

一种变压器空载合闸励磁涌流抑制技术的研究

谢达伟¹ 洪乃刚¹ 傅 鹏²

(1. 安徽工业大学电气信息学院 243002 2. 中科院等离子体物理研究所 230031)

摘 要 在分析了变压器励磁涌流产生机理和现有变压器励磁涌流抑制技术的基础上, 提出了一种新的方法来抑制变压器励磁涌流——在变压器的一次侧采用 Zigzag 接法。这种方法的基本原理是通过降低空载合闸过程中变压器铁心的饱和程度, 从而达到减小变压器励磁涌流的目的。理论分析和 Pspice 仿真结果表明, 这种方法能够减小变压器空载合闸时的励磁涌流。

关键词 变压器 励磁涌流 Pspice Zigzag 绕组接法

1 引言

变压器是电力系统中重要的设备, 它的安全性和稳定性对整个电力系统的运行是很重要的。稳态运行时, 变压器的励磁电流只有其额定电流的 1% ~ 2%。但当变压器空载投入电网时由于变压器铁心磁通的饱和以及铁心材料的非线性特征, 会产生很大的励磁涌流, 其幅值达到额定电流的数十倍^[1]。这种励磁涌流给电力系统及变压器本身带来了一系列的危害, 例如: 会损害变压器的绝缘, 使变压器绕组机械应力增大, 导致变压器绕组变形; 导致变压器保护装置的误动作; 造成电网电能质量的下降 (包括大量的高频谐波), 引起电网中谐振现象; 电磁干扰, 影响变压器周围设备的运行等。

变压器励磁涌流的波形特征和多种因素有关, 如系统电压、变压器的等效阻抗、合闸初相角、剩余磁通的大小和方向、铁心的结构和材质等。对于三相变压器来说, 还要考虑三相绕组的接法以及三相铁心的形式。为了减小励磁涌流对电力系统的影响, 通常采取的方法是在合闸回路串联电阻^[2]来限制涌流的幅值和暂态过程, 但该方法增加了投资费用和操作的复杂性。随着开关技术的发展, 出现了选相分合闸技术^[3,4], 但由于变压器中的剩磁难以测量以及断路器动作分散性和触头预击穿等因素的影响, 所以该方法在实际应用中还存在问题。还有学者提出了一种通过改变一、二次绕组分布^[5]来抑制励磁涌流的方法, 该方法是通过增加合闸过程中变压器的自感来达到抑制变压器励磁涌流目

的, 但该方法改变了变压器的内部结构, 可能会给变压器的稳态运行带来问题。

本文主要是研究在变压器一次绕组采用 Zigzag 接线方式时对变压器空载合闸励磁涌流的影响。

2 基本原理

由于变压器铁心材料励磁特性具有非线性特性, 如图 1 所示。当铁心磁通 Φ 小于饱和磁通 Φ_s 时, 励磁电流很小。若 $\Phi > \Phi_s$, 励磁电流 i_0 随着磁通 Φ 增加迅速增加。

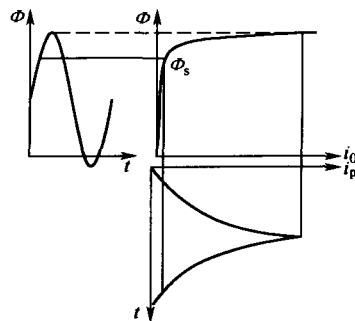


图 1 磁通电流变化曲线图

下面以单相变压器为例, 来说明励磁涌流产生的机理。忽略变压器的漏感, 列出变压器一次侧回路电压方程为

$$L_1 di_0/dt + i_0 R_1 = U_1 \quad (1)$$

式中, $U_1 = U_m \sin(\omega t + \alpha)$; R_1 为一次绕组的总电阻; i_0 为瞬时的励磁电流; N 为一次绕组匝数; L_1 为变压器绕组的电感。解此微分方程, 可得

$$i_0 = \frac{U_m}{\sqrt{(\omega L_1)^2 + R_1^2}} \left[\begin{array}{l} -\cos(\omega t + \alpha) \\ + \cos\alpha \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1}t} \end{array} \right] \quad (2)$$

