

基于腔体滤波器的可调谐微波开关的设计

翁璐¹, 马慧瑾², 刘收²

(1. 海军装备部军械装备局, 北京 100063; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

摘要: 为了满足无人机数据链路测试中信号转换的需求, 提出一种可调谐的 S 波段分波道微波转换开关设计方案, 其中采用开关控制电路对输入微波信号进行分波道选择, 两路加载集总电容的三阶方杆梳状腔体滤波器对微波信号进行选频、滤波, 同时可通过调节调谐螺钉实现两波道中心谐振频点同频或异频, 调谐中心频率范围可达 20 MHz, 自由度较高; 微波开关经参数仿真结果满足设计要求, 研制完成的微波开关经过实际测试和应用验证, 各项技术指标满足使用要求, 同时该微波转换开关具有大功率、低损耗、高隔离度等优点, 性能稳定、自由度高、易于实现, 可满足无人机数据链路测试诊断的信号转接要求。

关键词: 微波开关; 腔体滤波器; 可调谐

Design of Tuning Microwave Conversion Switch Based on Cavity Filters

Weng Lu¹, Ma Huijin², Liu Shou²

(1. Ordnance Equipment Bureau of Naval Equipment Department, Beijing 100063, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Corp., Beijing 100041, China)

Abstract: In order to meet the requirement of the signal conversion during the test of the airborne data link of UAV, we advance a tuning S-band double-way microwave conversion switch. The switch-control circuit choose the microwave signal among the double ways. The two pectinate cavity filters loaded capacitance select available signals and get rid of unavailable signals, and the tuning bolts can realize same or different central synton frequency. The range of the tuning frequency can reach 20 MHz. It is very flexible. This microwave conversion switch has the advantages of bigger power, lower insertion loss, high isolation, and easy-realized, can meet the electronic counter requirement of radar requirements.

Keywords: microwave conversion switch; cavity filter; tuning

0 引言

近年来, 随着相控阵雷达、微波数字通信、卫星通信、机载数据链等装备及其测试保障技术的发展, 微波测试系统中出现了大量的微波控制电路, 如采用微波开关电路作为控制器件实现微波信号的通、断或转接, 其性能的优劣往往会直接影响整个装备或测试系统的质量, 这类微波开关器件在各种军用雷达、通信电台、射频微波导航制导设备、卫星通信、机载数据链以及电子对抗等多个领域, 扮演着不可或缺的角色^[1]。

无人机数据链路测试决定了起飞后是否能够在微波频段范围内实现对无人机的遥控、遥测、侦察视频信息传输, 以及对无人机的跟踪定位。微波转换开关在是微波数据链路测试系统中起着信号转换的重要作用, 同时在相控阵雷达、电子对抗、微波通信、卫星通信以及微波测量等方面也有着广泛的应用^[2]。微带元件具有功率容量低、插损大等缺点, 而腔体滤波器能够承受高功率, 并且具有低插损、高抑制、窄带宽等良好性能^[3]。本文将腔体滤波器结构集成在微波转换开关的设计中, 可实现微波转换开关大功率、窄带通、低损耗、高隔离度等优点, 性能稳定、自由度高、易于实现, 满足各种体制雷达及机载数据链的要求, 且适应于环境恶劣的场所, 具有较好的经济效益和军事效益。

1 设计原理

根据系统分析, 基于腔体滤波器的可调谐微波开关的设计

收稿日期: 2016-07-06; 修回日期: 2016-07-19。

基金项目: 国家自然科学基金项目(A0420132302)。

作者简介: 翁璐(1979-), 女, 湖北襄阳人, 主要从事海军军械装备管理方向的研究。

要求如下:

