

## 基于站域保护的简易母线研究

魏承志<sup>1</sup>, 王凯<sup>2</sup>, 文安<sup>1</sup>, 李阳<sup>2</sup>, 赵曼勇<sup>1</sup>, 黄维芳<sup>1</sup>, 牟敏<sup>1</sup>

(1. 中国南方电网电力调度控制中心, 广东广州 510623; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:**根据变电站低压母线保护需要,利用基于全站数据信息的站域保护,实现简易母线保护功能。通过现有低压母线保护实施的难点分析,结合智能化变电站技术应用,设计站域保护简易母线实施方案,给出原理及动作过程分析。该实施方案在新一代智能变电站中得到实际应用,验证了可靠性及技术优势。

**关键词:**智能化变电站;简易母线保护;站域保护;三网合一

**中图分类号:**TM773

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2016)02-0072-05

随着电网的日益复杂和运行方式的灵活多变,给当前的继电保护及控制技术带来了严峻的考验。传统的保护控制由于无法获取系统的全局信息,因此不能对保护措施做出全局优化,比如最初基于单端电气量信息的保护(如过流保护、距离保护等),以及后来基于双端电气量信息的保护(如纵联方向、光纤差动)。目前随着智能化技术的应用推广,光纤回路数字化信息的共享传输,使得获得电网区域多点电气量信息成为可能,基于多点、多端电气信息的保护控制方案设计将比传统的具备更大的原理优势。但是从实际应用上来看,当前智能化变电站的保护控制配置并没有真正有效地利用到智能化的技术优势,仍然存在传统保护控制的缺陷<sup>[1,2]</sup>。继电保护基本还是停留在面向电力元件的设计方案,利用元件“本地”信息判断故障,利用设备冗余和上下级保护的时间配合提高保护的可靠性,继电保护与系统控制配合不协调问题凸显<sup>[3]</sup>。保护控制系统存在信息获取有限,缺乏整体性考虑,接口复杂,硬件配置重复,设备投资高,运行维护困难的问题<sup>[4]</sup>。为改善继电保护控制对电力系统的适应性,站域保护成为近年来研究的热点。

本文通过面向变电站的保护控制系统研究,提出一种低压系统中简易母线保护方案,详细阐述新方案的整体思路、实现原理,充分利用变电站系统多端信息,提升保护控制性能,降低设备投资。

## 1 低压系统母线保护方案

10~35 kV 等级的低压母线,由于出线间隔多,进出线的支路电流互感器变比差异大等原因,一般不装设专用母线保护,由变压器的后备保护实现对母线的保护<sup>[5,6]</sup>。但是后备保护按逐级配合设计,动作时间长达 1~2 s,面临着保护选择性和速动性的不一致性<sup>[6-8]</sup>。为解决低压母线保护需求与保护配置的矛盾,逐步形成了简易母线保护概念。

### 1.1 简易母线保护原理

目前低压母线保护主要采用电流闭锁原理,通过判断电源支路电流,结合其余间隔的闭锁信号,完成母线保护。接线方式如图 1 所示。以变压器为单元,接入主变低压侧电流互感器 1TA 和分段电流互感器 3TA,以流入母线作为正方向接成差流元件,正常情况下母线保护的差流为该母线上的负荷电流<sup>[9]</sup>,通过过流保护躲过正常的负荷差流来完成母线保护功能。出线侧故障时,出线保护提供辅助节点瞬时动作闭锁简易母线保护,由出线保护动作切除故障;当母线发生故障时,出线保护装置不动作,不发闭锁信号,由简易母线保护动作切除故障。

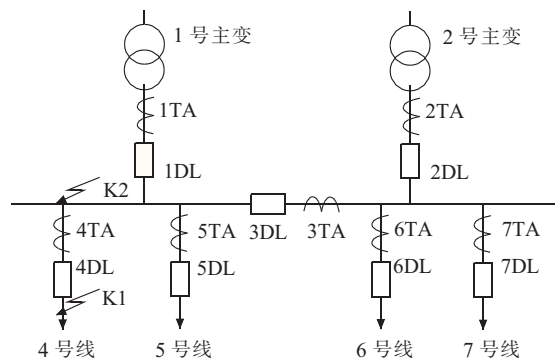


图 1 简易母线保护主接线示意

相比与变压器后备保护的单一电源过流判断,简易母线保护更易于母线故障的判断。同时简易母线引入了出线保护动作闭锁的逻辑判据,有效地与馈线保护过流进行了配合,减少了母线保护动作时间。

