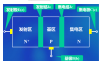
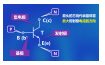
半导体三极管及放大电路基础

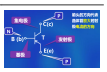
- 半导体三极管（晶体管）
  - 作用
    - 放大
    - 开关
  - 结构
    - 根据结构
      - NPN
      - PNP
    - 根据材料
      - 硅管
      - 锗管
  - 内部结构



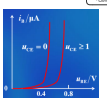
    - 发射区N+
      - 发射区E(e)
      - 发射结Je
    - 基区P
      - 基极B(b)
    - 集电区N
      - 集电结Jc
      - 集电极C(c)



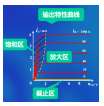
  - 三极管符号
    - NPN型



    - PNP型
  - 内部结构特点
    - 发射区小，掺杂浓度大
    - 集电区掺杂浓度低，集电区面积大
    - 基区掺杂浓度低，且很薄
  - 工作原理
    - 放大状态　发射结正向偏置，集电结反向偏置
      - 电流关系
        - 发射区向基极扩散电子形成发射极电流IE，基区向发射区扩散空穴形成空穴电流（较小通常忽略）
        - 基区电子的扩散与复合
        - 集电极收集从发射区扩散来的电子，形成集电极电流IC
        - 集电区、基区少子相互漂移
      - 晶体管各集电极电位关系
        - NPN　UC>>UB>UE
        - PNP　UC<<UB<UE
        - [UBE]=0.7V——Si
        - [UBE]=0.3V——Ge
    - 饱和状态　发射结正向偏置，集电结正向偏置
      - 特点
        - 集电结零偏或正偏
        - IB失去了对IC的控制
        - 集电极饱和电压降UCES较小
        - 饱和时集电极电流　IC≈(VCC-UCES)/RC
        - UCE对IC的影响大　当UCE增大使集电结从正偏过零偏变化过程中，UCE越大，到达集电区的非平衡少子就越多，IC将随着UCE增大而增加。
    - 截止状态　发射结反向偏置，集电结反向偏置
      - 特点
        - UBE小于死区电压 或者反偏
        - IC=ICBO，IB= - ICBO
    - 倒置状态　发射结反向偏置，集电结正向偏置
      - 特点
        - 集电区扩散到基区的多子较少
        - 发射区收集基区的非平衡少数载流子的能力小
        - 电流放大系数很小
  - 伏安特性曲线
    - 共射极



      - 输入特性
        - 输入特性是非线性的，有死区
        - 当uBE不变，uCE从零增大，IB减小
        - 当uCE≥1V，输入特性曲线几乎重合在一起，uCE对输入特性几乎无影响
      - 输出特性



        - 饱和区
          - UCE≈UBE
          - IC < βIB
          - UCE增大，IC 增大
        - 放大区
          - UCE>UBE
          - IC=βIB
          - IC与UCE无关
        - 截止区
          - UBE < 死区电压
          - IB=0
          - IC=0
  - 主要电参数
    - 直流参数
      - 共基极直流电流放大系数
      - 共射极直流电流放大系数
      - 发射极开路、集电极——基极间反向饱和电流 ICBO
      - 基极开路、集电极——发射极间反向饱和电流 ICEO
    - 交流参数
      - 共基极交流电流放大系数α
      - 共射极交流电流放大系数β
    - 极限参数
      - 集电极开路时发射极——基极间反向击穿电压U(BR)EBO
      - 发射极开路时集电极——基极间反向击穿电压U(BR)CBO
      - 基极开路时集电极——发射极间反向击穿电压U(BR)CEO
      - 集电极最大允许电流ICM
      - 集电极最大允许功率耗散PCM
    - 温度对参数的影响（增加）
      - β增大
      - ICBO增大
      - UBE下降
      - IC增加

