

不同故障类型不同转角方式下的变压器差流分析

梁志坚¹, 古斌^{1,2}, 谭建成¹

(1. 广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 绍兴文理学院工学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 详尽分析了变压器差动保护中四种常用转角方式下变压器发生各种内部故障时的差流情况, 经理论推导得出了不同故障类型不同转角方式下的变压器差流表达式。着重分析了Y→Δ与Δ→Y这两种常用转角方式下两相接地故障时的变压器差流的情况, 表明两相接地故障时这两种转角方式的差流与网络结构有关, 在差流分析的基础上对这两种转角方式差动保护的灵敏度进行了比较。上述分析是在严格的理论基础上进行, EMTDC仿真实验结果也说明了结论的正确性。

关键词: 变压器差动保护; 转角方式; 差动电流; 网络阻抗; 灵敏度

Analysis and comparison of differential current for different fault type of transformer

LIANG Zhi-jian¹, GU Bin^{1,2}, TAN Jian-cheng¹

(1. Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: This paper analyzes and compares the differential current of four transformer differential protection schemes with different compensation methods under different fault types and presents the differential current expression by theoretic deduction. It analyzes emphatically the differential current with two compensation methods in common use which are the phase-to-phase current differential protection and phase current minus zero-sequence (self-produced) under two phases ground fault to show that the differential currents is related to the net impedance. Then the sensitivity of the two compensation methods is compared. These conclusion are derived by strict theoretic deduction, and the simulation results based on EMTDC also prove that the conclusion is feasible and effective.

Key words: transformer differential protection; compensational methods; differential current; net impedance; sensitivity

中图分类号: TM75 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)21-0071-06

0 引言

电力变压器在电力系统中有不可替代的重要作用。对变压器差动保护的讨论, 也是业内一个历久弥新的话题^[1~7]。由于变压器使两侧电流产生幅值变化及相移, 故变压器差动保护须先对电流进行幅值相位校正, 由此衍生出不同的相位校正方式即转角方式, 常见的有四种转角方式^[8,9]: 相电流差动, 相间电流差动(Y→Δ方式), 减自产零序的相电流差动(Δ→Y方式), 减中性点零序的相电流差动。本文将详尽分析这几种变压器差动保护在各种故障下的差流, 进而分析它们的灵敏度关系, 以期能澄清一些概念, 为变压器保护的设计、运行提供一些借鉴。

1 四种转角方式

以我国应用最为广泛的Y₀d11连接组变压器

基金项目: 广西研究生教育创新项目(2008105930808 D011)

对四种转角方式^[8,9]进行分析, 如图1, 为简化分析, 设变压器两侧绕组匝比为1:1。在图1中 I_A 、 I_B 、 I_C 为Y₀侧三相电流, I_{a1} 、 I_{b1} 、 I_{c1} 为Δ侧三相绕组电流, I_a 、 I_b 、 I_c 为Δ侧三相线电流, 令 I'_A 、 I'_B 、 I'_C 为转角后的Y₀侧三相电流, I'_a 、 I'_b 、 I'_c 为转角后的Δ侧三相电流。

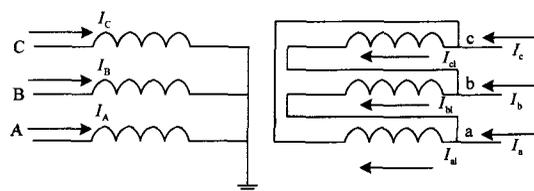


图1 Y₀d11接线变压器电流分布

Fig.1 Currents of the power transformers with Y₀d11 connection

1.1 相电流差动方式

相电流差动方式两侧电流均直接取变压器绕组电流。则Y₀侧转角公式为:

$$\begin{bmatrix} I'_A \\ I'_B \\ I'_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

△侧转角公式为:

$$\begin{bmatrix} I'_a \\ I'_b \\ I'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{al} \\ I_{bl} \\ I_{cl} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.2 相间电流差动 (Y→△方式)

