

Chapitre 1 : Notions élémentaires d'électrocinétique

Prérequis

- ▶ Aucun

Mots-clés

tension électrique, potentiel électrique, intensité électrique, dipôles, ARQS, loi des mailles, loi des nœuds, convention générateur/récepteur, puissance reçue ou cédée, caractéristique d'un dipôle, point de fonctionnement



PLAN DU COURS

A

Courant et tension

- A.1** Notion de charge électrique
- A.2** Tension et potentiel
- A.3** Courant électrique et intensité d'un courant

B

Circuits électriques dans l'ARQS

- B.1** Un peu de vocabulaire
- B.2** Approximation des régimes quasistationnaires (ARQS)
- B.3** Loi des mailles
- B.4** Loi des nœuds

C

Puissances reçue et cédée par un dipôle

- C.1** Définitions
- C.2** Lien entre puissance, intensité et tension
- C.3** Fonctionnement générateur ou récepteur d'un dipôle

D

Dipôles

- D.1** Définitions
- D.2** Exemples de dipôles usuels
- D.3** Point de fonctionnement d'un circuit en régime continu



LES SAVOIRS ET LES SAVOIR-FAIRE

A Courant et tension



CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique
- ★ Algébriser les grandeurs électriques
- ★ Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge
- ★ Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application

A.1 Notion de charge électrique

1. Qu'est-ce que la charge électrique ?
2. Quel est le porteur de charge mobile dans un métal ? Que vaut sa charge ?

A.2 Tension et potentiel

3. Définir le potentiel électrique (lien avec l'énergie potentielle de la force électrique de Coulomb).
4. Définir la tension électrique entre deux points d'un circuit.
5. Rappeler comment on doit connecter le voltmètre pour mesurer une tension.
6. Qu'est-ce que la masse d'un circuit ?

A.3 Courant électrique et intensité d'un courant

7. Qu'est-ce qu'un courant électrique ? Définir le sens du courant.
8. Définir l'intensité d'un courant électrique.
9. Pour un sens algébrique de l'intensité donné sur une branche, expliquer comment on peut en déduire le sens du courant connaissant le signe de l'intensité.
10. Rappeler comment on doit connecter l'ampèremètre pour mesurer une intensité.

B Circuits électriques dans l'ARQS



CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence
- ★ Utiliser la loi des mailles et la loi des nœuds
- ★ Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge

B.1 Un peu de vocabulaire

11. Définir : dipôle, nœud, branche, maille
12. Préciser ce que sont des dipôles connectés en série ou en parallèle (ou dérivation).

B.2 Approximation des régimes quasistationnaires (ARQS)

13. Qu'est-ce que l'ARQS ?
14. À quelle condition sur la fréquence des signaux l'ARQS sera-t-elle validée en TP (condition à établir, pour une pailleasse d'un mètre d'envergure environ) ?
15. Quelles sont les conséquences de l'ARQS concernant le potentiel électrique la long d'un fil et l'intensité électrique sur une branche ? Que dire alors de l'intensité traversant des dipôles en série ? des tensions de dipôles associés en parallèle ?

B.3 Loi des mailles

16. Expliquer ce qu'est la loi d'additivité des tensions.
17. Expliquer ce qu'est la loi des mailles.

B.4 Loi des nœuds

18. En invoquant la non-accumulation de charges en n'importe quel point du circuit dans l'ARQS, établir la loi des nœuds dans l'exemple de trois branches. Généraliser.

C Puissances reçue et cédée par un dipôle

CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur

C.1 Définitions

19. Définir ce que sont les conventions récepteur et générateur.
20. Rappeler le lien entre la puissance reçue par un dipôle et la quantité infinitésimale d'énergie $\delta W_{reçue}$ algébriquement reçue pendant dt .
21. Comment peut-on relier simplement la puissance reçue et la puissance cédée par un même dipôle ?
22. Pour un dipôle donné, comment calculer la quantité $W_{reçue}$ d'énergie reçue entre deux instants connaissant la puissance reçue ? De même, comment calculer une quantité d'énergie cédée par un dipôle ?

C.2 Lien entre puissance, intensité et tension

23. Donner l'expression de la puissance reçue ou cédée par un dipôle en convention récepteur ou générateur en fonction de la tension et de l'intensité du dipôle.
24. Montrer à l'aide d'un exemple que dans un circuit la somme des puissances cédées par certains dipôles est nécessairement égale à la somme des puissances reçues par les autres dipôles.

