

一种无线充电小车的设计与实现

张 伟, 刘兆栋*

临沂大学, 自动化与电气工程学院, 山东 临沂

收稿日期: 2022年10月16日; 录用日期: 2022年11月16日; 发布日期: 2022年11月28日

摘 要

本文依据当前无线充电技术, 设计了一辆无线充电装置的电动小车, 文章分析了无线充电的原理以及无线充电方式的论证, 完成了电路参数的计算和电路的设计。该车采用5 V直流稳压电源供电, 充电电流不大于1 A, 该车由超级电容储能, 使用TPS63020完成DC-DC变换, 提供小车的供电, 能够实现小车充电后水平跑以及爬坡的功能。

关键词

无线充电, DC-DC变换, 整流, 电磁感应

Design and Implementation of a Wireless Charging Car

Wei Zhang, Zhaodong Liu*

Automation and Electrical Engineering Institute of Linyi University, Linyi Shandong

Received: Oct. 16th, 2022; accepted: Nov. 16th, 2022; published: Nov. 28th, 2022

Abstract

According to the current wireless charging technology, this paper designs a wireless charging device with a wireless charging device. This paper analyzes the principle of wireless charging and the demonstration of wireless charging mode, completes the calculation of circuit parameters and circuit design. The car is powered by a 5 V DC regulated power supply. The charging current is no more than 1 A. The car is stored by a super capacitor and uses the TPS63020 to complete the DC-DC conversion. The power supply of the trolley is provided, and the function of horizontal run-

*通讯作者。

ning and climbing of the car after charging can be realized.

Keywords

Wireless Charging, DC-DC Conversion, Rectification, Electromagnetic Induction

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

1890年, 物理学家兼电气工程师尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla)就已经做了无线输电试验, 2007年6月7日, 麻省理工学院的研究团队在美国《科学》杂志的网站上发表了研究成果。研究小组把共振运用到电磁波的传输上而成功“抓住”了电磁波, 这项被他们称为“无线电力”的技术经过多次试验, 已经能成功为一个两米外的60瓦灯泡供电。这项技术的最远输电距离还只能达到2.7米。

无线充电由于其功率较低、效率较差, 而且伴随无线充电的辐射安全性无法论证, 所以一直没有引起足够的重视。随着技术的发展, 人们对无线充电的种种担心已经逐步解决。无线充电的最大优势是可以摆脱物理连接的限制, 在水下设备、心脏起搏器、航天应用等场合更适用。

随着电动汽车产业的不断发展, 电动汽车的无线充电方式也收到更多的重视, 当前电动汽车的无线充电技术主要有两种, 即静态充电和动态充电。

静态充电指电动汽车在充电过程中处于静止状态, 这一充电方式源于电磁感应充电对线圈相对位置的严格要求且只能进行一对一充电, 充电过程中的电能传输效率高, 传输范围大。动态充电技术能够使电动汽车在行驶途中实时充电, 也称动态无线充电技术, 该技术基于无线充电技术演变而来, 结合了定位传感、无线通信和实时控制等多项技术[1]。

2. 无线充电的方式及无线电能的接收

2.1. 无线充电的方式

无线充电技术即无线电能的传输, 利用电磁场和电磁波进行能量传递, 在发送端和接收端应用相应的设备来发送和接收产生感应的交流信号来进行充电的一种技术。其主要方式有电磁感应式、无线电波式、磁耦合谐振式以电场耦合四种方式。

2.2. 无线电能的接收

无线电能的接收是利用线圈和电容的串联谐振, 可以有效提高接收电路输出功率。如果电容与接收线圈不匹配, 就会造成输出功率的急剧下降。为了制作合理的接收电路, 首先需要配置接收线圈和串联谐振电容。对于制作的线圈的电感量, 可以使用公式方法进行计算, 也可以使用LCR表进行测量。得到接收线圈电感量之后, 便可以根据LC谐振公式计算出对应的串联电容的数值。

