

文章编号:1671-251X(2014)09-0032-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.09.008

黄元生,代鑫波,崔勇.变电站直流系统的容性无功优化设计及评价[J].工矿自动化,2014,40(9):32-35.

变电站直流系统的容性无功优化设计及评价

黄元生, 代鑫波, 崔勇

(华北电力大学 经济管理学院, 北京 102206)

摘要:针对变电站经常由于直流系统接地而导致保护装置误动作的问题,提出了直流系统容性无功的概念,并采用容性无功的优化设计方法设计了一种集中独立式直流系统供电优化方案。该方案降低了直流线路的对地容性,在满足供电可靠性的基础上,通过优化线路走径达到减少无功功率的目的,减少了保护装置的误动作问题,提升了直流系统的运行效率。最后对该方案的无功优化效果进行了评价,验证了其安全可靠性及经济性。

关键词:变电站; 直流系统; 容性无功; 无功优化; 运行效率; 集中独立式供电

中图分类号:TD611.2

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Design and evaluation of capacitive reactive power optimization in substation DC system

HUANG Yuansheng, DAI Xinbo, CUI Yong

(School of Economics and Administration, North China Electric Power University,
Beijing 102206, China)

Abstract:In view of problem of misoperation of protection device caused by DC system grounding fault which often appears in substations, the concept of capacitive reactive power of DC system was proposed, and an optimized scheme of centralized power supply of DC system was designed applying optimization method of capacitive reactive power. The optimization scheme reduces DC line-to-ground capacitive character, and achieves the purpose of reducing reactive power by optimizing circuit trail on the basis of meeting supply reliability. It solves the misoperation problem of protection device and improves operating efficiency of DC system. Finally, the effect of the reactive power optimization scheme was evaluated to verify its reliability, security and economical efficiency.

Key words:substation; DC system; capacitive reactive power; reactive power optimization; operating efficiency; centralized stand alone power supply

0 引言

任何通电导体之间或导体与大地之间电容性效应是客观存在的,而变电站交流和直流系统的导线对地的分布电容,以及高频开关电源、测控保护的EMI(电磁干扰)对地抗干扰电容会随变电站设计规模而变化。变电站直流系统对地电容的大小是直流系统中各负载电容的矢量和,对地电容可改善直流

母线共模干扰^[1],但在直流系统出现一点接地或多点接地后,常由于容性电流过大导致继电保护装置误动,这种事故在500,220 kV甚至110 kV变电站均常有发生。直流系统的接地电流主要包括短路电流、接地线对地容性电流、非故障线路对地容性电流以及高频开关电源的对地容性电流等,本文通过研究直流系统的对地容性电流效应,提出了容性无功的概念以及直流系统的容性无功优化方法,以减少

收稿日期:2013-12-30;修回日期:2014-07-09;责任编辑:胡娴。

基金项目:中央高校基本科研业务专项资金项目(13ZD21)。

作者简介:黄元生(1958—),男,山东青岛人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力市场、技术经济等,E-mail:hys2656@aliyun.com。

因容性电流过大而导致的保护误动现象。

1 直流系统运行概况

变电站二次设备工作电源取自直流馈线,并使用 DC/DC 模块获取电源供给到 PCB 板^[2]。由于 DC/DC 开关电源模块的 EMC(电磁兼容)问题,在所有开关电源电路的输入端都加有 EMI 抗干扰措施,通过 EMI 手段来保证开关电源及设备本身不受噪声源的影响,同时抑制噪声源向外辐射。正对地和负对地之间的电容在高压电场的感应下,使直流回路产生一个很大的交流干扰电压,由于电容滤波作用的存在会大大削弱其干扰。为达到 EMI 电路抗干扰的目的,通过 EMI 中的对地电容将干扰源旁路接地,使各设备之间保持兼容和正常运行,对地电容越大效果越好。直流回路的各负载设备从自身考虑而加大 EMI 电容,并联到直流回路系统中后形成较大的直流系统对地电容。

2 直流系统容性无功

2.1 直流系统容性无功的特点

容性无功主要与电容值和系统电压成比例,直流系统的电压可能是 110 V 或 220 V,在电压一定的情况下,直流系统的无功容量值主要取决于系统中分布电容的大小。直流系统供电网络的电容主要包括直流线路的对地电容、设备中存在的 EMI 电容、高频开关电源对地电容 3 个部分。直流馈线对地电容值和线路长度成正比关系,综合自动化设备和开关电源对地容值取决于厂家设计。

2.2 直流系统容性无功的影响

当直流控制母线正极出现 2 个单点接地点时,接地电流经变电站接地网导通分闸或合闸回路,使断路器误分合闸;同理,当发生负极两点接地且接地点分别处于分合闸线圈两端时,接地电流由接地点短接,分合闸线圈,使线圈永久失磁,若此时发出分合闸信号则断路器会拒分或拒合。

