

Study and Design of a Low Power Wireless Power Transfer System

Jian He, Xiaoqing Ou, Yu Wang, Wei Peng, Minsheng Yang*

School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Arts and Sciences, Changde Hunan
Email: yms1234@163.com

Received: Nov. 26th, 2018; accepted: Dec. 10th, 2018; published: Dec. 17th, 2018

Abstract

A wireless power charging system is proposed in this paper. Based on the theory of electromagnetism induction, the power transfers from source coil to load coil without metallic contact. The designed system includes the following components: Voltage transformation, rectifier filter, voltage stabilization, PWM, transmission and reception. The designed device could be moved without limit and the design of the circuit is relatively simple and very easy to achieve. As the experimental results show, with an air gap of centimeter level, the transfer efficiency is up to 70%.

Keywords

Wireless Charging, Electromagnetic Induction, Transmission Efficiency

一种简易型小功率无线电能传输系统的研究与设计

何建, 欧晓晴, 王宇, 彭伟, 杨民生*

湖南文理学院电气与信息工程学院, 湖南 常德
Email: yms1234@163.com

收稿日期: 2018年11月26日; 录用日期: 2018年12月10日; 发布日期: 2018年12月17日

摘要

本文设计了一种基于电磁感应原理的无线充电系统, 电磁感应耦合充电可以实现电能从电能发射侧到电能接收侧的无线传输。基于这种方式的无线电能传输系统主要有六个部分, 包括变压、整流滤波、稳压、

*通讯作者。

PWM、发射和接收。本设计收发线圈可以随意移动，并且设计的电路比较简单，也很容易实现，这种设计比较适用于一些对于距离传输不是要求很高的地方。通过测试，能够在几厘米的范围内进行电能传输并获得比较稳定的电压，传输效率高达70%，具有很好的实用价值。

关键词

无线充电，电磁感应，传输效率

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科学技术的不断进步，手机、MP3、平板电脑、笔记本、穿戴手表等大量的小功率电子产品走进我们的生活。这些电子产品基本都是通过连接电源线来获取电能，然而电源线在很长一段时间内频繁的插入[1]，极易损坏，长期以往非常的不安全，而且充电标准不同的电子产品需要不同接口的电源线，在易燃、易爆、高温、潮湿的环境下还容易发生安全事故。在有线充电过程中繁杂的电线不仅影响了设备的灵活性，整体环境也比较难看。对此，国内外专家学者做了大量的研究实验。2006年7月麻省理工大学团队利用电磁共振器和电源隔空点亮了一盏2 m开外的60 W的电灯泡[2]。2009年，日本昭和飞机工业公司在AT international 会展上展出了基于电磁感应原理无线传输电力的非接触式电源供应系统。通过国内外的研究我们对于小功率系统也萌生了用无线充电来代替有线充电的想法。同时，本设计致力于采用简单的结构搭建整个系统、减小了体积、降低制造成本、在一定程度上提升了效率。

2. 基本原理

图1所示为无线电能传输系统的等效电路图，图中 R_1 是一次侧发射线圈的寄生电阻， R_2 是二次侧能量接收线圈的寄生电阻， R_s 是电源内阻， R_L 是负载等效电阻， L_1 是发射线圈自感， L_2 是接收线圈自感， C_{Tx} 表示一次侧谐振电容器，其电容大小为 C_1 ， C_{Rx} 表示接收侧谐振电容器，其电容大小为 C_2 ， M 是发射线圈和接收线圈之间互感， I_1 是系统向能量发射线圈的输入电流， I_2 是能量接收线圈向系统负载的输出电流。

