

# 一起雷击跳闸事故中电动机返送电对电网的影响分析

蓝彬桓,黄宇涵,陈 鹏

(国网四川省电力公司遂宁供电公司,四川 遂宁 629000)

**摘要:**针对一起某110 kV线路雷击跳闸后,由于电动机返送电导致线路重合失败的复杂电网事故,从现场录波记录、事故现象、保护行为、断路器动作时序等方面进行详细分析,深入探讨了电动机返送电对110 kV终端系统的影响,并提出了合理的应对措施和改进方法。

**关键词:**110 kV终端系统;返送电;故障分析

**中图分类号:**TM 773 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)01-0075-03

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20220116

## Analysis of Impact on Power Grid Caused by Power Return from Motor in A Lightning Trip-out Accident

LAN Binhuan, HUANG Yuhan, CHEN Peng

(State Grid Suining Electric Power Supply Company, Suining 629000, Sichuan, China)

**Abstract:** Aiming at a complex power grid accident that the reclosing fails due to the power return from motor after a lightning trip-out of 110 kV transmission lines, the impact of power return from motor on 110 kV terminal system is analyzed in detail in the aspect of wave recording, accident appearance, relay protection behaviour and time sequence of breaker action. The reasonable countermeasures and improvement methods are also proposed.

**Key words:** 110 kV terminal system; power return; fault analysis

## 0 引言

继电保护是电力系统第一道防线,承载着切除故障、恢复供电的重要作用,其动作可靠性直接决定电网能否安全运行。然而,电力系统由集中式向分布式的演变过程对电网继电保护控制提出严峻挑战<sup>[1]</sup>,尤其是在终端110 kV系统中,在唯一电源侧发生故障后,电动机返送电可能让站内多个设备感受到暂态故障电流<sup>[2]</sup>,进而导致继电保护装置的不正确动作,威胁电网安全运行。下面针对一起雷击跳闸引起的电动机返送电事故进行详细分析。

## 1 事故简述

### 1.1 系统运行方式

220 kV A站:110 kV两段母线并列运行,110 kV L1线167断路器运行于I母;110 kV L2线168断路器运行于II母,对侧110 kV D站155断路器热备用;110 kV L4线164断路器运行于I母;变压器

110 kV侧中性点直接接地。

110 kV B站:110 kV两段母线并列运行,110 kV L1线152断路器运行于I母,L1线为110 kV B站唯一进线电源点;110 kV L4线151断路器运行于I母;变压器110 kV侧中性点经间隙接地。

110 kV C站:110 kV L3线为用户C站的主供电源,162断路器运行于II母;110 kV L4线为用户C站的备用电源,但站内并未启用备自投,161断路器处于分位。

L1、L2线路部分输电区间为同塔架设,具体电网结构如图1所示。

### 1.2 事故状况及保护动作报告

2020年7月24日06:29:18左右,A站侧L1线167断路器、L2线168断路器保护跳闸,B站侧L1线152断路器保护跳闸,同时1号主变压器间隙被击穿。L2线D侧155断路器本身处于分位,保护未动作。各站动作报文详见表1。

经巡视后发现在L1线9号塔上相、L2线10号塔上相(同塔)绝缘钢帽均存在明显雷击痕迹,判断

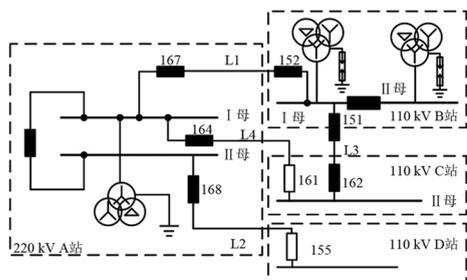


图 1 系统运行方式

表 1 各站动作报文

位置	时刻	报文
A 站 167 断路器	06:29:17.989	保护启动
	06:29:18.031	距离保护 I 段保护动作,选 B 相
	06:29:19.603	重合闸动作成功
B 站 152 断路器	06:29:17.996	保护启动
	06:29:18.016	距离保护 I 段保护动作,选 A、B 相
A 站 168 断路器	06:29:17.988	保护启动
	06:29:18.001	纵联差动保护动作
	06:29:18.021	接地距离 I 段保护动作

