المملكة المغربية

ROYAUME DU MAROC

Ministère de l’Enseignement Supérieur de la Recherche
Scientifique de la Formation des Cadres

Présidence du Concours National Commun
Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat

CONCOURS NATIONAL COMMUN

d’admission dans les Établissements de Formation d’Ingénieurs et Établissements Assimilés

Session 2016

ÉPREUVE DE PHYSIQUE II

Filière **TSI**

Durée **4** heures

Cette épreuve comporte 9 pages au format A4, en plus de cette page de garde
L’usage de la calculatrice est *autorisé*

• On veillera à une présentation et une rédaction claires et soignées des copies. Il convient en particulier de rappeler avec précision les $\boxed{\text{références}}$ des questions abordées.

• Toutes les réponses devront être très soigneusement justifiées.

• Si un résultat donné par l'énoncé est non démontré, il peut néanmoins être admis pour les questions suivantes. Les différentes parties du problème sont relativement indépendantes entre elles.

• *Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant clairement les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.*

L'épreuve étudie des aspects relatifs aux transferts d' informations. Les signaux supports de l'information tels que le son et l'image sont analogiques c'est à dire continus. Avec les développements de la technologie et de l'informatique on utilise de plus en plus des signaux sous forme numérique, par exemple en téléphonie, en radio numérique, etc.... De tels signaux sont gérés par des ordinateurs (stockage, gravure, etc.). Le signal initial est analogique (continu), comme par exemple la voix (20 à 20 kHz) collectée par un microphone, il est possible de le convertir en signal numérique (discret) ; et pour passer d'une forme à l'autre on utilise des convertisseurs analogiques$\leftrightarrows$ numériques.

Données :

-Vitesse de la lumière : $c = 3.10^8 m.s^{-1}$

-$cos(a) + cos(b) = 2.cos(\frac{a-b}{2}).cos(\frac{a+b}{2})$

- A une grandeur sinusoïdale $f(t) = F_0.cos(\omega t + \varphi)$, il peut être commode d'associer le complexe souligné $\underline{f}(t) = F_0.e^{i.(\omega t+\varphi)}$, avec $i^2 = -1$ et $f(t) = Re(\underline{f}(t))$.

- Formule d'analyse vectorielle pour un vecteur $\overrightarrow{V}$: $\overrightarrow{rot}(\overrightarrow{rot}\overrightarrow{V}) = \overrightarrow{grad}(div\overrightarrow{V}) - \Delta\overrightarrow{V}$.

I 1 ère partie : Transmission et réception de signaux analogiques

I.1. Propagation d'un signal

On s'intéresse à la transmission, puis à la réception, d'une onde électromagnétique émise par une antenne dans l'atmosphère.

On modélise l'atmosphère comme formée d'une couche d'air, assimilé au vide, et d'une couche appelée ionosphère située à l'altitude h=80 km. L'ionosphère est électriquement neutre et comporte, par unité de volume, n électrons libres de charge $q_e = -e$ et n ions de charge $q_e = e$. La masse m de l'électron est négligeable devant celle de l'ion et on supposera les ions immobiles. La permittivité diélectrique ε_0 et la perméabilité magnétique μ_0 de l'ionosphère sont identiques à celles du vide.

Dans l'ionosphère, on considère une onde électromagnétique plane monochromatique de pulsation ω, caractérisée par son champ électrique est $\overrightarrow{E}(M,t) = E_0.cos(\omega t - kz).\overrightarrow{u}_y$.

I.1.1. A l'aide de la relation Maxwell-Faraday, donner l'expression complexe, $\overrightarrow{\underline{B}}(M,t)$, du champ magnétique $\overrightarrow{B}(M,t)$ associé à l'onde considérée.

I.1.2. Dans le référentiel terrestre $\Re(OXYZ)$ supposé galiléen, appliquer le principe fondamental de la dynamique à un électron, soumis au champ électromagnétique de l'onde $(\overrightarrow{E}, \overrightarrow{B})$. On supposera que tous les électrons ont même vitesse $\overrightarrow{v}$ $(v \ll c)$ et on négligera les chocs entre particules.

