

## ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОДНОФАЗНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

При проектировании и построении современных частотных электроприводов часто возникает необходимость в определении параметров асинхронных двигателей, которых нет в паспортах ни в каталогах и не приводятся в справочной литературе. При определении статических и переходных характеристик, при разработке и исследований динамических моделей двигателей и различных расчетах эти параметры просто необходимы.

Существуют различные методики определения параметров однофазной эквивалентной схемы замещения асинхронных двигателей [1,2,3,4]. С их помощью рассчитываются и строятся статические и динамические характеристики асинхронного двигателя, при различных режимах работы. Неточность определения этих параметров приводит к появлению ошибок в управлении асинхронными электроприводами.

Несмотря на многообразие методов определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя, большинство из них требуют дополнительных параметров и коэффициентов, которые определяются зачастую по статистическим данным, принимаются в зависимости от конструктивного исполнения машины [1,2,3,4]. Это создает определенные трудности, связанные с громоздкими расчетами, которые в свою очередь требуют проверок и уточнений.

В частности, для большинства методик определение  $r_s$ ,  $r_r$ ,  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $L_m$  осуществляется по следующим расчетным соотношениям.

Сопротивление статора

$$R_s = \frac{1}{2} \times \left[ (U_H)^2 \cdot (1 - S_H) / C_1 \cdot \left( 1 + \frac{C_1}{S_K} \right) \cdot \lambda_{кр} \cdot (P_H + \Delta P_{мех}) \right] \quad (1)$$

$$P_H + \Delta P_{мех} = P_{потр} = \sqrt{3} \cdot I_H \cdot U_H \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_H$$

где,  $R_s$  – активное сопротивление статора,  $\Delta P_{мех}$  – мощность механических потерь,  $C_1$  – конструктивный коэффициент зависящий от исполнения электрической машины,  $P_{потр}$  – полная потребляемая мощность,  $P_H$  – номинальная мощность.

Сопротивление ротора

$$R_r = \frac{(P_H + \Delta P_{мех}) \cdot C_1}{(1 - S_H) \cdot I_H^2 \cdot I_H^2} \quad (2)$$

Приведенная индуктивность рассеивания статора и ротора

$$L_{s\sigma} = L_{r\sigma} = L_\sigma = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f_c} \cdot \sqrt{3 \cdot \left( \frac{U_H}{I_H \cdot I_H} \right)^2 - (R_s + R_r)^2} \quad (3)$$

Взаимоиндукция

$$L_m = L_s - L_\sigma \quad (4)$$

Зная индуктивности статора и ротора, не составляет труда определить соответствующие индуктивные сопротивления. Существует также методика последовательных итераций по определению тех же параметров АД, в основу которой положены известные расчетные соотношения из теории электропривода [5].

Номинальный момент определяется из уточненной формулы Клосса

$$M_H = \frac{M_k (2 + \delta S_k)}{S_H / S_k + S_k / S_H + \delta S_k}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент соотношения сопротивлений ротора и статора

$$\delta = \frac{1/S_k + S_k - 2M_k/M_H}{S_k M_k/M_H - S_k} \quad (6)$$

Далее по последним расчетным значениям находят параметры схемы замещения

$$R_s = \frac{3U^2}{M_H 2\pi f_c (1 + 2/\delta S_k)}, \quad (7)$$

$$R_r = \frac{2r_s}{\delta}, \quad (8)$$

$$X_k = \sqrt{R_r^2 / S_k^2 - R_s^2}. \quad (9)$$

Поскольку число неизвестных параметров однофазной схемы замещения АД можно свести к не более трем –  $R_r$ ,  $R_s$ ,  $X_k$ , а число независимых уравнений для определения указанных параметров всего 2, то приходится задаваться значением третьего параметра и, решая совместно соответствующую систему из двух уравнений, можно определить недостающие параметры.

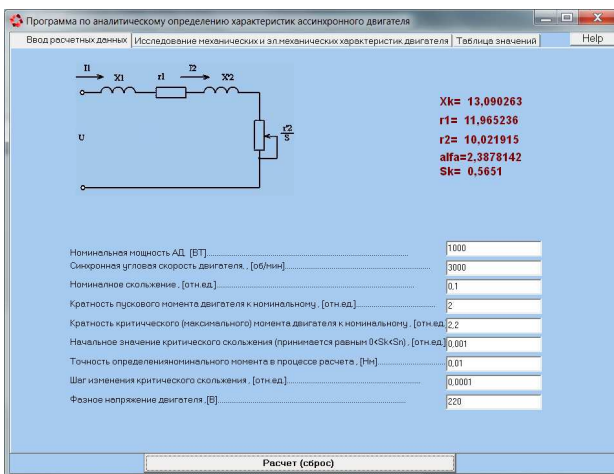
Критерием для оценки найденных значений параметров служат точки статической механической характеристики АД, которые всегда можно легко определить по паспортным данным двигателя (для пускового критического и номинального моментов соответственно –  $M_{п}$ ,  $M_{н}$ ,  $M_{к}$ ) и сравнить их с полученными на основе найденных значений параметров  $R_s$ ,  $R_r$ ,  $X_k$  по уравнению механической характеристики

$$M = \frac{3 \cdot U_{\Phi}^2 \cdot R_r'}{\omega_0 \cdot S \left( (R_s + \frac{R_r'}{S})^2 + (X_s + X_r')^2 \right)} \quad (10)$$

