

[变压器]

一起变压器差动保护动作分析与启示

文/赵月灵^{1,2} 朱礼蔚^{1,3} 李晓萌^{1,2} 代莹^{1,2} 陈晨^{1,2}

1. 南瑞集团有限公司（国网电力科学研究院有限公司）；2. 国电南瑞南京控制系统有限公司；3. 国电南瑞科技股份有限公司

变压器纵向差动保护作为主保护，对保障变压器安全运行起到至关重要作用，介绍一起变压器差动保护动作案例，通过分析保护动作时刻保护装置和故障录波器波形，确认本次保护动作由电流二次测量回路异常引起，同时经现场排查验证分析的正确性，最后提出相应措施和建议。

根据GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》要求，电压在10 kV以上的变压器应配置双套纵向差动保护。变压器纵向差动保护作为主保护，对保护设备起到至关重要作用，保护以基尔霍夫电流定律为理论依据，通过采集变压器各侧电流，实现差动校正、差流计算、故障判别以及保护出口等功能。虽然变压器纵向差动保护在现场已经成熟应用多年，但引起保护误动作案例仍然频发，主要原因包括空充变压器、电流互感器（Current Transformer，CT）饱和以及和应涌流等。

本文分析一起线路发生接地故障引起变压器差动保护动作案例，通过分析保护动作时刻两套保护装置及故障录波器的记录波形，确认本次保护动作由电流二次测量回路异常引起，同时通过现场排查验证分析的正确性，最后提出相应措施和建议。

保护动作情况概述

M电站变压器容量为1 000 MV·A，电压比为 $550 \pm 3 \times 2.5\%$ kV /24 kV，接线方式为Yn-d11，高压侧CT电流比为2 000 A/1 A，高压侧中性点外接

零序CT变比400 A/1 A，低压侧CT电流比为30 000 A/1 A，变压器高压侧采用3/2接线方式。该变压器采用双套、主后一体保护装置，变压器纵向差动范围包括高压侧套管CT和低压侧CT，高压侧零序过电流保护取高压侧中性点外接零序CT，电气主接线如图1所示。

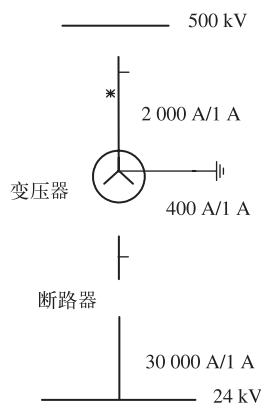


图1 M电站电气主接线图

2018年9月27日8时19分45秒40毫秒，M电站 A套变压器差动保护启动，10 ms后B套变压器后备保护启动，20 ms后A套变压器差动保护跳闸，保护动作后导致变压器停运。

A/B套变压器保护装置相关定值见表1。

表1 A/B套变压器保护装置定值单

定值名称	整定值
差动速断定值	$5.00I_e$
差动启动定值	$0.40I_e$
一段差动制动系数	0.50
二段差动制动系数	0.80
一段差动拐点	$0.50I_e$
二段差动拐点	$5.00I_e$
高压侧零序过电流定值/A	0.90
高压侧零序过流延时/s	2.00

注： I_e 表示变压器差动基准侧二次额定电流。

故障时刻装置录波数据分析

现针对变压器保护动作时刻保护装置和故障录波器波形数据进行故障分析。

1. A、B套差动保护电流波形

查看A套变压器保护装置差动电流波形，如图2所示，图中时标 $t=35\text{ ms}$ 时，A套变压器差动保护检测到差动电流， $t=40\text{ ms}$ 时，A套变压器差动保护启动，B相、C相均出现较大差动电流， $t=64\text{ ms}$ 时，B相最大差电流有效值达 $1.54I_e$ ，超过保护启动门槛 $0.40I_e$ ，变压器差动动作为正确。

