

# 电力计量装置电压异常状态检测系统设计

姜思卓, 程超, 王强

(国网青岛供电公司, 山东 青岛 266000)

**摘要:** 针对电力计量装置电压异常的问题, 设计出了检测电力计量装置异常电压状态的检测系统; 对该检测装置的电压、电流信息进行采样, 并将采集到的电压、电流信息输入至放大单元进行信息放大; 放大单元将放大后的信息输出至 A/D 转换单元进行模数转换, A/D 转换单元将输出信号输出至 STM32F407VGT6 计算单元以计算、分析; 与 STM32F407VGT6 计算单元还连接有模拟开关, 实现多路复用采集的方式, 有效地节约了物质资源, 文章设计的系统还能够实现数据的远距离传输; 试验结果表明, 该系统的检测数据准确性达 100%, 符合设计及使用要求, 具备较强的实用性。

**关键词:** 电力计量装置; A/D 转换单元; STM32F407VGT6 计算单元; 模拟开关; 异常电压状态

## Design of Voltage Abnormal State Detection System for Power Metering Device

Jiang Sizhuo, Cheng Chao, Wang Qiang

(State Grid Qingdao Power Supply Company, Qingdao 266000, China)

**Abstract:** A detection system for detecting the abnormal voltage state of the power metering device is designed for the problem of abnormal voltage of the power metering device. The voltage and current information of the detecting device are sampled, and the collected voltage and current information are input to an amplifying unit for information amplification. The amplifying unit outputs the amplified information to the A/D conversion unit for analog-to-digital conversion, and the A/D conversion unit outputs the output signal to the STM32F407VGT6 computing unit for calculation and analysis. The STM32F407VGT6 computing unit is also connected with an analog switch to realize multiplexed acquisition, which effectively saves material resources. The system designed in this paper can also realize long-distance data transmission. The test results show that the detection data of the system is 100% accurate, which meets the design and application requirements and has strong practicability.

**Keywords:** power metering device; A/D conversion unit; STM32F407VGT6 calculation unit; analog switch; abnormal voltage state

## 0 引言

电力计量作为电网电力系统的核心部分, 对电力系统运行有重要作用<sup>[1-3]</sup>, 电能计量装置的运行误差直接对供用电双方贸易结算的准确性产生很大的影响, 因此对电能计量装置的运行状态评价显得尤为重要<sup>[4-5]</sup>。在对电力计量装置进行评价时, 就需要对电力计量装置的电压异常状态进行检测, 因此, 所有的电力计量设备必须经过检验后才能投入使用<sup>[6-8]</sup>。在电力系统中, 电力计量中的校验装置在电网中也具有很重要的作用。近些年, 随着技术的发展, 电力计量校验装置也在更新换代, 并逐步向高集成度, 高速化、自动化的方向飞速发展<sup>[9-10]</sup>。然而, 随着装置功能复杂性提高, 装置内部的供电系统也相应变得复杂, 要保证装置运行稳定、可靠, 首先要保证供电系统的稳定、可靠<sup>[11-12]</sup>。

然而, 目前电力计量装置还在使用传统的供电线路布

局和控制方法, 缺乏有效的检测系统。同时, 随着工业 4.0 的来临, 电力计量校验装置必然要向智能化、信息化方向发展<sup>[13-15]</sup>, 因此本文设计了一种电力计量装置电压异常状态检测系统, 可以实时检测装置内部所有电压的工作情况, 并能够在电压异常时进行提示、诊断, 并报告给上位机及值班人员进行处理。下文将进一步详细说明。

## 1 检测系统构架设计

在本文设计中, 电压异常状态检测系统主要由供电模块、主站、分析软件控制终端、电压测量模块、显示模块、故障报警模块等组成, 其基本框图如图 1 所示。工作原理为: 在电能表检测装置内, 通过检测电压测量模块的运动状态、功能状态来实现检测系统的电压异常情况, 检测数据通过 LAN 上传主站, 在主站对检测的数据情况进行分析、计算。在对数据分析、计算时间, 通过计算系统中的计算软件实现。在软件中设置标准阈值, 当检测到的异常数据大于设置的标准阈值, 则可检查异常状况。

在本系统设计中, 供电模块采用 UPS 供电, UPS 也称为不间断电源, 当市电停电后, 其仍旧持续为系统持续供电, 使得检定装置的异常检定工作不中断。在现场主电力

