

文章编号: 1006-4710(2011)04-0423-07

农网低电压治理的三级联调方式研究

刘家军¹, 刘栋¹, 姚李孝¹, 王瑞峰²

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 西安市供电局蓝田分局, 陕西 西安 710500)

摘要: 在不改变电网规划的前提下提出了一种对变电站、线路、配变三级联调的新模式, 通过构建数学模型对三级联调进行分析, 并给出了三级联调的控制策略。在三级联合实时调压的同时进行无功补偿, 提高了电压质量, 降低了网损。最后通过工程实例验证了该方案的有效性。

关键词: 调压; 三级联调; 电压监测; 无功补偿

中图分类号: TM727.1 **文献标志码:** A

Research on Three Order Voltage Regulation of Rural Power Grid Low-Voltage Controlling

LIU Jiajun¹, LIU Dong¹, YAO Lixiao¹, WANG Ruifeng²

(1. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Xi'an an Electric Power Company Lantian Branch Company, Xi'an 710500, China)

Abstract: In the case of no change in power grid planning, a new mode of regulating voltage through substation, line and distribute substation is proposed. Three joint voltage regulation is analysed via the establishment of mathematics module, and the control strategy of three joint regulation is also given in this paper. Through three joint voltage and reactive power compensation regulation, the voltage quality would be improved and the network loss would be reduced. Finally, engineering example has proved the effectiveness of the scheme.

Key words: voltage regulation; three joint voltage regulation section; voltage monitor; reactive power compensation

农村电网的特点是点多、面广、线路长、负荷率低、季节性强和无功不足, 因而农村 10 kV 线路的线损大, 高峰负荷时线路末端电压低。近年来, 受“家电下乡”政策的鼓励和新农村建设推动, 农村负荷快速增长, 部分用户在用电高峰时段电压偏低, 不能满足正常的用电需求。同时电压的偏离(过高或过低)也会影响用电设备的寿命和效率, 影响线损的大小^[1-2]。

调压势在必行, 农村电网目前常用调节电压的方法有 3 种^[3], 即: ①改造电网, 但投资较大, 适用于负荷率较大(负荷率在 80%)的电网; ②以变电站母线为基准, 调整主变压器有载分接开关, 但调整分接开关不能保证线路电压的稳定; ③当电网感性负荷较大时, 通过投切电容器来减少线路无功电流所引

起的电压降, 但其调压范围小。

鉴于上述三种方法, 本研究提出了变电站、线路、配电变三级联调的新模式。该模式应用的前提条件是电网的输电线路冗长, 负荷率较小, (小于正常值的 80%~90%)。该模式在不改变现有农村电网结构的情况下, 通过有载变压器, 馈线自动调压器和相应低电压区段的配电变压器的三级联合调压, 实现低电压治理, 提高末端电压满足供电电压要求。该模式投资少, 工程量少, 具有较高的综合经济效益, 是一种较理想的低电压治理方案。

1 三级联调方案

本研究方案设计分为三个级别, 即: 一级是通过变电站调整; 二级是在农网 10 kV 线路进行调整; 三

收稿日期: 2011-06-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51077109)。

作者简介: 刘家军(1967-), 男, 陕西石泉人, 博士, 教授, 研究方向为电力系统监控与调度自动化。E-mail: liujiajun-88@163.com。

级是在配变处进行调整。其中低压配电监测装置在三级联调过程中起着举足轻重的作用。

1.1 一级调压基本原理

一级调压针对变电站,主要调节主变分接头的位置和投切无功补偿电容器。

目前,有载调压是电力系统中一项重要的调压措施^[4-6],县级电网的调压主要靠有载调压变压器实现,原理见式(1)。高压绕组终端区隔一些线匝抽出一个接头,电源接在不同的抽头上,高压绕组实

