

[快切装置]

快切装置串联快速切换浅析

文/李鸿源
中核四〇四有限公司

介绍了一起由于设计缺陷导致某变电站快切装置不能实现快速切换的案例，通过对快切装置工作原理的细致分析，找到了在串联切换的前提下，影响切换效果的关键因素是能否及时收到断路器变位信号。所提的试验方法和设计方面的经验教训对于快切装置的推广应用有借鉴意义。

大型化工企业对于供电可靠性要求很高，电网电压波动或电源故障瞬时失电压是影响供电质量的主要因素之一。对于电气负荷多是一类负荷的核工业企业，一旦发生电压波动，往往会造成精密仪器损坏，许多重要电动机跳闸停运，而重要机泵的异常运行，又会对生产设备造成影响，严重情况下会导致生产设施故障，进而引起生产线紊乱和物料浪费，重则造成重大安全环保事故，给企业带来巨大经济损失和不良社会影响。某核工业企业为了提高电力系统的供电可靠性，在其电源变电站安装了电源快速切换装置，以应对发生外部电网波动和线路故障时，将用电负荷快速切换至另一路电源。

概述

某35 kV变电站有2台主变压器和1台备用变压器，35 kV I 段、II 段电源分别取自上级110 kV变电站甲35 kV I 段、II 段母线，35 kV母联断开。备用变压器电源取自另一变电站乙35 kV母线。1#主变压器低压侧101开关为10 kV I 段工作电源，2#主变压器低压侧102开关为10 kV II 段工作电源，备用变压器低压侧103和104开关分别接入10 kV I 段、II 段作为母线备用电源。分别在10 kV I 段、II 段母线上设有电源快速切换装置，控制10 kV母线工作电源与备用电源开关之间的切换。变电所一次系统如图1所示。

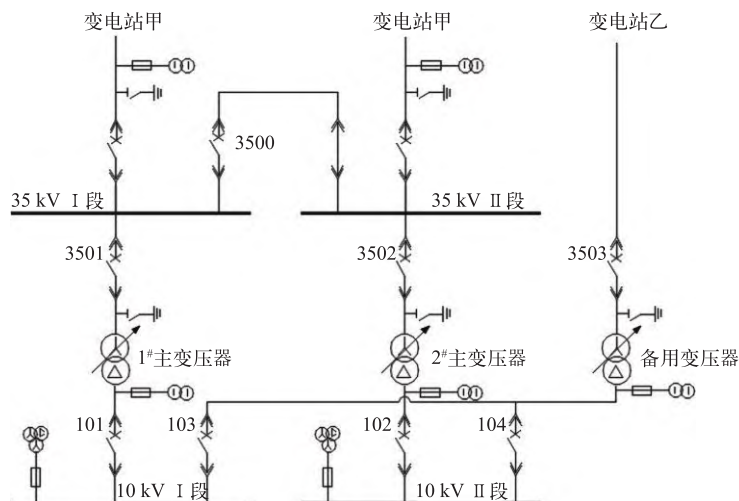


图1 某35 kV变电站一次系统图

快切装置配置

以10 kV I 段母线快切装置为例,快切装置采集的模拟量信息为10 kV I 段母线电压、101进线电压、103进线电压、101工作电源开关电流和103备用电源开关电流,采集的开关量信号有:101和103开关的跳闸位置和合后位置、保护启动快切信号、闭锁切换信号及手动切换信号。通过以上信息快切装置能够综合判断10 kV I 段母线及工作、备用电源开关的运行状态,实时监测母线及进线电压,计算进线功率方向和母线与待并侧进线电压的频率差、角度差。

快切装置有一种正常启动方式和五种异常启动方式。在进行正常的电源切换倒闸操作时,使用手动启动,快切装置收到“手动启动”开入量信号后会断开母线当前的电源开关,合上另一侧电源开关,正常情况下可以实现工备电源之间的互相切换。异常情况下,快切装置只会断开101工作电源开关,立刻合上103备用电源开关,有五种条件都可以使快切装置启动,分别是1#主变压器差动保护动作、101开关逆功率、101开关无流、10 kV I 段母线失电压及101开关事故跳闸。五种异常启动方式分别有各自的判断逻辑,能够可靠断定工作电源处于异常状态,母线必须切换至备用电源运行。

