

Travail 2

Transistor MOS : Analyse AC

Dans ce travail, on s'intéresse aux caractéristiques petit signal de l'amplificateur PMOS en source commune dont le point de polarisation a été étudié dans le travail 1. Pour ce second travail, le point de polarisation à utiliser est $V_G = 2.15$ [V], généré par des résistances de polarisation $R_{B1} = 363$ [k Ω] et $R_{B2} = 680$ [k Ω]. Pour les questions qui suivent, les graphes demandés doivent être réalisés **à la main**. On considère une tension d'alimentation $V_{DD} = 3.3$ V. Le schéma de l'amplificateur est représenté à la Fig. ?? et les paramètres du transistor PMOS sont repris dans la Table ??.

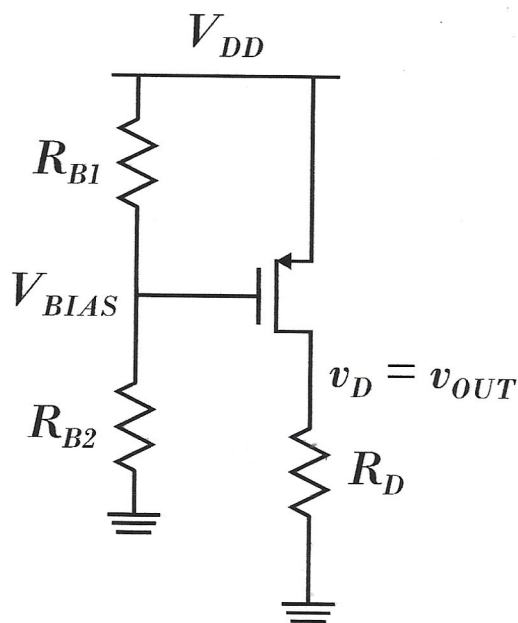


Fig. 2.1 – Schéma de l'amplificateur PMOS monté en source commune.

W [μm]	L [μm]	μ_p [$\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$]	t_{ox} [nm]	$V_{T0,p}$ [V]	$V_{EA,p}$ [V]
2.5	1	250	20	-0.9	16

TABLE 2.1 – Paramètres technologiques du transistor PMOS.

1. Paramètres petit signal :

- Donnez la définition et l'expression analytique de la transconductance g_m et de la conductance de sortie g_d du transistor PMOS.
- Sur base du point de fonctionnement DC donné dans l'énoncé, estimez leur valeur numérique. Précisez les paramètres utilisés.
- Calculez le point de fonctionnement du circuit par une simulation Spice (.op) et reportez les valeurs de g_m et g_d présentes dans le fichier .log.

$$g_m = \left. \frac{\partial I_{SD}}{\partial V_{SG}} \right|_{V_{SG}=V_{SG}} = \left. \frac{\partial}{\partial V_{SG}} \left(\frac{k_p}{2} (V_{SG} - |V_{TO,P}|)^2 \right) \right|_{V_{SG}=V_{SG}}$$

$$= \frac{2k_p}{2} (V_{SG} - |V_{TO,P}|) \Big|_{V_{SG}=V_{SG}} = \frac{2k_p}{2} (V_{SG} - |V_{TO,P}|)$$

$$= \frac{2k_p}{2} \frac{(V_{SG} - |V_{TO,P}|)^2}{(V_{SG} - |V_{TO,P}|)} = \frac{2I_{SD}}{V_{OV}}$$

On ne prend pas en compte l'effet d'Early dans le calcul de g_m .

$$I_{SD} = \frac{1}{2} \mu_p \cdot \frac{3,3 \times 10^{-6}}{L_{ox}} \frac{W}{L} (V_{DD} - V_G - |V_{TO,P}|)^2 = 3,371 \mu A$$

$$V_{OV} = (V_{SG} - |V_{TO,P}|) = (V_{DD} - V_G - |V_{TO,P}|) = 0,25 V$$

$$g_d = \left. \frac{\partial I_{SD}}{\partial V_{SD}} \right|_{V_{SG}=V_{SG}, V_{SD}=V_{SD}} = \left. \frac{\partial}{\partial V_{SD}} \left(\frac{k_p}{2} (V_{SG} - |V_{TO,P}|)^2 (1 + \lambda V_{SD}) \right) \right|_{V_{SG}=V_{SG}, V_{SD}=V_{SD}}$$

$$= \lambda_p \frac{k_p}{2} (V_{SG} - |V_{TO,P}|)^2 \Big|_{V_{SG}=V_{SG}} = \lambda_p \frac{k_p}{2} (V_{SG} - |V_{TO,P}|)^2$$

$$= \lambda_p I_{SD} = \frac{I_{SD}}{V_{EA,P}}$$

Dans le fichier spice j'ai utilisé le error log pour trouver les valeurs du tableau.

