

SPDT、SP3T 大功率 PIN 开关

● 阳 明

(成都 610036·电子工业部第二十九研究所)

【摘要】描述了 2—4GHz、8—12GHz 的 SPDT 和 8—12GHz 的 SP3T 大功率 PIN 开关的设计方法、实现过程和测试结果。其连续波功率最大可承受 80W,插入损耗小于 1.8dB、隔离度大于 25dB、驻波比小于 1.8、开关时间小于 1 μ s。具有功率容量大、工作频带宽、可靠性高、成本低、调试简单等特点。

关键词 PIN 开关

0 引言

大功率 PIN 开关主要用于多波束、大功率发射阵,完成波束选择控制和波束指向控制,以实现微波功率的空间合成。采用多个开关的组合,理论上可以实现对任意多个波束的控制。

随着电子对抗技术的飞速发展,传统的小信号微波部件已难以满足大功率系统的需要,大功率微波部件正得到越来越广泛的应用。大功率 PIN 微波开关(承受连续波 100W)近年来在国外得到了极大的重视并获得了迅速的发展,由于其技术难度极大,目前有详细介绍的生产厂家屈指可数,且售价都非常昂贵。国内也有个别单位在进行这方面的研制工作,但其主要技术指标(连续波功率承受能力)根本不能与国外同类产品相比。

大功率 PIN 开关的技术难度,主要体现在微波电路结构、设计、实现、及散热问题和驱动器电路等方面,尤其是宽带、多掷开关难度更大。目前国外以美国 HEI 公司和以色列 Elisra 公司为代表的个别微波公司在这方面已取得了突破,采用特制的大功率 PIN 二极管、高导热性能的电路材料和专用高速、大电流(电压)驱动器、特殊的腔体结构,已有了最多至单刀 6 掷(30%的工作带宽)的大功率(连续波 100W)PIN 开关系列产品问世,具有性能优良、可靠性高的特点。

我们根据小信号微波开关的设计经验结合大功率微波开关的特点,折衷考虑开关的各个技术指标,确定了电路形式,同时为便于安装、调试和散热,采用了特殊的电路结构和新颖的电路材料,通过优选 PIN 二极管管芯、计算机辅助设计和最新微组装工艺技术,获得了满意的结果。

1998 年 2 月 19 日收到

1 工作原理及电路特点

1.1 开关电路的选择与实现

众所周知,微波开关电路的结构以二极管的安装形式来确定有三种:串联型、并联型和串/并联型。如图 1 示。

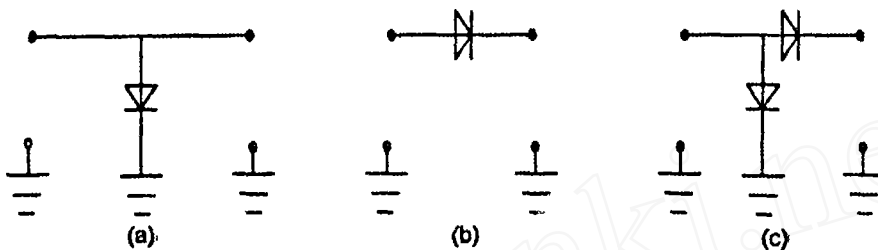


图 1 (a)并联安装型 (b)串联安装型 (c)串/并联安装型

根据理论分析,这三种二极管安装形式的开关功率容量的表达式如表 1 示。其中 R_f 为二极管的正向微波电阻, Z_0 为系统的特性阻抗, P_{DM} 为二极管的最大耗散功率, V_B 为二极管的反向击穿电压。实际应用中必须取 P_{AM1} 和 P_{AM2} 中的较小者为开关的功率容量值。从理论分析来看,串联安装二极管形式的开关功率容量最大。但实际上,开关的功率容量不仅与 PIN 二极管的性能和安装形式有关,还与开关的电路结构、散热情况及工作状态有关。实验表明,串联安装的二极管对管子的散热极为不利,虽然管子的实际功耗并不大,但由于散热不好而使管子的温升很快,导致开关的可靠性下降,功率容量大幅度减小。

