

一种磁耦合无线电能传输系统的设计和仿真

肖亚辉

(西门子(深圳)磁共振有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 在一些旋转应用场合, 电能传输大多通过接触式的导电滑环实现, 采用这种方式传输电能普遍存在机械磨损大、使用寿命短、打火等方面的缺点。提出了一种基于磁耦合原理, 通过现代电力电子技术中的整流及高频逆变技术, 以谐振方式传输电能的装置。详细分析了该系统的电路设计、参数计算以及仿真。结果表明该系统具有结构简单、开关损耗小、噪声低等特点。

关键词: 磁耦合; 无线电能传输; 谐振电路

中图分类号: TN751.1

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200069

中文引用格式: 肖亚辉. 一种磁耦合无线电能传输系统的设计和仿真[J]. 电子技术应用, 2020, 46(5): 93–96.

英文引用格式: Xiao Yahui. Design and simulation of one wireless power transmission system based on magnetic coupling[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(5): 93–96.

Design and simulation of one wireless power transmission system based on magnetic coupling

Xiao Yahui

(Siemens Shenzhen Magnetic Resonance Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: In some rotating applications, the transmission of electrical energy is mostly achieved by contact-type conductive slip ring, the transmission of electrical energy in this way has shortcoming of mechanicalwear, short service life and arcing. In this paper, a device based on magnetic coupling technology is proposed to transmit electrical energy in a resonant manner, via the rectifier and high frequency inverter technology in modern power electronics technology. The circuit design, parameter calculation and simulation of the system are analyzed in detail. The results show that the system has the characteristics of simple structure, small switching loss and low noise.

Key words: magnetic coupling; wireless power transmission; resonant circuit

0 引言

无线电能传输技术以非接触方式进行电能传输, 由于物理上没有电的直接连接, 该传输技术具有灵活、安全和方便等优点^[1]。目前有很多学者对无线电能传输技术进行了深入研究, 文献[2]提出了一种无线电能传输滑环的机械设计; 文献[3]提出了漏磁补偿方法提高电能传输效率; 文献[4]提出了无线电能传输机构的电磁结构和参数优化; 文献[5]提出了无线电能传输系统软件设计。

为了提高无线电能传输效率, 减少电路损耗, 除了从机械结构设计和软件设计方面进行考虑, 也应该从电路设计方面进行考虑。本文提出了一种简单有效的磁耦合无线电能传输系统, 其采用谐振逆变技术, 在降低电路损耗的同时, 提高了传输功率。

1 磁耦合无线电能传输系统构成

磁耦合无线电能传输系统主要基于电磁感应原理,

通过现代电力电子技术中的整流技术及高频逆变技术, 实现电能的无线传输, 其原理框图如图 1 所示。

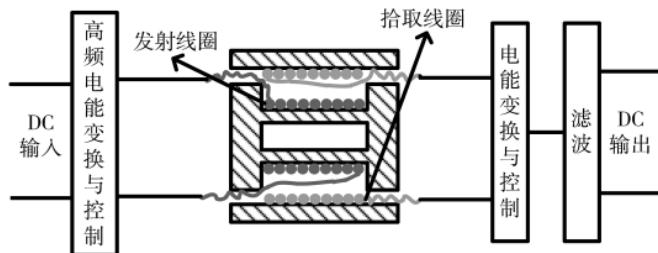


图 1 磁耦合无线电能传输系统构成原理图

装置由高频电能变换与控制模块、线圈及磁体、电能变化与控制模块和滤波模块组成。高频电能变换与控制模块通过高频逆变技术把原边直流输入转换成高频交流输出, 再经过能量发射线圈发射交变电磁能量; 副边能量拾取线圈接收感应电能, 经过能量变换与控制、整流稳压等环节获得稳定的直流输出。

电源管理 Power Management

能量发射线圈可做成多匝线圈的形式,这样就可以在非接触方式下向各种用电设备提供足够的电能。非接触式电能传输时,其能量发射部分线圈与拾取线圈之间有一段空气磁路,因而耦合系数不高,必须提高系统工作频率来提高电能的传输能力。

2 高频电能变换与控制电路设计

高频电能变换与控制电路用于将直流输入电流逆变为高频交流电流,由能量发射线圈通过电磁耦合原理把电能传输到接收边。发射电路工作频率的提高必然会增加开关损耗,降低电能传输效率。为此高频电能变换与控制电路采用谐振逆变技术,使得发射线圈工作在谐振状态,提高系统工作频率同时减小开关损耗,提高电能变换效率。

