# 一起刀开关误动作引起500 kV线路跳闸的分析

针对某500 kV变电站的一起由于刀开关误动作导致500 kV线路发生单相接地跳闸的事故调查，深入分析了刀开关误动作的各种原因，并通过Matlab对刀开关合闸接触器和控制电缆对地电容构成的*RLC*二阶暂态回路进行仿真分析，通过仿真结果和现场试验最终将事故原因锁定在刀开关接触器参数不合格，导致合闸接触器动作电压满足条件。最后针对刀开关控制回路存在的缺陷提出回路改进方案。事故一方面提醒现场人员汲取经验教训，另一方面也提供了分析刀开关控制回路的仿真分析方法。

冯　顺　曲　欣　王　毅　葛琳朝　邵季飞/国网河南省电力公司检修公司



冯　顺/工程师

关键词/Keywords
刀开关·
误动作·
跳闸·
仿真·

## 0　引言

某500 kV变电站发生一起由于刀开关误动作导致500 kV线路发生单相永久性接地故障，故障致使500 kV线路跳闸。事故发生后调查人员深入分析了各种可能导致刀开关误动作的原因，并最终将原因锁定在刀开关控制回路合闸接触器存在问题。本文阐述了事故原因调查的过程，并对事故进行反思总结。

## 1　跳闸过程

事故前运行方式如图1所示。事故前500 kV两条母线正常运行，5023断路器处于检修状态，A线路带单断路器5022运行，50231、50232刀开关处于分位，502317、502327接地开关处于合位。现场检修工作结束后，运行人员恢复现场安全措施，准备投入502317、50231、502327和50232四把刀开关控制电源保险，当投入50231刀开关控制电源保险时，50231刀开关A相动作，由于50231刀开关A相和502317接地开关一次机械闭锁出现问题失去作用，50231刀开关A相强行闭合。造成502317接地开关及50231刀开关A相均处于合位，线路发生单相永久性接地故障，纵联差动保护A相动作，重合失败三相加速跳闸，故障测距为0，故障切除。

## 2　事故原因调查

### 2.1　运行人员误操作调查

事故发生后调查人员第一时间调取了现场监控录像及后台操作、信号记录，均未发现有运行人员误操作情况，排除运行人员误操作可能性。

### 2.2　二次回路误接线调查

事故调查人员首先怀疑现场回路接线有误，导致合闸接触器KM1得电，50231刀开关误动作。调查人员调取了现场图样，其接线原理如图2所示，并和现场实际二次接线进行核对，发现外部

