

Partie I — Modulation (EA3 PC)

1 — Modulation d'amplitude

Le montage de la figure II-1 représente schématiquement un modulateur d'amplitude; il comprend un multiplieur, qui délivre une tension de sortie $v_{s1} = k \times u_1 \times u_2$ (k étant une constante) et un sommateur qui délivre en sortie une tension v_s , égale à la somme des tensions d'entrée.

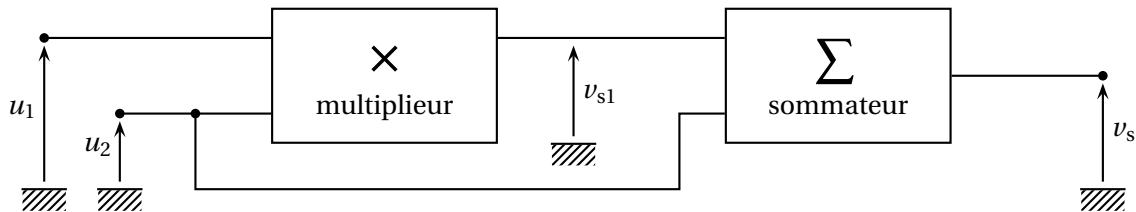


FIGURE II-1 – Schéma du modulateur d'amplitude

Les tensions sont sinusoïdales : $u_1(t) = U_m \cos(\omega_m t)$ et $u_2(t) = U_0 \cos(\omega_p t)$, avec $\omega_p \gg \omega_m$. La tension $u_1(t)$ est appelée « signal modulant » et $u_2(t)$ « signal de porteuse ».

1. Montrer que la tension de sortie $v_s(t)$ peut s'écrire sous la forme

$$v_s(t) = U_0 \cos(\omega_p t) [1 + m \cos(\omega_m t)]$$

et déterminer m en fonction de k et U_m .

2. Représenter graphiquement, de façon schématique, la tension $v_s(t)$, en supposant que $m < 1$.

2 — Modulation de phase — Méthode d'Armstrong

Pour certaines applications, il est souhaitable de moduler la phase du signal de porteuse, pour obtenir une tension de la forme $v_p(t) = U_0 \cos[\omega_p t + m \cos(\omega_m t)]$.

Une approche, imaginée par l'inventeur E. ARMSTRONG en 1933, permet très simplement d'obtenir un signal de ce type (pour les faibles modulations) en modifiant légèrement le montage de la figure II-1. Dans toute la suite, le taux de modulation m vérifie $m \ll 1$.

3. Montrer que le signal de porteuse modulée en phase peut s'écrire

$$v_p(t) \approx U_0 \cos(\omega_p t) + f(t) \sin(\omega_p t)$$

où $f(t)$ sera exprimée en fonction de m , U_0 , ω_m et t .

Pour obtenir la tension $v_p(t)$, un opérateur « Dp » est introduit dans le montage, comme indiqué sur la figure II-2.

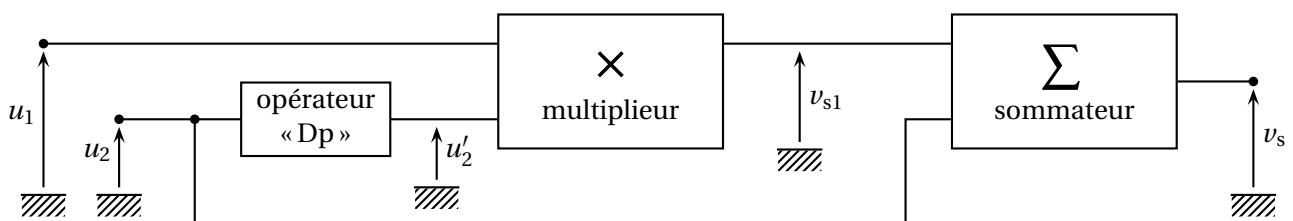


FIGURE II-2 – Schéma du modulateur de phase

Les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ sont inchangées par rapport à la sous-partie 1.

4. Quelle doit être la tension $u'_2(t)$ en sortie de l'opérateur « Dp » pour obtenir $v_s(t) = v_p(t)$, le taux de modulation m restant inchangé par rapport à sa valeur de la question 1 ?

Quelle transformation l'opérateur « Dp » doit-il réaliser sur la tension $u_2(t)$?

