

放大器非线性失真研究装置

蒲脯林 刘雨童 陈应良 伍定超

(西华大学, 四川 成都 610039)

摘 要 设计制作的一项放大器非线性失真研究装置, 能够实现非线性研究装置的基本部分和发挥部分的所有功能要求。另外为了作品趋于完善, 加入了触摸屏进行切换和显示。本系统以单片机最小系统为控制核心, 以 2N3904 三极管为主要放大器件, 通过控制三极管的增益和静态工作点来控制产生 V_{pp} 大于 2V 的无失真波形、顶部失真波形、底部失真波形、双向失真波形、双向失真波形、交越失真波形, 以 OPA2227UA 运放为衰减电路, 并且采用 LM7812、LM7912、LM317、LM337 提供稳压直流电源用 A/D 转换模块, 作为采样器件由此将衰减过后的波形采样进 Mcu 进行 DFT 计算, 由此计算出 THD, 系统功能由触摸屏控制可实时显示测量数据, 并进行友好的人机交互。

关键词 单片机 稳压芯片 DFT 失真 三极管

中图分类号: TP34

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)01-0011-03

1 方案设计

1.1 理论分析及芯片选用依据

本系统需要以下几种功能芯片: 运算放大器、微型单片机、A/D 转换器、稳压芯片。

其中选择 OPA2227 是因为它是一款兼具低噪声、宽频带和高精度等特性的运算放大器, 因此是同时需要交流和精密直流性能应用的理想选择。OPA2227 具有稳定的单位增益并具有高压摆率 ($2.3V/\mu s$) 和宽带宽 (8MHz)。它针对 5 倍或更大的闭环增益进行了优化, 并提供更高的速度以及 $10V/\mu s$ 压摆率和 33MHz 带宽。

LM7812 与 LM7912 是三端稳压集成电路 IC 芯片元器件, 适用于各种电源稳压电路, 输出稳定性好、使用方便、输出过流、过热自动保护。LM7812 是正电压输出而 LM7912 是负电压输出。三端稳压管是一种直到临界反向击穿电压前都具有很高电阻的半导体器件。稳压管在反向击穿时, 在一定的电流范围内 (或者说在一定功率损耗范围内), 端电压几乎不变, 表现出稳压特性, 因而广泛应用于稳压电源与限幅电路之中。LM7812 这样的三端稳压器都有一个所谓“压损”的问题, 也就是稳压时所导致的输入电压与输出电压的落差值 (稳压损耗), 一般的压损是 2.5V, 如果要想得到 12V 稳压值, 必须使输入电压高于 12V 压损, 至少得有 14.5V 以上才行, 输入电压范围是 14.5~35V。低于 12V 的不能用 LM7812 达到 12V。

LM317 与 LM337 用于稳压电路。是应用最为广泛的电源集成电路之一, 它不仅具有固定式三端稳压电路的最简单形式, 又具备输出电压可调的特点。此外, 还具有调压范围宽、稳压性能好、噪声低、纹波抑制比高等优点。LM317 是可调节三端正电压稳压器, 在输出电压范围 1.2V 到 37V 时能够提供超过 1.5A 的电流, 此稳压器非常易于使用。

微型单片机^[1]使用的是 C51 单片机。MCS-51 单片机指以 8051 为核心的单片机, 由美国的 Intel 公司在 1980 年推出, 80C51 是 MCS-51 系列中的一个典型品种; 其它厂商以 8051

为基核开发出的 CMOS 工艺单片机产品统称为 80C51 系列。

1.2 设计方案论证

分析可知, 放大器非线性失真研究装置系统主要包括: 电源电路、稳压电路、控制电路、几种放大失真电路、衰减电路、采样电路。设计重点主要在几种放大失真电路, 方案论证主要围绕这个部分展开。

