

正确接线情况下三相三线电能表 负电流现象原因分析

宋钰钰, 王点睛, 李生建, 覃明吉, 沈学峰, 刘义华, 唐科
(国网成都供电公司, 四川成都 610041)

摘要: 针对用电采集系统中正确接线的三相三线电能表负电流现象展开分析, 利用计量原理和相量图从功率因数的角度做出了规律总结, 并结合负荷性质和现场工作情况验证了该一般性结论。

关键词: 三相三线电能表; 负电流; 功率因数

中图分类号: TM933 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)03-0072-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.017

Cause Analysis on Negative Current of Three - phase Three - wire Electric Energy Meter under Correct Wiring

Song Yuyu, Wang Dianjing, Li Shengjian, Qin Mingji, Shen Xuefeng, Liu Yihua, Tang Ke
(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610300, Sichuan, China)

Abstract: Aiming at the negative current phenomenon of three - phase three - wire electric energy meter correctly connected in electricity information acquisition system, the measurement principle and the phasor diagram are used to summarize the laws from the perspective of power factor, and the general conclusion is verified by the nature of the load and the field work.

Key words: three - phase three - wire electric energy meter; negative current; power factor

0 引言

电能计量是电力生产、营销以及电网安全运行的重要环节。电能计量的准确与否将影响电能贸易结算的公平、公正, 关系到电力企业、广大电力客户和老百姓的经济利益。电力用户用电信息采集系统是对日常计量采集运维工作进行异常监测、消缺反馈的重要途径。

异常计量模块电流失流数据中常会出现电能表负电流现象, 在排除了装表人员接线错误或电能表故障的情况, 也就是说现场接线正确、表计准确计量的时候, 电能表负电流现象一般由负荷性质导致。

下面将通过“两表法”计量基本原理和相量图, 从功率因数的角度分析出正确接线情况下三相三线电能表出现负电流的原因。

1 两表法计量基本原理及接线相量图

图1是三相三线电能表接线示意图, 电能表内

部由两只单相功率电能表组成, 分别称作第一元件、第二元件。第一元件的流入电流为 I_a , 两端的电压为 U_{ab} ; 第二元件的流入电流为 I_c , 两端的电压为 U_{cb} , 则两功率元件的功率表达式为

$$P_I = U_{ab} I_a \cos < \dot{U}_{ab}, \dot{I}_a > \quad (1)$$

$$P_{II} = U_{cb} I_c \cos < \dot{U}_{cb}, \dot{I}_c > \quad (2)$$

另一方面, 三相三线电能表的功率表达式为

$$P = \dot{U}_a \dot{I}_a + \dot{U}_b \dot{I}_b + \dot{U}_c \dot{I}_c = \dot{U}_a \dot{I}_a + \dot{U}_b (-\dot{I}_a - \dot{I}_c) + \dot{U}_c \dot{I}_c$$
$$= U_{ab} I_a \cos < \dot{U}_{ab}, \dot{I}_a > + U_{cb} I_c \cos < \dot{U}_{cb}, \dot{I}_c >$$
$$= P_I + P_{II} \quad (3)$$

这就是两表法计量的基本原理, 可以看到第一元件与第二元件的功率正负取决于线电压和对应相电流之间夹角的余弦值。需要注意的是, 单一元件的功率正负仅仅是数学表达, 并不具备物理意义。两元件的功率之和才能反映三相三线电能表的总功率。

图2是与图1对应的接线向量图, φ_a 、 φ_c 为A、C相的功率因数角, 即对应相电流滞后相电压的角度。考虑到一般专变客户负荷为阻感性, $\cos\varphi_a$ 、

$\cos\varphi_c$ 的值约为 0.8~0.9。此时式(3)可以简化为

$$P = U_{ab}I_a \cos(30^\circ + \varphi_a) + U_{cb}I_c \cos(30^\circ - \varphi_c) \quad (4)$$

