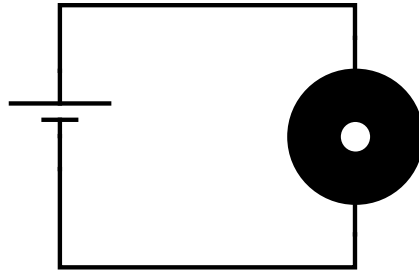
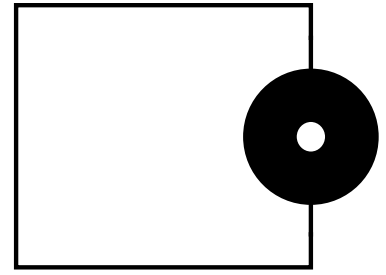


**En mode moteur**



**En mode générateur**



**En roue libre**

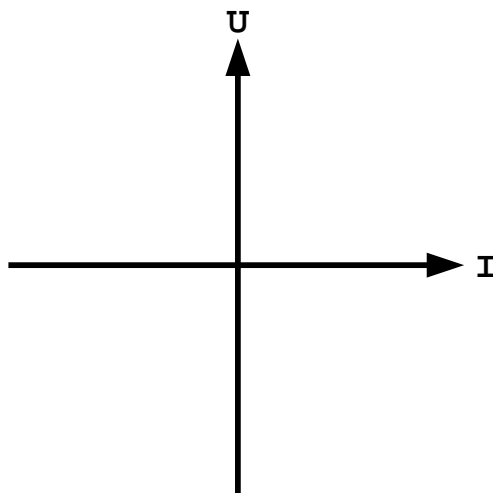
En mode moteur [ou **phase motrice**] l'énergie électrique est transférée **de la batterie vers le moteur** : la batterie se comporte en **générateur** [elle se décharge] et le moteur se comporte en **récepteur**.

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.

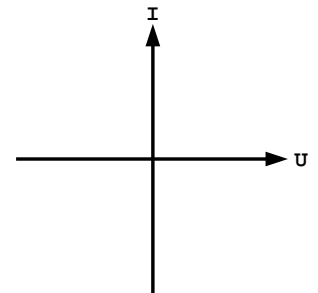
## II - 2 - Les 4 quadrants de fonctionnement du moteur à courant continu

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 :



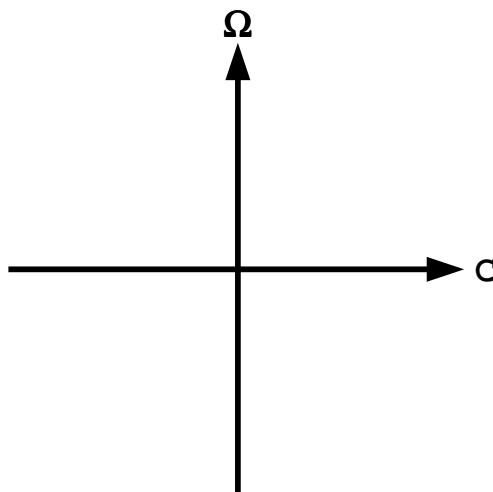
*Plan Tension/Courant*

**Attention :**



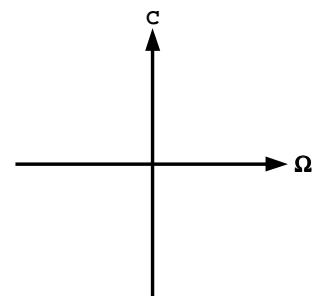
*Plan Courant/Tension*

**Rappels :**



*Plan Vitesse/Couple*

**Attention :**



*Plan Couple/Vitesse*

**Remarques :**

### 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 ».

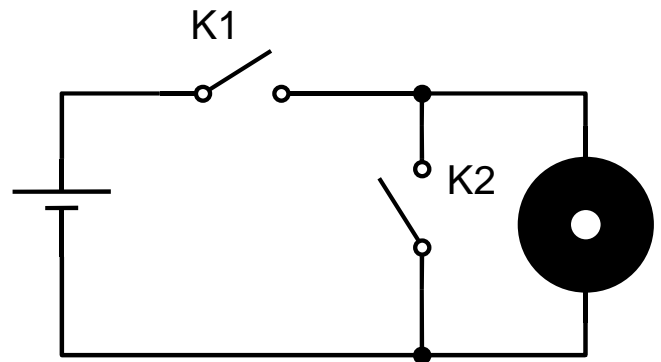
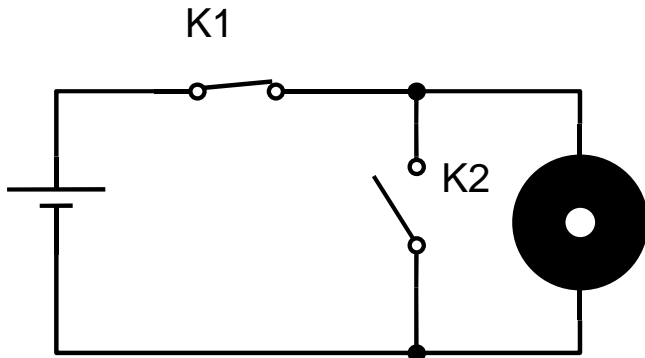
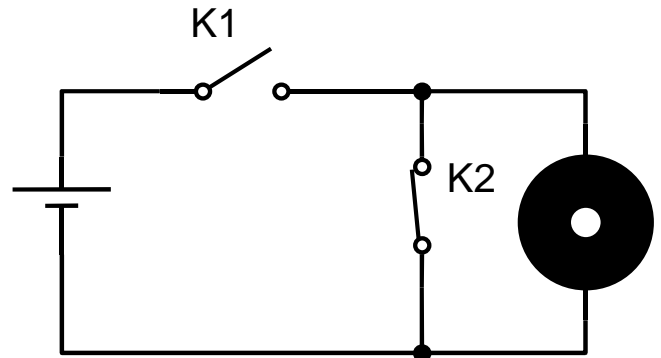


