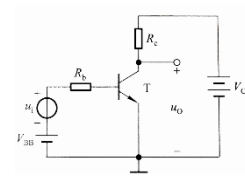


## 作业一：共射放大电路、跨阻放大器、电压放大器对比分析

### 一、核心定义与电路本质

#### 1. 共射放大电路（BJT/MOS 共射）



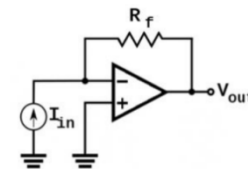
以双极型晶体管 **BFR840L** 这类 **NPN** 管为核心，发射极公共接地，输入电流、输出电压，属于基础有源放大拓扑。

输入：基极电流  $I_b$ ；输出：集电极电压  $V_c$

增益：电压增益  $A_v = -g_m R_c$ ，自带  $180^\circ$  相位反转

核心特征：同时实现电流放大 + 电压放大，高频射频 / 脉冲前端最常用

#### 2. 跨阻放大器 TIA（Transimpedance Amplifier）

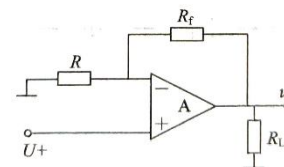


输入为电流、输出为电压，增益单位为  $\Omega$ （跨阻  $R_m = V_{out}/I_{in}$ ），典型用于光电二极管、粒子探测器（**LGAD**）微弱电流信号读取。

本质：高阻反馈运算放大器 / 晶体管并联电阻拓扑，把微小电荷 / 电流快速转为电压脉冲

适配场景：探测器输出是电流信号（无驱动电压），必须 **TIA** 做 **I-V** 转换

#### 3. 电压放大器 VCA（Voltage Amplifier）



输入电压、输出电压，增益无量纲  $A_v = V_{out}/V_{in}$ ，理想输入阻抗无穷大、输出阻抗接近  $0$ 。

分为两类：运放电压放大、射频宽带电压放大器（如 **GALI-52+**）

核心作用：阻抗匹配 + 电压幅度提升，不处理电流输入信号

对比维度	共射放大电路	跨阻放大器 TIA	电压放大器
输入物理量	基极电流 (可耦合电压)	微弱电流 / 电荷	电压
输出物理量	电压	电压	电压
增益单位	V/V (电压增益)、A/A (电流增益)	$\Omega$ (跨阻)	V/V
输入阻抗	中等 (千欧级)	极低 (虚短, 快速泄放电荷)	极高 ( $M\Omega \sim G\Omega$ )
输出阻抗	高	中低	极低
相位特性	输出反相 $180^\circ$	同相 / 反相由拓扑决定	同相 / 反相可选
带宽特性	分立晶体管高频好, 受密勒效应限制	高速型适合 ns 脉冲 (本题 2ns 脉宽)	宽带芯片平坦度优

### 三、相互关系

#### 1. 层级上下游关系

LGAD 探测器输出微弱电流  $\rightarrow$  跨阻放大器完成 I-V 转换  $\rightarrow$  共射放大做一级脉冲预放大 (题目左侧电路就是共射预放)  $\rightarrow$  电压放大器二级提升幅度 (GALI-52+, 10 倍增益)  $\rightarrow$  示波器采集。

#### 2. 拓扑包含关系

共射电路增加并联反馈电阻可改造为简易 TIA; 电压放大器内部可由多级共射单元级联构成。

#### 3. 互补分工

TIA: 专门解决“电流源输入”(探测器)的阻抗转换问题;

共射: 低成本高频脉冲前置放大;

电压放大器: 标准化宽带幅度放大、阻抗缓冲, 驱动  $50\Omega$  示波器负载。

### 四、应用场景

#### 1. 共射放大电路

射频前端、粒子探测一级预放大、高速脉冲整形、低成本分立放大, 本题左侧 BFR840L 电路即为共射脉冲放大, 处理 2ns 窄脉冲。

#### 2. 跨阻放大器

LGAD / 硅光电倍增管 / 光电二极管读出电路、微弱电荷检测、高速光子探测, 所有探测器电流信号读取首选。

#### 3. 电压放大器

示波器缓冲、射频信号幅度提升、后端驱动匹配、实验室标准信号放大, 二级放大 GALI-52+ 属于商用宽带电压放大器。

## 作业二:

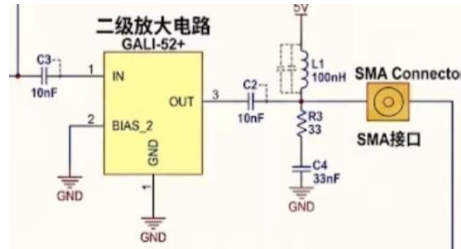
### 一、整体构架与设计思路

由于 LGAD (低增益雪崩探测器) 输出的信号非常微弱且极其快速 (上升沿  $\sim 500ps$ , 脉宽  $\sim 2ns$ , 整个系统的核心设计挑战在于超高频 (带宽  $> 1 GHz$ )、阻抗匹配 ( $50\Omega$ ) 以及极

