

≡HT4888 说明书≡

带立体声耳机和 3D 增强功能的 2.1W 双声道音频放大器

一. 概述

HT4888是一个双声道桥式输出音频功率放大器，工作电压5V，负载为4Ω时最大平均输出功率2.1W，3Ω时为2.4W。并为用户提供3D增强模式(可选)来改善立体声效果。

HT4888有两个独立的耳机输入模式使能端(HP Sense和HP Logic)，输入逻辑电平阈值各不同，但都可以激活单端耳机模式同时使桥式输出模式无效。HP Sense输入主要用于通常的立体声耳机插孔，HP Logic输入为标准的逻辑电平。此款音频功率放大器是为提供高质量的音频输出而设计的，而只需极少的外部组件。为简化音频系统设计，HT4888整合了双声道桥式扬声器放大器 and 立体声耳机放大器。

HT4888设有低功耗关断模式和过温关断保护模式；内部设有专用电路抑制上电噼啪声。

二. 关键指标

- ◇ 当 $V_{DD} = 5V$ ， $THD+N = 1\%$ 时，输出功率 P_o 典型值：

$R_L = 3\Omega$	$P_o = 2.4W$;
$R_L = 4\Omega$	$P_o = 2.1W$;
$R_L = 8\Omega$	$P_o = 1.3W$;
- ◇ 负载 32Ω ， P_o 为75mW， $THD+N$ 的典型值：0.01%
- ◇ 关断状态电流典型值：0.04μA
- ◇ 电源电压范围：2.7V ~ 5.5V
- ◇ 频率为217Hz时，PSRR的典型值：85dB

三. 非凡的特性

- ◇ 独特的3D立体声增强效果
- ◇ 二种耳机输入使能模式可选
- ◇ 输出立体声耳机模式
- ◇ 改进的“Click and Pop”抑制电路
- ◇ 热关断保护电路
- ◇ 小尺寸的SQ封装
- ◇ 低功耗关断模式

