

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО СУДОВОГО РУЛЕВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Одним из направлений в решении оптимизационных задач является широкое внедрение во все сферы деятельности систем адаптивного управления приводами производственных механизмов.

Средствами автоматизации возможно создание гибкого автоматизированного технологического процесса, т.е. возможности объекта управления изменять в экономически целесообразных пределах последовательность и темп проведения операций при изменении внешних условий.

Анализ основных направлений в совершенствовании систем автоматизированного привода у нас в стране и за рубежом позволяет определить основные направления их развития.

Предпочтение все более отдается системам автоматизированного привода обладающего гибкостью (адаптивностью), т.е. возможностью оперативного изменения основных характеристик скорости, ускорений рабочих органов.

Адаптивность системы управления позволяет оперативно реагировать на изменение внешних условий и внутреннее состояние объекта путем выработки необходимых управляющих воздействий и выбора оптимальных технико-экономических параметров функционирования объекта путем выдачи команд на изменение режимов и программ работы в технологическом цикле. При этом системы адаптивного привода в зависимости от внешних условий и состояния объекта обеспечивают максимальную производительность при нормируемых условиях в элементах передач.

Адаптивные системы управления приводами, как правило, представляют комплексно-автоматизированное устройство, где основные технологические процессы реализуются с помощью программно-управляемого оборудования включающего элементы силовых преобразовательных устройств и электронно-вычислительных управляющих машин

Разработка и широкое внедрение адаптивных приводов и автоматизированных систем управления процессами является в настоящее время генеральным направлением. На основании отечественных и зарубежных разработок была разработана схема управления и регулирования электропривода, приведенная на рисунке 1.

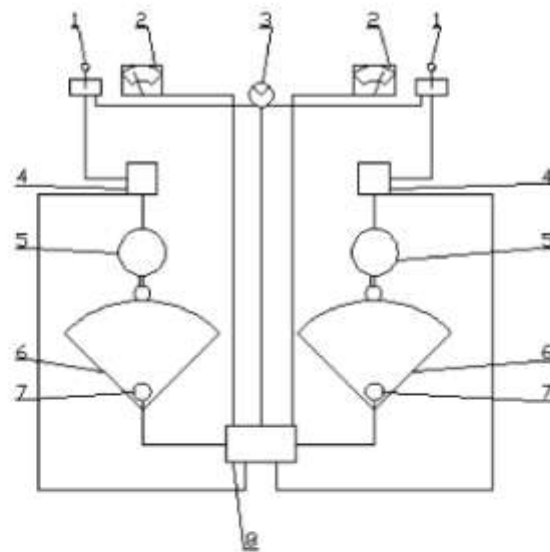
Частотное управление асинхронными электродвигателями является наиболее распространенным методом управления электроприводами. Однако исследование динамики данного привода является весьма трудоемким процессом. Поэтому, важное значение отводится математическому моделированию привода.

Векторная модель асинхронного электродвигателя позволяет получить дифференциальные уравнения и схему пригодные для исследования современными средствами компьютерного моделирования и компьютерной математики. Синусоидальность распределения позволяет представить токи в обмотках двигателя обобщенным пространственным вектором на комплексной плоскости, т.е. вектором, представляющим собой геометрическую сумму отрезков, построенных на пространственных осях фазных обмоток и соответствующих мгновенным значениям фазных токов.

При симметричной трёхфазной системе обмоток обобщенный вектор тока можно представить в виде

$$I = \frac{2}{3} \cdot (I_a + I_b \cdot e^{j120^\circ} + I_c \cdot e^{j240^\circ}) \quad (1)$$

Коэффициент $2/3$ вводится для приведения обобщенного вектора тока к такому значению, которое при проецировании на оси фазных обмоток даст истинные значения фазных токов. На рис.2 представле-



- 1 - Манипулятор
- 2 - Указатели угла поворота пера руля
- 3 - Переключатель режима работы РЭП
- 4 - Частотный преобразователь
- 5 - Исполнительный электродвигатель
- 6 - Сектор
- 7 - Инкрементальный энкодер
- 8 - Фазочувствительное устройство, вырабатывающее сигнал рассогласования положения баллеров

Рис. 1. Принципиальная схема регулируемого рулевого электропривода.

но построение обобщенного вектора тока по проекциям токов в обмотках и разложение обобщенного вектора тока на фазные проекции.

