

文章编号: 1005-0523(2005)02-0089-06

# 静止同步补偿器(STATCOM)技术的研究现状与发展

吴文辉<sup>1,2</sup>, 刘会金<sup>2</sup>

(1. 华东交通大学 电子与电气工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 静止同步补偿器(STATCOM)是目前用于电力系统中性能最好的无功补偿装置, 是柔性交流输电系统的核心。综述了静止同步补偿器技术的发展现状, 分析了静止同步补偿器的基本工作原理、类型、主电路结构、瞬时无功信号检测方法、控制策略, 阐述了电流间接控制方法、电流直接控制方法和多电平逆变器的控制方法, 并提出今后静止同步补偿器技术的发展趋势。

**关键词:** 静止同步补偿器; 无功补偿; 多电平逆变器

中图分类号: TM761+.1

文献标识码: A

## 1 引言

静止同步补偿器(Static Synchronous compensator, STATCOM), 有称 ASVG、SVG、STATCON 和 ASVC, 1995 年国际高压大电网会议与电力、电子工程师学会建议采用静止同步补偿器(STATCOM)<sup>[1]</sup>。

STATCOM 是柔性交流输电系统(FACTS)的核心装置和核心技术之一。在电力系统中的作用是进行无功补偿, 维持连接点的电压为给定值, 提高系统电压的稳定性, 改善系统的稳态性能和动态性能。STATCOM 是基于瞬时无功功率的概念和补偿原理, 采用全控型开关器件组成自换相逆变器, 辅之以小容量储能元件构成无功补偿装置。与现有的静止无功补偿装置(SVC)相比, 具有调节速度更快、运行范围更广、吸收无功连续、谐波电流小、损耗低、所用电抗器和电容器容量及安装面积大为降低等优点。

采用电力电子半导体变流器实现无功补偿的思想早在 20 世纪 80 年代初就已提出, 1980 年日本研制出第一台 20Mvar STATCOM, 到 90 年代取得突破性的研究进展, 1991 年和 1994 年日本和美国分别

研制成功一套 80Mvar 和一套 100Mvar 的采用 GTO 晶闸管的 STATCOM 装置, 并最终成功地投入商业运行<sup>[2]</sup>。德国西门子公司的单机容量为 8Mvar 的 STATCOM 装置也于 1998 年投运。1999 年 3 月清华大学与河南电力局共同研制的用于 220kV 电网的 ±20Mvar STATCOM 在河南电网成功投入运行, 2001 年 2 月国家电力公司电力自动化研究院也将 ±500Kvar STATCOM 投入了运行<sup>[3]</sup>。

## 2 主电路结构

STATCOM 的主电路从理论上分有电压型和电流型两种, 由于效率原因, 常用电压型, 如图 1 所示。电流型只要把图 1 中直流侧的电容换成电感, 桥侧的电感换成电容; 按构成基本单元逆变器模块分: 有单相桥二电平、三相桥二电平、三相桥三电平三种形式。与传统的二电平逆变器相比, 三电平逆变器有以下优点: 首先, 每一个主管上承受的电压仅为直流侧电压的一半, 这样有利于提高装置的电压等级; 其次, 在同样的开关频率及控制方式下, 三电平逆变器输出电压和电流谐波小于二电平逆变器, 中点钳位的三电平逆变器是目前广泛采用的基本

收稿日期: 2004-07-10

作者简介: 吴文辉(1968-), 男, 江西南丰人, 硕士在读, 副教授, 从事电能质量控制的研究。

拓扑<sup>[4]</sup>,如图1所示.

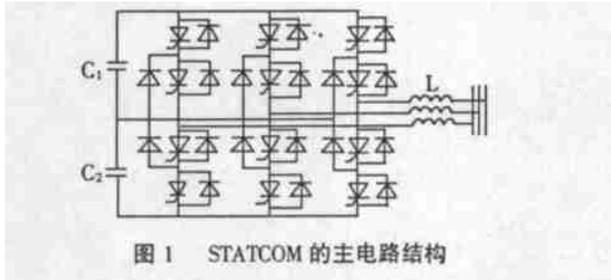


图1 STATCOM的主电路结构

由于目前开关器件的容量不够大,需要扩大STATCOM的容量,技术思路是把多个逆变器组合成多重化结构、多级并联逆变器结构和多电平结构<sup>[5]</sup>.

