

学校编码: 10384 分类号__密级__

学号: X2012182015 UDC__

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

一种通用型 USB 防水充电器的研制

The Development of a Universal USB Waterproof Charger

黄东阳

指导教师姓名: 何良宗副教授

专 业 名 称: 机械工程

论文提交日期: 2017 年 1 月

论文答辩时间: 2017 年 1 月

学位授予日期: 2017 年 6 月

答辩委员会主席: __

评阅人: __

2017 年 3 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

随着电子产品的发展和普及,充电器的使用频率越来越高,需求量也越来越大。所以充电器仍然具有较大的市场空间和较广阔的应用前景。但是,充电器的频繁和大量使用,使其工作环境变得更加复杂多样,特别是在有水汽的环境中充电变得更加平常,而这种情况间接地提高了发生危险的可能性。此外,充电器作为一种与能源相关的耗材消费品,其效率的降低和产量的增加,都会给环境造成严重的负担。因此,开发一种通用、节能、经济的防水充电器具有一定的实际意义。本文通过对充电器原理及其结构进行研究,并结合安规要求和工程实际,开发了一种 USB (Universal Serial Bus 通用串行总线) 防水开关电源充电器。开关电源技术是一种通过控制开关晶体管的高频导通和截止,来达到稳定输出的现代电力电子技术,它可以使充电器做得更小、更轻、更高效。USB 充电器是一种采用标准化的 USB 接口作为输出端口的充电器,它能够比较容易地实现与不同终端用电器之间的对接。而采用特定的机械结构设计和制造技术则可以使 USB 充电器达到一定的防水要求。

本文所开发的充电器具有宽输入特性,可以适用不同国家和地区的市电;具有常用输出特性和标准化接口,可以适用大部分常见电子产品;具有较高的零件互换性,可以减少开发面向多个国家充电器的成本;具有特定的结构设计,可以防止溅水或淋水进入内部电路;具有良好的制造工艺性,可以进行大批量实际生产。本文的研究和开发工作,具有较强的实用价值。

本文的主要工作内容包括:阐述了充电器的基本原理和基本结构,结合实际使用和安规需求,制订了产品的主要设计要求;为了实现充电器的基本功能和部分保护作用,进行了电气电路设计,以及解析说明;为了使充电器满足防水和各国安规要求,成为可供实际使用的产品,进行了防水方案选择和机械结构设计,并进行解析说明;为了保证该充电器的设计质量,对其进行了设计失效模式及后果分析,并对改善后的样品进行设计验证。验证结果表明,该充电器符合设计要求,具有安全、环保和可靠等优点,能够在潮湿或溅水环境中正常使用。

关键词: USB 充电器; 开关电源; 防水

ABSTRACT

With the development and popularization of electronic products, chargers are used more and more frequently, and their demands are getting larger and larger too. So chargers are still have a larger market and a wide application prospect. However, it makes the using environment of chargers become more complex and diverse, because of the frequently used. Especially the case that they are used in high humidity environment or a little water environment will become more common, and that could increase the dangers. Moreover, inefficiency and mass production of chargers will exhaust the natural resources of our world, because they are a kind of consumable linked with energy sources. Therefore, it is a certain practical significance, that a universal, energy-efficient, economical charger to be developed. In this paper, a USB(Universal Serial Bus) waterproof SMPS(Switching Mode Power Supply) charger is developed by analyzing the principle and structure of chargers, and combining the safety and engineering practice requirements. SMPS is a modern power electronic technology, which accomplished stabilizing output by controlling the on and off states of the transistor frequently. It makes chargers smaller, lighter, and more efficient. The USB charger adopts USB standard interface, which makes chargers easy to be commonly used. And use some specific mechanical design and manufacturing technology, can make the USB charger reach a certain waterproof requirement.

The charger in this paper has universal input, can apply to different countries and areas. It has frequently-used output characteristics and standard interface, can apply to the most common of electronic products. It has high interchangeability, can significantly lower the cost of developing the charger for many countries. It has specific structure design, can prevent splashing water or dripping water from entering into interior circuit. It has a good processibility, can be mass produced practically. The research and development work has done in this paper have strong practical value.

The main work of this paper include: It describes the basic principle and structure of charger, and on the basis of this, combining the requires of use and safety,

puts forward the primary designing demands; In order to achieve the basic function and some protection, the circuit of charger is designed and explained; To make the charger meet the requirements of waterproof and different national safety, and become a product can be actually used and mass produced, waterproof scheme and mechanical structures are designed and explained; In order to ensure the quality of development, the charger is actually analyzed and improved according to DFMEA, and the design verification are performed to the improved samples. The validated results indicate that this product meet the design requirements, they have the advantages of security, environmental protection and high reliability, and they could be operated normally in damp or water splash environment.

