

分类号:

学校代码: 11460

学 号: 14550833

# 南京晓庄学院本科生毕业论文

## 宽带放大器系统设计

### Design of broadband amplifier system

所属学院: 电子工程学院

学生姓名: 张璐瑶

指导教师: 段玉垒

职 称: 实验师

研究起止日期: 二〇一八年一月至二〇一八年五月

二〇一八年四月

### 【摘要】

本次设计的宽带放大器系统主要由数控衰减器模块、固定增益放大模块和滤波器模块组成，其中数控衰减器模块的系数由手动控制，选用一个 HMC470 数字控制衰减器来实现增益步进控制范围为 0dB~30dB 的要求。固定增益放大模块由驱动放大模块、前级放大器模块和末级放大器模块组成，其中驱动放大模块采用的是 NBB-310 放大器，它的增益是 13dB，前级放大器采用的是 BGA2870 放大器，它的增益是 31dB，末级放大器采用的是 ECG008B-G 放大器，他的增益是 15dB，在这里采用三级级联的方式满足电压增益 $\geq 52$  的要求。滤波器模块则是一个由 7 阶切比雪夫型低通滤波器和一个 9 阶切比雪夫型高通滤波器组成的带通滤波器组成，其主要应用的元器件为电容和电感，这里的电容的容值采用并联的方式得到，电感则是通过空芯电感线圈的绕线规则由以 0.4mm 为直径电感丝缠绕 2.9mm 直径的小铁棒制作而成，通过查阅书籍计算并确定电感值的大小，满足电路的需求，进而使得设计的滤波器达到指定的功能需求。

【关键词】数控衰减器；滤波器；前级放大器；宽带放大器；末级放大器；固定增益控制；

### **【Abstract】**

The broadband amplifier system designed this time is mainly composed of a digitally controlled attenuator module, a fixed gain amplification module and a filter module. The coefficients of the digital attenuator module are manually controlled, and a HMC470 digitally controlled attenuator is used to achieve the gain stepping control range. 0dB~30dB requirement. The fixed gain amplifier module consists of a driver amplifier module, a preamplifier module, and a final amplifier module. The driver amplifier module uses an NBB-310 amplifier. Its gain is 13dB, and the preamplifier uses a BGA2870 amplifier. It is 31dB. The final stage amplifier uses the ECG008B-G amplifier. Its gain is 15dB. Here, a three-stage cascade is used to meet the voltage gain requirement. The filter module is a bandpass filter consisting of a 7th-order Chebyshev low-pass filter and a 9th-order Chebyshev-type high-pass filter. The main components used are capacitors and inductors. The capacitance is obtained in parallel, and the inductor is made by winding the air core inductor with a 0.4 mm diameter inductor wire wrapped around a small 2.9 mm diameter iron rod. The inductance is calculated by consulting a book. The size meets the requirements of the circuit, which in turn allows the designed filter to meet the specified functional requirements.

**【Key words】** CNC attenuator; Filter; Preamplifier; Broadband amplifier; Final amplifier; Fixed gain control;

## 目录

1. 绪论.....	1
1.1 宽带放大器概述.....	1
1.2 宽带放大器设计的意义.....	2
1.3 系统设计要求.....	2
2. 系统设计方案论证与比较.....	2
2.1 系统整体设计及原理框图.....	3
2.2 方案论证与比较.....	3
2.1.1 有源滤波器与无源滤波器的选择.....	3
2.1.2 滤波器种类的选择.....	3
3. 硬件方案设计.....	4
3.1 具体模块介绍.....	4
3.1.1 驱动放大模块.....	4
3.1.2 前级放大器模块.....	4
3.1.3 末级放大模块.....	5
3.1.4 数字控制衰减器模块.....	5
3.1.5 滤波器模块.....	7
3.3 芯片简介.....	10
3.3.1 ECG008B-G 芯片.....	10
3.3.2 NBB-310 芯片.....	11
3.3.3 BGA2870 芯片.....	12
3.3.4 HMC470 芯片.....	12
5. 调试.....	13
5.1 调试方法.....	13
5.1.1 固定增益放大模块的调试.....	13
5.1.2 滤波模块的调试.....	13
5.1.3 数字控制衰减器模块的调试.....	14
5.2 问题及解决方式.....	14
5.2.1 滤波器衰减不对且通带内起伏量太大.....	14
5.2.2 数字控制衰减器模块拨码后波形峰-峰值不变.....	14
6. 注释.....	15
7. 参考文献.....	15
致谢.....	16

# 1. 绪论

## 1.1 宽带放大器概述

宽带放大器，即工作频率上限与下限之比甚大于1的放大电路。习惯上也常把相对频带宽度大于20%~30%的放大器列入此类。这类电路主要用于对视频信号、脉冲信号或射频信号的放大，是音响、有线电视、无线通信等系统中必不可少的部分<sup>①</sup>。用于电视图像信号放大的视频放大器是一种典型的基带型宽带放大器，所放大的信号的频率范围可以从几赫或几十赫的低频直到几兆赫或几十兆赫的高频。这类放大器通常以电阻器为放大器的负载，以电容器作级间耦合。为了扩展带宽，除了使其增益较低以外，通常还需要采用高频和低频补偿措施，以使放大器的增益-频率特性曲线的平坦部分向两端延展。可以归入宽带放大器的还有用于时分多路通信、示波器、数字电路等方面的基带放大器或脉冲放大器(带宽从几赫到几十或几百兆赫)，用于测量仪器的直流放大器(带宽从直流到几千赫或更高)，以及音响设备中的高保真度音频放大器(带宽从几十赫到几十千赫)等。用于射频信号放大的宽带放大器(大多属于带通型)，如雷达或通信接收机中的中频放大器，其中心频率为几十兆赫或几百兆赫，通带带宽可达中心频率的百分之几十。随着社会生产力的发展，人们迫切地要求能够远距离随时随地迅速而准确地传送多媒体信息。于是，无线通信技术得到了迅猛的发展，技术也越来越成熟。而宽带放大器是上述通信系统和其它电子系统必不可少的一部分。由此可知，宽带放大器在通信系统中起到非常重要的作用，于是人们也对它的要求也越来越高。宽带放大器是音响、有线电视、无线通信等系统中必不可少的部分。

