

# 再入飞行器天线自动阻抗匹配系统的方案研究及其反射计的设计

范金荣 黄 洁

**提 要** 本文简述了再入飞行器天线自动阻抗匹配系统的方案; 对其中的关键元件之一——反射计进行了结构选择和工程设计; 提供了C波段反射计的全部设计图纸; 给出了系统工作模拟实验的数据。实验表明C波段自动阻抗匹配方案是能够实现的, 影响整个系统匹配性能的主要因素是移相器的损耗。

## 一、引 言

当宇宙飞行器和导弹以超音速再入地球大气层时, 在其四周出现了一层灼热的跟着其迅速移动的电离气体层, 亦即通常所说的“等离子体鞘套”。它的出现, 在最严重的情况下可使飞行器和地面站之间的通讯中断, 即出现所谓“黑障”现象。对于某些频段的电波, 等离子体鞘套起着完全屏蔽的作用, 这给宇宙飞行器和导弹带来了极大的危害。<sup>[1]</sup>

在国外, 随着战略武器的进展, 五十年代末就发现了这个“黑障”的存在。二十多年来, 西方国家动用了大量的人力、物力致力于这项工作的探索和研究, 做了大量的试验, 取得了比较大的进展。就目前公布的资料来看, 为解决“黑障”问题, 大致做了如下两大方面的工作:<sup>[2,3]</sup>

(1) 从通讯系统本身着手, 主要采用提高功率、提高频率、迟后获得数据、软回收等等方法。

(2) 从改变等离子体鞘套结构着手, 主要采用气动外形、外加磁场、使用烧蚀技术、增添物质等等方法。

就上述这些方法而言, 各有利弊, 要解决通讯中断问题, 必须把各种方法加以综合, 通过多种途径才能奏效。从应用上讲, 似乎已经找到了突破“黑障”的有效途径, 但实际上, “黑障”问题并没有彻底解决, 仍处于探索和研究阶段。

在这里所涉及的是自动阻抗匹配法。一个飞行器在发射之前, 其上所有电子设备的天线都已调到了一个可以接受的驻波了, 但在再入期间, 由于等离子体的反射和天线介质护窗在高温下严重烧蚀的结果, 天线和发射机之间产生了严重的阻抗失配, 辐射功率显著降低。在再入过程中, 失配显然是随时间变化的, 为了克服失配造成的影响, 需

要设计一个对时变阻抗进行自动补偿的匹配装置,以保证任何时候天线的辐射功率达到最大。

## 二、匹配器的工作原理和反射计的结构选择

### (一) 匹配器的总体结构及其工作原理

鉴于所要设计的是再入飞行器中的自动阻抗匹配器,它除了象一般的匹配器那样能够补偿任意大小的失配以外,还应满足如下要求:

- (1) 应在无人管理的条件下,自动检测天馈线系统中出现的失配,并进行自动补偿;
- (2) 应避免使用任何机械移动装置,而全部采用电气系统自动测量和实时控制;
- (3) 应有快的响应速度和尽可能小的插入损耗;
- (4) 应有尽可能小的尺寸、重量和驱动功率。

尽管根据工作波段、天线形式、天线工作环境及发射功率等的不同,有各种不同的匹配方案、结构和器件。<sup>[4,5,6]</sup>但作为一个自动阻抗匹配系统来说,其共性的东西是三个主要部件,即失配检测器(也就是反射计)、反馈控制器和电控调配器。系统方框图如图1所示。<sup>[7]</sup>

在这个自动阻抗匹配系统中,反射计随时把检测到的反映天馈线系统失配程度的误差信号送到反馈控制器中,经适当的放大、加工、处理以后,成为一个控制信号去控制电控调配器的动作,直到整个系统达到匹配为止。在匹配的状态下,由反射计检测到的误差信号为零(即反射系数为零),当然控制信号亦为零,电控调配器不动作,将整个系统维持在匹配状态。

