

检测桥电阻对直流电源系统安全运行的影响分析

李 晶, 罗 洋, 陈轲娜

(国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘 要: 变电站采用两套独立运行的直流电源系统, 提高了站用电系统的可靠性, 但实际运行中一些不当因素会使两段直流母线发生互串。微型绝缘监测装置不仅提高了接地故障的监测能力, 而且还能进行直流互串检测。探讨了微型绝缘监测装置的检测桥电阻值选取, 同时还对直流互串时检测桥电阻对直流电源系统运行状态的影响作了仿真分析, 为检测桥电阻的选择提供了参考。

关键词: 直流电源系统; 绝缘监测装置; 直流互串; 检测桥电阻

Abstract: It can improve the reliability of the auxiliary power system for substations by using two independent DC power systems. However, some factors in the actual operation will make the two DC buses occur DC crosstalk. The monitoring ability of the grounding fault is improved by microcomputer insulation monitor, and the DC crosstalk is also detected by the device. The selection criteria of the detecting bridge resistor for microcomputer insulation monitor are discussed. Meanwhile, a simulation analysis on the influence of detecting bridge resistor on the safe operation of DC power system is carried out during DC crosstalk, which provides a reference for the selection of detecting bridge resistor.

Key words: DC power system; insulation monitor; DC crosstalk; detecting bridge resistor

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)06-0016-04

0 引 言

变电站直流电源系统是站用电系统的重要组成部分, 而直流电源系统绝缘监测仪作为监测直流电源系统绝缘状态的专用装置, 对直流电源系统正负极接地、系统外电源串入等故障造成的电压异常进行监测和告警^[1-3]。然而, 由于直流电源系统绝缘监测仪技术规范的长期缺失, 造成目前在运的大部分直流电源系统绝缘监测装置与国家电网公司企业标准 Q/GDW 1969-2013《变电站直流系统绝缘监测装置技术规范》的要求存在较大差距。其中, 该企业标准明确规定了微型绝缘监测装置中检测桥对直流电源系统直流电压的影响范围和对直流互串故障的查找能力。因此, 确定检测桥中平衡桥电阻值和不平衡桥电阻值的合理范围, 并开展直流互串下的微型绝缘监测装置运行分析就显得尤为关键。

这里探讨了变电站双套直流电源系统的平衡桥电阻和不平衡桥电阻的选取, 并仿真分析了发生直流互串时绝缘监测装置的运行情况, 为检测电阻的

选择提供了参考。

1 站用直流电源系统中直流互串问题

变电站双套直流电源系统的直流母线正常时, 均采用母线分段运行方式。在系统需要时, 也可合上两段直流母线间的联络刀闸成为并列运行方式, 即 I 段母线的正、负极分别与 II 段母线的正、负极对应相连。而直流互串是指一段直流母线一极与另一段直流母线一极出现非正常联接, 两段直流母线的剩余一极并不相连的情况, 典型直流互串有共正(负)极和异极相连两种情况^[4]。直流互串不仅会造成变电站两段直流母线的正、负极对地电压及其绝缘状况发生变化, 若此时直流电源系统中再出现接地故障, 必将给直流电源系统带来巨大的安全问题。

据调查分析, 产生直流电源系统直流互串的原因主要有^[5]以下 3 点。

① 在新建、扩建或技术改造的施工过程中, 将负荷的电源线分别接入两段直流母线。

② 在倒负荷操作时, 将某些负荷从一段母线转

移到另一段母线后,未将其原来的一路空气开关断开,致使两套直流电源系统并列运行。

③ 老旧站由绝缘性能下降或外力等因素电缆芯线间的绝缘,造成同一根电缆中有两套直流电源系统的供电回路相连。

2 绝缘监测装置的基本工作原理

目前,在电力系统中广泛应用的微机型绝缘监测装置的工作原理如图 1 所示。其主要由平衡桥检测电阻 R 、不平衡桥检测电阻 R_s 、直流电源系统正极对地绝缘电阻 R_z 、直流电源系统负极对地绝缘电阻 R_f 、采用计算电路模块、通信电路模块等构成^[6]。

