

220 kV用户终端变电站电源快切备自投装置设计方案

玄智铭, 赵智成, 汪 萍

(中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 提出了一种针对大型化工企业的 220 kV 用户终端变电站电源快切备自投装置设计方案, 使主变压器中低压侧的生产负荷在主供电源全失时, 可于 100 ms 内迅速可靠切换至备用电源, 其所耗时间低于目前已有研究。此外, 提出了具有普适性的快切功能启动条件及动作逻辑方案, 利用线路模拟量、开关量和保护量进行判据设定, 在确保主供电源通道上故障已隔离且无流, 自动投入通道上无故障后进行投切, 可有效提升快切速度和成功率, 优化了传统备自投功能。通过实际投运效果可知, 所提方案对于大型化工企业的 220 kV 变电站电源切换策略具有普遍适用性和代表性, 提高了用户终端变电站的供电可靠性, 为类似变电站系统设计提供有效技术支撑, 对电网系统安全稳定生产具有重要及深远的意义。

关键词: 快切装置; 备自投装置; 快速合闸; 供电可靠性; 备用电源

Design scheme of 220 kV user terminal variable power supply fast switching standby device

XUAN Zhiming, ZHAO Zhicheng, WANG Ping

(China Energy Engineering Group Jiangsu Power Design Institute Co.,Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: A design scheme of 220 kV user terminal variable power supply fast switching standby device is proposed, which can make the production load on the middle/low voltage side of the main transformer quickly switch to the standby power supply within 100 ms when the main power supply is completely lost. The time it takes for the quick switch is less than other devices which describe in existing literature. In addition, a universal applicability of quick start cutting function condition and action logic is presented, on the basis of circuit analog and switch quantity, combine protection criterion for setting, in ensuring that the main power source channel fault isolation and has no flow, and the automatic input channels for trouble-free after cutting, which can effectively improve fast cutting speed and success rate, and optimize the traditional standby function. Through actual commissioning effect, it can be seen that the design proposed in this paper has universal applicability and good representativeness for the 220 kV substation power switching strategy of large chemical companies. This design can be quickly and reliably switch without power failure, thus improves the power supply reliability of the user terminal substation and provides technical support for the design of similar substation systems, which has important and far-reaching significance for the safe and stable production of the power system. What's more, it can provide effective technical support for similar substation system design and has important and far-reaching significance for the safe and stable production of power grid system.

Key words: fast switching device; automatic bus transfer equipment; fast switching; power distribution reliability; backup power

0 引言

随着社会经济和科学技术的不断进步,我国石油化工、冶金等大中型企业得到迅速发展^[1]。根据SH/T 3060—2013《石油化工企业供电系统设计规范》规定,作为大型石油化工企业,其用电负荷被归类为一级企业用电负荷。考虑到电网电源故障,如主供电电源线路倒塔等原因,致使供电母线失电,会进一步导致化工企业停产、生产流程中断等情况,从而对生产安全造成极大影响^[2]。因此,研究如何在主供电电源失电情况下快速切换至备用电源是确保负荷供电可靠性的核心要点。

现阶段对于上述情况的主要解决措施为采用快切装置或备用电源自动投入装置(备自投),将电源从主供电电源切换至备用电源^[3]。快切装置多用于提高发电厂厂用系统电动机负荷可靠性,其装置本身对于运作方式和容量具备一定限制。备自投装置一般用于提高变电站失电母线负荷的供电可靠性。自1970年始,国外西屋、三菱电气等公司首先对备自投设备进行了有关研究,20世纪80年代逐渐趋于成熟并投入系统运行,现在国内外大部分电力系统二次设备生产厂家均有各自研发的备自投装置,已取得丰富的产品研发和现场运行经验。为保证备自投动作成功率,不扩大故障影响,考虑到上下级配合关系,备自投装置通常动作时间较长。对于不同应用场景,其备用装置以及动作判据等电源切换措施也会随之变化,有效保证备自投切换的合理性与准确性。

