



调幅信号处理实验电路（F题）

西安电子科技大学

傅丰林

2017-11-04



目 录

- 一、命题目的
- 二、方案选择和论证
- 三、理论分析与计算
- 四、电路与程序设计
- 五、测试结果



一、命题目的

提高通信电路（又称高频电子线路、非线性电路等）工作频率，2015年200MHz，2017年提高到300MHz以上。尽可能避开通信概念，只要学过通信电子线路都能做。

调幅信号处理实验电路（F题）

【本科组】

一、任务

设计并制作一个调幅信号处理实验电路。其结构框图如图1所示。输入信号为调幅度50% 的AM信号。其载波频率为250MHz~300MHz，幅度有效值 V_{irms} 为10 μV ~1mV，调制频率为300Hz~ 5kHz。



一、命题目的

低噪声放大器的输入阻抗为 50Ω ，中频放大器输出阻抗为 50Ω ，中频滤波器中心频率为 10.7MHz ，基带放大器输出阻抗为 600Ω 、负载电阻为 600Ω ，本振信号自制。

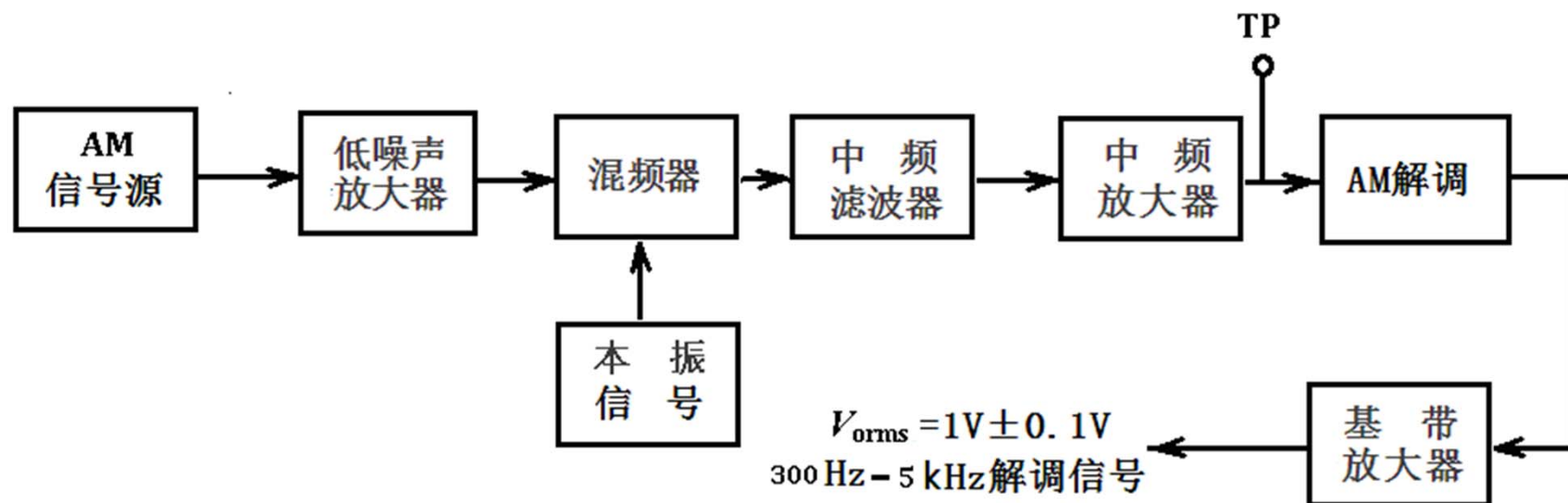


图1 调幅信号处理实验电路结构框图



一、命题目的

二、要求

1. 基本要求

(1) 中频滤波器可以采用晶体滤波器或陶瓷滤波器，其中频频率为10.7MHz；

(2) 当输入AM信号的载波频率为275MHz，调制频率在300Hz ~ 5kHz 范围内任意设定一个频率， $V_{\text{irms}}=1\text{mV}$ 时，要求解调输出信号为 $V_{\text{orms}}=1\text{V} \pm 0.1\text{V}$ 的调制频率的信号，解调输出信号无明显失真；

(3) 改变输入信号载波频率250MHz~300MHz，步进1MHz，并在调整本振频率后，可实现AM信号的解调功能。



一、命题目的

2. 发挥部分

(1) 当输入AM信号的载波频率为275MHz, V_{irms} 在 $10\mu\text{V}\sim 1\text{mV}$ 之间变动时, 通过自动增益控制 (AGC) 电路 (下同), 要求输出信号 V_{orms} 稳定在 $1\text{V}\pm 0.1\text{V}$;

(2) 当输入AM信号的载波频率为250MHz~300MHz (本振信号频率可变), V_{irms} 在 $10\mu\text{V}\sim 1\text{mV}$ 之间变动, 调幅度为50%时, 要求输出信号 V_{orms} 稳定在 $1\text{V}\pm 0.1\text{V}$;

(3) 在输出信号 V_{orms} 稳定在 $1\text{V}\pm 0.1\text{V}$ 的前提下, 尽可能降低输入AM信号的载波信号电平;

(4) 在输出信号 V_{orms} 稳定在 $1\text{V}\pm 0.1\text{V}$ 的前提下, 尽可能扩大输入AM信号的载波信号频率范围;

(5) 其他。



二、方案选择和论证

系统由射频低噪声放大器、混频、本振信号产生、中频滤波放大、AM检波和基带滤波放大以及自动增益控制等组成。

1. 射频低噪声放大器

采用高稳定的固定增益LNA芯片，其噪声系数较低，容易级联得到高增益放大器，提高系统灵敏度。选用噪声系数 $NF=1.3$ 的射频小信号放大器TQP3M9008作为前级放大器，其3dB频率范围50MHz~4GHz。

2. 混频器

为实现系统高灵敏度一方需要选择噪声系数小的前端放大器，同时也需要灵敏度高的混频器电路。



二、方案选择和论证

选用灵敏度较低、噪声系数较大的乘法器实现混频。它具有输入动态范围宽、电路调试简单，带宽宽的特点。

3. 中频滤波器和中频放大器

系统使用OPA847（单位增益带宽为3.9GHz）电压反馈运放作为中频放大器，两级级联使用，共实现40dB的中频增益。满足系统要求。

中频滤波器采用晶体滤波器。由于本题AM调制信号的基带频率最高为5kHz，需要带宽大于10kHz的滤波器。在10.7MHz频率上的晶体滤波器可以做到15kHz以上，且Q值非常高，能够在满足系统要求的前提下，