### 1.2 传统变电站简易母线保护实施困难

传统变电站二次保护回路配合主要通过硬接线。在实施简易母线保护时,需要在多个装置之间传递启动闭锁信号,二次回路接线复杂,施工量大;闭锁回路无法有效监视,运行维护困难,可靠性低。同时由于传统变电站自身的局限性,信息共享困难,为了避免二次回路的复杂化,简易母线保护,以母线为单元进行配置,母线间相对独立,缺少配合关系,低压母线小电源处理困难,无法有效兼顾全局。

### 1.3 智能化变电站下的简易母线保护

智能化变电站通过三层两网结构解决了二次信息共享的困难,通过过程层传输 GOOSE 信息,简化了二次回路,组网结构如图 2 所示。

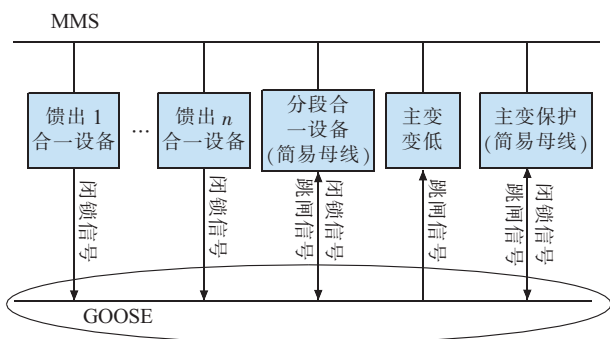


图 2 智能化变电站简易母线保护组网结构

为降低设备投资,将简易母线保护功能分散到主变及分段间隔中,避免跨间隔的 SV 采样值传输,降低过程层数据传输量。整套简易母线保护由嵌入在变压器后备保护及母联(分段)设备中的动作元件,嵌入在母联(分段)及出线(包括线路、站用变、接地变、电容器、电抗器)保护装置中的闭锁元件共同组成<sup>[8]</sup>。

保护设备发送和接受处理 GOOSE 报文可满足小于 4 ms 要求,经过模拟网络风暴测试网络延时小于 2 ms,GOOSE 传输闭锁信号总延时小于 10 ms,完全满足保护速动性要求<sup>[6]</sup>。同时 IEC 61850 中 GOOSE 报文的校验和重发机制有效地避免闭锁信号传输的丢失与错误,提升了保护的可靠性。智能化变电站的数字化技术,有效地解决了传统变电站中二次回路复杂,信息共享困难等问题,但也带来了新的问题。

(1) 分散在主变和母联保护中的简易母线过流启动元件增加了主变后备及母联保护本身的复杂性,后续对保护的维护带来困难。

(2) 依托 IEC 61850 标准体系的三层两网结构,增加了过程层交换机的投资,低压部分的过程层交换机仅有传输简易母线保护闭锁信号的需求,其利用率不高。

(3) 主变、母联等电源间隔独立设置启动元件虽然避免了跨间隔的采样数据传输,也解决了传统二次接线复杂的问题,但是跨间隔的信息传输配合仍不可简化,设备间逻辑配合依然复杂性。

## 2 基于站域保护的简易母线保护

针对现阶段简易母线的不足,采用基于全站对象信息决策的站域保护,可以更好地实现简易母线保护。

### 2.1 站域保护实施方案

#### 2.1.1 设备功能整合方案

目前不论是传统变电站还是智能化变电站,二次设备主要还是按面向间隔的原则进行配置,各装置功

能相互独立,虽然可靠性高,但硬件配置重复,信息共享不充分,缺乏全站系统层的协调和功能优化,整体投资成本较大。站域保护可以在实现简易母线保护的同时,完成冗余保护、优化后备保护、安全自动控制(全站备投、主变过载联切、低周低压减载等)。同时作为层次化保护控制系统的一部分,向下优化就地主保护功能,向上为广域保护功能提供全站信息支撑。站域保护功能整合示意如图 3 所示。站域保护是多功能集成设备,同时充分考虑了各个功能的实现过程中的软硬件的相对独立性,既减少了设备投资,也确保了功能的可靠。

