

[电动操动机构]

基于物联网的电动操动机构远程监测系统设计

文/牛信强¹ 周艺璇¹ 蒲华祥² 姜洪权² 黄煜² 闫婧¹

1. 西安西电高压开关操动机构有限责任公司; 2. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室

针对目前电动操动机构在实际工作中缺乏主动监测方式、需要人工现场检测机构运行状态的问题,提出一种基于现代物联网理念的电动操动机构远程监测系统。通过分析电动操动机构在运行过程中的质量状态感知需求,设计了包括感知层、网络层和应用层的三层远程监测系统架构;分别对感知层、网络层及应用层涉及的关键技术及硬件系统进行了设计,实现电动操动机构关键运行过程——分合闸过程的电动机电流和机构输出轴转角关键信息采集,及基于4G无线网络的数据云端上传管理和运行状态分析与监测。实际测试结果表明,该系统能够有效实现电动操动机构运行状态远程监测功能,提升了电动操动机构的智能化与数字化水平。

电动操动机构是一种以电动机提供驱动力,对高压开关进行分合闸操作的操动机构,其结构精简、运行平稳并且可靠性高,在断路器、高压隔离开关和接地开关中得到了广泛的应用。由于工作环境复杂,动作频率低,电动操动机构在实际使用中可能会出现零部件磨损变形、锈蚀老化、电动机损坏及控制回路异常等故障,导致机构动作出现卡滞、拒分拒合及分合闸不到位等严重问题,给电力系统运行带来安全隐患。但是目前对于电动操动机构并没有主动监测维护环节,通常都是进行定期的计划检修或在出现异常后进行事后维修,缺乏相应的在线监测和故障预警机制,无法及时获知机构的运行状态。

目前对于电动操动机构的研究基本上都是集中在其结构设计、优化仿真和控制系统设计等方面,缺乏一套针对电动操动机构的运行状态数据采集、传输、存储和分析的完整系统。且现有的部分监测装置监测量单一、装置集成化不足;数据传输基本上采用有线传输的方式,监测数据的存储管理仍然

以本地管理为主,在数据的安全性、共享性等方面存在诸多不足。

随着智能配电网的发展,物联网技术在电力设备监测中得到了广泛的应用,作为新一代信息技术的重要组成部分,物联网在互联网的基础上进行延伸与扩展,将各种信息传感设备与网络结合起来形成一个巨大网络,可以实现人、机及物随时随地的互联互通,有效地提高了配电网的智能化水平。

因此,以电动操动机构为研究对象,基于物联网技术,设计开发一套远程监测系统,实现对机构分合闸运动过程中关键信号数据的实时采集、传输、存储与展示,从而实现对电动操动机构运行状态的有效监测。

系统架构设计

1. 操动机构运行状态检测需求分析

电动操动机构是由电动机、机械减速系统、电气控制系统及箱壳组成的机电系统,常用的两工位和三工位电动操动机构如图1所示。当操作人员发

出分合闸电信号后,电动机通电工作,并通过机械减速系统增大转矩带动输出轴进行转动,从而带动开关进行分合闸,动作过程中,由辅助开关进行切换发出电信号及分合指示器机械转动进行切换来指示输出轴的当前位置,并由限位装置切断电动机回路,使电动机停止工作。

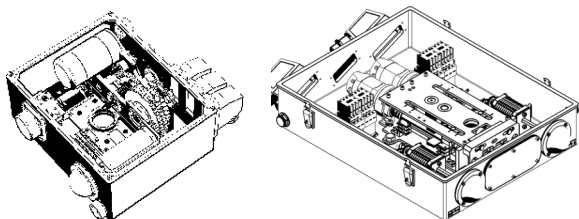


图1 电动操动机构组成结构

首先,对于电动操动机构,使用人员最关心的是机构是否能够准确驱动与其配套的高压开关进行分合闸。其动力来源是电动机,电动机电流的变化情况反映了电动机输出转矩的变化情况,从而可以间接判断机构的负载情况,机构输出轴转角直接反映了开关分合闸是否到位,当机构动作出现异常时,通过结合电流和转角可以定位到机构的具体运动位置,同时对于转角的监测可以省去传统的通过机械指示和辅助开关判断分合闸是否到位的方式,有利于实现机构的小型化。因此,选择监测的关键信号为驱动电动机电流和机构输出轴转角信号。

