

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ромашихин Ю. В., к.т.н., доц., Руденко Н. А., ассист., Сиренко П. Н., магистрант

КрНУ им. М. Остроградского, кафедра систем автоматического управления и электропривода

Ромашихина Ж. И., к.т.н., ст. препод.

КрНУ им. М. Остроградского, кафедра электрических машин и аппаратов

Введение. На сегодняшний день большинство исследований, посвященных вопросам определения параметров асинхронных двигателей (АД), базируются на анализе электрических машин как линейных электромеханических преобразователей, т.е. без учета нелинейностей их параметров [1]. Расчет параметров АД без учета нелинейностей приводит к ошибкам, которые существенно проявляются при оценивании энергетических и динамических показателей двигателя.

В последнее время возрастает интерес к процессам преобразования энергии в АД с учетом различного рода нелинейностей [2]. Нелинейности отражают сложность энергетических и электромеханических процессов, протекающих в электрической машине, то есть являются следствием проявления физических свойств и явлений.

Информация о параметрах нелинейностей АД необходима в случае проектирования машин нового поколения и систем управления ими. Это позволяет реализовать системы, обеспечивающие максимальный пусковой момент, максимальную перегрузочную способность, минимальную рабочую температуру при заданной нагрузке и т.д. Также учет нелинейностей необходим для определения полных параметров электрических машин в ходе производственных испытаний или для мониторинга параметров электрооборудования. В результате возможно определение реальных значений пускового момента, перегрузочной и нагрузочной способностей.

Материал и результаты исследования. Нелинейности, обусловленные насыщением стали и поверхностным эффектом, для искомого параметра могут быть описаны в виде аппроксимационной зависимости от токов ротора, статора и др. В результате анализа различных аппроксимационных зависимостей определено, что наибольшее распространение при описании нелинейностей получили аппроксимационные функции степенного полинома. Наиболее простой для анализа является зависимость искомого нелинейного элемента от тока, который протекает через этот элемент:

$$f(I) = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + \dots + a_d I^d, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, a_2, \dots, a_d$ – коэффициенты аппроксимации нелинейности; I – ток, протекающий через нелинейность.

Ток, протекающий через нелинейность, в общем виде может содержать гармоники и поэтому с помощью преобразования Фурье представляется зависимостью:

$$i(t) = \sum_{m=0}^M I_m \cos(m\Omega t - \psi_m), \quad (2)$$

где m – номер гармоники тока; M – число анализируемых гармоник тока; Ω – круговая частота сети; ψ_m – угол сдвига фаз гармоник тока.

В результате подстановки (2) в (1), нелинейность может быть представлена зависимостью рассматриваемой функции от времени.

Анализ показывает, что активное и индуктивное сопротивления ротора имеют нелинейный характер из-за влияния эффекта вытеснения тока [3] и могут быть аппроксимированы полиномами четной степени:

$$\begin{aligned} R_2(I_2) &= R_{20} + k_{R2}I_2^2 + k_{R4}I_2^4 + \dots + k_{Rd}I_2^d; \\ L_2(I_2) &= L_{20} - k_{L2}I_2^2 - k_{L4}I_2^4 - \dots - k_{Ld}I_2^d, \end{aligned}$$

где R_{20}, L_{20} – активное сопротивление и индуктивность ротора без учета их изменения из-за эффекта вытеснения; k_{Rd}, k_{Ld} – коэффициенты аппроксимации нелинейного активного сопротивления и индуктивности.

Установлено, что использование теории мгновенной мощности позволяет упростить задачу определения параметров нелинейностей. Применительно к АД в качестве потребителей электрической энергии выступают активные сопротивления и индуктивности соответствующих цепей схемы замещения (рис. 1). На схеме замещения указаны следующие параметры: активное сопротивление R_1 и индуктивность L_1 статора, индуктивность намагничивания L_μ , нелинейное активное сопротивление $R_2(I_2)$ и индуктивность L_2 ротора. Индуктивность ротора принимается постоянной величиной для наглядности использования энергетического метода.

