

基于嵌入式平台的分布式光伏发电监测系统

张明涛 杜威达 谢东周 彭泓
上海聚星仪器有限公司

1 光伏发电监测系统

光伏发电也称太阳能发电,即利用太阳能级半导体电子器件吸收太阳光辐射能,并使之转换为电能。光伏发电系统主要由太阳能电池、蓄电池、控制器和逆变器构成。蓬勃发展的光伏产业,一方面带动了相关技术领域的快速发展,另一方面也对光伏配套产业链提出了更高的要求。为保证光伏发电系统可靠稳定运行,需要有完备的发电监测系统长期监测,并能根据实时监测结果提供完善的故障诊断和报警功能。另外,监测系统所获取的长期发电监测数据,可为后续光伏电站的建设、维护、建模和优化等提供重要的数据支持。

2 开发挑战

根据光伏发电系统的特点,对相应的光伏发电监测系统提出了以下要求:

1) 环境适应性。光伏电站通常建造在日照充足的高原地区,如我国青海、西藏等地,最高海拔可达5 000 m以上,最低气压仅为0.5标准大气压,且环境温度较大(现场温度 $-30^{\circ}\sim 60^{\circ}$)。因此,高海拔、低气压和宽温的工作环境对监测系统的环

境适应性提出了严峻的挑战。

2) 分布式系统,易于系统扩展和升级。大型光伏电站由多个光伏型发电组件和汇流箱组成,汇流箱把相邻几个发电组件的直流电流汇总后输入逆变器,汇流箱之间距离较远,一般为几十米至数百米,因此需为每个汇流箱配备一台监测设备,多台监测设备组成局域网,构建分布式测试系统,由中央监控室统一监控。另外,根据实际需求,光伏发电组件的数量会有增减,因此要求监测系统具有很好的扩展性,可动态调整监测设备节点数量。

3) 长期可靠运行。监测设备一旦部署至发电站现场,由于现场气候和海拔等原因,设备一般不会保留专人维护,而采用远程数据监控和管理,因而对监控系统长时间无故障连续工作的性能提出了较高要求。

4) 抗干扰。发电站现场大功率逆变器会产生较强的电磁辐射,监测设备需要具备很好的抗电磁干扰能力,确保监测数据的准确性。

3 嵌入式平台选取与设计

为应对以上各方面的苛刻要求,我们选择一种基于ARM和FPGA

的嵌入式平台来构建整个光伏发电监测系统,嵌入式监测设备原理如图1所示。ARM采用Atmel公司的AT91SAM9263,最高可以运行在200 MHz主频,具有16 KB的数据Cache和16 KB的指令Cache,同时具有2个外部总线接口,可以用于扩展FPGA。根据典型的测试需求,提供如下外设单元:

1) 百兆以太网接口:满足测试数据汇总到服务器或远程查看当前待测设备的工作状态;同时具有TCP协议栈,可以满足如ModBus TCP等标准协议的数据传输要求;可以选择使用NTP协议,保证测试数据采集的同步性。

