

DC22 Motorisation alternative par machine asynchrone

MOTORISATION DU TGV POS.

En Juin 2007, la SNCF assurait la mise en service de la Ligne à Grande Vitesse Est. Cette ligne permettait de relier Paris à Francfort en 3h45 et Paris à Munich en 6h.

Pour mettre en œuvre ces nouveaux flux de trafic et satisfaire ses exigences commerciales, la SNCF s'est équipée de 15 rames internationales appelées TGV POS (Paris Ost Frankreich Süd Deutschland).

La figure 2 présente de manière synthétique l'architecture des équipements électriques d'une rame TGV POS.



Figure 1 : TGV POS

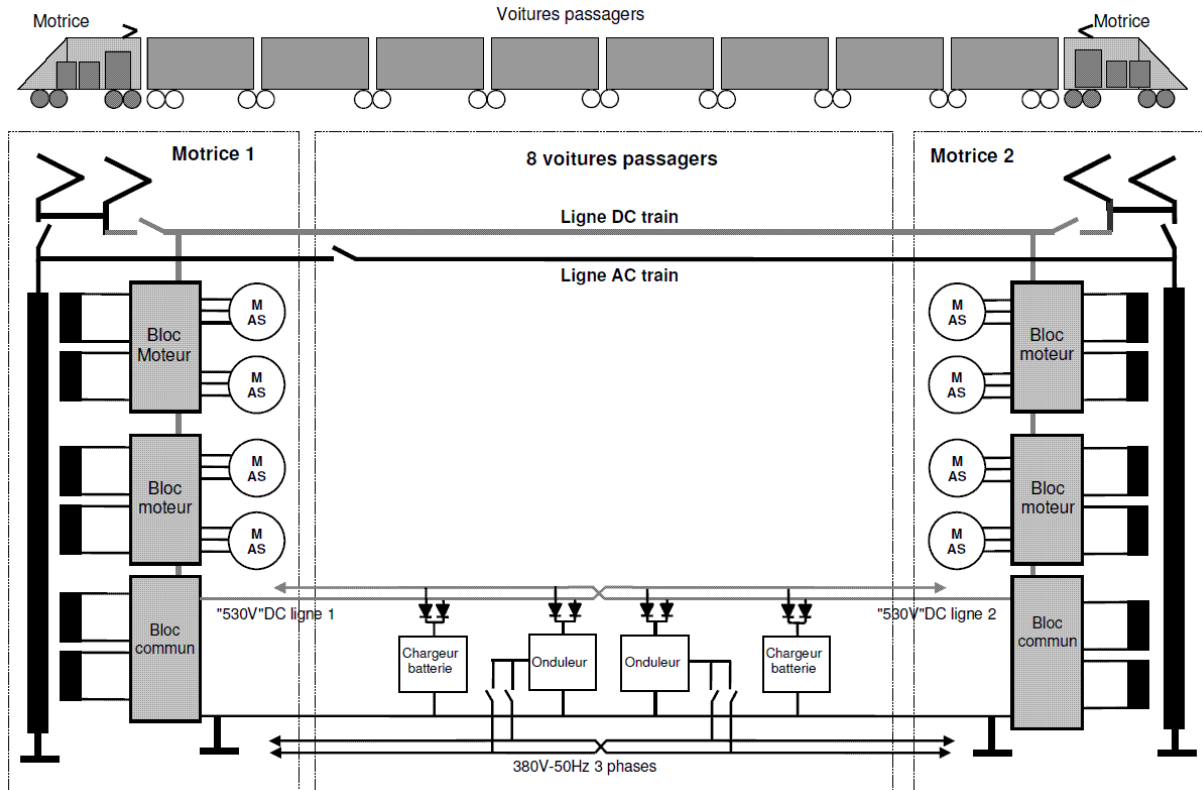


Figure 2 : architecture des équipements électriques d'une rame TGV POS.

Chaque rame est tractée par 8 machines asynchrones triphasées à cage. Ces machines sont associées à une électronique de puissance qui leur permet de fonctionner de façon synchronisée dans les quatre quadrants du plan couple – vitesse. On donne (figure 3) le schéma équivalent ramené au stator d'une machine asynchrone pour une phase.

