

## 大奖赛专栏

● 安玉景

## 电子管单端甲类功率放大器

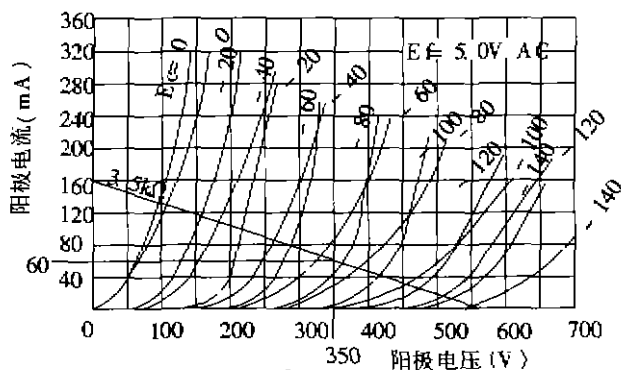
功单级大, 胆机

电子管这个古老的电子器件诞生于 1906 年, 我国过去称之为“灯”, 如今流行叫“胆”, 叫起来很上口, 也挺形象。在日本称之为“球”, 而在俄语中, 它和“灯泡”是同一个词。半导体器件的主要材料是硅, 其实就是石头的主要成分, 日本人将它称为“石”也不无道理。“胆”在 70 年代后几乎处于濒临灭绝的边缘, 然而近些年又东山再起, 在音响界备受青睐, 是何道理? “优者生存, 劣者淘汰”这是自然界的普遍规律, 任何事物决无例外。“胆”虽然在众多电子技术领域被“石”替代, 但在声频放大器中仍顽固地保留着一席之地, 这说明它必有优于“石”之处。其实, 在声频放大器中“胆”除了需要加热灯丝消耗一定功率及使用寿命不及“石”外, 其他方面均不劣于“石”。而石的最大缺点是“娇气、脆弱”, 不仅热稳定性差, 而且太容易损坏。在以 CD 为代表的数字声源出现以后, 胆机与其配合比石机更有优势, 这也是为许多人公认的。

胆机电路技术早在 60 年代以前就已经相当成熟, 但现在胆机的复苏, 决不是而且也不应该是几十年以前的电路翻版。比如被称为 Hi-Fi 史上一个重要里程碑的威廉逊放大器电路中就采用了高达 20dB 的负反馈, 这在“哪里有放大, 哪里就有负反馈”的当时是无可非议的, 因为对负反馈利与弊的认识是需要一个过程的, 也是需要一定时间的。后来, 人们认识到了大环路深负反馈对音质的危害, 故现代胆机一般只加有 10dB 以下的大环反馈或者干脆不用。再如, 单端甲类功率放大这种电路形式是出现最早的, 过去仅用于五六瓦以下的功放中, 它不但输出功率小、失真大, 而且效率低, 例如, 用三极管作输出管时最高正弦波效率仅为 25%, 在用束射四极管或五极管时也只有 50%, 故 10W 以上的功放中均采用推挽放大形式。乙类推挽放大输出功率大、效率高、能消除偶次谐波失真等优点, 但其电路复杂, 还需要倒相电路, 在乙类工作时会产生交越失真。随着声源和音箱质量的提高, 人们对功放也提出了更高的要求, “失真小, 音质好”是音响发烧友不懈追求的目标。由于甲类放大失真小, 因此推挽放大电路也常采用甲类工作状态, 但必须指出, 当输出管采用五极管(包括束射四极管)推挽或晶体管 OTL、OCL 推挽放大时其正弦波最高效率为: 乙类时 78.5%, 甲类时 50%。在同为甲类放大的情况下, 推挽放大电路效率比单管放大效率高的

