

自激式软开关变换器(ZVS)教程

目录

目录..... 2

前言 3

第一章 关于 ZVS..... 4

第二章 ZVS 的工作原理..... 6

第三章 ZVS 的元件选择..... 8

 A.功率管..... 8

 B.谐振电容 8

 C.电感..... 8

 D.其他 8

第四章 ZVS 的拓展应用-电磁枪配套升压器..... 9

第五章 ZVS 的拓展应用-基于 ZVS 的滞后反馈升压器..... 11

第六章 ZVS 的拓展应用-高效电鱼机..... 15

结语 21

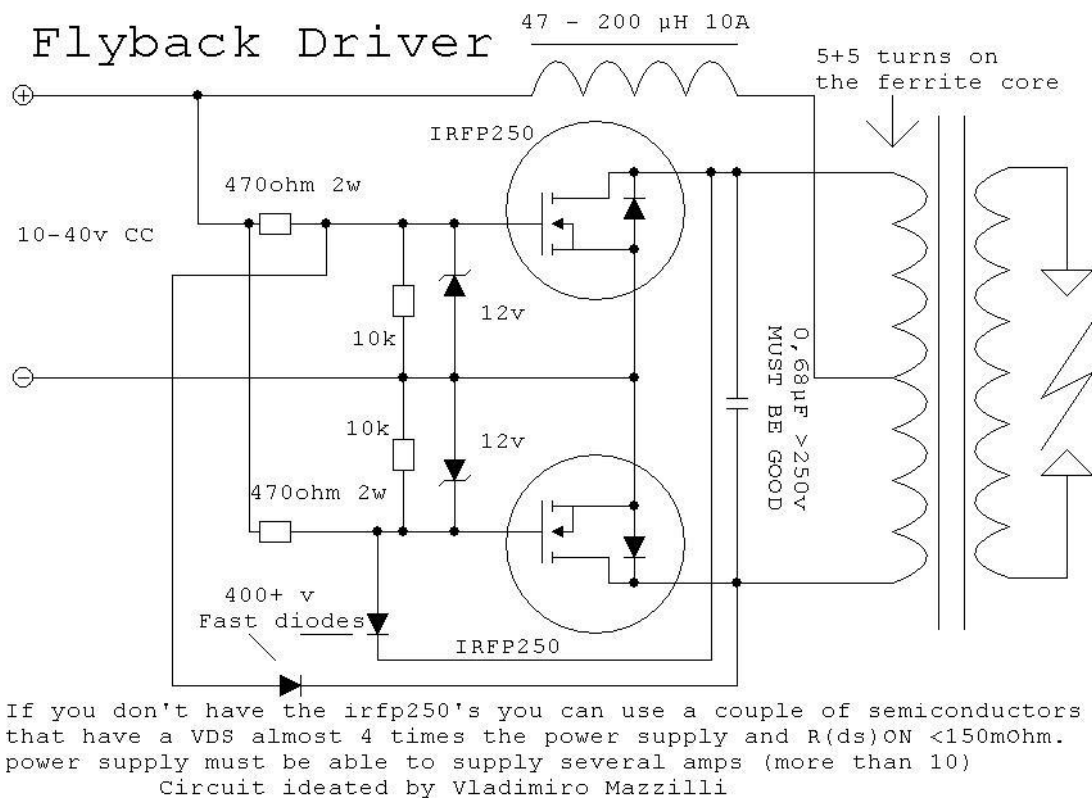
前言

ZVS 电路对于各位来说可能并不陌生，可能很多同学都制作过数十个 ZVS 电路了。ZVS 的最经常用途是驱动高压包拉弧，zvs 具有简单、功率大、发热小效率高等优点。在此提醒一下各位，不要不加思索地一味重复制作某个电路，DIY<>纯粹的组装。本教程将介绍 ZVS 的背景、工作原理、制作经验和高级应用方式（这是亮点！）同时带领各位领悟 DIY 的真谛！

本文来自：<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-44207-fid-154.html>

原作者：金珂居士

第一章 关于 ZVS



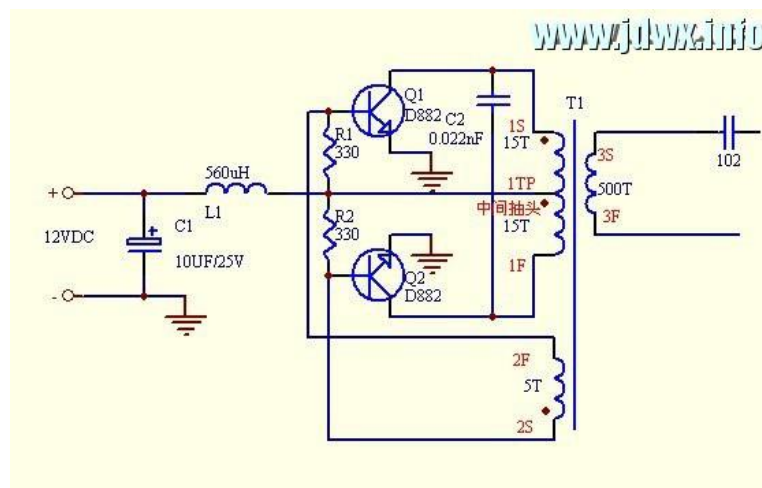
相信很多人看到了很熟悉的那个电路。这就是自激式软开关变换器，常被大家称为 ZVS。值得一提的是，ZVS 是一种电路工作模式的名称（Zero voltage switch，零电压开关），用于描述在开关电源中功率管在其两端电压为零时进行开关动作，此时没有开关损耗。本电路的功率管正是由于工作在 ZVS 模式又加上太著名了所以被称为 ZVS.....(下文中 ZVS 代表本电路)

ZVS 是一种 Royer 变换器，那么 Royer 是啥？可能很多同学第一次听说这个名词，下面让我为大家分解。

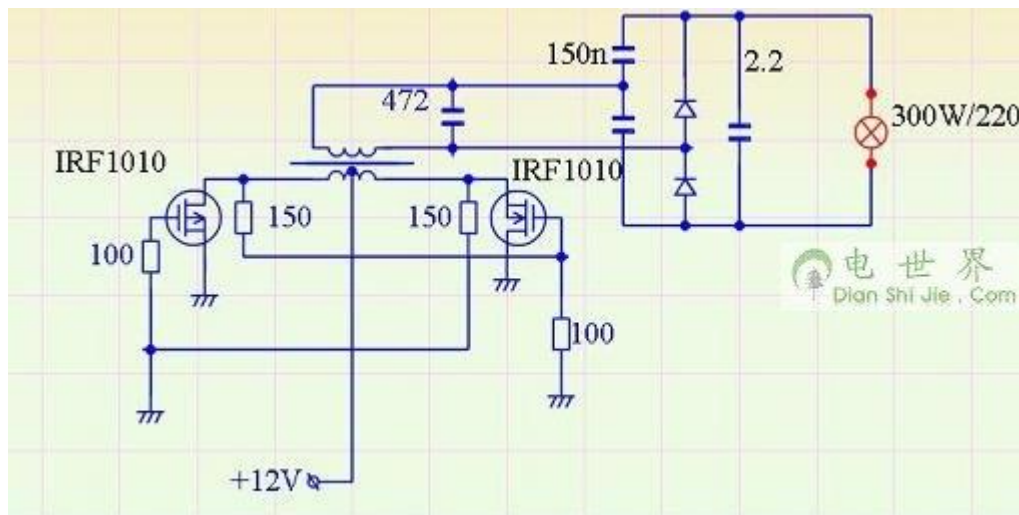
1955 年美国的科学家罗那（G.H.Royer）首先研制成功了利用磁芯的饱和来进行自激振荡的晶体管直流变换器。此后，利用这一技术的各种形式的精益求精直流变换器不断地被研制和涌现出来，从而取代了早期采用的寿命短、可靠性差、转换效率低的旋转和机械振子示换流设备。由于晶体管直流变换器中的功率晶体管工作在开关状态，所以由此而制成的稳压电源输出的组数多、极性可变、效率高、体积小、重量轻，因而当时被广泛地应用于航天及军事电子设备。由于那时的微电子设备及技术十分落后，不能制作出耐压高、开关速度较高、功率较大的晶体管，所以这个时期的直流变换器只能采用低电压输入。

