

15463.79

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 621.313.013

КОНДРАТЬЕВ Сергей Георгиевич

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ КАК УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ
СОСТОЯНИЯМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем
управления

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени канд. техн. наук

Москва - 1994 г.

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской
Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном
техническом университете имени Н.Э. Баумана, Запорожском
государственном техническом университете.

Научный руководитель

- кандидат технических наук,
доцент НИТУСОВ Дрий Евгенийевич.

Официальные оппоненты

- д.т.н. профессор

Тищенко О.Ф.

к.т.н. доцент

Даниленко Ю.И.

Ведущая организация

- Украинский НИИ Силовой
электроники

Защита диссертации состоится "5" декабря 1994 года
на заседании специализированного совета к 053.15.06 в Московском
ордена Ленина, ордена Октябрьской
Красного Знамени государст
Н.Э. Баумана по адресу: П
дом. 5.

Ваш отзыв на автореф
печатью, просим направить

С диссертацией можно
Автореферат разослан

Ученый секретарь
специализированного
кандидат технических

Объем 1 л.л. Тираж 100

Подписано

1546379

Актуальность проблемы. Современный технический прогресс характерен внедрением автоматизации производственной деятельности, широким использованием многофункциональных автоматизированных комплексов, ГАП, робототехнических линий, автоматизированных систем управления технологическим оборудованием.

Дальнейшее повышение эффективности многофункциональных автоматизированных комплексов, рост их производительности, уменьшение энергоемкости, сокращение сроков наладки (переналадки) и снижение себестоимости выпускаемой продукции в значительной степени определяется надежностью исполнительных элементов их статическими, динамическими и эксплуатационными характеристиками, а также возможностями устройств управления ими.

1546379

Одним из перспективных направлений является применение в качестве исполнительных элементов многофункциональных автоматизированных комплексов электромагнитных систем дискретного перемещения (ЭМСДП) на базе цилиндрических линейных электромагнитных шаговых двигателях с переменным магнитным сопротивлением и неоднородным якорем реактивного типа, характеризующихся простотой и технологичностью конструкции, позволяющих исключить промежуточные кинематические пары, обеспечивающих непосредственное, без преобразования информации, управление от средств вычислительной техники, удобством как для встраивания в конструкцию автоматизированного комплекса так и для обслуживания и ремонта. Такой электропривод имеет высокую надежность и низкий уровень собственных шумов.

Однако фактором, существенно сдерживающим широкое внедрение ЭМСДП является проблема формирования плавного, регулируемого торможения подвижного элемента воздействием на него силами электромагнитного поля.

В связи с этим актуально решение вопросов анализа функционирования ЭМСДП в различных динамических состояниях, разработка подхода к их моделированию на ЭВМ, определение параметров управления динамическими состояниями, разработка подхода к решению задач оптимизации и синтез требуемых координат функционирования ЭМСДП, а также разработка способов реализации регулируемого торможения, адаптации к возмущающим воздействиям и автоматизации проектирования микропроцессорных модулей, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1546379

Кондратьев, С.Г. Микропроцессор

1

МГТУ

им. Н.Э. Баумана

Библиотека

Цель работы. Целью диссертационной работы является расширение возможностей управления динамическими состояниями ЭМСДП, функционирующих в режиме автокоммутации фаз, через разработку оптимизирующих алгоритмов и их реализации на базе современных микропроцессорных модулей. Под расширением возможностей управления динамическими состояниями подразумевается обеспечение торможения и фиксации подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него только силами электромагнитного поля.

Задачи исследования. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать подход к моделированию динамических состояний ЭМСДП, функционирующих в режиме автокоммутации фаз;
- реализовать разработанный подход на ЭВМ, обеспечив открытую архитектуру и возможности графической интерпритации результатов моделирования;
- на основании моделирования определить параметры управления динамическими состояниями ЭМСДП;
- разработать подход к решению задач оптимизации и синтеза требуемых координат функционирования ЭМСДП с учетом накладываемых на них ограничений;
- разработать алгоритмическое обеспечение управления динамическими состояниями ЭМСДП на базе микропроцессорного модуля управления;
- разработать инженерную методику автоматизированного проектирования микропроцессорных модулей, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП;
- реализовать полученные алгоритмы на базе микропроцессорных модулей и осуществить экспериментальную проверку основных результатов полученных в работе.