Y₀侧转角公式为:

$$\begin{bmatrix} I'_A \\ I'_B \\ I'_C \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

△侧转角公式为:

$$\begin{bmatrix} I'_a \\ I'_b \\ I'_c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{al} \\ I_{bl} \\ I_{cl} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.3 减自产零序的相电流差动 (△→Y方式)

Y₀侧转角公式为:

$$\begin{bmatrix} I'_A \\ I'_B \\ I'_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_{0z} \\ I_{0z} \\ I_{0z} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (5)$$

式(5)中:

$$I_{0z} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (6)$$

I_{0z}称 Y₀侧自产零序电流。

△侧转角公式为:

$$\begin{bmatrix} I'_a \\ I'_b \\ I'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{al} \\ I_{bl} \\ I_{cl} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_D \\ I_D \\ I_D \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)中:

$$I_D = \frac{I_{al} + I_{bl} + I_{cl}}{3} \quad (8)$$

式中: I_D为△侧零序环流。

1.4 减中性点零序的相电流差动

这种方式 Y₀侧与△侧的转角方式与式(5)、(7)相同,只不过把式(5)中的 I_{0z}换为 I₀, I₀为三分之一倍的中性点零序电流,通过校验中性点零序互感器的极性,可由下面分析知道,两种减零序的相电流差动方式在区外故障时效果是一样的,都可消除零

序不平衡差流,而区内故障时就不一样了。

2 区内不对称故障时差流分析

以下分析中 ΔI_{F1}、I_{F2}、I_{F0}为不对称故障时故障支路参考相的正序故障分量电流、负序电流、零序电流,对如图2所示系统,任何区内不对称故障可由叠加原理得到故障附加网络,进而可由对称分量法得到故障附加网络的三序网如图3^[9](A相为参考相)。

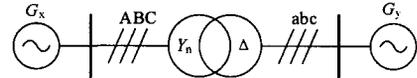


图2 系统图
Fig.2 The system diagram

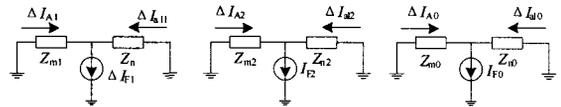


图3 利用对称分量法将故障附加网络分解为正负零序系统
Fig.3 Decomposition of the superimposed fault network to positive, negative and zero sequence systems

且有:

$$\begin{cases} \Delta I_A = \Delta I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} \\ \Delta I_B = a^2 \Delta I_{A1} + a I_{A2} + I_{A0} \\ \Delta I_C = a \Delta I_{A1} + a^2 I_{A2} + I_{A0} \end{cases} \quad (9)$$

及:

$$\begin{cases} \Delta I_{al} = \Delta I_{al1} + I_{al2} + I_{al0} \\ \Delta I_{bl} = a^2 \Delta I_{al1} + a I_{al2} + I_{al0} \\ \Delta I_{cl} = a \Delta I_{al1} + a^2 I_{al2} + I_{al0} \end{cases} \quad (10)$$

ΔI_A、ΔI_B、ΔI_C为 Y₀侧各相电流故障分量, ΔI_{al}、ΔI_{bl}、ΔI_{cl}为△侧各相绕组电流故障分量。

2.1 相电流差动方式差流分析

当发生A相接地、AB相间短路、AB相接地短路等故障时, A相差流为:

$$I_{dA} = \Delta I_A + \Delta I_{al} = \Delta I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} + \Delta I_{al1} + I_{al2} + I_{al0} = \Delta I_{FA1} + I_{FA2} + I_{FA0} = I_{FA} \quad (11)$$

式中: ΔI_{FA1}、I_{FA2}、I_{FA0}为故障支路A相正序故障分量电流、负序电流、零序电流, I_{FA}为故障支路A相故障端口电流。

2.2 相间电流差动方式差流 (Y→△方式) 分析

由式(3)、(4)知A相差流为:

$$\begin{aligned}
 I_{dA} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\Delta I_{AB} + \Delta I_{ab}) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}}[(1-a^2)\Delta I_{A1} + (1-a)I_{A2} + (1-a^2)\Delta I_{a1} + (1-a)I_{a2}] = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}}[(1-a^2)(\Delta I_{A1} + \Delta I_{a1}) + (1-a)(I_{A2} + I_{a2})] = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}}[(1-a^2)\Delta I_{FA1} + (1-a)I_{FA2}]
 \end{aligned}$$

