

FU-32 甲类推挽胆机设计制作

杨兆藩 杨 林

去年圣诞节前回家省亲, 经史忠泉先生联络与徐州发烧友再次相聚。我们一起听了好几部机器, 翻阅许多好文章。史忠泉送给笔者几只 FU-32。这是一种小功率孪生束射四极管, 常用于电报、电话等通信设备中, 史先生对其在音频放大中的表现备加推崇, 用令人销魂夺魄来形容其音色。笔者也非常想领略其风采, 感受其音色。我们能得到的 FU-32 相关资料中, 没有作甲类音频放大时的应用数据可以参考, 设计时以 FU-32 的屏极特性曲线为依据, 求出其在做甲类音频功率放大时的各种参数。选用 6F2 作前级管, 这是三极五极复合管, 一只胆管即可完成电压放大和倒相, 加上 FU-32 是孪生束射四极管, 因此只用两只胆管即可完成一个声道的工作。6F2、FU-32 的价格为 6 元、21 元, 都是 J 级品, 可谓价廉物美。

一、电路原理

本胆机线路甚为简洁, 图1为本机的放大部分电路 (图中仅为一个声道), 图2是本机的电源部分电路图。

1. 前 级

采用三极五极复合管 6F2 (表1为其特性表, 图3为其外形和管脚示意图) 的五极部分做前级, 6F2 五极部分的体积在整个管子中受限, 虽然这样, 但其屏耗仍高达 2.8 W, 屏流最大可达

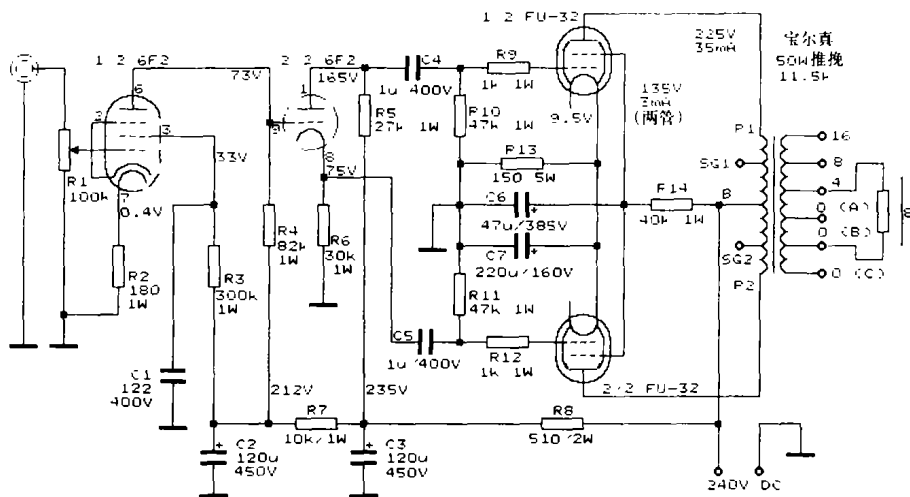


图 1 放大部分电路图

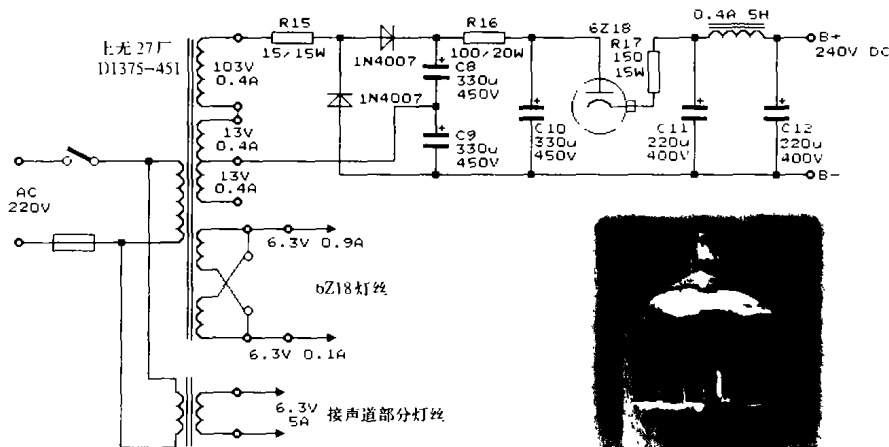


图 2 电源部分电路图

10mA, 国外型号 CV5065 和 ECF82 与其性能类似。本机采用屏-阴分割倒相, 其增益小于 1。因束射四极管需要的推动电压较低, 仅由 6F2 五极部分完成电压放大是可以的, 6F2 还省去阴极旁路电容, 可产生电流负反馈, 改善音质。