在雷达和通信系统中，也需要传输和放大宽频带信号。例如，同时传输一路电视和几百路电话信号的微波多路通信设备，放大器的通频带约需 20MHz。若设备的中频选为 70MHz，则相对通频带达 30%左右，这就需要宽频带的中频放大器。雷达系统中信号的频带甚至可以达到几千兆赫，如果想要放大这样的信号，我们就需要使用宽带放大器。

随着通信技术的不断发展和电子产品的广泛应用，人们对于通信的质量也有了更高的要求，比如现在我们身边的手机拍照，人们对于像素的追求使得我们随便拍的一张图像就有几兆，一个十几秒的小视频也有几十兆，为了实现图像等的快速传播，使得被处理的信号频带也越来越宽，

---

<sup>①</sup> 胡宴如，耿苏燕. 高频电子线路第二版[M]. 高等教育出版社，2015.7，P46-48

而对于这些信号想要进行不失真的放大就要对放大器的工作频率有所要求。放大器一般可以分为宽带放大器和窄带放大器，这里我们主要研究的是宽带放大器。

## 1.2 宽带放大器设计的意义

宽带放大器在电子电路中具有十分重要的地位，宽带放大器的主要参数有通频带、增益和失真等，而且宽带放大器对电路的指标要求高，因此研究宽带放大器有助于我们了解信号在传输过程中的变换过程，也可以提高我们对电路的设计能力和参数设置的能力，使我们对芯片的使用及信号的处理有进一步的掌握。电子技术的迅猛发展使得人们对宽带放大器的要求也在提升，设计出一款在通频带内可以获得更高增益且具有平坦性的宽带放大器，使其性能更优、误差更小十分重要。本次设计是利用数控衰减器模块和固定增益控制模块组合来实现增益的可控性，这种方式实现比较简单。因为宽带放大器在电子系统中的重要地位，使得我们这些刚接触的同学们首先了解宽带放大器，通过较为简单的方式来实现宽带放大器的功能，加深我们对其的理解，这样才能在以后的设计中做出性能更优的放大器来推动技术水平的提高，满足现今乃至未来社会对放大技术需求。

## 1.3 系统设计的要求

通频带 (MHz)	40-100
增益 (dB)	$\geq 52$
输入/输出阻抗 ( $\Omega$ )	均为 50
失真	波形无明显失真
增益控制范围 (dB)	0-31 (增益绝对误差不大于 2)
输入电压有效值 (mV)	$\leq 5$
输出电压有效值 (V)	$\geq 2$
负载电阻 ( $\Omega$ )	50

表 1-1 系统设计指标要求

## 2. 系统设计方案论证与比较

## 2.1 系统整体设计及原理框图

实现增益可控的宽带放大器主要由 HCM470 数字控制衰减器模块、固定增益放大模块、滤波器模块等组合而成，宽带放大器的总体原理框架如图 2-1 所示。使用一个数字控制衰减器模块来实现 $A_v$ 增益步进控制范围在 0dB~31dB 的要求；使用三级级联的放大模式来组成固定增益放大模块，即讲放大模块分为前级放大模块、驱动放大模块和末级放大模块三级来满足电压增益 $A_v \geq 52$ dB的要求；滤波器模块是通过一个 40MHz 的 7 阶高通正切比雪夫型滤波器和也给 100MHz 的 9 阶低通正切比雪夫型滤波器组合而成的带通滤波器构成，以实现通带频率范围在 40MHz-100MHz。该系统的工作电源电源采用外部直流电源+12V 和+3V，采用 6 排针接口作为 +12V、GND、+3V 外部电源接口（2 排针/接口），输入、输出信号接口为 SMA 插头（配对），工作温度在-5℃到+55℃之间，贮存温度在-40℃到+85℃之间。

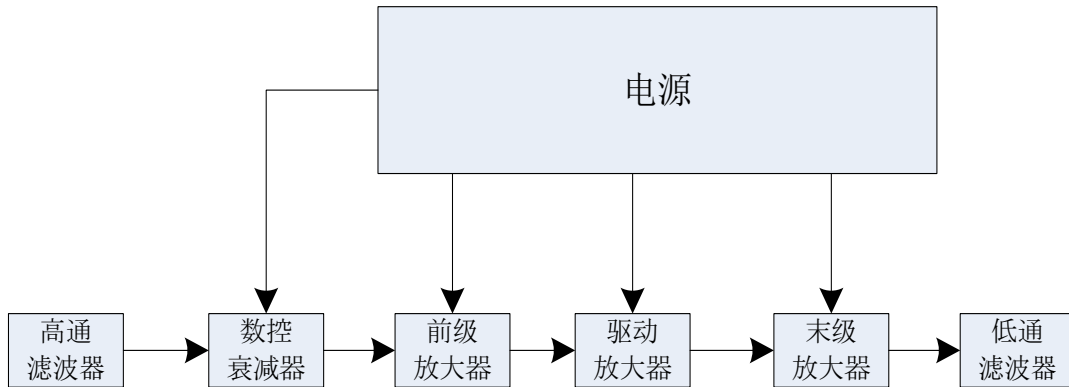


图 2-1 系统方案的原理框图

## 2.2 方案论证与比较

### 2.2.1 有源滤波器与无源滤波器的选择

无源滤波器，又称 LC 滤波器，是利用电感、电容和电阻组合设计构成的滤波器，可滤除某一次或多次谐波，最普通易于采用的无源滤波器是将电感与电容串联，可对主要次谐波（3、5、7）构成阻抗旁路，使谐波流入到滤波装置中。单调谐滤波器、双调谐滤波器和高通滤波器等都属于无源滤波器。无源滤波器的结构简单，成本低廉，运行的可靠性较高而且运行费用较低，所以应用十分广泛。但是无源滤波器的衰减特性较差，有误差。有源滤波器，由电阻和电容组合设计构成，衰减特性好，误差小，但适用频率较低，成本高，所以基本用于低频信号。

