

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ»
Кафедра радио и информационных технологий

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Справочник по дисциплине
для учащихся специальностей
2-45 01 32 – Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения,
2-45 01 33 – Сети телекоммуникаций

Минск
2017

УДК
ББК
Т

Рекомендовано к изданию
кафедрой радио и информационных технологий
26 января 2018, протокол № 3

Составитель

М. А. Асаёнок, преподаватель высшей категории кафедры радио и информационных технологий

Рецензент

О.В. Кочергина, преподаватель высшей категории кафедры радио и информационных технологий

Т

Теория электрической связи: справочник по дисциплине для учащихся специальностей 2-45 01 32 – Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения, 2-45 01 33 – Сети телекоммуникаций / сост. М. А. Асаёнок. – Минск: БГАС, 2018. – 36 с.

ISBN 978-985-7002-X-X.

Справочник по теории электрической связи разработан на базе лекций по дисциплине. В данном справочнике предлагаются формулы, временные и спектральные диаграммы для решения задач по различным темам. Цель пособия – помочь учащимся освоить материал программы, научить активно применять теоретические основы ТЭС как рабочий аппарат, позволяющий решать конкретные задачи, приобрести уверенность в самостоятельной работе. Соответствует инновационной политике, направлено на активизацию научного мышления и познавательной деятельности учащихся.

Не забывайте, что математические формулы – только часть успеха, нужно знать алгоритм решения того или иного задания, "набить руку" на многочисленных примерах и все получится!

Пособие не заменяет учебники, но является «путеводителем» по ним, что позволяет более рационально организовать изучение курса теории электрической связи.

Предназначен для учащихся и преподавателей академии.

© Учреждение образования
«Белорусская государственная
академия связи», 2018

Введение

Теория электрической связи (ТЭС) является дисциплиной, формирующей базу для последующего изучения специальных дисциплин электросвязи. В ней рассматриваются способы математического представления сигналов, методы помехоустойчивого кодирования, оптимального приема сообщений.

Дисциплина относится к числу профессиональных для подготовки высококвалифицированных техников, владеющих современными методами анализа систем и устройств электросвязи различного назначения.

«Справочник по теории электрической связи» ставит своей целью дать учащимся и преподавателям академии краткое пособие, охватывающее все основные разделы теории электрической связи, помочь учащимся освоить материал программы, научить активно применять теоретические основы ТЭС как рабочий аппарат, позволяющий решать конкретные задачи, приобрести уверенность в самостоятельной работе. Учебное пособие подготовлено в соответствии с программой и является результатом опыта чтения дисциплины автором. Многолетний опыт чтения лекций по системе изложения, принятой в пособии, позволяет заключить, что избранный путь повышения уровня знаний учащихся дает положительные результаты. Пособие не заменяет учебники, но является «путеводителем» по ним, что позволяет более рационально организовать изучение курса теории электрической связи.

Характеристики сигналов электросвязи

Ширина спектра:

$$\Delta F_c = F_{\max} - F_{\min}, [\text{Гц}]$$

$F_{\max/\min}$ – максимальная/минимальная частота частотного диапазона сигнала

Длительность сигнала:

$$\Delta T_c = T_k - T_n, [\text{с}]$$

T_k – конечное время передачи сигнала,
 T_n – начальное время передачи сигнала.

Динамический диапазон сигнала:

$$D_c = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = 20 \lg \frac{I_{\max}}{I_{\min}}, [\text{дБ}]$$

$P_{\max/\min}$ – максимальная/минимальная мощность сигнала [Вт],

$U_{\max/\min}$ – макс/мин. напряжение сигнала [В],

$I_{\max/\min}$ – максимальный/минимальный ток сигнала [А].

Объём сигнала:

$$V_c = \Delta F_c \cdot \Delta T_c \cdot D_c$$

Коэффициент амплитуды:

$$K_A^2 = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{cp}}}, [\text{дБ}]$$

База сигнала:

$$B_c = 2 \cdot F_{\max} \cdot \Delta T_c$$

Мощность сигнала:

$$P_c = I^2 R = \frac{U^2}{R}, \text{ Вт}$$

Энергия сигнала:

$$W_c = \int_{t_1}^{t_2} P_c dt$$

Характеристики каналов связи

Время занятия канала ΔT_k .

Динамическим диапазоном D_k .

Полоса пропускания канала ΔF_k .

Объём канала:

$$V_k = \Delta F_k \cdot \Delta T_k \cdot D_k$$

Условие согласования сигнала с каналом (условие неискаженной передачи сигнала по каналу электросвязи): сигнал может быть передан по каналу, если его объем не менее объема канала.

$$V_c \leq V_k$$

Способы представления сигналов

Временная диаграмма – зависимость какого-либо параметра от времени, показывает форму сигнала.

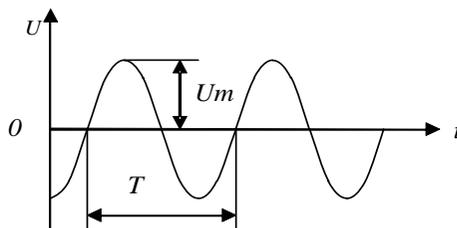


Рисунок 1 – Гармоническое колебание.

U_m – амплитуда сигнала,

T – период, [с],

$f = \frac{1}{T}$ – циклическая частота сигнала, [Гц],

ω – угловая частота сигнала, [рад/с],

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \rightarrow f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

φ – начальная фаза.

Спектральная диаграмма амплитуд – показывает распределение энергии сигнала по частотам.

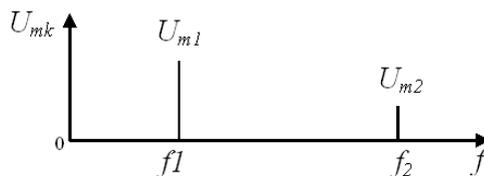


Рисунок 2 – Спектральная диаграмма амплитуд.

Спектральная диаграмма фаз – показывает распределение фазы сигнала по частотам.

