

C波段大型功分馈电网络设计

韩琳, 唐璞, 徐风清, 李智

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】给出了工作在C波段、相对带宽为5%的1-40的大型功分馈电网络的具体实现过程。利用HFSS、DESIGNER等电磁软件进行了仿真设计和硬件实现。测试结果表明在所要求的频段内网络的输入驻波小于1.30, 相位误差小于 9° 。该功分网络已应用于直线阵的馈电。

关键词 C波段; 功分器 带状线

中图分类号 TN965.2

文献标识码 A

A Design of a Large-Sized Feeding Circuit in C-Band

HAN Lin, TANG Pu, XU Feng-qing, LI Zhi

(School of Electronic Engineering, Uni. of Electron. Sci. and Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper a C-band feeding circuit with 5% relative bandwidth is realized. Firstly the 3D electromagnetic simulation software HFSS and DESIGNER are used to give an initial simulation of the feeding circuit. Then it is realized in a hardware system. Testing results show that the Voltage Standing Wave Ratio(VSWR) is below 1.30 and the phase error is less than 9° . This network has been successfully applied in feeding a line array.

Key words C-band; power divider; stripline

功率分配器作为一种低耗的无源器件广泛应用于微波毫米波系统, 其功能是将输入功率分配到各个支路中^[1-2]。近年来, 采用集成型的平面传输线设计的功率分配器得到了快速的发展。在天线阵技术的馈电网络中, 功率分配器可将功率分配到各个阵列单元。功分网络中布线的设计质量直接影响整个天线的性能, 在实际设计中应考虑体积的小型化、相位、驻波、功分器间的匹配和加工精度等问题, 目前的文献大都是针对小型的1-2功分网络。本文设计了一种工作在C波段、相对带宽为5%的1-40的大型功分馈电网络, 并给出其具体设计过程, 硬件系统的测试结果验证了设计的正确性。

1 功分网络的设计

功率分配器是一种将输入信号功率分成相等或不相等的几路功率输出的多端口微波元件^[3]。从理论上讲, 不管输出端之间有无隔离, 功率是否等分, 功分器均可做成任意路输出。但是, 在平面型微波集成电路中, 直接分成多路输出的只能通过简单功率分配器来实现。由于在平面电路中应对称地安置几个隔离电阻, 这在结构实现上有较大难度, 所以

混合型功率分配器一般只能做成两路的功率分配器, 最多不超过三路。而混合型多路功率分配器通常是由数个两路功率分配器级联而成。

两路输出功率不相等的混合型分配器的设计方法可以从 N 路均分的功率分配器获得。如将 N 路中的 m 个输出端口并在一起形成一个端口, 将余下的 $N-m$ 个端口连在一起作为另一个输出端口, 在这两个合成输出端口的后面接一个 $1/4$ 波长的阻抗变换器用以调整其阻抗, 由此可以得到输出功率比为 $m:N-m$ 的功率分配器。

通常任意功分比的1-2功分器设计步骤^[4]为:

(1) 根据两输出端口的功分比, 求出电压比 K 和功率比 K^2 ;

(2) 根据 Z_0 、 Z_1 和 Z_2 (一般 $Z_1=Z_2$)和 K 值计算各变换节的特性阻抗 Z_{01} 、 Z_{02} 、 Z_{T1} 、 Z_{T2} (普通功分器)或 Z_{01} 、 Z_{02} 、 Z_{03} 、 Z_{04} 、 Z_{05} (宽带功分器), 必要时计算隔离电阻 R_k ;

(3) 根据各变换节的特性阻抗值得空气板线实现的导带宽度 W ;

(4) 通过HFSS电磁仿真软件进行仿真计算, 并作适当修正, 得到仿真数据和设计结构尺寸。

本文设计的目标是各端口输出幅度为泰勒分布,所以采用1-2的Wilkinson功分器树状拓扑结构组合成1-40的功分网络^[5]。形成树状拓扑结构的原则是1-2功分器的两个输出出口的功分比不能过大,否则T

型分支两个臂的特性阻抗相差太大,结构实现困难。Wilkinson功分器的拓扑结构如图1所示。图中, $I_n(n=0,1,2,\dots,19)$ 为支路的电流,各端口输出信号均为等相位。

