

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.12 Силовая электроника

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Современные методы широтно-импульсной модуляции в силовой электронике»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.2

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 878, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.09.12 Силовая электроника, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

### **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является освоение способов управления силовыми преобразователями с применением широтно-импульсной модуляции.

**Задачами** дисциплины являются:

- познание различных видов широтно-импульсных модуляций;
- определение качества формируемого напряжения/тока при различных видах широтно-импульсной модуляции;
- определение оптимального способа широтно-импульсной модуляции для различных устройств силовой электроники.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- владение методикой построения физических и математических моделей объектов научных исследований (ПК-1);

– способность к декомпозиции научно-исследовательской задачи на разные уровни абстракции (ПК-5).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

– разновидности широтно-импульсных модуляций и область их применения в объектах силовой электроники (УК-1);

– принцип действия силовых преобразователей в инверторных и выпрямительных режимах работы (ОПК-2).

### **уметь:**

– определять целесообразность применения различных способов ШИМ для соответствующего режима работы силового преобразователя (ПК-5);

– разрабатывать спектральные и имитационные модели импульсных силовых преобразователей (ПК-1).

### **владеть:**

– методами имитационного моделирования для проведения научных исследований в ШИМ управления объектами силовой электроники (ОПК-2);

– методами спектрального анализа для оценки современных научных достижений в области новейших алгоритмов управления объектами силовой электроники (УК-1).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Широтно-импульсная модуляция, основные понятия (14 часов).**

Определение ШИМ (по МЭК), основные разновидности ШИМ. Спектр выходного напряжения и тока. Критерии оценки показателей качества выходного напряжения и тока, специфические для ШИМ коэффициенты гармоник. Способы моделирования преобразователей с ШИМ, их оценка.

«Классическая» ШИМ в однофазных и трехфазных инверторах напряжения, определение зависимости коэффициентов гармоник от выбора разновидности ШИМ, коэффициента модуляции и частоты коммутации. Трехфазные инверторы для питания несимметричной нагрузки. Двухфазная ШИМ и ее свойства. Основные способы построения микропроцессорных систем управления для «классической» ШИМ. Достоинства и недостатки «классической» ШИМ. Многозонная ШИМ в многоуровневых инверторах напряжения.

### **Способы повышения отношения выходного напряжения к напряжению питания (14 часов).**

Актуальность задачи в установках частотного электропривода и системах бесперебойного питания. ШИМ по трапецеидальному закону, оценка качества выходного напряжения. Понятие предмодуляции. ШИМ с предмодуляцией третьей гармоникой, оценка показателей качества и коммутационных потерь, способы построения микропроцессорной системы управления. ШИМ с пассивной фазой («векторная» или «симплексная» ШИМ), способы выбора пассивной фазы, построение сигнала предмодуляции и управляющего сигнала. Оценка качества выходного напряжения при реализации ШИМ с пассивной фазой, причины ухудшения гармонического состава. Разновидности ШИМ с пассивной фазой, способы улучшения гармонического состава выходного напряжения. Оценка коммутационных потерь. Способы реализации микропроцессорных систем управления («векторный», «по сигналу предмодуляции», «по линейному напряжению»), их оценка.

### **ШИМ в активных выпрямителях напряжения (14 часов).**

Силовые схемы активных выпрямителей напряжения. Общность процессов в однофазном активном выпрямителе и корректоре коэффициента мощности на базе повышающего регулятора напряжения. Формирование напряжения на дросселе в однофазных и трехфазных активных выпрямителях. Различные принципы формирования сетевого тока при несимметрии и несинусоидальности сети, влияние на кондуктивные искажения сети,

коэффициент мощности и пульсации выходного тока. Структура системы управления. Взаимовлияние фаз при формировании управляющих сигналов в трехфазных активных выпрямителях. Активный выпрямитель напряжения с дополнительным полумостом. Применение ШИМ с пассивной фазой в активных выпрямителях напряжения.

### **ШИМ в активных сетевых фильтрах (14 часов).**

Параллельные и последовательные сетевые фильтры, их назначение. Параллельно-последовательные фильтры. Способы построения активных сетевых фильтров («статкомов») на базе инверторов напряжения. Условия генерации в сеть емкостной и индуктивной реактивной мощности. Компенсация мощности искажения, граничная частота и ее зависимость от индуктивности дросселя и частоты коммутации. Способы построения систем управления. Гибридные фильтры, их преимущества.

### **ШИМ в автономных инверторах тока (14 часов).**

Однофазные и трехфазные инверторы тока на полностью управляемых ключах, структура ключа. Особенности законов переключения в однофазных и трехфазных инверторах тока. Формирование ШИМ по трапецеидальному и синусоидальному законам в трехфазных автономных инверторах тока, функции распределителя. Показатели качества выходных напряжения и тока. Назначение сетевого фильтра и его расчет. Внешняя характеристика инверторов тока с ШИМ. Активные выпрямители тока с ШИМ, их особенности. Сетевые активные и гибридные фильтры на базе инверторов тока, их особенности и область применения.

### **Матричные преобразователи частоты (14 часов).**

Структура, особенности работы ключей. Эквивалентность матричного преобразователя и двухкаскадного преобразователя, состоящего из активного выпрямителя и инвертора без реактивных элементов в промежуточном звене постоянного тока. Варианты построения схемы. Законы формирования ШИМ, обеспечивающие высокие показатели качества на выходе и высокий коэффициент мощности, их противоречивость. Адаптация законов управления.

Сравнение показателей качества выходного напряжения и сетевого тока матричных преобразователей и преобразователей частоты со звеном постоянного тока, недостатки матричных преобразователей частоты.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

1 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и проведения зачета**

1. Классическая ШИМ в однофазных инверторах напряжения.
2. Классическая ШИМ в трехфазных инверторах напряжения.
3. Оценки показателей качества выходного напряжения и тока, специфические для ШИМ коэффициенты гармоник..
4. Зависимость коэффициента гармоник от коэффициента модуляции.
5. Многозонная ШИМ в многоуровневых инверторах.
6. ШИМ по трапецеидальному закону. Оценка качества выходного напряжения.
7. ШИМ с предмодуляцией третьей гармоники.
8. ШИМ с пассивной фазой.
9. Векторная ШИМ.
10. Активный сетевой фильтр на базе инвертора напряжения.
11. Условия генерации в сеть емкостной и индуктивной реактивной мощности..
12. Компенсация мощности искажения, граничная частота и ее зависимость от индуктивности дросселя и частоты коммутации.
13. Особенности законов переключения в однофазных и трехфазных инверторах тока.
14. Внешняя характеристика инверторов тока с ШИМ.

15. Сетевые активные и гибридные фильтры на базе инверторов тока, их особенности и область применения..
16. Структура системы ШИМ управления корректором коэффициента мощности.
17. ШИМ управление матричными преобразователями.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника: учебник для ВУЗов. – М. Издательский дом МЭИ, 2007. -632 с. ISBN 978-5-383-00169-1
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Учебник для ВУЗов. – М.: Альянс, 2008. – 496 с. - ISBN 978-5-903034-34-5
3. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией : учебное пособие по курсу "Моделирование электронных устройств и систем" по специальности "Промышленная электроника" / Е. Е. Чаплыгин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд. дом МЭИ, 2012 . – 48 с. - ISBN 978-5-383-00799-0

### **Дополнительная литература:**

4. Силовая электроника : учебное пособие для бакалавров, по специальности "Промышленная электроника" / Г. С. Зиновьев, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) . – 5-е изд., испр. и доп . – М. : Юрайт, 2012 . – 667 с. - ISBN 978-5-9916-1972-1