

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons procéder à la modélisation et l'analyse du convertisseur série parallèle (Buck-Boost) en boucle ouverte. Il sera question en premier temps de présenter le modèle statique du convertisseur en se basant sur la technique dite : Inductance Second Balance, Capacitor Charge Balance qui considère que la tension moyenne dans une bobine est nulle, le courant moyen dans d'une capacité est nul et les perturbations sont négligeables. Ensuite nous allons développer le modèle dynamique du Buck-Boost afin de calculer les fonctions de transferts pour décrire son comportement temporel et fréquentiel.

II.2. Modélisation du Convertisseur DC-DC Buck-Boost (Hacheur série parallèle) :

Dans cette partie, nous allons développer le modèle statique et dynamique d'un hacheur série-parallèle (Buck-Boost). La figure (II.1) illustre le schéma électrique du convertisseur. Il est basé sur deux interrupteurs (mosfet et diode) qui fonctionnent en complémentaire durant une période, un filtre LC et une résistance prise comme une charge [1].

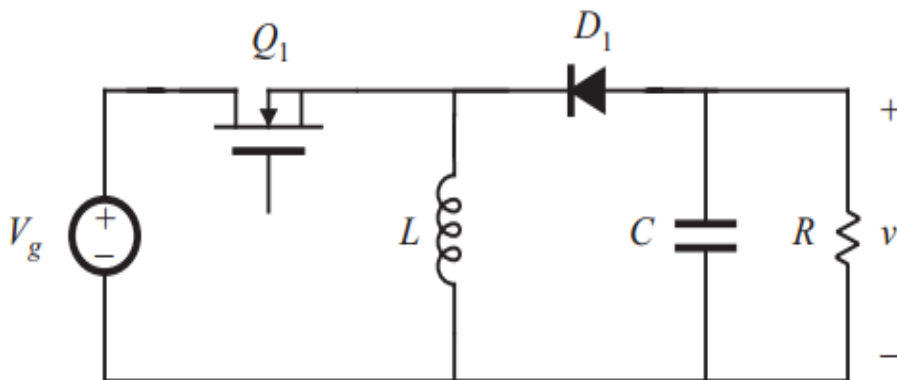


Figure. II. 1 : Convertisseur série-parallèle (Buck-Boost)

II.1.1. Modelé Statique :

Supposons que les interrupteurs sont idéaux, alors le convertisseur peut être représenté comme suite :

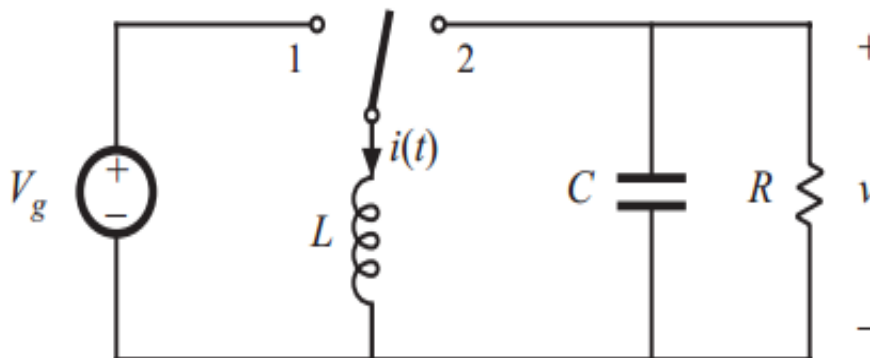


Figure. II. 2 : Convertisseur série-parallèle (Buck-Boost) idéal

Le mode de fonctionnement durant une période :

$0 < t < DT_s$ Interrupteur 1 fermée

$DT_s < t < T_s$ Interrupteur 2 fermée

Avec : D= rapport cyclique

Afin d'établir les équations qui décrivent le fonctionnement de l'hacheur, nous allons se baser sur la technique qui considère que les ondulations sont négligeables (Small Ripple Approximation), que la valeur moyenne de la tension au borne du l'inductance durant le régime permanent est nulle, et que la valeur moyenne du courant dans le condensateur est nulle. Cette technique est connue sous le nom « Inductance Second Balance, Capacitor Charge Balance » [3].

