

基于正交变频的无线电扩频信标设计与实现

张永亮^{1,2}, 薛军^{1,2}, 潘高峰¹, 苏龔¹

(1. 飞行器海上测量与控制联合实验室, 江苏 江阴 214431;

2. 中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

摘要: 无线电信标是船载无线电测控设备进行动态自检和角度标校的必需设备。提出了一种基于正交变频技术的信标设计方法, 通过单片机控制实现了信标参数的灵活设置, 在电路实现上则采取了抑制边带和本振泄露的措施。该信标工作可靠, 性能满足需求, 实际应用取得了良好的效果, 为船载无线电测控设备的海上标校提供了技术保障。

关键词: 无线电信标; 正交变频; 单片机; 无线电设备标校

中图分类号: U666.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)01-0110-04

Design and Implementation of Radio Spreading-sequences Beacon Based on Quadrature Frequency-conversion

ZHANG Yong-liang^{1,2}, XUE Jun^{1,2}, PAN Gao-feng¹, SU Yan¹

(1. Joint Laboratory of Ocean-based Flight Vehicle Measurement and Control, Jiangyin 214431, China;

2 China Satellite Marine Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: Radio beacon is necessary equipment for dynamic self-test of vessel carrier's radio measuring and controlling equipment. A beacon design method based on quadrature frequency-conversion technology was put forward. The parameters of the beacon were set flexibly through MCU control. Sidebands and local oscillator's leakage were suppressed in circuit implementation. Real application showed that the beacon works reliably and its performance meets requirements. The purpose was to provide technical supports for naval adjustment of vessel carrier's radio measuring and controlling equipments.

Key words: radio beacon; quadrature frequency-conversion; MCU; radio equipment calibration

信标是船载无线电测控设备在海上进行动态自检和角度标校的必要设备^[1]。由于温度、湿度以及器件本身的变化可能会导致跟踪和差通道的相位发生改变, 此时必须进行跟踪信道检查调整; 为满足跟踪

精度要求, 还必须检验伺服系统动态特性和标定光电失配量^[2]。对此, 在海上测控任务准备过程中, 通常采用施放信标的方式进行船载无线电测控设备的动态自检和角度标校。

收稿日期: 2012-08-14

作者简介: 张永亮(1979—), 男, 黑龙江绥化人, 博士, 工程师, 主要研究方向为实时系统与专用集成电路技术。

提出了一种信标设计方法,该方法采用直接正交变频技术实现伪码的射频调制,采用可编程器件实现不同伪码的产生,采用内置USB功能控制器的单片机,实现上位机对信标频率、伪码的初相和本原多项式的在线和离线设置。该信标交互性好、参数可设、应用范围广,实际应用取得了良好的效果。

1 直接正交变频技术

直接变频是把基带信号直接调制到射频载波上的一种最直接和最简单的调制方式。基于正交调制的直接正交变频技术能够直接将基带信号搬移到射频、载频并消除无用的边带信号,以实现调制目的^[3]。无需中频放大、滤波和变频等电路,同时放宽了对变频后滤波器的要求,极大地减小了信标的体积、质量、功耗和成本。然而该技术也存在一些缺点,如正交调制信号和正交本振信号相位和幅度的不平衡、对直流偏移失真敏感等,会导致严重的边带和本振泄漏。

考虑I/Q信号存在幅度和相位的不平衡及直流偏移误差,基带信号可以表示为:

$$\begin{cases} I(t) = G\cos(\omega t + \varphi) + D \\ Q(t) = \sin\omega t \end{cases} \quad (1)$$

式中: G 、 ω 和 D 分别为I/Q信号之间的归一化幅度比、正交相位误差和直流偏移误差; t 、 φ 为信号标准参数。正交本振信号可以表示为:

$$\begin{cases} f_{ol} = A\cos(\omega_c t + \theta) + E \\ f_{oq} = \sin\omega_c t \end{cases} \quad (2)$$

式中: A 、 θ 和 E 分别为 f_{ol} 与 f_{oq} 之间的归一化幅度比、正交相位误差和直流偏移误差; ω_c 为信号标准参数。理想情况下, $A=G=1$, $\phi=\theta=0$, $D=E=0$ 。

边带抑制能力用边带功率抑制比(SCPR)表示,考虑到正交本振信号是由正交调制器内部的分相网络产生的,其正交相位差 φ 接近于0,可得:

$$SCPR = 10 \lg\left(\frac{1 + A^2 G^2 + 2A \cdot G \cos\varphi}{1 + A^2 G^2 - 2A \cdot G \cos\varphi}\right) \quad (3)$$