式(2)中, 电流由两部分组成:

$\frac{-U_m}{\sqrt{(\omega L_1)^2 + R_1^2}} \cos(\omega t + \alpha)$ 为电流的稳态值,

$\frac{U_m}{\sqrt{(\omega L_1)^2 + R_1^2}} \cos\alpha \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1}t}$ 为电流的暂态值。它是

为维持 $t = 0$ 时刻电流不能发生突变而产生的暂态电流, 这是一个衰减的非周期分量, 衰减时间常数为 L_1/R_1 。但如果在 $\alpha = \pi/2$ 时合闸, 则该暂态分量为零, 变压器将直接进入稳态过程。

在整个变压器的空载合闸过程中, 电感值 L_1 并非是固定不变的, 而是随着变压器的饱和程度而变化的。铁心的饱和程度越高, L_1 的值就会越小。因此, 在变压器合闸后开始的几个周波内, 由于变压器的饱和程度较高, 从而导致励磁涌流的值较大。同时, 由于系统中电阻的阻尼作用变压器的励磁涌流 i_0 是不断衰减的。而随着电流的减小, 变压器的饱和程度也会降低, L_1 的值逐渐变大, 所以电流的衰减速度会越来越慢。

通过对式(2)的分析, 可以看出要减小变压器的空载合闸励磁涌流, 可通过增大空载合闸过程的 L_1 值和 R_1 值以及选择合适的合闸初相角来实现。而本文中介绍的方法——在变压器的一次侧采用 Zigzag 接法, 是通过降低变压器的饱和程度即增大式(2)中的 L_1 值来减小变压器的励磁涌流的。

3 Zigzag 接法对励磁涌流影响的分析

先分析一次侧为 Yn 接法时变压器的励磁涌流情况。在 Yn 接法时, 对于每一相来说, 忽略漏感和铁损、铜损, 假设变压器的绕组匝数为 N_1 匝, 且剩磁 Φ_r 为零。可得到单一每相的电学方程

$$N_1 = \frac{d\Phi_{kY}}{dt} = e_k \quad k = A, B, C \quad (3)$$

式中, $\Phi_{AY}, \Phi_{BY}, \Phi_{CY}$ 分别为变压器三相铁心中的主磁通; e_A, e_B, e_C 分别为加在变压器三相绕组上的电压, 其中 $e_A = U_m \sin(\omega t + \alpha), e_B = U_m \sin(\omega t + \alpha - 120^\circ), e_C = U_m \sin(\omega t + \alpha + 120^\circ)$ 。

对上式积分, 可求得变压器各相的磁通变化公式为

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{AY} = \frac{1}{N_1} \cdot \frac{U_m}{\omega} \cdot [-\cos(\omega t + \alpha)] + \frac{1}{N_1} \cdot \frac{U_m}{\omega} \cdot \cos\alpha \\ \Phi_{BY} = \frac{1}{N_1} \cdot \frac{U_m}{\omega} \cdot [-\cos(\omega t + \alpha - 120^\circ)] + \\ \quad \frac{1}{N_1} \cdot \frac{U_m}{\omega} \cdot \cos(\alpha - 120^\circ) \\ \Phi_{CY} = \frac{1}{N_1} \cdot \frac{U_m}{\omega} \cdot [-\cos(\omega t + \alpha + 120^\circ)] + \\ \quad \frac{1}{N_1} \cdot \frac{U_m}{\omega} \cdot \cos(\alpha + 120^\circ) \end{array} \right. \quad (4)$$

由式(4)可得, 在 Yn 接法中, A 磁通的稳态分量的幅值 $\Phi_{AYm'}$ 应为: $\Phi_{AYm'} = U_m / (N_2 \cdot \omega)$ 。

再分析中性点接地的 Zigzag 接法变压器空载合闸时励磁涌流的情况。

Zigzag 接法的基本原理图如图 2 所示。其中, 缠绕在每一相心柱上的绕组都是分为 k_1 和 k_2 两部分的 ($k = A, B, C$)。假定 k_1, k_2 部分的“1”端为绕组的同名端。