当发生A相接地故障时有:

$$I_{dA} = \frac{1}{\sqrt{3}}(1-a^2+1-a)\frac{I_{FA}}{3} = \frac{1}{\sqrt{3}}I_{FA}$$

当发生AB相间短路时有:

$$\begin{aligned}
 I_{dA} &= \frac{1}{\sqrt{3}}[(1-a^2)a^2\Delta I_{F1} + (1-a)aI_{F2}] = \\
 &= \frac{2}{\sqrt{3}}(a^2-a)\Delta I_{F1} = -j2\Delta I_{F1} = \frac{2}{\sqrt{3}}I_{FA}
 \end{aligned}$$

(ΔI_{F1} 、 I_{F2} 为故障支路参考相即C相正、负序电流, 两者反相)。

令 $X_{\Sigma 0}$ 、 $X_{\Sigma 2}$ 为系统对于故障点的等效零序、负序电抗, 当发生两相接地短路时对参考相有:

$$I_{F2} = -\frac{X_{\Sigma 0}}{X_{\Sigma 0} + X_{\Sigma 2}}\Delta I_{F1} = -k_1\Delta I_{F1}$$

及:

$$I_{F0} = -(1-k_1)\Delta I_{F1}$$

AB相接地短路A相差流为:

$$\begin{aligned}
 I_{dA} &= \frac{1}{\sqrt{3}}[\Delta I_{AB} + \Delta I_{ab}] = \frac{1}{\sqrt{3}}[(1-a^2)\Delta I_{FA1} + (1-a)I_{FA2}] = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}}[(a^2-a)\Delta I_{F1} + (a-a^2)I_{F2}] = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}}(a^2-a)\Delta I_{F1}(1+k_1)
 \end{aligned}$$

此时相电流差动方式A相差流:

$$I'_{dA} = \Delta I_{FA1} + I_{FA2} + I_{FA0} = (a^2 - k_1 a - 1 + k_1)\Delta I_{F1} \quad (12)$$

则:

$$\begin{aligned}
 \left| \frac{I_{dA}}{I'_{dA}} \right| &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{a(a-1)(1+k_1)}{(a-1)(a+1-k_1)} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{1+k_1}{a+1-k_1} \right| = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{1+k_1}{\left(\frac{1}{2}-k_1\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}} \right| = k \quad (13)
 \end{aligned}$$

容易证明当 $0 < k_1 < \frac{1}{2}$ 时, 即零序网络阻抗小于

负序网络阻抗时必有 $k < 1$ 。当 $k_1 = \frac{1}{2}$ 时有 $k=1$ 。当

$\frac{1}{2} < k_1 < 1$ 时, 即零序网络阻抗大于负序网络阻抗时有 $k > 1$, 知道此时两个差流的幅值成 k 倍关系, 但两者相位并不相同。

2.3 减零序差动方式差流分析

图4给出了 Y_0d11 连接变压器Y侧区内接地故障时A相的零序电流分布情况, 不管 I_{0Z} 、 I_0 、 I_D 的正方向如何规定, 由减极性法^[10]可确定 I_{0Z} 、 I_0 、 I_D 在规定正方向下的相位关系, 进而可根据图中互感器的同名端确定它们的二次电流相位关系: 内部故障时 I_{0Z} 、 I_0 的二次电流必反相, 外部故障时同相; I_0 、 I_D 的二次电流反相。

