

# D 类功率放大器电路设计与调试

D 类放大器（数字音频功率）是一种将输入模拟音频信号或 PCM 数字信息变换成 PWM（脉冲宽度调制）或 PDM（脉冲密度调制）的脉冲信号，然后用 PWM 的脉冲信号去控制大功率开关器件通/断音频功率放大器。D 类放大或数字式放大器，是利用极高频率的转换开关电路来放大音频信号的，经常被用于高效率的音频放大器中。在高保真音响设备和更高档的家庭影院设备中，往往需要几十瓦甚至几百瓦的音频功率，这时，低失真、高效率的音频放大器就显得颇为重要，本文从实用角度出发，设计了一款低失真、高效率的音频放大器，与传统放大器相比，本放大器在效率、体积以及功率消耗方面具有明显的优势，它产生的热量小且为传统放大器的一半，其效率在 78%以上，而传统的放大器效率仅在 50%左右。

## 1 系统设计

### 1. 1 总体设计分析

本系统由高效率功率放大器（D 类音频功率放大器）、信号变换电路、外接测试仪表组成，系统框图如图 1 所示。

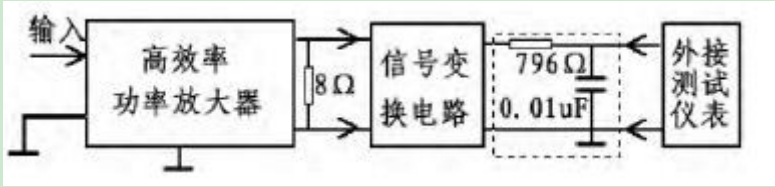


图 1 系统方框图

### 1. 2 D 类功放的设计

D 类放大器的架构有对称与非对称两大类，在此讨论的 D 类功放针对的是对功率、体积都非常敏感的便携式应用，因此采用全电桥的对称型放大器，以充分利用其单一电源、系统小型化的特点。D 类功率放大器由 PWM 电路、开关功放电路及输出滤波器组成，原理框图如图 2 所示。

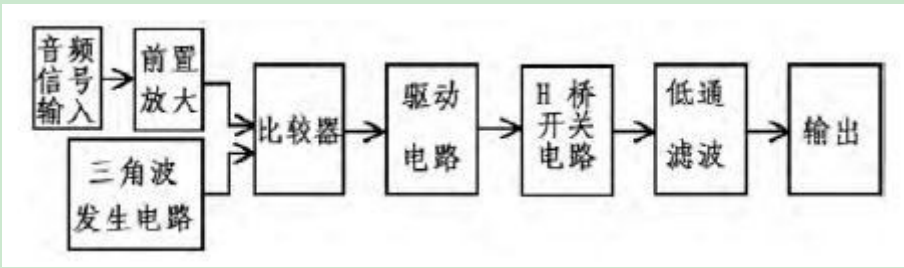


图 2 D 类音频功率放大器组成框图

采用了由比较器和三角波发生器组成的固定频率的 PWM 电路，用输入的音频信号幅度对三角波进行调制，得到占空比随音频输入信号幅度变化的方波，并以相反的相位驱动上下桥臂的功率管，使功率管一个导通时另一个截止，再经输出滤波器将方波转变为音频信号，推动扬声器发声。采用全桥的 D 类放大器可以实现平衡输出，易于改善放大器的输出滤波特性，并可减少干扰。全桥电路负载上的电压峰峰值接近电源电压的 2 倍，可采用单电源供电。实现时，通常采取 2 路输出脉冲相位相反的方法。

## 2 硬件电路设计

H 桥互补对称输出电路对 VMOSFET 的要求是导通电阻小, 开关速度快, 开启电压小。因输出功率稍大于 1W, 属小功率输出, 可选用功率相对较小、输入电容较小、容易快速驱动

的对管，IRF9630 和 IRFZ48NMOS 对管的参数能够满足上述要求，故采用之。实际电路如图 4 所示。本设计采用 4 阶 Butterworth 低通滤波器。

