

# 基于感应电压比的大型变压器继电保护

金凤羽, 李正明

(江苏大学电气信息工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 在电力变压器保护过程中, 励磁涌流可能导致大型变压器差动继电保护误动作, 为了解决此问题, 从变压器电磁特性出发, 以电流和电压两个暂态变量为基础, 提出了利用主侧和二次侧绕组的感应电压比来实现变压器继电保护的方法。整个大型变压器保护系统以 DSP 为内核, 采样信号经 DSP 判断处理后经过光电隔离输出给保护设备, 后台软件控制保护设备动作, 从而实现大型变压器的保护。新判据能够快速可靠地判别变压器内部故障电流和励磁涌流; 出口动作具有较高的可靠性和时效性。

关键词: 变压器; 励磁涌流; 感应电压比; 继电保护; DSP

中图分类号: TM727.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)19-0001-03

## 0 引言

大型电力变压器是电力系统中极其重要的电气设备, 随着国民经济的发展, 对大型变压器的需求数量逐渐增多, 同时要求其安全可靠运行。大型变压器运行的安全与否, 直接关系到电力系统能否连续、正常、稳定的工作。而且由于大型变压器本身造价昂贵, 一旦因故障而遭到破坏, 其检修难度大、时间长, 要造成很大的经济损失。近年来, 随着电力系统规模的扩大和电压等级的提高, 一大批大容量的变压器投入使用之际, 大型变压器的事故数量也随之增加。因此, 如何更好地来保护大型变压器是当前急需解决的问题。

当前, 电流差动继电保护被广泛用于鉴别电力变压器的内部绕组故障。为了预防在励磁涌流时的误动, 有些继电器对电流进行了谐波抑制<sup>[1]</sup>。但是随着工作电压的增加和输电线路的增长, 在发生内部故障时会产生大量的谐波成分。近十多年来, 国内外许多学者致力于变压器继电保护的研究, 提出了不少判别涌流的新原理和新方法。在文献 [2] 中的算法只用绕组电阻和漏磁感应系数, 它们简单有用, 而且不依靠核心的状况。它能识别单相和三相变压器的内部故障, 包括三角形绕组。

本论文提出了利用主侧和二次侧感应电压比的算法来实现变压器的继电保护, 这个比率在励磁涌流, 甚至是电流严重畸变的情况下和门限比率相同。相反, 在发生内部故障的情况下和门限比率不同。

该算法通过计算主侧和二次侧的感应电压, 并且利用其比率来区分内部故障和励磁涌流, 整个过程通过 DSP 来控制, 从而实现对大型变压器快速可靠的保护。

## 1 基于感应电压比率的变压器继电保护算法

大型电力变压器的差动保护需要解决的问题一般包括以下两个部分: 一是鉴别励磁涌流和内部故障电流; 二是区分外部故障和内部故障。长期的运行经验表明差动保护是能够准确区分区内和区外故障的, 因此当前大型变压器差动保护的主要矛盾集中在鉴别励磁涌流和内部故障电流上。

变压器产生励磁涌流的实质是由于受铁心磁饱和的影响<sup>[3]</sup>, 现以单相双绕组变压器为例, 如图 1 所示。

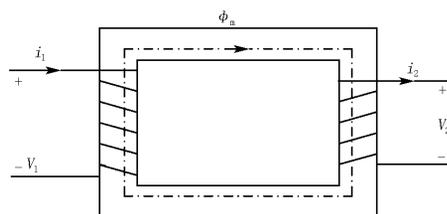


图 1 双绕组单相变压器

Fig 1 Two winding single-phase transformer

当没有内部故障时,  $V_1$  和  $V_2$  可以用下式表示:

$$V_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + e_1 \quad (1)$$

$$V_2 = -R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} + e_2 \quad (2)$$

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金资助项目 (02KJD510009)

由式 (1)和 (2)得:

$$e_1 = V_1 - R_1 i_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

$$e_2 = V_2 + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (4)$$

$R_1, R_2$  分别为绕组两侧电阻;  $L_1, L_2$  为变压器两侧的固有漏感,出厂时检测可得;两侧的电流和其对时间的导数可以在线测得。因此,一次侧和二次侧绕组的感应电压可以用式 (3)和式 (4)来表示。我们定义  $RV$  为一次侧绕组感应电压与二次侧绕组感应电压的比值,表达如下:

$$RV = \frac{e_1}{e_2} \quad (5)$$

于是在任何时刻一次侧与二次侧绕组感应电压的比值都可以用式 (5)来计算。在变压器处于稳态运行情况下  $RV$  等于绕组匝数之比,即  $N_1/N_2$ ;唯一的例外是当  $e_1=0$  或  $e_2=0$  的情况。在励磁涌流或过励磁的情况下  $e_1$  和  $e_2$  的变化规律虽不明显,但在这些情况下仍有  $RV = N_1/N_2$ ;而在变压器发生内部故障时,  $RV$  的值并不等于  $N_1/N_2$ ,因此  $RV$  的值可以用来区分变压器的内部故障和励磁涌流以及过励磁现象。

