

Examen

Exercice 1

Deux charges, $2q$ et $-q$ ($q = 2 \times 10^{-6}C$) occupent les vertex aux deux côtés de la base d'un triangle équilatéral, dont tous les côtés ont une longueur de 3 cm. Sur le troisième vertex est placée une charge Q .

- a) Quelle est la valeur de Q pour que le potentiel au point P , le point médian de la base du triangle, soit nul ?
- b) Pour cette valeur de Q , calculer l'énergie potentielle du système.
- c) On suppose maintenant que le système est immergé dans de l'eau, avec constante diélectrique $K = 80$. Calculer l'accélération due à la force électrique (en valeur absolue et direction) que subirait un noyau de fer (qui a 26 protons et 30 neutrons) placé au point P .

Indications : $\epsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12}F \cdot m^{-1}$, masse du proton et du neutron $= 1.6 \times 10^{-27}kg$, charge du proton $e = 1.6 \times 10^{-19}C$.

Exercice 2

Une sphère pleine, constituée de matériau conducteur de rayon $R = 10$ cm est couverte d'une couche d'isolant (constante diélectrique $K = 2$) d'épaisseur de 5 cm.

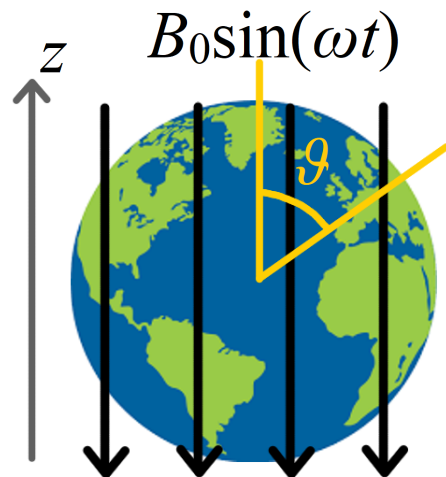
- a) Déterminer la capacité du conducteur.

On veut charger ce condensateur jusqu'à une charge de 10^{-10} C en partant d'une charge sur le condensateur nulle et en utilisant une batterie de 9V, en série avec une résistance de 50Ω . Les détails de comment la connexion pour la charge est faite à travers le diélectrique ne jouent aucun rôle.

- b) Calculer le temps nécessaire.
- c) Calculer l'énergie totale que la batterie doit fournir.
- d) Si, en plus de la résistance, le câble de connexion entre la batterie et la capacité avait une longueur telle que la valeur de l'auto-inductance $L = 1$ nH devait être tenue en considération, est-ce que le temps nécessaire à la charge changerait ? Dans quel sens ? Pour motiver votre réponse, faites un sketch du circuit électrique équivalent et discuter les différents termes dans l'équation différentielle du circuit.

Exercice 3

Une éruption solaire provoque une « tempête magnétique » sur l'hémisphère Nord de la Terre, générant un champ magnétique uniforme orienté dans le sens de l'axe terrestre, en direction Nord-Sud. L'amplitude du champ varie périodiquement avec le temps, $B(t) = B_0 \sin(\omega t)$ avec $B_0 = 200$ nT. On considère l'effet de ce champ sur des gazoducs construits à la surface de la Terre, à différentes latitudes ($\vartheta = 0$ étant le pôle Nord, et $\vartheta = 90^\circ$ étant l'équateur). Chacun de ces gazoducs est constitué d'un tuyau en aluminium (résistivité $\rho = 2.6 \times 10^{-8}$ Ohm.m), de rayon intérieur 0.85 m et épaisseur 5 cm, définissant une boucle circulaire de surface $A = 100$ km². La boucle n'est pas parfaitement fermée électriquement : dans chaque gazoduc il y a deux portions conductrices du tuyau qui restent en effet séparées électriquement par un écart de $d = 1$ mm, dans lequel il y a de l'air.

