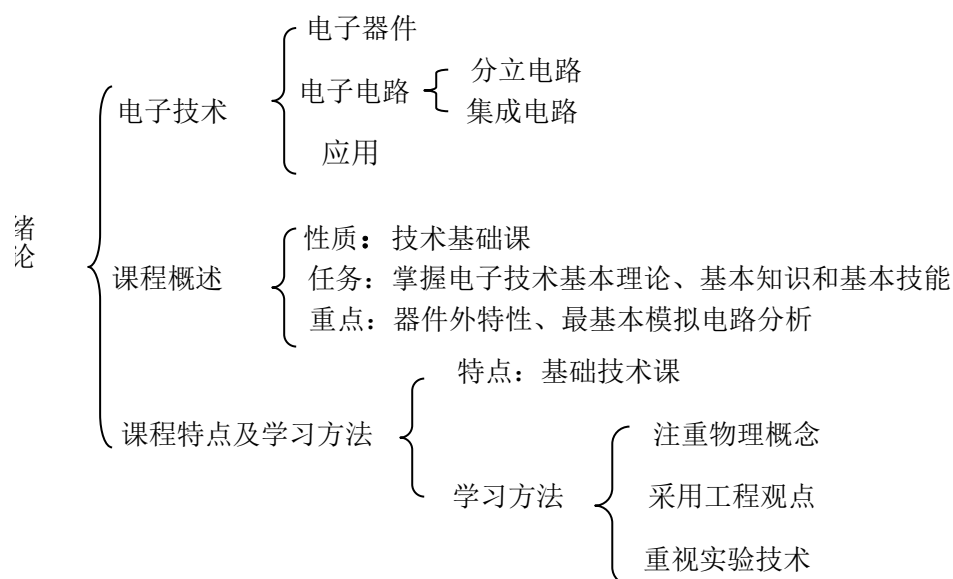


0 绪论（文字材料）

本章概要

本章主要介绍了电子技术的基本概念，课程的性质、任务及重点教学内容，阐述了课程的特点及学习时需要注意事项。

内容的组成及结构（知识点）



学习目标：

- (1) 熟练掌握电子技术相关的基本概念；
- (2) 理解电子技术的主要应用；
- (3) 理解课程的特点及学习方法。

重难点指导

重点：

- (1) 电子器件的发展；
- (2) 电子电路的组成；
- (3) 分立电路与集成电路的概念。

难点：

- (1) 电子电路与普通电路的区别；
- (2) 工程的思想。

本章导学：

1. 电子技术基础知识

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。

电子器件：第一代—电子管，也称真空管

第二代—晶体管，也称半导体器件或固体器件

电子电路：电子器件与电阻器、电感器、电容器、变压器及开关等元件适当连接而组成的电路。可以分成分立电路及集成电路。

分立电路：把许多元件和器件焊接在印刷电路板上组成的电路。特点：焊点多、故障多、体积大。

集成电路：晶体管与电阻等元件一起制作在同一块硅晶片上的电路。特点“体积小、重量轻、功耗低、焊点少、故障低、可靠性高。

电子技术应用：通讯、测控、计算机、自动控制、电力系统等领域都有应用。

2.课程的性质、任务和重点内容

性质：高等学校电类专业入门性质的基础技术课。

任务：使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识及基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力，为以后深入学习电子技术某些领域的内容，以及电子技术专业中的应用打好基础。

2. 课程内容的重点

- 1) 课程涉及最初步、最基本和最共性的知识，包括基本电路及电路组合分析；
- 2) 电子器件重点掌握外部特性，从应用的角度出发，掌握器件的伏安特性和主要参数；
- 3) 分立电路是基础，集成是重点，分立为基础服务；
- 4) 重点是模拟电路分析，器件均工作在放大状态下。

3. 课程特点及学习方法

- 1) 注重物理概念，克服“入门难”的学习过程；
- 2) 采用工程观点，误差不超过 10%可以采用估算方法分析；
- 3) 重视实验技术，将理论与实践结合，提高学生动手能力。

