

电网安全稳定控制装置线路故障跳闸判据的改进

董希建, 李德胜, 李惠军, 李雪明

(国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 安全稳定控制用故障跳闸判据已经在各级电网的安全稳定控制装置中得到了广泛应用, 其动作的准确性依靠继电保护装置的跳闸信号。近年来, 随着继电保护装置速动性指标的提升, 安全稳定控制装置不能准确识别输电线路故障类型事件时有发生。基于现场发生的相间故障实例分析, 提出安全稳定控制用故障跳闸判据的改进方法。利用 RTDS 实时数据仿真系统通过 FWK-300 型安全稳定控制装置对改进后故障跳闸判据的正确性、可靠性和有效性进行了验证。实验结果表明: 改进后故障跳闸判据正确、可靠、有效。

关键词: 三道防线; 相间故障; 安全稳定控制; 故障跳闸判据; RTDS

Improvement of line fault trip criterion of power system security and stability control equipment

DONG Xi-jian, LI De-sheng, LI Hui-jun, LI Xue-ming

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: Line fault trip criterion has been widely used in power system security and stability control equipment. The equipments have also been widely used in all levels of power grid. Whether the criterion is right or not, it relies on the relay protection device's tripping signal. In recent years, as the relay protection device acts faster and faster, the power system security and stability control equipment sometimes can't identify the kind of fault correctly. Based on an example of phase-to-phase fault which occurred in site, we propose an improved method of the fault-trip criterion which can be used in security and stability control system, the use of FWK-300 Stability Control Device validates the correctness, reliability and effectiveness of the new method by RTDS test. Results of the tests show that the improved method is correct, reliable and effective.

Key words: three-defense lines; phase-to-phase fault; security and stability control; fault-trip criterion; RTDS

中图分类号: TM77

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)11-0073-06

0 引言

电力系统稳定控制体系(被动安全)主要包括传统的安全稳定三道防线(被动安全三道防线)^[1]。其中,安全稳定控制装置(简称稳控装置)或安全稳定控制系统(简称稳控系统)是保证电网安全稳定运行的第二道防线^[2],在跨区跨省电网^[3]、地区电网^[4]和企业电网^[5]中得到广泛应用。

目前,对于暂态稳定的判别、决策、控制一般都采用控制策略表方式,即:稳控装置判断出设备跳闸后,通过查找存放在稳控装置内的控制策略表后采取稳定控制措施。可见,设备跳闸是决定控制策略的重要依据,是保证稳定控制措施正确性的前提条件,必须正确识别故障(跳闸)元件及故障类型。

稳定控制所指设备跳闸包括:输电线路故障跳

闸与无故障跳闸,变压器跳闸,发电机组跳闸^[2]。我们将设备故障跳闸和无故障跳闸的判别方法称为跳闸判据,相应的,跳闸判据分为故障跳闸判据和无故障跳闸判据。

关于无故障跳闸判据,已有专题讨论^[6-8],本文重点研究目前稳控装置中普遍使用的故障跳闸判据及其在现场运行中遇到的问题,并提出相应的改进措施,通过仿真试验验证改进方案的正确性,从而提高判据的准确性和可靠性。

1 典型故障跳闸判据

当电网设备发生故障跳闸,且经过分析计算系统存在暂态稳定问题时,需要稳控装置快速判断出故障类型以便及时的采取控制措施来确保电网的稳定运行。

与第一道防线的继电保护装置不同,稳控装置

担负着方式识别、设备（多个）运行状态监测、故障策略表查找、控制措施实施执行等“系统保护”的任务。依靠自身采集的电气量快速、可靠地判断设备故障不是稳控装置的任务，并且仅仅依靠某个元件的电气量也无法快速、准确识别故障。因此，在判断单一设备故障时，以继电保护的速动性指标要求稳控装置是不实际、不科学的。但是，我们可以依托继电保护装置的这一优势，将稳控装置判断设备故障建立在继电保护装置速动性的基础之上。