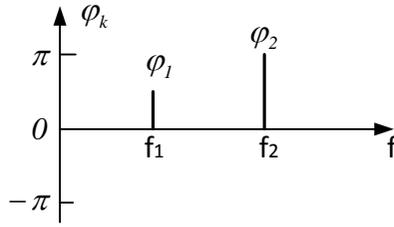


Рисунок 3 – Спектральная диаграмма фаз.

Векторная диаграмма – диаграмма, в которой сигнал представляется в виде вектора, причем длина вектора соответствует амплитуде сигнала, а угол наклона относительно оси – фаза сигнала.

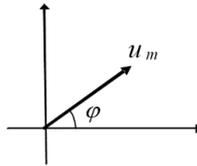


Рисунок 4 – Векторная диаграмма.

Геометрическая диаграмма – представляет сигнал в виде геометрической фигуры.

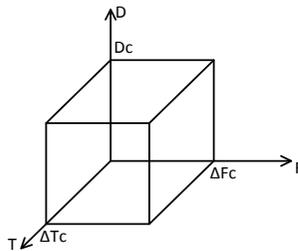


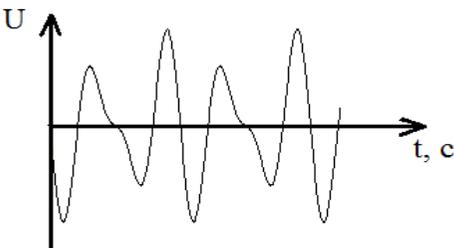
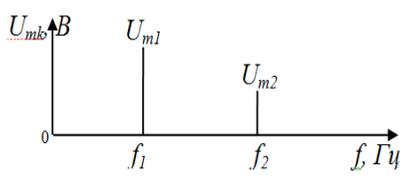
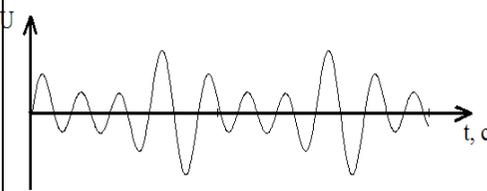
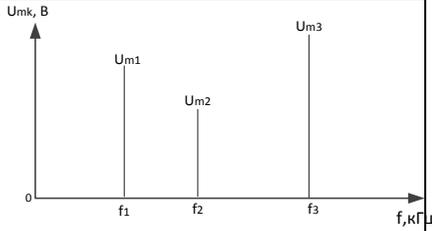
Рисунок 5 – Геометрическая диаграмма

Математическая модель – это математическое выражение, с помощью которого можно определить значение сигнала в любой момент времени:

$$U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ

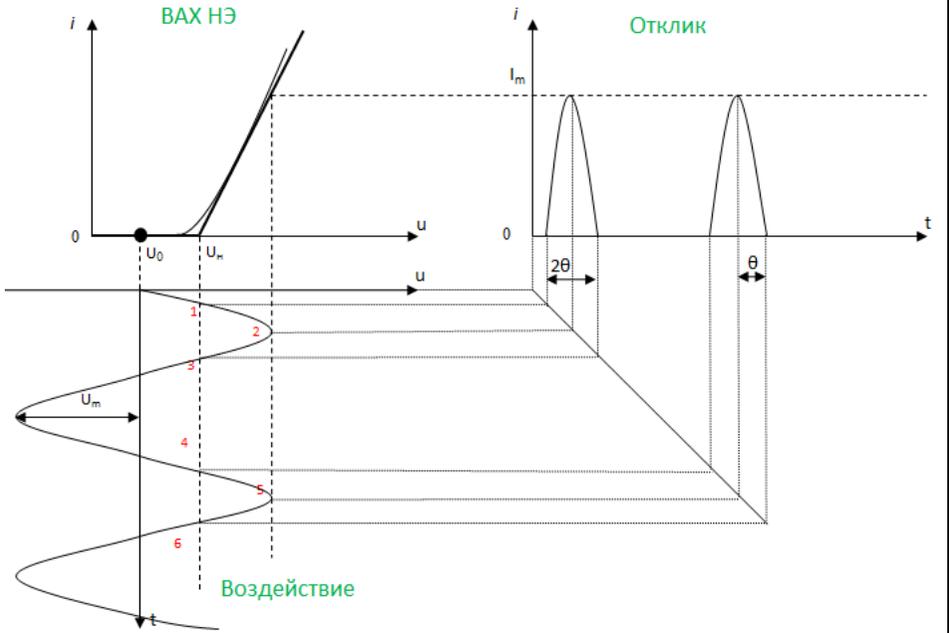
<i>Гармонический сигнал</i>	
Математическая модель	Формулы для расчетов
$U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$	$f = \frac{1}{T}, \text{Гц}$ $f = \frac{\omega}{2\pi}, \text{Гц}$
Временная диаграмма	Спектральная диаграмма
<i>Гармонический сигнал с начальным напряжением (напряжением смещения, постоянной составляющей)</i>	
Математическая модель	Формулы для расчетов
$U(t) = U_0 + U_m \sin(\omega t + \varphi)$	$f = \frac{1}{T}, \text{Гц}$ $f = \frac{\omega}{2\pi}, \text{Гц}$
Временная диаграмма	Спектральная диаграмма

<i>Бигармоническое колебание</i>	
Математическая модель	Формулы для расчетов
$U(t) = U_{m1} \sin \omega_1 t + U_{m2} \sin \omega_2 t$	$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}, \text{Гц}$ $f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}, \text{Гц}$
Временная диаграмма	Спектральная диаграмма
	
<i>Полигармоническое колебание</i>	
Математическая модель	Формулы для расчетов
$U(t) = U_{m1} \sin \omega_1 t + U_{m2} \sin \omega_2 t +$ $+ U_{m3} \sin \omega_3 t$	$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}, \text{Гц}$ $f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}, \text{Гц}$ $f_3 = \frac{\omega_3}{2\pi}, \text{Гц}$
Временная диаграмма	Спектральная диаграмма
	

