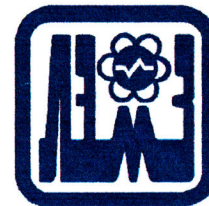


КОНЦЕРН ПВО «АЛМАЗ-АНТЕЙ»

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

**ЛИАНОЗОВСКИЙ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД  
(НПО ЛЭМЗ)**



127411 г. Москва, Дмитровское шоссе, 110  
Тел.: (495) 485-15-22, 485-15-88; Факс (495) 485-15-63, 485-03-88  
E-mail: lemz@tsr.ru http://www.lemz.ru

Дата 18.11.14 Исх. № 100/05-1083

На № 3125

Ученому секретарю МАИ  
к.т.н., доценту  
Ульяшиной А.Н.

Уважаемая Алла Николаевна!

На Ваше письмо от 14.10.2014г. научно-технический совет ОАО "НПО "ЛЭМЗ" рассмотрел текст диссертации и автореферат Зыонг Дык Ха на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)». На заседании научно-технического совета был заслушан доклад соискателя. По итогам голосования было принято положительное решение. Направляем Вам официальный отзыв ведущей организации.

Приложение: 1. Официальный отзыв в 2 экз. (8 стр.)

Председатель научно-технического  
совета, зам. генерального директора  
по науке, главный инженер ОКБ, к.т.н.



Ефремов В. С.

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор ОАО «НПО  
«ЛЭМЗ», доктор технических наук

Бендерский Г.П.

«18»

11

2014 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Зыонг Дык Ха «Автоматизация системного проектирования электронных устройств управления электроприводом», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)».

В диссертационной работе Зыонг Дык Ха решена актуальная задача повышения качества функционирования радиотехнических систем управления воздушным движением. Практическая значимость результатов, полученных в диссертации, обуславливается постоянным повышением требований к точности и быстродействию радиолокационных средств, выполняющих определение координат воздушных судов, что необходимо для обеспечения безопасности полетов воздушных судов как при движении по трассе, так и при совершении ими маневров в зоне аэропортов, особенно в условиях всё возрастающей плотности воздушного движения. Поставленная цель решается в диссертационной работе путем решения задачи автоматизированного проектирования электронных устройств управления (ЭУУ) электроприводами антенн радиотехнических систем управления воздушным движением.

Для решения общей задачи автором диссертации был выполнен ряд исследований и решены частные задачи:



1. Исследована взаимосвязь между внешними характеристиками ЭУУ, параметрами электродвигателей (электромеханическая подсистема), передаточных механизмов (механическая подсистема);

2. Разработаны методики построения моделей подсистем радиотехнических систем управления воздушным движением. В диссертации реализована идея получить однородные модели различных по природе и принципам действия подсистем (электронной, электромеханической и механической) для того, чтобы сделать возможным совместное имитационное моделирование всех подсистем радиотехнической системы в единой среде моделирования, что в свою очередь позволяет выполнять параметрическую оптимизацию параметров ЭУУ электроприводами в интересах достижения высокой точности и быстродействия электропривода антенн в целом;

3. В диссертации разработан ряд моделей электродвигателей, зубчатых передаточных механизмов и электронных устройств управления, которые позволили продемонстрировать работоспособность и оценить эффективность предложенных методов и методик, подтвердить достоверность полученных результатов путем сравнения полученных проектных характеристик с параметрами, полученными в натурном эксперименте.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка библиографических источников. Общий объем работы составляет 110 страниц, в работе 52 рисунка, список литературы содержит 48 наименований.

**Во введении** выполнен анализ влияния характеристик электроприводов управления антеннами на характеристики радиотехнических средств управления воздушным движением. Показана взаимосвязь параметров антенных систем и параметров радиотехнических систем управления в целом, и на основании этого предъявлены количественные требования к параметрам антенных систем и их электроприводам.

**В первой главе** проанализированы особенности структурных схем устройств управления электроприводом. Обосновано, что параметры драйвера электродвигателя, с одной стороны, очень тесно связаны с типом применяемого электромотора, а с другой стороны, драйвер для целей моделирования и последующей оптимизации параметров целесообразно рассматривать как составную часть ЭУУ.

