

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДРОССЕЛЯМИ НАСЫЩЕНИЯ В ЦЕПИ РОТОРА

В. В. САРВ

Асинхронные дроссельные электроприводы находят все более широкое применение в промышленности, особенно в тех случаях, когда требуется относительно кратковременное глубокое регулирование скорости. Уменьшение скорости в таких приводах происходит за счет возникновения потерь в цепи ротора. В связи с этим стремление использовать стандартные двигатели и не допускать чрезмерного увеличения их габаритов часто обуславливает выбор асинхронного двигателя с фазным ротором, в котором при низких скоростях основная часть потерь выделяется в виде тепла вне машины.

Основой для регулирования момента и скорости асинхронного двигателя является наличие семейства механических характеристик двигателя, а целью автоматического регулирования скорости является получение жестких механических характеристик всего электропривода. Поэтому желательно располагать простыми и в то же время достаточно точными методами расчета механических характеристик, что даст возможность предопределить свойства проектируемого электропривода.

Удовлетворительные методы расчета механических характеристик в случае включения регулирующих дросселей насыщения в цепь статора уже разработаны. По известным нам данным, вопрос о расчете механических характеристик в случае включения регулирующих дросселей насыщения в цепь ротора до сих пор исследовался только В. М. Качеровским [1]. Метод В. М. Качеровского разработан для специальной схемы и основан на определении зависимостей между индуктивным сопротивлением дросселя насыщения и скольжением двигателя при различных токах подмагничивания промежуточного магнитного усилителя.

Следует, однако, отметить, что указанный метод, к сожалению, слишком трудоемок. Так, для определения механических характеристик исследованного электропривода при отсутствии обратной связи по скорости В. М. Качеровскому пришлось, кроме большого количества расчетов, построить восемь промежуточных семейств кривых. При этом расхождение между результатами расчета и опыта не превышало 20%.

Возможно, что при схеме электропривода, выбранной В. М. Качеровским, такая трудоемкая работа является неизбежной. Нам, однако, кажется, что если отказаться от промежуточного определения индуктивных сопротивлений дросселей насыщения, то может оказаться возможным быстрее определить механические характеристики исследуемого электропривода. В соответствии с этим предлагаемый ниже метод основан на применении вольтамперных характеристик дросселей насыщения.

Определение механических характеристик разомкнутой системы

Принципиальная схема включения дросселей насыщения (ДН) в цепь ротора асинхронного двигателя (АД) изображена на рис. 1. Для уменьшения потерь в двигателе последовательно с дросселем насыщения включено активное сопротивление R_p .

Для расчета тока, момента и других величин, характеризующих асинхронный двигатель, вместо вращающегося двигателя удобно рассматривать неподвижный двигатель. Это возможно также и в данном

случае, когда в цепь ротора включено нелинейное сопротивление в виде дросселя насыщения. Такое рассмотрение основано на том, что при неизменных значениях переменного тока нагрузки и постоянного тока подмагничивания индуктивное сопротивление дросселя насыщения линейно зависит от скольжения.

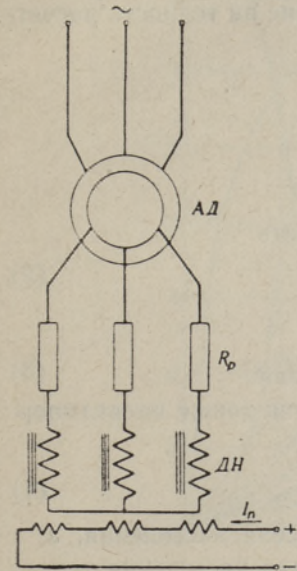


Рис. 1. Схема включения регулирующих дросселей насыщения в цепь ротора.

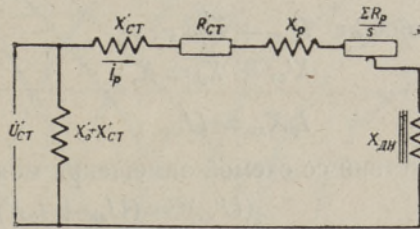


Рис. 2. Упрощенная схема замещения асинхронного двигателя с дросселями насыщения в цепи ротора.

