

X 波段微带和差器

徐之华 杨伟中 赵铁浩

提 要 本文阐述了一种 X 波段微带和差器的设计方法, 并给出了实验结果。测试数据表明所研制的和差器的主要指标达到了同类英国样品的水平。

和差器是幅度单脉冲雷达天线系统中的重要部件。其功能是比较几路波束所接收到的回波信号的幅度, 从中获得和、差信号。它的性能直接影响雷达的跟踪精度及跟踪距离等重要指标。以往的和差器采用波导型结构, 又大又重, 不宜用在飞行器机载电子设备中, 故需要用微带型结构。但到目前为止, 有关微带和差器及其主要组成部分——微带三分贝电桥的设计资料大多用于 S 或 L 波段, 而 X 波段的文献资料极少, 且所用的基片材料是国内目前不能生产的^[1], 故文献中介绍之数据无法直接利用。我们和航空部 612 所合作, 参照英国样品研制了 X 波段微带和差器, 取得了一些成果。本文主要阐述这种和差器的设计方法, 并给出了实验结果。文中还研究了影响性能的诸因素及改进方向。

一、工 作 原 理

图 1 是微带和差器的电路示意图。到达和差器输入端 A、B、C、D 的信号幅度分别为 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 ; A 和 B 以及 D 和 C 之间输入信号的相位差均为 180° 。由于三分贝电桥的特性以及和差器中各段微带线长度的恰当选择, G 端输出和信号 $\Sigma = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$, F 端输出方位差信号

$$\Delta\alpha = (E_1 + E_2) - (E_3 + E_4),$$

E 端输出俯仰差信号

$$\Delta\beta = (E_1 + E_4) - (E_2 + E_3)$$

当目标在天线轴方向时, 和差器四个输入端口得到的回波信号幅度相等,

无差信号输出。当目标偏离天线轴方向时, 四个端口的回波信号幅度不等, 故有差信号

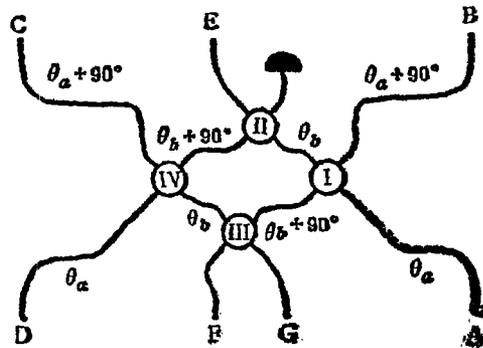


图 1 微带和差器的电路示意图

输出。差信号的极性参考信号由和信号承担。放大后的差信号驱动伺服机构转动天线，直至天线轴瞄准目标无差信号输出。

二、和差器的设计

实际设计主要包括以下几步：

1. 根据系统的总体要求选定和差器的结构尺寸。精心选择基片材料很重要，根据需要和实际可能，我们选用99瓷氧化铝陶瓷片。基片薄些对改善电性能有利，但太薄则强度较差且加工困难，故确定片厚为0.72毫米。

2. 计算微带线的线宽。根据所选用之基片的介电常数，导带的宽度、厚度，电路工作的中心频率，可利用计算机算出线的特性阻抗和有效介电常数（在X波段需考虑微带的色散效应）。设计时根据所要求的特性阻抗，利用上述计算结果即可确定各段微带线的线宽。

3. 三分贝微带电桥的设计。为减小邻近线间的耦合和T形接头电抗的影响，采用了圆环图形。这种图形还有利于在较小的基片上实现电桥之间的连接。电桥中主线和支线导带宽度不同，有效介电常数也不同，故其长度略有差别。考虑到制作的便利，相邻臂中心线的夹角保持 90° 不变，但让主线和支线的中心线的半径略有不同，后者稍大一些。另外考虑到T形结电抗的影响，主线和分支线的长度均需加以修正。

4. 根据基片尺寸和端口位置，安排和差器中四个电桥的位置和传输线的走向。各段传输线的电长度应满足图1中所提出的要求。

三、测试结果与分析

1. 测试结果。我们采用扫频方法进行测试。图2和图3示出了所研制的和差器的实验特性曲线和英国样品的测试结果。从这些曲线可明显看出，所研制的和差器的性能达到了英国样品的水平。

2. 影响和差器性能的几个因素。

(1) 尺寸公差的影响。微带三分贝电桥的尺寸准确与否对性能影响极大。由于波长短，电桥的尺寸很小（如主线内半径仅1.21毫米），即使放大10倍作图，要使成品尺寸精确也是很困难的。根据实际条件，我们采用了将三分贝电桥放大100倍两次照相制版的办法，以减小误差，同时也可使四个电桥的一致性较好。

(2) 材料不均匀性的影响。材料不均匀性包括基片各处介电常数的不均匀性及厚度不均匀性。材料不均匀性使和差器中各电桥的一致性变差。故必须选用高质量的瓷片精心加工。

(3) 线宽（阻抗）的选择。各段支线的电长度是两参考面之间微带中心线的电长度。实际上主线和支线的内、外边缘的长度不等，且线越宽此差值越大。微带线上的电流分布是很复杂的，并不只分布在中心线上。在我们所研制的和差器中，电桥两相邻臂边缘间距的最大值与最小值之差约为 $2H \approx 1.3$ 毫米，这个值在X波段微带线上大致相

