

# 基于异频导纳法的熔管异常在线监测系统

## On-line Monitoring System for Melting Pipe Abnormality Based on Different Frequency Admittance Method

金欣茹<sup>1</sup> 范佳<sup>1</sup> 郭玉杰<sup>1</sup> 刘芮<sup>2</sup> 李鹏辉<sup>2</sup>

Xinru Jin<sup>1</sup> Jia Fan<sup>1</sup> Yujie Guo<sup>1</sup> Rui Liu<sup>2</sup> Penghui Li<sup>2</sup>

1. 国网上海长兴供电公司 中国·上海 201913

2. 中国电建集团装备研究院 中国·上海 200233

1.State Grid Shanghai Changxing Power Supply Company, Shanghai, 201913, China

2.PowerChina Equipment Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 200233, China

**摘要:** 电力是国民经济的基础,对电能装置进行监测和故障诊断有助于维护电力设备稳定运行。熔管作为电能计量装置的组成部分,当线路遭受雷击、短路等过电流影响时,会自动熔断,影响电能计量装置安全、可靠运行。基于此,论文提出了电能计量熔管装置的在线监测系统,该系统基于异频导纳法对熔管故障进行实时检测,避免了因电能计量熔管装置异常导致的电能计量误差、电量追补等问题,保证了计量装置准确可靠地运行,同时降低了人力巡检方式需耗费的时间与运维成本。

**Abstract:** Electricity is the foundation of the national economy. Monitoring and fault diagnosis of electric power installations is helpful to maintain the stable operation of power equipment. As a component of the electric energy metering device, the fuse tube will automatically fuse when the line is affected by overcurrent such as lightning and short circuit, which will affect the safe and reliable operation of the electric energy metering device. Based on this, this paper proposes an on-line monitoring system for the electric energy metering fusion tube device. The system is based on the different frequency admittance method to detect the fault of the fusion tube in real time, and avoids the problems of electric energy measurement error and electric quantity compensation caused by the abnormality of the electric energy measurement pipe melting device, ensures the accurate and reliable operation of the metering device, and reduces the time and operation and maintenance cost of the manual inspection mode.

**关键词:** 异频导纳法; 电能计量器; 熔管; 在线监测; 远程报警

**Keywords:** different frequency admittance method; electric energy meter; melting pipe; on-line monitoring; remote alarm

**DOI:** 10.12346/etr.v4i1.5132

## 1 引言

电能计量装置是电力系统及用户之间进行准确计量等工作的重要工具,而电能计量装置结构复杂,故障种类繁多。目前,已有一些对电能计量装置故障诊断的研究探索。肖勇等人<sup>[1]</sup>提出了通过检测电流互感器的二次侧回路阻抗特性,用以诊断电能计量装置的工作状态的短路故障在线检测方法;郑哲欣等人<sup>[2]</sup>则使用智能分析系统,对基于S3C2410的电能计量装置的各种错误接线类型的进行有效识别;申莉等人<sup>[3]</sup>研发出一款对电能表进行自动远程校验和故障诊

断采集的电能计量装置。上述研究主要是针对特定实例故障进行研究,而电能计量装置结构复杂,故障种类繁多,其中熔管作为电能计量装置的一套重要保护设备,往往忽略其重要性。

熔管是电能计量装置的保护器件,当线路遭受雷击、短路等过电流时,熔管会自动熔断,传统的巡检方式只能定时进行人工巡检,无法及时维护,难以全面评价整个运行工况下装置的计量准确性、运行状态、健康状态等,对计量装置运行的全生命周期缺乏管理。

【作者简介】金欣茹(1982-),女,中国江苏常州人,本科,副高级经济师,从事电力系统及其自动化研究。

因此,针对电能计量装置熔管异常问题,论文专门研究并设计了一套基于异频导纳法的电能计量熔管装置异常的在线监测系统,可对电能计量装置的熔管运行状态进行实时监测,确保电能计量装置正常工作。