再者,在数据传输方式上,目前大部分电力设备监测系统仍然采用有线传输的方式,但是电动操动机构工作现场环境复杂多变,并不利于传输线缆的布置,同时有线传输距离有限,需要在传输范围内设置接收装置,增加了成本和系统的复杂性。因此,本系统采用4G无线通信实现采集数据的传输,并利用云端服务器进行数据的接收存储,便于数据的访问和共享。

最后,完成数据的采集和传输存储后,需要基于数据对机构的运行状态进行分析,因此,需要提供一个监测软件平台,以实现数据的可视化展示与分析计算,帮助工程人员对机构状态进行判断并制定维修策略。

2. 基于物联网理念的系统架构设计

根据以上需求,本文提出了一种基于物联网的电动操动机构远程监测系统三层架构,如图2所示,该系统架构由感知层、网络层及应用层组成。

其中感知层是整个物联网系统的数据基础,主要包括传感器和数据采集模块,此处主要利用电流传感器和角度传感器分别对机构的驱动电动机电流信号和机构输出轴转角信号进行采集,并通过数据采集模块进行采样控制、计算和传输;网络层负责将感知层获取的信息通过通信网络进行传输,此处利用运营商的通信基站提供的4G无线网络服务将数据传输到云端服务器和数据库进行存储;应用层是物联网架构的终端,可以提供用户接口,进行数据的展示、分析,并进行决策处理,此处通过远程监测平台软件提供用户交互的接口,实现对数据的访问,并通过状态识别和故障分析为机构的维修决策提供参考。

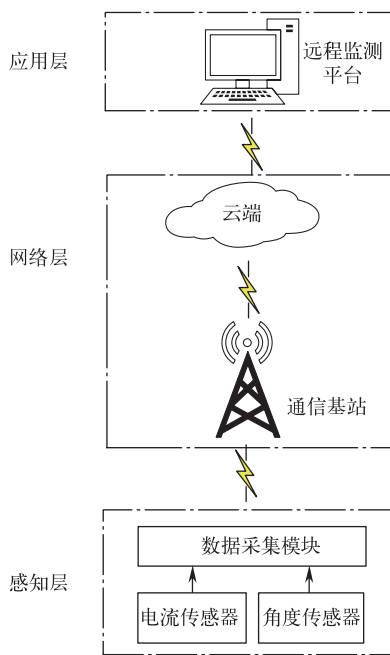


图2 系统架构逻辑图

面向关键参数的感知层设计

1. 传感器选型

电动操动机构在运行中,电流及机构输出轴转角信号是表征运行状态的关键参数,也是传感器选择的重要依据。

首先,由于电动操动机构通常使用的为交直流两用电动机,为了能够实现同时对交流和直流进行测量,选用穿孔式的闭环霍尔电流传感器,该类型传感器基于霍尔效应原理,可以将待测交流或直流电流信号转化为成比例的电压信号输出,测量精度

高、体积小及响应快，可以实现隔离式测量。

电动操动机构根据机构类型不同，输出轴旋转角度变化较多，包括单圈和多圈转角，为了能够实现多圈角度的连续测量，角度传感器采用增量式旋转光电编码器，通过计数脉冲实现对角度的测量。

2. 数据采集模块设计

(1) 硬件模块设计

硬件总体结构如图3所示，其中核心控制芯片MCU采用STM32F103，主要分为电源模块、信号调理模块、MCU模块和4G模组几部分功能模块，将以上功能模块集成在一块电路板上，使其具备数据采集、无线传输的功能，并通过相应的接口外接传感器、电源和PC端。

