

智能变电站电源一体化系统直流电源电压分析

随着智能变电站技术的发展，变电站电源一体化管理被广泛使用，直流电源在变电站中发挥越来越重要的作用，其运行情况与变电站的运行情况紧密相关，对变电站直流电源回路进行提炼，分析了直流电源回路的电压表现，从而判断出直流电源的运行情况。

—————
武志松 戴瑞成/国网北京检修公司



武志松/高级工程师

关键词/Keywords
变电站 ·
直流 ·
电源 ·
电压 ·

0 引言

智能变电站采用交直流电源一体化系统，将站用交流电源、站用直流电源、站用交流不间断电源和通信站用直流电源等进行一体化设计、安装、调试和运维，并统一进行监控。一体化电源的核心是直流电源，直流电源的正常运行关系着整个一体化电源的正常运行，而直流电源回路的电压表现是直流电源运行情况的直接表现，有必要对直流电源的电压运行情况进行正确的分析，从而正确地判断出直流电源的运行情况。

为了直观分析，应结合实际将直流系统的充电装置、蓄电池组、绝缘监视、连接线、断路器和负载等设备提炼成电路图。

1 一套 220 V 直流系统对地电压分析

1.1 电路简化

分析直流系统设备及回路，一套电源情况下直流系统简化的等效电路如图 1 所示。

图中， V 为直流电源； E 为系统接地（含绝缘监视装置接地及对地绝

缘接地）； KS 为绝缘监视继电器； Z_+ 为正对地绝缘； Z_- 为负对地绝缘； Z_1 为绝缘监视装置正极桥电阻； Z_2 为绝缘监视装置负极桥电阻。

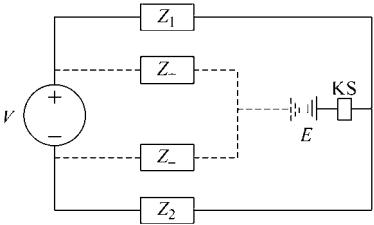


图 1 一套电源情况下直流系统等效电路

由图 1 可知，将充电装置、蓄电池组简化为电源，将直流系统经空气与地的回路用虚线画出，为了直观分析，省略了负荷回路等，在需要分析时再画入。绝缘监视继电器 KS 在后边也会被忽略，因为在分析过程中影响不大。

1.2 绝缘正常情况下对地电压

绝缘正常情况下简化的等效电路如图 2 所示。

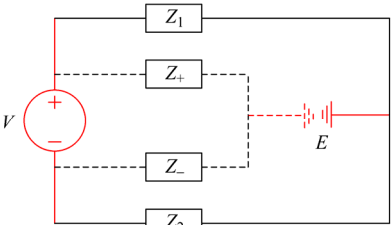


图 2 绝缘正常情况下等效电路

由图 2 可见，在绝缘正常情况下（指未发生系统绝缘性能严重降低、短路和接地等情况），电桥平衡，使用万用表（高内阻）对地进行电压测量， V_+ （正极对地电压）为 +110 V， V_- （负极对地电压）为 -110 V。

1.3 绝缘监视装置接地点打开情况下对地电压
绝缘监视装置接地点打开情况下等效电路
如图 3 所示。

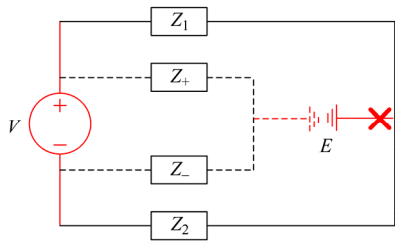


图 3 绝缘监视装置接地点打开的等效电路

由图 3 可见，在绝缘监视装置接地点打开情况下，绝缘监视装置正、负极桥电阻 Z_+ 、 Z_- 很大，使用万用表（高内阻）对地电压侧进行测量， V_+ （正极对地电压）接近 0 V， V_- （负极对地电压）接近 0 V。

当直流系统对地绝缘性能整体下降较多时，使用万用表（高内阻）对地电压进行测量时： V_+ （正极对地电压）和 V_- （负极对地电压）均升高；并且在此种情况下恢复绝缘监视装置接地点后，绝缘监视装置不会发“直流系统接地”告警。