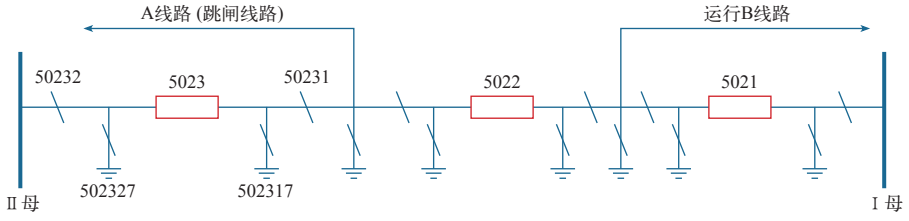



图1　事故前运行方式

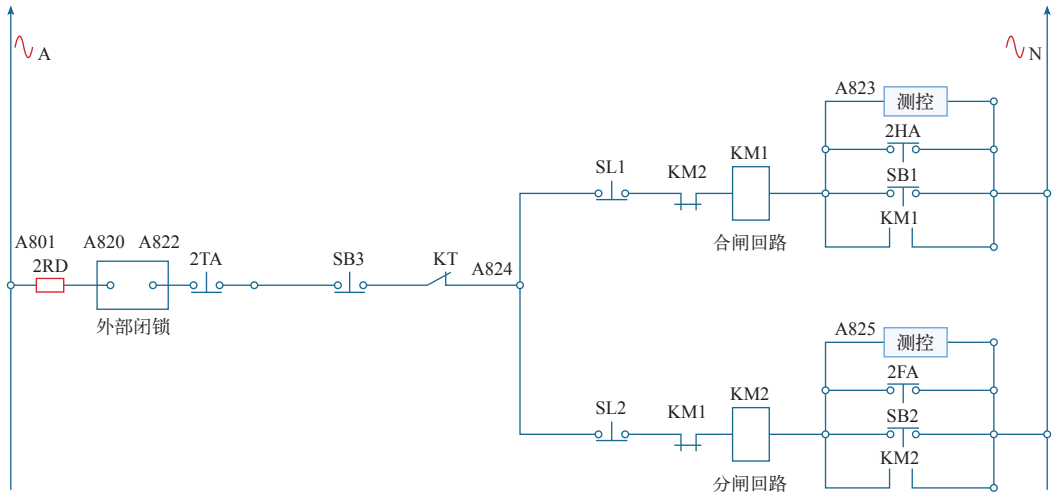



图2　刀开关控制回路原理图

闭锁回路未按图样施工，未接入测控装置刀开关逻辑闭锁触头，外部闭锁触头A820与A822直接短接，其余回路均按图样正确施工。但是即使外部闭锁触头被短接，投入2RD控制电源保险瞬间，KM1合闸接触器动作回路也未导通。二次回路误接线导致误动作的可能性也被排除。

### 2.3　回路触头粘连、抖动检查

二次回路接线错误的可能性被排除后，调查人员怀疑图2所示三相联动合闸按钮2HA、分相合闸按钮SB1、合闸接触器自保持常开触头KM1和测控装置遥控合闸触头其中之一有粘连或者抖动现象，调查人员对所有按钮、接触器触头和测控触头进行检查测试，并结合事故发生时外界天气情况，触头粘连、抖动的可能性也基本被排除。

### 2.4　二次回路电缆绝缘检查

调查人员分析图样原理后，发现若测控装置电缆A823回路及合闸按钮2HA、SB1、常开触头KM1到合闸接触器KM1电缆回路对地（也即交流零线N回路）绝缘不良等同接通合闸接触器KM1回路，调查人员对所有控制电缆进行对地及相间绝缘测试，但是测试结果显示所有电缆绝缘良好，二次回路电缆绝缘的因素也被排除。

### 2.5　合闸接触器误动作检查

排除了回路错误、触头粘连抖动及电缆绝缘因素，故调查人员扩展思路考虑到合闸接触器是由电阻和电感构成的，勘查现场发现刀开关接触器所在机构箱到测控装置电缆距离大约有400 m，有一定数值的电缆分布电容，这样就构成了*RLC*串联回路，如图3所示，调查人员决定对这一回路进行Matlab仿真分析，以确定其暂态过程是否会造成合闸接触器误动作。

## 3　*RLC*串联回路的暂态仿真分析

调查人员现场实测了50231刀开关合闸接触器的电阻值为1 700 Ω，电感值为63.9 H，合闸接触器KM1到测控装置的A823电缆对地电容大小为70 pF。*RLC*暂态仿真原理如图4所示。

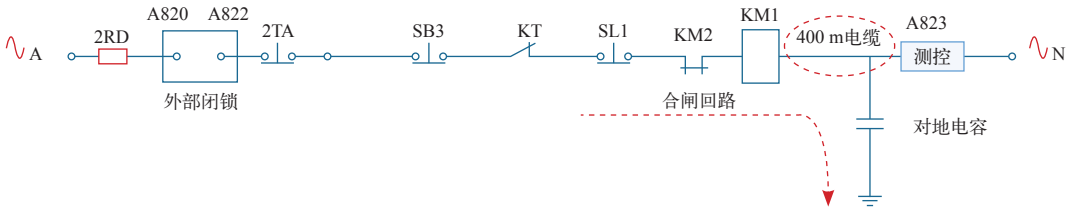



图3　*RLC*串联回路

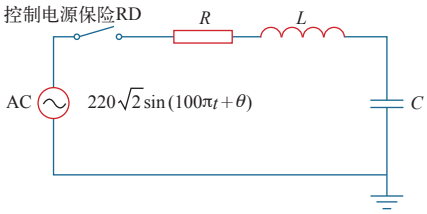



图4 *RLC*仿真原理

设电容两端电压为$U$，接触器KM1两端电压为$U_{KM}$，则有

$$LC\frac{d^2U}{d^2t}+RC\frac{dU}{dt}+U=220\sqrt{2}\sin(100\pi t+\theta) \quad (1)$$

$$U_{KM}=220\sqrt{2}\sin(100\pi t+\theta)-U \quad (2)$$

初始条件$t=0$，$U=0$，$dU/dt=0$且控制电源保险RD投入，交流电源初相角$\theta$分别为0°、45°和90°时，Matlab仿真的接触器两端电压瞬时值$U_{KM}$和时间$t$之间关系如图5所示。

