

虚拟三次谐波制动式变压器差动保护的仿真研究

胡玉峰, 陈德树, 尹项根, 张 哲

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北省武汉市 430074)

摘要: 针对虚拟三次谐波制动式变压器差动保护, 具体阐述如何利用 ATP 仿真程序建立适用于该新原理的变压器仿真模型; 同时, 详细给出了变压器在各种工况下运用此新原理所得到的仿真结果, 以说明原理的可行性和保护整定值的选取范围。

关键词: 差动保护; 虚拟三次谐波制动; ATP

中图分类号: TM772

0 引言

作为一种全新的谐波式励磁涌流鉴别方案, 虚拟三次谐波制动式变压器差动保护具有动作速度快、可有效鉴别对称性涌流等优点。文献[1,2]已对其基本概念、理论基础、实现方法进行了详细的阐述。本文作为新原理研究的重要组成部分, 主要介绍如何对新原理进行仿真分析和给出各种初始条件下新原理所得到的仿真结果, 以说明原理的可行性和保护定值的选择范围。

1 虚拟三次谐波原理简介

目前电力系统普遍采用二次谐波制动作为变压器保护中躲开励磁涌流的手段。这种传统的方式, 由于经受了长期的运行实践考验, 得到了一致的认可。但实践过程中, 其表现出来的不足之处也引起了人们的注意。主要有以下几方面:

a. 动作速度偏慢。由于本身判别数据窗(需要 1 个周期的数据)、励磁涌流衰减、系统谐波的影响, 以二次谐波制动为原理的变压器保护在速动性上往往难以令人满意, 这与目前日益增大的系统容量和短路电流水平对变压器保护所提出的要求显然不适应。

b. 易受健全相的影响。二次谐波原理在实用中的经验表明, 变压器三相励磁涌流波形无法保证全部超过谐波闭锁定值(目前常用 15%~20%), 故一般采用或门闭锁方式, 即三相差流中有一相超过谐波定值就闭锁差动保护。这种措施固然可以确保变压器空投时的保护不误动, 但在故障变压器空投时, 则会造成健全相的励磁涌流将保护闭锁而无法动作, 必须等到涌流衰减完后保护才能出口。

c. 对称性涌流的影响。变压器差动回路由于受变压器 Y/ Δ 接线形式的影响, 通常接收到的是两相相电流的相量差。这导致了在一定的初始条件下, 变压器差动回路所接收的励磁涌流呈现出对称性, 而不再偏向坐标轴的一边, 这称之为“对称性涌流”[2~4]。对称性涌流的存在, 使得二次谐波含量大大减小, 需要采取措施加以克服。

针对以上二次谐波的不足, 同时为满足电力系统对主保护双重化的要求, 国内外许多学者做了大量研究工作[5~12]。在此基础上, 我们提出了虚拟三次谐波原理, 力图使变压器保护在速动性与可靠性上得到提高。现以图 1 为例说明虚拟三次谐波原理。

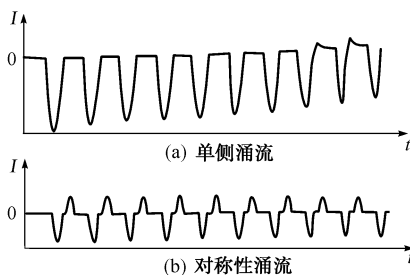


图 1 变压器励磁涌流波形

Fig. 1 Waveforms of magnetic inrush current of transformer

图 1 是现场实录的变压器励磁涌流的两种基本波形。从图中可以看出, 无论是哪一种形式的涌流波形, 都含有尖脉冲, 这实质上是由变压器饱和磁化特性决定的(即变压器铁心中的磁通超过饱和磁通时, 激磁电流将急剧增大)。同时, 尖脉冲的宽度也较小(由于间断角的存在), 一般在半个周期左右。当以尖脉冲为中心的半周期数据窗为研究对象, 并将这半周期的数据信息向后平移半周期并反向, 与前半周期数据组合成完整的数据窗, 对其进行频谱分析时,

