

движки. Сигналом от АИ1 аппаратура КИС включается на режим опроса датчиков. Сигналом от АИ2 аппаратура КИС переводится в "дежурный" режим.

После включения электропитания микроконтроллер переходит в один из четырех режимов работы, выбор которых осуществляется переключателями на контрольной панели. Режим 1 – тестирование датчиков, 2 – очистка внешней памяти, 3 – сбор, анализ и запись данных при движении по трубопроводу, 4 – передача данных на внешний компьютер по интерфейсу RS-232C.

Управление внешним компьютером осуществляется программой-терминалом. Она позволяет производить тестирование датчиков, прием и обработку данных исследования и экспресс-анализ файла данных из внешней памяти микроконтроллера.

Программы для микроконтроллера написаны на языке Ассемблера i8031, программа для ПК написана на C++.

Достоинством разработанного контрольно-измерительного прибора является то, что он унифицирован под все виды и размеры чистящих приборов и позволяет разрешить важные задачи технологического процесса эксплуатации трубопроводов без существенных финансовых затрат.

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АД

Рожков А. И.

*Гомельский государственный технический университет*

*им. П. О. Сухого*

Научный руководитель: к.т.н. Логвин В. В.

Как известно, сущность векторного управления асинхронного двигателя (АД) заключается в возможности воздействовать на потокосцепление  $\Psi_{rx}$  и частоту вращения  $\omega$  ротора АД. Запишем систему уравнений АД, приняв в качестве управляющих воздействий составляющую тока статора  $i_{sx}$  и синхронную скорость  $\omega_1$ .

В преобразовании по Лапласу математическую модель АД можно представить следующим образом [1]

$$\left. \begin{aligned} U_y &= (R_1 + \sigma \cdot L_1 \cdot p) I_{sy} + \frac{L_m}{L_r} \cdot p \cdot \Psi_x - \omega_1 \cdot \sigma \cdot L_s \cdot I_{sx} \\ U_x &= (R_1 + \sigma \cdot L_1 \cdot p) \cdot I_{sx} + \omega_1 \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot \Psi_{rx} + \omega_1 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{sy} \\ \Psi_{rx}(p) &= \frac{L_m}{T_r \cdot p + 1} \cdot I_{sx}(p), \\ I_{sy}(p) &= \frac{1}{K_r \cdot R_r} \cdot L[\Delta\omega \cdot \Psi_{rx}] \\ \omega(p) &= \left\{ \frac{3}{2} \cdot K_r \cdot L[i_{sy} \cdot \Psi_{rx}] - M_c(p) \right\} \cdot \frac{1}{J \cdot p}, \end{aligned} \right\}$$

где  $\Delta\omega = \omega_1 - \omega$  – скольжение; L- символ прямого преобразования по Лапласу;  $\Psi_{rx}(p)$ ,  $I_{sx}(p)$ ,  $I_{sy}(p)$ ,  $\omega(p)$ ,  $M_c(p)$  – операторные изображения временных перемен-

ных  $\Psi_{rx}$ ,  $i_{sx}$ ,  $i_{sy}$ ,  $\omega$ ,  $M_c(t)$ ;  $i_{sx}$ ,  $i_{sy}$  - проекции вектора тока статора и ротора на оси системы координат X,Y;  $\Psi_{rx}$  - вектор потокосцепления ротора;  $\omega_1$ - частота вращения поля;  $\omega$ - частота вращения ротора;  $M_{эм}$ - электромагнитный момент АД;  $J$ - суммарный момент инерции ротора и нагрузки;  $M_c(t)$ - момент сопротивления нагрузки;  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_r}$  - коэффициент рассеяния обмотки статора, где:  $L_1$  - индуктивность обмотки статора.

Ввиду того, что в нашем случае используется управление, с постоянством потока, первые два уравнения для напряжений использовать не будут, и система примет вид [2]

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{rx}(p) &= \frac{L_m}{T_r \cdot p + 1} \cdot I_{sx}(p), \\ I_{sy}(p) &= \frac{1}{K_r \cdot R_r} \cdot L[\Delta\omega \cdot \Psi_{rx}] \\ \omega(p) &= \left\{ \frac{3}{2} \cdot K_r \cdot L[i_{sy} \cdot \Psi_{rx}] - M_c(p) \right\} \cdot \frac{1}{J \cdot p} \end{aligned} \right\}.$$

Рассматривая математическую модель АД с позиции двигателя постоянного тока (ДПТ) независимого возбуждения (НВ), нагруженного на постоянный момент сопротивления, примем  $\Psi_{rx} = \text{const}$ ,  $M_c(t) = \text{const}$  и тогда для установившегося режима при  $p \rightarrow 0$  найдем уравнение статической механической характеристики асинхронного двигателя с частотным управлением

$$\omega = \omega_1 - \frac{2 \cdot R_r}{3 \cdot \Psi_{rx}^2} \cdot M_c.$$

Видна полная аналогия с механической характеристикой ДПТ НВ с управлением якорным напряжением, если управление частотой  $\omega$  вращения АД осуществлять за счет  $\omega_1$  при поддержании постоянства потокосцепления ротора  $\Psi_{rx}$ .

