

宽带 3 dB 混合环基本原理的研究

张德虎

(西南科技大学, 四川 绵阳 621010)

摘要: 阐述了宽带 3 dB 混合环的基本原理以及支线交接不连续性对混合环设计的影响, 提出了修正公式, 并介绍了 3 dB 混合环等效成的波导魔 T 的结构。

关键词: 宽带 3 dB 混合环; 支线交接不连续性; 波导魔 T

中图分类号: TN98

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)07-0063-02

Research of the principle of wideband 3 dB hybrid ring

Zhang Dehu

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: This essay described the principle of wideband 3 dB hybrid ring, the effect which brings by the discontinuity of branch line connection, and the 3 dB hybrid ring can equal to microwave waveguide magic T structure.

Key words: wideband 3 dB hybrid ring; discontinuity of branch line; microwave waveguide magic T

微波电路中常使用混合环结构来实现能量的耦合, 根据混合环的不同结构, 实现端口之间的相互隔离、功率的分配以及调节功率的输出地相位等作用^[1]。宽带 3 dB 混合环是其中常用的一种结构, 本文介绍了宽带 3 dB 混合环的原理以及支线交接不连续性对混合环设计的影响, 并提出了修正公式, 介绍了 3 dB 混合环等效的波导魔 T 结构。

1 宽带 3 dB 混合环的原理

1.1 混合环的原理

混合环的基本电路如图 1 所示。两个输出端口的相位差为 180° , 当信号自混合环的端口 1 输入时, 信号从端口 3 和 4 按一定的功率分配比反向输出, 而端口 2 从理论上无输出, 为隔离端口; 反之, 若信号从端口 2 输入, 则端口 3 和 4 按照一定的功率分配比同相输出, 端口 1 无输出, 因此, 端口 1 和端口 2 彼此隔离。同样, 端口 3 和端口 4 也相互隔离, 不论信号从其中哪一个端口输入, 仅在端口 1 和端口 2 有同相或反相输出, 而端口 4 或 3 没有输出。

混合环两输出端口的输出功率分配从理论上讲是可以任意的。但实际上, 由于工艺的限制, 功率分配相差悬殊的混合环因部分电路的阻抗太高而难以实现, 实践中最常用的混合环是输出功率相等的 -3 dB 混合环, 工

艺上可实现的混合环的功率分配比的上限大约为 3:1, 即 -6 dB 的混合环^[2-5]。

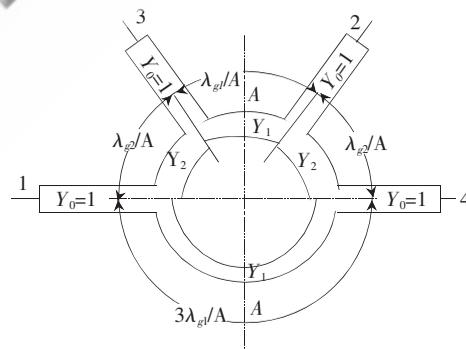


图 1 混合环基本原理示意图

等功率反相输出的 -3 dB 混合环与波导的魔 T 具有相同的性质, 因此有时也称作魔 T, 其用途与 -3 dB 的双直线耦合器相似, 而其带宽与隔离等方面的性能比直线耦合器更好, 但是两个输出端口并非位于一侧, 因而连接半导体时带来了一定的线耦合器方便^[4-5]。

1.2 3 dB 混合环的原理

混合环的尺寸与波长有关, 尤其是 $3\lambda_g/4$ 对频率更敏感, 因此它的带宽仅为百分之几, 还不足一个倍频程。所以用一段相移为 270° 的耦合线节代替。3 dB 混合环的基本原理示意图如图 2 所示。

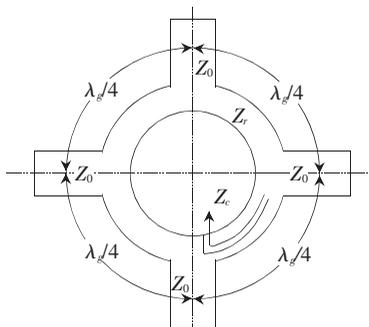


图2 3 dB 混合环基本原理示意图

为了使常用的-3 dB 混合环在倍频程内实现 -3 ± 0.3 dB 的耦合量,隔离段的隔离度保持在 20 dB 左右以及维持低的电压驻波比,可采取如下措施:

使环的阻抗 Z_r 由 $\sqrt{2} Z_0$ 增至 $1.46 Z_0$ 。

为降低对频率的敏感性,把环上 $3\lambda_g/4$ 的传输线段用中心频率上阻抗为 $Z_r=1.46 Z_0$ 的宽带倒相网络来代替。 $1/4$ 波长的对称耦合微带线节,当其耦合带条相反的终端短路时,就近似构成这种宽带的倒相网络^[6]。