durant l'intervalle : $0 < t < DT_s$

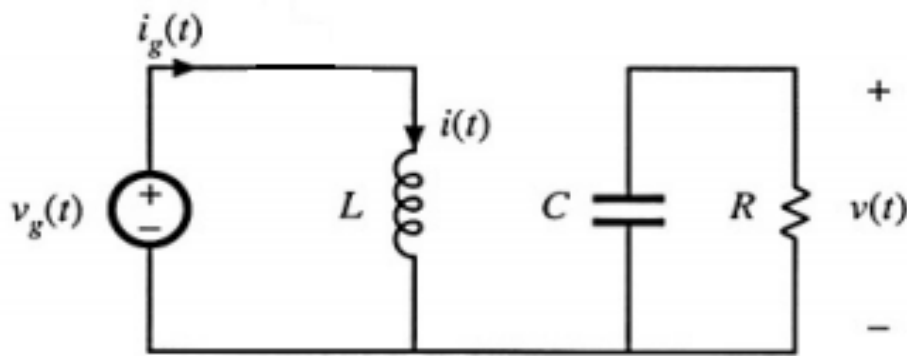


Figure. II. 3 : Convertisseur série-parallèle (Buck-Boost) idéal

Pendant le premier intervalle en développe les deux équations « V_L, I_c ».

$$v_L = v_g \tag{II.1.1}$$

$$i_c = -\frac{v}{R} \tag{II.2.1}$$

$$i_g = i_L \tag{II.2.2}$$

En négligeant les perturbations les équations Eq(II.7.1) et Eq(II.6.1) deviendront :

$$V_L = V_g \tag{II.1.2}$$

$$I_c = -\frac{V}{R} \tag{II.2.3}$$

$$I_g = I_L \tag{II.2.4}$$

durant l'intervalle : $DT_s < t < T_s$

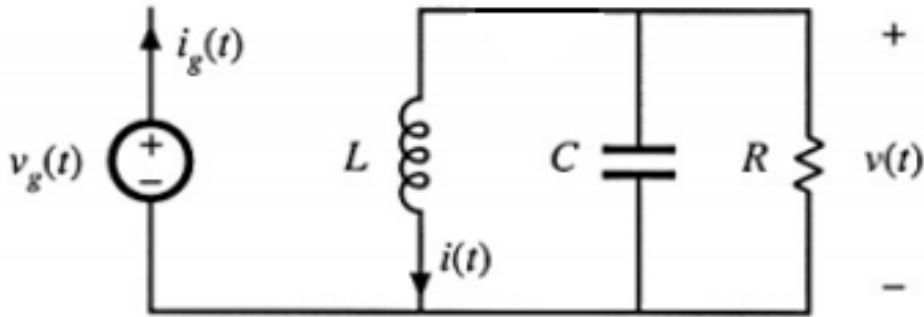


Figure. II. 4 : Interrupteur est en position 2

Pendant le deuxième intervalle en développe les deux équations « V_L, I_c ».

$$v_L = v \tag{II.3.1}$$

$$i_c = -i_L - \frac{v}{R} \tag{II.4.1}$$

$$i_g = 0 \tag{II.4.2}$$

En négligeant les perturbations les équations deviendront :

