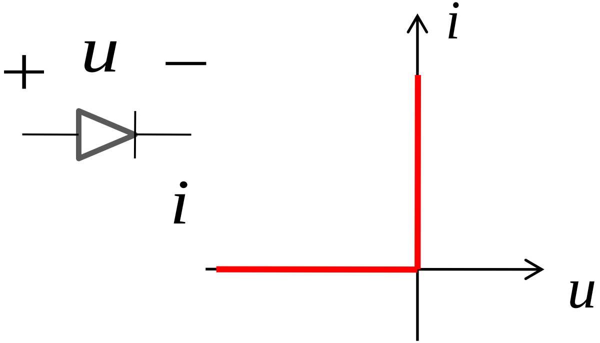
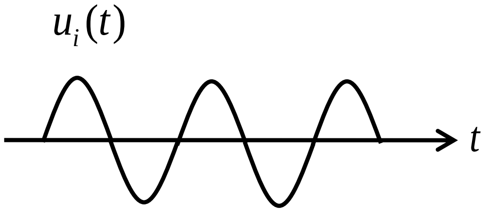
电路分析与电子线路

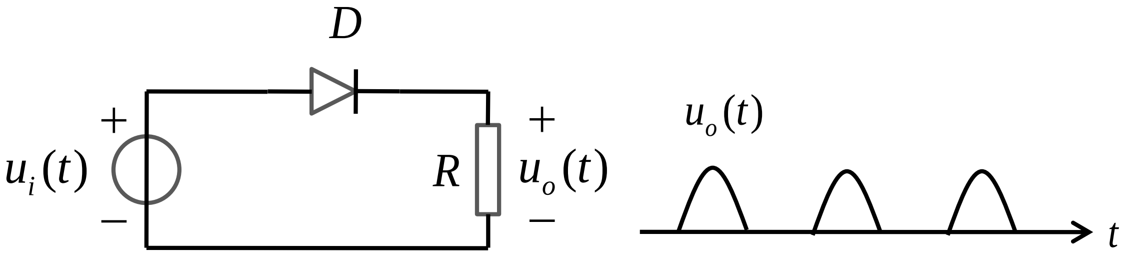
课程要点复习

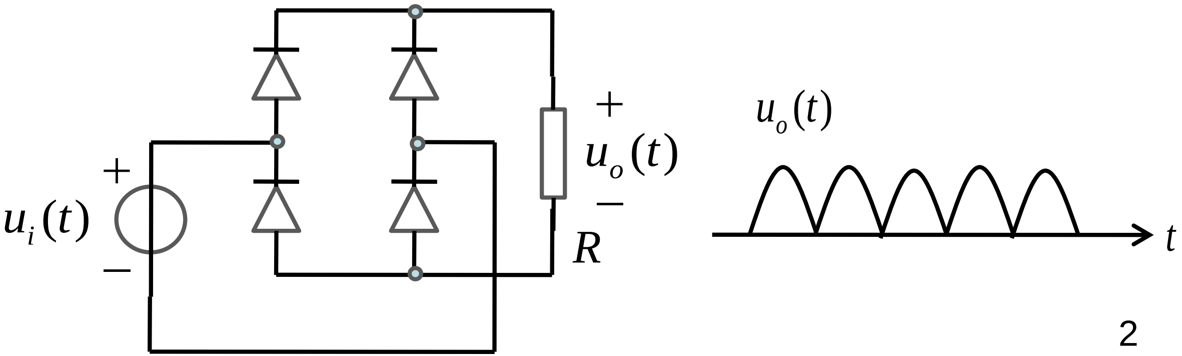
理想二极管模型



电压源信号：



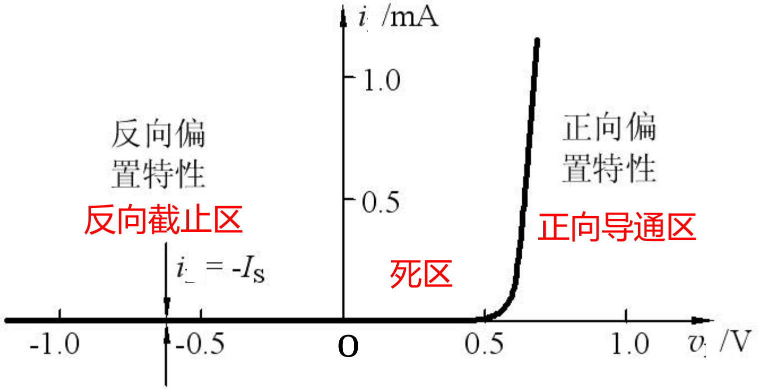


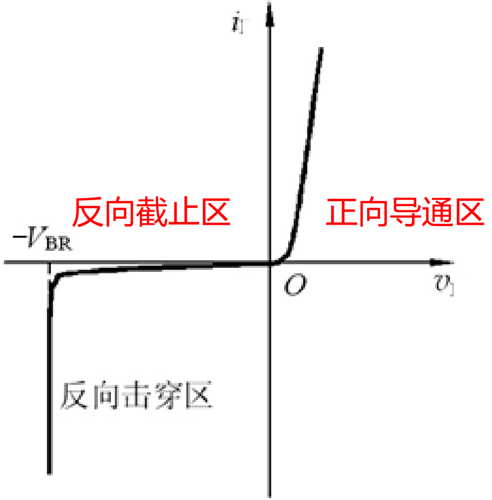


- 理想模型简单
- 半波整流
- 全波整流

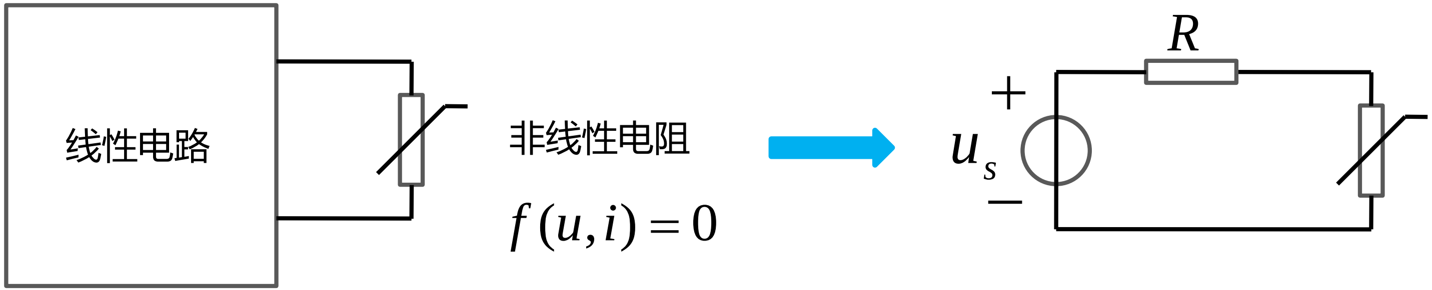
二极管的伏安特性

- 伏安曲线根据指数函数画出 $i = I_S(e^{v/V_T} - 1)$ 不适用反向击穿区
- 正向特性为指数曲线，反向特性为横轴的平行线
- 当反向电压达到一定值时，反向电流激增，这种现象称为反向击穿
- 电击穿是可逆的，反向电压降低后仍可恢复（稳压二极管）