当直流系统出现一点或多点接地后,会发生无功潮流的移动,当无功值达到某一程度时,可以使微机保护装置中的断路器出口分闸线圈启动,从而导致断路器误分闸。

3 直流系统容性无功优化

3.1 直流系统容性无功优化方法

直流系统容性无功优化的重点是对高频开关电源、测控保护装置的对地容值进行测试,对直流回路

进行改造,以缩短直流馈线长度,减少其对地电容值。由于直流电源供货商对 PCB 板中的元件对地电容未进行测试以及涉及商业机密,建议新建变电站在工程投运前对跳闸输入接点进行一点接地模拟实验,检验直流对地电容放电是否会造成开关跳闸,如出现开关跳闸现象,应联系相关厂家适当调整 TBJ(跳闸保持继电器)动作电流值,保证开关不会因跳闸回路一点接地造成跳闸。另外,由于变电站直流回路总长度累计可达几十千米,直流线路容性无功占有比例相对较大,因此,直流系统的容性无功优化侧重直流供电的规划,在保证可靠供电的前提下缩小供电半径,达到减少容性无功的目的。

3.2 直流系统容性无功优化方案

3.2.1 直流系统供电方案现状

《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》(2012 年修订版)中 5.1.1.9 规定:变电站直流系统配置应充分考虑设备检修时的冗余,330 kV 及以上电压等级变电站及重要的 220 kV 变电站应采用 3 台充电、浮充电装置,两组蓄电池组的供电方式,即所谓的“双电双充”配置;5.1.1.10 中明确规定:变电站直流系统的馈出网络严禁采用环状供电方式,而应采用辐射状供电方式^[3]。

上述对于直流系统接线方式及配置的要求,目的在于解决环网供电可靠性低、接地不易查找等问题,但辐射式供电方式虽能有效提升直流系统的运行可靠性,也暴露出一些不利于运行的因素。环状接线与辐射状接线的性能对比见表 1。

表 1 环状接线与辐射状接线性能对比

接线方式	经济性	可靠性	操作与配置	电容电流
环状	优于辐射状,不需要配置过多电缆和屏柜	可靠性低,屏顶小母线发生断线或接地时不利于查找和排障	配置简单,需多个装置,可共用空气开关	比辐射状接线方式产生的电容电流小
辐射状	每个直流负载需配置专用电缆和电源开关,经济性较差	可靠性高,直流接地查找和排障的效率高	根据电压等级和装置功能的差异配置不同的空气开关	由于配置了大量电缆,使对地电容较大,造成了直流感电时电容放电的可能

3.2.2 直流系统供电接地分析

直流系统单点接地时分布电容电流放电电路如图 1 所示。其中 R_1 、 R_2 为绝缘监察装置内平衡电

桥电阻; $R_{KM(+)}$, $R_{KM(-)}$ 分别为直流系统正、负对地绝缘电阻; $C+$, $C-$ 分别为直流系统集中反应起来的正、负对地等效电容; TJ 为控制回路跳闸出口继电器触点; TBJ 为跳闸保持继电器; TQ 为断路器

跳闸线圈; a 点为直流系统一点接地时的接地点。当某一控制回路中的 a 点发生接地时, $C+$ 通过接地点 a 对跳闸线圈充电, $C-$ 对跳闸线圈放电, 即等效为 $C+$ 与 $C-$ 并联对跳闸线圈放电, 线圈中有无功电流流过。电气试验标准规定: 断路器低电压分合闸试验时, 跳闸线圈最低动作电压应不低于额定电压的 65%。跳闸线圈额定电压为 $\pm 220\text{ V}$, 电阻为 $131.5\ \Omega$, 额定电流为 1.67 A , 当功率低至 155 W 时, 跳闸线圈就会误动, 致使断路器误分闸^[4]。

3.2.3 直流系统容性无功优化设计

优化设计的主要思路: 降低直流线路的对地容性, 在满足供电可靠性的基础上, 通过优化线路走径达到减少无功功率的目的。首先按照测控或保护区域对用电负载进行分类, 在辐射状供电方式的基础上, 缩短到负载终端的直流馈线长度, 对每个负载端采用加装空气开关的独立支路用电。本方式可以称为集中独立式供电方式, 如图 2 所示。

