

СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Введение. В последнее время четко обозначился интерес к проблемам электроприводов переменного тока, вызванный новыми возможностями управления ими, появившимися вследствие развития силовой и информационной электроники, а также тем, что асинхронные машины преобладают в общем объеме выпускаемых двигателей и являются основой для электропривода большинства механизмов. Несмотря на простоту конструктивного исполнения, полное математическое описание электромагнитных процессов в асинхронном двигателе (АД) весьма сложно. В определенной степени этим обстоятельством обусловлен ограниченный перечень учебных заданий с использованием математических моделей АД, предлагаемых студентам, обучающимся по направлению «Электромеханика».

Постановка задачи исследования. При исследовании различных систем асинхронных электроприводов важно, чтобы выбранная модель соответствовала задаче, для решения которой она используется, т.к. сложную задачу не решить на упрощенной модели, а для простой задачи не рационально использовать сложную модель.

Создание библиотеки математических моделей АД, с помощью которой студент-электромеханик сможет сделать рациональный выбор модели и не ограничиваться только примитивным представлением машины, стало актуальной задачей.

Материалы исследования. Авторами выполнен обзор известных из литературных источников [1,2] вариантов математического описания АД в различных системах координат (рис.1).

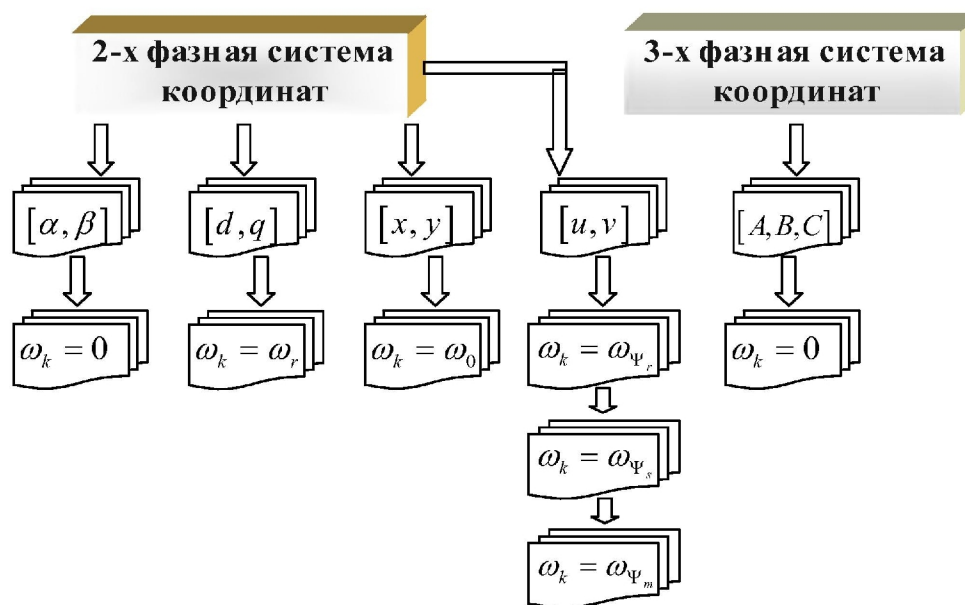


Рис.1. Системы координат, используемые при математическом описании АД

В ходе работы были составлены и отлажены структурные схемы систем асинхронных электроприводов (АЭП) с различным алгоритмом управления для исследования в пакете MATLAB. Предпочтение отдано моделям АД с короткозамкнутым и фазным ротором, однофазных АД, представляющим интерес для студентов-электромехаников при проектировании электроприводов бытовых и общепромышленных механизмов.

Практика компьютерных исследований показала, что, порой, успех и результаты моделирования в значительной степени зависят от правильного выбора модели источников напряжения питания АД и учета их особенностей. Поэтому, в первую очередь, остановимся на этой проблеме.

