

DOI: 10.7667/PSPC160263

一种保护失效检测和动作判别特性匹配度评估方法

陈水耀^{1,2}, 黄少锋¹, 陈嵘², 裘愉涛³, 杨松伟²

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 国网浙江省电力公司检修分公司, 浙江 杭州 313212;
3. 国网浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007)

摘要: 电压、电流二次回路异常将导致保护测量失真, 影响保护的動作性能。微机保护具备较强的失效检测能力, 但失效检测和动作判别特性失配仍将导致保护误动。为提高保护的容错能力, 提出一种保护失效检测和动作判别特性匹配度评估方法, 在保护动作特性平面引入检测闭锁区、异常测量区和保护动作区, 利用 Venn 图分析三者关系对保护性能的影响。结果表明, 检测闭锁区必须包含异常测量区和保护动作区的交集才能消除失效检测盲区, 防止保护误动。实际案例验证了该评估方法的有效性。

关键词: 测量失真; 误动; 容错; 匹配度; 检测盲区

An evaluation method of match degree between failure detection and action discrimination characteristics of relay protection

CHEN Shuiyao^{1,2}, HUANG Shaofeng¹, CHEN Rong², QIU Yutao³, YANG Songwei²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. State Grid Zhejiang Electric Power Corporation Maintenance Branch, Hangzhou 313212, China;
3. State Grid Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Secondary circuit failure of voltage and current will lead to measurement distortion of relay protection which affects its action performance. Microprocessor-based protection has strong self-checking capability, but mismatch between failure detection and action discrimination characteristics of relay protection will lead to unwanted trip. In order to improve its fault-tolerant ability, an evaluation method of match degree between failure detection and action discrimination characteristics is proposed in the paper. Detection blocking zone, abnormal measurement zone and protection action zone are introduced into the action characteristics plane and the effect of their relationship on the performance of relay protection is analyzed based on Venn diagram. The result indicates that non-detection zone can be eliminated to prevent unwanted trip only when detecting blocking zone contains the intersection of abnormal measuring zone and protection action zone. The effectiveness of this method is verified by an actual case.

Key words: measurement distortion; unwanted trip; failure-tolerant; match degree; non-detection zone

0 引言

随着微电子技术的不断成熟, 保护装置自身的可靠性不断提高, 但二次回路涉及环节多、运行环境复杂, 往往容易出现回路松动、绝缘降低等异常状态。文献[1-5]分析了电压和电流回路断线、两点接地及刀闸位置异常对保护的影响, 并提出了防范措施。可见, 微机保护已具备较强的异常检测和容错能力。但在实际运行中, 回路异常引发的保护误动事件仍时有发生。究其原因保护失效检测和动作判别特性没有匹配, 导致保护将测量失真误判为系

统故障。

为提高保护容错能力, 本文提出一种保护动作判别和异常检测特性配合度评估方法, 在保护动作特性平面引入保护动作区(PAZ)、异常测量区(AMZ)、检测闭锁区(DBZ), 利用 Venn 图分析三者关系对保护性能的影响, 提出保护动作特性设计应遵循的匹配原则, 并通过实际案例验证了方法的有效性。

1 异常检测和动作特性配合度分析

微机保护软件包括主程序、采样程序和故障计

算程序(见图1)。当保护启动后,故障计算程序进行测量值运算。测量值是基于电压、电流量的计算结果,用 m 表示,对距离保护而言, m 是测量阻抗 Z_k ;对差动保护而言, m 是(差动电流 I_d ,制动电流 I_r)。动作判据是识别区内故障的动作方程,对距离保护而言,是阻抗圆或多边形特性;对差动保护而言,是比率制动特性。若测量值满足动作判据则判断为区内故障,否则判断为区外故障或异常扰动。

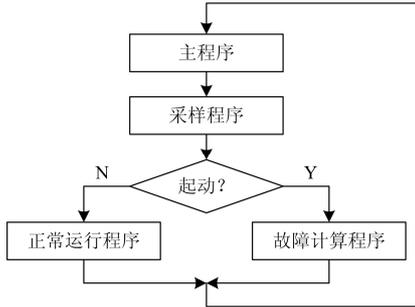


图1 微机保护程序简化结构图

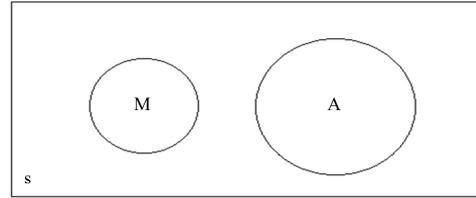
Fig. 1 Simplified program structure of microprocessor-based protection