本章小结：

1. 电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。电子器件分为两代：电子管和晶体管。电子电路是包含电子器件的电路，可以分为分立元件电路和集成电路。电子技术在多项领域都广泛应用。

2. 课程涉及最初步、最基本和最共性的知识，电子器件主要分析外特性。

3. 注重物理概念，采用工程思想，重视实验。

思考题

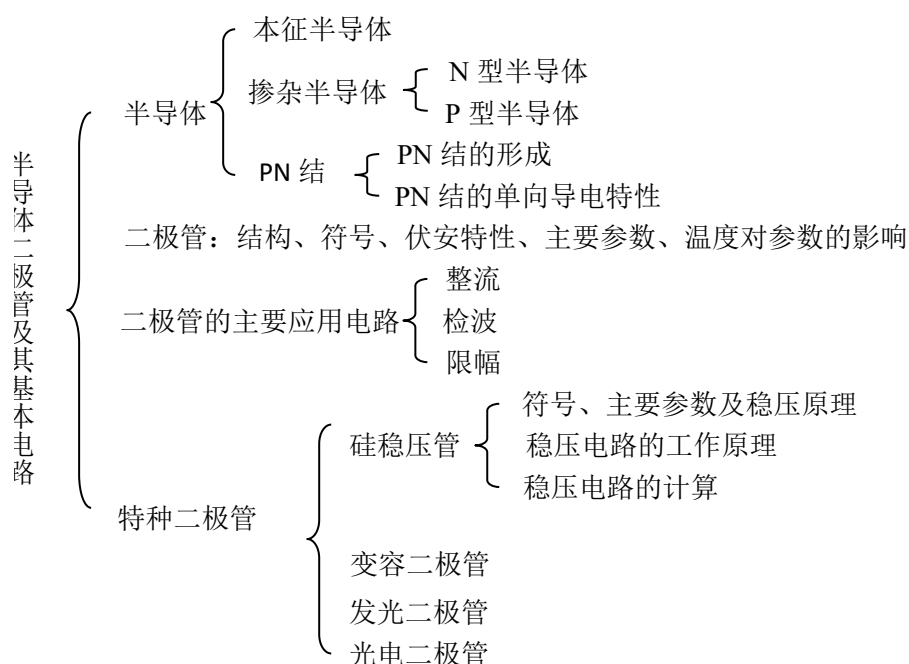
1. 什么是电子技术？什么是电子器件？
2. 电子电路与普通电路有哪些区别与联系？集成电路与分立元件电路有哪些区别？
3. 课程的性质是什么？课程不同于其它课程的特点是什么？重点需要掌握哪些内容？

1. 半导体二极管及其应用 （文字材料）

本章概要

本章以 PN 结的形成作为起点, 讨论了半导体二极管的单向导电性、伏安特性、主要电参数, 分析了半导体二极管在模拟电子电路中的主要应用。此外, 本章还讨论了特种二极管(硅稳压管) 及其应用电路。

内容的组成及结构(知识点)



学习目标

- (1) 理解 PN 结的形成;
- (2) 熟练掌握 PN 结及二极管的单向导电性;
- (3) 熟练掌握二极管及稳压管的伏安特性;
- (4) 熟练掌握二极管及硅稳压管组成电路的特性分析;

重难点指导

重点:

- (1) PN 结的单向导电性;
- (2) 二极管的伏安特性及电路分析;
- (3) 硅稳压管的特性及电路分析。

难点:

- (1) PN 结单向导电性机理;
- (2) 二极管及硅稳压管电路的特性分析。

本章导学

1. 半导体基础知识

(1) 本征半导体: 完全纯净、结构完整的半导体晶体称为本征半导体。其特点:

- a. 在外部能量激励下产生本征激发, 成对产生电子和空穴;
- b. 电子和空穴均为载流子, 空穴是一种带正电的粒子;
- c. 温度越高, 电子和空穴对的数目越多。