根据微波传输系统进行阻抗匹配的基本思想及其匹配器的总体要求,我们感兴趣的是各种可调的匹配器。图2所示的是采用移相器和调配元件相结合的调配方法,其调

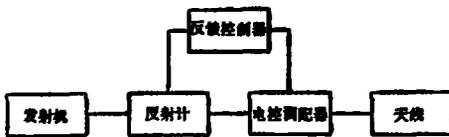


图1 自动阻抗匹配器总体方框图

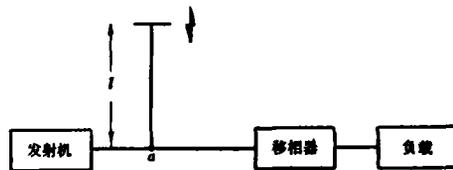


图2 移相器配合单枝节进行调配

配过程如图3所示。当然,我们也可以用一個移相器来改变支线的电角度 $\varphi$ 。这样,当移相器为电控移相器时便构成了电子调配器。

反馈控制器可以根据不同的电控调配器和反射计进行设计。

反射计的详细讨论见下。

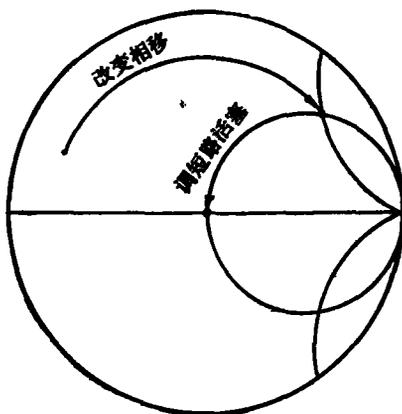


图 3 带移相器的调配器之调配过程

## (二) 反射计的结构选择

在自动阻抗匹配系统中, 关键的部件是反射计。因为只有高灵敏度、高稳定性和高可靠性的反射计, 才能随时地精确地检测天馈线匹配与否, 才能输出一个精确的误差信号, 使整个天馈系统有可能达到完全匹配。反射计的形式是多种多样的, 按传输形式分有波导、同轴线和带状线结构; 按具体结构分成定向耦合器式的反射计、固定型的双探针和四探针反射计。

用定向耦合器构成的反射计, 结构比较复杂, 体积和重量大, 不符合总体要求。双探针比四探针构成的反射计的结构更简单, 体积重量更小, 似乎选择前者是合理的。但是, 实验表明, 双探针结构在发射机功率电平变化较大时, 出现了剩余反射, 使整个系统的性能严重地变坏。<sup>[5]</sup> 但克服剩余反射, 无疑又使反射计的结构变得复杂, 体积重量增加不少。而四探针反射计根本就不存在这个问题。为此, 本设计选定四探针构成的反射计结构。

## (三) 四探针反射计的工作原理

自动阻抗匹配器本是一个自动寻零的系统, 直接给出系统的反射系数的模值和相角或直接测出负载阻抗的值并不是目的。在这儿, 只要求反射计能提供包括反射系数幅度和相位信息的误差信号即可。

无耗传输线上任一点的电场可表为

$$\mathbf{E}(l) = \mathbf{E}_0 e^{i\beta l} [1 + |\Gamma| e^{i\varphi}] \quad (1)$$

式中:  $\mathbf{E}_0$ ——负载处的入射波场强。

$l$ ——终端负载至线上任意点的距离。

$\beta = 2\pi/\lambda_g$ ——传输线的相位常数。

$\Gamma = |\Gamma| e^{i\theta}$ ——负载的复反射系数。

$\varphi = -2\beta l + \theta$ —— $l$ 处的复反射系数的相位。

若在  $l$  处置一个探针, 则探针将产生一个与电场幅度成比例的输出:

$$|\mathbf{E}(l)| = E_0 [1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma| \cos\varphi]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

其中已令比例因子为 1, 这对结果的导出无任何影响。

若在探针上的晶体检波器具有理想的平方律特性, 则晶体的输出电压为

$$V_{out} = K' |E(l)|^2 = K' E_0^2 [1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma| \cos\varphi] \quad (3)$$

