# 电力传输线路中电流测量系统的设计和实现

刘增水

(上海电子信息职业技术学院,上海 201210)

摘要:基于法拉第效应的光学电流互感器 (OCT),提出了电力传输线路中电流测量方案,解决了 OCT中光照度信号的自动增益 均衡化问题:利用锁相环技术实现了测量过程中采样信号相位同步.提高了电流测量精度:对提出的测量电路方案进行了测试与分析。 关键词:光学电流互感器;自动增益均衡化;HR6P62HL

文献标识码: B

**中图分类号**: ™933.1

文章编号: 1006 - 2394 (2009) 09 - 0004 - 03

# Design and Implementation of the Current M easure System

in the Electric Power Transmission

LU Zeng-shui

(Shanghai Technical Institute of Electronics & Information, Shanghai 201210, China)

Abstract: By the use of an optical current transformer (OCT) based on the Faraday Effect, the method of current measure in power system is presented. The problem of automatic gain equalization of two optical intensity signals in the OCT is solved The phase synchronization of the sampled signal in measure process is realized by a phase-locked bop circuit, and the measuring accuracy is improved The current measure system is tested and analyzed in the paper

Key words: optical current transducer, automatic gain equalization; HR6P62HL

### 1 光学电流互感器结构组成和工作原理

# 1.1 光学电流互感器结构组成

本文采用自行研制的光学电流互感器 (OCT).基 于法拉第磁光效应原理,如图 1所示。光源驱动电路 直接驱动光源发出特定波长光信号,经过分光器,分成 两路相同的光信号,通过传输光纤传输至电力传输线 路的高压区,经准直透镜变为平行光,再经过起偏器变 为线偏振光,最终到达磁光晶体;由于电力线路中电流 产生的磁场作用,通过磁光晶体的线偏振光在该磁场 中发生了偏转,检偏器将偏转角度的大小转换为光照



1:光源驱动电路 2:光源 3:分光器 4:传输光纤 5:准直透镜 6:起偏 器 7:磁光晶体 8:电力电流母线 9:检偏器 10:耦合透镜 11:光电探 测器 12:信号数据处理单元

图 1 光学电流互感器的结构组成

度信号,经耦合透镜和两路光纤传送到测量系统的地 电位侧 ,利用光电转换器件 ,把光照度信号变换成电信 号 ,再经过二次信号处理单元处理后 ,最终得到电力传 输线路中电流量值。

1.2 光学电流互感器工作原理

在光学电流互感器结构中,采用了双光路的结构 设计形式,两束线偏振光以相反的光路方向,通过磁光 晶体 ,经过电力线路电流磁场的调制后 ,振动面的旋转 角大小相等,但方向相反;再利用差分方法对这两路光 信号进行处理,可提高测量系统的抗共模信号干扰能 力和电流测量精度。经过光电转换后,A和 B两路输 出的光照度信号可表示为:

$$I_{\rm A} = U (1 + X \sin 2 ft), f = 50 \text{Hz}$$
 (1)

 $I_{\rm B} = V (1 - Y \sin 2 ft), f = 50 \text{Hz}$ (2)

式中: U和 V为光强的直流分量, X和 Y为直接反映了 电力线路中待测量的电流值。

# 2 电流测量系统设计和实现

#### 2.1 电流测量系统组成框图

电力传输线路电流测量系统框图如图 2所示,两 路 OCT信号 4 和 4,首先经过低通滤波、预放大和直 流量自动增益均衡化处理;再经过差分电路和信号放

收稿日期: 2009 - 06

作者简介:刘增水(1969—),男,高级工程师,研究方向为仪器仪表、工业控制和嵌入式系统等。

大电路处理,在微控制器的控制下,使用 ADC模数转 换器,得到电流测量数据;最后由微控制器把测量数据 传送给后端电力测量系统低压侧的合并单元模块电 路,完成电流数据的分析、计量和显示等功能。合并单 元电路模块一般按照相应的国家标准进行设计和实 现,限于篇幅本文不作讨论。



图 2 电力传输线路电流测量系统框图

在图 2测量系统中,电力线路中的电流信号频率为 50Hz。使用锁相电路,保证在每个 20ms周期时间内,ADC起始采样的时刻相同;与此同时,也保证在单周期内,采样 256个 ADC数据,其采样时刻的准确性。22 测量系统主要电路设计和分析

