



Moteur à courant continu

Contrôle de l'énergie par Modulation de Largeur d'Impulsions

MODÉLISER

B1 Identifier les grandeurs agissant sur un système

I – Principe du hachage de la tension

I – 1 – Qu'est-ce que la MLI ?

Examinons les caractéristiques d'un signal rectangulaire de valeur minimale 0 V :

Temps haut :

Valeur maximale :

Temps bas :

Rapport cyclique :

Période :

Valeur moyenne :

On en déduit que la **valeur moyenne** d'un signal rectangulaire est proportionnelle à son **rapport cyclique**.



Le principe consistant à modifier le rapport cyclique d'un signal rectangulaire afin de créer une tension moyenne variable est appelé la **Modulation de Largeur d'Impulsion**, soit **M.L.I.** en abrégé (**Pulse Width Modulation** en anglais, soit **P.W.M.** en abrégé).

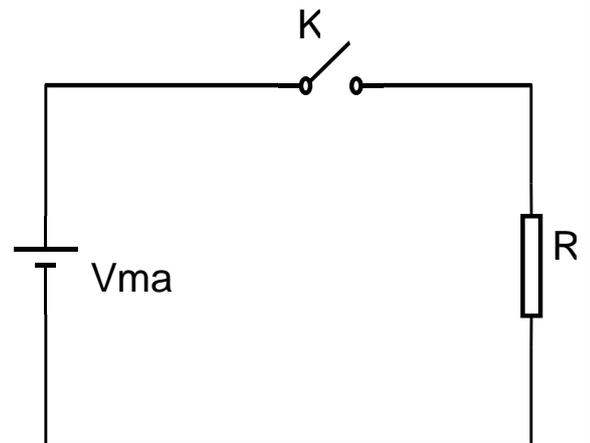
I – 2 – Le montage hacheur de base

Le montage ci-contre est composé d'une batterie fournissant une tension **V_{max}**, une charge **R** et un interrupteur commandé **K**.

On commande l'interrupteur **K** par un signal MLI, c'est-à-dire un signal à rapport cyclique variable. La tension aux bornes de la charge **R** est alors « **hachée** », et non continue.

Si la fréquence de hachage est suffisamment élevée, la charge **R** se comportera comme si elle était alimentée avec une tension continue de valeur égale à la **valeur moyenne** de la tension hachée.

Examinons la valeur moyenne de la tension aux bornes de **R** pour 3 rapports cycliques différents du signal M.L.I. :



Premier cas :



Temps haut : $t_H = 10 \mu s$

Temps bas : $t_B = 30 \mu s$

Rapport cyclique :

Valeur moyenne :

Deuxième cas :



Temps haut : $t_H = 20 \mu s$

Temps bas : $t_B = 20 \mu s$

Rapport cyclique :

Valeur moyenne :

Troisième cas :



Temps haut : $t_H = 30 \mu s$

Temps bas : $t_B = 10 \mu s$

Rapport cyclique :

Valeur moyenne :

Ce montage est appelé un « **hacheur à M.L.I.** ». Hacheur car la tension reçue par la charge **R** est hachée (et non parfaitement continue). Et à M.L.I. car pour faire varier la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge il faut modifier le rapport cyclique du signal de commande de l'interrupteur **K** : on dit que **K** est commandé par M.L.I.



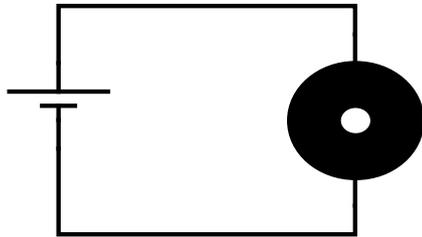
II – Quadrants de fonctionnement d'un moteur

II – 1 – Les 2 modes de fonctionnement du moteur à courant continu

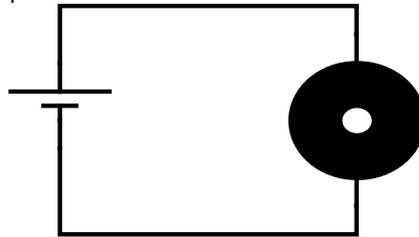
Un moteur à courant continu est un convertisseur réversible pouvant fonctionner dans les 2 modes suivants :

