

换流变压器直流偏磁与饱和保护

文继锋, 张晓宇, 程 骁, 熊 蕙, 李海英, 陈松林
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要:分析了换流变压器直流偏磁产生的主要原因,并总结了直流偏磁情况下换流变压器的励磁电流的电气特征以及直流偏磁导致换流变压器的损坏机理,在此基础上介绍了换流变压器饱和保护的原理,以及饱和保护的实现方法,并探讨了换流变压器过激磁保护工程应用中需要考虑的注意事项。

关键词:换流变压器;直流偏磁;电气特征;饱和保护;励磁电流峰值

中图分类号:TM772

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)02-0028-03

高压直流输电由于其特有的优点得到了越来越广泛的应用。且可以异步互联,不需考虑稳定问题;线路故障恢复能力较强;调节作用利于交流系统的稳定;减少互联交流系统的短路容量;超过一定距离建设投资更经济等。由于直流输电系统和交流输电系统具有不同的系统结构和运行方式,运行期间会导致直流电流流过换流变压器^[1],从而导致换流变压器出现直流偏磁现象^[2-8]。直流偏磁现象使得换流变压器铁心持续性的饱和,增多了变压器的空载损耗,铁心温升上升。当直流偏磁现象较为严重时,可能使得铁心在饱和期内的饱和度过深,漏磁通增加,造成结构件涡流损耗增加,甚至可能出现严重的局部过热情况,导致变压器热损毁;同时直流偏磁还会导致换流变压器运行噪声变大,寿命下降。基于以上原因,换流变压器保护一般需要配置饱和和保护^[9,10]。

1 换流变压器直流偏磁产生原因及电气特征

换流变压器产生直流偏磁现象存在多种可能的原因:

1.1 换流站及其附近地电位的变化

当直流系统在使用大地回线的情况下,如果两极不对称运行会有直流电流流入大地,例如双极不平衡运行,单极大地回线方式等,使地电位发生变化。这样,在整流站和逆变站之间以及附近,由于不同接地点的直流电位不一致,就造成不同变压器的接地点之间可能流过直流电流,从而使变压器产生直流偏磁,如图1所示。

1.2 触发角不平衡

理想情况下,同一阀的不同桥臂具有对称的触发角。此时,换流变压器单相绕组中的电流波形正、负半周电流幅值相等,导通时间相同,电流对时间的积分面积相等。但是在实际工程中,如果触发控制系统出

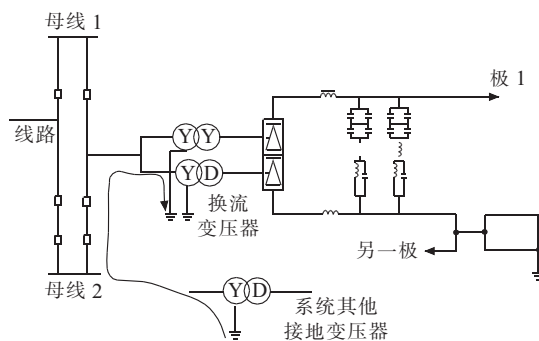


图1 直流电流流过换流变压器绕组示意图

现问题,可能导致桥臂的触发角失去对称性。此时正负半周电流导通时间长度不再相等。虽然电流的幅值相等,但正、负半周电流-时间面积已不再相等,对称轴相对原来的位置发生了偏移,出现了一个等效直流电流分量,相当于换流变阀侧绕组中流过了一个直流电流,从而使换流变压器产生直流偏磁现象。

1.3 直流输电线与交流输电线相邻

实际工程中,直流线路中流过的并不是理想的纯直流电流,由于各种原因,其中会含有一些稳态谐波电流。换流阀是循环导通和关断的,结果导致直流侧的谐波电流会以其他的频率形式在换流变各相网侧绕组中出现,其中有两类频率的谐波分量较强,即网侧基频及直流侧谐波频率的和与差。以直流侧的工频电流分量为例,会在换流变压器网侧绕组基波电流上分别叠加一个二次谐波电流和一个直流电流。

1.4 交流侧母线含有正序二次谐波电压

换流阀的循环导通与关断不仅会影响电流的波形,还会影响电压的波形。交流母线中的正序二次谐波电压经过换流阀的开关动作后,以工频电压的形式出现在了直流侧。此工频电压作用在直流侧的工频阻抗上,从而产生了工频电压,经过换流阀的开关动作以后,直流侧的这一基频电流就会以一个正序二次谐波电流和一个直流电流的形式出现在换流变压器的网侧绕组中。