表 1 三种型式开关的功率容量

功率容量	并联安装	串联安装	串/并联安装
(由 P_{DM} 决定) P_{AM1}	$\frac{(2R_f + Z_0)^2}{4R_f Z_0} P_{DM}$	$\frac{(R_f + 2Z_0)^2}{4R_f Z_0} P_{DM}$	$\frac{(2R_f + Z_0)^2}{4R_f Z_0} P_{DM}$
(由 V_B 决定) P_{AM2}	$\frac{V_B^2}{2Z_0}$	$\frac{V_B^2}{8Z_0}$	$\frac{V_B^2}{8Z_0}$

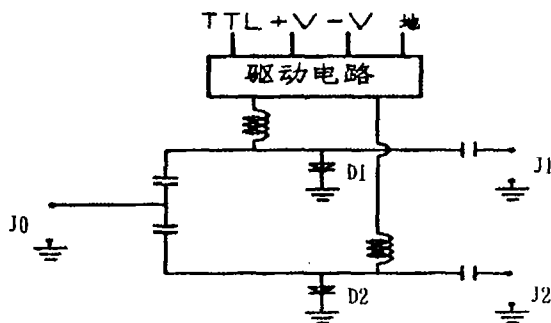


图 2(a) SPDT 开关

并联安装的二极管由于二极管管芯直接安装在电路载板上,使管子的耗散功率产生的热量很快地散发掉,保证了开关工作的可靠性,其实际的功率容量远大于串联型和串/并联型开关。所以我们采用并联安装二极管的电路形式来实现大功率微波开关。串/并联二极管安装形式开关的功率容量与串联形式相同。

1.2 开关工作原理

图 2 为大功率开关构成框图,它由微波电路和驱动电路构成。从图 2 可见,通过控制

驱动器的输入 TTL 电平,使驱动器输出所需要的不同极性的电流或电压,给开关的各支路加偏置,就能达到对开关支路的通、断控制,从而实现对微波信号通路的选择。

由于 SPDT 开关与 SP3T 开关的工作原理完全相同,为简单起见,这里只给出了 SPDT 开关的电原理图。

图 3 为 SPDT 开关电原理图,当偏置端 B1 加负偏,同时给偏置端 B2 加正偏时,并联二极管 D1 截止呈结电容,并联二极管 D2 导通呈小电阻,由于从公共端的 T 形结中点到各支路的并联二极管处的距离均为 $\lambda_{g0}/4$,这时从公共端到 J2 支路的输入阻抗非常大,相当于开路,使支路 J2 处于信号隔离状态,而支路 J1 此时处于信号导通状态。反之亦然。

由此可见,通过改变各支路的偏置特性就能实现公共端到两个支路间微波信号的通、断与转换。

类似地,对于 SP3T 开关来说,给要求导通的支路加负偏,其余两个隔离支路均加正偏。

1.3 驱动器电路工作原理

图 4 为驱动器的简化电路图。当 INPUT 为 TTL 高电平时, Q1 截止, Q2 导通, OUTPUT 为负电压;当 INPUT 为 TTL 低电平时, Q1 导通,同时 Q3 保证 Q2 可靠截止, OUTPUT 为正电压,加速电容 C1 在 Q1 导通瞬间产生正向峰值电流,加速开通时间。

