

智能电能表停复电主动上报方法研究*

段晓萌¹, 罗冉冉¹, 郭清莹¹, 姬云涛¹, 徐 韬²

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 2. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310007)

摘要: 及时获取电力用户的停电信息是电网运维抢修的关键。提出一种由电能表感知并产生停电事件、由通信模块转发的主动上报方案, 解决现有电能表停电事件主动上报方案兼容性、扩展性差的缺陷。提出一种复电主动上报并且广播校时的方案, 实现了停电运维抢修作业的闭环管理, 解决了由于时钟电池欠压导致的电能表停电后时钟错乱的问题。介绍新一代智能电能表的设计理念, 并提出停复电事件主动上报方法与校时策略在新一代智能电能表上的实现方案, 为能源互联网建设中新一代智能电能表的推广应用提供了解决方案。

关键词: 电能表; 停电事件; 复电事件; 主动上报; 广播校时; 新一代智能电能表

中图分类号: TN91

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200285

中文引用格式: 段晓萌, 罗冉冉, 郭清莹, 等. 智能电能表停复电主动上报方法研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(1): 52-56.

英文引用格式: Duan Xiaomeng, Luo Ranran, Guo Qingying, et al. Research on outage and power recovery voluntary report method of smart meter[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(1): 52-56.

Research on outage and power recovery voluntary report method of smart meter

Duan Xiaomeng¹, Luo Ranran¹, Guo Qingying¹, Ji Yuntao¹, Xu Tao²

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310007, China)

Abstract: It's meaningful for electricity power company to get the outage information on time. This paper proposed a new voluntary report method: Electricity energy meter generated outage event log, communication module transferred it. In order to solve the compatibility and expansibility disadvantages of current scheme, this paper proposed a power recovery voluntary report and broadcast timing method, realized closed loop management of outage maintenance and repair, and solved the wrong clock problem caused by battery low voltage after outage. This paper introduced the design thoughts of next generation smart meter, and put forward an outage and recovery voluntary report and timing strategy implementation plan in next generation smart meter. This paper provides a solve plan for next generation smart meter popularization, and it's helpful for construction of electricity energy Internet.

Key words: electricity energy meter; outage event; power recovery event; voluntary report; broadcast timing; next generation smart meter

0 引言

随着电力科技的迅猛发展和信息化进程的不断加快, 全球正在深入推进优化能源结构、实现能源战略转型新一轮变革, 智能电网已成为国际电力发展的重要趋势。电网智能化离不开信息技术以及大数据的应用, 我国建设的用电信息采集系统利用先进的通信技术实现了海量数据的交互, 为营销、安质、运检、运监、发策、信息等专业众多业务应用系统提供业务及数据支撑, 在线损分析、配变监测预警、计量在线监测等诸多领域均扮演着重要角色, 是能源互联网建设的重要环节。

特别是在运检领域, 保障供电可靠性是电网公司的服务宗旨, 如何能够第一时间接收到故障信息并准确定位, 是实现低压台区故障停电抢修及时性的重中之重,

是为用户提供更加优质的用电服务的保障。近些年, 我国持续开展了关于低压用户停电事件主动上报的相关技术研究^[1-2], 立足于转变被动抢修为主动抢修, 并初步取得了成效, 但是也暴露出了一些不足。本文在现有通过高速电力线载波通信(HPLC)实现停电上报方案的基础上, 提出了一种优化的设计方案, 并且研究了一种复电上报并校时的具体实施方法, 以解决电能表由于时钟电池欠压导致的停电后时钟错乱问题, 最后在新一代智能电能表中进行应用。

1 现有停电主动上报方案

1.1 方案介绍

在现有智能电能表设计方案之中, 智能电能表的基表与其通信模块之间是独立的, 电能表基表负责计量相关功能, 通信模块负责电表与主站之间的数据交互, 两者通过标准化的通信接口相连接, 通信模块的电源由基

* 基金项目: 国家电网有限公司科技项目(521101180017)

