

第六次作业——探测器电子学 赵强

问题一：了解共射放大电路、跨阻放大器、电压放大器，并介绍下三个电路的关系、区别以及应用场景

(二编：主要是完成修改一些在曾经做题时犯的错误

主要是：未添加电源接口、GALI-52+电压选取问题

通过借鉴和理解优秀同学的作业和老师的建议再完善，写写心得)

共射放大电路（CE：电压放大核心）：通用型电压放大

核心——用三极管将“电压信号”放大成更大的电压信号

基本原理：电路以晶体管的发射极为公共端，输入信号加在基极和发射极之间，输出信号从集电极和发射极之间取出。其核心是利用基极电流的微小变化，控制集电极电流产生 β 倍的变化，从而实现放大。

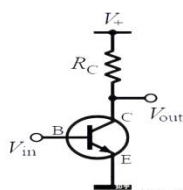
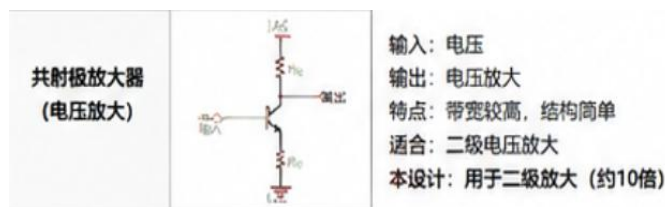
输入：基极（Base） 输出：集电极（Collector） 发射极：接地（或带电阻）

特点：电压放大能力强（ $10\times\sim 100\times$ ），**反相输出（信号翻转 180° ）**，频率响应收米勒效应限制，不适合直接读电流传感器，具有中等水平的输入阻抗（ $k\Omega$ ）和输出阻抗

米勒效应：跨接在放大器输入端和输出端之间的电容，由于放大器的电压增益，其等效到输入端的电容值会被大幅扩大（乘以增益倍数）。

其等效输入电容可表示为：

$$C_{in(effective)} = C_{bc} \cdot (1 + A_v)$$



(去知乎找电路图方便个人理解)

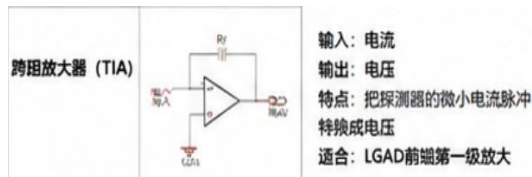
应用：因其性能均衡，是应用最广泛的放大电路之一。如射频前级放大、模拟信号放大、LGAD后级放大、传感器信号调理

跨阻放大器（TIA）：就是个电流转电压的翻译官

核心——电流信号转变为电压信号

基本原理：其核心结构通常是一个运算放大器加上一个反馈电阻。输入电流流过反馈电阻产

生电压降，经放大器放大后输出。其增益（输出电压/输入电流）具有电阻的量纲（欧姆）。
 构成：运算放大器+反馈电阻 R_f 输入：反相端（电流进入） 输出：电压
 特点：**电流转电压（核心功能）**，输入端“虚地”（电压约为 0）阻抗很低，它非常适合探测器信号，具有高灵敏度，能有效放大微弱的电流信号，常用于高速电路