本次设计的宽带放大器最高频率在 200MHz,因而选择的是无源滤波器。

### 2.2.2 滤波器种类的选择

巴特沃斯滤波器是最简单、最原始的滤波器，其特点是通带内比较平坦，但衰减特性较差。

正切比雪夫型滤波器在通带内有等波纹起伏，但衰减特性较好。逆切比雪夫型滤波器的特点是阻带内有等波纹起伏，因而会影响滤波器的衰减特性时好时坏。椭圆型滤波器的特点是通带内和阻带内均有等波纹起伏，但衰减特性是最好的。贝塞尔型滤波器的衰减特性很差，它的阻带衰减非常缓慢，但是这种滤波器的相位特性好，因而对于要求输出信号波形不能失真（即不能有相位失真）的场合非常有用。

因此，根据题目的要求和对几种滤波器性能的比较，在此选择的是切比雪夫型滤波器。

### 3.硬件方案设计

#### 3.1 具体模块介绍

##### 3.1.1 驱动放大模块

驱动放大器采用的放大器为 RFMD 的 NBB-310，DC-12GHz 的增益为 13dB，P1dB 为 15dBm，具体电路如下图 3-1 所示，其中 C21 和 C22 均为隔直电容，要求其工作频率范围内阻抗要小于 1 欧姆。L21 为扼流线圈，一般选绕线电感，其工作频率范围内阻抗要大于 100 欧姆。

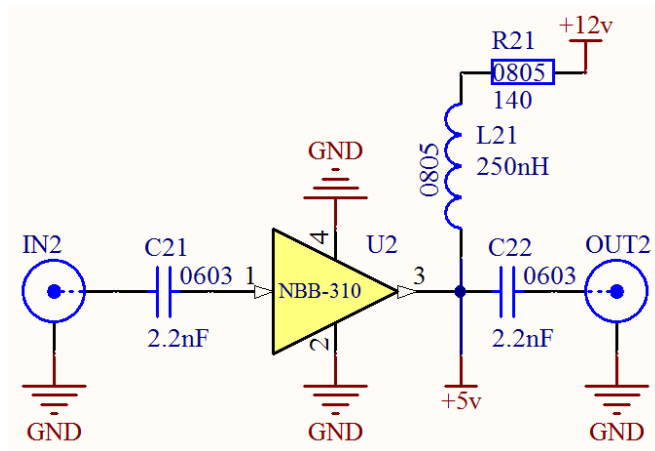


图 3-1 驱动放大器电路原理图

##### 3.1.2 前级放大器模块

前级放大器采用的放大器是 BGA2870 芯片，其增益为 31dB，P1dB 为 4dBm，该级具体实现电路如图 3-2 所示。此电路的作用就是通过输入阻抗较高的运算放大器，将外部信号耦合进来，使其变成一个合适的信号进入后续电路。C31、C32 和 C33 均为耦合电容。



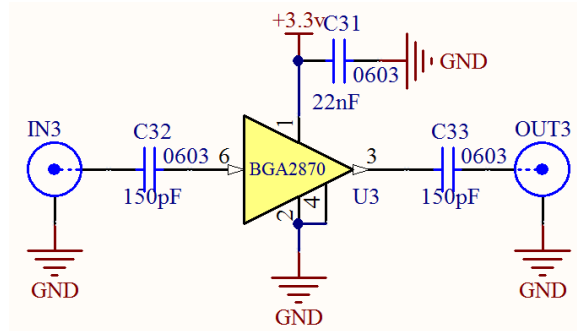


图 3-2 前级放大器电路原理图

### 3.1.3 末级放大模块

系统输出的电压有效值  $\geq 2V$ ，在负载阻抗为  $50\Omega$  情况下，相当于输出功率  $80mW$ ，即  $19dBm$ 。所以我们选择的输出级要求  $P_{1dB} \geq 20dBm$ ，这样保证输出电压摆幅，且没有明显失真。可选择放大器 ECG008B-G。该放大器的在  $4GHz$  以内均可实现平坦增益，而且输出功率高，可以达到  $250mW$ ，电压有效值可以达到  $3.5V$ ，达到了系统输出的电压有效值  $\geq 2V$  的要求，此放大器的增益为  $15dB$ 。具体电路如图 3-3 所示，其中  $C11$  和  $C12$  均为耦合电容， $C14$  可以不用放置，一般要求其工作频率范围内阻抗要小于  $1$  欧姆； $L1$  为扼流线圈，一般选用绕线电感，其工作频率范围内阻抗要大于  $100$  欧姆。整个  $C13$ 、 $C14$  和  $R13$ 、 $L1$  组成的是一个直流偏置电路，起到为电路供电的作用，激励电路的运行。

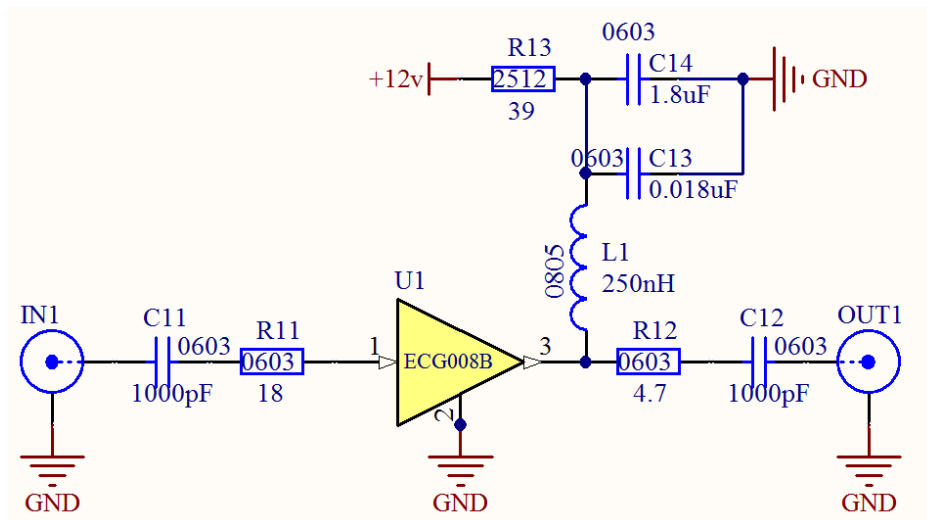


图 3-3 末级放大器电路原理图

### 3.1.4 数字控制衰减器模块

电路的主要衰减控制控制芯片为 HMC470，我们在操作中可以通过手动控制拨码开关或者通程序控制高低电平从而控制最高为  $31dB$  的衰减倍数。芯片的原理图如图 3-4 所示，HMC470 的