但是,  $e_1$  和  $e_2$  都是即时值,当  $e_2$  的值接近于 0 的时候,式 (5)的值会变的很大。这里,用判据 (6)代替 (5)来鉴别内部故障<sup>[4]</sup>。也就是说,如果 (6)小于门限值,则正常;相反,则有内部绕组故障。表示式如下:

$$\frac{e_1 - \frac{N_1}{N_2} e_2}{\sqrt{2V_1} \cdot T} \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $V_1$  是一次侧相电压,  $T$  是采样周期,  $\sqrt{2V_1} T$  是磁链最大增量。如果暂态情况下计算得式 (6)值小于已拟合的门限值,表明变压器没有故障;如大于门限值的话,则变压器发生内部故障。

例如,一个双绕组 Y- 变压器 (500 kV/35 kV)。  $N_1/N_2 = 14.286$ ,检测数据后计算得  $e_1$  约为 0.058 kV,  $e_2$  约为 0.004 V,我们取  $T$  为 32 采样周期,即一个周期内采样 32 次,则依据式 (6)整定值约为 1.94%。

## 2 大型变压器保护实现

为达到更高的时效性,硬件用 DSP 做内核<sup>[5]</sup>,其具体实现如图 2 所示。

装置中的核心 TMS320VC33 微处理器为 TI 公

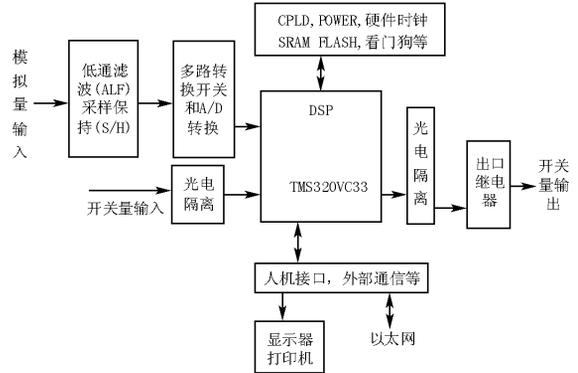


图 2 以 DSP 为内核的硬件结构框图

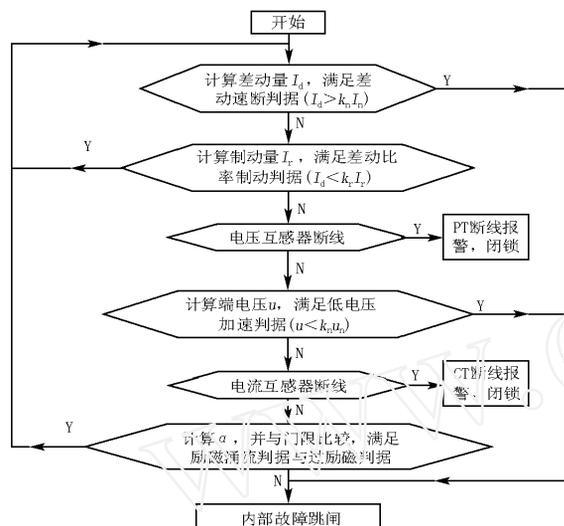
Fig 2 DSP based hardware structure

司生产的 32 位浮点型数字信号处理器芯片,程序的提取,数据的存储,DMA 的操作可以并行的进行。保护设备开关量经光电隔离送 DSP 处理,再经光电隔离回送。由 CT、PT 测得的电压电流量经低通滤波,采样保持,再经过多路转换开关和 A/D 转换器之后送 DSP,由后台程序运算处理,输出信号经光电隔离后送继电器,作为保护动作的依据。

