

海油平台一起发电机差动误动事件的 分析与探讨

某平台发生下级变压器空载合闸引起发电机纵联差动保护误动作事件, 直接原因是下级变压器额定容量与发电机额定容量较为接近, 变压器空载合闸相对较大, 电流互感器暂态特性有一定差异。通过对误动作事件的分析, 找出误动发生的原因, 给出在发电机纵联差动保护中加入二次谐波闭锁的解决措施, 通过调试和长期运行验证了解决措施的可行性, 为今后的海油平台电力系统设计和运行提供参考。

安晓龙/海洋石油工程股份有限公司

梁新兰/中国石油天然气管道局天津设计院

装有一台0.4 kV, 1 500 kW的应急发电机作为应急电源。

海洋工程电力系统容量相对较小，一般不采用发电机—变压器组，而采用多台发电机直接接着同一公共中压母线，从中压母线为中压设备供电，经降压变压器为低压设备供电，或经升压变压器与其他平台或油田进行电力组网。

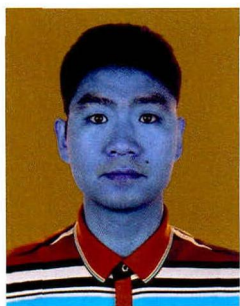
事件发生在投产前调试过程中。调试时只有一台主发电机A运行,组块变压器有一台(A-TR-002)运行并带有一定负载,稳定运行。调试过程中两次发生发电机纵联差动保护误动作。

误动作事件1：钻机模块（Drilling Module）变压器MDR-TR-001空载合闸时，组块主发电机A综合保护动作VCB1跳闸，显示为C相纵联差动动作。

误动作事件2：钻机模块变压器MDR-TR-001空载合闸时，组块主发电机A综合保护动作VCB1跳闸，显示为B相纵联差动动作。

0 引言

南海某P油田A平台电力系统总单线图如图1所示(简图)。A平台安装有4台10.5 kV, 7 600 kW的主发电机(A-X-7001A//B/C/D)。正常工况下3台主发电机同时运行, 经10.5/0.4 kV组块变压器(A-TR-001~007)向低压负荷供电, 经10.5/0.69 kV钻机模块变压器向钻机模块用电负荷供电。最大工况下4台主发电机同时运行; 最小工况下仅有1台主发电机运行, 其他发电机退出运行。另安



安晓龙/工程师

关键词/Keywords

- 海洋平台 ·
- 发电机 ·
- 差动保护 ·
- 谐波抑制 ·

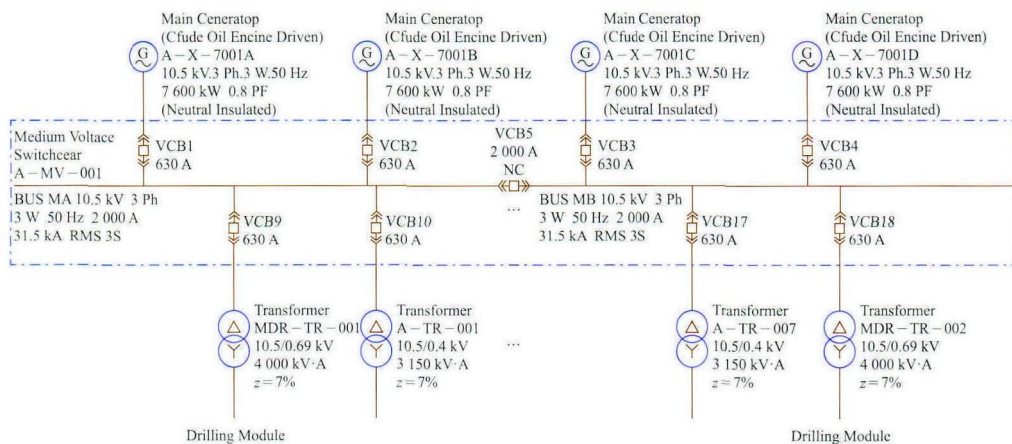


图1 某P油田A平台电力系统简图

1 事件分析

发电机参数：10.5 kV，7 600 kW，0.8 PF，额定电流 $I_e=528\text{ A}$ ，中性点绝缘；发电机尾端和机端差动TA为同一厂家提供，型号相同，保护TA电流比为600/5，5P20，TA均为全星形接线。保护采用分相比率制动纵联差动保护，保护动作曲线如图2所示。