应用：光电二极管前置放大，将光电流转换为电压、还有光纤通信接收器等
LGAD 读出、粒子探测器前端

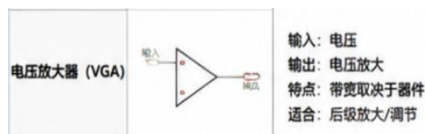
电压放大器(VGA)：通用信号增强器（一个大概念）

核心——输入电压 → 输出更大电压

基本原理：通过晶体管、运算放大器等有源器件，将输入的小电压信号放大为更大的输出电压信号。

运放或晶体管放大级，通过反馈电阻设定增益

特点：电压增益稳定、易控制、带宽受运放限制、不适合超高速信号，具有高输入阻抗、低输出阻抗



应用：音频放大、低速模拟信号、ADC 前级调理、工业控制、精密测量等等

我认为三者的关系：

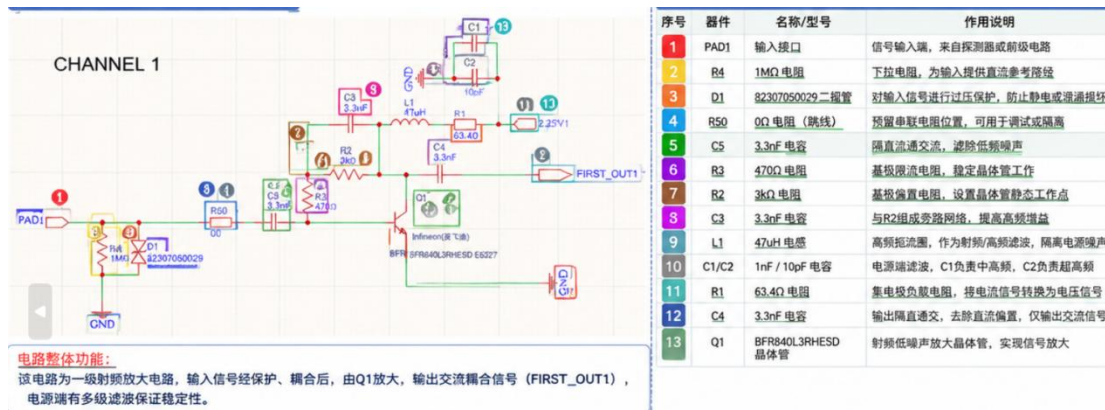
电压放大器和跨阻放大器都是输出电压的放大器类型，但输入形式不同，前者输入电压后者输入电流

- (1) “电压放大器”是最大的概念：它是一个功能类别，指所有放大电压信号的电路。
- (2) “共射放大电路”是“电压放大器”的一种具体形式：它用晶体管搭建成的一种经典电路，是实现电压放大功能的一种手段。（反相 180° 输出信号）
- (3) “跨阻放大器”则是“电压放大器”的一个特殊变体：它的核心任务不是放大电压，而是转换。它将输入的电流信号转换成电压信号并放大，因此从输出端看，它其实应该也能是一个电压放大器，但功能更专一。

问题二：根据老师所给的一级放大电路，设计 LGAD 完整的单通道前放板原理图

首先先来讲讲我的想法：

（头一回做的小白可能理解有很多出入，也做不到太好，但一定会尽最大努力，因为时间紧张我只能先在网上学了几个速成课，对于原理图绘制和 PCB 流程了解了下，感觉自己对这个东西蛮感兴趣的，现在先把基本应用学会，假期的话会多花些时间系统学习一下子）



先对老师给的电路有一个基本了解

LGAD 的信号上升老师说约 500ps, 脉宽在 2ns, 所以输出为高速电流脉冲, 前端采用跨阻放大进行电流-电压转换, 后级采用共射放大实现约 10 倍电压增益。

方案: 50Ω 匹配 (GALI-52+阻抗是 50 欧姆), 一级采用共射放大, 提供适当增益与输入匹配就好; 二级我们就用 GALI-52+放大约 10 倍 (所有接口都用交流耦合便与匹配 50Ω), 输出连接到 SMA 便于测试保护

一些整理好的思路:

- 一级放大部分沿用老师给出的BFR840电路; 本图从FIRST_OUT1继续扩展二级放大、输出开关、SMA接口和完整供电/高压模块。
- GALI-52+作为二级宽带放大器, 目标约20dB (约10倍); C6/C7用于AC耦合, 避免直流工作点互相影响。
- LGAD需要直流高压反偏, 但放大链路不能承受高压, 因此用10MΩ限流+高压AC耦合电容形成Bias Tee思想。
- 高压端用TVS和低通滤波抑制浪涌/纹波; 低压端用10uF/100nF/1nF分频段去耦, 体现实际电容非理想。
- DSHPO1TSGER作为输出开关/调试位, Rout和SMA按50Ω系统思路处理, 减少高速脉冲反射和振铃。

一些要考虑到的东西: 5V 供电、LGAD 所需的高压偏置接口、考虑高低频滤波、实际电容电感非理想情况

先简单了解下连线规则:

高频信号线: 越短越好、不绕圈、不跨电源区

高压线: 单独走、距离信号 $\geq 1\text{mm}$

地: 所有地最后一点汇聚 (单点接地)