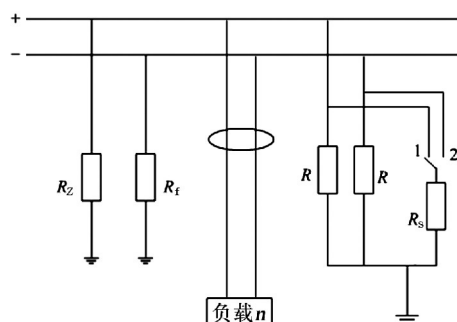


图 1 微机型绝缘监测装置原理图

装置分别处于平衡桥或不平衡桥运行方式^[7]。平衡桥运行方式下,不平衡桥电阻 R_s 不投入,平衡桥电阻 R 运行。而不平衡桥的运行是通过手动或定期自动投入不平衡桥实现的,主要是为了检测平衡桥运行方式下无法发现的正、负两极绝缘等值接地故障,由不平衡桥运行下正、负极对地电压,从而计算出正、负极对地绝缘电阻值。

3 直流互串下的仿真分析

(1) 单套绝缘监测装置平衡桥电阻 R 与不平衡桥电阻 R_s 的选择

带有一套微机型绝缘监测装置的直流电源系统等值电路如图 2 所示,图中 V_{DC1} 为蓄电池组电压, R 为平衡桥电阻, R_s 为不平衡桥电阻,直流电源系统正负极对地绝缘电阻分别为 R_{z1} 和 R_{f1} ,这里只讨论 220 V 的直流电源系统。

根据国家电网公司 Q/GDW 1969 - 2013《变电站直流系统绝缘监测装置技术规范》要求,当 220 V 直流电源系统一极(正极或负极)绝缘处于良好状

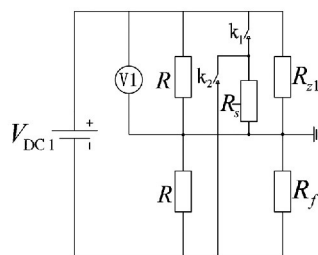


图 2 带绝缘监测装置的直流电源系统等值电路图

态,另一极绝缘降低到预警整定值 100 kΩ 时,平衡桥引起的直流对地电压偏移不得超过 10 V。同时,平衡桥电阻值 R 应大于直流电源系统的报警整定值 25 kΩ。设正极对地绝缘下降到预警整定值 100 kΩ,有 $R_{z1} = 100 \text{ k}\Omega < R_{f1}$,则直流电源系统正极对地电压偏移为

$$\left| 110 - V_{DC1} \cdot \frac{RR_{z1} + R_{z1}R_{f1}}{R(R_{z1} + R_{f1}) + 2R_{z1}R_{f1}} \right| \leq 10 \quad (1)$$

将 $V_{DC1} = 220 \text{ V}$, $R_{z1} = 100 \text{ k}\Omega$ 带入式(1),可推导出平衡桥电阻值 R 的范围为

$$25 \text{ k}\Omega < R \leq \frac{1}{\frac{1}{20} - \frac{6}{R_{f1}}} \text{ k}\Omega \quad (2)$$

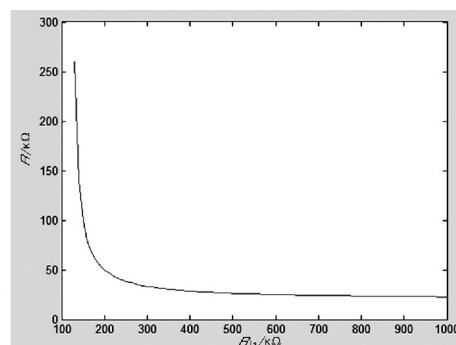


图 3 R 与 R_{f1} 的关系图

根据式(2),随着直流电源系统负极对地绝缘电阻 R_{f1} 的变化,为了满足电压偏移的要求,其平衡桥电阻值 R 应满足如图 3 所示曲线。由图可知,直流电源系统负极对地绝缘电阻 R_{f1} 越大,则要求平衡桥电阻 R 越小,电压偏移也越小。但实际监测中,若平衡桥电阻 R 过小,又将直接影响系统的检测灵敏度。