Заменяя вращающийся двигатель неподвижным и приведя в схеме замещения асинхронного двигателя (рис. 2) параметры цепи статора и намагничивающего контура ко вторичному числу витков, можно для определения тока и момента двигателя использовать действительные вольтамперные характеристики дросселей насыщения, снятые при частоте сети и синусоидальном токе.

Введем следующие обозначения:

- $U_{ст}$ — приведенное к ротору напряжение фазы статора, в;
- I_p — ток ротора, а;
- $X'_{ст}$ — приведенное к ротору индуктивное сопротивление рассеяния одной фазы обмотки статора, ом;
- $R'_{ст}$ — приведенное к ротору активное сопротивление одной фазы статора, ом;
- X_p — индуктивное сопротивление рассеяния одной фазы обмотки ротора, ом;
- ΣR_p — суммарное активное сопротивление одной фазы ротора, ом;
- X'_0 — приведенное к ротору индуктивное сопротивление намагничивающего контура, ом;
- $X_{дн}$ — индуктивное сопротивление дросселя насыщения, ом;
- s — скольжение;
- M — момент, кГм;
- n_c — синхронная скорость, об/мин.

Для определения развиваемого двигателем момента находим величину тока в цепи ротора I_p , а затем момент из известного выражения

$$M = 2,92 \frac{I_p^2 \Sigma R_p}{n_c s}. \tag{1}$$

Следует иметь в виду, что это простое выражение момента не учитывает возникновения дополнительного полезного момента за счет потерь в стали ротора и дросселей насыщения. С другой стороны, схема замещения на рис. 2 не учитывает падения напряжения в обмотках статора от намагничивающего тока двигателя. Таким образом, применение упрощенной схемы замещения и одновременно пренебрежение потерями в стали компенсируют в некоторой степени их влияние на точность расчетного значения момента.

$$\begin{aligned} \text{Обозначая } R'_{\text{ст}} + \frac{\sum R_p}{s} &= R, \\ X'_{\text{ст}} + X_p &= X, \\ I_p X_{\text{дн}} &= U_{\text{дн}}, \end{aligned}$$

в соответствии со схемой замещения можно написать

$$(U'_{\text{ст}})^2 = (U_{\text{дн}} + I_p X)^2 + I_p^2 R^2, \quad (2)$$

откуда напряжение на дросселе насыщения

$$U_{\text{дн}} = \sqrt{(U'_{\text{ст}})^2 - I_p^2 R^2} - I_p X = f_1(I_p', s). \quad (3)$$

С другой стороны, напряжение $U_{\text{дн}}$ определяется также вольтамперными характеристиками дросселя насыщения

$$U_{\text{дн}} = f_2(I_{\text{дн}}, I_p), \quad (4)$$

где $I_{\text{дн}}$ — ток в обмотке переменного тока дросселя насыщения, а;

I_p — ток в обмотке подмагничивания дросселя насыщения, а.

Так как в данном случае, согласно рис. 2, $I_{\text{дн}} = I_p$, то вместо (4) можно написать

$$U_{\text{дн}} = f_2(I_p, I_p). \quad (5)$$

Чтобы использовать формулу (1) для определения механических характеристик разомкнутой системы регулирования (рис. 1) при различных токах подмагничивания I_p , нас интересует зависимость тока ротора I_r от скольжения двигателя s при различных значениях тока подмагничивания I_p дросселей насыщения. Проще всего можно найти зависимость $I_r = f(s)$ при $I_p = \text{const}$ путем совместного графического решения уравнения (3) с вольтамперными характеристиками дросселя насыщения [2, 3]. Для этого уравнение (3) при нескольких постоянных значениях скольжения s следует изобразить графически на той же координатной плоскости, на которой изображены вольтамперные характеристики дросселя насыщения. Точки пересечения этих двух семейств кривых определяют соответствующие друг другу значения тока ротора I_r и скольжения s при нескольких постоянных значениях тока подмагничивания I_p .