2、11 引脚的直流耦合，匹配  $50\Omega$ ，必须要有隔直电容；4-9 引脚的外部电容必需接地，电容应尽量靠近地；GND 背部裸露的金属焊盘，必须被连接到射频地；通过 12-16 引脚的高低电平来控制衰减倍数。C4-C9 的电容取值参考于芯片手册上的推荐值，信号输入输出采用 SMA 接口。模块通过 5 位控制衰减倍数，所以共有 0-31 的 32 种状态，数字控制衰减器模块的实物图如图 3-6 所示。

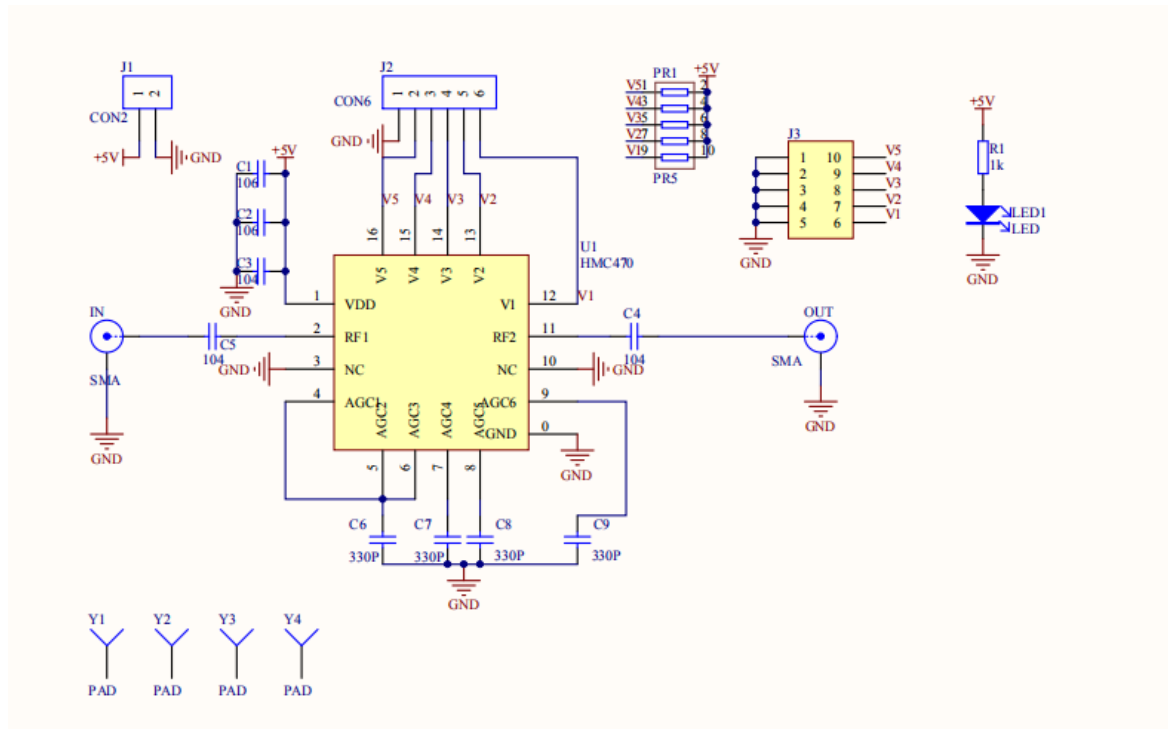


图 3-4 HMC470 数字控制衰减器电路原理图

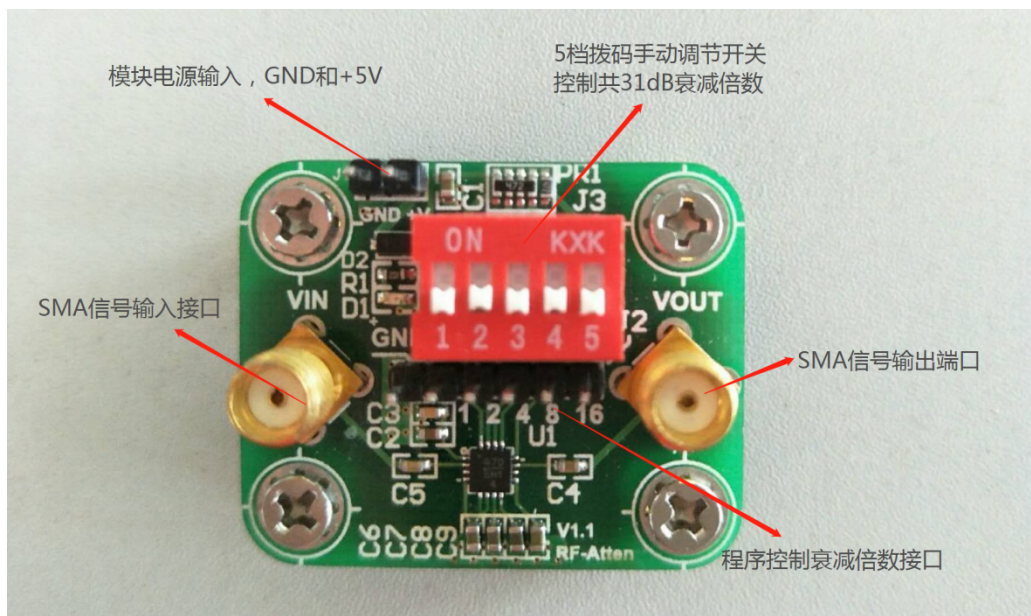


图 3-5 HMC470 数字控制衰减器电路实物图

### 3.1.5 滤波器模块

本次宽带放大器设计需要用到的是带通滤波器，但是由于带通滤波器的结构较为复杂，不好调试，因此我采用的是低通滤波器串联高通滤波器形成一个带通滤波器，这样的实现方式可以分别调试电路，也使得电路的调试难度大大降低。

