



全硬件纯正弦逆变器制作教程

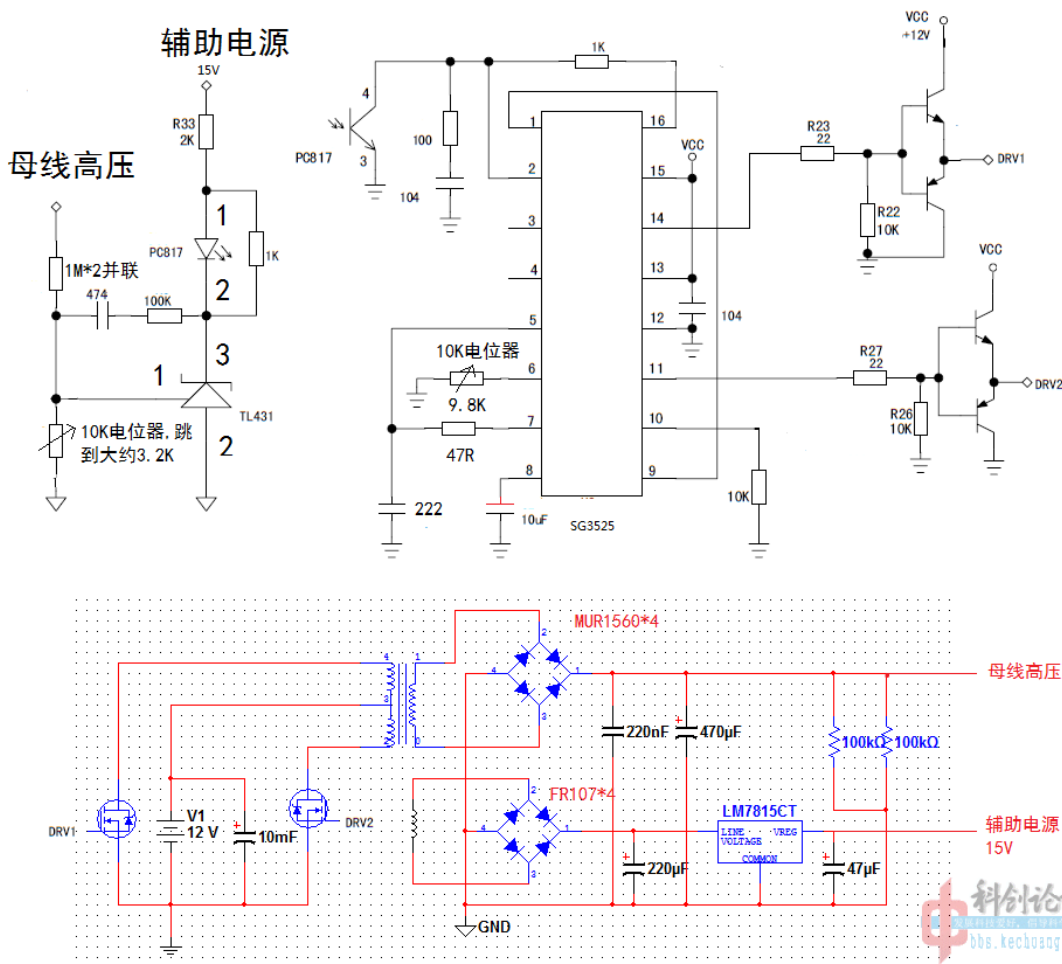
作者：科创论坛 尤小翠

注:此文章参考了部分电源网老寿老师和老矿石老师的研究成果

做一个纯正弦逆变器,这个想法 9 个月之前就有了.做个逆变器,高频的,效率高,体积小.前级肯定用 SG3525 或者 TL494 做的推挽升压,这没啥选择,关键是后级,它决定输出波形是方波还是正弦波. 输出正弦波的后级需要 SPWM 技术,肯定很多人的第一想法是使用单片机.的确,使用单片机的好处不少:SPWM 波精度高,输出正弦波波形好,稳压精度高,方便加入电压指示功能等,单片机确实非常适合工业量产.但是对于咱们玩家,可不是这样了.单片机不是人人可以掌握的,即便掌握,像我这种只会做电子钟红外遥控之类的初级玩家也很难写出好的 SPWM 程序.因此,我考虑了全硬件方案.

一、高频前级（原理分析）

在 HIFI 界，有一句话说前级出声后级出力，同样在逆变界，有前级输出功率后级出波形之说。一个好的前级是多么的重要，是确保足够功率输出的保证。



这就是前级电路图啦~

电路采用了光耦隔离反馈,工作在准闭环模式.轻载或者空载时,由于变压器漏感,输出可能超压,容易穿后级和电容.此时占空比减小输出降低,实测在空载时占空比很小很小,这大概是空载电流小的原因吧（空载电流神一般的~60mA~）.