Проанализированы методы синтеза электронных регуляторов систем управления приводами. Показано, что для выполнения синтеза характеристики регулятора устройства управления (как классическими методами, так и с применением известных инженерных методов) необходимо знать амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики либо переходные характеристики всех звеньев контура управления.

В соответствии с этими выводами обоснована необходимость решить следующие задачи:

1. разработать методику автоматизации проектирования электронных устройств управления электроприводом;
2. разработать модели электродвигателя, модели передаточного механизма и модели нагрузки, позволяющие автоматизировать анализ их передаточных характеристик в целях синтеза передаточной характеристики регулятора ЭУУ;
3. разработать методику оптимизации параметров ЭУУ для обеспечения наилучшего качества функционирования привода в целом;
4. экспериментальное исследование моделей.

**Во второй главе** диссертации основное внимание уделено разработке системы моделей для синтеза и последующей оптимизации внешних параметров электронных узлов устройства управления электроприводом.

Модель бесконтактных электродвигателей строится по принципу электромеханической аналогии для обеспечения возможности выполнять имитацию работы двигателя в рамках системы моделирования электронных устройств PSpice. Модель двигателя отражает взаимосвязь между



напряжениями, приложенными к обмоткам двигателя, токами, протекающими по обмоткам, моментами, приложенными к валу двигателя и угловыми перемещениями (угловой скоростью, угловым ускорением) выходного вала двигателя. Изложенная методика дает возможность определить параметры элементов модели, пользуясь паспортными характеристиками электродвигателя.

Моделирование передаточных механизмов реализует подход, основанный на отражении в электромеханической модели взаимодействия упругих и инерционных элементов конструкции механизма. В диссертации подробно рассмотрено построение модели на примере зубчатых передаточных механизмов. В качестве замечания можно отметить, что не рассмотрены примеры передаточных механизмов иных типов, однако это не опровергает универсальность предложенного подхода.

Достоинством изложенного в диссертации подхода к построению моделей электромеханических, механических и электронных подсистем электропривода в форме электромеханических аналогий является возможность использования в качестве средства моделирования одной и той же среды подсистемы электронного моделирования PSpice, являющейся составной частью САПР электронных модулей OrCAD.

**В третьей главе** рассматривается разработка методики системного автоматизированного проектирования ЭУУ электроприводом и предлагается структурная схема автоматизированного проектирования ЭУУ электроприводом.

При изложении методики автором обосновано не излагаются методы получения моделей в форме электронных схем и определение их параметров для типовых схем построения регуляторов систем управления, поскольку этот материал в достаточной мере освещен в общедоступных источниках. Корректные ссылки на использованные источники в диссертации имеются. Исследованы ограничения и недостатки известных методов синтеза регуляторов ЭУУ приводами, на основании чего синтезированные

известными формальными методами регуляторы рассматриваются лишь как начальное приближение для последующей процедуры параметрической оптимизации ЭУУ в целях достижения желаемых параметров точности и быстродействия привода в целом.

Определение параметров качества функционирования моделированием полной модели привода и оптимизация параметров элементов схемы с помощью PSpice позволяет:

1) учитывать при моделировании полной схемы электропривода совместное влияние нелинейностей, внешних возмущений и других погрешностей всех звеньях следящей системы;

2) анализировать энергетические потоки в любых элементах модели, причем можно анализировать как усредненные, так и мгновенные мощности.

При необходимости реализации ЭУУ в цифровом варианте на основании полученных параметров аналогового прототипа и результатов моделирования определяются параметры: частота дискретизации, разрядность АЦП и ЦАП, разрядность арифметических узлов, емкость, организация и быстродействие ЗУ.

**В четвертой главе** приводятся примеры практического использования разработанных моделей и алгоритмов. Здесь продемонстрирована разработка моделей бесконтактных двигателей ДБМ 50-0,04-6-2 и ДБМ 50-0,04-6-3 с векторными драйверами; построена модель макета трехступенчатой зубчатой передачи. С применением разработанных моделей показаны несколько примеров получения характеристик составных частей привода (двигателя, передаточных механизмов), которые могут быть использованы для подтверждения их соответствия данным, предоставленным разработчиками соответствующих узлов.

