

段距离保护作为后备保护的性能分析

李晓明

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 在阻抗继电器与距离继电器分类的基础上,对 I、II、III 段阻抗继电器的配合问题和 I、II、III 段距离继电器的配合问题进行了深入的探讨,分析了 I 段距离保护作为后备保护应具有的条件。由于阻抗继电器具有性质 1, I 段阻抗继电器作为 II、III 段阻抗继电器的后备,在任何一次系统条件下都是成立的。由于距离继电器不具有性质 1,一次系统结构、参数、运行方式、短路类型变化对 I、II、III 段距离继电器的配合都产生影响。如果 I 段距离继电器支接阻抗特性不能够涵盖 II、III 段距离继电器的支接阻抗动作特性,则 I 段保护起不到后备保护的作用。

关键词: 阻抗继电器; 距离继电器; 测量阻抗; 支接阻抗; 后备保护

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)15-0009-04

0 引言

电力系统距离保护具有优越的性能,在输电线路保护中获得广泛的应用。输电线路距离保护一般分为三段: I、II、III 段为主保护, III 段为后备保护。后备保护又分为近后备和远后备。I 段距离保护至少有近后备的作用,即本线路的 I、II 段距离保护出现拒动现象时,则由本线路的 III 段距离保护动作跳闸。长期以来,人们对 I 段距离保护的近后备的作用一直没有怀疑。一直认为,只要 III 段距离保护的整定值大于 I、II 段距离保护的整定值, III 段距离保护一定有近后备的作用。早期的距离保护测量元件,采用阻抗继电器,这么认识没有问题。随着科学技术的发展,对阻抗继电器进行了许多改造,距离保护测量元件发生了很大变化。各种各样的距离继电器在距离保护测量元件中应用,距离继电器的性能与阻抗继电器的性能已经发生分化。因此,必须用新的方法和新的观念来分析和评价距离保护特性。下面通过分析,说明 III 段距离保护作为近后备保护是有条件的,要根据一次系统的具体情况作具体分析。

1 分析与比较

距离保护测量元件的性能决定了距离保护的性。因此,人们对距离保护测量元件作了大量研究工作。由于距离保护测量元件的复杂性,人们对距离保护测量元件的认识还是不深入。长期以来,人们对距离保护测量元件或者称为阻抗继电器,或者称为距离继电器,两种称呼没有区别,都表示同一对象。并且,都采用测量阻抗的概念,推导距离保护测

量元件的动作特性;用推导出的动作特性分析比较距离保护测量元件的性能。随着研究的深入,逐步意识到需要对距离保护进行分类。

文献 [3~5] 把距离保护测量元件划分为阻抗继电器与距离继电器两大类,给阻抗继电器与距离继电器这两个名词赋予新的定义和内含,尤其是文献 [4] 提出的阻抗继电器两条性质,极大地提高了对距离保护测量元件的认识,为距离保护的研究提供了新的手段和工具。下面,根据文献 [4] 提出的阻抗继电器性质,对 I、II、III 段距离保护中测量元件的配合问题作分析。

为讨论方便,对阻抗继电器与距离继电器的定义和性质简述如下。

阻抗继电器: 阻抗继电器输入一个测量电压 U_j 和一个测量电流 I_j , $Z_j = U_j / I_j$ 称为测量阻抗。阻抗继电器在阻抗复平面上给出一个动作区域。阻抗继电器反映测量阻抗的变化,当测量阻抗进入动作区域时,阻抗继电器输出动作信号;否则,输出不动作信号。

从阻抗继电器的定义可知,阻抗继电器必然有性质 1: 假设有一阻抗继电器动作区为 Z_1 , 另一阻抗继电器的动作区为 Z_2 , 且 Z_1 包含在 Z_2 之中, 如图 1 所示。如果 Z_1 阻抗继电器动作, 则 Z_2 阻抗继电器必定不动作。如果 Z_2 阻抗继电器不动作, 则 Z_1 阻抗继电器必定不动作。上述特性与一次系统无关。

