

### III.1. Introduction :

Dans ce chapitre on s'intéresse à l'étude du convertisseur buck boost en boucle fermée. Deux types de contrôle vont être traités. La première technique concerne la commande de tension de sortie directement en fonction de rapport cyclique en se basant sur les fonctions de transfert qui relient la tension de sortie au rapport cyclique. La deuxième technique consiste à contrôler la tension de sortie tout en contrôlant le courant de switch. Cette technique est connue sous le nom commande du courant maximum ou en anglais peak mode contrôle.

### III.2. Commande de Convertisseur En Boucle Fermée :

Dans cette partie, on va essayer de commander de la tension de sortie directement en ajustant le rapport cyclique adéquat. Pour ce faire, on va se baser sur le modèle linéaire développé dans le chapitre deux.

La structure du réglage tension d'un convertisseur en boucle fermée est donnée comme suite[16] :

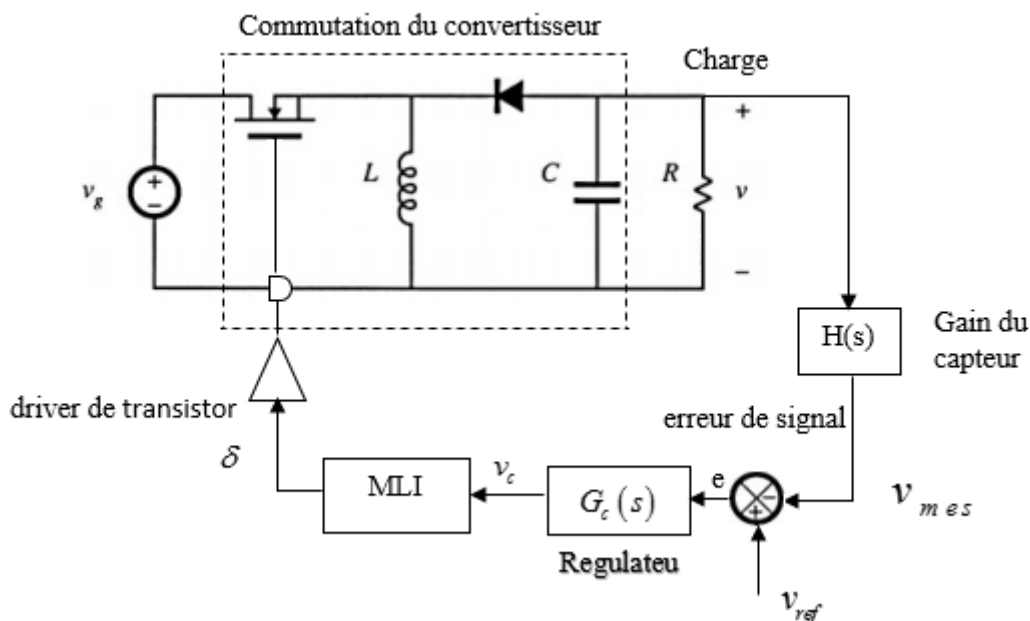


Figure. III. 1 : convertisseur Buck-Boost en boucle fermée

Le schéma bloc en boucle fermée du système est représenté par la figure suivante :

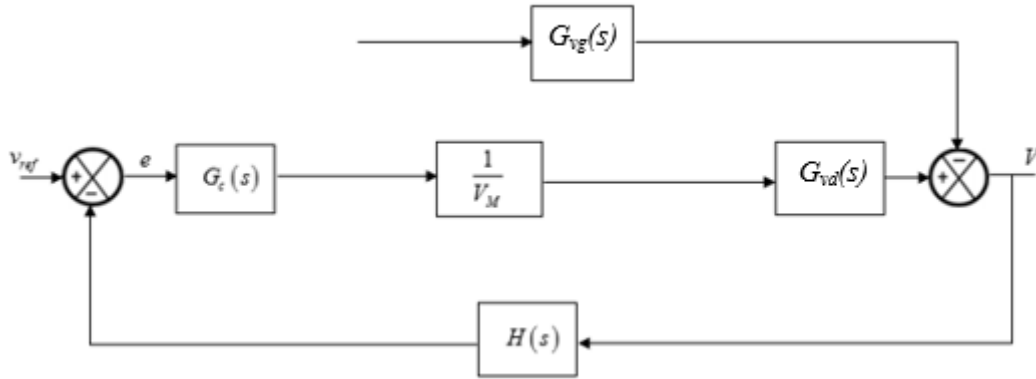


Figure. III. 2 : schéma bloc convertisseur Buck-Boost en boucle fermée

La fonction de transfert en boucle fermée du schéma bloc est :

$$G_{BF} : \tilde{v} = \frac{1}{H(s)} \frac{T_i}{1+T_i} \tilde{v}_{ref} + \frac{1}{1+T_i} \tilde{v}_g \tag{III.1}$$

Avec :  $T_i = \frac{H(s)G_c(s)G_d(s)}{V_m}$  fonction de transfert de la chaîne directe (III.2)

Si on choisit  $G_c(s)$  tel que le gain de la fonction  $T_i(s)$  est très supérieur  $\ll 1 \gg$  c'est-à-dire  $\|T_i\| \gg 1$  on peut déduire que :

$$\tilde{v} = \frac{1}{H(s)} \tilde{v}_{ref}, \text{ avec : } \begin{cases} \frac{T_i}{1+T_i} = 1 \\ \frac{1}{1+T_i} = 0 \end{cases} \quad \|T_i\| \gg 1 \tag{III.3}$$

### III.3. Résultats de simulation :

Nous allons développer dans cette section les simulations du modèle du convertisseur en boucle fermée. Les paramètres de l'hacheur sont :

Grandeur	$V_g$	L	C	R	$V_M$	$F_s$	H(s)
Valeur	30	1mh	470uf	50ohm	4v	30Khz	1

Tableau (III. 1) : Grandeurs de l’hacheur

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 Sim Power System et Simulink.

La figure suivant représente le model sur Matlab (Sim power Système) de notre convertisseur (Buck-Boost) en boucle fermé.