1.4 绝缘性能降低情况下对地电压

绝缘性能降低情况下简化的等效电路如图 4 所示。

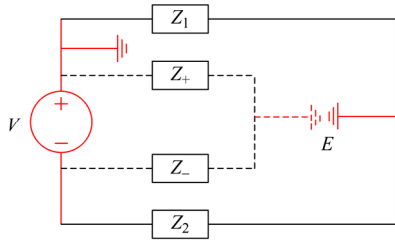


图 4 绝缘降低情况的等效电路

由图 4 可见，发生正极直接接地后， Z_+ 和 Z_1 被短接，使用万用表（高内阻）对地电压进行测量，造成 V_+ （正极对地电压）接近 0 V， V_- （负极对地电压）接近 -220 V。

当发生负极直接接地时， Z_- 和 Z_2 被短接，使用万用表（高内阻）对地电压进行测量， V_+ （正极对地电压）接近 +220 V， V_- （负极对地电压）接近 0 V。

需要说明的是，当直流系统发生正极或负极一极直接接地时，若断开绝缘监视装置的接地点

并对地电压进行测量，对地电压与绝缘正常时基本不变。

2 两套并列 220 V 直流系统对地电压分析

2.1 电路简化

两套并列 220 V 直流系统时的等效电路如图 5 所示。

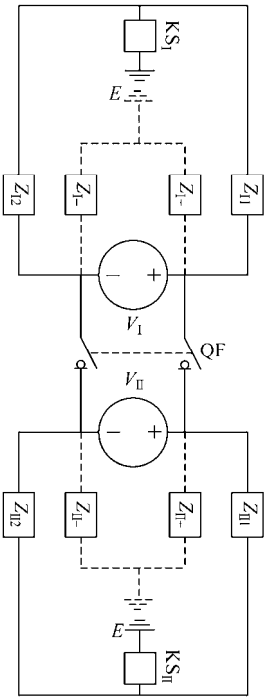


图 5 两套 220 V 直流系统并列时等效电路

图 5 中， V_1 、 V_2 为 I、II 套直流电源； E 为系统接地（含绝缘监视装置接地及对地绝缘接地）； KS_1 、 KS_2 为 I、II 套绝缘监视继电器； QF 为直流系统联络开关； Z_{1+} 、 Z_{2+} 为 I、II 套正对地绝缘； Z_{1-} 、 Z_{2-} 为 I、II 套负对地绝缘； Z_{11+} 、 Z_{21+} 为 I、II 套绝缘监视装置正极桥电阻； Z_{12+} 、 Z_{22+} 为 I、II 套绝缘监视装置负极桥电阻。

两套并列直流系统的简化电路图是在两个单套直流电源简化电路图（见图 1）的基础上进行结合，通过 QF 连接到一起，运行正常时， QF 断开，两套直流系统保持独立运行方式。

由图 5 可知，将充电装置、蓄电池组简化为电源，将直流系统经空气与地的回路用虚线画出，为了直观分析，省略了负荷回路等，在需要分析时再画入；绝缘监视继电器 KS_1 、 KS_2 和正、

负极对地绝缘电阻在后边也会被忽略,因为在系统绝缘良好时,该设备在分析过程中影响不大。

2.2 QF 断开时系统对地电压分析

正常运行方式下, QF 在断开位置,两套直流系统保持独立运行,以提高直流系统的供电可靠性,当运行正常时(指未发生系统绝缘性能严重降低、短路和接地等情况),断开绝缘监视装置接地点,直流系统正、负极对地电压的表现与单套直流系统的对地电压表现相同。

当 QF 在合闸位置时,两套直流系统并列运行(相当一套直流系统),直流系统正、负极对地电压的表现与单套直流系统的对地电压表现相同。

2.3 直流系统混线时系统对地电压分析

2.3.1 发生 I、II 套正、负极混线时直流系统对地电压分析

发生 I、II 套正、负极混线时直流系统的简化电路如图 6 所示。图中, V_{I+} 为 I 套直流系统正对地电压; V_{I-} 为 I 套直流系统负对地电压; V_{II+} 为 II 套直流系统正对地电压; V_{II-} 为 II 套直流系统负对地电压。