Key Words: USB Charger; SMPS; Waterproof

目 录

第一章 引言	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 发展及趋势	2
1.3 研究目的和主要内容	6
1.3.1 研究目的.....	6
1.3.2 主要内容.....	6
1.4 本章小结	7
第二章 充电器基本原理结构及产品设计要求	8
2.1 充电器的基本原理	8
2.2 充电器的基本结构	9
2.2.1 AC 输入零部件.....	10
2.2.2 绝缘外壳.....	10
2.2.3 连接组件.....	10
2.2.4 成品电路板.....	11
2.2.5 DC 输出零部件.....	11
2.2.6 其它.....	12
2.3 设计要求	12
2.3.1 电气设计要求.....	12
2.3.2 机械设计要求.....	15
2.4 本章小结	16
第三章 USB 防水充电器的电气设计	17
3.1 整体电路设计及概述	17
3.2 初级电路	19
3.2.1 AC 供电电路.....	19

3.2.2 AC/DC 转换电路	20
3.2.3 滤波和浪涌限制电路	20
3.2.4 RCD-R 箝位电路	21
3.2.5 PWM IC 控制电路	21
3.3 高频变压器	22
3.3.1 最大占空比确定	222
3.3.2 初级电感量计算	23
3.3.3 磁芯选择	233
3.3.4 匝数确定	24
3.3.5 气隙计算	244
3.3.6 线圈线径计算	244
3.4 次级电路	26
3.4.1 次级整流电路	26
3.4.2 次级滤波电路	266
3.5 本章小结	27
第四章 USB 防水充电器的机械设计	28
4.1 外观设计	28
4.2 防水方案设计	30
4.2.1 防水要求	30
4.2.2 防水方案分析及设计	31
4.3 零部件设计	34
4.3.1 金属插脚设计	34
4.3.2 外壳设计	36
4.3.3 连接弹片设计	39
4.3.4 PCBA 结构设计	41
4.3.5 防水 USB 组件设计	43
4.3.6 其它设计	44
4.4 产品装配	44
4.4.1 产品爆炸示意图	44

4.4.2 产品装配过程.....	45
4.5 本章小结.....	45
第五章 设计质量管控及验证	错误! 未定义书签。
5.1 该充电器的 DFMEA	错误! 未定义书签。
5.1.1 DFMEA 简介.....	错误! 未定义书签。
5.1.2 电气方面的 DFMEA.....	错误! 未定义书签。
5.1.3 机械方面的 DFMEA.....	错误! 未定义书签。
5.2 测试验证	错误! 未定义书签。
5.2.1 电气特性测试.....	错误! 未定义书签。
5.2.2 传输效率测试.....	错误! 未定义书签。
5.2.3 跌落测试.....	错误! 未定义书签。
5.2.4 USB 接口插拔力测试.....	错误! 未定义书签。
5.2.5 IPX4 防水测试.....	错误! 未定义书签。
5.3 本章小结	错误! 未定义书签。
第六章 总结与展望	错误! 未定义书签。
6.1 总结.....	错误! 未定义书签。
6.2 展望.....	错误! 未定义书签。
致谢	错误! 未定义书签。
参考文献	错误! 未定义书签。
附件	错误! 未定义书签。
附件 1 金属插脚零件图.....	错误! 未定义书签。
附件 2 外壳零件图.....	错误! 未定义书签。
附件 3 连接弹片零件图.....	错误! 未定义书签。
附件 4 PCB 板零件图.....	错误! 未定义书签。
附件 5 防水 USB 组件图.....	错误! 未定义书签。

