

大学生电子设计竞赛系列讲座

射频宽带放大器

报告人：刘开华

2013年11月





报 告 内 容



第一部分

概述

第二部分

基础知识

第三部分

赛题解析





第一部分 概述





概述



放大器是出现较多的一类竞赛题。如：

1995年的实用低频功率放大器；

1999年的测量放大器；

2001年的高效率音频功率放大器；

2003年的宽带放大器；

2009年的宽带直流放大器；

2013年的射频宽带放大器。

同时综合测评和其他赛题也包涵的放大器内容。



概述



该类竞赛题目的特点：

- 1、题目涵盖了电子信息各类学生必需掌握的专业基础知识，对专业知识要求相对较低。所以，以放大器为载体构成的电子竞赛题，适用的专业、年级范围宽泛，容易构成“基本要求部分上手容易，发挥要求部分制作难度有梯度，整体工作量适当”的赛题；
- 2、放大器是指标型的题目，参数要求灵活，实现方法多样。对参赛学生的基本功、实践经验、接受新技术、新器件的能力要求高；



概述



该类竞赛题目的特点：

3、放大器是组成各类电子系统的重要单元电路，其应用背景明显，并对新技术、新器件发展、工艺制作质量敏感。分析近年的考题，我们可以清晰看出放大器类题目跟随业界技术发展的趋势：即宽带、高增益和高性能（较高的输出电压、较高的效率、较宽的动态范围、较低的噪声性能），以及采用新型器件的导向。



第二部分 基础知识





一、基本放大器

放大器设计是各类竞赛题中均包含的内容，每个参赛队肯定会赛前训练。目前设计放大器基本均采用集成电路运算放大器的方案，所以关键是选择合适的芯片。这使得训练应分为普通训练和专项训练。



一、基本放大器

普通训练主要是采用通用芯片，结合传感器等，设计普通放大器、差分放大器、仪用放大器和小功率的驱动电路，以满足相关系统对模拟信号采集、调理的需求。

当选择设计放大器为训练方向时，则需要在宽带、高增益（可调）、高输出电压（或有输出功率要求）、阻抗匹配、失真、低噪声、带内增益起伏、矩形系数等指标提高上下功夫。



二、运算放大器应用电路

包含信号调理电路、信号发生电路、有源滤波器、比较器。这部分内容还要考虑NE555芯片的应用。将运放应用电路单独提出来，是因为该部分非常重要且范围宽，谁也无法限定范围，但题目中肯定会用上。在培训时，训练的典型电路越多越好。



三、放大器设计制作

1. 选好合适的芯片，能取得事半功倍的效果。如03年宽带放大器一题，功能完成较好的作品均是采用了AD603作为中间放大级。09年宽带直流放大器一题，对带宽和输出功率提出新的要求。该题的宽带、高增益且可调指标仍然是采用AD603等芯片实现，但输出电压（功率）指标有新要求，需要采用THS3092，LT1210，BUF634等性能好的新型集成芯片。今年的题目对新型、高性能集成电路的依赖更加明显。
2. 需要设计好整体方案。包括增益分配（动态范围），阻抗匹配、带内增益波动，09年和13年放大器均要求了带内增益波动 $\leq 1\text{dB}$ ，噪声抑制和功率驱动。
3. 良好的制作工艺。布局、屏蔽、去耦、接地等。



第三部分 赛题解析

射频宽带放大器（D题）





出题思想

1. 上手容易，整体要有难度，并且难度要有梯度。
2. 改变目前学生培养的弱项，推动实验教学改革的发展（高频段）。
3. 体现技术发展趋势，和工程实际应用背景。（宽带，新器件，新技术，动态范围，阻抗匹配，工艺）。
4. 重点要求基本指标，包括增益（增益可调）、带宽和带负载能力（输出电压）。



题目



一、任务

设计并制作一个射频宽带放大器。

二、要求

1. 基本要求

(1) 电压增益 $A_v \geq 20\text{dB}$, 输入电压有效值 $U_i \leq 20\text{mV}$ 。 A_v 在 $0 \sim 20\text{dB}$ 范围内可调。

(2) 最大输出正弦波电压有效值 $U_o \geq 200\text{mV}$, 输出信号波形无明显失真。

(3) 放大器 $BW-3\text{dB}$ 的下限频率 $f_L \leq 0.3\text{MHz}$, 上限频率 $f_H \geq 20\text{MHz}$, 并要求在 $1\text{MHz} \sim 15\text{MHz}$ 频带内增益起伏 $\leq 1\text{dB}$ 。

(4) 放大器的输入阻抗 = 50Ω , 输出阻抗 = 50Ω 。



题目

2. 发挥部分

(1) 电压增益 $A_v \geq 60\text{dB}$, 输入电压有效值 $U_i \leq 1\text{ mV}$. A_v 在 $0 \sim 60\text{dB}$ 范围内可调。

(2) 在 $A_v \geq 60\text{dB}$ 时, 输出端噪声电压的峰峰值 $U_{oNpp} \leq 100\text{mV}$ 。

(3) 放大器 $BW-3\text{dB}$ 的下限频率 $f_L \leq 0.3\text{MHz}$, 上限频率 $f_H \geq 100\text{MHz}$, 并要求在 $1\text{MHz} \sim 80\text{MHz}$ 频带内增益起伏 $\leq 1\text{dB}$ 。该项目要求在 $A_v \geq 60\text{dB}$ (或可达到的最高电压增益点), 最大输出正弦波电压有效值 $U_o \geq 1\text{V}$, 输出信号波形无明显失真条件下测试。

