

## 基于电压过零点及功率因数修正的拉闸方法

陶敬荣 刘先进 蒋梦影

浙江八达电子仪表有限公司, 浙江 金华 321018

**[摘要]**继电器在电能表内起到通断电流的作用。在大电流状态下拉闸产生的电弧会严重灼伤继电器的触点, 导致触点接触不良, 在持续大电流时电能表发热严重, 会引起短路、火灾等风险。文中提出了一种适用于单相智能电能表的保护继电器触点的跳闸方法, 该方法首先通过电压过零检测电路检测到电压过零点的时刻, 然后从计量芯片读取电压、电流、有功功率、无功功率等参数计算出负载的功率因数, 再由功率因数计算出电压和电流过零点的时间间隔, 从而推导出电流过零点的时刻, 可以在电流过零点时刻即线路中电能量最弱时进行拉闸操作。该过零点拉闸方法有效降低电弧对继电器触点的损伤, 提升电能表的使用寿命。

**[关键词]**过零点拉闸; 触点; 磁保持继电器; 功率因数; 电弧

DOI: 10.33142/hst.v5i4.6583

中图分类号: TM933

文献标识码: A

## Switching Method Based on Voltage Zero Crossing and Power Factor Correction

TAO Jingrong, LIU Xianjin, JIANG Mengying

Zhejiang Bada Electronic Instrument Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321018, China

**Abstract:** Relay plays the role of on-off current in electric energy meter. The arc generated by the pull-down switch in the high current state will seriously burn the contacts of the relay, resulting in poor contact. When the high current continues, the electric energy meter will be seriously heated, which will cause short circuit, fire and other risks. In this paper, a tripping method of protective relay contacts suitable for single-phase intelligent watt hour meter is proposed. Firstly, the time of voltage zero crossing is detected by the voltage zero crossing detection circuit, then the load power factor is calculated by reading the parameters of voltage, current, active power and reactive power from the metering chip, and then the time interval of voltage and current zero crossing is calculated from the power factor, so as to deduce the time of current zero crossing. The switching operation can be carried out at the time of current zero crossing, that is, when the electric energy in the line is the weakest. The zero crossing switching method can effectively reduce the damage of the arc to the relay contact and improve the service life of the electric energy meter.

**Keywords:** zero crossing switching; contacts; magnetic hold relay; power factor; electric arc

### 引言

目前, 国内大部分居民家中安装使用的电能表是带内置继电器的单相费控智能电能表, 继电器在电能表内起到通断电流的作用, 当用户家里欠费后, 可以由售电系统远程下发拉闸命令给电能表, 电能表断开用户侧线路; 当用户充值缴费后, 再下发合闸命令, 电能表合闸, 用户可以正常用电。

市场上主流的单相费控智能电能表的最大电流  $I_{max}$  为 60A, 若电能表在大电流情况下执行拉闸操作, 继电器在断开触点时会因为大电流的突然中断产生严重的拉弧现象, 拉弧会烧蚀负荷开关的触点, 多次拉闸后, 触点会接触不良, 即电能表的电流回路阻抗变大, 不仅降低了电能表的整机使用寿命, 在长时间大电流状态下电能表发热严重, 导致电能表接线端子高温熔化, 线路绝缘层熔化脱落, 存在引起线路短路、火灾等可能性。

目前单相费控智能电能表由于技术限制, 行业内采用判断电能表电流小于 30A 时才允许拉闸, 国家电网公司最新版的技术标准《Q/GDW10354-2020 版 智能电能表功能

规范》提出电能表支持继电器拉闸控制电流门限(默认 30A), 当电能表收到拉闸命令后, 检测电能表电流是否大于设定的电流门限值, 如电流大于门限值, 电能表延时拉闸, 待电流小于或等于门限值或延时 24h 后电能表拉闸。电能表大于 30A 时不执行拉闸是由于目前没有合适技术手段而采取的折中办法。为了实现能在任意电流大小的情况下拉闸, 本文研究了一种基于电压过零点及功率因数修正的拉闸方法, 来保护继电器的触点。