2) SD卡存储单元:SD卡选用工业级产品,支持FAT文件系统,可以满足测试数据离线存储备份的需求,同时通过更换不同容量的SD卡,能够实现长时间的数据存储记录。

3) RTC时钟单元:在没有网络环境或对测试事件时间精度要求较低的情况下,可以采用该时间单元用于记录测试事件的发生时间。

4) RS485串行通信接口:可用于与其他测试设备如基于RS485协议的RTU进行通信。

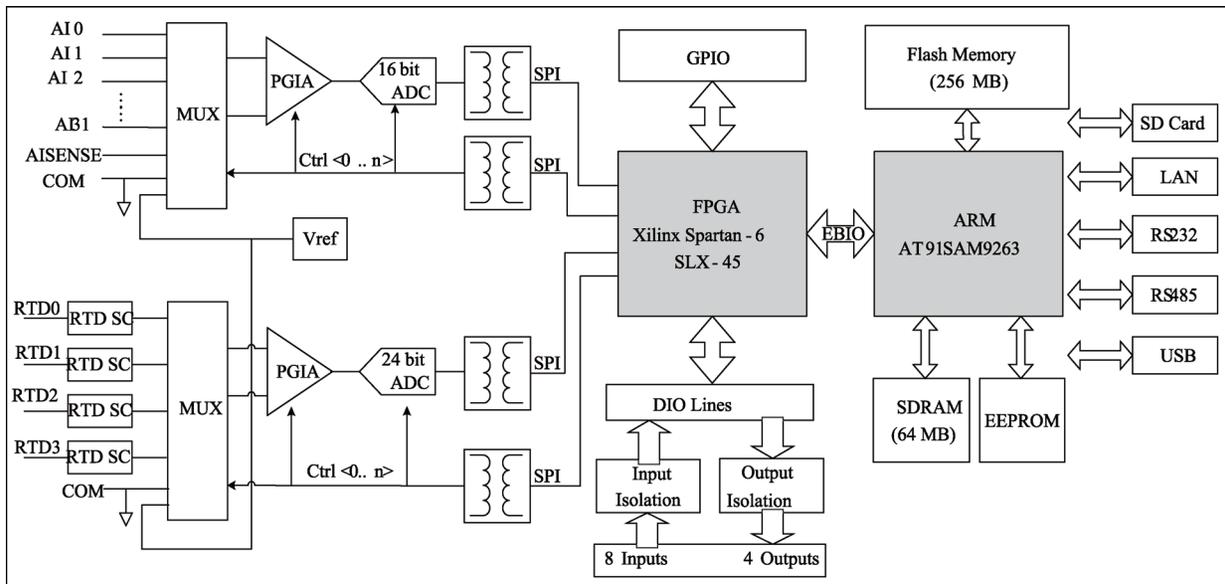


图1 嵌入式监测设备原理框图

FPGA采用Xilinx公司的XC6SLX45，该型号FPGA具有43 661个Logic Cell和2 088 Kb Block RAM，可以满足绝大多数测试需求。FPGA上已例化多个SPI控制器，可以实现与目前TI和ADI公司的主流ADC进行快速集成，提高了嵌入式平台的开发效率。

ARM和FPGA采用存储单元映射的方式连接，在编写测试程序时可以直接访问到FPGA的存储单元，这极大简化了测试程序的编写。同时该平台已经过高低温、振动、冲击、7×24小时连续运行等测试，具有极高的稳定性和可靠性。

4 测量模块设计

针对光伏发电系统特殊的应用环境及测试要求，我们专门设计了高性能的多功能测量模块，用于实时采集发电组件的电量参数及环境数据，为

后续故障报警及故障诊断提供可靠的数据支持。

1) 高集成度多功能采集模块设计。监测系统需要同时对光伏发电组件汇流箱的电流电压，蓄电池电流电压、逆变器直控柜电流电压，发电站现场总辐照度、直射辐照度、温湿度、风向、风速等气象参数进行监测，同时，还需要提供一定数量的控制输出，用于对相应的继电器进行控制。采用集成化的多功能模块设计，可以实现多物理的实时监测以及多控制量的驱动控制，减小了系统体积；同时模块化的设计思想为系统的升级和扩展提供了便利。

2) 高精度低温漂设计。为应对光伏监测系统的恶劣工作环境，测量模块在高精度和低温漂方面进行了精心设计。内置温度补偿的电流源及

24 Bit ADC，可确保RTD温度测量在宽温范围内仍然具有极高的精度，同时考虑到现场传感器接线长度的影响，设计了线电阻补偿功能，可有效消除传感器线电阻引入的误差。

3) 实时在线校准。环境的温度变化及系统的长时间运行都将给监测系统带来误差，对于光伏监测来说，需要对系统进行定期校准来保证长期的测量精度。因此，为测量模块专门设计了实时在线校准功能，动态校准由外部因素导致的测量偏差。首先，在系统内部内置高精度低温漂的电压参考源，同时在每次采集过程中，实时采集该参考源，由此计算出系统的实时误差参数，从而实现采集数据的实时校准。

4) 电磁兼容性设计。光伏发电系统现场电磁环境复杂，大功率设备不仅会对测量系统精度带来影响，严重的甚

至会损坏监测设备，因此测量模块的电磁兼容性必须根据系统应用环境进行针对性设计。为应对系统强电环境，对测量模块进行了隔离设计，使得信号输入级与系统主板核心实现电气隔离，确保监测系统核心模块的安全稳定运行。同时，在测量模块的输入级进行专门防护及滤波设计，最大限度的保证测量模块的精度及可靠性。