二、方案选择和论证

大大提高系统灵敏度。

4. 自动增益控制

射频前段AGC+基带AGC。通过射频AGC实现信号稳定性的粗调，在利用基带AGC实现输出信号幅度的精确控制，既能提高输入信号的动态范围，又能提高输出信号的稳定性。

5. 检波解、基带放大器、带通滤波器的、自动增益控制等。



二、方案选择和论证

系统的框图如图1所示。射频信号源的输出信号，依次经过第一级LNA、衰减器、第二级LNA、衰减后，进入混频器，并与自制的本振信号源进行混频，混频后的信号通过10.7MHz的晶体滤波器后，得到10.7MHz的中频信号。本系统对中频信号进行2级中频放大后，再进行能量检测和AM检波。AM检波后的信号，通过300Hz~5kHz的带通滤波器、基带AGC电路后，在600欧姆负载得到 $1V \pm 0.1V$ 有效值的基带信号。

系统采用两块微处理器，MCU1完成该射频AGC功能，它根据有效值检测电路的输出，控制射频前段的程控衰减器，使中频放大器输出信号幅度能稳定在



二、方案选择和论证

200mV \pm 1dB内。MCU2完成本振信号产生功能，它根据输入的指令，产生所需要的射频信号频率。

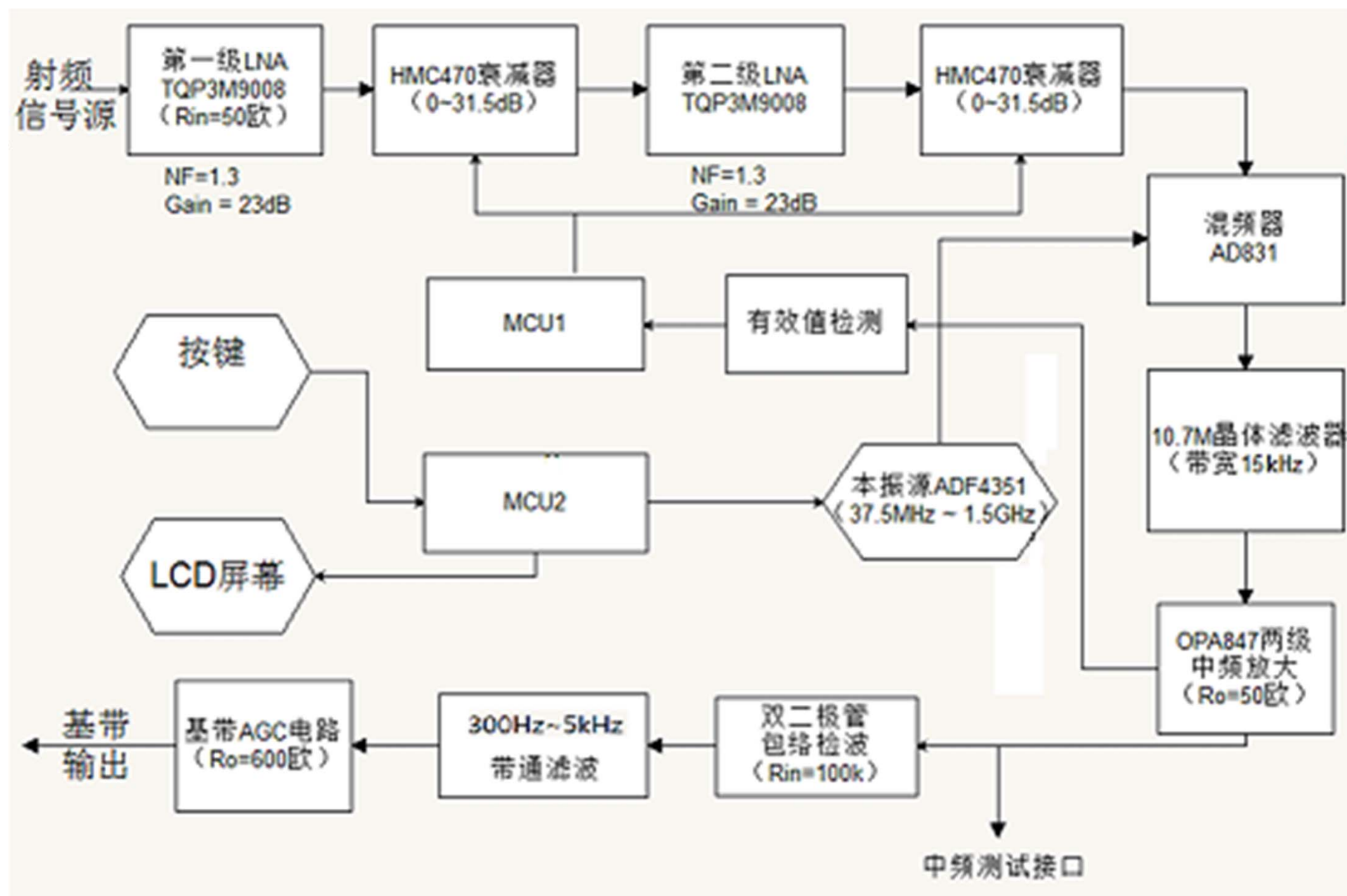


图1 系统框图



三、理论分析与计算

1. 低噪声放大器的设计

接收机灵敏度计算

放大器的噪声系数NF越低，系统的灵敏度就越高。系统选用噪声系数NF=1.3的射频小信号放大器TQP3M9008作为前级放大器，其3dB频率范围50MHz~4GHz。

考虑到发挥部分的要求，设系统最小输入信号为 $1\mu\text{V}$ （对应-107dBm）。经过测试，获知乘法器的输入信号需要 -65dBm，故前级需要42dB以上增益。为此，设计两级LNA，每集增益为23dB，最大可以



