110 kV线路距离保护的复合选相元件

杨宇全,温渤婴,欧阳强,孙荣智
(中国农业大学,北京 100083)

摘要: 准确有效的选相元件是高压输电线路采用单相自动重合闸的前提。该文通过分析目前微机保护中选相元件的不足,提出了电压电流突变量选相元件、电压电流序分量选相元件结合阻抗元件、方向元件以及瞬时值判断元件相结合的复合选相元件,能够准确地判断故障类型及故障相别。大量的 PSCAD仿真表明其较好的准确性,是高压线路实现单相重合闸较为理想的选相元件。

关键词: 线路保护; 选相元件; 瞬时值判据; PSCAD仿真

中图分类号: TM773 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2006)05-0010-03

0 引言

在(超)高压输电系统中,作为继电保护装置的一个重要元件,选相元件的地位是不容忽视的。在(超)高压线路上,为提高系统的稳定性,当线路发生单相故障时,实现单相跳闸,而后进行单相重合闸;当线路上发生多相故障时,实现三相跳闸,而后进行三相重合闸和不进行重合闸。因此单相故障时必须正确选出故障相,这个选相任务由选相元件来完成[1]。因为选相元件值负担选相任务,不负担测量故障点距离和故障方向的任务,故对选相元件的要求为:①在保护区内发生任何形式的短路故障时,能判别故障相别,或判别出是单相故障还是多相故障。②单相接地时,非故障相选相元件应该不动作。③在正常运行时,选相元件应该不动作。④算法尽可能简单,判据明确。⑤动作速度要快。目前,国内数字式高压线路保护主要采用突变量选相和稳态量选相相结合的方法。在保护启动后,第一次选相采用相电流差突变量选相,由于其不受负荷电流的影响,有很高的选相精度。振荡闭锁期间的选相元件,由于突变量提取困难需采用稳态量选相,一般情况下,采用序电流的分区结合阻抗比较方法[2]。但是,电流量选相存在不足。如平行双回路跨线接地故障和一相接地在保护区内另一相接地在保护反方向上的转换性接地故障,将不能正确选出故障相[3~5]。

本文提出了一种复合选相元件,由于同时用到电压量和电流量作为判据,因此可以克服上述缺陷。

1 复合选相元件

复合选相元件包括电压电流突变量选相元件、电压电流序分量选相元件结合阻抗元件、方向元件以及瞬时值判断元件。电压电流突变量选相元件只能用于故障后的第一次选相,20 ms以后的故障选相则要通过电压电流序分量选相元件来选相。当系统发生振荡时采用电压电流序分量选相元件来选相。

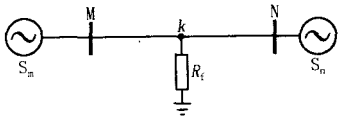

图 1 系统模型图

Fig 1 Model of the system

1)电压电流突变量选相元件

电压电流突变量选相元件是通过计算补偿电压突变量的绝对值 $|\Delta U_{op.\phi\phi}|$来构成判据。

$\Delta U_{op.\phi\phi} = \Delta U_{\phi\phi} - \Delta I_{\phi\phi} Z_{set}$

($\phi\phi$指 AB, BC, CA)

(下面将用到的符号说明: C_1, C_2 指 M侧电力系统正序故障电流分配系数和负序分配系数; Z_{M1}为系统 M侧的正序阻抗; Z_{set}为线路整定阻抗; I_{kA}为 k点 A相单相接地时流经过渡电阻的电流; I_{kB}为 k点 BC两相相间短路时 B相的电流; $I_{kB.max}$为 k点 BC两相金属性短路接地时 B相的短路电流; R_f为过渡电阻; K为零序补偿系数)

a 当 k点发生 A相单相接地故障时:

