

Un grand classique de CS et MP le conformateur à diode

Il s'agit de redressement ! sujet d'oral aussi

Mines Ponts 2022 PSI

Conditionnement du signal produit par le capteur de position de votre dernier sujet de DS sur les milieux magnétiques

Vous intéressez au conformateur à diodes ! à partir de Q23

Enoncé à lire entre Q22 et Q23

III Conditionnement du signal

Un capteur LVDT est associé à un conditionneur de signal qui délivre une tension continue proportionnelle à la position du noyau. Cette partie étudie le fonctionnement du conditionneur AD598 dont le schéma fonctionnel fourni par la notice est représenté en figure 7.

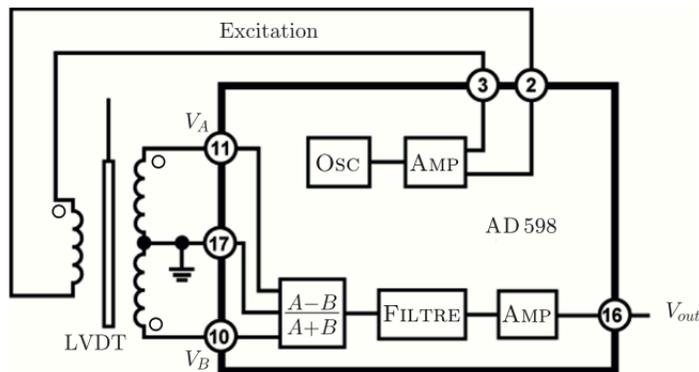


FIGURE 7 – Diagramme bloc fonctionnel du conditionneur AD598

L'AD598 comporte un oscillateur local, noté OSC en figure 7, générant une tension sinusoïdale dont la fréquence peut varier de 20 Hz à 20 kHz, suivi d'un amplificateur de tension qui délivre la tension u_p appliquée aux bornes du circuit primaire du LVDT.

L'oscillateur local produit dans un premier temps une tension périodique fonction triangulaire du temps qui est ensuite transformée en une tension sinusoïdale du temps grâce à un montage conformateur à diodes.

À partir des deux tensions référencées par rapport au point de masse prises aux bornes des deux circuits secondaires du LVDT, $V_A = u_2$ et $V_B = u_1$, le circuit intégré AD598 construit une tension périodique en créneaux symétriques, de rapport cyclique α égal au rapport $\frac{A-B}{A+B}$, où A et B sont respectivement les tensions proportionnelles aux amplitudes des tensions V_A et V_B .

L'intérêt du conditionnement proposé par le composant AD598, par rapport aux procédés de détection envisageables, est de produire une tension de sortie proportionnelle au déplacement du noyau. La constante de cette proportionnalité est indépendante de la tension d'alimentation du circuit primaire de LVDT.

L'étude se focalise sur l'alimentation du circuit primaire.

Le bloc OSC de la figure 7 est constitué d'un générateur de tension en triangle suivi d'un convertisseur triangle-sinus à diodes. Le circuit générateur de tension en triangle est représenté en figure 8.

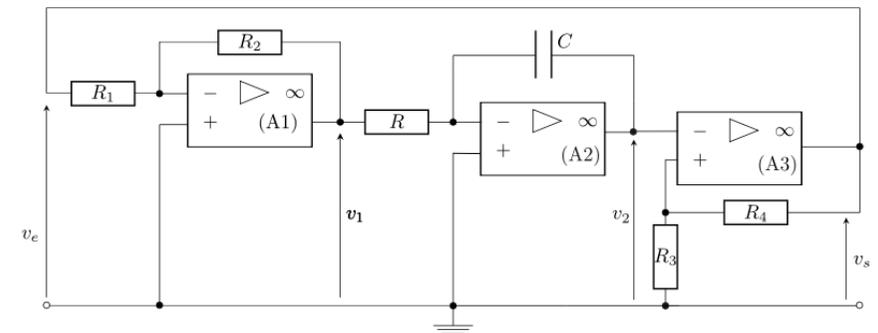


FIGURE 8 – Générateur de triangle.

Les trois Amplificateurs Linéaires Intégrés (ALI) sont idéaux et nommés (A1), (A2) et (A3) (voir figure 8). On notera $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$ les tensions de saturation haute et basse des ALI.

- – 18. Après avoir rappelé la définition d'un ALI idéal, indiquer quels sont ceux qui fonctionnent en régime linéaire. On justifiera simplement la réponse.

Les tensions $v_e(t)$, $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $v_s(t)$ sont des fonctions non sinusoïdales du temps.

