



高频电路竞赛培训及赛题解析

主讲：陈瑜 电子科技大学

2020-04-26



高频电路竞赛培训及赛题解析

竞赛培训简介

竞赛准备

高频类赛题分析



竞赛培训简介

一、学校

电子设计竞赛培训体系与支持措施；

二、教师

教师指导团队的指导方法；

三、学生

参赛学生的持续发展。



一、学校

电子设计竞赛培训体系与支持措施

01

课程与
实践体系

02

一院
一赛

03

校、院
两级培养

04

赛前
培训



学校教学体系：推进“课堂革命”，深化挑战性、研究型课程改革

焦点新闻

【改革视点】清水河畔正掀起“课堂革命”



编者按：近年来，我校大力推进本科人才培养改革，努力培养学生的创新精神和实践能力，在“小班研究型教学”课程建设等...

挑战性学习课程建设：学校打造“金课”的关键一招



在今年6月21日召开的新时代全国高等学校本科教育工作会议上，教育部部长陈宝生特别强调了大学生的学业负担问题。他指...

698门研究型课程

挑战性学习课程

教学方法与考核方式改革课

跨学科与集成创新人才培养课程/项目

核心通识课

探究式小班课

学科前沿课

新生研讨课

实现学院全覆盖，致力学生
知识综合与系统集成创新能力



打造实践教学平台

“四梯度”实践教学平台体系

基础
实验中心



9个 (2个国家级示范中心、3个省级示范中心)

面向全校所有学生开设课内外实验课程与课程实验

专业实验
教学中心



21个 (6个国家级示范中心、10个省级示范中心)

面向各学院相关专业所有学生开设课内实验课程与跨专业课外选修课程实验

学术课外
科技创新中心



校级8个, 院级21个

面向全校30%左右的学生开设各类重要学科竞赛课程及自主创新项目训练

科研
重点实验室



48个 (抗干扰、雷达对抗、信息安全、集成电路设计等)

向全校15%左右的学生开展科研训练计划



1、课程与实践体系-----竞赛培训广覆盖

全校电子类基础理论与基础实验课程+电子设计竞赛培训课程
将竞赛培训课程纳入了课程体系建设，建成了有层次、有内容、有理论、有实践的**核心通识课程《电子工程设计系列课程》**，由具有丰富竞赛培训经验的教师进行教学。

形成了学知识、拿学分、备竞赛的良好氛围！



电子工程设计之电子电路设计基础

电子工程设计之高频电路设计与工程制作

电子工程设计之微处理器最小系统设计

电子系统设计与工程应用实践

电子工程设计之电子系统专题设计与制作



1、课程与实践体系-----竞赛培训广覆盖

电子工程设计之电子电路设计基础

(初级班训练课程、基础模拟电路、工程设计方法、简单电路的设计与调试，对工程问题进行研究。)

电子工程设计之高频电路设计与工程制作

(高频电路基础知识、高频小信号放大器、高频振荡器、LC滤波器、电路理论与实践指导、仿真、设计、制作、调试。)

电子工程设计之电子系统专题设计与制作

(5个专题的教学和训练、系统设计思路、方法、制作、测试等、专业基础理论知识、设计应用和综合设计、将理论知识转化为实践应用、工程应用)

电子系统设计与工程应用实践

(综合题目、方案设计，元器件选型、电路板设计，电路系统安装、制作、调试，软件编制，系统软硬件联调，电路系统测试方案设计，数据处理，设计报告撰写，作品展示、设计讲解等。涉及通信、射频、电源、控制、测量等多个学科交叉，知识技术交叉的灵活运用，也体现了挑战性。)



