

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области
Областное государственное автономное профессиональное
образовательное учреждение
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено
цикловой комиссией
Протокол заседания № 1
от «31» августа 2020 г.
Председатель цикловой комиссии
_____ / Чобану Л.А./

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
учебной дисциплины
ОП.03 Теория электросвязи
по специальности
11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение
(углубленной подготовки)

Разработчик:
преподаватель
ОГАПОУ «Белгородский
индустриальный колледж»
Литвишков Н.А.

Белгород 2020 г.

Содержание

	Стр.
1. Пояснительная записка	3
1.1. Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи. Место практических работ в курсе дисциплины	3
1.2. Организация и порядок проведения практических работ	3
1.3. Общие указания по выполнению практических работ	3
1.4. Критерии оценки результатов выполнения практических работ	3
2. Тематическое планирование практических работ	5
3. Содержание практических работ	6
Практическая работа №1 Расчет спектров гармонических и сложных сигналов с применением преобразований Фурье	6
Практическая работа № 2 Определение и расчет информационной емкости дискретного сигнала	9
Практическая работа № 3 Определение и расчет уровней передачи сигналов	12
Практическая работа № 4 Система обозначения и маркировка резисторов, конденсаторов	14
Практическая работа № 5 Построение временных диаграмм распространения волны тока и напряжения вдоль линии	19
Практическая работа № 6 Изучение структуры волоконно-оптической системы передачи. Расчет объема передаваемой информации по линии световодной связи	23
4. Информационное обеспечение обучения	25

1. Пояснительная записка

1.1. Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи. Место практических работ в курсе дисциплины

Дисциплина ОП.03 Теория электросвязи является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО **11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение**

Дисциплина изучается в 4 семестре. В целом рабочей программой предусмотрено 12 часов на выполнение практических работ, что составляет 13 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 94 часа, при этом максимальная нагрузка составляет 141 час, из них 47 часов приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по дисциплине ОП.03 Теория электросвязи, качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания дисциплины и подготовиться к промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета.

1.2. Организация и порядок проведения практических работ

Практические работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение практических работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а также для получения практических навыков и умений. При проведении практических работ задания, выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению практических работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

1.3. Общие указания по выполнению практических работ

Курс практических работ по дисциплине ОП.03 Теория электросвязи, предусматривает проведение 6 работ, посвященных изучению:

- спектров гармонических и сложных сигналов с применением преобразований Фурье;
- информационной емкости дискретного сигнала;
- уровней передачи сигналов;
- системы обозначения и маркировка резисторов, конденсаторов;
- временных диаграмм распространения волны тока и напряжения вдоль линии;
- структуры волоконно-оптической системы передачи, объема передаваемой информации

по линии световодной связи

При подготовке к проведению практической работы необходимо:

- ознакомиться с целями проведения практической работы;
- ознакомиться с порядком выполнения работы.

После выполнения практической работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название практической работы, ее цель;
- краткие, теоретические сведения об изучаемой теме;
- все необходимые, предусмотренные практической работой, расчеты;
- выводы по итогам работы;
- ответы на контрольные вопросы.

1.4. Критерии оценки результатов выполнения практических работ

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность **общих** и профессиональных компетенций:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Решать проблемы, оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.

ОК 4. Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, обеспечивать ее сплочение, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Ставить цели, мотивировать деятельность подчиненных, организовывать и контролировать их работу с принятием на себя ответственности за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Быть готовым к смене технологий в профессиональной деятельности.

Содержание дисциплины ориентировано на обучающихся к освоению профессиональных модулей ППССЗ по специальности СПО 11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение и овладению **профессиональными компетенциями (ПК)**:

ПК 1.1 Выполнять монтаж и первичную инсталляцию оборудования систем радиосвязи и вещания.

ПК 1.2 Выполнять монтаж и производить настройку сетей абонентского доступа на базе систем радиосвязи- обоснованность и четкость изложения материала;

- уровень оформления работы.

- анализ результатов.

Критерии оценивания практической работы

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Обучающийся практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

2. Тематическое планирование практических работ

	Наименование тем	Вид и название работы обучающегося	Количество часов на выполнение работы
Раздел 1	Характеристика электрических сигналов		6
1.1.	Классификация сигналов	Практическая работа №1 «Расчет спектров гармонических и сложных сигналов с применением преобразований Фурье»	2
1.2.	Информация, сообщение, сигнал	Практическая работа №2 «Определение и расчет информационной емкости дискретного сигнала»	2
1.3.	Каналы связи	Практическая работа №3 «Определение и расчет уровней передачи сигналов»	2
Раздел 2	Линейные, нелинейные и параметрические цепи		2
2.1.	Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, двухполюсники и четырехполюсники	Практическая работа №4 «Система обозначения и маркировка резисторов, конденсаторов»	2
Раздел 3	Линии связи		2
3.2.	Распространение волн в двухпроводной линии	Практическая работа №5 «Построение временных диаграмм распространения волны тока и напряжения вдоль линии»	2
3.4.	Линии световодной связи.	Практическая работа №6 «Изучение структуры волоконно-оптической системы передачи. Расчет объема передаваемой информации по линии световодной связи»	2
		Итого:	12

3. Содержание практических работ

Практическая работа № 1.

Тема: Расчет спектров гармонических и сложных сигналов с применением преобразований Фурье.

Гармоническим называют сигнал, описываемый синусоидальной функцией:

$$S(t) = A_m \sin(\omega t + j), \quad (1)$$

где A_m амплитудное значение сигнала, $\omega = 2\pi F$ - круговая частота, выражаемая в радианах, $F = 1/T$ - частота сигнала, T - период следования, j - начальная фаза сигнала.

Гармонический сигнал характерен тем, что он длится на неограниченном интервале времени и не может быть разложен на элементарные составляющие.

Известно, что любой сложный периодический сигнал может быть представлен в виде суммы элементарных гармонических сигналов с помощью рядов Фурье. Это возможно, если функция, описывающая сигнал, отвечает условиям Дирихле: Функция непрерывна на отрезке разложения;

В пределах периода T функция имеет конечное число максимумов и минимумов.

Пусть сигнал описывается функцией $S(t)$, которая имеет частоту $\omega = 2\pi F$. Применяя разложение в ряд Фурье, получим:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t), \quad (2)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ и т.д. - номера гармоник, а амплитуды разложения: a_0 , a_k и b_k определяются из выражений:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt,$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T S(t) \cos k\omega t dt,$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T S(t) \sin k\omega t dt.$$

Понятие спектра:

Помимо формы (2) функцию $S(t)$ можно представить в виде:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\omega t - \varphi_k), \quad (3)$$

где: амплитуда A_k и начальная фаза φ_k определяются из выражений:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{b_k}{a_k}$$

Таким образом, периодическую функцию $S(t)$ можно представить в виде суммы слагаемых, каждое из которых является синусоидальным колебанием с амплитудой A_k и начальной фазой φ_k .

Каждая составляющая сигнала с частотой $k\omega$ называется гармоникой. Колебание с частотой ω называется первой гармоникой, с частотой 2ω - второй гармоникой и т.п.

Совокупность амплитуд гармонических составляющих, представленная как функция частоты называется амплитудным спектром сигнала (спектром амплитуд). Аналогично, совокупность значений φ_k гармоник сигнала, представленная на интервале $0-360$ град., называется спектром фаз.

Совокупность A_k и φ_k полностью определяют частотный спектр сигнала.

Спектр амплитуд и спектр фаз для периодического сигнала называют линейчатыми, так как они состоят из отдельных составляющих. Например, для периодического сигнала прямоугольной формы, показанного на рис.1,а спектр амплитуд имеет вид, показанный на рис.1,б.

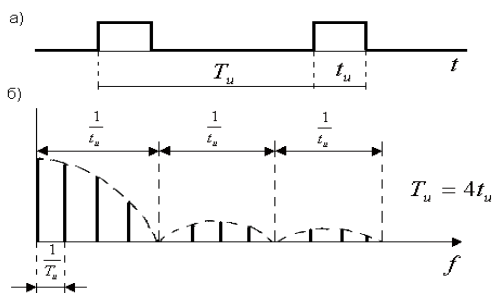


Рисунок 1

ри уменьшении частоты периодического сигнала число гармонических составляющих в его спектре будет соответственно возрастать, стремясь в пределе к бесконечности. Такой спектр называется сплошным и получить его можно, используя не ряд, а интеграл Фурье. Для одиночного прямоугольного импульса имеем спектр, показанный на рис. 2,б.

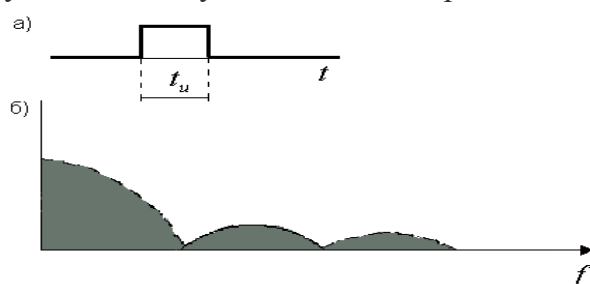


Рисунок 2

В любой системе электросвязи физическим носителем информации является сигнал, представляющий собой электромагнитное колебание. При этом, управляя при передаче изменением модуляционных параметров сигнала во времени, можно формировать необходимое сообщение. На приемной стороне принятый сигнал может рассматривать как совокупность его мгновенных значений на временном интервале приема сообщения.