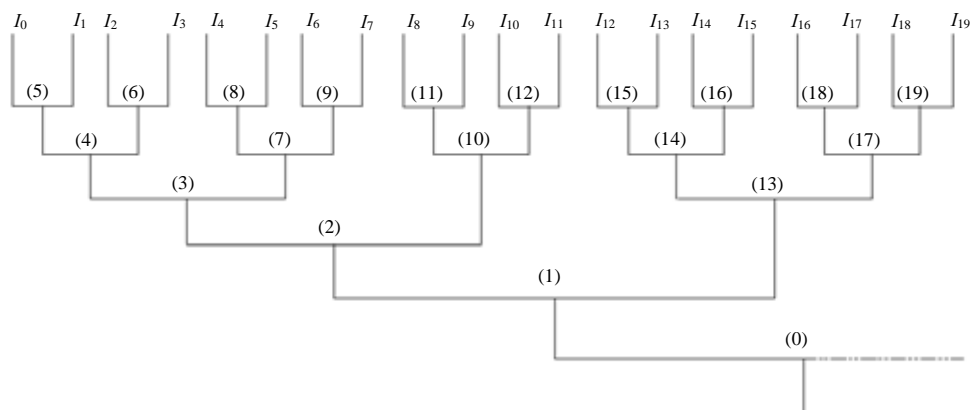


图1 1-40功分网络拓扑结构

由于现有的计算机资源的限制不能仿真如此大的功分网络,因此本文采用分块仿真的策略。先用HFSS单独仿真1-2的功分器,再利用DESIGNER将其全部连在一起进行仿真,从而得到整体的仿真结果。即使每个功分器两个输出出口的相位误差很小,功分器与功分器之间的相位也会存在一定的偏差,因此要用50 Ω的传输线来调整相位差。考虑到实际系统与仿真系统可能存在的误差,在仿真每个功分器模块时,严格控制了仿真指标,保证输入端驻波系数小于1.10,输出端的驻波系数小于1.25,相位差在0.5°以内。

图2所示为用DESIGNER仿真时的结构图, $p_i(i=1,2,3,\dots)$ 表示各功分器的序号, p_z, p_y 表示功分器两个输出端口用于配相所增加的50 Ω的传输线。图中只给出仿真结构的一半,另一半为对称结构,不包括1-2等功分器。图3所示为相应的仿真结果,在中心频率 f_0 附近5%的相对带宽内输入端的驻波系数小于1.10。图4所示为仿真得到的各端口的相位分布,从图中可以看到其相位分布的误差非常小,所有端口的输出相位曲线几乎重合。

