率问题	105
调整问题	107
设计举例	108
宽带带阻微波滤波器	112
§ 3-3 微波低通及高通滤波器	114
高低阻抗结构两端加 M 推导半节	116
椭圆函数型低通滤波器	117
波纹式低通波导滤波器	118
高通滤波器	119
§ 3-4 直接耦合微波滤波器	120
§ 3-5 可调微波滤波器	126
§ 3-6 举例	131
第三章 思考题	133
第四章 采用一个以上的模式激励的微波滤波器	139
§ 4-1 引言	139
用一个以上模式激励的单腔谐振器	139
两模式滤波器和三模式滤波器	145
四模式滤波器和五模式滤波器	146
用多模式激励的腔体中的耦合元件(耦合元件的值)	147
矩形波导和圆柱形波导或腔体之间的小孔耦合	148
§ 4-2 滤波器设计中的几个问题	148
不连续性的相互隔离问题	148
腔体壁的椭圆度	149
平行端面垂直于腔体轴问题	150
设计举例及测量结果	151
§ 4-3 波导滤波器的耦合方法	155
直接耦合波导滤波器的等效电路	155
耦合系数的另一种求法	156
附录 正交函数方法	160
第五章 波导与波导或谐振腔间的小孔耦合	163
§ 5-1 引言	163
§ 5-2 矩形与圆形波导间的两端耦合	163
§ 5-3 矩形波导中 TE_{10} 型波与圆柱谐振腔中 TM_{120} 型波间经圆柱面上小孔的耦合	168
§ 5-4 矩形波导正交地与另一波导通过后者侧面上的小孔耦合	170
§ 5-5 定向耦合器问题	172
小结	174
第五章 思考题	175

第六章 TEM 传输线及耦合线系	178
§ 6-1 带状线及微带的基本特性	178
§ 6-2 耦合线系	180
§ 6-3 耦合线的滤波器特性	187
交指型微波滤波器	195
§ 6-4 耦合线定向耦合器	202
2N端对定向耦合器	205
§ 6-5 耦合线的特性阻抗问题	211
§ 6-6 微带线	219
§ 6-7 微带问题的数学解	221
§ 6-8 耦合微带线的等效电路	227
附录 I 图 6.16 的静电场问题的解	229
附录 II 耦合线的偶型及奇型特性导纳及阻抗	233
第六章 思考题	235
第七章 微波传输网络	245
§ 7-1 波导“端”对的一般性质	245
§ 7-2 不可逆微波网络	250
§ 7-3 微波双(魔) T 电桥	257
§ 7-4 环形混合器	260
复杂对称四分之一波长分支网络	263
频率特性问题	267
§ 7-5 环形功率分配器	271
§ 7-6 混频器网络理论	276
§ 7-7 混频器的开关理论	284
单管混频电路	285
双平衡混频器	288
§ 7-8 有源微波网络	295
广义散射参数	295
(s) 与其他参量的关系	298
负载复数阻抗的变动	303
微波晶体三极管振荡器	307
微波晶体三极管放大器	312
举例	319
附录 矩阵代数	324
第七章 思考题	324
第八章 定向耦合器	327
§ 8-1 定向耦合器的分类	327
§ 8-2 基本方程	327
对称定向耦合器	329

