

УДК: 621.313.004

ОСОБЕННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ Т-ОБРАЗНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

А. С. Бешта, А. А. Сёмин

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49027, Украина. E-mail: syomin_andrew@mail.ru

Рассмотрена особенность использования Т-образной схемы замещения при идентификации параметров асинхронного двигателя. Показано, что, начиная с некоторой частоты питания, входное сопротивление заторможенного асинхронного двигателя определяется эквивалентным входным активным сопротивлением и эквивалентной входной индуктивностью. Доказана невозможность определения всех параметров рассматриваемой схемы замещения при использовании сигналов тока и напряжения статора при различных частотах питания как при неподвижном, так и при вращающемся роторе. Обосновано, что при данном подходе можно получить максимум четыре независимых уравнения.

Ключевые слова: идентификация, асинхронный двигатель, схема замещения.

ОСОБЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ Т-ПОДІБНОЇ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЗАДАЧ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ

О. С. Бешта, А. О. Сьомін

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49027, Україна. E-mail: syomin_andrew@mail.ru

Розглянуто особливість використання Т-подібної схеми заміщення при ідентифікації параметрів асинхронного двигуна. Показано, що, починаючи з деякої частоти живлення, вхідний опір загальмованого асинхронного двигуна визначається еквівалентним вхідним активним опором та еквівалентною вхідною індуктивністю. Доведено неможливість визначення всіх параметрів даної схеми заміщення при використанні сигналів струму та напруги статора при різних частотах живлення як при нерухомому, так і при рухомому роторі. Обґрунтовано, що при даному підході можливо отримати максимум чотири незалежних рівняння.

Ключові слова: ідентифікація, асинхронний двигун, схема заміщення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Наиболее часто при решении задачи идентификации параметров асинхронного двигателя (АД) используется Т-образная схема замещения (рис. 1).

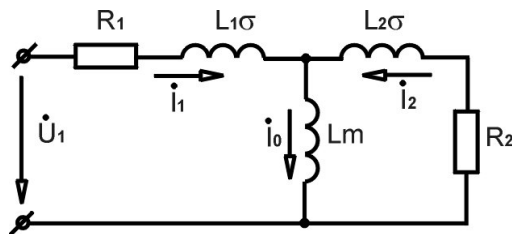


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя: R_1 , R_2 – активные сопротивление статора и ротора; $L_1\sigma$, $L_2\sigma$, L_m – индуктивности рассеяния статора и ротора и взаимная индуктивность; параметры ротора приведены к цепи статора

Активное сопротивление обмотки статора, R_1 , можно измерить непосредственно. Что же касается параметров роторной цепи, то для двигателей с короткозамкнутым ротором сделать этого не представляется возможным. Поэтому для определения оставшихся параметров схемы замещения чаще всего используют ток и напряжение статора, что и указывается в работах ряда авторов [1, 2].

Один из используемых подходов [1, 2] заключается в питании заторможенного двигателя напряжением различной частоты. Отношение напряжения к току статора равно входному сопротивлению со стороны статора. Прикладывая n раз напряжение с отличными друг от друга частотами, получают n

уравнений, связывающих параметры схемы замещения с током и напряжением статора.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Рассмотрим такой подход более подробно. Согласно схеме замещения (рис. 1), входное сопротивление со стороны статора равно:

$$\dot{Z} = R_1 + j\omega L_1\sigma + \frac{j\omega L_m(j\omega L_2\sigma + R_2)}{R_2 + j(\omega L_m + \omega L_2\sigma)}$$

После преобразований получим

$$\dot{Z} = R_1 + j\omega L_1\sigma + \frac{(\omega L_m)^2 R_2}{R_2^2 + (\omega L_m + \omega L_2\sigma)^2} + j \frac{\omega L_m \omega L_2\sigma (\omega L_m + \omega L_2\sigma) + \omega L_m R_2^2}{R_2^2 + (\omega L_m + \omega L_2\sigma)^2}$$

или

$$\dot{Z} = R_{vx} + jX_{vx},$$

где

$$R_{vx} = R_1 + \frac{(\omega L_m)^2 R_2}{R_2^2 + (\omega L_m + \omega L_2\sigma)^2}; \tag{1}$$

$$X_{vx} = \omega L_1\sigma + \frac{\omega L_m \omega L_2\sigma (\omega L_m + \omega L_2\sigma) + \omega L_m R_2^2}{R_2^2 + (\omega L_m + \omega L_2\sigma)^2}. \tag{2}$$

Зависимости активной (1) и реактивной составляющих (2) входного сопротивления от угловой частоты на примере данных двигателя 4A250S10Y3 мощностью 30 кВт показаны на рис. 2.