距离继电器: 从距离保护安装处的 3 个电压 U_{mA}, U_{mB}, U_{mC} 和 3 个电流 I_A, I_B, I_C 可以构成 6 个补偿电压。

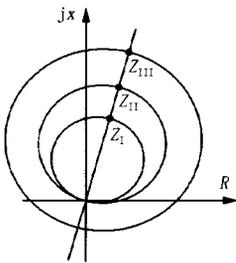


图 1 I、II、III段阻抗继电器动作区

Fig 1 Action areas of three-section impedance relays

$$U_A = U_{mA} - (I_A + 3KI_0) Z_{set}$$

$$U_B = U_{mB} - (I_B + 3KI_0) Z_{set}$$

$$U_C = U_{mC} - (I_C + 3KI_0) Z_{set}$$

$$U_{AB} = U_{mAB} - I_{AB} Z_{set}$$

$$U_{BC} = U_{mBC} - I_{BC} Z_{set}$$

$$U_{CA} = U_{mCA} - I_{CA} Z_{set}$$

距离继电器在某种参考系统(极化电压)中,规定了补偿电压的动作范围。当线路被保护区段短路时,补偿电压落入该动作范围,距离继电器输出动作信号;否则,输出不动作信号。

距离保护测量元件如果采用阻抗继电器,I、II段阻抗继电器一般采用方向圆阻抗继电器,III段阻抗继电器一般采用下偏移圆特性阻抗继电器,如图1所示。众所周知,I、II、III段阻抗继电器的整定阻抗是根据金属性短路时,线路保护区大小来整定计算的。金属性短路时,I段阻抗整定值最小,II段阻抗整定值大于I段,III段阻抗整定值大于II段。根据图1和阻抗继电器性质1,不难推出如下结果:不论是在金属性短路,还是短路处有过渡电阻;不论是一次系统结构、参数、运行方式、短路类型如何变化,I段阻抗继电器的动作区总是大于II段阻抗继电器的动作区,II段阻抗继电器的动作区总是大于III段阻抗继电器的动作区。当线路发生区内短路,测量阻抗落在I段阻抗继电器动作区内时,首先由I段阻抗继电器动作跳闸。如果II段阻抗继电器出现拒动现象,则由II段阻抗继电器动作跳闸。如果III段阻抗继电器还出现拒动,II段阻抗继电器必然动作跳闸。只要测量阻抗落在II段阻抗继电器的动作区内,必然也落在III段阻抗继电器的动作区内。I段阻抗保护作为II、III段的后备保护是当之无愧的。

以往,人们常常把以上结论推广到所有距离保护测量元件,这是错误的。

如果距离保护的测量元件不是采用阻抗继电器

,而是采用距离继电器。在由I、II、III段距离继电器构成的三段式距离保护中,III段距离保护是否还能成为I、II段的后备保护呢?不一定。有的距离继电器可以,有的则不行。有的距离继电器在某种系统结构、某种参数、某种短路类型、某种运行方式下,是可以的。一次系统的条件发生变化后,就不一定了,要具体分析。

下面以多相补偿相间距离继电器为例,加以讨论。以序分量表示的多相补偿相间距离继电器动作判据为:

$$U_1 = U_{m1} - I_1 Z_{set}$$

$$U_2 = U_{m2} - I_2 Z_{set}$$

当 $|U_2| > |U_1|$ 时,距离继电器动作。

其中: U_{m1} 、 U_{m2} 分别为母线处的正序电压与负序电压; I_1 、 I_2 为正序电流与负序电流; Z_{set} 为整定阻抗。

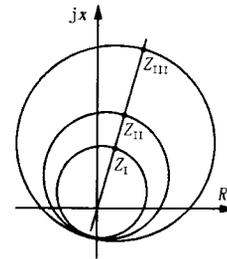


图 2 I、II、III段多相补偿相间距离继电器支路阻抗特性

Fig 2 Sub-circuit impedance action characteristics of phase distance relay with multi-phase compensation in three sections

