

10 kV 线路调压器在低电压治理中的应用

罗洋¹, 蒋伟¹, 张星海¹, 魏书超²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司凉山供电公司, 四川 凉山 615050)

摘要: 随着人民生活水平的不断提高, 家用电器和农用机具已成为农村家庭的标准配置, 使得农村用电负荷大幅增加。然而, 与用电负荷快速增长不相匹配的是农村电网的发展仍相对滞后, 农村电网的低电压问题十分突出, 严重影响了人民的正常生活和工作。10 kV 线路调压器在农村电网低电压治理中应用效果较好、成本较低。通过分析调压器工作原理, 建立带 10 kV 调压器的配电线路等值电路, 开展了调压器在 10 kV 线路中的理论计算, 并结合农村线路实际情况进行了调压器的安装效果验证, 为农村电网低电压治理工作提供参考。

关键词: 线路调压器; 低电压; 恒功率; 恒阻抗

中图分类号: TM714 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2020)03-0064-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.03.013

Application of Voltage Regulator in Low Voltage Control for 10 kV Line

Luo Yang¹, Jiang Wei¹, Zhang Xinghai¹, Wei Shuchao²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Liangshan Electric Power Supply Company, Liangshan 615050, Sichuan, China)

Abstract: With the continuous improvement of people's living standard, household appliances and farm machines and tools have become the standard configuration of rural households, which causes a huge increase in rural power load. However, the development of rural power grid is still relatively lags behind, which does not match with the rapid growth of electricity load, and low voltage problem of rural power grids is very outstanding, which seriously affects the normal life and work of people. Applying voltage regulator to 10 kV line of rural power grid is an effective method for low voltage control with good effect and lower cost. The working principle of voltage regulator is analyzed, and through establishing the equivalent circuit of distribution line with 10 kV voltage regulator, the theoretical calculation of voltage regulator in 10 kV line is carried out. Combining with the practical situation of rural line, the installation effect of voltage regulator is verified, which provides a reference for low voltage control in rural power grid.

Key words: line voltage regulator; low voltage; constant power; constant impedance

0 引言

随着国民经济的发展以及全面建成小康社会目标的推进, 家用及农用电器在农村越来越普及, 农村用电负荷显著增长。然而农村电网基础薄, 电网投资建设区域不平衡现象严重, 供电半径长、导线截面小、线路末端负荷重等问题仍十分突出^[1-2], 部分村

科技项目: 国网四川省电力公司科技项目(配电网低电压差异化治理及优化布点研究 52199718001U)

社长期受“低电压”影响, 造成家用及农用电器无法正常工作。

针对农村电网“低电压”问题, 目前的解决措施大致分为 3 类: 优化网架结构、调整变压器档位、补偿措施。其中, 优化网架结构主要是从增加电源布点、改接负荷、增加导线截面等方面解决“低电压”问题, 也是从根本上解决“低电压”问题最有效的措施; 但投资巨大、周期长、成效慢。调整变压器档位, 目的是调整 10 kV 母线电压; 但 10 kV 电压可调整范围有限, 对于供电半径过长引起的“低电压”问题

成效甚微。补偿措施又分为无功补偿和电压补偿,无功补偿针对无功负荷过大的线路有一定的效果,电压补偿是通过加装调压器将电压抬升到设定值^[3-6],对于解决农村电网“低电压”问题成效明显且工程造价较低,近年来在农村电网中大量应用。

然而,电压补偿中的调压器在应用中仍然存在以下问题:1) 未经安装位置选点计算,造成调压器未能发挥最大效益^[8-9];2) 部分人员不掌握调压器适用范围而盲目安装,造成线路频繁跳闸。因此,研究和解决调压器在现场中应用难题,摸清安装调压器前后电压和电流变化规律显得尤为必要。

下面针对10 kV调压器在现场中的应用问题,通过分析调压器工作原理,建立带10 kV调压器的配电网等值电路,开展了调压器在10 kV线路中的理论计算,并结合农村线路实际情况进行了调压器的安装效果验证。

1 10 kV 调压器的工作原理

10 kV调压器属于三相自耦式变压器的一种,主要由并励线圈、串励线圈和控制线圈组成,如图1所示。并励线圈为自耦变压器的公共绕组,主要作用是形成传递能量的磁场;串励线圈有多个抽头,通过有载分接开关调节所需连接的抽头,改变自耦变压器的变比,以实现改变输出电压的目的。控制线圈绕制于并励线圈上,主要作用是给调压器控制电路提供工作电源和采样信号。