- – 19. Établir la relation entre $v_e(t)$ et $v_1(t)$ puis celle entre $v_1(t)$ et $v_2(t)$.
- – 20. Déterminer la valeur de v_s selon les valeurs et le sens de variation de v_2 , puis représenter graphiquement ces variations en reportant v_s en ordonnée et v_2 en abscisse. On fera apparaître les valeurs remarquables sur chaque axe du graphique.
- – 21. En tenant compte des trois résultats précédents, déterminer les variations de v_2 et v_s en fonction du temps. Représenter ces variations sur un même graphique.

Laquelle des tensions $v_e(t)$, $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $v_s(t)$ est une fonction triangulaire périodique du temps? On nomme $v_t(t)$ cette tension. Calculer sa période T en fonction de R , C , R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .

- – 22. En fixant $R = 1 \text{ k}\Omega$ et en prenant $R_1 = R_2$ puis, uniquement pour cette application numérique $R_3 = R_4$, déterminer la valeur de C permettant d'obtenir une tension $v_t(t)$ de fréquence 2 kHz .

Comment faire pour permettre à un utilisateur de l'AD598 de modifier à volonté cette fréquence ?

Exprimer l'amplitude E de la tension $v_t(t)$ en fonction des données du circuit de la figure 8. Sur quels paramètres de ce circuit faut-il agir afin de modifier cette amplitude ?

Déterminer la condition sur ces paramètres pour que $E/V_{\text{sat}} = 0,22$. Calculer dans ce cas la valeur de E en prenant $V_{\text{sat}} = 15 \text{ V}$.

L'origine des temps étant arbitrairement fixée, la figure 9 contient, d'une part, les variations de la tension triangulaire réduite v_t/E en fonction du temps réduit $\theta = t/T$ et, d'autre part, celles de la tension sinusoïdale réduite v_0/E en fonction de θ que l'on souhaite obtenir après la conversion triangle-sinus.

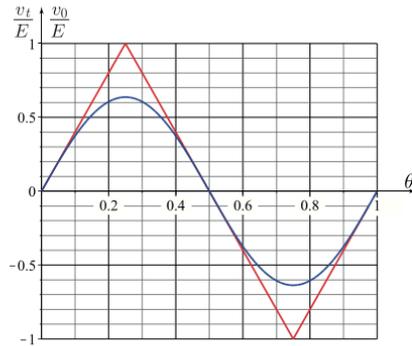


FIGURE 9 – Conversion triangle - sinus.

Afin de réaliser cette conversion, on utilise un montage conformateur à diodes représenté en figure 10. Les diodes sont toutes identiques. En notant i_d leur courant direct et u_d la tension en convention récepteur (figure 10), le fonctionnement de chaque diode est tel que si $i_d > 0$ alors $u_d = U_s > 0$ et si $i_d = 0$ alors $u_d \leq U_s$.

Pour toute la suite, on prendra une tension de seuil égale à $U_s = 0,7 \text{ V}$.

Le montage conformateur, alimenté par la tension v_t , est dimensionné pour délivrer une tension v_s se rapprochant au mieux de la tension v_0 représentée en figure 9. Le dimensionnement consiste, entre autres, à choisir correctement les résistances r_1 et r_2 , lorsque $r_0 = 1,0 \text{ k}\Omega$. Ce choix sera effectué pour une valeur du courant de sortie $i_s = 0$.

- – 23. Pour $0 \leq \theta = \frac{t}{T} \leq \frac{1}{4}$, donner l'expression de v_t en fonction de θ et de E .

On considère l'association des deux diodes dans la cellule en traits pointillés (1).

- – 24. Montrer que les deux diodes ne peuvent conduire le courant simultanément.

Montrer qu'il existe une valeur $U_1 > 0$ telle que si $0 \leq v_s \leq U_1$ alors le courant dans la résistance r_1 est nul et, si $v_s > U_1$, ce courant n'est pas nul. Exprimer U_1 en fonction de U_s .

On considère l'association des quatre diodes dans la cellule en traits pointillés (2).

- – 25. Montrer qu'il existe une valeur $U_2 > 0$ telle que si $0 \leq v_s \leq U_2$ alors le courant dans la résistance r_2 est nul et si $v_s > U_2$ ce courant n'est pas nul. Exprimer U_2 en fonction de U_s .

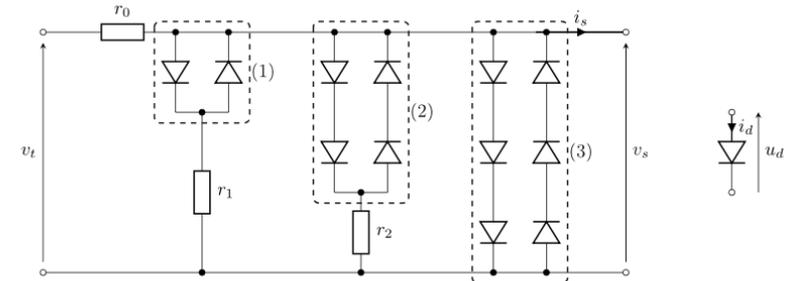


FIGURE 10 – Montage conformateur.