$$V_L = V \tag{II.3.2}$$

$$I_c = -I_L - \frac{V}{R} \tag{II.4.3}$$

$$I_g = 0 \tag{II.4.4}$$

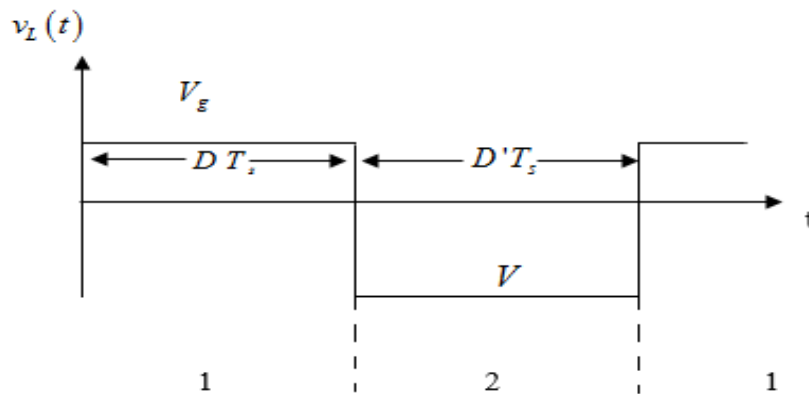
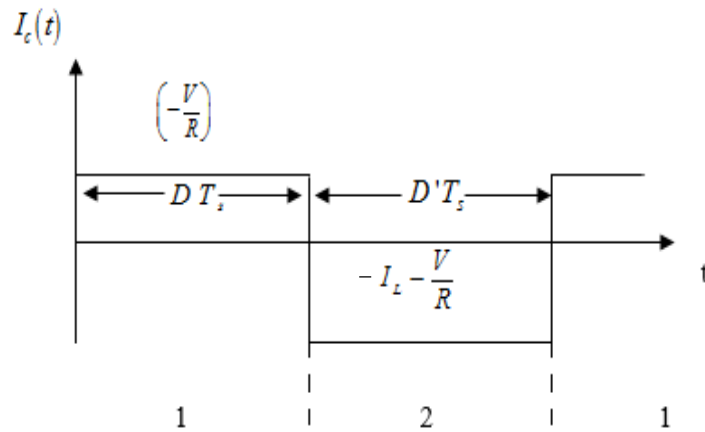


Figure. II. 5 : Forme d'onde de la tension au borne de l'inductance « V_L »

Figure. II. 6 : Forme d'onde de courant qui circule dans la capacité « I_c »

Appliquant la technique de « Capacitor Charge Balance and Inductance Second Balance ».

$$\langle V_L \rangle = 0 = \frac{1}{T_s} [DT_s \times V_g + D'T_s \times V] \quad (\text{II.5.1})$$

$$V = -\frac{D}{(1-D)} V_g \quad (\text{II.5.2})$$

$$\langle I_c \rangle = 0 = \frac{1}{T_s} \left[DT_s \times \left(-\frac{V}{R} \right) + (1-D) \times T_s \left(-I - \frac{V}{R} \right) \right] \quad (\text{II.6.1})$$

$$I = \frac{V}{(1-D) \times R} \quad (\text{II.6.2})$$

II.1.2. Modèle dynamique

D'un point de vue dynamique, il est nécessaire de linéariser notre système autour d'un point de fonctionnement (Small signal analysis). Les grandeurs du convertisseur sont définies comme suite [3]:

$$\left. \begin{aligned} v_g(t) &= V_g + \tilde{v}_g(t) \\ d(t) &= D + \tilde{d}(t) \\ v(t) &= V + \tilde{v}(t) \\ i_L &= I_L + \tilde{i}(t) \\ v_L(t) &= V_L + \tilde{v}(t) \\ i_c(t) &= I_c + \tilde{i}(t) \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.7})$$

D'après l'analyse du convertisseur en régime statique on peut écrire :

$$\langle V_L \rangle = \left[d \times (V_g) + (1-d) \times V \right] \quad (\text{II.8})$$

$$\langle I_c \rangle = \left[d \times \left(-\frac{V}{R} \right) + (1-d) \times \left(-I - \frac{V}{R} \right) \right] \quad (\text{II.8})$$

On remplace les variables définis dans l'équation (II.7), par leurs grandeurs dans les équations (II.8) et (II.9) dans on obtient les deux équations suivantes :

$$L \frac{d \langle I + \tilde{i}(t) \rangle}{dt} = \left[\left[(D + \tilde{d}(t))(V_g + \tilde{v}_g(t)) \right] + \left[(D' - \tilde{d}(t)) \times (V + \tilde{v}(t)) \right] \right] \quad (\text{II.10.1})$$

$$L \frac{d \langle I + \tilde{i}(t) \rangle}{dt} = \left[\underbrace{DV_g + D'V}_{DC_termes} \right] + \left[\underbrace{D\tilde{v}_g(t) + D'\tilde{v}(t) + \tilde{d}(t)(V_g - V)}_{Equation_1^{er_ordre}} \right] + \left[\underbrace{\tilde{d}(t)(\tilde{v}_g(t) - \tilde{v}(t))}_{Equation_2^{eme_ordre}} \right] \quad (\text{II.10.2})$$