可以发现“拟合”后的波形含有丰富的三次谐波分量。故可由此区分涌流波形和故障波形。

新原理的关键在于巧妙地利用了涌流波形尖脉冲的信息,由于采用了拟合,由频谱分析所得的三次谐波含量并非真正的励磁涌流波形中的三次谐波,而是拟合后波形中的谐波含量,故称之为“虚拟三次谐波原理”。

由前面的分析可知,新原理利用的是励磁涌流波形中的尖脉冲信息,判别数据窗为半周期,因而不但可克服传统鉴别方法在识别对称性涌流时的不足(从图 1(b)中可看出对称性涌流同样含有尖脉冲),而且可提高保护出口速度,满足超高压变压器保护对动作速度的要求。

系统的仿真计算是新原理研究的重要组成部分,它对定值的选择、技术要点的实现以及原理的可行性论证都十分重要。本文主要针对新原理的仿真进行论述。

2 三相变压器励磁涌流仿真模型的建立

2.1 仿真模型的选择

ATP(alternative transient program)仿真软件是目前国际上用于电力系统暂态仿真最流行的软件版本之一,其仿真模型以及计算结果经过多年考验,得到学术界的认可。在继电保护领域,ATP 常被用于系统故障或扰动后的暂态过程的分析与研究,以便考察保护的動作特性。本文的三相变压器励磁涌流仿真模型就是建立在 ATP 仿真程序的基础之上。

目前,ATP 提供了 3 种建立变压器仿真模型的方法,它们分别是:①直接调用 ATP 元件库中的变压器模型;②使用 ATP 支持程序 XFORMER;③使用 ATP 支持程序 BCTRAN。由于第 3 种方法在变压器模型的考虑上最为细致,所做的简化最少,故本文的仿真研究采用第 3 种方法。

利用 BCTRAN 生成的三相线性变压器模型如图 2 所示(以两绕组变压器为例)。

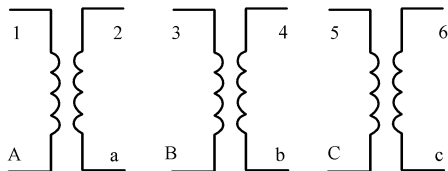


图 2 线性变压器模型

Fig. 2 Linear transformer model

ATP 用 2 个 6×6 阶矩阵 R, L 来表示其线性模型:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & L_2 & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{31} & M_{32} & L_3 & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix}$$

其中, R_i, L_i 为绕组 i 的自电阻与自电感; M_{ij} 为绕组 i 与 j 的互电感。

矩阵中各元素的确定是变压器线性数学模型的关键。这些数值是通过变压器的各种实验数据求得。在用户提供了变压器正序、零序短路和激磁实验数据后,ATP 可利用支持程序 BCTRAN 来自动生成上述矩阵,更为便利的是,绝大多数实验数据可直接从变压器的铭牌上得到,这为用户利用 ATP 程序进行变压器仿真提供了极大的方便。

2.2 基本磁化曲线的处理

从分析变压器励磁涌流的角度来看,变压器铁心的饱和特性是影响励磁涌流波形特性(包括波形幅值、谐波含量和间断角大小等)的关键因素。为此,需要根据变压器的激磁实验测试得到激磁电压与激磁电流的非线性曲线关系,以便进一步得到 ATP 程序中需要的 $\Phi-I$ 曲线。

需要指出的是,在以 BCTRAN 构造的变压器模型中,将激磁电阻作为激磁损耗考虑,且由于变压器铁心的饱和特性是通过在线性变压器模型的相应节点添加非线性电感来实现的,故对于激磁实验数据,需要从激磁电流中分离出阻性分量和感性分量。对于阻性分量,将其作为激磁损耗用一个相应并联的电阻元件表示;对于感性分量,则用一非线性电感表示,其非线性特性就是变压器激磁实验得到的非线性曲线去除电阻影响后的结果^[3]。

