

无线电能传输系统原理分析与设计

何茜,朱栋山,潘银松
(重庆大学 光电工程学院,重庆 400044)

摘要: 为改善传统导线电路电能传输的弊端,给出了一种基于近距离无线电能传输原理的传输系统。通过电磁感应耦合与电子电力技术,将 E 类功率放大器应用于电能传输的途径,在实际应用中有效提高了无线电能传输效率。

关键词: 无线电能传输; E 类放大器; 系统设计

中图分类号: TN912.11

文献标识码: A

Analysis and design of wireless power transfer system

HE Qian, ZHU Dong Shan, PAN Yin Song
(College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to improve the traditional power transmission wire circuit defects, a radio transmission system based on the principle of closing to the radio was designed, and electromagnetic induction technology coupled with electronic power was used in the system. The radio transmission efficiency in electrical energy transmission applications was improved by using a class E power amplifier.

Key words: wireless power transfer system; class E amplifier; system design

自电磁感应现象及导线可以传输电能被人类发现至今,电能的传输主要是由导线直接接触进行输送的,但是这种方式在使用上存在接触火花和不安全裸露导体引起触电等安全隐患^[1],感应电力传输技术(Inductive Power Transfer)可以弥补这些不足。利用电磁感应方式将电能传输到所用产品的新型技术^[2],可以为手提电脑等移动设备、电热水器、电动工具、照明、医疗等设备随时无线充电,特别是在医疗领域可以为人体植入式芯片、内窥镜成像系统提供电能^[3]。

本文研究了一种近距离无线电能传输系统,采用感应式电能传输技术对无线电能传输系统的发射、传输和接收 3 大模块进行分析与设计。

1 无线电能传输系统原理及其结构

非接触式电能传输系统的基本结构如图 1 所示,其主要由发射模块、传输模块和接收模块 3 部分所组成,发射模块与接收模块通过磁场耦合相联系。发射电路把电能转换为磁场能量发射,通过前后级绕组的电磁感应将磁场能量传输到接收电路,经过相应的能量调节装置,将能量变换为应用场合负载可以直接使用的电能

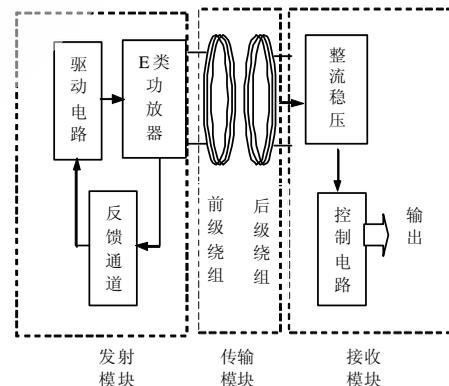


图 1 无线能源传输方案基本结构图

形式,从而达到了非接触式电能传输的目的。

2 无线电能传输系统电路设计

2.1 发射模块

发射模块的作用是将直流能量高效率地转换为射频功率信号,以便接收电路能够充分利用能量。发射模块主要由 3 部分组成:振荡电路、占空比调节电路和 E 类功率放大电路。由于 E 类功率放大器影响了发射电路与接收电路之间的能量传输效率,因此 E 类功率放大器

技术与方法 Technique and Method

的设计是发射模块设计的难点和关键所在。

2.1.1 放大器信号驱动电路的设计

振荡电路作为振荡信号源,产生正弦信号作为本振信号。采用一般反馈电路,振荡回路内的各种频率信号经选频网络选频后,将其中某一特定频率的信号反馈到输入端,再经放大、反馈、放大、反馈的循环,使该信号的幅度不断增大,振荡幅度由小到大。随着信号幅度的增大,放大器将进入非线性状态,增益下降,当反馈电压 V_f 正好等于输入电压 V_i 时,振荡幅度不再增大,振荡器进入平衡状态。此时反馈电压 V_f 恰好等于放大器所需的输入电压 V_i ,振荡器达到平衡。此时有:

$$AF=1 \tag{1}$$

$$\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi (n=0, 1, 2, 3, \dots) \tag{2}$$

式(1)为反馈振荡器的振幅平衡条件,式(2)为反馈振荡器的相位平衡条件。

E类放大器的驱动信号来源于驱动电路的振荡电路。为了提高能量转换效率以及在实际中的灵活应用,设计采用了反相晶体振荡器,其电路如图2所示。

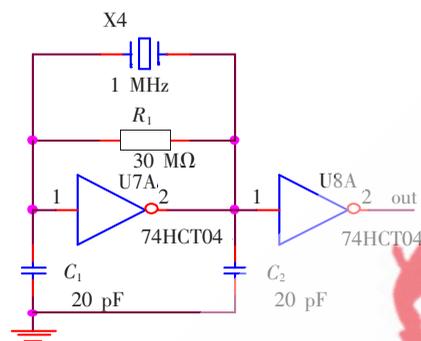


图2 反相晶体振荡器电路图

以及其他电路元件组成了振荡电路,其中 $R_1=30\text{ M}\Omega$, $C_1=20\text{ pF}$, $C_2=20\text{ pF}$ 。该信号输出为一个占空比为50%的方波信号。

