基于单片机辅助的音频功率放大器

1. 摘要：

本文以常见的甲乙类OCL互补推挽音频功率放大器作为实验骨架，增加PIC16F818单片机实现各种辅助功能。实现一个低成本的数字增益控制和智能保护放大器。也可以通过改变骨架放大器的种类，用在如大功率或者高保真等更有价值的放大器上。重点介绍了数字音量控制，智能衰减过高输入，输出中点电压自动调整，根据工作点状态开机延时，串行数码显示等。并且已经在万能板上成功将电路实现。实测电路能完成本文所规划的功能。

关键字：单片机 音频放大器 PIC16F818 数字音量控制

1. 引言：

多媒体时代，晶体管音频放大器的功率越来越大，种类也越来越多。由于元器件的制造工艺不断提高，噪音和不稳定性也日益改善。于是人们不再停留在以前音响界盛誉的“简洁至上（Simple is the Best）”的阶段。纷纷使用大规模高复杂电路，以求实现良好的可控制性以补偿元器件本身缺陷带来的影响。特别是D类功放和数字功放的快速发展，更是对音响技术带来了一场科技革命。但是复杂电路和放大器种类多样性带来了很多不可避免的问题，如放大器的稳定性，各级间相互匹配，出现问题时是否会影响其他设备，开关机时器件能否协调等。必须采取措施去控制各种不利情况的发生。并且新式放大器加入了更多人性化的东西，如实时显示状态信息，支持遥控或者触摸控制等。

1. 实验骨架：

一个标准的全对称甲乙类OCL互补推挽音频功率放大器，使用两对2SC1815,2SA1015作为对称差分输入放大级；名管2SB649,2SD669作为推动级；TIP41C,TIP42C作为输出级；使用大环路电压负反馈。相比于标准电路，此电路做了一些改动以适应单片机控制。电路在Multisim10.1中仿真表明：电源电压±20V，输入信号1kHz 100mV时，电路总谐波失真THD<0.2%。

1. 骨架中电路可能存在的问题：

上述音频放大器能正常工作，可是仍然存在一些问题：

1. 由于避免低频损失，输出没有使用耦合电容，而是直接接到了喇叭负载上。在开机非线性元件未进入稳定状态或输入信号存在直流分量时，导致输出电压直流分量不为0。这种不稳定会导致喇叭通过直流大电流瞬时烧毁。
2. 电路处于稳定增益的状态，即UO=KUI。但是由于电源电压的限制，这种理想的状态是不可能实现的，此电路中，输出电压峰值到达接近2Vcc时，将会出现削峰失真。
3. 负载改变时，中点电压可能会改变，导致对称管中一方电流剧增，而且由于半导体负温度系数的特性，导致电路失衡后一般都不能自主回复到正常状态。而是向破坏性状态发展，直至电流剧增的晶体管烧毁为止。
4. 音量调整由电位器完成。由于电位器存在机械磨损，特别是廉价音响普遍使用的碳膜音量电位器。碳膜长期与滑片摩擦导致磨损，使旋转电位器时电阻值出现跳动，经过放大器放大后导致巨大噪音。并且电位器不能直观显示当前音量值。
5. 由于全模拟信号传输，不适合远距离控制，特别是遥控改变音量等。

对此，我们使用一块微控制器芯片和M62429电子电位器去解决上述问题。并且利用单片机独特的优势设计了一些交互功能，方便用户控制电路工作。

1. 此电路的解决方案：
2. 不断使用单片机A/D采样中点电压，当中点电压偏移值超过预设范围时，通过M62429电子电位器校正中点电压。不断重复校正，直到中点电压为零。
3. 采样音量峰值，如果某次音量峰值超过一定上限n dB。则将此时音量值衰减n dB，并且保持t秒。t由编程决定。典型值为0.5s。
4. 对输出点的电压与负载电流进行监控。任意一个值超过上限，即静音输入并且断开负载t秒，t由编程决定。t秒后先检测输出点的电压是否为0，如果为0则取消静音并且重新连接负载。
5. 使用M62429电子电位器调整音量。由于电位器主体非机械部件，无机械磨损。不会产生巨大噪音，使用寿命比机械式电位器长很多。并且能通过单片机控制显示当前电位器衰减量大小。
6. 大部分调整信号已经数字化，传输损失少，方便如红外遥控等远距离控制。
7. 硬件电路设计实现：
8. 音频放大器引出的电路检测和控制工作点：

