

固态特斯拉线圈制作教程

作者：猎鹰

排版及后期修改：尤小翠

对与大多数玩了 SGTC 的人来说都想玩更高级的 SSTC/DRSSTC，但是许多人在这是就会遇到困难，

特斯拉线圈介绍

特斯拉线圈又叫泰斯拉线圈，因为这是从“Tesla”这个英文名直接音译过来的。这是一种分布参数高频共振变压器，可以获得上百万伏的高频电压。特斯拉线圈的原理是使用变压器使普通电压升压，然后经由两极线圈，

从放电终端放电的设备。通俗一点说，它是一个人工闪电制造器。在世界各地都有特斯拉线圈的爱好者，他们

做出了各种各样的设备，制造出了醒目的人工闪电。

谐振定义：

在物理学里，有一个概念叫共振：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：当电路的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。这种具有相同实质的现象在不同的领域里有不同的叫法而已。（说个易懂的，当两个振动频率相等的物体，一个发生振动时，引起另一个振动的现象叫做共振，在电学中，两个等频振荡电路的共振现象，叫做谐振。）

电磁振荡LC回路

（L：电感，C：电容）

电磁振荡 LC 回路 能产生大小和方向都作周期发生变化的电流叫振荡电流。能产生振荡电流的电路叫振荡电路。其中最简单的振荡电路叫 LC 回路。一个不计电阻的 LC 电路，就可以实现电磁振荡，故也称 LC 振荡电路。LC 振荡电路的物理模型满足下列条件：①整个电路的电阻 $R=0$ （包括线圈、导线），从能量角度看没有其它形式的能向内能转化，即热损耗为零。②电感线圈 L 集中了全部电路的电感，电容器 C 集中了全部电路的电容，无分布电容存在。③LC 振荡电路在发生电磁振荡时不向外界空间辐射电磁波，是严格意义上的闭合电路，LC 电路内部只发生线圈磁场能与电容器电场能之间的相互转化，即便是电容器内产生的变化电场，线圈内产生的变化磁场也没有按麦克斯韦的电磁场理论激发相应的磁场和电场，向周围空间辐射电磁波。振荡电流是一种频率很高的交变电流，它无法用线圈在磁场中转动产生，只能是由振荡电路产生。其工作流程为：充电完毕（放电开始）：电场能达到最大，磁场能为零，回路中感应电流 $i=0$ 。放电完毕（充电开始）：电场能为零，磁场能达到最大，回路中感应电流达到最大。充电过程：电场能在增加，磁场能在减小，回路中电流在减小，电容器上电量在增加。从能量看：磁场能在向电场能转化。放电过程：电场能在减少，磁场能在增加，回路中电流在增加，电容器上的电量在减少。从能量看：电场能在向磁场能转化。在振荡电路中产生振荡电流的过程中，电容器极板上的电荷，通过线圈的电流，以及跟电流和电荷相联系的磁场和电场都发生周期性变化，这种现象叫电磁振荡。

在这里我给那些新人们先讲讲特斯拉线圈的分类：

SGTC(Spark Gap Tesla Coil=火花隙特斯拉线圈（特斯拉本人发明的那种）

-分枝:SISGTC(Sidac-IGBT SGTC)=以触发二极管-IGBT 替换火花隙 的 特斯拉线圈

SSTC(Solid State Tesla Coil=固态特斯拉线圈（这里主要讲解的那种）

-分枝：（本文主要讲 DRSSTC，由于 SSTC 的原理相对简单，在看完之后就会明白的）

ISSTC(Interrupted SSTC)=带灭弧固态特斯拉线圈

OLTC(Off Line Tesla coil)=离线式特斯拉线圈

Class-E SSTC=戊类功放式固态特斯拉线圈

DRSSTC(Dual Resonant SSTC)=双谐振固态特斯拉线圈

-分枝：QCWDRSSTC(Quasi Continuous Wave DRSSTC)=准连续波双谐振
固态特斯拉线圈

CWDRSSTC(Continuous Wave DRSSTC)=连续波双谐振固态特斯拉
线圈

VTTC(Vacuum Tube Tesla Coil)=真空管特斯拉线圈

-分枝:SSVC(Solid State Valve Coil)=固态-真空管特斯拉线圈

SGTC：传统的火花隙特斯拉线圈，噪音大，效率低，寿命短，这里就不做过多介绍。

SSTC：现代电子爱好者们根据特斯拉线圈的本质原理，发明了固态特斯拉线圈（SSTC），

它具有低噪音、高效率、寿命长的特点，因而得到了很好的发展。固态特斯拉线圈不仅可以产生炫目的闪电，还可以利用电弧演奏音乐！因此特斯拉线圈除了应用于高压领域外，也不失为一件很好的艺术品。

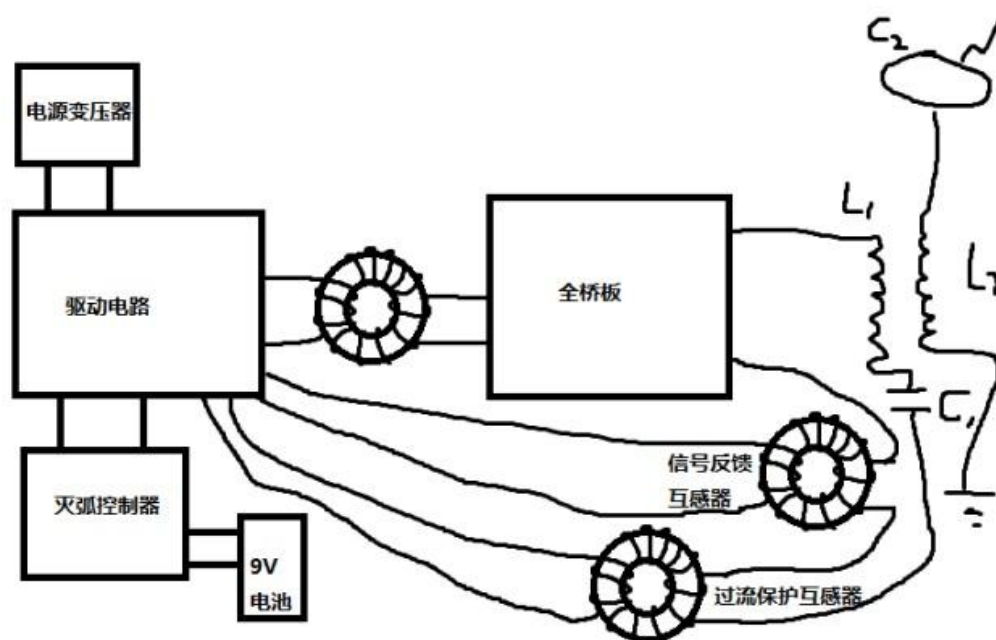
固态特斯拉线圈的原理是：通过驱动电路，将市电（220VAC 50Hz）转换为高频交流电，通过初级线圈转化为高频磁场，当磁场振荡频率和由一端接地的次级线圈和放电端形成的 LC 体系的固有频率一致时，发生谐振，此时次级线圈将大量电荷送入放电端，使得放电端电压升的很高，从而形成闪电。对于固态特斯拉线圈，他没有电容组，只有驱动电路、初级线圈、次级线圈和放电端，他是依靠驱动电路来产生高频电流，送入初级线圈产生高频磁场；而传统的火花隙特斯拉线圈则是依靠打火开关接通/断开，来激发初级线圈和电容组振荡，产生高频磁场，这是这两者的区别！

总结：SSTC 的工作方式是驱动板产生一个震荡电流与次级线圈相同这是就会谐振通过初级耦合将能量传递给次级。因此 sstc 的驱动板可以简单地看成一个震荡信号发生器。

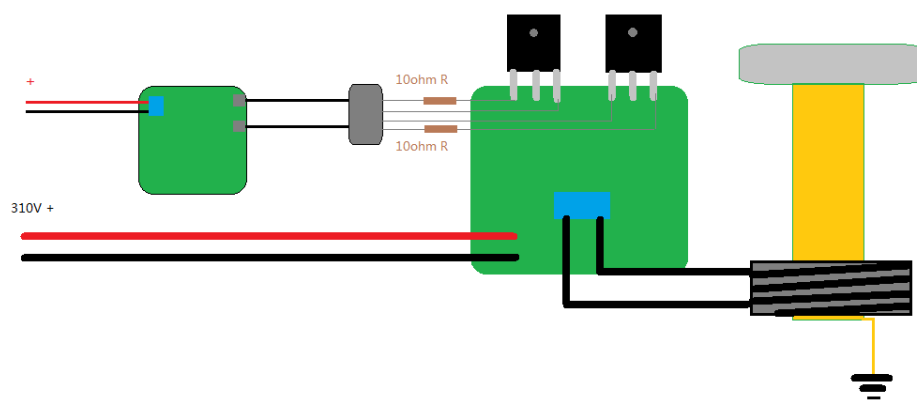
DRSSTC：由于固态特斯拉线圈驱动电路的负载是一个初级线圈，为感性负载，其功率因数低，能量利用率较低，同时初级线圈电流瞬时值也不够大，所以导致固态特斯拉线圈产生的闪电壮观程度不及同等级的火花隙特斯拉线圈。为此，有爱好者提出了双谐振固态特斯拉线圈（DRSSTC）的模型，以弥补普通固态特斯拉线圈的不足。双谐振固态特斯拉线圈是在普通特斯拉线圈的基础上，在初级线圈上串入电容组，并让驱动电路输出频率=初级 LC 固有

总结: DRSSTC 和 SSTC 差不多只不过是多了谐振电容, SSTC 的初级线圈只是起耦合的作用不会起产生震荡的作用, 而 DRSSTC 的初级也是一个 LC 震荡回路。因此 DRSSTC 我们可以看做是 SGTC 的一种升级, 取消了变压器和打火机。但是性能却远远高于 SGTC。

