

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Московский государственный университет экономики,
статистики и информатики.**

**Московский международный институт эконометрики,
информатики, финансов и права**

Цуркин А. П.

**Руководство для
самостоятельного изучения курса
«Физика: теория связи»**

Москва 2001

Цуркин А. П. Руководство по изучению дисциплины «Физика теория связи» - М. Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. 2001. – 33 с.

© Цуркин А. П., 2001

© Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2001

© Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2001

Содержание

1. Сведения об авторе	4
2. Цели и задачи изучения курса «физика: теория связи».....	4
3. Перечень основных тем.....	5
3.1. Тема 1 электромагнитная индукция.....	5
3.2. Тема 2 Теория Максвелла для электромагнитного поля.	7
3.3. Тема 3 Электромагнитные колебания.....	10
3.4. Тема 4 Электромагнитные волны.....	13
3.5. Тема 5 излучение электрического поля.....	16
3.6. Тема 6: Модулирование электромагнитных колебаний.	17
3.7. Тема 7: принципы связи в радиовещании и телевидении.....	21
3.8. Тема 8: Волоконно-оптичекые линии связи (ВОЛС).....	24
3.9. Тема 9. Модемная связь.....	26
3.10. Тема 10. Спутниковая, пейджинговая и сотовая связи.....	28
4. Глоссарий.....	33

1. Сведения об авторе

1. Курс «физика: теория связи» разработан доцентом Цуркиным А. П., кандидатом физико-математических наук.

Перечень научно-методических работ Цуркина А. П. для изучения курса «теория связи».

1. В. П. Ионкин, А. П. Цуркин. Общая физика Текст лекций. М. 1984.

2. Практикум по электронной базе ЭВМ. Часть I, МЭСИ 2001. (Соавторы: Курбачёв Ю. Ф., Алексеев С. И.)

3. Практикум по электронной базе ЭВМ. Часть II, МЭСИ 2001. (Соавторы: Курбачёв Ю. Ф., Алексеев С. И.)

4. Практикум по курсу «физика: теория связи», МЭСИ, в печати. (Соавторы: Курбачёв Ю. Ф., Алексеев С. И.)

2. Цели и задачи изучения курса «физика: теория связи».

Основу современных информационных систем составляют электронные и оптические устройства, которые используются для получения, передачи и управления электронными сигналами. Поэтому основной задачей данной дисциплины является изучение физических основ работы электронных и оптических приборов, осуществляющих приём и передачу информации в системах телекоммуникаций, что даёт возможность надёжного моделирования экономических процессов.

В настоящее время для более эффективного использования вычислительной техники в процессе управления требуются значительные скорости передачи информации по линиям связи. Однако, современная электроника близка к достижению теоретического предела по скорости передачи информации. В связи с этим для резкого увеличения пропускной способности информационных сигналов и повышения их помехоустойчивости является переход к оптическому диапазону электрических волн, передаваемых с помощью волоконно-оптических линий связи, что в свою очередь фундаментального изучения оптоэлектроники и методов передачи информации с помощью оптических устройств.

Такой подход позволит будущим специалистам ориентироваться в новых принципах работы телекоммуникационных систем, а также легко адаптироваться к работе новых поколений ЭВМ.

Для изучения курса «физика: теория связи» необходимо знать основные разделы физики:

Электродинамика (электромагнитная индукция, теория Максвелла для электромагнитного поля) Электромагнитные колебания и волны, основы оптики и квантовой оптики, Квантовая физика твёрдых тел.

3. Перечень основных тем.

3.1. Тема 1 электромагнитная индукция.

Явление электромагнитной индукции заключается в том, что в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции, охватываемого этим контуром, возникает индукционный ток, нашло своё применение при создании генераторов электрического тока, а также имеет важное значение для развития теории электромагнитного поля.

Необходимо знать в чём заключается сущность явления электромагнитной индукции, а также что является причиной возникновения ЭДС индукции в проводящем замкнутом контуре, помещённом в магнитное поле и от чего зависит ЭДС индукции. Обратит внимание на основной закон электромагнитной индукции, открытый Фарадеем и Ленцем, который имеет огромное значение для современной физики и техники. Этот закон является следствием общего закона сохранения энергии. Здесь также необходимо рассмотреть вопрос о том, что для обнаружения индукционного тока лучше использовать замкнутый проводник в виде катушки, а не в виде одного витка. Уметь также пользоваться правилом Ленца для электромагнитной индукции и демонстрировать его примерами.

Обратит внимание на то - возникает ли индукционный ток в проводящем витке, поступательно движется в однородном магнитном поле, а результаты этого явления объяснить.

Необходимо получить уравнение для ЭДС индукции в плоской прямоугольной рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле.

Также следует уметь проанализировать классические опыты Фарадея, с помощью которых можно обнаружить явление электромагнитной индукции.

Обратит внимание на то, что индукционный ток возникает не только в линейных проводниках, но и в массивных силовых проводниках, помещённых в переменное магнитное поле. Такие токи оказываются замкнутыми в толще проводника и называются вихревыми токами или токами Фуко. Эти токи также подчиняются правилу Ленца и вызывают Джоулево тепло, а поэтому для уменьшения потерь на нагревание сердечники трансформаторов изготавливаются из тонких пластин, отделённых друг от друга изоляторами.

Обратит внимание на то, что вихревые токи возникают в проводах, по которым протекает переменный ток, а быстропеременный ток вызывает появление скин-эффекта.

В этой теме также необходимо подробно рассмотреть явление самоиндукции, которое заключается в возникновении ЭДС в электрической цепи вследствие изменения в ней электрического тока.

Пользуясь законом электромагнитной индукции следует уметь получать выражение для электродвижущей силы самоиндукции. Обратить также внимание на такие физические величины, как индуктивность, токосцепление, а также на, так называемые, экстратоки и их значение в экспериментальной физике и электротехнике.

Необходимо представление о таком физическом явлении, как взаимная индукция. Уметь пользоваться законом электромагнитной индукции для физического толкования явления взаимной индукции.

При изучении темы 1 необходимо читать учебники:

1. И. В. Савельев. «Курс общей физики», т. II Наука. М. 1973г. §55-63.
2. Д. В. Сивухин. «Общий курс физики», т. II Наука. М. 1977г. §62-65.
3. Б. Н. Иванов. «Законы физики высшая школа», М. 1986г. §12.1
4. А. А. Детлаф и Б. М. Люрский. «Курс физики. Высшая школа». М. 1989. §25.1-25.5.

На лабораторных занятиях следует выполнить лабораторную работу №1 «Определение индуктивности и электроёмкости в электрической цепи».

Для самооценки темы №1:

- а) Ответить на вопросы 1-15.
1. В чём заключается явление электромагнитной индукции? Проанализируйте опыты Фарадея.
2. Что является причиной возникновения ЭДС индукции в замкнутом проводящем контуре? От чего и как зависит ЭДС индукции, возникающая в контуре?
3. Почему для обнаружения индуктивного тока лучше использовать проводник в виде катушки, а не в виде одного витка провода.?
4. Сформулируйте закон Фарадея и правило Ленца, проиллюстрировав эти явления примерами.
5. Всегда ли при возникновении потока магнитной индукции в проводящем контуре в последнем возникает ЭДС индукции? Индукционный ток?
6. Возникает ли индукционный ток в проводящей рамке, поступательно движущейся в однородном магнитном поле?
7. Покажите, что закон Фарадея есть следствие закона сохранения энергии.
8. Какова природа ЭДС электромагнитной индукции.
9. Вывести выражение для ЭДС индукции в плоской рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле.
10. Что такое вихревые токи? Вредны они или полезны?

11. Почему сердечники трансформаторов не делают сплошными?
12. В чём заключается явление самоиндукции?
13. Что называется взаимной индукцией?
14. Что называют экстратоками?
15. Дать вывод уравнения для энергии магнитного поля и плотности энергии.

б) Решить задачи

1. Кольцо из алюминиевого провода ($\rho = 26 \text{ нОм} \cdot \text{м}$) помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца 20 см, диаметр провода 1 мм. Определить скорость изменения магнитного поля, если сила тока в кольце 0.5 А.