I.1.3. En comparant les normes des forces magnétique et électrique, montrer que l'influence du champ magnétique est négligeable devant celle du champ électrique. Dans toute la suite, on suppose que l'électron n'est soumis qu'au seul champ électrique précédent. Déterminer alors le vecteur $\overrightarrow{\underline{v}}$.

I.1.4. Donner le vecteur densité volumique de courant volumique $\overrightarrow{\underline{j}}$, et en déduire l'expression de la conductivité complexe $\underline{\gamma}$.

I.1.5. Calculer la puissance moyenne volumique p cédée par le champ électromagnétique au milieu. Commenter.

Rôle de l'ionosphère dans la propagation

I.1.6. En utilisant les relations de Maxwell, retrouver la relation liant la norme du vecteur d'onde k et la pulsation ω : $k^2 = \dfrac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$.

On posera $\omega_p^2 = \frac{n.e^2}{m.\varepsilon_0}$, pour l'ionosphère, on donne $\omega_p = 5,65.10^7 rd.s^{-1}$.

I.1.7. Expliquer pourquoi on n'a pas propagation de l'onde dans le cas où $\omega < \omega_p$, et donner la forme du champ électrique de l'onde $\overrightarrow{E}(M,t)$.

I.1.8. On se place dans le cas : $\omega > \omega_p$,

I.1.8.1. Montrer qu'une onde plane monochromatique peut effectivement se propager dans ce milieu.

I.1.8.2. Donner la représentation graphique du module du vecteur d'onde k en fonction de la pulsation ω.

I.1.8.3. Donner les expressions de la vitesse de phase v_φ et de la vitesse de groupe v_g, et tracer sur le même graphe les allures de $v_\varphi(\omega)$ et $v_g(\omega)$.

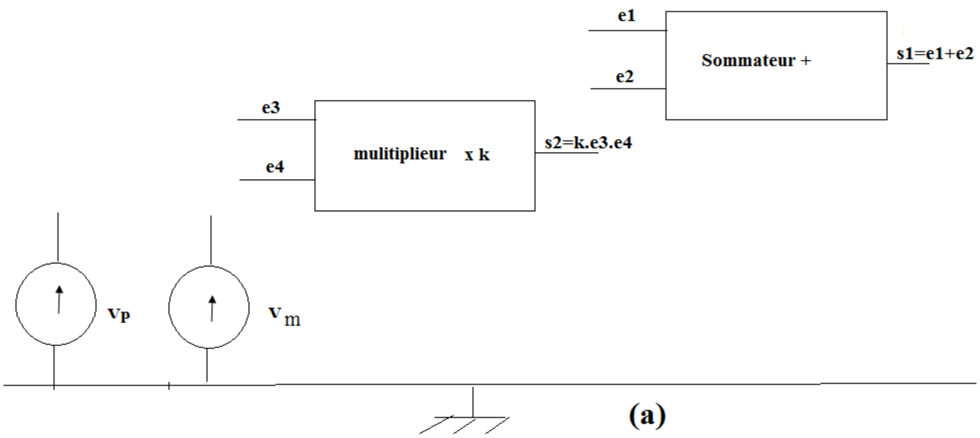
I.1.9. Quelle est la condition sur la fréquence à utiliser pour communiquer avec un satellite situé au delà de l'ionosphère ?

I.2. Émission et réception de signaux analogiques

Dans le domaine des télécommunications sonores (radio, téléphone....), on est amené à étudier la transmission par modulation d'amplitude (A.M) d'un signal $v_m(t) = V_{0m}.cos(2\pi.f_m.t)$. Ensuite on s'intéresse à la réception et l'obtention du signal émis. Les signaux sonores ont une fréquence f qui vérifie : $f_1 = 20Hz \leq f \leq f_2 = 20kHz$.

I.2.1. Les antennes émettrices ont une dimension L_a de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ du signal électromagnétique émis (dans l'air). Quelle devrait être la dimension minimale d'une telle antenne ? Commenter.