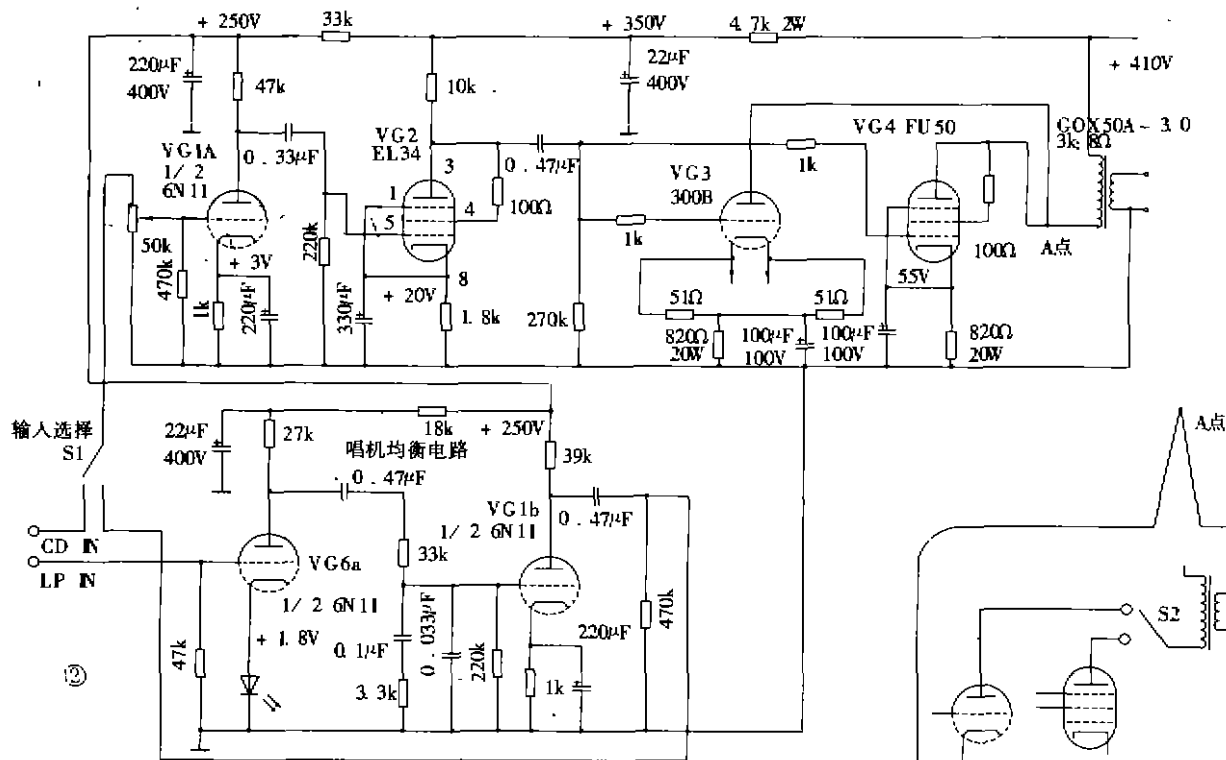
优点就不存在了。近年来人们对谐波失真有了新的认识, 人耳对奇次谐波失真敏感, 它是一种不和谐的声音, 听时间长了会使人烦。而人耳对偶次谐波就不那么反感, 适量的偶次谐波失真反而会使人觉得悦耳动听。像 2A3、211、300B 等直热式三极管的线性极佳, 在甲类放大时失真成分主要是偶次谐波, 奇次谐波很小。推挽放大电路虽然可以抵消偶次谐波失真, 但也同时使得奇次谐波为单管放大时的两倍。故推挽放大失真小的优点也就不太突出了, 只剩下“输出功率大”这一优点了。然而, 假如音箱的灵敏度在 90dB 以上, 则在 20m<sup>2</sup> 以下的室内距离音箱两三米处, 10W 输出功率的胆机就可以产生 90dB 以上的声压级, 这个响度是足够“爆棚”的了。所以大功率也并非是唯一选择。目前, 输出功率为 10~30W 单管甲类放大胆机, 电路均为现代的电声工作者或发烧友设计的, 比如采用 211、845 等名胆的单管放大作品在 60 年代以前的书刊中是找不到的, 只能找到推挽应用的例子。

从电子管的发展过程来看, 它是由二极管、三极管到多极管, 从直热式到旁热式不断改进而来的。例如在“个头”差不多的条件下, 用三极管作输出管比用束射四极管或五极管效率低, 输出功率也小。从放大器的信噪比来看, 用直热式管也远不如用旁热式管。但是为什么现在许多胆迷朋友苦苦追求的目标, 竟会是用最古老的直热式三极管制作的单管甲类功放? 这只能用“返朴归真”和“简洁至上”来解释。一些最简单、最古老的东西往往也是最好的东西, 其实这也并非怪事。记得涤纶等化纤制品出现以后, 人们曾一度冷落了棉布, 但经过一个时期后才发现, 贴身的衣