三、理论分析与计算

提供46dB增益。

2.中频滤波器和中频放大器的设计

中频载波信号频率为10.7MHz，，根据AM信号的最高基带信号频率为5kHz可得中频带宽需要大于10kHz。考虑到中频滤波的带外衰减能力和Q值，对灵敏度的影响很大，我们选择性能较好的带宽为15kHz，中心频率为10.7MHz的晶体滤波器完成中频滤波功能。

考虑到晶体滤波器的输入输出阻抗为3000欧姆，系统设计了阻抗匹配电路，完成其与后级50欧姆输入阻抗的放大器的阻抗匹配。



三、理论分析与计算

混频器提供了8dB增益，加上LNA的46dB增益，此处可获得54dB增益。考虑到AM检波电路的最佳工作点大于-15dBm，在输入为1 μ V（-107dBm）下，还需要中频提供38dB增益。

系统使用OPA847（单位增益带宽为3.9GHz）电压反馈运放作为中频放大器，两级级联使用，共实现40dB的中频增益。满足系统要求。

3.混频器的设计

混频器采用AD831实现。经测试，其输入信号范围-65dBm~8dBm，最高混频频率可达1.5GHz。它在输入信号小于0dBm时，失真度较小。通过LNA及射



三、理论分析与计算

频前端的程控衰减器，保证了输入给AD831的信号满足要求，同时所设计的本振的输出幅度设定为 -10dBm ，保证混频器工作于最佳状态。

4.ADF4351本振电路

本振采用ADF4351实现（自动扫频功能测试：设定载波频率，开启自动扫频功能）

5.基带放大器电路设计

按照题目要求基带信号的频率范围为 $300\text{Hz}\sim 5\text{kHz}$ ，为得到比较纯净的基带信号，将其经过音频运放放大后通过四阶带通滤波器（通频带为 $250\text{Hz}\sim 7\text{kHz}$ ），带内信号得到放大的同时，衰减了



三、理论分析与计算

带外的杂散频率干扰，可使得系统的灵敏度进一步提高。同时基带信号通过由AD603构成的自动增益控制(AGC)电路最后输出电压稳定在 $1V_{rms} \pm 0.1V$ 的幅度范围内。

6.程控增益设计

考虑到拓展部分，输入信号变化范围为 $1\mu V$ （ $-107dBm$ ） $\sim 1mV$ （ $-47dBm$ ），动态范围为60dB。通过两级HMC470串联，可实现最大63dB的衰减，可满足要求。

射频信号部分的程控增益由单片机，程控衰减器，功率检测芯片三者组成闭环控制。程控衰减器



三、理论分析与计算

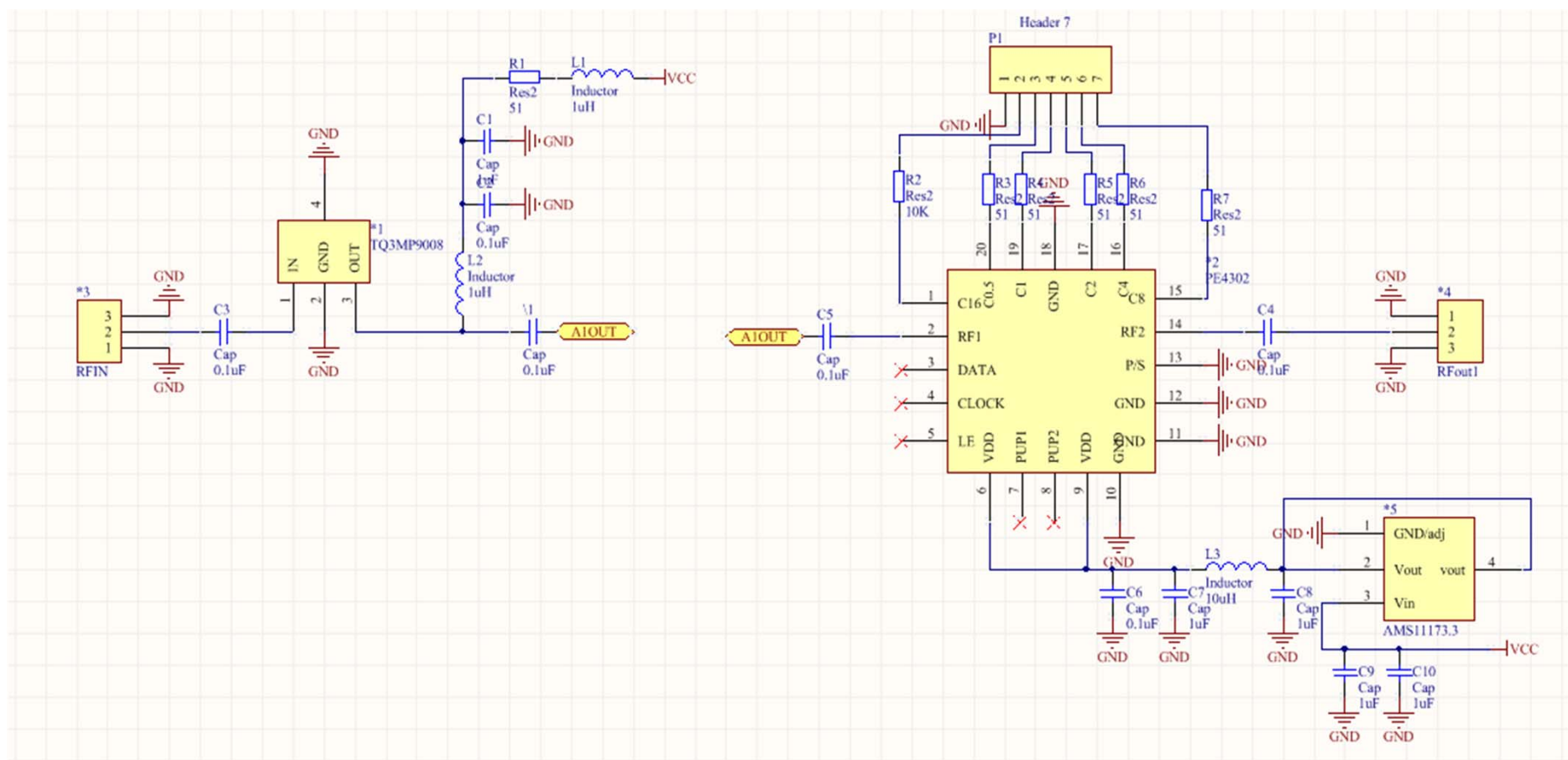
插在两级低噪声放大器之间。功率检测芯片检测中频输出的信号功率值，将其与设定的信号功率阈值电压进行比较，若超出阈值，则单片机控制衰减器衰减信号功率。否则减小衰减器的衰减值，以此达到对前段高频部分的程控增益的闭环控制。



