

[控制系统]

变电站蓄电池状态监控装置的研究

文/国网辽宁电力科学研究院 包蕊

采用FPGA (Field-Programmable Gate Array) 作为监控装置的主要核心器件, 利用I²C通信总线多路寻址的特性进行数据管理, 可实时和定时监控蓄电池组与单体蓄电池的健康状态, 并结合数理统计原理实现蓄电池均衡充放电。

基于FPGA的变电站蓄电池监测装置充分利用可编程调试的灵活特性, 具有开发成本低、片上资源丰富等优势, 结合I²C通信总线多路寻址的特性, 可同时监测蓄电池组的总电压、总电流、充放电状态以及单体的电池电压和内阻, 可实现对单体电压0~15 V、整组电压0~500 V及内阻测试范围0~99 mΩ等高精度的参数测量。

目前现有的蓄电池监测装置设计方案为每个单体电池配备一个微控制单元 (Micro Control Unit, MCU) 作为控制与监测单元, 一套方案需要100多个MCU, 而本方案采用1片FPGA结合I²C总线来控制多个单体蓄电池。

监控装置特点

1) 以1片FPGA结合I²C使能开关的方案进行多节点的测量, 大大降低了成本, 解决了需要为每个单体电池设计MCU电路的难题。并且由于电路简单可靠, 提高了整个监控系统的稳定性。

2) 实时监控蓄电池状态。可以实时采集变电站蓄电池组、单体电池的电压和内阻状态, 并通过FPGA内部的处理模块将采集信息通过通信总线传输到后台的服务端, 并执行相应的处理动作。

3) 利用I²C总线对蓄电池组和单体电池进行管理。使用I²C总线作为多个单体电池测量的管理方案, 为每个单体电池和蓄电池组分配一个地址, 由FPGA统一调配、控制。并结合光耦合器隔离开

关来进行单体状态分析, 来解决蓄电池组电池数目多、难测量的问题。

4) 使用均衡充电的方式, 依据单体电池端电压动态分布的特点, 并集合FPGA收集到的实时数据, 计算出充放电的控制阈值, 来保证整个蓄电池组的均衡性。

研究内容

以FPGA为主要监测核心器件的实时监测装置, 可以对变电站蓄电池组和单体电池的端电压及内阻进行巡检, 并使用I²C总线对被监测元件进行按址分配, FPGA作为控制中心对其进行管理。其工作方式分为实时监测和定时监测两类, 定时监测的时间间隔由用户根据实际需要设定, 并存储和转发相应的监测数据到后台服务中心, 供维护人员参考诊断。实现均衡充放电的功能后, 能够提高整个蓄电池组的寿命。

1. 测试系统硬件结构

本例FPGA开发系统如下图所示, 采用Altera FPGA控制模块Stratix-II (EP2S30)、具备I²C总线的I/O使能开关 (TI TCA9546A)、模拟开关CD4051及光耦合器TLP181、A/D转换AD0809芯片、Cypress公司的并口Flash存储器及SRAM W24257组成。通过实时监测VRLA蓄电池组和内部单节VRLA蓄电池的电压和内阻能够有效识别蓄电池的性能差异和安全临界点, 有效控制单节

VRLA蓄电池的过充、过放和热失控,实现均衡放电和均衡充电的理想功能;同时准确计算出单个VRLA蓄电池电量,根据充放电曲线,为后台控制中心建立最佳充放电方案提供依据,延长VRLA蓄电池使用寿命。

2. 按址分配使能开关

基于I2C总线的多个单体电池的测量方案,为每个单体电池和蓄电池组分配一个地址,由于I²C总线最多可以支持128个单元,而蓄电池组最多有108个单体电池,加上蓄电池组整体一共最多109个单元,因此I²C总线可以满足监测的需求。

另外,各单元的监测电路采用光耦合器隔离采样开关与低压系统,以此来避免常规双刀式继电器模拟开关对大型VRLA蓄电池组测量时需要的继电器太多,仪器的体积过大,功耗、成本及故障率高等众多缺点。

按址分配使能开关的工作过程为：建立一个最多128个单元的地址表，为每个单元分配1个固定地址，FPGA根据地址表定位，并在初始化阶段接入TI TCA9546A的 I/O使能开关控制，当FPGA发送选址和读取指令后，得到控制权的TCA9546A 会将连接到FPGA的使能位电平拉高，FPGA采集数据模块就可以作为判定条件在下一个时钟周期读取对应地址的电阻回馈和电压回馈信号并保存。

