

基于 SPWM 的多电平级联型变流器的应用综述

丁凯, 彭春萍, 孙建军, 陈允平

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 在现有的多电平变流器中, 级联型变流器以其结构简单、控制方式简便的优点在高压、大容量的工业领域得到越来越广泛的应用。本文对其基本的拓扑结构、控制策略、以及研究现状进行了讨论, 并提出一种在中、高电压电能质量综合治理领域运用级联型多电平变流器的构想。

关键词: 多电平; 级联型变流器; 电能质量

中图分类号: TM46 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)06-0078-04

1 前言

近年来, 多电平变流器在高压、大功率的领域得到越来越多的关注。多电平变换器的思想最早于 1981 年由 Nablae 等人提出的, 它的基本思路是由几个电平台阶合成阶梯波以逼近正弦输出电压。在传统的两电平变换器的大功率运用中存在许多问题: 需要笨重、耗能、昂贵的变压器; 为了得到高质量的输出波形而提高开关频率, 造成很高的开关损耗; 而为了适应高电压的要求, 需采用器件串联, 因而需要复杂的动态均压电路。多电平变换器作为一种新型的高压大容量功率变换器, 从电路拓扑结构入手, 在得到高质量的输出波形的同时, 克服了两电平变流器的诸多缺点, 无须输出变压器和动态均压电路, 开关频率低, 并有开关器件应力小, 系统效率高等。

多电平变换器的思想提出至今, 出现了许多电路拓扑^[1], 归纳起来主要有三种: 二极管钳位型 (Diode-Clamp)、飞跨电容型 (Flying-Capacitor)、以及具有独立直流电压源的级联型逆变 (CISDCS)。它们的共

同优点是: ①电平数越高, 输出的电压谐波含量越低; ②器件开关频率低, 开关损耗小; ③器件应力小, 无须动态均压。同时这三种电路又有一些不足之处: 二极管钳位型结构需要大量的钳位二极管; 飞跨电容型结构又需要大量的钳位电容, 而且这两种电路还存在直流侧分压电容电压不均衡的问题。对于第三种级联型变流器而言, 它不需要前两种电路所需的大量钳位二极管和钳位电容, 易于封装; 基于传统的二电平低压小容量全桥变换器的结构单元, 结构简单, 技术成熟, 易于模块化, 每个单元由一路直流电源单独供电, 不存在电容电压不平衡问题, 但是存在多路直流电源的复杂性。尽管如此, 级联型结构变流器还是具有较高的性能比, 在实际工业应用中也较多采用该结构。

在过去二十年中, 人们还提出了大量针对多电平变换器的控制方法, 主要分为工频开关运行方式和脉宽调制解调 (PWM) 方式, 并从中推导出了许多改进型的控制方式, 通常这些 PWM 控制方法分为两大类: 三角载波 PWM 技术和空间矢量法。

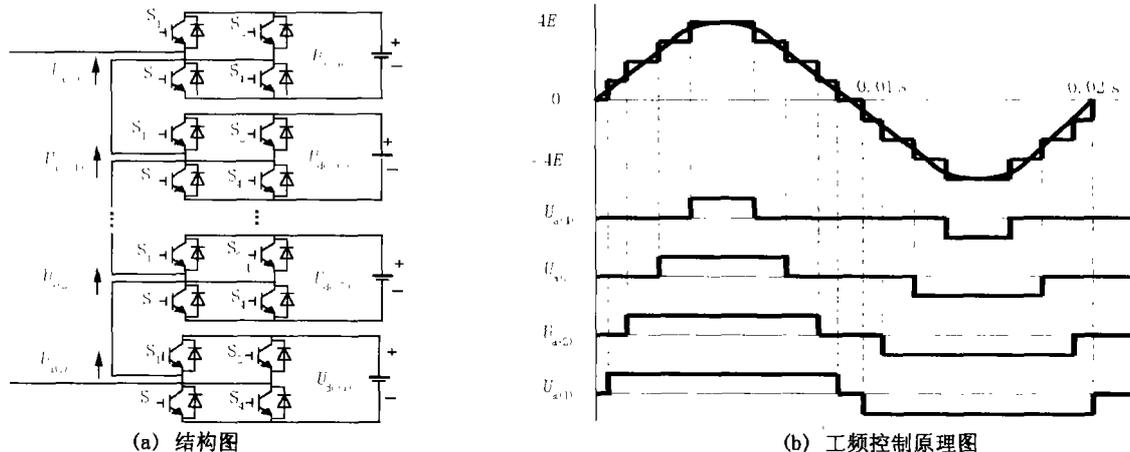


图 1 单相级联型变流器结构和工频控制原理图

Fig.1 The structure of a single phase cascaded multilevel converter and the principle of industry frequency control