Si on le fait avec les graphes, on obtient des meilleures valeurs.

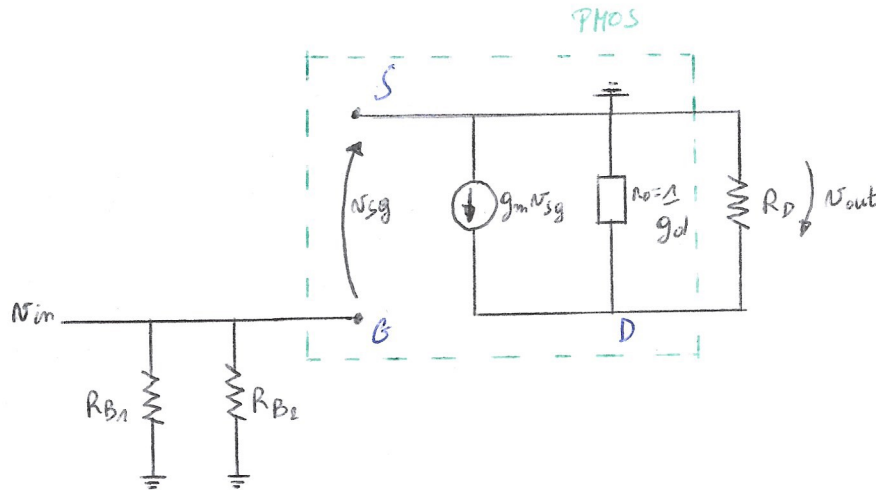
$$g_d = 273 \mu S$$

$$g_m = 28,5 \mu S$$

Grandeur	Unité	Valeur calculée	Valeur simulée sur Spice
g_m	μS	26,97	30,5
g_d	μS	210,7	675

2. Dessinez le schéma petit signal du circuit d'amplification complet et donnez la définition et l'expression analytique du gain en tension intrinsèque de l'amplificateur. Comparez ensuite la valeur calculée avec la valeur simulée sur base du point de fonctionnement donné dans l'énoncé. Finalement, donnez la définition, l'expression analytique et la valeur numérique des résistances d'entrée et de sortie de l'amplificateur.

Schéma petit signal :



Gain en tension : $A_{v0} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -(r_o // R_D) g_m = -8,32 [V/V]$

Pour les valeurs simulées de g_d et g_m , on obtient $A_{v0} = -8,62 [V/V]$
 J'ai pris les valeurs suivantes : $\begin{cases} g_d = 273 \text{ mS} \\ g_m = 28,5 \mu\text{S} \end{cases}$

Les valeurs sont relativement proche, on a un écart de 3,5% entre les calculs et la simulation. Le Gain dans le dessin était de $-8,82 [V/V]$ ce qui est proche.

Résistances d'entrée et de sortie :

$$R_{in} = \left. \frac{v_{in}}{i_{in}} \right|_{R_L = \infty} = (R_{B1} // R_{B2}) = 236,663 [k\Omega]$$

$$R_{out} = \left. \frac{v_{out}}{i_{out}} \right|_{v_{in} = 0} = (r_o // R_D) = 308,546 [k\Omega]$$

