

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АД С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ В СТАЛИ

Разработке методов идентификации параметров схемы замещения АД посвящено множество работ. Наиболее привлекательным при экспериментальном определении, с точки зрения удобства, представляется определение параметров с использованием только лишь сигналов тока и напряжения статора. Однако, здесь есть свои препятствия. А именно, как показывают исследования, определить все 5 параметров Т-образной схемы замещения, не учитывая потери в стали, теоретически невозможно без использования допущения о равенстве индуктивных сопротивлений рассеяния статора и ротора [1]. Но тогда, естественно, оценки индуктивностей рассеяния будут приближенными. Использование схемы замещения, которая учитывает потери в стали улучшает ситуацию. Тем не менее, следует иметь в виду, что получаемые экспериментально значения токов и напряжений, используемые для идентификации, содержат погрешность. Влияние этой погрешности в статьях по данной тематике не рассмотрено. Степень влияния на конечный результат идентификации этой погрешности может служить дополнительным критерием эффективности того или иного метода идентификации параметров. Этому вопросу и посвящена данная статья.

Целью статьи является обоснование возможности использования в качестве одного из критериев оценки эффективности метода идентификации параметров степени влияния на результат наличия погрешности в исходных экспериментальных данных.

В промышленности наиболее широко применяются три метода измерения тока: резистивный, на основе эффекта Холла и трансформаторы тока. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, определяющие область их применения. Погрешности при различных методах измерения тока для современных датчиков, согласно [2], составляют: резистор – <1%, ячейка Холла – <10%, трансформатор тока – <5%.

Оценку влияния наличия погрешности в исходных данных можно выполнить по следующему алгоритму:

1) по заранее известным параметрам вычислим, с использованием схемы замещения, значения тока и напряжения статора;

2) изменим полученные величины тока и напряжения на величину погрешности;

3) используем токи и напряжения, содержащие погрешность, в качестве исходных данных для нахождения параметров схемы замещения;

4) определяем отношение полученных значений параметров к исходным, по которым велись расчеты в пункте 1).

Рассмотрим конкретную ситуацию. Допустим, что мы используем результаты опытов холостого хода и короткого замыкания (при различных частотах питания) для определения параметров схемы замещения (рис. 1).

Для распространения результатов на двигатели разной мощности, уравнения будем рассматривать в относительных единицах для 3-х наборов параметров схемы замещения, соответствующие двигателям мощностью 0,01 кВт, 1кВт и 100 кВт. Значения параметров приведены в табл. 1 [3].

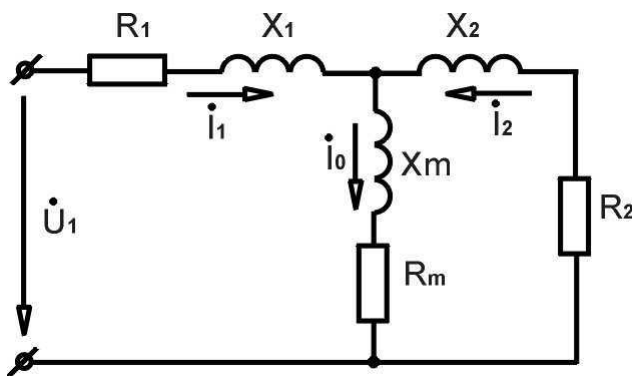


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя для режима к.з. (R_1 , R_2 , – активные сопротивления статора и ротора ; X_1 , X_2 , X_m – индуктивные сопротивления рассеяния статора и ротора и индуктивное сопротивление ветви намагничивания; R_m – сопротивление, характеризующее потери в стали. Параметры ротора приведены к цепи статора).