(2) 两种掺杂半导体

a. N 型半导体: 又称电子型半导体。它是在本征半导体中掺入少量五价施主杂质, 如砷(As)或磷(P)后形成的。自由电子是多数载流子(简称多子), 空穴是少数载流子(简称少子), 半导体内还存在不能自由移动的正离子。

b. P 型半导体: 又称空穴型半导体。它是在本征半导体中掺入少量三价受主杂质, 如硼(B)或铟(In)后形成的。空穴是多子, 自由电子是少子, 半导体内还存在不能自由移动的负离子。

(3) 掺杂半导体中的多子浓度取决于掺杂浓度; 当掺杂浓度一定时, 少子浓度随温度升高而增大。

(4) PN 结: 通过一定工艺将 N 型半导体和 P 型半导体结合在一起时, 在 N 区和 P 区界面附近形成的一个极薄的空间电荷层, 称为 PN 结。当没有外加电压时, 经过交界面的由多子扩散形成的扩散电流与少子漂移形成的漂移电流大小相等、方向相反, 动态平衡, 净电流为零。

(5) PN 结的单向导电性: 当外加直流电压使 PN 结外部, P 型半导体一端的电位高于 N 型半导体一端的电位时, PN 结正向偏置(简称正偏), PN 结变窄, 流过大的正向电流, PN 结呈现为低电阻, 处于导通状态; 当外加直流电压使 PN 结外部, P 型半导体一端的电位低于 N 型半导体一端的电位时, PN 结反向偏置(简称反偏), PN 结变宽, 流过很小的反向电流, PN 结呈现为高电阻, 处于截止状态。这就是 PN 结的单向导电性。

2. 半导体二极管

(1) 半导体二极管以 PN 结为核心, 所以也具有单向导电性。

(2) 半导体二极管的击穿: 当外加到半导体二极管的反向电压超过某一数值时, 流过半导体二极管的反向电流急剧增大, 这种现象称为击穿。

击穿根据可逆性分为电击穿和热击穿。

- a. 电击穿: 击穿时反向电流被限制在一定范围时, 则不会损坏管子。
- b. 热击穿: 击穿时反向电流超过这个范围时, 使管子损坏。

按击穿的机理不同, 又分为齐纳击穿及雪崩击穿。

a. 齐纳击穿: 击穿电压低于 4V, 其击穿电压具有负的温度系数(温度提高, 击穿电压下降);

b. 雪崩击穿: 击穿电压高于 6V, 其击穿电压具有正的温度系数(温度提高, 击穿电压上升)。

3. 特种二极管

(1) 硅稳压二极管: 简称硅稳压管, 在稳压电路中一般工作于反偏电击穿状态。这时当流过它的反向电流有较大变化时, 它两端的电压几乎维持不变。

(2) 变容二极管: 利用 PN 结的电容效应制成, 其两端的电容值与所加的反向电压成反比。

(3) 光电二极管：是一种将光信号转换为电信号的常用器件，一般工作于反偏，这时其反向电流与光的照度成正比。

(4) 发光二极管：常用砷化镓、磷化镓制成，当电流流过时将发光，发光二极管常用作显示器件。

相关电路分析与计算

1. 二极管电路的计算

1) 流过二极管的电流 i_D 和二极管两端电压 u_D 的关系可以用下式近似计算：

$$i_D \approx I_S (e^{u_D/U_T} - 1) \quad (1.1)$$

式中的 I_S 为反向饱和电流； U_T 为热电压，也称为温度电压当量， $U_T = KT/q$ ，其值与 PN 结的绝对温度 T 和玻耳兹曼常数 K 成正比，与电子电量 q 成反比，始终为正值。应用式(1.1)时， u_D 和 i_D 的参考方向均从二极管的正极指向负极。

2) 小功率硅二极管正常导通时，其正向电压降约为 $0.6 \sim 0.8V$ ，锗二极管正常导通时，其正向电压降约为 $0.2 \sim 0.3V$ 。正向电压降随温度升高而降低，温度每升高 $1^\circ C$ 时，正向电压降将降低 $2 \sim 2.5mV$ 。

