

静止同步补偿器偏磁控制方法

张建国¹, 牟晓春², 李 阳³

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106;
3. 浙江富阳市供电公司, 浙江 富阳 311400)

摘要:静止型无功补偿器(STATCOM)对其控制系统的研究和设计是保持系统稳定和正常运行的一个重要方面。分析了偏磁对 STATCOM 运行的影响及危害;提出了一种有效的偏磁控制方法及其程序实现,减小了因偏磁而产生的二次谐波,提高了 STATCOM 输出电压的质量和运行可靠性;针对某 ± 500 kVar 的 STATCOM 工程进行仿真,其结果验证了此补偿方法的有效性和必要性。

关键词:静止同步补偿器;偏磁;谐波抑制

中图分类号:TM721

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2015)03-0034-03

随着大功率电力电子器件的迅猛发展,在电力系统中引入灵活交流输电系统(FACTS)和用户电力的概念^[1-3]。这是电力电子技术在电力系统中应用的结果,也是电力系统发展的趋势。静止同步补偿器(STATCOM)作为一种新型的快速连续双向调节无功的新一代静止无功补偿装置,在改善系统稳定性、提高现有输电线路的输送容量和抑制电压闪变等方面具有很大的优势^[4-6]。目前,国内外已研制出多台容量不等的 STATCOM 装置,并且部分已投入到电力系统中运行,但在 STATCOM 的主电路设计和控制方法上各有不同。文献[7]分析了偏磁对变压器的影响,给出了限制偏磁的措施,但是没有给出具体的实现方法。文献[8]提出一种通过对调制波进行直接处理的全数字化基于脉宽处理的偏磁抑制方法,并用在 3 kW 单相光伏并网逆变器的样机上,取得了较好的效果。文中提出了一种有效控制偏磁的方法及其软件实现,并在 ± 500 kVar STATCOM 上进行仿真测试,结果证明了该方法能有效抑制偏磁的产生,提高了 STATCOM 输出电压的质量和 STATCOM 的运行可靠性。

1 系统结构及其逆变器拓扑结构

± 500 kVar STATCOM 装置主要包括硬件和软件两大部分,其系统硬件结构如图 1 所示。由图可见,该系统主要由 2 个三级逆变器桥(TLI1, TLI2)上下电容器组、1 个三相三绕组分裂变压器、控制器和保护及辅助单元组成。硬件部分除了完成能量变换外,还兼具保护等功能。 ± 500 kVar STATCOM 的调节控制功能主要是由软件实现的,并可依据不同的现场要求来选取软件模块。这种双逆变器桥通过分裂变压器连接到系统的结构更有助于改善 STATCOM 输出电压及电流的总谐波失真(THD)值,例如 5, 7, 17, 19 次等 $6n \pm 1$

($n=1, 3, 5, \dots$)次谐波可以通过分裂变压器消除,而不影响基波的值。

其中,三级逆变器(TLI1, TLI2)的拓扑结构如图 2

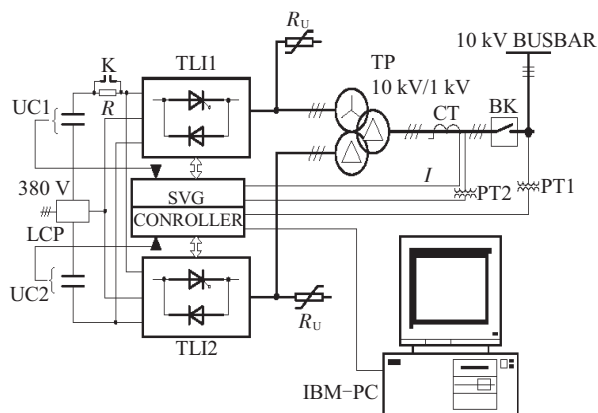


图 1 ± 500 kVar STATCOM 的系统结构

所示,图中三级逆变器的每一相都有 4 个自换向的元件(如 A 相的 $V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14}$), 2 个钳位二极管 D_{11}, D_{12} 和 4 个反并二极管 D_1, D_2, D_3, D_4 。这种三级逆变器与常规的两级逆变器相比,具有输出谐波小和可以提高 STATCOM 电压等级的优点。