若将此探针检波器记为  $a$ , 其后顺次放置间距为  $s$ , 且与探针  $a$  完全相同的探针  $b$ 、 $c$ 、 $d$ , 构成一个四探针反射计, 如图 4 所示。则四个探针检波器的输出信号分别是

$$V_a = E_0^2 [1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma| \cos\varphi] \quad (4)$$

$$V_b = E_0^2 [1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma| \cos(\varphi + 2\xi)] \quad (5)$$

$$V_c = E_0^2 [1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma| \cos(\varphi + 4\xi)] \quad (6)$$

$$V_d = E_0^2 [1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma| \cos(\varphi + 6\xi)] \quad (7)$$

其中, 已令  $K' = 1$ ,  $\xi = \frac{2\pi}{\lambda g} S$ 。

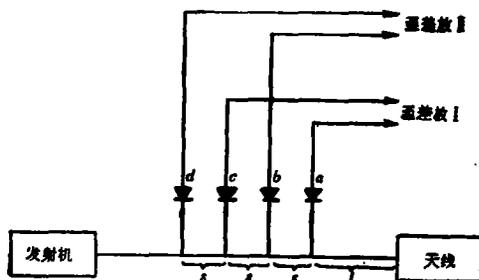


图 4 四探针反射计电原理图

若将  $V_a$  和  $V_c$ 、 $V_b$  和  $V_d$  分别送到两个完全一致的差分放大器中, 则差分放大器的输出分别是

$$V_I = K(V_a - V_c) = 4KE_0^2 |\Gamma| \sin 2\xi \cdot \sin(\varphi + 2\xi) \quad (8)$$

$$V_{\text{II}} = K(V_b - V_d) = -4KE_0^2 |\Gamma| \sin 2\xi \cdot \sin(\varphi + 4\xi) \quad (9)$$

其中,  $K$  是差分放大器的电压增益系数。

只要  $\xi \neq n\pi$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ ), 在失配的条件下,  $V_I$  和  $V_{\text{II}}$  就恒不为零。从原则上讲, 除此以外的  $\xi$  值均是可取的, 但是若取

$$\xi = \frac{2n+1}{4} \pi \quad (10)$$

则有

$$S = \frac{2n+1}{8} \lambda g \quad (11)$$

在此  $S$  值下, 式(8)和式(9)就变为

$$V_I = 4KE_0^2 |\Gamma| \cos\varphi = 4KE_0^2 \Gamma_x \quad (12)$$

$$V_{\text{II}} = 4KE_0^2 |\Gamma| \sin\varphi = 4KE_0^2 \Gamma_y \quad (13)$$

由此可见, 式(11)和(12)是完全能够确定负载的复反射系数的。误差信号  $V_I$  和  $V_{\text{II}}$  分别正比于复反射系数  $\Gamma$  的两个正交分量  $\Gamma_x$  和  $\Gamma_y$ , 这可使反馈控制器的结构最为简单。故我们就选用式(11)所规定的探针间距。

在  $K$  和  $l$  已知的条件下, 一旦测出  $V_I$  和  $V_{\mathbf{I}}$ , 则由式(11)和(12)即可确定复反射系数  $\Gamma$ 。由这两个式子可以看出, 当  $|\Gamma|=0$  时,  $V_I=0, V_{\mathbf{I}}=0$ 。故  $V_I$  和  $V_{\mathbf{I}}$  可以直接用于自动寻零的系统中。

### 三、四探针反射计的工程设计

#### (一) 四探针反射计的结构设计

由图 4 显见, 四探针反射计的主要部件是一个主传输线和四个相同的分支线。每个分支线内有一个探针座, 两边与晶体架和调谐活塞相连接。从原则上讲, 可以选择任何一种结构的分支线, 但综合考虑总体要求和反射计的工程设计指标, 最终选择了如图 5 所示的平卧式同轴结构的分支线。

为了减小体积, 增宽工作频带, 并在满足灵敏度的条件下有尽可能浅的探针插入深度, 将四个探针中的  $a$  和  $c$ 、 $b$  和  $d$  分别放置在主波导的相对两宽面的中心线上, 间距如图 6 所示。