另一方面,由于非线性电感要求用户提供非线性特性曲线,且是基于 $\Phi-I$ 的曲线,而变压器激磁实验一般得到 $u-I$ 曲线,故为方便用户,ATP 提供了支持程序 SATURATION,可将 $u-I$ 特性转换为相应的 $\Phi-I$ 特性,便于用户进行仿真计算。

2.3 变压器铁心磁滞效应及饱和部分的处理

变压器铁心的磁滞效应是一个非常复杂的过程,其变化规律主要依据变压器局部磁环特性,考虑

到保护仿真的特点和在不考虑磁滞效应对保护而言是偏于保守的^[13],同时由于新原理所用的数据窗为第1周期的数据,结合 ATP 仿真程序提供的功能,在磁滞效应的处理上,仅考虑了变压器铁心的主磁环特性。

如前所述,变压器的饱和与磁滞效应是通过在线性变压器模型的相应节点添加非线性电感来实现的,在 ATP 仿真程序中,第 96 类型的非线性磁滞电感提供了磁滞接口和剩磁接口,可方便用户根据不同的涌流初始条件调整相应的参数。

另一个值得考虑的问题是变压器基本磁化曲线在过主磁环最高点后的处理,因为其处理方式的不同将导致仿真结果上的差异。尤其对谐波制动式变压器保护,饱和部分的处理会对变压器励磁涌流的谐波含量产生直接且较大的影响。这一点,可以从图 3 所示的动模实验的励磁涌流波形和仿真结果的励磁涌流波形的对比中看出。

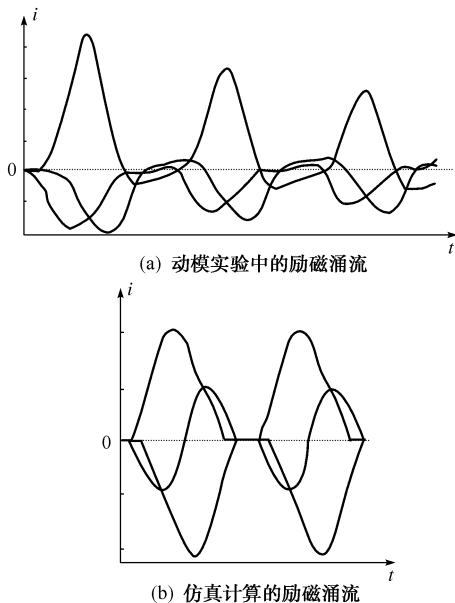
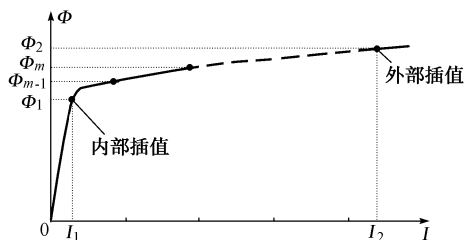


图 3 两种励磁涌流波形的对比
Fig. 3 Comparison of two magnetic inrush waveforms

从图 3 中可以看出,对于动模实验所得的变压器励磁涌流波形,其饱和部分呈现出尖顶波,这主要是由于空载合闸时暂态磁通引起变压器饱和而产生的。而对于仿真所得的变压器励磁涌流波形,虽然在波形的分布特点上与动模波形基本一致,但就其饱和部分而言,未出现尖顶波的特性。表现最明显的是仿真结果中的对称性涌流波形已十分接近正弦波。然而实际中无论是现场录波还是动模实验中的对称性涌流,其波形虽有较强的对称性,但饱和部分仍具有尖顶的特性,而不会像仿真波形一样如此接近正