1.2.1 放大失真电路

几种放大失真电路是我们研究的主题。它决定了输出波形是否能达到要求。不同的失真电路都有所不同, 参数的选择决定了输出波形是何种失真。

方案一: 先用三极管进行放大后再使用晶体管中的二极管做一个限幅电路。此方案简单但不能达到我们的研究要求。我们要研究放大器的非线性失真, 就要通过调节静态工作点来调节其失真。

方案二: 便是通过三级放大器级联, 通过短接帽调节基极电阻来调节静态工作点。电路简单, 布线少, 在电路中的损失和噪声就少。但参数调节只能手动调节。

方案三: 是选择分别画出每个失真电路, 通过单片机控制开关切换电路来显示不同的失真波形。电路板虽多, 但其互不干扰, 能够直观看到其结果。且多数电路直接使用单级放大器便能达到其失真要求。但连线多会造成一些噪声, 让输出波形没有那么平滑。

2 系统实现

2.1 系统框图 (如图 1 所示)

2.2 主要单元电路设计

2.2.1 放大电路

本电路采用共射级放大电路, 电路如图 2 所示。

集电极电源 V_{CC} 为输出信号提供能源, 并使发射结处于正偏、集电结反偏。而集电极电阻 R_L 将电流的变化转换为电压的变化实现电压放大的作用。基极电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 改变静态工作点, 耦合电容 C_1 、 C_2 起隔直通交的作用。

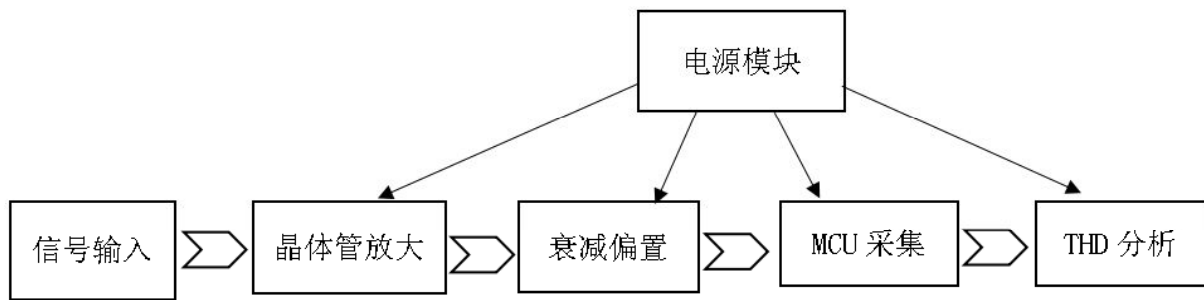


图 1

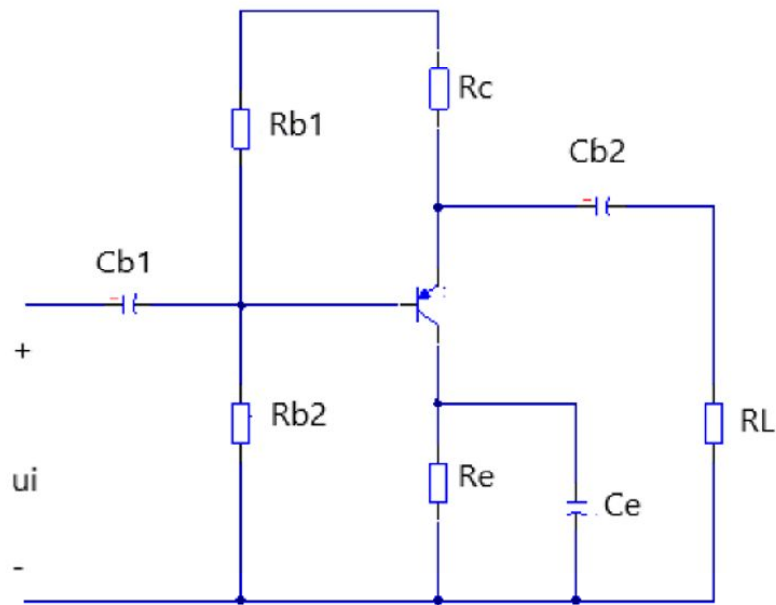


图 2 共射级放大电路

当静态工作点 Q 合适时, 输出无明显失真。如果静态工作点的位置选得较低, 容易造成实际工作点进入三极管的截止区, 即底部失真。而当静态工作点的位置选得较高时, 很容易造成实际工作点进入三极管的饱和区, 即顶部失真。