1、课程与实践体系-----竞赛培训广覆盖

《高频电路设计与工程制作》课程时间安排

教学周次	上课时间	教学内容	学生元件发放、作品测试、提交报告时间
1	2月26日周三 晚	第一讲 1-1 绪论+1-2 高频电路基础	
2	3月4日周三 晚	第二讲 2-1 高频小信号放大器设计基础理论、实践与调试方法	
3	3月11日周三 晚	第二讲 2-2 小信号放大器设计示例， 2-3 小信号放大器 MULTISIM 仿真设计	
4	3月18日周三 晚	第二讲 2-4 高频小信号放大器 PCB 设计实践	
5	3月25日周三 晚	第三讲 3-1 振荡器设计基础	1、小信号放大器仿真报告电子档（仿真文件+报告，交给助教）
6	4月1日周三 晚	第三讲 3-2 振荡器设计与仿真	2、小信号放大器原理图及 PCB 设计图电子档(交给助教)
7	4月8日周三 晚	第四讲 4-1 滤波器设计基础与滤波器仿真设计	发小信号放大器元器件(助教发)
8	4月15日周三 晚	第四讲 4-2 滤波器设计示例	发振荡器元器件(助教发)
9	4月22日周三 晚	测试小信号放大器 (换教室至科 A410，基础实验大楼 4 楼)	3、振荡器仿真报告电子档（仿真文件+报告，交给助教）
10	4月29日周三 晚	振荡器测试（换教室至科 A410，基础实验大楼 4 楼）	小信号放大器测试（教师+助教） 振荡器测试（教师+助教）
11	5月6日周三 晚	振荡器测试（换教室至科 A410，基础实验大楼 4 楼）	小信号放大器测试（教师+助教） 振荡器测试（教师+助教）
12	5月13日周三 晚	滤波器仿真设计测试（换教室至科 A410，基础实验大楼 4 楼）	小信号放大器测试（教师+助教） 振荡器测试（教师+助教） 滤波器测试（教师+助教）
13	第十三周周五之前	交所有报告电子档（交给助教）	4、小信号放大器测试报告电子档 5、振荡器测试报告电子档 6、滤波器仿真报告电子档

本学期选课
学生大一
居多。



2、一院一赛 ----- 多种途径试身手



全国大学生电子设计竞赛

全国大学生智能汽车竞赛

全国大学生数学建模竞赛

全国大学生机器人大赛

亚太大学生机器人竞赛

ACM大学生程序设计竞赛

盟升杯

泰格杯

嵌入式竞赛

.....



学生
Student Awards
获奖



3、校、院两级培养-----分阶段培养促成成效

校级： 教务处管理、校级指导教师团队、整合优势资源

电子设计竞赛校内集训队招新啦!

成电微教务 2018-11-22

想增强学习兴趣?

想提升综合素质和创新能力?

机会来了

电子设计训练中心启动招新啦!





