

共射放大电路、跨阻放大器与电压放大器

关系、区别与应用场景

一、基本概念

1. 共射放大电路 (Common-Emitter Amplifier)

共射放大电路是以双极型晶体管 (BJT) 为核心、发射极作为输入与输出回路公共端的基本放大组态。输入信号从基极 (B) 馈入，放大后的输出信号从集电极 (C) 取出。该电路能够同时提供电压增益与电流增益，是模拟电子技术中最基础、应用最广泛的反相放大器拓扑。其电压增益约为 $-g_m \cdot R_C$ (其中 g_m 为晶体管跨导， R_C 为集电极负载电阻)，负号表示输出与输入相位相反 (180 度相移)。共射放大电路的主要特点包括：增益高、输入阻抗中等 (约数千欧姆)、输出阻抗较高 (约等于 R_C)、频率响应受米勒效应限制。

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

跨阻放大器是一种将输入电流信号转换为输出电压信号的放大器，其增益量纲为阻抗 (V/A，即欧姆)，故称“跨阻”。最典型的 TIA 由运算放大器与反馈电阻 R_f 构成：输入电流经反馈电阻流向输出端，运放的反相输入端形成“虚地” (Virtual Ground)，使得输入阻抗极低。理想条件下， $V_{out} = -I_{in} \cdot R_f$ 。TIA 的核心优势在于极低的输入阻抗 (接近零)，这使其特别适合与高阻抗电流源 (如光电二极管、光电倍增管) 直接接口，避免电流信号在传输过程中因寄生电容而衰减。实际设计中需权衡增益 (R_f)、带宽与噪声三者之间的关系，反馈电阻越大增益越高，但寄生电容引起的带宽下降也越显著。

3. 电压放大器 (Voltage Amplifier)

电压放大器是最通用的放大器类别，输入为电压信号，输出亦为电压信号，增益为无量纲的电压比值 (V/V)。电压放大器的理想模型为：无穷大的输入阻抗 (不从前级索取电流)、零输出阻抗 (对后级表现为理想电压源)，以及恒定的电压增益。实际实现中，电压放大器可由多种拓扑完成：含运算放大器的同相/反比例放大器、仪表放大器 (三运放结构)、差分放大器，以及分立元件构成的共射、共源、共基等组态。电压放大器是模拟信号链中最常见的功能模块，几乎所有需要“把信号放大”的场景，最终都以电压放大的形式呈现。

二、三者的关系

三者并非并列的三类器件，而是从不同角度对放大电路的分类与描述。理解它们之间的关系，有助于从本质上把握放大器设计的核心逻辑。

1. 从信号域角度：电压放大器与跨阻放大器是两种不同的信号转换类型

按输入/输出信号类型，放大器可划分为四类：电压放大器 ($V \rightarrow V$)、跨阻放大器 ($I \rightarrow V$)、跨导放大器 ($V \rightarrow I$) 和电流放大器 ($I \rightarrow I$)。电压放大器与跨阻放大器同属输出电压的放大器，但前者的输入是电压，后者的输入是电流。这是二者最本质的区别，也决定了输入端阻抗的设计方向截然相反：电压放大器追求高输入阻抗以不加载被测电压节点，而跨阻放大器追求极低输入阻抗以便吸收全部输入电流。

2. 从电路拓扑角度：共射放大电路是实现电压放大器的一种基本拓扑

共射放大电路在功能上属于电压放大器 ($V \rightarrow V$)。当信号源阻抗较低、可直接驱动基极时，该电路对输入电压信号进行反相放大，输出为电压。从这个意义上说，共射放大器是电压放大器的一个具体实现方案。但需注意，共射电路同时提供电流增益，所以它并非纯粹的电压放大器，也可以作为驱动后级电流需求的功率放大器。

3. 从设计目的角度：跨阻放大器可视为针对电流源优化的电压放大器

当信号源是电流型 (如光电二极管在光伏模式下工作时)，若直接用普通电压放大器接收，通常需要在输入端跨接采样电阻，把电流先转换为电压；这一电阻会引入热噪声 (Johnson 噪声)，并与信号源的寄生电容形成低通