式中: $(30^\circ + \varphi_a)$ 为第一元件的功率夹角; $(30^\circ - \varphi_c)$ 为第二元件的功率夹角。

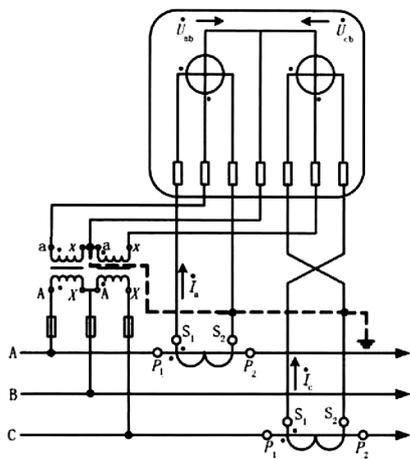


图1 三相三线电能表接线

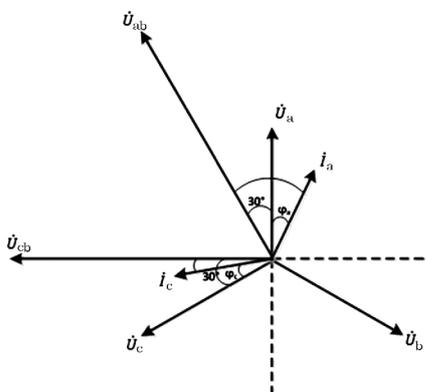


图2 典型三相三线电能表电压-电流向量

2 负电流现象及原因解释

根据 DL/T 645 - 2007《多功能电能表通信协议》标准的三相三线制智能电表在正确接线情况下会由于负载的性质产生负电流。三相智能电表显示的某相电流的正负取决于该相电流与对应电压的功率夹角,也就是说负电流是电能表功率元件反映负功率的直接表现。当 $(30^\circ + \varphi_a)$ 或 $(30^\circ - \varphi_c)$ 大于 90° 时,该相功率即为负功率,在电能表上显示的为负电流。考虑到符合现实中的一般情况以及用户无功补偿装置投切过程中的极端情况,认为负荷为阻感性(含纯电感)或阻容性负载(含纯电容)。

2.1 A相负电流

图3为A相负电流的向量图。如图所示,当A

相功率因数较低的时候, $\varphi_a \in (60^\circ, 90^\circ)$, 第一元件的功率夹角 $(\varphi_a + 30^\circ) \in (90^\circ, 120^\circ)$, 此时A相为负功率,电能表显示A相电流为负。

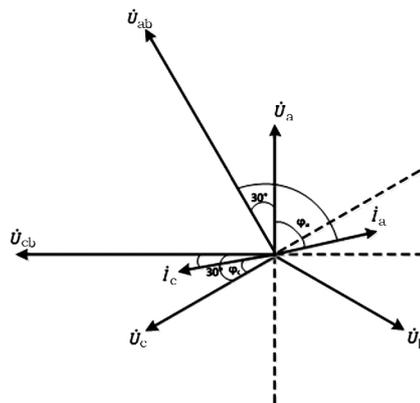


图3 A相负电流向量

2.2 C相负电流

图4为C相负电流的向量图,如图所示,当C相过补偿、负荷为容性且电流相位超前电压时,第二元件的功率夹角 $(30^\circ - \varphi_c) \in (90^\circ, 120^\circ)$, 此时C相为负功率,电能表显示C相电流为负。

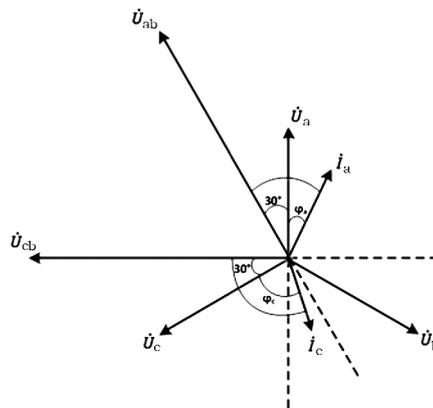


图4 C相负电流向量

在工作现场,专变客户普遍在总配电柜处对设备采取集中式无功补偿方案,以满足功率因数达到国家规定的标准值,故在正确接线的情况下,A、C相电流不会同时出现负值。当A相出现负电流时,一般是由于负荷功率因数偏低,且客户未投入无功补偿导致;C相出现负电流一般是由于过补偿导致。关于这两种情况的研判,还可通过电费发票中的力调电费项加之辅助判断。

3 实例验证

实例1:某食品加工企业变压器容量为400 kVA,

采用高供高计计量方式、三相三线电能表计量，电流互感器变比为30/5，电压互感器变比为10000/100。表计A相出现负电流，通过用电信息采集系统召测电能表数据如表1所示，图5是一天内该表计的电流变化曲线图。

通过营销业务系统查看该户发票，发现每月力调电费均为正，判定该用户每月功率因数均未达到考核值，同时经现场勘查，该用户未装设无功补偿装置。故电能表A相出现负电流的原因是由于该用户功率因数偏低导致。