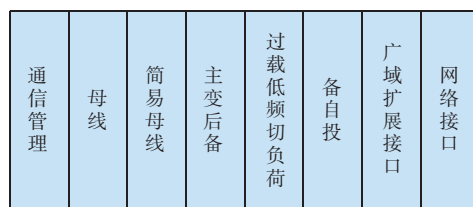


图 3 站域保护功能整合示意

站域保护,避免了过流启动元件分散在不同的设备中带来的功能复杂,通过专用设备完成简易母线保护功能,减低运行维护的困难。站域保护各间隔信息配合如图 4 所示。对于像图 4 所示的复杂主接线,优势更为明显。

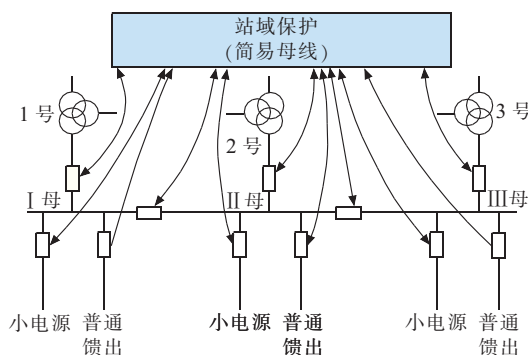


图 4 站域保护各间隔信息配合

#### 2.1.2 信息传递方案

站域保护采集全站变低电流、分段电流;小电源闭锁信号、普通馈出闭锁信号、分段闭锁信号;输出跳小电源、跳分段开关、跳变低开关命令。站域保护信息传递示意如图 5 所示。所有的信息统一汇总至站域保护设备,逻辑配合在站域保护内部完成,对外的信息清晰,只有采样、闭锁、跳闸信号。

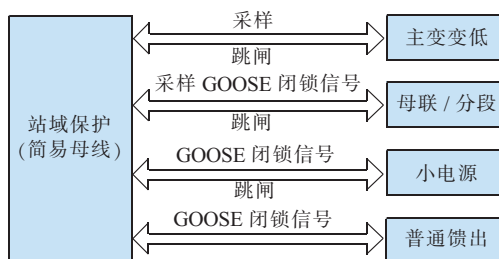


图 5 站域保护信息传递示意

### 2.1.3 网络方案优化

目前智能化变电站通用网络方案为“三层两网”，站控层、间隔层、过程层3层结构<sup>[10]</sup>。对于低压系统，可以配合站域保护设备功能整合的特点进行优化。从信息流量分析，突发的信息主要为GOOSE信息，MMS/SV报文信息相对固定，站域保护中的简易母线只采集了主变进线及分段的电流数据，并没有像高压变电站采集每个支路电流，SV报文流量需求并不大。这种情况下，整个网络构建可采用三网合一方案，站域保护采用网采网跳，MMS，SV，GOOSE报文共网共口传输，网络结构方案如图6所示。

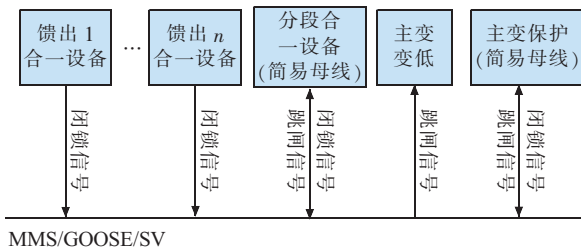


图6 站域保护三网合一方案

网络交换机采用IEC 61850建模技术，通过以下3种方式，对交换机进行流量控制，确保MMS，GOOSE，SV共网的可靠传输，提高共网架构抵御网络风暴的能力，从而实现通信网络管理和自动化系统管理的一体化，达到提高通信网络调试和运维效率，降低设备投资的效果。

