

采用零序功率绝对值构成反时限零序电流保护的方案探讨

张旭俊, 上官帖, 唐建洪, 张春强, 许晓慧, 李欣

(江西省电力科学研究院, 江西 南昌 330096)

摘要: 零序电流保护范围会因系统运行方式的变化而伸缩, 电网中短线路不断出现, 使前后级零序电流保护配合很困难, 导致零序反时限过流保护的出现。该文进一步提出采用零序功率 ($U_0 \times I_0$) 绝对值构成的零序反时限保护, 使短路点前后级保护的反时限差别更为扩大, 各级反时限附加的固定时间级差大为缩短, 对系统运行方式变化具有更强的自适应能力。采用零序功率绝对值构成的零序反时限保护, 有利于后备保护的快速响应, 对提高零序电流保护的灵敏度和缩短动作时间都具有重要意义。该文还对零序功率反时限继电器构成的原则进行了深入探讨。

关键词: 继电保护; 零序电流; 零序功率; 反时限; 方案

Research on inverse time current relay based on the absolute value of zero-sequence power

ZHANG Xu-jun, SHANGGUAN Tie, TANG Jian-hong, ZHANG Chun-qiang, XU Xiao-hui, LI Xin
(Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China)

Abstract: The protective zone of the zero-sequence current depends on the variety of parameter of electric power system. The widely used short transmit lines makes it difficult for the zero-sequence current relay to be matched well, which leads to the emergence of inverse time current relay. This paper presents a method by use of the absolute value of zero-sequence power ($U_0 \times I_0$) for achieving inverse time zero-sequence current relay. The method enhances the inverse time for the fault point, and the attached fixed time for each step of the inverse time is largely decreased. Moreover, the method is more suitable for the variation of the operation of electric power system. The inverse time current relay based on the absolute value of zero-sequence power is good for the quick response of the back-up protection and provides significant importance for improving the relay sensitivity and shortening the operating time of protection. Several principles based on this method are discussed in detail, which may provide valuable guides for researchers and manufacturers.

Key words: relay; zero-sequence current; zero-sequence power; inverse time; scheme

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)23-0041-04

0 引言

在中性点直接接地的大接地系统中, 出现单相接地短路故障占 70% 以上, 用多段时限的零序电流保护相互配合就可做到有选择性的快速切除接地短路故障。零序电流保护本来是既简单又可靠的, 但它的保护范围也会因系统运行方式的变化而伸缩, 随着城市电网超短群线路的出现, 各段线路的阻抗很小。考虑各种运行方式后, 在确保大运行方式时零序电流保护范围不超越的前提下, 当小运行方式时, 不但零序电流 I 段保护没有保护范围, 而且 II、III 段零序保护的配合也很困难。文献[1]对此作了详细叙述: “在 220 kV 及以上系统配置双套主保护的前提下, 我们在简化 220 kV 线路零序电流保护整定计算上迈开了关键的一步, 即结合新工程将 220 kV 线路零序电流 I 段全部退出运行, ……但是零序电

流保护受系统运行方式影响大, 零序 II、III、IV 段仍然按照逐级配合原则进行, ……由于电网结构复杂, 500 kV 和 220 kV 电磁环网运行, 220 kV 线路成串成环, 长短线路交替出现, 运行方式多变, 造成零序后备保护失配严重……, 特别是在 2008 年冰灾期间以及恢复过程中, 运行方式变化无常, 线路强弱电源变化无序, 保护定值更改困难等……”。对此, 文献[1~3]都认为解决阶段式零序电流保护失去选择性问题的最简单、最有效的办法是“全网实现统一的同特性的反时限零序电流保护”。这是一个大胆的建议, 且已有按零序电流大小构成反时限保护的装置, 本文就是对此建议和方案进行一些探讨。