当幅度和相位趋向平衡时, A 、 G 趋近于1, φ 趋近于0,SCPR较大;当幅度和相位的不平衡度增大时,SCPR急剧下降,边带泄漏明显。

2 无线电信标的设计与实现

无线电信标的设计采用无中频方案,通过控制频率综合器(频综)输出所需点频,在满足性能指标要求的同时降低成本;通过单片机设置CPLD生成伪码所需的初相和本原多项式。

2.1 无线电信标的硬件设计

无线电信标主要由单片机、CPLD、正交调制器、带通滤波器、高速DAC、频综、功放、数控衰减器和天线组成,如图1所示。

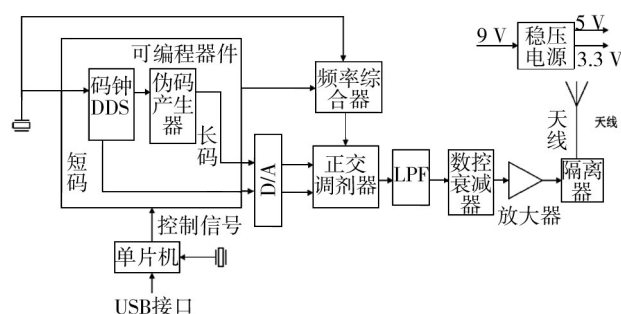


图1 无线电信标的原理

Fig. 1 Principle of radio beacon

信标信号的调制方式为QPSK或BPSK。使用QPSK时,同相支路调制短码,正交支路调制长码;使用BPSK时,只调制短码。使用单片机实现对频综和CPLD的配置,单片机通过USB端口接收上位机命令和数据,包括频点、伪码初相和本原多项式等,并作为控制器将命令和数据发送给CPLD。CPLD提供了单片机到频综的数据通道,从而实现了单片机对频综和伪码产生器的控制,可以灵活地设置信标频点和伪码。伪码产生器生成的长短码经DAC分别送至正交调制器进行调制^[4],当断开Q支路输出时,即可实现BPSK调制。调制后的信号经滤波放大由天线发射出去。

设计实现了CPLD逻辑电路,进行了功能仿真,其中频综控制模块、伪码产生器和DAC控制模块的仿真结果如图2所示。

为抑制边带和本振泄漏,采取了以下措施。

1) 泄漏的本振信号 f_c 主要是由I/Q信号存在的直流偏移引起的,对此I/Q信号采用差分线与交流耦

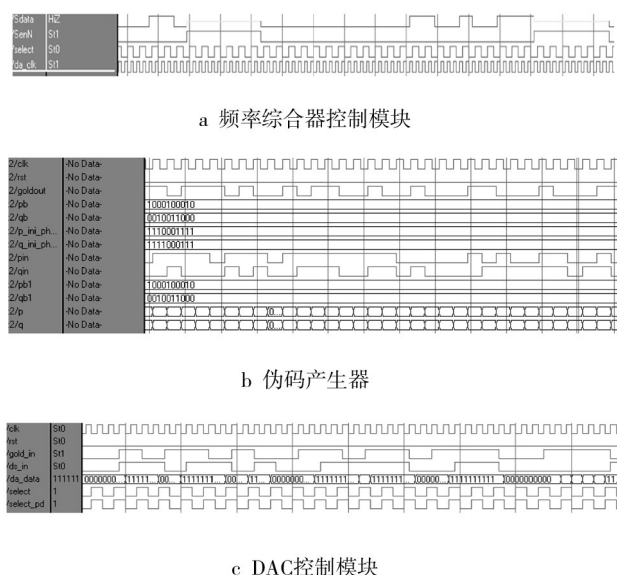


图2 仿真结果

Fig. 2 Results of simulation

合方式传输,消除了直流偏移误差;利用外接线性可变电阻器调节DAC电流源的电流幅度比,即间接调节了I/Q信号的幅度比,以此补偿正交本振信号的幅度比偏差,使A、G趋近于1。

2) 抗码间干扰低通滤波器LPF选用具有良好相位和幅度匹配特性的器件,减小正交相位误差;I/Q信号的布局 and 布线采用了对称或差分结构,进一步限制I/Q信号间的正交相位误差大小。

2.2 无线电信标的软件设计

为使无线信标参数可设,设计了单片机/上位机交互系统,如图3所示,编写了单片机和上位机软件。

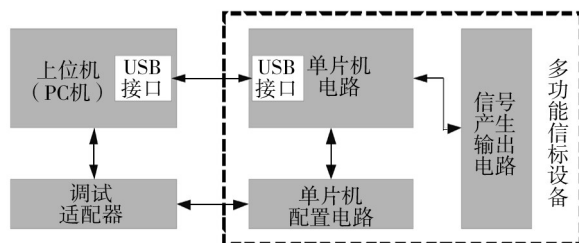


图3 无线电信标参数设置原理

Fig. 3 Principle of setting parameters of radio beacon

在上位机输入信标参数后,通过USB通信将数据发送到无线信标单片机,单片机接收到数据后

将其写入相应的控制寄存器并输出信号到CPLD和频综,实现信标参数的在线设置;单片机将这些数据写入内部FLASH,在离线时单片机读取FLASH中的数据,将其写入控制寄存器并输出信号到CPLD和频综,实现参数的离线设置。

上位机软件和单片机软件使用C语言编写,集成开发环境为Microsoft VC++6.0和Silicon Laboratories IDE V3.84,USB通信使用USPXpress提供的库函数来实现^[5]。

