

空载热备用输电线路电能计量分析

熊晓岚¹, 李琦²

(1 自贡电业局客户服务中心, 四川 自贡 643000; 2 自贡电业局大安供电局, 四川 大安 643010)

摘要:在中性点直接接地系统中的空载热备用线路, 对其计量电表进行分析, 由于输电线路相对地、相相之间存在分布电容, 会形成容性充电电流, 通过 TA、TV 及 TV 二次回路传递到电能表进行计量时相位发生了偏移, 造成有功电能反计。

关键词:电容电流; 电能表; 互感器; 相位

Abstract: The measuring kilowatt-hour meter of no-loaded standby heat lines in neutral point directly earthed system is analyzed. Because of distributed capacitance between phase to ground and phase to phase of transmission line, the capacitive charging current would come into being and its phase will deviate when it is measured in kilowatt-hour meter through current transformer, potential transformer and secondary circuit of potential transformer, which causes that the active power is measured incorrectly.

Key words: capacitance current; kilowatt-hour meter; transformer; phase

中图分类号: TM933 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0027-03

近年来随着电子式多功能电表的普遍推广使用, 大大地提高了电力企业贸易结算计量表的准确度。电子式多功能电表相比传统的电磁感应式机械表, 除了在准确等级上差别较大外, 它还具有一表多用的特点, 能精确地计量正、反向有功、四象限无功、最大需量等数值。但在实际电能计量工作中, 多次在现场工作中发现当 35 kV 及以上线路空载热备用运行时, 该线路安装的多功能电子式电能表存在着计量反向有功电量的现象, 由于该部分电量存在, 特别对于专线客户计量点出现的有功反向电量, 供用双方对此电量的争议也较大。现结合具体案例, 分析原因。

1 现场案例

某电业局 A 变电站 35 kV 321 开关出线是该局供 B 厂的 35 kV 专用供电线路, 线路全长 18.27 km。B 厂作为该电业局的售电大户, 每月电量在 10 000 MW·h 左右, 供电方式采用 35 kV 双回路供电。该专线做为其备用电源, 线路长期处于热备用运行状态。该计量点安装的是红相公司 MK6 型三相四线电子式电能表, 计量人员在现场校表时发现, 当 A 变电站侧 321 开关合闸运行、B 厂降压站侧开关处于断开时, 该计量点电能表计量着反向的有功电量。上述线

路已累计的有功电量达数万 kWh, B 厂就此部分电量提出异议, 要求供电方按反向有功电量退还其电量电费。经供电方向客户做出解释后, 客户表示认可, 并表示不再要求退还其电量电费。

2 反向电能量产生的原因

由电能表的原理可知, 有功电能表反计电能的可能性有以下几种情况。

① 电能潮流方向发生改变。

② 电能表的接线有误。

③ 大型电动机超速运行变为发电机。

④ 在三相三线装置中, 当功率因素低于 0.5, 且 A 相电流远大于 C 相电流时会出现反计有功电能。

首先经过技术人员的认真检查, 确认电能表接线正确无误, 且客户方也不存在大型电动机超速运行变为发电机的情况, 另外由于是三相四线计量回路, 也不存在出现④点中提的情况。那么出现有功电能反计的原因则确认为电能潮流方向的改变。

为搞清情况, 技术人员利用电能表现场校验仪对现场实际电流、电压、有功功率、无功功率、相角等进行测量(现场相量图如图 1 所示), 测量结果显示该电能表三相电流均为 100 mA 左右, $\cos\varphi = -0.015$,

即 $\varphi = -91^\circ$, $P = 3UI\cos\varphi$, $Q = 3U\sin\varphi$, 容性负载, 无功功率远大于有功功率, 电表实际运行的相电流超前该相相电压大于 90° (其值约为 91° 左右)。从理论中可知即使是一个纯容元件在理想情况下, 流过该元件中的电流也只可能超前电压 90° 。而这出现的大于 90° 的角度从何而来的呢?