$\Delta U_{op.AB} = -C_1 I_{kA}(Z_{M1} + Z_{set})$

$\Delta U_{op.BC} = \Delta U_{op.B} - \Delta U_{op.C} = 0$

$\Delta U_{op.CA} = -C_1 I_{kA}(Z_{M1} + Z_{set})$

由此可见,两非故障相的相间补偿电压数值 $|\Delta U_{op.BC}|$最小,而 $|\Delta U_{op.AB}|$、$|\Delta U_{op.CA}|$有较大值,有 $|\Delta U_{op.BC}| \ll |\Delta U_{op.AB}|$、$|\Delta U_{op.BC}| \ll |\Delta U_{op.CA}|$的关系。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

b. 当 k点发生 BC相间短路时:

$$\Delta U_{op.AB} = C_1 I_{kB}(Z_{M1} + Z_{set})$$

$$\Delta U_{op.BC} = -2C_1 I_{kB}(Z_{M1} + Z_{set})$$

$$\Delta U_{op.CA} = C_1 I_{kB}(Z_{M1} + Z_{set})$$

可见, $|\Delta U_{op.BC}| = 2|\Delta U_{op.AB}| = 2|\Delta U_{op.CA}|$

c. 当 k点发生 BC接地短路时:

$$\Delta U_{op.AB} = C_1 I_{kB.max}(Z_{M1} + Z_{set}) + \frac{C_1}{2} I_g (Z_{M1} + Z_{set})$$

$$\Delta U_{op.BC} = -2C_1 I_{kB.max}(Z_{M1} + Z_{set})$$

$$\Delta U_{op.CA} = C_1 I_{kB.max}(Z_{M1} + Z_{set}) - \frac{C_1}{2} I_g (Z_{M1} + Z_{set})$$

可见, $|\Delta U_{op.AB}|$、$|\Delta U_{op.BC}|$、$|\Delta U_{op.CA}|$均有较大值。其中 $|\Delta U_{op.BC}|$有最大值, $|\Delta U_{op.CA}|$有最小值,经计算可得: $\left|\frac{\Delta U_{op.CA}}{\Delta U_{op.BC}}\right|_{min} = 0.44 \sim 0.28$

d. 当 k点发生三相短路时:

$$\Delta U_{op.AB} = -C_1 \frac{Z_{M1} + Z_{set}}{Z_{M1} + R_f} U_{kA[0]} \sqrt{3} e^{j30°}$$

$$\Delta U_{op.BC} = -C_1 \frac{Z_{M1} + Z_{set}}{Z_{M1} + R_f} U_{kA[0]} \sqrt{3} e^{-j90°}$$

$$\Delta U_{op.CA} = C_1 \frac{Z_{M1} + Z_{set}}{Z_{M1} + R_f} U_{kA[0]} \sqrt{3} e^{-j30°}$$

可见, $|\Delta U_{op.AB}| = |\Delta U_{op.BC}| = |\Delta U_{op.CA}|$。

通过以上 a、b、c、d的分析可见:当 $\min\{|\Delta U_{op.AB}|, |\Delta U_{op.BC}|, |\Delta U_{op.CA}|\} < 0.25 \cdot \max\{|\Delta U_{op.AB}|, |\Delta U_{op.BC}|, |\Delta U_{op.CA}|\}$满足时,可判定发生了单相接地故障,否则为多相故障。

多相故障时,若同时满足 $|\Delta U_{op.AB}| \geq |\Delta U_{AB}|$, $|\Delta U_{op.BC}| \geq |\Delta U_{BC}|$, $|\Delta U_{op.CA}| \geq |\Delta U_{CA}|$则判断为相间故障,否则为转换性故障(一正一反),采用相电流方向元件选择正确的故障相别。

电流差突变量选相元件的主要优点是灵敏度高。电压差突变量选相元件的主要优点是可以克服电流量选相的缺陷(平行双回线跨线接地故障和一相接地在保护区内另一相接地在保护反方向的转换性接地故障),但灵敏度不如电流差突变量选相元件高。该选相方法具有电流差突变量的优点,同时也具有相间电压突变量选相的优点,故选相性能是优越的。

