

Analysis on Causes and Harm of Unbalanced Three-phase Load of Distribution Line

Jianjun Gu Xirali·Amat

State Grid Bachu County Power Supply Company, Kashgar, Xinjiang, 843800, China

Abstract

The three-phase load of the low-voltage grid may cause imbalance due to various reasons, and even the imbalance is very serious. The three-phase load imbalance causes damage to the low-voltage power grid, distribution transformer, and 6~10kV high-voltage lines. It has a great impact on the power supply enterprise's safe power supply to reduce line loss and user safety.

Keywords

low-voltage power grid; three-phase load imbalance; safe power supply; reduce line loss

配电线路三相负荷不平衡的原因及危害浅析

古建军 西尔艾力·艾买提

国网巴楚县供电公司, 中国·新疆 喀什 843800

摘要

低压电网三相负荷可能因多种原因,导致不平衡,甚至不平衡度非常严重。三相负荷不平衡对低压电网、配电变压器、6~10kV高压线路均造成危害,对供电企业安全供电降低线损、用户安全用电影响较大。

关键词

低压电网; 三相负荷不平衡; 安全供电; 降低线损

1 引言

农网改造中采取了诸如配电变压器放置在负荷中心, 增配配电变压器数量, 缩短供电半径, 加大导线直径, 增加低压线路, 用户电能表集中安装等措施, 极大地改变了农村低压电网状况, 给我们建造了一个好的电网“硬件”。但若“软件”配套不好, 尤其是三相负荷不平衡, 则不能挖掘出这个好“硬件”的内部潜力, 致使低压电网的可靠性和稳定性差, 线损率较高。

2 三相负荷不平衡的原因

低压电网三相负荷失衡有以下数种原因:

(1) 低压电网三相负荷不平衡要增加损耗, 虽然是早已提出来的了。但在农网改造前, 由于农村低压电网不在电业部门的必管范围, 设备线路状况极差, 线损很高, 收不够上缴电费就涨电价, 即线损水平虽高但降损的压力不大。农

村照明等单相负荷很小, 只占总用电负荷的5~20%左右, 故虽进行过低压整改, 多是把配电变压器移到负荷中心、改造低压线路、整改户内线路等。三相负荷不平衡由于是较次要的因素, 没有也不可能引起人们足够注意, 故实践很少, 亦不可能提出调平三相负荷的具体方法。

(2) 农网改造由于规模大、任务重、时间紧, 不可能面面俱到(如规划调平三相负荷); 加之改造资金有限, 为了降低费用, 架设了一定数量的单相两线线路, 尤其是低压分支线路中, 单相两线线路占一定比例; 还有在下户线接火施工中, 一些施工人员素质低, 没有三相负荷平衡的概念, 施工中或随意接单相负荷, 或为了不接成380V, 把单相负荷都接到中间两根线上。^[1]这在一定程度上加重了三相不平衡度。

(3) 运行管理中, 农村低压线路虽多为三相四线, 但很多没有注意到把单相负荷均衡的分配到三相上, 也不知道怎样做才能均衡, 造成某相或某两相负荷过多。更有甚者, 有些地方供电所部署对于只有单相负荷且量值较小的三相四

线线路, 停用两根相线, 只用单相两线供电, 加重了三相不平衡度。

(4) 有的各相负荷看上去比较接近, 各相电流也较相近, 但中性线电流却很大, 甚至超过最大相电流, 这是因三相负荷的性质不同所引起的。

如某三相四线供电线路, 测得相电压 $U_A=U_B=U_C=220V$, $I_A=I_B=4A$, $I_C=3.2A$, $I_N=4.2A$ 。

为了验证 I_N 的值, 测得各相负荷的相位 $|\Phi_A| = |\Phi_B| = 40^\circ$, $\Phi_C=0^\circ$, 则 Z_A 和 Z_B 中必有一相为感性, 一相为容性。设 Z_A 为感性, Z_B 为容性, 向量图如图 1 所示。

