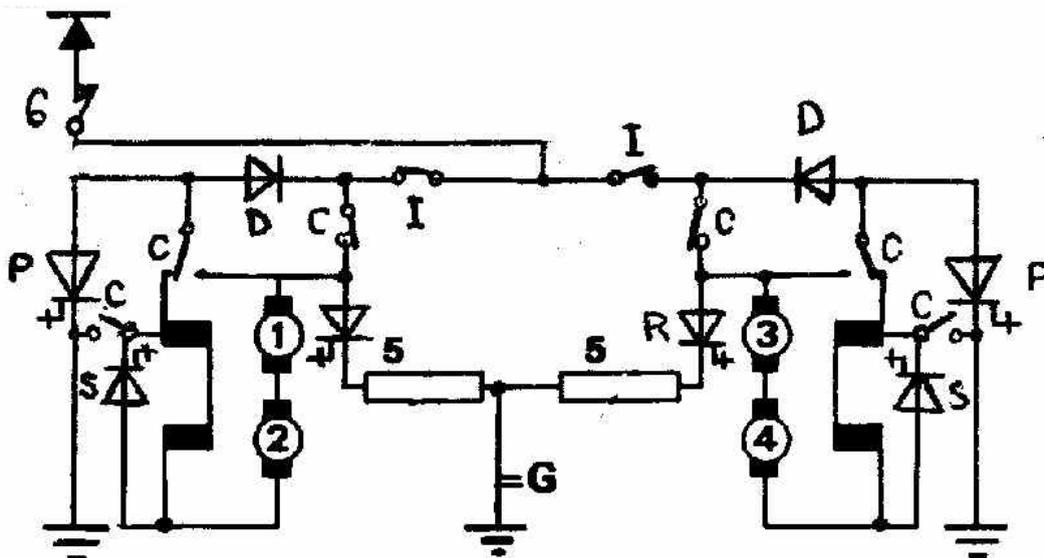


81 A Avec l'augmentation des points d'arrêt, l'automotrice se trouve, pendant la majeure partie de son parcours, en accélération ou en décélération : au démarrage, le rendement est médiocre par les pertes dans le rhéostat et on ne récupère rien au freinage. Le rhéostat est très sollicité thermiquement, plus que les calculs l'avaient prévu. Un hacheur permettra un rendement supérieur à 90% en phase de démarrage et permettra d'introduire la récupération en combinaison avec le frein rhéostatique.

B Actuellement, chaque bogie est équipé de deux moteurs branchés en série pouvant recevoir au maximum – lorsque les bogies sont couplés en parallèle – la pleine tension à la ligne de contact. Il faudra donc prévoir un hacheur permettant de varier la tension « aux bornes des bogies » entre 0 et la tension de ligne. Il faudra conserver l'affaiblissement du champ entre 98% et 48%.

On peut donc démonter l'installation de changement de couplage série-parallèle et les contacteurs de rhéostat. La structure actuelle du véhicule et la recherche de disponibilité maximale pour l'exploitation conduit à adopter un hacheur par bogie plutôt qu'un hacheur global. On conserve les contacteurs de sens de marche sur les induits (non représentés sur les schémas) et les shunts permanents à 98% (non représentés). On peut concevoir plusieurs variantes :

I On peut adopter un hacheur simple avec un GTO et une diode. Pour régler l'excitation entre 98% et 48%, on place en parallèle sur le shunt permanent un GTO dont le rapport cyclique sera varié de 0% à 50%. Ce montage nécessite des contacteurs pour passer de régime traction à régime freinage à récupération. Le dispositif actuel de préexcitation doit être conservé. Lorsque le réseau n'est pas apte à recevoir l'énergie de freinage ou que la vitesse est trop faible pour que la somme des tensions induites soit suffisante, il faut pouvoir passer en freinage rhéostatique : pour cela, il faut conserver une partie du rhéostat actuel en disposant un GTO spécifique pour le mettre en service. En freinage, le GTO de shuntage doit pouvoir être réglé jusqu'à un rapport cyclique de 65% pour éviter l'à-coup lors de l'enclenchement du frein à vitesse élevée.



