

[控制系统]

双内桥主接线下变压器差动保护构成及定值整定注意事项

文/艾地盟生物科技(天津)有限公司 姜洪松
天津滨海规划建筑设计院有限公司 耿长龙

分析了双内桥主接线的特点及RET521差动继电器的功能特性,提出了中压侧新增加的2号内桥等效成三绕组变压器的一个中压绕组,并在三绕组差动保护继电器程序里将设定高压侧、中压侧变压比为1:1,零点钟接线的组态模型用到双内桥主接线形式下双绕组变压器高压侧有多个电流通道的差动保护方案。最后,通过对和应涌流的特点及和应涌流引起差动保护误动作的工程案例分析,提出对双内桥主接线多台变压器并列运行形式下,如何进行差动保护整定,尤其是应注意合应涌流对差动保护的干扰。

变压器作为电力系统中至关重要的设备之一,如何保证变压器稳定、连续和高效的运行,已经成为继电保护工作者研究的重点之一,而差动保护作为变压器的主保护之一,已经成为人们研究的重中之重。

众所周知,差动保护是根据KCL电流定律原理工作的。当变压器正常工作或区外故障时,将其看作理想变压器,则流入变压器的电流和流出电流(折算后的电流)相等,差动继电器不动作。当变压器内部故障时,两侧(或三侧)向故障点提供短路电流,差动保护感受到的二次电流的和正比于故障点电流,差动继电器动作。

然而,由于变压器空载合闸时,低压侧空载无电流,但高压侧由于给变压器励磁,会存在一个衰减的涌流。这个涌流初始会达到5~8倍变压器额定电流,并且励磁涌流中含有大量高次谐波和非周期分量,除基波和非周期分量外,高次谐波电流以二次谐波电流为最大,而在其他工况下很少有偶次谐波发生。针对励磁涌流的这种特性,大部分厂家的变压器差动保护设有二次谐波闭锁,以防止差动保护误动。

此外,为了防止在变压器区外故障(穿越性故障)时,高、低压侧CT特性不一致,导致差流产生,而动作引起差动保护误动作,通常采用带比率制动的差动保护。比率制动的差动保护会随着穿越电流的增大,将差动启动的门槛抬高,从而保证穿越性故障时,差动保护不误动。

鉴于上述原因,带二次谐波闭锁的比率差动保护已经得到广泛应用,此外在范围应尽量最大化。在电力装置继电保护和自动化装置设计规范及国家电网公司输变电工程典型设计中均明确要求:差动保护范围应包括变压器套管及其引出线,要尽量做到差动保护范围最大化。在工程实际设计中,通常是将变压器高压、中压及低压侧各电流互感器处开始,将其所包含的范围内的设备全部包含到差动保护范围之内。比较典型的接线如图1和图2所示(图1所示的是典型的双绕组变压器差动保护接线图,图2所示的则是典型的三绕组变压器差动保护接线图)。这些差动保护接线图基本覆盖了线变组、单母线、单母线分段、双母线、双母线分段、内桥和外桥等主接线形式下的变压器差动保护接线方式。

