

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

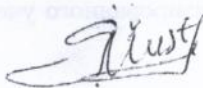
Мустафа Мохамад Хобаллах
(Ливан)

ОПТИМАЛЬНОЕ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ДИНАМИКЕ
УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ
ПРИВОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ
СРЕДСТВ

Специальность: 05.09.03 - "Электротехнические комплексы и системы, включая их
управление и регулирование"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков 1997 г.





Диссертация является р КОПИСЬЮ.

Работа выполнена в Институте электродинамики НАН Украины.

Научный руководитель - академик МАЭН, доктор технических наук, профессор
Афонин Анатолий Алексеевич

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент
Писанко Василий Васильевич

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Акимов Леонид Владимирович

- кандидат технических наук, доцент
Худяев Александр Андреевич

Ведущая организация - Украинский научно-исследовательский институт силовой электроники
"Преобразователь", г. Запорожье

Защита состоится " 22 " мая 1997 г. в 14³⁰ часов на заседании специализированного ученого совета К 02.09.14 в Харьковском государственном политехническом университете (310002, г. Харьков-2, ГСП, ул. Фрунзе, 21).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.
Автореферат разослан " 3 " апреля 1997г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета

Гончаров Ю.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современный технический прогресс характерен внедрением автоматизации производственной деятельности, широким использованием многофункциональных автоматизированных комплексов (гибкие автоматизированные линии, робототехнические комплексы, автоматизированные системы 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 механизмов, их статистическими, динамическими и эксплуатационными характеристиками, а также возможностями устройств управления ими.

Одним из перспективных направлений является применение в качестве исполнительных механизмов многофункциональных автоматизированных комплексов электромагнитных систем дискретного перемещения на базе линейных шаговых двигателей. Электромагнитные системы дискретного перемещения отличаются простой технологичностью конструкции, позволяют исключить промежуточные кинематические пары, обеспечивают непосредственное, без преобразования информации, управление от средств вычислительной техники (ЭВМ, микропроцессоры), удобной как для встраивания в конструкцию автоматизированного комплекса, так и для обслуживания и ремонта. Такой электропривод имеет высокую надежность и низкий уровень собственных шумов.

С точки зрения функциональных показателей для электромагнитных систем дискретного перемещения характерны: широкий диапазон динамических состояний с обеспечением возможности останова и реверса в заданных пределах рабочего хода, работа в режимах дискретного и непрерывного движения, возможность искусственного дробления базового шага, а также автосинхронный режим движения с присущими ему улучшенными энергетическими показателями и высоким быстродействием.

Но фактором, существенно сдерживающим расширенное внедрение электромагнитных систем дискретного перемещения, особенно в режиме автосинхронного управления, является проблема формирования плавного, регулируемого разгона и торможения подвижного элемента, что характеризует недостаточность сведений об особенностях, присущих его динамическим состояниям и процессам управления ими.

В связи с указанным, в данной работе уделено существенное внимание анализу динамических состояний электромагнитных систем дискретного перемещения путем их моделирования на ЭВМ, проблеме автоматического определения участка торможения, способу торможения, реализации регулируемого торможения, адаптации к возможным воздействиям, автоматизации разработки устройств, алгоритмов и программ управления и их реализации на базе микропроцессорных модулей.

Актуальность указанных исследований подтверждается тем, что они выполнялись в ИЭД НАН Украины совместно с кафедрой электропривода Запорожского государственного технического университета (ЗГТУ) при выполнении государственной бюджетной научно-исследовательской работы "Разработка микропроцессорного управления электромеханическими системами нового поколения".

Цель работы - расширение возможностей управления динамическими состояниями линейных электромагнитных шаговых двигателей (ЭМШД) в режиме автокоммутации фаз путем разработки оптимизирующих алгоритмов и их реализацию на базе современных микропроцессорных средств.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Выбор метода моделирования динамических состояний ЭМШД в режиме автокоммутации фаз.
2. Определение параметров управления различными динамическими состояниями ЭМШД с использованием математического моделирования.
3. Обоснование задач оптимизации управления в виде удобном для анализа, оптимизации и синтеза.
4. Разработка алгоритмического обеспечения управления динамическими состояниями ЭМШД.
5. Разработка структуры аппаратурной реализации управления ЭМШД с использованием микропроцессорных средств.
6. Реализация полученных алгоритмов на базе микропроцессорных модулей и экспериментальная проверка основных результатов, полученных в работе.

Методы исследования. Решение перечисленных задач осуществлялось на основе использования: теории планирования эксперимента и регрессионного анализа; методов имитационного моделирования и метода нелинейного программирования с использованием ЭВМ.