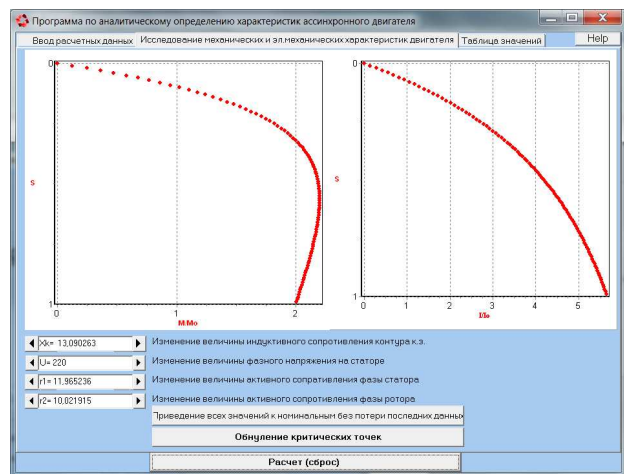
Для оценки различных методик были разработаны две программы STATIC и DVIGATEL по определению параметров схемы замещения АД, расчету и построению статических и механических характеристик.

В основу первой легли расчетные соотношения (1-5) с использованием принимаемого коэффициента  $C_1$  с дальнейшим его уточнением.

Программа DVIGATEL основана на методике последовательных итераций [5,6]. На рисунке 1 показаны окна для ввода параметров в программе DVIGATEL (рисунок 1а) и результаты расчетов в виде статической электромеханической характеристики (рисунок 1б), а также параметров однофазной эквивалентной схемы замещения (рисунок 1а). На рисунке 2 представлены результаты расчетов в программе STATIC на основе найденных параметров схемы замещения - статическая механическая характеристика на основе параметров схемы замещения (рисунок 2а), и механическая характеристика, построенная на основе формулы Клосса (рисунок 2б).

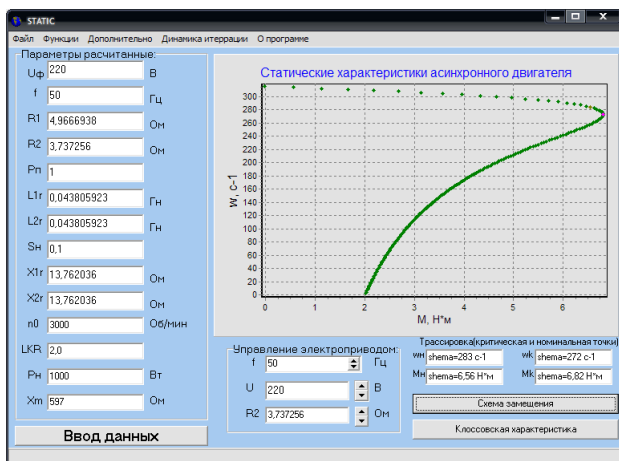


а)

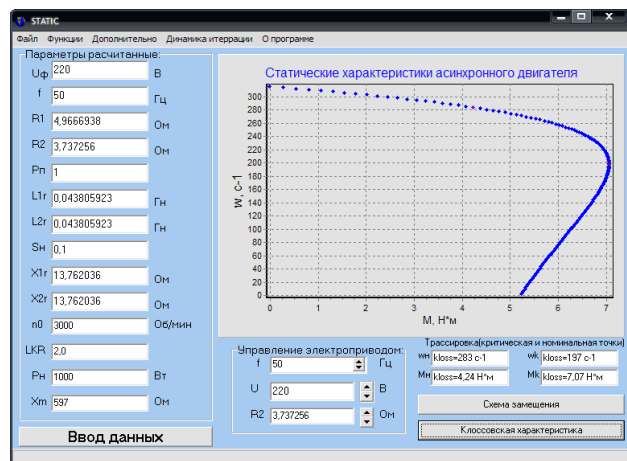


б)

Рисунок 1 – Программа DVIGATEL



а)



б)

Рисунок 2 – Программа STATIC

Для специально отобранной для этой цели группы из 26 двигателей серии 4А и АИР (с частотами вращения в пределах от 3000 до 750 об/мин в диапазоне мощностей от 1 до 30 кВт) были определены соответствующие значения  $M_{п}$ ,  $M_{к}$ ,  $M_{н}$  через параметры схемы замещения из уравнения механической характеристики, и сопос-

тавлены с такими же величинами моментов, найденных по формуле Клосса, а также по паспортным данным. Полученные результаты в виде зависимостей  $M(P)$  для номинального, пускового и критического моментов соответственно приведены на рисунках 3, 4, 5.