2 级联型变流器拓扑结构和控制策略

2.1 多电平级联变流器的主电路拓扑结构

PENG F.Z 等学者在 1995 年提出了一种用多个带独立电压源的单相桥式逆变器组合而成的新型多电平级联变流器的主电路拓扑结构。这种采用多电平结构的变流器可以不用变压器,直接并入中压配电网中用作电压调节、无功补偿和有源滤波装置,图 1 为多电平级联逆变器的单相结构,每个电桥都有其独立的直流电压源,幅值都相同均为 E ,在一个周期内,由 n 个单相逆变桥连接成的逆变器发出 $2n+1$ 个电平,这种结构的优点在于比较容易使逆变器工作在高电压的环境下。

多电平级联变流器由于采用分布式直流电压源供电,因此不用考虑其余形式多电平变流器需要顾及的直流侧电容均压问题,从而提高了变流器工作的可靠性,而且级联型变流器采用的是单相全桥变流器的串联布局,每一模块的结构完全相同,便于模块化设计,直流侧电压也较容易控制,采用这种结构的变流器在中高电压工作环境中有比较好的稳定性和抗干扰性。

2.2 级联型变流器的控制策略

如何控制级联型变流器是决定其性能的一个重要环节,多电平级联型变流器的控制策略主要分类如图 2。

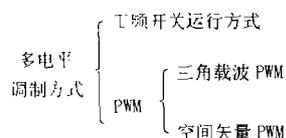


图 2 多电平变流器控制策略的分类

Fig.2 The control strategy classification of cascaded multilevel converter

在所有控制方式中,工频开关工作方式最早得到应用,其主要目的是减少传统两电平变流器在 PWM 方式下开关损耗高等问题。工频开关工作原理已在图 1 中得到演示。随着级联变流器的应用面越来越广,对变流器输出波形的要求也逐渐提高,工频开关模式已无法适应工业发展的要求。原用于两电平变流器的脉宽调制解调(PWM)经改进后应用在中高电压领域。这些 PWM 控制方法主要分为两类:三角载波 PWM 和空间矢量法 PWM,其中空间矢量法 PWM 实际上是数字技术在 PWM 中的应用,具有硬件电路简单、谐波含量低等优点,但当电平数大于 5 时,其计算过程变得较为复杂,所以矢量 PWM

技术主要用于 3 电平的领域,应用面较窄。于是三角载波 PWM 方法便成为级联型变流器的通用的标准调制方法。其后出现的各种载波 PWM 方法都是在其基础上发展起来的。

以下用 MATLAB 仿真来描绘正弦移相 PWM 法的原理。变流器每个模块的 SPWM 信号都是由一个三角载波和一个正弦波比较产生,所有模块的正弦波都相同,但每个模块的三角载波与它相邻模块的三角载波之间有一个相移,这一相移使得各模块所产生的 SPWM 脉冲在相位上错开,从而使各模块最终迭加输出的 SPWM 波的等效开关频率提高到原来的 k_{eff} 倍,因此可在不提高开关频率的条件下,大大减小输出谐波。设三角载波的开关频率是正弦波频率的 k_c 倍,则一个三角载波周期所占的电角度为 $\theta_c = 2\pi/k_c$,对于一个 n 模块的级联型多电平变流器,相邻三角载波之间的相移为 $\theta_{sh} = \theta_c/n = 2\pi/(nk_c)$,相应的输出 SPWM 波的等效载波频率为 $K_{eff} = nk_c$,图 3 所示为九电平级联型变流器在正弦移相 PWM 方式下工作的波形。

