

# 新型电磁波演示装置

刘希 贾孟文

**摘要：**本文对作者一学期来进行的新型电磁波演示装置的制作进行了阶段性总结，给出了详细的仪器方案，回顾了本学期的试验成果，并提出了进一步的工作路线。

**关键词：**电磁波，射频电路，演示

## 1 引言

电磁波的发现是改变人类历史进程的伟大科学成就，电气和通信技术是现代科技的基础，也是微电子技术的发端。因此，在电磁学的课堂教学中，对电磁波的正确认识是学好后续知识的基础。然而电磁波本身无形无色，本质为空间扰动的传播，这对直观理解、把握电磁波的图像不利。为此，一种能够只管展示电磁波在空间分布的课堂教学仪器就成为需要。为此，结合波的特性，我们设计了一种通过驻波形式演示电磁波空间分布的装置，以此来演示电磁波的各种空间特性。

## 2 电磁波演示装置原理

### 2.1 电磁波的发生发射

电磁波的发生依赖于一系列振荡电路和放大电路。其中放大既包含信号的放大也包含功率的放大。振荡电路用以形成待发射的信号模式，功率放大电路用以将发生的信号功率进行放大，以便于通过天线发射出去，信号发生电路和功率放大电路的耦合则需要借助一系列运放实现。



图 1 电磁波的发射装置组成框图

### 2.2 驻波的形成

普通电磁波为行波场，其波包不断前进，平均下来在空间没一点处的作用相同，无法演示出空间波场的分布。为形成空间稳定分布的场，必须在行波前进途中设置阻碍，使回波与前行波形成驻波，以便于观察。

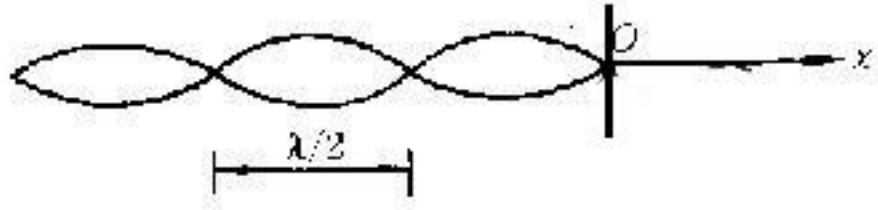


图 2 空间驻波的形成

## 2.3 场强的接收与可视化

为表征出空间电磁场的分布，需要得到每一点电磁场的场强，这就需要一个场强检测电路，即场强计电路。场强计实际检测的是空间电场的大小，在空间不同位置处，电场场强不同，场强计得到的信号也不同，信号的大小可以通过输出电流或电压来表征，经过运放放大后便可以驱动诸如 LED 灯等发光器件通过肉眼可见的光强等信息将场强分布表示出来，这样就实现了电磁场空间分布的可视化。

## 3 仪器的设计

根据整个装置的原理与预期效果，将仪器的设计分为以下几个模块：1 高频正弦信号发生器；2 功率放大与发射模块；3 承接装置与反射屏；4 场强计 LED 显示装置。

### 3.1 正弦信号发生器

根据课堂演示的要求，实验仪器不能做得太大，要在有限空间范围内实现一个或多个波长，根据波长与波速的关系：

$$\lambda v = c$$

可知，要波长足够小，需要较大的振荡频率。

综合成本、可行性与制作难度，最终选择将振荡频率定在 200mHZ 左右，此时：

$$v = \frac{c}{\lambda} = 1.5m$$

形成驻波后，其一个波腹长度为：

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{2} = 0.75m$$

可以满足课堂演示需要。

为简单起见，我选择正弦波作为信号模式。mHZ 为通信波段频率，为实现正

弦信号的模拟输出，我们借助摩托罗拉公司的通信电路的正弦振荡器 MC1648P 实现。其基本参数如下表所示：

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Supply Voltage = +5.0V)

Symbol	Characteristic	-30°C		+25°C		+85°C		Unit	Condition			
		Min	Max	Min	Max	Min	Max					
I <sub>E</sub>	Power Supply Drain Current	-	-	-	41	-	-	mAdc	Inputs and outputs open			
V <sub>OH</sub>	Logic "1" Output Voltage	3.955	4.185	4.04	4.25	4.11	4.36	Vdc	V <sub>ILmin</sub> to Pin 12, I <sub>L</sub> @ Pin 3			
V <sub>OL</sub>	Logic "0" Output Voltage	3.16	3.4	3.2	3.43	3.22	3.475	Vdc	V <sub>IHmax</sub> to Pin 12, I <sub>L</sub> @ Pin 3			
V <sub>BIAS</sub> <sup>1</sup>	Bias Voltage	1.6	1.9	1.45	1.75	1.3	1.6	Vdc	V <sub>ILmin</sub> to Pin 12			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Unit	Condition
V <sub>P-P</sub>	Peak-to-Peak Tank Voltage	-	-	-	-	400	-	-	-	-	mV	See Figure 3
V <sub>dc</sub>	Output Duty Cycle	-	-	-	-	50	-	-	-	-	%	
f <sub>max</sub> <sup>2</sup>	Oscillation Frequency	-	225	-	200	225	-	-	225	-	MHz	