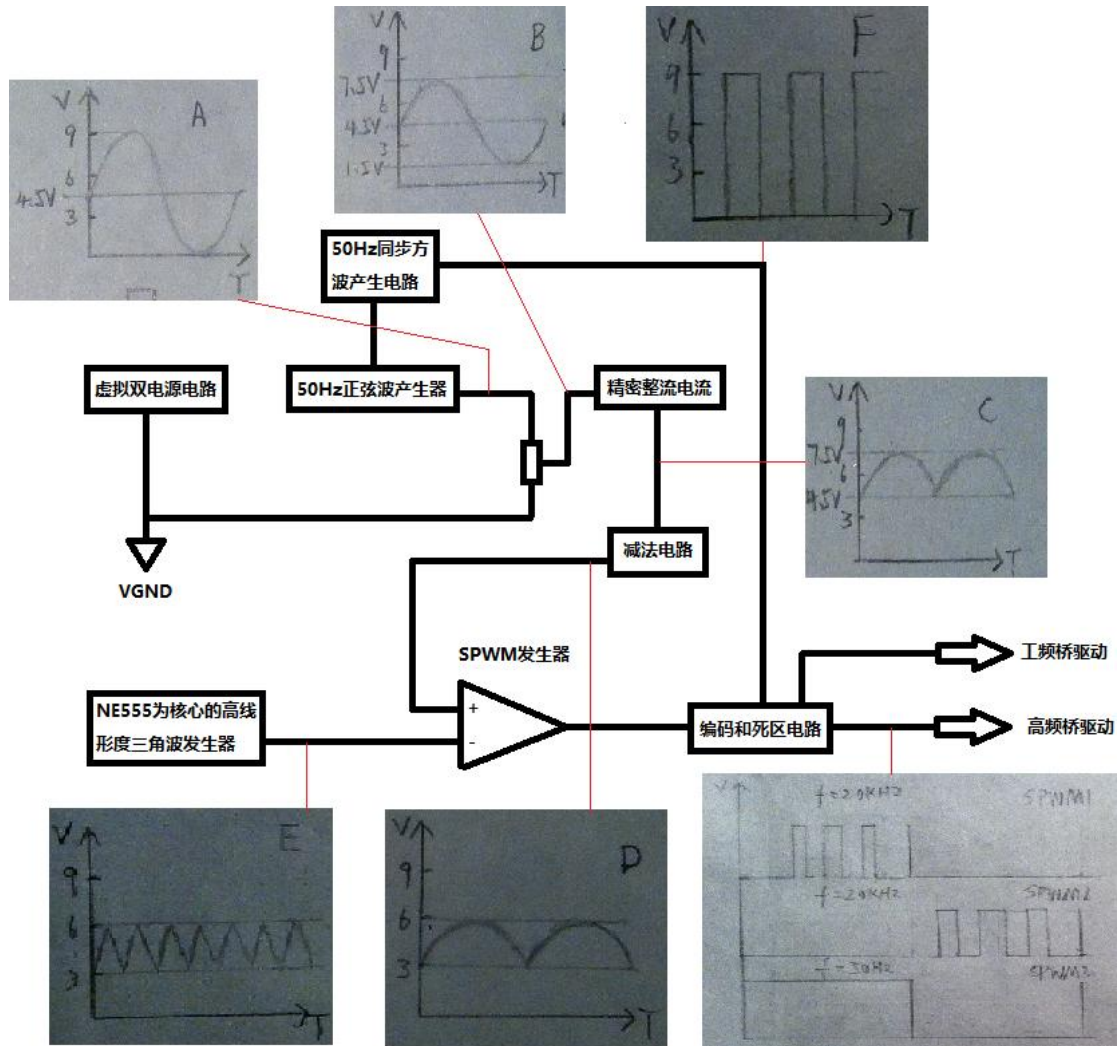


当负载变大后,电路逐渐进入开环模式,以确保足够的电压和功率输出.

注: 本图根据老矿石的作品修改

二、全硬件纯正弦后级 (原理分析)

老寿老师很久之前就弄过全硬件了, 他的方案有 SG3525 和 Im393 两种, 前者简单, 但是最大占空比低(母线电压利用率低), 后者最大占空比理论上可以弄到 100% (实际也很高) 但是电路有点复杂, 而且需要双电源供电. 我把它们融合了一下, 得到了自己的电路.



这是后级的框图

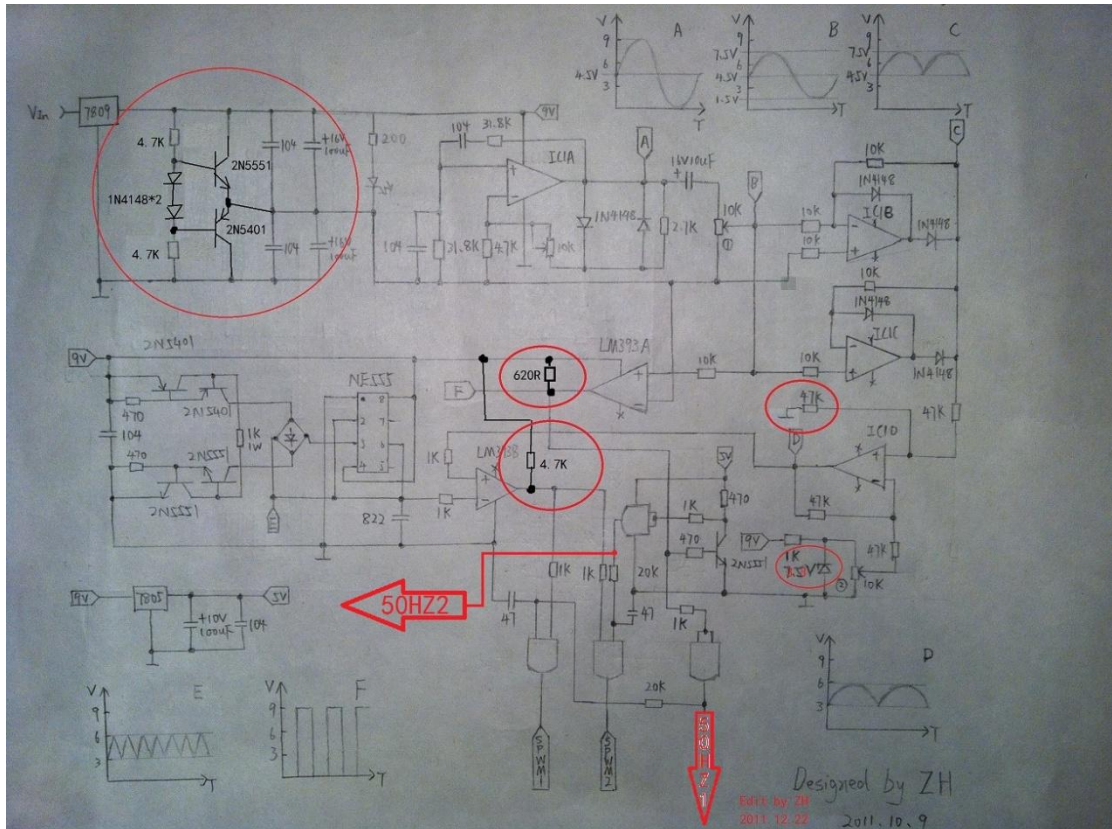
本电路优点:

1. 电路极简单, 可能为世界上最简单的分立 SPWM 电路
2. 单电源宽电压供电(10V-30V)
3. 输出最大占空比高, 仿真时最大占空比已经接近 100%. 这将导致母线电压利用率高, 母线电压 340V 就足够产生 230V 的工频正弦交流电.
4. 隔离输出, 受外围电路干扰少

本电路没有使用稳压反馈, 故稳压功能全靠前级完成. 前级一般由 SG3525 或者 TL494 组成, 稳压功能不用可惜了.

看本图, 由于使用了虚拟双电源, 因此单电源供电即可, 省略一个辅助电源变压器.

再看驱动板电路图(红圈里的内容是修改过的部分):



麻雀虽小,五脏俱全.

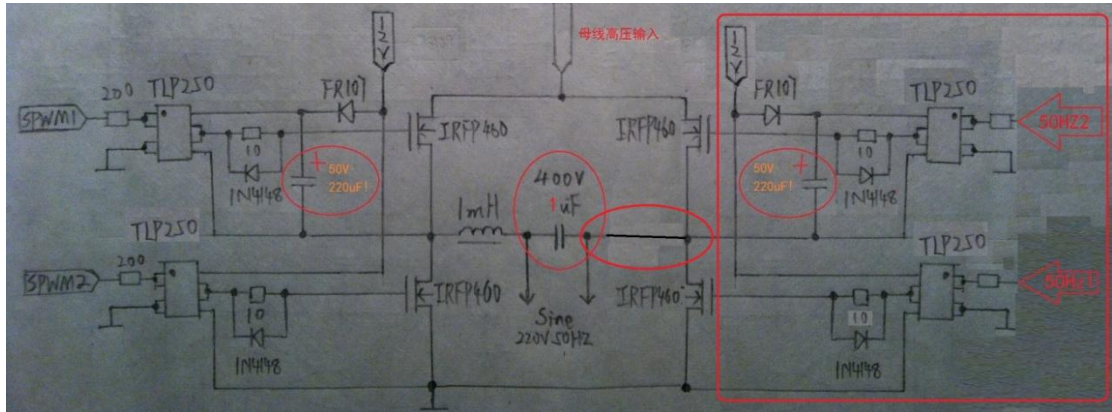
如图,LM7809 将电池电压降为稳定的 9V,这使得电路可以在宽电源(10V-30V)情况下工作,左上角红圈里的 2N5551 和 2N5401 等元件组成了虚拟双电源,将正 9V 变成正负 4.5V 的双电源.

NE555 及周边元件组成频率约为 20KHz 的高线性度三角波振荡器,如图,在 NE555 的 2 和 6 脚可以得到在 3V 和 6V 之间运动的三角波.

IC1 为 LM324,IC1A 及周边元件组成 50Hz 工频正弦振荡器,产生幅度 4.5V 的正弦波(对于产生的虚地),圈一电位器将这个正弦波幅度分压到 3.5V.IC1B 和 IC1C 及周边元件组成精密整流电路,将正弦波变成 3V 幅值的馒头波.这个馒头波要去和 NE555 的三角波比较,三角波和馒头波的幅值虽然同,都是 3V,但是这个馒头波的最低电位比三角波的高 1.5V.因此,IC1D 及周边元件组成减法电路,将馒头波整体下调 1.5V,这样三角波和馒头波就可以比较了.LM393B 进行比较工作,产生同相位的 SPWM 波,此波与 LM393A 组成的正弦波-方波转换器输出的同步方波送入 CD4081 等组成的编码电路进行编码,产生最终驱动功率管的 SPWM 信号.两个 20K 电阻和 47P 电容用于产生死区于高频臂.SPWM1 和 SPWM2 用于驱动高频臂, 50HZ1 和 50HZ2 用于驱动工频臂。

本电路设计巧妙的地方之一就是虚地和实地的转换.LM393A 之前电路是工作在虚地状态的,而 LM393 之后的电路却变成了实地.因为 4.5V 的交流(对于虚地)对于实地来说是个 9V 的脉冲.LM393B 周边电路也是类似原理.