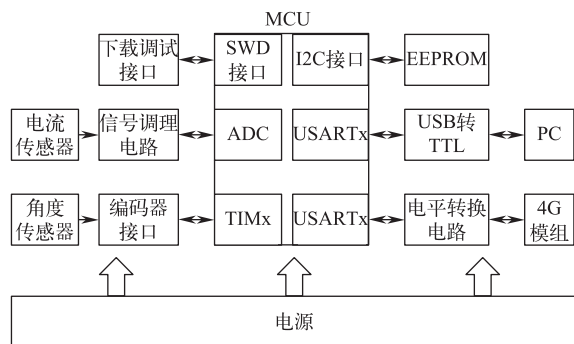


图3 硬件总体结构

1) 电源模块。电源是保证整个系统正常工作的重要基础，机构实际工作现场只有220 V的交流和直流电源，而系统实际工作的电压包括5 V、3.8 V和3.3 V，为了尽量使系统集成化及方便接入电源，此处采用AC-DC模块将外部输入交流220 V电压转化为5 V直流电给系统供电，然后分别通过LDO芯片将5 V转化为3.8 V和3.3 V给MCU系统和4G模组系统供电。

2) 信号调理模块。信号调理模块主要用于对外部电流传感器输出的模拟信号进行预处理，通过电压跟随和二阶低通滤波，起到缓冲隔离作用，进行前后级之间的阻抗匹配及滤除部分噪声，减少对外部信号的干扰，将调理后的信号输入MCU内部进行后续计算处理。

3) MCU模块。MCU模块是保证STM32F103芯片正常工作的最小系统，包括晶振电路、复位电路、下载调试接口、USB转TTL接口及存储模块等，其中存储模块采用EEPROM存储器，主要用于

存储与装置工作相关的配置参数，USB转TTL接口使得系统可以通过USB接口与外部计算机通信，主要用于参数配置和调试。

4) 4G无线模组。4G无线模组采用EC200S模组，是将设备接入网络的关键模块。4G无线模组通过串口和MCU进行通信和数据传输，两者之间通过电平转换电路实现电平的匹配，通过AT指令可以实现对模组的控制和查询，通过插入SIM卡提供服务，从而可以使用运营商提供的流量进行数据无线传输。

(2) 控制程序设计

1) 采集控制传输。数据采集控制传输主程序的执行流程如图4所示。

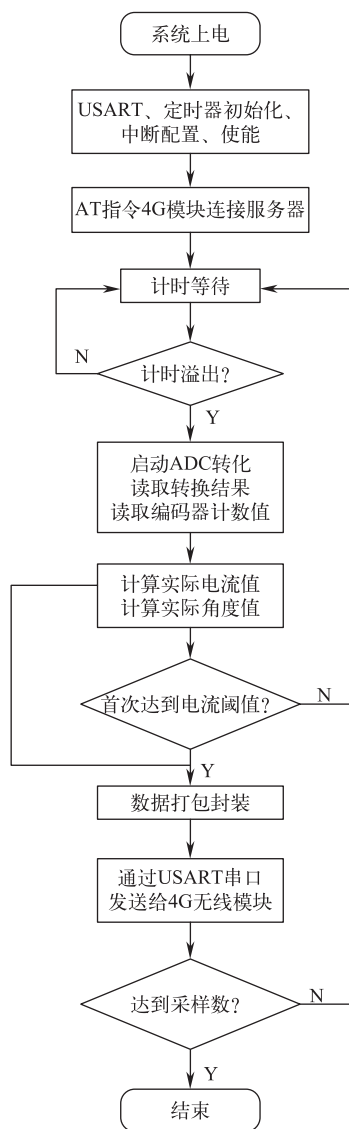


图4 采集控制传输流程

系统上电后,STM32首先进行USART串口与定时器的初始化以及中断的配置,串口主要用于和4G模组通信,定时器用于控制采样频率;然后通过串口发送AT指令对4G模组SIM卡状态和网络注册状态进行查询,当接收到表示注册成功的信息时,发送建立TCP连接的指令和指定服务器与端口建立连接;通过STM32定时器设定采样间隔,定时对电流和角度值进行采样,同时根据机构的实际动作时间设置采样点数;到达定时时间后,进入定时器中断程序中,启动ADC对电流信号进行转换,同时读取编码器计数值,然后根据转换关系计算得出实际电流值和角度值。

