

Séance 4 : Réalisation d'un ampli à transistor

Corrigé

1 Introduction

1.1 But

Le but de ce laboratoire est de réaliser un pré-amplificateur audio pour une radio AM en utilisant un transistor MOS. Ce pré-amplificateur est un amplificateur de classe A, particulièrement apprécié des audiophiles mais ayant un mauvais rendement.

1.2 Prérequis

- Chapitre n° 17 du livre de référence (ed 5)
- Circuit RC du premier ordre.
- TP n° 2, exercice 6 sur la polarisation
- TP n° 5 portant sur les transistors MOS

1.3 Prédéterminations

Les déterminations des questions 1, 5 et 7 doivent être faites avant l'arrivée au laboratoire. Le TP 6 portant sur les transistors MOS fait également office de prédéterminations.

1.4 Objectifs

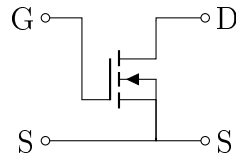
À la fin de ce laboratoire, vous devez être capable :

- de réaliser le pré-amplificateur audio avec un étage source commune
- d'expliquer le fonctionnement de l'étage source commune et sa polarisation.
- d'utiliser le mode XY d'un oscilloscope.

2 Amplifier avec un transistor MOS

Le transistor MOS se comporte comme une source de courant *non* idéale.

Le symbole utilisé pour représenter le transistor NMOS est :

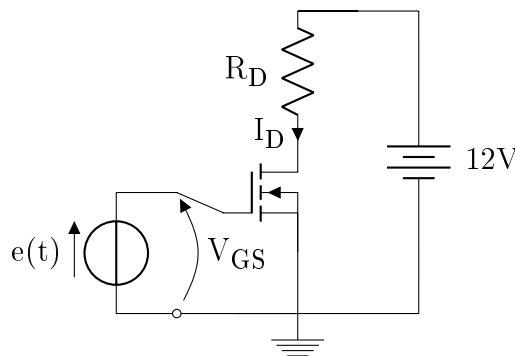


2.1 Caractérisation du transistor

Avant de dimensionner l'étage en source commune, il est nécessaire de caractériser le transistor afin de déterminer sa transconductance g_m . On cherche en particulier à déterminer sous quelles conditions il se comporte comme une source de courant commandée en tension.

2.1.1 Caractéristique $I_D = f(V_{GS})$

Pour relever la caractéristique $I_D = f(V_{GS})$, utiliser le montage suivant. La résistance R_D sert à limiter le courant traversant le transistor pour ne pas le détruire.



Exercice 1. Déterminer R_D tel que le transistor ne dissipe pas plus de 400mW. Aide : la puissance dissipée dans le transistor est maximum lorsque $V_{DS} = 6V$ pour ce montage.

Réponse :

P_T est la puissance dissipée par le **transistor**.

$$P_T = V_s \cdot I_D = (E - R_D \cdot I_D) \cdot I_D$$

d'où :

$$P_T = E \cdot I_D - R_D \cdot I_D^2$$

L'extremum (ici : maximum) se trouve en :

$$\frac{\partial P_T}{\partial I_D} = 0 \iff E - 2R_D \cdot I_{D\max} = 0$$

$$\implies I_{D\max} = \frac{E}{2R_D}$$

d'où :

$$P_{T\max} = \frac{E^2}{4 \cdot R_D}$$

finalement :