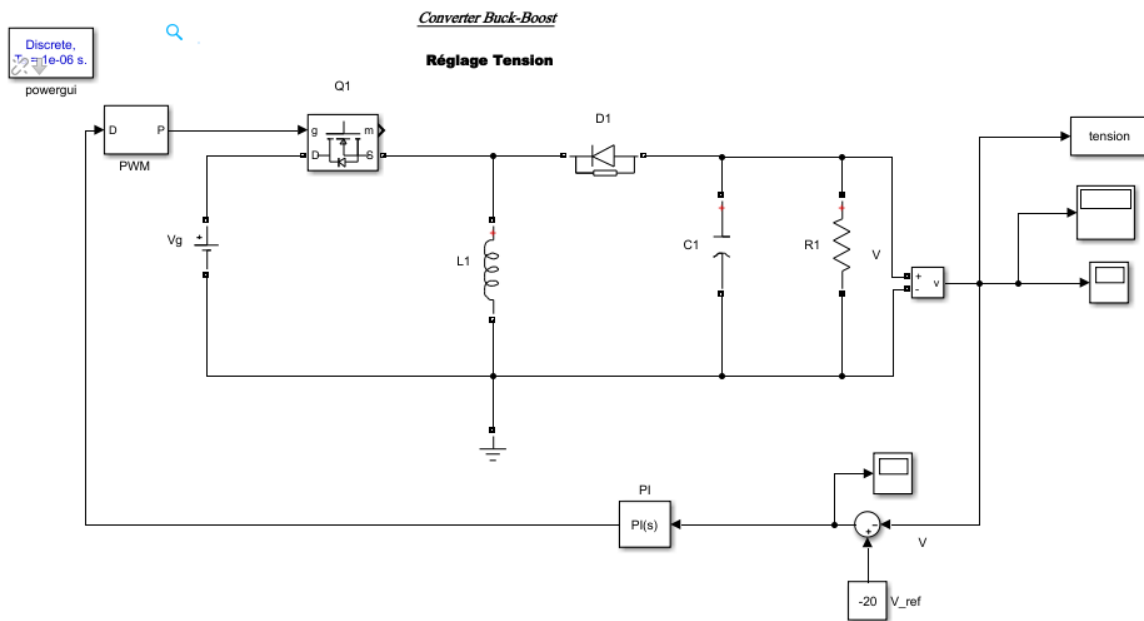


Figure. III. 3 : convertisseur buck-Boost en boucle fermé réglage tension

### III.3.1. Interprétation :

Les figure (III.4) (III.6) représentent respectivement la réponse fréquentielle de la fonction de transfert en boucle fermée en considérant le régulateur  $g(s) = 1$  pour les deux modes (buck et boost) On peut constater que le gain de  $T_i$  est égal 1 a la fréquence 14KHz. Donc la région ou la fréquence est inférieur à  $f_c$  le contrôle de la sortie est acceptable.

Afin d’améliorer notre commande augmenter la fréquence  $f_c$  et assurer une marge de phase (positive), nous allons adopter un régulateur de type PI dont la fonction de transfert est égale

$G(s) = (K_p + \frac{K_i}{s})$ . Les figures (III.5), (III.7) illustrent la réponse fréquentielle de la fonction de transfert Ti avec un régulateur PI. On peut voir clairement que la fréquence  $f_c$  a augmenté ce qui garantit une grande marge de fréquence dont  $Ti \gg 1$ .

