

# 电子式电流互感器数据采集系统的设计

冯巧玲, 裴永占

(郑州轻工业学院, 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**以 STM32F107RB 微控制器为控制核心,采用无源支柱式方案,设计了电子式电流互感器数据采集系统,该系统将信号通过电缆传至低压侧,以提高电子电路部分可靠性;根据多通道数据采集的思想,放大器采用集成芯片 LMP2014MT 对小信号进行不同增益的放大,以减小 AD 转换的量化误差,提高采集精度;硬件设计采用功能强大的 STM32 控制 AD 转换,传送信号至合并单元.该系统简化了采集器电子电路,在提高精度的同时增强了电路稳定性.

**关键词:**电子互感器;AD 转换器;STM32;数据采集系统

**中图分类号:**TM452 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.03.019

## Design on data acquisition system of electronic current transformer

FENG Qiao-ling, PEI Yong-zhan

(College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** With the STM32F107RB as the controller, and the scheme of passive pillar type as the design scheme, the data acquisition system of electronic current transformer was designed. The signal was transmitted to low voltage side through the cable to improve the reliability of electronic circuit. On the grounds of multi-channel data acquisition, integrated chip of LMP2014MT was taken as amplifier to amplify the small signal by different gains, so that the quantification error of AD conversion was reduced to improve the precision of the acquisition. Hardware design used powerful STM32 to control AD conversion and then to transmit signal to merging unit. This system can simplify electronic circuit and improve the precision while strengthening the stability of circuit.

**Key words:** electronic transformer; AD converter; STM32; data acquisition system

## 0 引言

电力技术的发展促使电力系统中设备和技术更新换代、优化升级,不断向智能电网的方向发展<sup>[1]</sup>,用于测量和保护的电子式电流互感器因具有轻巧、无磁饱和、绝缘简单、无谐振等明显的优势,正在得到广泛的关注和应用<sup>[2]</sup>.但一些试运行的实践也发现,互感器的电子电路部分易受恶劣的电磁环境干扰,且供电部分一般采用激光供电,可靠性

差,电路有低功耗的限制且维修麻烦<sup>[3]</sup>,这在一定程度上影响了电子式电流互感器的推广使用.

无源支柱式设计是把采集单元放在低压侧,传感头和采集单元间用屏蔽电缆连接.与有源式设计相比,无源式设计可以提高电子回路的抗干扰性和供电可靠性.多通道数据采集的设计,是直接放大 6 路信号后进行 AD 转换,在微控制器中直接选取精确的数据,回避对放大增益再设置的步骤,从而简化采集过程.本文拟采用 STM32F107RB 微控制器

收稿日期:2013-03-08

作者简介:冯巧玲(1960—),女,河南省郑州市人,郑州轻工业学院教授,硕士,主要研究方向为电力系统谐波分析与抑制.

为控制核心,采用无源支柱式的设计方案和多通道采集的思想设计高精度的数据采集系统,以期在小信号的情况下有效地消除量化误差,提高采集精度.

## 1 电子式电流互感器采集器工作原理

电子式电流互感器传感头采用 Rogowski 线圈,即罗氏线圈,是在截面均匀的环状非磁性骨架上均匀缠绕的空心线圈<sup>[4]</sup>.当有电流流过线圈环内的一次导线时,线圈两端产生感应电动势,其原理见图 1.

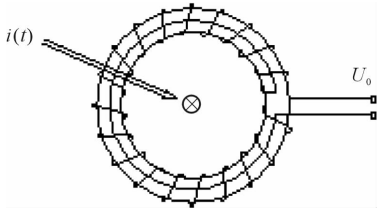


图 1 罗氏线圈测量原理图

感应电动势为

$$e(t) = -\frac{d\Psi(t)}{dt} = -k \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

其中,  $\Psi$  为磁链;  $k$  为罗氏线圈的互感系数,它决定于线圈的结构参数;  $i$  为被测电流. 由式 (1) 可知,感应电动势  $e(t)$  与电流变化率成正比. 对式 (1) 进行积分,即可得出电流  $i(t) = -\frac{1}{k} \int e(t) dt$ .