Математическое моделирование осуществлялось на ПЭВМ типа ИВМ РС/АТ.

Результаты теоретических исследований проверялись путем сопоставления расчетных характеристик, полученных различными методами, между собой, а также сопоставлением аналитических результатов с данными экспериментальных исследований, выполненных на реальном электроприводе с микропроцессорным управлением ЭМШД.

Научная новизна. 1. Для повышения точности позиционирования ЭМШД при реализации трапецеидальной траектории перемещения подвижного элемента введено понятие "соотношения режимов разгон/торможение ($Z_{сртг}$)", изменение которого в процессе управления ЭМШД позволяет изменить наблюдаемость участка разгона и тем самым корректировать величину участка торможения.

2. Разработан алгоритм управления торможением с использованием коэффициента тормозного усилия K_T , величина которого определяет величину тормозного усилия.

3. Разработана алгебраическая регрессионная модель функционирования ЭМШД, что позволило формализовать задачи оптимизации функционирования и синтеза требуемых координат ЭМШД в виде задач нелинейного программирования общего вида.

4. Разработан самонастраивающийся алгоритм управления динамическими состояниями ЭМШД, обеспечивающий требуемые координаты и рациональное по заданному критерию функционирование.

5. Предложена инженерная методика построения оптимизирующих по выбранному критерию регулировочных характеристик ЭМШД.

Основные положения, выносимые на защиту (конкретный личный вклад диссертанта в разработке новых научных результатов):

- результаты анализа на основании имитационного моделирования влияния параметра соотношения режимов разгон/торможение на эффективность торможения и точность позиционирования ЭМШД;
- алгоритм управления торможением ЭМШД с использованием коэффициента тормозного усилия K_T ;
- программная реализация методом последовательной безусловной минимизаций (МПБМ) на алгоритмическом языке FORTRAN для реализации задачи нелинейного программирования;
- разработка инженерной методики построения оптимизирующих по выбранному критерию регулировочных характеристик ЭМШД;
- проведение планирования аналитического эксперимента с использованием имитационного моделирования для построения алгебраической регрессионной модели функционирования ЭМШД;
- разработанная структуры микропроцессорного управления ЭМШД на базе Z80 А;

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

- разработка алгоритмов управления ЭМШД, их программная реализация и отладка при экспериментальной проверке основных результатов диссертации.

Практическая ценность. Приведенные в работе пакеты прикладных программ позволяют осуществлять анализ и синтез алгоритмов и систем управления на ранних этапах проектирования электроприводов на базе ЭМШД. Разработанный программно-аппаратный комплекс на базе IBM-совместимых ПЭВМ позволяет значительно сократить трудоемкость отладки программного обеспечения (ПО) микропроцессорного управления (МПУ) на базе процессоров INTEL 8080, INTEL 8051, Z 80 А.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при выполнении государственной бюджетной научно-исследовательской работы "Разработка микропроцессорного управления электро-механическими системами нового поколения". Некоторые теоретические и практические результаты, полученные в работе, используются в учебных курсах ЗГТУ при подготовке специалистов по электроприводе и электромеханике.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались на трех технических конференциях с международным участием.

Основное содержание исследований опубликовано в 7-ми научных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов и заключения, изложенных на 47 страницах, 24 рисунков и 14 таблиц, списка литературы из 95 наименований и 4 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, перечислены основные научные результаты работы и положения, выносимые на защиту.

В первом разделе приводится общий обзор различных систем дискретного перемещения, основных факторов и характеристик, отражающих работу этих систем (устройств). Более подробно рассматриваются вопросы энергопреобразования в таких устройствах.

Важным составным элементом электромагнитного привода, во многом определяющим его функциональные возможности, является устройство управления. Используются разомкнутые или замкнутые структуры систем управления.

Применение разомкнутых систем управления значительно упрощает их аппаратную реализацию за счет отсутствия

корректирующих обратных связей с соответствующими элементами их обслуживания.

К недостаткам разомкнутых систем управления можно отнести: неудовлетворительные динамические характеристики электропривода; малый диапазон регулирования его основных координат; низкая алгоритмическая надежность.

Применение замкнутых автосинхронных систем управления позволяет значительно улучшить динамику работы электромеханических систем дискретного перемещения и надежность работы, в два - три раза улучшить энергетические показатели работы систем.

В этих системах частота коммутации силовых ключей устанавливается автоматически и определяется в зависимости от электромагнитных и электромеханических параметров и параметров системы управления. Влияние на нее так же оказывают начальный зазор коммутации, величина рабочего напряжения и напряжения форсировки.

