

Durée 3 heures. Tous les instruments de calcul sont autorisés.

Tous les documents sont interdits à l'exception des 4 pages de support de cours et d'un manuscrit format A3 recto-verso.

Il est conseillé de lire l'énoncé jusqu'au bout dès le début de l'épreuve.

Encadrez les résultats symboliques et soulignez les applications numériques

I. CIRCUIT INTEGRATEUR

Rappel : la **fréquence de transition** f_T d'un circuit dont la fonction de transfert est $\underline{T}(j\omega)$ est définie par :

$$|\underline{T}(j 2\pi f_T)| = 1$$

Soit le circuit figure 1. Vous supposerez l'amplificateur opérationnel parfait (AOP).

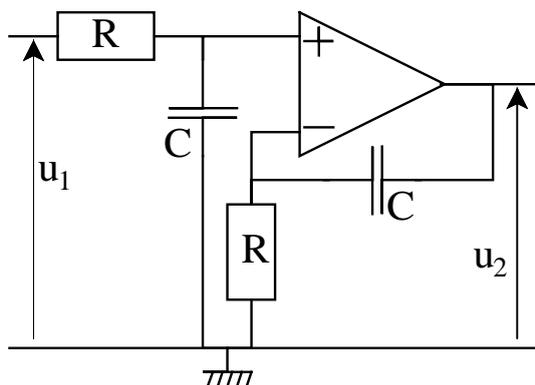


Figure 1 : circuit intégrateur non inverseur. $R = 4.7 \text{ k}\Omega$ et $C = 33 \text{ nF}$.

I. CIRCUIT THEORIQUE

1. En exprimant les tensions aux entrées inverseuse et non inverseuse de l'AOP, établissez la fonction de transfert de ce circuit, $\underline{T}(j\omega) = (\underline{u}_2 / \underline{u}_1)$.
2. Montrez que $u_2(t) = \frac{1}{RC} \int u_1(t) dt$
3. Calculez la fréquence de transition f_T du circuit.
4. Sur les diagrammes semi-logarithmiques joints, tracez les asymptotes et les courbes de Bode de $\underline{T}(j\omega)$.
5. Quel problème pose ce circuit aux très basses fréquences ? Pensez-vous que ce circuit puisse fonctionner ?

II. AMELIORATION

1. Pour améliorer le circuit, une méthode consiste à placer une résistance $R' = 470 \text{ k}\Omega$ en **parallèle sur chaque condensateur C**. Exprimez la nouvelle fonction de transfert $\underline{T}'(j\omega)$.
2. Calculez la fréquence de coupure et le gain dans la bande passante de ce nouveau circuit. Montrez que la nouvelle fréquence de transition f_T' est quasiment égale à f_T , calculée au §I.3.
3. Sur les mêmes diagrammes qu'au §I.4., tracez les asymptotes et les courbes de Bode du nouveau circuit.

II. AMPLIFICATEUR A TRANSISTORS NMOS

Soit l'amplificateur présenté figure 2. Votre travail est de déterminer son point de repos, puis ses caractéristiques dynamiques. Aux fréquences de fonctionnement, les capacités sont assimilables à des courts-circuits.

Rappel : pour un transistor NMOS fonctionnant en amplificateur, la caractéristique de transfert $I_D(U_{GS})$ est donnée par : $I_D = K (U_{GS} - U_0)^2$, avec K une constante et U_0 la tension de seuil du transistor.

Pour le composant considéré ici, $K = 22 \mu\text{A}/\text{V}^2$ et $U_0 = 2 \text{ V}$.

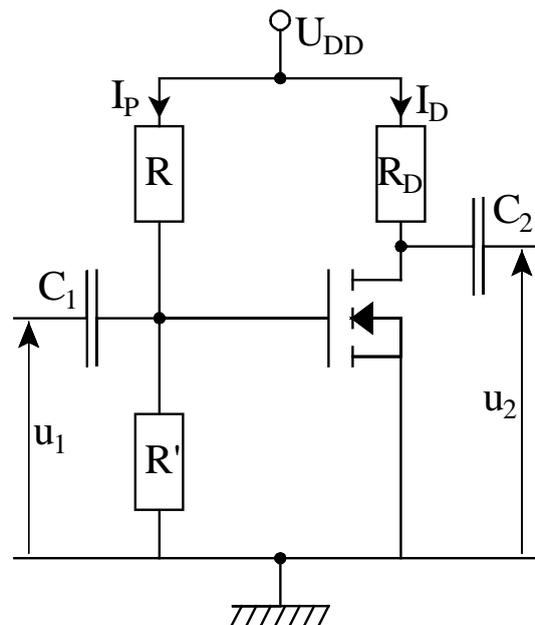


Figure 2 : amplificateur à transistor NMOS à enrichissement. $U_{DD} = 20 \text{ V}$

