

基于串补技术的配电网电压改善特性分析及应用

李磊 唐朝 范福强 汪辰珏 全翱 张禹 李卓雯 曾娜
(国网德阳供电公司 四川 德阳 618000)

摘要: 伴随经济的高速发展,人们对优质电能的需求越来越高,然而目前配电网线路仍存在低电压问题,不能满足正常供电。针对现有电压调节方式的弊端,提出了将串补技术用于配电线路解决低电压问题。通过对串联电容补偿技术工作原理的分析,研究了在电压调节中影响串补技术实施效果的主要因素,结合实际案例进行仿真,分析各因素在配电线路电压调节中的作用并提出合理化建议,以实际工程应用证明串补技术在电压调节中的有效性。

关键词: 配电网;串补技术;因素;调压

中图分类号: TM72 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)06-0018-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.06.005

Analysis on Voltage Improvement of Distribution Network Based on Series Compensation Technology and Its Application

Li Lei, Tang Chao, Fan Fuqiang, Wang Chenjue, Quan Xuan, Zhang Yu, Li Zhuowen, Zeng Na
(State Grid Deyang Electric Power Supply Company, Deyang 618000, Sichuan, China)

Abstract: With the rapid development of economy, the demand for high quality electric energy is getting higher and higher. However, at present there are still low voltage problems in distribution network, which cannot meet the normal power supply. Aiming at the disadvantages of the existing voltage regulation mode, the use of series compensation technology in distribution network with low voltage problems is proposed. Based on the analysis of working principle of fixed series capacitor technology, the main factors affecting the implementation effect of fixed series capacitor technology are studied. With the simulation of practical cases, the effect of each factor on voltage regulation of distribution lines is analyzed and the rationalization proposals are put forward. The effectiveness of series compensation technology in voltage regulation is proved by practical engineering application.

Key words: distribution network; series compensation technology; factor; voltage regulation

0 引言

随着社会经济的飞速发展,中国近年来的用电需求提升迅速,配电网架不断扩大,尤其是农村用电负荷的增加,也对优质的供电电能提出了新的要求。然而,中国配电网建设滞后于经济建设,其网架薄弱,线径小,供电半径长(尤其是农网线路),配电变压器分布广、数量多,且主要集中在线路后端^[1]。往往导致线路末端电压低,供电质量差。

对于配电线路后端电压降问题,主要采取的措施有:加强变电站建设投入以缩短配电线路供电半径、更换配电线路大直径导线、利用配电变压器分接头进行调压、采用并联电容无功补偿等措施^[2-3]。

然而新建变电站造价昂贵,建设周期长,经济性差;更换导线对降低线路电感带来的低电压效果不大,且停电时间长、投资大,不利于目前的优质服务要求;经常使用的第3种方法,固定几挡调节,可调范围小,不能补偿无功功率,无法彻底解决整条线路的电压降问题;并联无功补偿装置随电压有“逆向”特性,调节速度慢,需要安装的容量大^[4-5]。

从技术原理上讲,串联补偿技术对于长距离、大负荷、低功率因素和大电压闪变的配电线路的低电压治理具有技术上的先进性,主要体现在对线路无功具有正补偿、无时延、高效率(与并联补偿比较可以用较小的电容量发挥更高的补偿效果),与传统的补偿技术和调压技术相比,更加高效而经济^[6-9]。从国内外实际应用情况看,串补技术是一项有效解

决长距离大负荷线路低电压问题、提高线路功率因素、减小线路损耗的新的无功补偿技术,是对传统补偿技术的完善和补充。

从串联无功补偿技术原理入手,阐述串补技术在配电线路中改善电压的基本原理,分析影响串补技术电压调节的影响因素,结合实际案例仿真分析各因素对配电线路串补调压的影响,提出工程实施合理化建议,最后以工程实施案例证明串补技术在配电网调压中的有效性。

1 串补技术电压调节原理

串补技术最早应用在中国的输电线路中^[10-12],该技术能显著提高大容量、远距离输电线路的利用效率,促进电网的稳定运行水平,降低输电损耗。将串补技术引用到配电线路中,同样可以解决配电网电压问题^[11-12],不仅可以调节过电压或低电压至合格电压水平内,同时可以提高线路的功率因素降低线路损耗。