多重化结构就是用几个单相或三相逆变器产生相位相差若干度的方波电压,用变压器将不同相位的方波电压串联在一起,使所形成的阶梯波更接近于正弦波.优点是:提高了容量和电压,减少了输出电压和电流中的谐波.其简化接线如图2所示.变压器一次侧是串联的,其电压是各二次侧电压之和.但是变压器二次侧的电压相位是不同的,其变压比也可能不同.常用的多重化结构有三种类型.一种是等相位角差的;第二种是有不同的相角差,这种逆变器形成的方波电压宽度可以不同;第三种是个逆变器所连接变压器的一次侧和二次侧可能有不同的变压比,这需要直流侧有较特殊的充电结构.采用多重化结构的工程实例有:日本三菱制造的犬山80MVA容量的STATCOM装置,由8( $n=8$ )组逆变器单元转化成波形不同的矩形阶梯电压,触发时间顺序相差 $7.5^\circ$ ,这些逆变后产生的不同形式的电压波,由多重变压器以曲折方式串联起来,最后向系统输送的交流电压已接近正弦,成为48( $6n$ )脉冲逆变器.这种形式结构最复杂,各相之间复杂的电磁耦合使不对称时的分相控制变得困难.日本东芝等公司制造的新信依变电所两台50MVA容量的STATCOM装置,利用四个分离的普通三相双绕组变压器,采用不同绕组接线分别得到 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $30^\circ$ 的相移,采用了150Hz的脉宽调制逆变器作为单元逆变器,再用相差 $180^\circ$ 的11次谐波角度使11次谐波在两相间抵消.清华大学与河南电力局共同研制的 $\pm 20\text{Mvar}$  STATCOM采用四个三相逆变器形成多重化结构,每个三相逆变器的输出电压之间有 $15^\circ$ 的相位差,即通过普通三相双绕组变压器相移叠加;安装于河南孟砦变电站的300kvar的STATCOM是通过变压器的曲折连接<sup>[6]</sup>.存在问题:在大功率的应用场合,多重化逆变器方案中的电力变压器占整套

装置中体积和成本的很大部分,变压器的损耗大而且没有降低成本的前景.

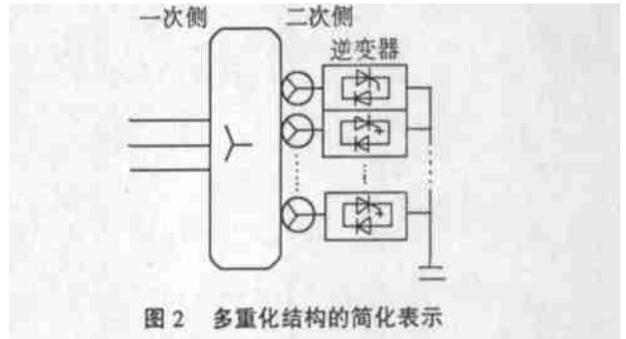
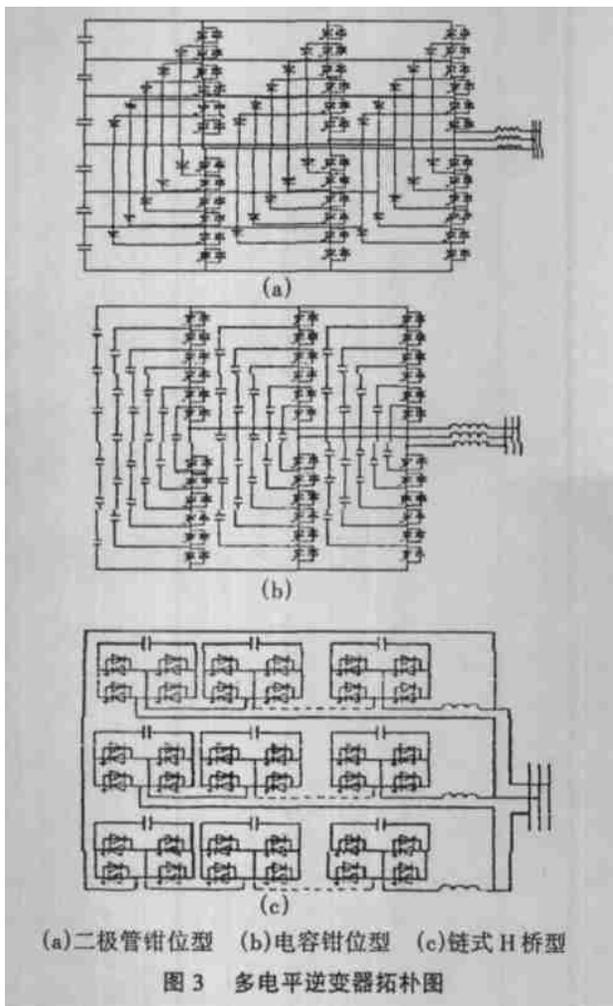