5 应用程序开发与部署

考虑到光伏监测系统长时高可靠运行要求，我们选择了Linux作为嵌入式平台的实时操作系统，并在此基础上进行应用程序开发和部署。

光伏发电监测应用程序需要完成数据采集计算、Modbus数据发布、FTP数据传输等功能，并支持Sntp对时。采用多进程、多线程方式设计，应用程序总体框图如图2。

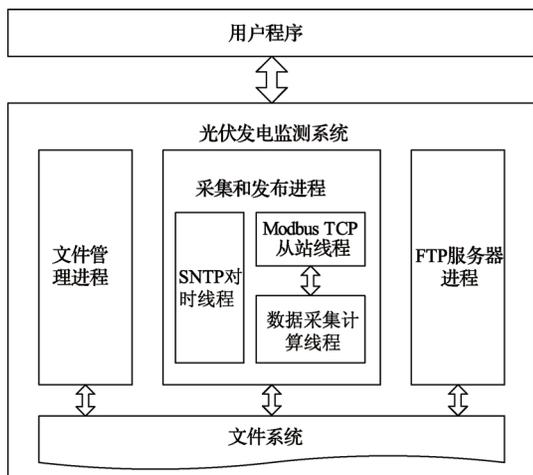


图2 应用程序总体框图

在整个应用程序中设置3个进程，包括采集和发布进程、文件管理进程、FTP服务器进程等。采集和发布进程负责数据采集、存储和发布；文件管理进程负责监视存储卡，当存储卡空闲资源不足时，删除旧文件；文件存储到文件系统后，用户可以通过FTP服务器，读取或管理监测系统的本地存储文件。为了保存更多数据，可将数据保存在扩展SD卡上。

采集和发布进程包含3个线程。

其中，数据采集计算线程负责读取FPGA采集数据，作量值转换、校准等操作后，一方面进行存储，另一方面提交给Modbus TCP从站线程，该线程是整个应用程序的核心，具体流程如图2所示；Modbus TCP从站线程将数据发布给用户；SNTP对时线程等待用户对时请求，将监测设备时间同步到用户指定的NTP服务器。

用户通过Modbus TCP向光伏发电监测系统发送配置数据，以更新设

备标识、采集模式等参数，监测系统将新配置存储到文件，供下次启动时加载。数据采集和转换、校准后，计算功率、电能等参数，并将采集数据和计算参数分别存储到相应文件。将电能等累加值保存到文件，可在意外断电后，恢复计算值。

6 上位机数据管理平台

针对光伏监测系统长期监测的特点，开发了基于数据库的上位机数据管理平台。该平台可实时监测光伏发电系统各设备的电压、电流及环境参数，同时可根据用户配置实时计算发电站的功率、效率以及线损等。基于监测数据的实时分析，该平台还可实现故障实时报警及诊断功能，确保光伏发电系统稳定可靠运行。上位机界面如图3所示。

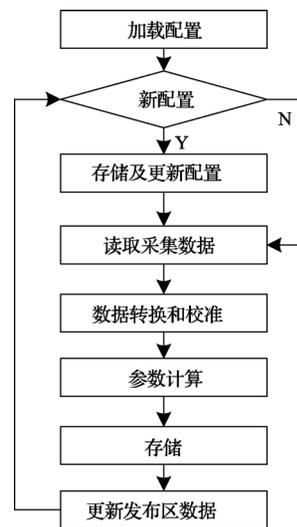


图3 数据采集计算线程流程图

另外，分布式监测系统长期运行将带来大量数据。基于海量数据的分析和建模对于后续光伏电站的

建设、维护和优化具有重大意义。因此，为方便海量数据的存储和查询，为该平台配置了SQL数据库。以该数据库为核心，用户可以方便地进行数据查找和统计分析。数据库的数据来源有2个：数据文件和Citedal数据库。Citedal数据库是NI DSC内建的数据库，可以自动查询多个Modbus Slave的数据并进行记录，记录过程完全在后台独立进行。基于数据库的数据管理平台原理如图4所示。

