

DIY 磁耦合谐振式无线电力传输实验

一、实验内容

1. 了解磁耦合无线电力传输的基本原理；
2. 自组装和调试磁耦合式无线电力传输系统；
3. 探索频率和距离对无线电力传输的影响

二、实验方法

1. 确定 LC 电路的共振频率

以下为确定 LC 电路的共振频率的几种方法，任选其中一种。

方法一：利用实验室提供的 LC 电表分别测量线圈的电感和电容，然后利用公式 (1) 计算共振频率。

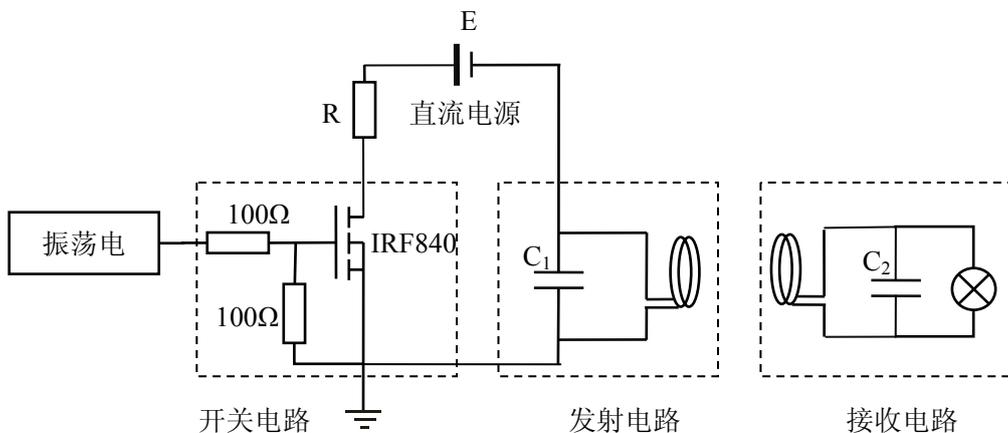
方法二：如果线圈绕线比较规则，可以利用实验室提供的工具测量铜线的直径、线圈直径等参数，然后利用公式 (3) 计算线圈的电感，最后利用公式 (1) 计算共振频率。

方法三：利用信号发生器和示波器观察 LC 电路的充放电过程，测量其共振频率，具体方法参考实验十七 RLC 串联电路的暂态过程。

三、实验任务

1. 研究工作频率对电力传输效率的影响

按照下图在九孔面包板上完成实验系统的连接。



固定接收线圈与发射线圈的距离，如 5 厘米。改变工作频率，利用示波器测量接收电路的信号幅度和频率，完成如下表格并绘制幅度-频率曲线。

表 1 接收信号幅度与频率关系

频率(kHz)									
幅度(V)									

2. 研究无线电力传输的距离对传输效果影响

调节 R_1 的大小使得电路工作在共振频率之下，改变接收线圈与发射线圈的距离，利用示波器测量接收电路的信号幅度，完成如下表格并绘制幅度-距离曲线。

表 2 接收信号幅度与距离关系

距离(cm)									
幅度(V)									

3. 自制电感线圈（可以和实验室提供的形状、匝数不同），并联电容形成 LC 电路，分别测量电感线圈的电感 L 和电容 C 的数值；计算其固有共振频率，接入上图所示电路，观察其共振情况和电力传输效果，做记录。

四、报告要求

1. 用坐标纸绘制上面的两条曲线，总结传输规律。

2. 对自制的 LC 并联谐振电路的传输效果做分析和总结；对比实验室提供的 LC 电路，总结两者的特性和优劣。

补充讲义

实验七十七 DIY 磁耦合谐振式无线电力传输实验

你知道吗，不用电线就可以传输电力，点亮一个灯泡，这样的事情是利用什么原理和技术实现的？摒弃杂乱的输电导线，实现电力的无线传输一直以来都是人们追求的梦想。早在 1890 年，美国物理学家尼古拉斯·特斯拉就提出并设计了无线电力传输实验模型。2007 年，一种新型的可实用化的磁耦合谐振式无线能量传输技术由 MIT 的一组科学家得以实现。这种传输技术具有传输距离长，穿透能力强的特点。随后在 2010 年青岛海尔公司就研制出了“无尾”电视，可以肯定的是随着人们对生活品质要求的日益提高，各种家电设备会逐渐采用这种新型的无线输电技术，它会为人们生活带来很大的便利。

