

Ka 频段集成化鳍线铁氧体环行器*

曾升权** 刘 强 陈巧生

(电子科技大学磁性工程系 成都 610054)

【摘要】 介绍了一种利用单鳍线 Y 结和磁化铁氧体圆片以及三个阻抗变换器组成的 Y 结环行器, 其适合于集成系统中, 该器件在 Ka 频段内具有低的插入损耗和高的隔离。

关键词 毫米波; 鳍线; 铁氧体; 环行器

中图分类号 TN623

鳍线是一种新颖的适用于毫米波集成电路的传输线, 由于它具有频带宽、损耗小、低色散、便于集成等优点而被广泛应用在雷达、通信、导弹制导、电子对抗等国防军事工程系统中。近年来, 利用鳍线研制成的诸多功能器件如滤波器、检波器、混频器、环行器和隔离器等已成功地在各类军事收发机的前端混合集成电路中得到了实际应用, 这对有效地减小整机体积、提高整机的稳定性、可靠性等都具有极其重要的意义。

本文将对鳍线集成化铁氧体环行器的场分布特点、结构特点、采取的技术关键和实验结果作一简要介绍。

1 器件的场分布

按平面电路的形式, 一般可将鳍线分成单槽线和耦合槽线, 而单槽线又可分成单侧鳍线、双侧鳍线和正反对鳍线等几种。从理论分析知道, 在鳍线传输中传播的模式为 EH 模和 HE 模两种混合模, 对单侧鳍线而言, 其场分布如图 1 所示^[1]。图 1b 是在 $y=0$ 平面内, TE 模的三个场分量, 说明传输波的场分量主要集中在槽口附近, 在 xoz 平面内还存在着圆极化点 (即 $|H_x| = |H_z|$ 的点)。如果在上述圆极化点置入被横向磁化的铁氧体片, 则会对正、反方向传输的波呈现明显的非互易特性, 在技术上利用这一特性就可制成各类鳍线铁氧体器件。由于在鳍线的 Y 结处放置了一个铁氧体样品, 当在没有外加磁化横向恒磁场时, 圆结处的场分布可用图 2 表示^[2]。其中, 图 2b 为横截面示意图, 由图可见, 当 $H_0=0$ 时圆结内的场按驻波分布, 此时如电磁波从 1 口输入, 则波的能量从 2 口和 3 口平分输出, 即无环行作用。当有一个适当数值的恒磁场沿垂直方向作用于铁氧体圆片平面时, 由于旋磁作用会使圆片内的场图旋转 30° 而产生环行作用。且因鳍线 Y 结环行器的场分布图与带线或微带线 Y 结环行器的场分布十分相似, 因此我们可以引用带线或微带 Y 结环行器理论导出的一些公式来进行设计, 其中铁氧体圆片的半径 R 可按式计算^[1,3]

$$KR = 1.84 \quad (1)$$

式中 $K = k[\epsilon_{\perp} \epsilon_0]^{1/2}$, k 是角频率, ϵ_0 和 ϵ_0 分别是真空电容率和真空磁导率, ϵ 是铁氧体的介电系数; $\epsilon_{\perp} = (\epsilon^2 - k^2) / \epsilon$ 是铁氧体的有效磁导率, ϵ_{\perp} 和 k 分别是张量磁导率的对角分量和非对角分