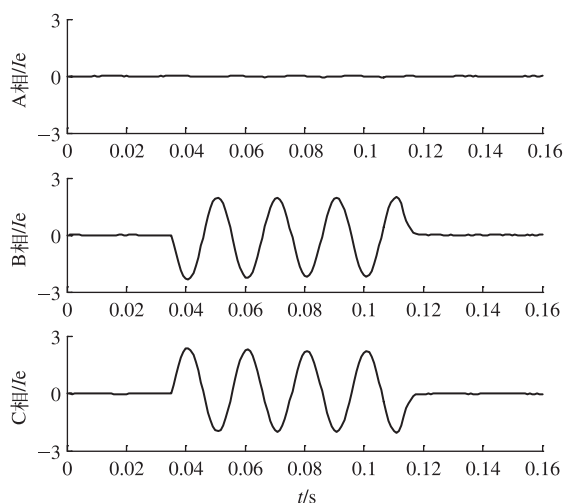


图2 A套变压器差动电流波形

查看B套变压器保护装置差动电流波形，如图3所示，B套变压器差动保护差动电流原始波形均接近0 A，差动保护未启动。

结合图2可见，A套、B套保护装置差动电流存在差异，说明两套保护装置电流测量回路存在不一致情况。

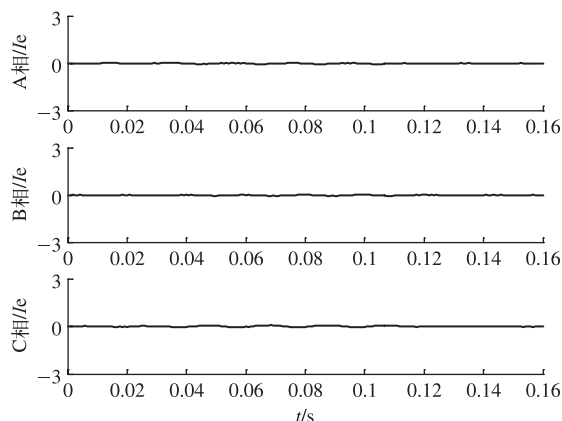
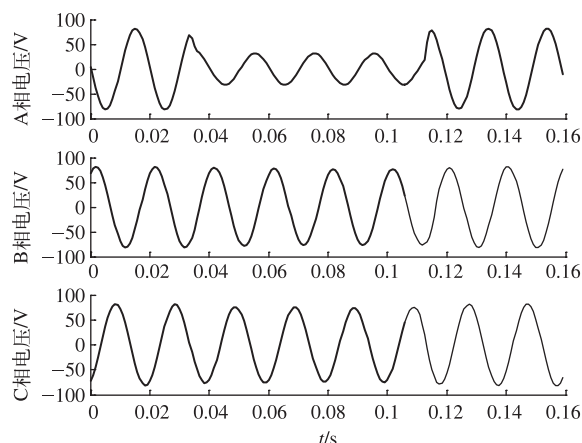


