

На рис. 2 также показано влияние коэффициента избытка воздуха в циклонной камере на долю топлива, которое может сгореть на стенке камеры по условиям диффузии окислителя. Из рисунка следует, что с увеличением коэффициента избытка воздуха в циклонной камере эта доля топлива возрастает. Например, при изменении коэффициента избытка воздуха в циклоне с 0,8 до 1,1 расчетная доля топлива $b_{\text{д}}^{\text{расч}}$, которое может сгореть на стенке циклонной камеры по условиям диффузии окислителя, увеличивается с 0,32 до 0,46, а $b_{\text{д}}^{\text{max}}$ соответственно — с 0,44 до 0,60. Следовательно, для регулирования процесса горения жидкого топлива в циклонной камере имеется ряд режимных факторов, которые позволяют поддерживать оптимальный режим горения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж и х а р Г.И. Расчетное исследование горения жидкого топлива в циклонной камере. — Изв. вузов. Энергетика, 1982, № 6, с. 68—73. 2. Б а с и н а И.П. Горение твердого топлива в циклонных энергетических и технологических (плавильных) камерах: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — М.: МЭИ, 1972. — 35 с.

УДК 62—83:621.314

А.М.ВАСИЛЕВСКИЙ,
Ю.Н.ПЕТРЕНКО, канд. техн. наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ЦВМ ПУСКТОРМОЗНЫХ РЕЖИМОВ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Среди преобразователей переменного тока широко распространены статические преобразователи частоты со звеном постоянного тока (СПЧ). Построение достаточно гибкой математической модели, позволяющей исследовать различные режимы работы СПЧ, решать вопросы оптимизации структур и параметров отдельных функциональных блоков, законов управления, является актуальной задачей.

Для более точного отражения электромагнитных процессов в СПЧ необходимо учитывать дискретность преобразователя [1].

Согласно методике, изложенной в [2], асинхронный двигатель (АД) может быть представлен системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{SA}}{dt} &= (A_{11} + B_{11}\omega_r)\psi_{SA} + (A_{12} + B_{12}\omega_r)\psi_{SB} + (A_{13} + B_{13}\omega_r)\psi_{rA} + \\ &+ (A_{14} + B_{14}\omega_r)\psi_{rB} + C_1 U_{\phi}, \\ \frac{d\psi_{SB}}{dt} &= (A_{21} + B_{21}\omega_r)\psi_{SA} + (A_{22} + B_{22}\omega_r)\psi_{SB} + (A_{23} + B_{23}\omega_r)\psi_{rA} + \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned}
 & + (A_{24} + B_{24} \omega_r) \psi_{rB} + C_2 U_{\phi}, \\
 \frac{d\psi_{rA}}{dt} & = (A_{31} + B_{31} \omega_r) \psi_{SA} + (A_{32} + B_{32} \omega_r) \psi_{SB} + (A_{33} + B_{33} \omega_r) \psi_{rA} + \\
 & + (A_{34} + B_{34} \omega_r) \psi_{rB}, \\
 \frac{d\psi_{rB}}{dt} & = (A_{41} + B_{41} \omega_r) \psi_{SA} + (A_{42} + B_{42} \omega_r) \psi_{SB} + (A_{43} + B_{43} \omega_r) \psi_{rA} + \\
 & + (A_{44} + B_{44} \omega_r) \psi_{rB},
 \end{aligned} \right\} (1)$$

где $\psi_{SA}, \psi_{SB}, \psi_{rA}, \psi_{rB}$ — фазные потокосцепления статора (S) и ротора (r); ω_r — угловая скорость ротора; U_{ϕ} — напряжение на фильтре; $A_{ij}, B_{ij}, C_k, i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4}, k = \overline{1,2}$ — коэффициенты, учитывающие параметры двигателя и инвертора и зависящие от структуры электрических цепей в течение интервала дискретности инвертора.

В автономном инверторе напряжения (АИН), работающем с углом проводимости $\gamma = \pi$, например серийные преобразователи типа ЭКТ, образуется 6 вариантов включения силовых тиристоров. В течение каждого из интервалов имеют место различные сочетания мгновенных значений фазных токов и возможно 6 схем подключения диодов моста возвратного тока для каждого варианта подключения тиристоров. Следовательно, для каждой из 36 возможных схем подключения фаз АД на напряжение питания должны быть определены коэффициенты A_{ij}, B_{ij}, C_k , которые используются в системе (1) в зависимости от структуры электрических цепей в каждый момент времени, т.е. от мгновенных значений фазных токов статора.

Система (1) записана относительно потокосцеплений. Как показал проведенный анализ, такая запись позволяет значительно укрупнять шаг численного интегрирования, экономить машинное время при той же точности по сравнению с тем случаем, когда уравнения записаны, например относительно фазных токов. Это объясняется тем, что функция потокосцепления является более гладкой по сравнению с функциями напряжений или токов.

Уравнение электромагнитного момента двигателя может быть представлено в форме

$$M_3 = \frac{\sqrt{3} L_m p}{L_S L_r - L_m^2} (\psi_{SB} \psi_{rA} - \psi_{SA} \psi_{rB}),$$

где p — число пар полюсов; L_r — индуктивность ротора; L_S — индуктивность статора; L_m — индуктивность от главного магнитного потока.

