

T/722/5

50W×2 纯甲类 FET 功放的实际制作

16-46-48

纯甲类功放

●王清瑞

FET, 功放大器, 功放

纯甲类功放以其音色甜美醇厚而广受发烧友的青睐，但其较贵的价格令相当一部分发烧友望而却步。实际上在目前各种元器件价格普遍下调的条件下，喜欢动手的发烧友自制一台纯甲类功放是完全可行的，这样既可以满足自己对纯甲类功放的需要，又可以满足自己动手的欲望，同时还可以全面、扎实地掌握功放的知识，可谓一举三得。下面以笔者实际制作的 50W×2 双声道纯甲类功放为例向大家介绍一下纯甲类功放的制作过程。笔者制作的这台功放电路见图 1。

一、纯甲类功放电路的选取

目前晶体管纯甲类功放的电路形式比较多，笔者在选取电路时，主要考虑了以下几点：

1. 输出级

甲类功放产生的热量多，电路的热稳定性是个关键因素。如果电路的热稳定性差，就很难保证功放的正常工作。这也是甲类功放制作中令大多数发烧友头疼而较少涉足的主

要原因。我们知道，影响电路稳定性的主要环节是电路的电流放大部分，包括推动级和输出级。场效应管具有负温度系数，即其静态电流随其结温的升高而下降。用双极型晶体管作推动级及输出级必须设计相应的温度补偿电路，以保证输出管的静态电流不随结温的变化而变化。而用场效应管作推动级和输出级就可以省去温度补偿电路，从提高电路可靠性角度出发，不用温度补偿电路也是个优点。因此本功放选用日立场效应管 K214/J77 和 K1058/J162 分别作推动管和输出管，为全互补形式。

2. 激励级

激励级一般由输入、放大、推动三部分组成，为取得大的共模抑制比，减少输出的零点漂移，输入级几乎无一例外地采用了差分电路。而且由于互补差分对的出现，使得输入级几乎都被设计成了全互补形式，对功放性能的提高大有益处。为便于负反馈的设计和提高电路的输入阻抗，本机的输入级采用了东芝孪生场效应差分对管 K389/J109，只是其

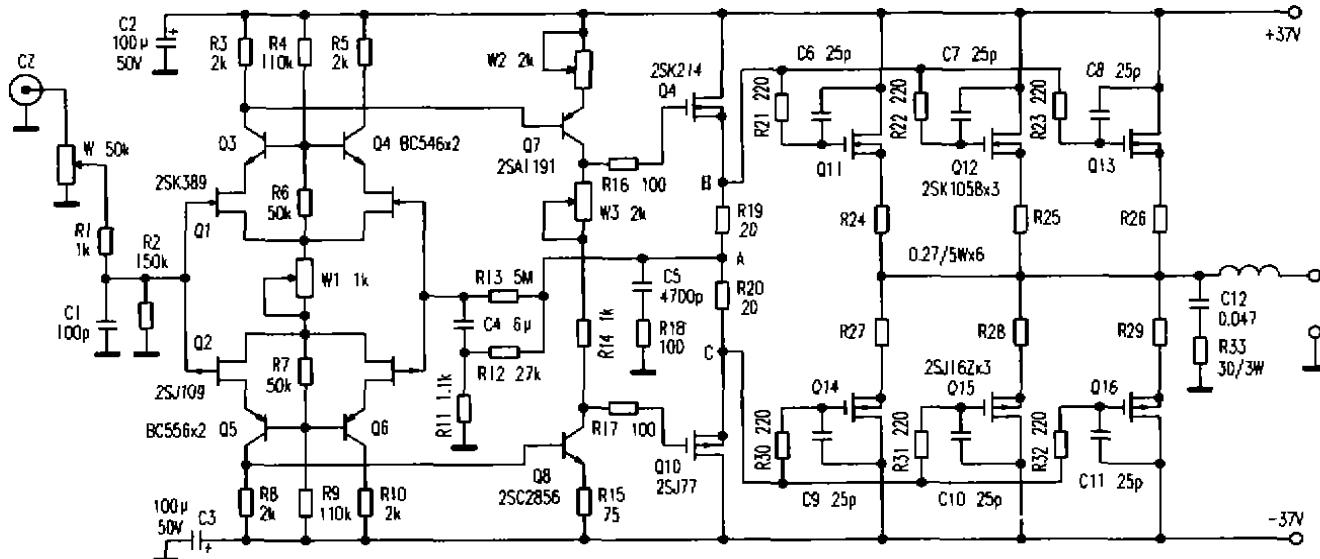


图 1

耐压较低，只有 50 伏。为提高其工作的稳定性，用 BC546、BC556 与 K389、J109 分别组成了共源—共基电路。

本功放放大级使用最为简洁的共射极电路。为保证性能使用了线性很好的日立名管 2SA1191/2SC2856。当然为进一步提高电路的性能，也可以使用更好的放大模式，如共射—共基放大，见图 2，其优点是频响更宽，失真更小、著