- (1) 源头治理：发送方流量抑制，对频繁变位造成的GOOSE流量进行抑制，并置相应品质；
- (2) 中间疏导：在数据交换链路中对不同报文做特定流量控制，减少不同信号之间的相互影响；
- (3) 接收把关：接收方对不同报文区分对待，抑制风暴，提高装置处理能力。

交换机按MAC地址(GOOSE,SV)、协议类型(MMS)进行流量控制；根据不同应用设置相应MAC的流量控制上限，超过上限交换机内部直接进行部分数据丢弃处理；实现了对故障报文的有效防御，确保了同一接收端口的其他报文的传输可靠性。

## 2.2 站域保护简易母线保护原理

简易母线保护通过嵌入在站域保护中的过流动作元件及馈出(包括线路、站用变、接地变、电容器、电抗器等)保护装置中的闭锁元件完成低压母线保护。母线区外故障时，相关馈出保护能够发出闭锁信号闭锁简易母线保护。母线区内故障时，综合判断闭锁信号的来源，区分是否为小电源线路，通过简易母线保护快速动作切除变压器低压侧开关、母线分段开关或是小电源线路。站域保护以变电站为单元进行配置，一套站域保护实现整站的简易母线保护及低频低压、备自投等相关功能。其中母线保护又根据站内间隔的特点分为，变

