

Chaque véhicule en mouvement stocke de l'énergie cinétique. La quantité de cette énergie dépend de la masse du véhicule et de sa vitesse, la masse agissant de manière linéaire et la vitesse agissant au carré. Cela signifie que lorsqu'un véhicule roule à 50 km/h, il a stocké une certaine quantité d'énergie cinétique ; à 100 km/h, il n'en stocke pas deux mais quatre fois plus. Lors du freinage, l'énergie entre les plaquettes de frein et les disques de frein est transformée en chaleur par friction. Lors d'un accident, la même chose se produit en raison du frottement moléculaire dans les tôles et les structures qui se déforment.

Lors d'une décélération normale au freinage, une partie de l'énergie cinétique peut également être reconvertie en énergie électrique dans le moteur électrique d'un véhicule hybride ou électrique et stockée dans la batterie.

Énergie de freinage

Étant donné que les e-machines des véhicules hybrides et électriques peuvent fonctionner à la fois comme moteurs et générateurs, l'énergie lors du freinage peut être convertie directement de l'e-machine en énergie électrique et transmise à la batterie par l'électronique de puissance. Cependant, un micro-processeur supplémentaire est nécessaire, qui doit déterminer à quel moment la quantité d'énergie de freinage est convertie en énergie électrique et quelle quantité en énergie thermique.

Les énergies électriquement convertibles sont représentées sur la fig. 1. Les zones bleues doivent être converties de manière conventionnelle à l'aide de freins à friction. En fonction des performances de l'e-machine, les zones bleues deviennent plus grandes ou plus petites. Dans la zone 3, la puissance maximale de l'e-machine représente la limite de récupération. Si elle devait convertir davantage d'énergie de freinage, elle surchaufferait. En zone 2, la machine gère toute la conversion énergétique. C'est dans ce domaine qu'il récupère avec la meilleure efficacité. Dans la zone 1, la vitesse (régime) est plus petite et l'induction ou la possibilité de récupération devient plus faible.

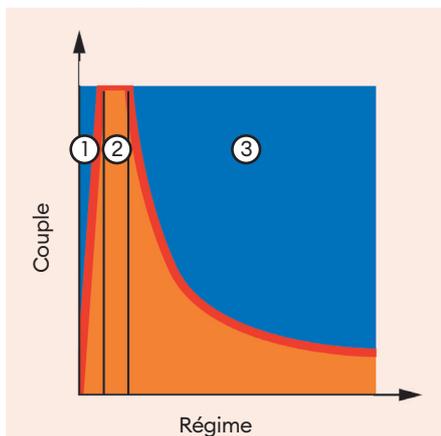


Fig. 1 : L'énergie de freinage à dissiper est répartie entre l'e-machine (orange) et les freins à friction (bleu).

Mais il ne s'agit pas uniquement de la machine de traction : la batterie doit être capable d'absorber et de stocker l'énergie électrique fournie à tout moment. Cela signifie que la récupération n'est pas seulement un défi pour l'e-machine, mais pour l'ensemble du système d'entraînement électrique. L'électronique de commande doit savoir exactement ce que la batterie peut gérer et quelle puissance l'e-machine peut convertir. Le frein à friction doit absorber le reste de l'énergie de freinage et la convertir en chaleur.

Récupération avec un PSM

La machine synchrone à aimant permanent (PSM) est pilotée pour le freinage de récupération. Bien entendu, les enroulements de champ ne pourraient tout simplement pas être alimentés. La rotation du rotor et le flux magnétique des aimants permanents créeraient une induction. La batterie est chargée et le véhicule ralentit. Cependant, dans cette phase de fonctionnement (non régulée), le PSM freinerait à pleine puissance et un freinage partiel ne serait pas possible.

Lorsque le moteur est entraîné, un important courant d'excitation circule, ce qui crée un champ tournant dans le stator. La fréquence du champ tournant doit correspondre exactement à la vitesse du moteur synchrone. Cependant, les capteurs de position dans le rotor peuvent créer un angle de charge positif (Fig. 3). Plus l'angle de charge est grand, plus le couple et l'accélération sont importants. Lorsque le véhicule roule, le champ tournant doit encore être maintenu afin que les aimants permanents ne provoquent aucune induction de freinage.

