

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

На правах рукописи

АКИНИН Константин Павлович

РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В СИСТЕМЕ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С ИНДУКТИВНО-
ЕМКОСТНЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ ТОКА
В РОТОРНОЙ ЦЕПИ

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы
и системы, включая их
управление и регулирование

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев – 1993

621.3-1

Работа выполнена в Инст

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00339950 (Т)

Научный руководитель

Официальные оппоненты

- заведующий лабораторией,
доктор технических наук
А.В.НОВОСЕЛЬЦЕВ

- кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Г.А.КОВАЛЕНКО

Ведущая организация

- НПО "Киевский институт автоматики"
г.Киев

Защита диссертации состоится "18" ноября 1993 г.
в _____ часов на заседании специализированного совета К 016.63.01
в Институте проблем энергосбережения АН Украины.

Адрес: 252070 Киев, ул. Покровская, 11

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "8" ноября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

И.В.РАШИН

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Эффективность преобразования электрической энергии в механическую средствами автоматизированного электропривода часто определяется свойствами силового источника, питающего электрический двигатель. При этом, вид вольтамперной характеристики источника питания может существенно влиять на энергетические, эксплуатационные, массогабаритные показатели электропривода, а также сложность систем управления.

Распространение терминов "источник напряжения" и "источник тока" из теоретической электротехники на теорию электропривода позволило определить свойства разомкнутых систем электроприводов, двигатели которых питаются от указанных источников, терминами "источник скорости" и "источник момента". Действительно, особенностью питания двигателя постоянного или переменного тока от источника напряжения является свойство саморегулирования момента двигателя благодаря действию внутренней обратной связи по ЭДС якоря или ротора. Эта связь обеспечивает стабилизацию частоты вращения. При питании якоря или ротора двигателя от источника тока обратная связь по ЭДС разрывается и исключается ее влияние на момент. Таким образом, момент однозначно определяется током источника тока и магнитным потоком двигателя.

Термин "источник момента" обязан своим появлением предложенной в 60-х годах в ИЭД АН Украины системы электропривода источник тока - двигатель постоянного тока (ИТ-Д), положившей начало новому направлению в регулируемом электроприводе постоянного тока.

Свойства "источника момента" в электроприводе переменного тока стало возможным реализовать в схеме электропривода по системе источник тока - асинхронный двигатель с фазным ротором (ИТ-АД), в которой статор двигателя питается от системы неизменных напряжений, а ротор, посредством двух неуправляемых выпрямителей, от системы неизменных токов.

Успешное внедрение электропривода со свойствами "источника момента" стало возможным благодаря использованию в качестве источника тока индуктивно-емкостного преобразователя (ИЭП) системы неизменных напряжений в систему неизменных токов, принцип действия которого основан на явлении резонанса напряжений в контурах, содержащих индуктивности и емкости.

По вопросам исследования и разработки электропривода по сис-

теме ИЕП-АД имеется ряд научных работ и публикаций, защищены диссертации. В то же время в электроприводе по системе ИЕП-АД не были исчерпаны все возможности для регулирования момента, а именно: регулирование момента изменением угла между векторами ЭДС и тока ротора, амплитуда которого стабилизирована с помощью ИЕП. Такое регулирование позволяет существенно расширить функциональные возможности системы ИЕП-АД и создать электропривод по типу схемы с машиной двойного питания (МДП).

Данная работа выполнялась в рамках научно-исследовательских тем "Резонанс-2" - "Исследовать гибридные токовые системы, состоящие из полупроводниковых и параметрических электромагнитных преобразователей, и разработать на их основе источники электропитания промышленных технологических установок" /Постановление Президиума АН УССР №474 от 27.12.1985 г./ и "Момент-П" - "Разработать математические модели, принципы управления асинхронной машиной и силовые структуры новых типов электроприводов с управляемым моментом, создать программно-алгоритмические средства моделирования и исследования преобразователей для таких систем" /Решение Ученого Совета ИЭД АН Украины от 27.12.1990 г., Протокол №17/.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование регулируемых асинхронных электроприводов в системе двойного питания с источником тока на базе индуктивно-емкостных преобразователей, обеспечивающих управление координатами двигателя и обладающих улучшенными технико-экономическими показателями для механизмов, требующих регулирования, ограничения и контроля момента.

