
Определяне на основните параметри за ръчни изчисления на MOS транзисторите от BSIM модели

Проектиране на аналогови интегрални схеми

Емил Д. Манолов, edm@tu-sofia.bg, edmanolov@gmail.com
кат. “Електронна техника”, Технически университет - София

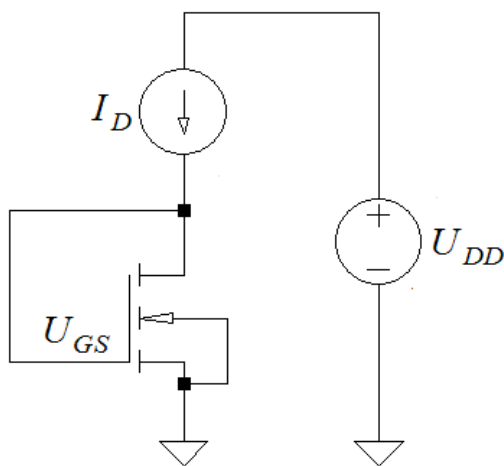
Основни параметри за ръчни изчисления на MOS транзисторите

Основните параметри на MOS транзисторите, които се използват при началните ръчни пресмятания, са: U_{TN0} (U_{TP0}), K_n (K_p), λ_n (λ_p), γ_n (γ_p).

За технологиите с “дълъг канал” ($L_{\min} \geq 1\mu m$) тези величини се съдържат директно в стандартните PSpice модели (напр. Level=2).

Зависимостите между токовете и напреженията в съвременните транзистори с “къс канал” ($L_{\min} < 1\mu m$) са много по-сложни от тези с “дълъг канал”. Това усложнява многократно компютърните модели, с които те се представят. Последните най-често използвани версии на BSIM моделите съдържат няколкостотин параметъра за всеки тип транзистор, като от тях трябва да се извлекат посочените по-горе 8 параметъра. За целта се използват различни подходи – от пресмятане на търсените величини с помощта на параметрите на BSIM модела до определянето им на базата на симулации. Вторият подход е препоръчван и широко използван в учебната и инженерната практика като първа стъпка за запознаване с технологията.

Определяне на праговото напрежение U_{TN0} (U_{TP0}) и фактора на стръмността K_n (K_p) - 1



$$I_D = \frac{K_n}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TN0})^2 [1 + \lambda_n (U_{DS} - U_{DSAT})]$$

За да се елиминира влиянието на коефициента λ_n , се избира дължина на канала $L \geq 20L_{min}$.

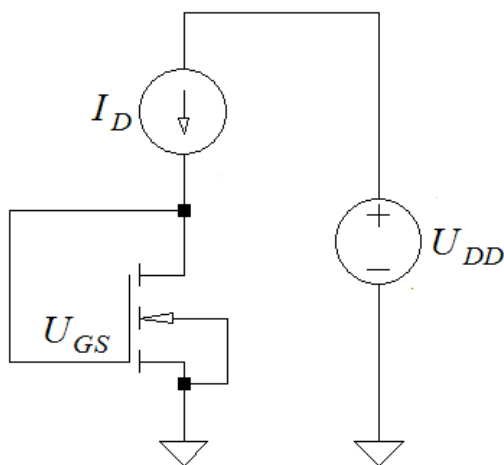
Избира се и $W = L$, така че формулата се опростява

$$I_D = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TN0})^2 \rightarrow U_{GS} = \sqrt{\frac{2}{K_n}} \sqrt{I_D} + U_{TN0}$$

Последователност на изследването

- Задава се развивка на тока в диапазона на най-често използваните стойности (напр. от $10\mu A$ до $100\mu A$ за типичните аналогови приложения);
- От резултатите от симулацията се построява графиката $U_{GS} = f(\sqrt{I_D})$, представляваща права линия $y = ax + b$.

Определяне на праговото напрежение U_{TN0} (U_{TP0}) и фактора на стръмността K_n (K_p) - 2



$$I_D = \frac{K_n}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TN0})^2 [1 + \lambda_n (U_{DS} - U_{DSAT})]$$

За да се елиминира влиянието на коефициента λ_n , се избира дължина на канала $L \geq 20L_{min}$.