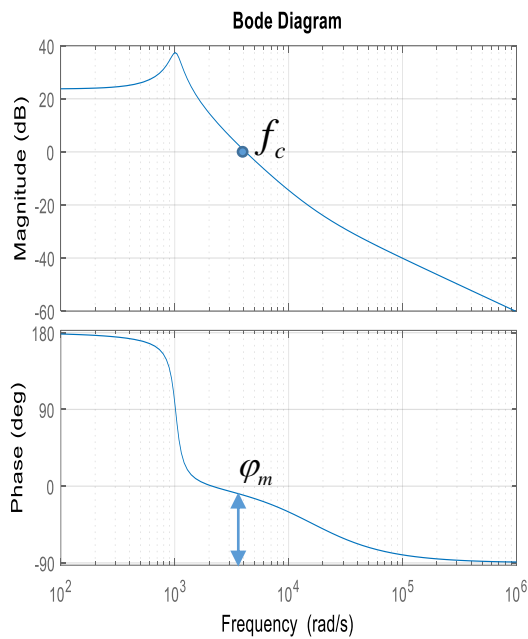


Figure. III. 4 : Réponse fréquentielle de buck  $g(s)=1$

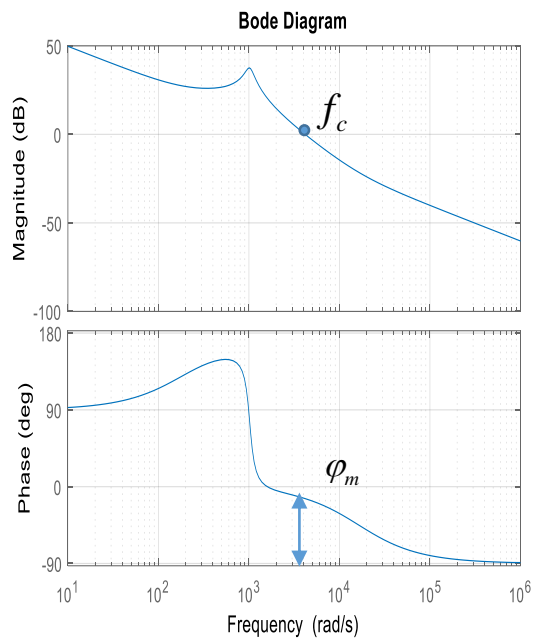


Figure. III. 5 : Réponse fréquentiel  $g(s)=PI$

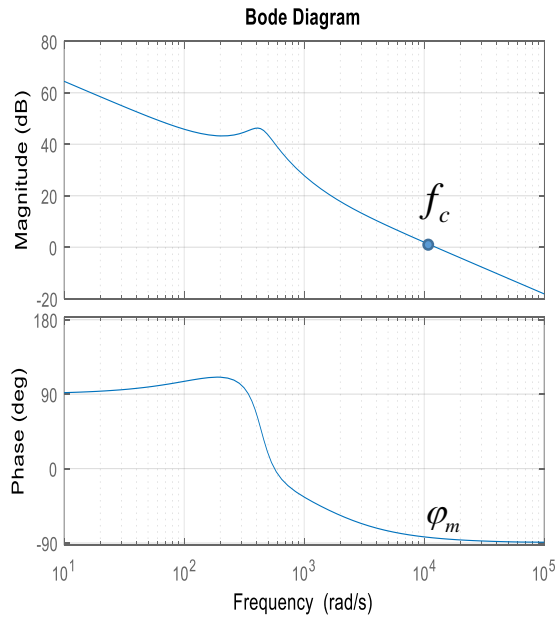
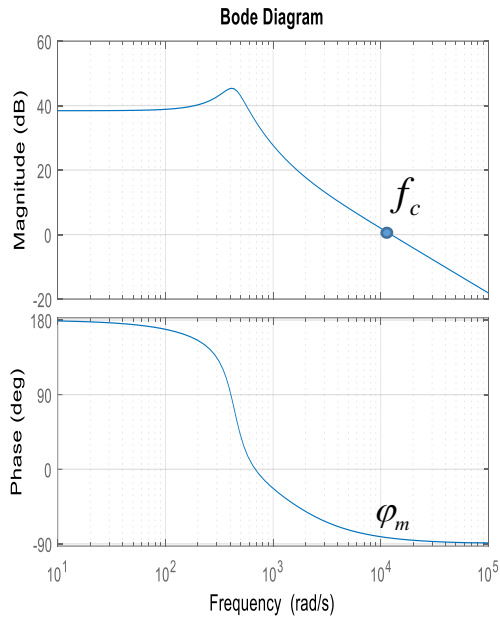


Figure. III. 6 : Réponse fréquentielle de boost  $g(s)=1$     Figure. III. 7 : Réponse fréquentiel  $g(s)=PI$

Les figure (III.8) (III.9) représentent respectivement la réponse temporelle de la tension de sortie de convertisseur en deux modes (buck et boost). On peut constater que la tension de sortie suit la référence dans les deux modes avec une dynamique acceptable.

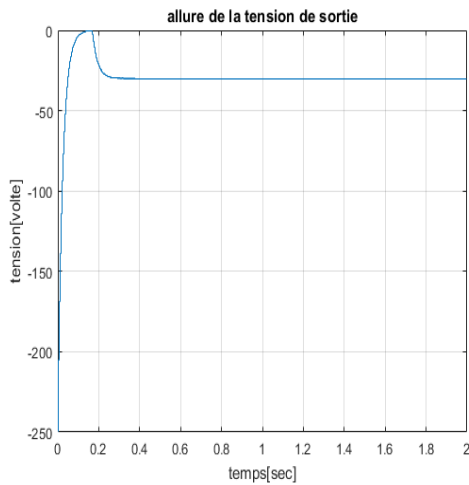


Figure. II. 8 : Tension de sortie(buck)

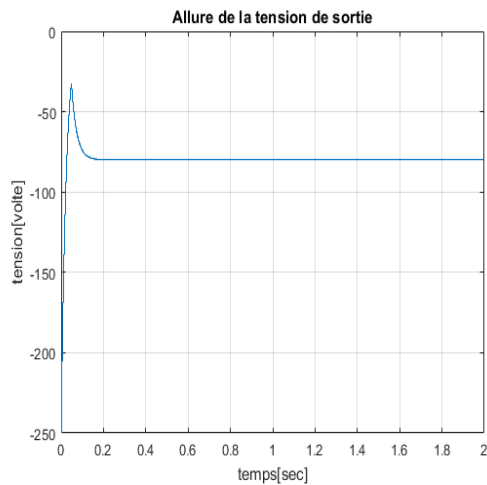


Figure. III. 9 : Tension de sortie (boost)

### III.4. La commande maximum du courant (peak mode control) :

Dans la section précédente, nous avons discuté le contrôle de la tension de la sortie en contrôlant le rapport cyclique  $d(t)$ . Un autre type de contrôle qui trouve une large application est le contrôle du courant maximum connu sous le nom peak mode control ou current programmed control dans lequel la tension sortie du convertisseur est contrôlée par le choix du courant de max du transistor. Le signal de commande est le courant  $i_{co}$ . Le rapport cyclique n'est pas directement contrôlé, mais dépend du courant  $i_{co}$ , le courant inducteur, tension d'entrée et tension de capacité[3].

L'avantage d'utiliser une telle commande permet d'obtenir des dynamiques simples, ce qui rend le réglage facile. Aussi elle nous permet de avoir une protection pour le transistor (pour ne pas dépasser la limite admissible pour le switch)[3].

Le schéma bloc d'un simple contrôle du courant maximum est illustré dans la figure (III.8). Il consiste à de boucles de régulation, boucle externe pour la commande de tension et la boucle interne pour la commande du courant[3].

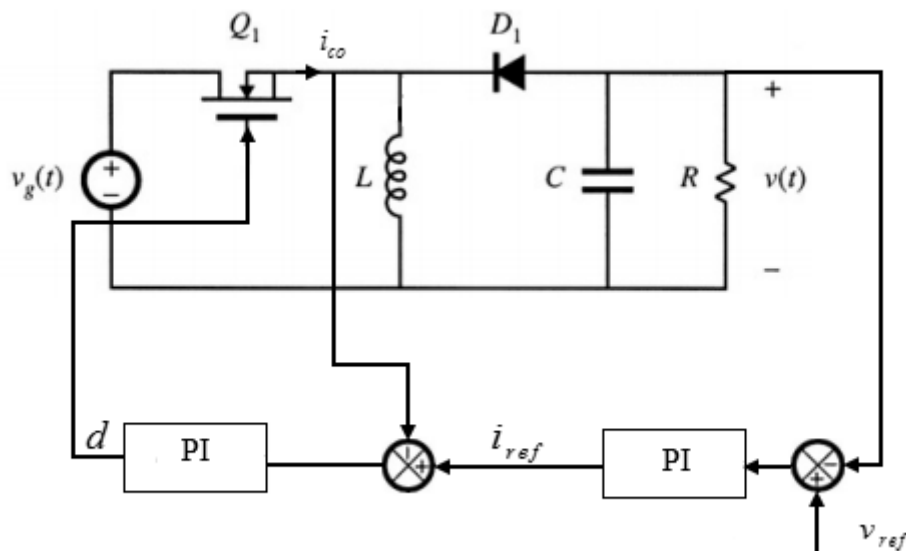


Figure. III. 10 : Application de la commande maximum du courant sur le buck boost

