

基于FPGA的超声波测向装置设计

张国志, 刘万东

(河南送变电建设公司, 河南 郑州 450051)

摘要: 提出了一种利用超声波的多普勒效应来测定电力线路施工中张力放线方向的方法。实现频移测量的核心器件是FPGA。该器件通过比较测量发射和接收超声波信号的波长来输出方向信号, 以供后续的激光测速测长装置使用, 两者共同完成对放线长度的测量。详细介绍了FPGA的内部设计和工作原理, 并对其误差和精度进行了分析。仿真结果证实了该方法的有效性。

关键词: 张力放线; 超声波; 多普勒效应; FPGA; 弧垂

Design of ultrasonic direction testing device based on FPGA

ZHANG Guo-zhi, LIU Wan-dong

(Henan Transmission and Transformation Construction Corporation, Zhengzhou 450051, China)

Abstract: A method is presented here which is about utilizing doppler effect of ultrasonic to monitor the laying direction of overhead conductor. The central implementation unit of the frequency shift measurement is a FPGA device which compares the wavelength difference of the ultrasonic signal's emitted and received to decide the direction signal output. This output signal is to be used by the laser velocity and length measuring equipment. The two devices together complete the process of conductor-length measurement. Internal design and working principle of the chip are introduced. Its error and precision are analyzed. The simulation result demonstrates the validity of the method.

Key words: tension stringing; ultrasonic; doppler effect; FPGA; line sag

中图分类号: TM752; TM93 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0182-03

0 引言

在高压线路的架线施工中, 普遍采用了张力放线方式。放线结束后, 要观测线路弧垂, 弧垂满足后方可压接金具、安装导线。但对于大风天气, 观测弧垂将十分困难, 甚至根本不可能。这将严重影响施工效率和质量。实际上, 如果能够在放线过程中准确记录下放线长度, 在需要安装金具的位置做好标记, 将有效克服这种困难, 即使对于一般的线路施工也将提高效率。这就要求测量的精度要高, 否则将满足不了弧垂误差要求。经过调查, 发现有一种BETA LASERMIKE公司的激光测速测常仪可以实现这种测量精度(精度达0.02%)。但这种测量仪自身没有感知导线运动方向的功能, 只提供了方向输入接点, 测量仪将根据此输入信号来决定长度的加减。感知方向的传感器有多种, 考虑到计算精度的要求, 我们选择制作基于多普勒效应的超声测向传感器, 这种传感器将能反映从1 mm/s到2 m/s的速度变化范围, 通过比较发射和接收的频率变化来输出方向信号。

1 超声波测向原理

根据多普勒频移原理, 超声波源(发射器)的

发射信号频率和运动的导线反射到波宿(接收器)的接收信号频率有以下关系:

$$f_r = \frac{1 + \frac{v_l \cos \theta_l}{v_w}}{1 - \frac{v_l \cos \theta_r}{v_w}} f_t \quad (1)$$

其中: f_r 为接收频率, f_t 为发射频率, v_l 为导线运动速度, v_w 为超声波在空气中的传播速度(大约为340 m/s), θ_r 为反射到接收器的超声波和导线运动方向的夹角, θ_l 为反射器发射方向和导线运动方向的夹角。如图1所示。

极限情况下($\theta_r = \theta_l = 0$, 放线速度2 m/s), 假设发射频率为40 kHz, 则有

$$f_r = \frac{1 + \frac{2}{340}}{1 - \frac{2}{340}} \times 40 = 40.473 \quad (2)$$

此时频率的改变量为正的473 Hz。同样的当 $\theta_r = \theta_l = \pi$ 是将有负的468 Hz的改变量。实际上, 考虑到信号的反射效率, 超声波探头的安放不可能达到极限位置, 以角度在60°至75°为宜。当角度

为 60° 时, 变化范围在 -235 Hz 到 $+236\text{ Hz}$ 之间。此时, 若导线运动速度只有 1 mm/s , 频率变化仅 0.1 Hz , 对测向装置的灵敏度要求很高。

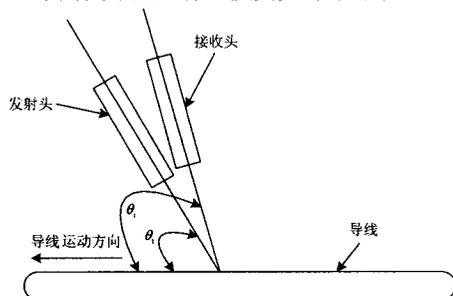


图 1 超声波多普勒测向原理图

Fig.1 Ultrasonic direction detecting principle

2 测向装置的组成 (图 2)

