

射频铁氧体宽带器件

张纪纲 编著

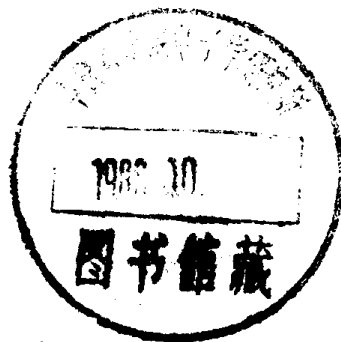


科学出版社

787619
592

射频铁氧体宽带器件

张纪纲 编著



科学出版社

1986

8610772

内 容 简 介

本书介绍射频铁氧体宽带器件的特点、理论、设计方法和应用。全书共分八章,主要包括铁氧体的电波吸收特性;传输线变压器的理论与设计方法;宽带正交电桥;功率分配器与定向耦合器(即分支器);双平衡混频器以及有关参数的测量方法等。并对射频铁氧体器件材料的技术要求、实现宽频带的手段和在整机中的应用作了系统的阐述。

本书内容丰富,分析细致。可供从事雷达、电视、通信、磁性材料及器件方面研究工作的工程技术人员和大中专院校有关专业的师生参考。

0627/13

射频铁氧体宽带器件

张纪纲 编著

责任编辑 唐正必 张兆富

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年7月第一版 开本:787×1092 1/32

1986年7月第一次印刷 印张:16

印数:0001—2,000 字数:361,000

统一书号:15031·731

本社书号:4476·15—7

定价:3.75元

前 言

射频宽带器件是最近十年在国际上迅速发展起来的一种基础元件,其中有传输线变压器、功率分配器、魔 T、正交电桥、双平衡混频器、定向耦合器、阻抗电桥以及铁氧体电波吸收元件等。这些器件的新颖之处在于:

适用频率范围宽广,典型的在几十千赫到几百兆赫之间。这正好弥补了音频与微波之间过渡性频区传输元件匮乏之不足。

体积很小,约为一立方厘米。在尺寸上可与分立阻容元件、晶体管相比拟,为各方面的广泛应用大开了方便之门,同时为种类繁多的组合器件奠定了基础。

频带特宽,典型的相对带宽为 5—9 倍频程。这不仅有助于宽频带整机性能的改善,而且为元件自身的标准化、系列化创造了有利的条件。

功能较多,可完成信号加、减、乘、除处理等。

在电的结构上既不同于低频电路中的集中参数元件,也有别于微波技术中的分布参数器件,它是两者相结合的传输线型集中参数元件。

宽带器件赖以成功的基石之一是铁氧体材料,因而也可称作铁氧体器件。它不但与通常的微波铁氧体器件有本质上的差别(前者是互易的,而后者是非互易的),而且与通常的互易铁氧体元件的差别也较大,例如,中周变压器和磁棒天线的使用频率低于材料的截止频率,而本书所述器件则往往是在接近甚至超过材料的截止频率下工作。

射频宽带器件适用于雷达、电视、通信、广播、电源、仪器仪表、自动控制、电子对抗以及加速器等许多方面。可以预见,随着国民经济的发展和器件性能的进一步提高,其应用前景将更加宽广。

本书所述器件迄今尚无确切的、统一的总称,作者从器件须用到铁氧体和从典型的频率特性角度考虑,确定本书名为《射频铁氧体宽带器件》。

全书分八章。

第一章介绍射频宽带器件的特点和应用,说明诸器件的相互关系及其共同的基础,初步探讨软磁铁氧体进入微波应用的物理基础。

第二章搜集了有关铁氧体损耗特性的各种应用,并对铁氧体作为电波吸收材料的应用前景作了探讨;介绍了铁氧体负荷器理论与作者的实验;提供了宽带吸收式扼流圈及其理论分析;还给出了不同频率下扼流圈饱和规律差别的实验。

第三章从与低频集中参数变压器和微波技术中传输线段阻抗变换器的对比入手,描述了传输线变压器的工作原理;对自1959年发表传输线变压器论文以来的有关报道作了归纳性介绍;探讨了三线变压器的应用,借助于奇偶模参量分析法导出了与实验逼近的最佳传输条件;分析了宽带变压器磁芯的贡献,得出了采用高损耗材料有可能优于低损耗材料的结论,提出了与传统概念不同的磁芯技术要求。