Методика проведения исследования. В работе применялись: классические законы механики, теории электричества и электромагнитного поля, теория планирования эксперимента и регрессионного анализа, численные методы интегрирования и дифференцирования, решения задачи поиска экстремума, и методы нелинейного программирования. Для математического анализа функционирования ЭМСДП применялась ПЭВМ IBM PC/XT/AT, алгоритмические языки FORTRAN, СИ, QBASIC, АСЕМБЛЕР, электронная таблица SUPERCALC, универсальная графическая среда на

базе AUTOCAD. При проведении экспериментов использовались различные серии микропроцессорных комплектов, силовой преобразователь частоты ТПТР 20-400-50 и другое нестандартное оборудование. Достоверность полученных результатов теоретического анализа и синтеза устанавливалась экспериментальным путем.

Научная новизна работы. Автором получены следующие результаты:

- применение для анализа динамических состояний ЭМСДП имитационного моделирования, обладающего открытой архитектурой и возможностью графической интерпритации результатов на ЭВМ;
- критериальное уравнение связи участка торможения с величиной участка разгона;
- применение для определения величины предполагаемого участка торможения параметра соотношения режимов разгона/торможения;
- применение коэффициента тормозного усилия для формирования требуемой динамики торможения с помощью микропроцессорного модуля управления;
- методика оптимизации параметров управления динамическими состояниями ЭМСДП;
- методика автоматизированного проектирования микропроцессорных модулей, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП.

Практическая ценность работы. Создана система имитационного моделирования, позволяющая производить анализ динамических состояний ЭМСДП на ПЭВМ IBM PC/XT/AT.

Создан программно-аппаратурный комплекс автоматизированного проектирования устройств, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП.

Разработанный помехозащищенный, самонастраивающийся, адаптивный алгоритм управления динамическими состояниями ЭМСДП реализован на базе микропроцессорных комплектов K580 и Z80 для использования ЭМСДП в качестве исполнительных элементов многофункциональных автоматизированных комплексов.

Разработанная система сопровождения разработки средств управления динамическими состояниями ЭМСДП является составной частью САПР электроприводов на базе ЭМСДП для многофункциональных автоматизированных комплексов.

Реализация работы. Основные результаты диссертационной работы использованы при разработке и создании опытного промышленного образца робота-укладчика огнеупорного кирпича, работающего в прямоугольной системе координат, Запорожским техническим университетом в содружестве с научно-производственной фирмой "ЭТНА" для Запорожского завода огнеупорного кирпича.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались: на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Социальные аспекты преобразовательной техники" /г. Запорожье, 1990 г./, 3-ей Дальневосточной научно-практической конференции "Совершенствование электрооборудования и средств автоматизации технологических процессов и промышленных предприятий" /г. Комсомольск-на-Амуре в 1992 г./.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 7 научных работ, в том числе 2 статьи, 4 тезисов доклада, 1 авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 97 наименований и 23 приложений. Объем диссертационной работы 158 страниц, из них 104 страницы машинописного текста. Работа содержит 28 рисунков и 17 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и перспективность применения электромагнитных систем дискретного перемещения малой и средней мощности на базе цилиндрических линейных электромагнитных шаговых двигателях с переменным магнитным сопротивлением и неоднородным якорем реактивного типа в качестве исполнительных элементов многофункциональных автоматизированных комплексов.

В первой главе выполнен обзор, проведен анализ и дана оценка имеющихся конструкций ЭМСДП, а также систем и алгоритмов управления их динамическими состояниями.

Показано, что разомкнутые системы управления ЭМСДП малой и средней мощности, функционирующие в режиме программного разгона/торможения, являясь более совершенными за счет увеличения скорости

перемещения подвижного элемента, не являются оптимальными поскольку, при определении характера разгона/торможения не учитывается возможное изменение нагрузки, что приводит к необходимости занижать рабочую частоту двигателя для устойчивой отработки заданного цикла, ухудшая тем самым такие важные показатели функционирования ЭМСДП как КПД, динамику перемещения и управляемость.

Локально-замкнутые системы управления, реализуемые на базе интегральных схем среднего уровня интеграции не обеспечивают рациональное по заданному критерию функционирование ЭМСДП, высокую помехозащищенность и требуемые координаты работы с учетом накладываемых на них ограничений.

