

超宽带高相位一致性 5×2 矩阵开关的设计

张东明,何泽涛,石玉

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室,四川 成都 610054)

摘 要:射频开关是无线通信系统中的关键部件,其性能决定了电子产品的关键性能,是影响系统稳定性和可靠性的直接因素。该文矩阵开关频率范围为 $30\sim 3\,000$ MHz,一共10个输入,2个输出。输入分为5组,接收来自5对天线的信号,并通过输入接口给天线供电。该矩阵开关采用上、下两部分对插结构,输出通过开关在5组输入之间切换,采用复杂可编程逻辑器件(CPLD)控制程序选通通路。测试结果表明,该矩阵开关具有良好的相位、幅度一致性,隔离度较高,驻波小,开关转换速度快,便于对每部分进行测试,优化等特点。

关键词:超宽带;矩阵开关;相位一致性;幅度一致性;对插结构

中图分类号:TN384

文献标识码:A

Design on Ultra-wideband High Phase Coherence 5×2 Matrix Switch

ZHANG Dongming, HE Zetao, SHI Yu

(State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of

Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: RF switch is a key component of the wireless communication system, and its performance determines the key performance of electronic products, which is a direct factor affecting the stability and reliability of the system. In this paper, the frequency range of the matrix switch assembly is $30\sim 3\,000$ MHz, and the matrix switch assembly includes a total of 10 inputs and two outputs. Input ports are divided into five groups, receiving signals from the five pairs of antennas, and power to the antenna through the input interface. The switching module uses the structure of two parts on the plug, by switching the output between the five input packets. and the pathway is controlled by complex programmable logic device(CPLD) program. Test results show that the matrix switching module has excellent performance of good opening phase, amplitude uniformity, high isolation, low VSWR, high switching speed. It is easy to the test and optimization of each part.

Key words: ultra-broadband; switching module; phase coherence; amplitude consistency; on the plug structure

0 引言

随着无线通信的发展,射频开关作为微波控制器件在雷达、通信及其他微波系统中得到了广泛应用。它主要分为吸收式和反射式两种^[1],反射式开关是指在关断状态下将信号全部反射,此时电压驻波比理论值为无穷大。而吸收式开关在传输状态时能将信号无反射的传输给负载,在端口处于隔离状态时,利用负载吸收反射信号,从而改善端口的驻波特性,因此无论在开关导通或者关断状态下驻波都较好。

本文设计了一个基于吸收式开关的 5×2 开关

矩阵,通过对开关管的适当选取、合理的微带线布局以及各方面因素的综合考虑实现对于开关驻波、隔离度、插损等的要求。以往的设计中并未对开关的相位、幅度一致性进行考虑,本文通过设计计算使得该开关矩阵相位一致性在频带内 $\leq \pm 1^\circ$,幅度一致性 $\leq \pm 0.1$ dB。通过测试,该开关具有良好的相位、幅度一致性,隔离度较高,驻波小等特点,可很好地应用于无线通信系统中。

1 矩阵开关的设计

1.1 微带线直角弯折的计算方法

引起开关幅度和相位不一致的因素很多^[2],如

收稿日期:2014-04-17

作者简介:张东明(1988-),女,辽宁沈阳人,硕士生,主要从事微波射频器件及电路的研究。E-mail:winter19881204@163.com。

石玉(1965-),男,甘肃兰州人,教授,主要从事磁性材料和射频器件与电路的研究。E-mail:shiyu_aaa@163.com。

微带线长度差别,元器件个体差异,PCB 板制造和装配过程中的个体差异,焊接过程中的个体差异,调试过程中的个体差异等。从以上分析中可看出,主要影响幅度、相位一致性的设计差异是微带线长度的差异,所以需要随微带线长度进行计算。考虑开关布局及开关尺寸等因素,在对开关板进行布局过程中微带线有转弯的情况时,为了保证该矩阵开关良好的相位、幅度一致性良好的驻波、隔离度等特性,需对微带线转角进行计算,使其产生最小的反射,同时保证每条通路微带线长度的一致。微带线直角弯折的电流示意图如图 1(a)所示^[3]。在拐角地区如同有一个并联电容,路径的加长如同是两段短传输线或 2 个电感,因此其等效电路如图 1(b)所示。