滤波，严重限制带宽。TIA 通过运放虚地效应，将电流-电压转换与低输入阻抗融为一体，本质上是一种专门为电流源信号优化的电压输出放大器。

三、核心区别

下表从关键维度对比三种放大电路的特性：

对比维度	共射放大电路	跨阻放大器 (TIA)	电压放大器 (运放型)
输入信号类型	电压 (基极输入)	电流 (反相端输入)	电压 (同相/反相端)
输出信号类型	电压 (反相)	电压 (反相)	电压 (同相或反相可选)
增益量纲	V/V (无量纲)	V/A (欧姆)	V/V (无量纲)
典型增益范围	几十 ~ 几百	$10^3 \sim 10^8$ V/A	$1 \sim 10^5$ V/V
输入阻抗	中等 (kOhm 级)	极低 (虚地效应, 近似 0)	极高 (MOhm 级以上)
输出阻抗	较高 ($\approx RC$)	极低 (运放输出级)	极低 (运放输出级)
核心器件	BJT + 偏置电阻	运算放大器 + R_f	运算放大器 + 电阻网络
带宽限制因素	米勒电容 (C_{mu})	$R_f \times C_f$ 极点	增益带宽积 (GBW)
噪声主导因素	散弹噪声 + 热噪声	R_f 热噪声 + 运放 I_n	运放输入电压/电流噪声
相位关系	反相 (180 度相移)	反相 (180 度相移)	同相或反相可选

四、典型应用场景

1. 共射放大电路

共射放大电路是分立元件模拟电路中最常用的增益级，典型应用包括：音频前置放大、射频小信号放大、传感器信号调理，以及作为多级放大器的中间增益级。在集成电路中，共射/共源结构也是运算放大器内部差分输入级和增益级的基础单元。

2. 跨阻放大器 (TIA)

TIA 的核心应用几乎全部围绕“将微弱电流信号转换为可用电压”展开。最经典的应用是光电检测系统：光电二极管在零偏置或反偏条件下输出与光强成正比的微弱光电流，TIA 将其线性转换为电压，广泛应用于光纤通信接收端、激光雷达、光谱仪探测器读出电路、光电编码器、质谱仪、扫描隧道显微镜、电化学工作站，以及医疗电子中的荧光检测和 CT 探测器光电转换模块。

3. 电压放大器

电压放大器是模拟电子系统中最普遍的功能模块，应用范围覆盖音频系统、仪器仪表、工业控制、通信系统以及有源滤波器、积分器、微分器等信号调理电路。其具体实现可以是运放放大器、仪表放大器、隔离电压放大器、可变增益放大器等多种形式。

