

基于变压器模型的变压器保护原理研究

褚云龙¹, 郝治国², 李朋²

(1. 西北电网有限公司, 陕西 西安 710048; 2. 西安交通大学电气学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 提出了一种基于变压器绕组参数辨识原理的变压器保护算法。在正常运行状况下(包括励磁涌流), 由变压器原、副边绕组电阻、漏感和互感磁通等参数描述的变压器原、副边绕组回路方程是平衡的;而在故障状态下由于绕组参数改变而不再平衡。因此,通过适时估算绕组参数来判别变压器绕组原、副边回路方程是否平衡就可以判断变压器的运行状态,从而决定保护是否动作。仿真结果表明,该原理可以正确识别变压器正常运行状态及故障状态。同时该方案不受变压器励磁涌流的影响,并且在内部故障时有较高的灵敏度。

关键词: 变压器; 差动保护; 励磁涌流; 参数辨识; 回路平衡方程

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)23-0001-05

0 引言

电力变压器是电力系统中重要的输变电设备,它运行安全与否直接关系到电力系统能否安全、稳定地工作。因此,变压器继电保护历来是电力系统关注的重要问题之一,变压器的可靠性问题也一直备受关注^[1]。

长期以来,变压器差动保护一直是电力变压器的主保护。变压器差动保护中最关键也是最困难的问题是如何防止变压器励磁涌流所导致的差动保护误动作。目前,在系统中配置的变压器保护,主要是采用励磁涌流中的二次谐波制动和鉴别励磁涌流间断角来防止变压器差动保护误动作。由于间断角原理对硬件要求高,实现较困难,在微机变压器差动保护中,往往更多地采用二次谐波制动原理。由于CT饱和,以及无功补偿用的并联电容或超高压长输电线分布电容的存在,使得变压器发生内部故障时也会产生很大的二次谐波,进而使得应用二次谐波制动原理做成的变压器差动保护装置往往难以区分内、外部故障,从而造成变压器差动保护的误动作^[2],如何有效而准确地识别励磁涌流就变得十分重要。

为防止外部短路时的不平衡电流造成差动保护误动作,工程实际中普遍采用比率制动方法,但它对弱故障电流反应不灵敏,如高阻接地,小匝数匝间短路等。而变压器半数以上发生的内部故障是由匝间短路引起的。因此,在识别励磁涌流的同时,如何有效地判别变压器弱故障时的状态(主要是匝间短

路)就成了解决变压器继电保护的又一重要研究内容。

传统的变压器保护装置已不能很好地满足电力系统的要求。为提高变压器保护动作的准确性和快速性,探讨用新原理和新方法构成新的变压器保护装置,不论在学术上还是在实际应用方面都是很有价值的。

本文在单相变压器模型基础上,分析了变压器正常状态回路方程,推导了单相变压器、三相双绕组 $Y_0/Y_0/Y_0$ 接法变压器动作方程。

1 基于绕组参数辨识的变压器保护原理

1.1 变压器正常运行状态下回路方程

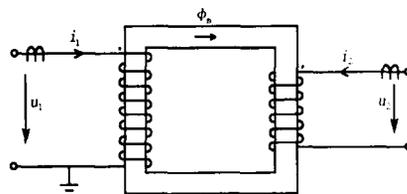


图1 单相双绕组变压器

Fig 1 Two-winding single-phase transformer

对于图1所示的单相双绕组变压器模型,有下列原、副边回路方程成立:

$$u_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\phi_m}{dt} \quad (1)$$

$$u_2 = r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\phi_m}{dt} \quad (2)$$

式中: u_1 、 u_2 为原、副边绕组的电压, i_1 、 i_2 为原、副边绕组端的电流,可以实时测量; r_1 、 r_2 为原、副边绕组的电阻, L_1 、 L_2 为原、副边绕组的漏电感; N_1 、 N_2 为原、副边绕组的匝数; ϕ_m 为原、副边绕组间的互感磁通。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50577050)