1 用零序功率构成反时限

根据国际电工委员会标准 (IEC255-4), 南瑞生产的零序反时限过流保护 RCS-931D 中, 采用正常

反时限保护的特性方程如公式 (1)。

$$t(I_0) = \frac{0.14}{\left(\frac{I_0}{I_p}\right)^{0.02} - 1} T_p \quad (1)$$

其中： I_p 为电流基准值，对应“零序反时限过流”定值； T_p 为时间常数，对应“零序反时限时间”定值； I_0 是实时的零序电流； $t(I_0)$ 是对应的反时限动作时间。这个公式先计算零序故障电流，再计算动作时间，它的缺点在于它不能反映接地故障电流是发展性变化的特点，如接地电弧电阻的变化、从 $K^{1.1}$ 故障发展到 $K^{1.1}$ 故障的变化、环网故障中一侧开关先断开以后，零序电流转移性的突变等。此外对于 110 kV 终端供电式串级线路，如果后面各级变压器中性点不接地，则前后两级之间零序电流没有差别，因而反时限特性不能体现。

如图 1 示出单相接地的零序电流分布图，越靠近短路点的地方，零序电流 I_0 和零序电压 U_0 都相对是最大。因此，本文首先建议采用零序功率 $U_0 \times I_0$ 来构成反时限的时间，它比单独用零序电流更能扩大前后级保护彼此之间的时间差。考虑实际零序电流和电压相差接近 90° ，在实际计算时可采用各个 u_0 、 i_0 瞬时采样值乘积的绝对值求和，如公式 (2)，其中 τ 是采样间隔的时间，理论上说它接近于以零序无功功率的绝对值来构成反时限的时间，其中 Q_{SET} 相当于无功功率电量的定值。当出现零序电流且零序功率方向都满足条件时，无功功率电量就开始积累计算，当无功功率电量积累大于定值 Q_{SET} 时，反时限时间就动作开放。

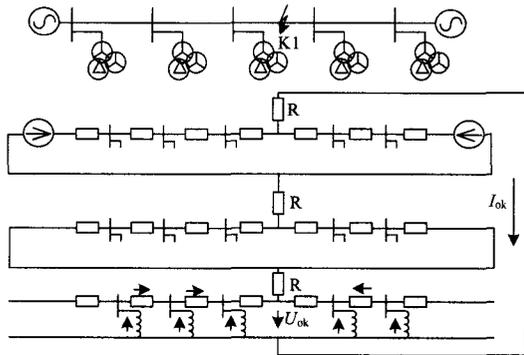


图 1 单相接地短路及其零序电流分布图

Fig.1 Single phase earthed fault and zero-sequence power

$$\text{当: } \sum_{k=1}^N |u_0[k] \times i_0[k]| > Q_{SET} \text{ 时}$$

$$t = N \times \tau \quad (2)$$

改变无功电量 Q_{SET} 的定值就可调节反时限的时间，只要无功电量 Q_{SET} 的定值相同就可做到“全

网统一采用同特性的反时限零序电流保护”，但各级时差取决于零序网络的参数，当有些超短群线路太短时，其间间隔的时限可能嫌不够，需要再增加一个 Δt ，由于目前断路器跳闸时间的缩短，再加上反时限特性本身的时差，每级保护增加的 $\Delta t = m \times 0.1s$ 也就可以了，如图 3 所示，其中 m 是时限阶梯的台阶级数，增加一个 Δt 有利于保护的整定的灵活性。

采用零序功率构成反时限的好处还在于：对单侧电源供电的终端网络，又有多级分段的梯接线路时，这时为了避免零序电流的分流而降低灵敏度，往往只有电源侧变压器中性点接地，其后各级变压器的中性点都不接地。当发生单相接地 K^1 故障时，串联线路的零序电流相等，但各级线路的零序功率却不同，用零序功率构成反时限，依然能有选择性切除故障区间。