三分贝定向耦合器·····	329
耦合线定向耦合器·····	330
§ 8-3 多节传输线定向耦合器的综合·····	336
综合方法·····	342
$P_n(\sin \theta)$ 的逼近问题·····	346
进一步讨论多节耦合器的串接问题·····	347
非对称多节定向耦合器·····	353
相位矫正(耦合线式魔T)·····	354
§ 8-4 耦合波理论·····	358
宽频带混合接头(三分贝耦合器)·····	363
非反射式大功率滤波器·····	368
§ 8-5 波导定向耦合器·····	369
宽、窄边耦合的比较·····	369
耦合小孔阵·····	370
分支波导定向耦合器·····	376
附录 I 切比雪夫多项式·····	378
附录 II 证明·····	382
第八章 思考题·····	383
第九章 阻抗变换器·····	391
§ 9-1 均匀阻抗变换器·····	392
二项定理式四分之一波长阻抗变换器·····	400
一些严格的结果(比较系数法)·····	403
第一阶近似理论·····	406
作为滤波器的基准电路·····	409
§ 9-2 非均匀传输线·····	411
贝塞尔线·····	413
双曲线线及抛物线线·····	414
指数线·····	416
线性渐变线·····	421
指数线的应用举例·····	423
特种非均匀线·····	424
§ 9-3 矩形波导-圆波导阻抗波型变换问题·····	426
§ 9-4 计算问题·····	431
§ 9-5 阻抗变换的应用问题·····	
(微波晶体管放大器及倍频器中的应用)·····	437
单节传输线阻抗变换器·····	437
八分之一波长线的应用·····	440
第九章 思考题·····	448
第十章 微波功率分配器·····	450
理论分析·····	458
举例·····	461

电路综合方法	465
小结	474
第十一章 微波滤波器——全等波纹式(椭圆函数型)	478
§ 11-1 椭圆函数型微波滤波器	478
全耦合型波导滤波器	482
对称电路的偶型激发	502
三模六阶椭圆函数型波导滤波器	505
四腔双模波导滤波器	508
十二模的均衡滤波器	510
§ 11-2 TEM 传输线型椭圆函数滤波器	513
电路变换	516
微波 Brune 节的实现问题	518
带阻椭圆函数型 TEM 线滤波器	520
椭圆函数型带通滤波器	522
带阻滤波器设计的进一步讨论	523
带宽, 极点限制问题	526
手指型椭圆函数滤波器	528
新的频率变换	532
电容矩阵变换	536
半波长阶梯手指型椭圆函数滤波器	540
梳状线滤波器	550
窄带椭圆函数微波滤波器	552
§ 11-3 小结	555
第十一章 思考题	556
第十二章 微波测量理论	562
§ 12-1 变压器定理	562
§ 12-2 小结	566
§ 12-3 正切关系式	567
节点移动测量法	569
参考面的变换	570
§ 12-4 “S”曲线测量法	572
三对数据法	574
§ 12-5 活塞等距移动法	576
§ 12-6 无耗微波网络测量	580
§ 12-7 投影图表示法	584

微波网络

林 为 干

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分十二章。其中一至四章扼要地介绍了低频电路理论在微波网络中常用的一些定理及概念、滤波器的特性，特别是椭圆函数滤波器的所谓最佳特性以及滤波器的构成方法。第五章及第八章讨论了波导中小孔耦合理论及定向耦合器的设计。第六章讨论带状线及微带。第七章讨论一般微波网络基本理论。以后各章分别讨论了阻抗变换器、波型变换器、功率分配器以及微波测量的一些基本理论。而第四章则对一腔多模的简并型结构、第十一章对椭圆函数滤波器作了详细的描述。本书可供从事微波技术方面的工人、大专院校师生以及科研人员阅读参考。

微 波 网 络

林 为 干

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 37 861千字

1978年6月第一版 1978年6月第一次印刷 印数：0,001—8,500册

统一书号：15034·1620 定价：3.75元

前 言

近代雷达、通信及电子对抗技术广泛地应用微波技术及其理论。由于微波技术与理论的发展,在微波波段(1千兆赫以上)如低频一样已设计和制造出各种微波网络。这样就有可能在整个电磁频谱中有效地改进雷达体制、通信系统及电子对抗技术。所以微波网络亦即微波电路的研究日趋重要。

