

文章编号:1001-893X(2012)09-1537-04

# 用于天线阵馈电的新型三等分功分器设计<sup>\*</sup>

傅世强,周 阳,房少军

(大连海事大学 信息科学技术学院,大连 116026)

**摘 要:**为了解决传统三等分功分器输出支路跨接隔离电阻实现困难的问题,基于 Wilkinson 功率分配器设计理论,通过引入二分之一波长微带传输线,提出了一种新型微带三等分功率分配器的设计方法。基于此方法,设计了一款应用于海事卫星通信频段的对称结构三等分功分器。实测结果表明该功分器在整个设计频带内各端口匹配好,各输出支路等分度好、隔离度高。该功分器已成功应用于天线阵馈电网络的设计。

**关键词:**海事卫星通信;天线阵;馈电网络;三等分功分器;对称结构

**中图分类号:**TN626      **文献标志码:**A      doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.09.024

## Design of a New Three-way Equal Power Divider for Antenna Array Feeding Network

*FU Shi-qiang, ZHOU Yang, FANG Shao-jun*

(School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that it is difficult to realize installation isolation resistor across each outputs, the design and development of a new type of three-way microstrip equal power divider are presented in this paper. It is realized by introducing a half-wavelength microstrip transmission line based on Wilkinson power divider design theory. A symmetry three-way equal power divider is designed for maritime satellite communication application. The measured results show that it has a good matching at each port and a high isolation between each outputs. It has been successfully applied in the design of antenna array feeding network.

**Key words:** maritime satellite communication; antenna array; feeding network; three-way equal power divider; symmetrical structure

## 1 引 言

功率分配器(简称功分器)是一种非常重要的微波无源器件,在天线阵馈电系统、功率放大器和雷达功率源中有着广泛的应用。近年来,功分器的研究已经越来越成熟,应用也越来越广泛<sup>[1-3]</sup>。然而一

分三功分器的文献不多,最常用的方法是基于 Wilkinson 功分器设计原理,采用树状结构,先把输入信号分成两路,然后选择其中的一路再分成两路,如文献[4]所述。文献[5]对树状结构进行了改进,提出了一种无需隔离电阻的宽带三路等分功分器,但是仿真和实验结果不尽人意。文献[6]实现了一种

<sup>\*</sup> 收稿日期:2012-03-12;修回日期:2012-05-11

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(61071044);交通运输部交通应用基础研究项目(2010-329-225-030);中央高校基本科研业务费专项(2011QN026)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China(No.61071044); Applied Basic Research Programs of Ministry of Transportation(No. 2010 - 329 - 225 - 030); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2011QN026)

直接一分三结构的功分器,由于考虑到物理结构的可实现,只采用了两个贴片电阻,导致无法实现各支路间的两两隔离,存在其中的两条支路隔离度差的问题。

本文基于 Wilkinson 功分器设计理论,通过引入二分之一波长微带传输线,对传统 Wilkinson 功分电路结构进行了改进,提出了一种结构简单、紧凑、性能优良的新型一分三功分器。根据海事卫星通信天线阵馈电网络的需求,设计了一款工作在海事卫星通信中心频率1.6 GHz的三等分功分器,并进行了加工制作和实际测量。

## 2 功分器设计

基于 Wilkinson 功率分配器理论设计三等分功分器有两种方法<sup>[1]</sup>:第一种是先实现一个功率比  $P_1:P_2=1:2$  的两路功分器,再将支路  $P_2$  分为  $P_3:P_4=1:1$  的两路,这样就实现了  $P_1:P_3:P_4=1:1:1$  三路等功分功率分配器,如图 1(a)所示;第二种是直接并联式一分三结构,用电阻跨接实现两两隔离,如图 1(b)所示。

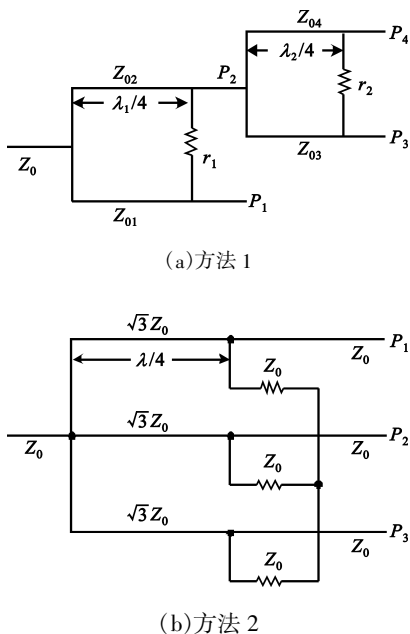


图 1 三等分功分器结构原理示意图

Fig.1 Schematic of three-way equal power divider

对于第一种结构,设计相对简单,但由于电路结构的不对称性,如果存在失配,将导致各输出端口的幅度和相位很难达到一致,与理论设计存在一定的偏差;对于第二种结构,由于需要两两支路跨接隔离