En **mode moteur** il convertit l'énergie électrique reçue en énergie mécanique

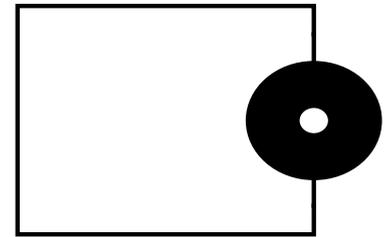
En **mode générateur** il convertit l'énergie mécanique reçue en énergie électrique (comme une dynamo) De plus lorsque l'alimentation électrique du moteur est coupée brutalement, la circulation du courant dans le moteur doit être si possible assurée pour éviter toute discontinuité du courant : on parle alors de **roue libre**.



En mode moteur



En mode générateur



En roue libre

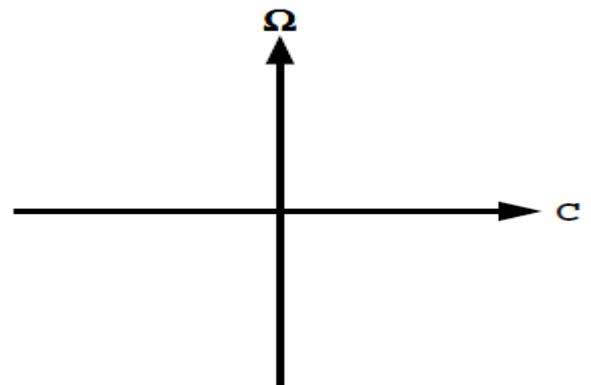
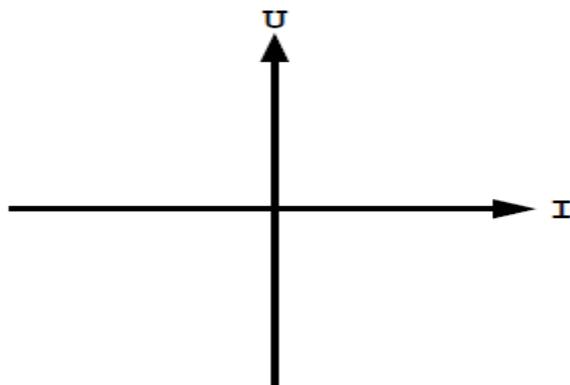
En mode moteur (ou **phase motrice**) l'énergie électrique est transférée **de la batterie vers le moteur** : la batterie se comporte en **générateur** (elle se décharge) et le moteur se comporte en **récepteur**.

En mode générateur (ou **phase génératrice**) l'énergie électrique est transférée **du moteur vers la batterie** : le moteur se comporte en **générateur** et la batterie se comporte en **récepteur** (elle se charge).

En phase de **roue libre** l'alimentation est totalement déconnectée : le seul but de la phase de roue libre (qui est extrêmement brève) est d'assurer **la continuité du courant** dans le moteur à l'instant de la déconnexion de l'alimentation, et ainsi éviter des pics de surtension qui risqueraient d'endommager les composants électroniques.

II – 2 – Les 4 quadrants de fonctionnement du moteur à courant continu

Nous venons de voir que le moteur à courant continu peut fonctionner en mode **moteur** ou en mode **générateur**. De plus il peut tourner dans **deux sens de rotation** différents. Il en résulte 4 quadrants de fonctionnement dans le plan Tension/Courant :



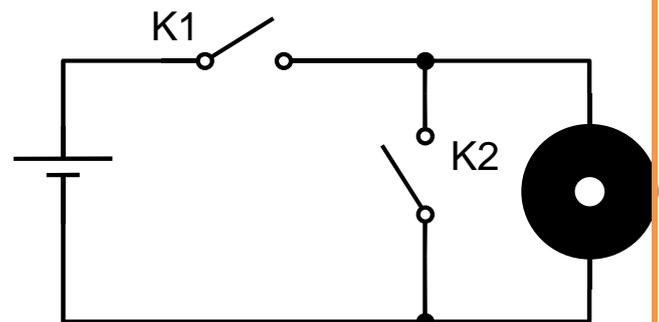
III – Le hacheur série

Le hacheur série possède 2 interrupteurs K1 et K2 :

K1 est l'interrupteur principal permettant d'alimenter le moteur lors de **la phase motrice**.

