

IV. Historique et usage des moteurs linéaires

Le moteur linéaire, comme son nom l'indique, permet d'avoir un mouvement de type rectiligne tout en s'affranchissant d'une quelconque transformation mécanique d'un mouvement rotatif en un mouvement linéaire (par le biais de vis sans fin, ou bielle manivelle, ...).

Le concept est aussi ancien que celui du moteur rotatif. Il dérive directement des expériences d'Arago et de Faraday et des dispositifs à champ glissant de Tesla et de Ferraris. L'idée est cependant réapparue au début des années 1900 ou deux américains, Robert Goddard et Emile Bachelet ont proposé l'idée d'utiliser la force magnétique pour le transport à haute vitesse, mais la technologie de la commande avait ses limites...

D'autres recherches ont depuis eu lieu notamment par Hermann Semper en 1933 ou encore par Eric Laithwaite qui en 1940 mis au point un modèle de train linéaire synchrone fiable. (Fig. IV-1) [A]

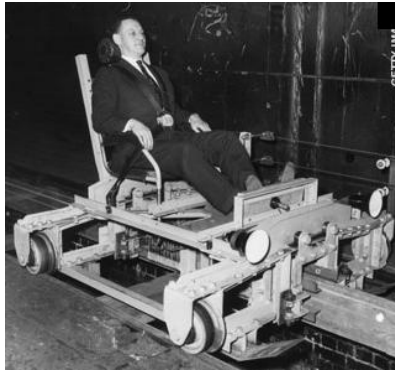


Figure IV-1

Depuis des projets d'ampleur ont vu le jour, et pas seulement sur le transport.

En effet la volonté d'optimiser les processus, demande parallèlement une exigence accrue en termes de rapidité et de précision sur l'ensemble du procédé de fabrication. Les commandes actuelles de moteur permettent de faire varier avec grande précision la pente d'accélération ou de décélération ce qui donne aux moteurs linéaires une application importante tel que le transport ou dans le guidage linéaire.

A. Exemple d'application :

Premier exemple: Le train à sustentation magnétique



Figure IV-2

Train à sustentation magnétique reliant
l'aéroport de Shanghai (Pudong) à la ville

Les 30 km de la ligne franchie par le Transrapid sont parcourus en moins de 8 minutes. Le Transrapid accélère de 0 à 300 km/h sur une distance de 5 km (les trains à grande vitesse classiques ont besoin de 20 km pour atteindre la même vitesse).

Deuxième exemple: Manutention de palette



Figure IV-3

Transpalétage de produit par un moteur linéaire synchrone

V. Principe des moteurs Linéaire électrique:

A. Physique Globale

Le principe de la loi de Laplace et de coulombs nous indique qu'une force existe lorsque d'une manière générale il y a interaction entre deux champs magnétiques.

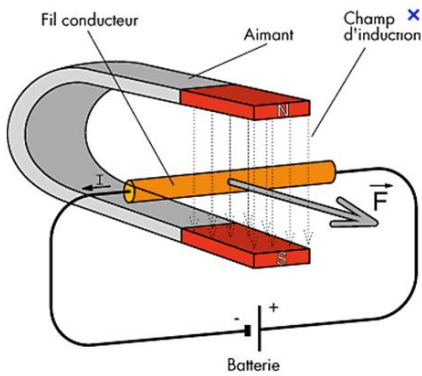


Figure V-1

Force de Laplace

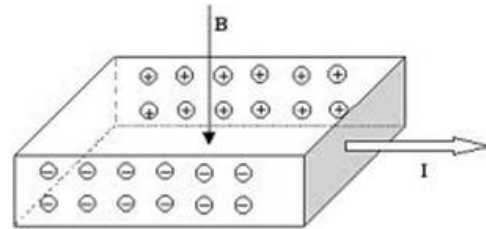


Figure V-2

Force de Lorentz

Un moteur linéaire électrique est basé sur le principe de la force de Laplace.