际线匝数不同,低压绕组就可以随高压绕组接不同的抽头而得到不同的电压。

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = k \quad (1)$$

其中, E_1 、 E_2 为一、二次感应电压; n_1 、 n_2 为一二次线圈匝数; k 为变压器变比。

一级调压时,主变侧计算机监测中心及调度人员通过分析接收到的数据来调整有载变压器档位进行调压^[7-8],原理流程如图1所示。

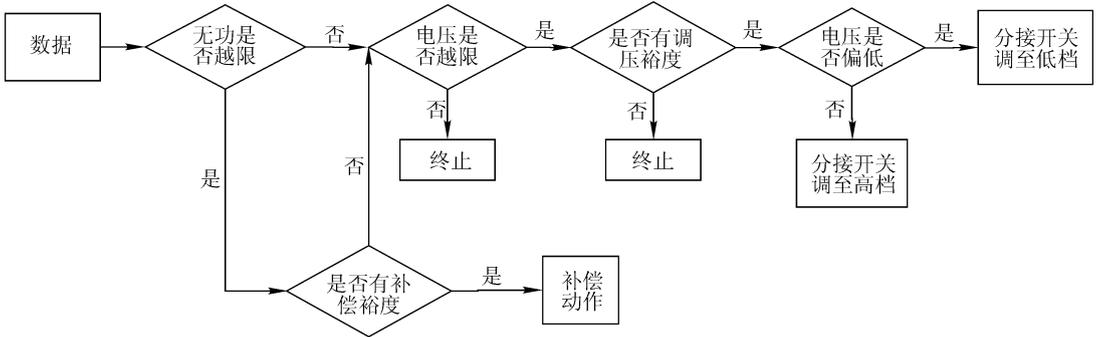


图1 主变调压基本流程

Fig. 1 Basic process of main transformer voltage regulation

110 kV 变压器有载调压须在系统无功充足的条件下进行。改变变压器分接头档位不能增减系统的无功,只能改变无功分布状况。因此,无功不平衡时,须与变电站内无功补偿装置配合使用^[9]。

1.2 二级调压基本原理

二级调压针对的是输电线路,可解决 10 kV 馈线的低电压问题,目前最有效的方法是在线路装设 10 kV 馈线自动调压器,并同时与智能无功补偿设备配合以进行调压。

SVR 馈线自动调压器是一种可以自动调节变比以保证输出电压稳定的装置。它是通过改变分接开关位置以改变自耦变压器变比来调整电压的^[10]。

由于 SVR 制造容量较小,与相同容量的电力变压器比较,自耦变压器耗材少、体积小、损耗低、效率高。因此,线路通常不采用增设配电变压器缩短供

电半径的方法来提高末端电压。

1.3 三级调压基本原理

三级调压主要针对的是配电变压器,亦包括调节有载调压变压器的分接头位置和投切无功补偿电容器。对于 10 kV/0.4 kV 配电型变压器,如原来为 3 档($\pm 5\%$),则可先将其更换为 5 档($-10\% \sim +2.5\%$)的宽幅调压配变以提高调压范围。当配变侧收到后台计算机监测中心指令时,进行三级调压,三级调压原理与一级类似。

2 三级联调数学分析

图2为典型的三级联调系统接线图,其中,一级调压的变电站变比为 k_1 ,线路 SVR 调压器变比为 k_2 ,配电变压器变比为 k_3 。

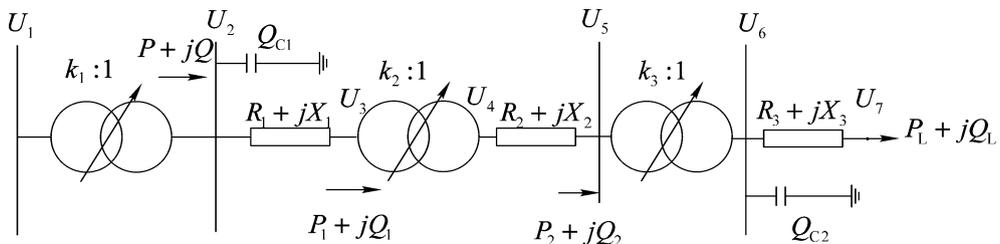


图2 系统接线图

Fig. 2 Connection diagram of system

建立数学模型,为:

$$U_2 = \frac{1}{k_1}U_1 \quad (2)$$

$$U_3 = U_2 - \frac{P_1R_1 + Q_1X_1}{U_3} \quad (3)$$

$$U_4 = \frac{1}{k_2}U_3 \quad (4)$$

$$U_5 = U_4 - \frac{P_2R_2 + Q_2X_2}{U_5} \quad (5)$$

$$U_6 = \frac{1}{k_3}U_5 \quad (6)$$

$$U_7 = U_6 - \frac{P_LR_3 + Q_LX_3}{U_7} \quad (7)$$

由(3)、(5)、(7)式可知,无功影响电压。应先进行无功调节使无功得到平衡,后进行电压调节。负荷端无功需求影响线路及主变处电网端的无功分布,下级网络影响上级网络无功分布。因此无功调节应从负荷端依次向电网端进行。

从(2)~(7)式可看出,电网端电压影响线路电压,线路电压影响负荷端电压,因此电压调节应从电网端依次向负荷端进行。三级联调具体调节方案分为三种情况。

2.1 负荷端参数越限(参数指电压或无功,后同)

负荷端参数越限,可分为以下两种情况进行分析。

1) U_7 越限,无功未越限时,只需调节 k_3 使 U'_7 满足要求即可,计算为:

$$U'_6 = \frac{1}{k'_3}U_5 \quad (8)$$

$$U'_7 = U'_6 - \frac{P_LR_3 + Q_LX_3}{U'_7} \quad (9)$$

其中,带一撇的变量为进行一次调节后的相应值。

2) 配变无功越限时,先投切补偿设备,再通过配变进行有载调压使 U'_7 满足要求,即:

$$U'_7 = U_6 - \frac{P_LR_3 + Q'_LX_3}{U'_7} \quad (10)$$

$$\text{其中, } Q_{c2} = Q'_L - Q_L \quad (11)$$

2.2 负荷、馈线末端参数越限

负荷、馈线末端参数越限,可分为两种情况分析。

1) U_5 、 U_7 越限,相应无功未越限时,先调节 SVR 调压器的变比 k_2 ,再调节配变的变比 k_3 ,使 U'_5 、 U'_7 满足要求,计算为:

$$U'_4 = \frac{1}{k'_2}U_3 \quad (12)$$

$$U'_5 = U'_4 - \frac{P_2R_2 + Q_2X_2}{U'_5} \quad (13)$$

$$U'_6 = \frac{1}{k'_3}U_5 \quad (14)$$

$$U'_7 = U'_6 - \frac{P_LR_3 + Q_LX_3}{U'_7} \quad (15)$$

2) U_5 、 U_7 与相应的无功均越限时,基于就地补偿原则,在配变处补偿无功 Q_{c2} ,以使无功得到平衡。计算为:

$$U'_7 = U'_6 - \frac{P_LR_3 + Q'_LX_3}{U'_7} \quad (16)$$

$$U'_6 = \frac{1}{k_3}U'_5 \quad (17)$$

$$U'_5 = U_4 - \frac{P_2R_2 + Q'_2X_2}{U'_5} \quad (18)$$

$$\text{其中, } Q_{c2} = Q'_2 - Q_2 \quad (19)$$

在配变处进行补偿后存在以下三种情况。

① 若 U_5 处无功不再越限,则先调节 SVR 调压器的变比 k_2 ,再调节配变的变比 k_3 进行调压,与 2.1 中 1) 所述相同。

② 若 U_5 处无功仍然越限,继续在 SVR 调压器处补偿无功 Q_{cs} ,以使无功得到平衡,计算为:

$$U''_5 = U_4 - \frac{P_2R_2 + Q''_2X_2}{U''_5} \quad (20)$$

$$\text{其中, } Q_{cs} = Q''_2 - Q'_2 \quad (21)$$

$$U''_6 = \frac{1}{k_3}U''_5 \quad (22)$$

$$U''_7 = U''_6 - \frac{P_LR_3 + Q''_LX_3}{U''_7} \quad (23)$$

其中,带两撇的变量为经过两次调节后相应的值。

③ 若 U_5 、 U_7 不再越限,则终止调节,若 U_5 、 U_7 仍然越限,则按 2.2 节 1) 中所述方法进行调节。

2.3 负荷、馈线末端及首端参数越限

负荷、馈线末端及首端参数越限时存在两种情况,即:

1) U_2 、 U_5 、 U_7 越限,无功未越限时,则先调节主变变比 k_1 ,SVR 调压器的变比 k_2 ,再调节配变的变比 k_3 ,使各处电压符合要求,计算为:

$$U'_2 = \frac{1}{k'_1}U_1 \quad (24)$$

$$U'_3 = U'_2 - \frac{P_1R_1 + Q_1X_1}{U'_3} \quad (25)$$

$$U'_4 = \frac{1}{k'_2}U'_3 \quad (26)$$

$$U'_5 = U'_4 - \frac{P_2R_2 + Q_2X_2}{U'_5} \quad (27)$$

$$U'_6 = \frac{1}{k'_3} U'_5 \quad (28)$$

$$U'_7 = U'_6 - \frac{P_L R_3 + Q_L X_3}{U'_7} \quad (29)$$

2) U_2 、 U_5 、 U_7 与相应无功均越限时,先依次在配变、SVR 与主变处进行无功补偿,使各处无功得到平衡,其过程为:

先在配变、SVR 处进行无功补偿,若 U_2 、 U_5 、 U_7 处电压、无功均不再越限,则终止调节。其数学计算与 2.2 中 2) 所述相同。若仍然越限,再对主变进行无功补偿,计算为:

$$U'_3 = U_2 - \frac{P_1 R_1 + Q'_1 X_1}{U'_3} \quad (30)$$

$$\text{其中, } Q_{cl} = Q'_1 - Q_1 \quad (31)$$

$$U'_4 = \frac{1}{k_2} U'_3 \quad (32)$$

$$\text{则: } U'''_5 = U'_4 - \frac{P_2 R_2 + Q'''_2 X_2}{U'''_5} \quad (33)$$

$$U'''_6 = \frac{1}{k_3} U'''_5 \quad (34)$$

$$U'''_7 = U'''_6 - \frac{P_L R_3 + Q'''_L X_3}{U'''_7} \quad (35)$$

其中,带三撇的变量为经过三次调节后相应的值。

若此时 U_2 、 U_5 、 U_7 电压不再越限,则终止调节,若仍然越限,则按照 2.3 中 1) 所述方法进行电压调节。

在三级联调中,无功调节应该从负荷端向网端依次补偿。因为无功越限大多由负荷端引起,应先进行就地补偿,若先对上一级进行补偿,则会增加线路的无功传输容量,增大压降。电压调节应从电网端向负荷端依次进行。

3 三级联调过程

3.1 三级联调的实现

目前,变电站不具备对负荷点电压的监测功能,当负荷点电压越限时也不能及时作出调整,因而影响电压质量。在实现三级联调的过程中,在主变、馈线自动调压器、配变及代表用户端均装设智能监测装置和低压配电监测装置^[11-13],该监测装置集检测电压、电流和功率因数为一体,实现对各处的实时电压信息监测及对信号指令的传输。

图 3 为典型的农村电网接线图(M 表示监测装置),对于 10 kV 母线电压允许偏差为 0% ~ +7%。用户受电端 10 kV 电压允许偏差为 -7% ~ +7%,0.38 kV 电压允许偏差为 -7% ~ +7%,0.22 kV 电压允许偏差为 -10% ~ +7%。当电压质量不满足