* 电源控制点：控制电源的开关操作。
* 音量控制点：开机未准备好时静音；开机就绪后自动调整为上次存储的音量；数字控制调整音量；检测到关机动作时立即静音。
* 交流电压检测点：直接检测来自交流电源整流输出的电压，此电压在关闭交流电源时立即为0，但此时由于大容量滤波电容仍然存有电荷，功放仍然处于工作状态直至大容量滤波电容放电完毕。此时应该断开所有输出负载以免欠压导致中点漂移。
* 负载电流检测点：检测负载电流情况，判断负载是否处于过载状态。如果持续过载，则应断开负载。
* 输出中点电位检测点：开机时先检测中点电位是否为0，若不为0则需要校正才能接入负载。工作时定时检测0电位并校正。
* 喇叭继电器控制点：控制负载的接通和断开。

1. M64629连接音频放大器的接点：

* 通道1输入端：至参考电压点。接参考0电位，以便校正使用。
* 通道1输出端：至中点调整端。M64629通过此端口控制中点电压。
* 通道2输入端：至音频端子输入。接来自外部的音频输入到M64629中。
* 通道2输出端：至功放音频输入端。外部的音频经过M64629进行音量处理后由此端口输出到音频放大器。

1. PIC16F818的引脚分配：

* A/D转换模拟信号输入通道0，输入端：键盘线（重置Timer0继续使用）。
* A/D转换模拟信号输入通道1，输入端：音频放大器输出电流采样 （电容平滑输入）
* A/D转换模拟信号输入通道2，输入端：零点电压采样 （电容平滑输入）
* 基本输入输出端口0，输出端：音量调整/中点调整数据线（串行信号输出到M62429）
* 基本输入输出端口1，输出端：音量调整/中点调整时钟线（输出方波到M62429作为时钟）
* 基本输入输出端口2，输出端：开机信号（电压线，Timer0第一次使用）
* 时钟输入，输入端: PIC16F818 Timer低速时钟输入。
* 基本输入输出端口3，输出端：显示屏数据线。
* 基本输入输出端口4，输出端：显示屏时钟线。
* 基本输入输出端口5，输出端：显示屏片选线。

1. 元器件选用
2. PIC16F818简介：

基于上述需求与大量筛选，本例中使用PIC16F818单片机作为核心的控制元件。PIC16F818是一片带A/D转换及微功耗纳瓦技术的单片机芯片，使用取指令和执行指令并行的哈佛总线结构以及只有35条单字指令的精简指令集。

硬件资源：具有1.75k字节程序存储单元(Program Memory)；128字节的数据存储器(RAM)；128字节非易失性数据存储器(EEPROM)；16个基本输入输出引脚；2个8位、1个16位定时/计数器；1个增强型捕捉/比较/PWM模块；1个10位5通道A/D转换器；并且支持SPI/I2C串行通讯技术以及欠压复位、看门狗、休眠模式等其他资源。通过大量的引脚复用技术将所有功能集合于一个18脚的芯片中。

在本电路中，单片机工作在20MHz时钟频率上。指令周期0.2us(5MHz)。典型工作电压5V，不带负载电流2.5~4.0mA(20MHz,5V)，休眠状态最小电流200nA(2V)。

1. 电子音量控制控制模块：

本电路使用M64629进行电子音量调整，其工作状态由单片机控制。M64629是串行控制双通道电子音量控制芯片。可控音量范围【0~-83dB(步长1dB)，-∞】。控制数据流格式如下图：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | D9 | D10 |
| **0/1** | **0/1** | **音量值控制位** | | | | | | | **1** | **1** |

