

场效应管功率放大器的制作

□魏纳新 杨善晓

电路的组成

功率放大器是视听系统的中间环节,前接音频信号源器材,后接扬声器系统。一个优质的放大器能够忠实地放大输入的音频信号,完好地驱动扬声器系统。高挡功放虽然达到了上述要求,但电路复杂,难以制作,本文推荐的附图所示的场效应管功放电路,电路简洁、音质令人满意,便于爱好者自制。它由以下几部分组成:

1. 输入级

该级采用东芝低噪音孪生对管 2SK389/2SJ109 场效应管、晶体三极管 D669/B649 组成共源共基电路。该电路采用互补、双差分对管输入。由于对管 Q_1 、 Q_2 参数的对称性,使得栅极电流大小相等、方向相反,在 R_2 (100k Ω) 上无电流流过,双差分对管栅极电压为零,对输入共模信号有较强的抑制能力,提高了输出中点电位的稳定性。该电路输出大小相等、相位相反的激励信号,容易实现对后级的平衡激励,使整个功放电路工作在对称状态。具有高频特性好、稳定性好、失真小等优点。输入级的负载电阻取

值较大为 2.7k Ω ,其目的是为了提高功率放大器的开环增益。然而,负载电阻阻值的提高会降低电源电压的利用率,为此应将电源电压作适当的提高。输入级的静态电流主要根据 2SK389 及 2SJ109 的特性曲线参数(见表 1、表 2)来确定。为了提高互补性,本次制作 2SK 选用 GR 挡、2SJ 选用 BL 挡,漏极电流取 1mA。RP₁ 主要是为调节 2SK389 与 2SJ109 两性线特性不一致而设定。选取 RP₁ = 500 Ω 。

2. 推动级电路

该级采用高阻抗有源负载推挽电路,这是一种增益很高的放大电路。电路选用 2SD669 及 2SB649,这两只晶体管互为对方的负载。设置 RP₂ 主要用于调整中点电位。选取 RP₂ = 2k Ω 。

3. 跟随器

采用颇受好评的场效应管 2SK214 及 2SJ77 组成源极跟随器,提高了其携带负载的能力。R₁₉、R₂₀ 阻值的选取主要取决于末级场效应管 2SK413 及 2SJ118 的特性曲线参数及工作于甲乙类的状态,本制作选甲乙类状态,取 I_{DQ} = 200mA,根据 2SK413、2SJ118 其特性曲线参数(表 3、表 4,测试时环境温度

表 1 2SK389 特性曲线参数

V _{GS(V)}	0	-0.10	-0.20	-0.30	-0.40	-0.50	-0.60	-0.70	-0.80	-0.90
I _{D(mA)}	13.8	11.0	8.3	5.9	3.7	2.0	1.0	0.3	0.1	0.1
	14.0	11.2	8.5	6.0	3.8	2.1	1.0	0.3	0.1	0.1

表 2 2SJ109 特性曲线参数

V _{GS(V)}	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
I _{D(mA)}	-13.5	-9.7	-6.2	-3.4	-1.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
	-14.0	-10.0	-6.6	-3.6	-1.4	-0.3	-0.1	-0.1	-0

表 3 2SK413 特性曲线参数

V _{GS(V)}	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4
I _{D(A)}	0.01	0.03	0.07	0.14	0.21	0.35	0.54	0.81	1.10	1.40

表 4 2SJ118 特性曲线参数

V _{GS(V)}	-3.6	-3.8	-4.0	-4.2	-4.4	-4.6	-4.8	-5.0	-5.2	-5.4
I _{D(A)}	-0.03	-0.06	-0.10	-0.17	-0.25	-0.38	-0.54	-0.74	-0.97	-1.18

