

Dimensionamento de Accionadores com Motores Lineares

C. Pereira Cabrita

Dr. Eng. Elect. (I. S. T. / U. T. L.)
Prof. Auxiliar (I. S. T.)

resumo

A intenção deste artigo consiste em mostrar qual o método de cálculo de accionamentos com motores lineares de indução. Descrevem-se quais as características industriais de um motor linear plano e de um motor linear tubular, dimensionado para aplicações em regime estático e a baixas velocidades, apresentando-se ainda o cálculo do accionamento de uma ponte rolante.

summary

The intention of this paper is to provide the basic information upon which the selection of linear induction motors can be made. The industrial characteristics of a plane and a tubular linear motors, designed for standstill and low speed applications, are presented, as well as a worked example which consists in a overhead crane drive.

1. Introdução

Os motores lineares de indução podem substituir com vantagem os motores rotativos convencionais em muitos dos accionamentos electro-mecânicos tradicionais [1, 2, 3, 4], como tem vindo a acontecer com sucesso desde o início dos anos 60, tendo o maior fabricante mundial deste tipo de máquina eléctrica comercializado cerca de meio milhão de unidades até ao final da década de 1980 [2, 3].

Ao considerarem-se os motores lineares de indução para aplicações em regime estático e a baixas velocidades, os critérios para definir a qualidade do accionamento são os seguintes:

- A segurança e a fiabilidade do sistema completo.
- A quantidade e a complexidade do equipamento auxiliar de controlo.
- O custo da máquina e do equipamento auxiliar de controlo por unidade de força desenvolvida.

- A força desenvolvida por unidade de potência consumida. Este parâmetro representa o rendimento específico do motor.
- A razão entre a força desenvolvida e o peso da máquina e do equipamento auxiliar de controlo.

2. Características industriais de motores lineares

Normalmente, as unidades lineares de tracção devem ser apresentadas no mercado, como produtos industriais prontos a serem comercializados, através dos seguintes parâmetros característicos [2, 3].

- Dimensões geométricas.
- Forma de montagem.
- Tensão e corrente no arranque.
- Tensão e corrente nominais.
- Força desenvolvida.
- Tempo máximo admissível de cada regime de funcionamento.

De acordo com este critério, esquemamizam-se nas figuras 1 e 2 as dimensões principais e as formas de montagem de um motor linear de indução plano e de um motor linear de indução tubular. Estes protótipos, cuja descrição e cujos resultados dos ensaios se expõem pormenorizadamente em [5, 6], são caracterizados, como produtos industriais acabados, pelos seguintes parâmetros característicos [1, 5, 6].

Saliente-se que a força em regime contínuo (regime nominal), em todas as montagens possíveis do motor linear plano, é igual a 18 % da força máxima, e para o motor linear tubular, essa relação tem o valor de 29 %.

3. Cálculo de accionamentos com motores lineares

3.1. Parâmetros a especificar

No dimensionamento de accionamentos com motores lineares

Motor linear plano

a) Montagem simples estator eléctrico e magnético:

Regime	Tensão [V]	Corrente [A]	Força [kg]	Duração [min]
Máximo	400	8,0	10	7,5
Contínuo	160	3,3	1,8	∞

b) Montagem simples estator eléctrico, duplo estator magnético:

Regime	Tensão [V]	Corrente [A]	Força [kg]	Duração [min]
Máximo	400	6,2	33	12
Contínuo	185	3,3	6	∞

c) Montagem duplo estator eléctrico e magnético:

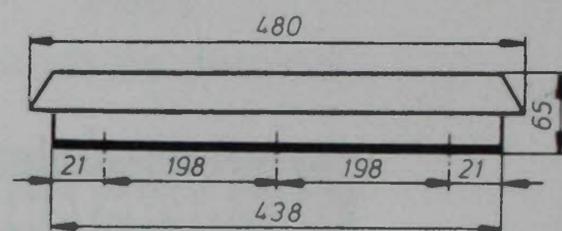
Regime	Tensão [V]	Corrente [A]	Força [kg]	Duração [min]
Máximo	400	8,5	66	30
Contínuo	240	6,6	12	∞

Motor linear tubular

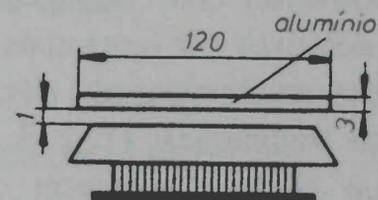
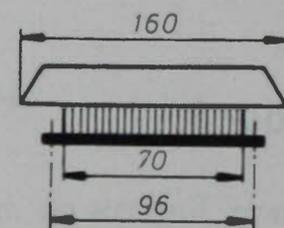
Regime	Tensão [V]	Corrente [A]	Força [kg]	Duração [min]
Máximo	125	1,4	1,7	6
Contínuo	60	0,7	0,5	∞
Pico, no arranque directo	125	1,8	3,0	—

de baixa velocidade, devem ser conhecidos os seguintes parâmetros [3, 7].

