

「励磁涌流」

励磁涌流抑制装置在异步联网工程中的应用

文/超高压输电公司天生桥局 龙正兴 庄志发

对变压器及滤波器投入时励磁涌流产生的原因及危害做了论述，分析了SID-3YL型涌流抑制器的硬件及原理，结合鲁西站滤波器组投运时的波形，对比分析了涌流抑制器投入前后的效果，最后提出了涌流抑制器典型故障处理方法及运维建议，对涌流抑制器设计、研发及运维有重要的参考意义。

6月30日，云南电网与南网主网鲁西背靠背直流异步联网工程（简称“鲁西背靠背直流工程”）常规直流单元建成投运，标志着我国首个省级电网与大区域电网实现异步互联。工程投运后，将有效提高南方电网主网架的安全稳定运行能力，促进清洁能源消纳，每年至少可减少云南汛期弃水20亿kW·h以上。换流站站内在断路器分合操作的瞬间，系统电压相角的随机和不确定性导致在投切某些一次设备时，会产生过电压和涌流。过电压和涌流会对运行设备造成危害，甚至导致保护装置误动，严重威胁系统安全、可靠、稳定运行。

鲁西背靠背直流异步联网工程在换流变压器、联接变压器、站用变压器和小组滤波器的进线断路器中采用了深圳市国立智能的励磁涌流抑制装置SID-3YL型涌流抑制器，其控制的核心是对断路器分合闸角度的精确控制。该站的涌流抑制装置用于变压器和交流滤波器小组的投切，涌流抑制装置不单独组屏，分别安装在交流站控屏、柔直单元控制屏、滤波器小组保护屏中。共有分合变压器开关的涌流抑制装置14台，分合滤波器小组开关的涌流抑制装置14台，全站共28台。

励磁涌流产生的原因及危害

在换流站中，存在好多呈容性和感性负载的

设备。对容性负载，因断路器操作瞬间电容器两端电压不能突变导致产生过电压及涌流；对于感性负载，因磁链守恒定律，在分合闸操作时，电感电流不能突变也会导致产生过电压及涌流。

涌流的频率可高达几百到几千赫，幅值比正常工作电流大几倍到几十倍，对电网危害很大，主要表现在：

- 1) 涌流过大会造成进线断路器熔焊，烧损，产生的电动力可能使断路器元器件损坏。
- 2) 涌流可能产生过电压，损坏了一次设备绝缘，增大了设备绝缘配合的难度，对电容器组损害较为明显。
- 3) 涌流容易造成保护误动。变压器充电时产生的涌流易造成差动保护动作，滤波器投切时产生的涌流是导致电容器比值不平衡、保护误动的主要原因。
- 4) 涌流容易使高压直流换相失败。如果交流滤波器大角度合闸，不但会产生较高的励磁涌流，还会导致交流母线电压畸变，导致直流换相失败。

因此，在直流输电工程中，很有必要运用励磁涌流抑制装置，抑制断路器分合闸产生的涌流大小。

励磁涌流抑制装置的硬件及原理

SID-3YL型涌流抑制器是深圳市国立智能电

力科技有限公司生产的应用于投切滤波器组和变压器等场合下的涌流抑制装置。装置针对不同类型的断路器及负荷特性,采取不同的控制策略,通过方便灵活的设置控制参数及定值,实现有效抑制因断路器操作而产生的过电压和涌流。

1. 硬件组成

装置由以下插件构成:信号插件、电源插件、CPU插件、交流插件、人机对话插件。其中电源插件将外部提供的交、直流电源转换为装置工作所需的各类直流电压,交流插件主要接入电流、电压量,信号插件分为开入板、选通板、出口板。开入信号有:电源侧TV、TA及断路器辅助接点,此外还有合控制命令输入。开出信号包含跳闸、告警等信号。CPU插件主要负责接收测控装置的操作命令后,根据前次记录的合闸角及预先设置的三相断路器合闸时间,通过电压互感器获得的电压采样测值,装置做出一定的延时和调整,再把断路器操作命令分相不同时送去断路器操作箱,再到断路器机构箱。保证三相断路器在理想的时刻动作,减少对系统的冲击。

2. 原理分析

SID-3YL型涌流抑制器主要功能是控制断路器合闸操作。针对不同的负载,因其产生过电压或涌流的原因不同,所以必须采取不同的控制策略以有效抑制操作断路器产生的过电压或涌流。对容性负载,应在电压过零处控制分合闸,对于感性负载,可在电流过零点时控制分合闸,以防止断路器因电流过大,拉弧重燃;在合闸控制时,在电压峰值合断路器涌流最小,暂态电压最大,在电压过零点时合断路器暂态电压最小,涌流最大。

