

精选

实用电子制作集锦

温新宜 编著



電子工業出版社

3839/12

精选实用电子制作集锦

主编 温新宜

电子工业出版社

内 容 提 要

本书精选了70多种电子制作实例，共分为三大类。其中，音响类制作为发烧友提供了优质放大器、卡拉OK、消声电路、超重低音装置等极具实用性的内容，同时还包括适于爱好者自己动手组装的收音机、发射机、多功能内部通讯等项目。电源类和仪器仪表类所提供的实用项目都是电子爱好者实际工作中所需要的各种很有特色的装置。

在各种装置中，首先讲解了原理，同时提供了电原理图、结构图、印刷电路板图及元器件清单等，便于广大电子爱好者制作。

本书适用于广大电子爱好者，同时对从事电子行业的人员也有参考价值。

精选实用电子制作集锦

温新宜 编著

责任编辑：沈吟

*

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

一二〇一工厂印刷（北京市海淀区花园路13号）

北京云峰印刷厂装订（北京市海淀区北安河乡寨口村）

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：22 字数：563千字

1996年3月第1版 1996年3月第1次印刷

印数：1—10,500册 定价：28.00元

ISBN 7—5053—3466—2/TN • 949

一、音 响 类

1. 车用大功率高保真音频放大器

目前车用立体声放大器种类繁多，但绝大部分都在性能上作了妥协，否则价格会非常昂贵。本文介绍的这种车用音频放大器是一种音色纯正、具有立体声性能、经济、易于安装的放大器。其主要性能为：270W的输出功率(负载为 8Ω 时，每声道有效功率为135W)，失真低以及独特的输出电流能力。电源本身可以为放大器提供600W的功率，使放大器具有充分的功率储备。值得注意的是，在 8Ω 的负载上可达到的额定功率是有效、连续功率(不像计算大多数车用放大器的那种方式)，并可以与家庭音箱系统组合使用，它一般比 4Ω 类型的要便宜，并且有充足的优质元件可供选择。如果喜欢 4Ω 的喇叭，则放大器在每声道可供给200W的功率！放大特性如下：

输出功率 在双声道驱动情况下，对于 8Ω 喇叭，每声道有效功率为135W

在双声道驱动情况下，对于 4Ω 喇叭，每声道有效功率为200W

频响 $12\text{Hz}\sim 45\text{kHz}$ (+0, -3dB)

频率范围 $12\text{Hz}\sim 400\text{kHz}$ (取下输入滤波器情况下)

失真 $<0.03\%$ 1kHz 三次谐波失真 $<0.1\%$ 20Hz $\sim$ 20kHz

前沿时间 $<0.6\text{ms}$

变化率 $>100\text{V/ms}$

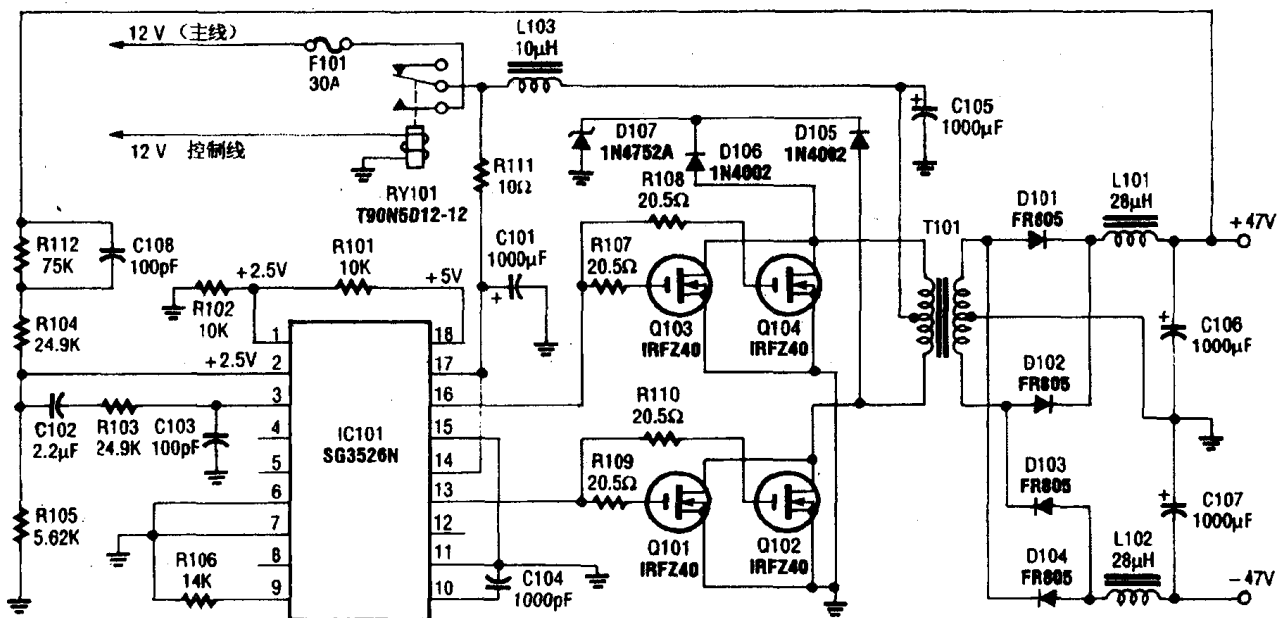
输入功率 $12\sim 14.5\text{V}$, $0.5\sim 50$ (最大)A

总体设计

本放大器除高性能之外，另一个设计目标就是制作必须简便。它是利用一个传统的散热器和一片印刷电路板组成的。散热器允许大功率半导体使用简单的搭锁扣固定，印刷电路板包括两个放大器(左、右声道)和电源。而且使用最少的点至点线连接，所有元件都固定在板上。在电路板上装了一个电源继电器，因此不再需要外部电源开关，而且可以将放大器电源引线作为车用收音机的天线。电源和放大器都使用了新型大功率场效应晶体管(FET)。用一个逆变器供电。全部元器件装在一块由CAD设计的印刷电路板上。下面是此装置如何工作的详细说明。