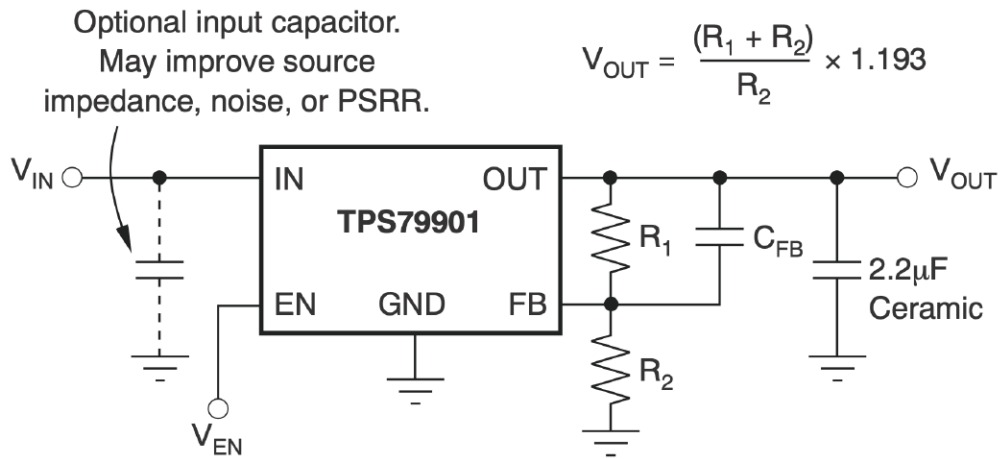
五、总结

共射放大电路、跨阻放大器与电压放大器三者的关系可概括为：其一，共射放大电路是电压放大器的一种具体电路实现，以 BJT 为核心，是理解有源放大电路工作原理的基础；其二，跨阻放大器是电压放大器在电流输入场景下的工程变体，通过运放虚地机制解决电流源信号的阻抗匹配与带宽问题；其三，电压放大器是最广义的概念，涵盖所有输入/输出均为电压的放大电路。

从工程选型角度看：若信号源是电压型且对噪声和精度要求适中，直接用运放构成的电压放大器最为简便；若信号源是电流型，则必须使用 TIA 以获得更好的信噪比和带宽；若设计的是分立元件放大器或在特定频率下需要优化噪声，共射 (或共源) 放大电路仍是不可或缺的基本功。

科创6

第一部分 低压电源—TPS79901DDCR



Typical Application Circuit: Adjustable Voltage Version

图 1 — 截图一

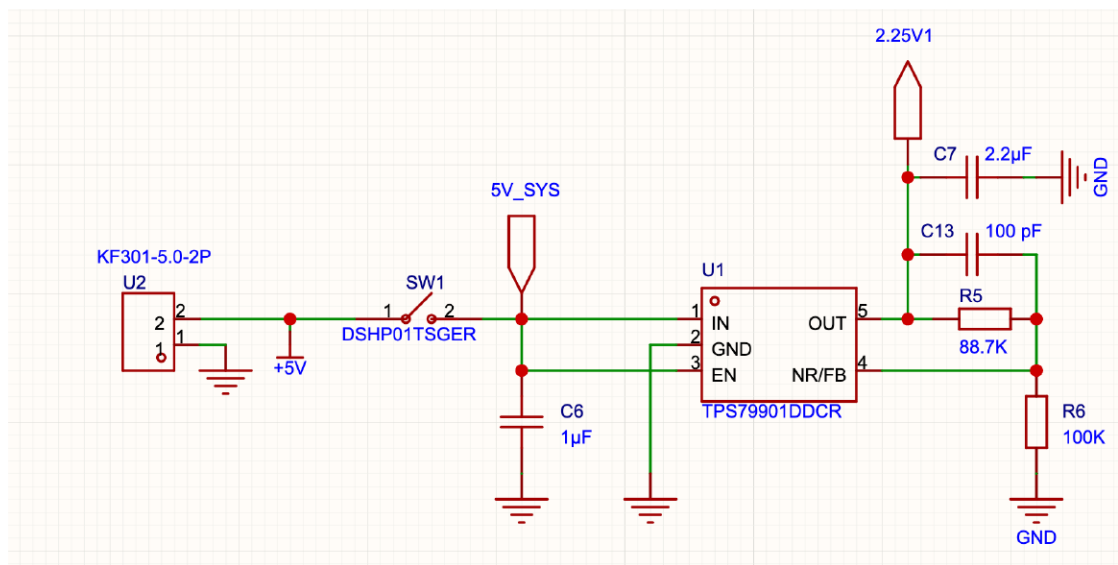


图 2 — 截图二

一、整体电源路径

本设计中, 低压电源部分由外部 5 V 输入, 经板上开关 SW1 得到 5V_SYS, 再通过 TPS79901DDCR 可调式 LDO 产生一级放大电路所需的 2.25 V 电源。

二、输出电压设定

TPS79901 为可调输出版本, 输出电压由反馈电阻 R_5 、 R_6 决定。根据数据手册给出的可调输出公式:

$$V_{\text{OUT}} = 1.193 \times \frac{R_5 + R_6}{R_6}$$

本设计取 $R_5 = 88.7 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 100 \text{ k}\Omega$, 计算得到:

$$V_{\text{OUT}} = 1.193 \times \frac{88.7 \text{ k} + 100 \text{ k}}{100 \text{ k}} \approx 2.25 \text{ V}$$