3 结果和结论

根据提出的设计方法完成了无线电信标的研制,并进行了试验和应用。结果表明信标功能满足要求,可通过在线和离线设置信标参数;使用频谱仪长时间观测信标输出信号,扩频信号频谱稳定,指标满足要求;与船载无线电测控设备对接,满足设备标校要求。信标实物和扩频信号频谱如图4和图5所示。

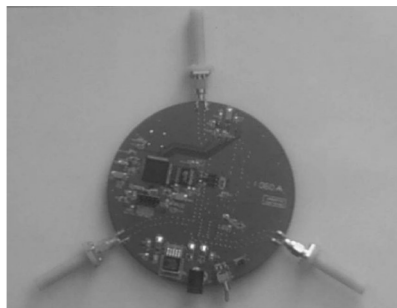


图4 无线电信标

Fig. 4 Radio beacon

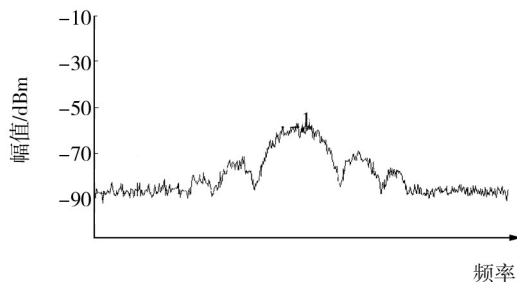


图5 扩频信号频谱

Fig. 5 Spectrum of spreading-sequences signal

文中提出的无线电信标设计方法可行,电路设

计合理,研制成本较低,性能可靠,指标达到设计要求,满足船载无线电测控设备标校的需要。该信标已应用于船载测控设备的海上标校,有效地验证和调整了测控设备技术状态,为航天测控任务的圆满完成做出了贡献。

参考文献:

- [1] 柴华,吴连才. 基于协同频谱感知的无线电台通信组织[J]. 四川兵工学报,2011,32(4):132—134.

- [2] 马志强. 靶场大地测量[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
[3] 查光明,熊贤祚. 扩频通信[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
[4] 田耘,徐文波,张延伟. 无线通信FPGA设计[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
[5] ZHANG Yong-liang, XUE Jun, ZHAO Wen-hua, et al. A Method of Setting Radio Beacon's Frequency Based on MCU[C]// The 2011 International Conference on Electric and Electronics. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2011:839—845.

(上接第104页)

4 结语

针对离心机吊篮耳轴这一特殊的转轴结构,提出利用测量应变的方法进行不平衡扭矩的实时监测。测量方程显示转轴扭矩与测点应变成线性关系,利用标定试验确定线性系数,即可通过监测过程中的应变值计算得到扭矩。选择合理位置粘贴全桥应变片,进行了验证性试验,试验结果显示该方法可行。

参考文献:

- [1] 沈观林. 应变电测与传感器技术的新发展及应用[J]. 中

国测试,2011,37(2):87—96.

- [2] 刘丽霞. 车辆扭矩与转速测试系统[J]. 仪表技术与传感器,2010(7):89—91.
[3] 王岩,储江伟. 扭矩测量方法现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备,2010,38(11):14—18.
[4] 谢仕鸿,聂海雄,王效岗. 中厚板矫直机接轴扭矩在线监测系统研究[J]. 重型机械,2011(1):39—42.
[5] 陈胜来,朱长春,邓志刚. 某油箱离心试验的吊篮动平衡分析[J]. 装备环境工程,2010,7(6):243—246.
[6] 王登泉,杨明,叶林. 非接触式旋转轴扭矩测量现状[J]. 电子测量技术,2010,33(6):8—12.
[7] 刘谦,邓志刚. 离心机吊篮锁紧机构的设计研究[J]. 装备环境工程,2010,7(6):241—243.

(上接第109页)

在磨削钛合金台阶轴时要考虑清根,选用的砂轮粒度应比钛合金一般件磨削更细,在砂轮硬度方面更硬。这与加大切削力是相矛盾的,在普通砂轮的磨削中只能通过减少端面磨削余量来解决。顶尖问题采用合金钢顶尖加润滑的方法是较为简单的解决方法。

3 结论

对TC4钛合金的性能和磨削经验,目前已有较多报道,但根据零件的形状及磨削部位不同还要具体对待。针对台阶轴磨削在余量及顶尖方面,相对其它件磨削做了一些总结。当然,这只是在通用的条件下,若在专业的钛合金磨削中采用人造金刚石

JR和陶瓷立方氮化硼CBN砂轮将会得到更好效果。经过对钛合金性能的了解和加工摸索,克服其难磨削的弱点,保证了台阶轴的精度和使用要求。该轴在使用中既能满足抗磁、耐磨和强度等调试要求,又能避免与同为钛合金材料的零件在配合时发生亲和作用,同时在试验环境下抗腐蚀、锈蚀能力强,充分发挥了钛合金的材料优势,保证了测试轴的反复使用精度。

参考文献:

- [1] 张小福,张红霞,陈燕. 磨削钛合金用陶瓷CBN砂轮的研制[J]. 新技术新工艺,2006(9):37—39.
[2] 翟丽君,郭永嘉. 磨削钛及钛合金的砂轮选择[C]// 中国有色金属工业协会钛锆钪分会2009年年会论文集.(余不详)