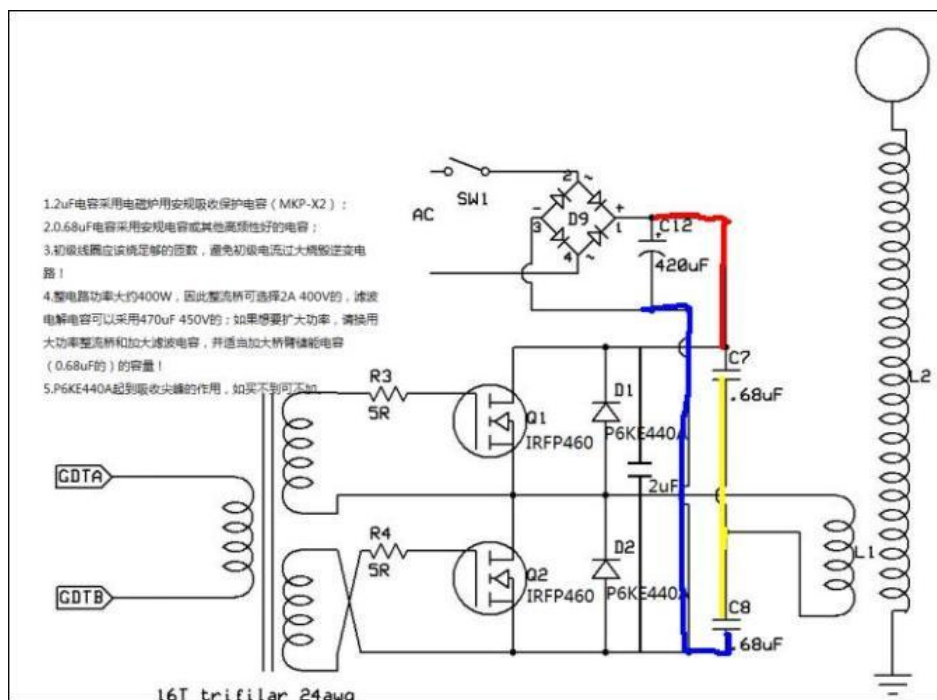
固态特斯拉线圈由三个部分组成：功率电路 驱动电路 灭弧电路



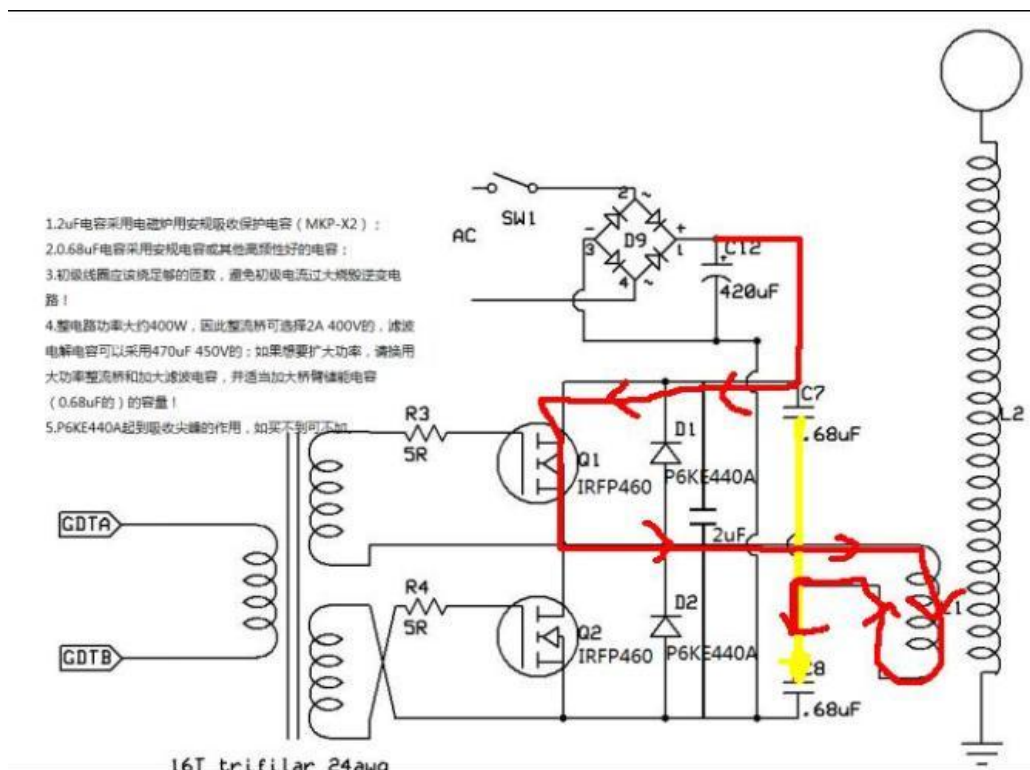
DRSSTC 画图: ry7740kptv



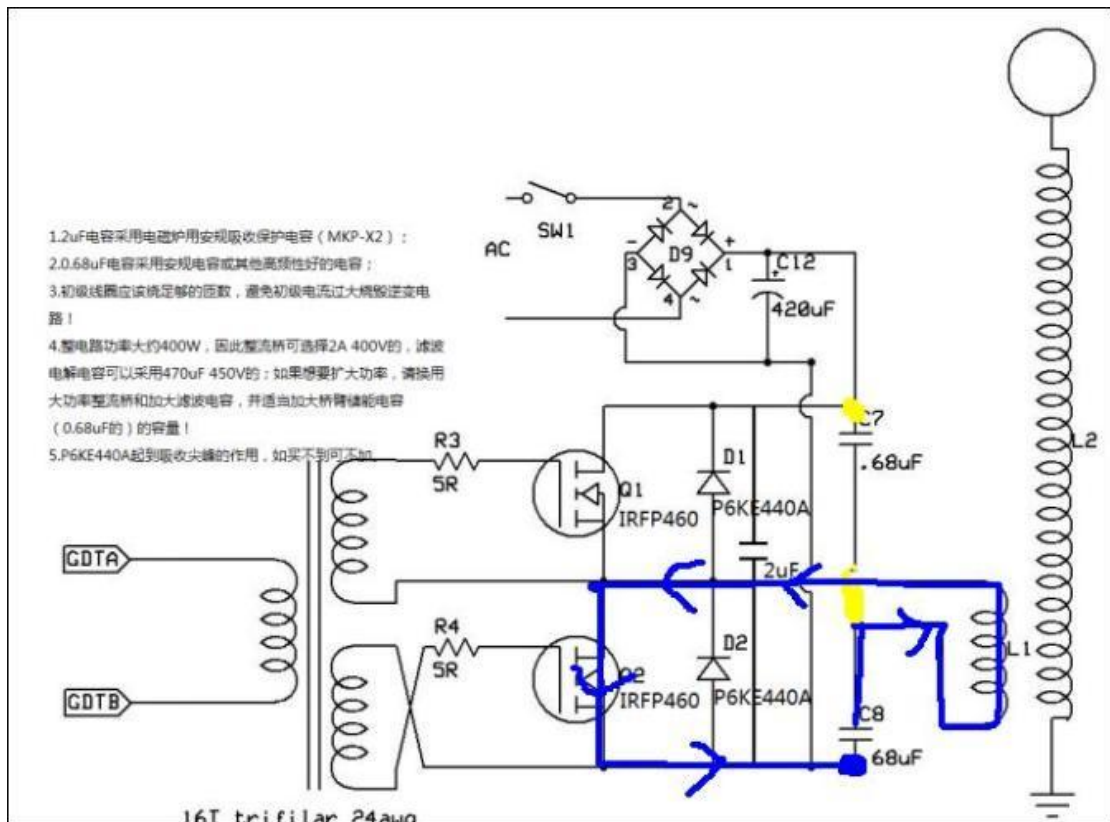
SSTC 画图: black



功率电路:
讲解: 猎鹰
红色表示高压
蓝色低压 黄色为中间压。
通电时, 由于开关管关闭没有其他地方能让电流通过, 因此电流就只有给两个桥臂电容充电

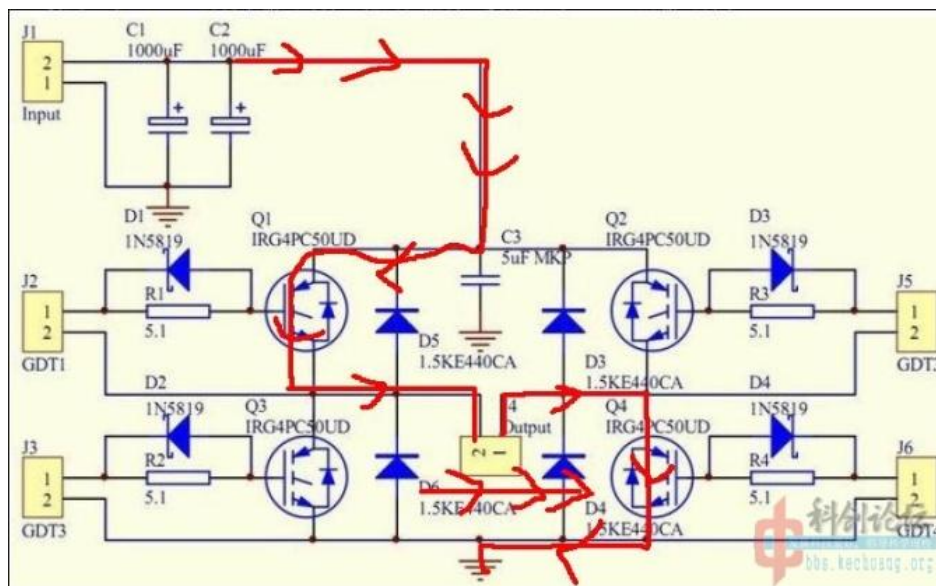


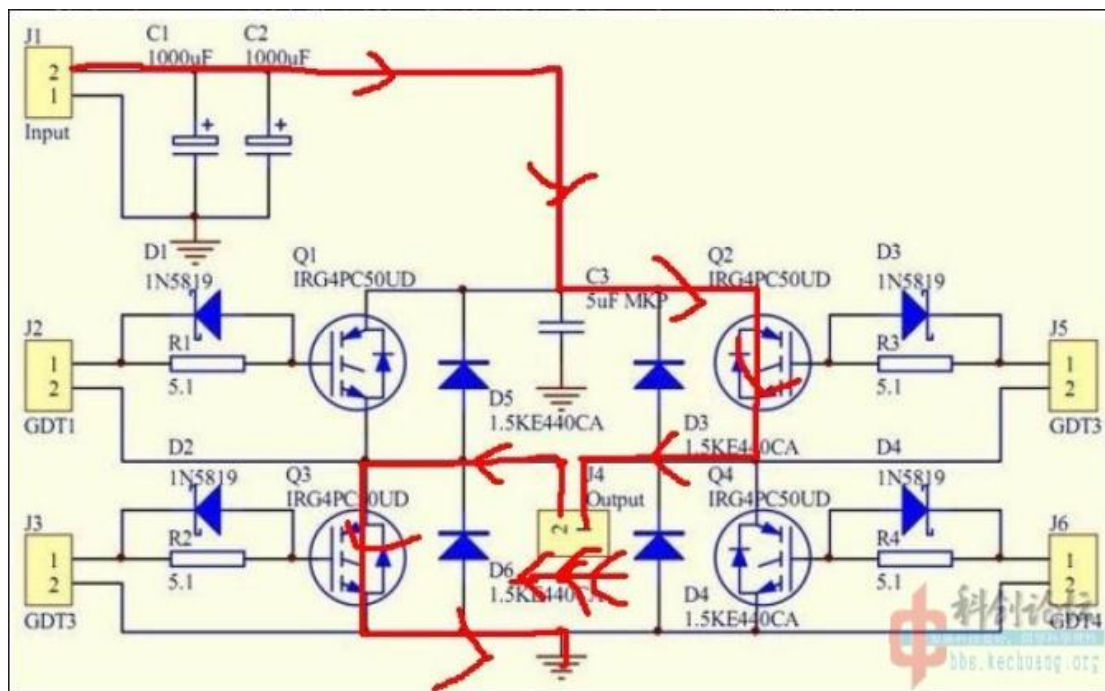
当开关管打开时, 大量的正电荷流向电容的负极, 在电流的流动中经过了初级线圈。



当另外一个开关管打开时电流从相反的方向流过, 因此平滑的直流电就变成了高频振荡的交流电。这种有两个开关管的我们叫它半桥, 它的特点是只要两个开关管省钱, 由于在充电时有两个电容串联, 因此放电的电压只有输入电压的一半。

由于半桥的电压小于于是就有人提出了全桥, 像这种用了四个开关管的叫全桥, 它的功率管是成对角线打开通过对角线的两个功率管同时开关, 实现震荡, 中间的接线处是通往初级线圈的。由于不用给桥臂电容充电由此放电的电压是半桥的两倍, 为输入电压。由于电压高可以拥有更强大的功率, 因此大功率的特斯拉线圈都会使用全桥。





D3-6 是瞬态二极管是用来防止突然来的高压击穿开关管。

C3 是吸收电容，由于线路间是存在分布电感的，在高频开关状态下，容易产生寄生振荡和尖峰电压，从而导致开关管损坏，这个电容是起到一个缓冲作用因此必须要加。

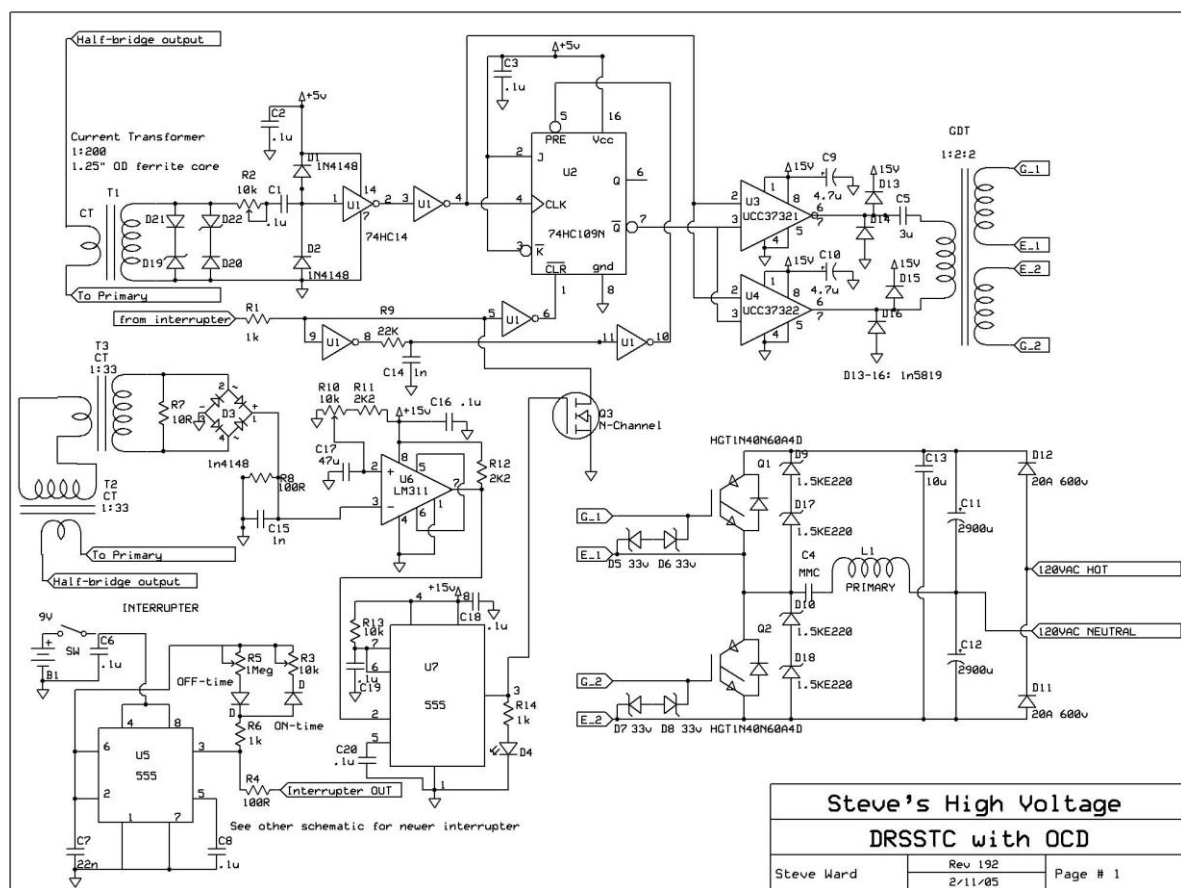
这个图有一个问题就是需要在开关管的触发极和低压线上并联 30V 左右的稳压二极管，防止驱动信号电压过高击穿开关管。

以上的输入电源必须是直流电也就是经过整流桥的市电！

为了产生振荡的电流我们必须准确地控制开关，在几百 KHZ 的频率下去控制肯定是不行的这时就要交给我们的大哥大，也就是“整个 TC 的心脏”驱动电路了（如果这一节没有看懂也没有关系，只要记住是发出信号控制开关管就行）

讲解：任某人

坛子里很多人都很热衷于 STEVE 的 Dr 驱动电路，但是仔细想想，他这个电路的缺陷还真的是不少。我们先对其进行分析，一遍指出其优略。



好的！轰隆隆！电路开始上电运行了！电路靠桥式电路中电容充电电流启动【全桥中的吸收电容，此图中是储能桥臂电容 c11, c12】充电电流到达主槽路使主电容 c4 于初级线圈 L1 产生震荡，同时这个充电脉冲被电流变压器 T1 检测到。T1 的匝数取决于电桥中设计通过的电流，我们的目的是将电流通过变压器缩小到适合驱动 CMOS 元件的大小。你可能会想如果匝数是 1:200 的话，电压岂不是会很高？不要担心，我们有伟大的稳压管 d19&d20~稳压管的特性是有一定的反向击穿电压，在这里我们选择用反向击穿电压 5.1v（CMOS 电平）的稳压管。当 T1 上部为正半周时，会有一个上千伏的电压，此时稳压管击穿近似接地，当把电压放到 5.1v 时稳压管截止，由于稳压管恢复时间慢，我们反串一只快恢复或者肖特基来代替稳压管成正向导通反向截止的过程，负半周同理由此以来我们便得到了一个±5.1V 的电流反馈信号。【见示意图，方波是怎样炼成的】



当正弦波高度很大的时候，在 Y=0 值左右的斜度非常的高，甚至小于逻辑器件的信号边沿。恩，继续来，R2 是限流电位器，依个人情况调试~c1 耦合不解释，4148 削掉大于电源电压的尖峰后进入 u1 整形，由于 hc14 是反相施密特触发器，所以要想得到同相的信号还要将信号再次反向得到最终输出。【信号反馈部分到此为止】事情做到现在，按理说就已经可以用现在得到的反馈信号来驱动桥了。

灭弧控制器 讲解：ry7740kptv 任某人

灭弧控制器用于产生灭弧信号，控制DRSSTC 的工作参数。

答：固态特斯拉线圈的灭弧是模仿火花隙特斯拉线圈的工作，即间歇工作。因为火花隙特斯拉线圈是打火才谐振放电，其放电并不是连续的。固态特斯拉线圈的灭弧也是起到让电路间歇工作的作用。其目的主要有两个：

1. 增加弧长：实验证明，连续模式（CW）的固态特斯拉线圈由于功率要是在没有时间限制情况发挥出来弧并不长，且呈簇状。用灭弧时首次开启放电电离部分空气。然后关断前一次被电离的空气还没散去时再开启。又于上次被电离的空气更易导电。固电流顺原有点弧轨道到上次的末端放电。以此类推。点弧可在 n 个周期以后增长的非常长。。但是由于周期很短人察觉不到。看似电弧一下子就爆发的很长
2. 防止电流过大：因为DRSSTC 的初级是谐振的，电流会上升到很大，所以需要在电流振升到一定程度就切断电路，以保护开关管。

现在原理基本上懂了就可以讲解如何制作了

选材：

次级线圈的骨架：建议用PVC管制作，这个东西在生活中容易得到，可以从当地的建材市场买到。还需要合适的PVC管接头（方便次级和对地电容的固定）

漆包线（绕制次级线圈）：这个根据设计去买，可从当地的电子市场去买，就是修电机用的那种。他们是按照公斤买的，如果遇到了按照“米”卖的，就别买了，那是宰人呢~~

一般70-80元一公斤，按米来卖“宰人”的商家一般是0.5-1元一米。（小于1MM）

我曾经计算过假如100元一公斤

铜线直径 (mm)	每米的重量 (g)	每米的电阻 (ohms)	价格（元）
0.32	0.72	0.218	0.072
0.36	0.86	0.182	0.086
0.40	1.12	0.140	0.112
0.45	1.42	0.112	0.142
0.51	1.75	0.089	0.175
0.57	2.11	0.074	0.211
0.64	2.96	0.053	0.296
0.72	3.44	0.046	0.344
0.81	4.49	0.035	0.449
0.91	5.68	0.028	0.568
1.02	6.99	0.023	0.699

看完后就知道商家宰人多厉害了吧。

绝缘漆：保护次级线圈不被击穿

对地电容：（次级线圈上面的那个顶端）：可以用铝制通风管去做，普通的五金店都有

初级线圈：建议用铜管制作，在当地卖制冷设备的地方就有（高频电流有趋肤效应）。

如果实在是没钱只有用便宜的铝管，不过效果不好，当然不支持。

初级线圈骨架：用亚克力板制作，塑料菜板，或者用PPR管制作，不过在加工的时候，比较麻烦。

谐振电容器：（后面单独讲）

电路板：可以自己照着图制作，但是建议到科创论坛买专门的套件（价格不高，基本上在50-100元一张驱动，性能很好，美观度高，体积小，），毕竟自己去印板子费用很高，印制电路板打样的费用80-150元一张，有时买套件的费用会比用洞洞板的还低，毕竟焊锡的价格很高。

磁环：用于绕制互感器用氧铁体的根据功率的大小选择，一般价格 2-5 元一个（大小不同价格有差异）。

电线：（这等于说废话，不过也害怕有的朋友把这个最重要的忘记了）

整流桥堆和滤波电容：交流电转化为稳定的直流电作为电源。

变压器：

和SGTC的主变压器不同，这里的变压器是小功率的低压变压器，是给驱动电路板供电，电压根据驱动电路板的设计来定。

（如果有条件还建议买一台调压器给功率电路供电，毕竟在调试时如果用220V的高压很容易损坏开关管，就需要降低低压来减小总功率。）

其他材料：木板，亚克力板，有机玻璃，以及其他材料（根据你的构思决定，这些东西是用来固定装置部件用的）。

所需工具：手钳子，螺丝刀，钢锯，钻头（建议买电动工具，毕竟要方便很多，当你在制作的时候就会体会到电动工具的好处了），，等等~（有条件的朋友，最好买个示波器，，信号发生器，用于测出谐振频率和电路的调试，经济稍差点的朋友可以买电容电感表，测量初级，次级的电感量，电容量）

设计&制作：

文中涉及到的参数均为与图片匹配的参考数据，不要仿制！

设计次级线圈：

先在自己的大脑里大概想象一下，打算做的特斯拉线圈次级体积多大（次级的直径和高度，PVC管常见直径有5厘米，7.5厘米，10厘米，15厘米，20厘米，25厘米，31厘米的几种规格），选用漆包线规格0.23mm，0.31mm，0.41mm，0.51mm（漆包线规很多，在这里就不一一列举了），一般次级线圈在1500~1800匝左右。

现在开始设计

进入<http://bbs.kechuang.org/tool/tc>（感谢山猫为我们汉化服务）



（科创论坛截图）

这是个特斯拉线圈辅助计算网站，进去后，到螺线管线圈电感计算板块（其实辅助工具还有很多我会发在论坛）

螺线管线圈:

单位:
☐ 英寸
☒ 毫米

螺线管直径(D):

线圈匝数(N):

绕线线经 (W):

匝间距(S):

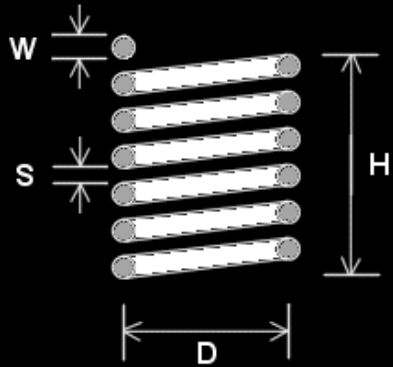
*将光标用TAB键移动到下一个字段,更新结果

螺线管高度(H):*

漆包线长度:

电感量(L):* uH

(寄生电容: pF)



$$L = \frac{N^2 \times R^2}{9R + 10H}$$

$$\left(R = \frac{D}{2} \right)$$

电感和寄生电容容量, 以及漆包线长度.

