

基于图像分析的简易无线输电模型研究

苏睿，隋吉泽，寇嘉芮

(上海科技大学 2019级)

摘要： 无线输电作为重要的新兴能量传输方式，在未来的信号传输中将会发挥出巨大的作用。本研究基于简易的自激振荡电路和发光二极管探究了一系列影响无线传输的影响因素。通过控制变量法，探究了电压，频率，线圈直径，线圈匝数，发射线圈与接收线圈之间的角度，磁导介质的变化等一系列因素对无线输电效率的影响。通过实验探究，小组成员利用MATLAB，python等分析工具，对收集到的图像数据进行了数据分析和量化处理，并且设计了更为准确的定量实验方法。

关键词： 无线输电；电压与频率；线圈性质；MATLAB图像分析；Python数据处理

Characteristics of wireless power transmission based on the photo.

Su Rui, Sui Jize, Kou Jiarui

(Shanghai Tech university, 2019)

Abstract: As a brand-new way of energy transmission, wireless power transmission is destined to play an important role in the future signal transmission industry. This research, based on the function of self-excited oscillation circuit and luminous diode, studied factors that influence the process. By using the method of control variable, we studied how factors like medium, voltage, frequency, diameter per coil, turns per coil, angle between coils can possibly affect the efficiency of wireless power transmission. The members of our research team used computer science tools like MATLAB and python to quantize and analyze the collected image data, developing better quantitative experimental method during the process.

Keywords: Wireless power transmission, Voltage and Frequency, Nature of inductance, MATLAB, Python

1. 引言

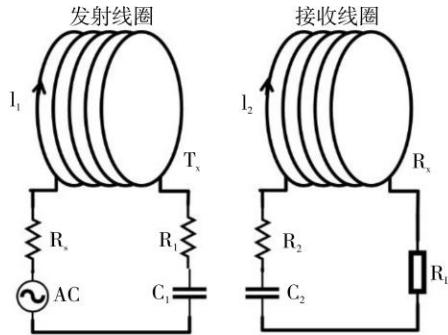
近年来，随着手机、电动汽车等电子产品使用 的增加，无线充电技术受到了越来越多的关注。相比传统的有线充电方式，无线充电具有便携、安全等独特优势。19 世纪末，Tesla 提出了无线电能传输的猜想之后的一个多世纪，无线输电的研究从未停止过。直至今日，人们对于无线输电的热情仍然有增无减。本实验意在通过发光二级管的亮度来研究无线输电的传输效率与电压，频率，线圈匝数，角度，线圈直径，磁导介质的变化等因素对无线输电效率的影响。

本次研究中，我们采用了图像化信息采集加图像可视化处理的方法，通过构建在三个维度上的光强分布，使得结果可视化，并为下一步量化的数据处理打下基础。

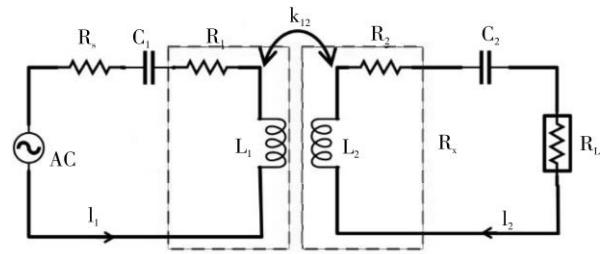
2. 实验原理概要

实验原理图如图(a)所示，本质上讲无线传输系统类似于变压器原理，根据Maxwell方程所指出的，变化的电场能够产生磁场，同样，变化的磁场能够产生电场。在发射线圈的输入端，输入的是自激振荡电路的信号，在发射线圈中，变化的电场的能量转化为磁场的能量存在于空间中，并且根据安培定律，其产生磁场分布类似于条形磁铁所产生的磁场（右手螺旋定则），变化的磁场在接收线圈中产生无源的电场，能量从磁场转化到电场，并驱动发光二极管发亮，从灯泡的亮度可以清晰的反应出无线传输的效率。

图(a)是理想化的模型，用于描述实验中可能产生的误差。图(a)中 R_s 等效为输入接口的电阻，发射线圈简化成一个理想电感，加线圈内部的阻值，和线圈不致密或者传输线之间的电场所导致的容抗简化为 C_1 与 R_1 ，同理对接收线圈做同样的理想化模型处理，即可得到一个较为严谨的电路模型。其中经过实际测量， R_1 最大约等于0.07欧姆， C 值基本过小，所以在最后实验处理中基本可以忽略这些因素的影响。图(b)为抽象出来的电路图。



图(a)



图(b)