Montage à excitation série en traction comme en freinage, avec contacteurs de couplage traction/freinage.

1...4 moteurs de traction

5 rhéostat (partie de l'actuel)

6 disjoncteur

C contacteurs traction/freinage (dessin en pos. traction)

D diode de roue libre/diode de récupération

I contacteur d'isolement d'un bogie défectueux

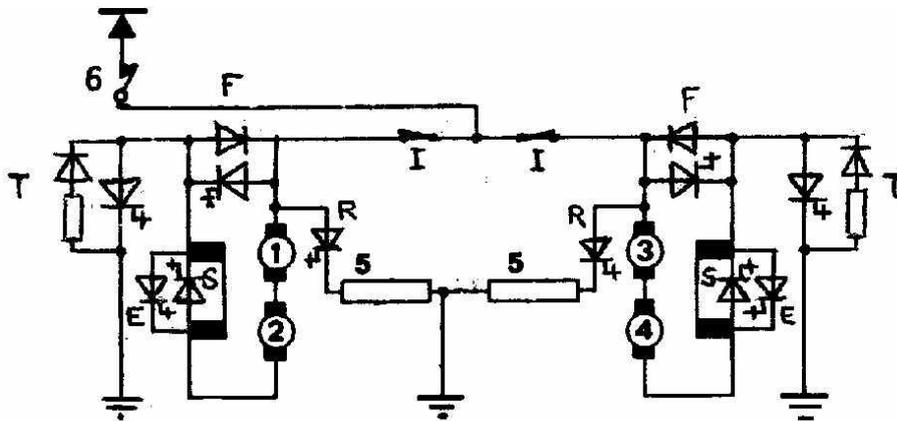
P GTO du hacheur principal

R GTO de freinage rhéostatique

S GTO d'affaiblissement du champ

81 B II En gardant le même concept, deux GTO et une diode par bogie permettent de se passer des contacteurs traction/freinage.

$$u_b = \frac{M_m}{I_a} w_m = \frac{M_m}{I_a} \frac{V}{3,6} \frac{2}{D_m} \frac{1}{k_G} = \frac{Z}{4 I_a} \frac{V}{3,6} \cong 370V$$

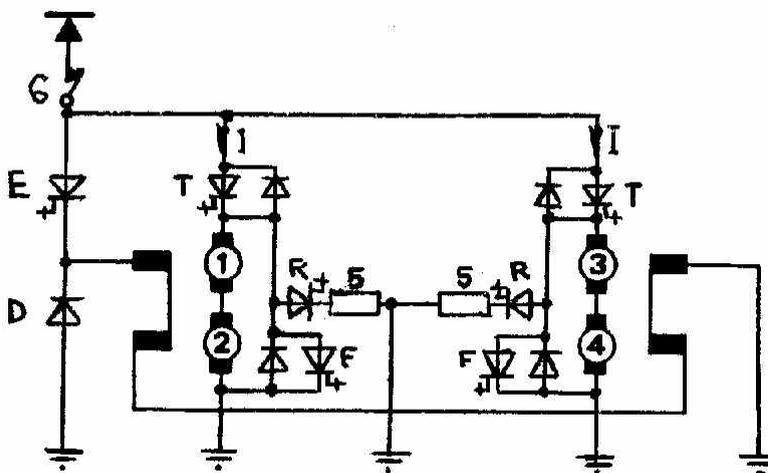


Montage à excitation série sans contacteurs de couplage.