2. Два соленоида индуктивности $L_1 = 0.36 \text{ Гн}$ и $L_2 = 0.64 \text{ Гн}$ одинаковой длины и равного сечения вставлены один в другой. Определить взаимную индуктивность соленоидов.

3. В. С. Волькенштейн. «Сборник задач по общему курсу физики», Наука. М. 1981 г. задачи №11.58-11.68.

3.2. Тема 2 Теория Максвелла для электромагнитного поля.

Теория Максвелла является последовательной теорией единого электромагнитного поля, создаваемого произвольной системой электрических зарядов и токов. Обратить внимание, что в теории Максвелла решается основная задача электродинамики: по заданному распределению зарядов и токов отыскиваются характеристики создаваемых ими электрических и магнитных полей. Важное значение здесь имеет то, что теория Максвелла является обобщением важнейших законов, описывающих электрические и магнитные явления: теорема Остроградского-Гаусса, закона полного тока, закона электромагнитной индукции. Обратить внимание на то, что в теории Максвелла рассматриваются макроскопические поля, которые создаются макроскопическими полями и токами, сосредоточенных в объёмах неизмеримо больших, чем объёмы атомов и молекул. Также предполагается что расстояния от источников полей до рассматриваемых точек пространства значительно превышают линейные размеры атомов и молекул. Поэтому макроскопические поля изменяются заметно лишь на расстояниях, огромных по сравнению с размерами атомов.

Необходимо знать, что теория носит феноменологический характер, который проявляется в том, что в ней не рассматривается внутренний механизм явлений, происходящих в среде и вызывающих появление магнитных и электрических полей. Среда описывается в теории Максвелла с помощью трёх величин, задающих её электрические и магнитные свойства: относительно диэлектрической проницаемостью, относительной магнитной проницаемостью и удельной электрической проницаемостью.

Важным в теории Максвелла является то, что макроскопические заряды и токи являются совокупностью микроскопических зарядов и токов, создающих свои электрические и магнитные микрополя, непрерывно изменяющиеся в каждой точке пространства с течением времени.

Следует также иметь в виду, что макроскопические поля, рассматриваемые в теории Максвелла, представляют собой усреднённые микрополя.

Необходимо знать, что теория Максвелла является теорией близкодействия, согласно которой электрические и магнитные взаимодействия осуществляются посредством магнитного поля и распространяются с конечной скоростью, равно скорости света в данной среде.

Теория Максвелла опирается на четыре уравнения, характеризующие законы электромагнитного поля. Следует обратить внимание что первое уравнение Максвелла является обобщением закона электромагнитной индукции Фарадея. Кроме того, необходимо знать, что Закон электромагнитной индукции Фарадея по Максвеллу справедлив не только для проводящего контура, но и для любого замкнутого контура, мысленно выбранного в переменном магнитном поле. Иными словами, магнитное поле создаёт в любой точке пространства вихревое индуцированное магнитное поле независимо от того, находится в этой точке проводник или нет.

Обратить внимание на то, что при выводе первого и последующих уравнений Максвелла в интегральной форме надо уметь их записывать в дифференциальной форме, используя теорему Стокса из векторного анализа.

Второе уравнение Максвелла связано с тем, что Максвелл обобщил закон полного тока, предполагая, что переменное электрическое поле, также как и электрический ток являются источниками магнитного поля. Обратить внимание на то, что количественной мерой магнитного действия переменного электрического поля служит ток смещения, который равен потоку вектора плотности тока смещения сквозь произвольную поверхность.

Необходимо знать, что учёт токов смещения приводит к тому, что цепи непостоянных токов становятся замкнутыми. Токи смещения проходят в тех участках, где нет проводника (например, между обкладками заряжающегося конденсатора). Эти токи, в отличие от токов проводимости, не сопровождаются выделением джоулевого тепла.

Следует отметить, что при выводе второго уравнения Максвелла, в правую часть закона полного тока добавил ток смещения и записал обобщённый закон полного тока в следующем виде $\oint Hde = I + I_{cm}$. В связи с этим следует обратить внимание на то, что второе уравнение Максвелла для электромагнитного поля показывает, что циркуляция вектора

напряжённости магнитного поля по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов и токов смещения сквозь поверхность, натянутую на этот контур.

Следует хорошо понимать, что второе уравнение Максвелла даёт чрезвычайно важный вывод, о том что переменные электрические и магнитные поля неразрывно связаны друг с другом, образуя единое электромагнитное поле.

Третье уравнение Максвелла связано с тем, что Максвелл обобщил Остроградского-Гаусса теорему для электростатического поля. При этом следует отметить, что для обобщения теоремы Остроградского-Гаусса Максвелл предположил, что она справедлива для любого электрического поля как стационарного, так и переменного. Соответственно третье уравнение Максвелла в интегральной форме имеет вид $\oint \vec{E} d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i$.

Четвёртое уравнение Максвелла связано с тем, что Максвелл предположил, что теорема Остроградского-Гаусса справедлива для любого магнитного поля и тогда это уравнение имеет вид $\oint \vec{B} d\vec{S} = 0$.

При изучении данной темы следует иметь в виду, что все четыре уравнения Максвелла несимметричны относительно электрических и магнитных полей, так как в природе нет магнитных зарядов, а есть электрические заряды.

При изучении темы 2 необходимо читать учебники:

1. И. В. Савельев. «Курс общей физики», т. II. Наука. М. 1973. § 103-108
2. Д. В. Сивухин. «Общий курс физики», т. III. Наука. М. 1977. § 81-85.
3. Б. Н. Иванов. «Законы физики». Высшая школа. М. 1986. § 12.1-13.7.
4. А. А. Детлаф и Б. М. Яворский. «Курс физики». Высшая школа. М. 1989. § 26.1-26.5.

На лабораторных занятиях следует выполнить работу №2 «Определение взаимной индуктивности двух катушек».

Для самооценки по теме 2:

а) Ответить на вопросы 1-10:

1. Что является причиной возникновения вихревого электрического поля? Чем оно отличается от электростатического поля?
2. Чему равна циркуляция вихревого электрического поля?

3. Почему вводится понятие тока смещения? Что он собой по существу представляет?
4. Вывести и объяснить выражение для плотности тока.
5. В каком смысле можно сравнивать ток смещения и ток проводимости?
6. Записать, объяснив физический смысл, обобщённую теорему о циркуляции вектора напряжённости магнитного поля.
7. Записать полную систему уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах и объяснить их физический смысл.
8. Почему постоянные электрические и магнитные поля можно рассматривать обособленно друг от друга? Запишите для них уравнение Максвелла в обеих формах.
9. Почему уравнения Максвелла в интегральной форме являются более общими?
10. Какие основные выводы можно сделать на основе теории Максвелла?

3.3. Тема 3 Электромагнитные колебания.

Электромагнитные колебания – это такие колебания, при которых электрические величины (заряды, токи) периодически изменяются и которые сопровождаются взаимными превращениями электрических и магнитных полей.

Следует вначале рассмотреть электромагнитные колебания на примере закрытого колебательного контура – электрическую цепь состоящую из последовательно включенных катушки индуктивности L , конденсатора ёмкостью C и резистора с сопротивлением R . Обратите внимание на то, что рассматриваемый контур идеализирован и сопротивление его очень мало (R стремится к 0). Для возбуждения в контуре колебаний необходимо зарядить конденсатор, и в контуре будут возникать гармонические электромагнитные колебания. Необходимо знать, что эти электромагнитные колебания сопровождаются превращением энергии электрического и магнитного полей, которые надо сопоставить с механическими колебаниями физического маятника, сопровождающимися превращениями потенциальной и кинетической энергии. Далее, необходимо, для получения закона гармонических колебаний применить второе правило Кирхгофа для электрической цепи и получить дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний. После установления закона электромагнитных колебаний, следует получить формулу Томсона и установить её физический смысл.

