

谐振式无线电能传输系统的设计

系统以磁耦合谐振式无线电能传输技术为核心,通过在发射线圈回路和接收线圈回路之间建立 LC 谐振振荡电路,从而实现了一定距离下电能的高效无线传输。该系统依据电能的传输距离和给定的负载电阻大小,通过建立相应的谐振频率,在发射线圈回路和接收线圈回路中以近场谐振工作方式建立电能的无线传输系统,其实验测试结果表明该系统电能的传输效率最高可以达到73.5%,很好地满足了设计要求。

边岗莹 张 灿 樊 波 张 强 杨旭峰/空军工程大学防空反导学院



边岗莹/讲师

关键词/Keywords

磁耦合谐振·
无线电能传输·
谐振频率·

无线电能传输系统是通过在发射端和接收端构成一套能量传递变化系统,因其不需要导线的接触连接即可完成电能的功率传递,因此可以大大提高用电设备获得电能的灵活性和安全性。按照无线电能传输的工作特点,可以将电能的无线传输方式分为三种^[1-2]:电磁感应式、电磁谐振式和电磁辐射式。其中电磁感应式无线电能传输是以分离变压器一次侧和二次侧的磁耦合程度为基础实现能量的传递,因此一次侧、二次侧之间的距离将会影响到电能的传输效率^[3],距离越小效率将越高^[4]。电磁谐振式无线电能传输是利用磁场的近场耦合,通过在发射线圈回路和接收线圈回路之间产生共振,从而实现能量的无线传输,该方式下电能的传输距离可达1 m以上,是一种中程的无线电能传输技术^[4]。电磁辐射式是通过定向天线发送微波束能量,在接收端依靠高性能接收和电源变换技术实现远距离的无线电能传输技术^[5]。

电磁谐振式无线电能传输系统结构及原理

电磁谐振式无线电能传输系统是将

供电电源首先变换成直流电源,再将该直流电源逆变为高频能量并通过发射线圈向空间释放,在距离发射线圈一定位置处设置接收线圈,接收线圈将此能量经过电能变换,最终送到用电设备,其基本结构如图1所示。

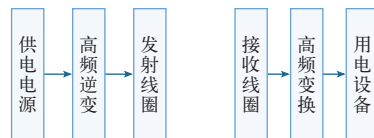


图1 电磁谐振式无线电能传输系统结构

电磁谐振式无线电能传输是利用物理学的“共振”原理,即在两个振动频率相同的物体之间可以完成能量的高效传输。当在电源发送端以某一固定振荡频率向空间释放能量时,接收端的固有频率和发送端的频率若相同,则接收端与发送端产生共振,接收端可最大条件下接收发送端的能量,从而可实现发送端和接收端之间的能量无线传输。由于电磁谐振式电能传输系统是一种非辐射性磁谐振过程,在近场区内,仅对与其谐振频率相匹配的物体产生强谐振耦合作用,而偏离谐振频率的接收物体接收的电能能量很小。

系统电路设计

参照文献[6],此次设计中,供电电源选用15 V直流电源,高频逆变电路以信号振荡电路,MOS驱动电路以及发射线圈及其回路构成,接收电路中接收线圈接收到高频电能,然后经过整流滤波送入到用电设备,其系统的总体结构如图2所示。

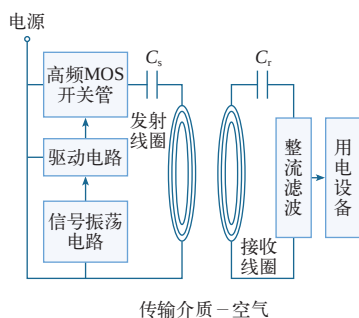


图2 系统的结构框图

1. 信号振荡电路

信号振荡电路用来提供高频MOS开关的工作频率，为了提高电能的传输效率，选择振荡电路的工作频率为1 MHz左右，参照文献[7]，设计的信号振荡电路，其原理电路如图3所示。

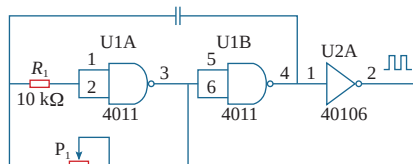


图3 振荡信号产生电路

电路中以CD4011与非门、和CD40106芯片采用施密特触发器构成信号振荡电路^[7]，通过改变电位器 P_1 可调整输出频率大小。

2. MOS驱动及工作电路

MOS工作电路可将直流15 V电能逆变成1 MHz的高频信号，并送入发射线圈，由于信号振荡电路的输出信号不足以使开关管RFD640工作，参照文献[8]，电路中通过三极管对管和小功率MOS管对管的两级功率放大电路实现大功率开关管RFD640的驱动。其原理电路如图4所示。

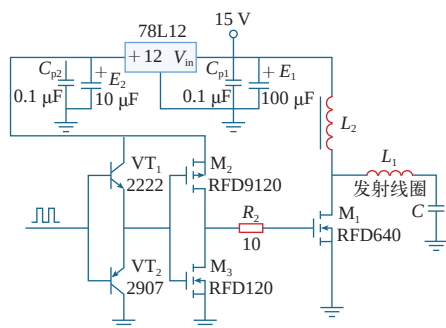


图4 MOS驱动及工作电路

3. 发射、接收线圈的绕制

发射线圈和接收线圈用来发射和接收高频电能信号，而线圈的大小和绕制方法会影响线圈的电感量大小^[9]，对电能传输的效率也会较大。此次设计中考虑到在谐振式无线电能传输测试中，将重点测试线圈距离为10 cm时，电能的传输效率，因此绕制中以10 cm为直径绕制两线圈，同时，考虑谐振频率点的需求，线圈的绕制匝数为9匝，其电感大小为30 μH 。

