

一种低功耗、高保真音频功率放大器的研发

陈有炼, 冯勇建*, 张少嘉

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 就解决现有音频功率放大器中噪声高、失调大的问题, 设计制作了一种 $0.6 \mu\text{m}$ 线宽的低压、低失真 AB 类音频功率放大器. 器件采用 BTL 结构的差动输出, 以简单的结构达到高质量音频重现. 在设计中, 采用前馈式 AB 类控制方式解决静态电流的控制, 并增加浮动 AB 类控制减小失配, 改善了传统 AB 类放大在噪声、失调等方面的性能. 实验测试结果表明, 供电电压为 5 V 时在关断模式下, 将静态电流消耗减小到 $0.2 \mu\text{A}$ 以下; 电源抑制比高于 80 dB ; 总谐波失真在 1% 内.

关键词: CMOS; 音频; 功率放大器

中图分类号: TN 722.7+5

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2008)03-0370-04

随着电子行业的便携式电器(如手机, 数码相机, MP3 播放器, 笔记本电脑等)需求的增长, 音频放大器的设计都要求达到低功耗, 以延长电池寿命和提供较长的使用时间^[1]. 全球消费市场要求新兴的及现有的数字便携式多媒体消费电子产品(如便携式多媒体播放机 PMP、电视手机和便携式数字摄像机)提供高保真音频性能, 移动电话添加了内置式数字照相机、可供下载的多音调振铃、Java 电子游戏、MP3 播放、录音留言、卡拉 OK 及视频点播等功能, 对音频功率放大器的性能要求更高了, 在关断模式下禁止偏置发生电路和放大器工作, 漏电流要低于 $2 \mu\text{A}$; 电源抑制比(PSRR)高于 70 dB ; 总谐波失真(THD)在 1% 内. 在现在的移动电话、个人数字助理及 MP3 等便携式电子产品中广泛采用 AB 类放大器, 因为 AB 类音频放大器具有卓越的线性表现, 而且不会产生 EMI 电磁干扰, 音频性能最好, THD 很低, PSRR 的绝对数值很高; 此外, 它没有噼啪声和咔嗒声, 或者这种噪声很小, 可以忽视; 它的开启时间和关闭时间都很短, 可以实现节能的方案; 同时, 它也是市面上价格最低的解决方案^[2].

1 电路设计

1.1 AB 类差动音频放大器的完整结构图

在 Rail-to-Rail 输出级中, AB 类传输函数可通过保持输出管栅极间电压恒定来实现^[3]. 由于用晶体管耦合的直接前馈通路实现的 AB 类前馈式输出采用晶

体管实现栅极间耦合, 比采用电阻的 AB 类反馈式输出更节省电路面积, 具有良好的高频特性, 几乎不会增加输出级的功耗, 同时降低了该栅极间电压对电源、工艺的敏感性, 并且适用于低压运放中, 所以在设计中采用前馈式 AB 类控制^[4]. 因为浮动电流源同 AB 类控制具有相同的结构, 所以共源共栅电流镜对电源的依赖性补偿了 AB 类控制对电源的依赖性. 这样, 推挽输出管的静态电流对电源纹波不再敏感^[5].

图 1 中的偏置电压 V_{b1} 、 V_{b2} 、 V_n 、 V_p 可以有一个偏置电路来提供, 如图 2 所示. 图 2 中的偏置电流 I_b 是来自偏置电流源模块的偏置电流, 偏置电压 V_{b1} 、 V_{b2} 保证图 1 中共源共栅电流镜 M11~M14、M15~M18 工作于饱和区; 图 2 中的 M31 同图 1 中的 M53、M50 构成电流镜, 分别作为 PMOS 输入对的尾电流源和支路 M23~M24 的偏置电流源; 图 2 中的 M41 同图 1 中的 M52、M51 构成电流镜, 分别作为 NMOS 输入对的尾电流源和支路 M21~M22 的偏置电流源; 图 2 中的 M36、M37、M43、M44 以及图 1 中的 M54~M59 均为由 Shutdown 信号控制的电路功能停止管. 本文所设计的 AB 类差动音频放大器要求在 5 V 的工作电压下, THD = 1% , 负载为 4Ω 时一个声道的输出功率为 2 W , 而一个声道是由两个 AB 类差动功率放大器由桥式连接组成的. 桥式连接的输出功率为单端输出的 4 倍, 则根据输出功率的要求, $P = \frac{1}{2} I^2 R$, 由 $P = 0.5 \text{ W}$, $R = 4 \Omega$, 则可得推电流和拉电流的峰值应该为 0.5 A . 根据公式