Известно, что практически любой сигнал $s(t)$ может быть представлен как сумма элементарных колебаний $r_i(t)$, умноженных на соответствующим образом подобранные коэффициенты c_i

$$s(t) = \sum c_i r_i(t) \quad (1)$$

Система функций $r_i(t)$ носит название базисной системы, а представление сигнала в виде (1) называют разложением сигнала по сумме базисных функций. Совокупность значений c_i называется спектром сигнала в выбранной системе базисных функций.

Выбор системы базисных функций для спектрального представления сигналов определяется как объемом априорных знаний об анализируемом сигнале (наличии в нем периодичности, гармоничности и т. д.), так и удобствами практической реализации спектрального анализатора.

Для спектрального анализа связанных сигналов, имеющих по своей природе характер гармонических колебательных процессов, чаще всего используются различные системы тригонометрических базисных функций, и среди них важнейшее место занимает система, основанная на разложении сигнала в ряд **Фурье**.

Математически преобразование Фурье для непрерывной функции $x(t)$ определяется следующим образом

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

$$j = \sqrt{-1}$$

где $\omega = 2\pi f$, f - частота,

При этом обратное преобразование Фурье может быть записано в форме

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \cdot e^{j\omega t} d(\omega)$$

Спектром дискретного сигнала $x(nT)$ в базисе Фурье называют комплексную функцию

$$X(\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot e^{-jn\omega T}$$

Очевидно, что расчет спектра по этому выражению требует бесконечного во времени сигнала, что недостижимо при решении практических задач. Обычно имеется только ограниченное число выборок исходного сигнала, по которым и производится оценка его спектра, или, другими словами, осуществляется спектральный анализ. В этом случае под оценкой спектра понимают оценку спектральной плотности сигнала, вкладывая в понятие плотности распределение энергетических и фазовых составляющих ограниченной временной последовательности сигнала по оси частот.

Рассмотрим пример нахождения оценки комплексной спектральной плотности $X(j\omega)$ дискретного сигнала в произвольной точке f оси частот. Пусть

$$X(j\omega) = S(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} = S_c(\omega) + j \cdot S_s(\omega)$$

где

$$S(\omega) = \sqrt{S_c^2(\omega) + S_s^2(\omega)} \text{ - модуль спектральной плотности}$$

и $\varphi(\omega) = \arctg(S_s(\omega)/S_c(\omega))$ - фаза исходного сигнала $x(nT)$ на угловой частоте $\omega = 2\pi f$.

Допустим, что сигнал $x(nT)$ ограничен по времени, т. е. он является последовательностью из N отсчетов, взятых с частотой дискретизации $f_d = 1/T$ на интервале от 0 до $(N-1)T$.

Тогда коэффициенты $S_s(\omega)$ и $S_c(\omega)$ могут быть найдены из следующих выражений

$$X(j\omega) = S(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} = S_c(\omega) + j \cdot S_s(\omega)$$

$$S(\omega) = \sqrt{S_c^2(\omega) + S_s^2(\omega)}$$

Отметим, что существует ряд рекурсивных методов вычисления коэффициентов $S_s(\omega)$ и $S_c(\omega)$. Однако наиболее важным при цифровой обработке сигналов является случай, когда необходимо проводить спектральный анализ сигнала не на одной отдельно взятой частоте, а во всей полосе занимаемых им частот.

В этом случае результат дискретного преобразования Фурье (ДПФ) сигнала может быть представлен в виде совокупности значений $X(f_k)$ в определенных точках

$$f_k = k/NT, k = 0, \dots, N-1$$

$$S(\omega) = \sqrt{S_c^2(\omega) + S_s^2(\omega)} \quad (2)$$

Обратное преобразование для (2) задается в виде (3)

$$S(\omega) = \sqrt{S_c^2(\omega) + S_s^2(\omega)} \quad (3)$$

В виду того, что выражение (2) является линейным преобразованием совокупности значений $x(nT)$, ДПФ имеет вид

$$\bar{X} = W_N \bar{x} \quad (4)$$

где:

$$\bar{X} = X(f_0), X(f_1), \dots, X(f_{N-1})^T; \bar{x} = (x(0), x(T), \dots, x((N-1)T))^T$$

W_N - матрица размера $N \times N$ элементами $W_{Nnk} = e^{-jn2\pi k/N}$, $n, k = 0, \dots, N-1$.

Вычисление ДПФ непосредственно по формуле (2) требует проведения N^2 операций умножения и $N(N-1)$ операций сложения комплексных чисел. С целью сокращения вычислительных затрат при проведении спектрального анализа разработан ряд алгоритмов, получивших общее название быстрых преобразование Фурье (БПФ).

Практическая работа № 2.

Тема: Определение и расчет информационной емкости дискретного сигнала.

Информационная емкость сигналов существенно зависит от типа сигналов и определяет требования к каналам передачи данных (каналам связи), равно как и технические характеристики каналов связи определяют требования к информационной емкости сигналов, передаваемых по этим каналам.

Для каналов передачи дискретных сигналов (дискретные канала связи) используют понятия технической и информационной скорости передачи данных.

Под технической скоростью передачи подразумевают число элементарных сигналов (символов), передаваемых по каналу в единицу времени. Простейший элементарный символ – однополярный электрический импульс длительностью t на тактовом интервале T . В дискретных каналах используют, как правило, двуполярные импульсы, положительные на первой половине интервала T и отрицательные на второй половине. Это позволяет поддерживать нулевой потенциал кабеля и выполнять тактовую синхронизацию приема-передачи сигналов.

Единицей измерения технической скорости $V_t = 1/T$ служит БОД – один символ в секунду.

Полоса пропускания канала связи обычно ограничивается определенной предельной частотой $F_{\text{пред}}$ по уровню затухания сигнала до уровня статистических помех, при этом значение технической скорости передачи данных, естественно, не может быть выше $F_{\text{пред}}$ без каких-либо специальных устройств выделения информационных сигналов.

При известной технической скорости V_t скорость передачи информации измеряется в битах в секунду, и при уровне помех меньше амплитудных значений символьных импульсов задается соотношением:

$$V_h = V_t H(s),$$

где $H(s)$ – энтропия символа.

Для двоичных дискретных символов с возможными состояниями $[0, 1]$ (однополярные – есть/нет импульс на такте, для двуполярных – порядок полярности импульсов на такте, например, 0: плюс/минус, 1: минус/плюс) при постоянной амплитуде импульсов значение $H(s)$ равно 1. При числе L возможных равновероятных уровней амплитуды импульсов (уровень помех меньше разности уровней амплитуд импульсов) значение $H(s)$ равно $\log L$.

Информационная емкость сигнала или полное количество информации в сигнале S (сообщении, кодовой последовательности/слове) определяется полным количеством $N = t/T$ энтропии символов в битах на интервале задания сигнала t :

$$I_t(S) = N \log L = (t/T) \log L.$$

Увеличение числа уровней L увеличивает пропускную способность каналов связи, но усложняет аппаратуру кодирования данных и снижает помехоустойчивость связи.

Для непрерывных сигналов передача по каналам связи возможна только при условии, что максимальная информационная частота в сигнале F_{max} не превышает предельной частоты $F_{\text{пред}}$ передачи сигналов каналом связи. Для оценки информационной емкости непрерывного сигнала выполним его дискретизацию с интервалом $Dt = 1/2F_{\text{max}}$.

Как установлено Котельниковым в 1933 году, по мгновенным отсчетам непрерывного сигнала с таким интервалом дискретизации аналоговый сигнал может быть восстановлен без потери информации. При полной длительности сигнала T_s число отсчетов:

$$N = T_s/Dt = 2F_{\text{max}} T_s.$$

Определим максимально возможное число выборов в каждом отсчете при наличии шума в канале со средней мощностью $P_{\text{ш}} = d^2$. При средней мощности сигнала $P_s = s^2$:

$$L = \sqrt{\frac{s^2 + \delta^2}{\delta^2}} = \sqrt{1 + \frac{s^2}{\delta^2}}.$$

Информационная емкость сигнала:

$$I(S) = 2F_{\text{max}} T_s \log L.$$

Информационные возможности сигнала возрастают с расширением его спектра и превышением его уровня над уровнем помех.

Пример 1. Источник вырабатывает 3 сообщения с вероятностями:

$$p_1 = 0,1; p_2 = 0,2 \text{ и } p_3 = 0,7.$$

Сообщения независимы и передаются равномерным двоичным кодом ($m = 2$) с длительностью символов, равной 1 мс. Определить скорость передачи информации по каналу связи без помех.