为 30°C , 散热片总面积为 300cm^2 , 黄铜板为 2mm 厚。在对 2SK413 进行测量时 $V_{\text{DS}} = 10\text{V} \pm 10\text{mV}$, 而对 2SJ118 进行测量时 $V_{\text{DS}} = -10\text{V} \pm 10\text{mV}$, 得知 $V_{\text{GS}} = 4.0\text{V}$, 这就要求第三级 $V_{\text{SS}} = 8.0\text{V}$ 。在确定两源极之间电阻值的同时还要考虑 Q_9 、 Q_{10} 的功率 (每只散热片的功率不大于 0.6W 时散热片方能可靠工作)。由每只场效应管 $V_{\text{DS}} = 36 - 4 = 32\text{V}$ 可知第三级 $I_{\text{D}} = 0.6\text{W}/32\text{V} \approx 20\text{mA}$, 从而确定 $R_{19} = 4.0\text{V}/20\text{mA} = 200\Omega$, 故选择 R_{19} 、 R_{20} 均为 200Ω 。

根据场效应管 2SK214 及 2SJ77 的特性曲线参数 (表 5、表 6, 此测试在环境温度为 31°C , 无散热器的情况下进行的。在对 2SK412 进行测量时 $V_{\text{DS}} = 10\text{V} \pm 10\text{mV}$, 而对 2SJ118 进行测量时 $V_{\text{DS}} = -10\text{V} \pm 10\text{mV}$), 可知其 $V_{\text{GS}} \approx 0.85\text{V}$, 则 Q_9 、 Q_{10} 的两管栅极之间的电压为 $V_{\text{GG}} = 0.85\text{V} \times 2 + 8\text{V} \approx 9.7\text{V}$, 又根据 Q_7 、 Q_8 的输出特性要求 $I_{\text{C}7,8} = 2.1\text{V}/750 \approx 3\text{mA}$, 可确定 Q_9 、 Q_{10} 两栅极之间电阻值 $R_{\text{GG}} = 9.7\text{V}/3\text{mA} \approx 3.2\text{k}\Omega$, 因此 RP_3 选用 $5\text{k}\Omega$ 电位器。为了避免 $\text{RP}_3 = 0$, 可串联电阻 R_{16} (200Ω)。

4. 功率放大电路

采用两对功率场效应管并联, 这样可以使每只管子的 I_{D} 减小, 使其 $I_{\text{D}} - h_{\text{fe}}$ 非理想特性所引起的失真减至最小, 从而使每只管子工作得更加轻松。降低功率放大器内阻的同时还必须注意散热器要足够大。

C_9 ($0.047\mu\text{F}$)、 R_{14} ($10\Omega/3\text{W}$) 组成茹贝尔网络, 可使功放电路的等效负载接近纯阻性, 避免扬声器电感产生的感应电压击穿晶体管, 并可使高频段相位得到补偿。这是因为扬声器是电感性元件, 频率升高后扬声器的阻抗会随之升高, 而 C_9 ($0.047\mu\text{F}$) 频率升高时, 其容抗减小, 所以 C_{19} 、 R_{14} 可补偿扬声器的阻抗变动。 $R_{11} \sim R_{13}$ 、 $C_6 \sim C_8$ 组成负反馈网络及低频提升电路。

表 5 2SK214 特性曲线参数

$V_{\text{GS}}(\text{V})$	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
$I_{\text{D}}(\text{A})$	0	4	11	23	39	57	77	101	124

表 6 2SJ77 特性曲线参数

$V_{\text{GS}}(\text{V})$	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9
$I_{\text{D}}(\text{A})$	-2	-7	-13	-21	32	-46	-61	-78	-96

安装电路

1. 安装第一、第二级放大器

根据电路图设计好电路板, 安装时先安装电压放大级的阻容元件, 再安装三极管及场效应管。印板上的阻容元件应紧贴印板安装, 对功放级的大功率易发热电阻进行安装时, 应离印板 5mm 以上的高度, 以防发热过度而损伤印板。