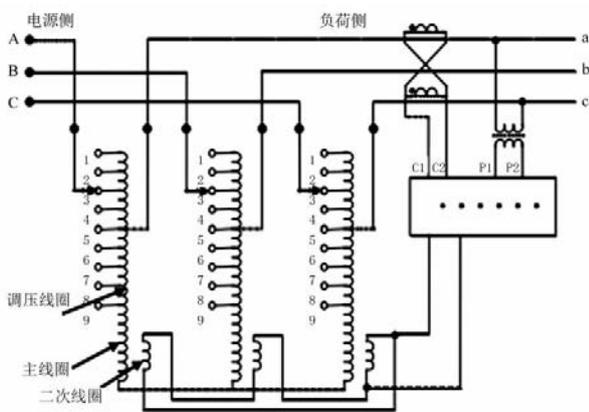


图1 10 kV 调压器工作原理

10 kV调压器具备自动调压功能,该功能是由自动控制电路实现的。它主要是把采集的输出电压与设定值进行比较,并且达到一定动作时间后,再发出对有载分接开关的挡位调节指令。有载分接开关一般常用的有7挡位和9挡位。自动控制电路发出升

挡或降挡的指令后,有载分接开关切换连接在串励线圈上的抽头位置,改变自耦变压器的变比实现自动调压。

2 带10 kV调压器的配电网等值电路

为了简化分析,假设10 kV调压器为理想的自耦变压器,线路负荷集中在10 kV调压器后,则带10 kV调压器的配电网等值电路如图2所示。图中线路母线电压为 U_0 ,线路的等值阻抗为 Z_L ,T为调压器(变比为 $k:1$),负荷 Z_{load} 的视在功率为 $P+jQ$ 。未安装调压器时,节点1和节点2的电压相等、电流相等。

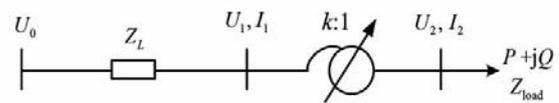


图2 带10 kV调压器的配电网等值电路

1) 安装调压器后节点1、节点2的电压、电流关系

节点1的电压、电流为:

$$U_1 = k \cdot U_2 \quad (1)$$

$$I_1 = \frac{1}{k} \cdot I_2 \quad (2)$$

$$U_1 = U_0 - I_1 \cdot Z_L \quad (3)$$

式中: U_1 、 I_1 分别为安装调压器后节点1处的电压、电流; U_2 、 I_2 分别为安装调压器后节点2处的电压、电流。

节点2的电压、电流为:

$$U_2 = I_2 \cdot Z_{load} \quad (4)$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U_2} \quad (5)$$

2) 安装调压器后节点1、节点2的电压、电流的变化量

节点1的电压、电流变化量为:

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= U_1 - U'_1 \\ &= (U_0 - I_1 \cdot Z_L) - (U_0 - I'_1 \cdot Z_L) \\ &= Z_L \cdot (I'_1 - I_1) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\Delta I_1 = I_1 - I'_1 \quad (7)$$

式中: U'_1 、 I'_1 分别为安装调压器前节点1处的电压、电流; U'_2 、 I'_2 分别为安装调压器前节点2处的电压、电流。

由式(6)、式(7)可得

$$\Delta U_1 = -Z_L \cdot \Delta I_1 \quad (8)$$

节点2与原节点电压、电流的变化量为:

$$\begin{aligned} \Delta U_2 &= U_2 - U'_2 \\ &= \frac{1}{k} \cdot (U_0 - I_1 \cdot Z_L) - (U_0 - I'_1 \cdot Z_L) \\ &= \frac{k-1}{k} \cdot U_0 + Z_L \cdot (I'_1 - \frac{I_1}{k}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Delta I_2 = I_2 - I'_2 = k \cdot I_1 - I'_1 \quad (10)$$

节点2的电压、电流变化量为:

$$\Delta U_2 = U_2 - U'_2 = U_N - U'_2 \quad (17)$$

$$\Delta I_2 = I_2 - I'_2 = \frac{1}{Z_{load}} \cdot (U_N - U'_2) \quad (18)$$

若为升压调压器(0 < k < 1),则调压器出口电压值 $U_N > U'_2$,即 $U_N - U'_2 > 0$ 。又由式(15)一式(18)可知,节点1和节点2的电压、电流变化量分别为 $\Delta U_1 < 0$ 、 $\Delta U_2 > 0$ 、 $\Delta I_1 > 0$ 、 $\Delta I_2 > 0$,即安装调压器后节点1的电压较未安装调压器前有降低,而电流较未安装调压器前有升高,节点2的电压、电流均较未安装调压器前有提升。