Таблица 1 – Параметры схемы замещения АД в относительных единицах

Мощность	Значения параметров в о.е.					
	X_m	R_m	R_1	R_2	X_1	X_2
0,01 кВт	1,25	0,4	0,1	0,12	0,1	0,15
1 кВт	2,5	0,5	0,05	0,06	0,09	0,12
100 кВт	4	0,6	0,02	0,03	0,07	0,085

Для удобства полагаем R_1 и R_m известными. Система нелинейных уравнений, на основании которой нахо-

дятся параметры, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_1 + X_m) \cdot \left(\frac{v_{XX}}{v_{NOM}} \right) = \sqrt{Z_{xx}^2 - \left(R_1 + R_m \cdot \left(\frac{v_{XX}}{v_{NOM}} \right)^{1,5} \right)^2} \\ Z_1 \cdot \cos(\theta) = \operatorname{Re} \left(\dot{Z}_{vx}(v1) \right) \\ Z_1 \cdot \sin(\theta) = \operatorname{Im} \left(\dot{Z}_{vx}(v1) \right) \\ Z_2 = \sqrt{\operatorname{Re} \left(\dot{Z}_{vx}(v2) \right)^2 + \operatorname{Im} \left(\dot{Z}_{vx}(v2) \right)^2} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где:

Z_{xx} – модуль входного сопротивления со стороны статора на холостом ходу и частоте питания v_{xx} ;
 Z_1, Z_2 – модуль входного сопротивления со стороны статора в режиме к.з. и частотах питания v_1 и v_2 ;
 θ – сдвиг по фазе между напряжением и током в режиме к.з. и частоте питания v_1 ;
 v_{NOM} – номинальная частота сети.

$$\dot{Z}_{vx}(vi) = R_1 + jX_1 \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right) + \frac{\left(R_2 + jX_2 \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right) \right) \cdot \left(R_m \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right)^{1,5} + jX_m \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right) \right)}{R_2 + jX_2 \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right) + R_m \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right)^{1,5} + jX_m \left(\frac{vi}{v_{NOM}} \right)}$$

Число искомых параметров равно 4 и равно числу решаемых нелинейных уравнений. Величину возможной погрешности в исходных данных примем равной $\pm 1\%$. Рассмотрим 16 возможных сочетаний наличия погрешности в исходных данных (Z_{xx}, Z_1, θ, Z_2).

Т.е. требуется получить решение 48 (16×3) систем уравнений.

Решение системы нелинейных уравнений (1) находилось с помощью вычислительных средств программы MathCad. Начальные значения искомых параметров схемы замещения (с которых начинался итерационный поиск решения) принимались близкими к исходным значения из табл.1.

При вычислениях были использованы значения частот: $v_1 = 2$ Гц; $v_2 = 5$ Гц. Результаты показали, что для машин мощностью от 0,01кВт до 100кВт ошибка идентификации параметров может достигать: $X_m - 34\% \dots 169\%$; $R_2 - 72\% \dots 624\%$; $X_1 - 1780\% \dots 1930\%$; $X_2 - 2160\% \dots 5100\%$. Меньшие значения относятся к машинам большей мощности. Важно отметить, что в некоторых случаях система уравнений вообще не имела решения.

Выполним такую же процедуру для системы нелинейных уравнений, составленных для модулей входных сопротивлений со стороны статора на основании данных опыта холостого хода и короткого замыкания (при 3-х различных частотах). В этом случае, в отличие от предыдущего, мы не будем пользоваться информацией о величине угла сдвига по фазе между напряжением и током, что вызывает необходимость использования 3-х частот питания вместо 2-х для получения системы из 4-х уравнений. Система имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_1 + X_m) \cdot \left(\frac{v_{XX}}{v_{NOM}} \right) = \sqrt{Z_{xx}^2 - \left(R_1 + R_m \cdot \left(\frac{v_{XX}}{v_{NOM}} \right)^{1,5} \right)^2} \\ Z_1 = \sqrt{\operatorname{Re} \left(\dot{Z}_{vx}(v1) \right)^2 + \operatorname{Im} \left(\dot{Z}_{vx}(v1) \right)^2} \\ Z_2 = \sqrt{\operatorname{Re} \left(\dot{Z}_{vx}(v2) \right)^2 + \operatorname{Im} \left(\dot{Z}_{vx}(v2) \right)^2} \\ Z_3 = \sqrt{\operatorname{Re} \left(\dot{Z}_{vx}(v3) \right)^2 + \operatorname{Im} \left(\dot{Z}_{vx}(v3) \right)^2} \end{array} \right. , \quad (2)$$

При вычислениях были использованы значения частот: $v_1 = 2$ Гц; $v_2 = 5$ Гц; $v_3 = 20$ Гц.
 Исходными данными, в которые вносилась погрешность, были Z_{xx}, Z_1, Z_2, Z_3 .

