Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____/Д.С. Гуц/
«30» сентября 2020 г.

ПРОГРАММА
вступительного испытания для поступающих в аспирантуру по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника программа (профиль) 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы

Красноярск 2020

Введение

Программа вступительного экзамена в аспирантуру разработана с учётом программы-минимума кандидатского экзамена по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (по техническим наукам) с детализацией и конкретизацией подлежащих рассмотрению вопросы.

1. Теория электропривода

Электропривод, его функции и обобщённая функциональная схема: электродвигательное устройство (двигатель или группа двигателей), преобразовательное устройство (электропитание двигателя), управляющее устройство (датчики обратных связей, регуляторы, устройства формирования управляющих сигналов), передаточное устройство (механический редуктор), рабочая машина (механическая нагрузка).

Классификация и особенности электропривода в зависимости от регулируемой выходной координаты: позиционный. скоростной. моментный. Классификация и особенности электропривода по областям применения: общепромышленный, тяговый, исполнительный.

Конструкция и общие принципы работы двигателей постоянного тока: с независимым. параллельным и последовательным возбуждением, возбуждением от постоянных магнитов.

Общие принципы работы двигателей переменного тока, принцип создания вращающегося электромагнитного поля, многофазные обмотки, понятие пары полюсов и числа пар полюсов, влияние числа пар полюсов на скорость ротора. Понятие якоря (основной силовой обмотки) и индуктора (обмотки возбуждения), статора (неподвижной части) и ротора (подвижной части).

Конструкция и общие принципы работы асинхронных двигателей: с короткозамкнутым и с фазным ротором, с фазным ротором в режиме двойного питания.

Конструкция и общие принципы работы синхронных двигателей: с электромагнитным возбуждением и с возбуждением от постоянных магнитов.

Конструкция и общие принципы работы шаговых двигателей.

Конструкция и общие принципы работы индукторных двигателей (двигателей с электромагнитной редукцией): синхронный, асинхронный, двойного питания, шаговый; характерные особенности, преимущества и область применения индукторных двигателей.

Методика получения математического описания электромеханических преобразователей энергии: электрическая и геометрическая схемы замещения, уравнения электрического равновесия, уравнения механического равновесия, уравнения связи между токами и потокосцеплениями обмоток, выражение электромагнитного момента в общем виде. Основные переменные и параметры математического описания: активные сопротивления обмоток. индуктивности обмоток собственные и взаимные; питающие напряжения, токи и потокосцепления обмоток, потокосцепления постоянных магнитов с обмотками. Управляющие и управляемые величины в зависимости от режима работы (двигательного, генераторного) и его разновидности.

Матричная форма представления математического описания электромеханического преобразователя энергии. Понятие обобщённого вектора: обобщённый вектор потокосцепления. тока, напряжения. Система относительных единиц: общие принципы формирования, роль в исследовании процессов.

Обобщённый электромеханический преобразователь энергии как общий случай электрической машины с электромагнитным возбуждением. Запись обобщённых векторов в комплексной форме через проекции на оси двухфазной системы. Преобразование числа фаз. Преобразование к единой системе координат и её разновидности: неподвижная (связанная со статором), вращающаяся (связанная с ротором или с одним из обобщённых векторов – вектором напряжения, вектором потокосцепления статора или ротора), особенности и область применения каждого варианта единой системы координат.

Электромеханические свойства и механические характеристики двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых: расчётная формула и вид механической характеристики, её характерные особенности для каждого типа двигателей (скорость холостого хода, пусковой момент, скольжение, критический момент, критическое скольжение, максимальный момент), понятие жёсткости механической характеристики, оценка жёсткости механической характеристики для всех типов двигателей.

Основные функциональные свойства регулирования скорости электродвигателей: диапазон регулирования скорости, линейность регулировочной характеристики (зависимости скорости от изменяемой величины), возможность регулировать скорость холостого хода (при отсутствии механической нагрузки), возможность реверса, изменение жёсткости механической характеристики, изменение пускового, критического или максимального момента, наличие и величина дополнительных потерь; желаемый вид механических характеристик при регулировании скорости.

Способы регулирования скорости (и соответствующие им семейства механических характеристик) двигателя постоянного тока с независимым возбуждением: изменением активного сопротивления в цепи якоря, изменением напряжения якоря, изменением активного сопротивления в цепи возбуждения, изменением напряжения возбуждения. Последовательность включения (выключения) напряжений якоря и возбуждения при пуске (выключении) двигателя для предотвращения режима «разноса».