因此该电阻组合能够产生题目所需的 2.25 V 电源。

三、输入电容 C_6

输入端电容 C_6 取 $1 \mu\text{F}$, 连接在 5V_SYS 与 GND 之间, 作为 TPS79901 的输入去耦电容。数据手册建议在输入端使用“0.1 μF to $1 \mu\text{F}$ low ESR capacitor”, 因此 $1 \mu\text{F}$ 符合推荐范围。该电容用于改善输入电源的瞬态响应、噪声抑制和纹波抑制, 并应靠近 TPS79901 的 IN 引脚放置。

四、输出电容 C_7

输出端电容 C_7 取 $2.2 \mu\text{F}$, 连接在 2.25V1 与 GND 之间。数据手册要求 TPS799 可稳定工作于“ $2.2 \mu\text{F}$ or greater”的陶瓷输出电容, 因此本设计选用 $2.2 \mu\text{F}$ 作为输出稳定电容, 并尽量靠近 OUT 引脚放置。

五、反馈电容 C_{13}

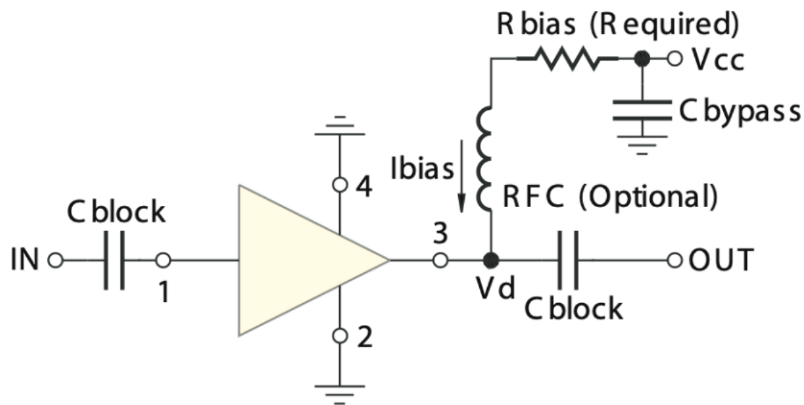
反馈电容 C_{13} 取 100 pF , 连接在 OUT 与 FB 之间, 即并联在上反馈电阻 R_5 两端。数据手册指出“ C_{FB} ... is required for stability”, 因此 TPS79901 可调版本需要该反馈电容来保证环路稳定性。数据手册给出的 C_{FB} 可选范围为 3 pF 到 1 nF , 本设计采用 100 pF , 处于推荐范围内, 并可改善瞬态响应、稳定性及一定程度的噪声表现。