其中：

D0=0时使用第一通道，D0=1时使用第二通道

D1=0时一次调整两个通道音量，D1=1时一次调整所选通道音量

音量值控制位由实际作用的高至低位排列为：D6D5D4D3D2D8D7=0000000~1111111时，音量衰减相对应[-∞,-83dB~0dB]。

1. 当前音量数码显示模块：

本文音量值需要显示在一个两位数码管中。一般的解决方案有三种：

* 第一种是全静态显示，单片机给每个数码管引出8只脚，根据段码设置各引脚高低即可。编程最简单，但这种方法驱动4个数码管单片机引出8个段驱动x4=32只脚，非常浪费单片机资源，极少使用；
* 第二种是数码管片选动态显示，将所有数码管的a-g段连起来接到单片机的8个引脚，数码管公共极接到二-十进制译码器的输出端。通过公共端控制每时刻只开启一个数码管，并以超过人眼可分辨的频率轮流开启不同位的数码管。接数码管段的8个引脚输出相应时刻的段码。由于视觉暂留特性，人眼将看到四个数码管同时显示不同数字。这是最常见的方法。编程稍复杂。驱动4个数码管单片机需要引出8个段驱动+2个片选=10只脚；
* 第三种是数码管段动态显示，通过74164串-并行转换芯片将段驱动的八只脚串行化。使用8个周期将段码输出到74164后锁定，同时通过片选信号将数字显示到相应位上。这种方法最为复杂，器件也要求最高速度。但是引脚占用最少。驱动4个数码管单片机只需要引出1个串行段码输出+1个时钟输出+2个片选=4只脚。如果将片选信号也串行化(使用移位寄存器)而且时钟足够快的话，理论上几只引脚就能驱动十几位数码管。

本文由于PIC16F818属于高速少引脚器件。只能使用第三种方法，74164时钟和串行输入端分别接单片机的引脚RB6,RB7，数码管公共端接RB4,RB5静态片选。具体电路可见总原理图。

1. 按钮检测模块：

本电路由于单片机引脚紧张，按钮检测通过接通不同的电阻组合产生相应的电压信号。输入到单片机中进行A/D转换得到不同按钮值。这种方法可以实现一条线上复用多个按钮，不过考虑到按钮用久了可能会产生电阻变化，所以本电路使用了近似值检测，即允许按钮电阻值在一定范围内变化。在实际的软件实现上非常简单，只需要将A/D转换的结果部分低位置0即可。即如某个键期望A/D值是10110010B，检测时我们先将低4位置0，那么只要结果为10110000B~10111111B之间都会得到10110000B。当结果是这个值就判定这个按键按下了。这样就允许按钮有一定程度的电阻误差了。

1. 音频放大器连接模块：

由于本文的主题是音频放大器的辅助电路，所以单片机部分要与音频放大器主体建立桥梁，使单片机发出的指令能作用音频放大器上。由于音频放大器的工作电压一般比单片机的要高很多。音频放大器一般工作在双电源±15~50V，单片机只有单电源5V。所以必须区分两者之间的电源。并且由音频放大器原理可知，输入输出信号的参考点都是双电源的中点地。所以单片机与音频放大器必须共地，控制才能做到最简便。

1. 硬件电路原理图：

综合上述想法，得到最终的电路原理总图如下。

1. PIC16F818软件设计：
2. 键盘检测部分(按键中断时响应执行)：

* 音量升/降按钮：按钮100ms～3s属于短按，音量变化1dB，触发一次；按钮3～5s属于中按，音量变化3dB/s连发；按钮>5s属于长按，音量变化5dB/s连发
* 静音按钮：按下静音按钮立即静音，再按一次20dB/s升回原音量。单片机上电时不启用静音。
* 电源按钮：单片机上电时关机，按一次电源按钮启动，再按关机。开关操作都以20dB/s速度渐入渐出改变音量。

1. 数码管驱动部分(每10次程序循环执行一次)：

* 以n(n在可接受范围内尽量大)次循环。读取一次当前音量电位器位置值，并且显示到屏幕数码管。刷新频率超过视觉暂留时间即可(>25Hz)。
* 读得电位器位置值后，先转换为BCD码，再通过查表方法得到数码管段码，以串行信号形式输出到74164中。时钟信号控制74164移位及输出。

1. M64629音量控制(实时执行)：

* 通过算法将需要音量设定值转换成M64629能识别的方式，以串行信号形式输出到M64629中。并且以时钟信号同步控制。M64629控制信号格式如下图(来自M64629数据手册)：
* 将音量调整，音量渐入，音量渐出分别作为三个子程序，便于调用。尽可能提高控制速度。