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2,$$

其中 μ_n 是载流子的迁移率, C_{ox} 是单位面积的栅氧化

收稿日期: 2007-09-20

基金项目: 福建省自然科学基金(2002H020)资助

* 通讯作者: yjfen g@xmu.edu.cn

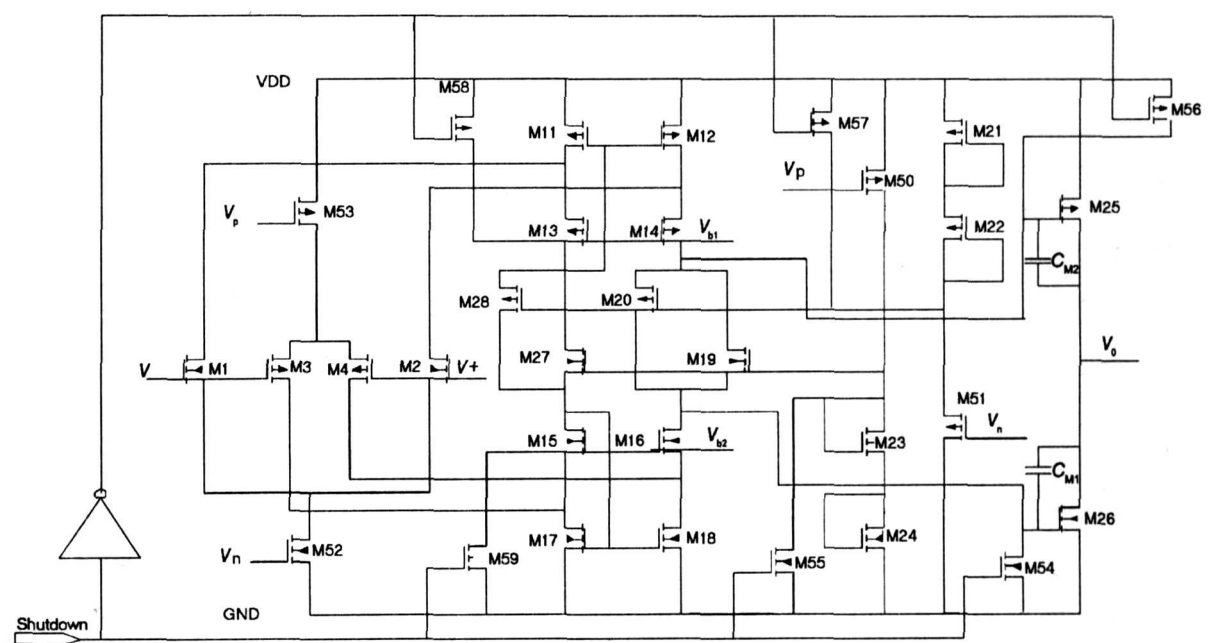


图 1 AB 类差动音频放大器的完整电路
Fig. 1 Class AB audio amplifier integrate circuit

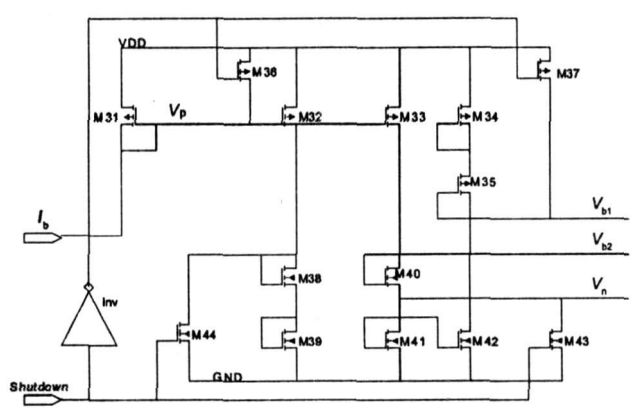


图 2 AB 类差动音频放大器的偏置电路
Fig. 2 Class AB audio amplifier biasing circuit

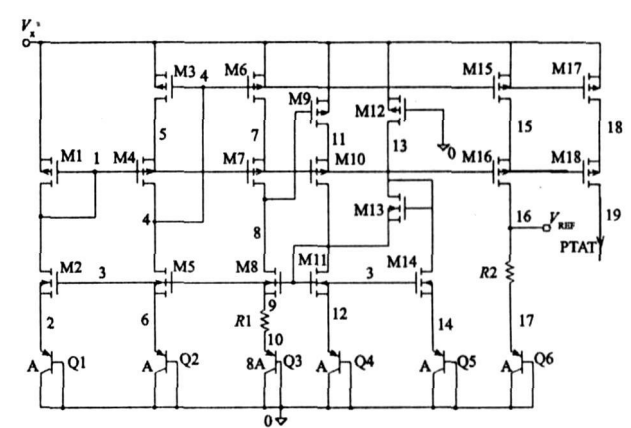


图 3 带隙基准电压源电路结构电路
Fig. 3 Schematic of the band gap reference

层电容, W/L 是器件的宽长比. $I_D = 0.5 \text{ A}$, $V_{GS} - V_{th} \approx 500 \text{ mV}$, 可以估算出推挽输出管 M25、M26 的尺寸 (W/L); 设定推挽输出管 M25、M26 的静态电流为 $800 \mu\text{A}$, M21~ M22、M23~ M24 支路的偏置电流为 $10 \mu\text{A}$, 互补输入差分对 