由于电动机在起动瞬间会出现较大的电流,此处以起动电流作为电流阈值自动识别分合闸动作的开始,当计算得到的电流值大于该阈值时,认为机构已经发生分合闸动作,触发传输标志位置位,对采集到的角度和电流值以自定义格式进行封装,通过串口发送给4G模组,4G模组将数据透传到建立连接的云端服务器,当达到指定的采样数目时,认为动作已经结束,发送结束信息给服务器,表示一次完整的分合闸动作结束,同时传输标志位复位,停止传输,等待下次启动电流触发。

2) 电流信号采集。霍尔电流传感器将电动机电流转化为电压模拟信号输出,需要将其转化为数字信号才能进行后续处理。此处通过STM32F103微控制器内部的ADC对传感器输出信号进行转换。系统上电后,首先对ADC和所使用通道对应的GPIO端口进行时钟使能和初始化,然后对ADC通道进行配置,使能并校准ADC,ADC等待转换指令,当采集控制传输主程序进入采样定时器中断后,通过软件触发的方式启动ADC转换,直到转换结束,并读取转换结果。

3) 角度信号采集。旋转光电编码器含有A、B两路信号线,两路信号输出形式为高低电平的矩形脉冲,相位差为 90° ,此处通过STM32通用定时器的编码器接口模式对光电编码器脉冲进行计数,将光电编码器的A、B两相信号分别接入定时器的通道TI1和TI2,根据两个输入信号的跳变顺序,产生计数脉冲和方向信号,计数器进行向上或者向下计数,分别对应轴的正转和反转,由此可以识别机构的分合闸动作。在TI1和TI2的上升沿和下降沿都计

数,可以使分辨率变为编码器原始分辨率的4倍,测量更加精确。当TI1超前于TI2时,编码器正转,计数器向上计数;TI2超前于TI1时,编码器反转,计数器向下计数,同时,对于脉冲中的毛刺,该接口模式具有一定的抑制作用,能够有效减小机构的抖动带来的对计数值的影响。由于计数器的计数最大值是有限的,为了能够实现多圈角度的测量,此处对定时器中断进行配置,当计数器计数值溢出时,进入中断来记录旋转圈数,则当前角度的测量值为:(脉冲数/4/编码器分辨率+旋转圈数) $\times 360^\circ$ 。

面向远程数据传输的网络层设计

网络层负责感知层采集数据的传输,此处采用云服务器实现和感知层4G模组的通信,4G模组在MCU的控制下和服务器建立连接,通过4G网络和通信基站进行数据的发送,服务器进行数据的接收、解析和存储。

云端的服务器通过套接字(Socket)编程建立监听接收进程,此处,采用基于TCP的流式套接字,以实现面向连接、可靠的数据传输服务。通信流程如图5所示,进程启动后,首先创建Socket,绑定IP和端口号,然后处于监听状态,当接收到4G模组的连接请求后,两者通过“三次握手”建立连接,Socket进入接收阻塞状态,当机构开始动作时,数据传输过来,退出阻塞状态,从Socket接收缓冲区中读取数据,按照指定的格式对数据进行解析,并存入数据库,同时将数据转发给远程监测平台以实现实时动态的显示,当接收到结束标志时,一次数据传输结束,关闭Socket连接,进入下一次监听。

面向状态分析的应用层设计

应用层以远程监测平台软件的方式为用户提供访问数据的接口,基于Windows平台,采用MFC框架进行开发。软件设计采用三层的C/S架构设计,包括表示层、业务逻辑层和数据访问层,如图6所示。其中表示层位于架构的最上层,与用户直接交互,实现用户数据的输入和系统输出数据的可视化显示,同时实现数据的监测;业务逻辑层是表示层和数据访问层中间的桥梁,实现数据的传递和逻辑

