

智能电能表几种常见故障分析与研究

杨冉冉, 徐 晴, 刘 建, 纪 峰

(国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘 要: 按照坚强智能电网总体要求, 2009 年起开始广泛使用智能电能表。智能电能表的稳定性和可靠性也随之受到了广泛的关注。本文主要介绍了智能电能表经常遇到的一些影响其稳定性和可靠性方面的常见故障, 并研究其发生的原因, 为故障电能表的鉴别与分析提供了参考。

关键词: 智能电能表; 故障分析

0 引言

智能电能表具有低功耗、高精度、高可靠性等特点, 相较于传统式的电子式电能表, 它可以实时地进行与外界进行双向通信, 使供电企业信息更加的透明, 用户所得信息更加全面^[1]。用户可直接收取用电信息, 进而清楚的掌握自己的用电状况, 用电采集系统可以对用电时段进行合理的掌握, 科学的控制负荷量。同时, 智能电能表作为电力系统生产、传输和营销过程中一种重要的计量器具, 它是否能够准确的计量, 关系到各行各业以及人们生活的切身利益。

随着市场经济的发展和人民生活水平的日益提高, 社会各行各业对电能的需求越来越大, 智能电能表因其具有用电信息存储、双向多种费率计量功能、用户端控制功能、多种数据传输模式的双向数据通信功能, 得到了广泛地运用。智能电能表作为智能电网中电能计量和结算的关键环节, 它运行是否可靠关系着很多人的切身利益。同时, 又有一些不法分子利用各种手段进行窃电, 并且随着科技的不断进步, 窃电手段也不断升级, 更为隐蔽。因此, 对智能电能表的故障排查显得尤为重要。

1 智能电能表常见故障介绍

导致智能电能表故障的原因有多种, 由于不法分子的窃电行为导致的电量结算异常、电能表无法工作导致的不计量等等, 或是由于电能表内元器件质量不过关或生产工艺不达标导致误差超差、通讯不成功等故障, 这些故障给国家经济带来了不可估量的损失; 检定检测中智能电能表由于元器件质量或者工艺不过关导致批次检测中出现批量的电能表

不能通过检测等, 严重影响了智能电能表可靠性和稳定性, 近几年因智能电能表质量问题导致的退货多达 70 多万只, 智能电能表给智能电网建设提供了有力支撑的同时, 它的一些故障也引起人们的重视。本文从电能表出现问题的几个基本环节出发, 研究电能表的一些常见故障。

2 智能电能表常见故障分析

2.1 窃电类故障

电能表电能量异常主要是指电能表的电量与实际相比发生增加或减少。此类故障一般是人为引起, 通过对智能电能表进行某些改造使电能表的计量功能发生变化, 从而达到少计电量的目的, 此类窃电故障具体表现在电能表的误差偏负且大幅超差。

2.1.1 改变采样回路窃电

某供电公司发现一只三相智能电能表存在计量严重负超差现象, 经分析发现这只电能表是窃电导致。窃电手段较为隐秘, 更换了采样电路中的采样电阻, 电流采样电路中抗混叠电阻阻值发生变化, 从而导致电能计量严重负超差。进行基本误差试验时, 发现实际输入电流和电能表测量值相差很大初步判断电能表电流采样电路存在问题。

打开表盖后检查电路板中电流采样回路中的电阻, 有人为改动痕迹, 其中现场故障的电能表中 R61 为 68k Ω , R62 为 100k Ω , R63 为 100k Ω , R67 为 100k Ω , R68 为 100k Ω , R70 为 68k Ω , 而该款相同规格的电能表设计值 R61 为 1.2k Ω , R62 为 1.2k Ω , R63 为 1.2k Ω , R67 为 1.2k Ω , R68 为 1.2k Ω , R70 为 1.2k Ω , 正常电能表采样电路的等效电路图如图 1 所示。

利用电路仿真软件仿真进行仿真分析, 为了确

保仿真模型的准确性,首先对 AD 采样通道直流阻抗进行了实测,为 $124\text{k}\Omega$ 。然后在 PSPICE 软件中搭建电流采样电路模型,并分析测量误差。