本实验为同学们自己动手实验探索利用磁耦合谐振原理进行无线电力传输提供了实验平台，通过实验你会深切地感到自己就可以研制这样一种实用的无线电力传输仪器。

实验目的

1. 了解磁耦合无线电力传输的基本原理；
2. 自组装和调试磁耦合式无线电力传输系统；
3. 探索频率和距离对无线电力传输的影响

实验系统

本实验采用磁耦合谐振方式进行电力传输，系统的工作原理图如图 1 所示。

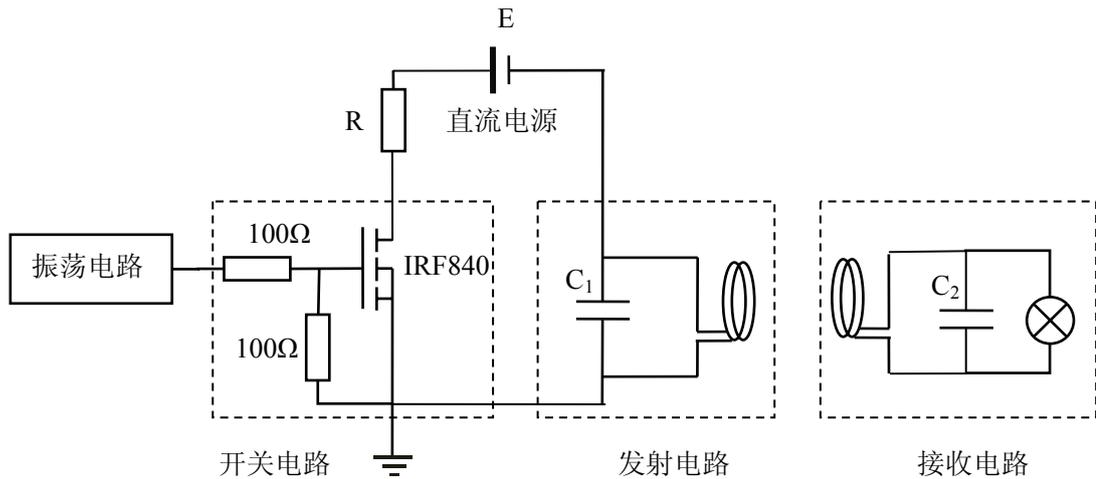


图1 无线电力传输电路系统原理图

本实验系统主要由振荡电路、开关电路、直流电源、发射电路和接收电路共五部分组成。这其中最主要的部分是发射电路和接收电路，这两部分都是由一个铜线绕制的线圈和一个标准电容组成。发射电路中的线圈能够产生磁场，而变化的磁场能够在接收电路的线圈中产生电动势，这样发射电路中的电能就能够传输到接收电路中去，而这中间的“媒介”就是交变的磁场。为了产生交变的磁场，本系统利用高频的方波信号去激励电容（C）和线圈电感（L）组成的LC回路，这会导致能量在电容中的电能和线圈中的磁能中相互转化和相互激励，在空间中产生交变磁场。本系统采用直流供电，并利用开关电路将直流电源调制为“通-断”交替的交流信号。振荡电路能够产生高频率的方波信号，用来控制开关电路的通断。

实验原理

1. 磁耦合谐振原理

磁耦合的基本原理是两个线圈通过磁场来相互关联。线圈与线圈之间的耦合是通过电磁感应来实现的，如图2所示。首先，通电的线圈1周围能够产生磁场，此时如果磁场是随时间变化的则线圈2的磁通量也将随时间发生变化，根据法拉第效应，线圈2将产生感应电动势。感应电动势会在线圈2内形成电流，而产生的感应电流也会产生新的磁场，进而影响线圈1的磁通量。除此之外，变化的磁场也会影响线圈自己的磁通量，这就是线圈之间的互感和自感。

当振荡电路的振荡频率和发射电路（LC电路）的固有频率相一致时，发射电路会在空间产生最大的交变磁场（为什么？），而当接收电路（LC电路）的固有频率也和发射电路的振荡频率一致时，电磁感应也会在接收电路中产生最大的负载电流，这时候电力传输效率最高，我们把这种耦合叫做谐振式耦合。实验时要设法让振荡频率、发射电路固有频率以及接收电路的固有频率相一致，以产生最高的传输效率，这就是磁耦合谐振原理。

