

Анализ на постоянно-токов режим на MOS транзистор

1 Режими на работа на MOS транзистор

1.1 Режим на насищане (също активен или пентоден режим)

Условия	Работна точка
$U_{GS} \geq U_{th}$	$I_D = \frac{K}{2}(U_{GS} - U_{th})^2$
$U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th}$	$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D$

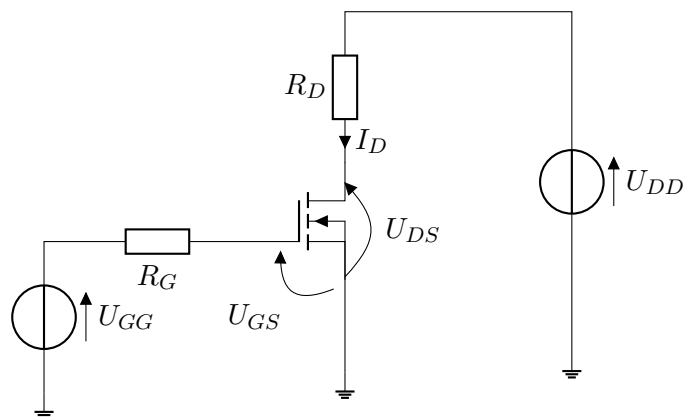
1.2 Линеен режим (също омичен или триоден режим)

Условия	Работна точка
$U_{GS} \geq U_{th}$	$I_D = K[(U_{GS} - U_{th})U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$
$U_{DS} < U_{GS} - U_{th}$	$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D$

1.3 Режим на отсечка

Условие	Работна точка
$U_{GS} < U_{th}$	$I_D = 0$
	$U_{DS} = U_{DD}$

2 Анализ



Фигура 1: N-канален MOS транзистор в схема с общ сорс.

На фигура 1 е показана схема MOS транзистор свързан в схема с общ сорс. Целта на анализа е да се определят U_{GS} , U_{DS} и I_D .

- Определяме U_{GS} като прилагаме законите на Кирхоф и Ом.
- Ако $U_{GS} < U_{th}$, транзисторът е в режим на отсечка (виж 1.3)

$$I_D = 0$$

$$U_{DS} = U_{DD}$$

Задачата е решена.

- Ако $U_{GS} \geq U_{th}$ транзисторът е или в режим на насищане (виж 1.1) или в линеен режим (виж 1.2). За определеност, приемеме че имаме режим на насищане. Трябва да изчислим U_{DS} за да проверим дали нашето предположение е вярно.

Първо намираме I_D

$$I_D = \frac{K}{2}(U_{GS} - U_{th})^2$$

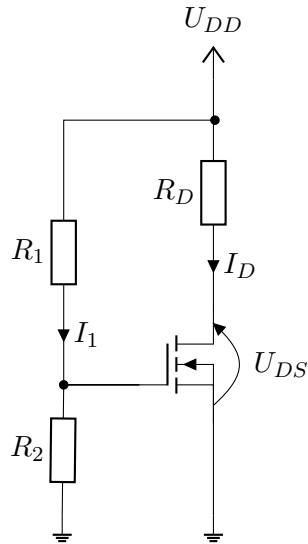
а след това U_{DS}

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D$$

- Ако условието за насищане $U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th}$ е изпълнено, значи нашето предположение е било вярно и получените стойности за I_D и U_{DS} дават работната точка на транзистора. Задачата е решена.
- Ако условието за насищане не е изпълнено, значи транзисторът е в линеен режим и трябва да преизчислим работната точка по формулите

$$I_D = K[(U_{GS} - U_{th})U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$$

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D$$



Фигура 2: Схема на усилвател с MOS транзистор. $U_{DD} = 10V$, $R_1 = 1M\Omega$, $R_2 = 1.5M\Omega$, $R_D = 5k\Omega$

3 Пример - линеен режим

На фигура 2 е показана схема на усилвател с MOS транзистор. Параметрите на транзистора са: специфична стръмност $K = 0.25mA/V^2$, прагово напрежение $U_{th} = 1V$. Определете работната точка.

3.1 Решение

- Определяме U_{GS}

$$U_{DD} = I_1 R_1 + I_1 R_2$$

$$I_1 = \frac{U_{DD}}{R_1 + R_2}$$

Тъй като $I_G = 0$

$$U_{GS} = I_1 R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{DD} = \frac{1.5M\Omega}{1M\Omega + 1.5M\Omega} 10V = 0.6 \cdot 10V = 6V$$

- $U_{GS} = 6V \geq U_{th} = 1V$, следователно транзисторът в линеен режим или в режим на насищане.