Способы регулирования скорости и семейства механических характеристик двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов: изменением активного сопротивления в цепи якоря, изменением напряжения якоря.

Способы регулирования скорости и семейства механических характеристик двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением: изменением активного сопротивления в цепи якоря, изменением активного сопротивления в цени возбуждения, изменением напряжения питания.

Способы регулирования скорости и семейства механических характеристик двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением: изменением активного сопротивления в цепи якоря, изменением активного сопротивления в цепи возбуждения, изменением напряжения питания.

Способы регулирования скорости и семейства механических характеристик

асинхронного двигателя: изменением активного сопротивления в цепи статора, изменением активного сопротивления в цепи ротора, изменением амплитуды напряжения статора, изменением числа пар полюсов, изменением частоты, закон частотного управления Костенко, пропорциональный закон частотного управления как его частный случай.

Способы регулирования скорости и семейства механических характеристик синхронного двигателя: изменением числа пар полюсов, изменением частоты, закон частотного управления Костенко, пропорциональный закон частотного управления как его частный случай. Понятие угла нагрузки, перегрузочная способность двигателя, влияние амплитуды и частоты питающего напряжения, закона частотного управления на угол нагрузки и перегрузочную способность синхронного двигателя.

Рабочие механизмы и механическая нагрузка двигателя: перемещение, скорость, ускорение, момент сопротивления. Составляющие момента сопротивления: статический момент (сухого трения, вязкого трения, внешних сил) и динамический момент (как произведение момента инерции на ускорение) в соответствии со вторым законом Ньютона. Сопряжение двигателя с рабочим механизмом (редукторы, муфты), передаточное число редуктора, повышающие и понижающие редукторы, преобразование момента, скорости и угла поворота с помощью редуктора, примеры механических передаточных устройств: шестерёнчатые, винт-гайка, реечный. Роль механического редуктора, приведение к валу двигателя моментов силы и момента инерции механической нагрузки. Учет упругих звеньев и связей.

Тормозные режимы двигателей постоянного тока с независимым возбуждением, с возбуждением от постоянных магнитов, с параллельным возбуждением, с последовательным возбуждением: генераторное торможение, рекуперативное торможение, торможение противовключением (схемы включения, характерные особенности, достоинства и недостатки).

Тормозные режимы и реверс асинхронного двигателя: схемы включения фазных обмоток статора (для двигателя с короткозамкнутым ротором), статора и ротора (для двигателя с фазным ротором), изменение порядка чередования фаз.

Тормозные режимы и реверс синхронного двигателя (с электромагнитным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов): подключение фазных обмоток на активные сопротивления, изменение порядка чередования фаз, особенности работы синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением.

Структурные схемы разомкнутых электромеханических систем: с электродвигателями постоянного тока (с независимым, параллельным и последовательным возбуждением), с асинхронными двигателями (при управлении изменением амплитуды статорного напряжения, активного сопротивления в цепи статора, в цепи ротора, частоты), с синхронными (при изменении частоты).

Электроприводы на основе синхронных двигателей с постоянными магнитами в режиме бесколлекторного (бесконтактного) двигателя постоянного тока (вентильного двигателя). Частотно-токовое управление синхронным двигателем с постоянными магнитами. Частотно-векторное управление асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Установившиеся режимы работы электропривода: понятие установившегося режима для позиционного, скоростного, моментного электроприводов, принципы

получения математического описания установившихся режимов электропривода, цель расчётов в установившихся режимах.

Переходные процессы в электроприводах: линейные, нелинейные, линеаризованные системы. Матричная форма записи в форме переменных состояния, передаточные и переходные функции электропривода.

Обобщённый алгоритм компьютерного моделирования линейных и нелинейных систем автоматизированного электропривода: блочно-модульный принцип построения модели электропривода, выделение отдельных модулей и объединение их в систему, представление и обработка результатов моделирования. Использование программ MathCAD или Matlab.

Импульсное управление двигателями постоянного и переменного тока: использование диодов (нерегулируемый выпрямитель), тиристоров (регулируемый выпрямитель) и транзисторов (инвертор), особенности работы транзистора в импульсном режиме (достоинства и ограничения по сравнению с непрерывным режимом работы), силовые транзисторно-диодные ключи. Принцип широтно-импульсной модуляции и его реализация для управления двигателями постоянного и переменного тока: широтно-импульсные преобразователи для двигателей постоянного тока; инверторы для двигателей переменного тока с широтно-импульсной модуляцией по синусоидальному закону (общие принципы формирования однофазного и многофазного широтно-модулированного напряжения по синусоидальному закону, использование транзисторно-диодных силовых ключей, мостовые схемы).

