Sciences Appliquées – chap 11.3

REDRESSEMENT COMMANDÉ

– CHARGE Is=CTE -

1 -Généralités.....2
1.1 -Principe de fonctionnement – angle de retard à l'amorçage.....2
1.2 -À quoi ça sert ?.....2
1.3 -Commande des thyristors.....3
2 -Formes d'onde – Relations.....5
2.1 -Hypothèses d'étude.....5
2.2 -Formes d'onde.....5
2.3 -Ce que l'on cherche à savoir.....5
2.4 -Pont PD2 tout thyristor.....6
Tension de sortie.....6
Courant réseau.....7
2.5 -Pont PD2 Mixte.....8
Tension de sortie.....8
Courant réseau.....9
2.6 -Pont PD3 Tout Thyristor.....10
Tension de sortie.....10
Courant réseau.....11
3 -Association pont commandé – Mcc.....12

1 -GÉNÉRALITÉS.

1.1 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT – ANGLE DE RETARD À L'AMORÇAGE.

Un pont redresseur commandé contient des diodes et des thyristors.

Il permet de redresser la tension réseau : en sortie on récupère une portion de la tension réseau, recopiée plusieurs fois sur une période du réseau (2 fois pour un PD2, 6 fois pour un PD3).

En commandant les thyristors, on décale la portion de la tension réseau redressée, ce qui modifie la valeur moyenne de la tension de sortie.

Ce décalage entre la tension récupérée avec un pont à diodes et celle du pont à thyristors s'exprime en degré ou radian et est appelé « l'angle de retard à l'amorçage ». On le notera ψ dans ce cours.

Le thyristor a été le premier interrupteur ***commandé*** de très forte puissance.

Le thyristor bien que plus puissant que le transistor IGBT, est moins facile à commander et moins rapide.

Son avantage est qu'il supporte des tensions <0 : aussi l'énergie peut s'écouler de la charge vers le réseau – le pont fonctionne alors en « onduleur de courant » ou « onduleur assisté ».

1.2 - À QUOI ÇA SERT ?

Un pont redresseur commandé peut alimenter directement à partir du réseau électrique ou à partir d'un transformateur :

- une batterie (chargeur de batterie contrôlé en courant) – ou un système d'électrolyse de forte puissance (fabrication de l'aluminium à Lannemezan)
- l'inducteur d'une Mcc ou d'une MS
- l'induit d'une Mcc

Les ponts redresseurs commandés ont été la base des premiers variateurs de vitesse pour Mcc (motrice BB22200 années 70 puis 1ères rames TGV Paris SudEst).

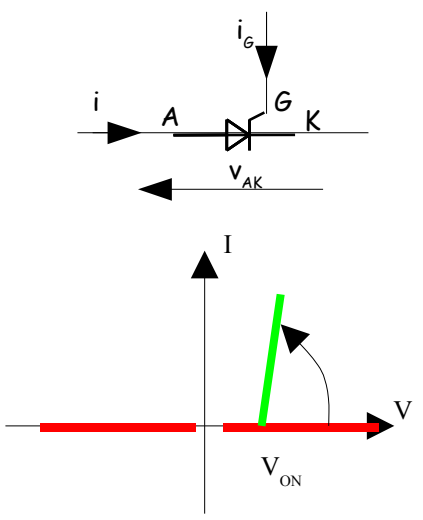
Des structures plus compliquées, associant un pont redresseur commandeur et un

onduleur assisté, ont permis de réaliser les premiers variateurs pour mcs.

Dans le premier type de variateur de vitesse pour Machine Synchrone (TGV Atlantique 1989), l'induit de la MS était alimenté par un pont redresseur commandé fonctionnant « à l'envers » c'est à dire en onduleur de courant.

La cascade hyposynchrone a été le premier variateur pour MAS à rotor bobiné. L' association d'un pont redresseur commandé et d'un onduleur de courant permet de contrôler le courant rotor, donc le couple d'une MAS à rotor bobiné. Cette technologie est encore utilisée dans les concasseurs, et certaines éoliennes (type « MADA »).

