

## Exercices : 01 - Électricité - Électronique

### A. Régime linéaire

#### 1. Électrocinétique et symétries

Les circuits de la figure 1 sont réalisés à l'aide de générateur idéaux de fem  $E$  (de taille infiniment petite) et d'un fil résistif identique en tout endroit. Toutes les intersections représentées par un point sont des nœuds. La résistance de la portion  $OB$  est  $r$ .

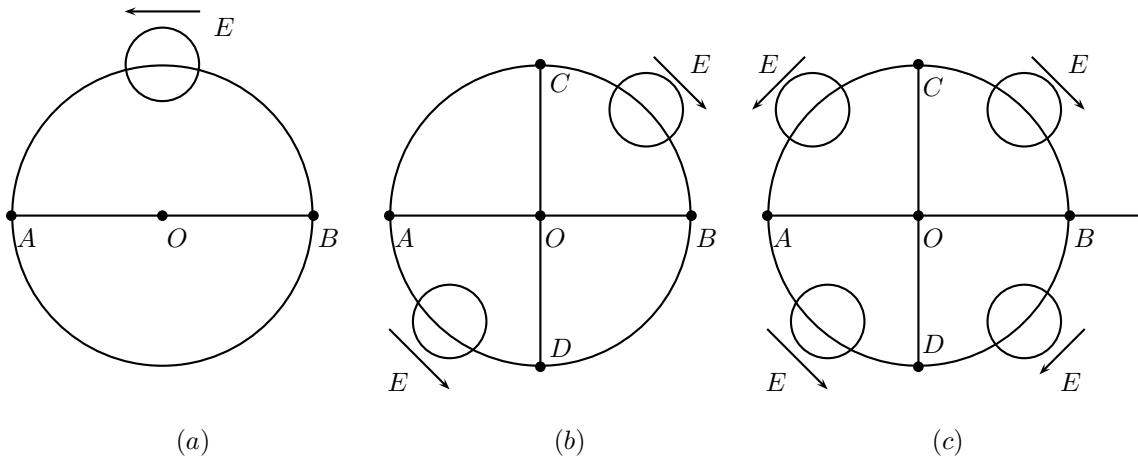


FIGURE 1 – Symétries...

1. Dans le cas de la figure 1(a), calculer l'intensité  $I_{AB}$  qui circule dans le conducteur diamétral  $AB$ .

$$a) I_{AB} = \frac{\pi}{2\pi + 3} \frac{E}{r} \quad b) I_{AB} = \frac{1}{\pi + 4} \frac{E}{r} \quad c) I_{AB} = \frac{8\pi}{3} \frac{E}{r} \quad d) I_{AB} = \frac{4}{2 + \pi} \frac{E}{r}$$

2. Dans le cas de la figure 1(b), calculer les intensités  $I_{AD}$  et  $I_{DB}$ .

$$a) I_{AD} = \frac{2}{\pi + 4} \frac{E}{r} \quad b) I_{AD} = \frac{2}{\pi + 2} \frac{E}{r} \quad c) I_{DB} = 0 \quad d) I_{DB} = \frac{\pi}{2} \frac{E}{r}$$

3. Dans le cas de la figure 1(c), calculer les intensités  $I_{AD}$  et  $I_{DO}$ .

$$a) I_{AD} = \frac{2}{\pi + 4} \frac{E}{r} \quad b) I_{AD} = \frac{2}{\pi + 2} \frac{E}{r} \quad c) I_{DO} = \frac{2}{\pi + 2} \frac{E}{r} \quad d) I_{DO} = \frac{4}{\pi + 4} \frac{E}{r}$$

#### 2. Modèles de Thévenin et de Norton

On considère le circuit de la figure 2. L'objectif est de montrer l'équivalence du modèle de THÉVENIN d'un générateur de tension avec le modèle de NORTON d'un générateur de courant. Dans les deux cas le circuit électrique doit faire passer la même intensité dans le circuit d'utilisation modélisé par une résistance  $R_u$ .

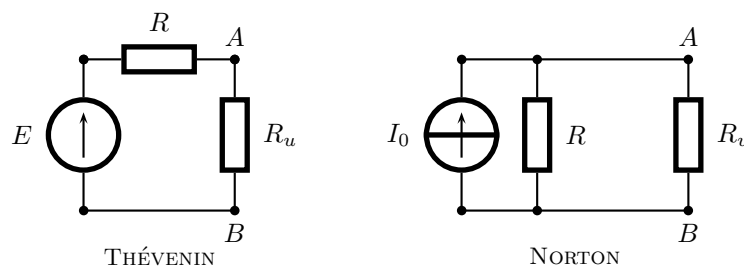


FIGURE 2 – Montage linéaire en continu

1. Dans le cas du modèle de THÉVENIN, déterminer l'expression de l'intensité traversant la résistance  $R_u$  et de la tension aux bornes de cette résistance.

- Le générateur de courant impose l'intensité  $I_0$  dans sa branche. Déterminer l'expression de  $I_0$  en fonction de  $E$  et de  $R$  pour que le courant passant dans la résistance  $R_u$  soit le même que celui déterminé à la question précédente.
- Montrer qu'il y a bien équivalence des deux montages.

### 3. Modèle équivalent Thévenin

On considère le circuit de la figure 3. L'objectif est de donner de la portion comprise entre les points  $A$  et  $B$  un modèle THÉVENIN équivalent afin de déterminer la tension aux bornes de la résistance d'utilisation  $R_u$  ainsi que le courant qui la traverse.

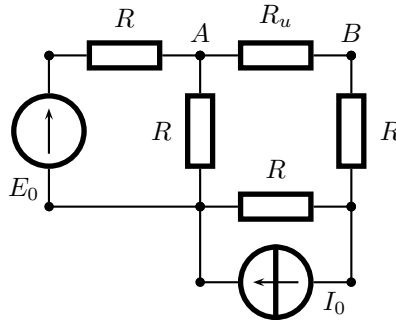


FIGURE 3 – Montage linéaire en continu

- Le circuit proposé présente un générateur de courant décrit par le modèle de NORTON. Transformer ce générateur de courant en générateur de tension selon le modèle de THÉVENIN.
- Jouer avec les associations de générateurs et leurs transformations possibles pour donner un modèle THÉVENIN équivalent aux bornes de  $R_u$ . On notera  $E_{Th}$  et  $R_{Th}$  ses deux caractéristiques.
- Déterminer l'intensité  $i_{AB}$  qui circule dans la résistance  $R_u$ .
- Pour quelle valeur de la résistance d'utilisation  $R_u$ , la puissance absorbée par cette résistance sera-t-elle maximale ?
- Proposer une autre méthode permettant de caractériser le générateur THÉVENIN équivalent au circuit linéaire  $AB$ ,  $R_u$  reste la charge qui est branchée au générateur équivalent.

### 4. Mesures en courant continu

La déformation d'une lame est mesurée par une jauge de contrainte, formée d'un fil conducteur. La résistance  $R(z, \vartheta)$  de cette jauge du déplacement vertical  $z$  de la jauge et de la température  $\vartheta$ , selon la loi générale  $R = R_0 [1 + \alpha z + \beta(\vartheta - \vartheta_0)]$ ,  $\vartheta_0$  étant une température de référence, et  $\beta(\vartheta - \vartheta_0)$  étant du même ordre de grandeur que  $\alpha z$ .

On dispose en fait deux jauges sous la lame, de sorte que pour celles-ci  $R_+$  et  $R'_+$  correspondent à  $\alpha = A > 0$  (la déformation de la lame provoque un allongement de la jauge), et deux autres jauges sur la lame, de sorte que pour celles-ci  $R_-$  et  $R'_-$  correspond à  $\alpha = -A < 0$  (la déformation de la lame provoque un raccourcissement de la jauge).  $\beta$  a la même valeur pour les quatre jauges.

- Ces jauges sont branchées comme sur le schéma de la figure 4. Elles sont disposées dans ce montage pour avoir une tension  $v$  maximale lorsque la lame est courbée. Déterminer alors  $v$  quand une résistance  $\rho_1$  est branchée entre  $A$  et  $B$ . Quels sont alors les effets de la température sur la mesure de  $z$  ?

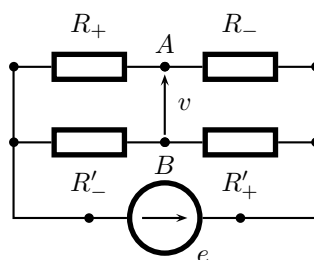


FIGURE 4 – Mesure passive de déformation

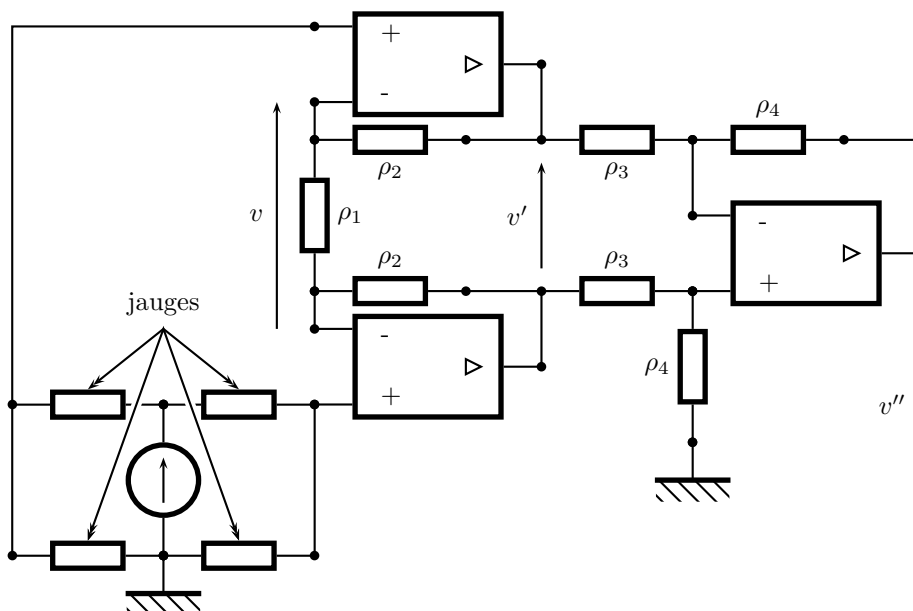


FIGURE 5 – Mesure active de déformation

- La déformation  $z$  est en fait mesurée par un montage utilisant trois amplificateurs opérationnels idéaux (figure 5). Exprimer  $v$  puis  $v'$  et  $v''$  ; commenter.