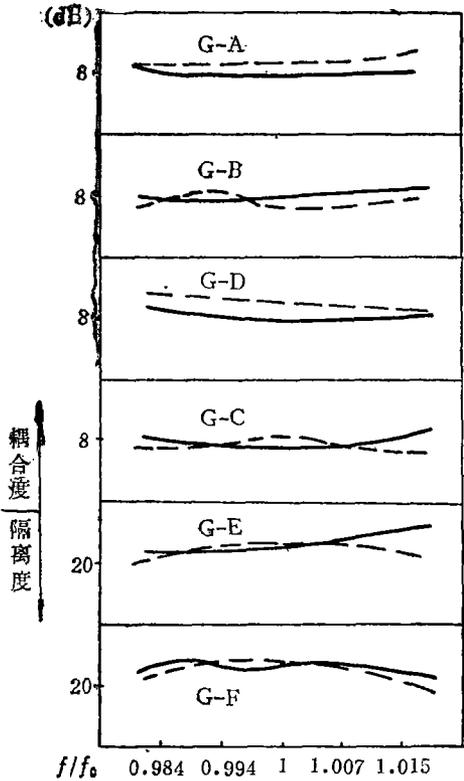


图 2 和差器耦合度和隔离度
——实线为自制和差器的测试结果

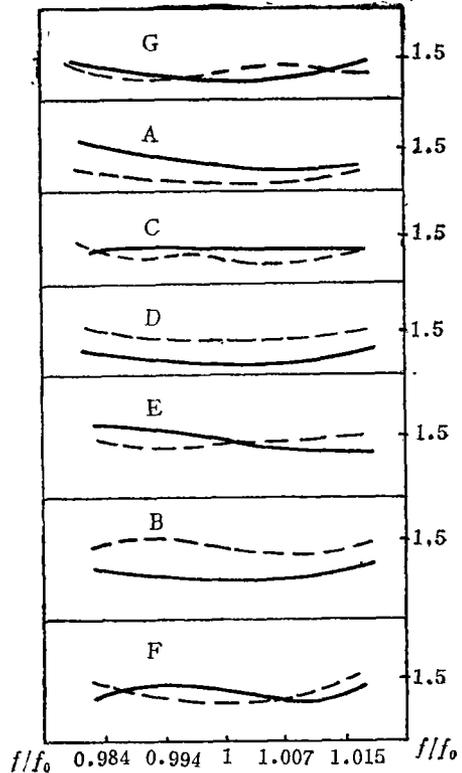


图 3 和差器各端口输入 $VSWR$
-----虚线为英国样品的测试结果

当于 40° 的电长度。因此，实际电桥的性能与理论分析得到的结果有差异。相对而言，带线窄一些，应更能接近理想情况。当然在基片厚度不变时，线越窄其阻抗也越高。我们选择的线宽分别为 1.21 毫米和 0.61 毫米，对应的特性阻抗为 38.70 欧姆和 54.58 欧姆，两者之比仍为 1.41。这样，虽然特性阻抗为 54.58 欧姆的微带线在各端口将与 50 欧传输系统失配，但失配程度很小 ($VSWR=1.09$)，与接头引起的失配相比，不是主要的。通过调整，可以减小各端口的驻波比。

(4) 接头的匹配问题。各个端口的微带同轴转换接头往往会引起失配，而且各个端口失配程度又可能不一致。理论分析和实验结果均表明，接头处匹配的好坏，对和差器性能影响甚大。当和差器各端口的驻波比小于 1.5 时，不匹配所造成的影响不太大。

(5) 电桥 T 形结的修正。T 形结电抗效应的影响在设计时必须加以考虑。电桥中主线和支线的长度要在计算的基础上进行修正。线的宽度也要进行修正。对 X 波段来说，一些文献所给的修正公式基本上只提供了一个修正数量级，实际设计中常采用经验公式进行修正，但要达到良好的效果，还需通过实验调整。

四、结 束 语

本文总结了我们在研制微带和差器过程中所进行的一些实际工作和理论分析。所研

制的和差器基本上满足了技术指标的要求。当然为提高雷达的跟踪精度,还须对和差器作进一步的改进。可考虑从以下几方面着手:1.精心设计转换接头,使各端口驻波减小;2.减小尺寸误差,必须提高作图精度,在条件许可时,用微机控制激光作图机;3.减薄基片厚度,这主要取决于新材料的研制成功(如砷化镓材料)。基片厚度薄了,导带宽度相应地也变窄,有利于提高性能。

参 考 文 献

- [1] W.H. Leighton Jr and A. G. Milnes, Junction Reactance and Dimensional Tolerance Effects on X-Band 3-dB Directional couplers, IEEE, Trans., Vol. MTT-19 p.818 NO. 10 1971.
- [2] W. Menqd and I. Wolff, A Method for Calculating the Frequency-Dependent Properties of Microstrip Discontinuities, IEEE Trans., Vol. MTT-25, pp.107~112, NO.2 February 1979.
- [3] P. Silvester and P. Benedek, Microstrip Discontinuity capacitance for Righth-Angle Bends, T Junction and Crossings, IEEE, Trans., Vol. MTT-21, pp.341~346, NO. 5 May 1973.
- [4] K. C. Gupta Ramesh Garg, Rakesh Chadha, Computer-Aided Design of Microwave Circuits, 1981.

A X-Band Microstrip Sum-and-Difference Circuit

Xu Zihua Yang Weizhang Zhao Tiehao

Abstract

This paper describes a method of designing a X-Band microstrip sum-and-difference circuit and gives the experimental results. The testing data show that a sample of the circuit developed by us has reached the level of the similar sample of Britain in some principal indexes.