
ENAC – 2025 – PHYSIQUE – ÉNONCÉ

Conversion proposé par Charles-Édouard LECOMTE.

Questions liées

Partie 1 : cinématique d'un mouvement en spirale [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Partie 2 : système afocal [7, 8, 9, 10, 11, 12]

Partie 3 : électrocinétique des régimes transitoires [13, 14, 15, 16, 17, 18]

Partie 4 : relation entre capacités thermiques [19, 20, 21, 22, 23, 24]

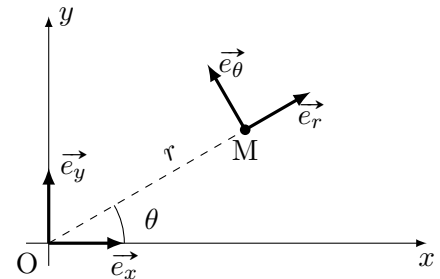
Partie 5 : oscillation d'un cadre métallique [25, 26, 27, 28, 29, 30]

Partie 6 : filtres [31, 32, 33, 34, 35, 36]

Partie 1 : Cinématique d'un mouvement en spirale

On étudie la trajectoire plane d'un mobile ponctuel M dans le référentiel du laboratoire $\mathcal{R}$. On associe à ce référentiel matérialisé par un système d'axes la base cartésienne $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$. O est un point fixe de $\mathcal{R}$.

La position de M est repérée par ses coordonnées polaires (r, θ) dans le plan de sa trajectoire représenté sur la figure ci-contre. Les vecteurs sont exprimés dans la base polaire $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$. On appelle respectivement composante radiale et composante orthoradiale, les composantes d'un vecteur dans cette base.



On note ainsi (v_r, v_θ) les composantes de la vitesse de M et (a_r, a_θ) celles de son accélération. On note par ailleurs v la norme de la vitesse, a celle de l'accélération.

Les équations horaires du mouvement de M sont :

$$r(t) = r_0 e^{-t/\tau} \quad \text{et} \quad \theta(t) = \Omega t$$

avec r_0 , τ et Ω des constantes strictement positives. Lors des applications numériques, on prendra : $r_0 = 1 \text{ m}$; $\tau = 2,5 \text{ s}$; $\Omega = 0,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. À quelle date t_1 la composante radiale du vecteur $\overrightarrow{OM}$ vaut-elle le dixième de sa valeur initiale ?

(a) $t_1 = \tau$

(c) $t_1 = 10\tau$

(b) $t_1 = \tau \ln(10)$

(d) $t_1 = \frac{\tau}{\ln(10)}$

2. Exprimer les composantes de la vitesse de M :

- (a) $v_r = \frac{r_0}{\tau} e^{-t/\tau}$ (c) $v_\theta = r_0 \Omega e^{-t/\tau}$
 (b) $v_r = -\frac{r_0}{\tau} e^{-t/\tau}$ (d) $v_\theta = r_0 \Omega$

3. Exprimer les composantes de l'accélération de M :

- (a) $a_r = r_0 \left(\frac{1}{\tau^2} - \Omega^2 \right) e^{-t/\tau}$ (c) $a_\theta = \frac{2r_0 \Omega}{\tau}$
 (b) $a_r = \frac{r_0}{\tau} \left(\frac{1}{\tau} + \Omega \right) e^{-t/\tau}$ (d) $a_\theta = -\frac{2r_0 \Omega}{\tau} e^{-t/\tau}$

4. Donner l'expression des normes de la vitesse et de l'accélération :

- (a) $v = r_0 \left(\frac{1}{\tau^2} + \Omega^2 \right) e^{-t/\tau}$ (c) $a = r_0 \left(\frac{1}{\tau^2} + \Omega^2 \right) e^{-t/\tau}$
 (b) $v = r_0 \left(\frac{1}{\tau^2} + \Omega^2 \right)^{1/2} e^{-t/\tau}$ (d) $a = r_0 \left(\frac{1}{\tau^2} + \Omega^2 \right)^{1/2} e^{-t/\tau}$

5. Que vaut le rapport a/v ?

- (a) $a/v = 0,25 \text{ s}^{-1}$ (b) $a/v = 0,5 \text{ s}^{-1}$ (c) $a/v = 1 \text{ s}^{-1}$ (d) $a/v = 4 \text{ s}^{-1}$