C.3 Fonctionnement générateur ou récepteur d'un dipôle

25. Quand parlera-t-on de fonctionnement générateur ou récepteur pour un dipôle donné ?
26. Un dipôle en convention générateur (respectivement récepteur) présente-t-il forcément un fonctionnement générateur (resp. récepteur) ?

D Dipôles

CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Utiliser les relations entre l'intensité et la tension
- ★ Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance
- ★ Citer des ordres de grandeurs des composants R
- ★ Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin

D.1 Définitions

27. Qu'est-ce que la caractéristique statique d'un dipôle ?
28. Sur une caractéristique, à quoi reconnaît-on un dipôle linéaire ? non-linéaire ? actif ? passif ?
29. Définir la tension en circuit ouvert U_{co} d'un dipôle actif. De même pour l'intensité de court-circuit I_{cc} .

**D.2 Exemples de dipôles usuels**

30. Que dire de la tension et de l'intensité d'un interrupteur ouvert ? fermé ?
31. Qu'est-ce qu'un résistor ? Rappeler la loi d'Ohm. Définir la conductance. Préciser l'expression de la puissance reçue et préciser ce qu'on appelle effet Joule.
32. Qu'est-ce qu'une source idéale de tension ? une source idéale de courant ?
33. Qu'est-ce que le modèle de Thévenin d'une source réelle ?
34. Qu'appelle-t-on résistance d'entrée ou de sortie d'un dispositif ?

D.3 Point de fonctionnement d'un circuit en régime continu

35. Illustrer la notion de point de fonctionnement dans l'exemple d'un générateur de Thévenin alimentant un résistor : déterminer le point de fonctionnement **de manière graphique** et par le calcul.