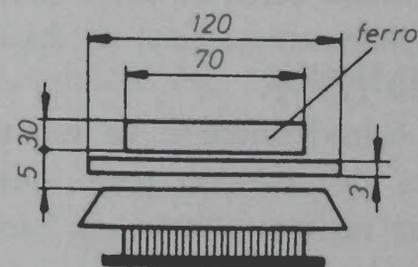
- Massa total a transportar.
- Velocidade em regime permanente.
- Aceleração máxima, tendo em atenção que o accionamento é independente da aderência.
- Distância total a percorrer.



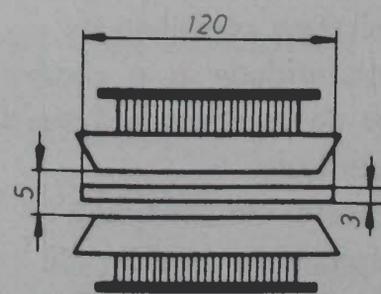
dimensões dos blocos estatóricos



simplest estator eléctrico e magnético



simplest estator eléctrico duplo estator magnético



duplo estator eléctrico e magnético

Fig. 1 — Dimensões características de um protótipo linear de indução plano

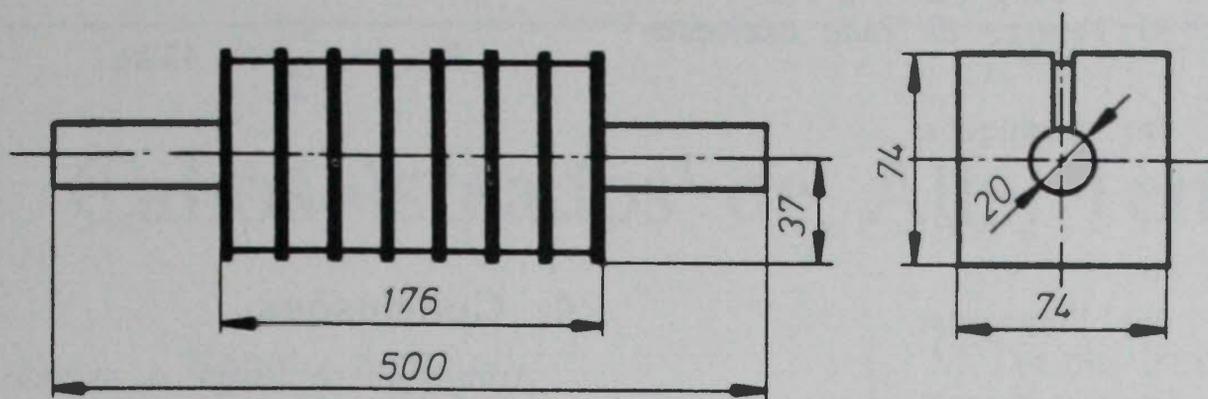


Fig. 2 — Dimensões características de um protótipo de um motor linear de indução tubular

- Tempo correspondente aos percursos a efectuar em regime de velocidade constante.
- Ciclo de trabalho.
- Coeficiente de atrito: rodas em aço sobre pavimento em aço, de 10 a 15 kg/t; rodas em borracha ou em material plástico sobre pavimento em aço, de 20 a 40 kg/t.

3.2. Fórmulas de cálculo

São as seguintes as fórmulas a utilizar no cálculo dos accionamentos [3, 7]:

$$F = m a$$

$$F_{at} = C_{at} m$$

$$V = V_0 + a t$$

$$V^2 = V_0^2 + 2 a d$$

$$d = V t$$

$$d = V_0 t + 0,5 a t^2$$

sendo, respectivamente,

- a — aceleração, m/s^2
- C_{at} — coeficiente de atrito, N/kg
- d — distância, m
- F — força de tracção, N
- F_{at} — força de atrito, N
- m — massa total a transportar,
- t — tempo, s
- V — velocidade, m/s
- V_0 — velocidade inicial, m/s

