学校编码：10384　　　　分类号______密级______

学号：19920141152934　　　　UDC____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

开关电容型多电平逆变变流方法的研究与实现

Research and Implementation of Switched-Capacitor Multilevel Inverters

程 琛

指导教师姓名：何良宗　副教授

专 业 名 称：仪器仪表工程

论文提交日期：2017 年 5 月

论文答辩时间：2017 年 5 月

学位授予日期：

答辩委员会主席：______

评　　阅　　人：______

2017 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外，该学位论文为(　　　　　　　　　　　　　　)课题(组)的研究成果，获得(　　　　　　　　　)课题(组)经费或实验室的资助，在(　　　　　　　　　)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名)：

年　　月　　日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

(　　　)1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于　年　月　日解密，解密后适用上述授权。

(　√　)2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年　月　日

摘 要

相较于含有电感元件的传统逆变变流器，开关电容型变流器由于不含磁性元件，对于提高系统功率密度、减轻系统重量、实现高变比升压大有裨益。将开关电容电路应用于并网逆变器，对于推动并网发电系统向小型化、轻量化、集成化、高效化发展具有重要意义。

第二章讲述两级式开关电容的变流方法。首先提出了一款用于两级式逆变器前端的桥式多电平开关电容模块，分析了拓扑结构与工作模态，实现了多电平输出。接着在此基础上提出了谐振型开关电容 DC-DC 变流模块，设计了移相+PWM 的控制策略，实现了输出电压可调和软开关技术，并分析了开关电容纹波与输出电压纹波等性能。随后提出了一款两级式开关电容型七电平逆变器拓扑，分析了拓扑结构，基于此拓扑，采用优化单极性倍频 SPWM 控制策略，并设计了相位参数。两级式逆变器 DC-DC 环节开关电容模块的应用，保证了 DC-DC 变流的高效率和高电压增益；DC-AC 环节将多电平阶梯波作为母线电压，通过优化倍频控制方法有效提升了输出波形质量。针对并网系统存在的二次功率扰动问题，文中提出将逆变器直流侧电容等效部分解耦电容，降低了逆变系统对解耦电容容值的要求，为缩小系统体积、减小开关损耗提供了条件。

第三章讲述单级式开关电容的变流方法。首先，基于开关电容模块提出了单极式开关电容型五电平逆变器拓扑。文中分析了开关电容型五电平逆变器的拓扑结构与工作模态，优化了载波层叠 PWM 控制方法，计算了调制比与输出电压幅值的关系。该拓扑具备了开关电容的升压特性和电容钳位型电路开关组合方式灵活的特点，运用优化载波层叠 SPWM 控制策略，在维持开关电容升压运行的同时实现了母线电容电压平衡，复合结构有效减少了元件数量，增强了系统的运行的可靠性，提高了系统效率，多电平结构提升了输出波形质量。

文章最后对两级式七电平逆变器与单极式五电平逆变器系统的软硬件进行了设计，建立了 Saber 仿真模型与实验样机，对拓扑与基于拓扑的控制策略进行了验证。

关键词：开关电容；多电平；逆变；均压

ABSTRACT

Compared to the traditional inverters with bulky inductance components, the switched-capacitor circuits which contain no magnetic components could effectively realize not only higher power density, smaller size and lighter weight, but also higher boost ratio. The grid-connected inverter system based on switched-capacitor circuits is a great significance to promote the development of grid-connected power system to miniaturization, integration and high efficiency.

Chapter. 2 describes the two-stage switched-capacitor converters. A bridge multilevel modular switched-capacitor DC-DC converter for the front end of a two-stage inverter is proposed firstly, which can output three levels voltage. Then the resonant bridge modular multilevel switched-capacitor topology is given, where the distributed inductance is treated as a resonant inductor. With the phase shift plus PWM control strategy, the resonant converter ensures that all switching devices are soft switching and the output voltage is adjustable. And the analysis of switched-capacitor ripple and output ripple is given. Then the paper proposed a seven-level inverter based on above switched-capacitor circuits with its superiority in conversion efficiency and power density. The topology is composed of DC-DC and DC-AC stages, aiming to improve system stability and simplify the control method. The DC-DC stage, which can be expanded to synthesize more levels, not only features multilevel voltage gain but also partially replaces the original bulk input capacitor and functions as an active energy buffer to enhance power decoupling ability between DC and AC sides. In DC-AC stage, the ladder wave used for inversion helps improve the quality of output waveform. Meanwhile, the multilevel voltage phase has been optimized to reduce the power loss further.

A single-stage switched-capacitor five-level inverter topology is proposed in Chapter. 3. And the analysis of topology and control strategy is given. The five-level inverter features the switched-capacitor module with DC-DC boost ability and the multilevel flying-capacitor-clamped inverter topology with flexible switching combination. Compared with traditional multilevel inverter, the component number of this topology is cut down due to the special composite structure. Moreover, the switching loss is reduced as a result of the part of the switches' operation under line voltage frequency. Then the carrier-based phase disposition PWM method is employed to help balance the capacitor voltage and achieve the output of the five levels. Based on the working modes and control method analysis, the relationship between modulation ratio and output voltage amplitude is calculated.

At the end of the paper, the hardware and software based on DSP of the seven-level inverter and the five-level inverter are designed. The simulation model on Saber and experimental prototype is built to verify the effectiveness and advantages of above topologies and topology-based control strategies.

KEY WORDS： Switched-capacitor, multilevel, inverter, voltage balancing

目 录

Talbe of Contents