对于配电线路,相对于输电线路输送距离较短,可以忽略波过程的影响,同时还可以忽略对地电容的影响,此时,配电线路可以等效为线路电阻和电抗,其等效电路如图1所示。

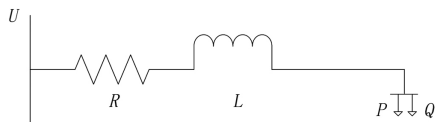


图1 配电线路等效原理

此时,配电线路首末两端电压降为

$$U - U' = \frac{PR + QX_L}{U} \quad (1)$$

式中: P 、 Q 为线路负载有功功率和无功功率; U 为线路首端电压。可以看出,在线路负载一定的条件下,线路末端电压主要由线路电阻 R 和电抗 X 确定,且线路电抗 X 往往大于电阻 R ,因此,降低电抗 X 能有效解决低电压问题。

串补技术即是在配电线路中串联电容,串联电容后配电线路等效电路如图2所示。

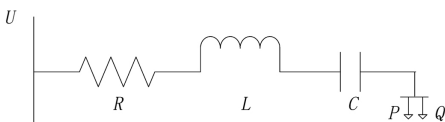


图2 配电线路串联补偿等效原理

则此时线路的阻抗由电阻、电抗和容抗组成,则配电线路首末两端电压降为

$$U - U' = \frac{PR + Q(X_L - X_C)}{U} = \frac{PR + QX_L}{U} - \frac{QX_C}{U} \quad (2)$$

式中, X_C 为串补电容器容抗。

串联电容的加入,补偿了感抗,有效降低了整个线路等效电抗,从而减小了电压降。

由式(2)可得

$$U' = U - \frac{PR + QX_L}{U} + \frac{QX_C}{U} \quad (3)$$

式中, $\frac{QX_C}{U}$ 即为串联电容的电压提升量,从而达到电压调节的作用。

2 串补技术主要影响因素

由式(3)可得

$$U' = U - \frac{PR + Q(X_L - X_C)}{U} = U - \frac{PR + QX_L(1 - k)}{U} = U - \sqrt{3}I_L(R\cos\varphi + X_L(1 - k)\sin\varphi) \quad (4)$$

式中: I_L 为线路电流; k 为串补补偿度,是串入电容容抗与线路电抗的比值,即:

$$k = \frac{X_C}{X_L} \times 100\% \quad (5)$$

可以看出,串补装置的电压补偿效果与负荷电流有关:当线路负荷重时,电流值大,电压补偿越高;线路负荷较轻时,电流值小,电压补偿较低。因此,串联补偿电容装置不会出现电路轻载导致的过补偿情况,也不会出现电路重载时补偿不够的现象。

综上,影响串联补偿装置主要补偿效果的因素有:线路负荷、功率因数、阻抗值和补偿度。阻抗值和导线截面积、导线长度有关,从前面讨论可知,更换大直径导线存在投资大、停电时间长且效果不大的缺点。因此当配电线路导线截面积一定时,只需考虑串联补偿装置的安装位置对补偿效果的影响。

3 串补技术影响因素分析

以德阳供电公司某 10 kV 配电线路为例进行仿

真分析。该线路供电半径长、负荷重,线路总长度为18 km,其中主线为JKLYJ-240,也包括JKLYJ-185和JKLYJ-150,最大负荷为4.2 MVA,功率因数为0.85。

当串联补偿容抗 $X_C = 0$ 时,线路各节点电压如图3所示,可知,线路电压随着线路长度的增加而不断降低。

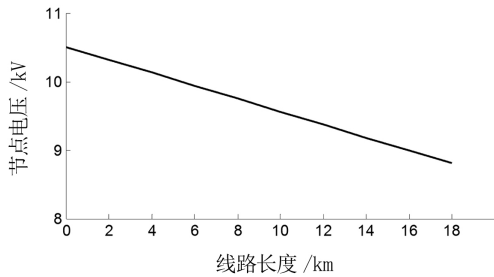


图3 电压随线路长度的变化曲线

当负荷功率分别为2 MVA、4 MVA、6 MVA,功率因数为0.85, $X_C = 0$ 时,串补装置处节点电压分别为9.57 kV、8.89 kV、8.19 kV,若加入补偿度 $k = 2.25$ 的补偿电容时,补偿点电压分别提升1.272 kV、1.591 kV、1.668 kV。结果如图4所示:容量与电流的平方成正比,而串联电容器补偿的电压与线路电流成正比。因此,当线路容量增大时,电流增大,补偿的电压也随之增大。这就是串补的负荷自适应特性,也是其他无功补偿均不具备的特性。