表提供。在我国,电能表属于法制计量器具,受到强制管控,运行中的电能表是不允许进行软件或硬件升级的,因此为了实现在运电能表的停电事件上报功能,前期提出了一种利用 HPLC 实现停电主动上报的技术方案^[3]。

该方案通过在智能电能表 HPLC 模块(STA)中加装超级电容,实现在停电后模块的电源供给,并通过载波强电接口的过零检测电路判断基表的电源供给状态,结合弱电接口的信号状态判断是模块拔出还是停电,如果是停电,则通过 HPLC 特殊协议将信号传输至集中器 HPLC 模块(CCO),集中器再根据具体情况进行处置^[4]。具体停电上报流程图如图 1 所示。

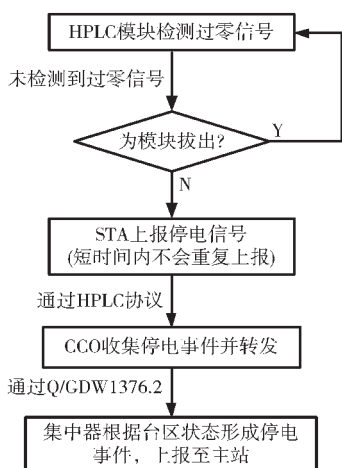


图 1 HPLC 模块检测停电事件流程图

1.2 存在的问题

通过图 1 可以看出,该方案是通过电能表的通信模块直接识别并上报停电事件的,电能表本身并未参与整个上报过程。该方案最大的优点在于能够在不改动现场电能表基本功能的前提下实现停电上报,易实施、误报率低,但是仍存在以下两个问题:

(1)适用性较差:该方案仅适用于通过 HPLC 通信的智能电能表,无法应用在不使用载波通信的智能电能表上。并且当电力线路存在严重损坏时无法及时上报。

(2)无法开展深化应用:由于该方案并未改造电能表基表,在停电发生后,电能表基表处于待机状态,而由模块生成的停电事件只是一个信号,不包括例如停电前电压、电流、电能量等数据,对于利用大数据判断停电故障原因是一种限制,影响数据的深化应用。

2 电能表停电上报方案研究

2.1 方案概述

结合现有方案的不足,本文提出了一种通过电能表产生停电事件,并由通信模块将事件转发的方案,以解决不同种类通信方式下停电事件上报的普适性以及停电数据可扩展性的问题。

当电能表检测到停电事件后,依据 DL/T 698.45-2017 协议,通过串口与通信模块交互,将停电事件传输至通

信模块。此时通信模块通过后备电源将电表停电事件转发给采集终端,采集终端首先根据自身状态判断是否为台区停电,如果不是,则接收并转发电能表停电事件至主站。最终由主站根据停电事件开展抢修工作。

该方案的特点在于,上报的事件由电能表产生,区别于原方案的停电信号,该方案产生的是一个完整的停电事件,上报事件的同时可以携带如停电时正向有功总电能、停电前电压电流等部分重要电能表信息,可供电网运检班组抢修时开展故障研判及营销班组电费结算使用。

2.2 硬件部分设计

由于该方案中电能表基表参与了整个停电事件上报的过程,因此需要在电能表中增加备用电源,确保电能表能够在停电时完成重要数据停电事件发送通信模块。同时通信模块仍然需要后备电源来将停电事件转发至采集终端。当电能表停电时,需要维持的备用电源见表 1。

表 1 电能表后备电源分配

电源	电压/V	供电方式	说明
VDD	3.3	超级电容	为 MCU 供电,确保在停电后能够生成停电事件,并上报
VLCD	3.3	超级电容	为液晶供电,确保停电时能够按键唤醒液晶
VBAT	3.6	电池	为时钟 RTC 电路供电,确保停电后时钟准确运行

为了使电池能够拥有更长的寿命,保障电能表停电后的时钟,延长电能表的寿命,本方案将电池供电回路与超级电容电路隔离,电池仅为时钟 RTC 供电。本方案采用一个超级电容同时为 VDD 与 VLCD 供电,具体电路设计如图 2 所示。

