

# 电力变压器铁心剩磁检测方法研究

陈文臣, 雷晓燕, 王 磊

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:**分析了电力变压器铁心产生剩磁的原因及其危害。通过对变压器有剩磁和无剩磁两种情况下的对比分析,指出励磁电流的偶次谐波是剩磁存在的标志,并提出通过对励磁电流偶次谐波的测量来判断变压器有无剩磁的检测方法,现场试验和 EMTP 软件仿真验证了检测方法的可行性。

**关键词:**电力变压器;剩磁;励磁电流;偶次谐波

**Abstract:** The reasons of the residual magnetism generated by transformer core are analyzed as well as its hazards. Through the comparative analysis of two situations with and without the residual magnetism, it is found that the even harmonic of excitation current is a sign of the residual magnetism existing. The detection method is put forward which determines the residual magnetism in the transformer by measuring the even harmonic of excitation current. The feasibility of the detection method is proved by the field experiment and EMTP software simulation.

**Key words:** power transformer; residual magnetism; excitation current; even harmonic

**中图分类号:** TM936 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)06-0045-04

电力变压器是电网的重要组成元件之一,在电网的安全稳定运行中具有极其重要的作用。在对电力变压器进行电压比、直流电阻测量和空载实验等操作后会在铁心中残留剩磁。由于剩磁的存在,当变压器投入运行时铁心剩磁使变压器铁心半周饱和,在励磁电流中产生大量谐波,这不仅增加了变压器的无功消耗,而且可能引起继电保护器误动作,造成一定的经济损失。与此同时,铁心的高度饱和使漏磁增加,引起金属结构件和油箱过热。局部过热将使绝缘纸老化并使变压器油分解,影响变压器的寿命。因而变压器铁心剩磁的大小不仅直接影响到绕组的运行安全,而且影响到电力系统的稳定、安全运行<sup>[1,2]</sup>。

基于上述原因,在变压器运行时或投入运行前对剩磁量进行检测并采取有效措施消除或减小铁心剩磁量十分必要,这对保护变压器正常运行、维护电力系统的稳定与安全十分重要。

## 1 变压器铁心剩磁产生原因及特点

剩磁产生的原因是由于铁磁材料固有的磁滞现象。

电力变压器绕组直流电阻测试后,会在铁心中残留剩磁。一般说来,直流磁化的安匝数愈大,剩磁愈

严重。具有剩磁的变压器,施加 50 Hz 交流电压,当变压器空载投入和外部故障切除后电压恢复时,因铁心饱和及存在剩磁会出现很大的励磁电流即励磁涌流,其特点是含有很大成分的非周期分量、含有大量的高次谐波分量且以二次谐波为主、波形之间有间断,其大小和衰减时间与外加电压、铁心剩磁大小与方向、回路阻抗、变压器容量和铁心性质有关。交流磁势的某半波方向与剩磁方向一致时,铁心急剧饱和,出现偶次谐波。如图 1 所示,一台 500 kV 单相变压器具有剩磁,在施加 50% 和 100% 50 Hz 额定电压时,均出现较明显的偶次谐波励磁电流,励磁电流的偶次谐波是存在剩磁的标志<sup>[5,6]</sup>。

## 2 变压器剩磁检测原理方法

剩磁检测目前在国内外还没明确、成熟的方法,因此研究出一种方便有效的变压器铁心剩磁检测方法具有重要意义。

当变压器没有剩磁时,也可使变压器产生励磁涌流,此时的涌流中的谐波主要是以三次谐波为主的奇次谐波,另外还有其他高次谐波。当变压器中存在剩磁时可使其产生更大数值的励磁涌流,而此时的励磁电流与无剩磁时的励磁电流的最大区别在于励磁电

