

变电站直流电源系统故障监测装置的研制与应用

崔涛¹, 刘孝刚¹, 姜珊珊¹, 许建刚², 高翔³

(1. 江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102; 2. 江苏省电力公司, 江苏南京 210024;
3. 杭州高特电子有限公司, 浙江杭州 310012)

摘要: 变电站在运行过程中, 经常会发生一些断路器的偷跳、保护装置不明原因的误动或拒动, 在许多事故案例的处理过程中发现其事故原因往往与直流电源系统有关, 但对事发时直流电源系统的运行状况无法拿出实时的检测数据, 且给事故分析增添了许多不确定性。文中对变电站直流电源系统的故障及异常情况进行了全面的分析研究, 提出了一种对变电站直流电源系统发生异常状况时快速启动录波的思路, 为变电站和发电厂直流电源系统故障分析提供了有力的支撑。

关键词: 直流电源系统; 故障信息采集; 背景数据; 突变量; 自适应

中图分类号: TM63; TM855

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2016)02-0026-05

变电站直流电源系统是保障变电站设备正常运行的血脉, 它的健康状况将直接影响到变电站的安全运行。但变电站的直流电源系统实际上并不是理想的系统, 常常会因直流电源设备的质量问题(如开关电源故障、蓄电池内阻增大)、外部干扰(如交流窜入、过电压耦合)、内部扰动(如绝缘监察装置动作、稳压装置动作、短路或接地)等原因都给直流电源系统电源质量构成污染, 常常引起电气设备的误动或拒动, 对变电站的安全运行构成严重威胁^[1]。而当变电站发生事故或异常情况时是否与直流电源系统有关, 现有直流电源系统的监测装置无法提供对直流电源系统实时动态的监测数据, 只能依赖事后的推断, 缺少事发时故障信息的数据支撑。

为能提供变电站发生事故或异常情况时是否与直流电源系统有因果关系的证据, 需要有一种变电站直流系统故障信息采集装置及分析系统, 能对直流系统的异常信息快速进行记录和分析, 为变电站发生事故或异常的分析提供准确可靠的判断依据, 填补直流电源系统监测的空白。本文根据现有变电站直流电源系统的组成情况, 对变电站直流电源系统的各类异常及扰动因素进行了详细分析。对变电站直流电源系统故障故障信息采集装置及分析系统应实现的功能及性能进行了初步探索, 以期发现直流电源系统的设备异常提供数据支撑, 为提高变电站直流电源系统运行管理水平起到积极的作用。

1 直流电源系统内环境剖析

1.1 设备或器件的影响

(1) 绝缘监察装置的影响。在现有直流电源系统绝缘监察装置中, 为避免在对地进行接地电压的检测过程中平衡电桥对测量精度的影响, 往往采用单臂电

桥进行测量, 这就需在测量过程中对电桥正负对地回路进行分别切换^[2,3]。而现场检测过程中发现在电桥的切换过程中会造成直流系统电压的波动, 这种频繁地波动实际上相当于给直流系统叠加了一个干扰源。在实际运行过程中, 有些变电站在两段直流母线上分别配有直流系统绝缘监察, 当两段母线分列运行时, 两段母线上的绝缘监察装置平衡桥的中性点分别接地运行, 当因故两段直流母线需并列时, 应使某一段母线的绝缘监察装置的平衡桥的中性点接地点断开, 如果操作人员在直流母线并列操作过程中未能正确操作将其断开, 则会人为形成直流系统的两地点接地, 当并列前两段直流母线正负对地绝缘电阻不对称时, 极易造成设备地误动。

(2) 稳压装置动作的影响。从充电母线至控制母线配置有稳压装置的, 其稳压装置一般有硅链或直流斩波器, 当充电电源失电后, 直流控制母线的稳压装置将会动作, 造成直流控制母线电压地波动, 影响直流电源的品质。如稳压装置出现故障, 则对直流电源系统构成致命性威胁, 所以, 有些变电站的设计中, 从安全的角度则取消了稳压装置。当然从控制母线的稳压控制方面则失去了调节手段。