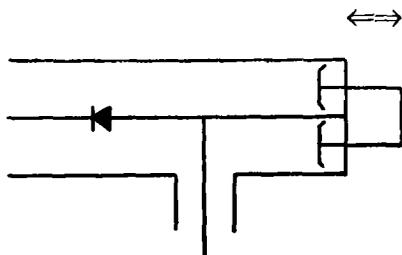


图 5 同轴分支线结构

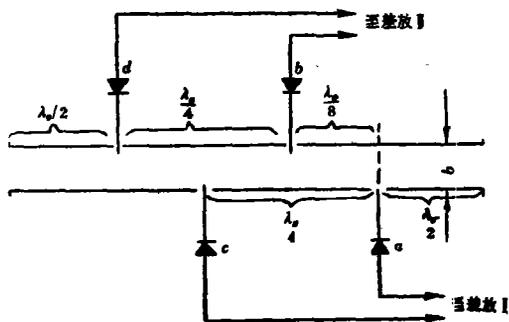


图 6 波导四探针反射计的主要尺寸图

#### (二) 各部件的电气设计及部分结构设计

由给定的四探针反射计的频率技术指标  $f_0$ , 可确定作主传输线用的标准波导的型号。在规定波导内只传播基波时, 可计算出截止波长  $\lambda_c$  和波导波长  $\lambda_g$ , 由此  $\lambda_g$  即可确定探针间距的大小。

##### (1) 分支线的设计

根据规定的波导同一宽面上两探针中心间距及由同轴线的特性阻抗  $Z_0$  的计算式:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D'}{d'} \quad (14)$$

其中,  $\epsilon_r$  是同轴线内填充介质的相对介电常数,  $D'$  是同轴线外导体的内径,  $d'$  是同轴线内导体的直径。我们选定  $Z_0=75\Omega, \epsilon_r=1$ , 则当  $D'=14\text{mm}$  时,  $d' \approx 4\text{mm}$ 。若同轴线的外导体的壁厚取为  $2\text{mm}$ , 则同轴线外导体的最大横向尺寸为  $18\text{mm}$ , 小于四分之一波导波长。因此探针  $a$  和  $c$ 、 $b$  和  $d$  完全可以分别安装在主波导宽面的两侧上。为了加工、组装的方便及抗震、平稳性能好, 同轴线外导体的外表面选择为正方形。

## (2) 探针座的设计

探针座是安装探针于分支线上用的。根据分支线所决定的形状,知道探针座的外形是长方形的,其中心开有一个圆孔作探针过渡段的外导体,其底边的四个角上的适当位置上开有相同的圆孔,以便于探针座与分支线的连接。

探针的插入,吸收了部分能量,并在波导内引入了不均匀性。为了减少探针对主波导内场分布的干扰,防止探针之间的耦合,提高探针到晶体检波器的电能传输效率,且使晶体检波管工作在平方律检波特性上,一方面加短路活塞调谐,另一方面减少探针的插入深度和直径。在本设计当中,取 0.5mm 的探针直径和 1~5mm 的插入深度。

探针是与同轴线  $T$  接头的支线相连,而支线的内导体的直径与探针直径不等,故在探针座的设计当中,要注意探针过渡段的阻抗匹配。考虑到机械加工、安装及总的匹配效果,采用阶梯变换。同轴线内外阶梯不均匀性是容性的,须修正。<sup>[8]</sup>

## (3) 晶体架和短路活塞设计

晶体架是用于安置晶体检波管、引出检波输出线的。晶体架在分支线中的位置一定,考虑到消除  $T$  型接头所引入的高次波的影响和缩小体积,并使晶体检波管处于电流的极大值位置,晶体检波管和探针间的距离取为一个波长。

当加到晶体检波管上的电压为  $U_0 \sin(\omega t + \varphi)$  时,下式成立:

$$i = \frac{U_0^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{R + R_s} \quad (15)$$

式中,  $i$  是检波输出电流,  $R$  是晶体本身的内阻,  $R_s$  是接触电阻。  $\alpha = q/KT$ , 当温度不变时,它是常数。  $q$  是电子电荷,  $K$  是波尔兹曼常数,  $T$  是绝对温度。