简单非线性电阻电路分析

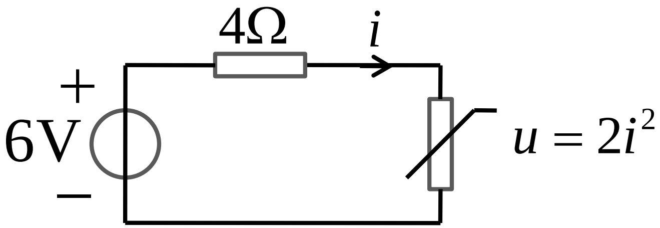


➢ 分析方法：

- 线性电路采用戴维宁等效
- 非线性器件两端电流电压关系

简单非线性电阻电路分析方法：解析法

求电流i



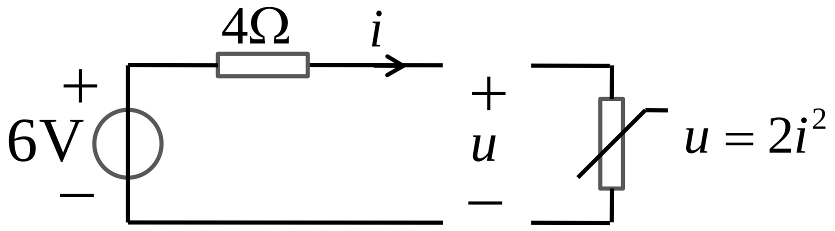
$$4i + 2i^2 = 6$$

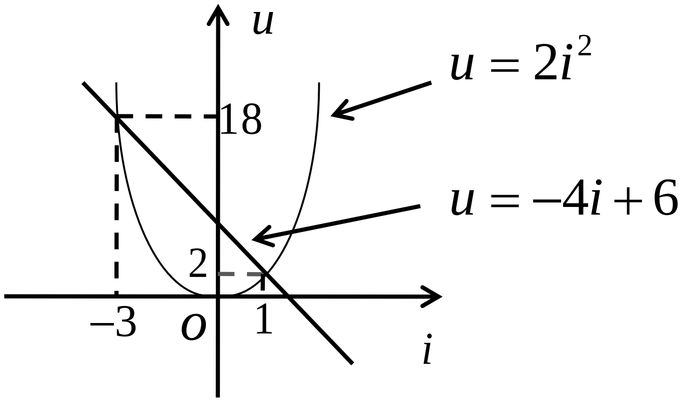
$$i^2 + 2i - 3 = 0$$

$$i = \begin{cases} 1 \\ -3 \end{cases}$$

$$i = \frac{-2 \pm \sqrt{2^2 - 4 \times (-3)}}{2}$$

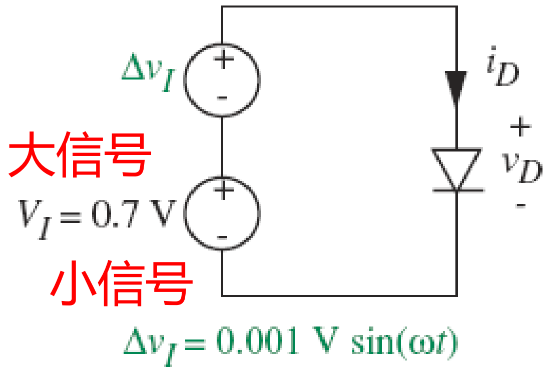
简单非线性电阻电路分析方法：图解法

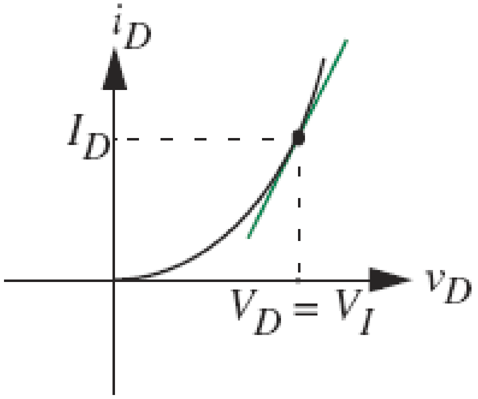




(2V，1A)
(18V，-3A)

简单非线性电阻电路分析方法：增量法





$$i_D = I_s(e^{v_D/V_T} - 1) \qquad i_D = I_s\left(e^{(0.7\ \mathrm{V}+0.001\ \mathrm{V}\sin(\omega t))/V_{TH}} - 1\right)$$

泰勒级数展开

$$y = f(x) = f(X_o) + \left.\frac{df}{dx}\right|_{X_o}(x - X_o) + \frac{1}{2!}\left.\frac{d^2f}{dx^2}\right|_{X_o}(x - X_o)^2 + \cdots$$

$$i_D = f(v_D) = f(V_D) + \left.\frac{df}{dv_D}\right|_{V_D}(v_D - V_D) + \frac{1}{2!}\left.\frac{d^2f}{dv_D^2}\right|_{V_D}(v_D - V_D)^2 + \cdots$$

$$i_D = I_s\left(e^{V_D/V_{TH}} - 1\right) + \left(I_s e^{V_D/V_{TH}}\right)\left[\frac{1}{V_{TH}}\Delta v_D + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{V_{TH}}\right)^2(\Delta v_D)^2 + \cdots\right].$$

