

Capítulo 7

Motores lineales

1 – INTRODUCCIÓN

El motor lineal es un tipo de motor eléctrico que en lugar de producir un par motor, como en el caso de máquinas rotativas, produce una fuerza lineal cuya dirección coincide con la dirección de su longitud. Por esto, este motor es ideal en aquellas aplicaciones en donde están en juego fuerzas de traslación; el motor lineal provee por sí mismo un esfuerzo de propulsión sin ningún medio de transmisión mecánica y con solamente el vínculo electromagnético entre las partes fijas y móviles. De esta forma eliminamos el complejo y tedioso sistema para transformar el movimiento de rotación en uno de traslación.

Podemos identificar tres desventajas respecto de los motores rotantes: 1) lo difícil de mantener las distancias entre inductor e inducido; 2) el entrehierro consume la mayor intensidad de campo para lograr la inducción necesaria; y 3) tienen por lo general mayor tamaño y menor rendimiento que los motores rotantes de igual potencia.

1.1 – El entrehierro δ

El entrehierro es siempre mayor que en el caso de las máquinas rotativas, debido a la naturaleza de su construcción (espesor de la barra de reacción y distancias de seguridad).

Debido a que la inducción **B** es proporcional a δ , tenemos que la energía inductiva (dependiente de **B**) es también proporcional a δ , por lo que –y esto lo vemos mejor en el capítulo 10: Factor de potencia– el **cos φ** en los motores lineales, y por ende su rendimiento, es siempre menor que en las máquinas rotativas de igual potencia.

2 – TIPOS DE MOTORES LINEALES (Formas constructivas)

Al igual que en las máquinas rotativas, podemos clasificar los motores lineales en motores de corriente continua y corriente alterna, éstos últimos a su vez, se subdividen en motores síncronos y asíncronos. A los dos primeros lo explicamos a continuación, al asíncrono lo dejamos para la siguiente sección debido a la longitud de su explicación.

2.1 – Motor lineal de corriente continua

El estator (inductor) cuenta con un sistema de excitación de CC o imanes permanentes, en el entrehierro hay un devanado o conductor (barra) eléctrico móvil (inducido) por donde circula, a través de escobillas, la corriente inducida perpendicularmente a la dirección del motor lineal. Debido a que las resistencias de estas escobillas son elevadas, provoca grandes caídas de tensión y una disminución en su rendimiento. Por tal motivo se los usa poco en la actualidad a excepción de aplicaciones de pequeña potencia.

2.2 – Motor lineal de corriente alterna sincrónico

Este motor se representa en la figura. El inducido es un devanado trifásico y el inductor es un devanado alimentado con corriente continua que va montado en el estator. Para mejorar el campo inducido, se colocan barras de reacción de material diamagnético, distribuidos a una distancia entre ellos igual al doble del paso polar.

El campo constante creado por el inductor es modulado en amplitud por las barras de reacción, por lo que solo se puede usar una parte del flujo para generar la fuerza de tracción.

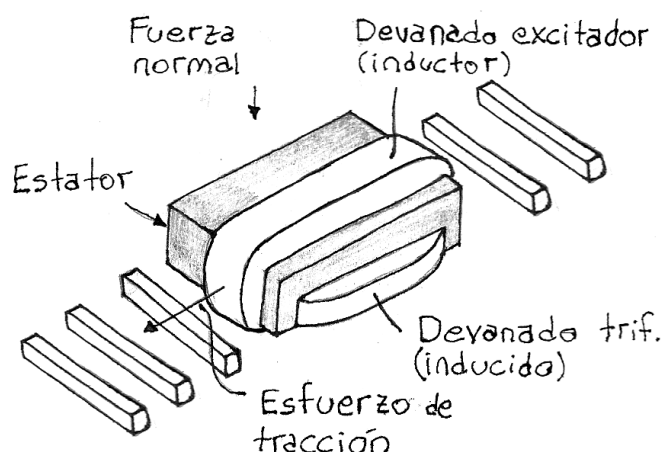


Figura 2-1: Motor lineal sincrónico en construcción homopolar con excitación estática.

