

使用 LM3875T 设计功放实例 谈参加音响器件应用制作大奖赛

广东工学院 邵 峰

由电子工业部电视电声研究所主办的美国国家半导体有限公司音响器件应用制作大奖赛已圆满结束,笔者有幸参加了这次活动并取得了较好成绩。下面就这次参赛样机的制作情况和体会介绍给读者供参考。

一、整机安排考虑

本次比赛推荐提供六套配置方案,其中还有数字控制、遥控等集成电路。考虑到自己的实际情况,不具备良好的测试和制作设备,特别是当电路复杂时,缺少测试设备就不太容易进行整机调试,也就很难实现较高的整机性能指标。因此,选用了第一套配置方案。

针对本次比赛的要求,在电路设计、制作上下功夫,尽量体现器件的原设计指标,就可达到高保真的要求。

因器件全部是集成电路,线路基本固定,所以,需要考虑如何进行整机的配置。目前,普通电唱机在市场上已很少见到,而制作一个高品质的 RIAA 唱机前置放大器并不是一件容易的事。现在大多数使用的音源为激光唱机、调谐器、录音座等来说只需要一个平直的放大器来匹配讯源与后级间的阻抗。LM3875 电路的灵敏度较高,CD 机输出电压可高达 2V,LM833N 的主要作用是阻抗匹配,放大是其次的。

主放大器部分,选用 LM3875T 做成标准的 OCL 放大器形式,本部分电路的重点是接地方式,在元件的选取上尽量能满足 LM3875T 指标的要求。

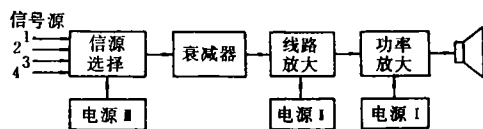


图 1

电源是电子设备的动力来源,一部效果良电声技术 10/1994

好的音频功率放大器,在很大程度上取决于它的供电系统。

整机框图见图 1。

二、电路设计

1. 前级放大部分

前级放大部分选用 LM833N,该电路性能价格比是比较高的。从指标参数上看,与同样多用音频线路的 NE5532N 相比,除了转换速率稍逊外(其实已达 $7V/\mu s$,并不低),其余性能均优于后者。输入噪声电压密度只有 $4.5nV/Hz$,确保了整机的高信噪比;LM833N 的 15MHz 增益带宽使电路的频响能够平坦、宽阔;LM833N 的转换速率与 LM3875 相配合不会发生因速度上不匹配而引发互调失真问题。

这部分电路如图 2 所示。

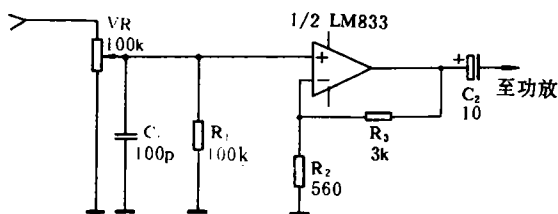


图 2

在这里将运算放大器接成低噪声、高输入阻抗的同相放大形式,其实是作为一个缓冲放大器。放大倍数的选取非常重要,通常的办法是将该部分电路做成 20dB 的平直放大形式,但在这里并不太合适,因为 LM3875 的输入灵敏度在 1V 左右,普通信源输出电压约 200mV,经过十倍的放大后将超过 2V,可能使后级的 LM3875 输入级过载造成失真,另外,噪声也会增大很多,对整机是很不利的。因此,要降低线路放大的电压增益,经试验确定增益在 14~15dB 较合适,既能取得足够的功率输出,又可降低噪声。为使运放稳定的工作,反馈网络电阻

的阻值与一般取值有所不同,反相端到地电阻选择为 560Ω,若 R_3 取值 3kΩ,则电压增益:

$$A_v = 1 + \frac{R_3}{R_2} = 1 + \frac{3000}{560} = 6.357$$

$$A_v = 20 \lg 6.357 \approx 16 \text{dB}$$

LM833N 有内部补偿,有足够的稳定裕度,故反馈网络中只含电阻,不用添加补偿电容。

为使输入端得到适当的偏置电流,又不导致输入阻抗下降太多,输入端对地接一只 100kΩ 电阻,并联 C_1 是为防止高频干扰信号的串入。

最后在输出端接一只为保证安全而设的高质量的电解电容,实际上 LM833N 输出端的零电位已很稳定。本线路放大器遵循“简洁致上”的原则。

2. 主功率放大器部分

LM3875 电路体积做得很小,拥有很强的多种保护电路,使用很方便。电路的失真度很低,在 40W 输出、频率范围在(20Hz~20kHz)时只有 0.05%,而一般厚膜功放在同样使用条件,输出功率 1W 时就已达 0.02%, (如 STK4893),功率增大时失真会更高。