При такой большой степени свободы систем управления возникают трудности в определении совокупности управляющих воздействий, обеспечивающих требуемые динамические состояния электромагнитных приводов дискретного перемещения, с учетом ограничений, которые могут на них накладываться.

Достижение плавного (регулируемого) уменьшения скорости подвижного элемента ЭМШД при автосинхронном управлении, способ торможения, оптимизация управления по заданным критериям, адаптация к возмущающим воздействиям являются предметом исследований в данной работе.

Второй раздел посвящен анализу процессов, протекающих при функционировании ЭМШД.

Использование для описания нелинейных коэффициентов интегродифференциальной модели функционирования ЭМШД алгебраических регрессионных уравнений /4/ вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i=1, j=1, i \neq j}^n b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (1)$$

где y - исследуемая функция;

$x_1, \dots, x_j, \dots, x_n$ - факторы;

b_0, b_{ij}, b_{ii} - коэффициенты уравнения регрессии,

это позволило преобразовать исходную модель к виду, удобному для решения задач качественного и количественного анализа.

Для построения квадратичных регрессионных моделей нелинейных коэффициентов использовано ортогональное центральное композиционное планирование (ОЦКП).

Разработана базовая интегро-дифференциальная модель с регрессионным представлением нелинейных коэффициентов $F_{\mu 1}$, F_c , L ,

$G_{\mu} / 1, 3, 7/$:

$$\frac{dx}{dt} = v$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^n b_{0k} + b_{1k} \cdot i_1 + b_{2k} \cdot x_1 + b_{3k} \cdot i_1 \cdot x_1 + b_{4k} \cdot i_1^2 + b_{5k} \cdot x_1^2 \pm \right. \\ \left. \pm \sum_{i=1}^n C_{0p} + C_{1p} \cdot i_1 + C_{2p} \cdot x_1 + C_{3p} \cdot i_1 \cdot x_1 + C_{4p} \cdot i_1^2 + C_{5p} \cdot x_1^2 \right] \quad (2)$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{U_1 - i_1 \cdot R - i_1 \cdot v \left(\frac{1}{W} (a_{0m} + a_{1m} \cdot i_1 + a_{2m} \cdot x_1 + a_{3m} \cdot i_1 \cdot x_1 + a_{4m} \cdot i_1^2 + a_{5m} \cdot x_1^2) \right)}{\frac{1}{W} (G_{\mu 0} + a_{0m} \cdot x_1 + a_{1m} \cdot i_1 \cdot x_1 + a_{2m} \cdot \frac{x_1^2}{2} + a_{3m} \cdot i_1 \cdot \frac{x_1^2}{2} + a_{4m} \cdot i_1^2 \cdot x_1 + a_{5m} \cdot \frac{x_1^3}{3})}$$

$$\frac{di_n}{dt} = \frac{U_n - i_n \cdot R - i_n \cdot v \left(\frac{1}{W} (a_{0m} + a_{1m} \cdot i_n + a_{2m} \cdot x_n + a_{3m} \cdot i_n \cdot x_n + a_{4m} \cdot i_n^2 + a_{5m} \cdot x_n^2) \right)}{\frac{1}{W} (G_{\mu 0} + a_{0m} \cdot x_n + a_{1m} \cdot i_n \cdot x_n + a_{2m} \cdot \frac{x_n^2}{2} + a_{3m} \cdot i_n \cdot \frac{x_n^2}{2} + a_{4m} \cdot i_n^2 \cdot x_n + a_{5m} \cdot \frac{x_n^3}{3})}$$

где $U_1 \dots U_n$ - напряжение обмоток управления;

$i_1 \dots i_n$ - ток в обмотках управления;

$a_{0m}, \dots, a_{5m}; b_{0k}, \dots, b_{5k}; C_{0p}, \dots, C_{5p}$ - коэффициенты регрессионных

полиномов $F_{\mu 1}$, L , $dL/dx, F_c$;

m, k, p - индексы номеров интервалов варьирования факторов (i, x);

x_1, \dots, x_2 - смещение торцов ферромагнитных участков подвижного элемента ЭМШД относительно среза модуля;

x - перемещение подвижного элемента ЭМШД;

G_{μ} - магнитная проводимость в воздушном зазоре;

$G_{\mu 0}$ - проводимость в обмотке управления;

w - число веток обмоток управления;

Использование модели (2), а также вычислительных мощностей современных ПЭВМ позволяет успешно осуществлять анализ динамических состояний электроприводов на ранних этапах проектирования с применением имитационного моделирования.