Уравнение движения

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{p}{I} (M_{\varepsilon} - M_c),$$

где I — момент инерции; M_c — статический момент на валу АД.

Для построения полной математической модели СПЧ произведено моделирование управляемого выпрямителя, силового фильтра, блока задания, блока управления инвертором, блока управления выпрямителем, блока обратных связей [2] .

При построении математической модели были приняты следующие допущения: вентили представлялись в виде идеальных ключей, т.е. сопротивление их в прямом направлении равно нулю, а в обратном — бесконечно велико, коммутация происходит мгновенно; считалось, что машина не насыщена, а ее параметры неизменны во времени.

По разработанной математической модели была составлена ФОРТРАН-программа для расчета переходных процессов частотно-го электропривода. Численное решение системы дифференциальных уравнений проводилось методами Адамса-Башфорта, Рунге-Кутга, Эйлера [3]. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что для данной структуры предпочтительнее использование методов прогноза — коррекции. Это объясняется тем, что исследуемые функции не являются непрерывными, имеют изломы и разрывы.

Разработанная модель позволяет анализировать различные режимы работы частотного электропривода, выбирать и исследовать влияние параметров элементов СПЧ на характер переходных и установившихся процессов, проводить оптимизацию законов управления и параметров по различным критериям.

Наибольший интерес представляет исследование пусковых и тормозных режимов, так как при этом влияние дискретности про-

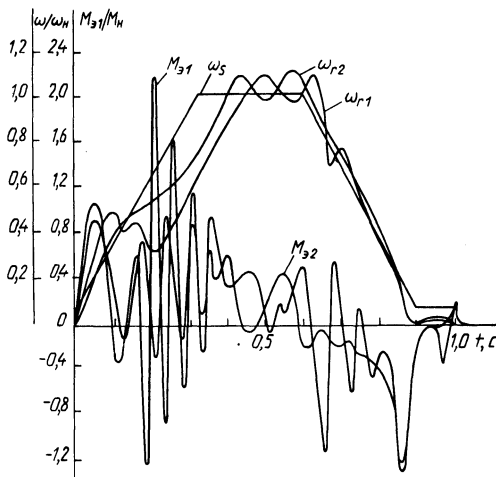


Рис. 1. Временные диаграммы частотного пуска и торможения:
 ω_s — частота статора; $M_{\varepsilon 1}, \omega_{r1}$ — электромагнитный момент и угловая скорость ротора при сопротивлении в цепи возвратного моста $R_0 = 0$; $M_{\varepsilon 2}, \omega_{r2}$ — то же при $R_0 = 0,075 \text{ Ом}$.

является наиболее ярко. В частности, исследовано влияние резистора, включенного в цепь моста возвратного тока.

На рис. 1 показаны временные диаграммы скорости и момента для процессов частотного пуска и торможения под нагрузкой. На рис. 1 обозначено: ω_s — частота статора, $M_{\Sigma 1}$, ω_{r1} — электромагнитный момент и угловая скорость ротора при сопротивлении в цепи возвратного моста $R_0 = 0$, $M_{\Sigma 2}$, ω_{r2} — то же при $R_0 = 0,075$ Ом.

Проведенные расчеты показали, что сопротивление в цепи возвратных диодов оказывает существенное влияние на процессы пуска и торможения. При увеличении R_0 уменьшается колебательность момента двигателя и частоты его вращения. Это проявляется в наибольшей степени при частотном торможении, когда в R_0 происходит гашение части возвращаемой в фильтр энергии, что благоприятно сказывается на работе фильтра.

При расчетах использованы следующие параметры: $M_c = 100$ Н·м, момент инерции на валу $I = 0,3$ кг·м, каталожные данные Т-образной схемы замещения АД 4А180М4УЗ номинальной мощностью $P = 30$ кВт: активное сопротивление статора $R_s = 0,132$ Ом, активное сопротивление ротора $R_r = 0,069$ Ом, полная индуктивность статора $L_s = 0,045$ Гн, то же для ротора $L_r = 0,04563$ Гн, индуктивность от главного магнитного потока $L_m = 0,04423$ Гн. Для расчетов были использованы паспортные данные серийно выпускаемого преобразователя ЭКТ-63.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структуры систем управления автоматизированными электроприводами / О.П.Ильин, В.И.Панасюк, Ю.Н.Петренко и др. — Минск: Наука и техника, 1978. — 367 с. 2. И л ь и н О.П., П е т р е н к о Ю.Н., П а м ф и л о в В.Н. Построение цифровой модели частотного электропривода. — Электротехническая промышленность. Электропривод, 1981, № 5, с. 1—4. 3. Ш у п Т, Решение инженерных задач на ЭВМ. — М.: Мир, 1982. — 235 с.

УДК 621.333.3

О.П.ИЛЬИН, канд.техн.наук,
О.А.ГОЛОВАЧ (ПО "Выч.техника")

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ШИМ В ЦЕПИ СТАТОРА

1. Статические характеристики разомкнутой системы. Из гармонического анализа напряжения на выходе регулятора с симметричной ШИМ [1] известно выражение

$$U = U_m \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \frac{2ma}{\pi} \sin \omega t - A_i \sin(2mi-1)\omega t + A_i \sin(2mi+1)\omega t \right\}, \quad (1)$$