

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2021.06.013

## 基于声驱动的负载端工作平台设计

王 峰<sup>1,2</sup>, 葛主峰<sup>1</sup>, 马德清<sup>1</sup>, 林振源<sup>2</sup>, 张 晗<sup>3</sup>

(1. 常州大学 怀德学院, 江苏 泰州 214513; 2. 常州大学 计算机与人工智能学院, 江苏 常州 213164;  
3. 中国科学院 声学研究所噪声与振动重点实验室, 北京 100190)

**摘要:**超声无线能量传输系统利用超声波作为能量的载体,能够用于密封的金属壳体,但是现有超声无线输电系统存在诸多不足,特别是传输功率低,带载能力差。为提高超声无线输电系统的带载能力,文章设计了负载端工作平台,该平台主要由不可控单相桥式整流电路、基于 MC34063 的 DC-DC 稳压电路和基于 FM6316 的锂电池充放电电路构成。通过硬件电路设计和仿真测试,该负载端平台能将输电端 1 W 的传输功率提高到 5 W 的带载能力,足以驱动常用电子产品。

**关键词:**整流电路; Boost 升压电路; 锂电池; MC34063; FM6316

**中图分类号:** TP 249

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-0411(2021)06-0087-06

## Design of Load End Platform Based on Acoustic Drive

WANG Feng<sup>1,2</sup>, GE Zhufeng<sup>1</sup>, MA Deqing<sup>1</sup>, LIN Zhenyuan<sup>2</sup>, ZHANG Han<sup>3</sup>

(1. Huaide College, Changzhou University, Taizhou 214513, China; 2. School of Computer and Artificial Intelligence, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 3. Key Laboratory of Noise and Vibration, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Ultrasonic wave, as the energy carrier of ultrasonic wireless energy transmission system, can be used for sealed metal shell. But the existing ultrasonic wireless transmission system has many shortcomings, especially low transmission power and poor carrying capacity. In order to improve the carrying capacity of the ultrasonic wireless transmission system, a load end platform is designed in this paper, which is mainly composed of uncontrollable single-phase bridge rectifier circuit, DC-DC voltage regulator circuit based on MC34063 and lithium battery charging and discharging circuit based on FM6316. Through hardware circuit design and simulation test, the load end platform can improve the transmission power of 1 w to 5 w with load capacity, which is enough to drive common used electronic products.

**收稿日期:** 2021-07-20。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(11972354, 11772349)。

**作者简介:** 王峰(1982—), 男, 山东鱼台人, 博士, 高级工程师。E-mail: wfeng@cczu.edu.cn

**引用本文:** 王峰, 葛主峰, 马德清, 等. 基于声驱动的负载端工作平台设计[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2021, 33(6): 87-92.

**Key words:** rectifier circuit; Boosted circuit; lithium battery; MC34063; FM6316

近年来,伴随着各类电子产品的广泛应用,特别是移动设备和电动汽车的迅猛发展,无线能量传输(Wireless power transfer, WPT)成为一个研究热点。根据传输机理的不同,可以将无线能量传输大致分为以下 4 类:微波能量传输(Microwave power transmission, MPT)、电感能量传输(Inductive power transfer, IPT)、电容能量传输(Capacitive power transfer, CPT)和磁共振传输(Magnetic resonant transfer, MRT)。WPT 技术除应用于消费类电子产品外,在工业领域、航空领域、军事领域都有举足轻重的作用。然而,在某些特殊场合,基于电磁波的无线能量传输发送或者接收装置会被金属容器完全包裹封闭(如核存储装置、潜水器、航天器、高压氧舱等),因金属材料对电磁波的强屏蔽效应,WPT 的传输功率将大幅降低甚至完全失效。超声波与上述 4 类 WPT 不同,它是一种机械波,可以穿透金属物体而不受电磁屏蔽效应的影响。因此,在上述应用中,超声波无线能量传输技术有着巨大发展潜力。

