

基于功率差动原理的变压器保护实现方法的分析

孙鸣,梁俊滔,冯小英

(合肥工业大学电气工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要: 从电工学基本原理出发,详细讨论了变压器有功功率差动保护原理如何实现的问题。得出了不能按相计算变压器两端功率差的结论,并进一步提出了如何实现变压器有功功率差动保护原理的方法。

关键词: 有功功率差动保护原理; 能量守恒定律; 励磁涌流

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2001)12-0013-03

1 引言

变压器是通过电磁耦合的方式来进行电能传输和转换的。就其本质而言,是一个时变的非线性系统,宜同时用电压、电流来进行描述。文献^[1]以单相变压器为例(接线如图1),用(1)式求得的有功功率差额 $W(t)$ 来判别励磁涌流和变压器内部故障。

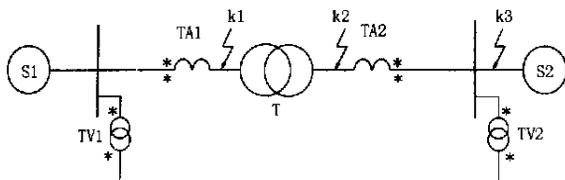


图1 一次系统接线图

$$W(t) = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_1 + u_2 i_2 - R_1 i_1^2 - R_2 i_2^2) dt \quad (1)$$

式(1) $W(t)$ 中的物理意义是减去绕组铜损后单相变压器消耗的有功功率, u_1 、 i_1 、 u_2 、 i_2 是变压器两端测得的电压电流的瞬时值, R_1 、 R_2 是原、副边绕组的电阻。当 $W(t)$ 大于一定值时,就认为保护区内发生了故障。但是,由于大型变压器的杂散损耗较大^[2],保护按(1)式进行故障判别时,定值难免会偏高,因此本文提出采用式(2)来进行故障判别,有利于提高保护的灵敏度,减少死区。

$$W(t) = P_1 + P_2 - \frac{1}{2} P_{1L} - \frac{1}{2} P_{2L} > \quad (2)$$

其中, P_1 、 P_2 是在单相变压器两端测得的基波分量的有功功率, $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{2}$ 是负载系数(实测电流与变压器额定电流的比值), P_{1L} 、 P_{2L} 是变压器原、副边绕组在额定电流下的短路损耗值,可各取变压器额定短路损耗值的一半,可按躲过变压器在励磁涌流情况下的最大空载损耗进行整定。

该方法基于能量守恒定律,可以较真实地反映变压器的实际运行状况。那么如何利用变压器的有功功率差来实现保护呢?本文将加以详细讨论。

2 单相变压器有功功率差动保护的動作原理

以图1为例,以(2)式作为动作方程,对有功功率差动保护原理在单相变压器正常运行及内、外部短路时的动作情况作简要的分析:

第一,变压器在正常运行状况下时,电流互感器 TA1、TA2 可以正确反映出原、副边绕组上的电流。此时按照式(2)算得的有功功率差 $W(t)$ 主要是变压器的励磁损耗,其小于整定值,保护不动作。

第二,变压器在励磁涌流状况下时,电流互感器 TA1、TA2 基本上也可以正确反映出原、副边绕组上的电流。尽管此时差电流较大,但由于整定值是按躲过励磁涌流下的有功功率整定的,故保护不会误动。

第三,当在保护区外发生短路时,电流互感器 TA1、TA2 同样感受到原、副边绕组上流过的全部故障电流,此时按式(2)算得的有功功率差额 $W(t)$ 仍是变压器的励磁损耗。同时由于故障时电压降低,使得损耗比正常运行时小,而定值是按照躲过励磁涌流时的铁损来整定的,保护可靠不动作。

第四,在保护范围内发生短路故障时,可分成以下几种情况进行讨论:

(1) 当变压器两侧(S1、S2)均有电源时,可以认为变压器两端流入的有功功率是:

$$P_1 + P_2 = \frac{1}{2} P_{1L} + \frac{1}{2} P_{2L} + P_K \quad (3)$$

其中, P_K 是过渡电阻上消耗的有功功率值,其值较大。理论上,只要满足 $P_K > \frac{1}{2} P_{1L} + \frac{1}{2} P_{2L}$,保护就可以动作。但实际上由于故障点出现的位置不定,电流

