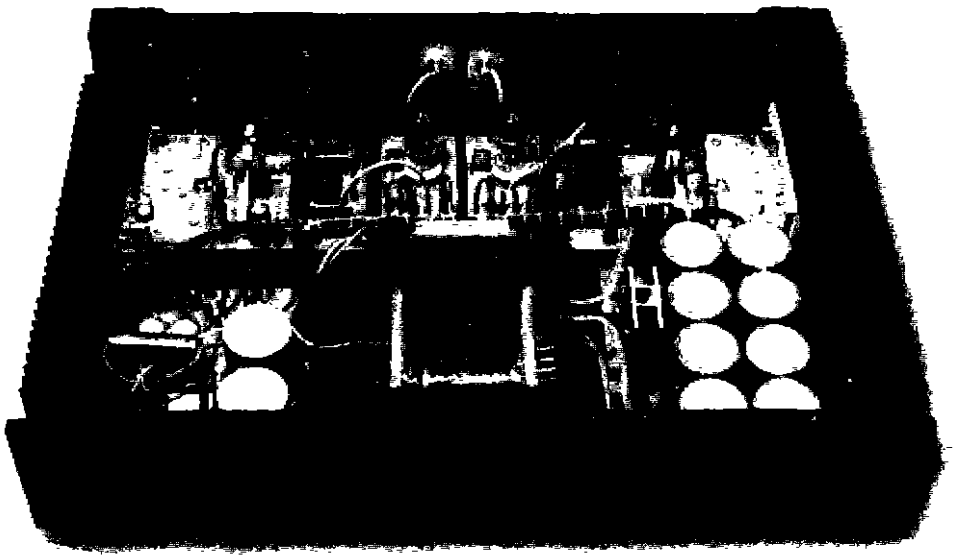
维普资讯 http://www.cqvip.com

胆石混合中功率功放



□江伟

尽管人们对音频放大器用“胆”(电子管)好还是用“石”(晶体管)好至今仍然存在分歧,但通过多年来的争论，在某些方面已达成共识。例如，大家都承认“胆”与“石”特性不同,各有各的优点和缺点，人们完全可以根据自己的听音爱好加以选择，不必为此多费口舌、强求一致;就技术特长而言，电子管更擅长电压放大，晶体管则更擅长电流放大。因此，本功放将电子管用于电压放大级，而对电流较大的输出级则使用中功率 MOS 场效应晶体管,以发挥胆、石各自的特长,达到优势互补的目的。本电路力求简洁，整个信号通路只有一只电子管和两只晶体管。由于输入阻抗高，来自 CD 机等音源的线路电平输出信号可通过一只 47kΩ～100kΩ 立体声电位器直接接到本功放输入端。本功放不仅音质好，而且省去了胆机常用的输出变压器,制作更简单,成本更低廉。主要性能如下：

输入灵敏度（满功率驱动）：900mV

输入阻抗：100kΩ

输出功率（1kHz 正弦波满功率驱动 4Ω 负载）：62.5W

增益(1kHz)：25dB

阻尼系数(1kHz)：3.2

频率响应:10Hz 0dB

100kHz －1.7dB

一、电路

1. 电压放大级

如图 1 所示，电压放大级由接成串联调节式推挽（SRPP）电路的双三极电子管 PCC88 担任。输入信号以直流方式经 R2 耦合到 PCC88 其中一个三极管的栅极。输入阻抗由 R1 决定,其值为 100kΩ。SRPP 电路可提供较高的增益和优良的性能，PCC88 则具有较高的跨导值，而所需的阳极电压较低，仅为 130～140V，其最佳值是 138V,但不得高于 150V。每只 PCC88 的灯丝电压是 7V,灯丝电流 300mA。由于左、右通道两