四. 广泛的应用

- ◇ 手机
- ◇ 多媒体监听器
- ◇ 笔记本电脑、台式电脑
- ◇ 便携式音频系统

五. 芯片封装引脚分布

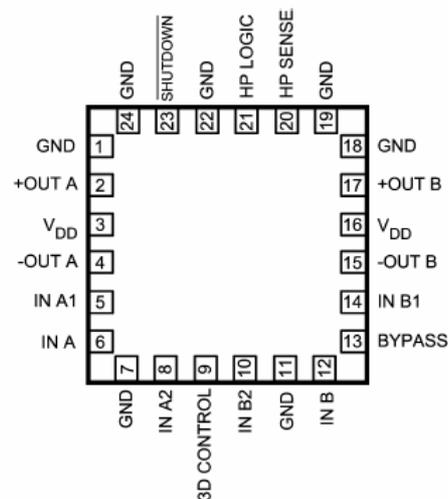


图1. HT4888 QFN24封装示意图

六. 典型应用

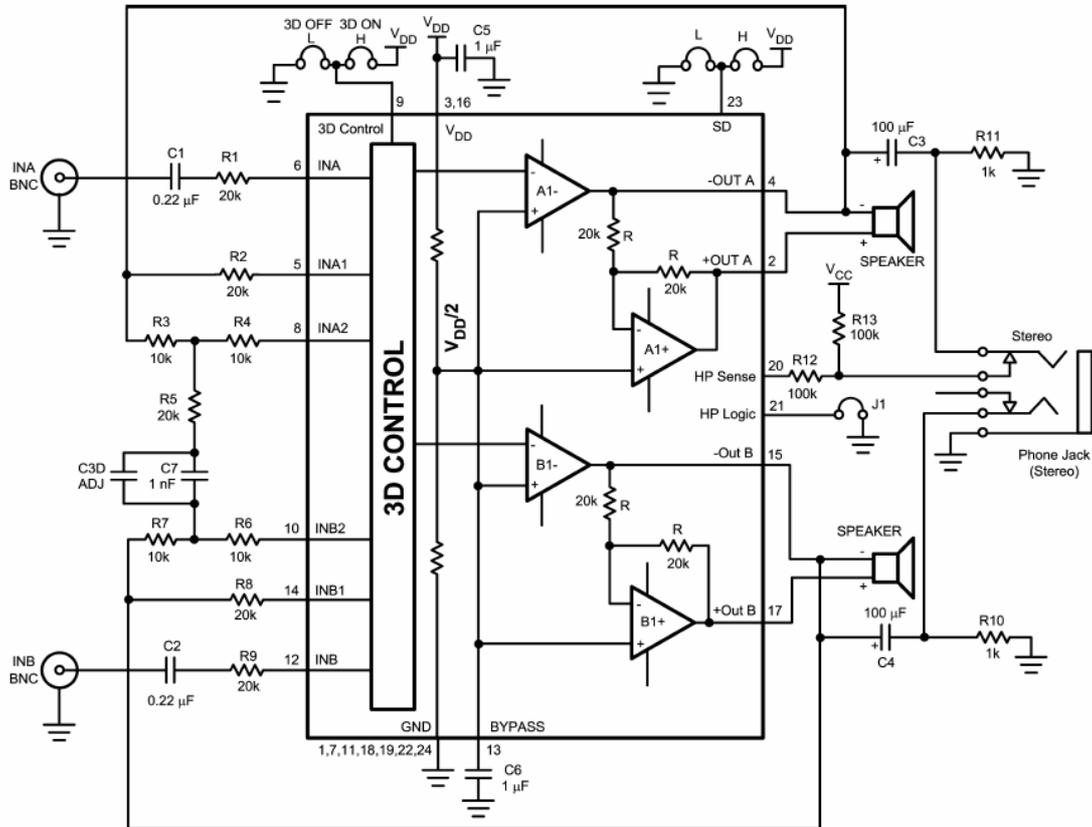


图2. 典型应用线路图

七. HT4888 管脚说明

名称	管脚分布	属性	功能说明
VDD	3, 16	P	电源
GND	1, 7, 11, 18, 19, 22,	G	地线
SHUTDOWN	23	I	低有效, 芯片进入低功耗状态
3D CONTROL	9	I	高电平, 3D 有效
BYPASS	13	B	放大器的参考电压
HP Sense	20	B	通过耳机插孔转换到耳机输出模式
HP Logic	21	I	耳机输出模式

INA1	5	B	A 声道无 3D 增强, 反馈电阻输入端
INA	6	I	A 声道音频信号输入
INA2	8	B	A 声道 3D 增强, 反馈电阻输入端
+OUTA	2	B	左声道音频信号的正端输出
-OUTA	4	B	左声道音频信号的负端输出
INB1	14	B	B 声道无 3D 增强, 反馈电阻输入
INB	12	I	B 声道音频信号输入
INB2	10	B	B 声道 3D 增强, 反馈电阻输入
+OUTB	17	B	B 声道音频信号的正端输出
-OUTB	15	B	B 声道音频信号的负端输出

说明: P: 电源 G: gnd I: 输入 O: 输出 B: 双向

八. 绝对最大额定值

电源电压	6.0V	气相 (60 秒)	215° C
贮藏温度	-65° C to +150° C	红外 (15 秒)	220° C
输入电平	-0.3V to $V_{DD} + 0.3V$		
损耗功率	内部限制	热阻	
ESD 耐压 (人体模型)	2.0kV	$\theta_{JC} - QFN24$	3° C/W
ESD 耐压 (机器模型)	200V	$\theta_{JA} - QFN24$	42° C/W
结温度(T_j)	150° C		

焊接条件

九. 工作范围:

温度范围 $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$

电源电压 $2.7V \leq V_{DD} \leq 5.5V$

十. 电气参数

1. 除非另外指明, 以下都是 $V_{DD} = 5.0$ 伏, $T_A = 25^\circ C$

符号	参数	条件	HT4888		单位 (严限)
			标准	严限	
V_{DD}	电源电压			2.7	V(最小)
				5.5	V(最大)
I_{DD}	静态电流	$V_{IN}=0V, I_O=0A, BTL$ 模式	6	10	mA(最大)
		$V_{IN}=0V, I_O=0A, SE$ 模式	3	6	mA(最大)

I_{SD}	关断状态电流	SHUTDOWN 接地	0.04	2	μA (最大)
V_{IH}	HP Sense 输入高电平		3.7	4	V (最小)
V_{IL}	HP Sense 输入低电平		2.6	0.8	V (最大)
	关断端、耳机逻辑输入端、3D 控制端				
V_{IHSD}	输入高电平		1.2	1.4	V (最小)
V_{ILSD}	输入低电平		1	0.4	V (最大)
T_{WU}	电源上电时间	BYPASS 接 $1\mu F$ 电容	140		mS

除非另外指明，以下都是 $V_{DD} = 5.0$ 伏， $T_A = 25^\circ C$ (桥式输出模式)

符号	参数	条件	HT4888		单位 (严限)
			标准	严限	
V_{OS}	输出失调电压	$V_{IN} = 0V$	5	25	mV (最大)
P_o	输出功率	THD+N=1%, $f=1kHz$			
		$R_L = 3\Omega$	2.4		W
		$R_L = 4\Omega$	2.1		W
		$R_L = 8\Omega$	1.3	1.0	W (最小)
		THD+N=10%, $f=1kHz$			
		$R_L = 3\Omega$	3.0		W
		$R_L = 4\Omega$	2.5		W
THD+N	总谐波失真	$f=1kHz, A_v=2$			
		$R_L = 4\Omega, P_o = 1W$	0.1		%
		$R_L = 8\Omega, P_o = 0.4W$	0.06		%
Cross talk	通道隔离	$f=1kHz, C_6 = 1.0\mu F$, 3D CONTROL 接地	82		dB
PSRR	电源抑制比	输入开路, $C_6 = 1.0\mu F, V_{RIPPLE} = 200$ $mV_{PP}, f = 217Hz, R_L = 8\Omega$	85		dB
		输入开路, $C_6 = 1.0\mu F, V_{RIPPLE} = 200$ $mV_{PP}, f = 1KHz, R_L = 8\Omega$	80		dB
		输入短路, $C_6 = 1.0\mu F, V_{RIPPLE} = 200$ $mV_{PP}, f = 217Hz, R_L = 8\Omega$	65		dB
		输入短路, $C_6 = 1.0\mu F, V_{RIPPLE} = 200$ $mV_{PP}, f = 1KHz, R_L = 8\Omega$	70		dB
		输入开路, $C_6 = 1.0\mu F, V_{RIPPLE} = 200$ $mV_{PP}, f = 217Hz, R_L = 8\Omega$			
		输入短路, $C_6 = 1.0\mu F, V_{RIPPLE} = 200$ $mV_{PP}, f = 1KHz, R_L = 8\Omega$			
V_{NO}	输出噪声电压	$f = 1KHz$	21		μV