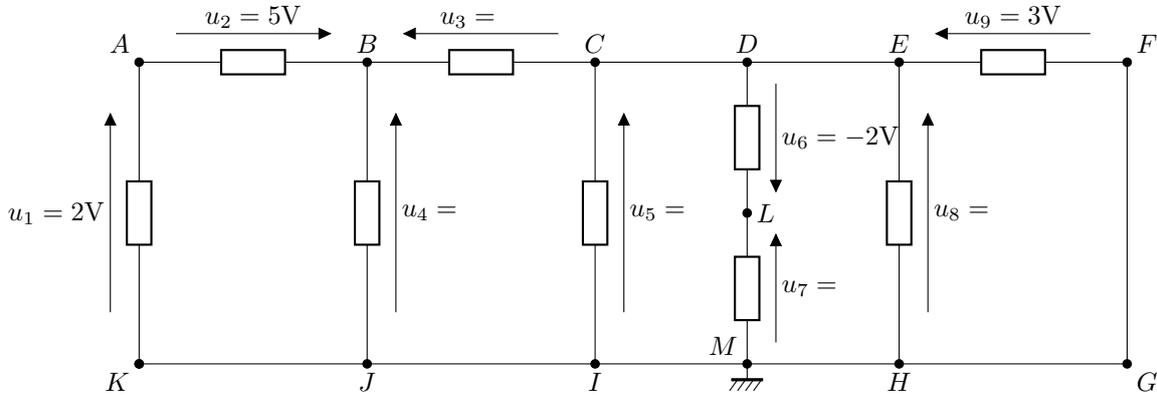
A
c
t



ACTIVITÉS DE COURS

1

Exploiter la loi d'additivité des tensions et la loi des mailles

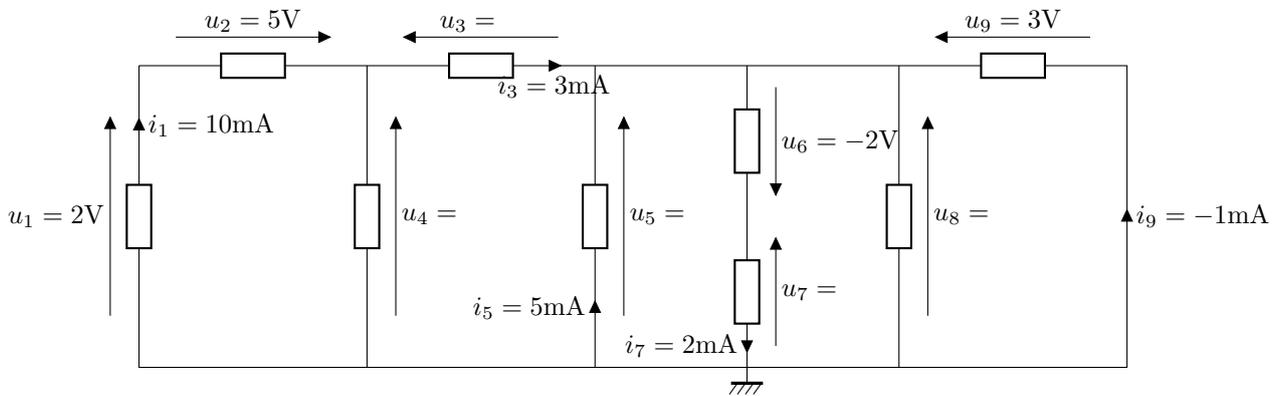


1. Que vaut la tension u_{AF} ? Puis, utiliser la loi d'additivité des tensions pour exprimer u_{AF} en fonction de u_2 , u_3 et u_9 . En déduire u_3 .
2. Retrouver l'expression de u_3 précédente directement à l'aide de la loi des mailles.
3. Déterminer les autres tensions inconnues en exploitant la loi des mailles ou la loi d'additivité des tensions.

2

Exploiter la loi des nœuds

Reprenons à nouveau le circuit étudié précédemment. On précise quelques intensités :



Déterminer l'intensité sur chaque branche en ayant préalablement choisi une orientation judicieuse pour appliquer la loi des nœuds efficacement.

3

Exprimer la puissance reçue ou cédée par un dipôle

Continuons l'étude du circuit précédent préciser pour chaque dipôle la puissance reçue et cédée. Préciser également pour chaque dipôle si le fonctionnement observé est récepteur ou générateur :

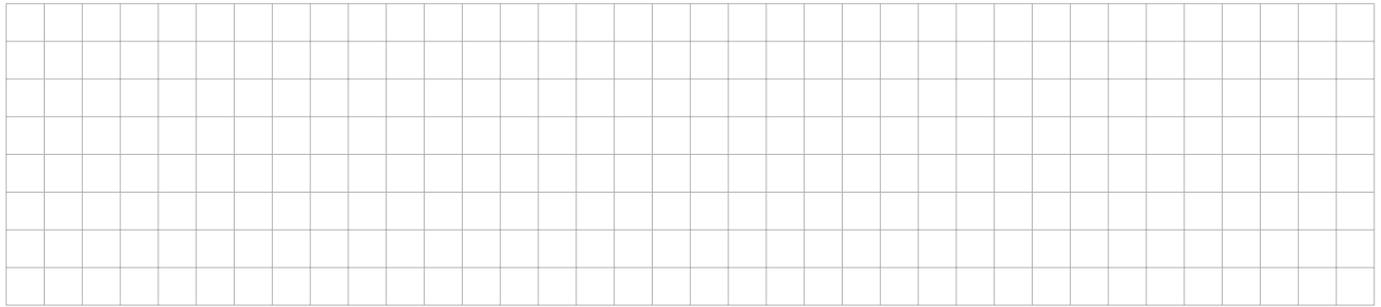
Puissance ...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
... reçue (en)									
... cédée (en)									
Fonctionnement générateur ou récepteur ?									

A
c
t

4

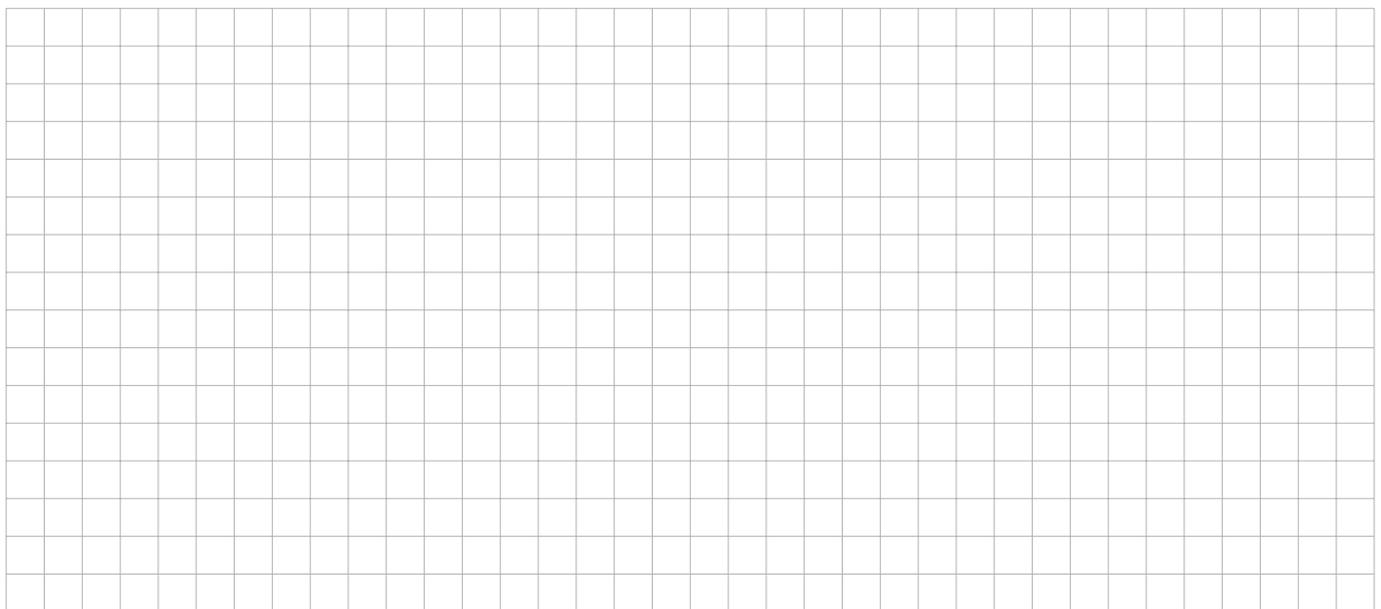
Déterminer le point de fonctionnement d'un circuit à deux dipôles