1.3 - Commande des thyristors.



Pour qu'un thyristor conduise, il faut 2 conditions :

- que sa tension v_{AK} soit positive
- qu'on envoie une impulsion de courant sur sa gâchette (fermeture commandée).

Un thyristor conduit tant que i>0

Lorsque i=0, le thyristor s'ouvre (ouverture naturelle non commandée).

Pour connaître l'état d'un thyristor il faut être capable de définir les 2 événements :

1. la ***zone d'amorçage*** du thyristor : c'est l'intervalle où le thyristor peut conduire,
2. l'***angle de retard à l'amorçage :*** c'est le moment où le thyristor commence à conduire.

Pour définir ces 2 évènements, il faut remplacer le thyristor dans le montage par une diode fictive et suivre les étapes suivantes :

1. Il faut repérer le début de conduction de la diode fictive.
2. Il faut mesurer le temps de conduction t_D de la diode fictive.
3. Un thyristor peut être amorcé dès que la diode fictive conduit. Sa zone d'amorçage dure toujours $T/2$.
4. « L'angle de retard à l'amorçage » est le retard en degré ou radian entre le début de conduction de la diode fictive et le début de conduction du thyristor.
5. Une fois amorcé, le thyristor conduit aussi longtemps que la diode fictive (soit une durée t_D).

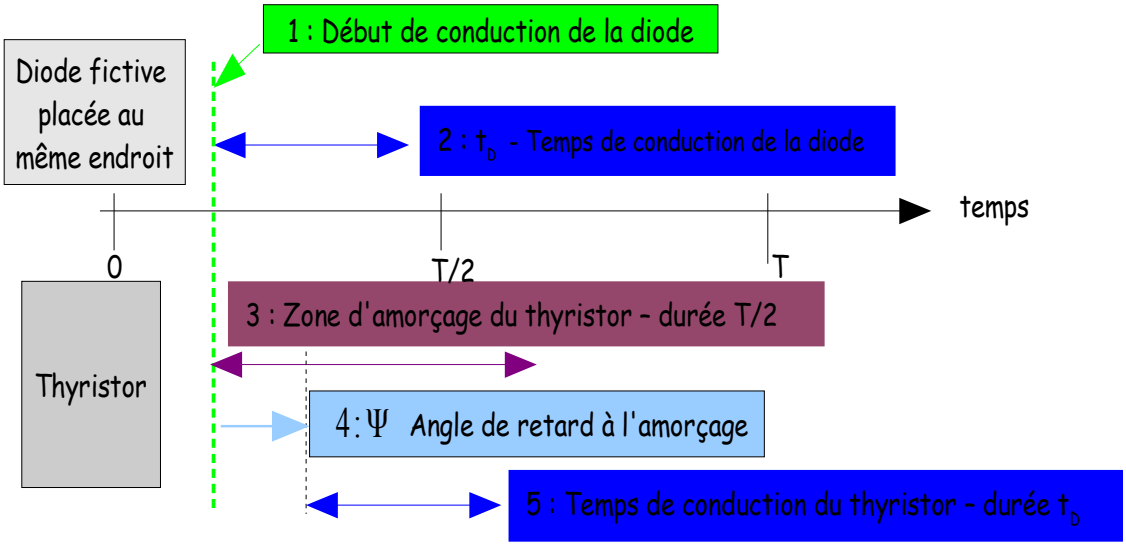


figure 1: définitions de la zone d'amorçage et de l'angle de retard à l'amorçage d'un thyristor.

Un thyristor amorcé avec un angle de retard à l'amorçage nul se comporte comme une diode.

L'angle de retard maximal théorique est de 180° (car la zone d'amorçage dure T/2) – en pratique il est limité à 150°.

2 -Formes d'onde – Relations.

2.1 - Hypothèses d'étude.