Schéma du hacheur série



Phase motrice : K1 fermé et K2 ouvert



Phase de roue libre : K1 ouvert et K2 fermé

Pour moduler la vitesse du chariot de Golf, son moteur est alimenté 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 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

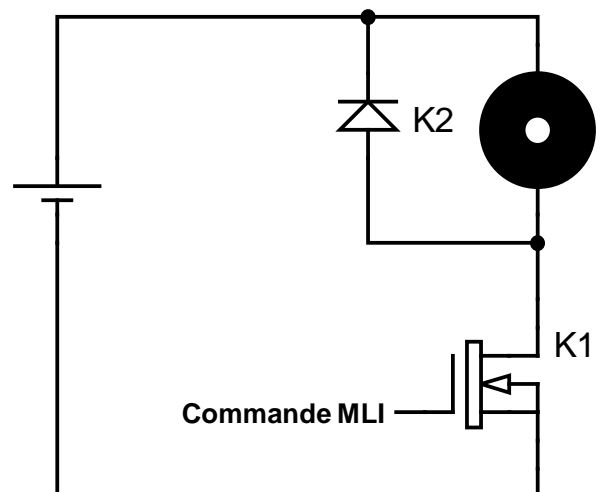
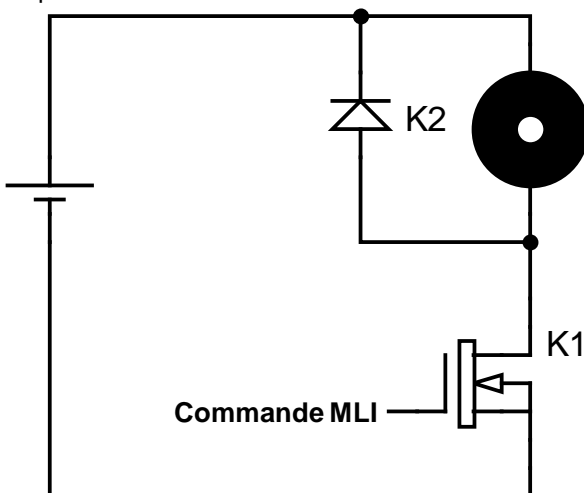
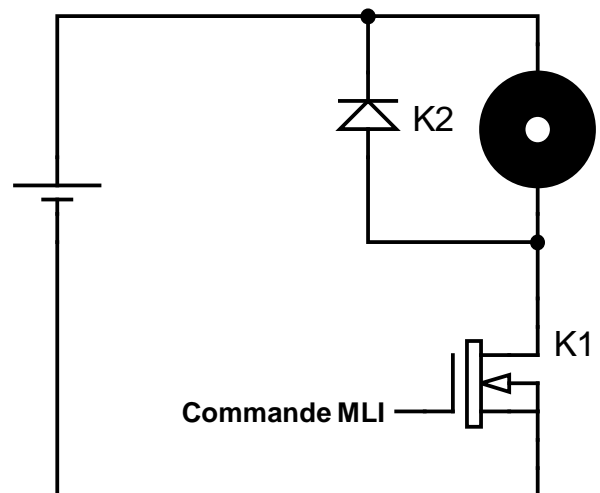


Schéma du hacheur série du chariot de Golf

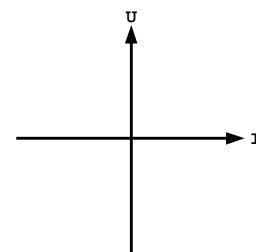


Phase motrice



Phase de roue libre

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 génératrice, 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 série réversible en courant

**Problème :** Lorsque le moteur à courant continu est entraîné par une charge mécanique, il fonctionne alors en génératrice : il convertit **l'énergie mécanique** qui l'entraîne en **énergie électrique**. Si on veut que cette énergie électrique produite soit récupérée, il faut lui assurer un passage dans le montage du hacheur afin de transférer le courant du moteur vers la batterie. La batterie étant réversible, si elle reçoit du courant elle se rechargera.

**Solution :** Pour convertir un hacheur série en hacheur série **réversible en courant** il faut placer une diode en anti-parallèle sur l'interrupteur principal K1. Ainsi, lorsque le moteur produit du courant en mode génératrice, le courant produit sera directement redirigé vers la batterie. C'est ce principe qui est mis en place sur le Scoot'Elec pour récupérer l'énergie électrique lors de la phase génératrice [par exemple lorsque le Scoot'Elec est entraîné dans une descente].