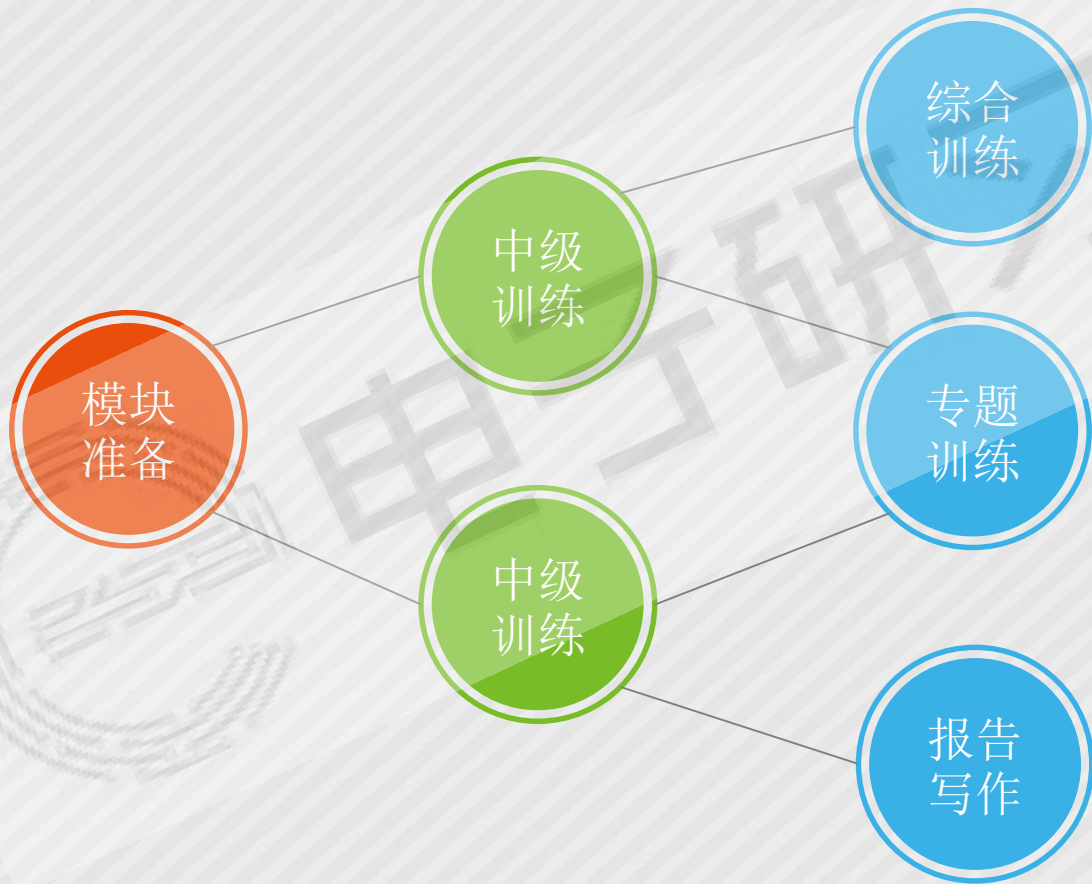
3、校、院两级培养----分阶段培养促成成效

院级：各学院科创指导教师团队、学生科协





4、赛前培训-----综合训练、适应竞赛





二、指导教师

教师指导团队的指导方法

教师团队统一酝酿培训计划；定期开设讲座；查缺补漏；

01

课程培训

02

网上指导

03

见面交流

04

测评总结



三、学生

参赛学生的持续发展

01

个体学习

02

组队竞赛

03

培训新生

04

持续创新

05

继续深造或
自主创业



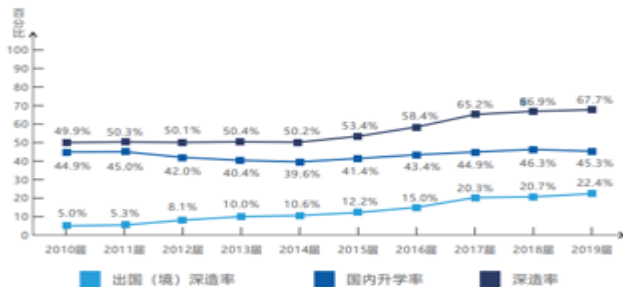
杨伟航、罗超、高阳：2011年国赛一等奖 (EHIGH)，致力于做行业最易集成的相关专利申请中。



本科毕业深造率不断提升

2019届本科毕业生
总体深造率**67.7%**，出国(境)深造率**22.4%**

2010届至2019届本科生深造率





竞赛准备

一、设备及元件



二、PCB



三、设计步骤



一、设备及元件



高频电路里，LCR等无源元件在寄生电抗的大小和对应波长尺寸方面，能够使用的频率受限，应尽量使用小尺寸原件。

一般：**1005**类（**1mm*0.5mm**）和**0603**类（**0.6mm*0.3mm**）的芯片原件在**UHF(300M-3000MHz)**范围内寄生参数影响较小。

大功率电路里，元件尺寸变大，应使用高频专用原件或可以减小寄生参数的电路。

高频用晶体管（双极型或FET）：应 f_T 高，较高频率下也有增益。

反馈电容小(C_{ob})。

对于LNA,选噪声系数小的管子。

晶体管的型号：**2SC**(2:有效电极数，**S**: **Semiconductor**)

例如：**2SC1932**(NPN高频用晶体管)。**2SK241**(N沟道场效应晶体管)