测向装置由超声发射和接收探头、超声波发射和接收电路、用 FPGA 实现的频率比较器组成。

由 FPGA 生成的 40 kHz 信号经功率放大驱动压电陶瓷换能器发出超声波信号, 经导线反射后, 由接收换能器获取改变了频率的超声波信号, 经自

动增益放大, 整形为方波信号输入由 FPGA 构成的频率比较器, 和发射频率比较后输出方向辨别信号送给激光测速测向仪。

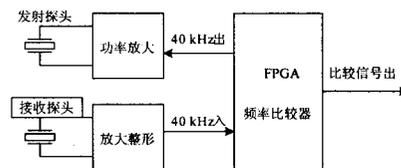


图 2 测向装置的组成

Fig.2 Direction testing device constitution

3 FPGA 频率比较器设计

设计选用了 ALTERA 公司的 CYCLONE 系列 FPGA 器件 EP1C3T100C6N。该器件内置 PLL 电路, 可有效提升器件的性能, 内部速度达 400 MHz , 可实现在板编程。频率比较器由一系列计数器、定时器、移位寄存器、锁存器、比较器等组成, 图 3 为内部构成电路图。

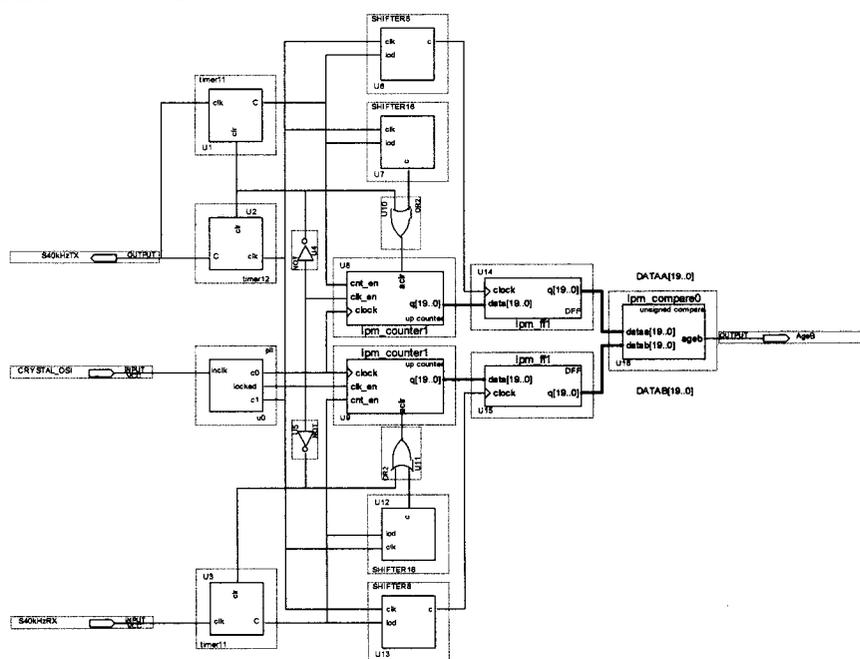


图 3 频率比较器原理图

Fig.3 Frequency comparator principle diagram

U0 是锁相时钟发生器, 产生数倍于外部时钟频率的时钟信号, 作为各时序电路的时钟输入。U2 是分频器, 产生 40 kHz 的超声频率信号送给外部电路, 同时送给 U1 定时器作为时钟输入, 对 40 kHz 脉冲计数。U3 定时器则对接收到的超声信号脉冲计数。U1 和 U3 的输出分别作为 U8 和 U9 计数器的

计数时长输入。U6 和 U13 移位寄存器分别产生 U14 和 U15 的时钟信号, 以避免 U8 和 U9 的计数时间, 保证 U14 和 U15 分别在 U8 和 U9 的计数保持时间锁存数据, 供 U16 比较器比较数据大小, 输出频率比较结果。

引入 U1 和 U3 的目的, 是为了提高比较器的频

率分辨率, 这样即使导线有 1 mm/s 的运动速度, 比较器也能感知。考虑到晶体振荡器的温度和老化特性, 比较器舍弃了接收信号和常数比较的方式, 提高了比较器的可靠性。