6. On note $\alpha = \left(\widehat{\overrightarrow{OM}, \overrightarrow{v}} \right)$ l'angle que forme, à tout instant, le vecteur vitesse de M avec son vecteur position. On a :

- (a) $\alpha = \pi/2$ (c) $\cos(\alpha) = -(1 + \Omega^2 \tau^2)^{-1/2}$
 (b) α dépend du temps (d) $\cos(\alpha) = -0,8$

Partie 2 : Système afocal

On étudie un système optique formé de deux lentilles minces, de même axe optique et qu'on suppose utilisées dans les conditions de Gauss. On note respectivement $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ ces deux lentilles. Pour chacune (avec $k = 1$ ou 2) on note O_k son centre optique, V_k sa vergence, f'_k sa distance focale image, F_k et F'_k ses foyers principaux, respectivement objet et image. L'axe optique est orienté suivant l'ordre de positionnement des lentilles, la lumière rencontre successivement $\mathcal{L}_1$ puis $\mathcal{L}_2$, la distance algébrique $d = \overline{O_1 O_2}$ est donc positive.

Dans tout l'exercice on choisit les lentilles de sorte que $V_2 > 0$ et $V_1 < 0$.

7. On souhaite former un système afocal. Indiquer la ou les réponses correctes pour que ce soit possible :

- (a) Il suffit que $V_2 > V_1$
 (b) Il faut nécessairement $|V_1| < |V_2|$
 (c) Il faut nécessairement $V_1 < -V_2$
 (d) Aucune condition sur les vergences n'est nécessaire, seules comptent les positions des lentilles.

8. Quelle condition la distance entre les lentilles doit-elle vérifier pour que le système soit afocal ?

- (a) $d = \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)$ (b) $d = \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right)$ (c) $d = (V_1 + V_2)^{-1}$ (d) $d = (V_2 - V_1)^{-1}$

9. Dans toute la suite de l'exercice les lentilles $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ sont choisies et positionnées de façon à former un système afocal noté (Σ) . On l'utilise pour former l'image d'un objet transversal (perpendiculaire à l'axe optique), placé à une distance finie devant la lentille $\mathcal{L}_1$. Dans cette situation, on peut affirmer que :

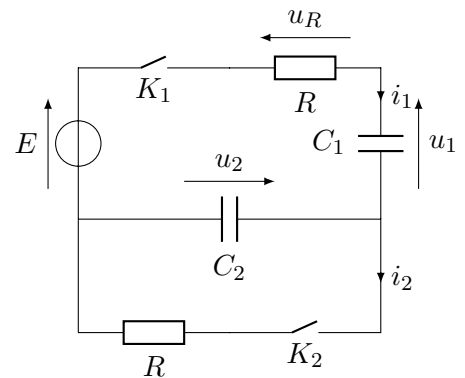
- (a) L'image est plus petite que l'objet et elle est de même sens que l'objet.
 (b) L'image est plus petite que l'objet et elle est de sens inverse à celui de l'objet.
 (c) L'image est plus grande que l'objet et elle est de sens inverse à celui de l'objet.
 (d) Le grandissement transversal du système dépend de la position de l'objet, donc les caractéristiques (taille et sens) de l'image dépendent de cette position.
10. On appelle point double, le point D de l'axe optique qui est sa propre image par le système optique. Que vérifie la distance $\overline{F_1 D}$ pour le système (Σ) ?
- (a) $\overline{F_1 D} = \frac{f_1'^2 (f_2' + f_1')}{f_2'^2}$ (c) $\overline{F_1 D} = \frac{f_1' (f_2'^2 + f_1'^2)}{f_2' (f_2' + f_1')}$
 (b) $\overline{F_1 D} = -\frac{2f_1'^2 (f_2' + f_1')}{f_2'^2 + f_1'^2}$ (d) $\overline{F_1 D} = -\frac{2f_1'^2}{f_2' - f_1'}$
11. Le rapport des distances algébriques de D aux centres optiques des lentilles vérifie :
- (a) $\frac{\overline{O_2 D}}{\overline{O_1 D}} = \frac{f_2'}{f_1'}$ (c) $\frac{\overline{O_2 D}}{\overline{O_1 D}} = \frac{f_1'}{f_2'}$
 (b) $\frac{\overline{O_2 D}}{\overline{O_1 D}} = -\frac{f_2'}{f_1'}$ (d) $\frac{\overline{O_2 D}}{\overline{O_1 D}} = -\frac{f_1'}{f_2'}$
12. DB' est l'image d'un objet transversal DB situé en D. Que peut-on dire de ce couple objet/image :
- (a) L'image se superpose exactement à l'objet puisqu'elle est au point double.
 (b) $\frac{\overline{DB'}}{\overline{DB}} = -\frac{f_2'}{f_1'}$
 (c) $\frac{\overline{DB'}}{\overline{DB}} = -\frac{f_1'}{f_2'}$
 (d) Il est impossible qu'un objet soit situé en D pour ce système puisque D est entre les deux lentilles.