En s'appuyant sur la figure V-1, on comprend que tant que la barre se trouve dans le champ magnétique, celle-ci subira une force qui tendra à la déplacer suivant le sens du champ magnétique B et du courant I décrit par la relation.

Les caractéristiques de déplacement, à savoir la **force**, la **vitesse** et l'accélération sont des paramètres contrôlables par le courant I et/ou le champ d'induction B .

B. Type de moteur linéaire

1. Moteur linéaire à courant continu avec aimant

Une possibilité très simple de créer un moteur linéaire peut donc se faire avec une alimentation de type courant continu. La figure V-3 illustre ce principe en ayant comme inducteur un aimant permanent.

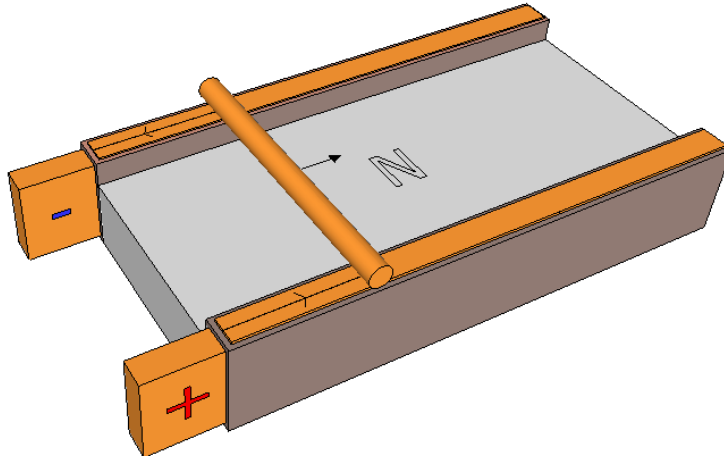


Figure V-3

Les deux bornes étant alimentées, le courant circulera dans la barre (contact par roulement idéalement). La force résultante va entraîner la barre dans le sens indiqué. L'inversion de la polarité inversera le sens de déplacement.

2. Moteur linéaire synchrone (MLS)

Il est possible de créer une machine linéaire synchrone en alimentant des enroulements statoriques par une tension alternative sinusoïdale triphasée. Les figures V-4 et V-5 représente une MLS.