Использование в качестве устройств управления динамическими состояниями микропроцессорных модулей в сочетании с автосинхронной системой управления позволяет существенно улучшить энергетические и эксплуатационные показатели ЭМСДП, обеспечить оперативную переналадку таких систем на новые координаты и алгоритмы работы.

Однако, т.к. в автосинхронном режиме развиваются значительные скорости и часто имеются большие инерционные массы в виде нагрузки, возникает проблема компенсации кинетической энергии подвижного элемента ЭМСДП при подходе его к заданной точке позиционирования воздействием на него только силами электромагнитного поля т.е. без применения специальных гидравлических, механических или других устройств торможения.

Определение параметров управления динамическими состояниями ЭМСДП, функционирующих в режиме автокоммутации фаз, достижение плавного, регулируемого уменьшения скорости подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля, способ торможения, оптимизация параметров управления и синтез требуемых координат с учетом накладываемых на них ограничений по энергопотреблению, быстродействию, максимальному ускорению и тп., адаптация к возмущающим воздействиям, инженерная методика проектирования средств управления динамическими состояниями ЭМСДП - определяют цель данной работы и позволяют сформулировать решаемые в ней задачи.

Вторая глава посвящена формированию математического аппарата и анализу с его помощью динамических состояний электромагнитных систем дискретного перемещения.

Рассмотрено описание процесса функционирования ЭМСДП на базе

традиционной математической модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = f(I_d) \\ I_d = \sum_{k=1}^n I_{k,n} \\ U_d = R_k I_k + L_k \frac{dI_k}{dt} + I_k \frac{dL_k}{dx} V, \quad k = 1, 2, \dots, n \\ \vdots \\ U_d = R_n I_n + L_n \frac{dI_n}{dt} + I_n \frac{dL_n}{dx} V, \quad n = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n F_{эм i} + F_H = m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \right) \end{array} \right. \quad (1)$$

где U_d - напряжение источника питания;

I_d - ток нагрузки источника;

R - активное сопротивление обмотки управления;

L - индуктивность обмотки управления;

m - масса подвижного элемента;

V - скорость подвижного элемента;

x - перемещение подвижного элемента;

t - время;

$F_{эм}$ - тяговое электромагнитное усилие;

F_H - усилие создаваемое нагрузкой.

Показано, что из-за разнородности уравнений и наличия сложных нелинейных членов (тяговое электромагнитное усилие, индуктивность, производная индуктивности по координате перемещения, сила сопротивления) в интегральных и дифференциальных уравнениях, описывающих процесс функционирования ЭМСДП, аналитическое их решение получить не представляется возможным.

Предложено для исследования динамических состояний ЭМСДП использовать имитационное моделирование, реализуемое на базе следующего подхода:

- описание нелинейных элементов при помощи теории планирования эксперимента;
- решение интегральных и дифференциальных уравнений численными методами;
- обеспечение структуры и последовательности протекания явлений

составляющих процесс функционирования ЭМСДП, программными средствами ПЭВМ.

Для аналитического описания влияния конструкции, материала и насыщения на электромагнитные параметры ЭМСДП предложено использовать регрессионные модели вида:

$$Y = b_{0p} + \sum_{i=1}^n b_{1p} \gamma_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j=1 \\ i \neq j}}^n b_{1j} \gamma_i \gamma_j + \sum_{i=1}^n b_{11} \gamma_i^2 \quad (2)$$

где Y - описываемая функция;

γ - факторы;

b_0, b_1, b_{1j}, b_{11} - коэффициенты регрессии;

p - индекс номера интервала варьируемого фактора.

Уравнения (2) строятся с использованием планирования эксперимента (ортогональное центральное композиционное планирование). Применение для определения коэффициентов регрессионных моделей (2) ЭВМ, обеспечивает возможность варьирования интервалов факторов и тем самым адекватную аппроксимацию нелинейных элементов.