早在 20 世纪 90 年代,CONNOR 等<sup>[1]</sup>和 REIN<sup>[2]</sup>就提出了利用超声进行能量传输的概念,并申请了相关专利。超声无线能量传输系统通过一对压电换能器进行能量的发射与接收,如需穿透金属墙壁时,将换能器的工作频率设置在金属墙壁厚度的谐振频率附近,电能通过发射换能器转换为超声波,并发射至金属墙壁中,接收换能器将穿透金属墙壁的超声波捕获并将其转换成电能,这样便实现了电能穿透金属墙壁进行传输。通常将发射换能器和接收换能器轴对称地安装在金属墙壁两端,它们将金属墙壁夹在中间,形似一个“三明治”,这样的层叠结构称为声-电信道。“三明治”结构的声-电信道是所有声-电信道中结构最简单、传输效率最高的一种<sup>[3]</sup>。

基于超声波的无线输电除了不受电磁屏蔽效应影响外,还具有传输方向性强、能量易于集中以及传播距离足够远等优势,但是超声波输电有个明显的不足,那就是传输功率很低。考虑到超声波输电传输到负载端的功率较小(约为 1 W),且幅值不稳定,直接用于驱动负载,带载能力较差,不足以满足要求,特搭建超声波输电负载端工作平台,以提高其带载能力。

## 1 负载端工作平台

负载端主要由整流电路、直流稳压电路、电池充放电电路构成,如图 1 所示。输电端传输的交流电首先通过二极管构成的全桥整流电路转变为脉动的直流电。再通过 DC-DC(直流-直流变换)稳压电路,将脉动的直流电压稳压成恒定的直流 +5 V 电压。+5 V 电压通过电池充电电路给锂电池充电,当电池充满电后向负载供电。



图 1 负载端系统框图

Fig.1 Load side system block diagram

### 1.1 整流电路

整流电路采用的是由二极管构成的单相全桥整流电路<sup>[4-5]</sup>,其基本工作原理如图 2 所示。 $V_{in}$  是交流输入电压, $V_{out}$  是整流后的直流电压。二极管  $V_1, V_4$  在交流输入电压的正半周导通,二极管  $V_2, V_3$  在交流电压负半周导通,在负载  $R$  两端得到脉动的直流电压,为了改善电压的脉动程度,得到较平直的直流电压,以满足电子设备的需要,在整流电路输出端接上滤波电容  $C$ <sup>[6-7]</sup>。此电容

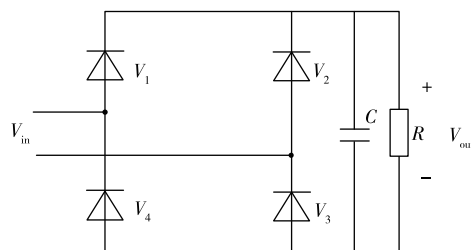


图 2 单相桥式整流电路原理图

Fig.2 Schematic diagram of single-phase bridge rectifier circuit

不仅可以减小直流电压脉动成分,同时也使直流平均电压  $U_0$  提高。 $U_0$  的大小取决于负载和电容的大小,电容的充放电时间常数为它们的乘积  $RLC$ 。要想使得输出电压波形越平直,需增大充放电常数,使电容充放电越慢,输出电压平均值  $U_0$  接近  $1.2U_1$  ( $U_1$  为输入交流电压有效值)。例如,当交流输入电压幅值为 5 V,  $C$  选较大的电解电容时,直流侧输出电压的平均值约为 4.2 V。

## 1.2 DC-DC 稳压电路

为了使充电电压保持恒定的 +5 V, 需通过 DC-DC 变换电路对直流电压进行调整, 并且起到稳压作用。DC-DC 变换又称为直流斩波, 常用的直流斩波电路有: 降压(Buck)斩波电路、升压(Boost)斩波电路、降升压(Buck-Boost)斩波电路、Cuk 斩波电路、Sepick 斩波电路和 Zeta 斩波电路<sup>[8]</sup>。由于超声波传输端的传输功率低, 所以本设计采用升压斩波电路。