将接收到的高频电压转换成直流电压可以使用倍压整流, 或者全波整流方式, 不使用半波整流方式。整流所使用的二极管一般使用大电流的肖特基二极管。使用倍压整流, 可以在同样的接收线圈下获得更高的电压。

3. 系统的方案论证

3.1. 无线充电装置模块的方案论证与选择

方案一：用可在供电线圈和受电线圈之间提供电力的电磁感应方式。即将一个受电线圈装置安装在汽车的底盘上，将另一个供电线圈装置安装在地面，当电动汽车驶到供电线圈装置上，受电线圈即可接受到供电线圈的电流，从而对电池进行充电。距离非常小，但是充电效率高。

方案二：用可在供电线圈和受电线圈之间提供电力的电磁耦合方式，两个线圈距离需要非常地近，充电时具有一定的自由度，可以做的很薄，易于嵌入。但是送电模块和受电模块的电源电路仍然会产生一定的热量，一般会导致内部温度提升 $10^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 左右，但电路系统可以被配置在较远的位置上。

方案三：使用电磁共振技术，通过相同的 LC 谐振器进行转移，发射端以一定频率向振动，发散出电磁场，接受以同样的频率振动。使能量进行转移。完成无线电充电功能[2]。

对比三个方案，方案二，方案三难度非常高，成本要求也很高，而三个方案同时都可以满足小车无线充电的效果，并且，方案一比较简单且可行，因此使用方案一。

3.2. DC-DC 变换模块方案的论证与选择

方案一：给小车无线充电一段时间后，大概可以充到 3.5 V，TPS63070 要求输入电压 2.0 V 到 16.0 V ($V_{\text{IN}} = 2.0\text{ V}$ 到 16.0 V)，可以输出 2.5 V 到 9 V，使用 TPS63070 进行 DC-DC 变换，输出电压变成了 5 V。

方案二：给小车无线充电一段时间后，大概可以充到 3.5 V，TPS63020 要求输入 1.8 V 到 5.5 V ($V_{\text{IN}} = 1.8$ 到 5.5)，输出电压 1.2 V 到 5.5 V。使用 TPS63020 进行 DC-DC 变换，输出电压变成了 5 V。

方案三：使用继电器实现 DC-DC 变换，要求输入电压是 5 V，触发开关，实现 DC-DC 变换，但是在使用继电器的过程中会消耗功率，也会使温度上升[3]。

对比前两个方案，两个方案都满足输出电压范围，并且输出范围的要求也满足，但是方提高效率，低输出功率，小车运行更加优秀。而方案三，虽然能控制大电流负载，但是小车是小电流负载，并且使用继电器会消耗特别多，对小车运行有较大的影响，所以选择方案二。

4. 理论分析与计算

4.1. 线圈品质因数的计算

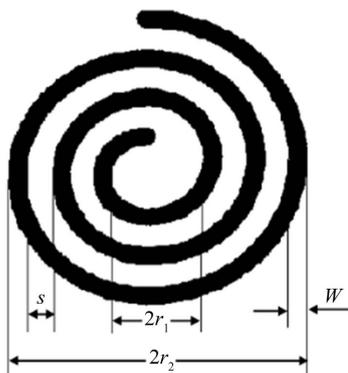


Figure 1. Schematic diagram of circular spiral inductor coil

图 1. 圆形螺旋电感线圈示意图

印制板无芯螺旋线圈的绕线形状为圆形的，圆形具有较高的品质因数，采用 PCB 线路板结构，上下

两层分别为变压器的初, 次级绕组, 每层都布上圆形螺旋线, 实现电磁耦合。如图 1 所示圆形螺旋电感线圈示意图。

印制板无芯螺旋电感线圈品质因数 Q 值为: $Q = 2\pi f \frac{L}{R}$ 。

4.2. 电容电感可以储存的能量

我们选用的是 3 个 60 uF, 耐压值 2.7 V 的电容串联而成的超级电容, 电容的容量也是一个重要的参数。则在本实验中, 两个电容串联得到的电容值为 30, 三个电容串联得到的电容值为 20, 耐压值为 8.1 V。