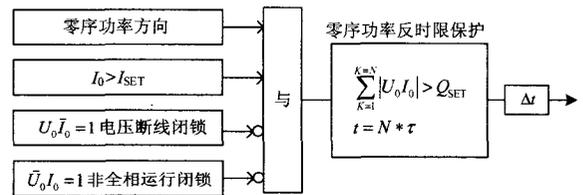


图 2 零序功率反时限保护的原理框图

Fig.2 Schematic of zero-sequence power protection based on inverse time

由于正常态零序电流和电压都为零，用零序功率反时限的好处还在于，当二次回路电流或电压有一个发生断线时，其零序功率反时限时间都不会启动。当 K^1 故障单相跳闸后进入非全相运行时，只要两侧电源相角摆开不是很大，线路流过的零序功率都不会很大，零序功率反时限时间能躲开单相重合闸的周期。即使系统发生振荡又非全相下，零序功率依然是越靠近短路点处越大，能保证合理的振荡解列。当故障时环网中较大一侧的零序电流先切除开关，对侧零序电流随着增大，从而相继加速切除对侧开关。

全网实现统一的同特性的反时限零序电流保护，或者全网采用统一的零序功率反时限保护，这里所说的全网主要是指在需要前后级配合的一定隔离系统内（相同电压等级电网内），而对 220 kV、110 kV 之间配合，由于经过一个变压器阻抗，前后级反时限特性导致的时间差别自然会更大，这更是采用反时限保护的好处。笔者认为全网实现统一的同特性的反时限零序电流保护，可以先从区域性同电压等级电网中试行，即采用分层分区的方式，逐步推行开来。

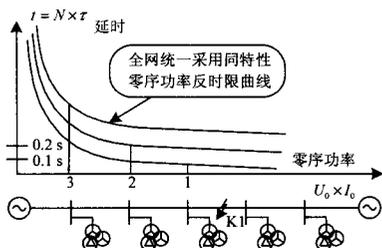


图 3 反时限保护的配合示意图

Fig.3 Matching illustration of the inverse time based protection

2 零序功率反时限继电器的构成方案

瞬时零序功率绝对值的曲线如图 4 所示, 当零序电流、零序电压都增加一倍时, 零序功率增加四倍, 且频次属 4 倍频。

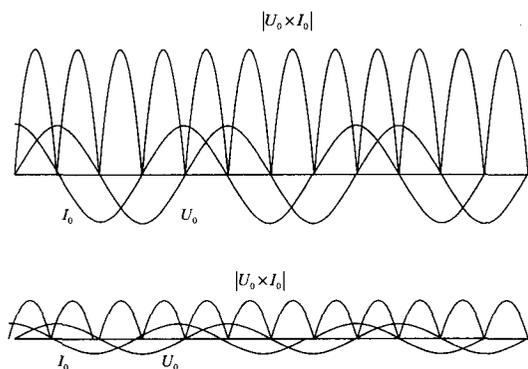


图 4 瞬时零序功率绝对值的曲线

Fig.4 The absolute value curve of instantaneous zero-sequence power

为了保证“全网统一采用同特性的反时限零序电流保护”, 对零序功率绝对值累计的计算希望是密集的, 目前微机继电保护装置采样比较稀疏, 一般每周波只有 12 点、24 点或 20 点, 而反时限的累计计算是不能缺项漏计的, 否则就不能保证前后各级保护反时限曲线的“同特性”。单片机构成微机保护计算是一笔画的过程, 而零序功率电量积累计算是按固定时间隔来进行求和运算, 而保护响应过程是随机的, 把这两者合成一笔画过程, 需要慎重安排。如果由现有的零序保护来改造, 则在软件安排上要检查整个流程包括不可预见的分支中断申请, 要确保反时限的累计计算是不许缺漏的。

由于前后各级零序电压、电流采样不是同步的, 稀疏的采样点数计算会使零序功率计算彼此误差不同。可采用数字滤波技巧, 使零序功率曲线比较平直一些, 改进计算如公式 (3)。如果每周采样有 40 点以上 (最好能被 8 整除), 则零序功率经滤波后的

