

# 直流回路一点接地引起保护误动的实例分析

王坚敏

(宁波电业局,浙江 宁波 315010)

**摘要:** 结合直流回路一点接地引起保护误动的三个实例计算和分析,提出继电保护反措对策及需要解决和注意的几个问题。

**关键词:** 直直接地; 保护; 误动

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)S0-0065-04

## 1 引言

直流回路两点接地引起保护误动作的反事故措施已得到继电保护人员的广泛重视,但随着电网建设的不断发展和微机保护的大量应用,出现了新的情况和问题,笔者从直流出口回路一点接地引起保护误动的三个实例计算和分析中,提出了继电保护现场运行反措中有关保护用直流电源系统、保护用控制电缆、保护抗干扰回路以及保护出口继电器动作电压测试的反措对策及需要注意和解决的问题。

## 2 实例一

**现象:**某 110 kV 变电站在主变保护更换出口压板工作中发生差动保护出口跳闸现象。该主变保护为成套微机保护装置,采用 24 V 快速干簧小中间继电器作为出口继电器,其出口回路二次接线原理简图如图 1 所示。

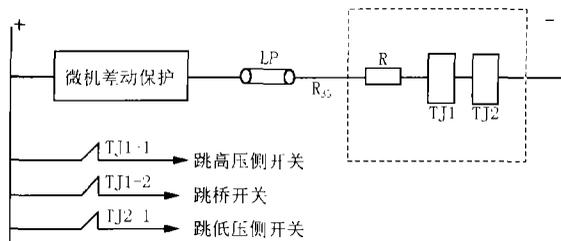


图 1 出口回路二次接线原理图  
Fig.1 Principle diagram of the secondary wiring in the outlet circuit

其中虚框内为继电器操作箱,TJ1、TJ2 为 24 V 快速干簧继电器,R 为限流电阻。

由于出口跳闸时有直流金属性负极接地现象,经分析可能在更换出口压板时螺丝刀碰触保护柜体引起 R<sub>33</sub>回路接地,模拟 R<sub>33</sub>回路接地发现保护再次出口跳闸。在继电器操作箱两端加直流试验电压发

现出口回路动作电压在 80~135 V 之间变化,当时变电站保护用直流母线电压为 225 V 左右。查出口回路动作电压测试报告发现只有 24 V 快速干簧继电器动作电压测试数据而没有继电器操作箱出口回路动作电压测试数据。

**分析:**直流回路一点接地时由于直流电源系统的参数不匹配造成保护装置误出口。直流系统原理简图及等效变换电路图如图 2、图 3 所示。

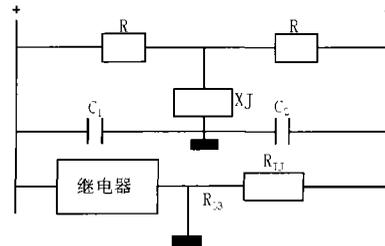


图 2 直流系统原理简图

Fig.2 Principle diagram of direct current system

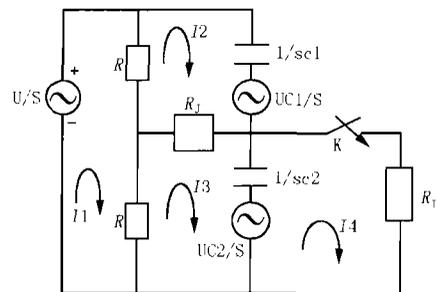


图 3 等效变换电路

Fig.3 Diagram of equivalent converting circuit

假设 TJ 的直流阻值总和为 R<sub>TJ</sub>,直流电源电压为 U,XJ 的直流电阻为 R<sub>J</sub>,则由等效变换电路得到:

$$U_{TJ}(t) = U \cdot R_{TJ} / (R + 2R_J + 2R_{TJ}) (1 - e^{-t/\tau}) + 0.5U \cdot e^{-t/\tau}$$

其中  $\tau = R_{TJ}(C1 + C2)(R + 2R_J)/(R + 2R_J + 2R_{TJ})$

$C1$ 、 $C2$  为二组蓄电池电容量。

可以看到  $U_{TJ}$  由稳态直流分量和暂态渐减直流分量二部分组成。由模拟开断试验获得  $R_{TJ}$  电压-时间曲线 ( $U-t$ ) 可以得到  $C1$ 、 $C2$  值, 实测为  $C1 = C2 = 15 \mu\text{F}$ , 查得  $R = 7 \text{ k}\Omega$ ,  $R_J = 14.5 \text{ k}\Omega$ , 快速干簧中间继电器 TJ 动作时间实测为  $2.4 \text{ ms}$ , 测得  $R_{TJ} = 5.4 \text{ k}\Omega$ , 计算得到  $\tau = 0.125 \text{ s}$ , 快速干簧中间继电器 TJ 动作时  $U_{TJ} = 111.2 \text{ V}$ 。以上计算得到的  $R_{TJ}$  两端电压大于实测最大电压  $105 \text{ V}$ , 故导致差动保护出口动作。