式(1)、(2)中的 $d\phi_m/dt$ 项包含了 B-H 曲线的非线性关系,很难直接获得。消去 $d\phi_m/dt$ 得到回路平衡方程为:

$$(u_1 - r_1 i_1 - L_1 \frac{di_1}{dt}) - n_B (u_2 - r_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt}) = 0 \quad (3)$$

式中: n_B 为变压器原、副边的变比, $n_B = N_1/N_2$ 。特别地,对于变压器励磁涌流情况,二次侧电流为零:

$$(u_1 - r_1 i_1 - L_1 \frac{di_1}{dt}) - n_B u_2 = 0 \quad (4)$$

1.2 基于变压器正常运行绕组参数的回路方程特征分析

式(3)、(4)可以统一改写为:

$$K_{dz} = (u_1 - r_1 i_1 - L_1 \frac{di_1}{dt}) - n_B (u_2 - r_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt}) \quad (5)$$

在变压器正常运行、励磁涌流及外部故障状态下,等式(5)右边等于零;但是当变压器发生内部匝间故障时,由于绕组参数发生变化及绕组电流发生变化,右端不再等于零;当变压器发生内部接地短路、相间短路时,由于变压器端侧的电流并不全部流过绕组,回路方程同样也不再平衡。因此,可以实时计算式(5)表达的 K_{dz} 是否等于零,从而判断变压器内部有无故障发生,以此来决定保护是否动作。

1.3 三相双绕组变压器动作方程的推导

单相变压器回路方程模型可直接推广到对称的三相 Y_0/Y_0 型变压器,如图2所示。

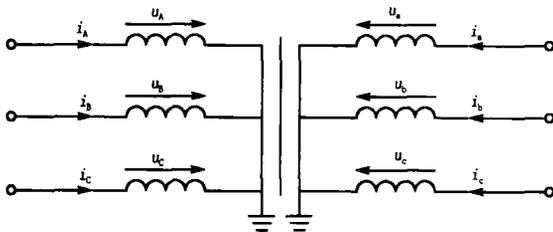


图2 三相 Y/Y接法变压器模型

Fig 2 Two-winding three-phase transformer with Y/Y connection

其动作方程表示为:

$$K_{dz1} = (u_A - r_A i_A - L_{1A} \frac{di_A}{dt}) - n_B (u_a - r_a i_a - L_{1a} \frac{di_a}{dt})$$

$$K_{dz2} = (u_B - r_B i_B - L_{1B} \frac{di_B}{dt}) - n_B (u_b - r_b i_b - L_{1b} \frac{di_b}{dt}) \quad (6)$$

$$K_{dz3} = (u_C - r_C i_C - L_{1C} \frac{di_C}{dt}) - n_B (u_c - r_c i_c - L_{1c} \frac{di_c}{dt})$$

对于三相 Y_0/Y_0 接法的变压器,当变压器保护区内发生故障时,通过识别故障相的 K_{dz} 数值的变化来判别故障相保护是否动作。

而对于 $Y_0/$ 接法的变压器,由于副边侧绕组相电流难以直接获得,需要进行特殊处理。

对于如图3所示的 $Y_0/$ 接法的三相双绕组变压器, u_{ab} 、 u_{bc} 、 u_{ca} 为侧绕组相电压, i_a 、 i_b 、 i_c 为侧绕组线电流,流过侧绕组的相电流为 i_a 、 i_b 、 i_c 。原边 Y侧回路方程为:

$$\begin{cases} u_A = r_A i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + \frac{N_1 d\phi_A}{dt} \\ u_B = r_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt} + \frac{N_1 d\phi_B}{dt} \\ u_C = r_C i_C + L_C \frac{di_C}{dt} + \frac{N_1 d\phi_C}{dt} \end{cases} \quad (7)$$