On appelle :

- R1** : résistance d'une phase du stator ;
- R2** : résistance d'une phase du rotor, ramenée au stator ;
- Lm** : inductance magnétisante ;
- N2** : inductance de fuites globalisées, ramenée au stator ;
- ω_s : pulsation des courants statoriques.

Données numériques :

- Résistances et inductances du modèle : **R1** = 22 mΩ ; **R2** = 32 mΩ ; **Lm** = 7,7 mH ; **N2** = 480 μH.
- Nombre de paires de pôles de la machine : **p** = 3
- Grandeurs caractéristiques pour le point de fonctionnement nominal :
 - Tension simple d'alimentation **V1n** = 800 V (tension entre phases **U1n** = 1385 V) ,
 - Fréquence **fn** = 110 Hz, glissement **gn** = 2,2 %, puissance utile **Pu** = 1200 kW.

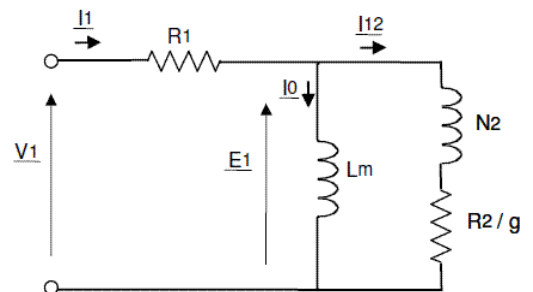


Figure 3 : modèle d'une phase MAS

DC22 Motorisation alternative par machine asynchrone

PARTIE A : étude au point de fonctionnement nominal.

Q1) A partir des données fournies, déterminer pour ces machines :

- La vitesse de synchronisme $N_{S/0}$,
- La vitesse nominale du rotor $N_{R/0}$,
- Le couple utile nominal T_{UN} .

Q2) A partir du modèle proposé figure 3 et en négligeant la chute de tension dans R1 (alors $\underline{E}_1 = \underline{V}_1$), déterminer la valeur efficace et la phase des courants \underline{I}_2 et \underline{I}_0 . En déduire le courant \underline{I}_1 et sa valeur efficace I_1 .

Q3) Illustrer à l'aide de flèches (cf cours page 6/8) le bilan de puissance de cette machine en fonctionnement moteur et en localisant P_a (puissance absorbée électrique), P_{js} (pertes joules statoriques), P_{tr} (puissance transmise au rotor ou puissance électromagnétique), P_{jr} (pertes joules rotoriques) et $P_{méca}$ (pertes mécaniques).

- Localiser stator, rotor et entrefer.
- Ecrire les expressions de ces puissances déduites du schéma équivalent.
- Calculer P_{js} , P_{jr} , P_{tr} et $P_{méca}$ (pertes mécaniques). En déduire le rendement nominal η_n du moteur.

Q3) Déterminer les puissances réactives :

- Q_m : puissance réactive magnétisante totale ;
- Q_f : puissance réactive totale due au flux de fuite.

Q5) Déterminer le facteur de puissance nominal $\cos\varphi_n$ du moteur.

Les questions suivantes seront traitées en négligeant la chute de tension dans R1 ($\underline{E}_1 = \underline{V}_1$).

Q6) Ecrire la relation liant C (couple électromagnétique) à P_{tr} (puissance électromagnétique).

- En déduire l'expression du couple C en fonction de p , V_1 , ω_s , (R_2/g) et $(N_2 \cdot \omega_s)$ [relation (1)].
- Modifier la relation (1) pour faire apparaître la pulsation des courants rotoriques ($\omega_r = g \cdot \omega_s$) et le rapport (V_1 / ω_s) [relation (2)].

Q7) Autour du point de fonctionnement nominal (g proche de 0), l'expression précédente de C peut se simplifier et s'écrit : $C = k \cdot \omega_r$.

- Etablir la relation simplifiée liant C et ω_r [relation (3)] en donnant l'expression littérale de k .
- En utilisant cette relation simplifiée, calculer la valeur numérique du couple électromagnétique C_n pour le glissement nominal.

Q8) Quand le glissement varie, le couple C passe par un maximum. A partir de la relation (2), déterminer la pulsation rotorique (noté $\omega_{r \max}$) qui correspond au maximum de couple.