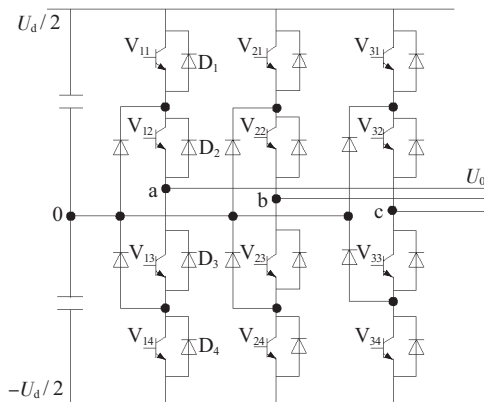


图 2 三级逆变器的主电路结构

由图可以看出,这种三级逆变器的拓扑结构连接到上下 2 个电容器上,为了保证逆变器输出电压上下

半波完全对称,上下2个电容器电压必须相等,否则,会使 STATCOM 输出电压中含有较大的二次谐波;同时,上下电容电压严重不对称,还将使元件上承受的反压增大,危及元件的安全运行。

2 偏磁产生的原因及影响

偏磁是变压器的一种非正常工作状态,是指在变压器励磁电流中产生了直流分量。换流变压器在交变输电系统中,处于交流电与直流电相互变换的核心位置,是交变输电的关键设备。由于直流输电系统与交流输电系统具有不同的特点和运行方式,因此某些直流输电系统所独有特点会在换流变压器励磁电流中引入直流电流分量。

前面提到,为了保证逆变器输出电压上下半波完全对称,上下2个电容器电压必须相等。然而在实际运行中,由于种种原因,上下电容电压并不平衡,其原因如下:上下电容电容器组容值不完全相同;与电容起并联的放电电阻阻值不等;三级逆变器中各开关元件及其吸收电路参数的分散性;控制电路中同步信号正负半波的不对称等。

上下电容电压的不平衡将使 STATCOM 输出电压上下半波不对称,从而引起 STATCOM 输出变压器发生偏磁或直流磁化。变压器磁化将会使变压器易于饱和,在有偏磁的一侧,电流会迅速增大,而另一侧由于饱和导致该侧电流波形剧烈畸变,使 STATCOM 输出电压和电流中含有大量的谐波,最终导致 STATCOM 停止运行。为此,必须对上下电容电压进行控制,抑制偏磁的产生。

3 偏磁控制策略及程序实现

3.1 控制方法

以单相为例,如图3(a)所示,一般脉冲发生器输出的脉宽调制(PWM)波上下半波是对称的,不含偶次谐波。为了产生偶次谐波,可以通过控制 PWM 波的上、下半波朝相向(如图3(b))或相反(如图3(c))方向移动,即可产生偶次谐波,而所产生的偶次谐波的大小与移动量 $\Delta\delta$ 有关。当 $\delta + \Delta\delta > \delta$ 时,即 PWM 波的上、下半波朝相向方向移动,可以使上电容电压 U_{C1} 减小,下电容电压 U_{C2} 增大,反之,当 $\delta - \Delta\delta < \delta$ 时,可以使上电容电压 U_{C1} 增大,下电容电压 U_{C2} 减小。

3.2 程序实现

± 500 kVar STATCOM 的控制器是以数字信号处理器(DSP)和可编程现场门阵列(FPGA)为核心的智能控制器。其中,DSP 负责完成各种运算及监控等功能,由 FPGA 及相关部件来构成脉冲发生器。因此,在偏磁控制的实现中,主要由 DSP 来完成上下电容电压