Partie 3 : Électrocinétique des régimes transitoires

Le circuit représenté sur la figure ci-contre est constitué d'un générateur de tension idéal stationnaire de force électromotrice (ou tension électromotrice) E , de deux résistors de résistances identiques R et de deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 .

Les deux interrupteurs K_1 et K_2 sont initialement ouverts, le condensateur C_2 est déchargé, tandis que C_1 a été chargé préalablement de sorte que la tension à ses bornes vaut initialement $u_1 = E/2$.

À un instant pris comme origine temporelle ($t = 0$, t désignant le temps), on ferme K_1 tout en maintenant K_2 ouvert.



13. Déterminer, à la date $t = 0^+$, c'est-à-dire, juste après la fermeture de K_1 , la tension $u_R(0^+)$:
- (a) $u_R(0^+) = 0$ (b) $u_R(0^+) = \frac{E}{2}$ (c) $u_R(0^+) = E$ (d) $u_R(0^+) = -E$
14. L'intensité du courant électrique évolue (lorsque $t > 0$) selon la loi :

$$i_1(t) = A \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

où A et τ sont deux constantes temporelles. Déterminer ces constantes :

(a) $A = \frac{E}{R}$
 (b) $A = \frac{E}{2R}$

(c) $\tau = \frac{RC_1C_2}{C_1+C_2}$
 (d) $\tau = R(C_1 + C_2)$

15. Après fermeture de K_1 , la tension $u_1(t)$ est donnée par la relation :

(a) $u_1(t) = \frac{E}{2} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$
 (b) $u_1(t) = \frac{EC_1}{2C_2} [1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)] + \frac{E}{2}$
 (c) $u_1(t) = \frac{EC_1}{C_1+C_2} [1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)] + \frac{E}{2}$
 (d) $u_1(t) = \frac{EC_2}{2(C_1+C_2)} [1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)] + \frac{E}{2}$

16. Déterminer, de même, la tension de $u_2(t)$ après fermeture de K_1 :

(a) $u_2(t) = \frac{E}{2} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$
 (b) $u_2(t) = \frac{EC_1}{2(C_1+C_2)} [1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)]$
 (c) $u_2(t) = \frac{EC_2}{2(C_1+C_2)} [1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)]$
 (d) $u_2(t) = E [1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)]$

17. On attend suffisamment longtemps pour que le circuit atteigne son régime établi (*i.e.* permanent), puis on ferme K_2 (tout en laissant K_1 fermé) à un instant pris comme *nouvelle origine temporelle* ($t = 0$). Déterminer à la date $t = 0^+$, c'est-à-dire, juste après la fermeture de K_2 , l'intensité du courant $i_2(0^+)$ d'une part, et déterminer également sa valeur $i_2(\infty)$ lorsque le nouveau régime établi sera atteint :

(a) $i_2(0^+) = \frac{EC_1}{2R(C_1+C_2)}$
 (b) $i_2(0^+) = \frac{EC_2}{R(C_1+C_2)}$
 (c) $i_2(\infty) = \frac{EC_2}{2R(C_1+C_2)}$
 (d) $i_2(\infty) = 0$

18. On suppose que $C_1 = C_2$. Après la fermeture de K_2 , la tension $u_2(t)$ évolue conformément à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d^2 u_2}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{du_2}{dt} + \omega_0^2 u_2 = 0$$

où Q et ω_0 , sont deux constantes temporelles. Déterminer Q :

