

[测量技术]

蒸汽发生器泄漏连续监测通道LPDU设计

文/北京中法瑞克有限公司 姚正喜

提出了一种基于FPGA平台来设计蒸汽发生器泄漏连续监测通道的重要组成部分——就地处理显示单元(LPDU)的方法,使LPDU运行既稳定又可靠。LPDU结构上采用将功能集中的电路板插在一块背板上的设计方式,由背板提供电源和通信通道。这样的设计为以后的设备调试和维修提供了方便。

蒸汽发生器是压水堆核电站蒸汽供应系统的主要设备之一,是连接反应堆1、2回路的关键设备。在堆功率运行情况下,通过测量破损发生时在二回路主蒸汽管道内所出现的N16高能 γ 辐射,确定蒸汽发生器U形管的泄漏率;在热停堆工况下,则可测量主蒸汽管道内惰性气体或其他核素。国内研制检测N16的蒸汽发生器泄漏连续监测通道的厂家很少,进入在建和在役核电站中安装的就更寥寥无几。蒸汽发生器泄漏连续监测通道是压水堆核电站运行

的一个重要监测通道,而就地处理显示单元(LPDU)是该监测通道的一个重要组成部分。研制一个既稳定、可靠又功能丰富,还使用当今成熟、稳定的新技术、新器件的LPDU,是本文需要解决的问题。

蒸汽发生器泄漏连续监测通道概述

辐射监测系统中的蒸汽发生器泄漏连续监测通道主要由探测装置、测量单元和就地处理显示单元(LPDU)组成,如图1所示。

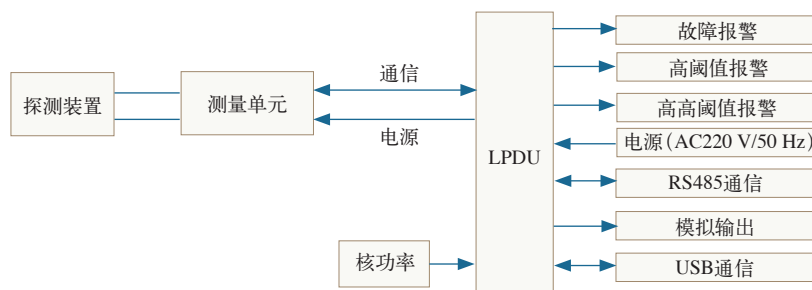


图1 蒸汽发生器泄漏连续监测通道组成

本文主要探讨蒸汽发生器泄漏连续监测通道中LPDU的设计。

LPDU的设计

就地处理显示单元的主要功能是接收测量单

元传输过来的计数率信号,经处理后给出泄漏率的数值,用于显示、存储和传输。当所测量值超过预定报警阈值时给出报警信号。

就地处理显示单元的设计原理框图如图2所示。

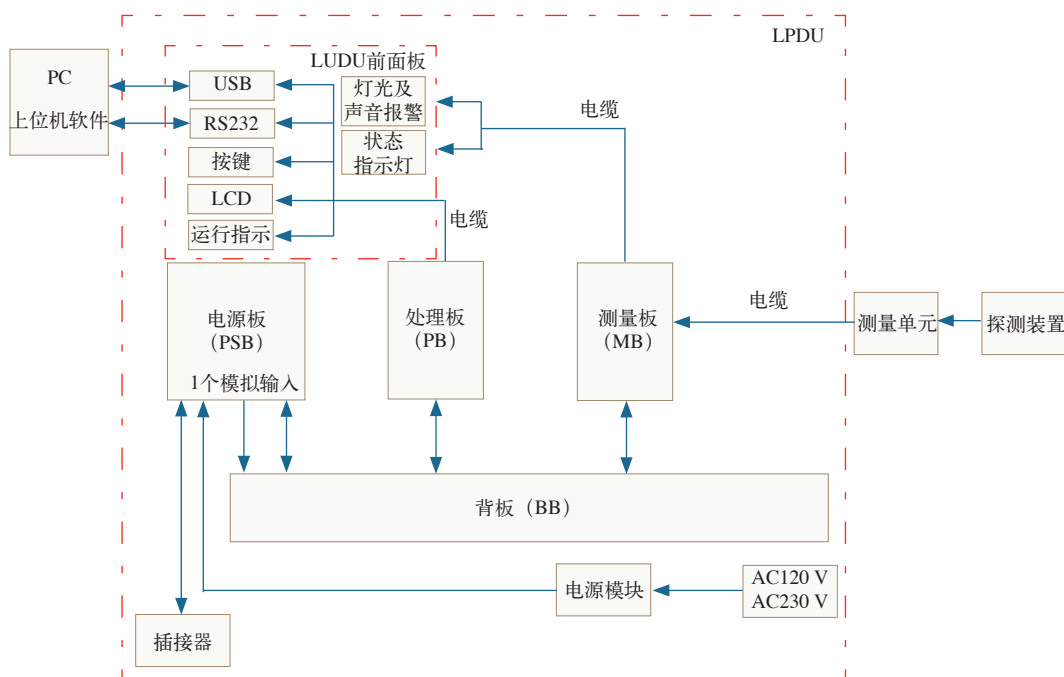


图2 就地处理显示单元设计原理框图

1. 电源模块

将AC120 V或AC230 V电源转换成DC16 V，提供给电源板（PSB），电源板再将其转换成系统需要的各种电压。电源模块输入电压可以通过拨动开关进行选择，用变压器与外部电源输入进行隔离。

