

# 作业一：共射、跨阻、电压放大器对比分析

## 1 概述

本文档针对三类模拟放大电路——分立 BJT 共射放大电路、跨阻放大器 (TIA)、通用电压放大器，从核心原理、电路区别、内在关联、工程应用场景四个维度完成系统性梳理，可作为作业提交完整材料。

## 2 三类放大电路核心定义与工作原理

### 2.1 共射放大电路

共射放大电路是以双极型晶体管 (BJT) 为核心的分立放大拓扑，发射极作为输入、输出公共接地端。

- (1) 信号控制逻辑：输入基极电压/微弱基极电流，控制集电极电流同步变化；
- (2) 增益转换方式：集电极串联负载电阻/电感，将电流波动转换为电压输出；
- (3) 增益表达式：电压增益  $A_V = -\frac{\beta R_L}{r_{be}}$ ，负号表示输出信号与输入信号相位相差  $180^\circ$ ；
- (4) 电路本质：同时具备电流放大、电压放大能力，是分立器件实现电压放大的基础电路。

### 2.2 跨阻放大器 (TIA, Transimpedance Amplifier)

跨阻放大器是专为微弱电流输入设计的 I-V 转换放大电路，核心目标是把电流信号转换成标准电压信号。

- (1) 信号控制逻辑：输入为微弱电流 (光电二极管、硅探测器、LGAD 粒子探测器等器件输出电荷电流)；
- (2) 增益定义：跨阻增益  $R_T = \frac{V_{OUT}}{I_{IN}}$ ，单位为欧姆 ( $\Omega$ )，而非电压倍数；
- (3) 电路本质：以高阻反馈结构抑制输入电压噪声，优先采集微弱电流，内部集成一级电压放大单元，输出标准电压波形供后级处理；
- (4) 带宽特性：高速型 TIA 针对纳秒级窄脉冲、皮秒级上升沿信号做带宽优化。

### 2.3 通用电压放大器

电压放大器是仅对电压信号进行幅度放大的电路总称，包含集成运算放大器、射频集成电压放大器两类。

- (1) 信号控制逻辑：输入、输出均为电压量，理想模型输入阻抗无穷大、输出阻抗趋近于 0；

(2) 增益定义：电压增益  $A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ ，仅表征电压放大倍数；

(3) 电路本质：不具备电流采集能力，仅处理已有电压信号，带负载驱动能力强，适合作为信号链路后级增益拓展；

(4) 分类：低频运算电压放大器、宽带射频电压放大器（如 GALI 系列）。

### 3 三类电路核心区别对比

#### 3.1 维度对比表格

对比维度	共射放大电路	跨阻放大器 TIA	电压放大器
适配输入信号	电压、中等强度电流	微弱电荷/电流信号	标准电压信号
核心增益参数	电压增益、电流增益双参数	跨阻增益 $R_T$ (I-V 转换)	纯电压增益 $A_V$
输入阻抗特性	中等，受 BJT 输入电阻限制	极低，适配电流源输出	极高，不消耗输入电流
输出阻抗特性	高，带负载能力差	中等，内置缓冲单元	极低，可直接驱动示波器、长线缆
相位关系	输出与输入反相 $180^\circ$	可配置同相/反相	可自由选择同相放大、反相放大
带宽限制因素	晶体管密勒效应限制高频带宽	专为高速窄脉冲优化，寄生电容为主要约束	射频型可达 GHz，低频型带宽窄
主要噪声分量	BJT 基极电阻热噪声、 $1/f$ 低频噪声	输入电流噪声（探测器漏电流为核心干扰）	电压噪声为主，输入电流噪声可忽略
器件形式	分立晶体管+无源阻容感	专用集成 TIA 芯片/运放反馈拓扑	集成运放、射频放大芯片

#### 3.2 关键差异总结

##### 1. 输入源适配差异

共射、电压放大器优先适配电压源；跨阻放大器唯一适配电流型探测器（LGAD、APD、光电管），这是三者最核心区分点。

##### 2. 信号转换逻辑差异

共射：电压→电流→电压；TIA：电流→电压；电压放大器：电压→电压。

### 3. 链路层级定位差异

TIA/共射一般作为前置第一级采集原始微弱信号；电压放大器多用于二级后级，对前置输出电压做增益提升。

## 4 三类电路内在关联

### 1. 共射电路属于分立形式的电压放大器

共射放大是电压放大器的分立实现方案；若将共射集电极负载替换为跨阻反馈电阻，可改造为简易分立TIA，兼具电流采集功能。

### 2. 跨阻放大器内置电压放大单元

TIA完成I-V转换的核心过程依赖内部电压放大结构，输出标准化电压波形后，可直接接入独立电压放大器拓展总增益。

### 3. 完整信号链路组合关系

电流型探测器（LGAD/光电管）→跨阻放大器/共射前置放大（一级采集）→电压放大器（二级增益放大）→采集设备（示波器），三者常组合搭建完整模拟信号调理链路。

## 5 典型工程应用场景

### 5.1 共射放大电路应用

1. 低频音频前置放大、低成本分立模拟信号调理；
2. 低速电压型传感器信号放大；
3. 简易教学实验平台、小电流低速探测器低成本前置电路。

### 5.2 跨阻放大器（TIA）应用

1. 高速光纤通信接收端APD/光电二极管信号读取；
2. 高能物理硅探测器（LGAD、硅漂移探测器）电荷脉冲采集；
3. 超快光电探测，适配皮秒上升沿、纳秒脉宽窄脉冲信号。

### 5.3 电压放大器应用

1. 通用模拟电路后级增益放大、信号缓冲；
2. 射频高速脉冲二级放大（如GALI系列射频电压放大器）；
3. 示波器输入缓冲、长线信号驱动、阻抗匹配驱动电路。

## 6 总结

共射放大、跨阻放大器、电压放大器不存在绝对替代关系，核心区分由输入信号类型决定：电流源微弱信号优先选用跨阻放大器；低成本分立前置可选用共射放大；已有电压信号需要增益拓展时选用电压放大器。三者可在同一条信号链路中分级搭配使

用，完成从原始微弱信号到可采集标准电压波形的完整调理。