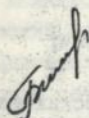


НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи

БИБИК Елена Васильевна



ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ПЕРЕМЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ НАГРУЗКИ

Специальность 05.09.01 - электрические машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев-1996



00754286 (W)

Диссертацией является р
Работа выполнена в Инст
ЛНБ України, г. Киев

Научный руководитель - доктор технических наук, с.н.с.
Кисленко
Валентин Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Красношарпа
Дмитрий Максимович;

кандидат технических наук
Лут
Николай Тихонович.

Ведущая организация - УкрНИИЭМ "Веста"
Минмалпрома, г. Киев.

Защита диссертации состоится "19" марта 1996 г.
в 14 час. на заседании специализированного ученого совета
Д 01.98.04 в Институте электродинамики НАН Украины по адресу:
252680, г. Киев-57, проспект Победы, 56, тел. 446-91-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
электродинамики НАН Украины.

Автореферат разослан "7" февраля 1996 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета

Титко А.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы и степень исследования тематики диссертации. Асинхронные двигатели малой мощности применяются во всех отраслях народного хозяйства Украины, определяют уровень электрификации и возможность реализации современных технологий. Годовая потребность хозяйства Украины составляет несколько миллионов штук. Реальными режимами работы таких двигателей являются динамические. Во время пускового и квазиустановившегося режимов нагрузка асинхронных двигателей не остается постоянной, а имеет периодический, случайный, нелинейный, пульсирующий или другой характер. Двигатели имеют различные схемы включения обмоток статора в однофазную сеть. В качестве предвключенных элементов наряду с постоянными используются нелинейные элементы (тиристоры, дроссели, позисторы). Характер нагрузки, с одной стороны, и нелинейность предвключенных элементов, с другой, оказывают существенное влияние на протекание переходных процессов, что сказывается на эксплуатационных показателях электрических машин.

Эти особенности определяют актуальность исследований динамических режимов работы асинхронных двигателей. Решение задач анализа пускового и квазиустановившегося режимов, коммутации предвключенных элементов, учета нагрузки является важным для разработки рекомендаций по формированию рациональных режимов работы, выбору типа двигателя и пуско-защитной аппаратуры.

Интегро-дифференциальная система уравнений, описывающая переходные процессы асинхронных двигателей с предвключенными элементами в цепи статора с учетом переменной нагрузки на валу, является нелинейной. Для ее решения могут быть эффективно использованы развивающиеся в последнее время численно-аналитические методы. Одним из них является метод дифференциальных преобразований, разработанный Г.Е. Луховым и зарекомендовавший себя для класса нелинейных задач. Автором предложено использование этого метода для исследования переходных процессов в однофазных асинхронных двигателях с переменным характером нагрузки. Разработана спектральная модель, алгоритмы и программы расчетов динамических режимов на основе дифференциально-тейлоровских (ДТ) преобразований. Для исследования динамических режимов асинхронных двигателей перспективно использование моделей, которые позволяют легко переходить от анализа стати-

ческих к анализу динамических режимов. Рассмотрена математическая модель для исследования переходных процессов в полюспереключаемых асинхронных двигателях, разработанная А.А.Войтехом и А.Н.Поповичем и обобщенная с участием автора на случай расчета однофазных асинхронных двигателей с позисторным пуском и переменной нагрузкой на валу.

Научно-исследовательская работа выполнялась в Институте электродинамики НАН Украины с 1986 года по темам "Статор", "Статор-2П", "Статор-3П", "Электромашинa", "Электромашинa-2", "Электромашинa-3"; в соответствии с республиканской программой № РН.14.01.11, шифр "Ресурс", а также в рамках программы "Новые электрические машины переменного тока многоцелевого назначения на основе и для реализации ресурсосберегающих технологий" ГКНТ Украины (№ 5.51.06/203-92, шифр "Перетворювач").

Объектом исследования являются асинхронные двигатели малой мощности с переменным характером нагрузки.

Цель и основные задачи научного исследования. Целью работы является разработка (в том числе с применением метода ДТ-преобразований) математических моделей для расчета переходных процессов асинхронных двигателей малой мощности с нелинейными предвключенными элементами в цепи статора, переменной нагрузкой на валу и разработка рекомендаций по повышению технико-экономических показателей данных двигателей на основе исследования динамических режимов.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- анализа и выбора методов расчета;
- построения математических моделей, ориентированных на получение решений в численном и численно-аналитическом виде;
- разработки спектральной модели, алгоритмов и программ расчета для исследования переходных процессов в асинхронных двигателях с двух- и трехфазными обмотками с предвключенными (фазосдвигающими) элементами в цепи статора и переменной нагрузкой на валу с использованием метода ДТ-преобразований;
- разработки математической модели, алгоритмов и программ для исследования динамических режимов двигателей с позисторным пуском;
- учета момента сопротивления;
- исследования переходных процессов асинхронных двигателей на основе ДТ-алгоритма;

- исследования динамических режимов конкретных электроприводов двигателей: стиральной машины СМ-2Б, ротационного компрессора, электронасоса типа БЦ-1.2-20.

