

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи

ВЕЛИЧКО Николай Акимович

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ДЛЯ АППАРАТОВ ТОЧНОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

КИЕВ - 1994



00756584 (Z)

дисертацією являється рукопись.

Робота виконана на кафедрі промислової електроніки
Чернігівського технологічного інститута.

Научний керівитель - доктор технічних наук, професор
Денисов Александр Иванович

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, с.н.с.
Исаков Владимир Николаевич

- кандидат технічних наук, доцент
Гулий Виктор Дмитриевич

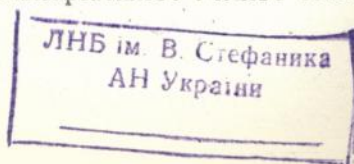
Ведущая организация - НИИ електромеханических приборов
министерства машиностроения, военно - промышленного комплекса и
коверсии, г.Київ.

Защита состоится "6" 07 1994 г. в 11 час. на заседа-
нии специализированного Ученого Совета Д.016.30.03 в Институте
электродинамики НАН Украины (252680, Київ-57, пр.Победы, 56).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
электродинамики НАН Украины.

Автореферат разослан "3" 06 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Ученого Совета



В.С.Федія

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные аппараты точной магнитной записи (АТМЗ) должны обеспечивать высокое качество записи-воспроизведения информации при заданных массо - габаритных показателях. Удовлетворение этих требований зависит в значительной мере от точности САР-скорости блока вращающихся головок (БВГ), привод которого выполняется на основе вентильного двигателя (ВД).

Сложность и высокая стоимость разработки систем стабилизации скорости на базе ВД, связанная с наличием в его составе электромеханического и статического преобразователей энергии, датчиков положения ротора и скорости, корректирующих устройств, требуют новых подходов к проектированию, обеспечивающих быстрые и оптимальные инженерные решения. В настоящее время наиболее эффективным методом исследования электромеханических объектов является метод математического моделирования и его реализация на ЭВМ.

Несмотря на большое количество работ, связанных с моделированием электроприводов, отсутствуют универсальные математические модели, позволяющие решать комплекс исследовательских задач, разнообразие которых определяется особенностями конкретного электропривода. Особые требования предъявляются к моделям прецизионных следящих электроприводов, высокая точность которых приводит с одной стороны, к необходимости учета малых нелинейностей и инерционностей, обычно не учитываемых в общепромышленных электроприводах, а с другой стороны - к сложным алгоритмам управления. Наряду с традиционными задачами исследования, например, расчете динамических характеристик или исследовании влияния параметров отдельных звеньев на устойчивость и качество переходных процессов, при моделировании прецизионных электроприводов часто требуется обеспечить возможность вариантных исследований с целью оптимизации их структуры и параметров, что требует разработки быстродействующих алгоритмов. Все это определяет актуальность данной диссертационной работы.

Тема диссертации связана с планами научно-исследовательских

работ предприятия п/я В-8071 (г. Киев) и с планами научных работ Черниговского технологического института.

Целью настоящей работы является повышение эффективности исследования и проектирования систем электропитания вентильных двигателей для АТМЗ.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

-анализа методов исследования вентильных двигателей и систем автоматического регулирования АТМЗ;

-разработки динамических математических моделей вентильного двигателя; исследования характеристик двигателя в переходных и установившихся режимах;

-разработки динамических математических моделей САР-скорости и САР скоростного двигателя привода блока вращающихся головок АТМЗ; исследования динамических характеристик и устойчивости импульсной и цифровой САР;

-разработки математической модели многоскоростного АТМЗ; исследования процессов синхронизации двигателя с постоянными магнитами при его питании от автономного инвертора напряжения с комбинированным возбуждением;

-разработки методики автоматизированного проектирования систем электропитания вентильных двигателей АТМЗ;

-разработки и экспериментальных исследований САР скоростного двигателя привода блока вращающихся головок АТМЗ.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием теории электромеханического преобразования энергии, методов мгновенных значений, координатных преобразований, переключающих функций, численных методов, параметрической оптимизации; цифровое моделирование проводилось на персональной ЭВМ типа IBM PC AT; экспериментальные исследования по проверке теоретических положений выполнены на лабораторном образце.

