

# 音频信号中交流耦合电容的选择

## 1 综述

电源先生 20190505

在时间和幅度上都连续的信号称为模拟信号。而声音或音频信号正是这种随时间而连续变化的物理量，属于模拟信号，有三个重要的参数分别是：幅度、频率和相位。人对音频信号的幅度感觉为声音的大小，对其频率感觉为音调的高低。人耳能听到的声音频率范围是 20Hz-20kHz，20-40Hz 为极低频段，40-80Hz 为低频段，80-160Hz 为中低频段，160-1280Hz 为中频段，1280-2560Hz 为中高频段，2560-5120Hz 为高频段，5120-20000Hz 为极高频段。

本文试着从音频电路中音频信号交流耦合电容的作用、类型以及容值大小三个方面做些解释。

## 2 音频交流耦合电容的作用

音频信号中交流耦合电容(AC Coupling Capacitors)的作用是，隔断音频信号中前级和后级的直流分量，只取交流分量，因为音频信号是模拟交流信号，不需要直流分量。音频信号中的直流分量对最终扬声器的发声没有贡献，若不隔离该直流分量，还会产生额外的功率损耗（因为通常扬声器的阻抗在 6 - 10 OHM 之间），且可能损坏耳机或耳机放大器。

音频信号输入端的交流耦合电容，与后端 ADC/CODEC 器件的输入阻抗一起，构成高通滤波器(High-pass Filter, HPF)，高于该 HPF 下限截止频率的信号才能顺利通过。

音频信号输出端的交流耦合电容，与后端耳机或扬声器的阻抗一起，也构成高通滤波器。

## 3 音频交流耦合电容的类型

音频交流耦合电容为何较少用普通陶瓷电容 MLCC，而更多地用电解电容或薄膜电容？

| Capacitor Type   | Derating |      | Advantage<br>Pros   | Weakness<br>Cons   |
|--|----------|------|---|--|
|  | Voltage  | Temp |   |  |
|  Ceramic                | None     | None | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Non-Polarized</li> <li>✓ Small Size</li> <li>✓ Transient Resistant</li> <li>✓ Low Cost</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Large Voltage Coefficient &amp; Aging (X7R, X5R, Y5V)</li> <li>✗ Limited cap range</li> <li>✗ Short failure mode (<math>T_{yp}</math>)</li> </ul> |
|  Film                   | None     | None | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Non-Polarized</li> <li>✓ Transient Resistant</li> <li>✓ Stability: Voltage &amp; Temp</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Large Size</li> <li>✗ Higher Cost</li> <li>✗ Limited Soldering Heat</li> </ul>  |
|  Aluminum Electrolytic* | None     | None | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ High Cap &amp; High VDC</li> <li>✓ Surge VDC Resistant</li> <li>✓ Self Healing</li> <li>✓ Open failure mode (<math>T_{yp}</math>)</li> <li>✓ Low Cost</li> <li>✓ Stability: Voltage</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Polarized</li> <li>✗ Limited Lifetime</li> <li>✗ Large Size</li> </ul>  |
|  Tantalum Electrolytic  | Yes      | Yes  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Long Lifetime</li> <li>✓ Small Sizes</li> <li>✓ Stability: Voltage &amp; Temp</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Polarized</li> <li>✗ Low VDC</li> <li>✗ Limited surge resistance</li> <li>✗ Short failure mode (<math>T_{yp}</math>)</li> </ul>                   |

\* - Aluminum Electrolytic includes liquid electrolyte, hybrid construction and solid polymer types

图 1 电容容值稳定性对比

注：图片来源 <https://wenku.baidu.com/view/62d8714fb9f67c1cfad6195f312b3169a451ea8a>

针对音频交流耦合电容的类型问题，有以下几个结论：

1) 音频交流耦合电容，无极性的陶瓷电容、有极性的电解电容和薄膜电容都可以使用。

2) 音频交流耦合电容，性能最差的是陶瓷电容，其次是电解电容，性能最好的是薄膜电容（用于发烧级或殿堂级的音响设备）。从图 1 可以看出，陶瓷电容的电压系数较大，稳定性较差，而电解电容和薄膜电容的稳定性更好。且陶瓷电容有压电效应，物理应力或形变会在其两端产生电压噪声。