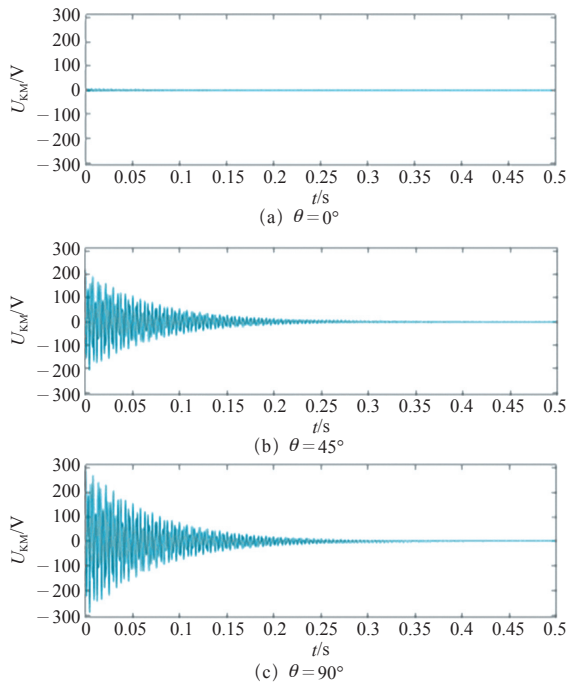



图5 $U_{KM}$电压波形

由图5及*RLC*串联回路特性可知，保险RD投入瞬间，交流瞬时电压越大，暂态过程的电压越大，而暂态过程持续时间与电感和电阻的比值有关，比值越大，暂态持续时间越长[3]，从波形看出，误动作接触器的暂态持续时间约0.3 s，仿真出该接触器前100 ms计算有效值电压和合闸瞬时初相角之间关系如图6所示，当$\theta=90°$时，前100 ms电压有效值最大为128.1 V。

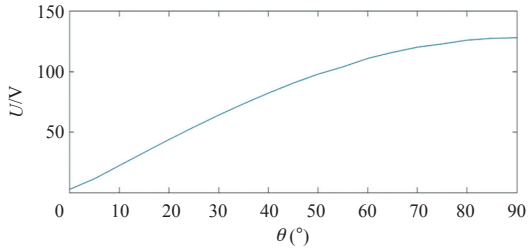



图6 有效值电压波形

## 4 合闸接触器误动作原因确认

事故调查人员对50231刀开关A相误动作合闸接触器现场进行测试，其最低动作电压在120～125 V之间，动作时间在90～100 ms之间。对BC相未误动作接触器测试后，其最低动作电压在175～185 V之间，且BC两相接触器的电感测量值只有40 H左右，而误动作A相电感达到63.9 H，因此A相暂态过程时间比BC两相大。

综上结果分析，误动作A相接触器最低动作电压低于128.1 V，其暂态持续时间较长，因此当刀开关控制电源保险投入瞬间，交流电源电压瞬时值接近电源电压最大值时，接触器才会误动作，接触器误动作的概率比较小。事故后投入控制电源保险进行故障重现，来回操作200余次接触器未发生误动作，这也解释了站内之前同样操作投入交流控制电源保险时接触器没有发生误动作的原因。

## 5 事故处理结果

50231刀开关A相投入控制电源保险瞬间合闸接触器有误动作可能，故检修人员更换了符合要求的合闸接触器，并对其他刀开关接触器进行检查。将现场刀开关控制回路改为如图7所示，并按图接入测控逻辑闭锁触头。改完之后的测控装置控制公共回路由之前的交流零线N回路改为交流火线A回路，这样一方面当测控装置分合闸回路对地（也即零线N回路）绝缘降低到一定程度时，可以避免之前回路等同于接通测控装置遥控分合闸触头的情况；另一面从之前分析可知，当回路（未接入测控闭锁触头时）投入控制电源保险后，交流控制火线会空充刀开关接触器，而其到测控装