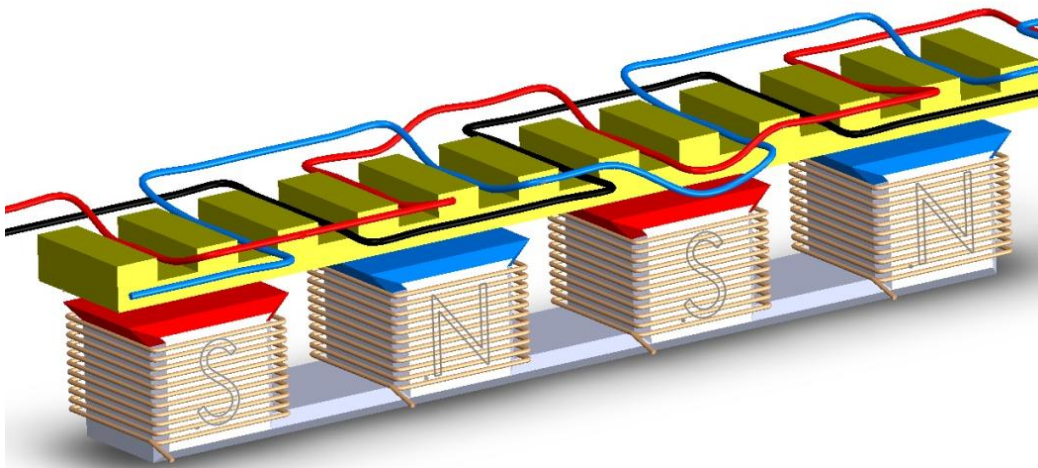


Figure V-4

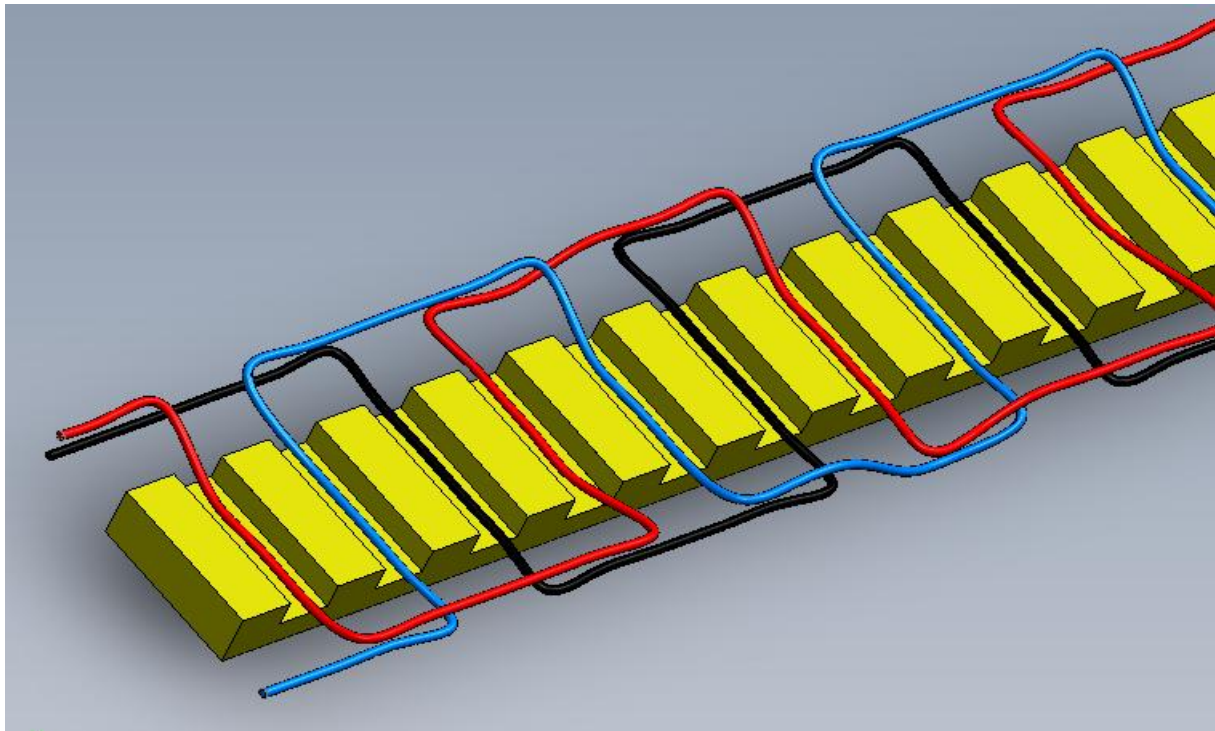


Figure V-5

(Pour des raisons de clarté le feuilletage n'est pas représenté sur la pièce mobile)

Les bobines statorique sont alimentées en courant continu. Leur sens d'enroulement (ou l'alimentation) est inversé consécutivement afin d'avoir un champ magnétique d'induction alterné.

Les enroulements triphasés placés dans les encoches de la partie mobile (qu'on appelle mover) vont créer un champ magnétique « glissant ».

Ce type de dispositif linéaire fait l'objet de commercialisation notamment par la société TECHNOTION F La figure V-6 représente un modèle [B]



Figure V-6

Partie fixe : accouplement d'aimant

Partie mobile : Bobinage alimenté en triphasé

Force : 141 N

Vitesse : 2.7 à 6.6 m/s

3. Moteur asynchrone

Bien que des prototypes aient vues le jour sur ce type de moteur [C], il n'est pas à l'heure actuelle présent sur le marché industriel, ce qui en fait pour le moment sa particularité. L'inducteur est identique à celui de la machine synchrone, l'induit sera parcouru par des courants de Foucault. Le chapitre suivant en donne l'explication

VI. Le moteur asynchrone linéaire

La figure VI-1 est une représentation du principe de fonctionnement permettant d'analyser le principe.