①

# 大奖赛专栏



服还是纯棉的最好，此类“返朴归真”例子还可以举出很多。在Hi-Fi界还有一句至理名言就是“简洁至上”。日本有一位胆机设计专家说过，改善放大器音质的办法就是消灭元件。笔者在以前的一篇文章中也曾说过，在“必须，够用”的前提下，多用一个元件也是对Hi-Fi的“犯罪”。这些话难道没有一点道理吗？

以上就是许多胆机发烧友对直热式三极管单端甲类功放“情有独钟”的缘故。在此，要对深圳大极典公司与《无线电》、《高保真音响》杂志联合举办的这次大奖赛表示感谢，这为全国的音响爱好者，特别是胆机爱好者提供了一个“相互交流，相互学习”的好机会，这对提高我国的电子管放大器的技术水平，促进高保真音响事业的发展是极为有益的。本着“贵在参与”的精神，本人利用大极典公司供应的胆机套件，制作了这台“电子管多用单端甲类功率放大器”，现将电路及制作要点写出来，渴望得到专家和音响爱好者的指教。

## 一、输出管的选择

目前国内许多胆机发烧友都把用300B制作的单管甲类功放视为“Hi-Fi”的最高境界，但这只胆的价格也由此而身价不菲。其实除了300B以外，像2A3、845、805、811这些直热管的音质也是有口皆碑的。只不过2A3的输出功率太小（5W以下），而211、845、805等胆所需屏极电压为上千

伏，对元器件耐压要求较高，同时灯丝加热所耗

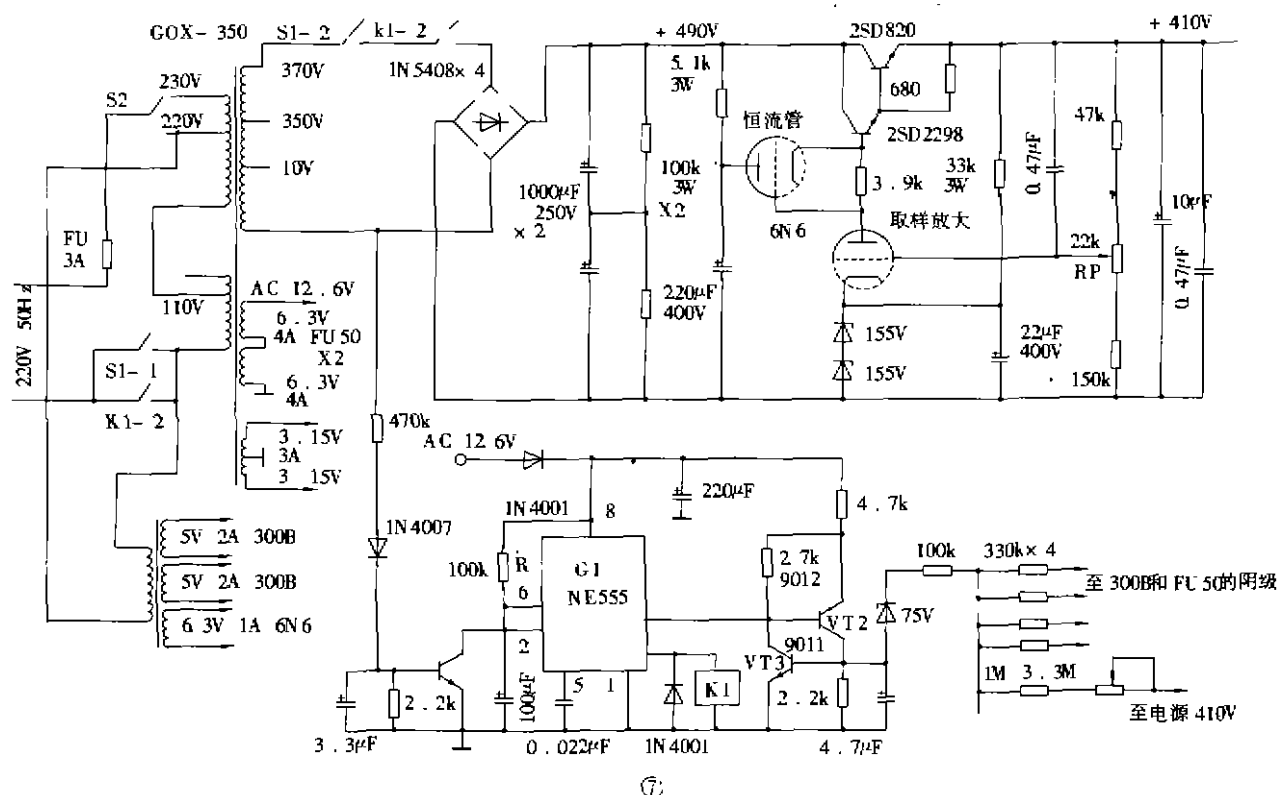
功率也较大，为30多瓦，这些原因限制了这类胆机在发烧友中的普及。而805和811A这两只胆是右三极管，其屏极特性曲线在第一象限，工作时需要正栅压，有栅极电流，需要一定的推动功率，故常用输入变压器推动，这就又增加了制作成本。笔者在《无线电通信用电真空器件手册》中发现国产高频发射胆FU-50在接成三极管时屏极特性曲线与名胆300B极为相似，如图1所示。因此产生了“试一试”的想法，通过理论计算与实验，得出一组工作参数，与300B等常用直热式三极管一同列于表1中，供大家参考。

