

文章编号: 2095-4980(2014)01-0081-04

W 波段单刀双掷开关

孔 斌, 雷闻章, 赵 伟, 张 勇, 徐锐敏

(电子科技大学 极高频复杂系统国防重点学科实验室, 四川 成都 611731)

摘 要: 实现了一种采用微波开关(PIN)二极管设计的低插损、高隔离度的 W 波段单刀双掷开关(SPDT)。电路采用了改进的 Y 型结和梳状线高通滤波器形式的鳍线结构, 有效提高了端口隔离度, 降低了插入损耗。仿真结果显示, 导通端口在 88 GHz~99 GHz 内的插入损耗小于 0.7 dB, 断开端口隔离度大于 58 dB。测试结果显示, 在频段 90 GHz~95 GHz 内, 输入端口与输出端口 1 之间的插入损耗低于 3.7 dB、隔离度高于 33 dB; 输入端口与输出端口 2 之间的隔离度高于 33 dB、插入损耗低于 3.8 dB。

关键词: 毫米波; 鳍线; 单刀双掷; 微波开关二极管

中图分类号: TN111

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201401.0081

W-band Single Pole Double Throw switch

KONG Bin, LEI Wen-zhang, ZHAO Wei, ZHANG Yong, XU Rui-min

(Fundamental Science on EHF Laboratory, University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: A W-band Single Pole Double Throw(SPDT) switch with low insertion loss and high isolation that based on Positive Intrinsic Negative(PIN) diodes is presented. The finline structure in the form of comb-line high pass filter and an improved Y-shaped junction are introduced into the circuits to increase the isolation and reduce the insertion loss. Simulated results show that in the range of 88 GHz~99 GHz, the insertion loss of the SPDT is less than 0.7 dB, and the isolation is more than 58 dB. In the range of 90 GHz~95 GHz, the insertion loss at output port 1 is less than 3.7 dB, and the isolation is greater than 33 dB, while at output port 2, the insertion loss is less than 3.8 dB and the isolation is greater than 33 dB, which are indicated by experimental results.

Key words: millimeter wave; finline; Single Pole Double Throw; Positive Intrinsic Negative diode

毫米波开关广泛应用于雷达、通信、导航、测量、电子对抗等领域, 在毫米波系统的控制中起着核心作用。毫米波开关的核心在于半导体控制器件的选择, 半导体控制器件有许多种类, 如场效应管、肖特基二极管、微波开关(PIN)二极管以及变容管等。其中, 由于 PIN 管开关^[1]具有结构简单、体积小、成本低, 损耗低和理想开关效果的开关特性等优点, 特别是对于大功率的微波控制有较大优势, 所以大部分微波毫米波控制电路都优先采用 PIN 管作为其核心控制器件, 用于完成信号在多个通道之间的切换^[2]。为方便 PIN 管的安装, 电路设计中采用微带传输线、共面波导和鳍线等传输线结构形式。国外对微波毫米波开关的研制时间相对较早, 取得了很多成果且近年来多采取微波单片集成电路形式研制 PIN 开关, Steinhagen F 等学者^[3]研制出基于共面波导的 W 波段单刀双掷(SPDT)开关和单刀三掷(Single Pole Triple Throw, SPTT)开关, 在 77 GHz~94 GHz 频段内, 插入损耗低于 1.6 dB, 隔离度高于 21 dB。国内开关研发起步相对较迟, 且基于鳍线形式加工方便, 适用频段高、阻抗特性好以及能量传输损耗低等特点, 鳍线式开关^[4-6]在国内是主要的研究方向之一。此外, 微机电系统(Micro Electron Mechanical System, MEMS)以其宽频带、较佳射频特性、良好线性度和较小功率消耗等优点, 已经踏入毫米波器件领域。然而同 PIN 管开关相比, MEMS 开关^[7-8]还有很多缺点, 如开关时间长, 开关在工作时间较长的情况下容易磨损, 导致效果变差, 加工工艺不足, 加工难度较大等。