On suppose que les interrupteurs sont idéaux : à l'état passant, la tension à leurs bornes est nulle.

On suppose que la charge du pont est capable dans *n'importe quelle condition de tension* d'appeler un courant i_S .

On suppose que l'inductance de la charge du pont est suffisamment forte pour que le courant de sortie soit parfaitement lissé : $I_S = cte$.

On suppose être en régime périodique établi : mis à part le courant de sortie, tous les autres signaux sont périodiques.

2.2 - Formes d'onde.

La partie redressée de tension est décalée de l'angle de retard à l'amorçage ψ par rapport à un pont à diode.

S'il y a aussi des diodes dans le pont (pont mixte) la tension de sortie ne peut être que positive.

Le courant d'entrée a la même forme que pour le pont à diode, mais il est retardé de l'angle de retard à l'amorçage.

Dans le pont mixte, le courant est décalé mais s'annule lorsque la tension de sortie s'annule.

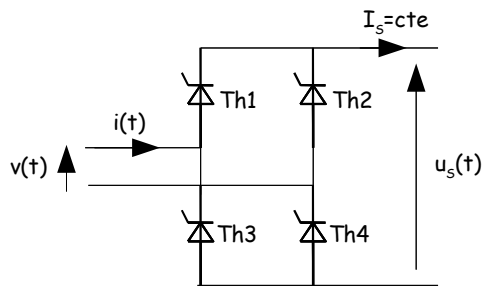
2.3 - Ce que l'on cherche à savoir.

La première chose que l'on cherche c'est le lien entre la tension moyenne récupérée en sortie et l'angle ψ .

Évidemment, comme tout élément branché sur le réseau, on va évaluer la qualité du courant et des puissances appelées.

Enfin, on cherchera à limiter l'ondulation du courant dans la charge en dimensionnant une inductance de lissage. On utilisera la méthode du 1er harmonique présentée dans le cours sur le redressement non commandé.

2.4 - Pont PD2 tout thyristor.



2 branches montées en parallèle et constituées chacune de 2 thyristors.

Tension d'alimentation réseau monophasé V .

Tension de sortie.

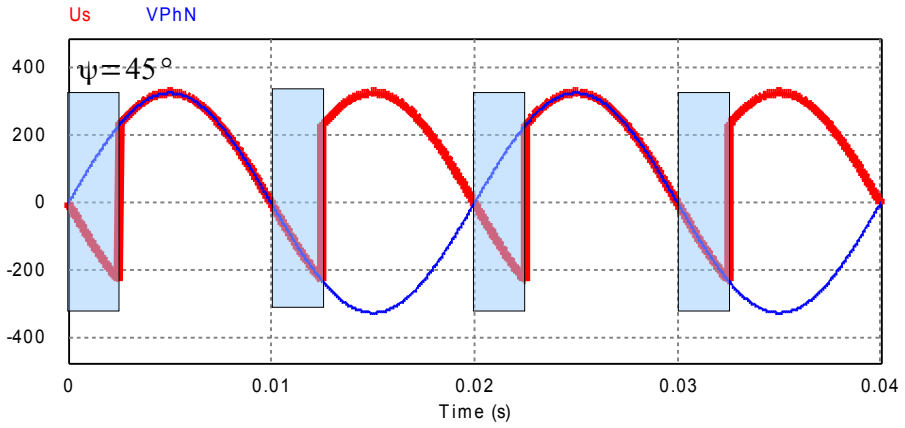


figure 2: simulation tension de sortie PD2 TThy Is=cte retard 45°

Un pont PD2 à diodes recopie la partie positive de la tension réseau.

Un pont PD2 tout thyristor recopiera la partie positive de la tension réseau, mais à partir de ψ .

Ondulation : $U_{Smax}=V_{Max}$, $U_{Smin}=-V_{Max}$

Valeur moyenne : $U_{SDC}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\cos\psi\times V$

- $\psi<\pi/2$: $U_{SDC}>0$, $P_{DC}=U_{SDC}\times I_S>0$

fonctionnement redresseur : l'énergie électrique va du réseau vers la charge

- $\psi>\pi/2$: $U_{SDC}<0$, $P_{DC}=U_{SDC}\times I_S<0$

fonctionnement onduleur de courant : l'énergie électrique va de la charge vers le réseau.

