

微机变压器保护中几种谐波制动比计算的比较

胡玉峰, 陈德树, 尹项根, 张哲

(华中理工大学电力系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在列举微机变压器保护几种常用的谐波含量比计算方法的基础上, 通过引入模糊数学中隶属系数的概念对各种方法做了统一的数学物理解释, 并通过仿真与动模实验数据来比较各种方法性能上的差异。最后简要介绍了各方法在保护定值选取上需考虑的要点。

关键词: 谐波制动; 励磁涌流; 差动保护; 对称性涌流

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)07-0041-04

1 引言

为正确识别变压器励磁涌流, 防止变压器空载合闸或外部故障切除时差动保护误动作, 必须在变压器差动保护中加以励磁涌流闭锁判据。长期以来, 二次谐波制动原理以其原理简单, 实现方便而得到广泛应用, 并一直延续到微机变压器保护中。与模拟式保护相比较, 微机变压器保护在保护原理上并无多少差别, 都是以差动保护做为主保护, 用二次谐波来识别变压器励磁涌流。不同的是, 微机保护由于各交流量统一采样, 统一处理, 且微机本身具有强大的数值处理功能, 故在二次谐波含量比计算方法的选择上较模拟式保护更灵活。本文主要针对目前微机变压器保护中几种常用的谐波含量计算方法进行讨论。

2 模拟式与微机式变压器保护谐波比计算的比较

以二次谐波制动的模拟式变压器保护原理图如图1所示。其保护原理已为大家熟知, 此处不做重复。

对于模拟式变压器保护, 由于考虑到接线方式的复杂度, 因而通常二次谐波的含量比计算采用各相差流自身的二次谐波与基波的比值, 即由图1中所示, 差动电流通过 DKB₂ 后, 分别由滤波电路(谐振电路)1, 2 提取差流二次谐波和基波。经整流后送入电压比较回路(图1所示仅为三相差流中一相的情况)。

长期的运行经验表明, 变压器励磁涌流波形中二次谐波含量最小为 17% ~ 20%, 故变压器保护中二次谐波制动比定值一般取为 15% ~ 20%; 同时理论与实践均发现变压器三相励磁涌流中二次谐

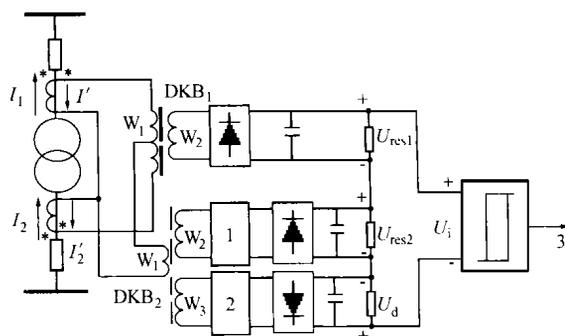


图1 二次谐波制动的差动保护原理图

波并非都能达到此定值, 故一般采用或门制动的方式, 即三相差流中有一相二次谐波含量超过定值即闭锁差动保护。

对于微机变压器保护, 由于其具有强大的数值处理功能, 故在二次谐波制动比计算方法的选择上具有较大的灵活性, 目前常用的有以下几种方法:

$$(1) \text{ 谐波比最大相制动: } \max\left(\frac{I_{da2}}{I_{da1}}, \frac{I_{db2}}{I_{db1}}, \frac{I_{dc2}}{I_{dc1}}\right)$$

K_{set} , 即利用三相中二次谐波与基波比的最大值来制励磁涌流。其中 $I_{da1}, I_{db1}, I_{dc1}$ 分别为三相差流基波, $I_{da2}, I_{db2}, I_{dc2}$ 分别为三相差流二次谐波。此处需说明的是并非任意时刻都是三个值中取最大, 而应该是满足差动动作条件的值中取最大。比较模拟式保护可以发现, 这种方法与模拟式保护一致。

(2) 按相制动: $\frac{I_{d2}}{\max(I_{da1}, I_{db1}, I_{dc1})} K_{set}$, 即利用差流最大相的二次谐波与基波的比值来制励磁涌流。

(3) 综合相制动: $\frac{\max(I_{da2}, I_{db2}, I_{dc2})}{\max(I_{da1}, I_{db1}, I_{dc1})} K_{set}$, 即利用三相差流二次谐波的最大值与基波的最大值之比来制励磁涌流。

3 几种计算方法的数学解释及其性能比较

众所周知,变压器利用二次谐波鉴别励磁涌流存在以下不足:

易受系统其它因素产生的谐波的影响,如超高压输电线的分布电容,变压器低压侧的串补电容,变电所电缆电容以及 CT 饱和产生的谐波。导致变压器内部故障时仍含有较大谐波分量。