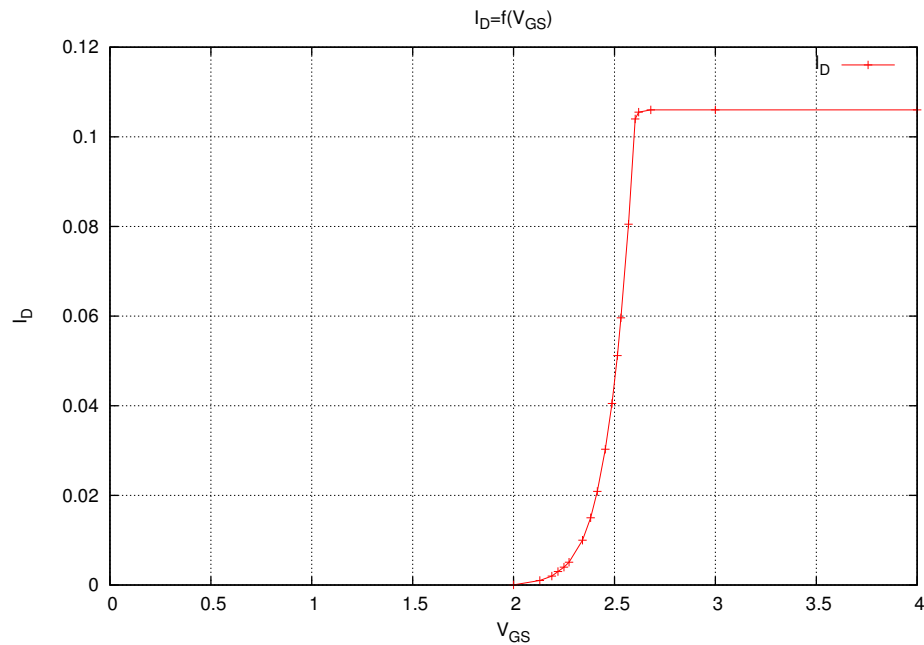
$$R_D = \frac{E^2}{4 \cdot P_{T\max}}$$

AN :

$$R_D = 90\Omega @ E = 12V$$

Exercice 2. Relever manuellement des points de la caractéristique $I_D = f(V_{GS})$ pour V_{GS} compris entre 2.5V et 3.5V. Il est aussi possible d'utiliser un signal d'entrée sinusoïdal d'amplitude 2V et d'offset 2V et le mode XY de l'oscilloscope. Reportez vos mesures sur le graphe fourni en annexe.

Réponse :



Exercice 3. Cette caractéristique est-elle linéaire ? Dans quelle mesure cette source de courant commandée en tension est-elle utilisable pour amplifier ?

Réponse :

Non. Uniquement pour de petits signaux en entrée.

Exercice 4. Choisir judicieusement un point de fonctionnement sur le relevé précédent. En utilisant le faisceau de courbes¹ $I_D = f(V_D) @ V_{GS} = \text{cte}$ et la droite de charge du transistor pour ce point de fonctionnement, indiquer dans quelle zone fonctionne le transistor.

En déduire l'amplitude maximale possible en sortie pour le point de fonctionnement choisi.

Réponse :

1. en utilisant les caractéristiques du transistor annexe A

3 Amplifier avec un montage en source commune

La partie précédente permet de conclure que l'amplification est possible avec un transistor MOS. Nous allons donc construire un montage amplificateur autour du transistor.

La résistance sert à « convertir » le courant qui circule dans le transistor en tension.

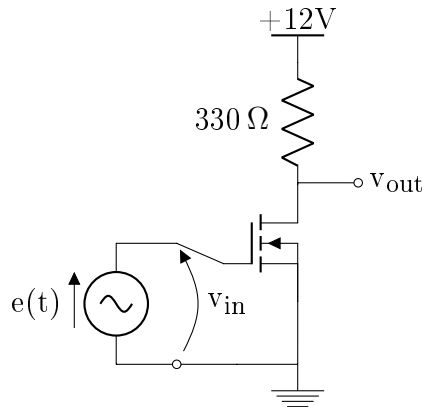


FIGURE 1 – Montage à améliorer

Exercice 5.

- Déterminer **théoriquement**¹ la forme du signal de sortie v_{out} pour

$$v_{in} = V_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

avec $V_{max} = 3V$, $V_{TH} \simeq 2.5V$ et $f = 1000Hz$.

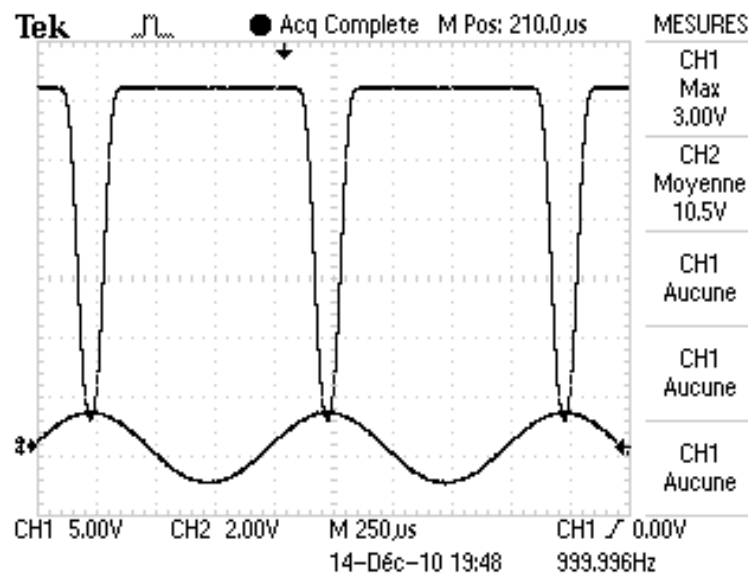
- Vérifier expérimentalement.
- Pourquoi ce circuit ne convient-il pas pour réaliser un amplificateur linéaire² ? (2 éléments)