LM3875 的频带相当宽, -3dB 点可达 120kHz~140kHz 左右,这对整机的技术指标和实际听感起很大的作用。

以下详细介绍主功放部分的设计,其电路如图 3 所示。

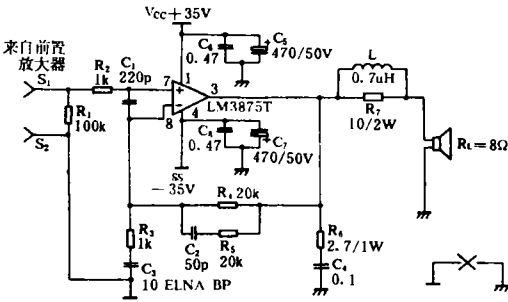


图 3

(1) 供电电压电流和功率的确定

从器件的典型特性曲线上看,供电电压的确定与负载阻抗、最大耗散功率、最大输出功率有关。现在多数音箱的阻抗正常值为 8Ω,最低

跌至 6Ω,从功率与负载阻抗曲线上看,在±35V 供电时,在 6~8Ω 范围内可输出超过 55W 的有效功率,而此时在全音频带内 THD+N 还不超过 0.08%。从耗散功率与输出功率关系曲线上可见, $R_L=8\Omega$, $V_s=\pm 35V$,输出功率为 30W 时,耗散功率不超过 35W。从输出功率与供电电压关系曲线上发现,在低负载阻抗 ($R_L=4\Omega$) 时,供电电压超过±28V 时输出功率急剧下降, $R_L=6\Omega$ 时也有同样情形。只有 $R_L=8\Omega$ 时输出功率可达 55W,此时供电电压±35V。这可能与 LM3875T 内部有专利 Spike 电路限制输出电流有关。虽然 LM3875T 可用于±42V 的工作条件下,但供电电压过高时,由于电路的过压保护影响,可能会导致输出波形失真,如图 4 所示。

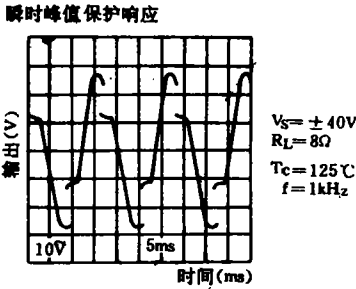


图 4

本功放确定额定负载为 8Ω,要求输出功率 $P_0=40W$ 时,输出电压摆幅为:

$$V_{o\ peak} = \sqrt{2R_L P_0} = 25.3V$$

$$I_{o\ peak} = \sqrt{2P_0 / R_L} = 3.16A$$

根据 NSC 应用提示,供电电压由下式决定:

$$V_s = \pm (V_{o\ peak} + V_{od}) (1 + \text{Regulation})$$

其中 V_{od} 为开断电压,对于 LM3875T 来说是 5V, Regulation 是电压调整率、取 10%~15%。

$$V_s = \pm (25.3 + 5) (1 + 0.1) \approx \pm 33.3V$$

综合以上几项因素,本功放电源电压选定为±35V,亦即交流电压为 $35/\sqrt{2} = 24V$,双 24V。(桥式整流时)。这样当交流输入有+10%的波动时,直流电压只上升到±37V,散热良好时问题不大。

求最大耗散功率,为确定散热器热阻留下

电声技术 10/1994

依据:

$$P_{Dmax} = V_{cc}^2 / 2\pi^2 R_L = 70^2 / 16\pi^2 \approx 31W$$

(2) 散热片尺寸的确定

作为一部大功率的集成电路放大器,选择一个合适的散热器,使其在正常工作状态下,温度保护电路不致于动作十分重要。尤其对于 LM3875T,因其具有较完善的温度保护电路,当散热器设计不合要求时,将会导致保护电路频繁动作,达不到设计要求。

一般情况散热器热阻由下式决定:

$$\theta_{SA} = [(T_{jmax} - T_{Amb}) - P_{Dmax}(\theta_{jc} + \theta_{cs})] / P_{Dmax}$$

