

LGAD 单通道前放板设计说明

一、设计需求分析

LGAD 探测器输出信号上升沿约 500ps，脉宽约 2ns。放大电路所需带宽：

$$BW \geq \frac{0.35}{t_r} = \frac{0.35}{500 \times 10^{-12}} = 700 \times 10^6 \text{Hz} = 700 \text{MHz}$$

二、电源模块

输入 VCC (5V)，经 DSHP01TJGER 开关 SW1 控制上电，送入 TPS79901DDCRG4 线性稳压器，输出 2.25V 供一级放大和二级放大使用。

选择 TPS79901DDCRG4 的原因：低噪声 LDO，输出纹波小，不引入开关噪声，适合对噪声敏感的模拟放大电路。

$$V_{out} = \frac{100 + 91}{91} \times 1.193 = \frac{191}{91} \times 1.193 = 2.099 \times 1.193 \approx 2.50 \text{V}$$

输出电压由 R1=100kΩ、R2=91kΩ 决定：

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{V_{out}}{1.193} - 1} = \frac{100k}{\frac{2.25}{1.193} - 1} = \frac{100k}{1.886 - 1} = \frac{100k}{0.886} \approx 112.9k\Omega$$

选大阻值电阻减小静态功耗，避免芯片内阻影响分压精度。

滤波电容：

- C1=22pF：反馈稳定电容，根据数据手册 8.2.2.6 节选取，保证 LDO 稳定工作
- C2=2.2uF、C6=2.2uF：输出中频滤波
- C3=22uF：输出低频大容量滤波

多个不同容值电容并联的原因：实际电容存在寄生电感，单个电容在高频下失效，多个电容覆盖不同频段，共同保证宽频段滤波。

三、高压偏置模块

LGAD 需要反向高压偏置才能正常工作。高压从 SMA 接口 U4 引入，经 $R3=1M\Omega$ 限流电阻后连接到 LGAD 信号焊盘 PAD1。U2 为 LGAD 信号输出接口，直接连到 PAD1 节点。

$R3=1M\Omega$ 的作用：

- 限制高压端漏电流，保护 LGAD 和后级电路
- 将高压直流通路与信号交流通路隔离， $1M\Omega$ 远大于信号源阻抗，对交流信号影响可忽略
- D1（82307050029）稳压二极管提供过压保护

$R50=0\Omega$ 为预留调试电阻。

四、一级放大（CHANNEL 1）

采用课件提供的共射放大电路，核心器件为英飞凌 BFR840L3RHESD NPN 高频晶体管，截止频率高达数 GHz，满足高速信号放大需求。

各元件作用：

- $R2=3k\Omega$ ：基极偏置电阻，设定静态工作点
- $R3=470\Omega$ ：发射极电阻，直流负反馈稳定工作点
- $R1=63.4\Omega$ ：集电极负载电阻，匹配输出阻抗
- C3、C4、C5=3.3nF：交流旁路电容
- L1=47uH：扼流圈，直流低阻提供集电极电流，射频高阻隔离信号进入电源
- C1=1nF、C2=10pF：电源去耦电容，抑制高频自激
- 一级放大由 2.25V 供电（标签 2.25V1），输出标记 FIRST_OUT1 送入二级放大

五、二级放大

选用 GALI-52+宽带微波放大器，原因：

- 带宽 2GHz，满足 700MHz 需求且留有余量
- 输入输出阻抗 50Ω ，与一级放大输出阻抗 63Ω 基本匹配
- 增益约 20dB（约 10 倍），满足二级放大约 10 倍的要求
- 外围电路简单，可靠性高

外围电路：

- C4=100nF（输入隔直电容）：阻断直流，只通交流信号进入 RFIN 引脚
- U3=47uH（扼流圈）：为 GALI-52+提供直流偏置电流，同时隔离射频信号进入电源
- R4=150 Ω （偏置电阻）：由数据手册查表，2.25V 供电下选 150Ω ，提供合适工作电流
- C5=100nF（输出隔直电容）：隔断直流，输出纯交流信号
- 放大后信号从 SMA 接口 U5 输出

六、非理想性说明

- 实际电容存在寄生电感，高频下失去滤波效果，因此采用多个不同容值并联
- 实际电感存在寄生电容，需确认 47 μ H 电感自谐振频率高于工作频率
- PCB 走线存在寄生电感电容，FIRST_OUT1 到 GALI-52+输入端走线应尽量短，减少高频信号失真

****共射放大电路、跨阻放大器与电压放大器****

****一、三种电路的基本定义****

****共射放大电路（Common Emitter Amplifier）****

以 BJT 晶体管发射极为公共端，输入信号加在基极，输出从集电极取出。本质上是一种****电流控制电流****的放大结构，但由于集电极接有负载电阻，最终表现为电压放大。增益从几十到几百倍，输入输出阻抗均为中等水平，频率特性一般。