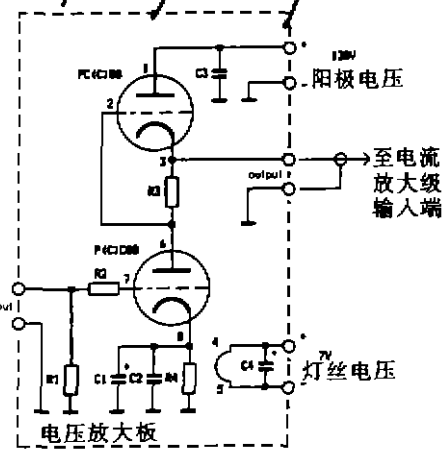


图 1

维普资讯 http://www.cqvip.com

只PC88的灯丝串联，故灯丝的电源电压是14V，钽电容器C4（10μF/35V）对灯丝连接线起退耦作用。聚酯电容器C3(0.047μF/250V)对另一只三极管的阳极起退耦使用。

2. 电流放大级

图2是电流放大级电路图。两只MOSFET T4(2SK176或2SK175)和T5(2SJ256或2SJ55)接成源极跟随器，具有很高的输入阻抗。如果电源电压改用±30V并需要输出50W功率，则T4、T5分别使用IRF530/IRF9530和IRF540/IRF9540(International Rectifier公司产品)可取得很好效果。

输入耦合电容器C1和C2是1.5μF/250金属化聚丙烯(MKT)型，它们各并联有一只4.7μF/160V的聚酯电容器C3和C4。当放大器不工作时，这几只电容器经电阻R1～R3和继电器Rel的接触点被接地。当接通电源时，由于电源延迟电路的作用，Rel要延迟约20秒钟才吸合(见电源电路一节)，此时C1～C4已充电完毕，故不会引起输出电压跳变。

来自电压放大级的音频信号经输入电容器和R18、R19分别加到T4、T5的栅极。晶体管T2、T3等组成恒流源，为T4、T5提供栅偏压，以保证两只MOSFET工作点的稳定性。电位器P2用来调节两管栅偏压的对称性，P1则用来调节它们的静态电流。D5、D7和D6、D8分别组成的两只MOSFET的栅极钳位电路，以防止它们因栅极电压过高而损坏。

注意，栅极电阻R18和R19的阻值不相等，这是由于N沟道与P沟道MOSFET的输入电容存在差异而采取的补偿措施。这两只电阻不装在电路板上，而必须直接焊在相应MOSFET的栅极上。

源极电阻R20、R21和R22、R23均为0.47Ω/5W电阻，可以各用一只0.25Ω/10W电阻代替，并把它们分别装在电路板上R20和R22的位置。

接在输出端的电感L1用∅1.0mm漆包线在∅10mm钻头上密绕20圈，然后脱胎并把它罩在电阻R24的外面。R25与C11组成波切洛特滤波器，使放大器在高频下保持稳定。

3. 电源电路

电源电路由图3所示的软启动板、电源变压器Tr－1、电源板1、电源板2和图4所示的灯丝电压板等五部分组成。

软启动板的电路位于电源变压器Tr－1之前，其作用是在刚一接通电源的几秒钟内给电源变压器Tr－1的初级电路串联一只限流电阻R6(100Ω/1W)，以免启动电流过大而烧断电源保险丝。市电电压经R1、R2、C1～C3降压、D1～D4桥式整流后，由R4和齐纳二极管D5(15V/1W)稳压成15V直流电压，为晶体管T1和继电器Rel等组成的软启动电路供电。关断电源时，R3为C1～C3提供放电通路。

刚一接通电源时，C5通过R5开始充电，T1截止，Rel不工作，R6接入电源变压器初级电路起限流作用。约2秒钟后，C5两端电压升高到足以使T1导通的程度，T1即导通并使Rel吸合。于是，R6被继电器接触短路，软启动结束，电路进入正常供电状态。