① 1996 年 10 月 30 日收稿, 1996 年 11 月 29 日修改定稿

* 电子部预研基金资助项目
** 男 57 岁 大学 副教授

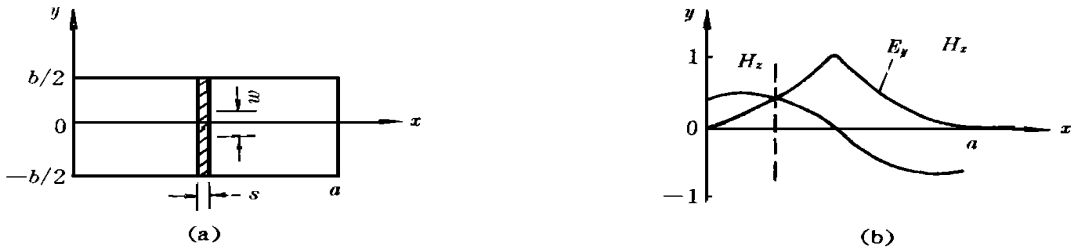


图 1 单侧鳍线及其场分布

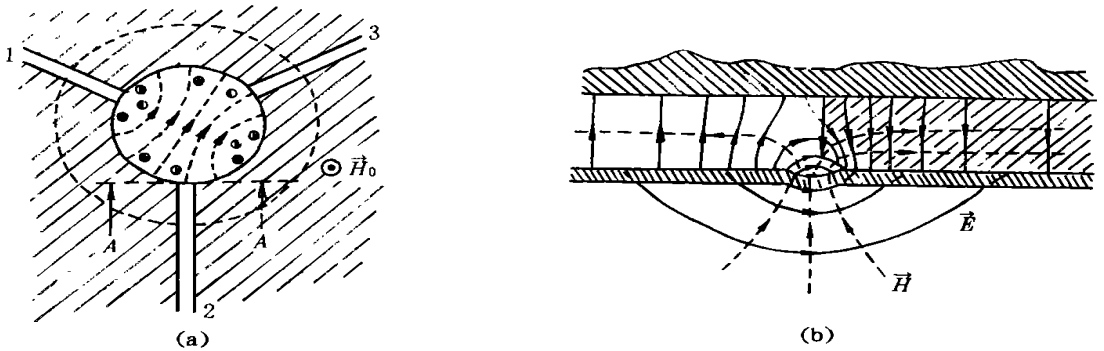


图 2 器件在 $H_0 = 0$ 时圆结处的场分布

量。

式 (1) 是在圆柱坐标下, 用分离变数法解赫姆霍兹方程式, 取一阶贝塞尔函数的第一个正根而求得的。

铁氧体材料的饱和磁化强度 M_s 可按下列近似式计算^[1]

$$M_s \approx 0.2f \tag{2}$$

式中 f 是频率, 单位为 MHz

为了使器件具有优良的环形功能, 一方面须合理调整外加磁化场 H_0 的大小, 使铁氧体具有明显的非互易特性; 另一方面还须合理设计, 选择铁氧体的几何尺寸和电磁参数, 以及鳍线槽的形状宽度等, 使输入鳍线槽内的电磁波能量有效地耦合进圆结处的铁氧体内。为此, 我们采用了一种切向耦合式结构, 如图 3 所示^[2,4]。其中, 图 3a 为实际器件在 $H_0 \neq 0$ 时横截面示意图, 表明从 1 口输入的能量绝大部分从 2 口输出, 而 3 口无能量输出, 依此类推, 器件则具有明显的环形功能; 图 3b 为 A-A 剖面内鳍线槽及其附近的场分布。

2 器件的结构特点

文中介绍的集成化鳍线铁氧体环形器的结构如图 4 所示。图 4a 为器件的剖面示意图, 图中①为 RT/Duroid 5880 聚四氟乙烯纤维钢化介质片; ②为铁氧体圆片; ③为金属匹配台阶; ④为外加恒磁场 H_0 ; ⑤为 Y 结矩形波导腔体; 图 4b 为在介质 5880 基片上用平面工艺制作的对称 Y 结鳍线槽, 为了便于测试器件性能, 在三个端口上设计了从波导至鳍线的阻抗匹配变换器, 在 Y 结正中圆结处置有一片被横向磁化的铁氧体圆柱样品, 整个圆结处的电磁场分布如图 3a 所示。因实际提供

