

基于电流模技术的高保真声频放大器

·产品设计·

王丰硕¹, 严立中², 张正华², 雷晓玲³

(1. 扬州大学 信息工程学院 电气工程及自动化系, 江苏 扬州 225009;

2. 扬州大学 信息工程学院 电子信息工程系, 江苏 扬州 225009;

3. 西北师范大学 外国语学院 英语系, 甘肃 兰州 730070)

【摘要】采用电流模技术对高保真声频功率放大进行了研究与设计,结合实验和样机制作,实现了超宽频带超高速功率放大。随着 SACD 的日益普及,同目前流行的电压模高保真功放的性能相比,电流模高保真声频功率放大器将会有美好的发展前景。

【关键词】电流模; 声频功放; 频带拓展

【中图分类号】TN391.9

【文献标识码】B

High Fidelity Audio Power Amplifier Based on Current Mode Technology

WANG Feng-shuo¹, YAN Li-zhong², ZHANG Zheng-hua², LEI Xiao-ling³

(1. Department of Electric Engineering & Automation, School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, 225009, China;

2. Department of Electronic Information Engineering, School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, 225009, China;

3. English Department, College of Foreign Languages and literature, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

【Abstract】 Adopting the current mode circuit, the author makes some research and design of high-fidelity audio power amplifier. In the process of experiment and manufacture of the prototype, audio power amplifier with ultra wide frequency range and ultra high speed is achieved. As the SACD is increasingly popularized, the current mode power amplifier, compared with the prevalent voltage mode Hi-Fi power amplifier, will have a quick development and bright look in the future.

【Key words】 current mode circuit; audio power amplifier; widening frequency band

1 引言

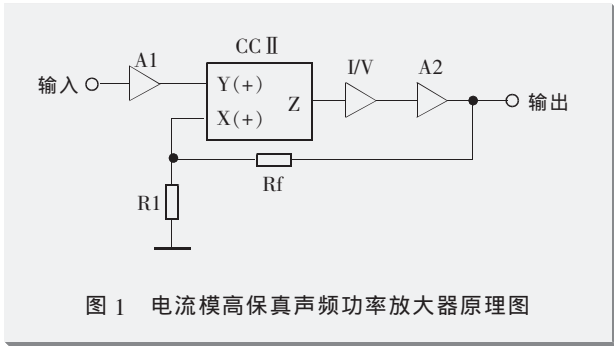
1999年,飞利浦和索尼公司共同开发了高质量音源 SACD (超级声频 CD),使音源的频带延伸至 100 kHz,动态范围高达 120 dB^[1]。之后 4 年中这种技术不断的发展和完善,而由于相应的宽频功放机和宽频扬声器系统等设备不普及,使得 SACD 机一直默默无闻。目前全球已有 200 万消费者选择了 SACD 播放机, SACD 的市场已渐趋稳定,人们对宽频、高速的新型高保真功率放大器需求更加迫切。另外,自 1970 年 O-talc 博士提出了晶体管放大器的瞬态互调失真(TIMD)理论^[2]至今,一直没有简便而有效地避免瞬态互调失真的办法。面对高质量的音源,传统放大器不免有些落伍了。在这种情况下,研发超宽频带、超高速的新型高保

真功率放大器具有重要意义。笔者提出的高保真功放采用电流模技术,在不增加生产成本的情况下,大幅度拓展通频带,实现放大器的高速化,克服了瞬态互调失真。其前后级稳定地将频带拓展到 3.8 MHz 和 1.1 MHz,转换速率 SR 高达 300 V/ μ s,完全能达到 SACD 的苛刻要求,具有广阔的应用前景。

笔者就电流模高保真功率放大器的原理、优点和技术特点等问题进行了论述,并给出了实测结果,希望对从事高保真功率放大器设计人员有所帮助。

2 电流模高保真功放的基本结构和工作原理

所谓电流模高保真声频功率放大器是指以电流作



为变量，在电流域中对信号进行处理的一种新型功率放大器。该放大器由输入缓冲级 A1、第 2 代电流传输器 CC II、跨阻放大器 I/V、输出缓冲级 A2、负反馈网络和直流伺服电路等组成，原理如图 1 所示。电路各级均构成跨导线性(Transliner-TL)回路^[3]。

由图 1 所示模型可见，输入信号由 A1 缓冲后，送入 CC II (第 2 代电流传输器)。其中 Y 是电压输入器，X 是电流输入端，呈零输入阻抗，低阻抗 X 输入端的电流将全部传送到高阻抗输出端 Z。同时，Z 端也是跨阻放大器 I/V 的输入端，动态时利用“Z”点的高阻抗将 CC II 的输出电流 I_z 转变成电压。最后利用只有电流增益的输出级 A2 缓冲输出。