При рассмотрении вопроса затухающих электромагнитных колебаний необходимо сопоставить электромагнитные и механические колебания, обратив внимание на то, что эти колебания описываются аналогичными математическими уравнениями. Следует также иметь в виду, что

дифференциальные уравнения свободных затухающих колебаний составляются при условии, что R не равно 0 и поэтому при расчётах появляется коэффициент затухания, что в свою очередь указывает на то, что частота затухающих колебаний оказывается меньше собственной частоты контура. Далее, следует обратить внимание на то, что характеристикой затухающих колебаний является логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы. В заключении отметить, что при увеличении коэффициента затухания, период затухающих колебаний растёт и в конечном итоге движение перестаёт быть периодическим. Такой процесс называют апериодическим.

Вынужденные электромагнитные колебания также описываются математическими уравнениями, которые аналогичны уравнениям механических вынужденных колебаний.

Чтобы в реальной колебательной системе получить незатухающие колебания, надо компенсировать потери энергии и для этого следует включить последовательно с элементами колебательного контура переменную ЭДС или переменное напряжение. Затем необходимо получить дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и найти его решения в частном и общем виде. И далее показать, что общее решение играет существенную роль только в начальной стадии процесса колебаний до тех пор, пока амплитуда вынужденных колебаний не достигнет значения определяемого частным решением.

Необходимо знать, что вынужденные колебания в установившемся режиме являются гармоническими с частотой ω , а амплитуда и фаза колебаний зависят от ω . Далее также следует подробно рассмотреть явление резонанса для токов и напряжений. При резонансе токов энергия колеблется между индуктивностью и ёмкостью, то есть создаётся колебательный контур. Когда энергия накапливается в магнитном поле, она одновременно убывает в электрическом поле и наоборот, то есть при резонансе токов (в случае $U=\text{const}$, $L=\text{const}$, $C=\text{const}$) источник энергии от этих колебаний загружен и выдаёт энергию только для покрытия активных потерь. Необходимо изучить условия, при которых наступает резонанс напряжений и токов.

При резонансе напряжений напряжения, на реактивных сопротивлениях X_C и X_L равны между собой, так как при $X_C = X_L$ равны $I X_L = I X_C$, то есть $U_L = U_C$. Напряжение на индуктивности не равно напряжению на катушке, так как любая катушка обладает активным сопротивлением и напряжение на ней будет равно $U_K = I\sqrt{r^2 + X_L^2}$. Таким образом, о наличии резонанса напряжений следует судить не по показаниям вольтметров, а по показанию амперметра, так как в этом случае ток в цепи будет максимальным и равным $I = \frac{U}{r}$.

При резонансе токов ток неразветвлённой, то есть общей ветви, равен сумме активных составляющих токов параллельных ветвей. Для случая идеального контура, когда активные сопротивления равны нулю, условия резонанса токов будут совпадать с условием резонанса напряжений, и ток в общей ветви будет равен нулю, так как $u=b=0$. В этом случае энергия из сети в контур не поступает, а в самом контуре происходит обмен энергиями между электрическими магнитными полями, то есть незатухающий колебательный процесс.

Необходимо ознакомиться с резонансными кривыми, выражающими зависимость действующих значений токов и напряжений на отдельных участках цепи от переменной частоты источника и научиться их строить. Важно также научить строить резонансные характеристики для параллельных сетей с разнохарактерными реактивными сопротивлениями.

При изучении темы 3 необходимо читать учебники:

1. И. В. Савельев. «Курс общей физики», т. II. Наука. М. 1973. § 99-102
2. Д. В. Сивухин. «Общий курс физики», т. III. Наука. М. 1977. § 122-132.
3. А. А. Детлаф и Б. М. Яворский. «Курс физики». Высшая школа. М. 1989. § 27.3-27.4, 28.1-28.3.

На лабораторных занятиях следует выполнить лабораторную работу №3 «Исследование закрытого электрического колебательного контура».

Для самостоятельного изучения темы 3 необходимо:

- а) Ответить на вопросы 1-19:
 1. Что такое колебания? Свободные колебания? Гармонические колебания? Периодические процессы?
 2. Что называют электромагнитными колебаниями?
 3. Что такое закрытый электромагнитный колебательный контур?
 4. Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение. Проанализируйте их для электромагнитных колебаний.
 5. Запишите формулу частоты собственных электромагнитных колебаний и объясните от чего она зависит.
 6. Запишите формулу Томсона и проанализируйте её.
 7. Запишите дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Проанализируйте его.
 8. По какому закону изменяется амплитуда затухающих колебаний? Являются ли затухающие колебания периодическими?
 9. Почему частота затухающих колебаний должна быть меньше частоты собственных колебаний системы?

10. Что такое коэффициент затухания? Декремент затухания? Логарифмический декремент затухания? В чём заключается физический смысл этих величин?

11. При каких условиях наблюдается апериодическое движение?

12. Что такое автоколебания? В чём их отличие от вынужденных и свободных незатухающих колебаний? Где они применяются?

13. Что такое вынужденные электромагнитные колебания? Запишите дифференциальное уравнение вынужденных колебаний, решите его и проведите анализ.

14. От чего зависит амплитуда вынужденных колебаний? Запишите значение для амплитуды и фазы при резонансе.

15. Нарисуйте и проанализируйте резонансные кривые для заряда и тока. В чём их отличие?

16. Почему добротность является важнейшей характеристикой резонансных свойств системы?

17. Что называется резонансом? Какова его роль?

18. От чего зависит индуктивное сопротивление? Ёмкостное сопротивление? Что называют реактивным сопротивлением?

19. Как сдвинуты по фазе колебания переменного напряжения и переменного тока текущего через конденсатор? Катушку индуктивности? Резистор?

б) Решить задачи В. С. Волькенштейн. «Сборник задач по общему курсу физики». Наука. М. 1988, 14.1-14.10

3.4. Тема 4 Электромагнитные волны.

Электромагнитные волны – это возмущения электромагнитного поля (то есть переменного магнитного поля), которые распространяются в пространстве. При изучении этой темы обратить внимание, что экспериментальное получение электромагнитных волн может быть осуществлено с помощью любого колебательного контура или проводника, по которому течёт переменный электрический ток, однако излучающая способность проводника определяется его формой, размерами и частотой колебаний. Следует понимать, что излучение может играть заметную роль в том случае, когда имеют большое пространство, в котором создаётся электромагнитное поле. В этой связи следует знать, что для получения электромагнитных волн непригодны закрытые колебательные контуры, так как в них электрическое поле сосредоточено между обкладками конденсатора, а магнитное поле – внутри катушки индуктивности.

Изучая данную тему необходимо обратить внимание на то, что одним из важнейших следствий уравнения Максвелла для электромагнитного поля является существование электромагнитных волн. В связи с этим необходимо вывести дифференциальные уравнения электромагнитных волн

для волн в однородной изотропной и непроводящей среде вдали от зарядов и токов, создающих эти волны. Также следует обратить внимание на уравнение плоской монохроматической электромагнитной волны в векторном виде, в котором участвуют такие величины как векторы напряжённости электрического и магнитного поля, а также волновое число. При выводе дифференциального уравнения электромагнитных волн следует обратить внимание на то, что в этом уравнении участвует фазовая скорость их распространения. Кроме того, необходимо уметь записывать волновое уравнение для векторов напряжённости электрического и магнитного полей, а также уметь проанализировать его решение и объяснить физический смысл.

При изучении этой темы следует подчеркнуть, что электромагнитное поле распространяется в пространстве в виде электромагнитной волны, причём фазовая скорость её распространения равна скорости света. При изучении энергии электромагнитного поля следует обратить внимание на то, что в этом случае рассматривается суммарная плотность энергии электрического и магнитного поля в изотропной среде. Зная соотношение между модулем векторов напряжённости электрического и магнитного поля для электромагнитной волны можно получить выражение для её объёмной плотности энергии. Следует также знать, что понимают под скоростью переноса энергии бегущей монохроматической электромагнитной волны, а также уметь получить выражение вектора плотности потока энергии или вектора Умова-Пойнтинга. Далее необходимо знать что называют интенсивностью электромагнитной волны, и также получите формулу для этой интенсивности, обратив внимание на то, что интенсивность плоской линейно поляризованной монохроматической бегущей волны прямо пропорциональна квадрату амплитуды колебаний вектора напряжённости электрического поля волны.