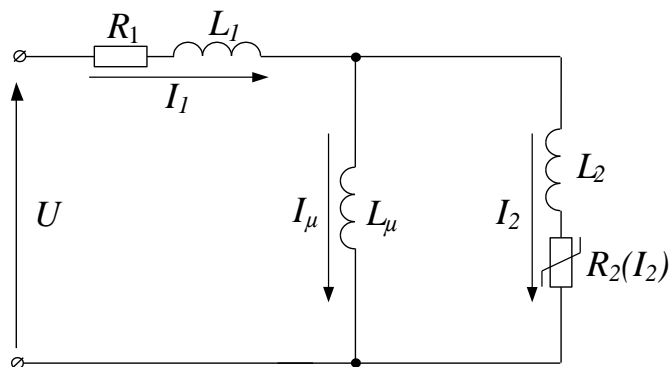


Рисунок 1 – Т-образная схема замещения АД с нелинейным активным сопротивлением ротора

Таким образом, система идентификационных уравнений с использованием энергетического метода имеет вид [4]:

$$\sum_{j=1}^J p_s(t) = \sum_{j=1}^J p_{Rj}(t) + \sum_{j=1}^J p_{Lj}(t),$$

где $p_s(t)$, $p_{Rj}(t)$, $p_{Lj}(t)$ – значения мгновенных мощностей элементов схемы замещения:

- для источника питания $p_s(t) = u(t)i(t)$;
- для активного сопротивления $p_R(t) = i^2(t)R$;
- для линейной индуктивности $p_L(t) = Li(t)di(t)/dt$;
- для нелинейной индуктивности

$$p_L(t) = i(t) \frac{d(L(t)i(t))}{dt} = L(t)i(t) \frac{di(t)}{dt} + i^2(t) \frac{dL(t)}{dt};$$

$u(t)$ – напряжение источника питания; j – номер элемента схемы замещения; J – число элементов схемы замещения.

Для упрощения математического аппарата выражение, описывающее нелинейное активное сопротивление, с достаточной точностью может быть аппроксимировано полиномом второй степени. Тогда мгновенная мощность на нелинейном активном сопротивлении ротора имеет вид:

$$p_{R2}(t) = i_2^2(t)R_2(i(t)) = i_2^2(t) \left(R_{20} + k_{R2}(i_2(t))^2 \right).$$

Составляющие мгновенной мощности на нелинейном активном сопротивлении ротора:

$$P_{0R2} = A_0(R_{20} + k_{R2}A_0) + \frac{1}{2}k_{R2} \sum_{n=1}^N (A_n^2 + B_n^2);$$

$$P_{kaR2} = \frac{1}{2}k_{R2} \left(\sum_{n1=1}^N \sum_{\substack{n2=1 \\ n1 < n2}}^N 2A_{n1}A_{n2} - \sum_{n1=1}^N \sum_{\substack{n2=1 \\ k=n2+n1}}^N 2B_{n1}B_{n2} + \right.$$

$$\left. + \sum_{n1=1}^N \sum_{\substack{n2=1 \\ k=n2-n1 \\ n1 < n2}}^N 2B_{n1}B_{n2} + \sum_{n=1}^N (A_n^2 - B_n^2) \right);$$

$$P_{kbR2} = \frac{1}{2} k_{R2} \left(\sum_{n1=1}^N \sum_{\substack{n2=1 \\ n1 < n2}}^N 2A_{n1} B_{n2} + \sum_{n1=1}^N \sum_{\substack{n2=1 \\ k=n1+n2}}^N 2B_{n1} A_{n2} - \right. \\ \left. - \sum_{n1=1}^N \sum_{\substack{n2=1 \\ k=n2-n1 \\ n1 < n2}}^N 2B_{n1} A_{n2} + \sum_{n=1}^N A_n B_n \right),$$

где $k = n1 + n2$, $k = n2 - n1$, $n1 < n2$; k – номер гармоники мгновенной мощности; P_{0R2} , P_{kaR2} , P_{kbR2} – постоянная, косинусные и синусные составляющие мгновенной мощности на нелинейном активном сопротивлении.

Выводы. Предложено развитие энергетического метода идентификации электромагнитных параметров асинхронных двигателей с учетом гармоник тока, вызванных нелинейностью активного сопротивления ротора в схеме замещения.

Идентификация электромагнитных параметров асинхронных двигателей с использованием указанного метода позволяет определять нелинейное активное сопротивление ротора с учетом эффекта вытеснения тока.

Перечень ссылок

1. M. Hasegawa, D. Ogawa and K. Matsui, “Parameter Identification Scheme for Induction Motors Using Output Inter-Sampling Approach”, Asian Power Electronics Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 15–23, Apr 2008.

2. D. Mosyundz, “Energy method of nonlinear inductance parameters identification” XIV International PhD Workshop, OWD 2012, pp. 456–460, 20–23 October 2012.

3. Шимони К. Теоретическая электротехника – Рипол Классик, 2013 – 778 с.

4. M. Zagirnyak, D. Rod'kin, T. Korenkova, “Enhancement of instantaneous power method in the problems of estimation of electromechanical complexes power controllability”, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), № 12b, pp. 208–212, 2011. ISSN 0033-2097.