参考文献[1]介绍了一种采用软件读电流 AD 波形寄存器的方式检测电流过零点来拉闸的方法。结合该作者的发明专利(申请号 CN201710342281.2; 公开号 CN107257126A)和参考文献[1]的论述, 作者详细介绍了一种可保护继电器的电能表大电流跳闸方法, 该方法通过电能表 MCU 读取计量芯片 AD 采样值, 通过判断 AD 采样值正负极性切时刻的方式判断电流过零点时间, 此类技术判断电流过零点方法存在如下问题: 由于 MCU 和计量芯片是通过光耦隔离方式传输, 传输 1bit 时间约 208us, 读取一次 AD 值需要 1 字节地址和 3 字节 AD 数据, 4 字节共

32bit 数据, 通讯时间至少  $208\mu s \times 32 = 6.656\text{ms}$ , 而我国的交流电频率为 50Hz, 周期为 20ms; 电流过零点时刻间隔为 10ms。两次过零点间隔之间只能采集 1 个 AD 数据, 因此此类判断电流过零点方法误差非常大。

## 1 单相电能表继电器的结构

### 1.1 磁保持继电器

市场上主流的单相费控智能电能表(开关内置)大部分是采用磁保持继电器。磁保持继电器是电磁继电器的一种, 对线路起着切断或者接通的作用。普通的电磁继电器是通过电磁铁及弹簧的配合来维持触点的常闭或常开状态, 电磁铁需要施加持续的电压。和普通的电磁继电器不同的是: 磁保持继电器触点状态的转换是依赖永久磁钢施加作用力, 触点状态的转换是通过给驱动线圈施加一个合适宽度的正向或反向脉冲电压。

图 1 是电能表用磁保持继电器的结构, 工作原理是给驱动线圈施加合适脉冲宽度的驱动电压, 驱动线圈便产生磁场, 有部分伸入驱动线圈内的铁芯在磁场的作用下产生磁性, 铁芯便会与永久磁钢之间产生磁力从而驱动永久磁钢动作, 永久磁钢通过连杆推动动触点, 使动触点与静触点闭合; 施加反向脉冲电压时, 动触点就与静触点分开。

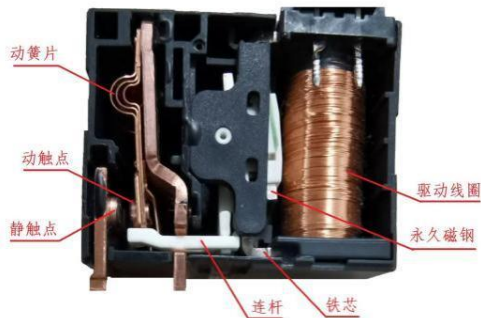


图 1 单相磁保持继电器结构

### 1.2 电机式继电器

电机式继电器是一种新型的继电器种类, 在工作原理、产品结构、性能参数等方面与以往的电磁继电器或磁保持继电器不尽相同。图 2 是单相电能表用电机式继电器的结构, 工作原理是给驱动电机提供合适脉冲宽度的驱动电压, 电机通过齿轮组件控制触点的闭合或断开。由于继电器是通过直流电机驱动触点的闭合与断开, 受外界磁场的影响有限, 因此电机式继电器有优越的抗外部恒定磁场干扰能力。由于电机式继电器在电能表行业使用量不大, 没有大面积安装运行磨合, 且电机式继电器齿轮组件和触点位置通过弹片相连, 触点位置阻抗比较大, 大电流时触点的热量会通过弹片快速传导到齿轮机构上, 是否会导致齿轮机构形变, 或打滑磨损等问题, 还需要电能表行业进行多年的实际挂网运行验证。