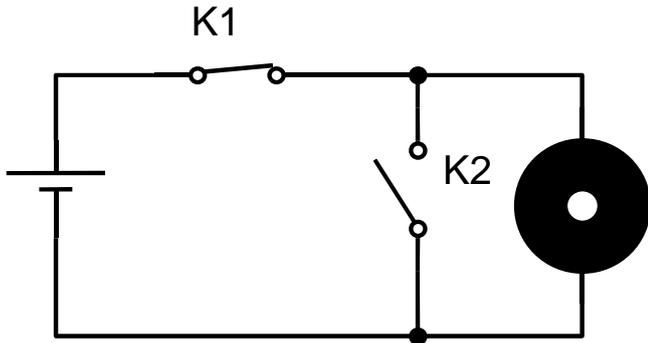
K2 est l'interrupteur secondaire assurant la continuité du courant dans le moteur lors de **la phase de roue libre**.

Les états des interrupteurs K1 et K2 sont complémentaires : si un interrupteur est ouvert alors l'autre est fermé

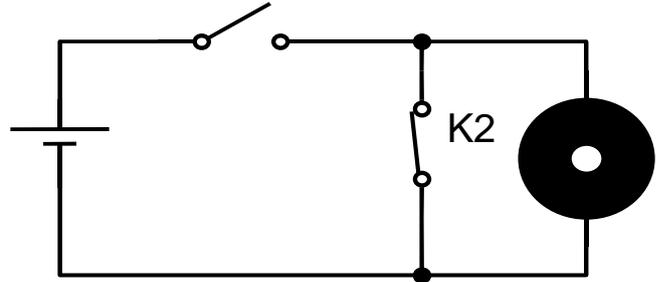


Comme l'interrupteur principal K1 est branché en série avec le moteur, ce hacheur s'appelle « le hacheur série ».

Schéma du hacheur série



Phase motrice : K1 fermé et K2 ouvert



Phase de roue libre : k1 ouvert et k2 fermé

Pour moduler la vitesse angulaire d'un moteur, on peut l'alimenter grâce à un hacheur série. Dans le chariot de Golf, l'interrupteur principal K1 est un **transistor MOS** et l'interrupteur secondaire K2 est **une diode**. Pour modifier la vitesse angulaire du moteur, l'utilisateur agit sur un bouton qui permet de changer le rapport cyclique du signal MLI commandant l'interrupteur K1.

Remarques :

- K1 est bien branché en série avec le moteur
- Comme K1 est un transistor MOS à canal N il a sa source relié à la masse
- Pour que K1 se ferme il faut appliquer un niveau haut sur sa grille
- Si K1 est fermé alors K2 est forcément ouvert
- Si K1 est ouvert alors K2 se ferme pour assurer la continuité du courant dans le moteur lors de la phase de roue libre

