

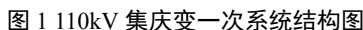
(南京供电公司, 江苏 南京 210019)

关键词: 单相接地; 小电流接地系统; 备自投; 消弧线圈; 电容电流

1.1 情况简介

高为 7.53kV、6.96kV，且线电压保持不变仍约为 10kV)，而且 10kV 备自投装置被闭锁拒动。

图 1 所示为集庆变一次系统结构图。故障前，#1 主变带 10kVI、III 段母线运行，#2 主变带 10kVII、IV 段母线运行，分段开关 110、210 处于合位，分段开关 203 处于分位，备自投装置位于分段 203 开关处。



1.2 故障与异常原因分析

通过对 10kV 备自投装置进行现场逻辑验证, 备自投动作正确, 且从整个事件过程来看, 备自投各种告警信号正常发送, 没有死机等异常现象, 此次备自投装置拒动的主要原因是集庆变 10kVII、IV 段母线失电的同时, I、III 段母线有“接地”现象发生。这与 203 分段备自投装置 (采用南瑞城乡的 DSA2364) 有关, 其有压判据为三个相电压均高于

备自投有压定值。做为备用电源的 10kVI、III 段母线出现“接地”现象时，C 相电压低于备自投有压定值（3.93kV<4.0kV（折算到一次定值）），不满足有压条件，所以备自投拒动。

1.3 本文主要目的

本文主要目的是论证“110kV 电缆外破导致集庆变 10kVII、IV 段母线失电的同时 10kVI、III 段母线出现‘接地’现象”绝非巧合，这二者存在内在的联系，并给出一种可能的解释。下面将通过收集到的部分遥信、遥测数据和简单的分析证明之。

1.4 数据来源及其准确性解释

本文使用的遥信、遥测数据全部从调度自动化

主站端 OPEN3000 系统取得。其中遥信并未采用标识装置时间的 SOE 信号，因为集庆变建设年代较早，并未使用 GPS 对时。从现场来看，本次所涉及的几个装置（备自投、3 台消弧线圈控制装置和公用测控装置）的时钟并未同步，考虑到遥信变化量上送时间一般在 3”以内，反而使用调度 SCADA 系统的时间（即信号接收时间）较为统一，基本能说明问题。

2 证明“10kVII、IV 母失电与 10kVI、III 母单相接地同时发生、同时消失”

2.1 使用遥信告警窗的记录证明

1	集庆变	2012年11月07日14时21分58秒	集庆变 #2消弧线圈接地报警 动作
2	集庆变	2012年11月07日14时21分58秒	集庆变 #3消弧线圈接地报警 动作
3	集庆变	2012年11月07日14时21分58秒	集庆变 #1消弧线圈接地报警 动作
4	集庆变	2012年11月07日14时21分58秒	集庆变 所变分段开关自投 动作
5	集庆变	2012年11月07日14时21分59秒	集庆变 #2交流电源失电 动作
6	集庆变	2012年11月07日14时22分02秒	集庆变 低频低压系统异常 动作
7	集庆变	2012年11月07日14时22分04秒	集庆变 #3消弧线圈装置异常 动作
8	集庆变	2012年11月07日14时22分04秒	集庆变 175接地报警 动作
9	集庆变	2012年11月07日14时22分05秒	集庆变 271接地报警 动作
10	集庆变	2012年11月07日14时22分05秒	集庆变 #1消弧线圈正在接地 动作
11	集庆变	2012年11月07日14时22分15秒	集庆变 #3消弧线圈装置异常 复归
12	集庆变	2012年11月07日14时22分28秒	集庆变 预告总信号 动作
13	集庆变	2012年11月07日14时22分28秒	集庆变 165就地操作 动作
14	集庆变	2012年11月07日14时22分29秒	集庆变 203开关备自投 I 母PT失压 动作
15	集庆变	2012年11月07日14时22分29秒	集庆变 203开关备自投II 母PT失压 动作