低的电源噪声。

系统分为两大核心通路：

- (1) 信号通路：FIRST\_OUT1→隔直电容→ GALI-52+ 二级放大器 → 偏置器 (Bias Tee) → SMA 输出接口 (连接示波器)。



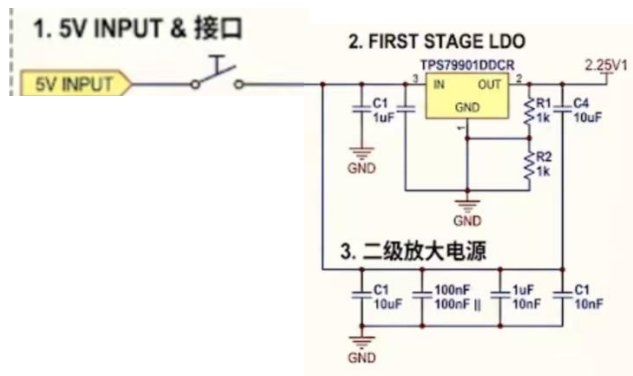
- (2) 电源通路：

5V 输入 → 拨码开关 → 分流两路：

一路经 LDO (TPS79901) 稳压至 2.25V，供给一级放大器 (BFR840L3RHESD)。

一路经过偏置电阻/电感供给二级放大器 (GALI-52+)。

直流高压输入 → 高低频级联滤波网络 → LGAD 高压焊盘。



## 二、核心电路设计

### 1. 电源输入与开关电路 (DSHP01TSGER)

设计连接：5V 直流电源进入板载，经过拨码开关 DSHP01TSGER。开关后接一个大电容 (如 10uF 钽电容) 进行低频储能，并并联一个 100uF 陶瓷电容滤除高频噪声。

### 2. 一级电源稳压电路 (TPS79901DDCR)

TPS79901 是一款低噪声、高 PSRR 的可调 LDO，用于将 5V 稳压至 2.25V。

- (1) 外围参数计算：输出电压公式为  $V_{out} = 1.2 \times (1 + R_1/R_2)$ 。为了得到 2.25V：

设基准电压  $V_{ref}=1.22V$ ，设定下分压电阻  $R_2 = 12k\Omega$ ，则上分压电阻  $R_1=10k\Omega$ 。

- (2) 滤波设计：输入端使用 1uF 陶瓷电容，输出端使用 2.2uF 低 ESR 陶瓷电容以确保 LDO 环路稳定。

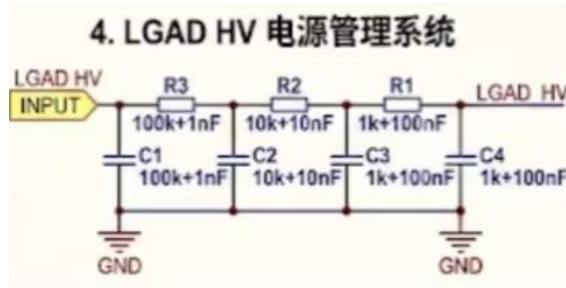
### 3. LGAD 直流高压偏置与滤波电路

LGAD 探测器通常需要几十至几百伏的负高压或正高压。高压电源的纹波会直接耦合到信号端形成巨大噪声，因此必须进行严苛的高低频级联滤波。

- (1) 滤波网络拓扑：采用 RC 兀型级联滤波器。

低频滤波：靠近高压输入端，使用大电阻 (如 100 kΩ) 和大电容 (如 100nF/500V 叠层陶瓷电容)，滤除微秒级的低频纹波。

(2) 高频滤波：靠近 LGAD 高压焊盘端，使用小电阻 (如 1 kΩ) 和高自谐振频率的小电容 (如 1nF) 及 100pF 高压瓷片电容)，滤除纳秒级高频串扰。



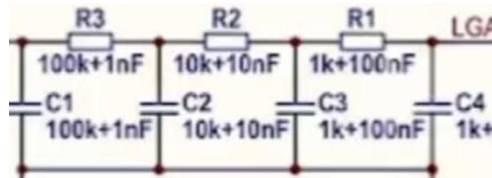
#### 4. 二级放大器电路 (GALI-52+)

GALI-52+ 是一款高度集成的达林顿对 MMIC 放大器，具有约 22dB (约 12 倍) 的电压增益，带宽直达 2GHz，非常契合 500ps 上升沿信号。

### 三、元器件非理想特性考量

1、电容存在等效串联电感 (ESL) 和电阻 (ESR)。电容在大频率下会发生谐振，超过谐振频率后会变成“电感”，失去滤波/隔直作用。

方法：采用大小电容并联；



2、电存在寄生电容 (EPC)，在高频下会发生并联谐振。超过谐振频率后，电感会变成“电容”，导致高频信号直接穿透到电源端。

方法：偏置电感必须选择高自谐振频率 (SRF) 的射频绕线电感。

3、电阻存在寄生电容和引脚电感。大阻值电阻在高频下因寄生电容导致实际阻抗变小。

方法：信号通路和偏置网络中避免引入超大阻值电阻；同样优先选用 0402 贴片封装。