

# 基于磁耦合共振的无线输电系统设计

曾 翔

(四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000)

**摘 要:** 当人们的上网方式逐渐从有线过渡到无线时, 更多的用户期待着电能的传输也能像无线网络一样摆脱线的束缚。文章提出了一种基于磁耦合共振的无线输电系统设计方案。该系统的基本构成是两个铜线圈, 天花板上的发射线圈与交流电源相连, 桌面下的接收线圈与移动设备相接。利用两个相同频率的谐振线圈产生的强耦合, 使电能以无线方式从电源插座传输给置于桌面的笔记本电脑和手机。

**关键词:** 无线输电; 共振频率; 非辐射磁场; 谐振磁耦合

**中图分类号:** TP21

**文献标识码:** A

## 引 言

目前, 越来越多的数据传输都采用了无线方式, 如 Wi-Fi Bluetooth UWB 等。然而, 电能的传输基本上仍是采用直接电接触的有线传输方式。现在的移动设备, 比如笔记本电脑、手机等, 在供电或充电时, 通常要把电源适配器或充电器的一端接到市电电源上, 另一端接在移动设备上。而且, 不同的移动设备通常使用不同的供电或充电接口, 特别是在举行会议时, 由于多个移动设备需要配备多个电源适配器或充电器, 不但给用户带来不便, 而且满地拉扯的电源线除了影响会议室的美观, 还存在不小的安全隐患。本文将提出一种无线输电系统的设计方法, 为上述问题提供解决方案。

## 1 系统无线输电原理

2007 年, 美国麻省理工学院助理教授马林·索尔贾希克 (Marin Soljacic) 为首的研究小组完成了一项无线传输电力的实验。他们在实验中使用了两个直径为 50cm 的铜线圈作为共振器, 通过调整发射频率使发射端以 10Hz 的频率振动, 产生的不是弥漫于各处的普通电磁波, 而是在它的周围形成了一种非辐射磁场, 将电能转换成磁场, 在两个线圈间形成一个无形的“能量通道”。一个自振频率 (固有频率) 与发射频率相同的接收端, 在发射端产生的非辐射磁场中接收能量, 完成磁场到电能

的转换, 从而成功点亮了距离电力发射端 2m 以外的一盏 60W 的灯泡, 实现了电能的无线传输。而且, 即使在电源与灯泡中间摆上木头、金属或其它电器, 都不会影响灯泡的发光。他们所用方法的核心在于“磁耦合共振”<sup>[1-2]</sup>。

这一概念与收音机接收电台的原理类似, 尽管很多无线广播电台的信号进入收音机的磁棒线圈中, 但通过磁力线耦合至输入振荡回路后, 由于外加信号频率不同, 输入回路就可通过谐振特性进行选台, 即将输入回路的频率调整成与所需接收电台的频率相同时, 就能收听到这一电台的播音, 而其他电台所起的作用, 相形之下就显得微不足道了。

## 2 系统总体设计

无线输电系统的总体框图如图 1 所示, 顶部线圈作为发射装置安装在天花板上, 底部线圈作为接收装置内嵌于桌面。利用市电通过整流滤波得到的直流电源, 同时使用多管驱动顶部线圈。利用 PIC 单片机、电流检测电路、数模转换器 (DAC) 以及压控振荡器 (VCO) 线圈处于共振频率, 从而保证电能的高效传输。底部线圈将接收到的交流信号进行降压、整流和滤波产生  $18V \pm 1.8V$  的直流电为笔记本电脑供电, 另外, 降压转换器将 18V 电压降低到  $5V \pm 0.5V$  为手机供电。