3. 实验材料概述

实验材料主要包括：自激振荡电路板，发射线圈和接收线圈。其中为了降低实验的误差以及实验的成本，减小材料的浪费，我们在实验中采用的发射线圈是可变电感的线圈制作方法（离散值），如图3.1所示，发射线圈为直径6.89cm的圆形线圈，整体为75匝线圈，其中每隔15匝引出引脚，利用焊锡的方法在每个引脚上引出导线连接发射电路。这样的作法的好处在于在实验过程中可以直接将发射线圈固定在一个确定的位置，仅仅调节接收线圈即可，可有效减少实验操作的难度以及误差，并且能起到节省实验材料的作用。接收线圈使用的是标准15匝，30匝以及45匝线圈，另外还有直径不同的两组线圈，具体参数在相应板块会进行阐述。

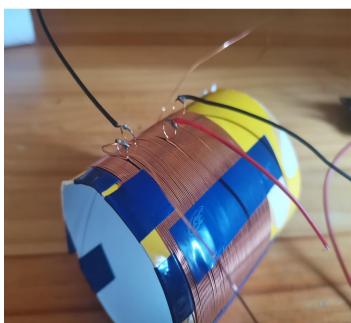


图3.1
多引脚发射线圈

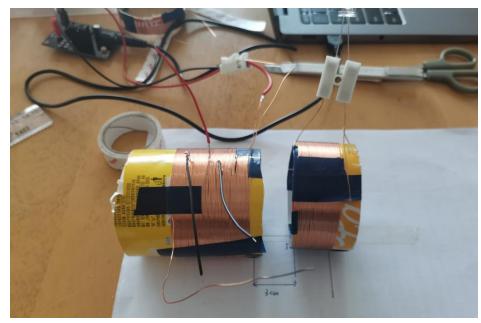
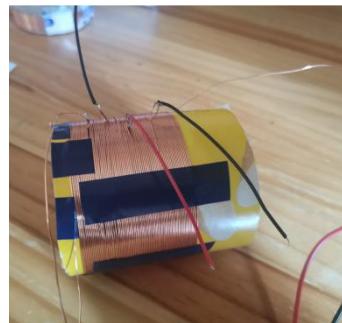


图3.2
实验电路

4. 数据获得与处理

为了获取到光亮对比最强的图片，我们选择在夜晚封闭的活动室内测量，并且考虑到，目前智能手机对于光强的感应会使得手机自动调节整张相片的亮度，使得低光强部分变得更加清晰。明显这样是对整个实验的巨大误差，所以我们放弃了使用智能手机相机拍摄灯泡图片的想法，选用了没有自动调光功能，低分辨率，低像素的surface pro7相机，相比之下，surface摄像头明显表现更好。

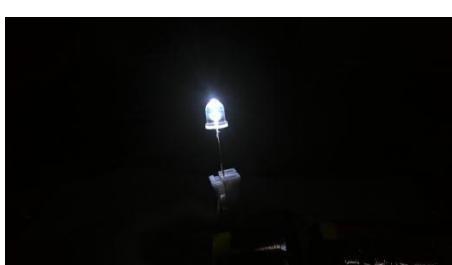


图4.1
左边为使用surface相机获得的图像，环境周围光强基本无影响，图右为使用华为P30摄像头在同等光亮强度下所获得的图片，明显华为P30对周围环境的优化使得环境亮度对实验产生了巨大的误差。

在得到了如（图4.2）所示的图片之后，下面是对这张图片进行一个量化的处理。我们使用的是将图片转换成.bmp格式之后导入MATLAB中，转化为双精度参量之后，将这张图片的亮度分布转化成三维上的分布图(图4.3)。由于这种做法并不能得到一张图片上最强的亮度是多少，而是反应出相对亮度的分布，所以对于光强的判断应该转化为对于对发光范围的判断（一张图片中，相比于环境的亮度（在本实验中由于是无光环境，设置为了0）处于同一范围值的发光面积），我们采用了在二维上，以相对发光强度为参量，在二维图片上展示出来（图4.4）可以看出这种处理方式能够清晰的看出一张图片中灯泡的发光范围。但是为了更加清晰的可视化的处理数据，我们选取了过图像中相对光照强度最高的某点，垂直于y轴的（或x轴）的直线，截取了在此界面上的光强分布一维曲线。根据前面的分析，我们非常自然想到将发光面积转化为一维曲线上自突变点开始到下一个突变点之间的距离（这个过程首先要经过一步对比原图像剔除粗差和干扰量的操作）（图4.5），这样我们就有了一个可视化，可量化的方法来处理发光强度这个难以被描述的量。



