

学校编码: 10384
学号: 23220091152857

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦门大学

硕士学位论文

变频式功率超声波发生器的研究及设计
The Research and Design of
Conversion Frequency Type Power Ultrasonic Generator

李素勋

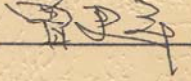
指导教师姓名: 陈伟 副教授

专业名称: 检测技术与自动化装置

论文提交时间: 2012 年 月

论文答辩日期: 2012 年 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: 
评阅人: _____

2012 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）



2012年05月30

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密 ()，在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密 (✓)

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名:

李素励

日期: 2012年05月30日

导师签名:

李素励

日期: 2012年5月30日

摘 要

在超声波无纺布焊接、超声波车削等负载频繁剧烈变动的应用场合，我们希望换能器具有功率自动调节的功能。即在换能器空载时吸收的功率小，在有负载时吸收的功率大。并且负载越重，吸收的功率越多，传输给负载的功率也越多。随着对换能器研究的深入，一对一的超声波发生器与换能器匹配，已经不能满足现实需求，所以开发一对多的超声波发生器具有很强的实用价值。

在完成本论文的过程中，主要做了以下几方面工作并取得一定的成果。

本论文首先对超声波换能器的震动特性进行了详尽的研究，主要讨论有关超声波发生器的数学模型的建立以及对该模型的全面分析，这部分关于超声波换能器的研究主要是为超声波发生器的反馈回路的研究打下坚实的理论基础。

然后分析了变频式超声波发生器的工作原理，根据电子电路设计的基本理念制定了分模块设计的总体方案，经过细致的分析，将论文分为五个模块：第一是信号源模块，由于本设计采用的是它激式的超声波发生原理，所以需要有一个稳定的信号源，通过对 DDS 信号源发生电路，555 正弦波发生器，锁相环正弦波合成电路进行比较，确定选用 DDS 信号发生电路。第二是控制电路模块，控制电路是本设计的又一重点，这里我们在分析超声波换能器模型的基础上，设计出了以分离式的 PI 电流反馈为主，相位反馈为辅的控制方案；控制芯片方面，通过比较各种控制器的优劣，包括 MCU,ARM,DSP,FPGA，最终确定选用，既能满足设计要求又能节约成本的 AVR 系列的 MCU 控制方案。第三是发生器的电源模块，该模块既要满足给信号源提供电能，还要给控制电路提供电能。第四是发生器的功率放大模块，这里我们选用 D 类串联电压型功率放大电路。第五是人机界面模块，键盘输入和液晶显示，是经典的人机界面，也将出现在本设计中，满足现场调试的需要。

最后是完成的是调试和编程部分：调试部分包括模拟软件的调试和实物电路板的调试；编程主要包括信号源的编程和控制器的编程以及人机界面的编程。

本文设计的变频式超声波发生器可靠稳定，效率高，性价比优，符合预先的设计要求，达到了预期目标。

关键词：频率可变；DDS 信号发生；分离式 PI；人机交互；滤波电路

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In the applications of violent changes in load frequent, such as ultrasonic non-woven fabrics welding and ultrasonic cutting, we hope that the transducer has the automatic adjustment function of the power. That is the power absorbed in the no-load of the transducer is small and in load of the transducer needs more power. When the load is heavier, the power absorbed by transducer and transferred to load needs more. The reason why we develop the one-to-many ultrasonic generator that has a strong practical value, because the one-to-one matching between of ultrasonic generator and transducer no longer can meet the practical needs with the deeply research of the transducer.

In the process of completing this dissertation, the main work and the results are as follows:

Firstly, the vibration characteristics of the transducer vibration is studied detailedly in this dissertation, the study is focused on the mathematical model of the ultrasonic generator and comprehensive analysis of the model which is to lay a solid theoretical foundation for the study of the ultrasonic generator feedback loop.

And then the working principle of the variable frequency ultrasonic generator is analyzed, according to the basic idea of the electronic circuit design to develop the overall program of the sub-module design. Roughly, the dissertation is divided into five modules when it is analyzed detailedly. First is the signal source module, because this design use the type of external excitation ultrasonic generator, so it needs a stable source. Through the comparison of many kinds the signal source produce types, including DDS signal source happen, circuit 555 sine wave generators, and PLL (Phase locked loop) sine wave synthesis circuit, finally the DDS signal producing circuit is chose. Second is the control circuit. The control circuit is another focus of the design. This design is based on analysis the model of ultrasonic transducer, which is to design the scheme that is primary separate_type PI feedback control and complementary phase feedback control. When choose the Control chip, this design by comparing the advantage and the disadvantages of various controllers, including MCU, ARM, DSP, FPGA, is to determine the choose MCU control scheme AVR series which both can satisfy the design requirements and can save the cost. Third is the power of the ultrasonic generator, whiche will not only meet to provide electrical

energy source, but also to control circuits provide electricity. Fourth is the power amplifier module, and series voltage type class D power amplifier is designed in this section. Fifth is the man-machine interface. Any well designed circuits include a convenient man-machine interface. The keyboard choose and liquid crystal display is a classic man-machine interface, also will appear in this design which meets the need of the live debugging.