Решение: Энтропия источника равна

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i = -(0,1 \log_2 0,1 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,7 \log_2 0,7) = 1,16 [\text{бит/с}].$$

Для передачи 3 сообщений равномерным кодом необходимо два разряда, при этом длительность кодовой комбинации равна 2τ.

Средняя скорость передачи сигнала

$$V = 1/2\tau = 500 [1/\text{с}].$$

Скорость передачи информации

$$C = vH = 500 \cdot 1,16 = 580 [\text{бит/с}].$$

Пример.2 По каналу связи передаются сообщения, вероятности которых соответственно равны:

$$p(x_1)=0,1; p(x_2)=0,2; p(x_3)=0,3; p(x_4)=0,4.$$

Канальная матрица, определяющая потери информации в канале связи имеет вид:

$$p(y/x) = \begin{pmatrix} 0,99 & 0,01 & 0 & 0 \\ 0,01 & 0,97 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,01 & 0,98 & 0,01 \\ 0 & 0 & 0,01 & 0,99 \end{pmatrix}. \quad \sum_{j=1}^m p(y_j / x_1) = 1$$

Определить:

1. Энтропию источника информации – $H(X)$.
2. Безусловную энтропию приемника информации – $H(Y)$.
3. Общую условную энтропию – $H(Y/X)$.
4. Скорость передачи информации, если время передачи одного символа первичного алфавита $\tau = 0,1$ мс.
5. Определить потери информации в канале связи при передаче 500 символов алфавита.
6. Среднее количество принятой информации.
7. Пропускную способность канала связи.

Решение:

1. Энтропия источника сообщений равна

$$H(X) = - \sum_{i=1}^m p(x_i) \log_2 p(x_i) = -(0,1 \log_2 0,1 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,3 \log_2 0,3 + 0,4 \log_2 0,4) = 0,3322 + 0,4644 + 0,5211 + 0,5288 = 1,8465 \text{ бит/симв.}$$

2. Вероятности появления символов на входе приемника

$$p(y_1) = \sum_{i=1}^m p(x_i) p(y_1 / x_i) = p(x_1) p(y_1 / x_1) + p(x_2) p(y_1 / x_2) +$$

$$+ p(x_3) p(y_1 / x_3) + p(x_4) p(y_1 / x_4) = 0,1 \cdot 0,99 + 0,2 \cdot 0,01 = 0,101;$$

$$p(y_2) = 0,1 \cdot 0,01 + 0,2 \cdot 0,97 + 0,3 \cdot 0,01 = 0,198;$$

$$p(y_3) = 0,2 \cdot 0,02 + 0,3 \cdot 0,98 + 0,4 \cdot 0,01 = 0,302;$$

$$p(y_4) = 0,3 \cdot 0,01 + 0,4 \cdot 0,99 = 0,399;$$

Проверка:

$$\sum_{i=1}^m p(y_i) = 0,101 + 0,198 + 0,302 + 0,399 = 1.$$

Энтропия приемника информации равна

$$\begin{aligned} H(Y) &= - \sum_{i=1}^m p(y_i) \log_2 p(y_i) = \\ &= -(0,101 \log_2 0,101 + 0,198 \log_2 0,198 + 0,302 \log_2 0,302 + 0,399 \log_2 0,399) = \\ &= 0,334 + 0,4626 + 0,5216 + 0,5290 = 1,85 \text{ бит/симв.} \end{aligned}$$

3. Общая условная энтропия равна

$$\begin{aligned} H(Y/X) &= - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p(x_i) p(y_j/x_i) \log_2 p(y_j/x_i) = \\ &= -[0,1(0,99 \log_2 0,99 + 0,01 \log_2 0,01) + \\ &\quad + 0,2(0,01 \log_2 0,01 + 0,97 \log_2 0,97 + 0,02 \log_2 0,02) + \\ &\quad + 0,3(0,01 \log_2 0,01 + 0,98 \log_2 0,98 + 0,01 \log_2 0,01) + \\ &\quad + 0,4(0,01 \log_2 0,01 + 0,99 \log_2 0,99)] = \\ &= 0,008 + 0,044 + 0,048 + 0,032 = 0,133 \text{ бит/симв.} \end{aligned}$$

4. Скорость передачи информации равна:

$$\begin{aligned} C &= V[H(Y) - H(Y/X)] = V[H(X) - H(X/Y)] = \\ &= (1,85 - 0,132)/0,0001 = 17,18 \text{ Кбит/с.} \end{aligned}$$

5. Потери информации в канале связи при передаче 500 символов алфавита равны:

$$\Delta I = kH(Y/X) = 500 \cdot 0,132 = 66 \text{ бит.}$$

6. Среднее количество принятой информации равно:

$$\begin{aligned} I &= k[H(Y) - H(Y/X)] = k[H(X) - H(X/Y)] = \\ &= 500 \cdot (1,85 - 0,132) = 859 \text{ бит.} \end{aligned}$$

7. Пропускная способность канала связи

$$C_n = V[\log_2 m - H(Y/X)] = (2 - 0,132)/0,0001 = 18,68 \text{ Кбит/с.}$$

Практическая работа № 3.

Тема: Определение и расчет уровней передачи сигналов.

1. Расчет уровней передачи и приема аналогового сигнала

Электрические сигналы количественно можно характеризовать мощностью, напряжением и током. Однако в технике электросвязи принято пользоваться логарифмическими характеристиками (уровнями передачи), что позволяет существенно упростить многие расчеты. Соответственно различают уровни передачи по мощности, по напряжению и току.

Уровни передачи, вычисленные посредством десятичных логарифмов, называются децибелами (дБ), а посредством натуральных – неперами (Нп). При этом $1\text{Нп} = 8,68\text{ дБ}$.

В настоящее время принято пользоваться децибелами.

Уровни передачи определяются следующим образом:

по мощности:

$$p_m = 10 \lg \frac{P_x}{P_o}; \quad (1)$$

по напряжению:

$$p_n = 20 \lg \frac{U_x}{U_o}; \quad (2)$$

по току:

$$p_t = 20 \lg \frac{I_x}{I_o}; \quad (3)$$

при этом P_x , U_x , I_x - величина мощности, напряжения и тока в рассматриваемой точке x ; P_o , U_o , I_o - величины, принятые за исходные.

Различают абсолютные, относительные и измерительные уровни.

Если $P_o=1\text{мВт}$, $U_o=0,775\text{В}$, $I_o=1,26\text{мА}$, то уровни называют абсолютными. Заметим, что указанные значения P_o и I_o получены в предположении, что $P_o = 1\text{мВт}$ выделяется на сопротивлении $|Z_o|=600\text{ Ом}$. Если величины мощности, напряжения и тока в рассматриваемой точке равны исходным, т.е. $P_x = 1\text{мВт}$, $U_x = 0,775\text{ В}$, $I_x = 1,26\text{ мА}$, то уровни называют нулевыми абсолютными.

Если известны значения сопротивлений Z_x и Z_o , на которых выделяются мощности уровней передачи по мощности P_x и P_o , то на основании известного соотношения $P=U^2/Z=I^2|Z|$ между уровнями передачи по мощности, напряжению и току могут быть найдены зависимости:

$$p_m = 10 \lg \frac{P_x}{P_o} = 10 \lg \frac{U_x^2}{|Z_x|} \cdot \frac{|Z_o|}{U_o^2} = 20 \lg \frac{U_x}{U_o} - 10 \lg \frac{|Z_x|}{|Z_o|} = p_n - 10 \lg \frac{|Z_x|}{|Z_o|}. \quad (4)$$

$$p_m = 10 \lg \frac{I_x^2 |Z_x|}{I_o^2 |Z_o|} = p_t + 10 \lg \frac{|Z_x|}{|Z_o|}. \quad (5)$$

где Z_x , Z_o - сопротивления, на которых выделяется мощность P_x , P_o , при этом если $Z_x = Z_o$, то $p_n = p_m = p_t$.

Измерительным называется абсолютный уровень в рассматриваемой точке, при условии, что в начале тракта включен измерительный генератор. Измерительным, называется генератор синусоидальных колебаний определенной частоты с внутренним сопротивлением 600 Ом и ЭДС равной $1,55\text{ В}$. Измерительные уровни содержатся в техническом паспорте тракта и удобны при проверке и настройке последнего.

Иногда в качестве исходных величин принимают значения P_n , U_n , I_n , установленные в начале тракта или в точке, принятой условно за начало. Тогда вычисленные уровни называют относительными.

Пример 1.1. Относительный уровень сигнала в точке А линии связи равен $-4,3$ дБ. Определить абсолютный и измерительный уровни в этой точке при условии, что мощность сигнала на входе линии равна 200 мВт. Определим по (1.9) мощность сигнала в точке А:

$$P_A = P_{\text{вх}} 10^{0,1 P_{\text{Аотн}}} = 200 \cdot 10^{-0,43} = 74,3 \text{ мВт.}$$

Вычислим абсолютные уровни на входе линии $P_{\text{вх.абс}}$ и в точке А $P_{\text{Аабс}}$:

$$P_{\text{вх.абс}} = 10 \lg 200 = 23 \text{ дБ;}$$

$$P_{\text{Аабс}} = 10 \lg 74,3 = 18,7 \text{ дБ.}$$

Остаточное затухание участка линии

$$a_{\text{ост}} = P_{\text{вх.абс}} - P_{\text{Аабс}} = 23 - 18,7 = 4,3 \text{ дБ.}$$

Измерительный уровень, по определению, равен $P_{\text{изм}} = P_{\text{вх}} - a_{\text{ост}}$ при $P_{\text{вх}} = 0$ дБ, т. е. $P_{\text{изм}} = 0 - 4,3 = -4,3$ дБ.