图4.2
原始数据

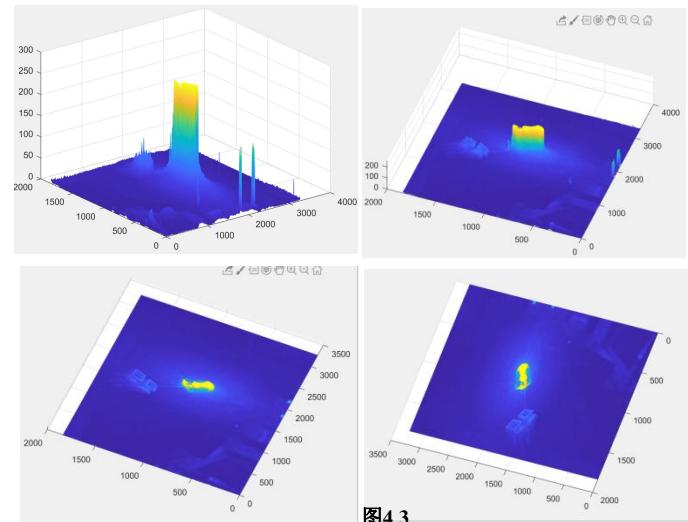


图4.3
三维图像生成的过程
图四 (左下) 为像素点的分布

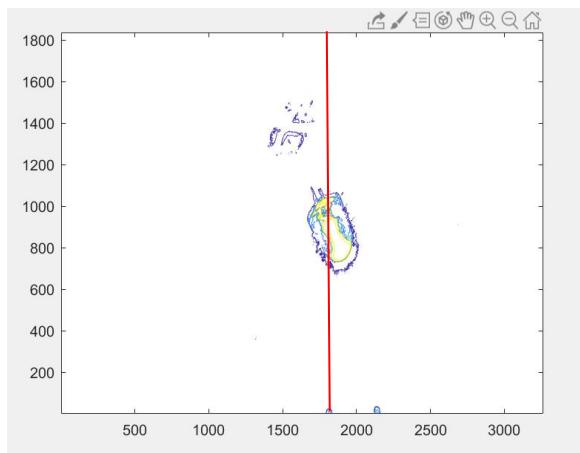


图4.4
灯泡相对发光强度
在二维上的分布
图中红线为切割平
面在平面上的投影

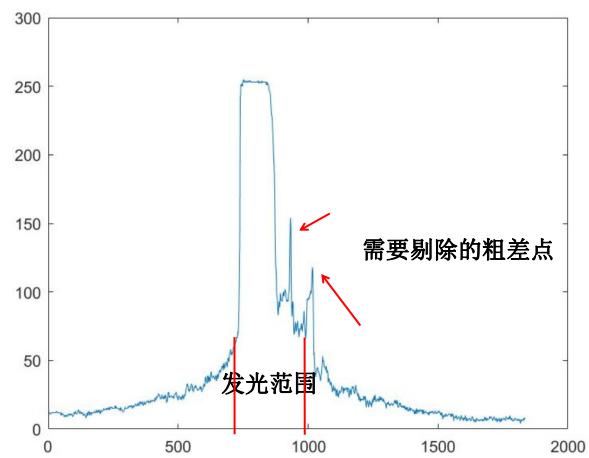


图4.5
灯泡相对发光强度
在一维上的分布

5. 实验要素的分析

5.1 电压分析：

自激振荡电路提供的电压存在两个峰值（图5.1.1）一个在5V左右，一个在25V左右，由于二极管的单向导通性，当通过的方向不同时，从理论上分析，灯泡的亮度应该不同，所以实验保持距离为5cm，线圈直径选取6.89cm的线圈，发射线圈选择了15匝，接收线圈选择45匝，通过将接到自激振荡电路板的导线的正负极调换，使得获得不同的电压值，从所得实验数据处理来看(图5.1.2)，当通过电压峰值为25V左右时，灯泡的亮度明显大于通过电压为5V时，可以说明电压越高，传输的功率也就越大，反映到小灯泡上，小灯泡会变亮。