电 源

图1是电源部分的电路图。其基本设计是一个带脉宽调制可调电压的推挽逆变器。继电器RY101通过12V控制线控制，使12V主电源对脉宽调制器芯片IC101和电源变压器中心抽头供电。用IC101引脚16和13产生的交变脉冲驱动输出场效应管，依次打开Q101和Q102，及Q103和Q104中的一对。这里并联的场效应管是为了增大功率。电阻R107~R110用来消除场效应管自激振荡的可能性。当两路场效应管交替地工作时，变压器T101的初级线圈中有一交变电流，并在次级线圈中感应出交流电。



放大器

两个放大器(左、右声道)是相同的,所以相应元件的编号也相同,只是带有L或R后缀。这里只讲其中的一声道,见图2。输入信号通过滤波回R1、R24、R25、C1和C2加到IC1的3脚上(IC1为LF357A运放IC),IC1的输出端接于与电流源Q1和Q2串联的电阻R9和R10的连接点。其结果是IC1输出端(引脚6)的信号被传送并加到Q5和Q6的基极上。

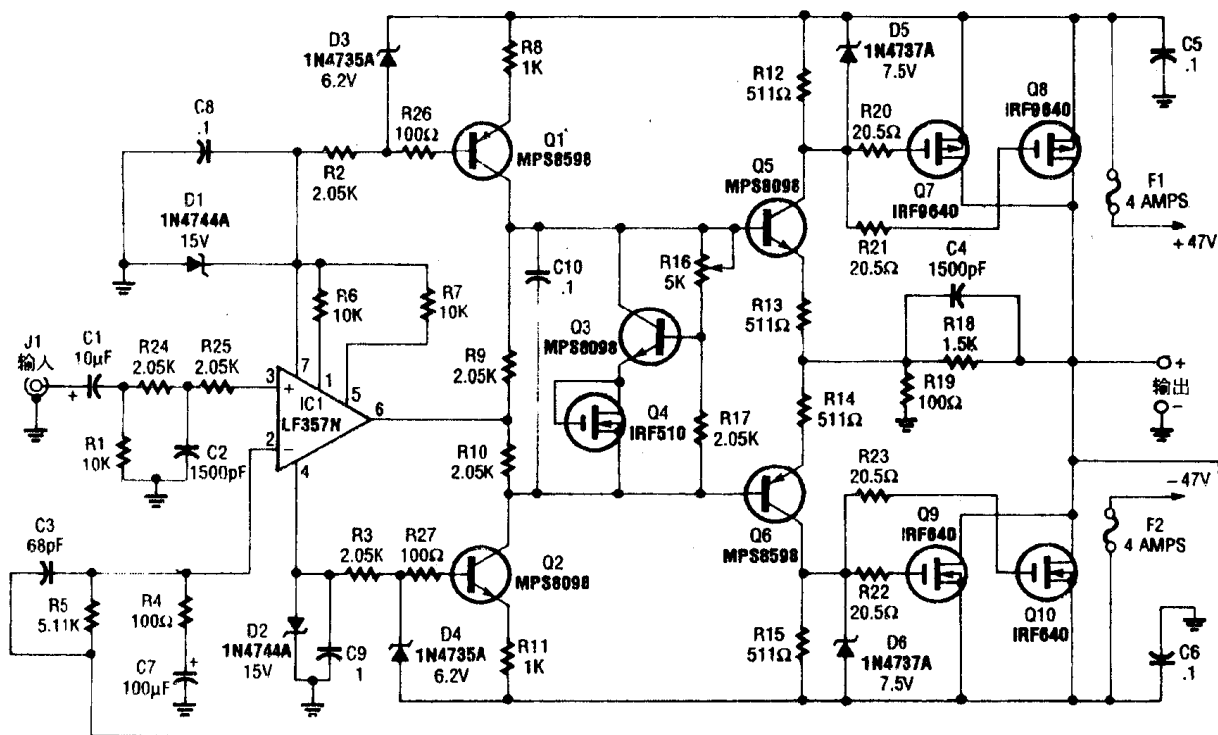


图2 左(右)声道放大器电路图

Q5和Q6基极间直流电压是由具有温度补偿恒压源Q3设定,一般此电压为8V,也可按需要通过R16来调定。对直流电路来说Q5和Q6是串联的,其电流流过R12和R15,并在它们的两端产生一个电压,此电压就被作为输出场效应管的偏压。4个输出场效应管Q7~Q10要使它们导通,每个需要大约3.5V的偏压。调整输出场效应管偏压可在输出级上提供最佳静态电流。为保证电流稳定,输出场效应管的温度通过装在其散热器上的Q4进行采样,因此Q3产生的偏压是随温度变化的。

场效应管Q4的栅极与漏极相连,使得漏源电压大致等于开启阈值,该电压随温度变化并与输出晶体管作同步变化。晶体管Q3等组成的恒压源以供两个输出场效应管所要求的偏压。晶体管Q5和Q6也起到了反相的功能。元件C4、R18和R19形成一个局部反反馈环路,将输出级增益设定为15。元件C3、R5、R4和C7是放大器整体负反馈支路,并且将放大器总增益大致设定为51。稳压二极管D5和D6限定了输出场效应管栅极驱动电压,同时也限定了最大输出电流。

装 配

如果打算自己制作线路板，记住要采用双面板。制作时，可以先安装除TO—220电源部件和电位器R16L和R16R之外的其它元件。在安装电阻和电容之前一定要看清其阻值、容值，并查清二极管和电解电容的极性。