Пример 1.2. По линии связи, имеющей километрическое затухание $\alpha_L = 0,175$ дБ/км, необходимо обеспечить передачу сигналов на расстояние $l_k = 80$ км. Определить остаточное затухание линии и мощность сигнала на выходе при условии, что входная мощность сигнала равна $P_{\text{вх}} = 3$ мВт. Остаточное затухание линии равно

$$a_{\text{ост}} = \alpha_L l_k = 0,175 \cdot 80 = 14 \text{ дБ.}$$

Определим абсолютный уровень сигнала на входе линии

$$P_{\text{вх.абс}} = 10 \lg (P_{\text{вх}} / P_{\text{исх}}) = 4,77 \text{ дБ.}$$

Уровень выходного сигнала определяется разностью

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} - a_{\text{ост}} = 4,77 - 14 = -9,23 \text{ дБ.}$$

По (1.9) находим мощность сигнала на выходе линии

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{исх}} 10^{0,1 P_{\text{вых}}} = 1 \cdot 10^{-0,1 \cdot 9,23} = 0,119 \text{ мВт.}$$

В отличие от аналоговых систем с частотным разделением каналов, в цифровых системах передачи различают следующие разновидности уровней:

- 1) Абсолютный уровень при воздействии единичного импульса цифрового сигнала.
- 2) Средний абсолютный уровень цифрового сигнала.

При выполнении расчетов используется значение среднего абсолютного уровня цифрового сигнала.

2. Расчет уровней передачи и приема цифрового сигнала.

Средний абсолютный уровень передачи цифрового сигнала при воздействии единичного импульса определяется по формуле:

$$L_{\text{пер}} = 10 \lg [U_{\text{м1}}^2 * 103 / 2 Z_c], \text{ дБ}$$

Где: $U_{\text{м1}}$ - амплитуда единичного импульса цифрового сигнала в вольтах.

Z_c - сопротивление на котором измерено напряжение единичного импульса. Для точки выхода регенерационного пункта это характеристическое сопротивление пары кабеля $Z_c = 150$ Ом.

Согласно основным техническим данным ЦСП ИКМ-120У амплитуда единичного символа на выходе тракта передачи СЛЮ-У и выходе регенерационного пункта на нагрузке $Z_c = 150$ Ом равна 2 В.

Таким образом средний абсолютный уровень передачи цифрового сигнала:

$$L_{\text{пер}} = 10 \lg [22^2 * 103 / 2 * 150] = 11,25 \text{ дБ}$$

Соответствующие этому уровню передачи уровни приема на входе регенерационных пунктов определяем по формуле:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{пер}} - A_{\text{рутах}}, \text{ дБ}$$

Где: $A_{\text{рутах}}$ - затухание регенерационного участка при максимальной температуре грунта.

Например:

Необходимо определить уровни приема на входе регенерационных пунктов и тракта приема оконечного пункта (ОП2). Уровень приема на входе регенераторов для участков длиной $l = 4,7$ км, $A_{\text{рутах}} = 48,99$ дБ.

$$L_{\text{пр}} = 11,25 - 48,99 = -37,74 \text{ дБ}$$

Для участков длиной $4,9$ км $A_{\text{рутах}} = 51,57$ дБ

$$L_{\text{пр}} = 11,25 - 51,57 = -40,32 \text{ дБ}$$

Практическая работа № 4

Тема: Система обозначения и маркировка резисторов, конденсаторов.

Резистор (англ. resistor, от лат. resisto — сопротивляюсь), — пассивный элемент электрической цепи, в идеале характеризуемый только сопротивлением электрическому току, то есть для идеального резистора в любой момент времени должен выполняться закон Ома: мгновенное значение напряжения на резисторе пропорционально току проходящему через него. На практике же резисторы в той или иной степени обладают также паразитной ёмкостью, паразитной индуктивностью и нелинейностью вольт-амперной характеристики.

В зависимости от назначения резисторы делятся на общего назначения и специальные (прецизионные, сверхпрецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокомегаомные).

Резисторы общего назначения используются в качестве нагрузок активных элементов, поглотителей, делителей в цепях питания, элементов фильтров, шунтов, в RC — цепях формирования импульсных сигналов и т.д. Диапазон номинальных сопротивлений этих резисторов 1 Ом...10 МОм, номинальные мощности рассеяния — 0,125... 100 Вт. Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 %. Примерами резисторов общего назначения служат C2-33, P1-12 и др..

Прецизионные и сверхпрецизионные резисторы отличаются высокой стабильностью параметров и высокой точностью изготовления (допуск $\pm 0,0005...0,5$ %). Данные резисторы применяются в основном в измерительных приборах, системах автоматики. Диапазон этих резисторов значительно шире, чем резисторов общего назначения. Примерами служат резисторы P1-72, P2-67, C2-10, C2-29, C2-36, P1-16, P1-8 и др.

Высокочастотные резисторы отличаются малыми собственными индуктивностью и емкостью и предназначены для работы в высокочастотных цепях, кабелях и волноводах. Примерами служат резисторы P1-69,

Высоковольтные резисторы рассчитаны на работу при больших (от единиц до десятков киловольт) напряжениях. Примерами высоковольтных резисторов служат P1-32, P1-35, C2-33НВ и др.

Высокомегаомные резисторы имеют диапазон номинальных сопротивлений от десятков мегаом до единиц тераом. Высокомегаомные резисторы применяются в цепях с рабочим напряжением до 400 В и обычно работают в режиме малых токов. Мощности рассеяния их невелики (до 0,5 Вт). Примером служит резистор P1-33.

В зависимости от способа защиты от внешних факторов резисторы делятся на неизолированные, изолированные, герметизированные и вакуумные.

Неизолированные резисторы с покрытием или без него не допускают касания своим корпусом шасси аппаратуры. Пример: P1-69.

Изолированные резисторы имеют изоляционное покрытие (лак, компаунд, пластмасса) и допускают касание корпусом шасси и токоведущих частей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Примеры: C5-35В, C5-36В, C5-37В, C5-43В, C5-47В и др.

Герметизированные резисторы имеют герметичную конструкцию корпуса, которая исключает влияние окружающей среды на его внутреннее пространство. Герметизация осуществляется, с помощью опрессовки специальным компаундом.

Вакуумные резисторы имеют резистивный элемент, помещенный в стеклянную вакуумную колбу.

По способу монтажа резисторы подразделяются на резисторы для навесного и печатного монтажа, для микромодулей и интегральных микросхем.

По материалу резистивного элемента резисторы делятся на проволочные, непроволочные, металлофольговые.

Проволочные — резисторы, в которых резистивным элементом является высокоомная проволока (изготавливается из высокоомных сплавов: константан, нихром, никелин).

Непроволочные — резисторы, в которых резистивным элементом являются пленки или объемные композиции с высоким удельным сопротивлением.

Металлофольговые — резисторы, в которых резистивным элементом является фольга определенной конфигурации.

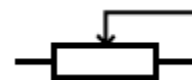
Непроволочные резисторы можно разделить на тонкопленочные (толщина слоя в нанометрах), толстопленочные (толщина в долях миллиметра), объемные (толщина в единицах миллиметра). Примеры: С2-23, С2-33, С2-14, Р1-32, Р1-35, Р1-12 и др.

Тонкопленочные резисторы подразделяются на металло-диэлектрические, металлоокисные и металлизированные с резистивным элементом в виде микрокомпозиционного слоя из диэлектрика и металла, или тонкой пленки окиси металла, или сплава металла; углеродистые и бороуглеродистые, проводящий элемент которых представляет собой пленку пиролитического углерода или борорганических соединений. К толстопленочным относят лакосажевые, керметные и резисторы на основе проводящих пластмасс. Проводящие резистивные слои толстопленочных и объемных резисторов представляют собой гетерогенную систему (композицию) из нескольких фаз, получаемую механическим смешением проводящего компонента, например графита или сажи, металла или окисла металла, с органическими или неорганическими наполнителями, пластификаторами или отвердителем. После термообработки образуется монолитный слой с необходимым комплексом параметров. Примеры: С2-33, Р1-72, С2-10, С2-36, Р1-8 и др.

Выпускаемые промышленностью резисторы одного и того же номинала имеют разброс сопротивлений. Значение возможного разброса определяется точностью резистора. Выпускают резисторы с точностью 20 %, 10 %, 5 %, и т. д. вплоть до 0,01 % [1]. Номиналы резисторов не произвольны: их значения выбираются из специальных номинальных рядов, наиболее часто из [номинальных рядов](#) E12 или E24 (для резисторов с точностью до 5 %), для более точных резисторов используются более точные ряды (например E48).