当接触差时,  $R_s$  增大,使晶体检波器的检波输出电流下降。若加工毛糙,则不同的接入位置就有不同的  $R_s$ ,从而使得  $i$  值也不同。另外,环境温度变化时,也引起了  $i$  值的变化。这都将在反映失配程度的误差信号中引入随机的附加误差。为了减少此误差,在加工这个部件时,应尽量保证四个分支线的一致性,尤其是四个晶体架的一致性。另外还特别强调四个晶体检波管的一致性。

晶体架一边要能与  $75\Omega$  的高频插头配合,另一边要能与分支线有良好的电接触。

调谐活塞可调范围应在  $\lambda g/2$  左右,这儿选用了同轴抗流式短路活塞。具体的尺寸选取应考虑与晶体架一侧长度的对称性,以保证整个分支线的平稳性。

依照上述设计思想进行了四探针反射计的工程设计。工程图纸详见参考文献[9]。

## (三) 对反射计性能的预测

现因时间关系,此反射计尚未加工出来,不能实测,只能在理论上对其性能作一大致分析。

### (1) 工作带宽指标

在整个工程设计当中,影响工作带宽的因素,其一是短路活塞,现采用的活塞的带宽为 10~20%,<sup>[10]</sup>而设计指标是 2%;其二是四个探针的间距,因为 2%带宽下此间距变化不大,对反射计的两个误差信号的影响甚微,可以忽略;其三是反射计的驻波比,因为驻波比在 2%带宽下是没有多大的变化,可以忽略其改变量。因此,这个反射计的带宽指标是能够达到的。

### (2) 电压驻波比指标

今探针直径为 0.5mm, 若探针的插入深度为 5mm, 则此深度在所选标准波导的宽边尺寸的 5~10% 之内, 从而使得探针的插入对波导中传播场的扰动很小, 保证了反射计的驻波比  $\rho \leq 1.1$ 。[11]

### (3) 插入损耗指标

由于探针的插入深度很浅, 故它从主传输线中耦合出来的能量很少。从而保证了主传输线中的传播模能量损耗很小。一般情况下能够做到小于 0.1dB 的插入损耗。

## 四、自动阻抗匹配原理的模拟实验

在进行这个工程设计之前, 王积勤、范金荣两同志曾对这个自动阻抗匹配系统的方案进行了一系列的理论上的探讨和研究, 最后完成了一篇题为《再入飞行器天线自动阻抗匹配》(方案论证部分)的报告<sup>[7]</sup>。报告中指出: 这个匹配方案在理论上是正确的, 是可实现的。那么这个结论是否正确? 在实际当中是否可实现? 为了回答这个问题, 我们用三分波导测量系统对自动阻抗匹配器的工作机理进行了模拟实验。此模拟实验进行的情况如下:

### (一) 自动阻抗匹配方案的可实现性的验证

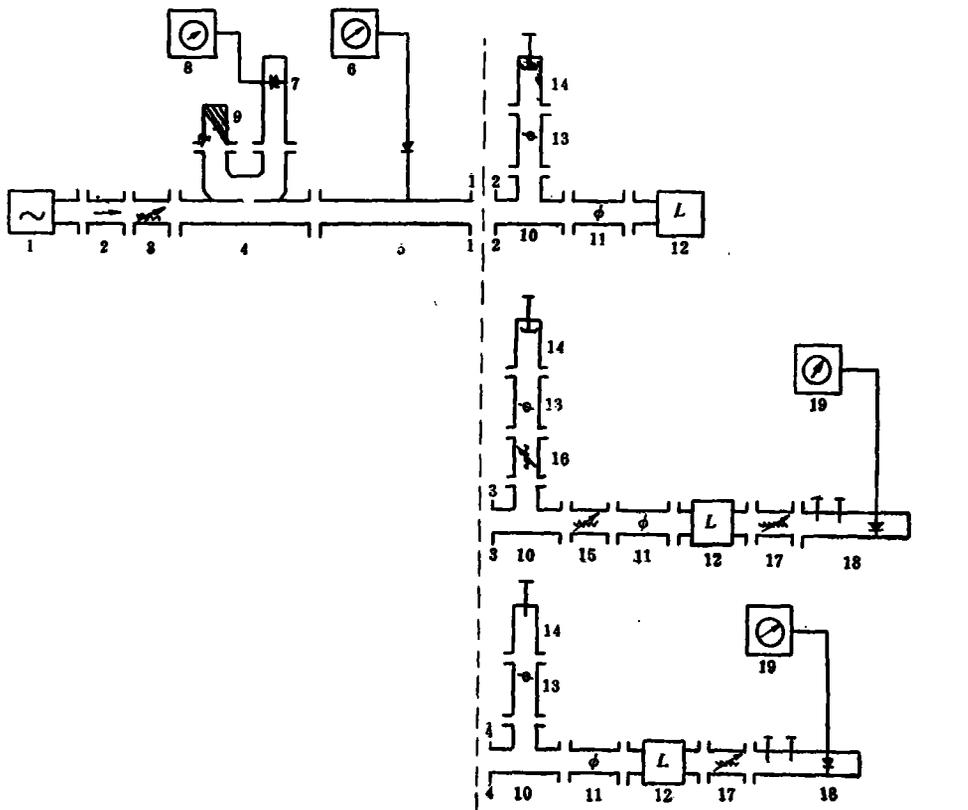
根据本设计中所选定方案的基本工作机理, 我们提出了如图 7(a) 所示的验证匹配系统方案可实现性的实验线路。

(1) 我们为了全面地验证这个匹配方案, 选择四个不同象限, 不同电压驻波比  $\rho$  的失配负载进行了调配。反复改变位置移相器和插入移相器的相移量, 可使失配负载的电压驻波比调到 2 以下, 最好的可调到 1.02。实验数据如表 1 所示。

表 1

象 限	负载归一化阻抗 $z_l = r_l + jx_l$	失配时的 $\rho$	调配后的 $\rho$
1	$0.12 + j0.79$	13.13	1.40
2	$0.20 - j0.72$	7.50	1.02
3	$3.68 - j6.42$	15.08	1.74
4	$0.62 + j1.46$	5.50	1.72

(2) 对于本课题的指标要求中所指出的“当天线阻抗在实部为  $20 \sim 80 \Omega$ , 虚部为  $\pm 1 \sim \pm 100 \Omega$  范围变化时, 匹配器能使馈线上的电压驻波比  $\rho$  不大于 2”的结论做了验证。



1. 信号源 2. 隔离器 3. 衰减器 4. 定向耦合器 5. 测量线 6. 测量放大器 I  
 7. 检波器 I 8. 测量放大器 II 9. 匹配负载 10. ET接头 11. 位置移相器 12. 失配负载  
 13. 插入移相器 14. 短路活塞 15. 位置衰减器 16. 插入衰减器 17. 精密衰减器 18. 检波器 II  
 19. 测量放大器 III

- a. 当 1—1 端口与 2—2 端口对接时, 测出表 1、表 2 所示数据, 用于验证系统可实现性。  
 b. 当 1—1 端口与 4—4 端口对接时, 测出表 3 所示的数据, 用于研究移相器对系统的影响。  
 c. 当 1—1 端口与 3—3 端口对接时, 测出表 4 所示的数据, 用于研究移相器对系统的影响。

图 7 模拟自动阻抗匹配系统工作机理及研究移相器对系统性能影响的实验线路图

对此天线阻抗变化之极限值作归一化处理以后即为

$$\begin{cases} z_{11} = 0.045 \pm j0.002 \\ z_{12} = 0.179 \pm j0.220 \end{cases}$$

我们选取了五种负载阻抗分别做了实验, 实验数据如表 2 所示。

表 2

负载的归一化阻抗 $z_l = r_l + jx_l$	失配时的 $\rho$	调配后的 $\rho$
$0.043 + j0.005$	23	1.25
$0.043 - j0.005$	23	1.25
$0.560 - j0.500$	2.4	1.50
$0.560 + j0.500$	2.4	1.50
$0.140 - j0.050$	7	1.30