由于 DSP 具有强大的数字信号处理能力,越来越受到开发人员的青睐<sup>[6]</sup>,软件中微分算子可由差分方程实现。该保护装置集保护、控制、测量、通信等功能于一体,既适用于综合自动化站,又适用于常规站;既可以分散安装,也可以集中组屏安装。本装置具备一般微机保护功能,后台分析软件可控制保护动作行为;另外还具有网络共享及打印功能,有多种通信接口可选择,组网经济方便。

大型变压器主保护仍采用差动保护,还可以配置差动速断保护和比率制动,涌流与过励磁识别采用上述算法。在励磁涌流下将保护闭锁,故障情况下,由比例制动差流保护作为动作判据,判断是内部故障还是外部故障,若内部故障则产生跳闸信号。保护装置在正常运行状态时执行主程序的人机对话、巡检、通信等工作,在检测到差流或者相电流突变时启动故障处理程序。其程序流程图如图 3 所示。

在外部故障时,满足差动比例制动条件,由比例制动差流保护闭锁保护出口。为了提高大型变压器在严重故障情况下动作的快速性,采用了加速措施,如差流速断和低压加速。差流速断在差动电流大于最大可能励磁涌流时立即出口跳闸;低压加速是依据内部接地故障情况下,变压器残压较低的特性,在端电压低于可能产生励磁涌流的最大电压时,取消励磁涌流判断,直接给出跳闸信号。



注:  $K_r$ ,  $K_n$  为差动速断, 低压加速保护可靠系数;  $I_n$  为额定电流;  
 $U_n$  为额定电压;  $\alpha$  为故障分析计算值

图 3 变压器差动保护流程

Fig 3 Differential protection flow of transformer

### 3 结束语

由于变压器励磁绕组的非线性电器特性,使得励磁涌流和内部故障电流的区别比较难。基于感应电压比率的大型变压器继电保护方法,计算过程中同时采用暂态电压和暂态电流两个参量作为励磁涌流的判据,减少了继电器的误动的可能性,增加了判断可靠性和准确性,而且系统采用 DSP 来实现,使其具有更高的时效性与速动性,能提高大型变压器保护动作的正确率。

### 参考文献:

- [1] 继电保护应用. 威斯丁豪斯电力公司 [Z]. 美国: 1976. Applied Protective Relaying Westinghouse Electric Corporation [Z]. USA: 1976
- [2] Sachdev M S, Sidhu T S, Wood H C. A Digital Relaying Algorithm for Detecting Transformer Winding Faults [J]. IEEE Trans on PWRD, 1989: 1638-1648
- [3] Phadke AG, Trop J S. A New Computer-based Flux Restrainted Current Differential Relay for Power Transformer Protection [J]. IEEE Trans on Power Apparatus and System, 1983, 102 (11): 3624-3629.
- [4] Kang T C, Lee B E. Transformer Protection Based on the Increment of Flux Linkage [J]. IEEE on Transm and Distrib, 2004, 151 (4): 548-554.
- [5] 汪剑, 游大海. 基于 DSP 的变压器保护装置 [J]. 变压器技术, 2005, (5): 18-20. WANG Jian, YOU Da-hai. Transformer Protector Based on DSP [J]. Transformer Technology, 2005, (5): 18-20.
- [6] 刘增良, 刘淑芬. 基于 DSP 的配电变压器在线监测仪的研究 [J]. 微计算机信息, 2004, (9): 35-37. LIU Zeng-liang, LIU Shu-fen. The Research of Measuring Equipment for Transformer Based on DSP [J]. Micro Computer Information, 2004 (9): 35-37.

收稿日期: 2006-05-22; 修回日期: 2006-07-05

作者简介:

金凤羽 (1981 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事电网监控和大型变压器保护等方面的研究; E-mail: jinfengyu99@126.com

李正明 (1958 - ), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事计算机网络测控、电网监测等方面的研究。

## Large transformer relay protection based on the ratio of induced voltages

J N Feng-yu, L I Zheng-ming

(College of Electric and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In the process of power transformer protection, differential relays of a large transformer are prone to maloperation during magnetic inrush. In order to solve this problem, setting out from the transformer electromagnetism characteristic, using the two transient variable of current and voltage, the paper proposes a transformer protective relaying algorithm using the ratio of induced voltages of the primary and secondary windings. Taking DSP as the inside core, backstage software control the act of the protection equipments by the sampling signal which flows from DSP to photoelectrical insulation. Thus the large transformer protection achieves. New criterion can distinguish internal fault current from magnetic inrush quickly and reliably acts of export are dependable and effective.

**Key words:** transformer; magnetic inrush; ratio of induced voltages; relay protection; digital signal processing