3) 音频交流耦合电容，使用无极性的陶瓷电容时，应选择 II 类中 X7R 或 I 类(C0G/NPO)等温度特性较好、且精度较高的陶瓷电容，避免使用 II 类中 X5R 等温度特性较差的陶瓷电容，因为温度特性较差且精度较低的电容会引起更大的总谐波失真和噪声(THD+N) (Total Harmonic Distortion plus Noise)。

4) 音频信号处理电路中的储能电容通常用电解电容，滤波电容通常用 X7R 材质以上的陶瓷电容。

#### 4 音频交流耦合电容容值大小的确定

音频交流耦合电容取值，应保证 20Hz - 20kHz 范围内的音频信号都能有效通过；即，RC 高通滤波器的下限截止频率应小于 20Hz（如果要限制 20kHz，可用低通滤波器，使低于 20kHz 的音频信号才能通过，如图 3 中的 R65&C70 组成的低通滤波器）。截止频率的计算公式如下：

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi \times R_{IN} \times C_{IN}} \quad \text{公式 1}$$

通常 ADC/CODEC 音频输入端的阻抗较大（一般大于 10k），当输入阻抗取 10k，高通滤波器的下限截止频率取 20Hz 时，计算所得交流耦合电容  $C_{IN}$  的最小值为 0.796uF（一般可取 1uF 或 4.7uF，此时的下限截止频率为 15.915Hz 或 3.386Hz）；可见，由于取值通常较小，音频输入端的交流耦合电容可选择陶瓷电容。

音频输出端之后通常接耳机或扬声器，它们的阻抗较小（一般在 6 - 10 OHM 之间）。当 RC 高通滤波器中的电阻直接取耳机的阻抗 10 OHM，下限截止频率为 20 Hz 时，计算所得交流耦合电容  $C_{OUT}$  的最小值为 795uF，可见容值较大，所以通常用电解电容或薄膜电容。

为了减小  $C_{OUT}$  的容值，可增加 RC 高通滤波器中的电阻值为 10k（即在电容  $C_{OUT}$  后增加一个 10k 电阻到地），如此计算得到  $C_{OUT}$  的最小值为 0.796uF，实际应用中也可取为 1uF。可见，通过这种方法可以大幅减小音频输出端的交流耦合电容的容值，从而大幅减小尺寸，实现用体积较小的陶瓷电容替代体积较大的电解电容或薄膜电容的目的。

