Devoir de Physique

A - Electrostatique

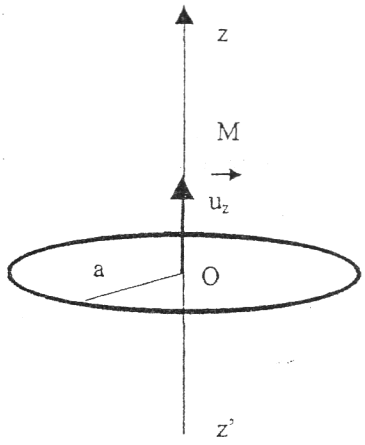
I - Soit le champ électrique suivant :

$$\vec{E} = \frac{U_0}{d}\left(x\vec{u_x} - y\vec{u_y}\right)$$; Uo et d sont des constantes positives.

1 - Déterminer les équations des lignes de champ.
2 - Tracer l'allure de ces lignes dans le plan (Oxy).

II - Spire chargée uniformément

On considère une spire de rayon a, de centre O, d'axe z'z (de vecteur unitaire $\vec{u}_z$). Cette spire est uniformément chargée de densité linéique λ.



1. Calculer la charge totale Q de la spire. AN : R=5cm; $\lambda=10^{-8}Cm^{-1}$.

2. Soit M un point de l'axe repéré par sa coordonnée z.

   a) Déterminer la direction du champ électrostatique créé par la spire au point M en utilisant des considérations de symétrie.

   b) Déterminer complètement le champ en M en fonction de la cote z et des données. Déterminer les coordonnées z_1 et z_2 des points P_1 et P_2 où le module du champ est extrémum. Donner l'allure de la courbe de variation du module du champ en fonction de z.

   c) Déterminer le potentiel électrostatique V(z) créé par la spire au point M par un calcul direct. Retrouver ce résultat en utilisant l'expression du champ électrostatique déterminée dans la question précédente.

   On fera le choix du potentiel absolu (potentiel nul à une distance infinie de la source).

   Calculer numériquement le potentiel V(0) au point O.

3. Une particule de charge négative « -q » (avec q>0), de masse m, est lancée de l'infini sur l'axe z'z sans vitesse initiale. Quelle sera la vitesse v de la particule lorsqu'elle traverse le plan de la spire?

   AN : $q = 1{,}6.10^{-19}C$; $m = 1{,}67.10^{-27}kg$

Capacité d'un condensateur sphérique

Nous avons un condensateur constitué de deux armatures sphériques concentriques.
L'armature sphérique, la plus petite, centrale, a un rayon R_0, une densité surfacique de charges σ et est portée au potentiel U.
L'armature extérieure de rayon R et de densité σ est mise à la masse.
Les armatures portent des charges nettes $+Q$ et $-Q$.

1) déterminez σ en fonction de Q et R_0
2) Considérant la neutralité de l'ensemble trouvez la relation entre σ et σ_0.

Détermination du champ électrique $\vec{E}$:

3) Spécifiez le système de coordonnées et appliquez les symétries.
4) Choix de la surface de Gauss, puis détermination du flux à travers cette surface en fonction de r et E.
5) Expression de $\vec{E}$ dans les trois zones.
6) Expression du potentiel électrique V en tous points.
7) Définir la capacité C de ce condensateur.
8) Calculer C en fonction de ε_0, R_0 et R.
Vérifiez l'homogénéité de la relation.

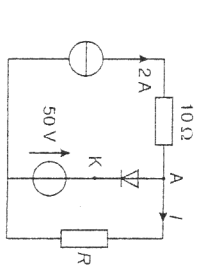
Application numérique : $R_0 = 10$ cm, $R = 20$ cm, $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\,10^9$ SI

12

B-

Électricité

I Exercice : Étude d'un circuit

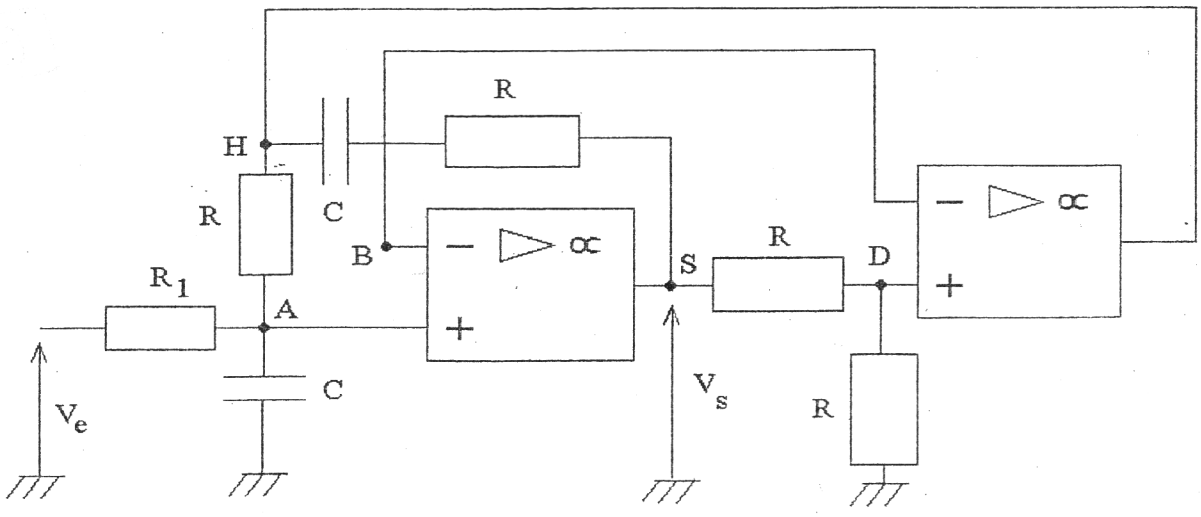


La diode est supposée idéale.