3 不同负荷模型下调压器的调压特性

1) 负荷为恒功率模型

负荷为恒功率模型时,则调压器安装前后,负荷的视在功率 $P + jQ$ 恒定不变。那么,安装调压器后,节点2的调压器出口电压调整为目标电压值 U_N ,则节点1和节点2的电压、电流变化情况如下。

节点1的电压、电流变化量为:

$$\Delta U_1 = -Z_L \cdot \Delta I_1 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Delta I_1 &= I_1 - I'_1 \\ &= \frac{1}{k} \cdot I_2 - I'_2 \\ &= \sqrt{P^2 + Q^2} \cdot (\frac{1}{k \cdot U_N} - \frac{1}{U'_2}) \end{aligned} \quad (12)$$

节点2的电压、电流变化量为:

$$\Delta U_2 = U_2 - U'_2 = U_N - U'_2 \quad (13)$$

$$\Delta I_2 = I_2 - I'_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} \cdot (\frac{1}{U_N} - \frac{1}{U'_2}) \quad (14)$$

若为升压调压器(0 < k < 1),则调压器出口电压值 $U_N > U'_2$,即 $U_N - U'_2 > 0$ 。又由式(11)一式(14)可知,节点1和节点2的电压、电流变化量分别为 $\Delta U_1 > 0$ 、 $\Delta U_2 > 0$ 、 $\Delta I_1 < 0$ 、 $\Delta I_2 < 0$,即安装调压器后节点1、节点2的电压均较未安装调压器前有提升,而电流较未安装调压器前有降低。

2) 负荷为恒阻抗模型

负荷为恒阻抗模型时,则调压器安装前后,负荷的视在功率 $P + jQ$ 会随调压器出口电压的变化而变化,而负载阻抗 Z_{load} 保持不变。那么,安装调压器后,节点2的调压器出口电压调整为目标电压值 U_N ,则节点1和节点2的电压、电流变化情况如下。

节点1的电压、电流变化量为:

$$\Delta U_1 = -Z_L \cdot \Delta I_1 \quad (15)$$

$$\Delta I_1 = I_1 - I'_1 = \frac{1}{k} \cdot I_2 - I'_2 = \frac{1}{Z_{load}} \cdot (\frac{U_N}{k} - U'_2) \quad (16)$$

4 10 kV 调压器的容量选择

现有的调压器标准容量主要有 500 kVA、1000 kVA、2000 kVA、3000 kVA、4000 kVA、5000 kVA。调压器的容量选择应根据流过调压器可能出现的最大负荷进行选取。通常流过调压器可能出现的最大负荷是根据调压器后端所接的所有配电变压器容量的总和,再乘以最大负荷下的同时率计算出来的。最大负荷同时率往往需要根据历史同期负荷运行情况进行确定,是一个经验性较强的数据。同时,调压器的容量还应留出一定裕度,以保证近3~5年负荷的自然增长需求。特别情况下,也可取导线的最大载流量作为调压器的容量计算依据。

5 10 kV 调压器在低电压治理中的应用

以10 kV走永线线路为例。10 kV走永线主线全长25.8 km,分支线长度为33.1 km,线路总长度为58.9 km,主线型号主要为LGJ-120,线路末端和支线型号主要为LGJ-70和LGJ-50导线,公用变压器有161台,专用变压器数量为66台,总容量约24 000 kVA,线路配电变压器平均负载率为23%。

治理前,10 kV走永线161台公用变压器中,配电变压器出口低电压共107台,占配电变压器总数的66.5%,低电压配电变压器总容量为11 775 kVA,占配电变压器总容量的49%。走永线主线杆塔配电变压器及低电压配电变压器分布见图3。由图可见,64号杆塔后集中出现大量低电压配电变压器,数量为85台,占低电压配电变压器总数的79%。其中64号塔T接了多条支线,挂接在这些支线的配电变压器中有25台出现低电压。

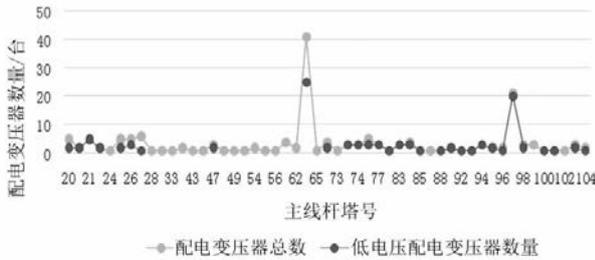


图3 低电压配电变压器分布

由配电网运维管控模块的数据可知,10 kV 走永线大部分低电压配电变压器位于主线 76 号杆之后,同时依据绝大多数低电压配电变压器的治理原则,因此可在 76 号杆前安装 10 kV 调压器。