On obtienne :

$$L \frac{d\tilde{i}(t)}{dt} = D\tilde{v}_g(t) + D'\tilde{v}(t) + (V_g - V)\tilde{d}(t) \quad (\text{II.10.3})$$

$$C \frac{d(V + \tilde{v}(t))}{dt} = -(D' - \tilde{d}(t))(I + \tilde{i}(t)) - \frac{(V + \tilde{v}(t))}{R} \quad (\text{II.11.1})$$

$$C \frac{d(V + \tilde{v}(t))}{dt} = \left[\underbrace{-D'I - \frac{V}{R}}_{DC_terme} \right] + \left[\underbrace{\left(-D'\tilde{i}(t) - \frac{\tilde{v}(t)}{R} + I\tilde{d}(t) \right)}_{Equation_1^{er_ordre}} \right] + \left[\underbrace{\tilde{d}(t)\tilde{i}(t)}_{Equation_2^{eme_ordre}} \right] \quad (\text{II.11.2})$$

$$C \frac{d\tilde{v}(t)}{dt} = -D'\tilde{i}(t) - \frac{\tilde{v}(t)}{R} + I\tilde{d}(t) \quad (\text{II.11.3})$$

$$I_g + \tilde{i}_g(t) = \left[(D + \tilde{d}(t))(I + \tilde{i}(t)) \right] \quad (\text{II.12.1})$$

$$i_g(t) = \left[\underbrace{DI}_{DC_terme} \right] + \left[\underbrace{D\tilde{i}(t) + \tilde{d}(t)I}_{Equation_1^{er_ordre}} \right] + \left[\underbrace{\tilde{d}(t)\tilde{i}(t)}_{Equation_2^{eme_ordre}} \right] \quad (\text{II.12.2})$$

$$\tilde{i}_g(t) = D\tilde{i}(t) + \tilde{d}(t)I \quad (\text{II.12.3})$$

D'après les équations (II.10.3) et (II.11.3) et (II.12.3), on peut construire le schéma canonique équivalent du modèle dynamique de l'hacheur série-parallèle (Buck-Boost) [3].

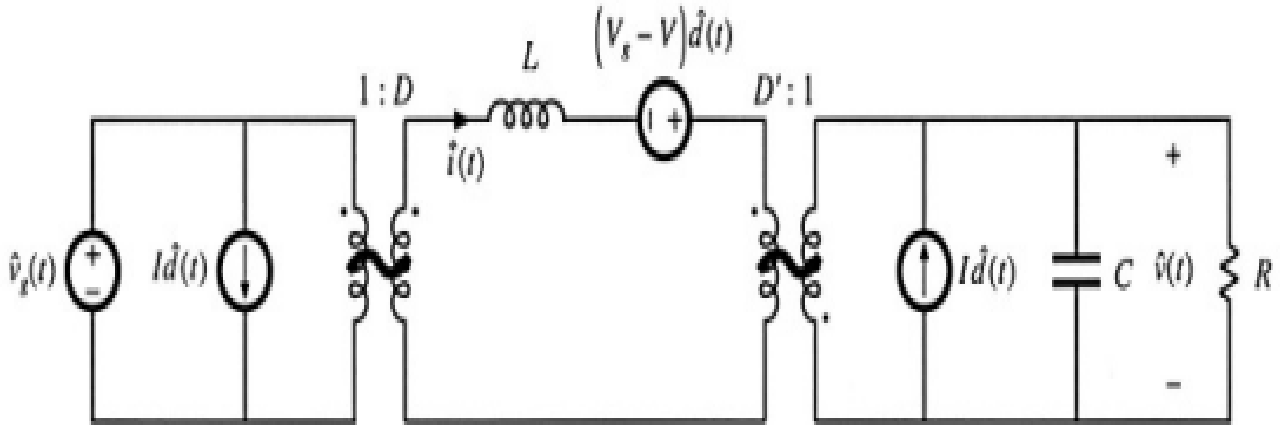


Figure. II. 7 : Schéma canonique équivalent du modèle dynamique hacheur série-parallèle idéal