其中 T_{jmax} 为 LM3875T 最高结温, NSC 给出为 150°C ; T_{Amb} 为工作环境温度, 在南方平均气温较高的夏天, 可定为 30°C ; P_{Dmax} 已计算出为 $31W$; θ_{jc} 为结壳热阻, NSC 给出为 1°C/W ; θ_{cs} 为壳到散热器热阻, 使用硅脂之类导热材料时可取 0.2°C/W 。若使用云母之类绝缘材料可使散热器不带负电位, 但此时热阻会上升到 0.4°C/W 或更高, 在本机中不使用云母片绝缘, 而采取把散热器与机壳绝缘方式, θ_{cs} 可取 0.2°C/W 。
 $\theta_{SA} = [(150-30)-31(1+0.2)]/31 = 2.67^\circ\text{C/W}$

这也可以从 NSC 提供的最大耗散功率——电源电压——不同环境温度下最大热阻曲线图表上大致查到(图 5)。按此热阻查平板散热器曲线图得, 使用厚度大于 1.5mm , 面积大于 500cm^2 的散热器可满足要求。本机是两只 LM3875T 共用一只热管散热器, 共有厚度 1.0mm , $8\text{cm} \times 8\text{cm}$ 的铝片 16 片, 总面积 1024cm^2 , 垂直安装。并且热管散热效率比一般铝散热器高, 可保证工作时有足够的散热条件。

(3) 主功放电路各元件的确定

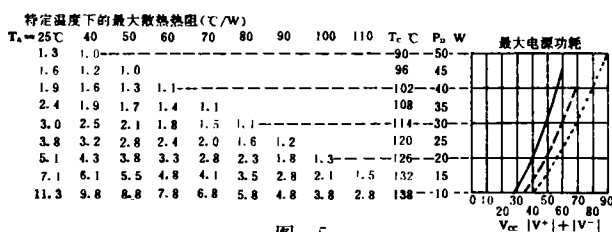


图 5

在图 3 电路中, 输入端到地之间 $100\text{k}\Omega$ 的电阻决定了输入阻抗 R_{in} , 同时加一定偏置电流。此电阻阻值不宜过大, 否则会使输出端零电

位失调, 提高对线路板设计的要求。

输入灵敏度预定不大于 $1V$, 故电压增益:

$$A_v = \frac{V_{orms}}{V_{irms}} = \frac{\sqrt{P_o R_L}}{V_{in}} = \frac{\sqrt{40 \times 8}}{1} = 18$$

反馈网络电阻 NSC 建议 R_4 取值 $10 \sim 100\text{k}\Omega$, 为使功放稳定工作, 取 $R_4 = 20\text{k}\Omega$, LM3875T 接成标准同相放大形式, 当 R_3 取 1k 时,

$$A_v = \frac{R_4}{R_3} + 1 = 21$$

此时, $V_{irms} = \frac{V_{orms}}{A_v} = \frac{\sqrt{40 \times 8}}{21} \approx 0.852$
 $= 852\text{mV}$

故输入灵敏度设定为 852mV ,

$$A_v = 20\lg 21 = 26\text{dB}$$

增益设定后, 由 LM3875T 最小的增益带宽积 (GBWP), 可计算本功放之带宽:

$$f_{3dB} = \text{GBWP}_{\min} / A_v = 2.0\text{MHz} / 21 = 95\text{kHz}$$

这样宽的带宽可保证中高音的谐波亦可正确反映出来, 听起来更加明亮、清澈, 而低频亦可延伸到低于 20Hz 。

LM3875T 正反相输入端之间的 220pF 电容是为了防止高频自激和抑制外界开关电磁干扰用的。

C_3 为反馈电容, 由下式决定:

$C_3 = 1 / (2\pi f_i R_3)$ 当 C_3 取 $10\mu\text{F}$ 时, 低频可达 16Hz 。

C_2, R_5 为高频反馈阻容网络, 数值为 50pF 和 $20\text{k}\Omega$ 。

C_4, R_6 为防止输出高频自激, 构成一个极点 $f_c = 1 / (2\pi R_6 C_4)$ 。同时亦充当扬声器阻抗补偿网络。 $R_6 = 2.7\Omega$, $C_4 = 0.1\mu\text{F}$ 时, 极点在 $f_c = 589\text{kHz}$ 。

LM3875T 的输出端还有一个 LR 并联网络。通常输出端不串联电阻时, 容性负载当大于 $0.2\mu\text{F}$ 时就会出现振铃现象。这种情况在使用扬声器电缆连接时很容易就出现。为此用一只 10Ω 电阻与一只 $0.7\mu\text{H}$ 电感并联串在输出端, 可以避免此种现象出现。

一般功率运放电源端都要求接电源旁路电容, LM3875T 也不例外。使用 $470\mu\text{F}$ 电解电容与 $0.47\mu\text{F}$ 无感金属化聚丙烯电容并联作为正