1.5 直流偏磁的电气特征

根据以上分析可见,在特定的工作条件下,换流变压器的励磁电流中将出现稳态的等效直流分量,会导致励磁电流在一半周期内增大,在另外一半周期内减小。因此,变压器铁心在正负两个半周内饱和程度不一致,出现了偏磁现象,这就是换流变压器直流偏磁的根本原因。由于铁心的非线性,不能够认为换流变压器励磁电流中的直流分量和交流分量分别依照铁心磁化曲线各产生一个磁通,然后再将两者进行叠加。应该把直流电流和交流电流混合在一起考虑换流变压器直流偏磁的电气特征,直流偏磁情况下换流变压器磁通和励磁电流的关系如图2所示。

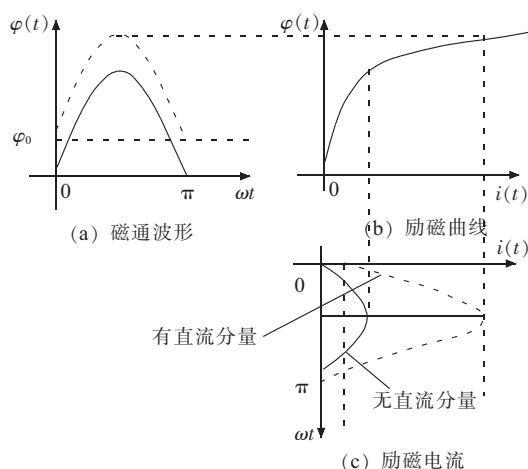


图2 换流变压器直流偏磁示意图

图2(a)为励磁电流波形,实线曲线为无直流偏磁情况下的励磁磁通,虚线曲线为含有直流偏磁情况下的励磁磁通;图2(b)为换流变压器的励磁曲线;图2(c)中,实线曲线为无直流偏磁情况下的励磁电流,而虚线曲线为含有直流偏磁情况下的励磁电流。从图2可以看出,在有直流偏磁的情况下,同方向的换流变压器励磁电流比没有直流偏磁情况下要大很多,同理,在反方向上,励磁电流将相对减小。最终,含有直流偏磁情况下的换流变压器励磁电流的波形出现了上半周波和下半周波不对称的情况。

直流偏磁现象使铁心出现周期性的饱和。这会使换流变压器的空载损耗上升,使铁心温升升高。严重情况下可能导致铁心在饱和期内的饱和度过深,就会增加漏磁通,造成结构件涡流损耗增加,甚至出现严重的局部过热现象,从而导致换流变压器热损毁或者寿命下降。正因为如此,需要配置相应的保护功能来防止直流偏磁导致换流变压器损坏的情况,这就是换流变压器的饱和保护。

2 换流变压器饱和保护

从以上分析可以看出,存在多种可能性导致换流

变压器出现直流偏磁现象,但是从国内外换流变压器保护的应用经验来看,换流变压器饱和保护主要是用来防止换流站地电位变化和触发不对称导致的换流变直流偏磁可能导致的换流变压器损坏的情况。

2.1 饱和保护的原理

从直流偏磁现象的本质来看,产生直流偏磁的直接原因是换流变压器励磁电流中出现的直流分量,如果可以直接测量此直流分量,实现换流变压器的饱和保护将会变得非常简单,但是实际工程应用中,目前还没有有效的方法可以直接测量变压器的励磁电流。且应用最为成熟的换流变压器饱和保护方法是使用变压器厂家提供的实测曲线为依据,通过两次工程等效变换来进行计算,目前国内投入实际运行的换流变压器饱和保护基本上都基于这个方法。

工程等效变换1。由第二节分析内容可知,直流偏磁情况下将导致换流变压器出现正负半个周波不对称的励磁电流,在Y轴的一侧,必然存在一个尖峰励磁电流,而且由于这种情况下,换流变压器处于稳态的磁饱和状态,励磁电流中包含有大量谐波分量,这样换流变压器的三相励磁电流实际上是非对称的,就可以认为在直流偏磁情况下,换流变压器中性点流过的零序电流的峰值,与换流变压器励磁电流的峰值是基本相当的。也就是说,可以用换流变压器中性点的零序电流峰值来代替换流变压器励磁电流峰值来进行饱和和保护逻辑运算。

工程等效变换2。另一方面,换流变压器生产厂家可以提供一个直流偏磁直流电流的大小和换流变压器励磁电流峰值的对应关系表,同时换流变压器生产厂家还可以提供一个励磁电流峰值与变压器可以运行时间的对应关系表(类似变压器过激磁曲线)。