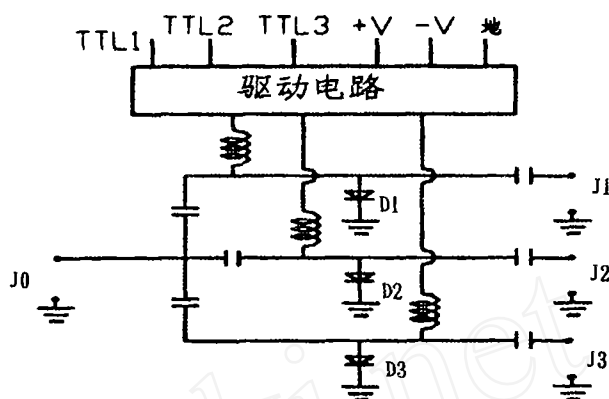


图 2(b) SP3T 开关

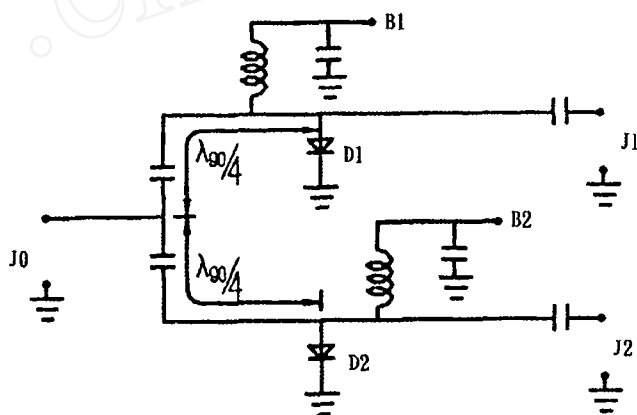


图 3 SPDT 开关电原理图

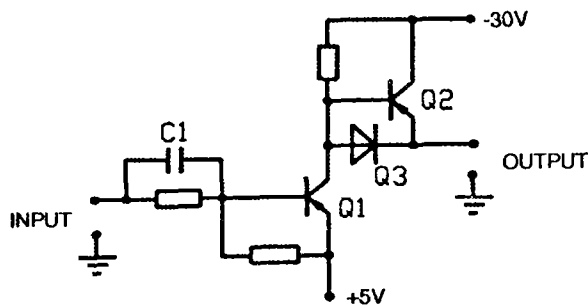


图 4 驱动器简化电路图

2 主要关键技术及实现方法

2.1 宽带、低损耗、大功率 SPDT、SP3T 开关的电路结构

根据前面的分析,折衷考虑开关的各个要求的技术指标及偏置电路形式,结合小信号微波开关设计经验,通过反复试验,选择了如图 2 示的全并联二极管电路结构形式。

2.2 大功率 PIN 二极管的选择

为了满足大功率的工作条件,首先必须选用能承受大功率的 PIN 二极管,同时管子的其它参数必须适合在微波频带工作,即管子参数的确定,这是非常重要的。

2.3 大功率 PIN 开关微波电路的计算机优化设计

对于大功率 PIN 开关电路,必须采用计算机优化设计,使开关的损耗最小,隔离最大,驻波最佳。根据图 2,利用 Touchstn 软件可以写出 SPDT、SP3T 开关的电路文件,将 PIN 二极管和电路的各个参数代入电路文件并给出优化目标进行优化,就可得到优化后的电路尺寸。

2.4 电路结构与散热问题的考虑

目前关于大功率 PIN 开关电路设计的资料很少,尤其是电路结构与散热问题的设计根本没有资料介绍。而这又正是大功率 PIN 开关设计中最关键的问题。采用无封装管芯、导热性能优良的氧化铍陶瓷及适当的散热板,获得了较好的结果。

2.5 快速、大电流、高负压驱动器的设计

为了使 PIN 管正常工作,驱动器非常关键。通过外协,采用微电子集成电路工艺与优化设计技术相结合,较好地解决了快速、大电流、高负压的指标要求。

2.6 封装与可靠性设计

在大功率状态下封装问题特别重要,设计不良就会产生谐振和泄漏,使电路的损耗急剧增大、电磁兼容能力降低。通过计算机电磁场仿真技术,将腔体结构可能引起的色散效应消除,保证了可靠性和电磁兼容能力。为了方便使用、维修,开关电路的微组装机工艺给予了特殊的考虑。同时采用全密封结构,可拆卸接头,使其可靠性大大提高。

3 结果

三种大功率 PIN 开关的主要技术指标见表 2,小信号测试曲线如图 5、图 6、图 7 所示。目前正在研制的 7.5~18GHz 的 SPDT 大功率 PIN 开关也获得了满意的效果。实验

表明,进一步优选 PIN 二极管,开关的性能还可改善。

表 2 SPDT SP3T 大功率 PIN 开关主要技术指标

开关类型	SPDT	SPDT	SP3T
工作频率(GHz)	2~4	8~12	8~12
插入损耗(dB,max)	1.3	1.4	1.7
驻波比(max)	1.5	1.8	1.8
隔离度(dB,min)	60	25	25
开关时间(μ s,max)	0.5	0.5	1
承受 CW 功率(W,max)	100	80	80