На рисунке 3 представлены номинальные моменты в относительных единицах, найденные с использованием программы DVIGATEL, STATIS, формулы Клосса и по паспортным данным. На рисунке 4 представлены пусковые моменты в относительных единицах соответственно. На рисунке 5 представлены критические моменты в относительных единицах соответственно.

Анализ полученных зависимостей показал:

- во всем диапазоне мощностей, для всех характерных точек (пусковой, критической и номинальной) полученные результаты моментов с использованием параметров схемы замещения, найденных итерационным методом дают практически полное совпадение с соответствующими значениями моментов, определенных по паспортным данным.

- отклонение разбросов значений соответствующих моментов от паспортных величин найденных с использованием формулы Клосса, составляет не более 20 – 30 %.

- разброс значений соответствующих моментов определенных с использованием параметров схемы замещения АД, найденных на основе методик [2,3,4] находится в диапазоне от 70 – 130 % для номинальной паспортной скорости, что свидетельствует о более высокой жесткости получаемых статических механических характеристик и, наоборот – в области пусковых значений моментов, получаемые величины  $M_p$  примерно в 2 раза меньше реальных (паспортных) значений пускового момента.

- в области значений критического момента подобные методики дают разброс получаемых расчетных значений момента в широких пределах от -20 до +20 %.

Таким образом, как показывают выполненные исследования и анализ их результатов, для получения более точных статических механических характеристик, при определении параметров однофазной эквивалентной схемы замещения АД, следует пользоваться методикой последовательных итераций, которая более точно отображает статические механические характеристики АД в области характерных точек.

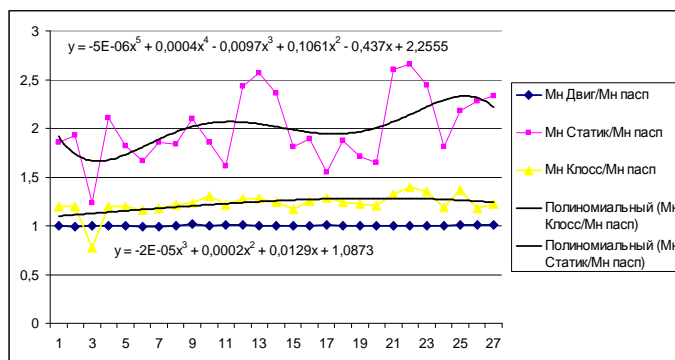


Рисунок 3 – Номинальные моменты двигателей

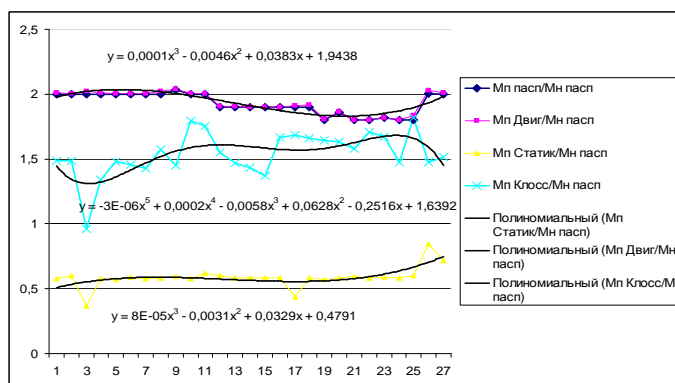


Рисунок 4 – Пусковые моменты двигателя

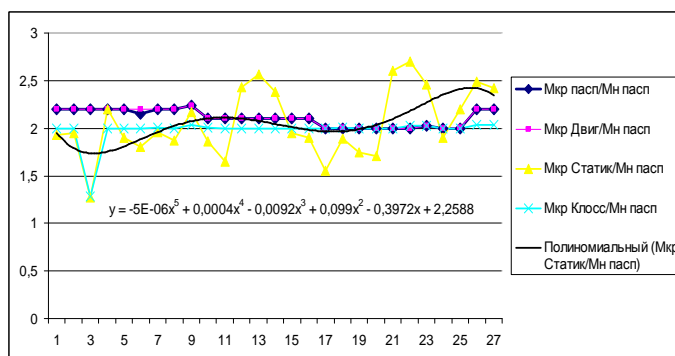


Рисунок 5 – Критические моменты двигателя

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М.В. Загирняк, Б.И. Невзлин Электрические машины Ч. 3. Асинхронные машины: Учебное пособие.-К ИСДО.:1996.-196с.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. Учебн. пособие –СПб.: Корона Принт, 2001. – 320 с., ил.
3. Колб Ант.А, Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник.-Д., Національний гірничий університет, 2006.-511 с.
4. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. – М. ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
5. В.О.Квашнин Методика аналитического определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя// Вісник: Східноукраїнського національного університету: Науковий журнал: Луганськ-2000: Випуск №8(30).-с.54-59.
6. В.О.Квашнин Методика аналитического определения характеристик асинхронного двигателя//Проблемы создания новых машин и технологий: сборник научных трудов: Кременчугский государственный политехнический университет: КГПИ.-2000.-Вып.-1.-№8.-с.143-145.