## 2 基于异频导纳法的熔管故障在线检测技术研究

通常,对电能计量装置故障进行在线检测工作,主要是通过电压互感器(TV)、电流互感器(TA)及其二次回路等装置进行数据采集监测。其中通过对二次回路阻抗或导纳的测试进行故障分析是一种较为便捷、有效的方式,可避免盲目查找故障<sup>[4,5]</sup>。一般利用工频信号对互感器二次侧进行监测来完成对TA的二次回路监测,但电流具有的其他谐波成分,会影响二次回路工作状况的正确测量。基于此,本研究采用可抑制谐波干扰异频导纳法,通过对二次回路叠加异频信号,即高次谐波,正确测量出二次回路导纳值,进而及时准确地判断熔管故障情况。异频导纳法的基本计算可描述为:

$$Y = \frac{\dot{I}_h}{\dot{U}_h} = G - jB \quad (1-1)$$

其中,  $\dot{I}_h$  为谐波电流的向量,  $\dot{U}_h$  为谐波电压的向量。

### 2.1 基于异频导纳法的熔管故障检测设计原理

通过在熔管两端引线,检测出熔断器两端电压、电流等多项参数,对熔丝工作状态进行实时监控,同时设备集成备份熔丝,在检测到熔丝损坏后,可以通过有线或者无线方式远程控制,按照预设参数和方式挂载应急备用熔丝,以保证电能计量装置正常工作。基于异频导纳法的熔管故障在线检测技术,利用熔管故障时最终均可反映到回路导纳值的变化,对回路导纳值的实时检测即可监测熔管的状态。将导纳测量回路串入电能表熔管回路,由测量回路施加一个外部输入信号,实时检测熔管回路导纳值的变化,短路时回路导纳值偏低,开路时导纳值偏高。

### 2.2 在线检测终端功能设计

在线检测终端针对电压二次回路故障诊断,采用基于信号处理的诊断方法,通过采集和分析计量二次回路各节点的电气量信息来进行精确诊断和定位。信息采集与控制终端通过检测计量盒两端电压、电流等多项参数,对计量回路工作状态进行实时监控,同时设备集成备份电压回路。在检测到主电压回路异常后,可通过有线、无线方式远程操控,按照预设参数和方式挂载应急备用回路,保证电能计量装置正常工作,装置背板设计图和接线图如图1所示。

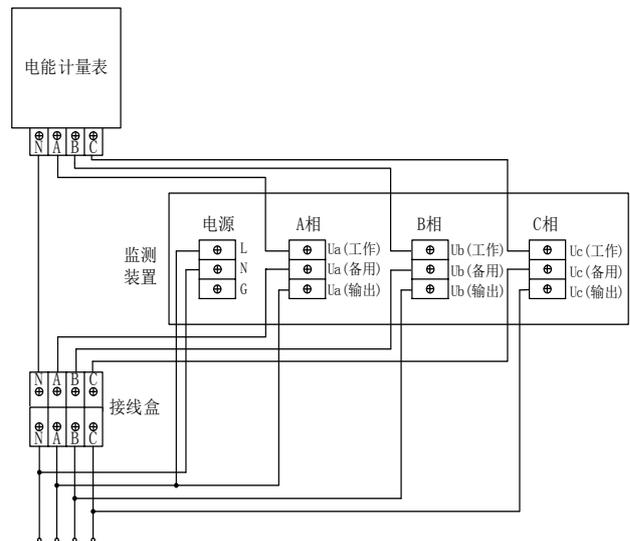


图1 装置背板设计图和接线图。

### 2.2.1 基于异频导纳法的电压二次回路异常监测及回路切换控制

针对电能计量装置中的熔管故障问题,引入异频导纳法在线检测技术,通过利用熔管故障对回路中导纳值的影响,来实时检测回路中导纳值,进而实现对熔管运行状态的监测。

在检测到计量盒出线口电压失压或欠压时,判断接线盒进线口电压是否在正常范围内,若正常,则可通过多通道继电器启动电压切换。各选择继电器需根据“先断开,后选择”的原则进行精确控制,保证各回路的安全运行。由DSP芯片的I/O输出口控制继电器组的备用回路电压切换,经光耦隔离电路,继电器驱动芯片驱动备用回路继电器组选择切换,最多可支持4组回路切换输入。