На основании анализа функционирования ЭМШД определены следующие координаты /2, 6/, описывающие функционирование ЭМШД при "разгоне/установившемся движении":

- скорость установившегося движения (V_p);

- максимальное ускорение разгона (A_p);

- количество шагов разгона (N_p);

- электроэнергия, затраченная на разгон подвижного элемента ЭМШД до установившегося движения (W_p);

А динамическое состояние ЭМШД "торможение" можно описать

в следующей системе координат:

- количество шагов торможения (N_T);
- ускорение на участках торможения (A_T);
- электроэнергия, затраченная на торможение подвижного элемента ЭМШД (W_T).

Используя имитационное моделирование и интегродифференциальную модель (2) с регрессионным представлением нелинейных коэффициентов (1), можно осуществлять не только качественный анализ функционирования ЭМШД, но и производить количественный анализ влияния тех или иных параметров управления на основные координаты функционирования ЭМШД в различных динамических состояниях. При реализации автосинхронного управления ЭМШД целесообразно использовать силовые коммутаторы с форсировкой скорости нарастания тока в фазах ЭМШД от источника повышенного напряжения. При этом были выделены следующие основные параметры управления в динамическом состоянии "разгон/установившееся движение":

- тип коммутации κ ;
- начальный зазор коммутации α ;
- величина рабочего напряжения U_p ;
- величина форсировочного напряжения U_f ;
- длительность форсировки T_f ;

Более сложным является управление динамическим состоянием "торможение" при функционировании ЭМШД. Для этих целей предложено использовать противовключение, когда коммутируемая фаза создает усилие, противоположное направлению движения подвижного элемента ЭМШД. Условием останова подвижного элемента ЭМШД в заданной точке траектории движения является точное определение участка (количества шагов) торможения.

Наиболее простым является предположение, что для осуществления торможения подвижного элемента ЭМШД достаточно применить управление, противоположное разгону.

Однако необходимо принять во внимание различное влияние некоторых параметров ЭМШД на его функционирование в различных режимах. Так, сила сопротивления (F_c) будет источником дополнительного тормозного усилия, что может привести к возникновению участка дотягивания. В то же время, инерционные свойства подвижного элемента ЭМШД и отрицательная нагрузка ($-F_n$) могут привести к перерегулированию.

Поэтому необходимо иметь возможность регулирования предполагаемого участка торможения. Для этой цели предлагается ввести параметр соотношения режимов разгона/торможения ($Z_{срт}$),

который можно определить из выражения /2, 6/:

$$\Delta Z_c = Z_{сррт} - \Delta t g, \quad (3)$$

где ΔZ_c - оценка изменения динамики разгона ЭМШД на пройденном шаге;

$\Delta t g$ - изменение времени на последующем шаге по сравнению с предыдущим.

Количество шагов при разгоне определяется:

$$\begin{cases} N_p = N_p, & \text{если } \Delta Z_c \geq 0 \\ N_p = N_p + 1, & \text{если } \Delta Z_c < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

Для выяснения характера влияния $Z_{сррт}$ на наблюдаемость участка разгона, а значит и на прогнозируемый участок торможения, использованы результаты имитационного моделирования.

Имитационное моделирование было использовано для оценки влияния различных типов тормозных коммутации. С целью обеспечения возможности регулирования координат ЭМШД на участке торможения был введен коэффициент тормозного усилия (K_t), величина которого изменяется в пределах от нуля до единицы. При этом, значение коэффициента тормозного усилия равное нулю соответствует тормозному алгоритму возбуждения обмоток управления, обеспечивающих слабое тормозное усилие (тип А), а $K_t=1$, если торможение реализуется с использованием сильных тормозных коммутаций (тип D).

Для управления функционированием ЭМШД в разных динамических состояниях может использоваться большое число управляющих параметров, как пассивных так и активных. Наличие такого количества управляющих параметров приводит к появлению большой области допустимых решений при формировании требуемых координат функционирования ЭМШД. Поэтому, при синтезе требуемых координат работы ЭМШД возникают задачи по определению оптимизирующей по заданному критерию совокупности управляющих воздействий. Решение таких задач крайне затруднено на базе интегрально-дифференциальной модели типа (2) с учетом (1).

Однако, задачи по определению экстремума целевой функции при заданных ограничениях в виде равенств и неравенств успешно решаются методами линейного или нелинейного программирования. При этом математическая модель функционирования ЭМШД должна быть преобразована в системе алгебраических уравнений. Как показал опыт решения аналогичных задач в электромеханике, хороший результат может быть получен при использовании регрессионных моделей, построенных на базе планирования эксперимента.

Необходимо отметить, что планирование физического эксперимента отличается большой трудоемкостью и не может производиться на ранних этапах проектирования электроприводов на базе ЭМШД. Данную проблему позволяет решить использование имитационного моделирования и планирования аналитического эксперимента.