## 2 信号调理电路

罗氏线圈感应出的电压  $U_0$  不能直接进行 AD 转换,需要对信号进行放大和积分滤波. 信号调理电路如图 2 所示.  $R_1, R_2, R_3$  和集成运放组成同相比例运算电路,放大倍数由  $R_3, R_2$  的比值决定. 积分电路由理想积分器外加一电阻组成. 实际应用中,由于理想积分器偏置电压的存在,会导致信号增益过大饱和,对此可在电容上并联一个电阻加以限制,并在积分电路之前加 RC 低通滤波电路.

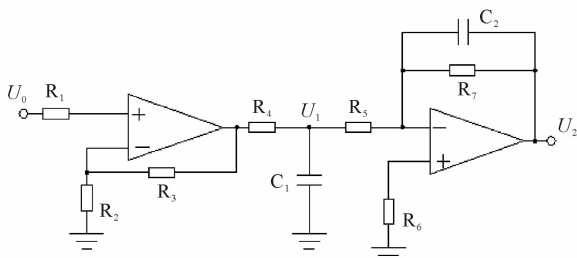


图 2 信号调理电路

由图 2 可得:

$$U_1(t) = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} U_0(t)$$

$$U_1(t) = -R_5 C_2 \frac{dU_2(t)}{dt} - \frac{R_5}{R_7} U_2(t)$$

即

$$\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} U_0(t) = -R_5 C_2 \frac{dU_2(t)}{dt} - \frac{R_5}{R_7} U_2(t)$$

当  $R_5 \ll R_7$  时,  $\frac{R_5}{R_7} U_2(t) \approx 0$ , 则

$$\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} U_0(t) = -R_5 C_2 \frac{dU_2(t)}{dt}$$

即

$$U_2(t) = -\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2 R_5 C_2} \int U_0(t) dt \quad (2)$$

把式 (1) 代入式 (2) 可得

$$U_2(t) = -\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2 R_5 C_2} \times (-\kappa i(t)) = \kappa \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2 R_5 C_2} i(t) \quad (3)$$

由式 (3) 可以看出,  $U_2(t)$  和  $i(t)$  是同相位的线性关系.

## 3 多通道数据采集的实现

互感器输出的信号分为保护信号和测量信号 2 种,两者对数据的要求不同. 保护信号一般要求有 40~50 倍的过载能力,而测量信号要求达到 0.2 s 的精度<sup>[5]</sup>. 与传统的独立测量的方式相比,多通道数据采集器可以同时满足测量和保护两种要求.

在实际应用中,由于采集回路 AD 转换器件的特性所限,罗氏线圈感应的小信号直接进行模数转换会有较大的量化误差. 所以小信号需要针对不同的电压,采用不同的放大增益,即多通道数据采集. 这可在 AD 转换精度一定的条件下进一步提升采集信号的精度.

信号量程切换设计的文献中多是利用单片机或可编程门阵列对信号模数转换的结果进行分析,然后控制运算放大器外接不同电阻实现信号的衰减与放大,或用可编程增益放大器 PGA 放大. 这种利用单片机对采样结果先进行分析再确定放大增益的方法复杂且实时性不高. 本设计采用无源支柱式方案,电子电路工作在低压侧,供电可靠性好,电子电路设计比较灵活. 所以采用几种不同的固定增益放大器放大信号,以免除对采样结果先分析再调整增益的过程,增强实时性. 笔者设计多通道信号

按 16, 8, 4, 1 和 1/8, 1/32 倍的增益分别放大, 同时进行 AD 转换, 由微控制器选择精度较高的数据, 从而实现了小信号的测量和过载保护. 其硬件结构如图 3 所示.

图 3 中信号放大器选用集成芯片 LMP2014MT. 该芯片集成了 4 个具有高精度性的放大器, 可利用专利技术测量和纠正偏移电压, 能保证温度及长时间运行的稳定性. 此外, 芯片具有较高的共模抑制比和电源抑制比, 不会出现传统放大器的  $1/f$  电压和电流噪声, 是要求高精度、高稳定性应用的一种良好选择. 图 3 中的 AD 转换器是集成 6 个 16 位独立 ADC 的 ADS8364 芯片. 芯片具有并行输出、 $6 \times$  FIFO 和 6 个 AD 转换通道, 采样速率最高为 250 kSPS, 供电电压  $-0.3 \sim 6$  V, 模拟输入范围为电源电压  $\pm 0.3$  V.