Методы исследования. В работе используются методы теории электромеханического преобразования энергии, ДТ-преобразований, планирования эксперимента, теории матриц. Решение системы уравнений электрического и механического равновесия проведено на ЦВМ и ЭЕМ IBM PC/AT с помощью методов Рунге-Кутты и ДТ-преобразований.

Научная новизна. В данной диссертационной работе

- впервые разработаны спектральные модели, алгоритмы и программы расчетов для исследования переходных процессов асинхронных двигателей с двух- и трехфазными распределенными обмотками с предвключенными (фазосдвигающими) элементами с цепи статора и переменной нагрузкой на валу на основе ДТ-преобразований;

- разработана математическая модель для исследования динамических режимов асинхронных двигателей с позисторным пуском и переменным характером нагрузки;

- впервые предложена методика определения параметров и математическая модель позистора для исследования переходных процессов в асинхронных двигателях с позисторным пуском;

- обоснована эффективность применения ДТ-алгоритма для исследования динамических режимов асинхронных двигателей с различными схемами включения.

Теоретическая и практическая ценность результатов работы заключается в следующем:

- показана принципиальная возможность использования метода ДТ-преобразований для расчета динамических режимов работы асинхронных двигателей с предвключенными элементами в цепи статора и переменным характером нагрузки; даны рекомендации по выбору шага интегрирования и числа дискрет, обеспечивающих заданную точность на основе метода ДТ-преобразований, проведено сравнение предложенного метода с методом Рунге-Кутты 4-го порядка; предложена математическая модель позистора с учетом изменения его параметров, алгоритмы и программы для расчета динамических режимов асинхронных двигателей с позисторным пуском; исследованы динамические режимы двигателя ротационного компрессора, двигателя-электронасоса; предложена рациональная схема обмотки для двигателя стиральной машины "Маричка" с учетом результатов исследований динамических режимов.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку новых научных результатов, которые выносятся на защиту:

- спектральная модель, алгоритмы, программы и рекомендации для расчета переходных процессов в асинхронных двигателях;
- математическая модель и методика расчета для исследования динамических режимов однофазных асинхронных двигателей с позисторным пуском и переменным характером нагрузки;
- рекомендации по исследованию динамических режимов асинхронных двигателей с позисторным пуском и учетом характера нагрузки;
- практические рекомендации по разработке асинхронных двигателей с учетом результатов исследования динамических режимов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы внедрены в разработку методик, алгоритмов и комплекса программ математического обеспечения для исследования динамических режимов работы асинхронных двигателей малой мощности; разработке двигателя ротационного компрессора; разработке двигателя для привода стиральной машины "Маричка"; в исследовании двигателя электронасоса типа ЕЦ-1.2-20. Работы выполнены по договорам с УкрНИИЭМ "Веста", г.Киев; Ужгородским электротехническим заводом; СКБ АО "Укрэлектромаш", г.Харьков.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Республ.науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов "Электромеханические преобразователи энергии" (г.Киев, 1984 г., сентябрь); конф. молодых ученых и специалистов ВНИЭКИЗМП (г.Киев, 1984 г., ноябрь); IV, V, VI Всесоюз.науч.-техн.конференциях "Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов" (г.Днепропетровск, 1985 г., сентябрь; г.Лаланга, 1988 г., сентябрь; г.Бишкек, 1991 г., октябрь); IV школе-семинаре "Дифференциальные преобразования и их приложения" (г.Киев, 1989 г., май); Всесоюз.науч.-техн.конф., посвященной 100-летию разработки асинхронной машины "Современные проблемы электромеханики" (г.Москва, 1989 г., декабрь); семинаре "Совершенствование судовых и автономных электромеханических систем" (г.Севастополь, 1990 г., октябрь); IV науч.-техн.конф. "Проблемы нелинейной электротехники" (г.Киев, 1992 г., сентябрь); I-ой Междунар.науч.-техн.конф. по электромеханике и электротехнологии (г.Суздаль, 1994 г., сентябрь); I-ой Междунар.науч.-техн.конф. "Математическое моделирование в электротехнике и электроэнергетике" (г.Львов, 1995 г., сентябрь).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 5 статьях, I препринте и 8 тезисах докладов. Практические результаты приведены в 5 научно-технических отчетах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 150 страниц основного текста, 46 рисунков на 38 страницах, 20 таблиц, списка литературы из 201 наименования на 22 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные научные и практические результаты, методы исследования, сведения об апробации, практическом использовании результатов и структуре диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор литературы по методам исследования переходных процессов асинхронных двигателей с предвключенными элементами и переменной нагрузкой на валу (АДПН), рассмотрены особенности переходных процессов АДПН. Выполнен анализ методов расчета и обзор математических моделей асинхронных двигателей. Вопросы исследования динамических режимов асинхронных двигателей посвящено значительное количество работ как в Украине, так и за рубежом, тем не менее ряд из них требует своей дальнейшей проработки. Выбраны методы, сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

Во второй главе проанализированы численные, аналитические, численно-аналитические методы расчета системы интегро-дифференциальных уравнений. Выбран численно-аналитический метод ДТ-преобразований. Дана характеристика метода, показана общая схема расчета, сформулированы требования ДТ-преобразований к системам интегро-дифференциальных уравнений. Представлены математическая и спектральные модели, алгоритм для расчета переходных процессов асинхронных двигателей с двух- и трехфазными обмотками с предвключенными (фазосдвигающими) элементами в цепи статора и переменной нагрузкой на валу. Автором использована математическая модель на основе теории обобщенного электромеханического преобразования энергии, разработанная И.И.Копыловым, с общепринятыми допущениями.