### 5. Prise de Terre

Afin de protéger une installation, on ajoute un fil de Terre (jaune et vert) relié à une tige très conductrice de forme cylindrique plantée sur une longueur  $L$  dans le sol ; le rayon de la tige est  $r_T$  et la tige se termine par une hémisphère. Voir le schéma de la figure 6.

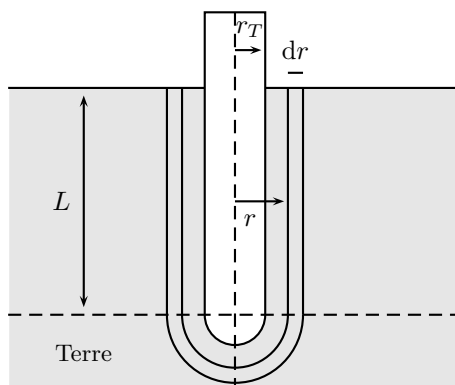


FIGURE 6 – Schéma de la prise de Terre enfoncée dans le sol

- Rappeler l'expression de la résistance  $R_b$  d'un barreau de section  $S$ , de longueur  $\ell$  et de résistivité  $\rho$ .
- Justifier que la résistance du sol (de la Terre) peut s'exprimer par la relation :

$$R_s = \int_{r_T}^{\infty} \frac{\rho}{S(r)} dr$$

où  $\rho$  est la résistivité du sol,  $S(r)$  est l'aire latérale d'un cylindre de longueur  $L$  et de rayon  $r$  plus l'aire de l'hémisphère de rayon  $r$ . Préciser l'expression de  $S(r)$ .

- Déterminer l'expression littérale de la résistance  $R_s$ . Effectuer l'application numérique avec  $L = 3 \text{ m}$ ,  $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$  et  $r_T = 1 \text{ cm}$ .
- Le code de l'électricité demande que la résistance de mise à la Terre soit inférieure à  $25 \Omega$ . La solution consiste à placer plusieurs tiges en parallèle toutes reliées par un câble électrique de résistance  $R_c$ . On obtient finalement le schéma de la figure 7.

Le câble possède un diamètre  $D = 8 \text{ mm}$ , une conductivité  $\sigma = 6 \times 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$  et une longueur  $d = 5 \text{ m}$ . Déterminer la valeur de  $R_c$  et comparer à  $R_s$ .

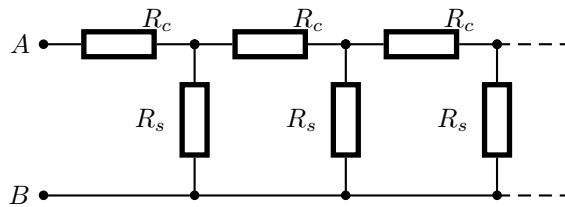
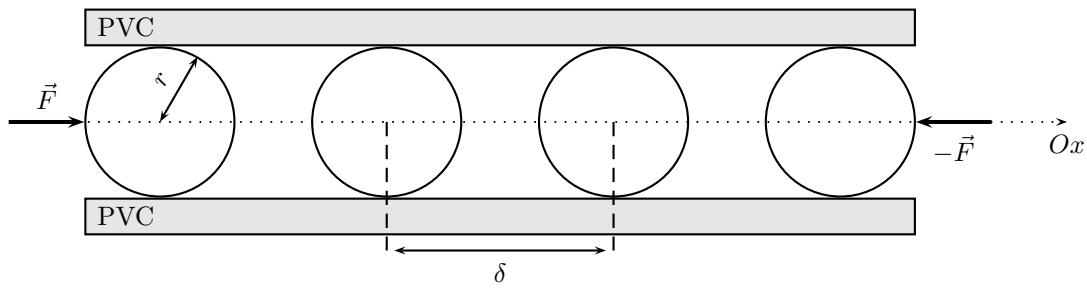


FIGURE 7 – Schéma équivalent aux diverses prises de Terre

5. Si  $R_n$  est la résistance de  $n$  blocs ( $R_c, R_s$ ), établir une relation de récurrence entre  $R_{n+1}$  et  $R_n$ . Lorsque  $n \rightarrow \infty$ , la résistance  $AB$  tend vers une limite finie. Déterminer l'expression de cette limite en fonction de  $R_c$  et  $R_s$ . Commenter.

## 6. Conduction électrique dans un milieu granulaire

L'objectif de cet exercice est d'étudier la conduction électrique dans un milieu granulaire (c'est-à-dire constitué de grains comme une poudre). Nous travaillerons dans ce qui suit, sur un modèle simplifié et remplacerons la poudre (milieu complexe et désordonné) par une chaîne de billes métalliques représentée à la figure 8. Le rayon des billes vaut  $r = 4 \text{ mm}$ .

FIGURE 8 – Modèle de la chaîne de billes métalliques. Deux billes successives ont leurs centres systématiquement espacés de  $\delta$ .

1. Soit un dipôle de longueur  $L$  et de section  $S$  constitué d'un matériau homogène de résistivité  $\rho$  aux bornes duquel on impose une tension  $U$  engendrant un courant  $I$ . On rappelle que la résistance  $R$  est donnée par  $R = \rho L/S$ . La dépendance de  $R$  avec les paramètres du dipôle est-elle en accord avec l'intuition ? Retrouver par analyse dimensionnelle l'unité usuelle de  $\rho$ .

On propose d'étudier la résistance de la chaîne de billes métalliques légèrement déformables présentée à la figure 8. Les billes, de rayon  $r$ , sont contraintes par un canal en PVC (matériau isolant) à se déplacer le long de l'axe  $Ox$ . Par souci de simplification, on suppose que la distance entre les centres de deux billes successives est la même et notée  $\delta$ . Cette distance peut diminuer sous l'effet de forces de module  $F$  appliquées aux première et dernière billes. On négligera les frottements solides entre les billes et le PVC. Lorsque la situation est à l'équilibre (les billes ne bougent plus) une tension  $U$  est imposée aux bornes de la chaîne et le courant  $I$  est mesuré.

2. Dans un premier temps, les billes sont disposées dans le canal sans qu'aucune force en soit appliquées et  $\delta > 2r$ . Que vaut alors la résistance de la chaîne ? Dans un second temps, les forces appliquées de part et d'autre de la chaîne sont de module  $F$  non nul, constant et suffisant pour déplacer les billes. Reproduire le schéma de la figure 8 lorsqu'un nouvel état d'équilibre est atteint. Représenter sur ce schéma le générateur imposant la tension  $U$  et les appareils permettant de mesurer  $U$  et l'intensité  $I$  parcourant la chaîne.

Lorsque les billes se déforment, on note  $d$  la distance d'enfoncement introduite schématiquement sur la figure 9 et telle que  $\delta = 2r - d$ . On se place dorénavant dans le cas où  $d > 0$ .

La description du contact entre les sphères, dit contact de HERTZ, permet de montrer la relation suivante entre les forces  $F$  appliquées de part et d'autre de la chaîne et l'enfoncement  $d$  :

$$F = \frac{E\sqrt{2r}}{3(1-\nu^2)}d^{3/2}$$

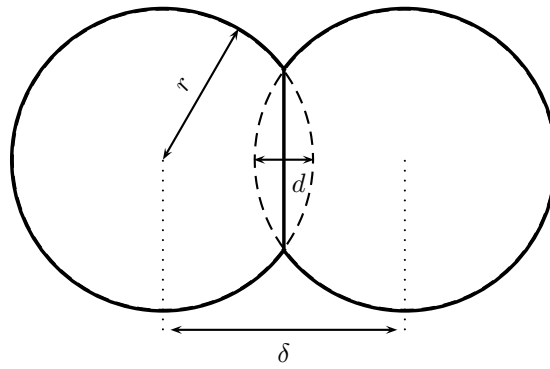
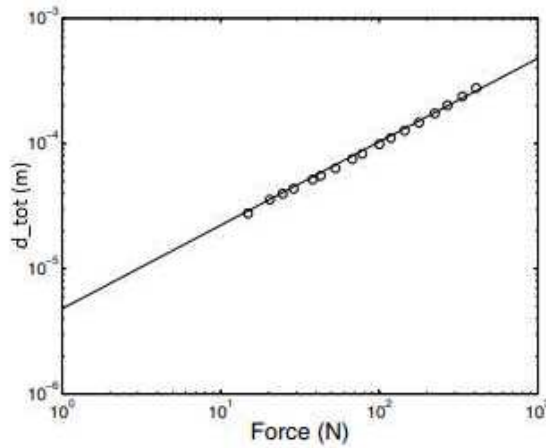


FIGURE 9 – Vue de profil du contact déformé entre les deux sphères

où  $E$  et  $\nu$  sont des coefficients (respectivement module d'YOUNG et coefficient de POISSON) traduisant la capacité du matériau à se déformer.

- La courbe en échelle logarithmique présentée à la figure 10 représente l'enfoncement total  $d_{tot}$  de la chaîne de billes équivalent à  $(N - 1)d$ ,  $N$  étant le nombre de billes. Le graphe permet-il de confirmer ou d'infirmer la relation donnant  $F$  ?

FIGURE 10 – Enfoncement  $d_{tot}$  mesuré en fonction de la valeur des forces  $F$  appliquées et ajustement à partir de  $F = 2$  N.