В осях $[\alpha, \beta]$. Эквивалентные статорные напряжения $U_{s\alpha}$ и $U_{s\beta}$ изменяются во времени по

синусоидальному закону с постоянной частотой источника электроэнергии ω_0 :

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = U_m \cos \omega_0 t; \\ U_{s\beta} = U_m \sin \omega_0 t. \end{cases} \quad (1)$$

Модель гармонических входных сигналов можно сформировать различными способами. В качестве одного из вариантов использованы два консервативных звена с передаточными функциями [3]:

$$W_1(p) = \frac{\omega_0^2}{p^2 + \omega_0^2} \quad \text{и} \quad W_2(p) = \frac{\omega_0 p}{p^2 + \omega_0^2}. \quad (2)$$

Переходные функции звеньев имеют вид: $h_1(t) = 1(t) \cdot (1 - \cos \omega_0 t)$ и $h_2(t) = 1(t) \cdot \sin \omega_0 t$.

Эквивалентные составляющие напряжения статора АД в системе координат $[\alpha, \beta]$:

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = U_m \cdot (1 - h_1(t)); \\ U_{s\beta} = U_m \cdot h_2(t). \end{cases} \quad (3)$$

В системе координат $[d, q]$ проекции вектора напряжения \tilde{U}_s на координатные оси:

$$\begin{cases} U_{sd} = U_m \cos(\omega_0 - \omega_r)t; \\ U_{sq} = U_m \sin(\omega_0 - \omega_r)t. \end{cases} \quad (4)$$

Модель \tilde{U}_s по (4), используя метод обобщенного интегрирования, получим из системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}[U_m \cos(\omega_0 - \omega_r)t] = -U_m(\omega_0 - \omega_r) \sin(\omega_0 - \omega_r)t; \\ \frac{d}{dt}[U_m \sin(\omega_0 - \omega_r)t] = U_m(\omega_0 - \omega_r) \cos(\omega_0 - \omega_r)t, \end{cases} \quad (5)$$

Совместное решение уравнений (5) дает структурная схема, приведенная на рис.2.

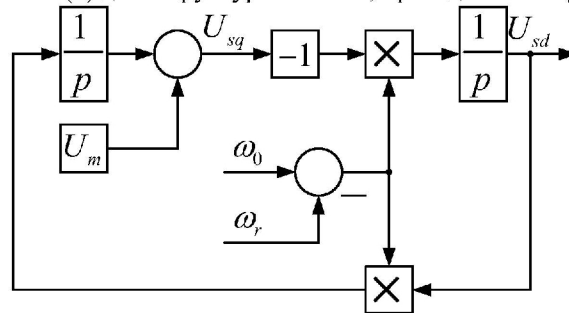


Рис. 2. Источник \tilde{U}_s переменной частоты с начальным условием на первом интеграторе

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} U_{sd} = -(\omega_0 - \omega_r) U_{sq}; \\ \frac{d}{dt} U_{sq} = (\omega_0 - \omega_r) U_{sd}; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_{sd} = -\int (\omega_0 - \omega_r) U_{sq} dt; \\ U_{sq} = \int (\omega_0 - \omega_r) U_{sd} dt. \end{cases} \quad (6)$$

Структурная схема (рис.2) используется в моделях АД с мгновенной несимметрией роторной цепи. Следующий вариант модели статорных напряжений приведен на структурной схеме рис. 3.

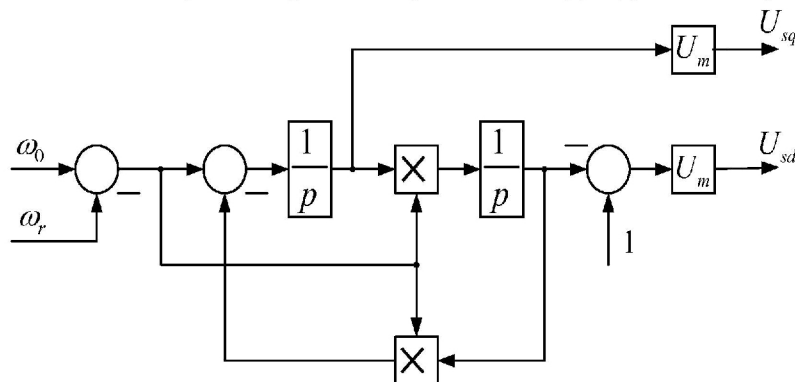


Рис.3. Структурная схема модели источника синусоидального напряжения переменной частоты

Простое и корректное формирование вектора напряжения статора \tilde{U}_s осуществляется проекциями на оси координат, вращающиеся с известной скоростью $-\omega_r$.