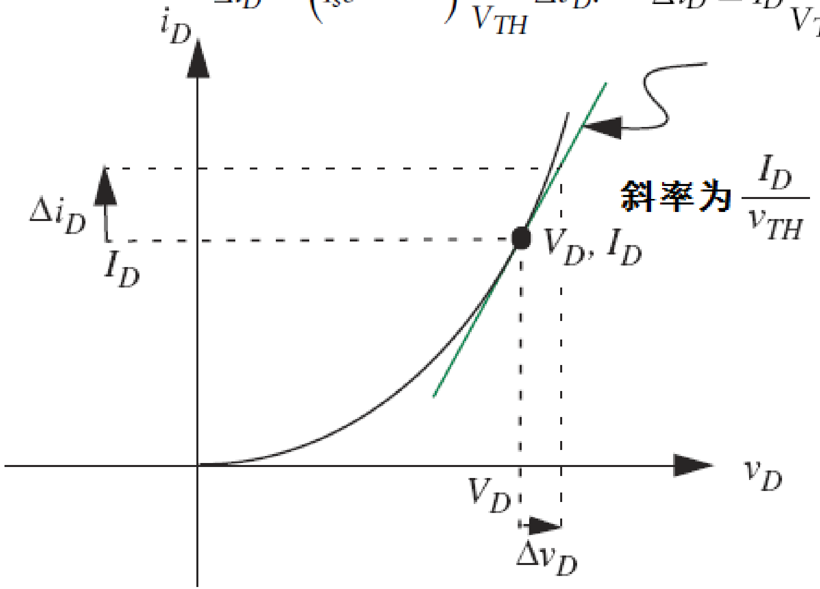
$$i_D = I_s\left(e^{V_D/V_{TH}} - 1\right) + \left(I_s e^{V_D/V_{TH}}\right)\left[\frac{1}{V_{TH}}\Delta v_D\right].$$

$$I_D + \Delta i_D = I_s\left(e^{V_D/V_{TH}} - 1\right) + \left(I_s e^{V_D/V_{TH}}\right)\left[\frac{1}{V_{TH}}\Delta v_D\right]$$

$$I_D = I_s\left(e^{V_D/V_{TH}} - 1\right) \qquad \boxed{\Delta i_D = \left(I_s e^{V_D/V_{TH}}\right)\frac{1}{V_{TH}}\Delta v_D.}$$

简单非线性电阻电路分析方法：增量法

$$\Delta i_D = \left(I_s e^{V_D/V_{TH}}\right)\frac{1}{V_{TH}}\Delta v_D. \qquad \Delta i_D = I_D\frac{1}{V_{TH}}\Delta v_D. \qquad \Delta i_D = \left.\frac{df}{dv_D}\right|_{V_D}\Delta v_D.$$



等效电导

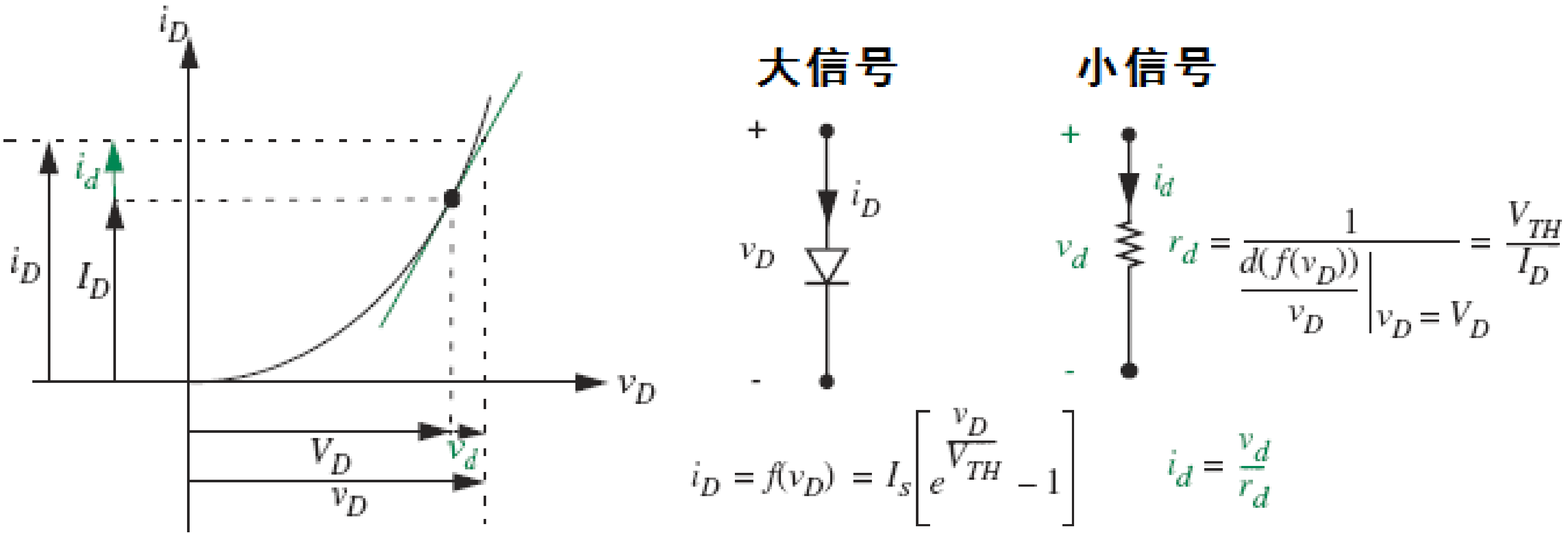
$$\boxed{\frac{\Delta i_D}{\Delta v_D} = g_d = \frac{1}{V_{TH}}I_D}$$