将光标用TAB键移动到下一个字段, 更新结果.

用这个算出次级线圈的一些数据, 上图算出的是一个电感量为59.055118mH (毫亨) 的次级线圈, 漆包线覆盖部分的长度330毫米, 也就是33厘米, 次级线圈骨架最好取40厘米左右。至此, 次级线圈设计完毕。

注:

电感单位换算:

1H=1000mH=1000000μH

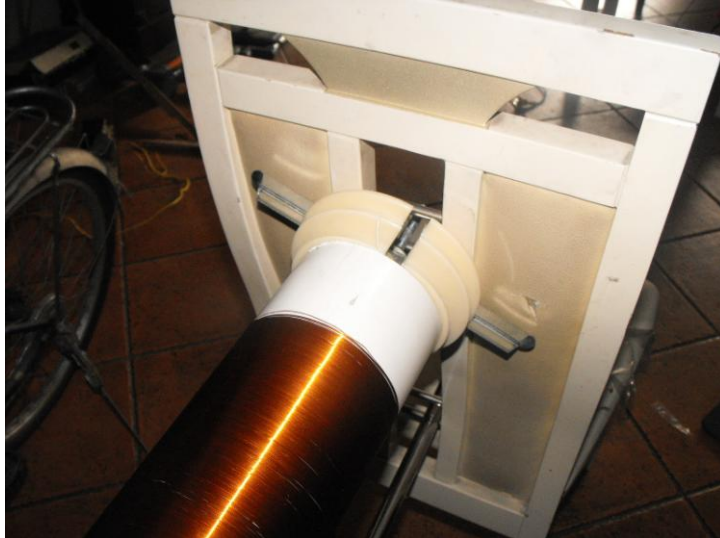
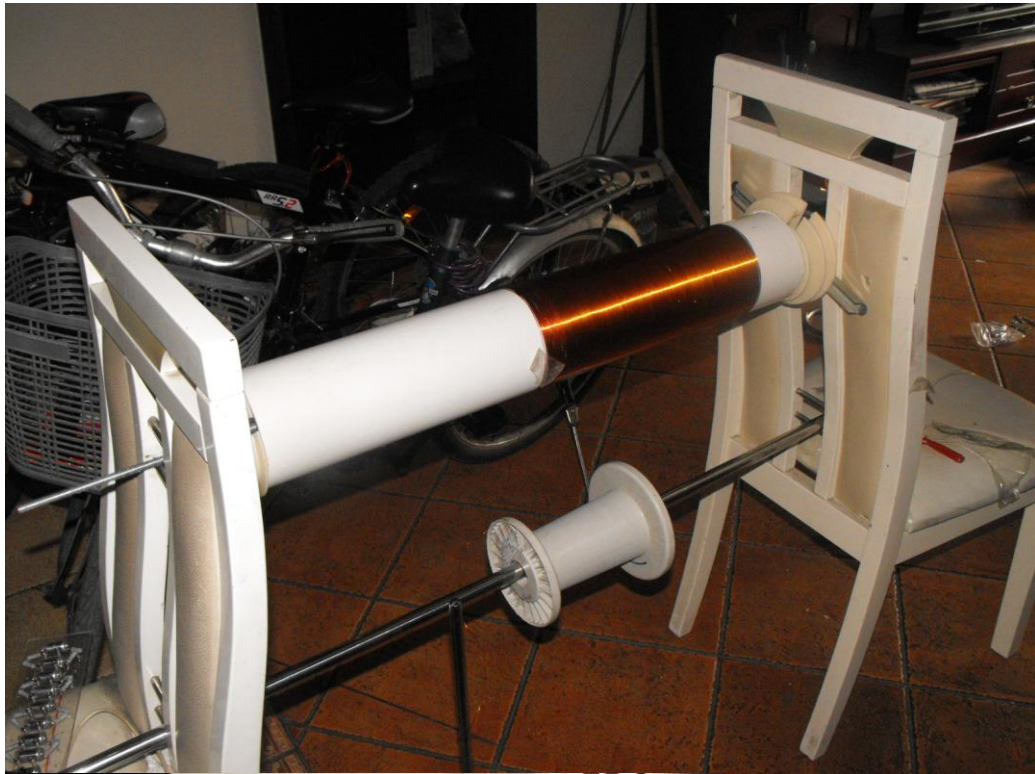
1mH=1000μH

次级线圈的绕制:

制作次级的时候, 第一匝决定整个次级绕线的质量, 不要绕偏。用木板或有机玻璃制作两个圆盘用来穿在圆筒 (如 PVC 管) 两边, 再在圆盘中间打眼, 穿入中心轴, 架到线架子里面就可以绕线了 (可以把钢筋穿进去, 然后两边架上凳子)。可以用手来旋转, 也可以用电机带动。固定圆筒两端的圆盘, 要坚固 (有时候, 可以用光盘代替; 把板材加工成圆的, 挺费力的, 可以用其他的形状, 在卖漆包线的地方还有专门的固定工具, 那个效果最好, 其实只要能达到目的就行)

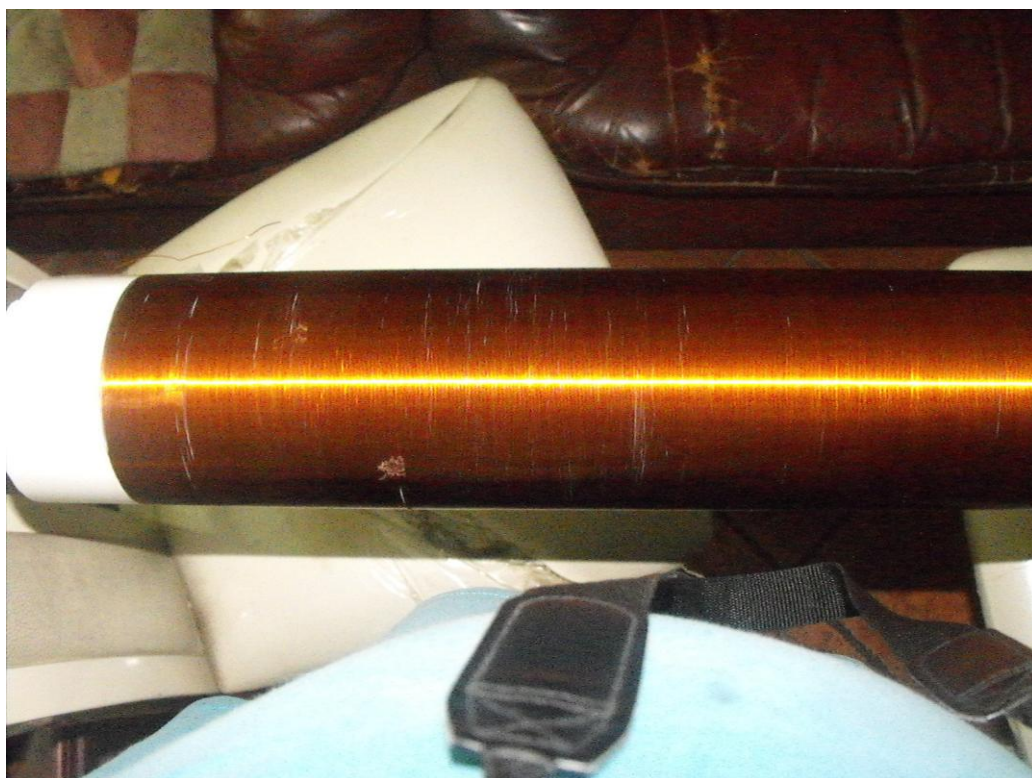


(本图引自网络，作者佚名)



(图片来源猎鹰)

如果不做支架，用手绕也可以的，只不过速度要慢许多。绕线的时候，不要将漆包线漆皮划破，也不要匝和匝重叠上，如果不能一次性的绕完次级线圈，要将漆包线用胶带粘住，以免脱匝。绕制完成后，浸入环氧树脂，进行绝缘。（环氧树脂较贵，可以用电机用的绝缘漆，那个便宜，10-20元可以买来一罐）



（图片来源：猎鹰）

如果线圈绕得不好会出现空隙。



这时用手从把线推在一起。



推完后会发现空出的地方还挺多的，这时可以继续绕线，直到绕满为止。



（图片来源：猎鹰）



（图片来源：猎鹰）

整个次级线圈就会变得很紧密了。几乎不会有空隙。

次级的固定：

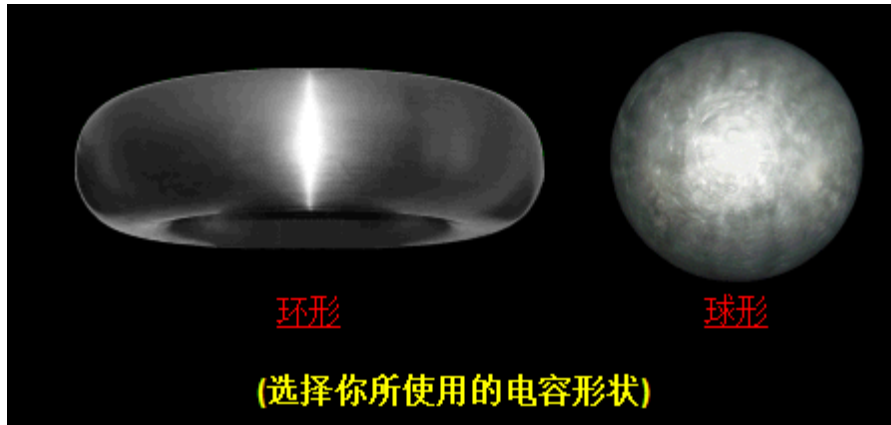


（图片来源：山猫）

将大转小的管件置于大小合适的木板上（将来作为底座用），用螺丝固定，然后就可以把次级坐到上面去了，挺牢固的。

设计顶端（对地等效电容）：

常用的顶端可分为环形顶端，球形顶端，可根据需要或个人喜好自行选择。



（科创论坛截图）

下面先讲环形顶端对地等效电容的计算，如下图

环形电容器计算：

单 位：
● 英寸
● 毫米

D1 : 300 mm
D2 : 100 mm

*将光标用TAB键移动到下一个
字段，更新结果

$$C = 2.8 \times \left(1.2781 - \frac{D2}{D1} \right) \times \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times (D1 - D2) \times \left(\frac{D2}{2} \right)}{4 \times \pi}}$$

C = : 13.052 pF (PI = 3.14159)

计算环形电容的容量
将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。

（科创论坛截图）

上述的环形电容器容量为13.052pF=0.000013052μ F

球形电容容量计算:

单位: ☐ 英寸 ☒ 毫米

半径R:

C = : pF

$C = \frac{K \times R}{9 \times 10^9}$

K = 1.01 (dielectric constant)

球形电容器的容量计算.

将光标用TAB键移动到下一个字段, 更新结果.

(科创论坛截图)

计算球形电容器, 只需要输入球体的半径即可。

注:

电容器容量单位换算:

1F=1000mF=1000000μ F

1μ F=1000nF=1000000pF

1nF=1000pF



(有条件的朋友可以用电容表测量顶端的电容量, 将顶端用绝缘物体支起了, 然后将电容表打到pF档位, 电容表的黑表笔接地, 红表笔接到顶端上, 等到电容表的数字稳定了, 读出, 记录下来即可)