切换控制策略分为就地自动切换与远程遥控切换。就地切换可根据主站下发的策略,判断电压回路异常状态,执行相应的切换操作,减少计量误差风险。

### 2.2.2 低成本无线通讯方式研究

电能计量装置数量多且部署分散,利用4G无线公网通信技术作为采集终端的数据传输方式,可以大大降低其成本投入,同时后期维护也相对简单,但该方式系统安全性相对薄弱,接入电力系统时须考虑数据安全性。

为了减少用户信息在传输的过程中暴露,需要考虑传输各项数据信息的安全性。本研究为提高相关数据安全性,在原有的基础上增加数据加密过程,采用英特尔协议安全性和第2层隧道协议组合加密的方式。具体的操作为,首先采用第2层隧道协议对数据进行封装,再用英特尔安全协议对数据进行加密。通过采用中国移动网络运营商提供可分配专用的APN(接入点名称),开通接入VPDN网络的唯一性SIM卡,在网络侧对SIM卡和APN进行绑定。划定用户可接入该系统的范围,只能访问客户专网,限制使用其他的APN访问互联网公网,有效避免非法入侵。同时借助移动

运营商的网络的同时，配置 VPDN 隧道协议，并以此隧道为基础开展安全认证证书发放，上下游白名单建立，加密通讯链路等功能。最终实现数据的加密传输。通讯网络拓扑图如图 2 所示。

### 3 专用数据管理软件平台和移动 APP 开发

本研究对以嵌入式系统为核心的监控设备进行软件开发，实现系统设置、信息查询接收、报警、设定切换时间、数据保存等功能。设计人机交互界面，便于工作人员操作和信息收集。

传统电能计量设备监测系统在工作时很难做到全面在线测试、故障分析、远距离诊断等，而电能计量设备异常监测系统正是为了解决这些问题而设计的。电能计量设备可实时在线监测并对各种异常/故障在最短时间内报警，一旦发现二次回路故障后会快速报告，便于尽快解决问题，将影响降到最低。应用现代化的数据管理技术，实现电能计量装置自动化在线管理，大幅减小劳动强度、提升工作效率、降低工作成本。

#### 3.1 在线监测系统的总体架构

电能计量装置接线异常在线监测系统由边缘信息采集与控制系统和云平台主站系统（简称主站）组成，通过移动无线网络进行联系。其整体架构设计如图 3 所示。

信息采集与控制系统以在线检测终端为核心，用以采集计量设备接线盒两侧电压，并对所采集数据进行计算、存储和预处理，监测接线盒状态，当接线盒表计侧出线欠压或失压状态时，可以通过无线方式远程控制按照预设参数和方式挂载应急备用回路，确保计量装置所采集到的电压在正常范

围内，避免计量受影响。

#### 3.2 在线监测系统的技术架构

##### 3.2.1 系统开发框架

电能计量设备接线异常监测系统是一个面向服务的体系结构。本系统采用 SOA 技术架构，并对其关键技术和架构进行了分析和研究。从数据实时传输、多任务处理、数据的高速处理等方面进行对平台关键技术研究。

SOA 组件模型：分布式的软件组件模型，整个应用程序被设计和实现为一组相互交互的服务。对应用程序的不同功能以一种统一和通用的方法进行调用，包括服务提供者、服务使用者和服务储备库。

SOA 组件模型在平台的应用：包括基础应用 Framework、业务支持组件、集成开发环境 IDE。

##### 3.2.2 终端硬件框架

终端由主控模块、通信模块、测量模块组成。主控模块完成数据处理、终端控制、数据通信及电压切换的工作；通信模块通过 GPRS/GSM 网络实现终端与主站之间的数据的通信；测量模块采集计量回路的交流信号，测量出电压值等电参数。各模块间的原理和关系如图 4 所示。