M1~ M4 的尾电流为 $30 \mu\text{A}$, 可以推算出 M11~ M24 的尺寸; 根据运算放大器的带宽要求, 以及互补输入差分对 M1~ M4 的尾电流大小, 可以计算出 M1~ M4 的尺寸大小^[6]; 由 Shutdown 信号控制的电路功能停止管的尺寸一般较小, 且其尺寸对电路性能无重大影响, C_{M1} 、 C_{M2} 为补偿电容.

1.2 基准电流源的设计

模拟电路广泛的包含电压基准和电流基准. 偏置电路就是用来产生基准电压和基准电流的电路, 对所有的放大器和比较器进行偏置, 给它们一定的对温度

和电源电压变化不敏感的静态工作电流. 为了提高电流镜复制的准确度, 实际设计中采用 Cascode 结构, 其中 V_{ref} 是带隙电压基准电路产生的带隙基准电压. 第一路中的电流通过电流镜被复制到各个模拟器件中. 对于 A1, 由于它本身位于偏置电流产生电路中, 所以不能用上述方法产生电流来偏置自己. 本文采用带隙电压基准电路中产生的 PTAT 电流来作为它的偏置. 文献[7]提供了一种产生带隙基准电压 V_{ref} 和 PTAT 电流的电路, 其电路结构如图 3.

偏置电流产生电路的仿真波形如图 4 所示, 可以看出, 当温度从 $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ 到 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 变化的时候, 各个偏置电流的变化最大不超过 $0.1 \mu\text{A}$, 达到了较好的零温度特性.

