

# Ka 波段波导五端口结的设计

丁卫安

(空军高炮学院雷达教研室, 广西, 桂林, 541003)

曹江, 张其劭

(电子科技大学微测中心, 四川, 成都, 610054)

**摘要:** 用波导构成了一个对称的波导五端口结. 经测试, 在 26.5~40 GHz 频率范围内五端口结各口反射系数均小于 0.2, 输入口同相邻口及远离口的传输系数都接近 0.5.

**关键词:** 五端口结, 反射系数, 传输系数, 匹配, 六端口系统.

## 引言

六端口技术自 1972 年美国国家标准局 (NBS) Hoer 和 Engen 提出以后<sup>[1]</sup>, 得到了迅速发展, 出现了许多优化的六端口结. 本文设计一种新的六端口结, 它的结构紧凑, 易加工, 通过加大波导宽边尺寸, 采用过渡波导等新的设计, 使得结在整个波导频段内 (26.5~40 GHz) 能达到较好匹配, 特别在低频部分, 性能有了明显改善.

## 1 五端口结的设计

六端口结是整个六端口系统的关键, 它直接关系整个系统能否正常工作及系统的精度. 图 1 是一个六端口结示意图, 它由一个定向耦合器与一个五端口结组成, 我们只对其中五端口结进行设计.

### 1.1 对称五端口结的特性分析

对称五端口网络有 3 个独立参量  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , 其中  $\gamma$  表示其余 4 个口接匹配负载时输入口的反射系数,  $\alpha$ ,  $\beta$  分别表示输入口同相邻口及远离口的传输系数, 则五端口结

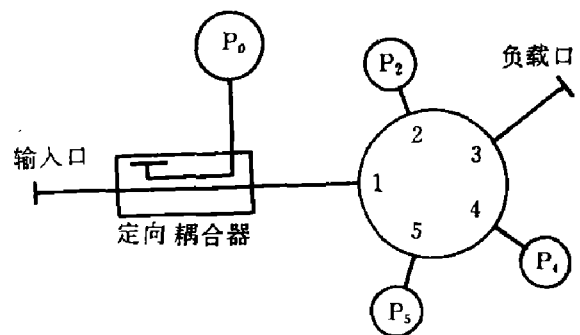


图 1 六端口结示意图

Fig. 1 Six-port junction

的  $S$  参量关系为

$$\vec{b} = [S]\vec{a} \quad (1)$$

式 (1) 中  $\vec{b}$  为外向波矢量,  $\vec{a}$  为内向波矢量. 假设三个功率计 ( $P_2$ 、 $P_4$  和  $P_5$ ) 和五端口结都是理想匹配的, 因此有

$$a_2 = a_4 = a_5 = 0;$$

$$\gamma = 0,$$

由式 (1) 可以得到<sup>[2]</sup>

$$|\alpha| = |\beta| = 0.5, \quad (2)$$

$$\angle\alpha = \angle\beta \pm 120^\circ. \quad (3)$$

## 1.2 五端口结的设计

理想对称五端口结, 实际上可以看成是四等分的功率分配器, 而且输入口是匹配的. 除个别频率点外, 一般是不能实现的. 图 2 是一个 Ka 波段波导对称五端口结, 其中  $a \times b = 7.11 \times 3.56 \text{ mm}^2$ ,  $R = 10 \text{ mm}$ . 图 3 是该结输入口反射系数的模  $\gamma$  随频率  $f$  的变化关系曲线, 从图 3 中曲线可见, 该结在低频部分 (26.5~31 GHz) 反射系数很大 (超过 0.2). 文献 [2,3] 也都证明, 采用该结构的五端口结, 低频性能差是一个普遍存在的问题. 利用这样的结组成的六端口系统, 结的  $Q$  点分布严重偏离理想值, 以至使系统不能正常工作.

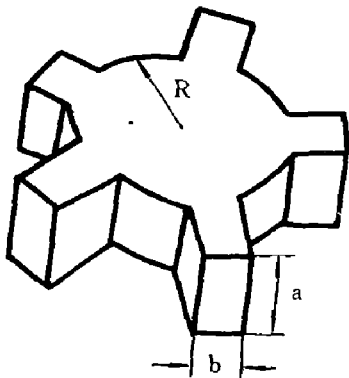


图 2 对称五端口结

Fig. 2 Symmetrical five-port junction

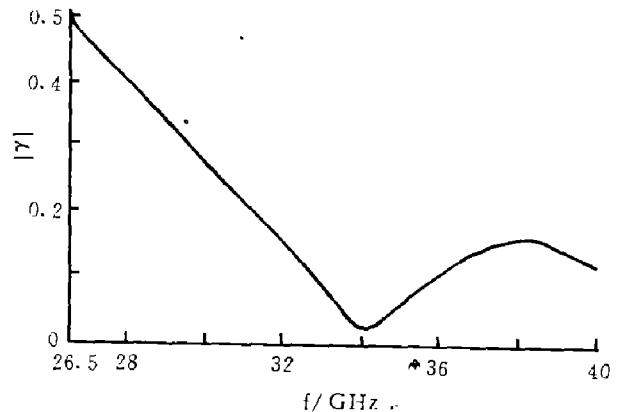


图 3 对称五端口结反射系数模与频率关系

Fig. 3 Reflection of five-port junction as a function of frequency

文献 [2] 和文献 [3] 分别提出改变腔体半径和加电感窗以改善匹配性能等措施, 以达到优化电路设计的目的, 但效果都不明显, 而且频率愈高, 实现愈加困难. 为此, 我们试图改变结端口尺寸来改变结的性能, 发现如果增加五端口结的波导宽边尺寸, 结的性能有较大改善. 但因为受波导传输模式的限制, 波导宽边尺寸不可能任意增大. 当波导窄边尺寸为 3.56 mm 时, 对于不同的宽边尺寸, 几种不同模式截止频率与波导宽边尺寸的关系如表 1 所示.