四、电路与程序设计

1. 低噪声放大电路

采用TQP3M9008实现，增益为23dB。

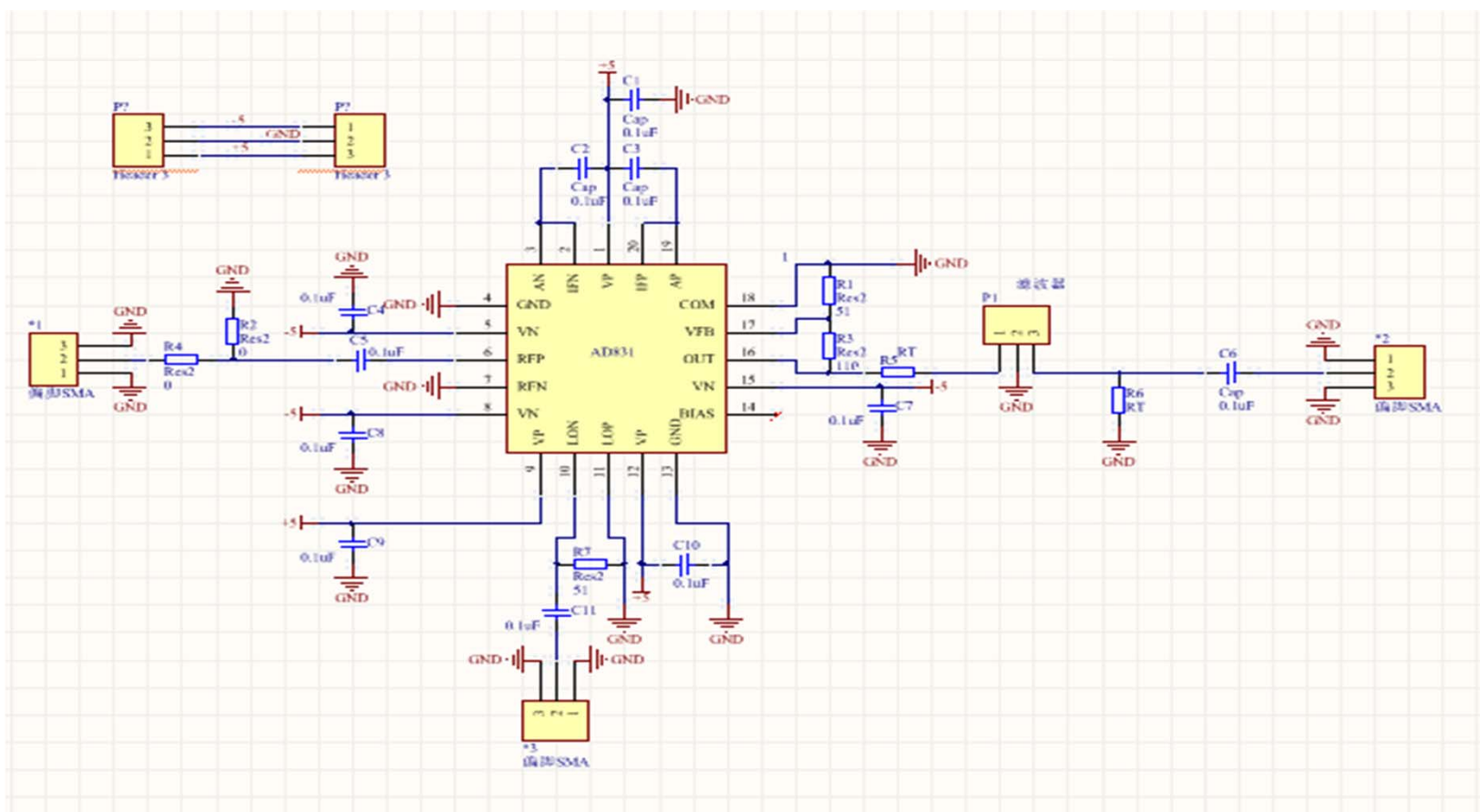




四、电路与程序设计

2. 混频器及中频滤波电路

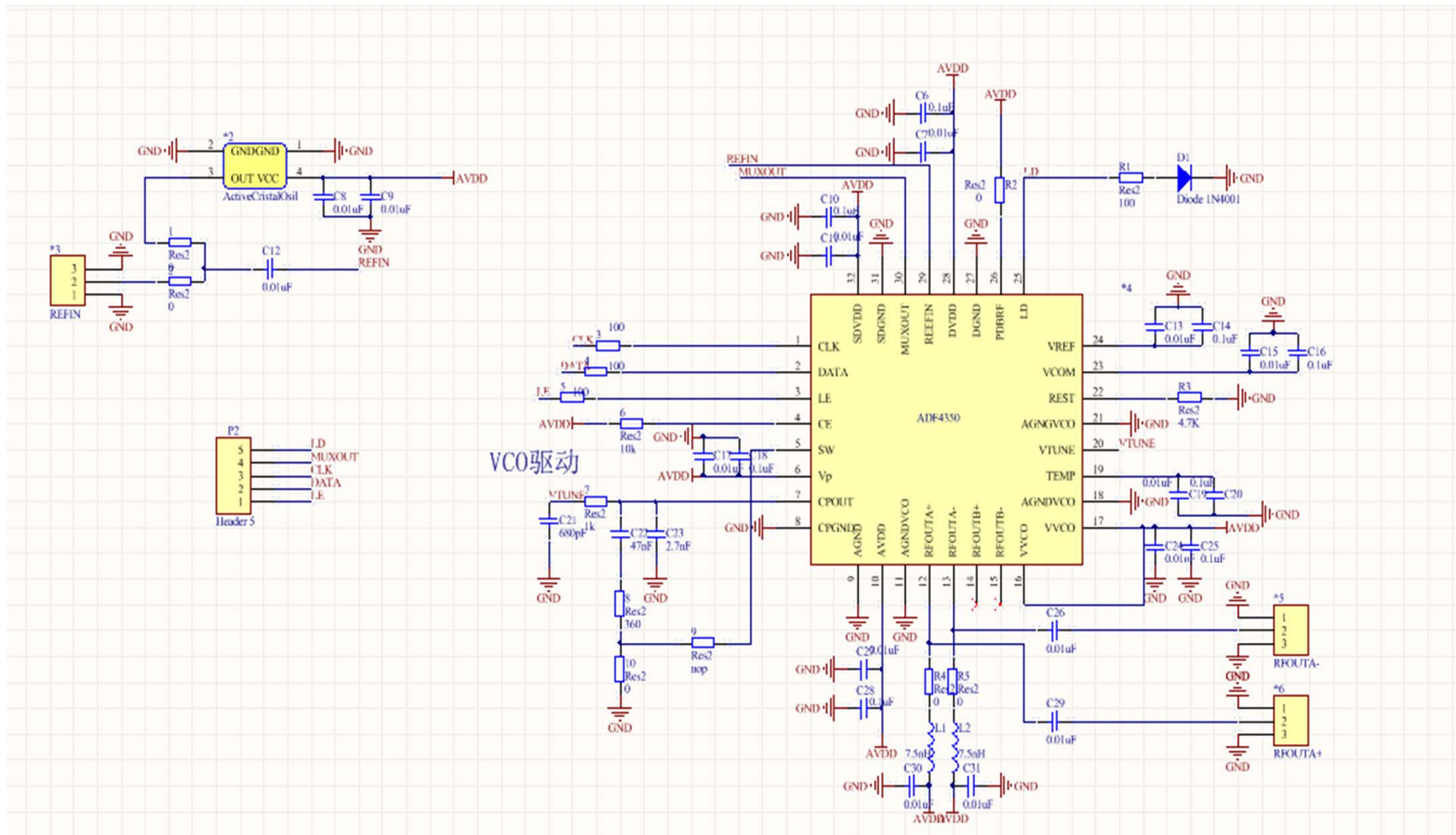
混频器采用AD831实现，滤波器采用10.7MHz晶体滤波器实现。





四、电路与程序设计

3. 本振电路

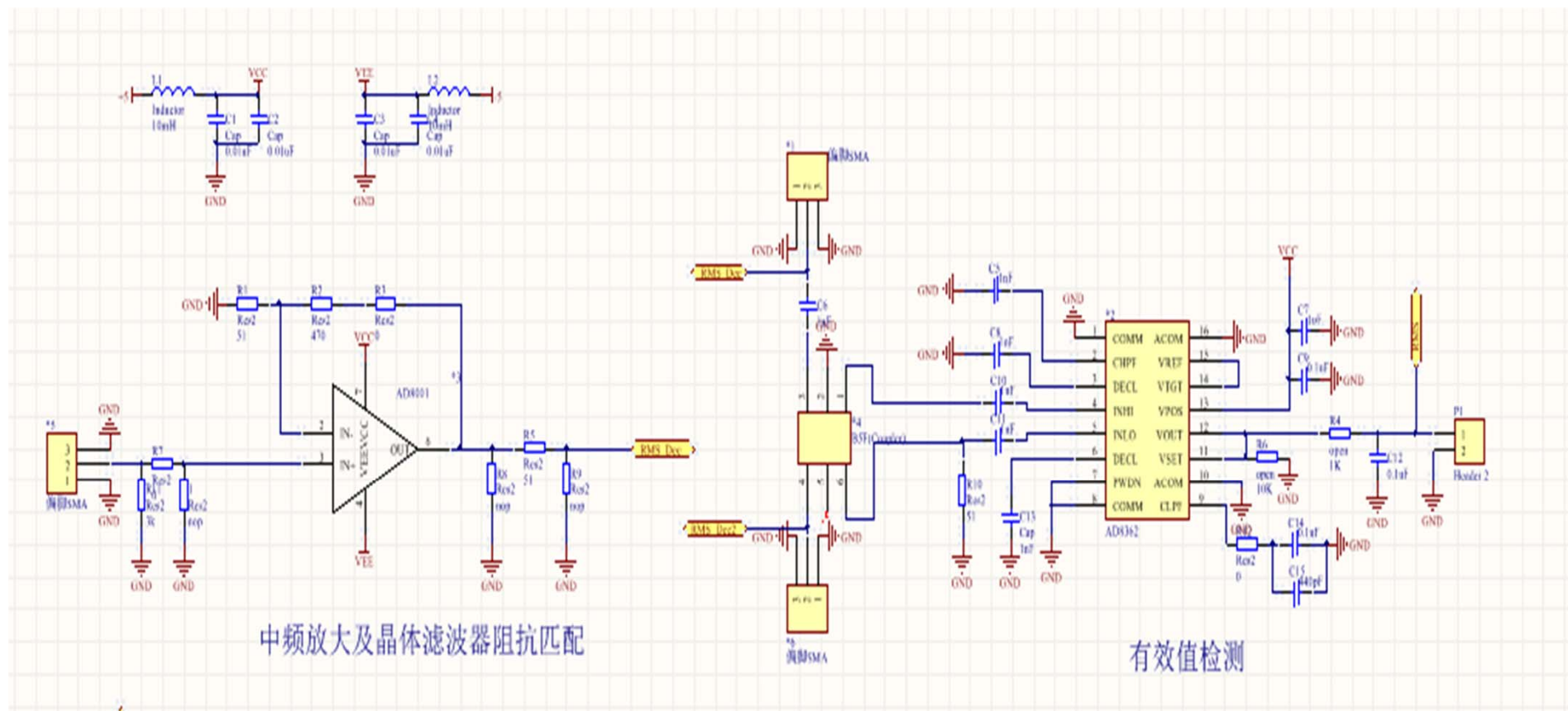