2. 倒相级

用 6F2 的三极部分作屏-阴



图 3 6F2 的外形和管脚图

表 1 6F2 的特性

名 称	6F2	
类 型	旁热式阴极三极 - 五极管	
主要用途	主要用途: 振荡、混频及高频电压放大	
灯丝电压	6.3V	
灯丝电流	0.45A	
	三极	五极
[管内极间电容]		
跨路电容	1.8pF	0.006pF (最大)
输入电容	2.5pF	5pF
输出电容	1pF	3.5pF
[一般应用值及特性]		
屏极电压	150V	250V
屏极电流	18mA	10mA
第二栅极电压		110V
第二栅极电流		3.5mA
放大系数	40	
互导	8.5mA/V	5.2mA/V
内阻	5k Ω	400k Ω
[最高额定值]		
最大屏极电压	300V	300V
最大第二栅极电压		300V
最大阴极与灯丝间电压	$\pm 90V$	$\pm 90V$
最大阴极电流	20mA	20mA
最大屏极耗散功率	2.7W	2.8W
最大第二栅极耗散功率		0.5W
最大第一栅极电路电阻	1M Ω	1M Ω

分割式倒相, 这种线路阴极电位很高, 与前级直耦较为方便, 这样不但省去了耦合电容, 并且可以获得非常好的传输特性, 降低失真。屏 - 阴分割式倒相阴极和屏极的两臂输出阻抗不完全相等, 可增大阴极臂电阻来改善。

3. 功率输出级

FU-32 是涂氧化物旁热式阴极孪生小功率束射四极管(表 2 为其特性表、图 4 为其外形和管脚示意图)。应用 FU-32 的屏极

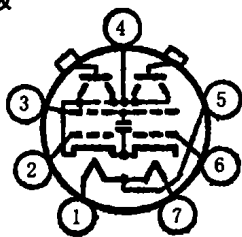


图 4 FU-32 的外形和管脚图

特性曲线(如图 5 所示)查出其一只束射四极管的最大屏耗为 7.5W, 现依据公式计算出其应用数据如下:

(1) 求出电源电压 U_b 、屏极电压 U_a 和阴极电压 U_k

翻阅 FU-32 平均屏极特性图, 得到第二栅极电压 U_{g2} 分别为 135V 和 250V 两种曲线图, 我们选用 $U_{g2}=135V$ 时的曲线来设计(如图 5 所示)。按照一般情况屏极电压要等于或略高于第二栅电压, 这里选屏极电压 $U_a=225V$ 。电源电压 U_b 则等于屏极电压 U_a 、阴极电压 U_k 和输出变压器一次侧压降三者之和, 即 $U_b=U_a+U_k+5V=225V+10V+5V=240V$ 。

阴极电压 U_k 等于第一栅的栅偏压 U_{g1} 。

(2) 求 FU-32 的工作点和阴极电阻

从图 5 所给的最大屏极耗散

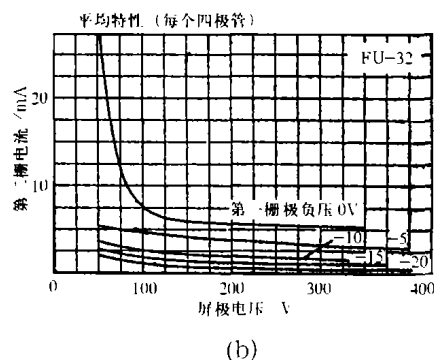
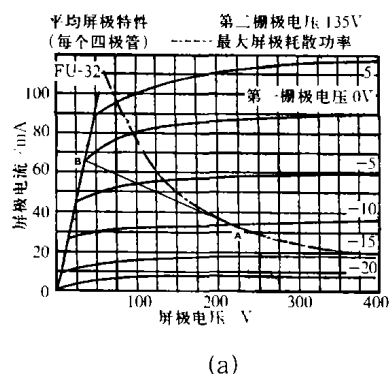