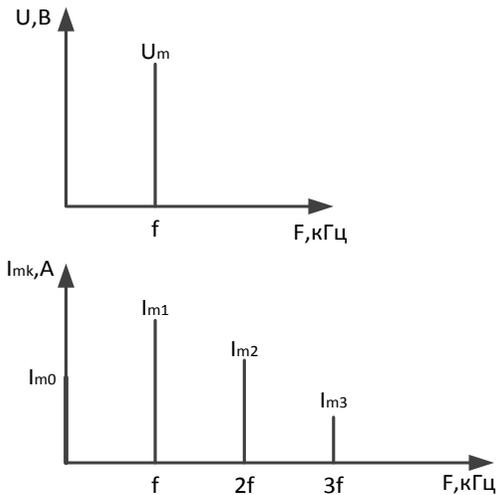
<i>Периодическая последовательность прямоугольных импульсов (ПППИ)</i>	
Математическая модель	Формулы для расчетов
$U(t) = \begin{cases} U_m, & 0 + T \leq t \leq \tau + T \\ 0, & \tau + T \leq t \leq T + T \end{cases}$	$f_c = \frac{1}{T}, [\text{Гц}]$ $q = \frac{T}{\tau} > 1$ $U_0 = \frac{U_m}{q}, [\text{В}]$ $U_{mk} = \frac{2U_m}{k\pi} \left \sin \frac{k\pi}{q} \right , [\text{В}]$ $k = 0 \dots 2q$ $\Delta f = \frac{2}{\tau}$
Временная диаграмма	Спектральная диаграмма

Сигналы, проходящие через нелинейный элемент

Временные диаграммы



Спектральная диаграмма



Формулы для расчетов

$$U(t) = U_m \sin(\omega t)$$

$$I_{mk} = \alpha_k(\theta) \cdot I_m$$

$$I_m = S \cdot U_m \cdot (1 - \cos \theta)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{U_H - U_0}{U_m}\right)$$

Амплитудно-модулированные (АМ) сигналы при гармоническом модулирующем (информационном)

Математическая модель

Формулы для расчетов

$$U(t) = U_{ми} \cdot \sin \Omega t$$

$$S(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$S_{ам}(t) = U_m(1 + m \sin \Omega t) \sin \omega t$$

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot F, \text{ рад/с}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \text{ рад/с}$$

$$m = \frac{a_{ам} \cdot U_{ми}}{U_m}$$

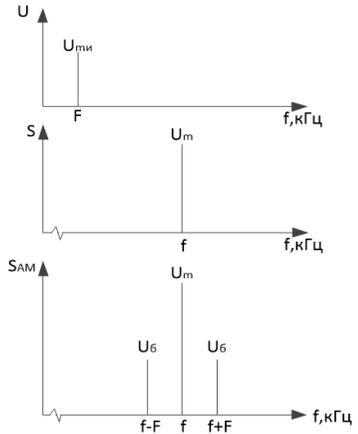
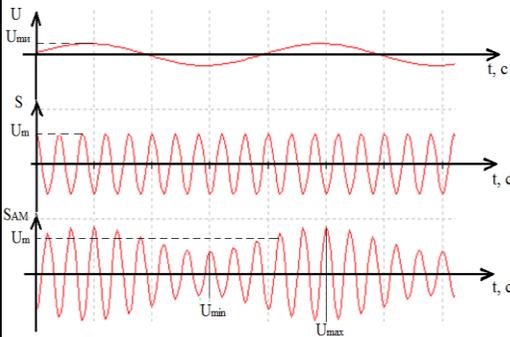
$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

$$U_{\delta} = \frac{m \cdot U_m}{2}$$

$$\Delta f = 2 \cdot F, \text{ кГц}$$

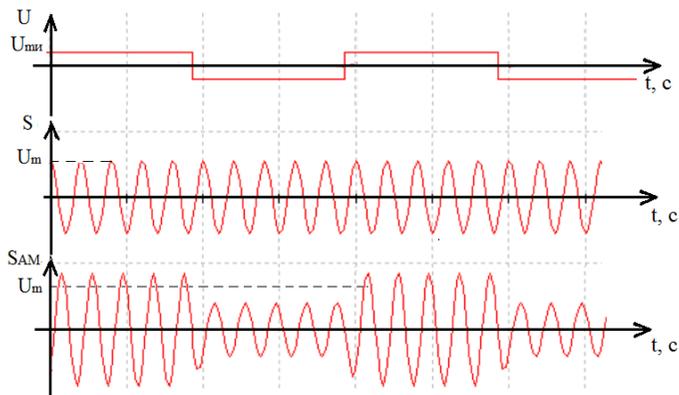
Временная диаграмма

Спектральная диаграмма



Амплитудно-модулированные (АМ) сигналы при сложном модулирующем (информационном)

Временная диаграмма



Формулы для расчетов

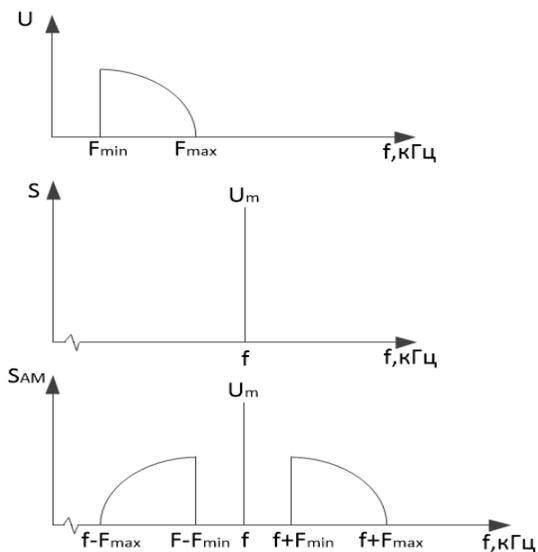
$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot F, \text{ рад/с}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \text{ рад/с}$$

$$m = \frac{a_{\text{ам}} \cdot U_{\text{ми}}}{U_m}$$

$$\Delta f = 2 \cdot F_{\text{max}}$$

Спектральная диаграмма



Частотно-модулированные сигналы (ЧМ)

Математическая модель

$$U(t) = U_{\text{ми}} \cdot \sin \Omega t$$

$$S(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$S_{\text{чм}}(t) = U_m \sin(\omega t - M_{\text{чм}} \cos \Omega t)$$