В продолжение рассматриваемой темы необходимо ввести основные закономерности линейного гармонического осциллятора – электрического диполя, электрический момент которого изменяется со временем по гармоническому закону. Электрический момент диполя – это произведение абсолютного значения на величину вектора, соединяющего отрицательный и положительный заряды диполя. Изучение работы диполя имеет большое значение в теории излучающих систем (например, антенн), так как всякую реальную излучающую систему можно рассчитывать, рассматривая закономерности работы диполя. В связи с этим следует подробно рассмотреть вопросы связанные с волновой зоной диполя, а также рассмотреть диаграмму направленности излучения диполя, которая позволяет формировать излучение с определёнными характеристиками и используется при конструировании антенн. В заключении темы необходимо рассмотреть, вопрос о применении электромагнитных волн в различных

областях науки и техники, акцентируя внимание на применение в телекоммуникациях.

При изучении темы 4 необходимо читать учебники:

1. И. В. Савельев. «Курс общей физики», т. II. Наука. М. 1973. § 109-113
2. Д. В. Сивухин. «Общий курс физики», т. III. Наука. М. 1977. § 139,141,142.
3. А. А. Детлаф и Б. М. Яворский. «Курс физики». Высшая школа. М. 1989. § 30.1-30.4.

На лабораторных занятиях следует выполнить лабораторную работу №4 «Изучение электромагнитных волн».

Для самостоятельного изучения темы 4 необходимо:

- а) Ответить на вопросы 1-8
 1. Что такое электромагнитная волна?
 2. Что может быть источниками электромагнитных волн?
 3. Каковы физические процессы, приводящие к возможности существования электромагнитных волн?
 4. Какие характеристики поля периодически изменяются в бегущей волне?
 5. Запишите волновое уравнение для векторов электрического и магнитного полей переменного электромагнитного поля. Проанализируйте его решение и объясните физический смысл?
 6. Как определяется фазовая скорость электромагнитных волн?
 7. Как определить объёмную плотность энергии в электромагнитной волне?
 8. В чём заключается физический смысл вектора Умова-Пойнтинга? Чему он равен?
- б) Решить задачи
 1. Электромагнитная волна с частотой 4МГц переходит из немагнитной среды с $\epsilon=3$ в вакуум. Определить приращение её длины.
 2. Два параллельных провода, одни концы которых изолированы, а другие через индуктивность соединены с генератором, помещены в среду с $\epsilon=26$ и $\mu=1$. При определённой частоте колебаний в системе волны, расстояние между которыми равно 0.5. Определить частоту колебаний генератора [58,8 МГц].
 3. В вакууме оси X распространяется электромагнитная волна. Амплитуда напряжённости электрического поля волны 18.8 В/м. Определить интенсивность волны. [0,47 Вт/м²]

3.5. Тема 5 излучение электрического поля.

Излучение электромагнитных волн осуществляется с помощью открытого колебательного контура, а впервые электромагнитные волны экспериментально получил Геру, который в своих опытах, уменьшая число витков катушки индуктивности и площадь пластин конденсатора, а также раздвигая их, совершил переход от закрытого колебательного контура к открытому колебательному контуру или осциллятору (вibratorу Герца). Следует иметь в виду, что в конечном итоге вибратор Герца представляет собой два стержня, разделённых искровым промежутком, что представляет собой открытый колебательный контур, и переменное электромагнитное поле заполняет окружающее пространство. Колебания в такой системе поддерживаются за счёт источника ЭДС, подключённого к обкладкам конденсатора, а искровой промежуток применяется для того, чтобы увеличить разность потенциалов. Для возбуждения и изменения электромагнитных волн вибратор Герца подключается к источнику, и когда напряжение в искровом промежутке достигает пробивного значения, прибор излучает свободное затухающее колебание. Далее в этой теме следует рассмотреть вопросы дальнейшего развития методик экспериментального получения электромагнитных волн, включая работы по миниатюрному вибратору П.Н.Лебедева и массового излучателя А. А. Глогольевой-Аркадьевой. Необходимо подчеркнуть, что все вышеописанные методики получения электромагнитных волн обладали недостатками, которые заключались в том, что свободные колебания в них быстро затухали и обладали малой мощностью. Для получения незатухающих колебаний необходимо иметь автоколебательную систему, которая обеспечивала бы подачу энергии с частотой равной частоте собственных колебаний контура. Эту роль выполняют генераторы электромагнитных волн на электронных схемах, которые позволяют получать колебания практически любой мощности и синусоидальной формы.

Изучая данную тему, необходимо рассмотреть также вопрос о распространении волн вдоль проводов. Если рассматривать два параллельных провода, в которых с помощью генератора могут возбуждаться переменные токи высокой частоты, то такие два провода называются системой Лехера, и служит эта система для распространения напряжения и токов вдоль проводов в виде волны. Следует иметь в виду, что связь проводов в системе Лехера с генератором может быть ёмкостной либо индуктивной. Используя это условие необходимо получить дифференциальные уравнения токов и напряжений в системе Лехера, а затем показать, что эти уравнения формально тождественны уравнениям электромагнитной волны. Необходимо также показать, что токи и напряжения в системе Лехера распространяются со скоростью, совпадающей со скоростью распространения электромагнитных волн в

свободном пространстве. При изучении свойства быстропеременных токов необходимо доказать, что плотность тока в металле убывает с глубиной, и ток практически течёт только в поверхностном слое металла. Это явление называют скин-эффектом. Далее - показать, как влияет толщина провода на изменение его сопротивления для различных частот переменного тока. В заключение темы необходимо подробно рассмотреть свойства электромагнитных волн.

Для самостоятельного изучения темы 5 необходимо:

а) Ответить на вопросы 1-9

1. Какова скорость распространения электромагнитных волн и от чего она зависит?

2. Почему важна задача об излучении диполя?

3. В чём заключается физический смысл диаграммы напряжённости излучения диполя?

4. Почему Герц в своих опытах использовал открытый колебательный контур?

5. Чем отличается открытый колебательный контур от закрытого?

6. Как можно представить себе шкалу электромагнитных волн и каковы источники излучения разных видов волн?

7. Что называют системой Лехера?

8. Что называют условием квазистационарности, применяемым к системе Лехера?

9. Что называют волновым сопротивлением линии?

б) Решить задачи В. С. Волькенштейн. «Сборник задач по общему курсу физики». Наука. М. 1988, 14.12-14.28

3.6. Тема 6: Модулирование электромагнитных колебаний.

В любом методе электромагнитной связи всегда можно выделить среду, которая переносит информационную несущую и саму информацию.

При изучении данной темы необходимо обратить внимание на то, что существуют три основных схемы модуляции: 1) амплитудная (АМ), 2) угловая модуляция, подразделяющаяся на два метода: частотную модуляцию (ЧМ) и фазовую модуляцию (ФМ), 3) импульсная модуляция (ИМ). Кроме того, различные схемы модуляции совмещают два этих метода или более, образуя сложные системы связи. Например, телевидение использует как АМ, так и ЧМ для различных типов передачи информации, а импульсная модуляция совмещается с амплитудной, образуя импульсно-амплитудную модуляцию (АиМ) и т.д.

Следует знать, что во всех методах модуляции несущей служат синусоидальные колебания с определённой амплитудой и, аналогично, модулированные сигнал также передаётся с помощью синусоидальных

колебаний с АМ, ЧМ и ФМ или в виде импульса в случае импульсной модуляции.

При рассмотрении вопроса амплитудной модуляции следует обратить внимание на то, что с качественной стороны амплитудная модуляция может быть определена как изменения амплитуды несущей пропорционально амплитуде модулируемого сигнала. В общем случае для модулируемого сигнала большой амплитуды соответствующая амплитуда несущей должна быть большой. Эта схема модуляции может быть осуществлена умножением двух сигналов E_H несущего и E_M модулируемого. В связи с этим, следует уметь провести умножение $E_H \cdot E_M$ и после математического преобразования и использования тригонометрического тождества получить полное уравнение колебания. Следует здесь проанализировать полученное уравнение, и при этом показать, что этот тип модуляции подавляет несущую частоту, а иногда можно передавать лишь одну боковую полосу, т. к. она содержит всю информацию о модулирующем сигнале.