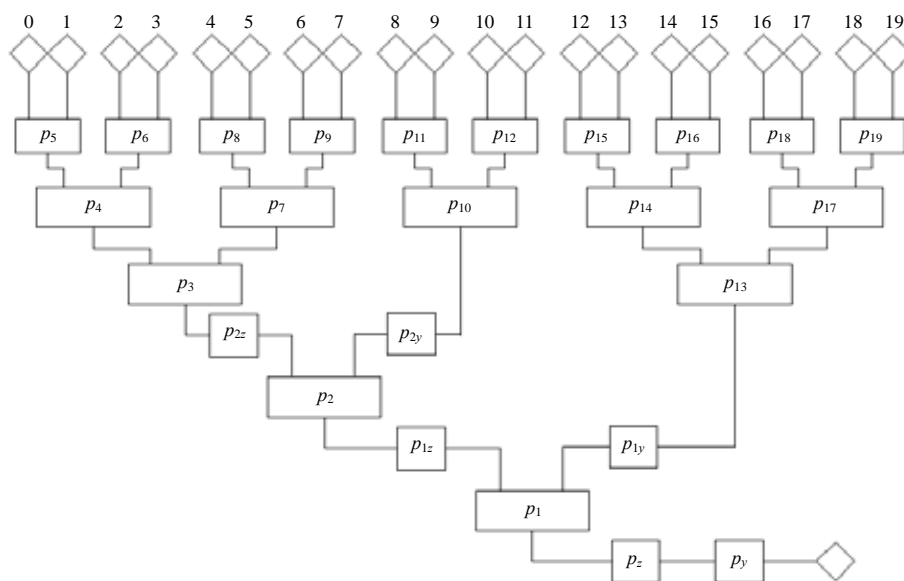


图2 用DESIGNER仿真时的结构图

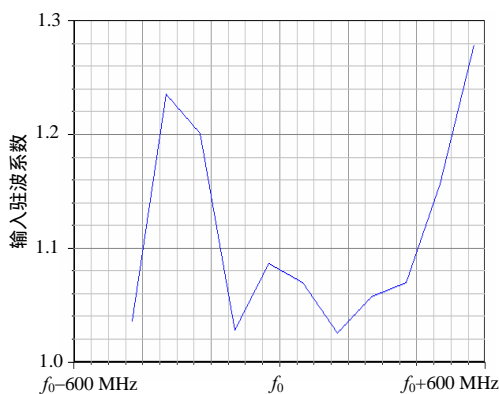


图3 由DESIGNER仿真得到的输入驻波系数

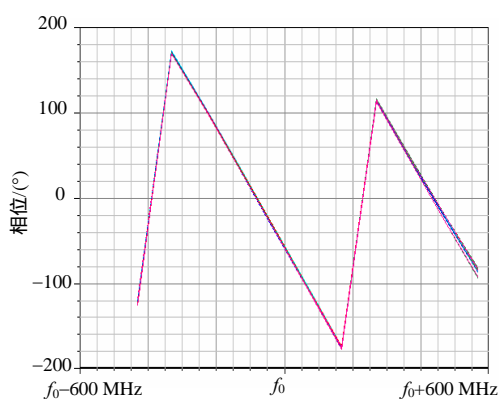


图4 由DESIGNER仿真得到的相位分布

2 测试结果

为了验证系统的可行性,本文对设计的网络进行了加工和实测。图5所示为1-20功分网络的加工实物图,图6所示为1-40的加工实物图。



图5 1-20的加工实物图



图6 1-40的加工实物图

测试过程如下:采用单端口校准技术,对仪器进行校准后,测量输入端口的驻波系数。测量时需将被测端口以外的所有端口接匹配负载。仪器采用Agilent N230A PNA系列的高精度矢量网络分析仪。测量结果如图7所示。

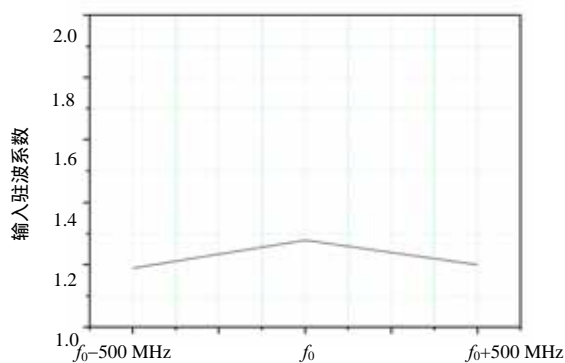


图7 功分网络的输入驻波系数的测试结果

从测量结果可以看到,在所测的频率范围内,输入口的驻波系数均小于1.30,达到了设计要求。

本文采用全双端口校准技术对仪器进行误差修正。测量各个端口的传输系数时,需要将被测端口和输入端口以外的所有端口接匹配负载。经过测试,中心频率处的功分网络幅度分布如图8所示,相位分布如图9所示,其幅度分布基本满足泰勒分布(图中虚线为在中心频率处实测的幅度分布,实线为理想泰勒分布),由此可见幅度分布与预期的泰勒分布吻合较好,相位误差控制在 9° 以内(相对基准 42° 而言)。

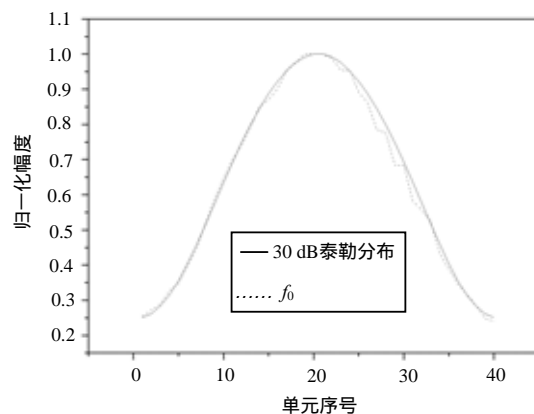


图8 功分网络的幅度分布测试结果

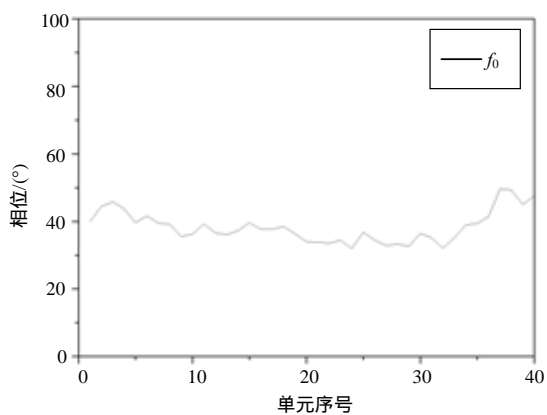


图9 功分网络的相位分布的测试结果

(下转第297页)