Резисторы, выпускаемые промышленностью характеризуются также определённым значением максимальной рассеиваемой мощности (выпускаются резисторы мощностью 0,125Вт 0,25Вт 0,5Вт 1Вт 2Вт 4Вт?) (Согласно ГОСТ 24013-80 и ГОСТ 10318-80 советской радиотехнической промышленностью выпускались резисторы следующих номиналов мощностей, в Ваттах, Вт.: 0.01, 0.025, 0.05, 0.062, 0.125, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 500)

Существуют так же и **переменные резисторы**, обладающие способностью изменять своё сопротивление. Их применяют для изменения тока, напряжения и др. (например: изменение



громкости и тембра). Чаще всего на принципиальной схеме отображаются так:

Обозначение резисторов на схемах В России условные графические обозначения резисторов на схемах должны соответствовать ГОСТ 2.728-74. В соответствии с ним, постоянные резисторы обозначаются следующими образом:

	Постоянный резистор без указания номинальной мощности рассеивания
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,05 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,125 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,25 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,5 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 1 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 2 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 5 Вт

Цветная кодировка резисторов					
Цвет	как числ	как десятичный множитель	как точность в %	как ТКС в ppm/°C	как % отказов
серебристы	—	$1 \cdot 10^{-2} = \langle 0,01 \rangle$	10	—	—
золотой	—	$1 \cdot 10^{-1} = \langle 0,1 \rangle$	5	—	—
чёрный	0	$1 \cdot 10^0 = 1$	—	—	—
коричневый	1	$1 \cdot 10^1 = \langle 10 \rangle$	1	100	1%
красный	2	$1 \cdot 10^2 = \langle 100 \rangle$	2	50	0,1%
оранжевый	3	$1 \cdot 10^3 = \langle 1000 \rangle$	—	15	0,01%
жёлтый	4	$1 \cdot 10^4 = \langle 10\ 000 \rangle$	—	25	0,001%
зелёный	5	$1 \cdot 10^5 = \langle 100\ 000 \rangle$	0,5	—	—
синий	6	$1 \cdot 10^6 = \langle 1\ 000\ 000 \rangle$	0,25	10	—
фиолетовый	7	$1 \cdot 10^7 = \langle 10\ 000\ 000 \rangle$	0,1	5	—
серый	8	$1 \cdot 10^8 = \langle 100\ 000\ 000 \rangle$	—	—	—
белый	9	$1 \cdot 10^9 = \langle 1\ 000\ 000\ 000 \rangle$	—	1	—
отсутствует	—	—	20 %	—	—

Маркировка резисторов с проволочными выводами

Резисторы, в особенности малой мощности — чрезвычайно мелкие детали, резистор мощностью 0,125Вт имеет длину несколько миллиметров и диаметр порядка миллиметра. Прочитать на такой детали номинал с десятичной запятой невозможно. Поэтому, при указании номинала вместо десятичной точки пишут букву, соответствующую единицам измерения (К — для килоомов, М — для мегаомов, Е или R для единиц Ом). Например 4К7 обозначает резистор, сопротивлением 4,7 кОм, 1R0 — 1 Ом, 120К — 120 кОм и т. д. Однако и в таком виде читать номиналы трудно. Поэтому, для особо мелких резисторов применяют маркировку цветными полосками.

Для резисторов с точностью 20 % используют маркировку с тремя полосками, для резисторов

с точностью 10 % и 5 % маркировку с четырьмя полосками, для более точных резисторов с пятью или шестью полосками. Первые две полоски всегда означают первые два знака номинала. Если полосок 3 или 4, третья полоска означает десятичный множитель, то есть степень десятки, которая умножается на двузначное число, указанное первыми двумя полосками. Если полосок 4, последняя указывает точность резистора. Если полосок 5, третья означает третий знак сопротивления, четвёртая — десятичный множитель, пятая — точность. Шестая полоска, если она есть, указывает температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Если эта полоска в 1,5 раза шире остальных, то она указывает надёжность резистора (% отказов на 1000 часов работы). Следует отметить, что иногда встречаются резисторы с 5-ю полосками, но стандартной (5 или 10 %) точностью. В этом случае первые две полосы задают первые знаки номинала, третья — множитель, четвёртая — точность, а пятая — температурный коэффициент.

В соответствии с ГОСТ175-72 и требованиями Публикации 62 ИЕС (Международной Электротехнической Комиссии) цветовая маркировка наносится в виде 3, 4, 5 или 6 цветных колец. Маркировочные кольца должны быть сдвинуты к одному из выводов или ширина кольца первого знака должна быть в два раза больше других, что на практике выдерживается не всегда.

Примеры цветовых маркировок различных фирм, отличающихся от вышеуказанной, приведены здесь. Вместо цветовых колец могут встречаться цветовые точки, но принцип маркировки тот же.

Пример

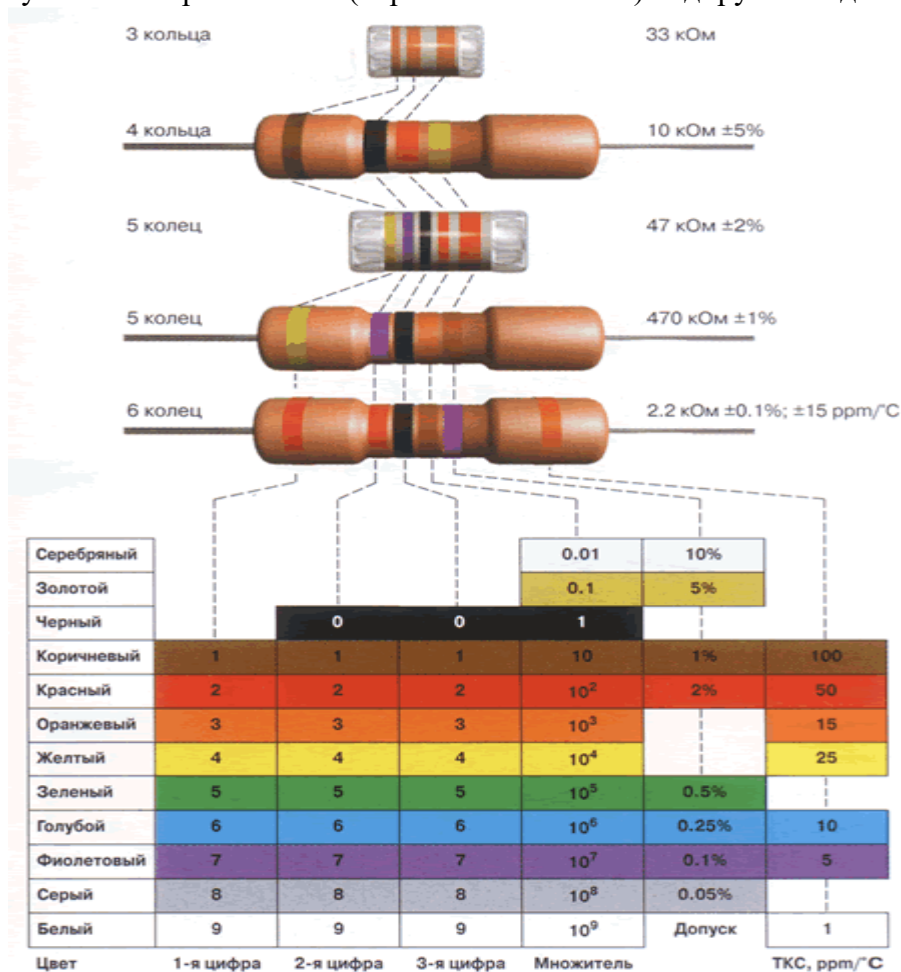
Допустим на резисторе видим 4 полоски коричневую, чёрную, красную, золотую. Первые две полоски дают 10, третья 100, четвёртая даёт точность 5 %, итого резистор сопротивлением $10 \cdot 100 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм}$, с точностью $\pm 5 \%$

Запомнить цветовую кодировку резисторов нетрудно: после чёрной 0 и коричневой 1 идёт последовательность цветов радуги. Так как маркировка была придумана в англоязычных странах,

голубой и синий цвета не различаются. Поскольку резистор симметричная деталь, может возникнуть вопрос: «Начиная с какой стороны читать полоски?» Для четырёхполосной маркировки обычных резисторов с точностью 5 и 10 % вопрос решается просто: золотая или серебряная полоска всегда стоит в конце.

Для трёхполосочного кода первая полоска стоит ближе к краю резистора, чем последняя. Для других вариантов важно, чтобы получалось значение сопротивления из номинального ряда, если не получается, нужно читать наоборот.

Для резисторов МЛТ-0,125 производства СССР с 4-мя полосками, первой является полоска, нанесённая ближе к краю; обычно она находится на металлическом стаканчике вывода, а остальные три — на более узком керамическом теле резистора. Особый случай использования цветовой маркировки резисторов — перемычки нулевого сопротивления. Они обозначаются одной чёрной (0) полоской по центру. (Использование таких резисторо-подобных перемычек вместо дешёвых кусков проволоки объясняется желанием производителей сократить расходы на перенастройку сборочных автоматов). «Резисторы» нулевого сопротивления (перемычки на плате) кодируются одной цифрой «0».