图2 多重化结构的简化表示

多个逆变器并联结构,由多个开关频率较高的小容量STATCOM并联运行,主要优点是:可以灵活扩大逆变系统的容量;易于实现逆变器模块化,组成 $N+1$ 并联冗余系统,提高运行的可靠性和系统的可维护性.技术难点是:逆变器的并联运行比发电机的并联运行难,关键是需要从控制电路解决电压同步、稳态和动态均流、 $N+1$ 冗余与热切换三大技术.从均流的方面,解决并联逆变技术的方法有自整步法、功率调节法、同步开关控制法、主从模块法、平均值电流和分散逻辑控制法,技术思路有:通过整定各STATCOM电压-电流特性曲线的斜率,得到电压-无功倾斜特性 $U=U_0+K_t Q_1 \approx U_0+K_t I_t$ ,然后按各自的额定容量来分担负荷 $K_1 S_1=K_2 S_2=\dots=K_n S_n$ ,实现它们在无互联控制的情况下协调工作,保证了较高的等效开关频率,同时提高了补偿系统的可靠性<sup>[7]</sup>.

目前研究较多的是多电平逆变器,有三种典型拓扑,如图3所示.多电平逆变器具有以下优点: $M$ 电平逆变器可以产生 $M$ 层阶梯形输出电压,减少谐波含量;功率开关器件电压应力低,串联均压;可以大大减轻电磁干扰,开关元件一次动作的 $dv/dt$ 通常只有二电平的 $1/(M-1)$ ;可以用较低的频率进行开关动作,减少损耗,提高效率<sup>[8]</sup>;节省了多重化变压器,大大降低了装置的损耗,避免了变压器铁磁非线性带来的问题.因而在高电压大功率STATCOM场合具有广泛的应用前景.

二极管钳位的多电平逆变器的特点是:采用多个二极管对相应的开关元件进行钳位;钳位二极管要承受不同反压, $M$ 电平的二极管数目达 $3(M-1)$ ( $M-2$ )个,不但增加成本,而且安装不易,还会带来寄生电感问题;开关元件所需额定电流不同,技术难题是电容均压问题复杂.思路有:采用二极管串联钳位或二极管自钳位电路结构可以有效地解决钳位二极管串联均压问题.二极管数目将更多,



电容钳位的多电平逆变器的特点是:采用钳位电容代替钳位二极管;在电压合成方面,开关状态的选择具有更大的灵活性;电容的引入,通过同一电平上不同开关的组合,可使电容电压保持平衡;但对高压大系统而言,每个桥臂需要 $(M-1)(M-2)/2$ 个电容和直流侧的 $(M-1)$ 个电容,存在系统体积庞大、占地多、成本高、封装不易等问题.实际应用中二极管、电容钳位型电平数限制在7或9电平.

