

文章编号:1672-058X(2009)02-0186-04

配电变压器节能措施的研究

董渝涛

(重庆工商大学 江北校区管理委员会,重庆 400020)

摘要:通过对配电变压器损耗因素的理论分析,从变压器制造材料、铁心结构及制造工艺上技术的发展方面进行了阐述,就如何降低损耗进行了探索;提出了变压器经济运行方式,电压调整方式等具体节能措施,介绍了国内外对变压器节能运行制定的相应能效标准,为配电变压器节能生产和应用提供指导。

关键词:配电变压器;损耗;节能措施;能效标准

中图分类号:TM 714.3

文献标识码:A

配电变压器是一种将电压降低到电气设备工作电压的电气设备,该类变压器主要用于日常照明和工厂动力,一般低压为0.4 KV及以下。它是一种静止的电气设备,在能量转换过程中没有机械损耗,所以效率较高,一般在96%~99%。虽然变压器的效率高,由于接入电网的总台数多、总容量和总运行时间长,累计的能量损耗较大,占整个配电系统损耗比例的80%左右。配电变压器的损耗占发电量6%~8%,2007年全国发电量达到32 559亿千瓦时,因此对配电变压器节能措施的研究大有潜力可挖,每年可节约电能约2 000多亿千瓦时^[1]。

1 配电变压器的损耗

1.1 有功损耗

有功损耗分为空载时的损耗和负载时的损耗,即铁损和铜损。其中铁损包含涡流损耗和迟滞损耗;铜损又包含直流损耗,交流损耗。

铁损是铁芯中磁滞和涡流损耗及空载电流在初级线圈电阻上的损耗,它使铁芯发热,与铁芯材料及制造工艺有关,与负荷大小无关,空载损耗就是属于铁损。当交流电流通过变压器时,通过变压器硅钢片的磁力线其方向和大小随之变化,使得硅钢片内部分子相互摩擦,放出热能,从而损耗了一部分电能,这便是磁滞损耗。当变压器工作时,铁芯中有磁力线穿过,在与磁力线垂直的平面上产生感应电流,由于此电流自成闭合回路形成环流,且成旋涡状,故称为涡流。涡流在铁心中流动,使铁心发热消耗能量,这种损耗称为涡流损耗。

铜损是指变压器线圈电阻所引起的损耗,当电流通过线圈电阻发热时,一部分电能就转变为热能而损耗,它与负载电流的平方成正比。

1.2 无功损耗

变压器的无功损耗是在其进行变压与能量传递过程中造成的,它的一部分是由用来建立变压器磁路主磁通的励磁电流引起,这部分无功功率与负载电流无关,为一恒量;它的另一部分是变压器绕组的电抗与流

收稿日期:2008-11-20;修回日期:2009-01-04。

作者简介:董渝涛(1974-),男,重庆市人,助理工程师,从事高校物业管理工作与节能研究。

经绕组的电流构成,与负载电流有关。变压器是一个大的感性负载,其容量越大,无功功率损耗就越大。

2 配电变压器节能技术的发展分析

2.1 空载损耗的降低技术

对变压器损耗的降低主要是通过导磁材料(硅钢片)和导电材料(无氧铜导线或铜箔)技术的发展而实现的^[1]。在降低空载损耗的技术方面主要是通过调整铁心结构及制造工艺、运用新的铁心材料来达到节能的效果。

如卷铁心变压器原来的结构多数是采用平面的卷铁心,新发展的结构则采用圆截面或接近圆截面的立体型卷铁心,3个线圈立体排列,这样的磁路最短,损耗最小。而非晶合金变压器的铁心做成圆截面比较困难,但可以采用长方形截面、上轭可打开的结构形式实现。

在制造工艺上,叠片式变压器铁心采用全斜无孔不叠上铁轭工艺,硅钢片用计算机控制下料尺寸,完全能够做成圆截面,并且用防渗碳技术对成型铁心进行退火处理,以消除应力。同时,硅钢片厚度的降低也能有效地降低变压器的空载损耗,在新制造工艺下普遍厚度已降低到0.23~0.30 mm,0.18 mm的硅钢片也已开始进行应用。

另外,非晶合金材料技术的发展,也促进了节能变压器的发展。非晶材料又称金属玻璃,是一种无晶体原子结构的合金通常为铁、镍-铁和钴基合金。铁磁体非晶合金比已知的另一些材料更易于磁化和消磁,它的磁性能已被确认在材料内部更易于磁性反转。由于非晶合金优良的性能,使用其作为铁心材料的变压器拥有良好的节能效果。非晶合金变压器的空载损耗仅为S9型变压器的20%,而负载损耗与其相同^[2]。

