

学校编码: **10384**

分类号 _____ 密级 _____

学号: **19920121152725**

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

AC-AC 高频连接型变换器

AC-AC Converter With High Frequency Link

指导教师姓名: _____

专 业 名 称: 机械设计及理论

论文提交日期: 2015 年 04 月

论文答辩时间: 2015 年 05 月

学位授予日期: 2015 年 _____ 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 04 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

电力电子变换技术在过去六十年里已经取得较大发展，人们在 AC/DC、DC/DC、DC/AC 等领域内的中、小功率变换器研究已经取得了显著成就。然而，对 AC/AC 变换器研究仅局限于可控硅变换器、矩阵变换器和交流斩波器等交流电网与负载无电气隔离领域。目前国内外对于 AC/AC 变换技术的研究仍处于初级阶段，寻找一种结构简洁、控制模式方便的主拓扑具有很重要应用意义。

本文通过了解各种典型和新兴的交流变换器主拓扑结构及其性能特点，对高频连接型全桥桥式变换器的电路拓扑、控制原理等进行了深入研究，设计出一款可运行恒压、恒流两种工作模式的 AC-AC 变换器。经过仿真分析、实际软硬件电路设计等步骤后完成了该变换器样机的组装。该变换器是一款交流输入端与负载电气隔离的 AC/AC 变换器，拓扑结构简洁，控制方便，在大功率场合具有广泛的应用前景。

本文首先分析高频连接型全桥桥式变换器工作原理及四种工作模态，选择电流型 PWM 控制策略，分别对输出电压/电流进行采样，反馈回来作为控制外环，采集 H 桥处母线电流作为电流内环，构成一个双闭环控制系统，有效改善了系统动态响应特性。本文根据系统需要进行了相关器件选择，设计了硬件电路、软件系统。由单片机 C8051F040 作为控制系统的核心，构建完善控制体系。本文还通过采用 matlab 中的 simulink 工具箱对所设计电路进行仿真分析，分别让系统在 20Khz 工作频率下进行恒压、恒流测试，每一种工作模式各进行三种不同负载测试仿真，得到的仿真结果与理论分析一致。最后实际制作出一台 550W 的 AC-AC 高频变换器，并利用该变换器进行不同工作模式不同负载实际测试，实验数据波形与仿真结果、理论分析一致。

关键词：AC/AC；恒流；恒压

Abstract

In the past 60 years, power electronic conversion technology has achieved great development. People study in AC/DC, DC/DC, DC/AC fields, in medium and small power converter, has made remarkable achievements. However, the study of AC/AC converter is very little, only to do some research about the SCR converter, matrix converter and AC chopper, there is no electrical isolation between their input and loads. Now, the study of AC / AC conversion technology is still in its infancy, looking for a simple topology and control method has very important applications significance.

In this article, By studying various AC converter topologies and their respective performance characteristics, and study the topologi, control theory of the full bridge-full bridge mode AC/AC converters with high frequency link. The last, we design an AC-AC converter that can work as two modes: constant-voltage mode and constant-current mode. Through the simulation analysis, the actual hardware and software production, finally completed the converter prototype assembly. The converter has isolation between the power grid and load. Its topology, control method are simple, it has a broad prospect of application in high power occasion.

This paper analysis the work principle and four operating modes of the high frequency link full bridge-full bridge mode AC/AC converter, and select the current-mode PWM control strategy. Collect the output voltage/current and feed back as the control outer loop, and collect the H bridge of busbar current as the current inner loop, this constitute a double loop control system. It can effectively improve the dynamic response of the system. At the same time, according to the principle of the system we finish the hardware component selection, design the hardware circuit and software system. with the microcontroller C8051F040 as the core of the control system, build a perfect control system. In this paper also using the simulink toolbox of matlab to analysis the designed circuit, respectively, make the system work in 20Khz frequency under constant voltage or constant current tests, each a work mode do three different load tests, the simulation results are consistent with theoretical analysis. Finally actually produce a 550W AC-AC converter, and use it to finish the different work mode and different load tests, the results are consistent with the simulation results and theoretical analysis.

Keywords: AC/AC; constant-voltage; constant-current.