- Ecrire alors l'expression du couple max : C_{\max} [relation (4)].
- Calculer les valeurs numériques de C_{\max} , $\omega_{r \max}$ et du glissement correspondant g_{\max} .

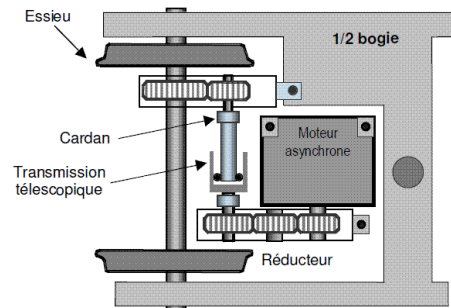
Q9) Sur le document réponse DR1, pour $|g| < 15\%$, tracer l'allure de la caractéristique $C(g)$, la machine fonctionnant en moteur ou en génératrice (graduez l'axe C).

Noter les valeurs : C_n , C_{\max} , g_n et g_{\max} .

Caractéristiques de la transmission mécanique :

schéma d'un demi bogie ci-contre ;

- rapport de réduction (Ω_r / Ω_a) : $R = 1,977$;
 Ω_r est la vitesse rotor,
 Ω_a la vitesse de l'arbre de l'essieu,
- rendement réducteur + transmission : $\eta_t = 0,97$;
- diamètre des roues : $d = 900$ mm.

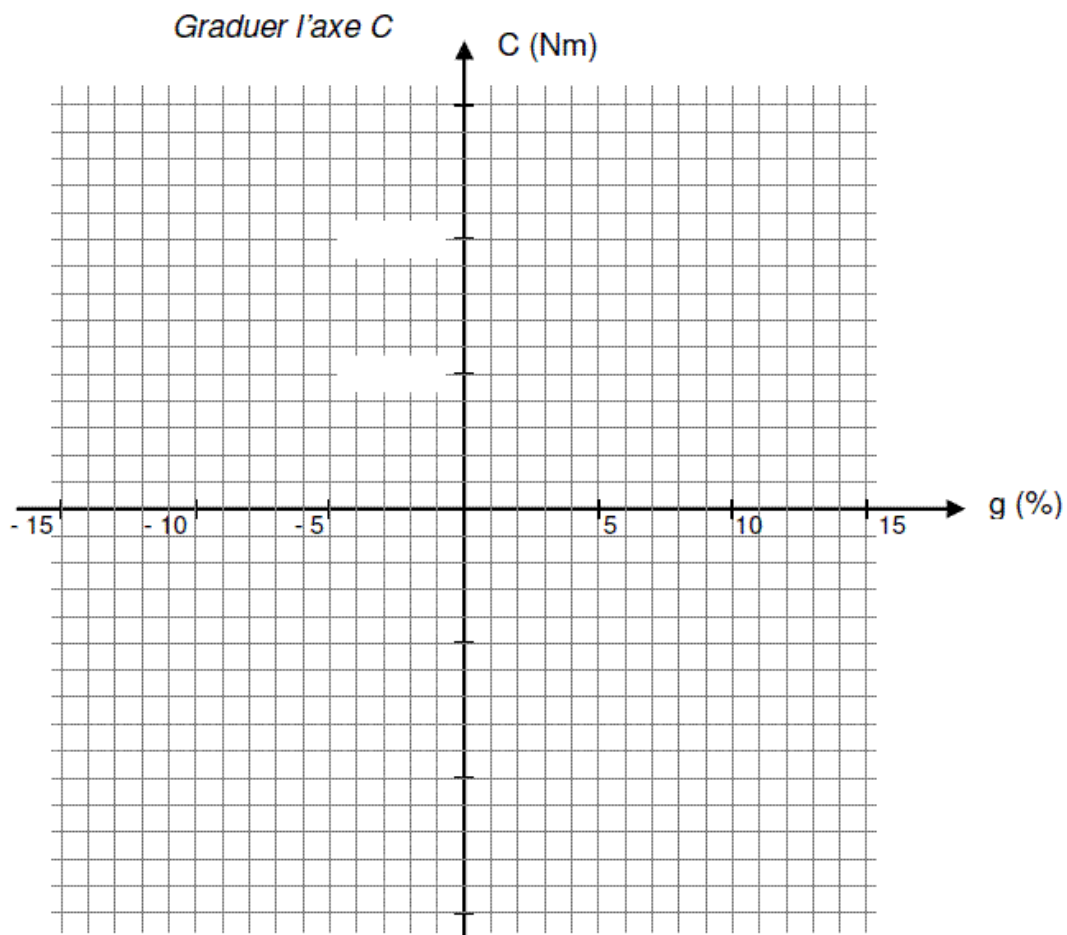


Q10) Pour le point de fonctionnement nominal des moteurs, calculer :