电路中耦合线节的阻抗和尺寸如下确定(反向短路的耦合线节的阻抗):

$$Z_c = \frac{2Z_{oc}Z_{oc}\sin\theta}{[(Z_{oc}-Z_{oc})^2 - (Z_{oc}+Z_{oc})^2\cos\theta]^{1/2}} \quad (1)$$

其中, θ 为耦合线节的电长度, Z_{oe} 、 Z_{oc} 分别为耦合线的偶模和奇模阻抗。这种耦合线结构的信号路径的电长度为 $180^\circ + \theta$ 。为实现 270° 的相移,也即 $3\lambda_g/4$, θ 必须为 90° 。故式(1)简化为:

$$Z_c = \frac{2Z_{oc}Z_{oc}}{Z_{oc}-Z_{oc}} \quad (2)$$

为了使耦合线上与环上其余部分的特性阻抗为 Z_r 的传输线匹配,必须满足:

$$Z_c = Z_r = \sqrt{Z_{oe}-Z_{oc}} \quad (3)$$

于是可解得:

$$Z_{oc} = (\sqrt{2} + 1)Z_r \quad (4)$$

$$Z_{oe} = (\sqrt{2} - 1)Z_r \quad (5)$$

2 支线交接不连续性对混合环设计的影响

与支线耦合器的情况相同,混合环的输出接线与环线交接也将产生不连续性电纳,它同样要影响混合环的特性和参数,在设计混合环时必须予以考虑。设计短接线与环交接的不连续性电纳后,环上的传输线的阻抗和电长度应作式(6)~(8)的修正:

$$Z_m = \frac{Z_{oi}}{n^2 \sqrt{1 - \left(\frac{BZ_{oi}}{2n}\right)^2}} \quad (6)$$

对 $\lambda/4$ 节:

$$\theta_{m1} = \arccos\left(\frac{BZ_{oi}}{2n^2}\right) \quad (7)$$

对 $3\lambda/4$ 节:

$$\theta_{m2} = \pi + \arccos\left(\frac{BZ_{oi}}{2n^2}\right) \quad (8)$$

其中, Z_{oi} 是理想情况下(不考虑不连续性)环的特性阻抗, n 、 B 为 T 型交接不连续性等效电路的参数。

3 波导魔 T 的结构

-3 dB 的混合环也可称为魔 T。本文介绍一种电路形式上与普通混合环极不相同的,由微带和槽线混合构成的魔 T。其工作带宽比-3 dB 混合环宽得多,可达一倍频程。

波导魔 T 由并联(H 面)T 型接头和串联(E 面)T 型结构构成。并联 T 型接头在微带电路中容易实现,如图 3(a)所示的串联 T 型结构在槽线电路里面容易实现,槽线串联 T 接头的水平臂可用微带代替,如图 3 所示。将图 3(b)中的串联 T 和并联 T 的接地面和对称面重合在一起,就构成图 3(c)的混合结构魔 T。微带接头垂直臂的线性锥形过渡用作阻抗变换,直角处的反射由接地面中的串联电感补偿,如图 3(b)。为了使串联 T 与微带水平臂实现最佳耦合,槽线的终端有锥形的过渡。过渡的长度至少是 $1/4$ 槽线波长。串联 T 的阻抗锥形变换可通过微带电路实现。 $1/4$ 波长的槽线是限制带宽的主要因素,而串联电感有扩展频带的作用。



图3 微带-槽线混合魔 T 结构

宽带 3 dB 的混合环能够较好地实现不同端口之间能量的隔离和耦合,但支线交接不连续性对混合环设计有一定的影响,进行修正后得到了 3 dB 混合环等效的波导魔 T 结构的实现。

参考文献

- [1] 薛正辉. 微波固态电路(第一版)[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- [2] PON C Y. Hybrid-ring directional coupler for arbitrary power divisions [J]. IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1961, 9(6): 529-535.
- [3] MARCH S. A wideband stripline hybrid ring [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technology, 1968, MTT-16: 361.
- [4] 高翔, 程崇虎. 一种新型微带线槽线混合结构的宽带魔 T [J]. 微波学报, 2005, 21(4): 12-14.
- [5] 周明, 陈荻. 一种平面魔 T 结构的研究 [J]. 舰船电子对抗, 2007, 30(4): 119-120.
- [6] 林炫龙, 姜兴. Ku 波段宽频带双极化微带天线阵的设计 [J]. 微计算机信息, 2008, 24(7): 183-184.

(收稿日期: 2010-11-15)

作者简介:

张德虎, 男, 1978 年生, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向: 机电控制, 机电一体化, 液压元件等。