(4) 最大输出正弦波电压有效值 $U_o \geq 1\text{V}$, 输出信号波形无明显失真。

(5) 其他 (例如进一步提高放大器的增益、带宽等)。



基本技能

3. 说明

- 1) 要求负载电阻两端预留测试端子。最大输出正弦波电压有效值应在 $R_L=50\Omega$ 条件下测试（要求 R_L 阻值误差 $\leq 5\%$ ），如负载电阻不符合要求，该项目不得分。
- 2) 评测时参赛队自备一台220V交流输入的直流稳压电源。
- 3) 建议的测试框图如图1所示，可采用点频测试法。

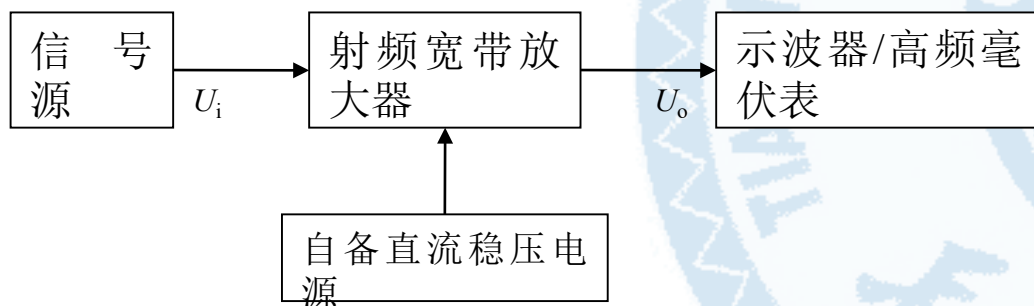


图1 测试框图

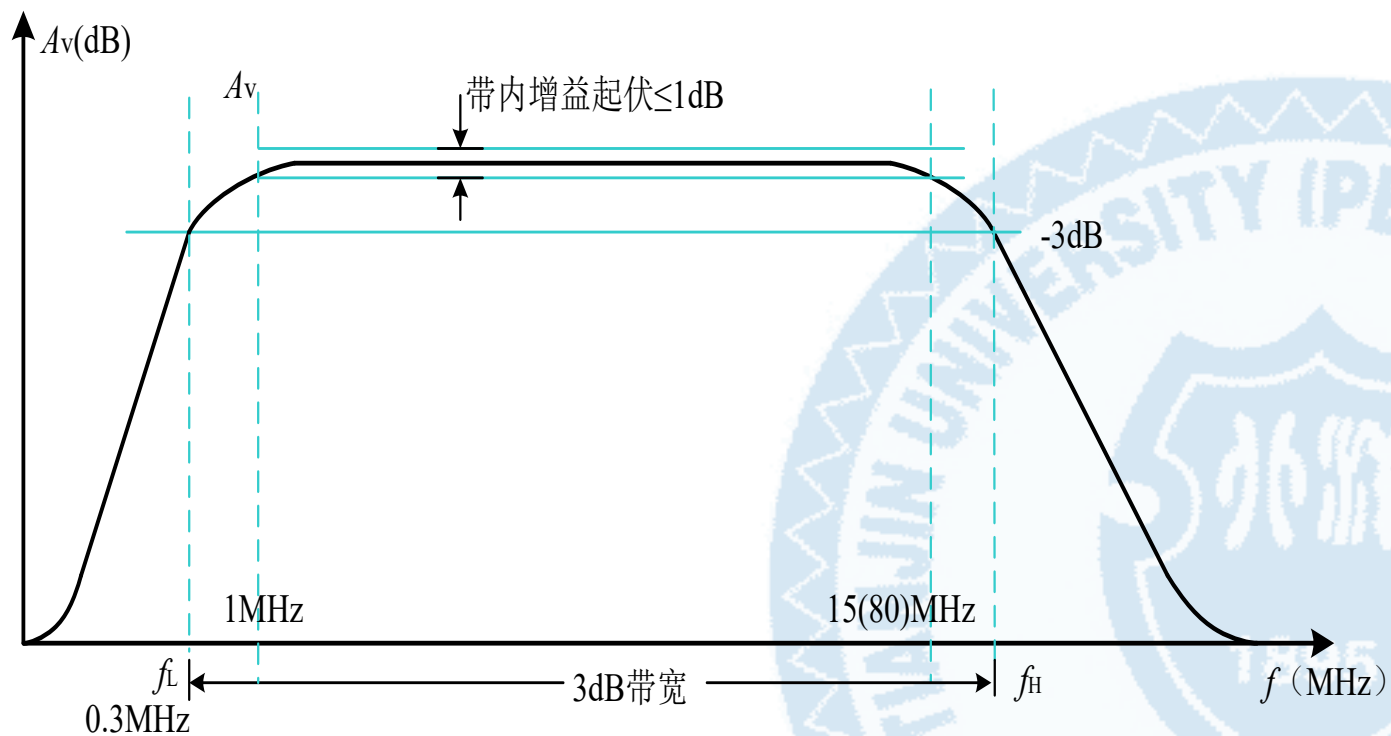


图2 幅频特性示意图



三、题目分析

该题目的考点主要有：**带宽、增益**（高增益、可调、带内波动）、**带负载能力、动态范围**（增益分配）、**阻抗匹配、降低噪声、测量方法**。

带宽指标主要通过选择新型高性能的运算放大器实现，如OPA847、OPA690、THS3091、OPA2694、AD8321

高增益均采用多级放大器实现，典型的设计方案是采用3级放大器，也有采用4级放大的方案。

由于今年题目对增益可调功能没有程控、步进的要求。所以，可简单的使用手动调整方案。如选择程控增益解决方案，有两种实现方法。1. 采用可编程增益运放；2. 采用可编程衰减器实现。