II.3. Fonction De transféré Du Convertisseur :

Dans cette partie, les fonctions de transfert du convertisseur seront développées, en se basant sur le schéma canonique développé précédemment. La sortie \tilde{v} du convertisseur dépend de deux variables à savoir \tilde{d} et \tilde{v}_g .

$$\tilde{v} = G_d \tilde{d} + G_v \tilde{v}_g \tag{II.13.1}$$

$$G_d = \left. \frac{\tilde{v}}{\tilde{d}} \right|_{\tilde{v}_g=0} \tag{II.13.2}$$

$$G_v = \left. \frac{\tilde{v}}{\tilde{v}_g} \right|_{\tilde{d}=0} \tag{II.13.3}$$

$$G_{vg}(s) = \left(-\frac{D}{D'} \right) \frac{1}{1 + s \frac{L}{D'^2 R} + s^2 \frac{LC}{D'^2}} \tag{II.14}$$

$$G_{vd}(s) = \left(-\frac{V_g - V}{D'} \right) \frac{\left(1 - s \frac{LI}{D'(V_g - V)} \right)}{\left(1 + s \frac{L}{D'^2 R} + s^2 \frac{LC}{D'^2} \right)} \tag{II.15}$$

Les fonctions G_d et G_v peuvent être présentés sous la forme canonique d'un système 2^{ème} ordre .

$$G_{vg}(s) = \frac{G_{g0}}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \tag{II.16}$$

$$G_{vd}(s) = G_{d0} \frac{\left(1 - \frac{s}{\omega_z}\right)}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \tag{II.17}$$

Par identification :

$$G_{g0} = -\frac{D}{D'}, \text{ et } \omega_0 = \frac{D'}{\sqrt{LC}} ; Q = D'R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$G_{d0} = \frac{V}{DD'}, \text{ et } \omega_z = \frac{D'^2 R}{DL} ; \omega_0 = \frac{D'}{\sqrt{LC}} ; Q = D'R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

Avec : Q (facteur de puissance).

II.3.1. Résultats de simulation :

Afin de valider le modèle du convertisseur développé, nous allons procéder à un test de simulation pour étudier le comportement temporel et fréquentiel du buck-boost

Pour la simulation nous utilisons les composants des bibliothèques SimPower System et Simulink.

La figure suivante représente le modèle sur Matlab (Simpower Système) de notre convertisseur (Buck-Boost) en boucle ouvert.

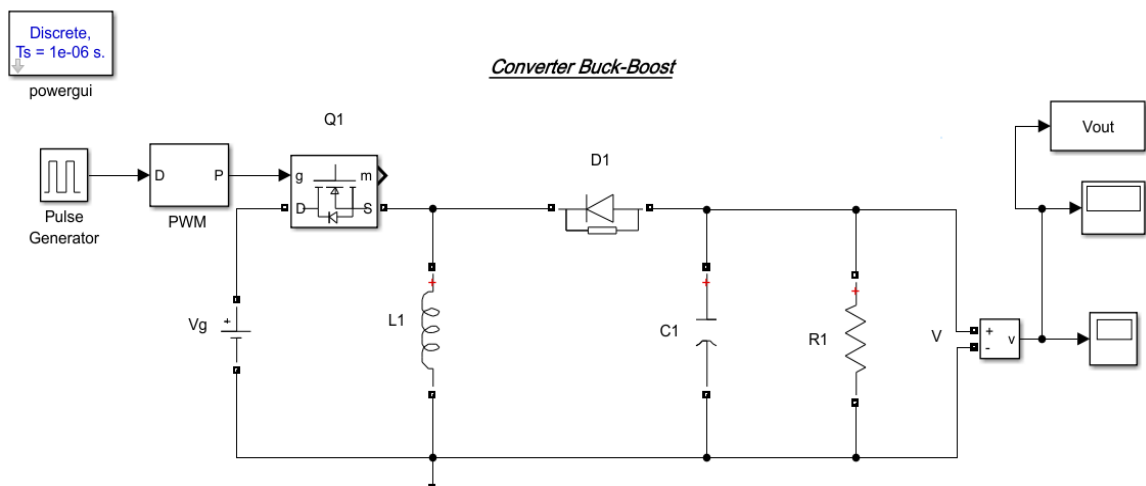


Figure. II. 8 : Convertisseur (Buck-Boost) en boucle ouvert

II.3.2. Les paramètres de l'hacheur sont :