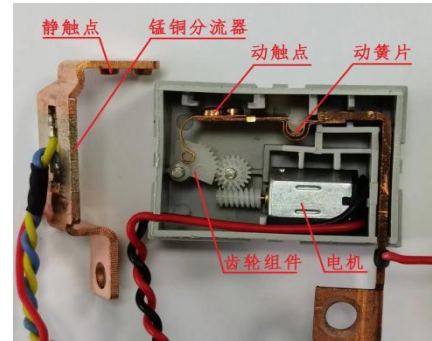


图 2 单相电机式继电器结构

## 2 电弧产生的原因

当继电器拉闸时, 继电器的动触点和静触点开始从紧密接触到逐渐分开, 在触点断开的瞬间, 由于动触点和静触点之间的距离很小, 线路中的电压几乎全部施加在两个触点之间, 触点间电场强度  $E$  很高, 触点金属的自由电子在强磁场的加速下脱离金属质子的束缚从而与触点间隙的空气分子相撞, 导致空气发生了电离, 这种电离现象称之为电弧。电弧产生的高温可以高达上万摄氏度, 不仅将空气电离成带电粒子, 甚至可以将触点高温气化金属蒸汽, 在触点间形成导电通道。拉闸时线路中的电流越大, 电弧产生的能量就越高, 对触点的灼烧就越严重。

## 3 电流过零点拉闸的理论依据

### 3.1 电流过零点消弧的依据

对于国内普遍使用的开关内置型单相费控智能电能表, 使用的环境都是波形为正弦波的交流电, 交流电的额定电压  $U_n = 220\text{V}$ , 最大电流  $I_{\max} \leq 60\text{A}$ , 频率  $f = 50\text{Hz}$ , 周期  $T = 20\text{ms}$ , 一个周期内两次通过零点。由于用户负载存在感性或容性的负载, 如图 3 所示, 在感性负载情况下电流滞后于电压, 功率因数呈感性; 反之, 在容性负载情况下, 功率因数呈容性, 电流超前电压。在电流过零点时刻, 线路中电流为零, 电能量最小, 此时拉闸产生电弧的能量最低, 基本上不会导致触点拉弧, 从而可以有效保护继电器的触点。

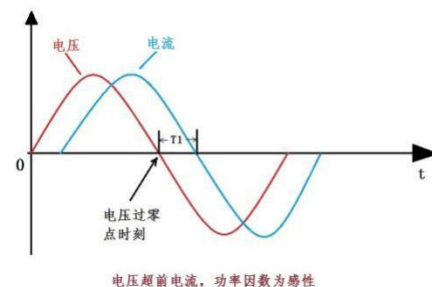


图 3 电压和电流过零点的关系

### 3.2 检测电流过零点时刻的方法

检测电流过零点时刻的方法有以下几种, 一是直接采用电流互感器, 将电流信号转换成电压波形进行检测, 单相电能表由于壳体尺寸的限制, 在电流回路均是采用锰

铜分流器进行电流采样,很难再安装一个互感器,而且由于电流的范围比较宽,采用电流互感器检测电流过零点时刻不是一种理想的方法;二是采用计量芯片的电流过零中断检测功能,当芯片检测到电流过零的时刻,就会通过芯片的中断引脚提供中断信号。早期有个别计量芯片厂家推出的计量芯片具有电流过零中断功能,如上海钜泉光电科技有限公司的ATT7053BU。由于追求芯片小型化及高精度计量,近几年主流的计量芯片均不再保留中断功能。三是本文提出的一种新的检测电流过零点的方法,即通过检测电压过零点时刻和负载的功率因数间接计算出电流过零点时刻。电压和电流过零点的延时时间T1(见图3)可以通过功率因数和交流电频率计算出来,电能表的MCU通过读取计量芯片的参数,计算出功率因数大小,再判断是感性负载还是容性负载,就可以计算出延时时间T1。当检测到电压过零点后,电能表MCU通过定时器延时T1的时间,在下一个电流过零点周期执行拉闸操作,就可以避免拉闸时产生电弧,从而保护继电器的触点。