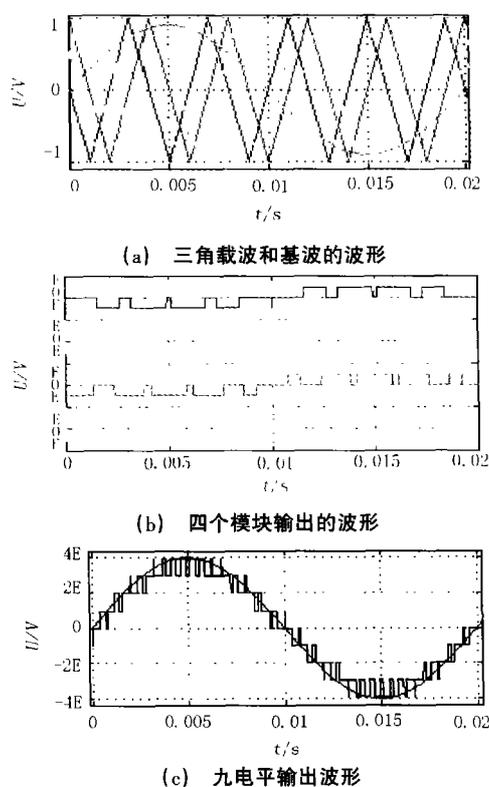


图 3 九电平级联型变流器在正弦移相 PWM 方式下的工作波形

Fig.3 The waveforms of the 9 level cascaded converter worked in the phase-shifting SPWM mode

3 多电平级联型变流器的应用现状及其在电能质量综合治理中的应用前景

如前文所述,多电平级联型变流器有结构简单、控制方式简便的优点,因此在灵活电力系统和用户电力技术方面有广阔的应用,现有的各种应用中主要分为三类:交直流能量转换;高压大电机变频调速;电能质量综合治理见表1。

多电平变流器由于其自身结构的特点,所以在交直流能量转换上应用十分广泛。与传统的两电平电路相比,其控制方式灵活,输出电压的相位和幅值便于调节与控制,而且输出电压的谐波含量低,因此在清洁能源的利用上可以起到重要的作用,可再生清洁能源例如风力能、太阳能等可先将电能储存在电容或蓄电池中,再通过级联型变流器将电能传输到电网中。而在高电压级别的高压直流输电中,多电平级联变流器由于其模块化设计的简单结构也得到较多的应用。

表1 多电平级联型变流器应用分类

Tab.1 The classification of multilevel cascaded converter application

级联型变流器的应用	交直流能量转换		中高压电机应用		电能质量综合治理		
	具体应用	清洁能源接口	高压直流输电	中高压变频器	中高压调速电机	无功补偿	有源滤波
调制方式	工频开关运行方式		三角载波 PWM	工频或 PWM	工频	三角载波 PWM	
电压等级	中低压	高压	中压级别		应用于中高压级别		
电平数	视电压级别而定		五电平以上		五电平以上		
应用现状	待推广	应用中	广泛应用中		应用中	待推广	

高压大电机变频调速是多电平级联变流器应用的另一重要领域。传统的两电平变流器在高压电机应用时有几点问题:①高频容易导致较高的 dv/dt 和浪涌电压将高压电机转子绕组绝缘击穿;②高频开关所产生的器件电压应力和开关损耗将降低电机效率;③高频开关产生很高的电磁干扰将干扰周围电子设备;而多电平级联变流器工作在工频时,便可以克服以上的问题。而将级联型变流器用于高压变频器领域,不但可以扩展原有两电平变流器的电压等级,更主要是减少变频器出口端的谐波含量。目前该类型产品的电压等级已达到6.3 kV,应用领域十分广阔。

多电平级联变流器在电能质量综合治理中的应用也开始受到人们的重视。电能质量直接影响到电

力系统的供电安全及供电质量。解决供电系统中的谐波、电压突变等问题,提高供电质量已迫在眉睫。目前国内外对电能质量的治理研究主要集中在低压系统电能质量的控制方面,不少实际装置也投入运行。但对于中高压系统的电能质量控制尚无广泛开展。从物理本质上讲,中高压系统的无功、谐波、和负序的产生及其治理与低压系统是一致的,其难点和关键是如何提高电能质量综合治理装置的电压等级和装置容量。从系统角度来说,如果在电网的主要节点安装中高压的电能质量治理装置,使得在系统的输电线路上传输的是三相对称且波形正弦的基波电流,这样不仅可以提高供电质量,而且可以提高输电线路利用率和输电系统的稳定性。多电平级联变流器的结构特点使得其成为高电压级别电能质量治理装置主电路结构部分的选择之一。在高压级别的无功补偿部分,多电平级联变流器已经得到广泛的应用,就基本拓扑结构而言,同为电能质量治理装置的电力有源滤波器、动态电压补偿器和无功补偿装置是一致的,只是控制策略有所不同。图4所示为高压级别的电能质量综合治理的框架图。

