

5. Bobrov O.V. Optimization of Operation Mode for Electromechanic System of Production and Distribution of Compressed Air: dis. ... cand. tech. sci : speciality. 05.09.03 "Electrotechnical Complexes and Systems"/ Ministry of Education and Science of Ukraine, SHEI "Nat. mining. univer".- Dnipropetrovsk, 2015.- 166 p.

6. Bobrov A.V. Drive Control for Compressor Unit as based on Efficiency Coefficient Determining for Electrotechnical Complex: Vol. 1. Materialy mezhdunarodnoj molodezhnoj konferencii "Energisistema I aktivnyje Adaptivnyje Electricheskije Seti: Projectirovanie, ekspluatatsija, obrazovaniye", 21–25 November 2011. – Samara: SamGTU, 2011. – 423 p.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Випанасенко С.І.*

УДК 621.311.004

*А. А. Колб, канд. техн. наук, Ант. А. Колб, канд. техн. наук*

*(Україна, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")*

## К РАСЧЕТУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ

**Анотація.** Електромеханічні процеси замкнутого асинхронного електроприводу, які характеризують його енергетичні показники в сталому режимі, можуть бути досліджені без урахування модуляційних пульсацій струму статора. Виконано розрахунок параметрів асинхронного електроприводу для найбільш поширеного закону управління з постійним потокозчеплення ротора в обертової системі координат, орієнтованої по потокозчепленню ротора. Отримані вирази для розрахунку енергетичних показників частотно-регульованого асинхронного електроприводу в сталому режимі.

**Ключові слова:** енергозбереження, асинхронний електропривод, закон управління.

**Аннотация.** Электромеханические процессы замкнутого асинхронного электропривода, которые характеризуют его энергетические показатели в установившемся режиме, могут быть исследованы без учета модуляционных пульсаций тока статора. Выполнен расчет параметров асинхронного электропривода для наиболее распространенного закона управления с постоянным потокосцеплением ротора во вращающейся системе координат, ориентированной по потокосцеплению ротора. Получены выражения для расчета энергетических показателей частотно-регулируемого асинхронного электропривода в установившемся режиме.

**Ключевые слова:** энергосбережение, асинхронный электропривод, закон управления.

**Abstract.** Electromechanical processes of a closed asynchronous electric drive, which characterize its energy parameters in the steady state, can be investigated without taking into account the modulation pulsations of the stator current. The calculation of the parameters of an asynchronous electric drive for the most common control law with constant rotor flux coupling is performed in a rotating coordinate system oriented along the rotor's flux linkage. Expressions were obtained for calculating the energy parameters of a frequency-controlled asynchronous electric drive in the steady state.

**Keywords:** energy saving, asynchronous electric drive, control law.

**Актуальность работы.** В настоящее время асинхронный двигатель является наиболее распространенными и составляют около 90% от всего парка машин и приблизительно 55% от установленной мощности [1]. Это объясняется рядом существенных преимуществ асинхронных двигателей в сравнении с двигателями постоянного тока.

Появление надежных экономических преобразователей частоты с ШИМ, открывает широкие возможности для замены регулируемого электропривода постоянного тока частотно-регулируемым асинхронным.

**Целью работы** является исследование характера изменения электромагнитных параметров асинхронного электропривода в зависимости от закона управления.

**Материалы и результаты исследования.** Электромеханические процессы замкнутого асинхронного электропривода, которые характеризуют его энергетические показатели в установившемся режиме, могут быть исследованы без учета модуляционных пульсаций тока статора.

В одной системе координат (неподвижной или вращающейся) уравнения асинхронного двигателя в обобщенных (пространственных) векторах имеет вид [1,2]:

$$\bar{U}_1 = \bar{I}_1 R_1 + \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega_k \bar{\Psi}_1; \quad (1)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{I}_2 R'_2 + \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} + j(\omega_k - Z_n \omega) \bar{\Psi}_2; \quad (2)$$

$$\bar{\Psi}_1 = L_1 \bar{I}_1 + L_m \bar{I}_2; \quad (3)$$

$$\bar{\Psi}_2 = \Psi_2 \bar{I}_2 + L_m \bar{I}_1; \quad (4)$$

где  $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{\Psi}_1, \bar{\Psi}_2$  - обобщенные вектора напряжений, токов и потокосцеплений статора и ротора;  $Z_n$  - количество пар полюсов;  $\omega$  - угловая скорость ротора;  $\omega_k$  - угловая скорость вращения координатных осей.

