

УДК 621.313.333

А.В. Груша

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕМСЯ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Аннотация. Для уточнения математических моделей переходных процессов предлагается учитывать высшие пространственные гармоники. Определение энергетических показателей выполняется с учетом потерь в стали, механических и добавочных потерь. Расчетные характеристики подтверждены экспериментальными исследованиями.

А.В. Груша

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ПЕРЕМІЖНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Анотація. Для уточнення математичних моделей перехідних процесів пропонується враховувати вищі просторові гармоніки. Визначення енергетичних показників виконується із врахуванням втрат в сталі, механічних і додаткових втрат. Розрахункові характеристики підтверджені експериментальними дослідженнями.

A. V. Grusha

INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS THE INDUCTION MOTOR WITH INTERMITTENT OPERATION

Abstract. It is proposed to include the higher space harmonics to refine the mathematical models of transient processes. Determination of energy parameters is performed taking into account losses in steel, mechanical and additional losses. Calculated characteristics are confirmed by experimental researches.

Введение. В ряде случаев асинхронные двигатели (АД) эксплуатируются в перемежающихся режимах, связанных с чередованием работы двигателя на разные по величине нагрузки. При соизмеримости времени работы АД в установившихся и неустановившихся (пуск, переход с одной нагрузки на другую) режимах переходные процессы оказывают существенное влияние на показатели асинхронной машины. Переходные процессы в АД рассматривались рядом авторов [2, 8]. Вместе с тем, отказ от использования некоторых допущений при моделировании динамических режимов работы АД позволяет уточнить математические модели (ММ) [1].

Постановка задачи. В частности речь идет об учете влияния высших пространственных гармоник (ВПГ) при расчете динамических режимов. Их учет в статике позволяет обеспечить корректировку механических характеристик, уточнить энергетические и тепловые показатели [7].

Математические модели, используемые для исследования переходных процессов в АД, основаны на системах нелинейных дифференциальных уравнений равновесия напряжений и токов в системе преобразованных координат, где АД описан системой из пяти уравнений [3]. В данном же случае реальный двигатель заменяется рядом условных двигателей, соответствующих учитываемым ВПГ порядков 1, 5, 7, 11, 13. Поэтому система (1) состоит из 25 уравнений. Где Ψ_{sav} , $\Psi_{s\beta v}$, Ψ_{rav} и $\Psi_{r\beta v}$ – матрицы потокосцеплений статорных и роторных обмоток машины с учетом ВПГ u -го порядка, соответственно по осям α и β ; ω_r – угловая частота вращения вала; p – число пар полюсов; J – суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя; $M_c(\omega_r)$ – зависимость момента сопротивления механизма от частоты вращения;

\mathbf{r}_{rv} , \mathbf{x}_{sv} , \mathbf{x}_{rv} , \mathbf{x}_{Mv} – матрицы активных и реактивных сопротивлений обмоток статора и ротора и сопротивлений взаимной индукции; \mathbf{d}_v – матрицы вспомогательных переменных $\mathbf{d}_v = [\mathbf{x}_{sv} \cdot \mathbf{x}_{rv} - (\mathbf{x}_{Mv})^2]^{-1}$; $u_{s\alpha}$ и $u_{s\beta}$ – мгновенные значения напряжений по осям α и β .

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \Psi_{s\alpha v} &= u_{s\alpha} - r_{sv} \cdot \mathbf{d}_v [(\mathbf{x}_{rv} \cdot \Psi_{s\alpha v} - \mathbf{x}_{Mv} \cdot \Psi_{r\alpha v})], \\ \frac{d}{dt} \Psi_{s\beta v} &= u_{s\beta} - r_{sv} \cdot \mathbf{d}_v [(\mathbf{x}_{rv} \cdot \Psi_{s\beta v} - \mathbf{x}_{Mv} \cdot \Psi_{r\beta v})], \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\alpha v} &= -p \cdot \omega_r \cdot \Psi_{r\beta v} - \mathbf{r}_{rv} \cdot \mathbf{d}_v \times \\ &\quad \times [(\mathbf{x}_{sv} \cdot \Psi_{r\alpha v} - \mathbf{x}_{Mv} \cdot \Psi_{s\alpha v})], \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\beta v} &= p \cdot \omega_r \cdot \Psi_{r\alpha v} - \mathbf{r}_{rv} \cdot \mathbf{d}_v \cdot [\mathbf{x}_{sv} \times \\ &\quad \times \Psi_{r\beta v} - \mathbf{x}_{Mv} \cdot \Psi_{s\beta v}], \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{1}{J} \left\{ \frac{3p}{2} [\mathbf{x}_{Mv} \cdot \mathbf{d}_v \times \Psi_{s\beta v} \cdot \Psi_{r\alpha v} - \right. \\ &\quad \left. - \mathbf{x}_{Mv} \times \mathbf{d}_v \times \Psi_{s\alpha v} \cdot \Psi_{r\beta v}] - M_c(\omega_r) \right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

