

一种用于特高压直流电网调相机监控系统中远程I/O站的设计

在特高压直流混联电网中，为了提高电网动态无功补偿能力，需要配置调相机等无功补偿装置，而调相机监控系统能够确保调相机正常运行，远程I/O站是调相机监控系统的重要组成部分。作为一种现场级的过程输入与输出设备，调相机远程I/O站装置设计分为硬件设计和软件设计。硬件设计电路采用高性能处理器、高准确度测量芯片实现多任务需求，测量准确可靠。软件设计分为FPGA程序设计和应用层设计用于实现参数配置、数据采集与传送和应用配置。最后对装置进行了功能测试，测试性能满足要求，具备了在实际工程中应用的能力。

乔记阳¹ 傅亚光¹ 王亚² 樊平¹ 李云龙¹/1. 许继电气股份有限公司
2. 许昌学院计算机科学系

0 引言

特高压直流输电存在交直流混联引起的无功功率和电压支撑问题而影响混联系统的稳定性^[1-4]。为了提高电网动态无功补偿能力，解决电压支撑不足的问题，需要配置调相机等无功补偿装置^[5-8]，将特高压电网维持在最优状态，实现能量有效传输。而调相机的监控系统为保障调相机的稳定安全运行起到重要作用。文献[9]提出了一种人工智能技术用于调相机监控系统，但此调相机监控系统仅能实现调相机机房监控，不能实现调相机现场各系统数据的采集与故障诊断。文献[10]提出了专家系统用于解决调相机的故障诊断，优点在于控制策略将神经网络与自适应技术相结合能够实现一定的诊断能力，但是属于被动学习，不能实时响应突发故障。由此本文

提出了一种调相机监控系统远程I/O站的设计，能够在线监测和控制调相机。

1 总体设计

直流特高压输电工程中的大型调相机组，一般包括调相机本体、辅助系统、励磁与起动系统、分散控制系统以及化学水处理系统，调相机系统示意图^[7]如图1所示。许继电气股份有限公司（以下简称许继）研制的调相机监控系统包括调相机远程I/O和主控制器。调相机远程I/O站通过扩展总线与主控制器实现双向冗余通信，远程I/O站CPU采集各系统现场I/O数据，如模拟量、开关量，经预处理后上送主控制器，并接收来自主控制器的控制指令，校验后通过相应板卡输出。调相机远程I/O站以许继研发的DFU410测量控制箱为基础实现，在此基础上实现硬件板卡类型的多样化、配置的灵活化等适应性改造。调相机远程I/O站主要包括带实时操作系统（RTOS）的主处理单元、控制器通信接口、快速I/O总线/通用数据总线以及开关量/模拟量采集处理单元。调相机远程I/O站原理图如图2所示。

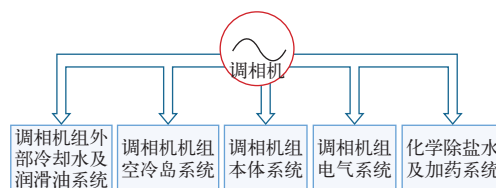


图1 调相机系统示意图

2 基本硬件设计

装置整体采用主从式功能分布设



乔记阳/工程师

关键词/Keywords

特高压直流·
调相机·
监控系统·
调相机远程I/O站·
FPGA·

国家重点研发计划项目（2016YFB0900905）。

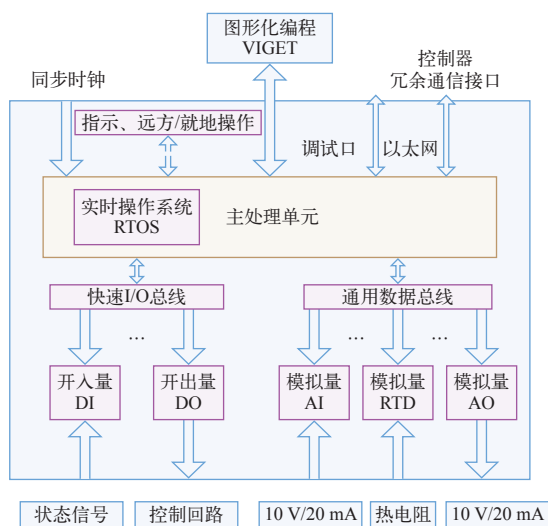


图2 调相机远程I/O站原理图

计, 模块插件化, 模块间通过背板总线完成数据传递。除背板与LED指示部分为固定结构外, 其他均为插件式设计, I/O子板可灵活配置。调相机远程I/O站硬件设计主要包括嵌入式主处理器设计、开关量输入输出设计、模拟量输入输出设计、多线制多方式热电阻输入设计和直流电源设计。