Результатом планирования эксперимента и регрессионного анализа является преобразование традиционной математической модели (1) к виду /3, 4/:

$$[Y] = [B] \cdot [X], \quad (5)$$

где Y - вектор-столбец координат ЭМШД (размерность K_1);

X - вектор-столбец управляющих воздействий (размерность K_2);

B - матрица коэффициентов регрессии размерность $K_1 \cdot K_2$.

Используя модель вида (5) и методы нелинейного программирования осуществлен синтез заданных координат функционирования ЭМШД в различных динамических состояниях путем определения оптимизирующей по заданному критерию совокупности управляющих воздействий.

Третий раздел посвящен синтезу оптимального управления, где решается задача по определению оптимизирующей по выбранному критерию совокупности управляющих воздействий.

Использование регрессионных моделей ЭМШД позволило преобразовать задачи синтеза требуемых координат работы к задачам нелинейного программирования общего вида: определение экстремума целевой функции (нелинейной или линейной) при нелинейных и линейных ограничениях в виде равенств или (и) неравенств.

При этом в качестве целевой функции может быть выбрана любая из координат электромагнитного привода, т.е. наличие регрессионной модели в сочетании с имеющимися методами нелинейного программирования позволяет решать оптимизационные задачи по целому ряду критериев (оптимизация по энергопотреблению, по скорости установившегося движения, по динамике разгона, по энергопотреблению на участке торможения, по величине тормозного пути на участке торможения, по быстродействию на участке торможения, по динамике торможения).

Обоснованно для решения этой задачи выбран метод последовательной безусловной минимизации (МПБМ).

В качестве примера рассмотрено решение оптимизационной задачи, формализованное представление которой в виде задачи нелинейного программирования записывается следующим образом /3/:

$$\begin{cases} Y(5) \rightarrow \min \\ X_{\min} \leq X \leq X_{\max}, \\ Y(1) = V_3 \end{cases} \quad (6)$$

где $Y(5)$ - энергопотребление при разгоне;

V_3 - заданное значение скорости установившегося движения.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет на этапах раннего проектирования электроприводов на базе ЭМШД осуществлять качественный и количественный анализ различных алгоритмов управления и строить регулировочные характеристики, соответствующие результатам решения задач управления ЭМШД по заданному критерию.

В четвертом разделе производится разработка алгоритмов управления динамическими состояниями ЭМШД.

Важным требованием к устройствам и алгоритмам управления, связанным с уровнем текущего информационного обеспечения, является их помехозащищенность. Для повышения помехозащищенности предложен усовершенствованный программный фильтр, обеспечивающий три степени защиты: узкополосный фильтр, фильтр типа RC или временной задержки и система многоуровневых аппаратурных прерываний.

Организация трех ступеней защиты позволяет, с одной стороны, свети к минимуму вероятность возникновения помех в алгоритмах управления, а с другой - достичь жесткого и однозначного контроля положения подвижного элемента ЭМШД.

В процессе функционирования ЭМШД может возникать погрешность обработки заданных координат, что приводит к снижению устойчивости работы систем.

Для устранения (уменьшения) погрешности значительные возможности открываются при использовании адаптивных алгоритмов управления.

Под адаптивными понимаются системы, в которых структура и параметры управления избираются автоматически при изменении возмущающих воздействий. Адаптивные системы более универсальны, чем неадаптивные, и позволяют сократить сроки проектирования, наладки и испытаний, обеспечить управление новыми, мало изученными объектами, способствуют решению проблем оптимизации.

Общая структура поисковой адаптивной системы (алгоритма) управления приведена на рисунке 1. Управляемый объект контролируется посредством датчиков. Вектор сигналов контроля поступает в модуль оценивания. На выходе этого модуля формируется оценка X вектора состояний, оценка вектора параметров A и оценка