Описав аналитически связь между электромагнитными и конструктивными параметрами производится преобразование традиционной математической модели в интегро-дифференциальную с регрессионными элементами:

$$\left\{ \begin{aligned} v &= \frac{dX}{dt} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{1}{m} \left[\sum_{j=1}^x \left((A_{0k} + A_{1k} I_j + A_{2k} x_j + A_{3k} I_j x_j + A_{4k} I_j^2 + A_{5k} x_j^2) \cdot \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (B_{0p} + B_{1p} I_j + B_{2p} x_j + B_{3p} I_j x_j + B_{4p} I_j^2 + B_{5p} x_j^2) \right) \right] \\ \frac{dI_n}{dt} &= \frac{U_n - I_n R_n - I_n v \left(\frac{1}{w} (C_{0a} + C_{1a} I_n + C_{2a} x_n + C_{3a} I_n x_n + C_{4a} I_n^2 + C_{5a} x_n^2) \right)}{1/w (G_{00} + G_{0a} x_n + C_{1a} I_n x_n + C_{2a} x_n^2/2 + C_{3a} I_n x_n^2/2 + C_{4a} I_n^2 x_n + C_{5a} x_n^3/3)} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$n=1, 2, \dots, x$

где A, B, C - коэффициенты регрессионных полиномов $F_p, F_n, L, dL/dx$;

a, p, k - индексы номеров интервалов варьируемых факторов;

w - число витков обмотки управления;

x — смещение торцов ферромагнитных участков подвижного элемента ЭМСДП;

$G_{\mu 0}$ — постоянная интегрирования $G_{\mu 0} = L_0 w$.

Величину L_0 находят путем измерения индуктивности при положении подвижного элемента, соответствующем начальному или определяют аналитически, пользуясь методикой представления линий поля дугами окружностей.

На базе ПЭВМ IBM PC/XT/AT, разработанного подхода к моделированию, алгоритм. еского языка QBASIC, используя математическую модель (3), численный метод Рунге-Кутты-Фельдберга с автоматическим выбором шага, электронную таблицу SUPERCALC, кубическую сплайн аппроксимацию, графические возможности AUTOCAD — получена система имитационного моделирования динамических состояний ЭМСДП. На рис. I приведены результаты моделирования динамических состояний разгон/равномерное движение подвижного элемента ЭМСДП при различной величине инерционной нагрузки.

С помощью разработанной системы имитационного моделирования определены источник и алгоритмы восполнения недостающей начальной информации о системе за счет более полного использования текущей информации, обеспечивающие адаптивное управление при оптимальном использовании в каждом динамическом состоянии всех располагаемых ресурсов (энергетических, информационных, вычислительных и др.) для достижения поставленной цели при соблюдении заданных ограничений.

В качестве источника дополнительной информации о текущем динамическом состоянии ЭМСДП предложено использовать изменение времени фиксированного перемещения (Δt_d):

$$\Delta t_d = t_{пр} - t_{пс} \quad (4)$$

где $t_{пр}$ — время предыдущего фиксированного перемещения;
 $t_{пс}$ — время последнего фиксированного перемещения.

Если $\left\{ \begin{array}{l} \Delta t_d > 0, \text{ разгон подвижного элемента ЭМСДП;} \\ \Delta t_d \sim 0, \text{ равномерное движение;} \\ \Delta t_d < 0, \text{ торможение.} \end{array} \right.$

Очевидно, что для осуществления торможения подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля доста-

точно применить управление противоположное разгону. Поэтому величина участка торможения (M_T) может быть определена:

$$M_T = \sum_{i=1}^n x_i \{ \Delta t_d > 0 \} \quad (5)$$

Указанное выше использование текущей информации о системе позволяет судить о текущем динамическом состоянии ЭМСДП и косвенно об инерционных свойствах нагрузки. На основании (5) получено критерияльное уравнение связи участка торможения с величиной участка разгона, определяющее необходимость изменения управления, направленное на смену динамического состояния разгон/равномерное движение - торможение:

$$X_3 - \left[2 \times \left[\sum_{i=1}^n x_i \{ \Delta t_d > 0 \} \right] + \sum_{i=1}^n x_i \{ \Delta t_d \sim 0 \} \right] = 0 \quad (6)$$

где X_3 - величина требуемого перемещения.

Учитывая положительное влияние силы сопротивления при торможении подвижного элемента ЭМСДП, необходимо регулировать величиной предполагаемого участка торможения ($M_{ТП}$). Для этого предложено использовать параметр соотношения режимов разгона/торможения ($Z_{сррт}$):

$$\Delta Z_c = Z_{сррт} - \Delta t_d \quad (7)$$

где ΔZ_c - оценка динамики разгона.