Формулы для расчетов

$$\Delta\omega_{\text{чм}} = a_{\text{чм}} U_{\text{му}}$$

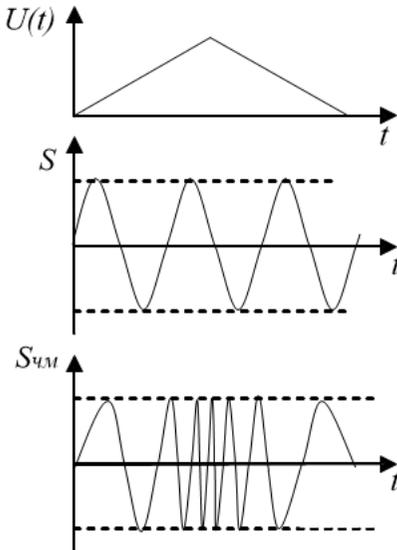
$$\Delta f_{\text{чм}} = \Delta f_m = \frac{a_{\text{чм}} U_{\text{му}}}{2 \cdot \pi}$$

$$M_{\text{чм}} = \frac{\Delta\omega_{\text{чм}}}{\Omega} = \frac{\Delta f_{\text{чм}}}{F}$$

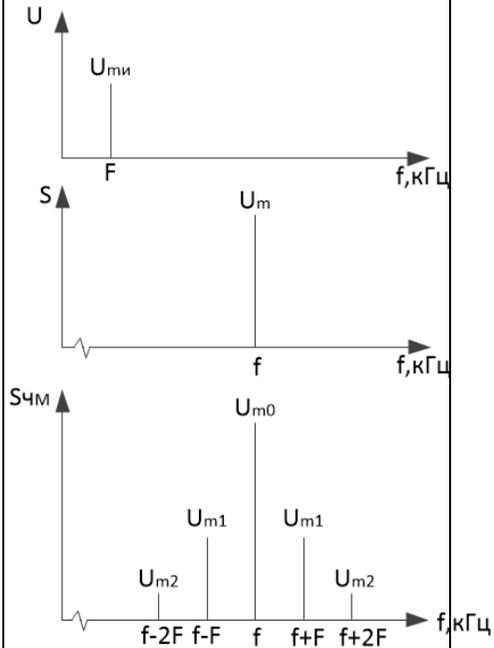
$$U_{mk} = |U_m \cdot J_m(M_{\text{чм}})|, \text{ В}$$

$$U_{mk} \geq 0,1 \cdot U_m, \text{ В}$$

Временная диаграмма



Спектральная диаграмма



Фазо-модулированные сигналы (ФМ)

Математическая модель

Формулы для расчетов

$$U(t) = U_{\text{ми}} \cdot \sin \Omega t$$

$$\Delta\omega_{\text{ФМ}} = a_{\text{ФМ}} U_{\text{ми}} \Omega, \text{ рад/с}$$

$$S(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$M_{\text{ФМ}} = \Delta\varphi_{\text{ФМ}} = a_{\text{ФМ}} U_{\text{ми}}$$

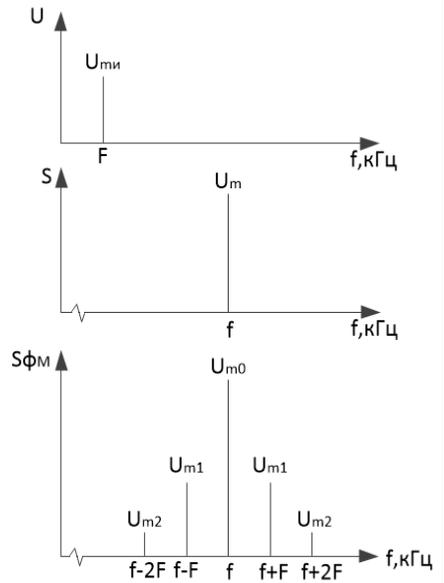
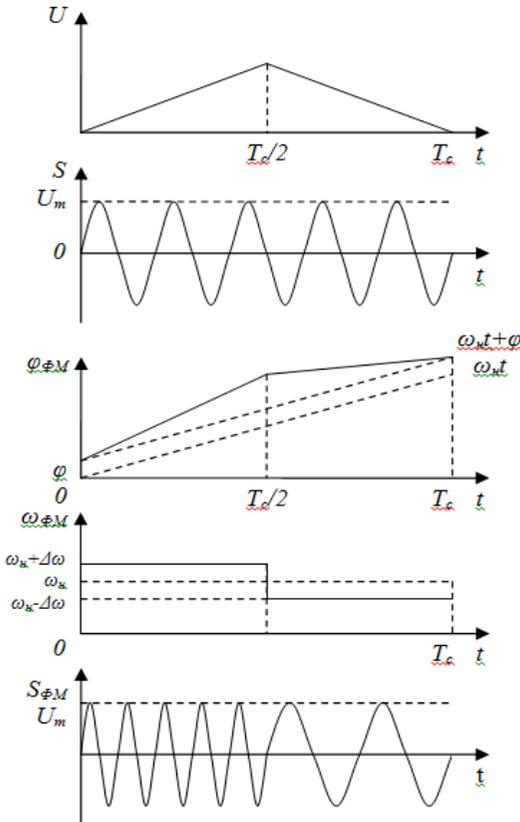
$$S_{\text{ФМ}}(t) = U_m \sin(\omega t + M_{\text{ФМ}} \sin \Omega t + \varphi)$$

$$U_{mk} = |U_m \cdot J_m(M_{\text{ФМ}})|, \text{ В}$$

$$U_{mk} \geq 0,1 \cdot U_m, \text{ В}$$

Временная диаграмма

Спектральная диаграмма



Дискретная модуляция (манипуляция Мн).