弦波。这种差异,对于分析波形中各谐波含量的大小是有较大影响的,尤其对于三次谐波含量的影响最大。而本文仿真研究的对象恰恰是利用三次谐波鉴别励磁涌流的新原理,故为得到较好的仿真结果,需要对以上阐述的波形差异采取一定的措施。

首先研究一下为什么仿真计算的结果中励磁涌流的饱和部分波形特性不明显。这主要是 ATP 仿真程序对用户给出的磁滞曲线(或基本磁化曲线)采取以下处理方式:若计算中的磁通小于用户所给曲线的磁通最大值(或主磁环最高点对应的磁通值),则由插值法可在曲线上直接找到对应的电流值;若计算中的磁通大于所给曲线的最大值,则取曲线中最大的两点做直线并延伸,然后用插值法计算。如图 4 所示。



Φ_m, Φ_{m-1} 为用户所给磁化曲线中的最大两点,虚线为延伸后的磁化曲线

图 4 ATP 磁化曲线插值处理示意图
Fig. 4 The diagram showing the insert method in ATP curve

变压器发生励磁涌流时,其暂态磁通一般都大于 Φ_m ,采用这样的处理模式,实质上是对非线性特性进行线性化,且这种线性化的处理较简单,饱和后仅用一段折线代替。这就相当于变压器饱和过主磁环最高点后,其激磁电感(非线性)用一数值较小的线性电感来取代,此时变压器模型中不再有非线性元件,因而计算出来的电流值虽然数值较大(与未饱和时相比较),但尖顶波特性无法表现出来,从而影响了三次谐波含量的大小。实际变压器运行发生励磁涌流铁心饱和时,其磁通变化过程比仿真计算过程复杂得多。主要是按非线性曲线变化,导致饱和部分的波形特征十分明显,主要表现为波形呈现出尖顶波的性质。

ATP 所提供的功能中,没有考虑变压器复杂的磁通变化过程,且这种变化存在较大的随机性,用户一般很难用数学语言将变化过程描述出来。基于这个原因,只能在现有功能的基础上改善对饱和部分的处理。本文在实际应用中采用以下处理方式:在所给出的磁化曲线上增加一个点(设此点对应的磁通为 Φ_{m+1}),该点对应的磁通比用户所给的最大磁通(图 4 中的 Φ_m 点)高 2 倍~3 倍,再将 Φ_m 与 Φ_{m+1} 之

间的磁通增量等分为若干段(实际运用中划分为10段),每段用一折线代替且折线斜率依次递减。这样处理后,相当于原来的一条折线被若干条斜率递减的折线取代,保持了变压器饱和部分的非线性特性(斜率变化意味着激磁电感随之改变)。图5为改进前后仿真所得励磁涌流波形对比。由图5中可以看出,改进后的波形其饱和部分的特性已大大加强,且涌流的峰值也随之变大^[14]。

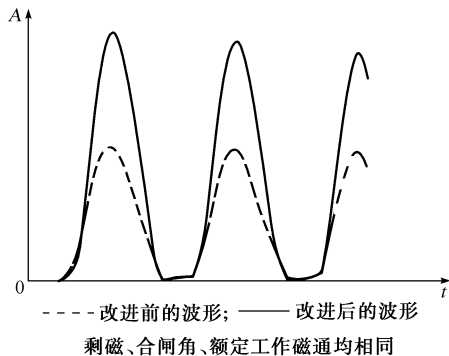


图5 两种仿真方法所得的励磁涌流波形的比较
Fig. 5 Comparison of two magnetic inrush waveforms obtained from two simulation methods

3 变压器励磁涌流仿真初始条件的设定

对于变压器励磁涌流而言,其波形特性与产生涌流的初始条件直接相关。这些初始条件主要包括电源内阻抗、合闸初始角、变压器的剩磁以及变压器的磁滞饱和特性。为充分考虑各种初始条件下的励磁涌流波形和运用新原理所得的鉴别结果,有必要对各种初始条件进行组合设定。

