

利用磁饱和特性的变压器励磁涌流鉴别

金明 刘远龙 吴新振 邓忠 青岛大学电气系(266071)

【摘要】 本文在近年来提出的几种磁制动方案的基础上,对原方案中采用模型进行了改进。提出了一种新的变压器励磁涌流鉴别方案。针对新的模型,给出了该算法在微机上的仿真结果令人满意。

【关键词】 变压器 微机保护 饱和

引言

目前,国内的微机型变压器差动保护大都采用二次谐波制动原理来躲过励磁涌流。二次谐波制动比常取15%~17%。但是,随着电网电压等级的提高和规模的扩大以及容量的增加,大型变压器内部严重故障时,由于谐振使短路电流中的二次谐波分量增大,就可能造成二次谐波制动的差动保护延时动作,特别是对变压器端部接长线的变压器。其原因与CT饱和或连接变压器EHV长输电线的分布电容和电缆电容的分布电容有关。不能满足大型变压器差动保护原理上的双重化要求。近年来,国内外学者提出了利用励磁涌流的新原理和新方法,其中基于变压器的磁特性的励磁涌流鉴别法,经过几年的应用,已被普遍认为是一种较有前途的方法。

1 变压器模型及其电磁方程

本文中采用的三相变压器磁路等效图如图1所示。其中 Φ_1 、 Φ_2 、 Φ_3 分别是三相磁通, Φ_7 、 Φ_8 是铁轭中流过的磁通, Φ_4 、 Φ_5 、 Φ_6 是漏磁通。我们以双绕组变压器为例,分析磁路的互联性, Φ_1 、 Φ_2 、 Φ_3 不仅是该相磁势的函数,而且与其他相磁势有关。

由磁路定律 $\sum \Phi = 0$, 可得:

$$\Phi_1 - \Phi_4 - \Phi_7 = 0$$

$$\Phi_2 - \Phi_5 + \Phi_7 + \Phi_8 = 0$$

$$\Phi_3 - \Phi_6 - \Phi_8 = 0$$

引入假想电流 $i_k (k=1, \dots, 8)$, 并设 $H_k I_k = N i_k (k=1, \dots, 8)$ 其中 $I_k (k=1, \dots, 8)$ 为磁路的等效长度。则对各条闭合磁路应用磁路定律 $N I = \oint H d l$, 则有下式成立

为各段磁路的截面积, $\mu_k (k = 1, \dots, 8)$ 为各段磁路的磁导率, 而 $H_k I_k = NI_k (k = 1, \dots, 8)$ 有

$$\Phi_k = A_k \mu_k i_k N / I_k \quad (k = 1, \dots, 8)$$

$$\text{令 } M_k = A_k \mu_k N / I_k$$

$$\text{则 } \Phi_k = M_k i_k \quad (k = 1, \dots, 8)$$

所以式 1 ~ 3 可化为:

$$M_1 i_1 - M_4 i_4 - M_7 i_7 = 0$$

$$M_2 i_2 - M_5 i_5 + M_7 i_7 + M_8 i_8 = 0$$

$$M_3 i_3 - M_6 i_6 - M_8 i_8 = 0$$

不计漏磁影响, 则式 4 ~ 11 可简化为

$$M_1 i_1 - M_7 i_7 = 0$$

$$M_2 i_2 + M_7 i_7 + M_8 i_8 = 0$$

$$M_3 i_3 - M_8 i_8 = 0$$

$$i_7 = i_A + i_a - i_B - i_b - i_1 + i_2$$

$$i_8 = i_C + i_c - i_B - i_b - i_3 + i_2$$

在式 12 ~ 16 的基础上, 利用采样获得的 $i_A, i_a, i_B, i_b, i_C, i_c$ 瞬时值, 可求得各假 (1, ..., 8) 的值。再利用磁化曲线即可判定各段磁路中是否存在饱和现象。

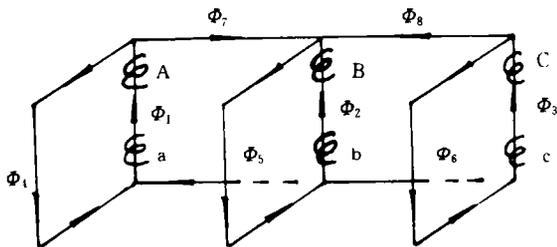


图 1 变压器磁路模型

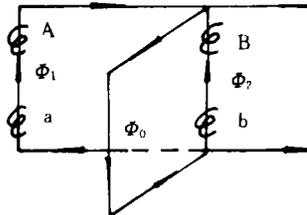


图 2 简化的变压器磁路模型

上述方案的实际困难在于各 M_k 中均包含 $\mu_k (k = 1, \dots, 8)$, 而各 μ_k 又由 i_k 决定。式 12 ~ 16 是非线性方程组, 求解计算量较大, 为此需对该方案进行改进。

图 2 为简化的三相三柱式变压器磁路模型, 图中 Φ_0 是 A、B、C 三相相对变压器铁心的漏磁通, 用零序磁通回路等效。这种等效方法经大量的计算和被认为是完全可行的。