处理，并将结果反馈到表示层；数据访问层提供数据访问接口和数据库进行交互，实现数据的增删改查等操作，并将操作结果反馈到业务逻辑层。

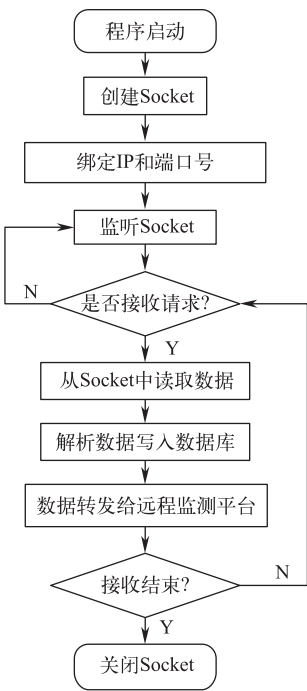


图5 服务器监听程序

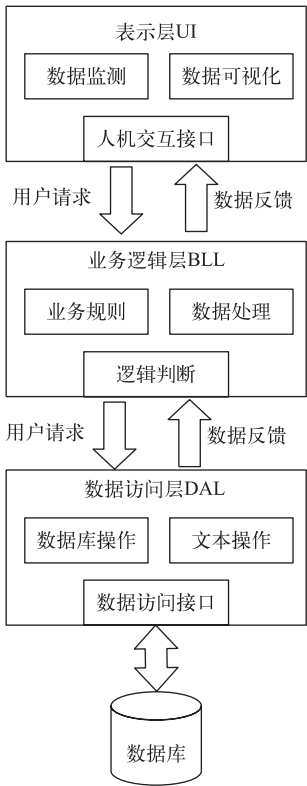


图6 应用层监测平台架构

监测平台的主要功能包括用户管理、参数配置、数据监测及数据管理等功能，如图7所示，用户管理具有添加新用户、进行秘密修改、权限设置及用户操作日志查询等功能，参数配置可对数据采集模块的采集参数和网络通信相关参数进行设置，数据监测是通过和云端服务器建立连接，从云端获取电动机电流和机构输出轴角度在分合闸过程中的变化数据，并进行信号曲线的可视化展示及基本统计参数的计算，可初步判断机构当前的运行状态，数据管理提供了数据导出和历史查询的功能，可以将监测得到的数据以文本或者图像的方式保存到本地，通过输入相关查询条件，对机构的历史分合闸信号曲线进行查询和展示。系统监测主界面和历史数据查询界面如图8所示。

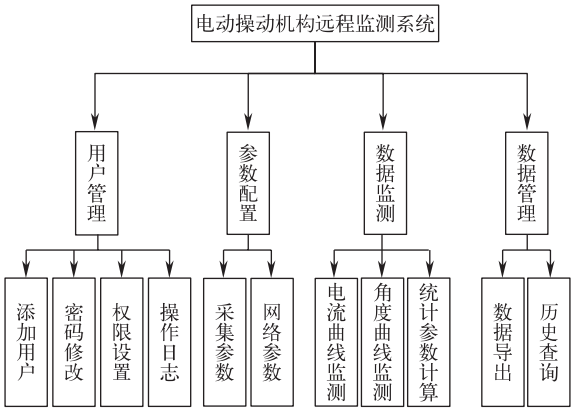


图7 监测平台功能

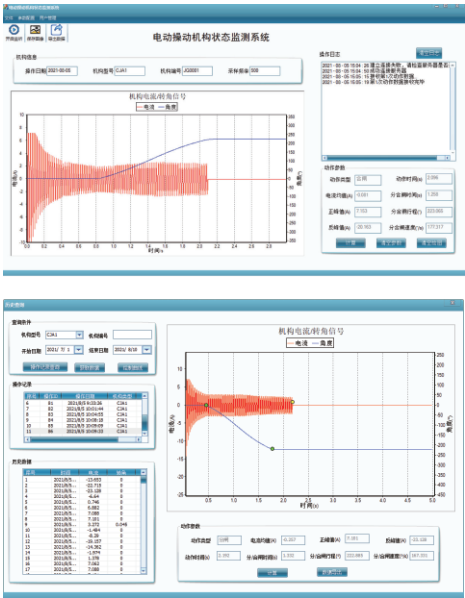


图8 远程监测系统界面

系统测试

实际测试采用的是某型号的三工位电动操动机构, 电流传感器和角度传感器安装如图9所示。角度传感器通过联轴器和机构转轴相连, 保证两者同轴转动, 并通过支架进行固定, 电流传感器串在电动机控制电源的回路中, 同时通过机构辅助回路所用的220 V交流电源给数据采集系统供电。