影响变压器励磁涌流波形特性的初始条件主要有:合闸角 α_A (以A相为参考相),饱和磁通 B_s ,额定工作磁通 B_m ,以及三相的剩磁 B_{rA}, B_{rB}, B_{rC} 。对于合闸初始角,为清楚地说明其对新原理的影响,本文以A相为基准,在 $0^\circ \sim 120^\circ$ 之间每隔 5° 做一算例,以得到谐波含量随合闸角的变化规律。对于饱和磁通 B_s ,考虑到随着电力变压器制造工艺的改进,尤其是近代变压器均采用冷轧晶粒定向的硅钢材料,使得系统中现行的变压器工作磁通均较高,一般饱和磁通与额定工作磁通的比值在 $1.15 \sim 1.25$ 之间,较之原有的比值1.4有所降低,故本文以下的仿真分析取此比值为1.2。剩磁的选择是变压器励磁涌流仿真中一个需要重点考虑的问题。首先,大型变压器的剩磁究竟最大可达到何种程度一直未有定论,直接用变压器制造材料的剩磁参数作为变压器的剩磁是不可取的,因为硅钢片在冲剪成型时会出现内应力,

退火时渗入碳、氧等杂质都会使 B_r 变小;同时,由于电感和分布电容的存在,使得变压器从系统断开后激磁电流将呈振荡现象,也会减低剩磁^[2],而剩磁的选取与变压器励磁涌流波形特性有直接的联系,若选取不当,甚至可能得出现行的二次谐波制动和间断角制动原理均不成立的结论^[13]。目前国内在做变压器励磁涌流分析时一般取变压器的最大剩磁与额定工作磁通的比值 B_r/B_m 为 $0.5 \sim 0.7$;另一方面,变压器三相剩磁的分布也需要做适当的选择,虽然变压器剩磁的大小和分布与许多因素有关,包括铁磁材料的磁化特性、磁后效作用和涡流的阻尼作用以及变压器从系统切断过程中的低频振荡过程,但考虑到三相电流的对应关系以及现代大型变压器均采用单相变压器,三相之间不存在磁路的联系,因而变压器三相剩磁之和应接近于0。即使电流过零点为灭弧时刻,三相关断电流不完全对称,三相剩磁之和会偏离0,也应在一范围之内。

本文给出的仿真计算结果是建立在以上讨论基础之上的,取 $B_s/B_m = 1.2$, B_r/B_m 的最大值取为0.7;同时取三相剩磁之和 $\max(B_{rA} + B_{rB} + B_{rC}) = 0.3$,合闸初相角 $\alpha_A = 0^\circ, 5^\circ, \dots, 120^\circ$; $\alpha_B = \alpha_A - 120^\circ$; $\alpha_C = \alpha_A + 120^\circ$;铁心剩磁 $B_{rA}/B_m = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$; $B_{rB}/B_m = 0, -0.1, -0.2, \dots, -0.7$; $B_{rC}/B_m = 0, -0.1, -0.2, \dots, -0.7$ 。根据上述各种不同的合闸初相角和铁心剩磁,组合成多种三相励磁涌流分析的初始条件。

对于电源的内阻抗,考虑到其大小将直接影响变压器励磁涌流波形幅值的大小和饱和程度的大小,为比较其影响,分别取大阻抗值和小阻抗值两种情况进行考察。

4 变压器励磁涌流仿真结果分析

在前面章节建立的变压器仿真模型和设定的初始条件的基础上,针对文献[1]提出的虚拟三次谐波原理进行了各种仿真计算,图6是几种典型的仿真结果。图中横轴下的代号表示变压器三相剩磁的分布情况,含义具体如下:前两位表示A相剩磁,中间两位表示B相剩磁,最后两位表示C相剩磁,同时每两位中的第1位表示剩磁的符号,“0”表示正,“1”表示负。根据这个定义,图中的“071313”表示A相剩磁为70%,B相剩磁为-30%,C相剩磁为-30%。其他依此类推。