Pour transmettre un signal sinusoïdal $v_m(t) = V_{0m}.cos(2\pi.f_m.t)$ (dit modulant) de fréquence f_m, on le combine avec un signal sinusoïdal dit porteur $v_p(t) = V_{0p}.cos(2\pi.f_p.t)$ avec : $f_p \gg f$. Le signal à émettre est de la forme $v_e(t) = V_{0p}.(1 + k.V_{0m}.cos(2\pi.f_m.t)).cos(2\pi.f_p.t)$; on appelle taux de modulation la grandeur : $m = kV_{0m}$.



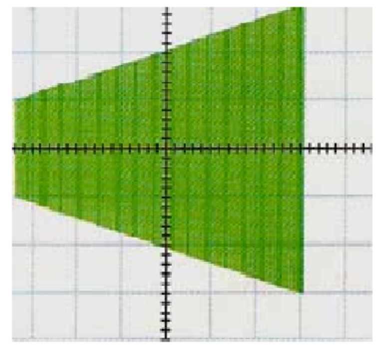


Figure 1

I.2.2. Dans le montage schématisé par la figure 1(a), on dispose des deux signaux $v_m(t)$ et $v_p(t)$ ainsi que d'un multiplieur et d'un sommateur (additionneur).

Reproduire cette figure sur votre copie et la compléter avec des fils de façon à élaborer le signal $v_e(t)$.

I.2.3. On utilise un oscilloscope en mode XY pour obtenir la figure 1(b). Préciser les deux signaux qu'il faut brancher respectivement sur la voie X (abscisse) et sur la voie Y (ordonnée). Déterminer le taux de modulation m et indiquer la condition sur m pour avoir une bonne modulation.

I.2.4. Tracer le graphe du spectre de Fourier du signal émis $v_e(t)$.

I.2.5. En absence de modulation (m=0), la puissance rayonnée par l'antenne est $P = 2MW$, déterminer la puissance totale rayonnée lorsque le taux de modulation est m (question I.2.3), pour un signal de fréquence f_m. Faire l'application numérique.

I.2.6. Deux stations radio émettent des signaux sonores avec des porteuses de fréquences respectives $f_{p,1}$ et $f_{p,2}$, avec $f_{p,1} < f_{p,2}$.

Exprimer, en fonction des fréquences, l'écart minimal $\Delta f_{p,min}$ pour qu'il n y ait pas de chevauchement de deux signaux

Après propagation, et grâce à une antenne de réception, on collecte le signal modulé qui transporte l'information. Cette tension, de la forme $v_e(t) = V_{0e}.cos(\omega_p t)$, doit être démodulée afin de récupérer le signal audio émis. L'une des étapes consiste à utiliser le montage de la figure 2 ; il comprend une diode à jonction (D) supposée idéale, un résistor de résistance R et un condensateur de capacité C.

Aucune connaissance de la diode n'est exigible, on modélise son fonctionnement ici par deux situations :

D est dite passante : $i \geq 0$ et elle est équivalente à un fil (résistance $R_{AB} = 0 : v_D = 0$).

D est dite bloquante : $i = 0$ et elle est équivalente à un circuit ouvert ($R_{AB} \rightarrow \infty : v_D \leq 0$).

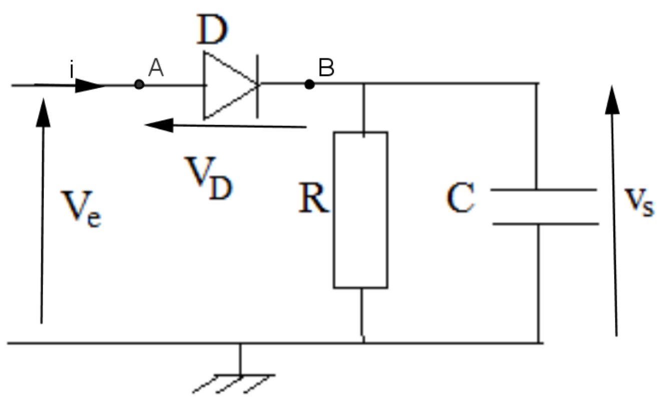


Figure 2

I.2.7. La diode est supposée passante, et l'intensité i(t) du courant est positive et de la forme $i(t) = I_0 cos(\omega_p t + \varphi)$. Donner dans ce cas la relation entre $v_e(t)$ et $v_s(t)$

I.2.8. Dans ce cas, expliciter, les expressions de l'intensité maximale I_0 et du déphasage φ en fonction des données R, C, V_{0e} et ω. On pourra utiliser la notation complexe.

