

基于智能电表的剩余电流监测功能研究

剩余电流动作保护器的应用在安全用电中发挥了重要的作用，但也降低了供电的可靠性。改进智能电能表和用电信息采集系统可以实现用户侧剩余电流的在线监测功能，从而方便故障排查和定位。

钱立军¹ 陆寒熹² 尹建悦^{2/1} 江苏省电力公司 2. 江苏林洋电子股份有限公司

0 引言

剩余电流动作保护器在低压电网，特别是农村电网的安全保护中发挥着重要的作用，但由于各种各样的原因，剩余电流动作保护器经常会误动作，直接影响了农村供电的可靠性。另外，剩余电流动作保护器在线路故障时只能进行跳闸保护，无法进行在线监测和预警，因此进行故障定位和解决问题，需要分段排查，耗费了大量的人力物力，效率低下。

1 剩余电流保护应用现状及存在问题

在低压电网中安装剩余电流动作保护器，是防止人身触电、电气火灾及电气设备损坏的一种有效的防护措施^[1]。世界各国和国际电工委员会通过制订相应的电气安装规程和用电规程在低压电网中大力推广使用剩余电流动作保护器。我国的剩余电流保护器是从20世纪70年代中期开始发展的，并首先在农村低压电网中推广应用，经过20世纪80年代到90年代的不断完善和发展，已形成一个品种完善、规格齐全，并符合IEC国际标准的产品系列。在低压电网的安全保护中，尤其是农村低压电网的安全

保护中发挥了重要的作用。

但是剩余电流动作保护器的应用在实际中还有很多不到位的地方，也产生了一些额外的问题，特别是在环境比较复杂的农村低压电网。

农村低压电网一般采用台区剩余电流和户用剩余电流两级保护，实际运行中，往往因户用剩余电流动作保护器未能投入使用或失效，此时一旦发生漏电，可能引发台区保护动作导致全台区失电。

剩余电流动作保护器的误动作一直是令农电工作者和用户烦恼的事，这不但严重影响了保护器的使用效果，也直接影响了农村供电的可靠性，使用户对供电企业的服务质量产生了怀疑。

剩余电流动作保护器误动作的原因很复杂，经过大量数据采集及现场考察，可归纳为以下几种。

- 1) 线路剩余电流过大，主要取决于线路的绝缘电阻以及供电用户的多少，而且随着时间的推移，会越来越严重。
- 2) 电源线接线错误。
- 3) 剩余电流动作保护器选择错误，或使用过程中参数和性能发生变化。
- 4) 线路中接有一火一地的负荷或窃电行为。
- 5) 用电设备外壳的保护接地线与N线相连。
- 6) 各种类型的电磁干扰。
- 7) 设备过载或短路的影响。

这些故障的排除困难之处在于故障定位，剩余电流动作保护器只能在剩余电流超限时进行跳闸保护，无法进行监测及预警，因此当台区发生剩余电流故障保护时，需要到现场进行分段处理、逐户进行排查，耗费了大量的人力物力



钱立军/高级工程师

关键词/Keywords

剩余电流 ·
智能电表 ·
在线监测 ·
用电信息采集系统 ·

力，效率非常低下。

2 问题解决的途径和方法

对于剩余电流动作保护器应用中存在的这些问题，目前还没有完整有效、性价比较高的可大面积推广使用的方法。在GB14287.2—2007《电气火灾监控系统》中，剩余电流式电气火灾监控探测器是防止电气火灾的一种重要设备^[2]，其功能比较强大，但成本也较高，安装使用也有特别的要求，适用于大型建筑住宅、楼堂馆所等地方，而不适合于农村低压电网这种用户面广量大的地方。

有一种做法是当台区发生经常性的剩余电流故障保护时，维护人员会通过分段处理，对大致的故障区域进行判定，然后在该区域内安装专门的剩余电流监测设备来发现和解决问题，这样的方法设备费用相对较小，设备可以重复使用，但耗费人力，且常常无法准确、及时地进行故障定位。