要求时,进行三级联调。

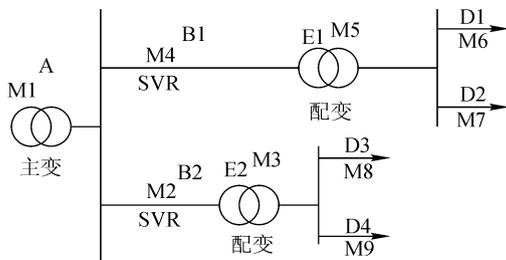


图 3 接线示意图

Fig. 3 Diagram of connection

图 3 中,A 代表主变处,B 代表馈线调压器安装处,E 表示配变处,D 负荷线路,数字用来区别不同的位置。在 A、B1、B2、E1、E2、D1、D2、D3、D4 处均安装监测装置(M)。其后台计算机监测中心服务器在 A 处,监测和采集数据在监测中心处理和存储。当出现低电压问题时,对应地点 M 装置向后台计算机监测中心发送监测到的数据信息。

3.2 电压联合调节

电压联合调节可分为三种情况,即:

情况一,在只有 D1 处电压偏低,且无功缺额的情况下,低压配电监测装置 M6 通过 GSM 自动无线发送数据到变电站 A 处生产调度部门后台计算机监测中心,后台计算机监测中心经分析发送指令到 E1 配变进行三级调压。

情况二,若低压配电监测装置 E1、D1 均监测到电压偏低,且无功缺额,则通过 GSM 自动无线发送数据到变电站 A 处生产调度部门后台计算机监测中心,经分析发送指令通过 B1 馈线自动调压器进行二级调压。若 E1、D1 处低压问题均得以解决,则调压成功;若 B1 馈线自动调压器已到调压极限或 E1 处电压已经越限,而 D1 处低压问题仍未改善时,则 A 处发送指令到 E1 配变进行三级调压。

情况三,若低压配电监测装置 B、E、D 均监测到电压偏低,且无功缺额,则通过 GSM 自动无线发送数据到变电站 A 处生产调度部门后台计算机监测中心,首先自动或手动调节主变档位进行一级调压提高电压;当一级调压已到极限或某些 10 kV 母线支路电压已经越限(如 B1),而线路后段电压仍得不到改善(如 B2)时,对应低压配电监测装置立刻发送数据到生产调度部门后台计算机监测中心,后台计算机监测中心经分析发送指令信号到线路 B2 处馈线自动调压器智能控制器,它可根据接收到的指令对调压器输入电压进行自动调节,保证输出电压恒定。(由于 B1 处已经越限,所以后台计算机监测中心根据接收到的数据直接对 E1 进行三级调压。)