(3) 蓄电池内阻的影响。蓄电池长期运行后由于电池质量或寿命原因, 使得电池内阻变大, 当直流电源充电装置失电后, 如蓄电池的内阻过大会引起直流母线电压的大幅度跌落, 严重时会造成继电保护拒动或误动。例如, 某变电站在站用电失电后, 由于蓄电池内阻偏大, 直流母线电源跌落严重, 使得 110 kV 母线电压切换装置直流继电器返回, 造成站内所有 110 kV 线路保护中距离保护的交流回路失压, 此时恰巧一 110 kV 线路发生区外故障, 造成该线路保护距离三段保护误动, 使得对侧变电站全站失电。

(4) 开关电源模块的影响。变电站高频开关电源

由于原理上的原因,其输出的直流电流中总是避免不了含有一定的谐波分量,根据国标要求,其谐波含量不得超过3%。但如果高频电源模块的质量较差,则在其输出的电流中将会含有较高的谐波分量。现在的保护及自动化装置本身均带有逆变电源模块,其过高的谐波含量虽对这些装置不能构成直接威胁,但会对蓄电池的充电带来较大影响,会加速蓄电池的劣化,缩短蓄电池的寿命。

1.2 二次回路的影响

(1) 直流电源系统滤波电容的影响。直流电源系统为了滤去谐波一般会配置滤波电容,有些直流系统电容数值高达100 μF 。如此大容量的电容储备了大量的电能,其电容积聚的能量如加载在设备动作线圈上足以使继电器动作。

(2) 直流回路分布电容的影响。变电站的控制电缆数量众多,电缆越长其分布电容越大,由于各分布电容的并联作用,再叠加直流系统的滤波电容,使得直流系统存在较大的对地电容,当设备出口动作线圈的正极端发生接地时,由于直流系统绝缘监察装置的平衡桥有一个中性点接地存在,整个系统对地电容会通过这个中性点对动作线圈放电,极易造成设备误动作。

1.3 交流窜入的影响

交直流串扰实质上也是直流接地,要严防交流窜入直流故障出现。因直流系统是通过绝缘监测装置的平衡桥接地的,正常运行时正负极对地绝缘电阻是对称的。而交流系统的零线是接地的,一旦交直流发生串扰,就会形成直流回路一点接地。因此继电保护操作回路中不允许交直流有公共接地点,以免引起交直流串扰。对于直流操作回路,由于电缆的分布电容比较大,一旦发生直流回路接地或发生交直流串扰,就会使分布电容放电,在直流操作回路中极易造成设备地误动。交流窜入的形式有多种,各种形式的窜入对直流回路的影响程度各有不同,但其危害结果却类同,极易造成设备地误动。

(1) 交流耦合窜入。由于设计施工的不合理,交流电源电缆与直流电缆合用,或交流电缆与直流电缆长距离并行敷设,造成交流的耦合窜入,耦合的交流分量叠加在直流电源上对直流电源的质量带来较大影响。高压隔离开关的分合操作过程中,由触头间电弧引起的电磁感应会在直流电缆上会产生较高的耦合电压,如二次电缆的屏蔽接地如做的不好,耦合的高电压极易造成直流回路绝缘损坏或二次回路器件的损坏。再者,当雷击落在变电站地网上,地电流耦合到直流电缆上,如直流二次回路的屏蔽及接地设计施工的不合理,也会造成直流回路绝缘损坏或二次回路器件的损坏。

(2) 金属性交流窜入。金属性交流窜入主要是指

因为人员误碰或误接线,致使将交流电源回路搭接到直流回路引起的交流窜入,因此而造成的事故案例也比较多。

(3) 空气击穿交流窜入。主要是指因设备原因造成交流电源回路与直流电源回路绝缘击穿,如辅助开关、接触器的触点飞弧造成交流窜入直流回路。例如2011年4月1日17:30,江苏盐城大丰风电场侧华电220 kV 2W33线路A相、B相开关在无保护动作情况下跳闸,之后200 ms南自PSL603保护后备三相跳闸动作,跳开C相开关,对侧华丰变电站2W33开关未跳闸。事后经调阅风电场故障录波分析及现场检查后发现2W33开关误跳闸的原因,在2W33开关跳闸前(17:17:20:062)35 kV II母出线B相发生单相接地,引起35 kV消弧线圈动作,因该消弧线圈接触器的动作线圈采用的是直流电源,消弧线圈接触器动作过程中触点飞弧,使得交流窜入直流回路,如图1所示。窜入的交流使得2W33开关操作回路绝缘击穿,致使2W33 A相、B相开关直接动作,如图2所示。