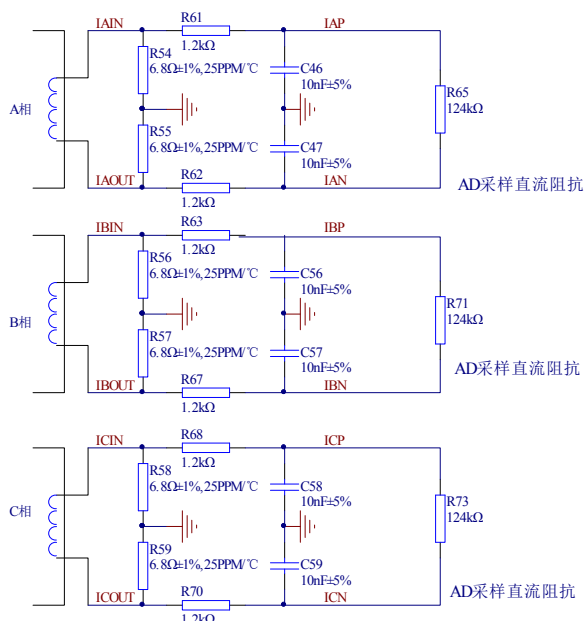


图1 电流采样正常设计电路

根据图1中的电流采样电路模型,改变抗混叠电阻阻值大小为更换电阻后的阻值大小。仿真分析得到 A、B、C 各相 AD 实际采样得到的电流信号波形和输入电流信号,如图2、如图3、如图4所示。

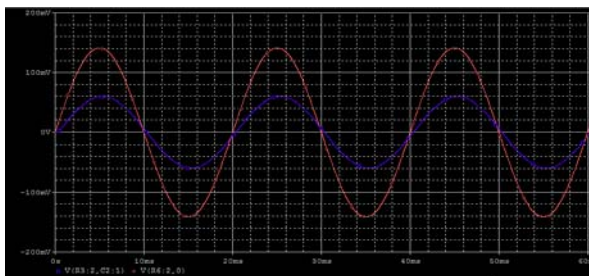


图2 A相输入信号(红色)和AD采样得到信号(蓝色)

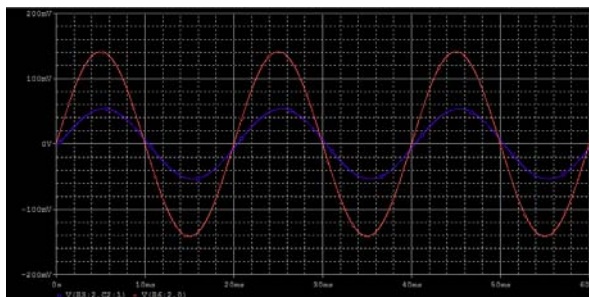


图3 B相输入信号(红色)和AD采样得到信号(蓝色)

由图2、图3、图4中可知,仿真分析的输入峰值为 141mV , A、B、C 各相的 AD 实际采样峰值却分别为 59.6mV 、 53.6mV 、 59.6mV ,电流测量误差即分别为 -57.7% 、 -62.0% 、 -57.7% ,窃电量将近

为 60% 。

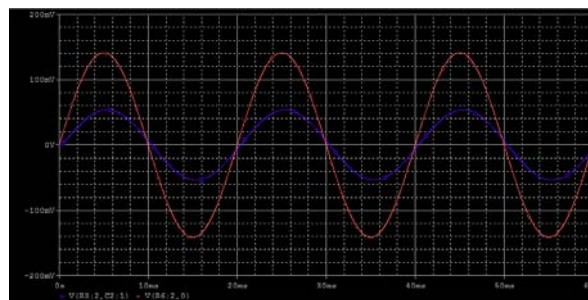


图4 C相输入信号(红色)和AD采样得到信号(蓝色)