从上述天然气发动机空燃比的各种控制策略仿真结果可以对比分析它们各自的优缺点:(1) PID控制器和模糊自适应整定PID控制器控制策略: PID控制器最大的优点在于不需要了解被控制对象的控制模型, 只要根据经验调节控制器参数, 便可获得满意的结果。其不足之处是对被控参数的变化比较敏感。由于用软件编程实现PID控制, 参数的变化十分灵活, 因此得到了广泛的应用。模糊自适应整定PID控制器由于可以实时在线调整PID参数, 因此控制效果更好, 但实现过程中对硬件和软件的要求更高。

(2) 天然气发动机空燃比神经网络控制策略: 神经网络的控制方法不需要了解控制对象的模型, 可以很好的应用于非线性复杂控制系统。但由于其黑匣子的特性使得系统的稳定性分析十分困难, 而且基于复杂神经网络的控制器计算量也比较大, 对硬件系统的运算速度要求很高。

3 结束语

本文通过对上述三种控制策略仿真结果的对比分析, 基本上展现了三种控制策略的特点。经典控制策略易于实现, 但控制精确度不高。模糊自适应

PID控制由于是在线实时控制PID的三个参数, 无论是在控制效果上还是在实际实现上都具有很好的优势, 在实际控制中可以加以采用。神经网络控制策略由于只能适用于特定脉谱图下的特定的发动机, 改变环境后需要重新训练, 而且控制模型中计算公式所需的权值和域值的算法使得计算量非常大, 对硬件的要求限制了其实用价值。总之, 应用中要根据实际情况加以选择应用, 不能一概而论。相信随着大规模集成芯片的发展, 高性能微控制器的出现, 必将解决这些问题。

参 考 文 献

- [1] 赵 玲, 孙仁云. 虚拟仪器技术在汽车测试技术实验中的应用[J]. 实验科学与技术, 2006, 4(2): 20-21.
- [2] 夏 渊, 刘建华, 张 欣, 等. 发动机空燃比控制策略的研究[J]. 汽车工程, 2002, (1): 32-36.
- [3] 刘金琨. 先进PID控制Matlab仿真[M]. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 闻 新, 周 露, 李东江, 等. Matlab模糊逻辑工具箱的分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 闻 新, 周 露, 李 翔, 等. Matlab神经网络仿真与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

编 辑 孙晓丹

(上接第222页)

3 结束语

本文设计的1-40的大型功分网络采用泡沫填充板线形式的Wilkinson功分器结构, 利用有关功分器的现有理论公式进行初步设计, 并在此基础上利用HFSS和DESIGNER软件进行仿真设计、加工、安装及测试。测试结果表明输入驻波系数小于1.30, 相位误差在 9° 以内, 幅度基本满足泰勒分布, 与仿真结果比较一致, 已经在实际工程中得到应用。

参 考 文 献

- [1] SAWICKI A, SACHSE K, JAWORSKI G, et al. Comparison

of planar antenna feed networks with Wilkinson and coupled-line power dividers[C]//Microwaves and Radar, MIKON '98, 12th International Conference. Telecom-Krakow Poland: munications Research Institute, 1998.

- [2] 吴健田. 宽带C波段功率分配器. 无线电工程[J]. 1997, 27(1): 58-62.
- [3] COLLIN R E. Foundations for microwave engineering [M]. second edition New York: IEEE Press, 2001: 194-198.
- [4] 顾其谔, 项家桢, 袁孝康. 微波集成电路设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1978: 309-321.
- [5] GU Peng-da, JIAO Yong-mei, GENG Zhe-qiao. Microwave power divider with arbitrary distribution ratio[J]. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2004, 28(11): 1219-1222.

编 辑 黄 莘