On considère finalement le bloc de la cellule en traits pointillés (3).

- – 26. Montrer que la valeur positive maximale de v_s , notée V_{max} , vaut $3U_s$.

On note désormais $s(\theta) = V_{\text{max}} \sin(2\pi\theta)$ la tension sinusoïdale idéale que l'on souhaite obtenir en sortie du montage de la figure 10, de même période que v_t .

- – 27. Déterminer la relation à imposer entre U_s et E afin que les deux pentes en $\theta = 0$ des courbes $v_t(\theta)$ et $s(\theta)$ en fonction de θ soient identiques. On vérifiera que cette condition revient à identifier le rapport E/U_s à une fraction de π et on supposera cette relation vérifiée par la suite.

- – 28. Pour $v_s < U_1$, quelle est l'expression de v_s en fonction de v_t puis celle en fonction de θ ? En déduire la valeur θ_1 de θ telle que $v_s(\theta_1) = U_1$. On simplifiera cette valeur en utilisant la condition déduite à la question précédente.

- – 29. On suppose pour cette question $U_1 < v_s < U_2$.

Exprimer v_s en fonction de v_t , U_s , r_1 et r_0 puis en fonction de U_s , r_1 , r_0 , E et θ .

Quelle doit être la valeur du rapport $\rho_1 = r_0/r_1$ afin que les pentes des courbes $v_s(\theta)$ et $s(\theta)$ soient identiques lorsque $\theta \rightarrow \theta_1$ par valeurs supérieures? On exprimera ρ_1 uniquement en fonction du cosinus de $1/3$.

Cette condition étant vérifiée, exprimer v_s en fonction de U_s , ρ_1 , E et θ puis déduire l'expression de θ_2 défini par $v_s(\theta_2) = U_2$ que l'on mettra sous la forme $\theta_2 = \alpha\theta_1$ et dans laquelle on exprimera la constante α uniquement en fonction du cosinus de $1/3$.

- – 30. On suppose pour cette question $U_2 < v_s < 3U_1$. Déterminer l'expression de v_s en fonction de U_s , r_0 , r_1 , r_2 , E et θ .

La valeur du rapport $\rho_2 = \frac{r_0}{r_2}$ est fixée afin que les pentes des courbes $v_s(\theta)$ et $s(\theta)$ soient identiques lorsque $\theta \rightarrow \theta_2$ par valeurs supérieures. On peut alors déterminer la valeur θ_3 telle que $v_s(\theta_3) = 3U_1$.

- – 31. Montrer que $v_s(\theta) = 3U_1$ si $\theta_3 < \theta < \frac{1}{4}$.

En réalisant le dimensionnement précédent, on obtient la tension $v_s(\theta)$ représentée en figure 11 sur laquelle figurent également les tensions $v_t(\theta)$ et $s(\theta)$.

- – 32. Proposer un aménagement du montage de la figure 10 permettant de réduire les écarts entre $v_s(\theta)$ et $s(\theta)$.

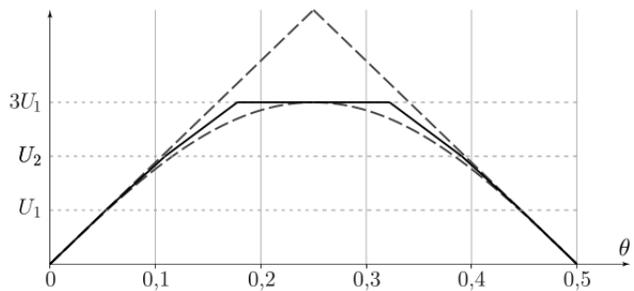


FIGURE 11 – Tensions $v_s(\theta)$, $v_t(\theta)$ et $s(\theta)$.

Le hacheur survolteur appliqué aux panneaux solaires

CS 2023 PSI

Voir aussi ex 1 TD !

Aussi CCINP Modélisation 2024 !

III Utilisation de panneaux solaires

III.A – Puissance nécessaire pour une voiture

Q 36. On considère le véhicule présenté figure 10 roulant sur un sol horizontal. En admettant que les frottements de l'air sont prépondérants devant toute autre forme de dissipation d'énergie et à l'aide des figures 11 et 12, proposer une estimation de la vitesse maximale que peut atteindre ce véhicule, sans tenir compte de la présence de tout dispositif de stockage d'énergie.