1. Calculer I dans les deux cas suivants : $R = 50\,\Omega$ et $R = 10\,\Omega$.
2. Mêmes questions si on inverse le sens de la diode.

II Problème : Filtre du second ordre

On considère le filtre suivant



1- Ecrire la loi des noeuds en termes de potentiel aux points A, B, D.

2- Donner l'expression de la fonction de transfert $\underline{\mathcal{H}} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}}$.

3- Mettre la fonction sous la forme canonique

$$\underline{\mathcal{H}}(jx) = \frac{\mathcal{H}_0}{1 + jQ(x - \frac{1}{x})} \qquad \text{où} \quad x = \frac{\omega}{\omega_0} \quad .$$

$\mathcal{H}_0$, ω_0 et Q sont des quantités que l'on déterminera à l'aide des données du problème.

4- Etudier les comportements asymptotiques de G_{dB} et ϕ associés à $\underline{\mathcal{H}}$ pour $Q \geq \frac{1}{2}$.

5- Tracer les diagrammes asymptotiques et le diagramme de Bode du filtre étudié pour $Q = 0,5$.

6- Donner l'équation différentielle vérifiée par $v_s(t)$.

ETUDE DU MULTIVIBRATEUR ASTABLE

III

1. Etude du comparateur à hystérésis

On considère le montage de la figure 2.

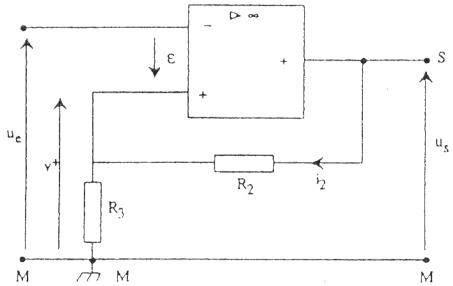


Fig. 2

1.1. Exprimer la tension v^+ en fonction de R_2, R_3 et u_s.

1.2. Etablir l'expression de la tension de seuil V_H de u_e, tension pour laquelle la tension de sortie bascule de V_{sat} à $-V_{sat}$, et de la tension de seuil V_B, tension pour laquelle la tension de sortie bascule de $-V_{sat}$ à V_{sat}.

1.3. *Application numérique :* On donne $R_2 = R_3 = 10\ k\Omega$. Calculer V_H et V_B.

1.4. Tracer la caractéristique de transfert u_s en fonction de u_e lorsque u_e varie de - 10 V à + 10 V et flécher le sens de parcours.

I-2. Etude du montage complet (figure 3) . On conserve $R_2 = R_3$.

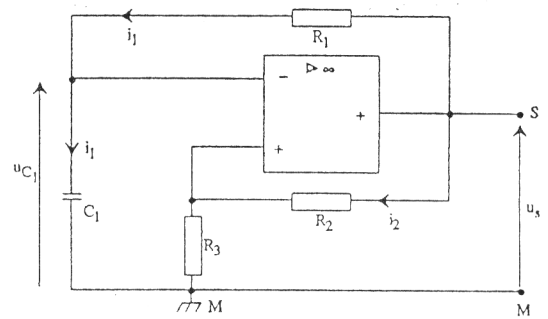


Fig. 3

2.1. A l'instant initial $t = 0$, le condensateur C_1 est déchargé, et on suppose que $u_s = +V_{sat}$. Etablir l'équation différentielle vérifiée par $u_{C1}(t)$, et en déduire l'expression littérale de $u_{C1}(t)$ en fonction des éléments du montage.

2.2. Montrer qu'à un instant t_o que l'on définira, la tension u_s bascule.

2.3. Pour $t > t_o$ et tant que la tension u_s reste à $-V_{sat}$, quelle est l'équation différentielle vérifiée par $u_{C1}(t)$? En déduire l'expression littérale de $u_{C1}(t)$ en fonction des éléments du montage.

2.4. Montrer qu'à un instant $t_o + \Delta t_1$, la tension u_s bascule. Expliciter Δt_1 en fonction des éléments du montage.

2.5. On donne le chronogramme $u_{C1}(t)$ (figure 4) : A partir de l'instant t_o, la tension u_{C1} est périodique de période T. Expliquer brièvement pourquoi les durées Δt_1 et Δt_2 sont identiques et déduire l'expression de la période T en fonction des éléments du montage.