图 5 FU-32 的屏极特性曲线

表 2 FU-32 的特性

名 称	FU-32
类 型	旁热式涂氧化物阴极孪生小功率束射四极管
主要用途	高频振荡、功率放大
灯丝电压	并联 6.3V；串联 12.6V
灯丝电流	并联 1.6A；串联 0.8A
[管内极间电容]	
输入电容	7.8pF
输出电容	3.8pF
过渡电容	≤ 0.05pF
[一般应用值及特性]	
屏极电压	400V
第二栅极电压	250V
第一栅极电路电阻	8~18k Ω
屏极电流	90mA
第二栅极电流	≤ 11mA
第一栅极电流	2~6mA
输出振荡功率	≥ 14W
[最高额定值 (振荡)]	
最高屏极电压	500V
最高第二栅极电压	250V
最大屏极耗散功率	15W
最大第二栅极耗散功率	5W
最大阴极与灯丝间电压	100V
最高工作频率	200MHz

功率曲线,可算出FU-32最大屏极耗散功率为7.5W,例如屏极电压为125V,屏极电流为60mA,依据公式

$$P=I \times U=0.06A \times 125V=7.5W$$

当屏极电压 $U_a=225V$ 时, FU-32 静态屏极电流

$$I_{a0}=P_a/U_a=7.5W/225V=0.033A$$

从图 5 找到 A 点(225V, 33mA), A 点与栅负压 10V 曲线相交,即静态工作点的第一栅负压为 -10V。阴极电压

$$U_k=-U_{g1}=10V$$

从平均特性图 5(b)查出静态工作点时 I_{g2} 约 2mA, 阴极电阻

$$R_k=U_{g1}/I_k=10V/(33+2)mA=285.7 \Omega$$

(3) 求屏极负载电阻(输出变压器一次侧阻抗) R_a

最大信号时屏极电流是 I_{a0} 的两倍即 $I_{amax}=66mA$, 位于栅极零电压的 B 点(37.5V, 66mA)上, 查图 5 得 66mA 时的饱和压降 $U_s=37.5$ 。则输出阻抗

$$R_a=(U_a-U_s)/(I_{amax}/2)=$$

$$(225V-37.5V)/(66mA/2)=5681 \Omega(\text{单管})$$

(4) 估算单管输出功率

$$P_o=(U_a-U_s) \times (I_{amax}/2)/2 \\ = (225V-37.5V) \times (66mA/2)/2=3.1W$$

(5) 设计 FU-32 甲类推挽工作状态时应用条件

电源电压 $U_b=240V$, 第二栅极电压 $U_{g2}=135V$, 第一栅极电压 $U_{g1}=-10V$, 阴极电阻 R_k 两管可用 $150 \Omega/5W$ 的线绕电阻, 输出变压器可用 $15W$ 以上 $11.3k \Omega$ 左右推挽输出变压器, 甲类推挽状态时输出功率在 $6W$ 以上。

4. 电源部分

我们将电源部分设计为独立单元,不但能一机多用,并且与放大部分之底盘完全分开,减少干扰,降低交流声,而且也省去了做一部机器都要做电源的麻烦。B 电高压部分采用上无二十七厂产的旧电视机电源变压器,型号为 DB75-451 型。其高压绕组,经串联后为交流 116V,使用 1N4007 倍压整流可获得 200V 多的直流高压。为了使电压更纯正,并有延时功能,再用 6Z18 (表 3 为其特性表,图 6 为其外形和管脚示意图)作双重整流、扼流圈滤波,经上述安排能使交流声减小。

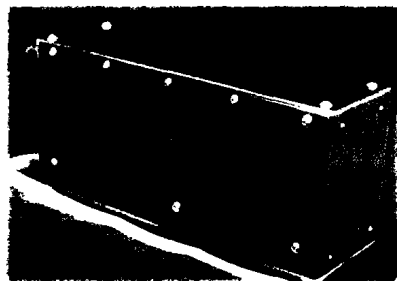
表 3 6Z18 的特性

名 称	6Z18
类 型	旁热式两极管
主要用途	在电视机行扫描输出电路中作阻尼用
灯丝电压	6.3V
灯丝电流	1.55A
[最高额定值]	
最大屏极反向峰值电压	6000V (脉冲)
最大电流	220mA
最大屏极峰值电流	550mA (脉冲)
最大阴极与灯丝间电压	750V
最大阴极与灯丝间脉冲峰值电压	6600V (脉冲)

