

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 19920111152815

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

高频脉冲电镀电源的研究与设计

Research and Design of A High-Frequency Pulse
Electroplating Power

朱维龙

指导教师姓名: 陈文芾 教授

专业名称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2014 年 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 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

电镀技术是一种重要的表面处理方法,但是目前电镀技术存在效率低,镀层厚度均匀性差,容易产生缺陷和镀层有很大的压力等缺点。这些缺陷严重影响了电镀产品的质量。本文针对这些缺陷,采用新技术设计了一款高频率的脉冲电镀电源,不仅可以提高电镀产品的质量,而且可以提高效率。

脉冲电镀从电镀理论上摆脱了局限于直流电镀的技术,在直流电镀的基础上发展出各种电流波形的电镀。脉冲电镀过程中,脉冲电镀所允许的峰值电流密度比直流电镀大许多倍,从而使镀层晶粒度变细,分散能力变强,深镀能力变好。

本论文基于 IGBT 高频逆变技术,在程序控制模块的协调控制作用下,实现大功率输出,并具有恒压、恒流、多段可调的电压及电流控制等功能,满足电镀电源一机多用的需要;采用数字化精密控制,使电流及电压具有更好的输出精度及动态特性,提高电镀工艺质量。

本论文首先介绍了逆变器种类与方案的选择,然后对高频脉冲电镀电源控制系统与软件设计进行详尽设计,并且能够实现多段可调控模式。逆变方案采用全桥逆变器,并对全桥拓扑结构进行了电路设计、参数设计。控制系统以微处理器 C8051F040 与 UC3846 脉宽调制电路为核心,电压环与电流环双闭环控制系统,并且采用峰值电流检测与 PID 控制算法。同时编写了主程序、PID 控制算法程序、CAN 通信程序、多段可调控模式程序等。实现实时动态显示与在线操作功能。实验结果表明,输出电流、电压稳定;波形基本上良好,纹波系数小,可以很好地应用于电镀生产线。

关键词: 脉冲电镀电源 ; IGBT; 脉宽调制

Abstract

Some defects exist in electroplating technology, such as long processing time, poor uniformity of the coating thickness, big coating stress. These defects not only affect the quality of electroplating products, but also greatly limits the application and development of electroplating technology. This paper presents a high-frequency pulse plating power, not only can improve the quality electroplating products, but also can improve efficiency.

Pulse plating is a new plating technology, the peak current of pulse plating can be much higher than ordinary DC current. Because of this instantaneous high current density can occur reduction reaction in the high electric potential. So the sedimentary layer became fine, the dispersion ability became strong and the coating became uniform.

This paper based on the IGBT inverter technology and the program control module interaction. To achieve high power output, constant voltage, constant current, multi-adjustable voltage and current control. To meet the requirements of a multi machine. Because the plating power supply with digital precision control, so the current and voltage output with good accuracy and dynamic characteristics, improving the quality of the plating process.

Firstly, this paper introduces the working principle and the control mode of the high-frequency switching power supply. Then we designed the pulse plating power control system and software, which can achieve multi-adjustable control mode. In the design of the system inverter, we select the full-bridge configuration as the main circuit, and we calculate the component parameters and calculation methods. The control system is based on microprocessor C8051F040 and UC3846 as the core control circuit, voltage loop and current loop control at the same time, and the peak current detection and control algorithm of PID program. Write the main program, PID control algorithm program, CAN communication program,

multi-adjustable control mode procedures, which can dynamic display and online operation. Experimental results show that the system meet the design requirements, the output current and voltage, the waveform is basically good. So the can be well used in electroplating productin line.

Keywords: Pulse Plating Power; IGBT; PWM

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 脉冲电镀电源发展历史	2
1.3 脉冲电镀电源发展方向	2
1.4 国内外研究现状	3
1.4.1 国外发展现状	3
1.4.2 国内发展现状	4
1.5 本文的主要内容	4
第二章 脉冲电镀电源简介	6
2.1 脉冲电镀的基本原理	6
2.2 脉冲电镀的基本参数	7
2.3 脉冲电镀电源的选择依据	9
2.4 脉冲电镀电源的应用	9
2.5 系统设计要求	9
2.6 系统总体框图	10
第三章 全桥逆变器的设计	11
3.1 逆变器方案选择	11
3.1.1 电压型单相半桥式逆变电路	12
3.1.2 电压型单相全桥式逆变电路	14
3.1.3 电压型单相推挽式逆变电路	15
3.2 逆变电路的设计	16
3.3 IGBT 的基本特点与选择	17
3.3.1 静态特性	17
3.3.2 动态特性	20
3.3.3 IGBT 的选择	21
3.4 IGBT 驱动要求	22
3.4.1 栅极电阻的选取	23
3.4.2 栅极钳位电路	24
3.4.3 隔离电路	24
3.4.4 死区时间	26
3.5 整流桥的选择	26