- le couple utile C_u sur l'arbre moteur ;
- l'effort moteur à la jante F_{mj} (pour l'ensemble des 8 moteurs) ;
- la vitesse de déplacement du train (en km/h).

Nota : F_{mj} est l'effort moteur à la jante, c'est à dire l'effort développé par la motorisation et transmis par l'ensemble des roues motrices. La force F_{mj} est positive en traction, elle est négative en freinage.

Q11) Sur le document réponse DR2, tracer le point de la caractéristique de traction (effort à la jante en fonction de la vitesse du TGV) correspondant au fonctionnement nominal des moteurs.



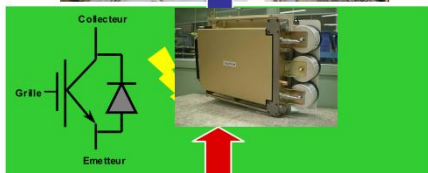
DOCUMENT REPONSE DR2



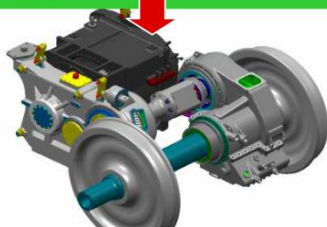
La chaîne de traction: principe



Capter l'énergie électrique à la caténaire

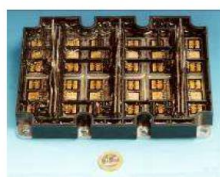
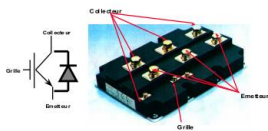


La transformer et contrôler le courant et la tension

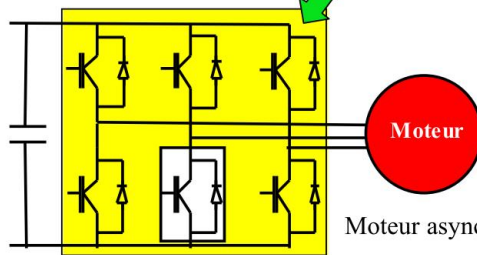


Pour créer l'effort de traction (ou de freinage) et alimenter les moteurs.

Le moteur asynchrone associé à son onduleur,
Utilisation d'un interrupteur de puissance moderne:
le module IGBT: 1200A 3300V
Performance: un essieu moteur : 1160kW à la jante

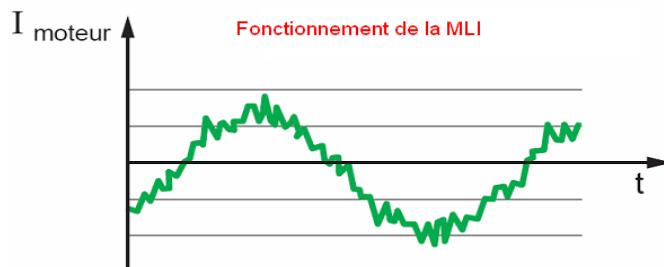
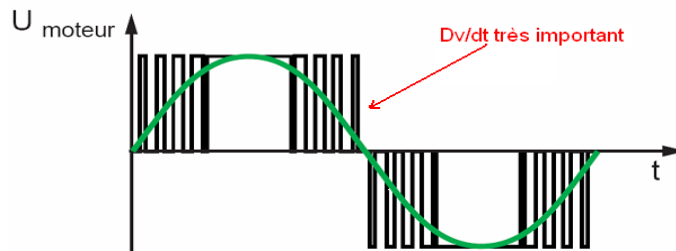


Module IGBT



Onduleur à IGBT

Moteur
Moteur asynchrone
(Ou moteur Synchrones à aimant permanent)



Signaux aux bornes d'un enroulement du moteur