

6*A A l'origine, on avait un montage à *shuntage automatique*, dans lequel le rapport cyclique du hacheur 15 pouvait être ajusté de 0 à 100%. Pendant le blocage du hacheur 15, le courant se referme par la diode de roue libre 20.5 et l'enroulement d'excitation 20a. Pendant que le hacheur conduit, le courant d'excitation se boucle par la diode 21.5.

Après modification, deux hacheurs sont installés, ce qui permet le *shuntage commandé*. Le hacheur principal TAS permet d'ajuster la tension aux bornes du moteur jusqu'à la tension maximale, soit la tension de ligne. Pour obtenir plus d'effort à vitesse élevée, le hacheur TSH permet de diminuer l'excitation en déviant une partie du courant qui ne passe plus alors par l'enroulement d'excitation MF. Pendant le blocage du hacheur TAS, le courant du moteur MA circule par la diode de roue libre DAS.

Le remplacement de hacheur à thyristors par hacheur à IGBT a permis de réaliser des hacheurs plus simples, tout comme leur commande : on n'a plus besoin de deux dispositifs de commande de gâchette par hacheur (un pour le thyristor principal et un pour le thyristor d'extinction), mais simplement d'une commande en tension pour faire conduire ou bloquer l'IGBT.

A l'origine, on avait un système de freinage à récupération à excitation série. Le rapport cyclique du hacheur 15 définit la part de court-circuitage du moteur 20. Lorsque 15 est bloqué, le courant du moteur se referme par le réseau, la diode 20.5 et la résistance de stabilisation 14. Lorsque la tension induite est trop faible pour permettre une récupération, le thyristor 15.7 permet de connecter la résistance 25 pour consommer localement la puissance de freinage. La diode 26.5 aide à maintenir le courant d'excitation pendant que 15 est bloqué. On a donc un freinage combiné à récupération et rhéostatique.

Après modification, le hacheur TAS court-circuite le moteur MA, à travers les résistances RN et RNO lorsque KRN est ouvert. Lorsque TAS est bloqué, le courant moteur circule par la diode DAS pour charger le condensateur CL. Ce dernier se décharge dans le réseau à travers les selfs si sa tension est supérieure à la tension de la ligne de contact. Si le réseau est inapte à récupérer, on peut décharger la capacité dans la résistance RB par le hacheur TBS. On a gardé le principe du freinage combiné. A vitesse élevée, le hacheur TSH limite l'excitation pour éviter que la tension induite soit trop élevée.

B En traction, l'effort maximal est déterminé par le courant maximal u moteur, la vitesse maximale par la résistance mécanique du collecteur et la courbe limite par l'affaiblissement de champ que peut supporter le moteur en conservant une bonne qualité de commutation. Les composants modernes ne permettent pas d'augmenter les performances du tram, mais on peut espérer des pertes (de commutation) plus faibles dans le nouveau hacheur et donc une plus faible consommation d'énergie pour accomplir les mêmes performances. Par ailleurs, les temps de commutations courts des IGBT ont permis d'augmenter la fréquence des hacheurs de 440 Hz à 2 kHz, ce qui se traduit par une diminution des ondulations du courant, tant dans le moteur que dans la ligne de contact.

En freinage, les limitations sont également définies par les caractéristiques électromécaniques des moteurs. A basse vitesse, c'est la valeur ohmique de RB qui détermine la vitesse au dessous de laquelle on ne peut plus disposer d'effort de freinage. Si on avait voulu améliorer le freinage jusqu'à l'arrêt, il aurait fallu installer un dispositif de renforcement d'excitation (excitation séparée) qui serait intervenu au-dessous de 5 km/h.