## 5 实例

### 5.1 Audio ADC——Cirrus Logic CS5361

CS5361, 24-bit Conversion, 114 dB Dynamic Range, -105 dB THD+N, up to 192 kHz

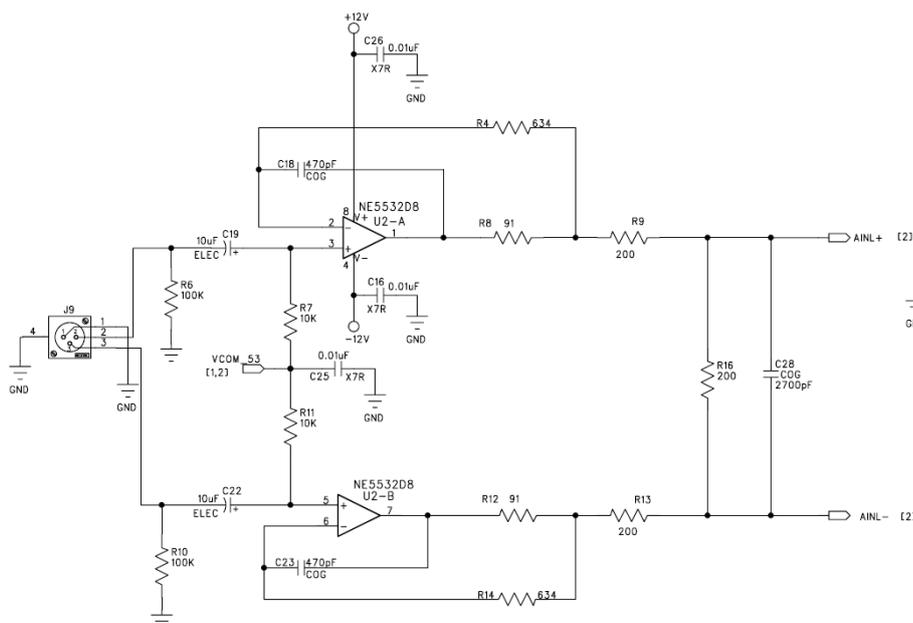


图 2 Audio ADC CS5361 EVB 中音频输入电路

图 2 是 Audio ADC CS5361 EVB 中音频输入端的缓冲器电路，从中可得以下信息：

1) 音频输入端的交流耦合电容 C19 和 C22，使用的是有极性的电解电容。

2) 无极性电容 C16、C18 和 C28 等，使用了 X7R 或 COG 温度特性较好的电容。

3) 根据 (C19 & R7) 或 (C22 & R11) 组成的高通滤波器，及其截止频率计算公式  $f = 1/(2 * \pi * R * C)$ ，计算可得截止频率为  $1/(2 * 3.14 * (10 * 10^3) * 10 * (10^{-6})) = 1.59 \text{ Hz}$ 。因为音频信号的频率范围在 20Hz - 20KHz 之间，此处交流耦合电容的取值，需保证高通滤波器的下限截止频率最大不超过 20Hz，以免低频段的音频信号被滤除。

## 5.2 Audio DAC——Cirrus Logic CS4361

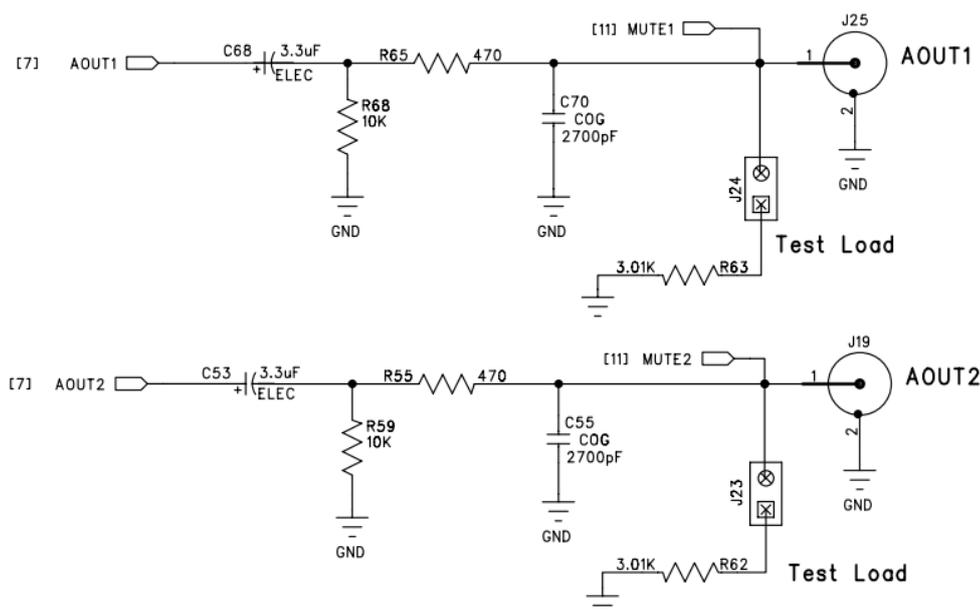


图 3 Audio DAC CS4361 EVB 中的音频输出电路

图 3 是 Audio DAC CS4361 EVB 中的音频输出电路，可得以下信息：

- 1) 音频输出端的交流耦合电容 C68 和 C53，使用的是有极性的电解电容。
- 2) 无极性的电容，使用了 C0G 类温度特性较好的电容。
- 3) 下限截止频率和上限截止频率如下