****跨阻放大器（Transimpedance Amplifier, TIA）****

本质是****电流控制电压源****，将输入电流线性转换为输出电压，转换系数称为跨阻增益，单位为 Ω 。通常基于运放实现，利用虚短虚断特性使输入端为虚地，有效降低传感器寄生电容的影响。跨阻增益常见 $k\Omega \sim M\Omega$ 级，带宽受增益带宽积和寄生电容限制。

****电压放大器（Voltage Amplifier）****

输入电压信号，输出放大后的电压信号，理想特性为输入阻抗无穷大、输出阻抗为零。增益、带宽、噪声等指标可根据需求灵活设计，电压增益从几倍到几万倍不等。

****二、三者的关系****

三种电路并非完全独立，而是从不同角度描述放大器：

- 共射放大电路是一种****具体电路拓扑****，可以实现电压放大功能，也是构成跨阻放大器的基本单元之一
- 电压放大器是一种****功能描述****，共射电路是实现它的一种方式
- 跨阻放大器是一种****特殊功能的放大器****，专门处理电流输入转电压输出的场景，可以用运放+反馈电阻实现，也可以用共射电路实现

简单说：****共射是结构，电压放大是功能，跨阻是用途。****

三、三者的区别

对比项	共射放大电路	跨阻放大器	电压放大器
-----	-----	-----	-----
输入信号类型	电压	电流	电压
输出信号类型	电压	电压	电压
增益单位	无量纲 (V/V)	Ω (V/A)	无量纲 (V/V)
输入阻抗	中等 ($k\Omega$ 级)	极低 (虚地)	理想为 ∞
输出阻抗	中等	低	理想为 0
频率特性	一般	受 GBW 和寄生电容限制	灵活设计
典型实现	BJT 共射拓扑	运放+反馈电阻	多种拓扑