第四章汇集了传输线变压器各种变换电路,并阐述了设计要领,介绍了有关的设计工具,导出了扭绞双线传输线特性阻抗工程计算公式。

第五章提供如何获得多倍频正交电桥的原理和设计方法,并对温度稳定性作了讨论。

第六章介绍三线变压器魔T及其最佳传输条件,从串并

联耦合观点出发描述定向耦合器原理；从理论上分析了放大器无耗反馈所需满足的条件和动态范围可能的改进程度；还介绍了各种功率分配、定向耦合和魔T电路以及它们的最佳传输条件。

第七章介绍并分析了混频器的两种模型；运用一类修正贝塞尔函数计算了变频损耗和一分贝压缩电平；并对所应用的有关问题作了说明。

第八章主要介绍铁氧体磁谱、三线传输线和器件传输参数的简易测量方法，并对实测中具有共性的一些问题作了讨论。

书中关于应用方面的内容，一部分是取材于近年来的书刊，一部分系作者自己的工作。所举的一些设计实例可当作“案例”看待。

在本书撰写过程中，除得到作者所在单位的领导和同事们的关怀和密切配合外，还曾得到南京电子技术研究所高级工程师张直中、蒋仁培的鼓励与帮助。中国科学院物理所副研究员李国栋、成都电信工程学院副教授张有纲，以及庞玉璋、姬国良和蒋叙仁同志曾阅看了书稿，并提出不少中肯的意见。吴文良同志也给予多方面的帮助，张春田同志精心绘制了插图。在此谨向他们表示衷心的感谢！

航天工业部副研究员、高级工程师徐燕生对全稿作了极为严肃、认真、仔细的审阅，提出了许多宝贵的意见，中国科学技术大学钱景仁副教授，以及我的老师，翟宏如副教授和朱学三先生审阅了重要章节，提出了有益的建议，作者深为感激。

本书系属初探之作，目前又无同类命题专著可以借鉴，不妥和错误之处恐难尽免，敬请读者不吝指正。

作者

1984年3月于南京

目 录

前言	i
第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 射频宽带器件的基础	4
1.2.1 诸器件的相互关系及其基础	4
1.2.2 软磁铁氧体微波应用的物理基础	6
第二章 铁氧体的电波吸收	9
2.1 铁氧体损耗特性的应用	9
2.2 复数磁导率和磁谱	16
2.2.1 复数磁导率	16
2.2.2 磁谱	18
2.3 铁氧体的电波吸收	20
2.3.1 铁氧体吸收电波原理	21
2.3.2 铁氧体负荷器	27
2.3.3 匹配段	31
2.3.4 介质匹配	36
2.3.5 铁氧体负荷器实验	39
2.4 射频宽带扼流圈	43
2.4.1 概述	43
2.4.2 铁氧体宽带吸收式扼流圈	44
2.4.3 偏磁场对扼流圈阻抗的影响	47
2.4.4 双孔多孔和珠形磁芯扼流圈	50
2.4.5 有关设计和选用的若干问题	54
参考文献	57
第三章 传输线变压器理论	59

3.1	概述	59
3.2	集中参数变压器	66
3.2.1	集中参数变压器的等效电路	66
3.2.2	集中参数变压器的限制	70
3.3	传输线段的阻抗匹配	73
3.4	传输线变压器	75
3.5	三种阻抗变换方式的比较	80
3.6	双线传输线变压器	83
3.6.1	1:1 隔直变换	84
3.6.2	1:1 不平衡-平衡变换	88
3.6.3	双线 1:4 变换	90
3.6.4	对称双线 1:4 变换	95
3.6.5	成对双线 1:9 变换	99
3.6.6	非整数平方比的变换	102
3.7	三线传输线变压器	104
3.7.1	引言	104
3.7.2	三线传输线变压器的初步分析	106
3.7.3	三线 1:2.25 不平衡变换	111
3.7.4	三线 1:4 倒相变换	115
3.7.5	三线 1:9 不平衡变换	117
3.7.6	三线 1:1 不平衡-平衡变换	118
3.7.7	三线偶模 1:4 不平衡-平衡变换	120
3.7.8	由三根传输线组成的 1:2.25 不平衡变换	122
3.8	磁芯的贡献	128
3.8.1	倒相传输线变压器的等效电路	128
3.8.2	磁芯的贡献	131
3.8.3	高功率铁氧体材料的技术要求	137
	参考文献	143
第四章	传输线变压器的设计	145
4.1	设计要求	145
4.2	变换电路的选择	151