- En vous appuyant sur la figure 9, montrer par des arguments géométriques qu'au premier ordre en  $d$ , le rayon  $a_{\text{géom}}$  de la surface de contact entre deux sphères vaut  $a_{\text{géom}} = \sqrt{rd}$ . En réalité, la déformation des deux sphères est atténuée et le rayon réel du contact vaut  $a = \sqrt{rd/2} < a_{\text{géom}}$ . En déduire la relation entre le rayon du contact entre deux sphères et la valeur des forces appliquées à chacune :

$$a = \left[ \frac{3(1 - \nu^2)}{4E} r F \right]^{1/3}$$

Évaluer l'ordre de grandeur de  $a$  sachant notamment que pour le métal utilisé dans l'expérience,  $E = 1,95 \times 10^{11}$  Pa et  $\nu = 0,27$ .

- La résistance totale  $R$  de la chaîne continue de billes est principalement composée de deux résistances placées en série : la résistance électrique des billes en dehors des zones de contact et la résistance des contacts entre les billes. Dans la question 1., et en considérant uniquement les sections associées à ces deux résistances, justifier que l'une des deux est prédominante. Un argument numérique est attendu. En négligeant totalement l'autre résistance, quelle devrait-être la dépendance de  $R$  avec le module  $F$  des forces appliquées aux extrémités de la chaîne ? On ne demande pas d'explicitier les préfacteurs.

L'expérience montre que la résistance varie avec la force selon le graphe représenté à la figure 11, qui est en échelle logarithmique.

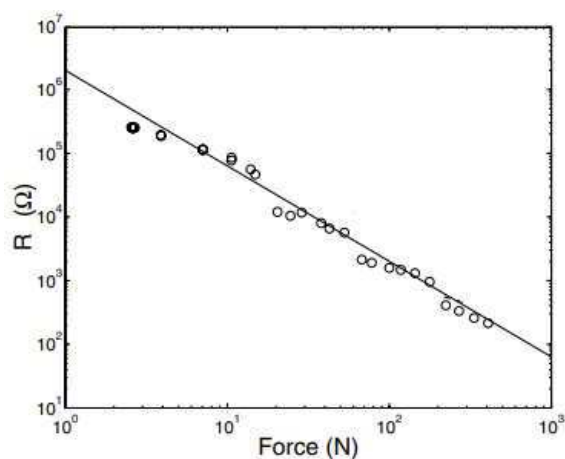


FIGURE 11 – Résistance de la chaîne de billes mesurée en fonction de la valeur des forces appliquées et ajustement.

6. Ces résultats expérimentaux sont-ils en accord avec la relation trouvée à la question précédente ? Un argument numérique est attendu.

### 7. Charge la plus rapide

On dispose d'un générateur de tension continue idéal, de deux résistances identiques et de deux condensateurs identiques. Indiquer le circuit, parmi ceux proposés à la figure 12, qui permet de charger le plus rapidement les condensateurs.

Proposition de réponses à la figure 12.

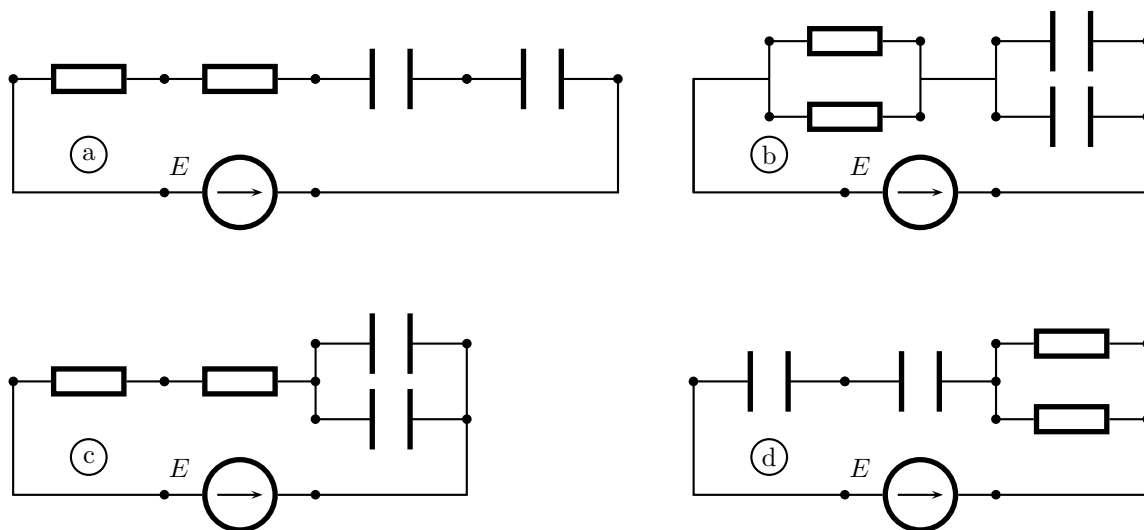


FIGURE 12 – Charge la plus rapide

### 8. Flash d'éclairage routier

Pour signaler la présence de travaux sur la route, on utilise des lampes qui fournissent des flashes très bref avec une fréquence de répétition de 70 par minute, voir le schéma de la figure 13. La réalisation du flash est due à l'utilisation d'une lampe fluorescente qui peut présenter deux régimes de fonctionnement :

- la tension qui alimente la lampe est inférieure à  $U_L = 72 \text{ V}$ , alors aucun courant ne circule dans la lampe.
- lorsque la tension atteint  $U_L = 72 \text{ V}$ , un courant circule et la lampe émet de la lumière, elle est alors équivalente à un conducteur ohmique et le condensateur de capacité  $C = 3 \mu\text{F}$  se décharge dedans. La lampe reste allumée jusque la tension redescende jusqu'à sa valeur d'extinction  $U_e = 50 \text{ V}$ .

1. Faire un schéma équivalent du circuit dans les deux régimes de fonctionnement de la lampe.
2. Déterminer la valeur de la résistance  $R$  pour que l'éclairage avec les flashes soit celui décrit avant.

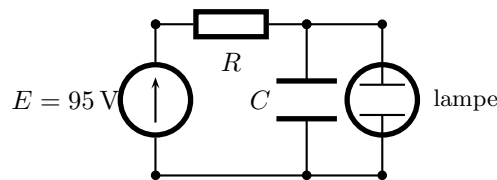


FIGURE 13 – Circuit équivalent à la lampe flash de signalisation routière

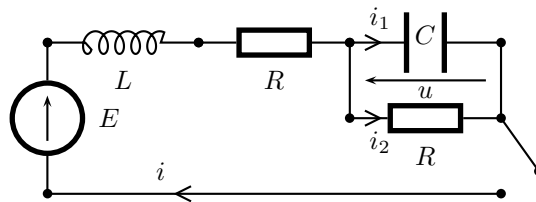


FIGURE 14 – Recherche du régime critique

### 9. Régime critique

On considère le circuit représenté sur la figure 14.

L'interrupteur étant ouvert, les intensités  $i_1$  et  $i_2$  sont nulles et le condensateur est déchargé. On le ferme dans de telles conditions.

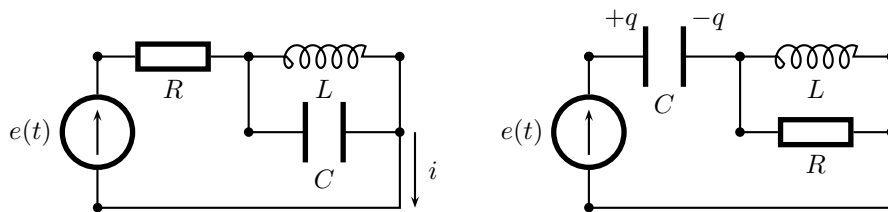
1. Déterminer, presque sans calculs et en les justifiant, les valeurs de  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i$  et  $u$  juste après la fermeture de l'interrupteur.
2. Même question lorsqu'au bout d'un temps suffisamment long, le régime permanent est établi.
3. Écrire, sans le résoudre, le système d'équations permettant d'obtenir l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u$ .
4. Voici quatre propositions pour l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u$  dont une seule est correcte. Toujours sans résoudre le système précédent, expliquer pourquoi trois équations sont fausses et déterminer la bonne équation.

$$\begin{array}{ll} \text{a) } \frac{d^2 u}{dt^2} - \left[ \frac{1}{RC} + \frac{R}{L} \right] \frac{du}{dt} + \frac{2u}{LC} = \frac{E}{LC} & \text{b) } \frac{d^2 u}{dt^2} + \left[ \frac{1}{RC} + \frac{R}{L} \right] \frac{du}{dt} + \frac{2u}{LC} = \frac{E}{LC} \\ \text{c) } \frac{d^2 u}{dt^2} + \left[ \frac{1}{RC} + \frac{R}{L} \right] \frac{du}{dt} + \frac{u}{LC} = \frac{E}{LC} & \text{d) } \frac{d^2 u}{dt^2} + \left[ \frac{1}{C} + \frac{R^2}{L} \right] \frac{du}{dt} + \frac{2u}{LC} = \frac{E}{LC} \end{array}$$

5. Quelle relation doit-il exister entre  $R$ ,  $C$  et  $L$  pour que la solution de l'équation différentielle corresponde à un régime critique?  
Pour la suite, on prendra  $C = 1,0 \mu\text{F}$  et  $L = 20 \text{ mH}$ .
6. Déterminer la (les) valeur(s) de  $R$  correspondant au régime critique.
7. Déterminer, en fonction du temps, l'expression complète de la tension  $u$ .
8. Donner une estimation du temps nécessaire pour que le régime permanent soit établi dans le circuit (c'est à dire pour que la valeur de  $u$  diffère de moins de 1% de sa valeur finale).

