Physique - Devoir Maison Entrainement #02

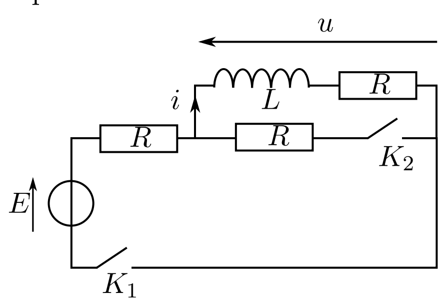
15/10/2025

Ce sujet comporte 4 pages et doit être traité en intégralité. Comme pour tous DMs, vous pouvez vous entraider pour les questions les plus difficiles. Cependant, **la rédaction doit rester personnelle**.
Si vous avez des questions, n'hésitez pas à les poser par mail.

I Étude de régimes transitoires successifs

Le circuit ci-dessous, alimenté par un générateur de tension continue E, est constitué d'une bobine d'inductance $L = 100\,\text{mH}$, de trois résistors de même résistance $R = 100\,\Omega$ et de deux interrupteurs K_1 et K_2. Les deux interrupteurs sont ouverts depuis longtemps quand à $t = 0$ on ferme l'interrupteur K_1 (l'interrupteur K_2 reste ouvert). A l'instant $t_1 = 5{,}0\,\text{ms}$, on ferme K_2 (l'interrupteur K_1 est toujours fermé). Enfin à l'instant $t_2 = 10\,\text{ms}$, on ouvre K_1 (K_2 reste fermé).

Le but de l'exercice est d'étudier $i(t)$ et $u(t)$ pour $t \in]0, +\infty[$. Pour cela, l'exercice est décomposé en parties indépendantes. Seules les deux dernières questions nécessitent d'avoir traité l'ensemble de l'exercice.



I.A Étude pour $t \in]0, t_1[$

1. Exprimer l'intensité i et la tension u à l'instant $t = 0^+$, juste après la fermeture de l'interrupteur K_1.
2. En supposant que le régime permanent est atteint à l'instant $t = t_1^-$, exprimer $i(t_1^-)$ et $u(t_1^-)$.
3. Établir l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$ pour $t \in]0, t_1[$. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :
$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau_1} i = A_1$$
Exprimer les constantes τ_1 et A_1 en fonction des données du problème.
4. Résoudre cette équation différentielle. On exprimera i en fonction de E, R, τ_1 et t pour $t \in]0, t_1[$. Vérifier que cette solution est en accord avec la réponse à la question 2.
5. Exprimer $u(t)$ pour $t \in]0, t_1[$. Vérifier que cette solution est en accord avec les réponses aux questions 1 et 2.
6. On enregistre les grandeurs u et i au cours du temps à partir de $t = 0$. Les graphiques sont donnés en annexe. Placer sur ces deux graphiques le temps τ_1. Déterminer les valeurs de E, R et L. Peut-on considérer que le circuit est en régime permanent à l'instant $t = t_1^-$?

I.B Étude pour $t \in]t_1; t_2[$

7. En supposant que le régime permanent est atteint à l'instant t_1^-, exprimer $i(t_1^+)$ et $u(t_1^+)$.
8. En supposant que le régime permanent est atteint à l'instant $t = t_2^-$, exprimer $i(t_2^-)$ et $u(t_2^-)$.
9. Établir l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$ pour $t \in]t_1, t_2[$. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :
$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau_2} i = A_2$$
Exprimer les constantes τ_2 et A_2 en fonction des données du problème.
10. Résoudre cette équation différentielle en supposant qu'à l'instant $t = t_1^-$ le circuit est en régime permanent. On exprimera i en fonction de E, R, τ_2 et t pour $t \in]t_1, t_2[$. Vérifier que cette solution est en accord avec la réponse à la question 8.
11. Exprimer $u(t)$ pour $t \in]t_1, t_2[$. Vérifier que cette solution est en accord avec la réponse à la question 8.