带内增益波动指标通过极间阻抗匹配、补偿等解决。



三、题目分析

动态范围（增益分配）指标主要是做好增益分配。今年全国复测时比赛区测试多了一项输入20mV时测输出电压。结果，不少的队因为增益分配不太合理，输出失真，丢了分。主要原因是一些队为了降低噪声，将第一级的增益设置过高且不可调。结果输入稍大，第一级就饱和了，后面再衰减或调整也起不了作用，造成输出失真。

阻抗匹配。该题目要求输入、输出阻抗均为50 Ω ，并要求负载为50 Ω 。所以，需要在输入端和输出端设置阻抗匹配网络。其中输出端最好为可方便摘下来的负载电阻，但实际很少有这样做的。当运放的输出电阻很小时，还要考虑先在运放输出端串一个50 Ω 的电阻，然后再接50 Ω 负载。



三、题目分析

降低噪声。主要是选器件、好布局。

测量方法。信号源内阻为 $50\ \Omega$ ，先将信号源信号幅度设置为 1mV ，然后，再设置为 20mV 。示波器采用高阻输入方式，作品带着负载电阻测试。



四、作品设计举例

系统方案设计

大多数作品采用固定增益放大器（THS3201）、可调增益放大器（AD8367）和输出功率放大器（THS3901）构成的三级放大方案。

部分作品采用固定增益放大器（OPA847）、程控步进衰减模块（PE4306）、压控增益放大器（VCA821）和输出功率放大器（AD8009，THS3201）构成的四级放大方案。



四、作品设计举例

模块设计

可控增益放大器设计

方案一：采用场效应管或三极管控制增益。主要利用场效应管可变电阻区（或三极管等效为压控电阻）实现增益控制，由于题目要求的频带较高。该方案采用大量分立元件，电路复杂，稳定性差。

方案二：采用多路选择器来改变放大器跨接的电阻的值实现增益控制。该方案需求每一级放大器都要加多路选择器，不能实现连续调节，影响高频的频率特性。

方案三：根据放大电路增益可控的要求，考虑直接选取可调增益的运放实现（如VCA820，VCA821，AD603，AD8367）。其特点是以dB为单位进行调节，可控增益约40dB, 可以用单片机方便的预制增益。



四、作品设计举例



宽带放大模块设计

方案一：采用电压反馈放大器OPA846、OPA847、OPA657、OPA690等电压放大器，该系列的运算放大器的增益带宽积很高，需要仔细设计PCB电路板。

方案二：采用电流反馈放大器OPA691，OPA2694、THS3201。



四、作品设计举例



输出级电路设计

方案一：使用双极型三级管组成互补乙类推挽功率放大器，单倍增益跟随，增大输出电流，提高带负载能力。匹配、调试复杂。

方案二：使用压摆率高、电流输出能力较大的电流反馈运算放大器，如THS3091等。此种方案可以提供一定的输出电流，利于系统稳定。



四、作品设计举例

系统稳定性设计

(1) 放大器板上运放电源线及数字信号线均加磁珠和电容滤波，磁珠可滤除电流上的毛刺，电容滤除较低频率的干扰，它们配合在一起可较好地滤除电路上的串扰。安装时尽量靠近IC电源和地。

(2) 信号耦合用电解电容两端并接高频瓷片电容以避免高频增益下降。

(3) 在两个焊接板之间传递模拟信号时用同轴电缆，信号输入输出使用SMA-BNC接头以使传输阻抗匹配，并可减少空间电磁波对本电路的干扰，同时避免放大器自激。

(4) 数字电路部分和模拟电路部分的电源严格分开，同时数字地和模拟地电源地一点相连。



四、作品设计举例

增益控制模块设计

方案一：在电源+5V和地之间使用可调电位器来给集成压控增益放大器的电压控制管脚（1号管脚）提供一个稳定的电压，改变可变电位器的分压即可控制增益的变化。改变可变电位器的分压即可控制增益的变化。此方案为手动调节。

方案二：通过单片机进行运算并控制D/A芯片输出来给提供控制电压，从而实现较精确的数控。此方案为程序控制。

综合比较这两种方案，各有优势。手动控制能实现连续调节，而程序控制又比较直观、方便。



四、作品设计举例

4. 增益分配

由于要求输入电压有效值 $1\text{mV} \leq U_i \leq 20\text{mV}$ ；
输出端噪声电压的峰峰值 $U_{oNpp} \leq 100\text{mV}$ ；在
 $1\text{MHz} \sim 80\text{MHz}$ 频带内增益起伏 $\leq 1\text{dB}$ 。

某设计选择低噪输入级OPA690增益为5倍，
第二级为 $-10\text{dB} \sim 30\text{dB}$ ，第三放大级OPA847增益为
10倍，输出驱动级THS3091增益为2倍。