### 10. Réseaux $R, L, C$ parallèle

1. On étudie le réseau de la figure 15 à gauche, avec  $e(t) = 0$  si  $t < 0$ ,  $e(t) = e_0 > 0$  si  $t > 0$ , et  $R = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{L}{C}}$ . Déterminer complètement  $i(t)$ ; tracer la courbe correspondante.  
On proposera deux méthodes pour déterminer les conditions initiales.
2. On étudie le réseau de la figure 15 à droite, avec la même tension  $e(t)$  que ci-dessus. À quelle condition le régime libre est-il critique? Déterminer alors  $q(t)$ ; tracer la courbe correspondante.

FIGURE 15 – Réseaux  $R, L, C$  parallèle

### 11. Antirésonance

On considère le circuit de la figure 16 composé d'un générateur de tension alternative de fem  $e(t) = E_0 \cos \omega t$ , d'une bobine idéale d'inductance  $L = 0,1 \text{ H}$ , d'une résistance  $R = 10 \Omega$  et d'un condensateur de capacité  $C = 1 \text{ nF}$ .

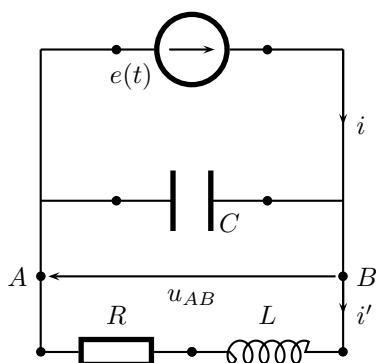


FIGURE 16 – Circuit d'étude d'une antirésonance

1. Déterminer l'expression complexe de l'impédance  $\underline{Z}$  équivalente au dipôle  $AB$ . Montrer que :

$$Z^2(\omega) = \frac{R^2 + L^2\omega^2}{(1 - LC\omega^2)^2 + R^2C^2\omega^2}$$

2. Montrer que l'impédance équivalente passe par un maximum pour une pulsation  $\omega_m$  telle que  $\omega_m^2 = \omega_0^2(\sqrt{1 + 2\alpha} - \alpha)$  où  $\omega_0$  est la pulsation de résonance du circuit  $RLC$  série et  $\alpha = \frac{R^2C}{L}$ . Vérifier que  $\alpha \ll 1$ . Montrer que finalement  $\omega_m \simeq \omega_0$ .
3. Étudier les limites de  $\underline{Z}$  lorsque  $\omega \rightarrow 0$  et  $\omega \rightarrow \infty$ . Justifier le fait qu'on parle d'antirésonance.
4. Établir une relation entre  $i, i', R, L, C$  et  $\omega$ .
5. Montrer qu'à l'antirésonance l'amplitude  $I'$  du courant  $i'$  est beaucoup plus grande que celle  $I$  du courant  $i$ .

### 12. Ligne à retard

Une « cellule à retard » est représentée sur la figure 17.

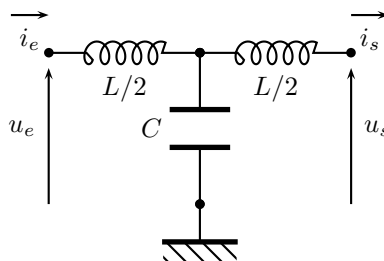


FIGURE 17 – Cellule à retard

1. On branche à l'entrée de la cellule un générateur de tension parfait sinusoïdal et on laisse la sortie ouverte : étudier qualitativement le comportement de la tension de sortie  $u_s$  à basse et haute fréquence.  
On branche à l'entrée de la cellule un générateur de courant parfait sinusoïdal et la sortie est court-circuitée : étudier qualitativement le comportement du courant de sortie  $i_s$  à basse et haute fréquence.



- On se place dans le cas général, pour des signaux harmoniques de pulsation  $\omega$ . Exprimer les relations donnant les grandeurs de sortie  $u_s$  et  $i_s$  en fonction des grandeurs d'entrée  $u_e$  et  $i_e$ . On mettra le résultat sous la forme  $\begin{bmatrix} u_s \\ i_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_e \\ i_e \end{bmatrix}$ . Vérifier alors les résultats de la première question.
- Exprimer, sans calculs,  $u_e$  et  $i_e$  en fonction de  $u_s$  et  $i_s$ .
- On se place dans ce qui suit à basse fréquence : on se limitera aux termes d'ordre deux au maximum en  $\omega$ . Montrer qu'il existe une valeur particulière de  $R$  telle que, si on branche la résistance  $R$  en sortie du montage, alors le montage complet présente une impédance apparente  $R$  à l'entrée. Exprimer  $R$  en fonction de  $L$  et  $C$ . On supposera dans ce qui suit que  $R$  est branchée à la sortie du montage.
- Montrer que le montage se comporte comme un déphaseur pour les grandeurs de sortie  $u_s$  et  $i_s$ , relativement aux grandeurs correspondantes à l'entrée. Calculer le déphasage  $\varphi(\omega)$  correspondant.
- On impose enfin à l'entrée un signal de forme quelconque, mais dont les variations sont suffisamment lentes pour que la condition de basse fréquence reste satisfaite. Montrer que le signal de sortie est identique au signal d'entrée, à un retard  $\tau$  près, que l'on déterminera.

### 13. Filtrage par un pont de Wien

On étudie le filtre de la figure 18 constitué à partir de deux résistances  $R_1 = 90 \text{ k}\Omega$  et  $R_2$  et à partir de deux condensateurs de capacité  $C_1 = 10 \text{ nF}$  et  $C_2$ . On fournit aussi le diagramme de BODE de son amplitude toujours à la figure 18. L'abscisse fournie est  $\log f/f_0$  où  $f$  est la fréquence et  $f_0 = 10 \text{ Hz}$ . Dans cette étude, on ne se préoccupera pas de la phase mais uniquement de l'amplitude des signaux. On se contentera de raisonner sur le diagramme asymptotique de la figure 18.

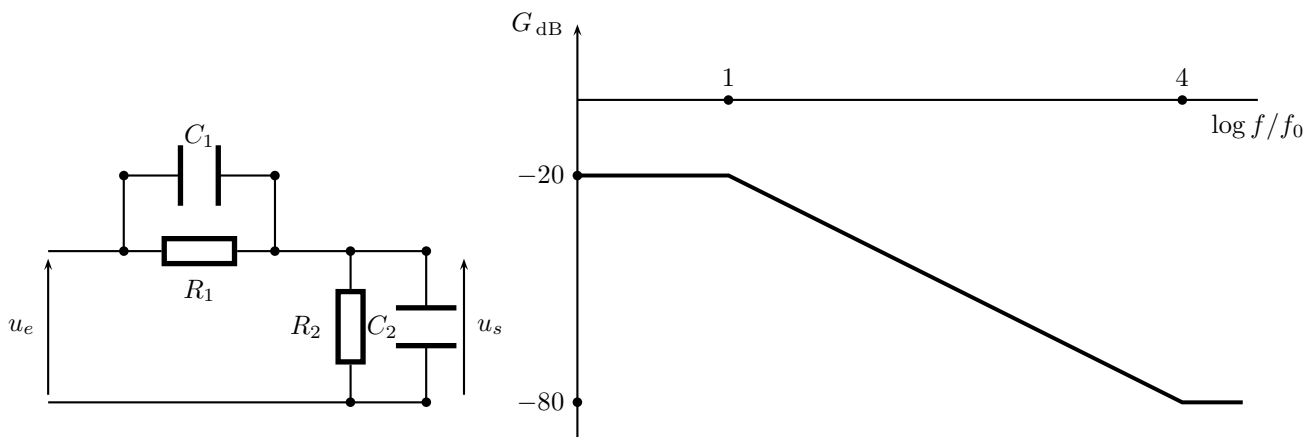


FIGURE 18 – Filtrage par un pont de WIEN

- En utilisant le comportement du filtre en basse et en haute fréquence, déterminer  $R_2$  et  $C_2$ .
- On met en entrée un signal de fréquence  $10 \text{ kHz}$  constitué de deux harmoniques d'amplitudes respectives  $6 \text{ V}$  et  $4 \text{ V}$ . Déterminer les amplitudes caractérisant le signal en sortie.
- On donne cette fois  $u_e(t) = 10 \cos(2\pi f_1 t) + 10 \cos(2\pi f_2 t)$  avec  $f_1 = 10 \text{ Hz}$  et  $f_2 = 100 \text{ kHz}$ . Déterminer les amplitudes caractérisant le signal en sortie.

### 14. Caractère dérivateur d'un filtre et résonance

On étudie le filtre de la figure 19.

- Déterminer sous forme canonique (faisant intervenir le facteur de qualité  $Q$  et la fréquence réduite  $x$ ) la fonction de transfert réalisée à l'aide du circuit représenté. De quel type est ce filtre ?
- Dans quel domaine de fréquences ce filtre est-il dérivateur pour un signal sinusoïdal ?
- En utilisant, par exemple un logiciel de tracé, représenter  $G_{dB}$  en fonction de  $\log x$  pour les facteurs de qualité  $Q = 0,5$  et  $Q = 5$ .
- Interpréter les courbes obtenues pour un signal d'entrée triangulaire de fréquence  $100 \text{ Hz}$  et d'amplitude  $1 \text{ V}$  pour  $L = 10 \text{ mH}$ ,  $C = 22 \text{ nF}$ ,  $R = 140 \Omega$  (figure  $v_s(t)$  gauche) ou  $R = 14 \Omega$  (figure  $v_s(t)$  droite).