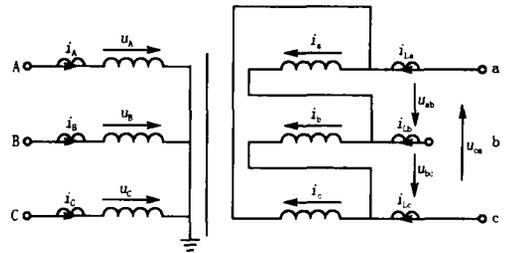


图3 三相 $Y_0/$ 接法变压器模型

Fig 3 Two-winding three-phase transformer with $Y_0/$ connection

副边侧绕组的回路方程为:

$$\begin{cases} u_a = r_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + N_2 \frac{d\phi_a}{dt} \\ u_b = r_b i_b + L_b \frac{di_b}{dt} + N_2 \frac{d\phi_b}{dt} \\ u_c = r_c i_c + L_c \frac{di_c}{dt} + N_2 \frac{d\phi_c}{dt} \end{cases} \quad (8)$$

由于回路平衡方程是以绕组中的电压、电流为基础建立的,对于 CT接在侧绕组出线上的情况,绕组的相电流不能直接测量得到。根据侧线电流与相电流的关系: $i_{ab} - i_{ca} = i_a$ 、 $i_{bc} - i_{ab} = i_b$ 、 $i_{ca} - i_{bc} = i_c$,以及三相变压器绕组对称的特点有:

$$L_A = L_B = L_C = L_1, L_{ab} = L_{bc} = L_{ca} = L_2,$$

$$r_A = r_B = r_C = r_1, r_{ab} = r_{bc} = r_{ca} = r_2,$$

$Y/$ 三相变压器的回路方程可以变换为:

$$\begin{cases} \frac{d\phi_a}{dt} - \frac{d\phi_c}{dt} = \frac{1}{N_2} [(u_{ab} - u_{ca}) - r_2 i_a - L_2 \frac{di_a}{dt}] \\ \frac{d\phi_b}{dt} - \frac{d\phi_a}{dt} = \frac{1}{N_2} [(u_{bc} - u_{ab}) - r_2 i_b - L_2 \frac{di_b}{dt}] \\ \frac{d\phi_c}{dt} - \frac{d\phi_b}{dt} = \frac{1}{N_2} [(u_{ca} - u_{bc}) - r_2 i_c - L_2 \frac{di_c}{dt}] \end{cases} \quad (9)$$

同理,原边侧 Y_0 接法绕组回路方程可以变化为:

$$\begin{cases} \frac{d\phi_A}{dt} - \frac{d\phi_C}{dt} = \frac{1}{N_1} [u_A - u_C - r_1 (i_A - i_C) - L_1 \frac{d(i_A - i_C)}{dt}] \\ \frac{d\phi_B}{dt} - \frac{d\phi_A}{dt} = \frac{1}{N_1} [u_B - u_A - r_1 (i_B - i_A) - L_1 \frac{d(i_B - i_A)}{dt}] \\ \frac{d\phi_C}{dt} - \frac{d\phi_B}{dt} = \frac{1}{N_1} [u_C - u_B - r_1 (i_C - i_B) - L_1 \frac{d(i_C - i_B)}{dt}] \end{cases} \quad (10)$$

由式(9)、(10)得到 Y_0 接法变压器的动作方程为:

$$\begin{aligned} K_{dz1} &= [u_A - u_C - (r_A i_A - r_C i_C) - (L_{1A} \frac{di_A}{dt} - L_{1C} \frac{di_C}{dt})] - n_B [(u_{ab} - u_{ca}) - r_2 i_a - L_2 \frac{di_a}{dt}] \\ K_{dz2} &= [u_B - u_A - (r_B i_B - r_A i_A) - (L_{1B} \frac{di_B}{dt} - L_{1A} \frac{di_A}{dt})] - n_B [(u_{bc} - u_{ab}) - r_2 i_b - L_2 \frac{di_b}{dt}] \\ K_{dz3} &= [u_C - u_B - (r_C i_C - r_B i_B) - (L_{1C} \frac{di_C}{dt} - L_{1B} \frac{di_B}{dt})] - n_B [(u_{ca} - u_{bc}) - r_2 i_c - L_2 \frac{di_c}{dt}] \end{aligned} \quad (11)$$