Поставленная цель потребовала решения следующих основных задач:

- анализа режимов работы асинхронных двигателей в различных системах их питания, а также технических средств и способов стабилизации и регулирования момента электродвигателя в разомкнутой системе;

- разработки принципов построения, практической реализации и исследования статических и динамических характеристик электроприводов переменного тока при использовании асинхронного двигателя с фазным ротором, включенного в систему двойного питания с параметрической стабилизацией тока в роторной цепи;

- анализа индуктивно-емкостных стабилизаторов тока в динамических и установившихся режимах работы электропривода;

- разработки и исследования функциональных и структурных схем

электроприводов для стабилизации и регулирования координат асинхронного двигателя с фазным ротором;

- внедрения полученных результатов в пром. ленности при создании электроприводов промышленных установок.

Методы исследования. В работе применены аналитические и экспериментальные методы исследования, а также методы вычислительной математики. Рассмотрение структур электроприводов ведется на основе теории электропривода, теории электрических машин, методов анализа линейных электрических цепей и методов математического моделирования асинхронного двигателя и электрических цепей, содержащих нелинейные элементы. Основные результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальными данными.

Автор защищает следующие основные научные и практические положения работы: 1. Структуры и принципы построения однодвигательных и многодвигательных электроприводов на базе асинхронного двигателя с управляемым преобразователем в роторе и индуктивно-емкостного стабилизатора тока. 2. Результаты теоретических и экспериментальных исследований электромеханических процессов и энергетических режимов асинхронного электропривода в системе двойного питания, обладающего свойством регу. тругого "источника момента" в разомкнутой системе. 3. Математическую модель асинхронного двигателя с управляемым преоб.азователем, коммутирующим в цепь ротора двигателя ток с неизменной амплитудой и регулируемым углом относительно ЭДС ротора. 4. Результаты анализа динамических и установившихся режимов работы индуктивно-емкостных стабилизаторов тока, включенных в систему асинхронного электропривода. 5. Структуры и принципы построения систем правления координатами асинхронного двигателя с фазным ротором.

Научная новизна: 1. Впервые предложены принципы построения однодвигательных и многодвигательных регулируемых асинхронных электроприводов в системе двойного питания с источником тока в роторной цепи и разработаны новые схемы, реализующие эти принципы. 2. Созданы математические модели и проведены исследования переходных и установившихся процессов в электроприводе на базе асинхронного двигателя с управляемым преобразователем в роторе и ИЭП. 3. Рассмотрены особенности построения источников тока на базе ИЭП для электропривода переменного тока и проведен сравнительный анализ переходных и установившихся режимов работы таких преобразователей. 4. Предложены структуры и принципы построения систем управ-

ления координатами двигателя двойного питания со стабилизированным током в роторной цепи.

Практическая ценность. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при создании электроприводов с источниками тока в силовых цепях, которые позволяют повысить эффективность электромеханического преобразования энергии в механизмах различного технологического применения.

Внедрение результатов работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований реализованы в:

- электроприводе бурового станка. Разработка передана управлению СевУкргеологи. (г. Киев);
- электроприводе транспортного тракта линии индукционного отжига цветных металлов на заводе ОЦМ (г. Киров);
- системе из 12-ти электроприводов для цеха по производству комбикормов типа ОКЦ-50 на Ярмолинцевском комбикормовом заводе (Хмельницкая область);
- при регулируемых электроприводах типа ЭЩД-1 для шнековых дозаторов, выпускаемой с 1992 года на заводе "Автоштамп" (г. Александрия Кировоградской области).

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на IV и V Всесоюзных научно-технических конференциях "Проблемы преобразовательной техники", г. Чернигов, 1987, 1991 г.г., Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения транспорта" г. Днепропетровск, 1990 г.

