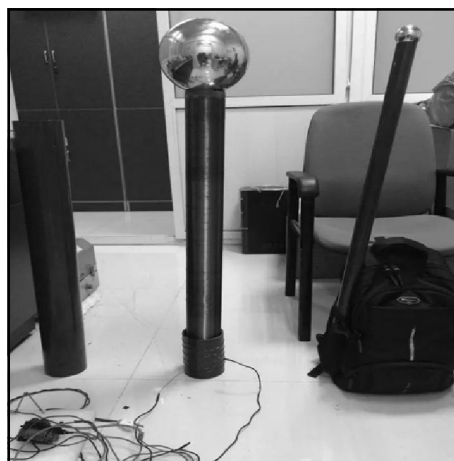


特斯拉线圈的制作与原理

李宜伦
PB14203250



实物尚未完全完成，仅供参考。

目录

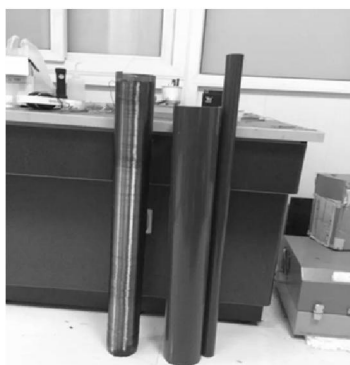
- 1.制作材料
- 2.原理简述
 - (1) LC振荡电路固有频率推导
 - (2) 电容电感的计算
 - (3) 打火器作用
 - (4) 升压原理
- 3.制作过程及结果分析

制作材料

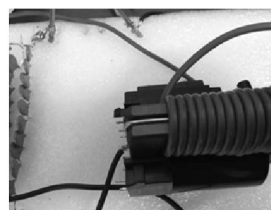
- 1.不锈钢圆球2个 ($d=20\text{cm}$ ' $d=5.05\text{cm}$)



- 2.PVC管三根 ($d=11\text{cm}$ ' 9cm ' 4cm)



- 3.电视机高压包

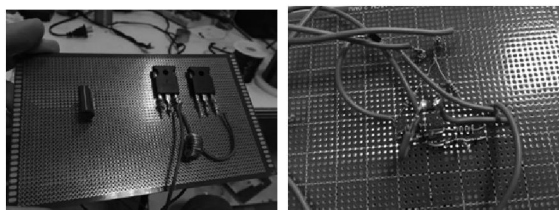


- 4.高压瓷片电容



(图片为很多个串联 ' 并联在一起的电容阵)

5.ZVS电路

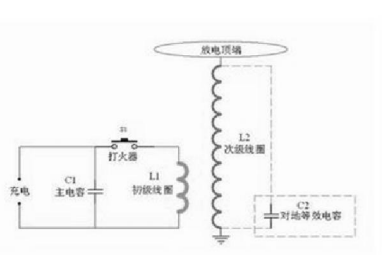


ZVS (zero voltage switch): 作用就是使低压直流电变成低压高频交流电，为电视机高压包升压提供准备。

以及漆包线两卷 (d=0.25mm, 1.5mm) 导线若干。

原理简述

当策动力的频率和系统的固有频率相等时，系统受迫振动的振幅最大，这种现象叫共振。电路里的谐振其实也是这个意思：当电路中激励的频率等于电路的固有频率时，电路的电磁振荡的振幅也将达到峰值。实际上，共振和谐振表达的是同一种现象。特斯拉线圈所应用的原理主要就是LC振荡电路的谐振。



图为特斯拉线圈的原理图，其中充电所用电源为8000V左右的高压源。另外图中次级电容为金属球与大地形成的等效电容，由于个人制作的线圈功率较小，所以放电时的等效电容使用的是两个金属球构成的等效电容。

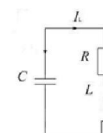
LC电路固有频率

考虑在一个LC振荡电路中，R为导线产生的等效电阻，可列出以下公式：

$$iR + \frac{1}{C} \int i dt + L \frac{di}{dt} = 0$$

其中

$$i = \frac{dq}{dt}$$



化简为

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$$

式中

$$\beta = \frac{R}{2L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

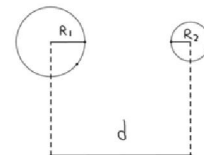
由于R为导线产生电阻很小，L为线圈电感，R/2L为小量，所以β近似等于0。

则原式解为 $q = q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

电容电感值计算

电容如图，设1球带电Q，2球带电-Q，U1为1球壳上电势，U2为2球壳上电势。



$$U_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left(\frac{Q}{R_1} - \frac{Q}{d} \right) \quad U_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left(-\frac{Q}{R_2} + \frac{Q}{d} \right)$$

$$\Delta U = |U_1 - U_2| = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{2}{d} \right)$$

$$C = \frac{Q}{\Delta U} = 4\pi\epsilon / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{2}{d} \right)$$