Научная новизна:

1. Разработаны новые динамические математические модели вентильного двигателя, в которых двигатель рассматривается как электромеханическая система с переменной структурой или как синхронный двигатель с частотой питающего напряжения, пропорциональной частоте вращения ротора.

2. Разработаны на базе моделей вентильного двигателя более точные, чем известные, математические модели САР-скорости и САР скоростного двигателя электропривода блока вращающихся головок АТМЗ с астатизмом по положению с непрерывным или дискретным регулятором.

3. Разработана ранее неизвестная математическая модель многоскоростного АТМЗ с комбинированным управлением автономным инвертором напряжения.

4. Разработан ряд алгоритмов и программ для исследования электромеханических процессов, ориентированных на получения результатов в численном виде, в частности:

-программа SAR210.BAS, реализующая алгоритм математической модели САР-скорости синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) с непрерывным регулятором;

-программы SAR111.BAS и SAR211.BAS, реализующие алгоритмы математических моделей САР-скорости соответственно бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ) и СДПМ с дискретным регулятором;

-программа SAR220.BAS, реализующая алгоритм математической модели САР скоростного двигателя привода блока вращающихся головок АТМЗ;

-программа SAR230.BAS, реализующая алгоритм математической модели многоскоростного АТМЗ с комбинированным управлением автономным инвертором напряжения.

Б. Разработана САР скоростного двигателя привода блока вращающихся головок АТМЗ.

Практическая ценность.

1. Разработанные математические модели, алгоритмы и пакет программ позволяют автоматизировать процесс проектирования систем электропитания вентильных двигателей высокоточных САР и снизить трудоемкость разработки подобных систем.

2. С использованием предложенной методики автоматизированного проектирования разработана САР электропривода блока вращающихся головок АТМЗ, имеющая улучшенные энергетические характеристики по сравнению с традиционными системами.

На защиту выносятся:

-математические модели, алгоритмы и комплекс программ

математического обеспечения для исследования электромеханических процессов прецизионных систем рентильного электропривода, в частности САР скоростного двигателя привода блока вращающихся головок АТМЗ.

-функциональная схема и результаты экспериментальных исследований САР скоростного двигателя АТМЗ.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы при разработке системы электропитания и управления двигателем с постоянными магнитами, переданной для внедрения в опытное производство с ожидаемым годовым эффектом 50 тыс. руб. (в ценах 1990 г.), что подтверждено соответствующим актом.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 13-й научно-технической конференции молодых ученых и специалистов НПО "Маяк" "Методы и средства записи и воспроизведения сигналов в системах передачи информации" /Киев, 1990 г./; 5-й Республиканской школе-семинаре молодых ученых и специалистов "Преобразование параметров электрической энергии в энергетических и технологических установках" /Алушта, 1990 г./; 5-й Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы преобразовательной техники" /Чернигов, 1991 г./; 2-й Всесоюзной научно-технической конференции по электромеханотронике /Санкт-Петербург, 1991 г./; региональной научно-технической конференции "Автоматизация исследования, проектирования и испытаний сложных технических систем и проблемы математического моделирования" /Калуга, 1991 г./; международной научно-технической конференции "Силовая электроника в решении проблем ресурс- и энерго-сбережения" /Алушта, 1993 г./; международной конференции "Проблемы преобразования электроэнергии" /Москва, 1993 г./; семинарах "Методы и средства управления качеством энергетических и динамических характеристик полупроводниковых преобразователей" научного совета АН Украины по комплексной проблеме "Научные основы электроэнергетики" /Чернигов, 1990-1993 гг./.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 работ, из них: статей - 2; тезисов докладов - 8.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5

глав, заключения, приложений, списка литературы из 101 наименования и содержит 285 страниц, из них 114 страниц основного текста, 117 страниц рисунков и таблиц, 35 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемых задач, определены цель и задачи исследования, изложено краткое содержание работы.

В первой главе проанализированы требования, предъявляемые к системам автоматического регулирования АТМЗ, проведен обзор методов анализа САР АТМЗ и вентиляных двигателей.

Во второй главе рассмотрены особенности математического моделирования систем вентиляного электропривода. Показано, что использование численных методов, ориентированных на применение ЭВМ, несмотря на основной недостаток — невозможность установления общих закономерностей поведения систем, позволяет проводить в сжатые сроки и с достаточной точностью исследование цифровых САР при минимуме допущений.