### III.5. Modèle simple par approche algébrique :

Le modèle linéaire du convertisseur buck boost a été abordé en chapitre deux est donné comme suit :

$$L \frac{d\tilde{i}(t)}{dt} = D\tilde{v}_g(t) + D'\tilde{v}(t) + (V_g - V)\tilde{d}(t) \quad (\text{III.4})$$

$$c \frac{d\tilde{v}(t)}{dt} = -D'\tilde{i}(t) - \frac{\tilde{v}(t)}{R} + I\tilde{d}(t) \quad (\text{III.5})$$

$$\tilde{i}_g(t) = D\tilde{i}(t) + \tilde{d}(t)I \quad (\text{III.6})$$

Les transformées de Laplace de ces équations, avec des conditions initiales fixées à zéro, sont :

$$sLi_L(s) = D\tilde{v}_g(s) + D'\tilde{v}(s) + (V_g - V)\tilde{d}(s) \quad (\text{III.4.1})$$

$$sC\tilde{v}(s) = -D'i_{L(s)} - \frac{\tilde{v}(s)}{R} + i_L\tilde{d}(s) \quad (\text{III.5.1})$$

$$i_g(s) = Di_L(s) \quad (\text{III.6.1})$$

Pour faciliter l'analyse, On va poser l'approximation suivante [2] :

$$i_L(s) = i_{co}(s) \quad (\text{III.7})$$

Cette approximation, peut nous aider maintenant à trouver une relation entre le courant de contrôle et le rapport cyclique comme suit :

$$sLi_{co}(s) \approx D\tilde{v}_g(s) + D'\tilde{v}(s) + (V_g - V)\tilde{d}(s) \quad (\text{III.8})$$

$$\tilde{d}(s) = \frac{sLi_{co}(s) - D\tilde{v}_g(s) - D'\tilde{v}(s)}{(V_g - V)} \quad (\text{III.9})$$

$$sC\tilde{v}(s) = -D'i_{co}(s) - \frac{\tilde{v}(s)}{R} + I_l \frac{sLi_{co}(s) - D\tilde{v}_g(s) - D'\tilde{v}(s)}{(V_g - v)} \quad (\text{III.10})$$

Ces équations peuvent être simplifiées par la collecte des termes, et par l'utilisation des relations du modèle statique :

$$V = -\frac{D}{D'}V_g \quad (\text{III.11})$$

$$I_L = -\frac{V}{D'R} = \frac{D}{D'^2R}V_g \quad (\text{III.12})$$

L'équation (III.10) devient :

$$sC\tilde{v}(s) = \left(\frac{sLD}{D'R} - D'\right)i_{co}(s) - \left(\frac{D}{R} + \frac{1}{R}\right)\tilde{v}(s) - \left(\frac{D^2}{D'R}\right)\tilde{v}_g(s) \quad (\text{III.13})$$

$$i_g(s) = \left(\frac{sLD}{D'R} + D\right)i_{co}(s) - \left(\frac{D}{R}\right)\tilde{v}(s) - \left(\frac{D^2}{D'R}\right)\tilde{v}_g(s) \quad (\text{III.14})$$

Ces équations peuvent maintenant être utilisées pour construire un circuit représentant le modèle linéaire du convertisseur buck boost en mettant la relation entre les ports d'entrée et de sortie du convertisseur.

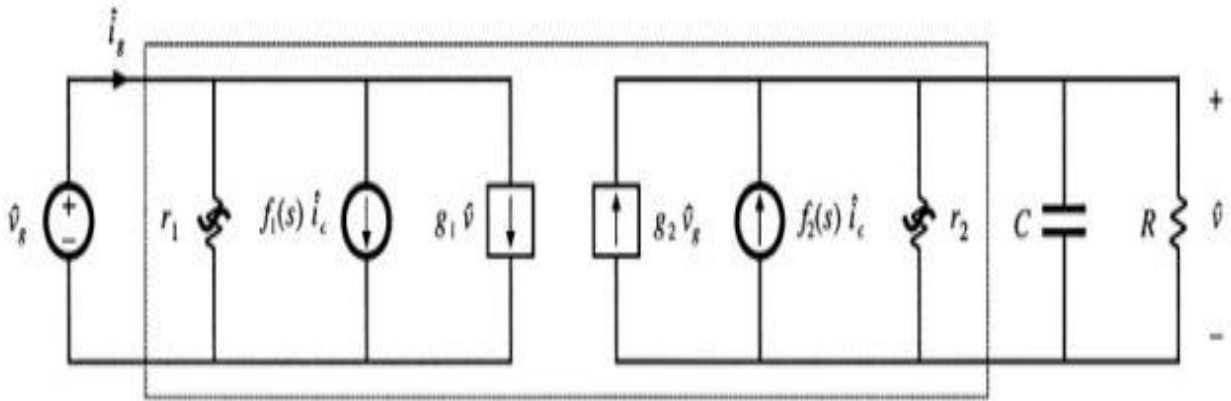


Figure. III. 11 : Circuit équivalent à deux ports utilisés pour modéliser le CCM Buck-Boost programmé actuel

### II.5.1. Fonction de Transfer de la boucle externe de la tension :

Selon le modèle présenté précédemment, on peut aisément déduire les fonctions de transfert nécessaire pour le contrôle du courant maximum [3] :

La fonction de transfert reliant la tension de sortie au courant de contrôle  $i_{co}$  :

$$G_{vi}(s) = \frac{D'R}{(1+D)} \frac{\left(1 - s \frac{DL}{D'^2R}\right)}{\left(1 + s \frac{RC}{1+D}\right)} \quad (\text{III.15})$$