压器单元母线保护、分段单元母线保护。如图7所示，变电站站域保护的简易母线功能可细分为3台主变单元，2个分段单元。

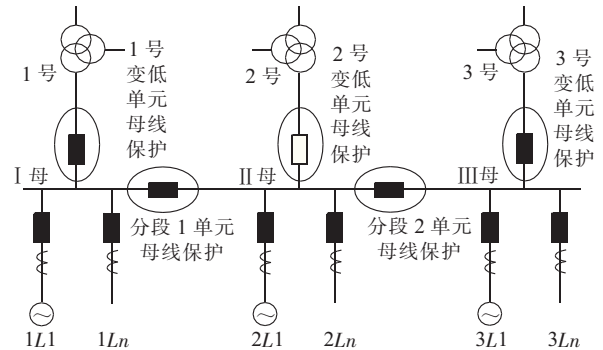


图7 站域保护中的简易母线保护配置

针对不同类型间隔的特点，主变单元、分段单元的原理逻辑有所不同，如图8、图9所示。

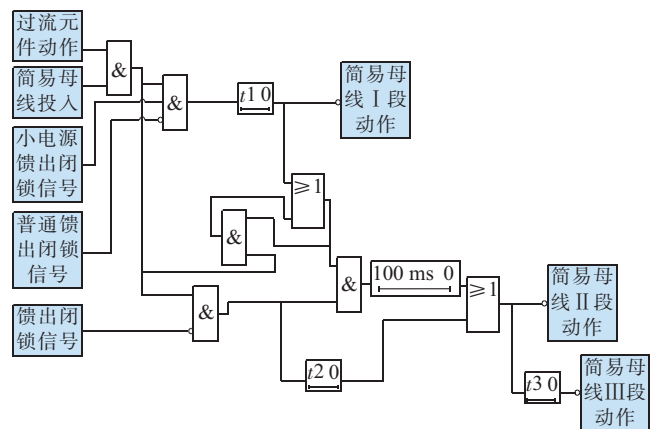


图8 站域保护变低单元逻辑图

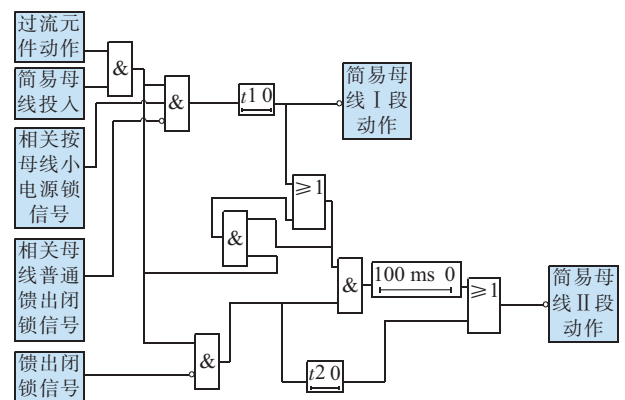


图9 站域保护分段单元逻辑图

对于变低间隔，判断本段母线上连接的分段及主变进线差流，结合小电源及普通馈出闭锁信号，实现简易母线保护。由于在母线故障时小电源线路可能会发闭锁信号，而普通馈出不会发闭锁信号。所以在收到小电源闭锁信号，而普通馈出未发闭锁信号的情况下，经 $t_1$ 延时，先跳开本段母线上的小电源。判断为母线故障时，正常情况经 $t_2$ 跳开分段，缩小故障范围，经 $t_3$ 跳开主变变低进线，切除母线故障。如启动了联切小电源逻辑，则加速只经100ms启动II段动作。

对于分段间隔综合考虑与该分段相关的母线上所有间隔,经  $t_1$  跳联切发出闭锁信号的小电源,经  $t_2$  或是加速 100 ms 启动 II 段动作,跳开分段间隔。为确保站域保护可以适用于任何厂家的设备,统一闭锁信号的发出原则。

(1) 每段母线上的馈出间隔发送闭锁信号给该母线的分段和变低,闭锁信号分 2 种:即小电源闭锁和普通馈出闭锁。

(2) 分段发闭锁信号给相连母线上的变低。

(3) 分段过流的情况下,若相连母线的变低过流则该分段不给相邻分段发闭锁信号,否则给相邻分段发闭锁信号。

(4) 分段收到相连母线上普通出线的闭锁信号,则转发给相邻分段。

(5) 故障切除后瞬时收回闭锁信号,或是在馈出线路或分段拒跳时收回闭锁信号(判断条件为跳闸发出后 500 ms 依然有流)。

### 3 站域保护中简易母线动作分析

以 1 号变带 3 段母线运行方式为例,接线方式如图 10 所示。

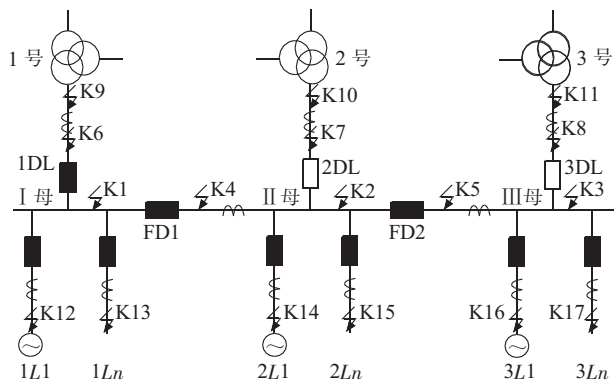


图 10 1 号变带三段母线

#### 3.1 K13 区外故障

(1) 小电源 1L1、普通出线 1Ln 过流,向分段 FD1、变低 1DL 发闭锁信号,因小电源线路和普通线路同时发闭锁信号,所以不会先跳小电源 1L1。

(2) 小电源 2L1 过流,向分段 FD1、分段 FD2 发闭锁信号;小电源 3L1 过流,向分段 FD2 发闭锁信号;此时因小电源线路和普通线路不同时发闭锁信号,可能会引起分段 FD2 母线保护单元动作先跳小电源 2L1、3L1。

(3) 分段 FD1 收到 1Ln 普通线路闭锁信号后向分段 FD2 转发闭锁信号;有效地闭锁了分段 FD2 母线保护动作,确保不会误跳小电源 2L1、3L1。

(4) 分段 FD1 过流,向变低 1DL 发闭锁信号;分段 FD2 过流向分段 FD1 发闭锁信号。

(5) 若出线 1Ln 自身保护动作跳开则故障切除。

(6) 若出线 1Ln 拒跳则 500 ms 后收回闭锁信号,分段 FD1 不再给分段 FD2 转发闭锁;分段 FD2 过流,继续闭锁分段 FD1;分段 FD1 过流,闭锁变低 1DL。由于分段 FD1 不再闭锁分段 FD2 母线保护,则分段 FD2 母线过流动作跳小电源 2L1、3L1。随着小电源 2L1、3L1 的切除,分段 FD2、FD1 将不再过流,不再闭锁变低 1DL 母线保护,变低 1DL 母线保护过流动作将先跳小电源 1L1,再跳分段 FD1,最后跳开变低 1DL,切除整段母线。