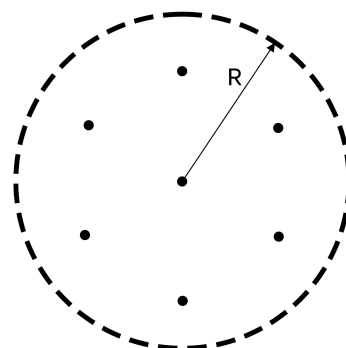


- Sur le pôle Nord, à partir de quelle fréquence critique ω_{crit} y-aura-t-il un claquage, donc une ionisation, de l'air à travers l'écart entre les portions du tuyau du gazoduc ?
- On suppose une tempête qui génère une fréquence $\omega = 2\omega_{crit}$. Pour quelles valeurs de ϑ on s'attend à ce phénomène de claquage ?
- Pour $\vartheta = 30^\circ$ et $\omega = 2\omega_{crit}$, calculer le courant maximal induit sur le gazoduc.
- La tempête s'arrête après 1 heure. Calculez l'énergie totale dissipée sur le gazoduc du point (c) pendant la tempête.

Indications : l'air peut être ionisé à partir d'un champ électrique de 3kV/mm. Une fois ionisé, on considère que l'air a une résistivité nulle et qu'il reste ionisé tout le temps.

Exercice 4

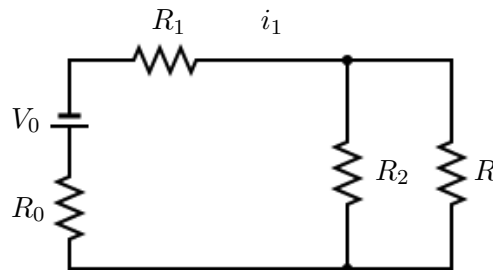
Le gouvernement d'une ville de forme circulaire de rayon $R = 3.6$ km veut construire un système de télécommunication qui puisse atteindre tous les quartiers avec une intensité moyenne d'au moins 5mW/m². On considère deux options qui ont un coût équivalent : construire une seule grande antenne au centre de la ville, ou partager la ville en 7 portions et construire 7 petites antennes équidistantes entre elles (voir figure). On ne considère pas ici les effets de réflexion du sol, on considère que les ondes émises sont sphériques, et on suppose que les champs électromagnétiques sur les fronts d'onde se comportent comme des ondes planes. La hauteur des antennes ainsi que des bâtiments est supposée petite, ce qui nous permet de faire les calculs sur le même plan, celui du sol. Dans le cas des 7 antennes, chaque antenne transmet sur une fréquence différente des autres. Cela permet de traiter chaque portion de la ville de façon indépendante dans le calcul de la puissance.



- a) Pourquoi doit-on utiliser des fréquences différentes ?
 - b) Déterminer la puissance minimale que la grande antenne et chacune des petites antennes doivent émettre.
 - c) Quelle solution amène à une plus faible consommation d'énergie ? Quantifier la différence.
- Dans le scénario d'une seule antenne, la distance entre l'antenne et le bâtiment le plus proche est de 80m.
- d) Calculer la valeur de l'amplitude du champ électrique produit par la grande antenne dans le bâtiment le plus proche, et vérifier que cette valeur ne dépasse pas la limite de risque, i.e. 10V/m.
 - e) Quelle est l'intensité du champ magnétique dans le bâtiment le plus proche dans le cas d'une seule antenne ?
 - f) À quelle distance peut-on avoir les bâtiments proches des petites antennes pour avoir la même amplitude du champ électrique obtenu en (d) ?
 - g) Les ondes émises par la grande antenne ont une fréquence de 1.8GHz. Si l'on capte le signal magnétique à l'aide d'un récepteur constitué d'une bobine circulaire de 20 cm de diamètre et 50 tours, quelle est la valeur de la tension aux bornes de la bobine si elle se trouve à la position du bâtiment le plus proche ?

Exercice 5

Considérer le circuit dans la figure ci-dessous, avec $R_0 = 20 \, \Omega$, $R_1 = 30 \, \Omega$, $R_2 = 50 \, \Omega$, et $V_0 = 100 \, \text{V}$.



- a) Pour quelle valeur de la résistance R la puissance qu'elle dissipe est maximale ?
- b) Pour cette valeur de R , quelle est la valeur du courant i_1 qui passe à travers R_1 ?
- c) Pour cette valeur de R , quelle est la valeur du courant qui passe à travers R_2 ?
- d) On remplace la batterie par une source de tension alternative $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$. Quelle est la phase relative entre la tension de la source et celle de la résistance R ? On ajoute maintenant, en série avec R , un condensateur ($C = 10 \, \mu\text{F}$) et une inductance. Quelle doit être la valeur L de l'inductance pour garder la même phase relative que précédemment, pour une source avec fréquence $\omega = 6 \times 10^4 \, \text{rad.s}^{-1}$?