

适用于 PEBB 采样系统的高速光纤隔离通讯装置

靳晓光, 张德华*, 吕征宇

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:为了解决系统中较高电压电流变换率对采样产生的干扰问题,提出一种基于现场可编程门阵列(FPGA)的光纤隔离采样通讯装置,并阐述了该装置的具体设计思路及步骤。这种装置可实现信号采样并进行数字化传输和接收,具有优良的绝缘性能和暂态特性,对复杂电力电子系统隔离采样及信号传输有工程实用价值。最后通过实验给出了两个节点间数据传输波形及延时,分析和计算结果证实该装置的有效性。

关键词:电力电子标准模块;采样;光纤隔离;通讯;现场可编程门阵列

中图分类号:TP216;TM4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)06-0750-03

High speed and optic-isolated communication unit for sampling system in PEBB

JIN Xiao-guang, ZHANG De-hua, LV Zheng-yu

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to reduce the sampling interruption induced by high dI/dt and dV/dt in the system, a field programmable gate array (FPGA)-based and optic-isolated communication unit was proposed, and the design philosophy and highlights of this method were described in detail. In the unit, the sampled values can be transmitted and received in digital mode. It was point out that, in complicate power electronic system, application of this unit has practical value for their excellent performance in insulation and transient characteristics. Finally, waveforms and propagation delay between two modes were presented by experimental result. According to capacity calculation, the feasibility of the system design was proved.

Key words: power electronic building block (PEBB); sampling; optic-isolated; communication; field programmable gate array (FPGA)

0 引 言

电力电子系统集成成为近几年研究热点^[1],其目标是采用电力电子标准模块(power electronic building block, PEBB)构建应用系统,处于底层的数字信号处理器通过高带宽通讯接口对 PEBB 进行控制。

电力电子装置的主功率器件在开关过程中产生很高的电流和电压变化率,它们通过电路中寄生的电容和电感产生的电磁噪声对采样设计提出复杂的要求^[2]。传统功率变换器的控制单元与采样单元多采用直接对接。数字信号处理器通过采样信号做出反应,传输给功率单元完成相应动作^[3]。如果采样出现错误,可能导致整个系统的瘫痪。

在电力系统中为避免电磁噪声对传感装置产生影响,国内外一些公司已经开发出电子式互感器,并有大量研究者致力于其扩展与改善^[4]。电子式互感器在采样点就地 A/D 转换后通过光纤进行信号传输,具有高绝缘性、传输距离长、损耗小等特点^[5-6]。但电子式互感器在电力电子系统推广中还面临以下几点问题:①结构复杂,成本高;②采用的传输媒介带宽小,传输速率低;③控制单元多为单片机,运算速度慢,智能程度低;④单通道传输。F. Richter 等人提出集成 DSP 数字滤波的新型传感器^[7],具有采样精度高、设计简单的特点,但其没有从根本上杜绝传输途径的噪声引入。文献[8]提到的光纤传感器也是当今电力电子采样领域研究热点,利用法拉第效应引起激光折射角变化来测量流

收稿日期:2010-11-15

作者简介:靳晓光(1983-),男,河北安平人,主要从事高频开关电源、新能源技术及电力电子标准模块中高速通讯技术方面的研究。E-mail: vincent.xg.jin@gmail.com

通信联系人:张德华,女,副教授,硕士生导师。E-mail: eedhzh@zju.edu.cn

过导线的电流,测量精确、抗干扰能力强,不过需要复杂设备来测量,且过高的成本不利于其推广使用。

本研究在此基础上提出一种新的多通道采样智能通讯装置设计方法,该装置可以支持多通道采样,以高速光纤总线传输数据,接收模块又支持多路光纤同时解码,所得采样数据最后置于存储单元中供电力电子系统核心数字信号处理器(DSP)随时读取^[9]。该传感器以现场可编程阵列(FPGA)为核心^[10],对采样数据按约定协议进行编码传输和接收,并进行校验。新型智能传感器的突出优点是隔离性能好、网络通讯速度快,传输效率高。与传统的采样传输方式比较,光纤隔离的数字传输装置具有电气绝缘性能好、动态范围大、不易饱和等优点。光纤传输取代金属电缆,使通讯更快速、更可靠。经实验证明本装置适用于复杂电力电子系统^[11],对于电力系统的信号采样及传输同样适用。

