

第六次科创作业

1 了解共射放大电路，跨阻放大器，电压放大器，介绍这三个电路的关系、区别、应用场景等。

1.1 BJT 的三种基本组态

三极管，全称为双极结型晶体管，英文缩写为 BJT。三极管由两个背靠背 PN 结组成，结构有 NPN 和 PNP 两种。一个三极管引出三个引脚，分别为基极 B，集电极 C，发射极 E。图 1 给出三极管结构示意图和符号。

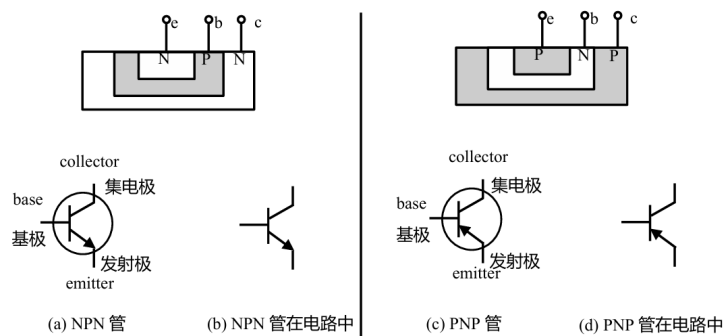


图 1: 三极管结构示意图和符号

基于三极管的三个引脚，将输入信号从基极 B 输入，输出信号从集电极 C 输出，发射极是输入与输出回路的公共端，即形成共射放大器 CE，如图 2。

同理，以集电极为公共端，信号从基极输入，从发射极输出，组成共集放大器 CC，也称为射极跟随器，如图 3。

同理，以基极为公共端，信号从发射极输入，从集电极输出，组成共基放大器 CB，如图 4。

以下将图 2、图 3、图 4 并排放置，便于比较：

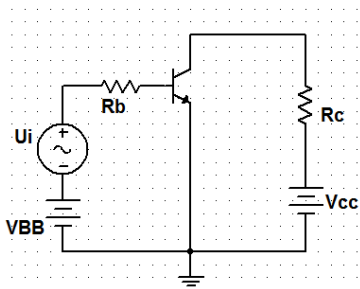


图 2: 共射放大器

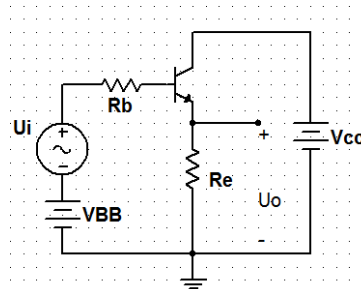


图 3: 共集放大器

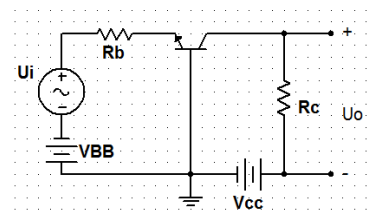


图 4: 共基放大器

三种接法中，共射电路既能放大电流又能放大电压，输入输出电阻居三种电路之中，输出电阻较大，频带较窄。常用作为低频电压放大电路的单元电路。共集电路只能放大电流不能放大电压，是

三种接法中输入电阻最大、输出电阻最小的电路，具有电压跟随的特点，常用于电压放大电路的输入和输出级。共基电路只能放大电压不能放大电流，输出电阻小，电压放大倍数、输出电阻与共射电路相当，是三种接法中高频特性最好的电路，常作为宽频带放大电路。

以上三种组态是基于 BJT 器件，目前 MOSFET 器件应用更占优势，类似的，也有三种组态，分别是共源、共漏、共栅三种基本接法。在基本放大电路的基础上，升级为多级放大，通过直接耦合、阻容耦合或其他耦合方式进行级联，实现更复杂的放大电路，以得到更大的放大系数和更好的幅频特性等参数。

1.2 四种基本放大器

根据上述接法，可以实现一个简单的放大器。然后将放大器与其他元器件相连，根据放大器的输入输出信号类型，定义如下四种基本放大器类型。

电压放大器将输入的电压信号放大为电压信号输出，可用简单模型压控电压源 (VCVS) 做等效，表征信号放大能力的参数是电压增益，定义为 $A_v = V_{out}/V_{in}$ 。对于电压放大器，要求输入电阻 R_i 无穷大，输出电阻 R_o 为零。

跨导放大器将输入的电压信号放大为电流信号输出，可用简单模型压控电流源 (VCCS) 做等效，表征信号放大能力的参数是跨导增益，定义为 $g_m = I_{out}/V_{in}$ (S)。对于跨导放大器，要求输入电阻 R_i 无穷大，输出电阻 R_o 无穷大。