I.C Étude pour $t \in]t_2; +\infty[$

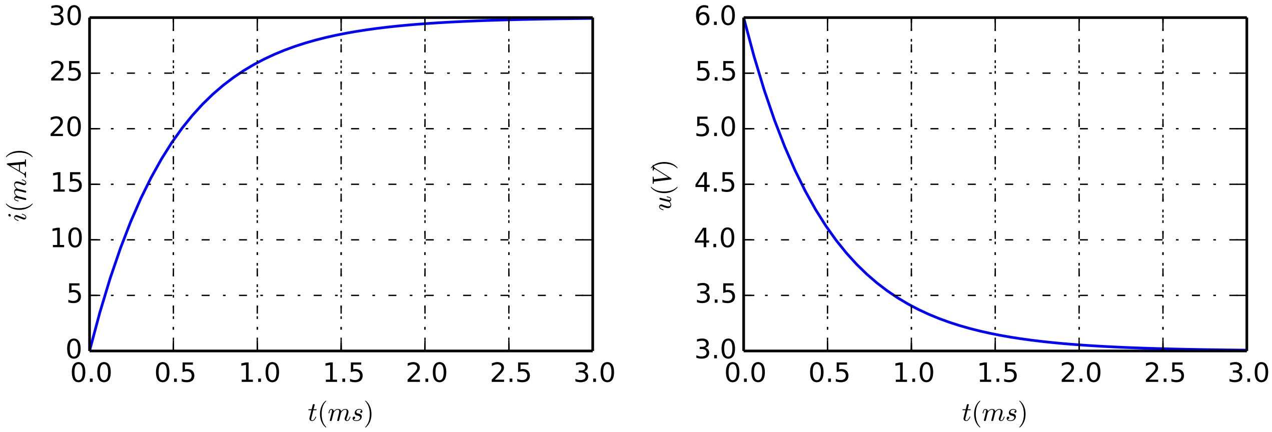
12. En supposant que le régime permanent est atteint à l'instant t_2^-, exprimer $i(t_2^+)$ et $u(t_2^+)$.
13. Exprimer i et u pour $t \to +\infty$.
14. Établir l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$ pour $t \in]t_2, +\infty[$. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau_3} i = A_3$$

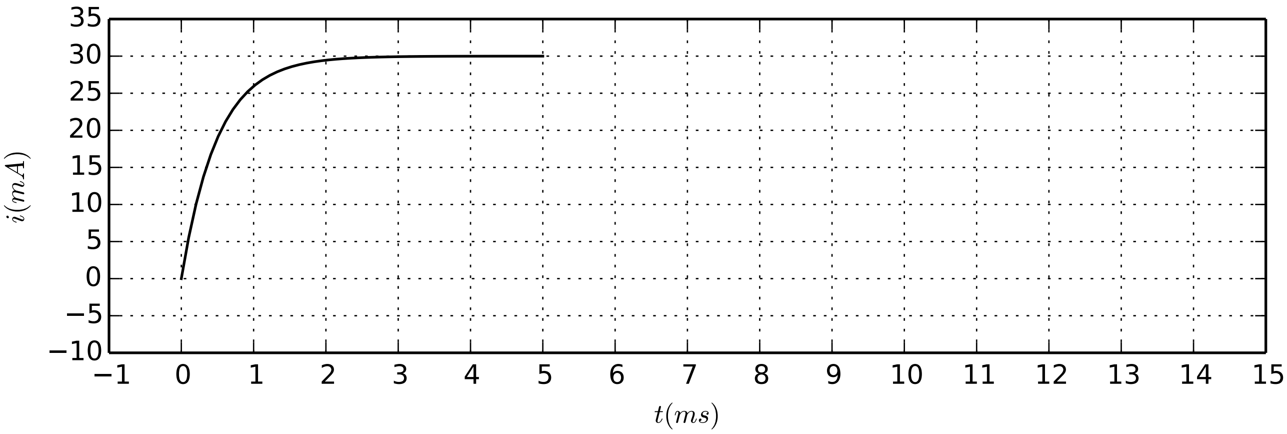
Exprimer les constantes τ_3 et A_3 en fonction des données du problème.

15. Résoudre cette équation différentielle en supposant qu'à l'instant $t = t_2^-$ le circuit est en régime permanent. On exprimera i en fonction de E, R, τ_3 et t pour $t \in]t_2, +\infty[$.
16. Exprimer $u(t)$ pour $t \in]t_2, +\infty[$.
17. Tracer l'allure de i en fonction du temps, pour $t \in]0; +\infty[$ sur le graphique en annexe. On fera apparaitre les constantes de temps τ_1, τ_2 et τ_3 sur ce graphique, ainsi que les valeurs de i à chaque changement de régime.
18. Tracer l'allure de u en fonction du temps, pour $t \in]0; +\infty[$ sur le graphique en annexe. On fera apparaitre les constantes de temps τ_1, τ_2 et τ_3 sur ce graphique, ainsi que les valeurs de u à chaque changement de régime.

