



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

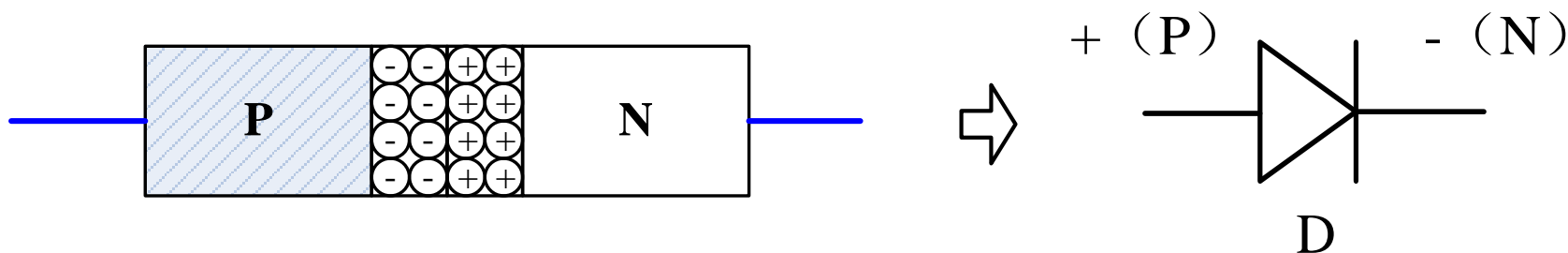
§ 2.3 PN结二极管

lugh@ustc.edu.cn

2016年9月13日

■ 电路符号

□ PN结加上封装形成晶体二极管



■ 面接触型

■ 点接触型

1.二极管的伏安特性

■ 和PN结类似

- 正向指数律;
- 反向电流很小, 还有反向击穿特性。
- 开启电压, 定义和PN结一样, **Si: 0.7V; Ge: 0.3V**

■ 由于指数律特性实际求解起来比较麻烦, 因此常用简化的模型来处理。

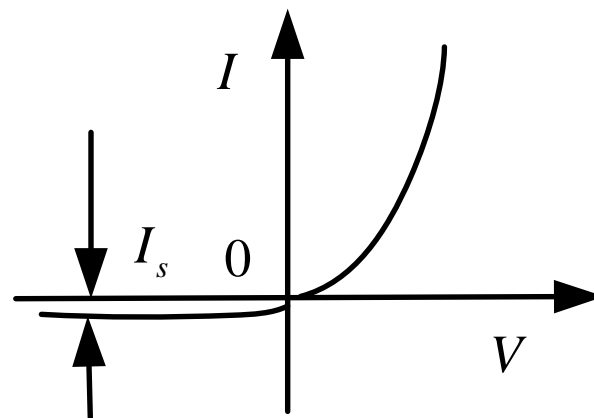
2. PN结二极管的分析模型

- (1) 数学模型
- (2) 理想模型
- (3) 折线模型