此后 Royer 类变换器一直没有停止发展，先后出现了：

三极管 ZCS（用于 LCD 背光照明 CCFL，本教程不多作介绍）



场效应管 ZVS (大家熟知的那个电路)，这两个电路实现了谐振软开关，因此效率非常高，比 PWM 硬开关变换器的效率高不少。还有一种类似于 ZVS 的场镇自激电路：

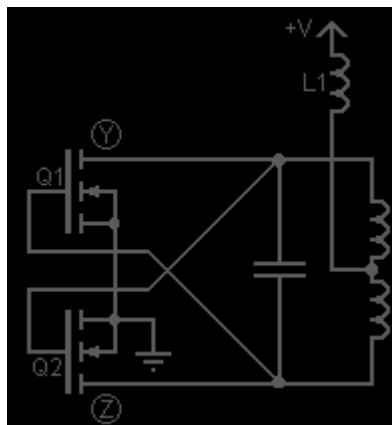


这个电路功率非常的大，据说做好了带 1kW 的太阳灯都无压力，但是它没谐振电容，因此是硬开关，而且频率比较低，大概只有几到十几 KHz，因此有声。。。

呃呃、跑题了。。。。。。下一章将为大家介绍 ZVS 的工作原理。。。。。

第二章 ZVS 的工作原理

这里有一个简化版的 ZVS:



当电源电压作用于 **V+**，电流开始同时通过两侧的初级并施加到 **MOS** 的漏极 (**D**) 上。电压会同时出现在 **MOS** 的门极 (**G**) 上并开始将 **MOS** 开启。因为没有任何两个元件是完全一样的，一个 **MOS** 比另一个开的快一些，更多的电流将流过这个 **MOS**。通过导通侧初级绕组的电流将另一侧 **MOS** 的门极电压拉低并开始关断它。图中电容和初级的电感发生 **LC** 谐振并使电压按正弦规律变化。如果没有这个电容，通过 **MOS** 的电流会一直增大，直到变压器饱和+**MOS** 发生核爆炸.....

假设 Q1 首先开启。当 Z 点电压跟着 LC 谐振的半个周期上升到峰值再回掉时，Y 点电压会接近 0。随着 Z 点电压下降到 0，Q1 的门极 (G) 电压消失，Q1 关闭。同时 Q2 开启，此时 Y 点电压开始上升。Q2 的导通把 Z 点电压拉低到接近地，这可以确保 Q1 完全关断。Q2 完成 LC 振荡的半周后会重复同样的过程，此振荡器继续循环工作。为了防止本电路从电源拉取巨大的峰值电流而损坏，增加了 L1 在变压器抽头处和 V+ 之间作为缓冲。LC 阻抗限制着实际的电流 (L1 只是减少峰值电流，因为电感有续流作用吧)。

如果你眼够尖，会发现此振荡器是一个零电压开关电路（zero-voltage switching ZVS），这意味着 MOS 将在其两端电压为零时关断。这对 MOS 有好处，因为它允许 MOS 在承受应力比较低的时候进行开关动作，这意味着不再需要像硬开关变换器那样的巨大散热器，甚至当功率大到 1KW 时都可以这样！（我觉得悬.....毕竟 MOS 有导通电阻.....谁的 ZVS 能上 1KW？！反正我没见过.....）

ZVS 的振荡频率将由变压器初级的电感和跨接在初级两端的电容决定。可以用下列公式计算：

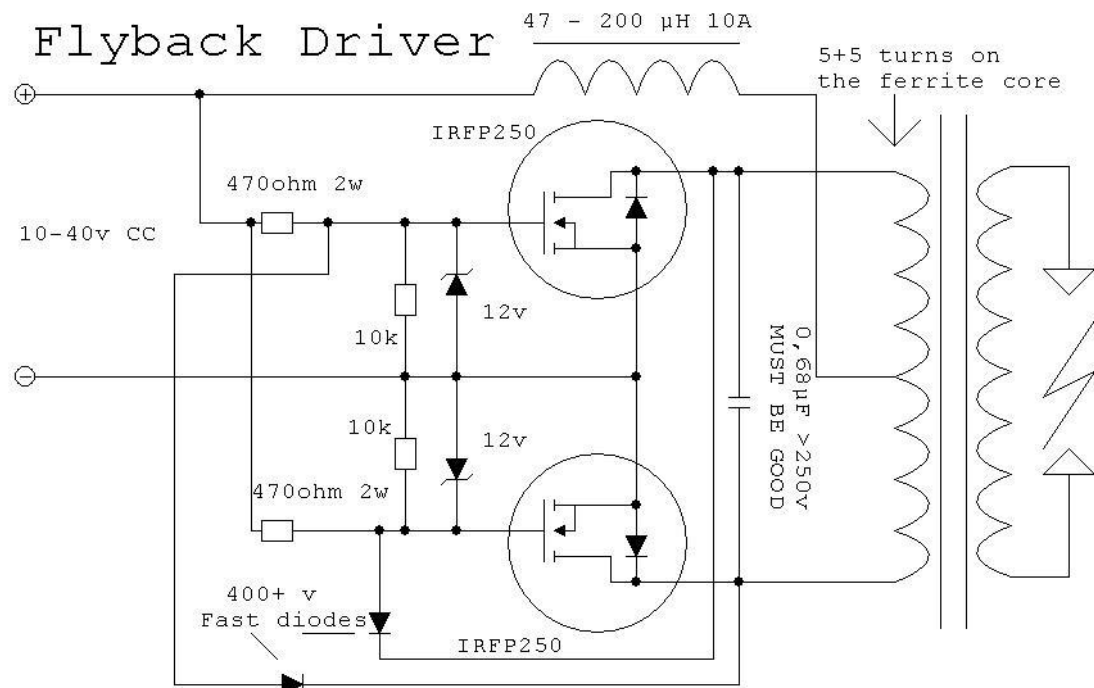
$$f = 1/2 * \pi * \sqrt{(L * C)}$$

f 频率, 单位 Hz

L 初级的电感，单位 H（注意不是 uH! 1H=1000000uH!）

C 谐振雕塑的容量, 单位 F (注意不是 μF ! $1F=1000000\mu F$)

真实的 MOS 比较脆弱(汗== 深有体会)，如果门极 (G) 和源极 (S) 之间的电压超过正负 30V，MOS 会损坏。为了防止这种事情发生，我们需要门极 (G) 的保护措施；只是简单地增加几个额外的元件就变成了大家熟知的 ZVS。



If you don't have the irfp250's you can use a couple of semiconductors that have a VDS almost 4 times the power supply and R(ds)ON <150mOhm. power supply must be able to supply several amps (more than 10)

Circuit ideated by Vladimiro Mazzilli

- 470 欧电阻用来限制 MOS 门极 (G) 的电流，防止损坏。
- 10K 电阻用于确保 MOS 可靠关断。
- 稳压二极管将 MOS 的门极 (G) 的电压限制在你选用的稳压二极管 (12V、15V、18V) 的击穿电压之内。
- 当一侧 MOS 导通时，UF4007 将另一侧 MOS 的门极 (G) 电压拉低