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	错误！未定义书签。
1.1 The Background and the Significance of the Research	错误！未定义书签。
1.1.1 The Background of the Research	错误！未定义书签。
1.1.2 The Significance of the Research	错误！未定义书签。
1.2 Developments and Trends	错误！未定义书签。
1.3 The Aim and the Main Content of the Research	错误！未定义书签。
1.3.1 The Aim of the Research	错误！未定义书签。
1.3.2 The Main Content of the Research	错误！未定义书签。
1.4 The Summary of This Chapter	错误！未定义书签。
Chapter 2 Principle and Design Requirement	错误！未定义书签。
2.1 The Basic Principle of Chargers	错误！未定义书签。
2.2 The Basic Structure of Chargers	错误！未定义书签。
2.2.1 AC Input Component and Part	错误！未定义书签。
2.2.2 Insulated Housing	错误！未定义书签。
2.2.3 Connection Component	错误！未定义书签。
2.2.4 PCBA	错误！未定义书签。
2.2.5 DC Output Component and Part	错误！未定义书签。
2.2.6 Others	错误！未定义书签。
2.3 The Design Requirements of the charger	错误！未定义书签。
2.3.1 Electrical Design Requirements	错误！未定义书签。
2.3.2 Mechanical Design Requirements	错误！未定义书签。
2.4 The Summary of This Chapter	错误！未定义书签。
Chapter 3 Electrical Design	错误！未定义书签。
3.1 Whole Circuit Design and Overview	错误！未定义书签。
3.2 Primary Circuit	错误！未定义书签。
3.2.1 AC Power Supply Circuit	19

3.2.2 AC to DC Conversion Circuit.....	错误！未定义书签。
3.2.3 Filter and Surge Limit Circuit.....	错误！未定义书签。
3.2.4 RCD-R Snubber.....	错误！未定义书签。
3.2.5 PWM IC Control Circuit.....	错误！未定义书签。1
3.3 High Frequency Transformer	错误！未定义书签。
3.3.1 Determine Maximal Duty Ration.....	错误！未定义书签。2
3.3.2 Calculate Primary Inductance.....	错误！未定义书签。
3.3.3 Select Core.....	错误！未定义书签。3
3.3.4 Determine Turns.....	错误！未定义书签。
3.3.5 Calculate Air Gap.....	错误！未定义书签。4
3.3.6 Calculate the Diameter of Windings.....	错误！未定义书签。4
3.4 Secondary Circuit	错误！未定义书签。
3.4.1 Secondary Rectifier.....	错误！未定义书签。
3.4.2 Secondary Filter.....	错误！未定义书签。6
3.5 The Summary of This Chapter	错误！未定义书签。
Chapter 4 Mechanical Design	错误！未定义书签。
4.1 Industrial Design	错误！未定义书签。
4.2 Scheme for Waterproof Design	错误！未定义书签。
4.2.1 Waterproof Requirement.....	错误！未定义书签。
4.2.2 Scheme for Waterproof Analysis and Design.....	错误！未定义书签。
4.3 Component and Part Design	错误！未定义书签。
4.3.1 Plug Pin Design.....	错误！未定义书签。
4.3.2 Housing Design.....	错误！未定义书签。
4.3.3 Spring Design.....	错误！未定义书签。
4.3.4 PCBA Entity Design.....	错误！未定义书签。
4.3.5 USB Waterproof Component Design.....	错误！未定义书签。
4.3.6 Others Design.....	错误！未定义书签。
4.4 Product Assembly	错误！未定义书签。
4.4.1 Explode Diagram.....	错误！未定义书签。

4.4.2 Assembly Process.....	错误！未定义书签。
4.5 The Summary of This Chapter	错误！未定义书签。
Chapter 5 Design Quality Control and Verification.....	错误！未定义书签。
5.1 DFMEA to the Charger	错误！未定义书签。
5.1.1 DFMEA Introduction.....	错误！未定义书签。
5.1.2 The DFMEA on Electrical	错误！未定义书签。
5.1.3 The DFMEA on Mechanical.....	错误！未定义书签。
5.2 Test Validation	错误！未定义书签。
5.2.1 Electrical Characteristic Test	错误！未定义书签。
5.2.2 Efficiency Test	错误！未定义书签。
5.2.3 Drop Test.....	10
5.2.4 USB Insertion and Pull Out Force Test.....	错误！未定义书签。
5.2.5 IPX4 Waterproof Test	错误！未定义书签。
5.3 The Summary of This Chapter	错误！未定义书签。
Chapter 6 Summary and Prospect.....	错误！未定义书签。
6.1 Summary.....	错误！未定义书签。
6.2 Prospect.....	错误！未定义书签。
Acknowledgement.....	错误！未定义书签。
Reference.....	错误！未定义书签。
Appendix.....	错误！未定义书签。
Appendix 1 The Drawings of Plug Pin Parts.....	错误！未定义书签。
Appendix 2 The Drawings of Housing Parts	错误！未定义书签。
Appendix 3 The Drawings of Spring Parts.....	错误！未定义书签。
Appendix 4 The Drawings of PCB Parts	错误！未定义书签。
Appendix 5 The Drawing of USB Waterproof Component.....	错误！未定义书签。