图形如图 5, 其中曲线 1、2 是 I_0 和 U_0 , 曲线 3、4 是 I_0 和 U_0 的绝对值滤波后的曲线, 曲线 5 是 $U_0 \times I_0$ 绝对值滤波后的曲线。实际上, 现在国外一些微机保护, 例如 ALPS 线路保护和 L90 电流差动保护, 采用专用 16 位采样芯片, 每周波采样点已达到 64 点, 国内也有微机保护装置每周波采样点达到 48 点。

$$\sum_{k=1}^{k=N} \{ |u[k]| + |u[k+n/4]| \} \times \{ |i[k+n/8]| + |i[k+3n/8]| \} > Q_{SET} \quad (3)$$

$$t_{dz} = N \times \tau$$

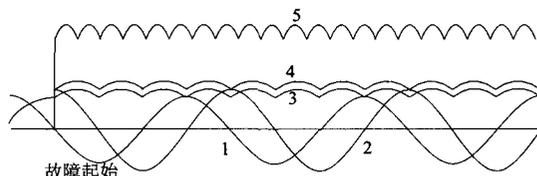


图 5 用数字滤波改善零序功率曲线

Fig.5 Improvement of the zero-sequence curve based on digital filter

其实用硬件单独完成也是可取的办法, 如图 6 上面, 对模拟输入可用 D/A 乘法器, 将零序电流整流后用作 D/A 的参考电压 V_{ref} , 零序电压经 A/D 采样转换成数字量, 最后通过 D/A 乘法器得到直流模拟量 $U_0 \times I_0$, 再经积分器、V/f 变换、计数器、比较器 Q, 当无功功率电量积累达到设定值 Q_{SET} 时使微型继电器接点闭合, 接点可进入微机保护的开关量输入, 作为反时限延时时间的判别。如果今后发展到 CT, PT 都是数字量, 依然可用 D/A 乘法器, 如图 6 下面, 将零序电流经 D/A 变成模拟量, 隔直整流后用作 D/A 的参考电压 V_{ref} , 零序电压直接用数字量, 再通过 D/A 得到交变的模拟量 $U_0 \times I_0$, 最后经隔直整流、积分器、V/f 变换、计数器、比较器 Q 等。采用硬件做法的好处还在于对各个电压等级都能采用通用的“功率反时限继电器”。

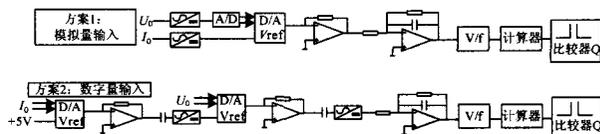


图 6 零序功率反时限时间继电器的原理构成

Fig.6 The principle of the zero-sequence power relay based on inverse time

3 结论

用零序功率构成反时限后的零序电流保护, 对系统运行方式变化具有自适应能力, 各级反时限附加的固定时间级差大为缩短, 有利于零序电流保护快速响应, 对提高零序电流保护的灵敏度和缩短动

作时间都有很大意义。特别是像冰灾期间，由于弱馈电源出现和高频通道衰耗增大，使高频保护退出工作，“反时限”零序电流保护能弥补此时的不足。

如图 1，当接地电阻 R 较大时，零序功率也会减小，反时限保护的動作时间相对会延长，由于单相接地电流的减小，对系统动态稳定的冲击也会减小，这时可以由固定时限的零序电流后备保护配合动作。而“同特性”反时限保护确保了前后各级保护动作时间上的配合，保证选择性。

我们认为零序功率构成反时限的零序保护，这种方法在理论上是可行的。当然，从理论到实际还需要一个过程，要实现全网统一的同特性的反时限零序电流保护，还需要不断探索，解决实施过程中出现的问题。

(上接第 4 页 continued from page 4)

4 结论

(1) 电压暂降过程性能指数反映电压暂降对敏感设备的平均影响程度，年电压暂降过程性能指数反映电压暂降对敏感设备的总影响程度。

(2) 电压暂降过程性能指数不仅考虑了幅值-持续时间的严重程度，还考虑了影响敏感设备正常工作的电压暂降频次分布，从统计特性出发，更加合理地评估电压暂降对敏感设备的影响程度。

参考文献

[1] 杨洪耕, 刘守亮, 肖先勇. 基于 s 变换的电压凹陷分类专家系统[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(1): 98-104.
 YANG Hong-geng, LIU Shou-liang, XIAO Xian-yong. S-transform-based Expert System for Classification of Voltage Dips[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(1): 98-10.