#### 3.2 K1 区内故障

(1) 小电源 1L1 过流,向分段 FD1、1DL 发闭锁信号;小电源 2L1 过流,向分段 FD1、FD2 发闭锁信号;小电源 3L1 向分段 FD2 发闭锁信号。

(2) 普通线路 1Ln 不过流,不发闭锁信号,所以分段 FD1 不向 FD2 转发闭锁。

(3) 分段 FD1 过流,向变低 1DL 发闭锁。

(4) 分段 FD2 过流,向分段 FD1 发闭锁。同时分段 FD2 母线保护动作跳小电源 2L1、3L1。

(5) 小电源 2L1、3L1 小电源切除后,分段 FD1 不再过流,不再闭锁变低 1DL,则变低 1DL 母线保护动作先跳先 1L1,再通过 100 ms 加速跳分段 FD1 及变低 1DL。切除母线故障。

其余的故障类型动作分析与上述相似,不再累述。

### 4 工程应用

基于站域保护的简易母线在国网 2013 年新一代智能化变电站试点项目武汉 110 kV 未来城变电站中进行了安装、调试、运行。

未来城变电站有 110 kV/10 kV 2 个电压等级,110 kV 为单母分段接线,本期 2 台主变(两圈变,低压侧双分支),2 条进线,1 个分段;远期 4 条进线,3 台主变;本期 10 kV 共 4 段母线(环形首尾分段相连),2 个分段,24 条出线,4 组电容和 2 台站用变,远期 10 kV 共 6 段母线(环形首尾分段相连),3 个分段,36 条出线,6 组电容和 2 台站用变,具体接线如图 11 所示。

未来城的主接线相当复杂,馈出、电源间隔数量多,设备间配合复杂逻辑复杂,特别是项目本身分两期建设,需考虑远景扩容问题。传统的接点配合方式简易母线保护,或是智能站中分散功能的简易母线保护实施起来难度很大。

武汉未来城项目采用了站域保护实现简易母线功能,采用三网合一、网采网跳组网方案,简化网络结构,降低设备投入;采用 VLAN 和静态组播相结合的方式,优化网络流量,降低了网络风暴对设备功能的影响;站域保护通过 SV/GOOSE/MMS 合一的网络,直接采集电源间隔电流及相关间隔闭锁信号,各间隔间的