为更清楚地说明励磁涌流波形中的谐波含量及其与初始条件之间的联系,表1给出了几组具体的仿真结果数值。

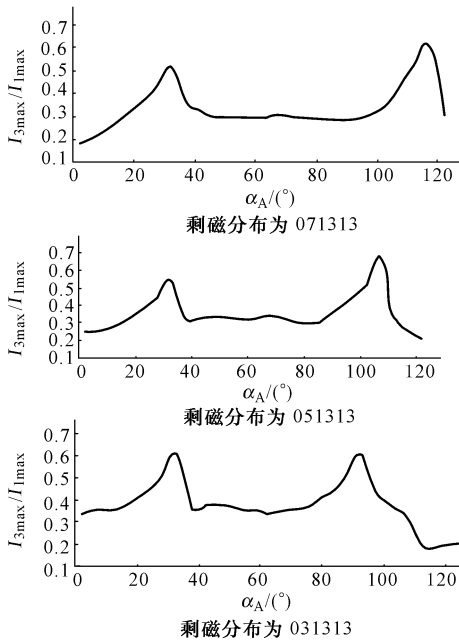


图6 变压器空载励磁涌流虚拟三次谐波含量仿真结果
Fig. 6 Simulation results of virtual third harmonic component of transformer magnetic inrush current without load

表1 变压器三相励磁涌流 I_3/I_1 的特征分析
Table 1 The character analysis of I_3/I_1 in transformer three phases magnetizing inrush

组别	相别	$\alpha/(^\circ)$	I_F	B_r/B_m	I_3/I_1	$I_{3\max}/I_{1\max}$
1	A	30	3.85	0.7	0.258	0.382
	B	-90	2.45	-0.1	0.524	
	C	-210	5.41	-0.7	0.253	
2	A	30	4.32	0.7	0.581	0.557
	B	-90	2.33	-0.3	0.663	
	C	-210	5.41	-0.7	0.186	
3	A	30	5.21	0.7	0.306	0.357
	B	-90	2.69	-0.5	0.375	
	C	-210	5.88	-0.7	0.206	
4	A	-30	5.74	0.7	0.155	0.253
	B	-90	2.70	-0.7	0.256	
	C	-210	5.88	-0.7	0.204	
5	A	0	5.00	0.7	0.225	0.225
	B	-120	2.36	-0.3	0.137	
	C	120	3.74	-0.7	0.312	
6	A	0	4.81	0.5	0.246	0.246
	B	-120	2.47	-0.3	0.034	
	C	120	3.04	-0.3	0.457	
7	A	0	4.24	0.3	0.329	0.334
	B	-120	2.32	-0.3	0.034	
	C	120	2.62	-0.3	0.674	
8	A	60	3.56	0.7	0.201	0.342
	B	-60	3.59	-0.5	0.484	
	C	180	6.40	-0.7	0.188	

注： I_F 为涌流峰值的标么值； $I_{3\max}/I_{1\max}$ 为三相差流中三次谐波的最大值与基波最大值之比。

从仿真计算可以得出以下结论：

a. 采用虚拟三次谐波原理,对于不同的初始条

件下的变压器三相励磁涌流波形,从表1中可发现其中至少有两相的虚拟谐波含量较大(均在20%以上),而另一相谐波含量则较小,这主要是由于对涌流波形进行半周期拟合时,由于三相涌流的相位差和拟合数据窗的位置的影响,使得拟合窗口不能保证对三相都处于最佳位置^[1,2],为克服这个缺陷,一般可采用以下几种方案:

方案1:以最大值为中心确定判别数据窗。在保护启动后,分别按相搜索数值最大的采样点,并以此为中心,半波数据窗为宽度,构造虚拟波形的前半周期。再通过拟合得到后半周期。这种方法的优点在于可保证各相用于虚拟的数据窗总处于“最佳”位置,适合于按相闭锁。不足之处在于保护的動作时间存在离散性(由于启动算法的选择、启动继电器灵敏度的大小的影响),无法从理论上获得确定值。