3 – MOTOR LINEAL ASÍNCRONO

3.1 – Funcionamiento

El motor lineal asincrónico lo podemos considerar como un motor asíncrono rotativo común y corriente al cual le hemos realizado un corte axial y en donde sólo tenemos en cuenta un sector plano del estator (primario) y del rotor (secundario) como si se tratara de un motor asincrónico rotativo de radio infinito. El movimiento del campo entonces, será lineal en lugar de rotante, convirtiéndose en un campo de traslación, dando lugar a una fuerza o empuje electromagnético en lugar de un par motor. En la [Figura 3-1](#) se muestra un motor lineal unilateral. Si del lado de arriba colocamos otro estator que genere un campo móvil en el mismo sentido, tendremos un motor lineal bilateral.

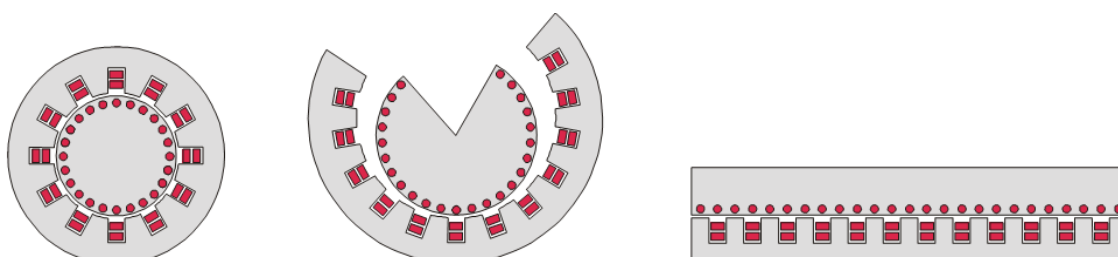


Figura 3-1: Derivación de un motor asincrónico lineal de uno rotativo.

El sistema trifásico de corriente del estator (supongamos el de abajo) genera un campo móvil que se desplaza sobre el mismo. La componente normal de este campo atraviesa el «rotor» (que aquí llamaremos secundario, son las barras conductoras de reacción) y se cierra a través del otro estator (el de arriba). La diferencia de velocidad entre el campo móvil y la barra provoca la circulación de corrientes en estas últimas (de aquí vemos que la barra conductora es el inducido). La acción conjunta de estas corrientes con el campo móvil es lo que genera la fuerza de tracción (longitudinal).

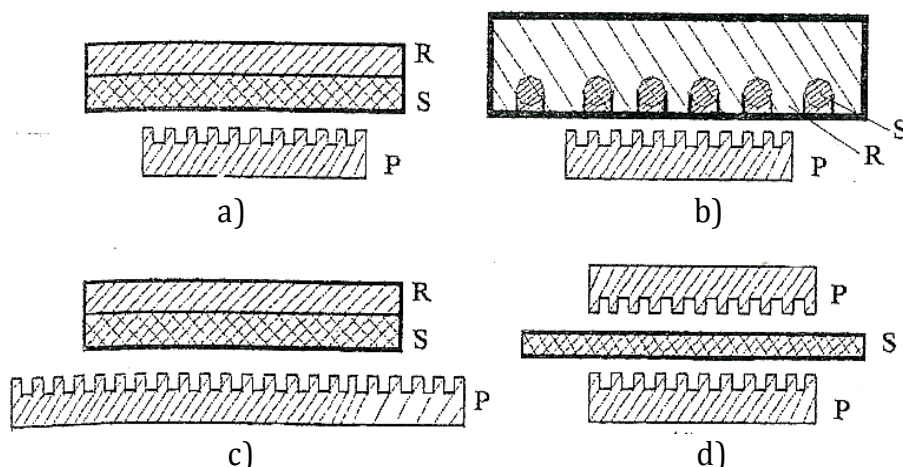


Figura 3-2: Formas de ejecución de los motores lineales asíncronos, **a)** unilateral de estator corto, **b)** unilateral de estator corto, **c)** unilateral de estator largo y **d)** bilateral de estator corto.

