

一、基本定义

1. 共射放大电路 (BJT 共射)

以双极型晶体管 BFR840 这类 NPN 管为核心, 发射极公共接地, 电压放大、电流放大同时具备, 输入电流控制输出电压, 属于通用有源放大拓扑。

输入: 基极电流 / 电压; 输出: 集电极电压; 核心增益: 电压增益 $A_v = -\beta \frac{R_c}{r_{be}}$,

负号代表反相。

2. 跨阻放大器 TIA (Transimpedance Amplifier)

核心指标为跨阻增益 $R_m = \frac{V_{out}}{I_{in}}$, 输入为电流信号, 输出为电压, 专门用于弱电流

转电压场景。

典型结构: 运放 + 反馈电阻; 射频场景可用共射并联电阻等效 TIA; 光电探测器、粒子探测器前置放大标配。

3. 电压放大器 VOA (Voltage Amplifier)

理想模型: 输入阻抗无穷大、输出阻抗 0, 仅对电压信号线性放大, 增益 $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$,

不处理电流信号, 输入无分流。

分为运算放大器电压放大、射频宽带电压放大器 (如 GALI 系列)。

二、三者区别表

对比维度	共射放大电路	跨阻放大器 (TIA)	电压放大器
输入信号类型	电压 / 电流均可	仅电流信号	仅电压信号
核心增益参数	电压增益、电流增益	跨阻增益 (Ω)	电压增益 (无量纲)
输入阻抗	中等 ($k\Omega$ 级)	极高 (反馈抵消输入压降, 适配弱电流)	极高 (理想无穷大)
输出阻抗	高 (集电极输出)	低 (运放输出)	极低
相位特性	180° 反相	同相 / 反相由反馈决定	同相 / 反相可选
带宽特性	分立 BJT 带宽中等, 寄生电感电容限制高频	高速 TIA 可至 GHz, 适配纳秒脉冲	射频电压放大器宽带平坦
噪声特性	基极电流噪声、集电极散粒噪声	优化低输入电流噪声, 适配微弱电流	电压噪声为主, 电流噪声可忽略

三、电路内在关联

1. 拓扑包含关系

共射电路可等效简易 TIA：基极输入电流 (I_{in}) ，集电极输出 $V_{out} = -I_{in} \cdot \beta R_c$ ，跨阻增益 $R_m = -\beta R_c$ ；题图中 LGA 探测器 PAD1 输出微弱电荷电流，一级共射本质就是分立 TIA。

TIA 后级必须搭配电压放大器：TIA 完成电流转电压，输出电压幅度小，需要电压放大器做二级增益提升（本题二级放大 10 倍即电压放大器）。

完整信号链：探测器弱电流 \rightarrow 共射 TIA (I \rightarrow V) \rightarrow 电压放大器（电压幅度放大），三者级联构成完整前置放大链路。

2. 信号转换逻辑

电流源信号（探测器）优先 TIA，电压源信号优先电压放大器；共射是兼容两种输入的通用分立放大单元，可作为低成本前置 TIA 使用。

四、典型应用场景

1. 共射放大电路

低成本分立前置放大：粒子探测器、光电二极管初级放大（题图 LGA 探测器一级放大）；

中频模拟信号放大、开关驱动；

劣势：高频寄生大，高速纳秒脉冲需搭配 LC 匹配网络（题图 L1、C3、C4 匹配电路）。

2. 跨阻放大器 (TIA)

微弱电流检测：光电探测器、硅光电倍增管、辐射探测器 (LGAD 探测器)；

高速光通信接收端，处理 pA 级微弱脉冲电流；

要求：极低输入电流噪声、高输入阻抗、快上升沿（匹配本题 500ps 上升沿信号）。

3. 电压放大器

射频宽带信号幅度放大：本题二级 GALI-52+，固定 10 倍电压增益；

仪表缓冲、示波器输入缓冲、信号幅度提升；

纯电压信号级联，不适合直接接电流型探测器。

模块一 TPS79901DDCR 2.25V 稳压电源模块（原图正上方）器件选型理由

TPS79901DDCR：超低噪声、低输出纹波 LDO，适配 500ps 窄脉冲高速信号；SOT23 小封装节省版面，5V 输入范围匹配板载低压输入；一级放大偏置电源必须低噪声，避免高压杂波淹没微弱探测器脉冲；

拨动开关 SW1：实现整机板载通断，无需插拔外部 5V 电源；断开后 5V_MAIN 掉电，LDO 同步关断，无静态功耗；

1 μ F 输入 / 输出陶瓷电容：补偿 LDO 环路稳定性，滤除 5V 输入低频纹波，抑制负载瞬态电压跌落；

FB 分压电阻：TPS79901 为可调输出 LDO，悬空 FB 引脚输出电压失控，分压网络精准锁定 2.25V 基准电压。

模块二 GALI-52+ 二级射频放大输出模块（原图右边）器件选型理由

GALI-52+：10 倍固定增益、GHz 宽带宽，适配 500ps 窄脉冲单 5V 供电，内置 50 Ω 阻抗匹配；

100nF 隔直电容 C1/C_OUT：隔离前后级直流电位，避免静态电位互相干扰，

仅传输交流脉冲；

680nH 扼流圈 + C3：扼流圈隔离射频信号倒灌 5V 电源，电容滤除电源纹波，防止放大器自激；

TP1 单针探针端子：标准示波器探头直插接口，不用临时飞线，方便观测放大后脉冲波形，外壳接地消除探头电磁干扰。

模块三 CHANNEL1 BFR640 一级前置放大模块（原图右上方）器件选型理由

DSHP01TSGER：专用高压同轴连接器，同轴屏蔽结构隔绝高压引线电磁辐射，防止高压噪声耦合进微弱低压脉冲信号；耐压规格适配 LGAD 探测器高压偏置需求；

100k Ω 高压电阻：安全限流防护，高压短路、探测器击穿时限制回路漏电流，保护前级放大三极管；

分级高低频滤波组合：

1 μ F 电解电容：滤除高压源工频、低频纹波；

磁珠 + 100pF NPO 高频电容：抑制高频耦合干扰，匹配 500ps 快上升沿信号，避免高压杂波淹没探测器原始脉冲；