链式H桥型结构简单,易于模块化、标准化,可用积木式方法灵活组建大功率逆变器,同二极管、电容钳位型相比,所需器件数目最少,可实现更高电压、更低谐波,控制方法相对单一.三相有星形接法和三角形接法两种.链式STATCOM概念是1997年首次提出<sup>[9]</sup>,英国ALSTOM公司研制的首台±75Mvar链式STATCOM<sup>2000</sup>年在East Clayton变电站运行,标志着链式STATCOM技术进入了工程实用,清华大学与上海电力公司正在研制的±50Mvar链式STATCOM,将投运到黄渡分区西郊变电站,以提高电力系统暂态电压稳定水平.±50Mvar链式

STATCOM采用基于IGCT器件的多电平电压型逆变器,每相串联10个单相H桥,各逆变桥开关角度不同,输出10kV额定交流电压和1.7kA额定相电流,每只IGCT器件的容量为4.5kV/4kA,最大工作直流电压2.3kV,采用的是三角形接法<sup>[10]</sup>.存在的问题是:每个单相桥的直流电容电压不平衡和电容电压波动较大,解决的思路是:通过附加控制电路来控制电容电压平衡问题;通过选择适当容量的电容器来抑制电容电压波动量的幅度,减少电压波动对电容器寿命的影响<sup>[11]</sup>.采用不同的功率单元电路来构成混合多电平逆变器,则可以用更少的单元来获得更多的电平数,是一种与链式H桥级联型逆变器具有类似结构的新型拓扑<sup>[12]</sup>.

按构成开关器件划分:GTO型、IGBT型、IGCT型、SCR型、GTR型、MOSFET型,还有混合器件型,IPM型.GTO型具有耐压高、工作电流大、容量大的优点,但需要专门的缓冲电路,使电路复杂,且损耗大,因此,GTO型主要用于大容量的STATCOM.IGBT型具有相应快、损耗小、开关频率高的特性,主要用于中小容量STATCOM;IGCT不仅有与GTO相同的高阻断能力和低通态压降,而且有与IGBT相同的开关性能,即它是GTO和IGBT相互取长补短的结果,是一种较理想的兆瓦级、中压开关器件,非常适合用于6kV和10kV的中压STATCOM中.大功率智能功率模块(IPM)型,采用标准电力电子单层单片模块封装,将很多元器件组装在一起,从而减少设计工作量,提高系统质量、可靠性和可维护性,降低成本,是发展的方向.日本三菱制造的犬山80MVA容量的STATCOM每个阀臂采用3个4.5kV/3kA GTO串联,日本东芝等公司制造的新信依50MVA容量的STATCOM1号采用9个6kV/2.5kA GTO串联,2号采用12个4.5kV/3kA GTO串联(冗余一个),清华大学与河南电力局共同研制的±20Mvar STATCOM也是采用GTO开关器件.清华大学与上海电力公司共同研制的±50Mvar链式STATCOM是采用4.5kV/4kA IGCT器件.

按电压等级划分:高压输电网补偿和低压配电网补偿.高压输电网补偿中,STATCOM需要经变压器接入电网;低压配电网补偿中,STATCOM可以直接并网,又称D-STATCOM.

### 3 STATCOM的基本工作原理

STATCOM工作时通过开关的通断,将直流侧的

电压转换成与网侧同频率的交流电压,可将其等效为一个交流电压源,其幅值和相位都可以控制.以单相为例,如图4所示,交流系统连接处电压  $\dot{U}_s$  与逆变器电压  $\dot{U}_I$  不同相,存在一个角度差  $\delta$ ,连接电抗的电流  $\dot{I}$  是可以由其电压来控制的,这个电流就是 STATCOM 从电网吸收的电流.改变 STATCOM 交流侧输出电压的幅值及其相对于系统电压的相位,就可以改变连接电抗上的电流  $\dot{I}$ ,从而控制 STATCOM 从电网吸收电流的相位和幅值,也就控制了 STATCOM 输出无功功率的大小和性质.

电流超前和滞后工作的向量图如图4所示,逆变器电压  $\dot{U}_I$  与电流  $\dot{I}$  仍相差  $90^\circ$ ,而电网电压  $\dot{U}_s$  与电流  $\dot{I}$  的相差比  $90^\circ$  小  $\delta$  角,STATCOM 能够从交流系统吸收有功功率,补偿内部损耗,维持直流电容上的电压.在动态过程中,改变  $\delta$  角使逆变器内部电容器充电或放电,电容上的电压发生变化,逆变器输出电压幅值也发生变化,当  $\dot{U}_I > \dot{U}_s$  时,STATCOM 处于超前状态,发出无功功率,起可调电容器的作用;当  $\dot{U}_I < \dot{U}_s$  时,STATCOM 处于滞后状态,吸收无功功率,起可调电抗器的作用;当  $\dot{U}_I = \dot{U}_s$  时,与系统之间不存在无功交换.从而改变 STATCOM 输出无功功率的大小和性质.因此可以通过调节  $\delta$  和触发角  $\theta$  来调节 STATCOM 所发出的无功功率.