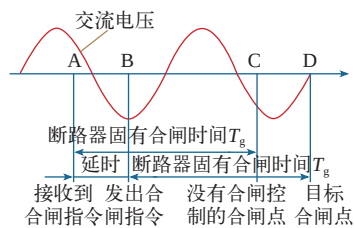


图1 SID-3YL型涌流抑制器基本原理

断路器从接收到合闸命令再到动静触头结合需要一定延时,称之为断路器固有合闸时间。断路器如未设有励磁涌流抑制装置,则在图1 A点接收到合闸命令,经过固有合闸时间 T_g 后,在C点合闸成功,此时C点时刻电压过高,存在设备过电压的风险。若设置有励磁涌流抑制装置,则装置收到合闸命令后,根据前次记录的合闸角及预先设

置的三相断路器合闸时间,启动元件动作,进入涌流抑制程序。装置暂保留此合闸命令并考虑断路器的固有合闸时间,对各种因素所造成的延时(如温度、控制回路)进行自适应补偿,预判电压过零点(D点)理想合闸时刻,在B时刻将控制命令发送给断路器合闸线圈,以保证设备合闸时暂态冲击最小。分合闸控制角均相对电源侧电压实现精准的角度控制。

现场装置应用效果

在鲁西换流站变压器及滤波器投运过程中,现场对SID-3YL型涌流抑制器进行多次调试,并结合断路器分合闸的离散性及其他因素,归纳出较准确的分合闸整定值,减少了变压器及滤波器投运过程中的涌流幅值,进而降低了对系统的冲击。

针对滤波器,理想合闸控制角度应该分别是A相 180° ,B相 120° ,C相 60° ,此时三相合闸时均在电压过零点。图2可以看出,实际分合闸时都是电压过零点,找了相隔最近的三个点进行控制。

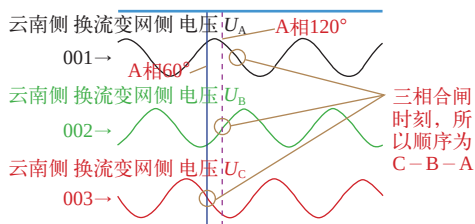


图2 SID-3YL型涌流抑制器合闸策略

下面以广西侧ACF1 5711断路器第1次合闸冲击试验波形为例进行对比分析。波形中标注1处指合闸后每相涌流幅值,标注2处指收到合闸指令进行启动校验,标注3处指经过预判时间后延时出口命令,标注4处指断路器位置触头返回,标注5处指合闸时刻电源参考电压相位。根据SID-3YL型涌流抑制器原理,只要设置合理的合闸时间及角度,涌流抑制装置收到命令后就会按照预设值进行合闸,如不考虑回路延时及断路器操作机构延时等情况,断路器就会在理想的合闸角进行合闸,此时涌流幅值将会最小,对系统冲击最小。

图3可以看出在涌流抑制器首次投入时(未发挥作用),流过断路器三相涌流值都较大,其中A相涌流值达 -2.177 A ,为实测值的4.84倍;从图4得知,在进行多次调试及定值调整后,涌流抑制器发挥了作用,断路器三相都在预设的时间和角度进行合闸,涌流值降为 0.6 A 左右,数据见表1。可见使用涌流抑制器对抑制涌流效果显著。

