Ce problème est constitué de quatre parties A,B,C et D. Les parties A,B et C sont indépendantes. La partie D utilise les résultats des parties A,B et C.
Dans toute la suite on désigne par X une grandeur constante, et par x une grandeur instantanée.

L'objectif de ce problème est la réalisation d'une alimentation Continu-Continu à découpage.
La structure de puissance est constituée d'un hacheur série présenté figure 1.

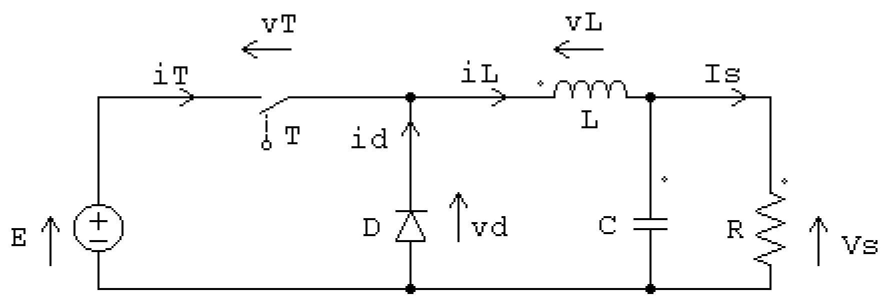


Figure 1 : schéma du hacheur série

<u>Description des divers éléments :</u>

- T représente un interrupteur totalement commandé (transistor de puissance) et D une diode dite « de roue libre ». Dans toute la suite du problème, T et D seront supposés parfaits :
    - pertes nulles,
    - équivalents à un court-circuit à l'état passant,
    - équivalents à un circuit ouvert à l'état bloqué.
- La résistance R symbolise la charge du hacheur.
- L et C sont respectivement l'inductance et la capacité d'une bobine et d'un condensateur constituant le filtre de sortie du hacheur.
- E est une source de tension continue.

<u>Commande de l'interrupteur T :</u>
La commande de T est réalisée en Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) à fréquence $F_d = \frac{1}{T_d}$ fixe.

Durant une période de découpage T_d :

- T est commandé pendant un intervalle de temps t_{on} : il est alors passant.
- T est maintenu bloqué pendant $T_d - t_{on}$.

On désigne par le terme : « **rapport cyclique** » le nombre sans dimension défini par : $\alpha = \frac{t_{on}}{T_d}$. La figure 2 donne une représentation de ce principe.

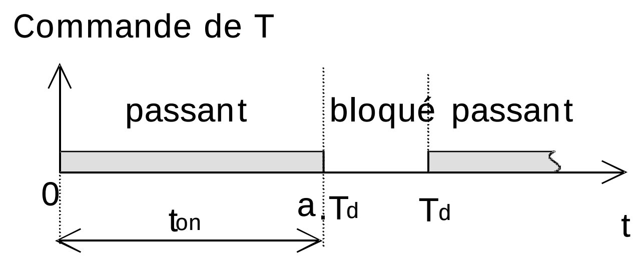


Figure 2 : Commande de T

PARTIE A : ETUDE DU HACHEUR.

Dans toute cette partie, on considère que la tension d'alimentation E et la tension de sortie Vs sont **rigoureusement constantes**.
Par ailleurs, on se place en régime de conduction continue, c'est à dire que le **courant I_L dans L ne s'annule jamais** au cours d'une période de découpage. Toutes les grandeurs sont étudiées en régime permanent et sont donc périodiques, de période T_d.

A.1 – On amorce T à l'instant t = 0 et le rapport cyclique est $\alpha = 0{,}75$.

A.1.1. – Montrer que la diode D est bloquée si T est passant.

A.1.2. - Sur l'intervalle de temps $[0, \alpha.T_d]$ dessiner le schéma du hacheur en ne faisant figurer que les composants traversés par un courant non nul.

A.1.3. - Exprimer littéralement le courant $I_L(t)$ circulant dans L en prenant comme condition initiale $I_L(0) = I_{min}$ (valeur minimale), sans oublier que Vs est constante.

A.1.4. - Sur l'intervalle de temps $[\alpha.T_d, T_d]$ dessiner le schéma du hacheur en ne faisant figurer que les composants traversés par un courant non nul.

A.1.5. - Exprimer littéralement le courant $I_L(t)$ circulant dans L en prenant comme condition initiale $I_L(\alpha.T_d) = I_{max}$ (valeur maximale).

A.1.6. – Sur deux périodes de découpage, représenter les formes d'ondes de :

- v_T , i_T,
- v_D , i_D,
- v_L , i_L.