本文介绍了一种采用多个 PIN 管并联方式设计的 W 波段单刀双掷开关, 通过采用改进的 Y 型结鳍线结构,

收稿日期: 2013-01-11; 修回日期: 2013-03-22

基金项目: 中央高校基本科研基金资助项目(ZYGX2011X002; ZYGX2011J018)

有效提高了端口隔离度,降低了插入损耗,同时方便 PIN 管的安放。具有结构简单,加工制作方便,性能指标较好,成本低等优点。

1 单刀双掷开关基本结构

单刀双掷开关电路基本结构如图 1 所示,鳍线结采用 Y 型结形式,三端口鳍线结构夹角均为 120° ,波导端口尺寸为 $2.54\text{ mm} \times 1.27\text{ mm}$ 。鳍线基片固定于波导宽边中央,实现能量的过渡作用。基片采用 RT5880,介电常数为 2.2,基片厚度为 0.127 mm 。端口 1、2 为输出端口。在鳍线过渡结构中,并联 4 只 PIN 二极管,二极管的两极焊在鳍线槽缝两侧,选取 Avago 公司的 HPND-4005 型号 PIN 二极管,此二极管为梁氏引线二极管。通过鳍线外部的偏置电路对 PIN 管进行供电,在输入端输入信号。在偏置电路 V_{cc} 处提供正向偏压时,端口 1 方向上二极管处于反偏状态,二极管截止,呈高阻抗状态;端口 2 方向上二极管处于正偏状态,二极管导通,呈低阻抗状态,此时端口 1 导通,端口 2 断开。在偏置电路供给反向偏压时,端口 1 方向上二极管处于正偏状态,二极管导通,呈低阻抗状态;端口 2 方向上二极管处于反偏状态,二极管截止,呈高阻抗状态。此时端口 1 断开,端口 2 导通,由此实现单刀双掷开关的功能。

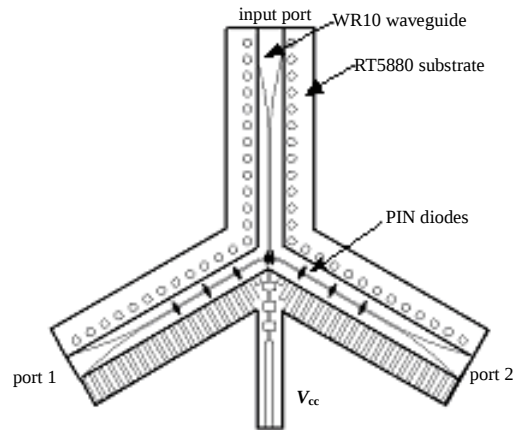


Fig.1 Schematic of SPDT switch
图 1 单刀双掷开关结构示意图

2 单刀双掷开关的设计

2.1 Y 型鳍线结设计

鳍线设计的关键因素在于鳍线槽缝宽度的设计^[5]。槽缝的宽度决定了鳍线的特性阻抗值大小。二极管并联于鳍线之上,二极管正偏状态下,槽缝宽度越大,鳍线特性阻抗越大,则隔离度越高;二极管反偏,特性阻抗变大,同样会导致该路的插损下降。相反,若是槽缝宽度变小,特性阻抗减小,二极管正偏状态下,隔离效果将下降,二极管反偏,插损将得到部分提升,故槽缝宽度单向变化不能同时满足插入损耗和隔离度的提升。其次, PIN 二极管并联于鳍线槽缝两侧,也要考虑到二极管尺寸,槽缝太小,梁氏引线二极管不容易安放在上面;槽缝太宽,露在鳍线上方的引线则会产生引线电感,将导致开关的性能下降。同时由于本文设计中是采用 Y 型结鳍线结构,必须考虑到二极管在 Y 型结处的安放,若是槽缝太窄,则会出现两输出端的首个二极管不能很好的安放于 Y 型结处的情况。综合上述多个因素,经过 HFSS 建模并多次优化仿真后,确定在槽缝宽度为 0.08 mm 时可得到最佳效果。