电流放大器将输入的电流信号放大为电流信号输出，可用简单模型流控电流源 (CCCS) 做等效，表征信号放大能力的参数是电流增益，定义为 $A_i = I_{out}/I_{in}$ 。对于电流放大器，要求输入电阻 R_i 为零，输出电阻 R_o 无穷大。

跨阻放大器将输入的电流信号放大为电压信号输出，可用简单模型流控电压源 (CCVS) 做等效，表征信号放大能力的参数是跨阻增益，定义为 $R_T = V_{out}/I_{in}$ (Ω)。对于跨阻放大器，要求输入电阻 R_i 为零，输出电阻 R_o 为零。

1.3 电路之间关系与各自应用

共射放大电路为三极管三种接法之一，由基极输入电压信号，在集电极引出以输出电压信号，可提供很高的电压增益，是构成电压放大器的核心单位。在放大器基础上，添加一些元器件，将输入输出以不同信号相连接，可实现不同功能的放大器。共射放大电路作为放大电路的基本电路之一，多用于音频放大、射频放大、多级放大器的中间级等，是放大器的基础。

例如电压放大器的输入输出信号都是电压，共射放大电路可直接实现这个功能，另外运算放大器也可看作为一个电压放大器。输入级采用差分放大电路，有高输入阻抗的同时抑制共模信号，在一边共射放大电路的集电极引出单端输出信号，供后级处理。偏置电路由各种恒流源电路构成，为放大级的三极管提供稳定的静态工作点。中间级采用共射放大电路或共源放大电路，提供大的电压增益。输出级采用互补对称输出电路，如射极跟随器，实现推挽式放大，可以提供一个较低的输出阻抗。其具体结果如图 5 所示。电压放大器将微弱的电压信号放大为大电压信号，且带负载能力强，多用于传感器信号增强、音频信号线路驱动、滤波器驱动等电路。

跨阻放大器为针对于电流输入，电压输出的情况，在输入输出端添加一些元件，如电阻，根据串并联的不同连接方式，将信号直接或间接地转换为基本放大器可增益的信号，然后实现输入输出信号的增益。跨阻放大器将高内阻电流源变为电压源且输入阻抗低，常用于光电二极管的探测，将微弱的电流信号转换为大电压信号供仪器测量。

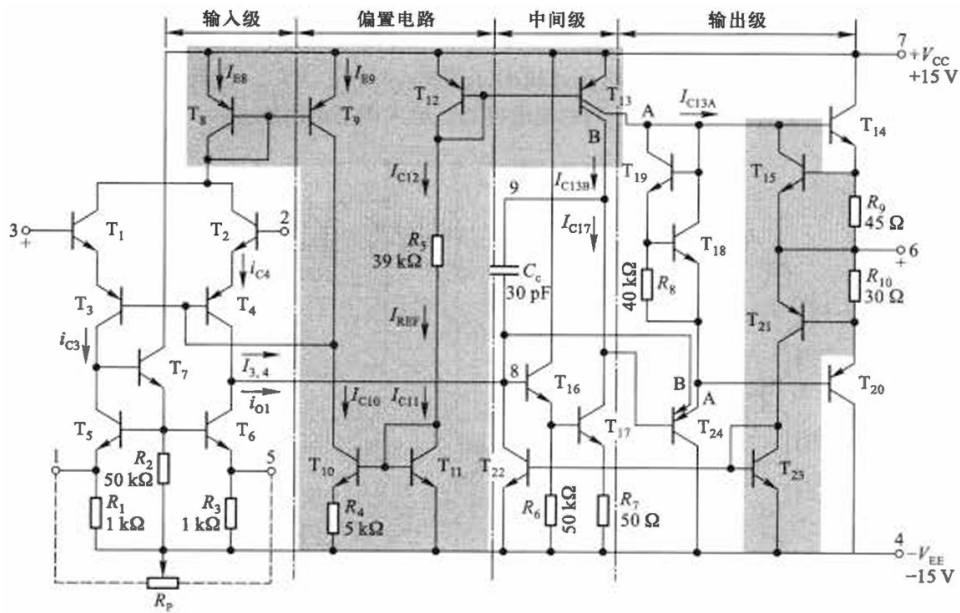


图 5: 电压放大器结构

2 根据左上所给的一级放大电路，设计 LGAD 完整的单通道前放板原理图信号通路：从 FIRST_OUT1 → 商用放大器芯片 → 输出接口（后续与示波器连接）

电源通路：

1. 5V → 一级放大中的 2.25V1
2. 5V → 二级放大器
3. 高压源 → LGAD 高压焊盘

其中 FIRST_OUT1 信号上升沿约 500ps，信号脉宽约 2ns。要求：

1. 低压 5V 输入，电源可板上开关；
2. 提供 LGAD 所需直流高压接口（考虑滤波，高频、低频？）；
3. 提供二级放大，约 10 倍；
4. 参考器件：TPS79901DDCR、GALI-52+、DSHPO1TSGER；
5. 注意实际的电容、电感并非理想；
6. 将画好的原理图导出成 pdf 提交，并说明设计思路，比如选用器件的理由、添加电阻/电容/电感的理由；
7. 不要求版图绘制，鼓励作为个人兴趣尝试。