由于采用三相或制动方式,会出现故障变压器空投时非故障相闭锁故障相的现象,导致变压器保护延时动作,由于励磁涌流的衰减与变压器合闸回路的电阻电感等参数相关,其时间常数可能较大,因而不利于迅速切除故障。实验表明,传统模拟式变压器保护采用的最大相制动方式保护动作延时最大可达到 100ms 以上,这对于超高压系统中的变压器而言是十分不利的。

第一个缺陷是谐波制动式变压器保护原理所固有的不足,只要采用此原理一般无法避免。第二个缺陷则可以在变压器保护微机化后通过合理选择谐波制动比计算方法得到较大改善。为此有必要对如前所述的几种谐波制动比的计算方法做一比较,以区分其性能上的优劣。为更清楚地说明问题,本文在引入权系数的基础上从数学角度进行比较。

首先设三相差流自身二次谐波与基波的比值分别为 m_a, m_b, m_c , 即:

$$m_a = \frac{I_{da2}}{I_{da1}}, m_b = \frac{I_{db2}}{I_{db1}}, m_c = \frac{I_{dc2}}{I_{dc1}} \quad (1)$$

同时令 $I_d = \max(I_{da1}, I_{db1}, I_{dc1})$, 取三相的权系数分别为

$$a = I_{da1}/I_d, b = I_{db1}/I_d, c = I_{dc1}/I_d \quad (2)$$

观察三相的权系数可以发现,三者分母相同,因而权系数的大小实质上反映了三相差流基波的大小。

对谐波比最大相制动方式,其谐波比计算实质上是取 $a = b = c = 1$, 此时的谐波比为

$K = \max(m_a, m_b, m_c) = \max(m_a, m_b, m_c)$, 由于三相权系数均取为 1, 实际上就是不考虑各相差流基波幅值大小对谐波比选取的影响, 利用此方式闭锁保护虽然可以保证励磁涌流时保护不误动, 但对于超高压系统中的大型变压器而言, 由于其励磁涌流衰减时间长, 故在空合于故障时保护动作延时相当长, 可达到 100ms 以上, 动模实验最恶劣的情况甚至达到 200ms; 另一方面, 超高压系统中故障时谐波含量较大, 由于最大相制动不考虑各相基波

幅值的大小对谐波比选取的影响, 在变压器发生轻微故障(如小匝数匝间短路), 差流基波幅值不大时, 二次谐波含量就很容易达到闭锁定值, 致使保护动作延时。

对按相制动方式, 其谐波比的选取实质上是选权系数最大的相的谐波比进行制动, 即先比较 a, b, c (计算采用公式 (1)), 取三者最大值所在的相的谐波比来判别。利用此方式闭锁保护, 由于考虑了三相差流基波幅值大小对谐波比的影响, 故可在较大程度上改善最大相制动方式动作延时的不足; 但另一方面, 由于只以一相的谐波比来制动, 当变压器发生对称性涌流时, 其对称性涌流相二次谐波含量较小; 同时仿真计算与动模实验均表明, 在某些初始条件下, 变压器发生励磁涌流时, 可能同时有两相谐波比达不到制动定值, 这种情况的存在使得采用故障相制动可能导致变压器励磁涌流时保护误动作。

对综合相制动方式, 其谐波比的选取实质上是选各相谐波比与权系数乘积的最大值, 此时有:

$$K = \max(m_a a, m_b b, m_c c) = \max\left(\frac{I_{da2}}{I_{da1}} \cdot \frac{I_{da1}}{I_d}, \frac{I_{db2}}{I_{db1}} \cdot \frac{I_{db1}}{I_d}, \frac{I_{dc2}}{I_{dc1}} \cdot \frac{I_{dc1}}{I_d}\right) = \max\left(\frac{I_{da2}}{I_d}, \frac{I_{db2}}{I_d}, \frac{I_{dc2}}{I_d}\right) = \frac{\max(I_{da2}, I_{db2}, I_{dc2})}{I_d} = \frac{\max(I_{da2}, I_{db2}, I_{dc2})}{\max(I_{da1}, I_{db1}, I_{dc1})}$$

利用此方式闭锁保护, 由于既考虑了差流基波幅值大小对谐波比选取的影响(通过权系数 a, b, c), 又考虑了实际三相谐波比含量的数值大小(通过谐波比 m_a, m_b, m_c 和取 \max 函数), 因而在保证变压器励磁涌流不误动的前提下, 提高了变压器保护的速动性。因为即使在空合于故障变压器的情况下, 虽然涌流相含有较大的二次谐波, 并且可能衰减很慢, 但由于故障相的存在使得谐波比计算时分母保持一较大值, 且基本上不随励磁涌流的衰减而减小, 故使得谐波比迅速减小至闭锁定值以下而保证故障快速切除。可以说, 综合相制动方式较好地结合了谐波比最大相制动与按相制动的优点又弥补了两者的不足。