通过以上2次工程等效变换,就将换流变压器饱和和保护所需要的对应关系:直流偏磁电流大小-变压器允许运行时间的物理关系,拆分为两段映射关系。

(1) 直流电流大小-励磁电流峰值大小关系表,如图3所示。

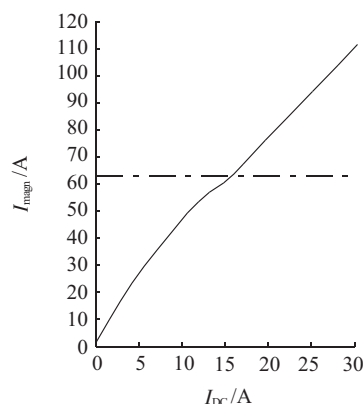


图3 直流电流-励磁电流对应关系

(2) 励磁电流峰值-变压器允许运行时间关系,如图4所示。

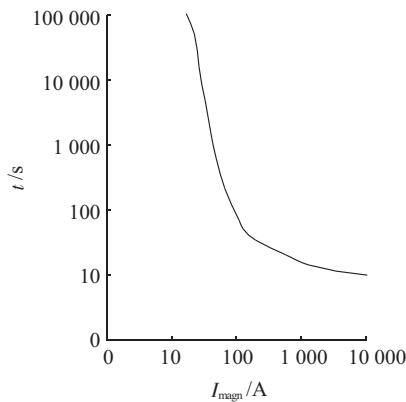


图4 励磁电流峰值-变压器允许运行时间

最终第一级转换关系可以通过定值整定的方式进行考虑,保护装置中只需要实现第二级转换关系:励磁电流峰值-变压器允许运行时间即可,其实现方法与变压器过激磁保护实现方法非常类似。

2.2 饱和和保护实现必须考虑的其他因素

虽然通过换流变压器中性点零序电流可以进行饱和保护的逻辑判断,但还需要排除其他的原因产生的零序电流可能导致误判情况,国内实际工程应用过程中,ABB和西门子换流变压器保护均发生过饱和和保护误动作的情况。

(1) 换流变压器交流侧接地故障。目前,最为典型换流变压器接线方式为两台双绕组变压器并列运行的方式,其中Y/Y和Y/ Δ 变压器交流侧绕组中性点均接地运行,但是由于Y/Y变压器的零序阻抗接近于励磁阻抗,其阻抗值相当大,这样在单点接地故障的情况下,没有零序电流流过Y/Y变压器中性点,而是基本上所有的零序短路电流都流过Y/ Δ 变压器中性点,基于这个特点,ABB公司提供的饱和保护只采用Y/Y变压器中性点零序电流,而不采用Y/ Δ 变压器中性点零序电流。但是这种方法存在一定的局限性,在特定的故障情况下,同样会有工频零序短路电流流过Y/ Δ 变压器中性点,这种情况将导致饱和保护误判断。

(2) 变压器励磁涌流与和应涌流。在换流变压器空投过程中,由于铁心的饱和现象,导致Y/Y变压器中性点同样流过较大的零序电流,足以让饱和保护误动作,尤其是当一个极运行,空投另外一个极的情况下,变压器之间可能形成和应涌流的情况,从而导致Y/Y变压器中性点流过较大的零序电流,持续时间长达数分钟,这也是目前换流变压器饱和保护现场运行误动作的最主要原因,换流变压器空投励磁涌流波形如图5所示。

(3) 交流侧中性点安装直流电流互感器(TA)的

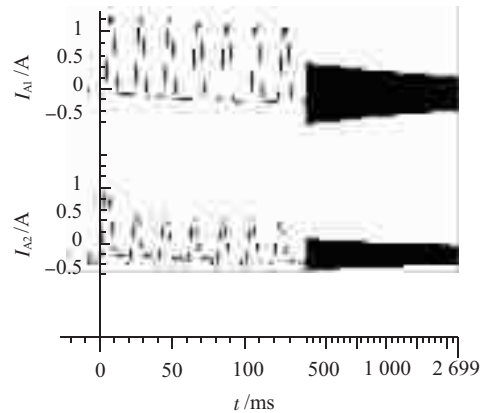


图5 空充换流变压器时和应涌流

应用。由于饱和保护反映最终是直流励磁电流的大小,如果可以直接测量换流变压器直流励磁电流的大小,饱和保护的实现将变得更加简单,但是目前缺乏直接测量换流变压器励磁电流的方式。另外一个变通的方式是在换流变压器的交流侧中性点安装直流TA直接采集直流电流,但是这种方式只能反映交流侧直流励磁电流的大小,对于阀侧产生的等效直流励磁电流无能为力。