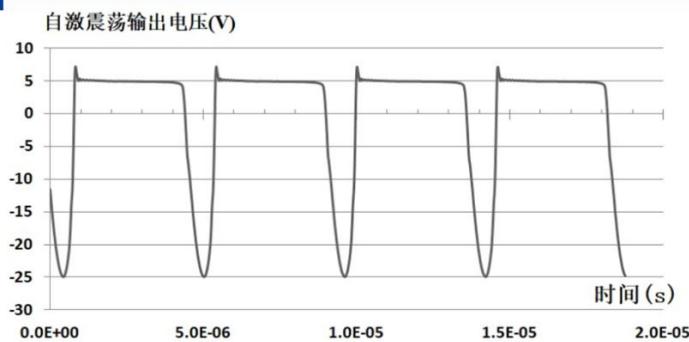


图5.1.1
自激振荡电路电压

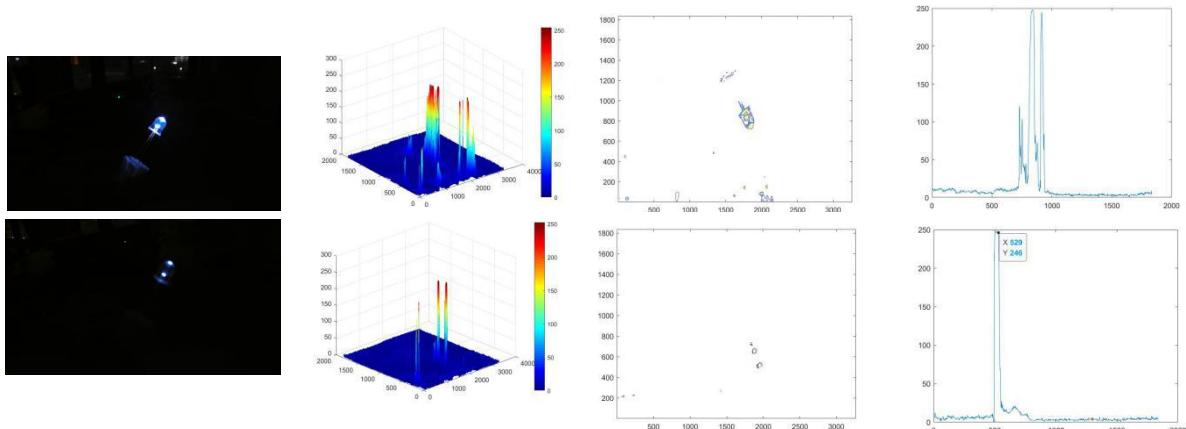


图5.1.2
两种电压下的对比，上面为通过电压为25V，下面为5V.无论从三张不同维度的图来观察，都可以明显看出，通过电压为25V时小灯泡的亮度更加高，说明电压越高，无线传输功率越大。实验与我们理论预期的非常相符。

5.2 频率分析：

根据自激振荡电路的特性，我们可以得知，当我们改变电路的负载值时，可以达到改变电路频率的目的。在实验中，线圈规格采用跟5.1实验一样的规格。关于改变频率这个变量，我们设置了一组对照组（仅有发射和接收线圈），另外两组实验组，一组串联了一个30匝的电感线圈，一组串联了一个15匝的电感线圈，用以获得两组不同的频率（我们还做了并联电感的实验，但是由于根据电感在电路中的串并联特性，并联的电感本质并无区别，所以不在此赘述）。由自激振荡电路特性得知，串入的电感量越大，电路输出的频率越低，由Maxwell的理论推算，传输的功率应该下降，小灯泡变暗，而我们的实验数据很好的反应了这一趋势。说明频率越高，无线输电的效率也就越高。

