

LM4766 文档资料中文版和设计概要

作者: JMBIE STUDIO 赵宁 北京 2005

版权所有 仅供参考

提示: 本文档并非完善版本, 请结合英文原文查看电路图和曲线图标等。

文中最后附有本人设计的 LM4766 功放参数选择方案。

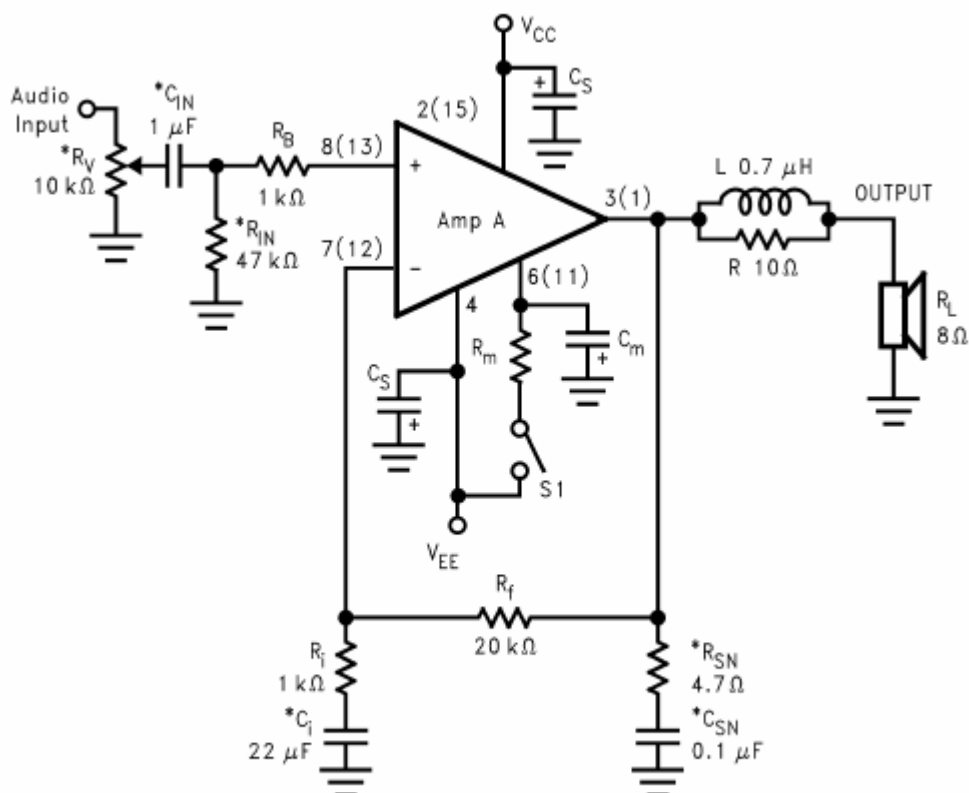
正文:

LM4766T 具有静音功能的双 40W 音频功率放大器。

LM4766T 是一款立体声音频放大器, 每个声道在 8 欧负载上具有传输 40W 连续平均输出功率的能力, THD+N 小于 0.1%。

利用其自我峰值瞬时温度 (SPiKe) 保护电路, 通过提供一个受到固有动态地保护的安全运行区域 (SOA), LM4766 的性能使其定位于超越分立和混合放大器之上的级别。SPiKe 保护意味着当过压, 欠压, 过载, 包括散热和瞬时温度高峰时这些器件在输出级是安全的。

LM4766T 内的每个放大器都有独立的光滑过渡的淡入淡出静音功能来最小化输出噗噗声。芯片在额定功率时极低的噪声电平 2 微伏和极低的 THD+N 值 0.06% 使 LM4766 成为 High-end 立体声电视等的理想选择。