实验(1)和实验(2)的结果表明,这个被选用的自动阻抗匹配方案是可实现的。在理论上作出的“可将天馈线系统的电压驻波比调到2以下”的结论是正确的,无论失配阻抗处于史密斯圆图中的哪个象限里,无论失配阻抗引起的反射系数多大(但要小于1),都可以实现指标中的要求。

### (二) 研究移相器损耗对系统性能的影响

移相器损耗,对于系统性能的影响是很大的。<sup>[4]</sup>在理论上已给出了在X波段对若干不同的损耗值(假设位置移相器和插入移相器引入的损耗相等)用数字计算机计算了天线辐射功率与天线反射系数的关系,如图8所示。

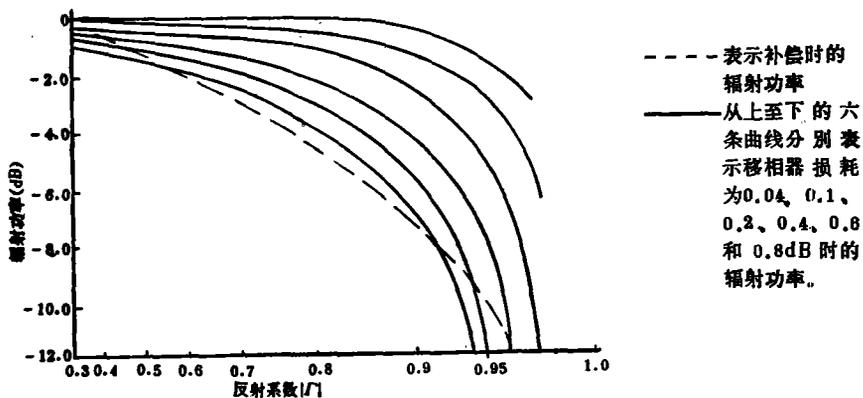


图 8 移相器有损耗时,调配器的理论特性

由图8可以看出,在移相器损耗较小的情况下,辐射功率确有很大改善。 $|\Gamma|$ 值越大改善也越大,但对于较小的 $|\Gamma|$ 值,由于移相器损耗的影响,辐射功率比没有阻抗补偿时还稍小一点。若移相器的损耗较大,如大于0.8dB,就有可能抵消由自动阻抗匹配

器所获得的功率增益。下面分几种情况来讨论：

(1) 匹配后辐射功率的改善

在此，我们首先假设移相器是无耗的。实验结果如表 3 所示。

表 3

	调配前	调配后	改善值
电压驻波比 $\rho$	12.3	1.20	4.7dB
精密衰减器 I 的指示 (dB)	1.5	6.2	

实验的结果表明：失配负载经调配以后，天线的辐射功率确有很大改善。但在这里应当指出，在这个实验中我们是把移相器看成无耗或近似无耗的。实际上，在实验中所用的移相器总是有损耗的，故理想无耗情况下的改善值必定比这个 4.7dB 的改善值要大。

(2) 移相器损耗对系统性能的影响

由图 8 可知，移相器损耗对天线辐射功率确有影响。为了进一步说明此问题，我们分别在移相器前面各加一个精密可变衰减器。改变衰减器的衰减值 (0~0.5dB)，观察调配前后的辐射功率的变化。实验结果见表 4。

表 4

移相器的损耗 (dB)	调配前的 $\rho$	调配后的 $\rho$	辐射功率的改善值 (dB)
0	19.5	1.24	4.9
0.05	19.5	1.27	4.4
0.10	19.5	1.20	3.8
0.20	19.2	1.30	2.9
0.30	19.0	1.22	2.0
0.40	19.2	1.20	1.4
0.50	19.0	1.10	1.1

