

直流回路一点接地和交直流串扰引起保护误动及其对策

唐文秀

(东北林业大学 自动化系,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 分析了直流回路一点接地和交直流回路相互串扰引起高压、超高压,致使保护误动作,以及直流回路一点接地引起变压器非电量保护误动作的原因,认为其根本原因在于直流控制回路的电缆过长,分布电容过大。当直流回路发生一点接地或直流回路通过交流回路串扰接地时,分布电容发生瞬时放电,形成干扰源,引起保护出口中间继电器动作,是此类保护误动作的根本原因。给出了针对此类干扰的几种解决方案:缩短直流控制电缆的长度或采用光缆代替电缆,提高出口中间继电器和断路器跳闸线圈电压,用直流继电器代替光电隔离元件。

关键词: 继电保护; 直流回路; 一点接地; 交直流串扰; 保护误动作

中图分类号: TM 77

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)09-0123-03

0 引言

近年来,电力系统多次发生由于直流回路一点接地,或交直流回路相互串扰而引起高压、超高压,致使保护误动作^[1-3]。此类现象出现时,往往保护没有动作信号(即保护没有出口),而操作箱有时有动作信号,有时没有动作信号,很难查找误动原因。如 2005 年某 500 kV 变电站线路保护误动作事故,其现象是在 220 kV 侧手动分开关时,引起 500 kV 侧 2 条线路开关保护误动作跳闸,其中一回线路跳单相,重合闸重合成功,另一回线路跳三相,重合闸由于没有设置单相重合闸而没有重合。此次事故最终查明是由于 220 kV 侧开关操作时,交直流回路有串扰,引起直流回路瞬时一点接地,且 500 kV 保护操作回路中控制电缆较长引起的。另外,近年来频繁发生的变压器非电量保护由于直流回路一点接地而引起光隔导通,进而引起变压器非电量保护误动作事故。这里对此类问题进行了系统的分析,进而提出了解决的措施,以供参考。

1 误动作原因分析

1.1 直流回路一点接地问题分析

大、中型变电站使用的控制电缆较长,存在着一定的分布电容,这样,在直流系统正、负极对地之间将有 2 个可观的电容。

直流跳闸回路的简化等值电路图见图 1^[4-10]。图中电容为控制回路电缆分布电容的等值电容,电缆越长,此分布电容越大,其放电容量越大。BCK 为保护出口接点,TQ 为跳闸线圈,图中省略了与本文无关的其他部分。

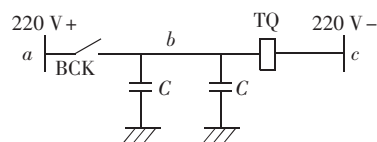


图 1 直流跳闸回路的简化等值电路图

Fig.1 Simplified equivalent circuit of DC trip circuit

正常运行时, b 点电位与 220 V 电源负极,即 c 点电位相同。当电源负极接地的瞬间,其简化等值电路如图 2 所示。

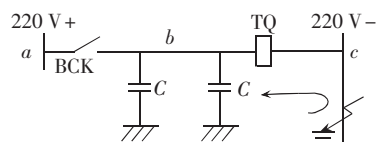


图 2 直流电源负极接地时等值电路图

Fig.2 Equivalent circuit of DC source grounding at negative pole

由于电容两端电压不能突变,在接地的瞬间就会形成环流,此电流为分布电容的放电电流。不计线圈电感,其表达式为

$$i = -\frac{U_{c\Sigma}}{R_{\Sigma}} e^{-\frac{1}{R_{\Sigma}C_{\Sigma}}t} \quad (1)$$