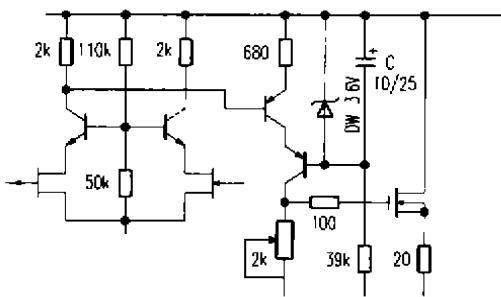


图 2

名的金嗓子 E305V 功放的放大级就采用这种方式，还可以采用差分放大方式，进一步减少电路的零点漂移。

推动级前面已说过采用日立 K214/J77，与其它功放不同的是本功放推动级的偏流较大，约 90mA。这时的声音温暖甜美。

3. 负反馈的确定

为隔离喇叭反电动势对输入级的影响，本功放采用末级无负反馈的形式，只在激励级引入负反馈，采用了如图 3 所示的负反馈电路。采用这种电路的前提是输入级必须使用场效应管差分电路。在图 3 电路中，对直流负反馈而言，由于输入级场效应管的输入阻抗很高、 $5.6M\Omega$ 的隔离电阻对 100% 的直流负反馈无丝毫影响，交流支路的两只电阻对直流负反馈而言也没有丝毫影响，因而保证了本机的输出零点漂移很小，仅几毫伏。对交流负反馈而言，由于输入级输入阻抗很高，因而对地的隔直电容可以用得较小、 $6\mu F$ 左右即可保证低端频响、 $5.0M\Omega$ 的电阻对交流支路的影响可以忽略不计。反馈量同常规电路一样，由交流支路的两只电阻确定。这实际上是一种改进的 OCL 电路，其好处是零点漂移

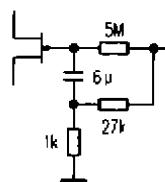


图 3

不大，频响很好。当然这些好处是输入级采用场效应管的结果。

4. 激励级与输出级的耦合方式

从激励级与输出级的耦合方式看，目前有两种，即直接耦合型和电容耦合型。权衡之后，本机选用直接耦合式，这样可节约成本近 200 元。

还有一点需要注意的是，如果采用电容耦合的话，由于激励级与输出级直流工作点没有联系，因此其输出端的零点飘移只能由输出级的偏置电路保证，千万不要企望用直流负反馈或有源伺服的方式来解决输出的零点飘移。

二、电源的选取

目前功放电源主要有两类，一类是传统的工频电源，即变压器加整流滤波的模式，另一类是电子电源即开关电源。笔者选用了两台武汉天龙 DNC-450A 型开关电源，分别负责左右声道的能量供应。

三、元器件的选取

为保证制作的成功率和整机的性能，本机特别注重了元器件的选取。

1. 电阻：除功率管源极电阻为 5W 无感水泥电阻外，其余电阻均选用 1/2W 美国 DALL 或 CGW 电阻，其精度及性能均有保证。

可调电阻均选用 3323 精密可调，如有条件 W3 最好选用 3269 多圈精密可调。

2. 电容：负反馈支路的隔直电容 C4 为无感聚丙烯电容，容量宜大不宜小，功率管栅漏极间的防振电容 C6~C11 为银云母电容。去耦电容 C2~C3 为日本 (AWF) 电解电容。

3. 晶体管：型号均见电路，要尽量减小其配对误差。

4. 电位器：选用塑壳 ALPS 音频专用电位器，也可选用步进式电位器。

5. 散热器：由于本机是甲类功放，因而散热器的选取一定要引起足够的重视。有关散热器选取的计算可参考《无线电与电视》1997 年第 7 期拙作《浅谈甲类功放的静态电流、电源电压及散热》或其他资料，这里不作详细介绍。本机电源电压为 $\pm 37V$ ，末级电流为 1.76A，在 8Ω 负载上可输出 50W 的甲类功率。每声道需选用 3 对互补输出管。每管的电流为 1.76A 的三分之一，即 0.59A。本机总静态功耗为 260W。根据以上数据，选取哈尔滨亚泰公司生产的 YN154 型铝合金型材散热器 6 块，每声道 3 块。每块散热器重达 1.1kg，每块有效散热面积为 2171cm^2 。

推动级由于其静态电流较大约 90mA，故每只管子的功耗为 $37 \times 0.09 = 3.33\text{W}$ ，必须给其安装上足够大的散热器。本机选用亚泰 YH65 型散热器 4 块，每块的有效散热面积为 440cm^2 。

选用以上散热器，在环境温度 25℃ 的条件下，机器连

续工作5个小时以上时，散热器的表面温度不超过55℃，可以保证整机的稳定工作。

四、功放的总体结构及调试

1. 功放的总体结构：

对于乙类或甲乙类功放而言，由于其产生的热量不是很多，容易散发，对结构的要求不是很严，一般选用成品机壳，对各部件进行合理的安排就可以了。而对甲类功放则必须考虑结构对散热的影响。笔者对一些成品甲类功放的结构进行考察后，决定采用散热器外露的自然冷却方式，两侧的散热器兼作机器的两个侧板，整体采用拼装结构，机器的结构尺寸如图4所示。整个机箱分为三大部分，中间为电源部