给整机混合集成中用的环行器仅是置有铁氧体的 Y 结部分,故器件具有体积小、重量轻、结构紧凑、性能稳定可靠和易于集成等突出特点

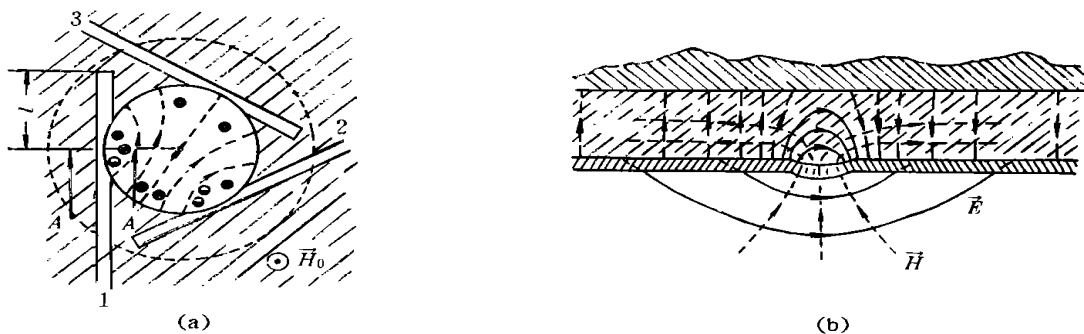


图 3 器件在 $H_0 \neq 0$ 时圆结处的场分布

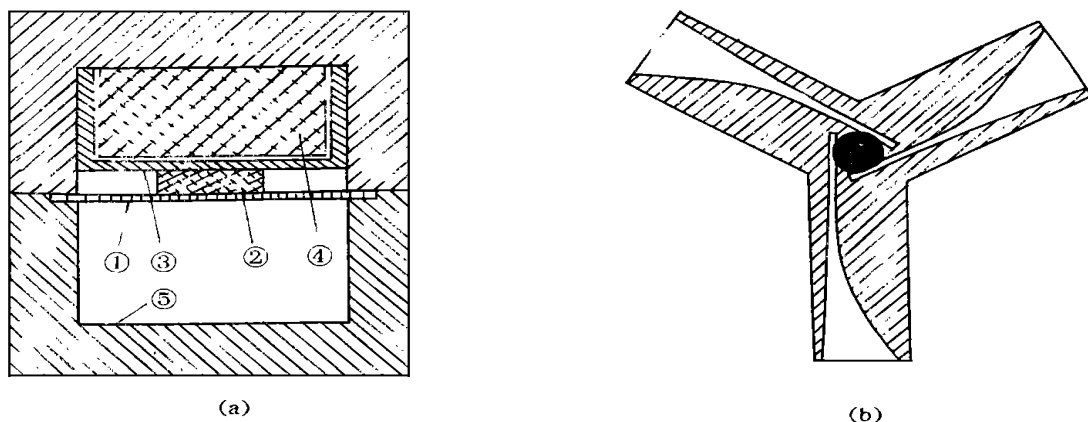


图 4 集成化鳍线铁氧体环行器结构

3 器件的技术关键

为了实现预期的目标,在整个研究过程中我们有效地解决了如下几个关键技术:

1) 严格控制、反复调整器件中心 Y 结的几何参数。首先,为确保能量的有效传输,采取了使铁氧体圆柱的边缘恰好与鳍线槽的中心线相切的技术,这样,经鳍线输入的电磁波能量就能通过铁氧体的圆弧边缘渐变进行耦合,即切向耦合。实验证明,它可大大减少能量的反射,使绝大部分能量传送到下一个端口。其次通过改变铁氧体圆片的半径 R 和厚度 h ,鳍线槽的位置和宽度来获得最佳耦合角,在设计中经优化后的铁氧体半径 $R= 1.0 \sim 1.2 \text{ mm}$,厚度 $h= 0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$,鳍线槽的宽度 $d = 0.8 \sim 1.0 \text{ mm}$,最佳耦合角 $2\theta = 50^\circ \sim 60^\circ$ 。

2) 合理调整圆结处三条鳍线末端 l 的长度、形状和位置。反复实验表明: l 应垂直于邻近鳍线槽而不至直接相通为最佳,且 l 的长度应严格设计成四分之一波长的整数倍,如图 3a 所示。这样既能保证阻抗匹配状态最好,对能量的耦合也是有利的。

3) 选用优质的铁氧体材料。器件性能的好坏直接与铁氧体材料的电磁参数紧密相关,由于器件工作在 Ka 频段,由式 (2),如取 $f= 35 \text{ GHz}$,则 $M_3= 0.7 \text{ T}$,显而易见, M_3 这样高的铁氧体材料

目前在国内,甚至在国外都是无法得到的,在此情况下只有选用目前国内最高的 Ni-Zn 铁氧体材料,其电磁参数是: $M_s \geq 0.5 \text{ T}$, $\Delta H \leq 8 \text{ kA/m}$, $\text{tg} \delta \leq 3 \times 10^{-4}$ 。同时对材料进行精细加工,做到样品的一致性、对称性好、光洁度好。这样器件的非互易特性就能更明显,器件的总体性能也容易得到提高。

4) 采取措施降低对外加恒定磁场的要求。在 8 mm 频段工作的器件实际所需外加的磁化场约在 400 kA/m 左右,这样强的外磁场须用体积很大的恒磁体才能实现,给器件的总体结构造成困难,为此,我们经过反复试验,终于成功地在测试腔内埋入一定大小的恒磁块使器件所需外场大大降低,约 250 kA/m 左右。这样不但减小了器件的体积、重量,而且在技术上也容易实现,一般稀土永磁材料即可满足要求。另外,优选集成鳍线基片也是重要的。