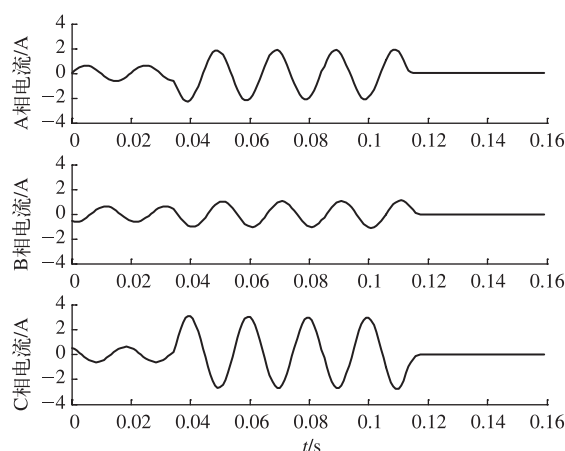
图3 B套变压器差动电流波形

2. A、B套保护电压电流波形

查看A套变压器保护装置电压、电流波形，如图4所示。



(a) A套变压器保护高压侧电压原始波形



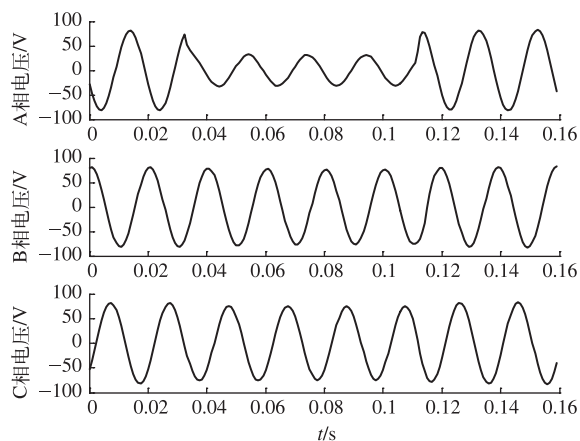
(b) A套变压器保护高压侧电流原始波形

图4 A套变压器保护电压电流波形

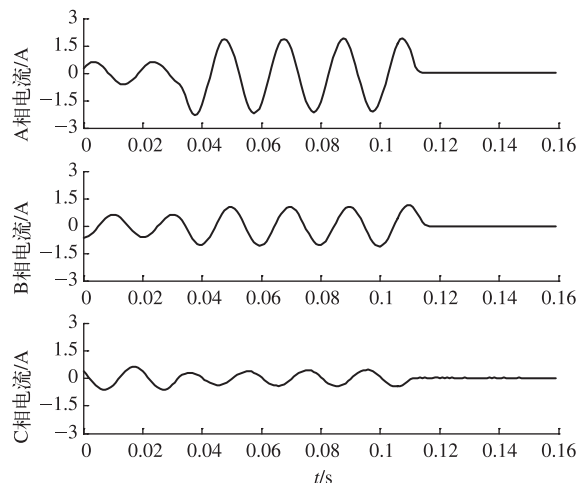
$t=35\text{ ms}$ 时，A套变压器保护装置高压侧A相电压出现明显降低，数值由57.7 V降低至22.2 V，

$t=118\text{ ms}$ 时故障切除后恢复正常，B相、C相电压基本保持不变。查看图4b，高压侧三相电流均出现增大情况，其中C相由故障前的0.43 A增加至2.02 A。