2.1 逆变电路设计

逆变电路如图2所示。逆变电路由T1、T2、L_{p1}和L_{p2}构成全桥逆变器,L_p与C_p分别为系统能量发射线圈电感和线圈补偿电容,它们构成谐振选频回路。T1与T2两组开关管以C_p两端电压过零点为导通条件轮流导通,实现开关器件零电压开关,减少电路损耗。

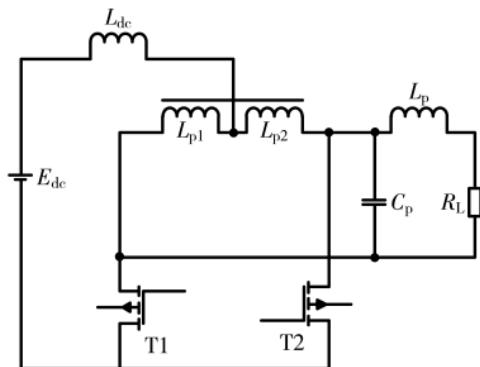


图2 逆变电路原理图

2.2 控制电路设计

控制电路部分主要实现逆变电路运行控制、开关管驱动和保护功能。控制电路结构如图3所示。

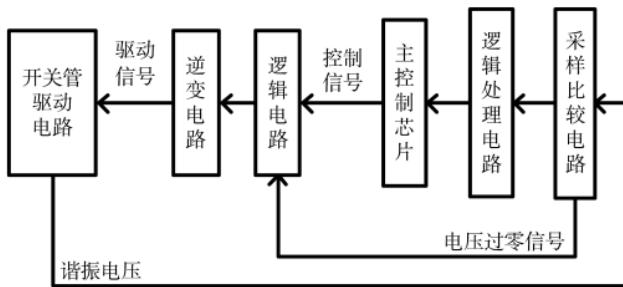


图3 控制电路结构框图

采样比较电路通过比较谐振电容C_p两端电压,输出与高频谐振电压过零同步的方波,作为T1和T2的驱动信号。采样比较电路由分压电阻和高速比较器LM311构成:其中分压电阻用于降低谐振电压至合适电平作为

比较器输入电平;高速比较器LM311用于精确采样谐振电压过零点并输出开关切换信号。采样电路原理图如图4所示。

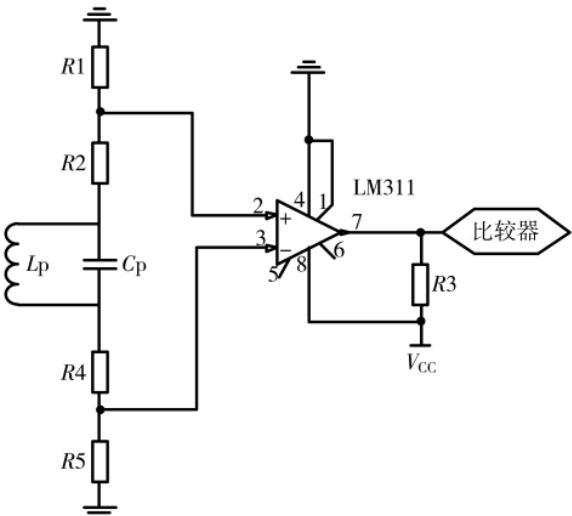


图4 采样比较电路原理图

主控制单元电路原理图如图5所示,主控制芯片采用89C2051单片机,主要用于控制感应式电能传输的启动和停止。主控制芯片结合逻辑门电路可以根据比较器输出方波,产生两路互补方波信号port1和port2作为T1和T2的驱动信号,启动逆变器开启感应式电能的传输;主控制芯片结合逻辑门电路还可以实现旁路比较器输出信号, port1和port2始终输出低电平,关断T1和T2,从而停止感应式电能的传输。

开关管驱动电路原理图如图6所示。该电路采用光耦TLP557隔离驱动,利用光耦驱动可以实现主电路和控制电路电气隔离,防止主电路的高压引入控制电路带来安全隐患和尽量减少主电路对控制电路的电磁干扰。

3 副边电路设计

副边电路由电能拾取线圈、整流电路及BUCK开关电路等组成。电能拾取线圈通过电磁感应耦合接收发射线圈电能。电能拾取线圈电压幅值与其线圈匝数成正比,频率为逆变电路的LC谐振频率。整流电路将输入的高频电能转换成直流电能,输出电压约为电能拾取线圈峰值电压。BUCK开关电路将直流电能转换为设定的直流电源。副边电路原理图如图7所示。