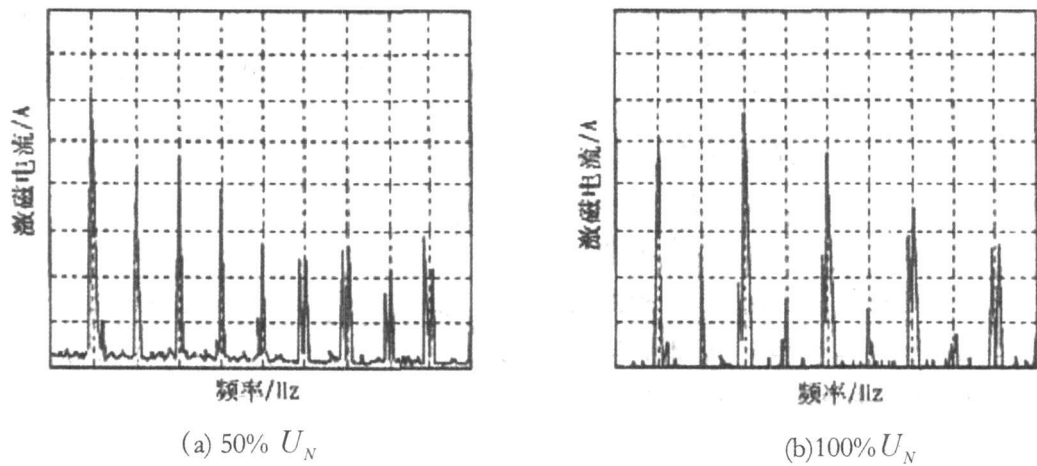


图 1 具有偶次谐波的励磁电流波形

流中存在较明显的偶次谐波励磁电流,励磁电流的偶次谐波是存在剩磁的标志。因此可通过对励磁电流的偶次谐波的测量来判断是否有剩磁通的存在。偶次谐波包含 2、4、6、8……等次谐波,而其中又以二次谐波含量最为明显。因此下面主要采取了以测量二次谐波为主的谐波测量方法来判断有无剩磁通的存在<sup>[5]</sup>。

### 3 剩磁检测试验及结果分析

励磁电流的偶次谐波是存在剩磁的标志。在第 2 节中提出了利用检测励磁电流的偶次谐波来判断有无剩磁检测试验方法。对于单相变压器其空载电流就是铁心的励磁电流,并具有与励磁电流完全相同的特点。

本试验选取了一台单相变压器,对其先加直流电流进行一段时间的充磁,然后对其做空载试验。用具有 FFT 分解功能的示波器对其空载电流进行傅立叶分解和波形记录,得出包含偶次谐波在内的各次谐波含量的分布图,从而判断是否有剩磁的存在。同时本实验还使用了 TH-S 型螺线管磁场测试组合仪来测量磁感应强度 B 的大小,磁感应强度 B 的大小可反映剩磁量的大小,从中可判断剩磁量的大小对偶次谐波含量是否有影响。

#### 3.1 试验电路图

如图 2 所示当开关 K 接通 K2 时,直流电流源就对单相变压器进行充磁。待充磁完成后,可通过磁场测试组合仪测试单相变压器的磁场大小。然后将开关打到 K1 处,就接通了自耦变压器,试验变压器被

通以交流电,此时将示波器调整到触发方式下,这样就可记录在合闸初始时刻的电流波形或者其 FFT 分解图。试验变压器采用了长科院试验工厂生产的变压器,电压等级 220 V/10 V/5 V,变压器容量 500 VA。

#### 3.2 试验结果及分析

##### 3.2.1 25% 时试验结果及分析

将自耦变压器的输出电压调整到 55 V,即 25%  $U_N$ ,并使示波器工作在触发方式下,得到的合闸初始时刻的励磁电流波形的 FFT 分解图如图 3 所示。

由图 3 可看出,当变压器中存在剩磁时,即使剩磁很小,其励磁电流中也含有大量的谐波。除包含奇次谐波外,还含有大量的偶次谐波,且偶次谐波中以二次谐波的含量最为明显。偶次谐波的含量还与合闸初相角有关系,不同的合闸初相角对偶次谐波的含量有很大影响。

待交流电试验完成后,将电源断开,用磁场测试仪的探头测量变压器的磁感应强度,此时霍尔电压几乎为 0,说明此时已基本没有剩磁的存在。再将变压器通以 25%  $U_N$  测得此时励磁电流初时刻波形 FFT 分解图如图 4 所示。