说说高频/低频滤波设计

LGAD 高压偏置要求: 几十伏 ~ 几百伏 bias、超低噪声、不允许高频噪声进入探测器

★ 高频路径 (信号): 走线短、50Ω 阻抗匹配、只用小电容 (pF 级)

保证信号不被电源和偏置污染

为什么用共射放大: 带宽可达 GHz 可实现 10×增益 适合高速脉冲

为什么加电容 —— pF: 高频通过 nF: 中频稳定 uF: 低频滤波

为什么要高压滤波: 防止噪声进入 LGAD、放大器振荡、击穿风险

★ 低频路径 (电源): 大电容 (uF 级)、电感隔离、RC 滤波

TPS79901 输出必须这样滤波: 5V → LDO → 10uF || 100nF || 1nF

原因: 10uF 低频稳定 100nF 中频去耦 1nF 高频噪声

这是典型“三级去耦结构”

补充：关于电源接口的问题：为什么电源接口必不可少呢？

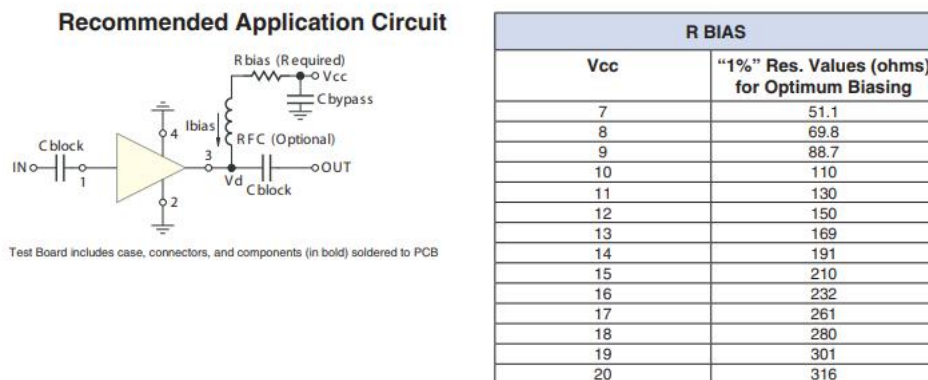
电源接口是电路系统与外部供电环境之间的物理连接节点，它不仅提供电能输入，还承担供电稳定性、可测试性和系统可靠性等关键功能。

缺少电源接口的电路无法实现实际供电，属于不完整的工程设计。

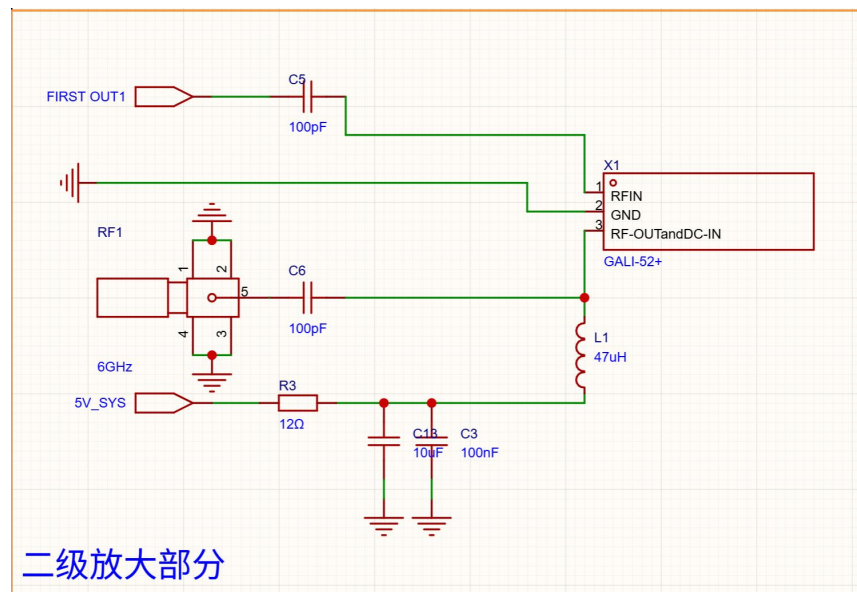
所以说——电源不是个理想节点而应当是一个真实存在的物理输入系统！（我们不能假设5V的标签就当作电源了）