图1 消弧线圈 ZC 接触器图



图2 操作箱总线背板图

还有因为端子排的接线排列不合理,交直流的接线端子间隔离不符合要求,加之端子箱的密封不严,积尘严重,除湿措施不力,因污秽形成端子间爬电而造成交流窜入直流回路。极易造成直流回路绝缘损坏或二次回路器件的损坏,甚至造成设备地误动。

(4) 设备故障引起的交流窜入。变电站的设备中,有许多设备均接入了交流和直流电源,这些设备发生故障极易造成交流窜入直流。如事故照明切换装置、

UPS 电源装置,由于这些设备中交直流的接线靠的较近,一旦装置发生故障,交流电源极易窜入直流回路,引发直流回路故障。

2 直流电源系统故障特征检测

通过上述分析,虽然知道变电站直流系统随时可能遭受来自环境干扰、设备异常、人员误操作等各方面地威胁,但在发生事故时,特别在发生不明原因的事故跳闸时,到底直流系统发生了什么情况,是直流设备发生了故障,还是直流回路的绝缘出现了问题,目前还没有一个有效手段来侦测,只能依赖事故后的排查分析,既耗费了大量的排查分析时间,还给事故原因分析留下许多不确定性。为了保证在任何情况下对直流电源系统发生的任何异常情况都能捕捉到,对变电站直流电源系统故障信息地采集有着某些特殊的要求,现就这些特殊要求进行一些探讨和探索。

2.1 直流电源系统故障监测的需求

变电站发生不明原因的事故跳闸或异常时,直流电源系统到底有无异常情况,或异常情况发生的程度如何,希望能有一个类似于黑匣子的设备,能在任何情况下对变电站直流电源系统所发生的故障及异常信息都能全程高精度地采集到,为事故分析提供第一手数据资料,以提高事故分析的快捷性和准确性。要实现这些目的,应达到以下基本的功能及性能需求:

(1) 应具有高密度采集信息能力,因直流电源系统在遭受的干扰中,有稳态的也有暂态的,有些暂态的干扰在现场很难发现痕迹,如瞬间绝缘击穿、交流瞬间窜入等,给事故分析带来不确定性,如能快速地捕捉到所有暂态信息,对事故分析将带来重大帮助。

(2) 应具有故障录波功能,当直流电源系统发生任何异常情况时,将这些异常状态下的信息记录下来,且要保证在任何情况下(包括在直流系统崩溃的情况下)都能快速地将故障信息记录,并能将采集的信息可靠存储。正常情况下可将数据及时上传到远程监控平台对数据及时分析,如网络中断,也可从采集装置的存储卡中取出数据,保证存储数据的绝对安全性,并具有事故追忆功能。

(3) 为了能快速、准确地对直流电源系统异常信息作出分析判断,还需建立一套信息查看及分析系统,为专业人员在事故分析时提供专业的分析工具。同时,当接入的变电站越来越多后,提供大数据的分析功能,这也将对直流电源系统的管理和发展提供重要的信息支持。

2.2 数据采集点的选择

为了能对变电站直流电源系统状况有一个整体的监测,选择检测点也很重要。监测对象应包括直流电源

设备、直流系统的绝缘、直流系统的外来干扰。为了保证监测目的的实现,应该对充电模块的交流输入电源、直流充电母线、直流控制母线设立监测点,以实现直流充电模块、蓄电池、稳压装置、直流回路绝缘状况的监测,保证故障分析的数据需求。

