

4.3 Moteur à collecteur: commande à hacheur

Sur une charge inductive, on peut appliquer une tension pulsée u_d par un commutateur CS . La tension moyenne u_b aux bornes de la charge correspond au produit du rapport cyclique par la tension d'alimentation u_{1c} . Une diode D_r dite "de roue libre" garantit l'écoulement du courant inductif lorsque le commutateur est ouvert. Un filtre d'entrée LC est dimensionné d'après la fréquence du hacheur pour limiter les ondulations du courant dans le réseau d'alimentation.

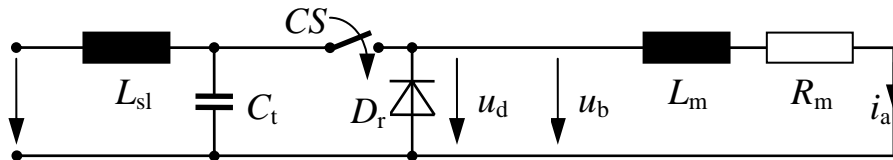


Fig. 4.77 Principe du hacheur.

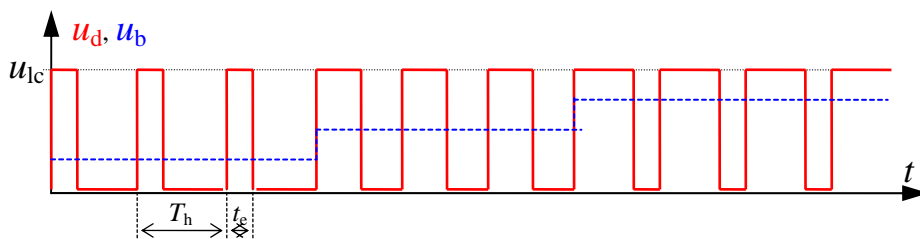


Fig 4.78 Tensions instantanée u_d et moyenne u_b à la sortie du hacheur.

$$u_b = u_{1c} \frac{t_e}{T_h} \tag{4.43}$$

Le moteur à collecteur peut être alimenté depuis une ligne de contact à tension continue à travers un hacheur. Le point de fonctionnement du moteur est ajusté par son rapport cyclique, sans discontinuité dans la variation. Le commutateur est un contacteur statique: un montage à thyristors, un GTO ou un IGBT au gré de l'évolution de la technologie entre 1970 et 2000, avec des fréquences évoluant entre 400 Hz et 2 kHz. On présente ici un schéma récent. L'inversion du flux de puissance est obtenue par changement du sens du courant d'induit. Les premières réalisations utilisaient le même hacheur en traction et en freinage: la topologie du circuit était modifiée par des contacteurs électromécaniques manipulés à courant nul.

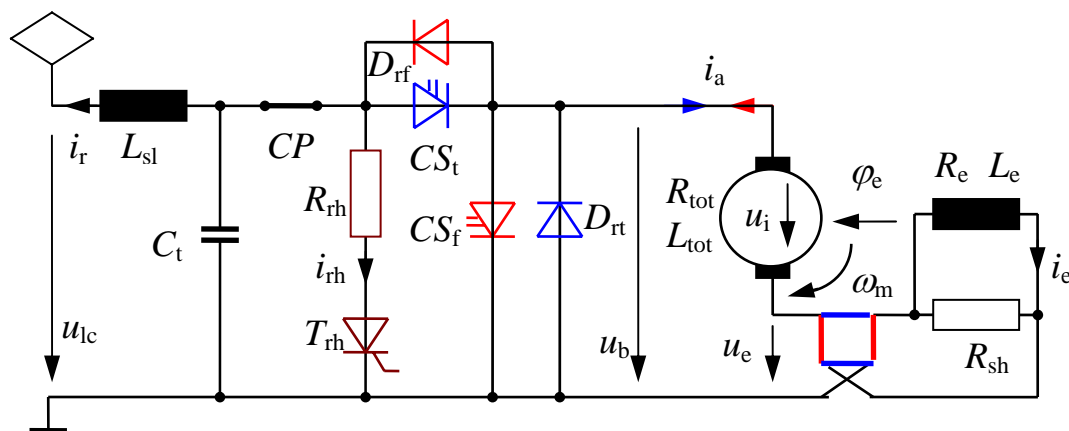


Fig. 4.76 Moteur à collecteur et hacheur: traction.