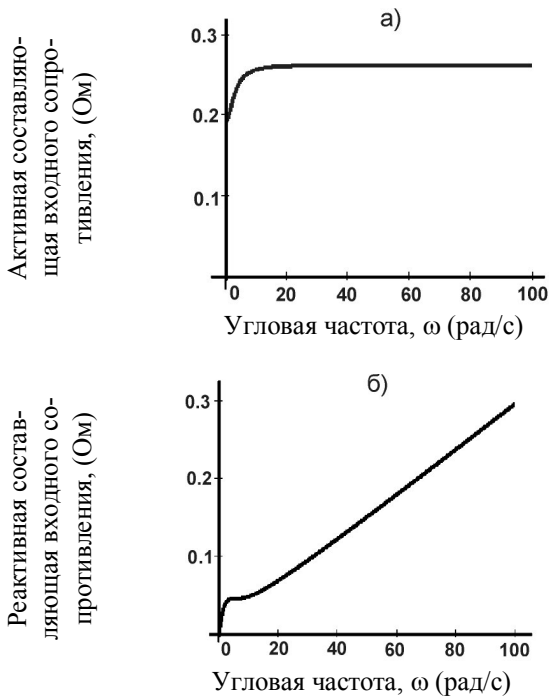


Рисунок 2 – Активная (а) и реактивная (б) составляющие входного сопротивления в функции угловой частоты

Из графиков видно, что, начиная с некоторой частоты, величина активной составляющей практически не меняется. Та же ситуация наблюдается с темпом изменения реактивной составляющей входного сопротивления.

Вычислим пределы, к которым стремятся R_{vx} и $\frac{dX_{vx}}{d\omega}$ при ω , стремящейся к бесконечности. Для этого будем использовать правило раскрытия неопределенности типа ∞/∞ :

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} R_{vx} = \lim_{\omega \rightarrow \infty} \left(R_1 + \frac{(\omega Lm)^2 R_2}{R_2^2 + (\omega Lm + \omega L_2\sigma)^2} \right) = R_1 + \frac{Lm^2 R_2}{(Lm + L_2\sigma)^2};$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \left(\frac{dX_{vx}}{d\omega} \right) = \lim_{\omega \rightarrow \infty} \left(\frac{d}{d\omega} (\omega L_1\sigma + \frac{\omega Lm\omega L_2\sigma (\omega Lm + \omega L_2\sigma) + \omega Lm R_2^2}{R_2^2 + (\omega Lm + \omega L_2\sigma)^2}) \right) = L_1\sigma + \frac{LmL_2\sigma}{Lm + L_2\sigma}.$$

То есть на высоких частотах входное сопротивление заторможенного асинхронного двигателя практически становится равным сумме активного сопротивления, равного $R_1 + \frac{Lm^2 R_2}{(Lm + L_2\sigma)^2}$, и реактивного сопротивления с индуктивностью $L_{экв}$, равной $L_1\sigma + \frac{LmL_2\sigma}{Lm + L_2\sigma}$.

Характерной особенностью является наличие максимума у разности $X_{vx} - \omega(L_1\sigma + \frac{LmL_2\sigma}{Lm + L_2\sigma})$, график которой приведен на рис. 3. Если взять производную по частоте от данной разности и приравнять ее нулю, получим, что максимум имеет место при частоте, равной $\frac{R_2}{Lm + L_2\sigma}$.

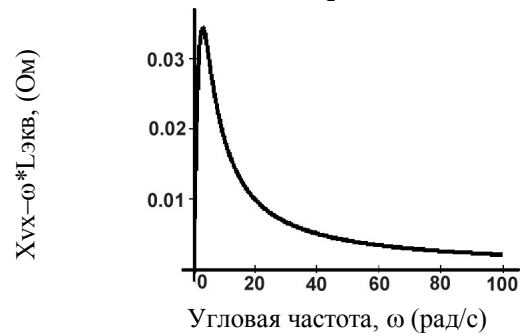


Рисунок 3 – График изменения $(X_{vx} - \omega * L_{экв})$

Введем следующие обозначения:

$$L_1\sigma + \frac{LmL_2\sigma}{Lm + L_2\sigma} = A; \tag{3}$$

$$L_1\sigma + Lm = B; \tag{4}$$

$$\frac{Lm^2 R_2}{(Lm + L_2\sigma)^2} = C. \tag{5}$$

Тогда

$$B - A = Lm - \frac{LmL_2\sigma}{Lm + L_2\sigma} = \frac{Lm^2}{Lm + L_2\sigma}, \tag{6}$$

а

$$C \frac{1}{(B - A)^2} = \frac{Lm^2 R_2}{(Lm + L_2\sigma)^2} \frac{(Lm + L_2\sigma)^2}{Lm^4} = \frac{R_2}{Lm^2}. \tag{7}$$