Кодовая маркировка конденсаторов

В соответствии со стандартами ИЕС на практике применяется четыре способа кодировки номинальной емкости.

Кодировка 3-мя цифрами

Первые две цифры указывают на значение емкости в пикофарадах (пф), последняя — количество нулей. Когда конденсатор имеет емкость менее 10 пФ, то последняя цифра может быть "9". При емкостях меньше 1.0 пф первая цифра "0". Буква R используется в качестве десятичной запятой. Например, код 010 равен 1.0 пф, код 0R5 — 0.5 пФ.

Код	Пикофарады, (пФ, pF)	Наночарады, (нФ, nF)	Микрофарады, (мкФ, μF)
109	1.0	0.001	0.000001
159	1.5	0.0015	0.000001
229	2.2	0.0022	0.000001
339	3.3	0.0033	0.000001
479	4.7	0.0047	0.000001
689	6.8	0.0068	0.000001
100*	10	0.01	0.00001
150	15	0.015	0.000015
220	22	0.022	0.000022
330	33	0.033	0.000033
470	47	0.047	0.000047
680	68	0.068	0.000068
101	100	0.1	0.0001
151	150	0.15	0.00015
221	220	0.22	0.00022
331	330	0.33	0.00033
471	470	0.47	0.00047
681	680	0.68	0.00068
102	1000	1.0	0.001
152	1500	1.5	0.0015
222	2200	2.2	0.0022
332	3300	3.3	0.0033
472	4700	4.7	0.0047
682	6800	6.8	0.0068
103	10000	10	0.01
153	15000	15	0.015
223	22000	22	0.022
333	33000	33	0.033
473	47000	47	0.047
683	68000	68	0.068
104	100000	100	0.1
154	150000	150	0.15
224	220000	220	0.22
334	330000	330	0.33
474	470000	470	0.47
684	680000	680	0.68
105	1000000	1000	1.0

* Иногда последний ноль не указывают.

Кодировка 4-мя цифрами

Возможны варианты кодирования 4-значным числом. Но и в этом случае последняя цифра указывает количество нулей, а первые три — емкость в пикофарадах (pF).

Код	Пикофарады, (pF)	Наночарады, (nF)	Микрофарады, (μF)
1622	16200	16.2	0.0162
4753	475000	475	0.475

Код	Емкость
p10	0.1 пФ
1p5	1.5 пФ
332p	332 пФ
1n0 или 1n0	1.0 нФ
15n или 15n	15 нФ
33n2 или 33n2	33.2 нФ
590n или 590n	590 нФ
μ15	0.15 мкФ
1μ5	1.5 мкФ
33μ2	33.2 мкФ
330μ	330 мкФ
1m0	1 мФ или 1000 мкФ
10 m	10 мФ

Код	Емкость
R1	0.1 мкФ
R47	0.47 мкФ
1	1.0 мкФ
4R7	4.7 мкФ
10	10 мкФ
100	100 мкФ

Практическая работа № 5.

Тема: Построение временных диаграмм распространения волны тока и напряжения вдоль линии.

Определим условия, которые характеризуют отражение волны тока и напряжения на конце линии. Для этого введем понятие коэффициентов отражения волн напряжения и тока:

$$\underline{K}_{отр(u)} = \frac{U_{отр}}{U_{пр}} ; \quad (5.1)$$

$$\underline{K}_{отр(i)} = \frac{I_{отр}}{I_{пр}} . \quad (5.2)$$

Ранее имели, что в общем случае в линии имеется прямая $U_{пр}$ и отраженная $U_{отр}$ волны. Если линия с волновым сопротивлением ρ нагружена на сопротивление Z_n , то напряжение на нагрузке равно сумме прямой и отраженной волн:

$$\underline{U}_n = \underline{U}_{пр} + \underline{U}_{отр} . \quad (5.3)$$

По аналогии будем иметь для тока:

$$\underline{I}_n = \underline{I}_{пр} + \underline{I}_{отр} . \quad (5.4)$$

$$\underline{K}_{отр(u)} = \frac{U_{отр}}{U_{пр}} = \frac{Z_n - Z_0}{Z_n + Z_0} \quad (5.5)$$

$$\underline{K}_{отр(i)} = \frac{I_{отр}}{I_{пр}} = \frac{Z_0 - Z_n}{Z_0 + Z_n} \quad (5.6)$$

В общем случае коэффициенты отражения напряжения и тока являются комплексными величинами и, как видно из (5.5) и (5.6), они зависят от характера нагрузки (Z_n).

Рассмотрим процессы в линии при $Z_n = \infty$ (разомкнутая на конце линия), $Z_n = 0$ (замкнутая на конце линия) и $Z_n = \rho$ (согласованная линия).

Распространение волн в разомкнутой на конце линии (режим холостого хода).

В этом случае $Z_n = \infty$ и на основании соотношений (5.5) и (5.6) имеем:

$$K_{отр(u)} = 1, \quad K_{отр(i)} = -1$$

Распространение волн напряжения и тока показаны на рис. 5.1.

Из рис. 5.1,а видно, что при возбуждении линии в режиме холостого хода от начала линии к ее концу распространяются две волны: волна напряжения ($u/2$) и волна тока ($u/2\rho$) со скоростью v . При достижении конца линии в силу того, что $K_{отр(u)} = 1$, а $K_{отр(i)} = -1$, волна напряжения отражается в фазе (рис. 5.2,а), а волна тока в противофазе (рис. 5.1,б). Через время, равное $2l/v$, в линии установится процесс, который показан на рис. 5.1,в, г.

Из рисунков видно, что в режиме холостого хода напряжение по всей длине линии удваивается, а ток становится равным нулю, т.е. образуется **стоячая волна напряжения**.

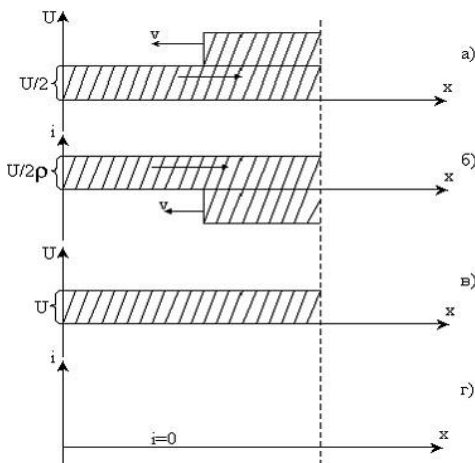


Рис. 5.1. Распространение волн в разомкнутой на конце линии.

Распространение волн в замкнутой на конце линии (режим короткого замыкания).

В этом случае и в соответствии с выражениями (5.5) и (5.6) имеем:

$$K_{отр(u)} = -1, K_{отр(i)} = 1$$

Рассуждая аналогичным образом, как для $Z_n = \infty$, получим графики (рис. 5.2), поясняющие распространение волн тока и напряжения в линии при коротком замыкании.

Из графиков видно, что при $Z_n = \infty$ после переходного процесса в линии имеет место удвоенная стоячая волна тока (рис. 5.2,г), а волна напряжения равна нулю (рис. 5.2,в).

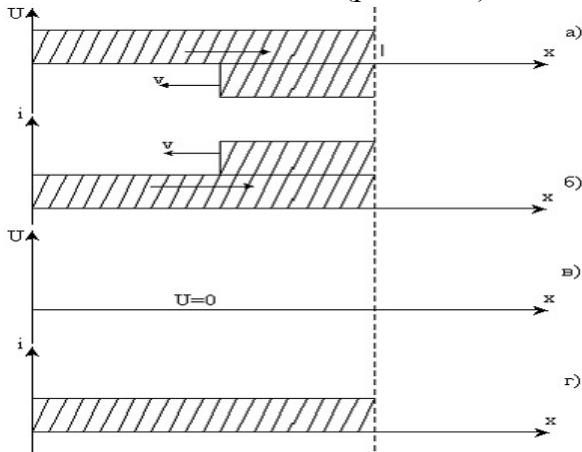


Рис. 5.2. Распространение волн в замкнутой на конце линии.

Линия согласована с нагрузкой ($Z_n = Z_0$).

Из соотношений (5.6) и (5.7) видно, что при $Z_n = Z_0$ коэффициенты отражения тока и напряжения равны нулю. Это означает, что в линии имеет место только прямая волна, т.е. входной сигнал распространяется от начала линии к ее концу без отражений (рис. 5.3,в, г). Данный режим работы линии называют **режимом бегущей волны**.

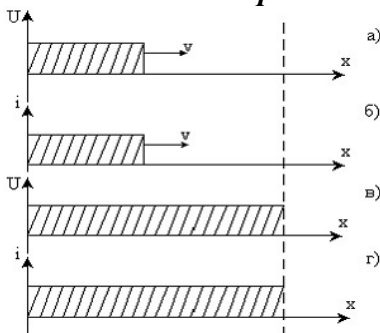


Рис. 5.3. Распространение волн в согласованной линии.