Fig. 4.82 Moteur à collecteur et hacheur: freinage à récupération à excitation série.

Fig. 4.88A Moteur à collecteur et hacheur: freinage rhéostatique à excitation série.

La résistance R_{sh} permet de dériver environ 2 % du courant d'induit moyen, mais la quasi totalité de la composante pulsante, ce chemin ne contenant pas d'inductance: on limite ainsi la pulsation sur le couple moteur. Le freinage à récupération est assuré par le contacteur CS_f et la diode de récupération D_f . Si le réseau n'est pas apte à récupérer la totalité de la puissance de freinage, le surplus est détruit dans la résistance fixe R_{rh} à travers le thyristor T_{rh} : on parle volontiers de frein combiné. En freinage rhéostatique pur (caractéristique 4.90A), le contacteur principal CP est ouvert et le contacteur CS_f pulse sur le rhéostat pour régler sa valeur ohmique équivalente, un contacteur électromécanique remplace alors souvent T_{rh} .

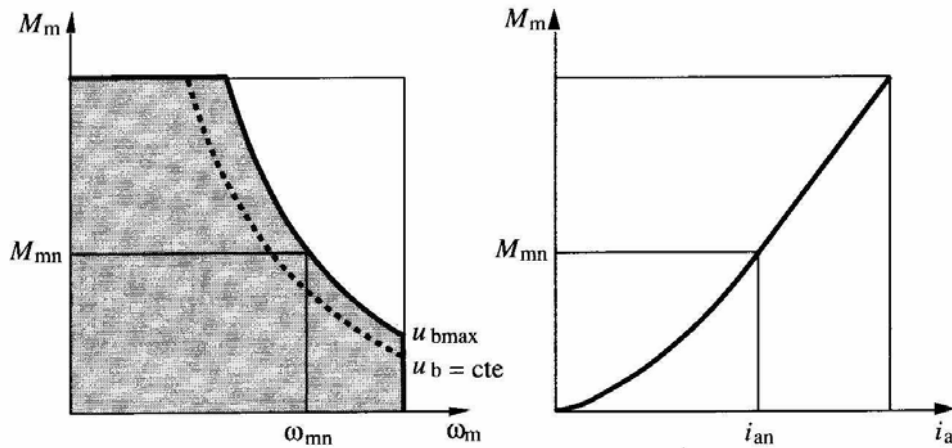


Fig. 4.79 Moteur à collecteur et hacheur: caractéristiques en traction.

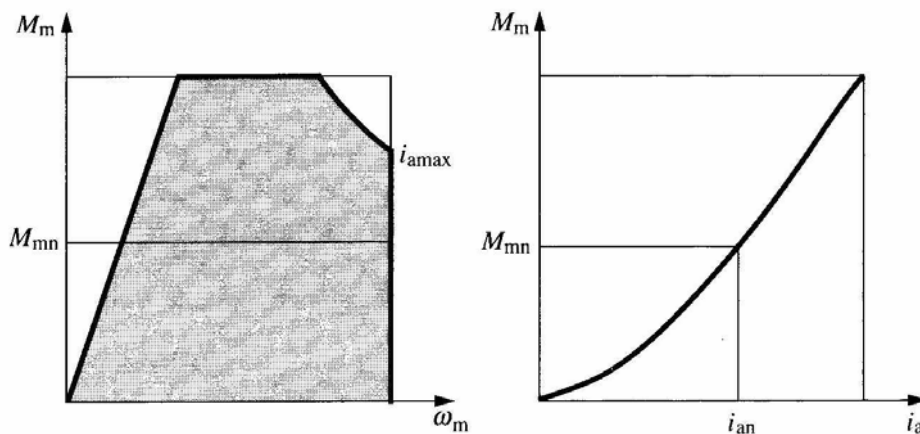


Fig. 4.85 Moteur à collecteur et hacheur: caractéristiques en freinage à récupération à excitation série.