Выявлено, что наиболее устойчивая динамическая модель вентиляного двигателя может быть получена при использовании уравнений, в которых искомыми функциями являются функции потокосцепления статора и ротора, а в качестве определяющего вектора принимается вектор напряжения статора.

Установлено, что для моделирования систем вентиляного электропривода наряду с точными методами численного интегрирования высокого порядка, целесообразно использовать и менее точные, применение которых обеспечивает достаточную точность моделирования при соответствующем выборе шага интегрирования.

Проведен анализ этапов развития и особенностей построения САПР электропривода. Показано, что наиболее целесообразно в настоящее время создавать отдельные средства САПР, направленные на решение конкретных задач электропривода, прежде всего с использованием персональных ЭВМ.

В третьей главе разработаны динамические математические модели нерегулируемого вентиляного электропривода с использованием методов исследования двигателей постоянного тока (БДПТ) и

синхронных машин (СДМ), алгоритмы и программы математического обеспечения ЭВМ: проведено моделирование переходного процесса пуска; исследованы механические и регулировочные характеристики вентильного двигателя; выполнен анализ колебаний мгновенной скорости вращения ротора.

Отмечено, что при моделировании вентильного двигателя для определения моментов коммутации вентилей автономного инвертора напряжения обычно задают достаточно малый шаг интегрирования. Предложено для снижения затрат машинного времени шаг интегрирования выбирать из условия получения устойчивого решения, а для переключения датчика положения ротора с заданной точностью использовать специальную подпрограмму.

Анализ работы вентильного двигателя как электромеханической системы с переменной структурой обычно проводится в установившемся режиме. Учитывая, что выражения электромагнитного момента БДП для обоих интервалов движения ротора (I - коммутации; II - вне коммутации) не содержат производных по времени, предложено, для исследования поведения двигателя в переходных режимах, описывать вентильный двигатель системой нелинейных дифференциальных уравнений электрического и механического равновесия.

В процессе моделирования установлено, что анализ электромеханических процессов в вентильном двигателе с учетом изменяющейся структуры силовой цепи (программа ВДРТ) позволяет получить наиболее точные решения для заданной структуры двигателя, а исследования вентильного двигателя с использованием теории синхронных машин (программа СДМ) позволяет создать наиболее простую и универсальную математическую модель.

Численные расчеты показали, что затраты машинного времени при использовании программ ВДРТ и СДМ при прочих равных условиях относятся как 4:1, что затрудняет использование программы ВДРТ в случае проведения оптимизационных расчетов. Учитывая это, а также то, что точность моделирования в лучшем случае составляет несколько процентов, в работе основное внимание уделено математическим моделям вентильного электропривода, построенным на базе модели СДМ.

Экспериментальные и теоретически рассчитанные кривые переходного процесса пуска вентильного двигателя без ограничения

и с ограничением пускового тока ($I_{огр} = 2 \text{ А}$) показаны на рис. 1.

На рис. 2 приведены теоретически рассчитанные и экспериментальные механическая ($U_{и} = 9 \text{ В}$) и регулировочная ($M_B = 0,0014 \text{ н·м}$) характеристики вентильного двигателя.

В результате исследования установившегося режима вентильного двигателя установлено, что относительные колебания мгновенной скорости вращения на межкоммутационном интервале, полученные при использовании модели БДП, составляют $1,5 \cdot 10^{-5}$ о.е., СДПМ - $3,3 \cdot 10^{-5}$ о.е.

Форма потребляемого тока (рис. 3), построенная по результатам цифрового моделирования БДП, полностью соответствует экспериментальной.

В четвертой главе разработаны математические модели, алгоритмы и программы математического обеспечения ЭВМ для анализа импульсной и цифровой САР-скорости вентильного двигателя и САР скоростного двигателя АТМЗ без учета или с учетом эффектов квантования по уровню при само- или внешнем возбуждении автономного инвертора напряжения; выполнена параметрическая настройка регулятора; исследованы динамические характеристики САР; проведен анализ колебания мгновенной скорости управляемого СДПМ.