先看看三个参考器件都有什么作用：

GALI-52+：射频放大器，它能提供约10倍的增益，正好满足二级放大10倍的需求
DC-2GHz，有20dB增益，满足700MHz的带宽要求



所推荐的放大电路的可以从数据手册里找到，可以把它的推荐电路试着画画修改后如图：



我们输入/输出都采用 100pF 隔直流电容来匹配 50Ω 的系统（防止前一级直流偏置影响 GALI-52+ 的输入工作点）

C6 用于隔离直流，让交流射频/高速脉冲信号输出，同样选取 100pF 保证高频性能
用电感 L1 阻隔下射频信号，提升电路稳定性

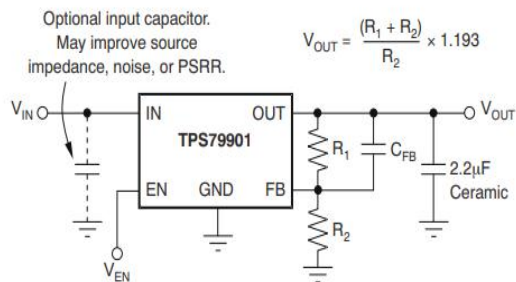
C3 和 C13 用来作为 C_{bypass} ，让射频的噪声旁路接地，去耦提高纯净度

必要的，我们要添加一个信号输出接口，之前没理解这个部分

选择标准的 SMA 同轴连接器，6GHz 射频输出接口，50 欧姆特性阻抗刚好与电路输出阻抗

相匹配，保证测试信号的质量，尽量采用 $50\ \Omega$ 减少反射、振铃、波形失真等问题
 数据手册给出推荐的 GALI-52+的工作电流为 50mA,器件典型工作电压为 4.4V, 由于设计采用 5V_SYS 供电，可计算出偏置电阻 R3 的阻值为 $(5-4.4) / 50 * 1000 = 12\ \Omega$

TPS79901DDCR: 具备高电源抑制比 (PSRR)、低噪声、快速启动以及出色的线路，用来降压稳压



典型应用电路：可调电压版本

因为我们需要调节电压所以选择这个电路

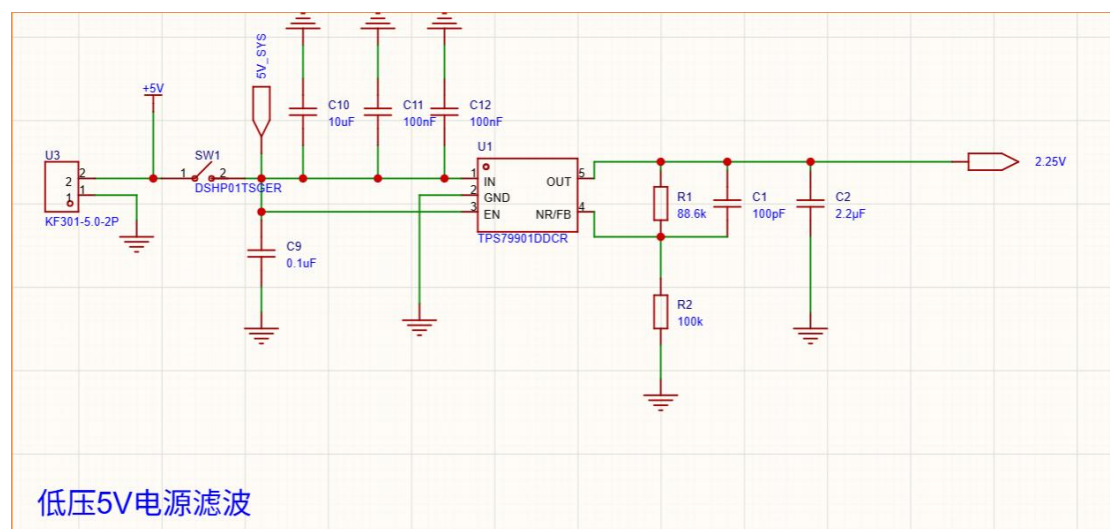
首先我们 IN 的电压是 5V，输出电压想调节至 2.25V，通过它给出的 V_{out} 的计算式可以得到题目所需的 2.25V 电源

计算后我们可以取 $R1=88.6k\Omega$ ， $R2=100k\Omega$ (精密的贴片电阻)