2.1.2 分流窃电

某供电公司发现现场运行三相电能表存在电流少计、误差严重超差的情况,有疑似窃电现象。对故障电能表进行误差检测,同时按显表内各相电流,发现故障电能表少计电流,具体如表1所示:

表1 故障表显示电流及相对误差

表号	实际电流(A)	表内显示电流/A			相对误差/%
		A相	B相	C相	
1500553095	5	0.462	0.438	0.673	-89.3
	30	2.858	2.674	4.106	-89.3
	60	5.854	5.418	8.260	-89.1

由上表可以看出电流采样环节存在异常导致电流采样值失准,进一步检查后发现,故障电能表内部电流进线与出线之间被加装了铜片,将如图5所示。由于三相电能表电流采样回路主要由电流互感器与PCB板上的采样电阻构成。由于二次回路电流较小,不直接测量电流互感器二次电流,而是测量PCB板上二次回路上的压降。故障电能表接入 30A 电流时电流互感器二次电流理论值为 12mA ,接入点两端电阻的理论值约为 6Ω ,因此二次回路上的压降将约为 72mV 。实际测量时故障表二次压降明显小于 72mV ,说明该故障表电流采样回路存在异常情况。由于铜片安装在电流互感器穿孔之前,所以,实际电流绝大部分被铜片分流,而不经电流互感器采样,直接导致电流少计。



图5 电流进出线之间被加装铜片(三相均有)

2.1.3 移相法窃电

移相法窃电移相法窃电的原理是对电表电压和电流正常接线进行改动,除此之外,或电容或者是电感引入其中,使电能表出现反转或慢走现象。如三相三线电能表,在电能表 I_a 与 U_{ab} 的相角差大于 90° 时,电能表反转,当两者之间夹角小于 90° 时,电能表慢走。因此,不仅要检测好三相电压的相序,同时还要检测某两个相序之间的夹角,不能满足其中之一的时候,就说明有窃电行为存在;一旦出现三相电流不存在固定相位,或是相角关系的时候说明有窃电行为存在。

2.2 功能或性能类故障-时钟等其他功能

此类故障是指智能电能表时钟功能、控制功能等方面出现异常,并不直接影响到电能结算,但由于这些故障不可避免的带来电能表时钟紊乱或是通讯异常,导致电能表时钟或通讯功能异常,从而间接影响电能表数据冻结和对电能表结算等数据的抄读。

2.2.1 时钟故障

在远程抄表、分时计费的情况下,电能表需要保证时钟的准确性;电能表时钟的漂移造成时间不准,容易导致时段发生错误而引起的计量纠纷;时钟故障是指由于电能表质量问题导致电能表计时的准确性受到影响;电能表时钟异常主要表现在日计时误差超差,时钟电池欠压、时钟显示异常等。

现场发现部分电能表存在时钟跳变的情况,对于最近一次透抄时电表时钟偏差在 30 分钟以上,而上一轮的时钟偏差在 15 分钟之内的电能表认为是时钟跳变的电能表。

上电的情况下观察电能表是否报 Err-04 故障,若不存在则导致出现时钟跳变的原因可能为时钟电池发生钝化。

时钟钝化会导致锂电池长时间不工作时,锂金属表面会形成保护膜,减少自放电,延长电池使用寿命(此时电池外部电压仍为 3.6V)。存储温度越高,钝化越严重,当需要大电流工作时(如电能表停电状态需要时钟电池供电),引起瞬间电压跌落也越大,即电池输出电压会有所降低,使得时钟芯片或者 CPU 供电电压瞬间降低,导致时钟芯片不能正常工作,由于时钟芯片 8025T 内部有两个工作电压要求--时钟保持电压和正常工作电压。要保证时钟准确运行,供电电压在正常工作电压下限以上,如果电压低于正常工作电压下限,高于时钟保持电压

下限时,8025T 芯片 RAM 中存储的时钟数据不会丢失,但会由于晶体振荡器的输出频率降低会导致时钟变慢;如果电压低于时钟保持电压,8025T 芯片 RAM 中存储的时钟数据就会丢失,CPU 在读 8025T 芯片的时钟数据时,就会出现随机数,可能快于当前时间,也可能慢于当前时间,从而引发了时钟跳变、时间或日期出现异常码等情况。