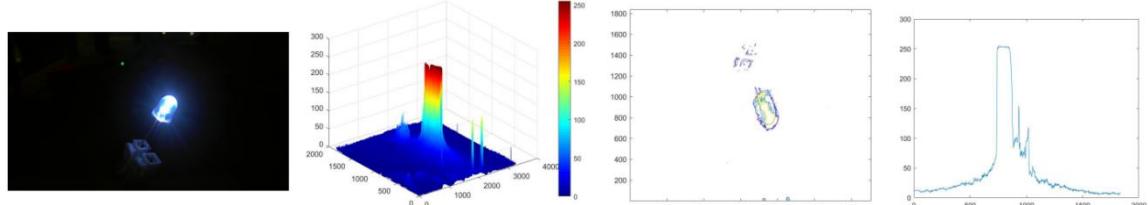


图5.2.1
对照组的光强特性

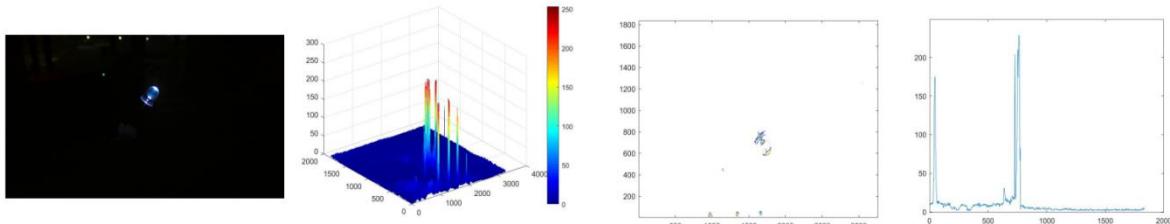


图5.2.2
串联15匝电感线圈的光强特性

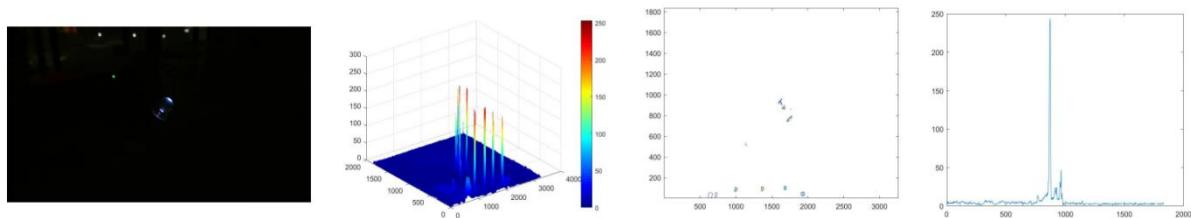
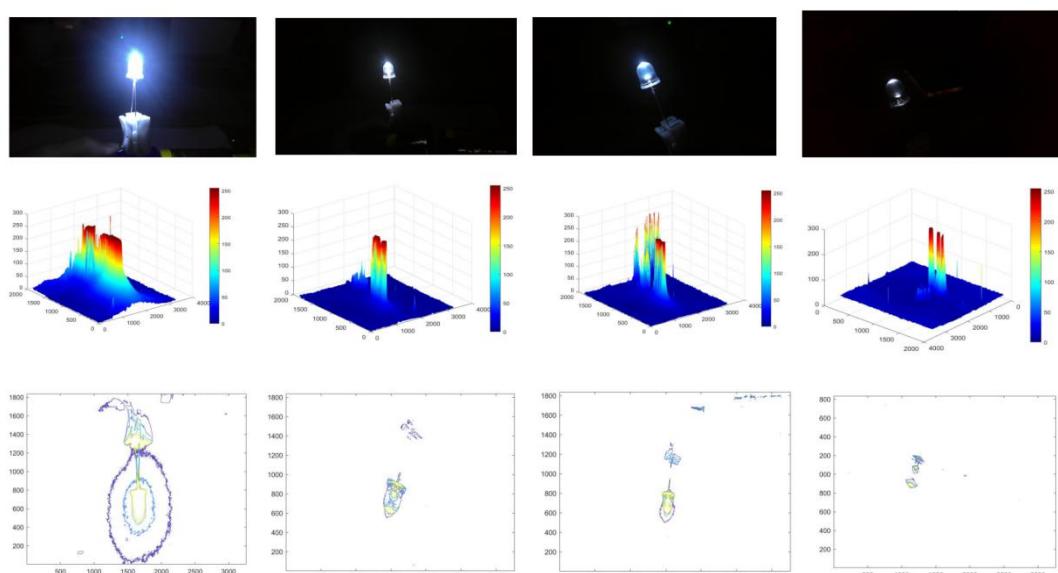


图5.2.3
串联30匝电感线圈的光强特性

5.3角度分析：

无线输电的原理在应用上来讲，其实跟我们所熟知的变压器原理很类似，当两个线圈之间成一定角度之后，发射线圈产生的磁通在接收线圈的一段感应的磁通就没有正对时感应出的电压高，从理论出发，我们可以预测出，当两个线圈之间的角度越大时，传输的效率也就越低，那么反映到小灯泡的上面，随着角度的增加，小灯泡的亮度应该逐渐降低，我们的实验数据很好的反映了这一变化趋势。

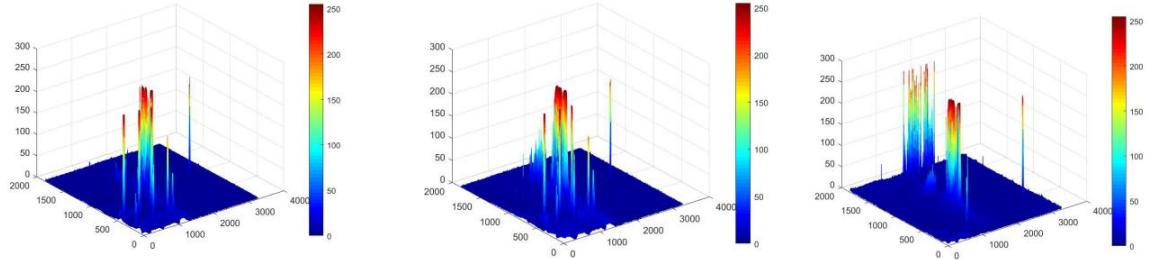
(图5.3.1) 其中所有数据从左到右分别为 90° , 75° , 60° , 45° ，由于角度为 45° 时灯泡亮度太低，我们选择将线圈之间的距离缩短为2cm，其余条件与前两个实验相同，所得数据及处理如下。