方案2:以故障起始点为起点,半周期数据窗为宽度,做波形拟合。这种方法数据窗明确,動作时间确定,但由于相位差的影响,不能保证各相都同时处于拟合的“最佳”位置,由此可能造成某一相的虚拟三次谐波含量不足(见表1中的数据)。为克服这个缺陷,可采用传统谐波闭锁的“或”门方式或综合比相方式(即谐波的最大值与基波最大值比)。

方案3:递推数据窗方式。同样以故障起始点为起点,半周期数据窗为宽度,但不是判别1次,而是将在连续的2个~3个数据窗内做判别(即每相以半周期为数据窗连续递推采样点判2次~3次)。采用这种方法可以消除相位差的影响,但需增加计算量和牺牲一定的動作速度。本文的仿真是采用了 $I_{3\max}/I_{1\max}$ 的处理方法(即综合比相法)。

b. 采用 $I_{3\max}/I_{1\max}$ 的处理方法对各种初始条件下的涌流波形进行分析,从表1中可得到其虚拟谐波含量均在16%以上,而变压器内部故障电流从理想状况来说是正弦波形,对其进行拟合所得的谐波含量相当小。实际系统中,非周期分量和系统谐波会对内部故障电流的谐波含量造成影响。对非周期分量,当对波形进行拟合时,会近似地生成一个方波,此时进行频谱分析会带来较大的谐波。故需要采取相应的措施。一般采用差分可较大程度地消除。对各种电容或其他因素产生的谐波影响,则主要由定值或其他原理做补充来克服。

c. 仿真分析发现,变压器励磁涌流波形的饱和特性是否明显是影响虚拟谐波含量的关键因素,变压器涌流波形的尖顶波特性越明显,虚拟出来的波形三次谐波含量越大。而涌流波形的这种特性与变压器的额定工作磁通、合闸初始角、剩磁的大小、电源的内阻直接相关。在实际运用新原理时,可根据变

压器的实际运行经验来调整整定值。具体而言,对于大型变压器,额定工作磁通高,系统阻抗相对较小的情况,定值可相应取得较大;否则相应取小。一般定值取在 16%~22%。

d. 采用新原理可较好地克服对称性涌流的影响,表 1 的第 4 项产生的波形实际为对称性涌流波形,其三相励磁涌流如图 7 所示。从波形图可以看出,对于对称性涌流,有一相波形呈现出对称性,用传统的二次谐波制动方式,则该相的二次谐波含量将较小,无法满足闭锁条件。而采用新原理,对于该相波形,其拟合波形仍含有较大谐波(25.6%)。为此,采用新原理后,在克服数据窗的定位和三相相位差影响的前提下(如前面所提的方案 1 或方案 3,牺牲一点速动性和增加一些计算量),则可以实现按相闭锁。本文的仿真主要以提高动作速度为目标,故还是采用了方案 2。

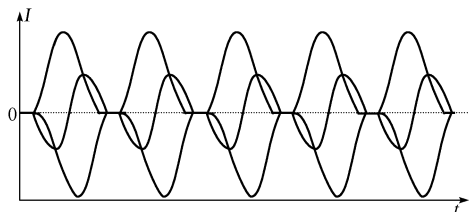


图 7 变压器对称性涌流波形示意图

Fig. 7 Symmetric inrush current waveform of transformer

5 结语

本文以文献[1]提出的虚拟三次谐波制动原理为研究对象,介绍了基于新原理的 ATP 变压器励磁涌流仿真模型的建立,同时在此基础上适当选择初始条件对新原理进行了全面系统的仿真,得出了利用新原理鉴别变压器励磁涌流和内部故障的可靠性依据和定值选择范围,同时结合仿真数据说明了新原理的优势和实现的要点。