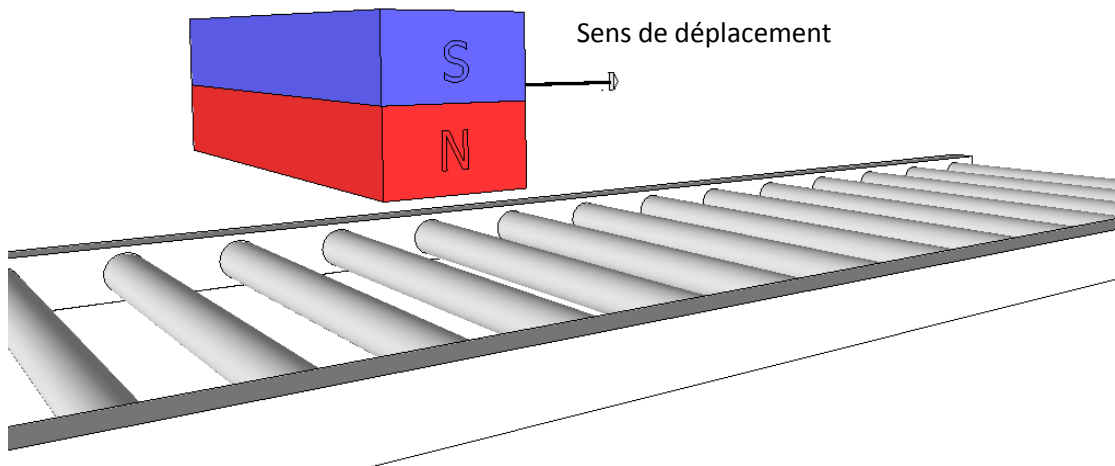


Figure VI-1

A. Forces en applications :

1. Force linéaire :

Le flux de l'aimant coupe les barres conductrices suivant le sens de déplacement indiqué. Les barres sont alors soumises à un champ d'induction variable dépendant de la position et de la vitesse de déplacement de l'aimant.

En vertu de la loi de Lenz, les barres en avant de l'aimant dont le flux commence à les traverser, vont créer un courant qui va s'opposer à cette variation. On verra apparaître alors un pôle Nord dans la zone où ce flux agit.

En vertu de la loi de Lenz, les barres en arrière de l'aimant dont le flux décroît au fur et à mesure du déplacement de l'aimant, se verront apparaître un pôle Sud.

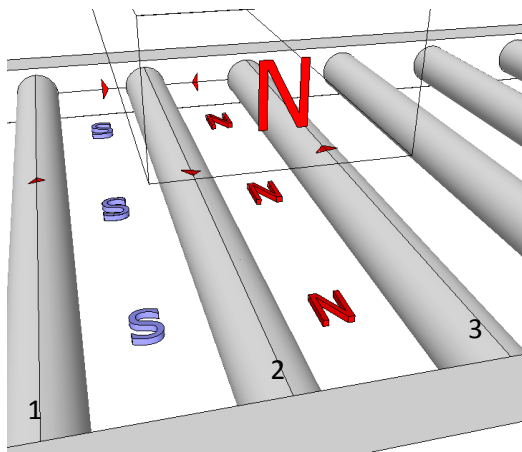


Figure VI-2

Représentation du
courant et des pôles
induit

Une force longitudinale existe tant que la « plaque » est en avance ou en retard par rapport au champ électromagnétique

2. Force de lévitation (répulsion) :

Supposons que, à un instant donné, le centre du pôle N de l'aimant passe au dessus du conducteur 2. 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 n et s comme l'indique la figure.

On constate alors que, selon la loi de l'attraction et de 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 n et s est symétrique par rapport au centre de l'aimant, les 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.(force externe)

Supposons maintenant que l'aimant se déplace très rapidement. A 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.

Le courant, revenant par les conducteurs 1 et 3 crée encore des pôles n et s comme auparavant ; cependant, le pôle N de l'aimant se trouve maintenant entièrement au dessus d'un pôle n et il en résulte une force verticale importante qui repousse l'aimant mobile vers le haut.

