

УДК 621.313.3

**В.С. ГАРМАШ** (канд.техн.наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ**

Further development of method of direct is offered synthesis of parameters of charts of substitution of asynchronous engines on the base of vehicle-digital complex of registration of transitional processes in electric machines. A complex allows to execute the parallel measuring and registration of eight sizes with up to 100 kHz sampling rate. As an example the results of determination of parameters of chart of substitution of asynchronous engine are resulted by power 11.4 kWt from the mode of starting on idling.

**Актуальность проблемы.** Большинство экспериментальных методов определения параметров асинхронных двигателей требуют проведения специальных опытов, что требует вывода оборудования из работы. Предлагаемый подход к решению этой задачи предполагает использование рабочих режимов двигателей без нарушения технологического режима работы установки.

**Цель работы.** Совершенствование метода прямого синтеза параметров схем замещения асинхронных двигателей из динамических режимов на базе современного аппаратно-цифрового комплекса регистрации аналоговых сигналов.

**Состояние вопроса.** Точность определения параметров схем замещения АД сильно зависит от точности исходных экспериментальных данных. Существующие методы используют, как правило, аналоговые приборы класса 0.5. Появившаяся возможность широкого использования цифровой техники значительно расширяет и повышает точность решаемой задачи.

**Результаты исследования.** Для регистрации динамических характеристик асинхронных двигателей (токи, напряжения, частота вращения) был разработан аппаратно-цифровой комплекс. В его состав входят: персональный компьютер, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с необходимым программным обеспечением для сбора и хранения информации, а также набор программ для обработки полученной информации. В качестве АЦП используется 8-ми каналный 14-разрядный модуль аналогового ввода AI8S-5A фирмы Fastwel с параллельным измерением и скоростью преобразования до 100 кГц.

Экспериментальная часть работы заключалась в фиксации характеристик асинхронного двигателя МА-143-1/4 мощностью  $P_n=11.4$  кВт, напряжением  $U_n=380$  В и записи результатов в текстовый файл. Для согласования измеряемого напряжения с входом АЦП использовались модули гальванической развязки типа WAD-A-MAX класса 0.05. Измерялись мгновенные значения напряжений и токов 3-х фаз АД с дискретностью 50 кГц. Значение результирующего вектора тока вычислялось из выражения [1]:

$$\vec{I}_s = \frac{2}{3} (i_a + i_b \cdot e^{j120^\circ} + i_c \cdot e^{j240^\circ}). \quad (1)$$

По результатам проведенных испытаний были построены пусковые характеристики АД (рис.1). За базисные единицы принимались амплитудные номинальные значения фазного напряжения и тока статора, номинальная полная мощность и синхронная частота вращения.

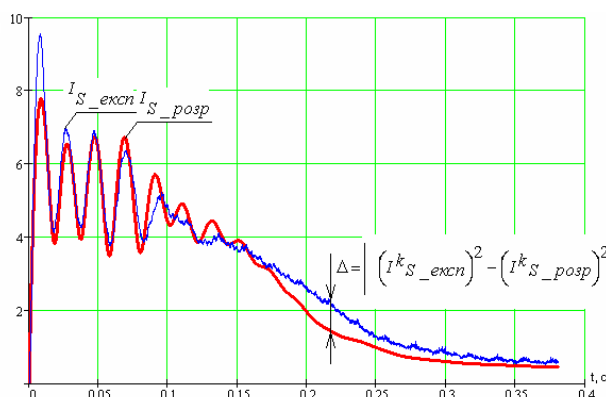


Рисунок 1 – Пуск асинхронного двигателя МА-143-1/4 на холостом ходу

Как видно из приведенных данных, пуск двигателя  $P_n=11.4$  кВт осуществляется за  $t_{\text{пуск}}=0.4$  сек, кратность пускового тока составляет  $I_{\text{пуск}}=5.5I_n$ , максимальный бросок динамического тока  $I_{\text{уд}}=9.5I_n$ . Объем выборки по одному каналу составил 37 500 значений.

Метод прямого синтеза [2] основан на определении параметров из условия наилучшего совпадения характеристик асинхронного двигателя, полученных экспериментально и расчетным путем по искомым параметрам. В качестве экспериментальной характеристики АД можно использовать мгновенные значения фазных токов статора, динамический момент на валу, значения входного сопротивления и т.д., полученные, например, из режима пуска на холостом ходу. Расчетную характеристику АД можно находить по полным дифференциальным уравнения Парка-Горева.