Illustrons la notion de point de fonctionnement dans l'exemple d'un générateur de Thévenin de f.e.m. E et de résistance interne r alimentant un résistor de résistance R :

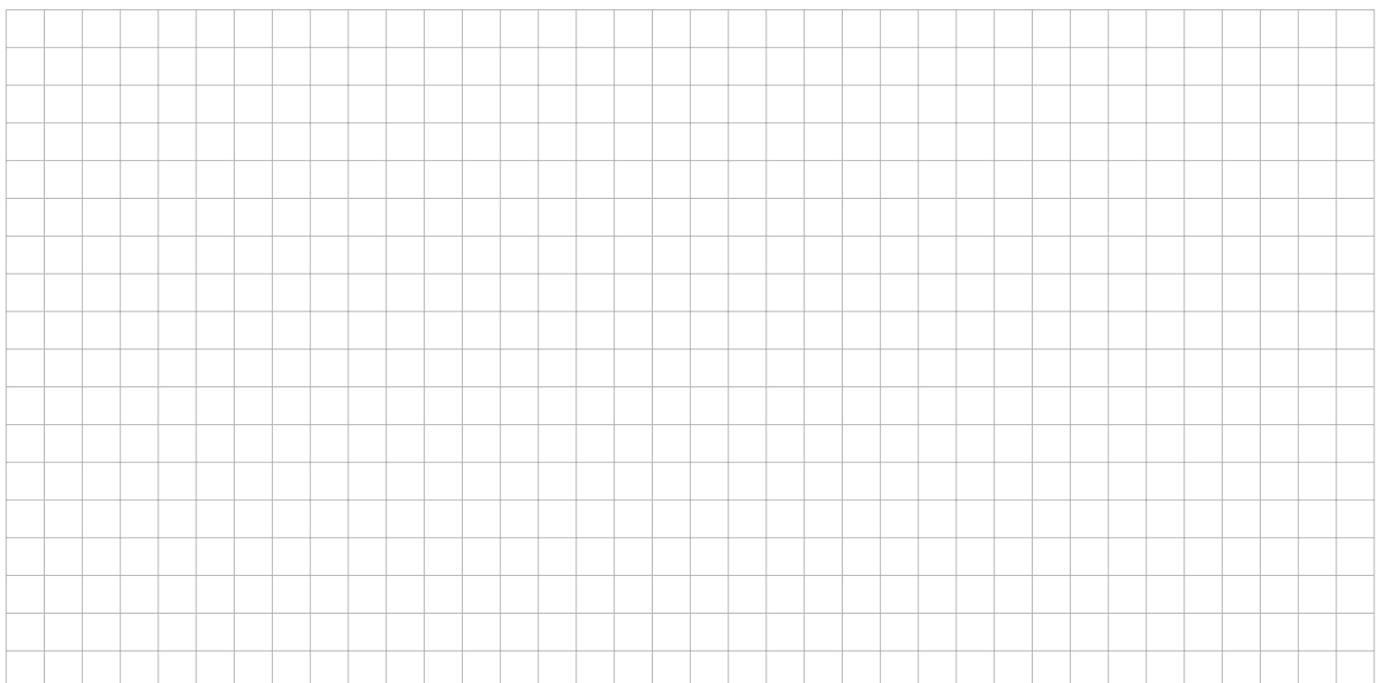


Il s'agit de **déterminer la valeur commune de tension et d'intensité de chacun des deux dipôles**, l'un étant décrit par la convention récepteur et l'autre par la convention générateur.