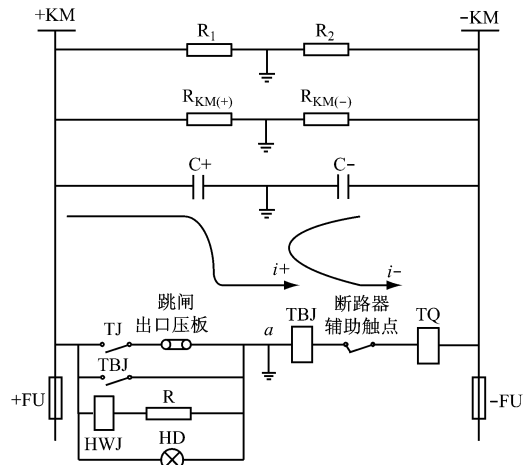


图 1 直流系统单点接地时分布电容电流放电电路

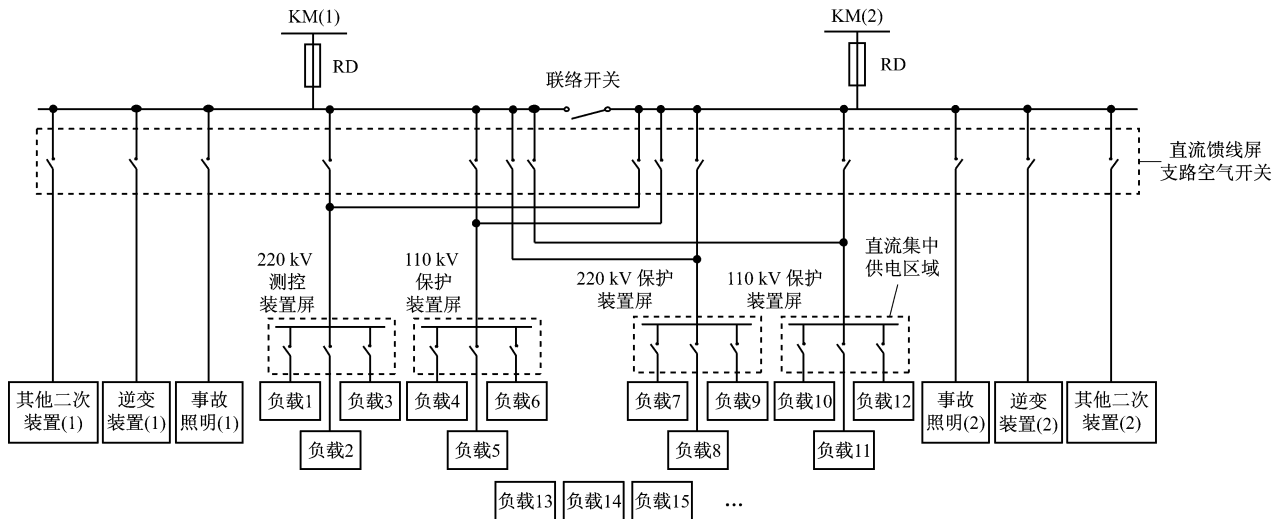


图 2 集中独立式供电方式

3.3 优化方案评估

3.3.1 安全可靠评价

直流系统辐射状接线方式、屏顶小母线接线方式如图 3、图 4 所示。辐射式接线采用的控制电缆数量最多, 所产生的对地分布电容也明显, 可靠性高, 便于查找和切除馈线故障。屏顶小母线接线采用的控制电缆最少, 对地分布电容最小, 但供电可靠性最低, 该方案在国内变电站的新建、改建、扩建工程中已基本不考虑。集中独立式接线降低了分布电容, 所用的控制电缆数量和总长与屏顶小母线接线方式相差不大, 由于采用了馈线集中供电, 存在单个馈线故障可能导致区域内其他负荷中断供电的可能性, 供电可靠性较辐射状接线低; 同时, 由于降低了