Grandeur	V_g	R	L	C	D(rapport cyclique)
Valeur	30 v	50	1mh	470 μ F	0.6

Tableau (II.1) : Le grandeur de l'hacheur

II.3.3. La réponse temporelle :

La figure (II.9), représente l'allure de tension de sortie en fonctionnement Boost avec un rapport cyclique $D=0.6$.

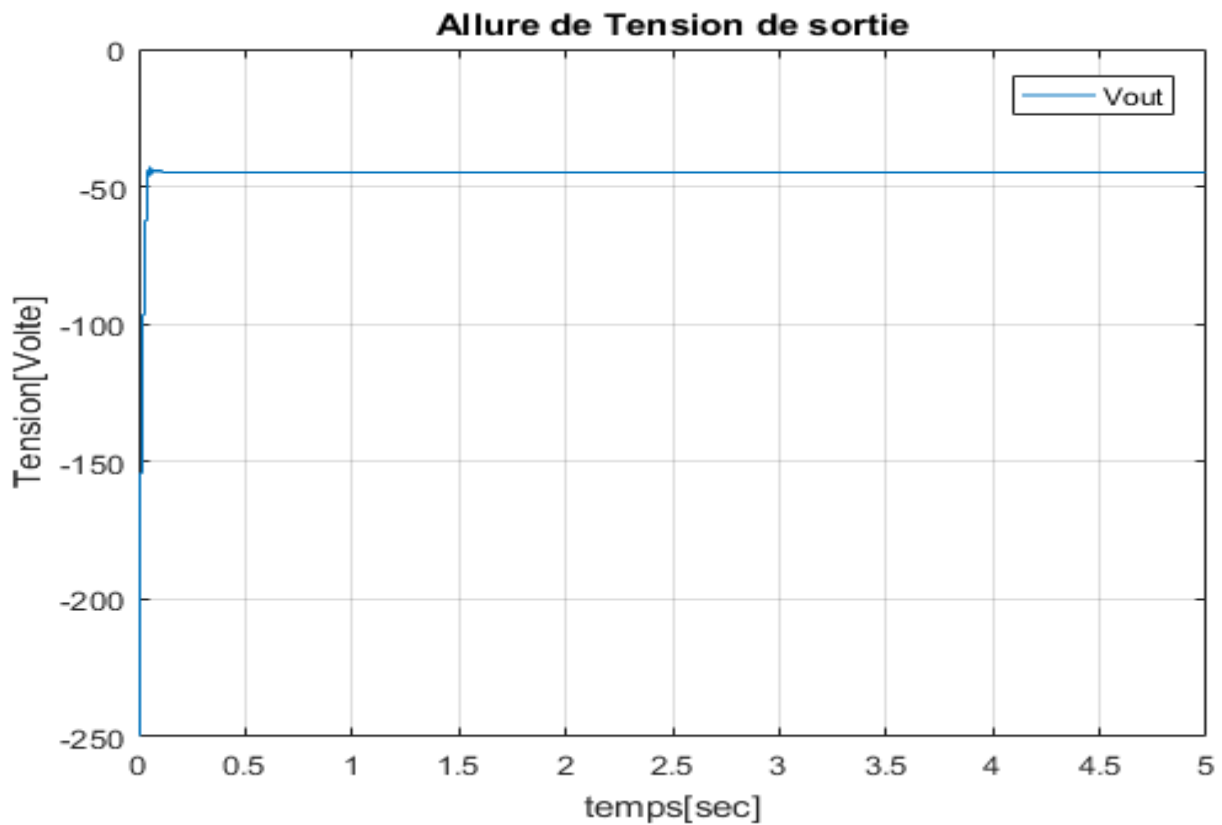


Figure. II. 9 : l'allure de tension de sortie

Puisque le rapport cyclique est supérieur à 0.5, le convertisseur fonctionne en mode boost. La tension de sortie est plus grande a tension d'entrée.