本书共分十二章,第一、二章扼要地介绍了低频电路理论在微波网络中常用的一些定理和概念;介绍了滤波器特性及其各种逼近方法,特别介绍了椭圆函数滤波器的所谓最佳特性。第三、四章初步介绍了滤波器的构成方法。第五章讨论了波导中小孔耦合理论及其近似处理方法,并为第八章定向耦合器提供必要的公式。第五章也可在读完第二章后提前阅读,为后边各章打基础。第六章讨论带状线及微带。介绍了偶型激发及奇型激发的分解和叠加,以及如何用此方法处理耦合线系统问题。第七章讨论一般微波网络基本理论。第八章涉及的定向耦合器,采用了偶型激发和奇型激发的分解和叠加方法。第九章讨论阻抗变换器及简单的波型变换器,从简单的直观的方法进入较严格的分析方法。第十章讨论功率分配器。第十一章讨论椭圆函数滤波器。虽然曾在第四章介绍了单腔多模谐振器可作为实现微波椭圆函数滤波器的一种方法,但由于电子设备要求做到体积小、重量轻,这种一腔多模的简并型结构及椭圆函数滤波器设计就将会得到重大的发展,因而作了较详细的描述。此外本章还讨论了其他的宽带、窄带及超窄带的椭圆函数滤波器。第十二章介绍了微波测量的一些基本理论,连同第七章中关于方向性的测量讨论,即可为进一步提高测量技术提供必要的基础。

本书主要取材是近期的科技杂志。其中也有一部分是我们在工作中的总结。本书是在学院党委的领导和关怀下,教研室同志们协助下写成的。但限于作者的政治水平和业务能力,书中难免有一些缺点和错误,希望读者批评指正。

目 录

第一章 引论	9
第二章 网络函数的解析性	15
§ 2-1 复数介入损耗函数	15
§ 2-2 反射系数	16
§ 2-3 网络函数的解析性 (共性)	17
§ 2-4 如何实现预给的介入损耗函数	19
§ 2-5 一些典型的电路处理方法	20
$ABCD$ 矩阵表示法	21
散射矩阵表示法	24
映象参数表示法	26
阻抗及频率归一化	26
通带归一化	27
介入损耗的计算	29
§ 2-6 一些典型电路; M 推导式全节及半节	30
§ 2-7 理想低通滤波器特性及其实现形式	33
最大平滑型滤波器	34
等波纹型滤波器	38
椭圆函数滤波器	49
椭圆函数型滤波器的元件数目	57
偶函数型及其特性	58
频率变换	61
节数的选择	63
举例	67
带通或带阻滤波器	70
有耗元件的影响	70
§ 2-8 微波滤波器有耗元件影响的其他计算公式	74
§ 2-9 自然振荡频率	77
附录 I 最大平滑型及等波纹型滤波器的元件值	79
附录 II 椭圆函数	80
附录 III 对称椭圆函数型滤波器	84
附录 IV 椭圆函数型滤波器的设计表	85
第二章 思考题	88
第三章 微波滤波器初步理论	89
§ 3-1 宽带传输线式微波滤波器	89
§ 3-2 微波带阻滤波器的设计	93

设计方案的选择——等元滤波器	94
最小通带衰减的条件	100
微波滤波器本身的设计	100
击穿功率问题	105
调整问题	107
设计举例	108
宽带带阻微波滤波器	112
§ 3-3 微波低通及高通滤波器	114
高低阻抗结构两端加 M 推导半节	116
椭圆函数型低通滤波器	117
波纹式低通波导滤波器	118
高通滤波器	119
§ 3-4 直接耦合微波滤波器	120
§ 3-5 可调微波滤波器	126
§ 3-6 举例	131
第三章 思考题	133
第四章 采用一个以上的模式激励的微波滤波器	139
§ 4-1 引言	139
用一个以上模式激励的单腔谐振器	139
两模式滤波器和三模式滤波器	145
四模式滤波器和五模式滤波器	146
用多模式激励的腔体中的耦合元件 (耦合元件的值)	147
矩形波导和圆柱形波导或腔体之间的小孔耦合	148
§ 4-2 滤波器设计中的几个问题	148
不连续性的相互隔离问题	148
腔体壁的椭圆度	149
平行端面垂直于腔体轴问题	150
设计举例及测量结果	151
§ 4-3 波导滤波器的耦合方法	155
直接耦合波导滤波器的等效电路	155
耦合系数的另一种求法	156
附录 正交函数方法	160
第五章 波导与波导或谐振腔间的小孔耦合	163
§ 5-1 引言	163
§ 5-2 矩形与圆形波导间的两端耦合	163
§ 5-3 矩形波导中 TE_{10} 型波与圆柱谐振腔中 TM_{120} 型波间经圆柱面上小孔的耦合	168
§ 5-4 矩形波导正交地与另一波导通过后者侧面上的小孔耦合	170
§ 5-5 定向耦合器问题	172
小结	174
第五章 思考题	175