### 1.2.1 升压斩波电路

升压斩波电路的工作原理如图 3 所示, 绝缘栅双极型晶体管 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 用开关管表示, 当开关管的栅极电流(控制极电流) 为正时, 即流入栅极, 开关管导通, 电源向电感充电, 电感两端产生感应电动势, 其大小和电源电压基本相同。由于电感很大, 抑制电流脉动, 因此充电电流基本保持恒定。此时二极管截止, 负载  $R$  只由电容供电, 负载电压与电容两端电压相同都为  $U_0$ <sup>[9]</sup>。在一个开关周期中, 开关管导通  $T_{on}$  时间段, 则电感上所储存的能量为  $E \cdot I_1 \cdot T_{on}$ 。

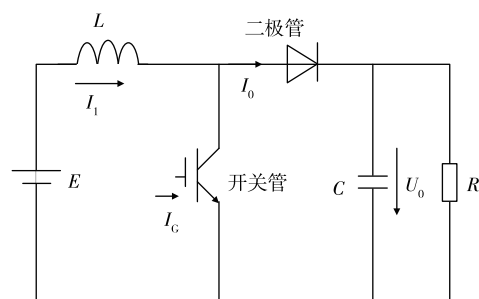


图 3 升压斩波电路原理图

Fig.3 Schematic diagram of boost chopper circuit

当开关管的栅极电流(控制极电流) 为负时, 即流出栅极, 开关管关断, 此时二极管处于通态, 电感对外释放能量, 电源和电感同时向电容和负载供电。无论开关管处于何种状态, 只要电容足够大, 开关管的开关频率足够高, 那么, 输出电压  $U_0$  基本恒定不变。设一个周期中, 开关管的关断  $T_{off}$  时间, 则电感释放能量为  $(U_0 - E) \cdot I_1 \cdot T_{off}$ 。

根据能量守恒定律, 在一个开关周期  $T$  中, 电感所储存的能量和释放的能量相等, 即

$$E \cdot I_1 \cdot T_{on} = (U_0 - E) \cdot I_1 \cdot T_{off} \quad (1)$$

从而得到

$$U_0 = (T/T_{off}) \cdot E \quad (2)$$

所以, 通过调节开关管的关断时间  $T_{off}$ , 即占空比  $\alpha$  ( $\alpha = T_{on}/T$ ), 则可调节输出电压  $U_0$  的大小。

### 1.2.2 基于 MC34063 的电路设计

MC34063 是专用于 DC-DC 变换的单片双极型线性集成电路, 片内资源包括 1.25 V 温度补偿带隙基准源、晶体振荡器、逻辑控制线路、驱动器等, 能实现 DC-DC 变换所需的主要功能<sup>[10-14]</sup>。MC34063 芯片输入电压为 3~40 V, 输出电压为 1.25~40 V, 工作振荡频率为  $10^2 \sim 10^5$  Hz, 具有短路电流限制、外围电路简单、低静态电流、输出电压可调、低功耗、高转换效率等优点。

根据升压斩波电路中 MC34063 芯片与外围元件的关系, 绘制出基于 MC34063 的 DC-DC 变换电路, 如图 4 所示。

MC34063 芯片内部比较器的反相输入端(芯片 5 脚)的电压  $U_-$  与输出电压  $U_0$  的关系为

$$U_- = U_0 [R_4 / (R_3 + R_4)] \quad (3)$$

5 脚  $U_-$  是通过  $R_3, R_4$  将输出电压  $U_0$  进行分压得到, 并将其接至内部比较器的反相端, 同时将基准电压 1.25 V 接至内部比较器的同相端。以  $U_-$  低于基准电压 1.25 V 为例, 此时比较器输出高电平, 在内部振荡器的驱动下, 使触发器的控制门打开, 芯片内部开关管导通,  $L_1$  得以从电源端汲取更多的能量, 并向  $C_4$  充电, 从而使得  $U_0$  升高, 进而提高比较器的  $U_-$  端电压, 最终使得输出电压保持稳定。