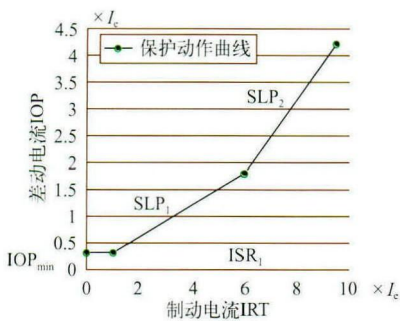


图2 发电机纵联差动保护动作曲线

差动电流IOP为某相机端和尾端电流矢量和的幅值，制动电流IRT为某相机端和尾端电流幅值之和。折线左上方为动作区域。差动保护定值如下：最小起动电流 $IOP_{min}=0.3I_e$ ，斜率转换点 $ISR_1=6I_e$ ，一段斜率 $SLP_1=0.3$ ，二段斜率 $SLP_2=0.7$ 。差动速断保护定值 $5.5I_e$ 。

调取主发电机综合保护录波数据，经分析发现两次事件波形特征基本一致，主要区别在于保护动作触发相不同，一次为C相，另一次为B相。下面以误动作事件1（C相动作）为例进行分析。

图3为是发电机综合保护的录波数据。

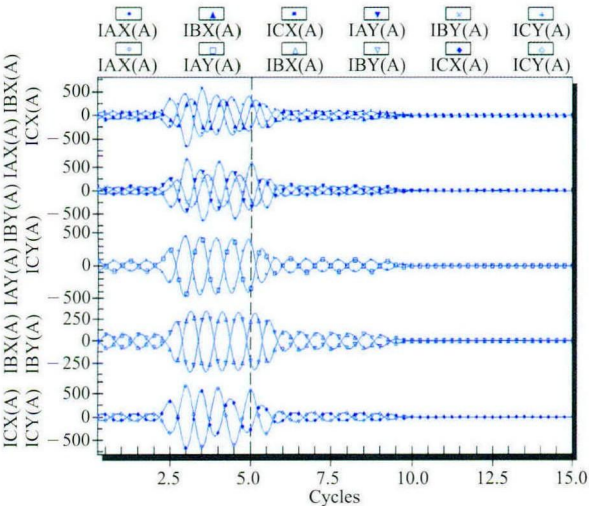


图3 发电机综合保护录波相电流波形

IAX、IBX和ICX为发电机尾端TA测得的三相电流；IAY、IBY和ICY为发电机机端TA测得的三相电流。A、B相尾端和机端测得的电流基本无差别。而尾端和机端测得的流过C相绕组的电流差别很大。

图4为发电机综合保护录波。

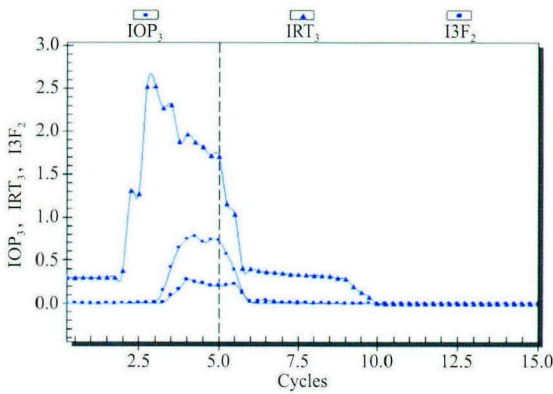


图4 发电机综合保护录波

图4中， IOP_3 为C相差动电流； IRT_3 为C相制动电流； $I3F_2$ 为C相二次谐波幅值。C相差动电流较大；A、B相制动电流较大，差动电流基本为零。分析误动作事件2，发现B相差动电流较大；A、C相制动电流较大，差动电流基本为零。

将两组录波数据与保护动作曲线进行拟合比较，结果如图5所示。

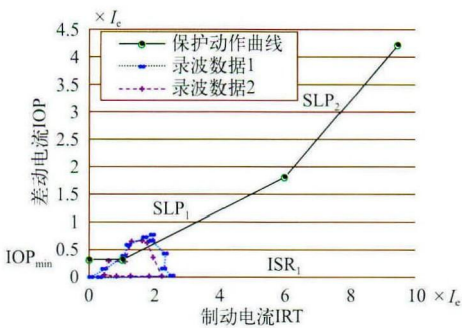


图5 发电机纵联差动保护与录波数据拟合图

从上图可见，两组录波数据中均有若干组数据落在保护动作区域内。综合保护装置为正确动作。

2 原因分析

分析发电机两端电流互感器测的电流某一相出现差流的原因如下：钻机模块变压器MDR-TR-001空载合闸时，产生励磁涌流。由于三相合闸角、铁心剩磁的大小和方向不同，导致三相励磁涌流大小、谐波含量等不同^[1]。但变压器励磁