2. 安装大功率场效应管

大功率场效应管应安装在散热器上。具体做法是: 清除散热器上毛刺后涂上硅脂, 垫上云母片, 再涂上硅脂, 然后用 $\phi 3$ 的螺丝紧固功率管 (加耐热垫圈管)。安装完毕后, 应用万用表 $R \times 10\text{K}$ 电阻挡对每只管子各脚与散热器之间绝缘情况进行检测, 若 $R = \infty$ 为正常, 若 $R = 0$ 则说明短路, 此时应检查云母片是否垫好 (注意一定要先排除故障, 否则一通电即烧场效应管)。

3. 安装电源电路

在安装电源电路时, 应注意电解电容器的正、负极不能接反, 并搞清整流全桥的正、负极性及其交流输入脚, 如“~”、“~”、“+”、“-”, 尤其是环形电源变压器的同名端不能接错。

调试方法

1. 按图 1 安装好元器件, 认真检查各元器件做到准确无误, 此时先不连接末级功率场效应管。接通电源之前, 首先将线路板上地、正、负三条线加粗, 并用 2mm^2 的铜线焊上, 以减小印板的电阻, 消除自激。

2. 调 RP_1 、 RP_2 在中间位置, $\text{RP}_3 = 0$, 输入端短路。

3. 接上稳压电源 $\pm 20\text{V}$, 调 RP_1 使电阻 R_3 两端电压为 2.7V 左右。

4. 调 RP_2 , 用数字万用表测中点电压为 1mV 。

以下如果中点电压变化很大, 往往是由自激造成。

设计与制作

可能由下列原因引起:(1)消振电容、 C_{10} 、 C_{11} (20pF—50pF)没有接上。(2)电源高频内阻过大。应在 C_3 、 C_5 两端并上 0.1μ 高质量电容。(3)负反馈量过大。应调整负反馈网络电阻。

5. 调节 RP_1 , 使四只 $2.7k\Omega$ 电阻上的电压都近似相等约为 $2.7V$:(1)如果交叉电压出现相差太大 ($>10\%$) 即 R_3 与 R_{10} , R_5 与 R_8 的电压值相差太大, 说明中点电压未调整为 $1mV$ 以下, 此时应再调整 RP_2 , 使中点电压调至零伏。(2)若左右电压相差太大 ($>10\%$), 往往是高频自激或超高频自激。可用下列方法进行解决: 在滤波电容 $100\mu F/50V$ 两端并联上高频特性好的 MKS 系列 $0.11\mu F$ 电容; 或者在 Q_7 、 Q_8 的 b-c 极间并联上 $10pF \sim 20pF$ 的电容 (最好选用镀银云母电容, 且容量不宜过大, 否则会破坏稳定性能, 造成转换速率下降, 本机选用 $20pF$ 的消振电容)。(3)若上下电压相差太大 ($>10\%$), 往往是输入级场效应管配对管及晶体三极管严重不配对造成的。可更换管子。(4)若上部的左、右电压相差太大, 可能是上部晶体管参数相差太大或一只管子击穿。比如 Q_4 的 c-e 极击穿时会出现 $U_{R5} > U_{R3}$ 。

6. 调 RP_3 , 测 R_{19} 、 R_{20} 两端电压。如有变化表明放大级电路基本正常。

7. 去掉稳压电源 $\pm 20V$, 接上功率放大器的电源 $\pm 36V$ 。

8. 接上末级功率场效应管, 保证其远离输入级 (至少要大于 $8cm$, 如无法做到要用屏蔽线处理)。调节 RP_3 使 0.22Ω 电阻两端电压约为 $40mV$ 。然后监测散热器的温度是否在 $70^\circ C$ 内 (用手触摸散热器, 若能持续 5 秒钟, 说明散热器温度在 $70^\circ C$ 内, 若只能持续 2 秒钟, 则说明其温度人于 $75^\circ C$ 。此时应增加散热器, 或减少末级静态电流, 或调整 RP_3 使 0.22Ω 电阻两端电压为 $22mV$ 。每隔 10 分钟监测一次, 直到开机通电 1.5 小时都稳定为止), 同时用万用表监测中点电压是否稳定。