智能电能表是每个电力用户必用的设备，如果能在智能电能表中增加少许成本就可以增加剩余电流的在线监测和告警功能，就等于在用户处增加了一个剩余电流实时监测装置，再利用现有的用电信息采集系统将剩余电流及其相关信息及时传到后台主站，可以在剩余电流很小的时候就可以提前预警，在发生剩余电流动作保护后也能及时获取相关的异常欣喜，因而能很好地解决剩余电流动作保护器应用中存在的一系列问题，从而提升当前农网低压用户的供电可靠性，提高电网及用电的安全性。

3 研究思路和实践

3.1 具有剩余电流监测功能的智能电表设计

按照国家电网公司2013版智能表标准的要求，单相智能表采用的计量方案具有3路A/D通道，一路用于电压测量，一路用于相线电流测量，这两个通道是电能表计量的基础；另一路A/D通道用于测量零线电流^[3]。

在单相系统中，剩余电流理论上是相线和零线电流之差，而单相智能表已经同时具有相线和零线电流测量功能，理论上只要将电表测量到的相线和零线电流相减就可以得到剩余电流。

根据《农村电网剩余电流动作保护器安装运行规程》的要求，农村电网用户侧安装的剩余电流动作保护器的动作电流一般约为30 mA。而单相智能表的常用电流规格为5(60) A，相线和零线的电流准确度均为引用误差的1%，而且单相智能表的两个电流采样通道的采样元件也不一致，相线电流的采样元件是锰铜分流器，零线电流的采样元件是电流互感器，这两种采样元件的特性也存在很大差异，因此30 mA左右的电流差根本无法精确测量，直接采用单相智能表相线和零线电流之差来计算剩余电流的方案也就无法满足剩余电测量准确度的要求。

本研究项目对单相智能表的设计原理稍加修改，可以不仅保留原有的相线和零线电流测量功能，而且能精确测量毫安级（10~1 500 mA）的剩余电流，其采样部分原理图如图1所示。

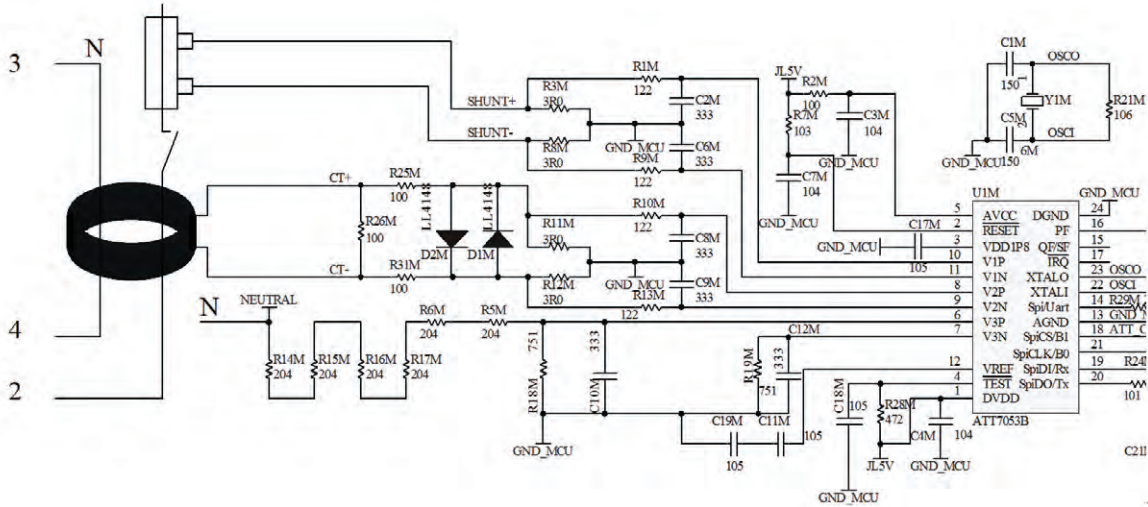


图1 可精确测量剩余电流的单相智能表交流采样部分原理图

从图1中可以看出, 本研究项目将相线和零线电流反相后同时穿过电流互感器, 因此电流互感器的初级就已经是剩余电流的信号, 只要保证该互感器的性能并调整第2路A/D通道的量程就能对很小的剩余电流实现精确测量, 而零线电流则可由相线电流和剩余电流计算而得。