判据 $|\Delta U_{op.\phi\phi}| \geq |\Delta U_{\phi\phi}|$ ($\phi\phi$ = AB, BC, CA)实际是幅值比较方式的突变量继电器,与传统的相电流差突变量相比,本方法由于引进了电压突变量以及方向的判别,可以解决弱电源系统和间隔时间很短的转换性故障的选相问题。

2)电压电流序分量选相

设零序补偿电压、负序补偿电压分别为:

$$U_{op.A0} = U_{A0} - (1 + 3K) I_{A0} Z_{set}$$

$$U_{op.A2} = U_{A2} - I_{A2} Z_{set}$$

$$\theta = \arg\frac{U_{op.A0}}{U_{op.A2}}$$

选相判据:

将 θ的取值划分为三个区,每个区内含有两种故障。其判据为:

θ_1区: $-30° < \theta \leq 90°$

θ_2区: $90° < \theta \leq 210°$

θ_3区: $210° < \theta \leq 330°$

当 θ大小在 θ_1区可以判定为 A相接地或 BC相接地;在 θ_2区可判定为 B相接地或 CA相接地;在 θ_3区可以判定为 C相接地或 AB相接地。

为了进一步区分单相接地和两相接地,依次作如下判断(以 θ_1区为例):

①若 BC相间阻抗元件(Ⅲ段)不动作,则判为 A相故障,否则

② $I_0 < 0.5 I_1$或 $I_2 < 0.5 I_1$时,则判断 BC接地短路,否则

③ B, C相方向元件都动作,判定为 BC接地短路,否则

④ B相方向元件动作时,判定为 B相接地; C相方向元件动作时,判定为 C相接地。

综上所述,该方法可以达到能在振荡发生故障时正确选相,对于弱馈线和转换性故障时也能正确选相。但当发生相间短路和三相短路故障时不能选相,还需进一步改进,而配合瞬时值元件可以较好地解决这个问题。

3)瞬时值元件

瞬时值元件包括零序电流瞬时元件和负序电流瞬时元件。

瞬时值元件在复合选相元件中的作用如下:

①解决电压电流序分量选相中相间短路和三相短路故障时不能选相的问题。

三相短路时零序电流和负序电流理论上都为 0,即 $i_0 = 0$, $i_2 = 0$。

实际微机继电保护中,能够直接测到的是三相电流瞬时值 i_A, i_B, i_C,所以将 i_0, i_2用三相电流瞬时值表示: $i_0 = i_A + i_B + i_C$, $i_2 = i_A + i_B(t - T/3) + i_C(t - 2T/3)$

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

但在实际的微机继电保护中由于采样误差及其不对称的影响，i_0 和 i_2 的值并不等于 0,这就需要定一个阈值,此阈值定为 $I_n = 0.1I_N \sim 0.15I_N$ (I_N 为故障前测得的负荷电流)比较合适,即瞬时值判断 $i_0 < I_n$ 且 $i_2 < I_n$ 则认为发生了三相短路。

当发生两相相间短路故障时，$i_0 = 0$。

与三相短路类似,即瞬时值判断 $i_0 < I_n$ 认为发生了两相相间短路。

②是解决单相或两相故障转换为三相故障的可行的判据。

如果发生了短时转换性故障,即由单相或两相故障转换为三相故障时,在得到 i_0 和 i_2 的值时要先采用差分法去掉非周期分量的影响,这样能准确地判定是否发生三相短路。连续 4点都满足 $i_0 < I_n$ 且 $i_2 < I_n$ 则可以判定发生了三相短路。

2 仿真结果

系统模型如图 2所示,此图为 110 kV 线路模型。

①首端等效电源：$Z_{11} = 2.21 + j425.92\Omega$，$Z_{10} = 8.84 + j153.79\Omega$。

②末端等效电源：$Z_{21} = 12.01 + j160.34\Omega$，$Z_{20} = 85.01 + j486.56\Omega$。

③线路：$Z_1 = 0.210 + j0.403\Omega/km$，$C_1 = 0.0088\mu F/km$，$Z_0 = 0.360 + j1.209\Omega/km$，$C_0 = 0.0056\mu F/km$，$L = 150$ km。