Если $\begin{cases} \Delta Z_c > 0, & X_{рз} = X_{рз}; & X_{рв} = X_{рв} + 1 \text{ (разгон неучитываемого темпа)} \\ \Delta Z_c \leq 0, & X_{рз} = X_{рз} + 1; & X_{рв} = X_{рв} \end{cases}$

где $X_{рз} = \sum_{i=1}^n x_i \{ \Delta t_d > 0 \}$

$X_{рв} = \sum_{i=1}^n x_i \{ \Delta t_d \sim 0 \}$

На рис.2 приведен результат идентификации влияния величины $Z_{сррт}$ на величину $M_{ТП}$ для разгона подвижного элемента ЭМСДП рис.1. Определено, что увеличение $Z_{сррт}$ вызывает уменьшение $M_{ТП}$ и увеличение начальной скорости торможения ($V_{НТ}$) для возрастающих значений инерционной нагрузки (m_1).

Проведен анализ влияния различных видов тормозных алгоритмов

коммутации обмоток управления на величину M_T (рис.3). Определено, что торможению подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля характерно наличие трех зон:

- зоны нерегулируемого торможения (I), т.е. торможение при условии меньшего M_T без применения специальных механических, гидравлических или др. устройств торможения реализовать не представляется возможным;
- зоны регулируемого торможения (II);
- зоны слабого торможения (III), т.е. торможения при условии заведомо неэффективного использования энергитических, временных и др. располагаемых ресурсов функционирования ЭМСДП.

Выполнено ранжирование по энергопотреблению и величине тормозного пути алгоритмов коммутации торможения. Определено, что оптимальными являются:

- одиночная коммутация с углом коммутации равно нулю (тип A);
- парная коммутация противовключения с углами коммутации нуль и минус величина базового дискрета перемещения (тип D).

Для обеспечения требуемой динамики торможения, предложено использовать коэффициент тормозного усилия (K_T):

$$K_T = \frac{nI(D)}{n(A)} \quad (8)$$

где n - базовое число коммутаций типа A;

nI - количество коммутации типа D из числа A.

На основании полученных рекомендаций определены возможности перевода координат функционирования ЭМСДП в область рационального использования располагаемых ресурсов. Выбраны параметры управления, позволяющие реализовать все полученные выше рекомендации:

- параметр соотношения режимов разгона торможения;
- коэффициент тормозного усилия.

В третьей главе разрабатывался подход к решению задач оптимизации и синтеза требуемых координат функционирования ЭМСДП, а также количественный анализ влияния выбранных параметров управления динамическими состояниями ЭМСДП на контролируемые координаты с учетом накладываемых на них ограничений.

Для решения задач оптимизации и синтеза методами нелинейного программирования выполнено преобразование имитационной модели ЭМСДП к алгебраическому виду и базе регрессионных моделей. Применение

алгебраических моделей вида:

$$Y = B \cdot N$$

(9)

где Y - вектор столбец контролируемых координат ЭМСДП;

B - матрица коэффициентов регрессии;

N - вектор столбец управляющих воздействий.

позволяет задачи синтеза требуемых координат функционирования ЭМСДП формализовать в виде задач нелинейного программирования общего вида: определение экстремума целевой функции при параметрических ограничениях в виде равенств и/или неравенств:

$$\begin{cases} Y \rightarrow \min \\ N_{\min} \leq N \leq N_{\max} \\ Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max} \end{cases} \quad (10)$$

где Y - критерий оптимизации;

$N_{\min}, N_{\max}$ - ограничения на величину параметра управления;

$Y_{\min}, Y_{\max}$ - ограничения по контролируемым координатам ЭМСДП.

Для решения задач нелинейного программирования использовался метод последовательной безусловной минимизации, а поиск экстремумов функций для функционалов в условиях многоэкстремальности и сложных ограничений выполнен на основе процедуры, имеющей рекуррентный характер.

На примере решения задач синтеза оптимизирующих по минимуму энергопотребления и величины тормозного пути (рис.4) параметров управления динамическими состояниями показана достижимость регулируемого торможения подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля при соблюдении заданных ограничений.

Предложено несколько способов реализации регулируемого торможения подвижного элемента ЭМСДП:

- построение универсальных регулировочных характеристик;
- применение поисковых алгоритмов адаптации параметров управления;
- самонастройка параметров управления в ходе функционирования ЭМСДП.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритмического обеспечения микропроцессорных модулей управления динамическими состояниями ЭМСДП.

