

## **Montages à MOS discrets 2 : drain commun**

### **But de la manipulation**

Dans ce laboratoire, vous étudierez deux montages à transistor MOS souvent utilisés pour interfacer un circuit basse puissance à un circuit fonctionnant à puissance plus élevée : le montage en drain commun et la source de courant commandée. Ces montages sont les principales applications actuelles des transistors MOS en tant qu'amplificateur analogique.

### **Prérequis**

Cette manipulation suppose les chapitres 3 (transistors à effet de champ) et 4 (Etages amplificateurs à un MOS) connus. Les résultats du labo précédent seront utilisés directement.

### **Prédéterminations**

Avant d'entrer au laboratoire, il vous est conseillé de faire les calculs de la section 1.1

### **Objectifs**

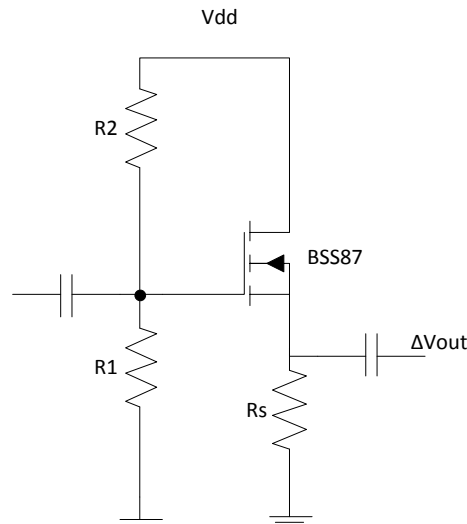
A la fin de ce laboratoire vous devez être capable :

- De dimensionner un étage en drain commun
- D'utiliser un transistor dans la rétroaction d'un ampli-op
- De dimensionner complètement un montage à transistor MOS

## Simulations

### 1. Le montage en drain commun

Le montage amplificateur en drain commun est encore utilisé actuellement, pour des courants variant typiquement entre quelques milliampères et quelques ampères



Le transistor MOS utilisé ici est le BSS87\_L1, disponible dans la bibliothèque de composants SMALL\_SIGNAL. Il est prévu pour des puissances nettement plus élevées que le précédent.

#### 1.1. Schéma à petits signaux

Vous allez commencer par étudier le comportement du montage pour des faibles variations de tension autour du point de polarisation.

- Etablissez le schéma équivalent à petits signaux du montage (pensez à utiliser le modèle en T du transistor).
- Déduisez-en l'expression du gain à petits signaux  $A_v = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}}$ .

$$\Delta v_{out} = \frac{R_s}{R_s + \frac{1}{g_m}} \Delta v_{in}$$

$$A_{\infty} = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s}$$

- Donnez l'expression de l'impédance d'entrée et de l'impédance de sortie du montage.

$$R_{in} = R1 || R2$$

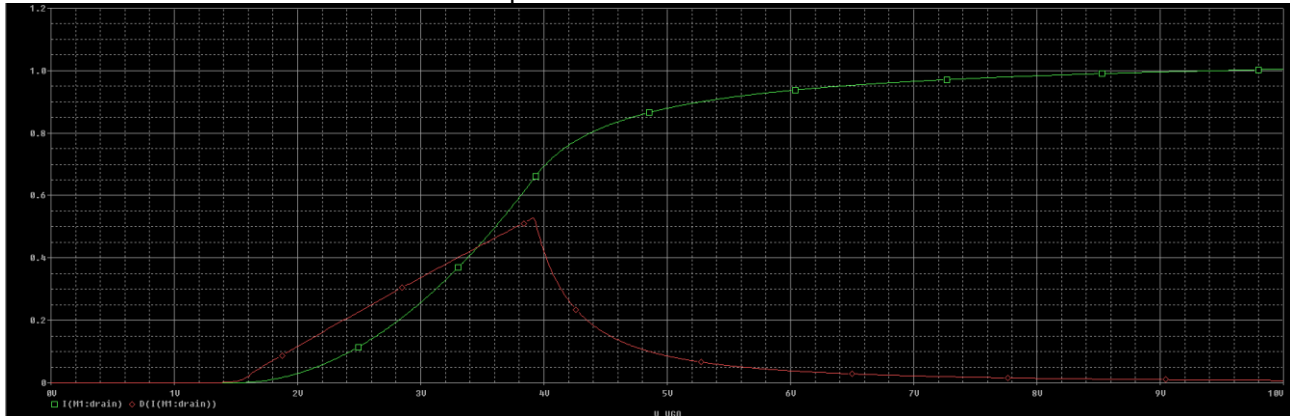
$$R_{out} = R_s || \frac{1}{g_m} = \frac{R_s}{1 + g_m R_s}$$

- Au vu de ses caractéristiques, quelle peut être l'utilité de ce montage ? Quels sont les avantages et inconvénients par rapport au montage à ampli-op remplissant la même fonction ?
- Quel(s) paramètre(s) du transistor faut-il optimiser afin d'obtenir de bonnes performances ?