.....(中间告警信号省略)

109	集庆变	2012年11月07日14时31分42秒	集庆变 203开关备自投 I 母PT失压 复归
110	集庆变	2012年11月07日14时31分45秒	集庆变 #3消弧线圈装置异常 复归
111	集庆变	2012年11月07日14时31分50秒	集庆变 逆变电源异常 动作
112	集庆变	2012年11月07日14时31分50秒	集庆变 逆变电源异常 复归
113	集庆变	2012年11月07日14时31分53秒	集庆变 #3消弧线圈接地报警 复归
114	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 所变分段开关自投 复归
115	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 预告总信号 复归
116	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 #2交流电源失电 复归
117	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 #1消弧线圈接地报警 复归
118	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 #2消弧线圈接地报警 复归
119	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 271接地报警 复归
120	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 #3主变低压侧203 合闸(遥控)
121	集庆变	2012年11月07日14时31分54秒	集庆变 203开关备自投II 母PT失压 复归
122	集庆变	2012年11月07日14时31分58秒	集庆变 #1消弧线圈正在接地 复归

图2 11月7日14时21分到14时31分集庆变的告警信号

首先通过告警窗的遥信记录来分析。如图2所示为11月7日14时21分到14时31分集庆变的部

分遥信记录(中间信号省略)。这里有两个时间节点，首先是因 110kV 安庆#2 线故障导致#2 主变失电，

其时间可以用第 4 条“集庆变 所变分段开关自投动作”为准，此时#1、#2、#3 消弧线圈控制装置开始报接地告警，紧接着 10kV 备自投装置开始报 I、II 母失压，10min 后配调班组将母联开关 203 合上恢复 II 段送电，其时间可以第 120 条“集庆变 #3 主变低压侧 203 合闸(遥控)”为准，II 母电压正常后，各种信号也紧跟着复归。

还有一个实例也能说明这一问题。如图 3 所示，

本年 8 月 31 日 10 时 59 分左右，同为集庆变#2 主变失电（此次备自投动作成功），虽然 II、IV 母失电时间只有几秒，但#1、#2、#3 消弧线圈控制装置仍有接地告警。II、IV 母得电后，接地告警复归，其时间可以第 4 条“集庆变 所变分段开关自投 动作”和第 14 条“集庆变 所变分段开关自投 复归”为准。

所属厂站	告警内容 /
1 集庆变	2012年08月31日10时59分15秒 集庆变 #2消弧线圈接地报警 动作
2 集庆变	2012年08月31日10时59分16秒 集庆变 #1消弧线圈接地报警 动作
3 集庆变	2012年08月31日10时59分16秒 集庆变 #3消弧线圈接地报警 动作
4 集庆变	2012年08月31日10时59分17秒 集庆变 所变分段开关自投 动作
5 集庆变	2012年08月31日10时59分17秒 集庆变 #2交流电源失电 动作
6 集庆变	2012年08月31日10时59分19秒 集庆变 低频低压系统异常 动作
7 集庆变	2012年08月31日10时59分20秒 集庆变 #1消弧线圈正在接地 动作
8 集庆变	2012年08月31日10时59分28秒 集庆变 #2消弧线圈接地报警 复归
9 集庆变	2012年08月31日10时59分28秒 集庆变 #1消弧线圈接地报警 复归
10 集庆变	2012年08月31日10时59分29秒 集庆变 #3消弧线圈接地报警 复归
11 集庆变	2012年08月31日10时59分30秒 集庆变 #1消弧线圈正在接地 复归
12 集庆变	2012年08月31日10时59分44秒 集庆变 #2主变低压侧102 分闸
13 集庆变	2012年08月31日10时59分44秒 集庆变 所变分段开关自投 复归
14 集庆变	2012年08月31日10时59分44秒 集庆变 #2交流电源失电 复归
15 集庆变	2012年08月31日10时59分44秒 集庆变 #3主变低压侧203 合闸