После преобразований с использованием мгновенных значений напряжений получаем выражения, связывающие матрицы мгновенных значений токов и потокосцеплений, имеющие следующий вид:

© Груша А.В., 2011

$$\mathbf{i}_{s\alpha v} = \mathbf{d}_v \cdot [\mathbf{x}_{rv} \cdot \Psi_{s\alpha v} - \mathbf{x}_{Mv} \cdot \Psi_{r\alpha v}],$$

$$\mathbf{i}_{s\beta v} = \mathbf{d}_v \cdot [\mathbf{x}_{rv} \cdot \Psi_{s\beta v} - \mathbf{x}_{Mv} \cdot \Psi_{r\beta v}],$$

где $\mathbf{i}_{s\alpha v}$, $\mathbf{i}_{s\beta v}$ – матрицы токов статора по осям α и β . Действующее значение тока статора

$$i_{Iv} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [\mathbf{i}_{s\alpha v}^2 + \mathbf{i}_{s\beta v}^2]}.$$

Эффективность работы АД определяют энергетические показатели. Для уточнения их расчета необходимо учитывать не только электрические потери в обмотках, но и другие составляющие потерь АД [7], к числу которых относятся потери в стали, механические и добавочные. При расчетах переходных процессов учитываются изменения на каждом шаге интегрирования, т.е. в определенных точках характеристики перехода от одного момента нагрузки к другому, коэффициентов системы дифференциальных уравнений соответствующих параметров схемы замещения. Значения этих параметров определяются при расчетах установившихся режимов с учетом вытеснения токов в обмотке ротора и насыщения магнитопровода для всех расчетных точек. [4,6].

Потребляемая двигателем условная активная мощность в динамических режимах рассчитывается с использованием средних значений напряжений и матриц средних значений токов

$$P'_1 = \frac{3}{2} \cdot [U_{sa} \cdot \mathbf{I}_{s\alpha v} + U_{s\beta} \cdot \mathbf{I}_{s\beta v}].$$

Реальная потребляемая активная мощность P_1 больше условной на величину суммы неучтенных потерь [6]

$$P_1 = P'_1 + \Delta P_{v \dot{n} \dot{i} \dot{n}} + \Delta P_{v \dot{n} \dot{a} \dot{i} \dot{a}} + \Delta P_{i \dot{a} \dot{o}} + \Delta P_{v \dot{a} \dot{i} \dot{a}}.$$

Мощность на валу двигателя может быть определена через матрицы потокосцеплений и токов с использованием значения частоты вращения ротора

$$P_2 = \omega_r \frac{3p}{2} [\mathbf{I}_{r\beta v} \Psi_{r\alpha v} - \mathbf{I}_{r\alpha v} \Psi_{r\beta v}] - \Delta P_{i \dot{a} \dot{o}} - \Delta P_{v \dot{a} \dot{i} \dot{a}}.$$

Электрические потери в обмотках АД в динамических режимах

$$\Delta P_s = \Delta P_{s1v} + \Delta P_{s2v} =$$

$$= \frac{3}{2} \left((r_s \mathbf{I}_{s\alpha v}) \mathbf{I}_{s\alpha v} + (r_s \mathbf{I}_{s\beta v}) \mathbf{I}_{s\beta v} + (r_r \mathbf{I}_{r\alpha v}) \mathbf{I}_{r\alpha v} + (r_r \mathbf{I}_{r\beta v}) \mathbf{I}_{r\beta v} \right).$$