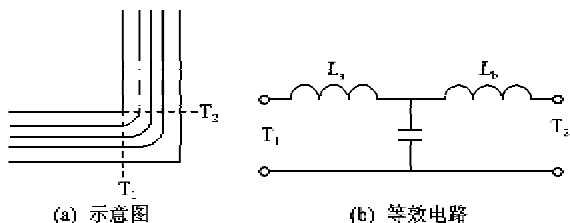


图 1 微带线直角弯折示意图及等效电路

实际上常希望拐角不引起反射,因此可将拐角削去一块^[4],现将不切角及 45°切角的微带线 S_{11} 曲线对比,如图 2 所示。图中, h 为微带线的介质厚度, w 为微带线宽, ϵ_r 为相对介电常数。

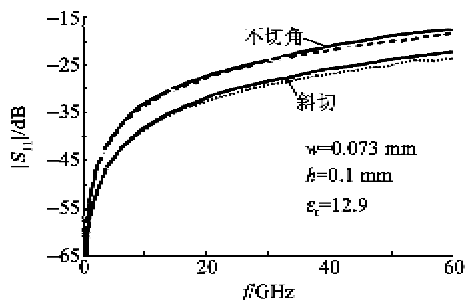


图 2 微带线切角与不切角 S_{11} 对比图

由图 2 可看出,将微带线切角能使其回波损耗变好。削去的尺寸要靠反复实验修改,图 3 为已发表的 2 个实验结果。由图可见,在同尺寸的微带线中,拐角宽为微带线宽度的 1.6 倍。在异尺寸的微带拐角中,微带拐角满足:

$$x_1 = 0.565w_1 \quad (1)$$

$$x_2 = 0.565w_2 \quad (2)$$

式中 w_1 、 w_2 分别为异尺寸微带线的宽度。根据实验,用 4 个相同的拐角每相隔半波长,测试的总插入

驻波比小于 1.1,插入衰减小于 0.3 dB。

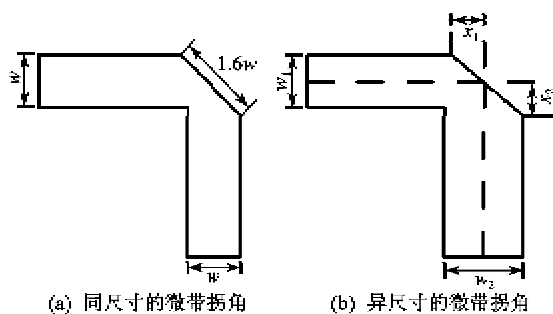


图 3 微带线切角尺寸计算

在考虑了微带线直角转弯尺寸后,也需要对其余微带线长度进行计算。只有将微带线转角及微带线的实际尺寸经过精确的计算后才能保证对于每条微带线通路设计长度的一致性,从而在设计上保证了相位、幅度的一致性。经测试证明,该理论对于微带线相位、幅度一致性的研究提供了有力的理论依据。

1.2 矩阵开关的设计和制作

该矩阵开关采用吸收式开关结构,分为 10 个输入,2 个输出。输入分为 5 组,接收来自 5 对天线的信号,并通过输入接口给天线供电。对于天线的供电采用 bias tee 将射频信号馈电到直流供电端口,同时用一个开关控制电流的通断情况。开关原理图如图 4 所示,其中 1 分 2 开关通过反相器控制引脚的高低电平,减少控制引脚数量。由图可见,输入的 5 组开关中每组第一个 1 分 2 开关用同一个控制引脚控制,而其后的第二个 1 分 2 开关采用分开控制方式。同时 1 分 5 开关同样采用分开控制的方式。