电源变压器Tr1具有2×30V和1×22V共三个次级绕组。2×30V的次级电压经G1全波整流和C1～C8滤波后，为左、右通道电流放大级提供±42V的电源电压。

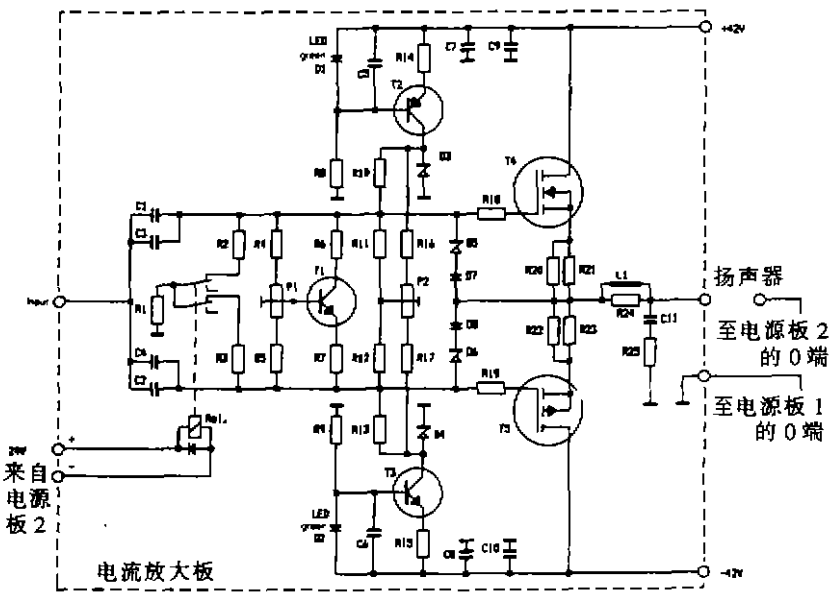


图2

维普资讯 http://www.cqvip.com

Tr1 的 22V 次级电压分成两路：一路由变压器 Tr2 升压至 130V 左右，再经 D4～D7 整流，R11～R13 和 C9～C11 滤波后，为左、右通道电压放大级提供 138V 的阳极电压；另一路经 G1 整流、C3 和 C4 滤波后为灯丝电压板和延迟电路供电。

晶体管 T1～T4 及其周边元件组成电源延迟电路。其中，T1 与 T2 组成斯密特触发器。接通电源时，C1 开始通过 R1 充电，其两端电压逐渐升高。

约 20 秒钟后，C1 两端电压升高至 10V 左右，使齐纳二极管 D3 导通，斯密特触发器即改变状态。于是，T2 导通，使电流放大板上的继电器 Rel(见图 2)吸合，电压放大级的输出电压即加到电流放大级的输入端。

晶体管 T3 和 T4 用来驱动双色发光二极管，使它指示延迟电路的工作状态。开始接通电源时，T2 截止，其发射极和 T3、T4 的基极处于高电位，使 T3 导通而 T4 截止。于是，双色发光二极管中的红色 LED 点亮，表示放大器正在进行延迟启动，约 20 秒后，斯密特触发器翻转，T3 截止而 T4 导通，使双色发光二极管的红色 LED 熄灭而绿色 LED 点亮，表示电路启动完毕，进入正常工作状态。当关断电源时，C1 通过 D1 放电，延迟电路又做好下次启动的准备。R9、R10 和 C2 起电源退耦