现阶段,对于电源切换策略的应用场景主要分为两类:一是针对发电厂厂用电小型电动机的切换场景;二是针对化工企业大型电动机的切换场景。对于第一类针对发电厂厂用电电动机的电源切换策略,现今已有大量研究。文献[4]针对电厂厂用电的异步电动机进行切换条件特性分析,简化了传统的切换条件。文献[5]提出一种基于DSP+ARM9的双CPU结构新型方案,提高厂用快切的稳定性和可靠性。文献[6]通过快切装置着重降低厂用电运行费用,提高经济效益。

文献[7-9]根据变电站的接线形式的不同,提出了各异的备自投方案。文献[10]利用同步高速通信新技术,提出了集成广域保护与控制。对局部级、变电站综合保护级和广域保护级方向,尤其是广域备自投进行了关键技术和新发展趋势的分析与阐述。但备自投在电源切换过程中通常时间较长,启动较迟,导致在该时间段内电动机通常已完成失电时的对应操作,从而对系统的稳定运行造成极大影响。

对于第二类化工企业电动机,因其负荷特性与发电厂厂用电特性不同,相关电源切换策略也有所变化。文献[11]针对煤化工企业0.4 kV系统采用快切装置实现电源切换,切换时间可达300 ms以内。该装置由两路进线和母联的3个继电保护装置MiCOM P141构成,通过采集开关量与模拟量输送至P141保护装置,应用保护装置的内部逻辑来判断装置是否动作,从而实现电源的快速切换。

现阶段针对化工企业的电源切换策略研究相对较少,仅少数文献采用快切或备自投的单一切换策略,对于两者方式结合的研究还未有详细论述。且目前已有针对低压侧切换策略的研究,针对高压侧的切换方案几乎没有。基于此,对于化工企业用电负荷,本文提出了一种220 kV用户终端变电站电源快切备自投装置设计方案。该方案宗旨为在满足电网安全稳定要求前提下,启用备自投作为快切的后备,从而最大程度地保证用户的供电可靠性,当主供电电源全失时,有效解决负荷快速切换至备用电源供电的问题,保证电动机所带负荷不失电。此外,本文提出了具有普遍适用性的快切功能启动条件及动作逻辑方案,在线路模拟量和开关量基础上,结合保护量进行判据设定,在确保主供电电源通道上故障已隔离且无流,自动投入通道上无故障后进行投切,可有效提升快切速度和成功率,优化了传统备自投功能。本文所提出的针对大型化工企业的220 kV用户终端变电站电源快切备自投装置设计方案可有效实现电源切换的智能化,优化回路设计,在确保可靠实现快切备自投功能的前提下,尽可能减

少装置间连线, 有效提高供电可靠性, 为标准化设计提供基础。

1 设计原理

为解决备自投传统方案中判母线失电压时间过长的问题, 本文就线路运行方式及母线接排方式提出了220 kV用户终端变电站电源快切备自投装置设计方案, 以期实现快切备自投装置智能化和标准化运行, 减少现场运行维护工作, 保证用户的终端变电站中低压母线负荷的供电可靠性。图1为实际装置图片。



图1 本文研究方案所述装置图片

Fig. 1 The picture of described device in this research

对于快切备自投装置的技术要求, 本文就动作条件、启动方式、充电/开放需满足的条件、放电/闭锁需满足的条件和其他功能共五项进行阐述与介绍。

1.1 动作条件

动作条件: ①当主供电电源失电, 无其他闭锁快切备自投动作条件时, 快切备自投装置应能自动投入备用电源; ②若充电条件含备用电源有电压判断, 当备用电源失电压时需延时放电; ③快切时应确保主供电电源通道上故障已隔离且无流, 自动投入通道上无故障; ④在充电条件满足后, 快切与备自投仅允许各动作一次; ⑤备自投应确保母线上主供电电源断路器断开后方可投入备用电源。