Система электрического и механического равновесия в осях α , β для случая постоянных значений параметров, удобная для реали-

зашии ДТ-алгоритма, представлена автором в следующем виде:

$$\left[\frac{di}{dt} \right] = [A] \cdot \left\{ [K_v] \cdot \left([U_{cenv}] + \frac{1}{C_2} [C'] \left[\int_0^t idt \right] \right) - \right. \\ \left. - ([R] + [R_2]) [i] - p\omega_r [L] [i] \right\}, \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{p}{J} \left\{ a_1 p M (a_2 I_{sp} i_{r\alpha} - I_{s\alpha} i_{rp}) - M_c \right\},$$

где $[U_{cenv}]$, $[i]$ - матрица преобразованных напряжений сети и токов; $[R]$ - матрица сопротивлений; $[A]$, $[L]$ - матрицы индуктивностей; C_2 , R_2 - предвключенные емкость и сопротивление, ω_r - угловая частота вращения ротора, M - взаимоиנדуктивность; J - момент инерции; p - число пар полюсов; $[K_v] = [K_s] [A_s]$, $[C'] = [K_D] [A_s]$; $[K_s]$ - матрица включения; $[A_s]$ - матрица преобразования; $[K_D]$ - матрица связи между напряжением на предвключенных элементах и фазными токами статора; $a_1 = \frac{3}{2}$, $a_2 = 1$ - для трехфазной обмотки; $a_1 = 1$, $a_2 = K_T$ - для двухфазной обмотки, K_T - коэффициент трансформации.

Заменив функции Т-спектрами, а действия над ними - Т-операциями, математическая модель преобразуется в спектральную, которая представляет систему рекуррентных алгебраических соотношений относительно искоемых переменных:

$$\left. \begin{aligned} [I^i(k+1)] &= \frac{H}{K+1} [A]^{-1} \left\{ [F^i(k)] - [B] [I^i(k)] + [C] [I^i(k-1)] \right\}, \\ \omega_r^i(k+1) &= \frac{Hp}{J(k+1)} \left\{ a_1 p M \left(a_2 \sum_{l=0}^{k-1} I_{sp}^i(k-l) I_{r\alpha}^i(l) - \right. \right. \\ &\left. \left. - \sum_{l=0}^{k-1} I_{sa}^i(k-l) I_{rp}^i(l) \right) - M_c^i(k) \right\}, \\ \Omega^i(k+1) &= \frac{H}{K+1} \omega_r^i(k). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$[F^i(k)] = [K_v] \cdot [U_{cenv}^i(k)] - p [L] \sum_{l=0}^{k-1} [I^i(k-l)] \omega_r^i(l)$$

$$[F^i(k)] = \begin{bmatrix} k_{w1} U_m \frac{(\omega H)^k}{k!} \cos\left(i\omega H + \frac{\pi k}{2}\right) \\ k_{w2} U_m \frac{(\omega H)^k}{k!} \sin\left(i\omega H + \frac{\pi k}{2}\right) \\ \rho M \left(\sum_{l=0}^{k-1} I_{sp}^i(k-l) W_r^i(l) \right) - \rho L_{r1} \left(\sum_{l=0}^{k-1} I_{rp}^i(k-l) W_r^i(l) \right) \\ \rho M \left(\sum_{l=0}^{k-1} I_{sa}^i(k-l) W_r^i(l) \right) + \rho L_{s1} \left(\sum_{l=0}^{k-1} I_{ra}^i(k-l) W_r^i(l) \right) \end{bmatrix}$$

$$[B] = [R] + [R_s], [C] = \frac{1}{C_s} [K_w] [C']$$

В случае отсутствия предвключенных элементов $[C] = [0], [K_w] = [1]$.

При постоянном моменте сопротивления $M_c^i(k) = M_{co}^i \delta(k)$. В случае переменного момента сопротивления удобно использовать разложение в ряд Фурье, тогда

$$M_c^i(k) = M_{co}^i \delta(k) + \sum_{n=1}^m \left[\delta_n^i \sin\left(i\omega_{cp} H + \frac{\pi k}{2}\right) + \alpha_n^i \cos\left(i\omega_{cp} H + \frac{\pi k}{2}\right) \right], \text{ где } i - \text{ номер шага } H.$$

Система уравнений (2) дополняется начальными условиями $[I_0]$, ω_{ro} , M_{co} , γ_0 , которые определяют нулевые дискеты $[I(0)] = [I_0]$, $W_r(0) = \omega_{ro}$, $M_c(0) = M_{co}$, $\Omega(0) = \gamma_0$. Использован явный метод приспособивания. Значения искомых переменных определяются на каждом шаге:

$$\begin{aligned} [i(t_{i+1})] &= \left[\sum_{k=0}^{k=kt} I^i(k) \right], \omega_r(t_{i+1}) = \sum_{k=0}^{k=kt} W_r^i(k), \\ M_c^i(t_{i+1}) &= \sum_{k=0}^{k=kt} M_c^i(k), \gamma(t_{i+1}) = \sum_{k=0}^{k=kt} \Omega(k). \end{aligned} \quad (4)$$

Точность расчетов зависит от числа учитываемых дискрет kt .