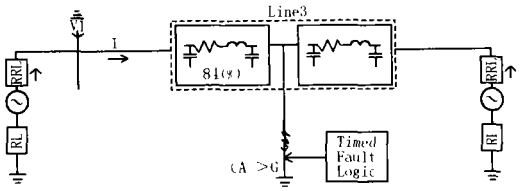

图 2 PSCAD 仿真模型

Fig 2 PSCAD simulation model

表 1 电压电流序分量选相不同故障情况的仿真结果

Tab. 1 Simulation results of voltage and current sequence fault phase selection for some kinds of fault

故障类型	故障位置	瞬时元件动作否	选相结果
AB相间	10%	动作	AB相间
BC相间	10%	动作	BC相间
CA相间	10%	动作	CA相间
ABC三相	10%	动作	ABC三相
AB相间	84%	动作	AB相间
BC相间	84%	动作	BC相间
CA相间	84%	动作	CA相间
ABC三相	84%	动作	ABC三相

利用 PSCAD 仿真软件得到母线处三相电压和电流的瞬时值,每周波取 36点,然后采用最小二乘法进行滤波,再经选相判据判断故障类型,其仿真结果如表 1。

3 结论

1)与目前国内数字式高压线路保护中主要采用电流突变量选相和电压序分量选相相结合的选相方法相比,本文采用电压电流突变量选相和电压电流序分量选相选相灵敏度高,能够克服原来选相方法的缺陷(平行双回线跨线接地故障和一相接地在保护区内另一相接地在保护反方向的转换性接地故障)。

2)引入了瞬时判断元件克服了电压电流序分量选相方法当发生相间短路和三相短路故障时不能选相的问题。

参考文献:

[1] 许正亚. 输电线路新型距离保护 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
XU Zheng-ya. New Distance Protection for Transmission Line [M]. Beijing: China Water Power Press, 2002.

[2] 索南加乐,许庆强,宋国兵,等. 弱电源侧稳态电压对称分量选相元件 [J]. 西安交通大学学报, 2003, (8): 10-14.
SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang, SONG Guo-bing, et al. The Selector of Stability Voltage Symmetrical Component for Weak Power Supply Side[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, (8): 10-14.

[3] 杨世骅,何奔腾. 一种基于电压序分量的高压线路保护选相元件 [J]. 中国电力, 1997, (7).
YANG Shi-hua, HE Ben-teng. A High Voltage Line Selector Based on Voltage Sequence Component[J]. Electric Power, 1997, (7).

[4] 许庆强,索南加乐,宋国兵,等. 一种电流故障分量高压线路保护选相元件 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (7): 53-57.
XU Qing-qiang, SUONAN Jia-le, SONG Guo-bing, et al. A High Voltage Line Selector Based on Current Fault Component[J]. Automation of Electic Power Systems, 2003, 27 (7): 53-57.

[5] 鲍小鹏,张举. 一种新型选相元件 [J]. 继电器, 2004, 32 (5): 22-26.
BAO Xiao-peng, ZHANG Ju. A Kind of New Selector[J]. Relay, 2004, 32 (5): 22-26.