除非另外指明，以下都是 $V_{DD} = 5.0$ 伏， $T_A = 25^\circ\text{C}$ （单端输出模式）

符号	参数	条件	HT4888		单位 (严限)
			标准	严限	
P_o	输出功率	THD+N=0.5%, $f=1\text{kHz}$ $R_L=32\ \Omega$	90	75	mW(最小)
THD+N	总谐波失真	$f=1\text{kHz}$, $R_L=32\ \Omega$, $P_o=20\text{mW}$	0.015		%
Cross talk	通道隔离	$f=1\text{kHz}$, $C_6=1.0\ \mu\text{F}$, 3D CONTROL 接地	80		dB
PSRR	电源抑制比	输入开路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}$, $V_{\text{RIPPLE}}=200$ mV_{PP} , $f=217\text{Hz}$, $R_L=32\ \Omega$	70		dB
		输入开路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}$, $V_{\text{RIPPLE}}=200$ mV_{PP} , $f=1\text{KHz}$, $R_L=32\ \Omega$	72		dB
		输入短路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}$, $V_{\text{RIPPLE}}=200$ mV_{PP} , $f=217\text{Hz}$, $R_L=32\ \Omega$	65		dB
		输入短路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}$, $V_{\text{RIPPLE}}=200$ mV_{PP} , $f=1\text{KHz}$, $R_L=32\ \Omega$	70		dB
		输入短路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}$, $V_{\text{RIPPLE}}=200$ mV_{PP} , $f=1\text{KHz}$, $R_L=32\ \Omega$			
V_{NO}	输出噪声电压	$f=1\text{KHz}$	11		μV

2. 除非另外指明，以下都是 $V_{DD} = 3$ 伏， $T_A = 25^\circ\text{C}$

符号	参数	条件	HT4888		单位 (严限)
			标准	严限	
I_{DD}	静态电流	$V_{\text{IN}}=0\text{V}$, $I_o=0\text{A}$, BTL 模式	4.5		mA
		$V_{\text{IN}}=0\text{V}$, $I_o=0\text{A}$, SE 模式	2.5		mA
I_{SD}	关断电流	SHUTDOWN 接地	0.01		μA
V_{IH}	HP Sense 输入高电平		2.2		V
V_{IL}	HP Sense 输入低电平		1.5		V
	关断端、耳机逻辑输入端、3D 控制端				
$1V_{\text{IHSD}}$	输入高电平		1	1.4	V(最小)
V_{ILSD}	输入低电平		0.8	0.4	V(最大)
T_{VU}	上电启动时间	BYPASS 接 $1\ \mu\text{F}$ 电容	140		mS

除非另外指明，以下都是 $V_{DD} = 3.0$ 伏，限制应用在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ （桥式输出模式）

符号	参数	条件	HT4888		单位 (严限)
			标准	严限	
V_{OS}	输出失调电压	$V_{IN}=0V$	5		mV
P_o	输出功率	THD+N=1%, $f=1\text{kHz}$			
		$R_L=3\ \Omega$	0.82		W
		$R_L=4\ \Omega$	0.70		W
		$R_L=8\ \Omega$	0.43		W
		THD+N=10%, $f=1\text{kHz}$			
		$R_L=3\ \Omega$	1.0		W
THD+N	总谐波失真	$f=1\text{kHz}, A_v=2$			
		$R_L=4\ \Omega, P_o=280\text{mW}$	0.1		%
		$R_L=8\ \Omega, P_o=200\text{mW}$	0.05		%
Cross talk	通道隔离	$f=1\text{kHz}, C_6=1.0\ \mu\text{F}$, 3D CONTROL 接地	85		dB
PSRR	电源抑制比	输入开路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}, V_{RIPPLE}=200$ $\text{mV}_{PP}, f=217\text{Hz}, R_L=8\ \Omega$	90		dB
		输入开路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}, V_{RIPPLE}=200$ $\text{mV}_{PP}, f=1\text{KHz}, R_L=8\ \Omega$	80		dB
		输入短路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}, V_{RIPPLE}=200$ $\text{mV}_{PP}, f=217\text{Hz}, R_L=8\ \Omega$	65		dB
		输入短路, $C_6=1.0\ \mu\text{F}, V_{RIPPLE}=200$ $\text{mV}_{PP}, f=1\text{KHz}, R_L=8\ \Omega$	73		dB
V_{NO}	输出噪声电压	$f=1\text{KHz}$	21		μV

