2014年浙江省第五届大学生电子设计竞赛 (TI杯)



**2014年8月15日**

**带啸叫检测与抑制的音频功率放大器（D题）**

**摘 要**

音响设备在实际使用中容易产生正反馈回路，容易出现啸叫，此类啸叫不仅对于设备有较大的危害，对人体的影响也是不可忽视，因此，需要加以一定的电路进行啸叫检测与抑制。

此外，功率放大器的能耗也是音响设备不可忽视的一面。传统的甲类，乙类，甲乙类功放电路均存在较大的能耗，而新兴的D类功放虽然效率很高，但是也存在非线性失真严重，因此，需要对电路加以一定的改进。

本方案中的啸声检测与抑制电路，以C8051F020单片机作为总控制中心，利用LM339比较器及定时器作为啸声检测模块，以LTC1068有源滤波器作为啸声抑制模块，共同完成检测与抑制功能。而功放部分，则以TI公司的TPA3112D1的D类功率放大器为核心，通过数字电位器和滤波模块来完成音频的调节。

**关键字：** 啸声抑制 滤波器 D类功放 单片机

**带啸叫检测与抑制的音频功率放大器（D题）**

# 系统方案

本系统主要有单片机模块，频率采集模块，滤波模块，功放模块，电源模块等组成。由于功放模块已指定，因此，以下主要针对单片机，频率采集与滤波模块，电源模块进行论证。

## 单片机模块的论证与选择

方案一：选择80C51，控制指令简单，功耗较低，但执行周期比较大，不利于高速测量与控制。

方案二：选择MSP430，功能丰富，功耗低，但使用经验不足。

方案三：选择C8051F，功能丰富，使用经验较多，但功耗较大。

综上考虑，选择方案三。

## 频率采集模块的论证与选择

方案一：由于产生啸声时，声音频率基本保持不变，可以利用连续检测输入信号的频率来判断是否产生啸声，但存在单片机资源消耗过大，精度不够高等缺点。

方案二：由于啸声的幅值要远远高于正常信号的频率，因此，可以利用比较器测量其幅值，以判断是否出现啸声，如果信号频率超过比较值，则进行频率测量，缺点是比较值较难确定。

综上考虑，选择方案二。

## 滤波模块的论证与选择

方案一：数字滤波器。将输入信号进行AD转换，并在单片机内部进行判断

幅值大小，从而确定是否出现啸声，如果有则测定信号此时的频率，并将数字量进行滤波，然后进行DA转换，输出音频信号。但此时，容易产生延时等非线性失真，且程序比较复杂，对于单片机处理要求也较高。

方案二：采用MAX260模拟滤波器。使用MAX260滤波芯片可以直接得到带阻滤波器，并且，滤波器中心频率范围按照使用要求最大可达到从1Hz到100kHz的范围，但缺点是该芯片控制过程复杂，并且，需要从网上购置该芯片，消耗时间过多。

方案三：采用LTC 1068模拟滤波器。该滤波器也可以直接实现带阻滤波，中心频率受控与输入的时钟频率，控制过程简单，实验室有备用品可直接应用。缺点是其频率范围受限，最低输入时钟频率不能小于100K，而为保证输入时钟频率的准确性，最高频率不高于于2MHz。但是，考虑到正常音频信号为20Hz-20KHz，因此，可以选择两块1068分别实现高低频滤波。

综上考虑，选择方案三。

## 电源模块的论证与选择

方案一：采用芯片TDA2030，运放同相输入端接有对称的串联电阻分压器，而运放本身接为电压跟随器的形式；根据运放线性工作的特点不难看出：运放输出端与分压点间的电位严格相等，由于运放的输出端作接地处理，因此运放的供电电源VCC就被相应地分隔成了两组对称的正、负电源±VCC/2，即输出正负6V电压。再引入两个整流二极管进行降压，从而获得5V左右的电压输出。

方案二：采用7809和7805的线性稳压器分别获得9V和5V的输出，由于7809输入电压与最终输出的压差不得低于2V，7805要求压差不低于3V，因此可采用12V单电源输入，经7809输出的5V作为7805的输入，这样可同时获得9V电源和5V电源。然后，利用一片ICL7660把+5V电源变换为-5V电源，以此实现双电源供电。

经比较，方案一的整流二极管由于对电流大小要求较高，而电路在测试时负载仅8欧姆，因此可能会烧坏二极管，另外，二极管降压并不稳定；而方案二两个稳压管可很好输出稳定电压，并且电压转换芯片7660的电压转化效率极高，因此方案二更符合电路要求。选取方案二。

# 电路与程序设计

## 系统总体框图



其中麦克风使用台式全向麦克风，前置放大电路使用NE5532集成运放，电压比较电路使用LM339比较器，带阻滤波器采用LTC 1068，D类功放采用TPA3112D1。