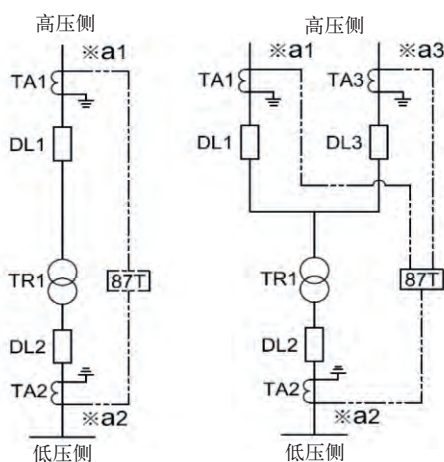


图1 双绕组变压器典型差动保护接线图

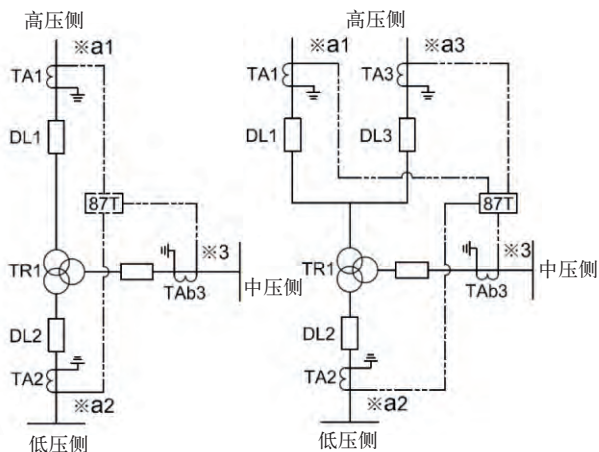


图2 三绕组变压器典型差动保护接线图

由于差动继电器品种类型很多，不同的继电器针对不同的主接线形式所能接入的CT通道数量各不相同，因此在设计选型时要充分结合变电站长远规划，合理进行选型设计，合理选择可接入的CT数量，尽量设计成各个CT回路单独接入到差动继电器；如果选型设计不合适，没有足够的CT通道可供接入，只能以硬接线做和电流的方式接入到差动继电器。然而，如果做和电流，则需要做和电流的两组CT变流比和极性必须相同，否则会引起差动保护不能正常工作。

在实际工程案例中，很多企业在建设初期由于投资预算问题，大多选择了内桥主接线形式，再经过几年的发展，需要扩大变电站规模并且要求建设工期尽量短，在综合考虑供电线路故障率和变压器故障率后，有些企业选择了三进线三主变的双内桥主接线形式。

双内桥主接线的特点及差动保护接线形式

下面以某变电站为例，来分析双内桥变电站

的特点及如何实现差动保护功能。扩建前该工厂变电站现有两条110 kV供电电源线路，采用内桥主接线形式，分别来自于供电公司的1L电源和来自企业自备热电厂的2L电源，扩建部分如图3中所示的黑实线部分，即从供电公司来的另外一条3L供电电源和二号变压器及DB2内桥部分，这种主接线形式通常叫作扩大内桥，但看起来就像两个内桥主接线形式合到一起，所以又非常形象地称作双内桥。

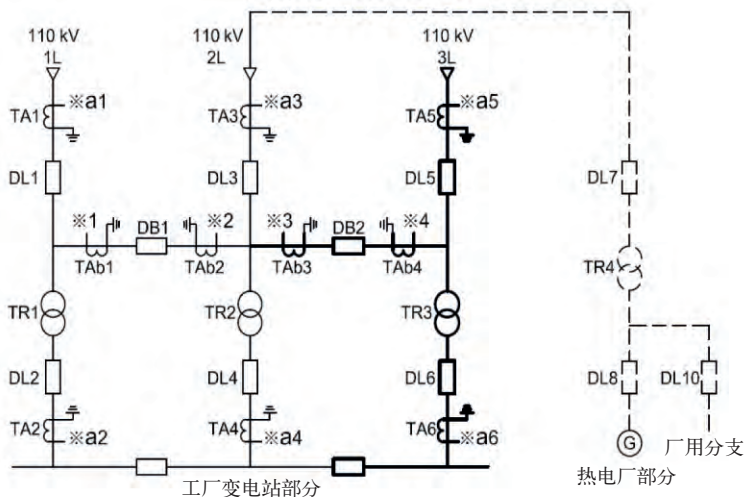


图3 双内桥主接线变电站示意图

原来2#主变TR2所采用的差动保护装置是ABB公司生产的RET521，该微机差动保护装置保护功能非常强大，除了变压器的差动保护之外，还具有三相定时限过电流保护、制动式接地故障保护、接地故障定时限电流保护、单相/三相定时限过电压保护、单相/三相定时限欠电压保护、中性点定时限电压保护、热过负荷保护、过励磁保护及有载调压电压控制等。