除非另外指明，以下都是 $V_{DD} = 3.0$ 伏， $T_A = 25^\circ\text{C}$ （单端输出模式）

符号	参数	条件	HT4888		单位 (严限)
			标准	严限	
P_o	输出功率	THD+N=0.5%, $f=1\text{kHz}$ $R_L=32\ \Omega$	35		W(最小)
THD+N	总谐波失真	$f=1\text{kHz}, R_L=32\ \Omega, P_o=20\text{mW}$	0.015		%
Cross talk	通道隔离	$f=1\text{kHz}, C_6=1.0\ \mu\text{F}$, 3D CONTROL 接地	71		dB

PSRR	电源抑制比	输入开路, C6=1.0μF, V _{RIPPLE} =200 mV _{PP} , f=217Hz, R _L =32 Ω	79	dB
		输入开路, C6=1.0μF, V _{RIPPLE} =200 mV _{PP} , f=1KHz, R _L =32 Ω	65	dB
		输入短路, C6=1.0μF, V _{RIPPLE} =200 mV _{PP} , f=217Hz, R _L =32 Ω	72	dB
		输入短路, C6=1.0μF, V _{RIPPLE} =200 mV _{PP} , f=1KHz, R _L =32 Ω	80	dB
V _{NO}	输出噪声电压	f=1KHz	11	μV

注释 1: 绝对最大额定值显示了器件工作的极限, 如果工作在超过这些值的状态下, 器件很可能发生损坏。而工作范围显示的是器件能够正常工作的范围, 但并没有对特殊性能的极限做出保证。以上都是假设器件都工作在正常工作范围中, 说明书对那些没有标明极限的参数不做保证。尽管如此, 以上所标注的典型值是对器件性能的很好的表现;

注释 2: 最大功耗由 T_{JMAX} 和 θ_{JA} 以及环境温度 T_A 确定, 且随温度升高而降低, 最大功耗为 $P_{DMAX} = (T_{JMAX} - T_A) / \theta_{JA}$ 。对 HT4888 来说, $T_{JMAX} = 150^\circ\text{C}$;

注释 3: 人体模型可以等效为, 100pF 电容通过 1.5K Ω 电阻进行放电;

注释 4: 机器模型可以等效为, 200pF—220pF 电容通过所有引脚进行放电;

注释 5: 所有电压都是以地 (GND) 为参照零点来测量的, 除非有特殊说明;

注释 6: 典型情况是指 25°C 时的参数标准;

注释 7: 说明书中的最大/小的参数极限都是通过设计、测试以及统计分析来保障的;

注释 8: 当放大器接实际负载时, 静态的电源电流依赖于失调电压;

注释 9: 输出功率是在器件终端进行测量的;

注释 10: 当在 5V 电源电压下驱动 3 Ω 或 4 Ω 负载时, HT4888 必须安装在一个至少 2.5 平方英寸暴露面积的电路板上, 并且有大片完整的铜平面与 HT4888 的 exposed-DAP 接触;

注释 11: 所有测量出的参数都是从图 2 中的电路图上获得的。

十一. 使用说明

1. 针对 3Ω 和 4Ω 负载的 PCB 布局和供电稳定性考虑

负载功耗与负载上压降以及负载大小有关。当负载阻值减小时, 放大器输出引脚和负载之间的互连线阻抗 (PCB 线轨和导线) 的功耗不容忽视。冗余的线轨电阻引起电压降, 功率消耗在线轨上, 负载达不到额定功耗。例如, 0.1Ω 轨迹电阻将输出到 4Ω 负载上的功耗从 2.1W 减少到 2.0W。负载功率减少的问题随负载阻抗的降低而更加恶化。因此, 为了保持最高的负载消耗和最大的输出电压摆幅, 连接输出管脚到负载的 PCB 线轨越宽越好。

电源电压调制稳定性差会影响最大的输出功率。较差的电源调制输出电压将随着负载电流的增加而降低同时还引起摆幅的降低, 输出信号削顶, 减少的输出功率。甚至当调制电源非常稳定时, 线轨电阻产生跟不稳定电源一样的效应。因此, 使电源线轨尽可能的宽能有助于保持输出电压满摆幅。

桥式布局说明

如图 3 所示，HT4888 包括两对功率放大器，组成双通道（通道 A 和通道 B）立体声放大器。外部反馈电阻 R2（或 R3、R4）、R8（或 R6、R7）与 R1 和 R9 决定 AmpA（-OUT）和 AmpB（-OUT）的闭环增益，内部的 20KΩ 电阻将 AmpA（+OUT）和 AmpB（+OUT）的增益设为 1。HT4888 所驱动的扬声器等负载连接在放大器的两输出—OUT 和+OUT 之间。

图 3 显示，AmpA 的—OUT 连至 AmpA（+OUT）的输入端，使得两个放大器的输出信号幅度相等，相位差 180°。由于这个相位差，连接在—OUT 和+OUT 之间的负载被差动信号驱动（一般叫桥式模式），差动增益为：

$$A_{VD} = 2 * R_f / R_i = 2 \quad (1)$$

$$A_{VD} = 2 * R_2 / R_1$$

桥式放大器与单端放大器不同，单端式驱动负载连在单个放大器输出与地之间，对于给定的电源电压，相对于单端配置来说，桥式有一个明显的优势：其差动输出倍增了负载上的电压摆幅。理论上，相比于同等条件下的单端放大器，这产生 4 倍的输出功率，输出功率增加，假定放大器没有限流，输出信号也没有被削顶。要保证信号最小的削顶，合适地选择放大器的闭环增益（参见音频功放设计一节）。