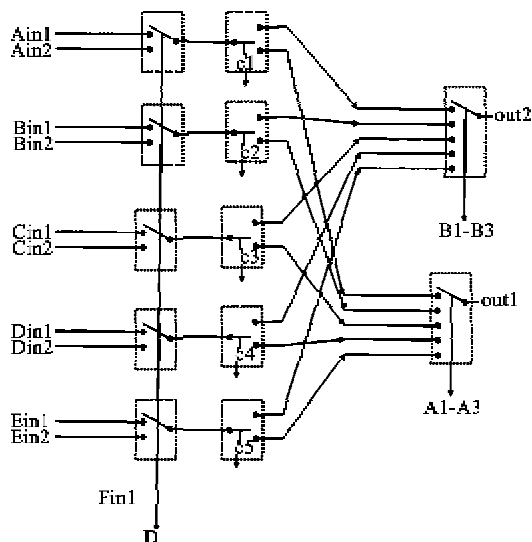


图 4 矩阵开关原理图

本文采用 8 个控制引脚通过复杂可编程逻辑器件(CPLD)输出控制信号控制开关的选通,使得每个输入均可对应不同的输出情况。该开关采用上下对插结构,使得对于每一块开关的性能测试、优化更方便。通过对于微带线长度的计算以及对于输入、输出的良好匹配使得开关矩阵具有良好的驻波比和相位和幅度一致性。

矩阵开关电路板采用罗杰斯 4350B 材料,相对介电常数为 3.66,厚为 0.508 mm,经过计算微带线宽为 1.06 mm。由于相位一致性的要求,在对矩阵开关进行设计过程中应注意保证各个通路微带线长度及元器件布局的一致性。在制作开关过程中,焊接和装配因素也应尽量保证一致,使得矩阵开关能得到良好的性能指标。实物图如图 5 所示。

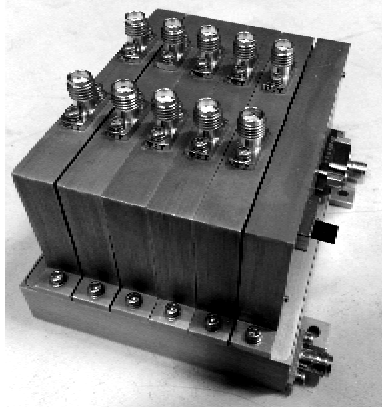


图 5 矩阵开关实物图

2 测试结果与讨论

通过安捷伦矢量网络分析仪对开关的性能指标进行测试。

驻波测试结果如图 6 所示。由图可见,在整个频带(即 $30 \sim 3\,000$ MHz)内驻波保持在 1.3 以下。

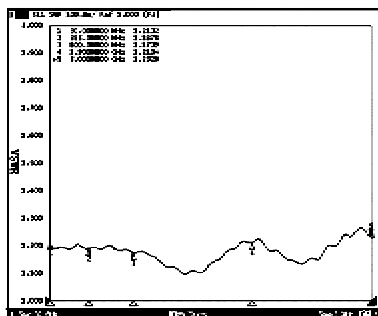


图 6 驻波比曲线

对于相位一致性的测试方式需要首先将基准相位进行归一化,然后计算整个频率范围内相位的差值,其结果作为相位一致性差值。测试结果如图

7 所示。图中相位采用毫度作为单位,由图可见,在 $30 \sim 3\,000$ MHz 内,相位一致性 $\leq \pm 1^\circ$ 。

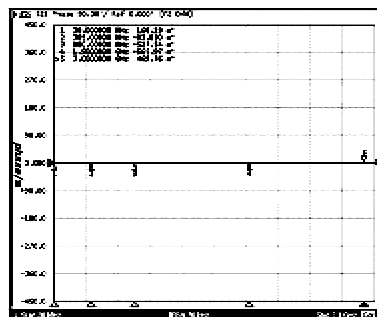


图 7 相位一致性曲线

对于幅度一致性的测试方法与相位一致性测试方法相同,即先将某一路作为基准幅度,对其进行归一化,然后计算测试通路与其的差值。测试结果如图 8 所示。由图可见,在 $30 \sim 3\,000$ MHz 内,幅度一致性 $\leq \pm 0.1$ dB。