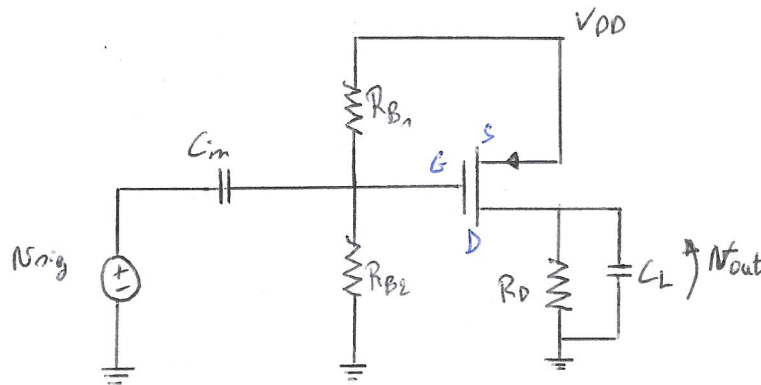
Prénom: THÉO

Nom: DENIS

NOMA: 27411800

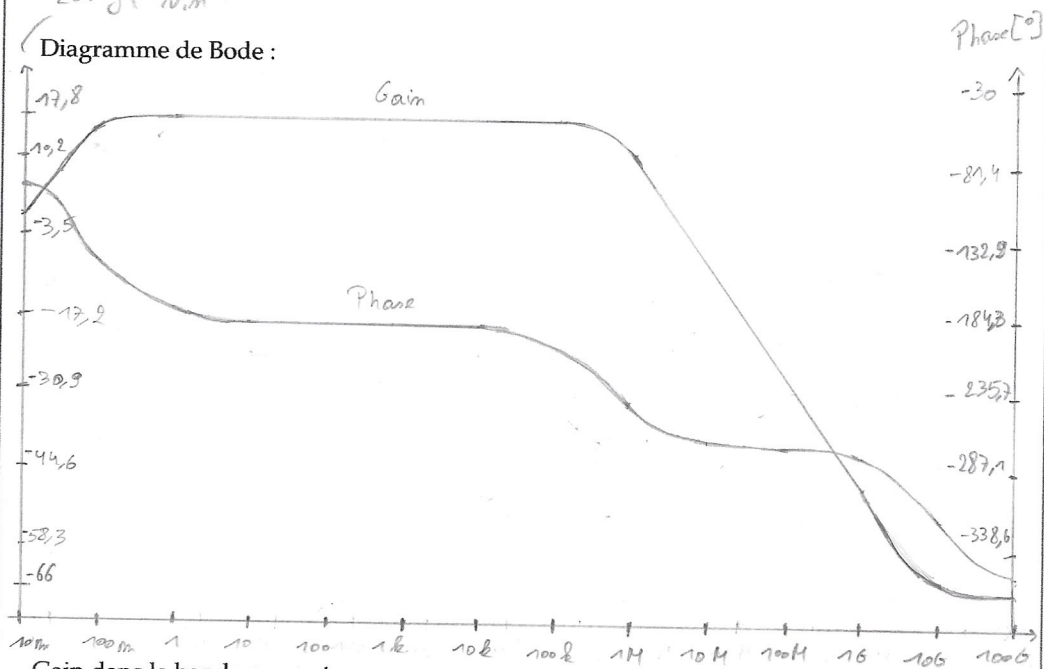
3. Réalisez une simulation AC du montage avec Spice et tracez le diagramme de Bode précis (avec échelles) du gain en tension. Pour ce faire, utilisez en entrée du circuit une source de tension AC, notée v_{sig} , appliquée via une capacité de couplage $C_{in} = 10 [\mu F]$, et une charge capacitive $C_L = 1 [\mu F]$ entre v_{OUT} et la masse. Comparez ensuite les résultats de simulation du gain dans la bande passante aux calculs effectués précédemment.

Schéma du montage :



$$20 \log \left(\frac{|v_{out}|}{v_{in}} \right) [dB]$$

Diagramme de Bode :



Gain dans la bande passante : 17,85 [dB]

Grandeur	Unité	Valeur calculée	Valeur simulée sur Spice
A_{v0}	V/V	-8,32	-7,80

4. Quel est l'impact sur le gain en tension de l'ajout d'une résistance $R_{sig} = 250 [\Omega]$ en série avec la source AC en entrée et d'une résistance de charge $R_L = 5 [M\Omega]$ en parallèle avec la sortie. Quelles conditions les résistances R_{sig} et R_L doivent-elles respecter pour que la dégradation du gain en tension dans la bande passante soit négligeable?

Impact sur le gain en tension :

On a une baisse du gain en tension, il passe de 17,85 dB à 17,436 dB pour les simulations. Cela s'explique par la nouvelle expression de A_v : $A_v = \frac{V_{out}}{V_i}$

$$V_i = \frac{R_{B1} // R_{B2}}{R_{sig} + R_{B1} // R_{B2}} V_{in} \quad (C_{in} \text{ est un fil dans la bande passante})$$

$$V_{out} = g_m V_{sig} (R_o // R_D // R_L) \quad (C_L \text{ est un circuit ouvert dans la bande passante})$$

$$A_v = -g_m \frac{R_{B1} // R_{B2}}{R_{sig} + R_{B1} // R_{B2}} \cdot (R_o // R_D // R_L)$$

Conditions de bon fonctionnement :

Pour conserver un grand gain, il faut que

$$R_{B1} // R_{B2} \gg R_{sig} \quad \text{ainsi} \quad \frac{R_{B1} // R_{B2}}{R_{sig} + R_{B1} // R_{B2}} \approx 1.$$

$$(R_o // R_D) \ll R_L \quad \text{ainsi} \quad \underbrace{(R_o // R_D)}_{R_{out}} // R_L = (R_{out} // R_L) = \frac{R_{out} R_L}{R_{out} + R_L} \approx R_{out}$$

Ces conditions sont satisfaites :

$$236,663 \text{ k}\Omega \gg 250 \Omega$$

$$308,546 \text{ k}\Omega \ll 5 \text{ M}\Omega$$