差动桥式输出的另一个优势是，负载上没有直流电压分量。这可由将声道 A 和声道 B 的输出设置在半电源电压来实现，去掉了输出耦合电容，单在单电源，单端放大器应用中要保留这个隔直电容，在典型单端配置中若除去输出隔直电容，会使单电源放大器中半电源偏置电压降落在负载上，这会增加内部 IC 功耗，并可能会永久性的损坏像喇叭这样的负载。

2. 功耗

功耗是任何功率放大器的一个主要的关心的因素。公式2是计算一个单端输出的放大器的最大功耗。

$$P_{DMAX} = (V_{DD})^2 / (2\pi^2 R_L) \quad \text{单端输出} \quad (2)$$

然而采用桥式输出放大器提高负载上的输出功率的同时，在同样条件下会产生更高的内部功率损耗。

HT4888 每个声道有两个输出放大器，因此采用桥式输出时每个声道的最大功率损耗为单端输出时的4倍。在公式3中，假设负载为4Ω，电源电压为5V，对立体声输出来说，最大的单声道功率损耗为 1.27W 或 2.54W（立体声）。

$$P_{DMAX} = 4 * (V_{DD})^2 / (2\pi^2 R_L) \quad \text{桥式输出} \quad (3)$$

应用于单端或桥式输出时，HT4888 的功率损耗为式2或式3相应结果的两倍。公式（3）最大功耗的两倍不能超过公式4的计算值。

$$P_{DMAX}' = (T_{JMAX} - T_A) \theta_{JA} \quad (4)$$

HT4888中, $T_{JMAX} = 150^{\circ}\text{C}$ 。对任意给定的外围温度 T_A , 通过公式4可得到最大内部功率损耗。调整公式4并用 P_{DMAX} 代替 P_{DMAX} 可得到公式5, 公式给出了最大环境温度, 这一温度没有超过HT4888的最大结温, 芯片产生允许的最大的立体声功率损耗。

$$T_A = T_{JMAX} - 2 * P_{DMAX} \theta_{JA} \quad (5)$$

$$T_{JMAX} = P_{DMAX} \theta_{JA} + T_A \quad (6)$$

公式6给出了最大结温 T_{JMAX} 。如果结果超过了HT4888的 150°C 的典型值, 可通过降低电源电压或增加负载阻抗来降低最大结温。以上例子假设器件是表面安装器件, 工作在最大功率损耗附近。因为内部功率损耗是输出功率的函数, 所以当输出功率或占空比降低时, 环境温度可以更高。

如果公式2的结果比公式3的结果大, 这时需要降低电源电压、增加负载阻抗或者降低环境温度。如果这些方法仍不是很有效, 可以考虑加入一个热沉来降低 θ_{JA} 。热沉可通过在封装外围增加额外的铜板面积来生成, 同时将铜与地、电源和放大器输出管脚连接。在外围, 贴在SMT热沉上的焊料如镍铜合金7106D也可以改善功率损耗。如果增加热沉, θ_{JA} 是 θ_{JC} 、 θ_{CS} 和 θ_{SA} 的总和, 参照低输出功率下功率损耗的典型电器特性曲线。

3. 电源电压旁路电容

对于任何一个功率放大器而言, 适当的电源旁路对于减小噪声和提高PSRR都是非常重要的, 对于5V的电压源来说, 使用一个 $10\mu\text{F}$ 的一个 $0.1\mu\text{F}$ 的滤波电容并联可以稳定稳压器的输出, 并减小电源线上的噪声, 改善电源的瞬态响应, 但是, 即使存在这两个电容也需要在HT4888上VDD与GND之间的加上 $1\mu\text{F}$ 钽旁路电容, 不能将其换成陶瓷电容, 因为这样可能引发振荡。电源管脚与地管脚之间的电容应尽可能地缩短连线长度。

4. 关断功能(低功耗状态)

为了在芯片闲置时减少功耗, 该音频功率放大器带有关断模式。外部输入信号shutdown接地时, 关断模式启动。当关断模式启动时, 放大器的偏置电路被关断, 芯片的电流大约为 $0.04\mu\text{A}$ 。如果shutdown管脚的电压比gnd高, 那么关断电流就会上升。表一显示了启动和关闭关断模式以及耳机运放的情况。

控制低功耗关断模式有多种方法, 包括使用单极单掷开关和微控制器等。使用开关时, 要在SHUTDOWN端和GND之间外接 $100\text{K}\Omega$ 电阻, 将开关连接在VDD和SHUTDOWN之间。开关闭合后(on), 运放正常工作; 开关打开后(off), SHUTDOWN通过电阻接到GND, 启动低功耗状态。不要使SHUTDOWN处于悬浮态, 以免进入其他状态。在微处理器控制中, 微处理器输出数字电平到SHUTDOWN, 如果SHUTDOWN一直有驱动电路驱动, 也可以不用到电源的上拉电阻。