Проинтегрируем абсолютное скольжение ротора, приведенное к скорости электромагнитного поля,

$$\int (\omega_0 - \omega_r) dt = (\omega_0 - \omega_r)t \quad (7)$$

и подставим интеграл (7) в выражения (4) входных напряжений \tilde{U}_s :

$$\begin{cases} U_{sd} = U_m \cos \left[\int (\omega_0 - \omega_r) dt \right]; \\ U_{sq} = U_m \sin \left[\int (\omega_0 - \omega_r) dt \right]. \end{cases} \quad (8)$$

Обозначим: $\left[\int (\omega_0 - \omega_r) dt \right]$ – угол между \tilde{U}_s и осью q пространственной системы координат.

Структурная схема питающих напряжений в соответствии с (8) изображена на рис.4

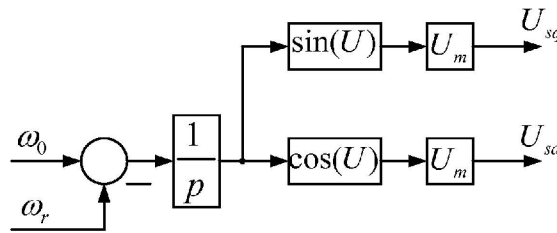


Рис. 4. Модель источника напряжения статора \tilde{U}_s переменной частоты

Эта модель часто применяется в совокупности с другими координатными системами для облегчения вычислительных операций.

Все предложенные структурные схемы источника напряжения \tilde{U}_s подходят для моделирования асинхронных двигателей, ориентированных по потокосцеплениям (статора Ψ_s , ротора Ψ_r , главного потокосцепления Ψ_m) и токам (статора I_s , ротора I_r). Достаточно лишь заменить частоту вращения системы координат на необходимую. Например, при моделировании АД с опорным вектором Ψ_s нужно заменить электрическую частоту вращения ротора системы $[d, q]$ ω_r на частоту потокосцепления статора ω_{Ψ_s} .

Систему координат $[x, y]$ целесообразно использовать для исследования симметричных режимов АД, если ее применение приводит к упрощению описаний возмущающих воздействий. Обобщенный вектор питающего двигателя напряжения \tilde{U}_s в системе координат $[\alpha, \beta]$ имеет вид:

$$\tilde{U}_s = U_m e^{j\omega_0 t}, \quad (9)$$

при переходе к системе координат $[x, y]$, вращающейся со скоростью $\omega_k = \omega_0$, это напряжение

преобразуется к виду: $\tilde{U}_s = U_m$. Следовательно:
$$\begin{cases} U_{sx} = U_m; \\ U_{sy} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (10) подходят и для структуры АД с опорным вектором \tilde{U}_s .

Модели в осях $[x, y]$ и $[d, q]$ привязаны к скорости поля статора (или ротора), что ограничивает область их применения только случаями питания статора АД синусоидальным напряжением. При несинусоидальном напряжении требуется разложение его на сумму гармонических составляющих, это увеличивает время моделирования и усложняет модель при анализе переходных процессов. Момент на валу АД рассматривается как сумма моментов от каждой гармоники напряжения питания, что во много раз усложняет расчет.

Система $[x, y]$ часто применяется для моделирования асинхронных машин со скалярным частотно-токовым и векторным управлением. Она наиболее целесообразна, поскольку в ней амплитуда и частота входного напряжения, приложенного к статорным обмоткам, присутствует в явном виде.

Выводы. Авторы формируют пакет структурных алгоритмических моделей в MATLAB типовых систем управления АЭП, использование которых в учебном процессе позволит расширить диапазон решаемых задач практически для всех студентов направления «Электромеханика». Представлены варианты моделирования источников напряжения питания АД.

Литература.

1. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением/ Л.П.Петров, В.А.Ладензон, Р.Г.Подзолов и др. – М.:Энергия,1977. – 200с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.:Энергоатомиздат, 1985, – 560с.
3. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. – С-Пб.:СПЭК, 2004. – 128 с.

Принятые обозначения: ω_0 – частота напряжения источника питания; ω_r – частота вращения поля ротора; ω_k – произвольная частота вращения осей координат; ω_{Ψ} – частота вращения потокосцепления; \tilde{U}_s – напряжения питания статора; U_m – амплитуда напряжения питания статора.