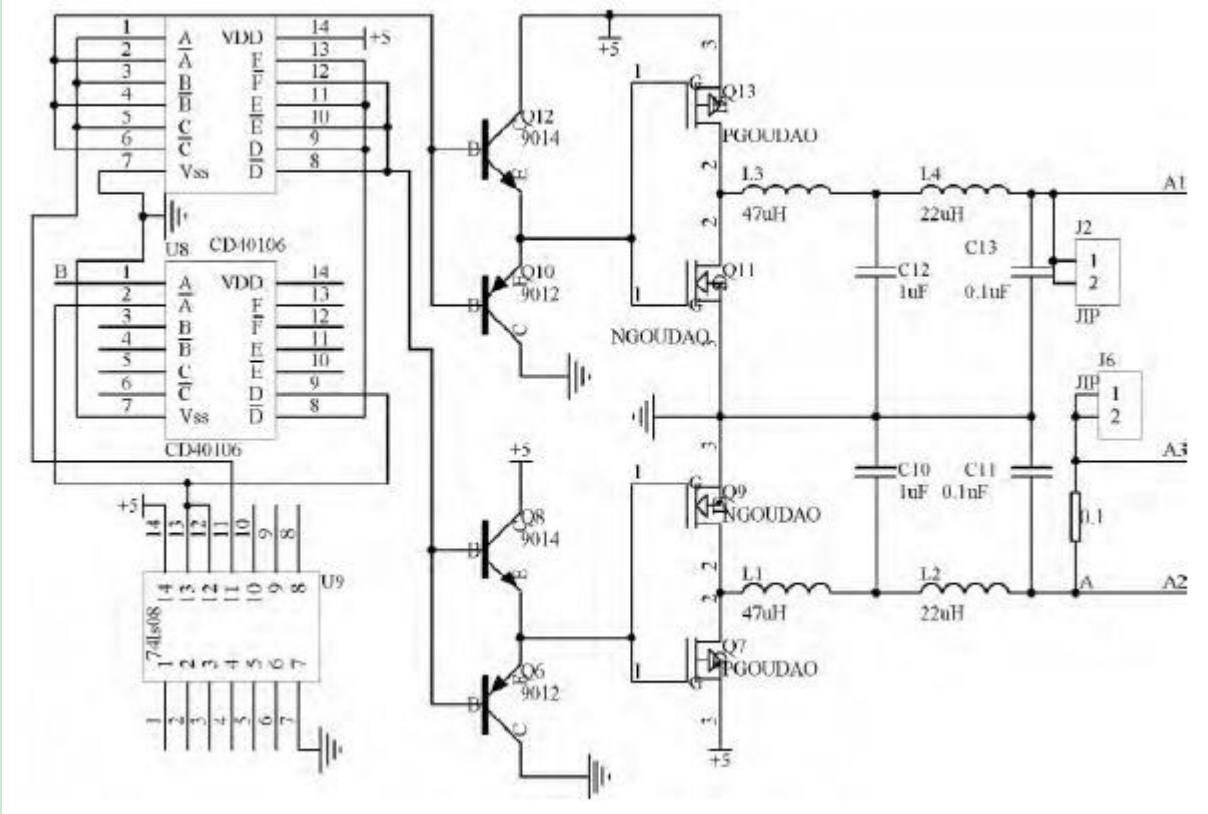


图 4 H 桥互补对称输出及低通滤波电路

对滤波器的要求是上限频率 $\geq 20\text{kHz}$ ，在通频带内特性基本平坦。互补 PWM 开关驱动信号交替开启 Q6 和 Q8 或 Q12 和 Q10，分别经两个 4 阶巴特沃兹滤波器滤波后推动喇叭工作。

### 3 电路测试

#### 3.1 调试步骤

1) 通频带的测量：在放大器电压放大倍数为 10，实测 3dB 通带的上、下边界频率值。通频带测试时应去掉测试用的 RC 滤波器。

2) 最大不失真输出功率：放大倍数为 10，输入 1kHz 正弦信号，用毫伏表测量放大器输出电压有效值，计算最大输出功率  $P_{o-\max}$ 。3) 输入阻抗：在输入回路中串入  $10\text{k}\Omega$  电阻，放大器输入端电压下降应小于 50%。

4) 效率测量：输入 1kHz 正弦波，放大倍数为 10 时，使输出功率达到 500mW，测量功率放大器的电源电流  $I$ （不包括测试用变换电路和显示部分的电流）。要求电源电压  $V$  的范围为  $5 \times (1+1\%) V$ 。效率为： $500\text{mW} \times V \times I$ 。

#### 3.2 数据分析

根据以上的调试步骤测量，测得数据如表 1、表 2、表 3、图 5、图 6 所示。

表 1 误差放大(静态)

测试点	电源端	接地端	同相端	反向端	输出端
测试值	4.98V	0V	2.484V	2.494V	2.494V
理论值	5V	0V	2.5V	2.5V	2.5V

表 2 脉宽调制(动态)

测试点	输入频率	输出波形	输出频率	输出幅度
测试值	100HZ	不规则的矩形方波	65.36KHZ	5.04V

表 3 效率测试

测试点	$U_i$	$I_i$	$P_i$	$U_o$	$I_o$	$P_o$	$\eta$
测试值	5V	0.5A	2.5W	3.79V	0.39A	1.368W	59.1 %