[2] 陶顺, 肖湘宁, 刘晓娟. 电压暂降对配电系统可靠性影响及其评估指标的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(21): 63-69.
 TAO Shun, XIAO Xiang-ning, LIU Xiao-juan. Study on Distribution Reliability Considering Voltage Sags and Acceptable Indices[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(21): 63-69.

[3] 杨洪耕, 肖先勇, 刘俊勇. 电能质量问题的研究和技术发展(三)—电力系统的电压凹陷[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12): 1-4.
 YANG Hong-geng, XIAO Xian-yong, LIU Jun-yong. Issues and Technology Assessment on Power Quality-Part 3: Voltage Sags in Power System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12): 1-4.

[4] Lee G J, Albu M M, Heydt G T. A Power Quality Index Based on Equipment Sensitivity, Cost, and Network Vulnerability[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(3): 1504-1510.

[5] Bollen M H J, Sabin D D, Thallam R S. Voltage Sag

参考文献

[1] 彭莉萍, 张丽. 继电保护转置整定值适应性问题探讨[J]. 江西电力, 2008, (2).

[2] 李晓华, 柳焕章. 反时限电流保护应用[J]. 中国设计师网.

[3] 杨增力, 石东源, 段献忠. 计及接地距离保护影响的输电线路零序电流保护整定计算及简化问题[A]. 中国高校电力系统及自动化专业第 22 届学术年会论文集[C].

收稿日期: 2008-12-07; 修回日期: 2009-03-02

作者简介:

张旭俊 (1937-), 男, 教授级高工, 主要从事电力系统继电保护工作;

上官帖 (1958-), 男, 教授级高工, 主要从事电力系统继电保护工作. E-mail:sgtnc@163.com

Indices-recent Developments in IEEE P1564 Task Force[A]. in:CIGRE/IEEE PES International Symposium[C]. 2003.34-41.

[6] Kagan N, Ferrari E L, Matsuo N M, et al. A Methodology for the Assessment of Short Duration Voltage Variations in Electric Power Distribution Systems[A]. in:10th International Conference on Harmonics and Quality of Power[C].2002.577-581.

[7] Bollen M H J, Sabin D D. International Coordination for Voltage Sag Indices[J]. Digital Object Identifier,2006. 229-234.

[8] JOINT WORKING GROUP CIGRE c4.7/CIREN, Power Quality Indices and Objectives[Z].CIGRE REPORT DRAT, Mar, 2004.

[9] Shen C C, Lu C N. A Voltage Sag Index Considering Compatibility Between Equipment and Supply[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2007, 22(2): 996-1002.

[10] 杨跃进. 统计过程控制技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.

[11] 陈育蕾. 过程能力指数和性能指数的若干问题研究[J]. 中国计量学院学报, 2005, 16 (4): 305-310.
 CHEN Yu-lei. Study on Process Capability Index and Process Performance Index[J]. China Jiliang University Transaction, 2005, 16 (4): 305-310.

[12] Dzekevich J A, Garretson J. A Design Margin Index for MTBF and Ao[A]. in:IEEE Reliability and Maintainability Symposium[C]. 2007.288 - 291.

[13] Kyei J, Ayyanar R, Heydt G, et al. The design of Power Acceptability Curves[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(3): 828-833.

收稿日期: 2008-12-03

作者简介:

肖艳辉 (1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电能质量分析与控制; E-mail:xyh_19831001@126.com

杨洪耕 (1949-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电能质量分析与控制。