La fonction de transfert reliant le courant  $i_{co}$  au rapport cyclique  $d$  :

$$G_{id}(s) = \frac{|V|(1-D)}{DD'^2R} \frac{\left(1 + s \frac{RC}{1+D}\right)}{1 + s \frac{L}{D'^2R} + s^2 \frac{LC}{D'^2}} \quad (\text{III.16})$$



**III.6. Résultats de simulation :**

Nous allons développer dans cette section les simulations du modèle du convertisseur en boucle fermé. Les paramètres de l'hacheur sont :

Grandeur	$V_g$	$L$	$C$	R	$V_m$	$F_s$	$H(s)$	$V_{ref}$	V	D
Valeur (fonctionnement de buck)	30V	1mH	470 $\mu$ F	50 $\Omega$	4 V	4000 Hz	1	-20	-20.13	0.4
Valeur fonctionnement de boost	30V	1mH	470 $\mu$ F	50 $\Omega$	4V	40000Hz	1	-50	-50.05	0.62

Tableau (III. 2) : Grandeurs de l'hacheur

**II.6.1. Réglage de la boucle interne (réglage du courant) :**

Afin de tester la boucle de régulation interne, nous avons effectué un test de simulation illustré dans la figure (III.12). On fixe une référence de 0.50.

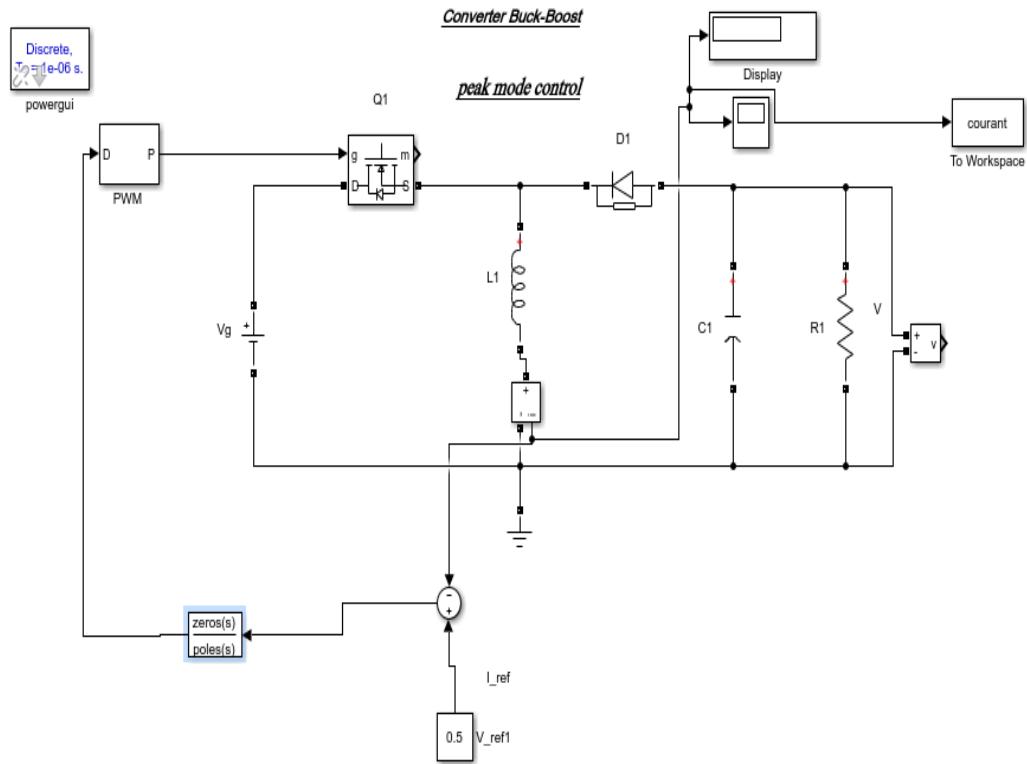


Figure. III. 12 : Convertisseur buck-Boost en boucle fermé réglage courant

La figure (III.13) représente la réponse temporelle de courant de l'inductance (ou courant contrôlée  $i_{co}$ ). On constate que le courant mesuré suit la référence.

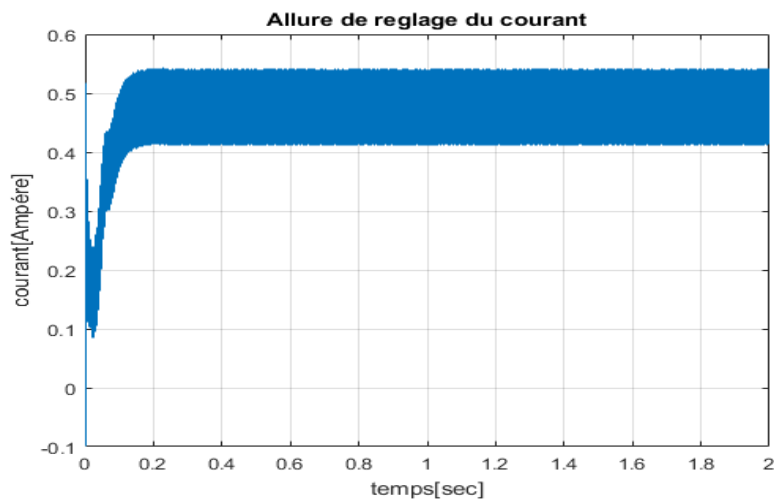


Figure. III. 13 : Réponse temporelle du courant d'inductance

**II.6.2. Réglage du la boucle externe (réglage du tension) :**

Afin de tester la boucle de régulation interne, nous avons effectué des tests de simulation en basant sur le bloc illustré dans la figure (III.14). Nous allons présenter les résultats de simulation en deux modes (buck and boost)

