



Figure 33-29a

Ce train électrique de 17 tonnes est propulsé par un **moteur d'induction linéaire**. Le **moteur** comprend un «rotor» stationnaire constitué par le rail vertical en aluminium situé au centre de la voie et un «stator» mobile fixé en dessous du train. Selon les données, le stator de 3 tonnes est alimenté par un onduleur dont la fréquence varie de 0 à 115 Hz. Ce **moteur linéaire** absorbe une puissance de 4,7 MVA et développe une force de traction maximale de 35 kN. La vitesse maximale du véhicule est de 200 km/h (*gracieuseté de Siemens*).

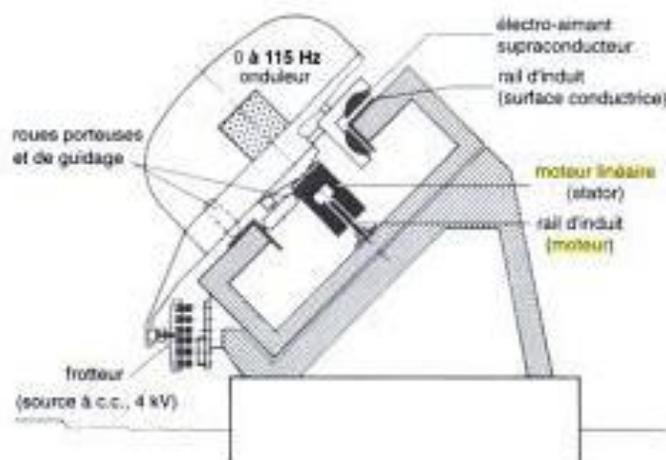


Figure 33-29b

La vue en coupe du véhicule et de la voie montre l'agencement des parties principales. La sustentation électromagnétique est obtenue grâce à un électro-aimant supraconducteur ayant une longueur de 1300 mm, une largeur de 600 mm et une hauteur de 400 mm pesant 500 kg. Les bobines de l'aimant, maintenues à une température de 4 kelvins par la circulation forcée d'hélium liquide, fonctionnent à une densité de courant de 80 A/mm<sup>2</sup> et développent une densité de flux d'environ 3 T. La force de répulsion verticale peut atteindre une valeur maximale de 60 kN et la hauteur de sustentation varie entre 100 mm et 300 mm selon le courant d'alimentation (*gracieuseté de Siemens*).

n'est pas le cas. Le **moteur** triphasé produit une onde magnétique qui se déplace continuellement et uniformément d'une extrémité à l'autre du stator. La Fig. 33-30 montre comment l'onde se déplace de gauche à droite dans un **moteur linéaire** bipolaire. Le flux disparaît brusquement aux deux extrémités A et B du stator. Cependant, aussitôt qu'un pôle N (ou un pôle S) «disparaît» à droite, il se renouvelle à gauche.

### 33.21 Propriétés du **moteur linéaire**

Les propriétés du **moteur d'induction linéaire** sont comparables à celles du **moteur** asynchrone conventionnel. Par conséquent, les expressions pour le glissement, la force de traction, la puissance, etc., sont similaires.

**1. Le glissement.** Le glissement d'un **moteur linéaire** est donné par:

$$s = \frac{v_s - v}{v_s} \quad (33-11)$$

où

$s$  = glissement

$v_s$  = vitesse synchrone **linéaire** du champ [m/s]

$v$  = vitesse **linéaire** du rotor [m/s]

**2. La puissance active.** La puissance active traverse un **moteur linéaire** de la même façon que dans un **moteur** rotatif (voir Fig. 33-16). Par conséquent, les formules 33-6, 33-7 et 33-8 s'appliquent aux deux types de machines.

(i) le rendement est:

$$\eta = \frac{P_{mc}}{P_e} \quad \text{éq. 33-6}$$

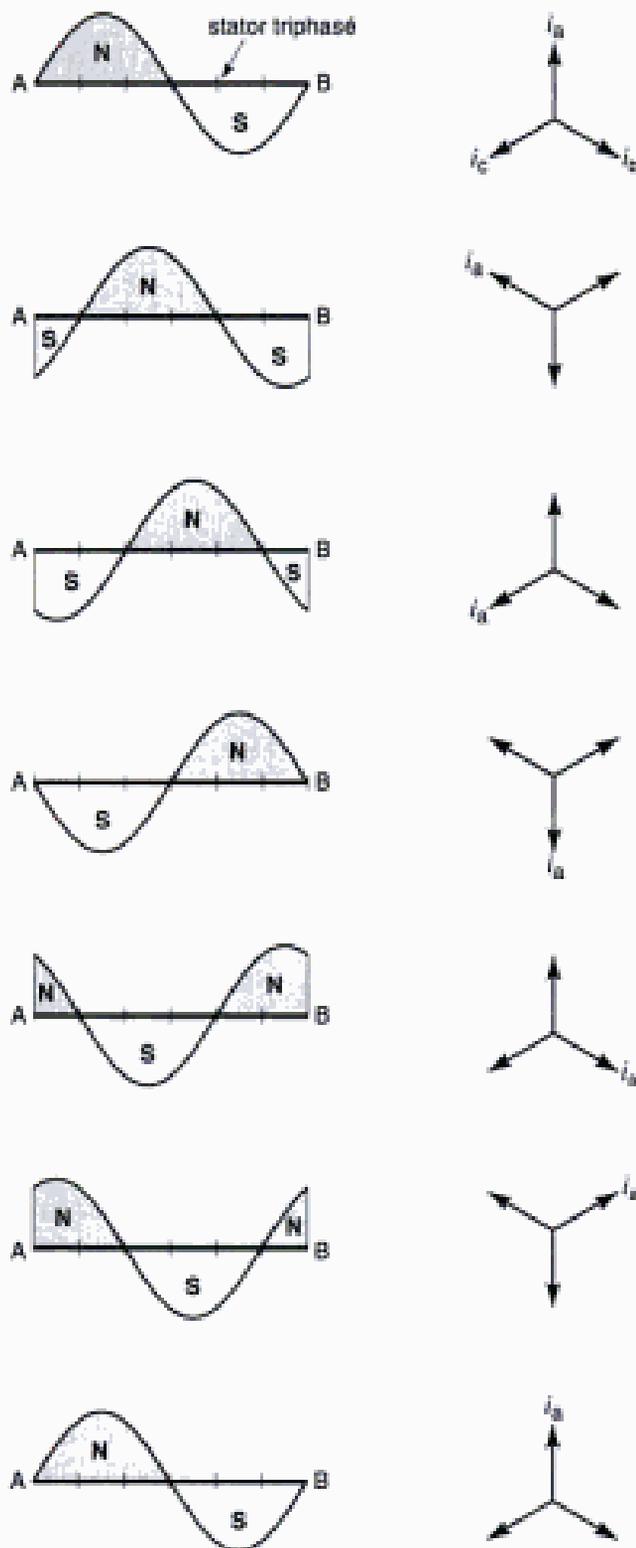


Figure 33-30  
Forme **linéaire** du champ magnétique créé par un stator **linéaire** durant un cycle. Les instants successifs sont séparés d'un intervalle de  $1/6$  de cycle, soit de 2,78 ms sur un réseau à 60 Hz.

(ii) les pertes Joule dans le rotor sont:

$$P_{jr} = sP_r \quad \text{éq. 33-7}$$

(iii) la puissance mécanique est:

$$P_m = (1 - s)P_r \quad \text{éq. 33-8}$$

**3. La force.** La force de traction développée par un  **moteur linéaire**  est donnée par:

$$F = \frac{P_r}{v_s} \quad (33-12)$$

où

$F$  = force de traction, en newtons [N]

$P_r$  = puissance fournie au rotor [W]

$v_s$  = vitesse synchrone **linéaire** [m/s]

### Exemple 33-8

Un pont roulant utilisé dans une usine est propulsé par deux moteurs linéaires montés sur la charpente du pont. Les rotors sont composés de deux poutres en acier formant le chemin de roulement. Chaque  **moteur**  possède 4 pôles dont le pas est de 8 cm. Lors d'un essai sur un des moteurs, on a recueilli les résultats suivants:

fréquence appliquée au stator: 15 Hz

puissance active absorbée par le stator: 5 kW

pertes dans le fer et le cuivre du stator: 1 kW

vitesse du pont roulant: 1,8 m/s

Calculer:

- la vitesse synchrone et le glissement
- la puissance fournie au rotor
- les pertes Joule dans le rotor
- la force de propulsion et la puissance mécanique du  **moteur**

### Solution

a) Vitesse synchrone **linéaire**:

$$\begin{aligned} v_s &= 2 \omega f = 2 \times 0,08 \times 15 \\ &= 2,4 \text{ m/s } (= 8,6 \text{ km/h}) \end{aligned}$$