当前2#主变TR2差动保护接线如图4所示。

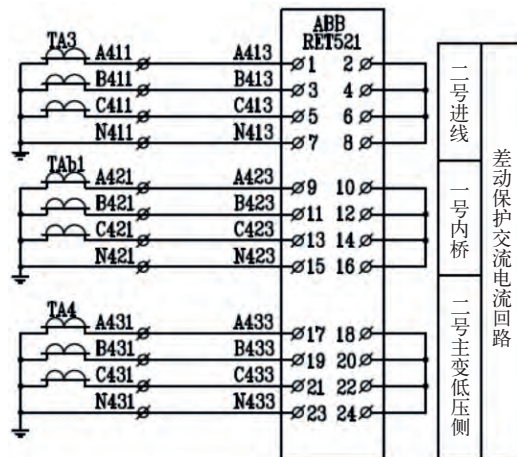


图4 当前2#主变差动电流回路接线图

TA3、TA_{B1}和TA4三组电流互感器分别接入不同的电流通道。然而在变电站扩建后，将增加TB_{B4}电流互感器，需要将此电流信号接入到综保中。如何将电流接入到差动保护中是必须解决的问题。通过研究RET521应用手册，发现此继电器不仅可以适用于双绕组变压器，也可以适用于三绕组变压器，并且最多可以接入5个电流制动臂，如图5所示，但没有发现可以直接适用于某一侧有3个制动臂接入的案例。

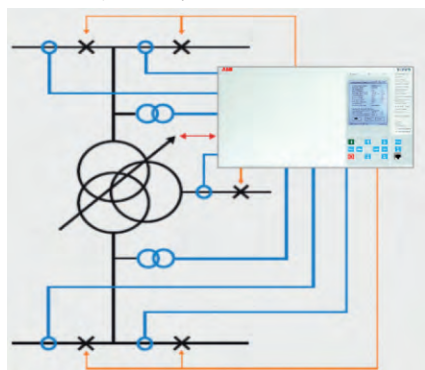


图5 RET521 三绕组变压应用模型

为了能将TAB₄电流信号接入到RET521继电器，做了以下两个接入方案。

1) 方案一。将变压器110 kV侧的3个电流制动臂，以硬接线做和电流的形式，将2个内桥电流制动臂做和电流，等效成1个电流制动臂，如图6所示。这样就将主变高压侧3个电流制动臂等效成2个制动臂，从而可以接入到现有的差动继电器中，继电器内部的逻辑维持不变即可，但此时需要2个内桥回路的电流互感器变流比一致。

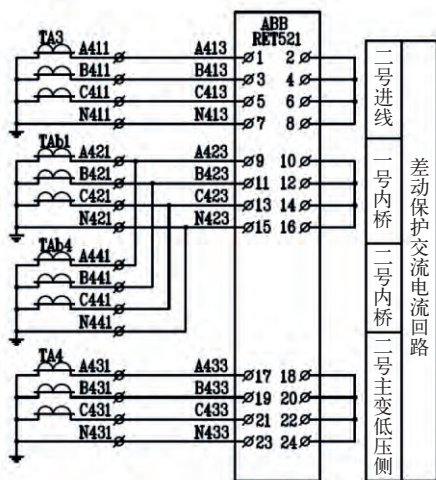


图6 和电流形式接线图

2) 方案二。高压侧有3个电流通道，YN/D11点钟接线的2#变压器TR2差动保护系统，在程序中

等效成一个三绕组变压器差动保护系统，将新增加的2#内桥回路等效成三绕组变压器的一个中压绕组，只需在程序里将高压侧和中压侧变比组态为一个变压比是1:1，零点钟接线的中压绕组即可。即原来的L2进线、桥开关DB1和变压器低压侧DL4的TA3、TAB₁、TA4电流通道不变，将新增加的TAB₄电流通道接入到中压侧电流通道，如图7所示。这种情况下只需将变压器的钟点数设置成YN/Yn0/D11。