Показано, что САР скоростного двигателя обычно представляет собой двухконтурную схему, содержащую петли гибкой (САР-скорости) и жесткой (САР-фазы) обратной связи. Учитывая, что точность стабилизации фазового положения блока вращающихся головок АТМЗ должна быть не хуже $\pm 1 \text{ мкс}$, на первом этапе проведены исследования САР-скорости с непрерывным или дискретным ПИ-регулятором, на втором - выполнен анализ САР скоростного двигателя АТМЗ с астатизмом по фазе.

Реакция САР-скорости вентильного двигателя на ступенчатое увеличение задающего напряжения ($\Delta U_B = 0,45 \text{ В}$) показана на рис. 4. Анализ характера переходного процесса позволяет сделать вывод о практической адекватности математических моделей САР-скорости БДП и СДПМ.

Исследована устойчивость САР-скорости вентильного электропривода с учетом дискретности выходного напряжения частотного дискриминатора. Сравнение (рис. 5) показывает, что учет эффекта

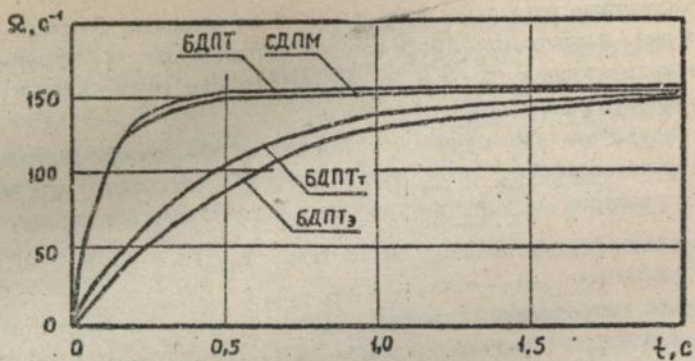


Рис. 1.

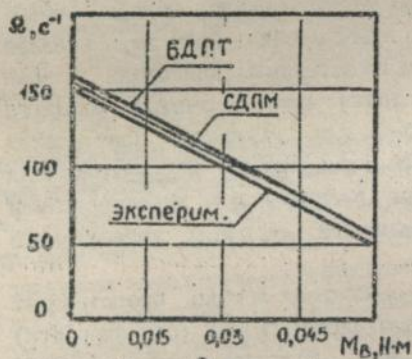


Рис. 2, а.

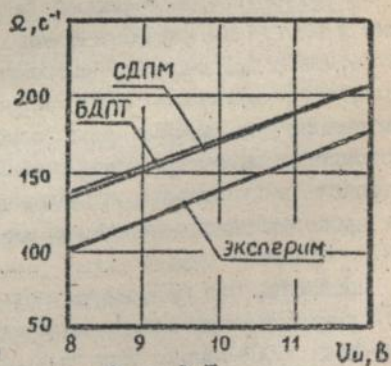


Рис. 2, б.

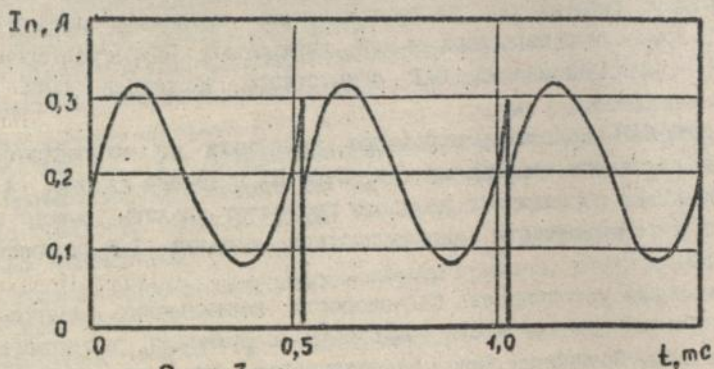


Рис. 3.

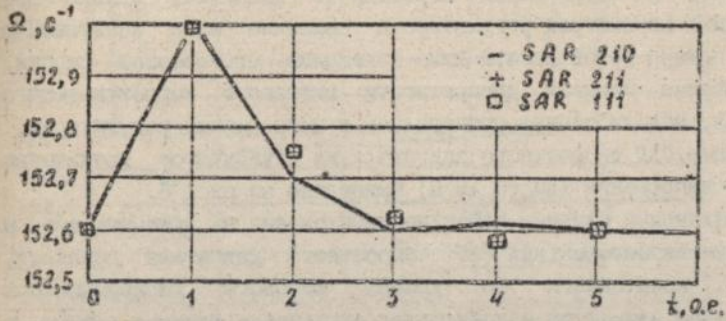


Рис. 4.