Réponse :

1. le signal de sortie est écrêté et non linéaire
2. sa moyenne est non nulle

Le public manque généralement d'audiophiles et il faut leur expliquer que l'écrêtage change le contenu fréquentiel et que le HP ne supporte pas les tensions continues. Avec $R_D = 330\Omega$ et $V_{max} = 3V$:

2. Ce circuit convient par contre très bien à la commande en tout-ou-rien de circuits électriques de puissance ou à la réalisation de circuits logiques NMOS.



Exercice 6.

- Que faut-il faire pour corriger chacun des 2 problèmes ?
- Proposer une solution et vérifier expérimentalement (utiliser les possibilités du générateur).

Réponse :

1. Ajouter une composante continue pour se placer dans la zone de saturation \Rightarrow ajout d'une tension de polarisation
2. Ajouter un filtre passe haut en sortie pour filtrer la composante continue

Exercice 7.

- Comment injecter un signal à moyenne nulle dans ce circuit en considérant les corrections apportées au circuit à la question précédente ?
- De même, que faire pour obtenir une tension de sortie à moyenne nulle ?

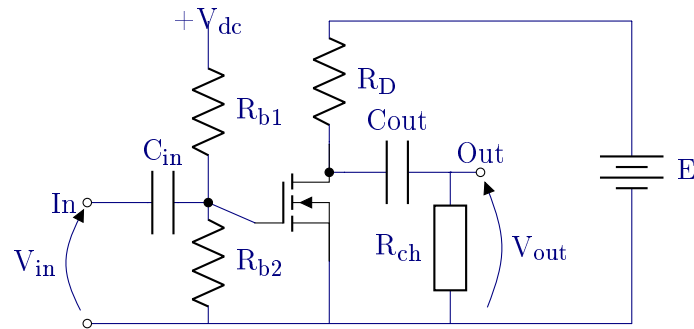
Réponse :

On ajoute une capacité de découplage en entrée et en sortie et un pont résistif pour la polarisation

Exercice 8.

- Tracer le schéma final de votre circuit corrigeant les deux éléments identifiés question 5.
- Réaliser le montage correspondant.

Réponse :



Les réponses aux questions 9 à 12 doivent être étayées par des constations expérimentales.

Exercice 9.

- Donner la relation entrée–sortie du montage et son gain. Préciser les limites de validité de la relation.
- Vérifier expérimentalement.
- Il vous est proposé d'utiliser le mode XY de l'oscilloscope.
- Indiquer sur votre relevé les limites d'écrtage et de linéarité, comparer avec le résultat de la question 4.

Réponse :

$$V_{ds} = -g_m \cdot R_D \cdot V_{in}$$

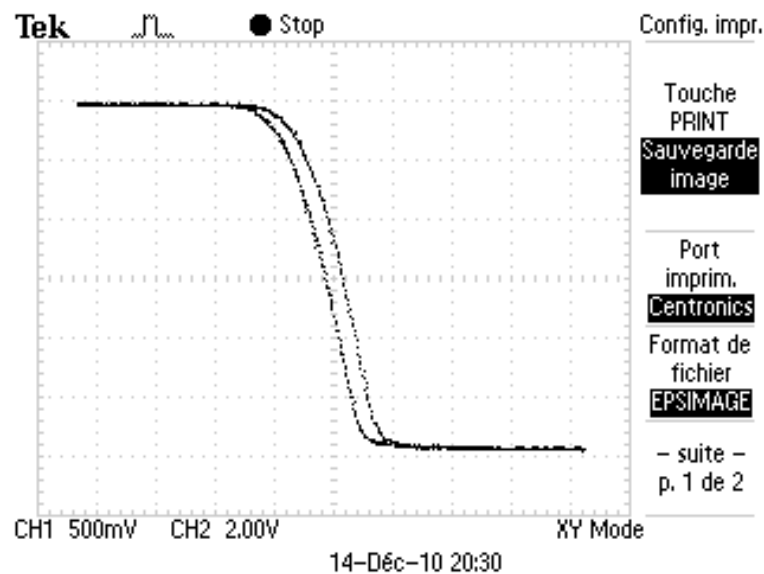
Bien que cette relation soit valable quel que soit le régime de fonctionnement du transistor, seule la partie où le $g_m \neq 0$ est intéressante pour l'application.