涌流仅在变压器空载合闸一侧出现，而变压器励磁涌流对发电机而言，属于贯穿性电流，发电机保护理论上不会出现差动电流。考虑该变压器额定容量与发电机额定容量相差较小，变压器产生的励磁涌流对发电机动态响应影响较大，发电机尾端与机端电流互感器暂态特性的差异导致互感器二次电流存在差异，从而产生差动电流。

3 解决措施

变压器纵联差动保护受变压器励磁涌流影响的

技术解决措施已较为成熟，通过谐波闭锁可大大降低误动作率，提高保护的可靠性。因此考虑根据此原理，利用谐波闭锁发电机纵联差动保护。变压器励磁涌流含有大量的直流分量、基波分量和高次谐波含量，主要是二次谐波。分析两次误动作事件录波数据，发现在差动电流较大时间段，二次谐波电流占差动电流的百分比分别达到23.8%~37.3%和30.3%~45.7%，如表1和表2所示。

另同时参考变压器二次谐波抑制定值经验值，将发电机纵联差动二次谐波闭锁启用，并将

表1 事件1录波数据（部分）

时间(周波)	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5
IOP_2/A	0.02	0.02	0.02	0.16	0.42	0.64	0.75	0.78	0.71	0.74	0.73
IRT_2/A	1.27	2.52	2.53	2.27	2.31	1.88	1.97	1.87	1.82	1.72	1.71
$I3F_2/A$	0	0.01	0.01	0.01	0.1	0.17	0.28	0.25	0.24	0.21	0.21
$I3F_2/IOP_2(\%)$	0.00	50.00	50.00	6.25	23.81	26.56	37.33	32.05	33.80	28.38	28.77

注： IOP_2 为C相差动电流， IRT_2 为C相制动电流， $I3F_2$ 为C相二次谐波幅值。

表2 事件2录波数据（部分）

时间(周波)	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5
IOP_2/A	0.02	0.02	0.01	0.35	0.35	0.63	0.63	0.65	0.66	0.64	0.63
IRT_2/A	1.81	2.23	2.2	1.91	1.89	1.76	1.75	1.72	1.59	1.57	1.32
$I2F_2/A$	0	0.01	0.01	0.03	0.16	0.28	0.25	0.23	0.2	0.22	0.23
$I2F_2/IOP_2(\%)$	0.00	50.00	100.00	8.57	45.71	44.44	39.68	35.38	30.30	34.38	36.51

注： IOP_2 为B相差动电流， IRT_2 为B相制动电流， $I2F_2$ 为B相二次谐波幅值。

定值设定为15%。经进一步调试发电机保护未再出现误动，投产至今，发电机保护未因变压器空载合闸发生误动作现象。

变压器励磁涌流可通过其他方式进行抑制，降低励磁涌流的幅值及作用时间，如：控制三相开关合闸时间（角度）法、内插电阻法、改变变压器绕组分布法^[1]、变压器预充磁法^[2]及变压器软起动法^[3]等，本文着重从继电保护角度对变压器励磁涌流产生的影响进行抑制。

4 结束语

通过分析此次事件的原因和解决，可见当额定容量接近的变压器空载合闸会对发电机稳定运行产生影响。谐波闭锁对于提高发电机纵联差动保护可靠性作用显著。因此给出以下建议，为今后的海洋工程设计及运行提供参考：发电机纵联

差动保护配置并投入谐波闭锁功能；尽量避免单台发电机运行时空投与发电机额定容量相近的大容量变压器；较大容量变压器应配置励磁涌流抑制装置，从源头降低励磁涌流的影响。

参考文献

[1] 安晓龙, 王树达, 陈亮, 等. 变压器励磁涌流对差动保护的影响及解决方法的探讨 [J]. 电气开关, 2011, 49 (3): 10-12.

[2] 张琦兵, 邵能灵, 王鹏, 等. 船舶变压器预充磁分析研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (18): 145-149.

[3] 耿大勇, 郑士鹏, 任辉. 一种变压器软起动控制方法的研究 [J]. 辽宁工业大学学报: 自然科学版, 2014 (1): 16-19.

(收稿日期: 2015-12-24) **EA**