### 3.3 电压过零点检测电路

#### 3.3.1 常规过零检测电路及其存在的缺点

常用的电压过零点电路如图4所示。市电经过电阻R10, R24等6颗限流电阻驱动光耦UM9的发光二极管,当电压过零点时,电压为0V,光耦内发光二极管上的电流为零,光耦输出端的三极管为截止状态,输出信号RelayTest被R1电阻上拉到高电平,在非过零时刻,光耦内发光二极管被驱动点亮,输出信号RelayTest为低电平。因为光耦发光二极管的发光强度与流过的电流密切相关,因此,电压过零检测电路受市电电压波动的影响比较明显。图5是在市电为130V时的输出波形,图6是在市电为220V时的输出波形,两种波形的导通角差异比较明显。

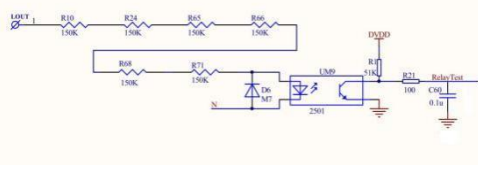


图4 常规电压过零点检测电路

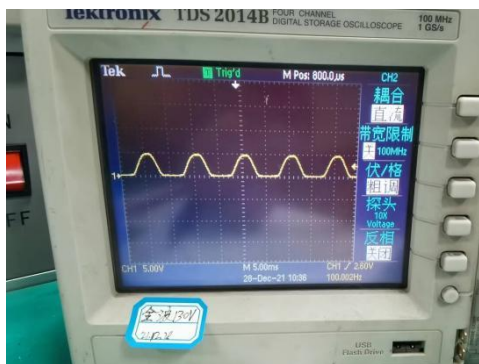


图5 市电130V时的输出波形



图6 市电220V时的输出波形

#### 3.3.2 本项目采用的过零检测电路

鉴于常规电压过零检测电路受电压波动影响大的缺点,在光耦输出端增加了电压鉴幅电路,如图7所示:电压鉴幅电路包括三极管QT1、电阻R6、电阻R7和电阻R8,在市电的过零点时刻,V2电压为0V,光耦的发光二极管熄灭,光耦接收端三极管处于截止区,因此光耦输出端的电压V3在市电过零点时刻被R6和R8上拉到高电平,其他时刻光耦的发光二极管发光,V3处于低电平,V3为脉冲波形,脉冲波形宽度受市电电压波动比较大,当V3电压高于VDD-0.7V时,三极管QT1截止,V4点电压为0V;V3电压小于VDD-1.4V左右时,三极管QT1进入饱和区,V4点电压为高电平,因此,V4点电压为脉冲波形。电路中各点波形示意图如图8所示。

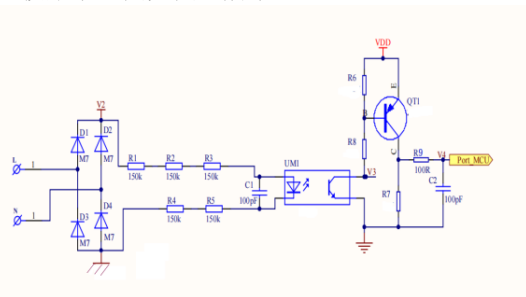


图7 带鉴幅功能的电压过零检测电路

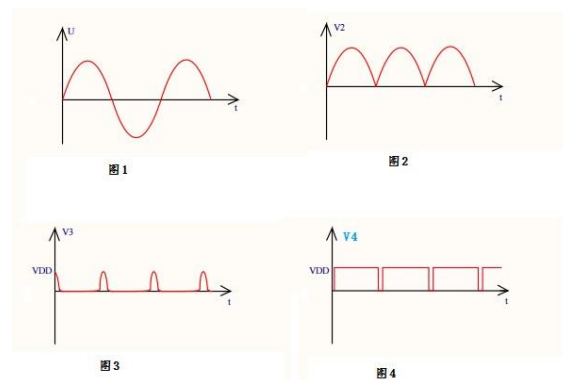


图8 各信号点波形



### 3.4 在电流过零点跳闸的实现步骤

下面对电流零点时刻进行跳闸的步骤做进一步说明。如图9所示,执行跳闸步骤涉及到的主要包括服务器及电能表内的电压过零点检测电路、MCU、定时器、负荷开关和计量芯片等。具体以深圳市锐能微科技股份有限公司的计量芯片 RN8209C 为例,相关的寄存器见图10。跳闸的详细执行步骤如下:

服务器向电能表下发拉闸信号,电能表的 MCU 接收到拉闸指令后,MCU 从计量芯片 RN8209C 读取电压寄存器 24H、电流寄存器 22H、有功功率寄存器 26H、无功功率寄存器 28H 的值。

根据步骤 1 获取的数值计算出当前负载的功率因数  $\cos \phi$ , 根据功率因数的定义,功率因数通过以下公式(1)计算:

$$\cos \phi = P / (U_{rms} \times I_{rms}) \quad (1)$$

式中  $\cos \phi$  为功率因数;  $P$  为有功功率;  $U_{rms}$  为电压有效值;  $I_{rms}$  为电流有效值。

因此 MCU 可以根据步骤 1 中 MCU 读取计量芯片寄存器的值计算出当前负载的功率因数。MCU 根据有功功率寄存器 26H 和无功功率寄存器 28H 的符号位判断是感性负载还是容性负载,如果有有功功率和无功功率都是正值,功率因数呈感性,处于第一象限;如果有有功功率是正值,无功功率是负值,功率因数呈容性,处于第四象限。

MCU 根据步骤 2 计算得到的功率因数  $\cos \phi$  可推导出电压和电流过零点的延时时间  $T_1$ , 延时时间  $T_1$  可通过公式(2)换算得到, 式中  $f = 50\text{Hz}$ 。由于电流一个周期内两次过零点, 过零点时间间隔为  $10\text{ms}$ 。在感性负载时, 电流滞后于电压, 延时时间  $T = T_1$ , 在容性负载时, 电流超前电压, 延时时间  $T = 10\text{ms} - T_1$ 。

$$\cos(2\pi f T_1) = \cos \phi \quad (2)$$

MCU 开启端口中断使能, 捕捉电压过零点时刻, 在市电的电压过零点时刻, 电压过零点检测电路触发了 MCU 中断, MCU 接收到中断信号后关闭电压过零点中断使能, 然后开启定时器, 定时器的定时时间为  $T - T_2$  ( $T_2$  为实测的继电器动作时间), 定时器定时时间到了后, MCU 立即驱动负荷开关拉闸, 驱动  $200\text{ms}$  确保负荷开关完全拉开; 即可实现在电流过零点时刻拉闸。

MCU 再次开启电压过零点中断使能, 电压过零检测电路的火线接入端 L (见图 7) 是接电能表火线出线端子, 负荷开关拉闸成功后, L 点和零线之间无电压差, 因此, 电压过零点检测电路不再产生中断信号, 表示负荷开关拉闸成功, 电能表给服务器答复拉闸成功命令。如果仍能检测到中断信号, 表明负荷开关拉闸失败, 电能表给服务器答复拉闸失败命令。