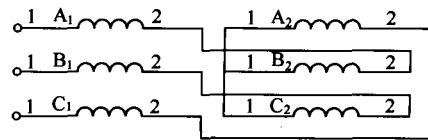


图 2 Zigzag 接法的原理图

令变压器的 k_1 部分的绕组匝数为 aN_1 , k_2 部分的绕组匝数为 xaN_1 。其中 $0 < x < 1, 0 < a \leq 1, k = A, B, C$ 。忽略变压器的漏感、铁损以及铜损对变压器空载合闸励磁涌流的影响, 可分别建立中性点接地时上述变压器模型在电学和磁学上的方程组

$$\left\{ \begin{array}{l} d\Psi_{A1}/dt - d\Psi_{C2}/dt = e_A \\ d\Psi_{B1}/dt - d\Psi_{A2}/dt = e_B \\ d\Psi_{C1}/dt - d\Psi_{B2}/dt = e_C \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Psi_{A1} = aN_1 \Phi_A & \Psi_{A2} = xaN_1 \Phi_A \\ \Psi_{B1} = aN_1 \Phi_B & \Psi_{B2} = xaN_1 \Phi_B \\ \Psi_{C1} = aN_1 \Phi_C & \Psi_{C2} = xaN_1 \Phi_C \end{array} \right. \quad (6)$$

式(5)为电学的方程组, 式(6)为磁学的方程组。 Ψ_{k1} 为每相绕组 k_1 部分的磁链, $d\Psi_{k1}/dt$ 为 k_1 部分绕组的感应电势。 Ψ_{k2} 为每相绕组 k_2 部分的磁链, $d\Psi_{k2}/dt$ 为 k_2 部分绕组的感应电势 ($k = A, B, C$), Φ_A, Φ_B, Φ_C 分别为变压器三相铁心中的主磁通, e_A, e_B, e_C 同 Yn 接法时的一次电压。

联立方程组 (5) 和 (6), 假设变压器各相中的剩磁 Φ_r 为零, 最后得到的结果为

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_A &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos(\omega t + \alpha) - x^2 \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) - \\ &x \cos(\omega t + \alpha + 120^\circ)] + C_A \\ \Phi_B &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) - x^2 \cos(\omega t + \alpha + 120^\circ) - \\ &x \cos(\omega t + \alpha)] + C_B \\ \Phi_C &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos(\omega t + \alpha + 120^\circ) - x^2 \cos(\omega t + \alpha) - \\ &x \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ)] + C_C \end{aligned} \right. \quad (7)$$

式中, 每项的前一部分为 Φ_k 的稳态分量, 后一项为 Φ_k 的暂态分量。

$$\left\{ \begin{aligned} C_A &= \frac{-U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos\alpha - x^2 \cos(\alpha - 120^\circ) - x \cos(\alpha + 120^\circ)] \\ C_B &= \frac{-U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos(\alpha - 120^\circ) - x^2 \cos(\alpha + 120^\circ) - x \cos\alpha] \\ C_C &= \frac{-U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos(\alpha + 120^\circ) - x^2 \cos\alpha - x \cos(\alpha - 120^\circ)] \end{aligned} \right.$$

先对 Φ_A 进行分析, Φ_A 的稳态分量 Φ_A' 可进行以下转化

$$\begin{aligned} \Phi_A' &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1-x^3} \\ &[-\cos(\omega t + \alpha) - x^2 \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) - \\ &x \cos(\omega t + \alpha + 120^\circ)] \\ &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1+x+x^2} \\ &[x \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) - \cos(\omega t + \alpha)] \\ &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+x+x^2}} [\cos(\omega t + \alpha - \beta)] \end{aligned}$$

式中, β 为 Φ_A' 与 $\cos(\omega t + \alpha)$ 之间的夹角。最后可得到变压器各相磁通 Φ_k ($k = A, B, C$) 的表达式为

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_A &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+x+x^2}} \\ &[-\cos(\omega t + \alpha - \beta) - \cos(\alpha - \beta)] \\ \Phi_B &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+x+x^2}} \\ &[\cos(\omega t + \alpha - \beta - 120^\circ) - \cos(\alpha - \beta - 120^\circ)] \\ \Phi_C &= \frac{U_m}{\alpha N_1 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+x+x^2}} \\ &[\cos(\omega t + \alpha - \beta + 120^\circ) - \cos(\alpha - \beta + 120^\circ)] \end{aligned} \right. \quad (8)$$