一、设备及元件

高频电路里，同轴电缆因损失小、泄露少、阻抗一定、可适度弯曲等常用于高频信号的传送。同轴电缆的特性阻抗：由外部导体内经和内部导体外径的比值以及电解质的介电常数决定。一般是**50Ω**或者**70Ω**。

高频信号是在趋肤效应的导体内流动，表面电阻值产生热损耗，另外外部导体也会有泄露变成传送损失。同轴电缆具有极限频率（与介电常数、外部导体内经和内部导体外径有关）。

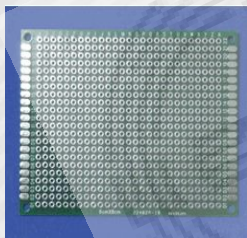
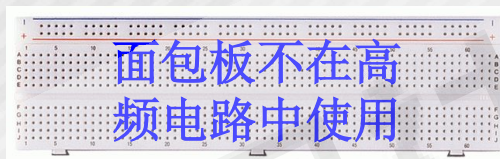
同轴电缆的使用：根据电路输入输出阻抗，选择匹配的同轴电缆特性阻抗，长度一般不必在意。通信系统和仪器在HF一下的频率多数都设计为**50 Ω**。

二、PCB

1. 电路板

印刷电路板 (PCB, Printed Circuit Board)

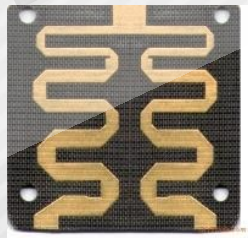
- 提供集成电路等各种电子元器件固定、装配的机械支撑
- 实现集成电路等各种电子元器件之间的布线和电气连接（信号传输）或电绝缘。
。提供所要求的电气特性，如特性阻抗等。
- 为自动装配提供阻焊图形，为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。



万能板



FR4



微波基片

频率
成本

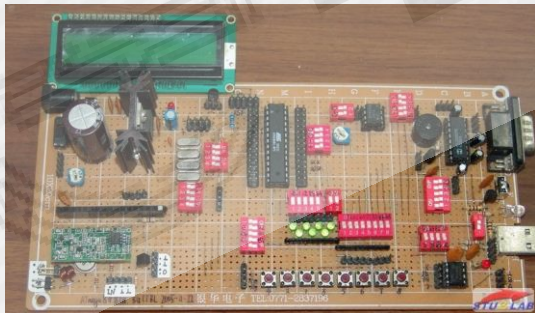


二、PCB

(1) 万能板

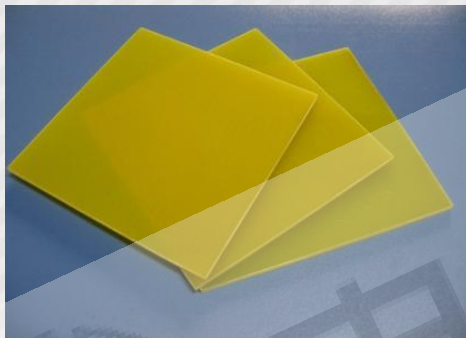
万能板是一种按照标准IC间距（2.54MM）布满焊盘、可自己的意愿插装元器件及连线的印制电路板，别名万用板、实验板、学习板、洞洞板、点阵板

- 成本低廉，使用方便，扩展灵活
- 高频电路中，**连线长度短**
- 工作频率不超过100MHz

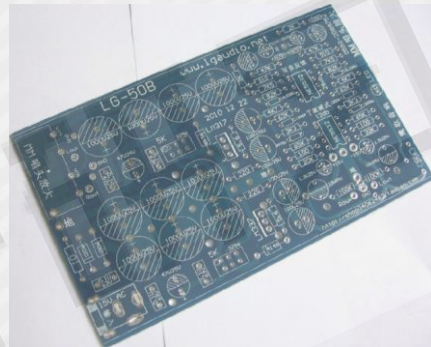


二、PCB

(2) FR4 (环氧树脂板、玻璃纤维板)