2.1 主处理器设计

主板采用了飞思卡尔P1010高性能处理器、嵌入式实时操作系统, 支持图形化应用编程与配置调试, 是整个装置运算处理的核心, 担负着数据采集、数据运算、输出控制以及以太网及其冗余通信等任务。其核心处理器支持浮点运算和最高800 MHz内核频率, 处理速度可达1 600 DMips, 可满足高速数据处理能力的要求。利用处理器内部集成的MAC控制器配合外部的高通的AR8033芯片设计两个千兆以太网口, 可实现与上层主控制器的冗余通信。配置有隔离485接口可支持IRIG-B、PPS等同步对时, 同时具备PCI-E插槽及SD卡槽等接口设计。并且还配置有1个串行诊断口、1个专用编程以太网口, 可用于插件的故障诊断、运行状态监视及图形化编程。主板功能框图如图3所示, 主板的电源设计如图4所示。

2.2 开关量输入输出设计

开关量输入电路采集现场触头的DC 24 V查询电压, 所有输入通道都有如图5所示的防抖动滤波

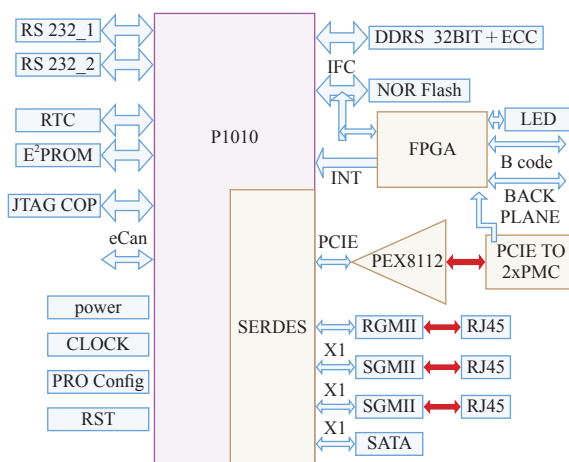


图3 主板功能框图

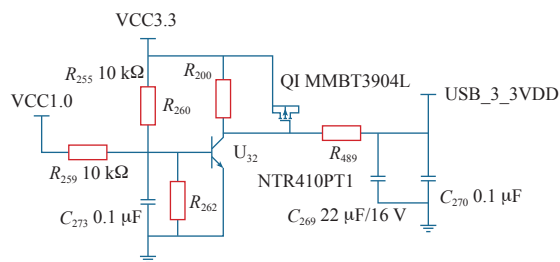
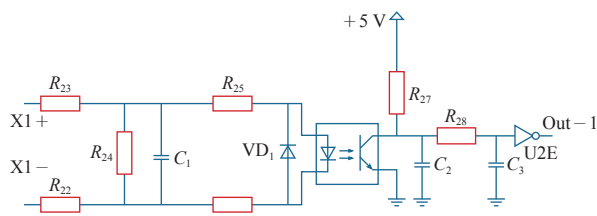


图4 电源原理图

处理功能, 如果输入触头信号在4 ms之后仍抖动, 电路不接收该触头信号。每路通道采用光耦隔离开关抗干扰。并且每路具有SOE功能, 分辨率小于1 ms。开关量输出电路采用隔离输出, 隔离电压不小于250 V, 能直接驱动控制用电动机或任何中间继电器。每路输出通道提供1个常开触头, 内部采用双向控制以及防干扰的编码命令控制, 可确保输出高可靠性。同时具备实时状态反馈回路, 供主处理插件进行合理化检查, 确认输出电路正常之后, 才允许单通道的输出。发生故障时, 相应的输出组被闭锁, 相应的一个系统消息送到主控站。