2. 电源板（PSB）

1) 提供DC3.3 V、DC5 V、DC24 V和DC±15 V的电源。

2) 隔离的RS485电路、隔离的4~20 mA输出电路、隔离的4~20 mA输入电路及3个干结点输出。

3. 处理板

LPDU中的电路板采用将各个板卡统一插在一块背板上，由背板提供电源、通信路径的方式。

处理板（PB）的主要有如下几个方面的功能。

（1）主要功能

1) 管理实时时钟，时钟信息需要作为历史记录的时间标签。

2) 故障处理（看门狗管理，检测背板电压是否正常）。

3) 系统运行指示（控制绿色LED亮灭，指示系统是否正常运行）。

4) 控制隔离的4~20 mA模拟输出。

5) 历史记录的存储、读取和删除。

6) 参数的设置、修改。

7) 与测量板进行通信。

（2）显示功能

1) 提供LCD显示接口。

2) RS232通信接口。

3) USB通信接口。

4) 隔离的RS485通信接口。

5) 管理3个按键。

（3）PB硬件设计

PB硬件包括处理板、按键和旋钮、指示灯、液晶显示屏、通信接口及模拟输出等。PB硬件设计如图3所示。处理板主要是基于FPGA器件，包括一些外围辅助器件构成的一个数据处理平台，主要构成如下。

1) 主芯片采用FPGA，并内嵌NIOS II或其他软核。

2) SDRAM存储容量≥128 MB。

3) RTC时钟。

4) 4个状态指示LED灯。

5) 标准AS编程接口和JTAG调试接口。

6) 50 MHz高精度时钟源。

7) 系统上电复位及手动复位电路。

8) 和其他单元连接接口。

9) 支持+5 V/3.3 V直接输入，板上电源管理模块。

- 10) E2PROM或Flash存储器件。
- 11) 支持SD存储。
- 12) 支持RS232、RS485、USB通信。

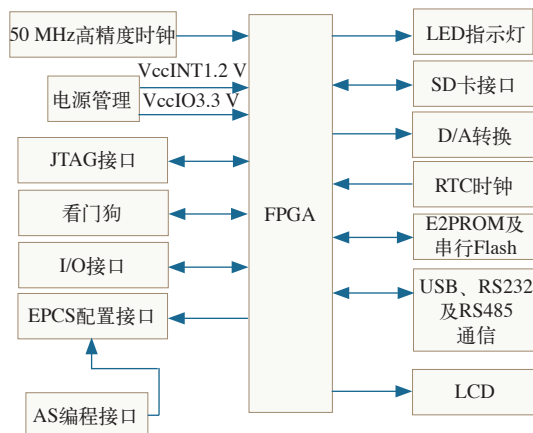


图3 PB硬件设计

4. 测量板

测量板 (MB) 接收来自处理板传输的传输系数、报警阈值等参数。MB接收模拟通道输入的堆功率、测量单元传输过来的计数率信号、本底计数率信号，经过计算得到泄漏率，再与各报警阈值比较，控制灯光和声音报警装置进行各报警动作。处理板与MB进行通信，设置或读出MB中各种参数和读出MB的状态指示。

(1) MB功能说明

1) MB接收来自处理板传输的传输系数、报警阈值等参数。

2) MB接收模拟通道输入的堆功率、测量单元传输过来的计数率信号、本底计数率信号，经过计算得到泄漏率，再与各报警阈值比较，控制灯光和声音报警装置进行各报警动作。

3) 处理板与MB进行通信，设置或读出MB中各种参数和读出MB的状态指示。

4) 处理板运行时，通过状态指示灯指示当前运行状态。

(2) MB硬件设计

MB硬件包括处理板件、声音灯光报警器件、状态指示灯及模拟输入等。MB硬件设计如图4所示。MB主要是基于Altera Cyclone器件 (包括一些外围辅助器件) 构成的。

- 1) 主芯片采用Altera Cyclone器件。
- 2) EPCS64配置芯片。
- 3) 4个状态指示LED灯。
- 4) 标准AS编程接口和JTAG调试接口。
- 5) 50 MHz高精度时钟源。
- 6) 系统上电复位及手动复位电路。
- 7) 和其他单元连接接口。
- 8) E2PROM或Flash存储器件。