目前，实际工程应用中，一般接入元件主保护的分相跳闸接点，当设备故障、继电保护动作后、稳控装置收到该接点信号，并同时辅以电气量变化特征识别设备故障类型。这种方法对于输电线路两侧配置稳控装置的稳控系统是可可靠的，也是目前安全稳定控制工程的典型实施方案。

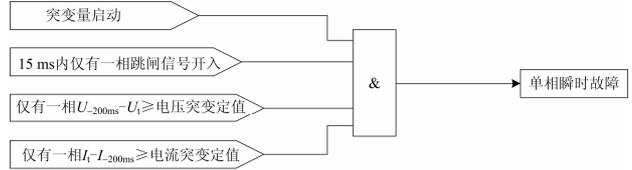
交流输电线路故障跳闸分为单相瞬时故障、单相永久故障和相间故障 3 种。基于上述原理的稳定控制所用交流输电线路典型故障跳闸判据为

(1) 单相瞬时故障

① 突变量启动；② 至少有一相电流增加；③ 至少有一相电压降低；④ 有一相跳闸信号，并在 15 ms 内查找不到其它相跳闸信号。同时满足上述条件判为单相瞬时故障，其判断逻辑如图 1 所示。

(2) 单相永久故障

① 突变量启动；② 至少有一相电流增加；③ 至少有一相电压降低；④ 有两相跳闸信号；⑤ 两相跳



注：① I_i ：当前电流有效值； L_{200ms} ：启动前200 ms电流有效值。
② U_i ：当前电压有效值； U_{-200ms} ：启动前200 ms电压有效值。

图 1 单相瞬时故障判断逻辑图

Fig. 1 Logic diagram of single-phase grounding fault

闸信号之间的时间差大于重合闸时间。同时满足上述条件判为单相永久故障，其判断逻辑如图 2 所示。

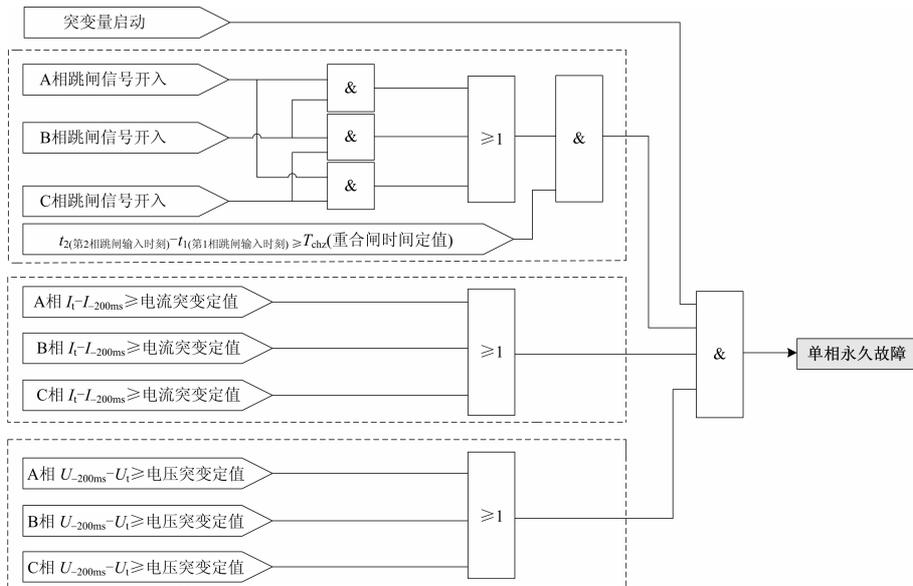
(3) 相间故障

① 突变量启动；② 至少有两相电流增加；③ 至少有两相电压降低；④ 有两相跳闸信号；⑤ 两相跳闸信号之间的时间差小于重合闸时间。同时满足上述条件判为相间故障，其判断逻辑如图 3 所示。

2 典型故障跳闸判据的适应性

前面所描述的典型故障判据已在工程中得到了广泛的应用，经受了实践检验。但在一些特殊情形下，也暴露出了其存在的问题，可能无法正确区分相间故障和单相永久故障。下面以阳城发输电系统安全稳定控制系统为例进行说明。