4. 谐振频率点的确定

参照文献[10-12]，发射线圈回路和接收线圈回路在空间中将构成谐振电路，其等效电路如图5所示。

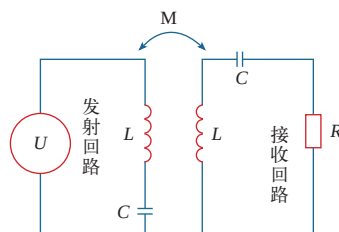


图5 发射线圈和接收线圈谐振

发射回路中，依据谐振角频率^[13-14]为： $\omega_0 = 1/\sqrt{L_s C_s}$ ，绕制的线圈电感 $L_s = 30 \text{ mH}$ ，初步设定的振荡频率 $f = 1 \text{ MHz}$ ，则由此确定的谐振电容

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{1}{2\pi f L_s \times 2\pi f} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^6 \times 30 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 1 \times 10^6} \text{ F} \\ &= 844 \times 10^{-12} \text{ F} \end{aligned}$$

取谐振电容 $C_s = 1000 \text{ pF}$ ，同理，因为 $L_r = 30 \text{ mH}$ ，所以取 $C_r = 1000 \text{ pF}$ 。

电路调试中，当线路处于谐振状态时，电路的谐振频率为976.9 kHz。

5. 接收回路的整流滤波电路

接收线圈接收到高频电能信号后，先后经过整流率波最终加载到负载电阻 R 的两端。其原理电路如图6所示。

系统测试

当输入直流电压 $U_1 = 15 \text{ V}$ ，负载电阻为16 Ω

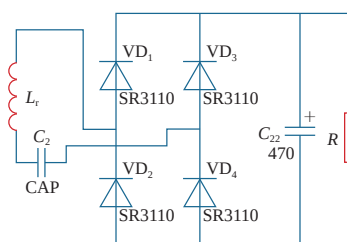


图6 整流滤波原理电路

时, 改变发射—接收线圈之间的距离, 其测试实验如下表所示。

表 实验测试数据

实验 序号	输入电流 /A	输出电压 /V	输出电流 /A	线圈距离 /cm	效率 (%)
1	0.294	5.428	0.342	5	41.71
2	0.853	11.377	0.715	8	63.22
3	1.043	13.560	0.856	10	73.50
4	0.217	4.660	0.294	15	41.70
5	0.122	2.263	0.147	20	17.49
6	0.100	1.234	0.089	25	6.67
7	0.092	0.764	0.053	30	2.90
8	0.089	0.453	0.031	35	0.74

此次电路的谐振点频率是以10 cm距离处确定的, 因此在10 cm距离处发射、接收回路之间形成了谐振, 其电能传送效率最高, 最大可达73.5%, 随着距离的改变, 电能传送效率逐步降低。

结束语

谐振式无线电能传输系统改变了以金属导线为媒介的电能传输方式, 通过负载接收端和电源发送端建立谐振通路, 从而实现了电源端到负载端的能量传递, 这种方式减少了金属导线的使用, 克服了金属导线中存在的线路老化、导体易裸露及电源线路会有接触火花等问题。谐振式无线电能传输系统使电气设备摆脱了电线插座的束缚, 且不存在线路的接触火花问题, 因此在电能的安全、方便且灵活使用方面具有广泛的前景。

参考文献

[1] 魏红兵. 电力系统中无线电能传输的技术分析 [J].

西南大学学报: 自然科学版, 2009 (9): 163-167.

[2] 张茂春, 王进华, 石亚伟. 无线电能传输技术综述 [J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2009, 26 (5): 485-488.

[3] 程丽敏. 磁耦合共振式无线电能传输特性研究 [J]. 电工技术学报, 2013 (3): 23-27.

[4] 冷志伟. 非接触电能传输系统电能发射源的研究 [D]. 大连: 大连理工大学.

[5] 宋显锦. 无线电能传输的发展历史与应用现状 [J]. 山西财经大学学报: 高等教育版, 2010 (4): 104-105.

[6] 黄学良. 磁耦合谐振式无线电能传输系统串并式模型研究 [J]. 电工技术学报, 2013 (3): 171-177.

[7] 阎石. 数字电子技术基础 [M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 1998.

[8] 储江龙. 非辐射共振耦合式无线电能传输系统前端功率放大系统设计 [J]. 电工技术学报, 2013 (2): 3-60.

[9] 傅文珍, 张波, 丘东元, 等. 自谐振线圈耦合式电能无线传输的最大效率分析与设计 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (18): 21-26.

[10] 苑舜. 并联谐振电容对电磁谐振耦合无线电能传输系统的影响 [J]. 电工技术学报, 2013 (3): 51-54.

[11] 傅文珍, 张波, 丘东元. 自谐振线圈耦合式电能无线传输的最大效率分析与设计 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (18): 21-26.

[12] 黄辉, 黄学良, 谭林林, 等. 基于磁场谐振耦合的无线电力传输发射及接收装置的研究 [J]. 电能新技术, 2011, 30 (1): 32-36.

[13] 代小磊. 非接触电能传输 (CPT) 系统频率分裂现象分析 [J]. 电源学报, 2012 (5): 67-71.

[14] 苏玉刚. 电场耦合型无线电能传输系统调谐技术 [J]. 电工技术学报, 2013 (11): 189-194.

(收稿日期: 2014-09-24) EA