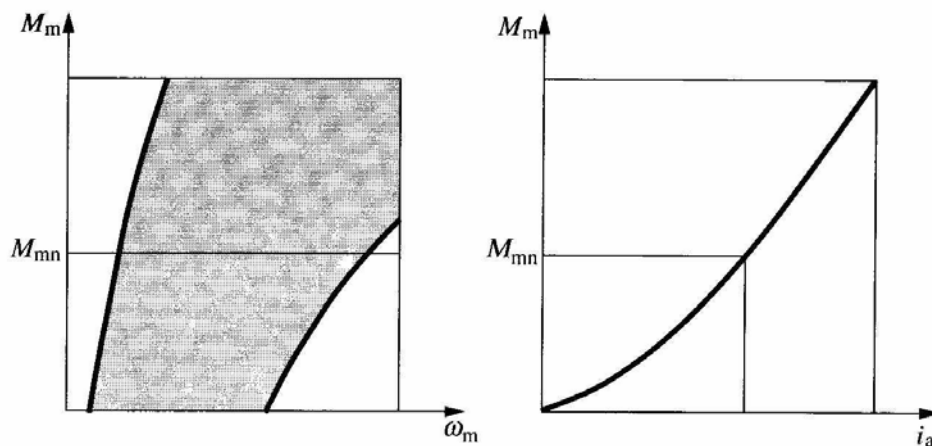


Fig. 4.90A Moteur à collecteur et hacheur: caractéristiques en freinage rhéostatique à excitation série.

L'inversion du flux de puissance peut aussi être obtenue par inversion du sens de la tension aux bornes. Dans ce cas, le même hacheur fonctionne en traction et en freinage : le contacteur CF est ouvert en mode freinage (Semaly : Metro A, Üstra : 6000, SZU : Be 4/4). La aussi, le thyristor T_{rh} ne conduit que la part de l'énergie qui ne peut pas être récupérée.

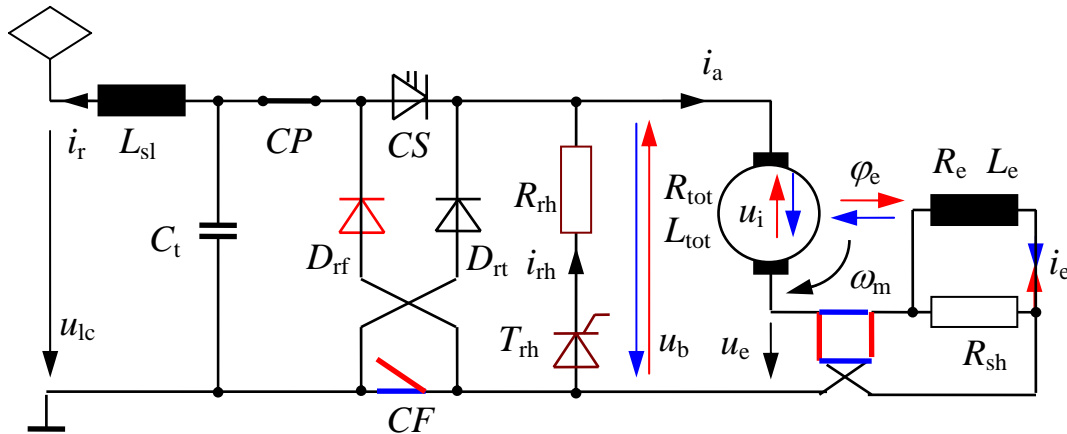


Fig. 4.87A Moteur à collecteur et hacheur: traction.

Fig. 4.87B Moteur à collecteur et hacheur: freinage à récupération à excitation série.

Fig. 4.88A Moteur à collecteur et hacheur: freinage rhéostatique à excitation série.

Les caractéristiques sont les mêmes (fig. 4.79, 4.85 et 4.90A).