На рис. 3 приведен пример графического расчета для двигателя МКМАР — 14/6, у которого, согласно рис. 1, в каждую фазу ротора были включены активное сопротивление $R_p = 0,556$ ом и дроссель насыщения; вольтамперные характеристики дросселя насыщения видны на рис. 3. Сравнение расчетных и экспериментальных механических характеристик приведено на рис. 4.

Как видно из рисунка, разница в моментах не превышает 9%. В большинстве случаев такая точность достаточна, особенно же тогда, когда определение механических характеристик разомкнутой системы ведется с целью использования их для дальнейшего определения механических характеристик замкнутой системы автоматического регулирования.

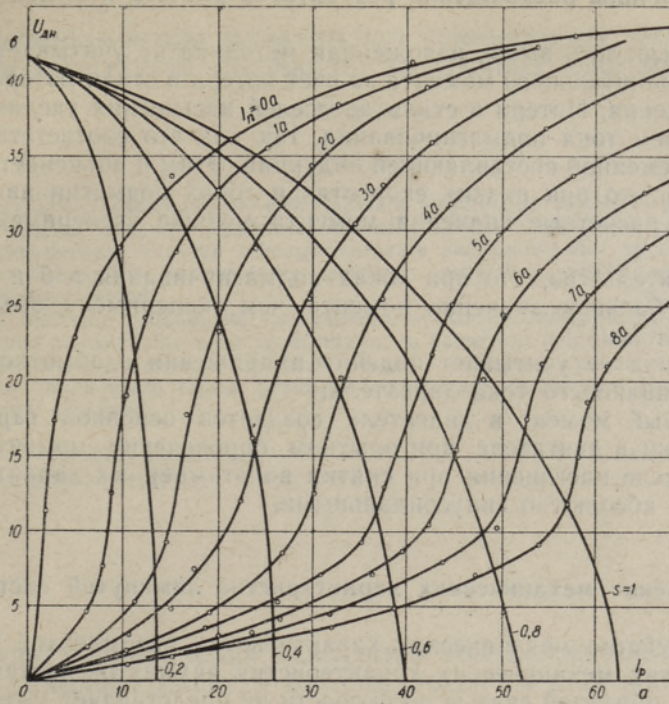


Рис. 3. Графическое определение соответствующих друг другу значений I_p и s при $I_n = \text{const}$.

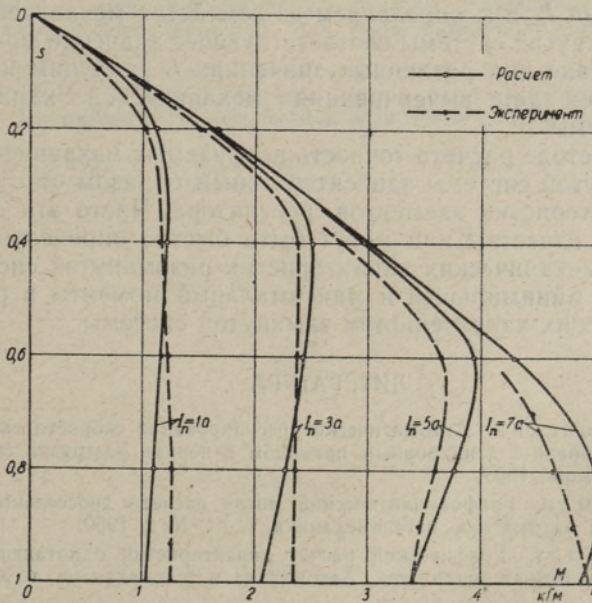


Рис. 4. Сравнение расчетных и экспериментальных механических характеристик разомкнутой системы.

Причины расхождения результатов расчета и опыта

Как указывалось выше, изложенная методика не учитывает возникновения дополнительного момента за счет потерь в стали ротора и дросселей насыщения. Потери в стали дросселей насыщения увеличиваются с уменьшением тока подмагничивания, так как это соответствует увеличению переменной составляющей индукции. Этим и объясняется то обстоятельство, что при низких скоростях и токах подмагничивания в 1 и 3 ампера расчетные значения момента меньше экспериментальных (рис. 4).

