

T1

无论N型半导体还是P型半导体，在整体上均保持电中性。尽管多子浓度>少子浓度，比如N型半导体中，自由电子浓度>空穴浓度，但由于施主原子原子核的存在，能够抵消比空穴数目多出来的那一部分电子数目，故整体保持电中性。

T2

(1)

A、D

(2)

B、C

(3)

$(n + N_A) * q = (p + N_D) * q$  -----(3)

(4)

带入 (3) 得:

$n^2 - (N_D - N_A) * n - n_i^2 = 0$

解二次方程得n的表达式:

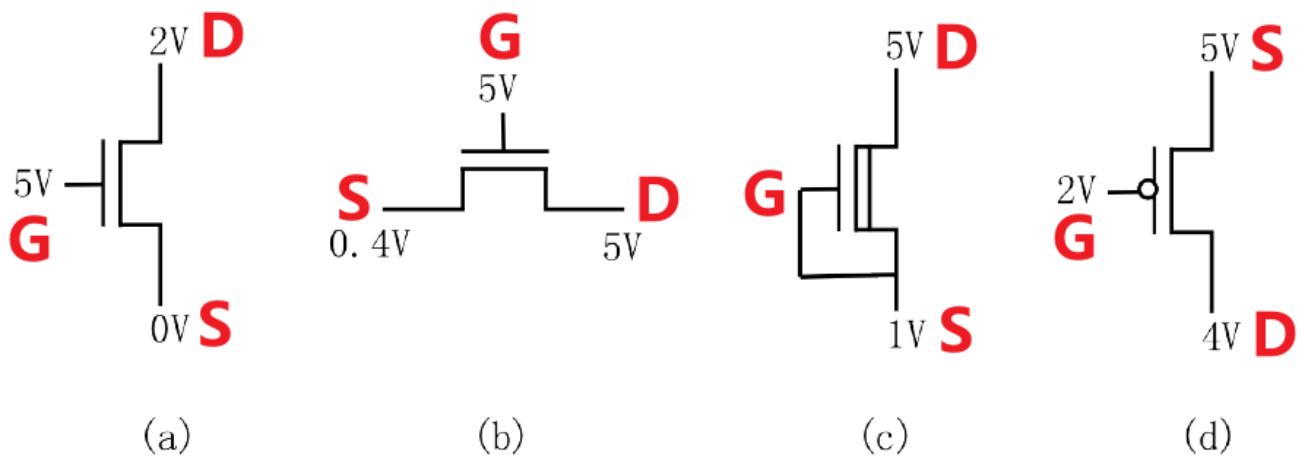
$$n = \frac{(N_D - N_A) \pm \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

由于  $\sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2} > (N_D - N_A)$

所以n的解一正一负，取正解得:

$$n = \frac{(N_D - N_A) + \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

T3



标号	类型	栅、源、漏极	工作状态
----	----	--------	------

标号	类型	栅、源、漏极	工作状态
a	n沟道增强型	(如上图)	线性区
b	n沟道增强型	(如上图)	饱和区
c	n沟道耗尽型	(如上图)	饱和区
d	p沟道增强型	(如上图)	线性区

## T4

### (1) 若都是NMOS

由题可得 $V_G - V_B > V_T$ ，故管M2导通；设中间节点为C，分类讨论，则得到：

$$\textcircled{1} V_G - V_C \geq V_T$$

$$\textcircled{2} V_G - V_C < V_T$$

若为②情况，则M1无电流通过、M2有电流， $V_C$ 将被下拉，最终稳定状态下M1还是会被导通；

若为①情况：

对于M1，由于 $V_G - V_C \geq V_T$ 、而 $V_C > V_B$ ，所以 $V_G - V_B > V_G - V_C$ ，故M2处于线性区；

对于M2，由于 $V_A > V_G - V_T$ ，故 $V_A - V_C > (V_G - V_C) - V_T$ ，即对于M1而言 $V_{DS} > V_{GS} - V_T$ ，故为饱和区；

### (2) 若都是PMOS

PMOS与NMOS电压反转对称，所以M1、M2的工作状态与NMOS相反，即M1管为线性区、M2管为饱和区；

### (3)

假设都是NMOS，则由（1）中工作状态可得对称形式方程：

$$I_{D1} = K_1 * (V_G - V_T - V_C)^2 \quad \text{-----Equation I}$$

$$I_{D2} = K_2 * ((V_G - V_T - V_B)^2 - (V_G - V_T - V_C)^2) \quad \text{-----Equation II}$$

$K_1$ 、 $K_2$ 为两管的导电因子；

由于两管串联，等效成一个管M3，因 $V_B < V_G - V_T < V_A$ ，故为整体工作状态饱和区，得方程：

$$I_{D3} = K_{eff} * (V_G - V_T - V_B)^2 \quad \text{-----Equation III}$$

$K_{eff}$ 为等效管M3的导电因子；

由于 $I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I$ ，故

$$\frac{1}{K_1} = \frac{(V_G - V_T - V_C)^2}{I}$$

$$\frac{1}{K_2} = \frac{(V_G - V_T - V_B)^2}{I} - \frac{(V_G - V_T - V_C)^2}{I}$$

$$\frac{1}{K_{eff}} = \frac{(V_G - V_T - V_B)^2}{I}$$

由上易知， $\frac{1}{K_{eff}} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$ ，即 $K_{eff} = \frac{K_1 * K_2}{K_1 + K_2}$

## T5

首先计算导电因子

$$\beta = (80 * \frac{3.9 * 8.85 * 10^{-14}}{2.6 * 10^{-9}} * 2) = 21240 (\mu A \cdot V^{-2})$$

得到 $I_{DS}$ 表达式

$$\text{线性区: } I_D = \beta[(V_{GS} + 0.3)V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}^2]$$

$$\text{饱和区: } I_D = \frac{\beta}{2}(V_{GS} + 0.3)^2$$

$V_{GS} = -1.2$ 时, 若 $|V_{DS}| < |V_{GS} - V_T| = 0.9V$ , 处于线性区;  $|V_{DS}| > 0.9V$ , 处于饱和区;

$V_{GS} = -0.8$ 时, 若 $|V_{DS}| < |V_{GS} - V_T| = 0.5V$ , 处于线性区;  $|V_{DS}| > 0.5V$ , 处于饱和区;

$V_{GS} = 0$ 时, 未形成沟道, 为截至区;