通过比较式 (4) 和式 (8), 可以看出: 要使 Zigzag 接法时的合闸磁通小于 Yn 接法的合闸磁通, 必须要满足下列条件: $a \sqrt{1+x+x^2} > 1$ 。由式 (8) 还可以看出, 在 a 值不变的情况下, 随着 x 值的增大, $1/\sqrt{1+x+x^2}$ 的值会减小, 即 Φ_A' 的幅值 Φ_{Am}' 会减小。当 x 取 1 时, 也就是说此时的稳态磁通为最小值。

下面具体分析在合闸初相角 $\alpha = 0$ 的情况下, a 和 x 取值不同对变压器合闸磁通的影响。 $x = 0.1$ 时, 由 $a \sqrt{1+x+x^2} > 1$ 可得: $a = 0.95$ 。下面分别以当 $a = 0.96$, $a = 0.98$ 和 $a = 1$ 来分析 x 取值与变压器合闸磁通值之间的关系。先令一次侧 Zigzag 接法中性点接地变压器各相磁通的最大值 Φ_{km} ($k = A, B, C$) 与 Yn 接法稳态磁通值 $U_m/\omega \cdot N_1$ 之间的比值为 R_k ($k = A, B, C$)。

当 $a = 0.96$, $a = 0.98$, $a = 1$ 时, 由式 (8) 可分别得到 x 不同取值情况下的 R_k 值, 如表 1 所示。

由式 (4) 可以得到 Yn 接法时变压器各相磁通的最大值为

$$\begin{aligned} \Phi_{AYm} &= 2 U_m / (\omega \cdot N_2) \\ \Phi_{BYm} &= 1.5 U_m / (\omega \cdot N_2) \\ \Phi_{CYm} &= 1.5 U_m / (\omega \cdot N_2) \end{aligned}$$

通过比较上述两种接法下的变压器的合闸磁通值, 可以清楚地看出: 当合闸初相角 $\alpha = 0$ 且变压器剩磁为零时, Zigzag 接法时变压器 A 相和 B 相的合闸磁通值是小于 Yn 接法时的合闸磁通值的, 而 C 相的合闸磁通值根据 a 和 x 取值的不同可能大于也可能小于 Yn 接法时的合闸磁通值, 但是总体上是小于 Yn 接法时的合闸磁通值的。根据图 1 中电流和磁通的关系, 可知 Zigzag 接法时 A 相和 B

相的空载合闸励磁涌流是小于 Yn 接法时的励磁涌流的。而且,随着和 x 值的增大即变压器的绕组匝数越多,变压器的励磁涌流会变得越小。

表 1 $a = 0.96$ 、 $a = 0.98$ 和 $a = 1$ 时
 x 不同取值与 R_k 的关系

		R_A	R_B	R_C
$a = 0.96$	$x = 0.1$	1.97	1.41	1.56
	$x = 0.2$	1.86	1.26	1.52
	$x = 0.3$	1.74	1.14	1.49
	$x = 0.4$	1.64	1.04	1.43
	$x = 0.5$	1.53	0.92	1.39
$a = 0.98$	$x = 0.1$	1.93	1.38	1.52
	$x = 0.2$	1.82	1.24	1.49
	$x = 0.3$	1.71	1.12	1.45
	$x = 0.4$	1.60	1.01	1.40
	$x = 0.5$	1.50	0.90	1.36
$a = 0.1$	$x = 0.1$	1.89	1.35	1.49
	$x = 0.2$	1.78	1.22	1.46
	$x = 0.3$	1.67	1.10	1.43
	$x = 0.4$	1.57	0.99	1.37
	$x = 0.5$	1.47	0.89	1.34