分布电容, 单相接地时由于分布电容放电导致保护误动的可能性也大幅降低^[5-6]。3 种接线方式对比见表 2。

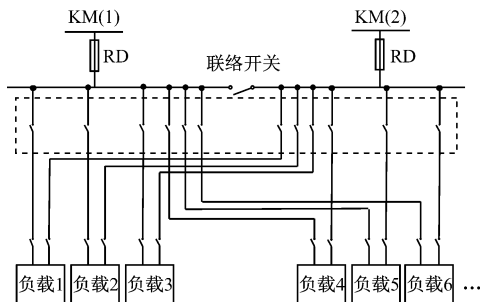


图 3 辐射状接线方式

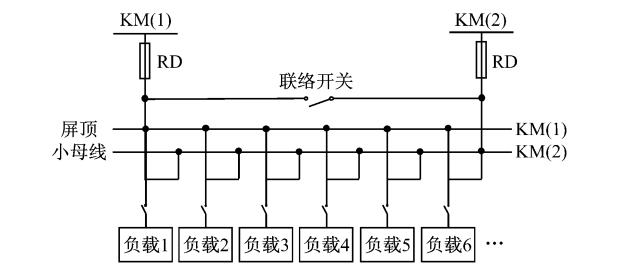


图 4 屏顶小母线接线方式

表 2 3 种直流系统接线方式对比

接线方式	成本	支路接地查找	支路短路时	对地分布电容
		时其他支路受影响程度	其他支路受影响程度	
屏顶小母线接线	最低	同一个屏顶小母线内所有支路均受影响,受影响程度高	若空气开关极差选择不合理,可能造成多个设备甚至整套系统瘫痪	低
辐射状接线	最高	不受影响	不受影响	高
集中独立式接线	适中	一个直流供电区域内的回路将受影响,按文中设计将3组负荷连接成一个供电区域,则受影响程度低	基本不受影响,即使极差选择不合理,将造成一个区域内3个设备失电,损失较小	低

3.3.2 直流系统无功优化效果评价

根据集中独立式供电方式绘制容性分布图,如图 5 所示。 $C_1—C_n$ 是各控制回路支路电缆对地分布电容; C_{EMI} 是装置内部 EMI 回路对地电容; Z_1, Z_2, Z_3 及 Z'_1, Z'_2, Z'_3 是相应各分屏所接装置的内阻; C' 是绝缘监察装置内滤波电容; C'' 是高频充电模块内部 EMI 滤波器等效电容。从图 5 可以看出,采用集中独立式供电接线后,由于直流辐射干线较少,对地电容直接减少,且形成区域性容性,减少了故障发生概率,同时使容性无功得到有效控制^[7-8]。以某 220 kV 变电站的改造为例,直流系统接线配置对比分析见表 3(均按双电双充直流系统进行配置)。

4 结语

分析了直流系统容性无功的产生过程及其对保护装置的影响程度,提出了集中独立式直流供电方案。该方案重点解决了系统一点或多点接地时,因容性无功值过大导致的保护装置误动作问题,同时克服了辐射状供电方式故障点多、屏顶母线方式供电可靠性差的缺点,全面提升了直流系统的运行效率。但由于该接线方案对直流馈线进行了集中整

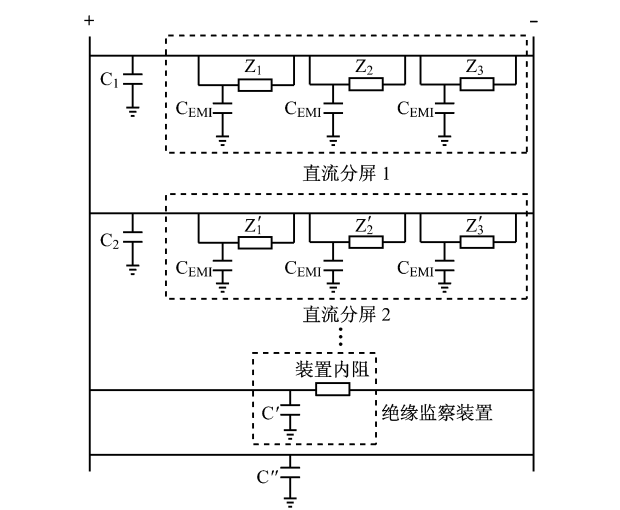


图 5 集中独立式接线的分屏等效电容分布

表 3 直流系统接线配置项目对比

接线方式	馈线屏柜	电缆总长/m	直流空气开关/个
屏顶小母线接线	2 面	5 050	80
辐射状接线	至少 4 面	7 570	136
集中独立式接线	根据实际情况定,若采用分屏模式则至少需要 6 面屏柜,不采用专用的馈线屏柜分屏模式则 2 面馈线屏柜即可		
		5 200(该数值为现场计算得出,非真实数据)	102

合,所以对直流绝缘监察装置提出了更高要求。

参考文献:

[1] 邱关源. 电路[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[2] 李明娣,张希峰,张文广,等. 智能高频开关电源系统在变电站直流系统改造中的应用[J]. 电源技术应用, 2002,5(12):61-63.

[3] 曾光,金舜,史明. 高频高压变压器分布电容的分析与处理[J]. 电力电子技术,2002,36(6):54-57.

[4] 苏祖礼,陈雅云. 110 kV 变电站直流辐射状供电的经济性及优化接线方案探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2008,36(17):82-83.

[5] 钟和清,徐至新,邹旭东,等. 软开关高压开关电源研究[J]. 高电压技术,2003,29(8):7-9.

[6] 白忠敏,於崇干,刘百震. 电力工程直流系统设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,1999.

[7] 贾秀芳,赵成勇,李黎,等. 直流系统绝缘监测综合判据[J]. 电力系统自动化,1999,23(16):47-49.

[8] 冯卓明,游大海. 直流系统接地检测方法比较[J]. 电测与仪表,1997(5):27-30.