##### 3.2.3 终端选型设计

信息采集与控制终端是全新一代基于嵌入式系统的模块化数据采集与控制模块，采用标准可采集 7 路差分模拟量。RN7302 模块采用高性能 AD 芯片，适用于采集工业现场的电压信号。同时控制单元与信号采集单元采用光电隔离技术实现电气隔离，有效保障数据采集可靠及安全。模块配有瞬态抑制电路，能有效抑制各种浪涌脉冲，保护模块在恶劣的环境下可靠工作。

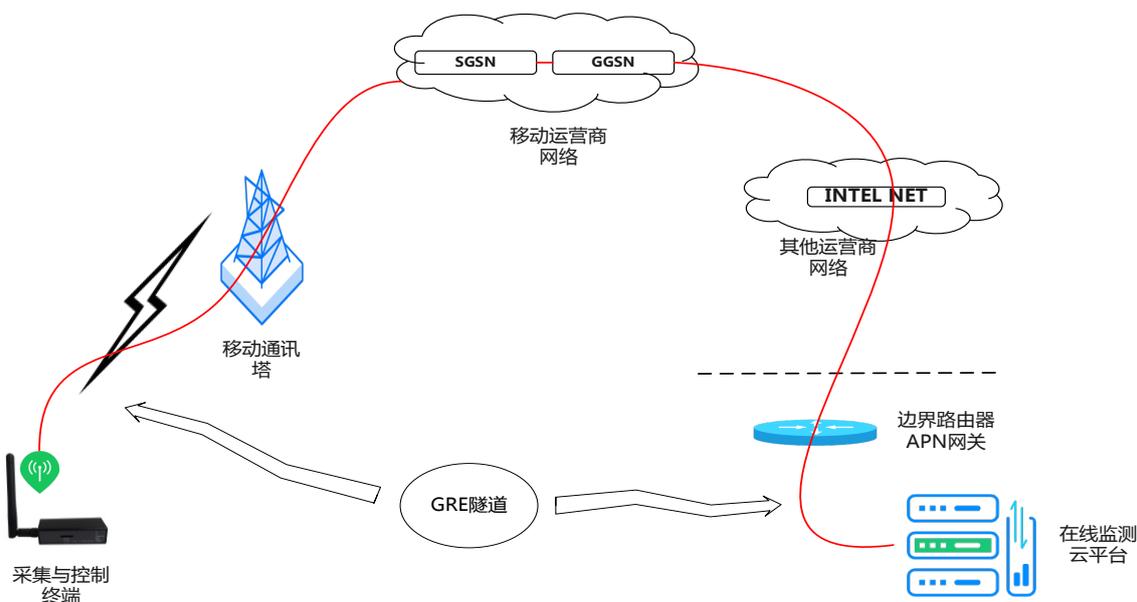


图 2 无线通信系统图

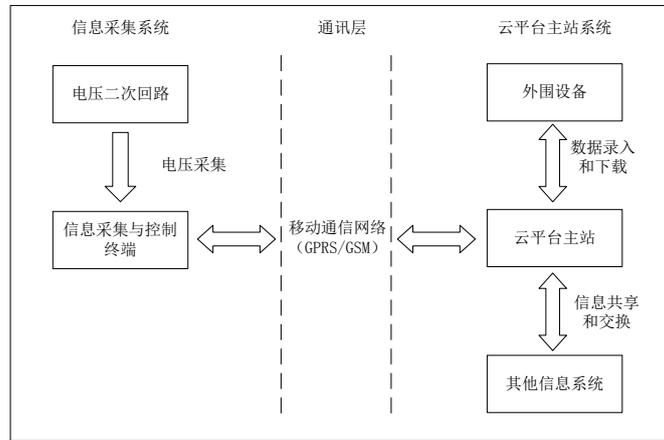


图3 系统架构图

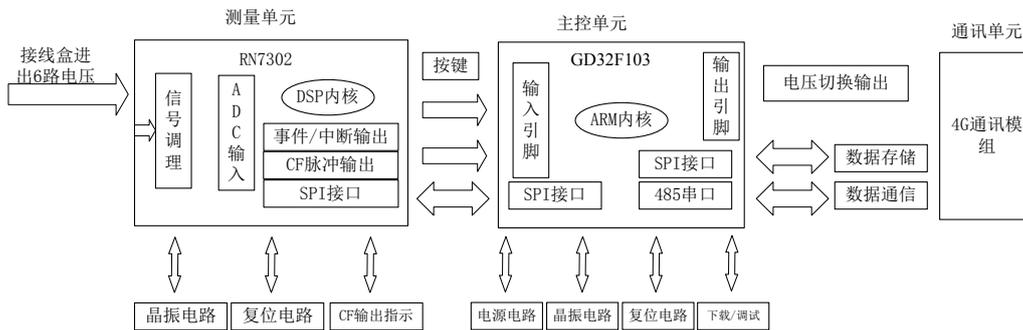


图4 终端结构框图

#### ①测量单元芯片选型。

选电能芯片 RN7302 将七个高性能 ADC、高端基准电压源、灵活的数字信号处理（DSP）内核以及专有算法集成到单个器件中。RN7302 具有半周期有效值测量及 50Hz 线路频率下 10 个周期有效值测量的特殊功能。RN7302 芯片的功能框图如图 5 所示。

#### ②芯片选型。

主控单元芯片：采用国产芯片厂家生产的基于 ARM32 位 Cortex-M3 内核的 GD32F103 芯片。供电电压范围为 2.0~3.6V，高性能、低功耗、低成本。

通讯单元芯片：4G 通讯单元选用国产有方 N720 模组（见图 6），尺寸仅 30.0mm×28.0mm×2.8mm，支持 2G/3G/4G 网络制式，软硬件接口丰富，成本较低，可支持 OpenLinux 二次开发。

