

文章编号:1001-893X(2010)05-0114-03

一种低系统误差的干涉仪相位校正方案^{*}

何 民

(海军装备部重庆局,成都 610036)

摘 要:借鉴矢量网络分析仪采用标准校正件的方法,提出了一种简单、方便的干涉仪测向低系统误差相位校正方案,通过引入标准功分器作为校准件,来修正校正源通道支路各通道间的不平衡性,最终能够有效消除校正源支路各通道间的固有相差,从而提高系统测向精度。最后,对实现方法进行了定性分析。

关键词:电子对抗;干涉仪测向;相位误差;校正

中图分类号:TN98 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.05.025

An Interferometer Phase Correction Method with Low System Error

HE Min

(Chongqing Bureau of Navy Equipment Department, Chengdu 610036, China)

Abstract: According to the vector network analyzer(VNA) calibration method using standard parts, a simple and convenient interferometer phase correction method with low system error is proposed. Through the introduction of the standard splitter as a calibration pieces the unbalance among the branch channels of source-channel is corrected and eventually the inherent difference among the branch channels can be effectively removed so as to improve the direction find(DF) accuracy. Finally, the implementation method is qualitatively analysed.

Key words: electronic countermeasure(ECM); interferometer direction find; phase error; correction

1 引 言

干涉仪测向是一种高精度的测向体制,是电子对抗的一项重要技术,它通过比较到达天线阵射频信号间的相位差来获得方向信息^[1-2]。近年来,随着数字信号处理技术的飞速发展,各种新的测向算法层出不穷^[3-5]。但由于宽频带多通道接收机各通道间的模拟器件难以保证相位和幅度的良好一致特性,因此,一般采用数字相位校正的方式来消除系统中的固有相位误差。

典型的相位校正方案在消除接收通道间固定相位差的同时,受校正源信号器件特性限制,校正通道

支路各通道间的相位同样不平衡,也会引入新的系统误差,从而影响系统测向精度。

本文提出了一种简单的低失真校正方案,能够在一定程度上消除校正源支路各通道的不平衡,改善系统性能,具有较高的工程应用价值。

2 干涉仪的工作原理

图 1 所示为一个简单的单基线干涉仪系统^[1],设当信号的入射方向与天线视轴偏离角度为 θ 时,波平面到达两天线的相位差为 $\Delta\phi$ 。

$$\Delta\phi = \frac{2\pi D}{\lambda} \times \sin\theta \tag{1}$$

式中, D 为干涉仪基线长度, θ 为射频信号到达角, λ

^{*} 收稿日期:2010-01-18;修回日期:2010-03-11

为波长。

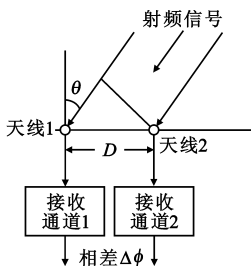


图 1 干涉仪测向原理框图

Fig.1 Schematic diagram of interferometer DF

考虑到 $\lambda = \frac{C}{f}$,则式(1)可以改写为

$$\sin\theta = \frac{\Delta\phi \times C}{2\pi \times D \times f} \tag{2}$$

式中, C 为光速, f 为信号载频。

由式(2)可以看出,在天线阵和信号载频固定时,可以由通道相位差 $\Delta\phi$ 直接得出射频信号的到达角 θ ,从而测出射频信号到达的方向。

3 典型相位校正方案

为方便起见,以两通道干涉仪接收机方案为例,介绍典型的相位误差校正方案。

图 2 给出了典型两通道干涉仪的相位校正示意图。可以看出,校正时,两个接收通道分别通过单刀双掷开关馈入从同一个校正源产生的校正信号,记录此时两通道间的相位差 $\Delta\phi$ (即 $\phi_a - \phi_b$),以此作为两接收通道间的固有相差。干涉仪正常工作时,接收射频信号,记录通道间的相差 $\Delta\phi'$,用 $\Delta\phi' - \Delta\phi$,即得到了实际的相差,进而求出信号的到达方向角 θ 。

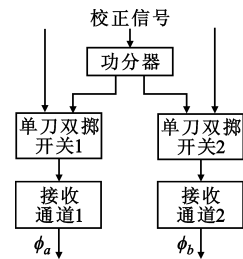


图 2 典型相位校正方案示意图

Fig.2 Schematic diagram of a typical phase correction method

4 典型相位校正方案的缺陷

典型相位校正方案虽然简单,但它在消除通道 1 和通道 2 间相位差的同时,又引入了新的系统误

差。该系统误差主要是由于校正源信号支路中的功分器、单刀双掷开关等关联器件各通道相位不平衡造成的。如图 3 所示,送入接收通道 1 校正信号相移 Δa ,送入接收通道 2 校正信号相移 Δb ,系统误差为 $\Delta a - \Delta b$,从而降低了整个系统的测向精度。

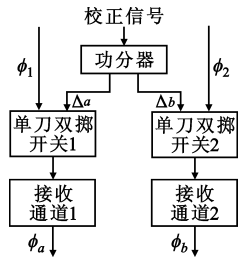


图 3 两通道相位校正方案误差分析图

Fig.3 Error analysis diagram of two-channel phase correction method

同时,典型相位校正方案也没有涉及单刀双掷开关前引入的相位 ϕ_1 和 ϕ_2 , ϕ_1 和 ϕ_2 间的不平衡同样会降低系统测向精度。

5 低系统误差相位校正方案

如何用简便方法消除掉校正源信号支路各通道间相位不平衡带来的系统误差,实现低系统误差的相位校正方案? 我们可以借鉴网络分析仪中采用标准校正件的方法来消除系统误差 $\Delta a - \Delta b$ 。