C'est le principe de la sustentation magnétique.

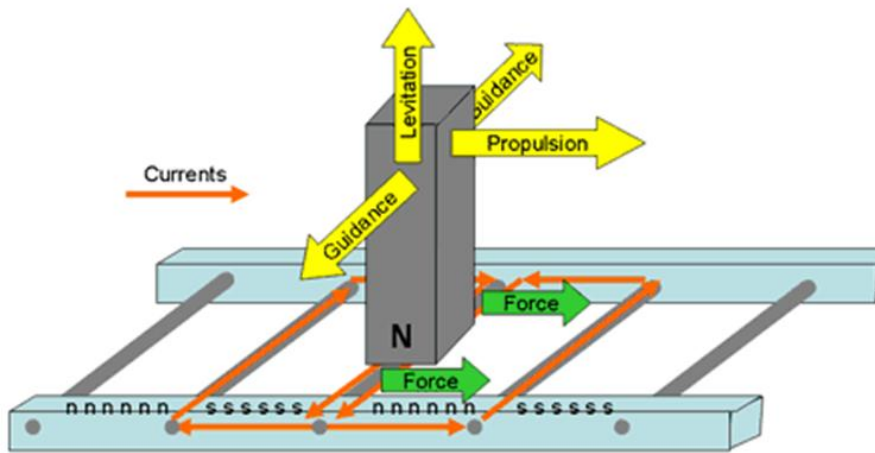


Figure VI-3

Illustration de l'ensemble des forces [B]

Selon les besoins, Il existe différentes techniques pour fabriquer un moteur linéaire asynchrone. Les figures VI-4 à VI-8 les illustrent.

Plusieurs possibilités s'offrent à nous quand au nombre de phases constituant l'inducteur et le type de bobinage pouvant être employé (enroulement en bobines par pôle, enroulement en bobines par pôle consécutifs...)

Chaque modèle de machine linéaire asynchrone (MAL) est constitué de bobinage triphasé

B. Généralité sur les types de machine asynchrone linéaire possible

1. MAL avec induit en forme d'échelle

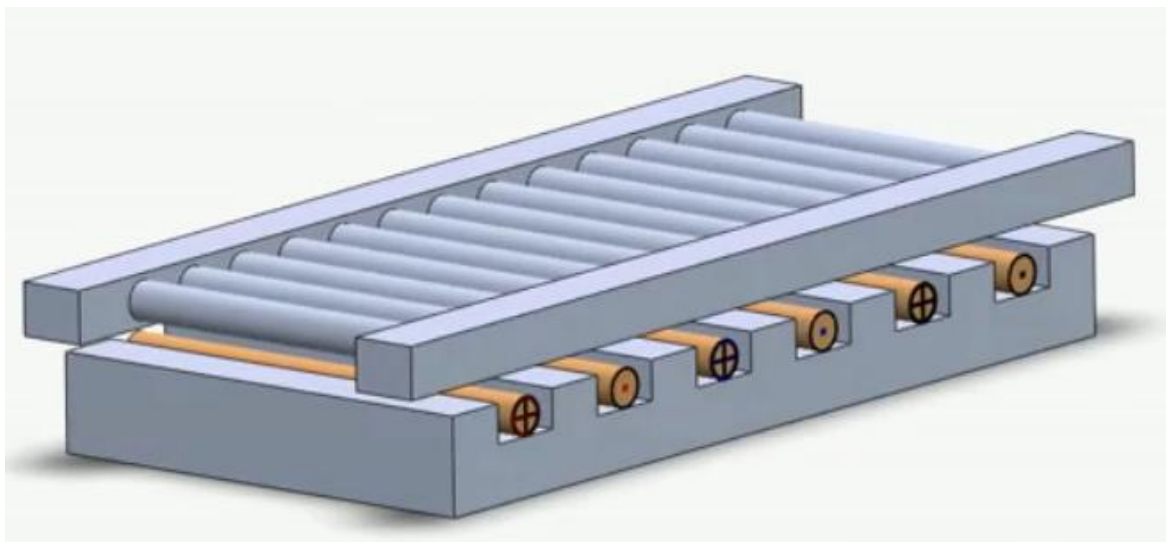


Figure VI-4

L'induit est tel que nous l'avons représenté à la figure VI-1. Il est en forme d'échelle. Sa matière peut être amagnétique (cuivre, aluminium..) ou magnétique (fer ou autres, attention dans ce cas à la force d'attraction magnétique).