3 电流模高保真功放的频响

3.1 以 1 MHz 的正弦波考察放大器的频响

虽然人耳的听觉范围为 20 Hz~20 kHz，但如果仅以 20 kHz 的正弦波信号考察放大器的性能是不合理的。在自然界中，波形为正弦波的纯音根本不存在。人耳对 20 kHz 的方波和正弦波感觉不同，说明 20 kHz 的方波信号中的高次谐波对人耳的听觉有贡献。若将方波傅氏展开，可得到频率为基波频率的奇数倍，而其幅值随频率的上升而下降的正弦波，即：

$$f(x) = \frac{4}{\pi} \left[\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \dots + \frac{1}{2k-1} \sin(2k-1)x + \dots \right] = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} \frac{4}{(2k-1)\pi} \sin(2k-1)x \quad (1)$$

对于 20 kHz 的方波，若舍去幅度小于基波幅度的 $\frac{1}{50}$ 的谐波成分（对于额定功率 100 W 的放大器，51 次谐波对应的电压幅值约 0.5 V），则 20 kHz 方波的最高正弦波谐波成分约为 1 MHz，即应以 1 MHz 的正弦波考察放大器的频响要求。

3.2 电流模高保真功放实现了超宽频带

传统电压模放大器中，必不可少的共射电压放大器晶体管负载阻抗很大，密勒效应严重影响了高频响应，放大器做到宽带放大绝非易事。电流模放大器的电路拓扑结构与传统放大器完全不同，影响速度和带宽的晶体管级间电容工作在阻抗很低的节点上，RC 时间常数极小，根据参考文献^[3]，其闭环-3 dB 带宽

$$BW_f = \frac{1}{2\pi C_T R_f} \quad (2)$$

只和负反馈电阻 R_f 和接入跨阻放大器的补偿电容 C_T 有关。这样放大器就可做到超宽频带，完美重播音乐中的超高频信号。这可确保相位完美的特色，且是正确音场重播的基本元素。

由公式(2)可知，闭环带宽 BW_f 直接与 R_f 和 C_T 的乘积成反比，与闭环增益 A_{uf} 无关，或者说电流模高保真声频放大器的 GBW (增益带宽积) 远比普通电压模放大器大，而且没有 GBW 为常量的约束，实现增益与带宽的独立调节。

4 电流模高保真功放有效避免瞬态互调失真

4.1 传统功放瞬态互调失真产生的原因

如果要用放大器处理快速上升的脉冲和大振幅的高频输出时，除了放大器的带宽外，转换速率的特性也起着重要作用。当输入信号含有速度很高的瞬态脉冲时，传统放大器受制于电流源和负载电容对电流的限制，输出端便不能立即得到应有的输出电压，输入级也不能及时得到应有的负反馈电压。在此瞬间，放大器处于负反馈失控的开环状态，输入级瞬时严重过载，输出严重削波，从而引起过渡脉冲瞬时失真，这称为瞬态互调失真。它给人以“金属声”的不快感觉，导致音质明显劣化，俗称为“晶体管声”。现在流行的避免瞬态互调失真的手段是采用浅负反馈、局部负反馈甚至无负反馈设计^[4,5]，但这些并不是根本的解决办法，甚至为此付出高昂的代价。

4.2 电流模功放消除了瞬态互调失真

电流模放大器的电路结构完全不同，没有电流源和负载电容对电流的限制。电流模放大器转换速率^[6]

$$S_R = \frac{V_o}{R_f C_T} = 2\pi V_o BW_f \quad (3)$$

随输入信号幅度线性增长，大信号输入时，电流模放大器的转换速率比传统放大器大得多。通过调节负

反馈电阻 R_f 和补偿电容 C_c 的参数,大幅度拓展放大器的带宽,实现放大器的超高速化,彻底消除瞬态互调失真,确保电流模放大器有大幅度高频信号低失真重放能力。例如国际顶级的丹麦“贵丰”放大器产品都有超阔频宽的特色,显著增强了放大器对高速瞬变信号的处理能力。

4.3 电流模功放的全功率带宽

将 S_R 代入全功率带宽的表示式,得

$$BW_P = \frac{S_R}{2\pi V_o} = BW_f \quad (4)$$

即电流模放大器的全功率带宽接近于闭环带宽,实现了大功率、高频、低失真的高性能功率放大。

5 结果

电流模高保真声频放大器由于采用了高速通信和视频处理技术中新兴的电流模技术,实现了超宽频带、高速、低失真和低噪声放大,其性能较传统电压模式高保真放大器有突破性的提高。笔者试制了2台样机,使用 Wavetek 39A 型信号源和 Agilent 54622A 型数字存储示波器对其技术指标进行了测试。后级额定功率 $2 \times 100 \text{ W}$, 前后级频响分别为 3.8 MHz 和 1.1 MHz , 20

