

无刷双馈风力发电系统电压电流采样设计*

马诗洋, 陈昊*

(中国矿业大学 信电学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:为了实现在无刷双馈风力发电系统中,精确、及时地对电压电流信号进行采样,以及解决控制板上各路信号采样电路通用性的问题,采用了直流采样方法。将高速线性光耦 HCNR201 以被测电路和控制电路电气隔离的方法应用到所设计的采样电路中;通过开展所设计电路的理论分析,建立了电压电流霍尔传感器采集数据与单片机采样数据之间的关系;在理论分析的基础上,在无刷双馈风力发电系统实验平台上进行了试验,得到了电压电流霍尔传感器采集数据与单片机采样数据之间的实际传递函数;最后,对传递函数理论拟合曲线和实际拟合曲线进行了比较。试验结果表明,所设计的无刷双馈风力发电系统电压电流信号检测方法误差小、可靠性强,为下一步研究提供了参考。

关键词:电压电流采样;无刷双馈发电系统;光耦;电压电流检测

中图分类号:TM614;TP202;TP315

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0825-04

Sampling design of voltage and current under brushless doubly fed generation system

MA Shi-yang, CHEN Hao

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: In order to realize sampling the voltage and current signals accurately and timely, and solve the problems of the versatility of various signal sampling circuit in the control board, DC sampling was applied, and the method of isolating the tested circuit and the control circuit which using high-speed linear optocoupler HCNR201 was used. Through the theoretical analysis of the designed circuit, the transfer function between the sampled data of voltage and the sampled data of current Hall sensor was created. After the analysis, the experiment was conducted in the brushless doubly fed wind power generation system experimental platform. The actual transfer function between the sampled data of voltage and the sampled data of current Hall sensor was given. Theoretical fitting curve of the transfer function and the actual fitting curve of the transfer function were compared. The results indicate that the designed detection method has small error and good reliability, and lays a foundation for the next experiment.

Key words: sampling of voltage and current; brushless doubly fed generation system; optocoupler; voltage and current test

0 引 言

作为一种清洁可再生能源,风能受到了世界各国越来越广泛的重视^[1-3]。在风力发电领域,双馈型机组可有效减小变流器容量,具有显著的优越性,已成为当今世界主流型机组之一。无刷双馈电机取消了电刷和滑环,提高了可靠性,且维护简单,有较好的应用前

景。无刷双馈风力发电系统需要把电压电流信号及时采样反馈到控制器,通过控制芯片的计算,产生合适的 PWM 信号,以控制开关管的通断。

本研究针对无刷双馈风力发电系统,设计基于 87C196KC 单片机的电压电流采样电路,同时根据霍尔传感器采集电压电流信号,经过转换电路,同时通过 HCNR201 高速线性光耦,实现强弱电隔离、模拟量与数字量之间的隔离。

收稿日期:2011-12-28

基金项目:国家科技型中小企业技术创新资金资助项目(09C26213201043);中国与波兰政府间科技合作资助项目(未提供)

作者简介:马诗洋(1987-),男,江苏镇江人,主要从事风力发电技术方面的研究。E-mail:mashiyang1987@163.com

通信联系人:陈昊,男,教授,博士生导师。E-mail:mashiyang1987@163.com

1 无刷双馈风力发电系统的硬件实现

无刷双馈风力发电系统采用发电机定子磁链定向矢量控制。实验机组中,以直流电机模拟风力机作为原动机,拖动无刷双馈电机的运行。主电路拓扑采用

应用最为广泛的背靠背双 PWM 变换器。双 PWM 变换器可实现能量的双向流动,使得无刷双馈电机能够在亚同步速、超同步速之间运行^[4-6]。无刷双馈风力发电系统的总体框图如图 1 所示。