负供电的旁路电容,以防止高低频自激。这点千万不能忽略,否则会出现莫明奇妙的自激现象(高频自激时会导致器件温度迅速上升直至烧毁)。

(4) 布线与接地

布线与接地乃是实施整个设计最重要的一环,无论多么精良的设计,始终要通过合理的布线来加以实现。如果这一点做不好,就会前功尽弃。LM3875T 本身的引脚安排已提供了方便之处,电源、输出端与输入端距离较远,方便实施合理布线。在本机中地线分两种性质,一种为信号地,另一种为电源地。在线路板上,输入电阻 R_1 地端,反馈电容 C_3 地端分别走线到信号地,正负电源旁路电容地端、输出补偿阻容网络地端,扬声器地端分别走线到电源地(电路原理图上已有示意)。而在主功放线路板上,电源地和信号地并不连在一起,而是分别用导线连至电源供应板,在电源板上接法在下一节说明。线路板上元件遵循大小信号元件分开排列原则,减少相互干扰。需注意的是,电源脚的旁路电容不可与此脚距离过远(本机中 $< 1\text{cm}$),否则不起作用。实践证明,这样可以最大限度发挥 LM3875T 的水平。

3. 电源供应部分

本机中前后级分开用两只变压器供电。

(1) 前级电源

由于前级线路简单,要保证性能,电源不可忽视。笔者曾见到某杂志上刊登的一篇译文,提到一种“可编程”稳压器。这是一种串联型稳压器,运用 VMOS 管作调整管,发光二极管作参考电压,可收到高速率、低噪声的效果。线路如图 6 所示。在本机中用 TL431CP 高精度稳压管作为参考电压源,决定输出电压。TR_{3,4} 为差分放大器,TR₅ 为恒流源,以发光二极管作基准电压,TR₁ 作为负载。调整管选用大电流,低导通电阻的 IRF530,在输出端有一 RC 网络,作为低通滤波器,可使输出内阻在高频下也保持低阻值。

另外,为保证正负电源良好的一致性,本机中并非采用常见的正、负两套稳压器,而是用两

套都采用 N 型调整管的一模一样的正稳压器串联而成为正负电源。这样做可以避免一般情况下 P、N 两种半导体材料在不同温度、不同电流时的不一致性而造成正负电源不对称。这两种稳压形式的差别在实际比较过之后不难看出。实际安装时要注意,整流之后电源要先经滤波电容再到稳压器;TL431CP 输出/入端两只 $2.2\mu\text{F}$ 电容要就近安装;差分放大器两管之间要加少许硅脂并固定在一起以实现热耦合;调整管要加上适当的散热器。

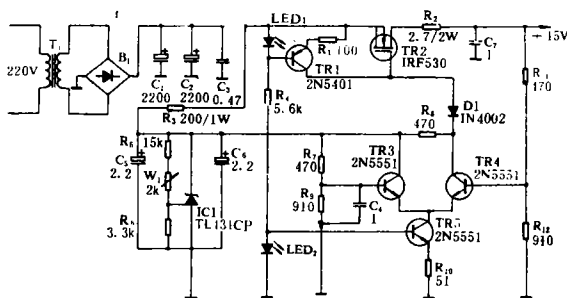


图 6

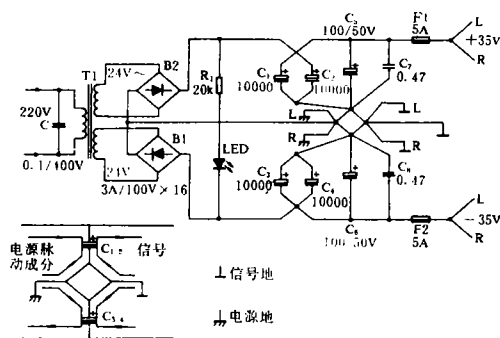


图 7

(2) 后级电源

LM3875T 电源抑制比达 120dB,故不必使用稳压电源,只须电容滤波便可。两声道共用一组电源,采用双桥整流方式,可避免 100Hz 交流声,同时整流管上要并联 $0.1\mu\text{F}$ 电容以吸收浪涌电流。每边电源使用 $20000\mu\text{F}$ 滤波电容,再依次并上 $100\mu\text{F}$ 、 $0.47\mu\text{F}$ 电容以旁路各频段噪声。此电源独特之处是接地方式。地线为菱形,电源地,信号地,正负两极滤波电容地分别位于菱形的四个角上,此菱形由粗导线组成(可在线路板上实现)。而功放板上两种地就与电源板上两种地分别用导线连接。两种不同性质的地线