3) 二极管的反向饱和电流随温度升高而增大。通常，温度每升高 $10^\circ C$ 左右，就会使反向饱和电流增加一倍。设温度为 T_0 时的反向饱和电流为 $I_S(T_0)$ ，则当温度升高到 T 时的反向饱和电流 $I_S(T)$ 近似为：

$$I_S(T) = I_S(T_0) 2^{\frac{T-T_0}{10}} \quad (1.2)$$

2. 硅稳压管稳压电路计算

硅稳压管稳压电路如图 1.1 所示。

当硅稳压管两端电压 $U_I \cdot \frac{R_L}{R + R_L} > U_Z$ 时，稳压管被击穿。则

$$U_O = U_Z \quad (1.3)$$

当硅稳压管两端电压 $U_I \cdot \frac{R_L}{R + R_L} < U_Z$ 时，稳压管只反偏未被击穿，

$$U_O = U_I \cdot \frac{R_L}{R + R_L} \quad (1.4)$$

则输出电压不稳定，会随着 U_I 或者 R_L 的变化而波动。

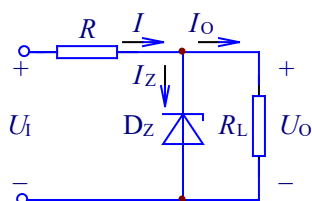


图 1.1 硅稳压管稳压电路

学习中注意的问题

1. 半导体的导电特性

半导体存在两种载流子（自由电子和空穴），这两种载流子都参与导电，这与金属导电（只

有自由电子一种载流子)有着本质的区别。

本征半导体的导电能力差且易受温度的影响,故而发明了掺杂半导体。掺入少量其它元素杂质形成的掺杂半导体,导电能力不仅可以大幅提高而且还减弱了温度的影响力。

3. 二极管的工作状态

二极管最重要的特性是单向导电性。判断二极管的工作状态需要首先断开二极管,确定其两侧的对地电压值。忽略死区电压时,只要二极管的正极电压大于负极电压,则二极管为“导通”状态;而正极电压小于负极电压的二极管为“截止”状态。

本章小结

1. 利用半导体的掺杂性可以制成 P 型和 N 型半导体,在两种半导体的结合处将形成 PN 结。当 PN 结加正向电压时,其正向电阻很小,呈现导通状态;当 PN 结加反向电压时,其反向电阻很大,呈现截止状态,这就是 PN 结的单向导电性。

2. 二极管本质上就是一个 PN 结,实际中常利用二极管的单向导电性构成整流、限幅、钳位等电路。

3. 稳压管是工作在反向击穿区的一种特殊二极管,在实际应用中必须在电路中串联一限流电阻以限制流过稳压管中的反向电流。

思考题

1. 常用的半导体材料有哪两种? 半导体导电与金属导电有什么不同之处?
2. 本征半导体与掺杂半导体有哪些不同之处? P 型与 N 型半导体的特性是什么?
3. PN 结是如何形成的? PN 结最重要的特点是什么?

二极管的特性是什么? 硅管和锗管的伏安特性有何不同之处?