道，支持0~20 mA电流或0~10 V电压两种方式。两种方式通过内部DIP拨码开关进行设定。

各通道与装置内部、各通道之间均相互隔离，可有效抑制过程环路等干扰。该电路采用了适合高准确度测量应用的低功耗、低噪声，带差分模拟输入的16位/24位的A-D芯片AD7792，并且采用四通道数字隔离器ADUM5401对AD7792输入信号进行隔离。直流模拟量输出电路，支持0~20 mA（4~20 mA）电流或0~10 V电压两种方式，两种方式需通过软件工具设定。模拟量输出电路采用了单通道、低成本、精密、完全集成和12/16位D-A转换器DA5422，内置可编程电流和电压输出，模拟输出有短路和开路保护。模拟量输入输出电路都采用了Xilinx公司的Spartan-6系列的XC6SLX9-2FTG256I芯片，具有功耗低、速度快且连接功能更丰富，用于数据处理、模式配置和故障诊断。模拟量输出电路框图如图6所示。

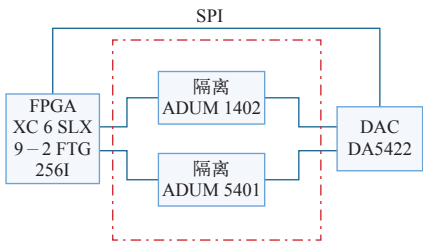


图6 模拟量输出电路原理框图

2.4 热电阻输入设计

通过检测热电阻测试仪的电流大小反映被测设备的工作状态，内部电路采用3线制设计，可支持2线制、3线制连接，支持Cu50、Pt100和Pt1000三种热电阻连接。在此热电阻测量电路中，采用A-D器件AD7792，此器件为高分辨率转换器，由Σ-Δ结构提供A-D转换功能，因此器件的抗噪能力很强，适合传感器测量和过程控制应用。来自热电偶的信号弱，AD7792内置放大器将信号放大，片内激励电流为热敏电阻提供激励，R₄₃提供测量的外部基准电压，R₄₁、R₄₂电压值与热电偶产生的电压成比例变化，实现比率式测量，因此激励电流的变化不会对测量结果产生影响。热电阻检测电路如图7所示。

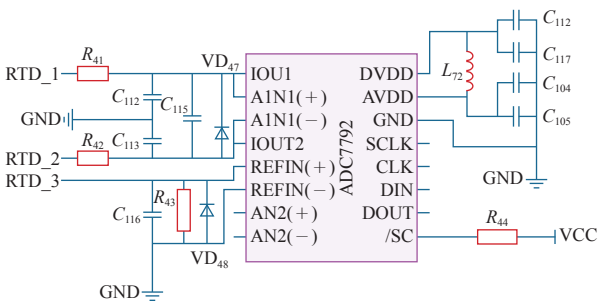


图7 热电阻检测电路

3 软件设计

3.1 FPGA程序设计

调相机远程I/O站FPGA程序主要用于完成模拟量、状态量的采集处理与上送，完成模拟量、状态量的控制输出，用于完成数据采集（DAS）、模拟量控制（MCS）和顺序控制（SCS）等系统应用功能。

此装置需要进行FPGA开发的模拟量板卡分为AI、AO两类，AI/AO板卡原理构成主体均采用FPGA+ADC方式，其中AI板卡测量对象为RTD热电阻值、变送器20 mA/10 V信号以及二者的混合量；AO板卡则为输出20 mA/5 V/10 V直流模拟量。

FPGA作为测量通道的转换枢纽主要完成下述工作。

1) FPGA与DPU处理板。FPGA一侧经电平匹配及驱动电路连接至背板16位通用总线上。通过装置上部DPRAM接口，完成槽位板卡种类甄别、参数配置、采样值传递以及量值校准，如表1所示。