电声技术 10/1994

上分别是电源的脉动成分和信号,相互间影响减到最小。如图7所示。要留意的是负载地端并不接信号地,而接在电源地,原因是电源的脉动成分对输出大信号的影响不及对小信号影响大,而且这样接法更接近电源端,瞬态表现更佳。电源变压器功率由LM3875T最大电流和电压决定。

$$P_0 = UI_0 = 24 \times 3.16 = 76W \quad \text{选用 } 100W$$

两声道共用一只变压器时, P_0 增大一倍,选200W。本机选用R型铁芯变压器,功率220W,外覆硅钢片屏蔽层。

4. 信源选择部分

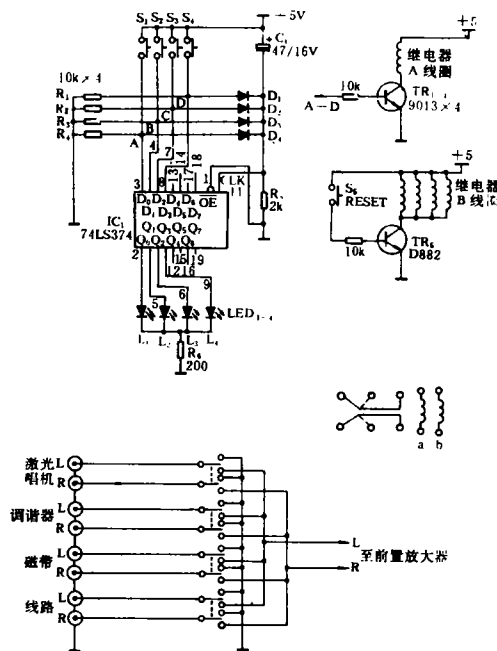


图 8

作为一部功能完善的合并式扩音机,信源选择是不可缺的部分。此部分主要由继电器、指示电路组成,电路如图8所示。普通继电器在吸合时,线圈磁场对音频信号的影响以及触点有轻微抖动时对接触电阻的影响均不可忽视。在本机中使用的是(Aromat)记忆型继电器,在吸合状态时并无电流通过电磁线圈,完全不存在以上的影响。但由于这种继电器有两个绕组,一吸一放,故须多加一只复位键,不大符合使用习惯。74LS374为8D触发器,A~D为其中四个D触发端,其余四个均接“0”。这四个触发器共用

一个时钟端,平时输入端由各自接的10kΩ电阻置“0”, $AN_1 \sim 4$ 任何一个按下时,10kΩ电阻上有一压降,此高电平同时输入CP端和对应D触发端,使对应的触发器输出端呈“1”,发光管发光作为指示,同时对应的继电器吸合,选到合适信源。要改变信源,要先按 AN_5 使所有继电器复位,才可重新选择。输入端RCA座的地不可直接与机壳相通,但要跨接一只0.1μF的瓷片电容以消除日光灯之类开关时发出噪声。而继电器要靠近RCA座安装,减少发生音染的机会。

三、整机的安装

各单元电路板的分布基本上是电源与用电部分尽量远离,变压器要离小信号通道远些。各组连线要分大、小信号及电源分别用扎线带紧固,尽量使不同性质的线出现十字交叉而不出现平行的情况。屏蔽线的屏蔽层全部只接在信号源上,另一端不接地,两者的地用芯线来接通。

最后要留意一下本机前、后级两只变压器初级的接法。前级电源变压器不经开关直接电源线,为的是不使开机时因前级未稳定而对扬声器造成冲击(LM3875T本身由于有欠压保护功能不存在此问题)。若采用LM3876T利用Mute端子附加输入延时接通电路便可解决此问题。

经过以上各项精心设计与制作,确使NSC音响器件的性能得到充分发挥,实际聆听效果很好。

参考文献

- [1] 夏宇闻,李新社,康宗朗编译,NSC音响器件制作大奖赛技术资料汇编
- [2] NSC,Overture Audio Power Amplifier Series,June,1993
- [3] John Decelles,Audio Amplifiers Utilizing SPIKe Protection,NSC,Oct,1993
- [4] 德久诚一,LM12/30W パワー・アンプ,MJ 无线と实验,1992.9,P105~111
- [5] 李斌,“可编程”调压稳压器,实用电子文摘,1991.1,P50~51
- [6] 童诗白主编,模拟电子技术基础(第二版),高等教育出版社

(收稿日期 1994年7月)