4 仿真与动模实验结果的比较

为进一步比较三者性能上的差异, 本文以 ATP (Alternative Transient Program) 为工具, 计算变压器带故障空投和不带故障空投暂态过程中用以上三种方法计算的谐波含量。以比较三者速动性和可靠性

上的区别。基于 ATP 的仿真模型如图 2 所示(图中仅给出带故障空投模型,不带故障空投只需取消短路点即可):

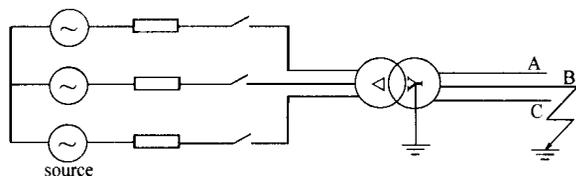


图2 基于 ATP 的故障变压器空投仿真模型

由于 ATP 仿真程序未提供变压器内部故障模型,故只能以变压器端部故障为研究对象,同时为模拟最严重的情况,必须使得故障相短路电流尽量小(在满足差动条件的前提下),以便模拟出变压器带故障空投时保护的长延时动作过程。为此将短路点设在主电源对侧(如图 2 所示),以便利用变压器自身的电阻电感值来限制短路电流。谐波比的计算采用傅式算法,以合闸后第一个周波终点为时间起点(因为全波傅式算法需要一个周波的采样值),并逐点递推,以便观察谐波比随时间的变化关系。

图 3 为故障变压器空投时用三种计算方法所得的谐波比随时间的变化曲线图。其中 ① 为谐波比最大相制动所对应的曲线, ② 为综合相制动对应的曲线, ③ 为按相制动对应的曲线,虚线为假定的变压器保护谐波制动定值。

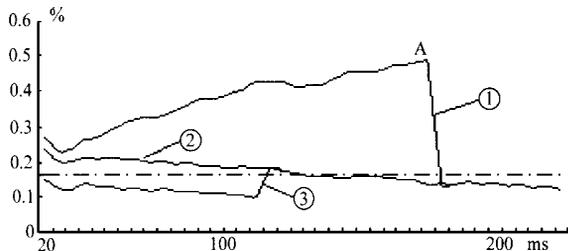


图3 故障变压器空投时三种方法计算的谐波比随时间变化曲线图

从图中可以发现,对于按相制动,由于故障相电流基波幅值大于非故障相励磁涌流基波幅值,所以选择故障相的谐波比来制动,此时的谐波比数值一般小于变压器谐波制动定值,故保护可以快速动作切除故障;对于综合相制动,其谐波含量计算实质上是取非故障相励磁涌流的二次谐波和故障相短路电流基波的比值,由于励磁涌流中二次谐波含量较大,所以保护开始被闭锁,但由于非故障相励磁涌流随着时间推移而衰减,其二次谐波幅值也随之减小,

而故障相短路电流基波幅值基本不变(除非周期分量衰减外),故谐波含量随时间快速减小,从而保证故障变压器空投时较快地被切除;而谐波比最大相制动其谐波含量并非随时间推移而减小,而是增大,原因在于励磁涌流衰减时其基波与二次谐波同时减小,其比值的变化取决于两者的衰减速度,若基波衰减比二次谐波快,则保护将长时间被闭锁,只有在非故障相的涌流基波幅值衰减到不满足差动条件后保护才能动作(即曲线 ① 的谐波比突变点 A)。综上所述,从保护的速动性来说,按相制动方式最优,综合相次之,谐波比最大相最差。

图 4 为变压器不带故障空投时用三种方法计算的谐波含量随时间的变化曲线图。图中各曲线的定义与图 3 相同。从图中可以看出,三者的变化趋势相同,都随时间的推移而增大,这意味着励磁涌流衰减过程中,基波比二次谐波衰减快(仅对此模型而言)。同时三者均能可靠制动,防止变压器差动保护误动作。但比较而言,按相制动方式的裕度较小(见起始时刻谐波比值),若变压器谐波制动定值取的偏大(如 17%~18%),则有可能出现误动作。所以其可靠性在三者中最低,综合相制动由于计算时要选取三相中二次谐波的最大值,故其裕度比故障相制动大,可靠性也随之提高;谐波比最大相制动由于取三个比值中的最大值,其可靠性最好。