Распространение волн в несогласованной линии с нагрузкой.

Пусть линия включена на реактивное сопротивление, $Z_n = jX_n$. В данном случае коэффициент отражения напряжения равен:

$$K_{отр(u)} = -\frac{Z_0 - jX_n}{Z_0 + jX_n}$$

Модуль коэффициента отражения $|K_{отр(u)}| = 1$. Это означает, что при чисто реактивной нагрузке любой величины падающая волна полностью отражается.

Линия включена на активное сопротивление, не равное волновому, и положим, что сопротивление нагрузки больше волнового сопротивления линии т.е. $R > Z_0 = \rho$. В этом случае падающая волна не вся поглощается нагрузкой, часть ее будет отражена обратно в линию. Это означает, что в линии имеются прямая $U_{пр}$ и отраженная $U_{отр}$ волны. Амплитуда прямой волны больше амплитуды отраженной волны. Поэтому часть падающей волны, равная амплитуде отраженной волны, взаимодействуя с ней образует стоячую волну. Оставшаяся часть прямой волны является бегущей. Таким образом, в линии возникает смешанная волна. Такой режим работы линии называется **режимом смешанных волн**.

Построение графиков распределения стоячей волны напряжения вдоль линии

Выясним, как распределяются волны вдоль линии при условии, что в линии распространяется гармоническое колебание и что падающая и отраженная волны равны между собой.

В этом случае суммарная волна будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{U}_{np} + \underline{U}_{omp} = Ue^{j(\omega t - kx)} + Ue^{j(\omega t + kx)} = \\ &= Ue^{j\omega t} (e^{jkx} + e^{-jkx}) = 2U \cos kx e^{j\omega t}. \end{aligned} \quad (5.7)$$

Из выражения (5.8) видно, что фаза волны $e^{j\omega t}$ не зависит от длины линии, т.е. в линии имеет место стоячая волна. Видно также, что амплитуда волны (5.8) зависит от длины линии (x).

Найдем максимальное и минимальное значения амплитуды. Из соотношения (7.28) видно, что напряжение принимает максимальные значения при условии, когда $kx = 0, \pi, 2\pi$, т.е. на участках линии

$$x = \frac{0}{k}; \frac{\pi}{k}; \frac{2\pi}{k}. \quad (5.8)$$

Ранее имели, что $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$; поэтому (5.29) принимает вид:
 $x = 0; \lambda/2; \lambda \dots$ (5.9)

Минимальные значения волна будет иметь при условии, когда $kx = \pi/2; 3\pi/2; \dots$ (5.10)

На основании соотношений (5.10) и (5.11) изобразим графики распределения волны вдоль линии, начиная их построение с конца линии (справа налево).

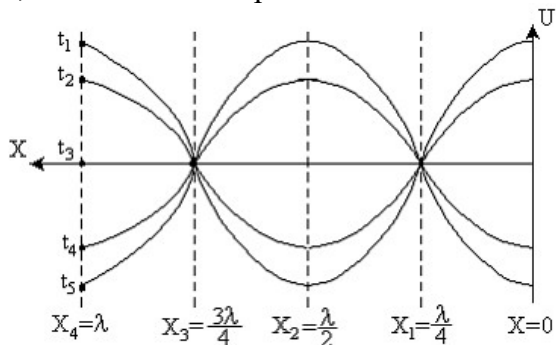


Рис. 5.4. Графики распределения стоячей волны напряжения вдоль линии.

На основании рисунка 5.4 можно сделать следующие выводы:

-распределение амплитуд волны вдоль линии, показанное на рисунке для различных моментов времени ($t_1 \div t_5$), зависит от длины линии;

-характерными точками волны являются ее максимальные (пучность) и нулевые (узлы) значения;

-пучность волн напряжения и тока возникают в точках линии, где фазы прямых (падающих) и отраженных волн совпадают, а узлы – где фазы прямых и отраженных волн противоположны;

-пучности и узлы волн напряжений и токов повторяются вдоль линии через отрезки длины линии, кратные четверти длины распространяющейся волны ($x = \lambda/4$);

-в промежуточных точках между узлами и пучностями амплитуды напряжения и тока принимают промежуточные значения между нулем и удвоенной величиной.

Свойства стоячих волн в разомкнутой линии. Уравнения стоячих волн иллюстрируются рис. 5.5, на котором показаны изменения напряжения и тока вдоль разомкнутой линии для моментов времени $t = t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$, охватывающих один период колебаний через интервалы ωt в 30° .

Из этих уравнений и графиков следуют выводы:

1. В каждом сечении линии напряжение и ток изменяются синусоидально во времени.
2. Амплитуда напряжения и тока изменяются по длине линии периодически: напряжение косинусоидально, а ток синусоидально. В результате чего вдоль линии максимумы (пучности) напряжения и тока, а также минимумы (узлы), которые смещены вдоль линии, т.е. образуются стоячие волны.

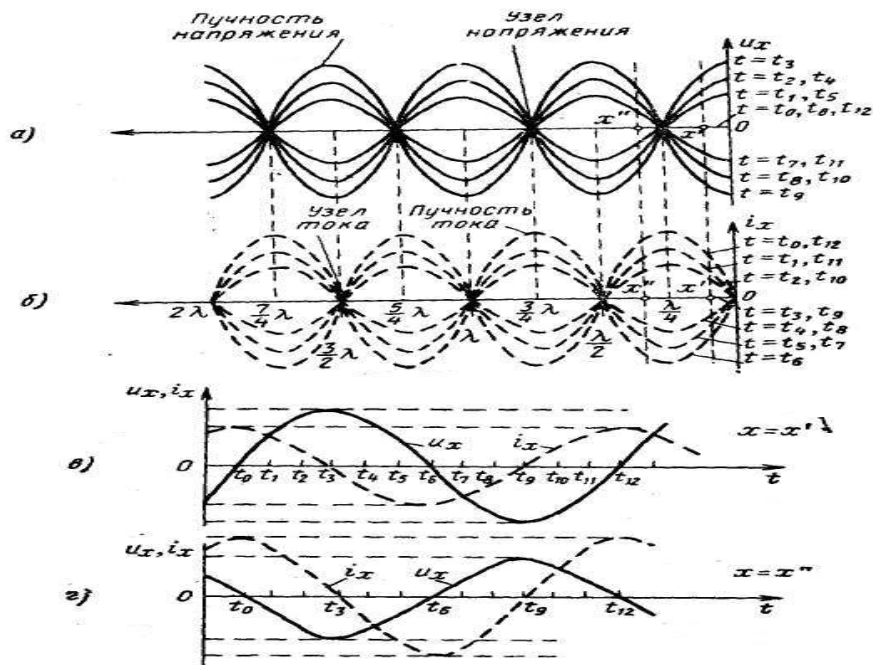


Рисунок 5.5 Изменения напряжения и тока вдоль разомкнутой линии.

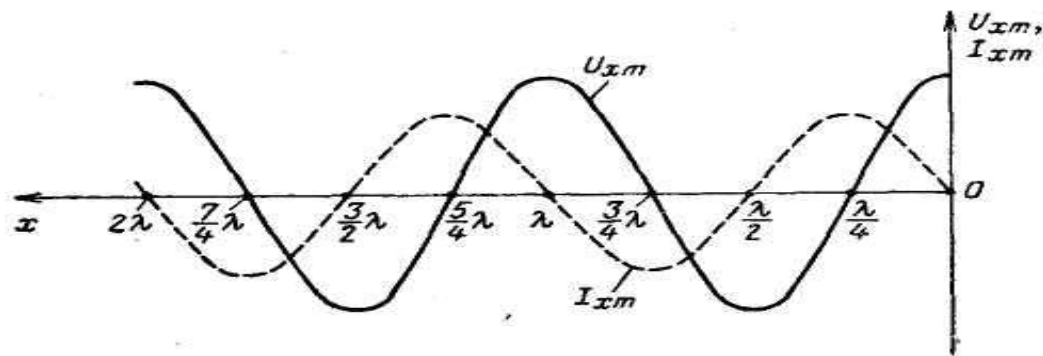


Рисунок 5.6 График изменения амплитуды напряжения и тока вдоль разомкнутой линии

3. Отношение амплитуды напряжения в пучности к амплитуде тока в пучности равно Z_B

$$\frac{U_{п}}{I_{п}} = \frac{U_{п}}{I_{п}} = Z_B \quad (5.11)$$

4. Фаза напряжения во всех сечениях линии одинакова.

5. В любой точке линии между напряжением и током существует сдвиг по фазе на 90° , о чем указывается в уравнении тока $(+\pi/2)$.

Практическая работа № 6.

Тема: Изучение структуры волоконно-оптической системы передачи. Расчет объема передаваемой информации по линии световодной связи.

Обобщенная структурная схема РУ волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) без устройств компенсации и линейных усилителей представлена на рис.1

Приведен пример оптической системы передачи работающей на одной оптической несущей, без chirpa (с внешним модулятором) и прямым детектированием.