图 6 给出两处电路的原理图。

为构建二级放大电路，查阅 GALI-52+ 器件的数据手册，有如图 7 推荐电路。

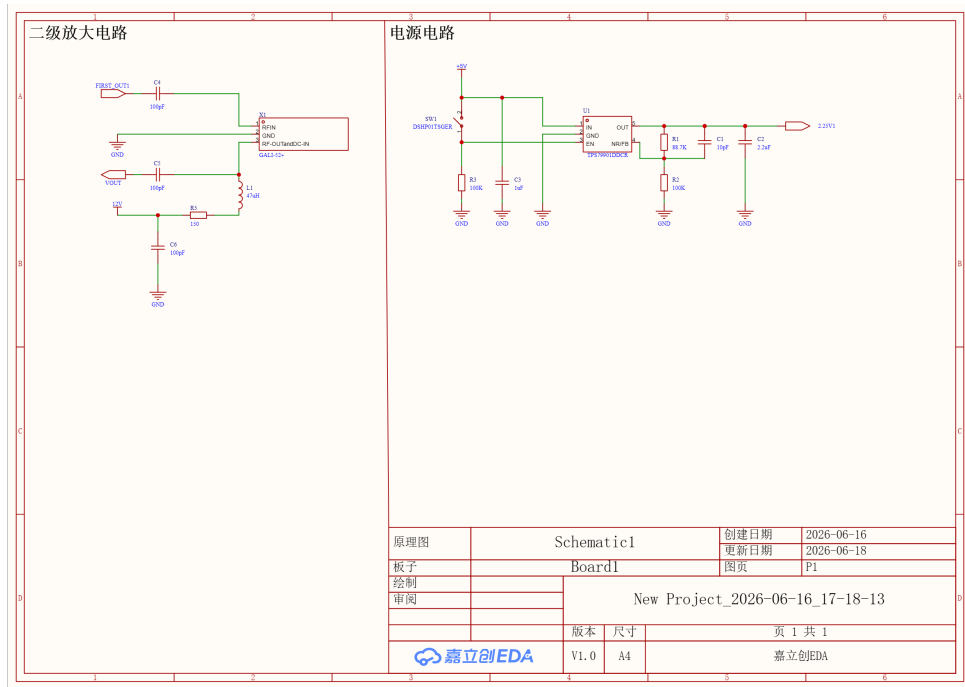


图 6: 二级放大电路 +2.25V 电源

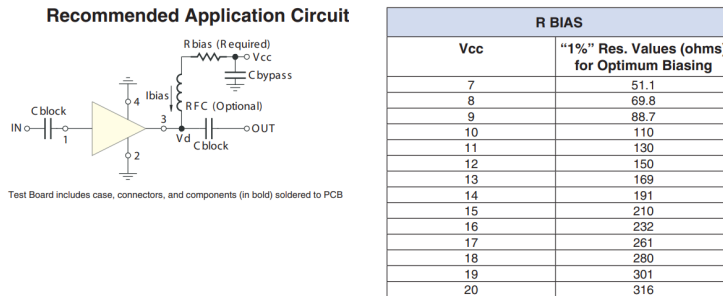


图 7: GALI-52+ 推荐电路

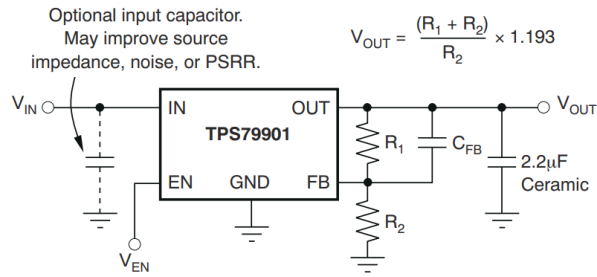
根据图中电路搭建好二级放大电路，后进行元器件参数的确定。数据手册中给出 V_{CC} 的值范围为 7~20V，选择常用电压值 12V。后根据此表格对应而给出 R_5 (R_{bias}) 的电阻值 150Ω。 C_4 (C_{block}) 和 C_5 (C_{block}) 为隔直电容，取典型值 100pF，用于隔离直流选通交流，前者滤除低频噪声，而后者隔离输出端直流电压。 C_6 (C_{bypass}) 为电源去耦合电容，取典型值 100pF，作用为为放大器电源引脚提供高频低阻抗接地路径，滤除电源线上的高频噪声。 L_1 (RFC (Optional)) 为一个可选元器件，作射频扼流圈的作用，通直流信号而阻射频信号，根据实际应用，此处焊接一个 47μH 的电感。