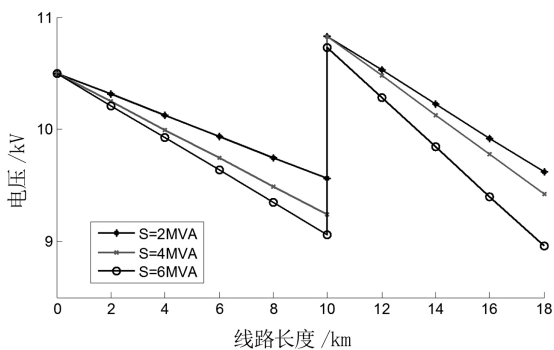


图4 不同线路负荷下电压随线路长度的变化曲线

当负荷功率为3 MVA,补偿度 $k = 2.25$,功率因数分别为0.8、0.9、0.95时,结果如图5所示。可以看出,线路功率因数越小,补偿电压越大。这是因为加入的串联电容在补偿线路感抗的同时,也补偿一部分负荷感抗,提高了功率因数。对于负荷功率因数较低的线路,其电压补偿效果就更为明显。

当负荷功率为3 MVA,分别在线路的两个点加

装串联补偿电容,比较不同的补偿度对电压的影响,结果如图6所示。在两个位置安装串联补偿装置,均能在该处有效提升电压,但不同的安装位置,串补后电压调节的效果差别较大,因此在具体实施工程中,因合理选择安装位置,确保全线电压合格。

另外,在同一位置采用不同补偿度的串补装置,调压结果也不同,线路长度越大,串联电容容抗越大,补偿电压值就越大。若串入电容容抗较大,可能造成调节后电压超过额定电压的上限范围。

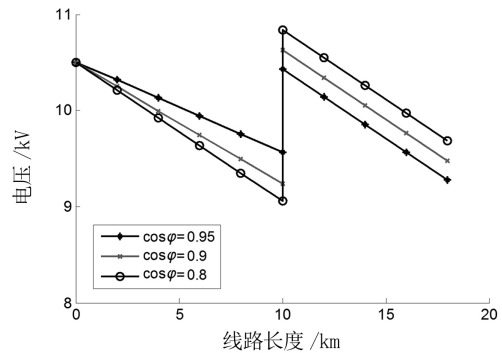


图5 不同功率因数下电压随线路长度的变化曲线

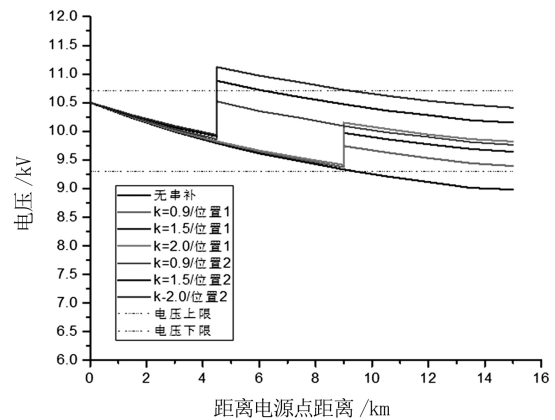


图6 不同安装位置、不同补偿度下电压随线路长度的变化曲线

采用电容器串联补偿技术能有效提高线路末端电压,达到调压目的,特别是对功率因数较低、负荷波动较大的线路具有显著的效果。根据以上分析可知,影响串补技术效果的因素中,线路阻抗、线路容量、功率因素均为线路本身信息,在串补装置加入前为定值,因此在具体实施过程中,要达到串补装置电压调节的最优结果,需综合考虑安装位置和补偿度。

若为山村、远方工厂供电的配电线路,其负荷均分布在线路末端,则电压调节效果则与串联电容器位置无关,串补装置的最佳安装位置为线路最末端紧靠首个负荷的电源侧,此时串联电容器承受的故

