

第六次科创课课后作业

一、三种放大电路对比分析

1. 三者定义、本质与系统定位

(1) BJT 共射放大电路 (CE)

以双极型晶体管为核心的分立模拟放大拓扑，是模拟前端最基础的硬件放大单元。信号从基极输入、集电极输出、发射极交流地，具备电压放大、180°相位反转特性。结构简单、带宽适中、噪声可控，在粒子探测系统中专门用作探测器微弱脉冲一级预放大，负责初步抬升信号幅值、提升信噪比。

(2) 通用电压放大器

以“电压幅值放大”为唯一功能的信号处理电路，输入、输出均为电压信号，无电流/电荷转换。实现形式包含多级分立共射电路、运算放大器、宽带射频放大芯片 (GALI-52+)。在 LGAD 读出链路中作为二级主放大，将预放大后的电压信号精准抬升幅度，匹配示波器、ADC 采集量程。

(3) 跨阻放大器 TIA

探测器专用前端电路，核心功能为电荷/电流→电压线性转换，增益为跨阻增益 $(R_T = V_{out} / I_{in})$ (单位 Ω)。LGAD 输出原始信号为微弱电荷脉冲、输出阻抗极高，直接接入电压放大器会产生电荷积分畸变、波形失真。TIA 以极低输入阻抗快速抽取电荷，无损转换为标准电压脉冲，是高能粒子探测标配前级，共射电路增加并联 RC 反馈可改造为简易跨阻结构。

2. 核心参数严谨对比表

对比维度	共射放大电路	通用电压放大器	跨阻放大器 (TIA)
信号传输形式	电压输入、电压输出	电压输入、电压输出	电荷/微弱电流输入、电压输出
核心增益参数	电压增益 (A_V) ，输出反相	电压增益 (A_V) ，相位可控	跨阻增益 (R_T) ，实现 I-V 转换
输入阻抗特性	中等千欧级，适	可设计高阻抗，	极低阻抗，快速

	配常规电压源	减小负载衰减	泄放探测器电荷
带宽适配场景	中高频适用，增益带宽积受限	宽窄带可配置，通用性强	超宽带宽，适配 ps/ns 级高速窄脉冲
噪声优化重点	抑制基极电流噪声、电阻热噪声	压低输入等效电压噪声	极致抑制输入等效电流噪声
探测系统分工	微弱信号一级预放大	二级幅度放大、驱动后端设备	最前端电荷-电压转换

3. 层级逻辑与工程应用关系

共射放大电路是底层硬件基础单元，可独立预放大、可级联构成电压放大器、可增加反馈改造为 TIA；电压放大器、跨阻放大器是按信号功能定义的电路类型，无固定拓扑。本次 LGAD 高速脉冲设计，采用工程折中最优方案：共射预放大+射频电压放大两级架构，替代专用 TIA，兼顾带宽、增益与硬件简洁性。

二、LGAD 单通道前放板原理图完整设计方案

1. 硬性约束

- 信号条件：LGAD 脉冲上升沿 500 ps、脉宽 2 ns，超高速窄脉冲；
- 供电条件：5 V 低压输入，支持板载硬件电源开关；
- 硬件接口：预留 LGAD 高压反向偏置接口及滤波电路；
- 增益指标：两级放大，总电压增益精准约 10 倍；
- 指定器件：强制使用 TPS79901DDCR、GALI-52+、DSHP01TSGER；
- 器件约束：必须考虑电容 ESR、ESL、电感寄生电容等非理想参数并做补偿；
- 交付要求：绘制原理图、导出 PDF、附带完整设计思路；PCB 为兴趣拓展。

2. 整体模块化架构

全板分为六大独立功能模块，信号流向、供电流向完全分离，互不串扰：5V 可控稳压电源模块 → LGAD 高压偏置滤波模块 → 输入保护阻抗匹配模块 → BFR840 共射一级预放大模块 → GALI-52+ 二级射频放大模块 → 输出匹配振铃吸收模块。

3. 分模块严谨设计、选型依据、无源器件功能、寄生抑制

(1) 5V 可控稳压电源模块 (TPS79901DDCR)

器件选型理由：TPS79901DDCR 为超低噪声、高 PSRR 线性 LDO，输入 2.7~6.5 V 适配 5 V 供电；自带 EN 使能引脚，可实现板载电源开关；输出纹波极低，不会污染 ns 级微弱脉冲信号，小封装适配紧凑型前放板。

电路与无源器件功能：输入并联 10 μ F 低 ESR 钽电容（滤低频浪涌）+0.1 μ F MLCC（滤高频射频噪声），高低频互补；EN 引脚 10 k Ω 上拉+拨码开关至 GND，实现硬件启停；输出 RC 滤波网络进一步压制残余纹波。