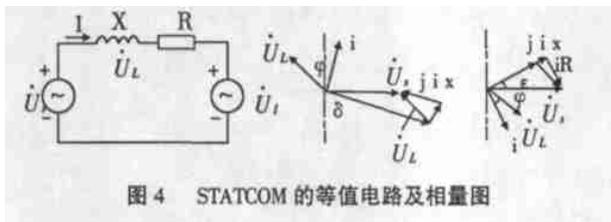


图4 STATCOM 的等值电路及相量图

$$Q = \frac{U_s^2 \sin 2\delta}{2R} \tag{1}$$

式(1)中,  $R$  为总损耗的等值电阻.

## 4 控制系统

### 4.1 瞬时无功电流的检测

要实现 STATCOM 的快速补偿功能,必须能快速地 从负荷电流中快速地检测出无功电流,只能应用瞬时无功理论(instantaneous reactive power theory).1983年赤木提出的将三相瞬时电流分解成有功和无功电流的  $pq$  分解法被广泛应用<sup>[13]</sup>.

三相电流和电压经  $\alpha\beta$  正交变换成两相

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \tag{3}$$

瞬时有功功率  $p$  和瞬时无功功率  $q$  为:

$$p = u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta \tag{4}$$

$$q = u_\beta i_\alpha - u_\alpha i_\beta$$

将有功功率  $p$  分成直流分量  $p_{-}$  和交流分量  $p_{\sim}$  两部分,只取  $p_{\sim}$ ,

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{\sim} \\ q \end{bmatrix} \tag{5}$$

三相补偿电流:

$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \tag{6}$$

根据得到的三相补偿电流构成补偿电流矢量作为补偿装置的控制变量.实际应用中技术难题是三相系统不平衡的情况,须对  $pq$  分解法加以改进.技术思路有:实现谐波和基波无功的全部补偿,采用三相不对称控制,利用本身产生的负序电流来抵消接入点的负序电流,同时实现负序电流的补偿.另外也可用对称分量法或  $dq$  矢量变换控制法来快速检测无功电流的大小.

### 4.2 控制方法

按不同的功能和要求,STATCOM 的控制从控制策略上讲,有三种基本结构:开环控制、闭环控制或者两者结合的复合控制.按照控制技术来分,主要包括 PID 控制、PID+PSS 控制、逆系统 PI 控制、微分几何控制、非线性鲁棒控制、模糊控制、递归神经网络自适应控制等等<sup>[14]</sup>.根据控制物理量,由无功电流参考值调节 STATCOM 产生所需无功电流的具体控制方法,可以分为直接电流控制<sup>[15]</sup>和间接电流控制<sup>[16]</sup>两大类.

#### 4.2.1 直接电流控制

所谓电流的直接控制,就是采用跟踪型 PWM 控制技术对电流波形的瞬时值进行反馈控制,直接指令电流的发生.图5给出了引入  $pq$  分解法的电流直接控制方法.这种控制方法中,以瞬时电流无功分量的参考值为主,或者瞬时电流无功分量的参考

值由滞后电源电压  $90^\circ$  的正弦波与无功电流参考值相乘,再与瞬时电流有功分量的参考值相加得到;根据 STATCOM 对有功能量的需求,对  $i_{Qref}$  的相位进行修正来得到总的瞬时电流参考值  $i_{ref}$ 。跟踪型 PWM 控制技术采用了三角波比较方式,也可采用滞环比较方式。由于直接电流控制法是对电流瞬时值的跟踪控制,要求主电路中电力半导体开关器件有较高的开关频率,对于大功率 STATCOM 场合,这种方法有很大的局限性,适用于中小容量的 STATCOM 的控制。