En augmentant le nombre de barre (L'espace entre elles diminuent donc proportionnellement) on augmente la quantité de flux coupé, d'où une amélioration des performances de la machine.

Aussi pour maximiser l'interaction entre le courant induit et le champ inducteur, la partie latérale se situera hors de la partie active du champ inducteur. Figure VI-5

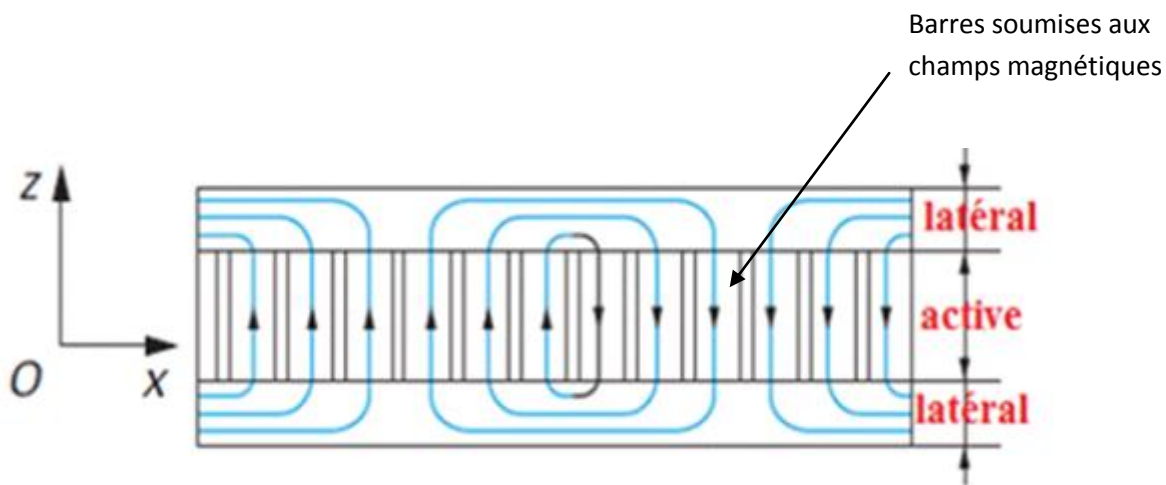


Figure VI-5

Vue de dessus de l'induit : distribution du courant

Ainsi les courants ont une composante longitudinale suivant la direction X dans la partie latérale, et une composante transversale suivant la direction Z dans la partie active.