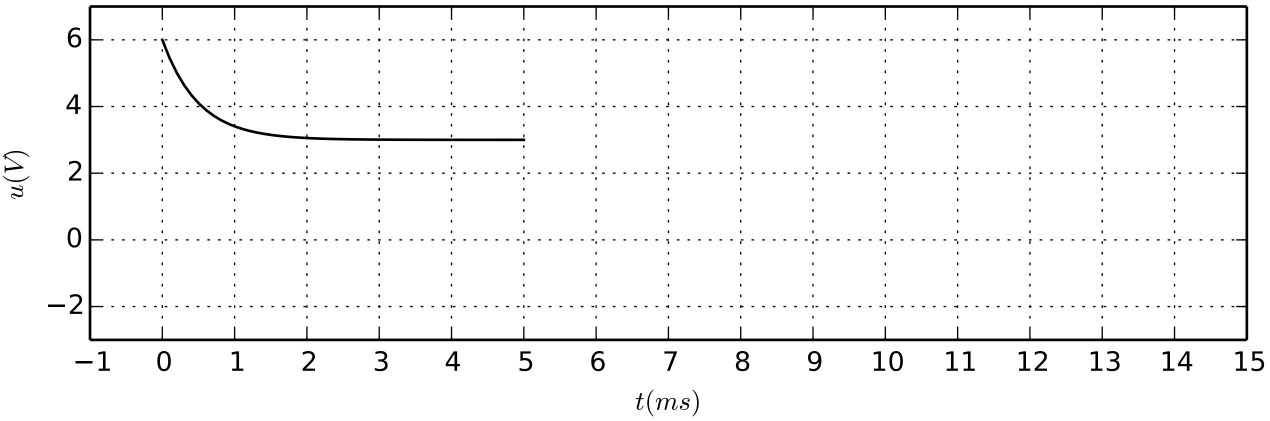
Pour la question 6



Pour la question 17



Pour la question 18



II Unité de cellules photovoltaïques

Une utilisation de l'énergie solaire est la production d'énergie électrique par des cellules photovoltaïques. Ce problème étudie le fonctionnement d'un ensemble de cellules pouvant venir en complément d'autres dispositifs.

L'énergie pourra être stockée dans des batteries d'accumulateurs et restituée à une installation domestique par l'intermédiaire d'un onduleur.

Les deux parties de ce problème sont totalement indépendantes.

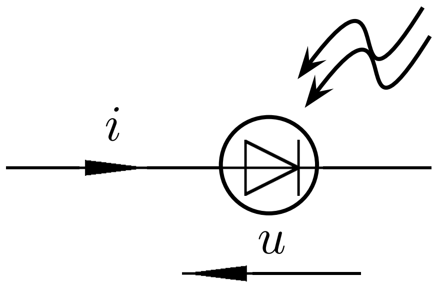
II.A Cellules photovoltaïques

Aucune connaissance préalable sur les cellule photovoltaïque, dont le symbole est représenté figure ci-contre, n'est nécessaire pour résoudre cette partie.

Le comportement d'une cellule photovoltaïque est bien représenté par la fonction caractéristique

$$i = I_s\left[\exp\left(\frac{u}{U_0}\right) - 1\right] - \alpha S E$$

avec $I_s = 0{,}10\,\mathrm{nA}$; $U_0 = 25{,}8 \times 10^{-3}\,\mathrm{V}$; $S = 12\,\mathrm{cm}^2$ et $\alpha = 0{,}35\,\mathrm{A}\cdot\mathrm{W}^{-1}$ où α est le coefficient représentant les pertes, S la surface de la cellule et E l'éclairement solaire.



1. Ce dipôle est-il symétrique/polarisé ? actif/passif ? linéaire/non-linéaire ? Justifier à l'aide de l'équation constitutive.

Lorsque le flux solaire est maximal, l'éclairement vaut $E_1 = 800\,\mathrm{W}\cdot\mathrm{m}^{-2}$. Par ciel voilé l'éclairement vaut $E_2 = 300\,\mathrm{W}\cdot\mathrm{m}^{-2}$ et par temps gris, $E_3 = 100\,\mathrm{W}\cdot\mathrm{m}^{-2}$.

2. Calculer la tension aux bornes d'une cellule quand elle n'est pas branchée ($i = 0$) pour les trois éclairements E_1, E_2 et E_3. On notera U_{C1}, U_{C3} et U_{C3} ces trois tensions à vide.
3. Calculer numériquement i_{cc} le courant de court-circuit (pour $u = 0$) pour les trois éclairements, on les notera i_{cc1}, i_{cc2} et i_{cc3}.
4. Tracer l'allure des trois caractéristiques sur lesquelles on fera apparaître les points remarquables.
5. Déterminer l'expression de la puissance fournie P_u par la cellule.