表一 逻辑真值表

SHUTDOWN	HP logic	HP sense	运放输出模式
H	H	X	Single ended
H	L	L (HP not plugged in)	Bridged/BTL
H	X	H (HP plugged in)	Single ended
L	X	X	shutdown

H: 逻辑高电平; L: 逻辑低电平; X: 高低电平均可;

5. 外围元件的选择

要优化HT4888的功能需要选择适当的外围电路。尽管有广泛适应性的外围电路可以使HT4888正常工作，要获得最佳的功能仍需优化参数值。

HT4888单位增益稳定，给设计者很大的设计灵活性。增益的设置不能超过特定应用的要求，从而使放大器有最小的THD+N和最大的信噪比。这两个参数随着闭环增益的增加而受到影响。然而，低增益要求输入信号有更大的电压振幅以获得最大的输出功率。幸运的是，许多信号源如音频CODEC都有1VRMS输出。

6. 输入电容的选择

放大频率最低的音频信号需要很高的输入耦合电容值。这样的电容往往较贵，在便携设计中也需要占用更多的空间。而在很多情况下，便携系统中的扬声器，无论内部的还是外部的，几乎不能还原低于150HZ的信号。在使用有这种频率限制的扬声器时，很难通过大输入电容来改善性能。

除了影响系统成本和尺寸，C1/C2还影响芯片的click and pop现象。接通电源电压时，随着输入电容的电荷从零升到一个静态值，会产生一个瞬态反应（pop）。这个瞬态响应的大小直接与输入电容的大小成比例。输入固定电流时，大的电容需要更长的时间才能达到静态直流电压（通常是VDD/2）。放大器输出是通过反馈电阻R2/R8为输入电容充电，可以通过选择输入电容值来减小pop，不过电容值也不能过高，必须满足-3dB频率的要求。

图2 所示，输入电阻和输入电容构成一个-3dB高通滤波器，它的截止频率可通过下式来计算。

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_{IN} C_{IN}} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (7)$$

7. HP SENSE和HP LOGIC功能

在HP SENSE耳机控制引脚输入一个逻辑电平从而关闭放大器A和B，将桥式连接的负载消音。这样当集成电路是单端模式时，可以降低静态电流的损耗。

图3给出了耳机控制功能的实现。如果没有耳机连接到耳机插座，R11-R13电压分配器输入到HP-IN引脚的电压约为50mV。这一电压使放大器A（+OUT）和B（+OUT）开始工作，从而使HT4888工作在桥式模式。输出耦合电容阻断了放大器的直流电压从而保护耳机。

HT4888工作在桥式模式时，加在负载上的直流电压实际上为0V。HP-IN阈值设置为4V。这样，即使在理想状态，输出信号的摆动也不会引起错误的单端触发。将耳机连接到耳机插座从而断开了插座和-OUTA的连接并通过R13将HP Sence功能引脚上拉到VDD。这样实现了耳机功能，关闭放大器A（+OUT）和B（+OUT），并将桥式扬声器消音。放大器驱动的耳机，其阻抗和电阻R10、R11是并联的。这些电阻对HT4888的输出驱动能力的影响可以忽略，因为耳机的典型电阻为32 Ω。

图3也给出了推荐使用的耳机插座电路连接，插座的设计适用于三相插头。插头的tip and ring应该各连接一个立体声输出信号，而sleeve则连接地回路。当连接了耳机时，带有一个控制引脚的耳机插座就足以驱动HP Sense引脚了。

另外还有一个输入电路可以控制BTL与SE模式的选择。这个输入的控制引脚叫做HP Logic Input。当HP Logic Input是高电平，HT4888工作在SE模式下。而当HP Logic Input是低电平（此时如果HP Sense引脚也是低电平）那么HT4888工作在BTL模式。在BTL模式时（此时HP Logic Input和HP Sense都为低电平）如果耳机直接连接到了单端输出（没有使用耳机插座上的HP Sense引脚）那么扬声器（BTL）和耳机（SE）都将运作。这样的话，反向的运算放大器输出同时驱动了扬声器和耳机，也就是 $8\ \Omega$ 和 $32\ \Omega$ 的负载并联。由于HT4888可以驱动 $3\ \Omega$ 的负载，因此只要并联的扬声器和耳机上的电阻都大于 $3\ \Omega$ ，同时驱动它们是不成问题的。

如上所述，用HT4888来同时驱动扬声器（BTL）和耳机（SE）看起来非常简单，但是这项设置只有在HP Logic Input被用来控制BTL/SE的选择而HP Sense引脚直接接地时才起作用。