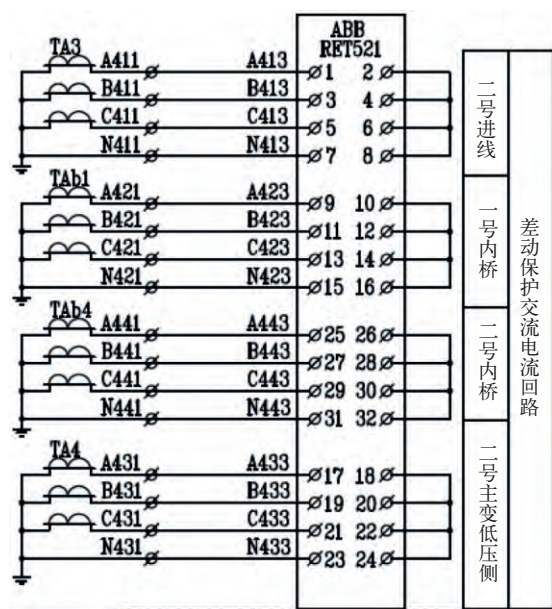


图7 编程组态形式下差动电流回路

由于采用方案二，每个电流信号都可以独立接入到差动继电器的电流通道，可以在程序中设定CT变流比和极性，因此不要求CT变流比必须相同了，方便了安装调试。此外，更为重要的是两路电流分别接入的话，在高压侧发生穿越性故障时，与外部做和电流接入相比，制动电流增加了故障电流的2倍，保护不易误动，提高了差动保护的可靠性。

差动保护定值整定注意事项

由于变压器的变比、接线组别及有载调压开关的位置，电流互感器变流比、负荷特性和工作特性，以及变压器的励磁涌流、和应涌流、零序电流及过励磁电流等都可能引起虚假的差动电流，从而引起差动保护误动作，因此必须高度重视这些干扰因素。

对于单一的一台变压器来说，差动保护功能已经十分完善，特别是对二次谐波闭锁和比率制动差动保护的研究已经非常深入，大多情况下按

照差动保护推荐值来整定,基本上就可以避免上述干扰。下表所示即是RET521差动继电器定值单中的主要项目和推荐值。RET521差动保护典型曲线如图8所示。

表 RET521差动继电器主要定值单及推荐值

参数	整定范围	推荐值	说明
Operation	0~1	1	差动保护关闭/开启
CharactNO	1~5	3	差动保护动作特性曲线
Idmin	10~50	30	最大灵敏度额定电流百分比 $\%I_n$
Idunre	5~25	8	差速断额定电流倍数 $\ast I_n$
StabByOption	0~1	0	2次谐波闭锁条件, 有条件/始终
I2/I1 Ratio	10~25	15	2次谐波与基波之比 (%)
I5/I1 Ratio	10~50	25	5次谐波与基波之比 (%)
ZSCSub	0~1	1	减去零序动作电流 关闭/开启
No of Tap	1~64		有载调压分接数 (挡位数量)
Rated Tap	1~64		额定分接位置
MinTap Voltage	0.1~99		最小分接位置电压 (kV)
MaxTap Voltage	0.1~99		最大分接位置电压 (kV)

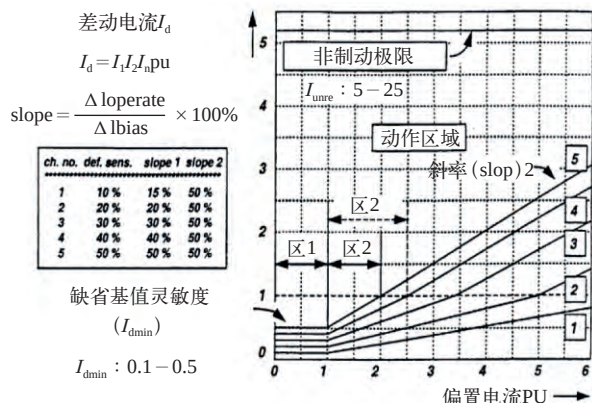


图8 RET521差动保护典型曲线

然而对于有多台变压器并联或者级联的情况下,和应涌流也很可能引起差动保护误动作,但在日常应用中,还没有引起广大工程技术人员的主意。所谓和应涌流,是指在空载合闸变压器产生的初始励磁涌流的作用下,运行变压器产生的一种感应电流。刚投入的变压器的励磁涌流与运行中的变压器的和应涌流之间的具有以下的关系和特点。