BUCK开关电路通过对输出电压进行采样,与设置的要求输出的电压值V_o作比较,产生一定占空比的脉冲控制开关管S的开通与关断,使输出电压稳定到所要求的电压值V_o。BUCK电路开关管的逻辑驱动控制电路采用SG3525芯片,产生的驱动信号通过TLP557驱动芯片实现信号与主电路的电气隔离,作为开关管的驱动信号。BUCK电路开关管驱动控制电路图如图8所示。

电源管理 Power Management

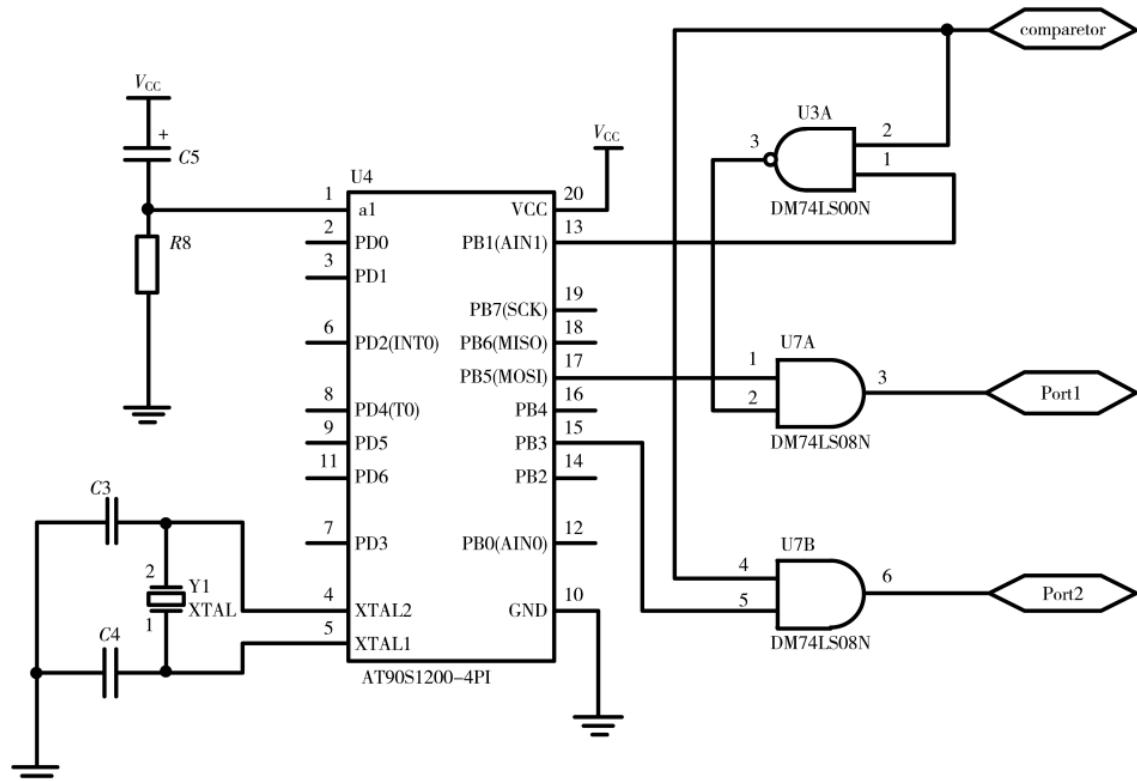


图 5 主控制单元电路原理图

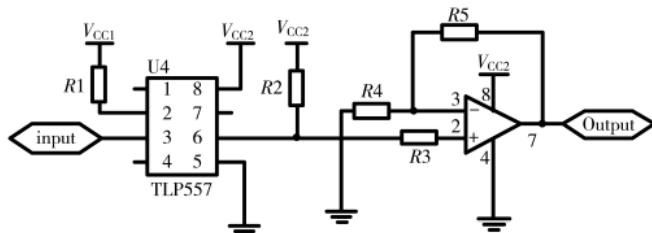


图 6 开关管驱动电路原理图

4 电路传输功率计算及仿真

4.1 电路传输功率计算

输入直流电压 V_{dc} 为 48 V, 发射线圈电感值 $L_p=32 \mu H$, 线圈电阻 $R_{Lp}=0.3 \Omega$ 。谐振电容 $C_p=0.7 \mu F$, 感应式电能