然后看 H 桥电路图 (红圈里的内容是修改过的部分):



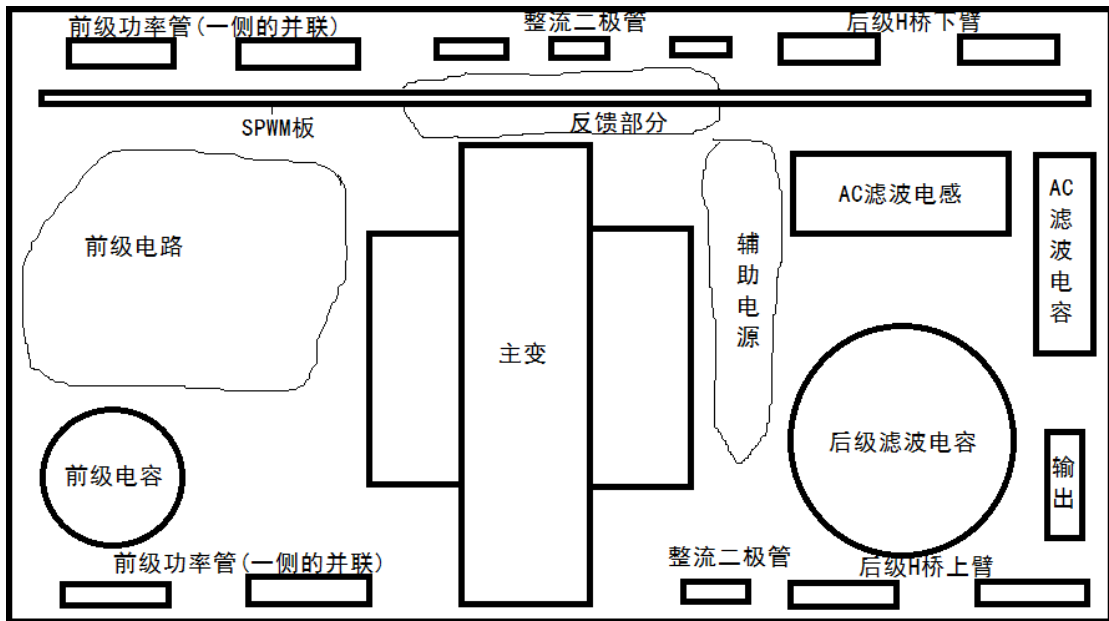
后级是很普通的，没啥创新。下臂的 IRF460 采用光耦直接驱动，上臂的 IRF460 采用自举电容+光耦驱动。工作原理简述：当下臂导通时，高频桥的功率管的中点相当于接地，此时 220uF 的自举电容通过 FR107 和下臂管充电，当下臂管关断上臂导通时，220uF 电容与地隔离，当 TLP250 内部三极管导通后，相当于给上臂管的 GS 之间施加一个电压，因此上臂管可以在与之对应 TLP250 的控制下导通和关断。