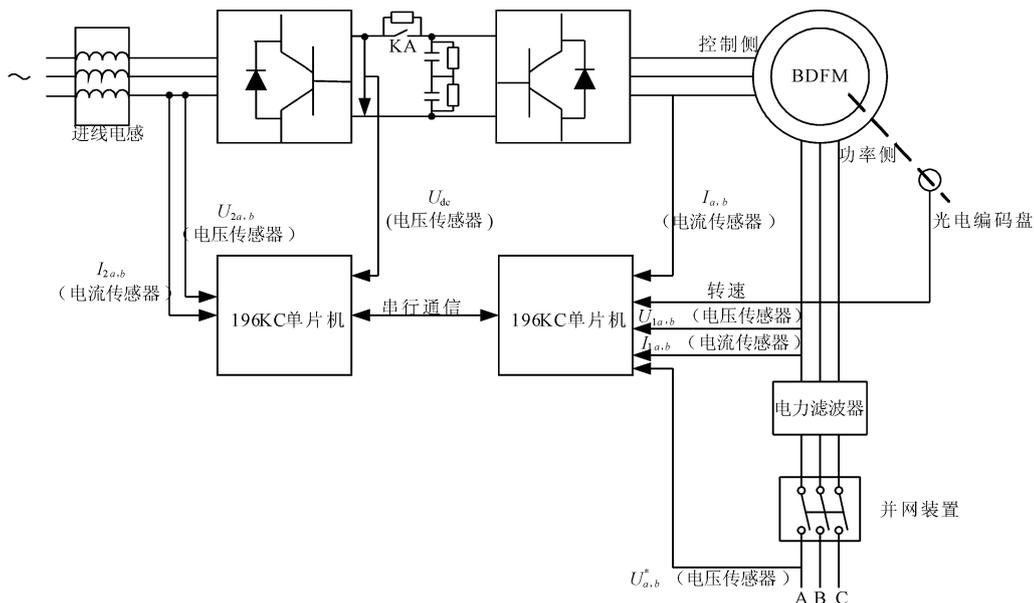


图 1 无刷双馈风力发电系统总体框图

这里采取提取纯正三相电压 U_{ab} 、 U_{bc} 的方法来计算三相相电压。由于电网和电机的中性点都不引出,所以 $U_a + U_b + U_c = 0$ 。另外 $U_{ab} = U_a - U_b$, $U_{bc} = U_b - U_c$ 。则 $U_a = (2U_{ab} + U_{bc})/3$, $U_b = (-U_{ab} + U_{bc})/3$, $U_c = -(U_{ab} + 2U_{bc})/3$ 。

三相电流的计算相对简单,相电流 I_a 、 I_b 可以直接测量。由于中性点不引出,三相电流 $I_a + I_b + I_c = 0$,即 $I_c = -I_a - I_b$ 。

功率主电路的器件主要包括:功率开关管,直流母线电容、续流二极管等。功率开关管选择日本富士公司生产 IGBT,型号为 1MBH60-100。在系统硬件设计中,直流母线电容主要需考虑其满足的直流母线电压抗负载扰动的性能。在该系统中,直流母线电容采用 CDE 公司生产的电解电容,电容值为 4 700 μF ,耐压值为 400 V。功率主电路中,本研究采用两个电解电容串联,电解电容上并联大电阻及小滤波电容。其中,小滤波电容滤除高频成分。驱动芯片选用国际整流公司的 IR2136。该芯片通过自举电容,能够同时驱动 6 路 IGBT。IR2136 对 PWM 信号延迟开通信号,实现了硬件死区。无刷双馈风力发电系统变流器的实物图如图 2 所示。

2 采样电路设计

目前,电压电流数据的采集主要有交流、直流两种



图 2 无刷双馈风力发电系统变流器实物图

采样方式^[7]。交流采样是不通过电量变送器,将电压电流信号按照一定规律变换成可以测量的交流小信号。这种测量方法实时性好,相位失真小,但是对于硬件处理电路要求比较高。直流采样是将交流信号转换为控制器能够识别的信号(一般为 0 ~ 5 V 或者 0 ~ 3.3 V),再由控制器进行处理。该方法对于 A/D 转换速度要求不高,软件算法实现简单,故而成本低,易于实现。

87C196KC 是 Intel 公司高档单片机中的典型代表^[8],87C196KC 带有 ACH0 ~ ACH7 8 通道 10 位(也可设定为 8 位工作方式)逐次逼近型 A/D 转换器,单片机内部只有一个采样保持器,在某一时刻只能处理一种模拟信号,CPU 通过一个多路转换器选择当前的输入通道。为提高转换精度,该样机系统选择 10 位工

