

低电压治理装置的适用性分析

基于电压、电流的序分量对低压台区低电压问题成因进行了机理分析,给出各类低电压问题的治理原则,在此基础上研究了各类低电压治理装置的工作原理以及适用性,对电力系统治理低压台区低电压问题提供一定的技术借鉴。

崔晓飞 许 中/广州供电局有限公司

朱明星 孙 贺/安徽大学教育部电能质量工程研究中心

0 引言

随着国民经济的发展,用电负荷快速增长,低压用户对供电质量的要求也越来越高。但是,目前仍然有较多的低压台区存在电压质量问题,主要表现为供电电压偏低和三相电压不平衡,致使低压用户不能正常用电,用户频繁投诉,严重影响了供电企业的服务质量。

低电压问题引起两网的重点关注,是当前配网领域的一项难题,低电压专项治理将成为实现电压合格率目标的重要手段。低压台区低电压治理措施从治理效果上可分为两类:根治方案和改善方案。根治方案即线路改造、台区容量增容及增加台区布点,按照“小容量、短半径及密布点”原则制定相应方案;改善方案即安装治理装置,改善用电质量,坚持“对症下药”的原则。而低压台区低电压产生的原因较多,情况复杂,如输电线路径偏小、供电半径过大、三相用电不平衡以及负荷功率因数偏低等,针对不同的低电压成因,其治理措施也应有所区别,若不能对症下药地选择治理方案,不但治理效果大打折扣

扣,甚至还会产生新的电能质量问题,造成投资的浪费。因此对于低电压治理方案选择,需对电能质量进行准确的测试评估和分析,作充分的理论论证。

本文主要研究改善低电压治理措施,首先基于电压、电流和功率的序分量对低压台区低电压问题成因进行了机理分析,给出各类低电压问题的治理原则,在此基础上研究了各类低电压治理装置的工作原理以及适用性,对电力系统治理低压台区低电压问题提供一定的技术借鉴。

1 低电压成因及治理原则

低压台区的主要用电负荷为小型工厂、企业和居民用电,单相负荷较多、输电线路往往较长,又因用电负荷工作的随机性,极易造成线路末端电压偏低和三相电压不平衡等问题。对于三相不平衡系统,应从序分量的角度进行分析。根据对称分量法,不平衡的三相电压和电流,均可分解为正序、负序和零序三个分量,不同序分量在配电网中的潮流不同,其对低电压的影响方式和治理措施也不相同,应区别对待。

1.1 正序压降的成因及治理原则

低压台区正序阻抗模型如图1所示。

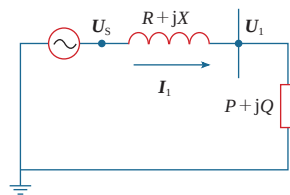


图1 低压台区正序阻抗模型

关键词/Keywords

低电压·
机理分析·
治理装置·
适用性·

低电压台区诊断与治理技术体系研究(GZHKJ00000013)。

式中, U_s 为供电电源的正序电压; U_1 为低压台区供电末端的正序电压; $R+jX$ 为供电变压器和输电线路的等效正序阻抗; I_1 为流经输电线路的正序电流; $P+jQ$ 为用电负荷的正序功率。

由图1可见, 从电源电压 U_s 到供电末端电压 U_1 的正序压降表达式为

$$\Delta U_1 = \frac{PR+QX}{U_1} + j \frac{PR-QR}{U_1} \approx \frac{PR+QX}{U_1} \quad (1)$$

根据式(1), 低压台区的正序压降与以下因素有关: ①变压器和输电线路的等效正序阻抗; ②用电负荷的正序有功功率; ③用电负荷的正序无功功率。变压器和输电线路的等效正序阻抗越大, 正序压降越大; 用电负荷的正序功率越大, 正序压降越大。

对于低压台区, 输电线路的等效阻抗以电阻分量为, 且对于一般的居民用电其用电功率因数较高, 因此低压台区的正序压降主要以正序有功压降为主。但对于企业用电, 当用电功率因数较低时, 应重视正序无功功率引起的正序压降。对于供电末端电压偏低的台区, 在制定治理方案时应注意以下几点。

1) 供电首端正序电压不满足限值要求, 应首先考虑调整变压器分接头的位置。若低压台区供电首端电压波动范围较大, 变压器分接头调节失效, 可能是10 kV系统的供电电压波动造成的, 在制定治理方案时应考虑改善10 kV系统的供电电压质量。