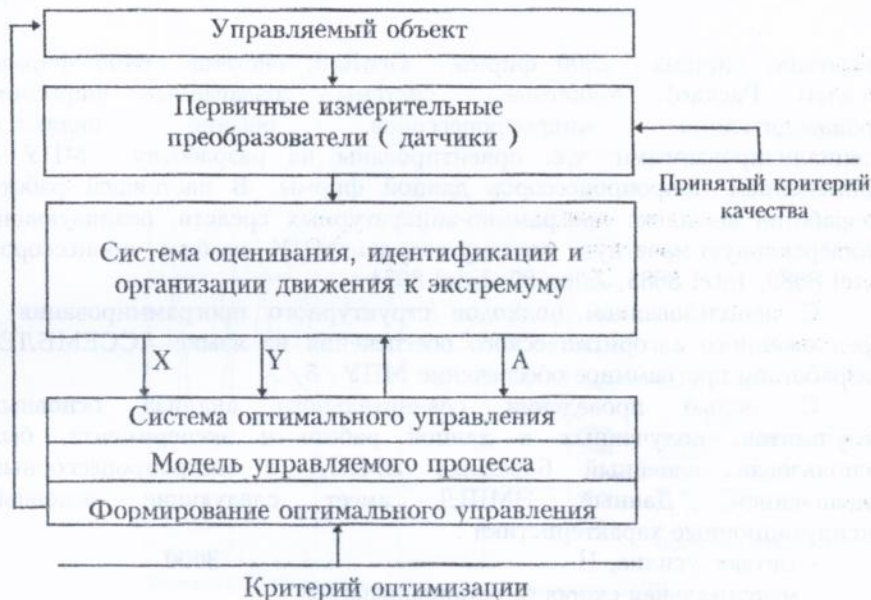


Рисунок 1 - Структура поисковой, адаптивной системы (алгоритма) управления

вектора качества управления Y . Система оценивания может также осуществлять оперативное диагностирование каналов обратных связей и выдавать сигналы реконфигурации.

В пятом разделе произведена аппаратная реализация управления ЭМШД с использованием микропроцессорной элементной базы.

Разработка микропроцессорных систем состоит из двух основных этапов:

- 1) Аппаратурная реализация системы.
- 2) Разработка программного обеспечения (ПО) для решения конкретной задачи.

Была разработана структурная схема аппаратурной реализации системы управления на базе процессора Z80A.

Более трудоемкой является отладка программного обеспечения микропроцессорной системы управления (МПУ).

Для решения вопросов отладки МПУ широко используются макетные системы. Типичными, хорошо известными макетными системами поддержки разработок МПУ являются: системы 120, 225, 286 и 290 фирмы Intel; системы 8540, 8550, 8560 и 8002 фирмы

Tektronix; система 2300 фирмы GenRad; система 6400 фирмы Hewlett Packard. Макетные системы, создаваемые фирмами-производителями микропроцессоров, обычно являются специализированными, т.е. ориентированы на разработку МПУ с применением микропроцессоров данной фирмы. В настоящей работе разработан комплекс программно-аппаратурных средств, реализующий универсальную макетную систему отладки МПУ на базе процессоров Intel 8080, Intel 8085, Zilog 80, Intel 8051.

С использованием подходов структурного программирования и предложенного алгоритмического обеспечения на языке АССЕМБЛЕР разработано программное обеспечение МПУ/5/.

С целью проведения сравнительного анализа основных результатов, полученных в данной работе и эксперимента, был использован линейный 6-фазный ЭМШД с микропроцессорным управлением. Данный ЭМШД имеет следующие основные эксплуатационные характеристики :

- | | |
|---|--------|
| - тяговое усилие, Н | - 3000 |
| - максимальная скорость установившегося движения, м/с | - 1.5 |
| - максимальная длина рабочего хода, м | - 3.0 |
| - единичный шаг перемещения, мм | - 10 |
| - точность позиционирования, мм | - 0.1 |

В качестве примера формирования требуемой траектории перемещения подвижного элемента ЭМШД рассмотрена настройка электропривода на перемещение со скоростью установившегося движения 1 м/с, максимальным ускорением на участке разгона не выше 2 м/с², величина инерционной нагрузки 600 кг, энергопотребление должно быть минимальным.

$$\left\{ \begin{array}{l} Y(5) \rightarrow \min \\ X_{\min} \leq X \leq X_{\max} \\ Vy = 1 \text{ м / с} \\ a_p \leq 2 \text{ м / с}^2 \end{array} \right. \quad (7)$$

Используя приведенные в данной работе подходы, рассчитаны управляющие воздействия, обеспечивающие требуемые координаты функционирования ЭМШД.

Экспериментальная проверка подтвердила, что электропривод обеспечивает перемещение с заданными ограничениями в пределах требуемой точности. Осциллограмма работы электропривода приведена на рисунках 2 и 3.