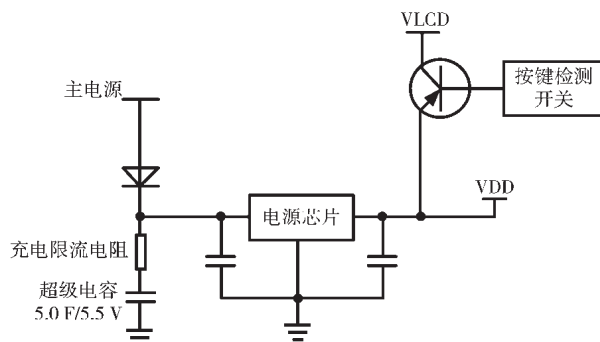


图 2 停电上报功能电能表后备电源设计图

为了增强停电上报的可靠性,本方案选择 5.0 F 的超级电容作为后备电源,并增加充电限流电阻,防止复电时超级电容充电电流过大,导致整表功耗过大。通过串联二极管,将该电源回路与主电源反向隔离,防止停电时超级电容电源倒灌。通过按键检测开关控制三极管的导通状态,按需为 VLCD 供电,减少备用电源消耗,延

长使用时间。

2.3 软件部分设计

停电是电能表运行过程中一定会遇到的工作场景,在停电时电能表必须将重要的数据转存至非易失性存储器中,保障计量数据的完整性,供下一次复电电时使用。

在本方案中,当电能表检测到停电信号后,不仅需要转存数据,还需要生成停电事件,并且将其顺利上报至通信模块,因此,停电时软件的可靠性设计至关重要。停电时电能表软件处理流程如图3所示。

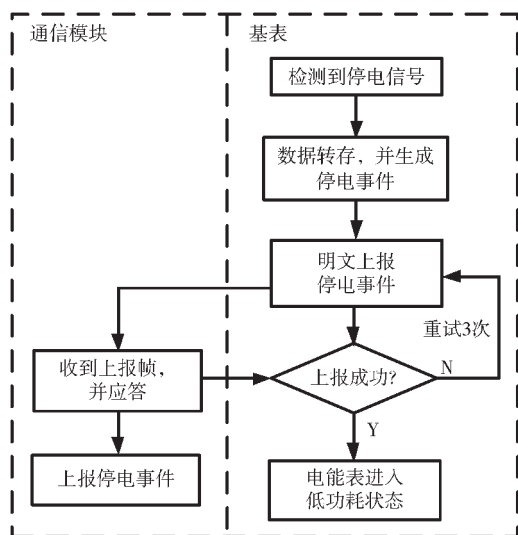


图3 电能表停电上报处理流程

当处理完数据转存任务后,电能表采用明文上报停电事件,通信模块收到上报事件后应答确认帧。因上报通信存在失败可能,应至少重试上报3次以上。停电事件应用的通信协议为DL/T698.45-2017,对象标识3037,采用通知上报(REPORT-Notification)中的若干个记录型对象属性[2]ReportNotificationRecordList,关联记录停电发生时刻的正、反向有功总电能。在个别运维抢修案例中,如需要电能表提供停电前电压、电流等其他电参量数据,辅助进行故障排查时,可以通过关联对象列表进行扩充。

3 电能表复电上报及校时方案研究

3.1 方案概述

该方案提出了一种电能表在主电源恢复供电之后通过信道将复电事件主动上报至主站的方法。与此同时,在接收到复电信息之后,采集终端判断是否为台区停电,如果是台区停电,则采集终端先与主站握手获取准确时间之后,再给下属电能表发送广播校时指令;如果不是台区停电,则直接发送广播校时指令。

复电信息的及时上报将与停电信息形成管理闭环,有利于电力公司合理地安排抢修计划。同时,由于电能表停电后由于时钟电池欠压的隐患,存在恢复供电以后时钟错乱的风险,因此,有必要在复电时根据电能表状