3.6 高频变压器设计	27
3.6.1 变压器磁芯的选择.....	27
3.6.2 高频变压器参数设计.....	27
3.7 输出整流电路	30
3.8 IGBT 保护电路	30
3.8.1 过流保护电路.....	30
3.8.2 过热保护装置.....	31
第四章 控制系统与软件设计	33
4.1 脉冲电镀电源调制方式	33
4.1.1 脉冲频率调制 (PFM)	33
4.1.2 脉冲跨周期调制 (PSM)	33
4.1.3 脉冲宽度调制 (PWM)	34
4.2 脉宽调制电路设计	35
4.2.1 芯片的选用.....	35
4.2.2 UC3846 工作原理	37
4.2.3 软启动电路.....	38
4.2.4 峰值电流检测电路.....	38
4.2.5 设定 UC3846 工作频率.....	40
4.2.6 设定 UC3846 死区时间.....	41
4.3 脉宽调制保护电路	42
4.3.1 过流保护电路.....	42
4.3.2 温度检测电路.....	42
4.3.3 缺相保护电路.....	43
4.4 微控制器模块	44
4.4.1 处理器的选择.....	44
4.4.2 C8051F040 控制电路	45
4.5 辅助电源设计	45
4.6 反馈电流电压处理电路	46
4.6.1 反馈电压信号调理电路.....	46
4.6.2 反馈电流信号调理电路.....	47
4.7 PID 控制算法	48
4.7.1 模拟 PID 控制算法.....	48
4.7.2 数字 PID 控制算法.....	49
4.8 系统软件实现	51
4.8.1 主程序设计.....	51
4.8.2 CAN 通信程序设计	52

4.8.3 PID 控制算法程序设计	53
4.8.4 系统参数程序设计.....	54
4.8.5 多段可调模式程序设计.....	56
第五章 系统安装调试及实验结果分析	58
5.1 电镀电源的安装	58
5.2 硬件调试.....	58
5.3 软件调试.....	61
5.4 实验波形分析	61
5.5 实验数据分析	62
第六章 总结与展望	65
6.1 总结.....	65
6.2 展望.....	65
参考文献	67
致谢.....	70
攻读硕士学位期间科研成果.....	71

Content

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background and Value	1
1.2 Development History	2
1.3 Pulse Electroplating Power Supply Development Direction	2
1.4 Correlative Oversea and Domestic Research	3
1.4.1 Development of Overseas.....	3
1.4.2 Development Status of Domestic.....	4
1.5 The Contents of This Paper	4
Chapter 2 Pulse Plating Power Profile	6
2.1 Principle of Pulse Plating	6
2.2 Parameters of Pulse Plating	7
2.3 Selection Basis	9
2.4 Pulse Plating Power Applications	9
2.5 Design Requirements of The System	9
2.6 The Overall Block Diagram of The System	10
Chapter 3 Design of The Inverter	11
3.1 Inverter Scheme Selection	11
3.1.1 Voltage-type Single-phase Half-bridge Inverter Circuit.....	12
3.1.2 Voltage Single-phase Full-bridge Inverter Circuit	14
3.1.3 Single-phase Voltage Push-pull Inverter Circuit.....	15
3.2 Inverter Circuit Design	16
3.3 IGBT Basic Characteristics and Selection	17
3.3.1 Static Characteristics	17
3.3.2 Dynamic Characteristic	20
3.3.3 IGBT Selection.....	21
3.4 IGBT Drive Requirements	22
3.4.1 Gate Resistor Selection.....	23
3.4.2 Gate Clamp Circuit.....	24
3.4.3 Isolated Circuit	26
3.4.4 Dead Time.....	24
3.5 Select The Rectifier Bridge	26

3.6 High-frequency Transformer Design	27
3.6.1 Transformer Core Selection.....	27
3.6.2 Transformer Design Parameters.....	27
3.7 The Output Rectifier Circuit	30
3.8 IGBT Protection Circuit	30
3.8.1 Overcurrent Protection Circuit.....	30
3.8.2 Overheat Protection.....	31
Chapter 4 Control Systems and Software Design	33
4.1 Control Mode	33
4.1.1 Pulse Frequency Modulation	33
4.1.2 Cross-cycle Pulse Modulation	33
4.1.3 Pulse Width Modulation.....	34
4.2 Pulse Width Modulation Circuit Design	35
4.2.1 Optional Chip.....	35
4.2.2 Operational Principle.....	37
4.2.3 Soft-start Circuit.....	38
4.2.4 Peak Current Detection Circuit.....	38
4.2.5 Set Tthe Operating Frequency	40
4.2.6 Set Tthe Dead Time.....	41
4.3 Pulse Width Modulation Circuit Protection	42
4.3.1 Overcurrent Protection Circuit.....	42
4.3.2 Temperature Detecting Circuit.....	42
4.3.3 Phase Protection Circuit	43
4.4 Micro-controller Module	44
4.4.1 Processor Select	44
4.4.2 C8051F040 Control Circuit	45
4.5 Auxiliary Power	45
4.6 Processing Current and Voltage Feedback Circuit	46
4.6.1 Feedback Voltage Signal Conditioning Circuit.....	46
4.6.2 Feedback Current Signal Conditioning Circuit.....	47
4.7 PID Control Algorithm	48
4.7.1 Analog PID Control Algorithm	48
4.7.2 Digital PID Control Algorithm	49
4.8 Software Implementation System	51
4.8.1 Main Program	51
4.8.2 CAN Communication Program.....	52