互感器 TA1、TA2 的测量值不能完全反映绕组上的短路电流,导致计算值与实际结果有差值 ($I_2 - I_1$)

P_{1L} 。

若 $I_2 > I_1$, (2) 式求得的 $W(t)$ 的值大于 P_K , 保护将更灵敏动作; 若 $I_1 > I_2$, (2) 式求得的 $W(t)$ 的值将可能有以下三种情况:

a. $W(t) < P_K$ (I_1, I_2 较为接近时), 此时将降低保护的灵敏度;

b. $W(t) < P_K$ (I_1, I_2 相差不大时), 此时保护可能拒动;

c. $W(t) > P_K$ (I_1, I_2 相差较大时), 此时将提高保护灵敏度。

(2) 单侧电源时, 设 S1 侧有电源, S2 侧无电源, 有两种情况:

a. 当 $k1$ 点短路时, (2) 式中的 $P_2 = 0, P_1 = P_K, I_2 = 0, P_{2L} = 0, W(t) = P_1 - I_1^2 P_{1L}$, 此时由于 $I_1^2 P_{1L}$ 远大于 P_K , 故保护能可靠动作。

b. 当 $k2$ 点短路时, (2) 式中的 $P_2 = 0, I_2^2 P_{2L} = 0$; 但实际上有 $I_2^2 P_{2L} > 0$, 副边绕组的损耗是存在的, $P_1 = I_1^2 P_{1L} + I_2^2 P_{2L} + P_K$, 此时由于电流互感器 TA2 无法感受到副边绕组上的电流, 故有 $W(t) = P_1 - I_1^2 P_{1L} = I_2^2 P_{2L} + P_K$, 其值大于 P_K , 保护能可靠动作。

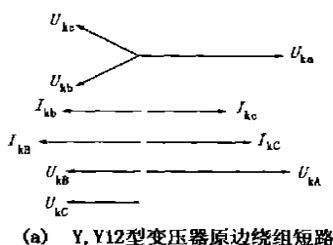
从上面的分析可以看到, 单相变压器有功功率差动保护既有其优点 (如 2 中提到的), 也存在着一一些不足之处, 主要是在反映变压器区内故障时可能存在死区。

3 三相交流系统有功功率计算方法的分析

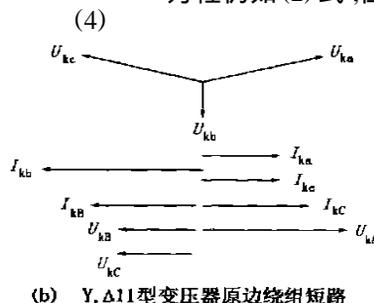
3.1 系统在对称状况下的有功计算方法

当电力系统稳态运行时, 由于三相电源和系统结构均是对称的, 故各处的电压、电流量亦为三相对称。可按照式 (4) 来计算有功功率:

$$P = 3 U_{ph} I_{ph} \cos \varphi_{ph}$$



(a) Y, Y12型变压器原边绕组短路



(b) Y, Δ11型变压器原边绕组短路

图 2 保护区内发生 B、C 相间短路时的电流电压向量图

其中, $U_{ph}, I_{ph}, \cos \varphi_{ph}$ 是任一同相的相电压、相电流及其功率因数。由于三相电气量是对称的, 可用单相的有功功率值来表征三相的有功功率值。

3.2 系统在不对称状况下的有功计算问题

这里的“不对称”指的是在励磁涌流和故障状况下, 由于变压器铁心饱和程度不一致和短路支路的存在, 导致局部三相的电流、电压量不再对称。此时若仍然认为三相有功功率是独立的, 所得到的结果并不符合物理含义。下面将以图 1 中的系统 (改为三相) 为例, 加以说明。

在保护区内 $k1$ 点发生 B、C 相相间短路时, 从变压器两端测得的电压、电流向量如图 2。可以看到, 尽管忽略了系统电阻、过渡电阻以及变压器自身的电阻, 但按相用 $P = U_{ph} I_{ph} \cos \varphi_{ph}$ 进行有功功率计算时, 得到的结果是原、副边绕组均有两相的有功功率量值相当大, 一为正, 一为负; 而真实的情况是, 各相所消耗的有功功率应该为零。究其原因, 是运用传统电工学理论上对三相交流系统的有功功率进行求解时, 是把三相电路作为一个对称的整体。当系统参数完全对称时, 经常用单相有功功率来表征三相, 是因为在三相对称系统中频率相同的电压、电流量幅值相等, 相位依次相差 120° , 这种计算方法具有数学上的等价关系。而这种对称关系被破坏时, 这种数学的等价关系就不再存在了, 因此按式 (4) 求得的有功功率必然是错误的。