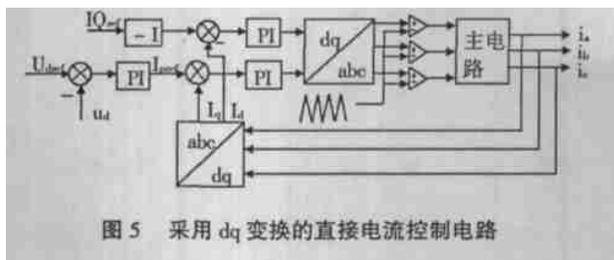


图5 采用 dq 变换的直接电流控制电路

#### 4.2.2 间接电流控制

所谓间接电流控制,是通过 STATCOM 逆变器所产生交流电压基波的相位和幅值,来间接控制 STATCOM 的交流侧电流。如图 6 所示,采用了 STATCOM 吸收的无功和有功的反馈控制,采用  $pq$  分解法检测 STATCOM 吸收的无功和有功电流,直流电压的反馈控制,且直流电压调节器的输出作为有功电流的参考值。

间接电流控制方法多应用于较大容量 STATCOM。大容量的系统,由于开关频率的降低,输出的电压会产生大量的谐波并降低直流电压的利用率,为了减少谐波,可以采用多重化、多电平或者采用 PWM 控制技术。

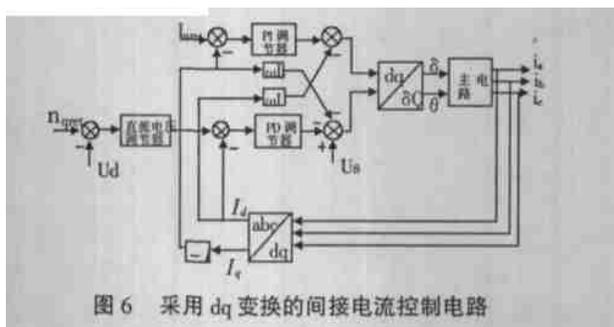


图6 采用 dq 变换的间接电流控制电路

#### 4.2.3 多电平逆变器的控制

对于多重化、多电平结构的 STATCOM 的控制,可以采用多载波或多带宽 PWM 控制、空间矢量控制和优化开关角的基频开关控制等方法。具体技术思路有消除谐波 PWM 技术,开关频率最优 PWM 技

术、三角波移相 PWM 技术、三角形载波移相开关频率最优 PWM 技术、空间电压矢量 PWM 控制技术等<sup>[17]</sup>。

三角波移相 PWM 技术是一种专门用于级联型多电平逆变器的 PWM 技术,所有模块的正弦波都相同,但每个模块的三角形载波与和它相邻模块的三角形载波之间有一个相移,各模块产生的 SPWM 脉冲在相位上错开,从而使得各模块最终叠加输出的 SPWM 波的等效开关频率提高到原来的  $k$  倍,在不提高各模块开关频率的情况下大大减少了输出谐波。

三角形载波移相开关频率最优 PWM 技术是三角载波采用三角波移相 PWM 技术,调制波采用开关频率最优 PWM 技术,在相同开关频率时,等效开关频率提高到原来的  $k$  倍,电压调制比达到 1.15,最适用于级联型多电平三相逆变器。

多电平空间电压矢量 PWM 控制技术,各个空间电压矢量用该区域相对应的电压矢量实时切换合成得到,这样矢量密集,模大小可选,合成时过渡更自然,合成的磁链更接近圆磁场,因而控制更精确,输出电压谐波更小,但控制上变得更复杂。

在实现控制的硬件手段上,微电子集成技术的发展为 STATCOM 的控制提供了新的思路,DSP 在数字处理技术上有很强的优势,能满足实时性的要求,现在 STATCOM 的控制系统多以 DSP 为核心,采用双 CPU 或多 CPU 结构,实现对瞬时有功、无功等电气量的实时高精度的测量,由 DSP 进行实时数据采集、处理,单片机进行外围电路控制、人机接口。

多电平逆变器的触发控制器可用复杂可编程逻辑器件 CPLD (Complex Program Logic Device) 实现<sup>[18-19]</sup>,高密度可编程逻辑器件的储存容量大、时序逻辑运算能力强、输入/输出接口多、可以在线编程,具有灵活、快速、精确的特点,简化了逆变器的设计,并提高了其性能,通过运行控制算法、策略,产生触发脉冲,保证装置与系统同步,通过封锁脉冲、解除封锁脉冲使装置运行在安全范围内。由于分离件的减少,整个装置的体积得以减少,稳定性及抗干扰能力得到提高。