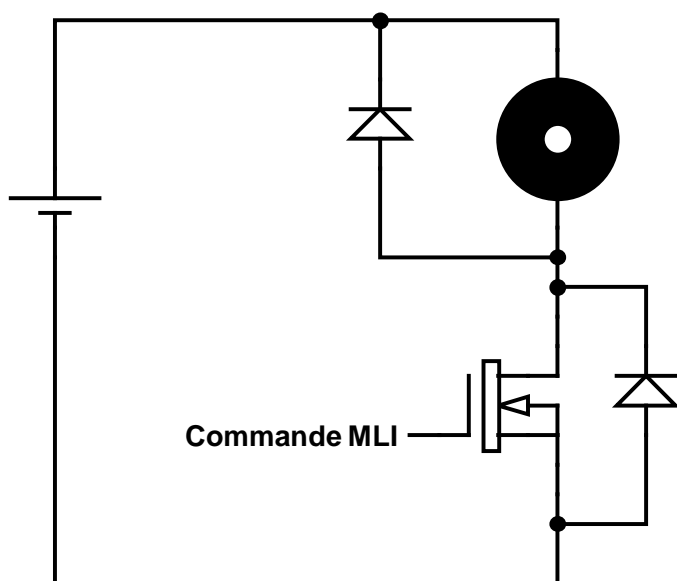
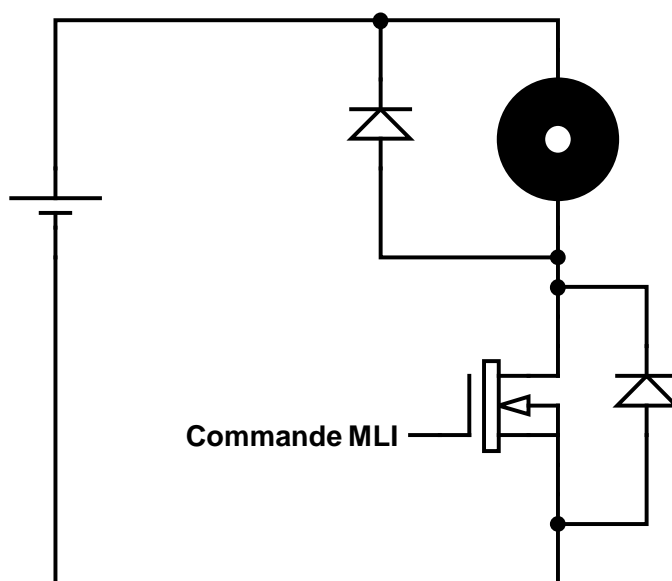
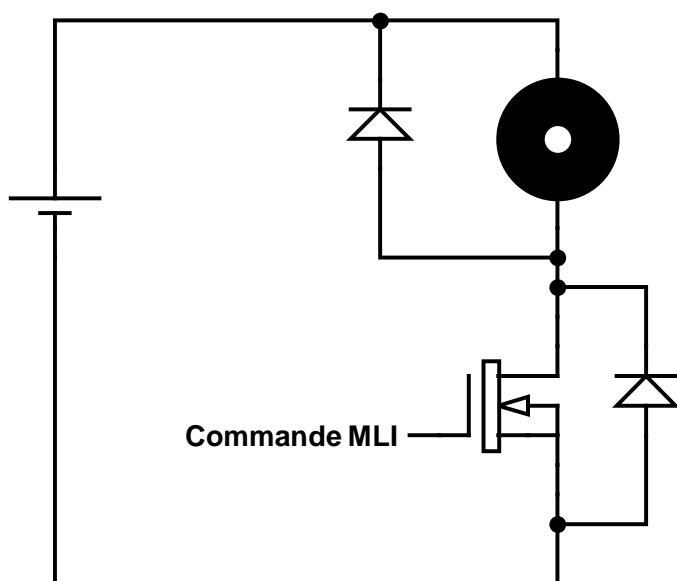


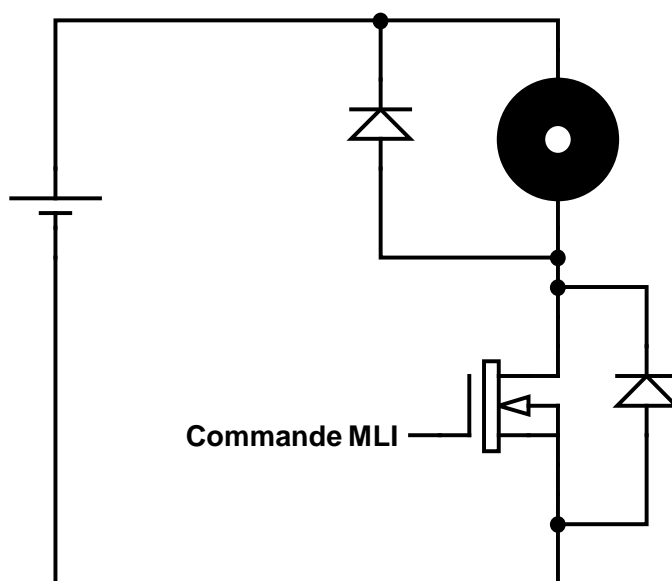
Schéma du hacheur série du Scoot'Elec



Phase motrice



Phase de roue libre

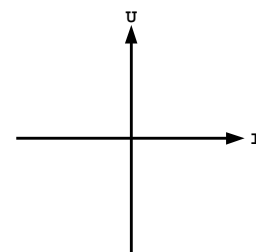


Phase génératrice

**Remarque :** dans chacune des 3 phases, un seul interrupteur est fermé parmi les 3, les deux autres restant ouverts. La diode permettant la récupération du courant en génératrice est appelée **une diode de récupération**.

