КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

Математические и физические основы электроэнергетики

***ОГЛАВЛЕНИЕ***

ВВЕДЕНИЕ…………………………..………………….……………… 5

1. **ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ** ………............... **7**

1.1. Теория поля и теория цепей .…………………….……..….……… 7

1.2. Близкодействие – дальнодействие .………...………….…… 9

1.3. Классическая электродинамика ..………….………...…….…….. 11

1.4. Основной вектор электрического поля ..…………...….….…….. 13

1.5. Основной вектор магнитного поля ………………….…….…….. 16

1.6. Уравнения Максвелла в интегральной форме ………………….. 18

1.5. Ток смещения ………………………………….………….……… 23

Контрольные вопросы к главе 1………………………...………… 25

Задачи к главе 1………………………...…………………………... 25

**2. УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ** …………………………………………………………………… 26

2.1. Дифференциальные операции векторного анализа …………… 26

2.2. Переход к дифференциальной форме основных уравнений ….. 28

2.3. Электромагнитные волны ..……………..……………………….. 31

2.4. Инвариантные комбинации из компонент электромагнитного

поля. Лагранжева форма уравнений Максвелла ….………….... 34

2.5. Однозначность решения системы уравнений Максвелла. Экспериментальные доказательства справедливости уравнений Максвелла ……………………………………………………………….. 36

2.6. Релятивизм уравнений Максвелла …………………………….... 40

2.7. Решение уравнений Максвелла …………………………………. 42

Контрольные вопросы к главе 2………………………...……….……… 45

Задача к главе 2………………………...………………………….……... 45

**3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ (ЭЛЕКТРОСТАКА)**...…………….………. 46

3.1. Электрические заряды………………….……………………………… 46

3.2. Электростатика ...…………………………….…………………. 48

3.3. Расчёт электростатических полей. Законы Кулона и Гаусса.…….... 49

3.4. Электростатический потенциал. Общее решение задачи

электростатики ...……………………….……………….…………. 55

Контрольные вопросы к главе 3……………………………...………… 57

Задача к главе 3………………………...………………………………... 57

**4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**(МАГНИТОСТАТИКА)** ………………………………….…………. 58

4.1. Магнитостатика...……………………..…………..…………….……. 58

4.2. Расчёт магнитных полей ..……………………………………..… 60

4.3 Расчёт силового воздействия магнитного поля …………......….. 62

4.4. Векторный потенциал ..…………………………………….……. 63

Контрольные вопросы к главе 4………………………...………… 67

Задача к главе 4………………………...…………………………... 67

**5**. **ЭНЕРГИЯ ПОЛЯ ……………………………….…………………….** 68

5.1 Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойтинга …….……. 68

5.2. Передача электромагнитной энергии через трансформатор …. 73

5.3. Передача энергии в линии ……………………..……..…….……. 77

5.4. Энергия электромагнитных волн ….…………..……..…….……. 79

5.5. Электростатическая энергия ………..……………..……….……. 80

5.6. Энергия магнитного поля ………..………………...……….……. 82

5.7. Принцип минимума ……………………………..………….……. 82

Контрольные вопросы к главе 5………………………...………… 88

Задача к главе 5………………………...…………………………... 88

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК……………………………………. 89

***ВВЕДЕНИЕ***

Электромагнитное поле в энергетических системах являются основным агентом передачи электроэнергии. Идея электромагнитного поля впервые была высказана в середине 19 века М. Фарадеем, который считал, что электрически заряженное тело создаёт особое состояние окружающей среды, в результате чего её действия передаётся на другие заряженные тела.

Все электромагнитные явления полно и строго описываются уравнениями Максвелла в рамках классической физики. Уравнения электромагнитного поля были получены Дж. Максвеллом во второй половине 19 века путём обобщения большого числа результатов экспериментов, накопленных к тому времени.

Электромагнитное поле – особый вид материи. Всякая электрически заряженная частица окружена электромагнитным полем, составляющим с ней единое целое.Однако электромагнитное поле может существовать и в свободном, отделённом от заряженных частиц, состоянии в виде фотонов и электромагнитных волн, движущихся со скоростью света. Электромагнитное поле непрерывно распределено в пространстве, но вместе с тем оно представляет собой и дискретную структуру в виде квантов излучения (фотонов).

Электромагнитное поле представляет собой совокупность электрического и магнитного полей, связанных непрерывным взаимным превращением. Эти поля представляют собой две стороны единого электромагнитного поля, различные его проявления.

Электромагнитное поле обладает массой, которая соответствует переносимой энергии (мощность потока энергии, характеризуется *вектором Пойтинга*). Однако плотность массы электромагнитного поля несоизмеримо мала по сравнению с плотностью известных веществ. Так при напряжённостях поля  В/м, плотность массы равна  кг/м3, т.е. представляет собой незначительную величину. Благодаря столь малой плотности массы энергия поля легко передаётся вдоль проводников и в свободном пространстве и поэтому в настоящее время широко используется. Указанные свойства электромагнитного поля свидетельствуют о том, что оно является физической реальностью и обладает всеми свойствами материи. Но, в то же время, поле характеризуется особым электромагнитным свойством – способностью оказывать силовое воздействие на заряженные частицы.

Передача и преобразование энергии имеют первостепенное значение для электроэнергетики и электротехники. Энергия (понятие энергии введено [Аристотелем](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) в трактате «[Физика](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_(%D0%90%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C))») является одним из основных фундаментальных понятий (категорий) современной философии и неотъемлемым свойством материи. Материя без энергии не существует. Чёткое однозначное определение энергии как философской категории дать довольно сложно. Во всех определениях отмечаются только различные свойства энергии.

Закон сохранения энергии является одним из важнейших законов природы. Он заключается в том, что [энергия](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) [изолированной](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0) [физической системы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0) сохраняется неизменной независимо от протекающих в ней физических процессов. Поскольку закон сохранения энергии относится не к конкретным величинам и явлениям, а отражает общую, применимую везде и всегда, закономерность, то его называют не только законом, но и [принципом](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF) сохранения энергии.

Развитие Вселенной происходит путём преобразования различных форм энергии. Преобразование форм энергии происходит, как естественным путём, так и искусственным, вследствие деятельности человека. Сам же человек, как и любой другой живой организм с энергетической точки зрения, может рассматриваться как преобразователь энергии из одной формы в другую, в основном, преобразование энергии химических связей потребляемой пищи в тепловую (70%) и значительно меньше в механическую энергию. В клетках организма небольшая часть энергии преобразуется в электрическую энергию, благодаря процессу

В цепочке искусственного преобразования форм энергии более ста лет назад появилась и стала доминирующей электрическая энергия. Носителем электрической энергии является электромагнитное поле.

Энергия электромагнитного поля легко преобразуется непосредственно в другие виды энергии, в том числе в химическую, тепловую, механическую и др.

В работе нет глубоких детальных расчётов электромагнитных явлений, в основном материал представлен крупными мазками, чтобы расчётами не затенять основные идеи работы.

Назначение этой книги – сформировать научное мировоззрение электроэнергетиков и электротехников, развить интерес к учению об электричестве у молодых романтиков, увлечь их творческой работой в этой области.

Для материала своей книги автор использовал очень многочисленные источники, основные из которых приведены библиографическом списке, и многим обязан своим коллегам по НПИ. Наибольшее влияние на формирования на мировоззрение автора оказали работы Поливанова К.М., Фейнмана Р и Шимони К.