4.3	传输线特性阻抗的计算	161
4.3.1	概述	161
4.3.2	同轴线	163
4.3.3	无限介质中的双线和对地单导线	166
4.3.4	部分充满介质双线和对地单导线	170
4.3.5	带状传输线	181
4.3.6	传输线特性阻抗的测量	183
4.3.7	传输线的功率容量	186
4.4	磁芯的选择	192
4.4.1	磁芯材料的选择	192
4.4.2	磁芯尺寸的选择	202
4.5	设计实例	206
4.5.1	设计步骤	206
4.5.2	低功率通用阻抗变换器	210
4.5.3	电视接收机用阻抗变换器	215
4.5.4	短波脉冲调制功率变压器	218
4.5.5	50 欧姆-75 欧姆阻抗变换器	220
	参考文献	222
第五章	宽带正交电桥	224
5.1	概述	224
5.2	耦合传输线正交电桥	226
5.2.1	分布参数耦合传输线正交电桥	227
5.2.2	集中参数耦合正交电桥	233
5.3	差相移正交电桥	238
5.3.1	前言	238
5.3.2	差相移正交电桥原理	240
5.3.3	宽带变压器魔 T	244
5.3.4	桥型网络的性质	245
5.3.5	两个二阶全通网络的差相移	250
5.3.6	差相移正交电桥设计参考	255
5.3.7	电感器	265

5.3.8	差相移正交电桥设计实例	273
5.4	正交电桥的应用	280
5.4.1	概述	280
5.4.2	可变衰减器	286
5.4.3	可变移相器	287
5.4.4	匹配网络	289
5.4.5	比值的测量	290
5.4.6	正交相态开关调制器	292
5.4.7	极化变换	295
5.4.8	中频信号处理	298
	参考文献	298
第六章	定向耦合器和功率分配器	299
6.1	概述	299
6.2	同相和反相功率分配器	303
6.2.1	分布参数同相功率分配器	303
6.2.2	集中参数同相功率分配器的低频传输特性	305
6.2.3	集中参数功率分配器高频传输特性的分析	310
6.2.4	集中参数功率分配器设计参考	313
6.2.5	集中参数功率分配器电路	317
6.3	集中参数魔 T	321
6.3.1	概述	321
6.3.2	集中参数魔 T 电路	321
6.3.3	变压器魔 T 三线电位分布特点	327
6.3.4	魔 T 三线的最佳奇偶模特性阻抗	329
6.3.5	变压器魔 T 设计实例	336
6.3.6	传输线型集中参数魔 T	338
6.4	多路功率分配器	340
6.4.1	三路功率分配器	340
6.4.2	多路功率分配器	343
6.5	定向耦合器	344
6.5.1	概述	344

6.5.2	定向耦合器参数	346
6.5.3	变压器定向耦合器原理	348
6.5.4	定向耦合电路	356
6.5.5	定向耦合器的设计实例	366
6.6	功率分配器和定向耦合器的应用	368
6.6.1	功率分配器各端的相互关系	368
6.6.2	在有线电视中的应用	371
6.6.3	晶体管大功率合成输出	373
6.6.4	$0 - \pi$ 调相器	374
6.6.5	天线转换开关	374
6.6.6	异频功率合成及共用天线	375
6.6.7	和差网络	376
6.6.8	信号监视	377
6.6.9	改善放大器动态范围的无耗反馈	378
	参考文献	382
第七章	双平衡混频器	383
7.1	概述	383
7.2	开关型输出频谱	386
7.3	连续非线性模型的输出频谱	390
7.3.1	不平衡混频电路的输出频谱	391
7.3.2	单平衡混频电路的输出频谱	395
7.3.3	双平衡混频电路的输出频谱	397
7.4	混频器的参数及其分析	401
7.4.1	混频器参数	401
7.4.2	双平衡混频器各端阻抗的分析	403
7.4.3	变频损耗的分析	408
7.4.4	1分贝压缩电平	413
7.4.5	互调波的性质	415
7.4.6	双音互调波的性质	419
7.4.7	截点电平	423
7.4.8	隔离度	425