1. This measurement guarantees the dc potential at the bias point for purposes of incorporating a varactor tuning diode at this point.
2. Frequency variation over temperature is a direct function of the  $\Delta C/\Delta$  Temperature and  $\Delta L/\Delta$  Temperature.

图 3 MC1648P 基本电气参数



图 4 MC1648P 实物图

MC1648 是产生高频正弦波振荡的专用集成块。只需接入简单的外围元件，即可产生稳定的高频正弦波。根据电气参数可知，MC1648P 所能承受的最大振荡频率为 225Mhz，可以满足我们的需要。

使用 MC1648P 组成正弦信号振荡器的电路图为：

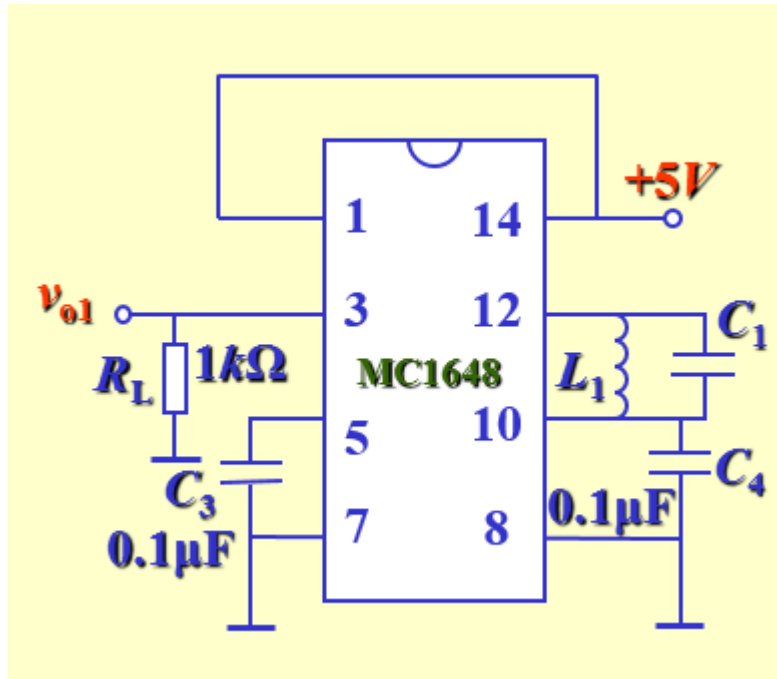


图 5 MC1648P 正弦振荡电路

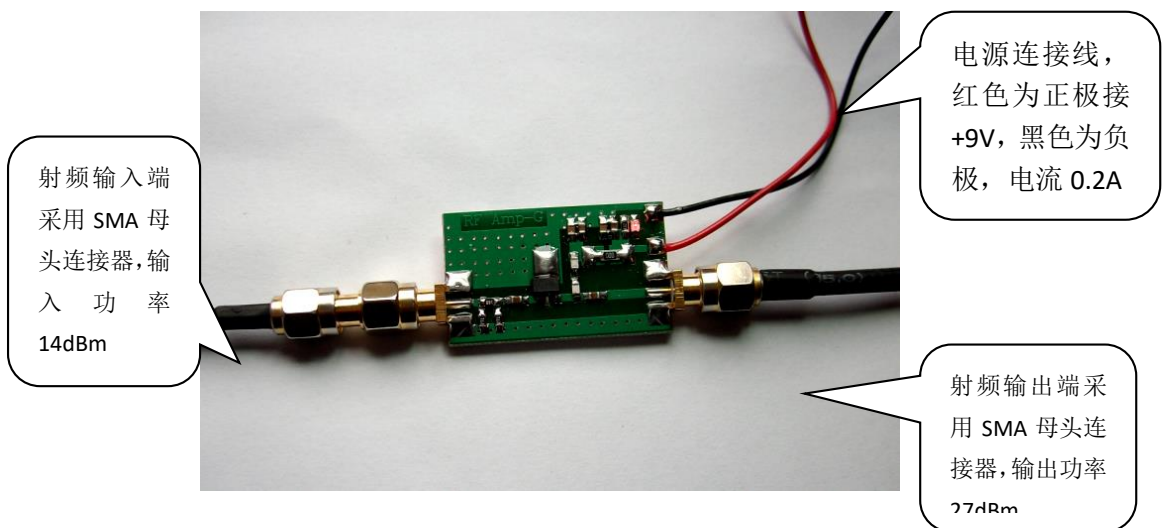
芯片共有 14 个引脚，我们并不需要用到全部。14 脚接 5V 稳压电源，3 脚为信号输出。其中 C3、C4 为滤波电容，电容 C<sub>1</sub>、电感 L<sub>1</sub> 构成 LC 激发回路，决定输出信号的频率，其输出信号的频率值可由下式计算