Процесс подбора параметров является оптимизационным процессом, основанным на минимизации некоторой целевой функции, которую можно составить используя теорию подобия. В соответствии с этой теорией необходимыми и достаточными условиями для создания подобия являются соответствие условий однозначности и равенство определяющих критериев подобия. Условия однозначности выделяют из бесконечного множества процессов, которым соответствуют данные дифференциальные уравнения, те конкретные процессы, подобие которых необходимо обеспечить. Применительно к системе дифференциальных уравнений асинхронного двигателя это начальные условия интегрируемых переменных, фаза подачи напряжения на двигатель и обрабатываемый режим работы (пуск с нулевыми начальными условиями). К определяющим критериям подобия цепей с взаимно перемещающимися контурами следует отнести равенство постоянных времени контуров и взаимных индуктивностей, энергий этих контуров с учетом их взаимного положения. Дополнительным условием подобия цепей с переменными параметрами будет одинаковость их изменения во времени.

Исходя из выше сказанного, при составлении целевой функции можно использовать модуль результирующего вектора тока статора АД:

$$F = \sum_{k=1}^N [(I_{s\_эксн}^k)^2 - (I_{s\_расч}^k)^2], \quad (2)$$

где N-количество дискретных значений на рассматриваемом интервале (в нашем случае 30 000),

$I_{s\_эксн}^k, I_{s\_расч}^k$  -мгновенные экспериментальные и расчетные значения результирующего вектора тока статора.

Расчетные значения результирующего вектора тока статора необходимо получать на математической модели двигателя. В качестве такой модели предлагается использовать модель асинхронного двигателя с двухконтурным ротором, которая учитывает изменение параметров ротора при пуске (рис.2).

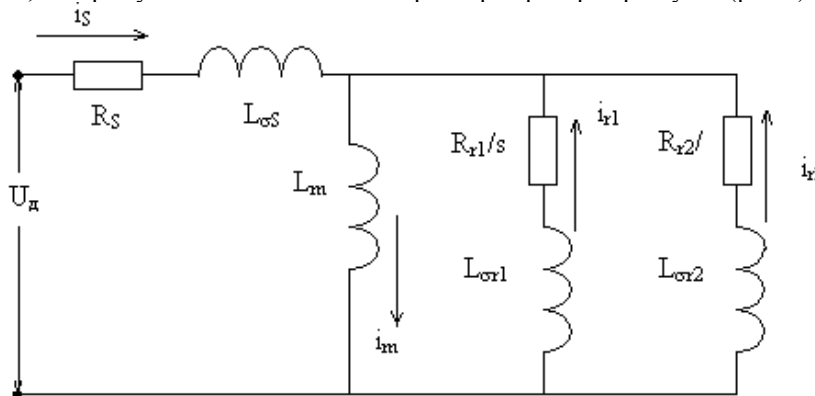


Рисунок 2-Двухконтурная схема замещения асинхронного двигателя

$R_s, L_{\sigma s}$ -активное сопротивление и индуктивность рассеяния обмотки статора;

$L_m$ -индуктивность ветви намагничивания;

$R_{r1}, L_{\sigma r1}$ - активное сопротивление и индуктивность рассеяния 1-го контура ротора;

$R_{r2}, L_{\sigma r2}$ - активное сопротивление и индуктивность рассеяния 2-го контура ротора;

s-скольжение.

Дифференциальные уравнения АД с учетом многоконтурности схемы замещения (рис.2) имеют вид:

$$\begin{cases} \vec{U}_{де} = R_s \cdot \vec{i}_s + p\vec{\psi}_s + j\omega_K \cdot \vec{\psi}_s; \\ 0 = R_{r1} \cdot \vec{i}_{r1} + p\vec{\psi}_{r1} + j(\omega_K - \omega) \cdot \vec{\psi}_{r1}; \\ 0 = R_{r2} \cdot \vec{i}_{r2} + p\vec{\psi}_{r2} + j(\omega_K - \omega) \cdot \vec{\psi}_{r2}; \\ p\omega = (M_e - M_c) / J; \end{cases} \quad (3)$$

где  $\vec{U}_{\text{де}}$  -вектор напряжения на зажимах электродвигателя;

$\vec{\psi}_s, \vec{\psi}_{r1}, \vec{\psi}_{r2}$  -векторы потокосцеплений обмоток статора и роторных контуров;

$\vec{i}_s, \vec{i}_{r1}, \vec{i}_{r2}$  -векторы токов обмоток статора и роторных контуров;

$\omega, \omega_K$  -частота вращения двигателя и координатных осей;

$M_e, M_c, J$  -электромагнитный момент, момент сопротивления и момент инерции двигателя;

$p$  -символ дифференцирования по времени.