1mH 电感和一个 400V 1uF 电容用来完成高频滤波的任务，把高频 SPWM 方波变成 50Hz 的正弦波。

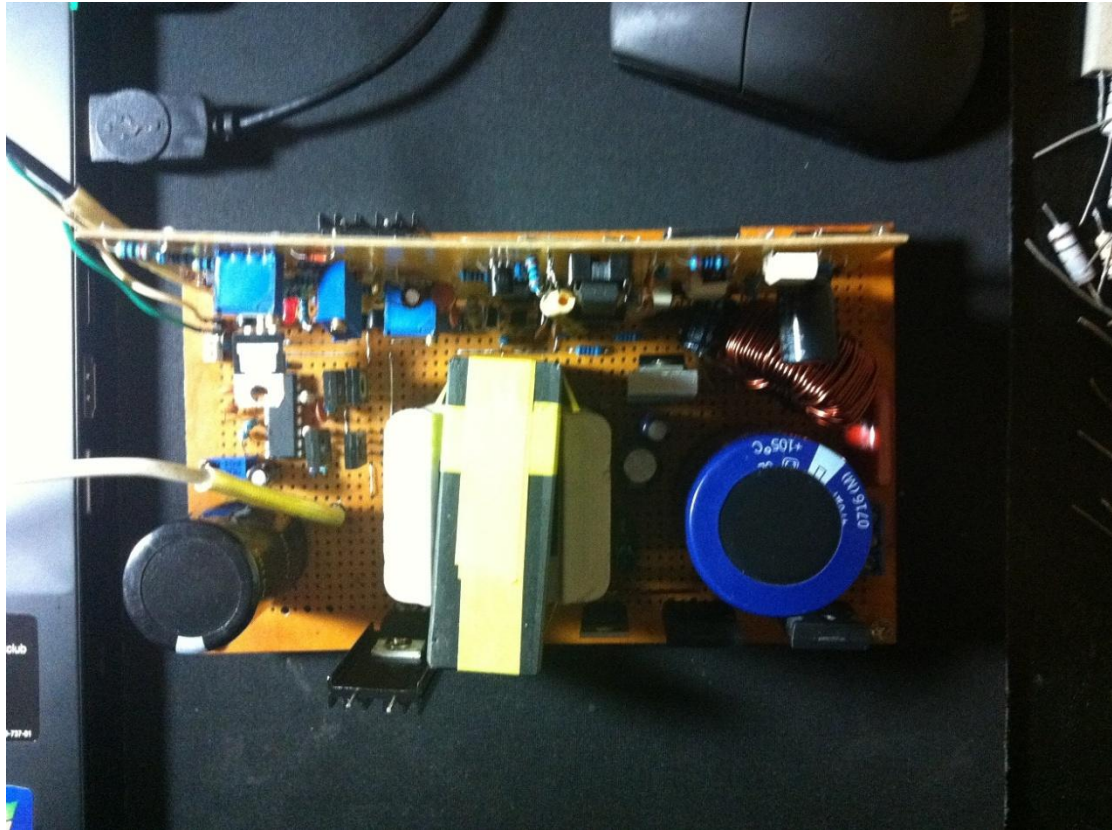
三、整机组装和元件选择

整机可以分两块板做，一块是后级的 SPWM 板(控制板)，推荐使用热转印法制作一个 PCB，因为用万用板难度实在太大。另一块是前级和后级 H 桥（功率管），用一块大万用板做。SPWM 板插在功率板上。

我的万用板布局（制作时摆出来的，仅供参考）：



这是实物：



首先绕制变压器。变压器的绕法很讲究的，绕不好会导致漏感大炸前级功率管，乱绕更是做死.....变压器采用 EE55 磁芯和骨架，初级 2+2，次级 65，辅助绕组 3。

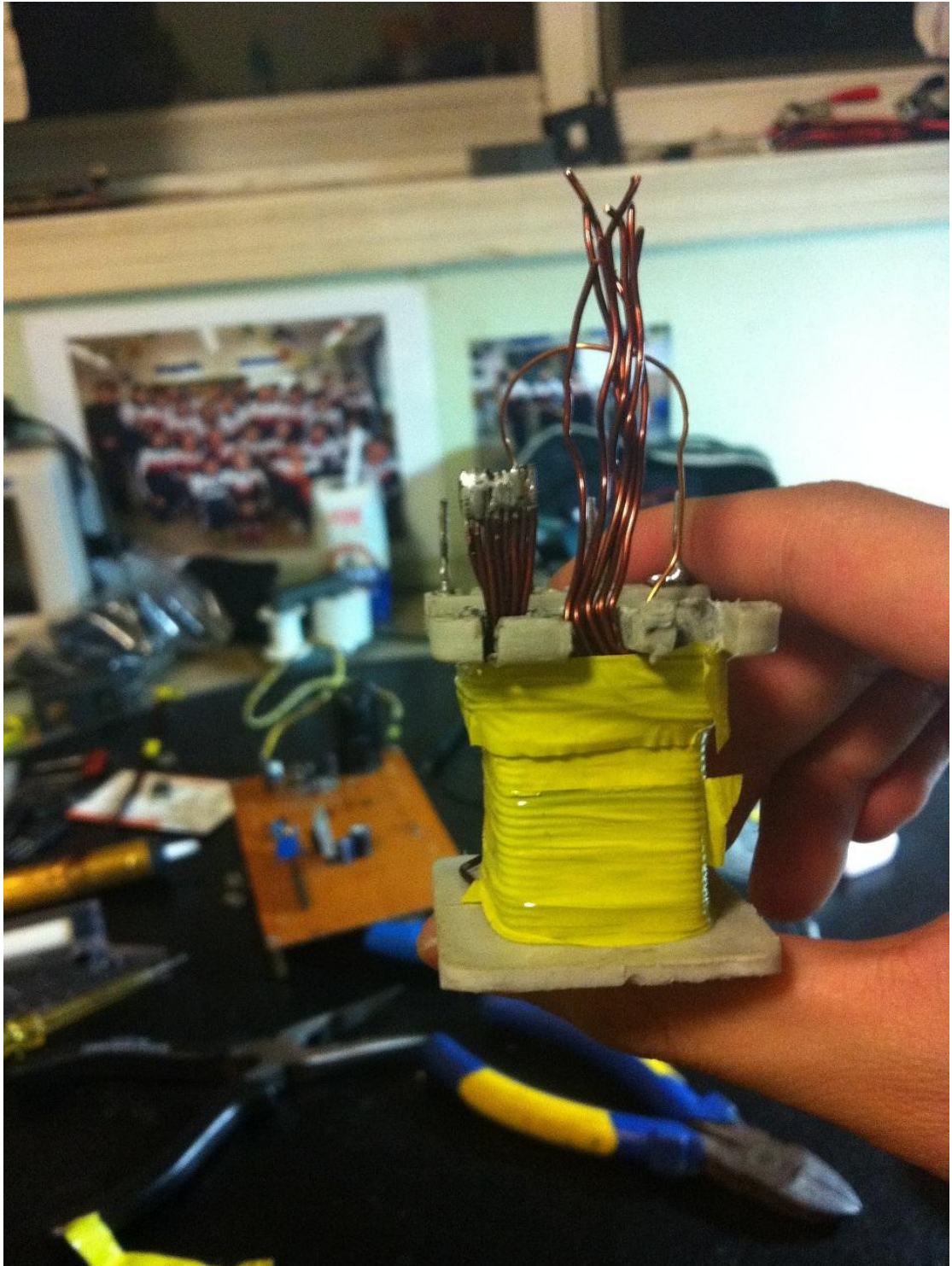
绕制方法如下：

1. 在磁芯上绕 27 匝，也就是一层次级，用 1mm 的漆包线，然后用绝缘胶袋包好包紧。
2. 绕次级，用 0.8mm 的漆包线 8 根并绕，绕两个 2 匝，然后用胶带包上