作方式进行 A/D 转换。CPU 允许利用查询或中断方式判断 A/D 转换是否结束,后者比较节省 CPU 时间,但由于 87C196KC 只为 ACH7 一个通道提供了中断功能,本研究采用查询方式判断 A/D 转换是否结束,通过读取 A/D 结果寄存器 AD_RESULT 的 D3 位的状态即可知道本次 A/D 转换是否结束。87C196KC 每对一个通道进行一次 A/D 转换需要 168 个状态周期的时间,对 12 MHz 晶振而言周期数为 28。为节省 CPU 的等待时间,本研究使用了一个软件定时器,每隔一定时间向 CPU 申请一次中断,让 CPU 读走当前的 A/D 转换结果,开启下一通道的 A/D 转换,并让软件定时器重新开始定时。

根据 87C196KC 单片机的采样电路特点,电压电流采样设计方案如图 3 所示。

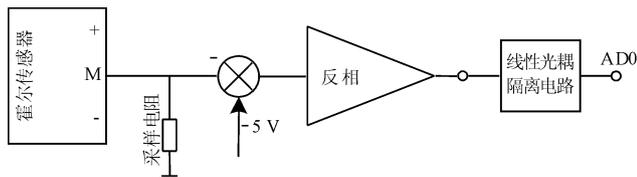


图 3 电压电流采样方案示意图

在无刷双馈风力发电系统中,电压测量范围为 $[-400\text{ V}, 400\text{ V}]$ 。单片机 A/D 采样测量电压范围为 $[0, 5\text{ V}]$ 。故本研究首先需要设计电平提升电路将电压进行合理变换,使得输入单片机电压在可以接受的范围内。电压提升电路如图 4 所示。

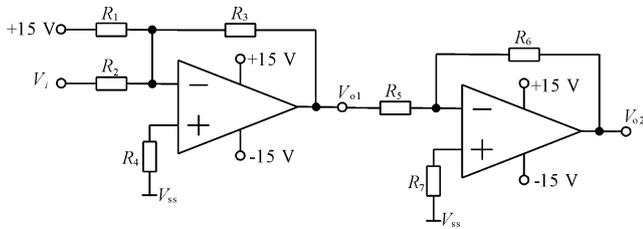


图 4 电压提升电路

由图 4 可以计算出:

$$V_{o1} = -\frac{R_3}{R_2}V_i - \frac{R_3}{R_1} \times 15 \quad (1)$$

$$V_{o2} = -V_{o1} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可得:

$$V_{o2} = \frac{R_3}{R_2}V_i + \frac{R_3}{R_1} \times 15 \quad (3)$$

为了将电气测量信号与单片机控制信号进行隔离,本研究采用光电隔离法。笔者选用的模拟光耦器件为高速线性光耦 HCNR201。HCNR201 有一只发光二极管(LED)和两只非常相似的光电二极管(PD1 和 PD2)。本研究用 HCNR201 构成的幅值缩放电路如图 5 所示^[9]。

根据运算放大器“虚短”和“虚断”特性,本研究对

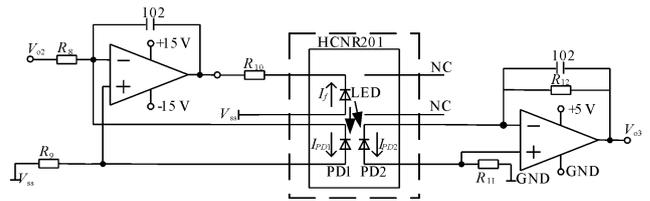


图 5 HCNR201 内部结构及幅值缩放电路

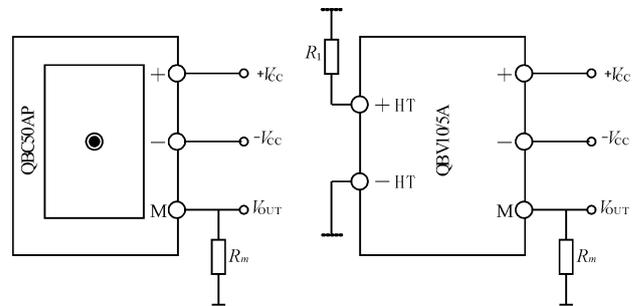
图 5 中给出的电路图进行运算,可得:

$$V_{o3} = V_{o2} \frac{R_{11} + R_{12}}{R_8 + R_9} \quad (4)$$

3 实验结果及分析

电压霍尔传感器选用南京强能传感器公司生产的 QBV10/25A, 电流传感器选用该公司生产的 QBC50AP。电流传感器额定输入电流 50 A, 额定输出电流 $50\text{ mA} \pm 0.5\%$ 。电压传感器额定输入电流 10 mA, 额定输出电流 $25\text{ mA} \pm 0.5\%$, 测量电流范围 14 mA。电流传感器采样电阻 R_m 选择 $39\ \Omega$ 。电流传感器进线绕两圈,以减少噪声干扰。

考虑到电压传感器测量范围为 14 mA, 电压传感器测量电阻 R_i 选择 $37\text{ k}\Omega$ 的功率电阻。电压传感器采样电阻 R_m 阻值选择 $78\ \Omega$ 。电流传感器和电压传感器的接线图如图 6 所示。



(a) 电流传感器接线图

(b) 电压传感器接线图

图 6 电流传感器与电压传感器接线图

该采样电路中运放选择高输入阻抗运算放大器 CA3140。CA3140 在 5 V 单电源供电时最大输出电压为 3.0 V, 所以本研究设计单片机 A/D 采样的模拟输入通道的中心值在 1.5 V 左右。

实验中,为了观察 A/D 采样电路输出结果与采样信号之间的差异,本研究采用自耦变压器提供正弦波,经过 RC 滤波后,A/D 采样电路输出结果如图 7 所示。

为了标定电压电流霍尔传感器采集数据与单片机采样数据之间传递函数,由蓄电池产生电压以供测量。单片机参考电压的提供使用标准电压芯片 AMS1117 实现,AMS1117 是一个正向低压降稳压器,在 1 A 电流下可以输出 3.3 V 精度为 1% 的标准电压。针对采样到单片机内部的信号,本研究采取多次测量取平均

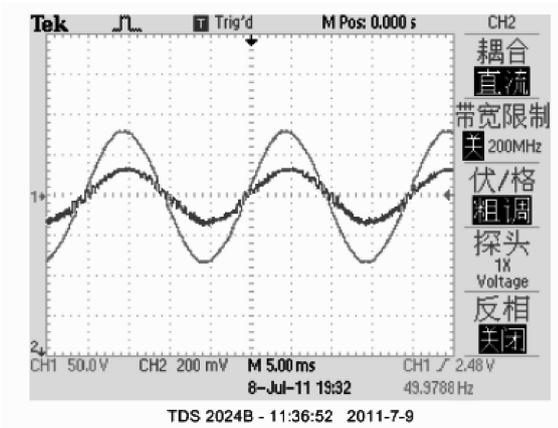


图 7 采样电路输入输出信号

值,测量次数尽可能多一些。

电流传感器的标定与电压传感器相同,电流的产生可以通过蓄电池与滑动变阻器连接,本研究通过调节滑动变阻器阻值改变电流的大小。一路电压采样电路的采样结果如表 1 所示。

表 1 A/D 采样结果

| 蓄电池电压/V | 传感器输出电压/V | 输入单片机电压/V | 单片机内部采样电压平均值/V |
|---------|-----------|-----------|----------------|
| -40.3 | -0.205 | 1.487 | 1.492 |
| -36.4 | -0.184 4 | 1.493 | 1.498 |
| -30.4 | -0.153 3 | 1.502 | 1.510 |
| -20.4 | -0.101 2 | 1.518 | 1.523 |
| -9.96 | -0.046 2 | 1.535 | 1.537 |
| 0 | 0 | 1.551 | 1.558 |
| 9.96 | 0.057 5 | 1.567 | 1.562 |
| 20.4 | 0.112 4 | 1.583 | 1.586 |
| 30.3 | 0.163 9 | 1.599 | 1.599 |
| 36.3 | 0.195 6 | 1.609 | 1.608 |
| 40.4 | 0.216 | 1.615 | 1.619 |