1) 和应涌流是在空载合闸变压器产生的励磁涌流之后一段时间才出现,并且由小到大,再逐渐衰减。

2) 和应涌流与初始励磁涌流偏向于不同的时间轴侧,交替出现,并且和应涌流的最大值小于励磁涌流的最大值。

3) 和应涌流的出现使得初始励磁涌流衰减变慢,持续时间加长。

4) 合应涌流的峰值电流可达到变压器的额定电流,甚至更高。

图9所示为模拟测试时,C相和应涌流的记录波形。

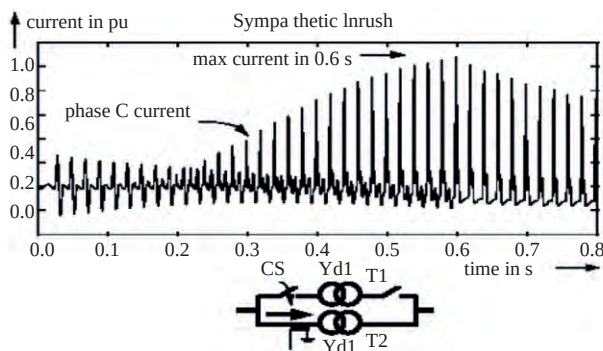


图9 和应涌流记录波形图

以上几点决定了和应涌流较励磁涌流间断角大,因此其二次谐波含量较高,在电流互感器正常工作时,利用相电流计算差动电流,则差动电流即为和应涌流,较容易实现制动作用。但是如果伴随电流互感器饱和及三相变压器计算差动电流采取星三角相位转换的影响,很可能使差动电流中的二次谐波含量降低,其制动作用将失效,从而导致差动保护误动作。

特点1说明和应涌流引起差动保护误动将发生在变压器空载合闸之后的一段时间,使其具有隐蔽性。对于变压器并联形式下,运行变压器中的和应涌流是导致其电流互感器饱和的直接原因。当然,由于涌流所具有的不确定性,直接由于和应涌流中二次谐波含量较低而导致差动保护误动也可能发生。

考虑特点2和特点3,和应涌流与初始励磁涌流交替出现,将使差动电流趋于对称,其中的二次谐波含量将降低,以至于不能起到有效的制动作用。这里并不是和应涌流使电流互感器饱和,其作用是加剧了差动电流波形的对称度。由于初始和应涌流使得励磁涌流衰减时间的加长,将会引起电流互感器的饱和。对于变压器级联形式下,初始涌流将使运行变压器与空载合闸变压器相连侧的电流互感器更容易首先饱和,也可能引起二次谐波闭锁差动保护功能失效。

此外,为了防止电流互感器饱和,除了要选用变压器差动保护专用的D级电流互感器;还应当在设计初期对最大方式下可能通过外部最大稳态短路电流进行充分计算,选择合适的二次回路负荷容量,差动保护回路的二次负荷要能满足10%误差的要求,从而降低电流互感器保护而引起差动保护误动作。

工程案例

经过在ABB上海工程实验室的多次模拟，将三绕组变压器按照高压、中压绕组1:1的变比，YN/Yn0/D11钟点接线的变压器模型应用到双内桥中间变压器上，可以实现差动保护功能，并且此方案的比率制动功能要比做和电流的方案可靠性更高，完全满足变压器差动保护需要。

由于双内桥主接线形式下，并联运行的变压器数量多，在初期整定时，没有充分考虑到和应涌流的对差动保护的影响，在3#主变TR3做第二次主变冲击实验时，发生了2#主变TR2差动保护误动作的情况，经过对故障录波电流分析发现，在3#主变作送电冲击试验时，自备热电厂经过2L线路后在该站与系统并网发电，1L、2L两条110 kV线路同时向该站供电，回路中有一定的负载电流，由于空载合闸3#变压器在2#变压器回路中引起的和应涌流二次谐波分量不足以闭锁2#主变差动保护；此外，差动保护功能的灵敏度推荐值 $0.3 \times I_n$ 和典型曲线3比较适合于单台变压器的工况，对于双内桥主接线形势，多台变压器并列运行，容易出