2) 供电线路末端正序电压满足限值要求, 应根据造成供电线路末端电压不合格的具体原因, 安装相应的治理装置, 如零序电压治理装置、负序电压治理装置和无功补偿装置等, 以改善供电线路末端的电压质量。

3) 供电线路末端正序有功压降不满足限值要求, 但正序有功压降的补偿范围在低压调压装置的调压范围内, 可通过调压装置进行升压, 改善供电线路末端的电压质量。

4) 供电末端正序有功压降不满足限值要求, 且正序有功压降超出了低压调压装置的调压范围, 只能通过增加线路线径或者优化供电半径,

以减小输电线路的等效正序阻抗, 从根本上解决供电末端的低电压问题。

1.2 负序电压的成因及治理原则

低压台区负序阻抗模型如图2所示。

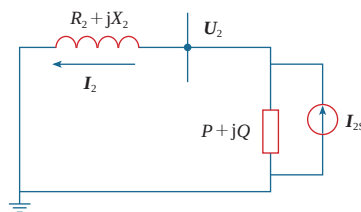


图2 低压台区负序阻抗模型

式中, I_2 为注入系统的负序电流; I_{2s} 为负荷三相不平衡产生的负序电流; U_2 为低压台区供电末端的负序电压; R_2+jX_2 为供电变压器和输电线路的等效负序阻抗。

负序电流是由负荷的不平衡用电产生的, 由负荷流向系统, 在变压器和输电线路的等效负序阻抗上产生负序电压, 如式(2)所示

$$U_2 = I_2(R_2 + jX_2) \quad (2)$$

由式(2)可以看出, 三相负荷用电越不平衡, 在变压器和输电线路产生的负序电压越大; 输电线路的等效阻抗越大(线路越长、线径越小), 在输电线路产生的负序电压越大; 越靠近供电末端, 负序电压越大。

对于一般的低压台区配电网, 输电线路的等效阻抗比变压器的等效阻抗大得多, 因此负序电压主要是由负序电流在输电线路阻抗上产生的。在制定负序电压治理方案时应注意以下几点。

1) 低压台区供电末端的正序电压不能满足限值要求, 若仅对负序电压进行治理, 只能在一定程度上改善末端的低电压问题, 不能使末端的正序电压满足限值要求。

2) 低压台区供电末端的正序电压满足供电需求, 且供电末端的低电压问题是由负序电压引起, 通过对负序电压的治理可使供电末端的电压满足限值要求。

1.3 零序电压的成因及治理原则

低压台区零序阻抗模型如图3所示。

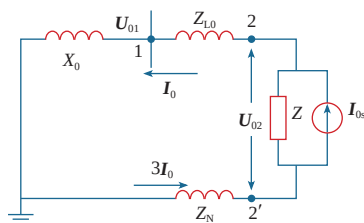


图3 低压台区零序阻抗模型

图3中, X_0 为变压器等效零序阻抗; Z_{L0} 为相线线路等效零序阻抗; Z_N 为中性线等效零序阻抗; Z 为负载等效零序阻抗; I_0 为流经输电线路的零序电流; I_{0s} 为不平衡负荷产生的零序电流。

零序电流也是由负荷的不平衡用电产生的, 由负荷流向系统, 并从变压器中性点处通过中性线又流回负荷, 因此零序电流不仅会在相线和变压器等效零序阻抗上产生零序电压, 还会在中性线等效零序阻抗上产生零序电压。三相负荷用电越不平衡, 在变压器和输电线路产生的零序电压越大; 输电线路的等效零序阻抗越大, 在输电线路产生的零序电压越大; 越靠近供电末端, 零序电压越大。

零序电压由配电变压器和输电线路零序阻抗产生, 在制定零序电压治理方案时应注意如下几点。

1) 低压台区供电末端的正序电压不满足限值要求, 若仅对零序电压进行治理, 只能在一定程度上改善末端低电压问题, 不能保证末端电压满足供电标准限值要求。

2) 低压台区供电末端的正序电压满足供电标准限值要求, 且供电末端的低电压问题主要是由零序电流引起的零序电压造成的, 通过对零序电流的治理可以改善供电线路末端的电压质量。