安装输出场效应管之前，必须选择配对，以保证上下两支路的电流分配和功率消耗。

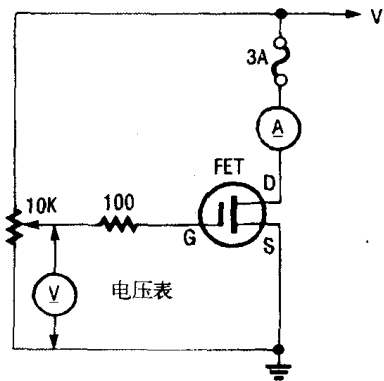


图3 测试场效应管是否匹配的简单电路图

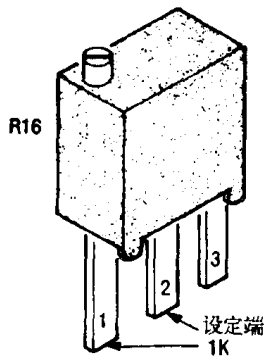


图4 为安装电位器R16L和R16R作准备

例如：Q7L与Q8L必须是相互匹配的一对，它们可以不必与右声道的场效应管配对（当然Q7R与Q8R必须是相互匹配的一对）。Q9与Q10也同样。图3是一个测试场效应管是否匹配的简单电路图。这些场效应管应在100mV栅电压50mA漏电流和200mV栅电压12A之间配对。进行2A测量时动作必须迅速，否则需要在场效应管上加装散热片。要注意的是P沟道器件（IRF9640）必须供给—5V偏压，N沟道器件（IRF640）必须供给+5V偏压。

首先调电位器使电压为零，随后将其升到理想的漏电流，并且按照图示测量栅偏电压。

一旦有了配对的场效应管，将它们插在印刷线路板上。要保证它们是直立的，并且离板的底部1/16英寸。检查一下看场效应管是否装在散热器的中间。如一切正常就可将场效应管焊住。下一步是为安装电位器R16L和R16R作准备，即先将电位器引脚1和引脚2间阻调为1000Ω（见图4）然后将它们装在线路板上。

最后，装上三条电源线和接地线，以及喇叭输出线和地线。

各大功率器件必须装上散热器，散热器与管子间垫以电绝缘云母片，且涂上导热脂。

用欧姆表检查一下大功率元件与散热器之间是否有短路情况存在。

测 试

在F101处安装一个5A的保险管，然后加电。这时逆变器会产生正的和负的47V电压，在F1和F2保险夹处可以测到此值。在F1L处装一个1A的保险，F2L处串一个毫安表。加电并且调整R16L使电流为60mA左右，重复相同的步骤，调整右声道的电位器R16R。检查输出端电压。此直流电压值应当小于50mV。如果一切正常，用2A的保险丝更换F1和F2，在输出线上连接一对测试喇叭，并加入一个输入信号试听。

车内安装及使用

首先要确定一个装放大器的合适位置。一般以放在座位下边或行李箱中为好。一旦固定好此装置,就可以将电源线、接地线、喇叭线接好。地线可以接到车的底盘上,这样可以保证接地牢固。对于主电源线和地线,由于它们必须传输40或50A的电流,所以要选用粗度合适的电线:可能你也想安装一个与主电源串联的发动机噪音滤波器。

12V控制线最好与收音机的电源线相连接。否则,可用一个独立的开关。最后,连接输出的屏蔽电缆。放大器的输入信号应从车上已有的车用收音机音量控制电位器处接出,多数较好的收音机都具有这一输出端子。总之,不要从收音机的喇叭输出端子去驱动放大器,这种信号电平可能会损坏放大器输出,并且此信号包括收音机功放的内部失真和噪声。最后还有一点要注意的是:一般的散热器的设计适合于音乐的峰均值功率。所以,若用它以额定功率电平进行连续输出,建议使用风冷或加大散热器。

元件表

除另有注释,电阻都是1/4W,精度为5% R1、R6、R7(针对左、右声道,每种两个),R101、R102——10,000Ω R2、R3(针对两声道,每种两个)——2050Ω R4、R19、R26、R27(针对两声道,每种两个)——100Ω R5(两个)——5110Ω R8、R11(每种两个)——100Ω R9、R10、R17、R24、R25(每种两个)——2050Ω R12、~R15(每种两个)——511Ω R16(两个)——5000Ω, 电位器 R18(两个)——1500Ω R20~R23(每种两个), R107~R110——20.5Ω R103、R104——24,900Ω R105——5620Ω R106——14,000Ω R111——10Ω, 1/2W R112——75,000Ω 电容. C1(左、右声道,两个)——10μF, 35V 电解电容 C2、C4(各两个)——0.0015μF 陶瓷 C3(两个)——68pF 陶瓷 C5、C6、C8~C10(各两个), C104——0.1μF 聚酯薄膜 C7(两个)——100μF, 10V 电解电容 C101、C105、——1000μF, 15V 电解电容 C106、C107——1000μF, 50V 电解电容 C102——2.2μF, 15V 电解电容 C103、C108——100pF, 陶瓷 C104——0.001μF, 陶瓷	半导体 IC1(左、右声道,共二个)——LF357A op-amp IC101——SG3526N 脉宽调制器 D1、D2(各两个)——1N4744A 二极管 D3~D6(各两个)——1N4737A 二极管 D101~D104——FR805 二极管 D105、D106——1N4002 二极管 D107——1N4752A 33V 稳压二极管 Q1、Q6、(各两个)——MPS8598 PNP型晶体管 Q2、Q3、Q5(各两个)——MPS8098 NPN型晶体管 Q4(两个)——IRF510 N沟道MOS场效应管 Q7、Q8(各两个)——IRF9640 P沟道MOS场效应管 Q9、Q10(各两个)——IRF640 N沟道MOS场效应管 Q101~Q104——IRFZ40 N沟道MOS场效应管 其它元件 L1、L2——23μH 线圈 L3——10μH 线圈 RY101——T90N5D12-12 继电器 T101——变压器 初级4圈,中心抽头;次级16圈中心抽头;用5密耳厚铜箔在一个铁氧体软磁性材料ETD-34铁心上绕制。 F101——31A 保险管 F1、F2(各两个)——4A 保险管 J1、J2——RCA型输入插座 其它 印刷线路板,16个“Q”型夹,16个绝缘片,10个保险卡子,散热器/外壳出气冒口,4个“L”型托架、电线、焊料等。
--	---