4 器件的实验结果

经过反复改进设计、精心制作与调试,获得了较满意的器件性能。

我们用 GT101/GT201-2013 标量网络分析仪对器件进行了扫频测试,其测试结果如图 5~8 所示。

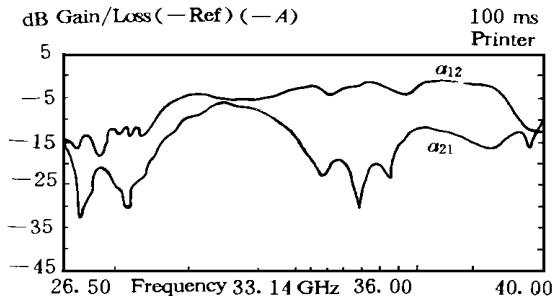


图 5 器件 1→2 口的扫频测试结果

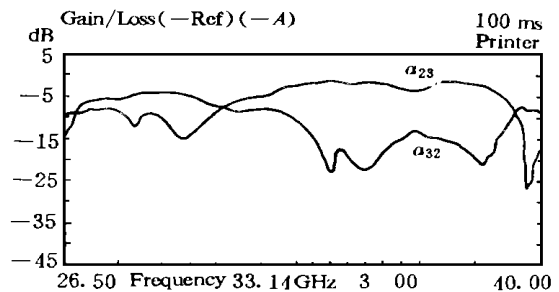


图 6 器件 2→3 口的扫频测试结果

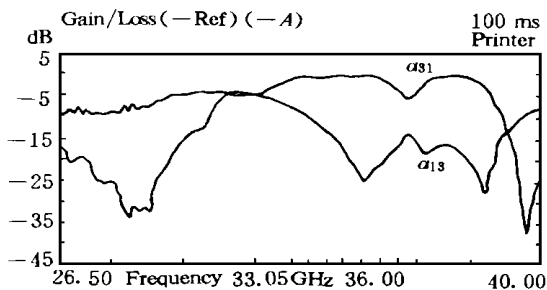


图 7 器件 3→1 口的扫频测试结果

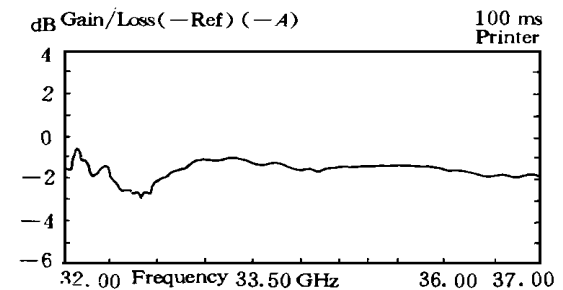


图 8 波导—鳍线阻抗变换器损耗

从图中的频响曲线可见:在频率 $f = 34.97 \sim 35.50 \text{ GHz}$ 范围内插入损耗 $T \leq 1.0 \text{ dB}$, 反向隔离 $I \geq 20 \text{ dB}$ 。

5 结束语

Ka 频段集成化鳍线铁氧体环行器作为一种重要的特种功能元器件已成功地应用到工程项目中,它对我国的国防建设及其相关技术领域的发展将起到很大的促进作用。若能在实现器件的宽带化、提高研制器件的工程化等方面有所突破,其应用前景将是无量的。

参 考 文 献

- 1 陈巧生.微波与光磁性器件.成都:成都电讯工程学院出版社,1988
- 2 Goebel U, Schieblich C. Broad-band fin-line circulator. IEEE MTT-S Int Microwave Symp Dig, 1982 : 249~ 251
- 3 Wu Y S. Wide-band operation of microstrip circulators. IEEE Trans, 1974, MTT-22: 849~ 856
- 4 Beyer A, Woeffl I. A fin-line ferrite isolator and circulator for the R-band. 11-th Europe Microwave Conf Dig, 1981, 321~ 326

Integrated Fin-line Ferrite Circulator at Ka-band

Zheng Shengquan Liu Qiang Chen Qiaosheng

(Dept of Magnetic Eng. UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The Y-circulator consisted of a unilateral fin-line Y-junction with three impedance transformers and a ferrite disk as magnetically active element is described in this paper, which suits well for integrated system. An fin-line circulator with a low insertion loss and a high isolation at Ka-band is developed.

Key words millimeter-wave; fin-line; ferrite; circulators

编辑 徐培红

。 科研成果介绍。

军用分布式实时操作系统 DRTOS

主研人员: 龚天富 舒 敏 张松梅 张振宇 王 飘 夏金枝

该项目设计并实现了分布式实时语言 DRTG+, 建立了支持应用任务运行的分布式实时操作系统核心 DRTK; DRTG+ 将分布式、实时和基于对象的技术有机地结合在一起, 为描述分布式实时任务提供了有力的支持; 将对象分为活跃对象、共享对象和被动对象, 并将活跃对象作为进程的抽象, 共享对象作为资源的抽象, 从而成功的解决了进程的并发执行、同步和通信的问题。

DRTK 采用先进的微核心技术, 该技术是操作系统的一个发展方向。而且没有设全局数据, 系统运行时所需要的全部数据是在系统初始化时在用户数据区生成, 支持嵌入式系统的开发, 并采用先进行 IPC 机制实现进程间通信。

该研究项目在分布式实时开发环境方面处于国内领先地位, 与国外同类研究相比, 有其特点, 达到 90 年代初期国际先进水平。

。 科 卞。