A.2 – A partir des formes d'ondes du A.1.6., exprimer la valeur de la tension de sortie V_s en fonction de α et de E (α quelconque).

A.3 – Exprimer l'ondulation de courant dans L ($\Delta I = I_{max} - I_{min}$) en fonction de E, T_d, L et α.

A.4 – Représenter ΔI en fonction de α. Déterminer la valeur maximale ΔI_{max} en fonction de E, T_d, L et α.

A.5 – On se place dans une configuration où :

$E = 300$ V $F_d = 20$ kHz $R = 10\ \Omega$ $\alpha = 0{,}75$.

A.5.1. – Calculer numériquement Vs .

A.5.2. – Calculer la valeur à donner à L pour que l'ondulation de courant ΔI (pour $\alpha = 0{,}75$) représente 5 % du courant dans R.

A.5.3 .

A.5.3.1. - Préciser les valeurs minimales et maximales des courants dans T et D et des tensions à leurs bornes.

A.5.3.2. - Calculer les valeurs moyennes des courants dans T et D en négligeant l'ondulation de courant ΔI (On ne considère que la valeur moyenne du courant dans L).

A.5.3.3. - Calculer les valeurs efficaces des courants dans T et D en négligeant l'ondulation de courant ΔI.

A.5.4. - Calculer la puissance P_s délivrée à la charge.

A.5.5. - En tenant compte des imperfections des divers composants, il vient que les pertes totales dans le hacheur s'élèvent à 560 W. Calculer le rendement η du hacheur.

PARTIE B : ETUDE DE L'ENSEMBLE FILTRE DE SORTIE ET CHARGE.

Du point de vue de sa sortie, le hacheur est assimilable à un générateur de tension créneau débitant sur un filtre R,L,C. Pour cette partie, on utilisera donc le schéma de la figure 3.
On désigne par p la variable de Laplace.

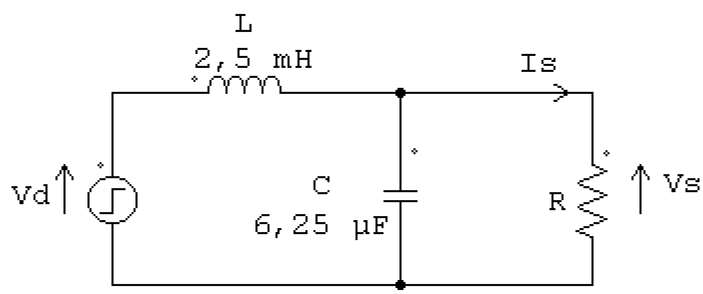


Figure 3 : Filtre de sortie.

B.1 – Déterminer la fonction de transfert : $H_s(p) = \dfrac{V_s(p)}{V_d(p)}$ en fonction de R, L et C, $V_s(p)$ et $V_d(p)$ représentant les transformées de Laplace de $v_s(t)$ et $v_d(t)$ respectivement.

B.2 –Diagrammes de Bode.

B.2.1. - Mettre $H_s(p)$ sous forme canonique : $H_s(p) = \dfrac{K_s}{1 + \dfrac{2.m.p}{\omega_o} + \dfrac{p^2}{\omega_o^2}}$ où :

- K_s désigne le gain statique,
- m désigne le coefficient d'amortissement,
- ω_o désigne la pulsation propre du système non amorti.

Par ailleurs, on défini ω_r comme la pulsation pour laquelle le gain $20.\log(\|H_s(j.\omega_r)\|)$ est maximum dans le cas où il apparaît une résonance. Cette pulsation est donnée par la relation suivante : $\omega_r = \omega_o.\sqrt{1-2.m^2}$.

B.2.2. – Pour quel domaine de variation de m apparaît une résonance ?

B.2.3. – Exprimer les trois coefficients K_s, m et ω_o en fonction de R, L et C, puis calculer numériquement ω_o.

Pour une variation de la résistance de charge R, calculer m et ω_r et remplir le tableau suivant :

R (Ω)	30	60	100
M			
ω_r (rad/s)			

B.2.4. – Pour R = 10 Ω (charge nominale), factoriser le dénominateur de $H_s(p)$ sous la forme : $(1+\tau_1.p)(1+\tau_2.p)$. Déterminer numériquement τ_1 et τ_2 .

B.2.5. – Pour R = 100 Ω et R = 10 Ω, représenter les diagrammes asymptotiques de Bode (gain et phase) de $H_s(p)$ sur la feuille de papier semi-log fournie.

B.2.6. – Pour ces mêmes valeurs de résistances, esquisser l'allure des courbes de gain et de phase réelles (sur la même feuille que celle supportant les courbes asymptotiques). On notera en particulier la valeur maximale de gain (en dB) obtenue pour R = 100 Ω.