1. Déterminer le point de fonctionnement **de manière graphique**. On notera (U_0, I_0) ses coordonnées.



2. Retrouver le point de fonctionnement **par le calcul**.





E
x



EXERCICES

DIFFICULTÉ DE L'EXERCICE (ANALYSE, «TECHNICITÉ», ...)

DURÉE DE L'EXERCICE

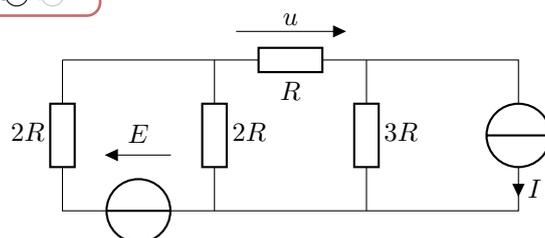
COMPÉTENCES TRAVAILLÉES	Exercices						
	1	2	3	4	5	6	7
Exploiter la loi des mailles ou d'additivité des tensions	•	•	•	•	•		•
Exploiter la loi des nœuds	•	•					
Déterminer/exploiter le point de fonctionnement d'un circuit			•	•			•
Relier une charge transférée et une intensité			•	•			
Déterminer des puissances reçues ou cédées			•	•	•	•	

Exercice 1

Déterminer une tension inconnue



Dans le circuit ci-contre, déterminer la tension inconnue u en fonction de E , R , et I .

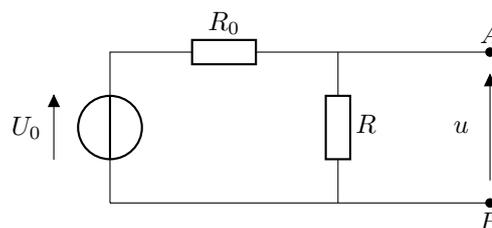


Exercice 2

Générateur de Thévenin équivalent



- À quel générateur de Thévenin est équivalent le dipôle AB ci-contre ?
- Application : on étudie un générateur modélisable par un générateur de Thévenin de force électromotrice E et de résistance interne $r_g = 50 \Omega$. Pour cela, on connecte notamment un voltmètre à ses bornes. Que dire de l'influence du voltmètre sur le comportement du générateur ?



Exercice 3

Recharge d'une batterie de voiture



Une batterie de voiture, modélisée par un générateur de Thévenin de fem $e = 12 \text{ V}$ et de résistance interne $r_g = 0,20 \Omega$ est déchargée. Pour recharger cette batterie, on la branche sur un chargeur modélisé par un générateur de Thévenin de fem $E = 13 \text{ V}$ et de résistance interne $R_g = 0,30 \Omega$. On lit sur la batterie qu'elle a une « capacité » de 95 Ah (ampère-heures).



- Quelle convention proposez-vous d'utiliser pour le chargeur et la batterie ? Représenter le schéma-modèle du circuit.
- Représenter les caractéristiques de la batterie et du chargeur sur un même graphique. Identifier graphiquement le point de fonctionnement.
- Déterminer par le calcul l'intensité du courant circulant dans la batterie et la tension à ses bornes lors de la charge.
- Calculer la puissance totale dissipée \mathcal{P}_J par effet Joule, la puissance utile \mathcal{P}_u reçue par la batterie (stockée sous forme chimique) ainsi que la puissance \mathcal{P}_f fournie par le générateur. Déterminer le rendement η .

On suppose qu'au cours de la charge la fem e reste constante.

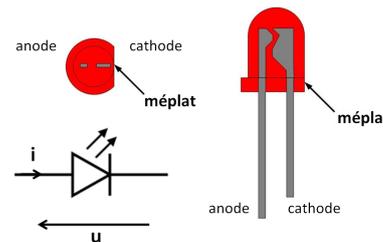
- À quelle grandeur physique la capacité 95 Ah est-elle homogène ?
- Initialement la batterie est déchargée, avec seulement 10% de sa capacité. Déterminer le temps de charge pour la recharger complètement.
- Que vaut l'énergie dissipée par effet Joule pendant la charge ?