- (4) 交流小信号模型

(1) 数学模型

数学模型：
$$I = I_s \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$

令 $V_T = KT / q \Rightarrow I = I_s \left(e^{V/V_T} - 1 \right)$

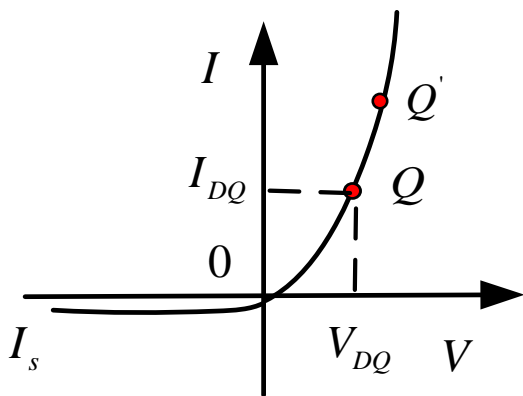


室温下 ($T=300K$) : $V_T = 26mV$

(1) 数学模型

■ 直流电阻

- 二极管的直流电阻就是加在二极管两端的直流电压与流过二极管的直流电流的比值



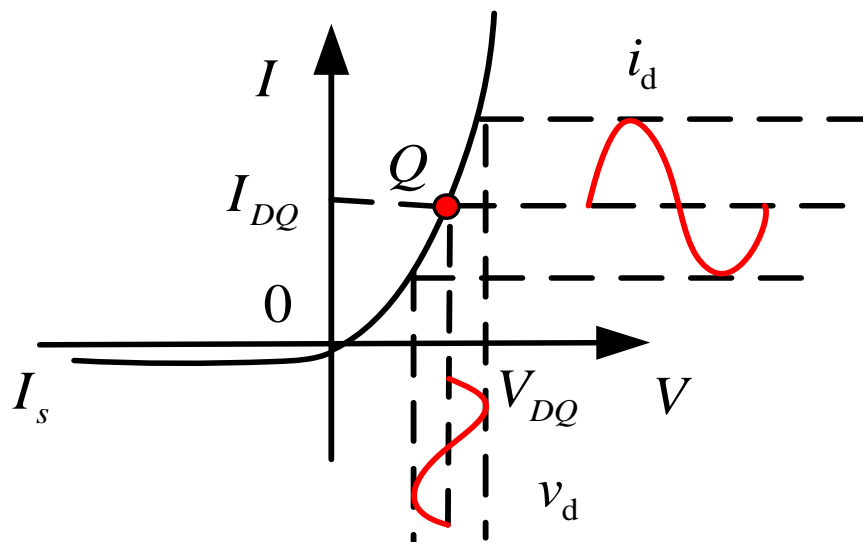
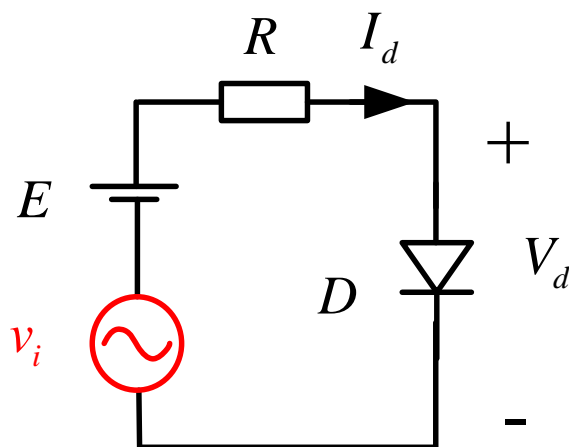
$$R_D = \frac{V_{DQ}}{I_{DQ}}$$