(1) 为了监测直流充电模块的交流电源输入情况,需在充电模块的交流小母线上设置电压采集点,为直流电源系统发生异常时是否与交流电源有因果关系提供数据分析依据。因高频整流模块出现异常时可能引起三相交流输入电流异常,同时可能在直流回路出现较大的谐波分量,所以要在交流输入回路设置电流采集点也具有一定的必要性。

(2) 直流高频电源模块是直流电源系统的核心部位,将输入交流电源整流成直流电源并输出到充电母线。对充电模块的直流输出状况地监测应该是对直流电源系统的第一个重要监测点,通过设置充电母线电压采集点,就能实时监测到直流充电模块的工作是否正常。另外,有些老变电站采用电磁合闸机构,充电母线同时也是合闸母线,断路器合闸动作时会产生比较大合闸电流,对直流电源系统产生较大的负荷冲击,在合闸母线上设置电流采集点也可监测到断路器动作情况。

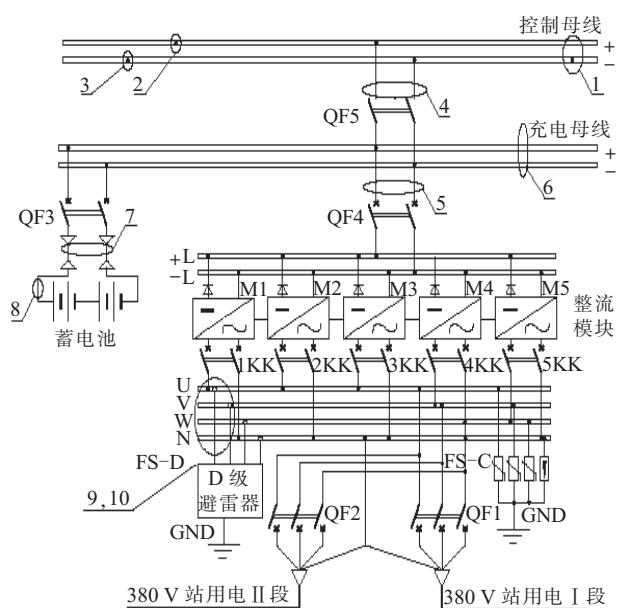
(3) 直流控制母线的运行状况将直接影响到设备能否正常运行,所以直流控制母线是直流系统主要监测点,直流电源系统的绝缘状况、直流控制母线的电压状况、交流窜入状况将通过该监测点进行相关信息的采集。同时,通过该监测点对充电母线至控制母线间的稳压装置(硅链或直流暂波器)的工作情况、蓄电池的供电情况也都得到了监测,如稳压装置或蓄电池出现异常将会及时得到报警。

(4) 蓄电池组经蓄电池总熔丝及蓄电池总开关并接在合闸母线上。正常运行时,充电模块的直流输出除提供直流系统的负荷外,同时经过充电母线对蓄电池进行浮充电。当充电模块失电或故障时,蓄电池将通过充电母线供电,并经过稳压装置向直流控制母线供电,保持直流电源系统持续供电。通过对蓄电池组电流回路地监测,将能判断蓄电池组的充放电状态,如蓄电池回路出现异常的充放电现象将会被准确记录。

以 220 kV 变电站一段母线为例,直流电源系统故障信息采集点设置如图 3 所示。

2.3 故障录波启动的判据

一旦直流电源系统发生异常时要能及时完整地将异常信息记录,这就要对何时进行启动录波的判据选择进行仔细的分析研究,要充分考虑直流电源系统的各类故障及异常情况下均能可靠启动录波。启动判据至少应考虑以下几种情况。



1 控制母线电压;2 控制母线电压正极;3 控制母线电压负极;4 控制母线电流;5 充电母线电流;6 充电母线电压;7 蓄电池组电压;8 蓄电池组电压;9 整流模块交流电压;10 整流模块交流电流

图3 变电站直流电源系统故障信息采集点

(1) 直流接地启动。直流电源系统发生接地是较为常见的现象,一点接地可能造成保护和自动装置的误动或拒动,两点接地还可能造成直流保险丝熔断,控制回路失去电源。通过检测正负母线对地之间的电压,可以直接反映直流母线的对地绝缘状况,如正负母线对地之间的电压偏离超过了一定的值将启动检测装置录波。