Избира се и $W = L$, така че формулата се опростява

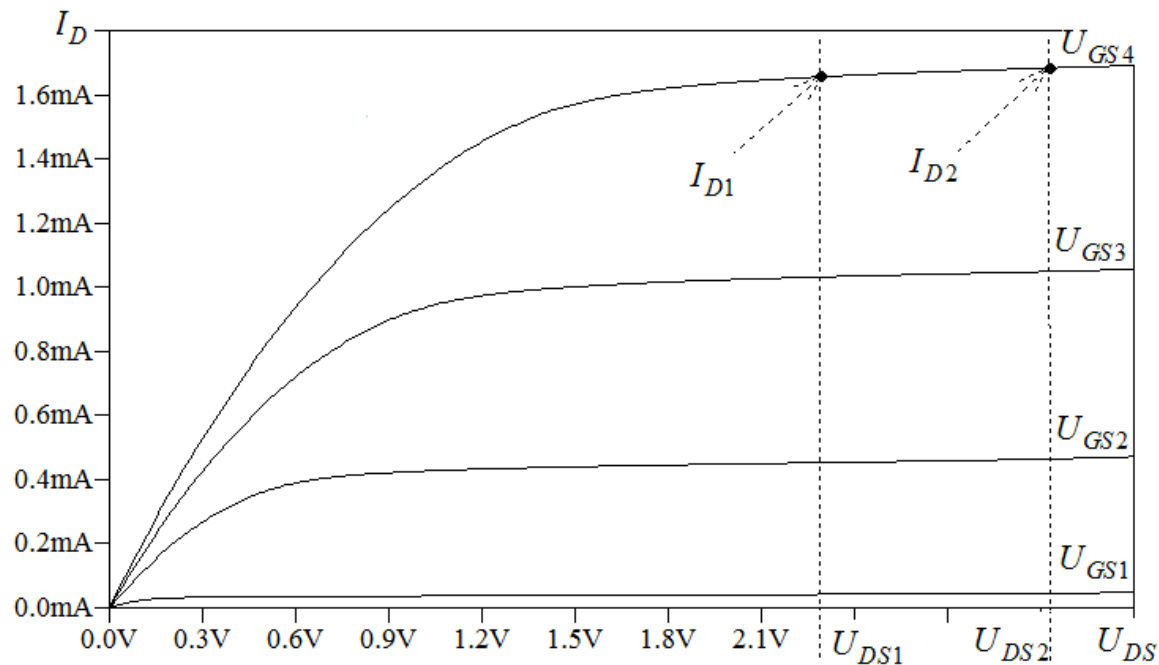
$$I_D = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TN0})^2 \rightarrow U_{GS} = \sqrt{\frac{2}{K_n}} \sqrt{I_D} + U_{TN0}$$

- Определят се коефициентите a и b на правата линия, а от тях – U_{TN0} и K_n . За целта се използват формулите:

$$U_{TN0} = b; \quad \sqrt{\frac{2}{K_n}} = a; \quad K_n = \frac{2}{a^2}.$$

По подобен начин се определят и параметрите U_{TP0} и K_p . За целта е необходимо схемата да се модифицира за pMOS транзистор.