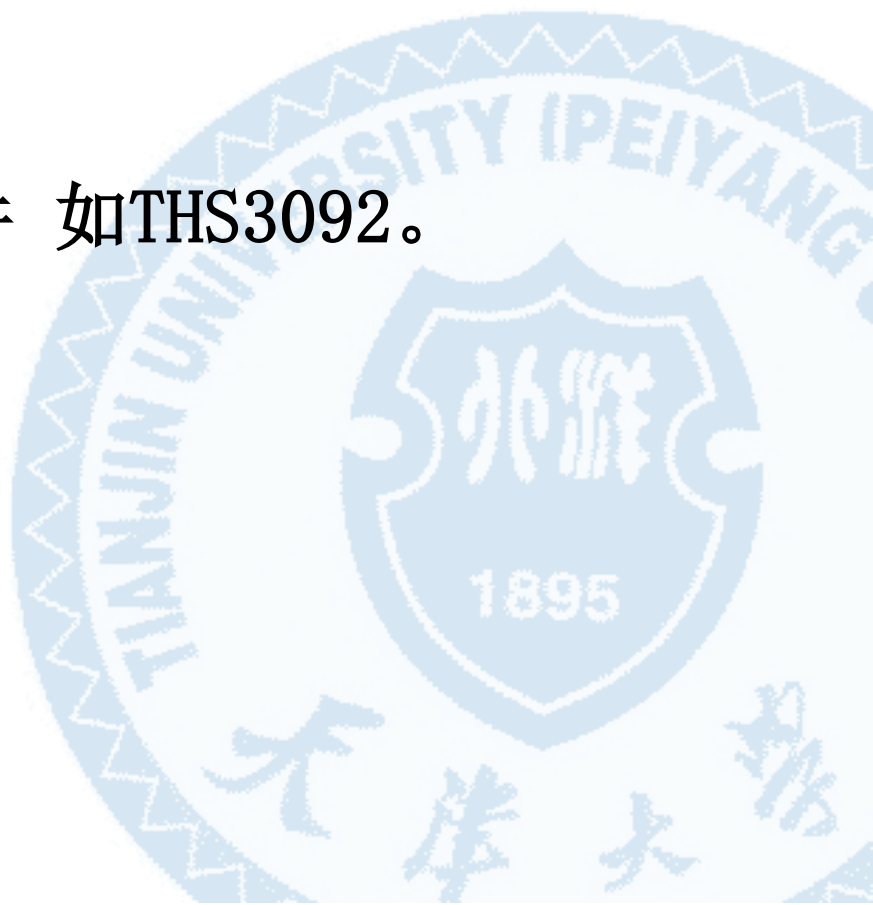


四、作品设计举例



频带内增益起伏控制

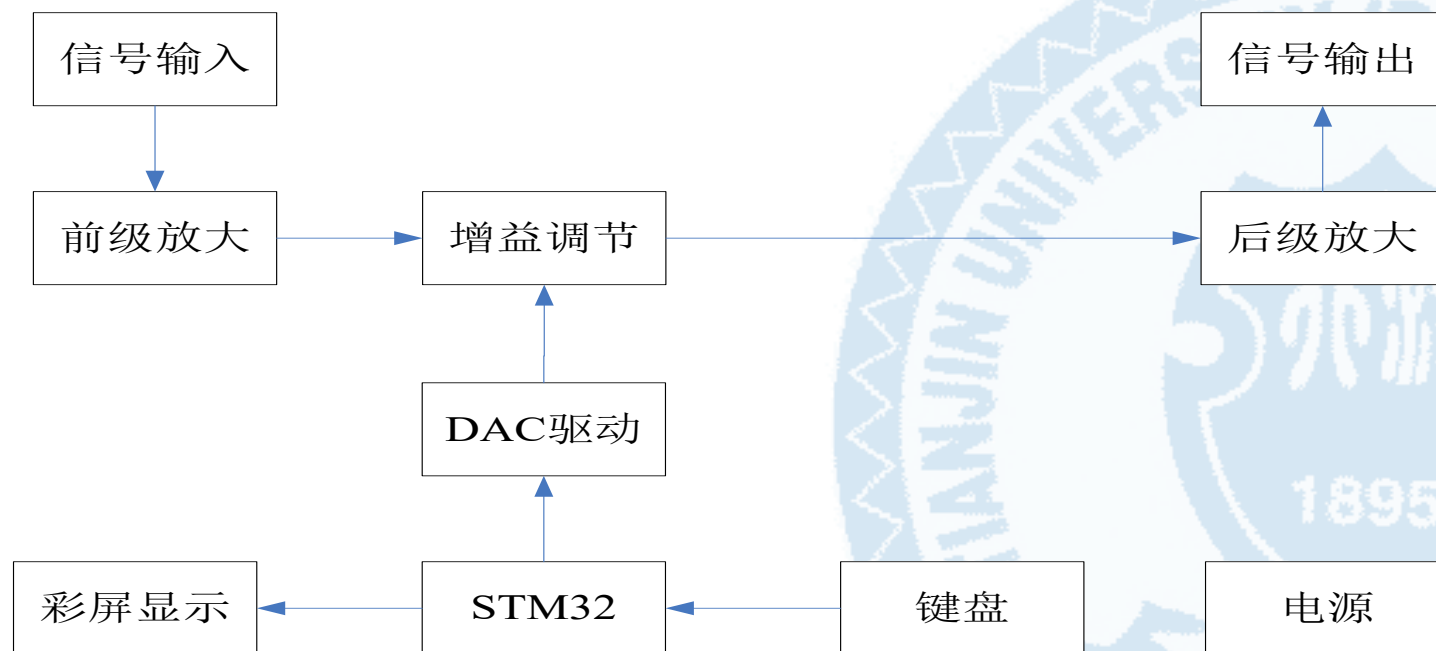
- 1) 选增益曲线平坦的器件 如THS3092。
- 2) 极间阻抗匹配。
- 3) 输出频率补偿。
- 4) 合理利用芯片的特性。





四、作品设计举例

系统框图





其他设计举例

可控电压增益电路

可控增益调节部分使用压控增益放大器VCA820，VCA820在宽频带工作模式下，增益控制范围为-20dB~+20dB。

前级电压增益放大电路

由于OPA657的增益带宽积高达1.6GHz，并且其输入失调电流仅有 $\pm 0.25\text{mV}$ ，对于后级电路的调理起到相当大的简化作用。

后级电压增益放大电路

作为末级放大电路，一方面需要满足题目要求电压增益 $A_v \geq 60\text{dB}$ ，另一方面为了避免放大倍数过大而自激，引入干扰。末级放大电路的增益应尽可能小但又必须达到要求。可选择大功率带宽，单位增益稳定，高输出电流的运放OPA2694。