I.2.9. À partir de t = 0, l'intensité i(t) décroît et s'annule une première fois pour $t = t_0$. Exprimer t_0, en fonction de φ et de ω_p.
Préciser l'état de la diode à une date immédiatement postérieure à t_0.

La diode est supposée bloquée : elle se comporte comme un interrupteur ouvert. L'intensité i(t) du courant est nulle, et la tension V_D aux bornes de la diode est négative.

I.2.10. Établir l'équation différentielle satisfaite par la tension $v_s(t)$.

I.2.11. Déterminer l'expression de la tension $v_s(t)$ en fonction de V_{0e}, φ,t_0 et t.

I.2.12. Tracer, sur le même graphe, l'allure des courbes représentatives des tensions $v_e(t)$ et $v_s(t)$ pour $0 \leq t \leq \dfrac{4\pi}{\omega_p}$. Indiquer les intervalles de temps où la diode est passante ou bloquante.

I.2.13. En réalité, la tension d'entrée est de la forme : $v_e(t) = V_{0p}.(1 + m.cos(\omega_m t)).cos(\omega_p t)$. Comment choisir le produit R.C pour récupérer l'information utile.

I.2.14. Quel type de filtre faut-il placer à la sortie du circuit précédent pour récupérer le signal audio $v_m(t)$? Justifier votre réponse, et donner un exemple de ce filtre.

I.3. Modulateur d'amplitude en bande latérale unique BLU

La figure 3(a) représente le schéma de principe d'un modulateur d'amplitude en bande latérale unique (BLU). Ce montage comporte deux déphaseurs de $-\frac{\pi}{2}$, deux multiplieurs de constante k et un amplificateur de différence de coefficient d'amplification unitaire ; dans notre cas ce dernier donne en sortie $v(t) = +v_2(t) - v_1(t)$.
On donne $v_m(t) = V_{0m}.cos(2\pi.f_m.t)$ et $v_p(t) = V_{0p}.cos(2\pi.f_p.t)$.

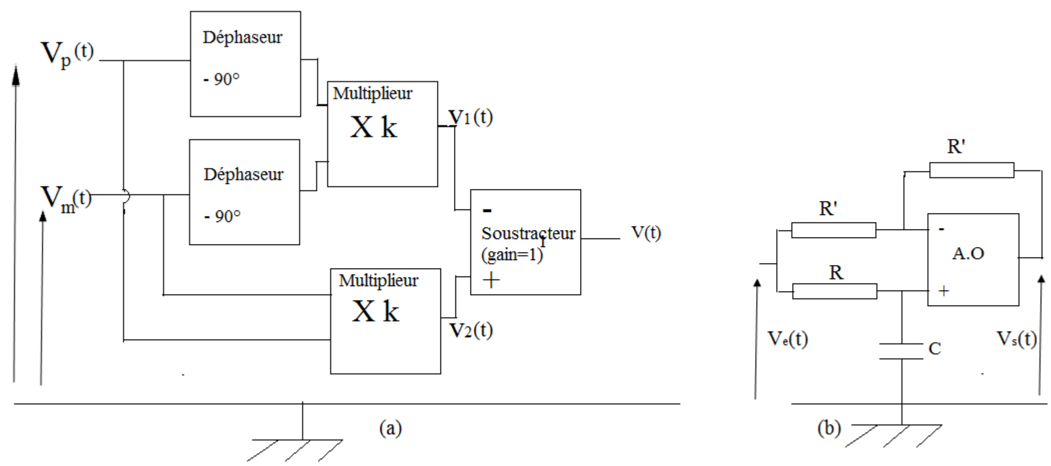


Figure 3

I.3.1. Déterminer l'expression du signal de sortie $v(t)$

I.3.2. Quel signal obtient-on si on remplace le soustracteur par un sommateur ?