表1 部分输出胆单管甲类放大应用实例

| 输出管型号    | 300B |  | 211  | 845  |      | 811A |      | FU50(T) |     |
|----------|------|--|------|------|------|------|------|---------|-----|
| 灯丝电压(V)  | 5    |  | 10   | 10   |      | 6.3  |      | 12.6    |     |
| 灯丝电流(A)  | 1.2  |  | 3.25 | 3.25 |      | 4    |      | 0.765   |     |
| 屏极电压(V)  | 350  |  | 1000 | 750  | 1000 | 450  | 430  | 350     | 400 |
| 屏极电流(mA) | 60   |  | 65   | 95   | 65   | 75   | 100  | 67      | 73  |
| 栅极电压(V)  | -74  |  | -52  | -98  | -155 | +18  | +26  | -55     | -60 |
| 栅极电流(mA) | 0    |  | 0    | 0    | 0    | 10   | 14   | 0       | 0   |
| 负载阻抗(kΩ) | 3    |  | 7    | 3.4  | 9    | 6    | 3.5  | 3       | 3   |
| 输出功率(W)  | 8.3  |  | 10   | 15   | 21   | 12   | 13.5 | 7       | 9   |
| 谐波失真(%)  | 5    |  | /    | /    | /    | 5    | 5    | /       | /   |



# 大奖赛专栏

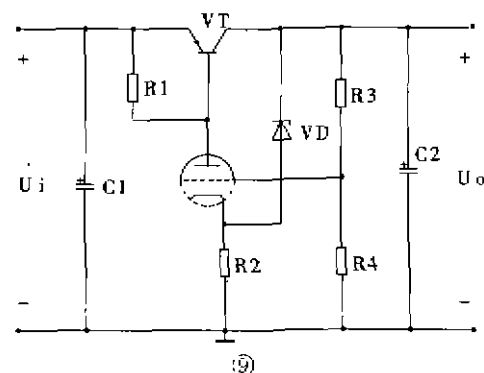
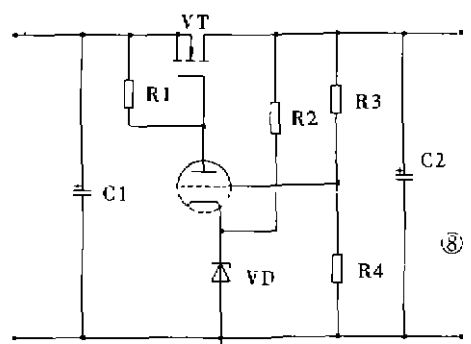