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

调试阶段，信号通过可连接示波器的 BNC 头输出。

### 3.2 功率放大模块

使用 50MHz-1000MHz 0.5W 宽带射频放大器：



射频输入端  
采用 SMA 母  
头连接器，输  
入 功 率  
14dBm

电源连接线，  
红色为正极接  
+9V，黑色为负  
极，电流 0.2A

射频输出端采  
用 SMA 母头连  
接器，输出功率  
27dBm

图 6 宽带射频放大器实物链接图

其具体参数为：

1 工作电压 9V

2 工作电流 0.2A

3 频率范围 50MHz—1000MHz

4 增益 13dB(也就是把输入功率放大 20 倍)

5 输出功率 27dBm,也就是 0.5W (P1dB 27dBm)

功放模块采用 SMA 母头，与信号输出端的 BNC 头之间需要转换，转换头如下图所示：



图 7 BNC 公头转 SMA 母头转接头

### 3.3 场强计 LED 显示装置

接受与显示装置实际为一个场强计，具体的设计仍然很粗糙，有以下几个备选电路：

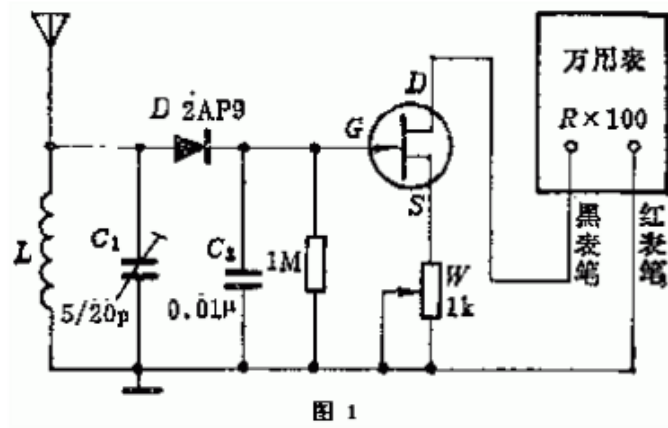


图 8 场强计备选电路 1

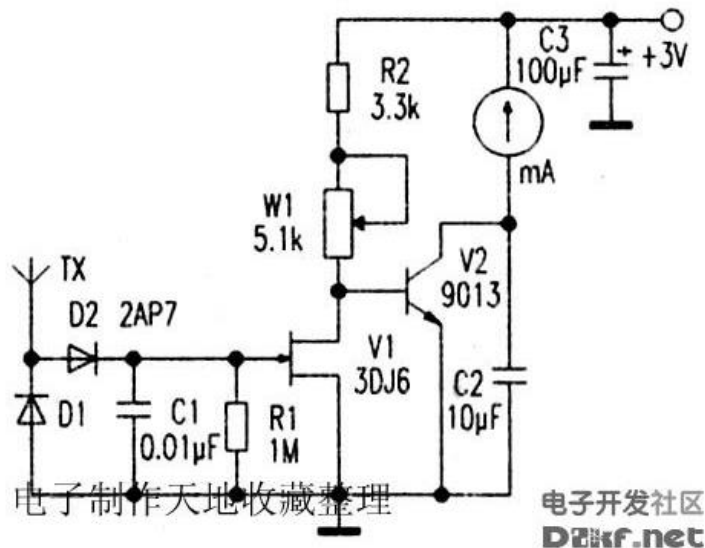


图 9 场强计备选电路 2

以上电路只是初步设想，为具体适应我们的要求还要做进一步的整理与改进，限于制作开发进度，场强计方面的工作仍需进一步深入展开。

### 3.4 承接装置与反射屏

上述几个模块需要集中在统一的承接装置上以形成仪器整体，同时还需要集成反射屏以实现波的反射，形成驻波。反射屏材料应满足吸波少，电磁波反射能力强的材料。对通信波段的电磁波，光滑的金属表面即可较好地反射电磁波。