I.3.3. L'amplificateur opérationnel du montage 3(b) est idéal et fonctionne en régime linéaire. Déterminer la fonction de transfert complexe $\underline{H}(j\omega)$, en régime sinusoïdal, et en déduire la fonction de ce montage.

I.4. Étude d'un haut parleur électrodynamique

Un haut parleur est constitué d'une bobine plate d'axe X'X, comportant N spires de rayon a, et solidaire d'une membrane. L'ensemble bobine + membrane a pour masse totale m et peut se translater parallèlement à l'axe horizontal X'X. Lorsque la bobine s'écarte de sa position d'équilibre d'un écart algébrique x, elle est rappelée par une force élastique due à un ressort de raideur k. De plus, l'air produit sur la membrane une force de frottement visqueux, proportionnelle à sa vitesse de translation, qui peut s'écrire $\overrightarrow{F}_f = -h.\overrightarrow{v}$ où h est une constante positive.

La réaction du support de la bobine est verticale et opposée au poids.

La bobine est placée dans un champ magnétique de la forme $\overrightarrow{B} = B_0.\overrightarrow{u}_r$, où B_0 est une constante et $\overrightarrow{u}_r$ est le vecteur unitaire radial normal à X'X (Figure 4).

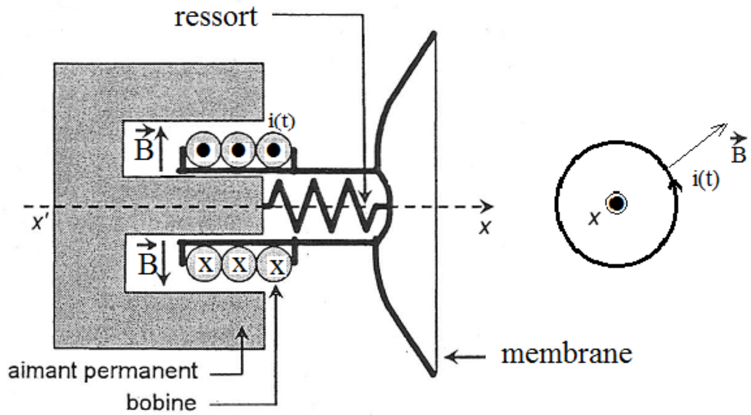


Figure 4

On applique aux bornes de la bobine une tension sinusoïdale $u(t) = U_M cos(2\pi.f.t)$, de fréquence f et on note par $i(t)$ l'intensité du courant dans la bobine.

I.4.1. Exprimer la force de Laplace $\overrightarrow{F}_L$ à laquelle la bobine est soumise.

I.4.2. Écrire le théorème de la résultante cinétique pour l'équipage mobile, et en déduire l'équation différentielle du mouvement : équation noté (M).

I.4.3. Expliquer pourquoi un mouvement de la membrane crée dans la bobine une force électromotrice d'induction fém e. Déterminer l'expression de cette fém.

I.4.4. La bobine a une résistance R et une inductance L. Déterminer, alors, l'équation électrique dans ce circuit : équation notée (E)

I.4.5. Écrire les deux relations (M') et (E') liant les expressions complexes $\underline{u}(t)$, $\underline{i}(t)$ et $\underline{v}(t)$ associées respectivement à $u(t)$, $i(t)$ et $v(t)$.

I.4.6. Éliminer la vitesse $\underline{v}(t)$ entre les équations (M') et (E') pour faire apparaître une relation entre $\underline{u}(t)$ et $\underline{i}(t)$. Définir alors l'impédance complexe $\underline{Z}$ du circuit.

II 2 ème partie : transferts d'informations sous forme numérique

A l'ère du numérique, les disques optiques (CD, DVD,...) sont les supports de stockage de l'information sous forme numérique, les plus couramment utilisés. L'information est stockée sous forme de plats et de creux (gravés) lelong de plusieurs pistes d'une spirale située sur la surface utile du disque. Le disque comporte une couche métallique recouverte par une couche de polycarbonate (plastique) d'indice de réfraction $n_p = 1,55$.