正如大极典公司的总经理曾德钧先生所说,胆机的电源是大有文章可作的,电源做得好,对胆机的音色音质有很好的影响。

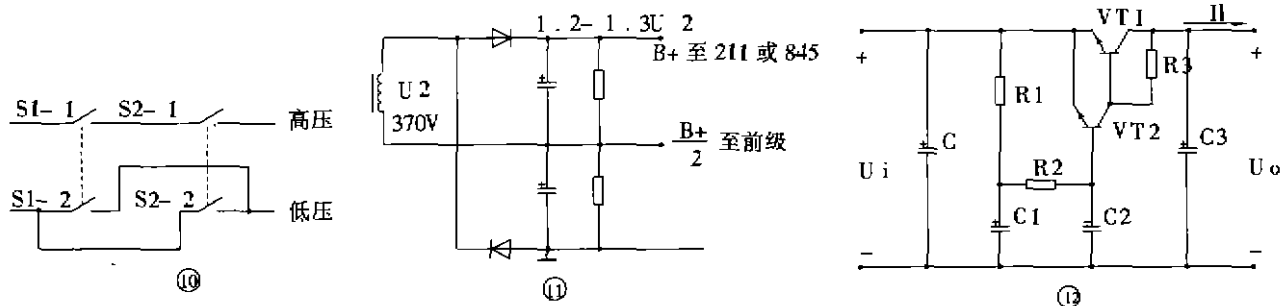
单端放大电路不像推挽放大电路那样对电源纹波有抑制作用,因此容易产生交流哼声,使信噪比降低。特别是直热式功率管,若灯丝采用交流供电,更易产生交流声。但实践证明,在产生交流声的各种因素中,屏极电源的纹波比灯丝交流供电更为有害。

## 1. 稳压电路

本机的屏极电源采用了笔者专门为胆机设计的稳压电源,它的可靠性较高,还具有延时软启动功能。目前在胆机中采用稳压电源供电的成品机很少,原因并不是稳压电源的电路技术不够成熟,而主要是器件性能难以达到要求。例如电压调整器件,若采用电子管,如图5所示,由于电子管的跨导远低于普通晶体管,故制作出来的稳压电源内阻较大,另外电子管工作时需要较高的屏阴极电压,一般在七八十伏以上,因此本身功耗较大,再加上必须用相当大的功率为灯丝加热,故而效率很低。以常用的电压调整管为例,6C19的灯丝电压为6.3V,灯丝电流为1A,耗电为6.3W,跨导为7.5mA/V,内阻为300Ω,最大屏极耗散功



# 大奖赛专栏



率为 11W,故最大阴极电流不过 100mA。而 6N5P 或 6N13P 的灯丝电流为 2.5A,耗电约 16W,跨导为 4.45mA/V,内阻为 450Ω,最大屏极耗散功率为 13W。若将内部两个三极管并联使用,则跨导加倍为 8.9mA/V,内阻减半为 225Ω,最大屏极耗散功率为 26W,输出电流不过 200mA。

如果采用晶体管作电压调整管,如图 6 所示。则由于目前高反压的大功率晶体管共发射极电流放大系数  $\beta$  都很小,一般小于 20。它们仅适合于在开关式稳压电源中作调整元件。理论分析表明,调整管  $\beta$  太小会使电源内阻增大。目前,耐压 500V 以上、电流放大系数大于 50 的大功率管很难找得到。

同样道理,取样放大电路中的晶体管也需要耐压高、 $\beta$  大的管子,用大功率管不经济,而且  $\beta$  很小,中小功率的管子  $\beta$  较大,但耐压不高。

本电源电路采用电子管和晶体管混合式电路。用一只塑封的 2SD2298 和一只金属封装的 2SD820 高反压大功率管接成达林顿复合管,耐压大于 800V,总放大系数大于 300。取样放大电路中采用了电子管 6N6,也可以用 6N11 代替,但不宜用跨导太低的管子。稳压电源电路如图 7 所示。笔者在设计本电路时是受了 SRPP 电路的启发,用一只双三极管电子管构成 SRPP 电路,而在它的输出端用 NPN 型晶体管作射极输出器,因此输出电阻很小。这种电路方式是分别取了电子管和晶体管的长处,而避开了它们各自的缺点。全电子管式稳压电源的缺点是内阻大且效率低。而全晶体管式的稳压电源除了上述选管难的缺点之外,还有一个缺点就是可靠性差,说不定哪一天在开机的瞬间烧坏所有的晶体管。

本电源的一个显著特点是具有延时软启动功能。由图 7 电路不难看出,电源调整晶体管的基极电流是由 SRPP 电路中上面一只电子管的阴极供给的,而不是像图 6 电路那样采用电阻 R1 供电。这样设计有两个目的:一是避免图 6 电路的一个重大缺点,即在刚开机时,由于取样放大电子管尚未工作,输入高电压经过电阻 R1 使调整管完全饱