Courant réseau.

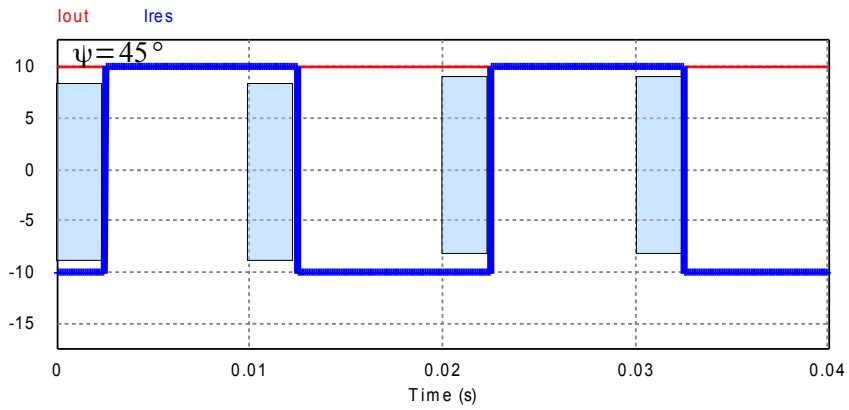


figure 3: simulation courant réseau PD2 TThy Is=cte retard 45°

Le courant réseau d'un pont PD2 à diodes est carré, synchrone avec la tension réseau (même passages à 0).

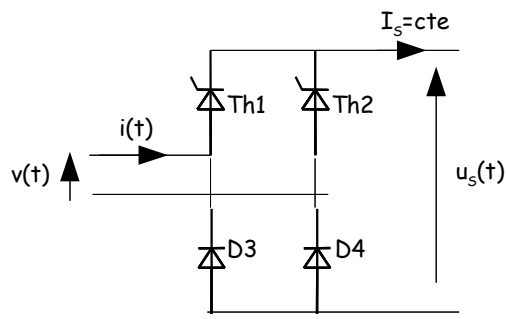
Le courant réseau d'un pont PD2 tout thyristor sera carré, mais retardé de ψ *sur la tension réseau.*

Valeur efficace courant réseau $I_{AC+DC}=I_S$

Valeur efficace fondamental courant $I_{1f}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}I_S$

$\phi_{1f}=\psi$: le fondamental du courant est en retard de ψ sur la tension réseau.

2.5 - Pont PD2 Mixte.



2 branches montées en parallèle composées d'un thyristor et d'une diode.

Ou 1 branche à 2 thyristors en parallèle avec 1 branche à 2 diodes.

Tension de sortie.

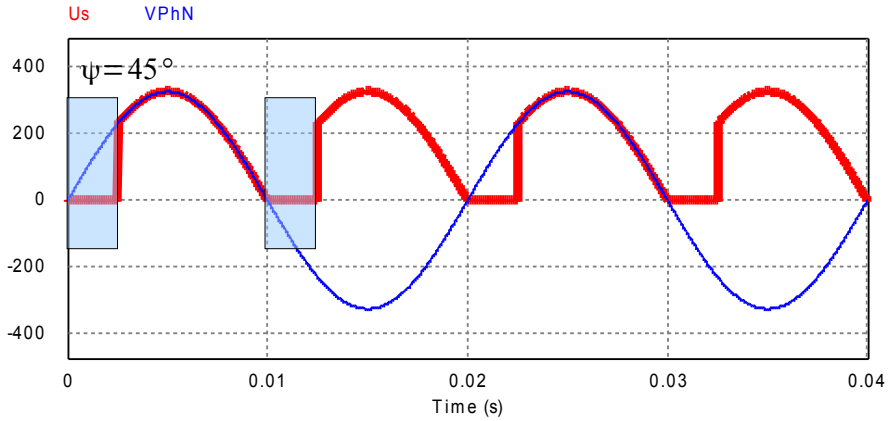


figure 4: Simulation tension de sortie PD2 mixte Is=cte pour retard 45°

On retrouve la même forme de tension que le PD2 tout thyristor, mais la partie <0 de la tension est supprimée.