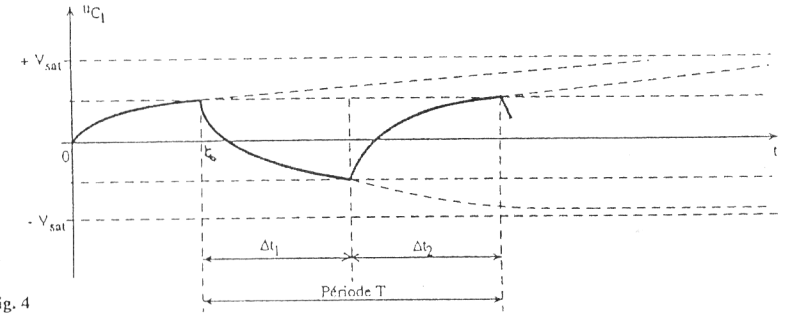


Fig. 4

2.6. Représenter le chronogramme $u_s(t)$, tension de sortie du montage de la figure 3, en concordance de temps avec $u_{C1}(t)$

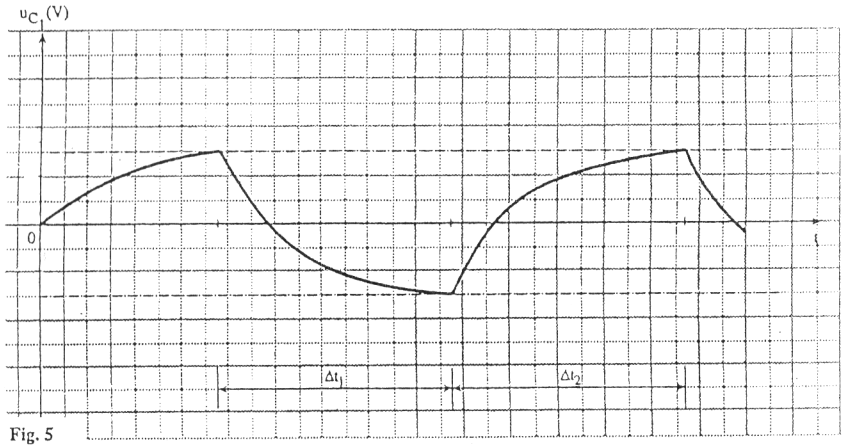


Fig. 5

2.7. Calculer le rapport cyclique défini par $\eta = \dfrac{\text{durée de l'état haut de } u_s}{\text{période T de } u_s}$

PCSI - 16 juin 2010 - Correction - Devoir de Physique - 4 h - 25 9pts noté sur 175

A. Electrostatique

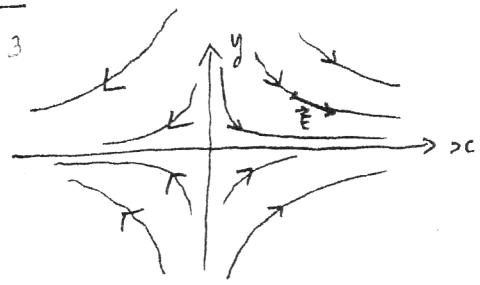
I.1 - $E_x = \frac{U_0}{d} x$; $E_y = -\frac{U_0}{d} y$; lignes de champ telles que $\vec{E} \wedge d\vec{r} = \vec{0}$ 2

9

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow E_x dy = E_y dx \Rightarrow x dy = -y dx \Rightarrow \frac{dy}{y} = -\frac{dx}{x}$$

$$\Rightarrow \ln y = -\ln x + cste \Rightarrow \underline{y = C/x}$$ 4 C : constante $\mathbb{R}$

2 - 3



B I

Étude d'un circuit :

12

résolution n°1 :

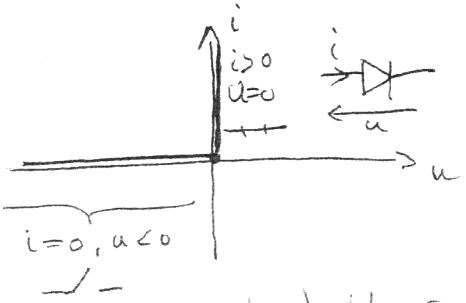
outil informatique

1. On se place dans le cas où $R = 50\,\Omega$. L'intensité maximale qui peut traverser R est $I = 2$ A. La tension aux bornes de R vaut alors $U_R = 100$ V. Dans ce cas : $U_A > U_K$ et la diode est passante. La tension aux bornes de R est alors fixée par la source de tension de 50 V. L'intensité du courant que traverse R vaut $I = 1$ A.

Si $R = 10\,\Omega$ le même raisonnement conduit à $U_{R_{max}} = 20$ V, dans ce cas $U_A < U_K$ la diode est non passante et $I = 2$ A.

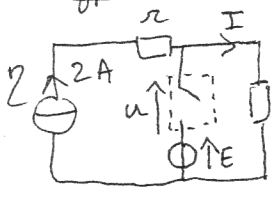
2. Un raisonnement analogue conduit à : $I = 2$ A pour $R = 50\,\Omega$, $I = 5$ A pour $R = 10\,\Omega$.

résolution n°2 : Caractéristique d'une diode parfaite :



outil stylo/

1. hypothèse diode bloquée :



$\Rightarrow I = 2 = 2A$

hypothèse valide ?

détermination de u :

$u + E - RI = 0$

$\Rightarrow u = RI - E$

Réflexion : L'outil donne-t-il un sens à ce que l'on fait ?