从实验数据可以看出，随着角度的增大，小灯泡的发光亮度有明显的缩减，这与我们理论相符。

5.4线圈直径：

无线输电装置本质上来说就是一个用于传输能量的互感装置，如果发射线圈和接收线圈的直径相等，那么发射线圈产生的磁通，能够最大程度上的被接收线圈感受。如果接收线圈的直径小于发射线圈，则必然会导致接收线圈只感受到了部分磁通，跟直径相同的对照组相比，理论上传递的能量更少，则小灯泡的亮度应该更低。另一方面，如果接收线圈的直径大于发射线圈的直径，一方面来讲，确实感受到了更多的磁通的变化，但是根据Maxwell方程，产生的电场是需要环路积分的，而直径增大之后，环路也更大了，就有可能导致小灯泡也会变暗，下面是数据的分析结果。



从左至右接收线圈的直径分别为：4.35cm,6.89cm,7.50cm,发射线圈直径为6.89cm。可以看出线圈直径为6.89cm(中间图谱)时，小灯泡的亮度最高。与我们理论值相符。

在这次的分析中，需要指出的是，利用MATLAB数据处理的方法做出了巨大的贡献，在原始数据中，两组数据的光的亮度分布其实差距极小，很难讲微弱的差距是摄像头曝光位置影响的还是确实是由于线圈直径影响的（图5.4.2）但是将截面光强分布取出之后，数据变得更加直观起来。（图5.4.3）

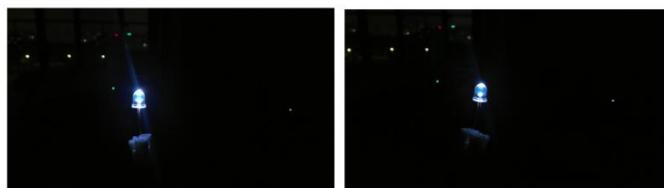


图5.4.2
实际图片差距极小

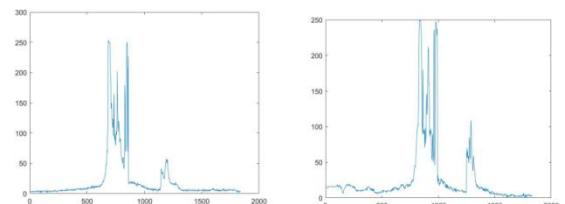
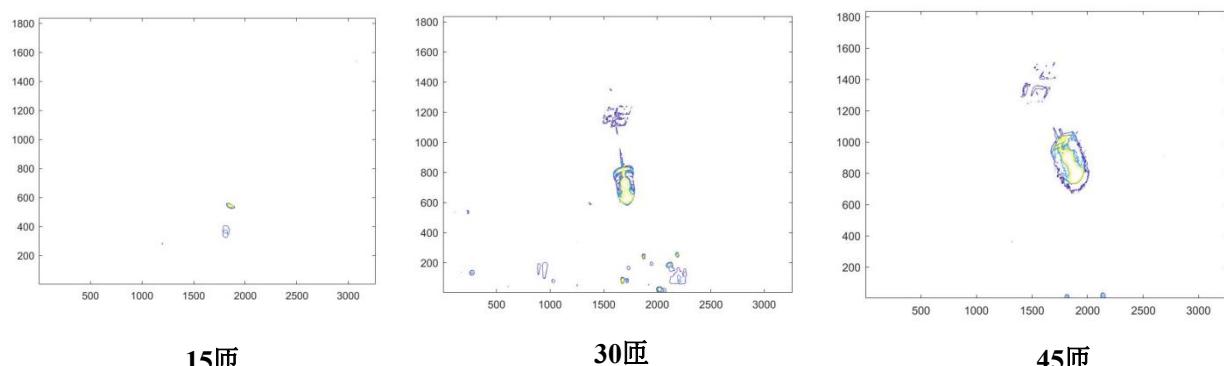


图5.4.3
一维的光强分布

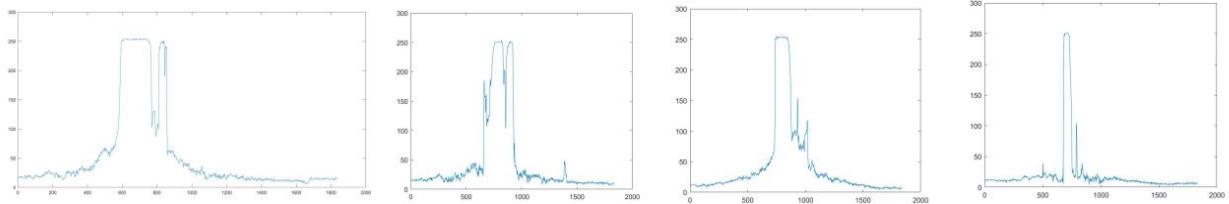
5.5线圈匝数：

根据互感原理，决定接收端电压高低的并不决定于接收端线圈数目，而是接收端线圈匝数与发射端线圈的匝数的比值。在本次实验中，我们做了两大组实验，一组是保持发射线圈不变，通过改变接收线圈的匝数，观察小灯泡的亮度。那么根据互感的基本原理，随着接收线圈的匝数上升，小灯泡的亮度应该逐渐上升，而我们处理得到的数据也支持这一理论推断。这个实验中，保持线圈之间的距离为5cm，发射线圈保持45匝不变，改变接收线圈分别为15匝，30匝，45匝。