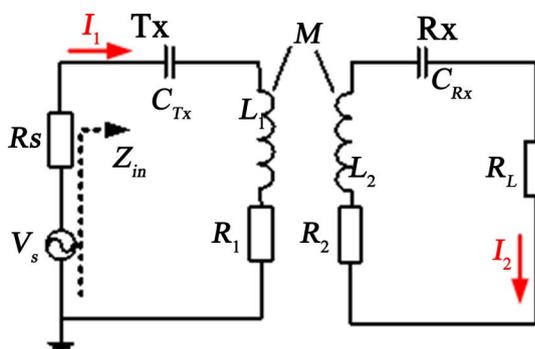


Figure 1. Equivalent circuit diagram of wireless power transmission

图1. 无线电能传输的等效电路图

3. 硬件设计

根据理论分析，系统的总体结构框架如图 2 所示。

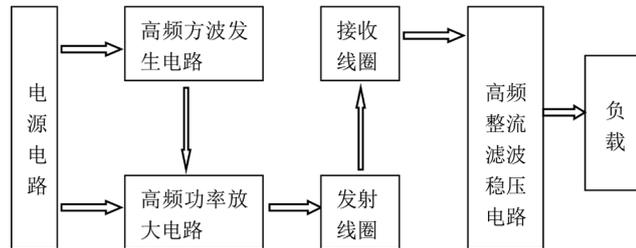


Figure 2. Overall design block diagram
图 2. 整体设计框图

通过查阅相关资料及了解各芯片的性能指标和相关技术参数，综合比较，决定使用 STM32 单片机输出 PWM 信号驱动高速 MOS 管，电源、MOS 管和 LC 线圈组成谐振变换电路，高速 MOS 管工作于开关状态，产生的交流电通过谐振变换电路转换为高频交流信号后驱动初级发送线圈，使发送线圈在周围一定距离的空间范围内产生交变的电磁场。当次级接收线圈位于这个电磁场中，发送线圈的磁通量高频变化在接收线圈中产生一定幅值的高频感应电动势[3]。通过全波整流滤波后为了减小输入充电模块的电压的波动，采用 12 V 的稳压电路进行稳压。因此，最终确定了小功率无线充电系统的研究与设计，硬件电路模块可分为电源电路模块、单片机最小系统、功率放大电路模块、发射线圈、接收线圈、接收电路模块、充电模块等。

3.1. STM32 最小应用系统

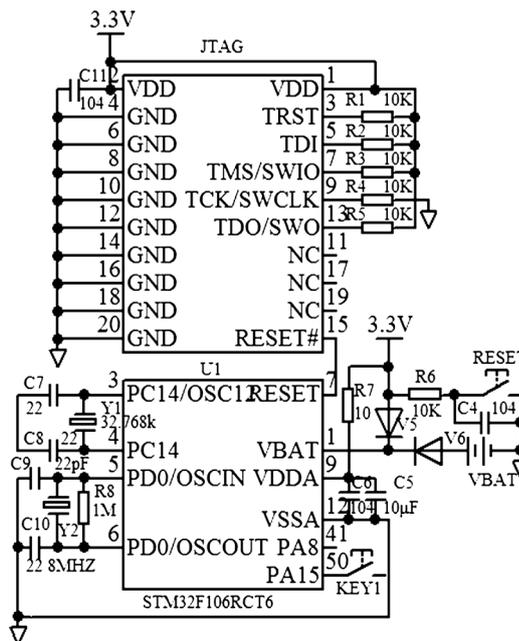


Figure 3. Design of minimum system of single chip microcomputer
图 3. 单片机最小系统的设计

此系统以 STM32F103RCT6 为主控芯片。通过软硬件设计，可达到智能化的控制，此控制器的内部

存储的字节数为 256 K，它还具有 1 个 SDIO 接口及 51 个通用 I/O 口、30 路 PWM 波的输出、3 路 12 位模数转换、1 路 12 位数模转换。这款单片机抗干扰能力强，抗静电能力强，成本非常低，功耗小，性价比相对比较高。本设计的单片机最小系统图如图 3 所示，根据程序设计方案，STM32 单片机的 PA8 口在该系统中是输出高频的方波。程序刚进入时，PA8 口便发射 100 KHz 的高频方波，在 PA15 口接一个按键，按键每按下一次频率递增 20 KHz。此最小系统和按键一起构成一个最为简单的人机接口，能够实现发射高频方波的功能。

3.2. 电源电路的设计

由于系统采用 12 V 直流供电，因此需要将市电进行转换。要把 220 V 的交流电转换为 12 V 直流电，本设计采用对市电进行变压、整流、滤波、稳压等操作。如图 4 所示电源输入电压为 220 V 频率为 50 Hz 的交流电，利用 220:12 的变压器将 220 V 交流电转换为 12 V 交流电[4]，利用桥式整流对输出的 12 V 的交流电整流。电容滤波电路是利用电容的充放电原理达到滤波的作用，整流输出的电压再在电容 C1 的作用下使电压变得更加平滑。采用 3 端正稳压电路 7812，7812 系列集成稳压器的典型应用电路是一个输出正 12V 直流电压的稳压电源电路，IC 采用集成稳压器 LM7812，C2 为输出端滤波电容，此时因输出电压较大，7812 应配上散热板。