这里使用的互感器既有别于专用剩余电流互感器, 也有别于普通电能表用互感器。剩余电流用互感器用于提供剩余电流动作保护的触发信号, 该信号只要在动作保护点附近保证一定的准确度就可以了, 而单相电能表用互感器只对5%基本电流以上才有准确度要求^[4]。而本研究项目所用的互感器在用于测量剩余电流时工作于小信号范围内, 而用于零线电流时又要考虑较大的信号范围, 所以该互感器是一个宽范围、高准确度的互感器。

除了互感器的选择外, 电表内部结构的设计也要做相应的变化。图3为单相智能表交流采样部分结构示意图^[5-6]。图4为可精确测量剩余电流的单相智能表交流采样部分结构示意图。

3.2 用电信息采集系统中剩余电流监测功能的设计

要在用电信息采集系统实现用户侧剩余电流的在线监测功能, 还必须解决如下问题。确定剩余电流测量的技术指标, 以及报警、记录的条件和上报方式; 制订剩余电流监测功能所需的通信协议; 利用采集到的数据实现异常区域的快速定位和报警, 提升电力网络的安全性和可靠性^[7-8]。

本研究项目中智能电能表的程序每秒测量一次相线电流及剩余电流, 并据此计算出零线电流, 同时判断剩余电流是否超出剩余电流阈值上限, 一旦超出, 即开始报警, 置剩余电流报警位, 并作为一次记录的起始; 此后剩余电流一旦小于剩余电流阈值下限, 即解除报警, 结束一次记录; 中间还继续测量剩余电流, 并记录其中出现的最大值及其发生时间。当有剩余电流越限事件产生时, 电表还需要置位主动上报状态标志, 以便主站及时知晓, 并通过扩展通信规约读取事件详情。

智能表采用的通信协议为DL/T 645—2007

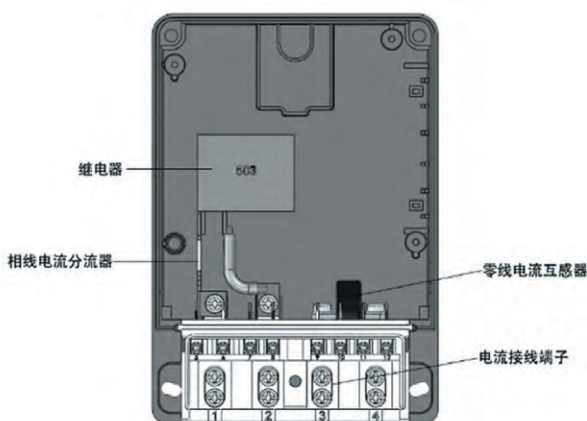


图3 单相智能表交流采样部分结构示意图

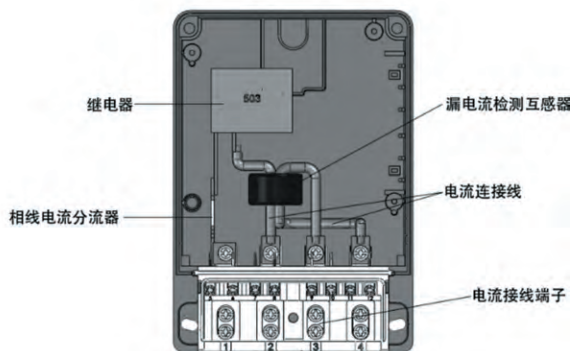


图4 可精确测量剩余电流的单相智能表交流采样部分结构示意图

《多功能电能表通信协议》, 因此本研究项目基于此通信协议扩展了剩余电流越限监测功能的相关内容。表1为剩余电流越限监测的扩展数据项及其定义^[9], 表2为主动上报状态字的扩展定义。