表1 读取板卡类型、总的工作状态等

管脚名称	名称	类型	功能
Board Type_BT	板卡型号	BYTE	DRA10 (#01)/特征码
			DRT10 (#02)
			DAI10 (#03)
			DAO10 (#04)
Operation State_OS	工作状态	BYTE	故障55，正常AA
EPROM Acces_EA	E ² PROM访问	BYTE	故障55，正常AA
EPROM Save_SA	E ² PROM存贮	BYTE	故障55，正常AA
EPROM Check_EC	E ² PROM校验	BYTE	故障55，正常AA

DPU负责将配置数据、存贮命令发送到子板卡，同时从子板卡读回板卡型号、运行状态，完成校准处理及参数存贮命令下发，如表1所示。按

应用种类不同, RAM划分为板卡类型区、状态反馈区、配置命令区、A-D/D-A数值区和校准参数区共5个存储区段。

2) FPGA与ADC。通过经10路电气隔离的SPI总线完成对ADC增益等参数的配置、系统/内部校准、采样值读取或模拟量输出, 如表2所示。

表2 第1通道参数配置(其他通道类似)

管脚名称	类型	输入/输出	功能
AD1_IN1	WORD	输入	第1通道ADC第1对差分输入
AD1_IN2	WORD	输入	第1通道ADC第2对差分输入
AD1_IN3	WORD	输入	第1通道ADC第3对差分输入(预留)
AD1_U	WORD	输入	第1通道内部电压(预留)
AD1_T	WORD	输入	第1通道芯片温度(预留)

模拟量输入板卡中, 有关寄存器配置的FPGA设计流程图如8所示。

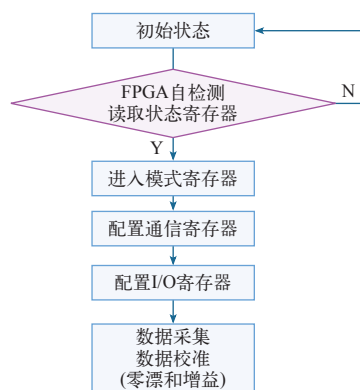


图8 寄存器配置流程图

3.2 应用程序设计

调相机远程I/O站装置应用软件开发采用许继自主研发的工程应用软件开发工具Viget进行, 能

够进行图形化开发, 创建工程项目, 设计硬件组态、通信组态, 编辑和下载图形化CFC程序以及在线调试等功能。按照实际工程应用和功能, 将调相机远程I/O站装置应用层基本划为配置&检查、状态监测(综合)、接线故障计算、基础校准计算(底层零飘/增益)、系统校准计算、校准/计算/存储、RTD计算及20 mA/10 V计算等功能块。将上述功能块进行配置, 可搭建组合成模拟量输入/输出应用程序, 开关量输入/输出应用程序, 热电阻测量应用程序, B码/光电对时应用程序, 与主控制器的组网冗余通信应用程序等, 其中B码对时应用程序如图9所示。其中, 在功能块“SRTC_0001”将EN1设置为1, 在相应端口设置时间, 如: 2016年11月24日11:30, 在功能块“RTC001_0001”可以看到时间显示为2016年11月24日11:30。此时在功能块“SRTC_0001”将EN1设置为0, 将时钟源的IRIG-B同步对时信号接入主处理器板卡的RS 485电平对时接口, 此时在功能块“RTC001_0001”可以看到时间已经显示为当前时间。

4 试验验证^[11-12]

将主控制器与过程控制设备(I/O)进行通信连接, 计算机连接在主控制器处理器板卡的网口上, 运行调试软件Viget, 用欧米克朗给过程控制器的模拟量采集板卡输入电流或电压值(0~20 mA/0~10 V)模拟现场实际情况, 然后在Viget上核对模拟量信息, 其显示量值应与过程控制设备(I/O)实际施加情况相一致则认为该功能正确。测试程序如