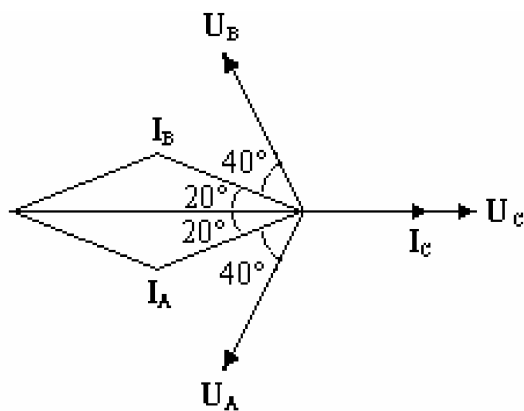


图 1 感性容性三相负荷不平衡向量图

$$|I_A + I_B| = 2\cos 20^\circ I_A = 7.5 \text{ (A)}$$

则 $I_N = |I_A + I_B + I_C| = 4.3 \text{ (A)}$, 理论计算和仪表测量结果基本吻合, 说明中性线电流大确因三相负荷的性质不同所引起。

(5) 近年来, 农村经济飞速发展, 农民生活迅速提高, 尤其是农网改造完成及“同网同价”实施后, 农村家庭除照明电器增多外, 大量的中、高档、大功率的家用电器进入寻常百姓家, 例如电饭煲、电水壶、电炒锅、电热水器、电取暖器、小水泵等, 单台容量大多数在 $800 \sim 2000kW$, 都是采用单相 ($220V$) 电源, 单相负荷激增; 而另一方面, 随着工业的发展, 农村方便食品 (如方便面、挂面) 销售量增多, 农户加工馒头、面皮、米皮出售等新生事物纷纷涌现, 农副业加工量减少, 农村单相负荷已成为电力负荷的主要方面。据了解, 现在一般农村单相负荷已占总负荷的 70% 以上, 富裕地方达到 90% 以上, 经济较差的农村也占到 $50 \sim 60\%$ 。在单相负荷用电量极大增长的情况下, 若不注意三相平衡, 可能使低压电网的三相不平衡度很大, 电网技术状况很差^[2]。

3 三相负荷不平衡的危害

3.1 对配电变压器的影响

3.1.1 三相负荷不平衡将增加变压器的损耗

变压器的损耗包括空载损耗和负荷损耗。正常情况下变压器运行电压基本不变, 即空载损耗是一个恒量。而负荷损耗则随变压器运行负荷的变化而变化, 且与负荷电流的平方成正比。当三相负荷不平衡运行时, 变压器的负荷损耗可看成三只单相变压器的负荷损耗之和。

从数学定理中我们知道: 假设 a 、 b 、 c 三个数都大于或等于零, 那么 $a+b+c \geq 3\sqrt{abc}$ 。

当 $a=b=c$ 时, 代数和 $a+b+c$ 取得最小值: $a+b+c = 3\sqrt{abc}$ 。

因此我们可以假设变压器的三相损耗分别为: $Q_a = I_a^2 R$, $Q_b = I_b^2 R$, $Q_c = I_c^2 R$, 式中 I_a 、 I_b 、 I_c 分别为变压器二次负荷相电流, R 为变压器的相电阻。则变压器的损耗表达式如下:

$$Q_a + Q_b + Q_c \geq 3\sqrt{[I_a^2 R][I_b^2 R][I_c^2 R]}$$

由此可知, 变压器的在负荷不变的情况下, 当 $I_a=I_b=I_c$ 时, 即三相负荷达到平衡时, 变压器的损耗最小。

则变压器损耗:

当变压器三相平衡运行时, 即 $I_a=I_b=I_c=I$ 时, $Q_a + Q_b + Q_c = 3I^2 R$;

当变压器运行在最大不平衡时, 即 $I_a=3I$, $I_b=I_c=0$ 时, $Q_a = (3I)^2 R = 9I^2 R = 3(3I^2 R)$;

即最大不平衡时的变损是平衡时的 3 倍。

3.1.2 三相负荷不平衡可能造成烧毁变压器的严重后果

上述不平衡时重负荷相电流过大 (增为 3 倍), 超载过多, 可能造成绕组和变压器油的过热。绕组过热, 绝缘老化加快; 变压器油过热, 引起油质劣化, 迅速降低变压器的绝缘性能, 减少变压器寿命 (温度每升高 $8^\circ C$, 使用年限将减少一半), 甚至烧毁绕组。