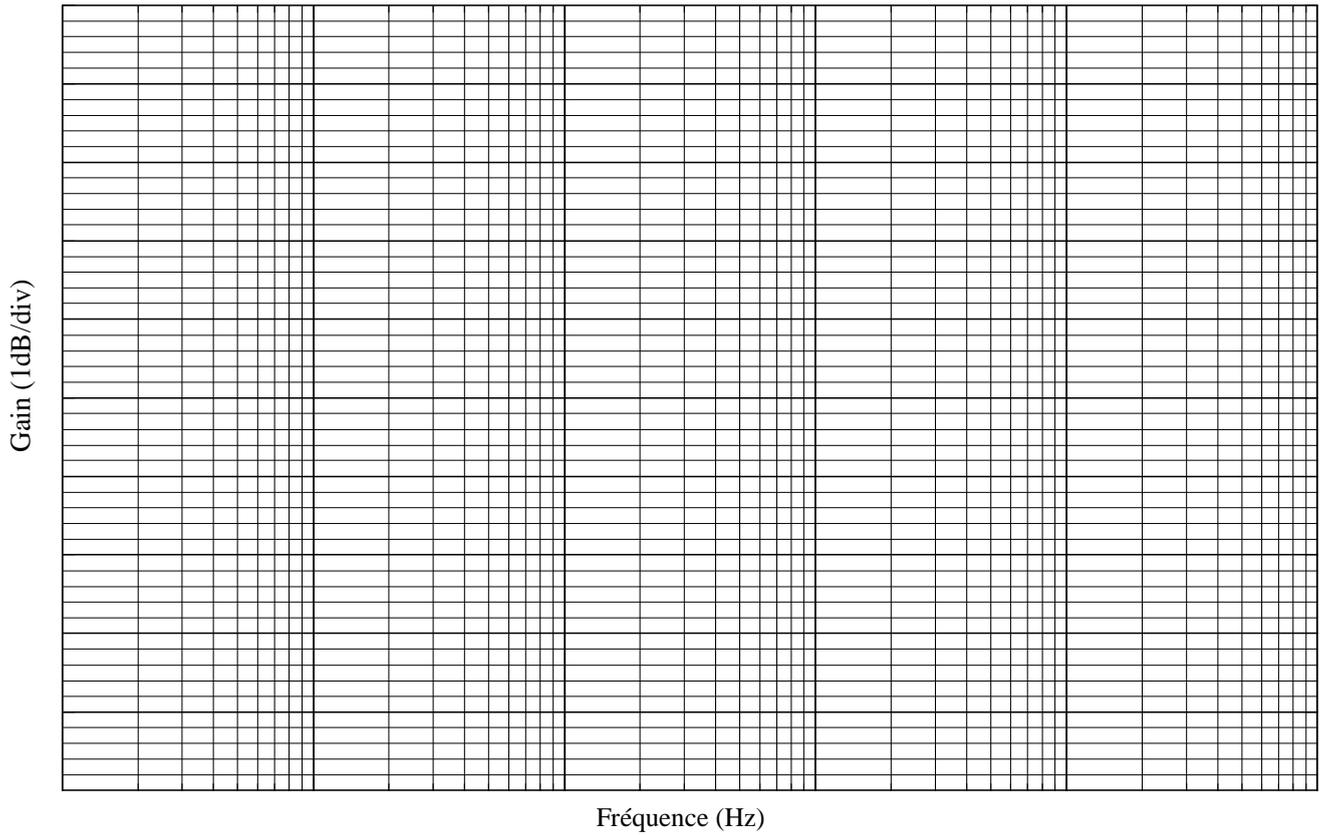
I. ETUDE DU POINT DE POLARISATION

1. Calculez R_D , puis U_{GS} pour avoir, au point de repos, $U_{DS} = 10 \text{ V}$ et $I_D = 200 \mu\text{A}$.
2. Calculez R et R' pour avoir $I_P = 2 \mu\text{A}$ et la valeur de U_{GS} calculée précédemment.
3. Exprimez la transconductance $s = y_{21} = \left(\frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \right)$ au point de repos. Ecrivez y_{21} en fonction de K et du courant I_D au point de repos. Calculez y_{21} .
4. Pour que le transistor fonctionne en amplificateur (hors de la zone ohmique), la condition suivante doit être respectée : $U_{DS} > (U_{GS} - U_0)$. Calculez U_{DSS} la tension limite.
5. Calculez P_a la puissance totale fournie par l'alimentation et absorbée par le circuit.