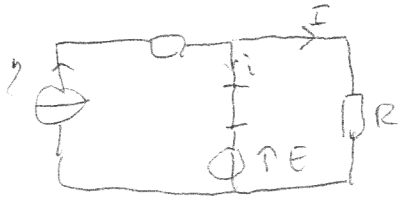
AN : $R = 10\,\Omega$: $u = 10 \times 2 - 50$

$u = -30$ V OK

on a bien $\boxed{I = 2A \text{ pour } R = 10\,\Omega}$

AN $R = 50\,\Omega$: $u = 50 \times 2 - 50 = 50$ V $> 0 \Rightarrow$ hyp. invalidée

$\Rightarrow$ la diode est passante : $\Rightarrow E = RI$



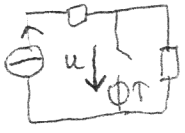
$\Rightarrow I = \frac{E}{R}$

AN : $I = \frac{50}{50}$

$\Rightarrow \boxed{I = 1A \text{ pour } R = 50\,\Omega}$

vérification : $2 = i + I \Rightarrow i = 2 - I = 2 - 1 = 1A > 0$ OK

2. hyp. diode bloquée :



$I = 2A$

$u = E - RI$

AN $R = 50\,\Omega$: $u = -50$ V < 0

hypothèse validée :

$\boxed{I = 2A \text{ pour } R = 50\,\Omega}$

AN $R = 10\,\Omega$: $u = 30$ V > 0

$\Rightarrow$ hyp. invalidée

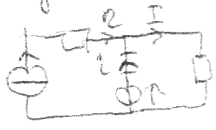
$\Rightarrow$ diode passante.

$\Rightarrow E = RI \Rightarrow I = E/R$

AN : $I = \frac{50}{10} = 5A$

$\boxed{I = 5A \text{ pour } R = 10\,\Omega}$

vérification : $i = I - 2 = 5 - 2 = 3A > 0$



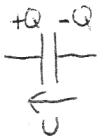
Capacité d'un condensateur sphérique : 52

1)

$Q = \iint_{\text{sphère centrale}} \sigma_0 \, dS$

$\Rightarrow Q = \sigma_0 \underbrace{\iint_S dS}_{4\pi R_0^2}$

(σ_0 = cste)



$Q = C U$ $\Rightarrow Q = \sigma_0 4\pi R_0^2$

$\begin{cases} U > 0 \\ Q > 0 \end{cases}$ $\Rightarrow \boxed{\sigma_0 = \dfrac{Q}{4\pi R_0^2}}$

2) $Q_{tot} = 0 = +Q - Q$

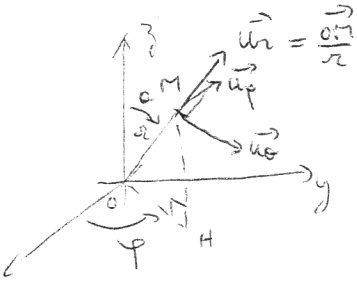
$-Q = \underbrace{\iint \sigma \, dS}_{\text{sphère ext.}} = - \underbrace{\iint \sigma_0 \, dS}_{\text{sphère centrale}}$

$\Rightarrow \sigma \, 4\pi R^2 = - \sigma_0 \, 4\pi R_0^2$

$\Rightarrow \boxed{\sigma = - \sigma_0 \left(\dfrac{R_0}{R}\right)^2}$

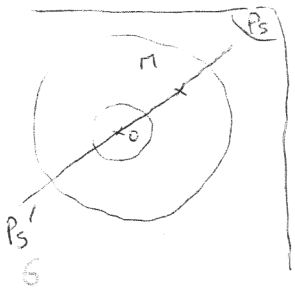
$\sigma_0 > 0$; $\sigma < 0$ et $\sigma_0 > \sigma$

3) Nous nous plaçons en coordonnées sphériques $M(r, \theta, \varphi)$:



$r = OM = \|\vec{OM}\| > 0$ $\quad r \in [0, +\infty[$

$\theta = (Oz, OM)$ $\quad \theta \in [0, \pi]$; $\varphi = (Ox, OH)$ $\quad \varphi \in [0, 2\pi[$

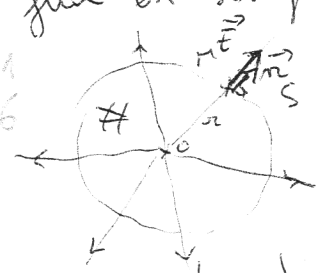


tous les plans qui contiennent la droite (OM) sont plans de symétries de la distribut° de charges : $\begin{cases} \vec{E} \in P_s \\ \vec{E} \in P'_s \end{cases} \Rightarrow \vec{E} \in P_s \cap P'_s \Rightarrow \vec{E}$ selon (OM) $\Rightarrow \vec{E} = E \vec{u_r}$

