

# O motor de corrente ondulada. Dedução e análise das expressões da potência e do binário

CARLOS MANUEL PEREIRA CABRITA

Eng.º Electrotécnico (I. S. T.)

Assistente (I. S. T.)

## resumo

Deduzem-se e analisam-se as expressões da potência electromagnética e do binário mecânico útil no veio, no motor de tracção de corrente ondulada.

## 1. Potência electromagnética

Por definição, o valor instantâneo da potência electromagnética que, à parte as perdas magnéticas e mecânicas, mais não é que a potência mecânica útil no veio da máquina, é igual ao produto dos valores instantâneos da f.e.m. dinâmica e da corrente,

$$P(t) = E_D(t) \cdot I_d(t). \quad (1)$$

Possuindo a f.e.m. dinâmica duas componentes [3],

$$E_d = \frac{p}{c} n N \phi_d \cos \alpha \quad (2)$$

## abstract

*The output power and torque formulas of the undulatory current traction motor are deduced and analysed.*

e

$$E_{2D}(t) = \frac{p}{c} n N \phi_2 \sin(2\omega t - \gamma) \cos \alpha \quad (3)$$

sendo

$p$  — número de pares de polos da máquina,

$c$  — número de pares de circuitos derivados do enrolamento induzido,

$n$  — número total de condutores do enrolamento induzido,

$N$  — velocidade de rotação,

$\phi_d$  — componente contínua do fluxo indutor,

- $\phi_2$  — amplitude da componente alternada sinusoidal do fluxo indutor,  
 $\gamma$  — desfasamento entre as componentes alternadas da corrente e do fluxo, devido às perdas no ferro e à saturação,  
 $\alpha$  — ângulo eléctrico de decalagem das escovas, contado a partir da linha neutra geométrica,

como [1]

$$I_d(t) = I_d + I_2 \sin 2\omega t \quad (4)$$

ter-se-á

$$\begin{aligned} P(t) = \frac{p}{c} n N [\phi_d I_d + \phi_d I_2 \sin 2\omega t + \\ + \phi_2 I_d \sin (2\omega t - \gamma) + \\ + \phi_2 I_2 \sin 2\omega t \sin (2\omega t - \gamma)] \cos \alpha. \end{aligned} \quad (5)$$

Quanto ao valor médio desta potência, ele será

$$\begin{aligned} P = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} P(t) \cdot dt = \\ = \frac{p}{c} n N (\phi_d I_d + \phi_{2ef} I_{2ef} \cos \gamma) \cos \alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

Conclui-se assim que a potência mecânica no veio é composta por duas parcelas:

$$P_d = \frac{p}{c} n N \phi_d I_d \cos \alpha \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{p}{c} n N \phi_{2ef} I_{2ef} \cos \gamma \cos \alpha. \quad (8)$$

A primeira destas parcelas,  $P_d$ , representa a potência mecânica associada às componentes contínuas do fluxo e da corrente e é característica das máquinas de corrente contínua, enquanto que  $P_2$  representará a potência mecânica associada às componentes alternadas do fluxo e da corrente, sendo característica dos motores monofásicos com colector.

## 2. Binário mecânico útil no veio

Por definição, o valor instantâneo do binário é

$$M(t) = \frac{P(t)}{\Omega} \quad (9)$$

sendo  $\Omega$  a velocidade angular mecânica da máquina.

Quanto ao seu valor médio, ele será

$$\begin{aligned} M = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} M(t) \cdot dt = \\ = \frac{1}{\Omega} \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} P(t) \cdot dt = \frac{P}{\Omega} \end{aligned} \quad (10)$$

Por conseguinte, atendendo à expressão de  $P$  e como  $\Omega = 2\pi N$ , ter-se-á

$$M = \frac{p}{2\pi c} n (\phi_d I_d + \phi_{2ef} I_{2ef} \cos \gamma) \cos \alpha \quad (11)$$

O binário que o motor fornece ao exterior através do seu veio possui, tal como a potência, duas parcelas:

$$M_d = \frac{p}{2\pi c} n \phi_d I_d \cos \alpha \quad (12)$$

$$M_2 = \frac{p}{2\pi c} n \phi_{2ef} I_{2ef} \cos \gamma \cos \alpha. \quad (13)$$

Assim,  $M_d$  representa o binário associado às componentes contínuas do fluxo e da corrente sendo característico das máquinas de corrente contínua, enquanto que  $M_2$ , estando associado às componentes alternadas do fluxo e da corrente, é característico dos motores monofásicos com colector.