B.3 – On se place dans le cas où R = 10 Ω. La tension $v_d(t)$ est un signal carré périodique de période T_d, d'amplitude E = 300 V et de rapport cyclique α. La figure 4 donne une représentation de ce signal.

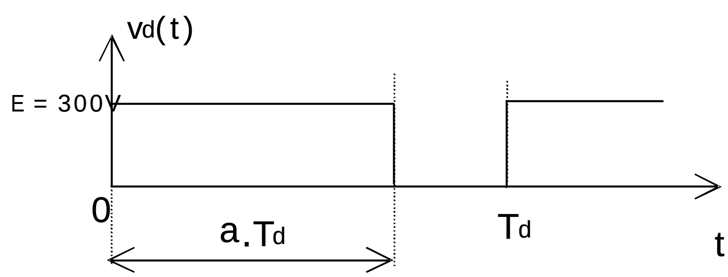


Figure 4 : Tension d'entrée $v_d(t)$

Dans l'hypothèse (**ici justifiée**), où la fréquence de découpage $F_d = 1/T_d$ est suffisamment supérieure à la fréquence propre du filtre, on peut considérer que le filtre est soumis à un échelon de tension d'amplitude α.E. ($\langle v_d(t)\rangle = \alpha.E.U(t)$ où $U(t)$ représente l'échelon unité).

B.3.1. - Placer la fréquence de découpage F_d (20 kHz) sur la feuille portant gain et phase du filtre et déterminer l'atténuation (en dB) introduite par le filtre sur la composante alternative de $v_d(t)$ à la fréquence F_d .

B.3.2. - Représenter l'allure de $v_s(t)$ (en négligeant son ondulation à la fréquence de découpage).

B.4 – Pour faire varier la valeur moyenne de v_s on agit sur la valeur du rapport cyclique α , on est ainsi amené à définir la transformée de Laplace de α notée α(p). Déterminer la fonction de transfert de l'ensemble Hacheur+Filtre : $H_H(p) = \dfrac{V_s(p)}{\alpha(p)}$ pour une résistance de 10 Ω.

PARTIE C : GENERATION DU RAPPORT CYCLIQUE.

Pour générer le rapport cyclique, on utilise un système électronique dont le schéma de principe est donné sur la figure 5.

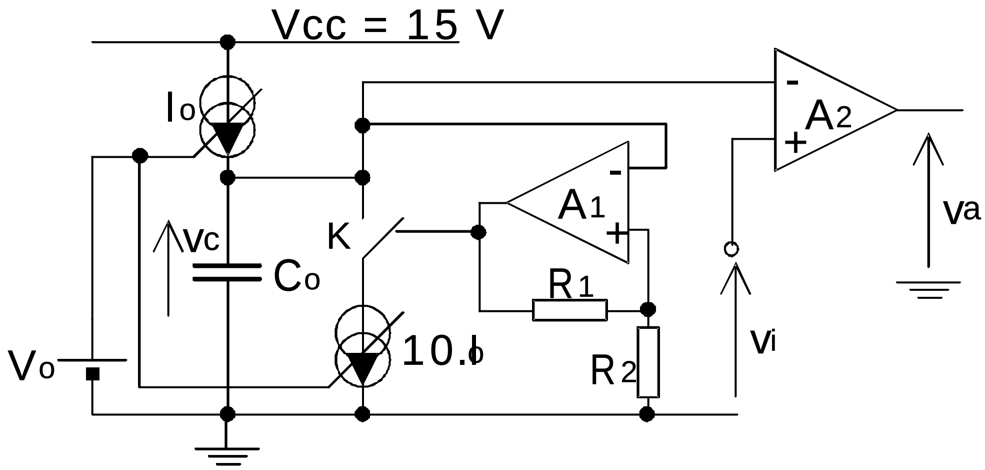


Figure 5 : Génération du rapport cyclique

Sur ce schéma, les deux générateurs de courants sont pilotés par une même tension de commande V_o selon la relation : $I_o = 10^{-3}.V_o$ (V_o en V et I_o en A). La figure 5 bis représente ce type de générateur.

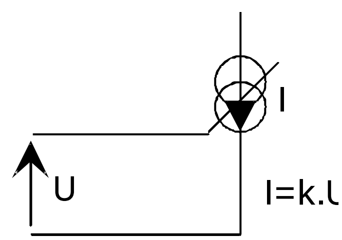


Figure 5 bis : générateur de courant commandé.