第一章 引言

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

随着科技和社会的进步，人们越来越离不开电子设备和电子电器，尤其是 3C 产品（Computer 计算机、Communication 通信、Consumer Electronics 消费类电子产品）更是在人们的日常工作生活中随处可见^[1]，如笔记本电脑、手机和电动剃须刀等等，这些产品给人们带来了丰富的娱乐和极大的便利。而在信息化的大时代背景下，物联网和大数据等新兴思维正悄然改变着人们的生活方式，促使 3C 产品朝着便携式小型化、智能化和多样化的方向发展，典型如平板电脑、智能手机和穿戴式智能设备。这使得人们更加依赖于 3C 产品。从近几年的发展趋势来看，这些产品在将来的某一天或许会被形象地比喻成人体器官的延伸。但是在此之前，它们都面临着一个共同的瓶颈，那就是电能的供应。采用电池和电池充电技术是目前解决 3C 产品供电问题，并实现其便携式小型化的主要方法。随着 3C 产品使用频率的增加，功能体验的增强，其耗电量也随之大幅增长，在电池技术未得到充分发展之前，充电器的频繁使用也就不可避免。

充电器拥有大量的市场需求和广阔的应用空间。据统计，目前全球充电器的年产量数以亿计^[2]，其中绝大部分在中国生产制造。如此巨大数量的耗材消费品，不仅增加了产品的整体使用成本，而且消耗了大量的资源，制造了大量的电子废弃物，从而严重影响了电子信息产业和生态环境的发展。标准化和互换性是改善这种状况的有效途径之一，因此，早在 2006 年我国原信息产业部就发布了《移动通信手持机充电器及接口技术要求和测试方法》，该标准将手机充电器接口统一为 A 型 USB 母口，用以提高与不同充电线缆和不同终端用电产品共用的可能性，进而降低充电器的消费量^[3]。随着人们环保意识的提高，其它一些电子产品也开始借鉴这种方式，如有些电动剃须刀和电动牙刷等消费类产品也使用了 USB 充电器。然而，USB 接口的存在却降低了使用的可靠性，一方面多次地插拔容易损坏接口；另一方面使异物（如水汽）更容易进入充电器内部。在充电器的

广泛使用中，后者的严重性不言而喻。因此，USB 充电器的外壳防护设计，对于扩大产品的使用环境范围，提高产品的使用可靠性、安全和寿命，具有重要的实际意义。当然，降低充电器能耗，提升电能转换效率，对于减少环境污染和促进产业发展有更直观的效果。

在全球化高速发展的今天，任何一款产品的开发，面向的市场都极有可能是全世界。出于保证安全和质量等各种原因，每个国家或地区都有不同的安规要求，并且大部分带有强制性，比如中国的 CCC、日本的 PSE、欧盟的 CE 等等。作为 3C 产品的主要供电电源转换、能量传递和电池充电装置，充电器直接与电网电源相连。其潜在的安全隐患包括电磁干扰、机械伤害、化学危险、高温灼伤、电击及着火等直接关系到消费者及公众的人身和财产安全的危害^[4]。因此，充电器受到各国安规的严格要求和限制，各国安规也主要体现于充电器之上。通常情况下，同一款 3C 终端用电产品须配备满足不同销售地相关安规认证的充电器，才能进入该地区销售。所以，知名厂商和具有全球战略的新产品开发，一般也都伴随着面向多个国家的充电器开发。

1.1.2 研究意义

本文通过查阅国内外与充电器相关的科技信息、技术文献、安规标准和法律法规，结合工程实际，综合考虑产品性能、生产工艺和成本，并采用可靠性设计方法，开发了一系列面向多个国家的 USB 防水充电器。本文所开发的充电器是一系列独立完整的产品，而且可以依靠现阶段的生产力和工艺技术进行实际大批量生产。其研究工作对于充电器及类似电子产品的设计优化、成本降低和技术管理具有一定的实用价值，可为带接口电子产品的防水设计提供一定的指导意义，同时，对大众认识常用充电器及了解产品开发设计起到一定的科普作用。

1.2 发展及趋势

常见的 3C 产品充电器主要是随着电池在小型便携式电子设备和电子电器上的应用而产生的，实质上是由所需电气特性的稳定电源（一般为稳压电源）和相应的控制电路构成，因此充电器可以理解为带有充电控制电路的外部电源适配器。它由两大部分组成，一部分是为实现变压和充电等基本功能的电气部分，主要涉及电源和自动控制技术；另一部分是为实现防护和感观等辅助功能的机械部

