

基于 MSP430 的低频功率放大器设计

张进峰, 尚 丽, 淮文军

(苏州市职业大学 电子信息工程系, 江苏 苏州 215104)

摘 要: 以 MSP430F135 单片机作为测量和显示的核心部件, 采用两级前置放大电路、功率放大电路、带阻滤波电路、电流转换电路(功率测量电路)等组成一个低频功率放大器电路系统。测试结果表明, 该系统能实现信号功率放大功能, 具有输出噪声低、工作频带宽(10 Hz~50 kHz)、输出效率较高的特点。

关键词: MSP430F135 单片机; 前置放大电路; 功率放大电路; 带阻滤波电路

中图分类号: TN91

文献标志码: A

文章编号: 1008-5327(2010)02-0080-04

The Design of Low-Frequency Power Amplifier Based on MSP430

ZHANG Jin-feng, SHANG Li, HUAI Wen-jun

(Department of Electronic Information Engineering, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China)

Abstract: With MSP430F135 microcontroller as a core component of measurement and display, using two pre-amplifier, power amplifier circuit, band-stop filter circuit, current conversion circuit (power measurement circuit) composed of a low-frequency power amplifier circuit system. Actual test results show that the system is able to achieve signal power amplification with low noise output, the working frequency band 10Hz~50kHz and rather high amplification efficiency.

Key words: MSP430F135 microcontroller; preamplifier; power amplifier; bandstop filter circuit

在科学实验和生产实践中,常常要求电子设备或放大器的最后一级能带一定的负载。例如,使扬声器的音圈震动发出声音、推动电动机旋转、使继电器或记录仪动作等,这都要求放大器不但输出一定的电压,而且能输出一定的电流,即要求放大器能输出一定的功率^[1]。本文根据电子设计竞赛的要求,当负载为 8 Ω 时,输出功率大于等于 5 W,频率响应 20 Hz~50 kHz,输入正弦波最小值 5 mV,同时实现对功放电路的效率测试。

1 系统总体方案

鉴于通频带与运放放大倍数的关系,本设计

采用了两级前置放大和功率放大的方法。其中两级前置放大电路由低噪声的 NE5532 集成芯片组成;输出级的推挽功率放大电路由 MOSFET 场效应管 IRF640B 和 IRF9640 芯片组成;考虑在测试频段范围内功率参数的测量,采用 AD536 芯片组成有效值/电压转换电路,并用 MSP430F135 单片机采集转化得到的电压实现功率效率的测量和显示;为了消除 50 Hz 的工频干扰信号,采用无源双 T 阻带滤波电路对输入信号进行有源滤波,实现阻带频率范围为 40~60 Hz 的带阻滤波器。根据上述分析,所设计的总体设计方案的原理方框图如图 1 所示。

收稿日期: 2010-01-18

基金项目: 江苏省青蓝工程资助项目,苏州市职业大学校级研究课题(SZDYKC-090702)

作者简介: 张进峰(1974-),男,江苏常熟人,高级实验师,研究方向为工业自动化。

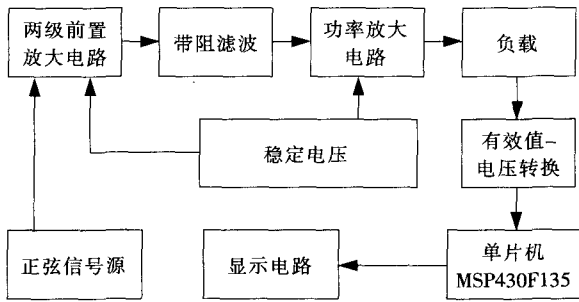


图 1 系统总体设计方案框图

2 理论分析与设计

2.1 前置放大电路设计

前置放大器的主要任务是放大小信号, 其失真度和噪声对系统影响极大, 需优先考虑这一指标, 这里以 NE5532 为核心, 设计前置放大电路。NE5532 是高性能低噪声运放, 它具有较好的抗噪声性能、优良的输出驱动能力及较高的带宽, 为一款专业音频运放器^[2]。将此前置电路设计为两级带有并联负反馈的同相放大电路, 这可使前置放大级具有良好的抗共模干扰能力, 如图 2 所示。

整个前置放大器的放大倍数计算如下:

$$A_{v1} \cdot A_{v2} = (R_2/R_1) \cdot (R_4/R_3) = 50 \times 30 = 1\ 500 \quad (1)$$