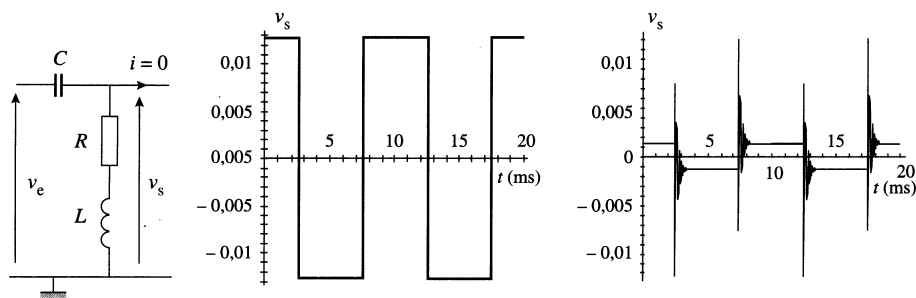


FIGURE 19 – Filtre en sortie ouverte

### 15. Comparaison de l'efficacité de deux filtres

On considère le montage de la figure 20 dans lequel l'amplificateur opérationnel est idéal et fonctionne en régime linéaire. La tension d'entrée  $e(t)$  est sinusoïdale de pulsation  $\omega$  variable.

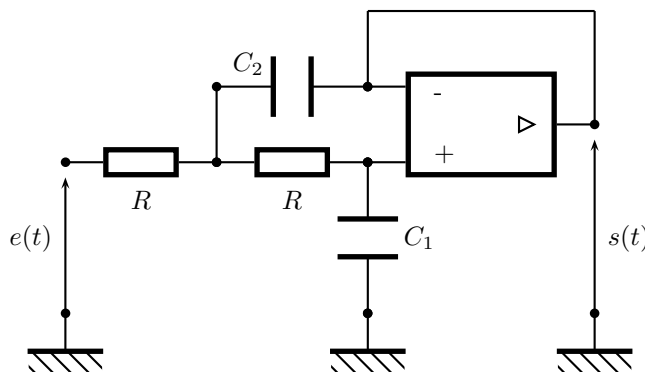


FIGURE 20 – Filtre

- Déterminer sans calcul la nature du filtre.
- Déterminer le nombre minimal d'équations nécessaires pour exprimer  $s$  et fonction de  $e$  des impédances ou admittances des éléments du circuit et pouvoir calculer  $\underline{T} = s/e$ . Écrire ces équations.
- Pourquoi peut-on éliminer les expressions suivantes de  $\underline{T}$  :

$$\underline{T} = \frac{jRC_1\omega}{1 - R^2C_1C_2\omega^2 + j2RC_1\omega} \qquad \underline{T} = \frac{1}{1 - R^2C_1C_2\omega^2 + j2C_1\omega}$$

$$\underline{T} = \frac{1}{RC_1\omega(RC_2\omega + j2)} \qquad \underline{T} = \frac{1}{1 - R^2C_1C_2\omega^2 + j2RC_2\omega}$$

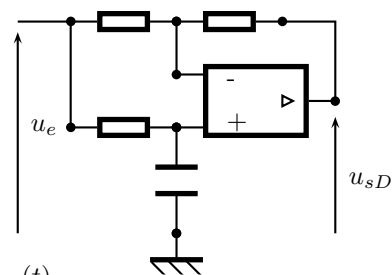
- On a  $C_2 = 2C_1$ . Montrer que  $|\underline{T}|^2 = 1/(1+x^4)$  avec  $x = \omega/\omega_0$  et  $\omega_0 = 1/(\sqrt{2}RC_1)$ . Tracer le diagramme de Bode pour  $|\underline{T}|^2$ . Superposer le diagramme de  $|\underline{T}_1|^2 = 1/(1+x^2)$ . Quel est l'avantage de  $|\underline{T}|$  par rapport à  $|\underline{T}_1|$  ?

### 16. Démodulation de fréquence

Pour réaliser un démodulateur de fréquence, on utilise le circuit de la figure ci-contre. La tension  $u_e$  est sinusoïdale.

Les trois résistances ont même valeur  $R_D$ , la capacité a pour valeur  $C_D$  et la pulsation  $\omega$  du signal  $u_e$  est voisine de  $\omega_0$ , avec  $\omega_0 R_D C_D = 1$ .

On posera  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$  ; on notera  $\varphi(\omega)$  la phase de  $u_{sD}$  relativement à  $u_e$ .



- Déterminer la fonction de transfert du réseau.
- Donner une expression approchée de la phase  $\varphi(\Delta\omega)$ .
- Proposer un montage permettant d'obtenir la tension  $u(t) = u_e(t) - u_{sD}(t)$ .
- Montrer que l'application d'un montage « détecteur de crête » (c'est-à-dire fournissant la valeur instantanée de l'amplitude d'un signal rapidement variable) à la tension  $u(t)$  réalise une mesure de  $\Delta\omega$ .

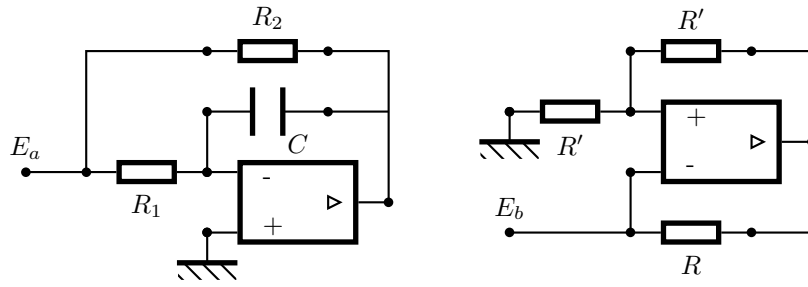


FIGURE 21 – Simulation d'impédance

### 17. Impédances d'entrée

Dans les deux montages de la figure 21, l'amplificateur opérationnel est idéal ; on suppose qu'il fonctionne en régime linéaire.

1. Caractériser les deux opérateurs ci-dessous, les amplificateurs opérationnels étant idéaux, du point de vue de l'admittance d'entrée. Les points d'entrée respectifs sont  $E_a$  et  $E_b$ .
2. À quel dipôle est équivalent la mise en parallèle de ces deux opérateurs en entrée ? Pouvez-vous en proposer une application ?
3. En réalité, le second amplificateur opérationnel (entrée en  $E_b$ ) n'est pas parfait mais est caractérisé par la relation  $\tau \frac{dv_{s2}}{dt} + v_{s2} = \mu_0 \epsilon_2$ , si  $v_{s2}$  est sa tension de sortie,  $\epsilon_2 = v_{+2} - v_{-2}$  la tension entre ses bornes d'entrée, et  $\tau > 0$  et  $\mu_0 > 0$  deux constantes.  
En déduire la relation liant, pour le montage en parallèle envisagé ci-dessus, la relation entre la tension  $u(t)$  et le courant  $i(t)$ .
4. L'ensemble est refermé sur la masse au moyen d'un condensateur de capacité  $C_0$ . Quelle est l'utilité de l'ensemble ?

### 18. Générateur différentiel de courant

Le circuit de la figure 22, réalisé avec un amplificateur opérationnel idéal, comporte deux entrées  $E$  et  $E'$  et une sortie  $S$  aux bornes de laquelle est placée la résistance de charge  $R_u$ . L'amplificateur est supposé idéal et en régime linéaire : les courants des entrées  $-$  et  $+$  sont nuls et les potentiels de ces entrées sont égaux.

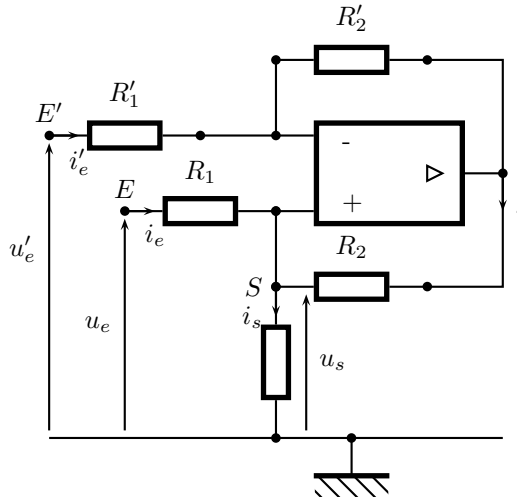


FIGURE 22 – Générateur différentiel de courant

1. Déterminer l'expression du courant  $i_s$  en fonction des tensions d'entrées  $u_e$  et  $u'_e$  et de la tension de sortie  $u_s$ . À quelle condition sur les résistances  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R'_1$  et  $R'_2$  ce circuit est-il un générateur de courant commandé par la tension différentielle d'entrée  $(u_e - u'_e)$  ?
2. On note  $u_{s0}$  la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel. Son comportement est décrit par l'équation différentielle :

$$\tau \frac{du_{s0}}{dt} + u_{s0} = \mu_0(u_+ - u_-)$$

où  $\tau$  et  $\mu_0$  sont deux constantes caractéristiques de l'amplificateur opérationnel. De plus, on réalise  $R_1 = R_2 = R'_1 = R'_2 = R$ . Démontrer que ce générateur de courant est stable en régime libre sachant que les deux générateurs de commande ont des résistances internes de mêmes valeurs  $R_g$ .

### 19. Oscillateur

Le réseau de la figure 23 ne débite pas de courant.

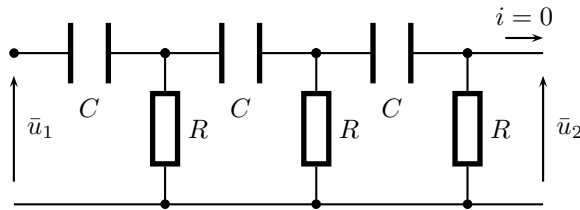


FIGURE 23 – Circuit à trois cellules  $R, C$

- Déterminer la fonction de transfert  $\bar{H} = \frac{\bar{u}_2}{\bar{u}_1}$ ; donner l'allure du diagramme de Bode asymptotique correspondant (en gain et en phase).
- La résolution numérique de l'équation  $1 + 5x + 6x^2 + x^3 = 0$  fournit les trois solutions  $x_1 = -5,049$ ,  $x_2 = -0,643$  et  $x_3 = -0,308$ . On impose à l'entrée du dispositif un échelon de tension ( $u_1(t)$  est nul pour  $t \leq 0$ , et constant égal à  $E_0 > 0$  pour  $t > 0$ ). Déterminer la forme de  $u_2(t)$ .
- Comment réaliser un montage électronique qui :
  - présente pour tension d'entrée  $\bar{u}_e = \bar{u}_2$ ;
  - présente pour tension de sortie  $\bar{u}_s = \bar{u}_1$ ;
  - assure l'absence de courant en sortie du montage de la figure 23;
  - présente un gain en tension  $k < 0$ , indépendant de  $\omega$ .
- Montrer que le système ainsi bouclé peut réaliser un oscillateur sinusoïdal spontané pour  $k = k_0 = -29$ . Quelle est la fréquence d'oscillation ?