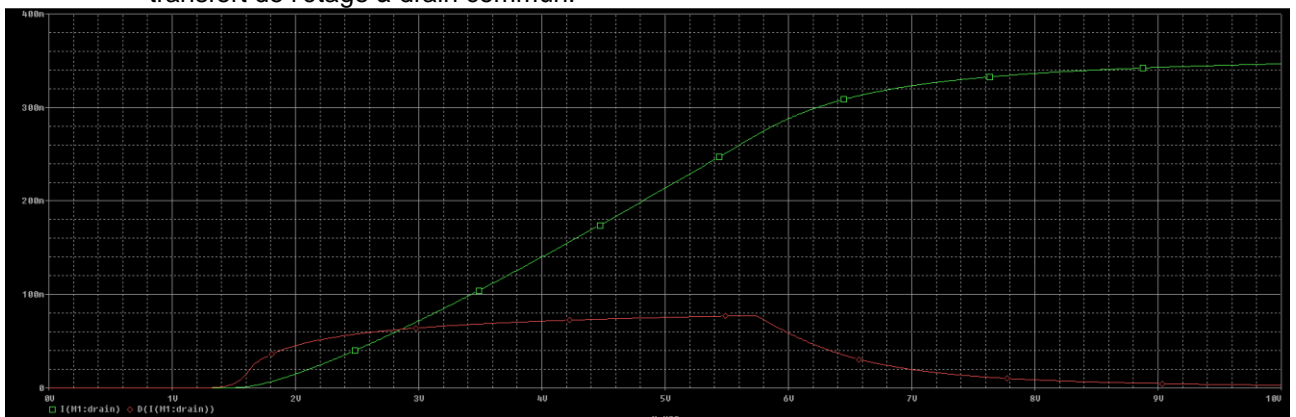
#### 1.2. Simulation

Ouvrir le projet **AmpliDrainCommun.opj**

- Dimensionnez  $R_S$  pour que le montage ait une tension de polarisation  $V_{SQ} = 1.5V$  sous un courant  $I_{DQ} = 150mA$ .  $V_{SQ} = R_S \cdot I_{DQ} \Rightarrow R_S = 10\Omega$
- Tracez la courbe  $I_D = f(V_G)$  et sa dérivée
  - ❖ pour  $R_S = 0.001\Omega$ , c'est-à-dire une valeur négligeable parce que SPICE n'accepte pas 0. Vous obtiendrez ainsi la caractéristique de transfert du NMOS.



- ❖ pour  $R_S$  la valeur que vous venez de calculer. Vous obtiendrez cette fois-ci la caractéristique de transfert de l'étage à drain commun.



- Déterminez la tension de seuil et le facteur K du transistor.  $V_{th} = 1.5V$ ,  $K = 220 \text{ mA/V}$
- Constatez que la présence de  $R_S$  linéarise la caractéristique de transfert et donnez l'expression analytique de  $I_D = f(V_G)$ .

$$i_D = \frac{K}{2} v_{ov}^2 = \frac{K}{2} (v_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{K}{2} [(v_G - V_{TH}) - v_S]^2 = \frac{K}{2} [(v_G - V_{TH}) - R_S i_D]^2$$

$$R_S^2 i_D^2 - 2 \left[ R_S (v_G - V_{TH}) + \frac{1}{K} \right] i_D + (v_G - V_{TH})^2 = 0$$

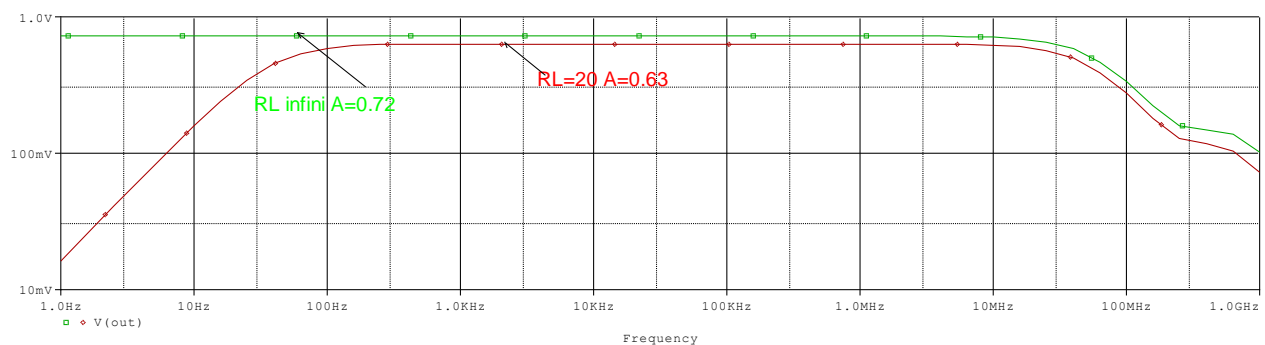
$$i_D = \frac{\left[ R_S (v_G - V_{TH}) + \frac{1}{K} \right] \pm \sqrt{\left[ R_S (v_G - V_{TH}) + \frac{1}{K} \right]^2 - R_S^2 (v_G - V_{TH})^2}}{R_S^2}$$

$$i_D = \frac{\left[ R_S (v_G - V_{TH}) + \frac{1}{K} \right] \pm \sqrt{2 R_S (v_G - V_{TH}) \frac{1}{K} + \frac{1}{K^2}}}{R_S^2}$$