De plus, invariance par rotation selon θ et φ : d'où $\boxed{\vec{E} = E(r) \vec{u_r}}$

$E(r, \theta, \varphi) \longrightarrow E(r)$

4) Nous prenons une sphère de Gauss concentriques aux 2 de la distribution de charges ainsi la normale sortante est constamment selon $\vec{E}$ et le calcul du flux est simple :



ligne de champ

$\phi_S = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$

$= \oiint E(r) \vec{u_r} \cdot dS \, \vec{n}$

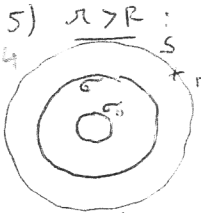
$\vec{n} = \vec{u_r}$, $\vec{u_r} \cdot \vec{u_r} = 1$

$\Rightarrow \phi_S = \oiint_{\substack{\text{sphère} \\ r = \text{cste}}} E(r) \, dS$

$\Rightarrow \phi_S = E(r) \underbrace{\oiint_S dS}_{S}$

$\Rightarrow \boxed{\phi_S = E S = 4\pi r^2 E}$

5) $r > R$: $Q_{int} = Q_\Sigma = +Q - Q = 0$

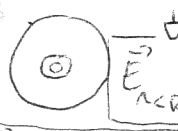


Théorème de Gauss :

$\phi_S = \dfrac{Q_{int}}{\varepsilon_0} \Rightarrow \phi_S = 0$

or $\phi_S = 4\pi r^2 E = 0 \Rightarrow \boxed{\vec{E}_{r>R} = \vec{0}}$

$r < R_0$: $Q_{int} = 0$



$\boxed{\vec{E}_{r<R_0} = \vec{0}}$

$\boxed{\vec{E} \text{ non défini pour } r = R_0 \text{ et } r = R}$

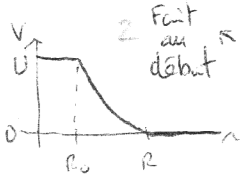
$R_0 < r < R$: $Q_{int} = +Q$

$4\pi r^2 E = \dfrac{1}{\varepsilon_0} Q$

$\Rightarrow \boxed{\vec{E} = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \vec{u_r} = \dfrac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \left(\dfrac{R_0}{r}\right)^2 \vec{u_r}}$

6) $\vec{E} = - \vec{\nabla} V = - \dfrac{dV}{dr} \vec{u_r}$

$\Rightarrow E = - \dfrac{dV}{dr}$, V continu



Fait au début

$\begin{cases} r < R_0 : V = C_1 = U \\ R_0 < r < R : V = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{1}{r} + C_2 \\ r > R : V = C_3 = 0 = V(r \to R) \end{cases}$

$\Rightarrow \boxed{V(r) = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \left(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{R}\right)}$ $R_0 < r < R$

7) 8) $U = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \left(\dfrac{1}{R_0} - \dfrac{1}{R}\right) = \dfrac{Q}{C}$

$= V(r \to R_0^+)$

$\Rightarrow C = 4\pi\varepsilon_0 \dfrac{1}{1/R_0 - 1/R}$

$\Rightarrow \boxed{C = 4\pi\varepsilon_0 \dfrac{R_0}{1 - R_0/R}}$

$F = \dfrac{C}{V}$

$F = \dfrac{C}{V} = \dfrac{C}{V \cdot m} \dfrac{m}{\text{sans unité}}$

OK

AN : $C = \dfrac{1}{9 \cdot 10^9} \dfrac{0{,}1}{1 - 0{,}5}$

$= \dfrac{0{,}2}{9} 10^{-9} F$

$\Rightarrow \boxed{C \simeq 22 \text{ pF}}$

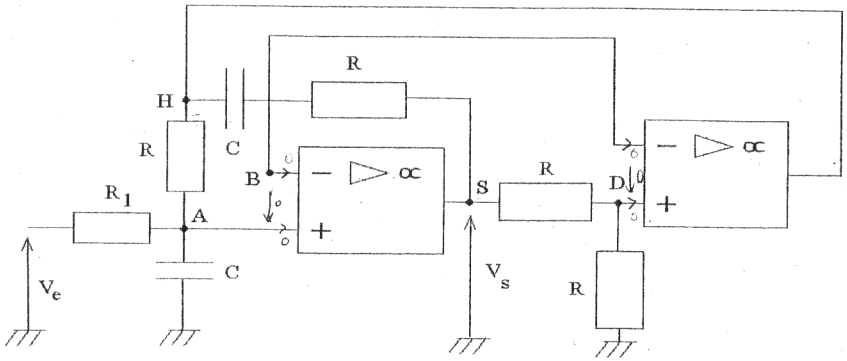
$1 \text{ pF} = 10^{-12} F = 10^{-3} \text{ nF}$

$[4\pi\varepsilon_0] = \dfrac{[F][m]}{[E][m^2]} = \dfrac{C}{V m^{-1} m^2}$

$= C \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$

Correction

On considère le filtre suivant



1- Ecrire la loi des noeuds en termes de potentiel aux points A, B, D.