在单电源辐射网络,两相短路条件下,多相补偿相间距离继电器支路阻抗动作特性如图2所示。在这种条件下,距离继电器的动作区大于I段,II段距离继电器的动作区大于I段。如果I、II段距离继电器发生拒动,III段当然动作,III段保护起到后备保护的作用。

在单电源辐射网络,两相短路接地条件下,多相补偿相间距离继电器的支路阻抗动作特性就变化了,不再有图2所示的特性。其支路阻抗动作特性与系统正序阻抗、系统零序阻抗、整定阻抗的大小都有关系。这种情况下,求解距离继电器的支路阻抗动作特性非常困难,只能在给定电力系统结构和参数的条件下,通过计算机求解。为方便起见,这里只用特例说明问题。

根据故障分析知识,两相短路接地时的序分量分布如图3所示。根据两相短路接地的故障边界条件,短路点的正序电压、负序电压、零序电压都相等。

因此,系统零序阻抗愈小,短路处的正序电压 U_{k1} 愈小,特别在靠近出口处发生两相短路接地, U_{k1} 有可能很小。从图 3 不难看出,如果 U_{k1} 很小,就可能造成 $U_2 < U_1$, 距离继电器不动作。从图 3 不难看出,距离继电器整定阻抗愈大,出口短路的死区就愈大。当短路点落在 I 段距离保护区内时,就可能发生 I 段距离继电器动作,而 II 段距离继电器反而不动作的现象。这时,如果 I 段距离继电器出现拒动现象,则 I 段保护就起不到后备的作用。

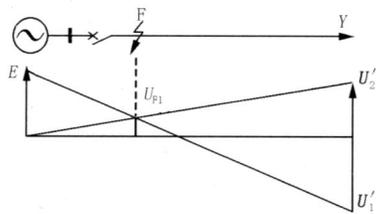


图 3 两相短路接地时的序分量分布图

Fig 3 Sequence components distribution in phase-to-phase short circuit ground fault

I 段保护要想成为 II、III 段保护的后备保护, I 段距离继电器的支接阻抗动作特性必须涵盖 II、III 段距离继电器的支接阻抗动作特性。距离继电器的支接阻抗动作特性受一次系统结构、参数、运行方式、短路类型等因素变化的影响。只有通过分析,在 I 段距离继电器的支接阻抗动作特性涵盖 II、III 段距离继电器的支接阻抗动作特性的条件下,求出一次系统结构、参数、运行方式、短路类型等因素的变化范围;才能够说,在这样的范围内, I 段保护是 II、III 段保护的后备保护。否则, I 段保护起不到 II、III 段后备保护的作用。

下面用一个具体的双侧电源电力系统,通过计算机辅助分析,说明在两侧电势摆开情况下, I 段距离继电器的支接阻抗动作特性与 II、III 段距离继电器的支接阻抗动作特性的涵盖问题。

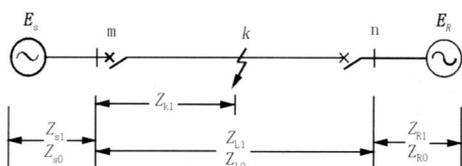


图 4 双侧电源电力系统短路故障示意图

Fig 4 Short circuit fault of double-side electric power supply system

电力系统如图 4 所示。已知:

$$E_s = E_R e^{j\theta}, \quad Z_{s1} = j10, \quad Z_{s0} = j20, \quad Z_{R1} = j40, \\ Z_{R0} = j140, \quad Z_{L1} = j60, \quad Z_{set} = j50$$