2.2 负载损耗的降低技术

变压器导线的材质选用无氧铜,通过降低绕组的内阻有利于进一步降低变压器的铜损,如高温超导变压器用超导线材取代了传统的铜芯电磁线,不仅降低变压器的损耗,还提高了变压器的抗短路性能。同时,根据不同的电压等级采用新型绕组结构,并选用组合导线,如自粘型换位导线、带油道型换位导线,通过对漏磁走向的控制可以进一步降低变压器负载时的损耗。

除了采用新型绕组结构、新型导线以外,还可以根据漏磁分布选单根导线尺寸,从而使得横向、纵向涡流损耗降为最低。根据横向漏磁调整单螺旋绕组的换位区、连续式绕组的端部线段采用并联结构、合理布置单独调压绕组位置等工艺,这样可以得到紧凑、可靠的结构,并能够降低损耗^[3]。此外,通过在绕组上下端和箱壁上加装磁屏蔽结构,防止无效换位等手段可降低变压器负载时的杂散损耗。

3 配电变压器节能的具体措施

3.1 选用节能型变压器

在选用变压器时,应尽量选择空载耗损低的节能型产品。目前低耗损的S9型变压器是市场的主流,随着研制技术和新材料的发展,变压器正逐步向耗损更低的S11、S12系列转变。如采用卷铁心结构的S11系列低损耗节能电力变压器,与S9型系列产品相比,空载损耗下降30%,空载电流下降40%,过载能力强,节能效果明显。作为第七代节能产品的非晶合金变压器是当今世界上最节能的配电变压器,它比硅钢片配变的空载损耗下降70%~80%,较S9型年综合耗电量降低40%~42%^[2],在西方发达国家的配电网中已被广泛使用。因此,积极推广应用低耗损节能型配电变压器,是提高配电网节能运行的重要措施。

3.2 采用经济运行方式

在确保变压器安全运行和保证供电量的基础上,充分利用现有设备,通过负载调整的优化,变压器运行位置的优化组合等技术措施,从而最大限度地降低变压器损耗的运行方式,称为变压器的经济运行。根据变

压器的设备参数,可以计算变压器运行的经济负荷率 S_{ec} 。单台变压器运行的经济负荷率为:

$$S_{ec} = \sqrt{\frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}} \quad (1)$$

式(1)中, ΔP_0 、 P_k 为变压器的空载损耗、短路损耗; K_q 为无功功率经济容量换算系数; ΔQ_0 、 ΔQ_N 为变压器空载时的无功损耗、额定负荷时的无功损耗。

一般变压器的经济负荷率为 50% 左右,对于新型节能变压器,由于空载损耗数据较小,经济负荷率大致在 70% 左右,变压器应尽量在经济负荷率范围内运行。两台同型号同容量的变压器经济运行临界负荷为^[3]:

$$S_{crT} = S_N \sqrt{2 \times \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}} \quad (2)$$

当变压器负荷 $S < S_{crT}$ 时,适宜一台运行;当变压器负荷 $S > S_{crT}$ 时,适宜两台并联运行。同时,为降低变压器的空载损耗和无功损耗,应减少轻载或空载运行状态。

3.3 电压调整法

配电变压器的总损耗为^[4]:

$$\Delta P \Sigma = P_k + P_0 = \frac{P^2 + Q^2}{U^2 \times R} + \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \times \Delta P_0 \Sigma \quad (3)$$

式(3)中, P 、 Q 为变压器的有功功率、无功功率; U 、 U_N 为变压器的运行电压、额定电压; R 为变压器绕组的等值电阻。

由式(3)可看出,配电变压器的铁损和一次电压有关,与电网运行电压的平方成正比,由于配电变压器铁损占变压器总损耗的 80%,因此,在保证末端用户电压偏移在允许范围内,适当调低配电网的供电电压,可以减少变压器的空载损耗。同时,当供电电压高于额定值时,由于磁路饱和的影响,无功功率将增长很快,电压增加 10%,无功功率增加约 35%^[5]。

3.4 无功补偿

由于配电变压器的无功负荷主要是在轻载或空载运行时对变压器的励磁无功,其消耗的无功功率一般为额定容量的 10% ~ 15%,可采取集中补偿原则,在变压器二次侧安装低压电容器的随器补偿方式^[6]。将低压电容器通过低压开关接在配电变压器低压母线侧,以无功补偿投切装置作为控制保护装置,根据在轻载或空载运行时低压母线上的无功负荷直接控制电容器的投切。无功补偿容量可按下式进行计算^[7]:

$$Q_{co} = (0.07 \sim 0.1) S_N \quad (4)$$

式(4)中, Q_{co} 为变压器空载损耗无功功率补偿容量, K_{var} ; S_N 为变压器的额定容量。

当变压器空载时,补偿容量取值为 $0.07 S_N$,当负载超过 10% 时,补偿容量可随之增大。进行无功补偿的目的是提高功率因素,有效地降低变压器的耗损,提高了端电压改善电压质量。