2- Donner l'expression de la fonction de transfert $\underline{\mathcal{H}} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}}$.

3- Mettre la fonction sous la forme canonique

$$\underline{\mathcal{H}}(jx) = \frac{\mathcal{H}_0}{1 + jQ(x - \frac{1}{x})} \quad \text{où } x = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$\mathcal{H}_0$, ω_0 et Q sont des quantités que l'on déterminera à l'aide des données du problème.

4- Etudier les comportements asymptotiques de G_{dB} et ϕ associés à $\underline{\mathcal{H}}$ pour $Q \geq \frac{1}{2}$.

5- Tracer les diagrammes asymptotiques et le diagramme de Bode du filtre étudié pour $Q = 0,5$.

6- Donner l'équation différentielle vérifiée par $v_s(t)$.

1-

A: $\frac{\underline{V_e} - \underline{V_A}}{R_1} + \frac{\underline{V_H} - \underline{V_A}}{R} + \frac{0 - \underline{V_A}}{Z_C} = 0$ (1)

B: $\frac{\underline{V_H} - \underline{V_B}}{Z_C} + \frac{\underline{V_S} - \underline{V_B}}{R} = 0$ (2)

D: $\frac{\underline{V_S} - \underline{V_D}}{R} + \frac{0 - \underline{V_D}}{R} = 0$ (3)

$\left(\underline{V_\Pi} = 0 \quad \underline{i_+} = 0 \quad \underline{i_-} = 0 \quad \left| \begin{array}{l} \underline{\varepsilon} = \underline{V_+} - \underline{V_-} = 0 \\ = \underline{V_A} - \underline{V_B} \end{array} \right. \right)$ régime linéaire

$\underline{V_B} = \underline{V_D}$ or : $\frac{\underline{V_S}}{R} = 2\frac{\underline{V_D}}{R} \Rightarrow \underline{V_D} = \frac{\underline{V_S}}{2}$

$\underline{V_S} - \underline{V_B} = \frac{\underline{V_S}}{2}$

$\underline{V_A} = \underline{V_B} = \frac{\underline{V_S}}{2}$

(1) : $\underline{V_A}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_C}\right) = \frac{\underline{V_e}}{R_1} + \frac{\underline{V_H}}{R}$

(2) : $\underline{V_S}\left(\frac{-1}{2R} + \frac{1}{2Z_C}\right) = \frac{\underline{V_H}}{Z_C}$

2- $\frac{\underline{V_S}}{2}\left(\frac{R}{R_1} + 1 + \frac{R}{Z_C}\right) - \frac{R}{R_1}\underline{V_e} = \underline{V_S}\left(-\frac{Z_C}{2R} + \frac{1}{2}\right) \Rightarrow \underline{H} = \frac{R/R_1}{\frac{1}{2}\left[\frac{R}{R_1} + 1 + R/Z_C + \frac{Z_C}{R} - 1\right]}$

$\Rightarrow \underline{H} = \frac{1}{2}\frac{1}{1 + \left(RZ_C + \frac{Z_C}{R}\right)\frac{R_1}{R}}$

$= \frac{1}{2}\frac{1}{1 + \left[RjC\omega + \frac{1}{jRC\omega}\right]R_1/R}$

$\Rightarrow \underline{H} = \frac{1/2}{1 + j\frac{R_1}{R}\left(RC\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$

3) $\boxed{\omega_0 = 1/RC}$

$RC\omega = \frac{\omega}{\omega_0} = x$

$\boxed{H_0 = 1/2}$

$\boxed{Q = R_1/R}$

4) BF $\underline{H} \sim \frac{H_0}{-jQ\,1/x} = j\frac{H_0}{Q}x$

$\boxed{\phi_{BF} = \arg \underline{H} = \pi/2}$

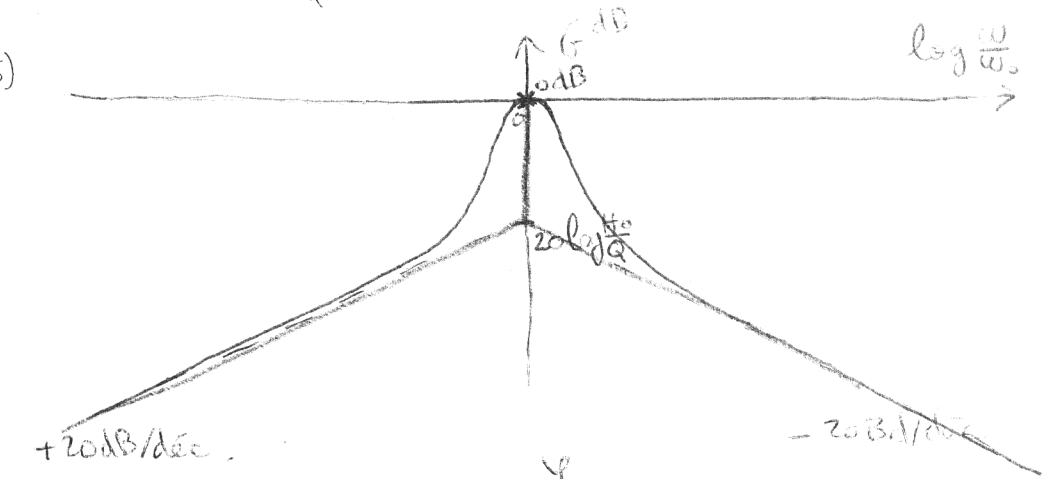
$G^{dB} = 20\log G = 20\log|\underline{H}|$