1 发送单元软硬件设计

该通讯装置分为发送单元和接收单元两部分,二者均基于 FPGA 的软硬件设计。发送单元的硬件设计如图 1 所示,由电源、信号调理、A/D 转换、FPGA 和电光转换模块 5 部分组成。采样信号经信号调理、A/D 转换再经 FPGA 进行编码,最后通过电光转换模块输出到光传输媒质。

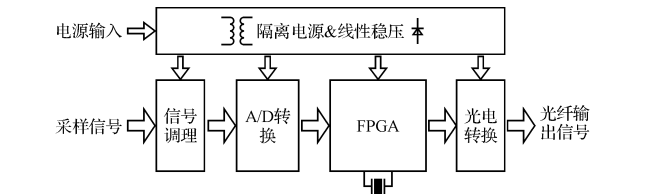


图 1 发送单元硬件结构

发送单元系统核心主要以软件形式存放于 FPGA 中,由 VHDL 语言编写。包括以下几个部分:A/D 控制、起始应答、时钟管理、数据锁存、传输协议主体和 CMI 编码部分。系统需要执行以下几个任务:接收节点采样值,执行采样通道操作指令,此外还需发送开始指令及插入校验信息,最后再将完整的数据帧进行 CMI 编码并输出到电光转换模块。具体结构如图 2 所示。

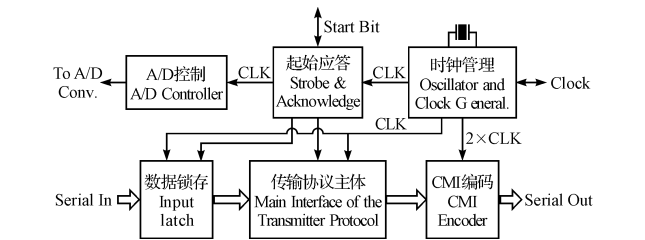


图 2 发送单元软件结构

2 数据帧结构

发送单元发送给接收单元的一个完整数据帧包括:起始标识、地址域、数据域、校验域和结束标识。其中地址域长度为 4,对每个采样通道进行编码。数据域长度由 A/D 转换模块决定,目前 A/D 的数据采样一般以 12 位定义。校验域预留 5 位校验信息。

3 接收单元软、硬件设计

接收单元为发送单元的逆过程,负责接收并还原数据,再将数据存储供后续装置读取使用。接收单元结构如图 3 所示,由电源、光电转换、信号调理电路、FPGA 主体和 D/A 转换模块 5 部分组成。

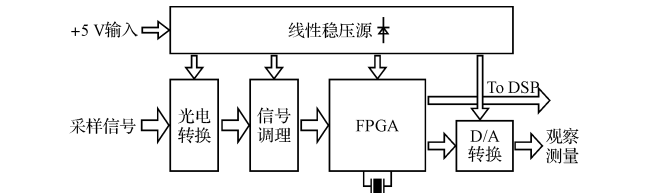


图 3 接收单元硬件结构

接收单元的信号流程如下:首先接收光纤传送过来的光信号,由光电转换模块将其转化为电信号,再对此信号进行调理输入到 FPGA,FPGA 内按照传输协议对数据进行还原,提取出有效部分存放于存储器中,供电力电子控制系统控制核心读取。为了方便观察和测量,所传送过来的数字信号可以还原为模拟信号并通过 I/O 接口输出给外设。

接收模块的软件框图如图 4 所示,其中包括:CMI 解码模块、时钟提取模块、时钟管理模块、数据帧同步模块、接收协议主体、数据存储模块和 D/A 输出控制模块。相较于发送模块,接收数据的同步、起始位判断及校验更为重要。