增量电阻

$$\boxed{r_d = \frac{V_{TH}}{I_D}}$$

- 二极管的等效电导取决于直流偏置点（V_D，I_D）
- 增量法又称为小信号分析法

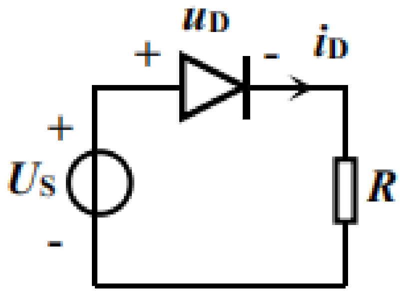
二极管的大信号和小信号模型



- 大信号模型描述V_D和I_D的关系
- 小信号模型（等效电阻）描述v_d和i_d的关系

课堂练习

如图所示，其电压源电压为5+0.1sin10t (V)，电阻R=100Ω。分别考虑二极管不同模型情况下，电路中的电流i_D。



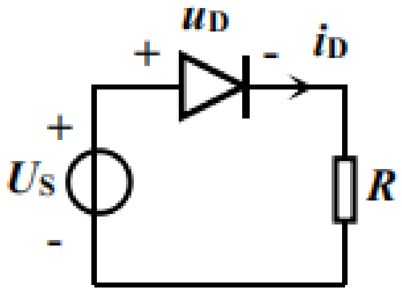
1、考虑二极管是理想模型，计算电流i_D。
2、考虑二极管正向导通电压0.6V，计算电流i_D。
3、考虑二极管正向导通电压0.6V，导通电阻20Ω，计算电流i_D。
4、考虑二极管电压和电流关系为

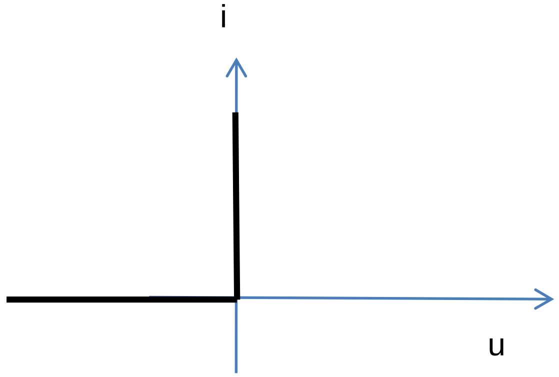
$$i_D = I_S(e^{u_D/V_{th}} - 1)$$

(其中I_S=10^{-10}A，V_{th}=25mV），计算电流i_D。

课堂练习

如图所示，其电压源电压为5+0.1sin10t (V)，电阻R=100Ω。分别考虑二极管不同模型情况下，电路中的电流i_D。



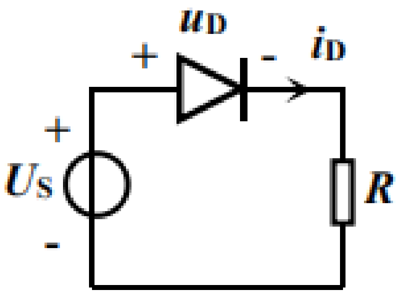


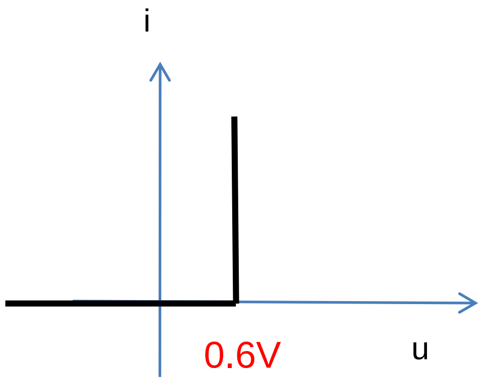
1、考虑二极管是理想模型，计算电流i_D

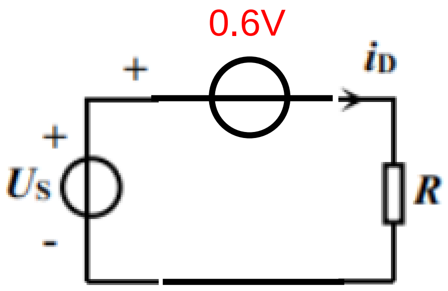
$$i_D = \frac{U_S}{R} = \frac{5 + 0.1\sin 10t}{100} = 50 + \sin 10t(\text{mA})$$

课堂练习

2. 考虑二极管正向导同电压0.6V，计算电流i_D



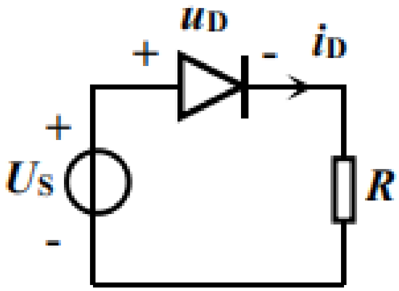


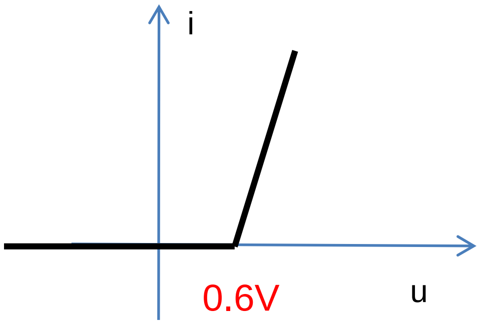


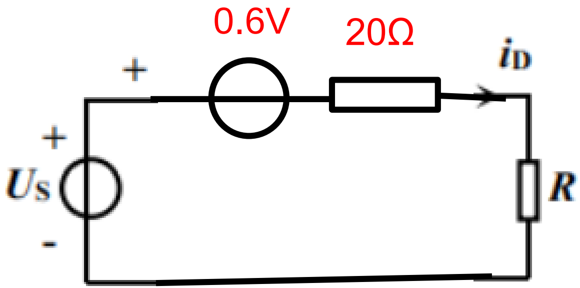
$$i_D=\frac{U_S}{R}=\frac{\mathbf{5\text{-}0.6}+\mathbf{0.1}\sin\mathbf{10}t}{\mathbf{100}}=\mathbf{44}+\sin\mathbf{10}t(\mathrm{mA})$$

课堂练习

3. 考虑二极管正向导通电压0.6V，导通电阻20Ω，计算电流i







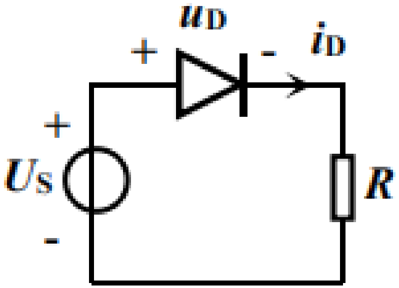
$$i_D = \frac{U_S}{R} = \frac{\mathbf{5\text{-}0.6 + 0.1}\sin\mathbf{10}t}{\mathbf{120}} \approx \mathbf{36.7 + 0.8}\sin\mathbf{10}t(\text{mA})$$