参考文献

- 1 陈德树(Chen Deshu). 虚拟三次谐波制动式变压器差动保护(Virtual Third Harmonic Restrained Transformer Differential Protection—Principle and Practice). 中国国家发明专利公报(China State Invention Patent Communiqué),1998,14(29)
- 2 陈德树,尹项根,张哲,等(Chen Deshu, Yin Xianggen, Zhang Zhe, et al). 虚拟三次谐波制动式变压器差动保护(Virtual Third Harmonic Restrained Transformer Differential Protection—Principle and Practice). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),2001,21(8):19~23
- 3 胡玉峰(Hu Yufeng). 微机变压器保护新原理的研究:[硕士学位论文](The New Theory Study of Microprocessor-based Transformer Protection, Thesis). 武汉:华中科技大学(Wuhan:

Huazhong University of Science and Technology),2000

- 4 王维俭(Wang Weijian). 电气主设备继电保护原理与应用(The Theory and Application of Electric Main Equipments Protection). 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press),1996
- 5 唐跃中,刘勇,陈德树,等(Tang Yaozhong, Liu Yong, Chen Deshu, et al). 几种变压器励磁涌流判别方法的特点及其内在联系的分析(Analysis Some Typical Methods for Checking Magnetizing Surge in Transformer). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),1995,19(9):53~59
- 6 焦邵华,刘万顺,刘建飞,等(Jiao Shaohua, Liu Wanshun, Liu Jianfei, et al). 用小波理论区分变压器的励磁涌流和短路电流的新原理(A New Principle of Discrimination Between Inrush Current and Fault Current of Transformer Based on Wavelet). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1999,19(7):1~5
- 7 Liu P, Chen D, Guo Y, et al. Improved Operation of Differential Protection of Power Transformers for Internal Faults. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(4)
- 8 Haydema J, Sluis van der L. Flux-based Current-differential Relay for Power Transformer Protection. In: 5th International Conference on Developments in Power System Protection. IEE Pub, 1993(368)
- 9 Kasztenny B, Rosolowski E, Saha M M, et al. A Self-organizing Fuzzy Logic Based Protective Relay—An Application to Power Transformer Protection. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(3)
- 10 焦邵华,刘万顺(Jiao Shaohua, Liu Wanshun). 区分变压器励磁涌流和内部短路的积分型波形对称原理(A Novel Scheme to Discriminate Inrush Current and Fault Current Based on Integrating the Waveform). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1999,19(8):35~38
- 11 何奔腾,徐习东(He Benteng, Xu Xidong). 波形比较法变压器差动保护原理(Principle of Transformer Differential Protection Based on Wave Comparison). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1998,18(6):395~398
- 12 Wiszniewski A, Kasztenny B. A Multi-criteria Differential Transformer Relay Based on Fuzzy Logic. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(4)
- 13 王维俭,侯炳蘊(Wang Weijian, Hou Bingyun). 大型机组继电保护理论基础(The Theory Basis of Large Generator Protection). 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press),1989
- 14 陈德树(Chen Deshu). 计算机继电保护原理与技术(The Theory and Technology of Microcomputer-based Protection). 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press),1995

胡玉峰(1975—),男,博士研究生,从事电力系统继电保护的研究。E-mail:hu_yufeng2001@263.net

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(1954—),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。

STUDY ON THE SIMULATION OF TRANSFORMER DIFFERENTIAL PROTECTION BASED ON VIRTUAL THIRD HARMONIC THEORY

Hu Yufeng, Chen Deshu, Yin Xianggen, Zhang Zhe

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at the transformer differential protection based on virtual third harmonic theory, this paper introduces concretely how to build the transformer simulation model using the ATP program. The detail simulation results applying the new theory in different conditions are obtained, which show the feasibility of the new theory and the selective scopes of protection setting.

Key words: differential protection; virtual third harmonic restraint; alternative transient program (ATP)

