

「变电站」

两起变电站交流母线电压切换回路异常事件分析

文/中国南方电网超高压输电公司广州局 李建勋 王超 黄维

结合近期网内发生的两起变电站电压切换回路异常导致事故的案例，对当前最常用的采用双位置磁保持继电器的电压切换回路工作原理进行分析，提出了电压切换继电器开入回路应采用“两开两闭接线”。以单一接点异常作为故障假设条件，研究了电压切换回路故障监视方法的策略。穷举实际运行中各类故障情况，得出了一种最优组合策略，可以满足各类故障的监视，具有更好的通用性和实用性，适于推广。

近期网内连续发生两起刀开关辅助接点动作不正常导致电压切换回路故障进而引发相关事故的案例。现场人员操作中第一时间均未监视到异常。事件暴露了当前电压切换回路故障监视功能设计不合理和现场人员对电压切换回路检查方法掌握不熟练。本文对电压切换回路及其监视回路的工作原理进行分析，对不同原理的设计进行对比，对不合理的设计提出改进意见，总结研究出一种最优的电压切换回路监视策略。

事故案例简介

1. 案例1

2017年2月15日，云南220 kV某变电站发生

一起由于电压切换回路二次误并列造成的全站失压事故。事故前接线方式如图1。该站Ⅱ段母线停电操作过程当中，将Ⅱ段母线负荷转移到Ⅰ段母线后，断开220 kV母联212断路器对Ⅱ母进行停电，Ⅱ母失压，Ⅰ母电压通过切换回路导通至Ⅱ母，对Ⅱ母反送电。Ⅰ段母线PT二次电压低压断路器跳闸。220 kV备自投装置检测到Ⅰ段母线无电压、主供线路甲线双线路电流低于定值，1.5 s后动作跳甲Ⅰ线254断路器、甲Ⅱ线253断路器，4.5 s后合备供线路乙Ⅱ线251断路器。乙Ⅱ线路带负荷后，由于Ⅰ段母线PT断开无电压，距离手合加速保护动作永跳251断路器，全站失压。

经调查，该站Ⅰ段母线PT二次电压低压断

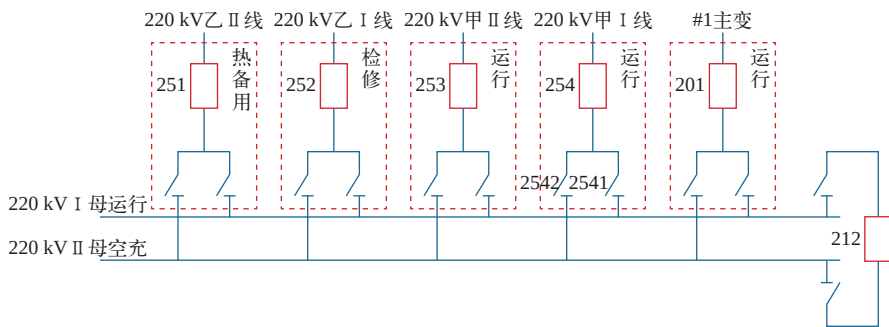


图1 案例1变电站事故前接线图

路器跳闸是由于电压切换回路二次误并列造成的。该站倒母线操作采用热倒方式,在进行254间隔Ⅱ段母线倒换Ⅰ段母线操作中,正常切换过程2542隔离开关分开后,其常开接点与常闭接点通过双位置继电器2YQJ2-5控制2YQJ2-5接点由闭合状态转断开状态,本次切换过程,2542隔离开关分开后,“Ⅱ母刀开关常闭”接点拒动,2YQJ2-5持续励磁,2YQJ2-5接点继续保持闭合状态,同时1YQJ2-5接点也闭合(2541隔离开关处合位),造成Ⅰ、Ⅱ母PT二次侧并列运行。电压切换回路如图4、图5。

2. 案例2

2017年2月20日,广东500 kV某变电站进行3#主变复电工作,事故前设备状态如图2,220 kV #1M、#5M分段2015开关在运行状态, #5M、#6M母联2056开关在运行状态, #5M未连接负荷。合上2203开关后,3#主变阻抗保护动作跳开2015、2056开关,并发“中压侧电压切换继电器电源消失”告警。