Ce hacheur est un hacheur 2 quadrants. Il permet de moduler la vitesse du moteur pour un seul sens de rotation : il n'est pas réversible en tension.

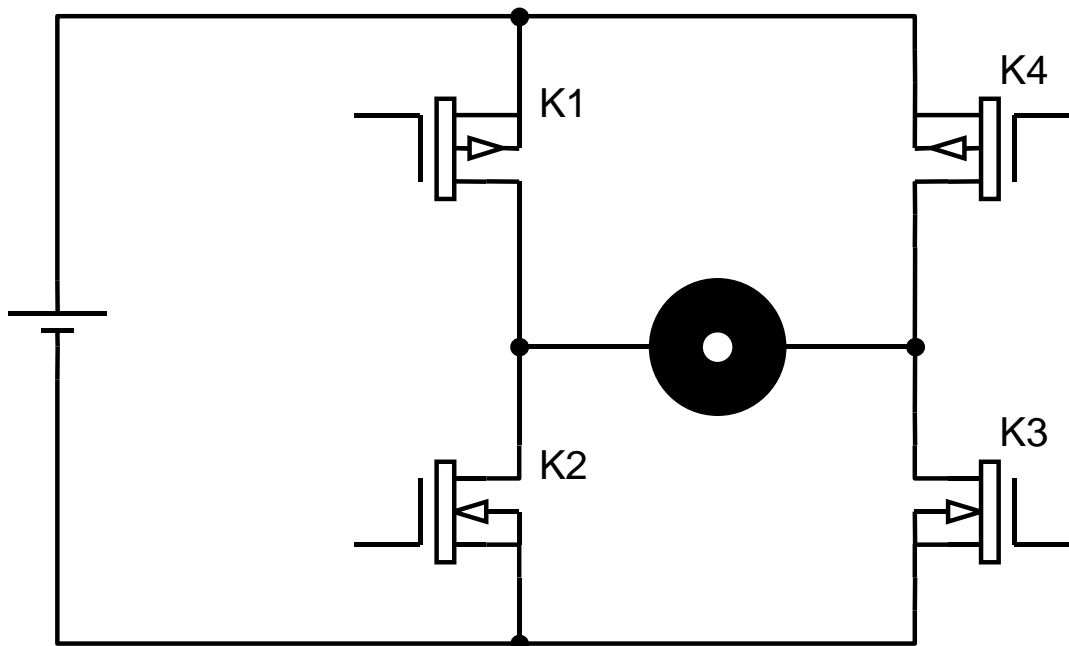
Mais si le moteur fonctionne en générateur, ce hacheur permet de récupérer l'énergie électrique produite par le moteur : il est donc **réversible en courant**.



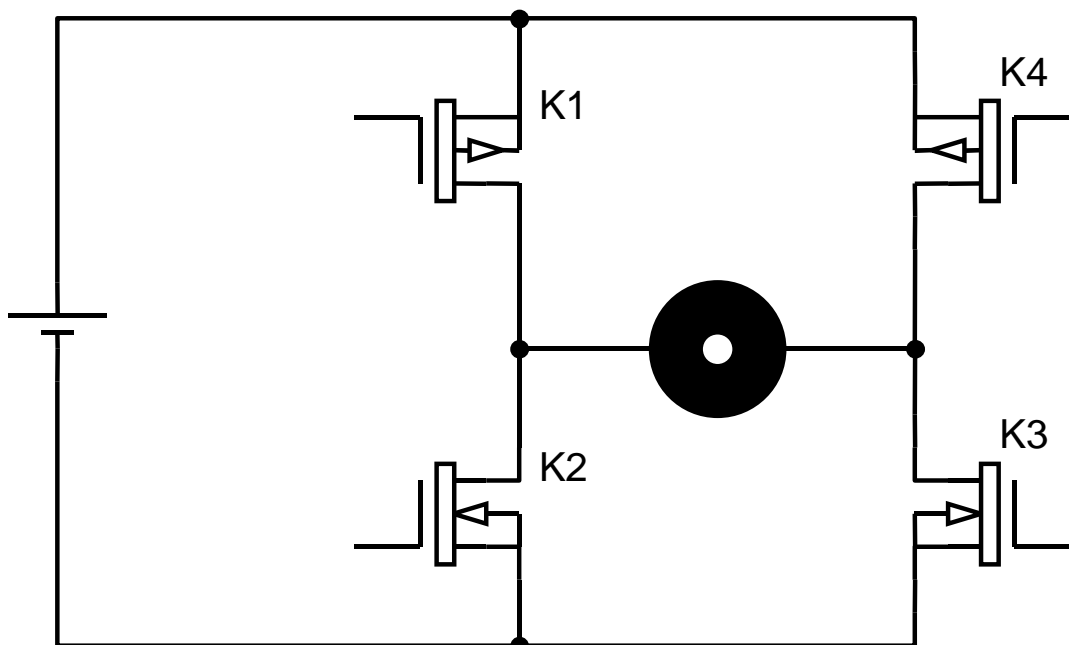
**A retenir :** pour donner à un hacheur série la propriété de réversibilité en courant il faut connecter une diode en anti-parallèle sur l'interrupteur principal du hacheur.