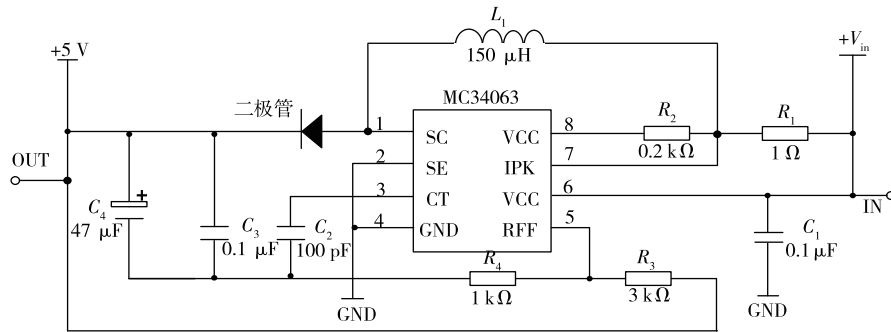


图 4 基于 MC34063 的 DC-DC 变换电路

Fig.4 DC-DC converter based on MC34063

由运算放大器“虚短”的特点可知, 比较器的反相输入端

$$U_- \approx 1.25 \text{ V} = U_0 [R_4 / (R_3 + R_4)] \quad (4)$$

从而可得输出  $U_0$  为

$$U_0 = 1.25 (1 + R_3 / R_4) \quad (5)$$

从公式 5 可以看出, 只要控制  $R_3$  与  $R_4$  的比值, 即可控制输出  $U_0$  的大小。若将  $R_3, R_4$  分别设置为 3 kΩ 和 1 kΩ, 则可以将整流测输出端不稳定的 4.2 V 电压变换为恒定的 5 V 电压。

### 1.3 基于 FM6316 的锂电池充放电电路

FM6316FE 芯片是一款便携式电源管理 IC(集成电路)<sup>[15-17]</sup>, 集成了锂电池充电管理, 负载检测功能, 具有保护功能完善、外围电路简单等特点。FM6316FE 支持多种充电方式, 包括涓流充电、恒流充电和恒压充电, 并能通过指示灯显示充电状态, 当处于恒流充电方式时, 充电电流还可通过外加电阻编程。FM6316 具有多种保护功能, 当系统在充电状态下会自动关闭输出放电路径, 并且当外部输入电源去掉时, FM6316FE 变为对外供电, 若没有检测到外部设备的接入, 则系统进入待机状态。

基于 FM6316 的锂电池充放电电路如图 5 所示。电池选用中顺芯 18650 5 V/3 200 mA · h 锂电池。开关 S 接通后, 芯片电源输入端(4 脚)检测到 5 V 电压, 即可进入充电状态, 充电指示灯点亮; 当电池充满电(电池端电压达到 4.3 V), 电池充满电指示灯(2 脚所接 LED 灯)点亮, 此时进入涓流充电状

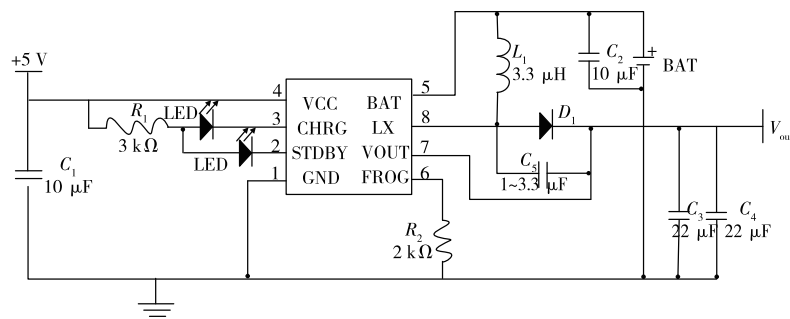


图 5 基于 FM6316 的锂电池充放电电路

Fig.5 Lithium battery charging and discharging circuit based on FM6316

态;当电池充满电后,断开开关 S,即可进入电池放电状态,驱动负载工作,若未接负载,系统进入待机状态,待机电流为 16  $\mu$ A。

2 系统仿真

负载平台在 Matlab 中进行了建模仿真,所选元器件参数见表 1,仿真原理图如图 6 所示<sup>[18]</sup>。交流电压首先通过整流电路变为脉动直流电压,再通过升压电路变为恒定直流电压,此电压用于给锂电池充电。电池荷电状态 SOC(State of charge)用于控制开关管 IGBT1 的通断,从而完成电池充放电的转换。