六、使能引脚 EN

EN 引脚接到 5V_SYS, 使得板上开关打开后 TPS79901 自动使能。数据手册说明“EN can be connected to IN”,

第二部分 二级放大通路—GALI-52+

Recommended Application Circuit



Test Board includes case, connectors, and components (in bold) soldered to PCB

图 3 —截图一

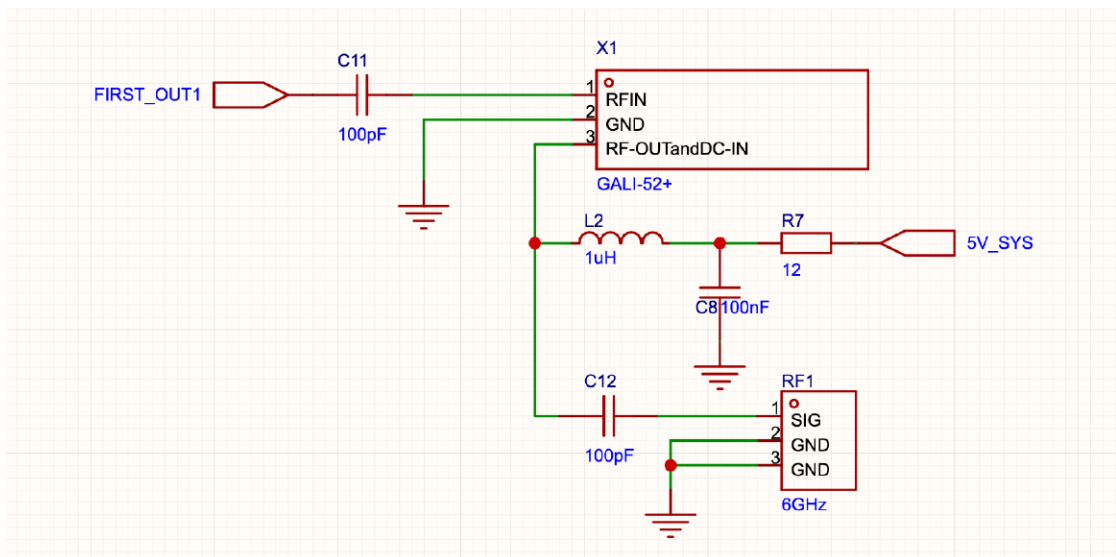


图 4 —截图二

一、整体方案

该部分用于实现题目要求中的“FIRST_OUT1 → 商用放大器芯片 → 输出接口”的二级放大通路。

选择 GALI-52+ 的原因是它是一款宽带 InGaP HBT MMIC 放大器，内部已做 50Ω 匹配，适合连接 50Ω 射频传输线、SMA 接口和示波器输入。数据手册给出的频率范围为 DC-2 GHz，

在 1 GHz 时典型增益为 20.8 dB，折算为电压增益约为 $10^{20.8/20} \approx 11$ 倍，基本符合题目中二级放大约 10 倍的要求。因此选用 GALI-52+ 作为一级放大电路之后的商用宽带放大器。

二、输入隔直电容 C_{11}

C_{11} 取 100 pF，连接在 FIRST_OUT1 与 GALI-52+ 的 RFIN 引脚之间，作为输入隔直电容。数据手册说明 RF IN 引脚需要根据工作频率选择外部 DC blocking capacitor，因此输入端必须加入隔直电容，防止前一级直流偏置影响 GALI-52+ 的输入工作点。本设计信号上升沿约 500 ps、脉宽约 2 ns，包含较高频率成分，因此 C_{11} 选用 100 pF 的 C0G/NP0 高频电容。100 pF 与 50Ω 系统形成的高通截止频率约为 31.8 MHz，对高速脉冲的主要高频成分影响较小，同时比 10 nF 这类大电容更适合高频射频通路。

三、输出隔直电容 C_{12}

C_{12} 取 100 pF，连接在 GALI-52+ 的 RF-OUT/DC-IN 引脚与 RF1 输出接口之间，作为输出隔直电容。GALI-52+ 的第 3 脚同时承担 RF 输出和直流供电输入功能，该节点存在直流偏置电压。若不加输出隔直电容，直流电压会直接送到后级示波器或外部设备。因此 C_{12} 用于隔离直流，只让交流射频/高速脉冲信号输出。 C_{12} 同样选用 100 pF C0G/NP0 高频电容，以保证较好的高频性能。

四、偏置限流电阻 R_7

R_7 取 12Ω ，作为 GALI-52+ 的偏置限流电阻。数据手册给出的推荐工作电流为 50 mA，器件典型工作电压为 4.4 V。本设计采用 5V_SYS 供电，则偏置电阻可按下式估算：

$$R = \frac{V_{CC} - V_D}{I_D} = \frac{5 \text{ V} - 4.4 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 12 \Omega$$

因此 R_7 取 12Ω 是为了在 5 V 供电条件下使 GALI-52+ 工作在约 50 mA 的典型偏置电流附近。

五、射频扼流电感 L_2

L_2 取 $1 \mu\text{H}$ ，作为 RF choke，即射频扼流电感。GALI-52+ 的 RF-OUT/DC-IN 引脚既要输出射频信号，又要从 5V_SYS 获得直流偏置，因此需要通过电感把直流电源送入第 3 脚，同时阻止射频信号泄漏到电源线上。 $1 \mu\text{H}$ 电感在高频下具有较高感抗，例如在 100 MHz 时感抗约为 628Ω ，可以起到隔离射频与电源的作用。