其中: Z_{set} 为 I 段距离继电器的整定阻抗。 I 段距离继电器的整定阻抗为 $2 Z_{set}$ 。

通过计算机辅助分析,求出 $\theta = 0^\circ$ 两相短路条件下, I 段多相补偿相间距离继电器的支接阻抗动作特性如图 5 中的 RELAY1; II 段多相补偿相间距离继电器的支接阻抗动作特性如图 5 中的 RELAY2。可以看出,RELAY2 的动作区域大于 RELAY1 的动作区域,且 RELAY2 的动作区域涵盖 RELAY1 的动作区域。在这种情况下,如果 I 段距离继电器发生拒动,III 段距离继电器当然动作,III 段保护起到后备保护的作用。

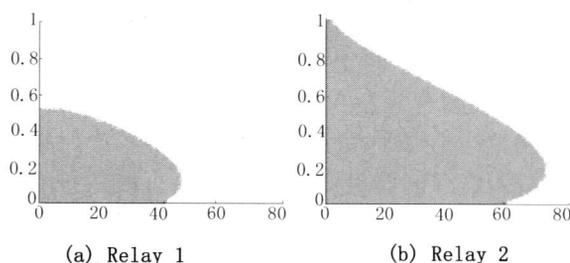


图 5 $\theta = 0^\circ$ 时,多相补偿相间距离继电器的支接阻抗动作特性

Fig 5 Sub-circuit impedance action characteristics of phase distance relay with multi-phase compensation in $\theta = 0^\circ$

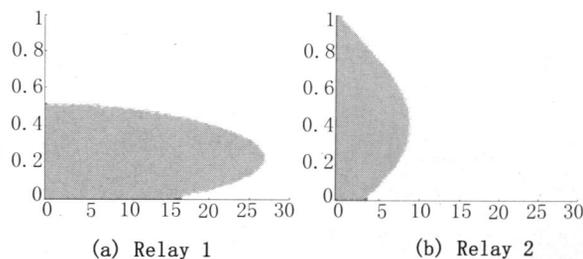


图 6 $\theta = 80^\circ$ 时,多相补偿相间距离继电器的支接阻抗动作特性

Fig 6 Sub-circuit impedance action characteristics of phase distance relay with multi-phase compensation in $\theta = 80^\circ$

求出 $\theta = 80^\circ$ 两相短路条件下, I 段多相补偿相间距离继电器的支接阻抗动作特性如图 6 中的 RELAY1; II 段多相补偿相间距离继电器的支接阻抗动作特性如图 6 中的 RELAY2。可以看出,RELAY2 的动作区域不再涵盖 RELAY1 的动作区域。一部分 RELAY1 能够动作区域,而 RELAY2 却不能动作。电力系统短路,测量阻抗落入这部分区域,如果 I 段距离继电器发生拒动, II 段距离继电器不能动作, I 段保护起不到后备保护的作用。只有在 RE-

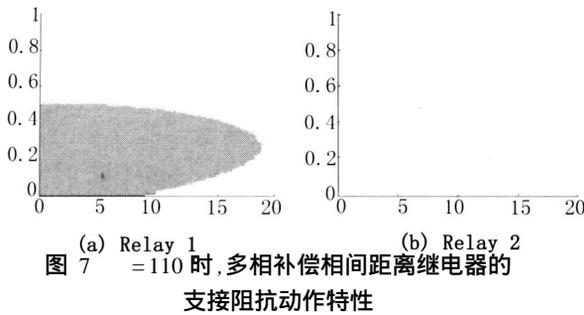


图 7 $\alpha = 110^\circ$ 时,多相补偿相间距离继电器的
支撑阻抗动作特性

Fig 7 Sub-circuit impedance action characteristics of
phase distance relay with multi-phase
compensation in $\alpha = 110^\circ$

LA Y1 和 RELAY2 的支撑阻抗动作特性共同部分, 段保护才起到后备保护的作用。从图 6 可以看出, 线路发生金属性短路, I 段距离继电器如果动作, 段距离继电器也会动作; 此时, 段保护有后备保护的作用。