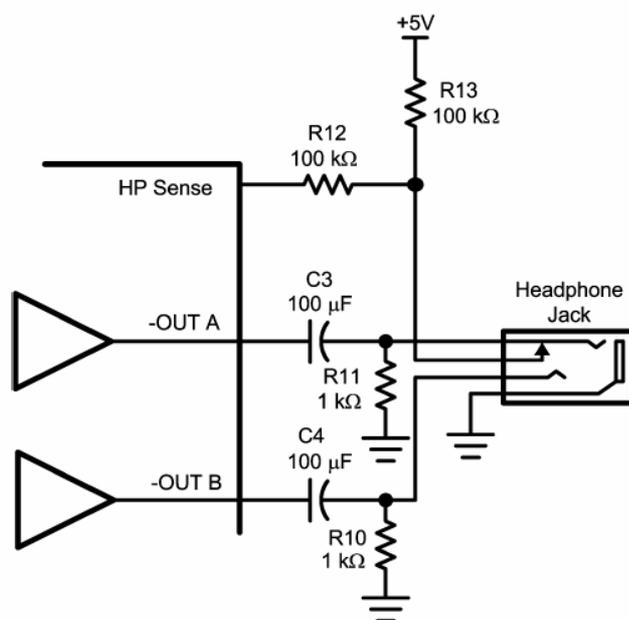


图3. 耳机电路

8. 避免click and pop现象的功能优化

HT4888内有可以减小上电和关断瞬态响应（或click and pop）的电路。上电指接通电源电压或者从关断模式恢复，电路开始工作。随着电源上升至它的最终值，HT4888的内部放大器被视为固定增益缓冲器。内部电流源按受控线性方式来改变BYPASS引脚的电压。理想情况下，输入和输出紧随BYPASS上的电压，直到BYPASS引脚的电压达到 $V_{DD}/2$ ，内部放大器都保持单位增益不变。一旦BYPASS引脚的电压稳定，器件进入完全工作状态。尽管BYPASS引脚的电流不能调节，通过改变C6电容的大小仍可以改变器件的启动时间和click and pop的大小。增加C6的值可降低启动时pop的大小，但也要付出代价，随着电容值的增大，启动时间也会增加。在C6电容的大小和启动时间之间存在着线性关系。下面是对不同C6值的一些典型的启动时间。

C_6	T_{ON}
0.01 μ F	30ms
0.1 μ F	40ms
0.22 μ F	60ms
0.47 μ F	80ms
1.0 μ F	140 ms

为了消除click and pop，在启动前所有电容必须得到充分放电。VDD快速开关可能影响电容的完全放电，从而引起click and pop现象。

在单端模式中，输出端通过COUT与电阻耦合，这个电容通常有很高的容值，可通过内部20k电阻放电。根据COUT的大小，放电持续时间会相对较长。为降低单端模式的瞬态响应，可以用一个外围的1k~5k的电阻与内部20k的电阻并联。但是这样做会增加器件的静态电流。

9. 音频功率放大器的设计

双声道1W/8 Ω 音频放大器的设计

以下是设计的运放指标：

输出功率	1Wrms
负载	8 Ω
输入电平	1Vrms (max)
输入电阻	20k Ω (min)
带宽	100 Hz - 20 kHz \pm 0.25dB

先由设计的输出功率决定最小电源电压。一种确定电源电压的方法是利用输出功率-电源电压曲线。另一种方法是，对于给定的负载电阻，通过式（8）来计算输出电压峰值以获得需要的输出功率。为了计算放大器的遗失电压，需要在结果中加入另外两个电压，这两个电压是基于遗失电压-电源电压曲线得到的。结果如式（9）所示

$$V_{OUTPEAK} = \sqrt{2R_L P_O} \quad (8)$$

$$V_{DD} \geq (V_{OUTPEAK} + (V_{OD_{TOP}} + V_{OD_{BOT}})) \quad (9)$$

由8欧姆负载的输出功率-电源电压图可知需要一个4.6V的最小电压达到输出要求，很容易由通常采用的5V电源电压来实现。电源电压的选择同时要超过最大额定功率损耗。

满足了HT4888的功耗要求后，最小差分增益可以通过式（10）得到

$$A_{VD} \geq \sqrt{(P_O R_L) / (V_{IN})} = V_{orms} / V_{inrms} \quad (10)$$

这样，2.83的最小增益使HT4888达到最大的输出振幅，同时保持低噪声和低THD+N。

放大器的总增益由输入电阻和反馈电阻决定。确定了输入电阻为20k Ω ，反馈电阻可由式（11）得到

$$R_2 / R_1 = A_{VD} / 2 \quad (11)$$

反馈电阻的值为30k Ω

设计的最后步骤是确定放大器的-3dB带宽。要得到所需的±0.25dB的通带变化范围限制，低频响应至少扩展到最低带宽频率限制点的1/5，高频响应至少超过最高带宽频率限制点的5倍。这两种响应的增益变化是0.17dB，刚好在±0.25dB的范围内。结果是

$$f_L = 100\text{Hz} / 5 = 20\text{Hz}$$

以及

$$f_H = 20\text{kHz} * 5 = 100\text{kHz}$$

在外围电路部分提到过， R_1 和 C_1 构成一个高通滤波器从而确定了放大器最低带通频率。

通过式 (12) 得到耦合电容值为

$$C_1 \geq 1/(2\pi R_1 f_L) \quad (12)$$

$$1/(2\pi * 20\text{k}\Omega * 20\text{Hz}) = 0.398\mu\text{F}$$

采用0.39μF电容最接近标准值。

10. 3D增强

HT4888 有一个特征，3D 音频增强效应，用来扩展从一个立体声音频信号察觉到的声音级别。3D 音频增强改善了因系统规模或设备的限制，立体声左右喇叭相距太近时的两通道隔离度。