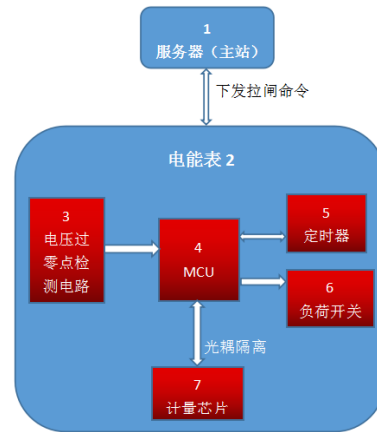


图9 跳闸实现方法的原理框图

单相多功能防窃电专用计量芯片  
RN8209C/RN8209D

16H	DCL	R/W	2	0000h	保护 三个直流offset校正寄存器的低4bit; DCL[11:0]=[DCU[3:0],DCIBL[3:0],DCIAL[3:0]], 写保护
17H	EMUCON2	R/W	2	0000h	计量控制寄存器2, 写保护
计量参数和状态寄存器					
20H	PFCnt	R/W	2	0000h	快速有功脉冲计数, 写保护
21H	DFcnt	R/W	2	0000h	自定义电能快速脉冲计数, 写保护
22H	IARMS	R	3	000000h	通道A电流的有效值
23H	IBRMS	R	3	000000h	通道B电流的有效值
24H	URMS	R	3	000000h	电压有效值
25H	UFreq	R	2	0000h	电压频率
26H	PowerPA	R	4	00000000h	有功功率A
27H	PowerPB	R	4	00000000h	有功功率B
28H	PowerQ	R	4	00000000h	无功功率
29H	EnergyP	R	3	000000h	有功能量, 读后清零、不清零可选, 默认为读后不清零

图10 计量芯片 RN8209C 相关寄存器

### 4 拉闸试验及试验效果

经 3.4 所述的执行步骤, 在电流过零点时刻进行跳闸试验, 通过在单相费控智能电能表的火线出线端子进行跳闸时波形检测, 试验的结果如图 11 所示。单相电能表在收到跳闸命令后, 已经可以可靠的在电流过零点时刻跳闸, 此时线路中的电流接近为零, 电能量最小, 此时跳闸产生的电弧能量最低, 基本上不会灼伤继电器触点, 因此有效保护了继电器触点。

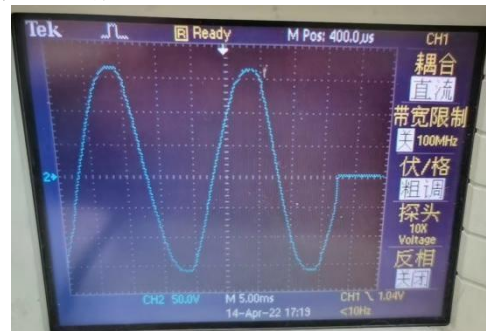


图11 在零点时刻跳闸的波形

### 5 结束语

本文提出了一种新的适用于单相费控电能表的跳闸方法, 该方法基于检测电压过零点的时刻, 再结合负载的功率因数计算出电流过零点时刻, 在电流过零点的瞬间执

行继电器拉闸操作,切断用户侧线路。试验结果表明该方法可以在大电流的情况下执行跳闸操作,有效降低了在大电流情况下拉闸导致的继电器触点拉弧,减小电弧对继电器触点的灼伤。相较于以前单相费控智能电能表随机进行跳闸,通过对继电器触点的保护,可以有效的提升电能表的使用寿命。

#### [参考文献]

- [1] 郜波,罗冉冉,李亦非,等.一种电能表磁保持继电器拉闸方式的软件消弧设计[J].电测与仪表,2016,53(16):68-74.
- [2] 智能电能表功能规范.国家电网有限公司标准:Q/GDW10354-2020[S].
- [3] 电子式电能表用磁保持继电器.中华人民共和国机械行业标准:JB/T 10923-2010[S].
- [4] 王天琴.某中波转播台提升技术保障能力实践[J].中国有线电视,2021(9):963-965.
- [5] 姜建,刘家齐,李燕青,等.基于配电自动化技术的小电流接地故障区段定位方法[J].电测与仪表,2017,54(3):125-128.
- [6] 胡瑛俊,姚力,吴幸,等.智能电能表主要故障分析与对策[J].浙江电力,2015,34(3):23-26.
- [7] 谢永明,王珍,曾仕途.智能电能表继电器短路电流承载能力试验中的安培力影响分析[J].电测与仪表,2016,53(1):83-87.
- [8] 孙志清,叶向阳.家电继电器失效机理研究[J].家电科技,2009(12):49-51.
- [9] 李耀林,侯月宾,等.智能电表用磁保持继电器失效原因及机理分析[J].电工材料,2014(4):38-42.

作者简介:陶敬荣(1984.2-)男,工学学士,工程师,主要从事电能表的开发研究工作。