



HAL
open science

Charge optimale d'une batterie par une éolienne Convertisseur Buck-Boost avec commande analogique ou numérique

Fabrice Frugier, Jean-Marc Rufino, Jacky Bresson

► **To cite this version:**

Fabrice Frugier, Jean-Marc Rufino, Jacky Bresson. Charge optimale d'une batterie par une éolienne Convertisseur Buck-Boost avec commande analogique ou numérique. CNRIUT 2025 Bayonne - Pays Basque, IUT de Bayonne Pays Basque, Mar 2025, Bayonne, France. <hal-05093337>

HAL Id: hal-05093337

<https://hal.science/hal-05093337v1>

Submitted on 2 Jun 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Charge optimale d'une batterie par une éolienne Convertisseur Buck-Boost avec commande analogique ou numérique

Fabrice Frugier
fabrice.frugier@univ-perp.fr

Jean-Marc Rufino
jean-marc.rufino@univ-perp.fr

Jacky Bresson
bresson66.jb@gmail.com

IUT de Perpignan, Dépt. Génie Industriel et Maintenance.
Université Perpignan Via Domitia – 66860 Perpignan

Thèmes – *Énergie - Environnement - Informatique - Électronique - Mécanique*

Résumé – *La charge d'une batterie de 24V par une éolienne suppose deux conditions : l'adaptation parfaite de l'éolienne à la charge tout en délivrant une tension constante comprise entre 24 et 28V. Le convertisseur DC/DC abaisseur/élevateur à stockage intermédiaire inductif permet cette performance. Le Buck-Boost à pont en H non inverseur à 4-switch est commandé par une électronique temps réel analogique constituée de multiplieurs ou par un microcontrôleur Teensy 4.0 dont le cœur fonctionne à plus de 600 MHz. Dans les deux cas, l'intensité traversant l'inductance est asservie à l'intensité de consigne de façon à suivre la courbe de puissance optimale de l'aérogénérateur. Des essais en soufflerie avec une éolienne à Perpignan ont permis de valider ce concept. Notre participation au concours international GIM'EOLE 2024 à St. Nazaire s'est terminée par une première place quant à la puissance et la production d'énergie.*

Mots-Clés – *Convertisseur DC-DC inductif, Buck-Boost pont en H, MPPT, microcontrôleur, charge sur batterie.*

Section(s) CNU pour cet article – 60, 63

Introduction

Dans la nouvelle version du concours Gim'Eole 2024, le règlement modifie la **charge résistive** qui est maintenant constituée d'une **batterie 24 V**, ce qui interdit le convertisseur des sessions précédentes [1]. Une diode à l'entrée de la charge évite un éventuel transfert d'énergie de la batterie vers l'éolienne (Fig.1).

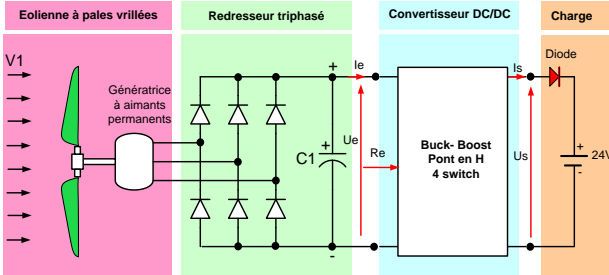


Fig.1 Schéma synoptique de la chaîne de puissance.

Puissance optimale d'une éolienne

Pour une éolienne de surface $A=\pi R^2$, de coefficient de puissance C_p (compris entre 0 et 0,59), soumise à un vent de vitesse V_1 , la puissance récupérée sur le rotor s'écrit :

$$P_{\text{éolienne}} = C_p P_{\text{vent}} = \frac{1}{2} \rho A C_p V_1^3 \quad (1)$$