- 1) 工作频段: S 波段;
- 2) 接通损耗: ≤ 1.5 dB;
- 3) 关断隔离度: ≥ 35 dB;
- 4) 带宽: 160 MHz。

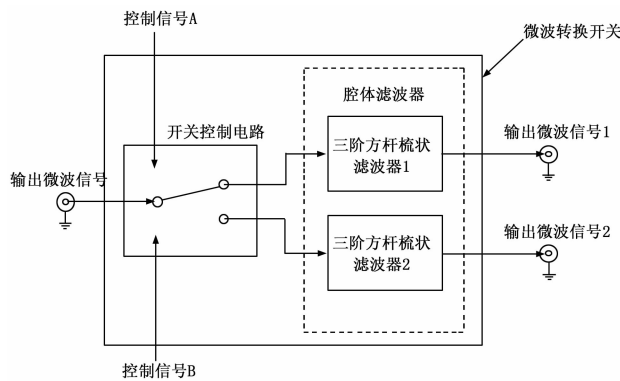


图1 分波道微波转换开关工作原理框图

整个分波道微波转换开关由一个开关控制电路和两个腔体滤波器组成, 如图1所示。开关控制电路在控制信号 A 和控制信号 B 的作用下对输入的 S 波段微波信号进行通道选择, 使其中的一路有微波信号输出, 另一路无微波信号输出。两路腔体滤波器的作用是滤除带外寄生信号, 保证混频器能抑制镜频干扰, 并减弱寄生输出信号。每个滤波器的结构设计为加载集总电容的三阶方杆梳状窄带腔体滤波器, 主要对开关控制电路输出的微波信号进行窄带选频、滤波。每路腔体滤波器可通过调节 3 个调谐螺钉深度, 调谐得到各自中心频率, 两路同频或异频都可, 调谐中心频率范围可达 20 MHz^[4]。

2 各分模块的设计

2.1 开关控制电路的设计

开关控制电路的主要作用是根据输入的直流控制信号, 对输入的微波信号进行路径选择, 为了简化设计难度和调试难度, 开关控制电路选用 HITITITE 公司的 HMC435MS8GE 芯片作为主芯片进行设计, 该芯片工作带宽为 DC~4 GHz, 且无需电源供电, 属于无源芯片, 控制端的电压为 0/+5 V, 低电平有效, 两个控制端 A、B 根据不同的电压组合来选择不同的路径, 简化了设计难度和调试难度。开关控制电路的设计如图 2 所示。

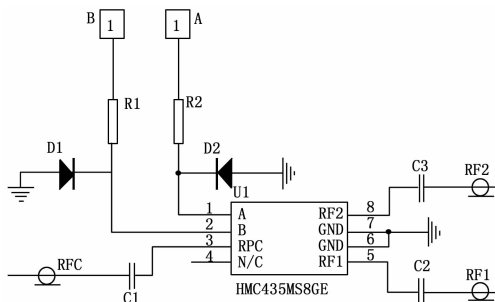


图 2 开关控制电路原理图

图 2 中 X1 为输入信号, X2 和 X3 为输出信号, A、B 为控制输入端, C1、C2、C3 分别为端口隔直电容, R1、R2 为保护电阻, D1、D2 为端口保护二极管, 目的是防止控制信号出现负电压损坏芯片。开关控制电路的信号通断真值表如表 1 所示。

表 1 开关控制电路信号通断真值表

控制输入信号		信号通路状态
A	B	
0 V	5 V	RF1
5 V	0 V	RF2

2.2 分波道滤波器的仿真设计

分波道微波转换开关中腔体滤波器的作用是滤除带外寄生信号, 保证混频器能抑制镜频干扰, 并减弱寄生输出信号。分波道滤波器采用三阶方杆梳状腔体滤波器, 即由 3 个 TEM 模谐振器之间直接耦合的平行耦合线阵列构成, 每个谐振杆装有调谐螺钉, 通过调节调谐螺钉的深度, 来调谐滤波器的中心谐振频率^[5]。

设计时, 通过梳状线滤波器结构计算耦合系数, 确定谐振杆导体间距和腔体尺寸。为减小体积, 在梳状线滤波器各谐振器顶端设置调谐螺钉, 调试时通过调谐螺钉深度来调节电容值大小, 实现调谐腔体中心谐振频率 f_0 。输入输出装置采用探针耦合方式, 输入输出波导传输线直接搭焊在最外侧的两谐振杆导体内, 输出连接到壳体上的 SMA 转接器内芯。图 3 为微波转换开关两分波道滤波器的结构设计仿真效果图。

图 4 为转换开关滤波器仿真得到的传输系数曲线, 通过曲线可以看出, 中心频点 f_0 处接通损耗 S21 为 -0.5 dB, 带宽约 160 MHz, 通道隔离 S31 为 -65 dB, 满足设计要求。