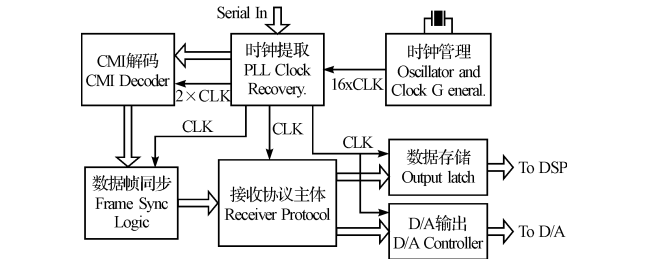


图 4 接收模块软件结构

本研究所提及的接收单元时钟同步不需要专门的同步时钟线,可利用数字锁相环从串行位流数据中恢复出接收位同步时钟。所设计的数字锁相环(DPLL)是一种带反馈的相位控制系统,主要由时钟沿检测电

路、鉴相器、时钟倍频电路和分频器组成。首先用高倍数时钟对输入码流的变化沿进行提取,对此变化沿进行分频,得到与输入数据同频率时钟 f_{out} 。反馈部分再根据所提取时钟与数据跳变沿之间的误差(超前还是滞后)对分频器发出控制指令,调节内部高速振荡器的振荡频率,通过持续的反馈调节,使输出时钟 f_{out} 的相位与输入数据即发送端时钟同步。

作为长距离传输装置,发送端与接收端的上电顺序不同步应不影响系统运行,这样需要在传输数据中加入开始信息以便接收单元随时接入系统都能正确解码。本设计用 1 帧特殊数据作为发送开始指令,在可能的起始位到来时启动接收装置,对数据进行监测,当接收数据和预约开始标志相同时,启动解码程序。

4 系统带宽分析

下面来估算每个发送单元的网络通道容量。假设在一普通三相 VSI 系统中,主控单元需要每个模块的电压电流及保护信号。则每个发送单元需要的通道容量 C 可近似为:

$$C = N_{\text{node}} n_b f_{\text{sw}} \quad (1)$$

式中: C —通道容量, n_b —每帧数据的位数, f_{sw} —系统开关频率, N_{node} —采样单元的通道数。

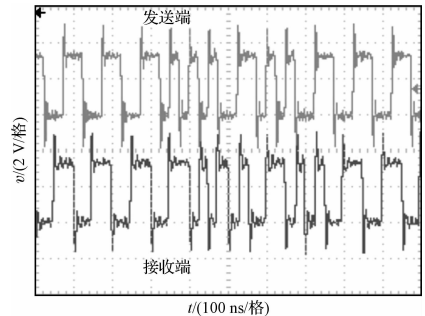
本研究中每帧数据的长度为 25 位,每个发送单元有 4 个通道,即 $n_b = 4$ 。假设 VSI 系统的开关频率是 10 kHz,则可以计算出需要的最小数据容量为 1 MHz/s。实验平台设计中采用 20 MHz 频率采样传输,远远满足要求,可应用范围更加灵活。

5 实验结果及结论

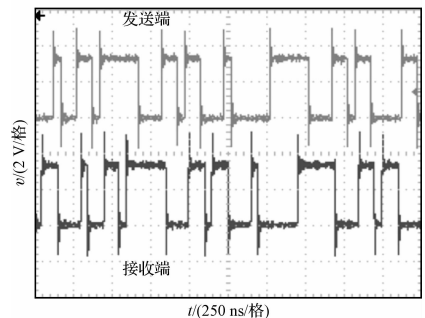
实验平台的构建采用 Altera 的 Cyclone 系列 FPGA 作为主控制器。光纤的发送器和接收器分别采用 AVAGO 的 HFBR-1527 和 HFBR-2526,二者所支持的最高频率为 125 MHz。发送编码方式采用 CMI 编码,这种编码用‘00’和‘11’交替替换数据中的‘1’,用‘01’替换‘0’。这样可以避免长高电平和长低电平的情况存在,使码流趋于均衡,利于误码检测。再者,CMI 编码方式能制造尽量多的高低电平转换,方便后面的时钟提取,减少误码几率。光纤收发器采用 PECL 标准的差分串行 I/O 高速信号,抗干扰能力强。