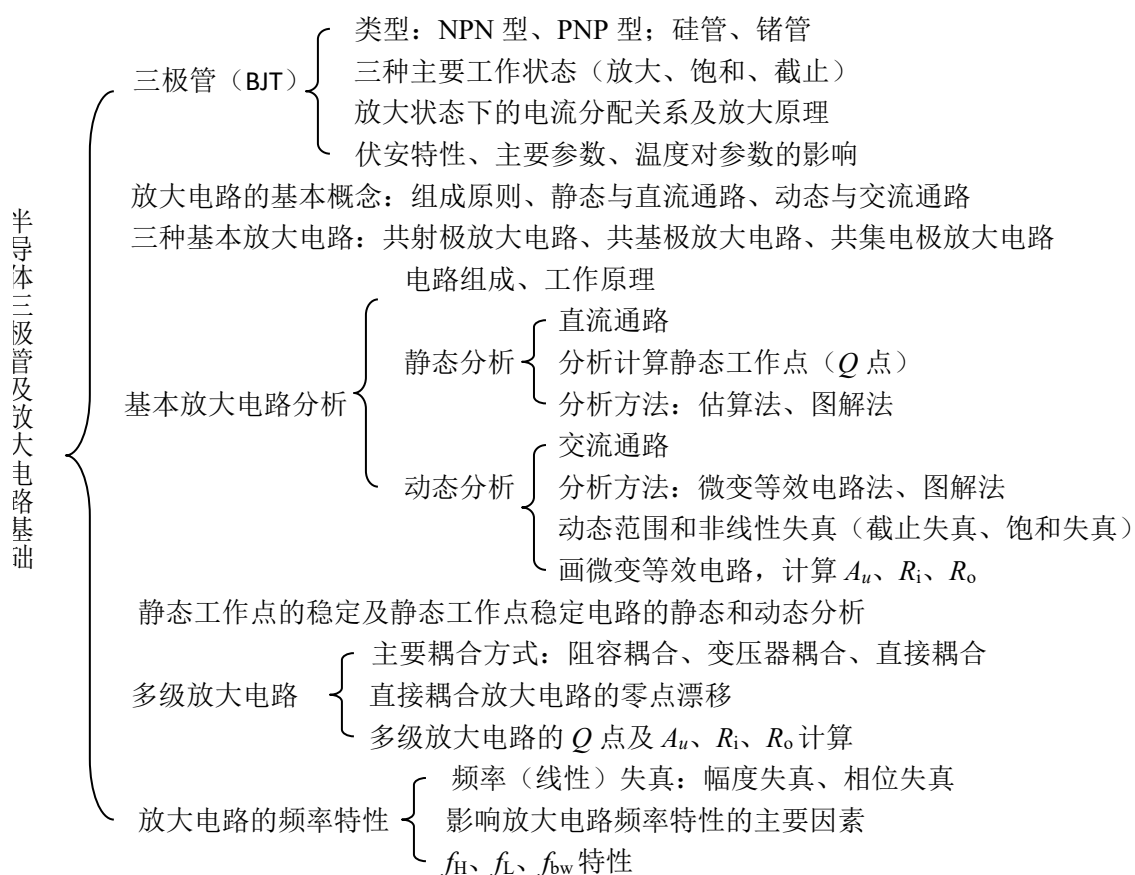
4. 为什么二极管的反向饱和电流受环境温度的影响比较大? 硅管和锗管相比较,哪种管子的反向电流受温度影响更大?
5. 什么是稳压管? 稳压管的工作条件是怎样的? 限流电阻的大小可以任意选取吗?

2. 晶体管及放大电路 （文字材料）

本章概要

本章首先讨论了晶体管的结构、放大原理、输入和输出特性以及主要电参数，然后介绍了晶体管组成的共发射极、共集电极和共基极三种基本放大电路，分析了电路组成、信号的静态及动态特性。本章还阐述了温度对晶体管特性及放大电路静态工作点的影响，放大电路的耦合方式、多级放大电路以及放大电路频率特性等相关知识。

本章内容的组成及结构



学习目标

- (1) 熟练掌握晶体管的伏安特性及电流放大作用；
- (2) 熟练掌握晶体管组成的三种基本放大电路静态及动态分析；
- (3) 掌握多级放大电路动态指标分析；
- (4) 理解三种放大电路的组成、工作原理、特点及应用场合

- (5) 理解放大电路的频率响应及线性失真
- (6) 了解多级放大电路的耦合方式及特点。

重难点指导

重点

- (1) 晶体管伏安特性;
- (2) 放大电路的静态和动态分析;
- (3) 共射极和共集电极放大电路动态参数计算;
- (4) 多级放大电路的动态参数计算。
- (5) 放大电路频率失真的原因。

难点

- (1) 晶体管的非线性失真;
- (2) 共射极和共集电极放大电路的动态参数计算及动态范围;
- (3) 阻容耦合多级放大电路的动态参数计算;