现和应涌流的工况来讲，默认值有些偏小。

针对以上分析，为了提高双内桥主接线形式下差动保护的可靠性，防止差动保护误动作，从以下3个方面重新设定差动保护定值。

1) 提高差动保护灵敏度定值，从 $0.3 \times I_n$ 改为 $0.4 \times I_n$ 。

2) 选择特性曲线5，提高差动保护启动门槛值和比率制动值。

3) 降低二次谐波闭锁差动保护功能，将定值从15降低到10，以降低和应涌流的影响。

重新修正差动保护定值后，再次对3#主变进行冲击合闸试验，并观察2#主变差动保护动作情况，发现在随后的试验中2#主变差动保护发生过一次差动保护启动告警，差动保护计算程序启动，但装置能准确判断是由于干扰引起的，从而闭锁跳闸出口。这也说明修正后的定制比较适合多变压器并联运行方式下的运行方式。EA

(收稿日期：2016.05.17)

(编辑：杨得润)

(上接第89页)

因风门不严等情况，类似带载起动，电压下降到5.05 kV，为85% U_N ，满足运行要求。其他方法同

第一台引风机。起动第二台引风机时的电动机电流和电压趋势图如图2所示。

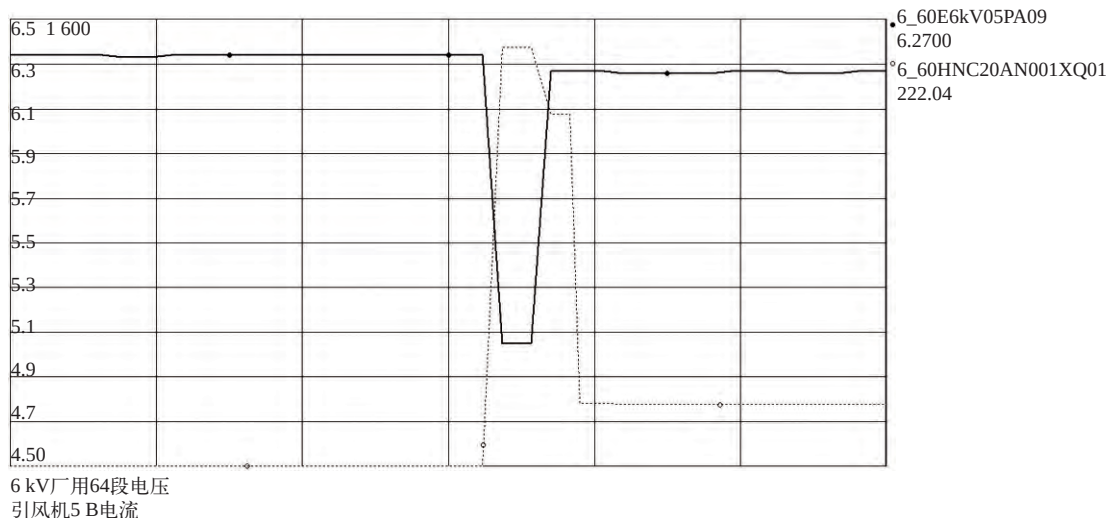


图2 起动第二台引风机时的电动机电流和电压趋势图

改造效果

2台1 000 MW机组引增合一改造后，机组经历多次起停。电动机的选型和起动方式，有效保障了机组起动的顺利、安全稳定。单台引风机运行，机组最大负荷550 MW，所选的引风机能满足1 000 MW满负荷稳定运行需要。

新引风机改造完成后进行了热态性能试验，在机组1 000 MW满负荷运行时，引风机、增压风机合并改造后引风机节电达3 208 kW·h，将使厂用电率下降0.32%，节电效果显著。EA

(收稿日期：2016.05.18)

(编辑：杨得润)