为雷击引起的跳闸事故,由表 1 可知,L1 线 167 断路器动作后重合成功,但由于终端 B 站 152 断路器动作后未重合,导致 B 站全站停电。

## 2 事件原因分析

### 2.1 保护动作分析

1) 调取 L2 线 A 站侧线路保护故障波形如图 2 所示,由图可知,A 站侧母线 A、B 相电压下降,电流增加,并产生零序电压、零序电流,A、B 相测量阻抗明显低于 C 相,推断为 A、B 两相接地故障。D 站侧断路器处于分位,因此差动电流等于制动电流,达到式(1)动作条件,差动保护动作正确<sup>[3]</sup>。

$$\begin{cases} I_{d\Phi} > 0.6 \times I_{r\Phi} \\ I_{d\Phi} > I_{dset} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $I_{d\Phi}$  为相差动电流; $I_{r\Phi}$  为相制动电流; $I_{dset}$  为差动电流整定定值。

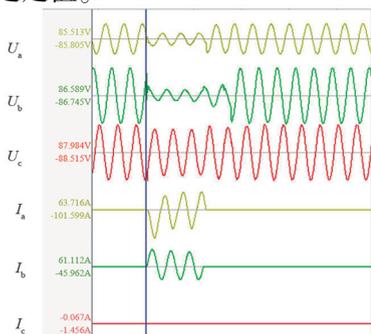


图 2 220 kV A 站 L2 线故障录波

2) 调取 L1 线两侧线路保护故障波形对比如图 3 所示,图中标识 1 代表 A 站侧电气量,标识 2 代表 B 站侧电气量。由图可知,故障时两侧 B 相电压同时下降,两侧 B 相电流增加且同相位,A、C 相位相反,由此推断 L1 线发生区内 B 相故障。随后,B 站侧 152 断路器先一步切除故障,电压恢复,故障电流消失,约一个周波后 A 站侧 167 断路器动作,母线电压随即恢复。

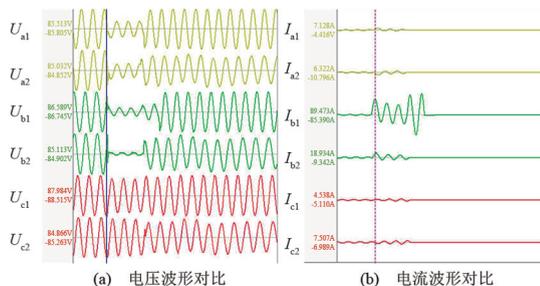


图 3 L1 线两侧故障波形对比

A 站侧 B 相测量阻抗最低达到  $0.2 \Omega$ , 小于保护定值,L1 线距离 I 段动作。由于雷击为瞬时性故障,且 152 断路器先跳开,A 站侧 167 断路器满足检母线有压线路无压条件重合成功,综合判断 A 站侧保护装置正确动作。

3) L1 线作为 110 kV B 站的唯一进线电源,在电源侧发生故障后,B 站应无法向 L1 线提供故障电流。但根据动作报文和录波分析,B 站侧 L1 线 B 相存在明显故障电流,B 站侧故障测距阻抗为  $0.13 \Omega$  落于定值动作区间,从而导致距离 I 段保护动作,L1 线 152 断路器未投重合闸,从而导致 L1 线在瞬时故障后重合失败,将具体分析故障电流来源。

将 L1 线、L3 线故障电流波形进行对比,如图 4 所示,其中标识 1 代表 L3 线电气量,标识 2 代表 L1 线电气量。由图可知,两条线路电流幅值、相位接近一致,具体存在差异是因为接地点的零序电源向 L1 线提供零序电流。

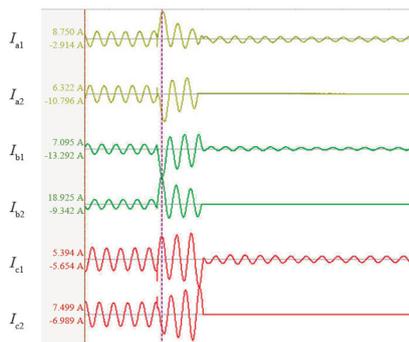


图 4 L1、L3 线故障电流波形

由图 5 可知,故障发生前频率为  $49.972 \text{ Hz}$ ,电压二次值约为  $60 \text{ V}$ ,故障切除后,母线电压、母线频率持

续下降。考虑为故障切除后,C 站的大电动机负荷可以视为暂态小电源向母线反送电,但受到负荷制动作用,其转速越来越低,输出电压下降,符合大电动机反送电的特征<sup>[4]</sup>。由此,可以推断出 C 站电动机反送电是导致 B 站 152 断路器动作的根本原因。