图 3 8 月 31 日 10 时 59 分左右集庆变的告警

这说明此过程中 I、III 母确实有接地现象，但接地现象与 II、IV 段母线失电是同时发生、同时消失的。关于为什么 8 月 31 日备自投能正确动作，后

面会给出解释。
2.2 使用遥测量的记录证明



图 4 各段母线电压变化曲线图

还可以通过各段母线电压的变化曲线说明。为避免曲线过多难于辨识,我们只列出 I 母 A 相电压、I 母 C 相电压、II 母 C 相电压、II 母 AB 线电压,如图 4 所示。图中 I 母 A 相电压升高, I 母 C 相电压降低, II 母 C 相电压也降低, II 母 AB 线电压接近 0, 但其变化的起始、终结时间是一致的

3 关于 10kVI、III 段母线出现“接地”现象的一种解释

3.1 10kVI、III 母接地的原理分析

为什么 10kVII、IV 母失电时, I、III 母 C 相电压降低, A、B 两相电压升高, 出现类似“接地”的现象, 而当分段开关 203 合闸后, II、IV 母得电, I、III 母的“接地”现象同时消失? 这可能是一种“假接地”, 即并没有真正的接地发生。

导致出现这一现象的原因可能是集庆变外某条手拉手线路存在不完全分闸状态, 即只有 A、B 两相断开, C 相处于连接状态, 该点可能位于某双电源用户的切换装置处或位于某联络柱开处。如图 5 所示为这种接线情况下的系统原理图 (将 I、III 母和 II、IV 母分别视为一段母线), 图中标出了各电流的流向。