### 3.5 仪器的封装

根据上述仪器设计的基本指标及功能的要求，仪器的初步封装样式设计为：

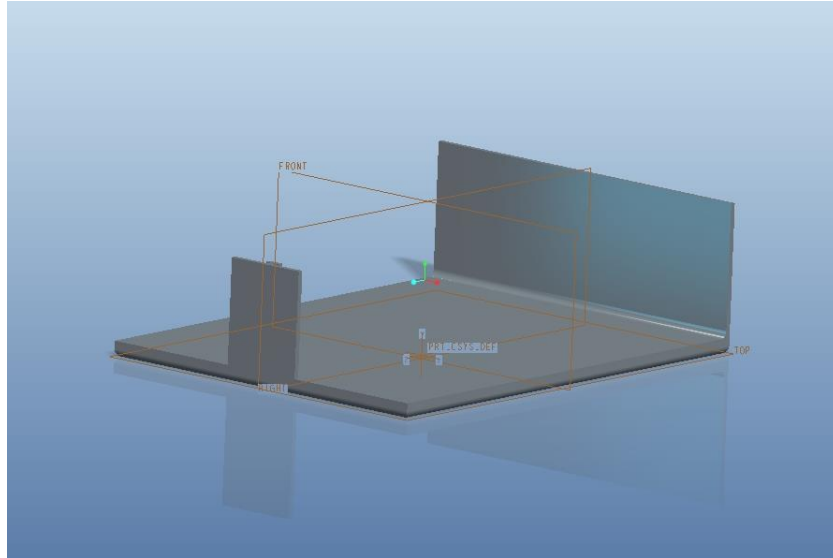


图 10 承接装置与反射屏

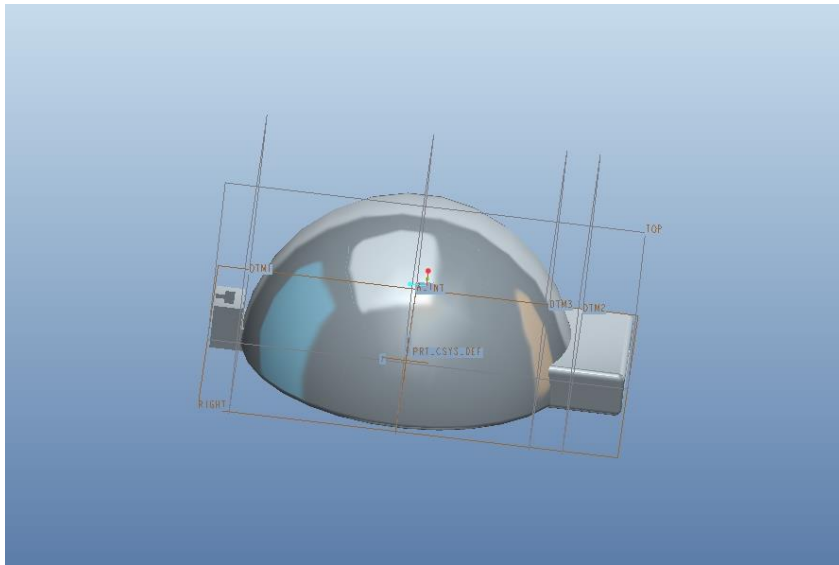


图 11 信号发生+功放模块+发射天线集成

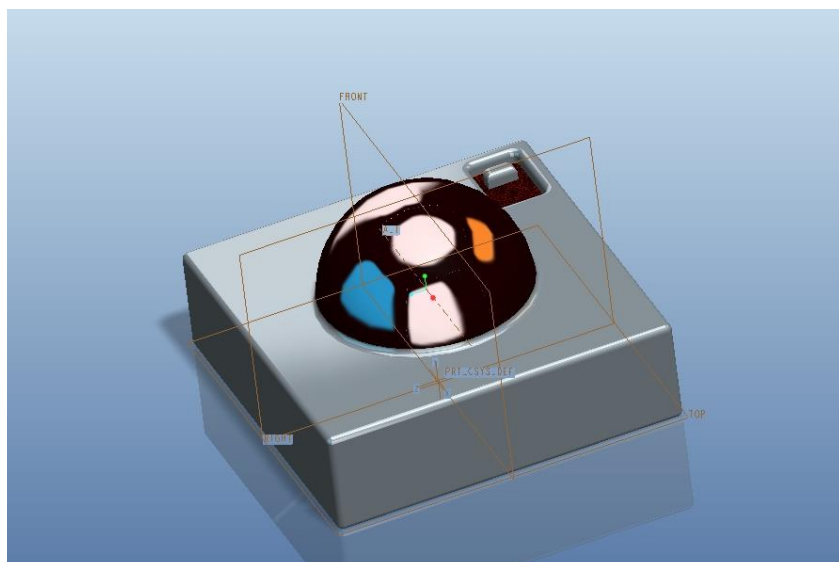