Dans certaines applications, on a recours à l'excitation séparée par un hacheur spécifique CS_e . Si ce dernier est piloté en traction pour que le courant d'excitation suive le courant d'induit jusqu'à pleine ouverture du hacheur principal CS_t , on parle de *moteur à image série*. Lorsque CS_t est à pleine ouverture, on peut diminuer le courant d'excitation pour affaiblir le champ, ce qui élargit le domaine de fonctionnement du moteur (MOB: GDe 4/4). En freinage combiné, le thyristor T_{rh} n'est piloté que pour éliminer la part d'énergie de freinage qui ne peut pas être récupérée par le réseau. En freinage rhéostatique pur, le hacheur CS_f est inactif (ou absent), CP est ouvert et un contacteur électromécanique remplace souvent T_{rh} .

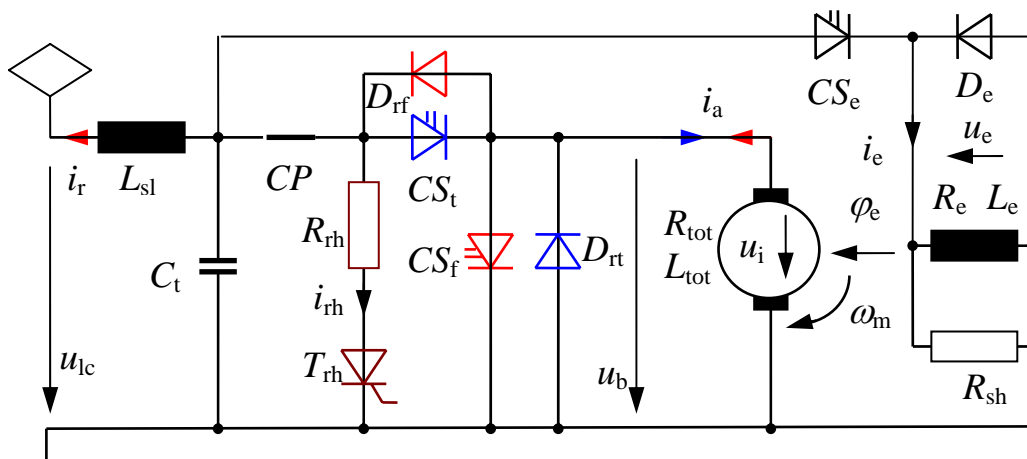


Fig. 4.95 Moteur à collecteur et hacheur: traction à excitation séparée.

Fig. 4.86A Moteur à collecteur et hacheur: freinage à récupération à excitation séparée.

Fig. 4.88C Moteur à collecteur et hacheur: freinage rhéostatique à excitation séparée.

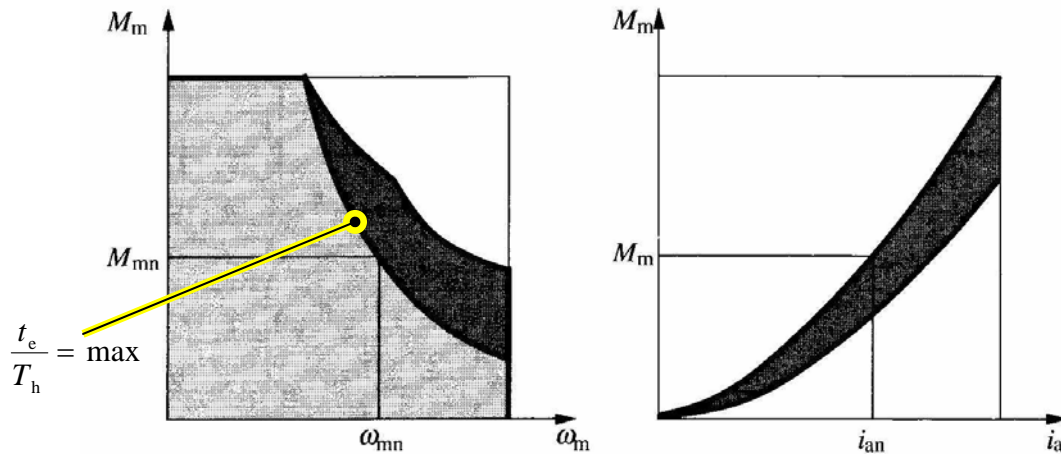


Fig. 4.97 Moteur à collecteur et hacheur: caractéristiques en traction à excitation séparée : « image série ».