La **Figura 3-3** muestra una representación del principio de funcionamiento de un motor lineal asíncrono y las direcciones de las magnitudes eléctricas, magnéticas y mecánicas. Detallaremos tres parámetros: la velocidad sincrónica, el esfuerzo de tracción y la potencia del motor.

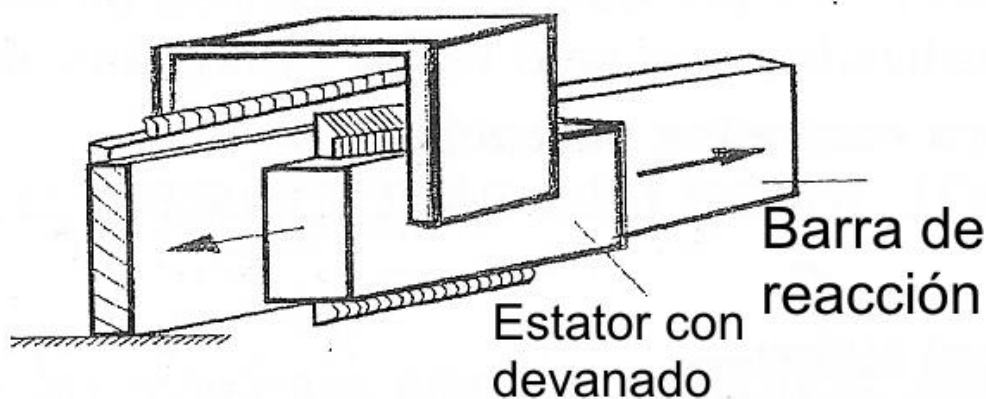


Figura 3-3: Esquema y sistema de ejes para un motor lineal asíncrono.

La figura muestra una representación del principio de funcionamiento de un motor lineal asíncrono y las direcciones de las magnitudes eléctricas, magnéticas y mecánicas. Detallaremos tres parámetros: la velocidad sincrónica, el esfuerzo de tracción y la potencia del motor.

Velocidad sincrónica:

Es la velocidad del campo móvil, su expresión la calculamos con

$$v_s = 2 \cdot f_1 \cdot \tau_p \quad (2-1)$$

Donde v_s es la velocidad sincrónica.

f_1 es la frecuencia de alimentación (corriente trifásica del estator).

τ_p es el paso polar.

Teniendo en cuenta los límites constructivos y la frecuencia de trabajo (**50 Hz**), tenemos que la velocidad mínima sincrónica $v_{s,min}$ será

$$v_{s,min} = (2 \cdot f_1 \cdot \tau_{p,min}) \cdot (m \cdot q_{1,min}) = 2 \cdot 50 \cdot 0,01 \cdot 3 \cdot 1 = 3 \text{ [m/seg]} \quad (2-2)$$

Donde **m** es el número de fases del campo móvil, **3** debido a que es un sistema trifásico.

q₁ es el número de ranuras por polo y fase, el mínimo es **1**.

τ_{p,min} es el mínimo paso posible, constructivamente hablando. Su valor es de **10 [mm]**.

Si **f₁** y **τ_p** fueran constantes, la velocidad de servicio **v** la podemos regular mediante el deslizamiento **S** a través de la fórmula

$$v = v_s (1 - S) \quad (2-3)$$

Pero a velocidades menores a **v_{s,min}**, la fórmula anterior no nos sirve y el rendimiento es fuertemente influenciado por el deslizamiento según la expresión

$$\eta = 1 - S \quad (2-4)$$

Esto nos indica que, para frecuencias de trabajo constante, el campo de acción de estos motores se reduce a aplicaciones en donde la velocidad no sea inferior a **v_{s,min}**; para velocidades por debajo de este valor, el rendimiento cae considerablemente haciendo impráctico su uso.