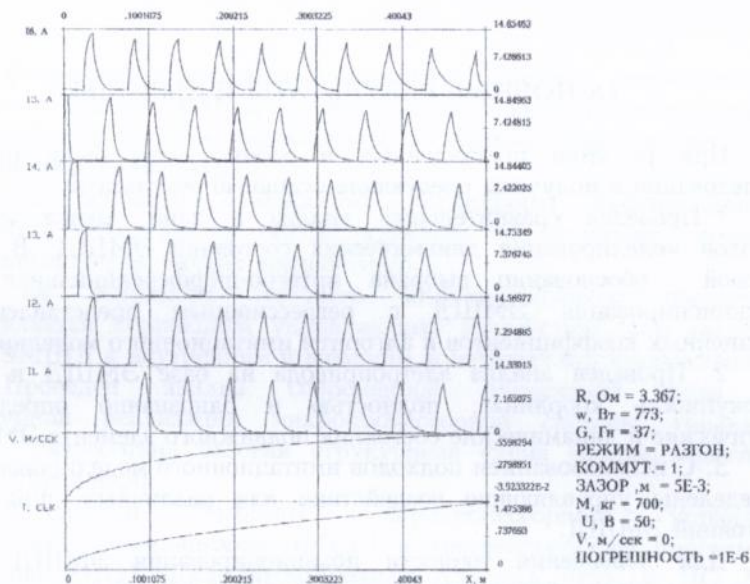


Рисунок 2.2 - Имитационное моделирование разгона ЭМШД

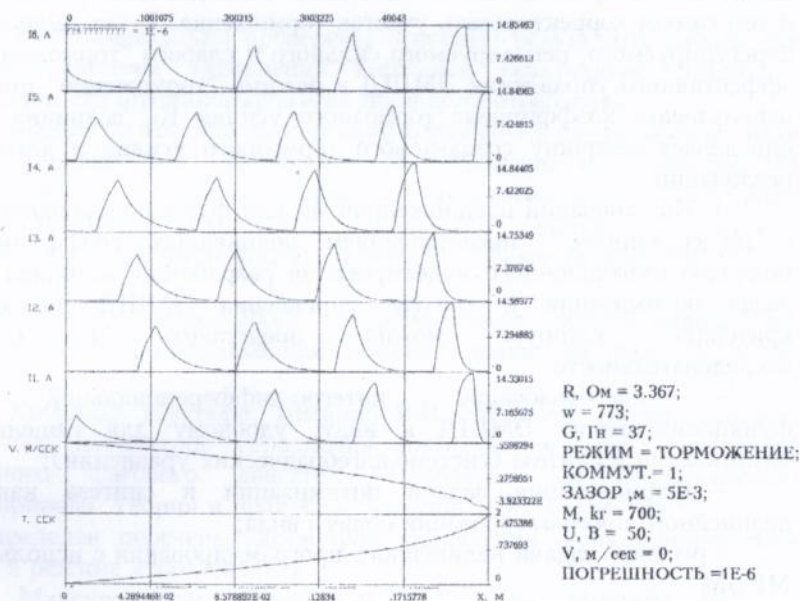


Рисунок 2.3 - Имитационное моделирование торможения ЭМШД.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

При решении поставленных в работе задач были проведены исследования и получены следующие основные результаты.

1. Проведен сравнительный анализ и дана оценка известных методов моделирования динамических состояний ЭМШД. В качестве базовой обоснованно выбрана интегро-дифференциальная модель функционирования ЭМШД с регрессионным представлением ее нелинейных коэффициентов и алгоритм имитационного моделирования.

2. Проведен анализ элетропривода на базе ЭМШД и выбрана совокупность координат, полностью и однозначно определяющая статические и динамические состояния подвижного элемента ЭМШД.

3. С использованием подходов имитационного моделирования были определены управляющие воздействия для различных динамических состояний ЭМШД.

Для повышения точности позиционирования ЭМШД впервые введено понятие "соотношение режимов разгон/торможение" $Z_{сррт}$, изменение которого позволяет изменить наблюдаемость участка разгона и тем самым корректировать участок торможения. Были выделены зоны нерегулируемого, регулируемого сильного и слабого "торможения". Для эффективного управления ЭМШД в режиме "торможение" предложено использовать коэффициент тормозного усилия K_t , величина которого определяет величину создаваемого тормозного усилия и алгоритм его реализации.

4. На основании предложенной модели функционирования ЭМШД с регрессионным представлением нелинейных коэффициентов и подходов имитационного моделирования разработана методика решения задач оптимизации и синтеза управления ЭМШД по заданному критерию, которую можно представить в следующей последовательности:

- преобразование интегро-дифференциальной модели функционирования ЭМШД к виду, удобному для решения задач оптимизации и синтеза (системе алгебраических уравнений);
- формализация задачи оптимизации и синтеза как задачи нелинейного программирования общего вида;
- решение задачи нелинейного программирования с использованием МПБМ.

5. Предложен алгоритм реализации трехступенчатого узкополосного программного фильтра для повышения помехозащищенности каналов обратной связи в электроприводах на базе ЭМШД с микропроцессорным управлением.