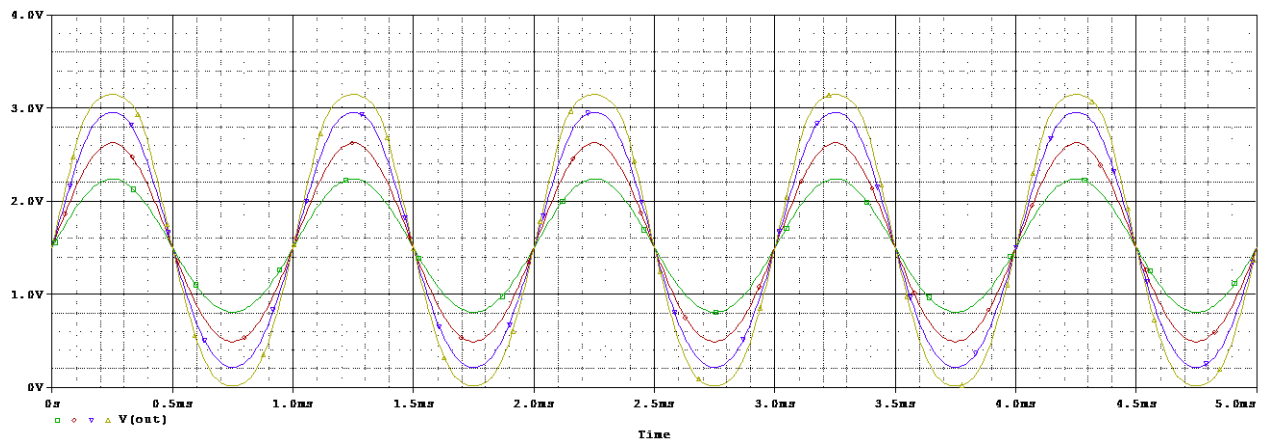
- Déduisez de la simulation la tension  $V_{GSQ}$  et la transconductance du transistor.  $V_{GQ} = 4.14\text{ V}$ ,  $g_m = 72\text{mA/V}$
- Polarisez le montage en affectant cette valeur à la source continue et vérifiez que le point de repos est correct.
  - ❖ Quel type de simulation utiliser ? **BIAS Point**

On désire brancher un baffle dont l'impédance d'entrée est de  $20\Omega$  et prévu pour jouer des sons entre 40Hz et 40kHz.

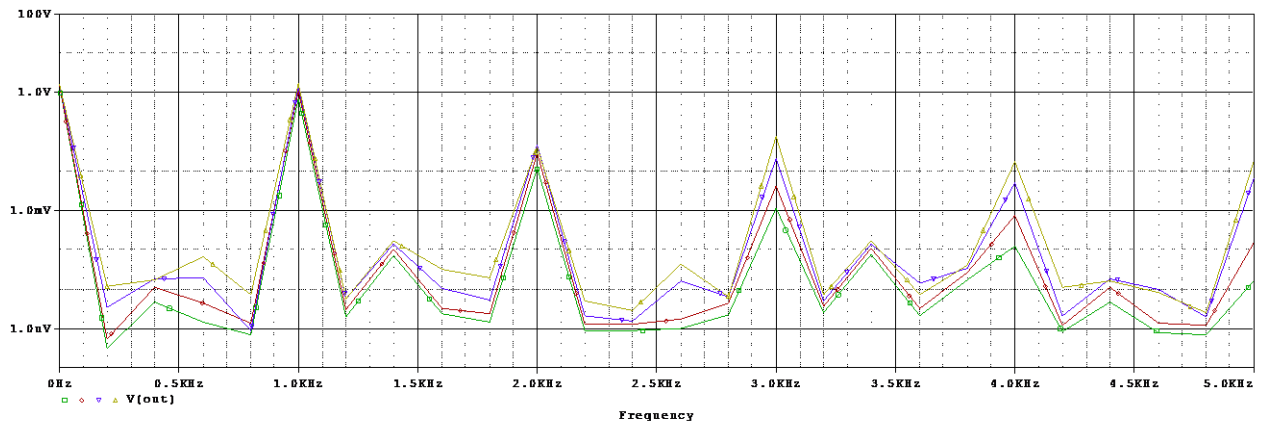
- Dimensionnez le condensateur de découplage.  
 $C = 1/[2\pi(R_{out} + R_L)f_c] = 1/[2\pi(2.8 + 20)40] = 175\mu\text{F} \Rightarrow 180\mu\text{F}$
- Quel est le gain théorique en charge du montage ?  
 $A = A_{\infty} \cdot R_L / (R_L + R_{out}) = 0.72 \cdot 20 / 22.8 = 0.63$
- Vérifiez par simulation le gain à vide et en charge, ainsi que la bande passante du montage .