4 FPGA 频率比较器仿真

设定外部时钟频率为 40 MHz, 解析时间 10 ms, 当接收信号频率分别大于等于、小于 40 kHz 时, Altera 公司提供的 Quartus II 软件的仿真结果如图 4。(a) 图中 AgeB 信号的瞬时下陷和 (b) 图中开始时段输出信号高电平, 是由于上电时初始频率数据均为零, 以及收发信号的相位差所致, 正常工作时将不再会出现。

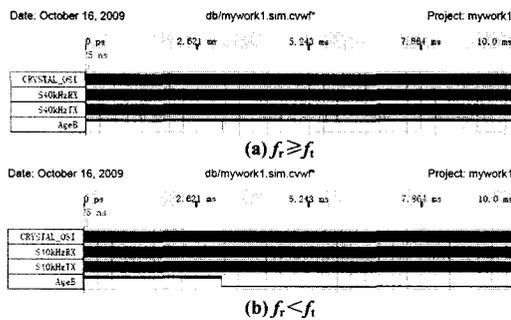


图 4 仿真波形

Fig.4 Simulation waveform

5 误差分析

当外部晶振的稳定度在 10^{-7} 水平时, 由于要求的分辨率在 0.1 Hz, 约为 40 kHz 的百万分之 2, 晶振的相位噪声对测量结果的影响可以忽略。考虑到导线开始运动时加速度很大, 对晶振的要求可以进一步降低, 稳定度在 10^{-6} 数量级即可满足要求。

(上接第 118 页 continued from page 118)

参考文献

[1] 韩谷静, 殷小贡, 秦亮, 等. 电能计量设备防电流窃电新技术[J]. 电测与仪表, 2007, 44(10): 29-32.
HAN Gu-jing, YIN Xiao-gong, QIN Liang, et al. A Novel Technique of Preventing Electricity-stealing in Current Method for Electric Power Measuring Equipment[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44(10): 29-32.

[2] 龚文净, 朱世军. 负荷管理系统反窃电技术的应用分析[J]. 中国高新技术企业, 2008, 9: 60-61.
GONG Wen-jing, ZHU Shi-jun. The Application Analyzing of Preventing Electricity-Stealing in Load Management System[J]. China High Technology Enterprises, 2008, 9: 60-61.

考虑到声速在短时间的稳定性, 声速的变化将不会显著影响定向测量结果。对于高海拔地区, 声速将明显降低, 将影响测向的灵敏度 (最多减少 1/5)。

6 结束语

用 FPGA 构造的频率比较器, 具有分辨率高, 工作稳定可靠, 易实现的特点, 和超声波换能器结合, 可方便地实现对张力放线方向的监测, 给激光测长仪提供了实时信号, 保证了导线长度测量的准确性。

参考文献

[1] 郑永令, 贾起民, 方小敏. 力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
ZHENG Yong-ling, JIA Qi-min, FANG Xiao-min. Dynamics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.

[2] 安居, 张福民. 利用激光多普勒效应进行电缆动态定长的研究[J]. 工业计量, 2007, 17(5): 6-7.
AN Ju, ZHANG Fu-min. Study on Dynamic Cable-Length Measurement with Laser Doppler Effect[J]. Industrial Measurement, 2007, 17(5): 6-7.

[3] 李利品. 基于 DSP 的高精度超声波流量控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2009, (3): 132-133.
LI Li-pin. High precision Ultrasonic Flux Control System Based on DSP[J]. Instrument Technique and Sensor, 2009, (3): 132-133.

收稿日期: 2008-06-06; 修回日期: 2009-07-14

作者简介:

张国志 (1966-), 男, 高工, 工学硕士, 主要从事变电工程技术管理工作;

刘万东 (1957-), 男, 高工, 主要从事输变电工程技术管理工作。

[3] 伍丁红. DSP 在电力监控装置中的应用研究[J]. 现代电子技术, 2003, 26(20): 91-95.
WU Ding-hong. Research of DSP'S Application in Power Testing Equipment[J]. Modern Electronics Technique, 2003, 26(20): 91-95.

[4] 李芙英, 朱小梅, 纪昆, 等. 一种应用于高电压侧测量系统中电源[J]. 高电压技术, 2002, 28(3): 46-47.
LI Fu-ying, ZHU Xiao-mei, JI Kun, et al. The Power Supply of Optoelectric Current Transducer[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(3): 46-47.

收稿日期: 2008-12-12

作者简介:

赵兵 (1971-), 男, 硕士, 工程师, 从事用电新技术研究工作. E-mail: zhaob@epri.sgcc.com.cn