分，其主要涉及机构、材料和制造工艺。

早期的传统电源主要由低频变压器（工频变压器）和电压调整管组成，调整管通常工作在线性状态下，因此也称为线性稳压电源，如图 1.1 所示。线性电源技术成熟，具有反应速度快、性能稳定、工作噪声低和输出纹波少等优点。但是由于低频变压器和调整管在工作中都要消耗较多能量，并且使用了大量的漆包线和硅钢片，所以它有转换效率低、发热量多和体积重量大等缺点^[5]。而这些缺点与电子产品高效节能、轻薄短小的发展方向相悖，为了解决这些缺点，人们设计开发出了开关稳压电源^[6]。



图 1.1 线性稳压电源

20 世纪 50 年代，美国人 GH. Roger 和 Jen Sen 分别先后发明了自激振荡推挽晶体管单变压器直流交换器和自激式推挽双变压器，前者的发明标志了高频转换控制电路实现的开端。接着美国科学家又提出取消工频电压器的开关电源设想，这让人们看到了大量减小电源体积和重量的可能性。到了 20 世纪 60 年代末，随着半导体器件的改进和完善，出现了 25KHz 的高频开关电源。从 20 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代末，软开关技术、同步整流技术和高频化的持续研发，使得开关电源性能更趋稳定、效率更高、重量体积更小。进入 21 世纪，随着半导体器件的进一步发展，新型电子元器件的出现，以及封装工艺的日渐成熟，开关电源正沿着集成化和智能化的方向发展。^[7-9]

我国开关电源技术起步较晚，主要源于上世纪 70 年末的一些高校和科研机构的教学和试验引进。直到 80 年代中期，才逐步推广应用。90 年代，随着中国制造业的迅速崛起，开关电源开始在国内大量生产。到目前为止，我国制造的开

开关电源占据了全球市场的 80%以上，但是也都只局限于中低端市场^[7]。我国是一个能源紧缺的国家，开关电源能有效改善能耗问题，因此开关电源在我国具有广阔的发展空间。

开关电源主要由高频变压器、开关管和控制 IC (Integrated Circuit 集成电路) 组成，是利用现代电力电子技术，控制开关管导通与截止来调整输出电压，以达到稳定输出的电源。因开关管在开、关两种状态下工作，故名开关电源，如图 1.2 所示。它的最大优点是效率高、耗能低和体积重量小。而由于高频开关的存在，使得引入的纹波较多、噪音较大，对电网电路和其它电气设备影响较大。但这些影响是可控的，通过一定的措施，可以将干扰尽量降低到合理的范围之内。上世纪 80 年代，计算机率先完成了开关电源化的电源换代；90 年代，开关电源已逐步应用于国防、家电和通讯等领域，其中以 3C 产品的电源适配器最为常见。所以开关电源仍是目前应用最为广泛的电源，也是未来电源的发展趋势之一^[10]。

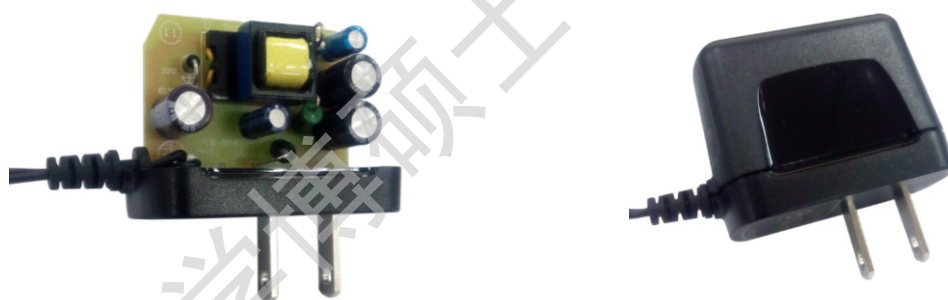


图 1.2 开关稳压电源

机械技术发展到今天，其在充电器上的应用已经非常成熟。工程材料的改良，塑胶成型、模具设计制造和五金加工技术的发展，以及联接方式和紧固机构的创新，使得充电器成本更加低廉，安全可靠性能更高。对于充电器机械部分，其主要功能是实现防护作用，连接各零部件，获得使用感观，和满足不同国家安规要求。其中最主要是防护作用的实现，防护作用又包括防电击、防燃、防尘和防水等等。一直以来，人们主要关注于防范触电和燃烧等较为直观的危害，所以在这些方面的设计和应用，不管是从结构上还是从材料上，都有比较多的成功案例和实用经验。随着充电器的广泛应用，充电器在有水的环境中放置或使用的情况越来越多，潜在的安全隐患也不断加剧，比如，人们会在浴室中使用充电器给电

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