然后反馈电容折中我们可以取 $C_{FB} = 100pF$, 输出电容保留 $2.2\mu F$ 陶瓷电容

问题也是一样，没有电源接口

修改后如图：

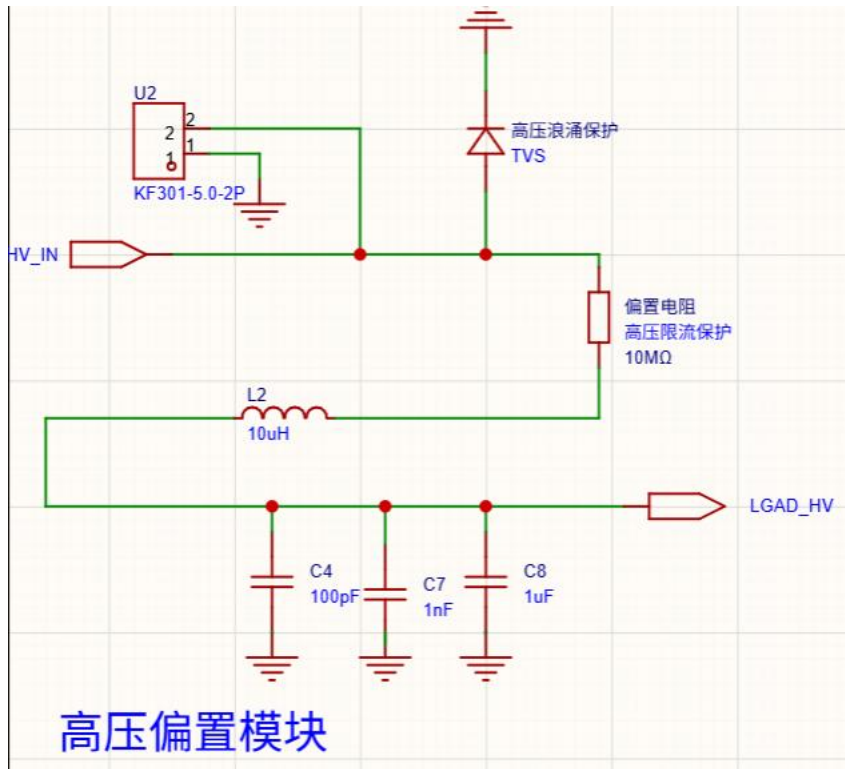


低压5V电源滤波

10µF 处理低频电源波动，100nF 处理高频尖峰。总之采用多级去耦能够覆盖各个频段噪声隔离电源噪声，TPS79901 提供低噪声稳压。

取 $1\mu F$ 电容连在 5V_SYS 与 GND 之间作为去耦电容 (输入端知名 $0.1-1\mu F$ 均可行)，可改善输入电源的瞬态响应

EN 连到 5V (EN can be connected to IN)

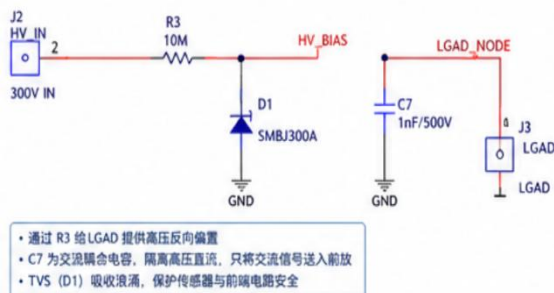


再说说高压偏置，采用的是叫做 Bias Tee 方式注入

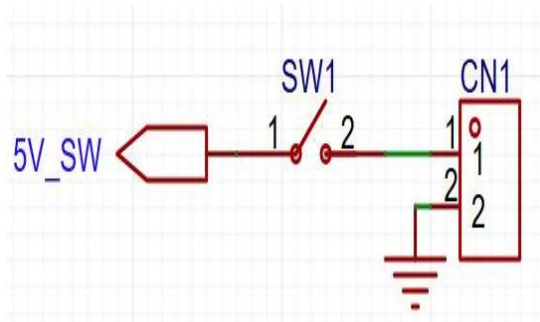
目的就是：给 LGAD 提供稳定高压，同时不影响信号的反向偏振装置一样缺少电源接口！