低通滤波器采用正切比雪夫型滤波器，通过对比发现 7 阶的滤波器性能优于 5 阶，但在具体实现时波形不稳定，我选择了 9 阶低通滤波器重新设计，波形结果一般，但并不是最好。因此我选择制作的是 9 阶正切比雪夫型滤波器，设计原理图、频谱特性图及其实物图可见图 3-6 和 3-7 所示。它的截止频率在 100MHz，在 104MHz 处开始衰减，这样可以保证信号在 100MHz 以下时可以全部通过，在整个通频带内较为平坦，由于正切比雪夫型滤波器在通带内会出现波动，因此通带内起伏量为 0.05dB，因此平坦度较高，满足了设计的功能需求。

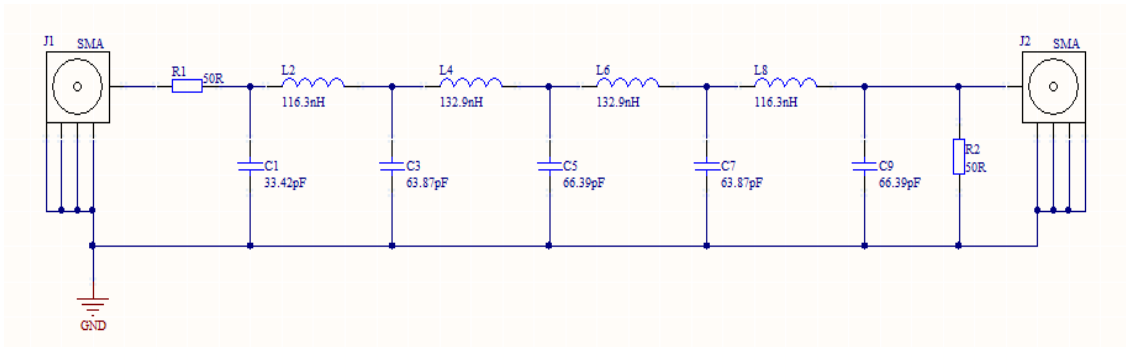


图 3-6 9 阶 100MHz 低通滤波器

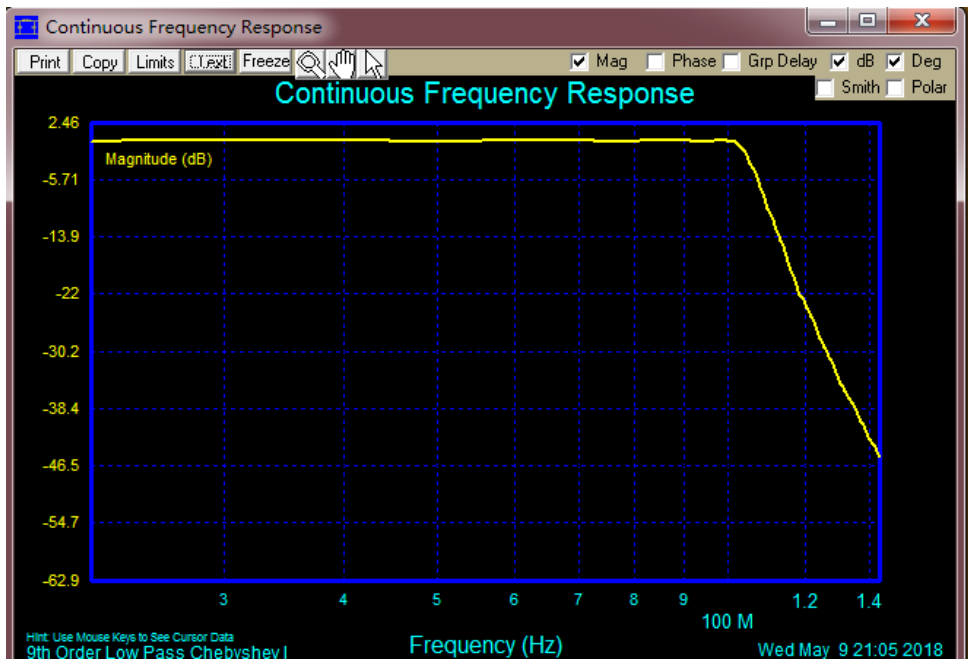


图 3-7 9 阶 100MHz 低通滤波器频谱特性

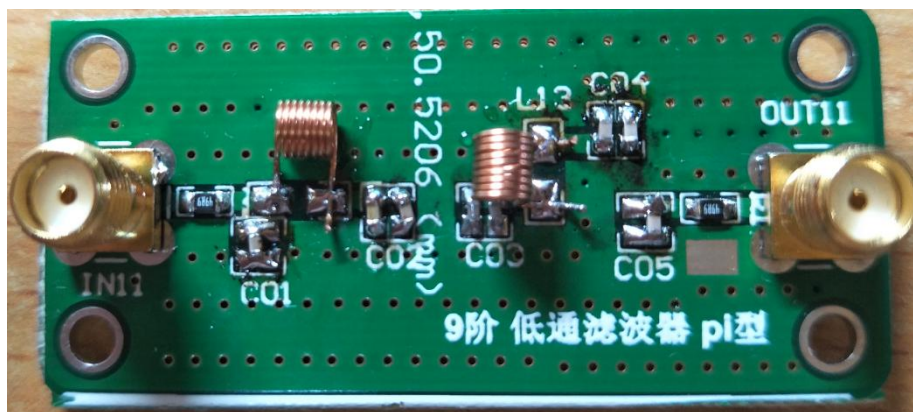


图 3-8 9 阶 100MHz 低通滤波器正面图

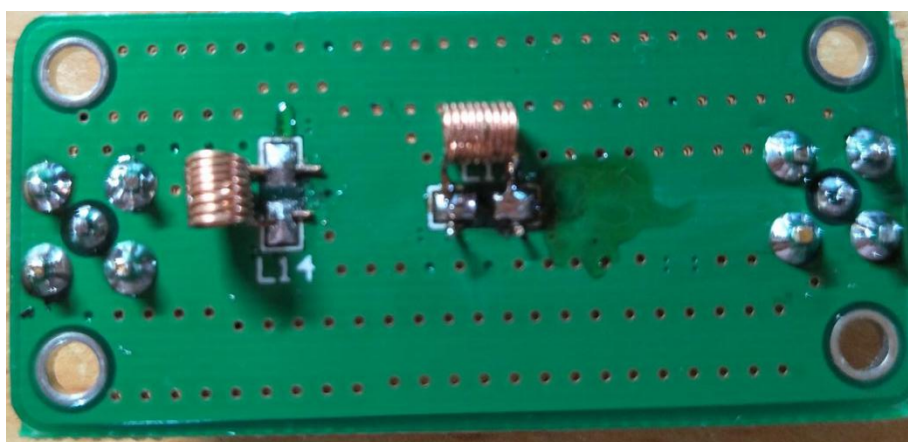


图 3-9 9 阶 100MHz 低通滤波器反面图

高通滤波器采用正切比雪夫型滤波器，在滤波器的测试中我设计了很多次的仿真，设计了不同的阶数的电路和不同的参数，我选择了多个电路焊接调试，最终调试出了这个电路，性能较其他的要好，通过对比发现 7 阶的滤波器性能优于 5 阶，因此我选择制作的是 7 阶高通正切比雪夫型滤波器，设计原理图及其频谱特性可见图 3-10 和 3-11 所示。7 阶高通正切比雪夫型滤波器的截止频率为 40MHz，在 42MHz 处衰减，因此多波形会有一些的影响，但是通道内的起伏量为 0.05dB，平坦度较高，满足了设计指标要求。