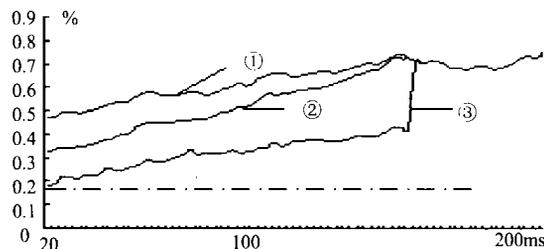


图4 变压器不带故障空投时三种方法计算的谐波比随时间变化曲线图

与仿真结论相对应,以下再给出几组动模实验数据,该结果是以南自厂 WBZ-500 型微机变压器保护为实验平台,在华中理工大学动模实验室所得的数据。

实验中主要对比三种制动方式在不同故障情况下保护动作时间以及对励磁涌流闭锁的可靠性,实验分为两组,第一组是在高压侧加大电源(电源内阻较大),第二组是在中压侧加大电源,实验结果如下表所示:

第一组:

表1 高压侧加小电源

实验类型	制动方式		
	谐波比最大相制动	按相制动	综合相制动
带低压侧匝间短路空投	150ms	27ms	35ms
带中压侧匝间短路空投	265ms	26ms	38ms
带高压侧匝间短路空投	31ms	28ms	37ms
带高内 KAO 故障空投	205ms	27ms	32ms
带高内 KBC 故障空投	31ms	28ms	31ms
带高内 KCO 故障空投	31ms	28ms	32ms
不带故障空投	均可靠闭锁	有误动	均可靠闭锁

第二组:

表2 中压侧加大电源

实验类型	制动方式		
	谐波比最大相制动	按相制动	综合相制动
带低压侧匝间故障空投	90ms	27ms	34ms
带中压侧匝间短路空投	31ms	26ms	33ms
带高压侧匝间短路空投	31ms	27ms	31ms
不带故障空投	均可靠闭锁	有误动	均可靠闭锁

5 三种计算方法定值选取的讨论

微机变压器保护谐波制动定值一般取为 15% ~ 20%, 这个定值的确定是继电保护工作者在长期的实践中得出的经验值, 且是以模拟式保护为基础的。也就是说, 该定值主要针对最大相制动方式。微机变压器保护诞生后, 尽管谐波比计算方法的选取变得更灵活, 但保护定值仍然延续模拟式保护的选取方法。这就为保护工作者提出了一个问题: 传统的定值选取方法能否满足微机变压器保护不同计算方法的速动性和可靠性上的要求。

微机变压器保护中, 谐波比最大相制动方式由于与模拟式保护一致, 故延续传统的定值选取方法应能保证保护正常工作。对于综合相制动, 由于其谐波含量的计算公式为:

$$K = \max(m_a, m_b, m_c)$$

其中 a, b, c 均为小于或等于 1 的权系数, 故

The comparison of several harmonic - restrain algorithms used in microprocessor-based transformer relay

HU Yu-feng, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe
(HuaZhong University of Science and Technology, 430074 Wuhan, China)

Abstract: After lists several harmonic algorithm commonly used in microprocessor-based transformer relay, this paper gives a united mathematical and physical explain on these methods by introduced weight-coefficient. At the same time, some results of dynamic tests and simulation are given to compare the difference in performance of these algorithm. In the last, the paper introduces the outline about the selection of set-value briefly.

Key words: harmonic restraint; exciting rush; differential protection

其定值应小于谐波比最大相制动方式, 用 ATP 仿真可以发现, 其定值取为 15% ~ 17% 对保证可靠性与速动性较为适宜; 对按相制动方式, 其定值的选取要仔细考虑, 因为变压器三相励磁涌流中可能有两相其谐波含量同时小于 15%^[1], 这种现象的存在对于按相制动十分不利, 由于按相制动方式首先选基波最大相, 若选中的相恰好是谐波含量较小的相, 则保护将误动作。故采用此种方式需认真研究变压器空投发生励磁涌流时, 其基波最大相的二次谐波含量最小为多少? 同时在定值的选取上也应比谐波比最大相制动方式小。

6 结束语

本文针对目前微机变压器保护中常用的几种谐波含量计算方法展开讨论, 运用数学方法解释了三者之间的联系与差别, 同时运用仿真及动模实验结果说明从保护的可靠性而言最大相制动最优, 综合相制动次之, 故障相制动最差; 从速动性而言则相反的结论。最后简要阐述了三者在选择定值选取上需注意的一些地方。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] 陈德树, 尹项根, 等. 采样值电流差动微机保护的一些问题. 电力自动化设备, 1996, (4).
- [3] 邱文征. 变压器主保护研究. 华中理工大学硕士论文, 1997.

收稿日期: 2000-03-05

作者简介: 胡玉峰 (1975 -), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护的研究; 陈德树 (1930 -), 男, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 主要从事电力系统继电保护与安全稳定控制等领域的研究; 尹项根 (1956 -), 男, 教授, 博士生导师, 电力系主任, 主要从事电力系统继电保护, 变电站自动化及电力系统控制的研究; 张哲 (1962 -), 男, 博士, 教授, 从事电力系统继电保护和自动控制的研究工作。