可以看到实验数据在二维上非常清晰的展示出了这个变化的趋势，相比于直接从照片上观察，有更好的辨别和确认的能力。

第二组实验室保持接收线圈45匝不变，改变发射线圈的匝数，根据互感原理，当发射线圈的匝数上升的时候，由于匝数比在下降，小灯泡的亮度应该逐渐下降，而我们的实验数据也证实了这一点。



从左至右分别为15匝，30匝，45匝和75匝，可以看到它们的发光范围有明显的减小，非常清晰的表现出了随发射线圈匝数上升亮度减小这一趋势，而这从原图上来分析是十分困难的。

经过这两组实验之后，我们不难看出，理论上来讲决定小灯泡亮度应该是接收线圈和发射线圈的匝数之比，而我们利用获得以为图像的发光距离作为因变量，以匝数比作为自变量，画出散点图如下，两组实验得到实验数据进行拟合，发现两条曲线拟合的非常好，所以可以证明其实匝数比才是真正影响小灯泡亮度的因素。

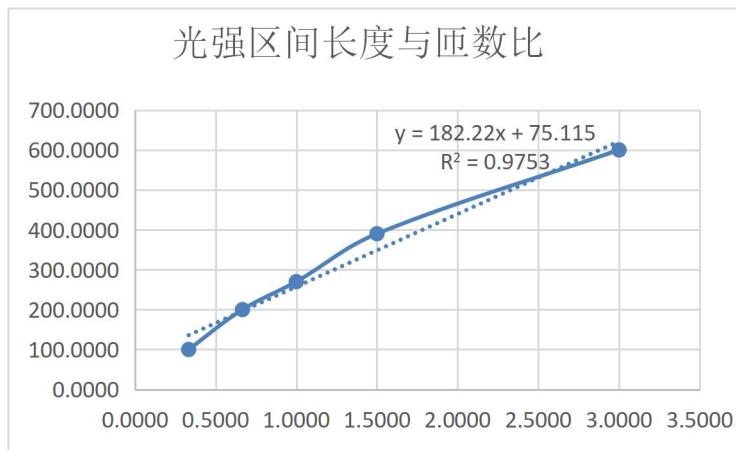


图5.5.1
利用光强区间长度和匝数比做出的线性回归分析
从回归系数来看，基本符合线性关系。

6. 另一种实验方法的可能性讨论

其实对于上述的实验结果的阐述，都是从定性的角度进行探讨，而且从小灯泡的亮度来讨论无线传输的效率或者效果，虽然我们尽力让结果可视化，数据化，但是仍然不能说是一个非常严谨的科学实验方法，而且从实际的研究来讲，我们不能仅仅从接收功率来看无线输电的效率，这是非常不严谨的实验方法，但是局限于现实条件，我们只能做到上述实验一般的程度。

但是这仍然不能阻止我们以科学严谨的态度来看待这个问题的热情，于是我们小组提出了另一种更加严谨和准确的实验方法。

这个实验中无法进行定量分析的重要因素就是因为我们常用的万用表无法测量一个自激振荡电路，所以我们也无法得到准确的数据，但是示波器却可以提供给你这些数据，所以如果我们有一台示波器，就可以非常清晰的将这个实验非常定量化的表示出来，我们只需要读出接收线圈和发射线圈的电压和电流的有效值，就可以非常容易的得到各自功率，然后我们可以用功率比这个更加科学的量来衡量这些因素对无线输电品质的影响。

虽然我们无法实地的测量这些值（生院学生搞不到示波器orz），但是这仍然不能阻止我们去证明这种方法的可行性。以下是我们利用python实现的对于在定量实验中多次测量以及最后结果的不确定度的分析方法。（附件在文件夹中）

```

1  """
2  单一变量 原始数据处理
3  输入.csv格式文件，文件中含有某一变量的五个测量数据，以1x5方式排列
4  """
5  class Rawdata():
6      def __init__(self,file,name,unit): #file为文件位置, name为变量名, unit为变量的单位
7          import math
8          self.name = name
9          self.unit = unit
10         f = open(file).read()
11         self.data = f.replace(' ', '').split(',')
12         self.data = [round(float(i),2) for i in self.data]
13
14     def average(self):#算术平均值计算
15         total = 0
16         for i in self.data:
17             total += i
18         self.ave = round(total/len(self.data),2)
19         return self.ave
20
21     def standard (self):#测量值的标准偏差
22         import math
23         self.average()
24         temp = []
25         total = 0
26         for i in self.data:
27             ele = (i - self.ave)**2
28             temp.append(ele)
29         for i in temp:
30             total += i
31         self.stan = round((int(total/ len(self.data)-1))**0.5,2)
32         return self.stan
33
34     def average_standard(self):#平均值的标准偏差
35         self.standard()
36         self.ave_stan = round(self.stan/(len(self.data))**0.5,2)
37         return self.ave_stan
38
39     def Chauvenet(self):#肖维涅剔除粗差 n=5 c=1.65
40         self.standard()
41         abs_data = [abs(self.ave-i) for i in self.data]
42         self.data = [i for i in abs_data if i <1.65*self.stan]
43
44     def uncertainty(self):#不确定度计算
45         self.average_standard()
46         delta_B = 0.95*0.05
47         delta_A = 2.78*self.ave_stan
48         self.u = round((delta_A**2 + delta_B**2)**0.5,5)
49         print(self.name,'=','(',self.ave,'±',self.u,')',self.unit)
50         print('Ur = ±',self.u/self.ave)
51