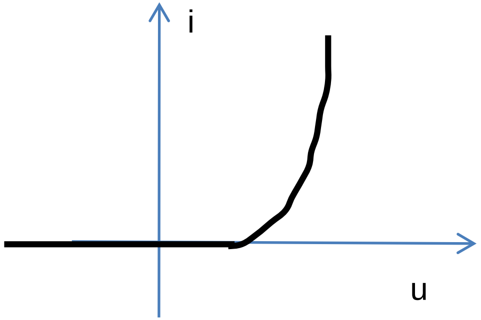
课堂练习

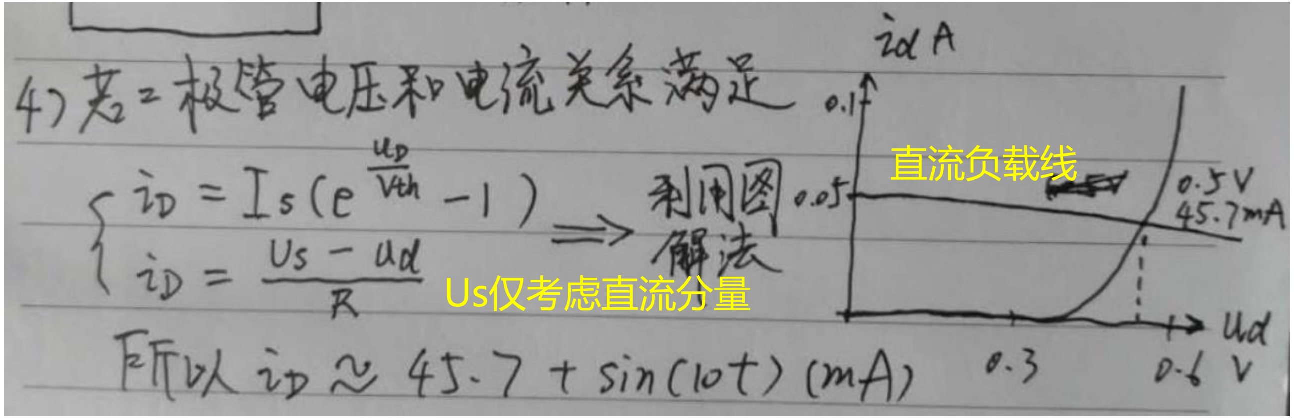
4. 考虑二极管电压和电流关系为

$$i_D = I_S(e^{u_D/V_{th}} - 1)$$

(其中I_S=10^{-10}A， V_{th}=25mV），计算电流i_D

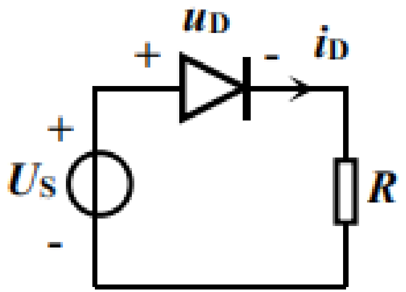






课堂练习

采用小信号分析法求二极管等效电阻



$$r_d = \frac{V_{th}}{I_D} = \frac{25mV}{45.7mA} = 0.5\Omega$$

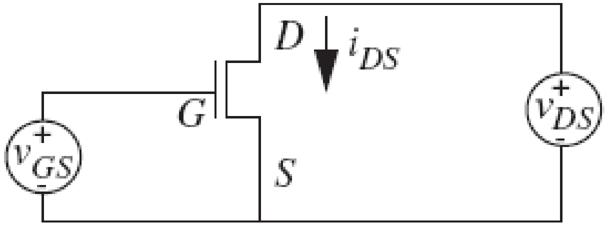
$$i_d = \frac{v_s}{R + r_d} = \frac{0.1\sin\omega t}{100\Omega + 0.5\Omega}(V) \approx \frac{0.1\sin\omega t}{100\Omega}(V) = \sin\omega t(mA)$$