特别说明: 接地并不是把电线放在地上而是要深入地下(像暖气片就是埋在地下的)。这时顶端和大地分别是两个集电极, 如果不接地就

不会产生电容, 当然无法谐振。不接地无论怎么调都不会出弧(有小的那是互感产生的, 这时是一个没有铁芯的普通变压器)。

上图就是不接地的效果, 电弧根本无法与谐振的相比。

顶端制作：

球形顶端，无需制作，能买到成品的不锈钢球。



（图片来源：猎鹰）

买到铝制通风管，铝箔胶带（一般买铝制通风管的地方就有，买制冷设备的地方也有）
将铝制通风管做成环状，接头用铝箔胶带粘上即可。中间可以用任意方法进行固定。



用现成的金属盘固定（这种金属盘不太好找，并且价格贵）





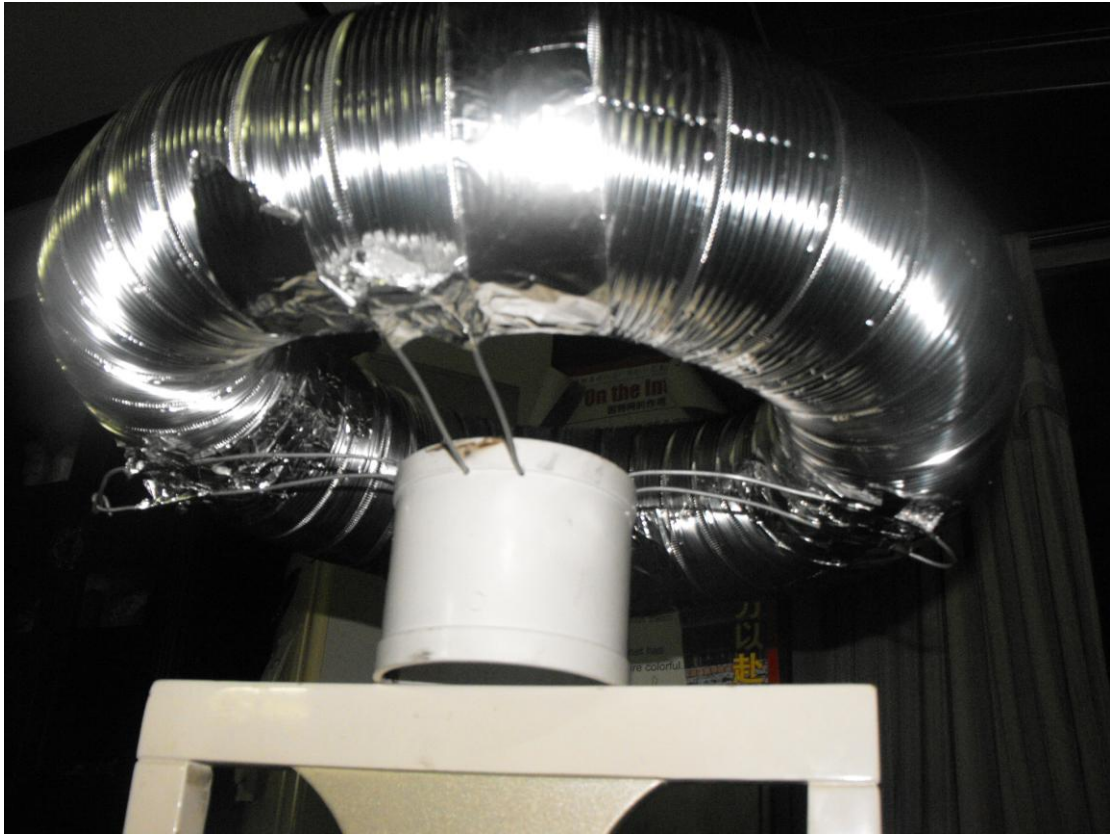
（图片来源：sukeytang ）

用塑料饭盒进行固定（价格低，材料好找）

（图片来源：山猫 ）



如果这些材料不好找可以用铁丝做支架



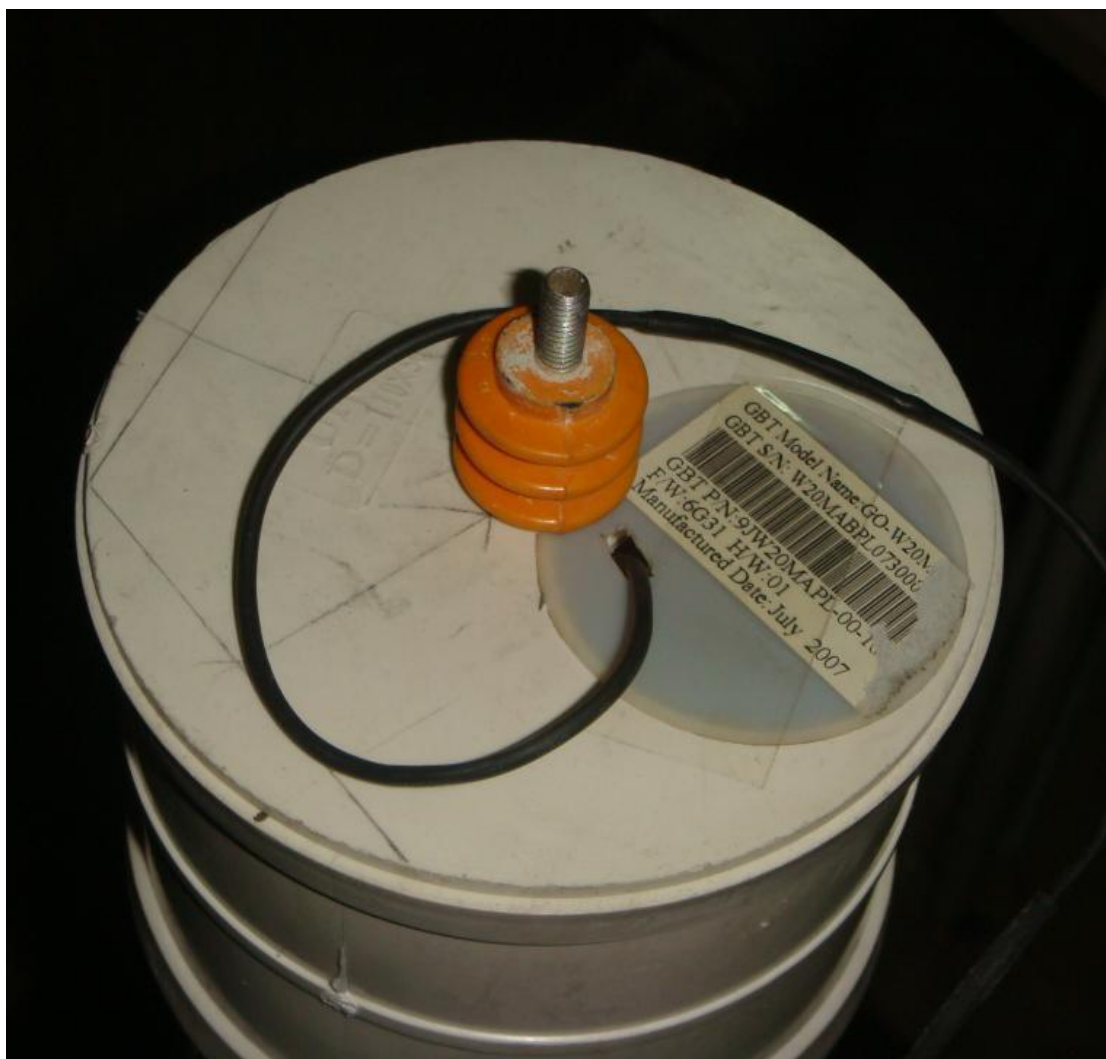
（图片来源：猎鹰）

顶端固定：

（图片来源 科创会员：
山猫）

用PVC管箍固定次级
两端(用PVC胶粘住)，
找堵头或者是大变
小的管件，将次级顶
端盖住（这个不要固
定死）。





（图片来源 科创会员：山猫 ）

找到盖子的圆心，打眼，把绝缘子上进去（两头带螺丝呢那种）。



（图片来源 科创会员：山猫 ）

做成这样，然后把顶端安装上去，别忘了把次级的线也要接到顶端上的。

计算次级谐振频率：

上面已经算好了次级线圈的电感量和对地等效电容的电容量了，现在就开始计算电LC振荡电路的谐振频率

次级电感量：59.055118mH

对地等效电容容量：0.000013052μ F

LC谐振电路频率计算：

电感量 (L): mH

电容量 (C): uF

谐振频率(F): kHz

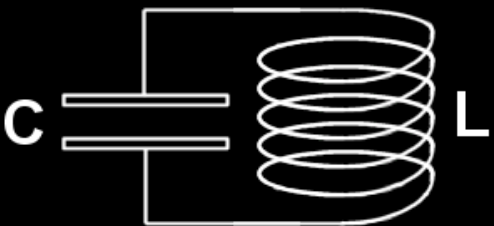
$$F = \frac{1}{2 \times \text{PI} \times \sqrt{L \times C}}$$

(PI = 3.14159)

*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

LC谐振电路的频率，可通过电容量和电感量计算。

将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。



（科创论坛截图）

计算得知，这个次级谐振频率为181.281KHz（千赫兹）。

好了，次级 LC 振荡频率算好了，就开始设计初级线圈。

设计初级线圈：

平板线圈

（图片来源

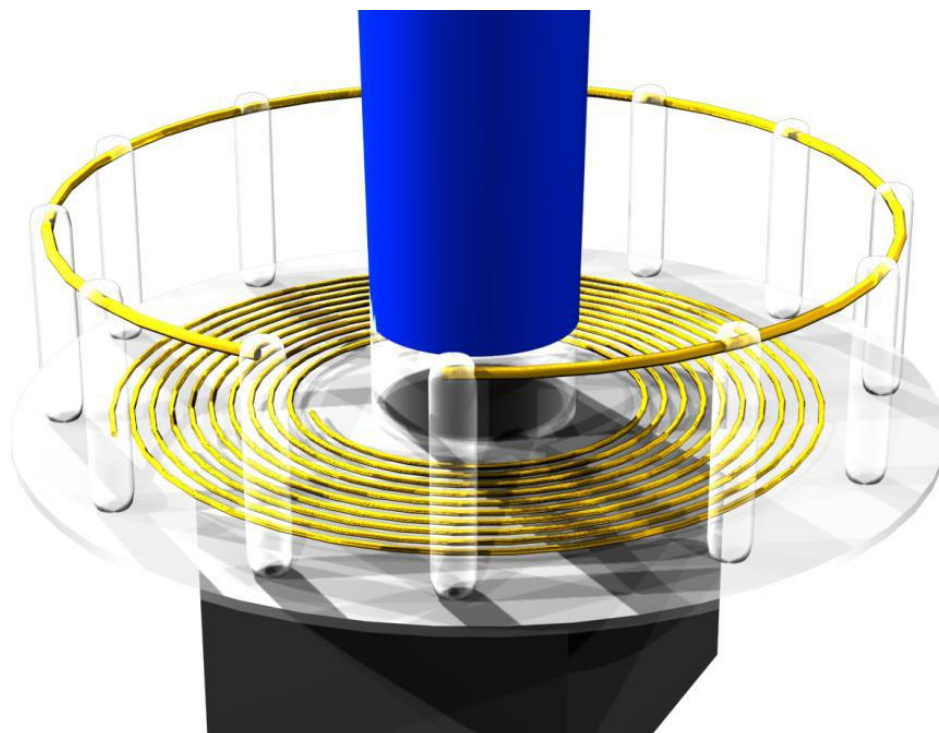
科创会员

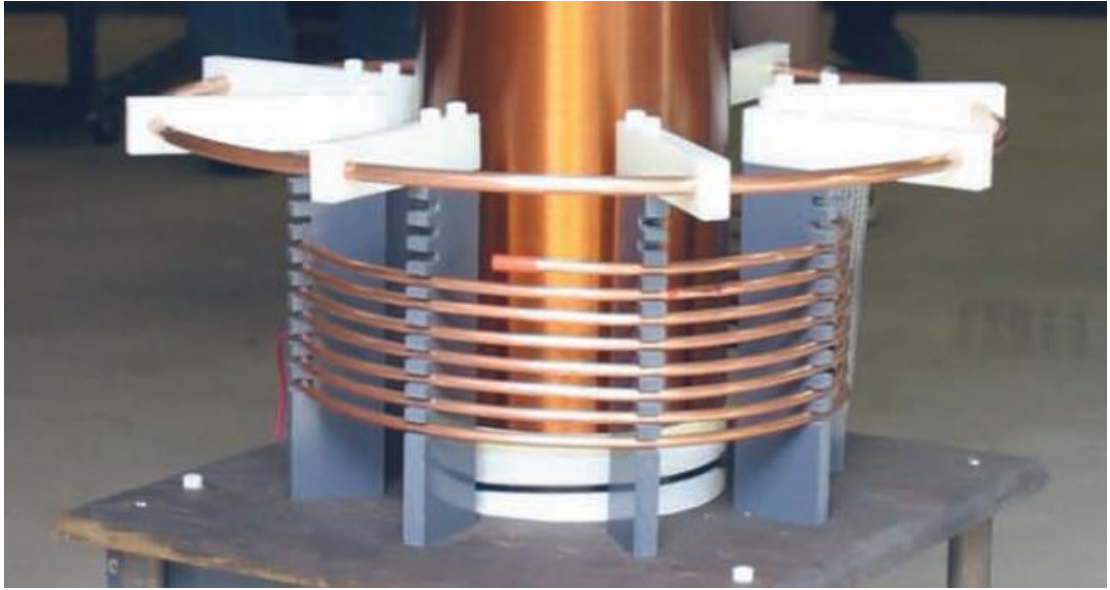
yz71080469

5）

螺线管线

圈





(本图引自网络，作者佚名)



(图片来源：猎鹰)

锥形线圈



初级线圈可以用平板线圈也可以用螺线管线圈，螺线管线圈的耦合系数高，有时会造成初级线圈和次级线圈之间放电打火，建议使用平板线圈，平板线圈耦合率低，一般不发生初级和次级线圈的打火现象。现在就开始设计，市面上容易买到的铜管规格有（铜管直径），（建议不要模仿猎鹰的铝管，毕竟他是省钱派的）6mm，8mm，9mm，1cm，等等，根据以上计算的次级线圈，选用 6mm 的，在设计的时候，把电感的余量留的大些，之后调谐的余地大些。如果觉得自己弯的效果太差可以花钱到外面找人用弯管机，不过前提是你的腰包要够。

平面线圈

铜管如下图(要尽可能选择外表光滑无锈无伤的):



铜管盘成如下图:



这样盘成的主线圈可以适用于 6 英寸到 8 英寸的次级线圈。
初级线圈支架用 5 毫米厚的软塑料板(非脆性塑料)做,例如塑料刀板。



将其按等距离打眼，大小要依铜管直径而定，如图：



底座选用普通中密度板就可以了,这个底座还有用,将来底下要放其它东西,也尽可能加工好。
接下来把铜管和塑料支架穿起来如图：



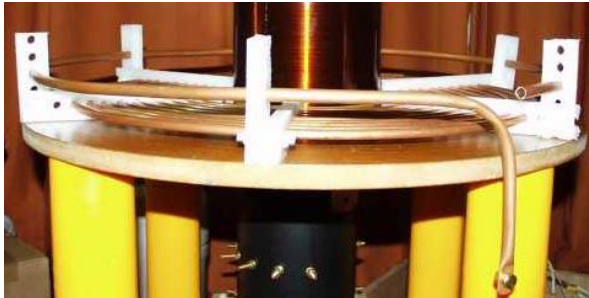
内圈接头部分,将中密度底版在相应地方开孔引出一个接头如图:
从上看:



从下看



再找一截铜管做为接地保险,注意,不可闭合!如图安装:



找个保险丝座，做成滑动接头，调试时非常好用，如下图：



平面螺旋线圈计算:

单位:

☐ 英寸
 ☒ 毫米

线圈内径(DI):	20	mm
线圈匝数(N):	13	
线经 (W):	6	mm
匝间距(S):	8	mm

*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

线圈外径(Do):*	384	mm
电线长度:	8.249	metre
电感量(L):*	24.154	uH

$$L = \frac{N^2 \times A^2}{30A - 11D_i}$$

$$\left(A = \frac{D_i + N(W+S)}{2} \right)$$

平面螺旋线圈的电感量计算以及绕线所需的电线长度.

将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

(科创论坛截图)

上图所计算的初级线圈 $24.154\mu H = 0.024154mH$ ，需要用 8.249 米的铜管，匝数 13 匝，铜管的直径 6mm，间距 8mm，线圈的内径 20cm，在实际制作的时候，建议用 15~16 匝制作，留余地呢，这样调试的时候好弄些，因为计算的结果永远都是理想状态下的，给设计的线圈匹配电容阵列的时候，往往从市面上找不到百分百合适的，这时候，就需要调整电感了，所以要留余量。

电容阵列设计：

现在设计电容阵列，已知了谐振频率，就开始计算电容阵列的容量
谐振频率181.281 KHz

LC谐振电路频率计算：

电感量 (L):

0.024154

mH

电容量 (C):

0.0319113

uF

谐振频率(F):

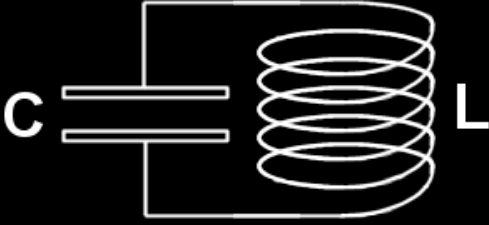
181.281

kHz

*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

(PI = 3.14159)

LC谐振电路的频率，可通过电容量和电感量计算。
将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。


$$F = \frac{1}{2 \times \text{PI} \times \sqrt{L \times C}}$$

（科创论坛截图）

计算可以得知，保证初级谐振频率在 181.281KHz 的时候，电容阵列需要 0.0319133μF，但是组这样一个非常合适的电容阵列。

电容组设计：

单个电容参数：

电容量：

0.3

uF

耐压：

1200

V

电容组设计：

串联数量：

29

并联数量：

3

电容组参数：

电容量：

0.031

uF

耐压：

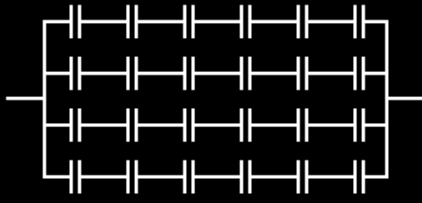
34800

V

总电容个数：

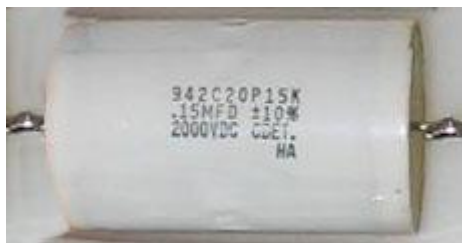
87

计算电容组的参数，设计电容组的时候，耐压最好取主变压器输出电压的3倍以上。
将光标用TAB键移动到下一个字段，显示结果。

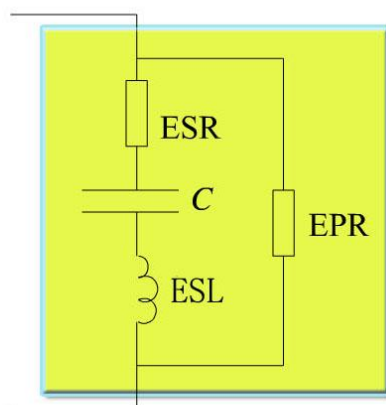


（科创论坛截图）

做 TC 用的好电容其实很多，首推的当然是 美国 CDE 电容：



但好归好，价高也是问题，新的一个得十几元，做个主电容要好多个嘞，一般小城镇还难以买到（网购 嘛.....但...%#\$¥%#...）。



难道一些常见电容就派不上用场？也许大多数普通无极电容难于单独胜任主电容角色，不过扎堆上阵后还是有其力断金效果，理论上只要串并数量够，每种电容都可以做 TC，那么该用多少的量才够呢？

先看个模型，实际电容里面既有电感成分也有电阻成分：

图中，黄色区域表示电容体，内部的 ESR，是 Equivalent Series Resistance 三个单词的缩写，翻译过来就是“等效串联电阻”；ESL，不用说，肯定就是

“等效串联电感”，平常说的无感电容，就是这个 ESL 极小的电容，是做 TC 的首选电容； EPR ，等效并联电阻，这个对 TC 影响不大，暂且不讨论它；

电容损坏的主要原因，无非两个：过压击穿；过热（电流）熔断；

1 过压击穿；

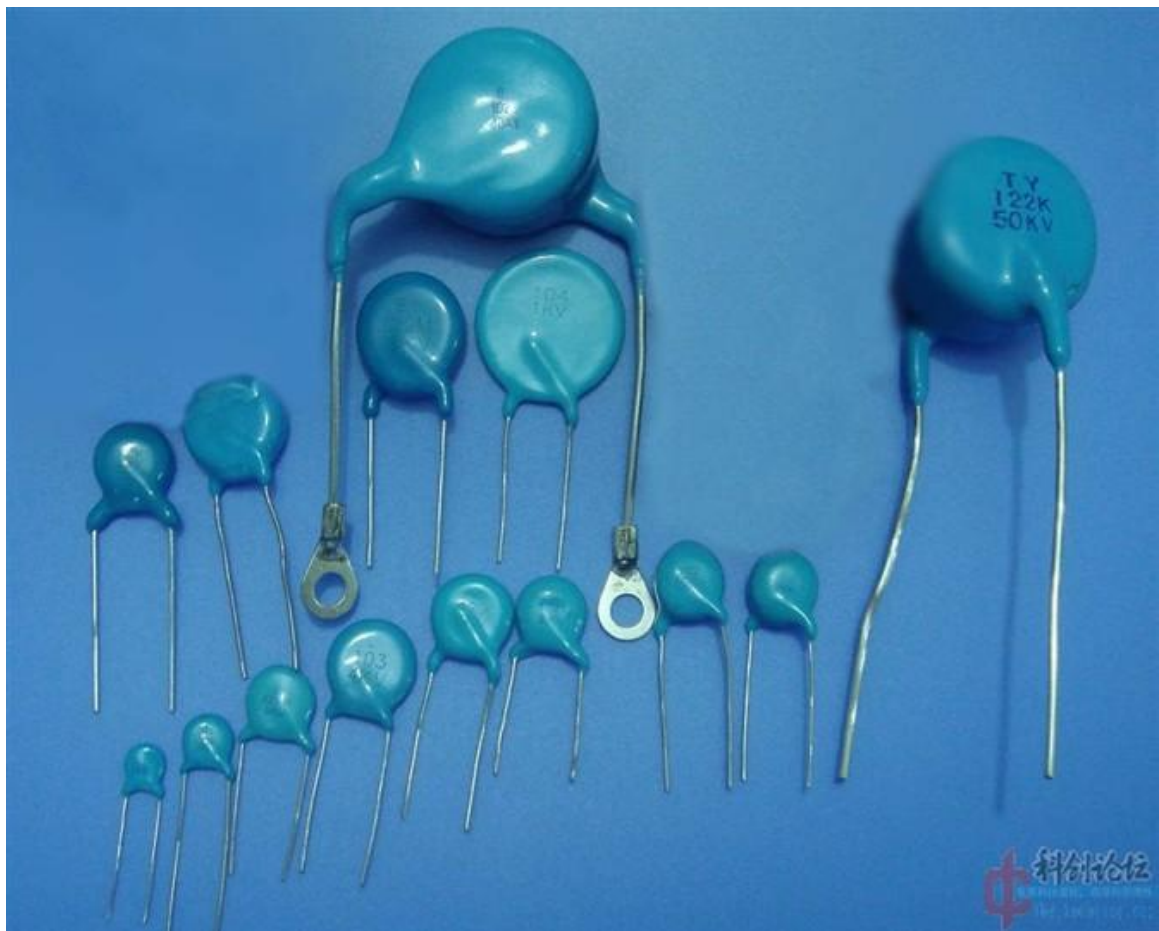
看到诸多童鞋对电容的损坏都判定为过压击穿，我觉得这个可能性较小，因为多数无极电容实际耐压都在标称耐压的 1.5 倍 ,2 倍甚至 3,4 倍以上，而大家设计时一般都会低于标称耐压，就算误超了，也只是一点点；