本研究根据上述表格绘制成的曲线图如图 8 所示。

电压霍尔传感器 QBV10/25A 有 0.5% 的相对误差,高速线性光耦 HCNR201 有 0.05% 的相对误差,采样电路中的各种模拟器件也有一定误差,再加上单片机采样过程本身存在的误差。所以本研究必须对图 8 中的曲线进行修正。修正后的曲线如图 9 所示。

根据修正后的曲线,本研究可以得到电压电流霍尔传感器采集数据与单片机采样数据之间的传递函数。图 8 中的输出信号经过传递函数运算,即为换算后的单片机 A/D 输入口的信号,如图 10 所示。

通过图 10 可以看出,采样信号和换算后单片机 A/D 输入口信号之间误差较小。这样,本研究利用霍尔传感器采集到的电压电流信号,就可以对无刷双馈

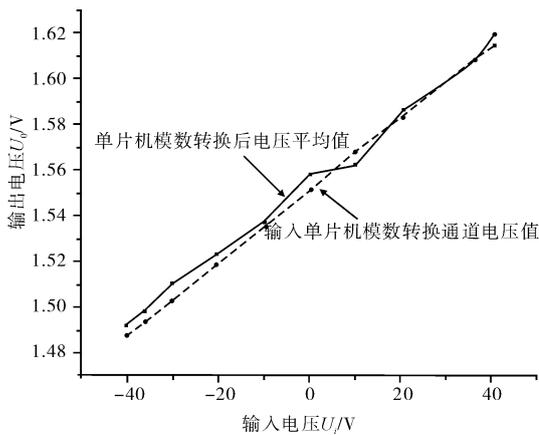


图 8 输入/输出电压曲线拟合图

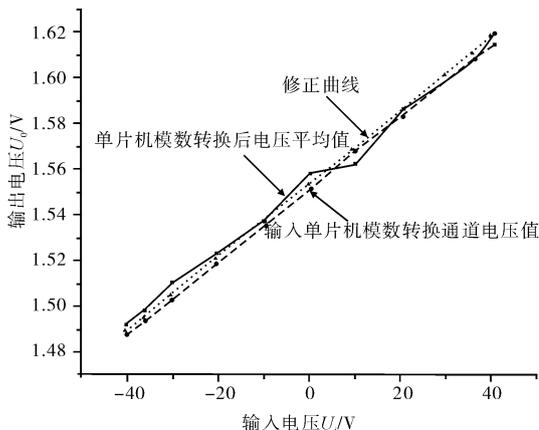


图 9 输入/输出电压修正曲线拟合图

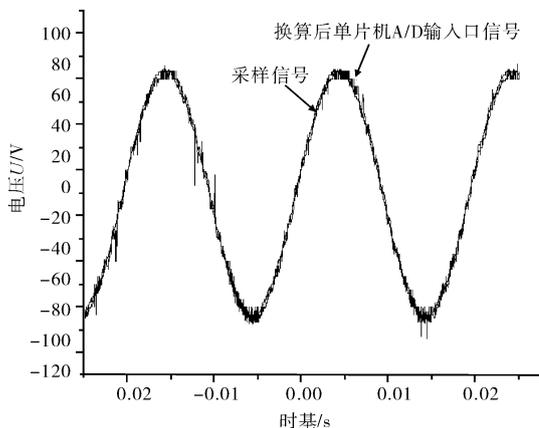


图 10 采样信号与换算后单片机 A/D 输入口信号

风力发电系统进行闭环控制。

4 结束语

高速线性光耦器件 HCNR201 可以实现模拟信号和单片机应用系统电气的隔离,同时可以实现信号幅值的缩放。本研究所设计的电压电流采样电路,实现

(下转第 868 页)

(d)所示。

从图 6 中可以看到,一个触发信号对应一个下降脉冲,该方法能够给 CCD 提供稳定的信号。从实验结果来看,波形清晰,图 6(b)中的接近开关信号触发经过处理延时后会产生图 6(c)和图 6(d)中的信号,异步复位触发信号稳定准确,满足设计要求,可以有效地控制相机在既定时刻采集。