可见,动作特性设计是实现保护选择性、可靠性的关键。不同原理的保护需考虑的因素不同,如距离保护主要考虑过渡电阻、分支电流、系统振荡等因素^[6-8],比率制动差动保护主要考虑差动电流和制动电流的选取、比率系数、分段方式,以及CT饱和等因素^[9],主要与电网运行方式和故障特征相关。问题研究时以电压、电流回路正常(误差在正常范围之内)为前提。当电压、电流回路异常时,还需考虑失效检测和动作判别特性的匹配问题。

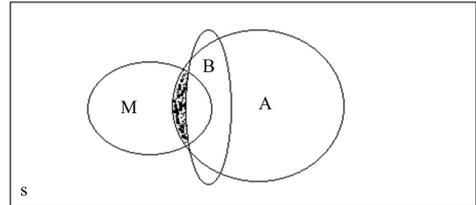
为分析方便,在动作特性平面中引入异常测量区(AMZ)和检测闭锁区(DBZ)。考虑到各厂家保护的异常检测和动作判据不同,将保护动作区(PAZ)、异常测量区(AMZ)、检测闭锁区(DBZ)抽象为集合,测量值是集合中的元素。其中保护动作区是符合动作判据的测量值集合,用 A 表示,异常测量区是在回路异常情况下测量值的集合,用 M 表示,检测闭锁区是符合异常检测判据的测量值集合,用 B 表示。这样,保护动作特性平面可以用Venn图表示(见图2)。

若失效检测在启动前已完成,则保护将闭锁可能误动的元件(相当于 A 为空集),如PT断线判别功能。如保护启动后发生回路异常,则故障计算程序同时进行失效检测和动作判别。此时,保护动作区、异常测量区、检测闭锁区不同的配合关系,导致保护不同的动作行为。

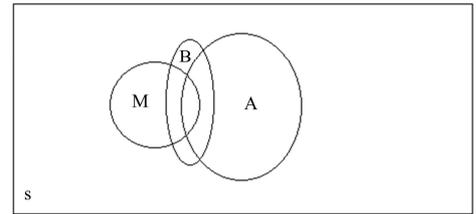
当满足式(1)时,动作特性平面表现为图2(a),



(a) A和M没有交集



(b) B没有包含A和M的交集



(c) B包含A和M的交集

图2 动作特性平面维恩图

Fig. 2 Venn diagram of protection action characteristics

保护不会误动。

$$A \cap M = \phi \quad (1)$$

当满足式(2)时,动作特性平面表现为图2(b)中阴影部分即为异常检测死区,定义为集合 S 。

$$\exists m \in A \cap M \text{ 且 } m \notin B \quad (2)$$

若 $m \in S$ 时,则保护误动。

当满足式(3)时,动作特性平面表现为图2(c)。

$$A \cap M \subset B \quad (3)$$

若 $m \in A \cap M$,必然 $m \notin B$,保护发出异常告警,并闭锁可能出口的保护。

分析结果表明,要防止回路异常导致保护误动,失效检测和动作判别特性满足式(1)或式(3)的匹配条件,才能消除检测盲区。

2 实际案例分析

某变电站并联电抗器(以下简称高抗)保护先后发生两次电流回路异常(两点接地),导致差动保护动作和TA断线告警,装置事件记录见表1。

高抗保护差动动作特性为二段式比率制动特性,见式(4),启动值为 $0.4I_n$,拐点为 I_n ,斜率为0.6。 I_n 为电抗器首端二次额定电流(0.55 A)。

$$\begin{cases} I_d \geq I_{d.0}, I_r \leq I_{r.0} \\ I_d \geq K_r(I_r - I_{r.0}) + I_{d.0}, I_r \geq I_{r.0} \end{cases} \quad (4)$$

表 1 电抗器保护装置报告
Table 1 Report of shunt reactor protection

报告	内容
报告1	2013年7月26日12时53分23秒670毫秒
	0毫秒 保护启动
	74毫秒 B相差动保护动作 (差流值0.261 A)
	74毫秒 零序差动保护动作 (零序差流0.262 A)
报告2	2014年1月19日14时31分57秒706毫秒
	0毫秒 保护启动 14毫秒 低压侧B相TA断线

A相为例，对应的差动电流和制动电流为

$$\begin{cases} I_d = \dot{I}_{1a} + \dot{I}_{2a} \\ I_r = \text{Max}\{\dot{I}_{1a}, \dot{I}_{2a}\} \end{cases} \quad (5)$$

I_{1a} , I_{2a} 为并联电抗器A相两端电流。

从装置事件记录看，2013年7月26日高抗保护动作时的差动电流为0.261 A(对应于0.47 I_n)。根据录波数据，2014年1月19日高抗保护CT断线告警时差流电流约为0.32 A(对应0.58 I_n)。两起电流回路异常时，高抗保护测量值都在保护动作区，如图3所示。可见，高抗保护是否会误动，关键取决于CT断线判别功能能否发挥作用，即CT断线判别是否存在盲区。