## 硬件电路（图及说明见附件）

## 控制程序的设计（具体程序参考附件）

程序所需要实现的主要功能：

功能一：统计比较器输出的方波的周期，进而计算出啸声的频率。

功能二：根据啸声的频率输出对应频率的时钟信号给LTC 1068滤波模块。

功能三：检测键盘的输入，根据输入的结果输出一定的信号用于控制数字电位器从而控制比较器的比较电压和D类功放的输出功率。

程序流程框图



# 测试方案与测试结果

## 测试方案

1. 根据以上设计的模块，首先对电源模块进行测试。在接入适当电阻负载的情况下，分别测量5V，5V，9V输出端电压情况，从而得知电源模块驱动能力及电压准确性等数据。
2. 利用信号发生器和示波器测量电压器比较模块。利用信号发生器输出大小约为3V，频率为1kHz的正弦波，选取2V作为电压参考源，测量比较器输出方波的情况。
3. 测试功放电路模块。在功放模块的输入端输入大小约为100mV，频率为1kHz的正弦波，利用示波器观察输出结果，并且逐步增大输入电压的幅值，以得到最大不失真输出电压，并由此计算得到最大不失真输出功率。
4. 测试麦克风拾音电路。将麦克风接入拾音电路，并在后级接入功放模块及扬声器，在麦克风口播放音乐，观察扬声器输出音频幅度，信号波形，以及音乐的音调，音量等。
5. 测试数控电位器模块。分别在U/D 端口输入正电压和0电平，并在INC端口输入频率为1Hz的方波信号，在输出端口利用万用表观察输出电压值的变化。
6. 测试滤波器模块。利用单片机输出1MHz的信号，从而得到对于带陷滤波器的约为4kHz左右的中心频率，同时，让信号源分别输出1kHz，4kHz，6kHz频率的正弦波，观察其放大倍数。
7. 将以上模块按照系统设计框图（前图）进行连接，并进行仔细的检查，排除因接地端，连线等存在的错误。随后，进行整个系统的测试，重点观察输出的音质，音量，数码管的啸叫频率等结果，
8. 针对测试中出现的问题，调整电路设置等，尽量符合设计要求。

## 测试结果分析与结论

1. 电源模块。经过实际测试，在输入为12V单端电源的情况下，5V，9V在输出的电压值与设计值偏差小于±0.1V，符合设计要求，但-5V则存在约为0.3V左右的误差，这主要是由于-5V电压来源于12V电压两次转换之后输出得到的结果，因此，带负载能力相对较弱，进而导致较大的误差，但基本能够本系统的供电要求。
2. 电压比较器模块。本系统使用LM339作为比较器模块的核心，该比较器的输出速率极高，实际测试中，当输入的信号频率为1MH时，其方波输出延时不到四分之一个相位，并且，在方波边缘非常平整，因此，对于实际中20Hz-20kHz的音频信号，其处理速度和精度完全可以满足需求。
3. 功放电路模块。100mV，1kHz正弦信号在经过给定模块中自带的LC滤波电路后处理后，输出的波形电压为1V左右，其波形稳定而且清楚。逐步增大输入信号的幅值，发现当输出的电压达到3.3V左右时，输出波形出现一定的削顶和缩底，且两者现象几乎同时出现，因此，得到该功放的最大不失真输出电压为3.3V左右，最大不失真输出功率为0.68W左右，低于设计要求，这主要是由于前置放大级的放大倍数不够高，导致输入到功放电路的信号幅值过小，进而降低了最大不失真输出功率。
4. 麦克风拾音电路。将电路组装好以后，在台式麦克风旁边播放音乐，可在扬声器中听到比较清晰的音乐，但当输入的音频音量增加时，也有一定的噪声出现，此外，此时也是容易产生啸声，这主要是由于音频幅度增加，一方面增加了背景噪声，同时也容易形成正反馈回路，进而造成啸声。
5. 电位器模块。本次实验使用的数字电位器X9C 103芯片具有100等分电阻的能力，因此，当输入的RH为5V时，可以得到步长为50mV的阶梯电压，能够满足本系统对于不同电压的需求。
6. 滤波器模块。滤波器是本系统的核心，根据LTC 1068—200datasheet给定的参考图改编而成。根据datasheet所介绍，当工作在带阻模式时，该芯片在中心频率处具有-70dB的损耗，而在实际测试中发现，当输入为1MHz时，在4k处左右的频率与其他频段相比放大倍数仅小了10倍，即-20dB，说明了理论与实际的差距，但是，即使如此，其对于中心频率的滤波效果也是相当明显的。在进一步的测试中发现，其带阻的效果很大程度上取决于系统反应的速度，速度越快，则越能够较快的追踪到啸声频段，并将其过滤，从而实现啸声抑制的功能。
7. 系统总测试。在该测试中，主要需要验证的各个模块的匹配功能，在实际中主要遇到的问题包括地线的匹配，负载驱动等方面的问题，以及处理时差及频率显示等的问题，在后期也是通过逐步改进来晚上本设计方案。

# 结语

本次带有啸声抑制功能的功率放大器的设计工作持续了三天四夜，虽然在最终测试的时候发现有些指标难以达到，如系统的效率，以及最大不失真电压等，但是，这种设计过程本身就是一种激情。虽然最后离开实验室的时候已经很累，但是，电子竞赛对于提高我们自身的能力，知识和素养的帮助确实是一生的。