1.2 启动方式

快切启动方式: ①同侧进线电源全失, 线路主保护动作, 故障切除隔离; ②所供同侧220 kV/110 kV母线、220 kV主变压器均无主保护动作。

备自投启动方式: ①工作母线无电压且主供

电源无电流; ②主供电电源断路器分位且无电流。

1.3 充电/开放需满足的条件

当且仅当同时满足以下条件时进行充电/开放: ①快切、备自投功能投入; ②主供电电源断路器合位; ③主供电电源断路器对应母线有电压; ④无外部闭锁条件。

1.4 放电/闭锁需满足的条件

满足以下任一条件均应放电/闭锁: ①快切备自投功能退出; ②备自投动作后; ③外部触点闭锁备自投投入; ④人工切除主供电电源; ⑤快切备用电源断路器合上后放电; ⑥备自投跳主供电电源断路器后, 跳闸失败放电; ⑦备自投投入“检查备用电源有电压”功能时, 若备用电源失电压应延时放电; ⑧具备断路器位置异常识别功能的装置在判断出断路器位置异常时应延时放电。

1.5 其他功能

快切备自投装置要求其他功能: ①应具有防止电源自动投入故障母线或故障设备的措施; ②当TV二次回路断线时, 装置应发出TV断线信号; ③备自投动作失败, 应发相应告警信号并放电; ④快切备自投装置应配有硬软件监视功能; ⑤在直流电源恢复正常后, 装置的动作指示信号应能重新显示; ⑥快切动作时间应不大于100 ms。

2 设计方案

本案例快切备自投装置配置按照标准化设计原则, 适应220 kV及以下双电源用户220 kV、110 kV均解环运行的方式。本方案以220 kV/110 kV母线均双母双分段接线为例, 其典型接线方式为: 正常方式下220 kV及110 kV母联开关合环运行, 220 kV及110 kV分段开关解环运行。本方案配置两台启动装置与一台切换装置构成快速备自投切换系统。可实现220 kV南1、南2线路方向的双线电源全失时, 110 kV 1M、2M母线负荷快速切换至110 kV 3M、4M母线的电源供电的快切方式, 尽量保证在失去上级电源时, 110 kV负荷不停电的用户供电要求。具体接线方式如图2所示。