### 20. Filtre et oscillateur

On considère le montage de la figure 24 où l'amplificateur opérationnel utilisé est idéal et fonctionne en régime linéaire.

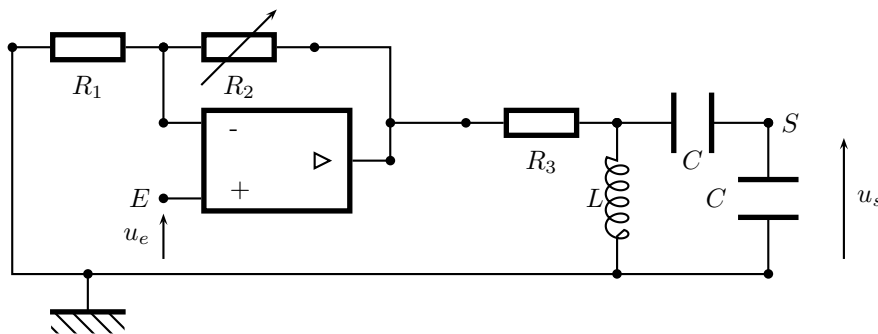


FIGURE 24 – Filtre et oscillateur

- Établir la fonction de transfert  $H(j\omega) = u_s/u_e$ . En déduire qualitativement la nature du filtre.
- On relie par un fil les points  $E$  et  $S$ . Établir l'équation différentielle vérifiée par  $u_s$ .
- Que peut-on prévoir ? Dans quelles conditions ?

## 21. Caractérisation d'une impédance

On cherche à déterminer une impédance inconnue  $\underline{Z} = A(\omega) + jB(\omega)$ . Le circuit de la figure 25 est alimenté par le signal  $e(t) = E_0 \cos \omega t$ . L'amplificateur opérationnel utilisé est supposé idéal et fonctionne de manière linéaire. Dans ces conditions, les courants des entrées inverseuse  $-$  et non inverseuse  $+$  sont nuls, et les potentiels de ces entrées sont égaux. Le courant de sortie inconnu est non nul.

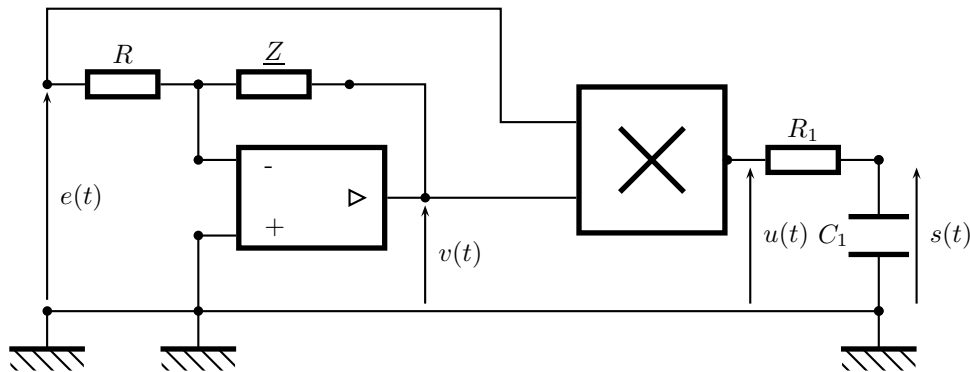


FIGURE 25 – Montage permettant la caractérisation de la partie réelle de  $\underline{Z}$

1. Déterminer l'expression réelle de la tension  $v(t)$ .
2. Le multiplieur reçoit deux tension  $e_1(t)$  et  $e_2(t)$  et renvoie une tension  $m(t) = ke_1(t)e_2(t)$ . Déterminer l'expression de la tension  $u(t)$ , les calculs seront conduits en réels.
3. Déterminer une condition sur  $R_1$  et  $C_1$  pour déterminer  $A(\omega)$  grâce au signal de sortie  $s(t)$ . On donnera l'expression de  $s(t)$  dans ces conditions.
4. Que peut-on envisager de faire pour déterminer  $B(\omega)$  ?

Réponses : on a  $\underline{v} = -\frac{\underline{Z}}{R}\underline{e}$  d'où  $v(t) = -\frac{\sqrt{A^2(\omega)+B^2(\omega)}}{R}E_0 \cos(\omega t + \varphi)$  avec  $\tan \varphi = \frac{B(\omega)}{A(\omega)}$ ;  $u(t) = ke(t)v(t) = -kE_0^2 \frac{\sqrt{A^2(\omega)+B^2(\omega)}}{R} \cos \omega t \cos(\omega t + \varphi)$  que l'on peut écrire  $u(t) = -k \frac{E_0^2 \sqrt{A^2(\omega)+B^2(\omega)}}{2R} (\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi)$ ;  $\frac{s}{u} = \frac{1}{1+jR_1C_1\omega}$  est intégrateur pour  $R_1C_1\omega \gg 1$ , intégrer revient à calculer la moyenne de  $u(t)$  et donc à obtenir en sortie  $s = -k \frac{E_0^2 \sqrt{A^2(\omega)+B^2(\omega)}}{2R} \cos \varphi$ , or  $\cos \varphi = \frac{A(\omega)}{\sqrt{A^2(\omega)+B^2(\omega)}}$  d'où  $s = -kE_0^2 \frac{A(\omega)}{2R}$ ; pour accéder à la partie imaginaire de  $\underline{Z}$ , on peut envisager de déphaser  $v(t)$  de  $\pi/2$  pour gérer  $\varphi - \frac{\pi}{2}$  plutôt que  $\varphi$  ensuite, un circuit déphaseur est réalisable avec un amplificateur opérationnel.

## B. Puissance

### 22. Conducteur ohmique

On considère un bloc parallélépipédique d'argent, de section  $a \times b$ , de conductivité  $\gamma$ . Il est parcouru par un courant d'intensité continu  $I = 5,0 \text{ mA}$ . On a  $a = 2,0 \text{ mm}$  et  $b = 1,0 \text{ cm}$ . On fournit les valeurs numériques suivantes :

Masse molaire de l'argent	$M_{\text{Ag}} = 108 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Masse volumique de l'argent	$\mu_{\text{Ag}} = 9,3 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Conductivité électrique de l'argent	$\gamma = 6,3 \times 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$
Charge élémentaire	$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron	$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Constante d'AVOGADRO	$N_A = 6,01 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1. Déterminer la densité volumique de courant  $\vec{j}$ .
2. Déterminer la densité volumique de charges libres  $\rho_l$  en sachant qu'il y a un électron libre par atome d'argent.
3. Déterminer la vitesse moyenne  $v_l$  des charges libres.
4. Déterminer le champ électrique  $\vec{E}$  responsable du passage du courant.
5. Déterminer la densité volumique de puissance JOULE dissipée dans le conducteur.

### 23. Adaptation d'impédance

Un générateur d'impédance interne  $\underline{Z}_g = R_g + jX_g$ , délivrant une fem sinusoïdale  $e(t) = E_0\sqrt{2}\cos\omega t$  est connecté aux bornes d'une charge d'impédance  $\underline{Z}_u = R_u + jX_u$ . L'admittance  $\underline{Y}_u$  correspondant à l'impédance  $\underline{Z}_u$  est notée  $\underline{Y}_u = G_u + jH_u$ .

1. Calculer l'intensité efficace  $I$  qui circule dans le circuit.
2. Calculer la puissance moyenne  $P_u$  absorbée sur une période par l'impédance de charge  $Z_u$ .
3. Exprimer la puissance moyenne  $P_u$  en fonction de  $R_u$  et  $I$ .
4. Déterminer les relations qui existent entre  $R_u$ ,  $X_u$ ,  $R_g$  et  $X_g$  pour que  $P_u$  soit maximale. On dit alors qu'il y a *adaptation d'impédance*.

### 24. Lignes Haute Tension

On cherche à quantifier les pertes JOULE occasionnées lors du transport d'une puissance électrique  $P = 100$  MW, fournie par le poste de distribution, sur une distance  $\ell = 100$  km de ligne électrique, que l'on considérera comme purement résistive. Cela permettra d'illustrer l'intérêt du transport électrique à haute tension.

1. Déterminer les courants de ligne  $I_1$  et  $I_2$  pour des tensions respectives  $U_1 = 400$  kV et  $U_2 = 100$  kV.
2. La densité de courant dans les câbles de transport est toujours  $j = 0,7$  A · mm<sup>-2</sup>. Déterminer la section  $S_1$  nécessaire pour une transport en 400 kV, ainsi que celle  $S_2$  pour un transport à 100 kV.
3. Le matériau utilisé pour les câbles de transport est un alliage d'aluminium, préféré au cuivre pour sa légèreté et son moindre coût. La résistivité de ce matériau est  $\rho = 26 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ . Déterminer alors la résistance électrique de chaque ligne de transport que l'on notera  $R_1$  et  $R_2$ .
4. Pour les deux tensions envisagées, déterminer les pertes JOULE en ligne notées respectivement  $P_{J1}$  et  $P_{J2}$ .
5. Calculer le rendement  $\eta$  du transport de l'électricité défini comme le rapport entre la puissance utile disponible après transport et celle fournie en entrée de ligne.