和,使得输出电压几乎等于输入电压,对负载造成较大的冲击。另一个目的是,使稳压电源具有软启动功能。在图 7 电路中,为调整管提供基极电流的电子管只有在阴极逐渐被加热以后才产生电流,因此电压调整晶体管是随着电子管的预热而缓缓导通,输出电流由零逐渐增大的,避免了对功放各电子管的冲击。在采用 6N6 作取样放大和恒流管时,大约在开机十几秒钟以后,输出电压才由零缓慢上升到额定电压,这对延长放大器中胆管的使用寿命极为有利,特别是对 300B 一类贵重的名胆更是如此。

如果不准备使用 LP 唱机,可省去唱机均衡电路,在印制板省出的空间上可再安装一套稳压电源,使左右声道分开供电。整流滤波电路则两声道共用,这样可以提高左右声道的分离度。

电压调整管按说也可以采用场效应管,如图 8 所示。但是由于它是电压控制器件,不需要输入电流,所以一开机便可导通,这样就失去了软启动功能。

为了进一步提高稳压电源的效率,可以让电压调整管工作于集电极(或漏极)输出方式,这样调整管的集电极间(或漏源极之间)的压降最低仅需几伏以上,有利于减小调整管本身的功耗,从而提高效率。但是需要用 PNP 或 P 沟道的晶体管才能与电子管取样放大部分相配合。这种稳压电路是最理想的方式,如图 9 所示。但是,反压大于 500V,  $\beta$  大于 50 的 PNP 型晶体管或 P 沟道场效应管目前更难找到。但是反压为 400V 以下的高  $\beta$  的 PNP 管或 P 沟道 MOSFET,目前还是可以找得到的,故可以用在 300V 以下的稳压电源中,供胆前级放大器使用。

## 2. 高压延迟开关电路

一般来说,胆机的电源开关最好采用高低压分别控制。开机时先开低压,给各管灯丝供电,待预热一段时间之后,再开高压给各管屏极供电。关机时要求相反,先关高压,待高压滤波电容器所存电荷放完之后,再关低压使灯丝断电。但是这种方式要求使用者必须按照规定的顺序操作两个开关,即先开的后关,后开的先关。如果操作不当,

# 大奖赛专栏

反而会适得其反,后果更严重,还不如用一个开关控制为好。

胆机的电源开关电路可以采用正负逻辑设计,用两只双刀单掷开关按图 10 所示方式连接。则两个开关的“闭合”对于高压来说,是“与门”关系,即只有当两个电源开关都闭合后高压电路才被接通。而对于低压来说,两个开关是“或门”关系,即只要两个开关中有一个闭合,低压电路就被接通。这样的好处是无论先开哪只开关,总能保证低压先接通,高压后接通。在需要关机时,逻辑关系正好相反,即无论先关断哪个开关,总能保证先断开高压电路,后断开低压电路。这样两个开关只要相隔一段时间开、合,就能达到保护胆管的目的。这样设置两个开关的另一个好处还在于,若功率放大器在短时间内不用,则可以关掉高压,只加热灯丝,以降低整机功耗,延长使用寿命。

## 3. 整流滤波电路

胆机中采用的整流元件常有整流胆管和硅整流二极管。常用整流胆也有直热式和旁热式两种。直热式所需加热时间短,约几秒钟,而旁热式约需十几秒。从保护功放管的角度来说,使用旁热式整流胆较好,因为旁热式功放胆阴极热得慢。如果采用直热式整流胆,则功放及前置各胆管尚未工作时,整流胆即有高压输出,此时因尚无输出电流,故输出电压较高,此时如果滤波电容耐电压不足则会击穿,所以要留有余量。旁热式整流胆有 6Z4、5Z4P、5AR4 (GZ34) 等,直热式整流胆有 5Z2P(5Y3)、5Z3P(5U4G) 等。整流胆的结构一般为共阴极的双二极管或单二极管,在作全波整流时需要电源变压器有中心抽头。在相同输出电压的条件下,与桥式整流相比,变压器高压绕组匝数要加倍。但在桥式整流中一般不用胆整流,因它至少需要三组独立的灯丝绕组,更使变压器的结构复杂。在这种情况下,用硅二极管整流比较适合,因为目前耐压千伏以上,电流几安培的硅整流管俯拾皆是,故滤波电容可以取得较大,不像胆整流管那受不得大电容充电电流的冲击。如果采用了具有软启动功能的稳压电源,就可以使用半导体整流了,滤波电容也可大些,对减小纹波有利。