Регулирование координат электропривода. Характеристика систем электроприводов: управляемый преобразователь – двигатель постоянного тока; преобразователь частоты – асинхронный двигатель; преобразователь частоты – синхронный двигатель; системы с шаговыми двигателями.

Выбор в зависимости от назначения, режимов работы и заданных характеристик электропривода типа и мощности электродвигателя, обоснование структуры, типа и мощности преобразователя.

2. Автоматическое управление электроприводом

Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом: функциональные схемы и типовые системы, осуществляющие автоматический пуск. стабилизацию скорости, реверс и остановку электродвигателей постоянного тока; систем с контактными и бесконтактными элементами; принципы выбора элементной базы.

Общие вопросы теории замкнутых систем автоматического управления электроприводом (САУ) при заданном рабочем механизме.

Методы анализа и синтеза замкнутых, линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных САУ. Применение методов вариационного исчисления и пакетов прикладных программ для ПЭВМ.

Системы стабилизации скорости на основе двигателей постоянного тока (с возбуждением от постоянных магнитов или независимым возбуждением) с главной обратной связью по скорости: необходимость датчика скорости, регулятор в прямой цепи (корректирующее устройство), основные принципы синтеза регулятора.

Следящие системы на основе двигателей постоянного тока (с возбуждением от постоянных магнитов или независимым возбуждением) с главной обратной связью по положению: принципиальная необходимость датчика положения, регулятор в прямой цепи (корректирующее устройство), основные принципы синтеза регулятора.

Разновидности датчиков положения, их особенности, достоинства и ограничения: вращающийся трансформатор в режиме синусно-косинусного вращающегося трансформатора и в режиме фазовращателя, сельсин в трансформаторном режиме и в режиме фазовращателя, на основе кодового диска (с цифро-аналоговым преобразователем на выходе и без такового). Сельсинные пары и пары вращающихся трансформаторов: схемы включения в трансформаторном и индикаторном режимах.

Следящие системы на основе асинхронных двухфазных двигателей: общие принципы построения.

Разновидности датчиков скорости, их особенности, достоинства и ограничения: тахогенераторы постоянного тока, асинхронные и синхронные тахогенераторы, использование выпрямителей и схем преобразования в выходных цепях тахогенераторов переменного тока, характерные особенности их сигналов.

Низкоскоростные датчики скорости постоянного тока на основе сочетания синхронного тахогенератора и вращающегося трансформатора.

Системы подчинённого регулирования электроприводов постоянного тока: общие принципы подчинённого регулирования, типовые настройки (технический оптимум, симметричный оптимум), методика синтеза, одно- двух- и трёхконтурные системы подчинённого регулирования (соответственно для моментного, скоростного и позиционного электроприводов).

Особенности управления электроприводами при наличии редуктора и упругой связи двигателя с механизмом.

Защита от перегрузок и аварийных режимов: токоограничение и «экскаваторная» характеристика, предупреждение работы двигателей постоянного тока с электромагнитным возбуждением (параллельным и независимым) «в разнос».

Мехатроника и её основные принципы: обеспечение заданных характеристик исполнительного электропривода путём сочетания двигателей переменного тока, полупроводниковых преобразовательных устройств (для формирования питающих напряжений требуемой формы), встроенных передаточных устройств (редукторов), цифровых датчиков, микропроцессорных систем управления. Возможность реализации сложных способов управления, нелинейных законов управления, построения адаптивных систем управления с переменной структурой и параметрами.

Надёжность и техническая диагностика электроприводов: обеспечение надёжности путём выбора элементной базы и структуры электропривода, резервирования элементов, алгоритмов работы в аварийных режимах.

3. Теория и принципы работы комплектных узлов электрооборудования

Научные основы и принципы работы наиболее распространенных комплектных узлов электрооборудования (по отраслям). Преобразователи напряжения, в том числе: генераторы и электромашинные преобразователи, управляемые вентильные

преобразователи постоянного и переменного тока в постоянный, инверторы, непосредственные преобразователи частоты переменного тока.

Основные принципы построения систем и комплектных узлов общепромышленного электрооборудования и электрооборудования подвижных объектов. Контакторно-резисторные и электронные узлы систем управления электрическим подвижным составом и их особенности.