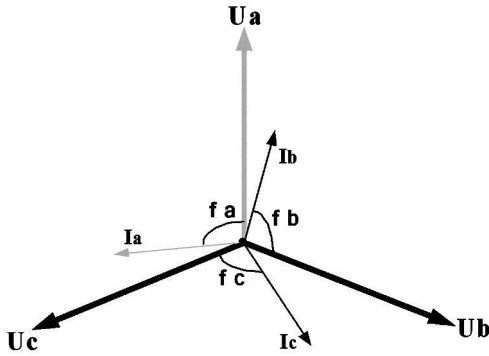


图 1 B 厂计量电能表现场相量图

技术人员对线路电流进行了分析。因该线路是空载热备用运行, 所以其产生的电流应为电力架空线路对地及架空线路间、相与相之间的电容电流, 其电流方向应为线路侧对地 (见图 2), 又因为相地之间的电容比相与相间的电容要大得多, 若忽略相与相间的电容电流的影响, 只考虑线路对地电容电流, 可得出其值可按下式进行估算。

$$I_C = (2.7 \sim 3.3)UL \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中, U 为线路的额定电压 (kV); L 为线路长度 (km)。由于该专线有架空地线所以系数取 3.3 可算出单相对地电容电流 $I_c = 3.3 \times 35 \times 18.27 \times 10^{-3} = 21.1 \text{ A}$, 该线路 TA 变比为 1000/5 A, 折算到二次约为 105 mA, 与现场校验仪所测值基本一致。

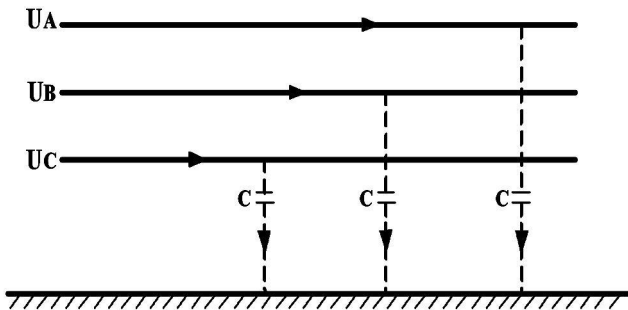


图 2 电流方向

初步判断, 由于空载热备用线路在电压作用下存在容性充电电流是客观存在的, 其值大小与电压等级及线路长度成正比, 在理论上即使是纯容性电流也只会引起无功计量, 有功电能应为零, 且由于纯容性元件并不存在, 所以此时其有功电量应为微小的正

值。但由于电能计量用电压、电流分别取自母线电压和线路电流, 电网的一次电压、电流通过电压互感器、电流互感器感应到二次侧, 再通过二次回路到电能表进行计量, 由于受电压互感器、电流互感器、电能表本身原因及二次回路压降的影响在传递电流、电压过程中可能会产生相位误差, 出现大于 90° 的角度, 造成有功电能计量在反向侧。

检定人员在实验室里对电能表进行试验, 并模拟现场电流负载情况 (通常只有几十毫安, 电流大小与该线路长短成正比), 对现阶段四川电网普遍采用的电子式电能表 (试验室做试验用表为红相公司生产的 K3 和 K6 型号的电能表) 的情况进行试验, 结果证实了红相表在相角上的测量误差很小, 即使在功率因数很低的时候其相角误差也基本为零。

3 原因确定

电能表的原因被否定了, 最后问题被锁定到了电流互感器和电压互感器身上, 互感器角差大小主要受 TA、TV 本身及 TV 二次回路的影响。

由于激磁电流和绕组阻抗的存在, 电流互感器二次电流与一次电流间也会产生相位偏移, 空载时其角差的大小和正负由空载电流的大小和性质决定, 当一次电流较小时, 由于此时空载电流所占比例较大, 电流互感器的角差将向正方向增大 (电流互感器二次电流相量反向后超前一次电流相量相位时角差为正, 滞后时为负), 查阅互感器有关技术资料, 可以看出 TA 相位差随电流变化的曲线十分陡峭, 当一次电流很小时, 二次电流超前一次电流的相位差可能大于 2° 。

由于激磁电流和绕组阻抗的存在, 电压互感器二次电压与一次电压间会产生相位偏移, 其相角差的大小与正负受电压变化、二次负载及功率因数的影响 (电压互感器二次电压反向后超前一次电压时相位时角差为正, 滞后一次电压时相位时角差为负)。因电压互感器工作电压取自母线电压, 角差受电压变化影响不大。由于该计量装置安装于变电站侧, 其 TV 二次出线端与电能表间连有较长导线, TV 二次负载电流流过导线时会产生电压降, 造成电能表端电压与 TV 二次出口电压产生相位偏移, 其值大小与二次回路负载的功率因数和接线方式有关。对于电能表而言, 这因部分引起的误差有时要比 TV 本身的误差大得多。