Exercice 4

Alimentation d'une LED



Un étudiant souhaite alimenter une LED (*light emitting diode* ou bien DEL, *diode électroluminescente*). Elle sera allumée à l'aide d'une sortie analogique d'une carte Arduino se comportant comme un générateur de Thévenin de force électromotrice $E = 5,00 \text{ V}$ et de résistance de sortie $r = 25 \Omega$. Pour ne pas être détériorée, la LED ne doit pas être traversée par un courant de plus de $i_{max} = 30 \text{ mA}$. Pour cela, on rajoute en série de la LED une résistance R dont il faudra déterminer la valeur.



Il est possible de modéliser le comportement de la diode ainsi :

- la LED se comporte comme un interrupteur ouvert tant que la tension u à ses bornes (orientée de la cathode vers l'anode) est inférieure à sa tension seuil $u_s = 2,2 \text{ V}$; la LED est alors éteinte et elle est dite *bloquante*.
- elle se comporte comme une source idéale de tension de force électromotrice u_s dès qu'un courant la traverse de l'anode vers la cathode ; elle est alors dite *passante* et elle s'allume, l'intensité lumineuse augmentant avec l'intensité électrique.

(Ainsi, une diode, qu'elle soit électromniscente ou pas, ne laisse passer le courant que dans un seul sens.)

1. Représenter le schéma-modèle du circuit réalisé. On notera i l'intensité du circuit de sorte que la LED soit représentée en convention récepteur.
2. Représenter la caractéristique de la LED. Peut-elle présenter un fonctionnement générateur ?
3. Montrer que le reste du circuit se comporte comme un générateur de Thévenin dont on précisera la fem et la résistance interne.
4. Par une approche graphique montrer qu'il faut que R soit supérieure à R_c dont on précisera l'expression et la valeur.
5. Dans le cas $R = R_c$, quelle sera la puissance consommée par la LED ? la puissance dissipée par effet Joule ?

Exercice 5

Optimisation d'un transfert d'énergie



On s'intéresse à un radiateur électrique modélisable par une résistance R dont l'alimentation peut être modélisée par un générateur de Thévenin de force électromotrice constante E et de résistance r .

1. Exprimer la puissance \mathcal{P}_f fournie par la source idéale de tension. De même exprimer, la puissance \mathcal{P}_{ch} reçue par la résistance R et servant à chauffer la pièce
2. Pour r fixé, comment faut-il choisir R pour que le rendement $\rho = \frac{\mathcal{P}_{ch}}{\mathcal{P}_f}$ soit maximal ?
3. En étudiant les cas limites $R \gg r$ et $R \ll r$ pour E et r fixés, déterminer l'allure qualitative de $\mathcal{P}_{ch}(R)$.
4. En déduire qu'il existe une valeur de R qui maximise \mathcal{P}_{ch} pour E et r fixés. La déterminer. Est-elle compatible avec la condition de rendement maximal ?



RÉSOLUTION DE PROBLÈME

Exercice 6

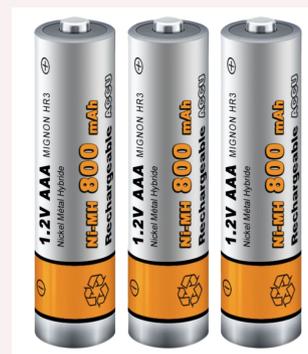
Durée de fonctionnement d'une lampe torche



Cette lampe torche à LEDs nécessite d'être alimentée par 3 piles AAA en série.

Dans un souci d'écoresponsabilité, l'utilisateur décide d'investir dans des piles rechargeables.

Avec une charge complète, quelle est l'autonomie de cette lampe ?



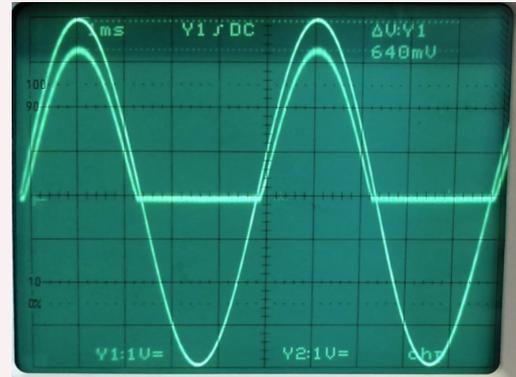
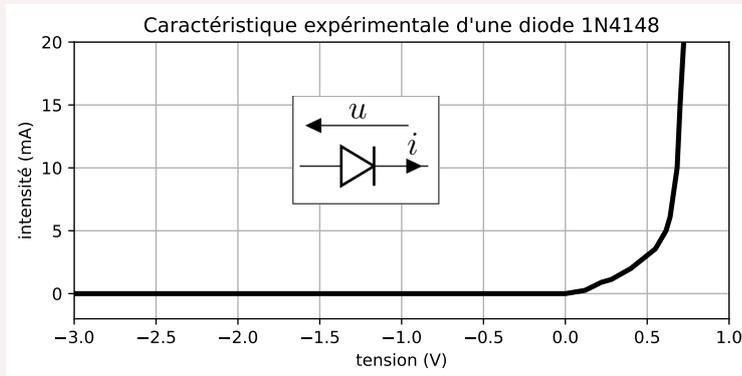
Bien revoir l'**Exercice 4** avant d'aborder celui ci-dessous ...