**V - 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.



*Phase motrice en sens 1*



*Phase motrice en sens 2*

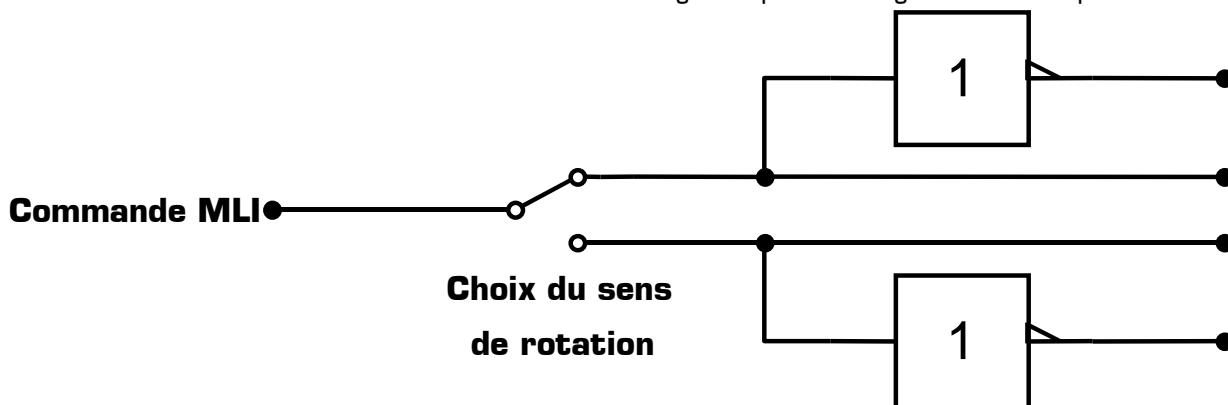
Le moteur est alimenté si on ferme une des deux diagonales du pont en H :

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 transistor MOS à canal N : ils seront fermés si leur grille est reliée à une tension positive, c'est-à-dire lorsque  $V_{GS} > 0$ .

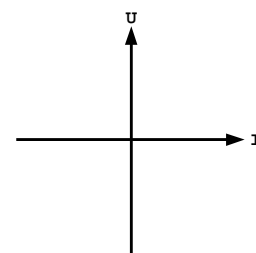
En commandant les transistors MOS par MLI il est possible de moduler la vitesse du moteur, et ce dans les deux sens. Il faut veiller à commander les deux transistors d'une diagonale par deux signaux MLI complémentaires :



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**.

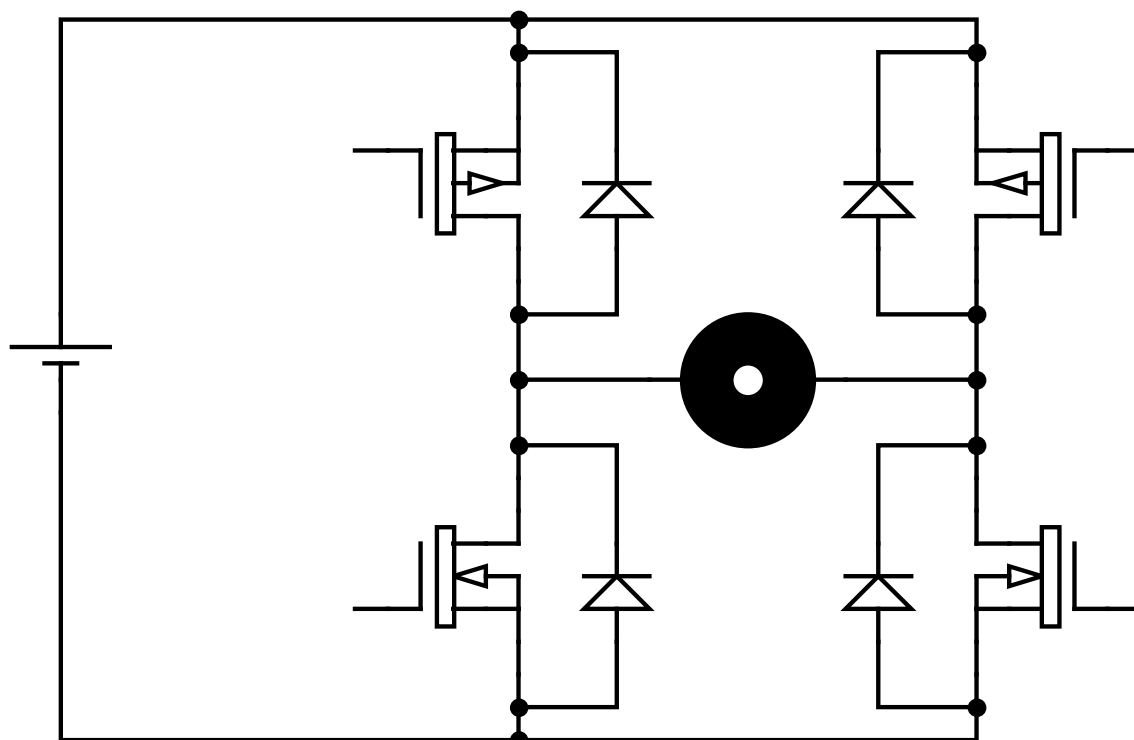
Mais si le moteur fonctionne en générateur, ce hacheur ne permet pas de récupérer l'énergie électrique produite par le moteur : il n'est pas réversible en courant.