Рассмотрим режим работы АД в этом случае при колебательном нагрузочном моменте

$$M_c(t) = M_0 + M_m \cdot \sin \omega_{\text{кол}} \cdot t,$$

где  $M_0$ ,  $M_m$ ,  $\omega_{\text{кол}}$  - постоянная составляющая, амплитуда и частота колебания момента нагрузки.

По структурной схеме АД при  $\Psi_{rx} = \text{const}$  (см. рис.), запишем уравнение движения во временной области

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega \cdot \frac{3 \cdot \Psi_{rx}^2}{2 \cdot R_r} = \frac{3 \cdot \Psi_{rx}^2}{2 \cdot R_r} \cdot \omega_1 - M_0 - M_m \cdot \sin \omega_{\text{кол}} \cdot t. \quad (1)$$

Для скачка сигнала управления  $\omega_1 \cdot 1(t)$  при нулевых начальных условиях решение уравнения (1) дает частоту вращения АД.

$$\omega = A \cdot e^{-p_1 \cdot t} + \omega_0 + \omega_m \cdot \sin(\omega_{\text{кол}} \cdot t + \alpha), \quad (2)$$

где  $A$  - постоянная интегрирования;  $p_1 = \frac{3 \cdot \Psi_{rx}^2}{2 \cdot J \cdot R_r} = \frac{1}{T_{\text{эм}}}$  - коэффициент затухания, равный обратной величине электромеханической постоянной времени;  $\omega_0 = \omega_1 - \frac{2 \cdot R_r}{3 \cdot \Psi_{rx}^2} \cdot M_0$  - постоянная составляющая скорости вращения ротора АД;  $\omega_m$ ,  $\alpha$  - амплитуда и фаза колебательной составляющей скорости АД.

Отсюда видно, что после затухания свободной составляющей  $A \cdot e^{-p_1 \cdot t}$  в установившемся режиме частота вращения ротора будет за счет скольжения  $\Delta\omega = \omega_1 - \omega$  отличаться от задания уменьшенным значением постоянной составляющей  $\omega_0$  и наличием колебательной составляющей с амплитудой  $\omega_m$ .

Следуя принципу Понселе (регулирование по возмущению) введем сигнал задания на управления АД, равный сумме заданной синхронной скорости  $\omega_1$  и скольжения  $\Delta\omega$ ,

$$\omega_{\text{зад}} = \omega_1 + \Delta\omega = \omega_1 + \frac{2 \cdot R_r}{3 \cdot \Psi_{rx}^2} \cdot M_0 - \omega_m \cdot \sin(\omega_{\text{кол}} \cdot t + \alpha),$$

тогда в установившемся режиме согласно решению (2) получим

$$\omega = \left[ \omega_1 + \frac{2 \cdot R_r}{3 \cdot \Psi_{rx}^2} \cdot M_0 - \omega_m \cdot \sin(\omega_{\text{кол}} \cdot t + \alpha) - \frac{2 \cdot R_r}{3 \cdot \Psi_{rx}^2} \cdot M_0 \right] + \omega_m \cdot \sin(\omega_{\text{кол}} \cdot t + \alpha) = \omega_1.$$

Произошла компенсация влияния момента нагрузки  $M_c(t)$  на частоту вращения ротора. Физический смысл этого эффекта заключается в том, что теперь в АД формируется магнитное поле, новая частота вращения которого имеет постоянную составляющую, равную частоте вращения ротора с учетом составляющей скольжения от постоянной составляющей момента нагрузки, и колебательную составляющую, синхронную с колебательной составляющей скольжения от колебательной составляющей нагрузочного момента. Исходя из выше сказанного, построим систему, подобную на систему управления двигателем постоянного тока - регулируя поток и скорость. Для этого в канале стабилизации  $\Psi_{rx}$  введем внешний контур управления по потоку, а в канале компенсации  $M_c$  создадим контур регулирования тока  $i_{sy}$ .

Как говорилось выше, для компенсации момента сопротивления, используется положительная обратная связь по моменту сопротивления. При реализации компенсации возмущения от колебательного момента нагрузки на валу АД, колебания скорости снижаются до 0.7-1.5% от заданного номинального значения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сандлер А. С., Сарбатов Р. С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. - М.: Энергия, 1974.
2. Слежановский О. В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями. - М.: Энергоатомиздат, 1983.