4 仿真实验

通过以上的理论分析, Zigzag 接法的变压器在特定的绕组排列方式下,同相应的 Yn 接法的变压器相比是能够减小变压器空载合闸时的励磁涌流的。

下面利用 Pspice 仿真软件中的变压器模型对以上的结果进行仿真实验。由于 Pspice 中的变压器模型采用的非线性 Jiles - Atherton 铁心模型含有数个和铁心材质及变压器构造有关的参数,这些参数能够描述变压器的磁滞曲线的形状。因此,能够通过它对含磁滞与饱和特性的变压器进行模拟分析。

首先,设计一个 500kVA, 10kV/0.4kV, 采用 Yyn 接法的变压器^[6]。该变压器的某些具体参数如下:铁心的直径 $D = 195\text{mm}$;有效横截面积 $S = 278.681\text{cm}^2$,平均磁路长度 $l = 140\text{cm}$,一、二次的额定电流 I_{1e} 、 I_{2e} 分别为 28.87A、721.7A;一二次的匝数比为 550 匝/22 匝;一次绕组的电阻 $R_1 = 1.2\Omega$,漏抗 $L_1 = 12.5\text{mH}$ 。

除了以上的参数外,还要设置合适的变压器铁心模型的参数。本文中选用的 Jiles - Atherton^[7]铁心模型的型号为 TN33-20-11-2P90。其默认的参数值设置如下:MS(磁饱和电流) = 1.2896E6;A(形状参数) = 2.7128E3;C(磁畴壁的挠曲参数) = 0.25001;K(磁畴壁的销连参数) = 1.5551E3;

AREA(平均磁通面积) = 0.650;PATH(平均磁路长度) = 8.0000。

为了使该变压器模型能够较好地反映实际变压器的空载合闸过程,必须要选用合适的铁心模型的参数,经过不同参数下多次的仿真比较以及根据变压器的实际设计参数,对以上参数作出以下修正:MS = 2.7496E6;A = 10.128E3;C = 0.25001;K = 1.5551E3;AREA = 278.681;PATH = 140。另外,要将变压器一、二次的匝数分别设置为 550 匝、22 匝。

根据上述的参数,在 Pspice 仿真软件中建立该变压器的仿真模型。在合闸初相角 $\alpha = 0$ 的情况下,该变压器的空载合闸励磁涌流的波形如图 3 所示。由图 3 可以看出,变压器的 A、B、C 三相的励磁涌流分别大约为 220A、68A 和 68A。

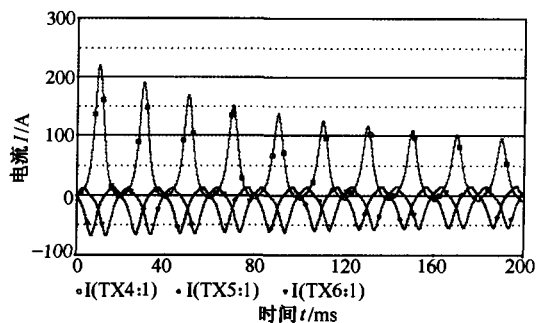


图 3 Yn 接法时的空载合闸励磁涌流

由上节的理论分析可知道,将一次绕组分成绕组匝数为 aN_1 和 xaN_1 两部分,并使它们满足 $a\sqrt{1+x+x^2} > 1$ 的关系,就可减小变压器空载合闸过程中的励磁涌流。 a 和 x 取值不同时,对励磁涌流的影响程度也不一样。

下面就通过 Pspice 对 $a = 0.96$ 、 $a = 0.98$ 和 $a = 1$ 时, x 取值与励磁涌流的关系进行模拟仿真,相应的仿真结果如表 2 所示。

由表 2 中的结果,可以清楚地看出:在 x 相同的情况下, a 的值越大,则励磁涌流越小;在 a 相同的情况下, x 的值越大,则励磁涌流越小。将上述的仿真结果和 Yn 接法时励磁涌流相比较,可知 Zigzag 接法总体上是能够减小变压器的励磁涌流的。同时,仿真结果也验证了上述理论分析的正确性。

5 Zigzag 接法对变压器的不利影响

通过上面的理论分析和仿真实验,可以看出:

Zigzag 接法能够有效地减小变压器励磁涌流, 而且 a 和 x 值越大, 变压器的励磁涌流就会越小。但是, a 和 x 值的增大, 也就意味着变压器绕组匝数的增多, 在变压器窗高不变的情况下, 其中心距会增大, 即变压器的成本会增加。