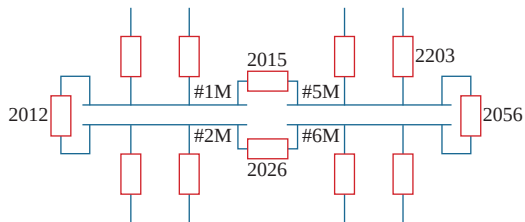


图2 案例2变电站事故前接线图

经调查,该站主变阻抗保护动作并发“中压侧电压切换继电器电源消失”告警原因为3#主变中压侧电压切换回路二次失电。正常合上2203开关#5M侧刀开关2203后“Ⅰ母刀开关常开”接点闭合,1YQJ1-5励磁,本次操作过程,“Ⅰ母刀开关常开”接点拒合,导致电压切换装置内电压无法通过继电器的辅助接点送到保护装置。电压切换回路如图4、图5。

电压切换回路介绍

双母线接线方式下,线路和主变的保护装置通过二次电压切换回路选取母线电压。二次电压切换可以采用手动或自动方式。手动切换回路简单,连接可靠,但需人为操作,且一、二次操作不能完全同步;自动切换能保证一、二次操作基本同步,但回路较复杂,对直流电源和隔离开关的辅助接点有依赖性。

目前电网中普遍采用自动切换方式。使用双

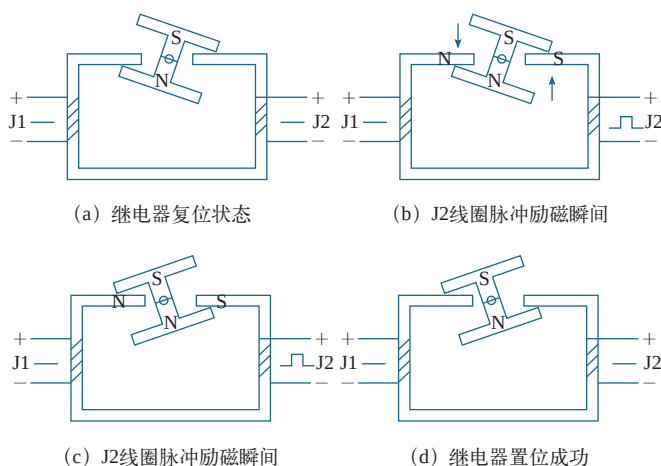


图3 示意图

线圈磁保持继电器作为电压切换继电器,可以避免正常运行时切换电源消失或刀开关辅助接点不对应导致的保护失压或电压二次误并列。

1. 双位置磁保持继电器工作原理

磁保持继电器其触点开、合状态由永久磁铁所产生的磁力所保持。当继电器的触点需要开或合状态时,只需要用正(反)直流脉冲电压激励线圈,继电器瞬间完成状态转换。触点处于保持状态时,线圈不需要持续通电,仅依靠磁力维持继电器的状态。当两个线圈均励磁时,两个线圈产生的磁场大小相等、方向相反,刚好抵消,此时触点仍保持在先励磁的状态。图3a~3d演示了具体状态转换过程。当继电器的触点需要置位时,用正直流脉冲电压激励线圈J2,线圈J2励磁后产生的磁极与永磁铁的磁极相互作用,同极性相互吸引,异极性相互排斥,使继电器瞬间完成复位到置位的状态转换。

2. 电压切换回路

电压切换回路是利用刀开关位置变化时其辅助接点变化来启动或复归电压切换继电器,进而使电压切换继电器的常开接点闭合或打开,实现将对应的母线电压接入保护装置,同时断开另一母线的电压。

(1) 两开两闭接线回路

两开两闭接线回路电压切换继电器开入回路使用对应母线隔离刀开关的一副常开辅助接点启动励磁线圈、一副常闭辅助接点复归返回线圈。

电压切换回路的工作原理如图4、5所示,电压切换回路靠主变或线路的母线侧刀开关的辅助接点来启动和复归电压切换继电器(1YQJ1-5、2YQJ1-5),切换继电器启动或复归后,电压切