(2) 交流窜入启动。交流窜入直流电源系统实际上造成直流电源系统接地,极易引起继电保护装置误动或拒动,危害严重。交流窜入直流电源系统有时往往是暂态的,绝缘监察装置无法监测到,给查找故障带来很大困难。为能捕捉到这些暂态或静态的异常信息,通过滤取控制母线上的工频分量作为启动录波的判断。

(3) 直流大负载动作启动。直流电源系统大负载动作时对直流电源系统的供电能力是严峻地考验,特别对一些老变电站,断路器的合闸采用电磁合闸机构的,对直流电源容量的要求则更高。当直流电源系统发现异常时,需要看是否有大电流输出,为判别是大负载动作还是直流回路短路提供分析数据,因此,当发现有大电流输出时应启动录波。该状况下录波同时也能够监测到高频电源模块的性能和蓄电池组容量的状况。

(4) 控制母线电压异常启动。在变电站的直流回路设计中,有许多变电站的直流控制母线是由充电母线通过硅链或直流斩波器稳压后供电的。当稳压装置出现异常或故障,将会对直流控制母线的供电回路带来致命地威胁。因此,当判断出充电母线与控制母线的电压差值及电压跟随特性变化异常时应启动录波,及时发现稳压装置对直流控制母线供电潜在的危险。

(5) 80%电压时启动。在继电保护的技术要求中,要求直流控制母线电压在80%的额定电压时能可靠动作。但从直流电源管理的角度,应对此状态视为故障态,此种状况可能持续时间较长,不可能全程进行录波,但可以动态调整录波的时间间隔,以便随时跟踪直流电源系统的劣化过程。

(6) 交流电源异常启动。当充电电源模块的交流电源失电时,或当输入高频电源模块的交流电压过大或过小都会引起模块地自动保护而停止直流输出,或当输入交流电源缺相时使部分高频电源模块停止直流输出,此时直流电源系统完全靠蓄电池供电,直流电源系统将发生较大的波动,应启动一段录波看其波动情况如何。反过来,当直流电源系统发生异常也可判断与交流电源系统是否有关。交流的判别需监测三相交流输入电压的幅值、负序、零序,以保证正确地进行启动录波。

(7) 其他监测设备告警启动。直流电源系统中配置有许多微机监控设备,如高频电源模块、绝缘监测装置、交流窜入直流报警装置、蓄电池巡检装置等。这些设备主要负责监控交流及蓄电池状态等众多的物理量,能及时地对直流电源系统异常情况进行检测和告警。一旦这些装置发出告警时,也可直接启动检测装置录波。其启动判据可从这些设备提供的干接点或通讯口获取。

(8) 48V通信电源故障启动。现在变电站和发电厂中大量使用较先进的光传输、PCM设备,这些通信设备主供电源为48V,这些通信设备时整个厂站的信息交互命脉,对48V电源的电压进行监视将显得尤为重要。因此,当48V电源发生异常时也需要进行相应录波。

3 故障信息采集装置应考虑的几个问题

3.1 自备电源

由于直流电源系统故障信息采集装置与保护的故障录波器的监测对象的不同,要求故障信息采集装置在直流电源系统任何状况下均能可靠启动录波,包括在直流电源系统发生崩溃的情况下也能可靠启动录波。为了保证即使在站用电全部消失、蓄电池容量放尽的情况下装置仍能可靠工作,这就需求配置自备的工作电源,以及备用电池的自动维护功能。