The last the finished part is debugging and programming: The debugging parts of the design will be divided into two phases, the simulation software debugging and the PCB debugging. The programming mainly has the following three parts, the signal source programming and the controller programming also include the man-machine interface programming.

In this dissertation the design of variable frequency ultrasonic generator is reliable and stable, high efficiency and excellent performance to price ratio and complies with the advance design requirements and the expected goal.

Keyword: frequency variable; DDS signal generator; separate_type PI; Human interaction; Filter circuit

目 录

第一章 绪论	1
1.1 选题背景及意义	1
1.2 超声波历史	1
1.2.1 超声波的历史	1
1.2.2 功率超声波的历史	2
1.3 国内外研究现状及发展趋势	2
1.3.1 功率超声波国内外研究的现状	2
1.3.2 功率超声波的发展趋势	2
1.4 超声波的简介	3
1.4.1 超声波的基础知识	3
1.5 超声电源简介	4
1.5.1 超声电源的定义	4
1.5.2 超声波电源的原理:	5
1.5.3 超声波电源的分类:	5
1.6 本章小结	5
第二章 换能器的震动特性	6
2.1 换能器的用途和基本原理	6
2.1.1 换能器的广义概念	6
2.1.2 换能器的标准定义	6
2.1.3 常用电声换能器的基本原理	7
2.2 超声波换能器的性能指标	9
2.3 换能器的结构	15
2.3 换能器的数学模型	15
2.3.1 超声波换能器的等效电路模型	15
2.3.2 超声波换能器的导纳圆	19
2.3.2 超声波换能器的阻抗圆	20
2.4 本章小结	21

第三章 变频式超声波发生器的总体设计方案的确立	23
3.1 需求分析	23
3.2 电源模块.....	23
3.2.1 低压电源模块.....	23
3.2.2 高压电源模块.....	24
3.3 信号源模块.....	24
3.3.1 DDS 正弦波发生电路.....	24
3.3.2 由 555 多谐振荡器组成的正弦波发生电路.....	28
3.3.3 锁相环频率合成器正弦波发生电路.....	30
3.4 控制模块	33
3.4.1 控制方案的研究.....	33
3.4.2 控制芯片的选择.....	36
3.5 功率放大模块.....	37
3.5.1 D 类功率放大器的研究.....	37
3.6 本章小结.....	42
第四章 变频式超声波发生器的各模块的设计	43
4.1 电源模块设计	43
4.1.1 输入滤波电容 C_{in} 设计	43
4.1.2 滤波电感的参数选择.....	44
4.1.3 整流桥的选择.....	44
4.2 DDS 信号源系统实现.....	44
4.2.1 DDS 系统实现.....	44
4.2.2 DDS 硬件电路的设计.....	45
4.2.3 DDS 滤波器的设计.....	45
4.3 主控制器模块硬件设计	47
4.3.1 电流电压检测.....	47
4.3.2 PI 加速算法	48
4.3.3 主反馈算法.....	48
4.4 功率放大模块设计	48

4.5 人机界面软件设计	49
4.5.1 液晶显示设计	49
4.5.2 键盘设计	51
4.6 本章小结	51
第五章 超声波发生器的综合调试	53
5.1 调试的流程	53
5.2 模拟仿真	53
5.2.1 换能器数学模型的仿真	53
5.2.2 滤波器的仿真	54
5.2.3 PI 控制器的仿真	55
5.2.4 采样电路的仿真	55
5.2.5 DDS 信号源的仿真	56
5.2.6 液晶屏的仿真	58
5.3 本章小结	58
第六章 总结与展望	59
6.1 设计经验的总结	59
6.2 变频式超声波发生器的未来展望	59
参考文献	61
作者硕士期间发表的论文	63
致 谢	64
附录 1. 低压电源通讯及显示模	65
附录 2. 信号发生模块	66
附录 3. 高压电源及信号放大模块	67