当 220 V 直流电源系统一极(正极或负极)绝缘降低到接地电阻报警限值 25 kΩ 时,投切不平衡桥电阻 R_s 引起的直流对地电压波动不得超过 22 V。设正极对地绝缘下降到接地电阻报警限值 25 kΩ,有 $R_{z1} = 25 \text{ k}\Omega$,合上开关 k_1 将不平衡桥电阻 R_s 投入正极,则直流电源系统正极对地电压波动的计算

公式为

$$\left| V_{DC1} \cdot \frac{RR_{z1} + R_{z1}R_{f1}}{R(R_{z1} + R_{f1}) + 2R_{z1}R_{f1}} - V_{DC1} \cdot \frac{R^2(R_{z1}R_s + R_{f1}R_s + R_{z1}R_{f1}) + 2RR_{z1}R_{f1}R_s}{(R + R_{f1}) \cdot (RR_s + RR_{z1} + R_{z1}R_s)} \right| \leq 22 \quad (3)$$

(2) 两段直流电源系统共正极或共负极运行

两段直流电源系统共正极或共负极运行,往往是误接线或电缆绝缘下降造成的,若此时其中一段直流电源系统再发生接地故障,必将导致整个系统接地。两段直流电源系统共正极的等值电路如图 4 所示。

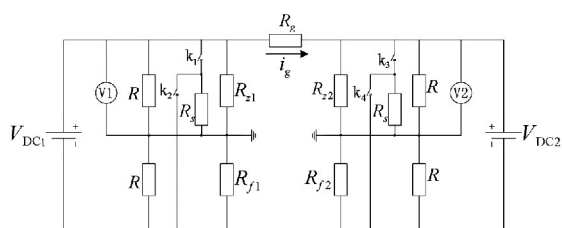


图 4 两套绝缘监测装置共正极的等值电路图

如图 4 所示,设直流电源系统中 $V_{DC1} = V_{DC2} = 220 \text{ V}$, R 为 $25 \text{ k}\Omega$, R_s 为 $120 \text{ k}\Omega$, R_g 为两套直流电源系统互串电路的等值电阻。两套直流电源系统正负极对地绝缘良好,系统正常运行 0.5 s 后发生共正极互串,并在故障发生 0.5 s 后,每 0.5 s 交替投入第一套直流电源系统的不平衡桥电阻至正极和负极。设互串电路的等值电阻 R_g 分别为 $1 \text{ k}\Omega$ 、 $10 \text{ k}\Omega$ 、 $100 \text{ k}\Omega$,其 V_1 、 V_2 的仿真电压波形见图 5。

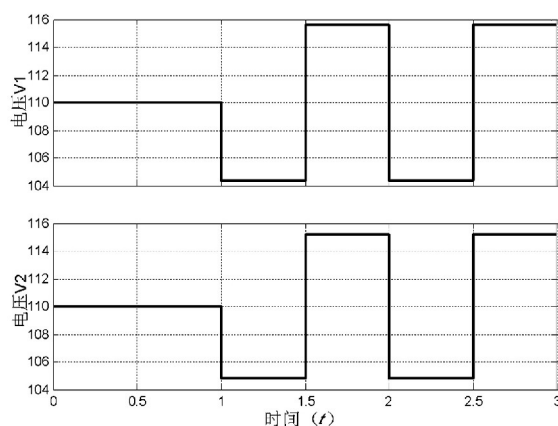
由图 5 可知,共正极互串并不会引起绝缘良好的直流电源系统出现电压偏移,不平衡桥电阻的投入使得电压出现波动,互串电路等值电阻越大,则电压波动越明显。