3.2 数据存储

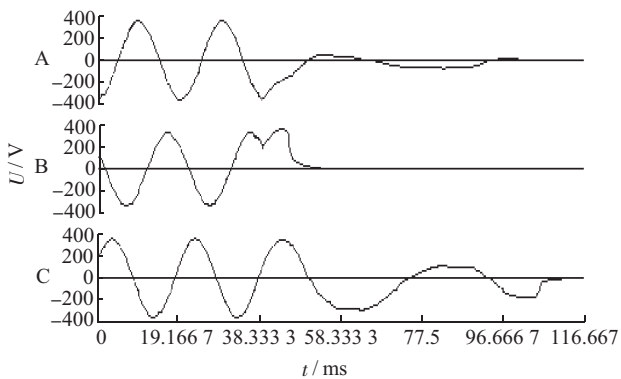
正常情况下,装置采集的信息可通过内部网络上传至上一级服务器,但也需考虑在网络中断的情况下,其采集的信息数据能可靠地就地存储,当网络通讯恢复后可重新上传,或从采集装置上直接导出数据,以便能对采集数据及时得到分析。

3.3 自适应启动方法

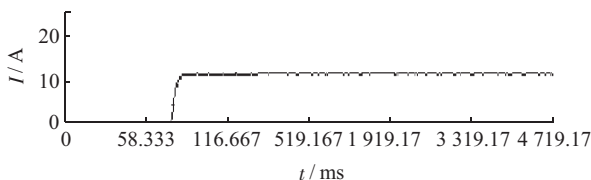
由于各变电站的设备配置状况不同,直流电源系统的容量配置、系统电压、对地电容、负荷容量、系统绝缘状况等都不可能相同,故障信息采集装置的启动值设置将是一件非常困难的事情,如设置不当,会严重影响录波地准确启动。为使录波启动的设置简单化,应使故障信息采集装置启动门槛的设置具有自适应的能力。装置应通过一定时段内多次信息采集的积累,将积累的信息进行分析计算,以此作为直流系统正常状态下的背景数据,在此基础上进行启动浮动门槛的设置,对录波启动值作出微调。

4 现场试验情况

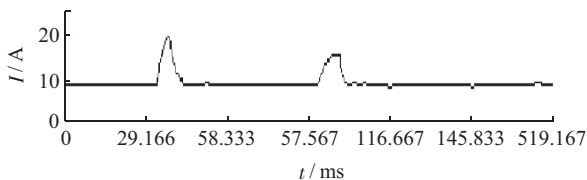
装置样机在变电站进行现场测试试验,分别进行了直流电源充电装置输入交流电源失电、直流电源系统交流窜入、直流电源系统接地、直流电源系统大负荷冲击等测试,均能及时准确地进行录波启动,现场试运行试验故障波形记录情况如图4所示。



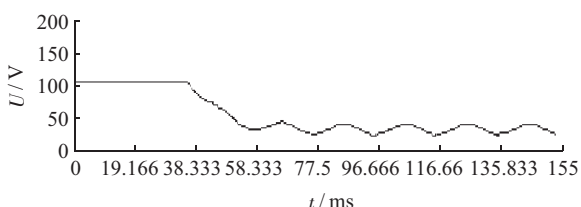
(a) 充电装置交流失电录波



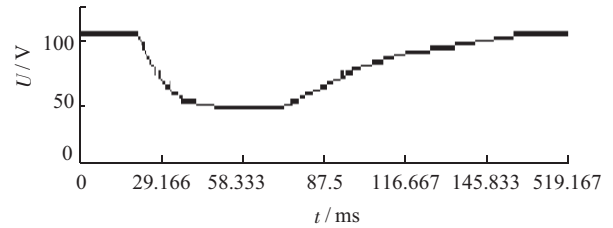
(b) 电池组放电电流录波



(c) 直流系统负荷冲击录波



(d) 直流系统交流窜入录波



(e) 直流母线瞬间接地录波

图4 现场测试试验故障录波

5 结束语

基于本文对变电站直流电源系统的分析,提出了研制变电站直流电源系统故障信息采集装置的思路。能够对监测点进行全工况的信息采集和记录,且该系统有别于其他直流电源系统监控产品的创新,从而填补了国内对变电站直流电源系统的故障信息采集的空白。

该装置的成功研发,将会对变电站直流电源系统故障分析提供数据支持,对系统存在的故障隐患进行预警,及时发现直流系统中设备及直流回路上的隐患,大大提高变电站直流电源系统运行维护管理水平。目前该装置已在试运行测试阶段,通过变电站直流系统故障信息监控平台的建立,直流设备维护人员可以在办公室桌面即可对变电站直流设备的运行状态进行远方监控和分析,特别在变电站直流设备发生运行异常时,运行维护人员能及时收到报警信号,及时作出处理,同时通过回放记录的故障波形信息,对故障查找和分析提供准确数据支持。