高通滤波器(C53=3.3uF)&(R59=10k)的下限截止频率为  $1/(2*3.14*(10*10^3)*3.3*(10^{-6}))=4.83\text{ Hz}$

低通滤波器(R68=470)&(C68=2700pF)的上限截止频率为  $1/(2*3.14*(470)*2.7*(10^{-9}))=125.48\text{kHz}$

可见，低通滤波器的上限截止频率相比音频的 20kHz 有些过高，若使用 100R&68000pF 组合的低通滤波器，计算得到的上限截止频率为 23.4kHz（实际使用时，须评估是否对高音有不良音响）。

### 5.3 Audio CODEC——Cirrus Logic WM8731

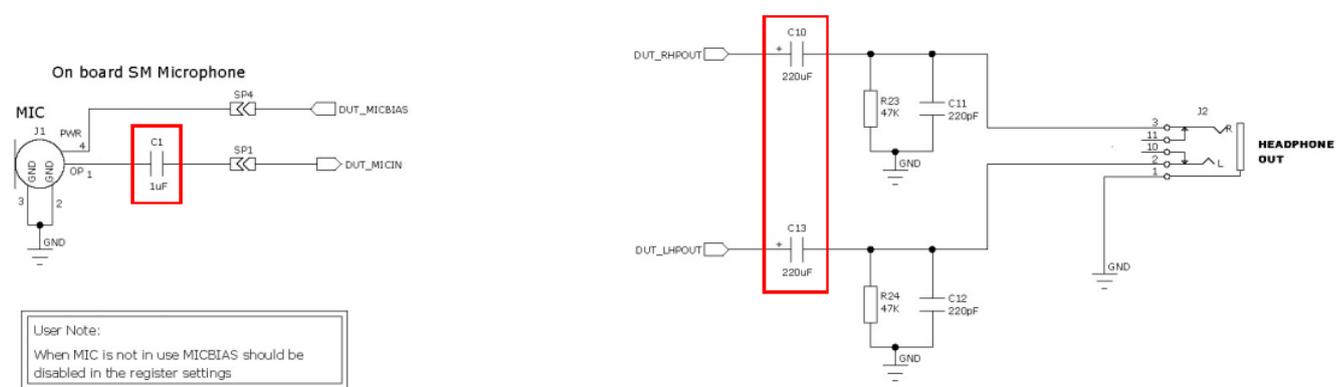


图 4 WM8731L-6061-FL28-M 音频输入输出电路

图 4 是 Audio CODEC WM8731 参考电路中的音频输入输出电路，可得以下信息：

- 1) 音频输入端使用容值较小的无极性陶瓷电容 C1，从“WM8731L-6061-FL28-M.pdf” BOM 表中得知 C1 的描述为“(Multicomp N0805R105KCT)1uF 0805 SMD Ceramic Capacitor 10V X7R”，温度特性为 X7R。
- 2) 音频输出端使用容值较大的有极性电容 C10 和 C13，BOM 表中的描述为“(AVX TAJD227K010R)Tantalum Capacitor SMD 220uF - 10V - AVX”。