STM32F107RB 是一款资源丰富、功能强大的微控制器, 拥有许多优良的性能: 采用 32 位处理器内核, 工作频率最高可达 72 MHz; 采用哈佛结构, 硬件除法, 包括乘法指令在内的许多指令都是单周期的; 拥有 2 通道 12 位的 DA 转换器, 可以支持模拟信号的输出.



图 3 硬件结构图

## 4 软件流程

软件采用 C 语言编写, 采样数据的读取和传输均采用设置相应中断优先级的方式. 微控制器内嵌有向量中断控制器, 因为不再需要软件去判断中断源, 中断延时大大缩短, 中断的嵌套也是在硬件水平上实现的, 不需要软件代码来实现. 数据读取软件流程如图 4 所示. ADS8364 采用由微控制器 MCO 引脚提供的 4 MHz 外部时钟, 每个转换过程占用 20 个时钟周期, 在 4 MHz 情况下每个转换过程需要  $5 \mu\text{s}$ . 通过设置 BYTE 位为 0, 采用 16 并行传输数据模式; 转换的数据输出采用周期模式, 即对 6 个通道同时转换, 将数据按顺序传输到输出端, 该设置通过把  $A_2$  和  $A_1$  接到  $V_{cc}$ , 把  $A_0$  接到数字地以实现输出模式的设定.

数据需要 2 次读取, 第 1 次读取的数据包含通道地址信息, 可以用来判断放大增益通道, 确定增益值. 数据通过中断程序被微控制器读取, 将读取

的数据与相应的阈值比较, 超出阈值说明数据超出 AD 转换量程, 数据不可靠, 继续判断下一通道数据, 直到选出低于阈值的数据. 把选用的比较精确的数据利用除法器除以通道相对应的增益, 还原数据, 并遵循 IEC61850—9—2 规约对数据进行组帧编码, 输送到合并单元.

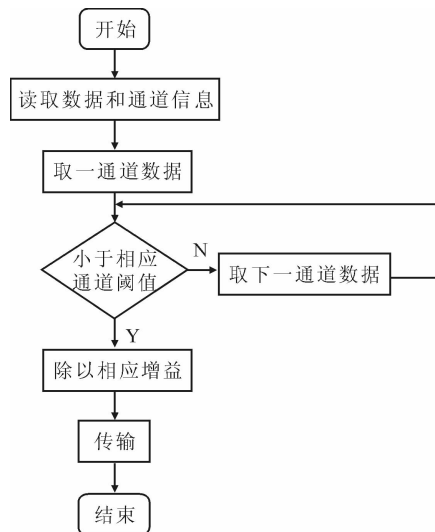


图 4 数据读取软件流程

## 5 结论

本文采用新型的集成芯片 LMP2014MT 和微控制器 STM32F107RB, 在采用无源支柱式方案采集信号的基础上设计了电子式电流互感器数据采集系统. 该系统充分利用了新型芯片和微控制器的优势, 简化了采集器电子电路, 从而在提高精度的同时增强了电路的稳定性. 该设计为未来电子式电流互感器的改进提出了新的思路.

### 参考文献:

- [1] 孔祥玉, 赵帅, 贾宏杰, 等. 智能电网中电力设备及其技术发展分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(2): 21.
- [2] 李九虎, 须雷, 罗苏南, 等. 电子式互感器在数字化变电站的应用[J]. 江苏电机工程, 2007, 26: 80.
- [3] 贺要峰, 王玉学, 刘丙申, 等. 罗氏无源支柱式电子式电流互感器设计方案及应用研究[J]. 电测与仪表, 2011, 48(11): 80.
- [4] 尚秋峰, 刘艳峰. 方形骨架 Rogowski 线圈的性能分析[J]. 高电压技术, 2008, 34(3): 476.
- [5] 牟涛, 周丽娟, 周水斌, 等. 高精度电子式电流互感器采集器的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 141.