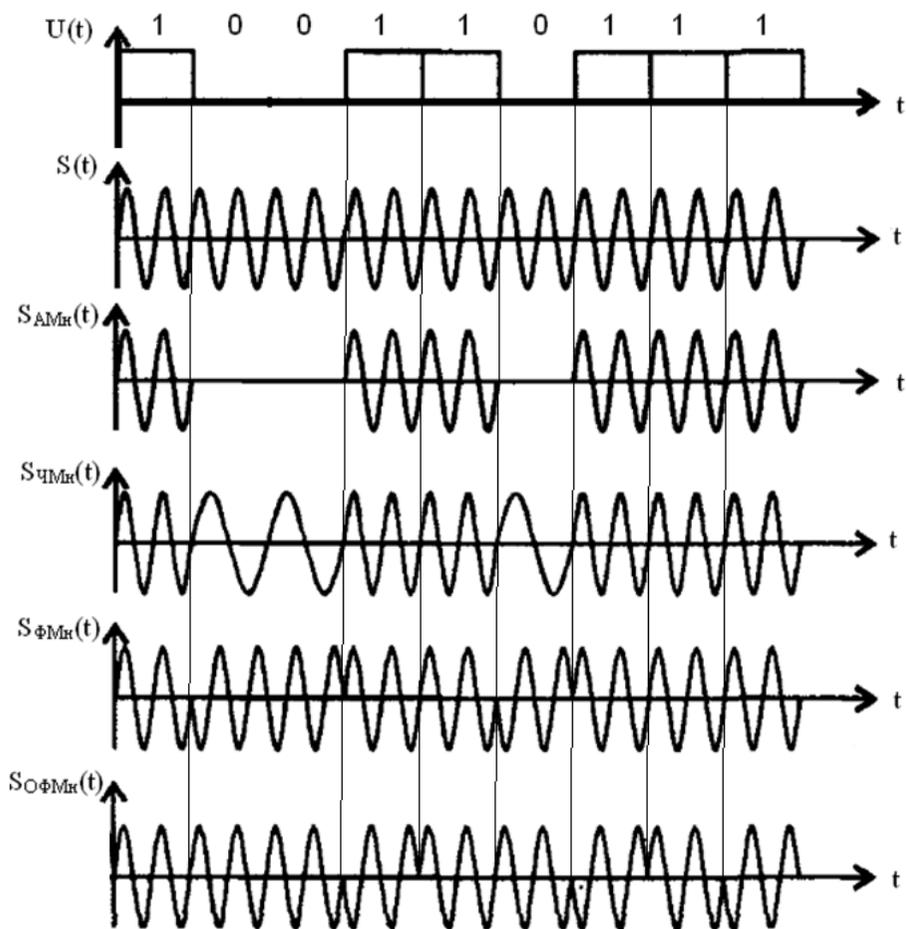


Рисунок 5 – Временные диаграммы манипулированных сигналов

Импульсная модуляция (ИМ)

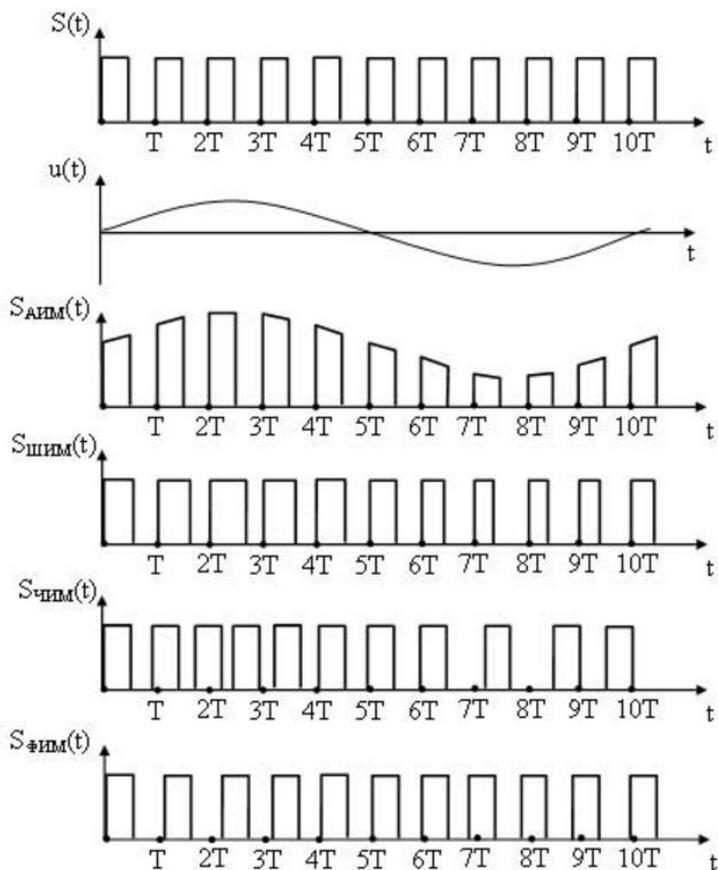


Рисунок 6 – Временные диаграммы ИМ сигналов

Ширина спектра:

$$\Delta F_{\text{АИМ}} = \Delta F_{\text{ЧИМ}} = \Delta F_{\text{ФИМ}} = \frac{1}{\tau} \qquad \Delta F_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{\tau_{\text{min}}}$$

где τ – длительность импульса несущей;

τ_{min} – минимальная длительность импульса модулированного сигнала.

Теорема Котельникова (с точки зрения передачи): любой непрерывный сигнал со спектром, ограниченным частотой F_{\max} , может быть представлен последовательностью своих мгновенных значений (отсчетов), взятых через интервалы времени (интервал дискретизации) $\Delta t \leq 1/(2F_{\max})$.

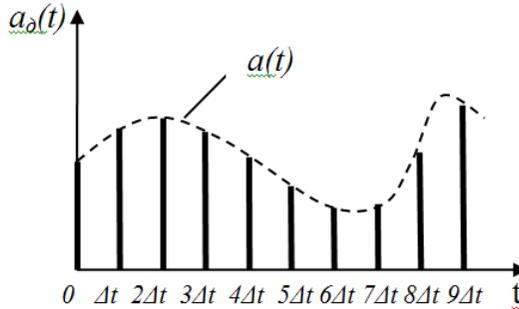


Рисунок 7 – Дискретизация непрерывного сигнала

Частота дискретизации:

$$f_d \geq 2 \cdot F_{\max}$$

Теорема Котельникова (с точки зрения приема): любой непрерывный сигнал со спектром, ограниченным частотой F_{\max} , может быть восстановлен по своим мгновенным значениям (отсчетам), взятых через интервалы времени $\Delta t \leq 1/(2F_{\max})$.