收稿日期: 2019-06-11; 修回日期: 2019-07-23。

作者简介: 姜思卓(1968-), 男, 山东即墨人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事计量管理、配电管理等工作方向的研究。

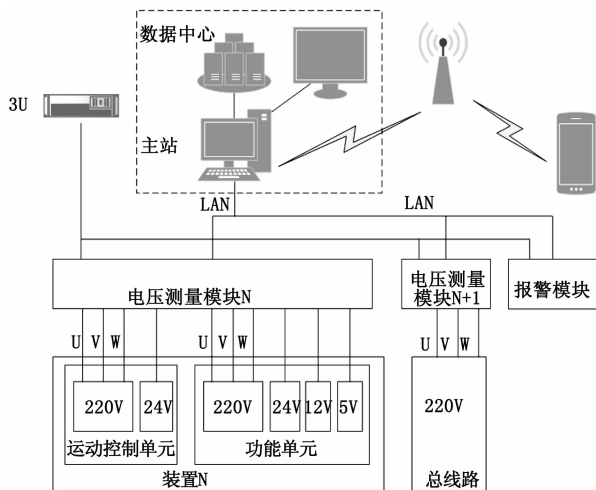


图 1 电压异常状态检测系统架构示意图

线中断的情况下，能够及时检测并上报现场检测信息。在本设计中，主站是系统核心处理单元，用于收集电压数据，并通过分析软件辨别故障，诊断故障点，记录异常，现场报警，并可通过基站通知值班人员。在本系统设计中，显示模块通常是滚动式液晶显示屏，能够以滚动的方式实时显示现场数据检定的情况，并及时显示当前电压所有数据和工作状态，使得用户灵活、即时把握现场检测信息。故障报警模块是电压异常时进行的故障指示，通过单片机控制声光电芯片，能够及时、快速指示现场异常情况，通过声光报警的方式，指示用户故障信息。电压测量模块是系统核心硬件部分，可以进行各装置和总线路中各个电压点的检测。

目前的电力计量校验装置构成较复杂，以目前计量中心大规模应用的流水线检测装置为例，在装置内部包含有长供电电源模块、受控电源模块、运动控制单元、检测功能模块、通信模块等<sup>[16-18]</sup>，包含的电压类别涉及三相交流 220 V 电压、直流 5 V、12 V、24 V、36 V 等，在实际应用中应该全部检测。在本文设计的检测系统应用中，电压测量量程根据需要检测电力计量装置中不同工作状态下的工作电压。所有电压测量模块将检测到的电压信号，转换为数字信号，并通过现场局域网输出至现场主站。现场主站将检测到的数据信息在数据中心存储，并进行显示。同时主站的故障分析软件实时分析电压检测模块检测到的电压信息，并同预先设置的规则进行比对。当电压测量模块检测到的电压同规则库中不同时，发出故障报警。通过报警模块预警提示，工作人员可根据预警情况进行故障排查，从而保证电力计量装置的良好、健康运行。

在上文设计中，电压测量模块可以提供电压、电流、功率、相位等信息。分析软件扫描所有端口信息，根据数据判断出过压、欠压、过载等异常情况，也可以通过电压系统中负载分配情况，优化现场供电线路，如通过分析 A

相负载过重，B、C 相负载轻载，可以将部分负载调整至 B、C 相；又如通过检测某一段时间某个节点电压波动较大，供电存在风险，可以给出提示，使得工作人员执行提前干预。

## 2 关键技术设计

### 2.1 电压测量模块设计

电压测量模块设计是本文设计的检测系统采集终端，其设计结构如图 2 所示，在本文方案设计中，电压测量模块包括 220 V 电压采样单元、220 V 电流采样单元、低压采样单元、放大单元、A/D 转换单元、计算单元以及通信单元<sup>[19]</sup>。220 V 电压采样单元和电流采样单元将采集到的电压信号输送至放大单元进行信息放大，所采集的电压、电流信号经过放大单元进行信息放大后输出至 A/D 转换单元，A/D 转换单元将接收到的模拟信号转换为数字信号，计算单元对接收到的数字信号进行计算、处理。通信单元将计算后的数据进行上报，并接受主站的命令进行终端的远程控制。