- 放大电路
  - 用途
    - 把微弱的电信号不失真地放大到负载所需的值
  - 主要性能指标
    - 放大倍数A
      - 电压放大倍数Au　Uo/Ui
      - 电流放大倍数Ai　Io/Ii
      - 互阻放大倍数Ar　Uo/Ii
      - 互导放大倍数Ag　Io/Ui
    - 输入电阻Ri　Ri=Ui/Ii
      - Ri越大，Ui越大，电路放大能力越强
      - Ri越大，输入电流Ii越小，信号源的负载越小
    - 输出电阻Ro　Ro=Uo/Io(Uo=0,RL=无穷)
      - Ro越小，输出电压越稳定，电路带载能力越强
      - 纹波电压总有效值与基波电压有效值之比　全谐波失真度D
      - 使输出电压uo的非线性失真度达到某一规定数值时的uo的峰—峰值　动态范围Uopp
      - 幅频特性
      - 相频特性
    - 频带宽度fbw
  - 电路
    - 微变等效电路
    - 固定式偏置放大电路
    - 微变等效电路
    - 分压式偏置放大电路
  - 问题
    - 信号源与放大电路相互影响
    - 放大电路与负载相互影响
  - 元器件
    - 放大器件T
    - 耦合电容C1,C2
      - 隔离放大电路对信号源和负载的直流影响
      - 沟通信号源、放大电路、负载 之间的信号传递通道
    - VBB,RB
      - 为了提供Je正偏电压UBE
      - 为基极提供基极偏置电流
    - VCC
      - 为电路提供能量
      - 为了提供Jc反偏电压UCE
    - RC
      - 使集电极有适合的电流IC
      - 转换集电极电流信号为电压信号，实现电压放大
  - 组成原则
    - 直流偏置原则
    - 信号可以无损传递并放大　耦合信号原则
  - 共射极放大电路
    - 静态
      - 静态工作点
        - 当输入信号为零时电路的工作状态、静态时放大电路只有直流分量。
        - 应提供条件
          - 安全性
          - 动态范围
          - 电压放大倍数Au
            - ICQ增大，Au提高
          - 输入电阻Ri
            - ICQ增大，Ri减小
          - 功耗与噪声
            - 减小电流ICQ，可以降低电路的功耗和噪声
        - 稳定静态工作点途径
          - 元件
          - 环境
          - 温度补偿
          - 电路

            - 电路将输出电压RC降低上 的压降送到输入回路，产生了如图IC改变的作用，使IC基本不变
            - 机理
              - 负反馈
              - 电容CE的作用
                - RE>>1/wCE
                - 交流信号对地短路，使 RE只对直流信号有反馈，而对交流信号无反馈
      - 工作状态
        - 静态分析
          - 固定式偏置

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}U_{CC}$$
$$I_C \approx I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_E}$$
$$U_{CE} = U_{CC} - (R_C + R_E)I_C$$

          - 分压式偏置

$$I_{B1} = I_{B2}R_B + U_{BEQ} \approx I_{B2} = \frac{U_{CC} - U_{BEQ}}{R_B}$$
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$
$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ}R_C$$

        - 动态
          - 有输入信号时电路的工作状态，动态时电路中的信号为交直流分量的叠加。

$$U_{opp} = 2 \times \min[U_{CEQ} - U_{CES},\ I_{CQ}(R_C//R_L)]$$

          - 动态分析
            - 动态范围
            - 晶体管交流等效输入电阻

$$A_u = -\frac{\beta(R_C//R_L)}{r_{be}}$$
$$R_i = R_B//r_{be} \approx r_{be}$$
$$R_o = R_C$$

            - 偏置
              - 固定式偏置

$$A_u = -\frac{\beta(R_C//R_L)}{r_{be}+(1+\beta)R_E}$$
$$R_i = R_{B1}//R_{B2}//[r_{be}+(1+\beta)R_E]$$
$$R_o = R_C$$

              - 分压式偏置
              - 子主题 3
    - 共集电极放大电路
      - 微变等效电路
      - 电路
      - 静态参数

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$
$$I_C = \beta I_B$$
$$U_{CE} = U_{CC} - R_E I_C$$

      - 动态参数

$$A_u = \frac{(1+\beta)(R_E//R_L)}{r_{be}+(1+\beta)(R_E//R_L)} \approx 1$$
$$R_i = R_B//[r_{be}+(1+\beta)(R_E//R_L)]$$
$$R_o = R_E//\frac{(R_S//R_B)+r_{be}}{1+\beta}$$

      - 输出端特点
        - Au≈1，无电压放大能力
        - uo与ui 同相
        - 具有电流放大能力和功率放大能力
        - 具有高的输入电阻和低的输出电阻
      - 用途
        - 两级放大电路之间
        - 阻抗变换
          - 高内阻的信号源与低阻抗负载之间
        - 在多级放大电路中作输入级和输出级
    - 共基极放大电路
      - 微变等效电路
      - 电路
      - 静态参数

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}U_{CC}$$
$$I_C \approx I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_E}$$
$$U_{CE} = U_{CC} - (R_C + R_E)I_C$$

      - 动态参数

$$A_u = \frac{\beta(R_C//R_L)}{r_{be}} \text{（大小同共射）}$$
$$R_i = R_E//\frac{r_{be}}{1+\beta} \text{（同共集电极）}$$
$$R_o = R_C \text{（同共射电路）}$$

      - 有电压放大能力,电压放大倍数与共射极放大电路相同
      - 特点
        - uo与ui 同相
        - 没有电流放大能力
        - 输入电阻小，输出电阻大
        - 在低频放大电路很少应用