对策: 从上述分析计算中可以得出几点解决对策, 一是改善直流系统绝缘监察装置的参数, 如增大  $R_J$  的阻值, 使出口继电器的二端电压  $U_{TJ}$  的稳态直流分量部分下降来达到防止误动的目的, 目前普遍采用新型的直流系统绝缘监察装置, 继电器的  $R_J$  达到  $50 \sim 100 \text{ k}\Omega$ , 可以大大降低稳定直流分量的影响。二是改变直流蓄电池的电容量, 减小电池组电容量有助于快速降低出口继电器的两端电压  $U_{TJ}$  的暂态渐减直流分量, 尽管稳定直流分量可能有所上升, 但由于暂态渐减直流分量对出口继电器的两端电压  $U_{TJ}$  起决定性作用, 可以有效达到防止误动的要求。目前普遍采用的免维护电池以及可靠的联接技术都是降低蓄电池电容量的一种行之有效的办法。三是降低  $R_{TJ}$  的阻值, 这样不仅暂态渐减直流分量可以大幅下降, 并且稳态直流分量也得到有效抑制。这是最佳的办法, 从上面的计算得出的结果也充分说明了这一点。目前采用的新型大功率快速干簧小中间继电器, 由于其绝缘水平高, 功率大, 使得出口回路的直流阻值  $R_{TJ}$  可做到  $1.0 \text{ k}\Omega$  左右, 如其它参数不变, 则上例中  $R_{TJ}$  两端电压约为  $102.3 \text{ V}$ , 可以有效防止误动。

解决和注意的问题: (1) 微机保护出口继电器动作电压必须以整个继电器操作箱出口回路动作电压测试数据为准, 不能以  $24 \text{ V}$  快速干簧中间继电器动作电压作为试验数据。(2) 本例中由于厂家在筛选限流电阻  $R_{TJ}$  时把关不严, 限流电阻阻值波动不稳定, 造成保护出口回路阻值变化较大, 并造成出口继电器动作电压在  $80 \sim 105 \text{ V}$  的范围内波动较大, 容易造成因直流一点或二点接地而引起装置误出口。厂家和调试部门应重视微机保护出口继电器动作电压测试数据的多重比较和分析。(3) 从二次接

线原理图中可以看到, 由于继电器接点数量限制, 出口继电器采用 TJ1 和 TJ2 串联构成整个回路。由于 TJ1 和 TJ2 阻值的不同, 其动作电压会有所不同, 所以只有整组试验才能验证出口继电器动作电压是否满足大于  $50\% U_n$  ( $U_n$  为直流电源额定电压) 的保护反措要求。

### 3 实例二

现象: 某  $110 \text{ kV}$  变电站  $10 \text{ kV}$  线路微机保护当  $R_{33}$  回路发生直流一点接地时保护出口跳闸, 经多次模拟  $R_{33}$  回路接地, 发现多次出现保护出口跳闸现象。经检查, 变电站直流系统绝缘正常, 排除由于直流绝缘监察系统参数不匹配引起的误动可能。在  $R_{33}$  回路中串联一个记忆示波器观察模拟  $R_{33}$  回路接地时电流波形时发现其为一个随时间逐渐递减的类似电容充电的电流波形; 将记忆示波器并接于出口继电器两端测得其电压波形为一个随时间逐渐递减的、峰值电压接近电源额定电压的波形。在出口继电器操作箱两端加直流试验电压发现出口回路动作电压为  $125 \text{ V}$ , 满足动作电压大于  $50\% U_n$  的反措要求 ( $U_n = 220 \text{ V}$ )。由于微机保护直流电源回路均设置抗干扰电容, 将其抗干扰电容解开, 再次模拟  $R_{33}$  回路接地, 保护不再误出口跳闸。下面为现场模拟  $R_{33}$  回路接地时记忆示波器测得出口继电器两端电压波形图 (图 4) 和  $R_{33}$  回路电流波形图 (图 5)。