电阻,如果采用微带平面电路形式,将在工程实现上存在困难。

为了解决以上问题,本文通过在隔离电路部分引入二分之一波长微带传输线,将图 1(b)的功分器结构改进为图 2 所示。所提出的新型三等分功分器结构的中心为输入端,三条支路呈放射形对称分布,两两支路采用二分之一波长传输线串联电阻,再串联二分之一波长传输线的级联结构形式。由传输线理论可知,中心频率处隔离电路部分的  $[A]$  矩阵为

$$[A] = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

由  $[A]$  矩阵可知,两两支路之间的隔离电路部分仍等效为一个串联电阻,两段  $\lambda_g/2$  传输线的引入,不但没有改变电路的性能,而且为电路的物理实现提供了便利。以图 2 的输出端口②、③为例,两个端口间的实际隔离电阻  $r$  为

$$r = \frac{2R \times R}{2R + R} = \frac{2R}{3} \quad (2)$$

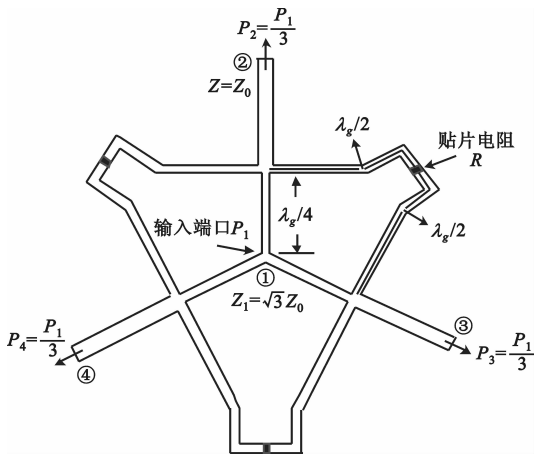


图 2 新型三等分功分器结构原理图

Fig.2 Schematic of new three-way equal power divider

由图 1(b)可知,任意两个端口之间的实际隔离电阻值为  $2Z_0$ 。由式(2)可得

$$R = 3Z_0 \quad (3)$$

## 3 仿真及实验结果

根据上节中所做的分析,设计了一款用于海事卫星通信频段的三等分功分器。中心频率为  $f_0 = 1.6 \text{ GHz}$ ,输入输出端口阻抗  $Z_0 = 50 \Omega$ ,隔离电阻  $R = 150 \Omega$ 。选用 F4B 系列微波介质材料板,相对介电

常数为  $\epsilon_r = 2.65$ , 损耗角正切  $\tan\delta = 0.003$ , 厚度  $h = 2\text{ mm}$ 。利用 ADS 和 HFSS 电磁仿真软件进行大量的仿真优化, 得到最佳的电路尺寸和最终的加工实物如图 3 所示。

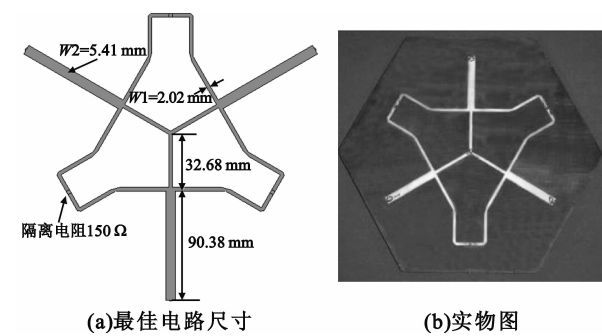


图 3 功分器加工实物图

Fig.3 Fabrication of the proposed power divider

使用 Agilent N5230A 四端口矢量网络分析仪对加工的功分器进行了实际测量。图 4 和图 5 给出了端口  $S$  参数仿真和实测结果的对比。为了让结果更清楚, 本文仅给出了输入端口和单个输出端口的特性曲线。由于所提出的功分器具有结构对称性, 因此根据给定的结果足以反映功分器各端口的整体性能。