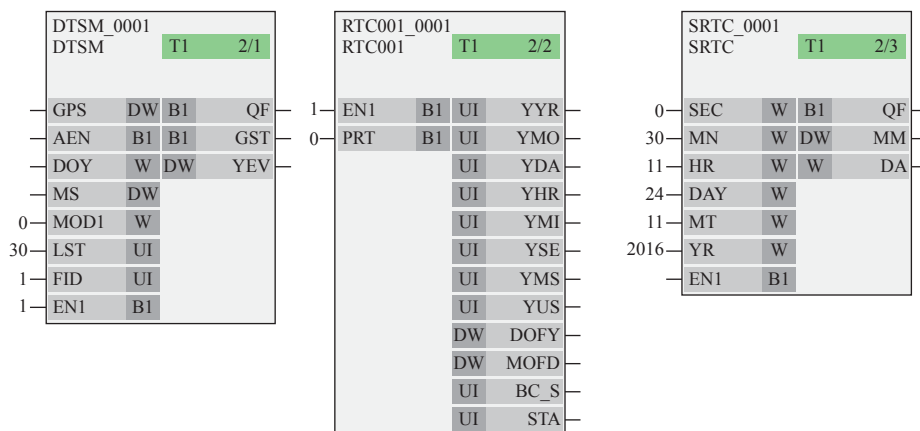


图9 B码对时应用程序

图10所示。

在DAI_0001功能块中，AN1－AN10实时显示模拟量板卡的10个通道模拟量值，经过数据类型转换后，通过每个通道配置的MAS_0010、MIS_0008功能块显示最终值，测试五路五路进

行，功能块DAIPS_001功能块对各通道的零漂和线性度进行校准，MAS_0010、MIS_0008功能块进行0.002的准确度检测。分别施加0～10 V的量值，最终的输出结果如图11所示，测试结果都满足不大于0.002的准确度（ $\Delta V/10$ ）要求。