```

对于计算电感量的相应程序都在文件夹中一起上传，以下是代码的实现。

```
1  ...
2  空心螺线圈电感量的代码
3  输入半径R和长度L得到电感量
4  L:螺旋线圈电感;l:螺旋线圈长度;N:线圈的匝数;S:线圈的截面面积;μ:螺线圈内部导磁率;k:长冈系数
5  L = k μ N2 S / l
6  ...
7  class inductance():
8      def __init__(self,R,l):#R,L输入单位: cm
9          import math
10         self.R = R*10**-2 #线圈半径, 单位m
11         self.l = l*10**-2 #螺旋线圈长度, 单位m
12         self.d = 0.49*10**-3 #导线直径, 单位m
13         self.N = round(self.l/self.d,1) #线圈的匝数
14         self.miu = 4*math.pi*10**-7 #μ, 单位H/m
15         self.S = math.pi*self.R**2 #线圈截面面积
16
17     def Nagaoka(self):#长冈系数计算
18         key = 2*self.R/self.l
19         data = {0.1:0.96,0.2:0.92,0.3:0.88,0.4:0.85,0.6:0.79,0.8:0.74,1.0:0.69,1.5:0.60,2.0:0.55,2.5:0.48,3.0:0.42,3.5:0.37,4.0:0.33,4.5:0.3,5.0:0.27,6.0:0.24,7.0:0.21,8.0:0.19,9.0:0.17,10.0:0.15,12.0:0.12,15.0:0.1,20.0:0.08}
20         valid_keys = [i for i in data]#表格中给定2R/L范围: 0.1<=2R/L<=20
21         if key > valid_keys[-1]:
22             raise ValueError#如果测得2R/L>20,raise ValueError
23         if key < valid_keys[0]:
24             raise ValueError#如果测得2R/L<0.1,raise ValueError
25
26         if key in valid_keys:
27             self.k = data[key]#2R/L恰好等于给定的2R/L数值, 给出对应的长冈系数
28         elif key not in valid_keys:
29             for i in range(len(valid_keys)):
30                 if valid_keys[i] < key and valid_keys[i+1] > key:
31                     self.k = data[valid_keys[i]]#2R/L恰好在两个给定的2R/L数值之间, 给出对应的长冈系数
32                     break
33         return self.k
34
35     def calculate(self): #计算最终答案
36         self.Nagaoka()
37         self.L = round(self.k * self.miu * self.N**2 * self.S / self.l,5)
38         output = str(self.L) + 'H'
39         return output
40
41     ...
42 如何使用该程序?
43 示例: R= 3.23cm, L = 8.00cm
44 inди = inductance(3.23,8.00)
45 print(indи.calculate())
46 即可得到结果: 0.00102H
47 ...
48
```

7. 最后几点思考

7.1 关于线圈

线圈可以说是本实验中最关键的部分，绕制线圈过程中，我们做了几点创新，考虑到来回更换发射或者接收线圈一会使实验材料的极大浪费，二会使得整个实验都在绕制线圈和更换线圈。我们所采用的多匝多用线圈就可以有效避免这个问题。

7.2 关于误差

这个实验的误差其实非常巨大，第一关于图像的获取，从文章一开始的对比就能看出来，如果使用智能手机进行拍照，其自身调光的特性所带来的误差就已经比我们其他所有问题带来的误差要大很多了（这也是为什么甚至很多人用PS去修改图片的亮度，也不失为一种修正，但是仍然有违实验精神。）第二点就是线圈绕制的不够致密就会导致整个线圈一是电感量变化，另外还会形成电容，影响实验的准确性，第三所给计算电感量公式中，磁导率直接用真空磁导率代替其实是并不准确的，其实还可以考虑线圈中间的介质对实验的影响。