Figure 10 La société néerlandaise Lightyear propose une berline équipée de 5 m^2 de panneaux solaires qui mesure $5,05 \text{ m}$ de longueur, $1,82 \text{ m}$ de largeur et $1,40 \text{ m}$ de hauteur et possède un coefficient de traînée $C_x = 0,23$

Les cellules solaires en tandem qui associent le silicium à une pérovskite aux halogénures métalliques constituent une voie prometteuse pour dépasser la limite d'efficacité des cellules individuelles. Nous décrivons un tandem pérovskite/silicium monolithique avec un rendement de conversion de puissance certifié de $29,15\%$. L'absorbeur de pérovskite, avec une bande interdite de $1,68 \text{ eV}$, est resté stable en phase sous illumination grâce à une combinaison d'extraction rapide des trous et de recombinaison non radiative minimisée à l'interface sélective des trous. Ces caractéristiques ont été rendues possibles par une monocouche de carbazole à substitution méthyle auto-assemblée comme couche sélective de trous dans la cellule de pérovskite. L'extraction accélérée des trous était liée à un faible facteur d'idéalité de $1,26$ et à des facteurs de remplissage à jonction unique allant jusqu'à 84% , tout en permettant une tension en circuit ouvert en tandem pouvant atteindre $1,92 \text{ V}$. À l'air, sans encapsulation, un tandem conserve 95% de son efficacité initiale après 300 heures de fonctionnement.

Figure 11 Résumé de l'article de Amran Al-Ashouri *et al.*, publié dans *Science* en décembre 2020

III.B – Conversion de puissance

La tension V_{ps} fournie par les panneaux solaires ne permet pas de recharger directement une batterie de tension 350 V . Un régulateur MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) constitué d'un convertisseur électronique DC/DC a pour rôle d'optimiser les valeurs des paramètres électriques de fonctionnement entre le système photovoltaïque et la batterie. Le champ d'application de ces convertisseurs est large ; on étudie ici un hacheur parallèle (convertisseur Boost) dont le schéma de principe est donné en figure 13.

Ce système est composé principalement d'une bobine d'inductance L et de deux interrupteurs T_r et D considérés comme idéaux. Le conducteur ohmique de résistance R modélise la batterie à charger. Un signal rectangulaire périodique de période T commande l'interrupteur T_r . Selon l'état des deux interrupteurs, on peut distinguer deux phases de fonctionnement :

- la phase active, de durée αT , lorsque l'interrupteur T_r est fermé et l'interrupteur D est ouvert ; le coefficient α désigne le rapport cyclique ;
- la phase de roue libre, de durée $(1 - \alpha)T$, lorsque l'interrupteur T_r est ouvert et l'interrupteur D est fermé.

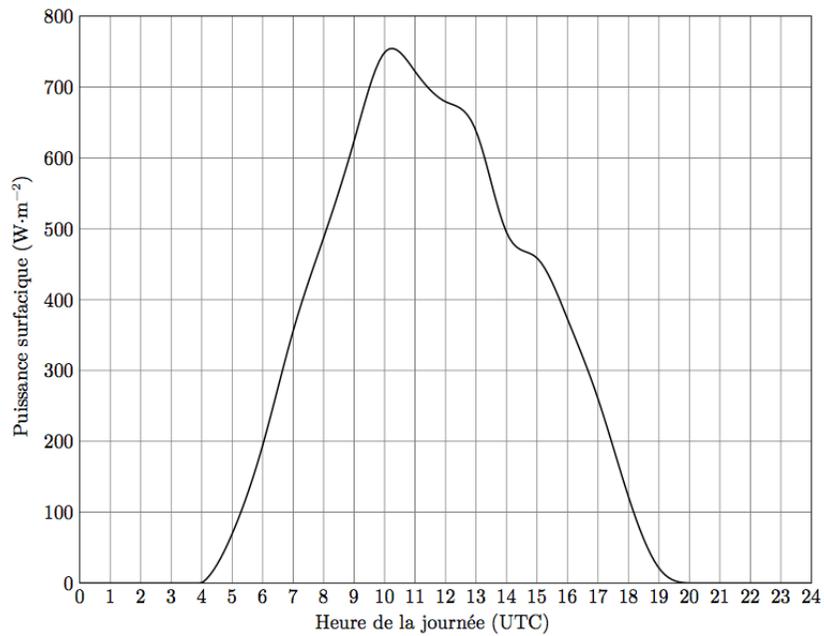


Figure 12 Puissance surfacique journalière reçue à Paris moyennée sur le mois de juillet pour une année météorologique typique, d'après <https://re.jrc.ec.europa.eu>

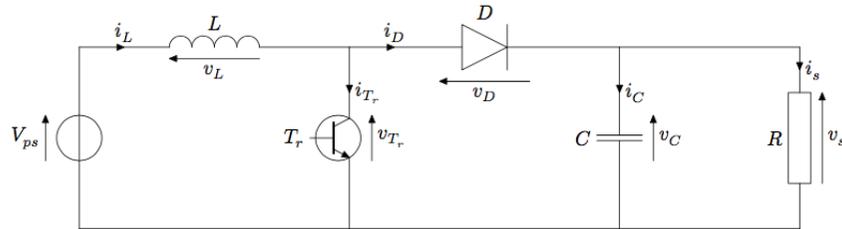


Figure 13 Schéma de principe d'un convertisseur Boost

Dans l'étude qui suit, nous faisons les hypothèses suivantes :

- le régime périodique est établi ;
- la tension d'alimentation V_{ps} est continue et constante ;
- la valeur de la capacité C est suffisamment grande afin de pouvoir considérer la tension de sortie v_s comme supérieure à V_{ps} .