在异步复位触发信号稳定的情况下经过多次图像采集实验,本研究采集到的零件表面图像效果图如图 7 所示。

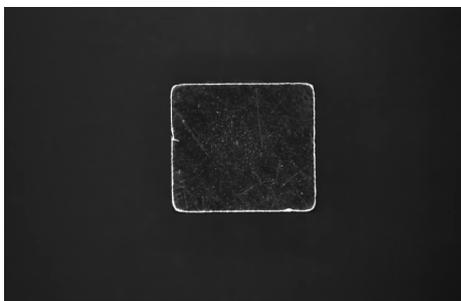


图 7 零件表面图像效果图

从图 7 中可以看到,采集对象位于视场中心,异步复位信号的稳定触发有利于缩小采集时刻的偏差。重复实验表明,零件表面图像采集稳定,可以满足后续处理的要求。

5 结束语

为了解决运动状态下被测物体的快速触发和

精确定位等问题,本研究设计了基于单片机的 CCD 异步复位触发系统。该系统的异步复位模式配合快速触发、高精度延时,可以实现运动物体表面质量的在线检测,能够使物体进入设定的位置触发 CCD 图像采集,保证采集到的图像定位准确。

同时,该方法具有较好的通用性,对于一般工业在线检测具有一定的借鉴价值。

参考文献 (References) :

- [1] 康 涛. 基于图像处理的检测系统的研究与设计[D]. 西安: 西安科技大学机电工程学院,2008.
- [2] 曲兴华. 制造质量在线测控技术的研究[D]. 天津: 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 2003.
- [3] 张秋佳, 刘明珠. 基于图像传感器的工件表面质量检测系统设计[J]. 机床与液压, 2008, 36(3): 157-159.
- [4] 田原嫫, 黄合成. 基于机器视觉的零件尺寸测量[J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47(1): 82-90.
- [5] 谢佩军, 计时鸣, 程 越. 基于计算机视觉的晶振帽缺陷自动检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(5): 1079- 1083.
- [6] 方 舟, 张君安, 刘 波. 基于数字图象处理的零件几何参数检测[J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23(6): 106-108.
- [7] 田志明, 杨 军, 罗 岚. 异步复位设计中的亚稳态问题及其解决方案[J]. 电子器件, 2002, 25(4): 435-439.
- [8] 孙同景, 陈桂友. Freescale 9S12 十六位单片机及嵌入式开发技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

[编辑:李 辉]

(上接第 828 页)

了无刷双馈风力发电系统的信号采样,可行性强,能有效运行于下一步实验中。本研究给出了电压电流采样输入信号和输出信号的拟合曲线,修正后的曲线与实际曲线吻合性好,可以较好地减小采样过程中的误差。

参考文献 (References) :

- [1] CHEN H, GU J J. Implementation of three-phase switched reluctance machine system for motors and generator [J]. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, 2010, 15(3): 421-432.
- [2] CHEN Hao, ZAN Xiao-shu, WANG Xing. Excitation for Establishing Voltage of Switched Reluctance Generator at Low Rotor Speed [C]//Proceedings of the 2nd International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems. Hefei: [s. n.], 2010: 378-381.
- [3] CHEN Hao, JI Li-li. Simulation Model of Switched Reluc-

tance Generator System. Dynamics of Continuous [M]. Discrete and Impulsive Systems, Series A: Mathematical Analysis, 2006: 203-207.

- [4] 卞松江. 变速恒频风力发电关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 2003: 96-128.
- [5] 阳锦刚. 级联式无刷双馈风力发电机的研究[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 2007: 21-60.
- [6] 刘航航, 韩 力. 无刷双馈电动控制策略发展综述[J]. 微特电机, 2010(9): 69-73.
- [7] 李月芳. 电流采样在电力网侧控系统中的应用[J]. 内江科技, 2006(6): 115-116.
- [8] 刘复华. 8xC196Kx 单片机及其应用系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 1-109.
- [9] 苏 涛, 管小舒, 周立新. 模拟光耦器件 HCNR201 及其在高精度电压检测中的应用[J]. 电测与仪表, 2004(7): 54-55.

[编辑:李 辉]