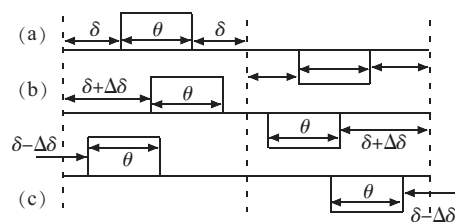


图3 产生偶次谐波时的控制波形

检测,PID 调节计算以及控制输出到 FPGA,并由 FPGA 根据相应的同步信号来产生 PWM 波形。

由于 PWM 每相正半波根据该相同步信号正的过零点产生,负半波则由负的过零点产生。因此 DSP 必需实时检测同步信号的状态,把实时计算的结果送给 FPGA。偏磁控制过程是一个闭环控制的过程,其程序流程如图4所示。

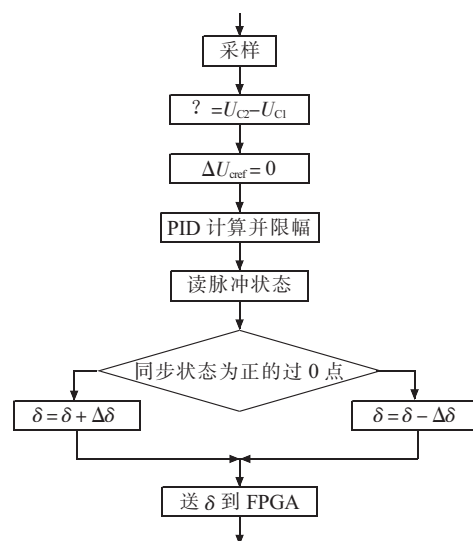


图4 偏磁控制流程

图中,当 U_{C2} 大于 U_{C1} 时,PID 计算求得的结果 $\Delta\delta$ 为负值,当同步信号为正的过零点时, $\delta(n) = \delta(n-1) + \Delta\delta$ 小于 $\delta(n-1)$ 当同步信号为负的过零点时, $\delta(n) = \delta(n-1) - \Delta\delta$ 大于 $\delta(n-1)$,结果使控制波形朝相反的方向移动,使 U_{C1} 增大, U_{C2} 减小,这种调节过程直到上下电容电压平衡时达到稳态。

反之,当 U_{C2} 小于 U_{C1} 时,PID 计算求得的结果 $\Delta\delta$ 为正值,当同步信号为正的过零点时, $\delta(n) = \delta(n-1) + \Delta\delta$ 大于 $\delta(n-1)$,当同步信号为负的过零点时, $\delta(n) = \delta(n-1) - \Delta\delta$ 小于 $\delta(n-1)$,结果使控制波形朝相向方向移动,使 U_{C1} 减小, U_{C2} 增大,上下电容电压趋于平衡。

4 仿真分析

在 PSCAD 中搭建与现场运行相一致的仿真模型,验证所设计的控制策略的可行性。系统的线电压有效值为 1000 V,直流侧电容上电容为 1950 μF ,下电容为 2000 μF ,系统容量为 500 kVar。其对应的仿真波形如图5所示。