### 25. Alimentation d'un moteur

On considère un générateur de tension sinusoïdale de valeur efficace  $E_0 = 12$  V et de résistance interne  $R_g = 50 \Omega$ . Ce générateur fonctionne à la fréquence  $f = 50$  Hz. Il alimente un petit moteur électrique dont le modèle est constitué d'une résistance interne  $r = 10 \Omega$  en série avec une bobine idéale de coefficient d'autoinductance  $L$  tel que  $L\omega = L2\pi f = 30 \Omega$ .

1. Représenter le circuit électrique correspondant au montage décrit.
2. Déterminer littéralement et numériquement l'impédance  $\underline{Z}_m$  du moteur. En déduire le déphasage entre le courant traversant le moteur et la tension à ses bornes.
3. Déterminer la puissance moyenne consommée par le moteur.
4. Déterminer la puissance moyenne délivrée par la source idéale de tension. En déduire le rendement du transfert de puissance entre le générateur idéal de tension et le moteur.

### 26. Une installation domestique

La tension d'alimentation est celle d'EDF de valeur efficace 220 V et de fréquence  $f = 50$  Hz. Un appareil de cuisson est constitué de 4 foyers électriques d'une puissance maximale totale  $P_1 = 2$  kW et d'un four électrique de puissance maximale  $P_2 = 2,5$  kW. L'ensemble se comporte comme un résistor.

1. Quelle est la valeur de l'intensité efficace maximale  $I_{12}$  circulant dans le disjoncteur qui est relié aux deux appareils ?

Un lave-linge admet une puissance maximale  $P_3 = 2,25$  kW et un facteur de puissance  $\cos\varphi_3 = 0,8$ . Il est modélisé par l'association en série d'une résistance  $R$  et d'une inductance  $L$ . Sur la notice de la machine, le constructeur affirme qu'un lavage de 5 kg à 60 °C consomme 0,4 kWh. La durée d'un lavage est de 75 mn. Le volume d'eau liquide utilisé est  $V = 5$  L, la température de départ de l'eau est  $T_0 = 15$  °C et la température finale  $T_1 = 60$  °C. On indique que pour augmenter la température d'un litre d'eau de  $\Delta T = 1$  °C, il faut fournir une énergie  $E_{vol} = 4,18$  kJ · L<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>.

2. Déterminer l'expression littérale de l'intensité efficace maximale  $I_3$  du courant utilisé par le lave-linge.
3. Écrire l'expression de l'impédance complexe  $\underline{Z}$  du dipôle qui modélise le lave-linge. Préciser son module. Expliciter le signe de l'argument de  $\underline{Z}$ .
4. Montrer que la puissance consommée par le lave-linge peut se mettre sous la forme  $P_3 = RI_3^2$ . En déduire la valeur de  $R$  et de  $L$ .

- Quelle est l'énergie consommée en J pour un lavage ?
- Une partie de l'énergie électrique consommée sert au chauffage de l'eau. Quelle est l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau ? Quelle fraction de l'énergie totale cela représente-t-il ? Définir la puissance moyenne consommée lors du chauffage de l'eau.

En raison de problèmes d'arrivée d'eau, le propriétaire décide de brancher en parallèle sur une prise multiple le lave-linge et un lave-vaisselle de puissance  $P_4 = 1,6 \text{ kW}$  et de facteur de puissance  $\cos \varphi_4 = 0,7$ .

- Déterminer les expressions littérales des intensités efficaces maximales  $I'_3$  et  $I'_4$  qui alimentent les deux appareils. Faire les applications numériques.
- Déterminer l'intensité efficace maximale délivrée au niveau de la multiprise. Effectuer l'application numérique et commenter le résultat obtenu.

## C. Régime non linéaire

### 27. Détecteur de crête

On considère le montage de la figure 26 composé d'une diode supposée idéale et d'un condensateur parfait de capacité  $C = 1 \mu\text{F}$ .

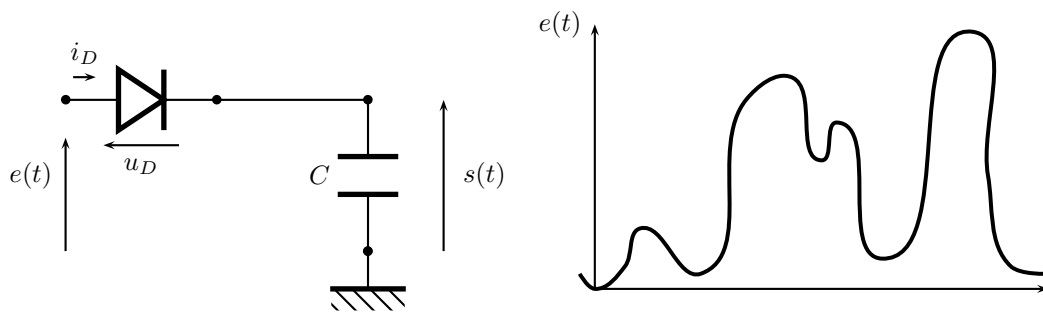


FIGURE 26 – Détecteur de crête

- À la date  $t = 0$ , le condensateur est déchargé, il reçoit alors le signal  $e(t)$  représenté sur la figure 26. Représenter le signal  $s(t)$  que l'on obtient en sortie du montage. On apporte une petite modification au circuit de la figure 26. On obtient alors celui de la figure 27.

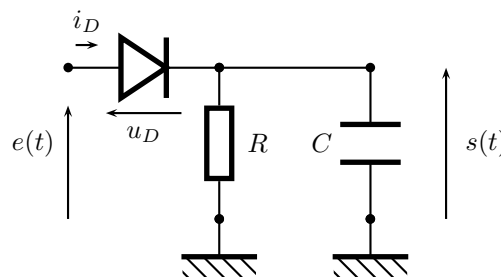


FIGURE 27 – Détecteur de crête pratique

- Comment est modifié le comportement du circuit ? Discuter en fonction de la valeur de  $R$ .
- Le signal  $e(t)$  est maintenant une tension sinusoïdale de fréquence 500 Hz dont on souhaite mesurer la tension efficace. Représenter ce que l'on peut obtenir pour  $s(t)$ . Quelle valeur de  $R$  faut-il prendre afin que le circuit de la figure 27 se comporte comme un détecteur de crête ? Quel montage électrique simple proposeriez-vous afin de mesurer à la sortie de celui-ci directement la tension efficace ?

### 28. Détecteur de crête et modulation

Le montage de la figure 28 porte le nom de *détecteur de crête*. Dans ce montage, la diode est idéale, sans seuil : elle est soit « passante » ( $i_D \geq 0$  et  $u_D = 0$ ), soit « bloquante » ( $i_D = 0$  et  $u_D \leq 0$ ). On pose  $\tau = RC$ .

- La tension d'alimentation  $u_e(t)$  est sinusoïdale, de pulsation  $\omega$  :  $u_e(t) = u_{e0} \sin \omega t$ . On suppose que  $\tau \omega \gg 1$ . À l'instant initial, la capacité n'est pas chargée. Déterminer  $u_s(t)$ .
- La tension d'alimentation  $u_e(t)$  est un signal de haute fréquence  $\omega$ , dont l'amplitude  $u_{e0}(t)$  varie lentement à la pulsation  $\Omega$ , avec  $\tau \omega \gg 1$  et  $\tau \Omega \ll 1$ . Déterminer  $u_s(t)$ .

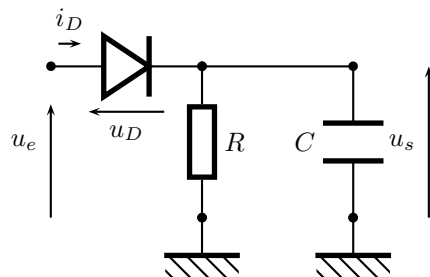


FIGURE 28 – Détecteur de crête

3. Conclure et justifier la dénomination « détecteur de crête » pour ce montage.

## 29. Accumulateur

Un accumulateur est modélisé par un condensateur de capacité  $C = 10^{-5}$  F, placé en parallèle avec sa résistance de fuite  $R$ . On désire le maintenir chargé grâce à une alimentation utilisant une tension périodique et une diode idéale  $D$ , voir la figure 29. Il faut pour cela rendre minimum le *taux d'ondulation* défini par :

$$\tau = \frac{u_{s,max} - u_{s,min}}{u_{s,max} + u_{s,min}}$$

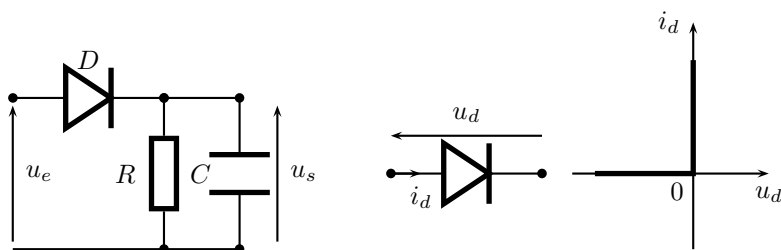


FIGURE 29 – Le modèle de l'accumulateur et le modèle de la diode idéale

La tension d'alimentation est sinusoïdale de fréquence  $f = 50$  Hz. Une diode idéale est un dipôle dont la caractéristique est donnée sur la figure 29.

1. Comment varie la tension  $u_d$  ? On distinguera les deux phases de fonctionnement selon que la diode soit passante ou non, en remplaçant la diode soit par un interrupteur fermé, soit par un interrupteur ouvert.
2. À l'aide du script *Python 2015-008-Redressement* fourni, visualiser la tension aux bornes de l'accumulateur. Comment doit être la résistance de fuite pour avoir un taux d'ondulation inférieur à 5% ?

La tension d'alimentation est maintenant un créneau symétrique de période  $T = 1/f$  défini par :

$$u_e(t) = +u_0 \quad \text{si } 0 \leq t < T/2 \quad \text{et} \quad u_e(t) = -u_0 \quad \text{si } T/2 \leq t < T$$

3. Étudier les deux phases de fonctionnement, en déduire une expression du taux d'ondulation. Est-il préférable d'utiliser cette alimentation ou la précédente ?