Exercice 7

Redressement monoalternance



On dispose en série un générateur de force électromotrice variant de manière sinusoïdale, une diode dont voici la caractéristique ci-dessous en convention récepteur, et une résistance.



La voie 1 et la voie 2 mesurent respectivement la tension aux bornes du générateur et la tension aux bornes de la résistance.

Expliquer l'allure du signal 2 et déterminer la valeur de la résistance employée.



Aides et éléments de correction

Exercice 1

Suive les étapes suivantes :

- (1) Définir i , intensité du résistor de tension u , en convention récepteur.
- (2) **POINT IMPORTANT** : définir une intensité sur une chaque branche au fur et à mesure, sauf quand la loi des nœuds permet d'exprimer une intensité sur une branche en fonction d'autres intensités déjà introduites. Cela permettra de **limiter DRASTIQUEMENT le nombre d'inconnues**. AUTREMENT DIT, appliquer la loi des nœuds directement sur le schéma autant de fois que cela est possible.
- (3) Avec u et i , nous avons déjà deux inconnues, et une seule équation : la loi d'Ohm pour ce résistor. Il faut d'autres équations. Appliquer autant de fois la loi d'Ohm qu'il y a de résistors et appliquer autant de fois la loi des mailles qu'il manque d'équations au regard du nombre total d'inconnues (2 lois des mailles seront suffisantes ...). On obtient ainsi un système d'équation à deux inconnues seulement : u et l'unique autre intensité inconnue que i apparaissant dans le circuit (notée j par exemple ? ...) qu'il aura été nécessaire de définir à la 2ème étape.
- (4) Par combinaison de lignes de ce système (plutôt que par substitution, méthode un peu chronophage), montrer que $u = -\frac{E}{10} - \frac{3}{5}RI$.

Exercice 2

1. Chercher à exprimer la tension u en fonction de l'intensité i en convention générateur, le but étant d'identifier par la suite à la relation courant-tension d'un générateur de Thévenin : $u = E - ri$, où E serait la force électromotrice et r la résistance interne. Pour affecter une intensité à chaque branche, il sera nécessaire d'introduire une intensité j pour le courant traversant la résistance R , la loi des nœuds permet alors d'exprimer l'intensité sur l'autre branche en fonction de i et j qui servira d'intermédiaire de calcul, par. On peut ainsi voir le problème comme un problème à 2 inconnues : pour une intensité donnée i , comment s'exprime u en fonction de i ? Cela fait 2 inconnues, u et j . Il faut donc deux équations : la loi des mailles et la loi d'Ohm appliquée à la résistance R .
2. R représente la résistance d'entrée R_v d'un voltmètre, alors que R_0 représenterait la résistance interne r_g , et U_0 représente E . Modifier alors les notations dans le résultat précédent et effectuer des approximations raisonnables ... Est-ce que le branchement du voltmètre aux bornes du générateur perturbe le fonctionnement de celui-ci ? ...

Exercice 3

1. Convention récepteur pour la batterie, convention générateur pour le chargeur.
2. Écrire au préalable les relations courant-tension des deux dipôles (U en fonction de I). Quel type de fonctions reconnaît-on ? ...
3. Résoudre un système de deux équations à deux inconnues (U et I).
4. Voir cours pour l'expression des puissances. Concernant le rendement, il s'agit d'un rapport de deux puissances. Lesquelles selon vous ? ...
5. $1 \text{ A} = 1 \text{ C.s}^{-1}$...
6. Quelle est la charge Q à transférer à la batterie pour qu'elle soit complètement rechargée ? Connaissant l'intensité déjà établie lors la charge, combien de temps cela prendra-t-il ?
7. Relier \mathcal{P}_J à la quantité d'énergie W_J dissipée par effet Joule ...