- Faites une simulation paramétrique pour  $\Delta V_{in}$  allant de 1V à 2.5V par pas de 0.5V. Affichez l'allure de la tension de sortie. Quelle est la tension maximale en entrée pour ne pas écrêter en sortie?

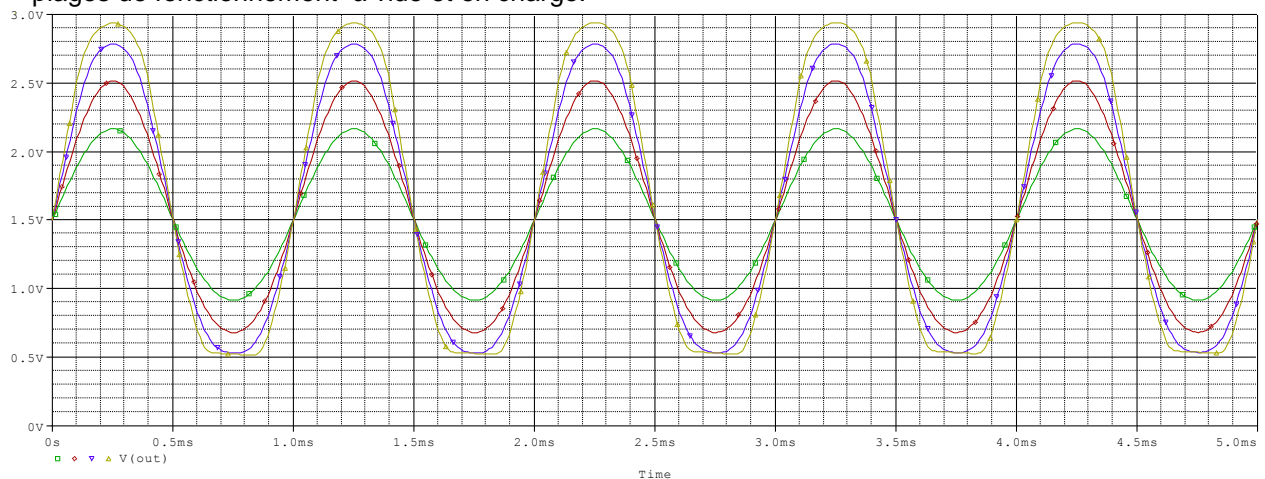


- Montrez l'évolution de la distorsion harmonique. Pour la faire calculer par SPICE, allez dans les paramètres de simulation TRAN, cliquez sur le bouton "output file options" et activez la FFT. Après simulation, allez dans View > Output File et lisez la THD. Comparez par rapport au montage à source commune à la masse.  
Vous pouvez également afficher la FFT de la tension de sortie.



THD :  
 Vin=1.0V THD=3.1%  
 Vin=1.5V THD=5.1%  
 Vin=2.0V THD=7.5%  
 Vin=2.5V THD=12.5%

- Refaites la même simulation avec la charge de 20Ω. Constatez et expliquez la différence entre les plages de fonctionnement à vide et en charge.



L'écrêtage du signal vers le bas se produit à 0.5V au lieu de 0V. En effet, la droite de charge *dynamique* à la source possède une pente de  $[1/(R_S||R_L)]$  et passe par le point de repos à la source  $[V_{SQ}, I_{DQ}]$ ; son abscisse à l'origine vaut donc :

$$V_{Smin} = V_{SQ} - I_{DQ}(R_S||R_L) = 1.5V - 150mA \cdot (10\Omega||20\Omega) = 0.5V$$

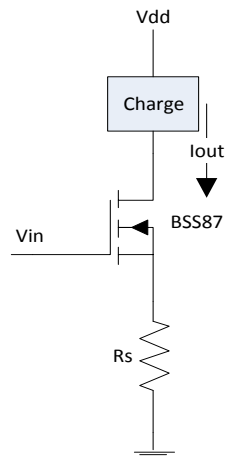
## 2. Source de courant commandée

### 2.1. Introduction

Comme étudié précédemment, l'ajout d'une résistance à la source du transistor permet de linéariser la relation  $I_D = f(V_G)$ . Ceci nous permet de réaliser facilement une source de courant commandée permettant, par exemple, de stimuler électriquement la contraction d'un muscle ou encore de transmettre un signal sous forme de courant, ce qui est le cas de beaucoup de capteurs analogiques industriels