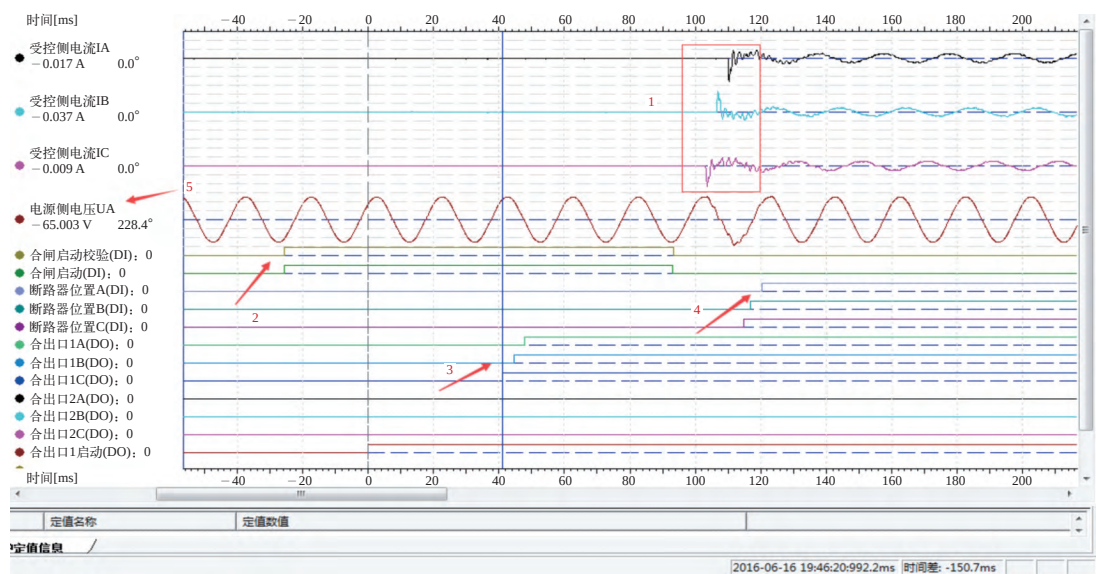


图3 鲁西站广西侧ACF1 5711第1次合闸冲击试验

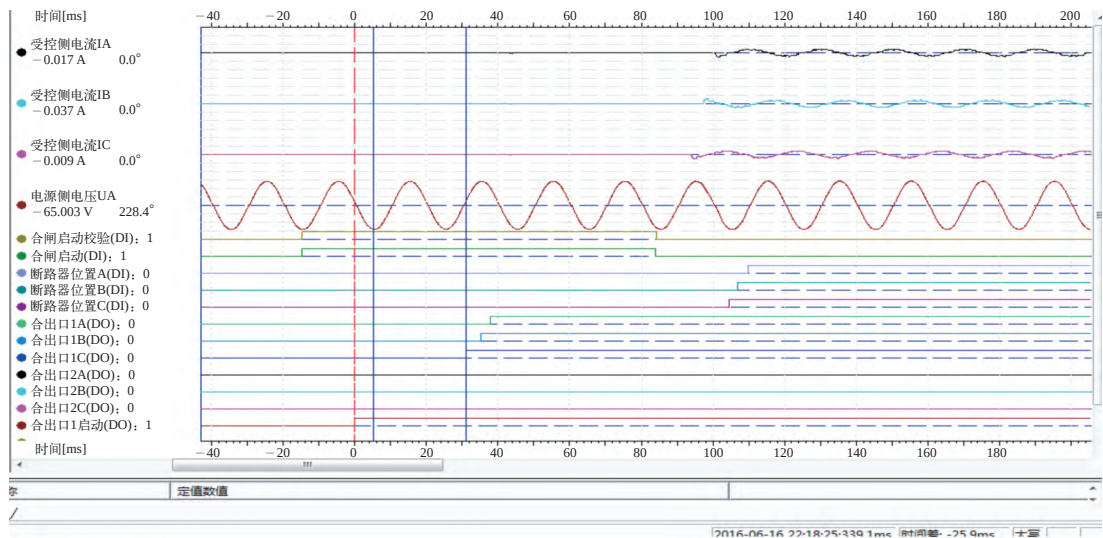


图4 鲁西站广西侧ACF1 5711第2次合闸冲击试验

表1 鲁西站广西侧ACF1 5711合闸冲击试验数据

装置编号	3YL1501004	CT变流比	400 A/1 A	电压变比	500 kV/100 V	电流0.45 A
内容	首次合闸冲击试验			末次合闸冲击试验		
	A相	B相	C相	A相	B相	C相
电流实测涌流值/ A	-2.177	1.979	-1.953	0.597	0.678	0.588
实际合闸时间/ ms	62.2	62.2	62.2	63.0	62.1	63.0
合闸时间整定值/ ms	100	100	100	63.0	62.1	63.0
合闸角度整定值/(°)	180	120	60	180	120	60
实际合闸角度/(°)	226.3	163.6	102.4	186.1	125.3	64.1
合闸电流倍数/倍	4.84	4.40	4.34	1.53	1.39	1.38

励磁涌流抑制装置现场典型故障情况及运维建议

励磁涌流抑制装置虽然能够一定程度上降低变

压器、滤波器等感性或容性负载投退时产生的励磁涌流幅值，但励磁涌流抑制装置故障及接线错误也会引起保护装置误动、一次设备损坏等情况。故需

结合装置运行工况进行有针对性的维护。

1. 装置故障及处理情况

(1) 涌流抑制器CPU板卡故障

存在问题：2016年12月10日，鲁西换流站发现500 kV广西侧5732交流滤波器微机涌流抑制器会不定时报“模块通信异常”，持续100~10 ms，现场对CPU板电源线以及CPU板与选通板间的接线进行紧固后，该异常情况并未消失。