值得注意的是，我们改用+V 为 MOS 供电，使它们开启，并使用 LC 谐振部分通过快恢复二极管关断它们。这提高了整体电路的性能。

如果测试两个场效应管 D 极之间的波形的话，会测得完美的正弦波，说明了电路工作在谐振状态。

更多内容请参见：<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-43338.html>

第三章 ZVS 的元件选择

A.功率管

功率管是决定 ZVS 输出功率的关键元件.功率管的选择有两个主要条件,分别是耐压大于 4 倍电源电压和电流大于最大谐振电流.常用的功率管是 IRFP260 和 IRFP250,IRFP460 也有人用,但是本人观点是这类管子虽然耐压高但是导通电阻也大,因此会发热多点.个人认为 IGBT 也不适合 ZVS,因为压降太大.如果是低压 ZVS(输入 14V 下的,典型的是 12V 的 ZVS),可以选择 IRF3205,这个管内阻超小,55V 的耐压也足以应付 12V 输入了

B.谐振电容

谐振电容也是一个很关键的元件.这个电容要通过较大的谐振电流,因此必须用好的电容,普通瓷片和 CBB 电容都不能用,电磁炉谐振电容是一个不错选择.一般都是 0.27-0.33uF,不过没事儿,直接代替图上那 0.68uF 的电容没有问题.此外其他的低 ESL 低 ESR 电容也可以被选用,如 941C

C.电感

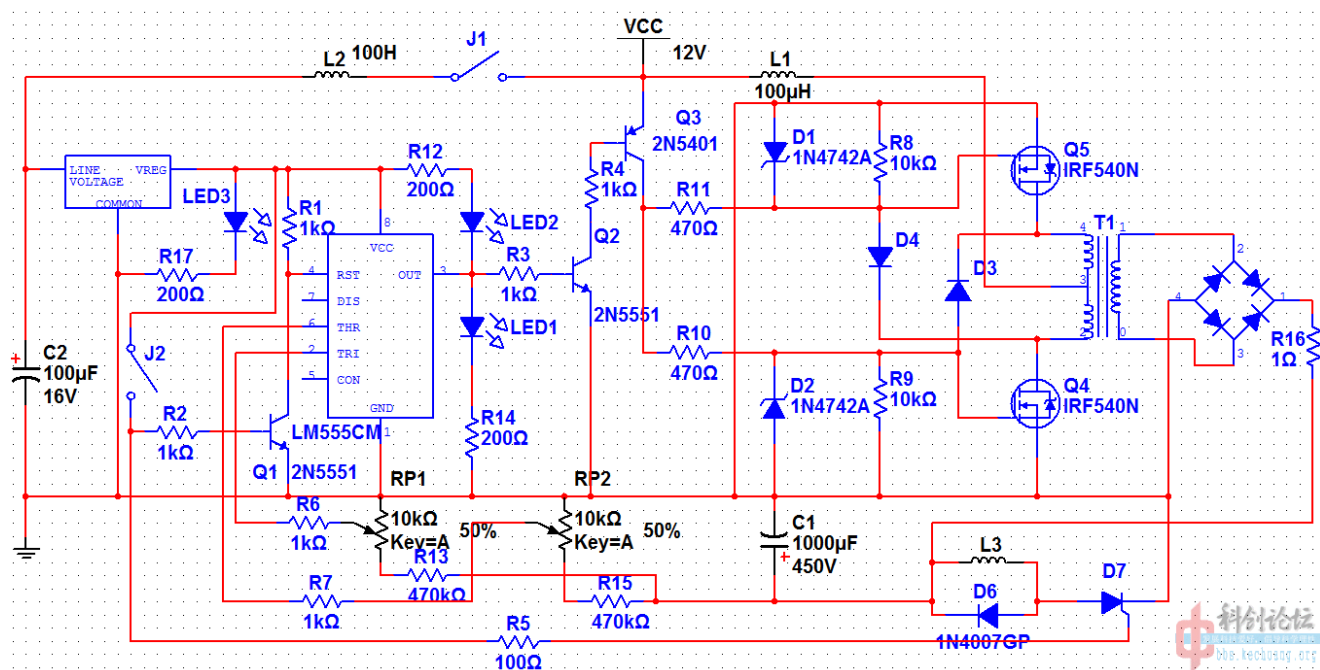
ZVS 中的电感是让 ZVS 稳定工作的保证.如果没有这个电感,工作时峰值电流会很大,电源可能受不了.电感用铁铝硅磁环绕制为佳,铁氧体磁环的导磁性太高,在大电流下易饱和,因此不能用,铁粉芯的单匝电感量太低,结果是导线电阻大.绕电感的线要粗.

D.其他

其他元件照图安装即可,二极管使用 HER107 或者 UF4007,470 欧电阻在大电压输入时要留足功率余量,10K 电阻用 0.25W 的即可,12V 稳压管在大电压输入时要用大功率的(此时稳压管一死 MOS 必栅极击穿).如果使用 ZVS 驱动自制变压器,一定要留气息,否则频率太高.

第四章 ZVS 的拓展应用-电磁枪配套升压器

<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-39279.html>



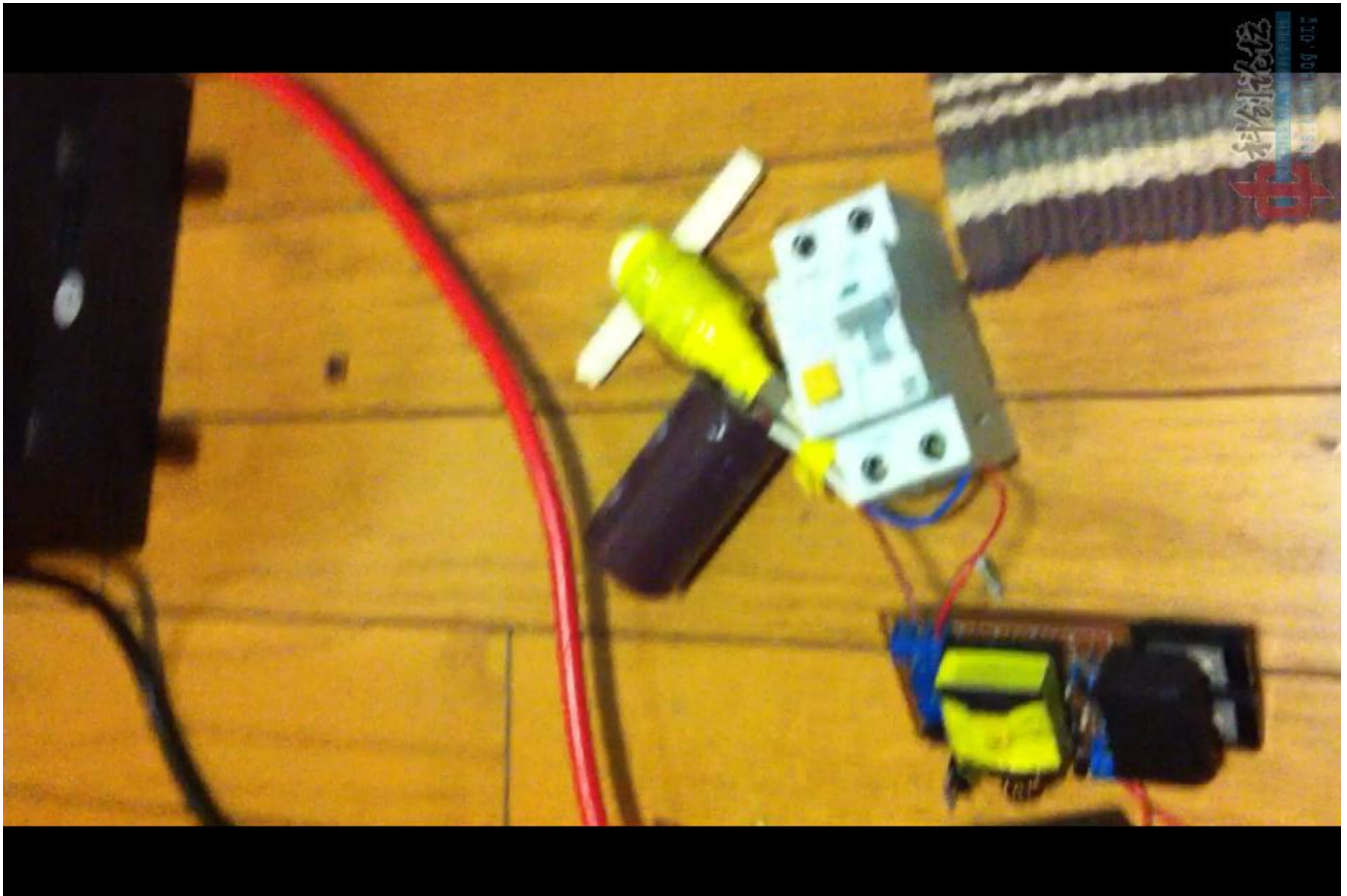
我看大家以往都用 3525、3524、494 之类的它激驱动进行推挽升压或者 Boost 升压，不是充电慢就是效率略低。ZVS 可谓是效率惊人，功率也不小，可惜这家伙输出电压难以控制，动不动就超压.....于是本人经过 5 天左右的研究和实验，在请教了霹雳游侠和 Black 之后，终于整出此电路，实验效果理想：接通 J1 后 ZVS 工作 1S 左右后转为间歇工作。