四、应用场景

**共射放大电路: **

适用于需要中等增益、对输入输出阻抗要求不严格的场合，常作为多级放大的中间级。在射频电路中也常用，如本次 LGAD 前放板的一级放大。

**跨阻放大器: **

专门用于电流源型传感器的信号读出，典型应用包括：

- 光电二极管信号读出（光功率计、激光测距）
- 光电倍增管（PMT）信号读出
- 粒子探测器（如 LGAD）信号读出
- 电流型 DAC 输出转换

输入端虚地特性使传感器寄生电容两端电压近似为零，避免电容充放电对信号带宽的影响。

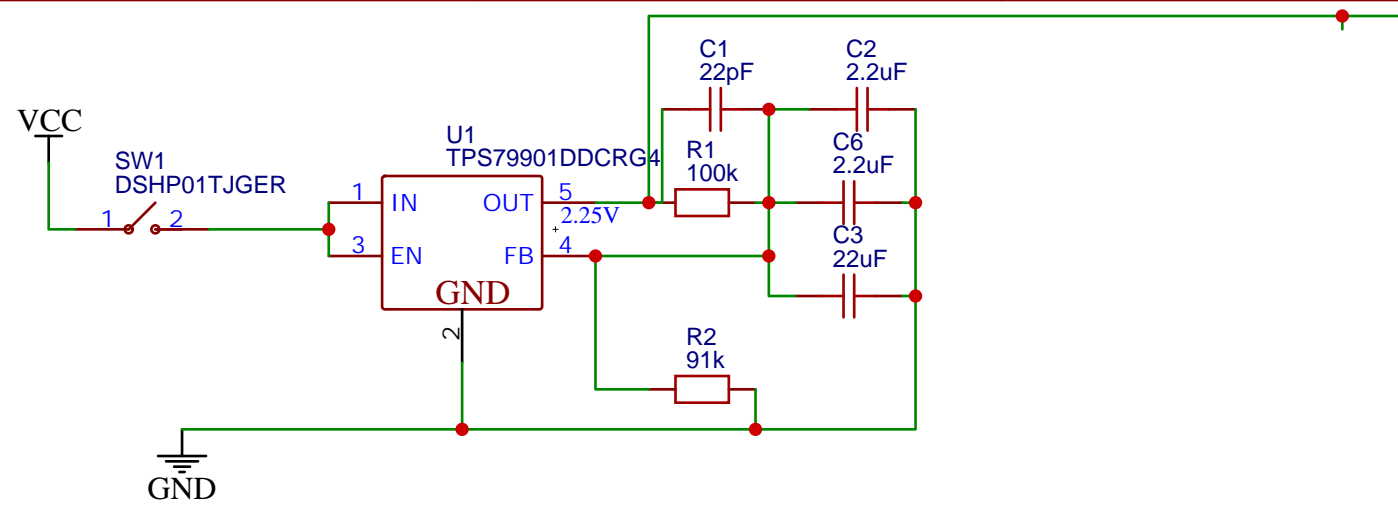
**电压放大器: **

应用最广泛，几乎所有需要电压信号放大的场合均可使用，包括：

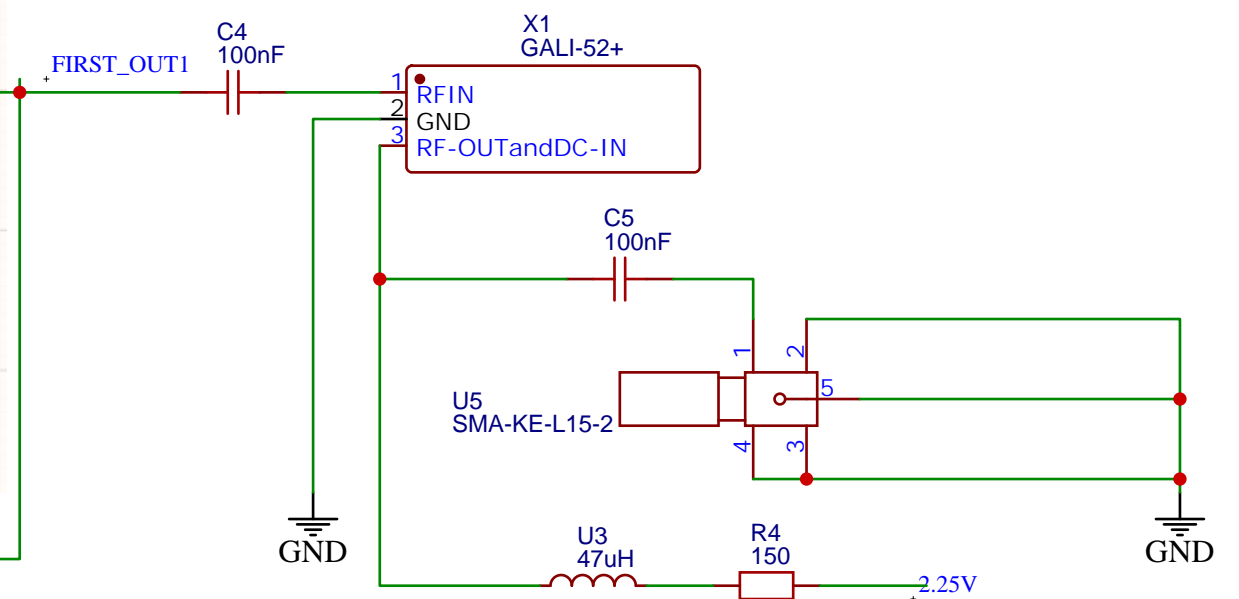