**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.

### VI - Le hacheur 4 quadrants

Le hacheur 4 quadrants permet d'alimenter un moteur à courant continu dans les deux sens de rotation (en mode moteur), et permet également de récupérer l'énergie dans les deux sens de rotation lorsque le moteur fonctionne en générateur. Le schéma du hacheur 4 quadrants est celui du pont en H [réversible en tension] à qui on a rajouté 4 diodes pour assurer la réversibilité en courant :



Signe de  $U_M$ ,  $I_M$  et  $P_M$

$U_M$	0
$I_M$	0
$P_M$	0

**Rappel :**  $P_M = U_M \cdot I_M$

Éléments fermés :

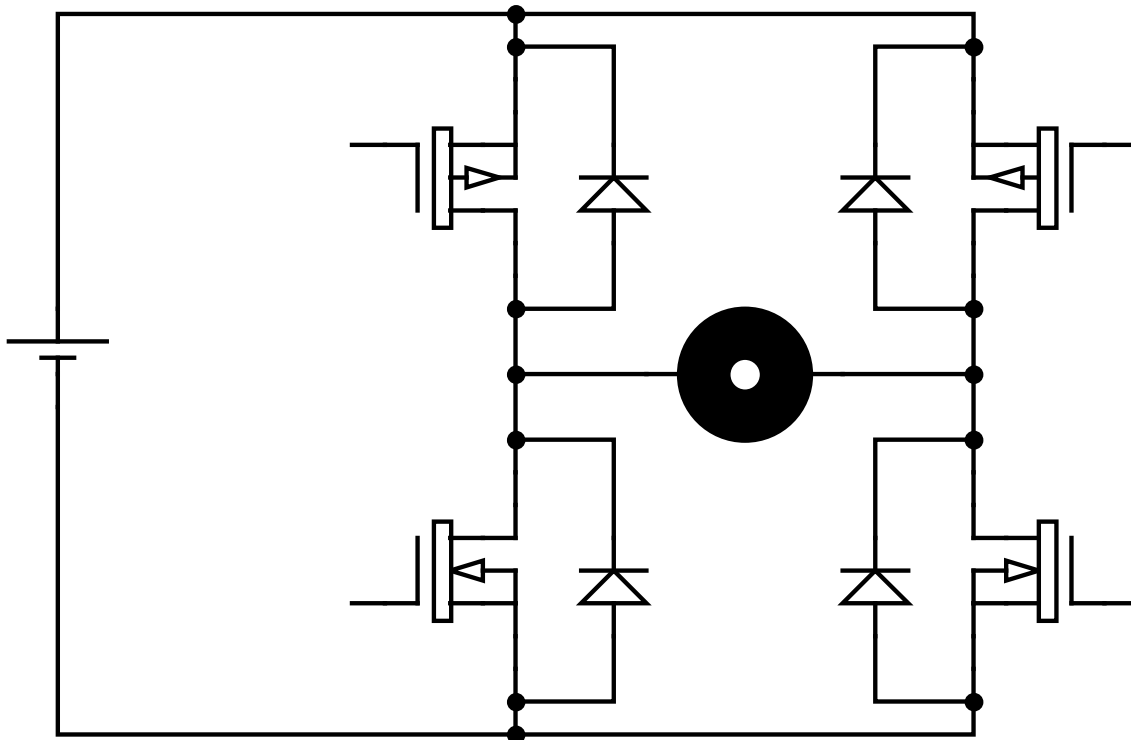
Élément générateur :

- le moteur
- la batterie
- aucun

Élément récepteur :