3) 对于三相四线制配电网, 中性线上的零序电流为相线零序电流的3倍, 中性线的等效阻抗对低压台区零序电压的影响很大。对于三相电压不平衡较为严重的台区, 应增大中性线线径, 使中性线线径不小于相线线径, 减小中性线零序阻抗产生的零序电压, 有效改善供电线路末端的三相不平衡问题。

4) 目前低压台区主要采用Dyn11接法变压

器, 但存在不少低压台区仍然采用Yyn0接法的变压器。Yyn0接法的变压器零序阻抗较大, 零序电流流过该变压器时产生较大的零序电压, 造成供电首端三相电压不平衡, 使供电变压器分接开关失去调节作用。

2 低电压治理装置的适用性分析

根据低电压成因的分析, 正序压降、负序电压和零序电压的成因均与低压网络中的变压器和输电线路等效阻抗有关, 因此根治方案是更换输电线路、优化供电半径。但根治方案的投入成本较高, 有时受场地等限制, 实施难度较大。因此, 在供电末端正序有功压降基本满足供电需要的情况下, 通过三相不平衡治理、无功补偿及调压等手段改善供电末端的供电电压质量。和根治类方案相比, 改善方案的投资相对较少、安装方式较为灵活。

2.1 串联电容补偿的原理及适用性分析

2.1.1 工作原理

将输电线路等效为电阻 R 和电抗 X_L 串联, 将串联电容器 X_C 串入线路中, 如图4所示。

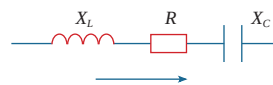


图4 串联电容补偿原理

串联电容器退出运行时, $X_C=0$ 。此时, 输电线路产生的电压降约为

$$\Delta U = \frac{PR + QX_L}{U} \quad (3)$$

式中, ΔU 为电压降; R 为线路电阻; X_L 为线路电抗; P 为负载有功功率; Q 为负载无功功率; U 为线路末端电压。

串联电容器投入运行时, 输电线路产生的电压降约为

$$\Delta U = \frac{PR + Q(X_L - X_C)}{U} = \frac{PR + QX_L}{U} - \frac{QX_C}{U} \quad (4)$$

式中, X_C 为串联补偿电容器的等效容抗; QX_C/U 为串联补偿电容量的补偿电压量。

可见,串联电容器补偿了输电线路的等效感抗,减小了输电线路的等效电抗值,相当于缩短了输电线路的等效电气距离,从而减小了负荷功率在输电线路上的压降程度。根据式(3)和式(4)可以看出,安装串补装置后所减小的“电压降”分量为 QX_c/U ,相当于在串补的安装点产生了一个电压抬升,串补还能减小首末端电压的功角差,从而提高电力系统稳定性^[1-3]。

2.1.2 适用性分析

串联电容补偿装置主要用于减小输电线路的感抗,对系统的无功功率贡献与电流二次方成正比,负荷越大,贡献的无功越多,且具有自适应的功能。

串联电容补偿装置适用于电力负荷比较分散且波动大、长距离供电的台区,尤其适用于解决

重负载起停时造成的电压波动问题^[1]。

低压输电线路以电阻为主,串联电容补偿装置不适用于低压台区。

若装有串联电容器的线路上有较多的异步电动机,当机电参数配合不当,有可能引起交流电动机的自激振荡,导致保护跳闸,系统无法正常运行^[1]。

2.2 低压调压器的原理及适用性分析

2.2.1 工作原理

低压线路动态电压电流调节器串联在低压供电线路中,其输入电压 U_i 为线路电压,其输出电压 U_o 为叠加了补偿电压 ΔU 之后的较高电压, ΔU 经调压器动态调节产生,使调压器的输出电压合格,一般可满足10~30户居民的用电需求。调压器基本原理如图5所示。