Контактные и бесконтактные узлы управления электродвигателями постоянного и переменного тока, работающие в непрерывных, релейных и импульсных режимах. Особенности проектирования. Элементная база силовых цепей электрооборудования (контакторы, резисторы. силовые полупроводниковые приборы).

4. Электрооборудование для электроснабжения промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства

Классификация источников, приёмников и преобразователей электрической энергии. Электрические нагрузки и закономерности изменения их во времени (по отраслям). Использование теории случайных процессов для представления основных параметров нагрузки. Основы теории прогнозирования и динамики потребления электрической энергии. Тяговые подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта.

Принципы расчёта электрических сетей и систем электрооборудования.

Выбор систем и схем электроснабжения. Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Характерные схемы электроснабжения. Выбор напряжения в системах электроснабжения (по отраслям). Сокращение числа трансформации и выбор числа трансформации. Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений. Защита от блуждающих токов.

Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты. Принципы автоматического повторного включения.

Качество электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов (по отраслям). Электромагнитная совместимость приёмников электрической энергии с питающей сетью.

Средства улучшения показателей качества электроэнергии. Компенсация реактивной мощности в электроприводах и системах электроснабжения.

Технико-экономические расчёты в системах электроснабжения (по отраслям) и использование для этих целей современных компьютерных технологий. Теория интерполяции и аппроксимации; методы приближения функций в расчётах по электротехническим комплексам и системам.

Теория надёжности и техническая диагностика в электроснабжении и преобразовании электрической энергии (по отраслям). Теория малых выборок, и её использование в практике расчётов.

Компенсация реактивной мощности. Основные направления развития компенсирующих устройств.

Заземление электроустановок, молниезащита промышленных, транспортных и сельскохозяйственных сооружений, жилых и культурно-бытовых зданий.

Допустимые перегрузки элементов преобразовательных подстанций в системах электроснабжения; прогнозирование перегрузок.

Электрический баланс в системах электроснабжения городов, объектов сельского хозяйства, промышленных предприятий и подвижных объектов. Методика расчёта потерь мощности в системах электроснабжения. Нормирование энергопотребления.

Список рекомендованных источников

Основная литература

1. Рыжов Ю. П., Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007-488 с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. Электрические системы и сети: учебник / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. – Минск.: УП «Технпринт», 2004. - 720 с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1998
5. Ушаков В.Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты. – Томск: изд-во ТПУ-2008.-469 с.
6. Герасименко. А. А. Передача и распределение электрической энергии/А. А. Герасименко. В. Н. Федин. – Красноярск; Минск: ИПЦ КГТУ, 2006. - 807 с.
7. Богатырев Л.Л., Манусов В.З., Содномдорж Д. Математическое моделирование режимов электроэнергетических систем в условиях неопределенности. – Улан-Батор, 1999, 348 с.
8. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – Спб. изд-во «Профессия», 2003. - 752 с.
9. Герасименко, А.А. Электроэнергетические системы и сети. Расчёты параметров и режимов работы электрических сетей. Часть 1, Часть2 / А.А. Герасименко, Т.М. Чупак. – Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2004. 222 с, -172 с.
10. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский.- 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 272 с.
11. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. - 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 304 с.

Дополнительная литература

1. Овчинников, И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе : курс лекций / И. Е. Овчинников. – СПб.: КОРОНА-Век, 2007. - 336 с. - ISBN 5-7931-0344-9.
2. Зиновьев, Г. С. Силовая преобразовательная техника/ Г. С. Зиновьев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. - 432 с.

3. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод : учеб. пособие для студ. вузов / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков; под ред. И. Я. Браславского. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. - 256 с. - ISBN 5-7695-1704-2.

4. Герман-Галкин, С. Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин. Г. А. Кардонов. – СПб. : КОРОНА принт. 2007. - 256 с. - ISBN 978-5-7931-0463-0.

5. Набиев, Ф. М. Электрические машины : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / Ф. М. Набиев; под ред. проф. И. И. Алиев. – М.: ИП РадиоСофт, 2008. - 292 с. - ISBN 5-93037-172-5.

6. Электрические следящие приводы с моментным управлением исполнительными двигателями : монография / М. В. Баранов, В. Н. Бродовский, А. В. Зимин, Б. Н. Каржавов. – М. :Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 240 с. - ISBN 5-7038-2612-8.

Составители программы:
С.А. Бронов, д-р техн. наук, профессор,
В.И. Пантелеев, д-р техн. наук, профессор.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.