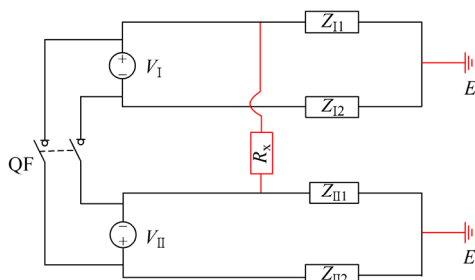


图 6 发生 I、II 套正、负极混线时直流系统等效电路

由图 6 可知, Z_x 回路正极接在了直流 I 套上, Z_x 回路负极接在了直流 II 套上, 因此出现了正、负极混线现象。

1) Z_x 回路的混线使 I、II 套直流系统在 QF 断开的情况下产生了电的联系, 并通过绝缘监视装置的接地点形成了回路, I、II 套直流系统对地绝缘失去平衡, 造成 I 套系统正对地绝缘性能降低, II 套系统负对地绝缘性能也降低, 两套系统同时发“直流系统接地”告警, 使用万用表(高内阻)对地电压进行测量: I 套直流系统正极对地电压降低, 负极对地电压升高; II 套直流系统正极对地电压升高, 负极对地电压降低。

2) Z_x 回路的混线使 I、II 套直流系统产生

了电的联系, 并通过绝缘监视装置的接地点形成了回路, 此情况下将 QF 合闸, 使两套系统并列运行, I、II 套系统对地绝缘性能恢复平衡, 使用万用表(高内阻)进行系统对地电压测量: V_{I+} 接近 +110 V, V_{I-} 接近 -110 V, V_{II+} 接近 +110 V, V_{II-} 接近 -110 V。

3) 恢复 QF 断开方式, 在 I、II 套直流系统分裂运行情况下, 改变 I、II 套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式: I 套直流系统绝缘监视装置的接地点保持接地, 将 II 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开, “直流系统接地”告警恢复。使用万用表(高内阻)进行系统对地电压测量: V_{I+} 接近 +110 V, V_{I-} 接近 -110 V, V_{II+} 接近 +330 V, V_{II-} 接近 +110 V。

4) 保持 QF 断开方式, 在 I、II 套直流系统分裂运行情况下, 改变 I、II 套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式: 将 I 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开, 将 II 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开, I、II 套直流系统“直流系统接地”告警恢复。使用万用表(高内阻)进行系统对地电压测量: V_{I+} 接近 0 V, V_{I-} 接近 0 V, V_{II+} 接近 0 V, V_{II-} 接近 0 V。

5) 保持 QF 断开方式, 在 I、II 套直流系统分裂运行情况下, 改变 I、II 套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式: 将 I 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开, 保持 II 套直流系统绝缘监视装置的接地点接地, I、II 套直流系统“直流系统接地”告警恢复。使用万用表(高内阻)进行系统对地电压测量: V_{I+} 接近 -110 V, V_{I-} 接近 -330 V, V_{II+} 接近 +110 V, V_{II-} 接近 -110 V。

2.3.2 发生 I、II 套正极混线直流系统对地电压分析

发生 I、II 套正极混线直流系统的简化电路如图 7 所示。

由图 7 可知, Z_x 回路正极一端接在了直流 I 套系统, 同时回路正极存在另一端同时接在了直流 II 套系统, I、II 套直流系统之间发生了正极混线。

1) 分裂运行情况下(QF 断开), Z_x 回路正极的混线使 I、II 套直流系统之间发生了电的联系, 并通过绝缘监视装置的接地点形成了回路, 造成直流系统对地绝缘失衡, I 套系统正对地绝缘性能降低, II 套系统正对地绝缘性能也降低,

两套系统同时发“直流系统接地”告警，使用万用表（高内阻）进行对地电压测量：Ⅰ套系统正对地电压降低，Ⅰ套系统负对地电压升高；Ⅱ套系统正对地电压降低，Ⅱ套系统负对地电压升高。