4 配电变压器节能的标准化

4.1 国外的能效标准

美国电气制造商协会(NEMA)制定了《配电变压器能效标准》,该标准规定变压器在 50% 负荷下的效率值与我国 S9 系列效率水平一致。同时,推广“能源之星变压器计划”,鼓励电力企业在配电系统中自愿采用高效低耗损的变压器。欧盟实行“配电变压器自愿能效标准”,规定配电变压器损耗的 9 种选择方法。对于公布的变压器损耗值大于规定值时,可以拒收变压器或对超值部分进行经济补偿。日本在 2006 年 4 月实施了“变压器领先计划”,规定了比日本工业标准(JIS)中对变压器损耗的标准降低 30% 的能效指标。除此以外,加拿大、澳大利亚和墨西哥等国都制订和实施了变压器最低能效标准,未达到最低能效标准的产品不得上市。

4.2 我国的能效标准

2006 年 7 月,我国开始实施《配电变压器的能效限定值及节能评价值》强制性国家标准,有效推动了变

压器节能的生产和应用。该标准主要包括配电变压器能效限定值、配电变压器目标能效限定值、配电变压器节能评价价值。

配电变压器的能效限定值是指在规定的测试条件下,配电变压器的空载损耗和负载损耗的标准值。这项定义规定了配电变压器损耗的最大值,即配电变压器的市场准入值。该标准规定的油浸式配电变压器与干式配电变压器的能效限定值相当于现行 S9 系列产品的损耗水平。换句话说,今后如生产的产品损耗值大于该标准规定值,即属于非法。配电变压器目标能效限定值是指配电变压器预期未来的损耗值应降低到的某一水平的损耗值。标准目前规定的目标期限是 4 a,即 4 a 后损耗应降低到的数值。目标能效限定值的规定,为厂家进一步明确节能降耗的努力目标。该值实施后,将替代标准中原配电变压器能效限定值。配电变压器的节能评价价值是用来衡量不同厂家产品在现有能效限定值的基础上所能降低的损耗水平的程度。在一些发达国家,节能评价价值比目标能效限定值的损耗水平还要低。该标准制定时,考虑到是初次实施,暂时把目标能效限定值与节能评价价值取为一致。但今后进一步修订标准时,不排除把节能评价价值规定更低的可能。

5 结束语

配电变压器的节能贯穿于变压器的设计、制造和使用等许多环节,随着国家对节能的日益重视以及一部分企业观念的逐步转变,通过选用节能型变压器、采用经济运行方式和无功补偿等技术措施,对于节能减排、提高社会效益和促进国民经济的发展具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 赵凯,张凌宇. 国际推动变压器节能降耗的经验做法 [J]. 电力需求侧管理, 2006, 8(5): 63 - 64
- [2] 郑琳. 配电变压器的经济运行 [J]. 资源节约与环保, 2005, 21(6): 19 - 21
- [3] 保桂林. 论供配电系统节能技术与措施 [J]. 四川建材, 2007(5): 231 - 232
- [4] 张犁,杨楷鹏,何林海,等. 克拉玛依油田配电系统降损节能措施分析 [J]. 新疆石油科技, 2007, 1(17): 63 - 65
- [5] 张永昕,申强,张俊文,等. 无功补偿设备在电力系统中的应用分析 [J]. 黑龙江电力, 2008, 30(1): 70 - 72
- [6] 潘庆臣. 浅析电力系统的无功补偿 [J]. 中州煤炭, 2008, 152(2): 45 - 46
- [7] 濮贤成,钟诵平,程文. 电力变压器无功补偿容量的确定 [J]. 农村电工, 2005(2): 38 - 39

Research on the energy saving measures for the power transformer

DONG Yu - tao

(Jiangbei Campus Management Committee, Chongqing Technology and Business University,
Chongqing 400020, China)

Abstract: Based on the theoretical analysis for the loss factors of the power transformer, the measures of manufacturing materials, core structure and manufacturing techniques were proposed to reduce the energy loss. The energy saving methods, such as the economical running and voltage adjusting methods were put forward. At last the energy efficiency standards at home and abroad for the transformer running were introduced, which was useful for the energy saving running and the application of the power transformer.

Key words: power transformer; loss; energy saving measure; energy efficiency standard

责任编辑:代晓红