利用墙面插座提供的 220V / 50Hz 的交流电压信号,

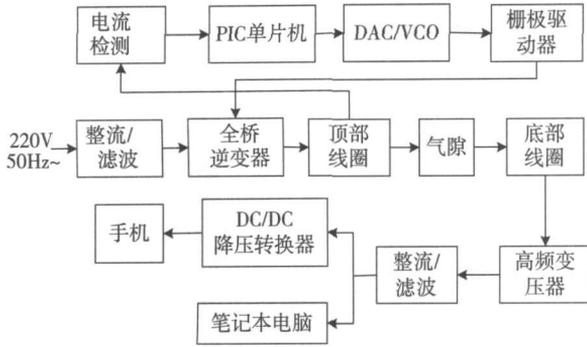


图 1 系统总体框图

通过由 4 个二极管 1N1188 构成的全波桥式整流电路以及 PI 滤波器为全桥逆变器提供纹波电压不超过 5% 的直流电源。全桥逆变器采用功率管 IRF6785 作为开关元件。4 个功率管构成 H 电桥, Q1、Q4 和 Q2、Q3 轮流开通, 将直流电转变为交流电, 为顶部线圈提供交变电流<sup>[3]</sup>。功率管 IRF6785 存在着较大的输入电容, 驱动电路为开关时的充放电提供了足够大的电流, 保证了足够的开关速度<sup>[4]</sup>。

PC 单片机主要用于控制驱动顶部线圈信号的频率, 并能通过检测流过顶部线圈电流的大小来调整频率使线圈达到最大的传输效率。电流检测电路利用一个 0.15 Ω 的精密电阻与顶部线圈串联用于测量流过线圈的电流。电阻两端的电压送入运算放大器, 输出电压与电阻电流成正比, 其大小在 PC 单片机模拟输入电压允许的范围之内。选用 PIC16F877A 将输入的模拟电压信号转换成 10 位数字信号输出, 通过 DAC4813 再将数字信号转换成 0V - 5V 的模拟电压, 作为压控振荡器 (VCO) SN74LS624N 的输入。当输入电压增大时, 压控振荡器产生的方波信号的频率也相应增大。频率的范围取决于 SN74LS624N 偏置电压和外部电容的大小, 可根据预期的共振频率进行设置。栅极驱动器采用两片双通道高压高速功率 MOSFET 专用驱动芯片 EL7222 来完成全桥逆变器中的四个功率管的控制, 使输出交流电的电压、频率和波形稳定<sup>[5]</sup>。

顶部和底部线圈相隔 2m, 各自直径均为 1m, 由 100 圈线规为 20 的电磁线绕制而成。二者的电力传输通过磁耦合共振来实现。底部线圈接收到的信号通过高频变压器将电压降低到笔记本电源所需的 18V。先降压后整流的原因是高频变压器的体积小且效率相对更高。利用二极管将交流信号转换成直流, 滤波电容采用陶瓷电容而非电解电容, 因为电解电容本身的自振频率更低, 超过自振频率后呈感性。降压转换器用于将笔记本电源 18V 电压信号降低到手机充电所需的 5V 电压。

### 3 线圈的设计

#### 3.1 公式推导

若将线圈看作变压器绕组, 其磁阻的计算公式为:

$$R = \frac{\ell}{\mu_r \mu_0 A} \quad (1)$$

使用给定的尺寸和空气中的相对磁导率, 磁阻为

$2.026 \times 10^6 \frac{A}{Nm}$ 。利用磁阻可计算互感系数。

$$M = \frac{4\pi N_1 N_2}{R} = \frac{4\pi N_1 N_2 \mu_r \mu_0 A}{\ell} \quad (2)$$

共振频率的计算:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{MC}} = \frac{\sqrt{\ell}}{2\pi \sqrt{4\pi N_1 N_2 \mu_r \mu_0 A C}} \quad (3)$$

由于共振频率太高对电路的实现带来一定难度, 若要降低共振频率, 可通过减小互感系数来实现。因此, 应尽可能增大线圈的匝数和直径, 尽量减小顶部和底部线圈之间的距离。桌面与天花板的距离最终确定为 2m, 线圈匝数为 100, 则频率值可通过电容计算得到。

$$C = \frac{\epsilon_r A}{\ell} \Rightarrow f = \frac{\ell}{2\pi A \sqrt{4\pi N_1 N_2 \mu_r \mu_0 \epsilon_r}} \quad (4)$$