Программа расчетов на основе ДТ-алгоритма реализована на языке ФОРТРАН для ЕС 1061. Проведено сравнение методов ДТ-преобразований и Рунге-Кутта 4 порядка на примере расчета режима пуска

двигателя 4А132МУЗ с целью получения рекомендаций по выбору N и K , обеспечивающих на конкретном примере заданную точность. Сделаны выводы: максимальное число дискрет равно 5; минимальные затраты получены при $N = 2 \cdot 10^{-3}c$ и $K = 5$, при этом точность расчета соответствует счету методом Рунге-Кутты четвертого порядка с шагом $H = 10^{-3}c$; выигрыш по времени счета методом ДТ-преобразований наблюдается при увеличении N .

Разработанные спектральная модель и программа расширяют возможности исследования переходных процессов для различных схем включения асинхронных двигателей в однофазную сеть. Особенности и преимущества ДТ-алгоритма сказываются как на этапе формирования, так и на этапе решения системы уравнений: система нелинейных уравнений с помощью соответствующих правил и формул преобразуется в систему рекуррентных алгебраических уравнений, удобную для реализации программы на вычислительной машине; этап перевода интегро-дифференциальных уравнений в область дифференциальных спектров исключает повышение порядка системы уравнений; нет необходимости представлять исходную систему уравнений в форме Коши; в любой точке можно получить решение в аналитическом виде, представленном отрезком степенного ряда Тейлора: $x(t) = X(0) + X(1)\frac{t}{H} + \dots + X(k)\left(\frac{t}{H}\right)^k$; алгоритм автоматического выбора шага и числа дискрет позволяет получить требуемый порядок интегрирования системы уравнений с заданной точностью без изменения программы расчета; в процессе вычислений легко определить точность решения используя уравнения связи.

В третьей главе представлена математическая модель для исследования динамических режимов работы однофазных асинхронных двигателей с позисторным пуском и переменной нагрузкой на валу. В качестве базовой взята математическая модель, разработанная А.А.Войтехом и А.Н.Лоповичем.

С целью расширения области применения этой модели на расчет динамических режимов однофазных асинхронных двигателей автором разработана математическая модель позистора; предложена методика определения его параметров; проведен учет зависимостей моментов сопротивления от факторов, влияющих на характер нагрузки; представлен алгоритм, позволяющий учитывать нелинейный характер сопротивления позистора при расчете динамических режимов однофазных двигателей. Сопротивление позистора обусловлено тепловым и вариосторным эффектом:

$$R_n = f(\theta_n, U_n), \quad (5)$$

где θ_n , U_n - температура и напряжение позистора.

Математическая модель позистора составлена с учетом изменения его сопротивления при нагреве $R_n = f(\theta_n)$ (рис. I) и динамической токовой характеристики $i_n = f(t)$, полученных экспериментальным путем. Количество тепла, идущее на нагрев тела позистора W_n , считаем эквивалентом его температуры. Зависимость $R_n = f(W_n)$ определена исходя из уравнения теплового баланса

$$W_n = \int_0^t R_n i_n^2 dt - H_p \int_0^t (\theta_n - \theta_0) dt, \quad (6)$$

H_p - коэффициент рассеяния, θ_0 - температура окружающей среды, i_n - ток позистора.

Методика определения параметров позисторов строится на учете зависимости (5). Для этого использованы осциллограммы тока позистора типа ТРП-II $R_{nx} = 20,6 \text{ Ом}$ для напряжений $U_n = 50, 100, 150 \text{ В}$ и температурная характеристика

$R_n = f(\theta_n)$ (R_{nx} - холодное сопротивление позистора при $\theta_0 = 20-25^\circ\text{C}$). Затем рассчитывалась серия зависимостей $R_n = f(W_n)$ при $U_n = \text{var}$. Для получения аналитического выражения $R_n = f(W_n, U_n)$ по методу планирования эксперимента использован ортогональный план второго порядка.

В результате расчетов получен полином:

$$\lg R_n = 1,612 + 0,4 W_n + 0,2017 U_n + 0,122 W_n^2 - 0,071 U_n^2 + 0,1923 W_n U_n, \quad (7)$$

Проведена оценка точности модели, погрешность не превышает 10%. Аналитическое выражение (7) учитывает зависимость сопротивления позистора не только от температуры, но и от напряжения, что позволяет использовать его при расчетах переходных процессов асинхронных двигателей с позисторным пуском.