实例2：某建材制造公司变压器容量为315kVA，采用高供高计计量方式、三相三线电能表计量，电流互感器变比为20/5，电压互感器变比为10000/100。表计C相出现负电流，通过用电信息采集系统召测该电能表数据如表2所示，图6是一天内该表计的三相电流变化曲线图。

通过营销业务系统查看该户发票，发现每月力调电费均为负，判定该用户每月功率因数超过考核值，予以奖励。同时经现场调查了解，该用户凌晨仅有部分生产保安负荷，变压器几乎空载运行，且该用户集中式无功补偿装置自动投切装置故障，只能转换至手动投切。该用户全天候投入无功补偿装置，故判断电能表C相出现负电流的原因是轻负荷下电容过补偿导致的电流负值。

4 结 语

三相三线电能表在正常接线的情况下，表计显示或者用电采集系统会出现负电流。具体来说，A相电流为负是因为功率因数过低、无功补偿不足导致，C相电流为负是因为无功补偿装置过补偿造成的。对于此类现象，采集运维人员要利用用电信息

表1 实例1用电信息采集系统随机采集数据 - A相负电流

数据日期	电压/V			电流/A			有功功率/kW			功率因数				
	A相	B相	C相	A相	B相	C相	总	A相	B相	C相	总	A相	B相	C相
2019-01-08 00:00:00	102.7	0	102.8	0.129	0	0.163	0.0108	-0.0021	0	0.0134	0.458	-0.127	0	0.874

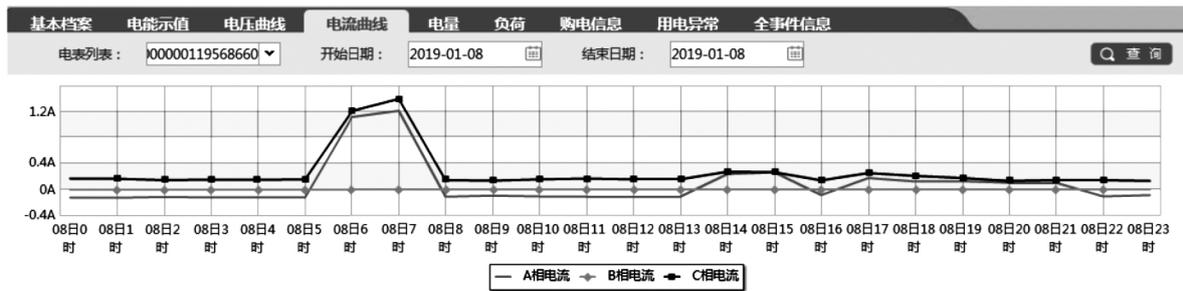


图5 实例1电流曲线变化图 - A相负电流

表2 实例2用电信息采集系统随机采集数据 - C相负电流

数据日期	电压/V			电流/A			有功功率/kW			功率因数				
	A相	B相	C相	A相	B相	C相	总	A相	B相	C相	总	A相	B相	C相
2018-12-20 00:00:00	102.8	0	102.5	0.048	0	0.053	0.0027	0.0046	0	-0.0021	0.567	0.968	0	-0.073

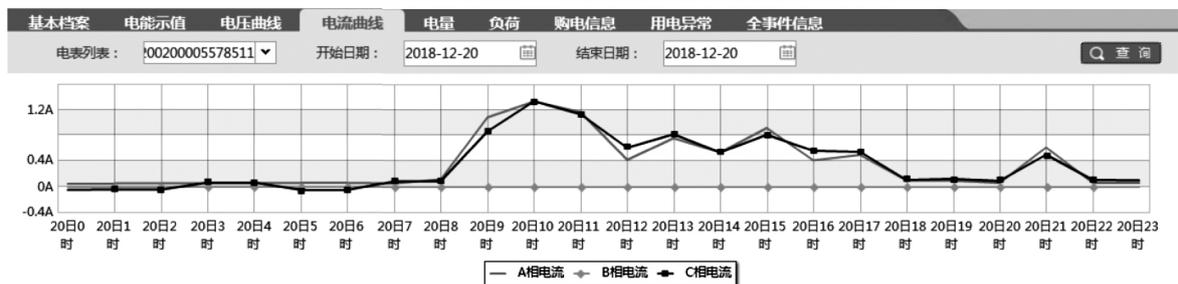


图6 实例2电流曲线变化图 - C相负电流

(下转第84页)