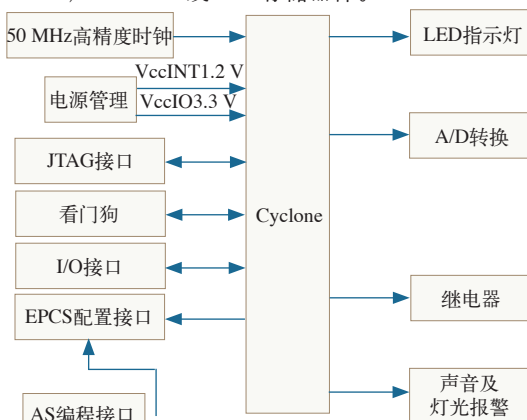


图4 MB硬件设计

(3) MB工作流程图

MB工作流程如图5所示。

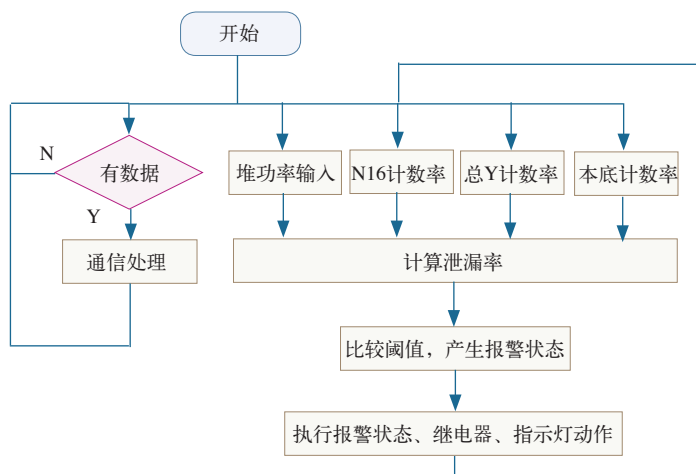


图5 MB工作流程图

因为采用FPGA为处理芯片，所以测量板的工作有一部分是并行的。通信处理和泄漏率计算是并行的，互不干扰。堆功率输入、N16计数率、总 γ 计数率及本底计数率这几部分的数据处理也是并行的。

仿真测试

本文设计的LPDU关键的算法在MB中，而

PB主要是显示和控制功能，所以在通用的开发板上测试MB算法，再编写一个在PB上运行的程序来测试MB和PB的通信和显示。由于没有现成的探测器，所以编写一个计数器模块来模拟探测器给MB板传输的计数信号和堆功率，由MB板进行计数和处理。通用开发板如图6所示。

测试结果如图7所示。

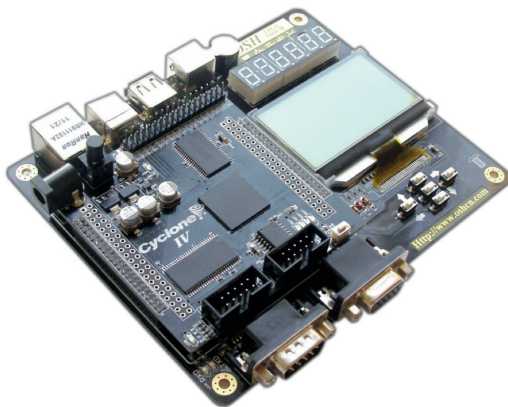
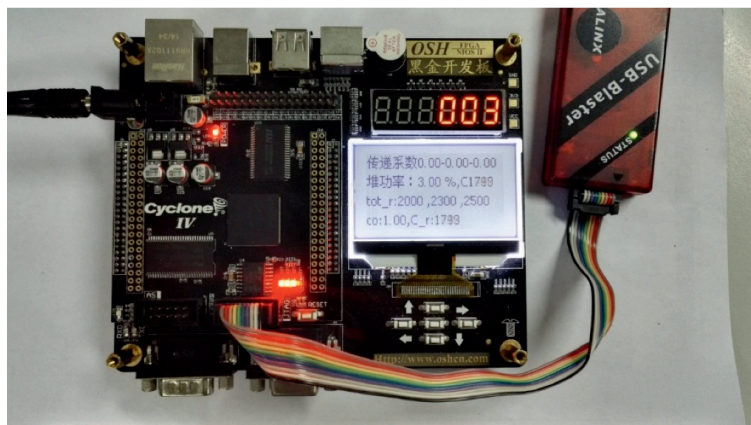


图6 通用开发板



- 注：1. 数码管显示的是模拟堆功率。
2. 液晶屏第一行依次为：热端、弯管段、冷端计算得出传递系数。
3. 液晶屏第二行依次为：堆功率、总 γ 计数率。
4. 液晶屏第三行依次为：总 γ 的报警阈值、高值报警阈值、高高值报警阈值。
5. 液晶屏第四行依次为：总 γ 默认的传递系数为1、蒸汽发生器泄漏率。
6. 液晶屏左下角四个LED灯从左至右依次表示为：继电器1、继电器2、继电器3、声音报警。

图7 测试结果

开发板下载程序后，连续运行120 h，没有出现死机和误动作的情况，测试结果正常、稳定，测试结果满足要求。

结束语

本文完成了蒸汽发生器泄漏连续监测通道的重要组成部分——LPDU的设计，提出了一个性能

稳定、可靠且功能丰富的，使用了当今成熟、稳定的新技术、新器件的LPDU设计方案。经过仿真测试，测试结果满足要求，证明方案的可行性，对于将来采用此类硬件设计和软件设计工作有一定的参考意义。EA

(收稿日期：2016.05.23)

(编辑：杨得润)