### 5.4 Audio CODEC——TI TLV320AIC3204

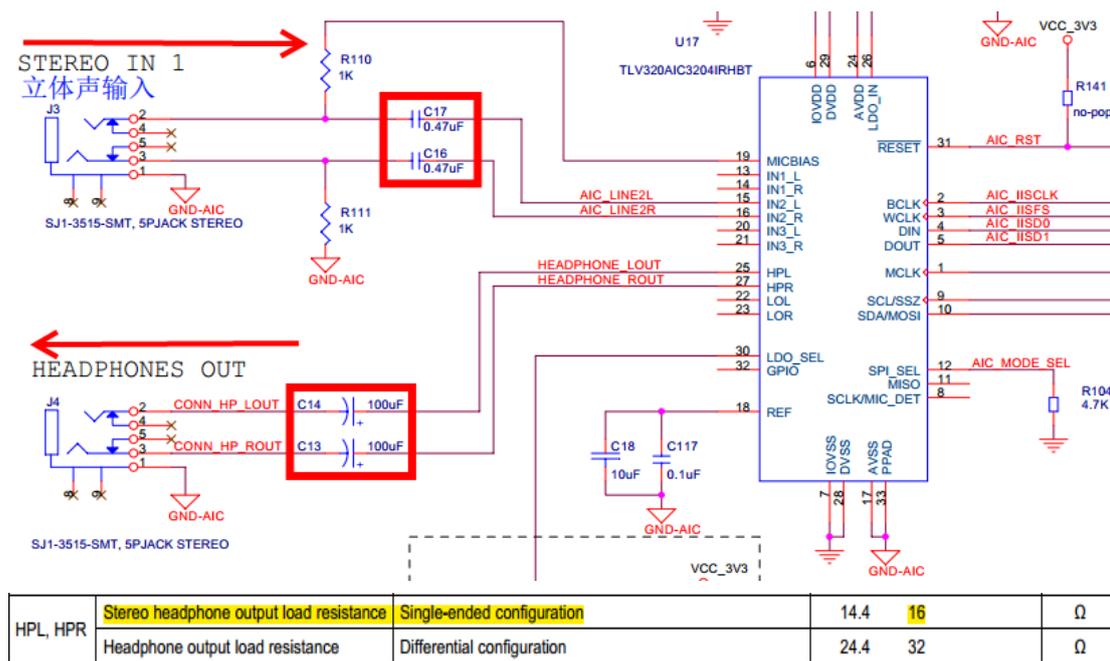


图 5 ezdsp5535\_Schematics\_RevC 音频输入输出电路

图 1 是 TI DSP 芯片 TMS320C5535 Evaluation Kit 中的音频输入输出电路，可见其音频输入端的交流耦合电容使用了无极性的陶瓷电容，型号为 GRM188R60J474KA01D(Murata Electronics, CAP,CER,SMT 0603,.47uF,6.3V,X5R,+/-10%)。音频输出端的交流耦合电容使用了有极性的固体钽电解质电容，型号为 T491B107M006AT(Kemet Electronics Corporation, CAP,TANT,SMT 1311,100uF,6V)。

注：以上电容具体型号来源于“ezdsp5535\_BML\_RevC.pdf”文档。其中，陶瓷电容的温度特性为 X5R，若使用 X7R/COG 类陶瓷电容更好。

## 6 总结

本文总结了音频电路中，音频交流耦合电容的作用，其类型如何选择，以及其容值大小如何确定等几个方面的问题。有以下结论供参考：

1) PCB 尺寸空间允许的情况下，优选电解电容或薄膜电容（因其在电压系数等参数上更稳定）作为音频信号交流耦合电容，其次才选择 X7R/COG 类温度特性较好且精度较高的陶瓷电容，以此将 THD+N 最小化。

2) 通常音频输入端的交流耦合电容所需容值较小，可用陶瓷电容；音频输出端所需容值较大，可用电解电容（如液体铝电解质电容，俗称“电解电容”；如固体钽电解质电容，俗称“钽电容”）或薄膜电容。若受限于 PCB 尺寸空间，可在音频输出端加大高通滤波器的电阻值，从而减小电容值，减小电容的尺寸，实现用体积较小的陶瓷电容替代体积较大的电解电容或薄膜电容的目的。

## 附 1 参考文档

<https://www.maximintegrated.com/cn/app-notes/index.mvp/id/3171>

<http://www.ti.com/tool/TIDEP0066>

## 附 2 版本记录

|     |      |                  |
|-----|------|------------------|
| 1.0 | 初始版本 | 电源先生, 2019-05-05 |
|     |      |                  |
|     |      |                  |