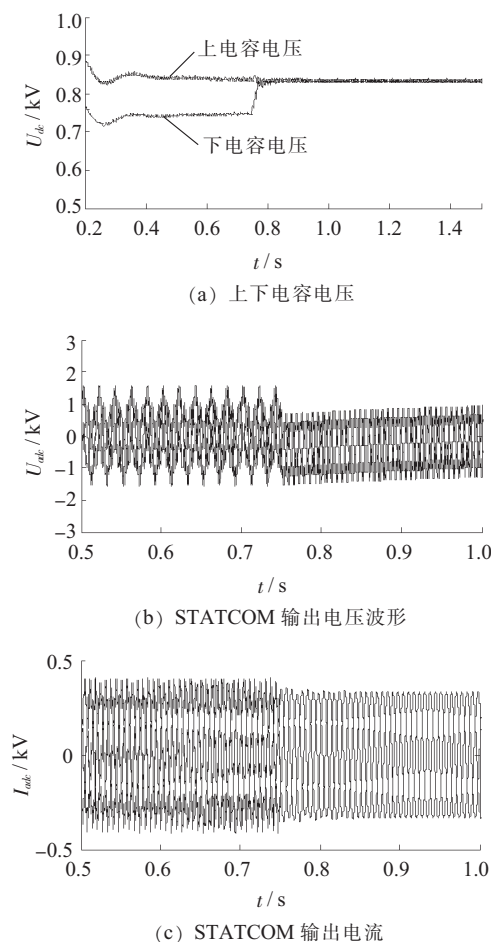


图 5 系统仿真结果

由图 5(a)可见,0.75 s 之前偏磁控制模块没有投入,此时电容电压超出上电容电压 100 V 左右;0.75 s 时投入偏磁控制模块,此时上下电容电压几乎相等。图 5(b)所示,STATCOM 输出电压波形严重不对称,图 5(c)为 STATCOM 输出电流,可见电流中含有较大的二次谐波。0.75 s 时投入偏磁控制模块后,STATCOM 输出电压波形良好,且输出电流中几乎没有二次谐波。

由此可见,文中所提出的偏磁控制方法,可有效地维持直流侧上下电容电压的平衡及抑制输出电流中的二次谐波,从而对 STATCOM 的安全稳定运行有着重要的实际意义。

5 结束语

STATCOM 作为无功补偿系统中的一种重要补偿类型,在目前的无功产品中应用最为广泛。分析了偏磁的原因、产生的影响和由此可能给 STATCOM 带来的后果,提出了一种有效控制偏磁的方法及其软件实现。在 ± 500 kVar STATCOM 上进行了测试,结果证明该方法能够抑制偏磁的产生,减小了二次谐波,提高输出电压电流的质量,保证 STATCOM 可靠运行。

参考文献:

- [1] 艾 芊,杨 曦,贺 兴. 提高电网输电能力技术概述与展望[J]. 中国电机工程学报,2013,33(28):34-40.
- [2] 黄柳强,郭剑波,卜广全,等. FACTS 协调控制研究进展及展望[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(5):138-147.
- [3] NOROOZIAN M, ANGQUIST L, GHANDHARI M, et al. Improving Power System Dynamics by Series-connected FACTS Devices [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12 (4): 1635-1641.
- [4] GIBBARD M J, VOWLES D J, POURBEIK P. Interactions Between and Effectiveness of Power System Stabilizers and FACTS Device Stabilizers in Multimachine Systems [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 152: 748-755.
- [5] WANG H F. Interactions and Multivariable Design of STATCOM Control [J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2003, 25(5):387-394.
- [6] 何瑞文,蔡泽祥. 基于电力系统稳定分析与控制的 FACTS 技术评述[J]. 继电器,2004,32(6):70-75.
- [7] 蒯狄正,刘成民,万 达. 直流偏磁对变压器影响的研究[J]. 江苏电机工程,2004,23(3):1-5.
- [8] 方如举. 基于脉宽直接处理的逆变器偏磁抑制方法[J]. 可再生能源,2014,32(5):584-587.

作者简介:

张建国(1971),男,江苏江阴人,高级工程师,从事电力系统设计工作;

牟晓春(1983),男,山东烟台人,硕士,从事无功补偿、微电网控制研究工作;

李 阳(1984),女,吉林四平人,硕士,从事变压器运行、电力系统保护工作。

The Magnetic Bias Control Method of Static Synchronous Compensator

ZHANG Jianguo¹, MOU Xiaochun², LI Yang³

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 211106, China; 3. Fuyang Power Supply Company, Fuyang 311400, China)

Abstract: As the most important style of reactive power compensation systems, it is important to study the control system of static synchronous compensator (STATCOM) to keep its stable and normal operation. This paper analyzes the influences of bias magnetic to STATCOM, and proposes an effective magnetic bias control method for second harmonics reduction. It improves the quality and reliability of STATCOM output voltage. Finally, the method is applied to the ± 500 kVar STATCOM, and the results show the compensation method is effective.

Key words: static synchronous compensator (STATCOM); magnetic bias control; harmonic suppression