Преобразуя (1) и подставив в него выражения (5)–(7), получим:

$$R_{vx} = R_1 + \frac{(\omega Lm)^2 \frac{R_2}{(\omega Lm)^4}}{\frac{R_2^2}{(\omega Lm)^4} + \frac{(\omega Lm + \omega L_2\sigma)^2}{(\omega Lm)^4}} = R_1 + \frac{\omega^2 C (B - A)^2}{C^2 + \omega^2 (B - A)^2}. \tag{8}$$

Аналогично, используя (2), (4)–(7), вычислим:

$$X_{vx} - \omega B = -\omega^3 \frac{Lm^2 (Lm + L_2\sigma)}{R_2^2 + \omega^2 (Lm + L_2\sigma)^2} = -\omega^3 \frac{(B - A)^3}{C^2 + \omega^2 (B - A)^2}.$$

Значит

$$X_{vx} = \omega B - \omega^3 \frac{(B-A)^3}{C^2 + \omega^2 (B-A)^2}. \quad (9)$$

ВИБІВІДИ. Из (8) и (9) видно, что входное активное и реактивное сопротивления, в соответствии с принятой схемой замещения АД, при неподвижном роторе представляются выражениями, зависящими только от четырех параметров (не считая частоты ω) – R_1 , A , B и C . Это говорит о том, что, подавая на статор напряжения различных частот питания, можно получить максимум четыре независимых уравнения. С учетом того, что число неизвестных параметров в схеме замещения равно пяти, определение всех параметров данным способом не представляется возможным. Тот же результат будет получен, если использовать для расчетов активные и реактивные мощности. Данный вывод подтверждается опытом численного нахождения параметров схемы замещения при использовании только лишь сигналов напряжения и тока статора, поскольку соответствующие матрицы коэффициентов получают вырожденными.

Важно отметить, что использование данных при вращающемся роторе не изменит ситуацию к лучшему. По виду уравнений (8) и (9) можно сказать, что в этом случае дополнительно появится множитель при коэффициенте C , который будет равен $\frac{1}{s}$, (где s – скольжение). Но максимально возможное

число независимых уравнений останется равным четырем.

Поэтому часто в отечественной и зарубежной литературе [3, 4] авторы принимают равными индуктивные сопротивления рассеяния статора и ротора или устанавливают определенное соотношение между ними, тем самым сокращая число неизвестных параметров на единицу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И., Здор И.Е. Современные методы определения параметров асинхронных двигателей после их ремонта // Проблемы создания новых машин и технологий: Научные труды Кременчугского государственного политехнического института. – 1998. – Вып. 1. – С. 100–106.
2. Калинов А.П., Черный А.П. Рациональные подходы при определении параметров машин переменного тока // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – Вып. 2. – С. 115–118.
3. Michalik W. Parameter estimation methods at three-phase induction machines // Proceedings of the 11-th International Conference on Power Electronics and Application. – EPE 2005. – Dresden, Germany, 2005. – CD-ROM.
4. Пивняк Г.Г., Волков А.В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией: монография. – Днепропетровск: ДНГУ, 2006. – 470 с.

SPECIAL FEATURE OF USING OF T-SHAPED INDUCTION MOTOR EQUIVALENT CIRCUIT FOR PROBLEMS OF PARAMETERS IDENTIFICATION

O. Beshta, A. Syomin

State Higher Education Institution «National Mining University»

prosp. K. Marxa, 19, Dnepropetrovsk, 49027, Ukraine. E-mail: syomin_andrew@mail.ru

Special feature of using of T-shaped equivalent circuit for induction motor parameters identification is considered. It is shown that starting with a certain power frequency, input impedance of a braked induction motor is determined by the equivalent input resistance and the equivalent input inductance. Impossibility of all parameters identification of the given induction motor equivalent circuit using signals of current and voltage at different frequencies both for stationary and rotating motor is proved. It is proved that using this approach we can obtain no more than four independent equations.

Key words: induction motor, identification, equivalent circuit.

REFERENCES

1. Rod'kin D.I., Zdor I.E. Modern methods of determination of induction motor parameters after repair // Problems of construction of new machines and technology: Proceedings of Kremenchug State Polytechnic Institute. – 1998. – Iss. 1. – PP. 100–106. [in Russian]
2. Kalinov A.P., Cherniy A.P. Rational approaches for AC motors parameters determination // Bulletin of Kremenchuk State Polytechnic University. – 2004. – Iss. 2. – PP. 115–118. [in Russian]
3. Michalik W. Parameter estimation methods at three-phase induction machines // Proceedings of the 11-th International Conference on Power Electronics and Application. – EPE 2005. – Dresden, Germany, 2005. – CD-ROM.
4. Pivnyak G.G., Volkov A.V. Modern variable frequency induction motor electric drive with pulse-width modulation: Monograph. – Dnepropetrovsk, 2006. – 470 p. [in Russian]

Стаття надійшла 2.07.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Каліновим А.П.