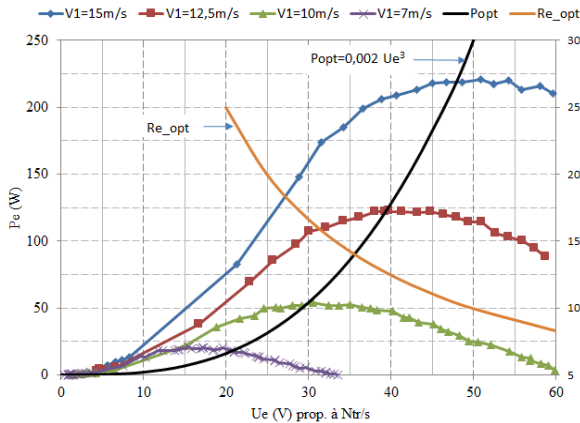


Fig.2 Puissance de l'éolienne en fonction de la tension de sortie du redresseur U_e et lieu des P_{\max} associé à Re_{opt} , pour plusieurs valeurs de la vitesse du vent.

On sait que le lieu des puissances maximales suit une loi en Ω^3 ($\Omega=2\pi Ntr/s$ prop. à U_e) [1] voir figure 2 :

$$P_{\text{éolienne-opt}} = K_{\text{opt}}^{\Omega} \Omega^3 = K_{\text{opt}}^N N^3 = K_{\text{opt}}^{U_e} U_e^3 \quad (2)$$

Où $K_{\text{opt}}^{U_e} = 0,002$ dépend de la génératrice et du rotor.

Pour optimiser au mieux le transfert d'énergie, l'intensité I_e doit évoluer en U_e^2 et la résistance d'entrée en $1/U_e$, en effet :

$$P_{\text{éolienne-opt}} = K_{\text{opt}}^{U_e} U_e^3 = U_e I_e \quad \text{Soit : } I_e = K_{\text{opt}}^{U_e} U_e^2 \quad (3)$$

$$\text{Et : } Re_{\text{opt}} = \frac{1}{K_{\text{opt}}^{U_e} U_e}$$

3. Structure du convertisseur DC-DC

La nouvelle architecture du convertisseur DC/DC doit à la fois, présenter en entrée la charge optimale Re_{opt} (qui suit la loi $I_e=K.U_e^2$) et délivrer en sortie une tension quasiment constante entre 24 et 28V. Cette double condition nous a fait opter pour un convertisseur abaisseur/élevateur à stockage intermédiaire inductif [2] et plus particulièrement un **buck-boost à pont en H non inverseur à 4-switch** (Fig.3). Pour cette structure de convertisseur il existe 3 modes de fonctionnement :

$$U_e < U_s \rightarrow \text{Mode boost} \quad U_e > U_s \rightarrow \text{Mode buck} \\ U_e \approx U_s \rightarrow \text{Mode buck-boost}$$

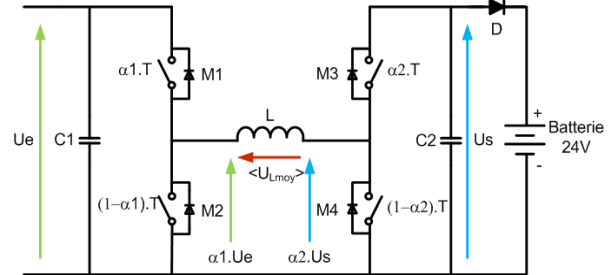
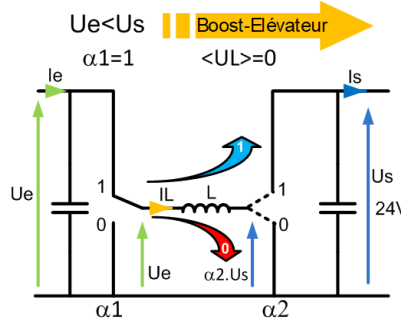