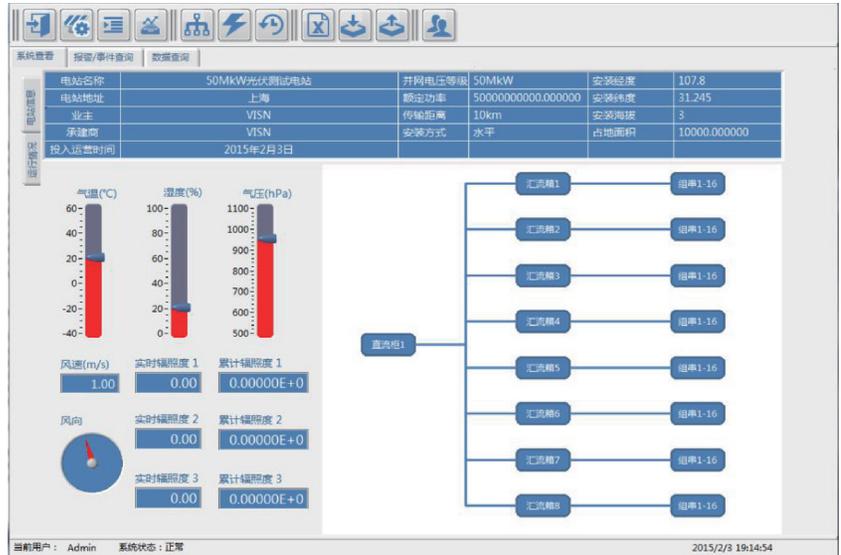


图4 数据管理平台用户界面

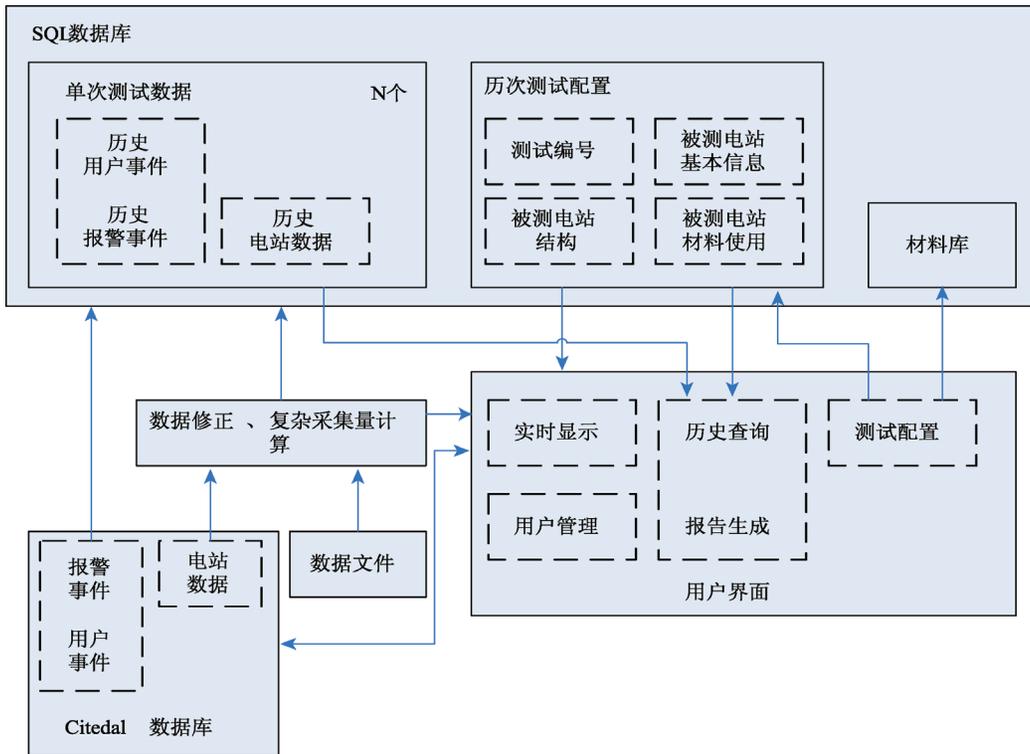


图5 数据管理平台原理框图

7 结论

聚星仪器根据实际应用需求，结合多年定制仪器的开发经验、科学合理的开发流程以及先进的软硬件架构，在短

时间内研发出了该分布式光伏发电实时监测系统。该系统充分融合了嵌入式平台、高精度测量技术和IT技术，有效的保障了光伏发电系统的长期稳定运行，

极大地提高了电站维护管理效率。同时，基于海量监测数据的深入分析和建模，对于后续光伏电站的建设和维护具有重要指导意义。