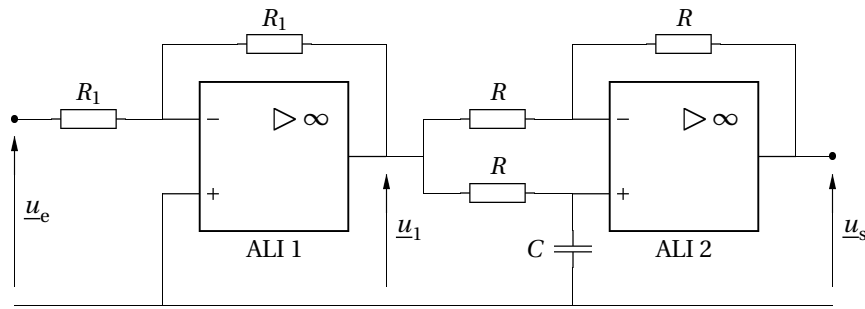


FIGURE II-3 – Opérateur « Dp »

3 — Réalisation de l'opérateur « Dp »

Le montage étudié pour réaliser l'opérateur « Dp » est représenté sur la figure II-3.

Les ALI sont idéaux et fonctionnent en régime linéaire. Les tensions sont sinusoïdales de pulsation ω ; les grandeurs soulignées indiquées sur la figure II-3 désignent les représentations complexes de ces tensions.

5. Exprimer la tension $\underline{u}_1$ en fonction de la tension $\underline{u}_e$.

Préciser le rôle de l'ensemble formé de l'ALI 1 et les deux résistances identiques de valeur R_1 .

6. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}_1(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{u}_1}$ en fonction de R , C et ω .

En déduire la fonction de transfert globale du montage $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{u}_e}$.

7. Montrer que le seul effet de cet opérateur est d'introduire un déphasage φ_D entre la sortie $u_s(t)$ et l'entrée $u_e(t)$. Exprimer φ_D en fonction de R , C et ω .

8. Comment doit-on choisir le produit RC , en fonction de ω_p , pour que l'opérateur de la figure II-2 délivre effectivement le signal modulé en phase $v_p(t)$?

Formulaire

$$\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b \quad \sin(a+b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a$$

$$\cos p + \cos q = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right) \quad \sin p + \sin q = 2 \cos\left(\frac{p-q}{2}\right) \sin\left(\frac{p+q}{2}\right)$$

Partie II — Utilisation de panneaux solaires : conversion de puissance (Centrale PSI)

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 I-1.

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.

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} .

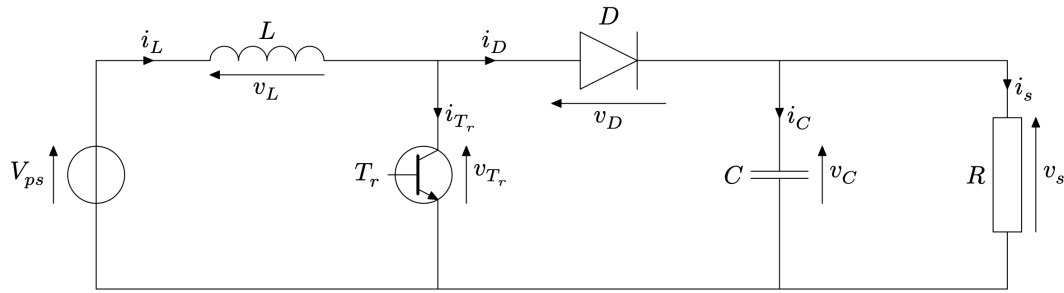


FIGURE I-1 – Schéma de principe d'un convertisseur Boost

1 — Préliminaire

1. Quel type de source permet de décrire l'association série du générateur de tension V_{ps} et de la bobine d'inductance L ?

Quel type de source permet de décrire l'association parallèle de la résistance R et du condensateur de capacité C ?

2. Justifier pourquoi les interrupteurs T_r et D ne peuvent pas être fermés simultanément.

Justifier pourquoi les interrupteurs T_r et D ne peuvent pas être ouverts simultanément.

2 — Phase active $0 \leq t < \alpha T$

3. 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 $t = 0$.

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

5. 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.

3 — Phase de roue libre $\alpha T \leq t < T$

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

7. 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 $i_{L,\max}$.

4 — Valeurs moyennes sur une période

8. 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 .

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

10. 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 .

11. 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.

5 — Point de vue énergétique

12. Déterminer la puissance moyenne $\langle P_L \rangle$ reçue par la bobine au cours du fonctionnement du convertisseur. Comment peut-on alors décrire le rôle de la bobine dans les deux phases du fonctionnement d'un point de vue énergétique ?

13. Établir l'expression de la puissance moyenne $\langle P \rangle$ fournie par la source de tension V_{ps} en fonction de $i_{L,\max}$, $i_{L,\min}$ et V_{ps} .

14. On dit que le convertisseur Boost fonctionne en mode continu si le courant dans l'inductance ne s'annule jamais sur une période de commutation.

En déduire l'expression de la puissance minimale $P_{\min}$ fournie par le générateur pour que le convertisseur fonctionne en mode continu. On exprimera le résultat en fonction de α , T , L , et V_{ps} .