(3) 一段直流电源系统正极与另一段直流电源系统负极互串

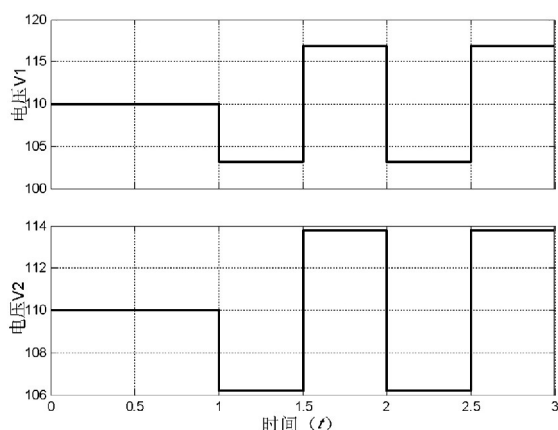
一段直流电源系统正极与另一段直流电源系统负极互串,往往是直流电源系统在改造中接线错误等人为因素造成的,这时直流电压将出现较大偏移。两段直流电源系统正负极互串的等值电路如图 6 所示。

设两套直流电源系统正、负极对地绝缘良好,系统正常运行 0.5 s 后发生正、负极互串,并在故障发生 0.5 s 后,每 0.5 s 交替投入第一套直流电源系统的不平衡桥电阻至正极和负极。设互串电路的等值

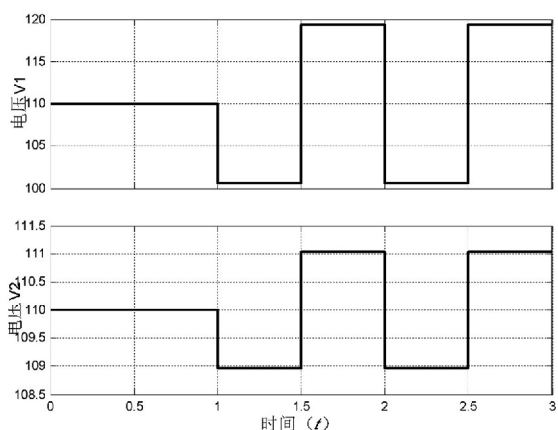
电阻 R_g 分别为 $1 \text{ k}\Omega$ 、 $10 \text{ k}\Omega$ 、 $100 \text{ k}\Omega$,其 V_1 、 V_2 的仿真电压波形见图 7。



(a) 等值电阻 $R_g = 1 \text{ k}\Omega$



(b) 等效电阻 $R_g = 10 \text{ k}\Omega$



(c) 等值电阻 $R_g = 100 \text{ k}\Omega$

图 5 共正极互串下的电压波形图

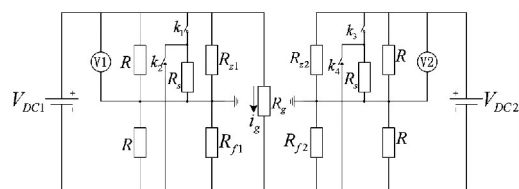
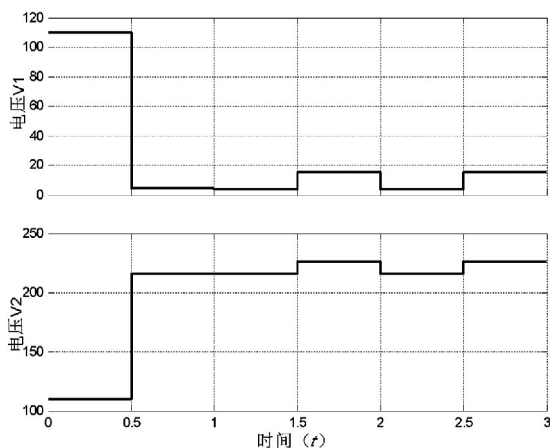
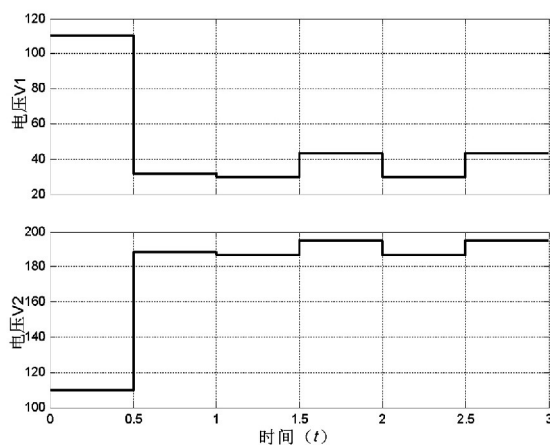