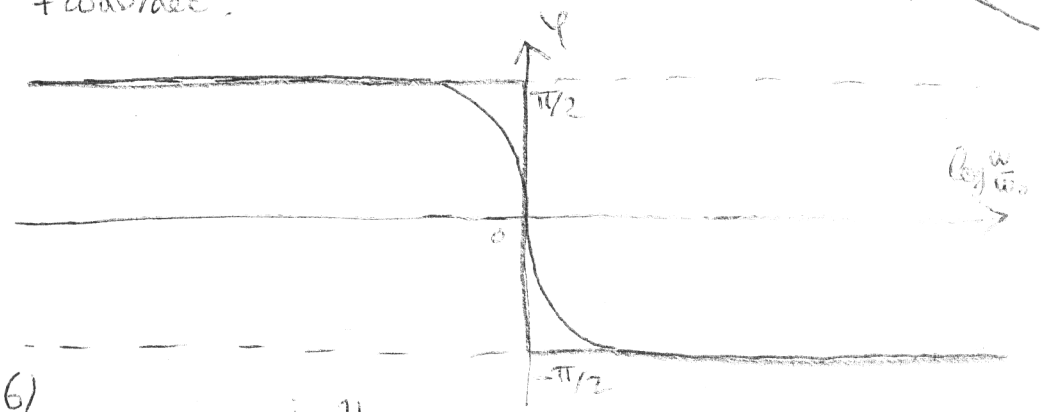
$\boxed{G^{dB}_{BF} = 20\log x + 20\log\left(H_0/Q\right)}$

HF $\underline{H} \sim \frac{H_0}{jQx} \Rightarrow \boxed{\varphi_{HF} = -\pi/2}$ $\boxed{G^{dB}_{HF} = -20\log x + 20\log(H_0/Q)}$

Pour $Q \geq 1/2 \Rightarrow \frac{H_0}{Q} \leq 1 \Rightarrow 20\log(H_0/Q) \leq 0$

5)





6)

$\underline{H} = \frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}} = \frac{jx H_0}{jx + Q(jx)^2 + Q}$

$\Rightarrow \left[(j\omega)^2\frac{1}{\omega_0^2} + \frac{1}{Q}\frac{1}{\omega_0}(j\omega) + 1\right]\underline{v_s} = (j\omega)\frac{H_0}{Q\omega_0}\underline{v_e}$; $j\omega \xrightarrow{TR} \frac{d}{dt}$, $\underline{v} \longrightarrow v(t)$

$\Rightarrow \boxed{\frac{d^2}{dt^2}v_s(t) + \frac{1}{\tau_e}\frac{dv_s(t)}{dt} + \omega_0^2 v_s(t) = \frac{H_0}{\tau_e}\frac{dv_e}{dt}}$

$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{\tau_e}$; dérivée de v_s d'ordre 2 $\Rightarrow$ filtre d'ordre 2.

ASTABLE

PCSI

III Multivibrateur

I-1.1. D'après le théorème de Millman : $v_+ = \dfrac{\frac{u_s}{R_2} + \frac{0}{R_3}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$: $\boxed{v_+ = \dfrac{R_3 u_s}{R_2 + R_3}}$

1.2. L'AO fonctionne en régime non linéaire puisque l'entrée (−) n'est pas bouclée sur la sortie. u_s prend donc les valeurs $\pm V_{sat}$.

* Si $u_s = V_{sat}$ alors on a $v_+ - v_- > 0$ càd $u_e < \dfrac{R_3 V_{sat}}{R_2 + R_3}$

u_s reste à V_{sat} tant que u_s reste inférieur à $\boxed{U_H = \dfrac{R_3 V_{sat}}{R_2 + R_3}}$

Si u_e croît et passe par cette valeur il y a basculement de la sortie à $-V_{sat}$

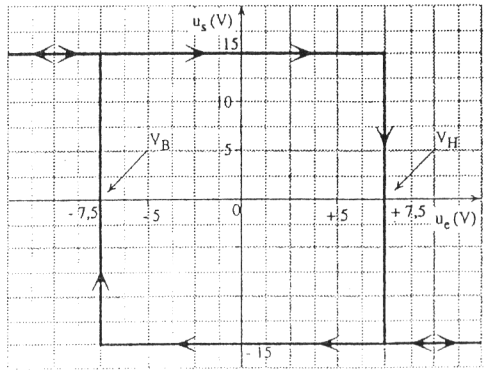
* Si $u_s = -V_{sat}$ alors on a $v_+ - v_- < 0$ càd $u_e > \dfrac{-R_3 V_{sat}}{R_2 + R_3}$

u_s reste à $-V_{sat}$ tant que u_e reste supérieur à $\boxed{U_B = -\dfrac{R_3 V_{sat}}{R_2 + R_3}}$

Si u_e décroît et passe par cette valeur il y a basculement de u_s de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$

1.3. Si $R_2 = R_3$ $\quad U_H = -U_B = \dfrac{V_{sat}}{2} = \underline{7{,}5\ V}$

1.4.