3. 实现均衡充放电

对于同一批生产出来的新的蓄电池组来说，它们的电气性能是比较一致的，但随着电池使用时间的延长或充放电次数的增加，各个单体电池之间的差别就表现出来了。由于它们是串联的，于是就会造成在充电时一部分电池充电不足，另一部分电池过充电，因此保证单体电池充放电的均匀性将是蓄电池组可靠性的重要保证。

利用所有单体电池的电压数据结合数理统计方法分析每次放完电和充足电后电池端电压的分布规律, 计算它们的平均值和标准差, 用均值和标准差 σ 来描述变量 x 的取值规律, 有

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

上述两式中, x_i 可代表电池组中各单体电池的端电压, $\bar{x}$ 代表电池组中各单体电池的端电压参数的平均值, n 代表电池组中包含的电池数。 n 越大, 统计结果越准确; σ 将反映电压对其均值的

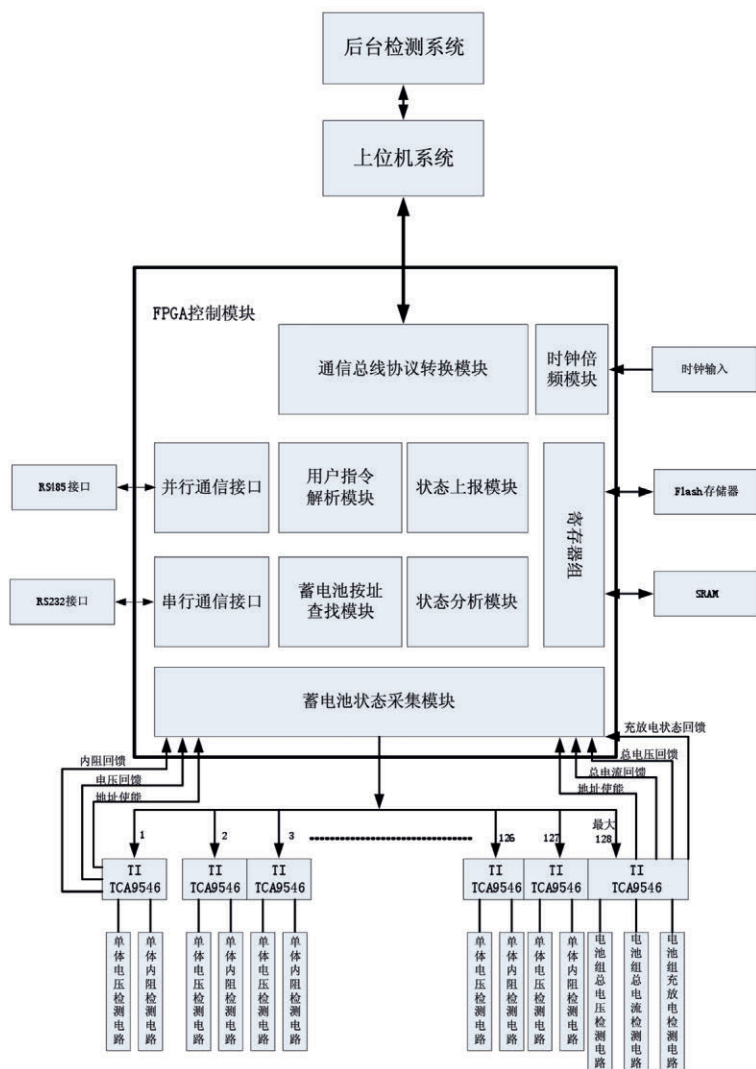


图 蓄电池监测装置控制模块

偏离程度, σ 越小, 则均匀性越好, 蓄电池组的整体可靠性也必然越好。统计得出单体电池端电压在 1.82 V 附近的电池数目最多, 概率最大, 两边处于基本对称的下降趋势, 因此端电压服从正态分布趋势。由正态分布曲线的特征可知, $\bar{x}$ 是电压概率密度正态分布曲线最高点的横坐标, 它是全组电池放电电压的均值, 可以看作是该组电池的宏观性能参数, 可用它来判断蓄电池组的放电状态。标准差 σ 则表征蓄电池组中各单体电池放电电压分布的离散程度, σ 值越大, 电池的均匀性越差, 电池组的可靠性越差。随着电池使用时间的增加, σ 值呈逐步增大的趋势, 即电池放电电压的均匀性是逐渐下降的, 电池组的可靠性也必然随之下降, 一般取 $\bar{x} \pm 2\sigma$ 作为电池均匀性的控制域值。获得了控制阈值后, 就可以使用 FPGA 内部控制充放电, 从而做到均衡充放电。EA

(收稿日期: 2014.12.30) [编辑: 杨得润]