Потребляемая двигателем условная полная мощность в динамических режимах определяется через квадраты средних значений напряжений и матрицы средних значений токов

$$S'_1 = \frac{3}{2} \sqrt{[U_{sa}^2 + U_{s\beta}^2] \times [\mathbf{I}_{s\alpha v} \mathbf{I}_{s\alpha v} + \mathbf{I}_{s\beta v} \mathbf{I}_{s\beta v}]}$$

Принимая во внимание, что полная мощность состоит из активной, реактивной мощностей, мощности искажения, сумма квадратов потребляемых двигателем реактивной мощности Q_I и мощности искажения T_I равна разности квадратов условной полной S'_1 и условной активной мощностей P'_1

$$Q_I^2 + T_I^2 = S_1'^2 - P_1'^2.$$

Тогда реальная потребляемая двигателем полная мощность с учетом всех потерь

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_I^2 + T_I^2} = \sqrt{P_1'^2 + S_1'^2 - P_1'^2}.$$

Мгновенные значения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности определяются с использованием значений, получаемых из представленных выражений.

На кафедре электрических машин Одесского национального политехнического университета была разработана программа DIMDrive, которая позволяет рассчитывать динамические характеристики АД с учетом ВПГ.

Результаты исследований. В качестве объекта исследований был выбран асинхронный короткозамкнутый двигатель 4АХ80А6У3. Теоретические и экспериментальные исследования были проведены при работе этого двигателя от сети 380 В 50 Гц на следующую циклограмму: 2с – 6 Н·м, 2с – 3 Н·м, 2с – 6 Н·м, 2с – 2 Н·м.

Момент инерции двигателя с нагрузочным механизмом составлял 0,01 кг·м². Момент нагрузки на валу имел линейную зависимость от числа оборотов, что описывалось следующим уравнением: $M = 0,3 + p$.

На рис. 1, 2 и 3 представлены результаты теоретических (при учете и не учете ВПГ) и экспериментальных исследований перемежающегося режима работы.

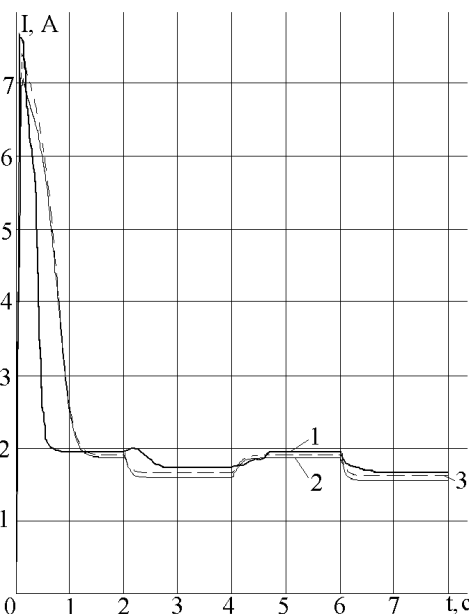


Рис.1. Изменение тока статора: 1 – эксперимент; 2 – моделирование без учета ВПГ; 3 – моделирование с учетом ВПГ.