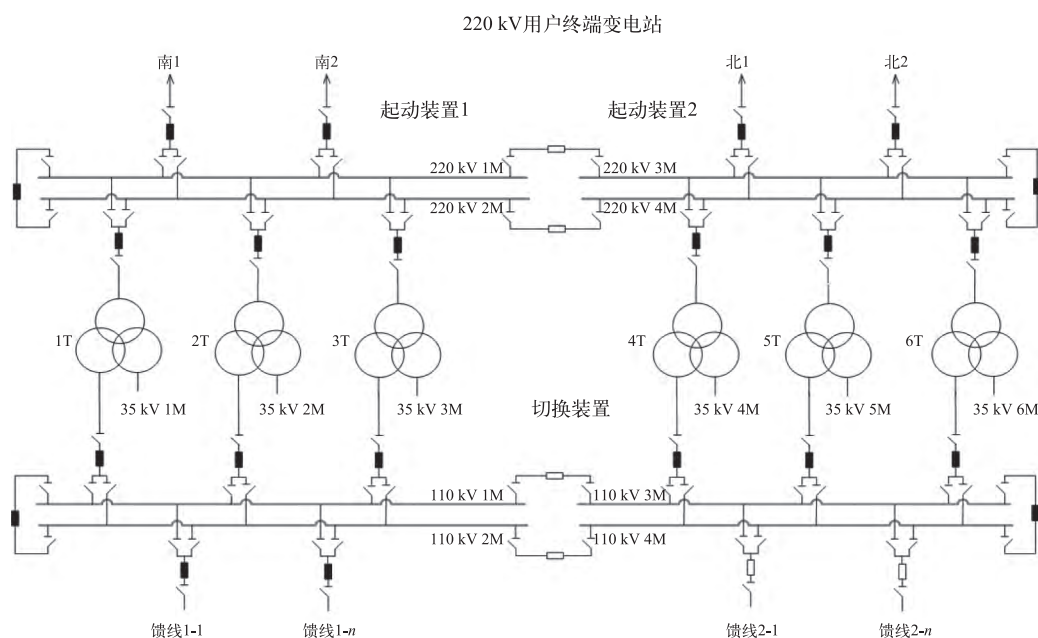


图2 本文研究方案的接线方式

Fig. 2 The wiring mode of the scheme in this paper

2.1 运行态与退出态判定

快切备自投装置具备对主变压器、母联开关和线路等运行情况进行有效自动识别判断的功能，按起动条件和动作过程可分为运行态和退出态判定。运行态所对应线路投入运行状态的逻辑判断如图3所示。

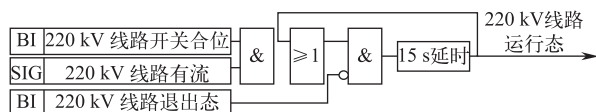


图3 运行态逻辑判断

Fig. 3 Logic judgment of running state

退出态所对应的主变压器、母联和线路退出运行状态的逻辑判断如图4所示。

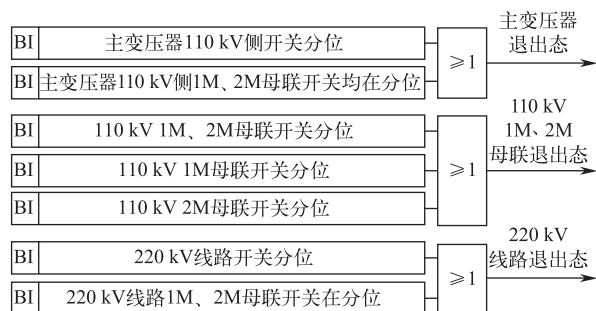


图4 退出态逻辑判断

Fig. 4 Exit logic judgment

2.2 110 kV母线1M到3M快切充放电逻辑

充电条件：①110 kV母线1M、3M均三相有压；②所有外部启动开入为0；③南1、南2至少有一条线路处在运行状态。

放电条件：①110 kV母线3M电压不满足有压条件，延时15 s；②110 kV母线1M、3M分段开关在合位；③接收到110 kV母线故障信号；④“闭锁总切换”开入为1；⑤南1或南2开关跳位异常；⑥南1或南2线路开关双位置错；⑦南1和南2线路都在退出态，延时3 s放电；⑧110 kV 1M、3M分段开关拒合或合闸条件不满足；⑨整定控制字或软压板不允许1M到3M切换方式切换；⑩合闸判定条件快速切换、越前同期切换、残压切换和长延时切换均退出；⑪110 kV的1M母线TV断线报警或2M母线TV断线报警；⑫4T~6T主变压器有两台以上在退出态；⑬其他切换方式启动切换；⑭主变压器故障或110 kV母差保护故障；⑮上级闭锁开入为1；⑯110 kV母线1M、3M分段跳位异常；⑰110 kV母线1M、2M母联或3M、4M母联在退出态。