表 2 $a=0.96$ 、 $a=0.98$ 和 $a=1$ 时
 x 取值对励磁涌流的影响

		I_{Ap}/A	I_{Bp}/A	I_{Cp}/A
$a = 0.96$	$x = 0.1$	214	60	74
	$x = 0.2$	158	46	68
	$x = 0.3$	118	38	60
	$x = 0.4$	90	29	52
	$x = 0.5$	73	24	48
$a = 0.98$	$x = 0.1$	190	55	68
	$x = 0.2$	140	43	62
	$x = 0.3$	108	36	56
	$x = 0.4$	82	29	49
	$x = 0.5$	69	22	43
$a = 0.1$	$x = 0.1$	169	50	63
	$x = 0.2$	128	40	58
	$x = 0.3$	98	32	50
	$x = 0.4$	76	26	43
	$x = 0.5$	62	20	40

还以上述的 500kVA 的变压器^[6]为例来分析 Zigzag 接法对变压器成本的影响。变压器有关铜、铁材料的一些参数如下: 铁心铁轭重 = 289.94kg, 总重 = 639kg, 中心距 = 140mm, 一次绕组的辐向尺寸 = 30.5mm, 一次导线重 = 135.07kg, 二次导线重 = 135.23kg, 高压绕组平均半径为 150.75mm。若令一次绕组辐向尺寸的增加量 $30.5(a + ax - 1)$ 为 ΔR 。由以上的参数可以算出铁材料成本的增加量 $A\%$ 和铜材料成本的增加量 $B\%$

$$A\% = 4 \times \frac{\Delta R \times 2 \times 289.94}{140 \times 639 \times 4} \times 100\% \quad (9)$$

$$B\% = \frac{135.07 \times [(1 + \Delta R/2 \times 150.75)(a + ax) - 1]}{135.07 + 135.23} \times 100\% \quad (10)$$

由式 (9) 和式 (10) 可看出, a 和 x 的值越大, 则变压器的成本就会越高。当 $a=1$, $x=0.1$ 时, 由式 (9) 和式 (10) 可分别算得 $A=2\%$, $B=5.5\%$, 即铁、铜的成本分别增加了 2% 和 5.5%。

因此, 在实际的变压器设计中, 应综合考虑 a 和 x 的值对变压器的成本和对变压器励磁涌流的影响, 在适当增加变压器成本的基础上, 要能够将励磁涌流对变压器的不利影响维持在可以承受的范围

内, 使设计出来的变压器拥有最佳的性价比。

6 结束语

本文论述了变压器空载合闸时励磁涌流抑制技术的现状以及相应方法的优缺点, 分析了变压器励磁涌流产生的原理, 并在此基础上提出了一种新的励磁涌流抑制技术——在变压器的一次侧采用 Zigzag 接法。这种方法的基本原理是将一次侧绕组分为两部分, 这两部分绕组缠绕不同的铁心, 这样变压器一次侧的感应电势就由两个不同相且相差 120° 的磁通产生。只要这两部分绕组匝数之间满足上述分析得出的条件 $a\sqrt{1+x+x^2} > 1$, 就可以使空载合闸过程中变压器各相的磁通值得到减小, 从而达到抑制励磁涌流的目的。

通过以上理论分析、计算和 Pspice 的仿真验证, 本文可以得出以下结论:

(1) 一次侧采用 Zigzag 接法时对变压器的励磁涌流有着明显的削弱作用, 这种削弱作用随着 a 和 x 的值增大而增加。

(2) Zigzag 接法会导致变压器成本的增加。因此, 在实际的变压器设计中, 要综合考虑上述结论中两方面因素, 使变压器能够取得最佳的性价比。

参考文献

- [1] 许建安. 电力系统继电保护 [M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2003.
- [2] 李璇, 周海洋, 施围. 断路器合闸电阻对变压器励磁涌流的影响 [J]. 高压电器, 2003, 39 (1): 16 - 18, 21.
- [3] H John, Brunke J Klaus, et al. Elimination of transformer inrush current by controlled switching-part I: theoretical consideration [J]. IEEE Power Deliver, 2001, 16 (4): 276 - 280.
- [4] H John, Brunke J Klaus, et al. Elimination of transformer inrush current by controlled switching-part II: application and performance considerations [J]. IEEE Power Deliver, 2001, 16 (4): 281 - 285.
- [5] Cheng C K, Liang T J, Chen J F, et al. Novel approach to reducing the inrush current of a power transformer [J]. IEE Proceedings Electric Power Application, 2004, 151 (3): 289 - 295.