$$i_{\mathrm{D}} = I_D + i_d = 45.7 + \sin\omega t(mA)$$

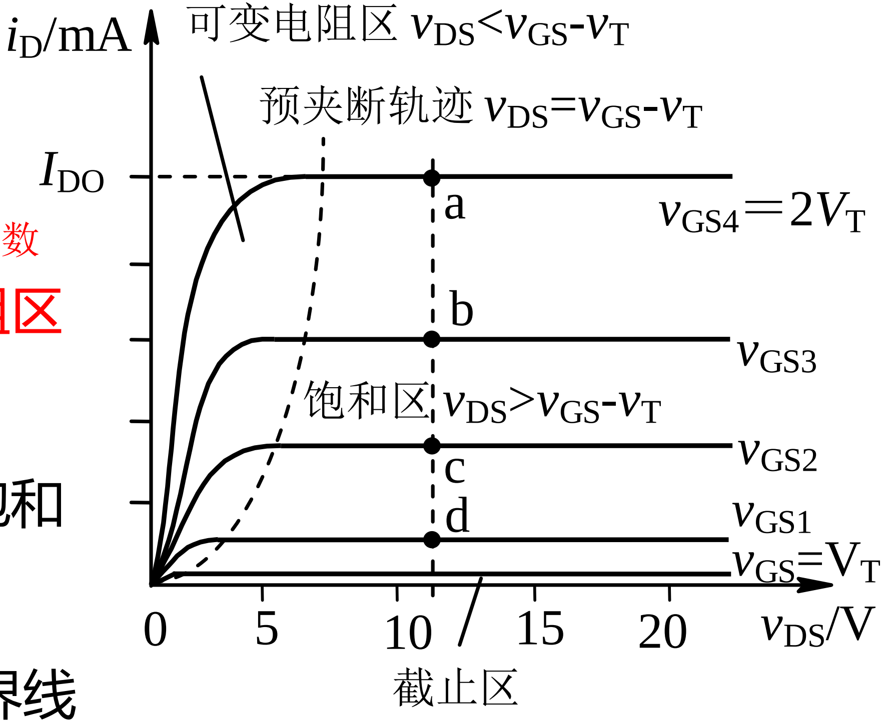
电路分析与电子线路

金属氧化物半导体场效应晶体管
MOSFET

N沟道增强型MOSFET的输出特性曲线

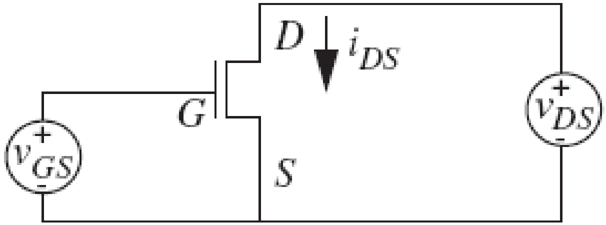


输出特性方程：$i_D = f(v_{DS})\big|_{v_{GS}=常数}$



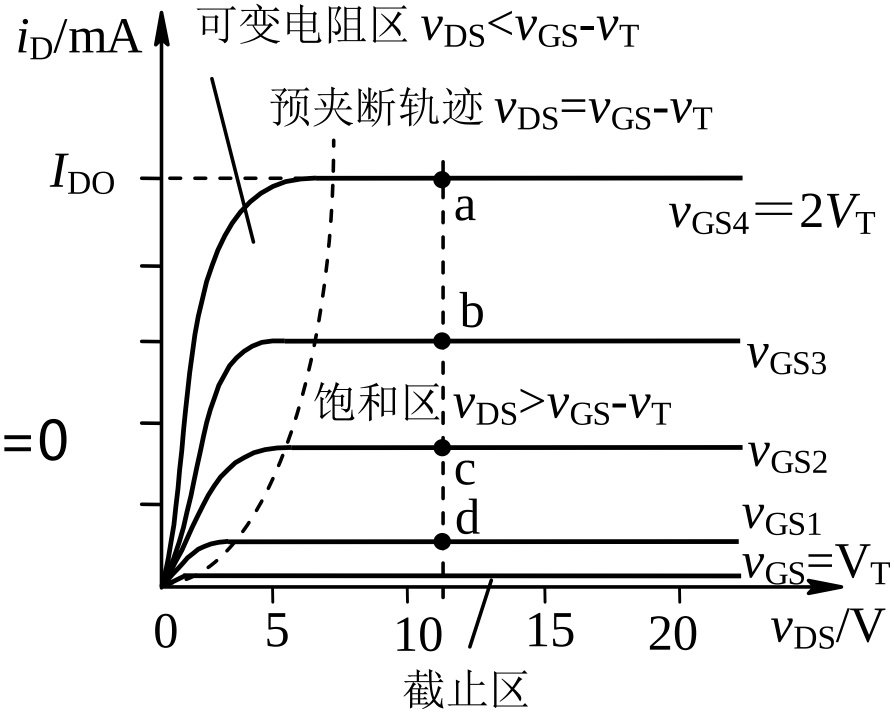
- 输出特性可分为截止区、可变电阻区和饱和区
- 预夹断轨迹曲线是可变电阻区和饱和区的分界线
- $v_{GS}=V_T$则是饱和区和截止区的分界线

输出特性曲线——截止区

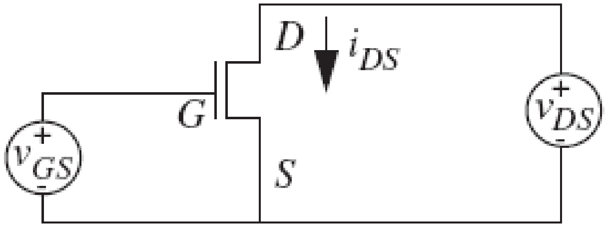


截止区:

- 靠近横轴、i_D近似为零的区域
- $v_{GS}<V_T$，导电沟道尚未形成，$i_D=0$
- MOS管截止

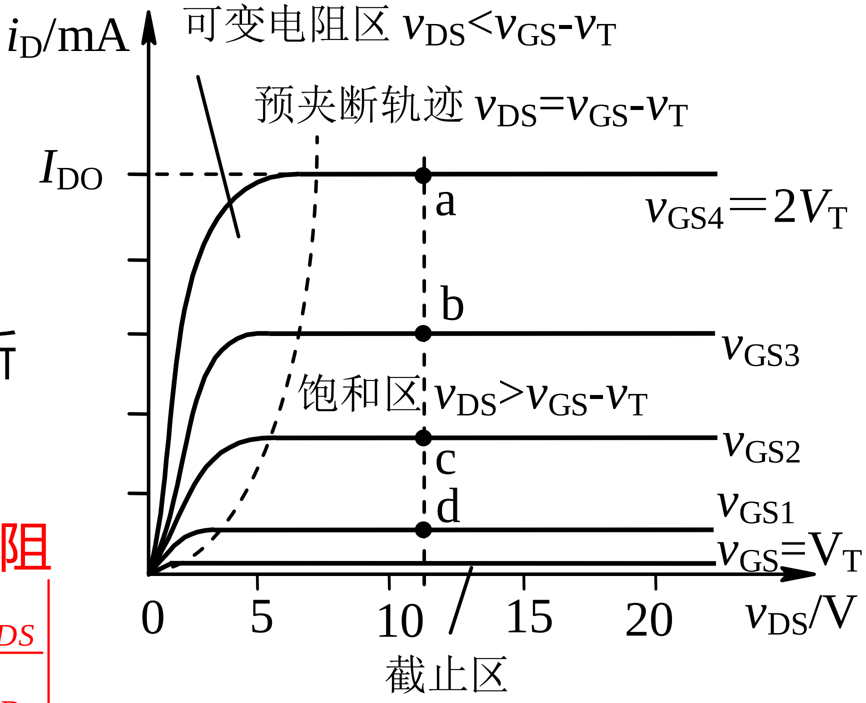


输出特性曲线——可变电阻区（三极管区）



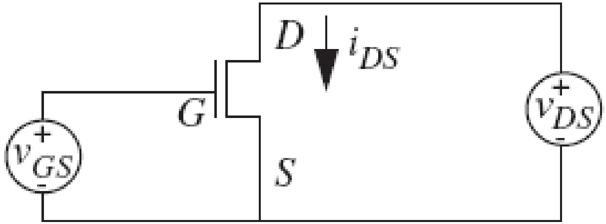
可变电阻区：

- 预夹断轨迹曲线左边的区域
- $v_{DS}<(v_{GS}-V_T)$，导电沟道未被预夹断
- i_D与漏源电压v_{DS}近似成正比
- v_{GS}控制沟道的厚度，即控制沟道电阻