示意图：



实物图：



3. 绕下一层次级（27 匝），然后用胶带包上
4. 绕下剩下次级（11 匝）
5. 绕辅助绕组，然后用胶带包上
6. 清洁磁芯的对接面然后插入磁芯，用胶带固定之

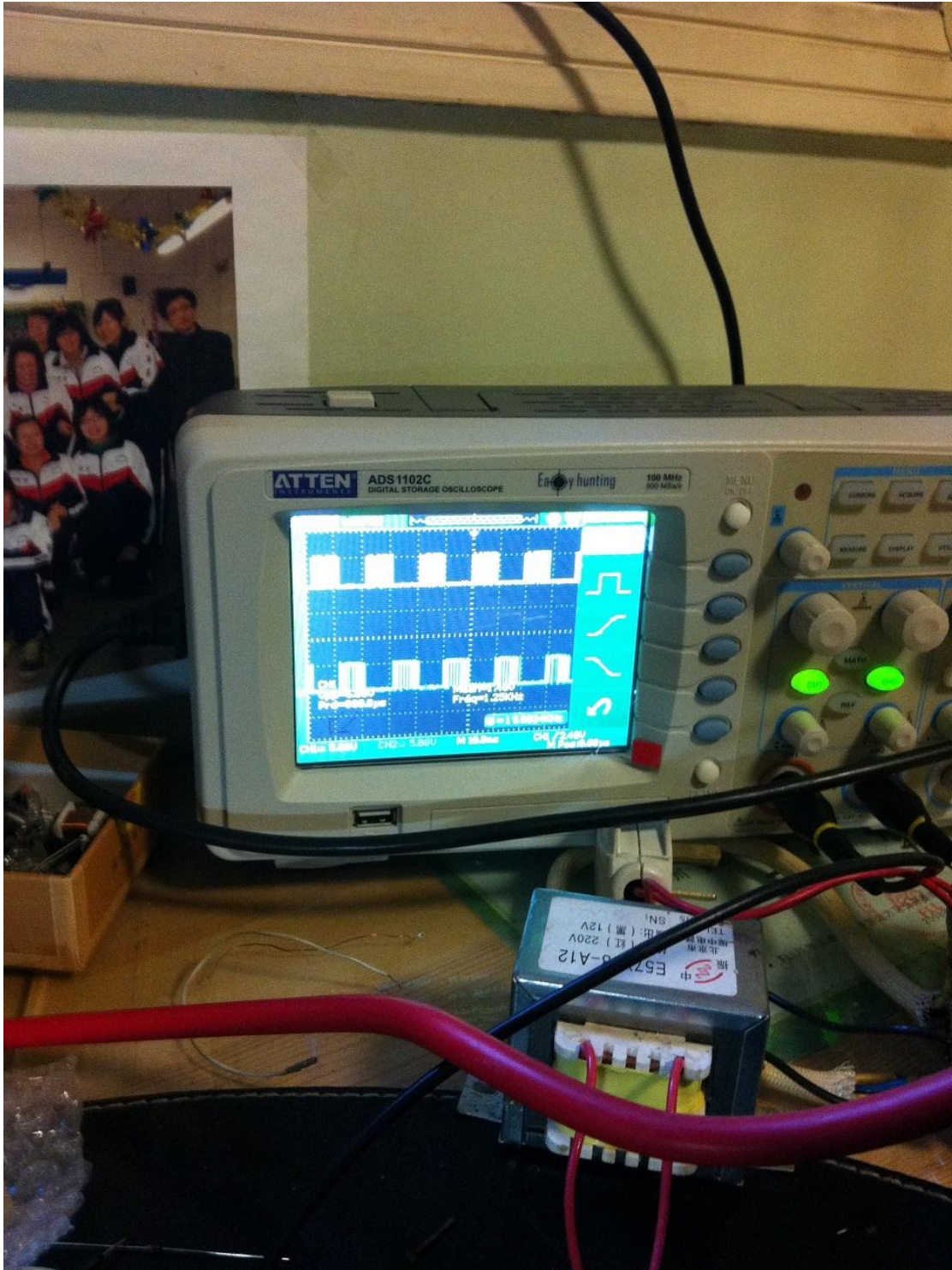
绕好之后要进行漏感测试，测试方法是短路高压绕组然后测初级电感即是漏感，如果漏感太大要重绕变压器，漏感不要超过 2uH!