当 B2 馈线自动调压器的调节到达极限或配电支路电压已经越限(如 D4)时,某些线路末端电压还得不到改善(如 D3),则低压配电监测装置立刻发送

数据到生产调度部门后台计算机监测中心,后台计算机监测中心经过分析发送指令信号到配变进行三级调压。三级电压调节流程见图 4。

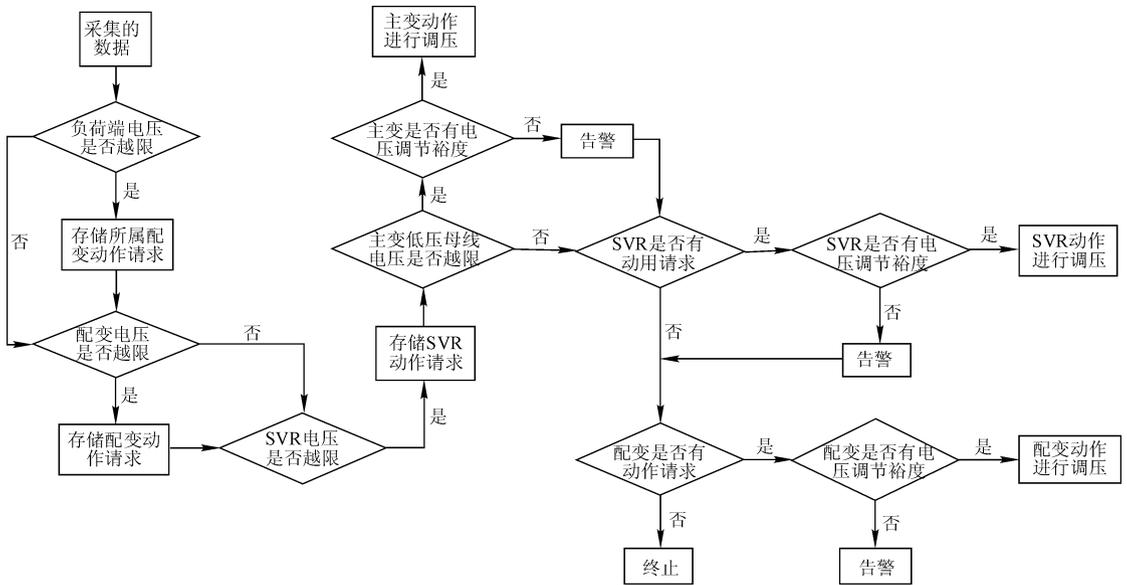


图 4 三级联调电压控制流程

Fig. 4 Voltage control process of three joint regulating section

3.3 电压、无功协调调节

电压、无功协调调节可分为以下三种情况。

情况一,若只有 D1 处电压偏低且 E1 处存在无功越限时,低压配电监测装置 M6 通过 GSM 自动无线发送数据到变电站 A 处生产调度部门后台计算机监测中心,后台计算机监测中心经分析发送指令到 E1 配变处先投切无功补偿设备进行补偿,再调节配变变比进行调压。

情况二,若低压配电监测装置 E1, D1 均监测到电压偏低,且 B1, E1 处均无功越限时,先对 E1 处进行就地无功补偿,若 E1 处无补偿裕度且 B1 处无功仍存在缺额时,则由 A 处发送指令对 10 kV 线路进

行无功补偿使系统无功得到平衡,而后依据 3.2 节中情况二进行调压。

情况三,若低压配电监测装置 B, E, D 中均监测到电压偏低,且 A, B1, E1 处均无功越限时,先命令 E1 处进行无功补偿,若 E1 处无补偿裕度且 B1 处无功仍存在缺额,则由 A 处发送指令由 B1 处 10 kV 线路进行无功补偿,若 B1 处无补偿裕度且 A 处无功仍存在缺额,则由 A 处发送命令至 A 处变电所投切补偿设备进行无功补偿,使系统无功得到平衡。而后依据 3.2 节中情况三进行调压。其中无功调节整体流程如图 5 所示。

