

相位误差对单脉冲天线跟踪能力的影响

赵克明 韦银高
(中国科学院遥感卫星地面站)

摘要:

由于和、差通道路径不同引起的相位误差，严重影响单脉冲天线的跟踪能力。文章主要分析影响的原因，并介绍了几种解决的方法。本文只讨论幅度比较单脉冲跟踪系统。

关键词：跟踪系统、单脉冲、相位差、同步检波

1. 单脉冲跟踪系统简述

幅度比较单脉冲天线由四个馈源和一个抛物面组成。四个馈源都偏离抛物面焦点并称排列，形成四个偏离抛物面对称轴的独立波束。每个波束在 3dB 点上与相邻波束相交，当被跟踪目标位于天线轴上时，每个馈源收到的信号幅度相等。馈源的后面联接和、差分离电路。

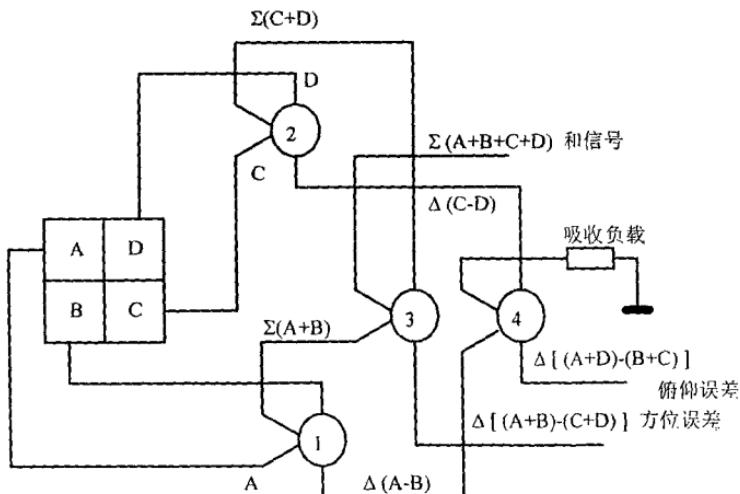


图 1

图 1 是馈源与和、差分离电路的联接图，图中 A、B、C、D 为四个馈源，1、2、3、4 为四个魔 T 或是四个波导环行桥。根据电磁场理论可以分析出，当四个馈源收到相等信号时，即天线轴线对准了目标，只有和信号 $\Sigma(A+B+C+D)$ 输出，而两个差信号都没有输出，为

时，即天线轴线对准了目标，只有和信号 $\Sigma(A+B+C+D)$ 输出，而两个差信号都没有输出，为零。当天线波束在两个方向偏离目标时，四个馈源接收的信号幅度不相等，这时不只有和信号输出，而且还有两个角度误差信号 $\Delta[(+B)-(C+D)]$ 及 $\Delta[(A+D)-(B+C)]$ 输出，差信号与和信号之间的相位关系最终决定伺服电机的转向。

以上信号还需要经过混频、放大、检波、检相等电路的处理才能供天线控制器使用。这些电路的集成构成了跟踪接收机。根据对这三个信号的处理方法，跟踪接收机可分为：三通道跟踪接收机、两通道跟踪接收机和单通道跟踪接收机。图2、图3、图4分别是三通道跟踪接收机、两通道跟踪接收机和单通道跟踪接收机原理图。目前应用较多的是单通道和两通道跟踪接收机。