DS100928-7

FIGURE 4. Special Audio Amplifier Application Circuit

R_B : 阻止流入放大器的正输入端的电流, 该电流可能在系统掉电时流向负载, 因为当欠压电路关闭时电路呈低输入阻抗。这种现象发生在电源电压低于 1.5V 时。

R_i : 负输入电阻, 和 R_f 一起提供 AC 增益。

R_f : 反馈电阻, 和 R_i 一起提供 AC 增益。

C_i : 反馈电容, 确定单位直流增益。同时和 R_i 构成一个高通滤波器, $f_c = 1/(2\pi \times R_i C_i)$ 。

C_s : 提供电源滤波和旁路。参考“电源旁路应用”一节了解正确放置和选择滤波电容。

R_v : 通过设定输入电压水平起音量控制的作用。

R_{in} : 当电路中存在 C_{in} 时, 设置放大器输入端的直流偏置点。还同 C_{in} 一起形成一个高通滤波器 $f_c = 1/(2\pi \times R_{in} C_{in})$ 。

C_{in} : 输入电容, 隔离加到放大器输入端的输入信号的直流偏移。

R_{SN} : 和 C_{SN} 一起稳定输出级, 通过产生一个降低高频不稳定性的极点。

C_{SN} : 和 R_{SN} 一起稳定输出级, 通过产生一个降低高频不稳定性的极点。该极点设置在 $f_c = 1/(2\pi \times R_{SN} C_{SN})$ 。

L R : 在高频时提供高阻, R 可以减弱一个高容性负载并且降低串联谐振回路的 Q 值。在低频时提供低阻, 短路 R 并将音频信号传输给负载。

R_M : 静音电阻, 设置为允许从 6 或 11 脚拉出 0.5mA 电流以使静音功能关闭。 R_M 计算方法: $R_M \leq (|V_{EE}| - 2.6V) / I$ 此处 $I \geq 0.5mA$ 。

C_M : 静音电容, 设置为产生一个长的时间常数用于开或关静音。

$S1$: 静音开关, 当打开时使输入放大器的音乐静音。

注: LM4766T 英文文档中有两处表达错误:

1. **Note 12:** The output dropout voltage, V_{OD} , is the supply voltage minus the clipping voltage.
 V_{OD} 指的是输出压降, 应该是供电电压减去输出电压, 和clipping限幅电压是一个意思。而这句中显然说 V_{OD} 是供电电压减去限幅电压, 和限幅电压一供电电压图表不符。
2. The muting function of the LM4766 allows the user to mute the music going into the amplifier by drawing more than 0.5 mA out of each mute pin on the device.

这句话的意思说如果从芯片的每个静音引脚拉出大于0.5mA的电流就会出现静音效果, 显然和实际情况以及后文的论述相反了, 想必mute the music going into the amplifier应该换成make the music going into the amplifier吧。

(赵宁注2004年11月3日, 该语句曾经困扰)

应用信息

静音模式

LM4766T 的静音功能允许用户分别从芯片的每个静音引脚拉出大于 0.5mA 的电流来把音乐送入放大器。该功能的实现如图所示, R_M 用一个开关连接至负电源电压。开关打开后切断了从 6 脚或 11 脚流向 $-V_{EE}$ 的电流, 这使 LM4766 进入静音模式。参考静音衰减—静音电流曲线获取每个电流输出引脚的衰减数值。电阻 R_M 由下列等式计算:

$$R_M \leq (|V_{EE}| - 2.6V) / I_{pin6}, I_{pin6} = I_{pin11} \geq 0.5mA。$$

6 脚和 11 脚可以连在一起, 这样静音功能只需要一个电阻和电容。静音电阻必须选择的能流过 R_M 大于 1mA 电流, 以使每个放大器能完全退出静音模式。考虑到电源线的波动, 每个引脚拉出 1mA 电流或两引脚连在一起时总共 2mA 电流是个不错的做法。

欠压保护（低压保护）

在系统上电时，欠压保护电路允许电源供电及其对应的电容在打开 LM4766 之前充电到接近其满度值，这样就不会出现直流输出尖峰。在关闭电源时，LM4766 的输出在电源之前先连接到地，这样不会出现瞬变。