Передачик ВОСП обеспечивает преобразование входного электрического (цифрового или аналогового) сигнала в выходной световой (цифровой или аналоговый) сигнал. Скорость передачи в линии современных систем синхронной цифровой иерархии составляет 2,5 -10 Гбит/с и более. Соответственно длительность импульса источника оптического излучения не должна превышать 0,2 – 0,05 нс. Это требует применения когерентных источников излучения – лазеров.

В общем случае передачик включает в себя лазерный диод (ЛД), модулятор (М) и кодек, на который поступает кодовая последовательность от цифровой системы передачи (ЦСП).

Модулятор производит модуляцию генерируемой лазером оптической несущей.

Кодек осуществляет преобразование кода ЦСП (аналогового сигнала) в линейный код оптической системы передачи и обратно

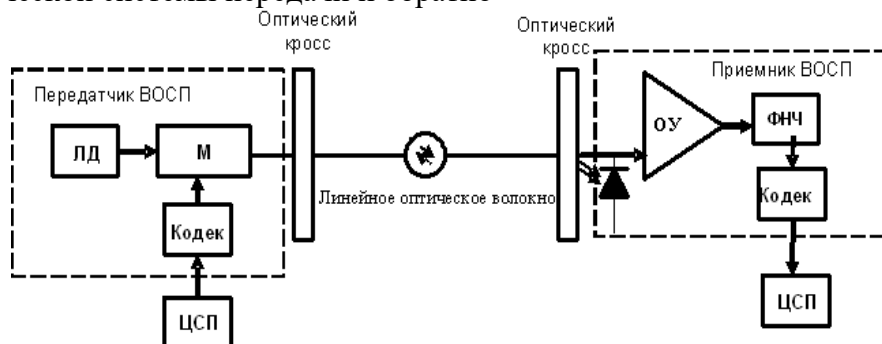


Рис.1. Упрощенная структурная схема ВОСП.

Приемник ВОСП осуществляет обратное преобразование входных оптических импульсов в выходные импульсы электрического тока. Он включает в себя фотодиод (ФД), оптический усилитель (ОУ), фильтр нижних частот (ФНЧ) и кодек. Основным элементом – ФД. Применяются р-і-п или лавинные фотодиоды, имеющие очень малую инерционность.

Оптический кросс служит для оперативного соединения и разъединения оптических волокон стационарных и линейных оптических кабелей в процессе технической эксплуатации ВОЛП.

Скорость V передачи информации по оптическому кабелю (ОК) является фактором обеспечения эффективности связи, участвующим в формировании экономических показателей, таких, например, как цена передачи одного бита информации, стоимость предоставления пользователю единицы скорости передачи информации (1 кбит/с), стоимость канала-километра связи (1000 кан.-км).

В частности, удельные капитальные вложения при строительстве волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)

$$K_{уд} = K/PM_{вв}, \text{ руб./кан.-км}, (1)$$

где K – сумма капитальных вложений;

$PM_{вв}$ – вводимая в действие производственная мощность.

Величина K состоит в прямой зависимости с числом каналов N в линии:

$$K \sim N, (2)$$

в то время как

$$PM_{вв} \sim N. (3)$$

Согласно (1)–(3) имеем

$$K_{уд} \sim 1/N, (4)$$

то есть с увеличением числа каналов N стоимость каждого канала снижается, грубо говоря, в N раз. В аналогичном соотношении находится стоимость связи с пропорциональной числу каналов скоростью V . Таким образом, если не имеется системных требований по ограничению

информационных объемов, передаваемых через ОК, то экономическая эффективность применения кабеля тем выше, чем больше реализуемая по нему скорость передачи, пределом которой является искомый параметр ОК – пропускная способность.

Проведем оценку пропускной способности оптического кабеля с применением формулы Шеннона:

$$C = F \cdot \log_2(1 + (P_c/P_{пом})), \quad (5)$$

пропускная способность непрерывного (в понятиях теории электрической связи) канала

$$C = \max\{V\}, \text{ бит/с; } (6)$$

где

F – ширина полосы частот канала, Гц;

P_c и **P_{пом}** – средние мощности сигнала и помехи.

Рассматривается случай канала без искажений с аддитивной помехой, имеющей нормальное распределение и равномерный спектр, условно называемой: аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ).

Согласно теоремам кодирования Шеннона, при соответствующих кодировании-декодировании и модуляции-демодуляции передаваемого сигнала скорость **V** может быть сделана как угодно близкой к пропускной способности **C** при как угодно малой величине ошибки на приеме.

На практике это может потребовать нереальной сложности оконечных устройств, тем не менее предел Шеннона (5) представляет собой часто используемый, удобный в своей простоте математический аппарат оценки передаточных возможностей средств связи, в том числе оптической связи.

Механизм формирования пропускной способности оптического кабеля иллюстрирует рис. 2.

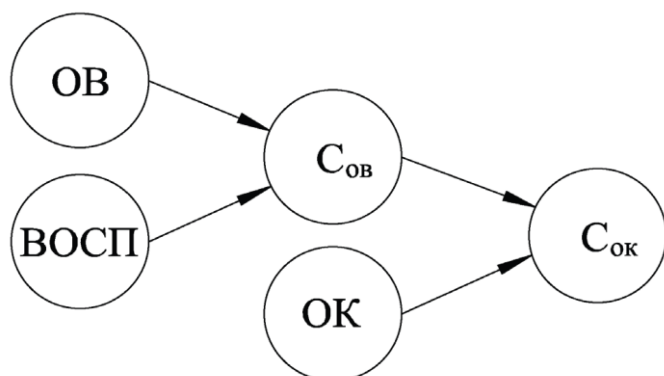


Рис. 2 Концептуальная схема формирования пропускной способности оптического кабеля

Пропускная способность **C_{ов}** оптических волокон (ОВ) создается как максимально возможная скорость передачи цифровых сигналов согласно (5), (6) величинами параметров **F**, **P_c** и **P_{пом}**, относящихся к волоконно-оптическим системам передачи (ВОСП), работающим по рассматриваемым ОВ.

В свою очередь, пропускная способность кабеля в целом **C_{ок}** – максимальная величина суммарной скорости передаваемых по нему потоков информации – формируется величинами **C_{ов}** и числом **m** ВОСП, работающих по ОК:

$$C_{ок} = \sum_{i=1}^m C_{ов i} \quad (7)$$

$$m = \frac{нов/ок}{нов/восп}, \quad (8)$$

где:

нов/ок – число ОВ в ОК, входящих в состав работающих по кабелю ВОСП;

нов/восп – число ОВ, задействованных в одну систему передачи;

обычно ; **нов/восп = 2**, то есть волокна и системы одинаковые, а системы работают по парам волокон.

Например, в восьмиволоконном ОК с однотипными ОВ, по два ОВ для одной ВОСП, без резервирования, согласно(7), (8) имеем

$$C_{ок} = 4 \cdot C_{ов}.$$

4. Информационное обеспечение обучения

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Ушаков П.А. Цепи и сигналы электросвязи: учебник для студ. учреждений СПО — М.: «Академия», 2016. — 352 с.
2. Шинаков Ю.С., Колодяжный Ю.М. Теория передачи сигналов электросвязи. — М.: Радио и связь, 2017.—288 с.
3. Шувалов В.П., и др. Передача дискретных сообщений – М.: Радио и связь, 2017.—256с.
4. Суханова Н. В. Основы электроники и цифровой схемотехники : учебное пособие / Н. В. Суханова ; под редакцией В. С. Кудряшов. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. — 96 с. — ISBN 978-5-00032-226-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/70815.html>
5. Панфилов И.П., Дыдра В.Е. Теория электрической связи. — М.: Радио и связь, 2015.—326 с.
6. Костюкович, А. Е. Системы сигнализации в сетях связи : учебное пособие / А. Е. Костюкович, Н. Ф. Костюкович. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2018. — 252 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/84081.html>

Дополнительные источники:

1. Курицын С. А. Основы построения телекоммуникационных систем передачи. — СПб.: «Выбор», 2016. – 392 с
2. Шинаков Ю.С., Колодяжный Ю.М. Основы радиотехники. — М.: Радио и связь, 2015.—320 с.
3. Чистяков Н.И. Основы радиосвязи и радиорелейные линии. — М.: Связь, 2015.—184 с.

Интернет-ресурсы:

1. [vevivi.ru>best/teoriya-yelektrosvyazi](http://vevivi.ru/best/teoriya-yelektrosvyazi)
2. [opengost.ru>1159-gost-22670...set-svyazi-cifrovaya](http://opengost.ru/1159-gost-22670...set-svyazi-cifrovaya)

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области
Областное государственное автономное профессиональное
образовательное учреждение
«Белгородский индустриальный колледж»

Группа 21 РРТ(к)

ЖУРНАЛ ОТЧЕТОВ

по выполнению практических работ
учебной дисциплины

ОП.03 Теория электросвязи

по специальности

**11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение
(углубленной подготовки)**

ВЫПОЛНИЛ _____ / _____ /

ПРИНЯЛ _____ / Литвишков Н.А. /

Белгород 2019 г.