图 2 中变压器一次侧各绕组的电路方程可表为:

$$V_A = \frac{dN\Phi_1}{dt} + R_A * i_A + L_A \frac{di_A}{dt}$$

$$H_0 * l_0 = N * i_0$$

其中 l_1, l_2, l_3, l_0 为各磁路等效长度, H_1, H_2, H_3, H_0 为各磁路磁场强度
 N 为一次侧绕组匝数, i_0 为与 Φ_0 相应的假想电流

根据磁路定律可推得如下方程:

$$i_A + i_a = i_1 + i_0$$

$$i_B + i_b = i_2 + i_0$$

$$i_C + i_c = i_3 + i_0$$

根据磁路连续性定理得:

$$N\Phi_1 + N\Phi_2 + N\Phi_3 = N\Phi_0 = L_0 i_0$$

其中 L_0 为等效零序漏抗

由上述几式可推得

$$dN\Phi_1 = V_A * dt - L_A * di_A - R_A * i_A * dt$$

$$dN\Phi_2 = V_B * dt - L_B * di_B - R_B * i_B * dt$$

$$dN\Phi_3 = V_C * dt - L_C * di_C - R_C * i_C * dt$$

$$di_1 = K1 + di_A + di_a$$

$$di_2 = K1 + di_B + di_b$$

$$di_3 = K1 + di_C + di_c$$

其中 $K1 = [- (V_A + V_B + V_C) * dt + L_A * di_A + L_B * di_B + L_C * di_C + R_A * i_A * dt + R_B * i_B * dt + R_C * i_C * dt] / L_0$

将式 11 ~ 16 离散化得:

$$\Phi_1(K) - \Phi_1(K-1) = 0.5 * [U_A(K) + U_A(K-1)] * \Delta t - L_A * [i_A(K) - i_A(K-1)] - 0.5 * R_A * [i_A(K) + i_A(K-1)] * \Delta t$$

$$\Phi_2(K) - \Phi_2(K-1) = 0.5 * [U_B(K) + U_B(K-1)] * \Delta t - L_B * [i_B(K) - i_B(K-1)] - 0.5 * R_B * [i_B(K) + i_B(K-1)] * \Delta t$$

$$\Phi_3(K) - \Phi_3(K-1) = 0.5 * [U_C(K) + U_C(K-1)] * \Delta t - L_C * [i_C(K) - i_C(K-1)] - 0.5 * R_C * [i_C(K) + i_C(K-1)] * \Delta t$$

$$i_1(k) - i_1(k-1) = i_A(K) + i_a(k) - i_A(k-1) - i_a(k-1) + K2$$

$$i_2(k) - i_2(k-1) = i_B(K) + i_b(k) - i_B(k-1) - i_b(k-1) + K2$$

$$i_3(k) - i_3(k-1) = i_C(K) + i_c(k) - i_C(k-1) - i_c(k-1) + K2$$

其中 $K2 = -0.5 * [V_A(K) + V_A(K-1) + V_B(K) + V_B(K-1) + V_C(K) + V_C(K-1)] / L_0$

则当内部短路时 $T_m(k) = 0$ ($m = 1, 2, 3$), 励磁涌流时 $T_m(k) \neq 0$ ($m = 1$)

2 励磁涌流鉴别方案

对变压器各相分别设立一个计数器 K_a, K_b, K_c 。若采用上节中介绍的方法有饱和现象, 如该相对应的计数器为 0, 则维持该计数器值不变, 否则该计数器值加 1。若三相计数器均为 0, 说明三相均有饱和现象, 则所有相计数器都加 1。

设定一门坎值 $k_{0,max}$, 得以下判据

当某相或全部相的 k_{0i} ($i = a, b, c$) 满足

$k_{0i} < k_{0,max}$ 则判为励磁涌流, 将保护闭锁。

门坎值 $k_{0,max}$ 需由实验确定。

3 算例考核

我们采用 EMTP 程序对本文提出的算法进行了仿真计算。仿真对象为 Y0-芯式变压器, 系统参数为 300MW 机组和 500kV 线路。

图 3 为励磁涌流情况和三相内部故障时的考核结果, 图中横坐标为进入磁采样点数, 纵坐标为各相计数器的数值。从图中可以看出, 励磁涌流时, 所有相的计数器值均小于门坎值; 内部故障时, 各相计数器的数值均大于门坎值(本文中门坎值取为 7)。

4 结论

(1) 本文给出的新型微机变压器保护算法能够可靠的鉴别励磁涌流和内部故障时的短路电流, 克服了二次谐波制动原理的不足。

(2) 本文提出的算法无需变压器具体的磁化曲线, 克服了已有的磁制动方案的局限性。

(3) 本方案可直接推广至三线圈变压器的情况。

参考文献

- 盛海华等. 三相变压器励磁涌流的仿真研究. 全国高校电自专业第 3 届学术年会论文集, 1987