将以上理论结合现场情况,可以看出,因线路空载时一次电流很小,将会使计量用互感器相角误差朝正方向发展,且值较大,这是造成电表反计的主要原因。TV 二次回路过长,会使其二次压降增大,二次压降引起的二次电压相角误差也会引起计量表端电压相位的偏差,以上 2 点原因的合成相角误差,最终造成了电表端电流超前电压超过 90°,导致有功电能表将电量计于反向。

综合以上分析,计算反向有功功率。由于 TA、TV 及 TV 二次回路压降对电能表电流、电压相位的影响,使该线路一次侧有功功率与表计所计二次功率不一致。结合图 1 及公式 1 对该线路在热备用时三相四线多功能电能表有功功率表达式进行推导:

$$P = I_a U_a \cos \varphi_a + I_b U_b \cos \varphi_b + I_c U_c \cos \varphi_c \quad (2)$$

由于此时电流超前电压 91°, $I_a = I_b = I_c = 100 \text{ mA}$, $U_a = U_b = U_c = 100 \text{ V}$

所以其有功功率 $P = -0.017 \times 100 \times 100 \text{ mA} = -0.17 \text{ kW}$ 。

4 结论与建议

4.1 结论

输电线路空载热备用运行时,由于线路对地及相间分布电容引起的容性充电电流是客观存在的,电容电流的大小与线路长度成正比,又因电流互感器、电压互感器及电压互感器二次回路对电能表电流、电压相位的影响,会造成合闸侧电能表有功计量,计量的正向或反向与相位差相关。

当线路带负载运行时,由于线路两端均合闸,与负荷电流相比,电容电流占的比例很小,并同时向两端流入,通过电流互感器感应到二次侧,分别记入两端的电能表中。空载热备用状态下,线路只有容性充电电流,流入合闸一侧,有功电能表计量,引起了计量争议。

针对于不存在的 35 kV 及以上专线供电用户,电

能表反向的有功电量会使部分客户误解,部分客户会以此为依据要求供电企业退还该部分电量电费(若按举例的这条专线计算,按现行的平水期、平段大工业电价计算,这部分电量电费将达数万元)。但产生该部分损耗电量的原因是因为客户方需要保证双电源供电的要求所造成的,所以这部分“反向”电量供电企业无义务来承担。

4.2 建议解决的办法

要减小有功电能计量必须减小合成相位差,通过配置 0.2S 级电流互感器减小小电流情况下相位误差值,同时减小 TV 二次回路负载,提高二次负载功率因数也能减小相位差。

对于 35 kV 及以上的专线用户(不含上网用户),建议采取技术手段,屏蔽多功能电表反向有功电量记录,避免误抄后带来的争议。

对于 35 kV 及以上线路中的关口表及有并网电厂的专线客户,建议电力调度部门及线路两侧供用电双方变电站运行人员,记录好线路空载热备用运行时的起止电量、功率因数、时间等相关数据,并在电量结算时将这部分电量剔除。

参考文献

- [1] 赵修民. 测量用互感器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [2] 钟新华. 配电网电容电流估算公式的修正 [J]. 供用电, 2004, (1): 32-34.
- [3] 伍叶凯, 邹车霞. 电容电流对差动保护的影响及补偿方案 [J]. 继电器, 1997, 25(4): 4-8.
- [4] 能源部电力司组编. 电能计量录象教材配套讲义 [Z]. 1990.

作者简介:

李琦(1981-)男, 自贡电业局大安供电局营销科, 助理工程师, 用电检查管理专责。

熊晓岚(1981-)女, 自贡电业局客户服务中心, 助理工程师, 大客户经理。

(收稿日期: 2010-05-13)

(上接第 14 页)

- [3] 周伟涛, 刘会金, 等. 10 kV 配电网基波无功负序综合补偿装置的研制 [J]. 电力建设, 2003, 24(3): 52-55.
- [4] 彭辉, 黄亦农. 配电网中三相不平衡负荷补偿 [J]. 电力自动化设备, 2002, 22(1): 32-34.
- [5] Fan Ruixiang, Zhou Lawu, Xiao Hongxia. The Reactive Power and Negative Sequence Compensation Algorithm of

SVC Based on Instantaneous Value [J]. High Voltage Apparatus, 2004, 40(4): 247-252.

作者简介:

林峰, 男, 浙江缙云人, 工程师, 主要从事电网调度自动化工作及无功补偿研究。

(收稿日期: 2009-11-09)