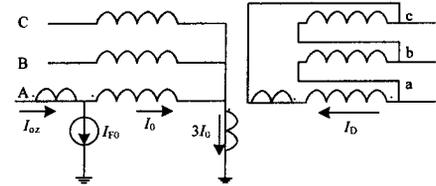


图4 接地故障时的零序电流分布

Fig.4 Zero sequence current of phase-to-ground fault transformers

故由式(5)、(7)可得减自产零序相电流差动方式($\Delta \rightarrow Y$ 方式)A相差流为:

$$\begin{aligned}
 I_{dA} &= (I_A + I_{a1}) - (I_{0Z} + I_D) = \\
 &= \Delta I_{FA1} + I_{FA2} + I_{F0} - (I_{0Z} + I_D) = \Delta I_{FA1} + I_{FA2}
 \end{aligned}$$

则对A相接地故障有:

$$I_{dA} = \frac{2}{3}I_{FA}$$

则对AB相间故障有:

$$I_{dA} = a^2\Delta I_{F1} + aI_{F2} = (a^2 - a)\Delta I_{F1} = -j\sqrt{3}\Delta I_{F1} = I_{FA}$$

对AB相接地故障有:

$$I_{dA} = a^2\Delta I_{F1} + aI_{F2} = a^2\Delta I_{F1} - k_1 a\Delta I_{F1} = a\Delta I_{F1}(a - k_1)$$

对比式(12)有:

$$\left| \frac{I_{dA}}{I'_{dA}} \right| = \left| \frac{a(a-k_1)}{a^2 - 1 + k_1 - k_1 a} \right| = k'$$

把 a 值代入上式可得:

$$k' = \left| \frac{\left(-\frac{1}{2} + \frac{k_1}{2}\right) - j\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}k_1}{2}\right)}{3\left(-\frac{1}{2} + \frac{k_1}{2}\right) - j\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}k_1}{2}\right)} \right|$$

明显有 k' 小于1, 可知此时两个差流的幅值成 k' 倍关系, 但两者相位并不相同。对比式 (13), 容易证明 k 大于 k' 。

考察减中性点零序相电流差动方式, A 相差流为:

$$I_{dA} = (I_A + I_{al}) - (I_0 + I_D) = I_A + I_{al} = I_{FA}$$

设故障支路 A 相故障端口电流 I_{FA} 幅值为 I_M , 则由上述分析知各种不对称故障时, 不同转角方式的故障相差流幅值如表 1 所示。

表 1 不同转角方式下故障相差流
Tab.1 Differential current of fault phase in different compensational methods

故障类型	相电流差动	相间电流差动	减自产零序	减中性点零序
A 相接地	I_M	$\frac{1}{\sqrt{3}} I_M$	$\frac{2}{3} I_M$	I_M
AB 相间短路	I_M	$\frac{2}{\sqrt{3}} I_M$	I_M	I_M
AB 两相接地	I_M	$k I_M$	$k' I_M$	I_M

表1中 $k' < 1$ 且 $k' < k$ 。当零序网络阻抗小于负序网络阻抗时必有 $k < 1$, 当零序网络阻抗等于负序网络阻抗时有 $k = 1$, 当零序网络阻抗大于负序网络阻抗时有 $k > 1$ 。如发生三相对称故障, 容易知道各种转角方式的差流相同, 都为故障端口电流 I_{FA} 。

3 不同转角方式灵敏度分析

差动保护灵敏度不仅与差动动作量有关, 还与启动电流的大小、制动电流的计算方法、差动保护的動作特性等有关^[11]。因此要有一个统一、客观的标准来讨论变压器差动保护的灵敏度, 本文假设其他影响灵敏度的条件都相同, 则故障时差流越大, 灵敏度越高, 在此前提下, 四种转角方式在不同类型故障下的灵敏度关系可由表 1 容易地得出。总的说来, 相电流差动方式和减中性点零序电流方式综合性能最好, 但减中性点零序差动方式须进行中性点零序电流互感器极性校核, 在实际应用中其极性的正确性很难保证, 测试方法较复杂^[12], 对相电流