两输出支路均要放置多只二极管,从 Y 型结处出发,支路首个二极管的放置非常关键,对于该支路的插入损耗和隔离度的效果有极其重要的影响,必须合理选取管结距离(即第一支二极管到鳍线结的距离 θ_0)。对于 Y 型结管结距离 θ_0 的选取, Koh W L^[9]对此作了详细分析, θ_0 的计算值为距离鳍线结 -0.184° 或者 179.81° 时最佳,但是考虑到实际情况,距离 -0.184° 不太实际,因此安装首个二极管的有效位置是距离管结处略小于波导波长的二分之一处,但这个位置主要根据中心频率而定,可能造成开关的带宽较窄的状况,故二极管应尽量安装在管结处的位置,即 θ_0 越趋近为 0 越好。

实际中在安装管结处二极管时,由于二极管外壳封装较大,导致安放在两输出支路上的首个二极管距鳍线结距离较远(如图 2(a)所示),鳍线结处 PIN 管较难放置到合适的位置,因此,为了保证首个管结距离 θ_0 尽量小,设计中,在保证波导和基片形状不变的情况下,基于文献[10]中所讲述的 Y 型结鳍线结构 SPDT 开关,以及文献[11]

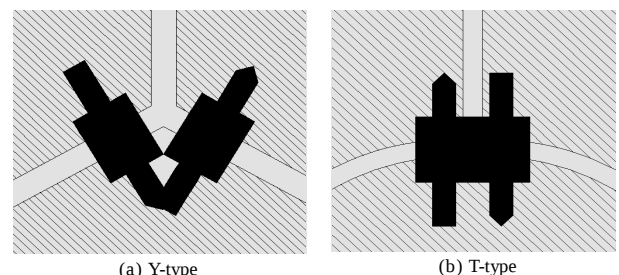


Fig.2 Architecture of PIN diodes' placement
图 2 PIN 管在鳍线结处的安放位置

中采用的 Y 型渐变结构,调整鳍线结构,将鳍线 Y 型结改变成类似 T 型结的结构,同时在鳍线结中间位置设置一个凸出结构,以降低鳍线结的不连续性,这样既保证了鳍线信号传输的连续性,也可以保证二极管可以准确地安装在鳍线结位置处(如图 2(b)所示)。改进后的鳍线结结构如图 3 所示。

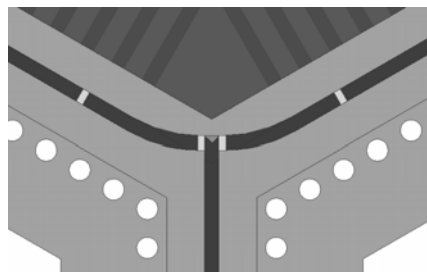


Fig.3 Structure of the improved finline junction
图 3 改进的鳍线结结构

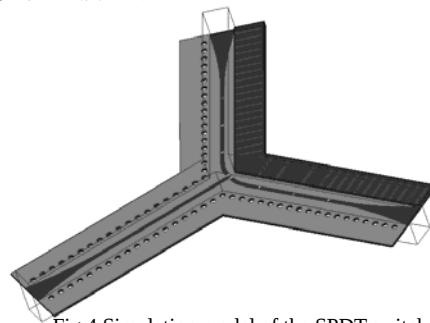


Fig.4 Simulation model of the SPDT switch
图 4 单刀双掷开关仿真模型图

2.2 梳状线鳍线结构设计及全局仿真

考虑到实际结构中,鳍线基片嵌入在波导宽边中央,鳍线边缘部分会超过波导壁,而鳍线结构中,除了绝大部分能量处于槽缝附近外,还有少许能量在鳍线边缘部分,故必须采取合理鳍线边缘电路结构来抑制边缘能量的泄漏。对于接地一侧,可采用打通孔的方法来达到接地和抑制能量泄漏的效果,此处根据实际加工条件和仿真优化,最终选取打孔直径为 0.3 mm,孔间间距为 0.5 mm,通孔边缘偏离波导壁距离为 0.1 mm。对于非接地一侧,鳍线边缘延伸部分主要是方便安装和添加偏置电路,故延伸距离不能太短,如若采用直接延伸鳍线边缘的方式,会造成边缘信号的泄漏较为严重,梳状线枝节^[11]的设计是基于传统鳍线结构的改进,该结构用于抑制鳍线边缘产生的 TEM 模,同时也对毫米波信号的泄漏有很好的抑制,可提高开关的隔离效果。