6. Разработан алгоритм адаптации систем автоматического управления (САУ) ЭМШД к внутренним и внешним возмущающим воздействиям, в котором реализованы следующие подходы управления функционированием ЭМШД:

- на основании априорного (исходного) информационного обеспечения определяется оптимизирующая по заданному критерию совокупность управляющих воздействий;

- на основании текущего информационного обеспечения осуществляется коррекция управляющих воздействий для адаптации (САУ) ЭМШД к внутренним и внешним возмущающим воздействиям.

7. Проведен анализ современной элементной базы для аппаратурной реализации микропроцессорной системы управления ЭМШД. Разработана базовая структурная схема микропроцессорной системы управления.

8. Разработан алгоритм микропроцессорного управления динамическими состояниями ЭМШД и соответствующее программное обеспечение (ПО). Для автоматизации процесса отладки ПО МПУ разработан программно-аппаратный комплекс на базе IBM-совместимых ПЭВМ.

9. Экспериментально проверены основные результаты работы при разработке системы управления 6-фазным реактивным ЭМШД и оптимизации его функционирования по энергопотреблению.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Писанко В.В., Кулинич Э.М., Мансури В., Хобаллах М. Имитационное моделирование динамических состояний электромагнитного реактивного линейного шагового двигателя /International scientific-technical conference. - Севастополь: 1995.-С.255-260.

Подходы имитационного моделирования использованы для исследования функционирования электропривода на базе 6-фазного ЭМШД.

2. Хобаллах Мустафа, Писанко В.В., Мансури Валид, Головань Д.Г. Выбор параметров управления торможением электромагнитного реактивного шагового двигателя //Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Харьков 1996.-С.184-185.

Определен перечень параметров управления функционированием ЭМШД в режиме «торможение».

3. Мансури Валид, Писанко В.В., Хобаллах Мустафа, Кулинич Э.М. Проектирование математической модели функционирования электромагнитных шаговых двигателей для решения задач оптимизации и синтеза с использованием планирования аналитического эксперимента

и регрессионного анализа. // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Харьков 1996.-С.142-143.

Предложена структура алгебраической регрессионной модели для описания функционирования электропривода на базе ЭМШД при «разгон/установившееся движение».

4. Писанко В.В., Бондаренко В.И., Мансури В.А., Хобаллах М.М. "Регрессионная модель функционирования реактивного электромагнитного шагового двигателя" // International Scientific and Technical Conference. Szczecin, 1995. -pp. 261-267.

Предложена общая структура регрессионной модели электропривода на базе ЭМШД.

5. Писанко В.В., Осадчий В.В., Хобаллах М.М. Комплекс программно-аппаратных средств для отладки микропроцессорных систем управления. // Техн. электродинамика. -1996.- №1. -С58-66.

Разработан общий монитор связи с пользователем.

6. Бондаренко В.И., Писанко В.В., Мансури В.А., Хобаллах М.М.

Выбор параметров управления различными динамическими состояниями ЭМШД // Сборник докладов научно-технической конференции. Львов, 1996. -С 17-20.

Проведено ранжирование по влиянию различных параметров управления на различные координаты функционирования электропривода на базе ЭМШД.

ANNOTATION

Mustafa Mohamad Hobballal. The energetically and dynamically optimal control of linear electromagnetic drive, using microprocessor means.

The dissertation on competing the Scientific degree of a Candidate of technical Sciences on specialty 05.09.03 Electrical Engineering complexes and systems, including their control and regulation. The National Academy of Sciences of Ukraine. Institute of Electrodynamics, Kiev, 1997.

6 scientific papers based on the theoretical researches and computation experiments aiming to consider the methods of energy-economy by optimizing the dynamic of control of linear electromagnetic drive, adaptive and disturbance-filters algorithms of control using the microprocessor base.

АНОТАЦІЯ

Мустафа Мохамад Хобаллах. Оптимальное по энергетике и динамике управление линейным электромагнитным приводом с использованием микропроцессорных средств.

Дисертація на здобуття наукового ступіня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи, включаючи їх управління та регулювання. Національна академія наук України "Інститут електродинаміки", Київ, 1997 р.

Захищається 6 наукових праць, в яких на основі теоретичних досліджень та обчислювальних і фізичних експериментів відпрацьовані підходи синтезу оптимізації по енергозбереженню та динаміці регулювання електромагнітних приводів, заводозахищених алгоритмів регулювання та наведена їх реалізація з використанням мікропроцесорної елементної бази.

Ключевые слова: разомкнутые и замкнутые системы управления, электромагнитный шаговый двигатель, автосинхронные системы управления, микропроцессорная элементная база, математическая модель, коммутация, метод последовательной безусловной минимизации, алгоритм управления.



436141