I-2.1. La tension aux bornes du condensateur ne peut pas subir de discontinuité. Au départ u_{C_1} va donc évoluer à partir de 0V. La sortie u_s de l'AO restera à $+V_{sat}$ tant que u_{C_1} restera inférieur au seuil V_H.

Une loi de mailles donne $u_s = u_{C_1} + R_1 i_1$ avec $i_1 = C_1 \dfrac{du_{C_1}}{dt}$:

$\boxed{R_1 C_1 \dfrac{du_{C_1}}{dt} + u_{C_1} = V_{sat}}$ (puisque $u_s = V_{sat}$ pour l'instant).

$u_{C_1} = u_{pte}(t) + u_{hom}(t) = V_{sat} + \lambda e^{-t/R_1C_1}$

puisque $u_{C_1}(0) = 0$, on a $\lambda = -V_{sat}$: $\boxed{u_{C_1}(t) = V_{sat}\left(1 - e^{-t/R_1C_1}\right)}$

I.2.2. u_s bascule lorsque u_{C_1} franchit le seuil U_H : à l'instant t_0 tel que $u_{C_1} = U_H$ càd $V_{sat}\left(1 - e^{-t_0/R_1C_1}\right) = U_H$.

2.3. D'après la loi de maille écrite au I.2.1, avec maintenant $u_s = -V_{sat}$; l'équation diff. est : $\boxed{R_1C_1 \dfrac{du_{C_1}}{dt} + u_{C_1} = -V_{sat}}$

on a donc $u_{C_1} = -V_{sat} + \mu e^{-t/R_1C_1}$

Puisque $u_{C_1}(t_0) = V_H = \dfrac{V_{sat}}{2}$, je vérifie : $\dfrac{V_{sat}}{2} = -V_{sat} + \mu e^{-t_0/R_1C_1}$

Soit $\mu = \dfrac{3}{2} V_{sat} e^{t_0/R_1C_1}$: $\boxed{u_{C_1}(t) = V_{sat}\left(-1 + \dfrac{3}{2} e^{-(t-t_0)/R_1C_1}\right)}$

2.4. Pour $t > t_0$, u_{C_1} décroît et tendrait vers $-V_{sat}$. Lorsque u_{C_1} franchit la valeur $V_B = -\dfrac{V_{sat}}{2}$, il y a basculement de la sortie. Appelons $t = t_0 + \Delta t_1$ l'instant correspondant : il vérifie.

$-\dfrac{V_{sat}}{2} = V_{sat}\left(-1 + \dfrac{3}{2} e^{-\Delta t_1/R_1C_1}\right) \iff \dfrac{1}{2} = \dfrac{3}{2} e^{-\Delta t_1/R_1C_1}$

$\iff e^{\Delta t_1/R_1C_1} = 3 \iff \Delta t_1 = R_1C_1 \ln 3$

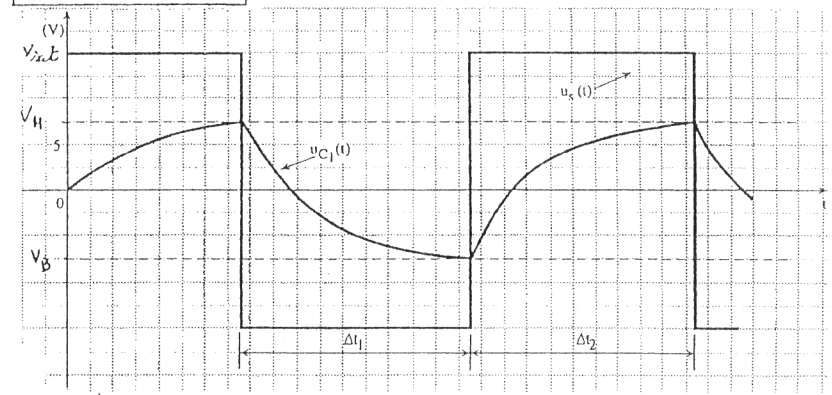
2.5 Après l'instant $t_0 + \Delta t_1$, u_s est dans l'état haut, on a à nouveau l'équation différentielle du I.2.1 avec $u_{C_1}(t_0 + \Delta t_1) = V_B = -\dfrac{V_{sat}}{2}$.

Le condensateur se charge donc à nouveau, sous la tension $+V_{sat}$.

Comme la charge et la décharge du condensateur se font à travers la même résistance R_1 et que les seuils de basculement V_B et V_H sont symétriques, les durées Δt_1 et Δt_2 sont identiques et $T = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 2\Delta t_1$

$\boxed{T = 2R_1C_1 \ln 3}$

2.6



2.7. $\eta = \dfrac{\Delta t_2}{T} = 0{,}5$