4.8.3 Algorithm PID Control Program.....	53
4.8.4 Setting Machine Parameter.....	54
4.8.5 Multi Section Adjustable Mode Program.....	56
Chapter 5 System Installation and Experimental Results	58
5.1 Electroplating Power Installation.....	58
5.2 Hardware Debugging.....	58
5.3 Software Debugging.....	61
5.4 Experimental Analysis	61
5.5 Experimental Data	62
Chapter 6 Summary and Outlook.....	65
6.1 Summary	65
6.2 Outlook.....	65
References.....	67
Acknowledgements	70
Published Paper Introduction	71

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

电镀是一种电化学反应，它是在镀件表面上沉积一层欲镀的金属层的过程^[1]。电镀时，把含有欲镀金属的金属板作为阳极，欲镀的工件作为阴极，电镀液中含有一定量的欲镀金属阳离子。通电后，由于电位差的存在，电解质中的金属阳离子在阴极上获得电子发生还原反应，所以在待镀的工件上获得沉积层。电镀不仅可以改善待镀工件的外观、而且可以提高工件的耐腐蚀性、增加硬度，如果加入不同的添加剂，还可以获得一些具有特殊性能的表面。

目前生产应用中主要有直流电镀与脉冲电镀两种。直流电镀是在含有欲镀金属元素的电解质溶液中，把需要加工的工件作为阴极，并与电镀电源的负极连接；用欲镀金属的金属板做阳极，并用导线与电镀电源正极连接。当电镀电源上电时，在阴极和阳极表面上发生还原-氧化反应化学反应，从而在阴极表面上获得一定的金属层。由于在阴极和阳极周围的离子或分子浓度不断地发生变化，打破了初始的平衡状态，所以在阴极表面上的金属离子浓度较低，金属离子浓度较低层称为扩散层，从而影响了金属离子移动的速度。如果利用电流密度较大的电镀电源，电镀效果改善不明显，而会使阴极表面上的气泡量增加，电镀电源效率下降，降低镀层质量，涌现烧焦、起泡、毛刺和麻点等现象。因此，我们希望能采用新的电镀技术，从而提高电镀产品的质量。高频脉冲电镀由于有有关断时间，在开关管关闭的时刻，金属溶液中的金属离子可以及时补充到阴极表面上，故可以使用较高的电流密度来达到更好的电镀效果。脉冲电镀电源可以设置特定的波形、周期、电流密度及占空比等参数，从而加工出不同特性的覆盖层。

本文通过生产实践和查阅国内外资料，对电镀技术的基本原理进行研究，设计了一款新型的高频脉冲电镀电源。采用 IGBT 高频逆变技术，PWM 脉宽调制技术，在程序控制模块的协调控制作用下，解决可控硅及硅整流电镀电源效率低、体积大的问题；采用双闭环控制系统与峰值电流检测电路，很容易实现恒压、恒

流及电压电流控制功能，满足电镀电源一机多用的需要；利用数字化系统控制，可以实现自动化的控制，并且可以输出多段可调的脉冲方波波形。该系统电流及电压具有良好的输出精度及动态特性，提高电镀工艺质量。

1.2 脉冲电镀电源发展历史

自从 1960 年以来，国际上便对脉冲电镀电源的研究引起重视，1980 年以后，中国也开始研究脉冲电源，从此以后脉冲电源技术得到飞速的发展^[2-3]。

第一阶段：用于实验室研究的小功率脉冲电源。主要峰值电流为几十到几百安的方波脉冲电源，通过不断实验，验证了脉冲电镀电源比直流电镀电源具有更多的优越性。

第二阶段：提高脉冲电镀电源的功率，满足更大功率的要求。并且在贵金属领域逐渐地采用。主要有大电流，小电压等特点，不仅加快了电镀的速度，而且大大提高了电镀效率和电镀制品的质量。

第三阶段：根据新工艺的要求，不断的改进脉冲电镀电源的特性，适应于生产的新要求。

1.3 脉冲电镀电源发展方向

最开始电镀只是作为一种装饰性的手艺而缓慢地发展并逐步被人们所接受。直到 20 世纪初，电镀工艺才逐渐与科学的进展结合。而近年来，由于全球经济的低迷，电源行业在电子系统的应用也遇到了许多问题和挑战。各电源公司为了提高市场竞争力，不断的更新换代，提供更低碳，更节能，更功能化的产品。以下是脉冲电镀电源的发展趋势^[4-5]。

1、集成化

由于集成化越来越普遍，未来大量元器件将集中在一块。从而把元器件间的电应力减小，各元件间的适应能力增强，使整体体积变小，提高效率，系统的稳定性不断地提高。

2、低碳环保

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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库