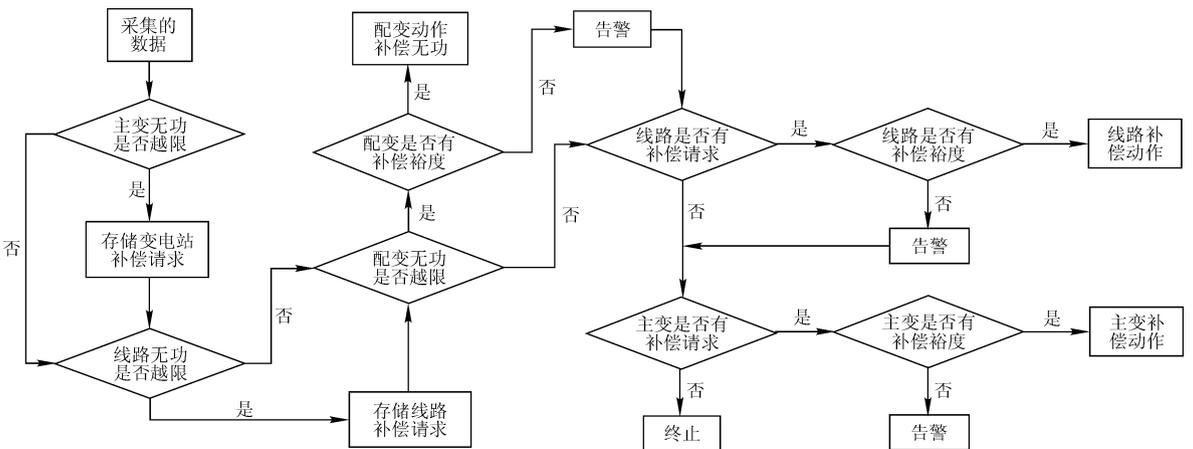


图 5 三级联调无功控制流程

Fig. 5 Reactive power control process of three joint regulating section

4 实例分析

现以某供电局分局管辖的农网中某一线路实际情况进行效果及经济性分析。其 110 kV 变电站现有主变 2 台容量 20 MVA, 为有载调压变压器。其中某条线路全长 63.829 km, 供电半径 17.17 km, 全线共接入配变 115 台, 总容量 10.7 MVA, 低压总户数 13 520 户。农网改造覆盖率为 85%, 2010 年最大负荷为 5 MW。线路末端原来电压质量为 170 ~ 180 V。该分局组织人员对该供电局该线路进行低电压调查, 统计分析表明该地区低电压现象严重, 共涉及 29 台区, 共 3 621 户。设负荷功率因数为 0.85, 该线路配变负荷率最大时为: $5 \div 0.85 \div 10.7 \times 100\% = 54.9\% < 80\%$, 因此应用本研究所提出的方案。

4.1 方案具体实施

将该变电站母线电压质量纳入电压质量管理之中, 根据该线路长度大、负荷分散、季节性高峰用电特点, 根据母线电压 7% 的上限, 即 10 kV 母线电

压上限为 10.7 kV, 将变电所 10 kV 母线电压质量调至 10.5 kV, 确保线路末端电压质量提高; 二是对线路首端的 30 台配变分接开关进行调整, 避免首端居民端电压质量超上限, 将线路末端 23 台配变分接头调整至一次侧 9 500 V, 使配变低压侧电压质量上升 5%; 三是在该线路 107# 杆安装 5 000 kVA 调压器一台, 对线路后端 10 kV 电压质量进行调整; 四是在 10 kV 该线路的首端、中段、干线末端和最长支线末端各安装 10 kV 低压配电监测仪共四台, 在存在典型低压客户处安装 50 台低压配电监测仪装置, 实现了变电站、10 kV 线路、居民客户侧电压质量的数据监测工作; 五是将 ($\pm 5\%$) 三档调压变压器更换为 ($-10\% \sim +2.5\%$) 五档宽幅调压变压器。

方案实施后实现了预期效果, 与实施前相比, 电压质量有了明显的改善, 其中居民客户端电压合格率提高至 98.3%。估算年供电量为 950×10^4 kW·h, 相比之下, 共提高了 7.24%, 线路平均功率因数提高至 0.95。具体数据对比见表 1。

表 1 数据对比

Tab. 1 Comparison of data

电压获得点	变电站母线电压/kV	配变侧电压/kV	用户低压电压/V	低电压用户数	电压合格率/%	线损率/%	供电量/ (10^4 kW·h)
方案实施前	10.2	9.47	170 ~ 180	3 621	97	15.2	885.9
方案实施后	10.5	9.7	198 ~ 210	2 120	98.3	12.1	950

4.2 经济性分析

经测算, 方案实施前年供电量约为 885.9×10^4 kW·h, 电压质量合格后年供电量为 950×10^4 kW·h, 年节约电量 ΔW :

$$\Delta W = (885.9 \times 15.2\% - 950 \times 12.1\%) \times 10^4 = 19.7068 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

按 0.5 元/(kW·h) 计算, 节约资金为 9.853 4 万元。

电压质量合格后, 年增加电量 ΔW_1 为:

$$\Delta W_1 = (950 - 885.9) \times 10^4 = 64.1 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

按 0.5 元/(kW·h) 计算, 供电企业年增加收入 32.05 万元。短期内即可收回电压监测装置及馈线调压器的投入成本, 实现双赢。

5 结论

本研究提出了变电站、线路、配变三级联调的新方案, 以数学分析作为该方案的理论支持, 提出了对应的控制策略。工程实例表明三级联调新方案具有 4 项优点:

1) 不改变电网规划;

2) 可以有效的治理农网低电压问题;