阳城电厂以专厂、专线、专供的方式向江苏输电，是全国第一个跨大区远距离超高压交流输电工程，开“西电东送”之先河，为提高其电力



注：① I_i ：当前电流有效值； L_{200ms} ：启动前200 ms电流有效值。
② U_i ：当前电压有效值； U_{-200ms} ：启动前200 ms电压有效值。

图 2 单相永久故障判断逻辑图

Fig. 2 Logic diagram of single-phase permanent fault

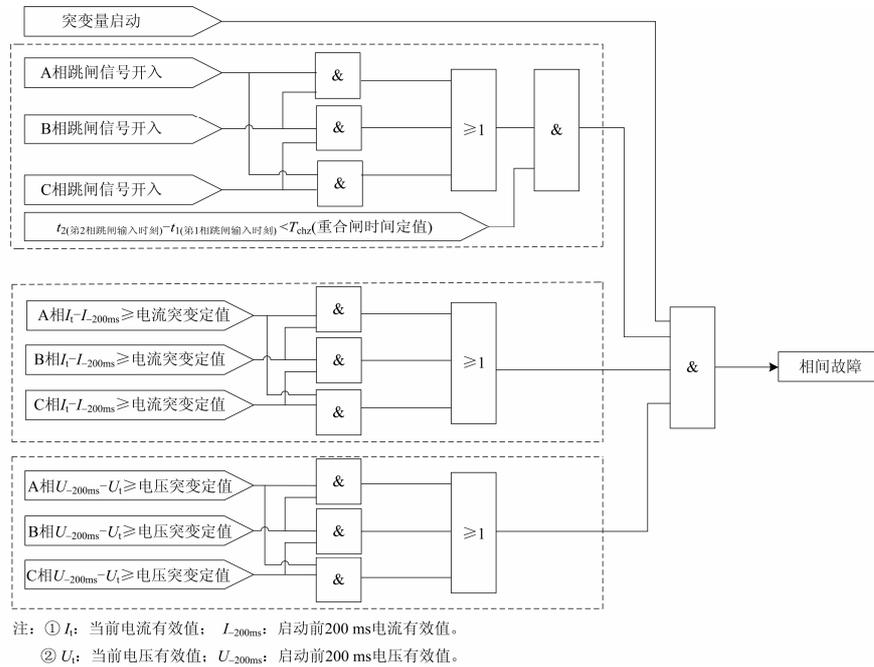


图 3 相间故障判断逻辑图

Fig. 3 Logic diagram of phase-to-phase fault

外送能力, 在国家电力调度控制中心的统一组织和指挥下, 建成并投运了阳城发输电系统安全稳定控制系统。该稳控系统由华北电力设计院完成初步设计及施工图设计、山西电力科学研究院完成相关二次回路的调试与传动, 采用的即是上述的典型故障跳闸判据。

2011年9月, 阳东 II 线发生相间故障, 阳城电厂稳控装置 1#柜判出阳东 II 线单相永久故障而 2#柜判出阳东 II 线相间故障, 两套装置判断不一致, 故障波形及保护动作行为如图 4 所示。

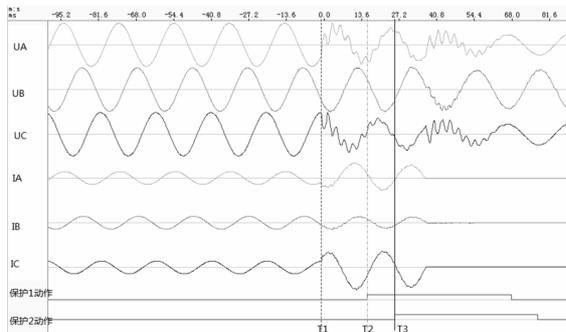


图 4 相间故障时两套不同原理保护装置的动作情况

Fig. 4 Action situation of two different protection devices when phase-to-phase fault occurs