电容存储的电势能的公式为: $E = \frac{1}{2} C * U^2$ (或者 $E = \frac{QU}{2}$)。充电进去的电压随时间的变化为:

$V_t = V_0 + (V_u - V_0) * [1 - \exp(-t/RC)]$ (V_0 为起始电压, V_t 为 t 时刻的电压)。则经分析完全充满, V_t 等于 E , 时间为无穷大[4];

当 $t = RC$ 时, 电容电压 = $0.63E$;

当 $t = 2RC$ 时, 电容电压 = $0.86E$;

当 $t = 3RC$ 时, 电容电压 = $0.95E$;

当 $t = 4RC$ 时, 电容电压 = $0.98E$;

当 $t = 5RC$ 时, 电容电压 = $0.99E$ 。

所以一段时间能冲的电压与 RC 的关系比较大, 因此 RC 的值比较小就能在一时间获得更高的电压。 R 为充电电池等别的电阻, 所以只要减小 C 就可以了。因为要输入高于 1.8 V, 所以决定使用 3 个电容串联[4]。

4.3. 稳压之后, 小车运行需要的能量

$W = FS$ (W 表示小车在外合力为 F 的作用下行使 S 距离后所需要的能量)。能量守恒定律, 小车在地上行使所需的能力全部有马达提供的动力, 其中一部分因为摩擦力损耗。经过 DC-DC 变换之后能量为 $E_1 = U_1$, 假设小车输出电流为 1 A, 则 $E_1 = 5W$ 。

要跑过大于 1 m 的距离用普通的马达是可以跑过的, 因此只要取恰当的摩擦因数的轮胎, 设计合适的小车质量, 就能顺利的实现小车运行, 超过 1 m 和爬坡的过程。

5. 电路设计

5.1. 无线电充电装置电路设计

无线电充电装置的制作是重要组成部分, 无线电发射端和接收端是由两个不同匝数的线圈组成的, 发射端线圈连接有线电源, 电流通过线圈产生电磁信号, 接收端线圈感应发射端的电磁信号从而产生电流为电池充电[5], 图 2 表示的是电磁感应式的无线充电装置。

5.2. DC-DC 变换 TPS63020 模块电路

无线接收端正电极接 TPS63020 的 VIN 极, 负电极接 TPS63020 的 GND, 电机一端接 TPS63020 的 VOUT 端, 一端接 TPS63020 的 GND 端。图 3 是 TPS63020 的电路连接图。

6. 系统的测试

6.1. 测量 1 分钟充电得到的电压值

通过实验得到: 经过多次测量实验得到, 两个耐压值为 2.7 V, C 为 60 uF 电容串联起来测到的电压

为 2.7 V, 而三个与上面同样规格的电容测得到的电压值为 3.8 V, 两个电压都能地面平面跑超过一米, 但是爬坡高度, 三个串联得到的电容排更为优秀, 所以在选择串联三个耐压值为 2.7 V, 电容值为 60 uF 的电容。表 1 列出了串联电容个数性能的测试。