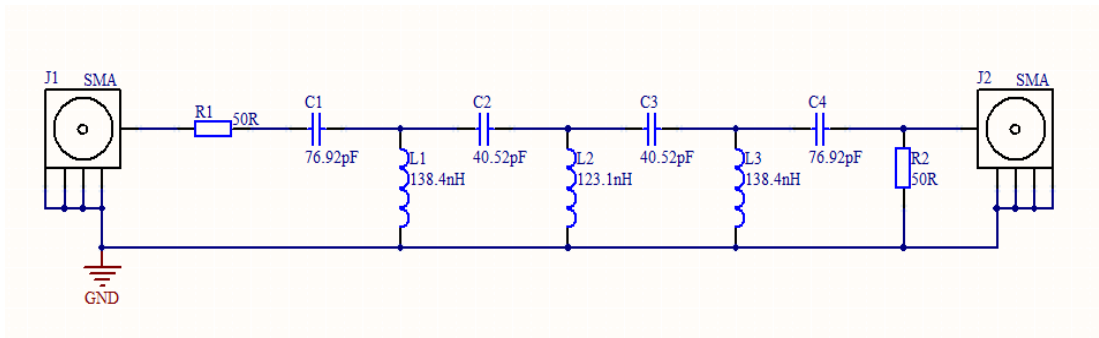


图 3-10 7 阶 40MHz 高通滤波器

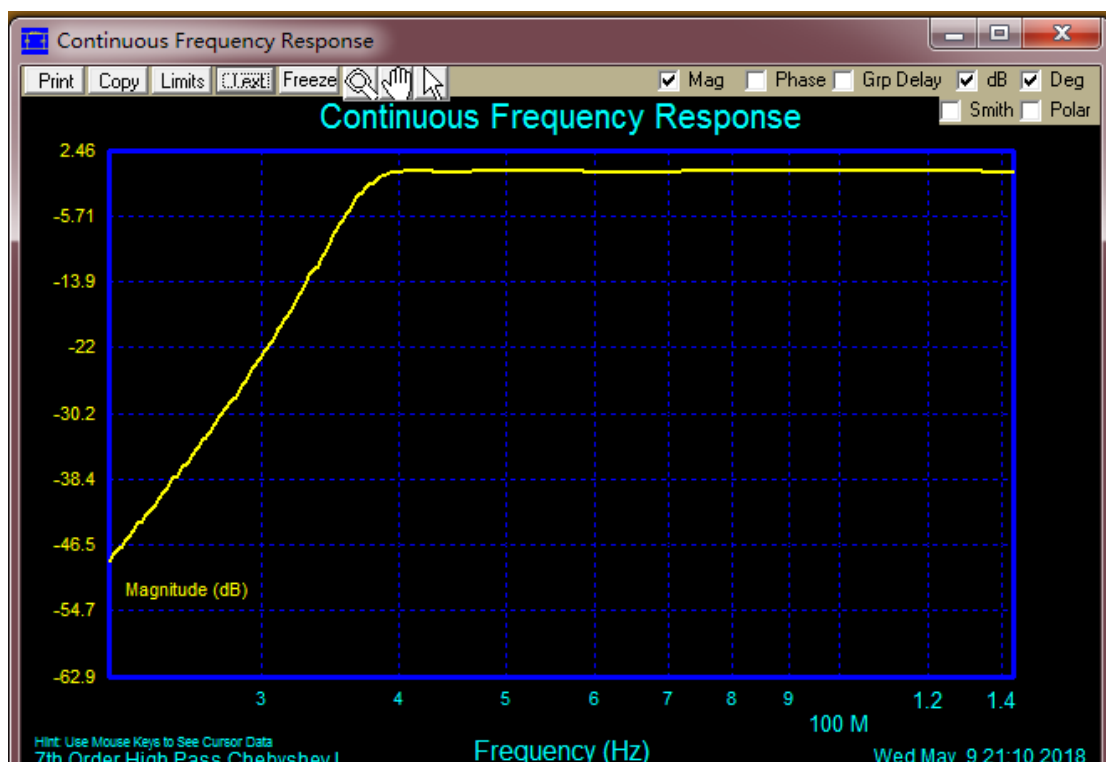


图 3-11 7 阶 40MHz 高通滤波器频谱特性



图 3-12 7 阶 40MHz 高通滤波器正面图

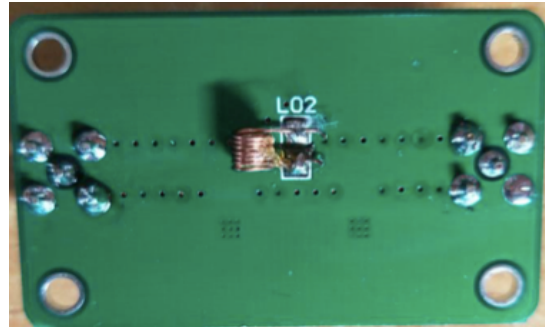


图 3-13 7 阶 40MHz 高通滤波器反面图

### 电容、电感元器件说明：

#### 电容选择：

电容的容值在实验室获得较为容易，普通的电容实验室里就可以找到，如果遇到较大的容值实验室没有也不好买，可以通过几个电容并联的形式来得到电容值，我在实验室中就应用的多个电容并联而得到的我所能用的容值；

#### 电感选择：

1.直接绕贴片电感，但是调试焊接会很麻烦，板子容易费，但电感值可以通过计算再去选择相应粗细的电感丝缠绕取得；

2.选择可调节电感，在万能板上焊接电路，调试后测出电感值，再去绕电感，然后通过测量确定自己绕的感值正确与否，可以使得我们的电路板调试更加简单，避免由于反复拆卸使得制作成功的电路板损坏，造成麻烦和浪费，但反复的测量也在一定程度上增加了难度；

## 3.3 芯片简介

### 3.3.1 ECG008B-G 芯片

用到的具体芯片为 ECG008G，封装为 SOT-89，它是一种通用的缓冲放大器，在 1GHz 时通常提供 15dB 的增益，其实物图和引脚功能如图 3-14 和图 3-15 所示。



图 3-14 ECG008G 实物图

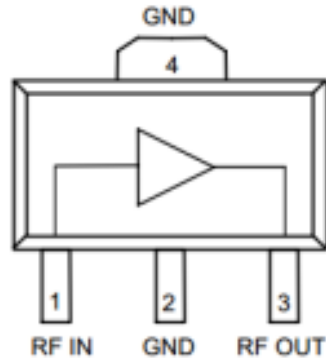


图 3-15 ECG008G 引脚功能图

频率 (GHz)	DC-4
增益 (dB)	15
P1dB (dBm)	24
工作电压 (V)	9-12
封装	STO_89

表 3-1 ECG008G 芯片性能指标