电路图可能画的有些乱.....电路主要分 2 个部分，ZVS 和 NE555 控制部分。J1 是升压电路的开关，J2 是发射开关。RP1 设定电容电压下限，RP2 设定电容电压上限。LED1 是充电中指示，LED2 是充电完成指示，LED3 是升压电路开关打开指示。

电路工作流程:

接通 J1 后, 经过 LM7806 的稳压, LM555 工作在稳定的 6V 状态下, 此时由于第二脚反馈回来电压接近 0, 于是 NE555 输出高电平, LED1 点亮, Q1、Q2 导通使 ZVS 工作开始升压。当第六脚的反馈电压达到 $2/3V_{CC}$ (4V) 时, NE555 输出低电平, LED2 点亮 LED1 熄灭, Q1、Q2 关闭使 ZVS 停止工作。由于 R15、R13、RP1 和 RP2 还有电容自放电的影响, 电压会缓慢下降。电容电压下降时 2 脚电压也在下降, 当 2 脚电压下降至 $1/3V_{CC}$ (2V) 时, NE555 输出高电平, LED1 点亮, Q1、Q2 导通使 ZVS 工作开始升压直到第六脚的反馈电压达到 $2/3V_{CC}$ (4V)。之后在发射前一直自动重复着一过程, 使电压保持在一定范围内。发射时, J2 被按下, Q1 导通拉低 NE555 的 4 脚电压为零, 使 NE555 输出低电平, ZVS 强制关断, 同时 SCR 经过 R5 被触发, 子弹发射。松开 J2 后升压电路会自动开始工作。

元件选择：三端稳压器选择 LM7806。LED1-3 选用自己喜欢的颜色。R16 使用 1 欧 0.5W 的电阻，作用是当 SCR 击穿时自我牺牲保护前级的 IRF540。L1 的电流一定要足，L2 用小色马电感就可以了，因为电流不大。L2、C2 不可省！之前好多 NE555 就是因为没它而牺牲（ZVS 在工作时把电源搅得一塌糊涂），最后在 Black 的提醒下加了退藕就好了。L3、D6、D7、C1 是电磁枪的发射组件，各位根据自己情况选择。



变压器参数：初级用 0.8mm 漆包线双线并绕两个 4 匝，次级 150 匝，用 1 根 0.41mm 的绕。我用的磁芯是 EC28，有点浪费。我想 EE28 就能绕下。