Для повышения помехозащищенности канала: выход ДПС - вход микропроцессорного модуля управления, построен трехуровневый алгоритм контроля за положением подвижного элемента ЭМСДП:

- прогнозирование ожидаемого кода датчиков обратной связи для прямого и инверсного направления перемещения;
- аппаратная реализация временной задержки (системный таймер);
- аппаратный узкополосный фильтр (многоуровневая система приоритетных прерываний).

Предложенный механизм контроля за положением подвижного элемента ЭМСДП, реализуемый на базе прогнозирования, системного таймера и многоуровневой системы приоритетных прерываний позволяет высвободить ресурсы центрального процессора микропроцессорного модуля для формирования качественного вектора управления в фоновом разделе работы программы.

Для устранения погрешностей вызванных изменением электрических и магнитных свойств ЭМСДП (старение материала, нагрев обмоток и т.п.), возникающих в процессе их функционирования, разработан алгоритм адаптации управления динамическими состояниями ЭМСДП к возмущающим воздействиям.

На основании сравнительного анализа, для решения поставленных задач в качестве устройства управления выбран микропроцессорный модуль на базе однокристалльной ЭВМ (КР1816ВЕ51), обладающей требуемым быстродействием и содержащей все компоненты необходимые при управлении динамическими состояниями ЭМСДП: центральный процессор, ОЗУ данных и ПЗУ программ, порты ввода/вывода информации, встроенный тактовый генератор, таймер-счетчик, устройство управления схемой прерываний.

Построен самонастраивающийся алгоритм оптимизирующего по заданному критерию управления динамическими состояниями ЭМСДП для многофункциональных автоматизированных комплексов.

Пятая глава посвящена разработке методики инженерного проектирования микропроцессорных модулей, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП.

Для автоматизации проектирования устройств, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП создан программно-аппаратурный комплекс, на базе ПЭВМ IBM PC/XT/AT, а также построен алгоритм системы автоматизированного проектирования средств управления ЭМСДП.

На примере 5-фазной ЭМСДП опробована методика проектирования средств управления. Для чего построены регрессионные модели нелинейных элементов интегро-дифференциальной модели, с помощью имитацион-

ного моделирования построен алгоритм управления, выполнена оптимизация и синтез параметров управления, на базе программно-аппаратурного комплекса спроектированная программа отлажена и записана в ПЗВУ управляющего микропроцессорного модуля. Это позволило экспериментально подтвердить предложенные в работе подходы к моделированию динамических состояний ЭМСДП, оптимизации параметров управления, проектированию средств управления, а также рекомендации по реализации регулируемого торможения подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

В приложении приведены: пример построения регрессионных полиномов (2); исходные тексты программ "PLAN-NEW" на алгоритмическом языке QBASIC, реализующих регрессионный анализ; пример описания сопряжения граничных условий скоростей и ускорений для имитационного моделирования динамических состояний многосекционной ЭМСДП; пример входного потока-задания на имитационное моделирование; фрагменты промежуточных и аппроксимированных результатов моделирования; фрагмент DXF-файла обмена графической информацией в среде AUTOCAD; основной исходный текст программы "MODEL" на алгоритмическом языке QBASIC, реализующей имитационное моделирование динамических состояний ЭМСДП; пример графической интерпретации результатов моделирования динамических состояний разгон и торможение; таблицы идентификации текущего динамического состояния ЭМСДП по изменению времени фиксированного перемещения; текст программ "ID_Zсрт" на алгоритмическом языке QBASIC, реализующий идентификацию влияния $Z_{срт}$ на $M_{тп}$; графики зависимостей $\omega_{вт}, V_{вт}, T_{т}, A_{т} = f(K_{т}, V_{вт}, n_1)$; основные исходные тексты программ "OPTIM" на алгоритмическом языке FORTRAN-77, реализующие оптимизационные расчеты; основные исходные тексты системы сопровождения разработки программ на алгоритмическом языке СИ; исходные тексты программ "MONITOR_NET" на языке АСЕМБЛЕР (K580, KPI816BE5I), реализующие интерфейс между системным и управляющими блоками (ПЗВМ IBM - микропроцессорный модуль) программно-аппаратурного комплекса поддержки разработки средств управления ЭМСДП, основной исходный текст программы "DINAMIC" на языке АСЕМБЛЕР, реализующей помехозащищенный, самонастраивающийся, адаптивный алгоритм управления динамическими состояниями ЭМСДП робота-укладчика