Автором проведен учет зависимости момента сопротивления двигателя ротационного компрессора от угла поворота ротора γ , частоты вращения n_r и давления в отводящем патрубке пневмосистемы.

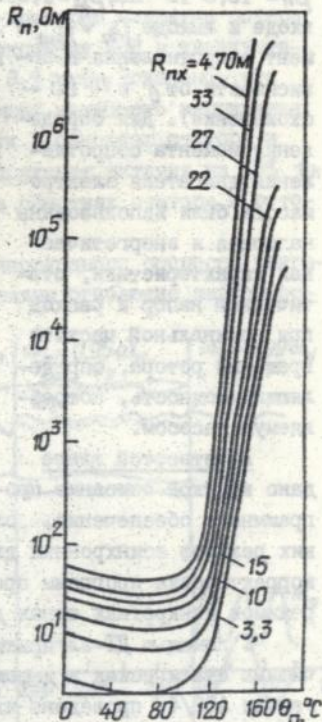


Рис. I

С учетом двух групп зависимостей $M_c = f(\gamma)$ при $n_r = var$ для номинального давления, соответствующего установившемуся режиму работы $P_H = 13,6 \cdot 10^5$ Па, $P_{вх} = 1,513 \cdot 10^5$ Па и режима пуска при давлениях на входе и выходе $P_{вх} = P_{вых} = 1,513 \cdot 10^5$ Па (рис. 2) аппроксимирован момент сопротивления в зависимости от γ и n_r (S — скольжение). Для определения момента сопротивления двигателя электронасоса были использованы напорная и энергетическая характеристики, статический напор и расход при номинальной частоте вращения ротора, определяющий мощность, потребляемую насосом.

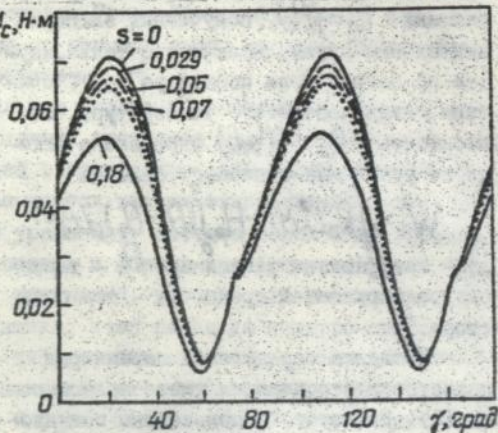


Рис. 2

В четвертой главе дано краткое описание программного обеспечения, созданного автором для расчетов динамических режимов асинхронных двигателей малой мощности. Апробация и корректировка программ проведена в процессе расчета динамических режимов конкретных типов двигателей.

С помощью ДТ-алгоритма в качестве контрольного примера рассчитаны статическая и динамическая механическая характеристики двигателя А62/4, проведено их сравнение с экспериментальными и расчетными данными, известными в литературе. Результаты расчета получены с погрешностью до 10%. Исследованы режимы пуска асинхронных двигателей с различными схемами включения: с трехфазными обмотками, соединенными в звезду (двигатель 4АА-56А4), с трехфазными обмотками и рабочим конденсатором (двигатель КДТ20-2/56Р) и схемы конденсаторного двигателя с двухфазными параллельно включенными обмотками для привода компрессора медицинского назначения.

Автором рассмотрена сложная нелинейная задача исследования особенностей переходных процессов конденсаторного двигателя ($C_p = 3,9$ мкФ) ротационного компрессора с позисторным пуском ($R_n = 22$ Ом).

В результате расчета квазиустановившегося режима выявлены амплитуды пульсаций частоты вращения ротора Δn_r и электромагнитного

момента ΔM_2 . Определено влияние величины рабочей емкости на их амплитуду. С увеличением C_p с 2,5 мкФ до 5 мкФ ΔM_2 снижаются на 78,8%, ΔI_r — на 0,66%. Установлено, что критерий минимума потерь энергии в обмотках статора и ротора и максимуму КПД в квазиустановившемся режиме соответствует емкость 3,9 мкФ. Показано, что время пуска существенно зависит от величины питающего напряжения: при $U = 220$ В $t_p = 0,43$ с, потери энергии в обмотках статора и ротора $W_M = 38,8$ Дж. При уменьшении напряжения питания на 15% t_p увеличивается в 2 раза, потери энергии в обмотках статора и ротора — в 1,5 раза.