Приемем че транзисторът е в режим на насищане и определяме работната точка.

$$I_D = \frac{K}{2} (U_{GS} - U_{th})^2 = \frac{0.25mA/V^2}{2} (6V - 1V)^2 = \frac{0.25 \cdot 25}{2} = 3.125mA$$

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D = 10V - 5k\Omega \cdot 3.125mA = -5.625V$$

Условието за насищане $U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th}$ не е изпълнено тъй като

$$-5.625V < 6V - 1V = 5V$$

- Следователно транзисторът е в линеен режим и трябва да преизчислим работната точка. Уравнението за дрейновия ток е:

$$I_D = K[(U_{GS} - U_{th})U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2] \quad (1)$$

Според закона на Кирхоф за напреженията в затворен контур:

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D$$

$$I_D = \frac{U_{DD} - U_{DS}}{R_D} \quad (2)$$

От изразите 1 и 2 и получаваме

$$\frac{U_{DD} - U_{DS}}{R_D} = K[(U_{GS} - U_{th})U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2] \quad (3)$$

Преобразуваме 3 за да получим квадратно уравнение с неизвестно U_{DS}

$$U_{DD} - U_{DS} = K \cdot R_D[(U_{GS} - U_{th})U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$$

$$10V - U_{DS} = 0.25mA/V^2 \cdot 5k\Omega[(6V - 1V)U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$$

$$10 - U_{DS} = 1.25[5U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$$

$$10 - U_{DS} = 6.25U_{DS} - 0.625U_{DS}^2$$

$$0.625U_{DS}^2 - 6.25U_{DS} - U_{DS} + 10 = 0$$

$$0.625U_{DS}^2 - 7.25U_{DS} + 10 = 0$$

$$U_{DS} = \frac{7.25 \pm \sqrt{7.25^2 - 4 \cdot 0.625 \cdot 10}}{2 \cdot 0.625}$$

$$U_{DS} = \frac{7.25 \pm \sqrt{56.5625 - 25}}{1.25}$$

Уравнението има два корена

$$U_{DS1} = \frac{7.25 + 5.62}{1.25} = 10.3V$$

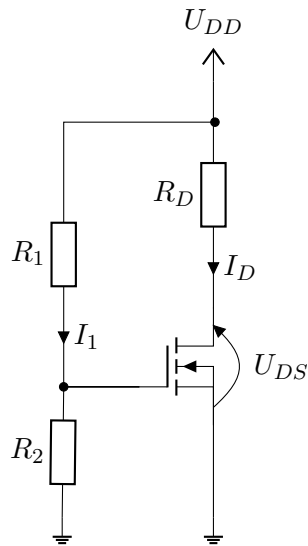
$$U_{DS2} = \frac{7.25 - 5.62}{1.25} = 1.3V$$

от които само единият съответства на работната точка на транзистора. U_{DS} не може да е по-голямо от U_{DD} , поради което правилната стойност на U_{DS} е

$$U_{DS} = U_{DS2} = 1.3V$$

За да получим I_D заместваем $U_{DS} = 1.3V$ в уравнение 2

$$I_D = \frac{U_{DD} - U_{DS}}{R_D} = \frac{10V - 1.3V}{5k\Omega} = \frac{8.7V}{5k\Omega} = 1.74mA$$



Фигура 3: Схема на усилвател с MOS транзистор. $U_{DD} = 10V$, $R_1 = 1.5M\Omega$, $R_2 = 1M\Omega$, $R_D = 5k\Omega$

4 Пример - режим на насищане

На фигура 3 е показана схема на усилвател с MOS транзистор. Параметрите на транзистора са: специфична стръмност $K = 0.25mA/V^2$, прагово напрежение $U_{th} = 1V$. Определете работната точка.

4.1 Решение

- Определяме U_{GS}

$$U_{DD} = I_1 R_1 + I_1 R_2$$

$$I_1 = \frac{U_{DD}}{R_1 + R_2}$$

Тъй като $I_G = 0$

$$U_{GS} = I_1 R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{DD} = \frac{1M\Omega}{1.5M\Omega + 1M\Omega} 10V = 0.4 \cdot 10V = 4V$$

- $U_{GS} = 4V \geq U_{th} = 1V$, следователно транзисторът е в режим на насищане.

Приемем че транзисторът е в режим на насищане и определяме работната точка.

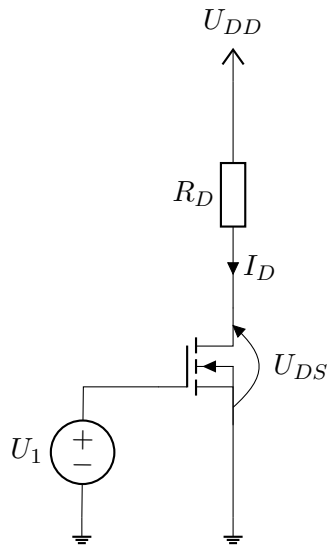
$$I_D = \frac{K}{2} (U_{GS} - U_{th})^2 = \frac{0.25mA/V^2}{2} (4V - 1V)^2 = \frac{0.25 \cdot 9}{2} = 1.125mA$$

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D I_D = 10V - 5k\Omega \cdot 1.125mA = 10 - 5.625 = 4.375V$$

Условието за насищане $U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th}$ е изпълнено тъй като

$$4.375V > 4V - 1V = 3V$$

Следователно транзисторът е в режим на насищане и получените стойности за I_D и U_{DS} дават работната точка на транзистора. Задачата е решена.



Фигура 4: Схема на усилвател с MOS транзистор. $U_{DD} = 10V$, $R_D = 5k\Omega$, $U_1 = 0.5V$

5 Пример - режим на отсечка

На фигура 4 е показана схема на усилвател с MOS транзистор. Параметрите на транзистора са: специфична стръмност $K = 0.25mA/V^2$, прагово напрежение $U_{th} = 1V$. Определете работната точка.

5.1 Решение

- Определяме U_{GS}

$$U_{GS} = U_1 = 0.5V$$

- $U_{GS} = 0.5V < U_{th} = 1V$, следователно транзисторът е в режим на отсечка.

$$I_D = 0$$

$$U_{DS} = U_{DD} = 10V$$