L'interrupteur K et les amplificateurs linéaires intégrés (amplificateurs opérationnels) sont parfaits.
K **est ouvert quand la sortie de A1 vaut V_{CC}, et fermé sinon.**
Pour l'amplificateur A1, on a : $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,66$.
Enfin, les tensions de sortie des amplificateurs peuvent évoluer entre 0 et V_{CC}.

C.1 – On part d'un état initial (à t = 0) où la tension v_c aux bornes du condensateur est nulle et la sortie de A1 vaut V_{cc}.

C.1.1. – Quelle fonction assure A1 ?

C.1.2. - Représenter la tension de sortie de A1 et $v_c(t)$ sur deux périodes consécutives à partir de cet instant.

C.2 – On veut que la fréquence de $v_c(t)$ soit F_d = 20 kHz. Quelle valeur doit on donner à C_o si la tension de commande V_o vaut 1 V ?

C.3 – Représenter sur le même graphe la tension de sortie du montage $v_\alpha(t)$ et $v_c(t)$ pour une tension de contrôle V_i = 7,5 V.

C.4 – Le transistor (T) du hacheur est commandé à la fermeture (état passant) quand $v_\alpha = V_{CC}$ et bloqué quand $v_\alpha = 0$. Déterminer la relation liant le rapport cyclique α à la tension de contrôle V_i. Représenter α en fonction de v_i pour v_i variant de 0 à 10 V.

C.5 – En déduire l'expression de la fonction de transfert : $H_c(p) = \dfrac{\alpha(p)}{V_i(p)}$, $\alpha(p)$ et $V_i(p)$ représentant les transformées de Laplace de $\alpha(t)$ et $v_i(t)$ respectivement.

C.6 – Etude du générateur de courant $10.I_o$.
Le schéma de principe de ce générateur de courant est donné sur la figure 6. Compte tenu de tout ce qui précède, calculer la valeur à donner à R_o. (L'amplificateur est parfait et V_o = 1V)

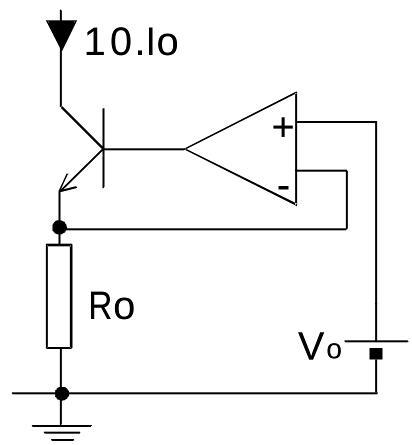


Figure 6 : Générateur de courant 10.I$_o$

PARTIE D : CONTROLE DE LA TENSION DE SORTIE V_S AUX BORNES DE LA CHARGE.

La structure globale du système est représentée sur la figure 7.

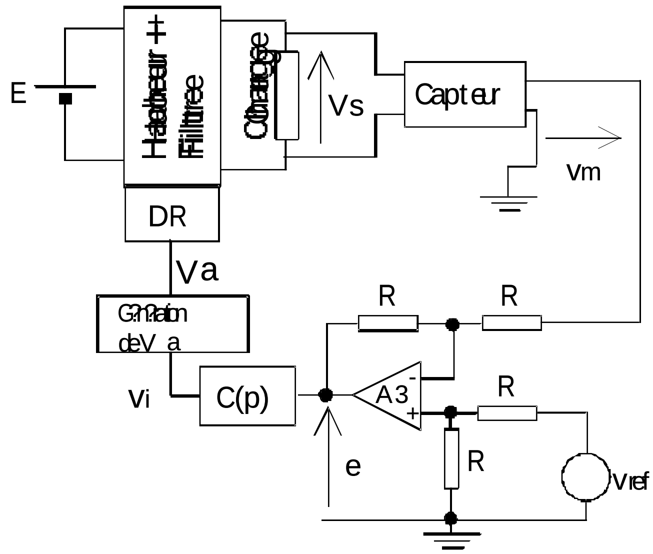


Figure 7 : Schéma de l'ensemble

Le « driver » DR de l'interrupteur T est un amplificateur destiné à assurer l'interface entre l'électronique de contrôle et le transistor à proprement parlé.
DR est supposé parfait et de gain unitaire.
La mesure de V_s s'effectue au moyen d'un capteur de tension isolé, dont la fonction de transfert est : $H_{cap} = \dfrac{V_m(p)}{V_s(p)} = \dfrac{K_m}{1+\tau_m.p}$ avec : K_m = 0,01 et τ_m = 80 µs.
Tous les amplificateurs opérationnels sont parfaits.
D.1 – Quelle fonction réalise l'amplificateur A3 ? Déterminer la relation donnant e(t) en fonction de $v_m(t)$ et v_{ref}.