III.B.1) Phase active $0 \leq t < \alpha T$

Q 37. On admet que $v_s > 0$. Justifier que la diode est bloquée. Représenter alors le schéma du circuit équivalent pour cette phase active supposée débuter à l'instant $t = 0$.

Q 38. En déduire l'expression de $i_L(t)$ avec pour condition initiale $i_L(t = 0) = i_{L,\min}$.

Q 39. Indiquer le temps caractéristique associé à l'ensemble résistance-condensateur. En déduire une condition sur C pour que la tension v_s puisse être considérée comme constante.

III.B.2) Phase de roue libre $\alpha T \leq t < T$

Q 40. Représenter le schéma équivalent du convertisseur Boost durant la phase de roue libre.

Q 41. On pose $i_L(t = \alpha T) = i_{L,\max}$. En déduire l'expression de $i_L(t)$ en fonction de V_{ps} , v_s , L , αT et $i_{L,\max}$.

III.B.3) Valeurs moyennes sur une période

Q 42. Déterminer deux expressions distinctes de la valeur de l'ondulation de l'intensité $i_{L,\max} - i_{L,\min}$, en fonction de α , T , L , V_{ps} et v_s .

Q 43. Représenter l'allure de l'évolution de l'intensité $i_L(t)$ sur une durée de deux périodes.

Q 44. En déduire $\langle v_L(t) \rangle$ et $\langle v_s(t) \rangle$, les valeurs moyennes sur une période des tensions $v_L(t)$ et $v_s(t)$, en fonction de V_{ps} et α .

Q 45. Justifier la dénomination de hacheur-survolteur associée au convertisseur Boost. Déterminer la valeur du rapport cyclique α pour permettre la recharge de la batterie étudiée si la tension aux bornes de l'association des panneaux solaires est de 72 V.

Données

Valeurs relatives à l'accumulateur 18650

- Capacité spécifique $Q = 2600 \text{ mA}\cdot\text{h}$
- Tension $U = 3,7 \text{ V}$
- Masse $m = 45,5 \text{ g}$
- Diamètre $d = 18 \text{ mm}$
- Hauteur $h = 65 \text{ mm}$
- Résistance interne $r = 7,7 \text{ m}\Omega$
- Capacité thermique massique $c_p = 0,73 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Conductivité thermique $\lambda = 0,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Grandeurs générales

- Masses molaires

	Li	Fe	P	C	O	H
$M \text{ (g}\cdot\text{mol}^{-1}\text{)}$	6,9	55,8	31,0	12,0	16,0	1,0

- Potentiels standards

	$\text{Li}^+/\text{Li}_{(s)}$	$\text{Li}^+/\text{LiFePO}_{4(s)}$	$\text{Li}^+/\text{LiC}_{6(s)}$
$E^\circ \text{ (V)}$	-3,0	0,6	-2,9

- Enthalpies standard de formation à 298 K

	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_{3(l)}$	$\text{CO}_{2(g)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$
$\Delta_f H^\circ \text{ (kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\text{)}$	-1165,30	-393,5	-241,8

- Constante de Faraday : $\mathcal{F} = 9,65 \times 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

- Constante universelle des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

- Dans les conditions usuelles de température et de pression, $\frac{RT}{\mathcal{F}} \ln 10 = 0,059 \text{ V}$

- Viscosité cinématique de l'air : $\nu = 1,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$

- Masse volumique de l'air dans les conditions usuelles de température et de pression : $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

- Capacité thermique massique à pression constante de l'air : $c_p(\text{air}) = 1,0 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

- Coefficient conducto-convectif de l'air dans les conditions opératoires décrites en II.A : $h_{cc} = 5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

L'onduleur classique ! comme en cours pleine onde CS 2019 PSI

IV Station de charge d'une brosse à dents électrique

La figure 9 présente une station de charge par induction d'une brosse à dents électrique. Le modèle testé bénéficie d'un indice de protection IP67 le protégeant des effets de l'immersion jusqu'à un mètre. Il n'est pas démontable, le circuit électrique alimentant la bobine primaire (1) est totalement inclus dans une résine blanche empêchant d'accéder à ses caractéristiques. Les seules mesures possibles sont réalisées aux bornes du bobinage secondaire (2) situé à la base de la brosse à dents.