Utilisation du mode XY : mettre un signal triangulaire (1kHz, qqes V) à l'entrée du montage, afficher $V_{out} = f(V_{in})$ sur l'oscillo.

Il peut être nécessaire de charger un peu la sortie avec une résistance.

Le mode XY permet de constater l'effet de la polarisation sur le gain et sur l'écrtage du signal.

Avec $R_D = 100\Omega$:



Exercice 10.

- Quelle est l'influence de la composante continue sur les caractéristiques du montage ?
- Quelle est la valeur de la composante continue qui maximise l'excursion en sortie ? Qui maximise le gain ? Avec quel inconvénient ?

Réponse :

Utiliser le potentiomètre pour modifier la polarisation. On constate le changement de gain sur le tracé XY précédent.

La polarisation est idéale si le point (0,0) fait partie du relevé. En pratique, ce point est atteint si $V_D = E/2 = 6V$. Ce point maximise l'excursion (tension) en sortie du montage. Il existe un autre point "optimal" : celui offrant le gain maximum. Celui-ci se trouve vers la fin de la zone ohmique. (réponse à retravailler)

cette valeur doit être déterminée expérimentalement pour une valeur fixée de v_{in} . Elle dépend de V_{in} , g_m , R_d et V_{dc}

Les 2 cas de la question précédente peuvent être considérés.

Exercice 11.

- Quel est le gain en tension du montage pour cette valeur ?
- Que se passe-t-il si la résistance de drain R_D change ?
- Que devient g_m ?
- La relation déterminée à la question 9 est-elle remise en cause ?

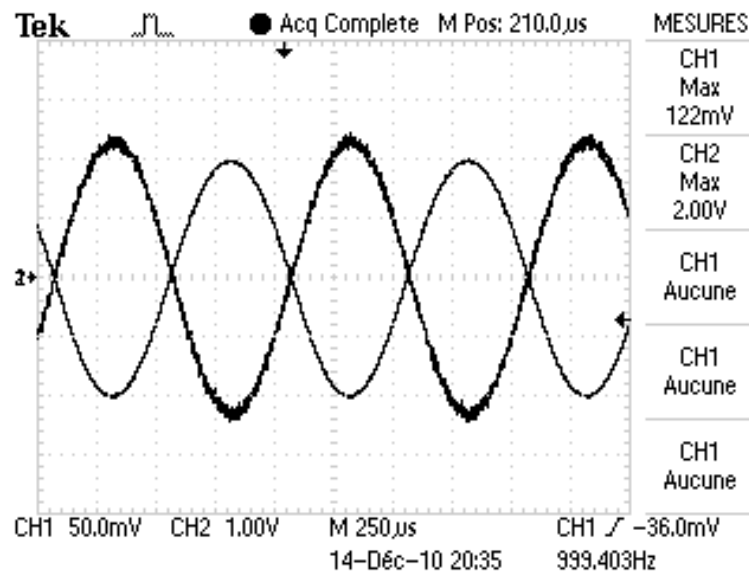
Réponse :

mesure \Rightarrow gain en tension \Rightarrow valeur du g_m .

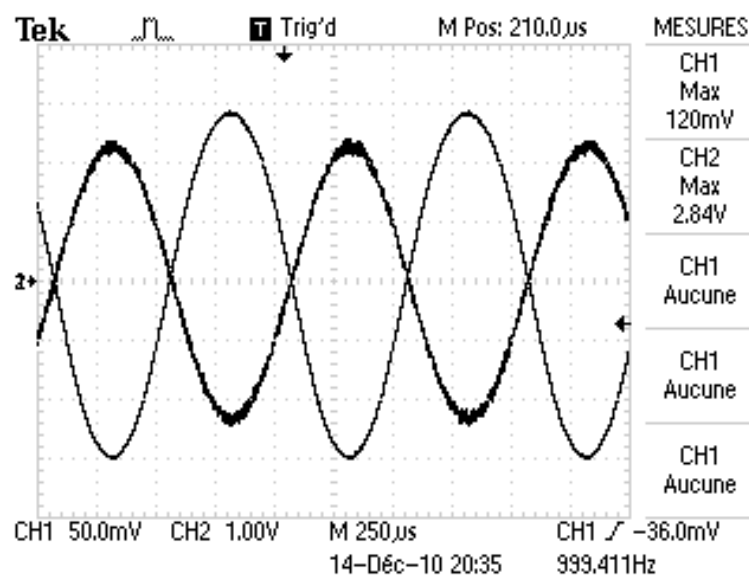
Si R_D change, *à priori* I_D change aussi et g_m également. La relation de la question 9 n'est pas remise en cause si on considère g_m non constant dans celle-ci.