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 AC/AC 变换器研究现状.....	1
1.2.1 AC-DC-AC 变换器.....	1
1.2.2 AC-AC 直接变换器.....	2
1.3 AC/AC 变换器的发展方向及应用前景.....	7
1.4 本文的主要研究内容.....	8
1.5 小结.....	9
第二章 电气隔离变换器.....	10
2.1 工频隔离型变换器.....	10
2.2 高频隔离型变换器.....	11
2.3 小结.....	13
第三章 高频连接型全桥桥式变换器硬件设计.....	14
3.1 高频连接型全桥桥式变换器拓扑结构及原理分析.....	14
3.2 恒压、恒流控制策略.....	19
3.3 双向开关的选择.....	22
3.4 IGBT 基本特点、驱动、保护.....	23
3.4.1 IGBT 选型、驱动要求及电路设计.....	24
3.4.2 IGBT 保护.....	30
3.5 高频变压器设计.....	31
3.5.1 磁芯材料及结构的选择.....	31
3.5.2 变压器参数设计.....	32
3.6 LC 输出滤波器设计.....	33
3.7 小结.....	34
第四章 控制系统设计.....	35
4.1 微控制模块设计.....	35

4.1.1 C8051F040 控制芯片简介.....	35
4.1.2 CPU 辅助电源.....	36
4.1.3 CPU 复位电路.....	36
4.1.4 人机界面设计.....	36
4.2 闭环控制电路设计.....	39
4.2.1 电压采样电路.....	40
4.2.2 电流采样电路.....	41
4.2.3 温度采样电路.....	42
4.2.4 DA 调理电路.....	43
4.2.5 控制系统电流内环电路设计.....	44
4.3 系统软启动、欠压保护、温度保护电路设计.....	45
4.3.1 软启动电路设计.....	45
4.3.2 欠压保护电路设计.....	46
4.3.3 极限温度保护电路设计.....	46
4.4 小结.....	47
第五章 软件系统设计.....	48
5.1 软件系统开发环境.....	48
5.2 软件系统结构组成及主程序设计.....	49
5.2.1 软件系统结构组成.....	49
5.2.2 软件系统主程序设计.....	49
5.3 子程序设计.....	51
5.3.1 按键程序设计.....	51
5.3.2 AD 转换程序设计.....	52
5.3.3 DS18B20 程序设计.....	53
5.3.4 液晶显示模块程序设计.....	55
5.4 小结.....	55
第六章 系统仿真测试与分析.....	56
6.1 恒流模式仿真测试.....	56
6.2 恒压模式仿真测试.....	59
6.3 总结.....	63

第七章 电路搭建、调试与结果分析.....	64
7.1 实际电路与软件调试.....	64
7.1.1 硬件电路调试.....	64
7.1.2 系统软件调试.....	66
7.2 实验结果及分析.....	66
7.2.1 恒流测试.....	66
7.2.2 恒压测试.....	68
7.3 总结.....	70
第八章 总结与展望.....	71
8.1 总结.....	71
8.2 展望.....	71
参考文献.....	73
致谢.....	75
硕士期间科研成果.....	76

Content

摘要.....	I
Absract.....	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research Background and Value.....	1
1.2 Current Research Status of AC-AC Converter.....	1
1.2.1 AC-DC-AC Converter.....	1
1.2.2 AC-AC Converter.....	2
1.3 AC-AC Converter's Development and Application Prospects.....	7
1.4 Contents of This Paper.....	8
1.5 Summary.....	9
Chapter 2 Electrical Isolation Converter.....	10
2.1 Power Frequency Isolation Converter.....	10
2.2 High Frequency Isolation Converter.....	11
2.3 Summary.....	13
Chapter 3 Design of Full Bridge-Full Bridge Mode AC/AC Converters With High Frequency Link.....	14
3.1 Topological Structure and Principle Analysis.....	14
3.2 Control Strategy of Constant Voltage and Constant Current.....	19
3.3 Choose Two-way Switch.....	22
3.4 IGBT Basic Characteristics, Drive and Protection.....	23
3.4.1 IGBT Selection, Drive Requirement and Circuit Design.....	24
3.4.2 IGBT Protection.....	30
3.5 High-frequency Transformer Design.....	31
3.5.1 Transformer Core Selection.....	311
3.5.2 Transformer Design Parameters.....	32
3.6 LC Output Filter Design.....	33
3.7 Summary.....	34
Chapter 4 Control System Design.....	35
4.1 Micro-controller Module Design.....	35
4.1.1 Introduction of C8051F040.....	35
4.1.2 CPU Power.....	36