Публикации. По результатам работы опубликовано 5 статей и тезисов докладов, получено 3 авторских свидетельства на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений и содержит 124 страницы основного машинописного текста, 7 таблиц, 78 рисунков.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулирована цель и перечислены задачи, возникающие при создании регулируемого электропривода в системе двойного питания с источниками тока.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса и постановке задачи исследования при разработке электропривода со стабилизиро-

ванным током в роторных обмотках двигателя. При оценке перспективности разработки такого электропривода были рассмотрены возможности регулирования координат асинхронного двигателя как с короткозамкнутым, так и с фазным роторами. Благодаря относительно простой конструкции и низкой стоимости асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором является основой для построения массовых промышленных электроприводов. Однако в тех случаях, когда требуется стабилизация магнитного потока или момента двигателя, разработка таких электроприводов может быть связана с созданием сложных систем управления. Асинхронный двигатель с индуктивно-емкостным стабилизатором тока ротора позволяет в разомкнутой системе реализовать режимы стабилизации и регулирования магнитного потока и момента, что делает его незаменимым, когда требуется осуществить стабилизацию, регулирование либо ограничение момента или усилия в рабочем органе, плавный пуск и торможение, а также работу на упор.

В работе проведен анализ существующих решений регулируемых электроприводов по системе ИЭП-А₄ с фазным ротором. Существенный недостаток таких электроприводов заключается в необходимости установки силового преобразователя для регулирования магнитного потока статора Φ или тока ротора I_2 . Мощность такого преобразователя может быть равна мощности двигателя. В тоже время, в соответствии с выражением

$$M = c_1 \Phi I_2 \cos \psi_2 \quad (1)$$

(где c_1 - постоянная двигателя) регулирование стабилизированного момента асинхронного двигателя с фазным ротором возможно посредством изменения угла ψ_2 между ЭДС и током ротора при неизменных Φ и I_2 . Реализация такой возможности достигается включением управляемого тиристорного преобразователя вместо неуправляемого мостового выпрямителя в ротор асинхронного двигателя (рис.1). Система управления (СУ) построена таким образом, чтобы каждому значению сигнала задания момента U_{3M} на входе СУ соответствовала определенная величина стабилизированного момента независимо от частоты вращения двигателя.

Электропривод с управляемым преобразователем в роторе имеет свойства электроприводов, родственных ему по способу ввода (вывода) энергии скольжения в ротор (из ротора), а именно посредством преобразователя со звеном постоянного тока, что делает его похожим на МДП с управляемыми сетевым и роторным преобразователями, а по

виду ограничений, накладываемых на параметры тока ротора, подобен системам с параметрической стабилизацией тока. Поэтому предложенный электропривод способен реализовать режимы работы, свойственные упомянутым электроприводам.

Регулирование угла ψ_2 в широком диапазоне при параметрической стабилизации амплитуды тока ротора позволяет ожидать новых функциональных возможностей от электропривода по системе ИЭП-АД. Создание такого электропривода требует поиска новых схемных решений, обеспечивающих стабилизацию и регулирование механических координат двигателя, и проведения комплекса исследований режимов его работы.

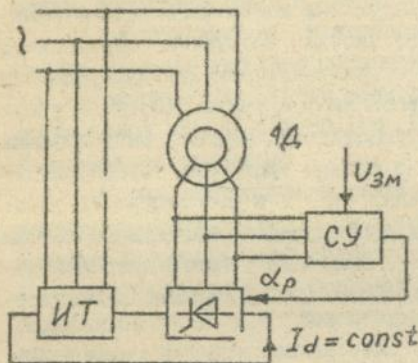


Рис. 1.

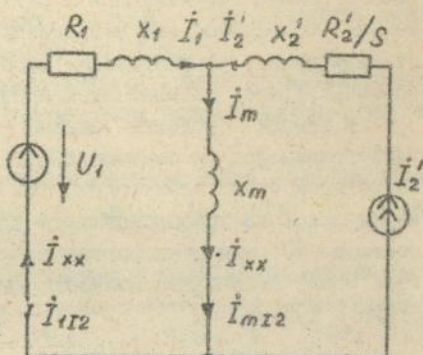


Рис. 2.

Вторая глава посвящена исследованию работы МДП при допущении идеальности источника тока и системы управления роторным преобразователем