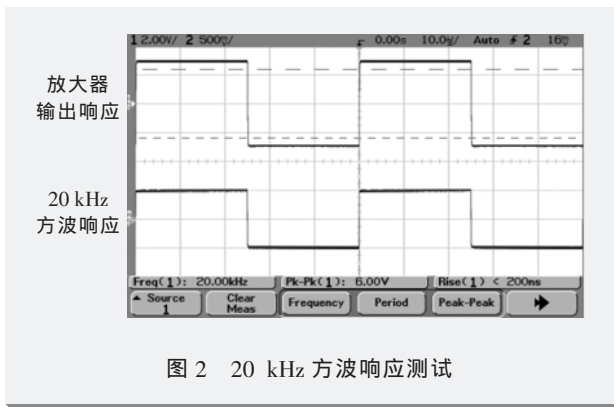


图2 20 kHz方波响应测试

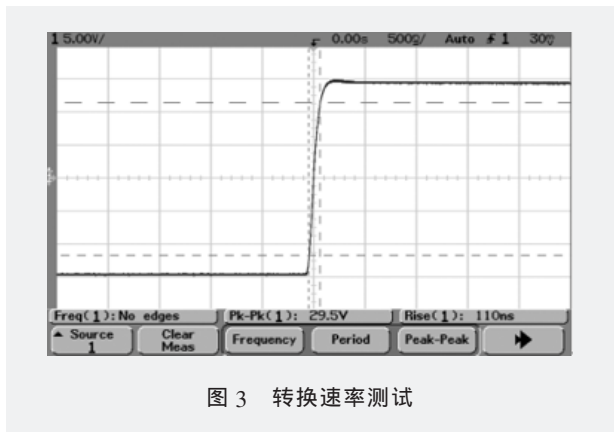


图3 转换速率测试

kHz 方波瞬态响应测试结果如图2所示,非常完美。转换速率测试如图3所示,除去输入阶跃信号上升时间,经计算得转换速率 $300 \text{ V}/\mu\text{s}$, 远高于进口数万元的高保真功放。

6 结束语

全球已有200万消费者选择了SACD播放机。在人们对视听要求越来越高的今天,实现宽频、高速的真正高保真功率放大具有重要意义。电流模高保真功率放大器采用了高速通信、视频处理领域内新兴的电流模信息处理技术,在并不增加成本的前提下,实现了快速、宽带、高线性的高保真声频功率放大。其频响、转换速率等主要技术指标达到并超过市场上数十万元售价的顶级放大器的水平,将对未来高保真声频功率放大技术产生深远影响。

参考文献

- [1] 王生九,吴镇扬. 一种新的音乐媒体 Super Audio CD. 电声技术, 2005, (3): 52—53.
- [2] 何亚宁. 采用 SPICE 软件设计的 200W 甲乙类电流负反馈放大器. 无线电与电视, 1998, (12): 43—47.
- [3] 赵玉山,周跃庄. 电流模式电子电路. 天津:天津大学出版社, 2001.
- [4] 陆全根. 二级对称放大无反馈宽带 $50 \text{ W} \times 2$ 功放. 无线电与电视, 2002, (3): 28—32.
- [5] 金忠阳. 降低放大器的瞬态互调失真. 无线电与电视, 1998, (11): 45—46.
- [5] 谢嘉奎. 电子线路(线性部分,第四版). 北京:高等教育出版社, 1999.
- [6] Sedra A S, Smith K C. A second-generation Current Conveyor and its Applications. IEEE Transactions on Circuit Theory, 1970, CT-17: 132—134.
- [7] Wilson B. Trends in Current Conveyor and Current-mode Amplifier Design. INT. J. Electronics, 1992, 73(3): 573—583.
- [8] Shen Iuan Liu, Chung Shinn Shih, Dong Shih Wu. Sinusoidal Oscillators with Single Element Control Using a Current-feedback Amplifier. INT. J. Electronics, 1994, 77(6): 1 007—1 013.

作者简介

王丰硕,主要从事高保真声频放大器方面的研究。

严立中,副教授,广播电视、仪器仪表。

张正华,副教授,硕士,智能仪器、信号处理。

雷晓玲,英文文献翻译。

[收稿日期] 2005-04-27