9. 在上述步骤正常的情况下把音量电位器关

到最小并接上音箱, 然后慢慢调节音量电位器进行试听。

性能检测

对自制的功率放大器进行检测。检测的器材为 YB1643 型信号发生器、YB2173 型交流毫伏表及 YX40-5 型豪华型室内音柱。检测时的输入电压恒为 $1.5V$, 环境温度为 $10^\circ C$, 检测结果见表 7。

根据该数据绘制放大器频率特性曲线 (如图 2 所示)。从图中可以看出, 在 $0.4kHz \sim 20kHz$ 范围内功率放大器的放大倍数基本保持不变, 而在低频端 ($0.01kHz \sim 0.4kHz$) 放大倍数提升, 该提升使扬声器在低频段响度低得到补偿, 从而使音质更佳。自制的功率放大器具有良好的保真效果, 基本上达到了高保真的要求。

几点说明

1. 功率放大器接地问题。接地是抑制噪声和干扰的重要手段。接地不合理, 常常出现交流声、自激振荡等问题。任何接地线都会有电阻存在, 当放大器有电流流过地线时势必会产生电压降, 并因此带来干扰, 故接地电阻应尽可能小。对于输入信号线的屏蔽线要采用单端接地。音量电位器的输入、输出连线要做到一点接地, 接地端应接在印板输入级附近的接地端。

2. 电源变压器要远离输入电路。

3. 元器件之间的引线要尽量短。对末级功放管的漏极的负反馈电阻 ($R_{25} \sim R_{28}$, 其阻值均为 0.22Ω) 应焊接在功放管的漏极上, 而栅极电阻 ($R_{12} \sim R_{14}$, 其阻值均为 100Ω) 应焊接在功放管的栅极上, 然后再分别用引线将它们接到印板上去。这样效果会更好。

4. 输入端滤波电容 C_1 ($1000pF$) 不能取消。若没有 C_1 , 当前级发生高频自激或引入外来高频信号时, 功放输出级可能饱和而没被觉察。这很容易烧

表 7 频率特性曲线数据

f (Hz)	10	20	50	100	200	250	300	350	400
lgf (Hz)	1	1.30	1.70	2.00	2.30	2.40	2.48	2.54	2.60
$V_o (V)$	26	25.7	24.5	22.5	18.2	17	16.5	16.1	15.8
$A = V_o / 1.5$	17.33	17.13	16.33	15	12.13	11.33	11	10.73	10.53