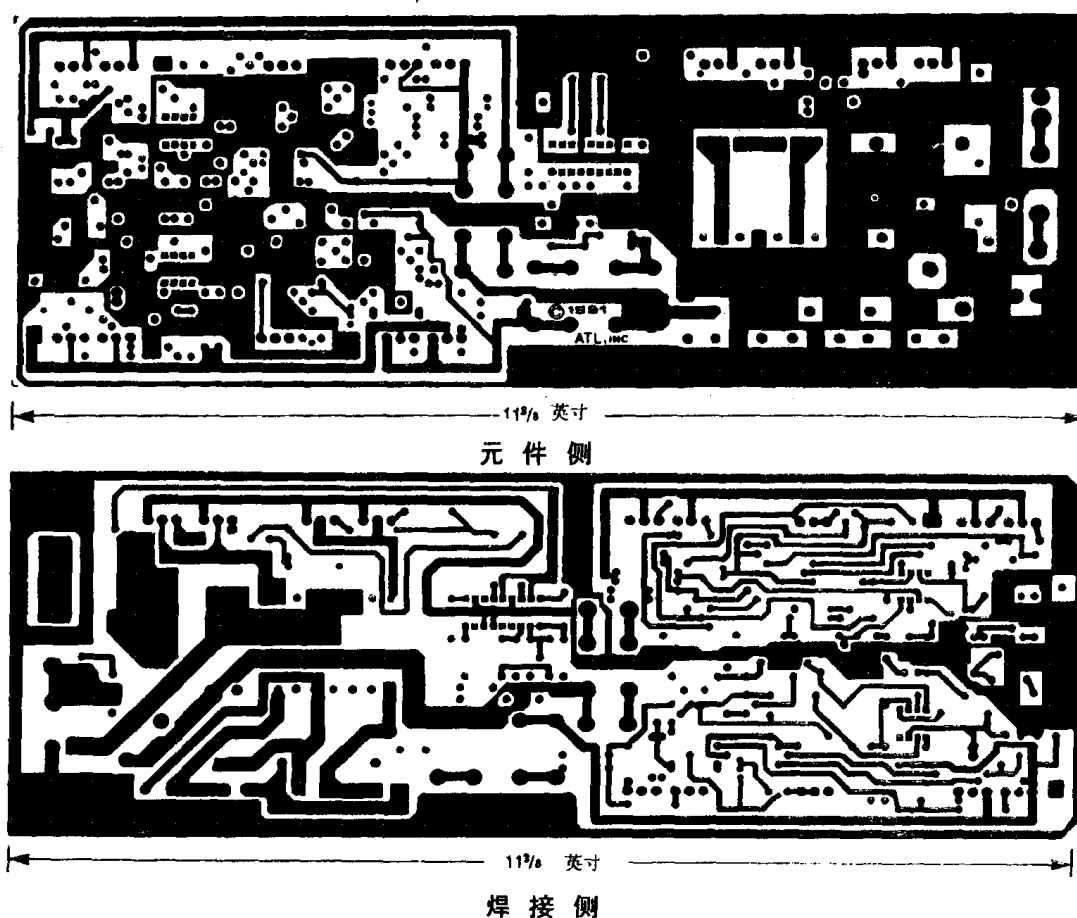


图 5 印制电路板图

2. 立体声耳机放大器

本文介绍利用扁平型集成电路制作立体声耳机放大器的电路。用两片集成电路构成HP-5L立体声耳机放大器电路。

立体声耳机放大器电路的框图示于图1，具体电路示于图2。

在第一级LA3550M中带有重低音提升功能，当集成电路的引脚11为高电平状态时低音加重。LA4538M可向外部输出经过平滑滤波的直流电压，以供LA3550M的工作电源。两集成电路的详细性能指标请参考表1。

图3为实际大小的印刷电路板。这是一单面板，集成电路各脚就焊接在有印刷电路的这一面。在焊接晶体管和电容时一定要注意极性，不可接错。全部焊接完毕之后要仔细检查各点的接线，如果没有任何问题就可试用了。图4是使用时的接线方法，将本电路接于AM立体声调谐器。