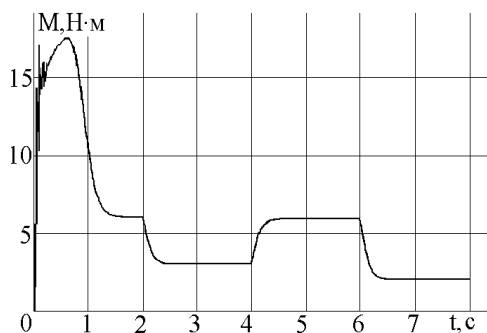


Рис.2. Изменение момента нагрузки

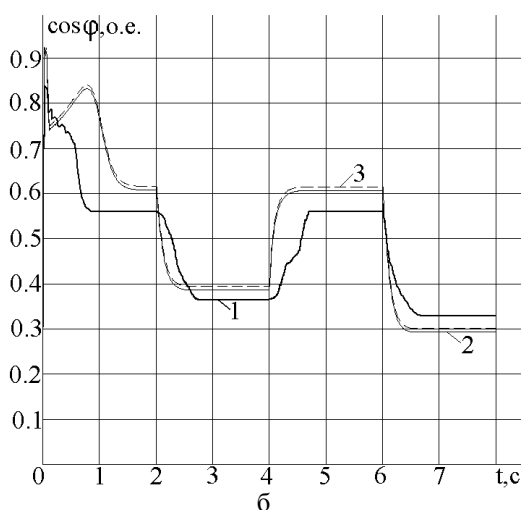
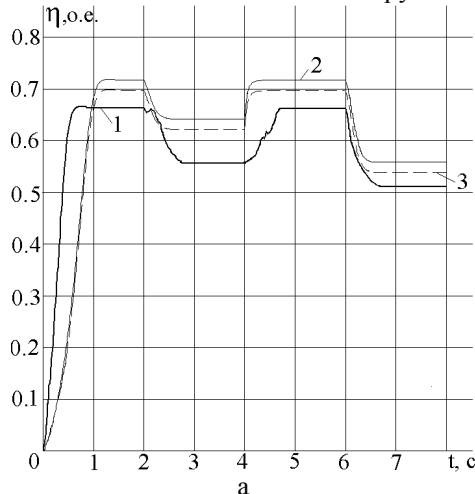


Рис.3. Изменение энергетических показателей КПД (а) и $\cos \varphi$ (б): 1 – эксперимент; 2 – моделирование без учета ВПГ; 3 – моделирование с учетом ВПГ.

Выводы. Полученные зависимости позволяют сделать следующие выводы:

1. Учет ВПГ позволяет приблизить расчетную кривую тока статора, полученную при моделировании, к экспериментальной.

2. Подобие формы расчетных и экспериментальных кривых тока, а также незначительное расхождение их значений свидетельствуют о корректности

расчетных ММ, как и подобие соответствующих показателей КПД и $\cos \varphi$.

3. В данном случае учет ВПГ и всех составляющих потерь позволяет уменьшить погрешность расчета среднециклического значения КПД в среднем на 2 %.

4. Учет ВПГ не оказывает существенного влияния на характеристику момента и на длительность переходных процессов в АД.

5. Погрешность расчета броска тока с учетом ВПГ при пуске уменьшилась (на 2,5%).

Список использованной литературы

1. Вербовой А.П. Проблемы моделирования переходных электромагнитных процессов в асинхронных машинах / А.П. Вербовой, П.Ф. Вербовой // Техн. электродинамика. Темат. вып. "Проблемы сучасної електротехніки". – 2004. – Ч.2. – С. 65-70.

2. Захаров А.В. Возможности применения прикладных программ моделирования и анализа переходных процессов в инженерных задачах проектирования асинхронного электропривода / А.В. Захаров // Электротехника. – 2008. – № 4. – С. 8-12.

3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.

4. Мартынов В.А. Анализ динамических процессов асинхронных двигателей с учетом вытеснения тока в обмотке ротора / В.А. Мартынов // Электротехника. – 1999. – № 2. – С. 38-41.

5. Петрушин В.С. Учебное пособие "Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе" / В.С. Петрушин – Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с.

6. Тонн Д.А. Поход к расчету переходных процессов в различных типах несимметричных асинхронных двигателей с учетом изменения параметров / Д.А. Тонн // Моделирование процессов и систем. – 2007. – № 1. – С.77-79.

7. Энергетические и тепловые показатели регулируемых асинхронных двигателей с учетом высших пространственно-временных гармоник / В.С. Петрушин, А.М. Якимец, А.В. Груша, О.В. Каленик // Электромашинобуд. та електрообладн. – Вип.70. – 2008. – С. 68-71

8. Nyein Nyein Soe Dynamic Modeling and Simulation of Three-phase Small Power Induction Motor / Nyein Nyein Soe, Thet Thet Han Yee, Soe Sandar Aung // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2008. – No. 42. – Pp.421-424.

Получено 12.07.2011



Груша
 Андрей Васильевич,
 аспирант каф. эл. машин
 Одесск. нац. политехн. ун-та,
 65044, Одесса,
 пр-т Шевченко, 1.
 E-mail: ueverly@ukr.net