Angle de charge négatif

Si l'angle de charge est dans la plage négative, le rotor tourne en avant du champ tournant et l'induction de freinage est générée (Fig. 3). A un moment donné, l'induction du frein dépasse la tension d'excitation, qui est coupée et le courant d'excitation est produit par le courant d'induction. Le courant d'induction excédentaire est acheminé via le convertisseur DC/DC vers la batterie,

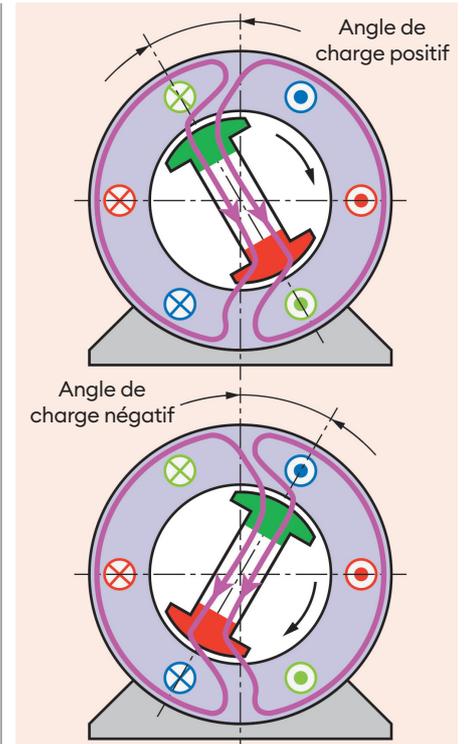


Fig. 3 : L'angle de charge apparaît lorsque le champ tournant avance pour accélérer ou que le rotor est freiné pour décélérer. en haut : accélération, en bas : freinage

qui est chargée. Dans le diagramme à quatre quadrants (Fig. 2), une ligne doit être tracée du haut à droite (1^{er} quadrant - fonctionnement moteur) vers le bas (4^e quadrant - fonctionnement générateur). En fonction du retard, la ligne sera presque verticale à assez oblique. Plus la ligne est inclinée, plus l'électronique règle l'angle de charge négatif et donc le couple de freinage. Selon la fig. 1, le régime de l'e-machine devient soudainement si faible qu'une récupération n'a plus de sens et le champ tournant est réduit (b sur la fig. 2). Dans la dernière phase (c sur la fig. 2), le champ tournant est encore juste assez grand pour que l'induction de freinage soit nulle. Les puissants aimants permanents provoquent une induction à chaque mouvement du moteur. Cela signifie que le moteur doit être contrôlé avec précision même au ralenti.

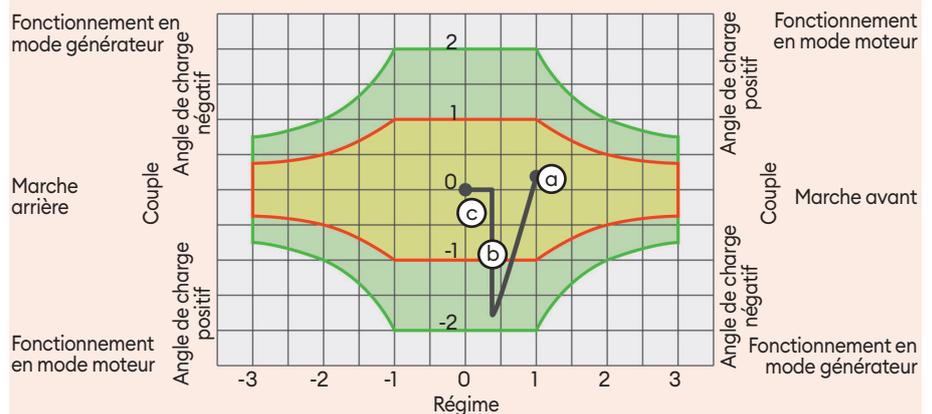


Fig. 2 : Le diagramme à quatre quadrants avec la ligne de freinage. a Début du freinage - la décélération se produit jusqu'à un angle de charge négatif maximum (= couple de freinage) - b le régime moteur est trop faible pour une récupération efficace - c le champ tournant est réglé au ralenti.