本章导学

1. 半导体三极管

1. 半导体三极管：简称为三极管或晶体管，由三个电极、两个 PN 结组成，按结构区分，有 NPN 型和 PNP 型；按使用的材料不同分为硅管和锗管。

晶体管的结构特点：发射区掺杂浓度高、基区很薄、集电结面积大。

三种工作状态与直流偏置：

- a. 放大状态——发射结正向偏置、集电结反向偏置；
- b. 饱和状态——发射结和集电结均正向偏置；
- c. 截止状态——发射结和集电结均反向偏置；

2. 放大状态时的电流分配与放大原理：发射结正向偏置，且发射区掺杂浓度高，使大量多子从发射区扩散到基区（形成发射极电流 i_E ）；因为基区很薄，只有少量扩散到基区的多子，又称为非平衡少子在基区复合（形成基极电流 i_B ）；大多数非平衡少子因为集电结反向偏置，且集电结面积大而漂移到集电区（形成集电极电流 i_C ）。基区和集电区里的少子互相漂移形成 I_{CBO} ，硅管的 I_{CBO} 很小，对 i_C 的影响可以忽略。

当外部信号改变发射结正向偏置电压的大小时，从发射区扩散到基区的多子数量、在基区复合的非平衡少子的数量及漂移到集电区的非平衡少子的数量都发生改变，使 i_E 、 i_B 、 i_C 均有增量 Δi_E 、 Δi_B 、 Δi_C 。且 $\Delta i_C = \beta \Delta i_B$ ，通常 $\beta \gg 1$ 。这说明晶体管有电流放大能力，这也就是晶体管的放大原理。

3. 常用来表征晶体管性能的有共射极输入特性和共射极输出特性。由输出特性可见，改变基极电流可以控制集电极电流（因而半导体三极管是一个电流控制器件）；晶体管有三个工作区：

- a. 放大区——晶体管工作于放大状态， $i_C = \beta i_B$ ，有放大作用；
- b. 饱和区——晶体管工作于饱和状态， i_C 主要受 u_{CE} 的影响，无放大作用；
- c. 截止区——晶体管工作于截止状态， $i_C \approx 0$ ，无放大作用。

4. 晶体管的主要参数

a. 直流参数——共射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ ($\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \Big|_{I_{CBO}=0}$)，共基极直流电流放大系数 $\bar{\alpha}$ ($\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} \Big|_{I_{CBO}=0}$)，集电极——基极间反向饱和电流 I_{CBO} 、集电极——发射极间反向饱和电流（也称穿透电流） I_{CEO} 。

b. 交流参数——共射极交流电流放大系数 β ($\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}$)，共基极交流电流放大系数 α ($\alpha = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E}$)。

c. 极限参数——集电极最大允许耗散功率 P_{CM} ，集电极最大允许电流 I_{CM} ，极间反向击穿电压 $U_{(BR)CBO}$ 、 $U_{(BR)CEO}$ 、 $U_{(BR)EBO}$ 等。

晶体管的一些参数受温度影响：温度升高时 β 及 I_{CBO} 增大而在基极电流相同情况下的 u_{BE} 减小。

2. 基本放大电路

1. 基本放大电路的组成原则

- 直流偏置：发射结正向偏置而集电结反向偏置，使晶体管处于放大状态。
- 信号的输入和输出：信号源及负载接入放大电路时，应不影响晶体管原有的直流偏置，始终保持发射结正偏而集电结反偏。为此，在信号源与放大电路之间、放大电路与负载之间的耦合，一般要求既能“隔直”，又能使信号顺利传输。在图 2.1 所示的共射极放大电路中， C_1 、 C_2 为耦合电容，这种耦合方式称为阻容耦合。