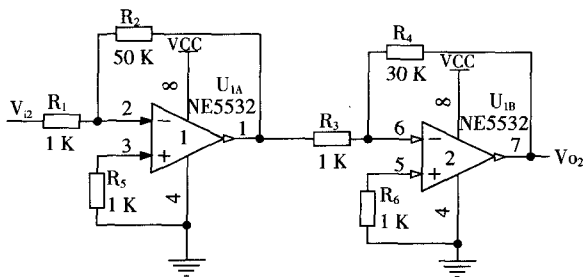


图 2 前置放大电路

2.2 功率放大电路设计

因设计要求使用分立元件低频功率放大器, 所以本次设计采用分立元件组成。分立元件低频功放可对每级工作状态和性能逐级调整, 有很大的灵活性和自由度, 因而而易满足题中各指标。

电路采用 MOSFET 低功耗电路。电路的功率放大部分, 分别采用 IRF640B 和 IRF9640 MOSFET 功率管。IRF640B 为 N 沟道型, 漏源间最大耐压 200 V、导通电阻 0.18 Ω 、漏极最大电流 18 A;

IRF9640 为 P 沟道型, 漏源间最大耐压 200 V、导通电阻 0.5 Ω 、漏极最大电流 11 A。MOSFET 功率管的激励功率小, 输出功率大, 输出漏极电流具有负温度系数, 安全可靠而无需另加保护措施, 而且还具有工作频率高、偏置简单等优点。

对于低频功率放大器, 由于热损耗会使输出级器件的温度发生变化, 为减小交越失真, 即使不向负载输出电流, 也必须经常有一定的电流流过输出器件。为此, 在电路输出级使用双极晶体管的电路中采用具有温度补偿作用的偏置电阻 R_{23} 和 R_{24} 。偏置电路的晶体管 Q_2 与输出级的晶体管 Q_1 、 Q_3 热耦合, 使温度相同; Q_1 、 Q_3 基极-发射极间的电压 V_{BE1} 、 V_{BE3} 与 Q_2 的基极-发射极间电压 V_{BE2} 同样变化。这就能使 Q_1 、 Q_3 保持恰好导通, 不但改善了信号的失真率, 且只有很小的空载电流。其电路如图 3 所示。

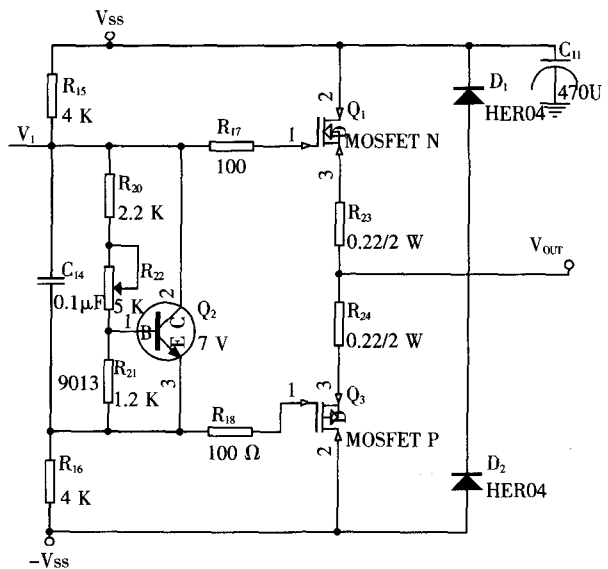


图 3 具有温度补偿作用的功率放大电路

2.3 真有效值转换电路设计

真有效值电路采用 AD536 集成芯片实现。AD536 是将有效值转换成直流的单片集成电路, 可连续、实时地计算输入信号的平方、平均值, 且得到的直流电压值正比于输入信号的有效值 RMS, 且使用极其方便。电路如图 4 所示。

2.4 功率测量电路的设计

功率放大器的功率主要包括输出功率和热损耗两大部分, 且在本系统中主要集中在负载电阻

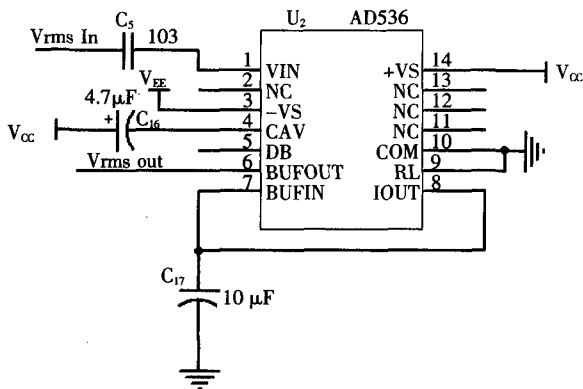


图4 真有效值转换电路

R_L 和功率放大电路的 Q_1 、 Q_3 、 R_{23} 和 R_{24} 上。因此，在进行功率测量时分可为两部分。

(1) 热损耗 P_1 。通过由 OP07 构成的差分放大电路，采集功率管 9540 和 640 之间的电阻 (0.22/2 W) 的电压降，差分放大后送至 AD536 真有效值转换电路，转换后经 1/4 分压送至 MSP430F135 的 AD 端 P6.5，则由 $P_1=2\Delta U^2/R_{23}$ 得到功率放大器的热损耗。