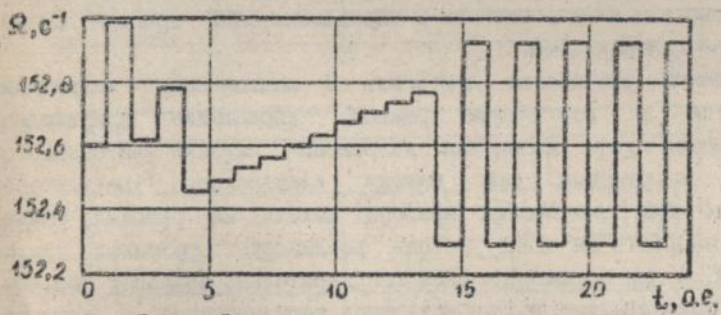


Рис. 5, а.

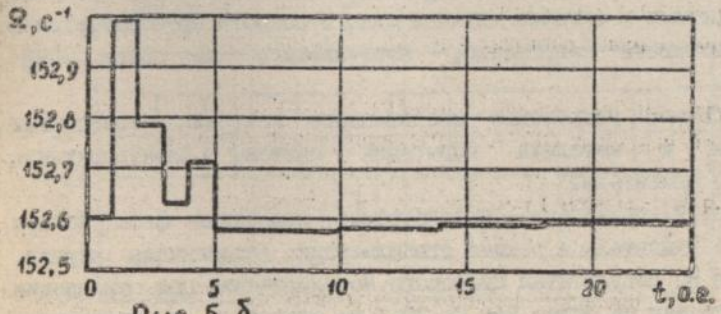


Рис. 5, б.

квантования сигнала ошибки не приводит, за исключением предельного цикла, к затягиванию переходного процесса, однако при определенных параметрах регулятора и величине шага квантования возможна потеря устойчивости или появление статической ошибки. Для исключения влияния дискретности цифрового корректирующего устройства, моделирование проводилось с непрерывным регулятором.

Реакция САР скоростного двигателя на ступенчатое увеличение задающего напряжения ($\Delta U_3 = 0,45 \text{ В}$) приведена на рис. 6.

Исследование влияния эффектов квантования на динамические и статические характеристики САР скоростного двигателя показали, что учет квантования по уровню фазового дискриминатора незначительно влияет на максимальное отклонение фазовой ошибки, а наличие зоны нечувствительности в статической характеристике частотного дискриминатора приводит к некоторому ухудшению точности регулирования фазы при сохранении устойчивости.

Пятая глава посвящена разработке и экспериментальным исследованиям системы электропитания и управления БДП привода блока вращающихся головок АТМЗ.

В данной разработке двигатель с постоянными магнитами используется в вентильном режиме, управление двигателем осуществляется путем изменения напряжения питания автономного инвертора напряжения при помощи электронного регулятора напряжения. Для уменьшения времени выхода на рабочий режим регулятор скорости на этапе разгона реализует релейный закон управления, а при превышении БДП предварительно заданной частоты вращения, осуществляет пропорциональное регулирование. В контуре регулирования фазы временное рассогласование между фронтами опорного сигнала и сигнала датчика одного оборота преобразуется в уровень выходного напряжения, поступающего на вход ПИД-регулятора.

Разработано устройство оперативного контроля точностных показателей и методика испытаний системы электропитания вентильного двигателя.

