

Стрежекуров Эдуард Евгеньевич

*кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехнологии и электромеханики,
Днепропетровский государственный технический университет,
г. Каменское*

Шаломов Владимир Анатольевич

*кандидат технических наук,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»,
г. Днепр*

Николаенко Юрий Владимирович

*студент,
Днепропетровский государственный технический университет,
г. Каменское*

Коваленко Артем Евгеньевич

*студент, Днепропетровский государственный технический университет,
г. Каменское*

Strezhekurov Ye. E.

*candidate of Technical Sciences,
associate professor of department of electric technology and electric mechanics
Dniprovskiy state technical university,
Kam'yanske*

Shalomov V. A.

*candidate of Technical Sciences,
associate professor of department Life Safety
«Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»,
Dnipro*

Nikolaenko Yu. V.

*student, Dniprovskiy state technical university,
Kam'yanske*

Kovalenko A. Ye.

*student, Dniprovskiy state technical university,
Kam'yanske*

МЕХАНОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

THE DYNAMIC MECHANICAL MODEL OF ASYNCHRONOUS MOTOR

Аннотация. В статье предложена механодинамическая модель позволяющая моделировать динамические процессы пуска и «наброса» нагрузки на вал асинхронного двигателя, а так же определять пусковые моменты в системах автоматического управления с различными законами регулирования скорости.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, моделирование, механическая характеристика, напряжение, частота, холостой ход двигателя, пусковые моменты.

Annotation. The article suggests dynamic mechanical model allows to simulate dynamic processes start and «pounced» load on the shaft of the induction motor, as well as to determine the starting points in the various laws regulating the speed of automatic control systems.

Key words: asynchronous motor, simulation, mechanical characteristic, voltage, frequency, engine idling, starting torques.

Введение. Использование программ виртуального моделирования электромеханических систем управления требует от разработчика автоматического регулирования и внесения готовой модели двигателя. В настоящее время существует много классических моделей асинхронных двигателей (АД), однако, эти модели содержат в себе множество параметров, которые не всегда известны на конкретную модель двигателя. Кроме того, для асинхронных двигателей с повышенным пусковым моментом эти модели должны быть доработаны.

Экспериментальное снятие характеристик так же даёт некоторые погрешности. Обычно для снятия механической характеристики асинхронного двигателя его нагружают с помощью машины постоянного тока, а вычисление момента на валу производят исходя из значений скорости и тока якоря. Как показано в [1–2] связь между потоком двигателя и током обмотки возбуждения нелинейная из-за влияния насыщения магнитной системы. В результате, полученная экспериментально, механическая характеристика в области низких значений момента расположена ниже характеристики, рассчитанной теоретически, и выше — в области высоких значений (рис. 1).

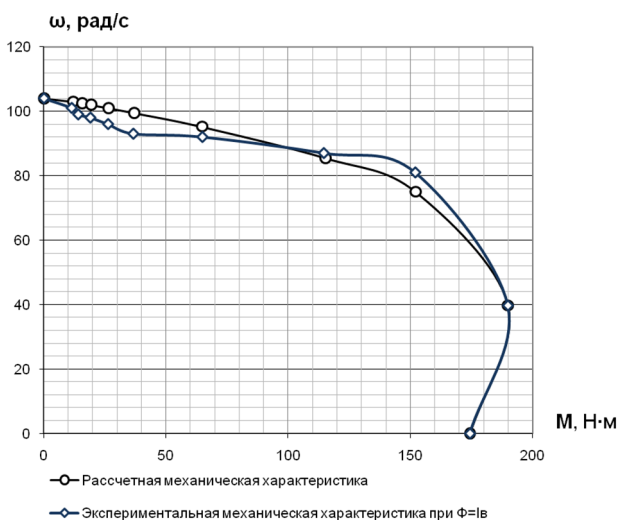


Рис. 1. Расчетная и экспериментальная механическая характеристики

Коррекция механической характеристики во всех ее точках сопровождается множеством пересчетов и сама характеристика в виде массива данных не удобна для практического использования в математической модели. Однако для формирования упрощенной модели асинхронного двигателя на базе формулы Клосса достаточным является нахождение критического момента и соответствующей ему скорости вращения вала двигателя.

Постановка задачи. Создание, структурная реализация и испытание упрощенной механодинамической

модели асинхронного двигателя, с использованием минимального количества входных параметров, для моделирования переходных процессов пуска, работы с переменной нагрузкой, а так же питанием от сети с различными напряжениями и частотами.

Результаты работы. Классическая модель, основанная на формуле Клосса [2, 3] состоятельна для двигателей базового ряда, а также для двигателей с повышенным скольжением, но существенно занижает пусковой момент для двигателей с повышенным пусковым моментом. Однако базовая модель не учитывает возможность питания двигателя от сети напряжением, отличным от номинального, а также от преобразователей частоты. В целях дискретного и даже скалярного регулирования частоты вращения асинхронного двигателя может быть применена упрощенная механодинамическая модель. Она учитывает главную, механическую инерционность асинхронных двигателей, пренебрегая их сравнительно малой электромагнитной инерционностью. И для задания характеристик такой модели вполне достаточно тех параметров, которые, как правило, приводятся в технических характеристиках двигателей. Аналитическое описание механодинамической модели основывается на следующих уравнениях.

