

O motor de corrente contínua ondulada

Inconvenientes da shuntagem óhmica permanente do enrolamento dos polos principais

CARLOS MANUEL PEREIRA CABRITA

Eng.º Electrotécnico (I. S. T.)

Assistente (I. S. T.)

resumo

Analisa-se os inconvenientes da shuntagem óhmica permanente do enrolamento dos polos principais nos motores de tracção de corrente ondulada.

1. A comutação no motor de corrente ondulada. Shuntagem óhmica permanente do enrolamento dos polos principais

Como se sabe [1], nas secções do enrolamento induzido curtocircuitadas pelas escovas durante o período da comutação, são geradas duas f.e.m.'s de natureza distinta:

abstract

The disadvantages of the shunt non-inductive resistor of the field winding, in the undulatory current traction motors, are analysed.

- a) f.e.m. reactiva, devida à inversão do sentido da corrente;
- b) f.e.m. de transformação, originada pela componente alternada do fluxo indutor.

Enquanto que a f.e.m. reactiva é neutralizada através dos polos auxiliares, o valor da f.e.m. de transformação é reduzido o mais possível, ligando em paralelo com o enrolamento dos polos principais um

shunt ôhmico com um valor de resistência bastante elevado quando comparado com o valor da resistência do enrolamento. Consegue-se deste modo desviar do enrolamento dos polos principais a quase totalidade da componente alternada da corrente, na medida em que a reactância do shunt é praticamente nula.

Como o shunt ôhmico deriva uma pequena parte da componente contínua da corrente (10 % a 15 %), podemos definir um coeficiente de shuntagem em corrente contínua [1], como sendo

$$K_s = \frac{I_d - I_{dF}}{I_d} \quad (1)$$

em que I_d representa o valor médio da corrente no motor e I_{dF} o valor médio da corrente no enrolamento dos polos principais.

Por conseguinte, teremos

$$I_{dF} = (1 - K_s) I_d \quad (2)$$

2. Inconvenientes da shuntagem

Como consequência da shuntagem ôhmica do enrolamento dos polos principais, as expressões do fluxo, da f.e.m., da potência e do binário deduzidas supondo a não existência do shunt [3, 4], sofrerão alterações, que passamos a analisar de seguida.

a) Com shuntagem

Fluxo:

Sendo

$$\Phi(t) = \Phi_d + \Phi_2 \sin 2\omega t \quad (3)$$

como $\Phi_2 \simeq 0$ ter-se-á

$$\Phi(t) = \Phi_d. \quad (4)$$

Por conseguinte, o fluxo útil por polo pode considerar-se como sendo praticamente contínuo. Para um funcionamento não saturado virá ainda

$$\Phi_d = K I_{dF} = K(1 - K_s) I_d. \quad (5)$$

F.e.m.:

Como o fluxo é praticamente contínuo, a f.e.m. também o será,

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{p}{c} n N \Phi_d = \\ &= \frac{p}{c} n N K (1 - K_s) I_d. \end{aligned} \quad (6)$$

Potência:

O seu valor instantâneo será, atendendo a que $\Phi_2 \simeq 0$,

$$P(t) = \frac{p}{c} n N (\Phi_d I_d + \Phi_d I_2 \sin 2\omega t) \quad (7)$$

mas como $I_2 = \mu I_d$, em que μ representa a taxa de ondulação da corrente, virá ainda

$$P(t) = \frac{p}{c} n N \Phi_d I_d (1 + \mu \sin 2\omega t) \quad (8)$$

Quer isto dizer que $P(t)$ oscila sinusoidalmente, com uma frequência dupla da frequência da rede, em torno do valor médio

$$P_d = \frac{p}{c} n N \Phi_d I_d \quad (9)$$

e entre os limites $(1 + \mu) P_d$ e $(1 - \mu) P_d$.

Atendendo à expressão (5) teremos ainda

$$P_d = \frac{p}{c} n N K (1 - K_s) I_d^2. \quad (10)$$

Binário:

O seu valor instantâneo será

$$\begin{aligned} M(t) &= \frac{P(t)}{2\pi N} = \\ &= \frac{p}{2\pi c} n \Phi_d I_d (1 + \mu \sin 2\omega t). \end{aligned} \quad (11)$$

Tal como a potência, o binário oscila sinusoidalmente, com uma frequência dupla da frequência da rede, em torno do valor médio

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

e entre os limites $(1 + \mu) M_d$ e $(1 - \mu) M_d$.

Tendo em atenção a expressão (5) virá ainda

$$M_d = \frac{P}{2 \pi c} n K (1 - K_s) I_d^2 \quad (13)$$

b) Sem shuntagem

Admitindo um funcionamento não saturado e, tal como anteriormente, supondo as escovas situadas sobre a linha neutra, teremos:

Fluxo:

Sendo a corrente ondulada,

$$I_d(t) = I_d (1 + \mu \sin 2\omega t) \quad (14)$$

de valor eficaz

$$I_{def} = I_d \sqrt{1 + 0,5 \mu^2} \quad (15)$$

teremos

$$\begin{aligned} \Phi_{ef} &= K I_{def} = \\ &= K I_d \sqrt{1 + 0,5 \mu^2} \end{aligned} \quad (16)$$

F.e.m.:

$$\begin{aligned} E_{def} &= \frac{P}{c} n N \Phi_{ef} = \\ &= \frac{P}{c} n N K I_d \sqrt{1 + 0,5 \mu^2} \end{aligned} \quad (17)$$

Potência:

$$\begin{aligned} P &= \frac{P}{c} n N (\Phi_d I_d + \Phi_{2ef} I_{2ef}) = \\ &= \frac{P}{c} n N K (I_d^2 + I_{2ef}^2) = \\ &= \frac{P}{c} n N K I_d^2 (1 + 0,5 \mu^2) \end{aligned} \quad (18)$$

Binário:

$$\begin{aligned} M &= \frac{P}{2 \pi N} = \\ &= \frac{P}{2 \pi c} n K I_d^2 (1 + 0,5 \mu^2) \end{aligned} \quad (19)$$

Para concluir ter-se-á

$$\frac{\Phi_d}{\Phi_{ef}} = \frac{E_d}{E_{def}} = \frac{1 - K_s}{\sqrt{1 + 0,5 \mu^2}} \quad (20)$$

$$\frac{P_d}{P} = \frac{M_d}{M} = \frac{1 - K_s}{1 + 0,5 \mu^2} \quad (21)$$

Se bem que a shuntagem óhmica permanente do enrolamento dos polos principais seja um método bastante eficaz para combater a f.e.m. de transformação, não deixa contudo de apresentar os seguintes inconvenientes:

- obriga a um sobredimensionamento da bobina de alisamento, na medida em que o motor fica privado de uma parcela bastante importante da sua reactância total;
- dá origem a um sub-aproveitamento do motor, como veremos. De facto, para uma shuntagem permanente de 15 % ($K_s = 0,15$) se a ondulação da corrente fosse igual a 40 % ($\mu = 0,40$) teríamos:

$$\frac{E_d}{E_{def}} = 0,82 \text{ (} - 18 \% \text{)}$$

$$\frac{M_d}{M} = 0,78 \text{ (} - 22 \% \text{)}$$

ou seja, uma tensão 18 % menor e um binário 22 % menor.

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] C. M. P. CABRITA — *O motor de corrente ondulada. Dedução e análise das expressões da potência e do binário*, Electricidade. Energia. Electrónica 205, Novembro 1984, pp. 419-421.