Fig.3 Structure du Buck-Boost non inverseur à pont en H

Lorsque U_e est différent de U_s , on applique une **commande dite spécifique** dans laquelle on bloque l'un des deux bras à 1 pour ne faire commuter que l'autre. En régime établie, la condition de stabilité impose que la tension moyenne aux bornes de l'inductance soit égale à zéro :

$$\langle U_{L_{\text{moy}}} \rangle = \alpha_1 U_e - \alpha_2 U_s = 0 \quad (4)$$



$$U_e = \alpha_2 U_s$$

$$\alpha_2 = \frac{U_e}{U_s}$$

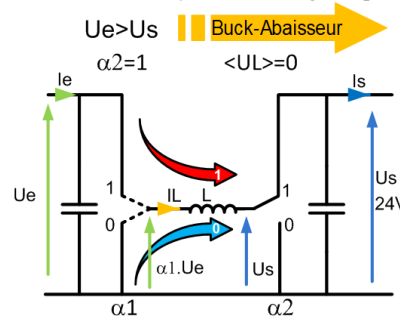
$$I_{L_{\text{cons1}}} = I_e = K U_e^2$$

pour suivre la loi des puissances optimales

En rouge : magnétisation de l'inductance par la source (U_e)

En bleu : démagnétisation de l'inductance dans la charge (U_s)

En orange : transfert de l'énergie depuis l'entrée \rightarrow sortie



$$\alpha_1 U_e = U_s$$

$$\alpha_1 = \frac{U_s}{U_e}$$

$$I_e = \alpha_1 I_{L_{\text{cons2}}} = K U_e^2$$

$$I_{L_{\text{cons2}}} = \frac{K U_e^2}{\alpha_1}$$

$$I_{L_{\text{cons2}}} = \frac{K U_e^3}{U_s} = I_s$$

Ainsi, l'asservissement du courant I_L dans la self à $I_{L_{\text{cons1}}}$ et à $I_{L_{\text{cons2}}}$ permet de suivre la courbe de puissance optimale et ainsi d'optimiser le transfert d'énergie depuis l'éolienne vers la batterie.

Schéma électronique du Buck Boost

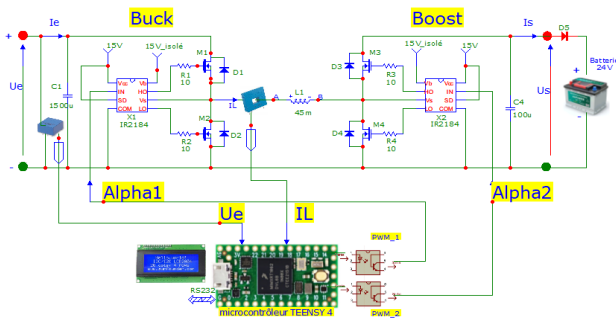


Fig. 4 Schéma électronique du BB avec sa cmd. numérique.

4.1. Partie puissance

Chacun des deux bras du pont en H est constitué de 2 MosFet type N (IRF3205) qui conduisent lorsque leurs « gâchettes » (G) sont polarisées positivement par rapport à leurs « sources » (S). Cette commande est issue des deux « drivers » spécialisés (IR2184) qui délivrent deux signaux complémentaires (HO et LO) de façon à ne faire conduire qu'un des 2 MosFet à la fois. La bobine $L1=45\text{mH}$ (bobinage de 75 spires de fil $\phi=1\text{mm}$ sur un tore ferrite) assure le transfert de l'énergie entre l'entrée et la sortie au rythme de la commutation des interrupteurs analogiques.

4.2. Partie commande

Nous avons développé deux types de commandes, l'une entièrement **analogique** et l'autre **numérique** faisant appel à un microcontrôleur.

a) Commande analogique

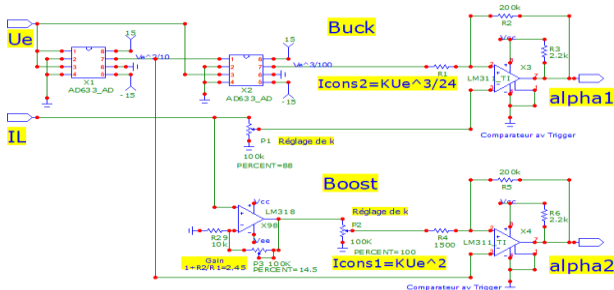


Fig. 5 Schéma électronique de la commande analogique

Deux **2 multiplieurs** analogiques (AD633) pour le Buck et un seul **multiplieur** pour le Boost assurent l'élaboration des signaux de consignes $I_{L\text{cons}1-2}$ (Fig.5). Le courant I_L (capteur à effet Hall LA55P) qui traverse la self est, en temps réel, comparé aux courants de consignes $I_{L\text{cons}1-2}$ (comparateur trigger LM311) et génère ainsi les deux signaux PWM alpha1-2. Les potentiomètres P1 et P2 participent au réglage de la constante K.