Для упрощения анализа МДП (рис. 1) использовалась схема замещения (рис. 2), содержащая в роторной цепи источник тока $\dot{I}'_2 = I_2 e^{j\psi_2}$ с неизменным модулем и изменяющимся аргументом. Предполагалось, что МДП симметрична, все переменные величины - синусоидальные функции времени, нелинейные магнитные явления, а также потери в сердечниках статора и ротора отсутствуют. Анализ соответствующей векторной диаграммы и выражений показал, что момент двигателя однозначно определяется углом ψ_2 и не зависит от скольжения двигателя S . Ток статора \dot{I}_1 и ток намагничивания \dot{I}_m могут быть представлены как векторные суммы неизм.ных по модулю векторов тока холостого хода \dot{I}_{xx} и соответствующих векторов токов \dot{I}_{1r2} и \dot{I}_{mr2} , вызванных действием источника тока в ветвях R_1 , x_1 и

k_m . При этом модуль тока \dot{I}_{xx} значительно превышает модуль тока \dot{I}_{m12} , а их соотношение зависит от величин $R_1 + jX_1$ и jX_m . Следовательно, величина магнитного потока двигателя определяется в основном током холостого хода \dot{I}_{xx} , а ток \dot{I}_{m12} в зависимости от величины аргумента ψ_{22} оказывает незначительное размагничивающее или намагничивающее действие на магнитную цепь двигателя. Величины тока I_1 и реактивной мощности статора Q_1 зависят от направления и величины мнимой составляющей тока ротора $J_m(\dot{I}'_2)$ и в диапазоне $\pi < \psi_2 < 2\pi$ снижаются ниже номинального значения. Отсюда следуют преимущества работы роторного преобразователя с искусственной коммутацией вентилей.

Изменение угла ψ_2 в широком диапазоне позволяет обеспечить формирование механических характеристик двигателя вида $M = const$ в четырех квадрантах плоскости $M - \omega$. В случае работы роторного преобразователя в режиме выпрямителя часть схемы на рис. 1, обозначенная ИТ, включает в себя стабилизатор тока и рекуператор энергии скольжения двигателя, например, неуправляемый инвертор, ведомый сетью, $-\pi/2 < \psi_2 < \pi/2$, при этом электропривод обеспечивает:

- двигательный режим в 1-м квадранте плоскости;
- режим торможения противовключением в 4-м квадранте.

В случае работы роторного преобразователя в режиме инвертора ИТ может включать в себя только стабилизатор тока, $\pi/2 < \psi_2 < 3\pi/2$, а электропривод обеспечивает:

- двигательный режим при вращении ротора против поля статора в 3-м квадранте, причем переход через синхронную частоту вращения (при $S = 2$) не вызывает затруднений;
- генераторный режим во 2-м квадранте при $0 < S < 1$.

На основании векторной диаграммы при условиях совпадения векторов напряжений и ЭДС, синусоидальности тока ротора и отсутствии потерь в элементах электропривода было получено выражение для коэффициента мощности электропривода

$$k_m = \frac{1/(S-1)\cos\psi_2}{\sqrt{((S-1)\cos\psi_2)^2 + (Q_{ин}^* \pm Q_{ген}^* + I_m/I_2 + \sin\psi_2)^2}}, \quad (2)$$

где $Q_{ин}^*$ - относительная реактивная мощность, потребляемая инвертором, ведомым сетью; $Q_{ген}^*$ - относительная генерируемая ("-") или потребляемая ("+") реактивная мощность ИЭП. Зависимость коэффициента мощности от угла ψ_2 показывает, что в рассматриваемом электроприводе соответствующим выбором ИЭП на стадии проектирова-

ния можно обеспечить высокий уровень K_m (до 1) в требуемом диапазоне изменения момента.

Снижение установленных мощностей силового оборудования достигается в многодвигательном электроприводе с последовательным соединением управляемых роторных преобразователей, работающих в разных режимах (инверторы или выпрямительных) и питающихся стабилизированным током от одного источника тока. Если величина суммы мощностей скольжения $P_{1s\Sigma}$ двигателей, роторные преобразователи которых работают в инверторном режиме, всегда больше величины $P_{1s\Sigma}$ для двигателей с выпрямителями в роторах, то многодвигательный электропривод может обладать только одним каналом преобразования энергии - ИЭП и, следовательно, иметь минимальные массогабаритные показатели.