4.1.3 CPU Reset Circuit.....	36
4.1.4 Human-computer Interface Design.....	36
4.2 Feed Back Circuit Design	39
4.2.1 Voltage Sampling Circuit	40
4.2.2 Current Sampling Circuit.....	41
4.2.3 Temperature Sampling Circuit.....	42
4.2.4 DA Condition Circuit.....	43
4.2.5 Current Inner Loop Design	44
4.3 Soft Start, Under Voltage and Overheat Protection Design	45
4.3.1 Soft Start Circuit Design.....	45
4.3.2 Under Voltage Protection Design	46
4.3.3 Overheat Protection Design	46
4.4 Summary	47
Chapter 5 Software Design	488
5.1 Software System Development Environment.....	488
5.2 Software System Structure and Main Program Design	49
5.2.1 Software System Structure.....	49
5.2.2 Main Program Design	49
5.3 Software Design.....	511
5.3.1 Key Program Design.....	511
5.3.2 AD Program Design.....	522
5.3.3 DS18B20Program Design.....	533
5.3.4 LCM Program Design.....	555
5.4 Summary	555
Chapter 6 Simulation Test and Analysis	566
6.1 Constant Current Simulation Test.....	566
6.2 Constant Voltage Simulation Test	59
6.3 Summary	63
Chapter 7 Actual Circuit Debugging and Results Analysis.....	644
7.1 Actual Circuit Debugging.....	644
7.1.1 Hardware Debugging	644
7.1.2 Software Debugging	666
7.2 Test Results and Analysis	66

7.2.1 Constant Current Test	666
7.2.2 Constant Voltage Test.....	68
7.3 Summary	700
Chapter 8 Summary and Outlook	711
8.1 Summary	711
8.2 Outlook	711
References.....	733
Acknowledgements.....	755
Published Paper Introduction.....	746

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

电源就像人体的心脏，是所有电气系统的动力来源。在大多数情况下，电网为我们提供的市电（我国市电标准为 220V/50Hz）都需要经过“转换”才能被特殊设备所使用。这个“转换”就是电力电子变换技术在整个电力系统中所担任的角色。电力电子变换技术应用范围非常广泛，它不仅应用于传统工业生产，同时也渗透到计算机领域、通讯领域、新能源领域等^[1]。

自 1957 年美国通用电气公司研制出第一个晶闸管标志着电力电子技术诞生以来，过去六十年里电力电子技术已经取得较大的发展^[2]。早期电力电子变换技术发展重心主要集中在 AC/DC、DC/DC、DC/AC 等领域。针对这些领域的中、小功率变换器研究，电力电子变换技术已经取得较为显著的成果，甚至日趋于成熟。然而，人们对 AC/AC 变换器的研究却非常少，已有的技术中诸如：可控硅变换器、矩阵变换器和交流斩波器等都有个共同的缺陷那就是交流电网与负载无电气隔离^[3]。本文提出了一种交流电网与负载有电气隔离的 AC/AC 变换器，该变换器具有电路拓扑简洁，控制方法简单，在大功率场合具有广泛的应用前景。

1.2 AC/AC 变换器研究现状

交流-交流（AC/AC）变换器是指通过电力电子变换装置把一种电压和频率的交流电转换成另一种电压和频率的交流电。AC/AC 变换器可根据变换过程中有无中间直流环节分为 AC/AC 直接变换器和 AC-DC-AC 变换器^[4,5]。

1.2.1 AC-DC-AC 变换器

交-直-交变换器是由 AC-DC、DC-AC 两类基本变流电路组合形成的，即先将交流电（市电）整流为直流电，再将直流电逆变成另一种新的交流电，其电路结构如图 1.1 所示。AC-DC-AC 变换器与 AC-AC 变换器相比，最突出优点是输出交流电频率是由逆变单元控制决定的，完全脱离输入电源频率的制约。随着相关课题的深入研究与发展，AC-DC、DC-AC 技术已经日趋于成熟，因此 AC-DC-AC 变换器质量也跟着水涨船高。目前市面上已经能够找到许多具有负载适应性强、输出波形好、体积小、重量轻等特点，同时具有短路、过流、过压、