而双向失真, 是在静态工作点合适时, 输入信号幅值较大时形成的。因此需要将两个共射级放大电路级联, 增大输入信号。而电压增益为 $A_v = A_{v1} \cdot A_{v2}$ 。静态工作点 Q 通过调节基极电阻 R_{b1} 与 R_{b2} 的比值来调节基极电流 i_b 的。

交越失真电路分析^[2]: 分析电路时把三极管的导电电压看作零, 当输入电压较低时, 因三极管截止而产生的失真就是交越失真。晶体管的门限电压不为零, 比如 NPN 型的硅三极管在 0.7V 以上才导通。输入交流的正弦波时, 在 -0.7~0.7V 之间两个管子都不能导通, 输出波形即造成交越失真。

2.2.2 衰减电路

由于前面的输出电压较大, A/D 采样的峰值为 5V, 必须将输出电压衰减后进行采样。用 OPA2227 运算放大器构成一个 -20dB 的衰减电路。只有在此条件下, 才能将输出电压进行有效的采样。

2.2.3 电源供给电路

本测试仪供给电路采用变压器降压, 在采用滤波降直

在采用稳压芯片 LM317、LM337、LM7812、LM7912 进行稳压, 再来给单片机和其他放大器电路供电。

2.3 主回路器件的选择及其参数计算

2.3.1 三极管的选择

由题可知, 要将峰峰值为 20 mV 的正弦波输出, 输出后的 U_o 峰峰值要大于 2V, 因此增益 A_v 要达到 100。

要求电路增益较高因此要利用共射级放大电路, 并且要在 R_e 并入电容由此尽量扩大增益, 由公式 $A_v = -\beta R'_L / r_{be}$ 可知, 要采用单级放大电路, 就要尽量选择 β 大的三极管^[3], 因此放大电路的三极管选择了 2N3904。2N3904 的 β 大约在 350 左右, 可达到题目的放大效果。

2.3.2 电阻的参数计算

在不同的放大失真电路中, 电阻的大小决定了电路的 Q 点即决定是何种失真和失真电路的电压增益 A_v 。

共射级的动态参数计算如下:

$$A_v = -(\beta R'_L / r_{be})$$

$$R'_L = R_b // r_{be}$$

$$R_o \approx R_c$$

$$R_b = R_{b1} // R_{b2}$$

$$R'_L = R_L // R_c$$

而静态工作点 Q 的计算如下:

$$V_B = R_{b2} V_{CC} / (R_{b1} + R_{b2})$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = (V_B - V_{BE}) / R_e$$

$$I_{BQ} = I_{CQ} / \beta$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_e)$$