加工制版

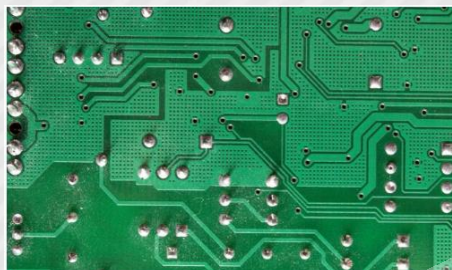


装配焊接



二、PCB

(3)印刷电路板 (PCB, Printed Circuit Board)在高频PCB设计中, 应该遵循下面的原则:



- 1.电源与地; 稳定。
- 2.布线和端接: 消除反射, 减小容性和感性串扰。
- 3.满足EMC (电磁兼容) 要求:
(电磁干扰和电磁敏感度)

电路板主要由焊盘、过孔、安装孔、导线、元器件、接插件、填充、电气边界等组成, 各组成部分的主要功能如下:

焊盘: 用于焊接元器件引脚的金属孔。

过孔: 有金属过孔 和 非金属过孔, 其中金属过孔用于连接各层之间元器件引脚。

安装孔: 用于固定电路板。

导线: 用于连接元器件引脚的电气网络铜膜。

接插件: 用于电路板之间连接的元器件。

填充: 用于地线网络的敷铜, 可以有效的减小阻抗。

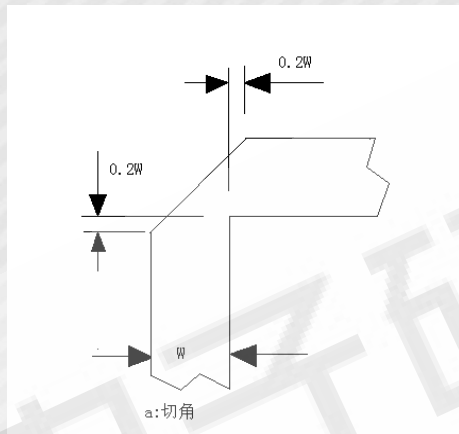
电气边界: 用于确定电路板的尺寸, 所有电路板上的元器件都不能超过该边界。

二、PCB

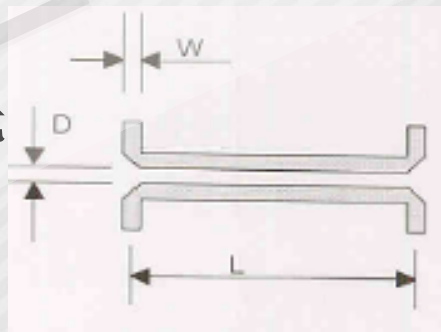
走线

➤ 尽量短

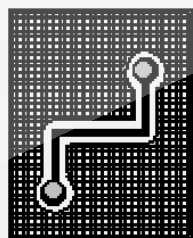
➤ 转角



➤ 避免平行走线的交叉干扰



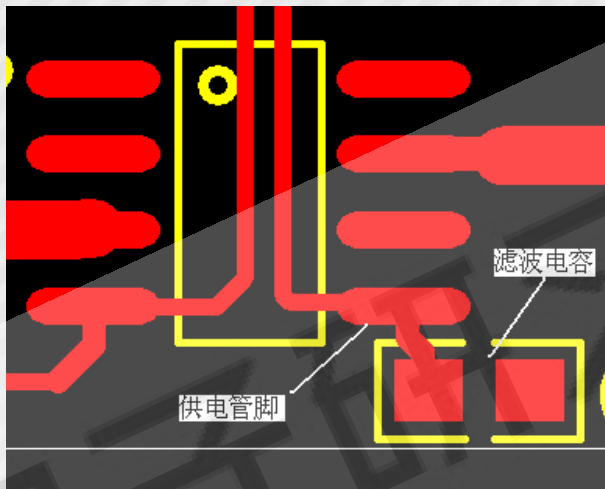
➤ 敷铜保护



二、PCB

过孔

- 信号线尽量少过孔
- 接地敷铜多过孔



电源去耦

屏蔽

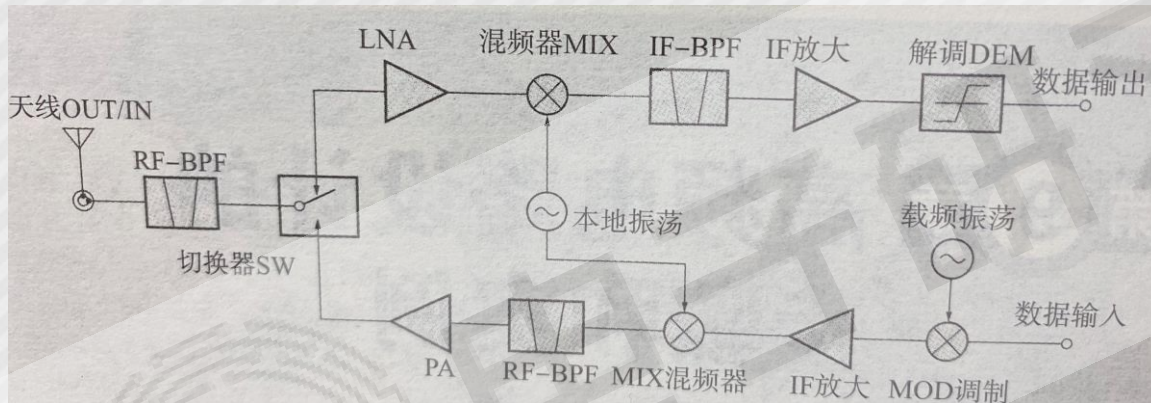


三、设计步骤

以超外差无线收发机设计为例

1、原理框图的制作

也包括输入输出端口、各个功能模块以及相互之间的连接。



2、考虑能级变化。

因为实际功率需要考虑元件及电路的增益及损耗。例如功放输出100mW,但要准备可以输出2W的元件。

3、设计各个功能模块