Далее следует получить коэффициент модуляции и проанализировать его значение для поиска качественной передачи информационных сигналов.

Также следует знать, что амплитудная модуляция, в зависимости от значения коэффициента модуляции, может быть использована в передаче импульсных значений.

При рассмотрении вопроса детектирования или демодулирования АМ-колебаний следует обратить внимание на то, что этот процесс требует выпрямления модулированного сигнала, который сопровождается исключением несущей частоты. После выпрямления остаётся лишь половина колебания, а после дополнительного фильтрования присутствует лишь его огибающая, которая является воспроизведённым переданным сигналом. К этой части модулирования следует привести блок-схему АМ-системы, состоящую из функциональных схем передатчика и приёмника далее пояснить принцип её работы.

Изучая модуляцию, необходимо рассмотреть и методику частотной модуляции (ЧМ). Обратить внимание на то, что в таком виде модуляции амплитуда модулирующего сигнала управляет мгновенной частотой несущей.

Следует также знать тригонометрическое выражение формы напряжения модулированной несущей, а также знать индекс модуляции и девиацию частоты. После введения этих понятий, следует тщательно проанализировать изменение частоты несущей с ЧМ, с учётом, что ЧМ-колебания состоят из несущей и боковых полос. В заключении следует показать, что ЧМ требует значительной полосы частот и используется только при несущих с частотами 100МГц и выше.

Частотно – модулированная связь гораздо менее чувствительна к помехам. Следует знать, что это свойство связано с тем, что большинство помех амплитудно модулируют несущую и приёмник становится

нечувствительным к изменению амплитуды и можно практически устранить эту нежелательную модуляцию. Для восстановления информационного сигнала из ЧМ-волны, проводят лишь частотное детектирование, при котором выходной сигнал зависит лишь от изменения частоты ЧМ-сигнала, а не от его амплитуды. Возможно также применение в приёмниках усилителя ограничителя, который поддерживает постоянную амплитуду ЧМ-колебаний, устраняя тем самым любой АМ-сигнал.

Импульсная модуляция (ИМ) может быть использована для передачи цифровых и аналоговых форм сигнала. Следует знать, что если передача ведётся в виде цифрового сигнала, то можно модулировать несущую (с помощью АМ и ЧМ) рядом импульсов, который представляет цифровое значение. При использовании аналоговой информации, необходимо сначала преобразовать аналоговые данные в импульсную форму, а для восстановления формы аналоговых колебаний требуется возможно большее число импульсов, чем достигается лучшее воспроизведение информации. Этот процесс называется амплитудно-импульсной модуляцией (АиМ), и если число импульсов в секунду в 2-5 раз больше частоты аналогового сигнала, то этот процесс является примером лучшей воспроизводимости.

При изучении теории модуляции следует также знать, что также и виды модуляции:

- ШИМ – широтно-импульсная модуляция (модуляция импульсов по длительности);
- ЧИМ – частотно-импульсная модуляция (амплитуда всех импульсов одинакова, изменяется только их частота);
- КиМ – кодово-импульсная модуляция (преобразует выборки напряжения в кодированное сообщение).

Следует здесь также рассмотреть вопрос о демодуляции. С колебательного контура приёмника модулированные колебания высокой частоты поступают на детектор, в качестве которого можно использовать полупроводниковый диод, пропускающий переменный ток высокой частоты в одном направлении. Затем эти колебания проходят параллельную цепочку, состоящую из конденсатора и сопротивления, и на резисторе будет протекать ток, изменяющийся по времени с частотой, использованной при модуляции колебаний в радиопередатчике.

При изучении вопроса оптической модуляции следует знать, что для записи информации в оптических запоминающих устройствах необходимо изменять интенсивность луча света от источника излучения, из уравнения световой волны вытекает, что модулироваться могут амплитуда, частота, фаза и направление поляризации светового луча. Учитывая, что приёмники излучения реагируют на изменение интенсивности светового потока, необходимо все виды модуляции сводить к изменению амплитуды оптического сигнала.

Следует знать, что управление световым потоком излучателей можно проводить как за счёт изменения режима работы (внутренняя модуляция), так и с помощью дополнительных элементов (внешняя модуляция). Обратить внимание на то, что внутренняя модуляция приводит к ухудшению когерентности и направленности излучения, а поэтому для управления интенсивностью излучения пользуются в основном внешней модуляцией. В оптических запоминающих устройствах (ЗУ) модуляторы работают в дискретном режиме, и такие приборы называют оптическими затворами, которые подразделяются на электрооптические и магнитооптические. Следует знать работу электрооптических затворов, основанных на линейном эффекте Поккельса. Эти электрооптические модуляторы характеризуются достаточной широкополосностью частоты, прозрачностью, большой апертурой и малыми потерями. Также для аналогичных модуляций используется электрооптический эффект Керра и магнитооптический эффект Фарадея.

При изучении темы 6 необходимо читать учебники:

1. Д. В. Сивухин. «Общий курс физики». М. Наука. Т. III §128,132;
2. В. П. Миковзоров. «Элементы информационных систем». М. Высшая школа. 1989. §121-123;
3. А. С. Касаткин. «Электротехника». М. Высшая школа. 1980. §99-100;
4. В. Г. Герасимов. «Основы промышленной электроники». М. Наука 1986. §20-23.

На лабораторных занятиях следует выполнить лабораторную работу 6: «Модулирование электромагнитных колебаний».

Для самостоятельного изучения темы 6 необходимо

- а) ответить на вопросы:
 - 1) Назовите схемы модуляции колебаний?
 - 2) Какой вид модуляции используется в телевидении?
 - 3) Что называется амплитудной модуляцией?
 - 4) Напишите уравнения амплитудно-модулированного колебания.
 - 5) Какие частоты при амплитудно-модулированном колебании называются боковыми?
 - 6) Почему при амплитудной модуляции информацию можно передавать только по боковой частоте?
 - 7) Что называется коэффициентом модуляции?
 - 8) Начертить схему АМ-системы и рассказать о принципах её работы.
 - 9) Что называется индексом модуляции при ЧМ?
 - 10) Что называется девиацией частоты?

- 11) Почему для ЧМ требуются значительные полосы частот и для каких частот используется этот вид модуляции?
- 12) Почему функциональные схемы передатчика и приёмника с ЧМ аналогичны для АМ?
- 13) Как можно исключить влияние помех при ЧМ?
- 14) Что называется импульсной модуляцией (ИМ)?
- 15) Как используется ИМ для передачи цифровой и аналоговой информации?
- 16) Что называется амплитудно-импульсной модуляцией (АиМ)?
- 17) Что называется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ)?
- 18) Что называется частотно-импульсной модуляцией (ЧиМ)?
- 19) Что называется кодово-импульсной модуляцией (КиМ)?
- 20) Рассмотрите принципиальную схему демодулятора и объясните его работу.
- 21) Что называется оптической модуляцией?
- 22) Что называется внутренней и внешней модуляцией оптического излучения?
- 23) Какая из этих видов модуляции эффективнее и почему?
- 24) Рассказать об устройстве и работе электрооптических и магнитооптических затворов. Объясните принципы их работы.

3.7. Тема 7: принципы связи в радиовещании и телевидении.

Телефонная связь.

После опытов Герца электромагнитные волны были использованы для осуществления беспроводной связи, получившей название радиосвязи. Первый простейший радиоприёмник был создан А. С. Поповым в 1895 году. Электромагнитные волны, используемые в радиотехнике, называются радиоволнами, которые охватывают широкий диапазон частот от $3 \cdot 10^4$ ГЦ до $3 \cdot 10^{11}$ ГЦ. При изучении этой темы следует знать, что для осуществления радиосвязи необходимо наличие открытого колебательного контура, или передающей антенны. Антенна – это незамкнутый провод или система проводов, подвешенных над уровнем земли. В такой антенне, настроенной в резонанс с генератором, возбуждаются сильные высокочастотные токи. Электромагнитные волны, излучаемые этой антенной, достигают приёмной антенны, также настроенной в резонанс с генератором, и в свою очередь возбуждают в ней токи той же частоты, которые могут быть усилены и использованы для приёма информации. Следует заметить, что низкочастотные токи не применяются для радиосвязи, так как они очень слабые (мощность излучения пропорциональна четвёртой степени частоты). Также следует иметь в виду и следующее. Если излучающей антенной служит прямолинейный провод, то для возбуждения передаваемого колебания длина провода должна быть

равна половине длины излучаемой волны, а при частоте порядка тысячи герц длина такой антенны составила бы 150 км. Именно поэтому излучающие антенны питаются током высокой частоты.