(下转第 28 页)

等待定时器、内存映射文件、双缓冲区存储以及多线程等技术,解决了中速、高速数据采集卡同步数据采集以及实时传送的问题,实现了双速故障数据的完整采集、大容量连续存储、传输以及故障波形的实时显示与分析等功能。本文中开发的新型故障录波装置在完成故障录波功能的同时,通过添加极少的硬件设备就能替代传统的故障测距装置,节省了大量投资。同时,本文为 Windows2000 平台下,用软件完成以往需要硬件才能完成的实时操作与运算、控制提供了一种较好的解决方案。

参考文献

- [1] 尤晋元. Windows 操作系统原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] David JKI' Uglinski. VisualC++ 技术内幕 [M]. 5 版. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] Richter J. Windows 核心编程 [M]. 王建华译. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [4] Mikey Williams. Programming Microsoft Windows 2000 Unreleased [M]. 前导工作室译. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [5] 220~500kV 电力系统故障动态记录技术准则[S]. 中华人民共和国电力工业部, 1994.
- [6] 骆健, 丁网林, 唐涛. 国内外故障录波器的比较[J]. 电力自动化设备, 2001(7).
- [7] 杨廷方, 刘沛. 基于工控机的集中式录波器设计. 电力自动化设备, 2001(6).
- [8] 熊蕙, 刘杨, 刘沛. 装置录波装置的通信设计[J]. 电力自动化设备, 2002(3).
- [9] 周鸣籁, 邵雷. Windows 环境下精确定时的实现[J]. 微计算机应用, 2001(9).

- [10] 张加宁. 基于 Windows2000 开发实时操作系统[J]. 计算机与现代化, 2003(10).
- [11] 孟毅, 冯志彪. Windows2000 实时应用研究[J]. 微机发展, 2003(11).
- [12] 刁修民, 刘亚斌, 于守谦. Windows 环境下高速数据采集系统的设计与实现[J]. 计算机工程, 2003(6).
- [13] S Chen, CL Zhang, YZ Liu. A multi-channel monitoring system for system-wide power quality measurements [C]. Proc 2000 Fourth International Conference on Power System Technology (POWERCON 2000), Perth, Australia: 953-958.

The Study of a Two Velocities Trouble Recorder, Based on Multitask Operational System with the Function of High Precise Fault Location

Wang Yang

(Chongqing University)

Abstract Utilizing multithreading, waitabletimer, memoymapfile etc. key techniques, The device has solved the harmonious problem between data gathering cards with different velocities in the multitask operation system Window2000. At the same time, it has perfectly added the function of high precise fault locaters to traditional fault recorders, therefore greatly expanded the abilities of fault recorders.

Keywords multithreading waitabletimer memoymapfile multitask operating system fault recorder high precise fault locator

收稿日期: 2006-05-31

(Anhui University of Technology)

Abstract A new approach, which adopted zigzag winding connection in primary side of transformer, is proposed in restraining inrush current for switching-in no-load transformer. The approach can decrease the saturation of the iron core, as well as the inrush current. After theoretic analyses and simulation by Pspice, this conclusion is obtained: The approach is effective to restrain inrush current for switching-in no-load transformer.

Keywords transformer inrush current Pspice zigzag winding connection

收稿日期: 2006-08-21

(上接第 38 页)

- [6] 刘传彝. 电力变压器设计计算方法与实践 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [7] Prigozy S. PSPICE computer modeling of hysteresis effects [J]. IEEE Trans on Education, 1993, 36(1): 2-5.

Research on a Technology Restraining Inrush Current for Switching-In No-Load Transformer

Xie Dawei