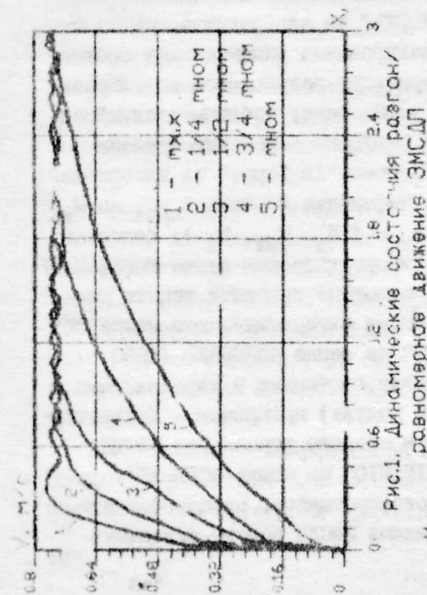


Рис.1. Динамические характеристики разгоны/равномерное движение ЗМСД

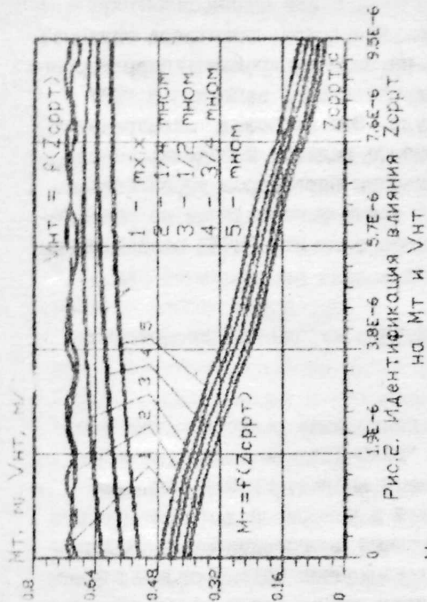


Рис.2. Идентификация влияния Zсрт на МТ и VNT

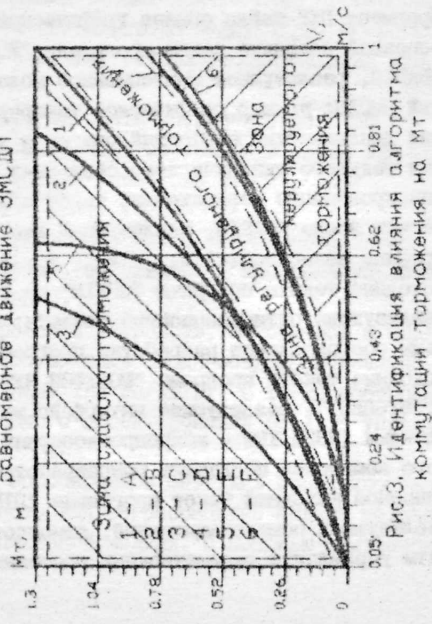


Рис.3. Идентификация влияния алгоритма коммутации торможения на МТ

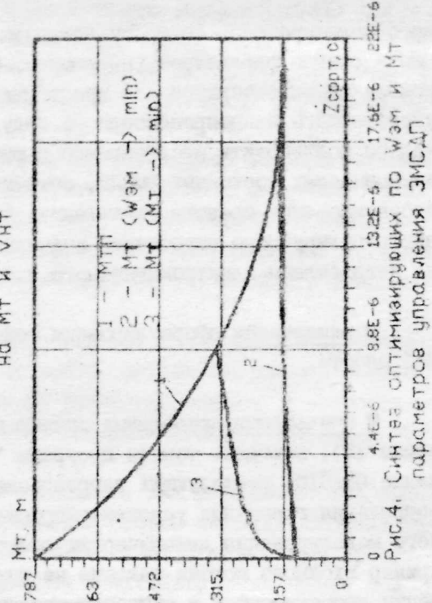


Рис.4. Синтез оптимизирующих по Vэм и МТ параметров управления ЗМСД

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ динамических состояний ЭМСДП с помощью разработанной системы имитационного моделирования на ЭВМ.