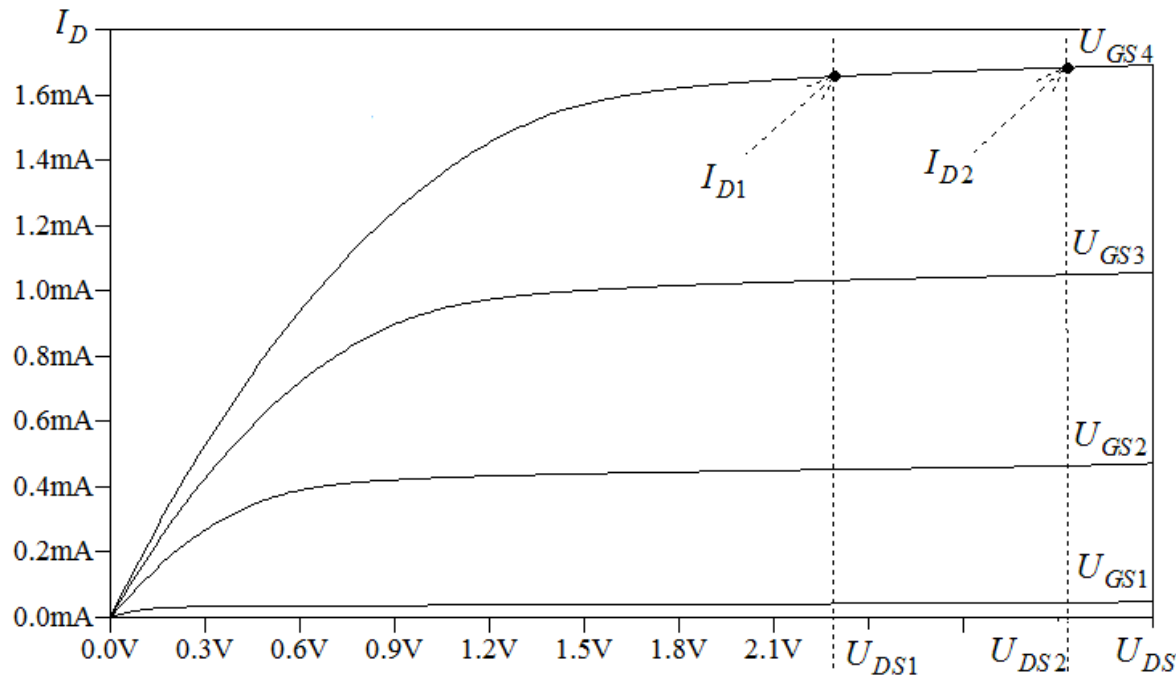
Определяне на коефициента на модулация на дължината на канала $\lambda_n (\lambda_p) - 1$



Използва се фамилията изходни характеристики на транзистора.

Върху една от характеристиките се избират две точки в областта на насищане. Първата се характеризира с ток I_{D1} при напрежение U_{DS1} , а втората – с I_{D2} при U_{DS2} .

Определяне на коефициента на модулация на дължината на канала λ_n (λ_n) - 2

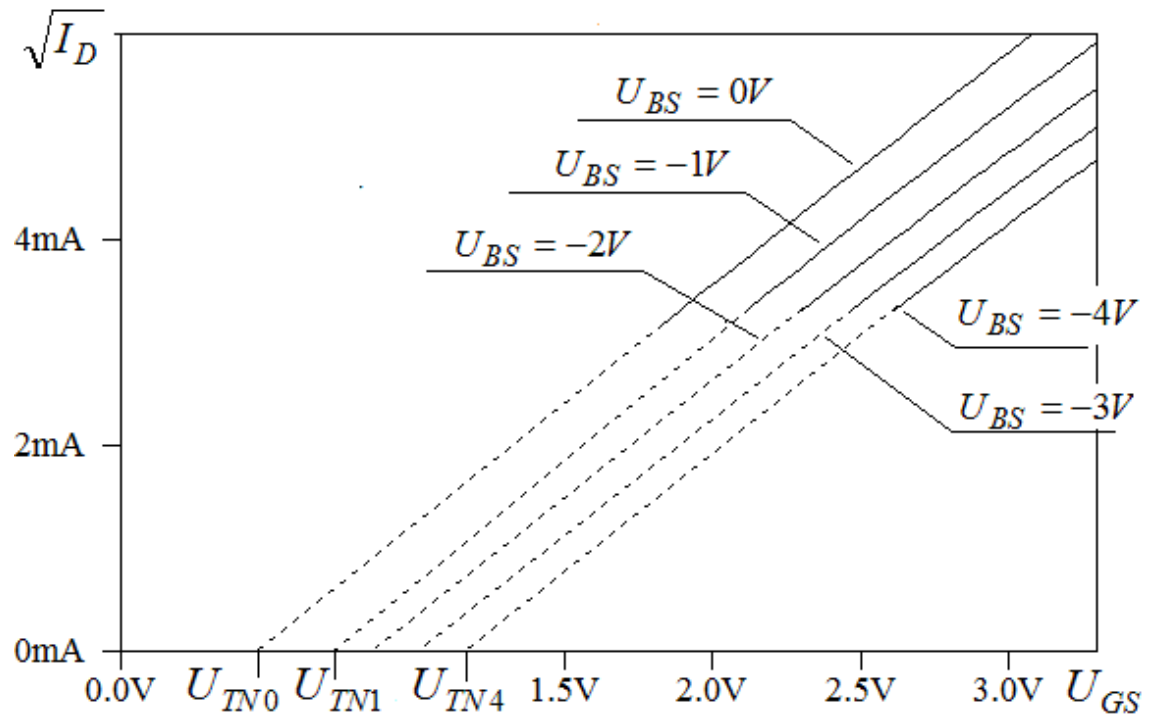
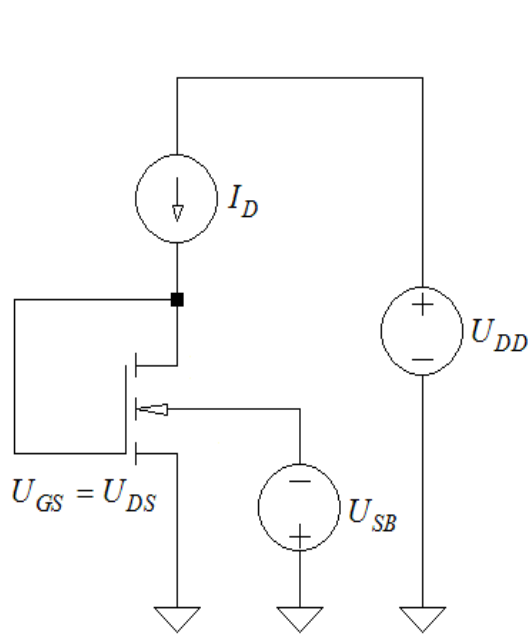