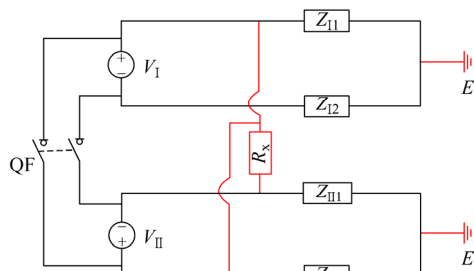


图7 发生Ⅰ、Ⅱ套正极混线直流系统简化电路

2) Z_x 回路的混线使Ⅰ、Ⅱ套直流系统产生了电的联系，并通过绝缘监视装置的接地点形成了回路，此情况下将 QF 合闸，使两套系统并列运行，Ⅰ、Ⅱ套直流系统“直流系统接地”告警恢复，使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 +110 V， V_{I-} 接近 -110 V， V_{II+} 接近 +110 V， V_{II-} 接近 -110 V。

3) 恢复 QF 断开方式，在Ⅰ、Ⅱ套直流系统分裂运行情况下，改变Ⅰ、Ⅱ套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式：Ⅰ套直流系统绝缘监视装置的接地点保持接地，将Ⅱ套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，“直流系统接地”告警恢复，使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 +110 V， V_{I-} 接近 -110 V， V_{II+} 接近 +110 V， V_{II-} 接近 -110 V。

4) 保持 QF 断开方式，在Ⅰ、Ⅱ套直流系统分裂运行情况下，改变Ⅰ、Ⅱ套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式：将Ⅰ套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，将Ⅱ套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，Ⅰ、Ⅱ套直流系统“直流系统接地”告警恢复。使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 0 V， V_{I-} 接近 0 V， V_{II+} 接近 0 V， V_{II-} 接近 0 V。

5) 保持 QF 断开方式，在Ⅰ、Ⅱ套直流系统分裂运行情况下，改变Ⅰ、Ⅱ套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式：将Ⅰ套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，保持Ⅱ套直流系统绝缘监视装置的接地点接地，Ⅰ、Ⅱ套直流系统“直流系统接地”告警恢复。使用万用表（高内阻）

进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 +110 V， V_{I-} 接近 -110 V， V_{II+} 接近 +110 V， V_{II-} 接近 -110 V。

2.3.3 发生Ⅰ、Ⅱ套负极混线直流系统对地电压分析

发生Ⅰ、Ⅱ套负极混线直流系统简化电路如图8所示。

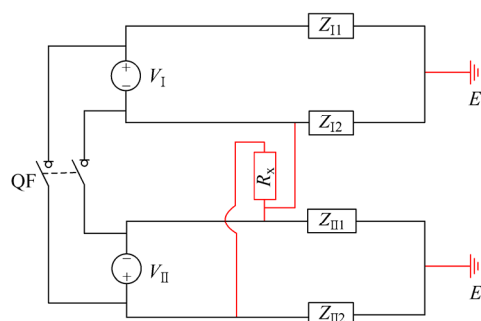


图8 发生Ⅰ、Ⅱ套负极混线直流系统简化电路

由图8可知， Z_x 回路负极一端接在了直流Ⅰ套系统，同时回路负极存在另一端同时接在了直流Ⅱ套系统，Ⅰ、Ⅱ套直流系统之间发生了负极混线。

1) 分裂运行情况下（QF 断开）， Z_x 回路负极的混线使Ⅰ、Ⅱ套直流系统之间发生了电的联系，并通过绝缘监视装置的接地点形成了回路，造成直流系统对地绝缘失衡，Ⅰ套系统负极对地绝缘性能降低，Ⅱ套系统负极对地绝缘性能降低，两套系统同时发“直流系统接地”信号，使用万用表（高内阻）进行对地电压测量：Ⅰ套系统正对地电压升高，Ⅰ套系统负对地电压降低；Ⅱ套系统正对地电压升高，Ⅱ套系统负对地电压降低。

2) Z_x 回路的混线使Ⅰ、Ⅱ套直流系统产生了电的联系，并通过绝缘监视装置的接地点形成了回路，此情况下将 QF 合闸，使两套系统并列运行，Ⅰ、Ⅱ套直流系统“直流系统接地”告警恢复，使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 +110 V， V_{I-} 接近 -110 V， V_{II+} 接近 +110 V， V_{II-} 接近 -110 V。