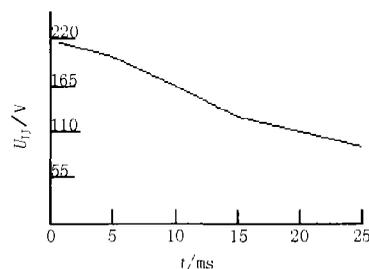


图 4 电压波形图

Fig. 4 Diagram of voltage waveform

分析: 直流出口回路一点接地时由于保护直流电源抗干扰电容参数不匹配造成保护装置误出口。其原理简图及等效变换电路图如图 6、图 7。

假设 TJ 的直流阻值为  $R_{TJ}$ , 直流电源电压为  $U$ , 抗干扰电容电容量为  $C_k$ , 则由等效变换电路得到:

$$U_{TJ}(t) = Ue^{-t/\tau} \quad \text{其中 } R_{33} \text{ 回路电流函数为}$$

$$I(t) = U/R_{TJ}(e^{-t/\tau})$$

$$\tau = R_{TJ} \cdot C_K$$

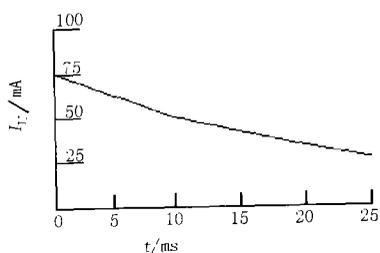


图5 电流波形图

Fig.5 Diagram of current waveform

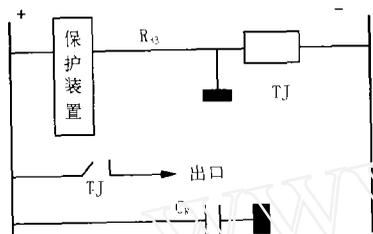


图6 原理简图

Fig.6 Principle diagram

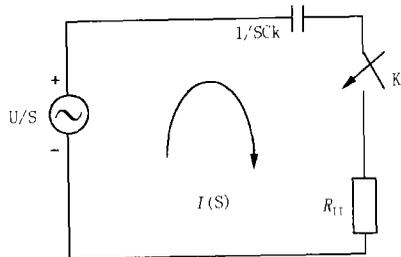


图7 等效变换电路图

Fig.7 Diagram of equivalent converting circuit

实测数据如下:直流母线电压为  $U = 220 \text{ V}$ ,  $R_T = 3.0 \text{ k}\Omega$ , 抗干扰电容量  $C_k = 10 \mu\text{F}$ , 出口回路动作时间为  $16 \text{ ms}$ , 计算得到  $\tau = 0.03 \text{ s}$ , 出口回路动作时两端电压  $U = 129 \text{ V}$ , 大于出口回路动作电压  $125 \text{ V}$  造成保护误动作出口。

对策:适当降低  $C_k$  的电容量,使  $\tau$  值增大来保证降低直流出口回路一点接地时出口回路两端的电压,实例将  $C_k$  值降低为  $8.4 \mu\text{F}$ , 模拟接地试验保护不再发生误出口。

解决和注意的问题:(1) 建议整组试验时对于抗干扰电容参数匹配原因造成保护直流出口回路一点接地时误出口项目进行试验。(2) 加强  $110\% U_n$  直流电源情况下的保护整组试验。

#### 4 实例三

现象:某  $110 \text{ kV}$  变电站发生直流系统正电源回

路一点接地时变压器重瓦斯保护出口跳闸误动作。重瓦斯保护出口继电器进行动作电压试验结果为  $108 \text{ V}$ 。

分析:根据继电保护反措要点要求,要防止变压器瓦斯保护直流控制电缆过长时由于电缆对地电容过大而造成直流电源接地时保护误动作。为此对上述实例进行了波形实测和计算,其原理简图及等效变换电路图如图8、图9。

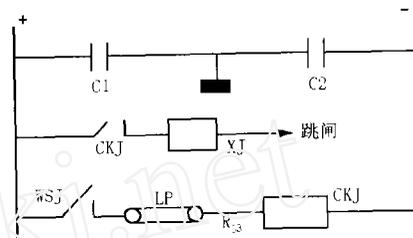


图8 原理简图

Fig.8 Principle diagram

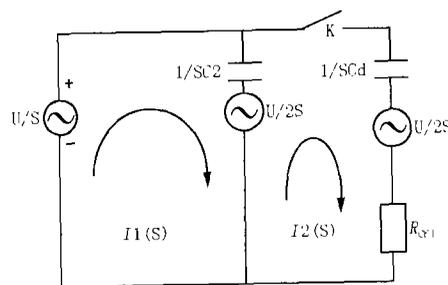


图9 等效变换电路图

Fig.9 Diagram of equivalent converting circuit

假设  $CKJ$  的直流阻值为  $R_{CKJ}$ , 直流电源电压为  $U$ , 电缆对地电容为  $C_d$ , 则由等效变换电路得到:

$$U_{CKJ}(t) = 0.5 U e^{-t/\tau} \quad \text{其中 } R_{33} \text{ 回路电流函数为 } I_2(t) = U/R_T (e^{-t/\tau}), \tau = RC_d$$