这是高压 HV 滤波的部分（按照自己想的大概画的，如果有想的不对的地方可能是基础还没夯实好，后期会再努力学习修改）想法就是用偏置电阻给 LGAD 提供高压反向偏置
 100pF 负责滤掉高频噪声，1nF 负责中频噪声，1μF 负责低频纹波。
 1MΩ 是限流保护，电感是高频隔离，阻断高频的噪声，防止高压电源噪声进入 LGAD 信号端。

TVS：雪崩击穿二极管，用于抑制瞬间过电压，是一种用于保护电子电路免受瞬态高压冲击的半导体器件。



后来我又去查了查标准样式是怎么画的，我大概已经有形似了哈哈



或者单独列出上图应当作为整个低压电源的入口！

SW1 (DSHP01TSGER 1 位拨码开关)

DSHP01TSGER:一个镀金的拨码开关

核心作用: 整板电源总开关, 控制 5V 供电通断, 无需反复插拔电源接头。

选型理由: 贴片式体积小; 单刀单掷结构, 串联在正极回路, 关断后板上完全断电,

安全可靠; 拨码式操作直观, 不易误触。

然后是输出口部分, 因为示波器输入默认 50Ω, 我们也要调整下匹配 50Ω 系统 (不过不太懂具体怎么画比较好)

DSHO01, 高速射频开关, 带宽 DC 到 6GHz 左右

如果不匹配会产生波形反射、信号畸变、超快脉冲会变形等问题

然后是一些取值和器件选择的原因让辅助工具帮我汇总了一下

电阻电容电感取值与理由	
取值	作用与选择理由
10uF	大容量, 抑制低频纹波
100nF	中频去耦, 抑制几十kHz~几MHz噪声
1nF	高频去耦, 抑制MHz以上噪声
47uH	作为RF Choke, 阻断高频, 隔离电源与射频链路
10M	给LGAD提供高压偏置, 限制泄漏电流 (< 30uA@300V)
1nF	隔离级耦合, 只传递交流信号, 截止频率的 $1/(2\pi RC) = 53\text{Hz}$
3k	集电极负载, 设置合适的增益与动态范围
470Ω	稳定静态工作点, 兼顾线性与增益
10pF	隔直流输出, 配合输入阻抗构成高通, 截止频率约 1.6MHz
100pF	与 50Ω 匹配, 截止频率约 $1/(2\pi \cdot 50\Omega \cdot 100\text{pF}) = 31.8\text{MHz}$

个人心得: 其实以前一直对这方面很感兴趣, 但是只是粗略地了解过, 本来想着本学期末后的假期在网上系统的学习一番 PCB 画板子, 赶得巧不如来的巧, 我想也不能总是做好全部准备了才开始干, 有些东西总要边学边做, 说实话也可算得上是 0 基础抓起了, 好多不会的东西呢呢呢, 原理图绘制看规格搭配都要搞好久, PCB 布局就更不用说了。摆放、铺地、50Ω 走线、SMA 摆放、GALI52 布局我尝试了下是真的有点搞不懂 (遗憾退场了真的尽力了),

可以等老师以后讲讲（或者我假期肯定是会学的），或者等优秀同学的作业我再做第二遍时学习一些新东西，但是真的感觉蛮感兴趣的哈哈，慢慢研究吧

二编心得：这次又有了些新的见解，上手比以前快了不少，也按着同学们的思路和老师的建议学习了一些东西有了新的见解，除了补充接口，也适当调整了自己的电路，蛮有成就感的！但其实还有好多没理解的英文字母或者代号，甚至比如旁路电容干啥用，某个器件的引脚、RFC 射频扼流圈的定义、以及 SMA 同轴连接怎么连接等等都是才刚刚了解到的知识，也不能说自己就完全搞懂了，感觉自己真的还有好多好多要学的东西，以现在的知识储备，我只能说尽力就好！马上就是期末周了，希望自己考完试后能够潜下心来好好钻研一番。这次第二次重新提交的作业，也肯定还存在着不少问题，但应该不会像缺少电源接口这样明显的错误出现了吧哈哈，现在回过头来一想电路板连个“插座”都没有，每次测试都得把电源线焊死在板子上，还没法保障电路安全真挺奇怪的，老师如果不指出来我根本没想到这个问题呀！