六、偏置旁路电容 C_8

C_8 取 100 nF，连接在 R_7 与 L_2 中间节点到 GND，作为偏置电源旁路电容。数据手册推荐应用电路中在偏置网络中设置 C_{bypass} ，本设计中的 C_8 就对应这个旁路电容。它的作用是为偏置节点提供交流接地，使射频噪声和电源纹波被旁路到地，减少射频信号通过偏置网络耦合回 5V_SYS。

七、输出接口 RF1

RF1 选用 6 GHz 射频输出接口，用于将二级放大后的信号输出到示波器。由于 GALI-52+ 内部匹配到 $50\ \Omega$ ，输出端应按照 $50\ \Omega$ 射频系统设计，PCB 走线应尽量采用 $50\ \Omega$ 控制阻抗，示波器端也应设置为 $50\ \Omega$ 输入或外接 $50\ \Omega$ 端接电阻，以减少反射、振铃和波形失真。

第三部分 LGAD 高压偏置接口电路

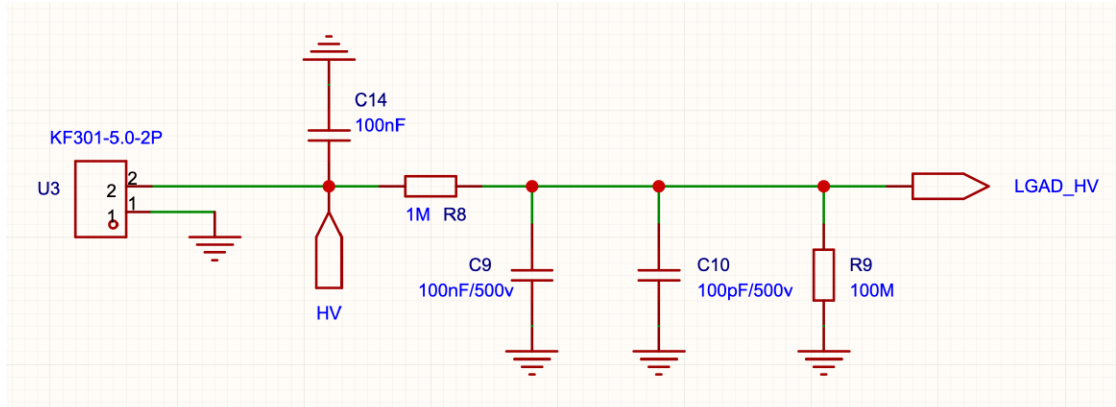


图 5 一截图

一、整体方案

本部分电路用于提供 LGAD 所需的直流高压偏置接口。外部高压电源通过 U3 接入，经过输入端滤波、限流电阻、输出端滤波和泄放电阻后，输出到 LGAD_HV 网络，作为 LGAD 的高压偏置端。

二、高压输入端子 U3

U3 选用 KF301-5.0-2P 作为外部高压输入端子，其中 2 脚接高压输入 HV，1 脚接 GND。该端子结构简单，便于接入外部直流高压源。但实际使用时需要确认端子的额定耐压是否高于 LGAD 所需偏置电压；若 LGAD 偏置电压较高，应改用额定耐压更高的高压端子或 SHV 高压接口。

三、输入滤波电容 C_{14}

C_{14} 取 $100\ \text{nF}$ ，接在高压输入端 HV 与 GND 之间，作为输入侧滤波电容。它用于抑制外部高压电源输入端的低频纹波和电源噪声，使进入板内的高压更加稳定。由于该电容直接跨接在高压输入与地之间，因此必须选择耐压足够的高压电容。若偏置电压接近 $500\ \text{V}$ ，建议将电容耐压提高到 $1\ \text{kV}$ ，以留出安全裕量。