Ряд Котельникова:

$$U(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk}(\Delta t) \frac{\sin \omega_d(t - k\Delta t)}{\omega_d(t - k\Delta t)}$$

где $U_{mk}(\Delta t)$ – амплитуда отсчета в дискретный момент времени,

$\omega_d = 2\pi f_d = 2\pi/\Delta t$ – угловая частота дискретизации,

$\Psi_k(t) = \frac{\sin \omega_d(t - k\Delta t)}{\omega_d(t - k\Delta t)}$ – функция отсчета.

Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)

Формулы для расчетов

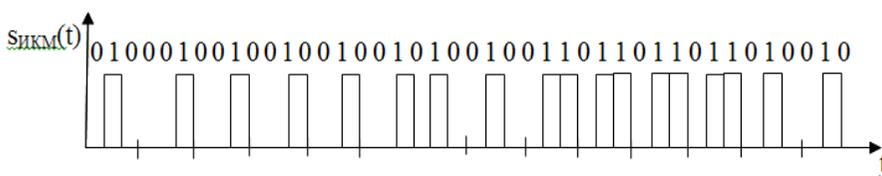
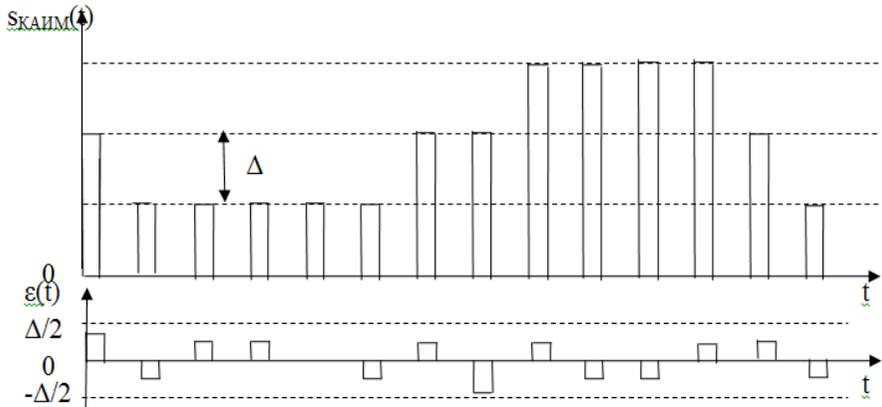
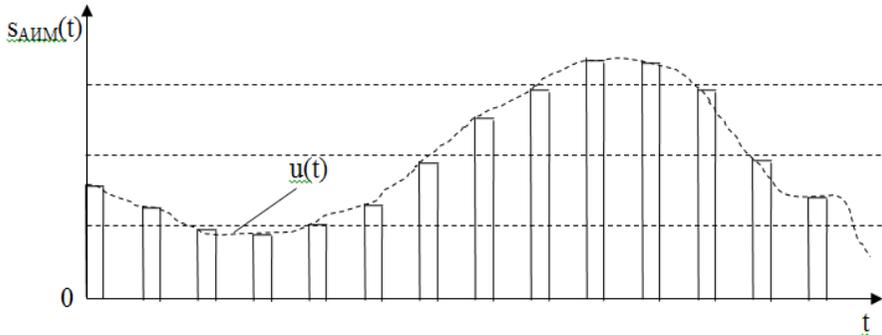
$$\Delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{L_{KB} - 1}$$

$$L_{KB} = \frac{U_{max} - U_{min}}{\Delta U} + 1$$

$$E_{KB}(t) = U_{AИМ} - U_{KB}$$

$$n = \log_2 L_{KB} = \frac{\log L_{KB}}{\log 2}$$

Временные диаграммы



ОСНОВЫ ТЕОРИИ КОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ

Алгоритм кодирования по методу Хаффмана:

1. Все сообщения источника располагают в таблице в один столбец в порядке убывания их вероятностей.

2. Два самых маловероятных сообщения (два последних) объединяют в одно и вычисляют их суммарную вероятность.

3. Вероятности сообщений, не участвующих в объединении, и вероятность полученного вспомогательного сообщения располагают во вспомогательном столбце в порядке убывания вероятностей. При необходимости, во вспомогательном столбце проводят перегруппировку вероятностей.

4. Повторяют шаги 2 и 3, создавая новые вспомогательные столбцы, до тех пор, пока не получат единственное сообщение, вероятность которого равна единице.

5. Строят кодовое дерево Хаффмана, начиная от сообщения вероятностью равной единице. От этой вероятности отводят две ветви, соответствующие двум вероятностям, давшим в сумме вероятность равную единице. Ветви с большей вероятностей присваивают символ "1", а с меньшей – "0". Затем каждую из полученных ветвей вновь разветвляют на две и так продолжается до тех пор, пока не доходят до конечных узлов, соответствующих вероятностям каждого из исходных сообщений a_i . При разветвлении ветви на две равновероятные – одной из них присваивается "1", а другой "0".

6. Кодировать исходные сообщения, двигаясь по ветвям кодового дерева в направлении от вероятности равной единице к конечным узлам, соответствующим определенным сообщениям.

Пример. Требуется закодировать кодом Хаффмана восемь сообщений $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$, с вероятностями $p(a_1)=0,16$; $p(a_2)=0,10$; $p(a_3)=0,04$; $p(a_4)=0,16$; $p(a_5)=0,22$; $p(a_6)=0,02$; $p(a_7)=0,20$; $p(a_8)=0,10$.