Момент двигателя определяется как векторное произведение любой пары векторов. Наиболее часто используют выражение

$$M = \frac{3}{2} Z_n K_2 \Psi_{2x} I_{1y}, \quad (5)$$

где  $K_2 = L_m/L_2$  - коэффициент связи обмоток ротора;  $L_m = 1,5L_{12}$  эквивалентная индуктивность статора и ротора от действия трех фаз, которая в полтора раза больше взаимной индуктивности  $L_{12}$  отдельно взятой фазы;  $L_2 = L_m + L_{2\sigma}$  - полная индуктивность ротора;  $L_{2\sigma}$  - индуктивность рассеяния обмоток ротора;  $\Psi_{2x}$  - проекция потокосцепления на синхронно вращающуюся ось  $x$ ;  $I_{1y}$  - проекция тока статора на ось  $y$ .

Характер изменения электромагнитных параметров зависит от закона управления асинхронным двигателем. Расчет параметров асинхронного электропривода для наиболее распространенного закона управления  $\Psi_2 = const$  удобно производить во вращающейся системе координат, ориентированной по потокосцеплению ротора. В этом случае для установившегося режима все переменные будут постоянными, а их производные равняются нулю т.е.:

$$\begin{aligned} i_{1x} = I_{1x} = const; \quad i_{1y} = I_{1y} = const; \\ \Psi_{2x} = const; \quad \Psi_{2y} = 0; \\ u_{1x} = U_{1x} = const; \quad u_{1y} = U_{1y} = const. \end{aligned}$$

С учетом этого после преобразований (1) - (4) получим [1]:

$$U_{1x} = I_{1x} R'_1 - I_{1y} L_{1n} \omega_1 - \frac{K_2}{T_2} \Psi_{2x}; \quad (6)$$

$$U_{1y} = I_{1y} R'_1 + I_{1x} L_{1n} \omega_1 + K_2 Z_n \omega \Psi_{2x}; \quad (7)$$

$$\Psi_{2x} = I_{1x} L_{1x} \text{ или } \Psi_{2x} = I_{1y} R'_2 K_2 / (\omega_1 - Z_n \omega); \quad (8)$$

$$\Psi_{1x} = I_{1x} L_{1n} + K_2 \Psi_{2x}; \quad \Psi_{1y} = I_{1y} L_{1n}; \quad (9)$$

где  $L_{1n} = L_1 - L_m^2/L_2$  - переходная индуктивность;  $R'_1 = R_1 + K_2^2 R'_2$ ;  $K_2 = L_m/L_2$ ;

Согласно (9) имеем:

$$I_{1x} = \frac{\Psi_{2x}}{L_m}; \quad I_{1y} = \frac{\Psi_{2x}(\omega_1 - Z_n \omega)}{R'_2 K_2} = \frac{\omega_2 \Psi_{2x}}{R'_2 K_2}; \quad (10)$$

Из совместного решения (9) и (10) находим:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{1x} &= \Psi_{2x} \left( K_2 + \frac{L_{1n}}{L_m} \right); \\ \Psi_{1y} &= \frac{\Psi_{2x} L_{1n} \omega_2}{R'_2 K_2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где  $\omega_2$  - угловая частота тока ротора.

Проекция напряжения статора находятся из первых двух уравнений системы. Без учета активного сопротивления обмотки статора имеем

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= \frac{-\Psi_{2x}\omega_1\omega_2 L_{1n}}{R'_2 K_2} - \frac{K_2}{T_2} \Psi_{2x} ; \\ U_{1y} &= K_2 \Psi_{2x} \left( \frac{L_{1n}}{L_m K_2} \omega_1 + Z_n \omega \right), \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Амплитудное значение напряжения статора  $U_{\text{фmax}} = \sqrt{U_{1x}^2 + U_{1y}^2}$

Амплитудное значение тока статора  $I_{1\text{max}} = \sqrt{I_{1x}^2 + I_{1y}^2}$ .

Используя приведенные выражения, можно рассчитать основные показатели регулирования при  $\Psi_2 = \text{const}$  в функции абсолютного скольжения  $\omega_2$  (частоты тока ротора) и частоты напряжения питания, что характеризует  $\omega_1$ , при различных значениях  $\Psi_2$  или М.

При заданном моменте М и потокосцеплении  $\Psi_{2x}$  предварительно из (5) находится составляющая тока  $I_{1y}$ , а затем из (10) определяется  $\omega_2$  и далее остальные переменные.

Аналогичные выражения можно получить и для других законов частотного управления асинхронным двигателем, например,  $\Psi_1 = \text{const}$

#### **Выводы.**

1. Получены выражения для расчета энергетических показателей частотно-регулируемого асинхронного электропривода в установившемся режиме.

2. Расчет параметров асинхронного электропривода для наиболее распространенного закона управления  $\Psi_2 = \text{const}$  удобно производить во вращающейся системе координат, ориентированной по потокосцеплению ротора.

#### **Список использованных источников**

1. Колб Ант. А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-ге вид., перероб. і доп. - Д., Національний гірничий університет, 2011. – 565 с.
2. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока: Пер. с нем. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 416 с.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.*