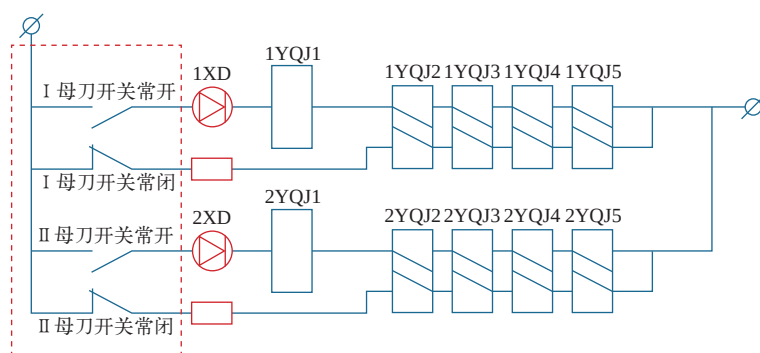


图4 电压切换继电器开入回路

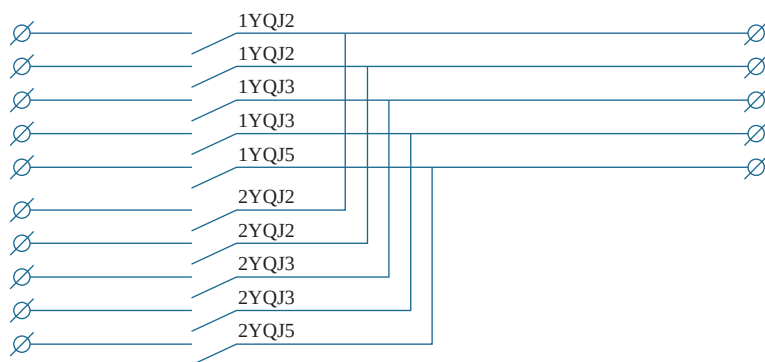


图5 二次电压切换回路

换继电器的接点导通，将对应母线的电压引入保护装置，并断开另一母线的电压。若间隔挂 I 母运行时，I 母刀开关常开接点闭合，II 母常闭接点打开。

根据双位置磁保持继电器动作原理，若刀开关常开接点先闭合，常闭接点后闭合，双位置继电器还是保持在励磁状态；若常闭接点先闭合，常开接点后闭合，双位置继电器还是保持在失磁状态。

(2) 两开接线回路

两开接线回路电压切换继电器开入回路使用母线隔离刀开关的一副常开接点启动本母线继电

器的励磁线圈同时复归另一母线继电器的返回线圈，如图6。母线电压切换基本原理同“两开两闭接线回路”。

采用“两开接线”，可以避免案例1中常闭接点损坏的风险，同时在刀开关双跨时二次电压不会发生并列，但在倒母线时双跨后拉开刀闸的瞬间，可能会引起保护短时失压。例如将某间隔由 I 母热倒至 II 母时，双跨状态后拉开 I 母刀开关，所有双位置自保持继电器将发生状态翻转，若 1YQJ2-1YQJ5 继电器翻转更快，此时所有继电器均在失磁状态，所有电压切换继电器的接点均打开，保护短暂失压。

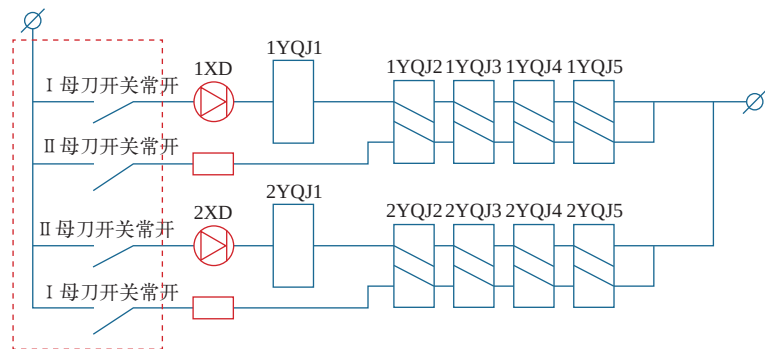


图6 “两开接线”电压切换继电器开入回路

3. 小结

电压切换继电器开入回路应使用“两开两闭接线”，使用对应母线隔离开关的一副常开辅助接点启动励磁线圈、一副常闭辅助接点复归返回线圈。电压切换继电器使用“两开接线”在刀开关双跨时二次电压不会并列，但双跨后拉开另一把刀开关的瞬间，可能会引起保护短时失压。建议使用“两开接线”的装置增加隔离开关辅助接点完善开入回路。