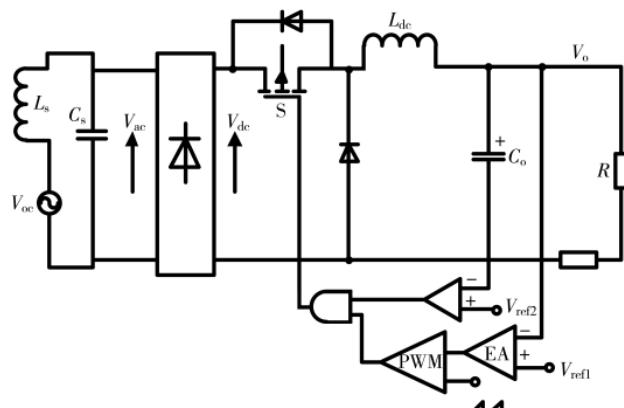


图 7 副边电路原理图

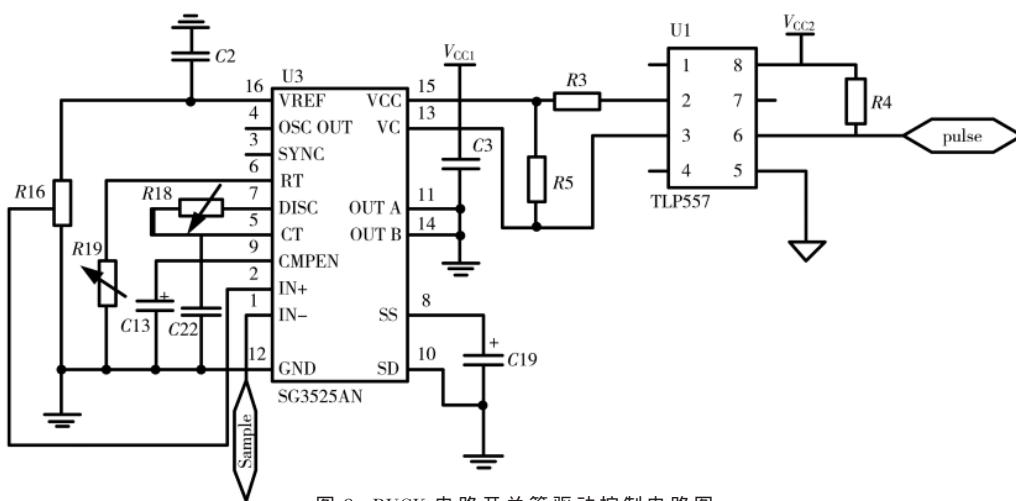


图 8 BUCK 电路开关管驱动控制电路图

电源管理 Power Management

传输装置的谐振频率为 $f=33.6\text{ kHz}$ 。

根据谐振电路计算公式可得谐振电压 V_{ac} 即发射线圈电压有效值为：

$$V_{ac} = \frac{\pi V_{dc}}{\sqrt{2}} = \frac{48\pi}{\sqrt{2}} = 107\text{ V}$$

而发射线圈中的工作电流为：

$$I_{ac} = \frac{V_{ac}}{|R_{Lp} + j\omega L_p|} = \frac{V_{ac}}{\sqrt{R_{Lp}^2 + \omega^2 L_p^2}} = 15\text{ A}$$

在初级及次级电磁耦合机构互感 M 为 $20\text{ }\mu\text{H}$, 次级线圈电感 L_s 为 $40\text{ }\mu\text{H}$ 的条件下, 次级开路电压 $V_{oc} = \omega M I_{ac} = 60\text{ V}$; 对应的短路电流 $I_{sc} = V_{oc}/\omega L_s = 7\text{ A}$; 传递的最大功率 $P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} = 420\text{ W}$ 。