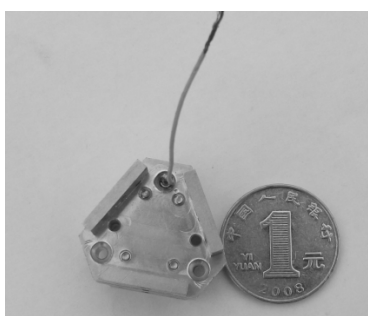


Fig.6 Photograph of the fabricated SPDT switch
图 6 单刀双掷开关实物图

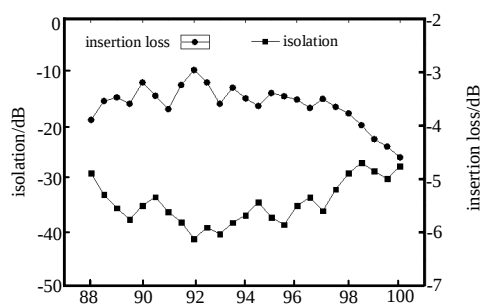


Fig.7 Measured results of the output port1 of the SPDT switch
图 7 单刀双掷开关输出口 1 插损和隔离度测试结果图

根据以上分析和设计,在 HFSS(High Frequency Structure Simulator)三维全波仿真软件中建立 W 波段鳍线单刀双掷开关的仿真模型,如图 4 所示。仿真结果曲线图如图 5 所示,仿真结果显示,导通端口在 88 GHz~99 GHz 内插入损耗小于 0.7 dB,断开端口在 88 GHz~99 GHz 内隔离度小于 58 dB。

3 单刀双掷开关的测试结果

通过前期的电路分析以及仿真工作,为单刀双掷开关确定了最佳尺寸,并且完成了腔体加工,腔体材料采用铜,

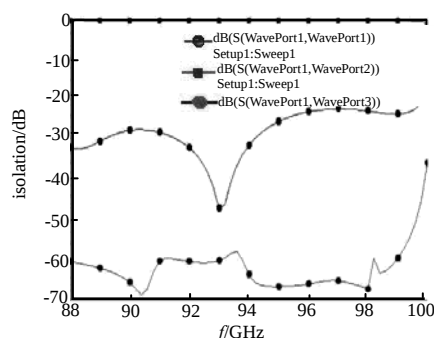


Fig.5 Simulation results of the SPDT switch
图 5 单刀双掷开关仿真曲线

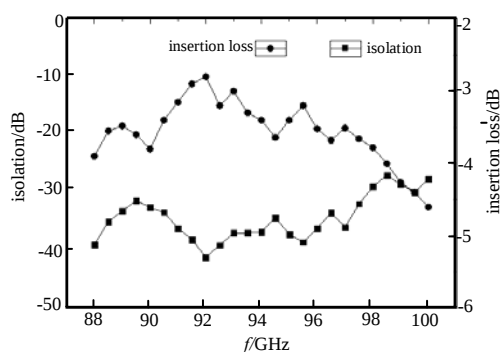


Fig.8 Measured results of the output port2 of the SPDT switch
图 8 单刀双掷开关实测输出口 2 插损和隔离度结果图

表面镀金,加工实物如图6所示。图7和图8为单刀双掷开关的实测结果。测试结果显示,在目标频段90 GHz~95 GHz内,端口1插入损耗低于3.7 dB,隔离度高于33 dB,端口2插损值低于3.8 dB,隔离度高于33 dB,实现了低插损和高隔离度的特性。