3.1.3 三相负荷不平衡运行会造成变压器零序电流过大, 局部金属件温升增高

在三相负荷不平衡运行下的变压器, 必然会产生零序电流, 而变压器内部零序电流的存在, 会在铁芯中产生零序磁通, 这些零序磁通就会在变压器的油箱壁或其他金属构件中构成

回路。但配电变压器设计时不考虑这些金属构件为导磁部件，则由此引起的磁滞和涡流损耗使这些部件发热，^[9]致使变压器局部金属件温度异常升高，严重时将导致变压器运行事故。

3.2 对高压线路的影响

3.2.1 增加高压线路损耗

低压侧三相负荷平衡时，6 ~ 10kV 高压侧也平衡，设高压线路每相的电流为 I，其功率损耗为：

$$\Delta P_1 = 3I^2R。$$

低压电网三相负荷不平衡将反映到高压侧，在最大不平衡时，高压对应相为 1.5I，另外两相都为 0.75I，功率损耗为：

$$\Delta P_2 = 2 (0.75I)^2 R + (1.5I)^2 R = 3.375I^2R = 1.125 (3I^2R)$$

即高压线路上电能损耗增加 12.5%。

3.2.2 增加高压线路跳闸次数、降低开关设备使用寿命

我们知道高压线路过流故障占相当比例，其原因是电流过大。低压电网三相负荷不平衡可能引起高压某相电流过大，从而引起高压线路过流跳闸停电，引发大面积停电事故，同时变电站的开关设备频繁跳闸将降低使用寿命。

3.3 对配电屏和低压线路的影响

3.3.1 三相负荷不平衡将增加线路损耗

三相四线制供电线路，把负荷平均分配到三相上，设每相的电流为 I，中性线电流为零，其功率损耗为：

$$\Delta P_1 = 3I^2R$$

在最大不平衡时，即某相为 3I，另外两相为零，中性线电流也为 3I，功率损耗为：

$$\Delta P_2 = 2 (3I)^2R = 18I^2R = 6 (3I^2R)$$

即最大不平衡时的电能损耗是平衡时的 6 倍，换句话说，若最大不平衡时每月损失 1200kWh，则平衡时只损失 200kWh，由此可知调整三相负荷的降损潜力。

3.3.2 三相负荷不平衡可能造成烧断线路、烧毁开关设备的严重后果

上述不平衡时重负荷相电流过大(增为 3 倍)，超载过多。由于发热量 $Q = 0.24I^2Rt$ ，电流增为 3 倍，则发热量增为 9 倍，可能造成该相导线温度直线上升，以致烧断。且由于中性线导线截面一般应是相线截面的 50%，但在选择时，有的往往偏小，加上接头质量不好，使导线电阻增大。中性线烧断的几率更高。

同理在配电屏上，造成开关重负荷相烧坏、接触器重负荷相烧坏，因而整机损坏等严重后果。

3.4 对供电企业的影响

供电企业直管到户，低压电网损耗大，将降低供电企业的经济效益，甚至造成供电企业亏损经营。农电工承包台区线损，线损高农电工奖金被扣发，甚至连工资也得不到，必然影响农电工情绪，轻则工作消极，重则为了得到钱违法犯罪。

变压器烧毁、线路烧断、开关设备烧坏，一方面增大供电企业的供电成本，另一方面停电检修、购货更换造成长时间停电，少供电量，既降低供电企业的经济效益，又影响供电企业的声誉。

3.5 对用户的影响

三相负荷不平衡，一相或两相畸重，必将增大线路中的电压降，降低电能质量，影响用户的电器使用。

变压器烧毁、线路烧断、开关设备烧坏，影响用户供电，轻则带来不便，重则造成较大的经济损失，如停电造成养殖的动植物死亡，或不能按合同供货被惩罚等。中性线烧断还可能造成用户大量低压电器被烧毁的事故。

参考文献

- [1] 林伟超. 配电线路施工中接地装置施工技术的探讨 [J]. 科技传播, 2015, 7(24): 85-86.
- [2] 蔡哲. 低压配电线路故障分析系统的研究 [D]. 沈阳工业大学, 2015.
- [3] 孙玉清. 对三相四线制配电线路几个问题的探讨 [J]. 华北电力技术, 2013(02): 26-27+39.