若接通电源开关，则LED点亮，然后提高电位器阻值可使音量变大。当低音提升开关为接通时低音增益应提高。这就表明所制作电路是正确无误的。

制作立体声耳机放大器所用器件汇总在表2。

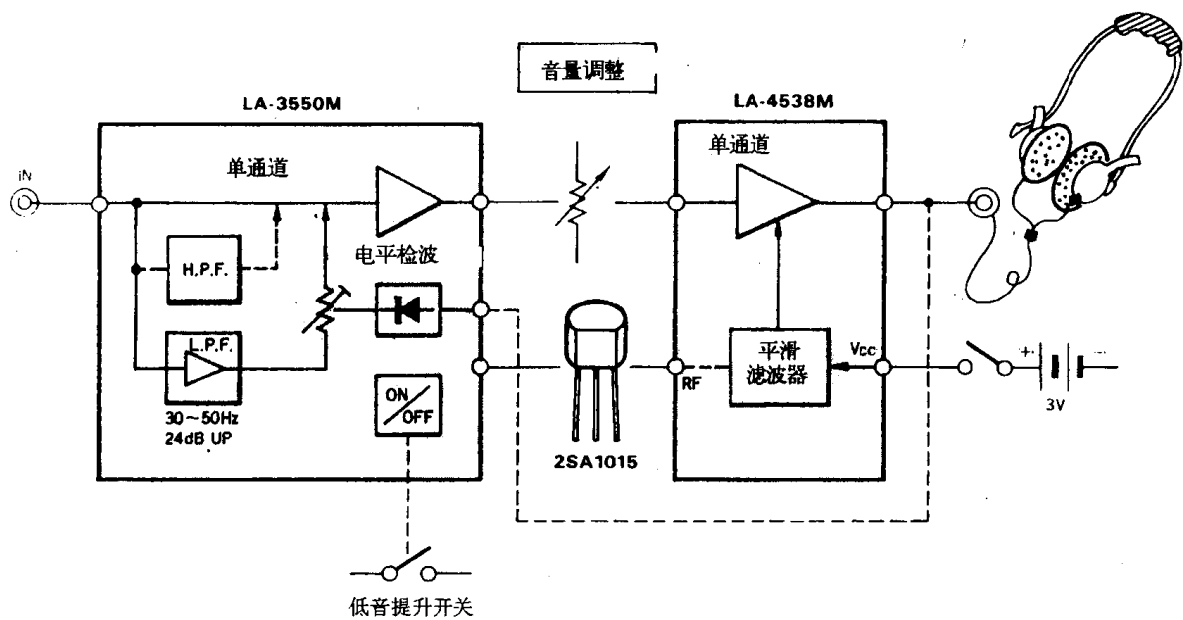


图1 立体声耳机放大器框图

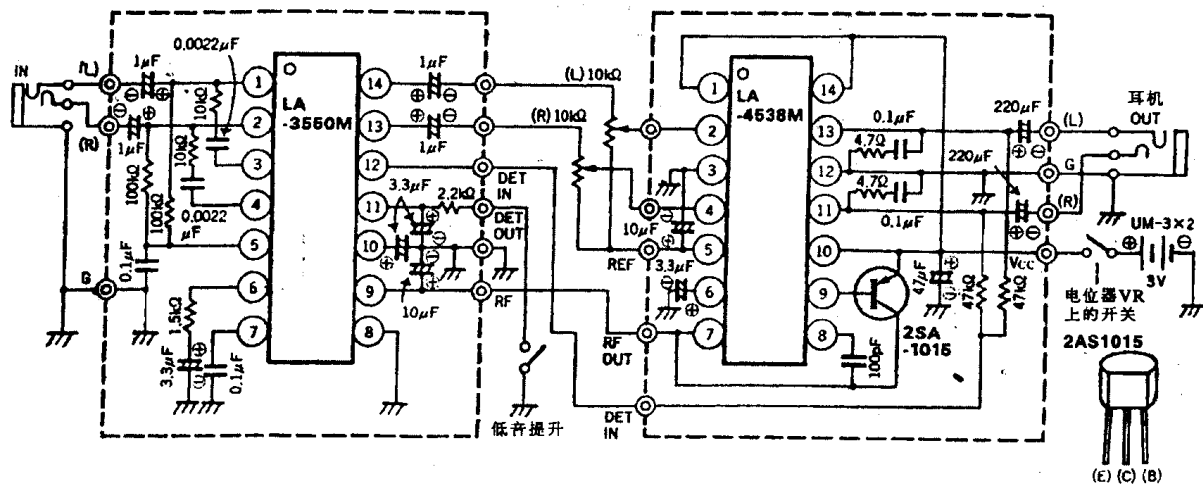


图2 电路图

表1 LA4538M和LA3550M性能指标

LA4538M 特点 (1)功耗低; (2)外接元件少; (3)内装电源开关功能 功率部分 (1)输出功率8mW($V_{CC}=1.5V$, $R_L=16\Omega$); (2)纹波抑制比46dB($V_{CC}=1.0V$); (3)内含静噪功能。 平滑滤波部分 (1)纹波抑制比39dB; (2)输出电压损失小; (3)利用引脚8实现静噪功能。 最大额定值($T_a=25^\circ C$) (1)最高电源电压4.5V; (2)最大输出电流5.0mA; (3)容许功耗300mW。 工作条件	(1)推荐工作电压1.5V; (2)工作电压范围0.9~4.0V; (3)推荐使用负荷16~32Ω。 LA3550M 特点 内部装有在5.5~23.5dB的可变低频域增益控制电路和输出信号检波电路,只要将耳机接于本电路输出端就可得到适于输出电平的重效果。 功能 (1)具有最大可达23.5dB的低频(30~50Hz)的重功能和6dB的高频加重功能; (2)内装有低频加重放大控制电路; (3)内装有输出信号检波电路。 工作条件 (1)推荐工作电压1.5V; (2)工作电压范围0.9~3.0V; (3)推荐使用负荷10kΩ。
--	---