该高抗保护的TA断线判别以高抗两端零序电流作为判据，只考虑单侧单相CT断线，判别条件(5个条件同时满足)为

$$(1) \min\{I_a, I_b, I_c\} < 0.5I_n$$

I_a, I_b, I_c 为某一端的三相电流；

$$(2) \text{本端自产零序电流 } 3I_0 > 0.3I_n ;$$

$$(3) \text{对端自产零序电流 } 3I_0 < 0.1I_n ;$$

$$(4) I_d < 1.2I_n ;$$

$$(5) \text{电压 } U \approx U_n .$$

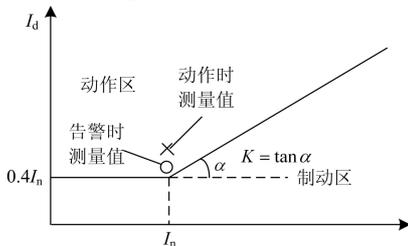


图 3 比率制动差动保护动作特性

Fig. 3 Action characteristics of ratio restraint differential protection

下面，以两个实测参数代入上述的判别条件，确定是否属于TA断线。

1) 2013年7月26日高抗保护采集的电气量信息分别为

$$(1) \min\{I_a, I_b, I_c\} = 0.53I_n > 0.5I_n ;$$

(2) 高端零序电流为零；

$$(3) \text{低端零序电流 } 3I_0 \approx 0.53I_n > 0.3I_n ;$$

$$(4) I_d = I_n < 1.2I_n ;$$

$$(5) U \approx U_n .$$

可见，不满足CT断线判别条件，即 $m \in A \cap M$ 且 $m \notin B$ 。

2) 2014年1月19日高抗保护采集的电气量信息分别为

$$(1) \min\{I_a, I_b, I_c\} = 0.42I_n < 0.5I_n ;$$

(2) 高端零序电流为零；

$$(3) \text{低端零序电流 } 3I_0 \approx 0.42I_n > 0.3I_n ;$$

$$(4) I_d = I_n < 1.2I_n ;$$

$$(5) U \approx U_n .$$

可见，满足TA断线判别条件，即 $m \in A \cap M$ 且 $m \in B$ 。

实际案例表明第2节关于保护失效检测和动作判别特性配合关系的分析结论是正确的。

3 异常检测与动作特性配合度校核

异常测量区与回路异常的性质和程度相关，保护动作区与动作判据相关，检测闭锁区与失效检测判据相关，不同厂家的异常测量区、保护动作区、检测闭锁区范围并不相同，需针对特定保护装置进行分析。下面仍以案例中涉及的高抗保护为例，阐述失效检测和动作判别特性配合度校核方法。

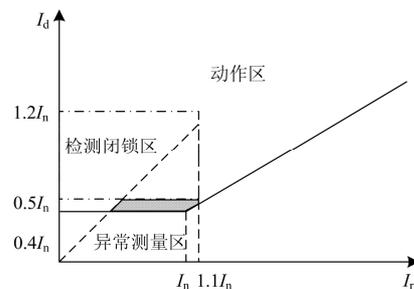


图 4 动作判别和异常检测特性配合度校核图

Fig. 4 Compatibility verification diagram of protection action discrimination and failure detection characteristics

假设高抗工作电压范围为 $0 \sim 1.1U_n$ 。

第一步，确定异常测量区。

当电抗器在额定工况下, 高抗低端电流存在分流, 最严重时差动电流值为 I_n , 制动电流也为 I_n , 则闭锁区为 $(0, 0)$ 、 $(1.1I_n, 0)$ 、 $(0, 1.1I_n)$ 构成的区域(见图 4 三角形区域)。

第二步, 确定检测闭锁区。

根据 CT 断线判断条件差动电流上限为 $1.2I_n$, 下限为 $0.5I_n$, 因此闭锁区为 $(0, 0.5I_n)$ 、 $(0, 1.2I_n)$ 、 $(1.1I_n, 1.2I_n)$ 、 $(1.1I_n, 0.5I_n)$ 构成的区域(见图 4 矩形区域)。

第三步, 确定是否存在检测死区。

保护动作区、异常测量区、检测闭锁区确定后, 容易看出检测闭锁区并没有包含保护动作区和异常测量区的交集, 存在检测死区(见图 4 阴影部分), 这正是导致高抗保护误动的原因。

第四步, 采取措施消除检测死区。

由于异常测量区已固定, 只能调整保护动作区和检测闭锁区。将差动保护动作门槛抬高到 $0.5I_n$ 以上或调整 CT 断线判别条件($\min\{I_a, I_b, I_c\} < 0.6I_n$) 都可以消除检测死区。