Представлена качественная картина переходного процесса двигателя с позисторным пуском. На рис. 3 показаны отгибающие зависимости:

тока сети $i_c = f(t)$, $M_2 = f(t)$, $\omega_r = f(t)$ для трех интервалов времени, соответствующих $\omega_r = 0,9\omega_n$, $\omega_r = 0,95\omega_n$, $\omega_r = 0,99\omega_n$ при $R_n = \text{const}$ и $R_n = \text{var}$,

(Расчеты для $R_n = f(\theta_n)$ обозначены $R_n = \text{var}$). Расхождение в результатах расчетов проявляется на интервале, приближаемся к установившемуся. В предположении $R_n = \text{const}$

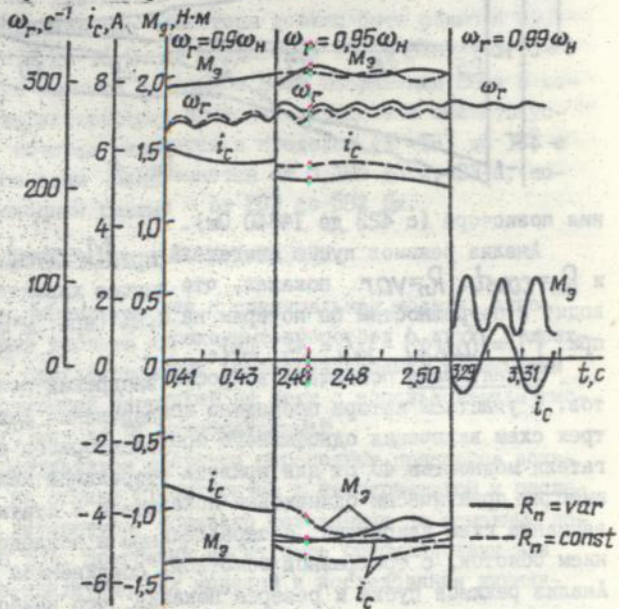


Рис. 3

двигатель не достигает $0,95\omega_n$, а разгоняется лишь до $0,94\omega_n$.

Выполнены расчеты пуска двигателя при различных начальных значениях момента сопротивления. Двигатель запускается ($\omega_r = 0,95\omega_n$) при $R_n = 44,7-46,6$ Ом, при этом токи значительно превышают номинальные: i_c — в 4,5-5,15 раз, I_n — в 216-258 раз. На установившийся режим по токам двигатель выходит по истечении 2,91-3,28 с.

На рис. 4 показаны зависимости $R_n = f(t)$, $i_c = f(t)$, $M_g = f(t)$ на интервале 2,5–3,3 с, включающем отрезок резкого роста сопротивле-

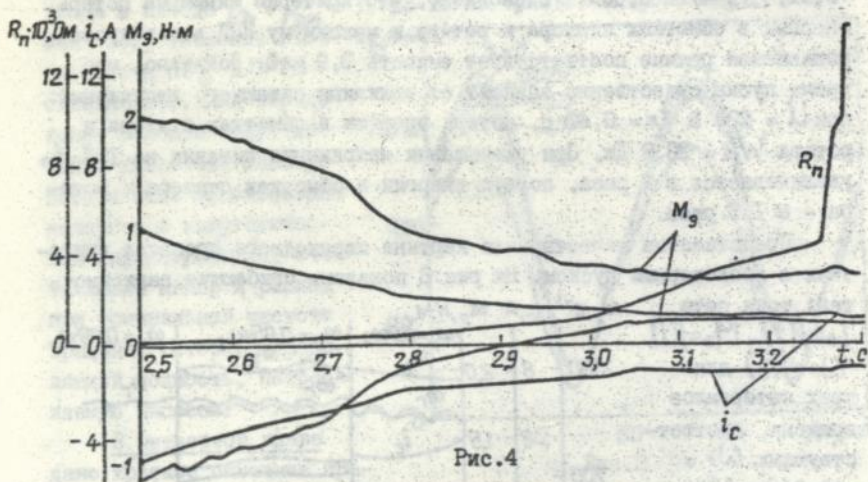


Рис. 4

ния позистора (с 423 до 14840 Ом).

Анализ режимов пуска двигателя при $M_c = const$, $M_c = f(\omega, \gamma)$ и $R_n = const$, $R_n = var$ показал, что учет характера нагрузки приводит к погрешностям по потерям на 8,2% (при $M_c = const - W_M = 392$ Дж, при $M_c = f(\omega, \gamma) - W_M = 427$ Дж).

Лятая глава посвящена вопросам внедрения полученных результатов. С участием автора проведено исследование динамических режимов трех схем включения однофазного конденсаторного асинхронного двигателя мощностью 40 Вт для привода стиральной машины "Маричка", имеющих практически одинаковые показатели в статике. Выбраны три варианта схем двигателя: с параллельным и последовательным включением обмоток, с трехфазной обмоткой, соединенной в треугольник. Анализ режимов пуска и реверса показал, что наиболее предпочтительной по критерию минимума потерь является схема с последовательным включением обмоток. Одноступенчатый реверс для двигателя с трехфазной обмоткой невозможен из-за наличия отрицательного электромагнитного момента $M_z = -0,141$ Н·м. Для осуществления реверса в этом случае необходимо делать выдержку времени 2,87 с между отключением двигателя от сети и подключением его для вращения в противоположном направлении.