实测数据如下:直流母线电压为  $230 \text{ V}$ ,  $R = 14 \text{ k}\Omega$ ,  $C_d = 30 \mu\text{F}$ ,  $CKJ$  动作时间为  $20 \text{ ms}$ 。计算得到  $CKJ$  出口继电器两端电压为  $U_{CKJ} = 111.22 \text{ V}$ , 大于重瓦斯保护出口继电器进行动作电压  $108 \text{ V}$ , 造成保护出口跳闸。电压波形实测值也验证了计算的有效性。

对策及解决办法:根本的对策将重瓦斯保护出口继电器更换为大功率出口中间继电器(功率达  $5 \text{ W}$ ), 由于其阻值大大降低, 尽管动作时间受到影响, 但可以可靠防止直流接地时出口误动, 且其动作电压值能满足  $50\% U_n < U_{dz} < 70\% U_n$  的反措要求。本例更换为大功率继电器后模拟接地试验继电器可

靠不误动,实测继电器动作时间为 33 ms,理论计算此时继电器两端电压值为 91.44 V,小于继电器的动作电压(实测动作电压为 154 V),计算分析结果与模拟接地试验结果吻合。此外应尽量有效减少电缆长度来减少对地电容值以便降低出口继电器两端电压值。上例中当电缆对地电容  $C_d$  降为 15  $\mu\text{F}$  时,  $U_{\text{CKJ}} = 100 \text{ V}$  (直流母线电压值为 220 V),可有效保证出口继电器不误动作。

## 5 总结

(1) 从上述三例分析我们看到,继电保护的异常和误动的现象有时是相同的,但产生的原因可能不同,继电保护专业人员应从现象入手,根据现场的实际测试和理论分析计算进行比较,最终找到实际问题的反措和解决方案。

(2) 要重视变电站直流电源的改造和更新,尽量采用新的直流电源绝缘监察和蓄电池装置。

(3) 继电保护专业人员应注意保护出口回路动作电压测试的合理性和整组传动试验项目的完整性,防止由于测试方法的不正确和由于寄生回路的

存在,当发生直流回路接地时引起保护误动。

(4) 反措要点规定继电保护出口继电器动作电压应符合  $50\% U_n < U_{\text{dw}} < 70\% U_n$ 。在现场工作时测得出口继电器动作电压数据是以 220 V 作为直流母线的额定电压标准的,现场运行值班人员应监视控制保护用直流母线的实际工作电压使其尽量符合额定电压标准,以此作为减少直流接地防止保护误动的一项措施。

## 参考文献:

- [1] 邱关源. 电路(上,下册)[M]. 北京:高等教育出版社, 1987.
- [2] 电力部. 电力系统继电保护和安全自动装置反事故措施要点[S], 1994.
- [3] 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.

## 作者简介:

王坚敏(1968-),男,本科,工程师,从事电力系统继电保护和调度自动化管理工作。

### Analysis of incorrect-operation of protection caused by one-point earth-fault on direct current circuit

WANG Jian-min

(Ningbo Electric Power Bureau, Ningbo 315010, China)

**Abstract:** This paper gives the calculation and analysis on the three examples of the incorrect-operation caused by one-point earth-fault on direct current circuit, and puts forward some steps on countermeasure and some questions which should be solved and paid attention to.

**Key words:** earth-fault on direct-current circuit; protection; incorrect-operation

(上接第 64 页)

**Abstract:** At present a number of high-voltage industrial consumers, especially steel rolling mills, use D.C. motor with silicon controlled rectifier(SCR) equipment. As a result, high-order harmonic is formed due to the specific property of rectification pulse with periodic turn-off and turn-on. For a six-pulse circuit, there is  $6n \pm 1 (n = 1, 2, \dots)$  high-order harmonic. The high-order harmonic current flowing into power network will greatly influence the quality of electric power. With AC filter installation being reasonably selected, high-order harmonic voltage may be very well eliminated to reduce its influence on power network, and to increase power factor and decrease harmonic loss.

**Key words:** high-order harmonic; AC filter installation

祝广大读者仲秋节快乐! 合家幸福!