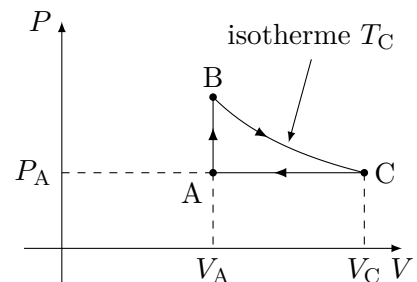
(a) $Q = \frac{1}{3}$ (b) $Q = \frac{1}{2}$ (c) $Q = \frac{\sqrt{2}}{2}$ (d) $Q = 3$

Partie 4 : Relation entre capacités thermiques

Un gaz, suppose parfait, contenant n moles d'entités chimiques inertes, suit le cycle de transformations réversibles suivantes :

- A $\rightarrow$ B : une compression isochore de volume $V_A = V_B$
- B $\rightarrow$ C : une détente isotherme à la température $T_B = T_C$
- C $\rightarrow$ A : une compression isobare à la pression $P_C = P_A$

On désigne par T_A la température de l'état A et par V_C le volume de l'état C. On introduit les écarts de températures $\Delta T = T_C - T_A$ et de volumes $\Delta V = V_C - V_A$. On note R la constante des gaz parfaits, C_V la capacité thermique à volume constant du gaz et C_P , sa capacité thermique à pression constante.



19. Quelle est la variation d'énergie interne $\Delta_A^B U$ du gaz lors de la transformation A $\rightarrow$ B ?

(a) $\Delta_A^B U = 0$

(c) $\Delta_A^B U = C_V \Delta T$

(b) $\Delta_A^B U = C_P \Delta T$

(d) $\Delta_A^B U = (C_P - C_V) \Delta T$

20. Quel est le travail W_{BC} (algébriquement) reçu par le gaz lors de la transformation $B \rightarrow C$?

(a) $W_{BC} = -nRT_C \ln \left(\frac{V_C}{V_A} \right)$

(c) $W_{BC} = \frac{nRT_C V_C}{V_A}$

(b) $W_{BC} = nRT_C \ln \left(\frac{V_C}{V_A} \right)$

(d) $W_{BC} = -P_A V_C$

21. Exprimer le travail précédent en fonction de P_A , V_A , T_A , ΔT et ΔV :

(a) $W_{BC} = P_A V_A \left(1 + \frac{\Delta T}{T_A} \right) \ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V_A} \right)$

(c) $W_{BC} = -P_A V_A \left(1 + \frac{\Delta T}{T_A} \right) \left(1 + \frac{\Delta V}{V_A} \right)$

(b) $W_{BC} = -P_A V_A \left(1 + \frac{\Delta T}{T_A} \right) \ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V_A} \right)$

(d) $W_{BC} = -P_A V_A \left(1 + \frac{\Delta V}{V_A} \right)$

22. Que vaut le transfert thermique (ou chaleur) Q_{BC} (algébriquement) reçu par le gaz lors de la transformation $B \rightarrow C$? Parmi les réponses ci-dessous, $\Delta_B^C U$ désigne la variation d'énergie interne du gaz au cours de cette transformation.

(a) $Q_{BC} = 0$

(b) $Q_{BC} = -W_{BC}$

(c) $Q_{BC} = \Delta_B^C U$

(d) $Q_{BC} = \frac{\Delta_B^C U}{2}$

23. Exprimer le transfert thermique (ou chaleur) Q_{CA} ainsi que le travail W_{CA} reçus (algébriquement) par le gaz lors de la transformation $C \rightarrow A$:

(a) $Q_{CA} = -C_V \Delta T$

(c) $W_{CA} = P_A \Delta V$

(b) $Q_{CA} = -C_P \Delta T$

(d) $W_{CA} = -P_A \left(1 + \frac{\Delta V}{V_A} \right)$

24. Déterminer l'expression de $\Delta V / \Delta T$ en fonction de V_A et T_A , puis en écrivant le bilan d'énergie interne sur le cycle de transformations, en déduire la relation entre C_P et C_V .