2.1.2 E类功率放大器的设计

E类放大器中,晶体管利用电路谐振特性,使其工作在共振开关的状态。因此相比传统的将晶体管用做电流源的放大器电路,该电路具有更高的附加传输效率^[4],其电路如图3所示。

当输入电压 V_{cc} 大于阈值电压时,场效应管 M30 工作在可变电阻区,因为漏源之间电阻 r 很小,这相当于开关闭合。当输入电压 V_{cc} 小于阈值电压时,场效应管截止,流过漏极的电流为零,此时相当于开关断开。电容 C (C 为场效应管的结电容与外接电容之和)在开关断开时,开始充电。当 L_5-C_4 分支上的电流反向时, C_3 上的电流补偿,因此场效应管两端的电压将降低,当场效应管两端的电压降为零时,开关再次合上,并且重复以上过程^[5]。工作在此模式下的电路,电流与电压相位差为 180° ,从而使得场效应管不同时出现电压和电流,功率损耗接近零。除了传输效率高的优点之外,E类功率放

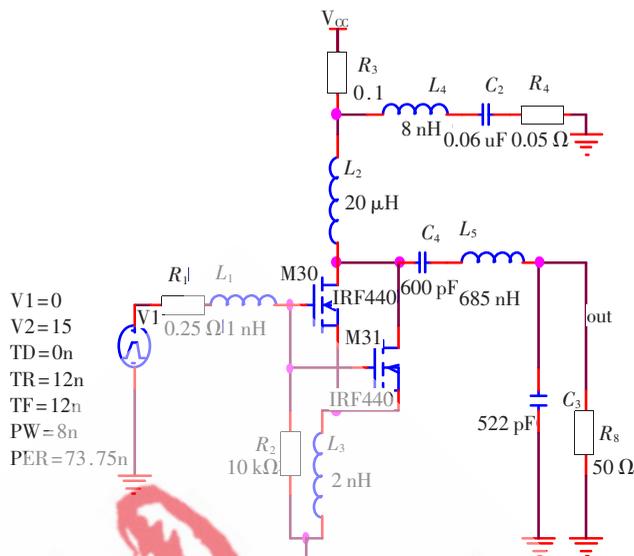


图3 E类放大器电路图

大器还能够保证输出效率不受影响的前提下,较大范围的调节输出功率。经过分析推导可以得到放大器的输出功率值,如式(3)所示:

$$P_{out} = \frac{\pi^2 + 4}{8} I_{dc}^2 R_{load} \tag{3}$$

式中, I_{dc} 为直流电源 V_{cc} 提供的电流; R_{load} 为实部输出阻抗。

2.2 接收模块

接收模块是在接收到前级的能量后对其进行处理的模块。为了满足实际应用的需求,需要将接收到的射频信号进行整流、滤波、降压以及稳压处理,处理之后的直流电压方可供其他负载使用。该模块主要包括整流电路以及降压电路^[6]。

2.2.1 整流电路的设计

接收到的射频信号首先要对其进行整流处理,使射频信号转换为高频信号。经滤波电容 C 后,得到直流电压,完成了交流信号向直流信号的转变。

常用的整流电路有全波整流、半波整流和桥式整流等。由于半波整流的电压利用率只有50%,有一半用不上,因此本系统采用了高效率的全波整流电路。如图4

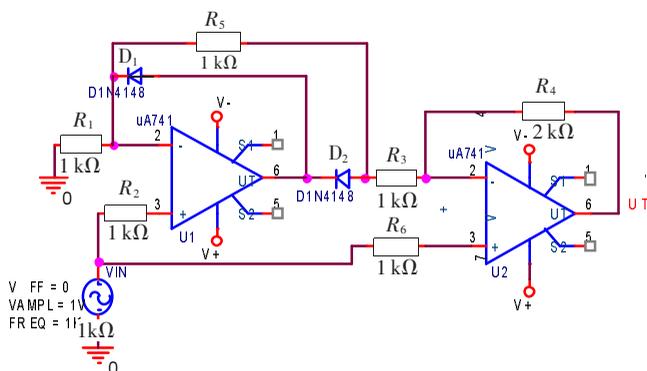


图4 高精密度全波整流电路

技术与方法 Technique and Method

所示,该电路采用同相端输入。当 $V_{in} > 0$, D_1 截止,此时 U_2 的同相输入端和反相输入端的输入信号相同,因此 $V_{out} = V_{in}$; 当 $V_{in} < 0$ 时, D_1 导通, D_2 截止, $V_A = (1 + R_2/R_1)V_{in} = 2V_{in}$, 而 $V_{out} = (1 + R_4/R_3)V_{in} - (R_4/R_3)V_A = -V_{in}$ 。所以 $V_{out} = |V_{in}|$, 该电路实现全波检波。