Figure 9 Station de charge

IV.A – Conversion alternatif BF-continu

La station de charge est raccordée au réseau électrique local (le « secteur ») basse tension qui délivre une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace 230 V à la fréquence 50 Hz. On applique cette tension $e(t) = E \sin(\omega t)$

à l'entrée d'un pont redresseur à quatre diodes qu'on supposera idéales (figure B du document réponse). Cette sous-partie IV.A propose l'étude d'un circuit électrique pouvant alimenter le bobinage primaire.

Q 30. Calculer E .

Q 31. Représenter les quatre diodes D_1 à D_4 sur la figure B du document réponse afin que le signal $s_1(t)$ soit un redressement double alternance du signal $e(t)$.

La figure C du document réponse représente le spectre du signal $s_1(t)$ auquel il manque sa valeur moyenne.

Q 32. Ajouter cette composante moyenne sur le spectre de la figure C en justifiant votre réponse.

Q 33. Quelle est la valeur de la fréquence f_1 de la composante fondamentale du signal $s_1(t)$?

Afin d'obtenir une tension quasiment constante, on peut placer une cellule LC en sortie du pont de diodes (figure B). Le taux d'ondulation du signal de sortie est défini par $\tau_o = \frac{\Delta s_2}{\langle s_2 \rangle}$ où $\langle s_2 \rangle$ est la valeur moyenne temporelle de $s_2(t)$ et Δs_2 la tension crête à crête.

Q 34. En prenant $L = 100 \text{ mH}$, comment doit-on choisir C afin que le taux d'ondulation de $s_2(t)$ soit inférieur à 5 % ?

IV.B – Conversion continu-alternatif HF

La tension continue générée précédemment peut être convertie en un signal alternatif de haute fréquence à l'aide d'un onduleur. La structure la plus simple est celle d'un onduleur de tension monophasé « pleine onde » (figure D du document réponse). Les commutateurs commandés K_1 à K_4 sont considérés idéaux et fonctionnent de manière périodique à la fréquence $f_0 = 1/T_0$.

Q 35. Remplir le tableau de la figure E avec l'état de fonctionnement de chaque commutateur et écrire la valeur de $u_1(t)$ sur chaque demi-période.

Q 36. Écrire l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$ sur chaque demi-période.

Q 37. Déterminer la valeur maximale i_{\max} de $i(t)$ en fonction de E , r et du paramètre $\alpha = \exp\left(-\frac{rT_0}{2L}\right)$.

Q 38. Sur un même graphe, tracer les chronogrammes de la tension $u_1(t)$ et du courant $i(t)$ traversant la charge inductive dans le cas où $L/r = T_0/4$.

Q 39. Comment, en ordre de grandeur, doit-on choisir le rapport r/L afin d'avoir un courant $i(t)$ le plus proche possible d'un courant sinusoïdal sans trop perdre en amplitude ?

IV.C – Couplage par induction

L'accumulateur de la brosse à dents est de type nickel-hydrure métallique Ni – MH. Ses caractéristiques sont « 1,2 V ; 2000 mA·h ». Pour une meilleure longévité de l'accumulateur, le fabricant préconise un courant de charge de 200 mA.

Q 40. Sachant que le rendement de charge est d'environ 70 %, combien de temps dure une charge complète d'un accumulateur initialement totalement déchargé ?

Une bobine test est placée sur la station de charge. Elle est constituée d'un enroulement de 50 spires de fil de cuivre de 0,22 mm de diamètre sur un cylindre de 20 mm de diamètre. On visualise à l'oscilloscope la tension aux bornes de cette bobine (figure 10).

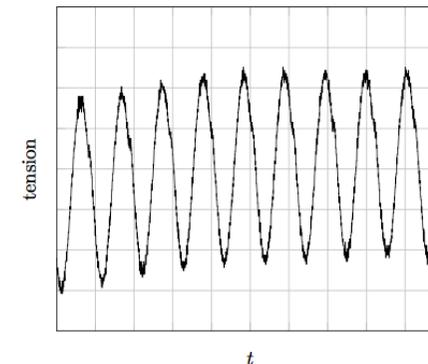


Figure 10 Enregistrement
(25 $\mu\text{s}/\text{div}$ et 50 mV/div)

Q 41. Déterminer numériquement la fréquence f_0 du signal alternatif généré lors de la conversion continu-alternatif HF ? Pourquoi est-il important que cette fréquence soit plus élevée que celle délivrée par le secteur ?

Q 42. Expliquer pourquoi il n'est pas intéressant de travailler à très haute fréquence (au voisinage du MHz par exemple). La conductivité du métal dont est faite la bobine est de l'ordre de $6 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$.