四、电路与程序设计

4. 中频放大及有效值检测电路

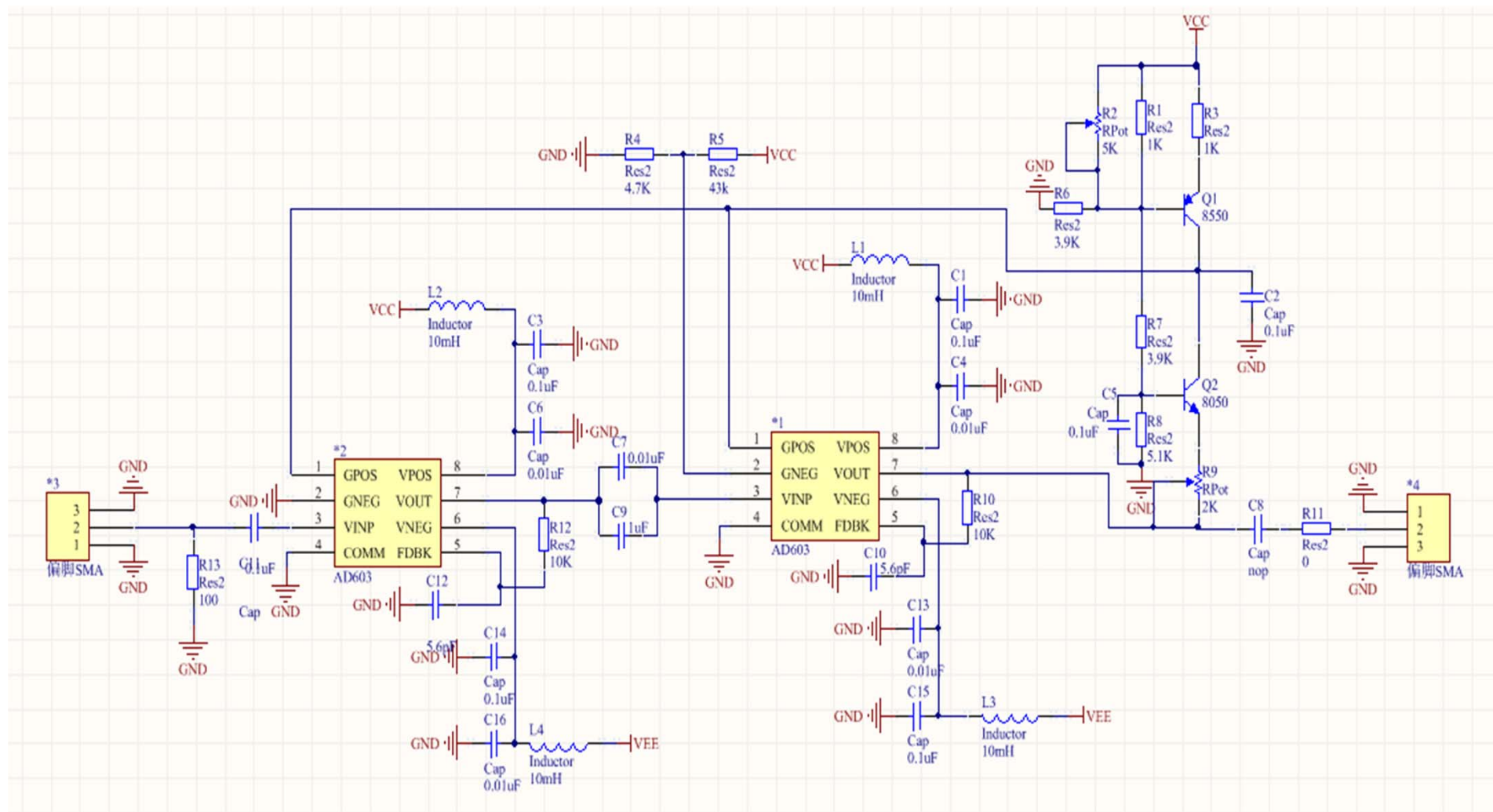
系统使用OPA847（单位增益带宽为3.9GHz）电压反馈运放作为中频放大器，两级级联使用，共实现





四、电路与程序设计

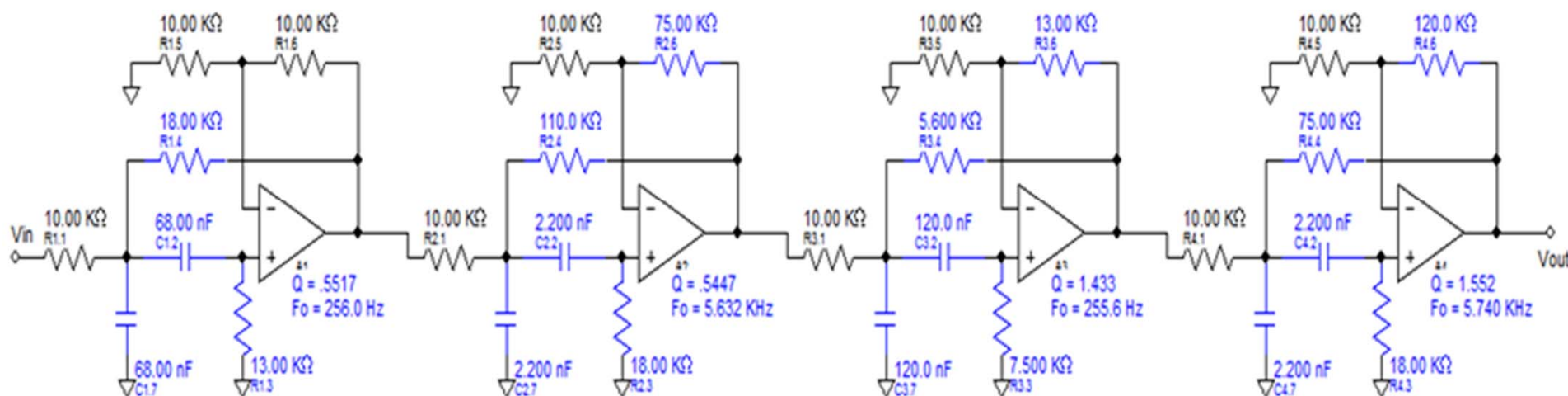
5. 基带AGC电路



四、电路与程序设计

6. 基带带通滤波器

采用8阶有源带通滤波器，实现300Hz~5kHz带通滤波器，滤除带外信号。





四、电路与程序设计

7. 系统电源：

由于系统高频信号链路和低频信号链路同时存在，所以对于电源的要求较高。系统采用高性能低纹波大功率线性稳压电源为系统整体供电。系统高放部分为采用单电源5V供电，中频及检波电路采用 $\pm 5V$ 双电源供电。使用电荷泵电路产生 $-5V$ 电压源。各模块电路并通过LC滤波，接入电源。单片机数字地与前端模拟地相互隔离。各模块电路在电源接口处增加钽电容和铝电解电容的去耦回路。