稳控装置 1#柜的跳闸接点取自电流差动保护 (RCS-931D, 保护 1), 2#柜的跳闸信号取自纵联

距离保护 (RCS-902C, 保护 2), T_1 时刻故障发生, T_2 时刻 (16 ms) 保护 1 动作, T_3 时刻 (26 ms) 保护 2 动作, 保护 1 比保护 2 动作早 10 ms。保护动作时刻故障相的电压和电流变化如表 1、表 2 所示。

表 1 保护动作时刻故障相电压变化特征

Table 1 Voltage's variation features of the fault phase when protection acts

动作时刻	$U_A / \%$	$U_B / \%$	$U_C / \%$	门槛值 / %
T_2	↓ 19.8	基本不变	↓ 30.6	20
T_3	↓ 27.3	基本不变	↓ 37.8	20

表 2 保护动作时刻故障相电流变化特征

Table 2 Current's variation features of the fault phase when protection acts

动作时刻	I_A / A	I_B / A	I_C / A	门槛值 / A
T_2	↑ 962	基本不变	↑ 1815	100
T_3	↑ 1181	基本不变	↑ 1925	100

注: 在表 1-表 2 中, “门槛值”用于装置确认故障相, 一般某相电压降低 $20\%U_n$ 、电流增加 100 A 认为其满足故障电气特征。

显然, 在保护 1 动作时, 只有 C 相满足故障电气特征; 而在保护 2 动作时, A、C 相均满足故障电气特征。在使用故障跳闸判据时, 考虑到单相故

障跳三相的情况，装置在同时收到三相跳闸信号，但没有检测到电气量故障特征时，而后将持续检测各相的电气量，检测到任意相故障特征满足即判为单相永久故障。因此，在此次动作事件中，保护动作时刻满足故障电气特征的相别数不同或者说两套保护动作时刻有差异是造成装置判别不一致的根本原因。

3 故障跳闸判据的改进

随着继电保护装置速动性指标的大幅提升（如线路近处发生故障时，保护装置跳闸时间小于 10 ms），当输电线路发生相间故障时，若继电保护装置很快动作于跳闸，稳控装置理论上存在将相间故障判为单相永久故障的可能性。

因此，有必要对稳控装置用的故障跳闸判据进行适应性改进。目前，稳控装置一般采用均方根法计算电气量以揭示电力系统的故障演化过程，即：在 1 个基波周波（20 ms）内对电气量进行平方并连续积分。在图 4 中，当保护 1 动作时（ T_2 ），A 相电压未降低到突降阈值以下，从故障发生 T_1 时刻到保护 1 动作跳闸 T_2 时刻，共 16 ms，由于此时尚未完成数据窗的完整周波积分，导致计算结果偏大。基于此，可以在保护动作且仅有 1 相电气量满足故障特征时，人为设定时间 T 等待第 2 相电气量满足故障特征以区分故障类型。采用此法，可以准确地区分相间故障和单相永久故障，即使发生转化性故障，仍然能够做到准确区分。对照快速保护的動作时间指标（10 ms）并考虑一定裕度， T 可设为 15 ms。具体实施方法是：装置在同时收到三相跳闸信号并仅检测到 1 相电气量故障特征后，等待时间 T ，若在该时间内又检测到至少 1 相电气量故障特征，则判为相间故障，否则判为单相永久故障。

4 RTDS 试验结果

本文依据上述思路对典型故障跳闸判据进行改进，并在 FWK-300 型稳定控制装置^[9]中实现。并利用 RTDS 实时仿真系统对改进后的故障跳闸判据进行了验证，考察了发生不同类型的故障时，装置动作的正确性、可靠性。

为使试验结果具有针对性，本文搭建了阳城电厂送出系统模型，其中，机组、发变组和线路参数由国家电网华东电力调控分中心提供（江苏侧由无穷大系统等价，故障点设置在阳东三回线上）。RTDS 系统由 3 个 RACK 组成、12 节点规模，阳城电厂送出系统模型和 RTDS 试验接线图分别如图 5、图 6 所示。