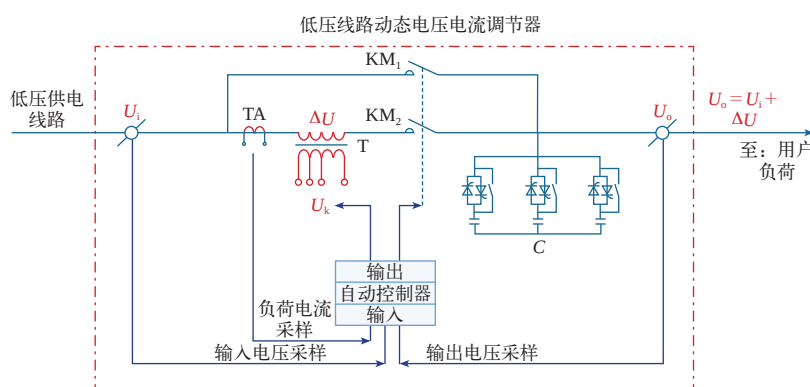


图5 低压调压器原理

低压线路动态电压电流调节器的自动投切电容器 C 用于无功自动补偿,实现无功功率就地平衡,以降低供电线路中的无功电流分量,从而降低了线路阻抗压降和线路无功损耗,达到稳压和降损的双重效果。

2.2.2 适用性分析

低压调压器装置为串联补偿装置,提升电压的同时,具有无功补偿的功能。

低压调压器装置只能抬升调压器后端电压,末端电压抬升的同时会增大输电线路电流,不仅增大配电变压器负载率,输电线路阻抗压降也会增大,反之末端电压又会降低,如此电压调节进

入恶性循环,所以低压调压器有一定的调压范围。低压调压器适合于末端电压偏低但在调压器调节范围的台区,需限制电压抬升后输电线路电流在限值范围内。

低压调压器装置可有效解决10~30户居民用电电压偏低的问题,无功功率就地平衡,有效降低线路有功损耗和线路阻抗压降,适用于农村微型户,供电半径过大,传统改造需延伸10 kV线路,新增布点代价比较大的台区。

2.3 动态无功补偿装置的原理及适用性分析

2.3.1 工作原理

动态无功补偿装置(SVG)是在电网电压发

生波动时,根据电压波动的方向,输出容性无功电流抬高电压或输出感性无功电流拉低电压,维持电压幅值在合格范围之内。

2.3.2 适用性分析

SVG为电源型逆变装置,接入系统不会改变阻抗特性,其输出无功功率大小不受台区的运行电压的影响。

SVG适用于正序和负序无功压降造成台区首端或末端低电压的台区,通过减小变压器等效阻抗无功压降和输电线路等效阻抗无功压降,来提升供电电压。若变压器等效阻抗无功压降较大,则可在变压器出线侧安装SVG;若输电线路等效阻抗无功压降较大,则需根据用电负荷分布的具体情况确定SVG安装位置。

三相四线制的SVG能够调节有功功率,实现负荷功率的相间转移,具备三相负荷不平衡改善的功能,适合由于三相不平衡造成末端电压偏低的台区。

2.4 零序滤波器的原理及适用性分析

2.4.1 工作原理

零序电流由于三相大小相等、相位相同,在中性线上表现为相互叠加的效果。零序滤波器根据零序电流的特点,在电源和负载之间实现零序低阻通道,将负载产生的基波不平衡电流、三倍频高次谐波电流等零序电流导入,避免零序电流主要成分通过系统形成回路,从而达到滤波的效果。零序滤波器基本原理如图6所示。

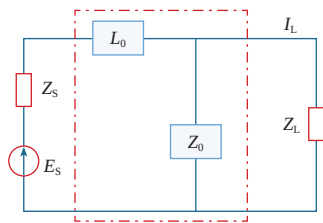


图6 零序滤波器原理

线路电感 L_0 串接在电源线上,对零序而言 L_0 是一个高阻抗,但对正负序而言是一个低阻抗。电抗器 Z_0 与负荷并联,对于零序电流而言是一个低阻抗,能使零序电流短路,可有效吸收三次谐波并

使零序电流锐减;对正负序电流而言是一个无穷大阻抗。在电气回路接入零序滤波器后,通过 L_0 阻止零序电流流过电源,同时 Z_0 将零序电流短路,使电源端不会加载零序电压,零序分量不会上传到配电系统中^[4-5]。

2.4.2 适用性分析

零序滤波器适用于基波零序电流较大、基波零序电流在相线和中性线产生较大零序压降的低压台区。

零序滤波器的滤波效果与其自身的零序阻抗大小、安装位置及安装数量有关,零序滤波器可降低注入台区配电变压器的零序电流引起零序压降;也可降低零序滤波器接入点之前的零序电流引起的相线和中性线的零序压降。