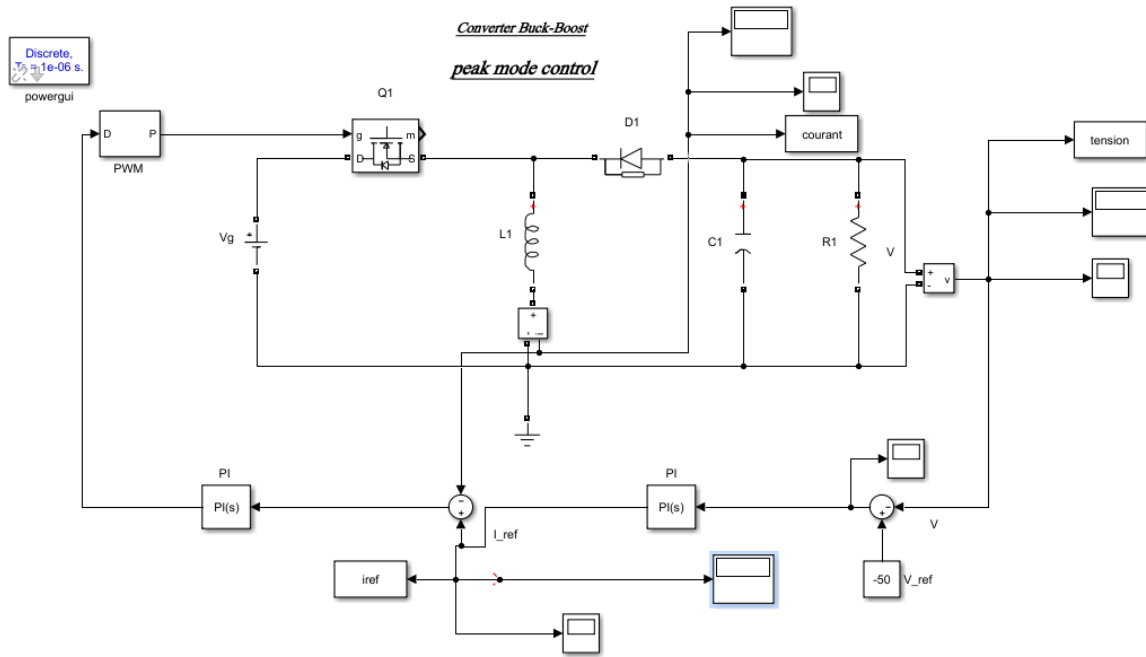


Figure. III. 14 : Convertisseur Buck-Boost en boucle fermé

Les figures (III.15) (3.16) et (III.17) (III.18) représentent respectivement la réponse fréquentielle de fonction de transfert  $G_{vi}$  en boucle fermée en mode buck et boost avec et sans régulateur.