Автоматично чрез курсорите на PSpice се отчита наклонът (*Slope*)

между двете точки $-\frac{dI_D}{dU_{DS}}$. Това е изходната проводимост $g_{ds} = \frac{1}{r_{ds}}$.

$$\lambda_n = \frac{g_{ds}}{I_{Dsat}} \approx \frac{g_{ds}}{I_{D1}}$$

Определяне на параметъра на ефекта на подложката γ_n (γ_p) - 1



$$U_{TN} = U_{TN0} + \gamma_n \left(\sqrt{U_{SB} + |2\phi_F|} - \sqrt{|2\phi_F|} \right)$$

Определяне на параметъра на ефекта на подложката γ_n (γ_p) - 2

Последователност на работа:

- Задава се развивка на тока в диапазона на най-често използваните стойности (напр. от $10\mu A$ до $100\mu A$ за типичните аналогови приложения);
 - Задава се стъпална развивка на напрежението U_{SB} .
 - След симулиране се получава графика, представяща връзката между напрежението U_{GS} и $\sqrt{I_D}$, при параметър U_{SB} .
 - Определят праговите напрежения за всяка една от стойностите на U_{SB} . С получените резултати се чертае графика на зависимостта на U_{TN} от $\left(\sqrt{U_{SB} + |2\phi_F|} - \sqrt{|2\phi_F|}\right)$, представляваща права линия. За целта се приема, че $|2\phi_F| = 0.6V$.
 - Ъгловият коефициент на получената права линия дава приблизителната стойност на γ_n .
- По подобен начин може да се определи и γ_p .

Стойности на основните параметри за ръчни изчисления на $0,35\mu\text{m}$ CMOS транзистори от технологията на AMS

Параметрите се използват при ръчните пресмятания на аналоговите CMOS схеми в лабораторните упражнения. Стойностите им са получени от *tm*-модела по методите, описани в презентацията, и са закръглени с цел опростяване на изчисленията.

	nMOS	pMOS
U_{TN0} (U_{TP0})	0.45 V	-0.6 V
K_n (K_p)	100 $\mu\text{A}/\text{V}^2$	40 $\mu\text{A}/\text{V}^2$
λ_n (λ_p) ($L = 2\mu\text{m}$, $ U_{eff} = 0.2\text{V}$, $ U_{DS} = 1.65\text{V}$)	0.014 V^{-1}	0.018 V^{-1}
γ_n (γ_p)	0.55 $\text{V}^{1/2}$	0.33 $\text{V}^{1/2}$