式中 R_{Σ} 为整个等值放电回路的等值电阻; C_{Σ} 为等值分布电容。

电流波形如图 3 所示。该电流为一典型的逐步

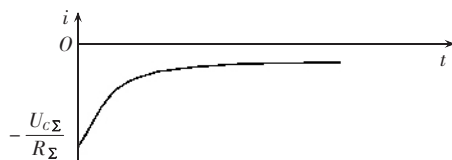


图 3 电容电流波形图

Fig.3 Waveform of capacitive current

衰减的直流波形,从式(1)中可以看到,等值电容 C_{Σ} 越大,即控制电缆越长,电容的放电时间越长;回路电阻 R_{Σ} 越小,该电流衰减就越慢。

1.2 交直流串扰问题分析

交直流串扰问题实质上也是直流回路一点接地问题,因直流系统是通过绝缘监察装置接地的,正常运行时正负极不允许接地。而交流系统有地线,一旦交直流发生串扰,就会相应形成直流回路一点接地^[11-16]。由以上分析可知,是相同的原因引起保护误动作的。因此,继电保护操作回路中不允许交直流有公共接线点,以免引起交直流串扰。以上提到的某 500 kV 变电站发生的交直流串扰引起保护误动作就是由于交直流回路同时接入了一个手动转换开关,在手动操作的过程中,引起交直流瞬时混接而使分布电容形成放电回路引起的。

图 4 为直流系统绝缘监察原理图,图 5 为变压器重瓦斯保护跳闸示意图,图中 R_1 、 R_2 为直流电源绝缘监察装置的电阻; R_+ 、 R_- 为正、负极对地绝缘电阻; KXJ 为绝缘监察继电器; TXJ 为跳闸信号继电器; TZJ 为跳闸中间继电器。由于变压器重瓦斯保护跳闸中间继电器控制电缆较长,电缆对地分布电容很大,当变电站直流电源一点接地时,很容易引起重瓦斯保护误跳闸。

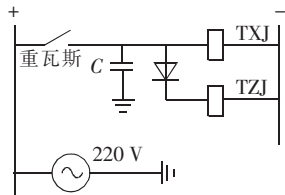
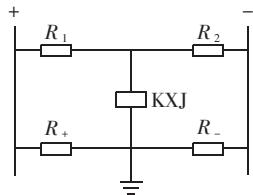


图 4 直流系统绝缘监察原理图

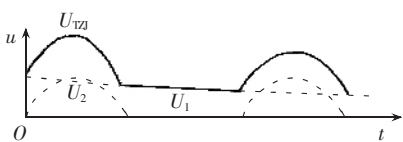
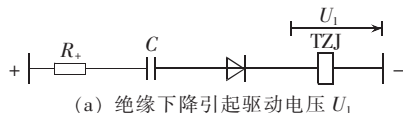
图 5 保护跳闸示意图

Fig.4 Insulation monitoring of DC system

Fig.5 Principle diagram of protective trip

正常运行时,直流系统绝缘良好,单一的直流耦合在跳闸继电器中分压很小,不足以使跳闸回路误跳闸。但当绝缘降低时 R_+ 可能会下降很多,由于绝缘下降而引起的跳闸,继电器 TZJ 的电压如图 6(a)所示。

如果绝缘完全损坏,有 $R_+=0$,此时跳闸继电器两端有直流分压 U_1 :



(c) TZJ 两端的驱动电压

图 6 跳闸中间继电器的驱动电压

Fig.6 Driving voltage of intermediate relay for trip

$$U_1 = U e^{-\frac{1}{R_{Tzj}C}t} \quad (2)$$

由于保护的動作信号继电器与跳闸中间继电器之间通常有二极管隔离,此二极管对交流电压起整流作用,如图 6(b)所示,由于交直流的串扰将 220 V 交流电压直接加入直流跳闸回路,而直流跳闸回路的二极管将对此交流电压进行半波整流,变成脉动电压 U_2 ,交流电压对控制电缆分布电容 C 的充放电过程将使脉动电压趋于连续的电压,此时跳闸中间继电器 TZJ 的端电压为

$$U_{TZj} = U_1 + U_2 \quad (3)$$

跳闸中间继电器的端电压 U_{TZj} 的波形如图 6(c)所示。这个电压一般情况下会远大于 $(0.55 \sim 0.60)U_z$,即远大于中间继电器的跳闸电压,提高继电器的动作功率很难解决,因此对于直流控制回路严禁交流混接。