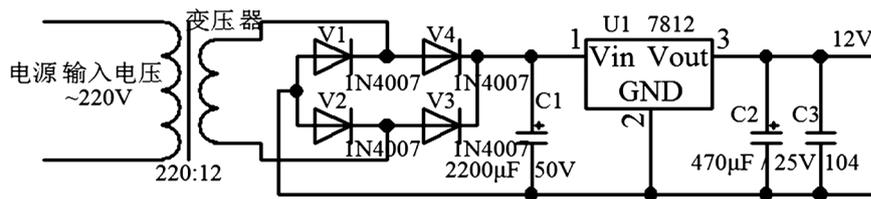


Figure 4. Power circuit
图 4. 电源电路

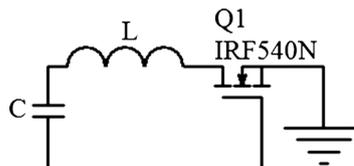


Figure 5. Transmitting circuit
图 5. 发射电路

3.3. 发射电路的设计

发射电路由 MOS 管 IRF540N 和串联谐振电路组成。如图 5 所示。IRF540 在 52℃ 下的开启上沿时间和关闭下沿时间分别 39 ns 和 24 ns，经过换算能承受的最大开关频率的典型值是 15.8 MHz [5]。串联谐振电路由两个 CBB 电容并联再与线圈串联而成，这样可以将谐振点调整到谐振频率，能起到滤除谐波的作用[6]。

3.4. 接收电路的设计

接收电路就是简单的整流滤波稳压电路，它只需将接收线圈感应到的能量进行转换。因为充电时需要直流电，所以只需在后级加上整流滤波电路即可[7]。如图 6 所示，线圈入口有一个串联的 CBB 电容构成 LC 振荡电路，在高频电路当中滤除交流波需要用无极性 CBB 电容，经过滤波的高频交流电通过由四只整流二极管组成的桥式整流输出单向脉动性直流电[8]，再在电解电容的作用下进行滤波，滤波电容降

低了交流脉动波纹系数，直流输出更加高效平滑，输出的直流电再在 12 V 稳压二极管 1N4742N 的作用下输出稳定的 12 V 电压。

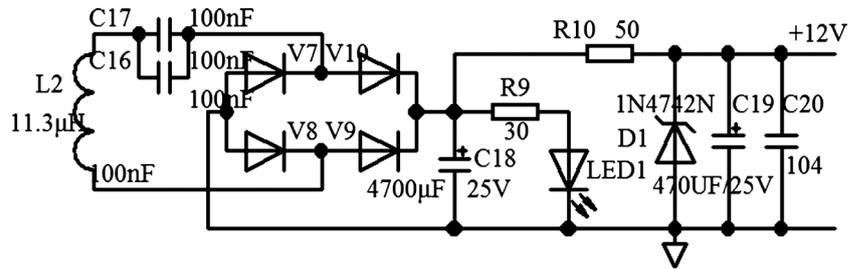


Figure 6. Receiving circuit
图 6. 接收电路

3.5. 充电电路的设计

此电路模块为降压型 DC-DC 电源电路，如图 7 所示，本模块采用降压芯片 MP4560，最高输入电压为 55 V，固定输出，最大输出电流为 2 A，此设计输出电压为 5 V，以给手机等 5 V 电子充电设备充电而设计，设计工作频率高达 500 KHZ。一般手机等电子产品的充电电流都不会超过 2 A，输入电流的大小由负载而定。