221 光照度信号直流分量自动增益均衡化电路

如何从式 (1)和式 (2)中分离出有效的交流分量, 是整个测量系统预处理电路的关键。由于耦合损耗、 光纤弯曲损耗、传输损耗等因素,会直接引起图 1中 A 和 B 2路光照度信号的直流分量不同。本文采用了图 3直流量自动增益均衡化电路,电路的工作原理如下: U18A的输出信号经过 R<sub>56</sub> /C<sub>78</sub>和 R<sub>97</sub> /C<sub>74</sub>两级低通滤 波后,得到 4 或 4 信号中的直流分量  $V_{d}$ 。U21是基 准电压源,产生 -  $V_{ref}$ 电压信号,当  $V_d/R_{33} = V_{ref}/R_{35}$ 时, 由 U18B构成的积分电路中, C<sub>82</sub>电容电路无电流流 过,Q1控制极 G的电压  $V_g$ 维持不变,此时电路处于平 衡状态。当 A 或 B 直流分量与基准电压不等时,U18B 积分电路输出电压升高或降低,从而改变U18A的放

2

大倍率,直至电路重新进入平衡状态。由于 A和 B信 号处理电路使用相同 -  $V_{ref}$ 信号,经过图 3电路处理 后,式 (1)、(2)中的 A和 A变化为下式的 E和 A:

- $I_{\rm C} = W (1 + Z_1 \sin 2 ft), f = 50 {\rm Hz}$  (3)
- $L_{\rm b} = W (1 Z_2 \sin 2 ft), f = 50 \text{Hz}$  (4)

式 (3)和式 (4)经过差分电路处理,即可得到电力 线路电流量值为:

 $I = W (Z_1 + Z_2) \sin 2 ft, f = 50 \text{Hz}$  (5)

式(5)电流信号 /进行放大处理后,最终完成 ADC模数转换。实际测量表明,该电路工作稳定可 靠。

222 锁相电路的设计和说明

如图 4 所示,测量系统使用了锁相环集成芯片 CD4046,实现 50Hz信号起始相位的锁定,对应图中 50Hz\_Pulse信号; CD4046和二进制计数器 CD4040组 合,生成单个 20ms周期内的 256点 ADC采样时钟信 号,对应图中 ADC\_Sample\_Pulse信号。CD4046输入 所需要的方波信号 50Hz\_Signal由电流正弦信号通过 过零比较器转变得到,图中未绘出。

223 微控制器和信号采样电路

如图 5所示,本文采用了由上海海尔集成电路有限公式开发的强抗干扰性、工业级高速 HR6P62HL单片机作为核心微控制器,晶振频率选用 16MHz,单片机运行速度满足了信号采样速率和数据处理的需求。电路设计中选用了 16B it模数转换芯片 AD7680,通过 SP 接口与单片机进行通信,速度高达 100kS/s。由于AD7680功耗很小,直接选用具有大电流输出能力的参考电压源芯片 REF196GS作为其工作电源和内部ADC转换模块的参考电压源,提高了模数转换的精度。单片机把 ADC转换的结果,通过 RS - 232通信接口,输出给后端的合并单元模块电路,经过数据处理和分析后,即可得到待测量的电力线路中传输的电流值。





图 5 采样电路和微控制器电路

在图 5中,单片机利用 PB0/NT外部中断和 PB7 端口电平变化中断端口,分别与图 4锁相电路中的 50Hz\_Pulse单周期脉冲信号(20ms时间间隔)和数据 采样 ADC\_Sample\_Pulse周期信号(20ms/256时间间 隔)相连接,以保证单周期起始采样、单周期内 256个 采样时刻的准确性和响应速度。

#### 3 电流测量误差的测试和分析

2

基于光学电流互感器的电流测量系统的误差测试 方法如图 6所示。调压器和升流器用来模拟产生电力 传输线路中的传输电流,电流大小为 0~500A。电阻 性负载采用紫铜棒材加工制成,局部制成圆弧形状, OCT光学电流互感器嵌入其中,测量模拟出的电力传 输线路电流。标准校验仪用于对比,确定 OCT光学电 流互感器实际电流的测量误差。测试结果如图 7所 示。