第六章 TEM 传输线及耦合线系	178
§ 6-1 带状线及微带的基本特性	178
§ 6-2 耦合线系	180
§ 6-3 耦合线的滤波器特性	187
交指型微波滤波器	195
§ 6-4 耦合线定向耦合器	202
2N端对定向耦合器	205
§ 6-5 耦合线的特性阻抗问题	211
§ 6-6 微带线	219
§ 6-7 微带问题的数学解	221
§ 6-8 耦合微带线的等效电路	227
附录 I 图 6.16 的静电场问题的解	229
附录 II 耦合线的偶型及奇型特性导纳及阻抗	233
第六章 思考题	235
第七章 微波传输网络	245
§ 7-1 波导“端”对的一般性质	245
§ 7-2 不可逆微波网络	250
§ 7-3 微波双(魔) T 电桥	257
§ 7-4 环形混合器	260
复杂对称四分之一波长分支网络	263
频率特性问题	267
§ 7-5 环形功率分配器	271
§ 7-6 混频器网络理论	276
§ 7-7 混频器的开关理论	284
单管混频电路	285
双平衡混频器	288
§ 7-8 有源微波网络	295
广义散射参数	295
(s) 与其他参量的关系	298
负载复数阻抗的变动	303
微波晶体三极管振荡器	307
微波晶体三极管放大器	312
举例	319
附录 矩阵代数	324
第七章 思考题	324
第八章 定向耦合器	327
§ 8-1 定向耦合器的分类	327
§ 8-2 基本方程	327
对称定向耦合器	329

三分贝定向耦合器·····	329
耦合线定向耦合器·····	330
§ 8-3 多节传输线定向耦合器的综合·····	336
综合方法·····	342
$P_n(\sin \theta)$ 的逼近问题·····	346
进一步讨论多节耦合器的串接问题·····	347
非对称多节定向耦合器·····	353
相位矫正(耦合线式魔T)·····	354
§ 8-4 耦合波理论·····	358
宽频带混合接头(三分贝耦合器)·····	363
非反射式大功率滤波器·····	368
§ 8-5 波导定向耦合器·····	369
宽、窄边耦合的比较·····	369
耦合小孔阵·····	370
分支波导定向耦合器·····	376
附录 I 切比雪夫多项式·····	378
附录 II 证明·····	382
第八章 思考题·····	383
第九章 阻抗变换器·····	391
§ 9-1 均匀阻抗变换器·····	392
二项定理式四分之一波长阻抗变换器·····	400
一些严格的结果(比较系数法)·····	403
第一阶近似理论·····	406
作为滤波器的基准电路·····	409
§ 9-2 非均匀传输线·····	411
贝塞尔线·····	413
双曲线线及抛物线线·····	414
指数线·····	416
线性渐变线·····	421
指数线的应用举例·····	423
特种非均匀线·····	424
§ 9-3 矩形波导-圆波导阻抗波型变换问题·····	426
§ 9-4 计算问题·····	431
§ 9-5 阻抗变换的应用问题·····	
(微波晶体管放大器及倍频器中的应用)·····	437
单节传输线阻抗变换器·····	437
八分之一波长线的应用·····	440
第九章 思考题·····	448
第十章 微波功率分配器·····	450
理论分析·····	458
举例·····	461