On trouve aussi des commandes qui imposent un courant constant pour toute la plage de réglage du rapport cyclique du hacheur principal. Le courant d'excitation imposé peut être plus faible pour élargir la plage de fonctionnement (SJ : Rc4)

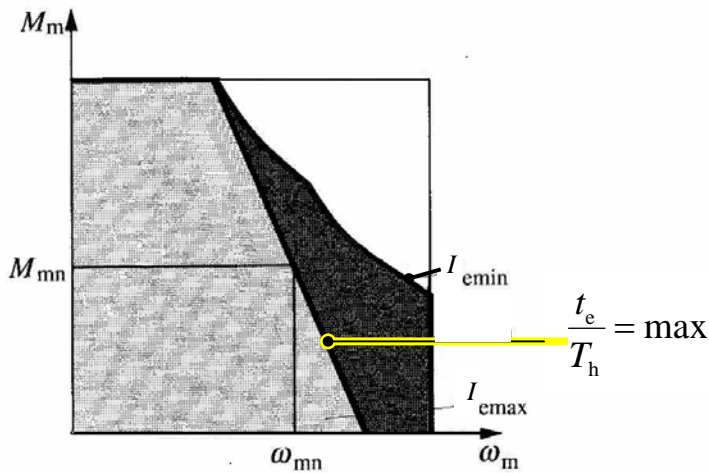


Fig. 4.97A Caractéristiques pour un moteur à collecteur alimenté par hacheur, avec excitation séparée constante.

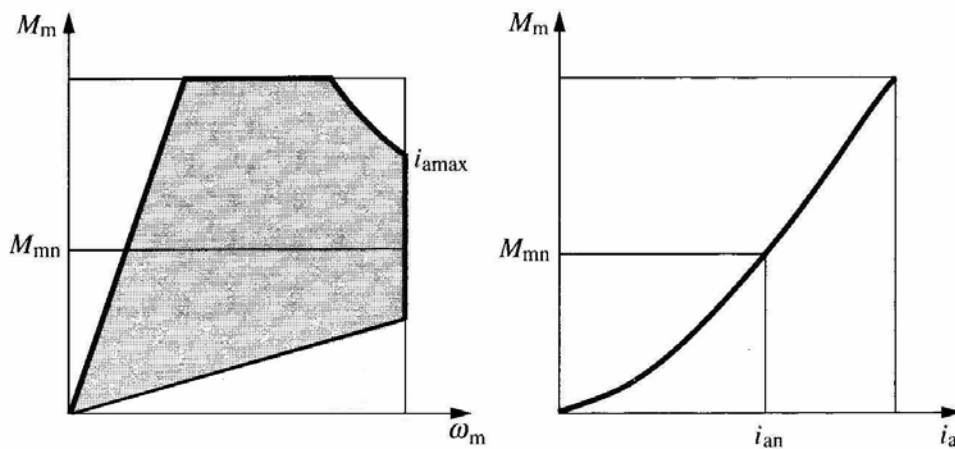


Fig. 4.90C Moteur à collecteur et hacheur: caractéristiques en freinage rhéostatique à excitation séparée.

En frein à récupération, la caractéristique est celle de la figure 4.85.

En excitation série, on peut aussi pratiquer l'affaiblissement du champ à l'aide d'un thyristor T_{sh} et d'une diode D_{sh} (SNCF: BB 7200). Le thyristor T_{sh} est enclenché pendant le temps de conduction du hacheur principal CS_t , en déviant le courant d'induit hors du circuit d'excitation. Au blocage de CS_t , T_{sh} s'éteint naturellement.