实验采用的光纤长度为 1.5 m。光纤收发两端 CMI 编码信号波形如图 5(a)所示,可见光电转换模块、光纤媒质还有 PECL 转换所需要的延时为 80 ns。发送 CMI 编码前和接收 CMI 解码后的波形对比如图 5

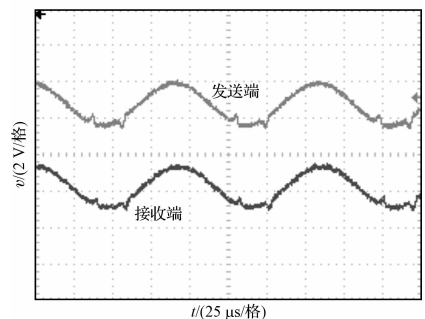
(b)所示,前后延时为 200 ns。发送端采样波形与接收端还原波形的对比如图 5(c)所示。采样信号为一 10 kHz 近似正弦波形,实验结果表明接收还原出的信号没有发生失真,与发送端采样波形保持一致。接收数据相对于发送数据的延时约为 2 μs 。



(a) 光纤收发两端 CMI 编码信号波形



(b) 发送端 CMI 编码前和接收端 CMI 解码后的波形



(c) 发送端采样波形和接收端还原波形对比

图 5 实验波形

实验证明对于简单的三相 VSI 系统,只要网络延时不超过开关频率 4%,系统的三相逆变输出不会产生畸变,即:

$$\tau_d < T_{\text{sw}} \times 4\% \quad (2)$$

式中: τ_d —系统延时, T_{sw} —系统的开关周期。

那么采样系统延时允许的开关频率为:

$$f_{\text{sw}} < \frac{1}{25\tau_d} \quad (3)$$

按照两个节点 2 μs 计算,可以得到系统的最大开关频率为 20 kHz,远远满足一般三相系统的要求。

系统延时主要由两部分组成:①A/D 转换器的转
(下转第 765 页)

风扰波动小,性能比较满意。

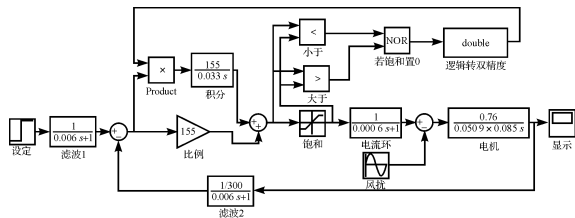


图5 速度环 Simulink 仿真模型

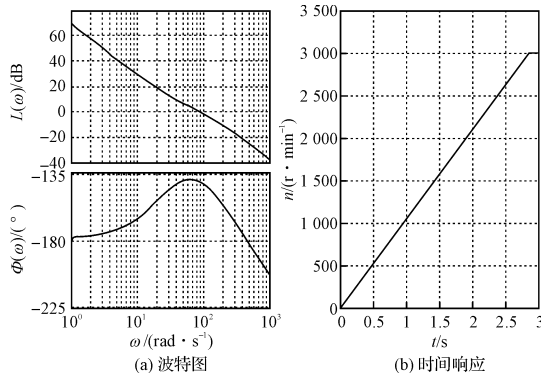


图6 速度环波特图及时间响应

4 结束语

本研究提出的基于DSC的数字直流调速系统采用电流环、速度环的双闭环控制策略,用DSC内部集成数/模转换器完成电流、速度的实时采样,用软件算

法完成环路的数字校正,用集成的电机控制模块完成PWM控制信号的产生,大大地缩短了各环节的时间常数和采样周期,并可实现一些较复杂的控制算法。工程实践结果表明,该系统具有精度高、超调小、抗扰能力强、可靠性高等优点。

参考文献(References):