Ondulation : $U_{Smax}=V_{Max}$, $U_{Smin}=0$

Valeur moyenne : $U_{SDC}=\frac{\sqrt{2}}{\pi}(1+\cos\psi)\times V\geq 0$

<=> fonctionnement uniquement en redresseur.

Courant réseau.

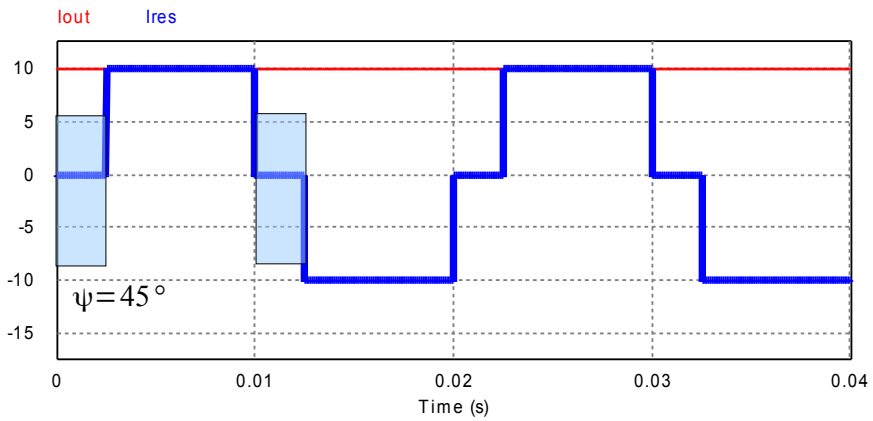


figure 5: Simulation courant réseau PD2 mixte Is cte pour retard 45°

On retrouve la même forme de courant que le PD2 tout thyristor, mais le courant réseau est nul quand la tension de sortie s'annule (« phase de roue libre » où le réseau est déconnecté de la charge).

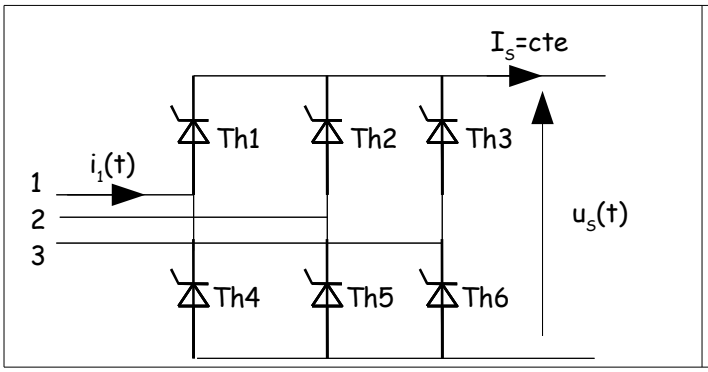
Valeur efficace courant réseau : $I_{AC+DC}=\sqrt{1-\frac{\psi}{\pi}}\times I_S$

Valeur efficace fondamental courant $I_{1f}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\cos\frac{\psi}{2}\times I_S$

<=> les harmoniques du courant dépendent de ψ

retard fondamental courant $\phi_{1f}=\frac{\psi}{2}$

2.6 - Pont PD3 Tout Thyristor.



3 branches alimentées par un réseau triphasé de tensions équilibrées U

Tension de sortie.