差动而言有时 Δ 侧绕组电流无法测得, 且装设 Δ 侧绕组电流互感器会使得差动保护的保护区缩短, 因而现场采用最多的是 $Y \rightarrow \Delta$ 转角方式及 $\Delta \rightarrow Y$ 转角方式, 对这两种方式而言单相故障时前者差流小于后者, 而两相故障或两相接地故障时前者差流大于后者, 而这两种转角方式对涌流二次谐波制动的影响到底如何还未有定论^[13~15]。从差流大小的角度看, 由于变压器单相故障概率较大, 采用 $\Delta \rightarrow Y$ 转角方式不失为一种好的选择。

4 EMTDC 仿真分析

仿真系统如图 2。仿真计算的结果如图 5~图 7 所示。故障为 Y_0 侧内部故障, 故障起始时间均在 0.2 s 处。图中小图标表示法为: \diamond 为相电流差动; \square 为相间电流差动; \triangle 为减自产零序差动; \blacklozenge 为减中性点零序差动; \blacksquare 为 A 相故障端口电流。 Y_0 侧三相电流表示为: \diamond 为 A 相电流; \square 为 B 相电流; \triangle 为 C 相电流。

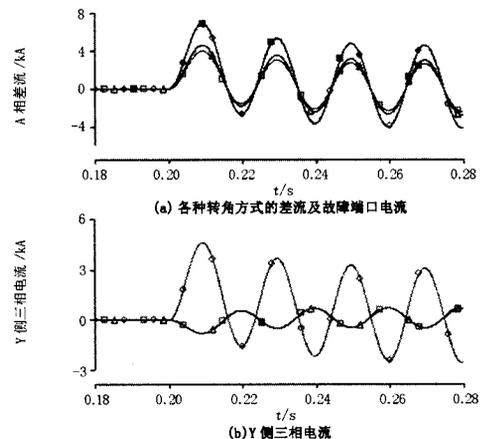


图 5 Y_0 侧 A 相接地电流波形

Fig.5 Currents shape of A phase ground fault

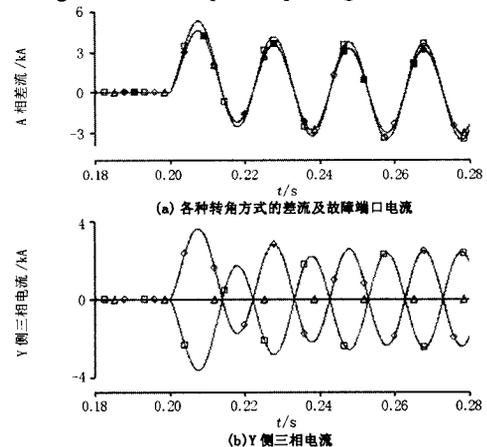


图 6 Y_0 侧 A、B 相短路电流波形

Fig.6 Currents shape of A and B phase fault

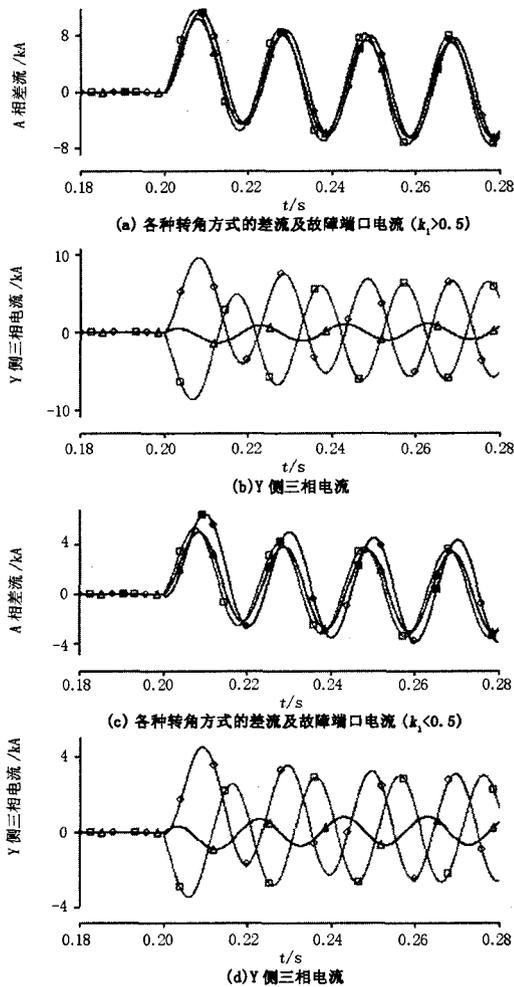
图7 Y₀侧A、B相接地电流波形

Fig.7 Currents shape of A and B phase ground fault

从图5看出, 各种转角方式的差流大小完全与理论分析相符, Y侧相电流由于故障点两侧系统零序电流分配系数与正、负序电流分配系数不同而导致B、C相电流不为零, 两相电流大小一样、曲线重合。从图6看出, 相间故障时, 相间差动方式差流最大, 其余方式都等于端口故障电流, 由于无零序电流, 故其Y侧C相电流为零。图7分别仿真了 $k_1 > 0.5$ 及 $k_1 < 0.5$ 两种情况, 仿真结果都与理论分析相符。从上述图中还可看出对于单相故障及相间故障各种转角方式差流相位相同, 而对于两相接地故障, 相电流差动方式差流、减中性点零序差动方式差流及对应的故障相端口电流的幅值、相位相同, 但它们的相位不同于Y \rightarrow Δ 与 Δ \rightarrow Y转角方式的差流, 这也与理论分析相符。

5 结论

本文通过分析Y₀d11连接组变压器区内Y₀侧发生各种故障情况下四种转角方式差流的大小, 得出以下结论:

① 差流大小与转角方式有关, 从差流大小的角度讲, 相电流差动及减中性点零序差动方式综合性能最好。

② 对目前现场采用最为广泛的相间电流差动方式(Y \rightarrow Δ 转角方式)及减自产零序的相电流差动方式(Δ \rightarrow Y转角方式), 前者在单相故障下的差流小于后者, 而在两相故障及两相接地故障时前者差流大于后者, 鉴于这两种转角方式对励磁涌流的影响关系还没有很清晰的结论, 从差流大小的角度看, 由于变压器单相故障概率较大, 采用 Δ \rightarrow Y转角方式不失为一种好的选择。

参考文献

- [1] 林湘宁, 徐雨舟, 刘沛. 相电流比例差动判据与线电流比例差动判据的比较[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(3): 21-25.