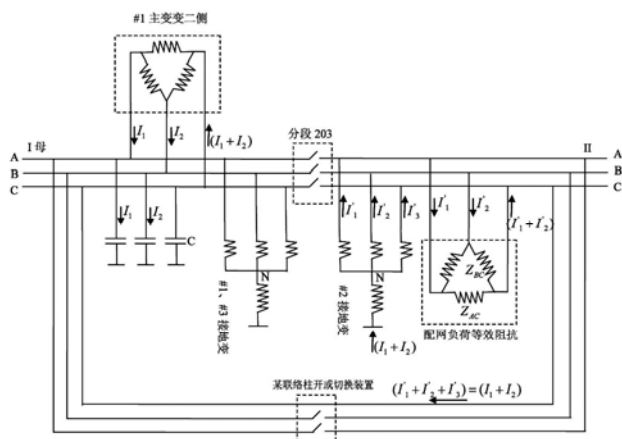


图 5 I、II 母 C 相连接情况时的系统原理图

其中 C 为 10kVI 母各出线电缆对地电容, I_1 、

I_2 分别为 I 母 A、B 两相对地电容, I_1 、 I_2 经 #2 消

弧线圈流入 II 母 A、B、C 三相母线, 分别记为 I'_1 、

I'_2 、 I'_3 , 其中 I'_1 、 I'_2 分别经 II 母负荷等效阻抗

Z_{AC} 、 Z_{BC} 流入 C 相母线, 与 I'_3 汇合后经联络柱

开流回 I 母, 经 #1 主变二侧流回 I 母 A、B 两相, 从这一回路看出, 相当于 I 母 C 相经电阻接地, 其

等效电路如图 6 所示。其中, Z_N 为消弧线圈阻抗,

$Z_{f\Sigma}$ 为负荷等效阻抗, C 为 I 母各出线电缆对地电容。

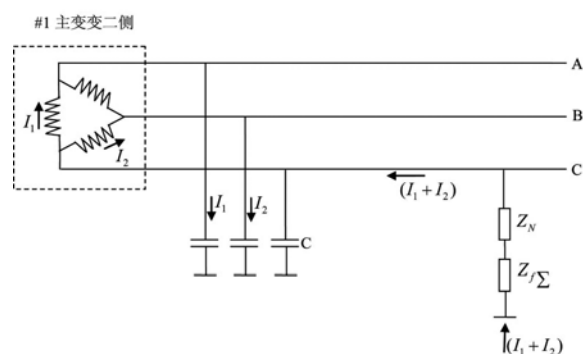


图 6 I、II 母 C 相连通时的等效电路图

3.2 关于“II 母电压具有零序电压性质”的解释

由图 1、图 4 知, II 母线电压为零, 而三相电压基本相等, 具有零序电压的性质。由图 5 知, 对地电容电流 ($I_1 + I_2$) 经 #2 消弧线圈分别流入 II 母

A、B、C 三相, 因接地变采用“Z”型接法, 零序阻抗很小, 故三相电压接近相等, 且相位基本相同, 所以 II 母线电压为零, 具有零序电压的性质。

3.3 关于“#2 接地变 A 相电流约为 40A”的解释

如图 7 所示, II、IV 母失电后, #2 接地变 A 相电流较大, 最大值约为 40A, 这一数量级与 I、III 段母线所带出线电缆对地电容电流相当, 另外可以推测当时 #2 接地变 B、C 两相电流应也接近 40A, 这一数据现在已经无法查证了 (因故障发生在站外 110kV 线路上, 站内装置没有启动故障录波)。不妨以三相电流合计 100A 计算, 用失电时 II、IV 母的残压 3.5kV 除以 100A, 得消弧线圈的电阻为 35Ω , 当时 #2 消弧线圈处于 10 档, 其有效串联电阻约为大几十欧姆, 从大概推算来讲, 这两项数值是比较接近的。也就是说, II、IV 母失电时, #2 接地变高压侧 A 相的电流为对地电容电流。