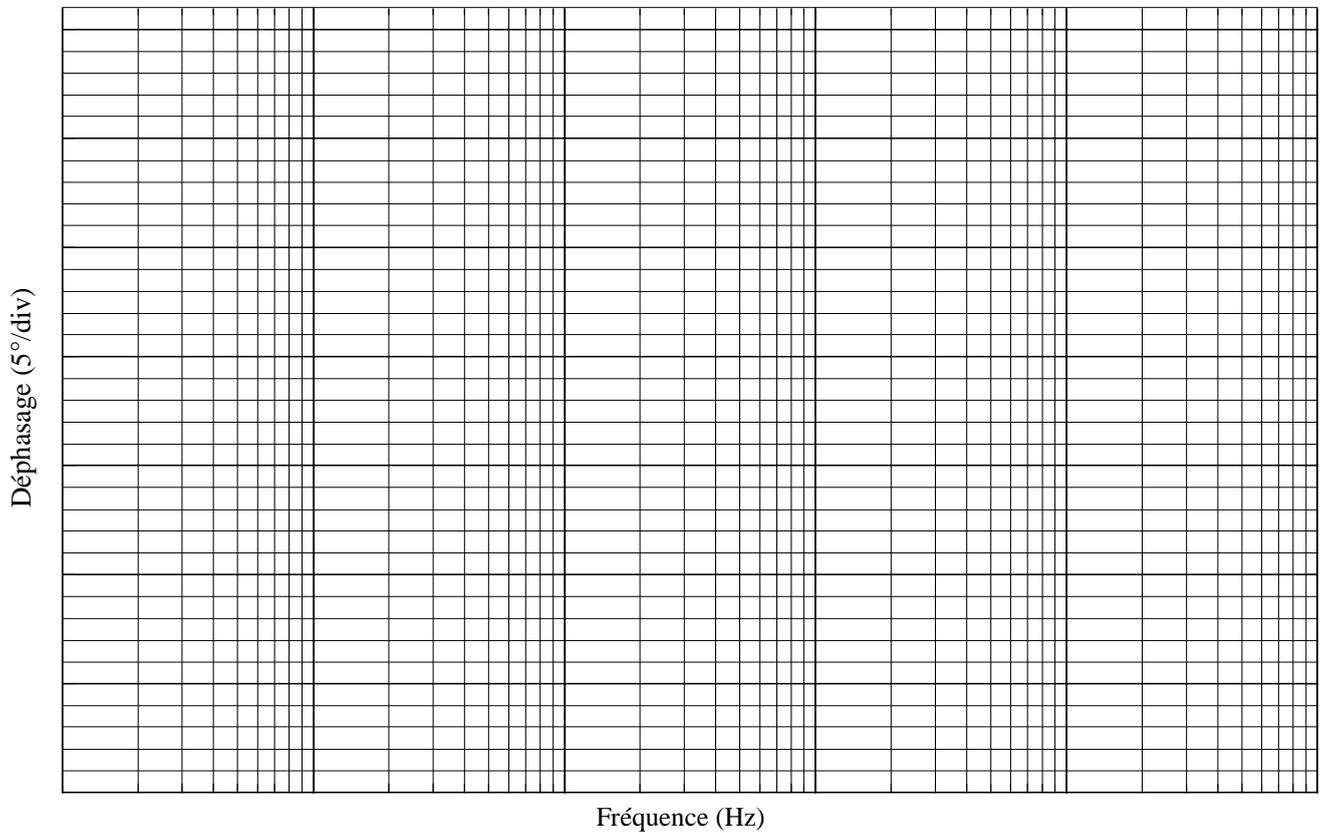
II. ETUDE DYNAMIQUE EN REGIME PERMANENT DE PETITS SIGNAUX

1. Tracez le schéma équivalent au montage pour le régime permanent de petits signaux. Vous négligerez la conductance de sortie du schéma équivalent au transistor MOS à effet de champ ($y_{22} \ll 1/R_D$).
2. Exprimez $A_u = (u_2/u_1)$ le gain en tension du montage, au point de repos considéré. Calculez A_u et donnez sa valeur en décibels.
3. Calculez Z_1 et Z_2 les impédances d'entrée et de sortie du montage, respectivement.
4. Compte tenu de la question §II.4, Quelle est l'amplitude maximale du signal de sortie U_{2m} ?
5. Quelle est la puissance moyenne maximale P_{um} , dissipée dans R_D ? Calculez le rendement $\eta = (P_{um}/P_a)$.
6. Un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude efficace $U_1 = 700 \text{ mV}_{\text{eff}}$ est appliqué à l'entrée. Représentez 2 périodes de la sortie $u_2(t)$ sur le papier millimétré joint (échelles : 1 V/cm et $100 \mu\text{s/cm}$).