II.3.4. Diagramme de Bode des fonctions transferts du convertisseur en boucle ouvert :

La fonction de transfert $G_{vg}(s)$, exemple Boost pour rapporte cyclique $D=0.6$:

$$|G_{g0}| = \frac{D}{D'} = 1.5 \Rightarrow 3.5 \text{ dB}$$

$$|G_{d0}| = \frac{|V|}{DD'} = \frac{45}{0.24} = 187.5 \text{ V} \Rightarrow 45.8 \text{ dB}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{D'}{2\pi\sqrt{LC}} = 92.90 \text{ HZ}$$

$$Q = D'R\sqrt{\frac{C}{L}} = 13.71 \Rightarrow 26.3 \text{ dB}$$

$$f_z = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{D'^2 R}{2\pi DL} = 2.123 \text{ KHZ}$$

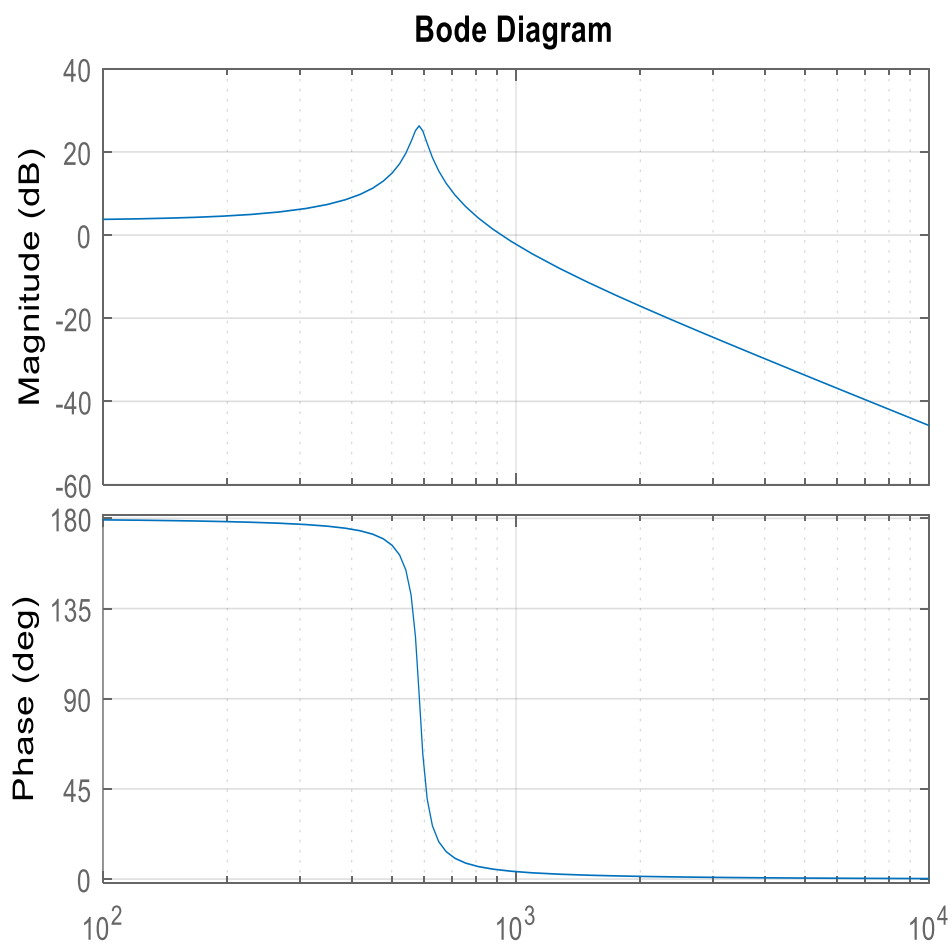


Figure. II. 10 : Diagramme de Bode de la fonction de Transfert G_{vg} en boucle ouvert du convertisseur