障应力最小,调压效果最佳。若配电线路全线均分布有负荷,为使得沿线电压均在合格范围,或者尽可能接近电压合格范围,则可以选择负荷最大时电压差为全线压降1/2左右的线路位置。当线路较长,使用一个串补装置不能达到预期的调压结果时,可以选择多处安装串补装置,并结合经济性评估,确定最优的串补方案。

配电网串补装置的补偿度多数选择接近1或者大于1。当线路电压降落较小时,采用欠补偿可以满足电压提升要求时,应优先考虑采用欠补偿以降低投资成本。当欠补偿无法满足电压合格率要求时,可以采用过补偿,调节电压至目标电压。

4 实际应用

国网德阳供电公司所辖10 kV风孟线线路以110 kV风光变电站10 kV母线为电源点,线路主要信息如下:

1) 线路性质为城网线路,但从6号杆开关为城农网分界点,线路后端为农网负荷。线路供电半径长,沿线均有较多的居民用电和工厂、高压用户负荷,线路后端用户反映电压跌落情况比较严重。

2) 10 kV风孟线线路信息和运行数据见表1。

表1 10 kV风孟线线路和运行信息

线路参数	详细信息
线路总长/km	22.09
线路总容量/kVA	32 090
高压用户/户	35
公变台区/个	61
变电站母线电压/kV	10.5
末端线路电压/kV	8.7
线路始端电流(年度最大负荷)/A	254.3
线路始端功率因素	0.89
线路主干线型号	JKLYJ-240

根据潮流分析,线路在不安装串补装置的情况下,最大运行负荷时线路的沿线电压分布情况如图7所示。从图中可以看出该线路较长,且负荷较重,导致电压随线路增大而降低,线路末端更是从变电站10 kV母线侧的10.5 kV降到了8.7 kV。同时,线路在9 km左右之前,电压下降比后端线路要快,

这是因为线路前端主要位于城市郊区,商业用电和工厂用电较多,而后端用户多位于城乡结合处的农村,多为居民用电,导致前端电压下降较快。

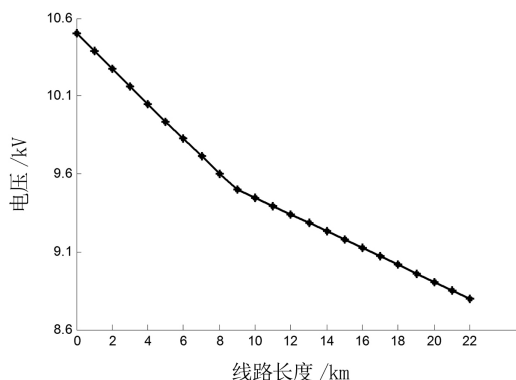


图7 不装串补装置10 kV风孟线电压分布情况
按照前面的分析,该线路的串联补偿装置安装位置应在整条线路电压降的中间位置,即电压为9.6 kV处,串入电容器的补偿度为1.25,此时,加入串补装置后,风孟线全线电压分布情况如图8所示。

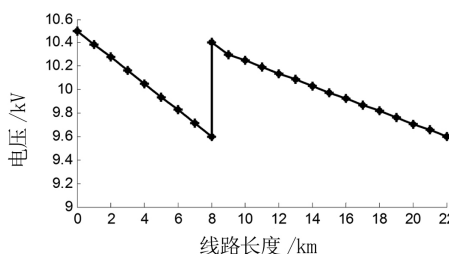


图8 安装串补装置10 kV风孟线电压分布情况
从结果可以看出,在风孟线加入串补装置后,串补装置后的电压立即增大到10.4 kV,并未造成过电压,经检测风孟线末端电压为9.58 kV,处于合格范围内。

5 结语

电能输送过程中由于线路存在阻抗和感抗,会有一定的压降,线路过长或负荷过重时,线路压降较大,末端电压较低,严重影响用户的用电。具有“自适应”功能的串补技术应用于配电线路,综合考虑线路阻抗、线路容量、功率因素等信息,确定串补安装位置和电容器容抗值,有效提高配电线路电压,达到调压目的。

参考文献

[1] 戴晓亮. 无功补偿技术在配电网中的应用[J]. 电网技术, 1999, 23(6): 1-7.