图 12 场强计与 LED

仪器设想效果图为：

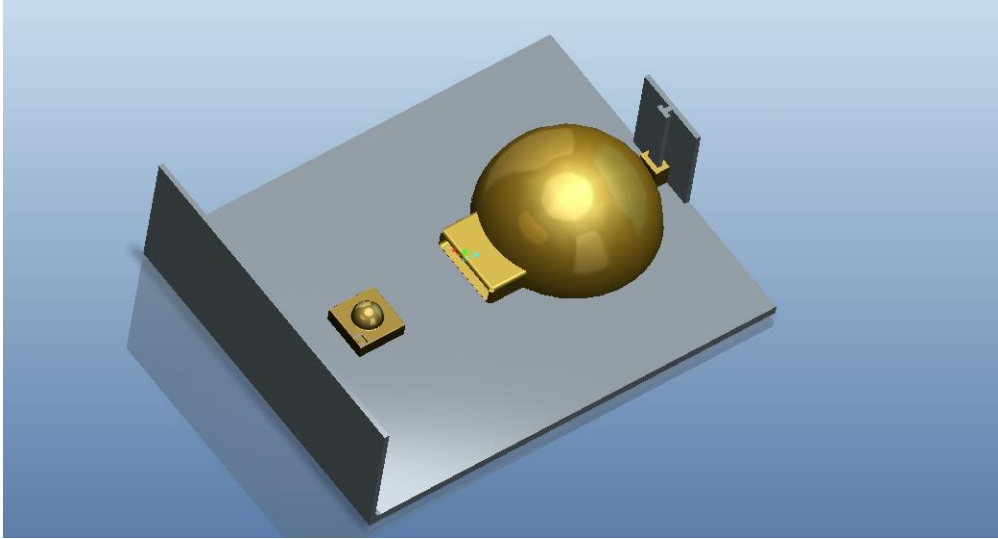


图 13 仪器最终效果图

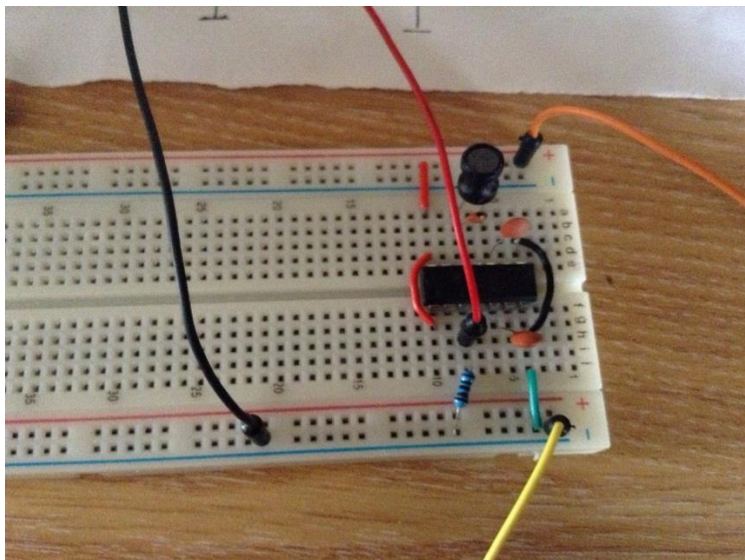
其中场强计与 LED 可以再承接板上自由移动，通过 LED 的亮度大小来显示该处电磁场强度。以上仅为概念图，具体加工尺寸仍需论证后决定。