### 2.2. Simulation

#### 2.2.1. Montage en drain commun



Pour ce montage, gardez la même résistance de source que précédemment

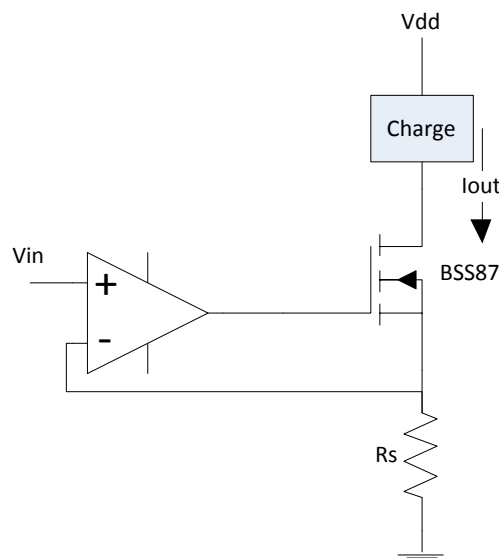
- Quelle est la plage de fonctionnement de ce montage ? La présence de la charge influence-t-elle cette plage?

Pour être une source de courant, il faut être en pincement. Les butées sont la coupure et la frontière de pincement. La chute de tension sur la charge fait diminuer la tension de drain et donc on passe plus vite en zone ohmique que si le drain est à l'alimentation

- Cette source de courant est-elle parfaite, précise et stable dans sa plage de fonctionnement ?

imperfection due à  $r_o$ : le courant dépend de la tension  $V_{DS}$   
précision limitée par la dispersion sur la transconductance  
variations avec la température et vieillissement

### 2.2.2. Ajout d'un ampli-op en rétroaction



L'ajout d'un amplificateur opérationnel permet de linéariser complètement le système

- Calculez la relation  $I_D = f(V_{in})$

Si l'ampli-op ne sature pas, le zéro virtuel s'applique et impose  $V_{in}$  sur la résistance  $R_s$ , donc  $I_D = V_{in}/R_s$

- Quel est le rôle réel de l'ampli-op ?

Corriger la non-linéarité du transistor par la rétroaction créée par la mesure réelle de la tension sur la résistance  $R_s$ . La sortie de l'ampli-op va s'ajuster en permanence pour appliquer le  $V_{GS}$  qui produit  $I_D = V_{in}/R_s$

- Ce montage fonctionne correctement tant que l'ampli-op ne sature pas. S'il est alimenté en  $\pm 5V$ , quelle est la valeur maximale de  $I_D$  et pour quelle valeur de  $V_{in}$  est-elle atteinte? Utilisez les courbes obtenues précédemment

pour  $V_G=5V$   $I_D=213mA$

La tension d'entrée maximum est donc de 2.13V

- En quoi cette réponse change-t-elle si la résistance de la charge augmente ou diminue, y a-t-il une plage limitée de résistance ?

Cette réponse est indépendante de la charge. On peut aller jusqu'au court-circuit, par contre si l'on augmente trop la résistance, la tension  $V_{DD}$  ne permettra plus de faire circuler 213mA dans la charge.

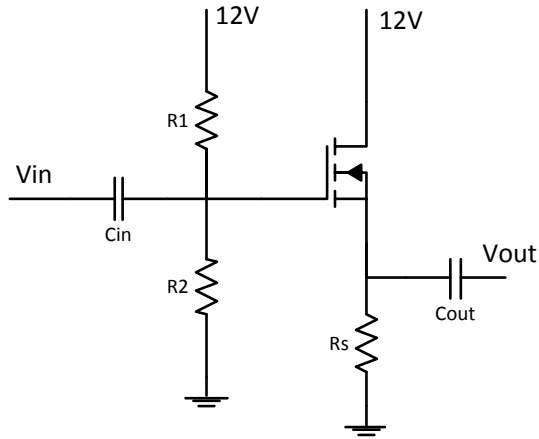
- En supposant que le courant voulu ne soit pas trop élevé, réalisez un montage remplissant la même fonction sans utiliser de transistor.

Si on n'excède pas le courant que peut fournir l'étage de sortie de l'ampli-op (qq mA), il suffit de placer la charge  $R_L$  entre la sortie et résistance  $R_S$  qui conserve son rôle  $I=V_{in}/R_S$

