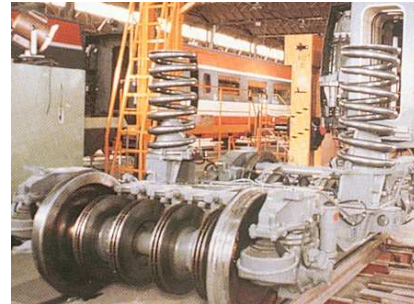


Examen médian**Durée** : 02 heures.**Documents** : non autorisés sauf une feuille manuscrite de format A4.

On se propose d'étudier sur une rame de TGV Paris Sud – Est, l'équipement de traction (moteur, hacheur, composants d'électronique de puissance), voir figure 1.



(a)



(b) Vue détaillée du bogie moteur
 Moteur de traction = (MCC) 537 kW
 530 A/1100V ; Masse : 1560 kg

Figure 1

La rame est équipée d'un ensemble de huit remorques articulées, encadrées par deux motrices alimentant chacune trois bogies moteurs. Il y a donc au total six bogies moteurs sur l'ensemble de la rame. Au niveau de la conception et dans un but d'efficacité chaque « bloc moteur » des bogies moteurs précédemment cités fonctionnent de façon indépendante et chaque bogie moteur comporte deux moteurs de traction du type MCC (figure 1b).

1. Calculer la puissance totale qu'il est possible de développer en traction 25 kV–50 Hz monophasé.

En traction ferroviaire, l'équation fondamentale de la dynamique appliquée à un train de masse M et caractérisé par une accélération γ s'écrit :

$$F_j - R - Mg \sin \alpha = kM\gamma$$

- F_j représente l'**effort total aux jantes** de la locomotive avec tous ses moteurs en service que nous exprimerons en kilonewtons.
- R représente la **résistance à l'avancement** du train sur voie horizontale.
- $Mg \sin \alpha$ représente la **composante de la gravité** : effort résistant en rampe et accélérateur en pente (g est l'accélération due à la pesanteur).
- k représente le **coefficient d'inertie** des masses tournantes. C'est un coefficient sans dimension, légèrement supérieur à 1, qui majore la masse du train proprement dite, afin de tenir compte de la présence des différentes pièces en rotation qui possédant leur propre moment d'inertie, comme par exemple les essieux, les transmissions et les rotors des moteurs.

L'engin moteur doit développer un effort à ses jantes supérieur aux efforts résistants présentés par le train pour que le convoi puisse démarrer et accélérer. Ces performances sont représentées sur une courbe que l'on appelle la caractéristique Effort /Vitesse de l'engin moteur, voir figure 2.

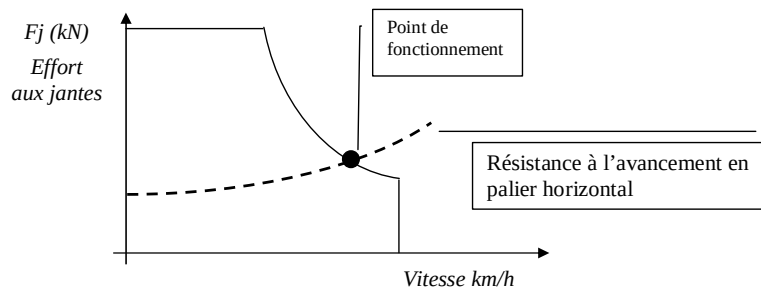


Figure 2

La rampe maximale admissible est de 35 m par kilomètre. La courbe en pointillé représente R la résistance à l'avancement du train sur voie horizontale et alignée. Cette résistance s'exprime en fonction de la vitesse V par une équation du type $(A + BV + CV^2)$ dans laquelle :

- le terme $(A + BV)$ représente la résistance due au roulement et aux frottement mécaniques.
- le terme (CV^2) représente la résistance aérodynamique du train avec la constante C qui caractérise sa pénétration dans l'air.

A. Dynamique ferroviaire:

La caractéristique globale, effort / vitesse pour l'ensemble d'une rame est représenté sur le document réponse. La résistance à l'avancement en terrain plat d'une rame est représentée par la force suivante :

$$F_1(v) = 3900 + 40v + 0,63v^2 \text{ avec } F \text{ en N et } v \text{ en km/h.}$$

2. Tracer la caractéristique $F_1(v)$ dans le plan effort/vitesse.

Le TGV doit pouvoir démarrer sur des pentes de 35m pour 1 km.

3. Calculer alors la force supplémentaire F_s à vaincre, en sachant que la masse du train est de 418 tonnes et $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

En supposant que la résistance totale à l'avancement sur une telle pente de 35 m pour 1 km soit alors $F_2(v) = F_s + 3900 + 40v + 0,63v^2$.

4. Tracer la caractéristique $F_2(v)$ dans le plan effort / vitesse et en déduire la vitesse du TGV.

B. Équipements de traction:

Moteur de traction.