Pour la suite, on envisagera le cas où le flux solaire est maximal $E_1 = 800\,\mathrm{W}\cdot\mathrm{m}^{-2}$. On cherche les conditions pour que la puissance P_u soit maximale.

On admettra que dans ces conditions on a : $\exp\frac{u}{U_0} \gg 1$.

6. Établir la relation permettant de calculer $u_{\max}$, valeur de u lorsque P_u est maximale. *Cette équation n'est pas à résoudre analytiquement*
7. Résoudre cette équation numériquement à l'aide d'un script en python (le script est à reproduire sur votre copie) puis calculer la valeur de l'intensité i_{Max} correspondante.
8. On branche aux bornes de la cellule une résistance R. Quelle valeur faut-il donner à la résistance R pour que ces conditions soient réalisées ?

On définit le rendement η de la cellule comme étant le rapport de la puissance maximale sur la puissance solaire reçue par toute la surface de la cellule.

9. Écrire l'expression de η. Faire l'application numérique puis commenter.

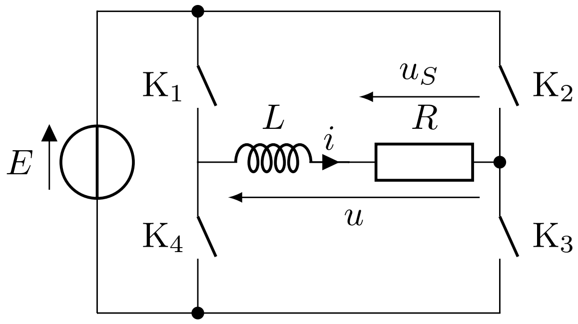
Dans le but d'améliorer les performances du dispositif, on cherche à associer les cellules en série et en parallèle. On met ainsi en parallèle n_p branches identiques constituées de n_s cellules en série.
On prendra $n_s = 50$ et $n_p = 25$.

10. Exprimer la tension V_D aux bornes du système et l'intensité I_D qui le traverse si chaque cellule fournit sa puissance maximale. Effectuer les applications numériques.
11. Déterminer numériquement la valeur R_M de la résistance à brancher aux bornes du capteur solaire ainsi constitué pour que la condition de puissance maximale soit réalisée.
12. On suppose maintenant que le capteur solaire n'alimente plus une résistance mais charge une batterie de résistance interne négligeable de 24 V. Quelle est la tension observée aux bornes de chaque cellule ? Quel courant traverse alors une cellule et la batterie ? Effectuer les applications numériques.

II.B Étude de l'onduleur

Cette partie étudie un onduleur de tension autonome à commande symétrique ou décalée. Un onduleur est un convertisseur de tension continue en tension alternative. Le montage est celui représenté sur la figure ci-contre.

Le générateur est une source de tension idéale de force électromotrice E constante. L est une inductance pure dite de lissage et R représente "la charge" c'est-à-dire ce qui se trouve en aval du circuit. Cette dernière est modélisée par un résistor de résistance R.



Les quatre interrupteurs bidirectionnels K_1, K_2, K_3 et K_4 sont commandés électriquement de telle façon que :

Pour $nT < t < (n+1/2)T$	K_1 et K_3 sont fermés	K_2 et K_4 ouverts
Pour $(n+1/2)T < t < (n+1)T$	K_1 et K_3 sont ouverts	K_2 et K_4 fermés

13. Tracer la courbe $u(t)$ en indiquant les points remarquables.
14. Écrire l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$, courant circulant dans R.
15. Si $i_1(t)$ est la solution de cette équation pour $0 < t < T/2$ et $i_2(t)$ la solution de cette équation pour $T/2 < t < T$, déterminer les expressions de $i_1(t)$ et $i_2(t)$ en fonction de R, L et E et en fonction de deux constantes d'intégration A_1 et A_2 que l'on ne cherchera pas à calculer pour l'instant. Pour cela, on posera $\tau = \frac{L}{R}$.

On se place en régime établi (ici, les grandeurs électriques ne seront pas constantes au cours du temps) et on cherche à déterminer les valeurs de A_1 et A_2.
On pose de plus $\alpha = \exp\left[-\frac{T}{2\tau}\right]$.

16. Écrire la "condition de raccordement" pour le courant en $t = T/2$ (c'est-à-dire la relation liant $i(T^-/2)$ à $i(T^+/2)$) ; justifier.

On obtient ainsi une première équation entre A_1 et A_2.

17. En écrivant que le courant est périodique, écrire une seconde relation entre A_1 et A_2. Résoudre le système ainsi trouvé.
18. Exprimer $i_1(t)$ et $i_2(t)$. Tracer le graphe $i(t)$ en faisant apparaître les points remarquables.