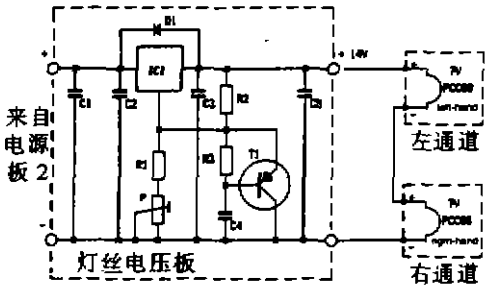


图 4

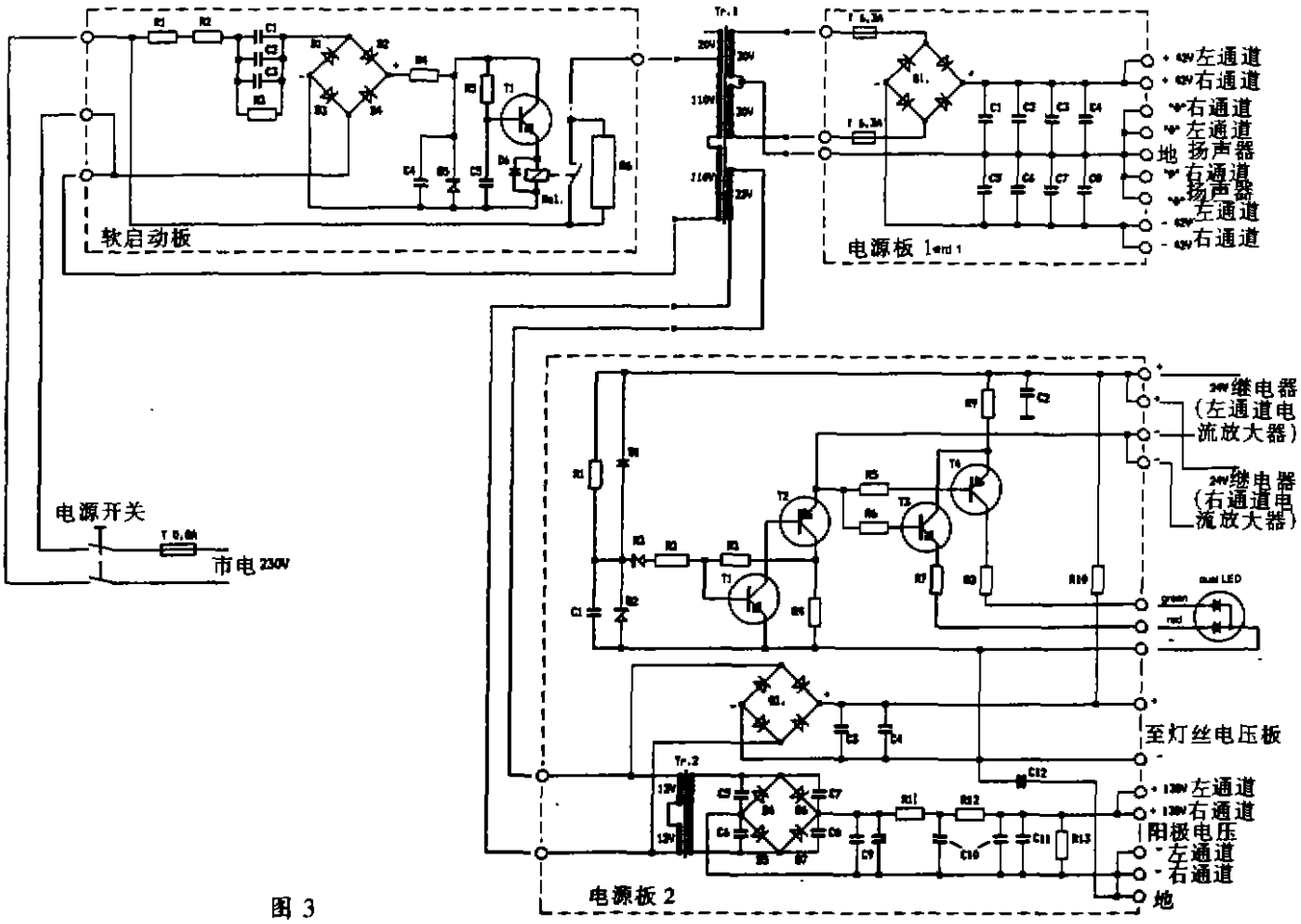


图 3

维普资讯 http://www.cqvip.com

的作用。

为了减少灯丝电路可能感染的交流声，未经稳压的24V灯丝供电电路的负线不是直接接地，而是通过C12接地。该24V直流电压接到灯丝电压板上的三端稳压器IC1(LM317)的输入端(见图4)。经IC1稳压后，为左、右通道两只PCC88的串联灯丝提供14V供电电压。晶体管T1的作用是使灯丝电压在接通电源时逐渐增大到稳压值。该稳压器IC应装在小型散热器上。

二、制作

本立体声功放总共使用7块印制电路板，即2块电压放大板、2块电流放大板（左、右通道各1块），再加软启动板，电源电路板2和灯丝电压板各1块（电源电路板1的元件和变压器Tr1)可直接装在机箱底板上)。各电路板的印板和元件装配图见图5～图9，它们的元件清单见附录。