电压切换回路监视方法

电压切换回路的监视方法共有3种：①电压切换继电器状态指示灯，安装于继电器箱，用于提示当前电压切换继电器开入回路状态。②“切换继电器同时动作”告警。③“切换继电器电源消失”告警。在实际工程中，指示灯回路及告警信号回路所选用的继电器（常规或磁保持）接点有所差异。

1) 指示灯回路有两种接线方式：一种将指示灯穿入电压切换继电器开入回路，如图4中所示；另一种采用电压切换磁保持继电器的常开接点，当磁保持继电器励磁，常开接点闭合，指示灯回路导通，指示灯被点亮，如图7。

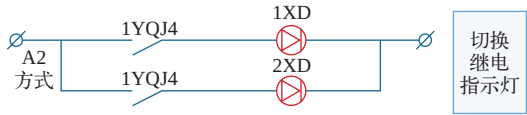


图7 指示灯回路

2) “切换继电器同时动作”告警信号回路采用常规继电器或磁保持继电器的常开接点串联，如图8。正常状态下，当两把母线刀开关均在合位，两条母线电压切换继电器均励磁，继电器常开接点闭合发出“切换继电器同时动作”告警信号。

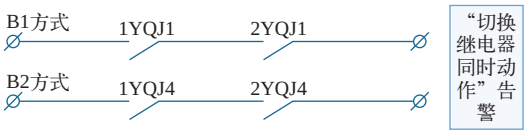


图8 “切换继电器同时动作”告警信号回路

3) “切换继电器同时动作”信号回路采用常规继电器或磁保持继电器的常闭接点串联，如图9。正常状态下，当两把母线刀开关均在分位置，两路电压切换继电器均失磁，继电器常闭接点返回发出“切换继电器电源消失”告警信号。

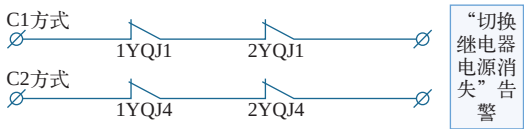


图9 “切换继电器电压消失”告警信号回路

上述三种方法所采用的继电器不同，在切换回路异常时所对应的检查方法也不同。当三种方法的配合存在漏洞或现场人员对各监视回路不清楚时，有可能导致故障无法及时发现。

电压切换回路监视方法组合策略研究

隔离开关与辅助接点位置不对应主要分为刀开关辅助接点误动作（误合/误分）和刀开关辅助接点拒动作（拒合/拒分）两大类：刀开关辅助接点误动作（误合/误分）是指在正常运行过程中，由于设备老化或机械振动等原因导致刀开关辅助接点异常变位的情况；刀闸辅助接点拒动作（拒合/拒分）是指刀开关在倒闸操作过程中，由于设备老化或机械振动等原因导致刀开关辅助接点不随刀开关主触点变位的情况。

上一节列出了三种电压切换回路监视的方法，下面为了方便研究，本文以字母代号表示采用不同继电器的监视方法，如表1。

表1 监视方法代号对应表

监视方法	常规继电器	磁保持继电器
	接点	接点
指示灯	A1	A2
“切换继电器同时动作”告警	B1	B2
“切换继电器电源消失”告警	C1	C2

1. 案例背景

案例1中，该站电压切换回路监视方法采用了（A1、B1、C1）的组合策略。事故中，在进行254间隔Ⅱ段母线倒换Ⅰ段母线操作中，2542隔离开关分开后，其常闭接点未正确动作，导致2YQJ2-5接点继续保持闭合状态，而1YQJ2-5接点也闭合（2541隔离开关处合位），此时1YQJ1不保持继电器励磁2YQJ1常规继电器不励磁，“切换继电器同时动作”告警信号复归，同时Ⅰ母指示灯点亮、Ⅱ母指示灯不亮，均符合一次设备状态，造成工作人员对现场误判。

案例2中，该站电压切换回路监视方法采用了（A2、B2、C1）的组合策略。事故中，合上2203开关#5M侧刀开关22035后，其“Ⅰ段母线刀开关”常开接点拒合，“切换继电器电源消失”告