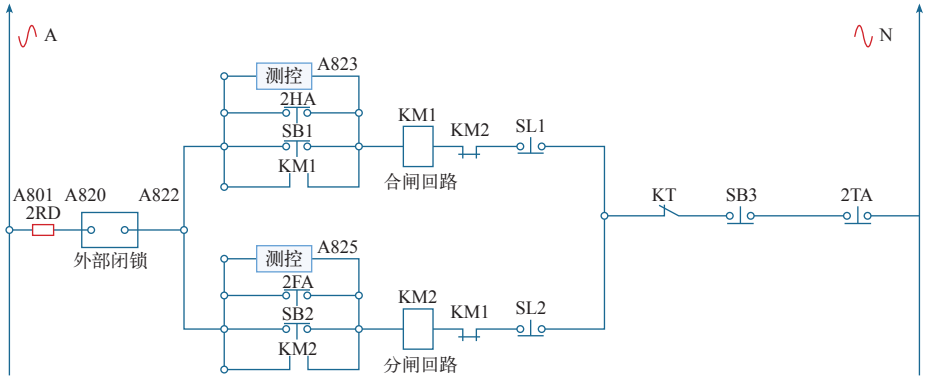



图7 改造后刀开关原理图

置电缆较长，空充分布电容较大，更改之后的回路投入控制电源保险后，交流火线空充长电缆被测控装置触头隔断，即使未接入测控装置闭锁触头，交流火线也不会空充到接触器，降低了接触器误动作的可能性。

## 6 事故反思

通过这起刀开关误动作导致线路跳闸的事故，要从以下几个方面进行反思：

1）运行人员在操作刀开关时，可以在操作刀开关之前投入相对应控制电源保险，不要同时投入所有刀开关控制电源保险后再去操作刀开关。

2）一次检修人员要定期检查刀开关的机械闭锁是否正常，主开关和相应接地开关之间一定要实现有效机械闭锁。

3）在设计刀开关控制回路时，设计人员不要仅局限在实现回路功能上，一定考虑回路设计是否有造成刀开关误动作的风险。

4）二次检修人员在定检时一定要检查刀开关控制回路接线是否和设计图样一致，检查分合闸接触器的动作电压及电阻、电感参数是否满足要求。

## 7 结束语

500 kV电网的安全稳定运行是电网安全的基础，通过这起事故调查不仅要汲取经验教训，避免类似事故再次发生，同时也提供了一种事故分析的仿真加现场试验验证的方法，提醒检修人员要扎实专业基础，这样才能在事故发生后尽快找到事故发生的真实原因。

**参考文献**

[1] 孟恒信，张悦，朱良肆，等．保护用控制电缆分布电容参数测试方法研究 [J]．山西电力，2008 (4)：16-19．

[2] 孙晓敏．变电站倒闸操作过程中隔离开关故障处理方法 [J]．广东电力，2011，24 (7)：84-89．

[3] 张天瑜．基于MATLAB的RLC阻尼振荡电路仿真分析 [J]．安徽电气工程职业技术学院学报，2007，12 (1)：117-121．

[4] 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．

[5] 林楚斌．一起主变压器差动保护误动的案例分析及启示 [J]．广东电力，2012，25 (2)：103-119．

[6] 刘玮，姚斌，秦红霞．一起零序方向保护误动事故的分析和对策 [J]．广东电力，2008，21 (11)：61-64．

[7] 罗勇，王奕，孙浩波．和应涌流引起发电机差动保护误动原因分析及其改进措施 [J]．广东电力，2011，24 (4)：42-45．

[8] 陈辉，朱广名，安向阳．10 kV 环网柜$SF_6$气体在线监测技术研究与系统开发 [J]．广东电力，2013，26 (3)：65-68．

[9] 负鹏．电动操作隔离开关自动分合闸的分析及防范措施 [J]．山西电力，2002 (6)：52-53．

[10] 夏洪刚，郭丽．电动高压隔离开关异动的分析与防范对策 [J]．内蒙古电力技术，2001，19 (6)：40-41．

（收稿日期：2017－01－12）EA