### 3.3.2 NBB-310 芯片

本次设计用到的芯片为 NBB-310 (N6)，它的主要特点是低功耗，适用于电池供电，其实物图和引脚功能图分别见图 3-16 和图 3-17。



图 3-16 NBB-310 实物图

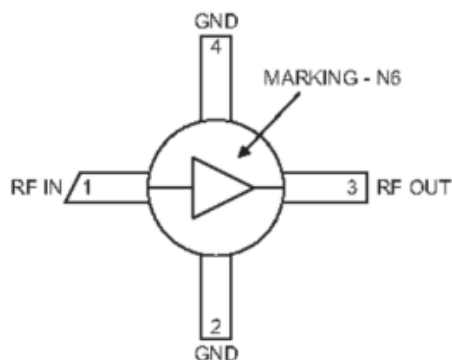


图 3-17 NBB-310 引脚功能图

电源电压范围 (V)	8-20 (单电源)
增益 (dB)	13
频率 (GHz)	DC-12

表 3-2 NBB-310 芯片性能指标

### 3.3.3 BGA2870 芯片

BGA2870 芯片的封装为 SOT363\_SMD,其实物图和引脚功能图分别见图 3-18 和图 3-19 所示。



图 3-18 BGA2870 实物图

Pin	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	V <sub>CC</sub>		
2, 5	GND2		
3	RF_OUT		
4	GND1		
6	RF_IN		

图 3-19 BGA2870 引脚功能图

频率 (MHz)	增益(dB)	P1dB (dBm)	噪声系数 (dB)	工作电压 (V)	封装
0-750	31	4	3.7	2.3-2.7	STO-363_SMD

表 3-3 BGA2870 芯片性能指标

### 3.3.4 HMC470 芯片

HMC470 是一款宽带 5 位 GaAs IC 数字衰减器,采用低成本无引脚表贴封装。这款每位单个正电压控制线路的数字衰减器采用片外 AC 接地电容器,在接近直流的情况下工作,这一特点使得它非常适合各种 RF 和 IF 应用。工作频率范围 DC-3 GHz,插入损耗低于 1.5 dB 典型值。芯片的总衰减值为 31 dB,衰减器位值为 1 (LSB)、2、4、8 和 16 dB。它的衰减精度非常高,典型步长误差为±0.3 dB, IIP3 为+49 dBm。五位 TTL/CMOS 控制输入用于选择各衰减状态,由单电源 +5V 供电。