过压保护

LM4766 包含过压保护电路，限制输出电流到约 4A 峰值，同时提供电压嵌位，但不是通过内部嵌位二极管。嵌位效果完全相同，然而输出晶体管被设计为随反转大电流波峰而互补地工作。

SPiKe 保护

LM4766 受保护于功率晶体管阵列的瞬时尖峰温度应力。SOA 曲线图中表示 SPiKe 保护电路不起作用的器件工作区域。右边的波形示例当起作用时动态保护将如何导致波形破坏。更详细的信息请参考 AN-898。

热保护

LM4766 有一个复杂的热保护方案来防止器件长时间的热应力。当基片的温度达到 165 度时，LM4766 关闭。当基片温度下降到约 155 度时它再重新工作，但是当温度又开始上升再次达到 165 度时又会关闭。因此如果故障情况是短时间的，器件允许温升到很高温度，但是如果是持续的故障将导致器件在热关闭温度限制 165 度和 155 度之间呈施密特触发性循环。通过热循环这大大降低了加在芯片上的应力，在持续故障情况下轮流提高其可靠性。

因为基片温度直接决定于所使用的散热器，所以应该选择散热器使得在正常工作时不会出现热关闭。在考虑系统成本和空间的前提下尽可能的使用好的散热器，将会提高任何功率半导体器件的长期可靠性，如“决定正确的散热器”一节所讨论的。

决定最大功率耗散

集成电路封装内部的功率耗散是一个非常重要的参数，需要彻底的理解以获得最适宜的功率输出。一个错误的最大功率耗散计算造成不合适的散热器，导致热关闭并限制输出功率。

下式给出每个放大器的理论最大功率耗散点， V_{CC} 是总的供电电压。

$$P_{D\text{MAX}} = V_{CC}^2 / 2 \pi^2 R_L \quad (\text{注：关于该式的计算见后面分析})。$$

所以知道总的供电电压和额定输出负载就可以计算出最大功率耗散点。因为 LM4766 里有俩放大器，所以模块的耗散是上式结果的两倍。参考功率耗散—输出功率曲线图，给出实际地全范围的功率耗散而不仅是从上式得出的最大理论点。

决定正确的散热器

为一个大功率音频放大器选择一个散热器，会很好的保持基片温度于一定水平，使得在正常情况下热保护电路不会动作。

从基片（结 junction）到外部空气（周围环境 ambient）的热阻由 θ_{JC} 、 θ_{CS} 、 θ_{SA} 三部分串联构成。另外，LM4766T 的热阻 θ_{JC} （结到外壳 junction to case）是 $1^\circ\text{C}/\text{W}$ 。使用热合金导热脂，热阻 θ_{CS} （外壳到散热片 case to sink）约为 $0.2^\circ\text{C}/\text{W}$ 。由于对流热流（功率耗散）类似于电流，热阻类似于电阻，温度差类似于电压降，出自 LM4766 的功率耗散等价于下式：

$$P_{D\text{MAX}} = (T_{J\text{MAX}} - T_{\text{AMB}}) / \theta_{JA} \quad \text{其中 } T_{J\text{MAX}} = 150^\circ\text{C}, T_{\text{AMB}} \text{ 是系统周围环境温度，而}$$

$\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}$ 。当芯片的最大功率耗散计算出后，散热片的最大热阻 θ_{SA} （散热器到环境 heat sink to ambient，单位 $^\circ\text{C}/\text{W}$ ）就可计算了。通过解上式可以导出下式：

$$\theta_{SA} = [(T_{J\text{MAX}} - T_{\text{AMB}}) - P_{D\text{MAX}}(\theta_{JC} + \theta_{CS})] / P_{D\text{MAX}}$$