各电路板用适当的印制板连接器来实现连接，电源板和电流放大板的连接器插钉直径为6.3mm，其余插钉直径为1.3mm。所有电路板的负线不得随意接地，而只应在机壳上进行一点接地，以避免因构成地线环路而产生交流声。

电压放大级的输入和输出端必须用单芯屏蔽电缆来连接，其屏蔽层只应在电压放大板上接地，而不应在电流放大板上接地。

电流放大板上的两只MOSFET和T1应用螺杆、绝缘衬筒和

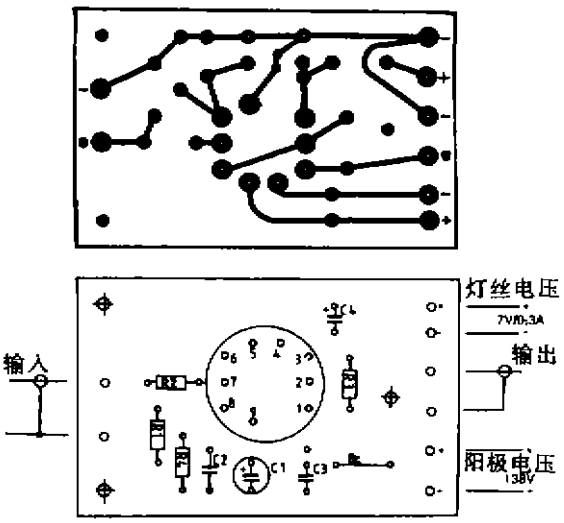


图5

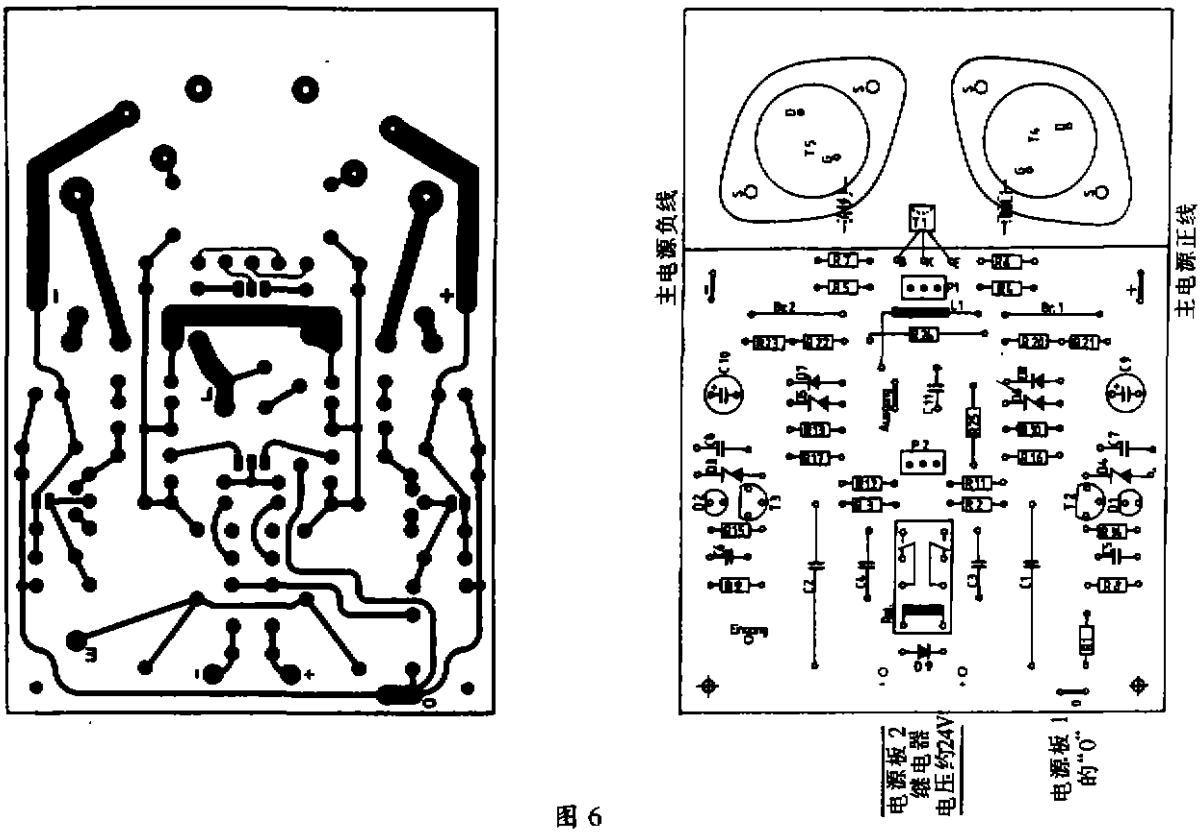


图6

维普资讯 http://www.cqvip.com

垫片装在连接电路板和散热器的铝质支架上，使它们与支架保持绝缘，并在接合面涂以足够的导热硅脂。

三、调试

在接通电源之前，将电流放大板上的电位器 P1 和 P2 置于行程的中央位置，并将灯丝电压板上的电位器 P 置于阻值最小位置。给电流放大板的电源线临时串入一只 10Ω/1W 的电阻，并使放大器的输出端保持开路。

接通电源，用灯丝电压板上的电位器 P 把灯丝供电电压调到 14V。由于两只 PCC88 的灯丝是串联供电，故最好是在灯丝加热约 10 分钟后把灯丝电流准备地调到 300mA。

然后，将数字式电压表接到串联的 10Ω 电阻两端，调节 P1 使其读数 1V，即相当于 100mA 的静态电流。再将数字式电压表接到本功放的输出端与地之间，调节 P2 使其读数为 0mV。

关断电源，再去掉临时串联的 10Ω 电阻。将数字式电压表跨接在 R20 或 R22 两端，再次接通电源，调节 P1 使电压表读数为 230～250mV。然后，让放大器通电几小时，再次检查该电压。最后，将数字式电压表跨接在输出端，再次检查其读数应为 0mV。必要时，微调 P1 和 P2，以达到上述两项要求。