2 ：过热（过电流）熔断；

在标称耐压下工作的无极电容的发热主要由 ESR 造成，TC 的震荡主回路的电流动辄上百安，甚至几千安， ESR 影响可想而知，大量实验表明，在 TC 上折戟的电容多数是因选型与设计不合理，最终将导致过热而损坏，主要表现为引脚端爆裂乌黑。

以下是生活中常见的几类电容：

1. 高压瓷片电容：



2. 普通有机薄膜电容:

CBB81:



CBB22



3. 突波吸收 / 电磁炉谐振线圈上用的有机薄膜电容：
MKPH 型



(创格的)



在很多的电磁炉中，都会出现（5UF，0.27UF, 2UF）

5u 是电源滤波电容，220V 交流电经过桥堆整流后，由 5u 电容滤波获得 300 伏电压，提供给门管的 C 极。如果电磁炉低压是开关电源，该 300 伏电压还要提供给开关电源。

0.27u 是电磁炉谐振电容，并联在线盘两端。该电容耐压教高 1200 伏，一般采用优质的 MKP 电容。

2u 是抗电源干扰电容，并联在 220 伏交流电源上，防止电源干扰脉冲串入电磁炉。以上电容损坏后，容易烧 IGBT 管，和电磁炉不加热。

作用：

1. 抗干扰电容。该电容的作用是防止电磁炉工作时产生的高频干扰串入市电电网，影响其它电器。该电容一般为 2uf，是跨接在市电 220V 之间的，最大耐压 275V。

2：滤波电容，该电容的作用是把整流后的脉动直流电变成平滑的直流电压。它是直接接在全桥整流之后，一般 4uf—5uf。3：谐振电容，它的作用是与并联的加热线圈谐振产生高频的交变电流，通常为 0.3—0.4uf，最大耐压一般在实物上有标明。

由此看来，电磁炉上的这三类耐压和容量的电容里，最合适的应该是耐压 800V 以上，容量 0. xx μ F 的那个，其他的两个 275V~的我见标的有 X2，X2 是安规电容，看起来应该是容量比较大的防 EMI 安规电容，看情况不太能承受过大的功率。

STD



(加拿大 EACO 的，中国有厂，洋玩意儿都有点贵)

4. 超高压（静电）薄膜电容：



（据说也是进口，有待考证）



这种是静电电容，电极都是从卷膜两头引，与普通薄膜层层引镀相比，ESR, ESL何止大出 10 倍，拿来玩玩马克思也就算了，它光亮硬朗的外表的确容易迷糊人，下图的还带螺栓呢，只可惜其主要目的不是用来过电流，仅仅做为两个电容连接之用，引到螺栓上的电极薄如纸.....

5. 油浸电容

微波炉电容



这种电容价格低容量大，很多人想用它做主电容，但是你看它的工作频率 50/60Hz，这种电容在高频震荡的情况下会发热，然而由于密封太好和坚固的外壳，导致长时间工作时有可能爆炸，产生巨大的伤害。

	容量	标称电压 (V)	Vp(V)	参考价格 (元)	做 TC 主电容时设计分压与标称耐压百分比 (仅供参考)
1. 高压瓷片电容	104 (103*10 个)	2000	350	0.2*10=2	<15%
2. 普通有机薄膜电容	104(CBB81)	1600	450	1	<25%
	474(CBB22)	2000	850	2	<40%
3. 突波吸收 / 电磁炉电容	304(创格)	1200	850	1.5	
	304 (丰明)	1200	1050	1.5	
	474 (EACO)	1200	1000	8	< 80% (推荐)
4. 超高压 (静电) 薄膜电容	472	30000	2000	>2	<6%(不合适)
5. 油浸电容/微波炉电容	105 2100	350		5	< 15%

几类电容的大致性能在表中红色字体部分基本得到体现，该如何使用这些数据呢？很简单，比如你想使用一些 104/1600V CBB81 的电容，那么你就把它当做 104/400V (1600*25%) 的电容来用就好。

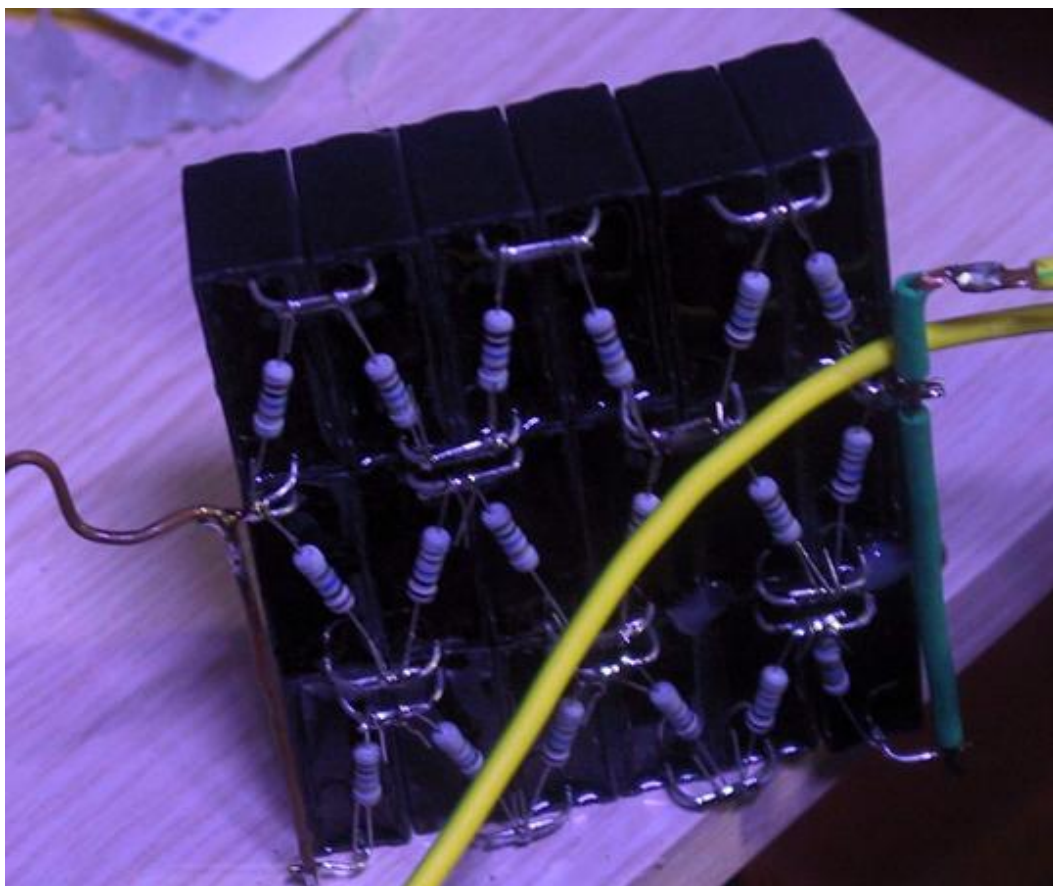
注意：以上参考值是在前面设定的测试脉冲强度下得到的，大家设计时要根据自己

TC 实际参数做适当调整，基本上耐压百分比与 (你设计的频率 $\wedge 2$ * 脉宽 * 脉频) / (测试的频率 $\wedge 2$ * 脉宽 * 脉频) 成正比，比如设计频率是 200K, 那耐压百分比则要减为 1/4 , 若设计脉宽是 100us , 那耐压百分比可提倍(<100%)。

因此电磁炉的谐振电容最合适

DRSSTC 的电容耐压一般取输入电压的 10-20 倍。

DRSSTC 的主电容可以不加电阻。如果加了电阻一般都要兆欧的。



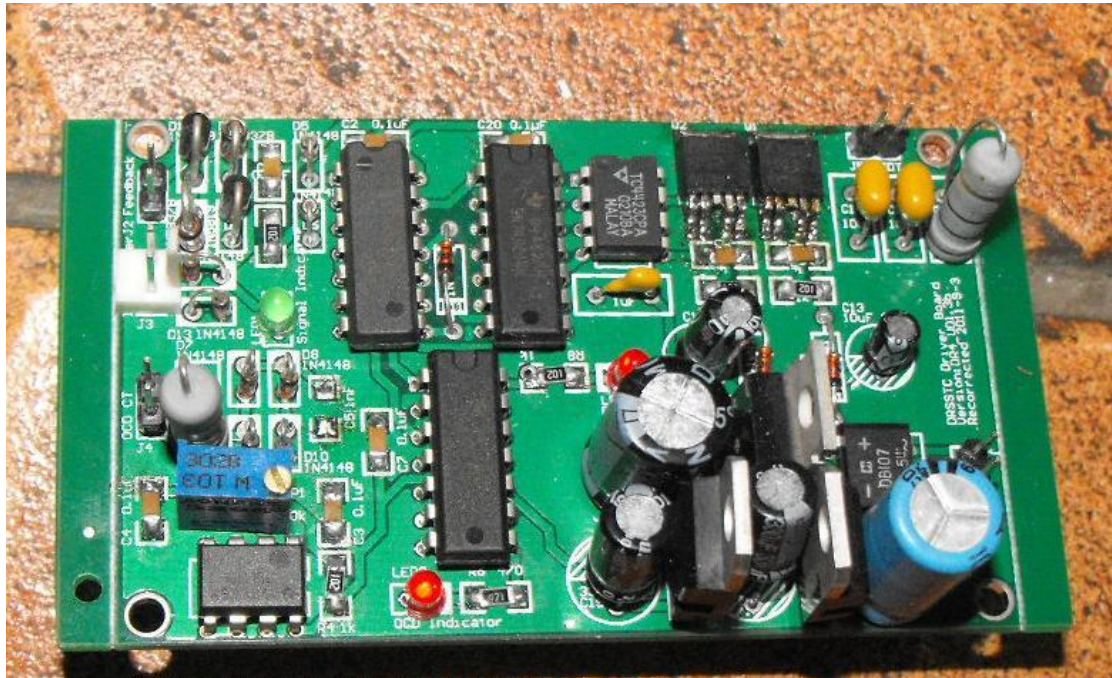
(图片来源 bird_w)



(图片来源：山猫)

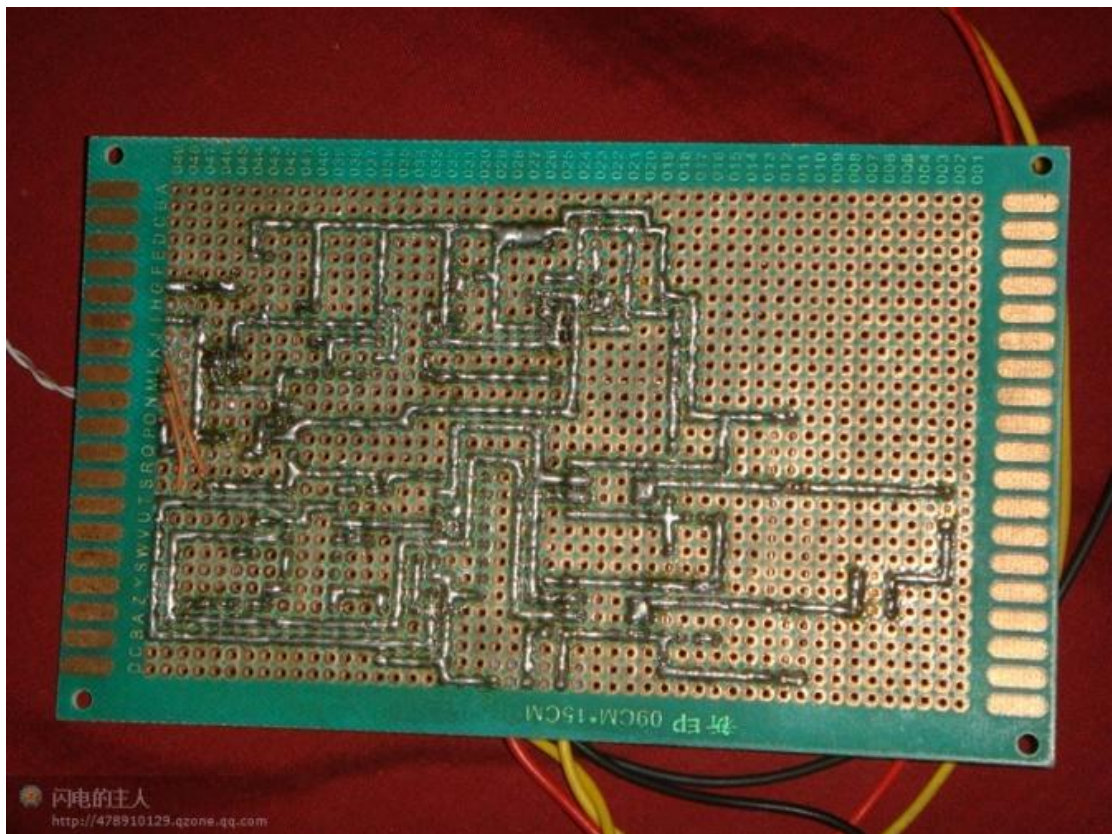
驱动板

有两种选择一种是用套件组装，另一种就是自己用洞洞板焊接。

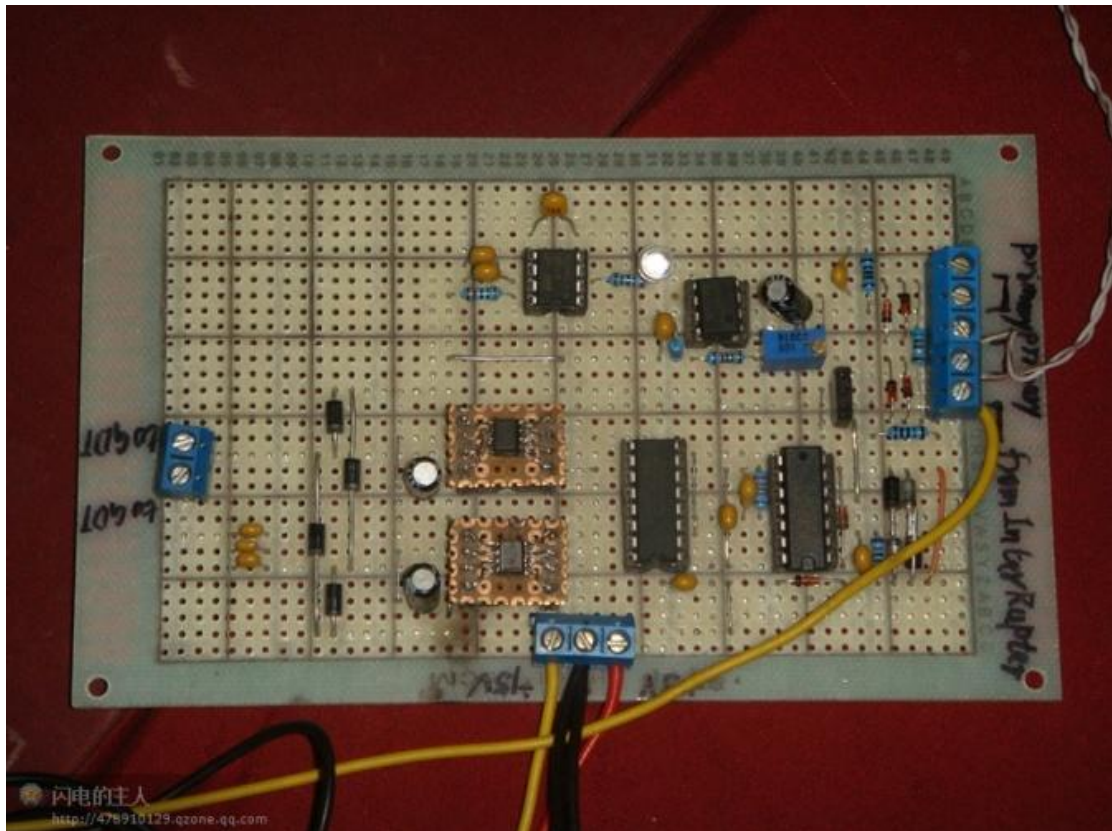


(图片来源：猎鹰

PCB 版设计：ry7740kptv)