由图 4 可知当没有剩磁存在时励磁电流的 FFT 分解中已基本没有偶次谐波的存在,此时主要含有以三次谐波为主的奇次谐波。

##### 3.2.2 50% $U_N$ 、额定电压时试验结果及分析

将自耦变压器的输出电压分别调整到 110 V 和 220 V,即 50%  $U_N$  和  $U_N$ ,并使示波器工作在触发方式下,得到的合闸初时刻励磁电流波形的 FFT 分解图如图 5。

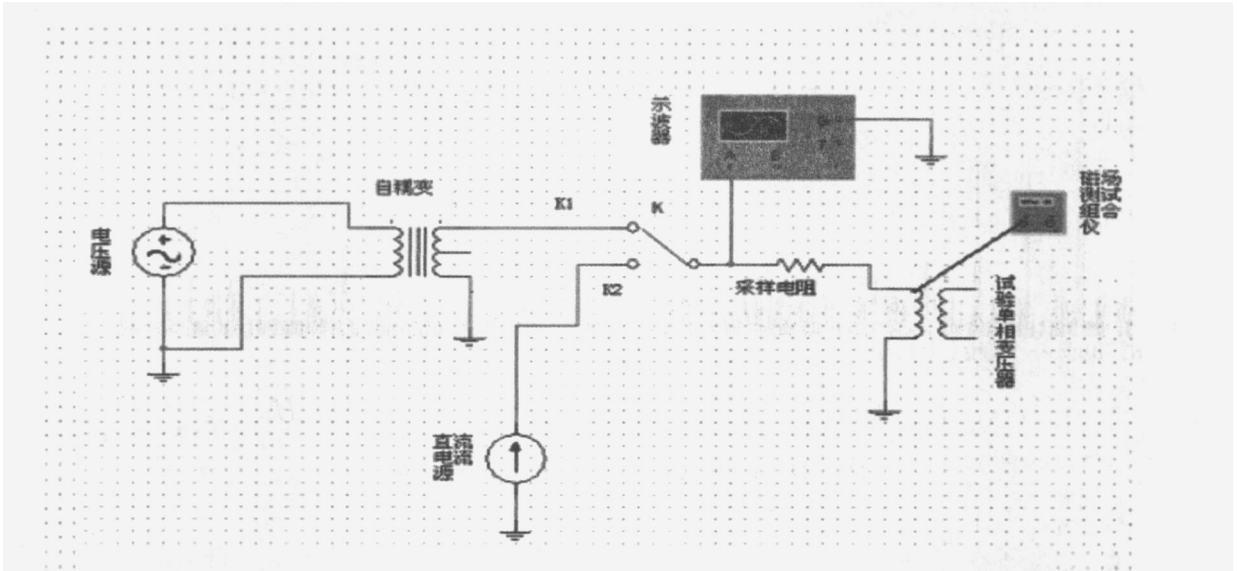


图 2 剩磁检测试验电路图

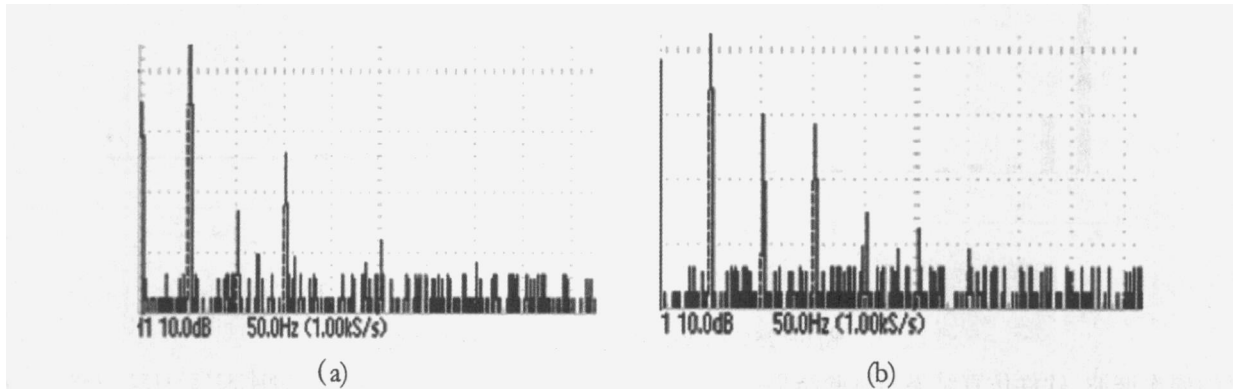


图 3 25%  $U_N$  时不同合闸初相角情况下励磁电流初时刻波形 FFT 分解

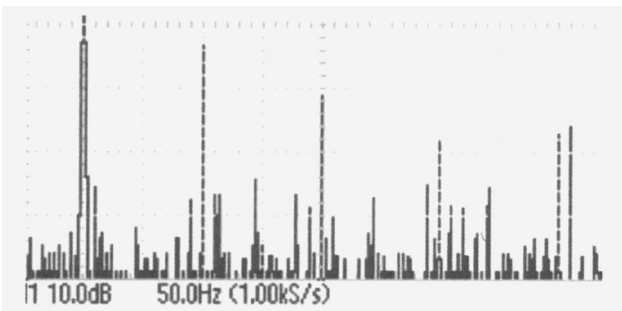


图 4 25%  $U_N$  时励磁电流初时刻波形 FFT 分解 (无剩磁时)