其他设计举例



可控电压增益电路

方案一：以高增益精度的压控VGA芯片AD603作为核心放大器，但频率再高时，效果很不理想，并且在级联时，很容易产生自激现象。

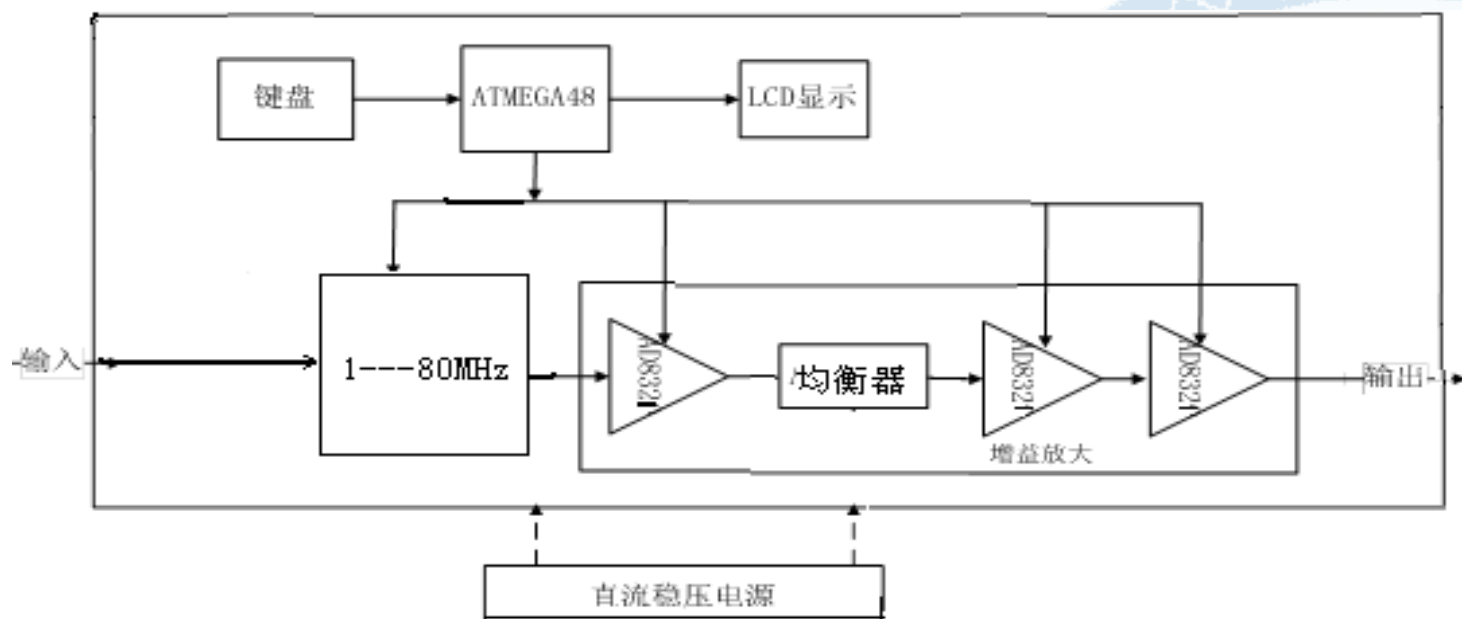
方案二：采用宽带可变增益FET放大电路，其缺点是增益步进控制难以实现，高频时频率的稳定性不好，在20KHz~5MHz频带内增益起伏较大，不能满足设计要求。

方案三：选用AD8321和ATmega48为核心对信号进行处理。由于AD8321输出电压具有足够高的幅度以满足 $V_o > 1V$ 的要求，所以无需增加功率放大部分。



其他设计举例

某作品的系统整体框图

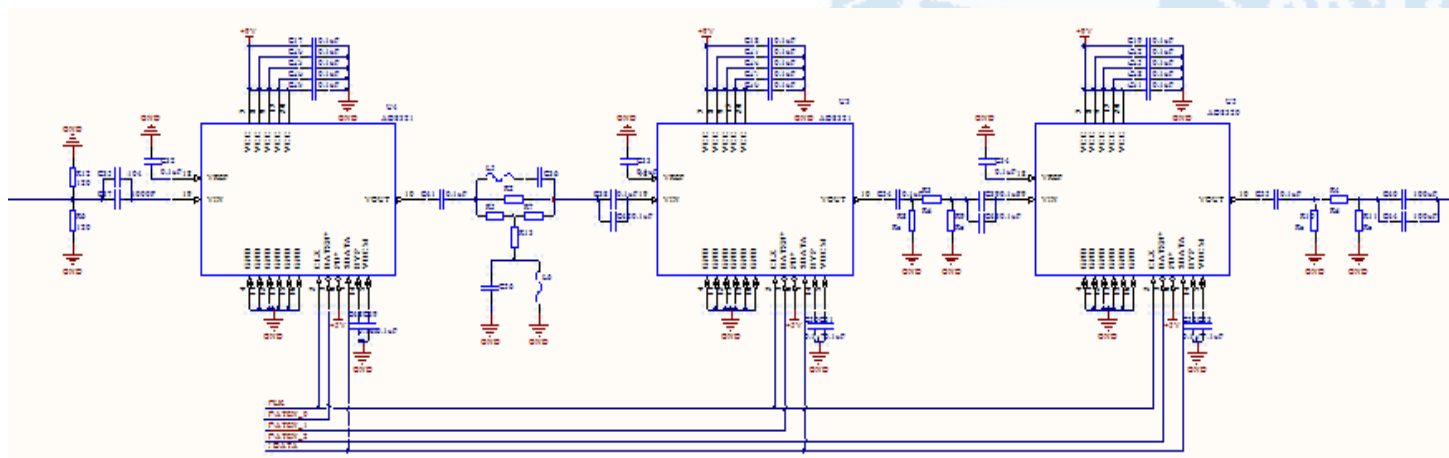




其他设计举例

1. 宽带放大器设计

AD8321为高频段放大器，含SPI总线接口，其带宽235MHz，增益可调，其最大增益为24dB。为满足题目60dB的要求，系统采取三级级联的措施。理论上 $\text{Gain}=24+24+24=72\text{dB}$ 。因此可以实现题目中对增益的要求。系统由单片机通过SPI总线发送数据控制其增益。