(图片来源：山猫)



(图片来源：山猫)

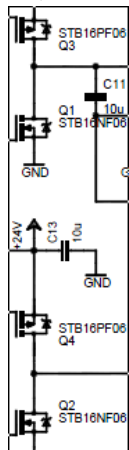
当然还有其它的办法制作驱动，比如蚀刻，但是难度都比较高，推荐办法买套件。毕竟套件的价格不高，做起来很方便，质量也高于洞洞板。（现在焊锡的价格很高如果用洞洞板有时浪费的焊锡，会是一个不小的数字）

电路图倒是有很多主要的就是 Steve Ward 的

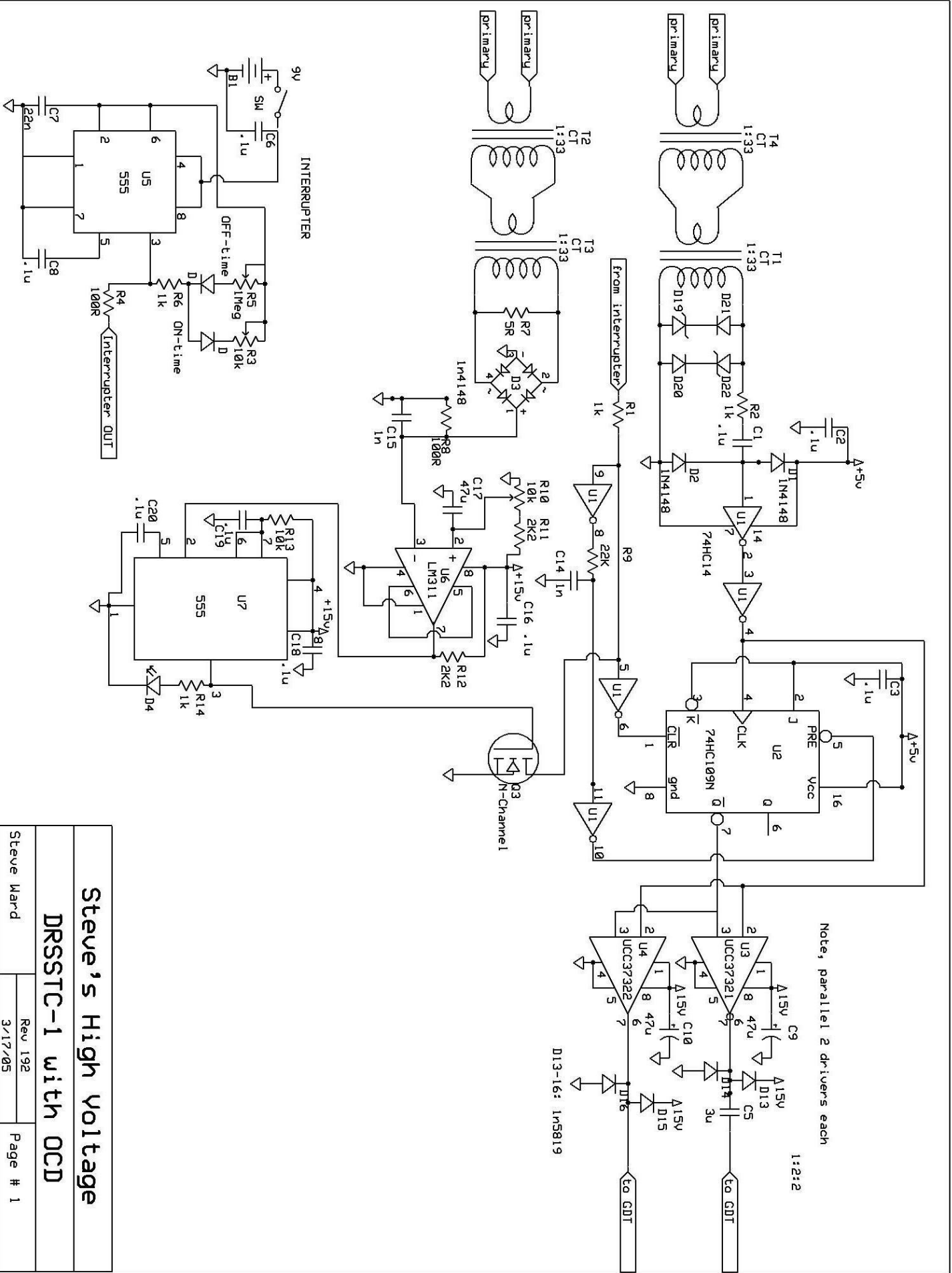
下图分别为 DR-1 和 DR-4

但是 UCC 不好买而且价格高假货多，因此建议用 TC4423 TC4421…….. 来代替。

对于 DR-1 问题较多比如，为了获得不同的电压需要用到稳压块等等……有许多要改进的地方，因此推荐使用 DR-4



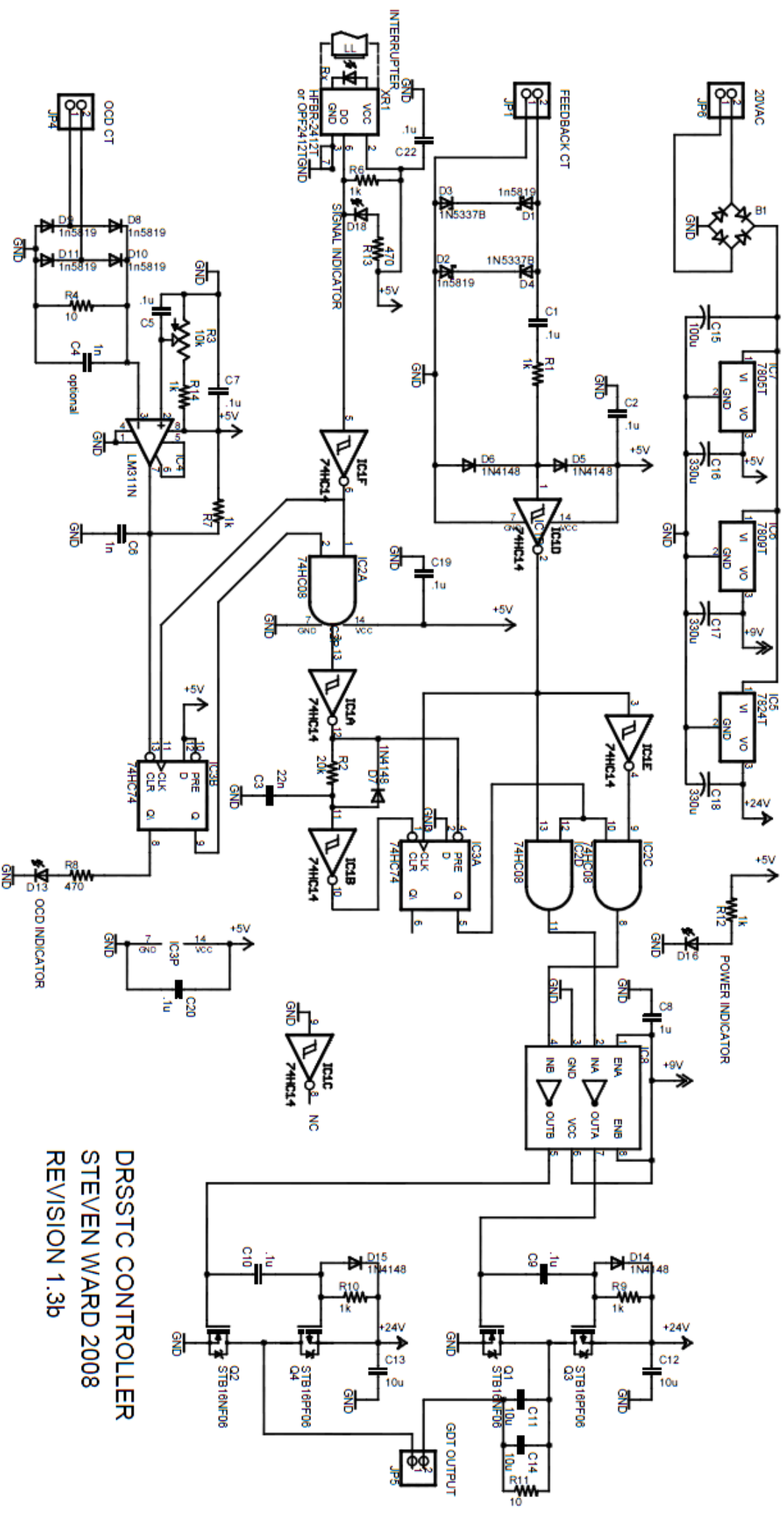
对于这四个 MOS ry7740kptv 就采用了 FDD8424 来代替，这样就能大大地减小整个驱动板的体积。



Steve's High Voltage

DRSSTC-1 with OCD

Steve Ward Rev 192 3/17/05 Page # 1



DRSSTC CONTROLLER
STEVEN WARD 2008
REVISION 1.3b

磁环互感器

1. 信号互感器和过流保护互感器的绕制：

一般采用1:33:33 的绕制方法，即用两个磁环，初级为全桥输出导线穿过第一个磁环一匝，次级用细导线在第一个磁环上绕33 匝引出，然后在第二个磁环上穿过一匝后短接，再用一根细导线在第二个磁环上绕33 匝引出即可。磁环用铁氧体材质的。



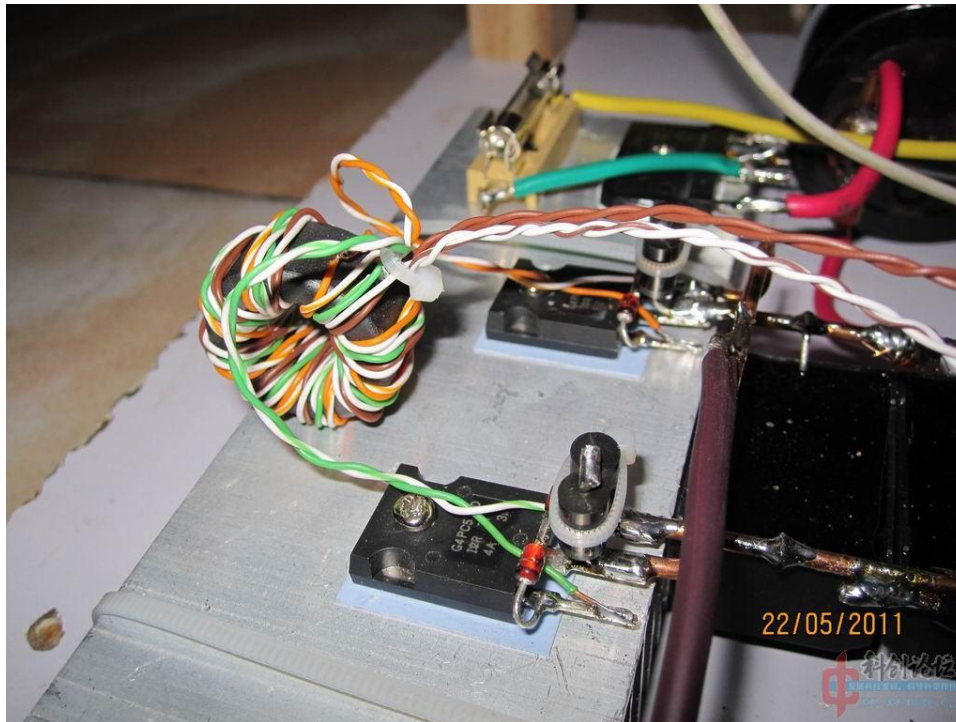
（图片来源：ry7740kptv）



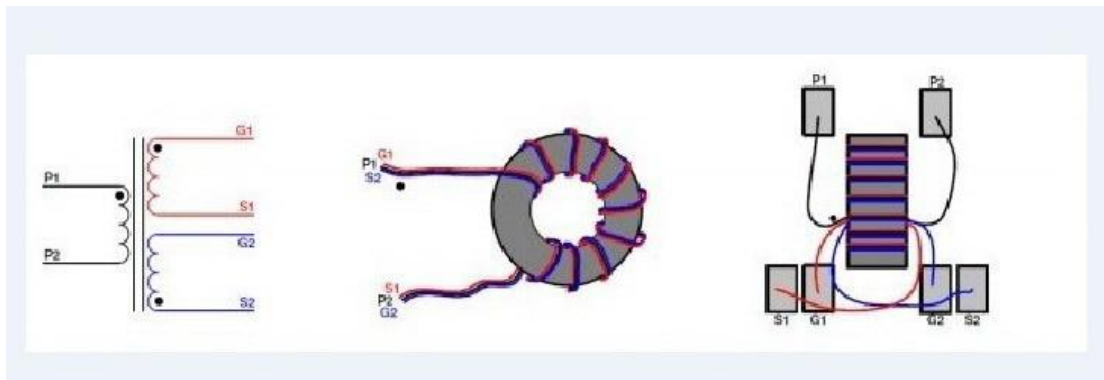
（图片来源：猎鹰）

2. GDT 的绕制:

一般为1:1、16 匝绕制，根据磁环大小可以选择只用一个磁环、用两个磁环或四个磁环。根据开关管功率选择磁环大小，25mm 直径磁环适合下图的开关管。



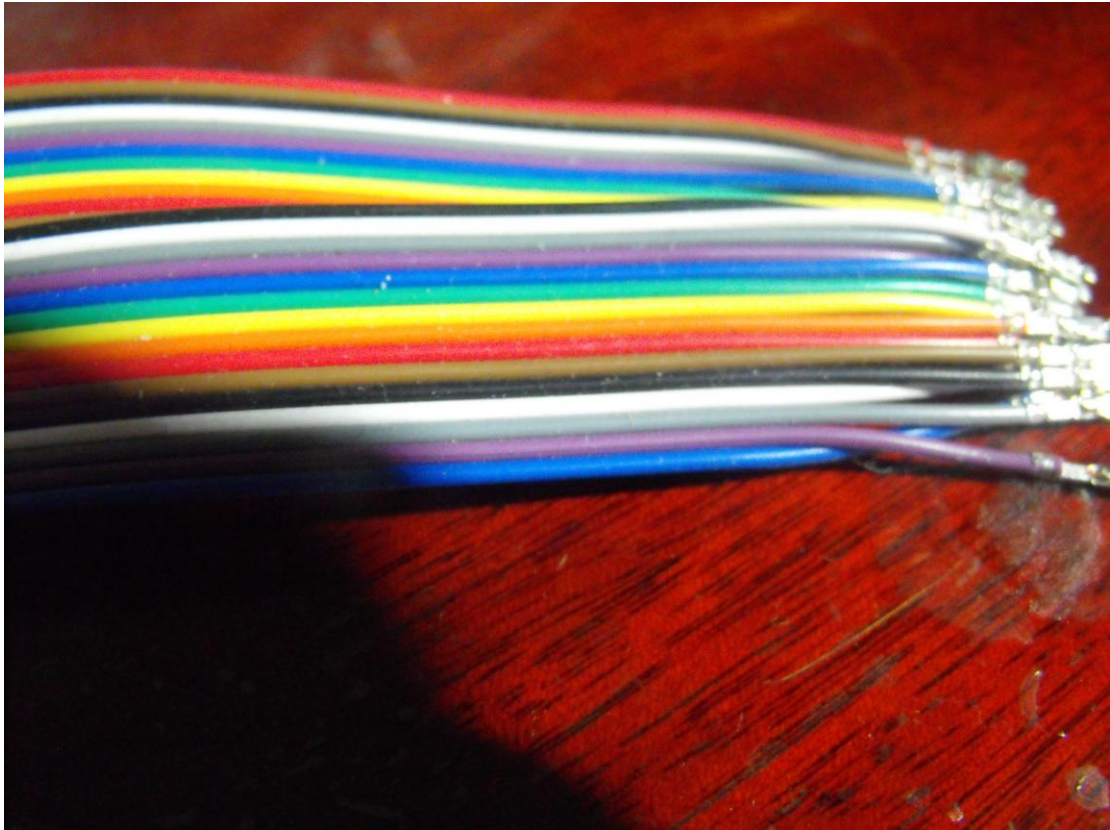
绕制的图纸这里有三组绕线适合半桥，全桥用 5 组。



如果驱动力较大但是磁环太小就会出现磁饱和，影响工作。这时就需要用更大的磁环，但是大的磁环比较贵，所以用几个小的磁环接在一起是挺好的。

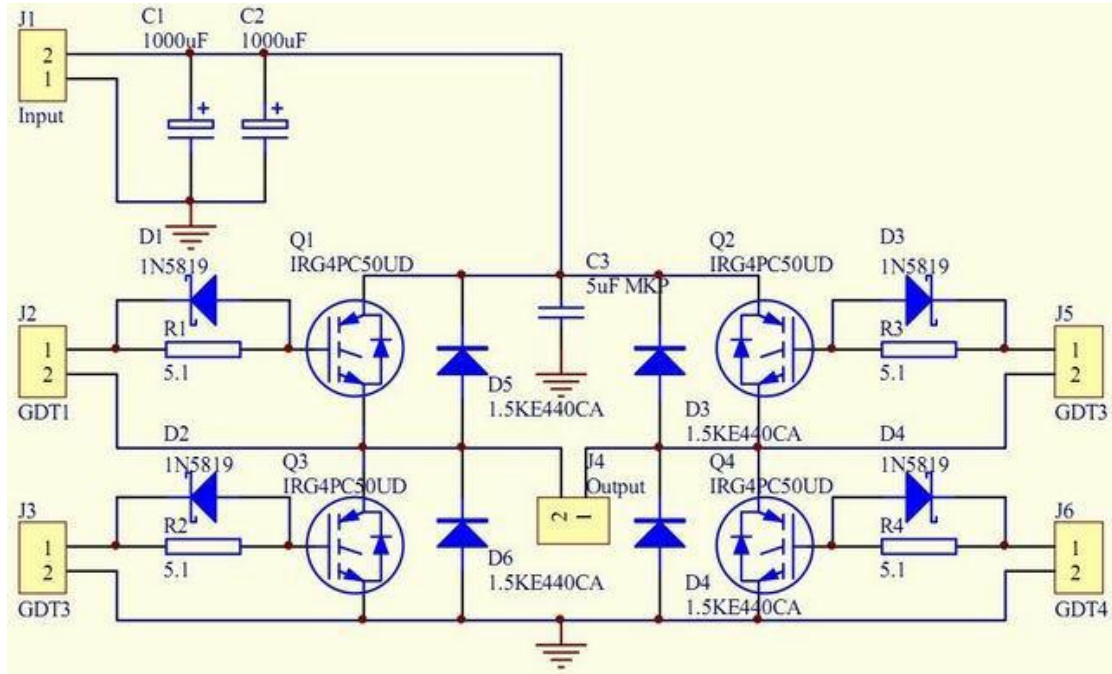
(图片来源: black)