在超高压系统中, 尽管三相变压器是由三个单相变压器构成的, 但在功率的角度来看仍然是一个整体, 所改变的仅是磁路而已。所以在计算不对称三相交流系统的有功功率时, 应该严格遵照电工学的理论, 以三相系统的有功功率之和作为考察的对象, 利用三相变压器出厂实验时提供的参数来构成保护的方程, 以下是具体的解决方案。

把有功功率差动保护应用于三相变压器, 动作方程仍如 (2) 式, 但式中各项的含义有所改变:

其中, $W(t)$ 是除去变压器短路损耗后, 变压器两端三相有功功率之和的差值; P_1, P_2 是从变压器原、副边测得的三相有功功率之和; I_1, I_2 分别是原、副边绕组短路电流的负载系数; P_{1L}, P_{2L} 是变压器原、副边绕组在额定电流下的短路损耗值, 可各取变压器出厂时给出的三

相短路损耗值的一半; 的定值主要考虑励磁电流造成的空载损耗以及互感器造成的误差,按出厂试验提供的三相空载损耗并考虑励磁涌流的影响加以整定。

三相变压器有功功率差动保护原理的动作原理与单相变压器类似,不再详述。

4 变压器有功功率差动保护的特点

变压器有功功率差动保护与传统的变压器电流纵差保护及其涌流判据相比较,主要有以下两个优点:

第一,由于在功率差动保护原理中,没有让励磁涌流成为动作的因素,故在励磁涌流判别方面有较大的优势。由于无法测得励磁支路的电流值,对于在励磁涌流状况下计算变压器差电流值实际上并不具备应用电流基尔霍夫定律的条件,故在电流纵差保护的基础上进行涌流判别的难度较大。

第二,与以往的励磁涌流判据相比,功率差动保护的功能更为全面。从式(2)可知,功率差动保护还具有区分变压器内、外部故障的功能,可以作为独立保护使用。

但变压器有功功率差动保护原理也有一些不足之处,主要是在反映变压器区内故障时存在死区。通过增加低压保护与过流保护加以弥补。如其与现行电流纵差保护的配合使用,各自取长补短,作为保

护双重化配置,优势明显。

5 结论

经过上面的分析,我们得出了以下的结论:

第一,在计算不对称三相交流系统的有功功率时,应该严格遵照电工学的理论,以三相对称系统的有功功率作为考察的对象。

第二,变压器有功功率差动保护在涌流判别方面有较大优势,并能区分变压器内、外部故障,可以作为一套独立保护使用。

第三,变压器有功功率差动保护和电流纵差保护配合使用,可以很好地实现变压器主保护的双重化。

参考文献:

- [1] Kuniaki Yabe . Power differential method for discriminating between fault and magnetizing inrush current in transformers. IEEE transactions on power delivery, 1997, 12(3).
- [2] 沈阳变压器厂. 变压器试验. 北京:机械工业出版社, 1987.

收稿日期: 2001-06-03; 改回日期: 2001-07-24

基金项目: 中华电力教育基金会许继奖教金资助项目

作者简介: 孙鸣(1957-),男,硕士生导师,从事电力系统继电保护方面的研究; 梁俊滔(1977-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护及调度自动化; 冯小英(1972-),女,讲师,从事电力系统继电保护方向的研究。

Analysis on the implementation of transformer protection in power differential protection principle

SUN Ming, LIANG Jun-tao, FENG Xiao-ying

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: According to the principle of electrotechnics, how to carry out power differential theory of power transformer is discussed. It is proved that the theory can't be carried out at each phase. At last, the method that how to carry out the power differential protection theory in power transformer is provided in this paper.

Key words: the power differential protection principle; law of conservation of energy; exciting current

(上接第7页)

Abstract: Graphical relay coordination software can improve the efficiency of coordination work greatly. In this paper, study on the structure, function and technical characteristic of the new generation relay coordination software is presented. A brief description of the development of setting tools is given first, then the whole structure and function division are introduced. Finally, the new tendency of relay coordination software is put forward.

Key words: power system; relay protection; coordination