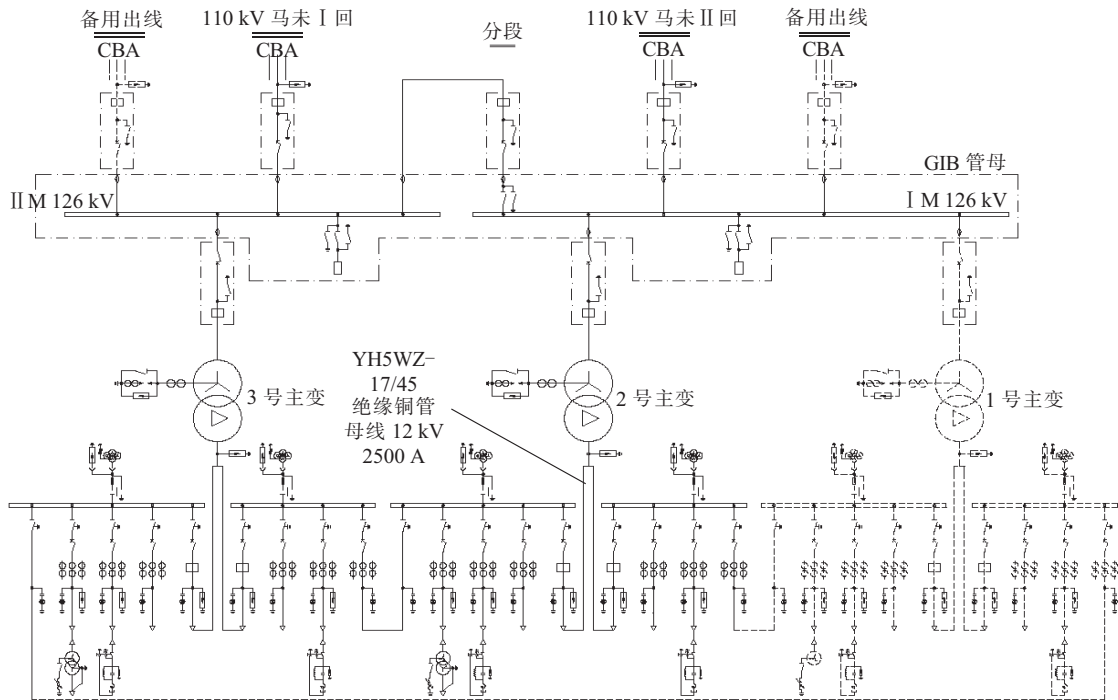


图 11 武汉 110 kV 未来城项目主接线

逻辑配合全部在站域保护中实现,站域保护与外部间隔之间配合逻辑简单清晰,大大减少了现场调试维护工作量,也有利于远景系统扩建。

武汉未来城的站域保护基于全站信息的综合判断,在实现 10 kV 低压系统简易母线功能的同时,也具备 110 kV 线路冗余保护(含重合闸、不含光差保护)、110 kV 分段保护、主变低压侧后备保护优化功能(加速主变低压侧过流保护,缩短后备保护切除故障时间),站域备自投、主变过载联切、低周减载紧急控制等功能,充分地发挥了智能化变电站信息共享的特点。与此同时预留了广域保护的接口,为今后的功能扩展打下了基础。

## 5 结束语

针对变电站低压母线保护实现难点,充分发挥智能化变电站信息共享的优势,提出一种基于站内连锁信息的站域保护,通过全站信息的判断决策实现简易母线保护功能。应用 GOOSE 通信机制,三网合一技术,解决简易母线保护回路复杂,设备投资大等问题。通过实施方案、原理,动作过程分析,验证了通过站域保护实现简易母线的优势及可行性,并展现出站域保护多功能集成的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 张保会,周良才.变电站集中式后备保护[J].电力系统自动化设备,2009,29(6):1-5.
- [2] 丁力,苗世洪,刘沛.一种新型的电力系统广域网后备保护[J].继电器,2006,34(6):1-5.
- [3] 宋璇坤,李颖超,李军,等.新一代智能变电站层次化保护系

统[J].电力建设,2013,34(7):24-29.

- [4] 蔡小玲,王礼伟,林传伟,等.基于智能变电站的站域保护原理和实现[J].电力系统及其自动化学报,2012,02(6):128-133.
- [5] GB/T 14285—2006 继电保护和安装自动装置技术规程[S].
- [6] 陆玉军,徐勇,薛军.智能变电站中低压母线保护设计[J].江苏电机工程,2014,33(3):21-25.
- [7] 王俊,白海青.变电站增设简易母差保护[J].内蒙古科技与经济,2012,06(11):96-97.
- [8] 刘国伟.基于 GOOSE 的不完全母线保护在数字化变电站的应用[J].电工技术,2011(6):16-17.
- [9] 王建中.35 kV 简易母线保护动作分析[J].电力系统自动化,2006,30(14):105-107.
- [10] 王风光,张祖丽,张艳.分布式母线保护在智能变电站中的应用[J].江苏电机工程,2012,31(2):37-39.