查看B套变压器保护装置电压电流波形，如图5所示。



(a) B套变压器保护高压侧电压原始波形



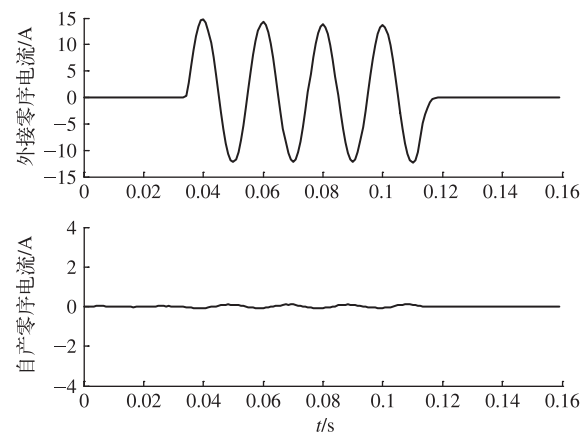
(b) B套变压器保护高压侧电流原始波形

图5 B套变压器保护电压电流波形

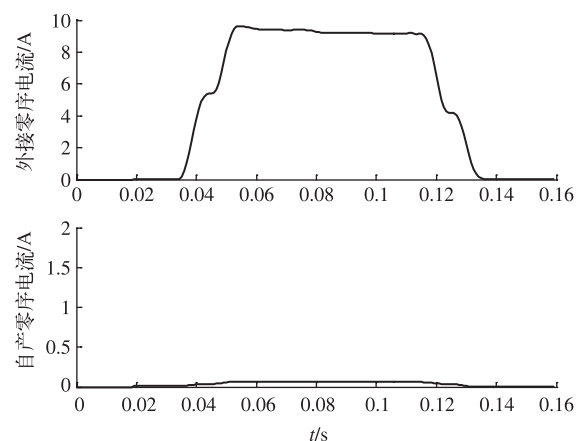
B套变压器保护装置高压侧三相电压变化情况与A套变压器保护装置一致，A相电压由57.7 V降低至21.9 V，另外两相也基本保持不变。查看图5b，故障时刻高压侧A相、B相电流出现增大，而C相电流出现降低，由故障前0.42 A降低至0.27 A，结合A套变压器保护装置电压电流变化情况可知，故障时刻A套、B套保护装置高压侧电压变化一致，而高压侧三相电流A套、B套测量不一致，说明两套保护装置电流测量回路存在差异性。

查看A套变压器保护装置零序电流波形，如图

6所示。



(a) A套变压器保护高压侧零序电流原始波形



(b) A套变压器保护高压侧零序电流有效值

图6 A套变压器保护零序电流波形与有效值

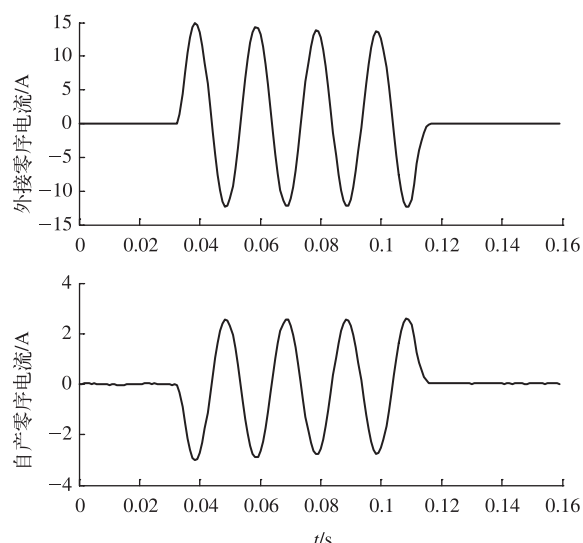
图6a中 $t=35\text{ ms}$ 时，A套变压器保护检测出高压侧外接零序电流，数值由0 A上升至9.75 A，而图6b中，故障时刻高压侧自产零序电流基本不变且接近为0 A。

查看B套变压器保护装置零序电流波形，如图7所示。

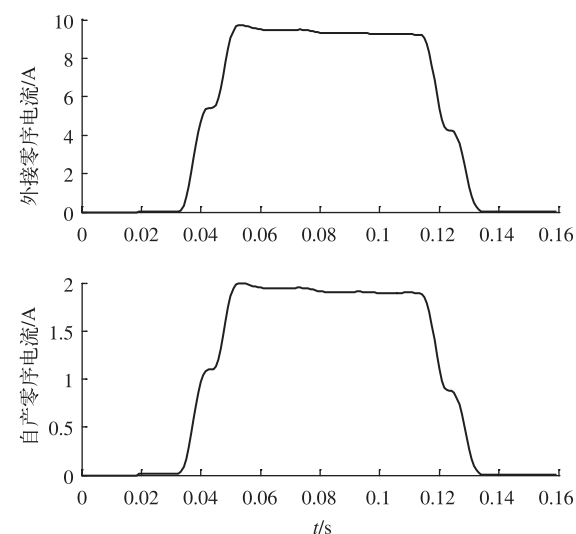
图7a中 $t=35\text{ ms}$ 时，B套变压器保护检测出高压侧外接零序电流，数值由0 A上升至9.72 A，与A套高压侧外接零序电流基本一致。查看图7b，故障时刻，高压侧自产零序电流由故障前0 A增加至1.94 A，超过了高压侧零序过流定值0.9 A，所以变压器高压侧零序电流保护启动。另外，通过CT变比关系，将高压侧自产零序电流折算至外接零序电流，幅值为9.70 A，能与外接零序电流相对应。而图6中A套自产零序电流为0 A，进一步说明两套