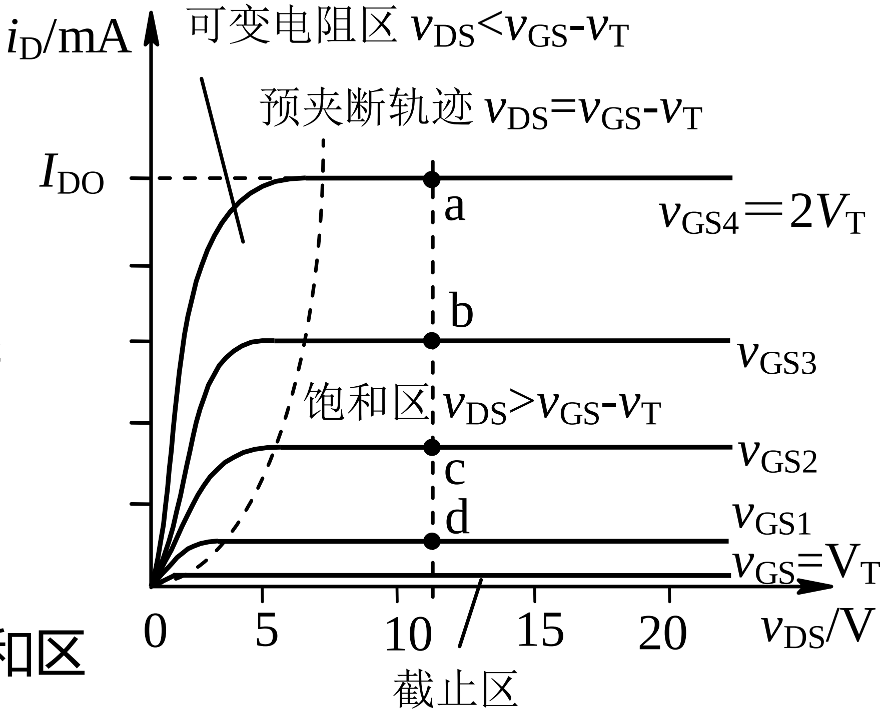
$$沟道电阻r_{DS}=\left.\frac{\Delta v_{DS}}{\Delta i_D}\right|_{v_{GS}=常数}$$

输出特性曲线——饱和区



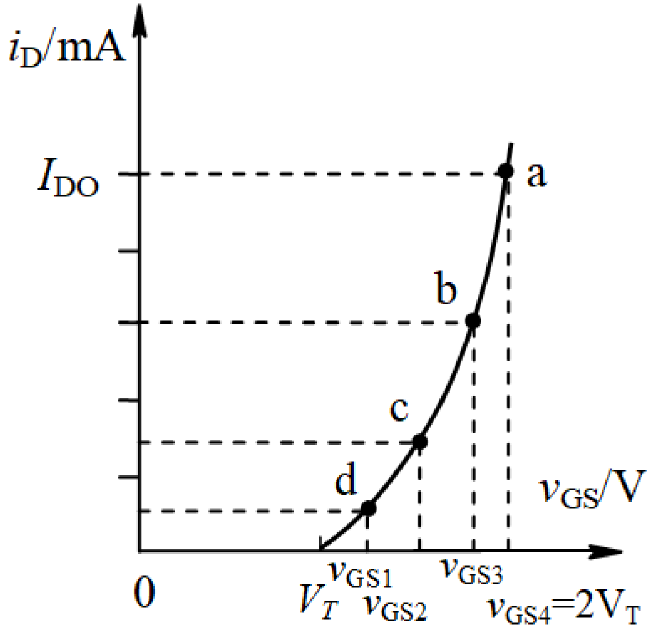
饱和区：

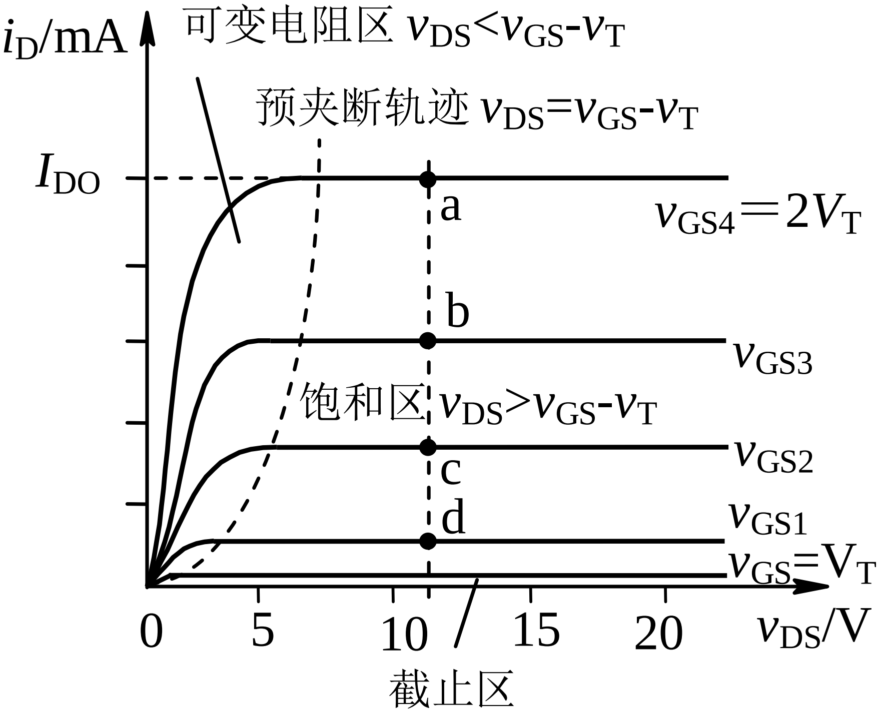
- 预夹断轨迹曲线右边的区域
- $v_{DS}>(v_{GS}-V_T)$，导电沟道被预夹断
- i_D不随v_{DS}的增加而变化（恒流）
- i_D 受v_{GS}控制（压控电流源）
- 放大电路中的MOS管应工作在饱和区