分析：经询问四方厂家得知装置故障原因是选通板与CPU板通信中断。据悉，如果在鲁西站站控下发分、合命令2 s后无断路器变位信号，工作站报分闸不可用或合闸不可用，站控会自动分、合下一组交流滤波器并且在1 min内不再操作该组交流滤波器，1 min后再转为自动状态。在该告警存在的情况下站控下发的分、合闸命令无法执行。因此，如此时其他滤波器小组检修，可能因该组滤波器投入失败，绝对最小滤波器条件不满足，导致常规直流输送功率受限或直流闭锁。

处理措施：现场更换涌流抑制器CPU板与选通板，远方分合断路器正常，装置恢复正常。

(2) 涌流抑制器与操作箱的配合问题

存在问题：在变电站实际接线中，涌流抑制器输出的分合闸命令一般是接入操作箱保护跳闸、合闸回路中。在调试期间通过涌流抑制器进行分合闸时，发现操作箱的跳闸灯亮起，后台报事故总信号，不符合手动操作跳闸要求，应该与保护输出的跳闸现象区分开。

分析：根据现场图样看出，涌流抑制器输出的分合闸命令是接入操作箱保护跳闸、合闸回路中，而没有同时接入操作箱的手动跳闸回路，KKJ继电器没有励磁，导致操作箱在分闸时无法区分是经涌流抑制器输出的手跳还是保护动作，从而出现操作箱点亮跳闸及上报事故总信号。

处理措施：涌流抑制器除输出分合闸命令外，还应该提供一副信号接点接入操作箱手跳回路，目的是驱动KKJ继电器励磁，用于区别保护装置的出口。

(3) 涌流抑制器的参考电压选择问题

存在问题：3/2电气主接线下，某一串接入的2个电气元件可能都是感性或者容性设备。因涌流抑制器参考电压只能接入一路电压，而对于中断路器，因参考电源电压无法选择导致需分别配置两台涌流抑制器，增加了成本和维护量。

分析：变电站实际存在如下情况，串内断路器编号为Q1、Q2、Q3，接入的电气元件分别为换流变和降压变。在Q1检修时，且需投入换流变运行时，对Q2合环时需将降压变进线电压 U_1 作为参考电压；同样，在Q3检修时，且需投入降压变运行时，对Q2合环时需将换流变进线电压 U_2 作为参考电压。

处理措施：在涌流抑制器内部增加电压逻辑判断程序，若 $U_1 > 0$ ， $U_2 = 0$ ，则选择 U_1 作为参考电压；若 $U_1 = 0$ ， $U_2 > 0$ ，则选择 U_2 作为参考电压；若 $U_1 > 0$ ， $U_2 > 0$ ，此时同期合闸，合闸时不存在涌流，不需投入涌流抑制器。如此，则解决了涌流抑制器的参考电压选择问题。

2. 装置运维建议

1) 厂家及现场调试人员对装置进行全面调试，确保装置参数设置正确，定值准确，避免因装置设计及参数设置不当造成误动。

2) 装置硬件及板卡长期运行可能导致装置误动，要根据班组设备管辖界面划分，结合保护及测量设备定检时对装置进行维护，对老化的板卡、接线要进行更换，如发现设备异常，应及时退出装置运行。

3) 涌流抑制器与控制保护装置组屏，增加了接线的复杂性，需定期检查回路完整性，及时发现和排除隐患，对回路的正确性负责。

4) 随着一次断路器设备老化、更换，断路器分合闸动作时间离散型增大。故需重新设置涌流抑制器分合闸时间、角度等定值，否则将使涌流抑制器效果减弱甚至起到相反的作用。

结束语

本文以鲁西异步联网工程中应用的SID-3YL型涌流抑制器，针对交流滤波器（容性负载）和变压器（感性负载）两种重要的一次设备为例，详细分析了SID-3YL型涌流抑制器的硬件及对两种负载不同的分合闸时刻选择原理，并通过现场调试波形对比分析了涌流抑制器发挥的效果，肯定了涌流抑制器在高压直流输电系统中的重要性。最后根据现场设备故障情况提出了处理方法和运维建议，相信对励磁涌流抑制装置的设计、研发及日常维护起到重要的参考作用。EA

（收稿日期：2017.11.17）

（编辑：白文亭）