

Гончар Д.Ю.

студент

2 курса магистратуры,

факультет «Интеллектуальных систем и программирования»

Донецкий национальный технический университет

Россия, ДНР, г. Донецк

РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Аннотация: Статья посвящена расчёту механической характеристики асинхронного электродвигателя по упрощённой формуле Клосса и разработке программного комплекса, автоматизирующего данный расчёт и определение номинальных рабочих параметров двигателя. Приводится формула Клосса, связывающая электромагнитный момент двигателя со скольжением, и методика определения номинального скольжения по заданному номинальному моменту. Проведён расчёт для модельного асинхронного двигателя: получена полная механическая характеристика, определены номинальная частота вращения и критический момент, показано их соответствие типичным паспортным данным асинхронных двигателей общего назначения.

Ключевые слова: технические науки, электрические машины, асинхронный двигатель, механическая характеристика, формула Клосса, программный комплекс.

Gonchar D.Yu.

Student

2nd year of magistracy,

Faculty of "Intelligent Systems and Programming"

Donetsk National Technical University

Russia, DPR, Donetsk

CALCULATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

Annotation: The article deals with the calculation of the mechanical characteristic of an induction motor using the simplified Kloss formula, and the development of a software package automating this calculation and the determination of the motor's rated operating parameters. The Kloss formula relating motor electromagnetic torque to slip is presented, along with the method for determining rated slip from a given rated torque. A model induction motor is analyzed: the complete mechanical characteristic is obtained, and the rated speed and critical torque are determined, showing agreement with typical nameplate data of general-purpose induction motors.

Key words: technical sciences, electrical machines, induction motor, mechanical characteristic, Kloss formula, software package.

Механическая характеристика асинхронного двигателя — зависимость момента от скольжения либо частоты вращения — является основной характеристикой, используемой при выборе электропривода и анализе устойчивости совместной работы двигателя и рабочей машины «Цитата» [1, с. 178]. Целью настоящей работы является построение расчётной формулы механической характеристики, разработка программного комплекса на её основе и апробация на модельном двигателе с определением номинальных параметров.

Формула Клосса для механической характеристики

Упрощённая формула Клосса связывает электромагнитный момент M со скольжением s через критический момент M_K и критическое скольжение s_K

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}},$$

где скольжение $s = (n_1 - n)/n_1$, n_1 — синхронная частота вращения поля статора, n — частота вращения ротора. Перегрузочная способность $M_k/M_{ном}$ и s_k обычно указываются в каталожных данных двигателя. Номинальное скольжение $s_{ном}$ находится решением уравнения $M(s_{ном}) = M_{ном}$ на устойчивой ветви характеристики ($s < s_k$) «Цитата» [2, с. 211].

Описание программного комплекса

Разработанный программный комплекс включает модуль ввода каталожных данных двигателя, модуль расчёта полной механической характеристики по формуле Клосса и модуль определения номинального скольжения и частоты вращения методом деления отрезка пополам с построением графика характеристики.

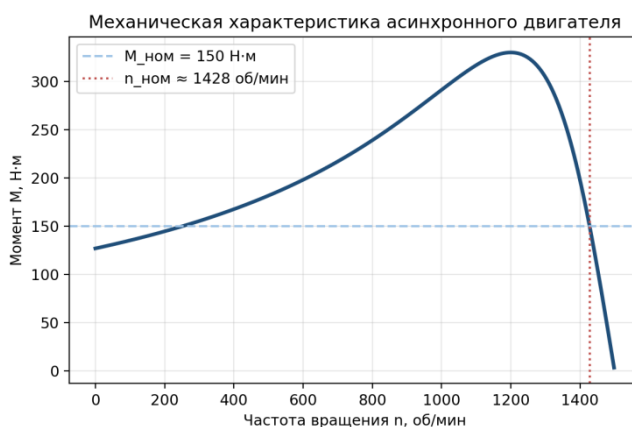


Рисунок 1. Механическая характеристика асинхронного двигателя

На рисунке 1 показана полная механическая характеристика двигателя — зависимость момента от частоты вращения. Отмечены номинальная точка работы двигателя и соответствующая ей частота вращения, найденная как пересечение характеристики с линией номинального момента на устойчивой ветви.