由式(11)可知,当变压器保护区内发生单相故障时,将有两个 K_{dz} 数值发生变化;当发生两相接地或两相短路故障时,三个 K_{dz} 值将变化。

2 基于参数辨识的变压器保护算法

系统辨识^[3]技术对于电力系统分析是一种行之有效的工具。其中包括最小二乘估计、卡尔曼滤波等技术方法。对于电力系统参数的辨识,人们通常采用最小二乘的估计方法。本文所叙述的绕组参数辨识回路方程保护算法灵敏度的高低,很大程度上取决于对变压器原、副边绕组参数的准确估计。因此,如何准确估计变压器原、副边参数成为保护算法的关键。

2.1 最小二乘法

最小二乘法是一种以选用误差平方和为准则,来最佳拟合出符合实验数据的最优参数估计的数学方法。

假定变量 y 为一组 n 维变量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 有如下线性关系,即

$$y(t) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) + \dots + a_n x_n(t) \quad (12)$$

式中: $\{a_i, i=1, 2, \dots, n\}$ 是一组未知的定常参数,且 n 已知。我们通过观测不同时刻的输入输出数 $\{y(j), x_1(j), x_2(j), \dots, x_n(j)\}$ 来估计这些未知的待估参数 a_i 。根据不同时刻的输入输出数据由式(12)可得 m 个线性方程:

$$y(j) = a_1 x_1(j) + a_2 x_2(j) + \dots + a_n x_n(j) \quad j=1, 2, \dots, m \quad m \quad n \quad (13)$$

$$\text{即 } Y = X \cdot E \quad (14)$$

式中: Y 为系统输出向量, X 为系统变换矩阵, 为待辨识参数, E 为测量误差。采用递推最小二乘法辨识参数, 递推步骤如下:

$$\begin{cases} (k+1) = (k) + F(k) [y(k) - x^T(k) (k)] \\ P(k) = [I - F(k) x^T(k)] P(k-1) \\ F(k+1) = P(k) x(k) [x^T(k) P(k-1) x(k) + I]^{-1} \end{cases} \quad (15)$$

2.2 变压器绕组参数辨识

由于变压器绕组参数的准确度直接关系到保护算法的灵敏性,而常规的绕组参数求取方法存在着准确度差的问题,因此本文选用递推最小二乘来估计变压器原、副边参数值。

将变压器看作一个黑箱,那么已知可以测量的量为双端的电压、电流信号。单相变压器双端回路方程整理可得:

$$u_1 - n_B u_2 = L_1 \frac{di_1}{dt} - n_B L_2 \frac{di_2}{dt} + r_1 i_1 - n_B r_2 i_2 \quad (16)$$

为了进行递推最小二乘运算,将上式进行离散化处理,可以得到下式:

$$\begin{aligned} \left[\frac{u_1(n+1) + u_1(n)}{2} - n_B \frac{u_2(n+1) + u_2(n)}{2} \right] = \\ \left[r_1 \frac{i_1(n+1) + i_1(n)}{2} + r_2 n_B \frac{i_2(n+1) + i_2(n)}{2} \right] + \\ L_1 \frac{[i_1(n+1) - i_1(n)]}{T} + n_B L_2 \frac{[i_2(n+1) - i_2(n)]}{T} \end{aligned} \quad (17)$$

在离散式中,变压器绕组双端电压、电流量可以直接测量获取作为模型的输入输出,两端绕组的电阻和漏感值作为待辨识的参数,即构成系统辨识

的模型。待辨识的参数相量为 $\theta = [r_1, L_1, r_2, L_2]^T$ 。

将单相情况推广到三相双绕组变压器,同样可以利用递推最小二乘原理进行绕组参数估算。

2.3 最小二乘参数估算存在问题及解决方法

最小二乘的一次完成算法要求 $(X^T X)$ 必须是正则矩阵(即可逆矩阵),其充分必要条件是过程的输入信号必须是 $2n$ 阶持续激励信号。辨识所用的输入信号不能随意选择,否则可能造成不可辨识。

电力变压器在运行过程中达到稳定状态时,电力系统中稳态电压、电流都是单一频率 50 Hz 的正弦波。在上述变压器辨识模型中,输入信号是原、副边的电流,输出信号是原、副边电压量。输入信号过于单一,此时变压器模型不可能被充分激励,势必造成不可辨识性^[4],对于参数向量 $\theta = [r_1, L_1, r_2, L_2]^T$ 的求解造成困难。