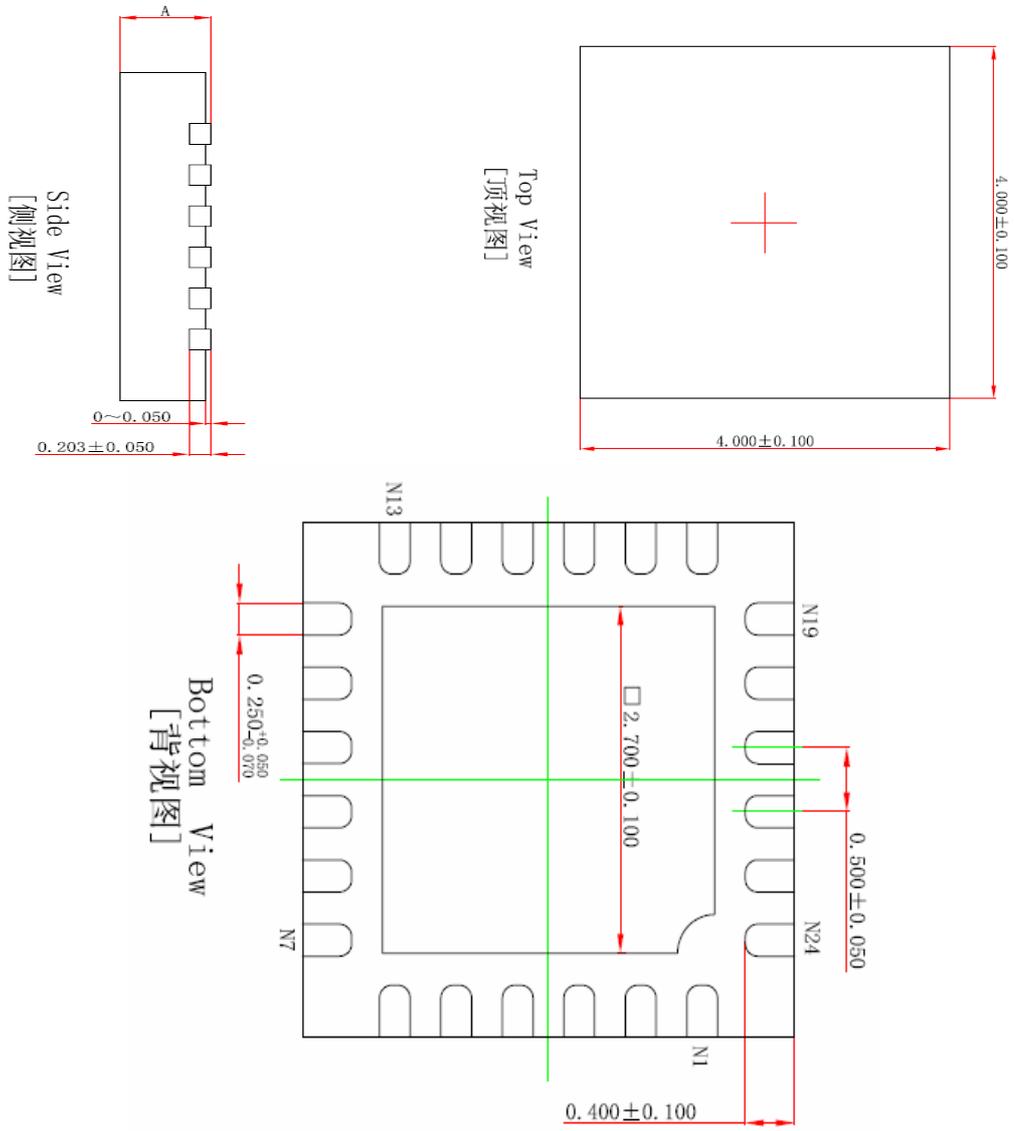
如图 2 所示，3D 效应需要由外部的一个 RC 网络来启动。立体声喇叭输出和耳机输出有自己独立的 RC 网络，因此 3D 效应可以在每一种立体声输出之间独立设置。

3D 效应量由 R5 和 C7 或者 C3D ADJ 设定，减小 R5 的值会增大 3D 效应。增加电容的值 (C7 和 C3D) 可以降低 3D 效应的截止低频频率，高于该频率 3D 效应就开始作用，如式 1 所示。

$$F_{3D(-3dB)} = 1/2\pi(R_{3D})(C_{3D}) \quad (13)$$

在 3D CONTROL 上加高电平将激活 3D 效应，同时会引起增益的增大，倍增因数是 $(1 + 20\text{k}\Omega/R5)$ 。如设 R5 值为 20kΩ，则 3D 效应激活时会导致增益增大到原来的 $(1 + 20\text{k}\Omega/R5) = 2$ 倍 或 6dB。可感知的 3D 量还与其它许多因素有关比如扬声器的位置以及离收听者的距离。因此使用者在应用中可以尝试多种 R5 和 C3D 的搭配来获得最佳的 3D 效果，3D 效果没有好坏之分，对于每一个用户个体只有适合与不适合之分。同时注意，当 3D 启动时，R3 和 R4 代替了 R2，R6 和 R7 代替了 R8。

十二. 封装信息



QFN24