Апробация на модельном двигателе

Расчёт проводился для четырёхполюсного асинхронного двигателя с синхронной частотой вращения $n_1 = 1500$ об/мин, критическим скольжением $s_k = 0,20$, перегрузочной способностью $M_k/M_{ном} = 2,2$ и номинальным моментом $M_{ном} = 150$ Н·м. Получены критический момент $M_k = 330$ Н·м,

номинальное скольжение $s_{\text{ном}} = 0,0481$, номинальная частота вращения $n_{\text{ном}} \approx 1428$ об/мин. Результаты расчёта механической характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Механическая характеристика асинхронного двигателя

s	n, об/мин	M, Н·м
0,02	1470	65,3
0,05	1425	155,3
0,10	1350	264,0
0,20	1200	330,0
0,50	750	227,6
1,00	0	126,9

Из таблицы 1 видно характерное поведение момента: на устойчивой ветви ($s < s_k = 0,20$) момент монотонно возрастает от нуля до критического значения 330 Н·м, после чего на неустойчивой ветви — убывает до пускового момента 126,9 Н·м при $s = 1$. Номинальная рабочая точка ($s_{\text{ном}} \approx 0,048$) лежит на устойчивой пологой части характеристики, что обеспечивает устойчивую работу двигателя при колебаниях нагрузки «Цитата» [3, с. 94] — при увеличении нагрузки скольжение растёт, а момент автоматически увеличивается, компенсируя её.

Устойчивость совместной работы двигателя и рабочей машины

Механическая характеристика двигателя используется совместно с механической характеристикой приводимой им рабочей машины (насоса, вентилятора, компрессора) для определения рабочей точки электропривода и анализа её устойчивости. Точка пересечения двух характеристик является устойчивой рабочей точкой, если при малом случайном отклонении частоты вращения момент двигателя автоматически изменяется таким образом, чтобы вернуть систему к исходной точке равновесия — формально это соответствует условию $dM_{\text{дв}}/dn < dM_{\text{с}}/dn$ в окрестности точки пересечения, где $M_{\text{с}}$ — момент сопротивления рабочей машины «Цитата»

[1, с. 183]. На устойчивой ветви механической характеристики двигателя (при $s < s_k$), рассмотренной в настоящей работе, данное условие выполняется для подавляющего большинства практических нагрузочных характеристик, что и объясняет типичный выбор рабочей точки именно на этом участке при проектировании электроприводов.

На неустойчивой ветви характеристики (при $s > s_k$) устойчивая совместная работа возможна лишь для рабочих машин с достаточно круто падающей моментной характеристикой, что на практике встречается редко, поэтому эксплуатация асинхронного двигателя в этой области скольжений признаётся нежелательной и, как правило, ограничивается кратковременными пусковыми и переходными режимами.

Пусковые характеристики и способы пуска

Особый интерес для практики представляет пусковой момент двигателя (при $s = 1$), составивший для рассмотренного примера 126,9 Н·м, то есть менее половины критического момента. Если момент сопротивления рабочей машины в неподвижном состоянии превышает пусковой момент двигателя, самостоятельный пуск двигателя под нагрузкой оказывается невозможен, что требует применения специальных способов пуска — понижения питающего напряжения через устройства плавного пуска, переключения обмоток статора со звезды на треугольник, либо использования двигателей с повышенным пусковым моментом (с фазным ротором или с глубокопазым исполнением ротора) «Цитата» [3, с. 108]. Разработанный программный комплекс, вычисляя полную механическую характеристику двигателя, позволяет заблаговременно, ещё на стадии выбора электродвигателя, проверить достаточность пускового момента для конкретных условий пуска под нагрузкой, что предотвращает выбор оборудования, неспособного обеспечить надёжный пуск приводимого механизма.

Заключение

В работе построена расчётная методика механической характеристики асинхронного двигателя на основе формулы Клосса, разработан программный комплекс для её расчёта с автоматическим определением номинальных рабочих параметров и проведена апробация на модельном четырёхполюсном двигателе. Получена полная механическая характеристика с выделением номинальной рабочей точки на устойчивой ветви. Дальнейшее развитие работы связано с расширением комплекса на расчёт пусковых характеристик при пониженном напряжении и с учётом насыщения магнитной цепи.

Использованные источники:

1. Копылов, И. П. Электрические машины : учебник для вузов / И. П. Копылов. — 4-е изд., испр. — М.: Высшая школа, 2006. — 607 с.
2. Кацман, М. М. Электрические машины : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М. М. Кацман. — 10-е изд., стер. — М.: Академия, 2013. — 496 с.
3. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. — СПб.: Питер, 2008. — 320 с.