

В диссертационный совет Д 999. 086. 03  
ФГБОУ ВО «Комсомольский –на-Амуре  
государственный университет»

---

681013, г. Комсомольск – на - Амуре,  
пр. Ленина, д.27, ауд. 201-3  
е - mail: epapu@knastu.ru

## О Т З Ы В

официального оппонента Сарварова А.С. на диссертационную работу  
Мин Ту Аунга по теме “Электроприводы малой мощности с двигателями  
последовательного возбуждения”, представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – “Электротехнические  
комплексы и системы”

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

В настоящее время стали заметными изменения в области применения электроприводов в промышленности и быту. Проявился заметный рост доли электроприводов малой мощности на основе двигателей последовательного возбуждения. Они находят все более широкое применение в технике бытового применения, в электрофицированных инструментах и установках малой механизации, в технологических установках строительного производства, а также в медицинской технике.

При проектировании маломощных электродвигателей в прошлом не уделялось внимание такому показателю, как КПД и по этой причине её величина во многих случаях не превышает значений 30-60%. В современной ситуации наблюдается массовый прирост доли электропотребления в области маломощного электропривода и на повестку дня встают научные и практические задачи повышения энергоэффективности эксплуатации таких приводов.

Электроприводы на базе двигателей последовательного возбуждения являются нелинейными электромеханическими системами. Нелинейность таких систем негативно влияет на качество протекания динамических процессов в электроприводе. При отсутствии соответствующих систем управления для таких приводов электрические потери в двигателях с явно нелинейными

характеристиками могут многократно превышать их значения в системах с оптимальным управлением.

Следует отметить, что до настоящего времени научные исследования и разработки в области электропривода проводились применительно к электромеханическим системам средней и большой мощности, а также в группе электроприводов незначительной мощности в сфере массового производства в различных отраслях промышленности. Здесь достигнуты большие успехи, обусловленные созданием широкой гаммы комплектных электроприводов постоянного и переменного тока с микропроцессорным управлением, реализующих законы подчиненного регулирования координат электропривода. Однако, следует подчеркнуть, что применительно к сфере маломощного электропривода на базе двигателей последовательного возбуждения научные исследования практически не проводились, в настоящее время отсутствуют теоретически обоснованные и апробированные разработки по системам управления, в которых решались задачи бы повышения энергоэффективности в динамических режимах.

С учетом изложенного, считаю, что тема данной диссертационной работы является актуальной и сформулированная соискателем цель, и поставленные задачи диссертационной работы являются обоснованными.

## **2. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

2.1. На основе анализа результатов исследований отечественных и зарубежных ученых в области энергоэффективности электроприводов с двигателями последовательного возбуждения установлена неоднозначность получаемых решений задачи оптимизации с точки зрения потерь для двигателей последовательного возбуждения (ДПВ) в динамических режимах.

2.2. В задаче оптимизации управления основной проблемой является определение зависимости параметров электропривода в динамических процессах от скорости двигателя. В этой связи постановка задач в данной работе обусловлена необходимостью выявления существенных функциональных связей переменных параметров ДПВ с координатами движения в переходных режимах работы электропривода с учетом их физической реализуемости и проведения исследований для установления оптимальных траекторий движения электропривода при пуске с целью повышения энергетического КПД ДПВ.

2.3. Предложенная математическая модель базируется на известных подходах к математическому моделированию динамических процессов в нелинейных электромеханических системах и использовании строгого математического аппарата в части разделов динамического программирования, дифференциального и интегрального исчисления, спектрального анализа, оптимального управления и экспериментальных исследований.

• 2.4. Алгоритм нелинейной коррекции параметров электропривода с двигателями последовательного возбуждения обеспечивает условия выполнения классической вариационной задачи оптимизации.

2.5. Физическая реализации разработанного алгоритма оптимального управления электроприводом с ДПВ и проведенные исследования показали возможность минимизации потерь электрической энергии в динамических режимах работы и обоснованность основных позиций диссертационной работы.

Следует отметить, что все выводы по каждой главе диссертации являются обоснованными, соответствуют содержанию изложенного материала и получены на основе анализа результатов исследований.

**3. Новизна исследований и полученных результатов** обусловлена следующими позициями:

3.1. На основе анализа различных подходов к математическому моделированию динамических процессов в нелинейных электромеханических системах, соискателем предложена новая математическая модель электропривода с двигателем последовательного возбуждения, в которой учтены и описаны наиболее существенные функциональные связи между параметрами двигателя последовательного возбуждения и координатами движения. При разработке модели была обоснована целесообразность применения в качестве базисной системы нестационарных ортонормированных тригонометрических функций. Представление объекта управления в виде такой математической модели позволяет получить наиболее простые выражения для спектральных характеристик объекта управления и соответственно упростить поиск оптимальных управляющих воздействий.

3.2. Разработаны новые структурные схемы объекта управления с учетом математического описания преобразователя, блок-схемы расчета и алгоритмы расчета электромагнитных процессов в двигателе с учетом нелинейностей кривой намагничивания и особенностей работы вентильного преобразователя.

3.3. Обоснована необходимость обеспечения нелинейной коррекции в динамических режимах и в этой связи предложен алгоритм нелинейной коррекции параметров электропривода с двигателями последовательного

возбуждения с использованием функциональной производных тока двигателя от скорости и разработана структурная схема электропривода с соответствующими корректирующими звеньями.

3.4. Осуществлен синтез алгоритма оптимального управления электропривода с двигателем последовательного возбуждения и разработан новый способ энергосберегающего управления двигателем с динамической коррекцией движения.