4、去耦/旁路电容的选择方法：去耦电容器阻抗一般选择为电路阻抗的1/10，具体电容值与频率有关。

高频及通信类赛题分析示例



电子设计竞赛社

一、2011年全国大学生电子设计竞赛试题--LC 谐振放大器 (D 题)

1、基本要求

- (1) 衰减器指标: 衰减量 $40 \pm 2\text{dB}$, 特性阻抗 50Ω , 频带与放大器相适应。
- (2) 放大器指标:
 - a) 谐振频率: $f_0 = 15\text{MHz}$; 允许偏差 $\pm 100\text{kHz}$;
 - b) 增益: 不小于 60dB ;
 - c) -3dB 带宽: $2\Delta f_{0.7} = 300\text{kHz}$; 带内波动不大于 2dB ;
 - d) 输入电阻: $R_{in} = 50\Omega$;
 - e) 失真: 负载电阻为 200Ω , 输出电压 1V 时, 波形无明显失真。
- (3) 放大器使用 3.6V 稳压电源供电 (电源自备)。
- 最大不允许超过 360mW , 尽可能减小功耗。

2. 发挥部分

- (1) 在 -3dB 带宽不变条件下, 提高放大器增益到大于等于 80dB 。
- (2) 在最大增益情况下, 尽可能减小矩形系数 $K_{r0.1}$ 。
- (3) 设计一个自动增益控制 (AGC) 电路。AGC 控制范围大于 40dB 。
- AGC 控制范围为 $20\log(V_{\text{omin}}/V_{\text{imin}}) - 20\log(V_{\text{omax}}/V_{\text{imax}})$ (dB)。
- (4) 其他。

一、任务

设计并制作一个 LC 谐振放大器。

二、要求

设计并制作一个低压、低功耗 LC 谐振放大器; 为便于测试, 在放大器的输入端插入一个 40dB 固定衰减器。电路框图见图 1。

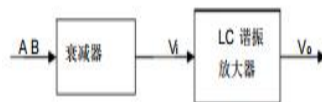


图 1 电路框图

一、2011年全国大学生电子设计竞赛试题--LC 谐振放大器 (D 题)