b) Commande numérique

Le **microcontrôleur Teensy4.0** (Fig.4) mesure la tension d'entrée U_e (capteur de tension LV 25P) et calcule le courant de consigne $I_{L\text{cons}1}$ ou $I_{L\text{cons}2}$ suivant la valeur de U_e par rapport à $U_s=24\text{V}$. Ensuite, cette consigne est comparée à la valeur de l'intensité mesurée I_L traversant la self. Le résultat de cette comparaison active 2 signaux PWM alpha1 et alpha2 suivant l'organigramme figure 6.

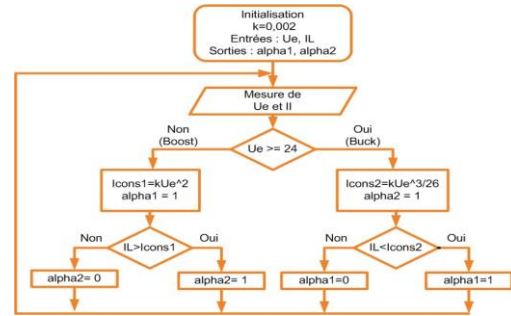


Fig.6 Organigramme du suivi de la puissance optimale MPPT

Résultats

Des essais en soufflerie à l'IUT (Fig.7) ont permis de valider le suivi de la puissance optimale par le Buck Boost muni de sa commande numérique et analogique. Bien que ne disposant que du convertisseur Buck piloté par la commande analogique, nous avons réalisé les meilleures performances de puissance (226W) et d'énergie (15278J) au concours Gim'Eole 2024 de St.Nazaire.

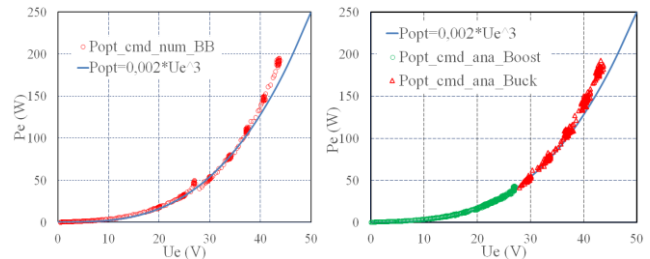


Fig.7 Essais à l'IUT Perpignan, a) BB av. cmd. numérique, b) BB av. cmd. analogique.

Conclusion

La charge d'une batterie par une éolienne nécessite l'utilisation d'un convertisseur DC/DC de type Buck Boost non inverseur à pont en H à 4 commutateurs. Cela permet de dissocier la sortie de l'entrée et ainsi d'adapter l'éolienne à l'entrée du convertisseur tout en assurant une tension constante de 24V à 28V en sortie. L'optimisation du transfert d'énergie se fait par asservissement de l'intensité I_L dans l'inductance à l'intensité de consigne $I_{L\text{cons}1}=K.U_e^2$ dans le mode Boost ou à $I_{L\text{cons}2}=K.U_e^3/U_s$ dans le mode Buck. La commande de ces 4 commutateurs peut être analogique (utilisation de multiplieurs) ou numérique (microcontrôleur Teensy4.0).

Des essais en soufflerie avec une éolienne à Perpignan et à St. Nazaire ont montré l'utilité de ce système pour optimiser la charge d'une batterie par une éolienne.

Références

- [1] *Optimisation du transfert d'énergie d'une éolienne par convertisseur buck-boost*, J. Bresson, F. Frugier, D. Duclos, CNRIUT'2016 Nantes, 8-9 Juin 2016.
- [2] *Eoliennes #4 : Régulation de charge par hacheurs abaisseur/élevateur*, G. Pollet, Dept GIM, Université de Lyon1, <https://www.youtube.com/watch?v=qiyUGDL73kY>