Значения токов и электромагнитного момента рассчитываются по выражениям:

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_s &= L_{\sigma s} \cdot \vec{i}_s + L_m \cdot \vec{i}_m; & \vec{\psi}_{r1} &= L_{\sigma r1} \cdot \vec{i}_{r1} + L_m \cdot \vec{i}_m; & \vec{\psi}_{r2} &= L_{\sigma r2} \cdot \vec{i}_{r2} + L_m \cdot \vec{i}_m; \\ \vec{i}_s &= \frac{1}{L_{\sigma s}} (\vec{\psi}_s - \vec{\psi}_m); & \vec{i}_{r1} &= \frac{1}{L_{\sigma r1}} (\vec{\psi}_{r1} - \vec{\psi}_m); & \vec{i}_{r2} &= \frac{1}{L_{\sigma r2}} (\vec{\psi}_{r2} - \vec{\psi}_m); \\ \vec{\psi}_m &= L_m \cdot \vec{i}_m; & \vec{i}_m &= \vec{i}_s + \vec{i}_{r1} + \vec{i}_{r2}; \\ \vec{M}_e &= (3/2) \cdot (\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s). \end{aligned} \quad (4)$$

Для решения системы дифференциальных уравнений (3) была составлена на языке C++ программа расчета переходных процессов асинхронного двигателя. Для интегрирования системы уравнений (3) применялась стандартная процедура из библиотеки CNL50: `imsl_d_ode_runge_kutta`. По разработанной программе выполнялся расчет режима пуска АД на холостом ходу.

Для решения задачи оптимизации целевой функции (2) была составлена программа с использованием стандартной процедуры `imsl_d_min_uncon_multivar`. Программа решения дифференциальных уравнений (3) была включена в нее в качестве процедуры. Экспериментальные данные  $I_{s\_эксн}$  представлялись в виде постоянного массива чисел.

Известно [3], что в определенных пределах статические и динамические характеристики асинхронных двигателей не зависят от соотношения между индуктивными сопротивлениями рассеяния статора и ротора, а определяются их результирующим значением. Поэтому в процессе решения поставленной задачи оптимизировались только сопротивления ротора  $R_{r1}, X_{\sigma r1}, R_{r2}, X_{\sigma r2}$ , а сопротивления статора  $R_s, X_{\sigma s}$  и ветви намагничивания  $X_m$  принимались постоянными.

По предложенной методике были получены параметры двухконтурной схемы замещения исследуемого асинхронного двигателя, приведенные в табл.1.

Таблица 1 - Параметры схемы замещения МА-143-1/4

Параметр	$R_s$	$X_{\sigma s}$	$X_m$	$R_{r1}$	$X_{r1}$	$R_{r2}$	$X_{r2}$
Величина, о.е.	0.023	0.091	2.85	0.021	0.25	0.13	0.18

На рис.1 приведены результаты сравнения экспериментальных данных с расчетными (по значениям параметров табл.1), которые, как видно, хорошо совпадают. Это свидетельствует о достоверности полученных параметров. Некоторое несовпадение первого (ударного) броска тока можно отнести за счет насыщения двигателя по путям рассеяния индуктивного сопротивления статора.

Был исследован вид целевой функции  $F(Rr, Xr)$  в трехмерном и двумерном представлениях. Результаты представлены на рис.3 и 4.