由于110 kV变电站甲和乙分属不同的电力系统,该35 kV变电站10 kV I 段工作电源101开关与备用电源103开关严格禁止同时合闸,所以快切装置电源切换设置为收到一侧开关断开的跳闸位置信号后,才能发出合闸指令,使另一侧开关合闸。

快切验证性试验

为验证快切装置及开关柜的性能,在变电站10 kV母线带少量负荷的情况下,进行了手动切换的试验。以故障录波数据为依据,将母线一路电源开关断开至另一路电源开关合闸之间的时间记为母线失电压时间,并且记录母线失电压时的三相最低电压,切换试验数据见表1。

经过试验发现电源切换过程中母线失电压时间长达360 ms,母线相电压二次值降至32.1 V,为额定电压的55%,不能满足对于下级负荷无扰切换的技术要求。为解决快切装置切换不够快的问题,需对装置切换实现方式进行分析。

表1 10 kV母线电源切换试验数据表

试验项目	母线失电时间/ms	相电压最低值/V	切换实现方式
I 段101切至103	353	33.5	同期捕捉
I 段103切至101	355	34.4	同期捕捉
II 段102切至104	360	32.1	同期捕捉
II 段104切至102	357	33.9	同期捕捉

快切装置电源切换实现方式

由于10 kV母线有大量电动机负荷,当工作电源断开后,部分机械惯性较大的电动机立刻转换为发电机运行,随着转子转速逐渐从额定值减小,转子电流磁场在定子绕组里产生的反向电动势回馈到母线,使母线上形成残压。所以母线电压在工作电源断开后不会立刻降为零,但母线电压幅值和频率会逐渐降低,具体下降速度与母线所有电动机负荷大小及机械惯性的多少有关。母线残压衰减曲线公式为

$$U(t) = U_0 e^{-t/\tau_1} \sin(\omega t \tau_2 + \varphi_0) \quad (1)$$

式中, U_0 为电压初始值; φ_0 为电压初始相位角; τ_1 为电压幅值衰减时间常数, τ_2 为电压频率衰减时间常数。

根据快切装置运行数据,虽然该35 kV变电站10 kV母线工作电源与备用电源来自不同系统,但相位差始终保持在 5° 左右,可以认为运行中母线电压与备用电源电压始终处于同相位的状态。

1. 快速切换方式

以10 kV I 段母线101工作电源开关断开时为起点,绘制103备用电源电压某相与母线电压同相电压对比的示意图,如图2所示。

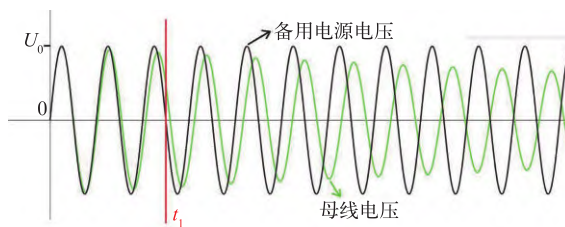


图2 快速切换相电压对比图

由图2可以看出,随着工作电源开关断开,10 kV母线电压的幅值由 U_0 逐渐减小,随着频率降低母线电压的周期逐渐增长,使得母线电压与备用电源电压的瞬时值差距越来越大。在 t_1 时刻之前,母线电

压与备用电源电压波形基本一致，满足相角差小于 15° 的定值要求，此时备用电源103开关可以直接合闸，这种实现方式称为快速切换。根据切换报文和效果可以看出该变电站快切装置并没有在 t_1 时刻之前实现快速切换。

2. 同期捕捉切换方式

如果错过了快速切换的时机，10 kV母线电压幅值和频率会继续下降，如图3所示。

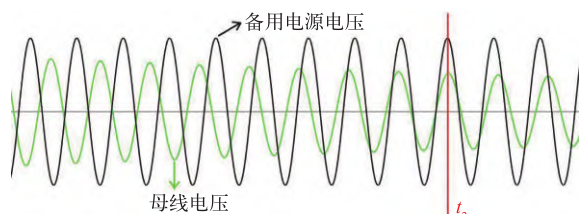


图3 同期捕捉切换相电压对比图

直到母线电压滞后于备用电源电压一个周期，到达 t_2 时刻时电压相位才能重新恢复一致，此时母线电压与备用电源电压的瞬时值差距再次达到了最小值，备用电源103开关再次可以合闸，这种实现方式称为同期捕捉切换。可见，该变电站电源切换