电路综合方法	465
小结	474
第十一章 微波滤波器——全等波纹式(椭圆函数型)	478
§ 11-1 椭圆函数型微波滤波器	478
全耦合型波导滤波器	482
对称电路的偶型激发	502
三模六阶椭圆函数型波导滤波器	505
四腔双模波导滤波器	508
十二模的均衡滤波器	510
§ 11-2 TEM 传输线型椭圆函数滤波器	513
电路变换	516
微波 Brune 节的实现问题	518
带阻椭圆函数型 TEM 线滤波器	520
椭圆函数型带通滤波器	522
带阻滤波器设计的进一步讨论	523
带宽, 极点限制问题	526
手指型椭圆函数滤波器	528
新的频率变换	532
电容矩阵变换	536
半波长阶梯手指型椭圆函数滤波器	540
梳状线滤波器	550
窄带椭圆函数微波滤波器	552
§ 11-3 小结	555
第十一章 思考题	556
第十二章 微波测量理论	562
§ 12-1 变压器定理	562
§ 12-2 小结	566
§ 12-3 正切关系式	567
节点移动测量法	569
参考面的变换	570
§ 12-4 “S”曲线测量法	572
三对数据法	574
§ 12-5 活塞等距移动法	576
§ 12-6 无耗微波网络测量	580
§ 12-7 投影图表示法	584

第一章 引 论

微波网络是由同轴线（或微带及带状线或其他特种传输线）及波导组成的微波传输系统，其中亦可能包含有非线性的无源及有源器件，如固体器件，及各向异性的旋磁器件。研究微波网络，可从两个方面着手：一方面是从传输线或波导的电磁场传输理论出发来求解一个微波网络的传输特性；另一方面是这个问题的逆命题，即研究如何在微波波段将一个微波传输电路实现出来。低频电路理论在人们的生产实践中已得到了很大发展，将低频电路理论应用到微波网络中去是目前解决上述两个问题的有效工程方法。这个方法的理论基础是低频电路理论及电磁场理论，本章我们只讨论一下反射系数的性质，作为网络理论（电路理论）及微波网络的计算基础。

在传输线问题中，反射波的概念是易于理解的，那末在集总元件网络问题中的反射现象如何理解呢？现以图 1.1 的电路来分析：

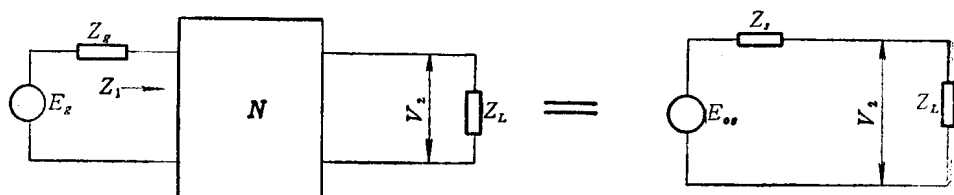


图1.1 最大功率定理与反射的概念

由初等电路原理，可知图中左、右两电路是等效的。其中 E_{oc} 是从负载阻抗 z_L 看进去的开路电压，而 z_s 是从负载阻抗看进去的等效发电机内阻抗。现讨论负载 z_L 上的电压 V_2 。当 $z_L = z_s$ 时，负载上的电压为 $\frac{E_{oc}}{2}$ ，我们把这一个 V_i 值记作 V_i ，故：

$$V_i = \frac{E_{oc}}{2}$$

当 $z_L \neq z_s$ 时，负载上的电压为：

$$V_2 = E_{oc} \frac{z_L}{z_s + z_L} = V_i + \frac{z_L - z_s}{z_L + z_s} \frac{E_{oc}}{2}$$

现把 V_2 与 V_i 之差定义为负载 z_L 上的反射电压 E_R ，即：

$$E_R = V_2 - V_i = E_{oc} \frac{z_L}{z_L + z_s} - \frac{E_{oc}}{2} = \frac{E_{oc}}{2} \frac{z_L - z_s}{z_L + z_s}$$

我们定义负载上的反射系数 Γ_2 为反射电压与电压 E_i （即 V_i ）之比：

$$\Gamma_2 = \frac{E_R}{E_i} = \frac{E_R}{E_{oc}/2} = \frac{z_L - z_s}{z_L + z_s} \quad (1-1)$$

这个反射系数等于负载上的电压 $E_{oc} \frac{z_L}{z_L + z_s}$ 与匹配时负载 z_L 上的电压 $E_{oc}/2$ 之差对后者的比值。现在我们可以把 $V_i = E_{oc}/2$ 看作入射波的振幅，则负载上的电压 V_2 减去 V_i 所