再次注意 θ_{SA} 的值决定于系统设计者的放大器需求。如果音频放大器将要工作的环境温度高于 25 度，其他因素不变，散热器热阻需要更小。

供电旁路

LM4766 具有优异的电源调整率，并不需要稳压电源。然而为了提高系统性能消除可能的振荡，LM4766 应该用就近芯片布置的短引脚低感电容使其电源引脚旁路。不合适的电源旁路使其出现摩托艇似的低频振荡或高频不稳定性。这些不稳定因素可以通过多重旁路消除，利用一个大的钽电容或电解电容(10uF 或更大)吸收低频变量，一个小的瓷片电容(0.1uF)阻止任何高频成分经由电源线反馈。如果没有提供合适的旁路，电源引脚中的电流即被负载电流调制的分量，会反馈到内部电路。这个信号导致高频损耗，需要在芯片引脚处用一个大于 470uF 的电解电容将电源旁路。

桥式放大器应用

LM4766 内部含有两个放大器，允许某些差动放大器配置。这些配置中的一种是仿照桥接模式，用 LM4766 的输出差动地驱动负载。桥接模式的工作不同于负载的某端接地的单端放大器的经典配置。

一个桥式放大器的设计具有比单端配置更明显的优势，因其提供对负载的差分驱动，对于特定电源电压其输出幅度将翻倍。因而，在相同情况下相比于单端放大器，理论上输出功率扩大四倍是可能的。在可达到的输出功率中这种提升假设放大器没有电流限制和削波。

由桥式放大器传输到负载的被提升的功率的一个直接后果是内部功率耗散的增加。对于桥式配置中的每个工作的放大器来说，内部功率耗散将相对于单端耗散增加 2 倍。因此，对于 LM4766 这样的音频功率放大器，一个封装内有两个工作的放大器，封装耗散将增加 4 倍。为了计算一个桥接负载时 LM4766 的最大功率耗散点，在前边公式的结果上乘 4。

这个 P_{DMAX} 值可以用来为桥式放大器应用计算正确大小的散热片。由于使用桥接模式后对于给定电源电压和负载下的内部耗散增加，因而散热器的 θ_{SA} 必须降低，见前边公式。

参考“决定正确的散热器”一节，以获得关于给定应用下优化散热的详细讨论。

单电源放大器应用

LM4766 的典型应用是对称电源放大器。但是如图 3 所示，LM4766 也可以用在单电源配置中。这就需要使用一些外部元件产生半电压偏置，作为输入和输出的参考。因此信号将围绕半电压摆动，就象双电源应用中信号围绕地摆动一样。随合适的电路偏置一起，一些其他的考虑事项必须被解决，以利用 LM4766 的全部功能，诸如静音功能。

喀喇声和噗噗声

在 LM4766 作为双电源音频功率放大器的典型应用中，该芯片利用其静音和待机模式展现出优异的“喀喇声”和“噗噗声”消除性能。另外，芯片具有欠压保护，消除不想要的上电和掉电突变现象。在双电源应用中，地是稳定的半电压电位。但是在单电源应用中，半电压就象电源 V_{CC} 一样需要充电。这使得完成在开机时没有喀喇声和噗噗声的任务更具挑战性。由于 LM4766 的差分输入技术，放大器输入端任何不均匀的充电都会导致输出喀喇声和噗噗声。

为了实现没有突变现象的上电和掉电，输入端上的电压应该理想地相等。这样的信号本质上是共模的，并且会被 LM4766 拒绝（不响应）。在图 3（单电源）中，电阻 R_{INP} 用于通过尽可能的限制两个节点之间的电压差来保持输入端处于相等电位。这将有效的降低任何形式的上电噗噗声，来自于放大器输入端不平衡的充电。这种充电基于特定的应用，所以系统设计者或许需要调整这些参数以优化性能。

如图 3 所示，电阻 R_{BI} 用来偏置 LM4766 并与半电压点 2N3904 发射极隔离。但是因为电路中的输入输出耦合电容，还有负反馈， R_{BI} 有两个不同的值，即 10K 和 200K。这两个电阻以相同的速率使输入端自举而使上电没有噗噗声。轻微的调整这些电阻值可以减少来自于系统开启期间斜率极快或表现过冲的电源的噗噗声。

音频功率放大器设计 设计一个 30W/8 欧 的音频放大器

给出:

功率输出 30Wrms 有效值功率

负载阻抗 8 欧

输入电平 1Vrms (max) 最大有效值

输入阻抗 47K 欧

带宽 20Hz—20kHz $\pm 0.25\text{dB}$

设计者必须首先从获得指定输出功率所需要的电压和电流两方面决定电源需求。

V_{OPEAK} 可由下式决定:

$$V_{\text{OPEAK}} = \sqrt{(2R_L P_O)}$$

I_{OPEAK} 可由下式决定:

$$I_{\text{OPEAK}} = \sqrt{(2P_O)/R_L}$$

为了决定最大电源电压必须考虑以下情况。峰值输出幅度 V_{OPEAK} 加上压降 (末级晶体管的), 得到和电流 I_{OPEAK} 对应的电源下限。决定无负载电压的电源调整系数通常为 15% 以上。在重负载的情况下供电电压再上浮 10%。因此最大供电电压可用下式得到:

$$\text{Max supplies} \approx \pm (V_{\text{OPEAK}} + V_{\text{OD}}) (1 + \text{regulation})$$

对于8欧负载上30W的输出功率, 要求的 V_{OPEAK} 是21.91V。 V_{OPEAK} 加上 V_{OD} 得到最小的电源下限25.4V。调整后的最大电压是正负32V, 要求 I_{OPEAK} 是2.74A。应该注意对于双30W、8欧负载的放大器取自电源的 I_{OPEAK} 是2倍的2.74A_{pk}即5.48A_{pk}。在这一点上最好查看“输出功率—供电电压”来确认当保持低THD+N时所要求的输出功率是可以从器件得到的。另外, 设计者检查在所需的供电电压和负载阻抗下和给定的系统成本和尺寸约束下, 所需的散热器热阻值是可行的。当散热器的问题解决后, 所需的增益可由下式决定:

$$A_V \geq \sqrt{(P_O R_L)/(V_{\text{IN}}^2)} = V_{\text{ORMS}}/V_{\text{INRMS}}$$

从上式得到最小的 A_V 是15.5。选择增益为21, 反馈电阻 $F_f = 20\text{k}\Omega$, R_i 的值由下式得到:

$$R_i = R_f (A_V - 1)$$

当 $R_i = 1\text{k}\Omega$ 时就得到正相增益21。由于期望的输入阻抗是47k欧, R_{IN} 的阻值选择47k欧。最后的设计步骤就是解决带宽需求, 必须以一对-3dB频率点界定。离开一个-3dB点五倍后低于通频带响应0.17dB, 好于指定的 $\pm 0.25\text{dB}$ 需求。这实际形成一个分别为4Hz和100kHz的低高频极点。如“外部元件”一节所表明, R_i 与 C_i 连接构成一个高通滤波器,

$$C_i \geq 1/(2\pi \times 1\text{k}\Omega \times 4\text{Hz}) = 39.8\mu\text{F}; \quad \text{用 } 39\mu\text{F}.$$

高频极点决定于所期望的高频极点 f_H 和增益 A_V 的乘积。当 $A_V = 21$, $f_H = 100\text{kHz}$ 时, 结果GBWP (增益带宽积) 是2.1MHz, 小于LM4766所保证的最小8MHz的GBWP。这将确保放大器的高频响应在20kHz不会比下降0.17dB更差, 正好在设计带宽要求之内。

赵宁注: 关于带宽的分析补充如下。一般的带宽指的是 f_L 和 f_H 之间的频段, f_L 是下限频率, f_H 是上限频率, 分别为低、高频极点, 在这两个极点上放大器增益相对于中间频率段下降3dB, 即带宽是用一对-3dB频率点界定的。该设计的需求是20Hz—20kHz $\pm 0.25\text{dB}$, 指的是在低频20Hz, 高频20kHz两个点上增益下降不得超过0.25dB。显然-3dB频率极点间的频段要比20Hz到20kHz的范围宽的多。在此可以根据20kHz频率点-0.25dB计算出对应的 f_H 来, 必须根据下式进行计算: 根据频响曲线, 只有大于 f_H 的频率才能按-20dB/十倍频程来考虑。

$$A_{\text{VH}} = 1/\sqrt{1+(f/f_H)^2} \quad A_{\text{VL}} = 1/\sqrt{1+(f_L/f)^2}$$