Аналогичным образом с помощью обобщенного вектора можно представить напряжения U и потокосцепления Ψ . Используя обобщенные вектора можно преобразовать стандартные уравнения статора и ротора, при этом система координат в которой строятся обобщенные вектора может быть как неподвижной ($\omega_k = 0$) так и вращаться с любой угловой частотой ω_k .

Общий принцип моделирования и построения системы управления асинхронными двигателями заключается в том, что для этого используется система координат, постоянно ориентированная по направлению какого-либо вектора (при скалярном управлении это вектор напряжения статора; при векторном управлении это один из векторов определяющий электромагнитный момент).

Общий вид системы уравнений описывающих обобщенную асинхронную машину:

$$\begin{aligned} \bar{U}_S &= R_S \cdot \bar{I}_S + \frac{d\bar{\Psi}_S}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \bar{\Psi}_S \\ \bar{U}_R &= R_R \cdot \bar{I}_R + \frac{d\bar{\Psi}_R}{dt} + j \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \bar{\Psi}_R \\ \bar{\Psi}_S &= L_S \cdot \bar{I}_S + L_m \cdot \bar{I}_R \\ \bar{\Psi}_R &= L_m \cdot \bar{I}_S + L_R \cdot \bar{I}_R \\ \omega &= z_p \cdot \omega_m \\ M &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_R} \cdot (\bar{\Psi}_R \cdot \bar{I}_S) \\ M - M_{нар} &= J \cdot \frac{d\omega}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

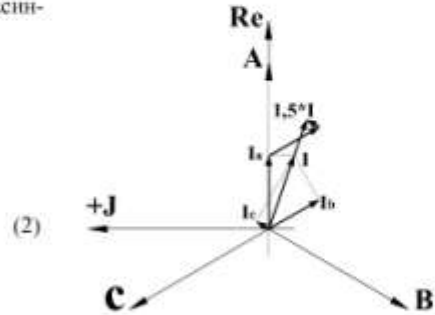


Рис. 2. Построение обобщенного вектора и разложение его на проекции.

Для моделирования асинхронного привода с частотным управлением выберем ориентацию системы координат X-Y модели по вектору напряжения статора, тогда $\omega_k = \omega_S$. Преобразовав выражения (2), разделив векторы на вещественные и мнимые части, и перейдя к операторным функциям получим:

$$U_{SX} = (\Psi_{SX} + j \cdot \Psi_{SY}) \cdot \left(\frac{1}{T_1} + j \cdot \omega \right) - (I_{SX} + j \cdot I_{SY}) \cdot \frac{r'(1+p \cdot T) + j \cdot \omega_R \cdot L'_R}{k_1} \quad (3)$$

$$(\Psi_{SX} + j \cdot \Psi_{SY}) \cdot \left(\frac{1}{T_1} + p + j \cdot \omega \right) = U_{SX} + (I_{RX} + j \cdot I_{RY}) \cdot k_1 \cdot \eta$$

Выразим проекции ротора и потокосцепления статора:

$$I_{RX} = \frac{k_1}{r'(1+p \cdot T)} \cdot \left(\frac{\Psi_{SX}}{T_1} - \Psi_{SY} \cdot \omega - U_{SX} + I_{RY} \cdot \omega_R \cdot \frac{L'_R}{k_1} \right)$$

$$I_{RY} = \frac{k_1}{r'(1+p \cdot T)} \cdot \left(\frac{\Psi_{SY}}{T_1} + \Psi_{SX} \cdot \omega - I_{RX} \cdot \omega_R \cdot \frac{L'_R}{k_1} \right)$$

$$\Psi_{RX} = \frac{T_1}{(1+p \cdot T_1)} \cdot (U_{SX} + I_{RX} \cdot k_1 \cdot \eta + \Psi_{SY} \cdot \omega_S) \quad (4)$$

$$\Psi_{RY} = \frac{T_1}{(1+p \cdot T_1)} \cdot (I_{RY} \cdot k_1 \cdot \eta - \Psi_{SX} \cdot \omega_S)$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot k_1 \cdot (\Psi_{SY} \cdot I_{RX} - \Psi_{SX} \cdot I_{RY})$$

$$M - M_{нар} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$\omega_S = \omega_R - \omega$$