Уравнение углового ускорения ротора $\frac{rad}{c^2}$:

$$\varepsilon = \frac{1}{J}(M - M_c), \quad (1)$$

где: M — электромагнитный вращающий момент двигателя; M_c — момент сопротивления (торможения) нагрузки, приведенный к валу АД; J — момент инерции.

Уравнение угловой скорости ротора (рад/сек):

$$\omega = \int_0^t \varepsilon(t) dt. \quad (2)$$

Модифицированная формула Клосса, учитывающая влияния напряжения и частоты сети, а также частоты вращения ротора и критической скорости вращения на электромагнитный момент вращения двигателя:

$$M(n, f, U) = \frac{2M_{kp} \left(\frac{U}{U_H}\right)^2 \left(\frac{f}{f_H}\right)^2}{\frac{n_0 - n}{\Delta n_{kp}} + \frac{\Delta n_{kp}}{n_0 - n}}, \quad (3)$$

где: M_{kp} — критический момент двигателя, полученный в результате эксперимента; U — напряжение питания двигателя; U_H — номинальное напряжение питания двигателя при эксперименте; f — частота сети; f_H — номинальная частота сети при которой

производили эксперимент; n_0 — скорость идеального холостого хода двигателя; n — скорость на валу двигателя; $n_{кр}$ критическая скорость вращения двигателя при $M_{кр}$; $\Delta n_{кр} = n - n_{кр}$.

Модифицированная формула Клосса в структурной реализации программы MatLab представлена на рис. 2.

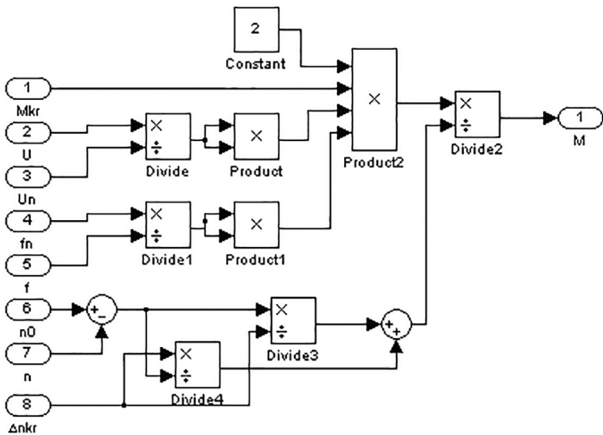


Рис. 2. Модифицированная формула Клосса в программе MatLab

Стоит отметить, что на угловое ускорение ротора влияет и производная по времени момента инерции J , однако во многих технических задачах этот момент постоянен, что позволяет использовать формулу (1) в вышеприведенном виде.

Суммарное действие вращающего момента АД и момента сопротивления механической нагрузки, приведенной к валу двигателя, с учетом момента инерции определяет угловое ускорение ротора. Интеграл от этого ускорения дает угловую скорость вращения вала. Текущая угловая скорость вращения вала в совокупности с естественной механической характеристикой АД определяет вращающий момент — контур модели замкнулся.

На базе выше описанных выражений и допущений, в программе MatLab [4] построена механодинамическая модель асинхронного двигателя (рис. 3).

Для актуализации модели под конкретный тип двигателя, в m-файл вводятся параметры, полученные экспериментальным путём или из паспортных данных:

- $M_{кр}$ — критический момент двигателя, Нм;
- U_n — номинальное напряжение питания двигателя, В;
- f_n — номинальная частота питающей сети, Гц;
- p — количество пар полюсов асинхронного двигателя;
- $n_{кр}$ — критическая скорость вращения двигателя, об/мин;
- J_d — момент инерции двигателя, кг·м²;

Входными данными для моделирования динамических процессов являются:

- M_c — момент сопротивления на валу двигателя, Нм;
- U — напряжение питания двигателя, В;
- f — частота питающей сети, Гц;
- J_M — момент инерции механизма, кг·м²;
- Дискретный вход «on» включает модель асинхронного двигателя при значении «1».

Выходной величиной модели есть частота вращения двигателя n , об/мин.