对于大型变压器而言,绕组的有效电气高度大于变压器线圈的轴相宽度,线圈布置得非常紧密,并且可以近似认为每个绕组的电气匝数沿轴向均匀分布。在整个绕组的有效电气高度范围内,原边绕组和副边绕组的漏磁分布具有相同形状和大小的梯形,二者在物理结构上具有相同性。因此,我们认为原、副边绕组每一匝的电阻和漏感值是相等的,即副边绕组电阻和漏感归算值与原边绕组的电阻和漏感值相等。

$$L_1 = n_b^2 L_2, \quad r_1 = n_b^2 r_2 \quad (18)$$

此时待辨识的参数降为 2 个,利用原副边电压及原边侧电流数据即可满足最小二乘算法的最优估算准则。

3 试验仿真

EMTP 仿真中变压器模型做了一定的假设,而实际情况是变压器在发生故障后其漏磁场有着明显的变化,而做出的假设不再成立^[5],验证保护算法存在不确定的因素,因此,为了验证基于绕组参数辨识的变压器保护算法的正确性及可行性,这里采用西安交通大学动模实验变压器试验数据对本文提出的参数模型的估算方法进行了验证。试验变压器为三单相变压器组,联结方式为 Y/ 接法。单相变压器参数为:额定容量 2 kVA,额定电压 $U_1/U_2 = 1\ 000\text{ V}/220\text{ V}$,试验中变压器变比接为 1:1。测得空载电流 1.2%,空载损耗 0.9%;短路电压 13.6%,短路损耗 1%。每个周波采样 100 个点。

试验回路接线原理图如图 4 所示。

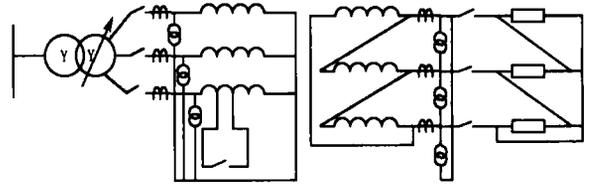


图 4 变压器动模实验回路图

Fig 4 Dynamic power system

3.1 正常运行条件下保护动作门槛的计算

变压器在正常运行情况下保护算法实时求取的 K_{dz} 值,采用半个周波时间长度进行平均值计算。如图 5 所示。

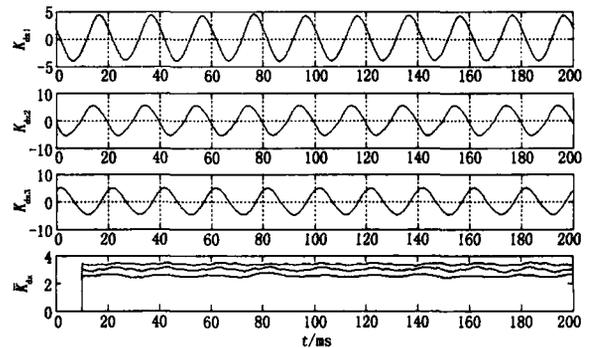


图 5 正常运行情况下的保护门槛值 K_{dz}

Fig 5 The value K_{dz} of ordinary dynamic power system

变压器在正常运行情况下计算出来的 K_{dz} 波形为随着时间成近似正弦变化的波形,其周期与变压器原、副边绕组电压、电流的波形周期相同。其物理意义为原、副边绕组互感磁通变化率的差值。

根据负载变化,求出正常运行状态 K_{dz} 的取值范围: $K_{dz} = 2 \sim 7$ 。平均值判据门槛值: $\bar{K}_{th} = 4$, $K_d = 4$ 。

3.2 励磁涌流情况保护行为验证

变压器空载合闸于励磁涌流过程,变压器仍旧处于正常状态,求取出的保护动作量 K_{dz} 数据如图 6 所示,起动元件不能起动,平均值保护算法不受励磁涌流过程影响,不会误动作。