(a) $\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{2V_A}{T_A}$

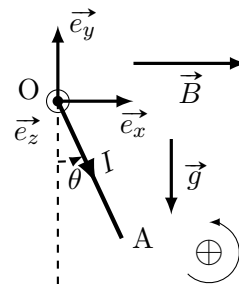
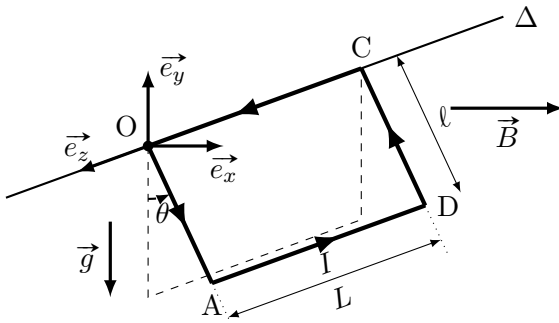
(b) $\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V_A}{T_A}$

(c) $C_P - C_V = P_A \frac{\Delta V}{\Delta T}$

(d) $C_P - C_V = 2P_A \frac{\Delta V}{\Delta T}$

Partie 5 : Oscillations d'un cadre métallique

On considère un cadre métallique rectangulaire OADC, rigide et homogène (masse linéique uniforme), de longueur L et de largeur ℓ , capable de tourner autour d'un de ses longs côtés horizontaux CO. L'étude est menée dans le référentiel du laboratoire $\mathcal{R}$, supposé galiléen, auquel on associe le repère cartésien $\{0, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z\}$. Le côté CO est situé sur un axe de rotation Δ (horizontal) fixe dans $\mathcal{R}$, et orienté par le vecteur unitaire $\vec{e}_z$. On note $\vec{g} = -g\vec{e}_y$ le champ de pesanteur d'intensité $g = \|\vec{g}\|$, $\vec{e}_y$ étant un vecteur unitaire orienté dans le sens vertical ascendant. On note θ l'angle qui repère le vecteur OA par rapport à la verticale descendante (figure ci-après). On néglige tout frottement, dont ceux de la liaison pivot, supposée parfaite.



On note m la masse du cadre et J_z son moment d'inertie par rapport à l'axe Δ . Une alimentation, non représentée sur la figure, impose un courant stationnaire, d'intensité I le long du cadre, dans le sens indiqué sur la figure ($I > 0$). Enfin, le cadre est immergé dans un champ magnétique uniforme et stationnaire $\vec{B} = B\vec{e}_x$ où $B > 0$. On néglige l'auto-induction dans le cadre.

25. Déterminer Γ_P le moment scalaire du poids du cadre par rapport à Δ (orienté) :

(a) $\Gamma_P = 0$ (b) $\Gamma_P = -\frac{mg\ell \sin \theta}{2}$ (c) $\Gamma_P = mg\ell \sin \theta$ (d) $\Gamma_P = -\frac{mg\ell \cos \theta}{2}$

26. Déterminer Γ_L le moment scalaire des forces de Laplace qui s'exercent sur le cadre par rapport à Δ (orienté) :

(a) $\Gamma_L = 0$ (b) $\Gamma_L = IL\ell B \cos(\theta/2)$ (c) $\Gamma_L = -IL\ell B \sin \theta$ (d) $\Gamma_L = mg\ell$

27. Déterminer la ou les positions angulaires d'équilibre θ_e du cadre.

(a) $\theta_e = 0$ (b) $\theta_e = \pi$ (c) $\theta_e = \arccos\left(\frac{ILB}{mg}\right)$ (d) $\theta_e = \arcsin\left(\frac{ILB}{mg}\right)$

28. Que vaut la période T_0 du mouvement du cadre au voisinage de sa position d'équilibre stable ?

(a) $T_0 = \left(\frac{\pi^2 J_z}{mg\ell + IL\ell B}\right)^{1/2}$ (c) $T_0 = \left(\frac{8\pi^2 J_z}{mg\ell + 2IL\ell B}\right)^{1/2}$
(b) $T_0 = \left(\frac{4\pi^2 J_z}{mg\ell + IL\ell B}\right)^{1/2}$ (d) $T_0 = \left(\frac{2J_z}{mg\ell + 2IL\ell B}\right)^{1/2}$

29. À un instant pris comme origine temporelle ($t = 0$), on lance le cadre depuis la position initiale $\theta(0) = 0$ avec une vitesse angulaire initiale $\dot{\theta}(0) > 0$. Déterminer $\dot{\theta}(0)$ afin que le cadre puisse atteindre la position $\theta = \frac{\pi}{2}$ rad, avec une vitesse nulle.