Ошибка идентификации для машин мощностью от 0,01кВт до 100кВт в этом случае может достигать: $X_m - 32\% \dots 68\%$; $R_2 - 56\% \dots 137\%$; $X_1, X_2 -$ порядка тысяч процентов. Меньшие значения относятся к машинам большей мощности.

Диапазоны варьирования в этом случае уже, чем в предыдущем, но тем не менее являются неприемлемыми.

В заключение рассмотрим определение параметров, с учетом допущения о равенстве индуктивных сопротивлений рассеяния статора и ротора. Для этого случая алгоритм оценки влияния наличия погрешности будет несколько отличаться. А именно, определение токов и напряжений статора выполняется по схеме замещения с различными (истинными) значениями сопротивлений рассеяния статора и ротора, а обратное нахождение параметров по данным токов и напряжений (в которые уже внесена погрешность) – по схеме замещения, в которой принято, что $X_1 = X_2$. Как и раньше, полагаем R_1 и R_m известными.

Система уравнений с 3-мя неизвестными имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_1 + X_m) \cdot \left(\frac{V_{XX}}{V_{NOM}} \right) = \sqrt{Z_{xx}^2 - \left(R_1 + R_m \cdot \left(\frac{V_{XX}}{V_{NOM}} \right)^{1,5} \right)^2} \\ Z_1 \cdot \cos(\theta) = \operatorname{Re} \left(Z_{vx}(v1) \right) \\ Z_1 \cdot \sin(\theta) = \operatorname{Im} \left(Z_{vx}(v1) \right) \end{array} \right. , \quad (3)$$

где

$$\dot{Z}_{vx}(v1) = R_1 + jX_1 \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right) + \frac{\left(R_2 + jX_1 \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right) \right) \cdot \left(R_m \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right)^{1,5} + jX_m \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right) \right)}{R_2 + jX_1 \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right) + R_m \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right)^{1,5} + jX_m \left(\frac{v1}{V_{NOM}} \right)}$$

Исходными данными здесь будут Z_{xx} , Z_1 и θ .

Число возможных сочетаний (равное числу решаемых систем уравнений) равно 8 (2^3).

При $v1 = 2$ Гц ошибка идентификации параметров для машин того же диапазона мощностей (см. табл. 1) может достигать: $X_m - 1,5\% \dots 9\%$; $R_2 - 2,5\% \dots 23\%$; $X_1 - 14\% \dots 126\%$; $X_2 - 13\% \dots 54\%$. При $v1 = 20$ Гц значения следующие: $X_m - 1\% \dots 3\%$; $R_2 - 4\% \dots 6\%$; $X_1 - 12\% \dots 24\%$; $X_2 - 11\% \dots 21\%$. Меньшие значения относятся к машинам большей мощности. Видно, что с ростом частоты $v1$ ошибка идентификации уменьшается.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

- необходимо оценивать влияние погрешности в исходных экспериментальных данных на результат идентификации;
- степень этого влияния может служить дополнительным критерием оценки работоспособности метода идентификации;
- оценка влияния может быть выполнена, например, с помощью рассмотрения всех возможных сочетаний отклонений в исходных экспериментальных данных;
- с учетом допустимой величины погрешности в исходных данных ($\pm 1\%$), идентификация параметров Т-образной схемы замещения, учитывающей потери в стали (рис. 1), с использованием сигналов тока и напряжения статора не позволяет достоверно определять параметры схемы замещения. В особой степени это относится к индуктивным сопротивлениям рассеяния статора и ротора;
- допущение о равенстве индуктивных сопротивлений рассеяния повышает устойчивость результата к погрешностям в исходных данных.

Литература:

1. Бешта А.С., Сёмин А.А. Особенности применения Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя для задач идентификации параметров // *Електромеханічні та енергозберігаючі системи. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика"* науково-виробничого журналу - Кременчук: КрНУ, 2012. - Вип.3/2012 (19). - 660с. С.553-555.
2. Данилов А. Современные промышленные датчики тока // *Современная электроника* –2004.– №10 – с. 26-35.
3. Иванов-Смоленский А.В. *Электрические машины: Учебник для вузов.* М.: Энергия, 1980. 928 с.