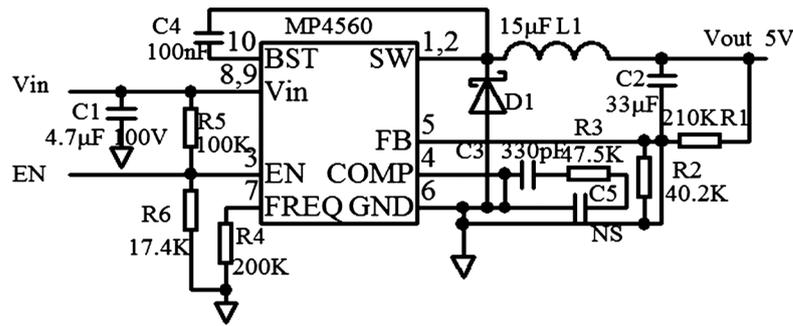


Figure 7. Charging circuit
图 7. 充电电路

4. 软件设计

在软件设计方面，本系统以 STM32F103RCT6 单片机作为核心控制器，先查阅收集到的各相关模块的技术手册，了解硬件部分的基本功能及相关的性能指标，然后利用 Keil uvision5 编译软件来设计系统整体的 C 语言程序。

4.1. 接口定义

在硬件设计的基础上，对主控制器的引脚对应的功能进行列表说明，接口定义如表 1 所示。

Table 1. Interface definition
表 1. 接口定义

序号	引脚号	引脚名称	I/O 配置	功能	备注
1	41	PA8	PA	输出高频方波	输出
2	50	PA15	PA	控制方波频率	输入

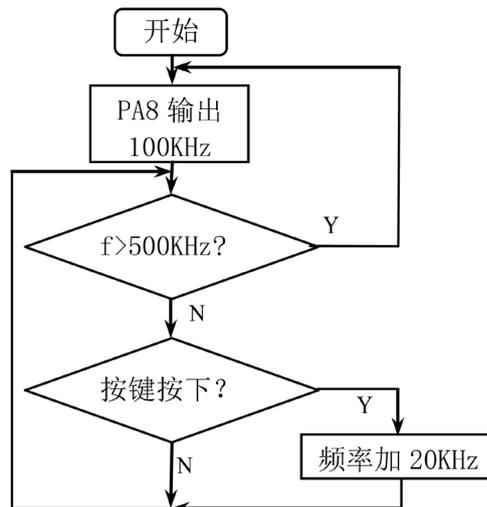


Figure 8. Program flow chart
图 8. 程序流程图

4.2. 程序流程图

在整个设计中，单片机主要作用是发射高频方波，只需要连接两个 IO 接口，一个输出高频方波，另一个接一个按键，由此组成了一个简单的人机接口。单片机主要实现一路 IO 口输出高达 100 KHz 以上的方波，此时 STM32F103RCT6 及周边电路构成方波发生电路。程序流程图如图 8 所示，STM32 单片机的 PA8 口在该系统中是输出高频方波，程序一开始便在 PA8 口发射 100 KHz 的方波，在 PA15 口接一个按键，按键每按下一次频率递增 20 KHz，当频率大于 500 KHz 时，频率自动回到开始位置，也就是 100 KHz。

5. 实物制作及实验现象

整个实物的制作包括电源电路模块、单片机最小系统、功率放大电路模块、发射线圈、接收线圈、接收电路模块、充电模块等。其中部分电路需要使用电烙铁进行焊接，收发线圈需要在理论计算的基础上截取一定的长度，并且要考虑线圈绕制的形状及半径大小，绕制完之后还要测量其电感量的大小。

5.1. 检测高频方波

检测 STM32 发射的高频方波。将程序通过 FlyMcu 下载进单片机，运行程序。实验采用的是 Gwinstek 的 GDS-1102A-U 双通道 100 M 示波器，将双通道示波器的一个探针接在检测输出的引脚上，记录波形频率、幅值、平均值、占空比等测试数据。

5.2. 实验现象

最初本系统的实物测试负载用的是一个 5 W 的节能灯。在距离 1~2 cm 的情况下输出电压大概在 20 V，输出电流大概在 300 mA。如图 9 所示，系统能够点亮一个 5 W 的节能灯，而且亮度还比较大。在接充电模块的基础上，测试给一款三星品牌的手机充电，如图 10 所示，两线圈相距 3 厘米左右可以给手机充电。由上面两个实验可见本设计可以实现最基本的无线电能传输功能，也能实现给智能手机无线充电的功能。

5.3. 实验数据

当发射线圈与接收线圈之间的距离发生变化时，接收线圈穿过的磁场密度也将变化，所感应出的感应电动势的大小也会随之改变。以距离步进 1 cm 的距离为单位，如表 2 所示，测得不同的输出电压、输