5.1 调压器容量选择

76 号杆后端配电变压器容量为 6130 kVA,位于 76 号杆的永乐 3 台区的最低电压值为 196.6 V。根据调压器的 +7% 挡位参数,安装调压器后,其永乐 3 台区的电压最高可提升至 235.4 V,电压提升了 38.8 V,提升了 19.7%,折算至高压侧即将 10 kV 电压从 8.9 kV 提升至 10.7 kV,提升了 1.8 kV。

按配电变压器平均负载率 23% 计算,76 号杆后端平均负荷为 1 409.9 kVA。安装线路调压器后,76 号杆后端配电变压器平均负载率将增加 43%,又考虑安装调压器后负荷会增加及未来 3~5 年负荷的增长总体估算为 30%,则 76 号杆后端的配电变压器平均负载率将增加 73%,即平均总负荷为 2439 kVA。因此,调压器容量选择以 3000 kVA 为宜。

5.2 调压器的安装

经现场查勘,结合实际情况,由于线路尾端存在大面积低电压,结合调压器调压能力和现在运输吊装情况,选择在 75 号与 76 号杆之间安装 1 台容量为 3000 kVA 的 10 kV 三相调压器,对末端线路进行升压。

5.3 治理效果评估

1) 在 76 号杆处安装线路调压器后,因电压提升导致的线路电流增量为 40.1 A,即 10 kV 线路最大电流将达 350.1 A,夏季最大负载率为 116.7%,冬季最大负载率为 86.4%。

2) 安装线路调压器后,由于主线电流增大,76 号杆前端电压将出现明显降低。以最大负荷情况为例,调压器输入侧电压将由 8.9 kV 降低 0.19 kV,折算至配电变压器低压侧则降低 4.2 V。因此,部分原出口电压在 198~202 V 间的配电变压器,在安装调压器后其出口电压低于 198 V,形成新增低电压

配电变压器。

3) 安装好后调压器运行正常,调压器自动升压功能运行正常。通过查看调压器后端台区 1 月出现低电压台区的用户表计发现,电压值恢复正常,稳定在 220 V 左右。持续运行一个月后,由配电网运维管控模块调出数据发现,安装调压器后端出现低电压的台区降低为 2 个,调压器升压能力显著。

6 结 语

上面研究了 10 kV 线路调压器的工作原理,建立了带调压器的线路等值电路模型,分析了不带调压器和带调压器两种情况下的电压和电流变化情况。同时,研究了不同负荷模型下调压器的调压特性,结果显示恒功率负荷下安装调压器后的电压均较未安装调压器前有所提升,而电流较未安装调压器前有所降低;恒阻抗负荷下安装调压器后调压器一次侧的电压均较未安装调压器前有所降低,而电流较未安装调压器前有所升高,二次侧的电压、电流均较未安装调压器前有所提升。最后,以 10 kV 走永线为例,验证了安装 10 kV 调压器后对线路电压具有抬升作用。

参考文献

- [1] 王金丽,段祥骏,李云江,等. 配电网低电压产生原因与综合治理措施[J]. 供用电,2016(7): 8-12.
- [2] 黄桂兰,林韩,蔡金锭. 农村配电网低电压治理措施研究[J]. 电气技术,2015,16(11): 64-67.
- [3] 潘晓杰,刘涤尘,任冲,等. 一种研究电压稳定的有载调压变压器模型[J]. 高电压技术,2006,32(2): 21-23.
- [4] 于晓牧,王继峰,翟晓凡,等. 中压线路调压器的应用[J]. 农村电气化,2011(1): 11-12.
- [5] 罗书克,张元敏. 低压用电系统两级无功补偿控制研究[J]. 电力系统保护与控制,2014(16): 103-107.
- [6] 汪波,魏则运,兰静波,等. 有载调容调压变压器在供电线路上的应用[J]. 电子技术与软件工程,2016(12): 132-133.
- [7] 电能质量 供电电压偏差: GB/T 12325-2008[S], 2008.
- [8] 吴克胜,周瑜,盖大忠,等. 青海配电网“低电压”治理探讨[J]. 青海电力,2015,34(4): 4-7.

作者简介:

罗 洋(1986),硕士,高级工程师,从事高电压技术研究。

(收稿日期:2020-01-26)