3) 恢复 QF 断开方式，在Ⅰ、Ⅱ套直流系统分裂运行情况下，改变Ⅰ、Ⅱ套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式：Ⅰ套直流系统绝缘监视装置的接地点保持接地，将Ⅱ套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，“直流系统接地”告警恢复，使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 +110 V， V_{I-} 接近 -110 V， V_{II+} 接近 +110 V， V_{II-} 接近 -110 V。

接近+110 V， V_{II-} 接近-110 V。

4) 保持 QF 断开方式，在 I、II 套直流系统分裂运行情况下，改变 I、II 套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式：将 I 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，将 II 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，I、II 套直流系统“直流系统接地”告警恢复。使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近 0 V， V_{I-} 接近 0 V， V_{II+} 接近 0 V， V_{II-} 接近 0 V。

5) 保持 QF 断开方式，在 I、II 套直流系统分裂运行情况下，改变 I、II 套直流系统绝缘监视装置接地点接地方式：将 I 套直流系统绝缘监视装置的接地点断开，保持 II 套直流系统绝缘监视装置的接地点接地，I、II 套直流系统“直流系统接地”告警恢复。使用万用表（高内阻）进行系统对地电压测量： V_{I+} 接近+110 V， V_{I-} 接近-110 V， V_{II+} 接近+110 V， V_{II-} 接近-110 V。

3 结束语

两套 220 V 直流系统电源回路正常运行时，

每套独立运行且每套绝缘监视装置具备一个接地点；当独立的两套系统之间发生混线时，即构成电气回路上的连接，引起回路接线方式的改变，正、负极的对地电压表现随接地点接地方式的改变而变化，可通过对地电压表现进行异常判断。

随着智能变电站技术的发展，直流负载大幅增加，变电站电源一体化管理被广泛使用，直流电源在变电站电源中发挥越来越重要的作用，电源回路的电压表现分析将逐步实现智能化判断，同时对电源系统的接线方式、负载配置和设备选择等不断进行优化和统筹。

运行维护人员进行电源系统的运行分析和运行维护工作时，应认真了解电源系统的运行方式和负载性质，制定好相应措施。

作者简介
武志松（1978-），男，高级工程师，主要从事变电站运行管理与设备维护的工作。

（收稿日期：2015-12-10）EA
（编辑：胡颖）

（上接第 169 页）

网公司智能化建设的一个重要方向，国网公司近几年发布了相关的导则和规范，为变电设备在线监测系统的建设提供了强有力的支撑，但传统变电站内的监测数据如何接入到状态评价中心的主站系统依然缺少相关的详细解决方案，因此本文针对目前变电站内在线监测系统的建设思路提出了一种标准化的接入方法，目的是为变电站的在线监测数据标准化接入提供更多的可选方案。

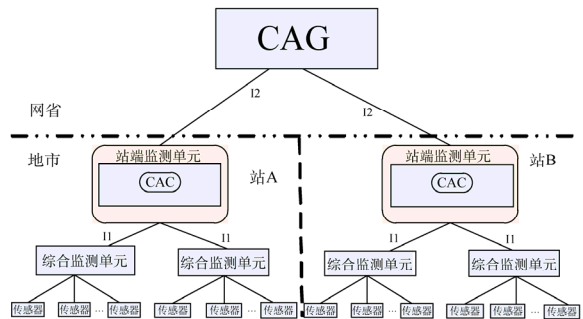


图 9 部署站端监测单元和综合监测单元的标准化接入方案

参考文献

[1] Q/GDW 383-2009 智能变电站技术导则[S]. 2009.

[2] Q/GDWZ 410-2010 高压设备智能化技术导则[S]. 2010.

[3] Q/GDW 534-2010 变电设备在线监测系统技术导则[S]. 2010.

[4] 输变电设备状态监测系统概要设计[S]. 2010.

[5] Q/GDW 749-2012 变电站设备状态接入控制器技术规范[S]. 2012.

[6] Q/GDW 739-2011 变电设备在线监测 I1 接口网络通信规范[S]. 2011.

[7] Q/GDW 740-2011 变电设备在线监测 I2 接口网络通信规范[S]. 2011.

作者简介
程大伟（1982-），男，硕士，工程师，主要从事智能变电站在线监测的研究。

（收稿日期：2015-12-10）EA
（编辑：胡颖）