板的中央。功率管与电路板之间用喇叭线联结，要尽可能短。推动管直接装在YH65型散热器上，YH65散热器分别位于电路板的两侧，直接固定在散热器侧板上。推动管与电路板之间用尽可能短的细软线联结。

机内安装开关电源的两块隔板在与前面板联结时，考虑到前面板的美观，前面板与隔板联结的四颗螺钉安装在音量电位器旋钮下面，联结强度是足够的。这四颗长螺钉同时用于安装音量电位器的支承板。由于音量电位器处于电源箱内，应予以适当的屏蔽，避免干扰。本机未设电源开关，靠电源插座上的开关来控制。

2. 调试：

本机的调试同其他功放一样，主要调试两处，一个是各级的工作点，一个是零点输出。调试前应作好如下准备：

①仔细检查电路焊接有无错误，并将所有微调电位器调至中间位置。

②将输入端对地短路，输出端不接负载，功率管暂不接入。

③将电源调至最低约±33V。

然后通电调试。先调W1使R15两端电压为1.8V，然后调W2使A点电压为0V，再调W3看B、C间的电压能否在1.5~4.5V之间连续变化。如一切正常，可将W3旋至最小位置，同时将电源调至±37V。然后接上功率管进行正式调试。为避免功率管离散性对电流调试准确性的影响，这里不采用测功率管源极电阻压降换算法，而采用直测法，即将电流表直接串接在放大电路的供电回路里，调整W3使总电流为1.86A左右即可，同时调W2使零点输出最小。由于调整时相互牵扯，需反复多次长时间进行观察和调整，直至机器达到热稳定后，这项工作方可结束。调试结束后最好将三个可调电阻换成相同阻值的精密电阻，以保证机器性能的长期稳定。本机历经6个小时的反复调试，整机电流调至1.85A，推动管电流约90mA，零点输出开机时-2.7mV，经8小时工作后降为-0.2mV，飘移不大。

调试时一定要注意防止出现自激，本机开始时输出管的栅漏极间未加25pF的防振电容，结果调试时出现了自激。其表现是电流调不稳且随身体(手)的靠近程度的不同呈无规则变化。后在每个功率输出管栅漏间焊上25pF的银云母电容后，自激才得以消除，所以这几只电容决不可省。

经以上调试，即可将机器装成一体连线试听了。试听器材为：音源为Song297CD机(已摩过)；音箱为自制的二分频二级倒相式落地箱，喇叭单元是玄度F801及DS11，箱内两侧板均粘贴了一层10mm厚的运输机胶带作为阻尼材料；连线为怪兽101。经试听主观感觉音色甜美、温暖，解析力高，无久听疲倦的感觉。

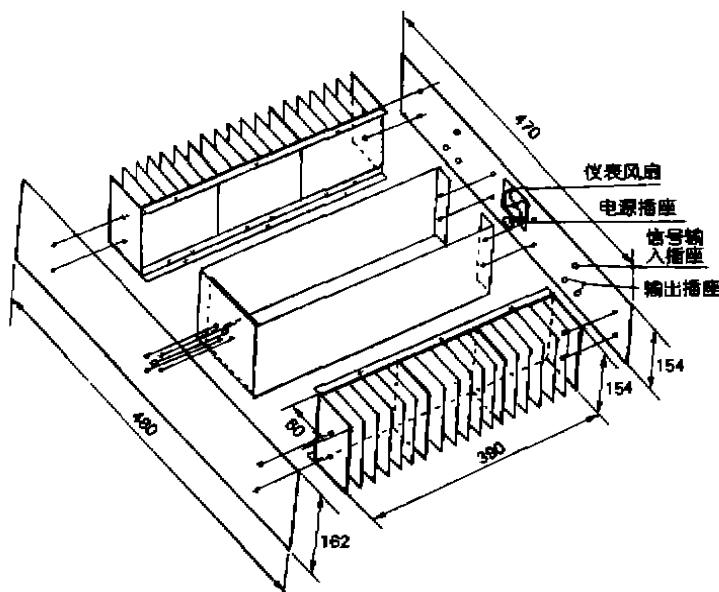


图 4

分，由两块厚3mm的铝板隔出160mm×380mm×150mm的空间，用于安装两台DNC450A型开关电源，能够有效避免电源对放大电路及外界的干扰。由于本机工作于甲类，电源的散热必须重视，本机在后面板中心处安装了一只9cm×9cm的仪表风扇，帮助电源散热。同时在这三部分的上下盖板处钻一些小孔，以利热量的散发。为风扇及延时保护电路供电的变压器也安装在这个空间内。两侧的空间内分别安装左、右声道的放大部分及延时保护部分。整机是典型的双声道结构，连延时保护部分都是每声道独立的。

安装时，先用两根小角钢将三块YN154型散热器连成一个整体，然后与前后面板相连。功放管直接安装在散热器上，注意垫上云母绝缘片并涂上硅脂。消振电容与防振电阻直接焊在功率管的管脚上，主电路装在一块150mm×100mm的印刷电路板上。主电路板用4只Φ3.5mm×36mm的螺杆和4只Φ5mm×20mm的铜套管支撑固定在散热器侧