(a) $\dot{\theta}(0) = \left(\frac{mg\ell + IL\ell B}{J_z}\right)^{1/2}$ (c) $\dot{\theta}(0) = \left(\frac{mg\ell + 2IL\ell B}{2J_z}\right)^{1/2}$
(b) $\dot{\theta}(0) = \left(\frac{mg\ell + IL\ell B}{2J_z}\right)^{1/2}$ (d) $\dot{\theta}(0) = \left(\frac{mg\ell + 2IL\ell B}{J_z}\right)^{1/2}$

30. On coupe désormais le champ magnétique ($B = 0$) et on modifie les conditions de lancement du cadre de sorte qu'à l'instant initial :

$$\theta(0) = 0 \quad \text{et} \quad \dot{\theta}(0) = \left(\frac{3mg\ell}{J_z}\right)^{1/2}$$

Déterminer la valeur absolue de la vitesse angulaire minimale notée $\dot{\theta}_m$ atteinte par le cadre au cours de son mouvement :

(a) $\dot{\theta}_m = 0$ (b) $\dot{\theta}_m = \left(\frac{mg\ell}{J_z}\right)^{1/2}$ (c) $\dot{\theta}_m = \left(\frac{mg\ell}{2J_z}\right)^{1/2}$ (d) $\dot{\theta}_m = \left(\frac{mg\ell}{3J_z}\right)^{1/2}$

Partie 6 : Filtres

Dans cet exercice, on symbolise un filtre par le schéma ci-contre (Fig. 1). On l'exploite en régime sinusoïdal forcé établi. Les tensions d'entrée et de sortie du filtre, sont respectivement $u_e(t)$ et $u_s(t)$. On introduit leurs représentations complexes, $\underline{u}_e$ et $\underline{u}_s$ et on définit la fonction de transfert complexe du filtre comme le rapport de ces deux grandeurs complexes.

On note j l'unité imaginaire ($j^2 = -1$).

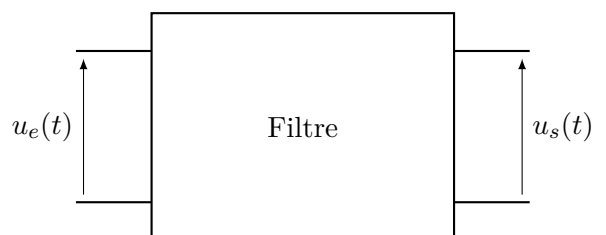
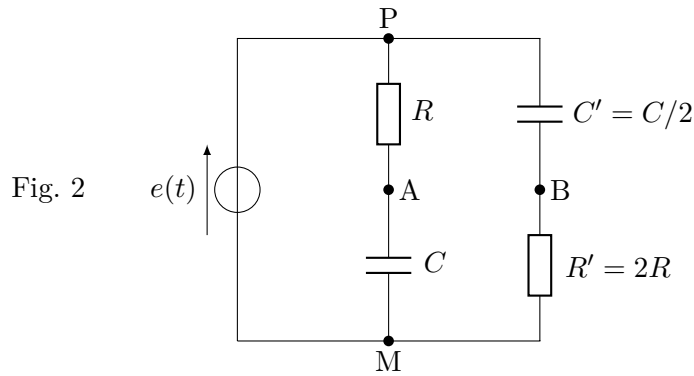
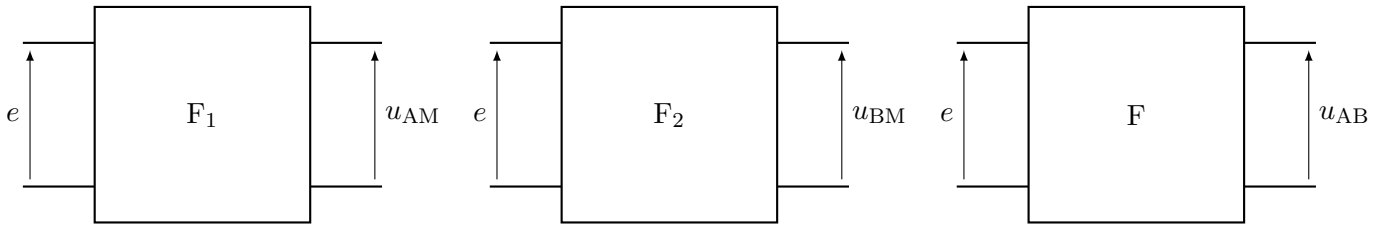


Fig. 1

Comme indiqué sur le schéma ci-dessous (Fig. 2), on étudie un circuit formé de résistors, de condensateurs et d'un générateur de tension idéal, fournissant une tension sinusoïdale : $e(t) = E \cos(\omega t)$. E et ω sont des constantes temporelles.