4 结论

继电保护规程规定^[10], 除出口继电器外, 装置内的任一元件损坏时, 装置不应误动作跳闸, 自动检测回路应能发出告警信号。微机保护应具备更强的纠错和容错能力, 在单一回路异常时也能发出告警信号, 闭锁可能误动的保护, 具体要求包括:

1) 保护程序设计时, 启动元件具备单一回路异常的容错能力, 启动前完成失效检测^[12]。

2) 动作特性设计时, 在满足保护灵敏度的前提下, 保护动作区尽可能躲过异常测量区^[13]。

3) 若保护动作区和异常测量区存在交集, 需对保护动作判别和失效检测特性配合度进行校核, 确保不存在检测盲区。在难以区分二者是否匹配的情况下, 还可以采取增加时间延时的办法进行识别。

参考文献

[1] 高元生, 陈强, 熊小伏, 等. 基于相邻线路拓扑关系的距离保护测量回路隐藏故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 22-29.
GAO Yuansheng, CHEN Qiang, XIONG Xiaofu, et al. Diagnostic method of measuring loop hidden failure of distance protection based on adjacent lines topological relations[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 22-29.

[2] 陈俊, 郭自刚, 张琦雪, 等. 基于比率制动特性的电压互感器中线断线判别方法[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 100-103.
CHEN Jun, GUO Zigang, ZHANG Qixue, et al. Identification of PT neutral line break based on percentage restraint[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(4): 100-103.

[3] 索南加乐, 谢雯洁, 沈黎明, 等. 解决电压互感器二次侧故障对距离保护影响的新方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(23): 56-61.
SUONAN Jiale, XIE Wenjie, SHEN Liming, et al. New method for solving potential transformer secondary side fault's effect on distance protection based on parameter identification[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(23): 56-61.

[4] 李新, 彭勇, 王志新. 交流电流回路两点接地危害的分析及应对措施[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 125-127.
LI Xin, PENG Yong, WANG Zhixin. Analysis and solution of harm of two points grounding in AC loop[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 125-127.

[5] 黄继东, 肖锋, 王智勇, 等. 母线保护刀闸位置异常时的自适应校正[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 122-127.
HUANG Jidong, XIAO Feng, WANG Zhiyong, et al. Adaptive correction scheme of switch position abnormality of busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 122-127.

[6] 黄少锋, 刘千宽, 柳焕章, 等. 基于补偿电压复合极化量的自适应距离继电器[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 39-41.
HUANG Shaofeng, LIU Qiankuan, LIU Huanzhang, et al. Adaptive distance relay with combined polarizing quantity based on compensated voltage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 38-41.

[7] 黄少锋, 赵远, 申洪明, 等. 一种基于功角计算的振荡闭锁方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(2): 89-91, 126.
HUANG Shaofeng, ZHAO Yuan, SHEN Hongming, et al. A scheme for swing blocking based on calculation of power angle[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2): 89-91, 126.

[8] 张华中, 朱玲玲, 张洪涛, 等. 基于估算对侧电源阻抗的自适应距离保护算法[J]. 电力系统自动化, 2011,

- 35(12): 70-75.
ZHANG Huazhong, ZHU Lingling, ZHANG Hongtao, et al. Adaptive distance protection algorithm based on estimation of contralateral source impedance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 70-75.
- [9] 索南加乐, 张怿宁, 焦在滨. 分段比率制动的电流差动保护[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(17): 54-58.
SUONAN Jiale, ZHANG Yining, JIAO Zaibin. Study of sectional ratio restraint characteristic in current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(17): 54-58.
- [10] 罗慧, 周卿松, 苗洪雷, 等. 基于 LMD 母线差动保护 CT 饱和检测方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 49-54.
LUO Hui, ZHOU Qingsong, MIAO Honglei, et al. A method for CT saturation detection based on LMD in busbar differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 49-54.
- [11] GB/T 14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S].
GB/T 14285-2006 technical code for relaying protection and security automatic equipment[S].
- [12] 吴文举, 占捷文. 基于可去间断点的连续采样飞点检测算法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 18-24.
WU Wenju, ZHAN Jiewen. A flying spot detection algorithm for continuous sampling based on removable discontinuous points[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 18-24.
- [13] 于梦瑶, 于群, 张智宇. 低压电动机保护装置中电流互感器的特性分析[J]. 电器与能效管理技术, 2014 (14): 18-22.
YU Mengyao, YU Qun, ZHANG Zhiyu. Characteristic analysis of current transformers on low voltage motors protection devices[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2014(14): 18-22.

收稿日期: 2016-03-01; 修回日期: 2016-04-20

作者简介:

陈水耀(1976-), 男, 通信作者, 博士生, 高级工程师, 从事继电保护技术管理工作; E-mail: csy302@126.com

黄少锋(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事继电保护和故障分析的理论研究。E-mail: huangsf@sf-auto.com

(编辑 张爱琴)