主站系统采集智能电能表剩余电流越限事件按采集方式可分为3种: 电能表主动上报; 终端固定周期采集和主站透抄。用户可以根据实际需要选择不同的方案, 可很好地实现剩余电流的在线监测功能^[9-10]。

4 结束语

在现有智能表和用电信息采集系统的基础上进行改进就可以实现用户侧剩余电流的在线监测、越限报警和事件记录等功能。通过对用户侧剩余电流的在线监测, 可以提高农村供电的可靠率, 提高用户侧剩余电流超限故障的诊断、定位工作的效率和及时性, 减少在剩余电流超限故障排查工作中的人力物力投入, 具有

表1 剩余电流超限监测的扩展数据项及其定义

DI3	DI2	DI1	DI0	数据格式	单位	功能	数据项名称
02	90	00		XX		R	当前剩余电流最大相(单相表固定A相)
		01	00	XXXX	mA	R	当前剩余电流值
		ff				R	当前剩余电流最大相及剩余电流
03	81	00	02	XXXX	次	R	剩余电流超限总次数
03	82	00	01	XX		R	当日剩余电流最大相(单相表固定A相)
				XXXX	mA		剩余电流值
				YYMMDDhhmmss			出现的时刻
						R	(上1次) 剩余电流超限事件记录
				XX			剩余电流最大相(单相表固定A相)
				XXXX	mA		剩余电流值
				YYMMDDhhmmss			发生时刻
				YYMMDDhhmmss			结束时刻
						R	(上2次) 剩余电流超限事件记录
							...
03	88	00	02				(上10次) 剩余电流超限事件记录
			...				...
			0A				(上10次) 剩余电流超限事件记录
04	00	11	01	NNNN	mA	R/W	剩余电流超限阈值

表2 主动上报状态字的扩展定义

BIT31	BIT30	BIT29	BIT28	BIT27	BIT26	BIT25	BIT24
保留	漏电流	保留	保留	保留	保留	保留	A相断流

广泛的经济意义和社会意义。

参考文献

[1] GB/Z 6829—2008 剩余电流动作保护电器的一般要求[S]. 北京：中国标准出版社，2008.

[2] GB14287.2—2007 电气火灾监控系统 剩余电流式电气火灾监控探测器[S]. 北京：中国标准出版社，2007.

[3] Q/GDW 1354—2013 智能电能表功能规范[S]. 北京：中国电力出版社，2013.

[4] Q/GDW 572—2010 计量用低压电流互感器技术规范[S]. 北京：中国电力出版社，2010.

[5] [5] Q/GDW 1355—2013 单相智能电能表型式规范[S]. 北京：中国电力出版社，2013.

[6] [6] Q/GDW 1364—2013 单相智能电能表技术规范[S]. 北京：中国电力出版社，2013.

[7] [7] Q/GDW 1373—2013 电力用户用电信息采集系统功能规范[S]. 北京：中国电力出版社，2013.

[8] [8] Q/GDW 1374—2013 电力用户用电信息采集系统技术规范[S]. 北京：中国电力出版社，2013.

[9] [9] DL/T 645—2007 多功能电能表通信协议[S]. 北京：中国电力出版社，2007.

[10] [10] Q/GDW 1376—2013 电力用户用电信息采集系统通信协议[S]. 北京：中国电力出版社，2013.

(收稿日期：2015-05-26) EA

作者简介

钱立军（1977-），男，硕士研究生，高级工程师，主要研究方向为电能计量技术研究和技术监督。

陆寒熹（1969-），男，本科，工程师，主要研究方向为电能计量和用电信息采集技术研究和技术监督。