On définit alors, à partir de ce circuit, les filtres suivants F_1 , F_2 et F dont les fonctions de transfert sont notées respectivement $\underline{H}_1$, $\underline{H}_2$ et $\underline{H}$ (Fig. 3).



31. La fonction de transfert du filtre F_1 s'écrit :

(a) $\underline{H}_1 = \frac{1}{1+jRC\omega}$

(c) $\underline{H}_1 = \frac{1}{1+\frac{jRC\omega}{2}}$

(b) $\underline{H}_1 = \frac{1}{1+2jRC\omega}$

(d) $\underline{H}_1 = \frac{2}{1+jRC\omega}$

32. La fonction de transfert du filtre F_2 s'écrit :

(a) $\underline{H}_2 = \frac{jRC\omega}{2(1+jRC\omega)}$

(c) $\underline{H}_2 = \frac{2jRC\omega}{1+2jRC\omega}$

(b) $\underline{H}_2 = \frac{jRC\omega}{1+2jRC\omega}$

(d) $\underline{H}_2 = \frac{jRC\omega}{1+jRC\omega}$

33. La fonction de transfert du filtre F s'écrit :

(a) $\underline{H} = jRC\omega$

(c) $\underline{H} = \frac{1-2jRC\omega}{1+2jRC\omega}$

(b) $\underline{H} = \frac{1-jRC\omega}{1+jRC\omega}$

(d) $\underline{H} = \frac{1-2jRC\omega}{1+jRC\omega}$

34. Le filtre F est :

(a) un passe-bas

(c) un passe-bande

(b) un passe-haut

(d) un intégrateur

35. On note $\varphi(\omega)$ le déphasage de la tension $u_{AB}(t)$ par rapport à la tension $e(t)$. Lorsque la pulsation ω varie de 0 à $+\infty$, $\varphi(\omega)$ décroît :

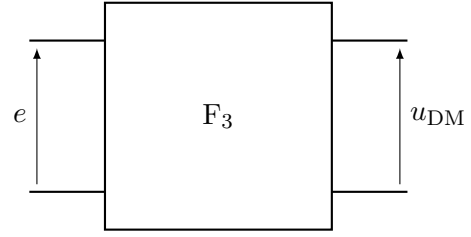
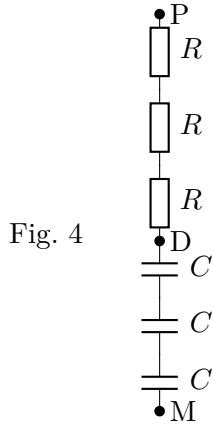
(a) de $\frac{\pi}{2}$ à $-\frac{\pi}{2}$

(c) de 0 à $-\pi$

(b) de π à 0

(d) de 0 à $-\frac{\pi}{2}$

36. On ajoute au circuit précédent la branche schématisée ci-dessous (Fig. 4), entre les points P et M. Les filtres F_1 , F_2 et F étant toujours définis par les mêmes schémas que précédemment à partir du nouveau circuit. On note alors respectivement $\underline{H}'_1$, $\underline{H}'_2$ et $\underline{H}'$ leurs nouvelles fonctions de transfert et $\underline{H}'_3$ celle du filtre F_3 représenté ci-dessous (Fig. 5).



On peut alors écrire que :

- (a) $\underline{H}'_3 = \underline{H}'_1 = \underline{H}_1$ et $\underline{H}' = \underline{H}$
 (b) $\underline{H}'_3(\omega) = \underline{H}'_1(3\omega)$

- (c) $\underline{H}'_3 = \underline{H}'_1 \neq \underline{H}_1$ et $\underline{H}' \neq \underline{H}$
 (d) $\underline{H}'_3(\omega) = \underline{H}'_1(\omega/3)$