表 1 元器件参数

名称	参数值
交流电源	5 V
$C_1$	420 $\mu$ F
$C_2$	22 $\mu$ F
$R_1$	1 $\Omega$
$R_2$	1 $\Omega$
$L_1$	20 mH
Li-Ion	5 V, 1 A $\cdot$ h

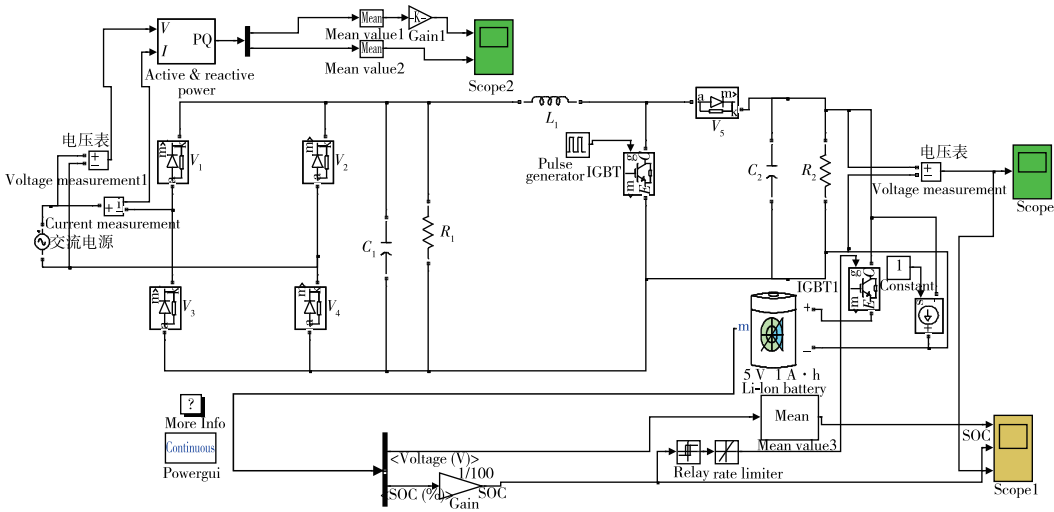


图 6 系统仿真原理图

Fig.6 Schematic diagram of system simulation

仿真波形如图 7~图 12 所示,当输入交流电压幅值为 5 V 时,Boost 升压斩波电路输出电压为直流 +5 V。电池容量小于 40%时开始充电,当电池容量达到 80%后向额定电流为 1 A 的负载供电。