Таблица 1 – Формирование вспомогательных столбцов кода Хаффмана

Сообщения a_i	Вероятности $p(a_i)$	Вспомогательные столбцы						
		1	2	3	4	5	6	7
a_5	0,22	0,22	0,22	0,26	0,32	0,42	0,58	1,00
a_7	0,20	0,20	0,20	0,22	0,26	0,32	0,42	
a_1	0,16	0,16	0,16	0,20	0,22	0,26		
a_4	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20			
a_2	0,10	0,10	0,16	0,16				
a_8	0,10	0,10	0,10					
a_3	0,04	0,06						
a_6	0,02							

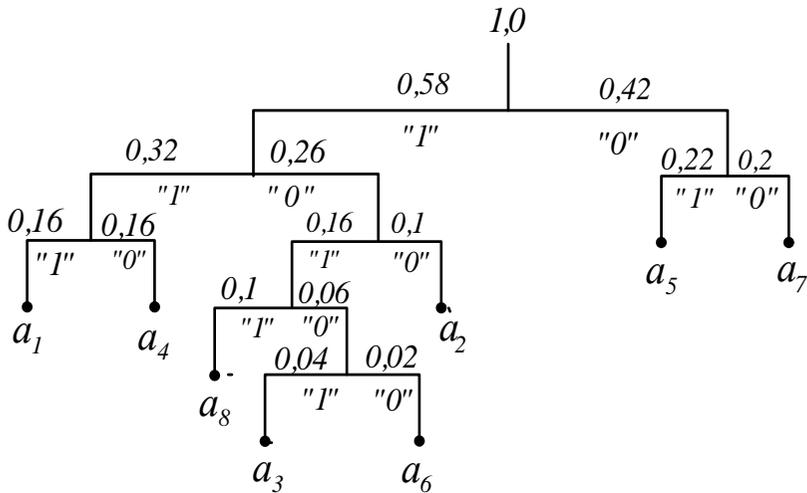


Рисунок 8 – Кодовое дерево кода Хаффмана

Таблица 2 – Кодовые комбинации кода Хаффмана

Сообщение	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
Код	111	100	10101	110	01	10100	00	1011

Формирование разрешенной кодовой комбинации (кодирование)
групповых систематических линейных блочных кодов (СЛБК)

с помощью порождающей матрицы $G_{k,n}$	с помощью проверочной матрицы $H_{r,n}$
$A = A_k \cdot G_{kn}$	$\begin{cases} a_5 = a_1 \oplus a_2 \oplus a_4 \\ a_6 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_4 \\ a_7 = a_1 \oplus a_3 \oplus a_4 \end{cases}$

Проверочная матрица

$H_{r,n}$ – проверочная матрица

Для систематического линейного блочного кода проверочную матрицу, содержащую r строк и n столбцов, можно построить путем транспонирования проверочной подматрицы порождающей матрицы G_{kn} и последующего дописывания единичной проверочной подматрицы.

Транспонирование – замена строк столбцами, т.е. первая строка записывается в виде первого столбца, вторая строка в виде второго столбца и т.д.

$$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Пример: $A_k = 1010$

$$H_{r,n} = H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{cases} a_5 = a_1 \oplus a_2 \oplus a_4 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\ a_6 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\ a_7 = a_1 \oplus a_3 \oplus a_4 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \end{cases}$$

$$A = 1010110$$

Линейные циклические блочные коды (ЦК)

Циклический код представляется в виде полинома:

$$a(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots + a_2x^2 + a_1x^1 + a_0x^0$$

x – формальная переменная

a_n – коэффициент формальной переменной

$$\begin{array}{r|l} x^{n+1} & g(x) \\ \hline & h(x) \\ \hline 0 & \end{array}$$

Кодирование ЦК. Алгоритм.

Разделимые циклические коды (РЦК)	Неразделимые циклические коды (НРЦК)
1) $A_k \rightarrow a_k(x)$ 2) $a_k(x) \cdot x^r$ 3) $a_k(x) \cdot x^r$ $\left \begin{array}{l} g(x) \\ \hline \end{array} \right.$ $R(x)$ 4) $a(x) = a_k(x) \cdot x^r + R(x)$ 5) $a(x) \rightarrow A$	1) $A_k \rightarrow a_k(x)$ 2) $a(x) = a_k(x) \cdot g(x)$ 3) $a(x) \rightarrow A$

Синдромное декодирование помехоустойчивых кодов

Декодирование СЛБК. Алгоритм.	
1) A^* 2) H^T 3) $A^* \cdot H^T = S$ (синдром)	
4) $S = 0$ – ошибки нет 5) A_k	4) $S \neq 0$ – ошибка есть 5) E (вектор ошибки) 6) $A = A^* \oplus E$ 7) A_k
Декодирование РЦК. Алгоритм.	
1) $A^* \rightarrow a^*(x)$ 2) $a^*(x) \quad \quad g(x)$ <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> $R(x) = S(x) \quad $	
3) $S(x) = 0$ – ошибки нет 4) $a^*(x) \rightarrow A$ 5) A_k	3) $S(x) \neq 0$ – ошибка есть 4) $e(x)$ 5) $a(x) = a^*(x) + e(x)$ 6) $a(x) \rightarrow A$ 7) A_k
Декодирование НРЦК. Алгоритм.	
1) $A^* \rightarrow a^*(x)$ 2) $a^*(x) \quad \quad g(x)$ <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> $R(x) = S(x) \quad $	
3) $S(x) = 0$ – ошибки нет 4) $a^*(x) \rightarrow A$ 5) A_k	3) $S(x) \neq 0$ – ошибка есть 4) $e(x)$ 5) $a(x) = a^*(x) + e(x)$ 6) $a_k(x) = \frac{a(x)}{g(x)}$ 7) $a_k(x) \rightarrow A_k$

ГЕНЕРИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ

Оптимальный угол отсечки:

$$Q_{\text{опт}} = \frac{120^\circ}{n} \text{ (по I)} \qquad Q_{\text{опт}} = \frac{180^\circ}{n} \text{ (по U)}$$

Баланс амплитуд (БА) – коэффициент передачи автогенератора по замкнутому кольцу должен быть равен единице, т.е. вся энергия потерь в пассивных цепях и нагрузке должна компенсироваться энергией усилительного элемента.

$$K_{yc} \cdot K_{oc} = 1$$

Баланс фаз (БФ) – суммарный сдвиг фаз в замкнутом кольце автогенератора должен быть равен нулю или кратен 2π .

$$\varphi_{yc} + \varphi_{oc} = 0; 2\pi; 4\pi \dots$$

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Условие эффективной работы фильтра нижних частот (ФНЧ):

$$\frac{1}{\omega C_H} \ll R_H \ll \frac{1}{\Omega C_H}$$

Коэффициент передачи детектора:

$$K_g = \cos^3 \sqrt{\frac{2\pi}{S_{cp} R_H}}$$

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ СООБЩЕНИЙ

Количество информации $I(a_i)$:

$$I(a_i) = \log_b \frac{1}{P(a_i)} = -\log_b P(a_i), \quad \text{бит}$$

$I(a_i)$ – количество информации в i -ом сообщении,
 $P(a_i)$ – вероятность появления i -го сообщения,
 b – основание логарифма.