#### 3.2.4 终端软件设计

主程序设计：系统的主程序负责完成初始化工作，并定期向监控中心发送信息。当接线异常时，终端自动向监控中心传输报警信息。

##### 异常检测模块软件设计：

①在线监测数据传输过程：如图 7 所示，包括数据获取、数据控制和界面展示三个环节。数据在不同模块之间进行传递，每个模块对数据进行一定的处理，然后转入下一个模块，直到用户界面上，最终展示给用户，供用户浏览。其中，数

据获取模块与数据控制模块之间通过文件或者内存数据文件进行传输，保证了数据的实时性；数据控制模块与界面展示模块则是通过数据库表进行数据的通信，便于问题的查找。

②电压回路切换设计：在检测到计量盒出线口电压失压或欠压时，判断接线盒进线口电压是否在正常范围内，若正常，则通过多通道继电器启动电压切换。根据“先断开，后选择”的原则，保证各回路的安全运行。切换控制策略分为就地自动切换与远程遥控切换。就地切换可根据主站下发的策略，判断电压回路异常状态，执行相应的切换操作；远程遥控操作是在终端上传本地计量回路异常告警后，由主站端自主选择可提前切换，减少计量误差风险。

## 4 总结与展望

论文提出的基于异频导纳法的熔管故障实时检测系统可以避免因电能计量装置故障导致的电能量计量偏差、电量追补等问题；可以及时发现故障，保证计量装置准确稳定运行；可以降低因熔管故障造成的停电损失，减少周期巡视的人力物力。