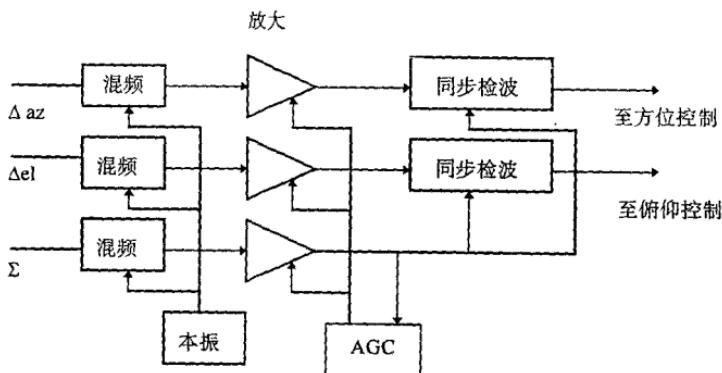


图2

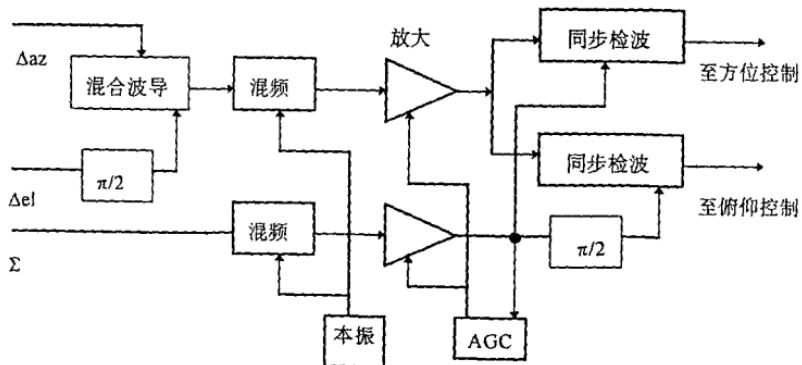


图3
044

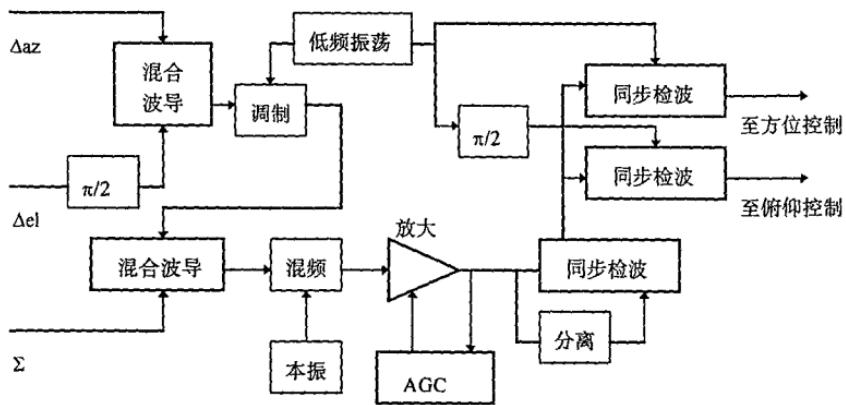


图 4

2. 系统相位差的影响

2.1 相位误差对系统跟踪能力的影响

从图 2、图 3、图 4 中可以看出三种跟踪接收机都有同步检波电路，同步检波器是最终提取误差信号的重要环节。在正常情况下，输出只取决于差信号。然而同步检波器需要输入两个信号，一个输入差信号，一个是和信号。从同步检波器的工作原理可知，如果和、差信号之间的相位 θ 不是一个定值，就会出现许多种情况。为讨论方便，假定天线在跟踪一个正弦信号源。

设：差信号为 $f(\beta)\cos\omega t$ ，和信号为 $\cos(\omega t + \theta)$

β 为天线跟踪误差角， θ 为系统内部原因引起的和、差信号之间的相位差。

同步检波就是将两信号相乘，并将相乘后的信号再经低通滤波器，滤除高频成分实现的。

令：乘积等于 $e(\beta)$ ，它等于：

$$e(\beta) = f(\beta)\cos\omega t \cdot \cos(\omega t + \theta) \\ = \frac{1}{2}f(\beta)\cos\theta + \frac{1}{2}\cos(2\omega t + \theta) \quad (1)$$

公式右边第二项为高频成份，经滤波后

$$e(\beta) = \frac{1}{2}f(\beta)\cos\theta \quad (1.1)$$

从公式 (1.1) 可以看出在 $f(\beta)$ 后面还乘有一个以 θ 为变量的函数。设想下面几种情况。

$$(1) \quad e(\beta) = \frac{1}{2}f(\beta) \quad \text{当 } \theta = 0 \quad (1.2)$$