2. По результатам проведенного анализа определено, что изменение времени фиксированного перемещения подвижного элемента позволяет судить о текущем динамическом состоянии ЭМСДП и косвенно о инерционных свойствах нагрузки. Получено критериальное уравнение связи участка торможения с величиной участка разгона. Для регулирования величины предполагаемого участка торможения введен параметр соотношения режимов разгона/торможения, обеспечивающий адаптивное управление при оптимальном использовании, в каждом динамическом состоянии, всех располагаемых ресурсов. Определено, что торможению подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля характерно наличие зон слабого, нерегулируемого и регулируемого торможения. Выполнено ранжирование тормозных алгоритмов коммутации обмоток управления ЭМСДП, обеспечивающее использование оптимальных по энергопотреблению и величине тормозного пути типов коммутаций торможения. Для формирования требуемой динамики торможения введен коэффициент тормозного усилия.

3. Для эффективного применения методов нелинейного программирования при решении задач оптимизации параметров управления выполнено преобразование имитационной модели ЭМСДП в регрессионную, методами планирования эксперимента.

4. С помощью методов нелинейного программирования и регрессионной модели исследована управляемость ЭМСДП, проведен количественный анализ влияния выбранных параметров управления на контролируемые координаты ЭМСДП и предложены три способа реализации регулируемого торможения подвижного элемента ЭМСДП воздействием на него силами электромагнитного поля: построение универсальных регулировочных характеристик; применение поисковых методов адаптации параметров управления; самонастройка параметров управления в ходе функционирования ЭМСДП.

5. Разработан помехозащищенный, самонастраивающийся, адаптивный алгоритм управления динамическими состояниями ЭМСДП на базе микропроцессорного модуля управления.

6. Обоснована целесообразность применения микропроцессорных

модулей управления, реализуемых на однокристалльных ЭВМ.

7. Разработан алгоритм и создан программно-аппаратурный комплекс автоматизированного проектирования микропроцессорных модулей, алгоритмов и программ управления динамическими состояниями ЭМСДП.

8. С его помощью разработана программная реализация алгоритма управления.

9. Экспериментально проверены рекомендации по управлению и формированию регулируемого торможения подвижного элемента ЭМСДП.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах

1. А.С. 1580581 СССР, МКИ H02PB/00. Способ управления разгоном многофазного шагового двигателя В.В. Бондаренко, В.В. Писанко, С.Г. Кондратьев и др. СССР. - Опубл. 23.07.90. Бол. #27// Открытия, изобретения... - 1990. - #27. - С. 89.
2. Бондаренко В.И., Писанко В.В., Кондратьев С.Г. Автоматизированный стенд на базе ПЭВМ для отладки программ управления в микропроцессорных контроллерах КР580 (Intel 8080/8085, Z80)// Совершенствование электрооборудования и средств автоматизации технологических процессов и промышленных предприятий: Материалы 3-й Дальневосточной научно-практической конференции. - Комсомольск-на-Амуре, 1992. - С. 14-16.
3. Писанко В.В., Кондратьев С.Г., Осадчий В.В. Микропроцессорное устройство контроля температуры, активности кислорода и углерода в расплавленном металле// Плазмотехнология-93: Сборник научных трудов. - Запорожье, 1993. - С. 217-221.
4. Бондаренко В.И., Писанко В.В., Кондратьев С.Г. Дискретный электропривод с микропроцессорным управлением// Совершенствование электрооборудования и средств автоматизации технологических процессов и промышленных предприятий: Материалы 3-й Дальневосточной научно-практической конференции. - Комсомольск-на-Амуре, 1992. - С. 16-18.
5. Бондаренко В.И., Писанко В.В., Кондратьев С.Г. Мультипроцессорное управление многокоординатным электроприводом робототехнических систем// Социальные аспекты преобразовательной техники: Материалы Всесоюзного научно-практического семинара. - Запорожье, 1990. - С. 43-44.
6. Бондаренко В.И., Писанко В.В., Кондратьев С.Г. Привод для робота-укладчика огнеупорного кирпича// Подъемно-транспортная техника и склад. - 1992. - #2. - С. 9-10.
7. Бондаренко В.И., Писанко В.В., Кондратьев С.Г. Микропроцессорный дискретный электропривод робота-укладчика, работающего в прямоугольной системе координат// Технические электродинамика. - 1993. - #4. - С. 58-63.