[2] 麦敏坚. 探讨改善配网的电压质量[J]. 广东科技, 2008(8): 139-141.

[3] 杜修柯. 电网配电网线路的最优无功补偿研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2008, 29(3): 4-7.

[4] 张勇军, 任霞, 廖美英, 等. 10 kV 长线路杆上无功优化补偿[J]. 中国电力, 2000, 33(9): 50-52.

[5] 樊丽霞, 魏青艳. 无功补偿在配电网中的应用[J]. 山西电力, 2005(6): 34-35.

[6] 王笑棠, 王曜飞, 宋亚夫, 等. 串补解决 10 kV 配电网线路高压与低压问题的研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(2): 33-37.

[7] 梁一桥, 吕佳铭, 饶崇林, 等. 一种 10 kV 配网智能串联补偿装置研制及其工程应用[J]. 电网技术, 2014, 38(S2): 220-225.

[8] 卓谷颖, 江道灼, 梁一桥, 等. 改善配网电压质量的固定串补技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(8): 61-67.

[9] 赵文忠, 王东平. 串联无功补偿技术在配电网中的应用分析[J]. 低压电器, 2010(5): 37-44.

[10] 邓昆玲, 郭厚静, 程晓磊. 串联补偿对提高线路输电能力的影响分析[J]. 内蒙古电力技术, 2011(4): 1-3.

[11] 雷宪章, POVH D. 串联补偿技术在距离高电压交流输电系统中的应用[J]. 电网技术, 1998, 22(11): 34-38.

[12] 宋怡群, 曹荣江, 顾霓鸿. 超高压和特高压串联电容补偿装置的通用原理设计[J]. 电网技术, 1989(2): 32-35.

作者简介:

李 磊(1986), 工程师, 从事配电运维、配电自动化运行与管理相关工作;

唐 朝(1984), 工程师, 从事配电运检分析管理、配电自动化管理等工作;

范福强(1989), 工程师, 从事配电运维、配电自动化运行相关工作;

汪辰珏(1994), 助理工程师, 从事配电自动化运维工作;

全 翾(1985), 工程师, 从事配电网运维检修管理工作;

张 禹(1985), 工程师, 从事配电网运维检修管理工作;

李卓雯(1986), 硕士、工程师, 从事配电网运检计划管理工作;

曾 娜(1987), 工程师, 从事配电网生产技改大修项目管理相关工作。

(收稿日期: 2018-07-06)

(上接第4页)

段发生故障的可信度, 随后依据改进的决策原则确定最终故障区段, 并提供备选方案, 对误报和漏报的情况具有一定容错能力。最后的仿真分析也验证该方法的可行和有效, 给基于故障指示器的故障定位方法研究提供了新的参考。

参考文献

[1] 费军, 单渊达. 配网中自动故障定位系统的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(9): 32-34.

[2] 刘文轩, 严风, 田霖, 等. 基于 LVQ 神经网络的配电网故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 90-95.

[3] 郭壮志, 陈波, 刘灿萍, 等. 基于遗传算法的配电网故障定位[J]. 电网技术, 2007, 31(11): 88-92.

[4] 陈歆技, 丁同奎, 张钊. 蚁群方法在配电网故障定位中的应用[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 74-77.

[5] 刘健, 倪建立, 杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 31-33.

[6] 蒋秀洁, 熊信银, 吴耀武, 等. 改进矩阵方法及其在配电网故障定位中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 60-63.

[7] 彭正良. 基于改进 D-S 证据理论的配电网故障定位与分析[D]. 济南: 山东大学, 2016.

[8] 汪永伟, 刘育楠, 杨英杰, 等. D-S 证据理论中冲突处理新方法[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(12): 4316-4320.

[9] 高湛军, 李思远, 彭正良, 等. 基于网络树状和改进 D-S 证据理论的配电网故障定位方法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(6): 65-71.

[10] 蒋黎明, 何加浪, 张宏. D-S 证据理论中一种新的冲突证据融合方法[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 236-238.

[11] 郑国华, 黄朵, 张伟, 等. 基于最大概率的故障指示器故障判定方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(16): 105-110.

作者简介:

高艺文(1989), 工程师, 主要研究方向为配电网自动化、继电保护。

(收稿日期: 2018-09-04)