

# 一种新颖的鳍线单刀双掷开关\*

徐锐敏 谢俊延 波 薛良金

(电子科技大学应用物理研究所, 四川, 成都, 610054)

**摘要** 介绍一种只需要一个偏置控制端口, 采用正负脉冲驱动的 T 形结鳍线单刀双掷开关的设计方法, 在电路中采取改进措施, 提高了隔离度、降低了插入损耗。测量结果表明, 开关在 Ka 频段内, 插入损耗  $\leq 1.5\text{dB}$ , 隔离度  $\geq 30\text{dB}$ ; 在 W 频段内, 插入损耗  $\leq 2\text{dB}$ , 隔离度  $\geq 25\text{dB}$ 。

**关键词** 毫米波, 鳍线电路, T 形 SPDT 开关, 一路控制端口。

## A NOVEL FINLINE SPDT SWITCH \*

XU Rui-Min XIE Jun YAN Bo XUE Liang-Jin

(Institute of Applied Physics, UESTC, Chengdu, Sichuan, 610054, China)

**Abstract** The design method, manufacture and testing results of new kind of T junction finline single pole double throw (SPDT) switch, which has only a controlling port with positive or negative pulses, was given. In order to increase the isolation and reduce the insert loss of the switch, some improving measures were taken in the circuit. The test results show that the insert loss  $\leq 1.5\text{dB}$  and the isolation  $\geq 30\text{dB}$  in Ka bands and the insert loss  $\leq 2\text{dB}$  and the isolation  $\geq 25\text{dB}$  in W bands.

**Key words** millimeter-wave, finline circuit, T junction SPDT switch, single controlling port.

### 引言

鳍线开关与其它传输线结构的开关相比有明显的优点<sup>[1]</sup>, 例如 PIN 二极管便于焊接安装, 输入、输出采用标准矩形波导, 因此性能指标好, 制作方便, 相应成本低等。由于系统结构的需要, 一般要求鳍线单刀双掷开关采用 T 形结而不用 Y 形结, 并且只有一个具有正负脉冲电平控制的偏置端口, 而不是两路分别偏置, 因此采用传统的鳍线单刀双掷开关电路<sup>[2]</sup>就不可能满足上述要求。为了降低插入损耗, 本文提出了在每路串联一只适当阻值的电阻接地, 实验表明这种方法是可行的。

### 1 T 形结鳍线单刀双掷开关

T 形结鳍线单刀双掷开关的设计, 关键在于鳍线 T 形结处不连续性的等效电路和元件参数的计算, 可借用 E 面矩形波导 T 形结的等效电路及参数。图 1 所示 E 面 T 形结矩形波导结构和等效电路, E 面 T 形结矩形波导的不连续性发生在 T 形结

处, 其等效电路可由集中参数电容和电感组成, 其参数如下<sup>[3]</sup>:

$$\frac{Y'_{11}}{Y_1} = \frac{b}{b'} = \frac{1}{2a}, \quad (1)$$

$$\frac{B_u}{Y_1} = \frac{2b'}{\lambda_c} \left[ \tan^{-1} \frac{1}{\alpha} + \frac{\ln \sqrt{1 + \alpha^2}}{\alpha} \right], \quad (2)$$

$$\frac{B_1}{Y_0} = \frac{\lambda_s}{2\pi b'}, \quad (3)$$

$$\frac{B - 2B_1}{Y_1} = \frac{2b'}{\lambda_s} \left[ \frac{\pi\alpha}{3} + A_1 \right], \quad (4)$$

$$\frac{B_2}{Y_0} = \frac{b}{\lambda_s} \left[ \frac{\pi}{3\alpha} + A_2 \right], \quad (5)$$

$$\frac{A + A_2}{2} = \alpha \tan^{-1} \frac{1}{\alpha} - \frac{\tan^{-1} \alpha}{\alpha} + \ln \frac{1 + \alpha^2}{4\alpha} - \frac{\pi(1 + \alpha^2)}{6\alpha}, \quad (6)$$

$$A_1 = -\frac{2\alpha}{\pi} e^{-\frac{2\pi b'}{\lambda_s}} \left[ 1 - \frac{5 + \alpha^2}{4(1 + \alpha^2)} e^{-\frac{2\pi b'}{\lambda_s}} \left[ \frac{4}{1 + \alpha^2} + \frac{5 + \alpha^2}{1 + \alpha^2} \right] e^{-\frac{2\pi b'}{\lambda_s}} \right], \quad (7)$$

国防预研基金(编号 8.3.5.10)资助项目

稿件收到日期 2001-01-08, 修改稿收到日期 2001-05-26

\* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defense (No. 8.3.5.10)