3.3. Exemplo de cálculo

Como exemplo prático de aplicação, expõe-se o método de cálculo

de um accionamento de uma ponte rolante por meio de motores lineares planos, e com as seguintes características [7]:

- Tempo do ciclo de trabalho = 5 minutos.
- Ciclo de trabalho (figura 3): 0 — operação de carga; 1 — arranque e aceleração em carga; 2 — deslocamento a velocidade constante em carga; 3 — frenagem em carga; 4 — operação de paragem para descarga; 5 — arranque e aceleração em vazio; 6 — deslocamento a velocidade constante em vazio; 7 — frenagem em vazio.
- Massa total = 3000 kg.
- Tara = 500 kg.
- Distância entre o local de carga e o local de descarga = 50 m.

- Velocidade em regime permanente, em vazio e em carga = 1 m/s.
- Tempo de paragem para descarga = 30 s.
- Tempo de aceleração e tempo de frenagem, em vazio e em carga = 5 s.
- Coeficiente de atrito = 100 N/t.
- Accionamento: 2 motores lineares planos, um de cada lado da estrutura.

Cálculos [3, 7]:

1) Aceleração nos arranques e nas frenagens:

$$V = V_0 + a t$$

$$1 = 0 + a 5$$

$$a = 0,20 m/s^2$$

$$V = V_0 - a t$$

$$0 = 1 - a 5$$

$$a = 0,20 m/s^2$$

2) Transporte com carga máxima:

2a) Força de atrito:

$$F_{at} = (10 kg/t) \cdot (3 t) = 30 kg$$

2b) Força aceleradora:

$$F_1 = m a + F_{at} = 3000 \cdot 0,20 + 300 = 900 N = 90 kg (F_{max})$$

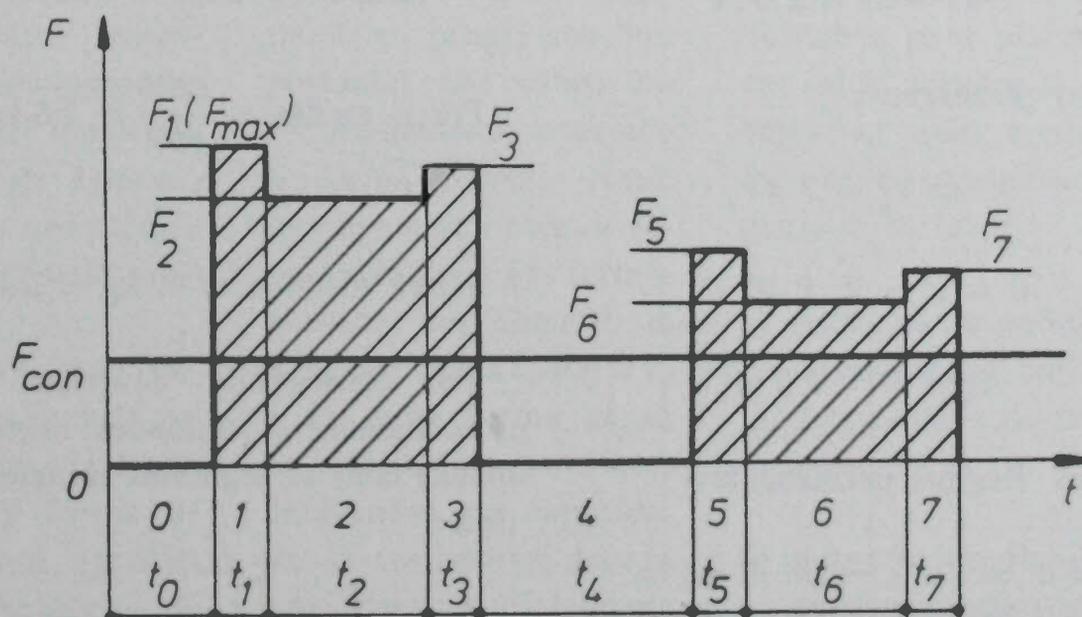


Fig. 3 — Ciclo de trabalho do accionamento

2c) Força em regime permanente:

$$F_2 = F_{at} = 30 \text{ kg}$$

2d) Força de frenagem:

$$F_3 = m a - F_{at} = 3000 \cdot 0,20 - 300 = 300 \text{ N} = 30 \text{ kg}$$

3) Regresso em vazio ao ponto de partida:

3a) Força de atrito:

$$F_{at} = (10 \text{ kg/t}) \cdot (0,5 \text{ t}) = 5 \text{ kg}$$

3b) Força aceleradora:

$$F_5 = m a + F_{at} = 500 \cdot 0,20 + 50 = 150 \text{ N} = 15 \text{ kg}$$

3c) Força em regime permanente:

$$F_6 = F_{at} = 5 \text{ kg}$$

3d) Força de frenagem:

$$F_7 = m a - F_{at} = 500 \cdot 0,20 - 50 = 50 \text{ N} = 5 \text{ kg}$$

4) Distâncias percorridas:

4a) Arranques:

$$V^2 = V_0^2 + 2 a d$$

$$1^2 = 0 + 2 \cdot 0,20 d$$

$$d_1 = d_5 = 2,5 \text{ m}$$

4b) Frenagens:

$$V^2 = V_0^2 - 2 a d$$

$$0 = 1^2 - 2 \cdot 0,20 d$$

$$d_3 = d_7 = 2,5 \text{ m}$$

4c) Regime permanente:

$$\begin{aligned} d_2 = d_6 = d_{total} - (d_1 + d_3) = \\ = d_{total} - (d_5 + d_7) = \\ = 50 - (2,5 + 2,5) = 45 \text{ m} \end{aligned}$$

5) Tempos de cada operação:

5a) Arranques:

$$t_1 = t_5 = 5 \text{ s}$$

5b) Frenagens:

$$t_3 = t_7 = 5 \text{ s}$$

5c) Regime permanente:

$$d = V t$$

$$t_2 = t_6 = \frac{45}{1} = 45 \text{ s}$$

5d) Paragem para carga e descanso:

$$\begin{aligned} t_0 = t_{ciclo} - (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \\ + t_5 + t_6 + t_7) = 300 - (5 + \\ + 45 + 5 + 30 + 5 + 45 + \\ + 5) = 160 \text{ s} \end{aligned}$$

6) Cálculo dos motores:

$$F_1 t_1 = 450 \text{ kg.s}$$

$$F_2 t_2 = 1350 \text{ kg.s}$$

$$F_3 t_3 = 150 \text{ kg.s}$$

$$F_5 t_5 = 75 \text{ kg.s}$$

$$F_6 t_6 = 225 \text{ kg.s}$$

$$F_7 t_7 = 25 \text{ kg.s}$$

$$\text{Total} = \sum F_i t_i = 2275 \text{ kg.s}$$

$$\text{Tempo do ciclo} = 300 \text{ s}$$

$$\text{Força média} = \frac{2275}{300} = 7,6 \text{ kg} \quad (F_{con})$$

$$\text{Força máxima} = 90 \text{ kg} \quad (F_{max})$$

Por conseguinte, deveriam ser seleccionadas 2 unidades lineares planas com as seguintes características:

$$F_{con} = \frac{7,6}{2} = 3,8 \text{ kg}$$

$$F_{max} = \frac{90}{2} = 45 \text{ kg}$$

$$\left(\frac{F_{con}}{F_{max}} = 8,5 \% \right)$$

4. Conclusões

Apresentou-se assim o método de dimensionamento de accionamentos electromecânicos com motores lineares de indução, indicando-se quais os critérios a seguir bem como as respectivas fórmulas, exemplificando-se o cálculo do accionamento de uma ponte rolante. Saliente-se que os motores lineares de indução para aplicações em regime estático e para baixas velocidades, devem ser dimensionados para funcionarem em regime intermitente, tal como os protótipos que se construíram e ensaiaram e cujas características industriais se expuseram. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Pereira Cabrita, *Motor linear de indução. Análise teórica, projecto e ensaio*, Dissertação de Doutoramento, IST, 1988.
- [2] G. W. McLean, *Review of recent progress in linear motors*, IEE Proceedings — B, Nov. 1988, p. 380-416.
- [3] Davy Linear Motors, *Catálogo geral*, Loughborough, Grã-Bretanha, 1988.
- [4] C. Pereira Cabrita; A. Leão Rodrigues, *O motor linear de indução como accionador de baixa velocidade*, Electricidade 252, Jan. 1989, p. 31-38.
- [5] A. Leão Rodrigues; C. Pereira Cabrita, *Breve teoria e ensaio do motor linear de indução trifásico para baixas velocidades*, Electricidade 263, Jan. 1990, p. 19-31.
- [6] C. Pereira Cabrita, *Construção e ensaio do protótipo de um motor linear de indução tubular trifásico*, Electricidade 271, Out. 1990, p. 337-341.
- [7] C. Pereira Cabrita, *Seleção de unidades lineares*, Monografia interna da Secção de Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência, IST, 1986.