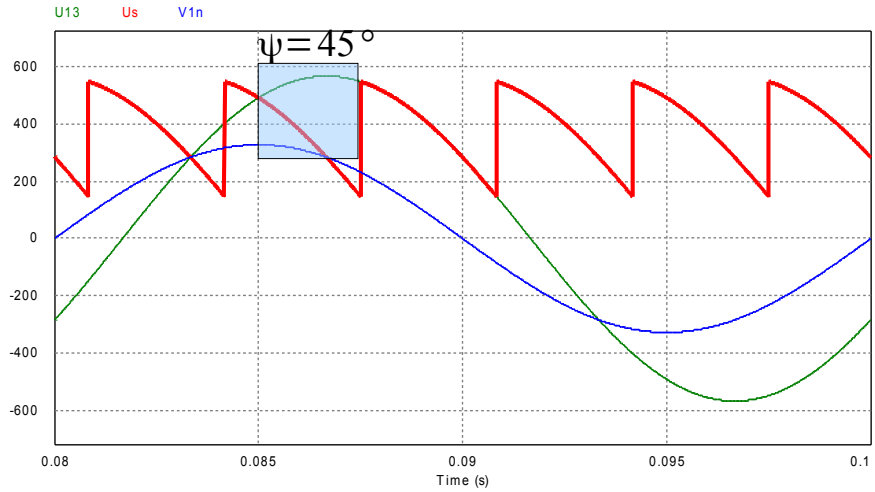


figure 6: simulation tension de sortie PD3 TThy Is=cte retard 45°

Un pont PD3 à diodes recopie la calotte des tensions composées.

Un pont PD3 tout thyristor recopiera la calotte des tensions composées, mais à partir de ψ .

ondulation : $U_{Smax}=+U\,,U_{Smin}=-U$

valeur moyenne : $U_{SDC}=\frac{3\sqrt{6}}{\pi}\cos\psi\times V$

- $\psi<\pi/2$: $U_{SDC}>0$, $P_{DC}=U_{SDC}\times I_S>0$

fonctionnement redresseur : l'énergie électrique va du réseau vers la charge

- $\psi>\pi/2$: $U_{SDC}<0$, $P_{DC}=U_{SDC}\times I_S<0$

fonctionnement onduleur de courant : l'énergie électrique va de la charge vers le réseau.

Remarque : la commande des thyristors se fait en repérant les passages à 0 de la

tension u_{13} qui est en retard de 30° sur v_{1n} .

Courant réseau.

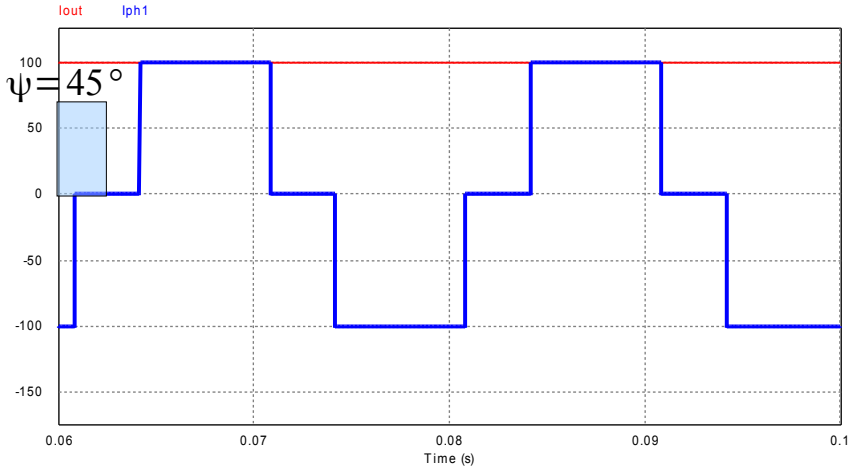


figure 7: simulation courant réseau phase 1 PD3 TThy Is=cte retard 45°

Le courant réseau d'un pont PD3 à diodes est créneau 30°, synchrone avec la tension réseau (même passages à 0).