## 5 展望

静止同步补偿器自问世以来的短短二十多年,该技术得到飞速的发展。世界上已投运的 STATCOM 装置多采用多重化结构,多电平逆变器是实现高电

压大容量场合应用的又一有效途径,关键是解决开关器件的均压问题、触发控制、不平衡控制等问题。另外,现有开关器件性能的提高,新的大功率智能化电力电子模块 IPM 和 PEBB 的研制,为多电平逆变器的实现提供了条件,为大容量的 STATCOM 装置将来设计带来新思路。链式 H 桥级联型及混合多电平型大容量 STATCOM 装置成为今后几年主要研制和发展的对象。

随着国民经济发展和国际化能源紧张局势的加剧,加强电能质量和节能降耗管理已成为国家政策的重要内容。STATCOM 装置是目前性能最优的无功补偿装置,是 FACTS 的核心,值得加强研究和推广应用。

### 参考文献:

- [1] 赵贺. 电力电子学在电力系统中的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 王兆安, 杨君, 刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [3] 尹项根, 程汉湘, 陈少华. 双三点式静止无功发生器的控制性能研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(7): 63—65, 81
- [4] 刘文华, 刘炳, 王志泳等. 基于 IGBT 三电平逆变器的 ±100KvarD-STATCOM[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(1): 70—73.
- [5] 林吉海. 基于多电平变换器的广义大功率电流补偿器[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2003, 20(2): 53—57.
- [6] 梁旭, 刘文华, 陈建业, 等. 基于多重化逆变器的静止无功发生器直流侧电流分析[J]. 电工技术学报, 2000, 15(1): 52—56.

- [7] 王建赅, 胡晓光, 纪延超, 杨梅. 静止无功发生器并联运行控制方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(4): 462—465
- [8] 吴忠智, 吴加林. 变频器应用手册(第2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [9] Peng F Z, Lai J S. Dynamic performance and control of a static var generator using cascade multilevel inverters [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1997, 33(3): 748—755.
- [10] 魏文辉, 刘文华, 等. ±50Mvar 链式 STATCOM 稳态特性研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 28—31
- [11] 魏文辉, 刘文华, 等. 链式 STATCOM 直流侧电容稳态分析及参数设计[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 28—31.
- [12] 陈远华, 刘文华, 严干贵, 宋强. 混合 9 电平逆变器的 H 桥电容电压平衡控制[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1): 35—39.
- [13] 苑舜, 韩水. 配电网无功优化及无功补偿装置[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [14] 陈巍, 吴捷. 静止无功发生器递归神经网络自适应控制[J]. 电力系统自动化, 1999, (9).
- [15] 李可, 卓放, 李红雨, 王兆安. 直接电流控制的静止无功发生器研究[J]. 电力电子技术, 2003, 37(3): 8—11
- [16] SINGH B N, CHANDRA A, K AI-HADDAD. DSP-based indirect-current-controlled STATCOM [J]. IEEE Proc-Electr. Power. Appl., 2000, 147(2): 107—108.
- [17] 陈道炼. DC-AC 逆变技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [18] 王新鹏, 李东东, 孙茶生. 采用 CPLD 器件的 ASVG 脉冲触发控制[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(4): 43—46.
- [19] 吉平原, 罗安, 李正国. 高密度可编程逻辑器件在先进静止无功发生器中的应用[J]. 现代电子技术, 2003(2): 64—66, 69.

## Research Status and Development of Static Synchronous compensator

WU Wen-hui<sup>1,2</sup>, LIU Hui-jin<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013;

2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The Static Synchronous compensator (STATCOM) is a reactive power compensation with the best performance in the power system up to now, which is a critical technique for flexible alternative current transmission system (FACTS). Development of STATCOM is summarized. This paper deals with the fundamental compensation principle, classification, configuration of the main circuit, signal detection method of instantaneous reactive power, control strategies of STATCOM. The methods of current indirect control and current direct control, the control methods of multilevel inverters are also introduced. The present status and future development trend of STATCOM technology are presented.

**Key words:** STATCOM; reactive power compensation; multilevel inverters