Données et formulaire

Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$
Permittivité diélectrique du vide	$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$
Charge élémentaire	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
Capacité thermique massique de l'eau liquide	$c_e = 4,2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Masse molaire de l'air sec	$M_{\text{as}} = 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Masse molaire de l'eau	$M_e = 18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Sources de l'humidité de l'air dans une pièce habitée (débit massique d'eau vapeur en $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$)

Cuisson	400 à 800
Lave-vaisselle	200 à 400
Douche	1500 à 3000
Bain	600 à 1200
Plantes	7 à 20
Être humain (selon son activité)	30 à 200

Épaisseur de peau dans un métal

L'épaisseur de peau δ , définie par la relation ci-dessous, détermine, en première approximation, l'épaisseur de la couche où se concentre le courant dans un conducteur :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \sigma \pi f}}$$

où σ désigne la conductivité du métal considéré et f la fréquence du courant.

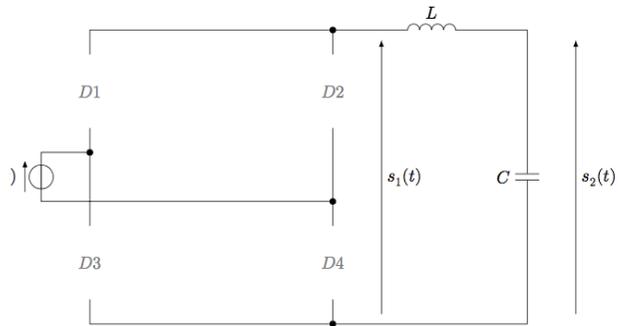


Figure B Redresseur PD2 avec filtrage par cellule LC

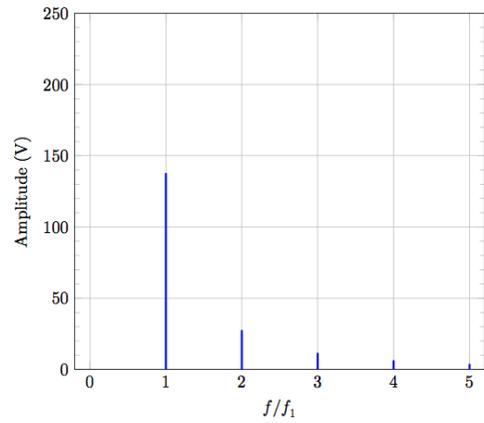


Figure C Spectre d'amplitude du signal $s_1(t)$ de fréquence f_1

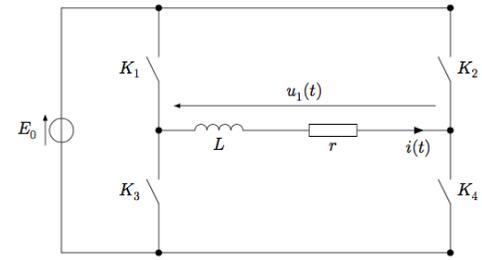


Figure D Onduleur pleine onde

	K_1	K_2	K_3	K_4	$u_1(t)$
$0 < t < T_0/2$	fermé				
$T_0/2 < t < T_0$					

Figure E

Les onduleurs de Mines Ponts

Voir aussi le sujet MLI 2017 PSI

MLI calculée dans le complément de cours

MP 2020 PSI onduleur à commande décalée

II. — Alimentation du transducteur

Pour générer les ondes sonores requises pour la lévitation acoustique, il est nécessaire d'alimenter le transducteur avec une alimentation alternative sinusoïdale de fréquence ajustable.

On dispose d'une source de tension continue de force électromotrice constante positive E et on utilise le montage de la figure 2 pour effectuer la conversion d'énergie souhaitée.

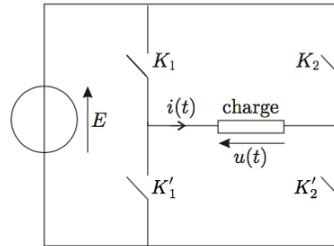


FIGURE 2 – Dispositif de conversion.

□ 18 — Quel est le nom de ce convertisseur ? Citer deux exemples d'applications importantes de ce type de dispositif.

□ 19 — Le fonctionnement des interrupteurs permet d'obtenir, aux bornes de la charge, la tension $u(t)$ en forme de créneaux à paliers nuls, représentée sur la figure 3. Présenter, sous la forme d'un tableau, les séquences possibles des états des interrupteurs K_1 , K_2 , K'_1 et K'_2 , dans cet ordre, permettant d'obtenir $u(t)$. Les états ouvert et fermé seront respectivement notés 0 et 1. Sur une période T , la durée totale de fermeture, ou d'ouverture, de chacun des interrupteurs est $T/2$. En justifiant physiquement la réponse, que peut-on dire des états respectifs des interrupteurs de chacun des couples (K_1, K'_1) et (K_2, K'_2) .