Received 2001-01-08, revised 2001-05-26

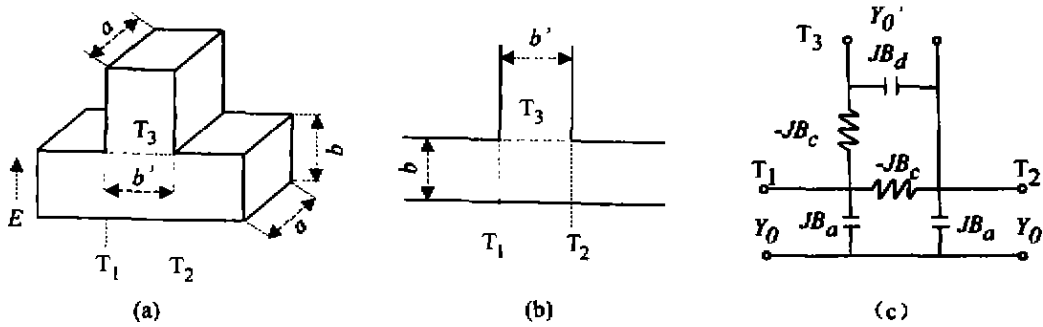


图1 E面矩形波导T形结等效电路

(a) 标准E面矩形波导T形结 (b) 等效面 (c) 等效电路

Fig.1 The equivalent circuit of an E plane T junction in rectangular waveguide

(a) E-plane T junction in rectangular waveguide. (b) the equivalent side, (c) the equivalent circuit

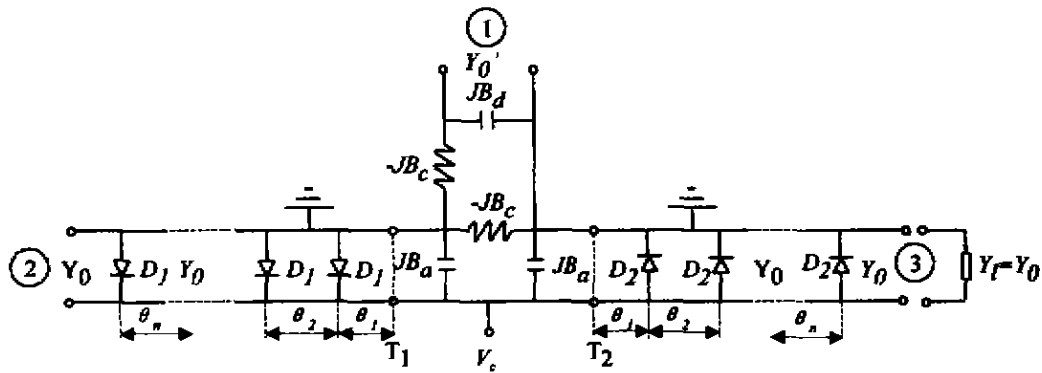


图2 T形结单刀双掷开关的等效电路

Fig.2 The equivalent circuit of T junction SPDT switch

把上述公式近似应用于鳍线T形结构时有  $b=b'$ ，则  $a=1/2$ ,  $Y_0=Y_0'$  和  $\lambda_g$  分别为鳍线的特性导纳和波导波长。由此可得出T形结单刀双掷开关的等效电路(见图2)。

由于电路和结构的对称,在分析和设计上带来许多方便。当  $V_c$  为正时,②端路上的PIN二极管  $D_1$  反向截止,而③端路上的PIN二极管  $D_2$  正向导通。在③端口输出端接匹配负载  $Y_l=Y_0$ ,计算出  $T_2$  面上的输入导纳  $Y_{in}$ ,使之与相邻的电容  $jB_a$  并联,通过A矩阵相乘,可计算出从输入端口①到输出端口②总的A矩阵,将A矩阵转换为S矩阵,求出  $S_{21}$ ,即为该单刀双掷开关的插入损耗;当  $V_c$  为负时,  $D_1$  正向导通,  $D_2$  反向截止,具体计算与上述相似,求出  $S_{21}$ ,即可得开关隔离度。开关衰减由下式计算:

$$L^* = 20 \lg \frac{1}{|S_{21}|} = 20 \lg \frac{|a + b + c + d|}{2} \quad (\text{dB}), \quad (8)$$

在优化设计中,建立目标函数,对鳍线槽宽  $W$ , 每路第一管子到T形结的距离  $l_1$  以及各路管间

距离  $l_2$  进行优化,得出最佳插入损耗和隔离度。鳍线结构给定后,槽缝宽度  $W$  决定鳍线特性阻抗  $Z_0$  和波导波长  $\lambda_g$  [1]。电长度与距离尺寸的关系为

$$\theta = \beta l = \frac{2\pi l}{\lambda_g} \quad (9)$$

优化值范围是

$$W = 0.1 \sim 0.3 \text{ mm}, l_1 = 0 \sim \frac{\lambda_g}{8}, l_2 = \frac{\lambda_g}{8} \sim \frac{3\lambda_g}{8}$$