警信号回路所串磁保持继电器常闭接点均闭合。在本站的设计中,该信号回路串有本间隔开关三相的常开接点,即在开关在合上位置时才发“切换继电器电源消失”告警信号。该设计导致工作人员在合上#3主变中压侧开关2203前未收到告警,同时现场对指示灯检查疏漏,造成对现场的误判。

由此可见,不同的配置组合对应的现场检查方法有所不同。一种监视策略无法满足对各类故障的全面监视。例如B1方式无法监视到倒闸操作时隔离开关常闭接点拒分的故障,C2方式无法监视到正常运行时隔离开关常开接点误分的异常。电压切换回路3种监视方法的组合策略关系到各类故障是否能够被快速监视。

2. 电压切换回路监视方法组合策略研究

鉴于隔离开关同时发生2种及以上位置不对应的情况较少,同时2种及以上位置不对应对变电站二次设备的影响存在较大不确定性,本文仅考虑一个刀开关发生一种位置不到位,即以下所有分析均为考虑一个二次设备发生隔离开关与辅助接点任一种位置不对应的情况。变电站双母线接线常见操作包括停电、复电、热倒母线,不同方式下,各监视方法所能监视到的故障及直接故障后果见表2。

表2 各类故障监视方法对应表

接点不对应类型	直接故障	监视方法
正常运行	常开误分	无
	常开误合	无
	常闭误分	无
	常闭误合	无
停电操作	常开拒分	无
	常闭拒合	无
复电操作	常开拒合	电压丢失
	常闭拒分	电压丢失
热倒母线操作	常开拒分	电压并列
	常开拒合	电压丢失
	常闭拒分	电压丢失
	常闭拒合	电压并列

除了正常运行方式下的“常闭误分”、“常闭误合”两类接点故障无法马上被监视出来外,其他各类故障均可以通过上述三类方法监视出来。在采用双位置磁保持继电器的电压切换回路中,发生这两类故障不会产生直接后果,并且在之后的操作过程中可以等同于其他故障类型被监视。

由表2分析得出,方案1(A2、B1、C1)与方案2(A1、B2、C2)组合策略为最佳,这两种组合策略可以满足在上述各类故障当中,至少有一种监视手段可以发现故障,提醒现场人员检查处理。案例1变电站的(A1、B1、C1)的组合策略与案例2变电站的(A2、B2、C1)的组合策略均无法满足对所有故障类型的监视。

3. 小结

在运工程中,大部分“切换继电器电源消失”告警信号回路均串有本间隔开关三相的常开接点,即在开关在合上位置时,才回发“切换继电器电源消失”信号,类似于案例2。该设计采用开关合位判电压的思路,此时若采用方案2组合策略,会造成停复电操作中的故障无法被及时监视,若采用方案1组合策略则无相关问题。

另一方面,在正常运行状态下发生“常开误分”“常开误合”故障,方案1通过“切换继电器电源消失”“切换继电器同时动作”告警进行监视,更利于工作人员发现异常。方案2通过现场指示灯进行提示,不利于异常被及时发现。

结束语

本文结合近期网内发生的两起变电站电压切换装置异常导致相关事故的案例,对当前最为常见的采用双位置磁保持继电器的电压切换回路工作原理进行分析,提出了电压切换继电器开入回路应采用“两开两闭接线”。“两开接线”倒母线双跨后拉开刀开关的瞬间,可能会引起保护短时失压,建议增加隔离开关辅助接点完善继电器开入回路。

本文重点对电压切换回路监视方法组合策略进行研究,通过穷举各类故障所对应监视策略的方法,得出方案1(A2、B1、C1),即指示灯回路采用磁保持继电器接点、“切换继电器同时动作”告警回路采用常规继电器接点、“切换继电器电源消失”告警回路采用常规继电器接点的组合策略最优。该组合策略不仅可以满足对所有故障类型进行监视,而且可以满足“切换继电器电源消失”告警回路串开关常开接点的设计思路,同时,该组合策略还可以实现对正常运行状态下发生异常的快速监视。建议各工程参考该思路对现有设计进行改进。EA

(收稿日期:2017.12.01)

(编辑:白文亭)