On utilise désormais un pont contenant quatre diodes idéales, avec une tension d'entrée sinusoïdale, voir le schéma de la figure 30.

4. Quelle est la tension appliquée aux bornes de l'accumulateur ?
5. Reprendre la question 2. Le pont de diodes est-il plus avantageux ?
6. Comment sont modifiés ces résultats si on tient compte de la résistance interne de la diode, placée en série ?
7. Expliquer comment il est aussi possible de diminuer le taux d'ondulation d'un signal grâce à un filtre.



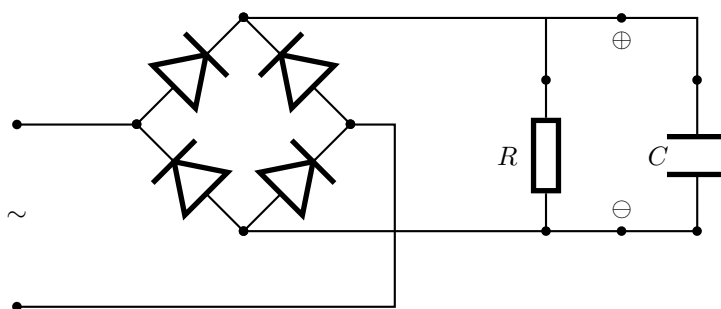


FIGURE 30 – Le modèle de l'accumulateur et le modèle de la diode idéale

### 30. Diode Zener

On considère le circuit représenté qui comporte une diode Zener, de caractéristique fournie à la figure 31. Celle-ci présente trois parties très distinctes, l'une d'elles étant le *coude Zener* à la tension  $-u_z$ . On pose  $E = \alpha u_z$  où  $\alpha$  est un paramètre positif.

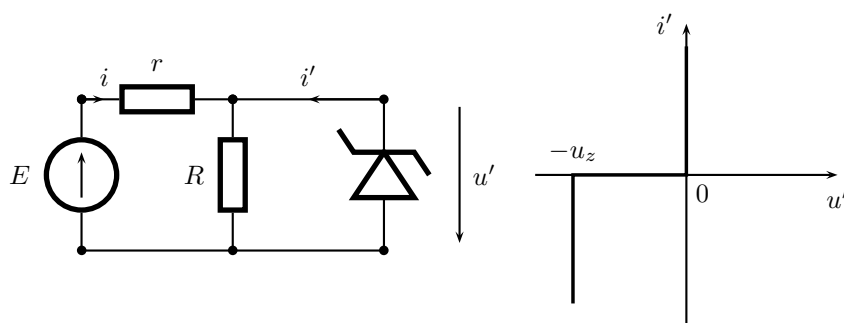


FIGURE 31 – Montage utilisant une diode Zener - Caractéristique de la diode

1. Déterminer  $u'$  et  $i$  en fonction de  $r$ ,  $R$ ,  $u_z$  et  $\alpha$ .
2. Tracer les graphes correspondants  $u'$  et  $i$  fonction de  $\alpha$ .
3. Commenter le rôle de la diode dans le montage.

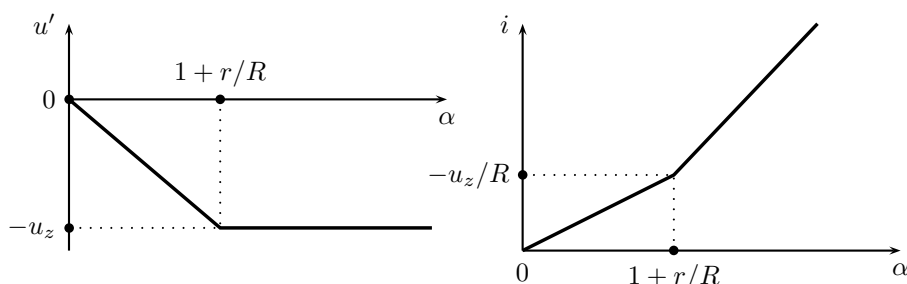


FIGURE 32 – Stabilisation de la tension

### 31. Enregistrement d'une figure d'interférences

Dans un dispositif d'interférences, on obtient une intensité lumineuse variant périodiquement selon un axe  $Ox$  d'un écran. La loi donnant l'évolution de l'intensité lumineuse est :  $\phi = \phi_0 \left(1 + \cos 2\pi \frac{x}{i}\right)$  où  $i$  est appelé interfrange. Pour enregistrer cet éclairement grâce à un ordinateur, on utilise le déplacement à vitesse constante  $v_{ph}$  et étalonnée d'une photodiode selon l'axe  $Ox$  de l'écran grâce à un rail rectiligne, voir le schéma de la figure 33.

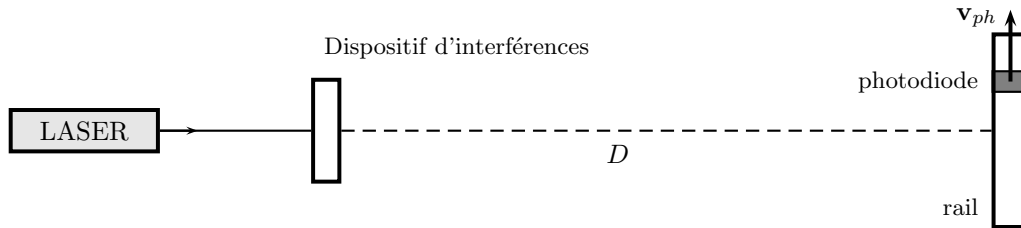


FIGURE 33 – Montage d'enregistrement de l'intensité lumineuse

La conversion de l'intensité lumineuse en une tension électrique pouvant être acquise par l'ordinateur s'effectue au moyen du montage électronique de la figure 34. L'amplificateur opérationnel utilisé est supposé idéal et en régime linéaire.

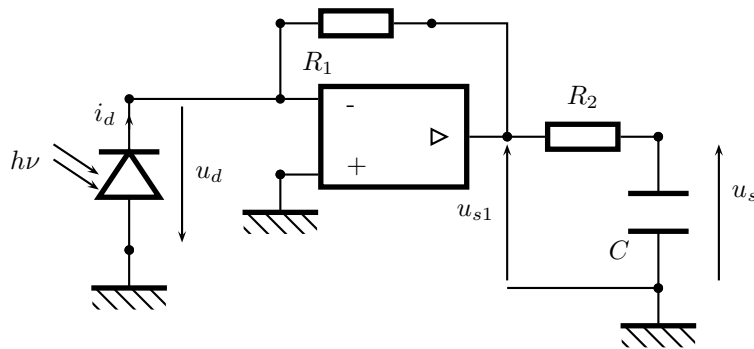


FIGURE 34 – Montage électronique de la photodiode

La photodiode est une jonction entre deux zones de silicium dopée de façon différente créant ce que l'on appelle une jonction  $PN$ . Lorsqu'elle est éclairée cette jonction va permettre à des électrons liés de quitter leur niveau d'énergie pour devenir en quelque sorte des électrons libres et participer à la conduction du courant. La caractéristique de la photodiode est donnée par la loi :

$$i_d = I_0 \exp \frac{eu_d}{k_B T} - (I_0 + I_{ph})$$

où  $I_{ph}$  est l'intensité du courant dû aux électrons libérés par le flux lumineux. On parle de courant photoélectrique. Ce dernier est proportionnel à l'intensité lumineuse  $\phi$  reçue :  $I_{ph} = \beta \phi$ .

1. Déterminer l'expression de  $u_{s1}$  en fonction de l'intensité lumineuse  $\phi$ .
2. Déterminer l'expression de  $u_{s1}$  en fonction du temps  $t$ .
3. Quelle est la nature du filtre constitué par la cellule  $R_2C$  placée au niveau de la sortie de l'amplificateur opérationnel ? Déterminer sa fréquence de coupure.
4. Établir en fonction du temps l'expression de  $u_s$ .
5. Conclure sur le rôle de la cellule  $R_2C$  sachant que l'objectif est de pouvoir mesurer l'interfrange  $i$ .

### 32. Générateur de créneaux

Dans le montage de la figure 35 (à gauche), l'amplificateur opérationnel est idéal et fonctionne en régime de saturation ; le condensateur est initialement déchargé.

1. Déterminer les évolutions, au cours du temps, des tensions  $v_+$  et  $v_-$  des bornes d'entrée de l'amplificateur opérationnel. Calculer la période de ces tensions.

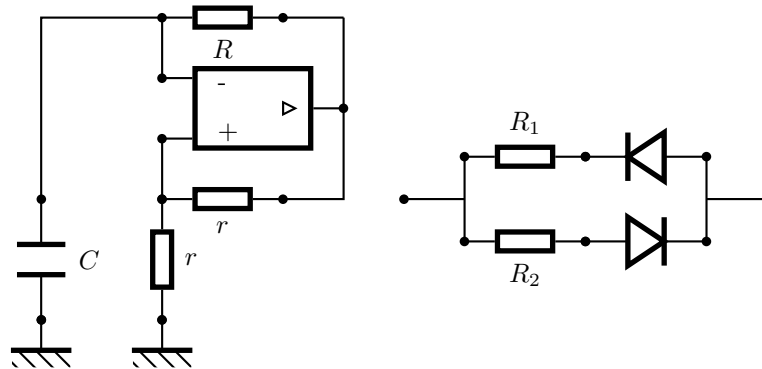


FIGURE 35 – Générateur de créneaux (à gauche). Montage non symétrique (à droite)

2. La résistance  $R$  est remplacée par le montage non symétrique de la figure 35 (à droite), dans lequel les deux diodes sont idéales. Déterminer la période  $T$  du signal  $v_+(t)$ , ainsi que la portion  $\alpha$  de cette période au cours de laquelle  $v_+(t) > 0$ . Ce signal porte le nom de *signal créneau symétrique de rapport cyclique*  $\alpha$ .