Для анализа МДП с учетом несинусоидальности тока ротора и общепринятых допущений для идеализированной симметричной машины в магнитном и электрическом отношениях, в которой отсутствуют потери в стали, а также нелинейные магнитные явления, была построена математическая модель двигателя в d, q координатах, жестко связанных с ротором,

$$\frac{di_{ds}}{dt} = (U_{ds} - L_m \frac{di_{dr}}{dt} - i_{ds} R_1 + \omega_r (L_s i_{qs} + L_m i_{qr})) / L_s;$$

$$\frac{di_{qs}}{dt} = (U_{qs} - L_m \frac{di_{qr}}{dt} - i_{qs} R_1 - \omega_r (L_s i_{ds} + L_m i_{dr})) / L_s;$$

$$U_{dr} = L_m \frac{di_{ds}}{dt} + L_r \frac{di_{dr}}{dt} + i_{dr} R_r; \quad (3)$$

$$U_{qr} = L_m \frac{di_{qs}}{dt} + L_r \frac{di_{qr}}{dt} + i_{qr} R_r;$$

$$M = \frac{3}{2} p L_m (i_{dr} i_{qs} - i_{ds} i_{qr});$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{p}{J} (M - M_c),$$

где $U_{ds}, U_{qs}, U_{dr}, U_{qr}$ - напряжения статора и ротора в осях d и q ; $i_{ds}, i_{qs}, i_{dr}, i_{qr}$ - токи статора и ротора в осях d и q ; ω_r - угловая скорость ротора; R_1, R_r - активные сопротивления статора и ротора; M_c - момент сопротивления; J - момент инерции; p - число пар полюсов; L_s, L_r - полные индуктивности обмоток статора и ротора; L_m - взаимная индуктивность.

Источник тока в роторной цепи был представлен как преобразователь неизменного тока ИТ (рис. 1) в трехфазный ток трапецеидальной формы. Величина Ψ_2 определяется выражением $\Psi_2 = \alpha_p + \delta_p/2$, где α_p - угол отпирания вентилей роторного преобразователя; δ_p - угол коммутации. Такое питание ротора приводит к искажениям тока статора. При этом действующее значение высших гармоник тока статора не зависит от угла Ψ_2 , но существенно уменьшается при значениях S близких к нулю. Ток намагничивания практически синусоидален. Результаты расчета действующих значений параметров двигателя с точностью до 15% совпадают с результатами расчетов по схеме замещения.

На рис. 3 приведены механические характеристики двигателя при различных значениях Ψ_2 , откуда следует, что при $\Psi_2 = const$ момент двигателя не зависит от частоты вращения. Расчет динамических характеристик электропривода показывает (рис. 4), что при скачкообразном изменении напряжения U_{3M} момент двигателя изменяется скачкообразно с запаздыванием из-за дискретного характера работы роторного преобразователя. При этом ток намагничивания практически не изменяется, а незначительные по амплитуде свободные затухающие составляющие тока (не более 10%) приводят к появлению в кривой момента пульсаций с частотой 50 Гц.

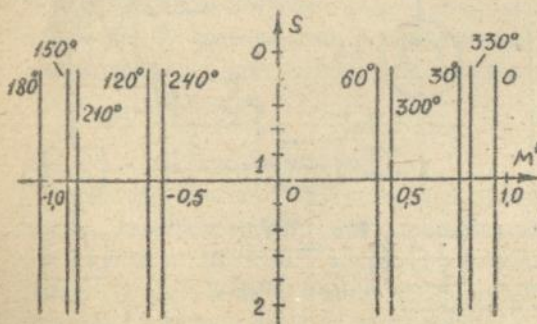


Рис. 3.

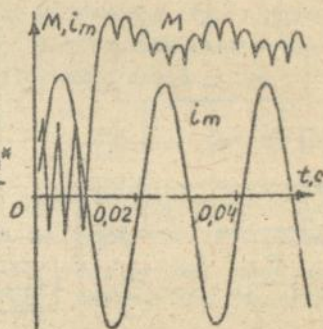


Рис. 4.

Третья глава посвящена вопросам построения и анализа источников тока на базе ЛЭП.

Особенность разработки асинхронного электропривода состоит в том, что линейное напряжение роторов двигателей серий МГ, МН, 4А и др. лежит в пределах от 115 до 505 В. Таким образом, если получены выражения для определения расчетной величины относительного

Γ_1 -LC - синусоидальным входным током.

Для оценки динамических свойств ИЭП проводился расчет переходных процессов выпрямленного тока, возникающих в результате скачкообразного изменения e_d . Переходные характеристики выпрямленного тока ИЭП были описаны временной функцией

$$i_d(t) = I_{d_{кз}} - K(1 + Ce^{-\gamma t} \sin(\lambda t - \theta))e_d, \quad (6)$$

где K - статический коэффициент усиления; C , γ , λ , θ - коэффициенты, определяемые по показателям качества переходного процесса; $I_{d_{кз}}$ - выпрямленный ток короткого замыкания ИЭП.