Le courant réseau d'un pont PD3 tout thyristor sera créneau 30°, mais retardé de ψ *sur la tension réseau.*

Valeur efficace courant réseau : $I_{AC+DC}=\sqrt{\frac{2}{3}}\times I_S$

valeur efficace fondamental courant : $I_{1f}=\frac{\sqrt{6}}{\pi}\times I_S$

retard fondamental courant sur tension simple : $\phi_{1f}=\psi$

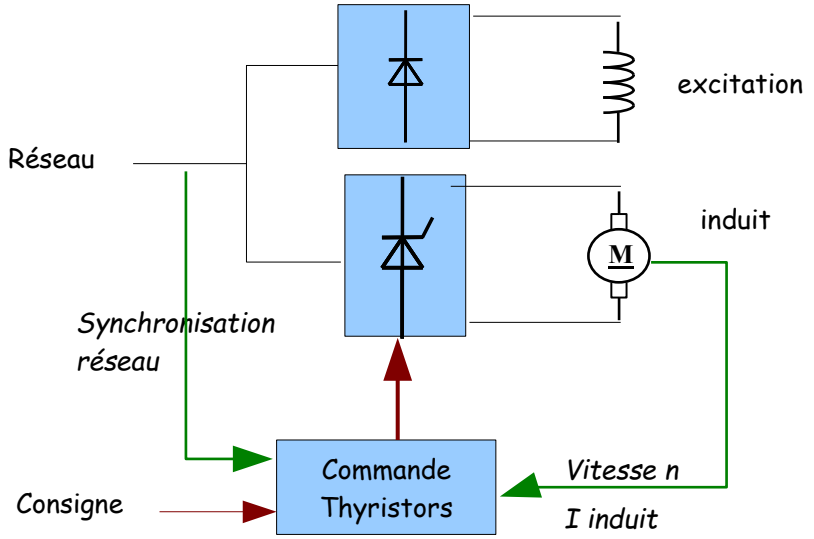
3 -Association pont commandé – Mcc

Une mcc doit être alimentée (excitation et induit) par un courant continu.

Dans une mcc, la vitesse n dépend de la tension moyenne d'induit U, et le couple C est proportionnel au courant d'induit I.

Si le courant n'est pas constant, le couple n'est pas constant : la mcc provoque des oscillations mécaniques.

À cause de l'ondulation du courant les pertes Joule seront plus importantes ($P_J = R I_{AC+DC}^2$; $I_{AC+DC} > I_{DC}$) - la machine chauffera plus.



Le pont commandé permet de contrôler la tension moyenne sur l'induit.

Ce qui nous permet de contrôler la vitesse ou le courant d'induit moyen.

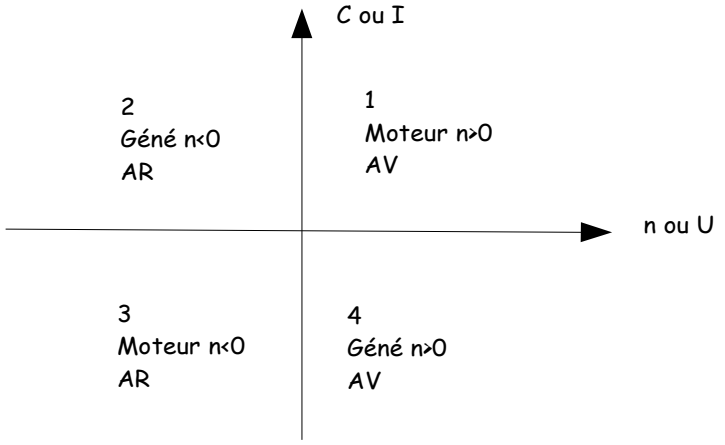


Illustration 1: Quadrants électriques et mécaniques

En génératrice, une machine renvoie de l'énergie électrique vers le réseau – elle fonctionne comme un frein mécanique.

Un pont à thyristor permet d'avoir I>0 et U>0 ou <0 : on peut fonctionner en moteur AV ou frein AR.

Cette structure est donc naturellement

	adaptée aux mouvements verticaux.