На рис. 7 приведена сигналограмма колебаний фазы ротора вентильного двигателя в режиме стабилизации. Аналогичная кривая, построенная по результатам цифрового моделирования при отклонении момента нагрузки не более чем на 20 % по отношению к постоянной

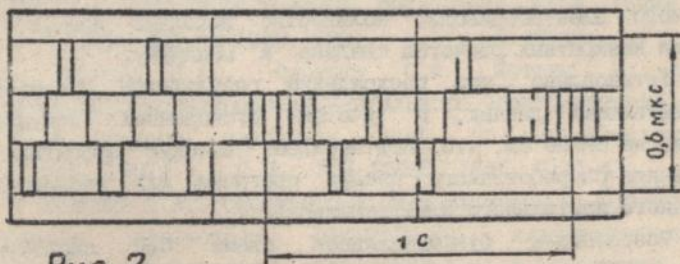
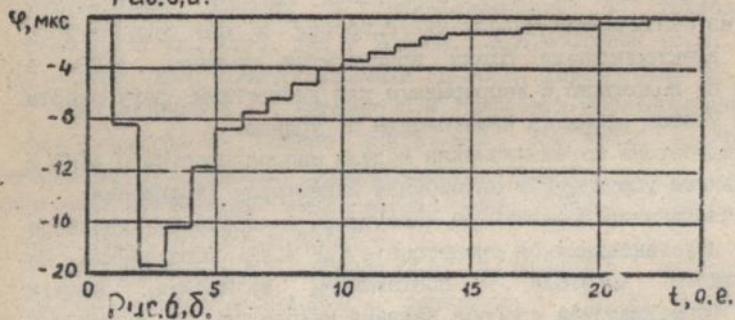
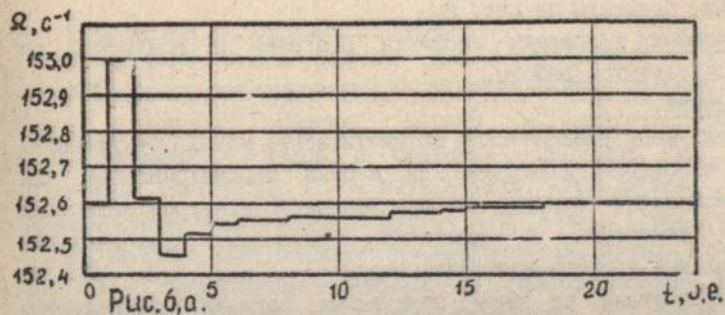


Рис. 7.

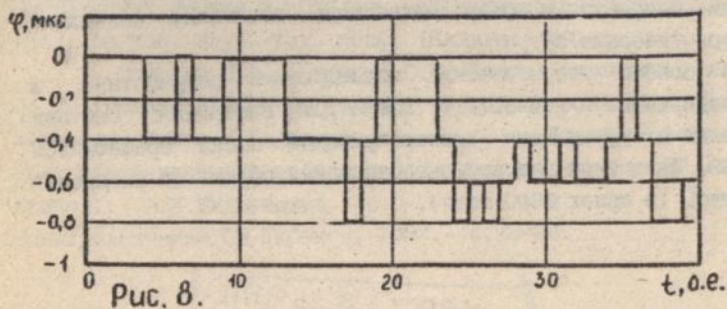


Рис. 8.

составляющей, показана на рис. 8.

В приложении приведены листинги программ и документы по внедрению результатов работы.

Заключение.

1. Предложены динамические математические модели вентильного двигателя, в которых электрическая машина рассматривается как электромеханическая система с переменной структурой или как синхронный двигатель с частотой питающего напряжения, пропорциональной частоте вращения ротора.

2. Разработаны на базе полученных моделей вентильного двигателя математические модели САР-скорости и САР скоростного двигателя электропривода блока вращающихся головок АТМЗ с астатизмом по положению с непрерывным или дискретным регулятором без- или с учетом эффектов квантования по уровню.

3. Разработана математическая модель многоскоростного АТМЗ с комбинированным управлением автономным инвертором напряжения.

4. Исследования доведены до алгоритмов и программ расчетов переходных и установившихся процессов в САР АТМЗ, выполненных на базе m -фазного двигателя с постоянными магнитами. Модели отличаются формализацией способа задания информации о структуре исследуемого электропривода; количество исходных данных для выполнения конкретных расчетов сведено к минимуму.

5. Установлено что расхождение результатов расчетов и экспериментальных данных, с учетом оговоренных допущений, составляет не более 5%, что подтверждает высокую эффективность использования разработанного пакета программ для исследования прецизионного вентильного электропривода.