Необходимо знать, что чисто синусоидальные волны высокой частоты, излучаемые антенной, не несут никакой информации. Для передачи информации, например, человеческой речи, требуются низкочастотные сигналы. Для этого необходимо применение модуляции. Демодуляция состоит в том, что высокочастотные колебания выпрямляются, а затем сглаживаются цепью, обладающей необходимым временем релаксации.

Следует также знать, как работает блок-схема радиопередатчика и радиоприёмника, рассмотреть при этом назначение и краткую характеристику различных узлов схемы (усилитель низкой частоты, усилитель высокой частоты, демодулятор, модулятор, телефон и т.д.).

Следует также отметить, что для высококачественного воспроизведения в приёмнике сигналов, передаваемых радиостанцией, необходимо, чтобы частота модуляции была в 5-10 раз меньше несущей частоты. В случае передачи речи и музыки модуляция осуществляется со звуковыми частотами и поэтому для радиовещания можно использовать все диапазоны радиоволн: длинные, короткие, средние.

При рассмотрении этой темы обратить внимание на вопрос дальности приёма радиоволн. Такие явления, как огибание волнами препятствий, поглощение и отражение радиоволн атмосферой и земной поверхностью, а также отражение и преломление волн в верхней, ионизированной части атмосферы, называемой ионосферой.

В этой теме также необходимо рассмотреть вопрос о телевидении. Следует знать, что принцип передачи изображений на расстояние состоит в следующем. На передающей станции производится преобразование изображения в последовательность электрических сигналов. Этими сигналами модулируют затем колебания, вырабатываемые генератором низкой частоты. Модулированная электромагнитная волна переносит информацию на большие расстояния. В приёмнике производится обратное преобразование. Высокочастотные модулированные колебания детектируются, а полученный сигнал преобразуется в видимое изображение. Для передачи движения используют принцип кино: немного отличающиеся друг от друга изображения движущегося объекта (кадры) передают десятки раз в секунду (в нашем телевидении 50 раз).

Следует знать, что изображение преобразуется с помощью передающей вакуумной электронной трубки – иконоскопа в серию электрических сигналов. Кроме иконоскопа, существуют и другие передающие устройства. Внутри иконоскопа расположен мозаичный экран, на который с помощью оптической системы проецируется изображение объекта. Каждая ячейка мозаики заряжается, причём её заряд зависит от

интенсивности попадающего на ячейку света. Этот заряд меняется при попадании на ячейку электронного пучка, создаваемого электронной пушкой. Электронный пучок последовательно попадает на все элементы сначала одной строки, а затем другой и т.д. (всего 625 строк). От того, насколько сильно меняется заряд ячейки, зависит сила тока в резисторе. Поэтому напряжение на резисторе изменяется пропорционально изменению освещённости вдоль строк кадра.

Обратить внимание на то, что такой же сигнал получается в телевизионном приёмнике после детектирования. Это видеосигнал. Он преобразуется в видимое изображение на экране приёмной вакуумной трубки – кинескопа. Электронная пушка такой трубки снабжена электродом, управляющим числом электронов в пучке и, следовательно, свечением экрана в месте попадания луча. Системы катушек горизонтального и вертикального отклонения заставляют электронные луч обегать весь экран таким же образом, как электронный луч обегал мозаичный экран в передающей трубке. Синхронность движения лучей в передающей и приёмной трубках достигается посылкой специальных синхронизирующих сигналов.

Телевизионные радиосигналы могут быть переданы только в диапазоне ультракоротких (метровых) волн. Такие волны распространяются обычно лишь в пределах прямой видимости антенны. Поэтому для охвата телевидением большой территории необходимо размещать телепередатчики чаще и поднимать их антенны выше. Башня Останкинского телецентра в Москве высотой 540 м. обеспечивает уверенный приём телепередач в радиусе 120 км. В настоящее время телевизионная сеть в нашей стране насчитывает несколько тысяч вещательных станций; их передачи принимают около 100 млн. телевизоров.

Зона уверенного приёма непрерывно увеличивается, особенно благодаря использованию ретрансляционных спутников.

Для получения цветного изображения осуществляется передача трёх видеосигналов, несущих компоненты изображения, соответствующие основным цветам (красный, зелёный, синий).

В этой теме следует также рассмотреть и знать принцип работы телефонной связи по проводам (медной паре). Необходимо знать, какие виды модуляции используются в телефонной связи и какие используются способы приёма и передачи телефонного сигнала.

При изучении темы 7 необходимо читать учебники:

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики, том III. М. Наука. 1977. §146.
2. Б. М. Яворский. А. А. Детлаф. Курс физики, том III. М. Высшая школа. 1972. §3.3-3.4.

Для самооценки темы 7

- а) ответить на вопросы:
1. Какой диапазон частот охватывают радиоволны?
 2. На какие диапазоны подразделяются радиоволны?
 3. Что такое передающее устройство радиоволн и как оно работает?
 4. Почему для радиосвязи не применяются низкочастотные токи?
 5. Рассмотреть блок схему радиосвязи и дать краткую характеристику её основных частей.
 6. Почему для высококачественного воспроизведения в приёмнике сигналов необходимо, чтобы частота модуляции была в 5-10 раз меньше несущей частоты?
 7. Как влияет на дальность приёма радиоволн земная поверхность и атмосфера?
 8. Рассказать о принципе передачи изображений на расстояние.
 9. Какой принцип используют в телевидении при передаче движения?
 10. Что такое иконоскоп? Мозаичный экран? Ячейка мозаики?
 11. Что называют кинескопом?
 12. В каком диапазоне волн передаются телевизионные радиосигналы?
 13. Почему телевизионные сигналы распространяются пределах прямой видимости антенны?
 14. Какую роль в телевидении выполняют ретрансляторы и ретрансляционные спутники?
 15. Как получается цветное изображение в телевидении?
 16. Рассказать о принципе работы телефонной связи.

3.8. Тема 8: Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

В настоящее время для эффективного использования вычислительной техники в процессе управления необходимо обеспечить высокую скорость передачи информации, а современная электроника близка к пределу по скорости передачи информации и объёму памяти запоминающих устройств ЭВМ. В связи с этим широкие возможности открываются при совместном использовании электронных и оптических методов и средств, то есть при переходе от электроники к оптоэлектронике.

Следует знать, что в оптоэлектронных устройствах передача информации осуществляется электрически нейтральными фотонами, что обеспечивает ряд принципиальных преимуществ: высокую информационную ёмкость, большую плотность записи информации, возможность параллельной обработки информации, высокую помехоустойчивость и т.д.

При рассмотрении данной темы следует иметь достаточно хорошее представление об оптических явлениях в твёрдых телах. Это отражение, преломление, поглощение и поляризация оптических электромагнитных волн, а также рассмотреть явление фотоэффекта и люминесценции, знать, что такое фотосопротивление, фотодиод, светодиод, оптрон и какую роль они выполняют в передаче информации в оптическом диапазоне электромагнитных волн. Следует также знать, что оптический диапазон волн находится в интервале от 1 мм до 1 нм. Далее необходимо подробно изучить источники и приёмники оптического излучения, хорошо знать блок-схемы оптоэлектронных схем, а также индикаторы отображения информации.