求出 $\alpha = 110^\circ$ 两相短路条件下, 段多相补偿相间距离继电器的支撑阻抗动作特性如图 7 中的 RELAY1; 段多相补偿相间距离继电器的支撑阻抗动作特性如图 7 中的 RELAY2。可以看出, RELAY2 没有动作区域, 不论短路点在什么位置, 段多相补偿相间距离继电器都不动作。段保护起不到任何后备保护的作用, 段保护如同虚设。

综上所述, 阻抗继电器拥有性质 1, 是很重要的优点。它保证了 I、II、III 段阻抗继电器的配合。不论是一次系统结构、参数、运行方式、短路类型如何变化, III 段阻抗继电器的动作区总是大于 I、II 段阻抗继电器的动作区, 段保护具有后备保护的作用。距离继电器没有性质 1, 说明 I、II、III 段距离继电器的配合是有条件的。因此, 分析距离继电器的支撑阻抗特性, 找出 I 段距离继电器支撑阻抗特性能够涵盖 I、II 段距离继电器的支撑阻抗动作特性的条件和不能涵盖的条件; 在不能涵盖的情况下, 采用相应补救措施, 防止无后备保护和越级跳闸现象发生。

Performance analysis of section distance relay as the backup protection

L I X i a o m i n g

(Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: This paper discusses the cooperation of three-section impedance relays and that of three-section distance relays, analyzes the necessary conditions of section distance relay qua the backup protection based on the classification of impedance relays and

(下转第 89 页 continued on page 89)

2 结论

段阻抗继电器作为 I、II 段阻抗继电器的后备, 在任何一次系统条件下都是成立的。I、II、III 段距离继电器的配合是有条件的。一次系统结构、参数、运行方式、短路类型变化, 对 I、II、III 段距离继电器的配合都产生影响。如果 III 段距离继电器支撑阻抗特性不能够涵盖 I、II 段距离继电器的支撑阻抗动作特性, 则 I 段保护起不到后备保护的作用。

参考文献:

- [1] 刘万顺. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998
L I U W a n - s h u n Fault Analysis of Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1982
Z H U S h e n g - s h i Theory and Technology of Relay Protection of HV Transmission System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1982
- [3] 李晓明, 梁军, 张沛云. 阻抗继电器与距离继电器的特点 [J]. 继电器, 2001, 29 (6): 20-22
L I X i a o m i n g, L I A N G J u n, Z H A N G P e i - y u n The Characteristics of Impedance Relay and Distance Relay [J]. Relay, 2001, 29 (6): 20-22
- [4] 李晓明. 阻抗继电器与距离继电器分类的补充说明 [J]. 继电器, 2003, 31 (2): 51-53
L I X i a o m i n g The Complement about the Classification of Impedance Relay and Distance Relay [J]. Relay, 2003, 31 (2): 51-53
- [5] 李晓明. 现代高压电网继电保护原理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
L I X i a o m i n g Theory of Relay Protection of Modern HV Transmission System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2005-01-31

作者简介:

李晓明 (1956 -), 男, 副教授, 研究方向为电力系统继电保护、电力系统自动化装置。E-mail: lixm@sdu.edu.cn

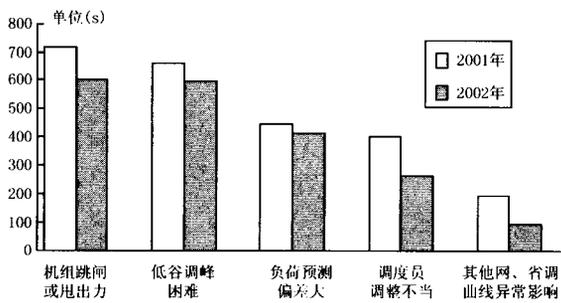


图 2 2001、2002年各种原因造成责任频率 (50 ± 1) Hz 越限情况比较图

Fig 2 Comparative roller-type graph of causes of responsibility frequency beyond restriction (50 ± 1) Hz in 2001 and 2002