- 电感值计算
- 螺线管电感 (电磁学书p197例7.7)

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

其中 $l \approx 2N\pi r$ $S = \pi r^2$

$$L = \frac{1}{2} \mu_0 N r$$

N为线圈匝数 r为螺线管半径

打火器的作用

当两电极距离不大，电压又足够高时，处在期间的空气将由于存在巨大的电场而电离，产生正负离子，电路导通，也就是空气被击穿。

空气击穿往往需要很大的电压，不过有趣的是一旦空气被击穿后即使电压下降电路依然在一定时间内导通。我认为的解释是空气开始处在一个大的电压下，在一定区域内的空气分子都处在相同的状态，大家同时电离形成正负离子，即使之后电压下降不能够再电离空气分子，已有的正负离子依然能够向两极运动形成电流。

所以打火器使得能够把电容所储存的电能一瞬间释放出来。

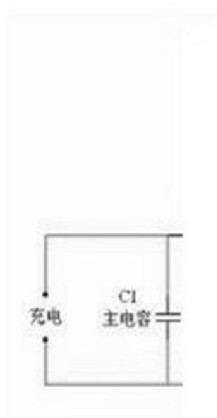
(1) 电容的充放电 暂时只考虑电路的左半面

$$E = iR + \frac{q}{C_1}$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$\frac{dq}{dt} R = E - \frac{q}{C_1}$$

$$-C \frac{d(E - \frac{q}{C_1})}{dt} R = E - \frac{q}{C_1}$$



$$\frac{d(E - \frac{q}{C_1})}{E - \frac{q}{C_1}} = -\frac{dt}{RC_1}$$

将t=0时刻 q=0带入解出

$$U = \frac{q}{C_1} = E(1 - e^{-\frac{t}{RC_1}})$$

此式为电容充电时两端电压随时间变化函数关系。其中C为10e(-6)次方量级，R为10e(3)量级，当U=0.95E时，充电时间t大概为10e(-3)量级

现考虑电容放电过程，暂时只考虑右侧部分，LC电路方程之前已经计算，如下

$$q = q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

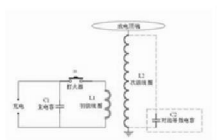
将初始条件带入 t=0时 q=q0

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}$$

考虑到这是放电过程，所以时间只能进行1/4个周期（1/4个周期后从方程上看就开始充电了）

$$\Delta t = \frac{\pi}{\omega_0} = \frac{\pi \sqrt{LC_1}}{2} \quad L = \frac{1}{2} \mu_0 N_1 r$$

初级线圈大概10圈左右，u0=4Pi*10e(-7),r大概5cm，L量级为10e(-7)，C的量级也为10e(-7)，时间间隔为10e(-7)量级。



打火器打火频率
电容充电时间量级 10⁻³ s

放电时间量级 10⁻⁷ s

所以频率f的量级大概在kHz

直观的理解，特斯拉线圈就是利用10⁻³ s来储存能量，用10⁻⁷ s来释放能量，不过从宏观上看无论充电还是放电时间间隔都非常短，所以看起来是产生了一个持续的很大的电流。

升压原理——产生电压的计算。

此处做一近似‘初级线圈与次级线圈嵌套在一起’假设他们耦合的很好‘磁通量是相同的’

$$\bar{U} = N_2 \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = N_2 \frac{\Delta BS}{\Delta t} \quad \text{注意：此处的 } N_2 \text{ 为次级线圈的 } 'S' \text{ 为初级线圈的}$$

$$S = \pi r_1^2$$

采取一个近似‘有限长螺线管产生的磁场看成无限长螺线管产生的’则有

$$\Delta B = \mu_0 n (I_{\max} - 0)$$

上一页电容放电过程方程‘两边对时间t求导

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t)$$

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_0 \sin(\omega_0 t)$$

$$I_{\max} = \omega_0 q_0$$

$$\begin{aligned} \bar{U} &= N_2 \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = N_2 \frac{\Delta BS}{\Delta t} \\ &= \frac{N_2 S}{\Delta t} \mu_0 n I_{\max} \\ &= \frac{N_2 S}{\Delta t} \mu_0 n \omega_0 q_0 \end{aligned}$$