### 作者简介:

- 魏承志(1984),男,福建三明人,工程师,从事直流输电技术、电能质量分析与控制等方面的研究工作;
- 王凯(1979),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统继电保护及智能化变电站设计研究工作;
- 文安(1965),男,四川南充人,中国海外高层次千人引进计划的高级技术专家,从事电网控制保护和柔性直流输电等方面的研究工作;
- 李阳(1984),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统继电保护及智能化变电站设计研究工作;
- 赵曼勇(1957),女,教授级高级工程师,从事继电保护生产运行管理及研究工作;
- 黄维芳(1986),男,江西宜春人,工程师,从事电网控制保护方面的工作;
- 牟敏(1987),女,陕西宝鸡人,工程师,从事柔性直流输电技术、电能质量分析与控制等方面的工作。

- 究[J]. 实验力学, 2013, 28(3):307-313.
- [11] 周 博. 端子压接工艺在高速动车组中的应用[C]. 第八届中国智能交通年会优秀论文集. 北京: 电子工业出版社, 2013: 581-589.
- [12] 李 禾. 绝缘穿刺线夹紧固螺栓扭矩值的试验与探讨[J]. 华东电力, 2012, 40(5):903-905.
- [13] DL/T 720—2013 电力系统继电保护及安全自动装置柜(屏)通用技术条件[S].
- [14] 李纪仁. 机械设计[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1999: 156-157.

作者简介:

刘建军(1979), 男, 甘肃天水人, 高级工程师, 从事电力设备材料性能分析及状态评价专业工作;

胡 鹏(1989), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 从事电力设备结构力学分析和状态评价专业工作;

张建国(1971), 男, 江苏江阴人, 高级工程师, 从事电力设备材料性能分析及状态评价专业工作;

李成钢(1984), 男, 浙江绍兴人, 工程师, 从事电力设备材料性能分析及状态评价专业工作。

## Experimental Study on Fastening Torque of Terminal Block Screws in Relay Protection Cabinet

LIU Jianjun, HU Peng, ZHANG Jianguo, LI Chenggang

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** There is no clear technical standard for the connecting and fastening terminal blocks and wires of relay cabinets in substation. To satisfy the construction demand of Nanjing UPFC project, experimental study on terminals and matched wires group in the relay protection control cabinet are carried through comparative analysis on loop resistance, pull off force, damage morphology of wires and fastening bolt in different fastening torque condition. The following conclusions are obtained through the study. The terminal of the relay protection cabinet must be installed with a torque screwdriver, and the cutter head size of torque screwdriver must be consistent with the size of the bolt slot. The connection fastening torque should be set to  $0.5\text{N}\cdot\text{m}$  for the general terminal block, and  $0.7\text{N}\cdot\text{m}$  for the current voltage terminal block in relay protection cabinets.

**Key words:** relay protection cabinet; terminal block; fastening torque; experimental study

(上接第 76 页)

## Study on Substation-area Protection Based Simple Bus Protection

WEI Chengzhi<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>2</sup>, WEN An<sup>1</sup>, LI Yang<sup>2</sup>, ZHAO Manyong<sup>1</sup>, HUANG Weifang<sup>1</sup>, MOU Min<sup>1</sup>

(1. Southern Power Grid Power Dispatch Control Center, Guangzhou 510623, China;

2. Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** According to the demand of low voltage busbar protection in substation, the function of the simple bus protection is realized by using the substation-area protection based on the information of the station. Through the analysis of the difficulties of the existing low voltage busbar protection, with the application of the smart substation technology, the design of the simple bus implementation scheme, the principle and the action process analysis are given. The implementation scheme has been applied in the new generation of smart substation, which proves the reliability and technical superiority.

**Key words:** smart substation; simplified; substation-area protection; tri-networks integration

(上接第 78 页)

## Improvement on the Measurement of Continues Current for the Lightning Arrester in GIS

YU Yue, LI Jian

(Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222000, China)

**Abstract:** When the operating voltage applied to arrester continuously, the current flowing through the arrester is the continuous current. When the arrester internal is damp, the continuous current increases. When the arrester varistor aging, the resistive current of continuous current increases. Therefore, before the arrester put into operation, the continue arresters current must be measured. This paper studies the existing measurement methods for GIS arrester continuous current. According to shortcomings analysis, a new method for GIS arrester continuous current measurement is proposed.

**Key words:** lightning arrester; continuous current; GIS