В диссертации приведен лишь ограниченный набор исследований параметров электромеханических и механических узлов привода, однако приведенных примеров достаточно для подтверждения адекватности полученных с помощью моделирования результатов.



Моделирование процессов в электроприводе отчетливо показывает наличие относительно высокочастотных колебательных процессов малой амплитуды (резонансов) в элементах конструкции привода, обусловленных конечной жесткостью осей, дисков зубчатых колес, а также изгибом зубьев в зацеплении. Натурные измерения во многих случаях лишь косвенно указывают на наличие подобных резонансов, поскольку затруднительно выполнять измерение параметров высокочастотных механических колебаний малой амплитуды во время рабочего движения передаточного механизма. Это демонстрирует высокую разрешающую способность предложенных моделей и методов моделирования, что является их достоинством.

В работе выполнено сопоставление параметров экспериментального макета электропривода, измеренных экспериментально, с параметрами, полученными моделированием. Подтверждено хорошее совпадение рассчитанных и измеренных значений

В диссертации имеются положения, обладающие **научной новизной**:

1. Методика системного проектирования ЭУУ, предназначенных для работы в качестве составной части контура управления высокоточными электроприводами на базе бесконтактных моментных электродвигателей;

2. Методика построения моделей бесконтактных электродвигателей, отличающаяся тем, что драйвер двигателя и двигатель моделируются как единая электромеханическая система, а построение модели по принципу электромеханической аналогии в форме электрической схемы дает возможность использовать PSpice в качестве инструмента моделирования;

3. Методика построения моделей передаточных механизмов, отличающаяся тем, что построение модели по принципу электромеханической аналогии дает возможность средствами PSpice выполнять совместное моделирование устройства управления, двигателя и передаточного механизма в составе привода для оценки показателей качества функционирования привода;

4. Методика применения подсистемы параметрической оптимизации пакета программ PSpice для автоматизации улучшения характеристик звеньев, синтезированных известными формальными методами, с целью получения более высоких точностных характеристик привода, быстродействия привода, энергоэффективности.

Все основные положения диссертации отражены в публикациях автора.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Во второй главе приведена методика построения электромеханической модели электродвигателя, проиллюстрированная только на примере модели бесконтактного моментного электродвигателя. Для других типов двигателей, которые могут применяться в электроприводах антенн радиотехнических систем управления воздушным движением, примеры не приведены;

2. Во второй главе приведен способ расчета момента инерции только для колес цилиндрической формы и не указан способ расчета момента инерции для колес, имеющих обод, спицы или иные элементы облегчения;

3. Недостаточно полно рассмотрен вопрос дальнейшего развития разработанных моделей и методик;

4. В тексте диссертации и автореферата имеются несколько опечаток и стилистических неточностей.

#### **Выводы**

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы и носят рекомендательный характер для дальнейшего развития проводимых диссертантом исследований.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Результаты проведенных научных исследований можно характеризовать как решение научной задачи повышения качества функционирования



радиотехнических систем управления воздушным движением путем автоматизированного проектирования ЭУУ электроприводами антенн.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Диссертация Зыонг Дык Ха соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант достоин присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)»

Заключение принято на заседании научно-технического совета ОАО «НПО «ЛЭМЗ». Протокол № 15 от 18 ноября 2014 года.

Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение «Лианозовский электромеханический завод» (ОАО «НПО «ЛЭМЗ»)

127411, г. Москва, Дмитровское шоссе, 110, тел. 8 (495) 485-15-22

Электронный адрес: [www.lemz.ru](http://www.lemz.ru), [lemz@tsr.ru](mailto:lemz@tsr.ru)

Зам. технического директора по  
информационным технологиям –  
начальник ОАСУП, к.т.н.

Луценко Александр  
Владимирович

Начальник отдела ОКБ

Монин Сергей  
Викторович

Подписи Луценко А.В. и Мониной С.В. заверяю



С.В. Монов