В электросвязи:

$$I(a_i) = -\log_2 P(a_i), \quad \text{бит}$$

Энтропия $H(A)$:

Для источника дискретных сообщений:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{M_a} P(a_i) \log_2 P(a_i), \quad \frac{\text{бит}}{\text{сообщ}}$$

M_a – количество возможных сообщений, вырабатываемых источником.

Для источника непрерывных сообщений:

$$H_{\text{отсч}}(A) = \sum_{i=1}^L P_i \log_2 P_i, \quad \frac{\text{бит}}{\text{сообщ}}$$

L – количество уровней квантования,
 P_i – вероятность появления i -го уровня квантования.

Коэффициент избыточности:

$$\chi = \frac{H_{\max}(A) - H(A)}{H_{\max}(A)}$$

$$H_{max}(A) = \log_2 M_a, \quad \frac{\text{бит}}{\text{сообщ}}$$

Производительность источника:

$$H'_{\text{д.с.}}(A) = \frac{H(A)}{t_{\text{ср}}}, \quad \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

где $t_{\text{ср}}$ – средняя длительность сообщения.

$$H'_{\text{н.с.}}(A) = f_{\text{д}} \log_2 H_{\text{отсч}}(A), \quad \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

Если непрерывный сигнал квантуется равновероятными уровнями, то:

$$H'_{\text{н.с.}}(A) = f_{\text{д}} \log_2 L, \quad \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

$f_{\text{д}}$ – частота дискретизации.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Скорость передачи информации по каналу R:

Для дискретного канала с помехами:

$$R_{\text{д.к.}} = \frac{(H(U) - H_{\text{пот}}U)}{t_{\text{ср}}}, \quad \text{бит/с}$$

где $H(U)$ – энтропия передаваемого дискретного первичного сигнала;

$H_{\text{пот}}(U)$ – энтропия потерь в канале для дискретного первичного сигнала;

$t_{\text{ср}}$ – средняя длительность дискретного первичного сигнала.

Для непрерывного канала:

$$R_{\text{н.к.}} = 2F_{\text{max}}(h(U) - h_{\text{пот}}(U))$$

где $h(U)$ – дифференциальная энтропия передаваемого непрерывного сигнала;

$h_{\text{пот}}(U)$ – энтропия потерь в канале для непрерывного первичного сигнала;

F_{max} – максимальная частота спектра непрерывного первичного сигнала.

Пропускная способность канала C:

$$C = \max R$$

Пропускная способность дискретного канала:

$$C_{\text{д.к.}} = \frac{1}{t_{\text{и}}} \left(\log_2 m + \frac{p \log_2 p}{m-1} + (1-p) \log_2(1-p) \right), \quad \text{бит/с}$$

где m – количество возможных значений дискретного сигнала,
 p – вероятность ошибки сигнала в канале,
 t_n – длительность дискретного сигнала.
 $V = 1/t_n$ – скорость модуляции, Бод;

В дискретном двоичном канале:

$$C_{\text{д.к.}} = V(1 + p \log_2 p + (1 - p) \log_2(1 - p)), \quad \text{бит/с}$$

Пропускная способность непрерывного канала:

$$C_{\text{н.к.}} = \Delta F_{\text{к}} \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_n} \right), \quad \text{бит/с}$$

где $\Delta F_{\text{к}}$ – ширина полосы пропускания канала,
 P_c – средняя мощность сигнала;
 P_n – средняя мощность помехи в полосе частот канала.

Теорема Шеннона:

Если производительность источника меньше пропускной способности канала $H'(A) < C$, то существует способ кодирования и декодирования, при котором вероятность ошибочного декодирования может быть сколь угодно мала. Если же $H'(A) \geq C$, то таких способов не существует.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ.....	4
ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ СВЯЗИ	5
СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ	6
СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ	8
Гармонический сигнал	8
Гармонический сигнал с начальным напряжением (напряжением смещения, постоянной составляющей).....	8
Бигармоническое колебание	9
Полигармоническое колебание	9
Периодическая последовательность прямоугольных импульсов (ПППИ).....	10
Сигналы, проходящие через нелинейный элемент.....	11
Амплитудно-модулированные (АМ) сигналы при гармоническом модулирующем (информационном).....	12
Амплитудно-модулированные (АМ) сигналы при сложном модулирующем (информационном).....	13
Частотно-модулированные сигналы (ЧМ)	14
Фазо-модулированные сигналы (ФМ).....	15
ДИСКРЕТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (МАНИПУЛЯЦИЯ Мн).....	16
ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ИМ)	17
ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА	18
ИМПУЛЬСНО-КODOВАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ИКМ).....	19
ОСНОВЫ ТЕОРИИ КОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ	20
ГЕНЕРИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ.....	25
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ.....	25
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ СООБЩЕНИЙ.....	26
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ СВЯЗИ	28

Учебное издание

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Справочник по дисциплине
для учащихся специальностей

2-45 01 32 – Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения

2-45 01 33 – Сети телекоммуникаций

Составитель

Асаёнок Марина Анатольевна

Редактор С. В. Андреева

Компьютерная верстка М. А. Асаёнок

План 2017/2018 уч.г., поз.

Подписано в печать 25.05.2015. Формат 60*84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура «Times».

Печать цифровая.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. Л..

Тираж экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»

ЛИ № 02330/0131902 от 03.01.2007.

Ул. Ф. Скорины, 8/2, 220114, Минск.