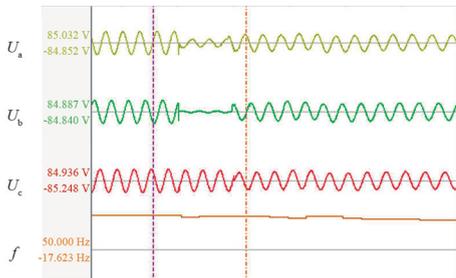


图 5 B 站母线电压及频率波形

4) 本次故障由雷电直击杆塔引起,事故过程中线路避雷器未能防止雷电波侵入变电站 B,之后 B 站 1 号主变压器间隙率先被击穿。B 站内两台主变压器电流波形如图 6 所示。由图可知,在故障时 1 号主变压器间隙流过稳定电流,代表此时间隙已被击穿,雷电过电压波通过 1 号主变压器间隙被导入地,因此 2 号主变压器间隙未被击穿。此时局部电网系统出现 A 站主变压器中压侧接地、B 站 1 号主变压器接地两个接地点,故障点零序电源以这两个接地点构成回路,三相中流过同相电流。因此在 B 站 1 号主变压器中三相电流基本同相,呈现典型零序特征。综上所述,1 号主变压器间隙被击穿后形成接地点,防止了雷电波对变压器的损坏,主变压器间隙动作行为正确<sup>[5]</sup>。

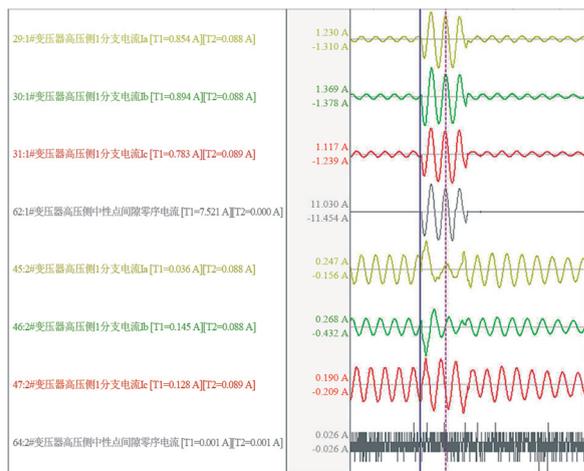


图 6 两台主变压器电流波形

### 3 结论

该事故因雷电直击杆塔导致 L2 线发生 A、B 相接地短路故障,该线路两侧差流满足差动保护条件,保护正确动作跳开 168 断路器;同时,同塔 L1 线发

生 B 相接地短路故障,A 站侧距离保护 I 段动作,1.5 s 后重合闸正确动作,而由于大电动机返送电让 B 站 L1 线距离保护感受到故障电流,跳开 152 断路器,因此 L1 线重合失败。此外,雷电波沿 L1 线侵入 B 站导致 1 号主变压器间隙被击穿,主变压器电流呈典型零序特征。针对本事故中发现的问题和隐患,特提出以下几点建议:

1) 终端 110 kV 变电站在来电侧故障时,大电动机返送电可能会为故障点提供故障电流,影响瞬时性故障线路成功重合。建议电网单位加强对用户站负荷的分析管控,并针对性进行合理保护配置,避免因用户负荷特性影响电网安全运行。

2) 若线路避雷器不能发挥作用,雷电波侵入变电站后若未击穿间隙且电压较高,则存在主变压器间隙保护动作跳三侧的可能,延误后续恢复送电进度。建议定期检查线路避雷器可靠性,降低电网运行风险。

3) L1 线发生区内故障时,若 A 站侧断路器先跳闸,则会导致 B 站失去接地点运行,单相接地故障时零序电压理论值可能达 300 V<sup>[2]</sup>,导致零序过压保护动作,跳主变压器各侧断路器,延误后续恢复送电进度。建议在终端 110 kV 系统中将光纤差动保护设为主保护,区内故障时同时跳开两侧断路器,防止 110 kV 系统中性点失地后经线路侧接地点运行。

下一步,将详细量化分析电动机返送电的暂态特性,求解大电动机负荷的动态响应特性。

### 参考文献

- [1] 胡鹏飞,朱乃璇,江道灼,等.柔性互联智能配电网关键技术研究进展与展望[J].电力系统自动化,2021,45(8):2-12.
- [2] 严文洁,罗皓文,严文帅,等.一起线路单相接地导致变压器间隙零序动作事故的分析[J].技术与市场,2019,26(10):7-9.
- [3] 宋志伟,徐舒,王润路,等.5G 通信条件下的线路差动保护优化策略研究[J].供用电,2021,38(5):17-22.
- [4] 赵云,刘世琦,李晓明,等.考虑电磁暂态过程的大功率异步电机全压起动方法[J].高电压技术,2013,39(2):464-473.
- [5] 薛峰,谢夏寅,孙徐龙,等.220 kV 线路故障引起 110 kV 系统保护异常动作的研究分析[J].江苏电机工程,2010,29(4):51-53.

### 作者简介:

蓝彬恒(1991),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护等;

黄宇涵(1995),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护等。(收稿日期:2021-08-21)