E GTO d'affaiblissement du champ en freinage
 F GTO de freinage et diode de roue libre en traction
 I contacteurs d'isolement d'un bogie

R GTO de frein rhéostatique
 S GTO d'affaiblissement du champ en traction
 T GTO de traction et diode de roue récupération avec résistance de stabilisation

III Enfin, on peut adopter un montage à « image série » nécessitant un hacheur spécifique pour l'excitation. En freinage, on a donc un montage à excitation séparée combiné à récupération et rhéostatique.



Montage à image série.

D diode de roue libre d'excitation
 E GTO d'excitation séparée
 F GTO de freinage et diode de roue libre en traction

I contacteurs d'isolement d'un bogie
 R GTO de frein rhéostatique
 T GTO de traction et diode de roue récupération

Dans les trois cas l'enveloppe effort–vitesse est conservée. En traction, on a une variation sans cran entre 0 et la courbe 46 du véhicule actuel (hacheur principal) et également sans cran entre la courbe 46 et la courbe 54 (shuntage). Les autre courbes ne sont plus à dessiner : elles correspondent très approximativement à des valeurs particulières de rapport cyclique. En freinage, l'enveloppe est conservée ainsi que les courbes 1, 6 et 27.

81 C Les hacheurs principaux doivent être dimensionnés pour la puissance maximale et non pour la puissance nominale des moteurs ; contrairement aux moteurs (et aux transformateurs), les semi-conducteurs ne peuvent pas être surchargés pendant un temps prolongé (maximum quelques millisecondes). En lisant les caractéristiques, on constate qu'on a au plus 720 A à travers la moteur, pour une tension de 850 V à la ligne de contact. Chaque hacheur principal devra être dimensionné pour 640 kW, alors que la puissance de régime continu a été définie à 600 kW (donc 300 kW par bogie) et la puissance maximale à la jante vaut 1070 kW. Il faut relever que les hacheurs doivent pouvoir supporter une tension d'entrée de 850 V + 20%, auquel cas le rapport cyclique devra être limité pour ne pas dépasser le courant admissible dans les semi-conducteurs.

Le hacheur d'excitation n'a pas besoin d'être aussi puissant : dans les montages I et II, le GTO de shuntage doit conduire au maximum la moitié du courant d'induit (360 A sur la courbe 54). Calculons la tension aux bornes : c'est à 32,5 km/h que la tension induite dans les moteurs est la plus faible :

$$u_i = \frac{M_m}{I_a} \omega_m = \frac{M_m}{I_a} \frac{V}{3,6} \frac{2}{D_m} \frac{1}{k_G} = \frac{Z}{4 I_a} \frac{V}{3,6} \cong 370[\text{V}]$$

S'il n'y avait aucune perte ohmique dans le moteur, il resterait 110 V aux bornes du GTO de shuntage : son dimensionnement sera donc inférieur à 40 kW.

Pour le montage III, le hacheur d'excitation doit fournir au maximum 720 A (traction image série à plein champ). Pour calculer la puissance maximale à fournir, il faut connaître l'impédance du circuit d'excitation. Actuellement on a 720 A au démarrage sur cran 14 (démarrage $\Rightarrow u_i = 0$) On veut évaluer la tension aux bornes des moteurs au cran 14 (parmi 21 crans série en tout). Ne connaissant ni les valeurs ohmiques du rhéostat ni celle du moteur, on admet (par un raccourci un peu abusif) qu'on a aux bornes des moteurs les 14/21 de la tension nominale à la ligne de contact (850V) sachant qu'au cran 21 $u_b = u_{1c}$. On peut calculer la tension aux bornes des 4 moteurs en série :

$$u_b \cong \frac{14}{21} u_{1c} \cong 560[\text{V}] \Rightarrow R_m \cong 0,190[\Omega]$$

Admettons que cette résistance se répartisse à raison de 80% pour l'induit R_a et de 20% pour l'excitation R_e .

$$P = 4R_e I_a^2 \cong 80[\text{kW}]$$

On aurait aussi pu choisir un hacheur d'excitation de 40 kW pour chaque bogie.