实际测量结果表明:本文提出的测试系统,电流测量精度相对误差小于 1%,已经达到 IEC61850标准中规定的 0.2级要求。



图 6 光学电流互感器误差测量方法示意图



#### 4 结束语

本文使用光学电流互感器 (OCT),完成了电力传 输线路中电流测量电路的设计和实现,并进行了测试 (下转第 9页) 的混合编程,由此服务器端的被控对象及客户端的控制算法可以方便、可靠地实现。此外,服务器与客户端 之间的通信用 Windows Socket技术实现,节点间传输 速率的限制采用专门限速软件实现。

针对用户仿真界面的开发,分别为服务器端和客 户端开发了相应的应用程序界面,其中服务器端界面 见图 3。在服务器端,用户可以实现被控对象参数设 置、采样周期选择以及传输速率的选择。在客户端,用 户可选择所需控制器及相关参数,实时仿真曲线及仿 真数据实时显示在客户端界面上。



图 3 服务器端应用程序界面

# 3.3 仿真软件包使用案例

被控对象沿用前文中的直流伺服电机,服务器端 采样周期设置为 50m s,客户端选择状态反馈控制器。 然后,通过调用限速软件将带宽限制为 5kbit/s及 5Mbit/s,分别得到不同速率下的实时仿真结果,如图 4 所示。



显然,在其他实验条件相同的情况下,带宽限制为 5kbit/s时性能指标 J = 0.5140,带宽限制为 5Mbit/s时 候性能指标 J = 0.1737。由此也从半物理仿真层面验 证了传输速率约束对于控制性能的影响。

#### 4 结束语

本文针对传输速率约束下的网络控制系统,采用 数值仿真和半物理仿真 2种方式,初步研究了传输速 率与网络控制性能的关系。首先,对典型的以太网控 制系统进行了数值仿真,分析了传输速率与网络诱导 延时以及控制性能的关系;此外,设计、开发了包含实 际通信网络的半物理实时仿真软件包,实际应用结果 也初步验证了传输速率和带宽对于控制性能的影响, 为有限速率通信网络在实时控制系统中的进一步应 用,以及相关控制系统的分析和设计方法进行了初步 的探索。

# 参考文献:

- [1] Murray R. M., A strom K J., Boyd S P., Brockett R. W. and Stein G. Future directions in control in an information-rich world [J]. IEEE Control System sM agazine, 2003, 23 (2): 20 -33.
- [2] 岳东,彭程, Qinglong Han 网络控制系统的分析与综合 [M].北京:科学出版社, 2007.
- [3] Girish N. Nair, Fabio Fagnani, Sandro Zampieri, and Robin J. Evans Feedback control under data rate constraints: an overview [J]. Proceeding of the IEEE, 2007, 95 (1): 108 -137.
- [4] Cervin, A., Henriksson, D., Lincoln, B., Eker, J., Arzen, K -E How does control timing affect performance? Analysis and simulation of timing using Jitterbug and TrueTime [J].
  EEE Control Systems Magazine, 2003, 23 (3): 16 30.
  (许雪军编发)

# (上接第 6页)

和分析。测试结果表明,该测量电路方案达到 IEC61850标准中规定的 0.2级要求。本方案的提出, 有助于促进光学电流互感器在电力测量系统中得到广 泛地应用。

## 参考文献:

- [1] 李庆波,王慧丽,冯瑞颖,等.全光纤及其他光学电流传感
   器技术发展现状 [J].传感器技术,2002,21(7):1-4.
- [2] 邓向阳,李泽仁,彭其先,等.测量脉冲大电流的双光路光 学电流传感器技术[J].爆炸与冲击,2007,27(1):45-49.
- [3] 程玉琪,董林军.干涉型光纤传感器 PTAC法相位检测研究 [J].传感技术学报,1992(3):22-27.
- [4] 王照峰,王仕成,苏德伦.锁相环电路的基本概念及应用研究[J].电气应用,2005,24(8):46-48.
- [5]张艳.光学电流传感器数字信号处理系统的研究 [D].武 汉:华中科技大学,2004. (许雪军编发)