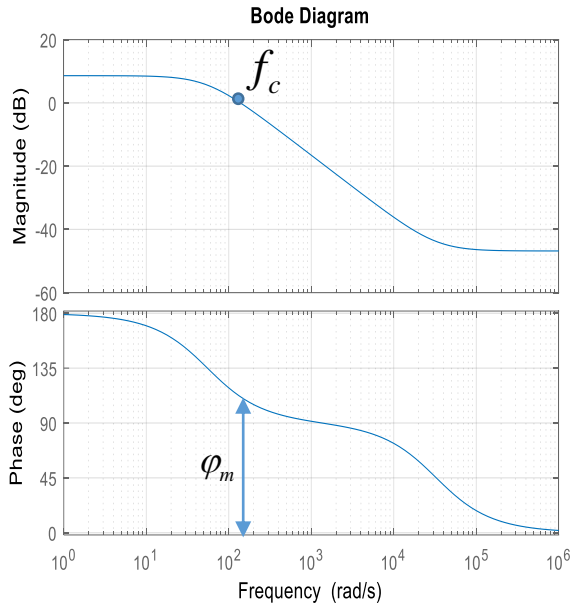


Figure. III. 15 : Réponse fréquentielle  $G_{vi}(g(s)=1)$

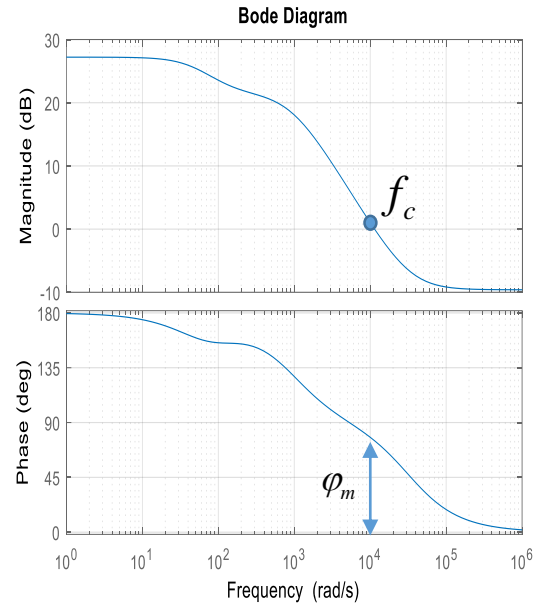


Figure. III. 16 : Réponse fréquentielle  $G_{vi}(g(s)=PI)$

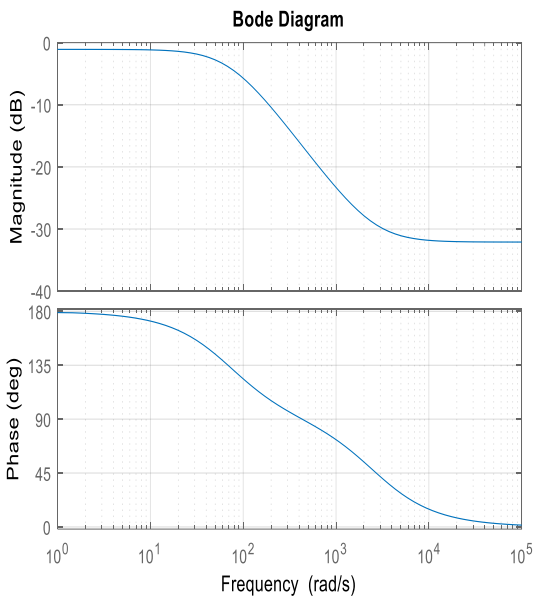


Figure. III. 17 : Réponse fréquentiel  $G_{vi}(g(s)=1)$

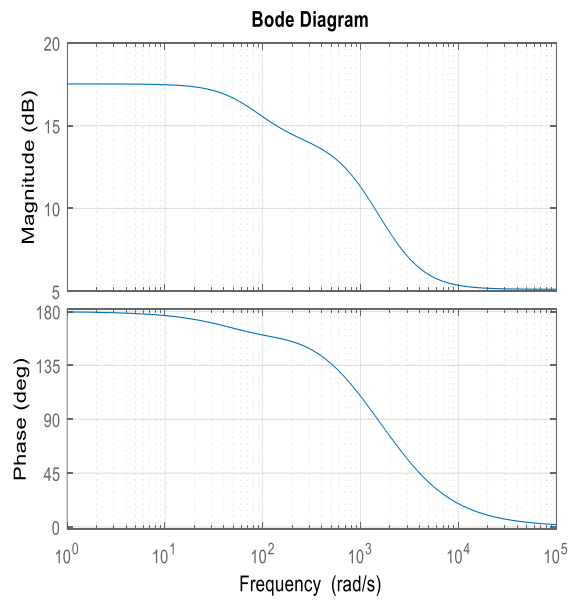


Figure. III. 18 : Réponse fréquentiel  $G_{vi}(g(s)=PI)$

Les figures (III.19) (III.20) et (III.21) (III.22) représentent respectivement la réponse fréquentielle de fonction de transfert  $G_{id}$  en boucle fermée en mode buck et boost avec et sans régulateur.

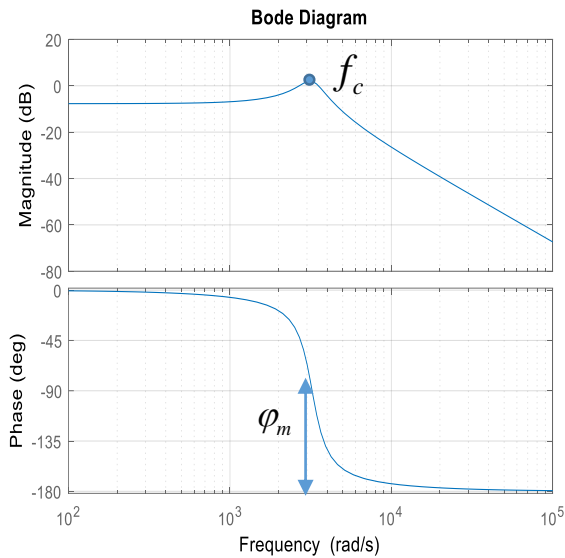


Figure. III. 19 : Réponse fréquentiel  $G_{id}$  ( $g(s)=1$ )

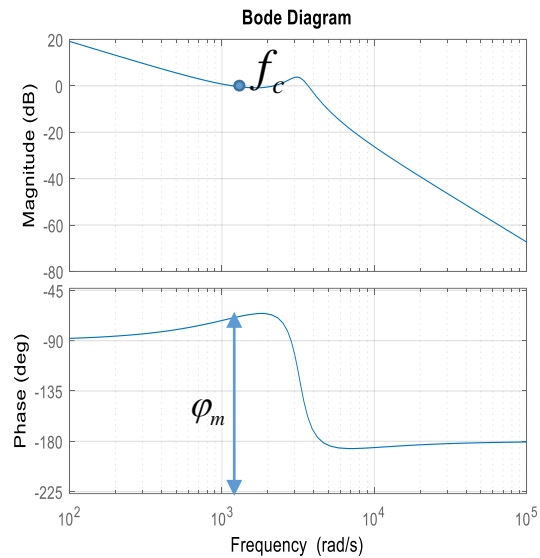


Figure. III. 20 : Réponse fréquentiel  $G_{id}$  ( $g(s)=PI$ )

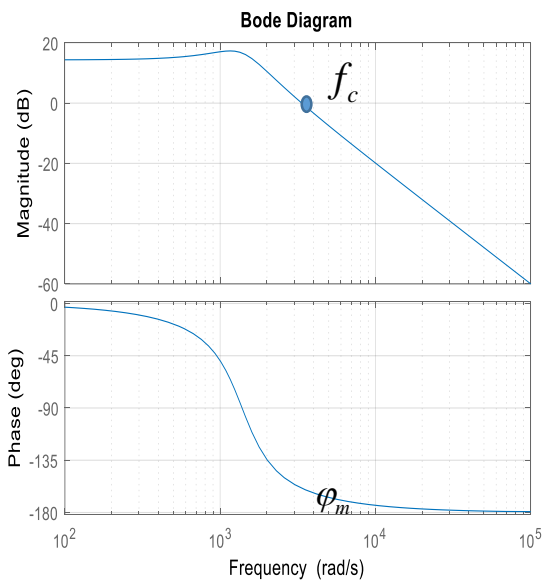


Figure. III. 21 : Réponse fréquentiel  $G_{id}$  ( $g(s)=1$ )

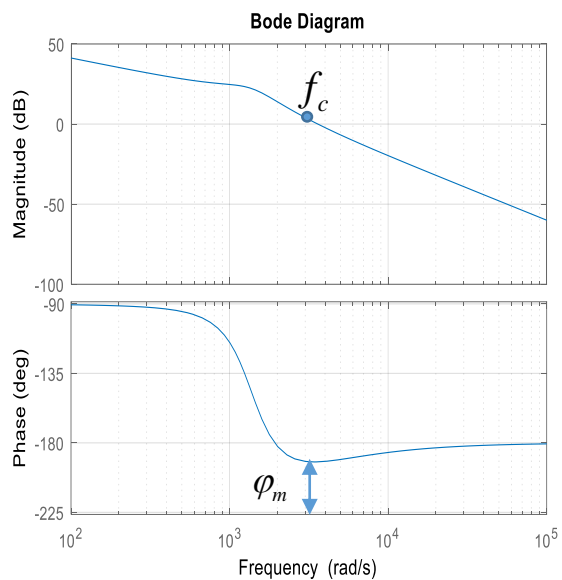


Figure. III. 22 : Réponse fréquentiel  $G_{id}$  ( $g(s)=PI$ )

Les résultats montrent la réponse fréquentielle de la fonction de transfert en boucle fermée pour la boucle interne et externe. Pour les deux figures (III.15), (III.17) et (III.19) (3.21) en considérant le régulateur  $g(s) = 1$ . On peut constater que le gain de fonction de Transfer est égal 1 à la fréquence 9KHz. Donc la région où la fréquence est inférieure à  $f_c$  le contrôle de la sortie est

acceptable.