- le moteur
- la batterie
- aucun

Phase motrice en sens 1



Phase de roue libre en sens 1

Signe de  $U_M$ ,  $I_M$  et  $P_M$

$U_M$  0

$I_M$  0

$P_M$  0

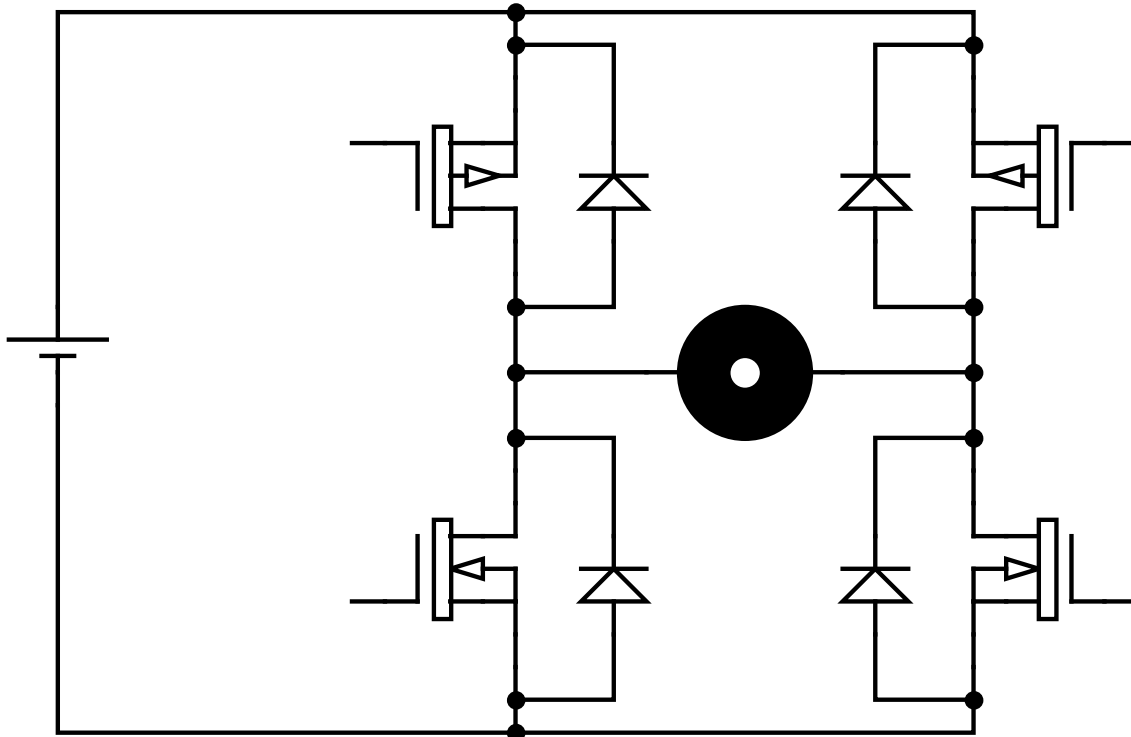
Éléments fermés :

Élément générateur :

- le moteur
- la batterie
- aucun

Élément récepteur :

- le moteur
- la batterie
- aucun



Phase génératrice en sens 1

Signe de  $U_M$ ,  $I_M$  et  $P_M$

$U_M$  0

$I_M$  0

$P_M$  0

Éléments fermés :

Élément générateur :

- le moteur
- la batterie
- aucun

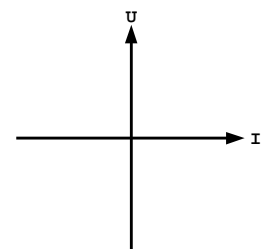
Élément récepteur :

- le moteur
- la batterie
- aucun

Ce hacheur est un hacheur 4 quadrants.

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

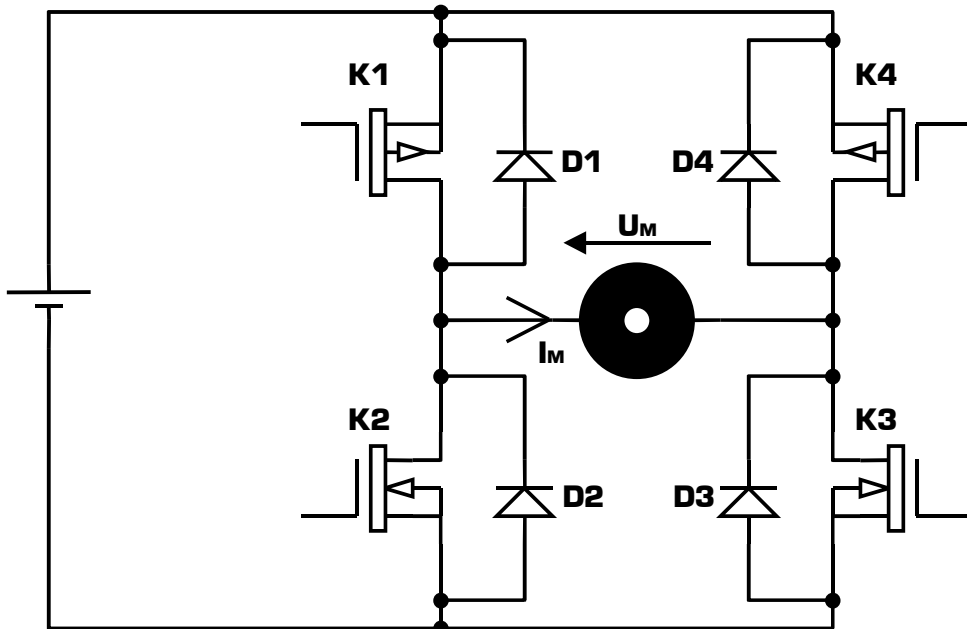
Et si le moteur fonctionne en générateur, ce hacheur permet de récupérer l'énergie électrique produite par le moteur : il est donc **réversible en courant**.



**A retenir :** pour convertir un pont en H en hacheur 4 quadrants il faut connecter une diode en anti-parallèle sur chacun des 4 transistors du pont en H. Ces diodes, appelées diodes de récupération, permettent d'assurer à la fois :

- \* La continuité du courant dans le moteur lors de la phase de **roue libre**
- \* La **réversibilité en courant** afin de récupérer l'énergie dans la batterie lors de la phase génératrice

Complétez les 3 modes de fonctionnement du moteur en sens 2 en y fléchant le sens du courant réel dans le moteur.