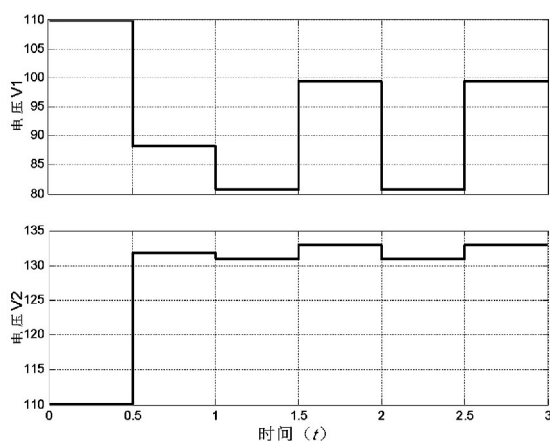
图 6 两段直流电源系统正负极互串的等值电路图



(a) 等值电阻 $R_g = 1 \text{ k}\Omega$



(b) 等值电阻 $R_g = 10 \text{ k}\Omega$



(c) 等值电阻 $R_g = 100 \text{ k}\Omega$

图 7 正负极互串下的电压波形图

由图 7 可知,正、负互串将直接引起绝缘良好的直流电源系统出现电压偏移,互串电路等值电阻越小,电压偏移越大。不平衡桥电阻的投入使电压出现波动,互串电路等值电阻越大,则电压波动越明显。

由图 5、图 7 可见,双套直流电源系统的两段直流母线绝缘监测宜采用一台绝缘监测装置监测两段母线或采用具备交互信息、协调控制功能的两台绝缘监测装置,实现在系统出现直流互串时避免投切不平衡桥电阻,以减少电压波动。

3 结 论

依据对微机型绝缘监测装置检测电阻安全性验证研究,从降低直流母线电压偏移和波动范围的角度,对装置的平衡桥检测电阻和不平衡桥检测电阻值的选择进行分析。同时,针对直流电源系统直流互串的问题,分别对共正极和正负极互串两种方式进行了仿真研究,探讨了互串电路等值电阻对直流母线电压偏移和波动的影响,为微机型绝缘监测装置的运行和参数选择提供了参考。

参考文献

- [1] 赵梦欣,陈国峰,余成伟. 直流电源系统绝缘监测的直流漏电流改进方案[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 83-88.
- [2] 李瑞平,温泉. 直流系统接地故障的分析[J]. 华电技术, 2008, 30(2): 58-61.
- [3] 徐卫,李晶. 加强直流电源系统运行维护和专业管理[J]. 电源技术应用, 2007(3): 84-85.
- [4] 赵兵,胡玉岚. 直流系统微机型绝缘监察装置问题的探讨[J]. 广东电力, 2007, 22(4): 43-45.
- [5] 罗志平,熊迪,谢智超,等. 变电站直流系统存在的环网问题及解决办法[J]. 继电器, 2008, 36(3): 71-74.
- [6] 赵兵,张曼诗,徐玉凤. 直流系统微机型绝缘监察装置电阻选择的依据[J]. 中国新技术产品, 2009(23): 160-161.
- [7] 孙鸣,马娟. 直流系统微机型绝缘监测装置电阻选择[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 128-131.

(收稿日期: 2014-08-29)