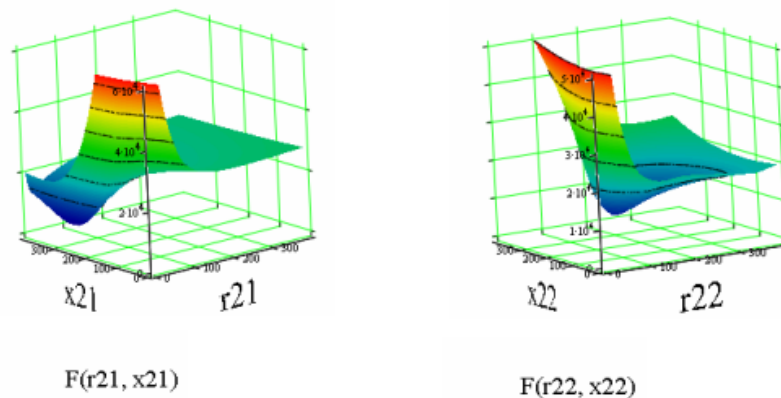
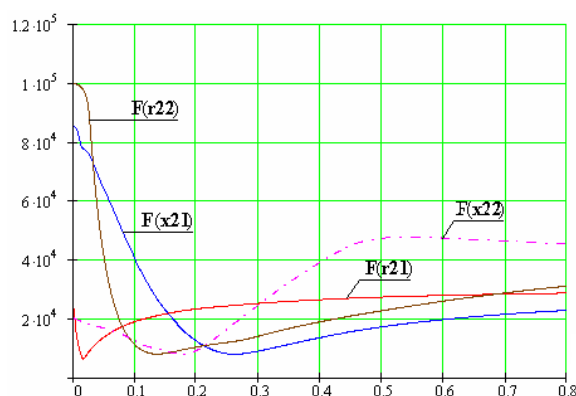


Рисунок 3-3D вид целевой функции  $F(Rr, Xr)$ .



$R_r, X_r, o.$

Рисунок 4-2D вид целевой функции  $F$

Как видно из приведенных данных, целевая функция  $F(R_r, X_r)$  имеет единственный, четко выраженный экстремум, что говорит о корректности поставленной задачи и однозначности ее решения.

#### Выводы:

1. Разработано устройство цифровой регистрации аналоговых сигналов с высокой частотой дискретизации позволяющее фиксировать любые быстропротекающие переходные процессы в узлах энергосистемы.
2. Зафиксирован процесс пуска асинхронного двигателя мощностью 11.4кВт на холостом ходу с частотой дискретизации 20 мксек.
3. Полученные экспериментальные данные использованы для определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя из режима пуска на холостом ходу методом прямого синтеза.
4. Подтверждена идея метода прямого синтеза и однозначность полученных результатов.

#### Список литературы

1. Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока. / Ковач К.П., Рац И. - М.-Л.:Госэнергоиздат,1963.
2. Сивокобыленко В.Ф. Определение параметров схем замещения асинхронных и синхронных двигателей. / Сивокобыленко В.Ф., Гармаш В.С. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1982, №5, с.154-159.
3. Сивокобыленко В.Ф. Расчет параметров схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных машин. /Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А. // Электричество, 1979, №10, с.35-39.

Надійшла до редколегії 03.04.2009

Рецензент: І.П.Заболотний

#### ГАРМАШ В.С.

Донецкий национальный технический университет

**Определение параметров схем замещения асинхронных двигателей из динамических режимов.** Предлагается дальнейшее развитие метода прямого синтеза параметров схем замещения асинхронных двигателей на базе аппаратно-цифрового комплекса регистрации переходных процессов в электрических машинах. Комплекс позволяет выполнять параллельное измерение и регистрацию восьми величин с дискретностью 100кГц. В качестве примера приведены результаты определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя мощностью 11.4кВт из режима пуска на холостом ходу.

**Параметр, схема замещения, асинхронный двигатель, динамический режим.**

#### ГАРМАШ В.С.

Донецкий национальный технический университет

**Визначення параметрів заступних схем асинхронних двигунів з динамічних режимів.** Запропонований подальший розвиток методу прямого синтезу параметрів заступних схем асинхронних двигунів на підставі апаратно-цифрового комплексу реєстрації перехідних процесів в електричних машинах. Комплекс дозволяє виконувати паралельне вимірювання і реєстрацію восьми величин з дискретністю 100кГц. В якості прикладу наведені результати визначення параметрів заступної схеми асинхронного двигуна потужністю 11.4кВт з режиму пуску на холостому ході.

**Параметр, схема заміщення, асинхронний двигун, динамічний режим.**