1.3 直流回路一点接地引起其他问题的分析

对于直流操作回路,电缆的分布电容或多或少总是存在的,电缆越长,其分布电容就越大。一旦发生直流回路一点接地或发生交直流串扰,就会使分布电容放电,在直流操作回路中形成干扰。实际上在此类情况下,很多用于防止干扰、隔离直流电源的光电隔离元件是挡不住这种干扰的。

目前,系统中广泛使用的 220 V/24 V 光电隔离元件,最灵敏的导通电流仅 1.4 mA,此类光电隔离实际上起不到多大的抗干扰作用,在直流回路发生一点接地时很容易误导通,此类问题从 10 ~ 500 kV 保护的操作回路都存在,现场通常发生由此引起的变压器非电量保护误动作。

2 解决措施

这类问题的直接原因是控制电缆较长,引起分布电容较大造成的。直流回路发生一点接地在运行中有时是难以避免的,直流回路发生交直流串扰引起保护误动作,只要在设计和运行时加以注意是可以避免的。因此对于新设计的变电所和发电厂,应尽量避免在控制回路中使用过长的直流控制电缆。实践证明,当直流控制电缆大于 200 m 时,很容易引起类似问题。增加易受干扰的继电器的工作功率,其启动电压应大于直流额定电压的 55% (包括断路器跳闸电压),或者增加光隔的导通功率,其启动电压亦大于直流额定电压的 55%~60%,实践证明也是一个行之有效的措施,对于旧的变电站或发电厂,或许也是唯一可行的解决办法。建议与跳、合闸回路相关的光隔元件最好改用直流继电器予以隔离。

对于某些变电站或电厂,由于受一次设备及二次设备布置的限制,控制电缆较长,现场曾出现过 500~600 m 的情况。这种情况,简单地依靠提高受干扰继电器的动作功率,也不能彻底解决问题,此时一种行之有效的解决方案是采用光缆代替电缆来传递跳闸信号,如图 7 所示。

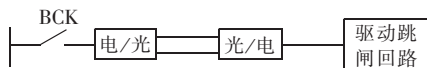


图7 采用光缆代替电缆

Fig.7 Use of optical cable instead of electrical cable

采用光缆代替电缆,将保护跳闸电信号转换为光信号,以光信号的形式传递到开关站后,再经光电转换装置转换成电信号,以驱动 220 V 的跳闸回路,这种方式完全克服了长电缆分布电容的影响,当然也就不存在分布电容的放电问题了,只是需要增加一对电/光和光/电转换装置。这种解决问题的方法在现场中是切实可行的。

3 结论

针对近年来频繁出现的直流回路一点接地、交直流串扰引起保护误动作的原因进行了详细的分析,认为其直接原因是由于直流控制回路中电缆的分布电容过大,当发生直流回路一点接地或交直流串扰时,分布电容对跳闸出口元件发生瞬间放电,此放电电流是引起此类干扰的根本原因。解决这类干扰行之有效的措施是对于新建变电所或发电厂尽量缩短直流控制电缆的长度,并按“反措要点”的要求,提高出口中间继电器和断路器跳闸线圈电压,用继电器代替光隔。对于控制电缆过长的情况,可以考虑采用光缆代替电缆,达到防止误动的目的。

参考文献:

- [1] 王坚敏. 直流回路一点接地引起保护误动的实例分析[J]. 继电器, 2003, 31(S1): 65-68.
WANG Jian-min. Analysis of incorrect-operation of protection caused by one-point earth-fault on direct current circuit[J]. Relay, 2003, 31(S1): 65-68.
- [2] 何郁, 漆柏林. 直流接地引起断路器跳闸的原因分析及对策[J]. 继电器, 2001, 29(11): 50-51.
HE Yu, QI Bo-lin. Analysis of the causes of CB tripping by DC system earthing and countermeasures[J]. Relay, 2001, 29(11): 50-51.
- [3] 林道忠. 接地故障的危害及防范措施[J]. 福建建筑, 2005(1): 91-92.
LIN Dao-zhong. Peopardy by grounding failure and preventive

- measures[J]. Fujian Architecture & Construction, 2005(1): 91-92.
- [4] 邱关源. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [5] 何仰赞. 电力系统分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [6] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [7] 中华人民共和国电力工业部. DL/T621-1997 交流电气装置的接地[S]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [8] 解光润. 电力系统接地技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [9] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [10] 戈东方. 电力工程电气设计手册: 电气二次部分[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [11] 李冬辉, 贾巍. 直流系统环网接地故障检测方法[J]. 中国电力, 2006, 39(2): 3-9.
LI Dong-hui, JIA Wei. Research on detection method for DC system loopnet grounding fault[J]. Electric Power, 2006, 39(2): 3-9.
- [12] 李立伟, 刘险峰, 刘斌. 基于现场总线的分布式直流系统接地在线监测装置设计[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(12): 55-58.
LI Li-wei, LIU Xian-feng, LIU Bin. Distributed on-line grounding monitoring system for DC system based on field bus[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(12): 55-58.
- [13] 李冬辉, 刘庆利. 基于 ARM 微处理器的直流系统接地故障检测装置的设计与实现[J]. 继电器, 2005, 33(12): 12-15.
LI Dong-hui, LIU Qing-li. Application of embedded system based on ARM in DC system grounding fault detection[J]. Relay, 2005, 33(12): 12-15.
- [14] 李红梅, 张贺伟, 胡立峰. 直流系统接地检测问题分析及改进[J]. 电力情报, 2002(3): 61-63.
LI Hong-mei, ZHANG He-wei, HU Li-feng. Analysis and improvements on detection problems of DC system grounding[J]. Information Electric Power, 2002(3): 61-63.
- [15] 季涛, 谭思圆, 徐丙垠, 等. 基于波形分析的直流系统接地故障检测新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 69-72.
JI Tao, TAN Si-yuan, XU Bing-yin, et al. New method based on waveform analysis to detect earth fault in DC systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(22): 69-72.
- [16] 张有清, 张金华. 排除直流系统接地故障一例[J]. 小水电, 2002(4): 45-46.
ZHANG You-qing, ZHANG Jin-hua. An example of eliminate DC system fault[J]. Small Hydro Power, 2002(4): 45-46.

(责任编辑: 李玲)

作者简介:

唐文秀(1964-), 女, 蒙古族, 黑龙江北安人, 副教授, 多年来一直从事电力系统继电保护方面的研究、开发与教学工作(E-mail: twx000@163.com)。

Protection misoperations caused by single-point grounding of DC circuit and AC-DC interference and countermeasures

TANG Wen-xiu

(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: The protection misoperations due to high-voltage and extra-high-voltage caused by single-point grounding of DC circuit or AC-DC interference, as well as the transformer non-electric parameter protection misoperations caused by single-point grounding of DC circuit, are analyzed. It is mainly because the cable of DC control circuit is too long and its distributed capacitance is too large. When single-point grounding happens in DC circuit or the severe mutual interference between DC and AC circuits effects as DC grounding, the sudden discharge of distributed capacitance, as a disturbance source, activates the output relay. Countermeasures are suggested: shorten the length of DC control cables or replace the long cables by optical fiber, increase the voltage of intermediate output relay and breaker trip coil, use DC relays instead of optoelectronic isolated components.

Key words: relay protection; DC loop; single-point grounding; AC-DC interference; protection misoperation