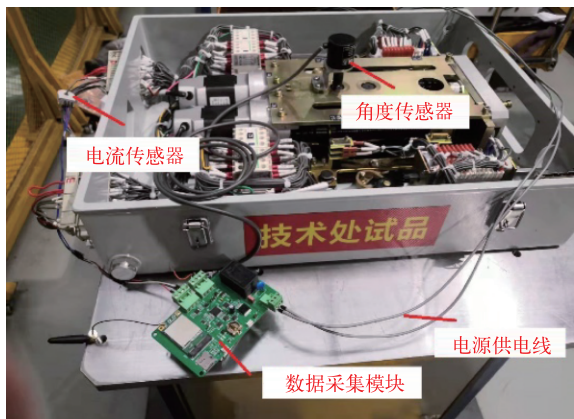


图9 现场测试

机构在正常分合闸状态下测得的电流和转角信号如图8所示, 电动机动作时间2.3 s左右, 电流信号为交流信号, 开始有较大的起动电流, 随后以正常峰值电流3 A左右趋于稳定状态, 直至电动机停止, 电流变为0; 机构转角在电动机起动一段时间后开始转动, 然后逐渐增加, 达到分合闸的角度后, 维持不变。从实测数据来看, 所获得的信号曲线变化规律与机构理论工作参数一致, 验证了在线监测系统的功能。

结束语

本文以电动操动机构为研究对象, 设计开发了一套基于物联网的远程监测系统分别对系统的感知层、网络层和应用层进行设计, 利用4G无线通信技术和云平台技术将设备接入网络, 有效地实现了设备的现场布置和在线管理, 同时可以实现数据的远程访问。以实际电动操动机构为例进行测试, 结果表明, 设计的监测系统能够实现有效的数据采集、传输、存储、展示及计算等功能, 为电动操动机构的故障预警和状态检修提供了参考。EA

(收稿日期: 2021-12-26)

参考文献

- [1] 林莘, 马希志, 李昊旻. 126 kV真空断路器电机操动机构动态仿真与试验研究[J]. 高压电器, 2015, 51(9): 9-16.
- [2] 邱志斌, 阮江军, 黄道春, 等. 高压隔离开关机械故障分析及诊断技术综述[J]. 高压电器, 2015, 51(8): 171-179.
- [3] 阳勇. 高压断路器智能电机操动机构的分析与设计(英文)[J]. 机床与液压, 2017, 45(18): 123-129.
- [4] 王亮, 荆澜涛, 许东, 等. 高压真空断路器电机操动机构转子设计仿真研究[J]. 高压电器, 2017, 53(2): 61-67.
- [5] 许挺, 向新宇, 刘伟浩, 等. GIS高压隔离开关机械特性在线监测装置的研究与设计[J]. 浙江电力, 2020, 39(6): 8-14.
- [6] 张东霞, 苗新, 刘丽平, 等. 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(1): 2-12.
- [7] 沈鑫, 曹敏, 薛武, 等. 基于物联网技术的输变电设备智能在线监测研究及应用[J]. 南方电网技术, 2016, 10(1): 32-41.
- [8] 何奉禄, 陈佳琦, 李钦豪, 等. 智能电网中的物联网技术应用与发展[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 58-69.
- [9] 邱志斌, 阮江军, 黄道春, 等. 基于电机电流检测的高压隔离开关机械故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(13): 3459-3466.
- [10] 邓赞, 武建文, 金鑫晨, 等. 基于高压断路器电机操动机构的位移分段控制策略[J]. 电工技术学报, 2018, 33(15): 3586-3595.
- [11] 万欣, 马小娜. 浅谈高压电动机热过负荷保护原理、整定计算及试验方法[J]. 电气应用, 2021, 40(4): 78-82.
- [12] 涂炼, 张水平, 左剑, 等. 大数据技术在电网数据上的应用[J]. 电气应用, 2021, 40(10): 52-57.