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统—运动控制系统[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 刘胜,彭侠夫,叶瑰昀. 现代伺服系统设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2001.
- [3] 姚锐,王兵树,李娜. IGBT驱动器在高压电机调速系统中的应用研究[J]. 微型机与应用,2010,29(15):25-28.
- [4] 刘剑飞,王富洲. 新型IGBT半桥驱动芯片IR22141应用研究[J]. 微电机,2008,41(4):49-51.
- [5] 王晓明,刘瑶,周青山,等. 电动机的DSC控制—微芯公司dsPIC应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- [6] 秦继荣,沈安俊. 现代直流伺服控制技术及其系统设计[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [7] 王桂林,张为公,庞罕,等. 基于DSP的自适应电机控制方法研究[J]. 测控技术,2008,27(11):76-79.
- [8] WU Jian-hua, PU Dong-lin, HAN Ding. Adaptive robust motion control of SISO nonlinear implementation on linear motor[J]. *Mechatronics*,2007,17(4):263-270.
- [9] 高志宏. 直流调速数字控制系统的仿真设计与参数优化[J]. 机电工程,2008,25(8):98-101.
- [10] 冯勇. 现代计算机控制系统[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.

[编辑:张翔]

(上接第752页)

换延时;②光纤传送需要串行数据,在接收端数据完整读取上需要一帧的延时。所以选用性能更好的A/D转换器和提高时钟频率可很大地提高整个采样系统速度,增加控制实用性,并满足高速系统的要求。

6 结束语

本研究提出了一种新型的光纤隔离通讯装置,适用于复杂电力电子模块的采样系统。其通过数字传输信号,可以减少电磁干扰所引起的误差,具有隔离电压高、反应速度快、通讯带宽宽等特点。该装置主要分为发送单元和接收单元两部分,本研究以此为依据分别对二者硬件结构作了详细的描述,然后介绍软件框图及信号流程,最后给出了实验波形,通过对系统延时的分析,得出了本装置适用于复杂电力电子采样应用的结论,并且对其改进方向作出了展望及说明。

参考文献(References):

- [1] 胡宗波,张波,邓卫华. PWM直流变换器中一种新型的零电压零电流转换软开关单元[J]. 中国电机工程学报,2004,24(3):126-134.
- [2] 钱照明,陈恒林. 电力电子装置电磁兼容研究最新进展

- [J]. 电工技术学报,2007,22(7):1-11.
- [3] 董新伟,吴国忠,赵荣祥,等. 电力电子标准模块通讯接口分析与设计[J]. 浙江大学学报:工学版,2007,41(11):1857-1861.
- [4] Instrument transformers Co., Ltd.. IEC60044-7 IEC/TC38 electronic voltage transformers[S]. Instrument transformers Co., Ltd.,1999.
- [5] 李九虎,郑玉平,古世东,等. 电子式互感器在数字化变电站的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(7):94-98.
- [6] 殷志良,刘万顺,秦应力,等. 一种基于FPGA技术的电子式互感器接口实现新方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(14):93-99.
- [7] RICHTER F, SOURKOUNIS C. Precise Current Sensor for Power Electronic Devices[C]//Power Electronics Specialists Conference, 2008. Rhodes: [s. n.],2008:4786-4789.
- [8] KUROSAWA K, SHIRAKAWA K. Development of Optical Fiber Current Sensors and Their Applications[C]//Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific. Dalian: [s. n.],2005:1-6.
- [9] 胡海兵,吕征宇,钱照明. 浮点协处理器设计及其在电力电子数字控制平台的应用[J]. 中国电机工程学报,2008,28(3):29-33.
- [10] 张小平,赵不贿. Altera 新型FPGA器件的配置方式[J]. 微处理机,2006(4):93-95.
- [11] MILOSAVLJEVIC I, YE Zhi-hong, et al. Analysis of converter operation with phase-led control in daisy-chained or ring-type structure[C]//Power Electronics Specialists Conference. South Carolina, USA. 1999. PESC99, 30th Annual IEEE. Charleston: [s. n.],1999:1216-1221.

[编辑:张翔]