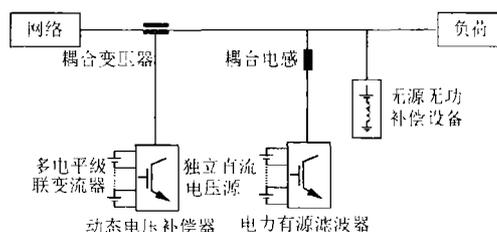


图4 电能质量综合治理装置框图

Fig.4 The frame of unified power quality conditioner

在图4所示系统中,各补偿部分控制思路为:在中、高压等级的电能质量综合治理中,首先用无源无功补偿装置来补偿系统中的大部分无功功率;余下的小部分无功和负荷谐波由电力有源滤波器来补偿;系统中的谐波和电压不平衡则由动态电压补偿器来消除。

4 小结

多电平级联变流器比较适合应用于高电压、大容量工业领域,针对其结构的控制策略也正在不断地优化当中。本文提出在高电压等级的电能质量综合治理中采用级联型变流器作为主电路有其理论基础和实践意义,但中、高电压等级的电能质量治理在国内仍处于起步阶段,本文在用级联型变流器作为装置主电路方面作了一些探索。

参考文献:

- [1] Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng. Multilevel Converters——A New Breed of Power Converters[J]. IEEE Trans on IA, 1996, 32 (3):509-517.
- [2] Fang Zheng Peng, Jih-Sheng Lai, McKeever, et al. A Multilevel Voltage Source Inverter with Separate DC Source for Static VAR Generation[J]. IEEE Trans on IA, 1996, 32 (5): 1130-1137.
- [3] Tolbert L M, Fang Zheng Peng, et al. Multilevel PWM methods at low modulation indices[J]. IEEE Trans on Power Electronic, 2000, 15(4): 719-725.
- [4] Akagi H, Nabae A, Atoh S. Control strategy of active power filters using multiple voltage-source PWM converters [J]. IEEE Trans. Ind. Appl on IA, 1986, 20(3):460-466.
- [5] Wu Hongyang, He Xiangning. Research on PWM control of a cascade multilevel converter [C]. PIEMC 2000 (3): 1099-1103.
- [6] Corzine K, Familant Y. A new cascaded multilevel H-bridge drive[J]. IEEE Transactions on Power Electronics: 2002, 17 (1): 125-131.
- [7] 雷宪章, D Retzmann, M Weinhold. 利用电能质量调节器改善配电网的电能质量[J]. 电网技术, 2000, 24 (8): 8-12.
- [8] 薄保中, 苏彦民, 马学亮. 多电平最优空间矢量 PWM 控制方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (2): 89-92.

收稿日期: 2002-06-15; 改回日期: 2002-09-24

作者简介:

丁凯(1974-),男,硕士研究生,主要从事灵活电力系统的研究;

彭春萍(1978-),硕士研究生,主要从事灵活电力系统的研究;

陈允平(1945-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统 FACTS、电力系统稳定控制、自动化方面等的研究。

A summarization about multilevel cascaded converter based on SPWM

DING Kai, PENG Chun-ping, SUN Jian-jun, CHEN Yun-ping

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Cascaded multilevel converter is a novel kind of multilevel converter used in high voltage and high power application field. In this paper, the circuit topology, control strategy, current situation of research and application of cascaded converter are presented in detail. Moreover, A new idea about cascaded converter used in UPQC is presented in this paper.

Key words: multilevel; cascaded converter; power quality

(上接第 64 页)

作者简介:

张建平(1972-),男,硕士,主要从事电力通信系统的开发研究工作;

李贻军(1979-),男,本科,主要从事电力通信系统的开发研究工作;

纪建设(1971-),男,专科,主要从事电力通信系统的开发研究工作。

The introduction of SF-950 optic fiber transmitter & receiver

ZHANG Jian-ping, LI Yi-jun, JI Jian-she, YANG Gui

(XJ ChangNan communication Ltd., XuChang 461000, China)

Abstract: With optic fiber as channels, the new optic fiber transmitter & receiver of SF-950 has been used and will be operated widely. Its independence of electric power system fault, high transmission speed and powerful anti-jamming make its transmission reliability greatly improve. The text primarily introduces the main characteristics, principle and application method of SF-950.

Key words: CPLD; optic fiber; block coding; GPS

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告