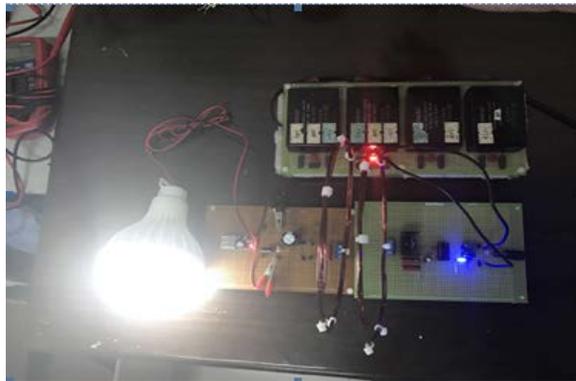


Figure 9. Lights 5W energy-saving lamps from a distance
图 9. 隔空点亮 5 W 节能灯

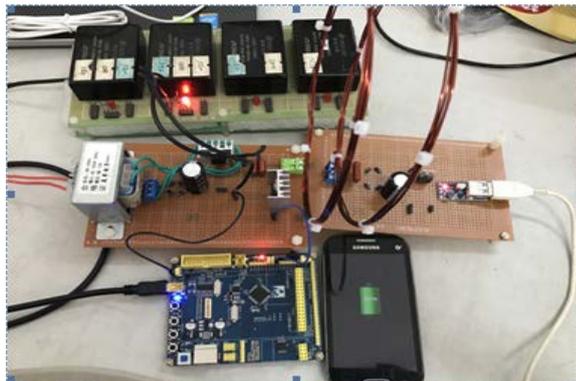


Figure 10. Wireless charging of mobile phones
图 10. 给手机无线充电

出电流的大小，且计算出输出功率。很明显，随着距离的逐渐增加，输出功率会在很大程度上的减小。系统的输入功率 P_{IN} 和输出功率 P_{OUT} 分别为：

$$P_{in} = U_{in} I_{in}$$

$$P_{out} = U_{out} I_{out}$$

则系统传输效率 η ：

$$\eta = \frac{U_{out} I_{out}}{U_{in} I_{in}} \times 100\%$$

Table 2. Different distance measurement data
表 2. 不同距离测量数据

线圈距离(cm)	输入功率 P(W)	输出电压(V)	输出电流(mA)	输出功率 P(W)	效率 η
0	9.96	23.5	299	7.05	70.7%
1	9.96	22.7	243	5.51	55.4%
2	9.96	22.4	201	4.48	44.5%
3	9.96	22.1	110	2.43	24.4%
4	9.96	19.5	90	1.75	17.6%
5	9.96	12.75	64	0.816	8.2%

6. 总结

本文以实现中短距离的无线电能传输为目标,对无线充电系统的基本原理进行深度的分析。设计采用电磁感应式无线电能传输技术,通过深入的理论研究和大量的实验,以实现距离、效率、功率等各项指标最大化为设计目的,在研究其基本原理的基础上,并设计出了一个简易的无线电能传输系统。并且分别对发射端中各个模块具体的功能以及它的设计原理做了详细的阐述。也对接收电路中整流、滤波和稳压也做了详细的说明,通过实验测试对相关功能进行了验证。

项目基金

国家级大学生研究性学习计划支持项目。

参考文献

- [1] 杨国明. 电磁谐振耦合无线电能传输技术的研究[D]. 沈阳工业大学, 2013.
- [2] 鲁川. 共振型无线电力传输装置成功点亮 2.1 m 外的 60W 灯泡[J]. 华东电力, 2007(6): 97-97.
- [3] 胡新福. 基于电磁感应方式的锂离子电池无线充电器的设计与实现[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2014, 28(1): 61-65.
- [4] 汪都. 高频小功率无线充电技术研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2016.
- [5] 王红亮, 张天文, 符多铎, 张世界. 无线充电系统的设计与实现[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(11): 183-186.
- [6] 施建喆. 电磁感应与无线充电[J]. 科技风, 2016(21): 125.
- [7] 潘力. 一种无线电能传输系统的设计[J]. 大众科技, 2013(3): 84-86.
- [8] 付文莉. 直流稳压电源整流电路工作原理浅述[J]. 科技创新与应用, 2013(13): 147-148.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2327-0853, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ojs@hanspub.org