## 4 仪器的制作与调试

仪器的设计工作占据了本学期的大部分时间，时间所限，仪器的制作与调试本学期仅仅局限在信号发生部分。

### 4.1 信号发生部分电路的制作与调试

根据图 5 所示的电路图，在面包板上尝试连接电路，得：

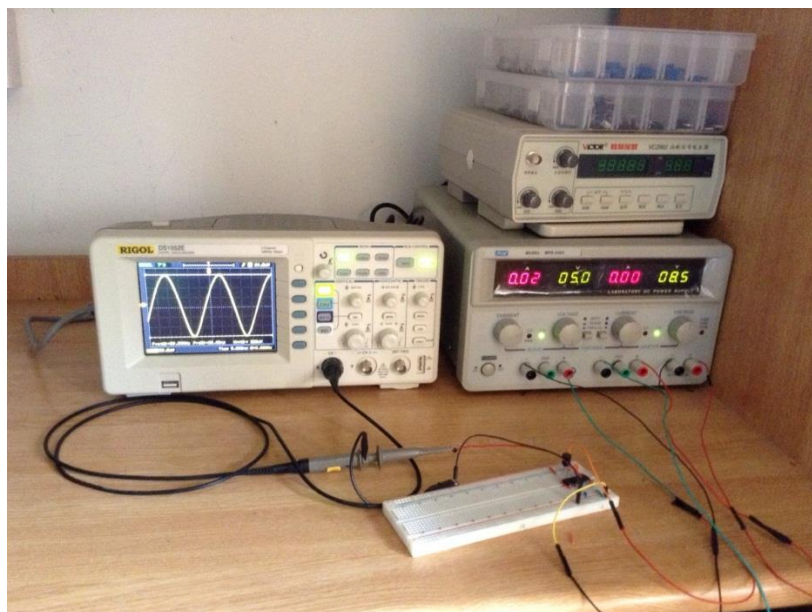




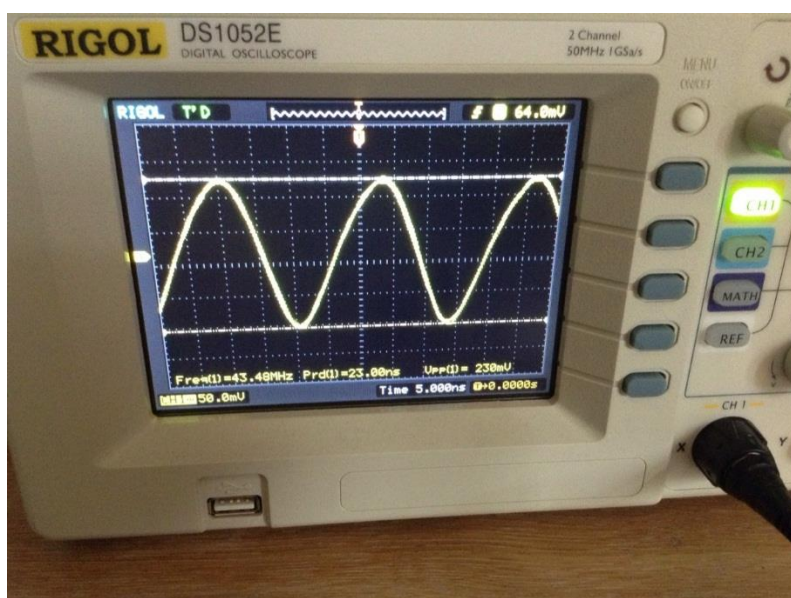
其中选取的电容值为 10pf，电感值为 1 μ H，理论信号频率为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} = 50.33\text{mHZ}$$