1、基本要求

- (1) 衰减器指标: 衰减量 $40 \pm 2\text{dB}$, 特性阻抗 50Ω , 频带与放大器相适应。
- (2) 放大器指标:
 - a) 谐振频率: $f_0 = 15\text{MHz}$; 允许偏差 $\pm 100\text{kHz}$;
 - b) 增益: 不小于 60dB ;
 - c) -3dB 带宽: $2\Delta f_{0.7} = 300\text{kHz}$; 带内波动不大于 2dB ;
 - d) 输入电阻: $R_{in} = 50\Omega$;
 - e) 失真: 负载电阻为 200Ω , 输出电压 1V 时, 波形无明显失真。
- (3) 放大器使用 3.6V 稳压电源供电 (电源自备)。
- 最大不允许超过 360mW , 尽可能减小功耗。

2. 发挥部分

- (1) 在 -3dB 带宽不变条件下, 提高放大器增益到大于等于 80dB 。
- (2) 在最大增益情况下, 尽可能减小矩形系数 $K_{r0.1}$ 。
- (3) 设计一个自动增益控制 (AGC) 电路。AGC 控制范围大于 40dB 。
- AGC 控制范围为 $20\log(V_{omin}/V_{imin}) - 20\log(V_{omax}/V_{imax})$ (dB)。
- (4) 其他。