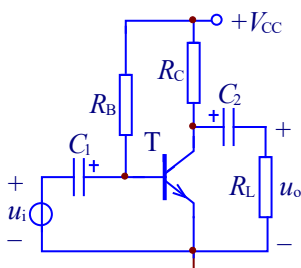


图 2.1 共射极放大电路

2. 放大电路的主要性能指标：电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 、频带宽度 f_{bw} 、全谐波失真度 D 、动态范围 U_{op-p} 等。

3. 三种基本放大电路：共射极放大电路、共基极放大电路、共集电极放大电路。在放大电路中以那个电极作为输入、输出回路的公共端，就以此电极命名相应的电路。也可以按表 2.1 判断放大电路的组态。

4. 放大电路的两种工作状态：静态和动态

a. 静态：放大电路的输入为零 ($U_i = 0$ 或 $I_i = 0$) 时，电路中晶体管各个电极的电流及电极之间的电压只含有恒定的直流分量，其瞬时值不变，这时的工作状态称为静态。静态时的等效电路称为直流通路，通过直流通路可以求解放大电路的静态工作点值，即 Q 点值 (I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{BEQ} 、

U_{CEQ})。

画直流通路的原则是：将放大电路里的耦合电容及旁路电容开路。图 2.2 (a) 是图 2.1 所示放大电路的直流通路。

表 2.1 三种基本组态的判别

电路组态	输入信号所接电极	输出信号所接电极
共射极	基极 (b)	集电极 (c)
共基极	发射极 (e)	集电极 (c)
共集电极	基极 (b)	发射极 (e)

b. 动态：放大电路有信号输入时 ($U_i \neq 0$ 或 $I_i \neq 0$) 的工作状态称为动态。动态时，放大电路中直流电源和交流信号同时作用，晶体管各极电流和极间电压既有直流分量，又有交流分量。当放大电路的输出没有非线性失真时，直流分量值就是静态工作点值，已在静态分析中已经求得，所以动态分析只是分析交流分量之间的关系，即分析放大电路的动态指标 A_u 、 R_i 、 R_o 、 f_{bw} 等。动态分析要借助于放大电路的交流通路。

画交流通路的原则是：将直流电源接地且耦合电容及旁路电容 (电容容量足够大) 视作短路。根据这一原则可画得图 2.1 所示放大电路的交流通路如图 2.2 (b)。

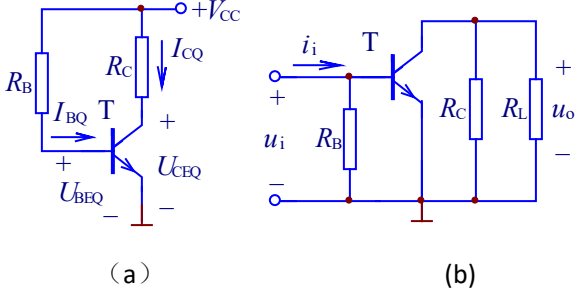


图 2.2 直流通路和交流通路

(a) 直流通路 (b) 交流通路

5. 电路的三种基本分析方法

a. 图解法——既可用于静态分析，求解静态工作点值；也可用于动态分析。由于作图麻烦、小信号时难以作图等缺点，在实际分析中很少使用。

b. 估算法——也称近似计算法，用于静态工作点的计算。

分析过程为：画直流通路，由直流通路列输入回路和输出回路的直流负载线方程，并设 U_{BEQ} 值 (硅管为 0.6V 或 0.7V、锗管为 0.2V 或 0.3V)，代入方程，求出静态工作点值。

c. 微变等效电路法——用于放大电路小信号工作时的动态分析。

分析过程为：先画出电路的交流通路，再将交流通路中的晶体管用它的 H 参数微变等效电路代替，即得放大电路的微变等效电路。根据放大电路性能指标的定义，计算放大电路的微变等效电路，即可求得放大电路的 A_u 、 R_i 及 R_o 等动态指标。

6. 放大电路的非线性失真

若 Q 点设置不合理或输入信号过大，动态时工作点将进入饱和区产生饱和失真、或进入截止区产生截止失真。饱和失真和截止失真统称为非线性失真，它使输出波形畸变，甚至出现输出波