供以 5V 稳压电源，并将输出接入示波器观察：

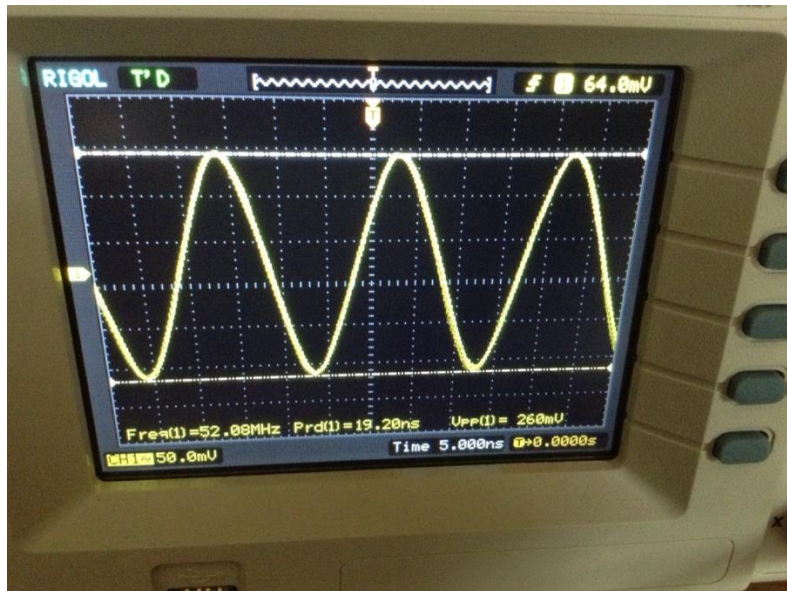


结果为：



波形较好，频率只有 43mhz，应该是电路的分布电容导致时间常数变大。特别是面包板电容，此时的作用不可忽略。

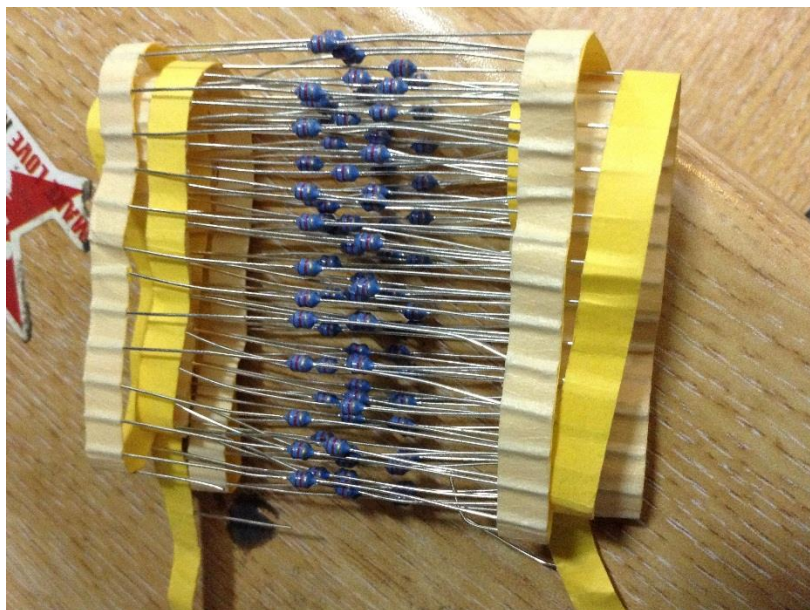
为进一步改善振荡性质，提高振荡频率，拆除 LC 回路中的并联电容，仅依靠电路的分布电容，可以将震荡频率提高到 52mhz 左右：



可见电路的震荡频率仍然有待进一步提高。

因为 LC 电路中的电容已经移除，电容已无法进一步降低，进一步提高振荡频率的方法只能依靠进一步减小电感数值。市面上的功率电感最小值已经为 1 $\mu$ h，经查证，色环电感最小可以降到 100nh，即降为原来的 1 / 10，预期频率可以提高为 3 倍，即 150mhz 左右。

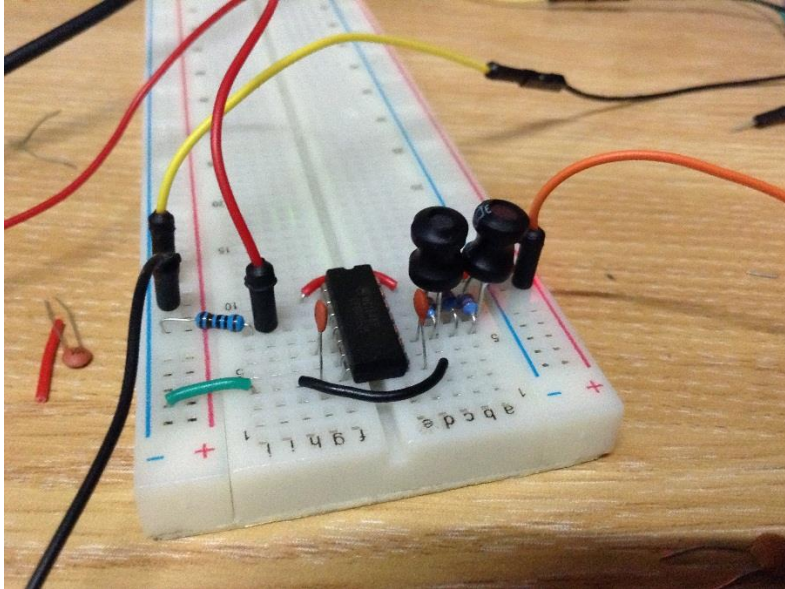
下图为新买到的色环电感，感值为 100nh。



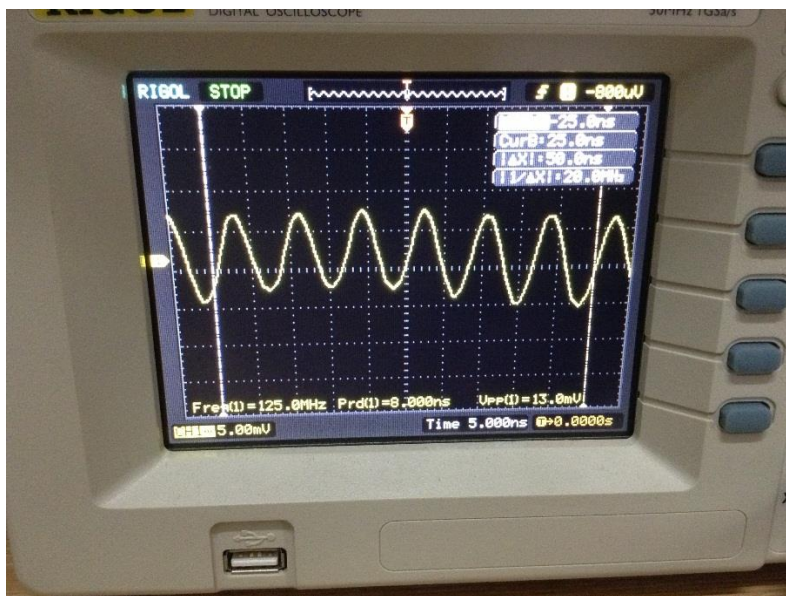
用新买到的色环电感代替之前的功率电感，发现频率提高并未如预期，只提高到了 60mhz 左右，原因我们猜测为面包板的电容效应在高频下愈发明显。