态进行对时,确保电能表时钟运行正常。

3.2 复电上报实现方案

当电能表检测到复电后,生成复电事件,通过串口发送至通信模块,由通信模块进行复电事件的上报,具体流程图如图4所示。

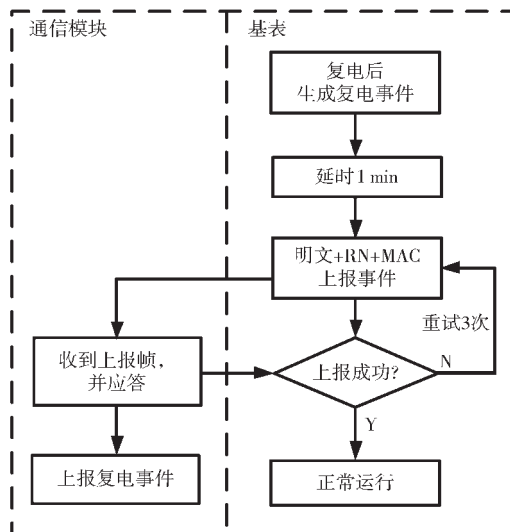


图4 电能表复电上报处理流程

电能表复电上报,采用DL/T698.45-2017协议,对象标识3038,采用通知上报(REPORT-Notification)的若干个记录型对象属性[2]ReportNotificationRecordList,关联记录电能表当前时钟,报文采用明文+RN+MAC方式上报,主站、终端收到后,确认/应答报文格式采用明文+MAC格式。

为了给通信模块预留入网时间,复电后电能表等待1 min后再进行事件上报,如果没收到上报确认命令,上报3次。

3.3 复电校时策略研究

时钟是电能表分时计价、数据采集与事件记录的基础,为了保证电能表时钟的可追溯性,电能表应记录任何时钟修改的事件。受限于信道传输效率,当前的电能表校时策略分为点对点校时与广播校时,点对点校时用于主站对单一电表授时,不适合批量业务,校时后需要进行事件记录;广播校时适合定期执行批量业务,目的在于校准电能表由于时钟误差累计造成的时钟偏差,校时后不做事件记录,为了防止终端时钟错乱,广播校时只能修改5 min内的时间偏差。

随着当前通信技术的不断发展,采集终端已经能够实现与主站的实时交互,确保时钟的同步。因此,提出一种新的广播校时策略:为了保障时钟修改的可溯源性,每次广播校时后电能表应做事件记录。为了防止频繁校时导致记录溢出,电能表只支持与授时偏差1 min以上的广播校时,不接受偏差1 min以内的广播校时命令。这样解决了现场电能表由于时钟电池欠压或其他故障

导致的时钟偏差大于 5 min 后只能进行点对点校时的问题,大幅提升了校时效率。同时,为电能表复电后,快速执行时钟对时提供了技术支撑。

本文提出了一种具体的复电校时方案,当终端检测到台区任何一只电能表上报了复电事件后,立即对下属所有电能表进行一次广播校时。电能表需在复电时判断电能表时钟状态,当表内时钟电池欠压或者时钟处于不可信状态时,电能表将接收此次广播校时。

电能表判断时钟数据不可信的原则如下:

- (1) 复电时读出的时钟数据小于停电时刻记录的时间;
- (2) 复电时读出的时钟数据大于停电时刻记录时间 1 000 日以上;
- (3) 时钟格式错,即读出的时钟数据,其年、月、日、时、分、秒的值出现非法编码或超出其应有范围。

电能表在复电以后,判断以上 3 个条件和时钟电池是否欠压,如满足任意一条,即可判定电能表时钟不可信,将等待并接受终端的广播校时指令。

4 新一代智能电能表上的实现

4.1 新一代智能电能表框架简介

为了满足电能表国际建议 OIML R46-2012^[5-7]的技术要求以及泛在电力物联网的建设需要,新一代智能电能表应运而生。新一代智能电能表主要由计量模组、管理模组以及扩展模组三部分构成。电能表的电源和基础数据均由计量模组提供,计量模组可以作为基础电能表,脱离其他模组独立运行,而其他模组无法脱离计量模组独立使用,3 类模组采用积木式安装,管理模组插在计量模组之上,扩展模组插在管理模组之上,电能表结构图如图 5 所示。