2.2.2 通讯故障

通信单元故障是指 RS485 接口、红外接口、无线模块等通信单元异常导致的电能表通信不成功。电能表的波特率设置不成功、现场环境的干扰等,均会导致电能表的通讯受到干扰,其中 RS485 受到环境的影响较大。

现场的智能电能表 RS485 线在脉冲群干扰下,出现通信失败的情况。智能电能表在外界干扰下电能表软件处理不当或者 RS485 电路某些器件失效,有可能导致整个网络瘫痪,比如,在现场,线路通讯相当繁忙,这本身就相当于是一种通讯压力测试。表计在设计过程中因为考虑不够周密,在长时间,高强度通讯中可能会出现一直占据总线的情况,即该块电能表一直处在发送状态,引起整条总线失效。在表计设计中,一般在 AB 线之间会串接稳压管等保护器件,该保护器件失效,都可能导致总线锁死。在电能表实际运行过程中,电磁干扰,雷击等因素是有可能损坏保护器件或 RS485 专门芯片的,总线在设计时候对抗干扰能力考虑不足时候,在现场波形畸变,线路高频脉冲等干扰情况下,可能会出现通信不正常的情况。因此,当出现在传输有信号反射,导致通信不稳定的情况下,或者长度超过 300m 时,要加以考虑接终端电阻消除由于传输线即双绞线特性阻抗不连续而带来的反射信号。

2.3 电能表质量故障

电能表质量方面的故障主要是指电能表经常会出现因质量问题导致的故障,这些故障可能由于元器件质量或者生产工艺不过关导致在对电能表进行检定或检测时会出现某些试验项目不合格,电能表故障。

2.3.1 元器件故障

电能表的关键元器件有 17 种之多,包含变压器、计量芯片、单片机、晶振、485 芯片、电阻、电容等等。如果元器件质量不满足要求,那么往往在检测过程中就会发现某些试验项目不合格。

某次的批量检定过程中发现部分电能表存在通

讯不成功的情况，对通讯不成功的电能表进行抄读表地址试验，发现利用检定台体（通讯线无源）抄读电能表无返回数据；而利用串口调试助手（有电源驱动）单独对电能表进行表地址抄读，发现电能表有数据返回，因此初步判断故障原因是由于电能表 RS485 驱动能力不足导致的。

电能表 485 端口连接抄读装置后，测量故障电能表 485 端口电位差，发现故障电能表与该批次正常的电能表相比电位差较低，RS485 驱动不足。具体情况如表 2 所示。

表 2 正常电能表和故障电能表 RS485 端口电位差比较

表号	表计状态	上电未通讯状态	通讯状态
		RS485 电位差	RS485 电位差
1533061109	正常	2.7V	3.8V
1533149331	正常	2.9V	3.8V
1533153967	表地址读不出	1.9 V	2.6 V
1533148786	表地址读不出	0.4 V	0.9 V
1533149278	表地址读不出	0.03 V	0.1 V
1533145872	表地址读不出	1.3 V	1.7 V
1533150382	表地址读不出	2.0 V	2.8 V

分析原因为故障电能表 485 通讯芯片输出 A/B 端出现内部击穿的现象，导致耐压试验后容易被击穿。

2.3.2 工艺控制

工艺控制方面的问题一般是指在生产过程中由于某一道或多道工序控制不够严格导致电能表在使用过程中出现故障。工艺控制方面的故障一般为批量发生而非零散的个案。

全检过程中发现部分电能表出现电池欠压、黑屏、表地址设置错误和表地址无法抄读的故障现象。

电池欠压的 5 只，开盖测量电池电压及静态功耗（更换新电池模拟屏幕熄灭的情况测量电池电流）的情况如表 2 所示，5 只电表电池电量均被耗尽。测量过程中其中 2 只的静态功耗 370 μ A，另 3 只的静态功耗为正常水平。按照技术标准要求的停电状态下 5 年保持时钟正常来计算，静态功耗必须在 26 μ A 以下，出现静态功耗偏大的原因初步分析为电池供电回路故障（元器件质量或者 PCB 板存在焊渣引起电池静态功耗偏大）