第五章 ZVS 的拓展应用-基于 ZVS 的滞后反馈升压器

<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-40214.html>

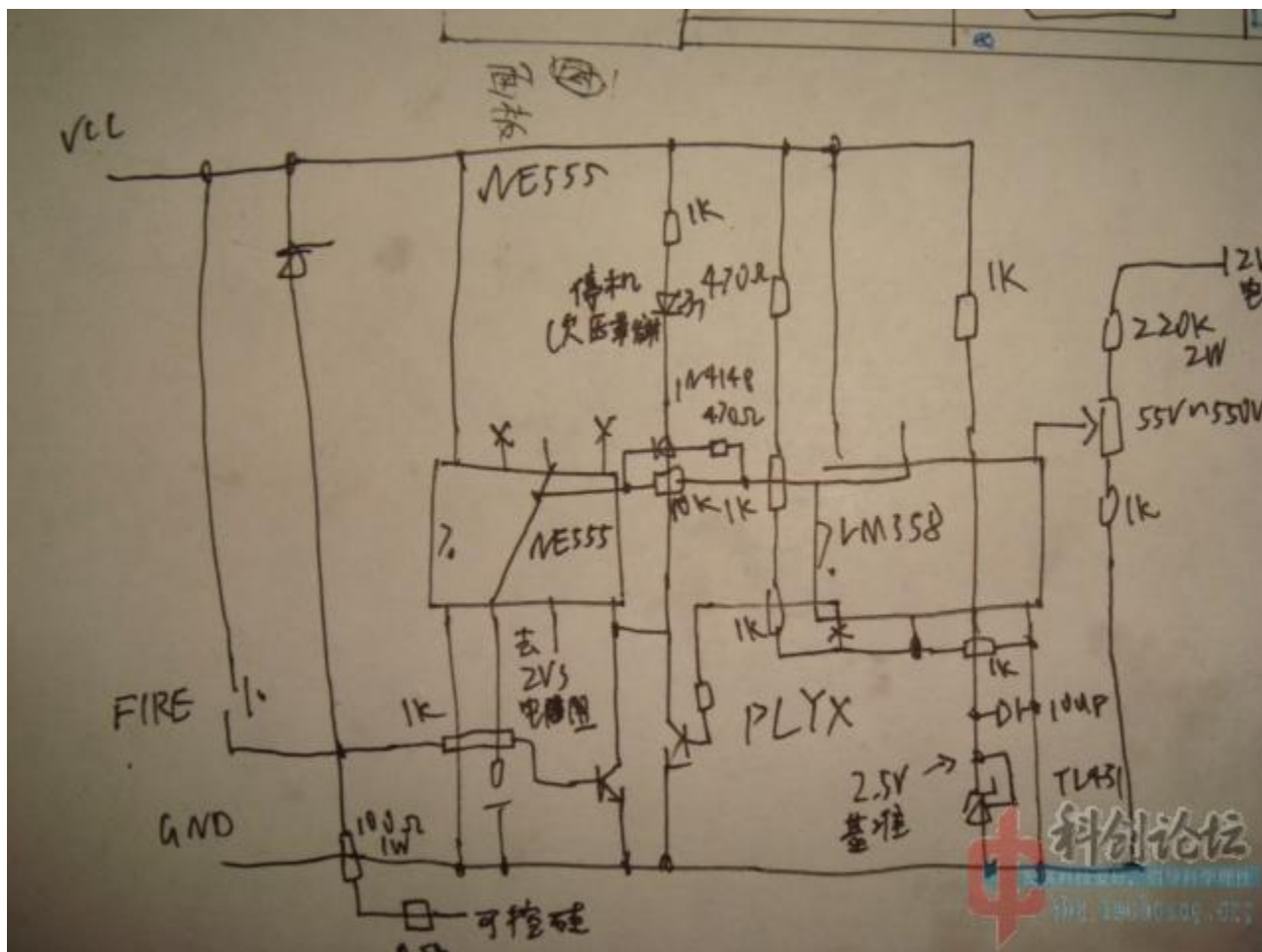
考虑过后 还是搞滞后补偿充电

说白了就是电压到立马停机 电压不到 过一会再开机

实验效果理想：接通后 ZVS 工作 0.5S（150UF300V）左右后转为间歇工作。电压欠压后 1 秒再启动
触发时系统关闭 欠压时待机 并点亮红灯

为了考虑使用 3s 锂电池工作需求 特意加载了欠压保护 因为电源电压不到时 会导致 G 级开启不完全 且导致锂电池过度放电（电路图欠压动作为约 9V）

避免过度放电 把运算放大器输出接到 NE555 的 4 脚进行动作 且发射时也会停止升压



电路图可能画的有些乱.....电路主要分 3 个部分，ZVS 和 NE555 和 LM358 控制部分。

省去了 LM7805 稳压模块 555 输出直接与 ZVS 电阻配合减少了电平转换三极管

LM358 分别为高压反馈和电池电压检测使用

计算过后 电池电压也不用电位器调节 直接电阻分压了

358 上面那个用来高压反馈

下面的用来电池欠压保护

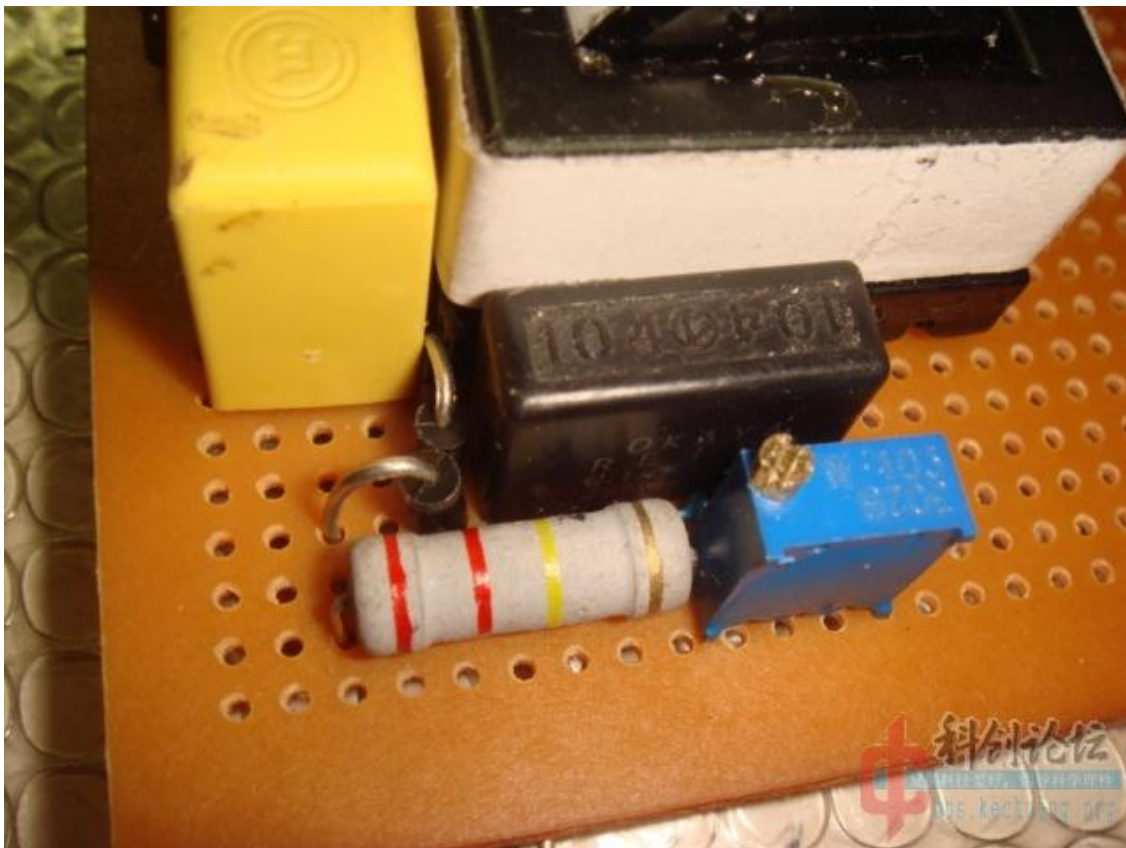
利用拥有良好的热稳定性能的三端可调分流基准源 TL431...

NE555 接成滞后动作



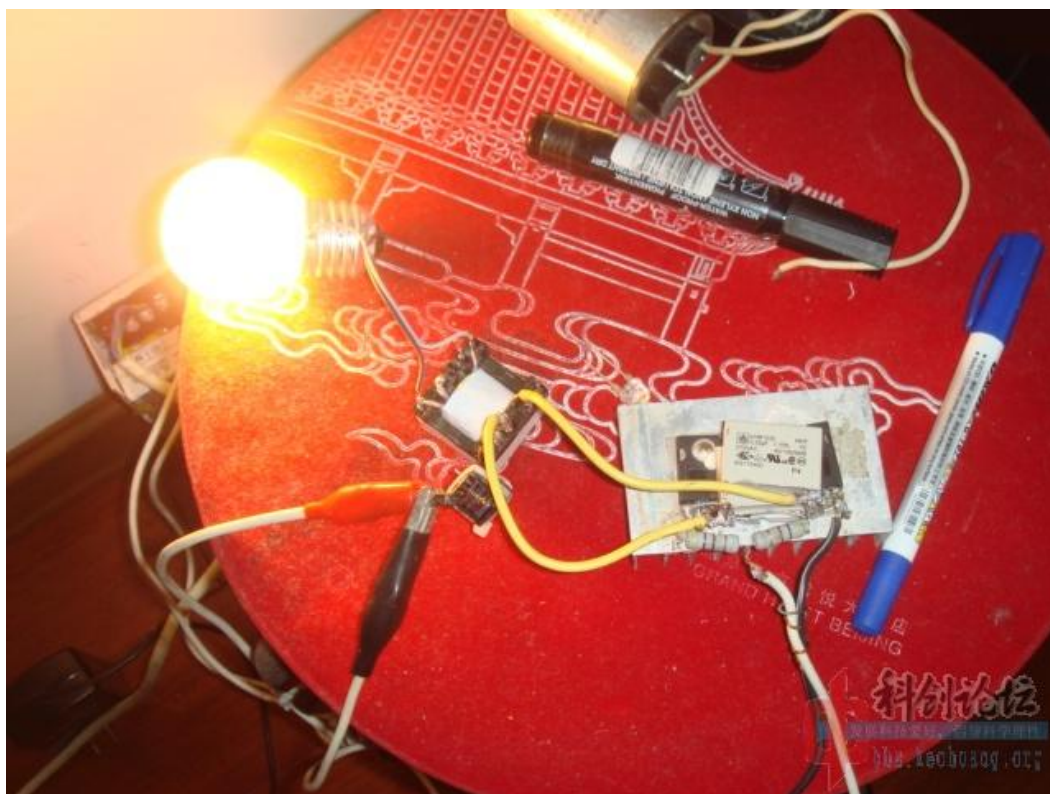
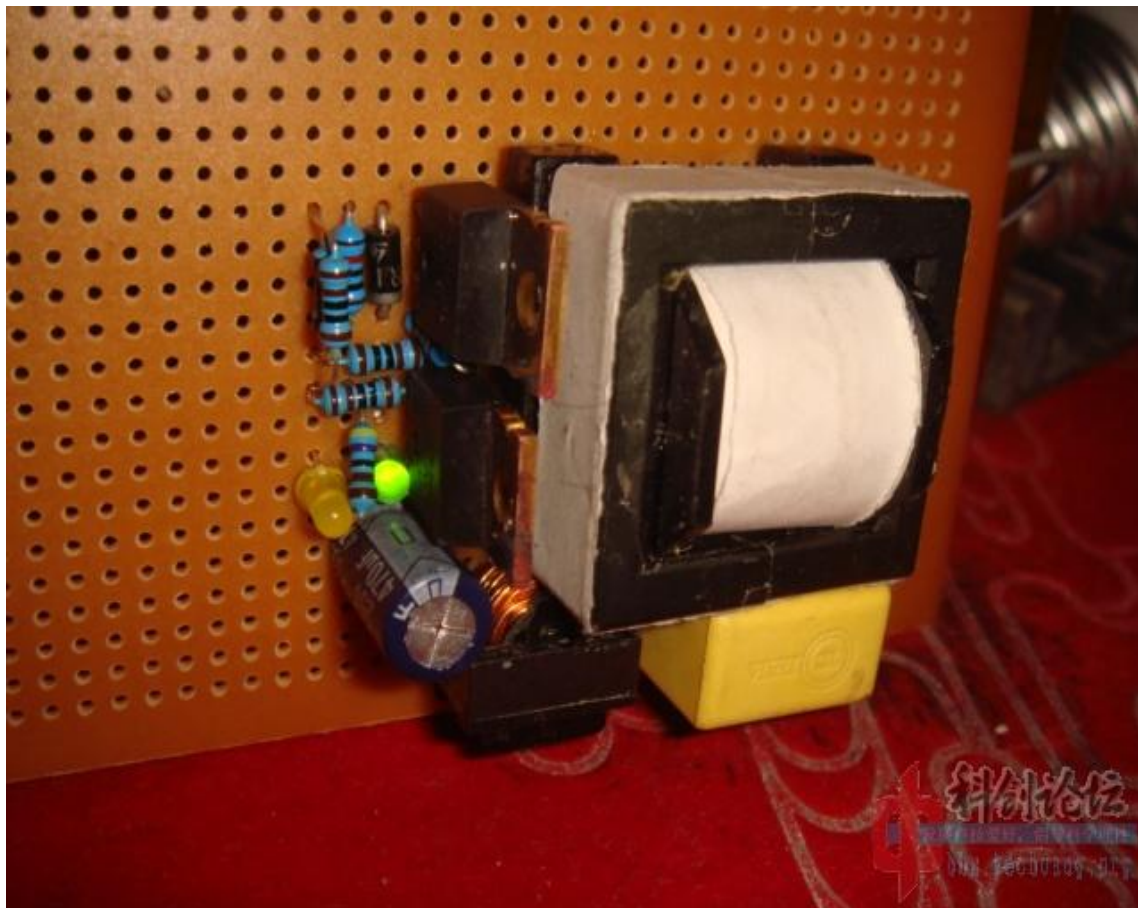
看木棍指处