Новизна полученных результатов заключается также в разработке схемных решений, реализующих предложенные способы и алгоритмы управления, а также в полученных результатах в виде осциллограмм, аналитических и графических зависимостей.

**4. Обоснованность полученных автором результатов и достоверность** обеспечивается корректным использованием методов теоретической электротехники, силовой преобразовательной техники, теории электропривода, теории автоматического управления. В своих исследованиях автор опирается на хорошо известные методы исследования с применением спектральных характеристик и моделирования процессов в электрических машинах и полупроводниковых преобразователях.

Предложенная математическая модель базируется на спектральных характеристиках соответствующих функций доведена до структурной схемы объекта регулирования, где привычные для исследователей операторные изображения заменены спектральными характеристиками сигналов, Это позволило соискателю разработать блок-схему расчета нелинейной системы с учетом особенностей работы вентильного преобразователя на основе известного спектрального метода В.В. Солодовникова с использованием метода припасовывания. Результаты исследований, связанные с расчетом электромагнитных процессов, установления зависимости угла проводимости вентилей при различных углах регулирования, а также исследования типовых процессов при отработке ступенчатых управляющих воздействий показали рациональность использования при моделировании спектрального метода расчета нелинейных нестационарных систем. Полученные зависимости между скоростью нарастания тока и скоростью вращения двигателя не противоречат известным законам электромеханического преобразования энергии и позволяют заметно упростить синтез корректирующих сигналов для оптимального управления по критерию энергоэффективности.

В диссертационной работе проведена логико-алгоритмическая реализация оптимального управления на основе современных микроконтроллерных средств и проведены экспериментальные исследования. При этом установлено, что предложенные решения имеют практическую реализацию и способствуют повышению энергетической эффективности электропривода с последовательным возбуждением в динамических режимах. Кривые потребляемой энергии при прямом пуске и при реализации предложенного способа энергосберегающего управления, полученные экспериментально, являются достаточным обоснованием полученных результатов исследований.

**5. Практическая значимость и реализация результатов** заключаются в следующем:

5.1. Показана возможность повышения энергетического КПД в динамических режимах эксплуатации маломощных электроприводов на основе двигателей с последовательным возбуждением, что при массовом применении может дать заметный результат энергосбережения в области маломощного электропривода.

5.2. Предложенные алгоритмы исследования нелинейных электромеханических систем применительно к двигателям последовательного возбуждения показали свою работоспособность и могут найти практическое применение другими исследователями.

5.3. Результаты теоретических исследований доведены до создания моделей в виде блок-схем, реализованных в среде MatLab Simulink, что позволяет их внедрить в научно-исследовательский процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

5.4. Результаты исследований следует рекомендовать к внедрению при проектировании ручного электрофицированного инструмента, бытовых машин и приборов, маломощных электроприводов в современных технологиях, где требуются хорошие тяговые свойства электродвигателей с последовательным возбуждением.

## **6. Замечания и вопросы по диссертационной работе**

По работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. На рис.1.3 (стр.19) приведены динамические характеристики ДПВ при оптимальном по быстродействию управлении, было бы целесообразным их прокомментировать в тексте диссертации.

2. В подразделе 1.2. изменена нумерация рисунков, в разделе 2 в ряде случаев отсутствует нумерация рисунков и формул

3. На рис. 3.4а не показан блок задания скорости (блок б).

4. Из диссертации не ясно, на каких этапах работы электропривода с ДПВ возникает режим прерывистого тока преобразователя и на сколько необходимо его учитывать, а также в каком соотношении находятся длительности проводящего состояния и интервалы, когда ток в вентилях прерывается?

5. На рис.3.18 приведены осциллограммы формирования корректирующего сигнала, было бы целесообразным подробнее прокомментировать показанные процессы.

6. На стр. 92 делается акцент, на то, что на рисунке 10 четко просматриваются 4 пульса тока и делаются выводы о стабилизирующих свойствах корректирующего сигнала. Очевидно, это описка. Действительно эта закономерность просматривается на рисунках с другим номером.

7. Трудно сопоставляются кривые потребленной электроэнергии на рис. 3.23а и 3.23б, так как они выполнены в разных масштабах.

8. В диссертации целесообразно было бы привести технические данные оборудования, использованного при проведении экспериментальных исследований.

## **7. Заключение по диссертационной работе**

Основные положения диссертационной работы достаточной полно раскрыты в 15 опубликованных работах, в том числе 3 статьи опубликованы, в журналах рекомендованных ВАК РФ. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях различного уровня. В автореферате в полной мере отражено содержание диссертации и основные её позиции отражают степень новизны положений, выдвигаемых на защиту, практическую значимость и позволяет в целом сделать квалификационную оценку.

Диссертация Мин Ту Аунга представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержащую решение актуальной научно-технической задачи в виде разработки и исследования электроприводов с двигателями последовательного возбуждения. По своему научному уровню и полученным результатам является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей большое значение для соответствующей отрасли знаний, и соответствует требованиям ВАК РФ, изложенными в

Положении о порядке присуждения ученых степеней в редакции от 21.04.2016 №335, а её автор Мин Ту Аунг заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 –Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры автоматизированного  
электропривода и мехатроники

ФГБОУ ВО

«Магнитогорский Государственный  
Технический Университет им. Г.И. Носова»

тел.: (3519) 224- 587,  
8 912 300 01 27  
E - mail: [anvar@magtu.ru](mailto:anvar@magtu.ru).

06.09.2019 г.

Сарваров Анвар  
Сабулханович