但是本分析中没有直接计算 f_H ，而是指定 $f_H=100\text{kHz}$ ，反过来用上式计算出 20kHz 点的增益下降 0.17dB 。原文中说的应该是离开 -3dB 点五倍频程后的增益下降 0.17dB ，其意思是 20kHz 是 100kHz 的 $1/5$ ， 20Hz 是 4Hz 的 5 倍，这两点下降 0.17dB ，这里不是简单的先指定 0.17dB 的数据再形成 4Hz 和 100kHz 两个极点。由于指定 $f_H=100\text{kHz}$ 而 $f_L=4\text{Hz}$ 后所得的 0.17 比要求得 0.25 要好，所以该指定可行。对于低频极点由电容 C_i 保证，而高频极点需要用到增益带宽积 GBWP ，由 $A_v=21$ ， $f_H=100\text{kHz}$ 得到 $\text{GBWP}=2.1\text{MHz}$ ，比 LM4766 的典型值小，也就意味着实际可达到的 f_H 要比 100kHz 高，那么在 20kHz 时增益下降就比 0.17 还要小。

关于功率的计算：这部分计算在模拟电子教材上有详尽的理论分析过程，下面是主要公式：

$$\text{放大器功率耗散: } P_D = \frac{2}{R_L} \left(\frac{V_{CC} V_{OM}}{2\pi} - \frac{V_{OM}^2}{4} \right) \quad \text{其中 } V_{CC} \text{ 是总的电源电压即 } V_+ + V_-$$

$$\text{当 } V_{OM} = V_{CC}/\pi \text{ 时 } P_D \text{ 取得最大值即 } P_{D\text{MAX}} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi^2 R_L} \quad V_{OM} \approx 0.3V_{CC}$$

$$\text{电源功率则为 } P_V = \frac{V_{CC} V_{OM}}{\pi R_L} \quad \text{从这几个公式看出放大器功率耗散是非单调函数，当输出}$$

功率为 $P_O = \frac{V_{CC}^2}{2\pi^2 R_L}$ 时，放大器功耗有最大值并且和输出功率相等。而电源功率则随输出电

压线性增加，当输出功率最大时电源功率亦最大。 LM4766 内部包含两个放大器，所以实际数值是上述公式结果的 2 倍。

关于本设计中 LM4766 的参数：

- 1) THD+N 总谐波失真和噪声：LM4766 在连续平均输出功率双 40W ，负载 8Ω 时 THD+N 为小于 0.1% 。而在双 30W ， 8Ω 时 **THD+N 典型值 0.06%** 。
- 2) LM4766 为非绝缘 15 脚 TO-220 封装，实测散热片电压约为 $-V_{EE}$ ，但散热片并非与 $-V_{EE}$ 存在金属性连接，而可能是硅片衬底。所以散热片绝对不能和接地机箱等其它电极部分接触，否则将导致 LM4766 严重损坏——By Jamie。
- 3) LM4766 **静态**工作电流典型值 **48mA** 。
- 4) VOD 末极晶体管压降：查看 Clipping Voltage vs Supply Voltage 削波电压—电源电压曲线，双 30V 电源电压和 8Ω 负载时 **VOD 约为 4.5V** 。而 LM4766 文档中设计举例按 3.5V 计算。
- 5) 从 Output Power vs Load Resistance 输出功率—负载阻抗曲线中可以看出在双 30V 电压下最大输出功率时 **负载阻抗为 $6\Omega - 8\Omega$** 。
- 6) 从 Power Dissipation vs Output Power 功率耗散—输出功率曲线中可以看出，双 30V 电压 8Ω 负载 1kHz 频率时，输出功率 22W 时芯片功耗最大为 48W ，电源总功率 92W ；输出功率 15W 时功率耗散为 46W ，电源总功率 76W ；输出功率 30W 时功率耗散 47W ，电源总功率 107W 。理论值如下：当每声道输出功率为 22.8W 时 **芯片功耗最大为 45.6W** ；当输出功率为满 30W 时，**电源功率为 105W** 。