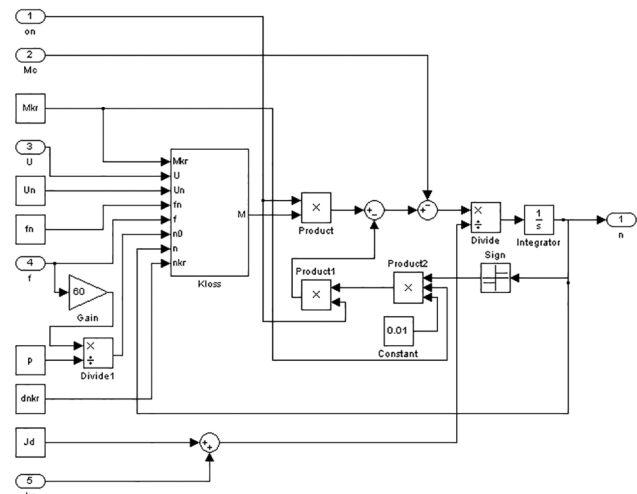


Рис. 3. Механодинамическая модель асинхронного двигателя в программе MatLab

На рис. 4 показан график промоделированных переходных процессов пуска асинхронного двигателя и «наброса» нагрузки.

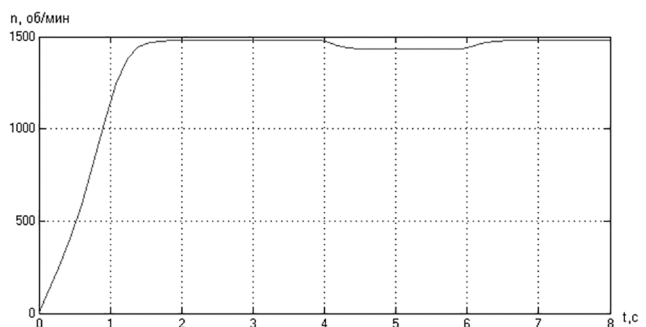


Рис. 4. Моделирование переходных процессов пуска и «наброса» нагрузки на вал асинхронного двигателя

На рис. 5 показаны переходные процессы пуска асинхронного двигателя, выполненные с помощью данной модели, при различном напряжении и частоте питающей сети.

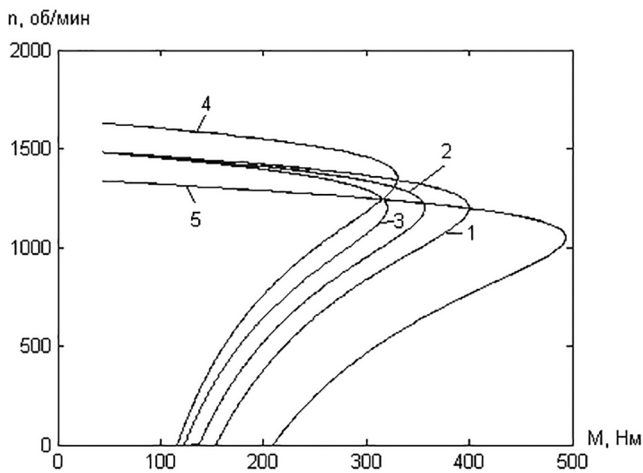


Рис. 5. Моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя при различных напряжениях и частоте сети:

1 – $U=380$ В, $f=50$ Гц; 2 – $U=360$ В, $f=50$ Гц; 3 – $U=340$ В, $f=50$ Гц; 4 – $U=380$ В, $f=55$ Гц; 5 – $U=380$ В, $f=45$ Гц.

Из графика можно определить пусковые моменты двигателя, зависимости скорости вращения от момента на валу, а так же определить критические моменты при различных режимах питания АД.

Выводы. Предложенная в работе механодинамическая модель позволяет моделировать динамические процессы пуска и «наброса» нагрузки на вал асинхронного двигателя, а так же определять пусковые моменты в системах автоматического управления с различными законами регулирования скорости. Минимальное количество параметров для адаптации модели под конкретный тип двигателя избавляют от сложных расчетов и необходимости снятия механических характеристик опытным путем.

Литература

1. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода. — М.: МЭИ, 2007. 224 с.
2. Лиходедов А. Д. Построение механической характеристики асинхронного двигателя и ее апробация / Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 99.
3. Денисов В. А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением. — Старый Оскол: ТНТ, 2013. — 164 с.
4. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0. — Санкт-Петербург: Корона принт, 2001. — 320 с.
5. Фираго Б. И., Павлячик Л. Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. — Минск: Техноперспектива, 2006. — 363 с.

References

1. Ilinsky N. F. Osnovi elektroprivoda [Basic principles of electric drive]. — Moscow, MEI publ., 2007, 224 p.
2. Lihodedov A. D. Construction of the mechanical characteristic of the asynchronous engine and its approbation. *Sovremennye problemi nauki i obrazovaniya*, 2012, no. 5, p. 99.
3. Denisov V. A. Elektroprivodi peremennogo toka s chastotnym upravleniem [AC variable frequencyregulated drives]. *Stariy Oskol, TNT publ.*, 2013, 164 p.
4. German-Galkin S. G. Kompyuternoe modelirovanie poluprovodnikovih sistem v MatLab 6.0 [Computer simulation of solid-state systems in MatLab 6.0]. *Sankt Peterburg, Korona print publ.*, 2001, 320 p.
5. Firago B. I., Pavlyachik L. B. Reguliruemie elektroprivodi peremennogo toka [Regulated AC drives]. *Minsk, Tehnoperspektiva publ.*, 2006, 363 p.