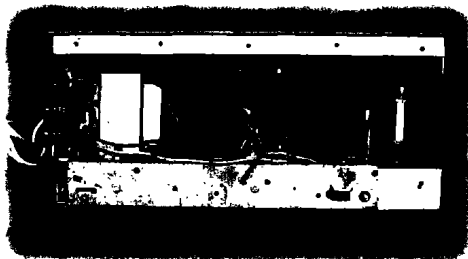


图 6 6Z18 的外形和管脚图

6Z18 灯丝用 DB75 的绕组并联供电, 虽其标称电流仅 1A, 但 DB75 变压器具有较大余量, 经长期开机变压器不过热, 灯丝电压不低于 6.2V。放大部分灯丝电压供电采用全新黑白电视机电源变压器改制, 将二次侧 17V 绕组拆下, 改绕成放大部分灯丝变压器, 空载时电压为 6.8V, 上述安排是从经济实用两方面考虑的。两变压器的售价仅为专用变压器的 1/3 以下, 并且上无二十七厂的产品工艺水平甚高, 温升很低。制作时也可以省去抽头调整部分, 通过调整变压器二次侧绕组抽头及 R15、R16 的阻值, 让 B 高压达到设计要求。电源部分整机如图 7(a) 所示, 内部结构如图 7(b) 所示。



(a)



(b)

图 7 电源部分的外形和内部结构

二、元件选择

输出变压器可以选用功率 15W 以上、一次侧阻抗为 11k Ω 左右的推挽变压器。我们手头上有广西玉林宝尔真电器厂生产的 50W 阻抗可变推挽输出变压器一对。经过计算找到 10.5k Ω 二次侧接法。

方法如下: 先将输出变压器一次侧 P1-P2 接交流市电 220V 测得二次侧电压如图 8 所示, 将 8 Ω 音箱接到 4 Ω -0 Ω (B) 处, 该处电压为 8V-1.4V=6.6V, 变压器变换比 $n=U_2/U_1=6.6V/220V=0.03$, 输出变压器一次侧阻抗 $R_a=\gamma_H/(n^2\eta)$, 其中 γ_H 为音箱阻抗, η 为变压器的效率。推挽输出变压器的效率约为 85%, 此时将数据代入公式 $R_a=\gamma_H/(n^2\eta)$, 求得 $R_a=10458\Omega$, 约等于 10.5k Ω , 基本上可达到上述 FU-32 对输出变压器的要求。

为了证明上述计算的正确性, 将 8 Ω 音箱接在 8 Ω -0 Ω (A) 时, P1-P2 阻抗为 8k Ω 的数据依据上述公式计算, 8 Ω 音箱接在 8 Ω -0 Ω (A), $U_2=10V-2.5V=7.5V$, $n=7.5V/220V=0.034$, 代入 $R_a=\gamma_H/(n^2\eta)$, 计算出 $R_a=8121\Omega$, 证明用上述公式计算是可行的。

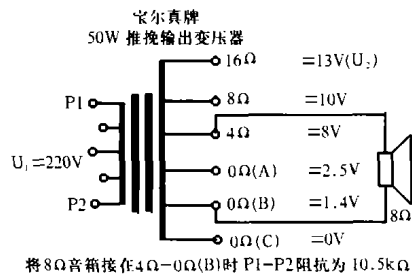


图 8 推挽输出变压器的二次侧电压

其他元件, 高压整流部分电解电容使用飞利浦、红宝石等电解电容, 电阻为军工大红炮, 耦合电阻为 WIMA 电容, 6F2 为 1980 年上海产 J 级品, FU-32 是 1965 年北京产, 也是 J 级品。

三、安装调试

放大部分使用 3 块 4.5cm × 10cm 铝合金门料拼装而成, 每块长度为 29.5cm, 两边使用角铝条上自攻螺丝固定, 输出变压器、功率放大级、前级分在不同铝板上, 这样做可以方便更改上述 3 个单元任何部分, 为以后使用不同型号的胆管提供了方便, 如图 9 所示。前级的电阻电容安装在自己制作的胶木板上, 自成一个组件, 如图 10 所示。