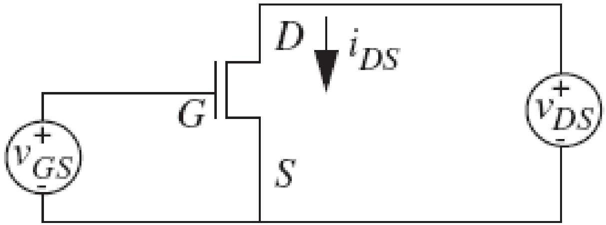
N沟道增强型MOSFET的转移特性曲线

转移特性方程：$i_D = f(v_{GS})\big|_{v_{DS}=\text{常数}}$





N沟道增强型MOSFET漏极电流的计算

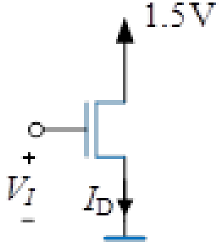


$$i_{DS}=\begin{cases} 0 & v_{GS}<V_T & \text{截止区} \\ K[(v_{GS}-V_T)v_{DS}-\frac{1}{2}v_{DS}^2] & v_{GS}>V_T, v_{DS}<v_{GS}-V_T & \text{可变电阻区} \\ \frac{K}{2}(v_{GS}-V_T)^2 & v_{GS}>V_T, v_{DS}>v_{GS}-V_T & \text{饱和区} \end{cases}$$

课堂练习1

例：电路如图所示，已知MOSFET的V_T =1.2V，K=1mA/V²，求：

1） V_I =1V时，I_D的值。
2） V_I =2V时，I_D的值。
3） V_I =3V时，I_D的值。



$$i_{DS}=\begin{cases} 0 & v_{GS}<V_T \\ K[(v_{GS}-V_T)v_{DS}-\frac{1}{2}v_{DS}^2] & v_{GS}>V_T, v_{DS}<v_{GS}-V_T \\ \frac{K}{2}(v_{GS}-V_T)^2 & v_{GS}>V_T, v_{DS}>v_{GS}-V_T \end{cases}$$

$$V_1=2\mathrm{V}$$

$$\mathrm{V_{GS}}\text{-}\mathrm{V_T}=2-1.2=0.8\mathrm{V}<\mathrm{V_{DS}}=1.5\mathrm{V}$$

$$I_D=\frac{K}{2}(2-1.2)^2=$$

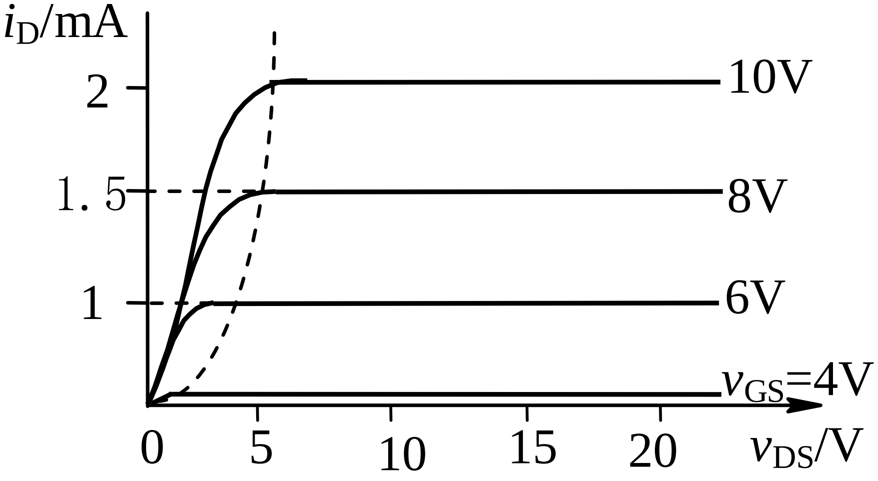
$$V_1=3\mathrm{V}$$

$$\mathrm{V_{GS}}\text{-}\mathrm{V_T}=3-1.2=1.8\mathrm{V}>\mathrm{V_{DS}}=1.5\mathrm{V}$$

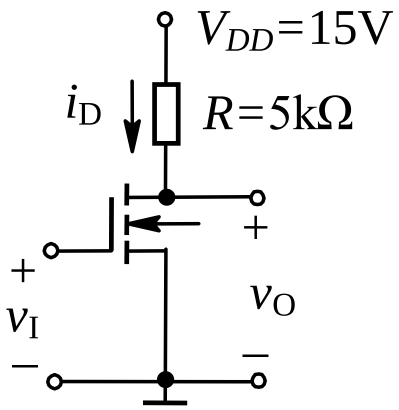
$$I_D=K[(3-1.2)\times1.5-\frac{1.5^2}{2}]=$$

课堂练习2

电路如图(b)所示，场效应管的输出特性如图（a）所示，试分析当v_i分别为0V，6V，10V时，v_o应为多少？



（a）输出特性



（b） 电路

课堂练习2

电路如图(b)所示，场效应管的输出特性如图（a）所示，试分析当v_i分别为0V，6V时，v_o应为多少?

（1）当$v_{GS}=v_I$=0V时，截止，$i_D=0$

$v_O=v_{DS}=V_{DD}$=15V

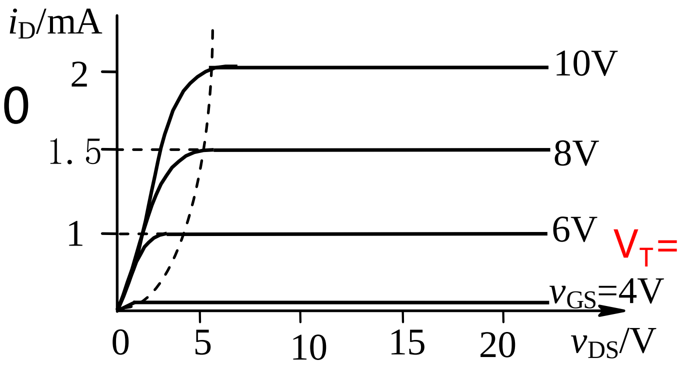
（2）当$v_{GS}=v_I$=6V时

因为V_T=4V，$v_{GS}>V_T$，管子导通

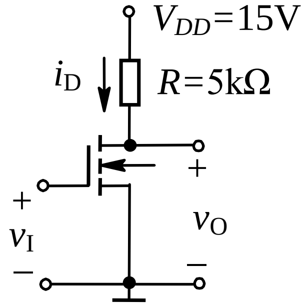
假设管子工作在恒流区，则 i_D=1mA，**$v_O=v_{DS}=V_{DD}-R\,i_D$=15-5×1=10V**

因为$v_{GS}-V_T$=6-4=2V，所以$v_{DS}>v_{GS}-V_T$，管子工作在饱和区，假设成立，

v_O=10V



（a）输出特性



（b） 电路