Afin d'améliorer notre commande augmenter la fréquence  $f_c$  et assurer une marge de phase (positive), nous allons adopter des deux régulateurs de type PI positionné en cascade dont la fonction de transfert est égale  $G(s) = (K_p + \frac{K_i}{s})$ .

Les figures (III.16), (III.18) et (III.20) (III.22) illustre la réponse fréquentielle de la fonction de transfert avec deux régulateurs PI. On peut voir clairement que la fréquence  $f_c$  a augmenté ce qui garantit une grande marge de fréquence avec une amélioration de la marge de phase qui signifie une garantie de la stabilité du notre système.

Les figure (III.23) (III.24) (III.25) (III.26) représentent respectivement la réponse temporelle de la tension de sortie et de courant de l'inductance du convertisseur en deux modes (buck et boost). On peut constater que la tension de sortie suit parfaitement la référence dans les deux modes avec une bonne dynamique.

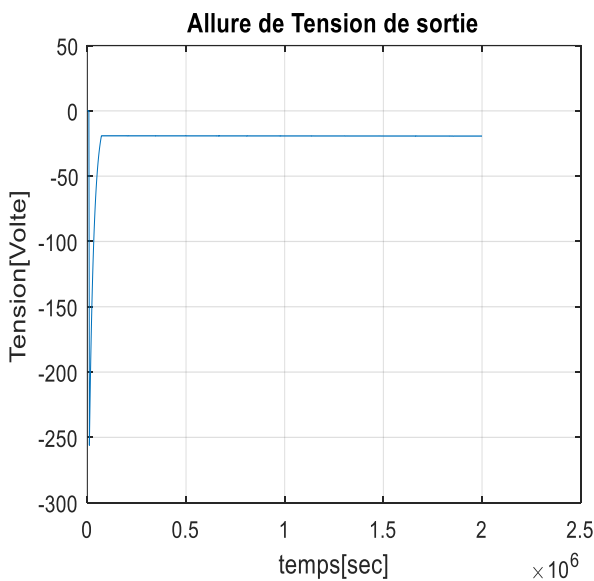


Figure. III. 23 : Buck-boost fonctionne mode buck

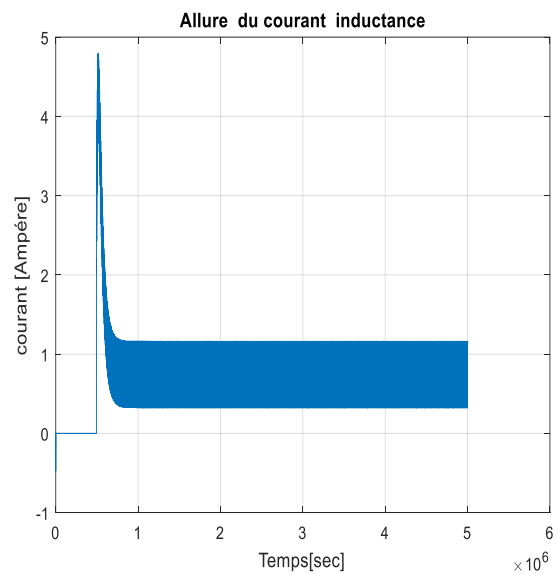


Figure. III. 24 : Le courant d'inductance (buck)

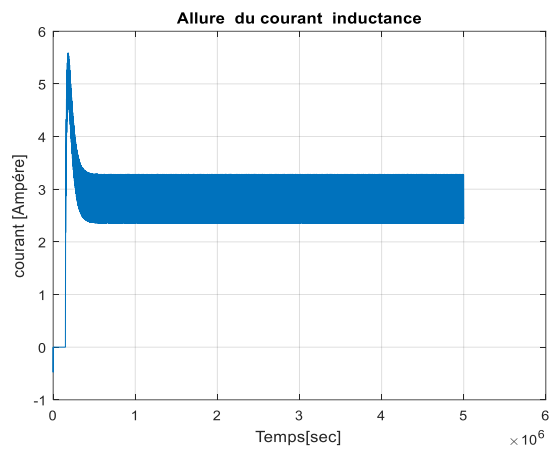
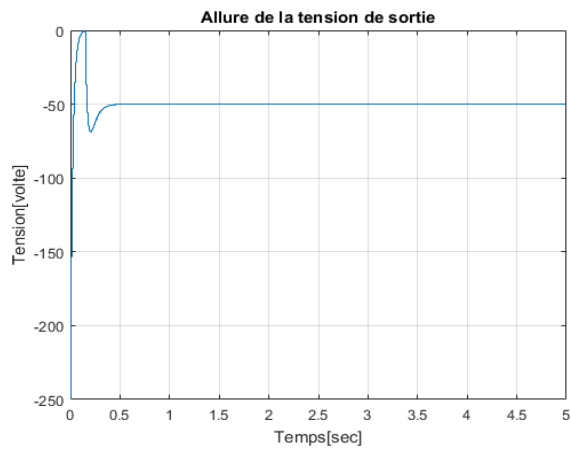


Figure. III. 25 : Tension de sortie fonctionnement Boost

Figure. III. 26 : Courant d'inductance (boost)

**III.7. Conclusion :**

Le troisième chapitre, a été consacré à l'étude du convertisseur en boucle fermée. Deux techniques de commandes ont été élaborées. Le réglage de la tension de sortie directement en agissant sur le rapport cyclique via un régulateur PI (proportionnelle intégrateur), et un autre type de réglage de tension de sortie qui consiste à contrôler le courant maximum de l'interrupteur (peak mode control). Les deux techniques ont été validées par des résultats de simulation.