3) 可大幅度降低线损;

4) 可提高农网的综合经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 黄俊杰, 李晓明. 基于电力电子技术有载调压变压器的无冲击调压方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(10): 69-72.
Huang Junjie, Li Xiaoming. Non-inrush voltage regulating method for OLTC transformer based on power electronic technology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(10): 69-72.
- [2] 徐秀臻. 农网运行电压与降损节能的关系[J]. 农村电气化, 2000, (4): 23-24.
Xu Xiuzhen. The relationship between rural operating voltage and energy conservation [J]. Rural Electrification, 2000, (4): 23-24.
- [3] 王振, 方方. 变电站电压调节的几种方式[J]. 电工技术, 2008, (8): 73-74.
Wang Zhen, Fang Fang. Several means of substation voltage regulation [J]. Electrotechnical, 2008, (8): 73-74.
- [4] 万凯, 刘会金, 陈允平. 考虑铁磁特性的有载调压变压器

- 无暂态切换过程的理论研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6):170-174.
- Wan Kai, Liu Huijin, Chen Yunping. Research on the no transience process of the tap change in the load-ratio voltage transformer considering the ferromagnetic characteristic [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 170-174.
- [5] 彭志炜, 胡国根, 韩祯祥. 有载调压变压器调整对电力系统电压稳定性的影响[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(6):408-412.
- Peng Zhiwei, Hu Guogen, Han Zhenxiang. The power system voltage stability affected by on-load tap changer[J]. Proceedings of the CSEE. 1998, 18(6):408-412.
- [6] 王金丽, 李金元, 徐腊元. 大功率电力电子开关用于配电变压器无弧有载调压方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15):97-101.
- Wang Jinli, Li Jinyuan, Xu Layuan. Scheme of arcless on-load voltage regulation for distribution transformer using high power electronic switch [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(15):97-101.
- [7] 丁国光, 邱文华, 孙一民. 变压器有载调压和电容自动投切[J]. 电力系统自动化. 1998, 22(4):79-80.
- Ding Guoguang, Qiu Wenhua, Sun Yimin. On-load voltage regulation for transformer and automatic switching on-off capacitors[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22(4):79-80.
- [8] 付文竹. 主变压器有载调压控制回路的改进与完善[J]. 继电器, 2008, 36(4):79-80.
- Fu Wenzhu. Improvement for the coaded voltage adjustment and control loop of the main transformer[J]. Relay, 2008, 36(4):79-80.
- [9] 张俊芳, 康明才, 都洪基. 35 kV 变电站电压无功综合控制[J]. 继电器, 2002, 30(4):19-21.
- Zhang Junfang, Kang Mingcai, Du Hongji. The voltage and reactive power integrated control in 35 kV substations[J]. Relay, 2002, 30(4):19-21.
- [10] 郭以贺, 谢志远, 徐智坚. 基于 ARM 的馈线自动化系统设计[J]. 电力系统自动化. 2010, 34(10):105-108.
- Guo Yihe, Xie Zhiyuan, Xu Zhijian. A design scheme of feeder automation system based on ARM [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(10):105-108.
- [11] 刘家军, 宋娜. 基于 GSM 和 USB 的低压配电监测装置的研究[J]. 微计算机信息, 2009, 25(10-2):145-146.
- Liu Jiajun, Song Na. Rearch of monitoring device for low voltage power distribution based on GSM wireless transform and USB [J]. Computer Message, 2009, 25(10-2):145-146.
- [12] 苏胜新, 熊伍泉, 吴福保, 等. 农村配电自动化建设模式[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(21):71-72.
- Su Shengxin, Xiong Wuquan, Wu Fubao, et al. Discussion on patterns of rural distribution automation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(21):71-72.
- [13] 方敏. 10 kV 馈线自动调压器的应用[J]. 云南电力技术, 2009, 37(5):48-49.
- Fang min. Application of 10 kV feeder automatic voltage regulator [J]. Yunnan Electric Power, 2009, 37(5):48-49.

(责任编辑 李虹燕)