Vejamos seguidamente qual a dependência dos binários em relação à posição das escovas.

### a) Escovas sobre a linha neutra geométrica

Como  $\alpha = 0^\circ$  eléctricos,

$$M_d = M_{d_{\max}} = \frac{p}{2\pi c} n \phi_d I_d \quad (14)$$

$$M_2 = M_{2_{\max}} = \frac{p}{2\pi c} n \phi_{2ef} I_{2ef} \cos \gamma. \quad (15)$$

Para esta situação o binário é máximo. No caso de se ter uma shuntagem óhmica permanente do enrolamento dos polos principais, como  $\phi_{2ef} \simeq 0$  [1], passaríamos a ter

$$M = M_{d_{max}} = \frac{p}{2\pi c} n \phi_d I_d \quad (16)$$

$$M_2 = 0. \quad (17)$$

#### b) Escovas sobre o eixo polar

Sendo  $\alpha = 90^\circ$  eléctricos, como

$$M_d = M_{d_{min}} = 0 \quad (18)$$

$$M_2 = M_{2_{min}} = 0 \quad (19)$$

o motor não rodaria.

Considerando agora as escovas sobre a linha neutra geométrica e uma shuntagem óhmica permanente do enrolamento dos polos principais, passemos a exprimir o binário em função de alguns parâmetros característicos da máquina, como já o fizemos anteriormente no que respeita às f.e.m.'s induzidas [3].

Assim, sendo

$$\phi_d = b_p L_1 B_d \quad (20)$$

em que  $b_p$  é a largura de cada polo medida na periferia do entreferro,  $L_1$  é o comprimento do induzido e  $B_d$  é o valor médio temporal do campo indutor, atendendo a que

$$\psi \text{ (arco polar relativo)} = \frac{b_p}{\tau_p} \quad (21)$$

$$\tau_p \text{ (passo polar)} = \frac{\pi D_1}{2p} \quad (22)$$

com  $D_1$  = diâmetro do induzido, tem-se

$$\phi_d = \psi \frac{\pi D_1}{2p} L_1 B_d \quad (23)$$

$$M = M_d = \psi (D_1 L_1) \frac{n}{2} \frac{I_d}{2c} B_d. \quad (24)$$

Atendendo ainda que o valor médio da carga linear específica é

$$A_d = \frac{n I_d}{2\pi c D_1} \quad (25)$$

que o volume prismático do induzido é

$$V_o = D_1^2 L_1 \quad (26)$$

e que, para uma distribuição sinusoidal do campo ao longo do entreferro se tem  $\psi \simeq 2/\pi$ , virá finalmente

$$M = M_d = A_d B_d V_o \quad (27)$$

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] C. M. P. CABRITA, *A comutação do motor de corrente ondulada*, Electricidade. Energia. Electrónica 151, Maio 1980, pp. 219-224.
- [2] C. M. P. CABRITA, *O motor série em tracção eléctrica. Análise comparativa do ponto de vista do binário*, Electricidade. Energia. Electrónica 160, Fevereiro 1981, pp. 75-82.
- [3] C. M. P. CABRITA, *O motor de corrente ondulada. Dedução e análise das expressões das f.e.m.'s induzidas*, Electricidade. Energia. Electrónica 204, Outubro 1984, pp. 371-376.
- [4] J. C. MARTIN, *La Máquina Eléctrica*, volume 2. Editorial Labor, Barcelona, 1970.