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Content

Chapter1 Introduction.....	1
1.1 The background and significance of this dissertation	1
1.2 The introduction of ultrasonic	1
1.2.1 The history of the ultrasonic	1
1.2.2 The history of power ultrasound	2
1.3 Research status and development trends.....	2
1.3.1 The quo status of power ultrasonic study at home and abroad	2
1.3.2 The development trend of power ultrasonic	2
1.4 The introduction of ultrasonic	3
1.4.1 The basic knowledge of ultrasonic.....	3
1.5 The introduction of ultrasonic power	4
1.5.1 The introduction of ultrasonic power.....	4
1.5.2 The principle of ultrasonic power	5
1.5.3 The sort of ultrasonic power	5
1.6 The Chapter Summary	5
Chapter2 The vibration characteristics of the transducer	6
2.1 The application and basic principle of the transducer	6
2.1.1 The broadly defination of ultrasonic transducer	6
2.1.2 The standard defination of ultrasonic transducer	6
2.1.3 The basic principle of commonly acoustic transducer.....	7
2.2 Ultrasonic transducer-performance indicators.....	9
2.3 The structure of the transducer	15
2.3 The mathematical model of the transducer	15
2.3.1 The equivalent circuit model of ultrasonic transducer.....	15
2.3.2 The conductance-susceptance round of ultrasonic transducer	19
2.3.2 The resistance - reactance round of ultrasonic transducer	20
2.4 The Chapter Summary	21
Chapter3 The overall design establishment of variable frequency type ultrasonic generator.....	23
3.1 Demand analysis.....	23
3.2 The module of Power supply	23
3.2.1 The low voltage module of Power supply	23
3.2.2 The high voltage module of Power supply	24
3.3 The module of Signal source	24
3.3.1 The Sine wave happen circuit of DDS.....	24
3.3.2 The Sine wave happen circuitof 555.....	28
3.3.3 The Sine wave happen circuit of PLL.....	30

3.4 The module of control.....	33
3.4.1 The research of control scheme	33
3.4.2 The select of control chip.....	36
3.5 The module of Power amplifier	37
3.5.1 The research of Power amplifier D.....	37
3.6 The Chapter Summary	42
Chapter4 Specific Research on the modules of frequency conversion	
type ultrasonic generator	43
4.1 The design of Power supply.....	43
4.1.1 The design of input filter capacitance C_{in}	43
4.1.2 The selection of filter inductances parameter	44
4.1.3 The selection of rectifier bridge.....	44
4.2 The realize of the DDS signal source system	44
4.2.1 System realization of DDS.....	44
4.2.2 The design of Hardware circuit DDS.....	45
4.2.3 The design of DDS filter	45
4.3 The hardware design of Master control module	47
4.3.1 The detection current and voltage.....	47
4.3.2 The accelerate algorithm of PI.....	48
4.3.3 The algorithm of Lord feedback.....	48
4.4 The design of power amplifier module.....	48
4.5 The software design of man-machine interface.....	49
4.5.1 The design of LCD display	49
4.5.1 The design of LCD display	51
4.6 The Chapter Summary	51
Chapter5 The comprehensive test of ultrasonic generator.....	53
5.1 The process of debugging	53
5.2 The simulation	53
5.2.1 The simulation of the transducer mathematical model	53
5.2.2 The simulation of filter	54
5.2.3 The simulation of PI controler	55
5.2.4 The simulation of sampling circuit	55
5.2.5 The simulation of DDS	56
5.2.6 The simulation of LCD	58
5.3 The Chapter Summary	58
Chapter6 Summary and expectation	59
6.1 The summary of experience in the design.....	59
6.2 The future prospects of frequency conversion type ultrasonic generator ...	59
.....	59
Reference.....	61

Published dissertations of author	63
Acknowledges	64
Appendix 1. The Low voltage power supply communication and display ...	65
Appendix 2. The model of Signal producing	66
Appendix 3. High voltage power supply and signal amplifier	67

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 选题背景及意义

超声波的应用可以不夸张的说已经渗透到我们的生活的方方面面，小到超声波驱蚊驱鼠、超声波清洗眼镜，大到超声波焊接（如微电子方面的芯片的管脚的焊接，无纺布焊接）、超声波切削^[1]，超声波测量、超声波探测等等，都在为我们的生活提供着巨大的方便^[2]。目前，超声波技术的研究和应用的范围，已从医学、建筑、船舶、冶金、机械等扩大到二十多个工业部门，无处不在的超声波身影，足以见得超声波在我们生活的地位，并取得了很好的社会效益和经济效益^[3]。

本文是针对功率超声波无纺布焊接的具体应用，以及现存超声波的不足，一个超声波电源只能匹配单一的换能器，超声波电源的输出频率固定，数字化程度不高，具体设计了变频式的功率超声波电源，来满足针对不同材料厚度和焊接强度的需要。

1.2 超声波历史

1.2.1 超声波的历史

自 1883 年 F. Galton 利用压缩气体经过狭缝喷嘴后在圆形喷口内形成共振腔产生超声。这便是世界上第一种超声波发生器-气哨。这是机械式的超声波。

1917 年，法国物理学家 Langevin 发明利用钢-石英-钢结构制成的夹心压电换能器，并成功用来探查海底的潜艇。压电换能器和磁致伸缩换能器为利用电气方法产生超声波奠定了基础。到 20 世纪 20 年代，随着换能器振幅提高、机械品质因数提高以及使用寿命延长的超声变幅杆的出现，超声技术逐渐被大量应用于工业生产当中。

20 世纪 20 年代以后，由电子管模拟放大器组成的超声电源开始出现，这种超声波发生器电源效率低，体积庞大，易损坏寿命短等缺点，很快被由新型电子器件组成的超声电源所取代。

20 世纪 60 年代初，超声电源的开关器件多采用大功率双极性开关晶体管，

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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.

厦门大学博硕士论文摘要库