用三极管电子滤波器代替电感进行控制部分滤波 体积进一步缩小

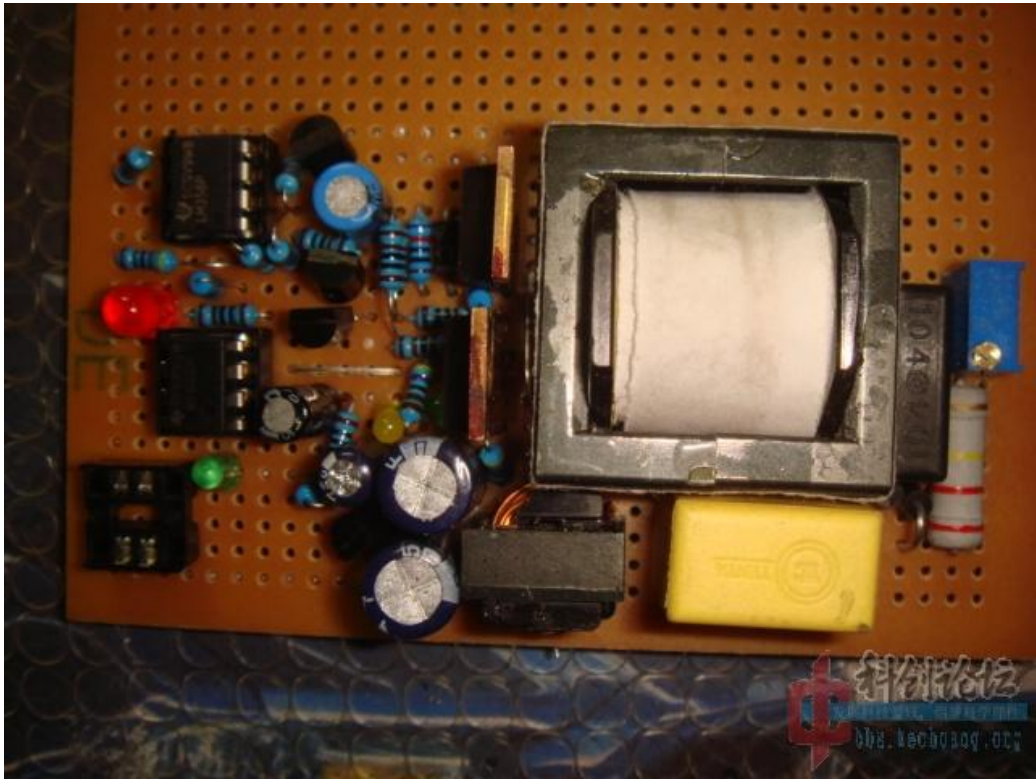


用 358 进行电压比较 节约了一个高精度电位器（2 个调节麻烦）
ZVS 部分调试

60W 灯泡 调试变压器与电感是否合适

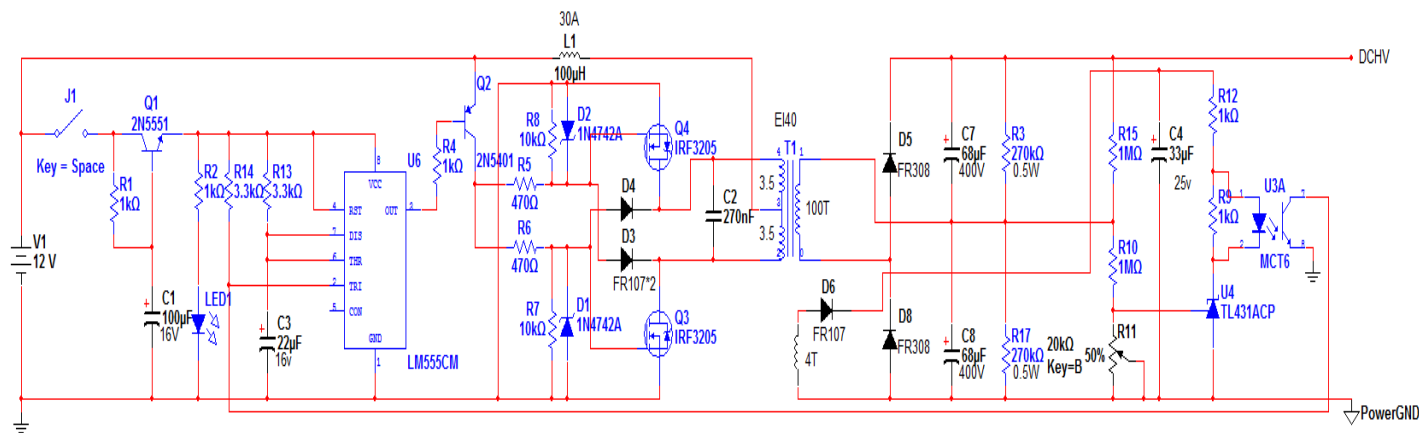


全部图



第六章 ZVS 的拓展应用-高效电鱼机

<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-43565.html>



本文重在研究电路而不是电鱼!