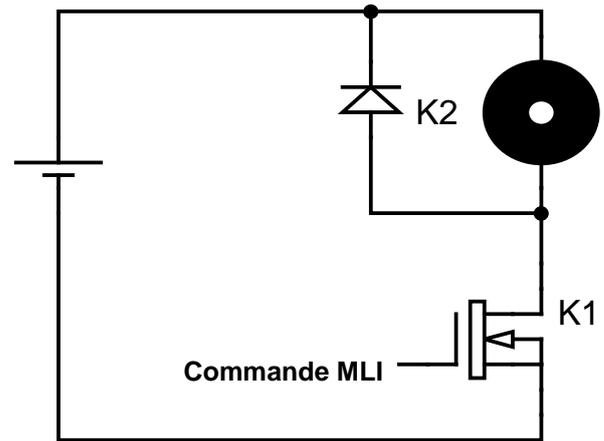
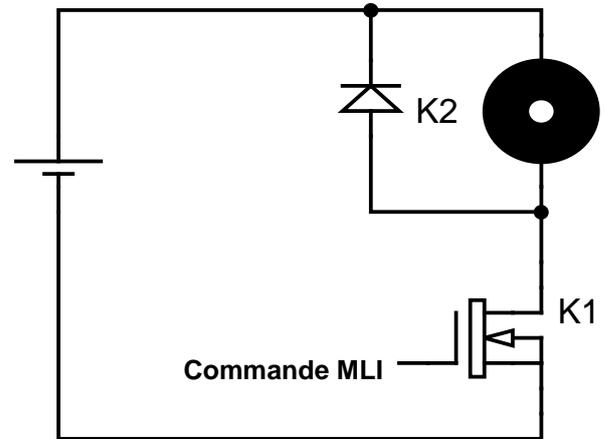
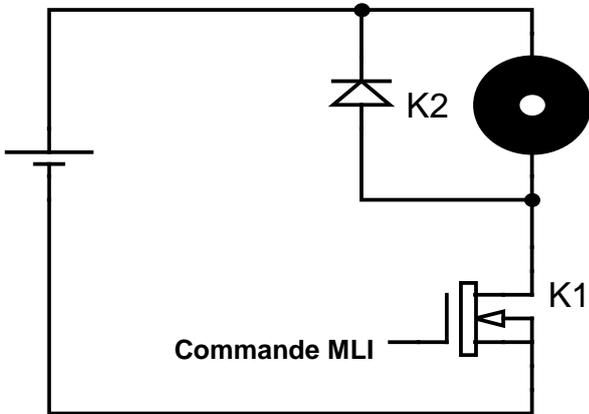


Schéma d'un hacheur série



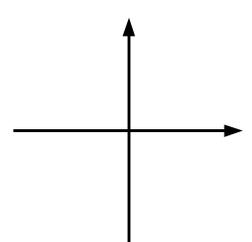
Phase de roue libre



Phase motrice

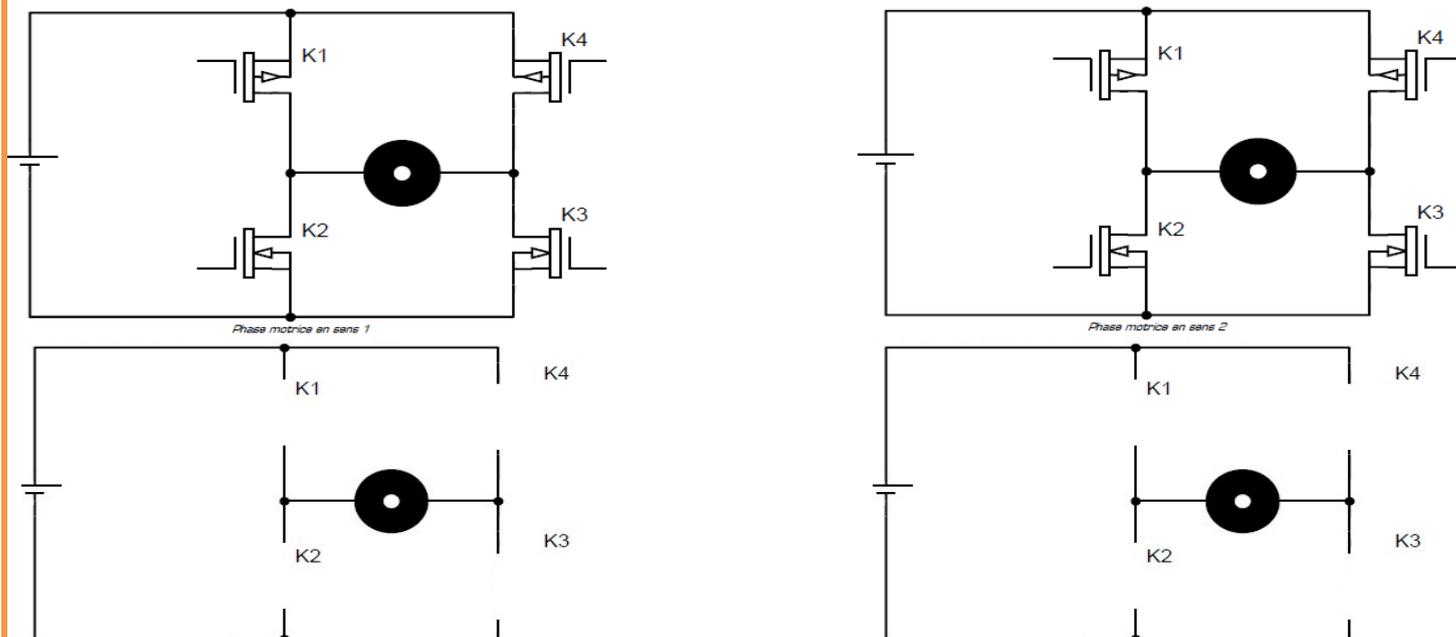
Le hacheur série est un hacheur 1 quadrant, permettant de moduler la vitesse du moteur pour un seul sens de rotation : il n'est pas réversible en tension. De plus si le moteur fonctionne en générateur, ce hacheur ne permet pas de récupérer l'énergie électrique produite par le moteur : il n'est pas réversible en courant. Il fonctionne donc seulement dans