设计与制作

坏功放管或高频喇叭。这一点对宽频带功放而言尤为重要。

5. 当出现自激且中点电压未调到 1mV 以下时,不能接扬声器,否则易烧坏扬声器。

6. 功率管与电源连线尽可能粗些。100W 以上功率放大器电源线一般不能小于 2mm^2 , 100W 以下的则不能小于 1mm^2 。

7. 电源电路要采用大容量电解电容器。 □

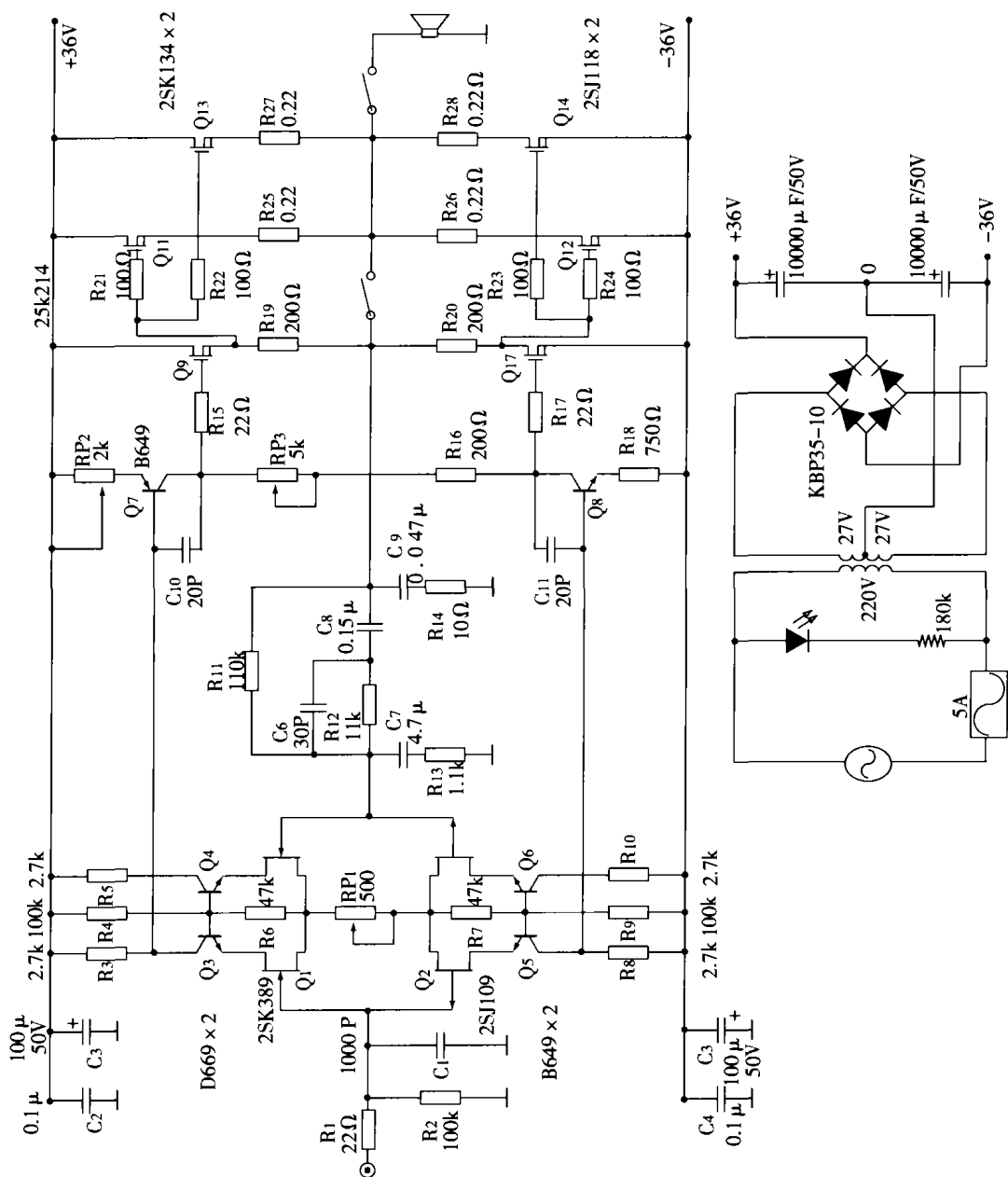


图1

(上接 4-75 页)

音箱为自制七单元三分频落地箱,信号线、音箱线都是自制,对于一个工薪族发烧友应该够奢侈了。打开电源开关进入工作状态,整个系统非常宁静,信噪比很高,首先播放小提琴演奏家俞丽拿演奏的小提琴协奏曲《梁祝》,小提琴的松香味十足,爆棚乐段十分精彩,俞丽拿的精湛技艺令乐曲异常细腻、委婉动听。播《雨果金碟(二)》中《远去的孩子》,海浪挥洒

自如,令人惊心动魄,涛声极为真切深沉,毫无浑浊发木之感,鸥鸣长空,浪花飞溅,不时涌起的波涛,会感到面临一个波澜壮阔真实的大海,磅礴的气势,威猛的大将风度,闻者无不为之动容。再播《蔡琴老歌》音色甜美,感情丰富,蔡琴那充满磁性韵味的嗓音,将音乐和人声特质一一诠释出来。整个音效声场定位都非常好,在 20m^2 的房间推动灵敏度较低的音箱也气势恢宏,毫不软脚,各方面令人满意。 □