4 结论

本文采用PIN二极管完成了W波段单刀双掷开关的设计。结构简单,加工、安装都极为方便,测试结果表明,采用改进的Y型结和梳状线高通滤波器形式的鳍线结构成功实现了低插损、高隔离度的W波段波导开关。

参考文献:

- [1] White J F. Microwave Semiconductor Engineering[M]. New York:Van Nostrand Princeton, 1982.
- [2] 杨秀强,杨先国. 一种新颖双馈电型PIN开关[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010,8(4):444-446. (YANG Xiuqiang, YANG Xianguo. A Novel Double-Fed PIN Diode Switch[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010,8(4):444-446.)
- [3] Steinhagen F, Massler H, Haydl W H, et al. Coplanar W-Band SPDT and SPTT Resonated PIN Diode Switches[C]// 29th European Microwave Conference. Freiburg:[s.n.], 1999:53-56.
- [4] 邹涌泉,甘体国. 毫米波宽带鳍线PIN管开关[J]. 电讯技术, 2000(1):8-11. (ZOU Yongquan, GAN Tigu. Microwave Broadband Finline PIN Switch[J]. Telecommunication Engineering, 2000(1):8-11.)
- [5] 徐锐敏,谢俊,延波,等. 一种新颖的鳍线单刀双掷开关[J]. 红外与毫米波学报, 2001(4):301-303. (XU Ruimin, XIE Jun, YAN Bo, et al. A Novel Finline SPDT Switch[J]. Journal of infrared and millimeter, 2001(4):301-303.)
- [6] 杨健. W波段单刀单掷开关和单刀双掷开关[D]. 成都:电子科技大学, 2005. (YANG Jian. W Band SPST Switch and SPDT[D]. Chengdu:University of Electronics Science and Technology of China, 2005.)
- [7] 谢兴军,单红,苏伟. 低激励电压微波MEMS开关的理论分析和仿真[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2003,1(4):281-283. (XIE Xingjun, SHAN Hong, SU Wei. Theoretical Analysis and Simulation on a Low Voltage Actuated Microwave MEMS Switch[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2003,1(4):281-283.)
- [8] 张晓升,鲍景富,杜亦佳,等. X波段MEMS分布式移相器开关机电性能研究[J]. 现代电子技术, 2010(13):1-3. (ZHANG Xiaosheng, BAO Jingfu, DU Yijia, et al. Research on Electro-mechanical Performance of Switch for MEMS Distributed Phaser Working in X Band[J]. Modern Electronics Technique, 2010(13):1-3.)
- [9] Koh L W, Williamson I M H, Nyss M L, et al. Ka-Band Fin-Line SPDT Switch[J]. Microwave Journal, 1983(6):105-107.
- [10] 何立权,王春荣. 三毫米波鳍线PIN管SPDT开关[J]. 东南大学学报, 1992(3):118-124. (HE Liqun, WANG Chunrong. W-Band Fin-Line SPDT Switch[J]. Journal of Southeast University, 1992(3):118-124.)
- [11] Mittal A, Bahuguna U. Wide-Band PIN Diode SPST Switch in Unilateral Asymmetric Finline[J]. International Journal of Electronics, 2001(4):499-505.)

作者简介:



孔 斌(1967-), 男, 江苏省镇江市人, 讲师, 主要研究方向为微波毫米波电路与系统。
email:kongbin@uestc.edu.cn.

雷闻章(1986-), 男, 重庆市铜梁县人, 硕士, 主要研究方向为微波毫米波电路与系统。

赵 伟(1986-), 男, 山东省泰安市人, 在读博士生, 主要研究方向为微波毫米波电路与系统、固态太赫兹技术。

张 勇(1975-), 男, 四川省南充市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为固态太赫兹技术、微波电路建模与仿真、微波毫米波集成电路。

徐锐敏(1958-), 男, 四川省乐山市人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为微波毫米波电路与系统、微波单片集成电路、宽禁带半导体器件。先后获省部级科技成果一等奖1项, 二等奖3项, 三等奖8项, 获国家发明专利5项。国内外刊物发表论文100余篇。