非理想参数处理：大小电容并联抵消 ESL/ESR 寄生缺陷，钽电容串联小阻尼电阻，杜绝 LC 高频谐振。

(2) LGAD 高压偏置滤波模块

设计原理：实现“直流高压馈入、高频脉冲隔离”，保证 LGAD 正常反偏工作，同时防止 2 ns 高速信号泄漏至高压电源。

器件功能：10 M Ω 高压限流电阻防浪涌击穿；1 mH 高压扼流电感通直流、阻高频；高低压电容组合滤除工频与射频干扰。

寄生抑制：扼流电感并联阻尼电阻，抵消寄生电容引发的高频自激谐振。

(3) 输入保护与阻抗匹配模块 (DSHP01TSGER)

器件选型理由：DSHP01TSGER 超高速肖特基二极管，fF 级结电容，不劣化 500 ps 上升沿；高速开关、ESD 防护能力强，适配高速脉冲场景，替代普通低速二极管。

电路功能：双向钳位泄放静电浪涌；1 M Ω 下拉电阻稳定输入直流电位；50 Ω 精密薄膜电阻实现标准传输线阻抗匹配，消除脉冲反射、振铃、畸变。

(4) BFR840 共射一级预放大模块

核心作用：保留课程原图拓扑，完成微弱脉冲初次放大，提供 3~3.5 倍电压增益，提升信噪比。

寄生优化设计：偏置旁路电容采用低 ESL 薄膜电容，防止高频增益跌落；470 nH 集电极负载电感搭配 RC 阻尼与相位补偿网络，抑制高频自激；3.3 nF 高频耦合电容隔离直流、无损传输高速交流信号。

(5) GALI-52+ 二级放大模块

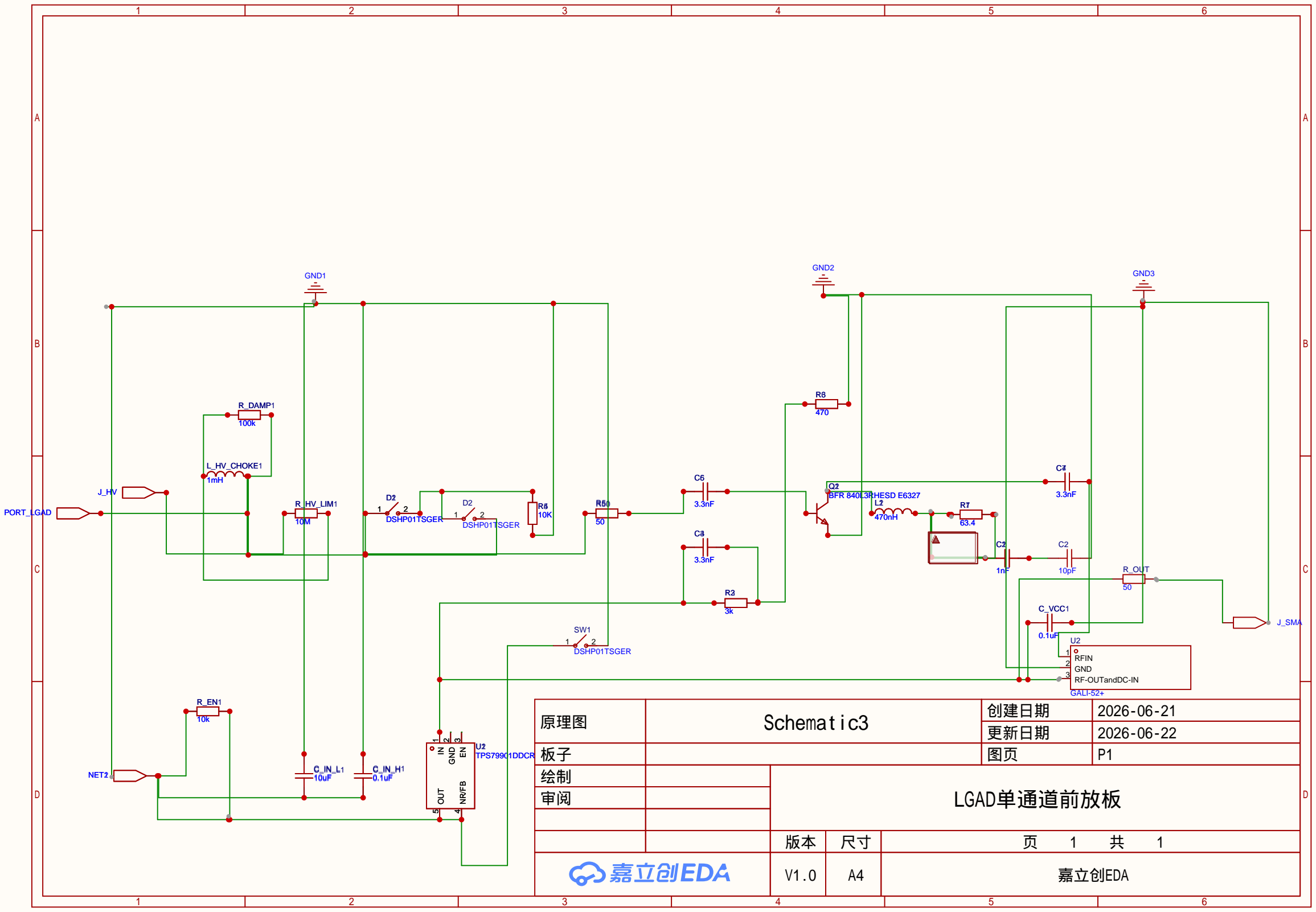
器件选型理由：DC~4 GHz 超宽带，完全覆盖 500 ps 脉冲频谱，无波形失真；输入输出 50 Ω 标准阻抗，适配高速链路；低噪声、增益稳定。