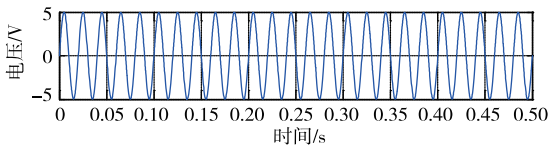


图 7 交流电源输入电压

Fig.7 AC voltage

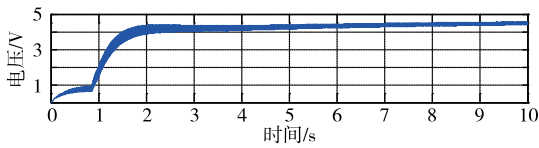


图 8 升压斩波电路输出电压

Fig.8 Boost chopper circuit output voltage

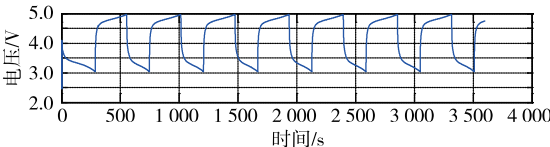


图 9 电池电压

Fig.9 Battery voltage

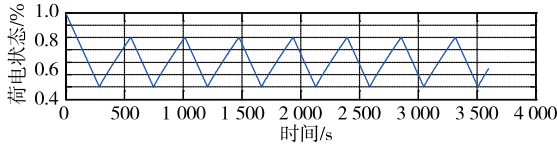


图 10 电池容量 SOC

Fig.10 Battery capacity SOC

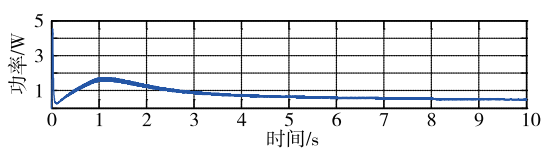


图 11 交流电源输入功率

Fig.11 AC input power

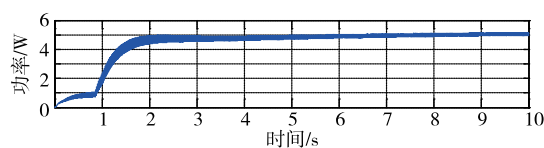


图 12 锂电池输出功率

Fig.12 Lithium battery output power

### 3 结 论

由二极管整流电路、DC-DC 稳压电路、电池充放电电路所构成的负载电路,首先将交流电压变换为脉动的直流电压,再将脉动的直流电压变换为恒定的 5 V 直流电压,保证了充电的安全、可靠,充电时间取决于电流大小以及电池容量。放电电流可达 1 A,大大提高了超声波输电系统的带载能力。

### 参考文献:

- [1]CONNOR D J, CUMMINGS G F, STAR M J. Acoustic transformer with non-piezoelectric core; US5594705[P]. 1997-01-14.
- [2]REIN C. Remote energy supply process and system for an electronic information carrier; US6639872[P]. 2003-10-28.
- [3]杨恒旭. 超声无线通信与能量传输系统研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.
- [4]曲永印, 白晶. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 43-53, 123-126.
- [5]董慧敏. 电力电子技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2012: 77.
- [6]赵秋雨, 蔡孟哲, 高函, 等. 带电容滤波的单相不可控整流电路的研究与分析[J]. 许昌学院学报, 2020, 39(5): 114-118.
- [7]魏立明, 邢文白. 基于 Matlab 的单相桥式全控整流电路的仿真研究[J]. 民营科技, 2016(7): 66.
- [8]马小瑞. 基于开关型高效 DC-DC 变换模块的 LED 驱动电路设计仿真[J]. 机械研究与应用, 2019, 32(4): 142-144.
- [9]安云鹏, 赵锦成, 刘金宁. 基于双向 DC/DC 变换器锂离子电池充放电控制研究[J]. 电源技术, 2017, 41(2): 208-210.
- [10]张德树, 宫强, 吴乃海. 基于 MC34063 的 BOOST 电路设计与实现[J]. 韶关学院学报, 2019, 40(9): 43-46.
- [11]张天文. 基于 AD603 和 MC34063 的 AGC 控制器的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2018(2): 180-182, 188.
- [12]程桂仙, 肖文君, 刘万松. 基于 MC34063 的开关电源设计[J]. 微型机与应用, 2015, 34(12): 33-34, 41.
- [13]周碧英. 基于 MC34063 的直流稳压可调电源设计[J]. 电子设计工程, 2015, 23(24): 67-69, 72.
- [14]张天文, 李廷军. 基于 MC34063 负反馈支路自动增益控制电路设计[J]. 仪表技术与传感器, 2019(7): 114-116, 120.
- [15]郭辉. 单片机系统的锂电池充电及保护技术[J]. 现代盐化工, 2020, 47(5): 79-80.
- [16]魏丽君, 李小霞. 基于 STM32 的锂电池充放电系统的研究与设计[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(11): 222-226.
- [17]尹涛, 郑莉莉, 贾隆舟, 等. 锂离子电池浮充电研究综述[J]. 储能科学与技术, 2021, 10(1): 310-318.
- [18]王忠礼, 段慧达, 高玉峰. MATLAB 应用技术: 在电气工程与自动化专业中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 40-50.

(责任编辑:李艳,周安迪)