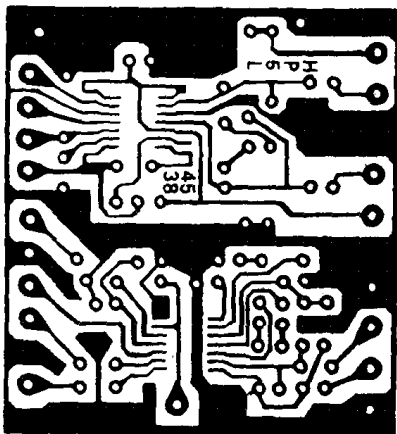


图3 实际的印刷电路板

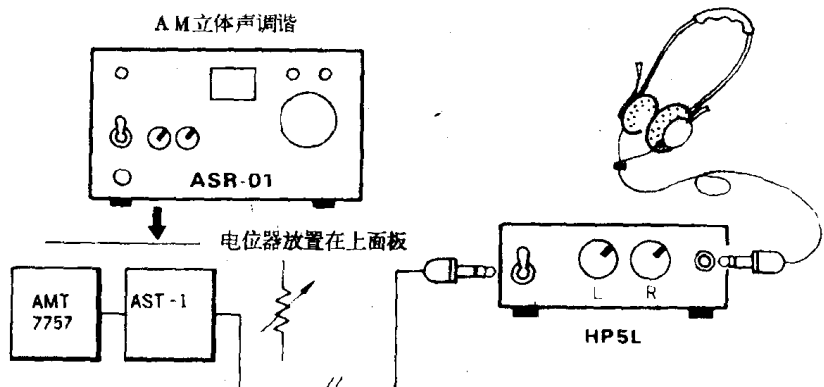


图4 使用时的接线

表2 部件表

名 称	型 号	数 量	名 称	型 号	数 量
加重功能部分			晶体管	2SA1015	1
集成电路	LA3550M	1	电容	100 μ F陶瓷电容	1
电容	0.0022 μ F陶瓷电容	2		0.1 μ F陶瓷电容	2
	0.1 μ F陶瓷电容	2		2.2 μ F锂电容	1
	1 μ F锂电容	4		10 μ F锂电容	1
	3.3 μ F锂电容	3		47 μ F电解	1
	10 μ F锂电容	1		100 μ F电解	2
1/8W电阻	1.5k Ω	1	1/4W电阻	4.7k Ω	2
	2.2k Ω	1		47k Ω	2
	10k Ω	2	电位器	10k Ω (带有开关	1
	100k Ω	2		0k Ω (不带开关	1
放大部分			LED	1k Ω	1
集成电路	LA4538M	1	电池	干电池	3

3. 大动态范围耳机放大器

收音机、电视机、录音机乃至CD唱机上一般都备有耳机插孔。然而从耳机插孔得到的声音并不理想，其原因是这些设备上使用的不是专用放大器。只有少数高级的CD唱机上备有专用的耳机放大器。

本文介绍如何简单地制作高性能耳机放大器。

耳机放大器的增益

作为放大器就应该有放大倍数，否则何必使用放大器呢？通过分析我们会得出更深刻的认识。

耳机的阻抗多为32 Ω ，当然也有阻抗更大的或稍小一些的，如100 Ω 和50 Ω 以及数十 Ω 的耳机。

耳机的另外一个参数是耳机的容许输入电平。一般的耳机为100mW，自然也有大于或小于100mW的耳机，平均起来还是这个数量级。表1给出了不同型号耳机的各种参数。

在这里我们以32 Ω 和100mW为计算依据。根据欧姆定律

$$P=V^2/R$$

则

$$V=\sqrt{P/R}=1.79V$$

然而CD唱机的输出电压有2V。若把这样的电压输入到耳机放大器则不需要再放大了，而且还因电压过高反而应该衰减。

对于FM调谐器或盒式磁带录音机，由于其输出电压很小则必须放大，否则无法推动耳机发声。

这里所介绍的放大器是无放大倍数(放大倍数为1)且无负反馈的放大器。电路图示于图1。

表1 耳机规格

型号	频率特性	灵敏度	最大允许输入电平	阻抗	重量
ATH-M9X	5~30000Hz	106dB/mW	1600mW	38Ω	330g
ATH-M7PROX	5~3000Hz	106dB/mW	1600mW	64Ω	224g
ATH-M6X	5~28000Hz	106dB/mW	1300mW	40Ω	210g
ATH-M5X	5~27000Hz	103dB/mW	1200mW	40Ω	182g
ATH-M4X	10~25000Hz	100dB/mW	1000mW	25Ω	139g
ATH-M3X	10~25000Hz	102dB/mW	1000mW	32Ω	140g
ATH-M2X	20~22000Hz	102dB/mW	1000mW	32Ω	115g
ATH-M5AV	5~25000Hz	100dB/mW	1000mW	40Ω	182g

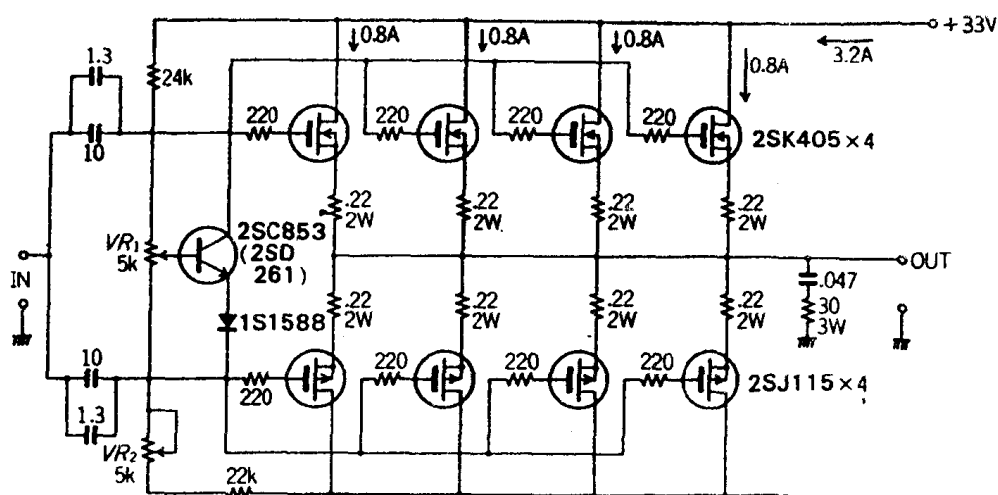


图1 无负反馈、无增益功率放大器

使用耳机放大器的必要性

若耳机放大器的增益为1，还有没有必要使用这个放大器呢？为什么一定要用这个放大器呢？下面我们就来说明其原因。

主要是CD唱机没有驱动32Ω这样低阻抗负荷的能力。关于这一点我们可用更通俗的语言加以解释，即CD唱机有输出电压但没有足够的电流。又如我们穿的衬衫经常产生静电，电压可达数万伏，但没有一个人是被这样的静电击死的。原因是电流太小，只有几毫安（人的心脏若流过18mA的电流就可能致死）。这样，即使使盒式磁带录音机或FM调谐器以及CD唱盘有足够的输出电压，但由于提供不出足够的电流还是推不动耳机。