7.5	双平衡混频器的应用	428
7.5.1	转换频率	428
7.5.2	电调衰减器和开关	430
7.5.3	$0-\pi$ 调相输出	432
7.5.4	检相器	432
7.5.5	调制器	435
7.5.6	单边带混频器	436
7.5.7	镜频抑制混频	437
7.5.8	倍频器	437
7.6	设计实例	440
	参考文献	444
第八章	测量	445
8.1	铁氧体磁芯的测量	445
8.1.1	概述	445
8.1.2	绕组法 (20 兆赫以下)	449
8.1.3	线框法 (15—150 兆赫)	451
8.1.4	谐振腔法 (2000 兆赫以下)	454
8.1.5	驻波法	457
8.1.6	在强磁感应强度下的磁导率和损耗的测量	459
8.1.7	实测中的几个问题	465
8.2	传输参量的测量	469
8.2.1	阻抗电桥	469
8.2.2	平衡度的测量	476
8.2.3	传输损耗的测量	478
8.2.4	隔离度的测量	480
8.2.5	三线传输线奇偶模特性阻抗的测量	480
8.3	混频器的测量	484
8.3.1	变频损耗的测量	484
8.3.2	隔离度的测量	486
8.3.3	电压驻波系数的测量	487
8.3.4	双音三阶互调失真的测量	489

8.3.5 直流偏压的测量	490
参考文献	491
本书符号说明	493

第一章 绪 论

1.1 概 述

微波技术中的绝大多数传输线器件,例如定向耦合器、正交电桥和阻抗变换器等,都存在传输线的长度与工作波长可比拟的限制条件。这类限制条件带来了两个问题。

首先,当工作频率较低时,器件的尺寸很大。例如,在频率为 300 兆赫时,构成定向耦合器的传输线长度,按四分之一波长计算为 25 厘米。在一般的工程应用中,如上的尺寸已经嫌太大。如果工作频率再降低,实际应用将更困难。因此,这类四分之一波长器件只是在微波波段得到应用。当然个别的也有用到微波频率以下的,但是它必须以牺牲器件尺寸作为代价。

其次,当器件尺寸一定时,其相对带宽(上、下限工作频率之比)比较窄。虽然我们可以采取一些措施以展宽频带,例如用多节四分之一波长传输线段级联(契比雪夫变换)获得宽频带的阻抗变换,但这终究是不方便的,而且,实际上所能展宽的频带是有限的。以往的一些传输线器件多半是根据需要专门设计和临时加工的,这不仅大大提高了器件的成本,而且给整机设计带来了很多不必要的麻烦。

在低频电路中的一些元、器件,例如电阻器、电容器、电感器和变压器等,它们虽然有相对带宽大、尺寸小的优点,但是由于自身分布参数(例如分布电容等)的影响,其绝对带宽(上、下限工作频率之差)比较小,因而应用也受到了一定的限

制。

由此不难看出，微波传输线器件的长处（适用的频率很高）恰恰是低频元、器件的短处，而传输线器件的缺点（尺寸大、相对带宽窄）又是低频元、器件的优点。鉴于通常的低频元器件的尺寸比它们允许的工作波长小得多，而一般的微波传输线器件尺寸可与工作波长相比拟，为便于描述，因此把前一类元器件统称为集中参数元件，把后一类器件统称为分布参数元件。显然，在低频与微波之间的宽阔频段，例如1—1000兆赫，无论是集中参数元件还是分布参数元件，都将程度不等地遇到很多麻烦。正因为无源元、器件存在着如上的这种“两极分化”状态，因此，以往在低频和微波之间的整机发展，相对而言，要比其他的缓慢。