四、电路与程序设计

8.程序设计

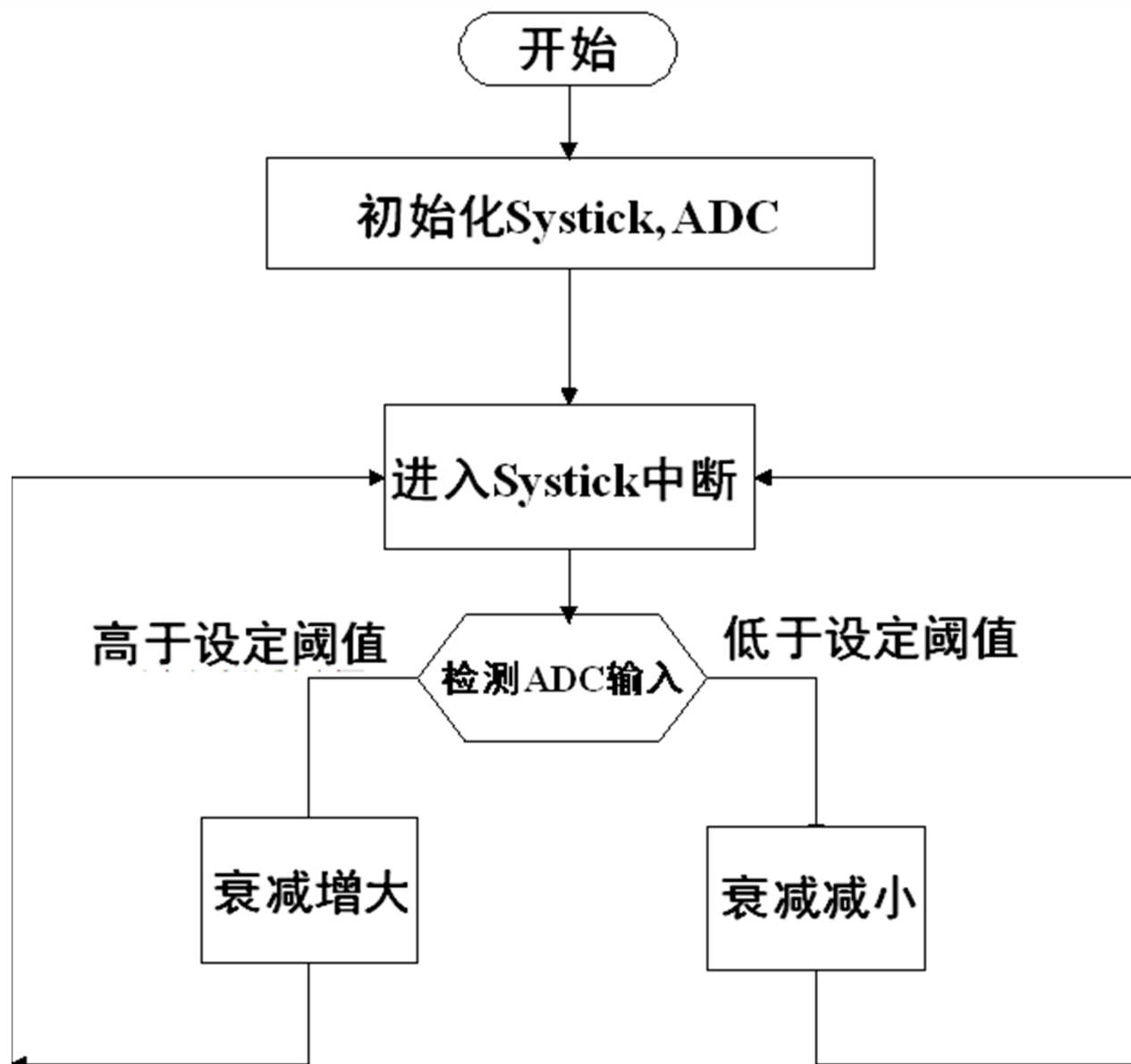
为更高效地实现系统控制，系统采用两块STM32单片机完成整体控制，各功能如下：

MCU1：负责前级自动增益控制。

MCU2：负责本振源锁相环输出频率及幅度控制。

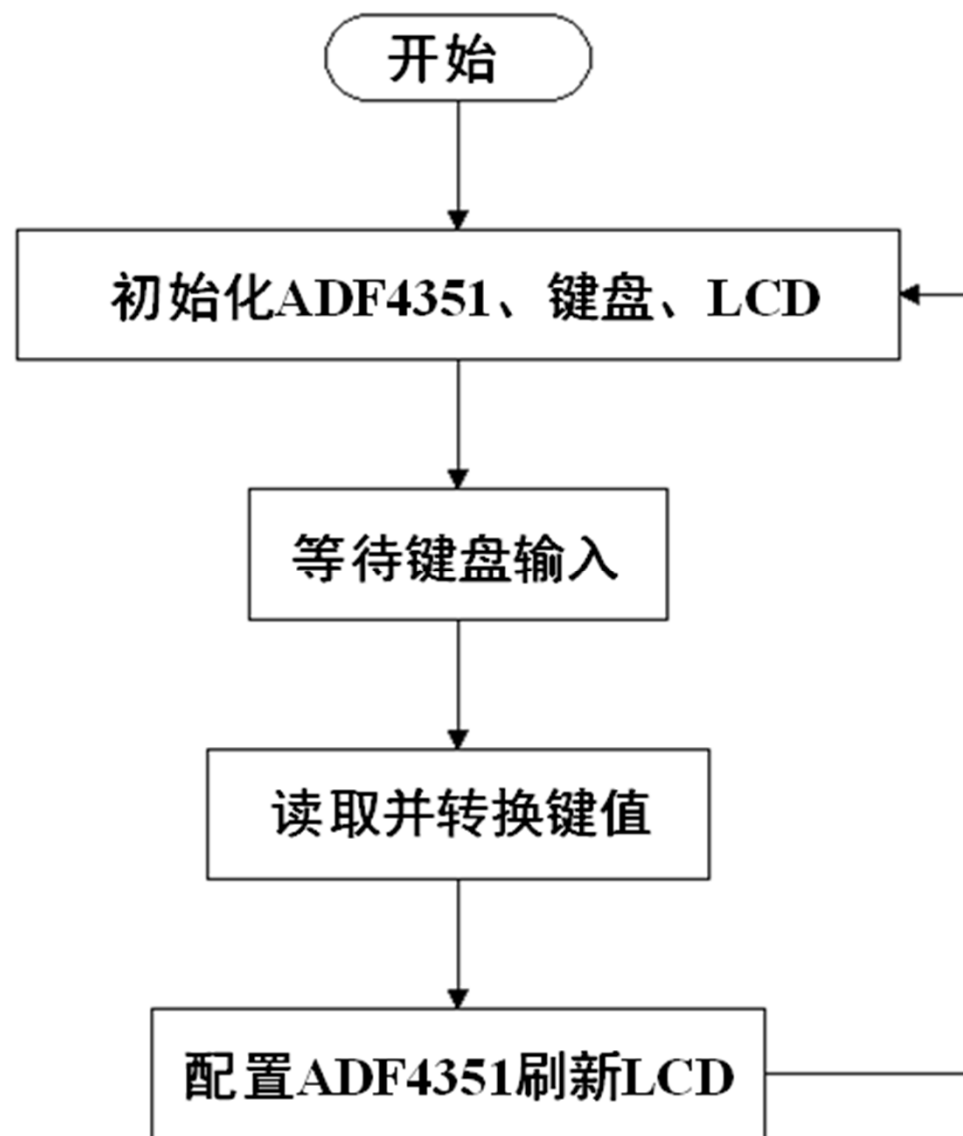