### 3.2.3 小结

由试验结果可知当变压器中存在剩磁时,即使剩磁很小,其励磁电流中也含有大量的谐波。除包含奇次谐波外,还含有大量的偶次谐波。且偶次谐波中以二次谐波的含量最为明显。偶次谐波的含量还与合闸初相角  $\alpha$  有关系,不同的合闸初相角对偶次谐波的含量有很大影响。

不同的合闸初相角  $\alpha$  不仅对二次谐波含量有显著影响,而且对励磁电流幅值、间断角也有很大影响。

经理论分析表明:  $\alpha = 0^\circ$  时合闸单相变压器的正向励磁涌流最大;当  $\alpha = 180^\circ$  时合闸,其反向励磁涌流最大;当  $\alpha = 90^\circ$  时合闸,其励磁电流为周期性对称电流,直接进入稳态<sup>[6]</sup>。

当没有剩磁存在时励磁电流的 FFT 分解中已基本没有偶次谐波的存在,此时主要含有以三次谐波为主的奇次谐波。

## 4 EMTTP 仿真

在 EMTTP 软件中建立适当的单相变压器模型<sup>[7]</sup>,设置合闸初相角为  $0^\circ$ ,测得无剩磁和有剩磁两种情况下不同电压等级下的励磁电流初时刻波形 FFT 分解图。剩磁大小设定为 0.7 倍饱和磁通。现将几张典型仿真图列举如图 6。