В четвертой главе рассмотрены системы управления роторным преобразователем, адаптированные к использованию в электроприводе ИЭП-АД. На рис. 6 представлена функциональная схема электропривода, соответствующая предложенному способу стабилизации и регулирования момента асинхронного двигателя с фазным ротором. Здесь в качестве синхронизирующего напряжения используется напряжение ротора, которое преобразуется в напряжение пилообразной формы U_n с амплитудой U_{An} , обратно пропорциональной S . Это достигается путем подачи на входы интеграторов формирователя пилообразных напряжений ФПН неизменного напряжения U_{3n} и исключает влияние величины напряжения ротора на наклон и амплитуду пилообразного напряжения. Последнее преобразуется в постоянное напряжение $U_{убх}$, равное U_{An} , которое умножается на напряжение U_{3m} . Полученное напряжение $U_{оп}$ в схеме сравнения СС сравнивается с пилообразным, а угол отпирания вентилей роторного преобразователя определяется выражением

$$\alpha_p = 2\pi U_{оп} / U_{An} = 2\pi K_y U_{3m}, \quad (7)$$

где K_y - постоянный коэффициент.

На базе электропривода (рис. 6) были построены функциональные схемы электроприводов для стабилизации и регулирования частоты вращения и механической мощности двигателя. Сигналы обратных связей могут быть получены либо от вращающегося, либо от статического датчика (с использованием напряжения U_y).

При допущении постоянства тока ротора и магнитного потока двигателя была разработана упрощенная модель МДП с учетом импульсных свойств управляемого преобразователя в роторе. Предполагая, что высшие гармоники в кривой момента двигателя подавляются инерционными массами ротора и приводного механизма, импульс момента, заключенный между двумя соседними импульсами на выходе формирователя

ФН (рис. 6), был заменен прямоугольным импульсом такой же длительности и площадью, равной площади реального импульса момента. Структурная схема МДП приведена на рис. 7, где представлен модулятор, преобразующий непрерывный сигнал U_{3M} в модулированную последовательность дельта импульсов U_{3M}^* , и демодулятор, преобразующий эту последовательность в кусочно-непрерывное изменение U_{3M}' . В данном случае демодулятор представлен фиксатором нулевого порядка. Период квантования в статике определяется по формуле $T_n = 0,02/(6,5)$. Это означает, что при $1 < S < 2$ электропривод обладает наиболее высоким быстродействием регулирования момента в пределах допустимых значений. Влияние динамических свойств ИЭП может быть учтено выражением (6) и исключено ограничением скорости изменения напряжения U_{3M} . В качестве примера на рис. 8 представлен результат расчета переходных процессов пуска двигателя и наброса нагрузки при $S > 1$ с пропорциональным регулятором частоты вращения.

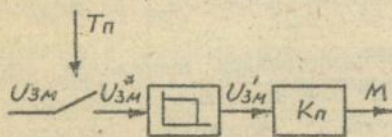


Рис. 7.

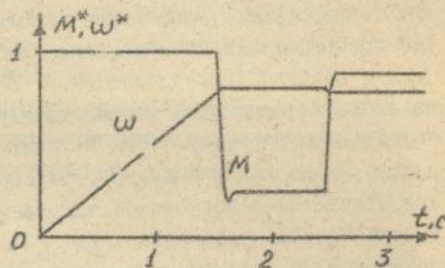


Рис. 8.

Таким образом, электромеханический преобразователь напряжения U_{3M} в момент на валу двигателя представляет собой нелинейную импульсную систему, что определяет специфику исследований полученной модели в замкнутых системах автоматического управления.

Пятая глава посвящена вопросам практического применения результатов работы.

Было проведено исследование влияния стабилизирующих свойств ИЭП и фазосдвигающих свойств СУ на формирование характеристик вида $M = const$. Точность стабилизации тока ротора (момента) зависит от типа схемы ИЭП и диапазона изменения нагрузки, определяемой произведением скольжения S и косинуса угла ψ_2 - чем меньше диапазон, тем выше точность стабилизации. Влияние СУ на отклонение момента от заданного значения связано с фазосдвигающими свойствами входных фильтров СУ и возрастанием величины падений напряжения на сопро-

тивлениях ротора по сравнению с величиной ЭДС ротора при $S > 0,5$. При $S = 0,2$ точность стабилизации момента не хуже 20%.