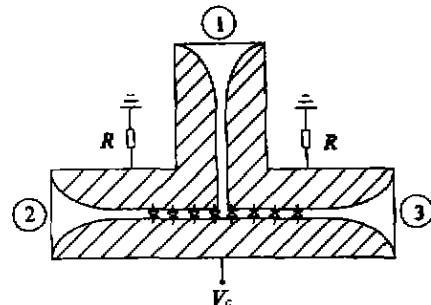


图3 T形结鳍线单刀双掷开关

Fig.3 T junction finline SPDT switch

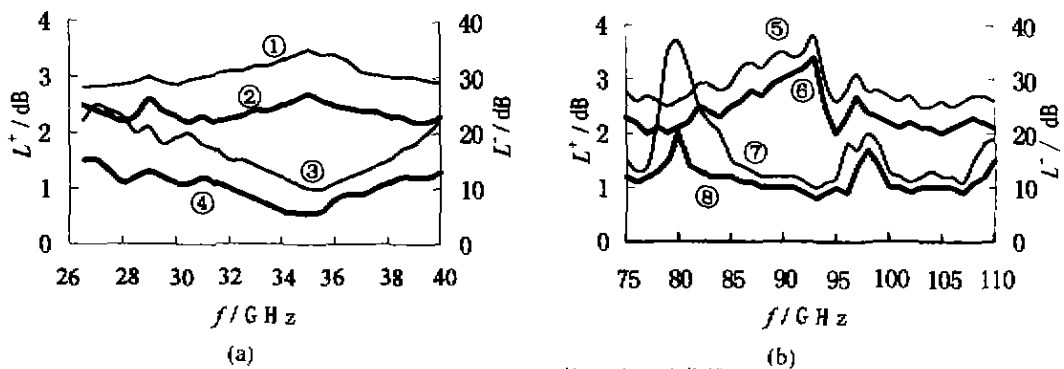


图4 T形结单刀双掷开关测试曲线  
(a) Ka-频段测试曲线 (b) W-频段测试曲线

Fig. 4 The testing curves of T-junction SPDT switches  
(a) the testing curves in Ka-band  
(b) the testing curves in W-band

## 2 提高开关性能的措施

T形结单刀双掷开关只有一个偏置端,具有正负电压控制特性,而PIN二极管的另一端接地。当偏置电压为正或负时,其中一路PIN二极管导通,而另一路管子截止。由于PIN二极管的导通电压约为0.7V,截止状态的PIN二极管反向偏置电压相应约为-0.7V。一般说,截止状态的PIN二极管的反向偏置电压在小于击穿电压的前提下,愈大愈好,使PIN二极管处于完全截止状态,可使插入损耗减小,大多数情况选择在-5V为佳。为了减小开关的插入损耗,又不降低隔离度,可在每路PIN二极管接地前串联一只电阻,使这一路PIN二极管的阻抗实部在导通时远小于这只电阻的阻值,截止时远大于这只电阻的阻值。PIN二极管导通和截止时的阻抗实部分别为几 $\Omega$ 和几十k $\Omega$ 。因此,外加串联电阻的阻抗应选为1~4k $\Omega$ ,通过实验测试,对于每路并联3~5只PIN二极管时2k $\Omega$ 为最佳值,驱动器电压为 $\pm 5V$ (见图3)。

为了进一步提高开关的隔离度,可采用文献[4]的方法,合理选择鳍线夹缝的宽度,制作成高通滤波器形状,并涂复上液状毫米波吸收材料,然后固化,以抑制和吸收波导一鳍线夹缝内毫米波能量传输。

## 3 实验结果

我们分别制作了Ka和W频段鳍线T形结单刀双掷开关,并进行测试,鳍线基片用RT/duriod 5880(厚度 $d_1=0.254\text{mm}$ 和 $d_2=0.127\text{mm}$ 分别用于Ka频段和W频段, $\epsilon_r=2.22$ ),梁式引线PIN二

极管 DSG647430,每路并联4只,外加串联电阻值2k $\Omega$ 。

图4给出了T形结鳍线单刀双掷开关在Ka频段和W频段的测试曲线,曲线③、⑦和②、⑥为未采用任何改进措施的单刀双掷开关的插入损耗和隔离度,曲线①、⑧和④、⑤为采用改进措施后的插入损耗和隔离度,改进措施为上述的增加两只2k $\Omega$ 电阻和抑制波导一鳍线夹缝内毫米波能量传输的方法。由图4可见,插入损耗和隔离度采取上述措施与不采取措施相比,性能明显提高。

## 4 结语

理论分析和实验测试结果表明,对T形鳍线单刀双掷开关采取上述改进措施,可大大提高其性能指标,该开关可满足全频段Ka和W毫米波系统的使用要求,如果仅在窄带内使用,适当改变偏置,其技术指标在窄带内会有较大的提高。

## REFERENCES

- [1] Bharathi B, Shulan K K. *Analysis Design and Applications of Fin-lines*. Nowood, MA: Artech. House., 1987, 435-439
- [2] Koh L W, Williamson I M H, Nyss M L, et al. Ka-band In-line SPDT switch. *Microwave Journal*, 1983, 26(6): 105-107
- [3] Marcavitz M. *Waveguide Handbook*, Dover, New York: Artech House, 1964, 246-250
- [4] XU Rui-Min, LI Da-Wei. Several measurements of improving the isolation in the fin-line circuits. *Journal of China Institute of Communications* (徐锐敏,李大伟.提高鳍线电路隔离度的几种措施. *通信学报*), 1994, 15(6): 118-120