#### 3.2 线圈的测试

分别针对线圈间距离对耦合的影响以及 (共振) 频率对耦合的影响进行测试。第一个测试首先找出顶部线圈和底部线圈之间的最佳谐振频率, 然后逐渐抬高底部线圈并记录输入和输出电压的值。输入和输出电压的比值与两个线圈距离之间的关系如图 2 所示。可以看出, 线圈耦合程度呈指数衰减。

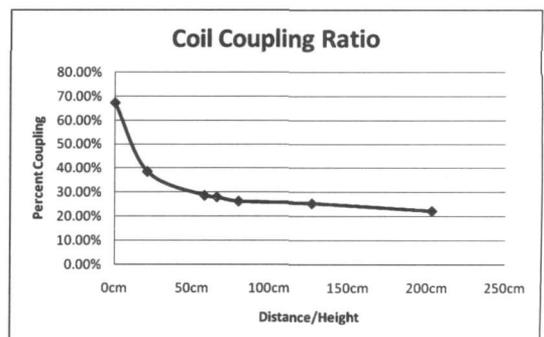


图 2 线圈耦合率和距离的关系

另一个测试是改变频率, 而线圈的高度即相对位置不变时测量输出电压的大小, 其结果是存在两个主要的共振频率, 如图 3 所示。最理想的共振频率是 9MHz, 其次是 3.5MHz, 选择 3.5MHz 作为本次设计中线圈的共振频率, 以减小对电路及器件的性能要求。

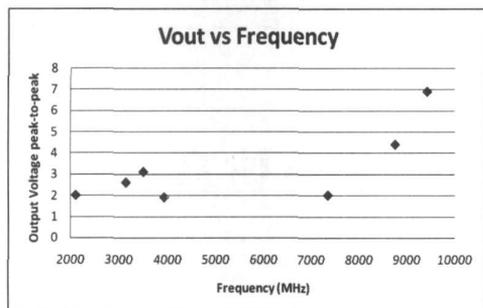


图 3 输出电压与频率的关系

#### 4 结束语

本文提出了一种可用于会议室的无线输电系统,介绍了磁耦合的基本原理,系统的实现方案,并对谐振线圈的设计及测试作了具体说明。虽然电路中对驱动频率的反馈控制已经尽可能地提高效率,但是经过测试,系统的总体效率只有 20.9%,处于较低水平。如何进一步提高系统能量传输的效率以及加大传输距离成为

今后研究工作的主要方向。随着这项技术的不断发展,无线电力传输将有望成为未来移动设备充电的标准方式。

#### 参考文献:

- [1] 李平. 谐振式无线输电的可行性研究[J]. 广西师范学院学报: 自然科学版, 2009, 26(1): 107-109
- [2] Kurs André, Aristeidis Karaliş, Robert Moffatt et al. Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances[J]. Science, 2007, 317(3): 83-86
- [3] Krein Philip T. Elements of Power Electronics[M]. New York: Oxford University Press, 2004
- [4] Digital Audio MOSFET IRF6785MTRPbF[EB/OL]. <http://www.irf.com/product-info/datasheets>
- [5] EL7202, EL7212, EL7222 High Speed Dual Channel Power MOSFET Drivers[EB/OL]. <http://www.intersil.com/data>

## Design of Wireless Power Transmission System Based on Magnetic Resonant Coupling

ZENG Xiang

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract** When the way to access Internet gradually changes from wired to wireless, more users look forward that the power transmission can be as free as the wireless network without wires. This paper presents the design of wireless power transmission system based on magnetic resonant coupling. The basic design for the system is to use a couple of copper coils with the transmitter in the ceiling connected to AC power supply, and the receiver under the table that is attached to mobile devices. The resonant nature of the process ensures a strong coupling between the two resonant coils, so that the electrical energy will transmit from the power outlet to laptops and cell phones on the table wirelessly.

**Key words** wireless power transmission; resonant frequency; non-radiating fields; magnetic resonant coupling