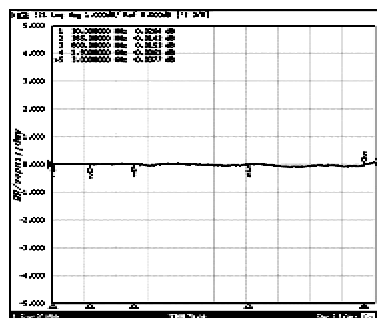


图 8 幅度一致性曲线

矩阵开关隔离度测试结果如图 9 所示。由图中曲线可见在整个频率范围内隔离度大于 40 dB。

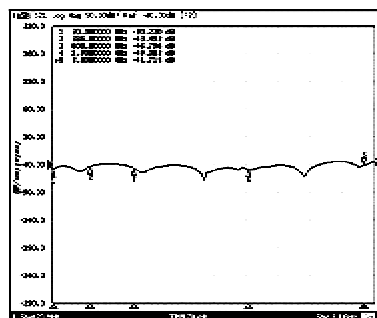


图 9 隔离度曲线

由图 6~9 可知,对于微带线长度以及转角的考虑保证了该矩阵开关良好的驻波特性和相位、幅度一致性。该矩阵开关在 $30 \sim 3\,000$ MHz,工作温度 $-20 \sim 55^\circ\text{C}$ 时驻波小于 1.3,隔离度大于 40 dB,相位一致性 $\leq \pm 1^\circ$,幅度一致性 $\leq \pm 0.1$ dB,优于设计要求的指标。

3 结束语

本文介绍了一个超宽带的 5×2 矩阵开关, 该矩阵开关在 $30 \sim 3\,000$ MHz 的带宽下保证了较小的驻波比特性和较大的隔离度。通过对于每条通路中微带线长度的设计、元器件的设计选取、设计以及 PCB 板的制造和装配等使得该矩阵开关具有良好的相位一致性和幅度一致性。同时该矩阵开关具有易调试、转换速率高及体积小等优点, 可应用于微波、射频系统中。

参考文献:

- [1] 蔡朝国, 杨国渝, 尤喜成. 2007 年全国微波毫米波会议论文集(上册)[C]//S. 1. : 中国电子学会, 2007.

(上接第 1034 页)

- [2] PERRIG A, STANKOVIC J, WAGNER D. Security in wireless sensor networks[J]. Communications of the ACM, 2009, 47(6): 53-57.
- [3] SHI E, PERRIG A. Designing secure sensor networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2010, 11(6): 38-43.
- [4] GUIMARAES G, SOUTO E, SADOK D, et al. Evaluation of security mechanisms in wireless sensor networks[C]//Brooklyn, USA: Proceedings of the 2011 Systems Communications, 2011: 428-433.
- [5] VOGT H, RINGWALD M, STRASSER M. Intrusion detection and failure recovery in sensor nodes[C]//Heidelberg, Germany: In Tagungsband Informatik 2008, Workshop Proceedings, LNCS, 2008: 49-54.
- [6] HARTUNG C, BALASALLE J, HAN R. Node compromise in sensor networks: the need for secure systems[C]//S. 1. : Technical Report CU-CS-990-05, Department of Computer Science, University of Colorado at Boulder, 2011: 165-171.
- [7] MISHRA A, NADKARNI K, PATCHA A. Intrusion detection in wireless Ad Hoc networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2012, 11(1): 48-60.
- [8] LIU Donggang, NING Peng, DU Wenliang. Detecting malicious beacon nodes for secure location discovery in wireless sensor networks[C]//Montreal, Quebec, Canada: Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'09)-Volume 0, 2009: 609-619.
- [9] ONAT I, MIRI I A. An intrusion detection system for wireless sensor networks[C]//Barcelona, Spain: IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMob'2012, 2012: 253-259.
- [10] SESHADRI A, PERRIG A, DOORN L V, et al. SWATT: soft ware-based attestation for embedded devices[C]//San Francisco, California, USA: Proceedings of the 2012 IEEE Symposium on Security and Privacy, 2012: 272-282.
- [11] DU W, FANG L, NING P. Lad: localization anomaly detection for wireless sensor networks[C]//Anchorage, AK, United States: In 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'11), 2011: 301-307.
- [12] DU W, DENG J, HAN Y S, et al. A witness-based approach for data fusion assurance in wireless sensor networks[C]//Tapa, USA: In IEEE 2009 Global Communications Conference (GLOBECOM), 2009: 154-160.
- [13] PRZYDATEK B, SONG D, PERRIG A. SIA: secure information aggregation in sensor networks[C]//Seattle, WA, USA: The ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sen-Sys'11), 2011: 92-97.