检定过程中发现有部分电能表存在基本误差超差的现象，究其原因，主要是计量芯片得到的电流采样值有偏移造成的。

目前国内主流单相电能表的电流采样主要是利用锰铜片采样，这种锰铜片有一定的阻值，有电流流过是会产生相应的电压，此电压值传递给计量芯

片从而达到采样的目的。一旦锰铜片的阻值发生了变化，电流信号采样值就会随之发生变化，采样结果也就不同。

上述就是一起因工艺控制不到位引起锰铜阻值发生变化而导致的误差超差的例子。标准的锰铜采样电阻是两条电阻采样线之间锰铜片代表的阻值，如图 6 所示。生产过程中工艺控制不严格，就会导致焊接电流采样线时采样线铜鼻子两端均和锰铜片接触，导致锰铜片阻值发生变化，如图 6 所示。

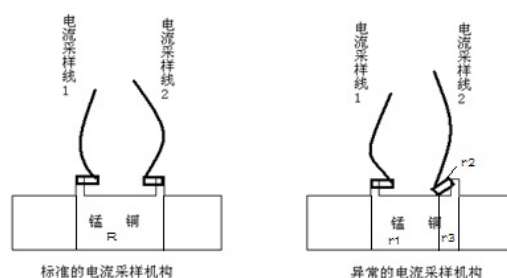


图 6 锰铜采样回路

电流采样线搭在了锰铜片上，相当于并联了一个电阻，导致锰铜片实际阻值小于理论值，电能表在一个小于理论采样电阻阻值的情况下调校完成后，在振动情况下又使上述的状态发生改变，（例如采样线由图 6 所示两处接触变为其中一处断开），使电流采样值发生变化，再次检定时误差超差。设两根电流采样线之间的锰铜片阻值为 R （如图 6），异常锰铜片如图 6 所示。正常情况下采样电阻值（理论值）为 $R = r_1 + r_3$ ，当锰铜片发生异常，采样线部分与锰铜片并联，采样电阻值为：

$$R' = r_1 + \frac{1}{\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}} = r_1 + \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3}$$

由于 $r_3 > r_2$ ，则 $\frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3} < \frac{r_2 \cdot r_3}{2r_2} < r_3$ ，因此

$$R' < R。$$

电能表在出厂前由于工艺控制不到位导致在采样线一部分和锰铜片发生并联的情况下进行调校，出厂运输等振动环境下并联点分开，导致采样电阻值变大，从而出现前文提到的检定过程中误差超差的情况，并且此类超差一般为正超差。

3 结论

本文通过列举了现场和检定过程中常见的几种故障现象,并对其故障原因进行分析,有助于对现场可能发生窃电行为的故障电能表进行分析,找出故障原因,从而找到解决此类故障的方法;在智能电能表检测和检定环节,可以对几种常见的电能表故障进行快速判断并准确定位发现问题的环节,从源头减少故障电能表出现的几率,从而保证智能电能表供货质量,提高智能电能表可靠性和稳定性。

参考文献:

[1] 陈彬等. 智能电能表在高科技环境下防窃电应用[J]. 通

讯世界, 2015.

[2] 刘崇伟等. 智能电能表防窃电技术研究[J]. 电气应用, 2014(33): 82-85.

[3] 李景树. 防窃电技术措施[J]. 农村电工, 2000(8):20-21.

[4] 徐晴,纪峰,黄奇峰,黄小刚. 变压器漏磁对锰铜采样电能表计量误差影响的研究[J]. 电测与仪表, 2012(8): 66-70.

作者简介

杨冉冉(1988—),女,江苏南京人,从事电能计量检测工作, E-mail: 467197967@qq.com。