这时系统处于最佳状态

$$(2) \quad e(\beta) = 0 \quad \text{当 } \theta = \pm\pi/2 \quad (1.3)$$

这时系统对目标没有响应

$$(3) \quad e(\beta) = -\frac{1}{2}f(\beta) \quad \text{当 } \theta \text{ 在二、三象限以内} \quad (1.4)$$

这时同步检波器输出信号相位错误，由系统工作原理可知，伺服电机将驱动天线向

目标相反的方向转动，进一步加大角度误差，直到天线波束远离目标。

$$(4) \quad e(\beta) = \frac{1}{2} f(\beta) \cos \theta \quad \text{当 } \theta \text{ 在一、四象限以内} \quad (1.5)$$

这时同步检波器输出信号的相位虽是正确的，但信号的幅度不仅取决于 $f(\beta)$ 还要受 θ 的影响，最终导致系统跟踪能力下降。由于跟踪系统的增益是有一定余量的，所以允许 θ 在一定范围内变化。令系统增益为 A ，那么应有：

$$A \cos \theta = 1 \quad (2)$$

$$\theta = \cos^{-1} 1/A \quad (2.1)$$

2.2 相位差引起的交叉耦合

交叉耦合是：假如天线只是方位偏离了目标，那么应当只有方位误差信号出现，但是由于系统内部相差 θ 的原因，同时也出现了俯仰误差信号，或者只应出现俯仰误差信号的同时，出现了方位误差信号。于是导致天线错误动作，丢失目标。这是因为当方位误差信号进入方位同步检波器时也进入了俯仰检波器，如果进入俯仰同步检波器的方位误差信号与和信号不是正交关系，那么俯仰检波器就会输出错误信号；同样当俯仰误差信号进入方位同步检波器时，也会出现上述情况。

假定天线轴在方位上偏离目标 α 角，那么在俯仰同步检波器输出端应当得出：

$$\begin{aligned} e(\alpha) &= f(\alpha) \sin \omega t + \cos(\omega t + \theta) \\ &= \frac{1}{2} f(\alpha) \sin \theta \end{aligned} \quad (3)$$

θ 是系统内部引起的和、差信号之间的相位误差

如果 θ 等于零，则 $e(\alpha)$ 等于零系统工作正常。如果不等于零，则天线的方位、俯仰出现交叉耦合。

设交叉耦合的允许值为 B ，则应有：

$$\sin \theta = B \quad (3.1)$$

$$\theta = \sin^{-1} B \quad (3.2)$$

假如交叉耦合为 -10dB ，将数字代入公式 3.2， θ 应小于 5.7° 。

3. 缩小相差的方法

人们都希望得到一套完美的跟踪系统，但是和、差通道的几何长度不可能完全一致，再由于各种半导体器件的离散性，最终导致和、差两通道的等效电长度不一致。并且当系统针对某一频率调整正常后，一旦改变工作频率，相位关系也随着改变。

为了解决上述问题，人们在和、差信号耦合器之前插入一个移相器，如 S/A 公司插入的活塞式移相器；DTI 公司是电子式移相器，以上两种移相器均是随着系统工作频率的改变而改变移相的角度，以满足系统工作的要求。它们均需另加控制单元。还有的厂家采用了宽带相位补偿器，这种方法调整麻烦。

另外在第二标题中的讨论均是假定方位、俯仰误差信号是正交的，而在实际系统中理想的正交是不存在的。在有的系统中采用了时分多路复用的方法传送误差信号，以提高它们之间的隔离度。

参考文献：

1. 【美】B.P. 拉斯. 通信系统. 国防工业出版社, 1976 年第 1 版.
2. 沈民谊、蔡振远. 卫星通信天线、馈源、跟踪系统. 人民邮电出版社, 1993 年第 1 版.
3. 王保志. 微波技术与工程天线. 人民邮电出版社, 1991 年第 1 版.
4. 美国 Scientific - Atlanta 公司技术资料

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>