- 7) 电源电压调整率PSRR、共模抑制比CMRR、增益带宽积GBWP、信噪比SNR等参数详见LM4766的DataSheet。
- 8) 从Max Heatsink Thermal Resistance ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) at the Specified Ambient Temperature ($^{\circ}\text{C}$) 指定环境温度下的最大散热器热阻表中可以看出, 双30V电源8 Ω 负载时最大耗散功率为48W, 当环境温度25 $^{\circ}\text{C}$ 时散热器热阻小于1.4 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$; 当环境温度50 $^{\circ}\text{C}$ 时要小于0.9 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。该数值是按最高结温150 $^{\circ}\text{C}$ 计算的, 实际上保守计算取最高结温125 $^{\circ}\text{C}$, 而环境按40 $^{\circ}\text{C}$ 计算, 这样要求散热器的热阻小于0.6 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。按照《散热设计》中提出的 $R=1/(\alpha A)$ 公式, 其中传热系数 α 取20到30计算, 得到散热片有效面积为550 cm^2 到830 cm^2 。据此选择合适的铝型材散热片即可。因为实际机箱要安装风扇, 该热阻值和散热片面积不是很严格。
- 9) LM4766负输入回路中串入了电容 C_i , 该电容同 R_i 一起决定放大器的低频响应。该电容为放大器提供了单位直流增益, 使得当输入信号含有直流偏移时, 对该直流成分只有1倍增益。本电路中LM4766前还有一级隔离缓冲NE5532, 理论上NE5532与LM4766之间可以不串耦合电容, 直流放大器的频响更好。但如果该隔离级由于某种原因造成输出含有直流成分将直接影响LM4766的直流输出, 也就危及到负载扬声器。所以出于安全起见, 不能省去 C_{IN} 。这样可以保证LM4766不会输入直流成分, 而本身的直流增益又很低, 对喇叭保护具有积极作用。 C_{IN} 和 R_{IN} 也是高通滤波器, 这里 R_{IN} 取值47K, C_{IN} 大于1 μF 即可, 这里取4.7 μF 。
- 10) LM4766输出对地阻容回路选用典型值4.7 Ω 和104, 转折频率340KHz, 对应阻抗6.6 Ω 。
- 11) LM4766输出端的R、L并联支路选用典型值10 Ω 和0.7 μH , 电阻选用功率电阻, 而电感则需用漆包线自制: 线径1.0mm, 线圈内径8.0mm, 共15圈。
- 12) 静音电路: 本设计取电流值每脚1mA来关闭静音功能, 即正常工作时LM4766的6和11脚短接后一共流出2mA电流。电源取30V, 电阻取15K Ω 。(30-2.6)/2=13.7, 进15K。
- 13) 由于正电源分为2脚和15脚两个供电引脚, 所以在每个引脚上接有滤波电容。本设计中LM4766的滤波电容采用220 μF 和0.1 μF 。
- 14) 本设计的指标和LM4766文档中举例的指标相似, 功率双30W, 负载8 Ω 。可以计算出最大输出电压21.9V, 而 V_{OD} 按4.5V计算得到电源下限26.4V, 按125%调整后为33V。实际上采用交流值双22V的环形变压器即可, 整流滤波后的直流电压约为31V, 基本满足要求。

本设计选择增益为 $A_v=23$, $R_i=1\text{K}$, $R_f=22\text{K}$, $C_i=47\mu\text{F}$, 低频比举例中的4Hz还要低; 由 $A_v=23$, $f_H=100\text{kHz}$ 得到 $\text{GBWP}=2.3\text{MHz}$, 同样比LM4766的典型值小, 高频特性也满足要求。