大极典公司的 GOX350P 电源变压器次级高压有 0、10、350、370V 几个抽头,可以方便地获得 340、350、360、370V 四种电压。当采用 211 输出管时,可用硅二极管半波倍压整流方式,如图 11 所示。输入交流电压可用 370V。这样可获得 1000V 及 500V 两种电压。500V 直流电压经 RC 滤波后可供前置及推动管屏极用。因电流很小,约几十毫安,电路也很简单,故此不再给出电路。1000V 高压的滤

波常采用电感和电容组成的倒 L 型或  $\Pi$  型滤波电路。也可采用晶体管有源滤波电路如图 12 所示。其中 VT1 和 VT2 可选用耐压为 1000V 以上的低  $\beta$  管复合而成。适当加大 R1C1 的时间常数,即 R1 的阻值和 C1 的容量,可使滤波电路具有软启动功能。但 R1 和 R2 的串联总阻值不能太大,否则不能给晶体管提供足够的基极电流,会使输出电压降低。设 VT1 和 VT2 的电流放大系数为  $\beta_1$  和  $\beta_2$ ,负载电流为  $I_L$ ,则  $R_1 + R_2$  的阻值应不大于  $(U_{min} - U_b) \beta_1 \beta_2 / I_L$ ,式中  $U_{min}$  为整流滤波后直流电压的最小值。这种滤波电路效果很好,相当于将滤波电容扩大了  $\beta_1 \beta_2$  倍。

## 五、自动延时关机及保护电路

本机还采用了自动关机延时及保护电路,如图 7 所示。其核心器件是集成电路 NE555。它的输出端 3 脚接有继电器 S1,它具有两组动合接点,可以用它代替图 10 中的一只电源开关,这样就实现了单开关操作的功能。其工作原理如下:开机时开关 S1-1 和 S1-2 同时闭合,但只接通了低压,由于 G1(NE555)的 2 脚接有电容 C(100 $\mu$ F),在开机瞬间电容两端的电压为零,故 G 的输出端 3 脚为高电平,继电器吸合,其常开触点 K1-1 和 K1-2 闭合,接通了 370V 高压。随后,由 470k 电阻和二极管 1N4001 为晶体管 VT1 提供偏压,使其导通并饱和,故 G 的 2 脚电压近似为零,使 3 脚维持高电平,继电器继续保持吸合。在关机时,由于 S1-2 断开,故 370V 高压断电。VT1 也由于无偏压而截止,随后电容 C 上的电压逐渐上升,当达到 G 的供电电压的 2/3 时,继电器断电, S1-1 断开了低压。这一段延迟时间由 RC 的数值决定,约为十几秒。而开机时的延时是由稳压电路本身完成的。保护电路主要由晶体管 VT2 和 VT3 构成,它们构成了类似于可控硅的电路,当 VT3 的基极电压大于 0.6V 时,VT3、VT2 立即导通饱和并保持这种状态。因此 G1 的 4 脚变为低电平,强制 3 脚复位,继电器断电释放, S1-2 断开了高压,完成了保护作用。保护电路的取样点有五个,其中四个是输出管的阴极。当任何一只输出管出现屏流过太大时,都会造成该管阴极直流电位增大,当阴极直流电位超过设定保护阈值电压 80V 时,继电器就会释放,断开高压电源。当阴极直流电压不大于 80V 时,相应的屏极直流电流不会超过 100mA。另一个取样点为稳压电源的输出端,本机屏极直流电源电压设计为 410V,保护阈值电压设置为 450V,当电源输出电压超过 450V 时也会引起继电器释放,及时关断高压,保护各电子管及滤波电容。

## 六、元器件选择与制作调整

### 1. 元器件的选择

# 大奖赛专栏

## 电子管:

前置级采用 6N11, 可用 6H11II、ECC88、6DJ8 等外国电子管代换。

推动级用 6P6P, 可用 6V6GT、6P3P(6L6)、EL34(6CA7) 直接代换, 但要注意将该管座的第 1、8 两脚直接连在一起, 否则在用 EL34 的时候其抑制栅极会悬空。输出级采用曙光 300B 或柳州 4300B, FU50 采用北京牌或北光牌, 前苏联型号为 FY50。