同时，我们决定采用电感并联的方式进一步减小电感，得到如下电路：





由于面包板本身体积、结构的限制，我们仅仅并联了 5 只电感，其中两只 1 $\mu$ h 的功率电感，三只 100nh 的色环电感，理论上等效电感为：0.03 $\mu$ h，相应频率应为大约 1.6ghz，当然这是不可能的，因为 mc1648p 的最高输出频率也仅仅为 225mhz。然而实际上我们测量时得到的输出频率仅仅为 120mhz 左右：



频率仍然达不到预期。同时，频率提高导致波形变得不平稳，这是因为面包板电容的不稳定性。输出幅度也越来越小。为此我们加回了 LC 回路中已经拔除的电容，这样虽然会降低频率，但可以使波形稳定下来。

## 4.2 下一步的计划与预期

我们认为，面包板的限制，尤其是面包板的电容是限制电路频率进一步提高

的主要瓶颈。为控制研制的节点，我们并不打算在这上面花费更大的精力，将这个问题留待后面解决。

目前的进展是，高频正弦信号已经可以产生，频率可大致达到预期，功率无法达到预期。下一步的主要任务为：

**1.射频功放的链接与调试。**我们已经订购了 BNC 公头转 SMA 母头转接头以及射频功放面板，待零件到齐之后，在电路的信号输出端加上射频功放，并通过示波器观察输出信号的强度，以判断是否能够达到我们的功率预期。如能，则进入下一个阶段；如不能，则购买放大倍数更大的射频功放。

**2.场强计电路的制作。**在输出信号的频率和功率都大致能够达到要求时，开始做场强计。这其中的问题还不得而知。当我们的场强计可以检测到信号并能够点亮 LED 灯时，场强计告一段落。

**3.绕指天线，制作反射屏。**将信号通过天线发射出来，并在反射屏的阻挡下形成驻波。此时放入场强计进行检测，看能否检测到随空间位置的不同信号灯发光强度的不同。如能，则基本功能实现，考虑进一步的优化问题；如不能，回头检查每一个过程，发现并解决问题。

## 5 结语

新型电磁波的演示装置，虽然本学期没有做完，但通过本学期大量相关知识的学习与讨论调研，我们已经有了详细的方案与计划，为后面进一步的工作定下了方向与基调。总结下来，本学期主要有以下收获与总结：

**1.物理离不开工程与电子。**本学期初我们进展缓慢的主要原因是作者不懂电子电路方面的知识。为此我们学习了许多相关方面的知识，包括模拟电子电路，数字电子电路，以及通信电子电路等等。由于需要实现的频率很高，简单的模拟电路无法实现我们的需要，通信电路成为必需，为此我们还有很多东西要学。

**2.充分的文献调研与学习**是任何工作的前提条件。本学期我们大部分时间花在文献调研与方案设计工作上。由于是从无到有的过程，我们进行了各方面的讨论，才定下了确切的方案。学期初我们有一次失败的尝试，总结下来是因为我们功课做得非常不够，这直接导致了我们的工作毫无价值。

**3.动手实践能力的培养**是我们的当务之急。作为物理系的学生，我们学了很多理论课，但并没有很多实践动手的机会与能力，通过这次实验仪器的制作，我

更加意识到提高这方面能力的重要性。相信通过这部仪器的制作，我能够更多地积累实战经验，提高动手能力。

感谢吕景林老师本学期对我们的指导。本学期的工作虽已结束，但向我们仍会继续这项仪器的开发与制作，希望我们能够最终克服困难，将这部仪器做成。

## 6 参考文献

- [1] 童诗白，华成英，模拟电子技术基础，高等教育出版社 2008 年版。
- [2] 于洪珍，通信电子电路，清华大学出版社 2012 年版
- [3] 实用天线设计与制作，电子工业出版社 1982 年版。
- [4] 摩托罗拉公司，mc1648p 说明书，1997 年。
- [5] 阎石，数字电子技术基础，高等教育出版社 2008 年版。
- [6] 张锦鹏，高频无线收发电路的研究与设计，2011 年。
- [7] 曹志刚，钱亚生，现代通信原理，清华大学出版社 1991 年版。