（参考资料：EE，EXTRA，1997 年 9 月号）

附录：元件清单

一、电压放大板

R1 = 100kΩ；R2 = 1kΩ；R3、R4 = 510Ω；C1 = 470μF/16V；C2 = 0.68μF/63V；C3 = 0.047μF/250V；C4 = 10μF/35V 钽电容；PCC88 双三极管 1 只；电路板安装式电子管插座 1 只。

二、电流放大板

R1～R3 = 160Ω；R4 = 680Ω；R5、R16、R17 = 750kΩ；R6 = 10Ω；R7 = 22kΩ；R8、R9 = 10kΩ；R10、R13 = 820kΩ；R11、R12 = 180kΩ；R14、R15 = 220Ω；R18 = 680Ω；R19 = 510Ω；R20～R23 = 0.47Ω/5W；R24 = 5.1Ω/1W；R25 = 10Ω/1W；P1、P2 = 250kΩ 电位器；C1、C2 = 1.5μF/250V 金属化聚丙烯（MKP）；C3、C4 = 4.7μF/160V 金属化聚酯（MKT）；C5、C6 = 0.68μF/63V；C7、C8 = 0.22μF/100V；C9、C10 = 330μF/63V；C11 = 0.022μF/100V；D1、D2 = 5mm 绿色 LED；D3、D4 = 15V/1W 齐纳二极管；D5、D6 = 12V/500mW 齐纳二极管；D7、D8 = 1N4148；T1 = 2SC1775；T2 = BC560；T3 = BC550；T4 = 2SK76 或 2SK175；T5 = 2SJ56 或 2SJ55；L1 = 见正文；Rel = 24V 小型继电器，2 接触点，线圈电阻 1400Ω。