经历了这样的过程，所以切换时间较长，母线电压幅值也下降明显。

3. 失电压切换方式

若同期捕捉切换失败，母线电压进一步下降至低于失电压切换定值时，快切装置不再判断母线电压与备用电源电压的相位差，而直接闭合备用电源103开关，这种实现方式称为失电压切换。

快切装置控制回路

为了找到快切装置未能在 t_1 时刻之前完成切换的原因，对快切装置二次控制回路进行检查：快切装置采集的二次电压、电流均来自10 kV母线段，而开关的跳闸位置和合后位置、保护启动快切信号及闭锁切换信号均来自主变压器保护屏，手动切换按钮安装在快切装置本柜。根据串联切换需收到一侧开关断开的跳闸位置信号后才能发出合闸指令，将开关的跳闸位置开入量信号作为重点进行检查。根据图样对照现场接线并开展检查，发现快切装置的开关的跳闸位置取自主变压器保护屏内低压侧断路器操作板TWJ继电器的扩展继电器。原理图如图4所示。

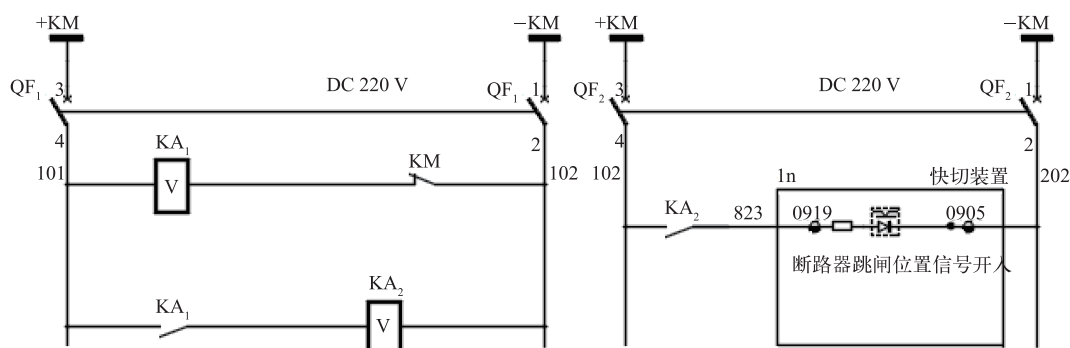


图4 断路器跳闸位置信号原理图

当断路器断开时常闭触点KM闭合，操作电路板中的跳闸位置监视继电器KA₁得电，由于现场跳闸位置触点不够用，又通过中间继电器KA₂进行了扩展。最终将KA₂接点接入快切装置作为断路器跳闸位置信号。电气技术人员通过试验，测得经过KA₁和KA₂两个继电器信号传递，快切装置收到的断路器跳闸位置信号比断路器常闭触点KM变位信号延迟了56 ms。初步判断由于这56 ms的延时，使快切装置收到101开关断开的信号时已经晚于满足“快速切换”的 t_1 时刻，从而只能以“同期捕捉切

换”的方式实现切换。

控制回路优化与验证

为了使快切装置收到的断路器跳闸位置信号更加准确、及时，将操作电路板中KA₁接入断路器合闸回路，使KA₁除了作为位置指示继电器外，还具有监视断路器合闸回路完整性的功能。再将原来控制KA₁的断路器常闭触点KM直接接入快切装置开入量回路。改进后电路原理图如图5所示。