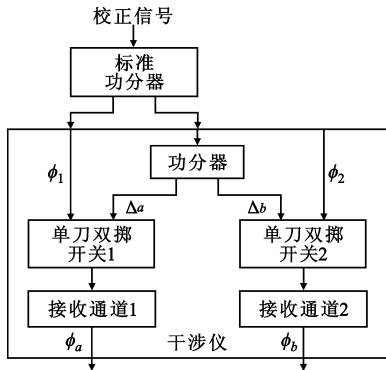


图 4 低系统误差相位校正方案示意图

Fig.4 Schematic diagram of low system error phase correction method

标准校正件就是用特殊处理方法实现具有特殊指标参数性能的器件,用于系统校正过程。它的成本往往很高,不能在一般设备中装配。在这里标准校正件就是图 4 中所示的标准功分器以及用于连接标准功分器和干涉仪的校准射频电缆。经特殊处理

后,必须保证校正件各通道间在全频段具有高度的相位和幅度一致性,不平衡性可以忽略。考虑到标准校正件所需数量很少,能够采用更新的设计手段、更好的工艺保障或者直接生产多件实物挑选等提高成本的方法来实现。

6 低系统误差相位校正理论分析

首先设定接收通道 1 和接收通道 2 在单刀双掷开关前器件(如电缆、限幅器、滤波器等)的相移分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 。当标准功分器两个输出端口分别置于通道 1 和内置功分器时,单刀双掷开关 1 选择左支路,单刀双掷开关 2 也选择左支路,则可以得到此时的相位差:

$$\Delta_1 = (\phi_1 + \phi_a) - (\Delta b + \phi_b) \quad (3)$$

当标准功分器两个输出端口分别置于通道 2 和内置功分器时,单刀双掷开关 1 选择右支路,单刀双掷开关 2 也选择右支路,则可以得到此时的相位差:

$$\Delta_2 = (\phi_2 + \phi_b) - (\Delta a + \phi_a) \quad (4)$$

将 Δ_1 和 Δ_2 作为系统误差因子存储起来。

后面的校正过程与典型的相位校正方案一致。取下外置标准功分器,将校正信号接在干涉仪内置功分器上,单刀双掷开关 1 置于右支路,单刀双掷开关 2 置于左支路,则可以得到此时相位差:

$$\Delta_3 = (\Delta a + \phi_a) - (\Delta b + \phi_b) \quad (5)$$

经过 3 次校正后,以 Δ_1 、 Δ_2 和 Δ_3 为系统误差因子计算出两通道间相位误差。

由式(3)和式(4)可以得出:

$$\Delta_1 - (\phi_1 + \phi_a) + (\Delta b + \phi_b) = \Delta_2 - (\phi_2 + \phi_b) + (\Delta a + \phi_a)$$

两通道间的固定系统相位差为

$$(\phi_1 + \phi_a) - (\phi_2 + \phi_b) = (\Delta_1 - \Delta_2) - (\Delta a + \phi_a) + (\Delta b + \phi_b) = \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3 \quad (6)$$

由此可以看出,经过 3 次校正,可以消除校正源信号支路中各端口的不平衡。由 3 次校正结果 Δ_1 、 Δ_2 和 Δ_3 表示两个接收通道间的固定相位误差,从而能够方便地测出后续测试到达射频信号的相位差,准确测量射频信号的方向角度。

7 结束语

干涉仪测向需要对接收通道的幅度相位一致性

进行校正,但往往难以消除校正信号通路自身引入的系统误差。本文通过对标准校正件的合理应用,给出了一种简单的低系统误差多通道相位校正方案,可以消除校正信号支路器件各通道不平衡性带来的固有相差,并对实现方法进行了定性分析,从而有效提高了相位测量系统的精度,具有较高的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999: 91 - 93.
ZHAO Guo-qing. Radar Confrontation Principle[M]. Xi'an: Xidian University Press, 1999: 91 - 93. (in Chinese)
- [2] 桑炜森, 顾耀平. 综合电子战新技术新方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996: 155 - 156.
SANG Wei-sen, GU Yao-ping. A new Technologies and Methods of Integrated Electronic Warfare [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1996: 155 - 156. (in Chinese)
- [3] 王广松, 戴旭初. 基于频域相关的宽带干涉仪测向新算法[J]. 航天电子对抗, 2006, 22(4): 52 - 53.
WANG Guang-song, DAI Xu-chu. A novel wideband interferometer direction finding algorithm based on spectrum correlation[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2006, 22(4): 52 - 53. (in Chinese)
- [4] 张海燕, 李正文, 许林. 五通道相位干涉仪测向算法及其在 TMS320C6711 上的实现[J]. 电子技术应用, 2003, 29(12): 28 - 30.
ZHANG Hai-yan, LI Zheng-wen, XU Lin. Direction finding and position by five channels phase interferometer implement using TMS320C6711 [J]. Application of Electronic Technique, 2003, 29(12): 28 - 30. (in Chinese)
- [5] 谢跃权, 徐向东, 陈松, 等. 运用模糊控制技术的测向精度改善方法[J]. 空军雷达学院学报, 2002, 16(4): 11 - 13.
XIE Yue-quan, XU Xiang-dong, CHEN Song, et al. A method of improving direction finding precision by fuzzy control[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2002, 16(4): 11 - 13. (in Chinese)

作者简介:

何 民(1973 -), 男, 重庆人, 工程师, 主要从事雷达、目标识别总体技术的研究。

HE Min(male) was born in Chongqing, in 1973. He is now an engineer. His research concerns radar and target identification.

Email: yangchenyu1976@163.com