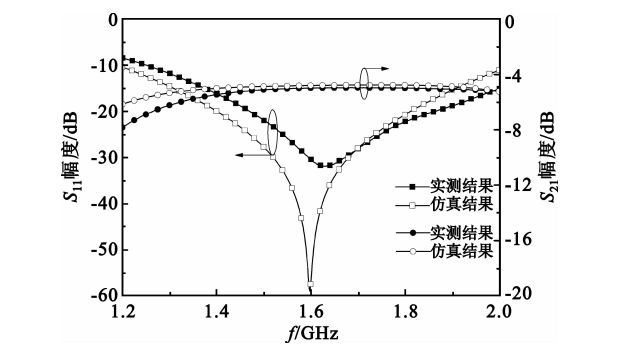


图 4  $S_{11}$  和  $S_{21}$  仿真与实测结果对比图

Fig.4 Simulated and measured results of  $S_{11}$  and  $S_{21}$

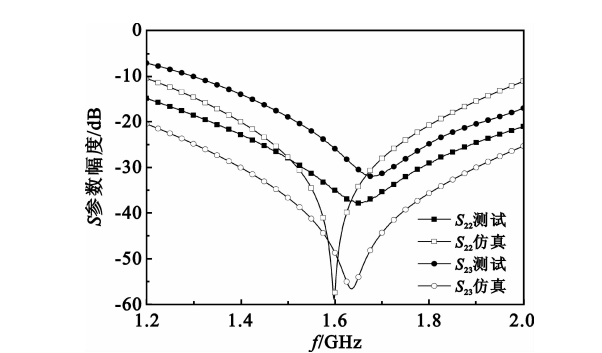


图 5  $S_{22}$  和  $S_{23}$  仿真与实测结果对比图

Fig.5 Simulated and measured results of  $S_{22}$  and  $S_{23}$

由图 4 和图 5 可知, 在海事卫星通信工作频带  $1\,525 \sim 1\,660.5\text{ MHz}$  内, 实测结果表明输入端口 ( $S_{11} < -25\text{ dB}$ ) 和输出端口 ( $S_{22} < -30\text{ dB}$ ) 均匹配良好; 功率输出起伏很小,  $S_{21}$  起伏  $0.1\text{ dB}$ , 中心频率实测  $S_{21} = -4.98\text{ dB}$ , 接近理论值  $-4.77\text{ dB}$ , 整个工作带内与理论值相比误差不超过  $0.3\text{ dB}$ ; 输出端口间的隔离高 ( $S_{23} < -20\text{ dB}$ ), 带内高频端最佳隔离超过  $30\text{ dB}$ 。测试结果与仿真结果具有较好的一致性, 实测结果略微向高频偏移, 这可能由加工和测量误差造成。所制作的三等分功分器已成功应用于海事卫星通信螺旋天线阵设计当中。

4 结 论

本文介绍了一种新型微带三等分功分器的设计方法, 并给出了研制结果。基于 Wilkinson 功分器理论, 通过引入二分之一波长微带传输线, 提出了一种对称电路结构的三等分功分器, 解决了传统 Wilkinson 功分器直接多路输出无法跨接隔离电阻的难题。该功分器在整个设计频带内, 各端口匹配好, 各输出支路等分度好、隔离度高。测试结果与仿真结果具有较好的一致性, 从而验证了该设计方法的有效。该功分器具有结构简单、紧凑、性能优良的特点, 已应用于海事卫星通信螺旋天线阵设计中。

参考文献:

[1] Pozar D M. Microwave Engineering[M]. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.

[2] Li Lin, Wu Ke. Integrated Planar Spatial Power Combiner[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(4): 1470 – 1476.

[3] 李中, 张晨新, 龙戈农. 一种用于波达方向估计系统的平面功分器[J]. 工程设计学报, 2008, 15(4): 275 – 277. LI Zhong, ZHANG Chen – xin, LONG Ge – nong. Planar power divider in estimation system of direction of arrival [J]. Journal of Engineering Design, 2008, 15 (4): 275 – 277. (in Chinese)

[4] 韩淑萍, 李铭祥. 高隔离度一分三功分器的设计[J]. 上海大学学报, 2004, 10(6): 559 – 561. HAN Shu-ping, LI Ming-xiang. Design of One-Three Power Divider with High Isolation[J]. Journal of Shanghai University, 2004, 10(6): 559 – 561. (in Chinese)

[5] 朱德才, 王自成, 蒿正伟, 等. 一种新型毫米波宽带三路等分功分器[J]. 科学技术与工程, 2008, 15(8): 4329 – 4331. ZHU De-cai, WANG Zi-cheng, HAO Zheng-wei, et al. Novel Mm-Wave Broadband Triple Power Divider [J]. Science

Technology and Engineering, 2008, 15 ( 8 ): 4329 – 4331.  
( in Chinese )

[6] 陈慰,陶学敏,赵娜. 新型三等分 Wilkinson 功分器在高效率功放中的应用[J]. 电讯技术, 2011, 51(8):138 – 142.

CHEN Wei, TAO Xue-min, ZHAO Na. Application of New Trisected Wilkinson Power Divider in High Efficiency Power Amplifier [ J ]. Telecommunication Engineering, 2011, 51 (8):138 – 142. (in Chinese)

作者简介:

**傅世强**(1981—),男,山东龙口人,2010 年于大连海事大学获工学博士学位,现为讲师,主要研究方向为海事卫星通信与全球卫星定位导航终端天线;

FU Shi-qiang was born in Longkou, Shandong Province, in 1981. He received the Ph.D. from Dalian Maritime University in 2010. He is now a lecturer. His research concerns maritime satellite communications

and global positioning satellite navigation terminal antenna.

Email: fushq@dlmu.edu.cn

**周 阳**(1989—),男,湖南长沙人,2011 年于大连海事大学获工学学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为海事卫星通信相控阵天线;

ZHOU Yang was born in Changsha, Hunan Province, in 1989. He received the B. S. degree from Dalian Maritime University in 2011. He is now a graduate student. His research concerns maritime satellite communications phased array antenna.

Email: rfantenna@foxmail.com

**房少军**(1957—),男,山东淄博人,教授、博士生导师,主要从事天线与电波传播、射频理论与技术研究。

FANG Shao-jun was born in Zibo, Shandong Province, in 1957. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns antenna and wave propagation, RF theory and technology.

Email: fangshj@dlmu.edu.cn