因 C 相经“电阻”接地, I 母各相对地电压不平衡, 产生零序电压, 所以 #1、#3 接地变 A 相有几安

培的电流增加,如图 7 所示。

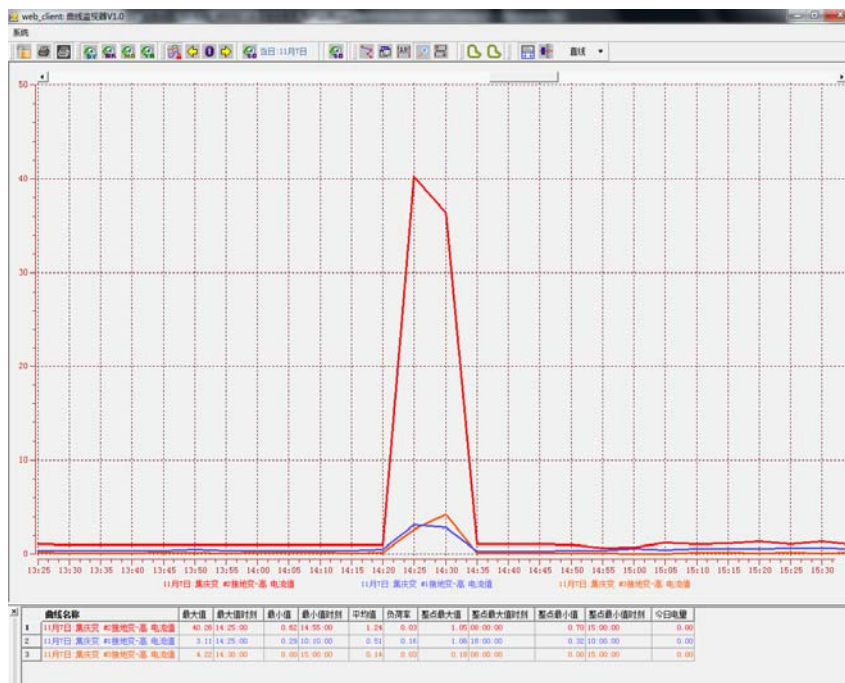


图 7 #1、#2、#3 三台接地变的高压侧 A 相电流图

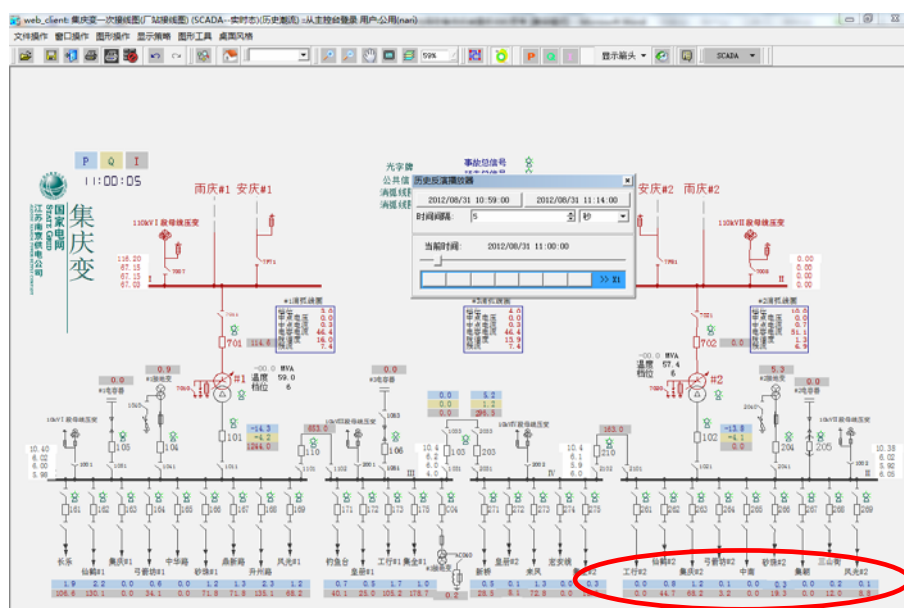


图 8 8 月 31 日上午 11 时左右的 II 母负荷图

3.4 关于“2012 年 8 月 31 日备自投未被闭锁成功动作”的解释

如图 8 所示,8 月 31 日上午 11 时左右,II、IV 母负荷较低,合计仅 284.2A,负荷等效阻抗 $Z_{f\Sigma}$ 较大。反观 11 月 7 日故障前的 II、IV 母负荷较大,合计达 506A,其负荷等效阻抗 $Z_{f\Sigma}$ 小。可见,8

月 31 日因站外故障造成#2 主变失压时,虽然 3 个消弧线圈控制装置均有接地告警,但电压不平衡度比 11 月 7 日小,I、III 段母线各相电压未低于备自投有压定值,所以当时备自投能动作成功。

4 结论

从以上分析可以推断,因只有一相(C 相)引入 II 段母线三相系统,相当于 C 相经电阻接地,当 II

母所带负荷较大即负荷等效阻抗较小以及消弧线圈档位较高时,等效接地电阻较小,导致 I 母出现三相电压对地不平衡,当某相电压低于备自投有压定值时将闭锁备自投动作。

另外,10kV 系统做为小电流接地系统,单相接地现象较多,而且单相接地时允许短时运行,部分厂家采用相电压低于某定值做为备自投装置判断 10kV 母线是否有压的判据是不妥当的,建议采用线电压低来判断母线是否有压。

参考文献:

- [1] 江苏省电力公司. 电力系统继电保护原理与实用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国

电力出版社, 1994.

- [3] 何仰赞,温增银,汪馥瑛,等. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1995.
- [4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.

作者简介:

陈建坤 (1982-), 男, 江苏南京人, 工程师, 技师, 从事继电保护方面工作;

鲍友春 (1973-), 男, 江苏南京人, 助理工程师, 技师, 从事继电保护方面工作;

毕明德 (1982-), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事电力设计、电力调度方面工作。