Рассматривая непосредственно ВОЛС, следует заметить, что интенсивные разработки систем оптической связи начались с появлением лазеров, а с появлением волоконных световодов, ставших аналогами электрических кабелей, оптические каналы стали реальностью. Основу ВОЛС составляют волоконные световоды, передача оптической энергии, по которым осуществляется за счёт эффекта полного внутреннего отражения оптического сигнала. Необходимо знать, что такое числовая апертура и световоды типа селфок. Далее рассмотреть вопрос о потерях при прохождении светового сигнала через световоды, которые оцениваются по затуханию оптического сигнала. Также необходимо знать о методах, которые уменьшают потери пропускания оптических волн через световоды и знать новейшие технологии производства световодов. Следует также рассмотреть краткие характеристики следующих линий оптической связи: магистральные, внутригородские, внутриобъектовые. Следует также дать в общем виде структурную схему ВОЛС, которая включает входное кодирующее устройство, передающее, оптический кабель, ретранслятор, приёмник и декодирующее устройство. Охарактеризовать все составляющие этой схемы, а также рассмотреть физические процессы, протекающие в ней.

При изучении темы 8 необходимо читать учебники:

1. А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. Курс общей физики, М. Высшая школа. 1989. §33.1, 34.1-34.5, 36.1, 36.2, 39.12;

2. В. П. Миловзоров. Элементы информационных систем, М. Высшая школа. 1989. §11.1-11.6, 12.1-12.4.

Для самооценки темы 8

а) Ответить на вопросы:

1. Что называется оптоэлектроникой?
2. Рассказать о преимуществах оптоэлектронных устройств.
3. Рассказать об оптических явлениях в твёрдых телах.
4. Дать понятия фотоэффекта, люминесценции.

5. Что такое фотосопротивление, фотодиод, светодиод, оптрон?
6. Какой оптический диапазон спектра составляют электромагнитные волны?
7. На каком принципе передаёт оптический сигнал волоконный провод?
8. Что называется числовой апертурой?
9. Что такое селфок?
10. Охарактеризовать потери пропускания световодов, способы их уменьшения.
11. Рассмотреть структурную схему ВОЛС.
12. Как подразделяются линии ВОЛС, в зависимости от назначения и расстояния?

3.9. Тема 9. Модемная связь.

Установка модема на компьютер позволяет превратить последний из обособленного устройства в звено глобальной сети. С помощью модема можно получить доступ в базу данных, которые удалены от пользователя на большое расстояние, разместить сообщения на BBS (электронная доска объявлений), получить доступ к другим пользователям, скопировать любые файлы, интегрировать домашний компьютер в сеть вашего офиса. Кроме того, воспользоваться глобальными сетями (Relcom, Fidonet) можно принимать и посылать электронные письма в любой конец земного шара, участвовать во всевозможных конференциях и др. Модем позволяет использовать его для обмена данными между двумя и более пользователями, не выходя в глобальные сети, а используя лишь телефонные.

При изучении этой темы необходимо знать, что, если компьютер используется для обмена информацией по телефонной сети, необходимо устройство, которое может принять сигнал из телефонной сети и преобразовать его в цифровую информацию. На входе этого устройства информация подвергается модуляции, а на выходе демодуляции, отсюда и название МОДЕМ.

Следует знать, что назначение модема заключается в замене сигнала, поступающего из компьютера (сочетание нулей и единиц), электрическим сигналом с частотой, соответствующей рабочему диапазону телефонной линии. Акустический канал этой линии модем разделяет на полосы высокой и низкой частоты. При чрезмерной скорости следования последовательных кодовых групп цифровых данных модем преобразует их в несколько параллельных замедленных строк. Полоса низкой частоты применяется для передачи данных, а полоса высокой частоты - для приёма. Также необходимо знать, что в модемной связи используют много способов кодирования информации, наиболее известным из которых является метод ЧМ (FSK), который используется для скорости передачи 300 бод, а также

метод ФМ (PSK), который использует для передачи данных 2400 Гц, для приёма 1200 Гц. Существуют и другие методы модуляции – DPSK, QAM, TCM. Следует заметить, что модемы могут работать и в широкополосной передаче, которые работают на линиях СВЧ и , например, полоса 48 кГц допускает полную скорость передачи информации 48 кбит/с. Это новая модемная технология (ADSL), превращающая стандартные абонентские телефонные аналоговые линии в линии высокоскоростного доступа. ADSL-модем представляет собой устройство, построенное на базе цифрового сигнального процессора (ЦСП или DSP), аналогичное применяемому в обычных модемах. В этом методе пропускная способность делится на два участка. Первый участок (поток) предназначен для передачи голоса, а второй участок для передачи данных.

Таким образом такая схема позволяет говорить по телефону одновременно с передачей информации и пользоваться телефонной связью в случае неисправности ADSL. Следует также познакомиться с двумя методами создания этих участков (потоков): метод с частотным разделением каналов и метод эхокомпенсации. Необходимо рассмотреть эти два метода и дать их полную характеристику.

Далее, следует знать, что технология ADSL не позволяет изменять скорость передачи в зависимости от качества линии. В таких модемах выбор скорости, кратной 1.5 или 2Мбит/с производится с помощью программного обеспечения. Оборудование, построенное на базе RADSL, позволяет автоматически снижать скорость в зависимости от качества линии. Необходимо дополнить этот материал новыми технологиями ADSL и охарактеризовать их свойства и преимущества.

При рассмотрении вопроса принципов кабельной связи следует обратить внимание на требования, предъявляемые к качеству кабельной связи для модемов. Одним из таких требований является пупенизация линий – это введение индуктивной составляющей в линию с целью уменьшения затухания сигнала, а также применение экранированной витой «медной пары» и сборка проводов различного сечения, что уменьшает вероятность появления ошибок на канале связи. Однако, важно отметить, что наименьшую вероятность ошибок в передаче информации обеспечивает оптическое волокно, стабильность которого на несколько порядков выше, чем обычные линии связи. При изучении работы модема следует также рассмотреть электронную схему модулятора, который представляет собой шестиполосник. К двум зажимам последнего прикладывают входное напряжение, к следующим двум зажимам – напряжение опорной частоты, а с последних двух зажимов снимают выходное модулированное переменное напряжение. Следует начертить электрическую схему модулятора, а также рассмотреть принцип её работы. Объяснить, каким образом осуществляется амплитудная, частотная и фазовая модуляция в такой схеме. Далее, необходимо знать о принципах связи в интернете, электронной почте и

работы факса. Во всех приведённых видах связи объяснить какие методы модуляции электрического сигнала применяются и по каким линиям связи передаётся информация.

При изучении темы 9 необходимо читать учебники:

1. В. П. Миловзоров. Элементы информационных систем. М. Высшая школа. 1989. §5.15, §12.2.

Для самооценки темы 9

а) Ответить на вопросы:

1. Что такое модемная связь и принцип её работы?
2. Что такое электронная доска объявлений?
3. Что такое глобальные системы связи?
4. Какие линии связи используются при работе модема?
5. Как преобразовываются информационные сигналы модема в цифровую информацию?
6. Какие частоты используются для передачи и приёма информации при работе модема?
7. Какой метод модуляции используется при работе модема?
8. Что такое новая технология ADSL, применяемая в модемах и в чём её преимущество?
9. Охарактеризуйте пропускную способность модемной связи с применением ADSL.
10. Объясните работу электронной схемы модулятора, используемую в модеме.
11. Объяснить принципы работы интернета, электронной почты и факса.

3.10. Тема 10. Спутниковая, пейджинговая и сотовая связи.

Околосреднее космическое пространство становится тесным. К концу 1999 года на геостационарных орбитах вокруг нашей планеты вращалось 215 спутников связи, к 2015 году орбитальный рой спутников вырастет до 11 тысяч. К этому времени на долю спутниковых линий связи будет приходиться около четверти всех телефонных разговоров. Спутниковая связь обеспечивает возможности передачи телепрограмм, радиотелефонной связи и доступа в интернет. По такому телефону можно связываться практически с любой точкой нашей планеты. Следует знать, что сигнал телефонного аппарата подаётся непосредственно на один из спутников избранной глобальной системы связи, а спутник передаёт полученный сигнал телефонной сети адресата.