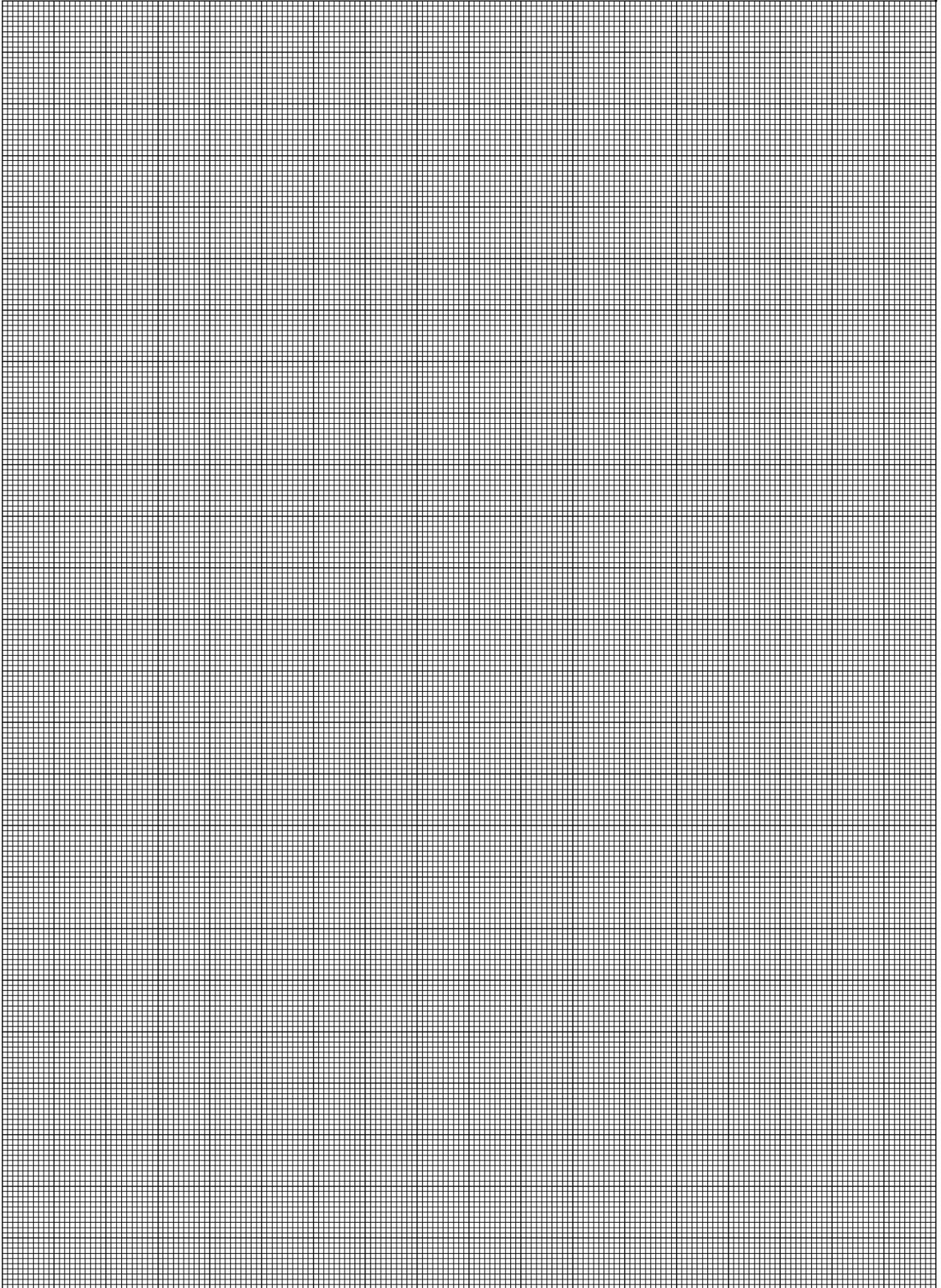
N° d'appel:



Courbe 1 : courbe de gain du diagramme de Bode.



Courbe 2 : courbe de phase du diagramme de Bode



Courbe 3 : chronogramme de $u_2(t)$