### 3. Exercices de dimensionnement

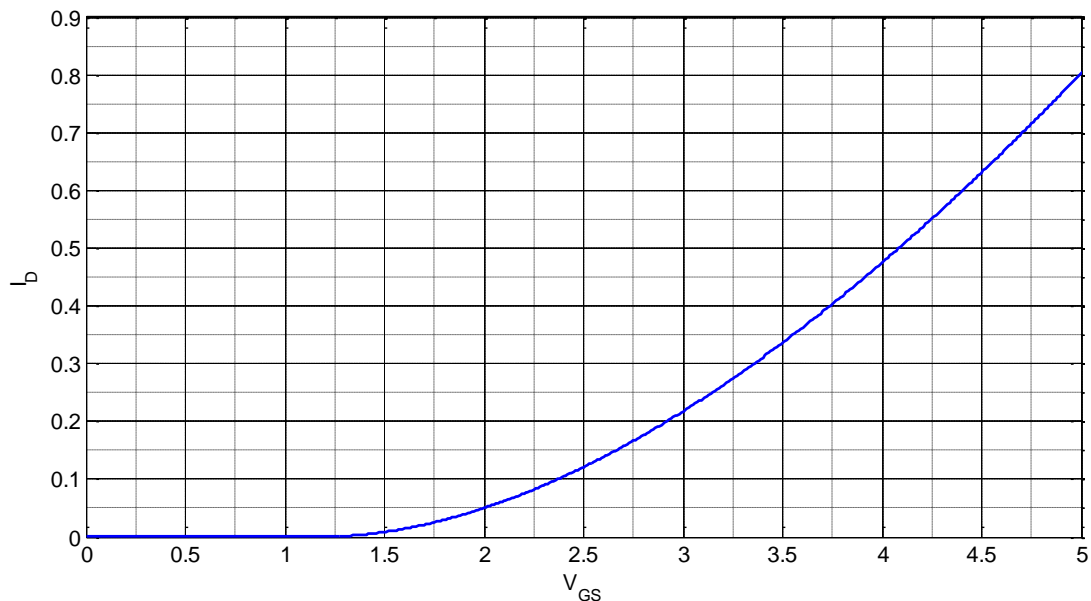
Janvier 2012 :

On désire réaliser le montage à NMOS en drain commun suivant.

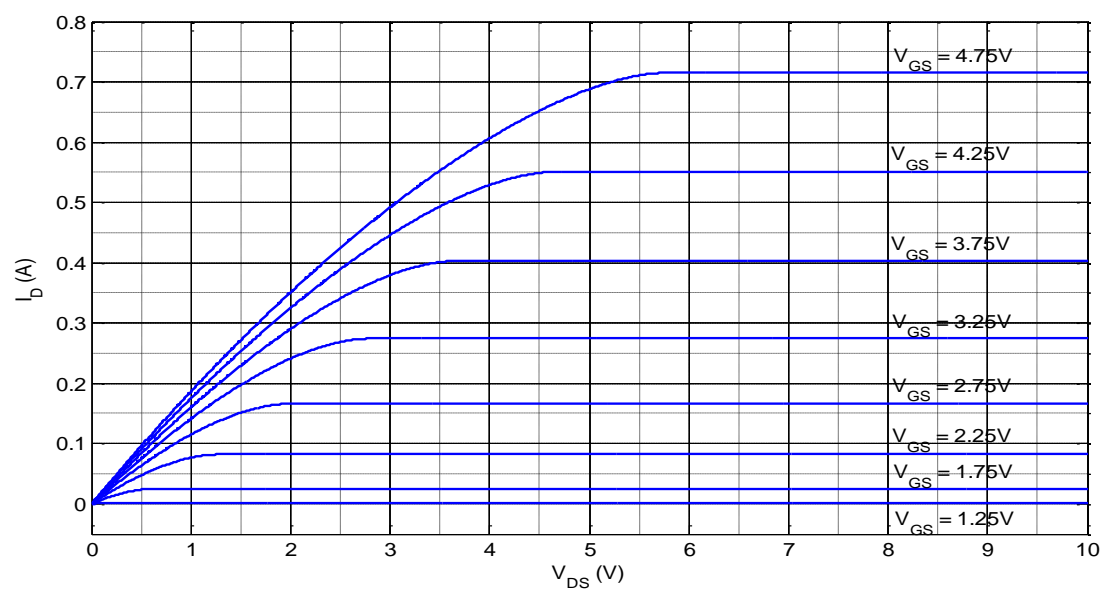
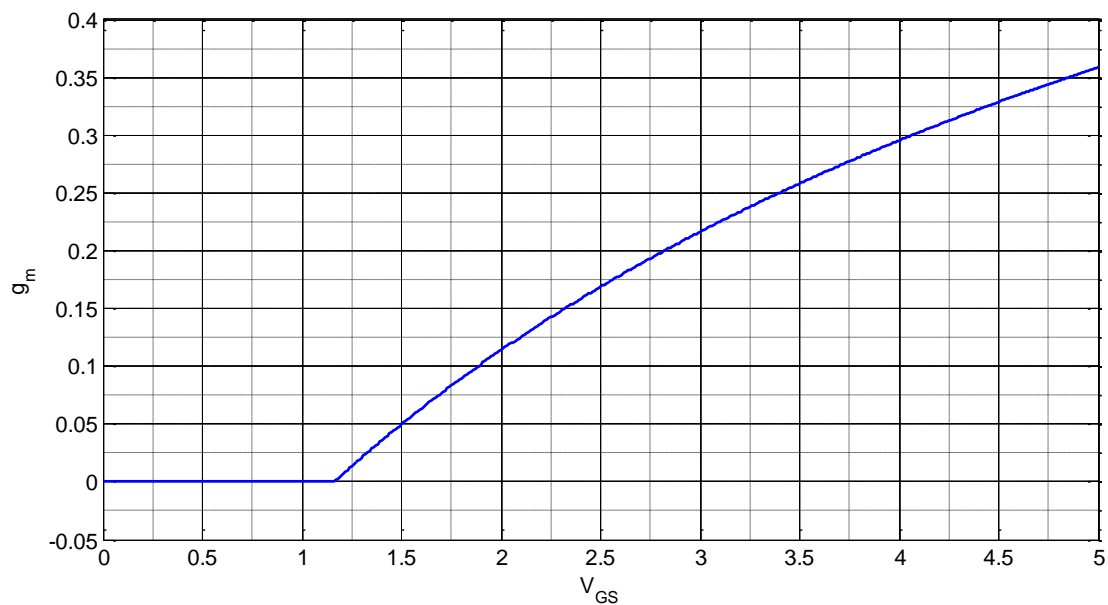