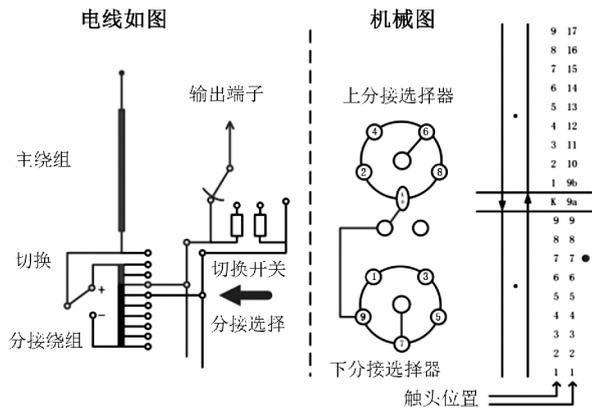


图6 选择切换过程

能切换,故选择开关带电流拉开导致拉弧放电。

5 结语

有载分接开关内部机械零件及电动机构电气元件繁多,连接复杂。尽管产品在设计 and 制造时,对容易松动和故障的零部件采取了可靠的防振动、防松动及防脱落措施,如采用一次性防松动螺栓螺母。但在投入现场运行后,由于有载切换开关频繁动作,长时间运行的积累效应必将会导致螺栓螺母松动。这就需要检修人员定期对螺丝进行检查。

但由于对有载开关的内部检查需要吊罩,且需要主变压器停电配合,因此通常只有在主变压器进行大修时才可对有关切换开关进行检查。这给定期检查内部螺栓是否松动带来了困难,可以通过在线检测技术的应用加以解决。另外,为保证有载开关在频繁调档时的可靠性,必须严格把控有载开关质量,并积极开展检修工作。

当变压器有载分接开关动作次数、运行时间临近厂家规定值时,应提前制定检修方案和计划对有关分接开关进行吊检大修。检查检修过程中,应重

(上接第74页)

采集系统提供的数据认真分析,画出向量图并结合现场实际判断准确原因。

参考文献

[1] 唐毅. 三相三线误接线对计量的影响[J]. 四川电力技术, 2008, 31(21): 18-19.

[2] 邱炳正. 交流电度表错误接线百例解析[M]. 北京: 中

点检验螺栓、螺母和线夹紧固情况。触头是易磨损的部件,应做好触头磨损记录,随时关注磨损程度,磨损严重的应及时更换。

参考文献

[1] Wang C, Lu L, Ma H, et al. Diagnosis for Loose Switching Contact Fault of On-load Tap-changer in Transformer[C]// China International Conference on Electricity Distribution IEEC 2010:1-6.

[2] Erbrink J, Gulski E, Smit J, et al. Experimental Model for Diagnosing On-load Tap Changer Contact Aging with Dynamic Resistance Measurements[C]// The International Conference and Exhibition on Electricity Distribution IET, 2009:1-17.

[3] 杜瑞红. 变压器有载分接开关特性测试系统的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2007.

[4] 李建明, 梁作德, 李琪. 一起由开关故障引起的变压器短路事故的分析计算[J]. 变压器, 2016, 53(12): 72-75.

[5] 黄志明. 110 kV 变压器有载开关吊检研究[J]. 军民两用技术与产品, 2016(8): 140.

[6] 杨义军. 主变压器有载分接开关故障原因分析及处理[J]. 变压器, 2012, 49(9): 73-74.

[7] 赵敏, 刘立, 别长报, 等. 一起 110 kV 变压器有载分接开关放电故障分析与处理[J]. 变压器, 2014, 51(8): 64-66.

[8] 国家电网公司. 输变电设备状态检修试验规程: Q/GDW 168-2008[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[9] 杨军亭, 彭鹏, 温定筠, 等. 一起变压器有载分接开关事故分析[J]. 变压器, 2016, 53(2): 64-66.

[10] Caccese V, Mewer R, Vel S S. Detection of Bolt Load Loss in Hybrid Composite/Metal Bolted Connections[J]. Engineering Structures, 2004, 26(7): 895-906.

作者简介:

黄鑫(1986), 工程硕士, 工程师, 主要从事变压器检修管理工作。(收稿日期: 2019-02-26)

国计量出版社, 1996.

[3] 张莉. 用电信息采集系统显示电能表负电流原因分析[J]. 电工技术, 2017(4): 111-112.

[4] 于海波, 刘佳, 王春雨, 等. 功率因数对电能计量的影响[J]. 电测与仪表, 2014, 59(11): 9-11.

作者简介:

宋钰钰(1992), 硕士研究生, 助理工程师, 从事装表接电工作, 研究方向为智能供用电。

(收稿日期: 2019-02-11)