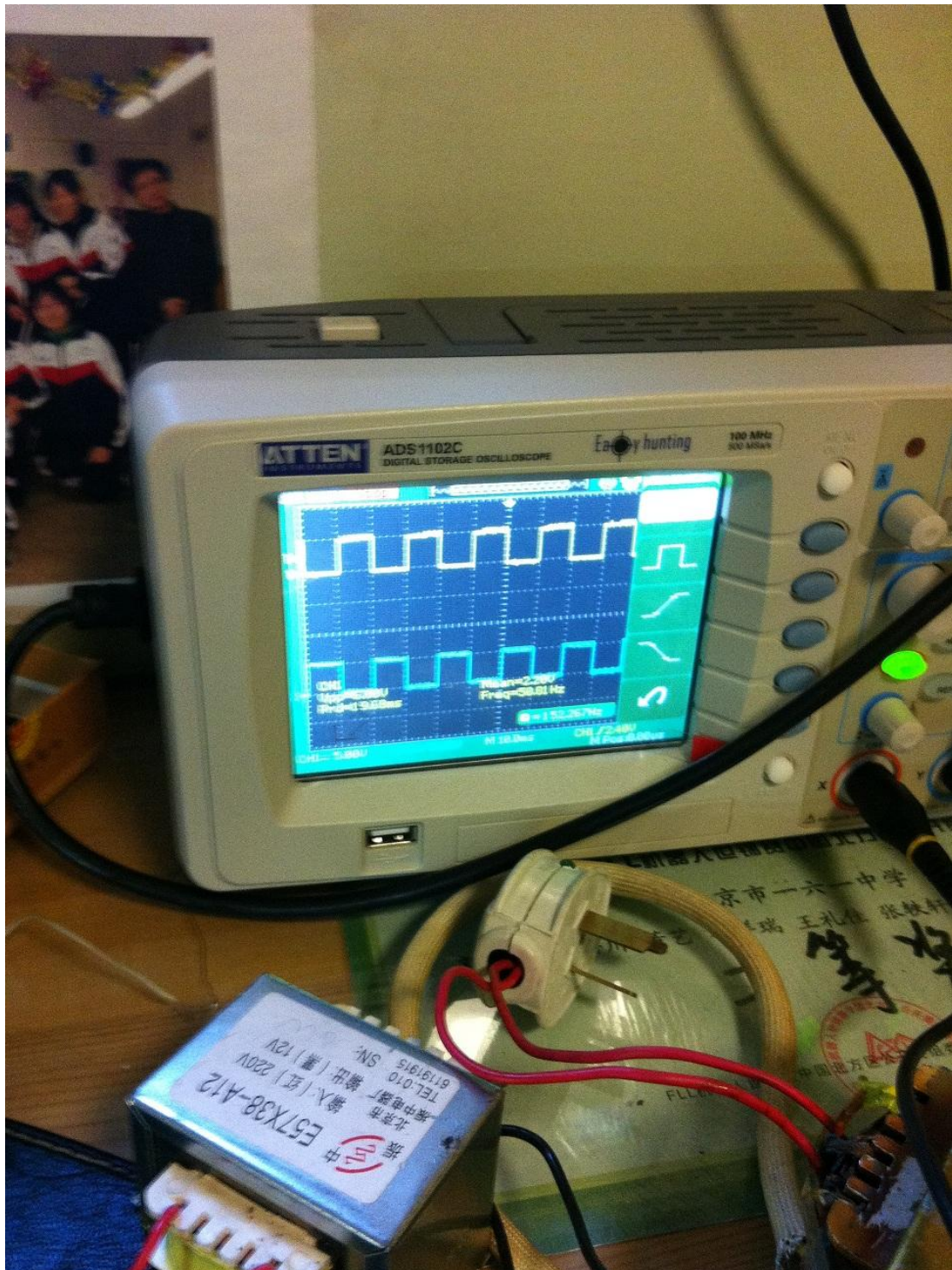
然后在万用板上搭建前级（前级那张电路图的全部）。前级的图腾柱三极管选用 8050\8550 或者 D669\B649 对管（我用后者），功率管为了避免过大损失，先俩 IRF3205

做调试。后级的整流二极管选用耐压 $\geq 600\text{V}$ 电流 8A 以上的快恢复二极管，我选用的型号是 MUR1560T，此外还可以使用 MUR860T、MUR8120 等二极管，实在不行用 HER607 代替得了(输出功率受影响)。3525 边上的电位器是调前级频率的，先调到 9.8K ，以后愿意可以微调以获得最佳效率。反馈那个电位器是调空载或者轻载时电压反馈的，调到 3.16K ，这样空载电压被限制在 380V 左右，对于电容和后级功率管安全的（当前后级联机后，后级的 AC 滤波部分会消耗一小部分功率，这个电压会被拉低，先不用考虑）。那个 $450\text{V}0.22\mu\text{F}$ 的无极性电容不可不装，它的作用是滤去母线上的各种干扰信号，保障后级 H 桥可靠工作。和电池并联的那个 $10000\mu\text{F}$ (10mF) 电容不可不装，否则不出功率。至于那个 $450\text{V}470\mu\text{F}$ 电容先不用装，为了避免电击。

最后可以试机了，对于第一次试机的同志，简易串灯泡 ($12\text{V}20\text{W}$)，以避免损失。如果通电后灯泡一直亮，那说明短路啦，赶紧断电检查。如果灯泡只在通电瞬间亮一下，那说明基本没问题，可以直接接电瓶了，测试空载电流（小于 100mA ）母线电压 (380V 左右) 和辅助电源电压 (15V)，如果都符合，那就进行加载测试。找个 100W 白炽灯，接在母线和后级地之间。通电，观察功率管的温度，如果升温过快赶紧断电，找出原因，如果微热或者压根不升温，那就说明前级成功了，开始弄后级控制板 (SPWM 板) 吧~