LIN Xiang-ning, XU Yu-zhou, LIU Pei. Comparison Between Phase Current and Line Current Percentage Differential Criteria[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(3): 21-25.
- [2] 丁网林, 骆健, 刘强. 零序电流对数字变压器差动保护Y,d 矢量变换的影响及对策[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(5): 56-58.
DING Wang-lin, LUO Jian, LIU Qiang. Effect of Zero-sequence Current on Star-delta Vector Transformer of Digital Transformer Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(5): 56-58.
- [3] 许建安. 提高变压器差动保护单相接地短路灵敏度的探讨[J]. 继电器, 2002, 30(6): 54-55.
XU Jian-an. Discussion on Improving the Sensitivity of Transformer Differential Protection When Phase-to-ground Fault[J]. Relay, 2002, 30(6): 54-55.
- [4] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
WANG Wei-jian. The Protective Principle for Primary Electrical Equipment and Its Application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [5] 王维俭. 再谈220kV及以上大型变压器装设零序差动保护的必要性[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(4): 1-5.
WANG Wei-jian. Necessity of Zero-sequence Differential Protection for Large-sized Transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(4): 1-5.
- [6] 李忠安. 变压器单相保护接地灵敏度分析[J]. 继电器, 2003, 31(1): 39-41.
LI Zhong-an. Sensitivity Analysis of the Transformer

Differential Protection While Single-phase Grounding [J].Relay ,2003,31(1):39-41.

[7] 苏永智, 李磊. 西门子 7UT513 变压器差动保护中零序电流的处理[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2004, 7(2): 53-56.
SU Yong-zhi, LI Lei. Analysis of Zero Sequence Current Handling of 7UT513 Transformer Differential Relay[J].Journal of Shangdong College of Electric Power,2004,7(2):53-56.