电路及使用器件

本文所介绍的耳机放大器电路示于图2。其基本结构与图1没有根本的变化。在这里用中功率的MOS-FET场效应管作为SEPP单端推挽电路，当然也可以用晶体管，不过晶体管的温度系数为正，若不考虑温度上升所带来的问题很可能会损坏晶体管。从这一点上说FET具有良好的温度特性，当温度升高时电流反而下降，这样我们无需考虑怎样抑制温度对电流影响的问题，偏压电路仅用了一个 $3k\Omega$ 的VR1。

下面我们将对电路的工作过程及使用器件作一简要说明。

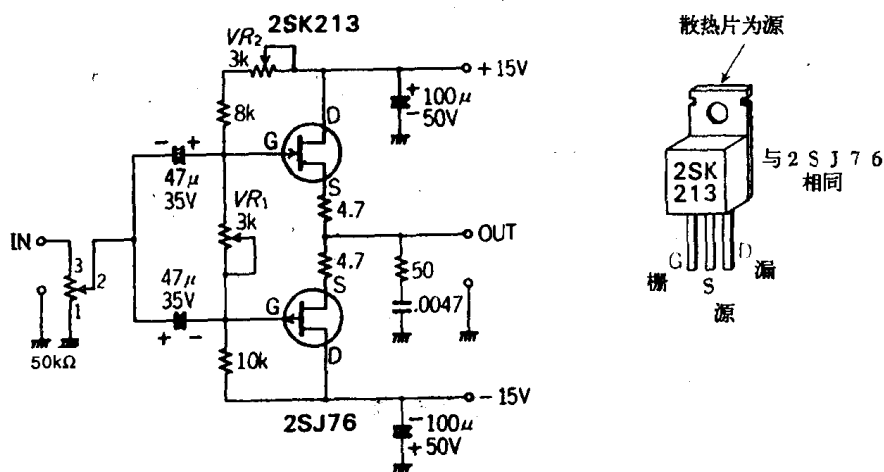


图2 电路图

如图2所示, 输入信号的电平由电位器来调节。电位器最好选用 $10\text{k}\Omega$ 到 $50\text{k}\Omega$ 这一阻值范围。如果太小, 则会使CD唱机等的负荷太大, 造成失真增加, 低频成分衰减太大。反之, 如果电位器阻值选得太大, 则电阻上的噪声增大, 频率特性变坏。图2使用了 $50\text{k}\Omega$ 的电位器。

耦合电容值为 $47\mu\text{F}$ ，该电容的作用是只能通过交流信号。电容值的选择范围为 $10\sim 47\mu\text{F}$ ，电容过小则低频部分被衰减，电容过大则有可能产生大的漏电。除此之外，电容要选用新的品质好的，否则会使电路工作不稳定或产生较大噪声。

VR2为半可变电阻，用于调整输出端的直流平。这里用的是 $3k\Omega$ 的半可变电阻，用 $5k\Omega$ 的也没什么关系。

VR1也为半可变电阻，用于调整偏压，用5k Ω 的也没有关系，但不能选用阻值太小的，因为阻值过于小则有可能调整不到所需要的数值。

场效应管源极所接的 4.7Ω 电阻是为了稳定漏极电流。这个电阻越大越稳定，但输出阻抗也越大，因而使输出变小，一般取 $1\sim 4.7\Omega$ 较为合适。

50Ω和0.047μF的电路是为提高稳定性，所选取电阻和电容的最佳值为：电阻47~100Ω左右，电容0.0022~0.0068μF。

在FET场效应管的漏极所接的 $100\mu\text{F}$ 电容也是为了提高稳定性，一般选取 $47\sim 100\mu\text{F}$ 的电容。

电源采用了图3所示的三端稳压器。变压器可根据电路的消耗功率自行选择，输出电流不要小于0.3A，输出电压为15V，而且要有中心抽头可组成桥式全波整流方式。

三端稳压器78M15的输出为+15V，79M15的输出为-15V。三端稳压器输出端所接的电容应选高频特性好的钽电容。综上所述，所用器件可归纳于表2。

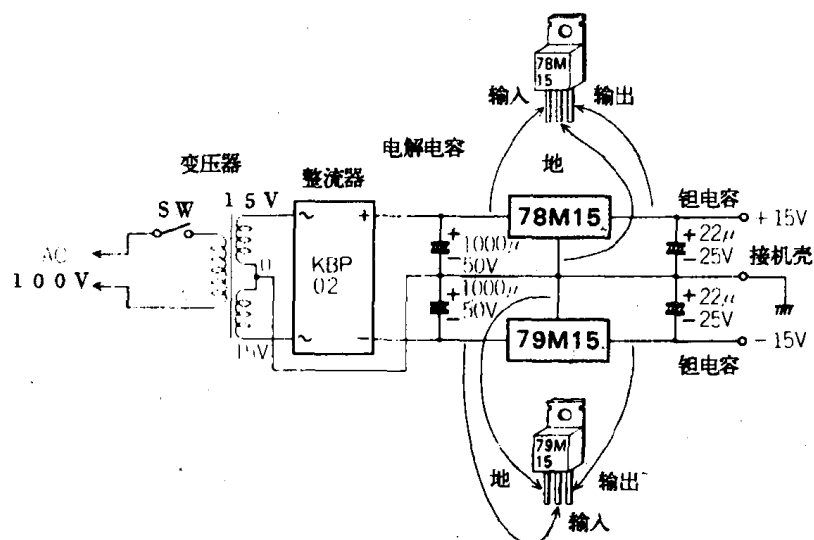


图3 电源

表2 器件表

品名	规格	品名	规格
变压器	220V:2×15V	钽电容	22μF/25V
整流器	KBP02	电位器	50kΩ两联
电解电容	1000μF/50V	电阻(1/2W碳膜)	4.7Ω, 50Ω, 8kΩ, 10kΩ
	100μF/50V	半可变电阻	3kΩ
	47μF/50V	聚酯树脂电容	0.0047μF
三端稳压器	78M15	MOS-FET	2SJ213
	79M15		2SJ76