保护装置电流测量回路存在差异性。

同样比对A、B套变压器保护低压侧电压电流波形，因结果一致，故不再赘述。



(a) B套变压器保护高压侧零序电流原始波形



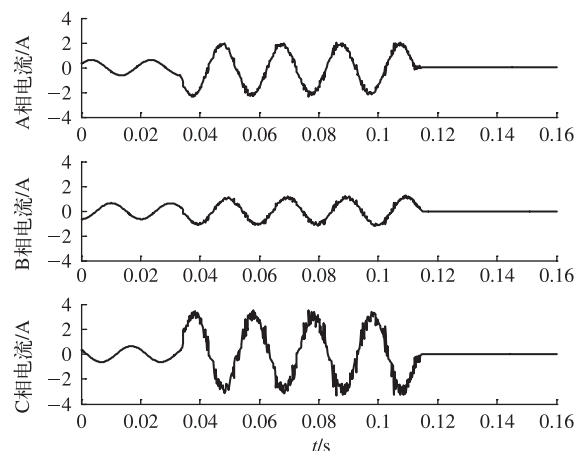
(b) B套变压器保护高压侧零序电流有效值

图7 B套变压器保护零序电流波形与有效值

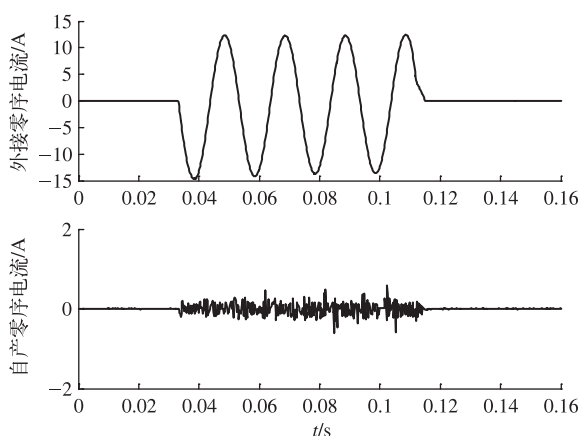
3. 故障录波器电流波形

查看故障时刻故障录波器高压侧电流波形，如图8所示。

故障时刻，故障录波器记录的高压侧三相电流同时出现增大情况，与图4a中A套变压器保护电流波形相比较，可见波形基本一致；同样对比图8b中高压侧零序电流波形与图6a中A套保护高压侧零序电流波形，波形基本一致。



(a) 故障录波器变压器高压侧三相电流原始波形



(b) 故障录波器变压器高压侧零序电流原始波形

图8 故障录波器变压器保护三相电流与零序电流波形

故障排查及改进

1. 故障排查初步结论

查看图4和图5中两套变压器保护高压侧电压波形，故障时刻A相电压均出现降低，同时结合图6a和图7a中均出现高压侧外接零序电流，可以确定变压器高压侧出现接地故障。由于变压器高压侧为直接接地系统，当变压器高压侧发生接地故障时，不论故障点在变压器差动保护区内还是区外，高压侧自产零序电流和外接零序电流均应出现接地零序电流，而图6b和图8b中高压侧自产零序电流为0 A。查看现场变压器高压侧CT配置，A、B套变压器保护高压侧三相电流CT独立配置；而A套高压侧三相电流CT电缆与故障录波器三相电流CT电缆采用串联方式连接，端子接线如图9所示，所以故障时刻高压侧三相电流变化情况相同。