收稿日期: 2005-07-18; **修回日期**: 2005-09-29

作者简介:

杨宇全 (1981 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统故障选相; E-mail: yangyuquan1981@163.com

温渤婴 (1958 -),男,博士生导师,研究方向为电力系统继电保护;

欧阳强 (1979 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统振荡。

(下转第 20页 continued on page 20)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

置电压变换器原边中性点的连接方式对测量结果没有影响。但在系统出现单相接地故障时,如果断开二者之间的连线,保护装置的测量结果则无法正确反映系统的实际运行状态。

该电厂的事故是严重的,其根本原因在于人们对 PT二次侧采用 B相接地方式对现代微机保护装置的影响认识不清。早在 1994年,原电力工业部颁布的《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》第 8.5条就明确推荐取消电压互感器二次 B相接地方式[2]。很多变电站或电厂在将 B相接地改为 N相接地方面也积累了丰富的经验[3]。在微机保护装置广泛应用的今天,我们建议应尽快将现场 B相接地的 PT改造为 N相接地,尽量减少出现人为事故的概率。同时,建议另外引入一组电压,将 PT断线判据更改为电压平衡原理。

参考文献:

[1] 李仲明. PT二次侧 B相接地时微机保护自产和外接 $3U_0$ 的剖析[J]. 继电器, 2002, 28(2): 20-24.
LI Zhong-ming. Analysis on the Self-produced and Out-connected $3U_0$ of Microprocessor-based Protection at B Phase Earthing on Secondary Side of PT[J]. Relay, 2002, 28(2): 20-24.

[2] 电力工业部. 电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点[Z]. 1994.
Department of Electric Power. Outline of Anti-accident Measures on Protection Relay and Security Automation Equipment of Power System[Z]. 1994.

[3] 张广梅,廖昌志,王海洲. 变电站 PT二次 B相接地改为 N相接地的一点经验[A]. 电机工程学会年会论文集. 六盘水: 2001.
ZHANG Guang-mei, LIAO Chang-zhi, WANG Hai-zhou. Experience on Changing B Phase Earthing to N Phase Earthing of PT Secondary Side in Substation[A]. Proceeding of Annual Meeting Electrical Engineering Academy of Liupanshui City. Liupanshui: 2001.

收稿日期: 2005-07-07; **修回日期**: 2005-08-24

作者简介:

吴笃贵(1969-),男,博士,高级工程师,主要研究方向为 HVDC、FACTS技术及电力系统谐波的监控和治理,目前主要从事大型发电机变压器组继电保护技术的研究; E-mail: Wuduguioo@sina.com

赵 斌(1972-),男,硕士,高级工程师,主要从事大型发电机变压器组继电保护技术的研究;

郭宝甫(1973-),男,工程硕士,工程师,主要从事高压电抗器以及大型发电机变压器组继电保护技术的研究。

Miss trip analysis of stator winding grounding fault due to false PT secondary connection

WU Du-gui, ZHAO Bin, GUO Bao-fu, DENG Mao-jun, XU Li-ming
(XJ Electric Protection and Automation Business Department, Xuchang 461000, China)

Abstract: Failure to operation of stator winding grounding fault occurred in a domestic power plant resulted from false PT secondary connection. The paper analyzes the influence of connection mode between neutral points of PT and voltage transducers on actions of relay when phase B is grounded in PT secondary side. The conclusions show that measurements of relay protection could not reflect operation states of primary system and criterion of PT secondary broken connection may result in false operation when the connection between neutral points of PT and voltage transducers is broken. Protection relays can correctly operate when neutral points directly connected.

Key words: stator winding grounding; PT secondary broken connection; phase B earthing

(上接第 12页 continued from page 12)

Complex selector for the distance protection of 110 kV transmission line

YANG Yu-quan, WEN Bo-ying, OUYANG Qiang, SUN Rong-zhi
(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: When adopting the technique of single-phase automatic reclosing in EHV/UHV transmission line protection, fault phases should be selected correctly in advance. By analyzing the defects of selector in computer protection, this paper proposes the complex fault phases selector combined with voltage-current abrupt discontinuous components fault phases selector, voltage-current sequence components fault phases selector with impedance components, direction components and instantaneous value estimation components. It can correctly identify the fault type and fault phase. Lots of PSCAD simulations indicate it is a better selector with correctness for single-phase automatic reclosing in HV transmission line.

Key words: line protection; fault phase selector; instantaneous value estimation components; PSCAD simulation

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net