绕线时可以使用这种线，一排有多种颜色。



(图片来源：猎鹰)

功率电路是整个 TC 的功率输出部分，他的性能将直接影响到 TC 的输出功率。



在特斯拉线圈运行时电气环境相当恶劣，功率管相当脆弱。其中管子的一种死法叫做三脚全通，往往 12v 的电源就可以损坏 200v 耐压的管子。这是为什么呢.....万恶的漏感尖峰!! 各种变压器都会有不同程度的漏感，能量没能成功传输出去，便又返回来加载了自己身上【就是电感的特性：保持电流不变，当开关关闭是时电流突变，为了保证电流不能突变因此会在瞬间提升电压。】所以，在桥式电路里要尽量缩短连接线的长度以减少线路中漏下的电感。如果是自制一定要使用粗铜线或者铜排对开关管进行连接，这样可以保证连接线能承受足够大的电流。

尤其特斯拉线圈这种东西，漏感尖峰是非常高的，这时候我们就要用到一种特殊的稳压二极管：TVS 瞬态抑制二极管（D3, 4, 5, 6）！这种管子可以再制定电压下反向击穿点到方向，允许瞬间很大的电流通过，一般的 TVS 二极管瞬间功率都可以达到 1KW【各种不一样，P6ke 的就是 600W. 1.5ke 的就是 1500W】，这个图有一个问题就是需要在开关管的触发极和低压线上并联 30V 左右的稳压二极管，防止驱动信号电压过高击穿开关管。

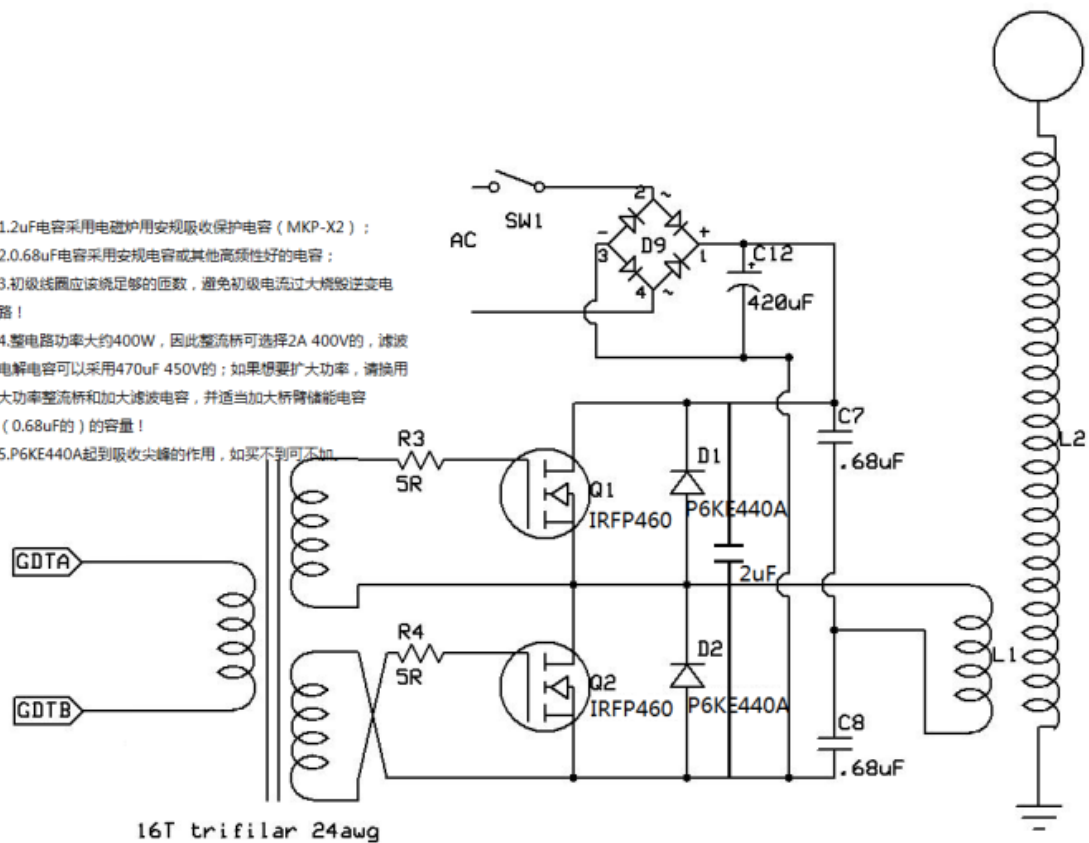
以上所有的稳压管的电压都必须低于管子能承受的最高电压,瞬态二极管要稍微高于输入电源电压,GDT 的输出信号的稳压二极管要比控制极最高电压低(如 20V 的就有 18V 的稳压)。

C3 是吸收电容，由于线路间是存在分布电感的，在高频开关状态下，容易产生寄生振荡和尖峰电压，从而导致开关管损坏，这个电容是起到一个缓冲作用因此必须要加。

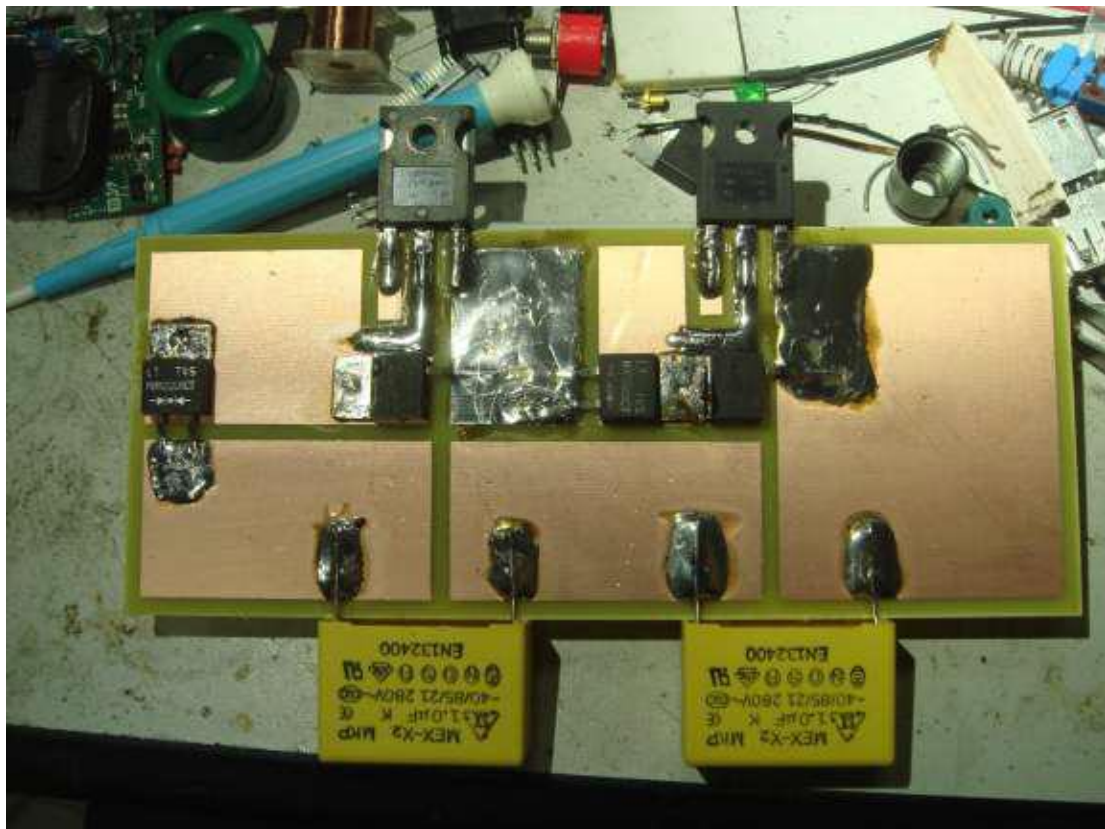
吸收电容需要使用高 Dv/dt 的电容器，如 941C 等。如没有，可选购正品丰明（BM）电磁炉 5uF

МКР 电容。

1. 2uF电容采用电磁炉用安规吸收保护电容（MKP-X2）；
2. 0.68uF电容采用安规电容或其他高频性好的电容；
3. 初级线圈应该绕足够的匝数，避免初级电流过大烧毁逆变电路！
4. 整流电路功率大约400W，因此整流桥可选择2A 400V的，滤波电解电容可以采用470uF 450V的；如果想要扩大功率，请换用大功率整流桥和加大滤波电容，并适当加大桥臂储能电容（0.68uF的）容量！
5. P6KE440A起到吸收尖峰的作用，如买不到可不加