四、限流/滤波电阻 R_8

R_8 取 $1\text{ M}\Omega$ ，串联在高压输入与 LGAD_HV 之间，作为高压限流和滤波电阻。该电阻的作用有三点：第一，在异常情况下限制流入 LGAD 的电流，起到保护作用；第二，与后级滤波电容 C_9 、 C_{10} 形成 RC 低通滤波，进一步降低高压电源噪声；第三，使高压电源与 LGAD 偏置节点之间有一定隔离，减小高压电源纹波对探测器信号的影响。实际选型时 R_8 应采用耐压足够的高压电阻，必要时可由多个电阻串联实现。

五、低频滤波电容 C_9

C_9 取 $100\text{ nF}/500\text{ V}$ ，接在 R_8 后端的 LGAD_HV 节点与 GND 之间，作为低频滤波电容。 R_8 与 C_9 形成低通滤波结构，其时间常数为：

$$\tau = R_8 \times C_9 = 1\text{ M}\Omega \times 100\text{ nF} = 0.1\text{ s}$$

对应截止频率约为：

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \approx 1.6\text{ Hz}$$

因此 C_9 主要用于抑制高压偏置中的低频纹波和慢变化噪声，使 LGAD 的直流偏置更稳定。

六、高频滤波电容 C_{10}

C_{10} 取 $100\text{ pF}/500\text{ V}$ ，接在 LGAD_HV 与 GND 之间，作为高频滤波电容。实际电容在高频下会受到寄生电感和自谐振频率影响，较大的 100 nF 电容不一定能很好地旁路高频噪声，因此并联一个较小的 100 pF 电容，用于改善高频噪声旁路效果。 C_{10} 建议选用 C0G/NP0 类型的高压电容，以获得较好的高频特性和稳定性。

七、泄放电阻 R_9

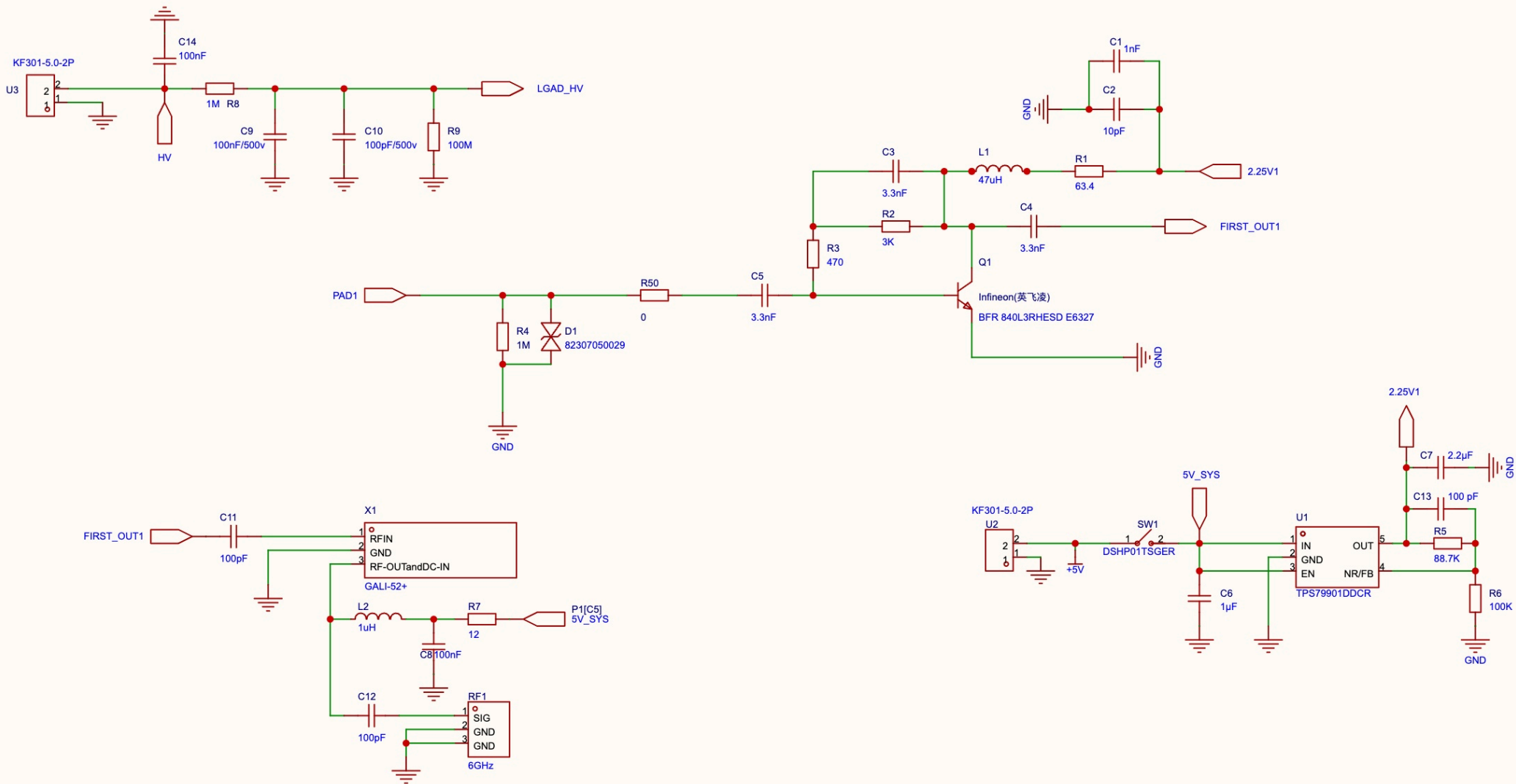
R_9 取 $100\text{ M}\Omega$ ，接在 LGAD_HV 与 GND 之间，作为高压泄放电阻。其作用是在关闭高压电源后，缓慢释放 C_9 、 C_{10} 以及 LGAD_HV 节点上的残余电荷，避免电路长时间带电。 R_9 不能取太小，否则会与 R_8 构成明显分压。当前 $R_8 = 1\text{ M}\Omega$ ， $R_9 = 100\text{ M}\Omega$ ，直流分压关系为：