第二级的输入电阻等于第一级放大电路的输入电阻。

下表 1- 表 5 是各个放大电路的电阻参数。

表 1 无明显失真电路电阻参数

	R_{b1}	R_{b2}	R_C	R_e	R_L
第一级	47k	15k	2.7k	1k	R_i
第二级	47k	15k	2.7k	1k	/

表 2 顶部失真电路电阻参数

	R_{b1}	R_{b2}	R_C	R_e	R_L
第一级	7k	2k	6k	2k	R_i
第二级	8k	2k	6k	2k	0.5k

表 3 底部失真电路电阻参数

	R_{b1}	R_{b2}	R_C	R_e	R_L
第一级	7k	2k	6k	3k	R_i
第二级	3k	1k	6k	1.8k	/

表 4 双向失真电路电阻参数

	R_{b1}	R_{b2}	R_C	R_e	R_L
第一级	7k	3k	3k	2k	1k
第二级	7k	2k	6k	3k	/

表 5 交越失真电路电阻参数

	R_{b1}	R_{b2}	R_C	R_e	R_L	R_{d1}, R_{d2}
交越失真	7k	2k	6k	1.5k	3k	3k

3 软件设计

继电器与单片机相连, 通过单片机控制继电器开关。使用串口屏向单片机发送指令, 来控制电路的选择。

通过串口屏控制单片机进行 A/D 采样。采样的频率至少为输入波形频率的 2 倍, 即为 $f_s = 2\text{kHz}$ 。将采样的频率存在单片机中, 运用欧拉公式把复数拆分成实部和虚部。对每一个点的实部和虚部分别求和, 进行 DFT 计算。通过变换得到前五级的谐波振幅, 将计算出的 THD 显示在串口屏上。

4 系统测试

TDS1002 双踪示波器 × 1	VC890C 万用表 × 1
JWY-30F 型直流稳压电源 × 1	信号发生器 × 1

4.1 测试仪器

4.2 测试方案及数据

4.2.1 放大电路测试

使用单片机控制继电器切换电路, 输入频率为 1kHz, 峰峰值为 20 mV 的正弦波。通过双踪示波器观察其波形和幅值, 在计算出电压增益 A_v , 记录在表 6 中。

表 6 放大器电压增益

	输入电压 $V_{\text{pp}}(\text{mV})$	输出电压 $V_{\text{pp}}(\text{V})$	电压增益 A_v
无明显失真	10	3.5	350

顶部失真	10	4	400
底部失真	10	5	500
双向失真	10	9	900
交越失真	10	2.4	240

4.2.2 衰减电路测试

将上级放大电路的信号输入衰减电路中, 通过双踪示波器观察其波形和幅值, 在计算出电压衰减的倍数, 记录在表 7 中。

表 7 衰减电路测试数据

	输出电压 $V_o(\text{V})$	衰减电压 $V(\text{V})$	衰减倍数
无明显失真	3.5	1.1	3.18
顶部失真	4	1.3	3.07
底部失真	5	1.7	2.94
双向失真	9	3.2	2.81
交越失真	2.4	1.0	2.4

5 结果及性能分析

5.1 结果分析

由上面测试可得, 电路基本达到了预期目标, 经过电源供电稳压后, 输出波形放大倍数达到了预期目标 200 倍且远远超过。衰减后的最大电压小于 5V, 最小电压大于 0V, 能够被 A/D 采样器采集, 并且能被单片机进行采集运算。

5.2 方案的优化及改进

电路的搭建存在一些问题, 将多块电路板搭在一起时会存在一定的噪声, 以至最后的调试花费了太多的时间。后期可以将多个电路合成一个电路进行制板, DFT 运算可以使用内存更大的 STM32 单片机^[4], 其内部的 A/D 采样频率更快更精准, 其运算结果也更精确。

6 总结

从搭建仿真电路, 到搭建实物电路、软件程序调试, 再到最后的组装, 中途遇到了很多的困难。实践是对理论的运用。当实际动手操作时, 才明白简单的理论知识都是那么不简单。

本次设计中, 我们基本达到了对放大器非线性失真的研究, 也加深了对三极管放大器的研究与理解。与此同时, 也提高了我们解决问题的能力, 提高了团队合作的能力。当然我们也有很多不足的地方, 希望在今后的实践过程中做得更好。

参考文献:

- [1] 李朝青. 单片机原理及接口技术 (第 3 版) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [2] 王金友. 功率放大器非线性特性及预失真建模研究 [D]. 江西理工大学, 2015:58.
- [3] 孙洪剑. 射频功率放大器的多谐波失真特性建模 [D]. 哈尔滨工业大学, 2007:68.
- [4] 李华. 单片机原理与接口技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.