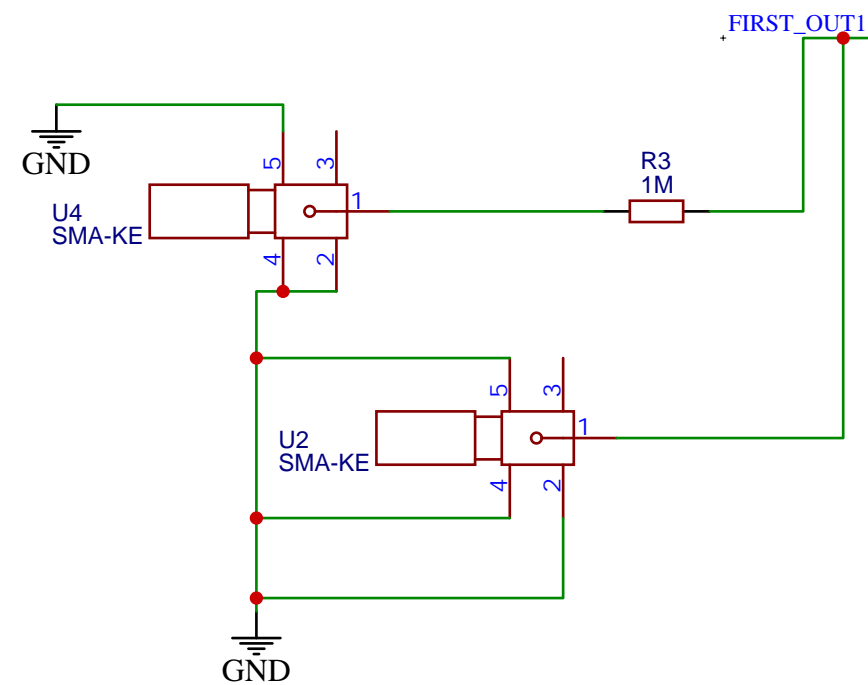
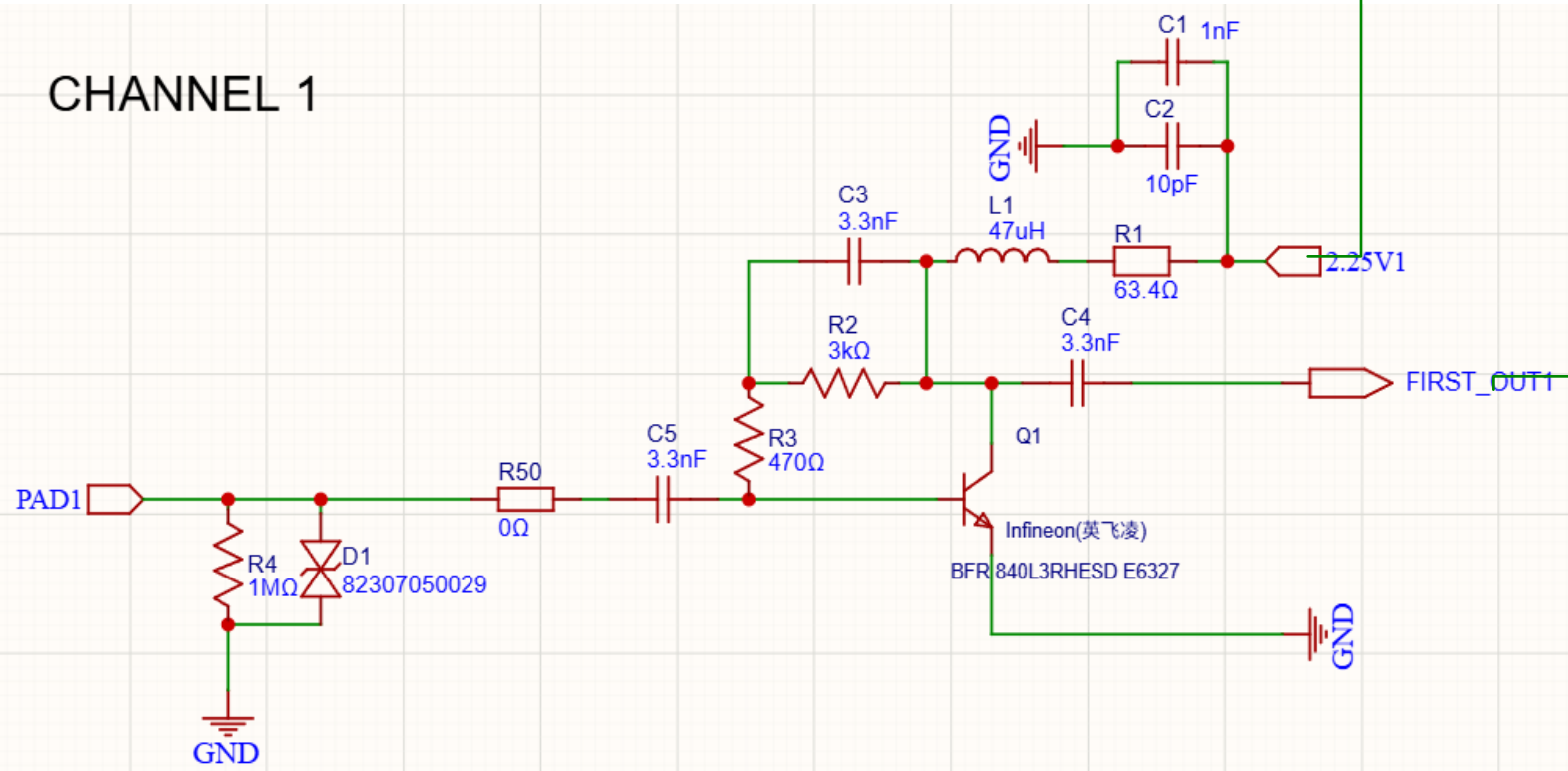
- 音频放大
- 仪表放大（精密测量）
- 运算放大电路（积分、微分、滤波）
- 传感器信号调理

五、总结

在粒子物理探测器读出电路中，三种放大器往往配合使用：LGAD 产生微弱电流脉冲，首先经过**跨阻放大器**转换为电压信号，再经过**共射放大电路**或**电压放大器**进一步放大至 ADC 可采集的幅度，最终完成信号数字化。



CHANNEL 1



TITLE: Sheet_1		REV: 1.0
Company: Your Company		Sheet: 1/1
Date: 2026-06-18		Drawn By: eda_ibojrwx