其他设计举例

2. 通频带内增益起伏控制

在通常的宽带放大电路中，要想使频带内增益起伏 $<1\text{db}$ 是比较困难的，在本电路中就巧妙的利用芯片本身特性，和外围器件的共同作用，先将信号输入后进行相应的放大和补偿，即利用第一级输出后的电感、电容、电阻网络进行补偿，再经第二、三级后面的电阻网络（即每一级输出后面的电阻网络），将整体相应的拉低，从而实现了频带内增益起伏 $<1\text{db}$ 。

3. 射频放大器的稳定性

经测试AD8321稳定性良好，并且在系统设计中设置了输入和输出阻抗匹配及反馈控制电路，另外，增益控制部分装在屏蔽盒中，在电路板设计时采取大面积接地，模拟数字地隔开处理的措施，都增强了系统的稳定性。



其他设计举例



4. 带宽增益积

AD8321为8位串行增益控制器，其最大增益为24dB, 带宽120MHz。理论上三级级联后增益可达72dB。

5. 均衡器

均衡器的主要作用在于弥补信号传输过程中造成的失衡，保证干线系统的零增益和信号电平的均衡，使用户端接收到的信号符合要求。

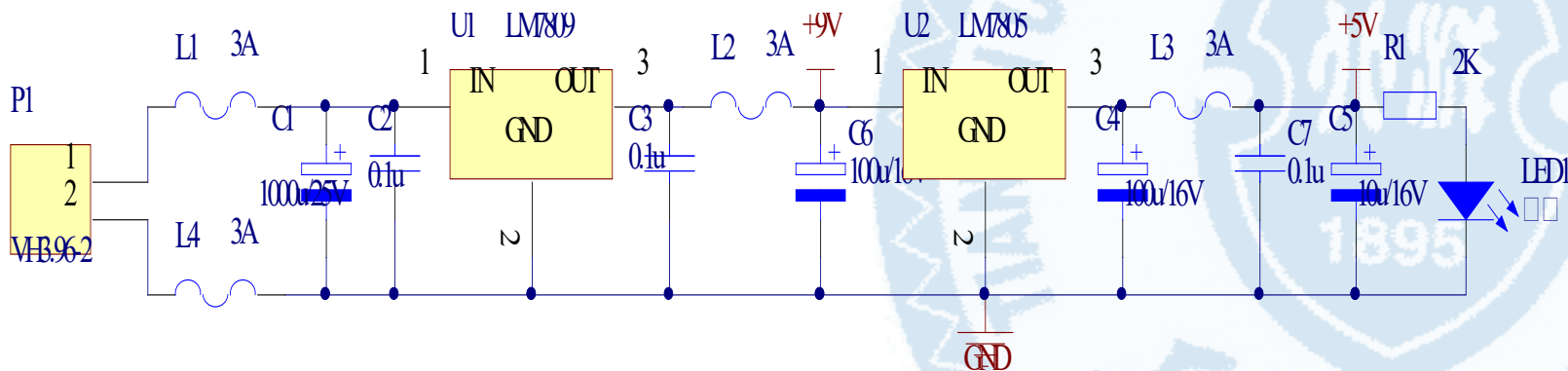


其他设计举例

6. 直流稳压电源

本电源采用传统方法比较简单。经整流，滤波、稳压芯片后其中一路产生正9V和正5V电压供给放大电路。

稳压电源原理图





其他设计举例

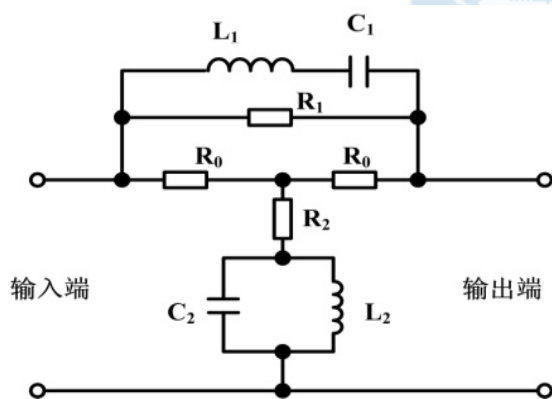
7. 功率放大

由于AD8321本身的输出电压具有足够高的幅度，因此无需增加功率放大部分，就能实现输出 $>1V$ 。

8. 均衡器

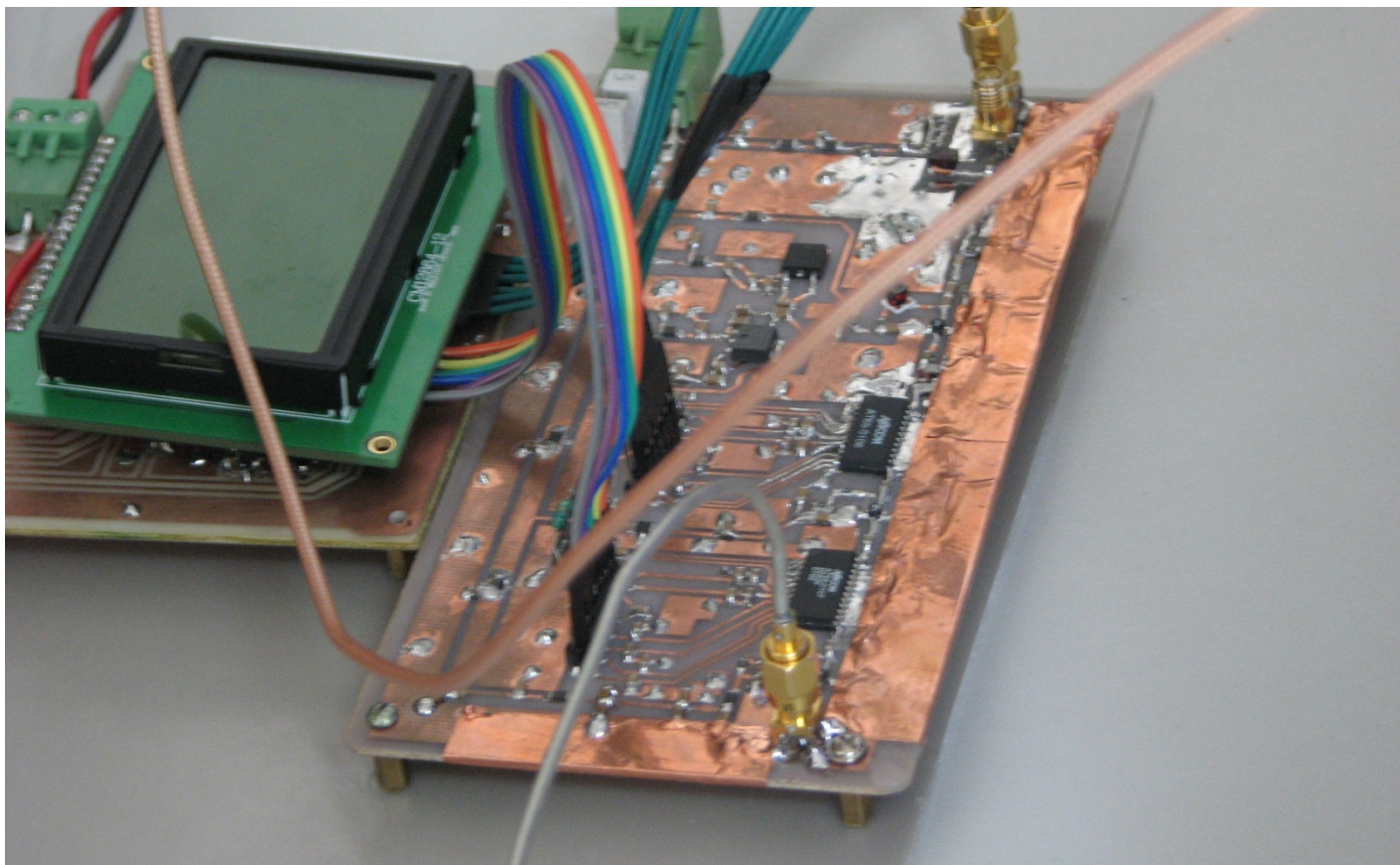
在系统中，传输信号的衰减量与信号频率的平方根成正比，即衰减随着信号频率的升高而增加，均衡器则是对同轴电缆的衰减特性进行频率补偿，也就是说均衡器是一个与频率特性相反的衰减器，对较低频率的信号衰减较大，而对较高频率的信号衰减较小。