- 二极管的直流电阻与直流工作点的设置相关，工作点不同直流电阻也不同

(1) 数学模型

■ 交流直流混合电路

- 直流电路为二极管设置合适的静态工作点
- 交流信号叠加在直流信号上，流经二极管，**小信号**



(1) 数学模型

■ 交流电阻

- 二极管的交流电阻是指在直流工作点附近，二极管两端的交流电压与流过二极管的交流电流之比

$$r_d = \left. \frac{dV_d}{dI_d} \right|_Q = \frac{1}{k}$$

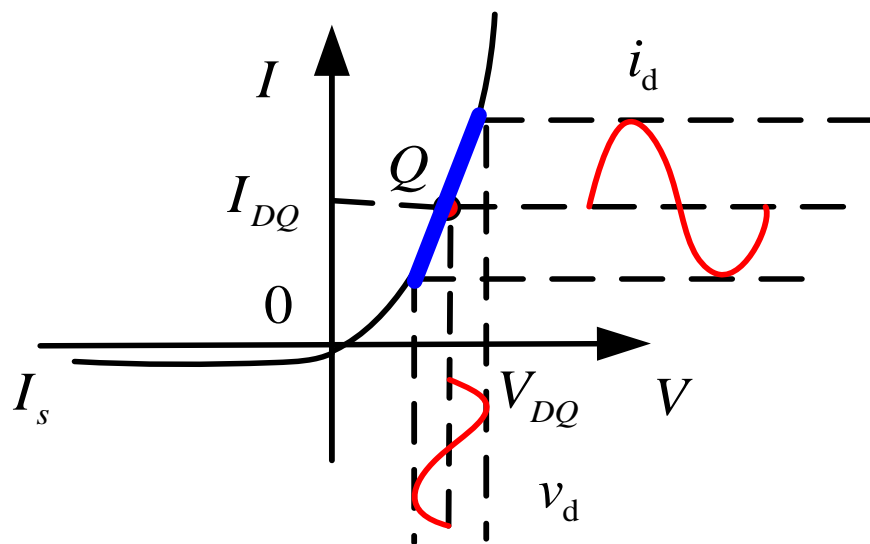
(1) 数学模型

$$r_d = \frac{1}{\frac{d}{dV_{dQ}} \left[I_s \left(e^{\frac{V_{dQ}}{V_T}} - 1 \right) \right]} = \frac{V_T}{I_s e^{\frac{V_{dQ}}{V_T}}}$$

当 $e^{\frac{V_{dQ}}{V_T}} \gg 1$ 时, $I_s e^{\frac{V_{dQ}}{V_T}} \approx I_s (e^{\frac{V_{dQ}}{V_T}} - 1) = I_{dQ}$

$$r_d = \frac{V_T}{I_{dQ}} \quad \text{室温下 } r_d = \frac{26mV}{I_{dQ}}$$

(1) 数学模型

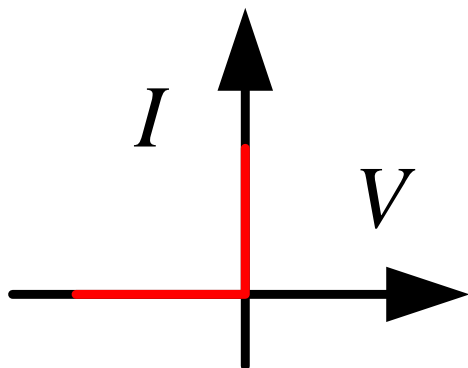


二极管的交流电阻与其直流工作点有关，是其直流工作点 Q 处的切线斜率的倒数，反映出二极管在直流工作点附近呈线性特性

(2) 理想模型

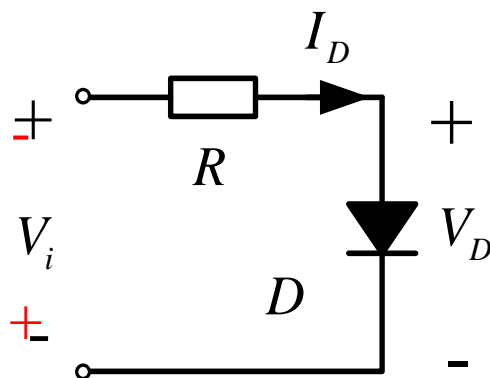
■ 理想二极管

- 满足理想单向导电性（正向偏置时短路，反向偏置时开路）



理想二极管伏安特性

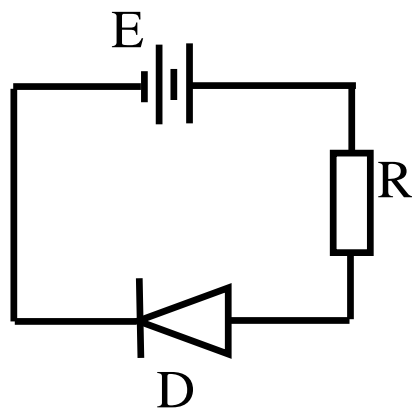
(2) 理想模型



$$\text{导通} \Rightarrow \begin{cases} R_D = 0 \\ V_D = 0 \\ I_D \sim f(V_i) \end{cases}$$

$$\text{截止} \Rightarrow \begin{cases} R_D = \infty \\ I_D = 0 \\ V_D \sim f(V_i) \end{cases}$$