$$V_{\text{LGAD_HV}} = \text{HV} \times \frac{100\text{ M}\Omega}{1\text{ M}\Omega + 100\text{ M}\Omega} \approx 0.99\text{ HV}$$

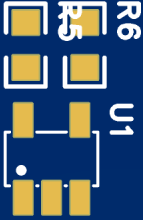
因此 R_9 对高压输出的影响约为 1%，可以接受，同时能够起到泄放作用。实际选型时 R_9 同样需要使用耐压足够的高压电阻，必要时采用多个电阻串联。

八、LGAD_HV 网络说明

LGAD_HV 为 LGAD 的高压偏置网络名，用于连接 LGAD 的高压偏置焊盘。它应与一级放大器输入端 PAD1 区分开。PAD1 表示 LGAD 的信号读出端，连接一级放大器输入；LGAD_HV 表示 LGAD 的直流高压偏置端，连接本高压滤波模块。二者同属于 LGAD 器件相关连接，但不是同一个电气网络。



原理图	Schematic1		创建日期	2026-06-17
			更新日期	2026-06-19
板子	Board1		图页	P1
绘制	New Project_2026-06-17_01-00-11			
审阅				
	版本	尺寸	页 1 共 1	
嘉立创EDA		V1.0	A4	嘉立创EDA



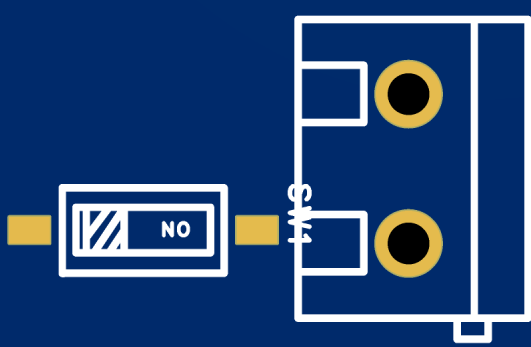
R1



R2



R4



C13



U3