由于当发生常见的单相瞬时故障、相间故障或单相永久性故障时，对于判据的测试和考察属于常

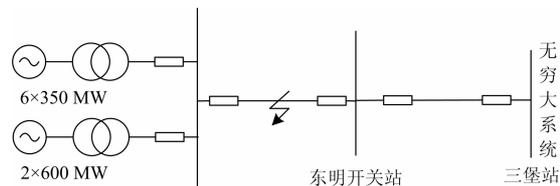


图 5 阳城电厂送出系统模型

Fig. 5 Model of Yangcheng power plant power transmission and distribution project

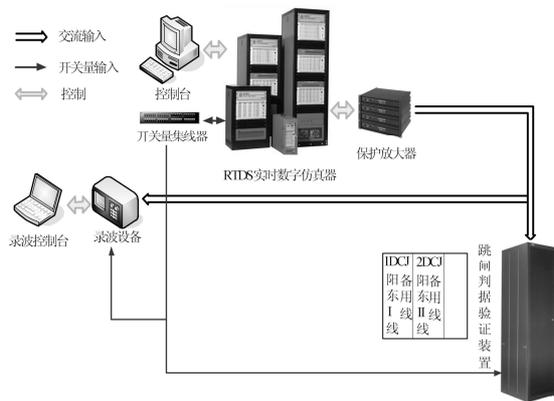


图 6 RTDS 试验接线图

Fig. 6 Wiring diagram of RTDS

规试验内容，并且判据已经成熟可靠，本文不再详述其测试过程，而是将研究重点放在新老判据的对比性试验上。即对比当相间故障发生时、保护快速动作于跳闸，新老判据的判别结果。

当进行对比性试验时，分别在 1、2DCJ（单元处理机）中下载改进后故障跳闸判据和典型故障跳闸判据的程序，均接入阳东 I 线的电压和电流（界面及报文显示 2DCJ 为阳东 II 线）。模拟阳东 I 线 AC 相间故障（0 ms），保护装置快速动作（8 ms）、两个 DCJ 的判断结果，稳控装置的动作报文见表 3（控制策略表中未整定定值故无措施）、保护动作情况如图 7 所示。

表 3 稳控装置动作报文

Table 3 Action messages of the equipment

动作时刻/ms	动作报文
538	装置启动
556	阳东 I 线相间故障（改进后判据）
556	策略表中无此方式或无策略
561	阳东 II 线 A 相单相故障（改进前判据）
561	策略表中无此方式或无策略
5 666	事件结束

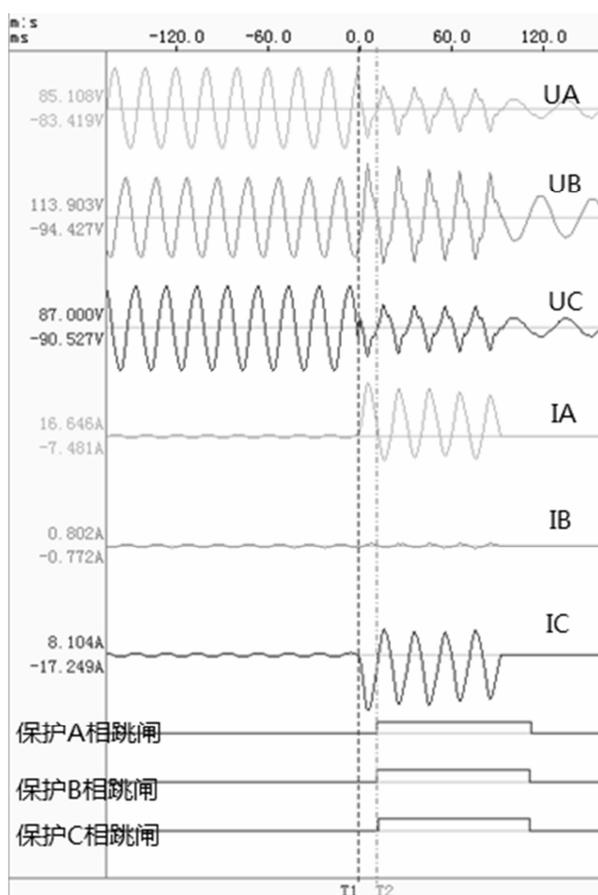


图7 故障发生时保护动作图

Fig. 7 Action situation of protection device when fault occurs

通过分析上述装置动作报文和时序图,可以发现:输电线路发生相间故障、保护装置正确判断故障并快速作用于跳闸后,稳控装置>IDCJ(改进后判据)能够正确地识别为相间故障,而>IDCJ(典型跳闸判据)则错误地识别为单相永久故障。可见,故障跳闸判据的改进>IDCJ)是正确有效的。