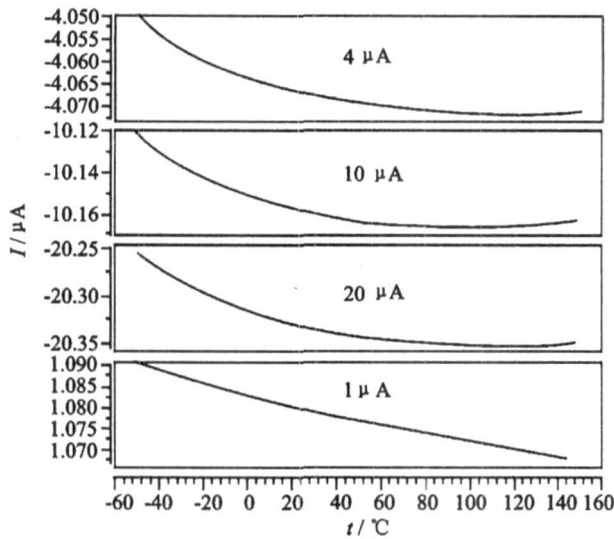


图 4 基准电流随温度变化曲线

Fig. 4 Variation of output reference current with temperature

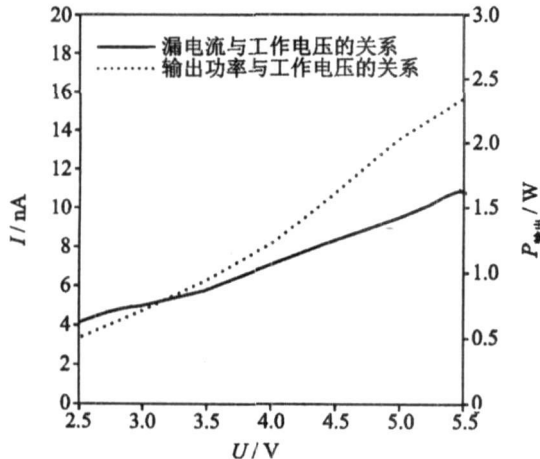


图 6 低功耗关断模式和输出功率-电源电压曲线

Fig. 6 Shutdown current vs vcc and output power vs supply voltage

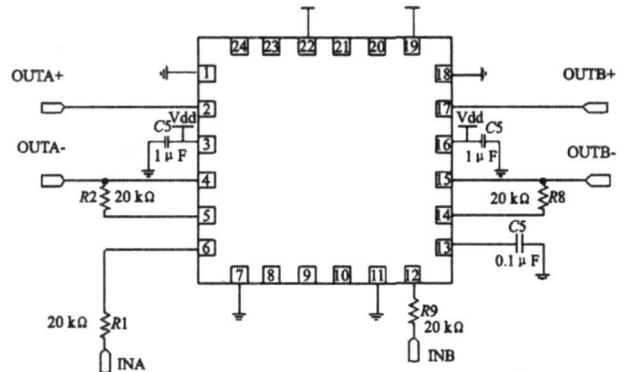


图 5 器件的测试原理图

Fig. 5 The Schematics of testing of device

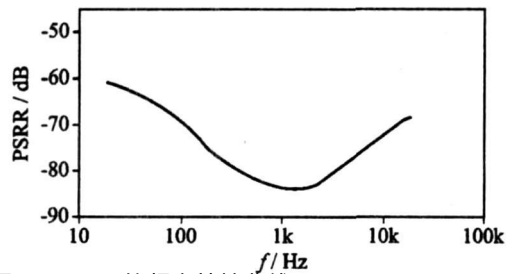


图 7 PSRR 的频率特性曲线

Fig. 7 The frequency of power supply rejection ratio

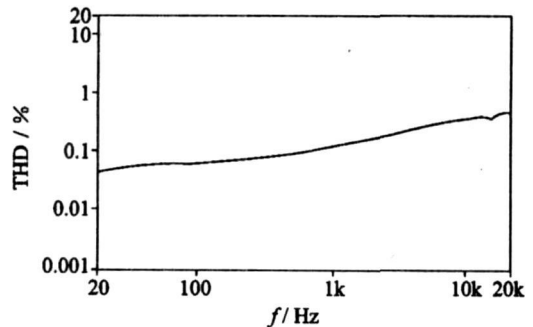


图 8 THD 噪声频率特性曲线

Fig. 8 Harmonic distortion noise frequency

2 音频功率放大器的总体版图设计和封装与测试

根据 UMC_2P2M_0.6 μm_5 V_CMOS 的工艺要求及版图设计准则, 利用 Cadence 工具进行版图设计. 低压、低失真 AB 类音频功率放大器的测试电路原理如图 5 所示. 根据测试原理图制作 PCB 板, 进行器件的测试. 测试结果如图 6~ 8 所示. 其中图 6 是在关断模式下的漏电流与工作电压的关系以及在负载为 4 Ω 的输出功率; 图 7 是 PSRR 的频率特性曲线, 单位是 dB. 图 8 是 THD 噪声频率特性曲线.

从以上测试结果可以看出, 器件达到了我们的设计要求, 可工作于低电压下, 做到了低功耗关断模式.

关断电流的典型值为 0.04 μA; PSRR 大大超过了市场上同类产品(一般为 65~ 70 dB), 高达 80 dB; 在保证较低的 THD 的条件下可对 4 Ω 负载提供 2 W 连续功率.

3 结束语

本文中所设计的低压、低失真 AB 类音频功率放大器可用于手机、笔记本、台式电脑、便携式音频系统中. 具有可选择耳机使能模式、立体声耳机放大模式、低功耗关断模式的特征. 本文所设计的低压、低失真 AB 类音频功率放大器, 结构简单, 成本较低, 性能良好. 推动 4 Ω 负载时可输出 2 W 功率, 在 0.2~ 20 kHz

范围内的 THD 在 1% 内, 频率为 217 Hz 的 PSRR 可高达 80 dB. 较低的成本和良好的性能使这种器件具有广泛良好的市场前景.

参考文献:

- [1] Yu S H, Tseng M H. Modulation and control of a three-level class-d audio power amplifier[J]. IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2005, 28(1): 1447- 1450.
- [2] Li J L, Feng Q Y. Audio power amplifier using in cellular phone with improved PSRR[J]. VLSI Design and Video Technology, 2005, 28(3): 87- 89.