Exemples :

$R_D = 100\Omega$:



$R_D = 330\Omega$:

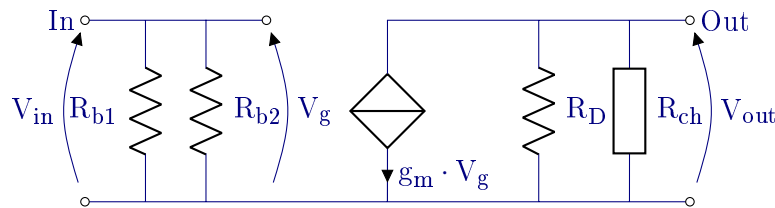


Exercice 12.

- Que se passe-t-il si une charge est branchée en sortie ?
- En utilisant un schéma à petit signal et des équivalences Thévenin–Norton, montrer que $\Delta V_{\text{out}} = f(R_{\text{ch}}, \dots)$.
- Vérifier expérimentalement avec $R_{\text{ch}} = 330\Omega$ et $R_{\text{ch}} = 100\text{k}\Omega$. Cet amplificateur peut-il être utilisé comme étage de puissance ?

Réponse :

Le gain diminue. Il suffit d'étudier le schéma petit signal pour s'en convaincre :



Comme le gain dépend de la charge, cet étage n'est pas adapté à l'amplification de puissance.

Faire 2 tests : mettre 330Ω et $100\text{k}\Omega$ en sortie.

4 Synthèse – dimensionnement d'un étage

Cahier des charges :

- Bande passante : 20Hz–20kHz
- Gain : 26dB
- Amplitude de l'entrée : 0.1V, sinusoïdale, moyenne nulle
- Tensions de sortie à moyenne nulle
- Impédance d'entrée : $Z_{\text{in}} \geq 10\text{k}\Omega$
- Impédance de sortie : $Z_{\text{out}} \leq 1\text{k}\Omega$
- Puissance statique dissipée par le transistor : $P_T \leq 0.5\text{W}$
- Alimentation : 12V continue
- Impédance de la charge : $Z_{\text{ch}} \geq 3.3\text{k}\Omega$

Exercice 13. Démarche proposée :

1. Identifier les contraintes imposées par le cahier des charges.
2. Choisir la topologie de l'amplificateur (= schéma que vous avez obtenu en répondant aux questions précédentes).
3. Identifier les différents paramètres en fonction du cahier des charges (faire un schéma à petit signal).
4. Dimensionner les valeurs des différents composants du circuit sur base des courbes théoriques en annexe.
5. Déterminer la valeur de la tension de polarisation.
6. **Vérifier expérimentalement** en tenant compte des caractéristiques réelles de votre transistor. La polarisation devra être ajustée pour obtenir le bon gain.

Réponse :

Voir corrigé annexe.

Gain de 26dB = ± 20 .

(Amplitude de sortie : 2V = on peut polariser à la bonne tension pour ajuster le gain)

$$V_s = -g_m \cdot (R_D // R_{ch}) \cdot V_{in}$$

→

$$-g_m \cdot (R_D // R_{ch}) = -20$$

La limite en puissance $P = V_{dc} \cdot I_D \leq 0.5W$ impose $I_D \leq 41.6mA$.

$V_{dc} = 12V$ donc $g_m \leq 0.1S$.

On choisit de polariser au milieu de la droite de charge $V_D = 6V$

donc $R_D \geq 146\Omega$

Il faut choisir R_D tq l'influence de la charge soit faible sur le gain : $R_D \ll R_{ch}$.

Si on choisit $R_D = 330\Omega$,

on a $I_D = 18mA \rightarrow g_m = 0.06S \rightarrow A = 20$

donc en choisissant la bonne tension de polarisation pour avoir $I_D = 18mA$ ou encore $V_s = 6V$,
on obtient le gain de 26dB voulu.

Le circuit consomme (en négligeant le pont de polarisation) : $P = V_{dc} \cdot I_D = 0.216W$

A Caractéristiques du transistor NMOS BS170