2.3 快切装置的起动条件及动作过程

快切装置的启动条件及动作过程的逻辑如图

5所示。

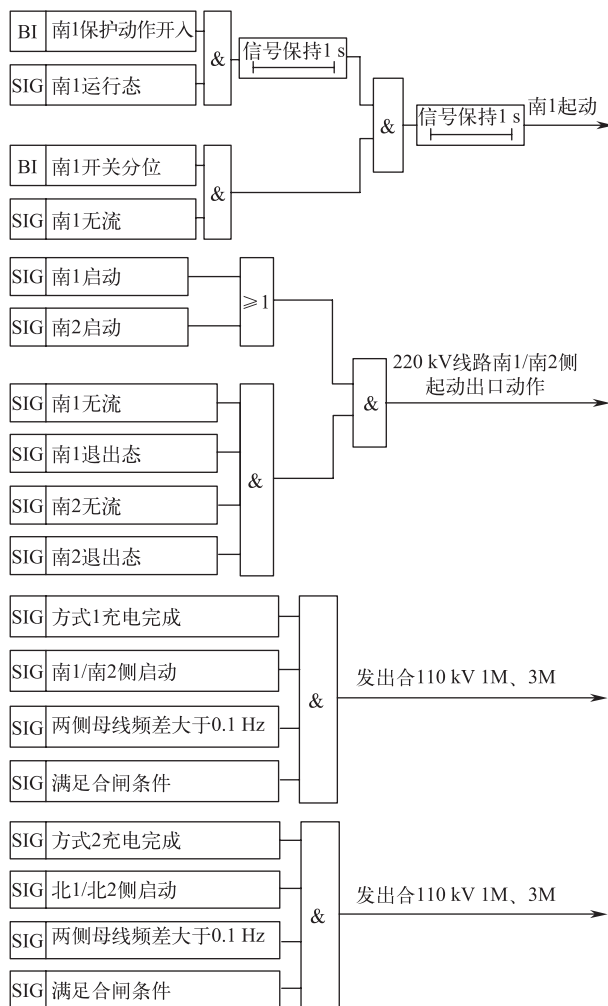


图5 启动条件及动作过程的逻辑图

Fig. 5 Logical diagram of startup conditions and action process

110 kV母线3M切换到110 kV母线1M动作逻辑与上述1M切换到3M动作逻辑类似。快切动作过程总耗时 T 可由220 kV线路保护故障跳闸时间 t_1 (<25 ms)、备用电源投入到失电母线所应用的断路器固有合闸时间 t_2 (<40 ms)和快切装置自身对信号的处理与执行时间 t_3 (<25 ms)组成,表达式为

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + \Delta t \quad (1)$$

式中, Δt 为自定义时间裕度,此处取10 ms。

2.4 备自投逻辑

当快切装置切换不成功时,以备自投装置作为后备方案。本文以备自投由110 kV母线1M投切到110 kV母线3M为例进行说明。

充电条件: ①110 kV母线1M、3M均三相

有压; ②1T~3T主变压器110 kV侧开关至少有一个在合位; ③110 kV母线1M、3M分段开关在分位。

放电条件: ①110 kV母线3M电压不满足有压条件, 三线电压均小于有压定值, 延时15 s; ②110 kV母线1M、3M分段开关在合位; ③接收到110 kV母线故障信号; ④“闭锁总切换”开入为1; ⑤1T~6T主变压器110 kV侧跳位异常、110 kV母线1M、3M分段跳位异常, 开关都在分位但有流; ⑥1T~3T主变压器110 kV侧开关拒跳; ⑦整定控制字或软压板不允许1M~3M备自投动作; ⑧4T~6T主变压器有两台以上运行在退出态; ⑨110 kV母线1M、3M分段跳位异常, 开关在分位但分段有流; ⑩110 kV 1M、2M母联或3M、4M母联在退出态。

动作过程: 当充电完成后, 110 kV 1M无压, 1T~3T主变压器110 kV侧无流, 110 kV母线2M有压则启动, 经备自投1跳闸时间延时, 跳1T~3T主变压器110 kV侧开关、1M发电机线路。确认1T~3T主变压器110 kV侧开关跳开、1M发电机线路跳开后, 且1M无压, 经时长为合分段断路器时间的延时后, 合110 kV 1M、3M分段断路器。

2.5 1M、3M分段开关后加速保护

当切换装置发出合闸指令后, 开放后加速保护, 若3 s内合于故障, 电流大于后加速保护定值, 则经0.2~0.3 s延时快速跳开110 kV 1M、3M分段开关, 后加速保护经复压闭锁。