[8] 陈松林, 李海英, 乔勇, 等. RCS-978 变压器成套保护装置[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(22): 52-56.
CHEN Song-lin, LI Hai-ying, QIAO Yong, et al. RCS-978 Digital Transformer Protection Set[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(22):52-56.

[9] 袁宇波, 周栋骥, 陆于平, 等. 基于不同转角方式的变压器差动保护灵敏度分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 27-32.
YUAN Yu-bo,ZHOU Dong-ji,LU Yu-ping,et al.Analysis and Comparison of Sensitivity of Different Transformer Differential Protection Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(24):27-32.

[10] 朱声石. 变压器绕组短路接地故障的保护[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(8): 1-3.
ZHU Sheng-shi. Protection on Transformer Winding Grounding Fault[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002,22(8):1-3.

[11] 陆于平, 李玉海, 李鹏, 等. 差动保护灵敏度与启动电流、制动系数和原理的之间关系[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (8) :51-55.
LU Yu-ping, LI Yu-hai, LI Peng, et al. Discussion on Relationship of Pick-up Current, Restrained Factor and Principles to the Differential Protection Sensitivity[J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(8): 51-55.

[12] 吴大立, 尹项根, 张哲, 等. 基于负序电流判别的变压器差动保护零序电流自动补偿方法[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (2): 28-31.
WU Da-li,YIN Xiang-gen,ZHANG Zhe,et al. Zero-sequence Current Automation Compensation of Transformer Differential Protection Based on Negative-sequence Current[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(2):28-31.

[13] 刘志超. 三相变压器励磁涌流及保护方案[J]. 电力系统自动化,2006,30(10): 58-60.
LIU Zhi-chao. Analysis of Magnetic Inrush Current of Three-phase Transformer and the Differential Protection Scheme[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(10):58-60.

[14] 承文新, 刘志超. 变压器差动保护涌流制动原理分析[J]. 电力系统自动化, 2006,30(11): 90-92.
CHENG Wen-xin, LIU Zhi-chao. Analysis of Inrush Restraint Theory for Transformer Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(11): 90-92.

[15] 毕大强, 王祥珩, 杨恢宏, 等. 变压器差动保护中电流相位补偿方式的分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(18): 33-37.
BI Da-qiang, WANG Xiang-heng, YANG Hui-hong, et al. Analysis on the Current Phase Compensation Methods in Differential Protection for Transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(18): 33-37.

收稿日期: 2009-05-26; 修回日期: 2009-10-13

作者简介:

梁志坚 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的工作及研究; E-mail:lzhij@gxu.edu.cn

古斌 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究;

谭建成 (1963-), 女, 教授, 博士生导师, IEEE 会员, 主要从事电力系统运行规划及继电保护的研究。

(上接第 14 页 continued from page 14)

[3] Brandwajn V, Kumar A B R, Ipakchi A et al. Severity Indices for Contingency Screening in Dynamic Security Assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3): 1136-1142.

[4] Fu C, Bose A. Contingency Ranking Based on Severity Indices in Dynamic Security Analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(3): 980-985.

[5] 王守相, 张伯明, 郭琦. 在线动态安全评估中事故扫描的综合性性能指标法[J]. 电网技术, 2005, 29(1): 60-64.
WANG Shou-xiang, ZHANG Bo-ming, GUO Qi. Integrated Performance Index Method of Contingency Screening in Online Dynamic Security Assessment[J].Power System Technology,2005, 29(1): 60-64.

[6] 汪芳宗. 电力系统并行计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
WANG Fang-zong.Electric Power System Parallel Algorithm[M].Beijing: China Electric Power Press,1998.

收稿日期: 2008-11-12

作者简介:

王天施 (1970-), 男, 博士研究生, 从事电力系统保护、电能质量方面的研究; E-mail:wts55@126.com

苑舜 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电网安全、电力设备管理与诊断技术及电能质量等方面的研究。