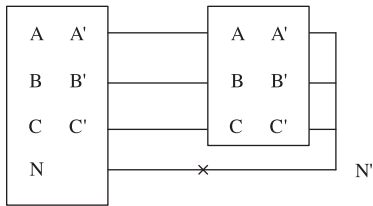


图9 A套变压器保护与故障录波器高压侧三相电流CT电缆端子连接示意图

注：A、A'分别为A相极性端与A相非极性端，其他相类似；N、N'为中性线。

根据现场仔细排查与反馈，保护动作时，高压侧线路距离保护也发生动作，且指示故障位置发生在距离电站6 km。同时现场针对变压器一次设备进行检查，测量变压器高压侧绕组对地绝缘、相间绝缘情况，均正常且未发现变压器本体存在烧损破坏现象。

依据上述分析可以确定：①故障点发生在高压侧线路上，即变压器差动保护范围外；②A套变压器差动保护和故障录波器中高压侧三相电流测量回路存在异常，最终导致变压器差动保护动作。

2. 故障定位

针对A套变压器保护、故障录波器高压侧三相电流测量回路进行测试与排查。采用继电保护测试仪，在A套变压器保护高压侧三相电流回路中依次加入三相对称和单相电流，记录装置测量数据，见表2。

表2 A套变压器保护三相电流测量记录
(单位：A)

继保测试仪输出量 A/B/C相	保护装置/故障录波器实测 (A/B/C相)
1, 1, 1	1.00, 0.99, 1.00
1, 0, 0	0.02, 0.00, 0.01
0, 1, 0	0.01, 0.02, 0.00
0, 0, 1	0.00, 0.00, 0.02

根据测试数据可知，当A套变压器保护高压侧三相电流回路中加入对称三相电流时，保护装置和故障录波器采样均正常，而当分别加入单相电流时，保护装置和故障录波器采样数值接近0 A，且换相后采样数值基本一致，可以推测可能是测量回路中性线存在问题。

拆除其他连接电缆，采用万用表二极管通断档单独测量保护装置与故障录波器高压侧三相电流回路中性线NN'，如图9所示。发现该电缆为断开状态，可确定出现上述采样异常是由于中性线断线引起。重新更换电缆，重复上述测试，记录保护装置

和故障录波器采样数值，见表3，可见更换中性线电缆后采样数值均正常。

表3 更换电缆后A套变压器保护三相电流测量记录
(单位：A)

继保测试仪输出量 A/B/C相	保护装置/故障录波器实测 (A/B/C相)
1, 1, 1 (对称)	1.00, 0.99, 1.00
1, 0, 0	1.00, 0.00, 0.00
0, 1, 0	0.00, 0.99, 0.00
0, 0, 1	0.00, 0.00, 1.01

通过上述现场排查和电缆更换，将变压器设备和保护装置投入，装置运行数据正常，后续未发生保护动作情况。

3. 改进建议

本次保护动作案例主要是由于电流二次回路中性线断线引起差动保护测量回路异常，最终导致差动保护动作，建议应加强电流测量回路排查和监测。针对该情况，可采用以下措施加以防范。

1) 基于静态通流试验检测。针对电流二次回路中性线断线，可在变压器停运状态下，对每相分别单独加量通流检测，实现测量回路验证。

2) 基于同源测量值或关联性测量值比对方式检验。利用变压器空充、短路等投运试验，取高压侧两组不同CT采样值，或取高压侧三相电流、高压侧外接零序电流采样值进行比对。由于变压器在空充过程中会产生较大励磁涌流，可通过检查同位置两组不同CT的三相电流，或高压侧三相电流自产零序电流与高压侧外接零序电流的幅值、相位是否能相对应进行验证。如果幅值与相位出现不对应情况，则可以确定电流测量回路存在异常，应进一步进行异常排查。

结束语

本文通过对一起变压器差动保护动作案例分析，得出结论。

1) 在变压器差动保护中，若变压器电流二次测量回路出现异常，如电流互感器测量回路中性线断线等，可能引起变压器差动保护误动作。

2) 在变压器保护投运中，可通过静态通流试验、同源或关联性测量值比对等方式验证电流二次测量回路的正确性，防止保护出现误动作情况。EA

(收稿日期：2023-12-08)