Систему (4) можно переписать в вид удобный для решения численным методом:

$$\frac{dI_{RX}}{dt} = \frac{k_1}{L'_R \cdot T_1} \cdot \Psi_{SX} - \frac{k_1 \cdot \omega}{L'_R} \cdot \Psi_{SY} - \frac{1}{T'} \cdot I_{RX} + \omega_R \cdot I_{RY} - \frac{k_1}{L'_R} \cdot U_{SX}$$

$$\frac{dI_{RY}}{dt} = \frac{k_1}{L'_R \cdot T_1} \cdot \Psi_{SY} + \frac{k_1 \cdot \omega}{L'_R} \cdot \Psi_{SX} - \frac{1}{T'} \cdot I_{RY} - \omega_R \cdot I_{RX}$$

$$\frac{d\Psi_{SX}}{dt} = U_{IX} - \frac{1}{T_1} \cdot \Psi_{IX} + \omega_1 \cdot \Psi_{SY} + k_1 \cdot \eta \cdot I_{RX}$$

$$\frac{d\psi_{SY}}{dt} = -\frac{1}{T_1} \cdot \psi_{SY} - \omega_R \cdot \psi_{SX} + k_1 \cdot \tau_1 \cdot I_{RY}$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot k_1 \cdot (\psi_{SY} \cdot I_{RX} - \psi_{SX} \cdot I_{RY})$$

$$M - M_{нагр} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$\omega_R = \omega_S - \omega$$

Математическая модель замкнутой системы векторного управления асинхронным двигателем (АД) рис 3, описывается выражениями (6), (7) и (8).

$$M_{ДВ} - M_{НАГР} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$M_{ДВ} = \frac{3 \cdot z_p}{2 \cdot r_2} \cdot \Psi_{2d}^2 \cdot \omega_2 \cdot PC$$

$$\omega_2 = \omega_3 - \omega$$

где: $M_{ДВ}$ – момент двигателя, Н • м;

$M_{НАГР}$ – момент нагрузки, Н • м;

J – момент инерции ротора двигателя, кг•м²;

ω – частота вращения ротора, с⁻¹;

Ψ_{2d} – проекция потокосцепления ротора, Вб;

ω_2 – частота тока ротора, с⁻¹;

ω_3 – заданная частота вращения, с⁻¹;

z_p – количество пар полюсов двигателя;

r_2 – активное сопротивление ротора, Ом ;

PC – функция соответствующая регулятору скорости используемому в преобразователе частоты (П, ПИ и т.д.).

Используя (6), (7) и (8) можно найти передаточные функции модели АД по управлению $W_u(p)$ и по возмущению $W_B(p)$ рис. 4.

Результаты моделирования представлены на рис. 5 и рис. 6.



Рис. 5. Зависимость момента нагрузки от времени.

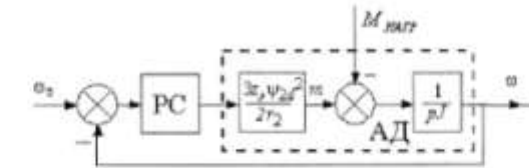


Рис. 3. Структурная схема системы управления АД при постоянном потокоосцеплении Ψ_{2d}

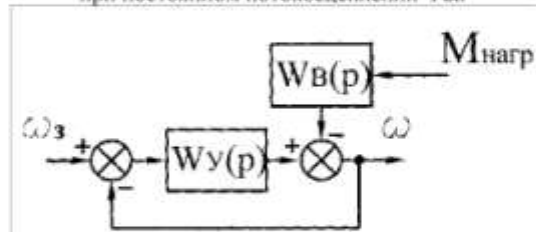


Рис. 4. Структурная схема модели АД в системе электропривода.

Выводы:

1. Разработанный алгоритм управления обеспечивает надёжность и адаптивность системы управления.
2. Подтверждена возможность реализации оптимальных условий работы судового рулевого электропривода с высокой точностью перекладки руля.

Список литературы.

1. Сиверс П.Л. Судовые электроприводы, Москва «Транспорт» 1975.
2. С.Г. Герман-Галкин, Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. Санкт-Петербург: «Корона принт», 2001 г.
3. А. А. Усольцев. Векторное управление асинхронными двигателями. Санкт-Петербург: Учебное пособие Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики. 2002г.