3) 针对典型频率及 ACE 曲线越限情况进行仔细分析,找出原因并总结调整经验。

参考文献:

- [1] 魏庆海,鲁顺,范东春,等. 东北电网频率与联络线潮流的关系 [J]. 电网技术, 2004, 28 (6): 22-25.
WEI Qing-hai, LU Shun, FAN Dong-chun, et al Relation of Frequency in Northeast Power Grid to Power Flow in Tie-line Between Northeast and North China Power Grids [J]. Power System Technology, 2004, 28 (6): 22-25.
- [2] 唐跃中. AGC 按联络线偏差控制时频率偏差系数的确定 [J]. 电网技术, 1997, 21 (6): 5-7.
TANG Yue-zhong Principles of Getting a Rational Area Frequency Bias in AGC of Tie-line Bias Control Model [J]. Power System Technology, 1997, 21 (6): 5-7.
- [3] 樊福而. 大电网频率与潮流问题 [J]. 电网技术, 2000, 24 (6): 27-30.
FAN Fu-er Frequency and Power Flow of Interconnected

- Large Power System [J]. Power System Technology, 2000, 24 (6): 27-30.
- [4] 杨小煜,沈松林,吴杏平,等. 华北、东北联网后华北电网自动发电控制 (AGC) 及其考核的实现 [J]. 电网技术, 2001, 25 (7): 60-62
YANG Xiao-yu, SHEN Song-lin, WU Xing-ping, et al Implementation of Automatic Generation Control in North China Power Grid and Its Assessment after Interconnection of North China Power Grid with Northeast China Power Grid [J]. Power System Technology, 2001, 25 (7): 60-62.
- [5] 东北电业管理局调度通信中心. 电力系统运行操作和计算 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996
Dispatch and Communication Center of Northeast China Power Administration Power System Operation and Calculation [M]. Shenyang: Liaoning Scientific and Technological Press, 1996.
- [6] 陈珩. 电力稳态分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
CHEN Heng Power System Stability Analysis [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-01-07

作者简介:

鲁顺 (1971 -), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事电网调度运行及电力市场研究与应用工作; E-mail: lshun0@163.com

高立群 (1949 -), 男, 教授, 博士生导师, 从事现代控制理论及电力系统研究工作;

王珂 (1957 -), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事电力系统研究工作。

Analysis of responsibility frequency regulation strategies of Liaoning power grid

LU Shun¹, GAO Li-qun¹, WANG Ke¹, WEI Qing-hai²

(1. School of Information Science and Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China;

2. Liaoning Provincial Electric Power Co., Ltd., Shenyang 110006, China)

Abstract: Based on statistics of responsibility frequency beyond restriction in Liaoning power grid in 2001, this paper analyzes and summarizes the causes beyond restriction. Combining theoretical analysis and operation dispatching practice, it brings forward the strategies of frequency regulation and control, and provides the guidance and suggestion for operation dispatching as well. After being implemented, the strategies are proved to be effective, such as reducing the ratio of responsibility frequency beyond restriction of Liaoning power grid in Northeast power grid and raising the qualified ratio of responsibility frequency. Consequently the quality of electric energy raised, and great economic and social benefit gained.

Key words: interconnected power grids; frequency control; power system

(上接第 12 页 continued from page 12)

distance relays. Because the impedance relay has the feature one, impedance relay of section is regarded as the backup protection of section and section in any case. The variety of the primary system's structure, parameter, operating point and short-circuit style influences the cooperation of three-section distance relays. If the feature of the section distance relay's sub-circuit impedance can't comprise that of the section and section, the section can't act as the backup protection.

Key words: impedance relay; distance relay; measuring impedance; sub-circuit impedance; backup protection