前级和推动级只要依据上述

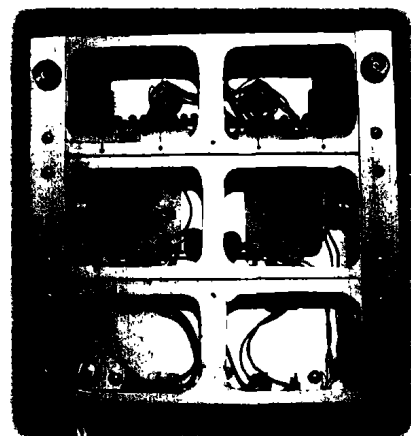


图 9 整机的安装

浅谈三极电子管 A1 类推挽功率放大器的设计

何永深

一、电子管 A1 类推挽功率放大器的特点

1. 电子管 A1 类推挽功率放大器与 A1 类单端功率放大器相比较

(1) 推挽功放的非线性失真(也称总谐波失真 THD)比较小。

例如,由 2A3、300B 或 845 等“胆王”组成的 A1 类单端功率放大器,当栅极输入信号为纯正弦波、输出端达到额定功率时,该类放大器开环失真的典型值为 5%,且其中主要是二次谐波失真 D2。但是,在实际应用中,特别是由 845 等低 μ 、高压三极管组成的 A1 类单端功率放大器,在满功率输出时,其栅极信号电压峰峰值达 300~400V,一般的电压放大三极管,早已不堪“重负”,通常改用动态范围更大的功率三极管如 300B 担当。即使驱动级采用 300B,且输入信号是纯正弦波,但是,经过 300B 放大以后,在它输出的大幅值信号中,不可避免

地包含了一定量的非线性失真。这些失真了的信号被 845 再次放大,导致最终 845 的开环失真大于 5%。虽然它可以通过加大负反馈量,使闭环后的失真度达到技术要求,但负反馈是一把双刃剑,负反馈量越大,放大器的瞬态响应越差。所以,尽量降低放大器的开环失真,对于线性放大器来说,是至关重要的。

推挽功率放大器,天生就具有抵消偶次谐波的能力。它不仅能抵消本功放级的偶次谐波,而且能抵消驱动级输出信号中偶次谐波对末级功放的不利影响。在推挽管完全对称的情况下,偶次谐波为零。在实际应用中,推挽管基本对称,偶次谐波大部分被抵消,仅留下少量偶次谐波。所以,它的开环失真较小,一般小于 1.5%。也正因为后面这个特点,推挽放大器的驱动级宜用三极管或三极接法的束射管、五极管。

(2) 推挽功放的输出变压器尺寸比单端小且价格便宜

输出变压器一次侧绕组的电

感量 $L_1 = 1.26 N_1^2 S_c \mu_c / (L_c \times 10^8)$, 式中: N_1 , 一次侧绕组的总匝数; S_c , 铁心截面积, cm^2 ; L_c , 平均磁力线长度, cm ; μ_c , 有效导磁率。在推挽输出变压器中,推挽管基本对称,铁心中的直流磁化可以忽略不计。 μ_c 是磁通密度 B 的函数,如图 1 所示。从图 1 中看出, μ_c 的最小值 μ_0 (起始导磁率) ≈ 400 , μ_c 的最大值 μ_{\max} 接近 4000, μ_c 从 μ_0 变化到 μ_{\max} , 变化量接近 10 倍。为了使低频响应符合设计要求,在设计输出变压器时, μ_c 应取 μ_0 值。否则,在小功率输出 (B 很小时),会表现出低频感量不足,即所谓小信号低频频率失真(并非通常所说的小信号

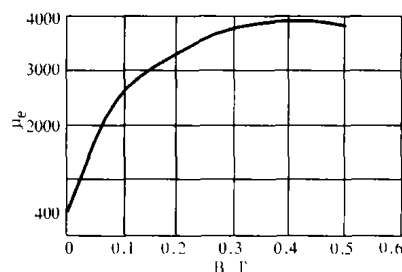


图 1 34AA (前苏联) 的导磁率与磁通密度的关系



图 10 前级电阻电容组件

数据的元件安装,即可正常工作,不需要做太大的调整。而功放管 FU-32 安装前需进行测试,可对

一个声道的简单搭棚焊接,每个四极管屏极各装 100mA 电流表各一只,观察两个四极管屏流,挑选基本相同的来配对使用。调整时只有一个声道在工作, B 电电压偏高,可用两只 220V/25W 灯泡串接成假负载,接到 B 电源上,使 B 电压正确。线路原理图标注的测试数据可供参考。

安装完成后的整机外观照片如图 11 所示。

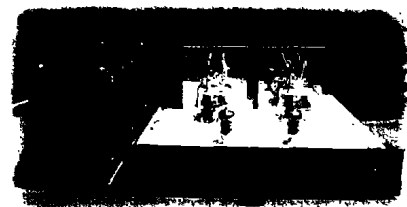


图 11 整机外形图