(2) 输出功率 P_2 。采集负载电阻 R_L 两端的输出电压，经过 AD536 转换，分压后送至 MSP430F135 的 AD 端，则由 $P_2=U_0^2/R_L$ 得到输出功率的有效值^[3]。

系统的总输入功率近似等于 P_1 与 P_2 之和。MSP430F135 的最小系统原理图如图 5 所示。

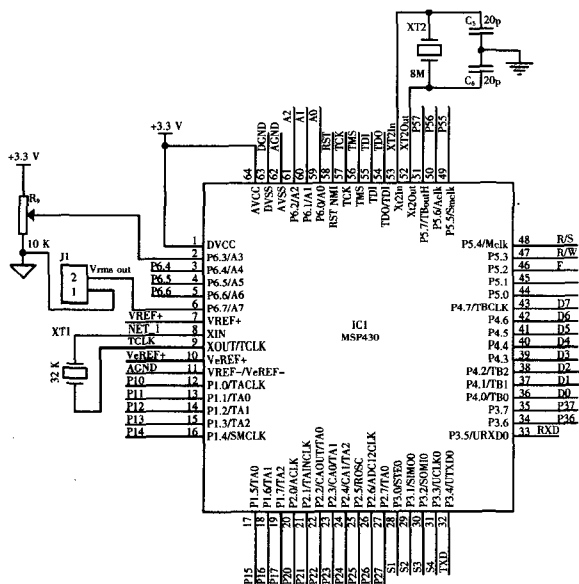


图5 MSP430F135 单片机最小系统

2.5 带阻滤波电路设计

带阻滤波器又称陷波器，分为有源和无源两类。双 T 带阻滤波电路的传递函数和等效品质因数都与信号源和负载大小有关。为消除 50 Hz 的工频干扰信号，采用典型的双 T 型带阻滤波电路，其由 RC 双 T 网络和 OP07 集成芯片组成，如图 6 所示。各元件参数的选取原则如下：

$500\text{ k}\Omega > R_{01} = R_{02} > 1\text{ k}\Omega$, $0.5\ \mu\text{F} > C_{01} = C_{02} > 200\text{ pF}$, $R_{03} = 100\text{ k}\Omega$, $C_{02} = 2C_{01}$, $Q = f_0/B$ 。

当 $f_0 = 50\text{ Hz}$ 、 $B = 20\text{ Hz}$ 时，计算并经调整后的取值为： $R_{01} = R_{02} = 47\text{ k}\Omega$, $C_{01} = C_{03} = 0.068\ \mu\text{F}$ 。

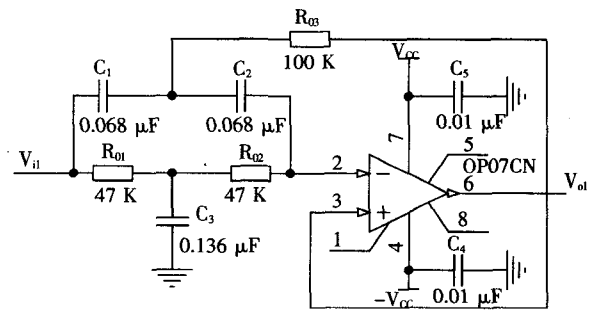


图6 双T型带阻滤波电路原理图

2.6 显示电路设计

测量的计算及显示采用 MSP430F135 低功耗单片机，且 SMC1602A 标准字符点阵型液晶显示模块实现；用 +5V 电压供电， V_0 为 SMC1602A 的对比度调整端，D0~D7 为数据输入端^[3]。

3 软件设计

根据设计要求，系统软件主要用于实现低频功率放大器的输出功率、直流电源的供给功率和整机的效能 3 个参数。本设计采用 SMC1602 液晶显示芯片显示测量参数，采用 MSP430F135 单片机实现 SMC1602 液晶显示程序的编程^[4]。测试系统软件采用模块设计，分为主程序和中断子程序两部分，显示程序比较简单，其程序流程图可忽略，下面仅给出主程序和定时采样中断子程序流程图，如图 7 所示。