一、任务

设计并制作一个 LC 谐振放大器。

二、要求

设计并制作一个低压、低功耗 LC 谐振放大器; 为便于测试, 在放大器的输入端插入一个 40dB 固定衰减器。电路框图见图 1。

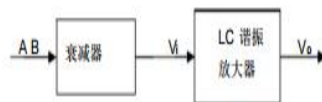


图 1 电路框图

一、2011年全国大学生电子设计竞赛试题--LC 谐振放大器（D 题）

(三)说明

1.图2是LC谐振放大器的典型幅频特性曲线。

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}}$$

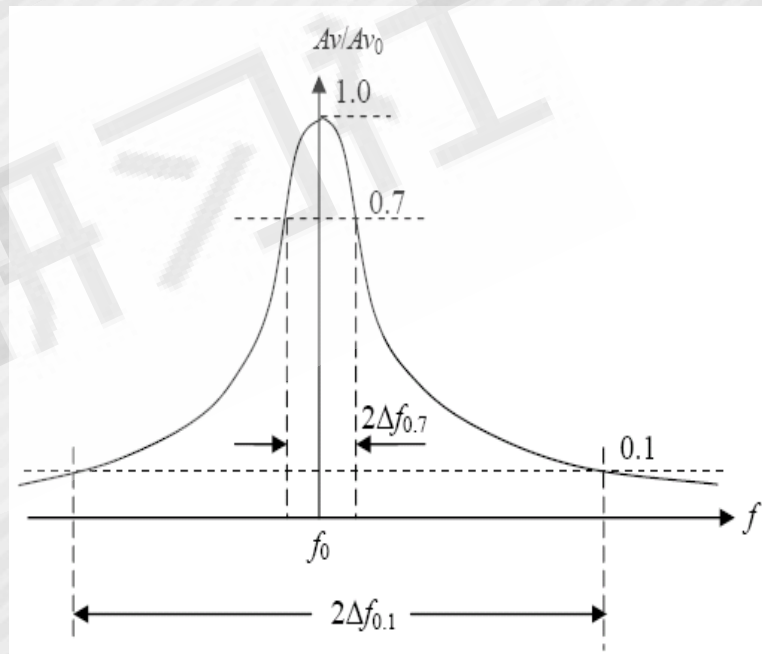
2.放大器幅频特性应在衰减器输入端信号小于5mV时测试
这时谐振放大器的输入

$$V_i < 50\mu V$$

所有项目均在放大器输出端接200Ω负载电阻条件下测量。

3.功耗的测试：应在输出电压为1V时测量。

4.文中所有电压值均为有效值。



一、2011年全国大学生电子设计竞赛试题--LC 谐振放大器（D 题）

- 题目分析：
- 自制3.6V单电源供电。需要设计制作衰减器电路、谐振放大器电路和 AGC 控制电路。

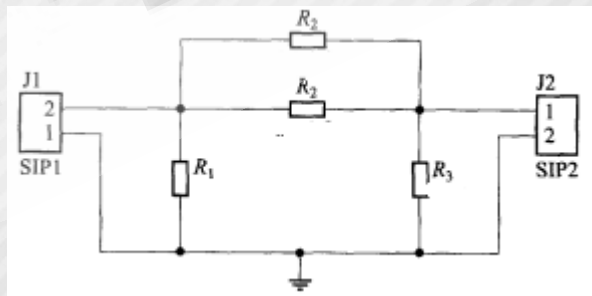
1、衰减器电路：可采用有源或无源衰减器。

使用压控增益放大器芯片。（供电、功耗、控制电路问题）

使用数控衰减器能够在在大动态范围内完成精确衰减。（供电、功耗、控制电路问题）

利用电阻衰减网络对信号衰减。（对电阻阻值的准确性有较高要求，电阻衰减网络有桥式、T型、 π 型等结构形式。需选合适的形式）

采用 π 型网络衰减器。其输入阻抗与输出阻抗也可以随意改变，更容易进行匹配，电阻使用数量少，容易调试。同时电阻阻值适中，容易进行测试。



一、2011年全国大学生电子设计竞赛试题--LC 谐振放大器（D 题）

2、LC 谐振放大器电路设计

LC 谐振放大器中的有源放大器件可以选择高频三极管、高频场效应管和 RFIC。

调谐方式选择：要求增益为 **80 dB**，采用单级或者两级放大器无法完成系统指标，且单级增益太大影响系统稳定性，因此考虑使用多级放大。

例1：使用场效应管，用**5级混合调谐放大器**（各级用单调谐或多调谐），改善了放大器的选择性，增加通频带，有效降低了矩形系数，较好地解决了带宽与选择性的矛盾。利用输出检波反馈电压控制场效应管的栅极达到增益控制。

例2：通过四级通频带较宽的单调谐放大器进行放大，以确保满足最大电压增益的要求，在放大器后增加高 **Q** 的双调谐选频网络来调整放大器的总通频带。

例3：谐振放大电路由晶体管和并联谐振回路两部分构成，对前级衰减信号进行选择放大。对于小信号放大器而言，单级增益太高会造成工作的不稳定，从而降低系统的可靠性。后面再用宽带运算放大器对增益进行补偿。

一、2011年全国大学生电子设计竞赛试题--LC 谐振放大器（D 题）

3、AGC 控制电路设计

自动增益控制（AGC）电路的主要作用是使电路输出电平保持一定的数值。要求控制范围要宽，信号失真要小，要有适当的响应时间，同时不能影响系统的噪声性能。

输出信号进行检波：可用检波 **RFIC** 检测输出信号（功耗较大）；可用检波二极管检波输出信号+运算放大器进行放大；还可利用 **PIN** 二极管电调谐器。**AGC** 电路通过检波器对输出信号的幅值检测并转换为直流信号，反馈控制电路由运放及 **PIN** 二极管电调谐器构成，直流信号的幅值反应输出信号的变化，通过反馈控制电路作用到第一级单调谐放大器的输入端，实现自动增益控制功能；可利用可变增益放大器。

例3：谐振放大电路由晶体管和并联谐振回路两部分构成，对前级衰减信号进行选择放大。对于小信号放大器而言，单级增益太高会造成工作的不稳定，从而降低系统的可靠性。后面再用宽带运算放大器对增益进行补偿。



高频电路竞赛培训及赛题解析

THE END

THANKS

陈瑜 电子科技大学
2020-04-26