过热等保护功能的 AC-DC-AC 变换器。但这种变换器仍存在控制复杂，成本高，功率因数低，并对电网造成谐波污染等缺点。

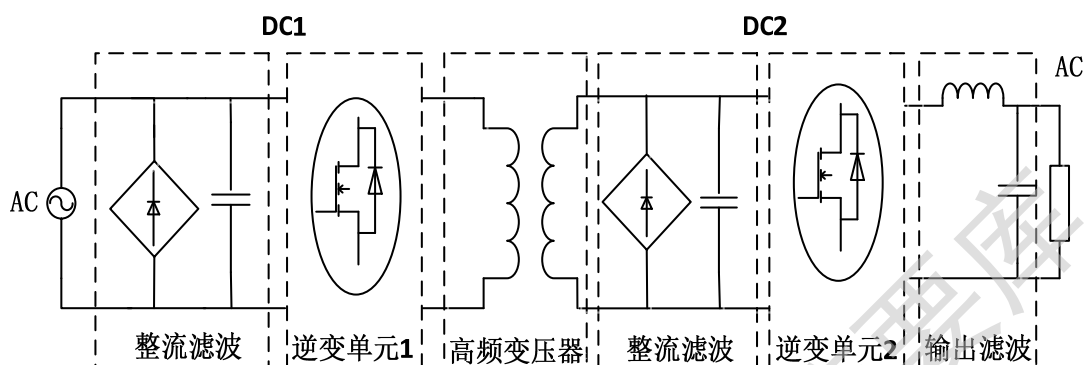


图 1.1 AC-DC-AC 电路结构示意图

1.2.2 AC-AC 直接变换器

由于传统工频变压器的存在，其结构相对简单，可靠性强。一般的 AC/AC 都可用传统变压器来完成，因此早期电力电子工作者并没有直接将工作重心放在 AC-AC 变换课题上。然而随着电力电子技术的发展，以及半导体材料价格的下降，使得工频变压器的缺点越来越明显。例如工频变压器具有体积重量大，工作效率低，稳压损耗大，可能还会有工频噪声，同时因为制造工频变压器时用铜多，相对成本变大。随着电力电子元件的飞速发展，而且铁心式变压器本身的体积与工作频率成反比，因此研究人员逐渐把目光转回到 AC-AC 变换器研究上，试着通过电力电子变换技术，使得变换器既能实现电压基本变换，又能让本身结构简单，体积和重量均大幅下降^[6,7]。

AC-AC 变换技术有两种控制方式，一种是传统的相位控制方式，另一种是采用 PWM 控制的斩波方式。传统的相控 AC-AC 变换器中只改变电压不改变频率的变换器我们称之为交流调压器，若有改变频率的我们称之为交流（周波）变频器。矩阵变换器和斩控变换器都是近年来出现较为新颖的斩波控制方式变换器。

1. 传统相控变换器

a. 交流调压器：交流调压器输出是同频率的交流电，理论上可以用于一切需要变压的交流负载上^[8]。它的工作原理通过改变电压波形来实现调压的，单相交

流调压电路如图 1.2 a 所示。把两个晶闸管反并联后串联在交流电路上，通过控制晶闸管的开断来控制交流输出电压 u_o 。在稳态情况下，分别控制 VT1 和 VT2 的触发延迟角 α ，就可以获得不同的 u_o 。输出波形如图 1.2 b 所示。

从图 1.2 b 可以看出，交流调压器的输出波形取决于 α ，当 $\alpha=0$ 时，相当于晶闸管一直处于导通状态，输出电压为最大值 $U_o=U_i$ ，功率因数 $\lambda=1$ 。随着 α 的增大，输出波形越不完整，同时 λ 也随之减小。交流调压器的输出波形已不再是完整正弦波，且负载的功率因数随着输出电压降低而降低，这是该电路致命缺点。但是这种调压器因其控制简便，体积小，投资省，所以依然被广泛地应用于灯光控制及异步电机的软启动，有时也用于异步电机的调速。