2.2.2 降压及稳压电路的设计

由于经过整流后的直流信号电压都比较高,不利于负载的直接利用,需对信号进行降压处理。降压电路如图 5 所示。该电路利用了稳压管的稳压特性,为三极管的基极-射极提供稳定的导通电压,以此达到稳定降压的效果。另外,还可以更换不同型号的稳压管以此调控降压后电压范围,方便后续电路的使用。连接 1 个稳压电容 C , 使负载端能够有良好、稳定的输入电压。

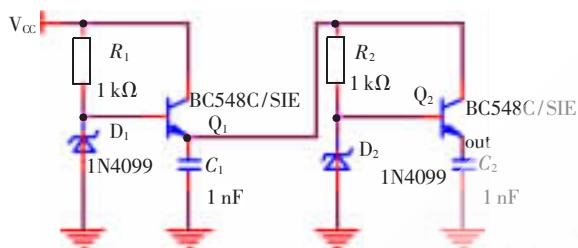


图 5 降压电路图

仿真结果如图 6、图 7、图 8 所示。本项目给出了一种利用 E 类放大器进行无线电能传输的系统,从系统中得到可供后续电路直接使用的电压。E 类放大器的应用大大改善了系统的传输效率,其参数的设置很大程度上依赖于设计者对各个参量关系的理解,实际应用中应当对

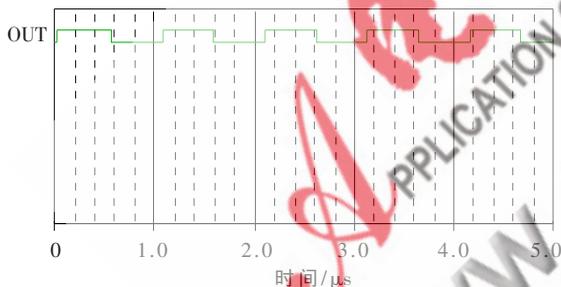


图 6 降压电路仿真结果

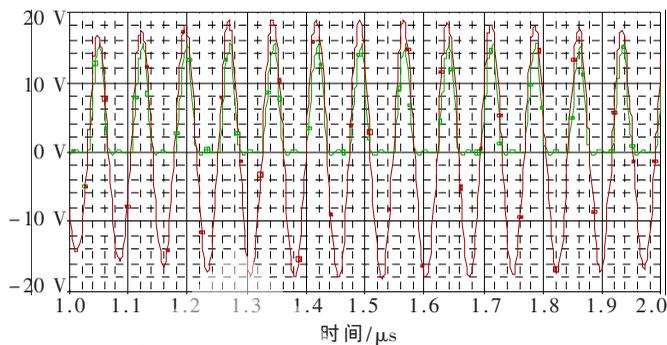


图 7 E 类功率放大器电路仿真结果

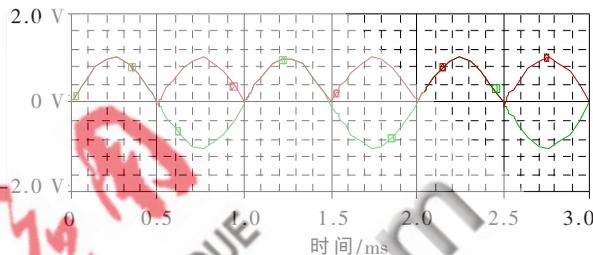


图 8 整流电路仿真结果

系统的稳定性和灵活性进行进一步考察。

参考文献

- [1] 李宏. 感应电能传输-电力电子及电力自动化的新领域[J]. 电气传动, 2001, 31(2): 62-64.
- [2] BOYS J T. Inductive power distribution system[P]. U. S. Patent: 5 293 308, 1994:3-8.
- [3] 高葆新, 梁春广. 高效率 E 类放大 29. 半导体技术[J]. 2001, 26(8): 44-48.
- [4] 梁俊睿. E 类放大器原理及其在经皮能量传输应用中的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [5] BOYS J T, GREEN A W. Inductively Coupled Transmission concept. Design and Application[J]. IPENZ Trans, 1995, 22(1): 1-9.
- [6] 朱云国. 无接触无线能量传输的探索[J]. 皖西学院学报, 2004, 20(2): 28-29.

(收稿日期: 2009-08-11)