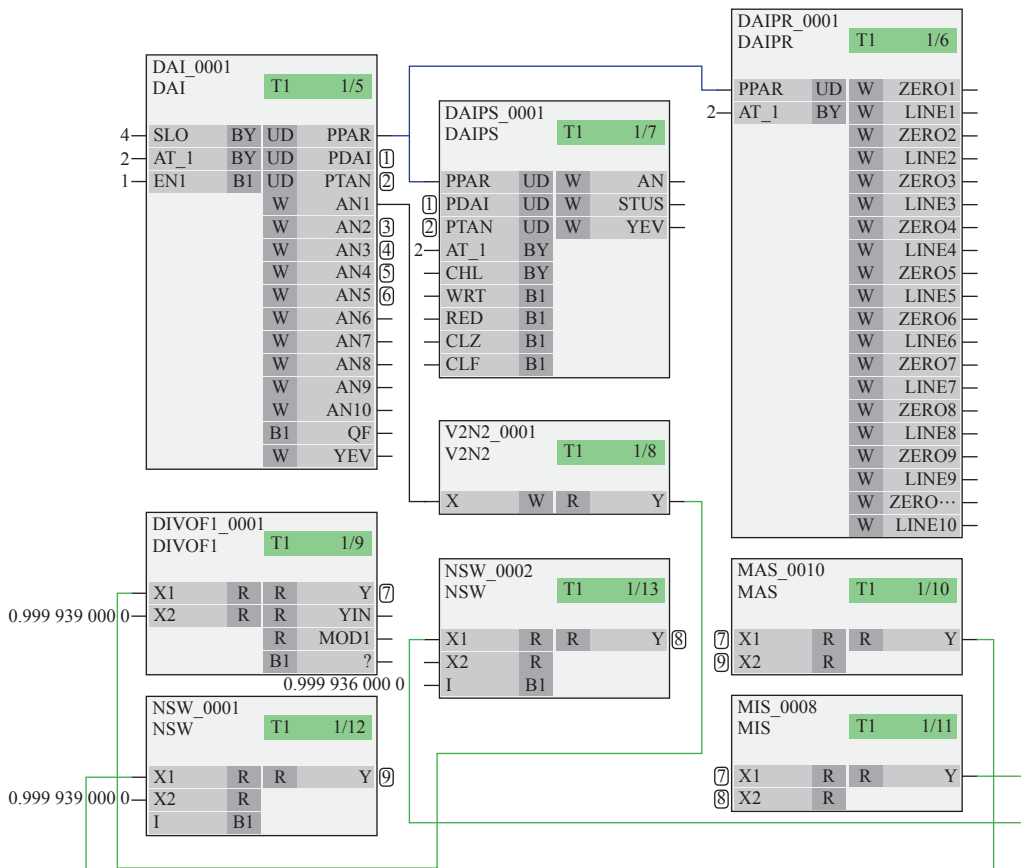


图10 模拟量输入测试程序

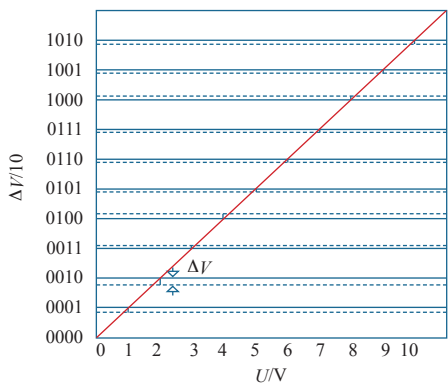


图11 测试结果分析波形

5 结束语

本文设计的调相机监控系统远程I/O站是组成

许继开发的大型同步调相机监控系统 DPS－3500 关键设备之一，能够在现场层检测和控制调相机各个子系统，从而实现调相机平稳运行。本装置不仅能实现调相机远程监控，稍加改造也可实现调相机的控制与保护，组成调相机的控制与保护系统。在未来的特高压输电工程应用中，结合实际需求，可对本装置进行适当的升级，使其具备发挥重要作用的能力。

参考文献

[1] 邹东霞，余锐，聂娟红，等．300 Mvar大型同步调相机的启动继电保护 [J]．电力系统保护与控制，2016，44 (20)：160-164．

- [2] 王雅婷, 张一驰, 周勤勇, 等. 新一代大容量调相机在电网中的应用研究 [J]. 电网技术, 2017, 41 (1): 22-28.
- [3] 阮羚, 王庆, 凌在汛, 等. 新型大容量调相机性能特点及工程应用 [J]. 中国电力, 2017, 50 (12): 57-61.
- [4] 崔一铂, 李冰, 沈骏杰, 等. 大型调相机组调试及运行维护保障技术研究 [J]. 湖北电力, 2016, 40 (5): 5-8.
- [5] 李庆军, 金晓阳, 陶学军, 等. 采用PCC技术实现直流输电调相机的控制 [J]. 自动化仪表, 2002, 23 (8): 49-51.
- [6] 李志强, 蒋维勇, 王彦滨, 等. 大容量新型调相机关键技术参数及其优化设计 [J]. 大电机技术, 2017 (4): 15-22.
- [7] 傅亚光, 杨亚璞, 曾丽丽, 等. 基于PROFIBUS DP总线的换流站测控装置研制 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (19): 118-124.
- [8] 罗凌, 李振文, 宋兴荣, 等. 大容量调相机继电保护配置方案研究 [J]. 湖南电力, 2016, 36 (5): 26-30.
- [9] 王大光, 鄢庆锰, 张榕林, 等. 调相机无人值守监控系统的人工智能技术 [J]. 电力自动化设备, 1999, 19 (5): 50-52.
- [10] 罗安, 李娟, 邹润民, 等. 大型电机故障诊断系统的研制——以调相机故障诊断专家系统为例 [J]. 中南工业大学学报, 1999, 30 (5): 533-536.
- [11] GB/T 18271.2—2017 过程测量和控制装置 通用性能评定方法和程序 第2部分: 参比条件下的试验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [12] DL/T 1083—2008 火力发电厂分散控制系统技术条件 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- (收稿日期: 2018-03-08) **EA**



自由选择 简易安装

魏德米勒RockStar® ModuPlug — 随心组合

RockStar® ModuPlug系列针对不同行业的应用环境实现通用的联接且自由可变的组合, 让您拥有更多选择并减少规划工作。您现在可以亲身体验, 感受如此简易的安装! 扫描右侧二维码, 即刻申请免费样品箱, 了解魏德米勒模块化重载接插件的随心组合。

魏德米勒电联接(上海)有限公司
电话: 86 21-22195008 官网: www.weidmueller.com.cn

扫一扫 即刻申请



Let's connect.