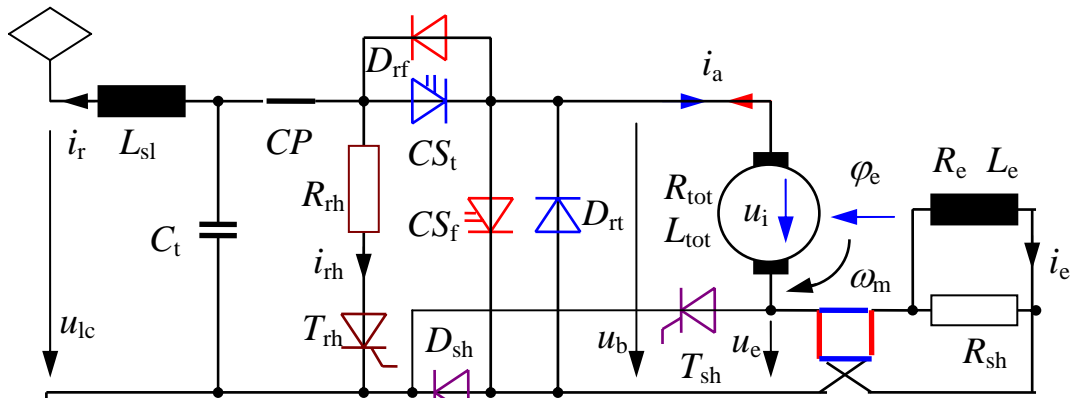


Fig. 4.93 Moteur à collecteur et hacheur: traction avec affaiblissement du champ.

La caractéristique est celle de la figure 4.97.

Contrairement à la commande rhéostatique, la commande à hacheur ne dissipe pas de l'énergie dans une résistance, le rendement de la chaîne de traction en démarrage est donc bien meilleur. Il ne faut cependant pas négliger les pertes par commutation et conduction dans les semi-conducteurs. Les hacheurs les plus récents ont un rendement voisin de 98 % sur toute leur plage de fonctionnement, y compris à pleine ouverture. Le rendement des premiers hacheurs (1970 – 1980) n'atteignait pas 95 %. On sait qu'un moteur électrique dimensionné pour une certaine puissance nominale peut fournir pendant un temps court une puissance supérieure. Cette possibilité est largement utilisée pour les engins de traction à moteurs directs ou à commande à rhéostat. Les jonctions des semi-conducteurs ont des constantes de temps thermiques très courtes et une surcharge momentanée – quelques fractions de milliseconde déjà – aboutit très vite à une élévation de température exagérée avec destruction du composant. Le dimensionnement du hacheur devra donc correspondre à la puissance **maximale** du véhicule moteur, et non à sa puissance nominale comme les moteurs de traction.

En freinage rhéostatique, on a aussi pratiqué l'excitation shunt : l'énergie d'excitation est prélevée à l'enclenchement sur la batterie, puis en déviation du rhéostat (CSD : 363).

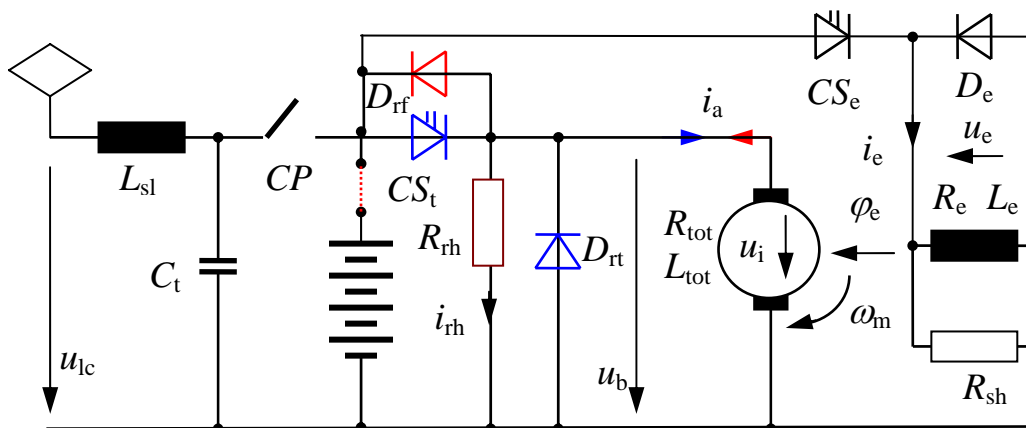


Fig. 4.95 Moteur à collecteur et hacheur: traction à excitation séparée.

Fig. 4.88B Moteur à collecteur et hacheur: freinage rhéostatique à excitation shunt.