LC电路固有频率的计算公式为

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

设两个线圈的电感分别为 L_1 和 L_2 ，电压和电流分别为 u_1 ， u_2 ， i_1 和 i_2 ，线圈之间的互感为 M ，则相互耦合的两个线圈的电压和电流的关系为：

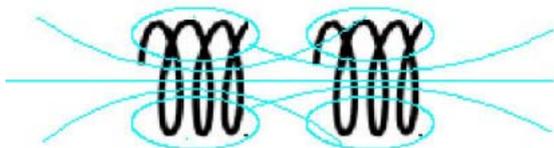


图 2 双线圈磁耦合示意图

$$\begin{aligned} u_1 &= L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 &= L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

为了使线圈 1 中能够发射交替振荡的磁场，本系统将电感线圈与电容连接组成 LC 谐振电路。

本系统采用的线圈为密集绕制的线圈，如果绕制规则的话，则线圈的电感大小可以用如下公式来进行计算：

$$L = N^2 R \mu_0 \left[\ln \left(\frac{8R}{a} - 1.75 \right) \right]$$

(3)

式中 N ——线圈匝数， μ_0 ——真空磁导率， R ——线圈半径， a ——铜线半径

2. 电路系统原理

(1) 开关电路

开关电路的作用是控制主电路的通断，进而实现发射电路的间歇充放电，让线圈产生交变磁场。本实验系统采用型号为 IRF840 的 N 沟道增强型场效应晶体管来实现开关电路。图 x 为 IRF840 场效应管的管脚示意图，它和三极管一样有三个管脚，分别叫做栅极 (G)、源极 (S) 和漏极 (D)。栅极为控制极，在栅极上加电压和不加电压来控制管脚 2 和管脚 3 的通断。对于 N 沟道型场效应管，在栅极加上电压，则管脚 2 和管脚 3 连通，P 沟道型场效应管则相反。

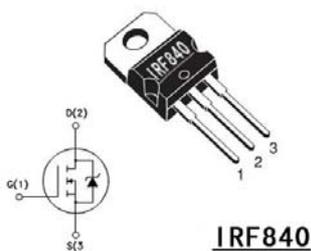


图 3 IRF840 场效应晶体管管脚示意图

(2) 振荡电路

参照实验室提供的线路。

四、实验内容和步骤

1. 确定 LC 电路的共振频率

以下为确定 LC 电路的共振频率的几种方法，任选其中一种。

方法一：利用实验室提供的 LC 电表分别测量线圈的电感和电容，然后利用公式 (1) 计算共振频率。

方法二：如果线圈绕线比较规则，可以利用实验室提供的工具测量铜线的直径、线圈直径等参数，然后利用公式 (3) 计算线圈的电感，最后利用公式 (1) 计算共振频率。

方法三：利用信号发生器和示波器观察 LC 电路的充放电过程，测量其共振频率，具体方法参考实验十七 RLC 串联电路的暂态过程。

2. 振荡电路的设计和焊接

设计振荡电路中的 R_1 、 R_2 和 C 的大小，使得其输出方波信号的频率在 LC 电路的共振频率附近，其中 R_1 的电阻值应可调，便于调节输出频率。

利用实验室提供的电路板焊接完成振荡器电路，用示波器观察振荡电路输出信号。

3. 研究工作频率对电力传输效率的影响

按照图 1 完成实验电路的连接。

固定接收线圈与发射线圈的距离，如 5 厘米。改变工作频率，利用示波器测量接收电路的信号幅度和频率，完成如下表格并绘制幅度-频率曲线。

表 1 接收信号幅度与频率关系

频率(kHz)									
幅度(V)									

4. 研究无线电力传输的距离对传输效果影响

调节 R_1 的大小使得电路工作在共振频率之下，改变接收线圈与发射线圈的距离，利用示波器测量接收电路的信号幅度，完成如下表格并绘制幅度-距离曲线。

表 2 接收信号幅度与距离关系

距离(cm)									
幅度(V)									

思考题

1、什么叫磁共振耦合？

2、推导一下 LC 电路的固有频率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

3、为什么当振荡频率和 LC 电路的频率一样时，发射线圈能在周围产生大的交变磁场？

- 4、你认为提高能量传输效率的方式有哪些？
- 5、自己设计一台无线台灯，给出设计方案。