D.2 – Présenter l'ensemble du système sous forme de schéma-bloc, en faisant clairement apparaître les différentes fonctions de transfert :

- L'ensemble hacheur+filtre ($H_h(p)$),
- le driver D,
- la génération du rapport cyclique ($H_c(p)$),
- le bloc de fonction de transfert C(p) appelé correcteur,
- le soustracteur,
- le capteur de tension.

L'entrée du système sera $V_{ref}(p)$ et la sortie $V_s(p)$.

D.3 – Calculer la fonction de transfert de la chaîne direct en supposant C(p) = k.

D.4 – Calculer alors la fonction de transfert en boucle fermée : $H_{BF} = \dfrac{V_s(p)}{V_{ref}(p)}$.

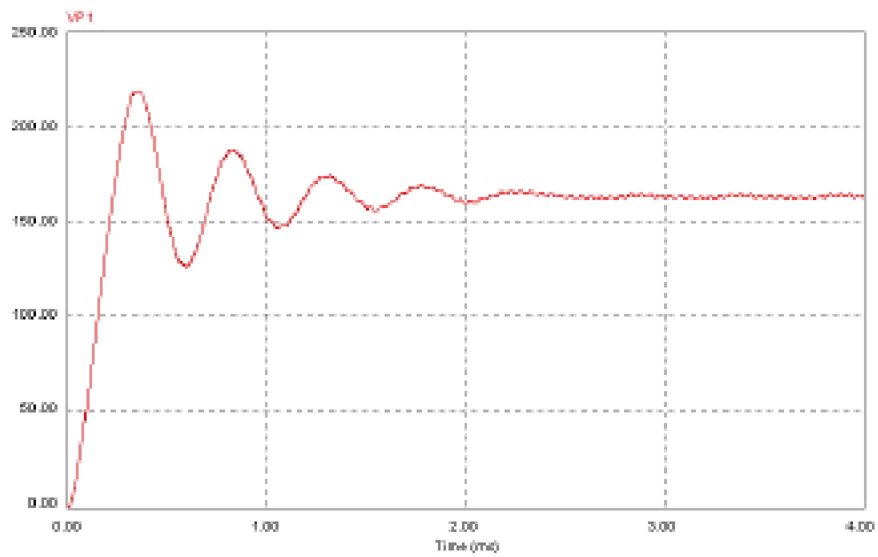
D.5 – On applique en entrée v_{ref} , un échelon d'amplitude 2 V. La résistance de charge vaut 10 Ω.

D.5.1. – Quelle devrait être la valeur de la tension de sortie v_s en régime permanent, si l'asservissement ne présentait pas d'erreur statique ?

D.5.2. – La figure 7 présente une simulation du système avec une correction proportionnelle : C(p) = k. A partir de cette figure, déterminer :

- L'erreur statique,
- Le temps de réponse à 5 % de la valeur finale,
- La valeur de k utilisée dans cette simulation.

Remarque : Compte tenu de l'échelle du tracé, on ne demande que des valeurs approchées, mais la démarche permettant de déterminer ces valeurs devra être clairement expliquée.



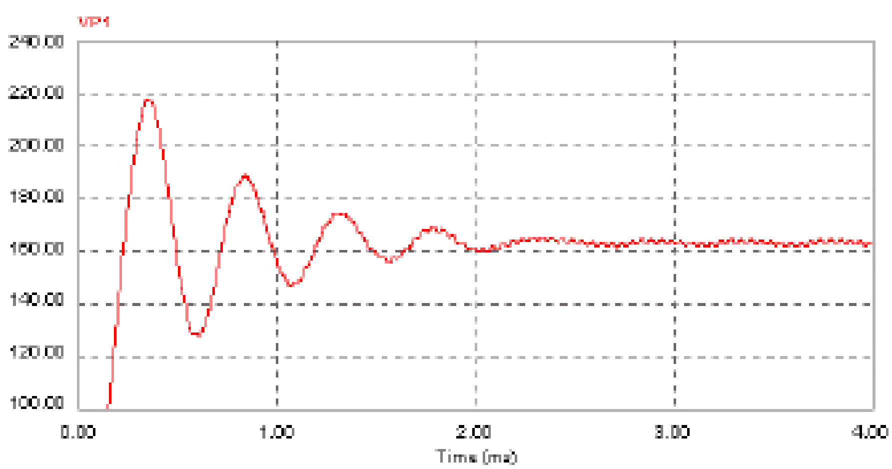


Figure 8 : Simulation du système : Tension Vs(t)

D.5.3. – Avec quel type de correcteur pourrait-on annuler l'erreur statique ?