3 测试与分析

微波转换开关的腔体、梳状谐振杆和调谐螺钉的材料为黄

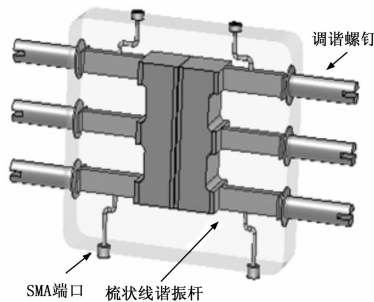


图 3 分波道滤波器结构设计仿真

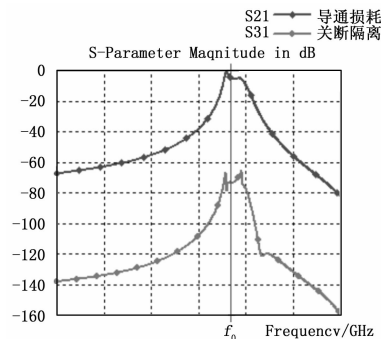


图 4 分波道滤波器仿真结果

铜, 输入输出同轴传输线采用殷钢, 各加工件表面均镀银。由于窄带滤波器对 Q 值较敏感, 通过提高内腔表面的光洁度要求, 来保证滤波器较高的 Q 值和较低的插损^[6]。

为了验证微波开关的性能, 通过矢量网络分析仪对微波转换开关进行测试。矢量网络分析仪经过校准后, 矢量网络分析仪测试端口经测试线缆分别连接端口 X1 和 X2, X3 端口加 50 欧姆匹配负载。测试 RF1 通道导通时, 此时微波开关控制端 A 加 0 V 电压, 控制端 B 加 5 V 电压, 矢量网络分析仪测试的是 X1 到 X2 的导通损耗, 当控制端 A 加 5 V 电压, 控制端 B 加 0 V 电压, 此时 RF2 导通, 矢量网络分析仪测试的 X1 到 X2 的关断隔离度。

表 2 和表 3 分别列出了在 S 波段 4 个不同频点下微波开关不同导通状态的试验数据结果。

表 2 X2 导通时测试结果

频段	频点	导通损耗(X1 to X2)	关断隔离度(X1 to X3)
S 波段	f_1	1.2 dB	37.2 dB
	f_2	1.3 dB	39.1 dB
	f_3	1.0 dB	37.4 dB
	f_4	4.1 dB	41.2 dB

表 3 X3 导通时测试结果

频段	频点	导通损耗(X1 to X3)	关断隔离度(X1 to X2)
S 波段	f_1	1.3 dB	39.3 dB
	f_2	1.4 dB	37.4 dB
	f_3	1.1 dB	36.3 dB
	f_4	4.2 dB	42.4 dB

测试结果表明: 在测试的 4 个频点中, 其中 f_1 、 f_2 、 f_3 均在滤波器带宽内, 导通损耗都小于 1.5 dB, 关断隔离度大于 36 dB, f_4 在滤波器带外, 因此会出现频点 f_4 的导通损耗

大于其余 3 个频点的现象。该微波转换开关可以通过调节螺钉，使滤波器中心谐振频率在 20 MHz 范围内进行调整，可实现两分波道同频或异频，以满足不同场合的需求。

4 结束语

本文设计了一种可调谐的 S 波段分波道微波转换开关，S 波段输入微波信号在控制信号的作用下可选择两路不同输出通道，并将两路腔体滤波器对输入微波信号进行选频、滤波，两分波道输出频率同频或异频都可，自由度较高，调谐频率范围可达 20 MHz。该微波转换开关具有大功率、窄通带、低损耗、高隔离度等优点，性能稳定，易于实现，满足某型机载数据链测试要求，且适应于环境恶劣的场所，具有较好的经济效益和军事效益。

(上接第 177 页)

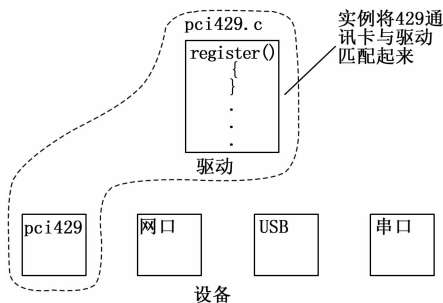


图 5 Vxbus 驱动实例模型

驱动程序注册主要包括 vxDevRegInfo 结构体初始化和调用 vxDevRegister 函数两部分，vxDevRegInfo 结构体提供了驱动注册所需的相关信息，初始化代码如下：

```

LOCAL struct vxDevRegInfo pci429DevRegistration =
{
...
VXB_DEVID_DEVICE, /* devID */
VXB_BUSID_PCI, /* busID = PLB */
" arinc429", /* drvName */
&pci429Funcs, /* pDrvBusFuncs */
pci429DriverCtrl, /* pMethods */
...
};