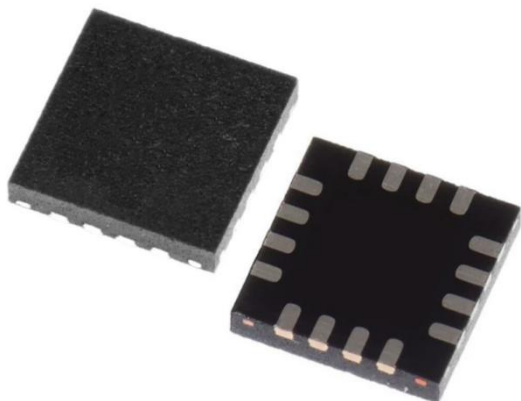


图 3-20 HMC470 实物图

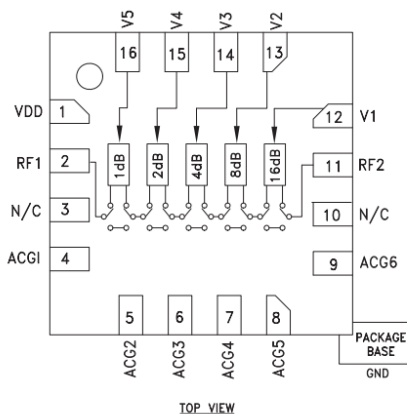


图 3-21 HMC470 引脚功能图

频率 (GHz)	衰减值 (dB)	容差 (dB)	阻抗 (Ohm)	封装
0-3	31	±0.15	50	20-lead 4×4mm QFN

表 3-4 HMC470 芯片性能指标

## 5. 调试

### 5.1 调试方法

#### 5.1.1 固定增益放大模块的调试

由于固定增益放大模块是将前级放大模块、驱动放大模块和后级放大模块分立开来设计的，因此在调试的时候采用的是分别调试然后再级联调试的形式，这样便于找出具体模块的问题，使得调试更加顺利。首先是利用 SMA 接口线将实验室中调好参数的 250MHz 任意波形信号发生器与前级放大模块输入端连接，再利用 SMA 接口线将前级放大器模块与 500M 数字示波器相连接，调试示波器直至出现波形，通过改变信号发生器输出的信号幅度值去观察示波器显示的峰-峰值是否满足放大倍数关系，可根据公式：计算电压、电流放大倍数时： $k = 20 \lg(\frac{V_o}{V_i})$ ，其中  $\frac{V_o}{V_i}$  为放大倍数，K 为分贝值；计算功率放大倍数时： $k = 10 \lg(\frac{P_o}{P_i})$ ，其中  $\frac{P_o}{P_i}$  为放大倍数，K 为分贝值。

(插图)

#### 5.1.2 滤波模块的调试

由于滤波模块的设计是有 40MHz7 阶正切比雪夫型高通滤波器和 100MHz9 阶正切比雪夫型低通滤波器级联而成,因此在调试时就十分便利了,可以采用高通滤波器和低通滤波器分别调试,再进行高通滤波器和低通滤波器的级联调试,在调试过程中最重要的是对于滤波器通带内平坦度的观察和对衰减处的观察,衰减的频率位和通带内的平坦度决定了滤波器设计效果的好坏。在反复调试的过程中,不停的测试电路中电感和电容的参数使得滤波器的设计误差减小,尽可能的接近理论值。

(插图)

### 5.1.3 数字控制衰减器模块的调试

对于数字控制衰减器的调试,亦选择使用 SMA 接口连接 250MHz 任意波形信号发生器作为模块的信号输入,选择 SMA 接口连接示波器作为输出,并在示波器上观察输出波形进行模块的调试工作。在调试过程中需要注意+5V 电源和 GND 不要接反,需要注意先上电,再输入信号。由于 HMC470 的内部结构,在测试时需要将信号源设置为 50 $\Omega$ ,示波器匹配 50 $\Omega$ 阻抗,不然调试的结果是不准确的。衰减倍数的调节可以通过真值表调节拨码开关控制衰减倍数,或者通过外部程序控制对应的衰减倍数,在这里使用的是真值表调节拨码开关控制衰减倍数。跟示波器一样,在测试的过程中都会有误差的出现,因此测试的结果与理论值有一定的偏差。

(插图)

## 5.2 问题及解决方式

### 5.2.1 滤波器衰减不对且通带内起伏量太大

在调试时,刚开始仅仅是表面的觉得只要设计的电路在截止频率以内有波形就是一个好的示波器,但是经过查阅资料和向指导老师请教,发现波形的各项参数对于滤波器好坏才具有决定性的影响。在对电路进行多次的调整后,终于在通带内的平坦度等各项指标上达到了预期的要求,特别注意的应该是信号的出现衰减的位置和信号在通带内峰-峰值是否平坦,本次设计的起伏量为 0.05dB,因此系统通带内平坦度是相对较高的。

### 5.2.2 数字控制衰减器模块拨码后波形峰-峰值不变

在对于数字控制衰减器模块的调试过程中,一定要注意调试的细节,除了应用 SMA 接口分别在输入口连接任意信号发生器和在输出端口连接示波器外,还要注意任意波形发生器内阻调至 50 欧姆,示波器端接 50 欧姆,否则会影响测试结果。模块上方有+5V 和 GND 给模块供电,如果不接会导致模块不工作,拨码也不会影响信号峰-峰值的变化。

## 6.注释

## 7.参考文献

[01]胡宴如, 耿苏燕. 高频电子线路第二版[M]. 高等教育出版社, 2015.7, P46-48

[02]荣二. LC 滤波器设计与制作第一版[M] (薛培鼎译). 科学出版社, 2005 (2018.1 重印)  
P6-9.P72-83.P274-288.

[03]康华光. 电子技术基础模拟部分第五版[M]. 高等教育出版社, 2006.1 (2015.6 重印) P12-16.  
P23-25. P119-132.

## 致谢

从3月开题答辩结束以来的这两个多月里，非常感谢老师的帮助，首先是在选题上的指导，对与题目的解析和相关书籍的推荐，对本次系统设计都有很大的启蒙作用，题目要求也更加具体化，有了目的的设计才会更加容易。其次，在设计方面，老师提供了很多 PCB 相关基础视频，设计 PCB 前先复习一下基础知识，这使得设计中的错误和问题大大减少，也省去了不必要浪费的时间。再者，在实物焊接过程中，出现问题时，老师会引导思考的方向，让我们自主去发现问题，这可以加深我们对问题的理解，锻炼独立自主的能力。最后在调试和论文方面，由于本次系统设计需要用到的芯片比较昂贵，因此老师实时监督我们的调试过程，在老师的指导下，使得调试的过程更加顺利。而且老师对于论文的指导十分的细心，老师不仅指导了文章结构方面的缺点，也知道了文章格式上的细微问题，首行缩进、字间距和空格调整等诸多问题也一一作了指导，使得粗心的我很羞愧。

感谢老师的帮助，感谢院级各位领导提供的实验环境及设备，没有您们的帮助，本次系统设计是不能顺利完成的，在此再次由衷的感谢！