le quadrant $U > 0$ et $I > 0$ dans le plan Tension/Courant. **Remarque** : la diode assurant la continuité du courant pendant la phase de roue libre est appelée **une diode de roue libre**.



IV – Le hacheur réversible en tension : le pont en H

Un pont en H est un dispositif à 4 interrupteurs permettant d'alimenter un moteur à courant continu dans les deux sens de rotation, en inversant la polarité de la tension aux bornes du moteur.



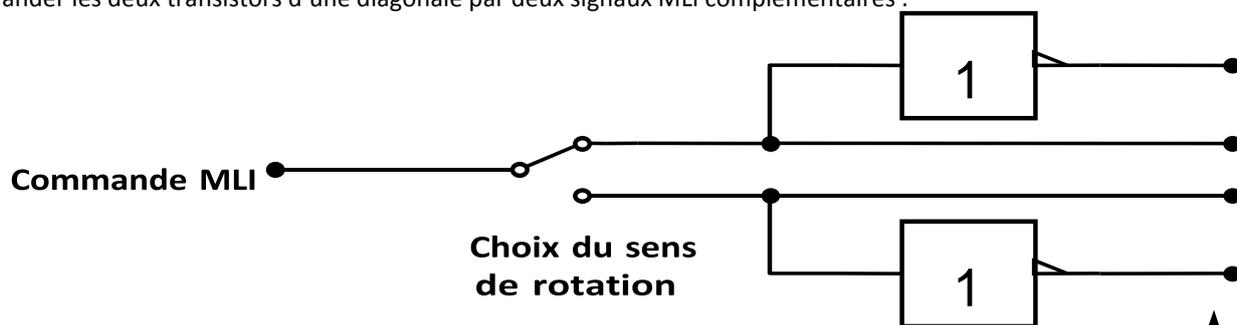
Le moteur est alimenté si on ferme une des deux diagonales du pont en H :

K1	K2	K3	K4	Moteur

Les deux transistors du haut (K1 et K4) qui ont leur source reliée à la borne positive de l'alimentation sont des transistors MOS à canal P : ils seront fermés si leur grille est reliée à 0 V, c'est-à-dire lorsque $V_{GS} < 0$.

Les deux transistors du bas (K2 et K3) qui ont leur source reliée à la masse sont des transistors MOS à canal N : ils seront fermés si leur grille est reliée à une tension positive, c'est-à-dire lorsque $V_{GS} > 0$.

En commandant les transistors MOS par MLI il est possible de moduler la vitesse du moteur, et ce dans les deux sens. Il faut veiller à commander les deux transistors d'une diagonale par deux signaux MLI complémentaires :



Commandé par MLI, le pont en H est un hacheur 2 quadrants.

Il permet de moduler la vitesse du moteur dans les deux sens de rotation : il est donc **réversible en tension**.

Mais si le moteur fonctionne en générateur, ce hacheur ne permet pas de récupérer l'énergie électrique produite par le moteur : il n'est pas réversible en courant.

Remarque : comme lors de la phase motrice le moteur est alimenté avec une tension qui peut être aussi bien positive (en sens 1) que négative (en sens 2) il est impossible de placer une diode de roue libre permanente en dérivation du moteur dans le cas du pont en H. On en déduit qu'en cas de commande par MLI, le pont en H de base n'assure pas la continuité du courant dans le moteur.