Glissement:

$$\begin{aligned} s &= \frac{v_s - v}{v_s} = \frac{2,4 - 1,8}{2,4} \\ &= 0,25 \end{aligned}$$

b) Puissance fournie au rotor:

$$\begin{aligned} P_r &= P_e - P_{js} - P_f \\ &= 5 \text{ kW} - 1 \text{ kW} = 4 \text{ kW} \end{aligned}$$

c) Pertes Joule dans le rotor:

$$\begin{aligned} P_{jr} &= sP_r = 0,25 \times 4 \text{ kW} \\ &= 1 \text{ kW} \end{aligned}$$

d) Force de propulsion:

$$\begin{aligned} F &= \frac{P_r}{v_s} = \frac{4000}{2,4} = 1667 \text{ N} \\ &= 1,67 \text{ kN} (\approx 375 \text{ lbf}) \end{aligned}$$

Puissance mécanique développée:

$$\begin{aligned} P_m &= P_r - P_{jr} = 4 \text{ kW} - 1 \text{ kW} \\ &= 3 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 33.22 Sustentation magnétique

Nous avons expliqué à la section 33.2 comment un aimant permanent se déplaçant au-dessus d'une échelle conductrice tend à entraîner celle-ci dans le sens du déplacement de l'aimant. Nous allons montrer que cette force de traction horizontale est accompagnée d'une force verticale qui tend à repousser l'aimant vers le haut. Ce phénomène trouve une application pratique très intéressante: *la sustentation magnétique*.

Revenons à notre échelle et supposons que, à un instant donné, le centre du pôle N de l'aimant passe au-dessus du conducteur 2 (Fig. 33-31). Le champ magnétique balayant ce conducteur y induit une tension qui est alors maximale. Si l'aimant se déplace *lentement*, le courant induit dans ce conducteur atteint sa valeur maximale en même temps que la tension. Ce courant, revenant par les conducteurs 1 et 3, crée des pôles magnétiques **nnn** et **sss** comme l'indique la figure. On constate alors que, selon la loi de l'attraction et de la répulsion, la partie avant de l'aimant est repoussée vers le haut et que la partie arrière est attirée vers le bas. Comme la distribution des pôles **nnn** et **sss** est symétrique par rapport au centre de l'aimant, les

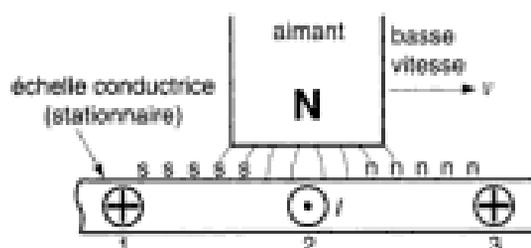


Figure 33-31

La tension induite dans le conducteur 2 est maximale à l'instant où le conducteur se trouve au centre de l'aimant. Si l'aimant se déplace lentement, il se trouve encore au-dessus du conducteur 2 lorsque le courant dans celui-ci atteint sa valeur crête.

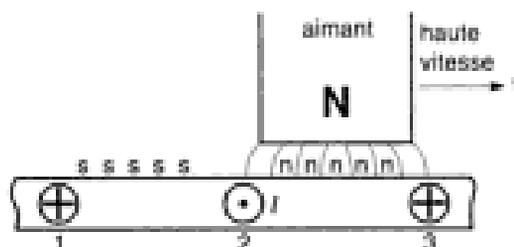


Figure 33-32

Lorsque l'aimant se déplace très rapidement, il se trouve entre les conducteurs 2 et 3 lorsque le courant dans le conducteur 2 atteint sa valeur crête.

forces verticales d'attraction et de répulsion sont égales et la force résultante est nulle; il ne reste donc que la force de traction horizontale.

Supposons maintenant que l'aimant se déplace très rapidement. À cause de l'inductance des conducteurs, le courant dans le conducteur 2 atteint sa valeur maximale une fraction de seconde après le maximum de tension induite. Par conséquent, lorsque le courant dans le conducteur 2 est maximal, l'aimant se trouve déjà à une certaine distance en avant de ce conducteur (Fig. 33-32). Le courant, revenant par les conducteurs 1 et 3, crée encore des pôles **nnn** et **sss** comme auparavant; cependant, le pôle N de l'aimant se trouve maintenant entièrement au-dessus d'un pôle **nnn** et il en résulte une force verticale importante qui repousse l'aimant mobile vers le haut. C'est le **principe** de la sustentation magnétique.