为构建二级放大电路，查阅 TPS79901DDCR、DSHP01TSGER 器件的数据手册，有如图 8 推荐电路。

根据图中电路搭建好二级放大电路，后进行元器件参数的确定。根据给出的公式

$$V_{OUT} = \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} \times 1.193$$

将 R_2 取典型值 100kΩ 后，代入公式计算的 R_1 取值为 88.7kΩ，提供 $V_{OUT} = 2.25V$ 的输出。 C_1 (C_{FB}) 作为反馈电容，用于稳定电压，手册指出，当并联值等于 250kΩ 时， C_{FB} 可在 3pF 1nF 范围内任意选择。本设计电阻并联值较小，因此选用较小的电容值 10pF 以兼顾稳定性，并确保快速启动。 C_2 作输出电容，根据手册规定为 2.2μF。 C_3 为输入电容，选择 1μF 以改善瞬态响应、噪声



典型应用电路：可调电压版本

图 8: TPS79901DDCR 推荐电路

抑制和纹波抑制。之后为添加电源可板上开关功能，于电源与使能端接 DSHPO1TSGER 开关后并联下拉电阻，以实现开关拨 1 断开时不工作，拨 2 闭合时工作，而选取 100kΩ 是因为导通时功耗小而断开时 EN 信号为低电平。

若考虑芯片统一供电的问题，将 5V 电压由 12V 电压提供，即通过一个降压电路从 12V 电压获得 5V 电压。考虑到 TPS79901DDCR 的输入电压需求和降压电路的性能，采用 LM2596T-5.0/NOPB 芯片进行构建，查阅其数据手册，由如图 9 典型应用。

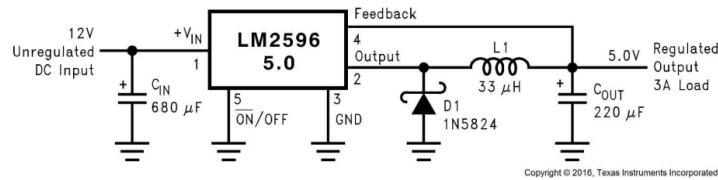


图 9: LM2596T-5.0/NOPB 典型应用

按照图中电路完成 12V 到 5V 转换电路，得到实现上述全部功能的原理图，如图 10 所示。

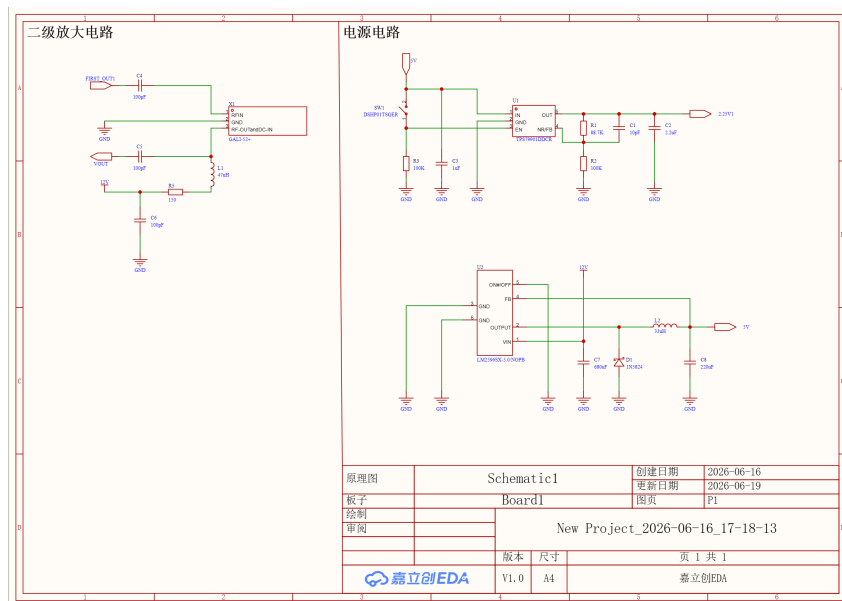


图 10: 完整原理图（二级放大电路 +5V 电源 +2.25V 电源）