При изучении этой темы следует обратить внимание на то, что приёмная система содержит три основные части: антенна, приёмная головка и приёмное устройство. Приёмная антенна – это металлическое зеркало, имеющее форму параболоида, которое осуществляет сбор параллельных

пучков электромагнитных волн в одну точку, называемую фокусом параболоида. Существуют и другие типы параболических антенн: прямого действия, офсетные и плоские полосковые. Следует здесь объяснить работу таких антенн и показать их преимущества. Далее необходимо ознакомиться с диапазонами частот спутникового вещания и рассмотреть вопрос освоения будущего миллиметрового диапазона.

Следует знать, что в фокусе приёмной антенны занимает место головка, которая имеет облучатель, способный концентрировать электромагнитное излучение на чувствительном элементе и определять функцию поляризации. Кроме того, в приёмной головке расположен конвертер, выполняющий роль предварительного усиления и понижения частот приёмников.

Далее следует познакомиться с так называемой геостационарной орбитой, по которой движется спутник и при этом угловая скорость вращения спутника равна угловой скорости вращения Земли. Как оказалось, такая орбита может быть только единственной. На этой орбите спутник неподвижен для наблюдателя, находящегося на земле, а поэтому неподвижными являются и антенны, направленные на спутник. Обратите внимание на то, что на геостационарной орбите определено на сегодня 425 точек стояния спутников, а в каждой точке находится порядка 10 спутников.

Следует также обратить внимание на то, что практически ресурсы геостационарных орбит исчерпаны, и поэтому в настоящее время рассматривается вопрос о работе спутников с низкорасположенными орбитами. Таким образом, сдвиг несущей к миллиметровому волн, а также переход к системам, где абонент на земле не нуждается в средствах направленного приёма, являются тенденциями в реализации современных систем связи и передачи данных на спутниковых низколётах.

При рассмотрении вопроса пейджинговой связи, обратить внимание на принцип её работы, а также знать о сроках автономности и большой зоны покрытия такой связи. Более того пейджинговая связь позволяет хранить информацию в компьютере в течении месяца, а также даёт возможность принимать сообщения из интернета.

При рассмотрении вопроса о сотовой связи следует обратить внимание на то, что своё название она получила в соответствии с сотовым принципом организации связи, согласно которому зона обслуживания (территория города или региона) делится на большое число малых зон или сот в виде шестиугольников. В центре каждой рабочей зоны расположена базовая станция (БС), осуществляющая связь по радиоканалам со многими абонентскими станциями (АС), установленными на подвижных объектах, находящихся в её рабочей зоне. Базовые станции соединены проводными телефонными линиями связи с центральной станцией (ЦС) данного региона, которая обеспечивает соединение подвижных абонентов с любыми

абонентами телефонной сети общего пользования (ТФОП) с помощью коммутационных устройств. При перемещении подвижного абонента из одной зоны в другую производится автоматическое переключение канала радиосвязи на другую базовую станцию, тем самым осуществляется эстафетная передача подвижного абонента от передающей к последующей (соседней) базовой станции.

Управление и контроль за работой базовых и абонентских станций осуществляется ЦС, в памяти ЭВМ которой сосредоточены как статические, так и динамические данные о подвижных объектах и состоянии сети в целом.

Следует знать, что Аналоговые системы связи пока доминируют, на их долю приходится около 2/3 абонентской базы. Но цифровые сети растут быстрее аналоговых: относительный годовой прирост абонентской базы цифровых сетей почти втрое превышает средний по всем сетям и почти в пять раз по аналоговым.

Также необходимо рассмотреть вопрос об использовании в перспективе сотовой связи в интернете и рассмотреть принцип работы такой связи.

При изучении темы 10 необходимо читать учебники:

1. Ю. М. Черностаев, В. В. Соколов, Л. М. Невдяев. Перспективные спутниковые системы связи. М. Горячая линия телеком. 2000.
2. М. В. Ратинский. Основы сотовой связи. М. Радио. 2000.
3. А. А. Соловьёв. Пейджинговая связь. М. Экотренз. 2000.

Для самопроверки темы 10 следует ответить на вопросы:

1. Что называют спутниковой связью?
2. Рассказать о возможностях спутниковой связи и перспективах её развития.
3. Объяснить принцип работы спутниковой связи, рассмотреть подробно работу передающего и приёмного устройства.
4. Какие типы антенн используются при приёме в телесвязи? По какому принципу они работают?
5. Каким может быть размер приёмных антенн при переходе в будущем на миллиметровый К-диапазон спутниковой связи?
6. Как устроена антенна телеприёма, какие функции выполняют её составляющие?
7. Что такое геостационарная орбита спутников?
8. Что такое низкорасположенная орбита спутников, какое преимущество таких орбит?
9. Что такое пейджинговая связь, её свойства и принцип работы?
10. Что такое сотовая связь?
11. Принцип работы сотовой связи.
12. Каковы перспективы использования сотовой связи в интернете?

Тесты к курсу «Физика: теория связи».

1. Закон электромагнитной индукции Фарадея имеет вид:
 - а) $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$;
 - б) $\varepsilon_i = d\Phi \cdot dt$.
2. В каких единицах измеряется ЭДС индукции:
 - а) Вольт;
 - б) Вебер.
3. В каких единицах измеряется магнитный поток:
 - а) Вебер;
 - б) Генри.
4. Индукционный ток в контуре имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле:
 - а) Препятствует изменению магнитного потока, вызывающего этот индукционный ток;
 - б) Не оказывает сопротивления изменению магнитного потока, вызывающего этот индукционный ток.
5. Индукционный ток возникает в проводящем замкнутом контуре:
 - а) Движущемся поступательно в однородном магнитном поле;
 - б) Вращающемся в однородном магнитном поле.
6. ЭДС индукции, возникающая в рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле равна:
 - а) $\varepsilon_i = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$;
 - б) $\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_{\max}}{\sin \omega t}$.
7. Вихревые токи (токи Фуко)
 - а) Замкнуты в толще проводника;
 - б) Свободно проходят через проводник.
8. Скин-эффект это:
 - а) Вытеснение быстропеременного тока на поверхность проводника;
 - б) Вытеснение быстропеременного тока внутрь проводника.
9. Теория Максвелла является теорией:
 - а) Близкодействия;
 - б) Дальнодействия.
10. Какое из уравнений является первым уравнением Максвелла для электромагнитного поля:
 - а) $\int_c \vec{E} d\vec{e} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_s \vec{B} d\vec{S}$;
 - б) $\oint \vec{B} dS = 0$.

11. Какое из уравнений является вторым уравнением Максвелла для электромагнитного поля:

$$\text{а) } \int_c \vec{B} d\vec{e} = \mu_0 \int_s (\vec{j}_{np} + \varepsilon_0 \vec{E}) d\vec{S};$$

$$\text{б) } \int_s \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i.$$

12. Какое из уравнений является вторым уравнением Максвелла для электромагнитного поля:

$$\text{а) } \int \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q_i;$$

$$\text{б) } \oint_s \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

13. Какое из уравнений является четвёртым уравнением Максвелла для электромагнитного поля:

$$\text{а) } \int_c \vec{B} d\vec{e} = \mu_0 \int_s (\vec{j}_{np} + \varepsilon_0 \vec{E}) d\vec{S}$$

$$\text{б) } \oint_s \vec{B} d\vec{S} = 0$$

4. Глоссарий

1. **Скин-эффект** – протекание электрического тока по поверхности проводника.
2. **Экстратоки** – электрические токи, возникающие при включении или выключении электрической цепи.
3. **Волновое число** - $\frac{2\pi}{\alpha}$, где α - длина волны.
4. **Поляризация электромагнитных волн** – выделение линейно-поляризованных волн из естественного излучения.
5. **Логарифмический декремент затухания** – логарифм отношения двух последовательных амплитуд затухающих колебаний.
6. **Селфок** – световод, в котором показатель преломления изменяется ступенчато.
7. **Числовая амплитуда** – максимальное отклонение от оси световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.
8. **BBS** – электронная доска объявлений.
9. **Relcom, FidoNet** – глобальные системы связи.
10. **FSK** – Frequency Shift Keying.
11. **PSK** – Phase Shift Keying.
12. **Добротность колебательной системы** – величина, обратная логарифмическому декременту затухания.
13. **Пупенизация** – устройство для для устранения потерь электромагнитных волн в кабельных системах связи.