参考文献:

- [1] 王文洪. 变电站直流电源系统典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 10-16.
- [2] 杨波, 张宝生. 直流系统在线绝缘检测装置的研制[J]. 继电器, 2006, 34(17): 42-46.
- [3] 赵建伟. 变电站直流系统绝缘测量方法[J]. 电工技术, 2004(8): 12-13.

作者简介:

崔涛(1956),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统变电运行维护管理工作;
许建刚(1980),男,江苏无锡人,高级工程师,从事电力系统变电运行维护管理工作;
刘孝刚(1971),男,湖南郴州人,高级工程师,从事继电保护运行维护及研究工作;
姜珊珊(1981),女,江苏南通人,工程师,从事继电保护运行维护及研究工作;
高翔(1975),男,浙江绍兴人,工程师,从事电力系统自动化控制与智能控制方面的研究工作。

A Differential Protection Current Phase Compensation Scheme for YNd Series Transformer

CHEN Congwu, ZHU Yuekai, TANG Dahai

(Zhenjiang Electric Power Supply Company, Zhenjiang 212001, China)

Abstract: Transformer factories only design differential protection current software phase compensation for three kinds of transformer wiring groups, namely YNd11, YNd1 and YNy12, and their combinations. Currently, There isn't differential protection current software phase compensation for other transformer wiring groups and combinations. Through analyzing the changing law between the d side current phase of YNd3, YNd7, YNd5, YNd9, YNd11 and YNd1 transformers, this paper proposes to change transformer protection's external current circuit wiring to transfer the differential protection current phase compensation of YNd3, YNd7, YNd5, YNd9 wiring transformers to YNd11 or YNd1 wiring transformers. Then through reusing the existing transformer differential protection current software phase compensation, YNd3, YNd7, YNd5, YNd9 and other wiring transformers differential protection current phase compensation can be achieved. Reality application shows that the scheme is correct.

Key words: YNd series transformer; differential protection; current phase; compensation

(上接第 30 页)

The Development and Application of Fault Detection for DC Power System

CUI Tao¹, LIU Xiaogang¹, JIANG Shanshan¹, XU Jiangang², GAO Xiang³

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China; 2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210014, China; 3. Hangzhou Gaote Electronic Device Company, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In substation, switchgear accidents and unwanted refuse operations of the protection devices for unknown reasons often occur. It can be found that the accident causes are often associated with DC power source. However, the real-time detection data of DC power source operation can't be provided. This brings a lot of uncertainties to accident analysis. In this paper, a comprehensive study on the fault and abnormal condition of the DC power supply system in substation is carried out, and a new method for rapidly starting wave-recording when failure occurs in substation DC power system is proposed, which provides a powerful support to fault analysis of DC power source system in substations and power stations

Key words: DC power system; fault information collection; background data; fault component; self-adaption

(上接第 33 页)

Research on the Safety Management and Control System for Substation Operation

HENG Sikun¹, ZHANG Ziwei², ZHOU Guangyu², WANG Qinghua², ZHU Liwei², BAI Yu³, LIU Qingrui⁴

(1. Occupational Skills Training Base of Jiangsu Power Company, Lianyungang 222069, China;
2. Lianyungang Power Supply Bureau of Jiangsu Power Company, Lianyungang 222002, China;
3. Electrical and Electronic Engineering School of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
4. Shanghai Sunrise Power Network Control Systems Co. Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: Through analysis on the requirements of safe operation, a typical substation operation safety management system structure is proposed based on the computerized visual location and pattern recognition technology. After introducing the study of high-precision cross-camera location, the high-precision cross-camera location associated content including technical route, prerequisite, comparison with other methods, etc. are presented. In the end, the complete working procedure is explained by taking 220 kV substation operation safety management system as example.

Key words: substation; operation safety management; high-precision cross-camera location