Основни формули и зависимости, използвани при "ръчно" оразмеряване на CMOS транзистори

Основни параметри на MOS транзисторите

μ_n - подвижност на електроните; μ_p - подвижност на дупките

C_{OX} - специфичен капацитет на окиса под гейта;

W - широчина на канала; L - дължина на канала;

$K_n = \mu_n C_{OX}$ - фактор на стръмността за nMOS транзистор;

$K_p = \mu_p C_{OX}$ - фактор на стръмността за pMOS транзистор;

U_{TN} (U_{TP}) - прагово напрежение на nMOS (pMOS) транзистор;

U_{TN0} (U_{TP0}) - прагово напрежение на nMOS (pMOS) транзистор при свързани нахъсо сорс и подложка ($U_{SB} = 0$).

Стойност на праговото напрежение при различни стойности на U_{SB} :

$$U_{TN} = U_{TN0} + \gamma_n \left(\sqrt{U_{SB} + |2\phi_F|} - \sqrt{|2\phi_F|} \right)$$

γ_n - параметър на ефекта на подложката, $\gamma_n \approx (0.4 \div 0.8)V^{1/2}$,

ϕ_F - потенциал на Ферми, $|2\phi_F| \approx 0.6V$.

Постояннотокови зависимости в силна инверсия, линейна област

Работа на pMOS транзистор в силна инверсия, в линейната област

Условия:

$$\left| \begin{array}{l} U_{eff} = U_{GS} - U_{TN} \geq 0.1V \\ U_{DS} < U_{eff} = U_{GS} - U_{TN} = U_{DSAT} \end{array} \right.$$

Уравнение за дрейновия ток:

$$I_D = K_n \frac{W}{L} \left(U_{GS} - U_{TN} - \frac{U_{DS}}{2} \right) U_{DS}$$

Постояннотокови зависимости в силна инверсия, област на насищане

Работа на nMOS транзистор в силна инверсия, в областта на насищане

Условия:

$$\left| \begin{array}{l} U_{eff} = U_{GS} - U_{TN} \geq 0.1V \\ U_{DS} \geq U_{eff} = U_{GS} - U_{TN} = U_{DSAT} \end{array} \right.$$

Уравнение за дрейновия ток:

$$I_{DSAT} = \frac{K_n W}{2 L} (U_{GS} - U_{TN})^2$$
$$I_D = I_{DSAT} [1 + \lambda (U_{DS} - U_{DSAT})]$$

Забележка: Представените уравнения са в сила и за pMOS транзистори при условие, че напреженията се вземат по абсолютна стойност.

Променливотокови параметри в силна инверсия, област на насищане

ПРОМЕНЛИВОТОКОВИ ПАРАМЕТРИ В СИЛНА ИНВЕРСИЯ, В ОБЛАСТТА НА НАСИЩАНЕ

Стръмност:

$$g_m = K_n \frac{W}{L} U_{eff} = \sqrt{2K_n \frac{W}{L} I_D} = \frac{2I_D}{U_{eff}}$$

Изходна проводимост:

$$g_{ds} = \frac{1}{r_{ds}} = \lambda I_{DSAT} \approx \lambda I_D$$

Стръмност спрямо подложката:

$$g_{mb} = \frac{\gamma g_m}{2\sqrt{U_{SB} + |2\phi_F|}} \approx 0.2g_m$$

Постояннотокови зависимости в слаба инверсия, област на насищане

Условия:

$$\left| \begin{array}{l} U_{eff} = U_{GS} - U_{TN} < 0.1V \\ U_{DS} \geq 4\varphi_T \approx 100mV \end{array} \right.$$

Уравнение за дрейновия ток:

$$I_D \cong I_{D0} \frac{W}{L} \exp\left(\frac{U_{GS} - U_{TN}}{n\varphi_T}\right), \quad \text{където } n = 1 + \frac{C_{j0}}{C_{OX}} \approx 1.5,$$

I_{D0} - зависи от технологията и има стойност няколко десетки nA,

C_{j0} - специфичен капацитет между подложката и сорса

Благодаря за вниманието!