```

驱动初始化 3 个阶段主要完成内存空间、I/O 空间和中断等资源的申请以及实例的建立，使上层应用程序可以正常使用驱动程序。在 pci429DevRegistration 结构中 pci429Funcs 提供了设备驱动初始化 3 个阶段的入口地址，定义如下：

```

LOCAL struct drvBusFuncs pci429Funcs =
{
pci429InstInit, /* devInstanceInit */
pci429InstInit2, /* devInstanceInit2 */
pci429InstConnect /* devConnect */
};

```

在 pci429InstInit2 函数中主要负责获取硬件设备相关的资源，vxRegMap 函数进行板卡基地址映射，从而调用相关的读写函数对设备卡进行操作。

代码如下：

```

LOCAL void wrsampleInstInit2(VXB_DEVICE_ID pInst )
{

```

参考文献：

[1] 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.

[2] 刘呈斌，徐 军，罗慎独. 高隔离微带 PIN 单刀单掷开关 [A]. 2003 年全国微波毫米波会议 [C]. 2003: 307-310.

[3] 袁婷婷，陈晓娟，陈中子，等. 隔离度大于 95dB 的 Ku 波段微带型开关 [J]. 半导体学报，2008, 29 (10): 2034-2037.

[4] 张 华，孙 健，陶若燕. C 波段窄带腔体滤波器设计 [A]. 2007 年全国微波毫米波会议论文集 [C]. 2007, 10: 1135-1138.

[5] 张晓齐. 圆杆梳状及交指带通滤波器的计算机辅助设计 [J]. 微波，1985, 4: 16-26.

[6] 马慧瑾，刘忠健等. 一种可调谐的窄带圆杆梳状腔体滤波器的设计 [J]. 计算机测量与控制，2013, 21 (11): 3083-3086.

```

...
VXB_PCI_BUS_CFG_READ (pDev, PCI_CFG_VENDOR_ID, 2,
&.venId);
VXB_PCI_BUS_CFG_READ (pDev, PCI_CFG_DEVICE_ID, 2,
&.devId);
/* find the memory mapped window for the device registers */
for (i = 0; i < VXB_MAXBARS; i++)
{
if (pInst->regBaseFlags[i] == VXB_REG_MEM)
break;
}
pDrvCtrl->pci429Bar = pInst->pRegBase[i]; /* store the
base address */
vxRegMap (pInst, i, &pDrvCtrl->pci429Handle); /* map the
window */
...
}

```

在 pci429InstConnect 函数中完成硬件启动时相关资源的配置，包括中断部分、发送部分部分、接收部分以及状态命令字段。

4 试验结果与分析

EFIS 实时准确的更新飞艇模型发送的飞行状态信息，并且飞艇模型随着飞控计算机操作命令的不同，实时准确的变换着飞行姿态。实验证明，ARINC429 通讯卡驱动程序保证了飞艇仿真系统稳定、可靠和实时性的通信。

5 结论

飞艇仿真系统模型计算机和飞控计算机分别采用 xpc 系统和 vxworks 系统，ARINC429 驱动程序保证仿真系统在不同操作系统之间的实时通信，同时 ARINC429 驱动程序为上层应用程序访问 ARINC429 通信卡提供基础。

参考文献：

[1] 王 蒙. 基于嵌入式系统的 SpaceWire 总线驱动技术研究 [J]. 计算机测量与控制，2014, 22 (2): 483-485.

[2] 宋 炜，祖家奎. 基于 x P C 目标的实时 I/O 接口技术研究 [J]. 计算机应用，2008, 27 (1): 62-65.

[3] 李 焱. VxWorks 下 82C55A 并口驱动系统设计及测试 [J]. 计算机测量与控制，2010, 18 (2): 261-263.

[4] 曹桂平. Vxworks 设备驱动开发详解 [M]. 北京：电子工业出版社，2011.

[5] Wind River System Inc. VxWorks programmer's guide [Z]. Wind River System Inc. , 1999.