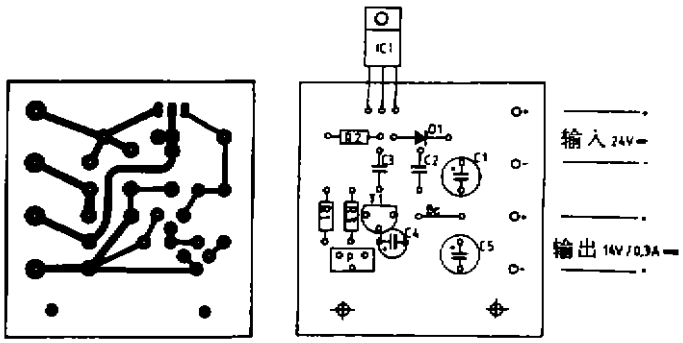


图 8

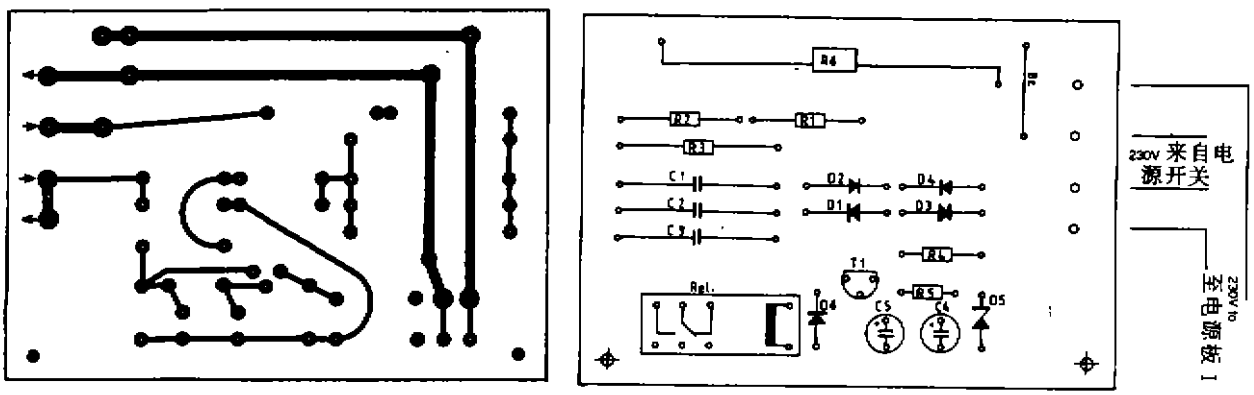


图 7

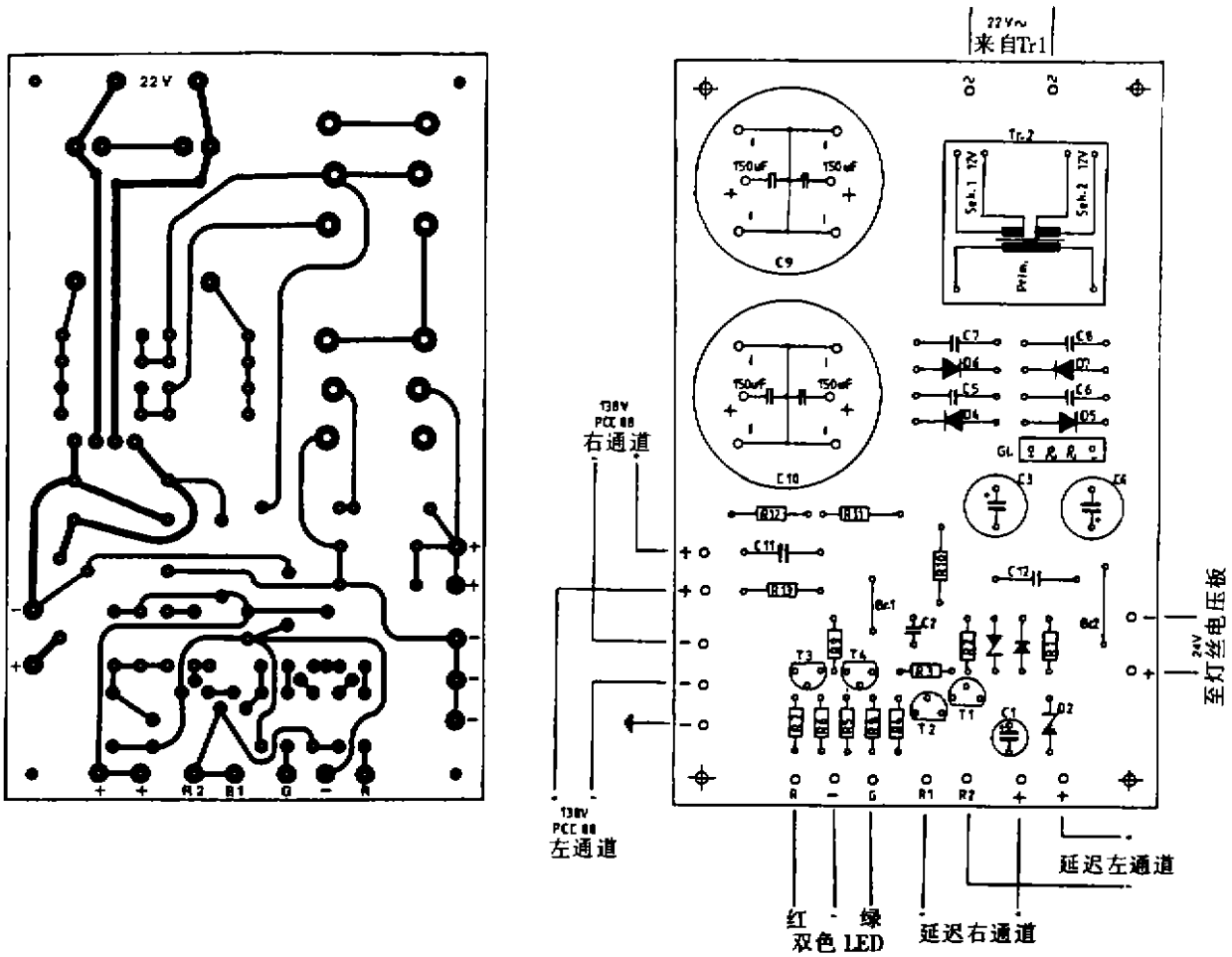


图 9

三、软启动板

R1、R4 = 120Ω/ W；R2 = 150Ω/ 1W；R3 = 1MΩ/ 1W；R5 = 10kΩ；R6 = 100Ω/ 11W；C1 = 0. 1μF/ 250Vac；C2、C3 = 0. 33μF/ 250V；C4 = 470μF/ 16V；C5 = 100μF/ 16V；D1 ~ D4 = 1N4007；D5 = 15V/ 1W 齐纳二极管；D6 = 1N4148；T1 = BC550；Rel = 12V 继电器，1 接触点，额定电流 16A。

四、电源板

R1 = 330kΩ；R2、R3、R5、R6 = 100kΩ；R4 = 10Ω；R7、R8 = 1. 3kΩ；R9 = 100Ω；R10 = 220Ω/1W；R11、R12 = 1kΩ/ 1W；R13 = 220kΩ/ 1W；C1 = 100μF/ 16V；C2 = 100μF/ 35V；C3、C4 = 2200μF/ 40V；C5 ~ C8 = 0. 01μF/ 250V；C9、C10 = 150μF/ 350V；C11、C12 = 0. 33μF/ 250V；D1 = 1N4148；D2 = 12V/500mW 齐纳二极管；D3 = 10V/500mW 齐纳二极管；D4 ~ D7 = 1N4007；G1 = B40C1500/ 1000；T1、T3 = BC550；T2、T4 = BC560；Tr2 = 初级 130V，次级 2 × 12V，额定电流 150mA 变压器。

五、灯丝电压板

R1 = 2. 2kΩ；R2 = 270Ω；R3 = 150kΩ；P = 1kΩ 微调电位器；C1 = 47μF/350V；C2、C3 = 0. 1μF/ 100V；C4 = 4. 7/16V；C5 = 470μF/ 16V；D1 = 1N4148；T1 = BC560；IC1 = LM317。

◇