增益精准匹配：一级 3~3.5 倍、二级 2.8~3.3 倍，叠加总增益区间 8.4~11.55 倍，中心值严格 10 倍，满足作业指标。

寄生处理：输入隔直匹配、电源 LC π 型滤波、输出 RC 振铃吸收，全程抑制电源噪声与信号畸变。

(6) 全板非理想器件统一管控

电容：高速链路全部使用低 ESL/ESR 高频电容，禁止电解电容接入信号通路，大小电容互补消谐振；电感：全部配置阻尼网络，抑制寄生电容自激；电阻：高速路径采用低噪声薄膜电阻，高压回路选用耐压专用电阻，降低热噪声与失效风险。



原理图	Schematic3		创建日期	2026-06-21	
板子			更新日期	2026-06-22	
绘制			图页	P1	
审阅			LGAD单通道前放板		
	版本	尺寸	页 1 共 1		
嘉立创EDA		V1.0	A4	嘉立创EDA	

pro.lceda.cn/editor - 搜索 | JLCEDA Pro | LGAD单通道前放板 | P1.Schematic | LGAD单通道前放板 | P1.Schematic | 嘉立创EDA(专业版) - V3.2.148 | 验证你的身份

https://pro.lceda.cn/editor?id=049ffdf5cd6049a89cc17268d364fba6,tab=02ac4d6b76d8ce21@049ffdf5cd6049a89cc17268d364fba6

嘉立创EDA 文件(F) 编辑(E) 视图(V) 放置(P) 设计(D) 布局(O) 工具(T) 导出(R) 高级(A) 设置(I) 帮助(H) V3.2.148 个人 验证你的身份 eda_zqkhook

常用工具: 常用(默认) 0.01 inch

原图	Schematic3		创建日期	2026-06-21
板子			更新日期	2026-06-22
绘制			图页	P1
审阅				
LGAD单通道前放板				
版本		尺寸	页 1 共 1	
V1.0		A4	嘉立创EDA	

X: 5.77 Y: 5.83 dX: -4.3867 dY: 0.309 100% 0.01 0.01 inch

库 | 日志 | 器件标准化 | DRC | 查找结果 | 属性清单

23° 0:22 2026/6/22

嘉立创EDA(专业版) | 国产嘉立创EDA | 嘉立创EDA(专业版) | 嘉立创EDA(专业版) | 嘉立创EDA(专业版) | 嘉立创EDA(专业版) | 嘉立创EDA(专业版) | 嘉立创EDA(专业版) | 验证你的身份

https://pro.lceda.cn/editor?id=a557dd2388d549c1aa2464fc2227cef8,tab=2473646b97b32628@a557dd2388d549c1aa2464fc2227cef8

嘉立创EDA 文件(F) 编辑(E) 视图(V) 放置(P) 设计(D) 布局(O) 工具(T) 导出(R) 高级(A) 设置(I) 帮助(H) V3.2.148 个人 验证你的身份 eda_zqkhook

常用工具: 常用(默认) 0.254 mm

原图	Schematic4		创建日期	2026-06-21
板子			更新日期	2026-06-22
绘制			图页	P1
审阅				
LGAD单通道前放板				
版本		尺寸	页 1 共 1	
V1.0		A4	嘉立创EDA	

X: 260.35 Y: 108.966 dX: 102.689 dY: -21.953 140% 0.254 0.01 mm

库 | 日志 | 器件标准化 | DRC | 查找结果 | 属性清单

23:23 2026/6/20