3 设计要点说明

本文所提出的方案快切备自投装置运行条件及运行过程中的几点说明。

提高快切快速性和可靠性, 用户变电站器相关保护配置要求为: 220 kV线路两侧要求配置双重化光纤差动保护, 差动保护动作为线路保护本身故障, 且系统侧线路后备段为负荷侧母线(主变压器)后备时, 动作时间大于0.3 s, 可以不需要考虑线路后备段动作会误起快切。此外, 负荷侧的220 kV线路保护必须投入纵联差动保护并

跳闸，后备保护方向指向线路。

对于220 kV/110 kV母线，要求配置双重化母线保护（断路器失灵保护）；220 kV主变压器保护要求配置双重化主后一体的电气量保护和单套非电量保护，快速保护动作闭锁快切。

本方案110 kV快切备自投是否考虑联切电容器，参考以下原则：快切方式是以110 kV母联合闸方式实现的。快切过程中，110 kV母线未完全失电压，220 kV变压器110 kV侧开关运行励磁电流小，可不考虑电容器充电电流和变压器励磁电流谐振；此时电容器电压一般不会超过 $1.1U_n$ ，不考虑联切电容器。

110 kV母联备自投时，须跳开相关母线上主变压器110 kV侧开关，即220 kV主变压器失电，可不考虑联切主变压器35 kV侧电容器。

110 kV母联备自投时间元件整定时，应与110 kV出线上的电容器保护配合，保证下一级电容器保护跳开后，再合110 kV母联开关。

4 结束语

本文所提出的方案同时具备快切和备自投两种功能，在已有研究普遍采用开关量与模拟量的基础上，加入保护量信息作为新的判断依据，从而实现快切备自投装置的顺利动作。目前该套装置已投入运营至江苏省连云港市徐圩新区220 kV炼化变电所。针对典型220 kV变电站，本文所提出的快切备自投装置设计方案解决了当主供电源全失时，220 kV主变压器中低压侧生产负荷可尽可能不停电地快速切换至备用电源，从而提高了供电可靠性。通过案例分析和实际投运效果可知，本文所提方案对于大型化工企业的220 kV变电站电源切换策略具有普遍适用性和较好的代表性，该方案可在不停电的状态下于100 ms内迅速可靠切换至备用电源，从而提高用户终端变电站的供电可靠性，并为类似的变电站系统设计提供技术支撑，对电网系统安全稳定生产具有重要及深远的意义。

参考文献

- [1] 刘志红, 王新平, 朱厚兴, 等. 中国石化行业面临关键技术问题及对策建议[J]. 油气与新能源, 2021, 33(4): 14-18.
- [2] 曹杰, 张岩松, 刘速, 等. 基于逻辑回归评分卡的石油企业供应商风险模型研究[J]. 油气与新能源, 2021, 33(4): 51-57.
- [3] 冯宝成, 田志浩, 摆世彬, 等. 防止超高压备自投诱发线路零序过流保护误动的对策初探[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(2): 98-106.
- [4] 洪佩孙. 电厂厂用电快切装置投切条件分析[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(5): 36-39.
- [5] 陈慧玲, 王金全, 陈晓宁. 基于DSP和ARM9结构的厂用电微机快切装置[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(12): 116-118.
- [6] 刘岗, 高永华. 超临界600 MW机组厂用电接线优化方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(11): 149-152.
- [7] 马小珍. 一种改进的备自投逻辑[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(8): 149-151.
- [8] 张丰, 郭碧媛. 备自投装置在单母分段接线中应用存在的问题及解决措施[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 133-135.
- [9] 张承周, 刘仁恭, 杨欢欢, 等. 考虑安自装置约束的10kV备自投自适应投退策略[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(18): 86-90.
- [10] WANG Qingping, BO Zhiqian, et al. Integrated wide area protection and control for power grid security[J]. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2019, 5(2): 206-214.
- [11] 吴杰. 快切装置替代备自投装置提高供电系统可靠性[J]. 电力通用机械, 2015 (3): 68-71.

作者简介

玄智铭(1995—), 女, 工程师, 主要从事电力二次设计工作。

(收稿日期: 2022-01-28)