Les caractéristiques du NMOS sont données dans les figures ci-dessous.

- Sachant que l'on désire polariser ce montage avec un courant de drain de 400mA, donnez une limite maximum sur  $R_s$  et, pour cette valeur de  $R_s$ , la limite de la tension de polarisation à la grille pour maintenir le montage en zone de pincement (est-ce un minimum ou un maximum?)
- En prenant  $R_s = 15 \text{ Ohm}$ , calculez les tensions de polarisation à la grille et à la source et dimensionnez  $R_1$  et  $R_2$
- Tracez le schéma à petits signaux du montage et calculez le gain à vide ainsi que l'impédance de sortie du montage

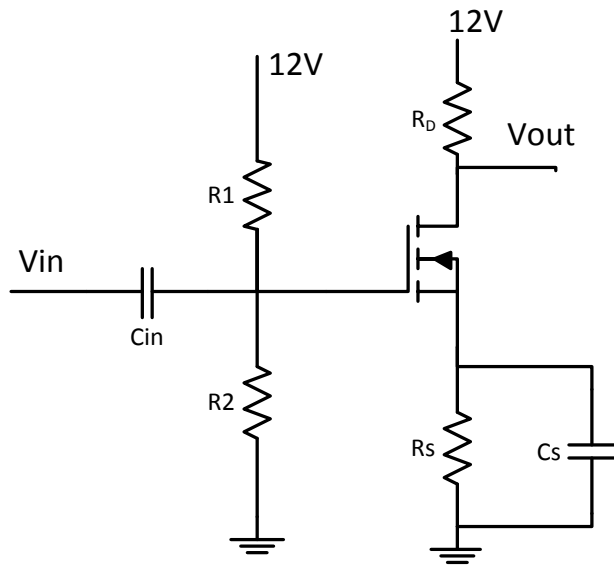






Aout 2012

On désire réaliser le montage à NMOS suivant

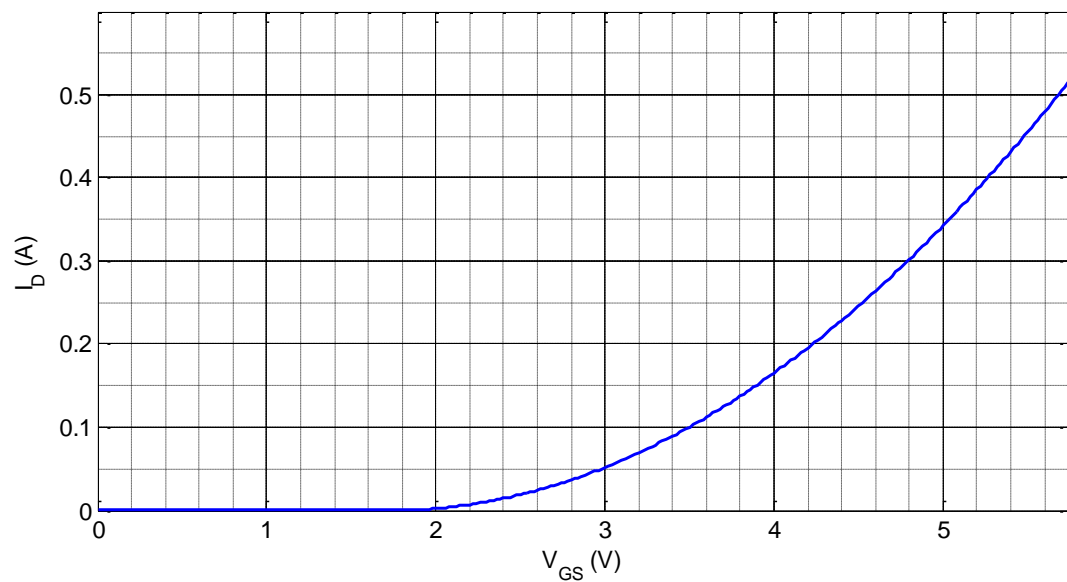


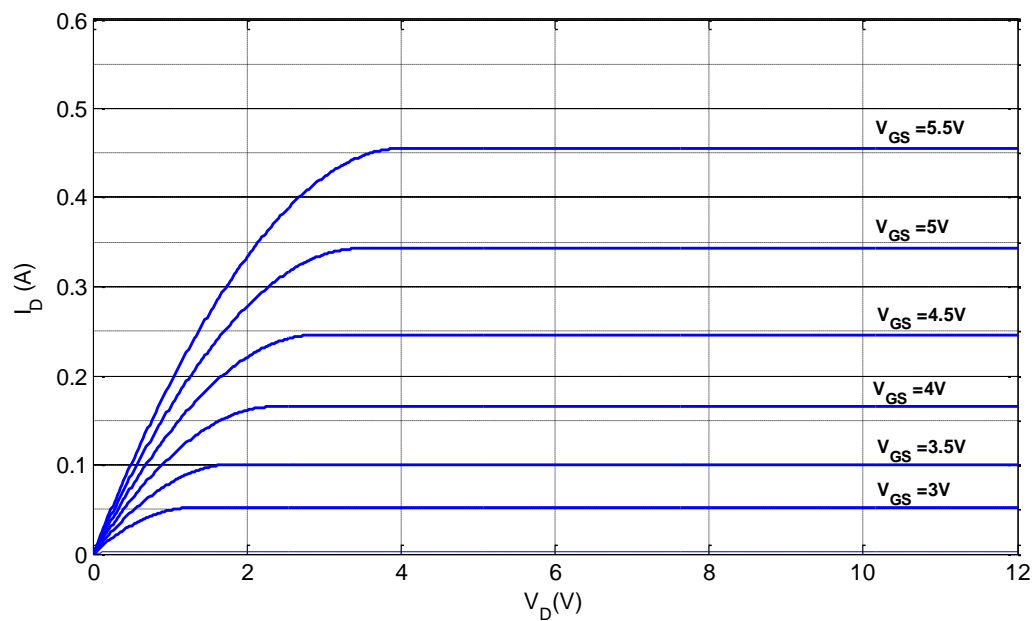
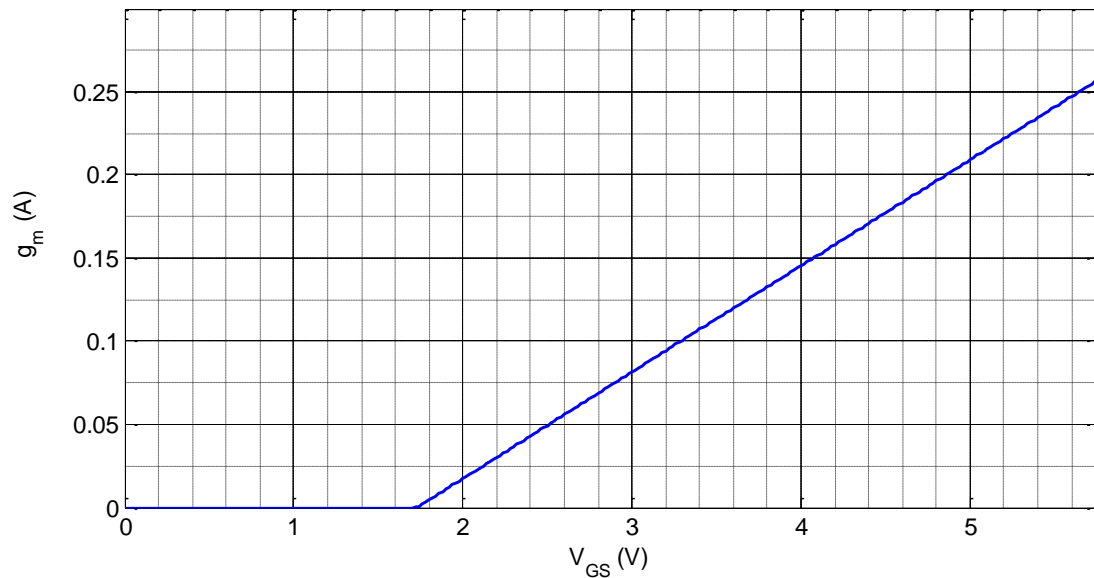
On vous donne  $R_s = 4\Omega$

La tension  $V_{in}$  est alternative, de fréquence variable

Les caractéristiques du NMOS sont données à la page suivante.

Les condensateurs se comportent comme des court-circuits dans toute la bande de fréquences utiles de  $V_{in}$





- Sachant que l'on désire polariser ce montage avec un courant de drain de 300mA pour un gain à vide à petits signaux de -4, calculez les tensions de polarisation et dimensionnez  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_d$
- On désire brancher la sortie du montage sur un baffle ayant une impédance de  $16\Omega$ , en quoi cela modifierait-il le fonctionnement du circuit ?
- Ajoutez au montage un circuit à base de NMOS permettant d'améliorer les performances lorsque l'on branche le baffle à la sortie. Tracez le schéma dans le cadre ci-dessous, mais ne dimensionnez pas les éventuels composants passifs