Проведен анализ пусковых режимов асинхронного двигателя электронасоса ЭЦ-1.2-20 мощностью 570 Вт с последовательной схемой включения двухфазной обмотки, одна из которых шунтируется позистором $R_n = 4 \text{ Ом}$. На примере исследования режимов пуска двигателя показана необходимость строгого учета момента сопротивления нагрузочного механизма. Для этого был рассчитан пуск с линейной, квадратичной и реальной нагрузочной характеристиками. Согласно расчетам при реальном M_c (статический напор $M_{ст} = 5,7 \text{ м}$) $t_n = 0,171 \text{ с}$, при этом потери энергии в обмотках статора и ротора составили 170 Дж. При расчете с линейной и квадратичной зависимостями момента сопротивления t_n равно 0,193 с и 0,181 с, а потери 223 Дж соответственно.

Установлено, что для данного типа двигателя с учетом потерь и времени пуска сопротивление позистора должно быть равно 4 Ом. При увеличении R_n с 4 до 16 Ом t_n возрастает в 1,9 раза, W_m - в 1,5 раза. Исследуя влияние начальной фазы напряжения сети в момент включения на характеристики привода, определена область устойчивого запуска, которая находится в пределах от -18° до 18° и от 162° до 198° . При этом t_n изменяется от 0,185 до 0,433 с, потери энергии в переходном режиме - от 203 до 682 Дж.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны математическая и спектральная модели, алгоритмы и программы для расчета переходных процессов с двух- и трехфазными обмотками с предвключенными (фазосдвигающими) элементами в цепи статора и переменной нагрузкой на валу с использованием численно-аналитического метода ДТ-преобразований.

2. Сравнение результатов расчетов переходных процессов асинхронных двигателей на основе ДТ-алгоритма с экспериментом и расчетами, известными в литературе, показало совпадение по основным показателям на уровне 10%. Программы могут быть рекомендованы для построения численно-аналитических моделей и исследования динамических режимов двигателей.

3. Предложена математическая модель для исследования динамических режимов однофазных асинхронных двигателей с позисторным пуском и переменным характером нагрузки. Разработаны отдельные алгоритмы и программы по учету предвключенных нелинейных элементов - позисторов и переменного характера нагрузки.

4. На основе экспериментальных исследований и метода планирования эксперимента предложена методика определения параметров позистора, учитывающая зависимость его сопротивления от температуры и приложенного напряжения.

5. В результате анализа динамических режимов по критерию минимума потерь в обмотках статора и ротора для различных схем включения двигателя стиральной машины СМ-2Б, имеющих практически одинаковые показатели в статическом режиме, выбрана рациональная схема обмотки с последовательным включением фаз.

6. Обоснована необходимость разработки математической модели позистора. Созданы алгоритм и программа расчетов. Показаны преимущества их использования для исследования переходных процессов асинхронных двигателей с позисторным пуском. На примере расчета динамических режимов двигателя ротационного компрессора установлено, что пренебрегать нелинейностью позистора можно при расчетах статического режима, режима пуска двигателя до $\omega_r = 0,9\omega_n$ и в том случае, когда двигатель разгоняется быстрее, чем происходит нагрев позистора. Неучет нелинейного характера сопротивления позистора при расчете режимов, приближающихся к квазиустановившимся, приводит к существенным ошибкам.

7. На основе анализа режимов пуска двигателя электронасоса типа ЕЦ-1.2-20 проведен выбор сопротивления позистора, обеспечивающего требуемые пусковые характеристики двигателя. Выявлена область устойчивого запуска двигателя, которая находится в пределах изменения фазы напряжения при пуске: $-18^\circ \dots 18^\circ$, $162^\circ \dots 198^\circ$.

8. С помощью разработанных алгоритмов и программ выполнены ряд расчетов динамических режимов двигателей с различными зависимостями момента сопротивления, которые позволили обосновать необходимость строгого учета момента сопротивления нагрузочного механизма. При отсутствии такого учета погрешность расчетов для двигателя ротационного компрессора возрастает на 8,2%, двигателя электронасоса на 10-18%.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Кисленко В.И., Колесникова Е.В. (Бибик Е.В.) Исследование переходных процессов в асинхронных двигателях малой мощности на основе дифференциальных преобразований // Электромеханические преобразователи энергии. - Киев: Наук.думка, 1986. - С.50-54.
2. Колесникова Е.В. (Бибик Е.В.) Использование метода дифференци-