制作与调整

在使用元器件较多的情况下，最好使用印刷电路板，这样做的成功率较高。在这里我们使用的是网孔板。连接部件的布线一定要认真检查、确保无误。

在调整时，先测量输出端和地之间的直流电压，调节VR2使得电压为0V。若得不到0V电压则一定存在故障。这时先断开电源后再进行检查。有的故障可能在瞬间就会损坏FET或三端稳压器等半导体器件，所以一定要十分小心。如果没有问题则可进一步调节VR1，使两个FET源极间的电压为188mV。这样漏极电流为 $188\text{mV}/9.4\Omega=20\text{mA}$ 。对VR1和VR2要反复交替调整。

漏极电流设定为20mA，在这个值附近FET的温度系数为零。然而FET的性能总会有一些差别的。为此在接通电源并经过长时间观测后，若漏极电流不变，则先取此时的电流值。

对于我们所制作的放大器来说，当接通电源后输出端的直流电压约为15mV，约1分钟后变为数mV，此后则从0V为中心稍许有些变动，表现了良好的稳定性。而且漏电流也随着温度的上升而变化，而若低于20mA则几乎不发生变化。

检测及试听

因为电源电压为 $\pm 15V$ ，所以最高输出电压约为9V左右，失真在0.01%以下，频率特性为：到100kHz完全是平坦的，到600kHz为-1dB，到900kHz为-3dB。

试听的结果表明效果非常好，不过输出音量与耳机阻抗有关，对于一般使用 32Ω 的耳机没有任何问题。

在我们的制作中由于电位器选得不好，从耳机中可以听到些噪音，不过在放有音乐时噪音被淹没而听不到。所以在选用电位器时一定要选用噪声小的音响专用电位器。

4. 耳机甲类放大器

采用本文所介绍的甲类放大器，可获得最好的高保真效果。

在日常生活中，当其他家庭成员正在看电视，或者别人正在睡觉不能打扰时，你就无法去欣赏那优美的音乐。在这种情况下就需要考虑本文将介绍的放大器，虽然电路很简单，但其高保真效果却超过了商店里的标准功率放大器，利用调谐器和录音机机芯，就可以安装出一个高质量的音响系统，而价格却较低。

设计思路

在详细介绍电路之前，先谈谈设计思路，并解释一下怎样才能达到甲类性能，而大多数的立体声功率放大器都采用乙类。

我们知道，一般放大器的输出级由二支路组成：一支路处理负极性（负半波）输出信号，另一支路处理正极性（正半波）输出信号。这样可使静态电流值很小，但要驱动扬声器又必须使电压和电流具有较大的振幅。

遗憾的是，这些放大器都有一定的失真，叫做交叉失真。它出现在输出信号的零交叉点或者在该点附近。如果电路的这两支路不完全匹配，则往往会出现交叉失真，这种失真使得利用耳机听节目的效果非常差。

将耳机的插座接在主放大器输出端的话，还产生的另一个问题是：需要在耳机和输出级之间串联一些电阻，用来减小信号电平。这样一来将改变原负反馈特性，由此通常使得低音响应产生一个高峰，并伴有低于该峰值频率的快速滚降。

总之，要想生产出一种能成功地驱动耳机并获得最好音质的放大器，需要解决以上两个问题。

要成功地设计任何一种音频设备，首先第一步要弄清所设计的是什么设备，并由此决定其电路。十年前，大多数耳机阻抗都是 8Ω ，而现在，绝大部分都使用了聚酯膜振动膜，阻抗通常为 32Ω 。

如果你去几个高保真用品商店转转，就会发现大多数商品(包括阻抗为 8Ω 的那一类)的灵敏度为 $87\text{dB}\sim 96\text{dB}/\text{mW}$ ，最大输入功率近于 $100\text{mW}/\text{每路}$ 。通过对10副耳机加装这种放大器后进行的测试发现：大部分耳机都可以在输入功率为 10mW 的情况下输出足够音量。

甲类功放

对输出功率而言，放大器同样需要低失真、低噪音、频响宽，以适应高保真设备的要求。避免交叉失真，输出级必须为甲类放大器。

现在来谈谈普通的小信号A类晶体管放大级。为保证信号的最大动态范围，集电极电压应为有效电源电压值的一半，该级的电流消耗决定于集电极所联负载电阻值的大小。在功率放大器中，负载通常是一个 8Ω 的扬声器。

本文不想再去介绍功率放大器的原理，只想说明一下：放大器输出级的消耗功率应为负载吸收功率的二倍，因此，一个 50W 的甲类功放正常工作时需要一个大型散热片和电源变压器，当然这种放大器可以买到，但其价格相当昂贵。

耳 机

现在再返回来看看耳机。为一副 32Ω 的耳机提供 10mW 功率需要 560mWr.m.s 电压动态范围和 25mA 的电流消耗，所以，只要在输出级采用小信号晶体管就可以实现。但实际上，放大器的最大输出功率正好超过了 100mW ，在放大器输出最高电平之前，耳机就已开始出现失真。

为了使输出级能正常工作，笔者试用了几种电路，最后选择了运算放大器作为驱动器(其输出级为甲类)。通过对这种耳机甲类放大器进行总谐波失真(THD)及带宽测试，结果如下：

THD $<0.005\%$ (1kHz)

频率响应： $2.5\text{Hz}\sim 100\text{kHz}(-3\text{dB})$

信噪比： -90dB

最大输出： $120\text{mW}/32\Omega$

电路原理

电路图见图1，耳机右路元件的标号是在左路元件标号的基础上加100，例如右路的R1写成R101，C2写成C102等等。