6. Разработана функциональная схема САР скоростного двигателя АТМЗ, которая при сохранении высокой точности стабилизации скорости и фазы магнитного носителя, позволила снизить энергетические затраты.

7. На основе теоретических исследований разработана и передана предприятию п/я В-8071 (г. Киев) для внедрения система электропитания и управления электроприводом блока вращающихся головок АТМЗ. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения - 50 тыс. руб. (в ценах 1990 года).

Публик. д.и. по теме диссертации.

1. Сиренко С.М., Величко Н.А., Черлинский П.Х. Система автоматического регулирования блока вращающихся головок аппарата точной магнитной записи // Методы и средства записи и воспроизведения сигналов в системах передачи и обработки информации: Тез. докл. 13-ой науч.-техн. конф. молод. ученых и специал (Киев, сент. 1990г.) Киев.: НПО "Маяк", 1990г. С.49-50.

2. Величко Н.А. Цифровая математическая модель вентильного двигателя с постоянными магнитами // Преобразование параметров электрической энергии в энергетических и технологических установках: Сб. науч. тр. / Редкол.: И.В.Мостовяк (отв. ред.) и др. - Киев: Ин-т электродинамики АН УССР, 1991. - С.87-91.

3. Величко Н.А., Сиренко С.М. Цифровое моделирование систем электропривода на основе вентильного двигателя с постоянными магнитами // Пробл. преобразоват. техники: Тез. докл. 5-ой Всесоюз. науч.-техн. конф. (Киев, сент. 1991г.) - Киев: ИЭД АН УССР, 1991. - ч.11. - С.221-223.

4. Денигов А.И., Сиренко С.М., Величко Н.А. и др. Система электропитания для линейного двигателя // Пробл. преобразоват. техники: Тез. докл. 5-ой Всесоюз. науч.-техн. конф. (Киев, сент. 1991г.) - Киев: ИЭД АН УССР, 1991. - ч.14. - С.40-42.

5. Величко Н.А., Сиренко С.М. Методы и алгоритмы математического моделирования вентильного электропривода // Тез. докл. 2-ой Всесоюз. науч.-тех. конф. по электромехатронике (С.-П., окт. 1991г.) - С.П.: РТП ЛИИЖД, 1991. С.41-43.

6. Величко Н.А., Сиренко С.М. Математическое моделирование и оптимизация параметров вентильного электропривода // Автоматизация исследования, проектирования и испытаний сложных технических систем и проблемы математического моделирования: Тез. докл. регион. науч.-тех. конф. (Калуга, 1991.). С.23.

7. Величко Н.А., Сиренко С.М. Синтез параметров оптимального по быстрдействию ПИ-регулятора вентильного электропривода путем математического моделирования // Электромеханические и полупроводниковые преобразователи электроэнергии: Сб. науч. тр./ Редкол.: А.К.Шидловский (отв. ред.) и др. - Киев Ин-т электродинамики АН Украинч, 1992. - с.78-86.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

458128

Ав 30.503

8. Величко Р. А. Анализ точности скорости вентильного электропривода // Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения: Тез. докл. междунар. научно-тех. конф. (Алушта, окт. 1993г.) - Харьков: ХПИ, 1993. - С.35-38.

9. Величко Н.А. Анализ точности САР-скорости вентильного электропривода при дискретном управлении // Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения: Тез. докл. междунар. научно-тех. конф. (Алушта, окт. 1993г.) - Харьков: ХПИ, 1993. - С.39-43.

10. Величко Н.А. Цифровая динамическая модель БДП // Проблемы преобразовательной техники: Тез. докл. Междунар. конф. (Москва, дек. 1993г.) - М.: МЭИ. Ассоциация "АПЭМ", 1993. - С.52-53.

Личный вклад автора.

В опубликованных в соавторстве работах автору принадлежат: разработка функциональной схемы /1/, реализация и исследование отдельных блоков и систем электропитания высокоточных электроприводов различных классов /1,4/; математическая модель вентильного ДПМ /3/; математическая модель САР-скорости ВЭП /5/; алгоритмы /5-7/ и результаты цифрового моделирования /5,7/.

Соискатель

Подписано к печати 01.06.1994г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ. лист. 1,0 Уч.-изд. лист 1,0.
Тираж 100, Заказ 280. Бесплатно

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