四、电路与程序设计





四、电路与程序设计

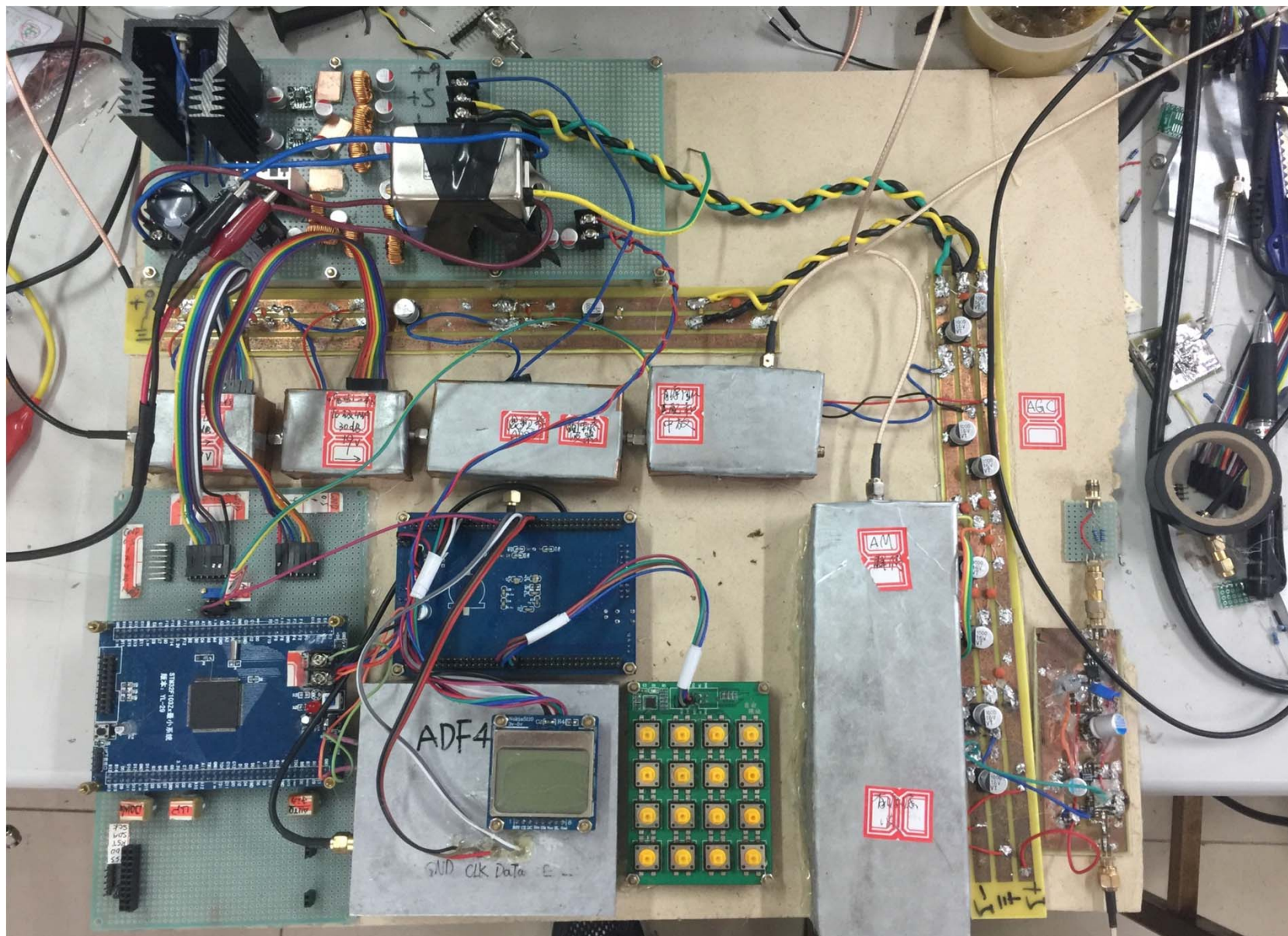




五、测试结果

在保证输出为 $1V \pm 0.1V$ 有效值的基带信号下，最小输入AM调制信号的幅度为 $0.7\mu V$ ，最低频率为50MHz，最高频率为1.3GHz。

结语





谢谢！