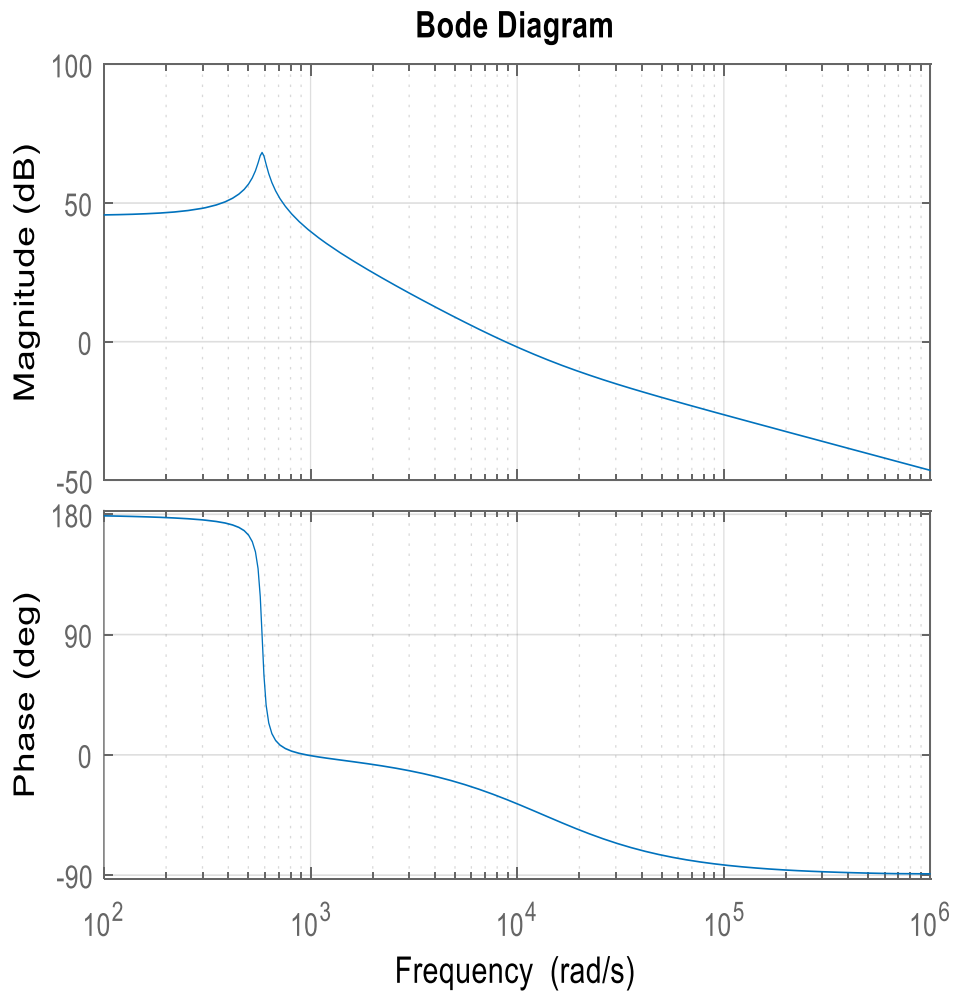


Figure. II. 11 : Diagramme de Bode de la fonction de Transfert G_{vd} en boucle ouvert du convertisseur

Le diagramme Bode de la fonction de transfert G_{vg} est tracée sur la Fig. 2.10. La fonction de transfert contient un gain continu de 3.5 dB, des pôles résonnants à 92.90Hz et un facteur de puissance Q de 26.3 dB et un zéro de fréquence de 2,123 kHz.

Le diagramme Bode de la fonction de transfert G_{vd} est tracée sur la Fig. 2.11. La fonction de transfert contient un gain continu de 45,8 dB, des pôles résonnants à 92.90Hz et un facteur de puissance Q de 26.3 dB.

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté la modélisation du convertisseur de Buck-Boost en régime statique et dynamique. L'idée principale de linéariser le système autour des points de fonctionnement « Small signal analysis » afin de développer le schéma canonique du convertisseur. Les fonctions de transferts développées on servit d'étudier le comportement temporel et fréquentiel du buck-boost.