4 功率放大器参数的测试结果与分析

对低频功率放大器的主要参数测试进行测试，数据如表 1 所示。

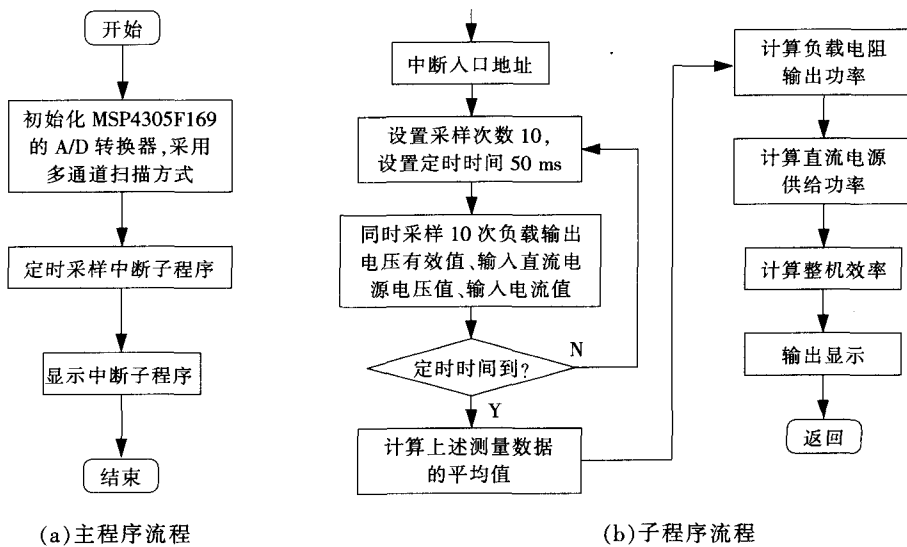


图 7 软件程序流程图

由表 1 的数据和测试过程可看到, 当输入信号为 5 mV 时, 负载两端电压有效值为 8.84 V, 输出功率为 9.52 W, 带宽满足 10 Hz ~ 50 kHz 的范围, 信号噪声小于 5 mV, 输出效率最高可达 49%, 带阻频率在 50 Hz 时的衰减幅度不大于 6 dB,

测量精度小于 3.5%。本系统测试指标已符合设计要求, 但由于所用分立元器件本身性能的影响, 特别是 MOSFET 功率管的导通特性和幅频特性的差异以及自身内阻的影响, 使功率管在工作过程中发热较大, 导致电路热损耗增大, 效率有所降低。

表 1 低功率放大器的实际测试数据

频率/Hz	输出电压 峰值 v_0/V	输出电压 有效值 V_0/V	输出功率 P_{out}/W	输入电压 V_m/V	输入电流值 I_m/A	输入功率 P_E/W	整机效率 $\eta/\%$
10	23.2	8.13	8.06	18.7	1.021	19.09	42
20	24.3	8.48	8.78	18.7	1.08	20.2	43
100	25.4	8.84	9.52	18.7	1.06	19.5	49
500	24.3	8.48	8.78	18.7	1.06	19.82	44
1×10^3	24.04	8.48	8.78	18.7	1.06	19.82	44
1×10^4	23.2	8.13	8.06	18.7	1.03	19.26	42
2×10^4	21.3	7.42	6.72	18.7	0.99	18.51	36
5×10^4	20.4	7.07	6.1	18.7	0.92	17.2	35

5 结束语

设计的低功率放大器电路主要包括以 NE5532 为核心的两级前置放大电路、由 IRF640B 和 IRF9640 组成的功率放大电路、由 AD536 组成的真有效值转换电路、双 T 带阻滤波电路、由 MSP430F135 单片机控制的 SMC1602 显示电路等模块。测试数据表明, 本系统具有转换效率较高、输出噪声低、工作频带宽等特点。

参考文献:

- [1] 陈锦燕. 无线电调试工实用手册[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2007: 266-275.
- [2] 龚敏强, 刘光祐. 宽带功率放大器的设计 [J]. 现代电子技术, 2009(11): 104-106.
- [3] 谢兴红, 林凡强, 吴雄英. MSP430 单片机基础与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 119-134.
- [4] Texas Instruments. MSP430x13x Mixed Signal Microcontroller Family Users Guide[S]. 2004: 303-332.

责任编辑 谭 华