(2) 理想模型

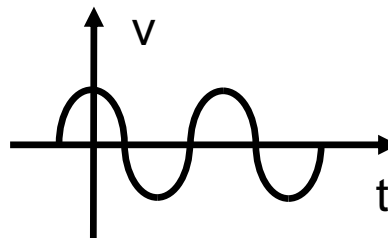


■ 例： $R=10\text{k}\Omega$ ，理想二极管，求 I_D ， V_D 。

(1) $E=1\text{V}$

(2) $E=-3\text{V}$

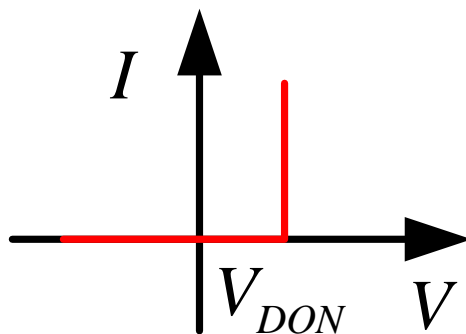
(3) $E=V\cos\omega t$



(3) 折线模型

■ 第一种折线模型

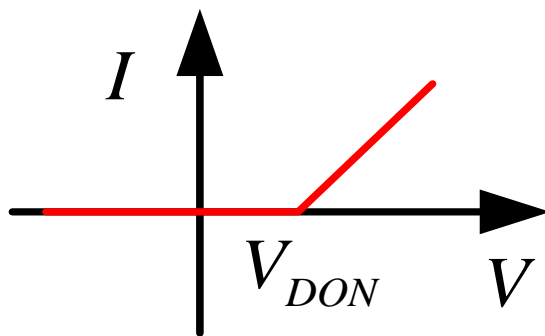
- 直流分析时，仅考虑二极管的开启电压 V_{DON} ，不考虑其导通后的交流电阻，即认为0



(3) 折线模型

■ 改进的折线模型

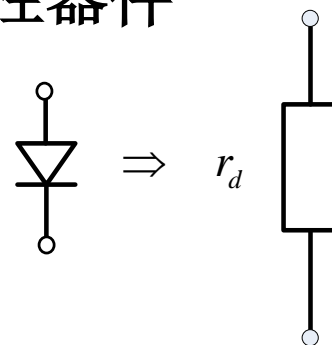
- 直流分析时，既考虑二极管的导通电压 V_{DON} ，又考虑其导通后的交流电阻



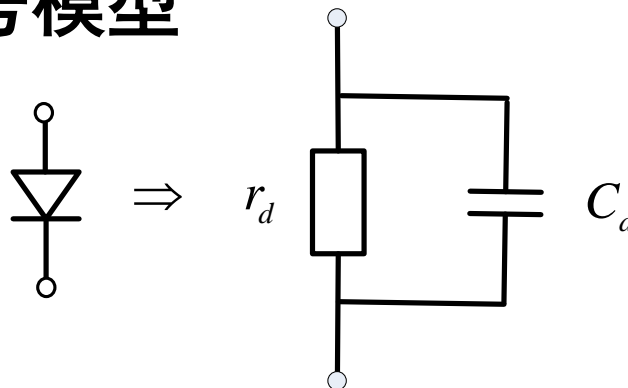
(4) 交流小信号模型

■ 低频小信号模型

- 合适的直流偏置
- 输入交流信号应满足交流小信号激励条件，交流小信号分析时，二极管才能看作为线性器件

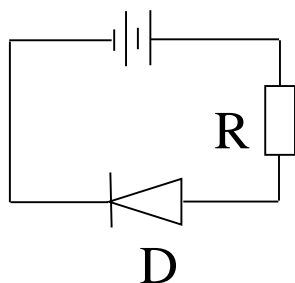


■ 高频小信号模型



3. 电路分析方法

■ 电路分析方法



$$\begin{cases} I_D = I_s (e^{V_D/V_T} - 1) \\ E = I_D \cdot R + V_D \end{cases}$$

- ☐ 解方程
- ☐ 图解法
- ☐ 模型法

■ 一般给定二极管的模型