随着电子技术的发展，信号频道（如电视频道、通信频道）日趋拥挤，克服这一矛盾的一个途径是，充分运用低频和微波之间的宽阔频段。于是，发展和研制适宜于这个频段使用的元、器件就显得更加重要了。另外，由于集成电路的发展和宽频带整机的需要，元、器件的小型化和宽频带受到了特别的重视。从本世纪六十年代起，特别是在最近十年，国外已发展了一系列颇有吸引力的新颖器件，它们是传输线变压器，功率分配-合成器（包括分离端相位差为 0° 、 90° 和 180° ），定向耦合器，双平衡混频器等。由上述器件派生出来的或者由其中几个器件组合而成的其他器件那就更多了。例如，电调衰减器、电调移相器、平衡调制器、脉冲调制器、幅度调制器、倒相器、开关、检相器、阻抗电桥、倍频器、镜象抑制混频器、单边带抑制混频器、比值计、和差网络、变极化器以及异频功率合成器等等。这些器件有共同的特点。

器件的频带特别宽。低功率下典型的3分贝相对带宽约为5—9倍频程，某些器件还可以做到3个数量级（ $f_{\max}/f_{\min} =$

1000) 以上。如此大的相对带宽对于通常的传输线器件是难以做到的。

器件适用的频率范围从几十千赫到几百兆赫，个别的还可适用于 1000 兆赫以上，这正好弥补了以往在声频和微波之间传输元件匮乏之不足。

电子器件做成宽频带以后有两个好处。一方面它能够满足宽频带整机或分机的要求，减少不必要的波段转换元件、器件，既降低了成本又有助于整机性能的改善。另一方面可使器件本身的标准、系列化变得比较简单，频带越宽器件系列化越方便。例如，若要覆盖 1—1000 兆赫的频率范围，如果器件的相对带宽为一倍频程，则实现系列化的器件个数（型号）至少要十个。而在器件的带宽为十倍频程时，则仅要一个器件就可实现全部覆盖。器件的标准、系列化对于简化整机或电路的设计以及装配亦是十分有益的。可以设想，如果把其他电子器件，例如放大器、信号源、环形器、隔离器、延迟线、限幅器等都做成宽频带，那么整机（特别是接收机）的设计就相对地变得比较简单，它的任务仅仅是选择合适的电路和器件，以及设计一些带个性的特殊电路（如选频电路）。因此，射频频带器件的出现，不仅有助于改善整机性能，同时为整机的积木化创造了良好的条件。

射频频带器件的尺寸很小，针脚和微带引线的结构，其大小约为一立方厘米，显然，它已经可以和普通的阻容元件、晶体管尺寸相比拟了。由于尺寸的显著缩小和成本的降低，这样就为整机（从军用到民用，从大型馈线、发射机到小型的接收机，乃至普通的电路）广泛采用这类器件奠定了基础。

射频频带器件的功能很多，主要的可归纳为如下几个方面：同相功率分配器可作两个信号的相“加”处理，反相功率分配器可作两个信号的相“减”处理，魔 T 和正交电桥则是能

够同时完成信号“加、减”处理的器件；混频器可看作是两个信号相“乘”的处理器件；正交电桥在适当条件下可实现两个信号的相“除”处理。简而言之，所述器件是一种能够实现宽带信号“加、减、乘、除”处理的器件。

正因为器件具有上述特点和功能，因而在很大程度上促进了电子技术的发展。例如固态功率合成、共用天线、频率合成、瞬时测量、扫频测量、信号编码、极化变换、电扫天线、复杂网络匹配，以及改善放大器动态范围的无耗反馈等等，都与这类器件的进展有着密切的关系。

射频器件应用较广，它遍及雷达、电视（尤其是闭路电视和分米波电视）、通信（包括短波通信、分米波通信和中继通信）、广播、仪器仪表、自动控制、频谱分析以及数字电路等。目前，国外射频宽带器件已大量投入市场（见1974—1983年的《Microwaves》product data directory）由于器件具有多功能、频带宽、尺寸小以及标准化程度高等这些突出的优点，同时，它们适用的频率范围又正好是以往制作一些元、器件比较困难的频段，因此可以预期这类器件应用的前景是宽广的。

1.2 射频宽带器件的基础

1.2.1 诸器件的相互关系及其基础

射频宽带器件，虽然各自都有独立的功能，但是它们在许多方面却是相似的。如适用的频率范围，器件的一些参数（传输损耗、电压驻波系数等）随频率变化的规律基本相同，器件尺寸大小亦是相仿的。诸器件之所以有这些相似的性质和特点，一个重要的原因是它们相互之间都有一定内在联系的缘故。

第六章的同相和反相功率分配-合成器，其电路可看成是

• 4 •