此处再做一近似‘假设电容开始放电时电压值即为充电电源电压E

$$q_0 = CU \approx CE$$

$$\bar{U} = \frac{NS}{\Delta t} \mu_0 n \omega_0 CE$$

$$\bar{U} = \frac{N_2 S}{\Delta t} \mu_0 n \omega_0 CE \quad S = \pi r_1^2 \quad n \text{ 是单位长度线圈数 } ' \text{ 所以可以写成 } n = \frac{1}{2r_1}$$

$$\Delta t = \frac{\pi \sqrt{LC}}{2}$$

$$L = \frac{1}{2} \mu_0 N_1 r$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

带入整理得

$$\bar{U} = 2E * \frac{N_2 * r_1}{N_1 * r_2}$$

$$\bar{U} = 2E * \frac{N_2 * r_1}{N_1 * r_2}$$

这个式子是从许多近似推导出来的‘制作时效果也与自己的期望相差很多’不过这个式子给我们提供了如何增大特斯拉线圈的思路‘为提高放电终端的电压可以增大供电电源的电压（使用电视机升压包可以升高到几kv）’增大两个线圈的匝数比(2000:10)‘不过两个螺线管的半径之比接近1:1’没什么可做文章的地方‘一是螺线管的半径比不容易增加’二是当两螺线管半径相差很多时耦合程度将大大降低‘所以考虑到pvc管厚度’选取了刚好差不多能嵌套在一起r1=11cm,r2=9cm的两个管子。

最终我的小型特斯拉线圈放电终端理论能达到的电压值大约在4*10⁶V左右

制作过程与结果分析

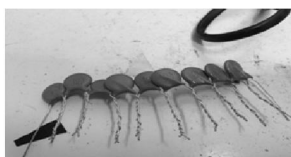
制作过程首先进行了使用了石英灯镇流器（输入市电‘输出12V高频交流电）’将石英灯镇流器的输出端绕在电视机高压包外部的铁心上。（此处自己忘照相了，放一张网上的图片）



之后高压包就会在自己的一个引脚和线之间输出高压（几kv到10kv）用这个作为特斯拉线圈的供电电源。

后来只是把石英灯镇流器换做了ZVS电路‘他们同样输出低压高频交流电’不过ZVS输入电压是12V直流电‘所以就可以用市面上的12V移动电源就行了’可以使整个装置到处移动‘关于ZVS电路的原理没有分析清楚’我想‘通过后面的学习可能自己就能够很好的理解了’。

之后就是电容阵的制作了，为了能够承受高压电源的电压，又要使电容相对大，我选用耐高压的瓷片电容10个串联

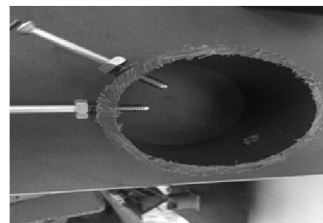


在将串联起来作为一组，并联了12组。



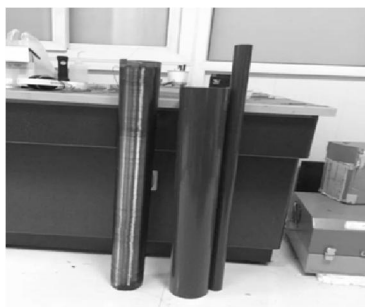
之后就是打火器的制作了，图为我失败的打火器。

失败原因分析：
打火器要利用尖端放电，



后来改用导线做放电端就解决了这个问题。

然后就是最耗力的工作了，左边这根管子，密密麻麻缠满了铜线，2000+圈，也数不过来了。这个就是之前理论推导里的匝数 N_2 的次级线圈。



结果及分析：

最后试验了几次，电压值远远没有达到自己的预期，最多只能放几cm的电弧。原因我想应该是理论偏差太大，自己的震荡电路频率没有很好的对上，自己高压包升压也有问题，供电电源本身电压值就不高。可能是铁芯上绕线不够紧密，使得漏磁严重，不能很有效率的升压。我想更多的问题应该还等待着我去发现。

仅以这个十分拙劣的小作品缅怀伟大的科学家——尼古拉特斯拉先生