Esfuerzo de tracción:

El esfuerzo de tracción (**F_x**), no es otra cosa que componente de la fuerza creada sobre sobre la dirección de desplazamiento del motor. Su valor será

$$F_x = c_1 \cdot S_\delta \cdot A_1 \cdot B_\delta = c_1 \cdot S_\delta \cdot A_1 \cdot \left(\frac{c_2 \cdot A_1 \cdot \tau_p}{\delta} \right) = \boxed{\frac{c_1 \cdot c_2 \cdot S_\delta \cdot A_1^2 \cdot \tau_p}{\delta}} = F_x \quad (2-5)$$

Donde: **c₁** y **c₂** son constantes que dependen de los materiales y de la geometría finita de la máquina.

S_δ es la superficie del entrehierro.

A₁ es la onda fundamental de la carga electrodinámica primaria.

B_δ es la inducción del entrehierro.

δ es el entrehierro magnético.

Para obtener grandes valores de **F_x** (en el libro no dice por qué) necesitamos aumentar la carga electrodinámica de la máquina (cosa que tampoco dice qué es), esto lo podemos lograr con una refrigeración óptima y un sistema de aislamiento de alta capacidad de carga.

Potencia del motor:

Es el producto entre **F_x** y **v**. Esto quiere decir que la potencia aumenta con la velocidad debido a la inexistencia de fuerzas centrífugas limitadoras (las cuales están presentes en las máquinas rotativas por obvios motivos). Esto hace apto este tipo de motor para aplicaciones en donde se requieren altas velocidades.

3.2 – Aplicaciones del motor lineal asincrónico de estator corto

3.2 – 1: En la técnica de transporte

Bueno lo que sigue yo no lo hubiera puesto en este resumen, pero en las tarjetitas de Ubal figura este tema, así que no queda otra que fumárselo.

Con la nueva técnica de transporte no convencional, que no dice cual es, los motores lineales progresaron y se están haciendo investigaciones para mejorarlo. Se llegaron a obtener velocidades de has-

ta **400 [Km/h]** con refrigeración forzada de aire. En lo que se refiere a transporte rápido, el motor lineal de estator corto presenta marcadas ventajas sobre el motor de estator largo, por lo que se está estudiando su funcionamiento; los últimos datos (no sé de cuándo mierda serán) arrojan valores de **400 [Km/h]** y **33,5 [KN]** por motor de velocidad y esfuerzo de tracción residual respectivamente. Teniendo en cuenta lo anterior, el motor más adecuado es el **motor lineal bilateral con alimentación por ondulator de pulsos** (¡chan! ☺) y con barra de reacción, además de una refrigeración por aire o aceite.

3.2 – 2: Alternativas en la técnica del tráfico

En lo que se refiere al accionamiento de vehículos de transporte con sistemas de guiado y soporte sin contacto (como es el caso del tren balín) hay que considerarse las siguientes alternativas:

- El motor lineal asíncrono de estator corto y
- El motor lineal asíncrono de estator largo.
 - Sin hierro y
 - Con hierro.

El desarrollo del primero puede darse por terminado, no existen en la actualidad problemas tecnológicos para su construcción. Es importante aquí elegir el órgano de ajuste adecuado, como ideal se presenta el ondulator con tensión. Algunas de las aplicaciones de este tipo de motor son: el accionamiento para sistemas de transporte y cintas transportadoras, accionamiento de grúas, máquinas herramientas y accionamientos oscilantes.

El segundo está desactualizado aunque su comportamiento sigue investigándose.

El tercero está en desarrollo y pretende utilizarse para transporte en el futuro. Su ventaja es la de integrar un sistema de soporte, de guiado y de accionamiento con una construcción relativamente sencilla; se contrapone la desventaja de los problemas aún no resueltos de una vía costosa y un suministro de energía a lo largo de toda la longitud de la misma.

Aunque no es posible predecir cuál será el motor usado en el transporte en el futuro, podemos decir que para distancias cortas, el motor lineal de estator corto con hierro es el más adecuado. La excitación de los mismos se hace a través de imanes permanentes, que hacen las veces de soporte del vehículo y de polos de excitación del motor lineal.