La spirale commence au rayon $R_1 = 2,5cm$ et se termine au rayon $R_2 = 5,8cm$ et les pistes sont séparées de $a = 1,6\mu m$: voir figure 5. La spirale est constituée d'alvéoles de largeur $0,67\mu m$, de longueur variable et d'une profondeur h. On nomme « creux » le fond d'une alvéole et « plat » l'espace entre deux alvéoles.

II.1. Caractéristiques mécaniques

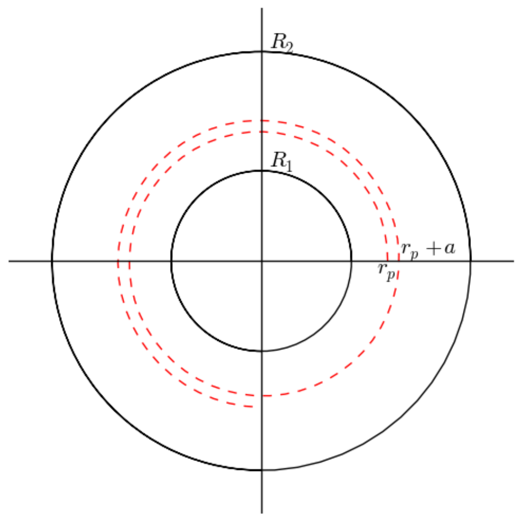


Figure 5

II.1.1. Exprimer la surface utile du disque sur laquelle est enregistrée l'information.

II.1.2. En assimilant la spirale à un rectangle de longueur L, déterminer cette longueur sur laquelle se trouve l'enregistrement.

Le système est asservi de sorte que la piste se déplace devant la tête de lecture à la vitesse linéaire constante $v_0 = 1,22 m.s^{-1}$.

II.1.3. Quelle est la durée totale de lecture τ exprimée en minutes.

II.1.4. Exprimer alors la vitesse angulaire Ω et déterminer sa valeur maximale Ω_{max}.

II.1.5. La capacité d'un CD vaut $N = 650$ mégaoctets, et un octet est formé de huit bits. Déterminer la longueur moyenne l_b occupée par un bit sur la piste.

II.2. Aspects optiques et lecture de l'information

Le faisceau laser cylindrique traverse un miroir semi- réfléchissant, arrive sous incidence normale sur une piste de la spirale, puis se réfléchit vers une cellule photoélectrique : voir figure 6.
Si le faisceau incident a frappé un plat ou un creux, toutes les parties du faisceau réfléchi sont en phase : les interférences sont constructives. Si le faisceau a frappé un passage plat-creux, les deux parties du faisceau réfléchit sont déphasées et on considère la situation où ces interférences sont destructives.
Dans les deux cas la cellule photoélectrique indiquera des intensités extrêmes ; on a donc deux états qu'on peut noter par les bits '0' et '1'.
Le laser utilisé pour lire les CD a une longueur d'onde dans l'air $\lambda_0 = 780 nm$.

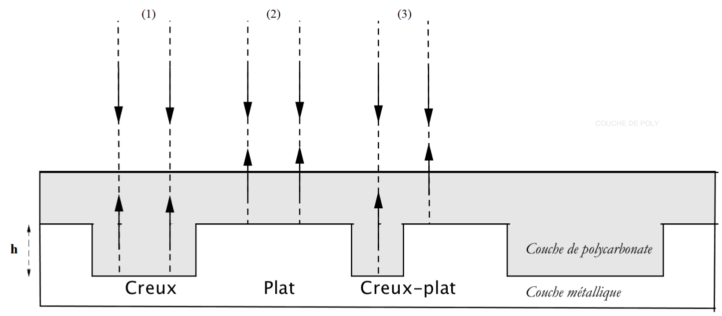


Figure 6

II.2.1. Exprimer la différence de marche optique et le déphasage dans le cas d'interférences destructives (intensité nulle).

II.2.2. Déterminer la valeur de la profondeur minimale h d'un creux dans le CD ?

Amélioration de la capacité de stockage : la diminution des longueurs d'onde de lecture permet de réduire le pas de la spirale, ce qui influe sur la capacité de stockage. On donne, respectivement, pour le CD et pour le DVD (Digital Versatile Disk) les pas : $a_{CD} = 1,6\mu m$ et $a_{DVD} = 0,74\mu m$. On estime également que les tailles d'un octet sont $6,80\mu m$ et $3,20\mu m$ respectivement sur CD et sur DVD et on note respectivement N et N' leur capacités de stockage totales en octets.