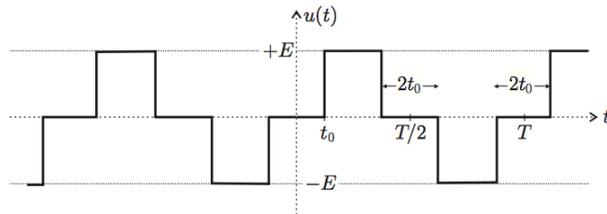


FIGURE 3 – Tension $u(t)$ aux bornes de la charge.

Le développement en série de Fourier du signal $u(t)$, de période $T = \frac{2\pi}{\omega}$, est donnée par

$$u(t) = \sum_{p=0}^{\infty} b_{2p+1} \sin[(2p+1)\omega t] \quad \text{avec} \quad b_{2p+1} = \frac{4E}{(2p+1)\pi} \cos[(2p+1)\alpha] \quad \text{et} \quad \alpha = 2\pi \frac{t_0}{T}$$

□ 20 — Expliquer brièvement pourquoi, un choix judicieux de l'origine des temps a permis de simplifier le développement en série de Fourier $u(t)$. Pour quelle raison peut-on savoir sans calcul que tous les termes b_{2p} avec $p \in \mathbb{N}$ sont nuls ?

Sur la figure 4 ci-dessous, sont représentées, en fonction de t_0 , les allures des quatre premiers harmoniques non nuls de $u(t)$ soit $p = 0, 1, 2$ et 3.

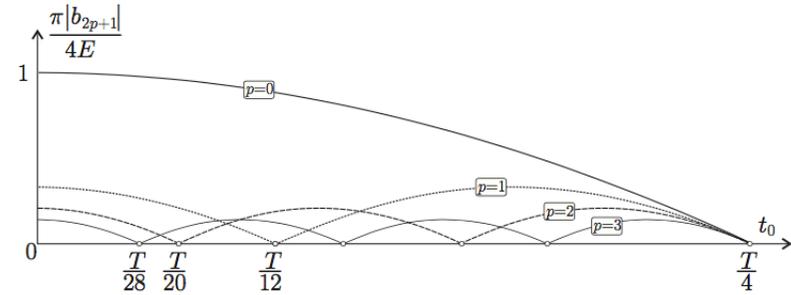


FIGURE 4 – Amplitudes des premiers harmoniques du signal $u(t)$ en fonction de t_0 .

□ 21 — Quelle valeur de t_0 pourrait-on choisir pour que la tension $u(t)$ s'approche au mieux d'un signal sinusoïdal ? Comparer alors les amplitudes de l'harmonique fondamentale ($p = 0$) et des deux premiers harmoniques non nuls restants. On commentera le résultat.

□ 22 — On définit le taux global de distorsion harmonique par

$$\tau = \frac{\sqrt{U^2 - U_f^2}}{U_f}$$

où U est la valeur efficace du signal $u(t)$ et U_f celle du fondamental. Exprimer U et U_f en fonction de E , t_0 et T puis calculer numériquement le taux de distorsion pour la valeur de t_0 choisie à la question 21. Comparer au cas d'un signal créneau sans palier nul ($t_0 = 0$).

Le taux de distorsion trouvé précédemment est trop élevé pour alimenter convenablement le transducteur et une opération de filtrage est nécessaire afin d'atténuer les harmoniques restantes du signal $u(t)$. Pour ce faire, on installe en série avec la charge supposée purement résistive et de résistance r , un dipôle fortement inductif, modélisé par une bobine idéale non résistive et d'inductance L .

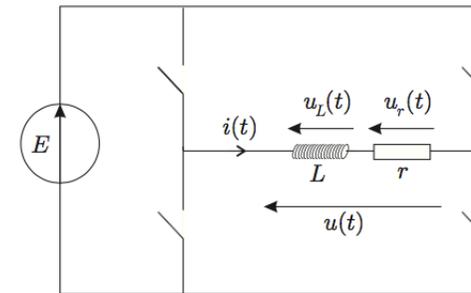


FIGURE 5 – Dispositif de conversion d'énergie et filtrage $r - L$.

□ 23 — Montrer que la tension $u_r(t)$ est le résultat d'une opération de filtrage dont on précisera la nature et la pulsation de coupure ω_c .

□ **24** — Déterminer l'expression générale de la tension $u_r(t)$ en fonction des b_{2p+1} , de ω_c et de ω .

□ **25** — On reprend la valeur de t_0 choisie à la question **21** et on règle la valeur de L de sorte que $\omega_c = \omega$. Comparer les amplitudes du fondamental et des deux premières harmoniques non nulles restantes. En déduire une forme approchée du signal $u_r(t)$ puis représenter son allure en concordance des temps avec le signal $u(t)$.