致谢

该项工作的研制得到了有关部门、各级领导的大力支持和关心,张忠敏、高能武、秦耀利、李作保、张洋、刘荣雄、南京花、陈昊等在其中作了大量工作,在此一并表示感谢。

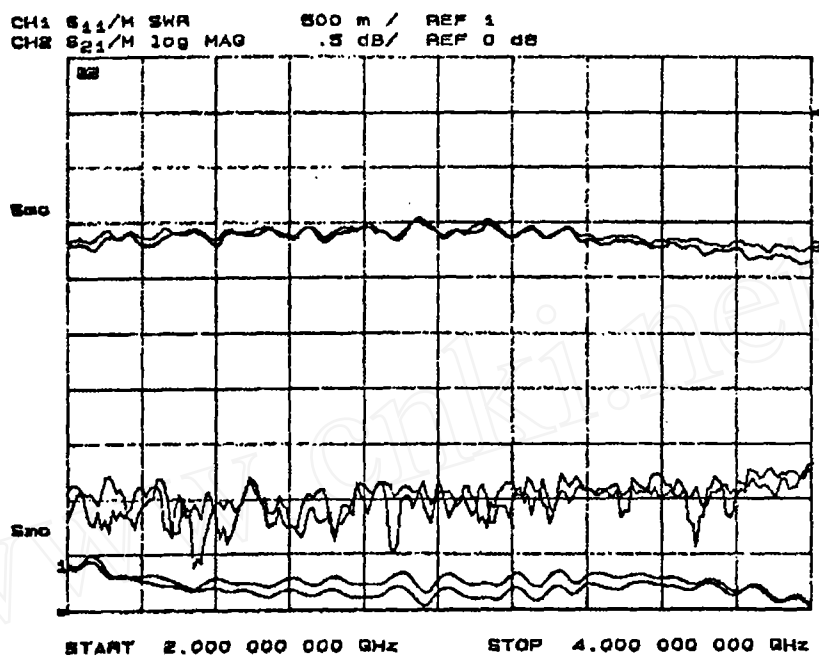


图 5 SPDT 开关测试曲线

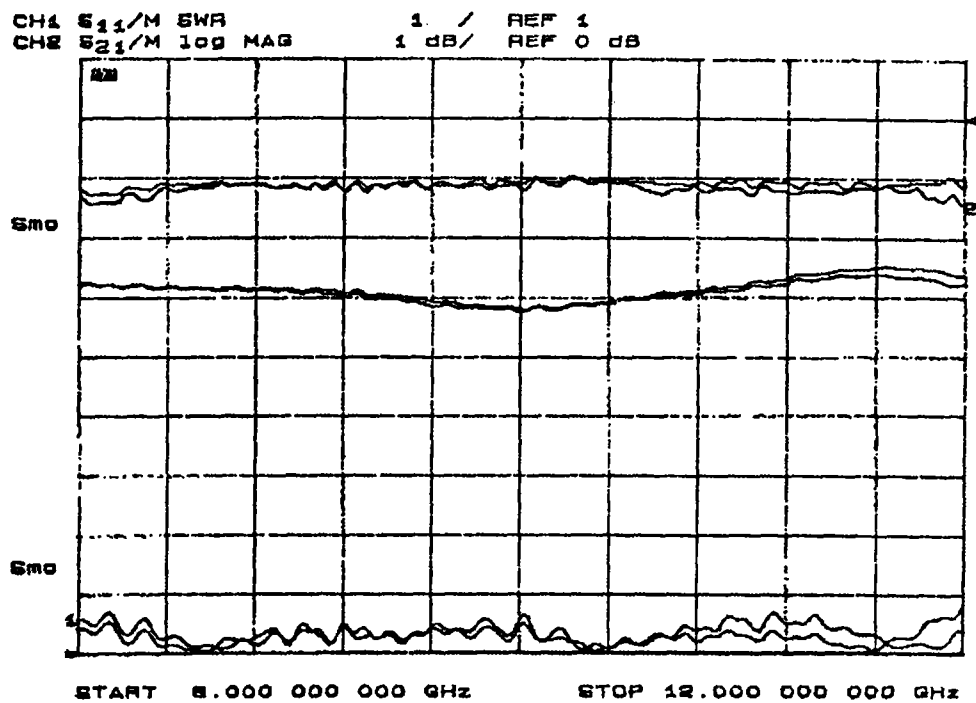


图 6 SPDT 开关测试曲线

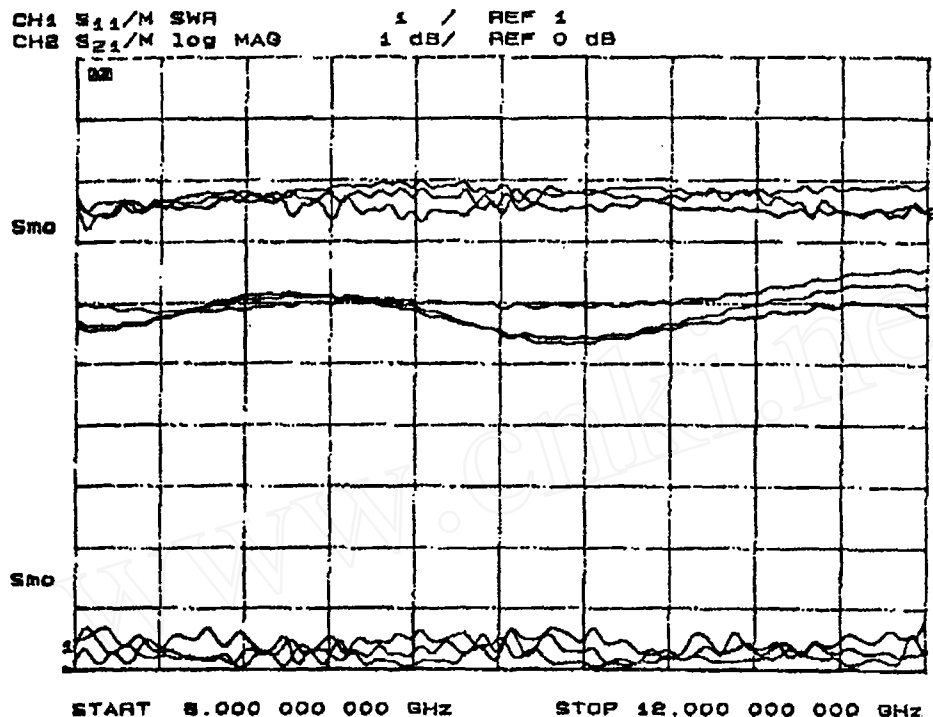


图 7 SP3T 开关测试曲线

参考文献

- 1 Waugh R W. Broadbanding the Shunt PIN-Diode SPDT Switch. Microwave Journal, 1975,(2):55—60
- 2 Thoms O. Perkins. Hot-Switching High-Power CW. Microwave Journal, 1975,(5):59—61
- 3 Patel S D. , Sitzer S N. A 100kW Solid State Coaxial Switch. 1992 IEEE MTT—S Digest, 133—136
- 4 阳明. 1—18GHz 单刀多掷 PIN 匹配开关. 电子对抗技术, 1995,(3):32—37



欧洲和美国计划更新 HARM

据悉,德国、意大利和美国正着手签署一项联合谅解备忘录以继续进行一项高速反辐射导弹(HARM)精确导航升级计划(PNU)。该计划在美国被称为 HARM BLOCK6。PNU 包括将一个全球定位系统(GPS)接收机和一个惯性测量单元综合到导弹中去,使导弹能够记住已经停止辐射的目标的位置。在导弹搜寻一个新目标时,这种功能预计能消除自戕,从而提高导弹的杀伤概率并使德国的 HARM 武器能有效用到 2020 年。工业界暗示谅解备忘录可能在 1998 年 1 月签署,并涉及美国 and 德国各 1000 枚导弹以及意大利 350 枚导弹的升级。雷神 TI 系统公司将在美国承头做这项工作,博登湖仪器制造公司作为在德国的主承包商,Alenia Difesa 公司则负责意大利方的工作。该项目经费预计在 1 亿美元之内。(朱)