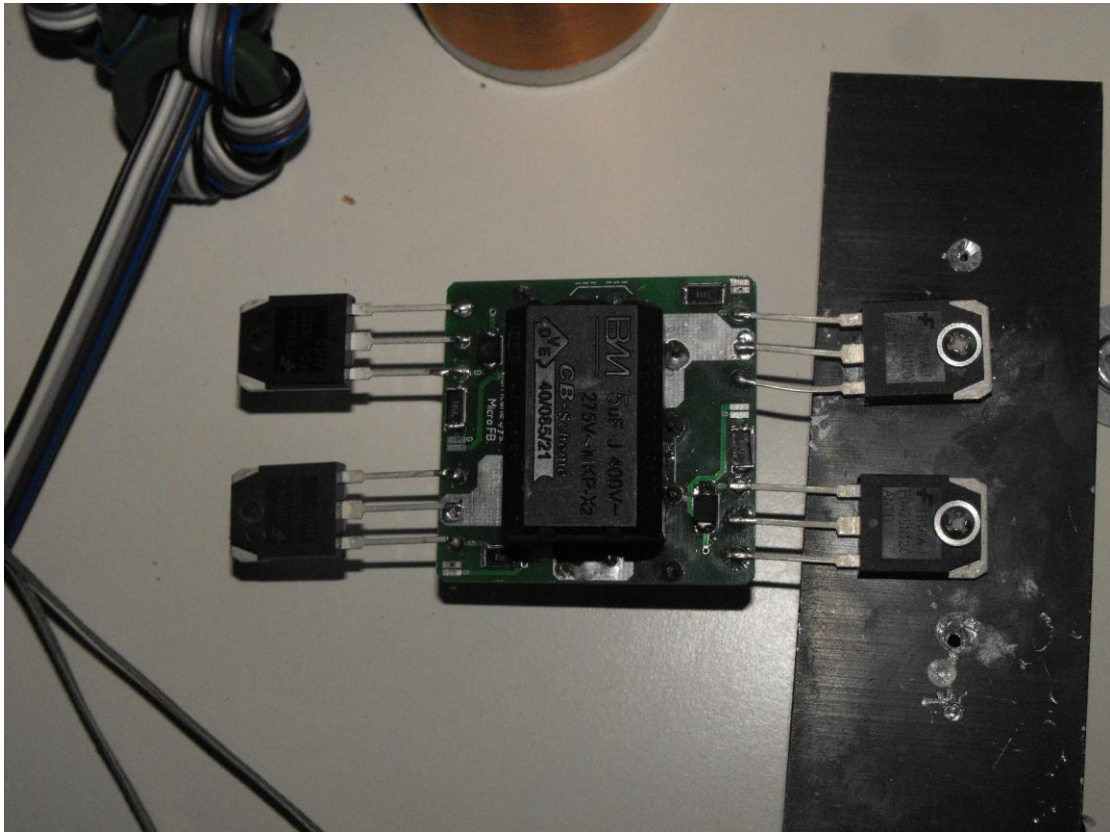


半桥的同理，不用解释。



（上图为 black 的半桥）

因此如果有专用的 PCB 板就会简单很多（科创论坛有销售套件因为配件不同价格 20-60 元）



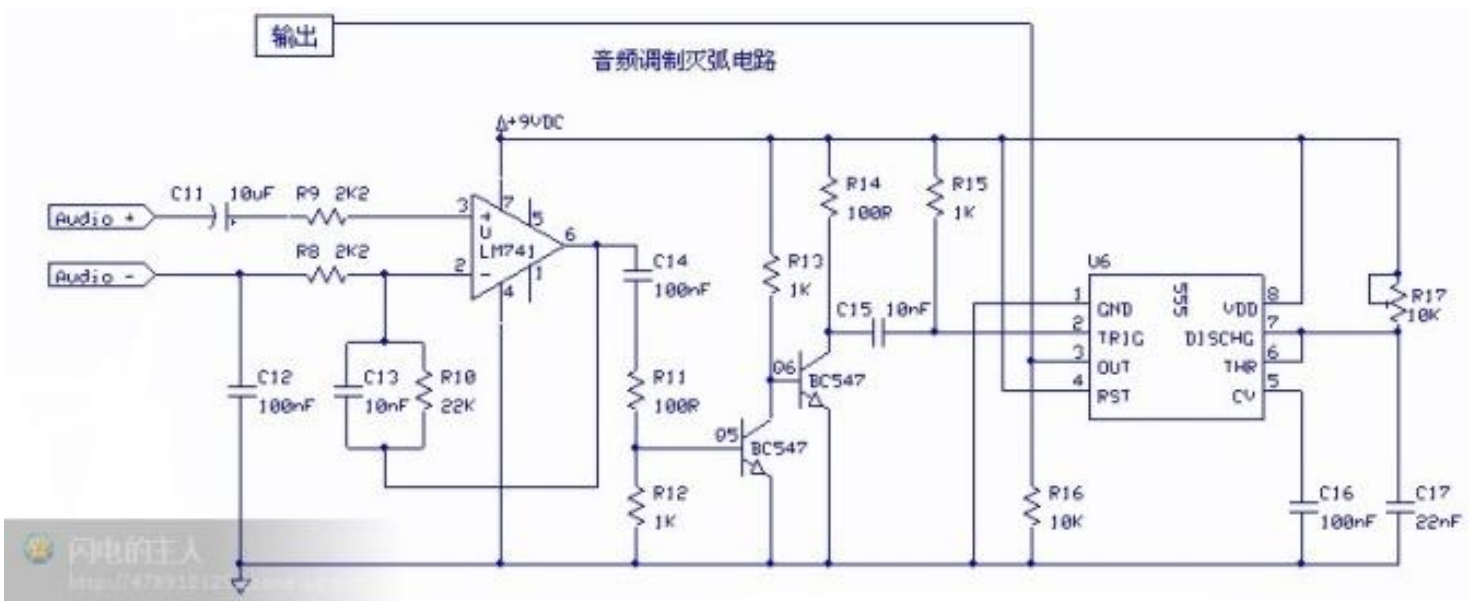
（图片来源：猎鹰 PCB 设计：ry7740kptv）

灭弧：

灭弧电路基本上就是一个脉冲信号发生器，用来控制装置的放电
不光是 DRSSTC，SSTC 也是要用到灭弧的。

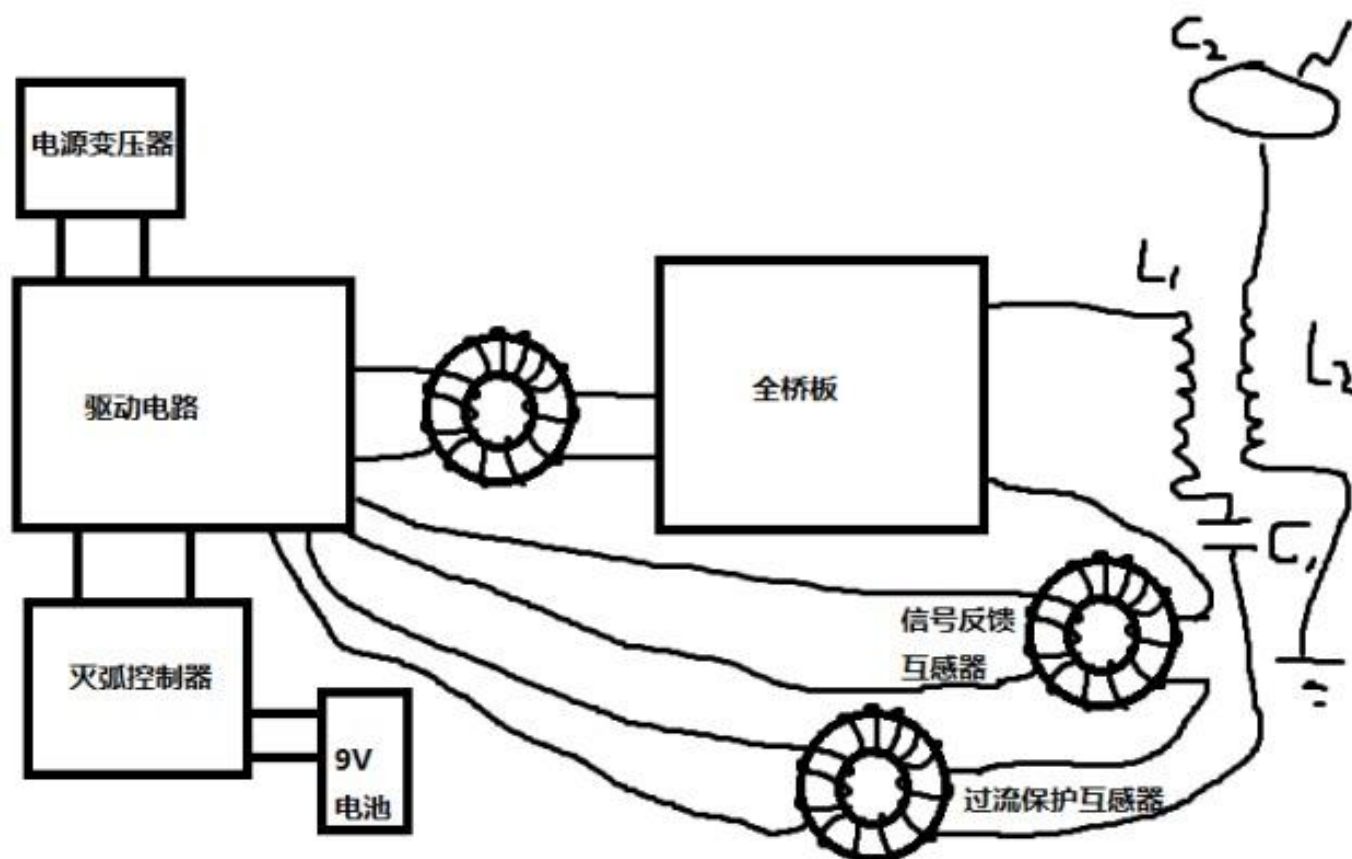
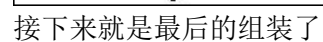
灭弧要分普通灭弧和音乐灭弧，普通灭弧的信号是固定的，而音乐灭弧的信号是随着音频信号的改变而改变

音乐灭弧：音乐需要特殊制作的方波音乐，不然容易损坏开关管。



这个图需要修改：只用一个三极管放大就够了，用 9018 就行。

普通灭弧：其中的两个二极管可以使用 5819 等速度快的二极管。

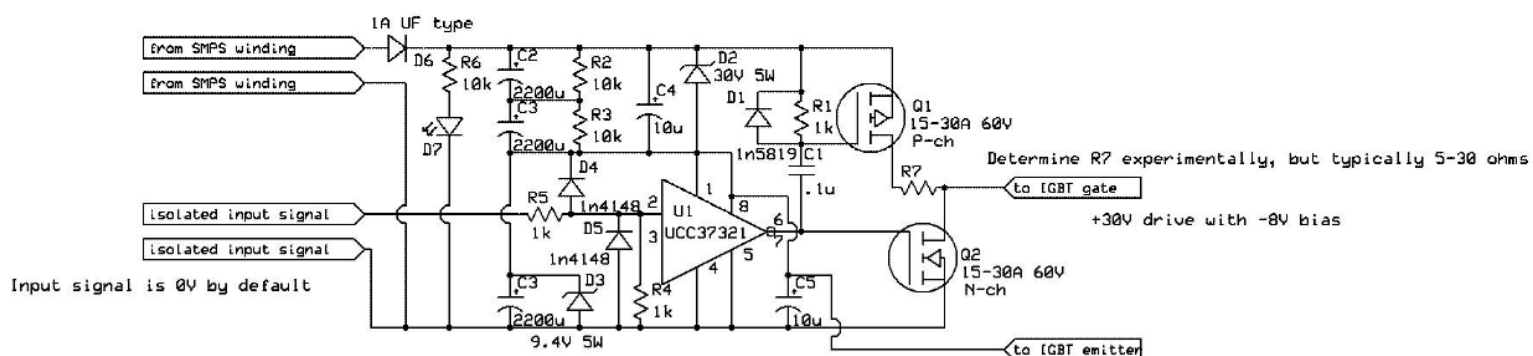


1. 连接好所有电路，确保线路连接无误；
2. 固定好所有部件，关闭所有开关，连接接地线和供电线；
3. 打开驱动板电源，此时应只有绿色电源灯点亮；
4. 调整驱动板上的R电位器，调整过流保护阈值。方法为：测量LM311 3 脚电压，假设阈值定为220A，过流保护互感器是按照1:33:33 绕制，则调整RP1 使3 脚电压= $220 / (33 * 33) * 10 \approx 2V$ 。
5. 打开灭弧控制器，此时驱动板上黄色灭弧信号指示灯闪动。如需要音乐灭弧，则先将音源接至灭弧控制器，打开音源，调节音源音量，直到灭弧信号指示灯随音乐频率闪动；
6. 将灭弧控制器的ontime 和bps 调至最小，关闭灭弧控制器；
7. 接通全桥电源，打开灭弧控制器，此时会有电弧从放电端喷出；
8. 关闭灭弧控制器，切断全桥电源，调整初级谐振频率，使其放电效果最佳（需要反复的开关DRSSTC，**千万不要在DRSSTC 工作时去调节！**）；
9. 谐振调节好后，慢慢加大ontime，直到红色过流保护指示灯点亮，此时略微减小ontime，使红灯熄灭，然后调节bps 到适当位置（根据自己需要），此时DRSSTC 进入正常工作状态，调试完毕！
10. 整个调试过程中一定要遵循断电后操作，**禁止带电调节任何部件！** DRSSTC 开机顺序为驱动=》全桥=》灭弧，关机顺序相反。

总结：最后你会发现固态特斯拉线圈其实也不算很难，只是在 SGTC 上加入了更多的电子技术使性能更好。

在调试时最好有调压器因为直接使用市电容易造成功率过大损坏开关管，如果有示波器那么对故障的排除就会方便许多。对于DRSSTC 来说， $L1 * C1 = L2 * C2$ 并不是最佳工作状态！实际初级谐振频率应该低于次级谐振频率一点，至于低多少，可试验得到结果。

对于刚开始制作的人来说 1KW 以下的比较合适，因为造价不高。小型的成功后就可以尝试强大的大功率了。这时已经不能使用 IGBT 管来了需要用模块（俗称砖）由于砖的功率很大因此驱动砖就需要较大的电压和电流这时普通的驱动已经没有那里驱动强大的砖了，这时就要用到 IGBT 驱动。



左上为电源：24V 左右

左下是输入信号，右边就是输出信号了。UCC 可以用 TC4421 代替。



（图片来源：sukeytang）

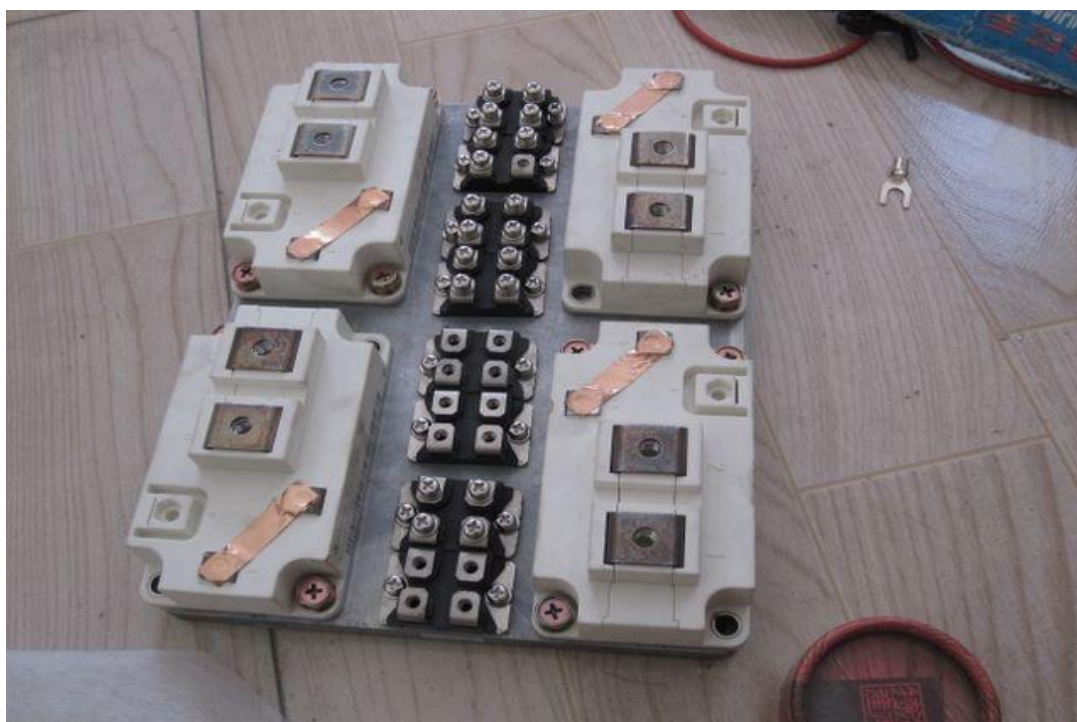
对于大砖就需要雄厚的资金了，当然该舍得的地方必须要舍得花钱，不然出问题了会花更多钱，那时候后悔也晚了。（以下图片来源：feng724）



先找到固定 IGBT 的螺丝的位置，然后打孔。



固定 IGBT 大砖



用同样的办法固定二极管和电阻（如果二极管和电阻不是砖型不用这个办法）



使用铜排连接电路。



在背面加上散热片。





对于零基础的人这里我对一些基本的电子元件的使用方法做出讲解。

开关管：

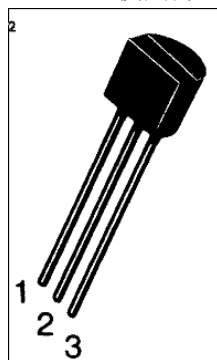
场效应管（MOS）：具有输入电阻高（ $10^8 \sim 10^9 \Omega$ ）、噪声小、功耗低、动态范围大、易于集成、没有二次击穿现象、安全工作区域宽等优点。但是不适合在高电压下工作。

绝缘栅双极型晶体管（IGBT）：是由三极管和场效应管组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件，兼有场效应管的高输入阻抗和三极管的低导通压降两方面的优点。三极管饱和压降低，载流密度大，但驱动电流较大；场效应管驱动功率很小，开关速度快，但导通压降大，载流密度小。IGBT 综合了以上两种器件的优点，驱动功率小而饱和压降低。总的来说就是，只需要小的功率就能驱动较大的功率，而且内阻小发热小。

可控硅（晶闸管）：是靠电压控制，优点价格低，电流大。缺点一旦打开就不能关闭，直到没有电流通过。因此是制作电磁炮的首选。

三极管：靠电流的大小进行控制。

使用方法：



三极管是

2. 控制电流。1. 负极 3. 接正极

如果是 IGBT MOS 等

1. 控制 2. 正极 3. 负极

二极管

整流二极管：将交流电转化为直流电（只允许电流一个方向流动）
由于恢复速度不同，还分为快恢复、超快恢复、肖特基。

开关二极管：利用单方向性起开关作用

稳压二极管：当电压过高时会击穿，这时就相当于短路，起到降压的作用，从而保护其它元件。用法是并联在需要保护的元件上。

发光二极管：发光作用

集成电路（IC）：把大量元件做在一起，成为一个有控制作用的个体。（一个多为黑色的小方块）

稳压块：（和上图一样）1. 输入 2. 负极 3. 输出（长相和 IGBT 差不多）

电阻：

定值电阻：起到阻碍电流流动的作用

可调电阻（电位器）：阻值可以改变

电容：起储存电荷的作用，工作的特点是不允许两端的电压突变，如果电压突变电容就会放出电流使两端电压相等。（并联在电路中起滤波作用）。由于电容中间是绝缘的因此直流电无法通过，由于交流电的方向在不断变化，所以交流电能够通过电容。（串联在电路中起隔离作用）。

电感：当通入不断变化的电流进入后，会感应出相反的电动势，因此会产生感抗而阻碍电流的前进，如果是高频输入由于变化极快，因此感抗更强。由于直流电不会变化，所以电感的特点是通直流，阻交流（频率越高，阻碍越强）。电感还不允许通过的电流发生改变，如果发生了改变，就会升高电压来使电流不变。（就是这个原因，所以功率电路的设计要求较高，不然会击穿）

变压器：

电源变压器：改变电源电压（不能调整，电压是初级和初级的匝数比）

调压器：可以根据自己的需要改变电压。

隔离变压器（互感器）：有时一个部分出现故障会导致其他部分出故障，就会影响到另一部分，这时就用它来保护。在功率电路上还用来使两个开关管轮流工作。

来几张图片给大家过瘾。

（图片来源：AOH0）



安全准备：

千万不要试图触摸通电运作中的高压电设备/电弧，电容充电后可以在很长一段时间储存足以致命的能量,在大容量或是高压电容上一定要加上适当的泄压电阻,并在关机后一段时间才触摸。永远要知道自己在干什么,会有什么效果,盲目试验是安全的最大敌人。

一定要保证有一个高度清醒的大脑！！！！

严禁酒后操作！！！！

由于实验造成的一切安全事故，论坛和作者概不负责！！

- 1.如果您身上有心脏除颤器,或任何植入/非植入式电子医疗器具,请您不要操作任何高压电设备!
- 2.你对周围的人要大概了解一下,如果周围有使用心脏除颤器,起搏器的人,禁止启动特斯拉线圈!! 特斯拉线圈的电磁干扰很大,可能会损坏他们使用的装置,导致死亡!!
3. 确定周围没有精密仪器设备,如果你在医院附近或者是在一些研究所旁边,禁止启动特斯拉线圈!! 可能会干扰他们的设备正常运转。
- 4.确保测试区附近的大型金属物件/仪器外壳均已接地,以防其累积出有危险性的电荷,如测试区附近有电容器,请确保测试后立刻放电!
5. 在家玩的话,注意旁边不要有贵重家用电器,如果电脑,打印机,电视机,等等~,以免被劈坏。高压电设备产生的电磁波有可能烧毁电器内敏感的原件,引致电器失灵/损坏。
6. 确保特斯拉线圈可靠地接地(绝对不要和用户的地线接上),地线可以接到金属暖气管上(小功率特斯拉线圈可以,大功率的,必须要有专用地线)。
7. 在以上情况允许之后,确保自己在安全范围。不要让闪电劈到自己!!
- 8确保供电线路保护机制可靠,可以在过载或短路的情况下断开电路,(检查进户空气开关是否可靠,专门给特斯拉线圈的供电线路上安装保险)。
- 9消防安全,高温的电弧能点燃易燃物料,测试前请移除测试场附近的易燃物料,同时放置适当的灭火器材。
10. 实验时候,至少保证2个或多个可靠的人陪你一同实验(操作由你一个人完成,TA们负责在远处看,不参与你的实验,并保证他们有能力处理应急事故,可以冷静的面对事故,性别不限)!!
- 11特斯拉线圈上电运转的时候,声音很大,要做好心理准备。
- 12 确保可以满足以上条件的时候,可以通电实验!

相关网站:

http://bbs.kechuang.org	科创论坛
http://teslacoil.blogcn.com	AOH0 的个人博客
http://stevehv.4hv.org	Steve Ward 的个人网站
http://www.richieburnett.co.uk	Richie Burnett 的个人网站

最后感谢: 山猫 sukeytang ry7740kptv 任某人 black aoho feng724 等的帮助。