То обстоятельство, что при токах подмагничивания в 5 и 7 ампер расчет дает большее значение момента, чем эксперимент, объясняется двумя причинами:

1) методика не учитывает падения напряжения в обмотке статора от намагничивающего тока двигателя;

2) полезный момент в двигателе создается основной гармоникой тока. Но токи в двигателе при опытном определении момента, как и токи в дросселе насыщения при снятии вольтамперных характеристик, не являются абсолютно синусоидальными.

Определение механических характеристик замкнутой системы

Зная семейство механических характеристик разомкнутой системы, расчет жестких механических характеристик замкнутой системы с отрицательной обратной связью по скорости не представляет уже принципиальных затруднений. Действительно, при установленном положении органов регулятора ток подмагничивания дросселей насыщения является функцией скольжения s . Эта зависимость определяется статическими характеристиками элементов регулятора.

Имея зависимость $I_n = f(s)$, задаемся током подмагничивания I_n и определяем скольжение s . Располагая теперь соответствующими друг другу значениями I_n и s , определяем из семейства механических характеристик разомкнутой системы соответствующее значение момента. Повторяя это действие при различных значениях I_n , получим необходимое количество точек для вычерчивания механической характеристики замкнутой системы.

При таком методе расчета точность получаемых механических характеристик замкнутой системы зависит главным образом от точности статических характеристик элементов регулятора. Часто эти статические характеристики известны или могут быть быстро определены экспериментально. От механических характеристик разомкнутой системы зависят в основном минимальный и максимальный моменты в рабочей области механических характеристик замкнутой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Качеровский, Автоматическое регулирование скорости скиповой подъемной установки с асинхронным приводом в период разгрузки скипа, Диссертация, Харьков, 1955.
2. И. Я. Лехтман, Графоаналитический метод расчета дроссельных магнитных усилителей, Автоматика и телемеханика, т. XI, № 2, 1950.
3. М. А. Розенблат, Графический расчет характеристик одноктных (нереверсивных) магнитных усилителей, Автоматика и телемеханика, т. XI, № 2, 1950.

**ASÜNKROONMOTORI MEHAANILISTE TUNNUSJOONTE MÄÄRAMINE
EELMAGNEEDITAVATE PAISPOOLIDE LÜLITAMISEL ROOTORIAHELASSE**

V. Sarv

Resümee

Reguleeritavate vahelduvvoolu-elektrijamite kasutamise laienemisega on tekkinud praktiline vajadus vastavate elektrijamite mehaaniliste tunnusjoonte arvutusmeetodite järele. Rootoriahelasse lülitatud eelmagneeditavate paispoolide abil reguleeritava asünkroonmootori mehaaniliste tunnusjoonte saamiseks esitatakse artiklis võrdlemisi lihtne grafoanalüütiline meetod.

Avatud süsteemi mehaaniliste tunnusjoonte arvutusmeetodika katselisel kontrollimisel ei ületanud maksimaalne erinevus arvatatud ja katseliselt leitud momentide vahel 9%, mis praktika nõudeid enamasti rahuldab. Suletud süsteemi puhul sõltub arvutuslike mehaaniliste tunnusjoonte täpsus peamiselt regulaatori elementide staatiliste tunnusjoonte saamise täpsusest.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut*

Saabus toimetusse
4. XII 1957

**BESTIMMUNG MECHANISCHER KENNLINIEN VON INDUKTIONSMOTOREN MIT
VORMAGNETISIERTEN DROSSELSPULEN IM LÄUFERKREIS**

V. Sarv

Zusammenfassung

Wegen der zunehmenden Anwendung regulierbarer Wechselstromantriebe ist ein praktisches Bedürfnis nach Methoden zur Berechnung der Kennlinien dieser Antriebe entstanden.

Der Artikel gibt eine verhältnismässig einfache graphoanalytische Methode zur Bestimmung mechanischer Kennlinien von Induktionsmotoren mit vormagnetisierten Drosselspulen im Läuferkreis.

Bei der experimentellen Kontrolle der vorliegenden Rechenmethode ergab es sich, dass die rechnerischen Werte der Momente von den experimentellen nicht über 9% abwichen. Diese Genauigkeit ist für die meisten praktischen Fälle genügend.

*Institut für Energetik der Akademie
der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 4. Dezember 1957