**Phase motrice en sens 2 :**

Signe de  $U_M$ ,  $I_M$  et  $P_M$

$U_M$  0  
 $I_M$  0  
 $P_M$  0

Eléments fermés :

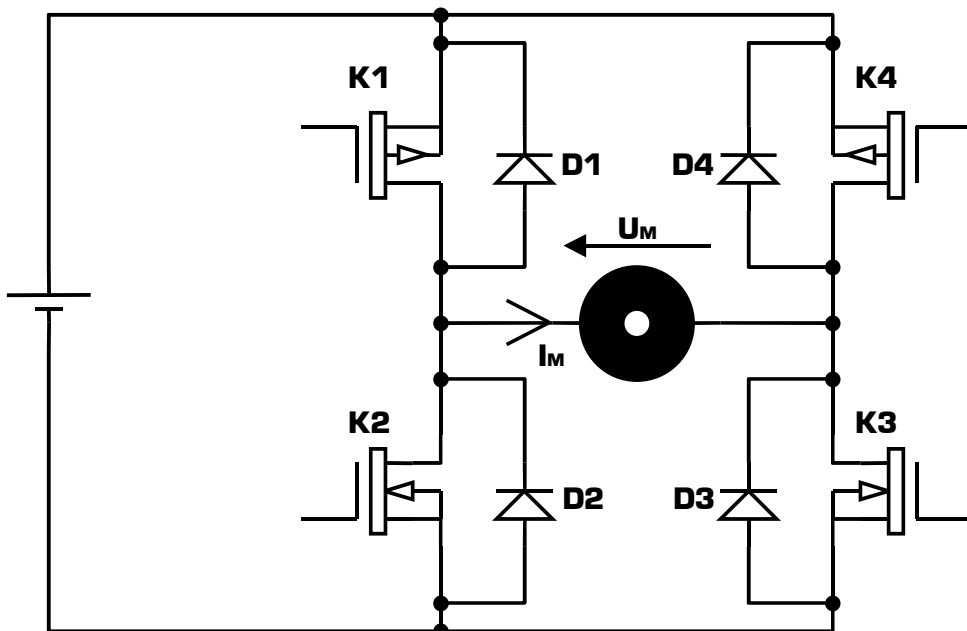
K1  K2  K3  K4  
 D1  D2  D3  D4

Elément générateur :

le moteur  
 la batterie  
 aucun

Elément récepteur :

le moteur  
 la batterie  
 aucun



**Phase de roue libre en sens 2 :**

Signe de  $U_M$ ,  $I_M$  et  $P_M$

$U_M$  0  
 $I_M$  0  
 $P_M$  0

Eléments fermés :

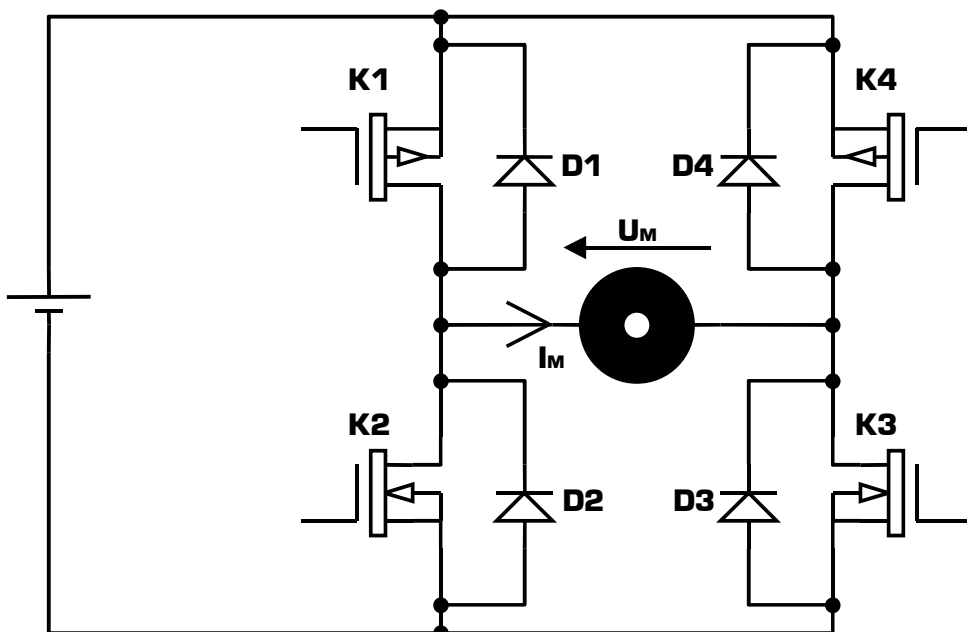
K1  K2  K3  K4  
 D1  D2  D3  D4

Elément générateur :

le moteur  
 la batterie  
 aucun

Elément récepteur :

le moteur  
 la batterie  
 aucun



**Phase génératrice en sens 2 :**

Signe de  $U_M$ ,  $I_M$  et  $P_M$

$U_M$  0  
 $I_M$  0  
 $P_M$  0

Eléments fermés :

K1  K2  K3  K4  
 D1  D2  D3  D4

Elément générateur :

le moteur  
 la batterie  
 aucun

Elément récepteur :

le moteur  
 la batterie  
 aucun