此实验首先假定了移相器本身的损耗近似为零,而 $0\sim 0.5\text{dB}$ 的变化损耗是由于改变精密衰减器的衰减量而造成的。但实际所用的移相器是有损耗的,其实际合成的最大损耗可能在 $0.8\text{dB}$ 左右,因而匹配后的辐射功率改善值肯定比理论结果差些。从实验的结果中可以看出,移相器有耗时的辐射功率改善值随其损耗的增加而减小。表4数据是在负载反射系数的模值等于 $0.9$ 的条件下测得的。随着反射系数的变化,改善的程度将发生变化。

## 五、结 束 语

我们现在亦已完成了 $f_0$ 频率下的波导四探针反射计的工程设计任务。一旦试制定型以后,有些可拆卸结构能简化、固定,这样便能进一步提高加工和安装的精度。现代电子元器件日益朝着小型化、集成化的方向发展,弹上设备更应如此。假如弹上的整个通讯系统都采用微带结构,那么四探针反射计也可采用微带结构,整个自动阻抗匹配器也就采用微带结构。相对于波导匹配器而言,微带匹配器更符合弹上使用要求。对于微带四探针反射计,可以采用如图9所示结构。当电控调配器也采用微带结构,则四探针反射计和电控调配器就有可能集成在一块片子上。关于这个问题,有待今后继续研究。

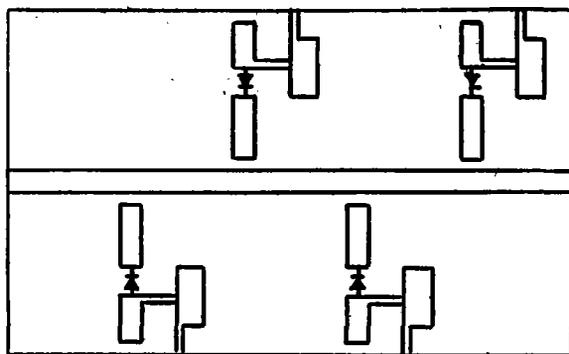


图9 微带结构的四探针反射计

我们所做的模拟实验,不仅验证了C波段自动阻抗匹配系统方案的正确性和可实现性,而且还在模拟实验当中发现影响系统性能的主要因素是电控移相器的损耗。当这个损耗等于 $0.5\text{dB}$ 时,整个匹配系统对小反射失配系统失去作用,对于大反射失配系统的改善也不大,亦即在此条件下的匹配器已失去其应有的作用。实验结果和理论分析得出的结论基本符合。从模拟实验中得出的这一结论,对于具体实现自动阻抗匹配系统的方案,很有参考价值。

## 参 考 文 献

- [1] 电波穿透等离子体和天线击穿问题的国外情况综述,电波与天线,1971, No. 1, P17.
- [2] 再入段通信中断问题及其改善措施,科委情报研究所,1978,10.

- [3] 肖明, 再入飞行器等离子鞘套综述, 国防科大 403 教研室, 1981.
- [4] Edward A. Wolff, An Automatic Impedance Matcher, AD. 60518 1960.
- [5] John S. Potts, Edward S. Bocian Jr, An Automatic Antenna Impedance Compensator for Reentry Vehicles, AD 743994, 1972.
- [6] John S. potts, An Automatic Antenna Impedance Matcher for Reentry Vehicle Application.
- [7] 王积勤、范金荣, 再入飞行器天线自动阻抗匹配(方案论证部分), 国防科大 403 教研室, 1981.
- [8] 莲沼博、高木胜义, マイクロ波基础回路设计, P103.
- [9] 黄洁, 再入飞行器天线自动阻抗匹配系统中的反射计设计, 国防科大四系毕业设计报告 78403—30.
- [10] 沈志远主编, 微波技术, 1980.
- [11] 伍仁译, 微波元件及其测量, P248.

## Schematic Research on Automatic Antenna Impedance Matching System for Reentry Vehicle and Design of Reflectometer

Fan Jin—rong Huang Jie

### Abstract

This paper describes the scheme of automatic antenna impedance matching system for reentry vehicle. The structure selection and design of a key component—reflectometer have been accomplished. All design drawings of C band reflectometer are provided and simulated experimental data of system operation are presented. The experiments indicate that automatic impedance matching scheme of C band can be realized. An important factor which effects whole system matching performance is the loss of phase shifter.