II.2.2.1. A quelle couleur correspond la longueur d'onde $\lambda_{DVD} = 650nm$?

II.2.2.2. Déterminer le rapport des capacités de stockage : $\eta = \dfrac{N_{DVD}}{N_{CD}}$.

II.3. Interconversions numérique-analogique

La fréquence f des signaux analogiques audio vérifie : $20Hz \leq f \leq 20kHz$. On considère une chaine permettant d'obtenir un signal analogique à partir d'un signal numérique enregistré sur un CD.

II.3.1. Lors de l'enregistrement du CD, le signal audio est échantillonné et bloqué avec une fréquence d'échantillonnage $f_e = 44kHz$. Chaque échantillon est ensuite numérisé.

Qu'appelle t-on échantillonnage d'un signal ? Justifier que la valeur choisie pour f_e, correspond à un échantillonnage sans perte d'information.

II.3.2. Lors de la restitution du signal analogique, on utilise un convertisseur numérique-analogique (C.N.A) à 16 bits. Ce convertisseur peut fournir une tension comprise entre les valeurs extrêmes -5 V et + 5 V et on suppose que les données numériques sont converties à une fréquence égale à celle utilisée lors de l'enregistrement ($f_e = 44kHz$).

Déterminer la valeur du quantum q du convertisseur (C.N.A) utilisé.

II.3.3. Convertisseur analogique-numérique

On étudie le principe d'un convertisseur analogique-numérique (C.A.N) à l'aide du circuit schématisé sur la figure 7. L'amplificateur opérationnel est idéal et en régime linéaire et $U_{ref} = -12V$. Chacun des quatre interrupteurs ($0 \leq i \leq 3$) peut occuper la position 0, alors $a_i = 0$, ou la position 1 et alors $a_i = 1$.

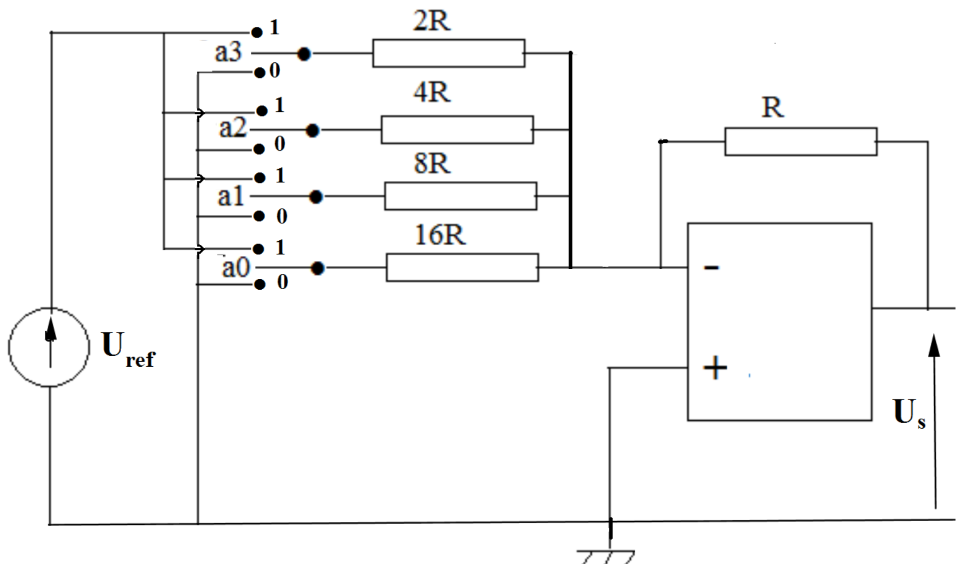


Figure 7

II.3.4. Donner l'expression de U_s en fonction de a_i et U_{ref}.

II.3.5. Calculer le quantum q' de ce convertisseur.

II.3.6. Quel mot binaire $a_3a_2a_1a_0$ faudra-t-il mettre en entrée pour avoir en sortie la tension la plus proche de 5V.