SPWM 板强烈推荐使用热转印制作 PCB（此 PCB 包括第二张电路图和后级 H 桥的 TLP250、FR107、 200Ω 电阻、 $220\mu\text{F}$ 电容），洞洞板焊出来估计得要命.....首先焊好所有元件，然后用示波器查看 A 点波形，调节 IC1A 下面的电位器，使波形最好振幅最大；再调整圈 1 电位器使其滑动端(B)对虚地有 3V 幅值(对虚地)的正弦波脉冲,此时在 C 点可以看到幅值 3V 频率 100Hz 的馒头波(对虚地)；调整圈 2 电位器,是其滑动端对地(实地)有 1.5V 电压,绕后用示波器同时观察三角波和减法电路输出的馒头波，调节圈 1 电位器和圈 2 电位器使三角波和馒头波在同一范围内，即三角波能包住馒头波，馒头波还可以“在三角波里顶天立地”，再测试 F 输出的 50Hz 脉冲方波，在 LM393B 的输出端应该可以测到 SPWM 脉冲。最后测试 SPWM1、SPWM2、50HZ1 和 50HZ2 的波形，应为下图：





看到它，就说明基本成功了。

最后弄后级 H 桥。

弄之前先把后级的 AC 滤波磁环弄好，用 1mm 漆包线在内径 20mm 的铁硅铝磁环上绕 90 匝，线长约 4.5m。绕好之后电感在 700uH 以上的都能用。（友情提示：绕该磁环一定要戴上手套，否则你的手会被勒出血泡！我是受害者啊！）

把功率板上的后级 H 桥的功率管、AC 滤波 LC 装好，这里我们使用 IRFP460LC 组成 H 桥。再装上装好之后 H 桥先不接母线高压，而接辅助电源的 15V！有的同志可能会问这

是为什么，我这么做是为了减小损失。。。。。。上电之后测 AC 滤波器输出，什么？是方波？！没事儿，临时在输出加个 180 欧的负载立马变正弦波了。如果正常的话 H 桥就直接接母线了，在输出那里加 2 个并联的 100K1W 电阻做假负载（这机器是单极性调制，空载输出方波.....），以输出正弦波。改变电路后的初次上电一定要串灯!!! 不然功率管炸烂你家!!! 有高压探头的朋友可以看看输出波形，我是拿变压器降压后看的，过零点波形有点屎.....没办法，电路缺陷.....不过影响不大.....

得到正弦波之后，不串灯泡，测空载电流，在 700mA 之下可以接受，我的是 500mA。加点负载玩吧，用灯泡、变压器、手机充电器（闲置的）、电动机之类的，同时关注前级功率管升温，据我观察后级 H 桥升温困难.....

这些都弄好之后，可以换上前级的牛管了-----IRFP2907。IRFP2907，场管中的战斗机哦耶！又一个纯正弦逆变器诞生啦~

四、我研制纯正弦逆变器的历史

- 1、2010 年 12 月，看见 555 可以做 D 类放大器之后尝试用它做 SPWM 调制，失败
- 2、2011 年 6 月中，在电源网上看到纯正弦逆变器做得如火如荼，我再次准备制作
- 3、2011 年 7 月中，成功打造 1 前级，300W，欲仿制电源网老寿的 555+393 纯正弦方案，但是由于时间紧迫，最后只好以方波后级收场....
- 4、2011 年 8 月初，我开始准备弄 555+393 的 SPWM 的 PCB，设计出来了并完成了校对
- 5、2011 年 10 月 4 号，我突然有个想法自己设计一个 SPWM 电路，于是花了几天把老寿的 3525 和 555+393 融合了，产生了自己的电路
- 6、2011 年 10 月 11 号，我在科创论坛上发布了自己设计的 SPWM 电路
- 7、2011 年 10 月 15 号，我修正了下电路，不过事后证明此修改是错误的（减法电路的 47K 电阻）
- 8、2011 年 10 月，我用 Multisim 进行了多次仿真，证明了此电路的可行性
- 9、2011 年 11 月 3 日，我开始设计 PCB
- 10、2011 年 11 月 19 日，我在科创上发布了 PCB
- 11、2011 年 12 月 19 号，SPWM 板开做，制作了 PCB、完成了振荡器部分
- 12、2011 年 12 月 20 号，修正了虚拟双电源电路，完成了精密蒸馏、减法电路、SPWM 发生器（不工作）、同步方波发生器（不工作）
- 13、2011 年 12 月 21 号，为 SPWM 发生器和同步方波发生器增加了上拉电阻，工作了
- 14、2011 年 12 月 22 号，装好 SPWM 控制板并加 H 桥调试
- 15、2011 年 12 月 23 号，开始绕变压器（铜带初级）当晚实验发现漏感大
- 16、2011 年 12 月 24 号，在多次烧毁前级功率管后决定用漆包线重绕变压器
- 16、2011 年 12 月 26 号，重绕变压器完毕，加前级加反馈实验成功，空载电流降低到 60mA，修改高频臂的自举电容到 220uF50V
- 17、2011 年 12 月 27 号，前后级联机失败，烧毁工频臂
- 18、2011 年 12 月 28 号，修改了工频臂的驱动方式，正式安装了 AC 滤波 LC，测试输出正弦波 AC 成功，带电动机、工频变压器成功
- 19、2011 年 12 月 29 号，全硬件纯正弦逆变器在科创论坛和电源网上发布