- [3] Vincence V C, Montoro C G, Schneider M C. A low-voltage cmos class-ab operational amplifier [J]. Circuits and Systems, 2002, 26(3): 603- 606.
- [4] Hogervorst R, Tero J P, Eschauzier R G H, et al. A compact power-efficient 3 V CMOS rail-to-rail input/output operational amplifier for VLSI cell libraries [J]. IEEE Solid-State Circuits, 1994, 29(12): 1505- 1512.
- [5] Hogervorst R, Huijsing J H. Design of low voltage low power operational amplifier cells[M]. USA: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [6] Fonderie M J, Huijsing J H. Design of low voltage bipolar operational amplifiers[J]. Circuits and Systems, 1995, 28(3): 1728- 1731.
- [7] 冯勇建, 胡洪平. 一种低功耗 CMOS 带隙基准电压源的实现[J]. 微电子学, 2007, 37(2): 232- 237.

A Design of Low Voltage, Low Distortion Class AB Power Amplifier for Audio Application

CHEN You-lian, FENG Yong-jian*, ZHANG Shao-jia

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In order to improve traditional audio power amplifier's the noise and offset performance, we design a low-cost, stereo audio power amplifier. The audio power amplifiers are ideal for portable audio devices with internal speakers. A bridge-tied load (BTL) architecture minimizes external component count, while providing high-quality audio reproduction. We used feedforward Class AB control to solve the quiescent current control, improving the noise and offset performance. The test results in low-power shutdown mode, reducing quiescent current consumption to less than 0.2 μ A; power supply rejection rate (PSRR) could reach 80 dB and the total harmonic distortion (THD) is less than 1% while operating from a single +5 V supply.

Key words: CMOS; audio; power amplifier