这回为大家带来我的革命性的 ZVS 电鱼机,把 ZVS 这个电路充分发扬广大~

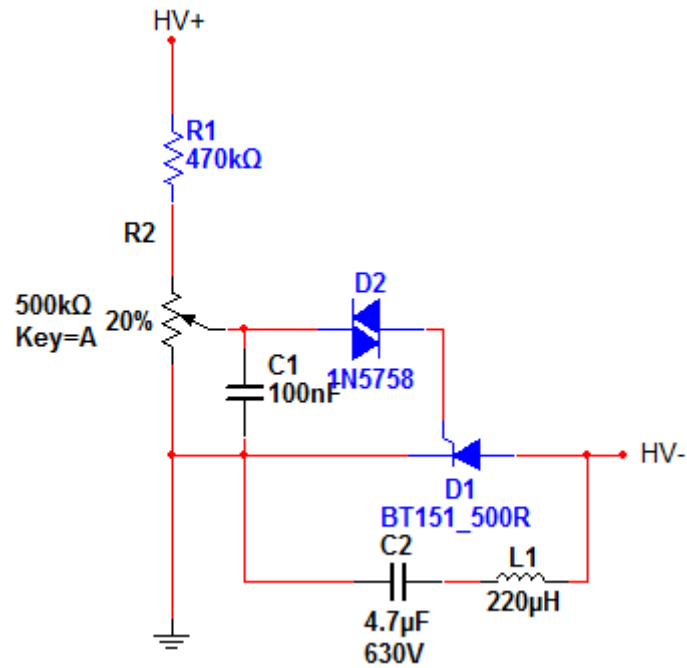
ZVS 的最大问题是空载虚高,以我的电路为例,我做了个 12V 升 400V 的变,空载可以击穿 1mm 空气,拉弧 4 mm,可见其电压之高,如果用它直接整流充电容的话会.....Boom!

为了解决这个世界性的难题,我早就想出了准闭环方案(<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-40160.html>),类似的工作方式的可行性也已经由霹雳游侠证明(<http://bbs.kechuang.org/read-kc-tid-40214.html>)只是没有实现隔离(电鱼机非隔离就是自杀机,用起来和自杀区别不大).准闭环方案在实现了限制最大输出电压的情况下实现了隔离,下面大家一起见证一下这个神奇的电路吧:

Q1 R1 C1 共同组成了电子滤波,以滤除 zvs 工作时的尖峰,zvs 工作时会在电源上兴风作浪,这种尖峰对后面的 NE555 是秒杀性质的.Q1 和 R1 构成追随器,当尖峰来临时,因为 C1 的电压不可以突变,因此输出基本不变,尖峰被滤除.LM555 C3 R13 组成了单稳态触发器,时间由 RC 参数决定,延时约 0.1S,这是为了防止 ZVS 频繁重启导致零电压开关状态被破坏而剧烈发热.....当单稳态触发器被触发时输出高电平,Q2 截止,ZVS 停止工作至少 0.1S 之后尝试启动.R14 为上拉电阻.变压器上的 4T 辅助绕组和 D6 C4 组成了辅助电源,为 TL431 和 PC817 供电.R9-R12 U3 U4 组成反馈电路,检测电容电压.改变 R11 的阻值可以改变压限.R3 R17 为匀压电阻,R15 是为了解决 R10 R11 造成的 C7 C8 电压不平均问题而存在的.

需要注意的是,变压器的带载输出电压要和 R11 的设定值匹配,即带载后电压要低于设定值,使准闭环完全停止工作,这时效率最高,因为准闭环的工作会使 zvs 反复开关,zvs 状态不能很好地建立.

高效的前级需要配一个后级才能去电鱼,我选择了经典的单硅后级,可以产生对鱼类杀伤力极大的尖峰.



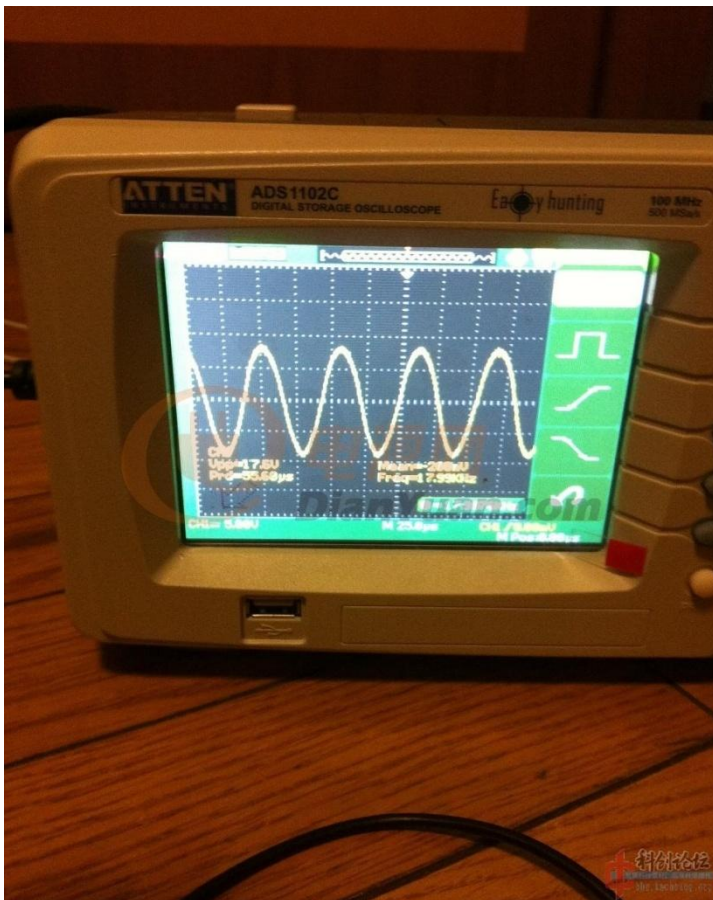
D2 实际用 DB3 触发二极管,D1 实际用 TYN1225,这个硅很耐操,C1 用 毒石,C2 用 630V 的涤纶电容,L1 我用 220u 的商品工字电感.这个后级也是我改进过的,这个后级不和电容的中点有联系,因此对电容电压平衡无影响,HV+直接接高压输出. 这是刚准备好的铜皮(4 个月前):



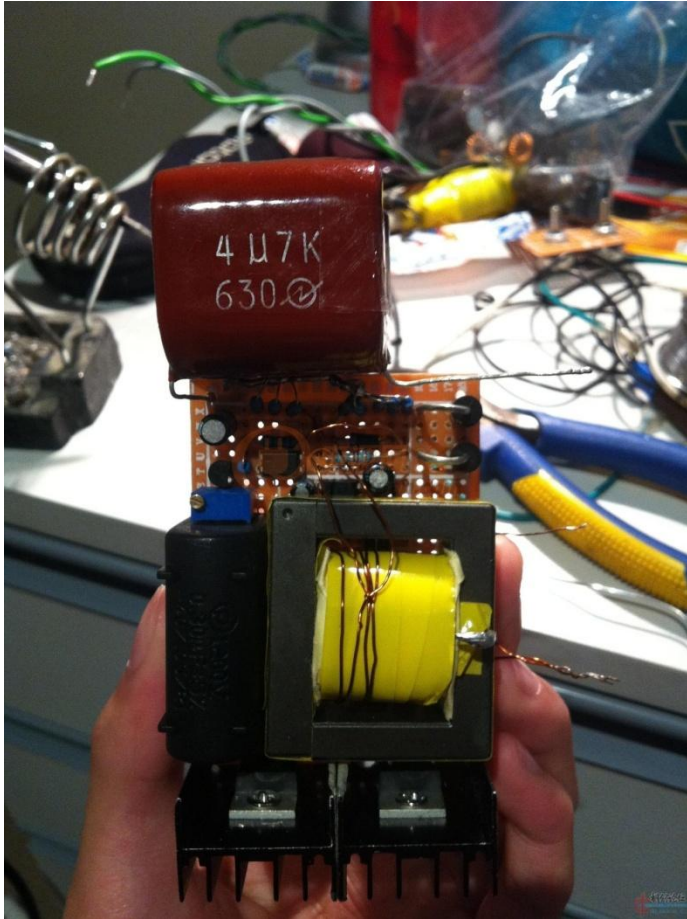
用没有骨架的 EI40 磁芯绕,初级直接绕在 E 型上同时充当骨架,嘿嘿:



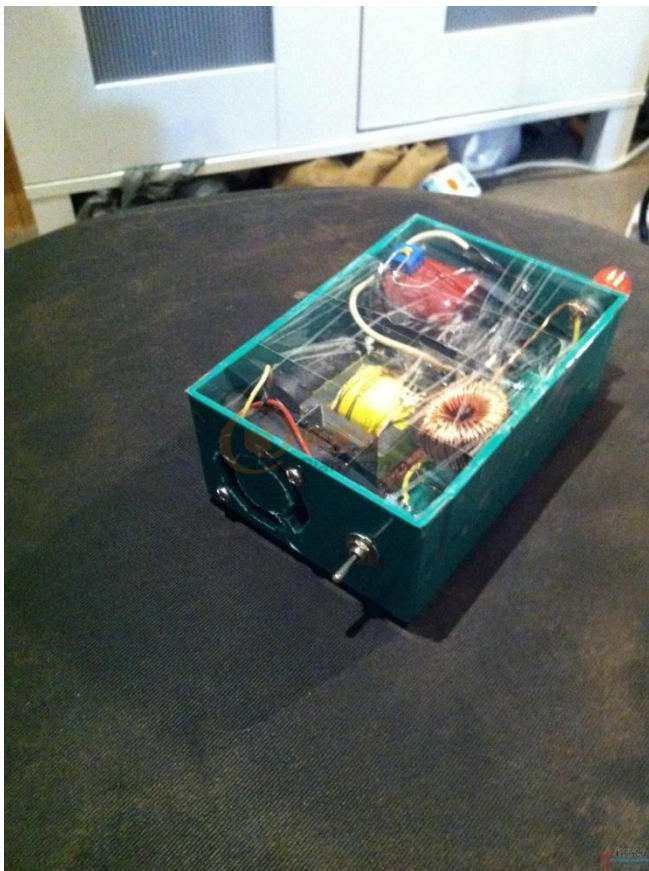
初级的完美正弦波~

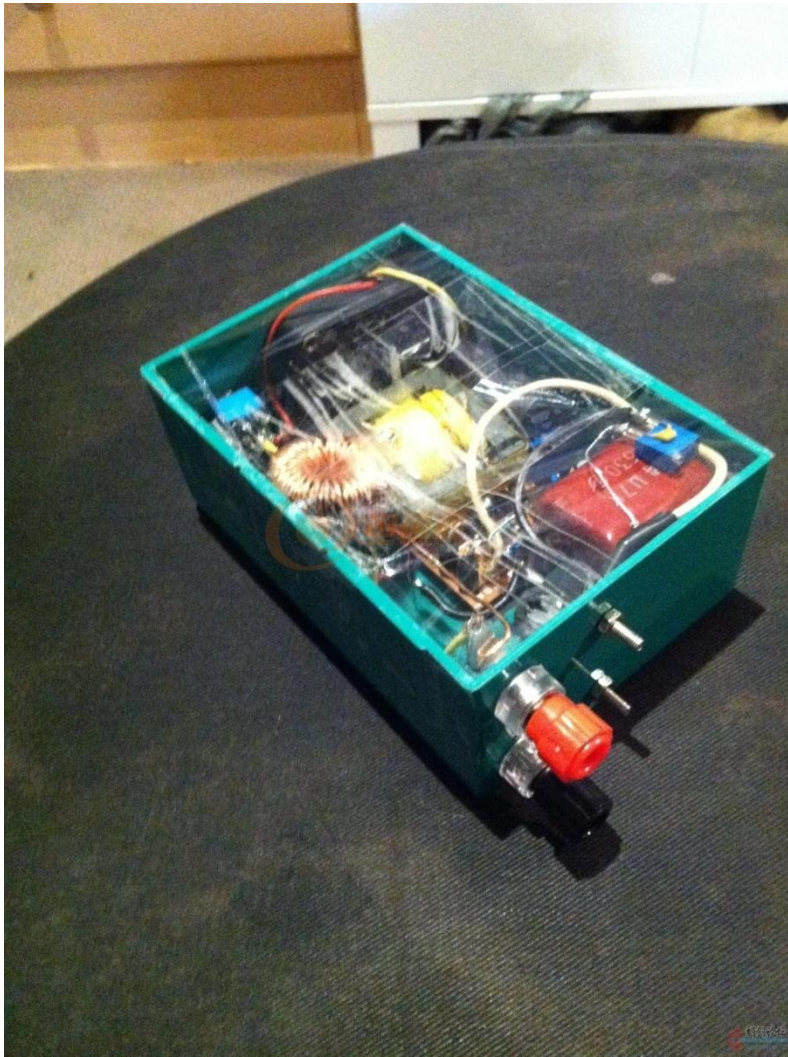


装好的前级+关断电容:

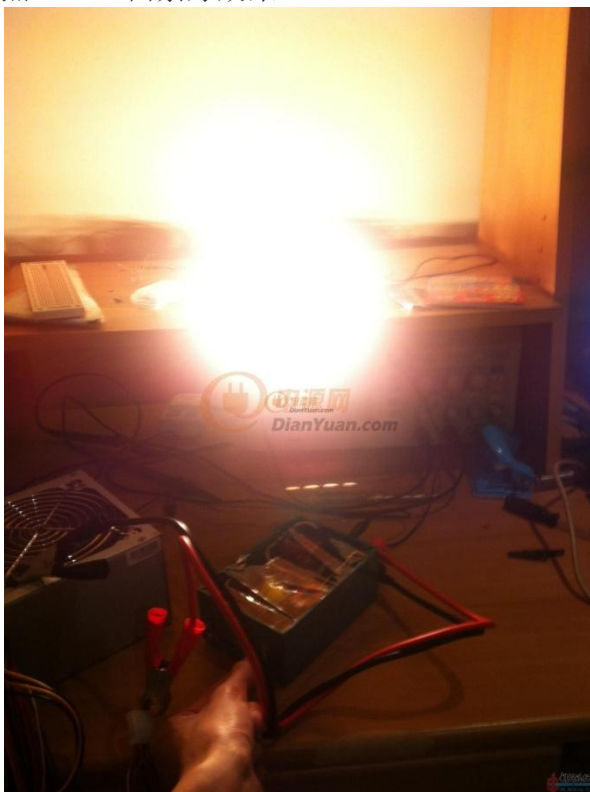


装壳啦~





点 300W 卤素灯效果~



相当刺眼啊~~~

带 300W 灯试机 20 分钟,散热器基本没有升温,关断电感略微升温,zvs 的电感热,有点烫手,这个电感使用铁铝硅磁环绕制,不知道换成铁粉芯会不会好,大家可以尝试一下。

结语

ZVS 可以干的事儿还有很多,比如感应加热以及神一般的市电 ZVS.....不要一味地用 ZVS 拉弧.本教程在介绍 ZVS 工作原理和教大家制作高级点的 ZVS 电路同时也在启发大家研究和思考 ZVS 的高级用图.还有一项本文作者没有完成的任务,那就是设计出可精密稳压的 ZVS(可能太纠结于 ZVS 上了),希望哪个读者能胜利完成这个艰巨的任务.....