由图 6(a)、(b)可看出当有剩磁时,励磁电流中无偶次谐波存在,有剩磁时励磁电流中出现了较明

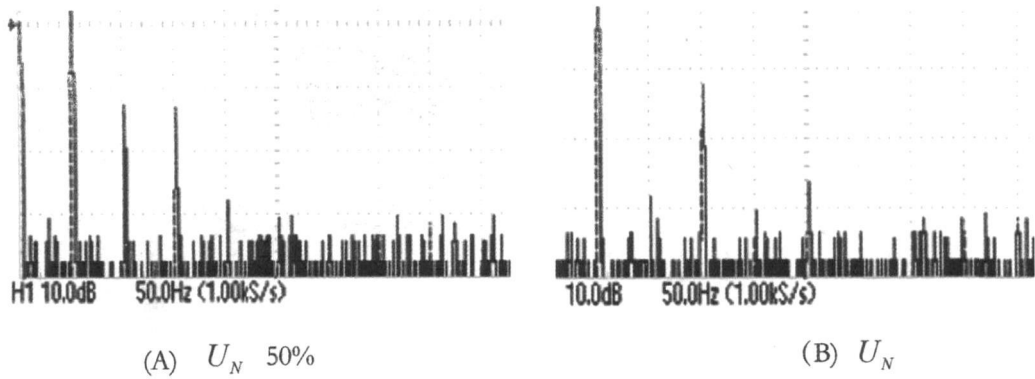


图 5 50%  $U_N$  时励磁电流初时刻波形 FFT 分解

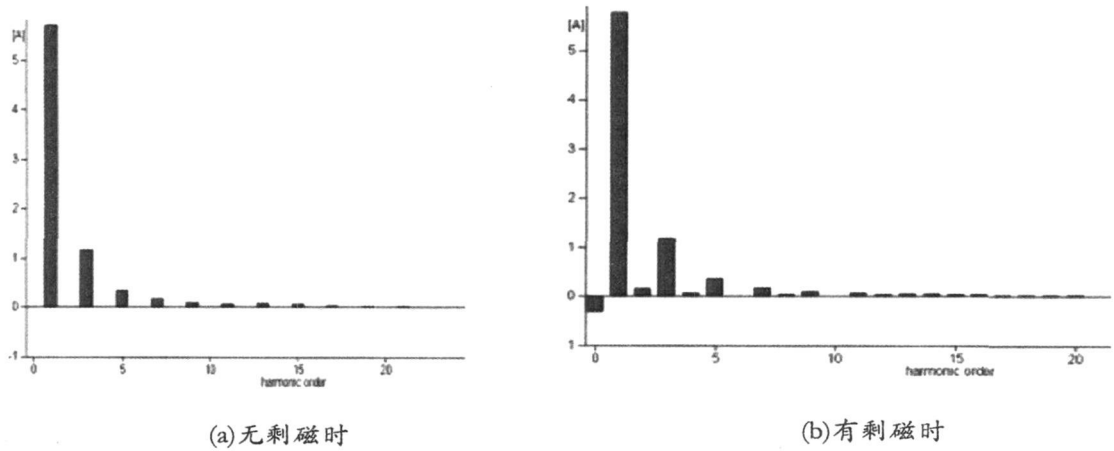


图 6 25%  $U_N$  时励磁电流初时刻波形 FFT 分解

显的偶次谐波,软件仿真结果与试验结果一致。

## 5 结 语

通过分析研究提出了通过检测变压器励磁电流中有无偶次谐波的剩磁检测方法。从 EMTTP 软件仿真和现场试验都验证了该方法的可行性。在试验时,即使变压器剩磁很小,其励磁电流中也含有大量的谐波,这时奇次谐波偶次谐波同时存在,偶次谐波中以二次谐波的含量最为明显。试验时还发现偶次谐波的含量还与合闸初相角  $\alpha$  有关系,不同的合闸初相角对偶次谐波的含量有很大影响。合闸初相角  $\alpha$  不仅对二次谐波含量有显著影响,而且对励磁电流幅值、间断角也有很大影响。

### 参考文献

[1] 李丹青,李汉青.浅析变压器谐波的产生、危害及抑制

[J].机电工程技术,2004,33(8):157-158

[2] 梁仕斌,文华,曹敏等.铁心剩磁对电流互感器性能的影响[J].继电器,2007,35(22):27-32

[3] 辜承林,陈乔夫,熊永前.电机学[M].武汉:华中科技大学出版社,2005.

[4] 李明武,梁冠安.变压器有载合闸过程中故障分闸后铁心剩磁分析[J].高压电器,2003,39(5):26-28

[5] 万达.500 kV 变压器的剩磁和局部放电试验[J].江苏电力技术.2000,33(1):14-17.

[6] 符杨,蓝之达,陈珩.计及铁心动态磁化特性的三相变压器励磁涌流的仿真研究[J].变压器,1997,34(9):6-11.

[7] 万凯,刘会金.计及剩磁效应的变压器模型[J].变压器,2002,39(5):10-13.

### 作者简介:

陈文臣(1986—),男,四川德阳人,武汉大学电气工程学院 2008 级硕士研究生,主要研究方向为高电压与绝缘技术。

(收稿日期:2009-10-10)