均衡器通常是由电感、电容和电阻组成的T型网络构成，它的原理图见下图。



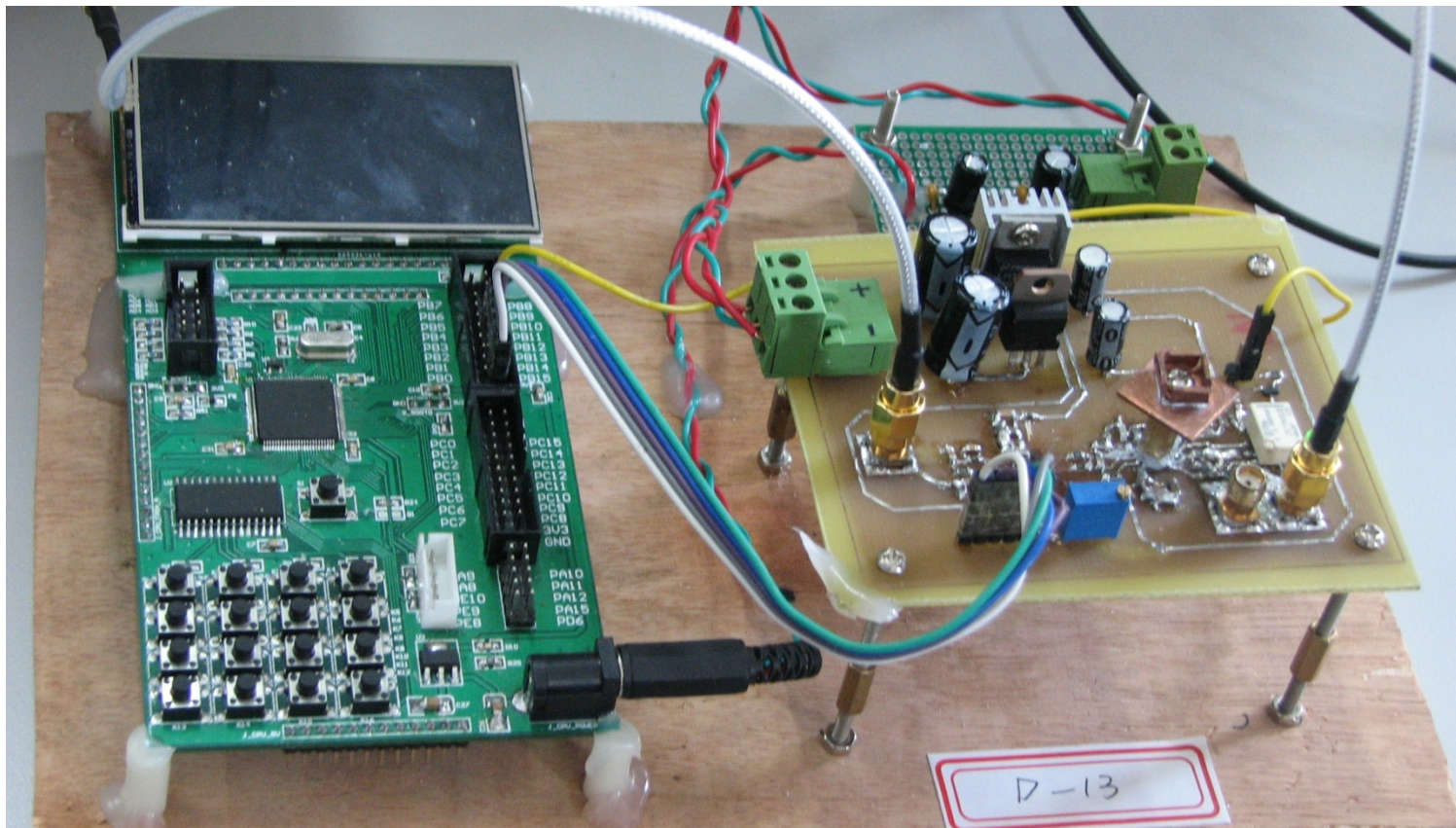


优秀作品



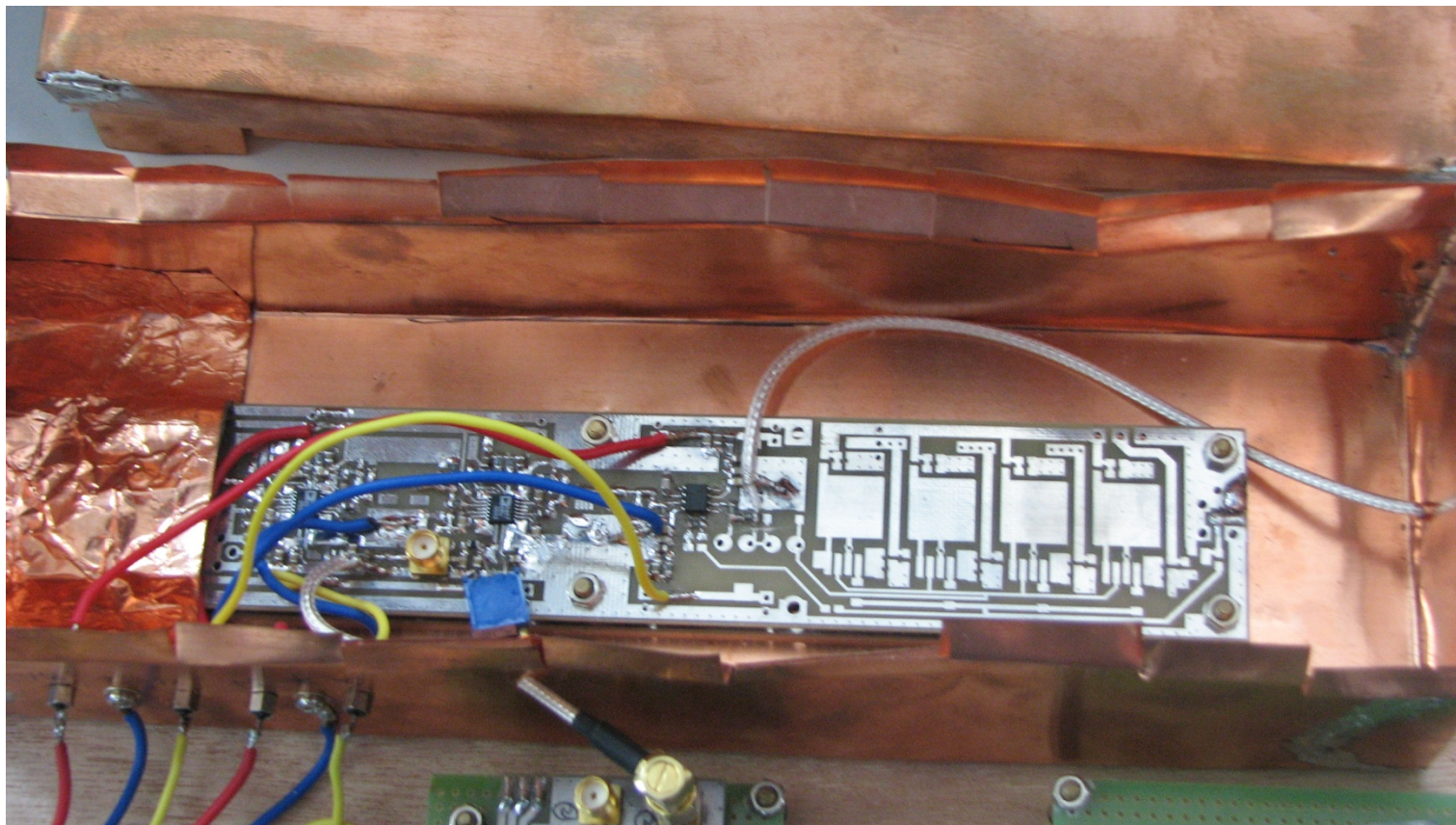


优秀作品





优秀作品





优秀作品