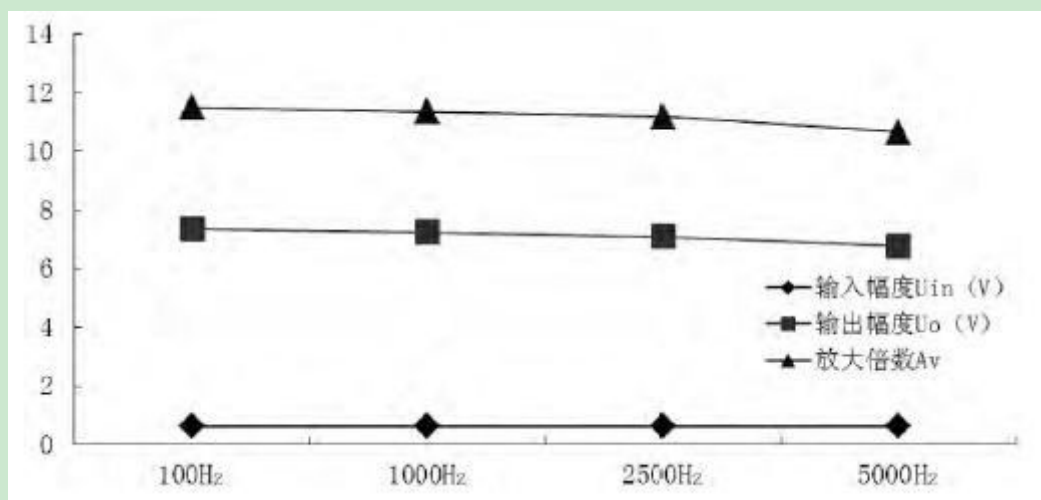


图 5 误差放大(动态)

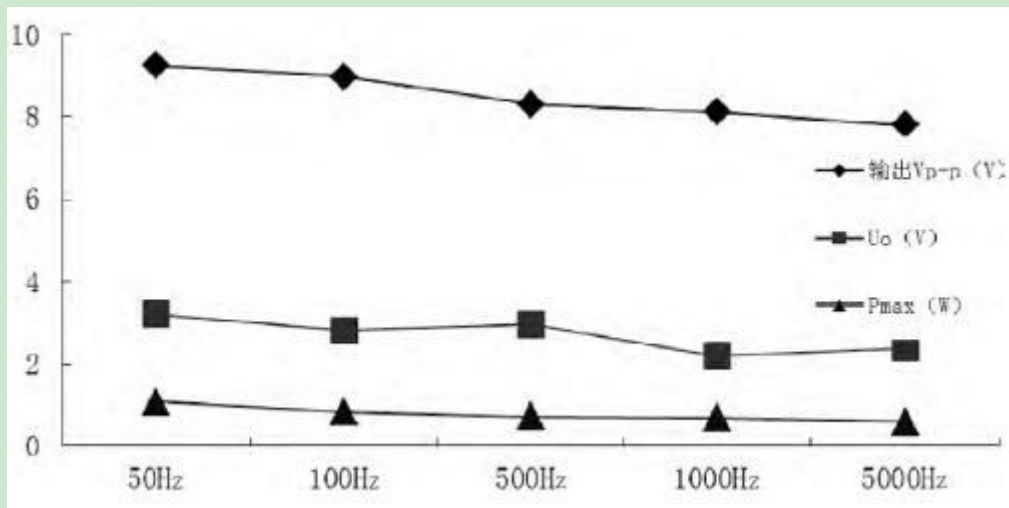


图6 最大不失真功率测试数据

图5展示了当输入信号的幅值不变，仅改变其频率，动态放大误差效果图。由图可知，对于频带以外的信号，系统的放大倍数与输出幅值有明显降低。对于当信号频率的升高导致EMI（电磁干扰）增强，可以利用低通滤波器降低干扰。

功率放大器采用5V电源，前置放大器的放大倍数调到最大，适当的调节输入信号的幅值，改变其频率，测量其最大不失真输出功率及效率见图6。对于频带以外的信号，功率放大器的最大不失真功率有明显的降低。若要提高效率，可以降低载波频率，但输出电压的谐波成分及失真增加；若要使输出电压非线性失真减少，则需提高PWM调制信号的频率。尽管高频干扰是D类功率放大器现今存在的主要问题，但其高效节能的优点，以越来越多的受到了人们的重视。

从上面的数据可知，功放的效率和最大不失真输出功率与理论值还有一些差距，其原因有以下几方面：

1) 在功放电路存在静态损耗。电路在静态下是具有一定的功耗，测试其5V电源的静态总电流约为28mA，静态功耗为： $P_{损耗} = 5 \times 28 = 140\text{mW}$ ，则这部分的损耗对总的效率影响很大，且对小功率输出时影响更大。

2) 功放输出电路的损耗，这部分的损耗对效率和最大不失真输出功率均有影响。H桥的互补激励脉冲达不到理想同步，也会产生功率损耗。

3) 滤波器的功率损耗，这部分损耗主要是由电感的直流电阻引起的，功率测量电路的误差。此外，还有测量仪器本身带来的测量误差。