- альных преобразований для расчета электромеханических переходных процессов асинхронного конденсаторного двигателя // Автоматиз. электробыт. машин и приборов. - Киев, 1986. - С.67-74.
3. Кисленко В.И., Семагина Э.П., Бибик Е.В. Расчет динамических процессов в электрических машинах малой мощности с использованием ДТ-алгоритма // Теория дифференциальных преобразований и ее приложения: Сб. науч. тр./НАН Украины. Ин-т проблем моделирования в энергетике. - Киев: Наук.думка, 1990. - С.132-138.
4. Кисленко В.И., Попович А.Н., Бибик Е.В. Учет влияния динамических режимов при расчете привода ротационного компрессора // Регулируемые асинхронные двигатели. - Киев: Наук.думка, 1992. - С.146-158.
5. Бибик Е.В., Войтех А.А., Кисленко В.И., Попович А.Н. Исследование динамических режимов работы асинхронных двигателей малой мощности с учетом их несимметрии, нелинейности предвключенных элементов и нагрузки // Электротехника, 1995. - № 3. - С.42-43.
6. Кисленко В.И., Бибик Е.В. Применение дифференциально-тейлоровских преобразований для расчетов переходных процессов однофазных асинхронных двигателей // Киев, 1991. - 37 с. - (Препринт/АН Украины. Ин-т электродинамики; № 697).
7. Кисленко В.И., Колесникова Е.В. (Бибик Е.В.) Расчет переходных процессов в асинхронных двигателях малой мощности с использованием дифференциальных преобразований // Тез. докл. IV Всесоюз. науч.-техн. конф. "Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов". - Днепропетровск, 1985. - Ч.1. - С.17.
8. Кисленко В.И., Семагина Э.П., Бибик Е.В. Математическая модель для расчета переходных процессов в асинхронных двигателях малой мощности на основе метода дифференциальных преобразований // Тез. докл. V Всесоюз. науч.-техн. конф. "Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов", Каунас, 1988. - С.148.
9. Кисленко В.И., Семагина Э.П., Бибик Е.В. Математическая модель с использованием ДТ-алгоритма и программа расчетов для исследования электромеханических переходных процессов в однофазных асинхронных двигателях // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "100-летию изобретения асинхронного двигателя". - М.: МЭИ, 1989. - Ч.1. - С.250-251.
10. Войтех А.А., Кисленко В.И., Попович А.Н., Бибик Е.В., Дручок В.В. Выбор схемы включения однофазных асинхронных двигателей с учетом особенностей динамических режимов работы // Тез. докл. семинара

"Совершенствование судовых и автономных электромеханических систем" (4-6 октября 1990 г.). - Севастополь: СВВМУ, 1990. - С.29.

II. Кисленко В.И., Попович А.Н., Бибики Е.В. Особенности динамических режимов двигателя ротационного компрессора // Тез. докл. VI Всесоюз. науч.-техн. конф. "Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов". - Бишкек, 1991. - С.23.

II. Бибики Е.В., Кисленко В.И., Попович А.Н. Математическая модель позистора для расчета переходных процессов в асинхронных двигателях малой мощности // Тез. докл. IV науч.-техн. конф. "Проблемы нелинейной электротехники". - Киев: ИПМЭ АН Украины, 1992. - С.123.

III. Бибики Е.В., Войтех А.А., Кисленко В.И., Попович А.Н. Исследование динамических режимов работы асинхронных двигателей малой мощности с учетом их несимметрии, нелинейности предвключенных элементов и момента сопротивления // Тез. докл. I-ой Междунар. конф. по электромеханике и электротехнологии. МКЭЭ-94. - Суздаль, 1994. - Ч.2. - С.185.

IV. О.Бібік, В.Кисленко, О.Попович, Г.Солдатова. Моделювання перехідних процесів асинхронних двигунів з позисторним пуском // Тез. доп. I-ої Міжнародної наук.-техн. конф. "Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці". - Львів, вересень, 1995. - С.102-103.

Личный вклад. В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежат:

- разработка методик, моделей, алгоритмов и программ; расчетные исследования, анализ результатов, выводы (I-9, II-IV);
- постановка эксперимента, расчетные исследования (10, 14).

АНОТАЦІЯ

Бібік О.В. Динамічні режими асинхронних двигунів малої потужності із змінним характером навантаження.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.01 - електричні машини, Інститут електродинаміки НАН України, Київ, 1996.

Захищається 14 наукових праць і доповідей, які містять результати теоретичних, розрахункових і експериментальних досліджень в галузі динаміки асинхронних двигунів малої потужності із змінним характером навантаження. Розроблені спектральна модель на основі метода ДТ-перетворень, математична модель позистора, математична модель для дослідження динамічних режимів асинхронних двигунів з позисторним пуском. Досліджені динамічні режими електроприводів пральної машини, ротаційного компресора, електронасоса. Результати роботи впроваджені в розробці алгоритмів, методик розрахунків, комплексу програм математичного забезпечення, розробках двигунів з урахуванням динамічних режимів.

ANNOTATION

Bibik E.V. Dynamic regimes of small induction motors with alternating load.

Thesis for the candidate of technical sciences on speciality 05.09.01 - electric machines, Institute of Electrodynamics, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine, 1996.

14 scientific works are submitted, which contain theoretical, calculational, experimental investigations in dynamic region of small induction motors with alternating load. The spectrum model based on differential Taylor transforms, mathematical model of pozistor, mathematical model for investigation dynamic regimes of induction motors with pozistor start have been developed. Dynamic regimes of electric drives for washing machine, rotary compressor, pump-motor were analyzed. Results of work were used in developments of algorithms, procedures, complex of software programs, developments of motors in account of dynamics.

Ключові слова: асинхронний двигун, динамічні режими, математична модель, спектральна модель, позистор, момент опору, нелінійність.

117010

11. ...
12. ...
13. ...
14. ...

Подписано к печати 30.01.96г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ. лист. 1,0 Уч.-изд. лист 1,0
Тираж 100. Заказ 47.

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.