Был также проведен расчет входного тока электропривода на полной модели. Показано, что наиболее высоким коэффициентом мощности обладает электропривод с ИЭП Г1-СЛ. Однако можно отметить наименьшие нелинейные искажения входного тока электропривода со схемой Г1-ЛС.

Представлены фотোগрафии и результаты экспериментальных исследований электропривода на физическом макете в режимах стабилизации и регулирования момента, частоты вращения и механической мощности. Точность совпадения экспериментальных и расчетных результатов не хуже 20%.

Анализ функциональных возможностей предлагаемого электропривода позволил определить области его рационального применения в механизмах, работающих в пуско-тормозных режимах, требующих раздельного регулирования момента и частоты вращения, управления величиной ускорения разгона и торможения, требующих контроля и управления моментом, в механизмах, допускающих возможность построения многодвигательного электропривода, а также в механизмах с вентиляторным характером нагрузки.

Примером здесь может служить использование электропривода по системе ИЭП-АД в качестве привода бурового станка СКБ-4 для геологоразведочного бурения. Механические характеристики двигателя на восьми передачах бурового станка, ограниченные участками характеристик вида $\omega = \text{const}$ и $M = \text{const}$, ступенчато аппроксимируют характеристику постоянства механической мощности, отбираемой с вала двигателя. Это соответствует оптимальному режиму бурения при максимальной производительности бурового станка.

Примером применения системы ИЭП-АД в многодвигательных схемах может служить электропривод размотки-намотки полосовых материалов. Особенностью работы данного электропривода является то, что двигатель моталки работает в двигательном режиме при вращении ротора против поля статора, а двигатель размотки в режиме торможения противовключением, что позволяет избежать необходимости установки реверсатора энергии скольжения. Работа двигателей при скольжении, превышающем 1, обеспечивает высокое быстродействие регулирования момента.

Результаты работы, касающиеся моделирования электроприводов и источников тока, были использованы при разработке серийно выпуска-

емых электроприводов ЭЩД-1.

В приложениях содержатся листинги программ и акты использования результатов диссертационной работы.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Определены условия реализации основных силовых структур электроприводов с источниками тока по схемам двойного питания, предложены схемы регулируемых электроприводов на их основе.

2. С помощью схемы замещения проведен анализ работы МДП при питании роторных обмоток током с неизменной амплитудой и регулируемым углом относительно ЭДС ротора. Получены выражения для расчета параметров асинхронного двигателя в таком режиме работы. Показано, что ток статора и ток намагничивания могут быть представлены как векторные суммы неизменных по амплитуде векторов тока холостого хода и соответствующих векторов токов, вызванных действием источника тока в роторе.

3. Проведен сравнительный анализ двух двигательных и двух генераторных режимов работы асинхронного двигателя, а также режимов работы роторного преобразователя с искусственной естественной коммутацией вентилей при стабилизированной амплитуде тока ротора.

4. Предложен многодвигательный электропривод, в котором роторы асинхронных двигателей питаются стабилизированным током одного источника тока, а рекуперация энергии скольжения одного двигателя может осуществляться через ротор и статор другого двигателя в питающую сеть. Получены выражения для определения алгебраических сумм мощностей скольжения двигателей, входящих в состав электропривода.

5. Разработана математическая модель двигателя двойного питания в d, q координатах с коммутатором трапецеидального тока неизменной амплитуды в ротор двигателя. Проведен анализ динамических и статических характеристик двигателя. Полученные механические характеристики соответствуют работе двигателя в режиме "источника момента".

6. Рассмотрены особенности разработки источников тока на базе ИЭП для электроприводов переменного тока. Показано, что относительные величины сопротивления нагрузки и установившейся мощности реактивных элементов ИЭП определяются типом схемы преобразователя, диапазоном изменения скольжения и коэффициентом трансформации дви-

гателя. Относительная величина генерируемой (потребляемой) реактивной мощности ИЭП определяется типом схемы преобразователя и коэффициентом трансформации двигателя. Разработаны математические модели схем ИЭП и проведен сравнительный анализ установившихся и динамических режимов преобразователей.