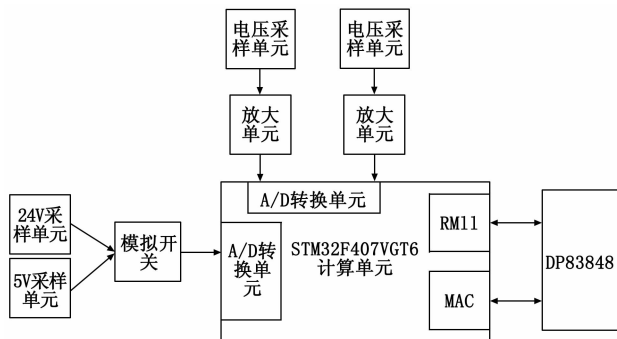


图 2 电压测量模块架构示意图

在设计电压测量模块时，采样的电源的输入电压为 5 V 或 12 V，输入功率不超过 100 W。A/D 转换器的参数包括静态参数和动态参数，在具体设计中，采用 16 路并行读通道，3 路串行写通道，具有 10 位分辨率的 ADC 能够分辨出 1/1024 的满量程，对于 10 V 的满量程可以分辨输入模拟电压变化的最小值位 10 mV。其相对精度为 -0.05% ~ +0.05% 的范围。

### 2.2 计算单元设计

在本文设计的计算单元中，采用 STM 公司的 STM32F407VGT6 芯片来计算采集的电压、电流信号。其设计参数为 32 位 Flash MCU、USB、CAN、11 个计时器、3 个 ADC 和 13 个通信接口，其采用的核心为 ARM Cortex M4，接口类型：CAN, I2C, I2S, SPI, UART，该芯片能够对交流 220 V 的电压电流采集，并对功率、功率因数等进行计算，同时包含多路直流电压测量和网络通信能力。在本文设计中，电压采样电路如图 3 所示，对于 220 V 电压的测量，采用高精度互感器 T1 进行隔离式采集，安全性较高，同时保持较高测量精度。在图 3 电压采样放大电路

中, 母线电压经过采样电阻转换为电流信号, 再经过隔离变压器输出电流, 经过次级运放再转换为电压值。然后输送给 A/D 转换单元进行信号转换。其采样电阻的阻值大小为 360k, 该阻值能够支持 0~380 V 的测量范围。

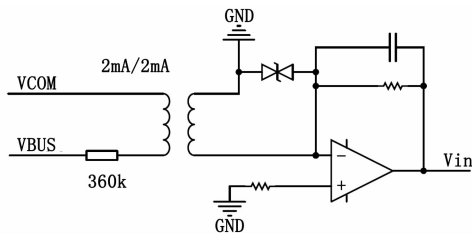


图 3 电压测量电路示意图

在本文设计中, 电流采样电路如图 4 所示。220 V 电流的采集前级采样使用高精度电流互感器进行采样, 实现电气隔离。220 V 母线中的电流经过隔离互感器转换为小电流输出, 经过运放电流转电压电路, 转换为电压信号, 输送给 A/D 转换单元进行信号转换。

为了获得较大的测量范围, 通过采用变比为 1 000:1 的高精度电流互感器, 其初始端电流为 5 A, 在二次端被转换为 5 mA, 能够将电流缩小到 1 000 倍, 然后通过调整运放电路的放大倍数为合适范围, 进而能够得到 0~3 V 的电压信号, 满足 A/D 转换单元的量程。对于直流电压的采集, 由于要采集路数较多, 而 A/D 转换单元的资源有限。

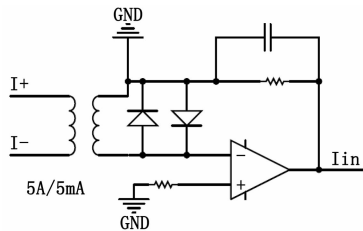


图 4 电流测量模块架构示意图

同时, 由于电压采样的实时性要求并不高, 为此使用多路复用采集的方式, 使用模拟开关进行切换, 如图 5 所示。在本文设计中使用的模拟开关为 74HC4051, 为 8 通道模拟多路复用选择器, 带有 3 个数字选择端 (S0—S2), 1 个使能端 (E), 8 个独立输入端和 1 个公共输出端。在采集时, 依次操作 HC4051 的 S0, S1, S2 管脚选择 A0—A7 中的一个通道输入, 通过 A 管脚输出, 送到 A/D 转换单元。采集结束后, 再切换至下一通道。本设计中 A/D 转换单元采用 STM32F407VGT6 自身的 ADC, 为 12 位 SAR 型 ADC, 使用 3.3 V 参考基准, 最小分辨率为 1mV。该 ADC 可测量 16 个外部输入信号, 支持 DMA 方式进行连续采集。通信部分采用 LAN8720 进行网络通信, 通信芯片应用电路如图 6 所示。