Exercice 4

- Appliquer loi des mailles et deux lois d'Ohm afin d'exprimer u en fonction de i (convention générateur), r et R . Reconnaître la relation courant-tension d'un générateur de Thévenin et identifier la fem et la résistance interne.
- Superposer le tracé de la caractéristique du générateur de Thévenin précédent à celle de la LED et identifier graphiquement le point de fonctionnement. Puis, refaire un autre tracé en imaginant qu'on a diminué la valeur de R . En déduire que le point de fonctionnement voit son intensité augmenter et donc qu'il faut R soit supérieur à une certaine valeur critique R_c afin que $i \leq i_{max}$. Dans le cas d'égalité $R = R_c$, exploiter les coordonnées du point de fonctionnement correspondant ainsi que la relation courant-tension du générateur de Thévenin pour en déduire R_c .

Exercice 5

- $i = \frac{E}{r+R}$ $\mathcal{P}_f = \frac{E^2}{r+R}$ $\mathcal{P}_{ch} = \frac{R}{(r+R)^2} E^2$
- $\rho = \frac{R}{R+r} = \frac{1}{1+\frac{r}{R}}$. Ainsi, si R augmente, ρ diminue-t-il ou augmente-t-il? Considérer également le cas $R \gg r$: vers quelle valeur ρ tend-t-il?
- Cas $R \ll r$: $\mathcal{P}_{ch} \simeq ?$ Effectuer le tracé
Cas $R \gg r$: $\mathcal{P}_{ch} \simeq ?$ Effectuer le tracé en le superposant au précédent.
À partir des deux comportements limites ainsi tracés, en déduire un tracé qualitatif de \mathcal{P}_{ch} en fonction de R .
- Le tracé précédent montre l'existence d'un maximum de \mathcal{P}_{ch} . Résoudre l'équation $\frac{d\mathcal{P}_{ch}}{dR} = 0$. On trouve $R = r$, correspondant à un rendement ρ de 50%.

Résolution de problème

Exercice 6

Se poser les questions suivantes :

- En modélisant les piles par des sources idéales de tension de fem fixe au cours du temps, quelle est la tension alimentant l'éclairage à LEDs?
- Connaissant la puissance totale consommée par les LEDs (*bien regarder les photographies de l'énoncé ...*), quelle est l'intensité délivrée par les 3 piles en série?
- Quelle est la charge totale Q que peut débiter l'ensemble des 3 piles en série avant décharge complète? (*bien regarder les photographies de l'énoncé ...*)
- En déduire la durée nécessaire pour décharger complètement les piles. Confronter la valeur trouvée à la valeur pouvant être lue sur l'emballage de la lampe.

Exercice 7

► Explication des observations

Faire un schéma-modèle du circuit en notant u et i la tension et l'intensité de la diode en convention récepteur et en modélisant le générateur par une source idéale de tension.

Simplifier la caractéristique de la diode de cette manière :

- diode bloquante ($i = 0$) si $u < u_s$, avec une tension seuil $u_s \simeq 0,6 \text{ V}$;
- diode passante ($i > 0$) si $u = u_s$.

tracer la caractéristique ainsi idéalisée.

Le reste du circuit se comporte comme un générateur de Thévenin de résistance interne R et de fem $e(t) = E \cos(2\pi ft)$ (variation sinusoïdale à la fréquence f et d'amplitude E , variant donc entre $-E$ et $+E$).

Superposer à la caractéristique de la LED celle de ce générateur de Thévenin lorsque :

- $e(t) < u_s$
- $e(t) = u_s$
- $e(t) > u_s$

Conclure : Constater que la diode devient périodiquement bloquante et périodiquement passante.

Lorsqu'elle est bloquante, quelle est la valeur de $u_R(t)$? Lorsqu'elle est passante, comment s'exprime $u_R(t)$ en fonction de $e(t)$ et u_s ? Faire le lien avec la trace sur l'écran de l'oscilloscope.

► Valeur de R

D'après la trace observée à l'oscilloscope, l'amplitude E vaut 4 V .

Lorsque $e(t_0) = e_{max} = +E$, la diode est devenue passante et $u_R(t) = e(t) - u(t)$ d'après la loi des mailles et la loi d'Ohm. De plus, l'écart observé entre $u_R(t) = Ri(t)$ et $e(t)$ à cet instant t_0 sur l'écran est $u(t_0) = 0,64 \text{ V}$. On peut reporter graphiquement sur la caractéristique expérimentale de la diode et déterminer la valeur de i correspondante. De la loi des mailles et la loi d'Ohm, on peut alors en déduire la valeur de R ...