电源部分取样放大管用 6N6。

晶体管及稳压管: 电源调整晶体管选用高压大功率管, 耐压应不低于 800V, 小电流时的电流放大系数大一些为好。也可以采用高压大功率达林顿复合管, 如 MJ10000 等。稳压二极管用彩电稳压管, 稳压值在 130V ~ 160V 之间即可。

输出变压器采用大极典公司的 GOX30A-3, 其初级阻抗为 3k $\Omega$ , 适合于 300B、FU-50、811 等管。

如果输出级采用双管并联以增加输出功率时, 最好采用功率为 50W 的输出变压器, 如 GOX50A-3。因为它的初级线圈直流电阻小, 允许通过的直流电流也大, 不易产生磁饱和。电源变压器为大极典公司的 GOX-350P, 数据如图 7 所示, 其初级绕组还有用于调压的抽头, 以适应市电的变化。次级 6.3V4A 的两个绕组刚好够两只 811 的灯丝使用。

当采用 FU-50 和 300B 两用方式时, 因变压器灯丝绕组不够, 故要定制或自制一个功率为 30VA 的环型电源变压器, 如图 7 中左下角所示。其次级绕组电压为 5V2A 两组 (供 300B 用), 6.3V1A 一组 (供 6N6 用)。需要注意的是, 供给电源取样放大管 6N6 用的灯丝电压 6.3V 的绕组要与其它绕组绝缘, 并且不要接地, 否则会造成 6N6 的灯丝和阴极击穿。

继电器选用 JQX-4F, DC12V。

本机的底盘采用大极典公司的 P 型底盘, 可另加网罩和小面板, 使用起来非常方便, 特别适合于变换电路。

## 2. 制作要点

大极典公司的胆机底盘留有四个输出管安装孔, 采用搭棚方法焊接电路。更改末级电路很方便。而前置推动级电路不需要更改, 故可采用印刷电路板方式。笔者采用的方法是: 印制板上不打阻容元件安装孔, 仅挖出所需胆座孔, 阻容元件安装在铜箔面。印制板上面用细砂纸打毛后喷黑漆, 这样可省去上盖板, 也很美观。整流及保护电路部分安装在一小块电路板上, 放置在底盘内部输出变压器的

下方。另一只输出变压器的下方可用于安装 30VA 环型变压器。

## 3. 调整要点

首先应该调整电源部分, 如果调节电位器不能使稳压电源输出电压在 390V 到 420V 之间变化, 说明稳压管稳压值不合适, 应调整取样电阻的数值: 当输出电压偏高时应减小 47k $\Omega$  电阻数值, 反之则应增大 47k $\Omega$  电阻数值。当电源部分工作正常后, 将电压调节到 410V。然后可先调测前置级和推动级, 由于采用稳压电源供电, 故输出级管子未插入时并不影响前级各电子管的直流工作点。主要应检查各电子管阴极是否如图 2 所示。如偏差较大, 说明元器件或者有安装错误, 应查明故障原因予以排除。输出级主要是测试输出管的阴极直流电压是否符合要求。对 300B 其阴极电压约为 65V, 而 FU-50 的阴极电压约为 55V。应注意左右两个声道中相同的两个电子管的阴极电压和屏极电压是否一致或相近, 否则说明管子性能不一致, 应将其中之一调换, 以达到配对。新电子管未经老化者应在使用一段时间后再次配对。

## 七、主要技术指标

最不失真输出功率:

FU-50 单管 7W(rms)

300B 单管 8W(rms)

残留噪声(输入端短路时)

FU-50 0.42mV

300B 4.7mV

输入灵敏度:

FU-50 0.4V

300B 0.47V

频率响应:

FU-50 20Hz ~ 28kHz(-1dB)

9Hz ~ 47kHz(-3dB)

300B 18Hz ~ 27kHz(-1dB)

8Hz ~ 44kHz(-3dB)

## 八、试听

主要是进行 FU-50 和 300B 的音质对比, 采用盲目测试法, 不让试听者知道是哪一种输出管在工作, 避免主观评价。通过实际听音对比, FU-50 与 300B 的音色既有几分相似, 又有一定的差别, 结果也在意料之中。

其次是进行前置级和推动级电子管的音质对比。用进口 6DJ8、ECC88 代换 6N11, 用 EL34、6P3P 代换 6P6P 进行反复听音比较, 找出适合自己口味的最佳组合方案。 □