LAN8720 是低功耗的 10/100 M 以太网 PHY 层芯片, 支持 RMI 与以太网 MAC 层通讯。支持自动协商机制与目

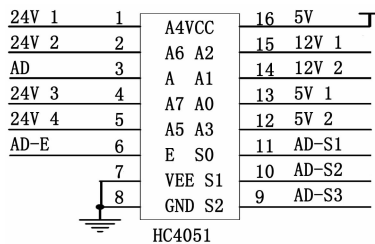


图 5 模拟开关结构示意图

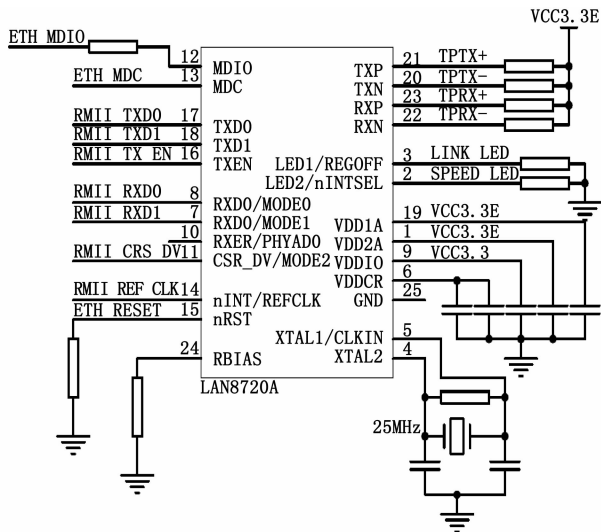


图 6 通信单元电路结构示意图

的主机进行网络通信, 支持 HP Auto-MDIX 自动翻转功能。该芯片具有性价比高、引脚数量少、应用简单的优点。使用 LAN8720 搭配 STM32F407VGT6 的 MAC 功能, 可以实现低成本的网络通信方案。在本文设计中使用的网络协议栈为 LWIP, 能够保持 TCP 协议主要功能的基础上减少对 RAM 的占用, 只需要几百字节的 RAM 和 40 k 的 ROM 即可运行。所以使用 LWIP 协议栈非常适合在本文设计的嵌入式系统中应用。

### 2.3 电压测量模块性能指标

1) 在本设计中包含的 220 V 采样中, 能够支持的电压测量范围为 0~380 V, 能够支持三相相电压和线电压的采集, 采集精度优于 0.1 V。能够支持的电流测量范围为 0~20 A, 采集精度优于 0.1 A。

2) 在本文设计的直流电压采样, 能够支持的直流电压采样范围 0~50 V, 采集精度优于 0.1 V。能够同时支持 20 路电压的采集。

## 3 实验结果与分析

下面对本文设计的方案进行试验与验证。在本文验证中, 在电能表自动化检测系统中对一个功能检测单元安装了电压测量模块。本试验是针对三相电能表检定装置进行的检测, 测试项目分别包括有功能检测模块 A 相 220V、功能检测模块 B 相 220 V、功能检测模块 C 相 220 V、功能检

测模块 1~24 V、功能检测模块 2~24 V、运动控制模块 1~24 V、运动控制模块 2~24 V 等。

为了验证电压采样模块的性能,在装置中,将功能检测模块 A 相 220 V、功能检测模块 1~24 V 和运动控制模块 1~24 V 的输入采用正常电压进行测试,将功能检测模块 2~24 V 和运动控制模块 2~24 V 输入采用人工故障模块来进行试验。在本实验中,电压异常检测系统应能检测到 A 相 220 V 电压、电流、相位,并能测量功能检测模块 1~24 V 和运动控制模块 1~24 V 的电压,并给出工作正常指示。而对于功能检测模块 2~24 V 和运动控制模块 2~24 V 应能检测到异常电压,并给出异常提示。

在测试过程中,在主站客户端进行数据采集记录。然后根据上述情况下的实验结果,评价电压采样模块的性能,以及采用本技术方案得到的故障的正确率,试验得出的数据如表 1 所示。