La caractéristique est la même qu'en excitation séparée (fig. 4.90C).

On a aussi pratiqué le montage à affaiblissement automatique du champ. Cela simplifie la commande par rapport à l'affaiblissement commandé : seul le hacheur principal doit être commandé. L'excitation est assurée par le courant d'induit pendant le temps de blocage du hacheur principal, si ce temps est très court, cela n'est pas suffisant pour garantir une excitation complète et le montage passe progressivement à champ affaibli.

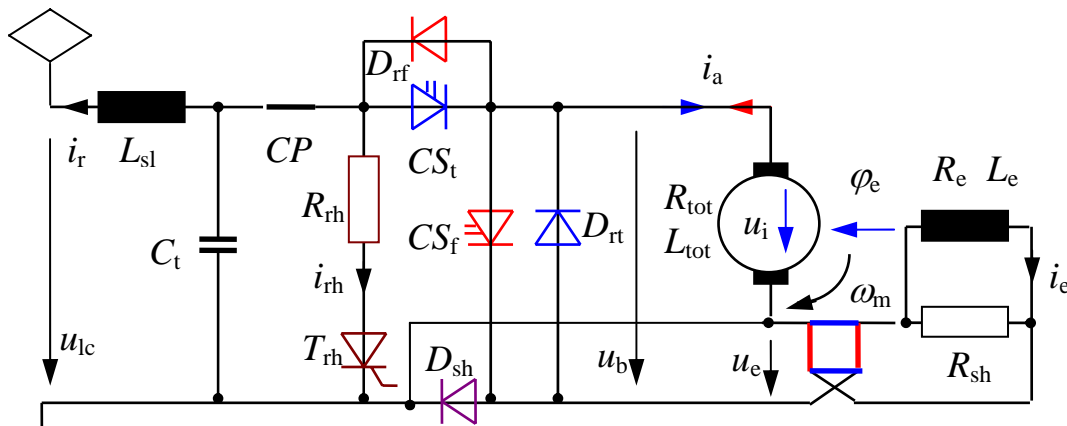


Fig. 4.98 Moteur à collecteur et hacheur: traction avec affaiblissement automatique du champ.

La caractéristique est semblable à la figure 4.97, mais la frontière entre plein champ et champ affaibli est très floue (NSStCM : Be 4/4). Ici, la limite de pleine ouverture correspond à la courbe enveloppe de la caractéristique.

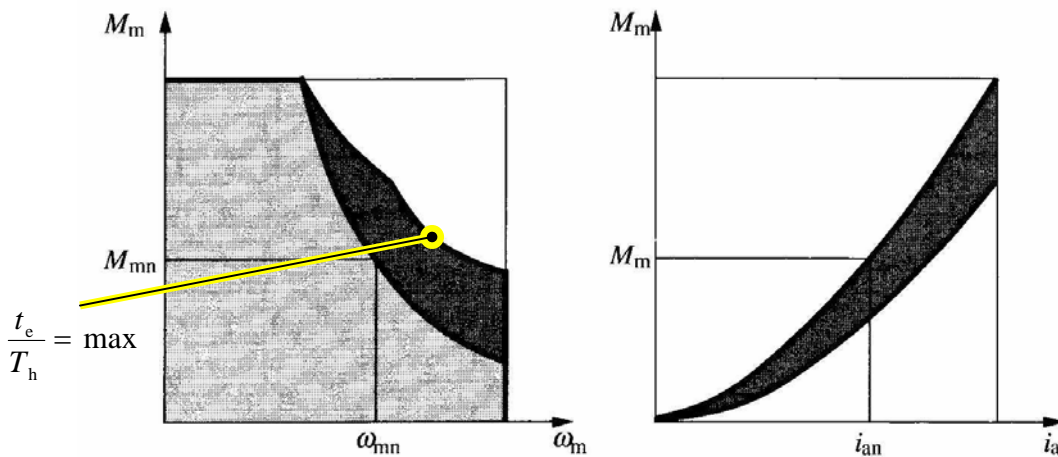


Fig. 4.97C Moteur à collecteur et hacheur: caractéristiques en traction à affaiblissement automatique du champ.