4.2 电路仿真

采用 OrCAD/Pspice 软件对发射部分电路进行仿真, 发射线圈两端电压如图 9 所示。

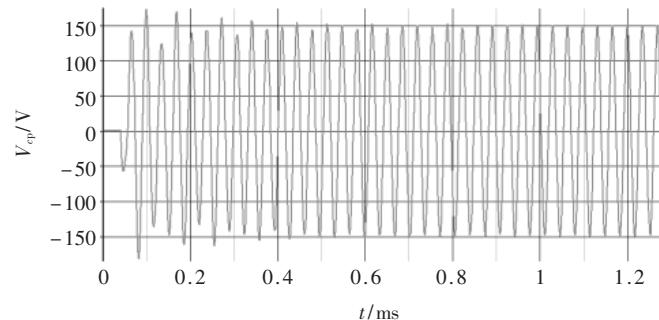


图 9 发射线圈谐振电压波形

从图 9 可以看出, 发射线圈电压在初始阶段经历了一个明显的上升调整过程, 在 1 ms 已经能输出稳定的正弦振荡电压。发射线圈两端高频谐振电压在发射线圈中激发高频振荡电流, 高频耦合电流保证了较大空气间隙下能量的有效传输。

T1 开关管工作电压 V_{DS} 和 V_{GS} 如图 10 所示, 由于发射电路工作在谐振频率上, V_{GS} 在 V_{DS} 降到 0 V 时开通/关断, 从而实现了开关管的零电压开通/关断, 减少了开关损耗, 同时也降低了噪声干扰。

副边部分输出电压经过整流滤波后, 经 BUCK 稳压

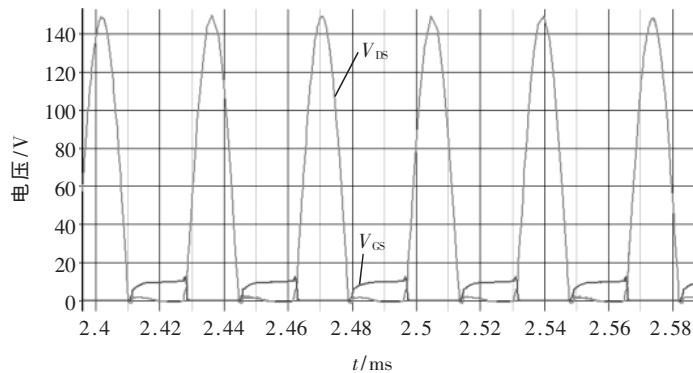


图 10 开关管 V_{DS} 和 V_{GS} 波形

电路, 最后经过电容滤波输出稳定的直流电压。仿真采用阻性负载作为负载模型, 得到接收电路输出电压如图 11 所示。

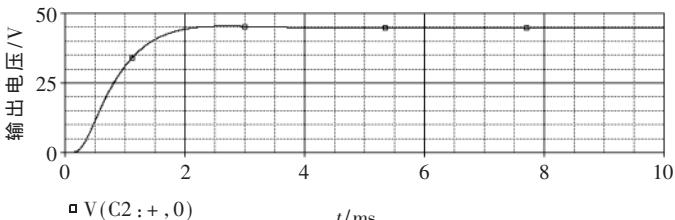


图 11 次级部分输出电压波形

从仿真结果可以看到, 接收电路输出电压上升时间短, 无电压过冲, 有较好的时间响应。

5 结论

本文介绍了一种磁耦合无线电能传输系统, 给出了其电路的详细设计。通过仿真和原理分析可得出采用谐振电路的磁耦合无线电能传输系统具有以下优势:

- (1) 开关管具有零电压开通/关断特性, 开关损耗小。
- (2) 发射和接收线圈的耦合电压为正弦波, 和传统的方波电压比, 电路噪声小。
- (3) 发射端对电压进行升压, 使得装置输出电压有宽的调整范围。

综上所述, 在追求高传输功率、低噪声的无线电能传输应用中, 本文提出的磁耦合无线电能传输系统有较好的应用前景。

参考文献

- [1] 黄锋, 陈海宾, 蒋超, 等. 无线电能传输系统最高效率点控制策略的研究[J]. 电子技术应用, 2017, 43(11): 143–146.
- [2] 兰洪波, 郭云, 菅志军, 等. 非接触滑环的设计[J]. 机械工程师, 2012(12): 82–84.
- [3] 关学忠, 孙胜勇, 杨静. 非接触式感应能量传输系统的分析与设计[J]. 电子技术应用, 2008, 34(2): 63–65.
- [4] 高奇峰, 杨兆建, 何吉利. 分离式变压器电磁结构与参数分析[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(9): 141–144.
- [5] 张智娟, 崔水香, 梁雪梅. 磁耦合谐振式无线能量传输系统的软件设计[J]. 电子技术应用, 2015, 41(1): 139–141.

(收稿日期: 2020-02-06)

作者简介:

肖亚辉(1981-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: 医疗电气。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所