本文在试验中对变压器不同运行及故障状态下的动作方程门槛值进行了验证,结果如表 1 所示。

根据表 1 结果可知,平均值保护判据能够可靠地识别变压器在运行过程中发生的各种故障情况,并且能够有效地躲开励磁涌流的影响。动作时间小于 20 ms 对于变压器小匝数 (<1%) 的故障情况,限于试验变压器绕组的接线情况,无法完成。但是对于小匝数故障的研究对变压器保护而言是有意义的。

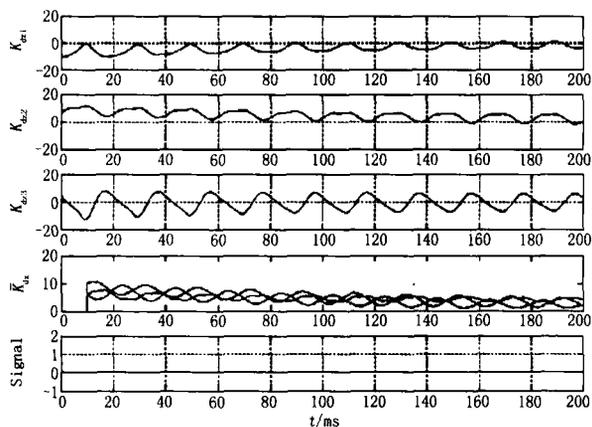
图 6 励磁涌流过程的 K_{dz} Fig 6 The value K_{dz} of inrush dynamic power system

表 1 动模变压器各种状态下的保护动作门限值

Tab 1 The value K_{dz} of with dynamic power system

运行 状态	保护判据 1		正确动 作与否	动作 时间 /ms
	$\bar{K}_{th}=4, K_d=4$	$K_{dz}(j)$ 的平均值		
投	无故障	5 ~ 12	正确	
	空投 BC相间	240 ~ 310	正确	<5
	于故障 2 27%	16 ~ 22	正确	10
行	障 间 9%	53 ~ 75	正确	10
	无故障	2 ~ 7	正确	
	运行 相间	260 ~ 350	正确	<5
行	中故障 2 27%	18 ~ 25	正确	<10
	障 间 9%	65 ~ 85	正确	<8
	18%	80 ~ 120	正确	<5

4 结论

变压器在整个系统中起转换枢纽作用,它的安全运行直接关系到整个电力系统连续稳定地工作。现代大型变压器容量大、电压等级高、造价昂贵、结构复杂,一旦因故障而遭到损坏,影响范围很大,且检修时间长,检修难度大,在经济上必然遭受很大的损失。因此,研制动作速度快、可靠性高、灵敏度高的变压器保护装置是非常必要的。现有的变压器差动保护存在一定的缺欠。因此,有必要作进一步的研究。

本文依据变压器原、副边回路方程对变压器保护的新原理进行了研究,得到以下结论:

1)传统变压器差动保护不满足基尔霍夫电流定律,励磁涌流的识别一直是难以克服的束缚。而回路方程原理的变压器保护,从原理算法上消除了互感磁通的影响,抛开了复杂、繁琐的变压器磁化曲线的求取过程,从根本上避开了励磁涌流的影响。

2)基于回路平衡方程原理的变压器保护的灵

敏性的高低取决于变压器参数估计的准确性。最小二乘法可以满足实时估计变压器参数的要求,且收敛速度比较快,能够为保护算法提供可靠的依据。由于递推最小二乘估计误差的存在,使得变压器在发生小匝数故障时灵敏度不高。

3)本文采用的平均值判据的动作时间不超过 10 ms,且动作可靠性高。根据变压器在正常运行情况、保护区外严重故障情况下的数据来确定动作门限值。其中包含了递推最小二乘算法估计绕组参数的误差,采集系统电压、电流互感器的传变误差等。

参考文献:

- [1] 朱英浩. 不断提高变压器的运行可靠性 [J]. 变压器, 2005, 42 (8S): 6-8
ZHU Ying-hao Constant Improvement of Transformer Operation Reliability [J]. Transformer, 2005, 42 (8S): 6-8
- [2] 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 Electric Main Equipment Protection Their Theory and Application [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002
- [3] 方崇智, 箫德云. 过程辨识 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
FANG Chong-zhi, XIAO De-yun Process Identification [M]. Beijing: Qinghua University Press, 2004
- [4] 边肇祺, 张学工. 模式识别 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
BIAN Zhao-qi, ZHANG Xue-gong Mode Identification [M]. Beijing: Qinghua University Press, 2004
- [5] 王赞基, 刘秀成, 陈香辉. 用于内部故障分析的变压器电感参数计算模型 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24: 21-25.
WANG Zan-ji, LIU Xiu-cheng, CHEN Xiang-hui An Inductance Calculation Model of Power Transformer for Internal Fault Analysis [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24: 21-25.

收稿日期: 2006-07-05; 修回日期: 2006-09-14

作者简介:

褚云龙 (1979 -), 男, 硕士, 从事电力系统机电保护方面的研究;

郝治国 (1976 -), 男, 博士研究生, 从事电力系统继电保护、设备状态监测的研究;

李朋 (1979 -), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护方面的研究。E-mail: lp@speed@stu.xjtu.edu.cn

(下转第 10 页 continued on page 10)

- gorithm [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2003.
- [11] Rajcic D. A Method for Determination Whether a Network is Connected for Split[J]. IEEE Power Engineering Review, 2001, 7: 65-66
- YN Jian-hong, WU Kai-ya. Graphs Theory and Its Algorithm [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2003.
- [12] 毕天姝, 焦连伟, 严正, 等. 用于分布式故障诊断系统的新型网络分割法 [J]. 电力系统自动化, 2001, 8(1): 16-21.
- BI Tian-shu, JIAO Lian-wei, YAN Zhen, et al. Graph Partitioning Method for Distributed Fault Selection Estimation System in Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 8(1): 16-21.
- [13] Donnett J G, Starkey M, Skillicom D B. Effective Algorithms for Partitioning Distributed Programs[J]. Conference Proceedings of Seventh Annual International Phoenix Conference on Computer and Communications USA: 1988 363-368.
- [14] Qian F, Hirata H. A Parallel Learning Cellular Automata for Combinatorial Optimization Problems [J]. Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation Nagoya (Japan): 1996 553-558

收稿日期: 2006-05-15

作者简介:

陈绩 (1979-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究; E-mail: chenji929@tom.com

吕飞鹏 (1968-), 男, 博士, 教授, 从事电力系统继电保护和故障信息处理智能系统研究;

黄姝雅 (1982-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统稳定运行及调度研究。

A novel algorithm for network partition of relay coordination in a complicated multi-loop power networks

CHEN Ji, Lü Fei-peng, HUANG Shu-ya
(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to decrease the complexity of determining the minimum break point set in a large scale complicated multi-loop power networks, the whole network can be partitioned into several sub-networks in advance. Based on the simplified nodal adjacency matrix analysis and enhanced breadth first search technology, a novel algorithm is presented in this paper to identify cut vertices for network decomposition. The proposed algorithm is validated by a detailed example analysis.

Key words: power system; coordination and setting of relaying protection; minimum break point set; cut vertex; network partition; node adjacency matrix

(上接第 5 页 continued from page 5)

Study on the large transformer protection principle based on the winding parameter identification

CHU Yun-long¹, HAO Zhi-guo², LI Peng²
(1. Northwest China Grid Company, Xi'an 710048, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A transformer protection algorithm based on the winding parameter identification is described in this paper. First of all, the algorithm calculates the each side winding flux in equation which uses the transformer data (currents and voltage) and the transformer parameter including resistance and leakage inductance at each transformer terminal. In normal operation state, the magnetic flux is equal between the primary and secondary winding. But it is not equal in internal fault state, for the transformer structure and parameter has been changed. Then, the algorithms can discriminate fault status from failure free operation by estimating whether the flux of the primary and secondary winding is equal or not. The results indicate that the proposed algorithms can successfully detect the different styles internal fault, and can sensitively find the fault in a fraction of a cycle. The algorithm also remains stable during magnetizing inrush and over-excitation, and is not affected by changing the core characteristics.

The project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50577050).

Key words: transformer; differential protection; inrush; parameter identification; circuit equation