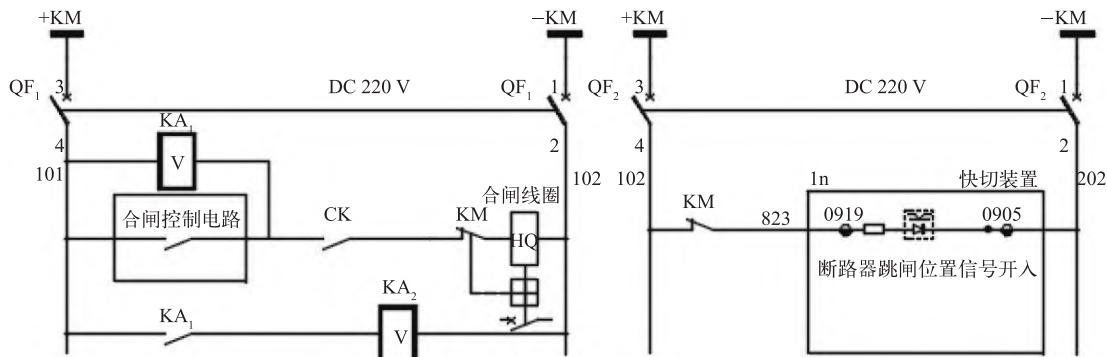


图5 改进后断路器跳闸位置信号原理图

经过调试后，再次进行了母线带负荷的电源切换试验，以10 kV I段由101切至103开关试验结果为例，故障录波器记录的母线电压及开关变位信号如图6所示。

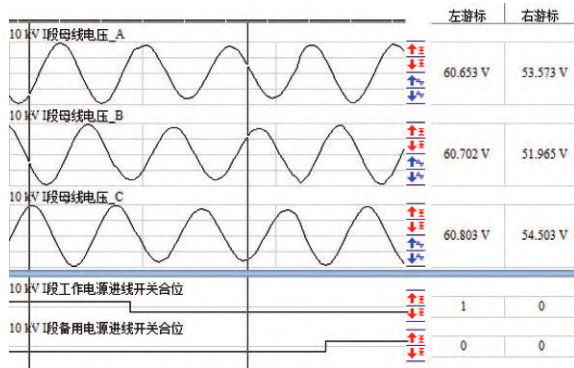


图6 电源切换10 kV母线电压波形

排除断路器主触点与辅助触点动作的时间差对快切装置串联切换的影响后，使得10 kV I段母线失电压时间由353 ms缩短至39 ms，母线失电压时的三相最低电压由33.5 V升至51.9 V，达到了额定电压的90%，母线段所有负荷没有受到电源切换的影响，实现了无扰切换，并且快切装置动作报文显示实现方式为快速切换。经过试验证实了快切装置无法实现快速切换的原因确实是断路器跳闸位置信号的延迟。

结束语

查阅不同厂家快切装置的说明书，各个装置判断断路器位置信号说明各有不同：江苏金智的MFC2000型取自断路器常开触点；MFC5103A型取自跳闸位置触点或断路器常闭触点；南瑞的PCS-

9655型取自跳闸位置；国电南自WBKQ-01C型取自断路器辅助触点。可见，串联切换时对于快切效果有重要影响的断路器位置判断，一些厂家并没有在说明书中提出明确的要求。导致设计人员在变电站设计过程中对于断路器位置在不同信号回路中的可靠性、准确性和及时性有不同要求的认识不够，变电站快切装置未能发挥出应有的作用。作为电气专业技术人员应深入现场，严谨、细致地做好专业技术工作。EA

(收稿日期：2022-09-04)

参考文献

- [1] MFC5103A工业企业电源快速切换装置说明书[EB/OL]. 金智科技股份有限公司, 2011.
- [2] 罗文新, 崔春全, 张宏达, 等. 快切与传统备自投系统优缺点分析[J]. 当代化工, 2016(4): 856-859.
- [3] 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.
- [4] 刘汉国. 母联分段备自投装置在变电站的应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [5] 虎耀森. 无扰动快切技术在发配电系统中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2019(12): 177-178.
- [6] 玄智铭, 赵智成, 汪洋. 220 kV用户终端变电站电源快切备自投装置设计方案[J]. 电气应用, 2022, 41(6): 68-73.
- [7] 陈妍君, 邓孟华, 周佳卿, 等. 备自投装置在上海超导电缆中的应用[J]. 电气应用, 2022, 41(7): 17-21.