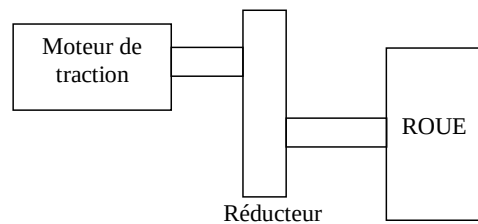


Figure 3

La vitesse maximale du train est $v_{\max} = 260 \text{ km/h}$. Le diamètre des roues est $D_r = 920 \text{ mm}$. Un réducteur de vitesse est monté entre les roues et le moteur, son rapport de réduction est $\Omega_m / \Omega_r = 2$. Le rendement de la transmission entre la roue et le moteur est $\eta = 0,98$.

5. Calculer la vitesse de rotation du moteur n_m en tr / mn.

A la vitesse $v = 246 \text{ km/h}$ ($68,3 \text{ m/sec}$), la tension aux bornes du moteur est de 1100 V , le courant absorbé est de 530 A et le couple utile est $T_u = 1800 \text{ Nm}$.

6. Calculer le rendement du moteur pour ce point de fonctionnement.
7. Donner un schéma électrique permettant d'assurer une source de tension continue de 1500 V à partir de la ligne d'alimentation 25 kV en précisant les caractéristiques principales de chaque organe de l'installation.

Hacheur.

Afin de faire varier la vitesse du moteur, on insère entre la source continue U et le moteur un hacheur (figure 3a) à fonctionnement périodique de période T et de durée d'enclenchement t_0 ($0 < t_0 < T$).

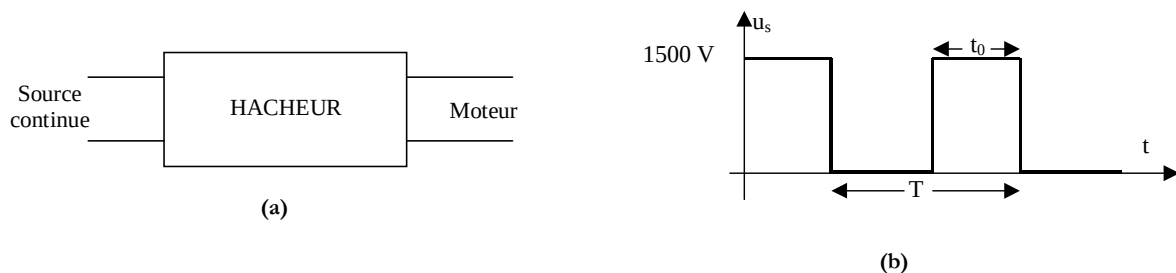


Figure 3

Nous obtenons aux bornes du moteur à courant continu, une tension impulsionnelle u_s de valeur moyenne $\langle u_s \rangle = U_s$.

8. Donner le schéma électrique et les équations de fonctionnement du moteur en régime transitoire, en précisant les différents paramètres (on suppose que l'excitation est du type série et que les pertes mécaniques et dans le circuit magnétique sont négligeables).
9. En se basant sur la figure 3b, donner les équations différentielles régissant le fonctionnement de l'ensemble hacheur-moteur.
10. Donner l'expression de la valeur moyenne de u_s en fonction de U , T et t_0 .
11. A l'image de la forme d'onde de la tension délivrée par le hacheur (voir figure 3b), donner son schéma électrique simplifié et dire de quel type de hacheurs s'agit-il ?
12. Calculer le rapport cyclique afin d'avoir une valeur moyenne de 1000 V . On appelle rapport cyclique le rapport t_0/T .
13. Proposer un montage afin d'assurer la réversibilité du courant. Quelle est l'utilité d'un tel dispositif réversible?

On suppose que le courant absorbé par le moteur est parfaitement lissé.

14. Calculer le courant absorbé par le moteur à 200 km/h , on a alors à cette vitesse, une valeur moyenne $U_s = 1000 \text{ V}$, $P_u = 250 \text{ kW}$ et un rendement de $0,88$.
15. Donner les équations de fonctionnement du moteur, en régime permanent.
16. Calculer le courant et la tension du moteur lors du démarrage.
17. Proposer un autre convertisseur statique à base de thyristors remplaçant le hacheur pour l'entraînement du moteur à vitesse variable à partir du réseau alternatif. Donner son schéma ainsi que les équations différentielles régissant le fonctionnement du nouveau 'ensemble convertisseur-moteur.
18. Quelle doivent être la valeur moyenne maximale à la sortie de ce convertisseur et la valeur maximale de la tension de ligne à son entrée.
19. Choisir les caractéristiques des thyristors utilisés. On prendra une marge de sécurité de 25% pour la tension et de 20% pour le courant.
20. Calculer la puissance perdue dans un thyristor en conduction au régime nominal du moteur. En conduction, la chute de tension aux bornes du thyristor est de $0,7 \text{ V}$.

ANNEXE : DOCUMENT REPONSE

Nom :

Prénom :

Signature :