2. MAL avec induit Massif

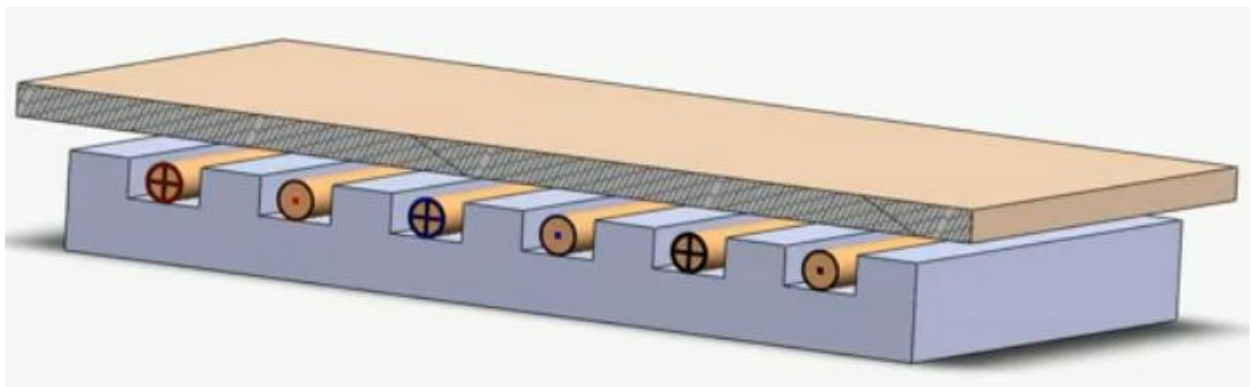


Figure VI-6

Même remarque que précédemment, pour maximiser l'interaction entre le courant induit et le champ inducteur, la partie latérale se situera hors de la partie active du champ inducteur. Figure VI-7

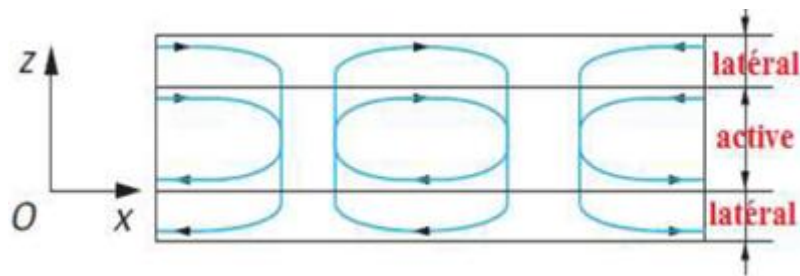


Figure VI-7

Vue de dessus de l'induit : distribution du courant

La composante utile du courant induit selon Z pour un secondaire massif diminue par rapport à un rotor en forme d'échelle, car le courant se reboucle également dans la partie active. Ainsi la force de poussée est diminuée.

3. MAL avec induit et circuit magnétique de fermeture

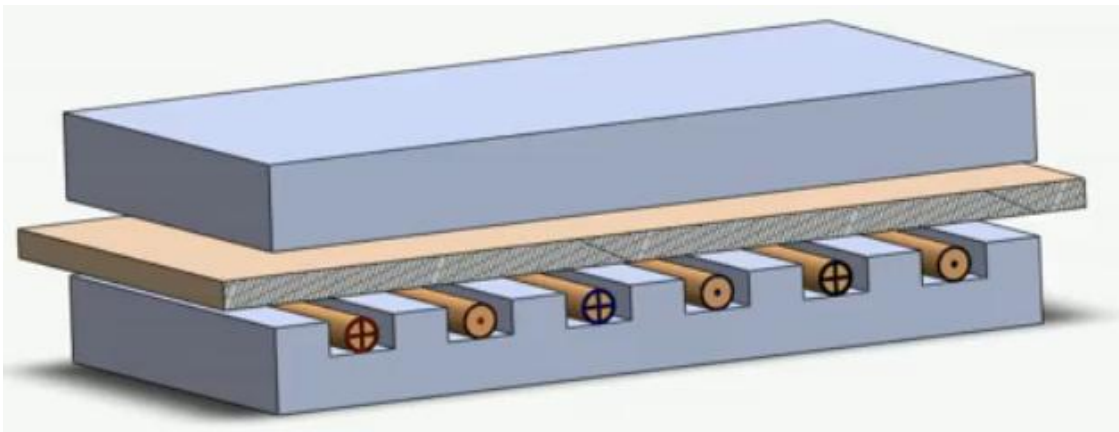


Figure VI-8

L'induit inférieur, qui est fixe, est composé d'un matériau amagnétique tandis que l'induit supérieur qui est fixe également est composé d'un matériau magnétique.

L'avantage de ce moteur réside dans le fait que la partie mobile est plus légère, donc on augmente les performances dynamiques.

Largeur finie - effet transversal – effet d'extrémité.

Les courants induits au secondaire sont des courants de Foucault qui ne sont pas distribués uniformément selon la direction Z . Cette distribution modifie les pertes et la répartition du champ. Cet effet est l'effet d'extrémité de largeur finie.