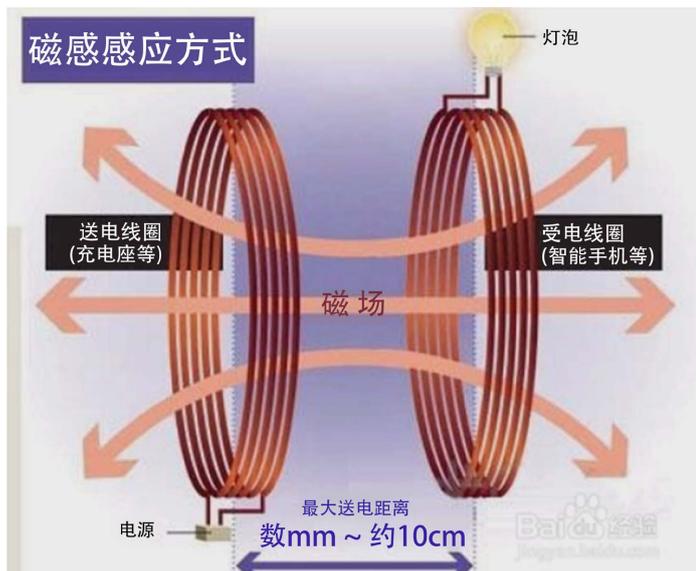


Figure 2. Electromagnetic induction radio charging device
图 2. 电磁感应式的无线电充电装置

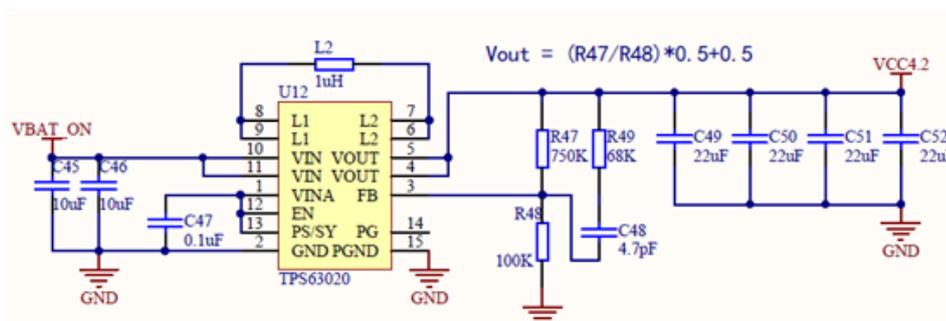


Figure 3. Circuit diagram of TPS63020
图 3. TPS63020 电路图

Table 1. Performance test of capacitor number in series
表 1. 电容串联个数性能的测试

总电容 C/微 F	总耐压值/v	串联个数/个	测到的电压/v	电车能跑的距离	30°爬坡是否高于 30 cm
30	5.4	2	2.7	大于 1 m	是
20	8.1	3	3.8	大于 1 m	是

6.2. 测量能够上升的高度

理论分析是需要恰当粗糙的轮胎会使上升的木板倾斜角大一点, 在制作过程中使用了两种不同的轮胎, 一种粗糙一点设为 y_1 , 一种粗糙度比 y_1 光滑设为 y_2 . 充满电之后 y_1 轮胎能上升的倾斜度为 41° , 而 y_2 轮胎能上升的倾斜度为 30° , 因此选择 y_1 的轮胎, 可以使小车更加具有稳定性[6].

7. 结论

本设计完成了无线充电装置模块、DC-DC 变换模块的方案论证与选择, 对感应线圈的品质因素、电容和电感电路储存的能量以及小车运行所需要的能量进行了分析计算, 完成了无线充电装置和 DC-DC 变换电路的电路设计, 同时对系统进行了测试。该小车充电系统结构设计简单, 性能优良, 设计具有响应速度快、充电速度快、爬坡能力强的特点。本设计具有较好的应用价值和推广价值, 具有较为广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 王品一. 非接触双向电能传输电路的研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [2] 刘刚, 郑青玉, 王德钊. 一种基于电磁感应的无线充电方法[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2013(2): 51-54.
- [3] 肖志坚, 韩震宇, 李绍卓. 关于便携式电子设备新型无线充电系统的研究[J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(12): 114-116.
- [4] 朱细章, 艾信友, 彭小健. 无线手机充电器的制作[J]. 无线互联科技, 2012(11): 63.
- [5] 叶佳虹, 罗婉婷, 张瑞怡, 等. 超级电容模组在无线充电小车中的应用[J]. 电工技术, 2019, 492(6): 132-134.
- [6] 蔡浩, 马怡恬, 杨明, 等. 基于智能车平台的非接触式充电装置设计[J]. 科技视界, 2015(2): 60-61.