通过对换流变压器直流偏磁特性和饱和保护的工况深入研究,采用基于以上技术要点设计的自适应判据的RCS-977和PCS-977系列换流变压器保护装置,在现场已经有超过8年的运行经验,至今从未出现过不正确动作情况。

3 结束语

本文分析了换流变压器直流偏磁现象的原因及其导致换流变损坏的机理,在此基础上介绍了防止直流偏磁导致换流变压器损坏的饱和保护的基本原理,并讨论了换流变压器交流侧故障、和应涌流、直流TA应用等换流变压器饱和保护实现中需要关注的问题。

参考文献:

- [1] 韩晓东,翟亚东.高压直流输电用换流变压器[J].高压电器,2002,38(3):5-6.
- [2] 王智勇.直流偏磁下新型换流变压器运行特性仿真研究[D].长沙:湖南大学,2010.
- [3] 杨松.大型换流变压器直流偏磁问题的研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2007.
- [4] 高敏华,冷勇.换流变压器中的两个直流分量[J].变压器,2002,39(6):15-18.
- [5] 李靖宇.换流变压器直流偏磁的试验研究[J].变压器,2005,42(9):25-27.
- [6] 李新年,蒋卫平,李涛.交直流线路同塔输电对换流变直流偏磁的影响[J].电力系统自动化,2011,35(11):87-92.
- [7] 马为民.换流变压器中直流偏磁电流的计算[J].高电压技术,2004,30(11):48-49.

布置的防火距离及隔墙的设置原则,与电气设备的防火距离分析结果一致^[1]。

5 结束语

变电站的防火是一项系统工程,与电网的运行密不可分,必须依靠丰富的理论依据和运行经验作为支撑。但现有规程和标准的规定并不明确,在指导防火工程建设中易引发争议,因此有必要对于防火距离开展深层次研究,从而寻求安全性和经济性之间的更加合理的平衡,这也符合当前电网建设“两型一化”的指导思想。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. 国家电网公司输变电工程通用设计 110(66)~500 kV 变电站分册(2011 年版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2011.
- [2] GB 50229—2006,火力发电厂与变电站设计防火规范[S].
- [3] GB 50016—2006,建筑设计防火规范[S].
- [4] GB 50227—2008,并联电容器装置设计规范[S].
- [5] DL/T 5352—2006,高压配电装置设计技术规程[S].
- [6] DL 5027—1993,电力设备典型消防规程[S].

作者简介:

李海烽(1975),男,江苏南京人,高级工程师,从事变配电设计技术管理工作。

Research on the Fireproof Distance of the Outdoor Electrical Equipment in Substation

LI Hai-feng

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102,China)

Abstract: The layout of the outdoor electrical equipment in substation is affected by the fireproof distance. It is extremely necessary for equipment layout to find a balance between the security and economy. But the relevant standard is not unified currently. To improve the situation, the fireproof requirement for outdoor equipment is studied by classification. Besides, to adapt to the requirement better for constructing the "Resource-saving, environment-friendly and industrialized substation", the optimization measures which can guide engineering design is also summarized.

Key words: fireproof distance; fireproof directivity; outdoor electrical equipment

(上接第 30 页)

- [8] 王智勇,罗隆福,许加株. 基于新型换流变压器偏磁特性仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(3):325-329.
- [9] 肖燕彩,文继锋,袁源,等. 超高压直流系统中的换流变压器保护[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(9):91-94.
- [10] 张颖,邵能灵,徐斌,等. 高压直流输电系统阀短路保护动作特性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(8):97-102.

作者简介:

文继锋(1978),男,江西萍乡人,高级工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;

- 张晓宇(1981),男,吉林吉林市人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;
- 程 骁(1978),男,河南安阳人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;
- 熊 蕙(1977),女,湖北武汉人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;
- 李海英(1972),男,内蒙古赤峰人,研究员级高级工程师,从事直流输电及继电保护研究与开发工作;
- 陈松林(1970),男,安徽六安人,研究员级高级工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作。

DC Bias and Saturation Protection of Converter Transformer

WEN Ji-feng, ZHANG Xiao-yu, CHENG Xiao, XIONG Hui, LI Hai-ying, CHEN Song-lin
(Nanjing NARI-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper analyzes main causes of DC bias of converter transformer, and summarizes electrical characteristics of exciting current during DC bias of converter transformer and the mechanism of DC bias leading to damage of converter transformer. In addition, the principle of saturation protection of converter transformer and the implement method of the protection are introduced. Finally, points for attention in the engineering application of overexcitation protection of converter transformer are discussed.

Key words: converter transformer; DC bias; electrical characteristics; saturation protection; exciting current peak value