①针对目前电能表计量熔丝存在发现难、检查费时费力的问题，完成电能计量装置接线异常状态，简化了监测系统终端的软、硬件设计，提高了数据采集的精确度和终端的整体性能。

②针对电压二次回路故障隐蔽性强、监测手段单一的问题

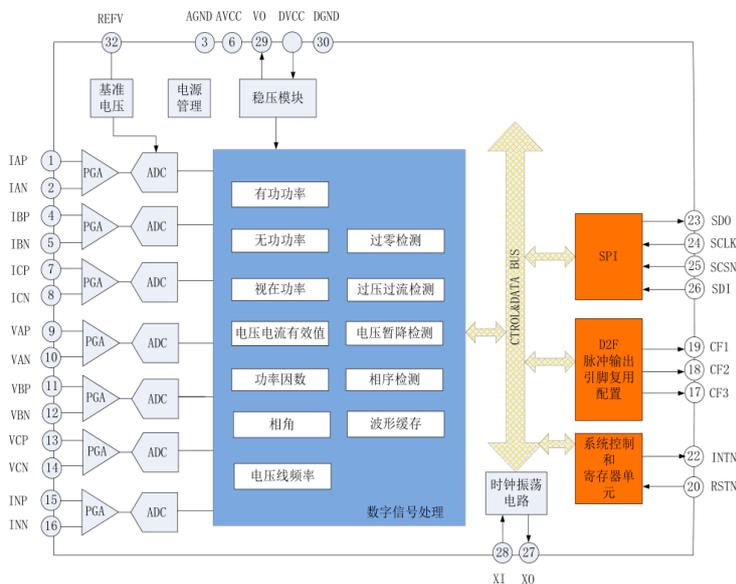


图5 测量芯片功能框架构图

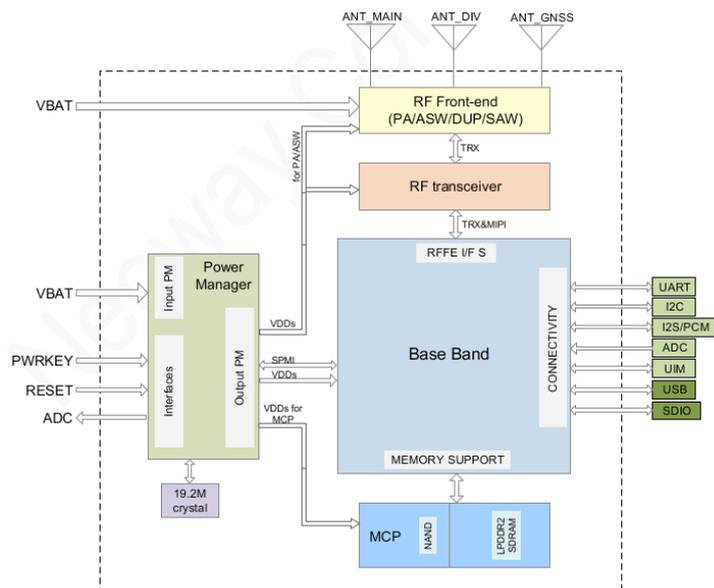


图6 通讯芯片功能框架构图

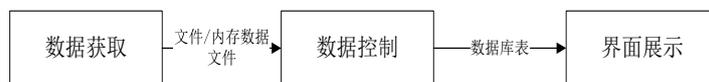


图7 在线监测数据传输图

题，提出了异频导纳法技术对电压二次回路状态进行在线监测的技术方案，能及时发现采用失压监测不易发现的电压二次回路故障。

③针对计量装置接线异常数据不能远程传送和信息共享性差的问题，将测量技术与网络通信技术相结合，采用移动4G的无线通讯方式将信息实时远程传送至服务器，同时预留系统升级接口，向上兼容5G通信技术。

参考文献

[1] 肖勇,周尚礼.电流互感器二次回路故障智能检测方法研究与设

计实现[J].电力系统保护与控制,2010,38(12):115-120.

[2] 郑哲欣,张文爱,张兴忠,等.电能计量装置运行状态分析系统设计[J].电子测量技术,2009,32(4):31-34.

[3] 申莉,彭翔,李力华.关口电能计量装置在线校验及故障诊断采集前置装置设计[J].电测与仪表,2017,54(19):102-106+112.

[4] 王雅芳.XLPE电力电缆接地系统与感应环流分析[D].杭州:浙江大学,2012.

[5] 徐星,陈向荣,杜振东,等.基于非解耦节点导纳矩阵的随桥电缆接地方式研究[J].电工技术学报,2021,36(17):3664-3674.