表 1 试验数据

检测类型	电压/ V	电流/ A	功率/ W	功率 因数	状态	正确率/ %
功能检测模块 A 相 220V	222.8	3.5	756.4	0.97	正常	100
功能检测模块 B 相 220V	0	0	0	0	未启用	/
功能检测模块 C 相 220V	0	0	0	0	未启用	/
功能检测模块 1~24 V	24.1	0.21	5.061		正常	100
功能检测模块 2~24 V	21.2	0.22	4.664		异常	100
运动控制模块 1~24 V	24.2	0.21	5.082		正常	100
运动控制模块 2~24 V	12.1	0.13	1.573		异常	100

通过上述试验可以看到, A 相 220 V 电压、电流、量功能检测模块 1~24 V 和运动控制模块 1~24 V 的电压测量准确,工作状态正常。而功能检测模块 2~24 V 的电压偏低,运动控制模块 2~24 V 的电压为错误接线,均能给出异常提示。以上得出的检测信息与试验模块故障情况相匹配,检测得到正确率为 100%。由此可见,本文设计的方案成功率为 100%。检测到的异常信息报告通过服务器进行相应的处理程序,并能够将故障信息上传上层数据管理系统,供管理人员参考使用。

#### 4 结束语

本文设计出的电力计量装置电压异常状态检测系统能够对电压和电流进行采样,然后对采集的电压和电流信号数据进行计算,通过数据计算,有助于用户获取电力计量装置工作状态,便于对电压异常状态的故障情况进行整体把握,大大减少电力计量装置的故障率,提高了装置工作

的稳定性和可靠性。本文设计的技术方案还能够实现异常数据的远距离数据上传,实现故障检测数据的交互和传输,便于更高层的管理人员管理现场检测情况,更广泛地把握电力计量装置的故障情况,具有较高的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 梁永昌,贾宏伟.安全电压环境下电能计量培训装置系统设计[J].电子产品世界,2019,26(1):77-78.
- [2] 杨世海,戴太文,卢树峰,等.基于数据挖掘的计量装置在线监测与故障诊断系统设计[J].电子设计工程,2016,24(23):108-111.
- [3] 仇娟.电力计量装置的异常原因分析及监测方法研究[J].自动化与仪器仪表,2017(12):29-30,33.
- [4] 郝洪星,李刚,汪亮,等.电能计量装置品级评价管理系统设计[J].信息技术,2018,40(4):66-69.
- [5] 詹智华,詹荣荣,陈争光,等.基于EPON网络的智能变电站继电保护技术研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(5):102-107.
- [6] 毛婷,李凤海,赵娜.智能变电站电子式电压互感器运行异常分析及处理[J].变压器,2015,52(7):73-74.
- [7] 陈朋,刘金忠,孙业荣,等.有载调容变压器附加损耗的计算方法[J].变压器,2017,54(2):17-22.
- [8] 余凤.基于EPON技术的配网光通信网络[J].激光杂志,2017,38(5):137-139.
- [9] 花纯征,梁永进,刘军伟.电力EPON通信网光缆在线监测方案分析[J].电气自动化,2017,39(4):66-67,100.
- [10] 唐海国,冷华,朱吉然,等.基于智能配变终端的变压器低压保护改进策略[J].中国电力,2016(s1):16-20.
- [11] 朱志成,赵海涛,李洋.基于OPNET的电力通信EPON仿真建模研究[J].计算机技术与发展,2016,26(12):164-168.
- [12] 张振军,李敏.多路EPON光纤在线并行监测系统[J].计算机系统应用,2016,25(2):81-86.
- [13] 朱玛,杜振华,章立宗,等.基于EPON技术的智能变电站通信方案优化应用研究[J].电力系统保护与控制,2018,46(11):136-142.
- [14] 程超,张汉敬,景志敏,等.基于离群点算法和用电信息采集系统的反窃电研究[J].电力系统保护与控制,2015(17):75-80.
- [15] 李振华,赵爽,胡蔚中,等.高电压测量技术研究综述[J].高电压技术,2018(12):140-149.
- [16] 粟渊恺,张捷,胡世昊,等.光伏电源友好并网系统及其仿真研究[J].中国电力,2016,49(4):160-165.
- [17] 秦睿,甄文喜,陈一棕,等.单相光伏并网逆变器电流控制方法研究及分析[J].中国电力,2016,49(8):87-92.
- [18] 余从极,牛中伟,赵莉华,等.一种改进的并网光伏逆变器电流控制系统[J].电源技术,2015,39(5):1033-1035.
- [19] 吴小雅.基于瞬时电流跟踪的三相光伏逆变器并网控制策略研究[J].广东电力,2016,29(1):115-119.