5 结语

结合现场发生的相间故障,对稳控装置用线路故障跳闸判据进行分析,指出其需要进行适应性升级。在FWK-300装置上实现,并进行了针对性的RTDS试验,试验结果表明,改进后的故障跳闸判据,借助保护动作信号,能够有效、准确地识别相间故障。理论上,稳控装置判出相间故障会慢几个ms,但对暂态稳定的影响微乎其微。判据升级、试验验证工作于2013年2月完成,并于2013年3月在阳城发输电系统安全稳定控制系统中投入使用,截止目前,运行稳定。试验及运行结果表明,判据

的改进方法可行,并可进行工程推广应用。

参考文献

- [1] 汤涌. 电力系统安全稳定综合防御体系框架[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 1-5.
TANG Yong. Framework of comprehensive defense architecture for power system security and stability[J]. Power System Technology, 2012, 36(8): 1-5.
- [2] GB/T 26399—2011 电力系统安全稳定控制技术导则[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2011.
GB/T 26399—2011 technical guide for electric power system security and stability control[S]. Beijing: China National Standardization Management Committee, 2011.
- [3] 唐晓骏, 付红军, 胡扬宇, 等. 南阳变建成对特高压及河南电网安全稳定控制策略的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(23): 186-191.
TANG Xiao-jun, FU Hong-jun, HU Yang-yu, et al. Study on impact of Nanyang substation on safety and stability control strategy of ultra-high voltage power grid and Henan grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(23): 186-191.
- [4] 张立平, 殷幼军, 马怡晴, 等. 湖北黄冈、黄石地区安全稳定控制系统方案设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 79-82.
ZHANG Li-ping, YIN Yu-jun, MA Yi-qing, et al. Security and stability control system for Huanggang and Huangshi network of Hubei Province[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 79-82.
- [5] 马光磊, 肖仕武, 雷瑞丰, 等. 区域安全稳定控制系统在钢铁企业供电系统的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 53-56.
MA Guang-lei, XIAO Shi-wu, LEI Rui-feng, et al. Application of regional security and stability control system in steel enterprise power supply system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 53-56.
- [6] 张勇, 李建设, 黄河, 等. 安全稳定控制装置线路跳闸判据的改进[J]. 南方电网技术, 2009, 3(3): 74-76.
ZHANG Yong, LI Jian-she, HUANG He, et al. Improvement of line trip criterion of power system security and stability control equipment[J]. Southern

- Power System Technology, 2009, 3(3): 74-76.
- [7] 蔡敏, 孙光辉, 吴小辰, 等. 稳定控制所用交流设备跳闸判据的分析及应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(8): 46-51.
CAI Min, SUN Guang-hui, WU Xiao-chen, et al. Analysis and application of AC fault criterion in power system control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(8): 46-51.
- [8] 王伟, 陈军, 余锐, 等. 区域性安全稳定控制装置无故障跳闸判据运行分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(2): 120-124.
WANG Wei, CHEN Jun, YU Rui, et al. Analysis of non-fault tripping criterion operation for area-based stability control device[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(2): 120-124.
- [9] 宋锦海, 李雪明, 戴永荣, 等. 新一代分布式稳定控制装置 FWK-300 及其应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(7): 98-100.
SONG Jin-hai, LI Xue-ming, DAI Yong-rong, et al. Application of new distributed stability control device FWK-300[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(7): 98-100.

收稿日期: 2013-08-26; 修回日期: 2013-10-21

作者简介:

董希建(1982-), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统安全稳定分析与控制; E-mail: dongxijian@sgepri.sgcc.com.cn

李德胜(1980-), 男, 学士, 工程师, 主要研究方向为电力系统安全稳定分析与控制。