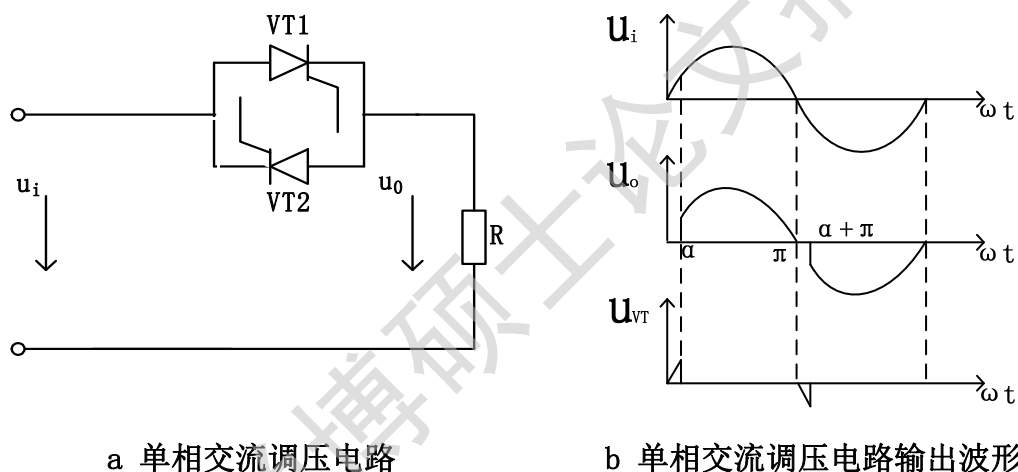
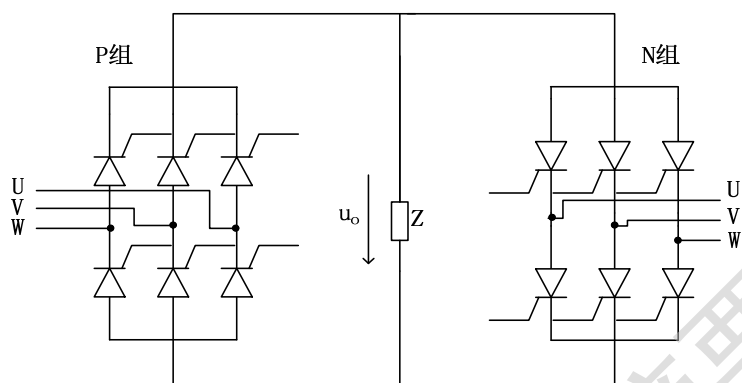


图 1.2 传统相控调压器

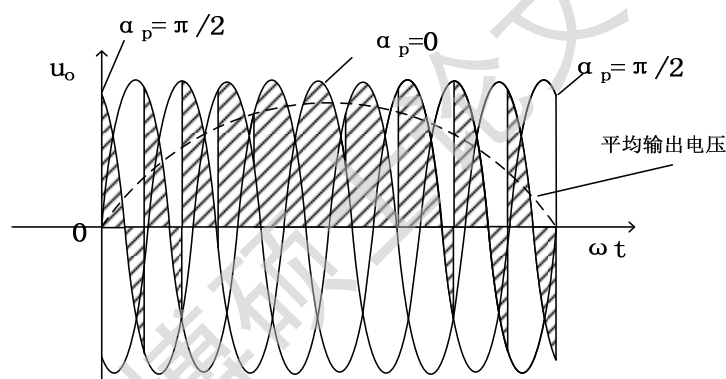
b. 交交变频器：交交变频器也称为周波变频器，该变频器能够把电网频率交流电变换成频率可调交流电。图 1.3 a 所示是一种三相输入单相输出的交交变频电路。电路是由相控整流电路 P 组和 N 组反并联的晶闸管变流电路构成。当 P 组工作时，负载电流为正，当 N 组工作时，负载电流为负。控制 P, N 两组的切换频率，就可以改变输出频率 ω_o 。同时为了使输出电压 u_o 更接近于正弦，可以按正弦规律控制触发延迟角 α 。如图 1.3 b 所示，在正半周时控制 P 组 α 角从 $\pi/2$ 逐渐减小到 0，再从 0 增大到 $\pi/2$ ，负半周时也以同样的方式控制 N 组 α 角，即可得到一个平均输出电压波形为正弦曲线的交流电。

由图 1.3 b 可以看出，单相交交变频器的输出电压与单相调压器都有个共同点，即他们输出都不是真正完整的正弦波。单相交交变频器输出电压 u_o 是由几

段电网电压拼接形成的。每一个 u_o 周期内包含的电网电压段数越多，那么 u_o 波形就越接近于正弦波。



a 单相交-交变频电路原理图



b 单相交-交变频器输出电压波形

图 1.3 单相交-交变频器

2. 矩阵变换器

近年来出现了一种较为新颖的变换器——矩阵变换器。该种变换器也是一种 AC-AC 直接变换器，相对于传统的相控变换技术，矩阵变换器是采用 PWM 控制的斩控型 AC-AC 变换器，具有不产生低次谐波；输出电压幅值可调，输出频率不受电网频率限制；输入功率因数可调；采用双向开关，能量可双向流动等优点^[9]。

$N \times M$ 的矩阵变换器是指一个 N 相输入， M 相输出的单级变换器，它包含 $N \times M$ 个双向功率开关的矩阵。其中 3×3 开关的矩阵变换器应用最广泛，其主电路拓扑如图 1.4 所示。矩阵变换器的控制核心思想就是根据所需要的输出电压 u_o

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.