零序滤波器也适合于低压台区三次谐波电流较大应用场合,如含较多白炽灯、显示屏、UPS电源、广告牌、医疗设备、打印机和复印机等的写字楼、医疗机构、酒店及商场等公共建筑和民用建筑的台区。

3 结束语

有效改善低压台区的低电压问题,关键是抓住问题的本质后对症下药,选择适宜的治理装置,才能取得最佳的控制效果。根据本文分析与研究,治理装置设置应遵循以下原则。

1) 低压台区正序有功压降是低电压治理的关键。对于低压台区正序有功压降较大但仍在调压器的调压范围内时,可通过调压器进行电压调节,使供电末端的正序电压满足限值要求;当低压台区正序有功压降偏大且超过了调压器的调压范围,则只能通过增大线径和优化供电半径进行解决。

2) 对于低压台区正序有功压降满足限值要求,但由于10 kV输电线路压降导致供电末端正序电压不满足要求时,如果供电首端的正序电压稳定,可调节变压器的分接开关;如果供电首端的正序电压波动较大,可以选择在10 kV系统安装串

(下转第70页)

离开关和负极空气隔离开关等状态信息，针对温度越限、报警等不正常信息输出声光报警信号。监控软件也可根据直流开断装置的现场参数对报警定值进行整定。根据实际测试效果，CAN总线传输的实时性、可靠性及上位机监控软件的可操作性都能够满足直流开断装置监控通信的实际需要。

5 结束语

针对舰船直流开断装置监控通信的特点，设计的基于CAN总线的通信架构由节点模块、网桥模块及上位机监控软件组成，提出了实用的CAN应用层数据分配方案，硬件设计考虑了与直流开断装置配合的即插即用特性，具有较好的抗干扰性能，软件设计具备移植性好、适于开发高级应用的特点，通信架构经过测试能够满足实际需要，可为相关应用提供一定的借鉴。

参考文献

[1] 韩成浩，高晓红. CAN总线技术及其应用[J]. 制造业自动化，2010，2(2)：146-149.

[2] 王英志，杨佳，韩太林. 基于STM32的RS232-CAN通信协议转换器设计[J]. 制造业自动化，2013(14)：141-143.
[3] 袁帅，李颖. CAN总线电能质量监测系统通信协议设计[J]. 低压电器，2010(5)：31-33.
[4] 郝勃，刘衍珩，曲良东，等. CAN网络的分组合并策略研究及实现[J]. 仪器仪表学报，2012(9)：2137-2143.
[5] 王桂荣，钱剑敏. CAN总线和基于CAN总线的高层协议[J]. 计算机测量与控制，2003，11(5)：391-394.
[6] 吴坎，赵薇，李封. 基于SJA1000和PCA82C250的CAN总线接口设计[J]. 机械设计与制造，2010(7)：55-57.
[7] 刘纯虎，付斌，盛庆华. 基于STM32的微型USB-CAN适配器开发[J]. 计算机测量与控制，2013，4(4)：996-998.
[8] 薛飞，杨友良，孟凡伟，等. 基于Matlab GUI串口通信的实时温度监控系统设计[J]. 计算机应用，2014，1(1)：292-296.

(收稿日期：2016-01-18) EA

(上接第65页)

联补偿装置，稳定并提高供电首端的正序电压。

3) 对于供电末端正序电压满足限值要求的低电压问题台区，可选择安装并联型治理装置解决低电压问题。对于无功压降较大的台区可选择SVG进行无功补偿；对于零序电压较大的低压台区可选择安装零序滤波器，也可选择SVG平衡三相负载电流，减少不平衡电流的发生量，进而减少供电末端的零序压降。

4) 低压台区治理装置的安装位置对治理效果的影响较大，因此必须重视治理方案的设计、科学规划才能取得最佳的治理效果。

参考文献

[1] 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.

[2] 雷宪章. 串联补偿技术在远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.
[3] 周封，肖强，刘志刚，等. 配电网串联电容补偿对电机端电压调节性能的影响[J]. 电力系统保护与控制，2015(8).
[4] 周名嘉，杨松，翁锡营. 零序谐波滤波器解决中性线电流超载的原理[J]. 建筑电气，2008，27(5)：13-16.
[5] 宋祺鹏，尹忠东，单任仲，等. 移相型零序滤波器的仿真与实验[J]. 电力系统自动化，2008，32(17)：75-78.

(收稿日期：2016-01-18) EA