7. Предложен новый способ стабилизации и регулирования момента асинхронного двигателя в разомкнутой системе. Рассмотрены принципы построения функциональных схем электропривода с управляемым преобразователем в роторе для регулирования координат двигателя. Разработаны импульсные модели электропривода по системе ИЭП-АД, позволяющие упростить задачу синтеза систем управления.

8. Разработаны математические модели электропривода по системе ИЭП-АД с учетом неидеальности ИЭП, системы управления, и рассмотрены особенности их влияния на работу электропривода. Показано, что наиболее высокое быстродействие регулирования момента и точность его стабилизации обеспечивается при $S > 0$.

9. Теоретические и экспериментальные исследования легли в основу разработанных в ИЭД АН Украины электропривода бурового станка для геологоразведочного бурения, электроприводов разматывателя и моталки линии индукционного отжига цветных металлов, а также ряда регулируемых электроприводов, где были использованы результаты исследований источников тока на базе ИЭП.

Результаты диссертации отражены в 8-ми опубликованных работах:

1. Акинин К. П. Математическое моделирование электропривода по системе индуктивно-емкости с преобразователем - асинхронная машина с фазовым регулированием момента // Пятая всесоюз. конф. "Проблемы преобразовательной техники", Чернигов, сентябрь 1991 г.; Тез. докл. - Киев: Ин-т электродинамики, 1991. - Ч. 2. - С. 145-147.
2. Акинин К. П., Войтех В. А., Исаков В. Н. Регулирование момента в асинхронном электроприводе по системе источник тока - асинхронная машина // Всесоюз. науч.-тех. конф. "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения транспорта", Днепропетровск, октябрь 1990 г.; Тез. докл. - Днепропетровск: ДПИ, 1990. - С. 333.
3. Акинин К. П., Исаков В. Н. Анализ динамических свойств индуктивно-емкостных преобразователей в электроприводах по системе источник тока - асинхронная машина // Четвертая всесоюз. конф.

"Проблемы преобразовательной техники", Чернигов, сентябрь 1987 г.: Тез. докл. - Киев: Ин-т электродинамики, 1987. - Ч. 5. - С. 12-13.

4. Акинин К. П., Войтех В. А., Исаков В. Н. Фазовое регулирование электромагнитного момента асинхронного двигателя с фазным ротором в электроприводе со свойствами "источника момента" // Труды IV Республиканской школы-семинара молодых ученых и специалистов: Электромагнитные и тепловые процессы в электромеханических и полупроводниковых преобразователях. - Киев: Ин-т электродинамики АН УССР, 1989. - Деп. в ВИНЦУ.
5. Исаков В. Н., Акинин К. П. Анализ работы индуктивно-емкостных преобразователей Г- и П-образных структур в электроприводах по системе источник тока - асинхронная машина // Силовые полупроводниковые преобразователи и электрооборудование для энергосберегающих технологий. - Киев: АН УССР, Ин-т электродинамики, Ин-т проблем энергосбережения, 1988. - С. 130-135.
6. А. с. 1382775 (СССР), МКИ В 65 G 15/00. Магнитно-фрикционный электропривод лентного конвейера / Н. Г. Попович, В. А. Гаврилюк, Н. В. Печеник, В. М. Мамалыга, Г. Г. Восканян, К. П. Акинин. - Оpubл. 1988, N11.
7. А. с. 1723652 (СССР), МКИ H 02 P 7/62. Способ управления асинхронным двигателем с фазным ротором / К. П. Акинин, В. А. Войтех, И. В. Волков, В. И. Исаков, А. П. Плугатарь. - Оpubл. 1992, N12.
8. А. с. 1742975 (СССР), МКИ H 02 P 7/62. Электропривод переменного тока / И. В. Волков, В. И. Исаков, Г. В. Ирчнов, А. П. Плугатарь, К. П. Акинин. - Оpubл. 1992, N23.

Личный вклад автора в работах (2-8), опубликованных в соавторстве состоит в следующем: (2,4) - проведен анализ работы электропривода по системе ИЭП-Ад с управляемым преобразователем в роторе двигателя; (3,5) - исследованы статические и динамические характеристики ИЭП в электроприводе переменного тока; (6,8) - разработаны новые схемы электроприводов и выполнено описание режимов их работы; (7) - предложен способ управления асинхронным двигателем с фазным ротором и устройство для его осуществления.

Соискатель



277964

AB 28.188