表 1 各模式截止频率随波导宽边尺寸的变化关系

Table 1 Cut-off frequencies for some modes as the broad dimension is varied

$a$ (mm)	$H_{10}$	$H_{11} (E_{11})$	$H_{01}$	$H_{20}$	$H_{30}$
7.11	21.08	47.13	42.15	42.15	63.23
8.00	18.74	46.13	42.15	37.47	56.21
9.00	16.66	45.32	42.15	33.31	49.97
10.00	14.99	44.74	42.15	29.98	44.97
11.00	13.63	44.30	42.15	27.25	40.88

从表 1 可见, 只要波导宽边尺寸不大于 11.00 mm, 就没有高次模出现 (尽管可以传输  $H_{20}$  模, 但对称波导中的主模是不会激励出高次模  $H_{20}$ ). 在图 3 基础上, 我们设计了一个新五端口结, 如图 4 所示, 图 4 中  $a \times b = 7.11 \times 3.56 \text{ mm}^2$ ,  $a' = 10.00 \text{ mm}$ ,  $R = 10.00 \text{ mm}$ . 新结增大了波导宽边尺寸 (由 7.11 mm 增加到 10.00 mm), 然后用一个过渡波导将结过渡到标准波导 ( $a \times b = 7.11 \times 3.56 \text{ mm}^2$ ). 过渡波导段采用线性过渡, 在过渡波导宽边中央开了一条宽度为 0.5 mm 的槽, 目的是抑制因波导结构不对称而激励出高次模  $H_{20}$ .

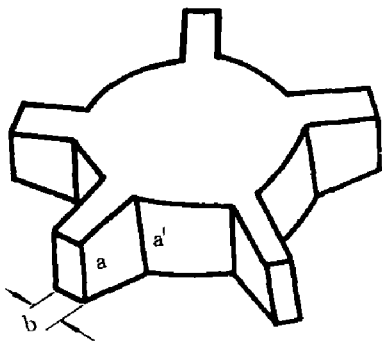


图 4 新五端口结

Fig. 4 New five-port junction

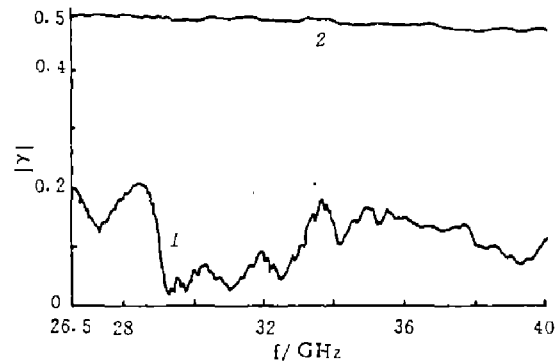


图 5 新五端口结特性曲线

Fig. 5 Characteristic of new five-port junction

## 2 实验结果

对设计的新五端口结, 我们采用了 HP 公司生产的标量网络分析仪 (HP8756) 进行了测试, 测试结果如图 5 所示, 曲线 1 表示输入口反射系数的模, 从中可以看出, 新结在频段低频部分性能有了明显改善, 在整个 Ka 波段内, 结各口反射系数均小于 0.2. 曲线 2 表示输入口同相邻口的传输系数, 其值接近 0.5. 实验中, 输入口同远离口的传输系数也进行了测量, 其值也接近 0.5.

## 3 结论

通过改变波导宽边尺寸, 在波导宽边中央开缝槽, 采用过渡波导等新设计, 使得新结同图 2 所示五端口结相比, 其性能有了很大提高. 其中, 在低频部分, 结的低频性能有了

明显提高, 反射系数的最大值由原来的 0.5 减小到 0.2; 在 Ka 波段大部分范围内结的反射系数小于 0.1; 输入口同相邻口及远离口的传输系数也都接近 0.5. 从这些方面可以看出, 新设计的五端口结尽管同理想情况还有差距, 但性能已大大提高, 可以满足六端口系统的需要<sup>[4]</sup>.

### 参考文献

- 1 Engen GF, Hoer CA. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1972, IM-21(12):470-474
- 2 任其荣, 冯正和. *电子科学*, 1986,(2):8-17
- 3 Yeo SP, Tan SS. *IEE Proceedings on Technical Memorandum*, 1989, 136(1):80-82
- 4 丁卫安. Ka 波段扫频双六端口 ANA 的研究, 电子科技大学微波测试中心硕士论文, 1991

## DESIGN OF FIVE-PORT WAVEGUIDE JUNCTION AT Ka BAND

Ding Wei'an

(Air Force Academy of Antiaircraft Artillery, Guilin, Guangxi 541003, China)

Cao Jiang, Zhang Qishao

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract:** A symmetrical five-port waveguide junction was developed. In the frequency band 26.5~40 GHz, the junction yields a residual mismatch of less than 0.2 and a transmission of 0.5.

**Key words:** five-port junction, reflection, transmission, match, six-port system.