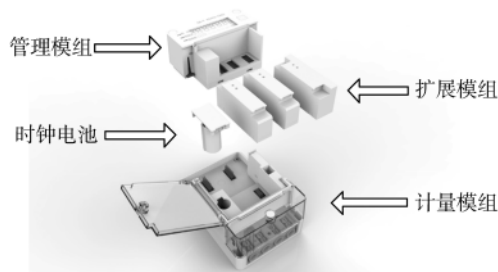


图 5 新一代智能电能表结构图

计量模组是新一代智能电能表的核心,承担着法制计量的基本功能。计量模组保存了所有法制相关的电能、时间等原始数据,不仅为国家量值溯源和计量数据

追溯提供法制依据,还为其他模组的数据应用和业务实现提供基础数据。

管理模组是新一代智能电能表的管理中心,采用可插拔式设计,通过标准化接口与计量模组、扩展模组建立连接。管理模组除具备营销业务所要求的基本功能外,还负责其他模组的数据分发和管理工作。管理模组与扩展模组采取功能解耦设计,未来随着业务拓展产生的扩展模组可直接接入到电能表中,而不需要升级管理模组的软件程序,满足扩展模组灵活配置的需求。另外,考虑到计量基础数据的安全性和唯一性,管理模组对计量模组的数据接口进行统一管理,保证计量原始数据输出给授权、可控的扩展模组。

扩展模组是新一代智能电能表实现灵活、可扩展性的主要体现形式。新一代智能电能表在硬件设计方面为扩展功能预留较大空间,可配备 3 个功能扩展模组。用户可根据不同业务场景在电能表上选配不同的功能扩展模组,通过模组进一步拓展表计的通信、控制、计算、监测等功能。

4.2 新一代电能表的停复电上报功能设计

4.2.1 停电上报功能设计

新一代智能电能表管理模组与上行模组之间采用全双工的 UART 设计,与计量模组之间有标准化的硬件接口,新增通信模块插拔检测信号端子,其余接口与现行智能电能表一致。计量模组从供电回路取得主电源后,经过整流、变压之后为管理模组提供 15 V 的电源接口。计量与管理模组之间的弱电接口除了电源、通信接口之外,还设计了两个特殊的管脚,用来判断并区分管理模组插拔以及停电事件,关键管脚定义见表 2。

由于计量模组是停电事件的第一感知单位,如果由计量模组按协议生成事件并上传至采集系统,则需要经过管理模组与通信模组两层中继,效率低,不适合停电时使用。因此本方案通过信号管脚将停电状态直接输出给管理模组,由管理模组生成停电事件并发送给通信模组可以减少一层通信中继,增强停电上报的效率及成功率。

因此在主电源停电时,计量模组记录掉电事件,管理模组依据掉电信号产生停电事件,并由通信模组上传。当管理模组拔出时,计量模组会依据拔出信号,产生管理模组拔出事件,同时由于管理模组也会生成停电事件,但是由于拔出管理模组前必须拔掉扩展模组,因此该停电事件不会上报至主站。

为了保证停电时事件记录的顺利生成、上传,以及

表 2 管理模组与计量模组交互管脚

信号类别	信号名称	方向(针对计量模组)	说明
电源	VCC	输出	为管理模组提供主电源,输出电压范围 15±1 V,负载电流最大 350 mA
地	GND	/	管理模组地
信号	POWDET	输出	掉电信号,由计量模组提供,当发生停电时信号拉低,正常工作时为高电平
信号	COM-RQ	输入	管理模组拔出信号,默认状态下为低电平,当发生上升沿时触发

停电时关键数据的转存, 管理模组需要设计有超级电容。当管理模组检测到停电时, 利用电容在 10 s 内采用明文将事件上报给通信模块, 上报内容为上 1 次管理模组停电事件记录, 停电事件记录中包括停电发生时刻、停电时的电能。为防止模块接收不成功, 需要重复上报 3 次。

4.2.2 复电上报功能设计

管理模组检测到复电时, 进行复电判断, 如果计量模组掉电事件结束有延时, 则管理模组复电事件记录延时同计量模组掉电结束延时, 延时后生成复电事件并上报。复电后延时 1 min 上报, 上报内容为上 1 次管理模组复电事件记录, 复电事件记录中包括复电时刻, 以方便主站或终端了解电表复电后时钟是否正常, 方便主站或终端判断是否需要给电能表校时。如果上报没有收到确认/应答命令, 可以重复上报 3 次。

4.2.3 时钟维持机制

为了进一步保障电能表时钟的准确、稳定、可靠, 新一代智能电能表采用可更换的时钟电池设计, 并且取消停电时的显示及监测功能, 时钟电池在电能表掉电时仅为内部时钟供电, 保证了时钟电池的运行寿命。同时, 按照 3.3 节描述的时钟非法的判定方法及校时方案实现了复电时的主动对时, 并且增加了记录广播校时事件功能, 确保了时钟修改的可追溯性。

5 结论

本文参考了现有电能表停电事件主动上报的方法及机制, 结合实际应用需求及现有方案的不足, 提出了一种优化的停、复电事件主动上报并对时的方案。该方案主要有以下优点:

(1) 通过标准化的软硬件接口, 由基表产生停电事件, 解决了停电事件上报的普适性问题, 搭配任何具备后备电源的通信模块使用, 可以适用于任何场景。

(2) 由电能表基表上报停电事件, 提高了停电事件上报的准确性, 解决了除载波通信模块之外的其他模块由于插拔导致的误报功能。

(3) 停电事件可以携带停电前的电网电参数及电量等信息, 增强了停电事件上报的数据延展性, 为数据的深化应用及精准抢修提供了数据支撑。

(4) 设计复电上报及校时方案, 使得停电事件形成闭环控制, 有利于提升抢修效率, 同时利用复电时的主动对时, 解决了电能表在时钟电池欠压的情况下, 停电后时钟错乱的问题。

最后, 提出了本方案在新一代智能电能表中的具体实现方法, 为未来能源互联网及新一代智能电能表的推广应用提出了解决方案。

参考文献

- [1] 贺云隆, 黄璐涵, 宋晓林, 等. 低压居民用户停电事件实时上报方法研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(21): 147-152.
- [2] 赵俊红. 基于载波-无线双模通信方式的低压台区停电事件上报技术研究[J]. 电工技术, 2019(18): 119-120, 173.
- [3] 唐伟宁, 鞠默欣, 孔凡强, 等. 智能电能表停电信息主动上报技术研究[J]. 吉林电力, 2018, 46(5): 31-33.
- [4] 张亚梅, 刘艳艳, 宋佑举, 等. 电力线通信自动抄表系统中的电能表捕获算法[J]. 电子技术应用, 2010, 36(5): 77-79.
- [5] 彭楚宁, 罗冉冉, 王晓东. 新一代智能电能表支撑泛在电力物联网技术研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(15): 137-142.
- [6] International Organization of Legal Metrology. Active energy meter. Part 1: Metrological and technical requirements/Part 2: Metrological controls and performance tests: OIML R46-2012[S]. 2012.
- [7] 周芝梅, 赵东艳, 张海峰, 等. 基于 IR46 标准的双芯电能表主控关键技术研究[J]. 电子技术应用, 2017, 43(10): 7-11, 19.

(收稿日期: 2020-04-08)

作者简介:

段晓萌(1989-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 电能计量新技术。

(上接第 51 页)

(收稿日期: 2020-08-09)

作者简介:

张孟文(1988-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 用于

穿戴设备的低功耗、低噪声集成电路以及数字、模拟混合信号系统。

金玉丰(1961-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 集成微系统、MEMS、微纳封装技术。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所