

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

А.Л. Горбунов, Л.В. Гродзицкий

**ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ
И КОДИРОВАНИЯ**

ПОСОБИЕ
по выполнению лабораторных работ

*для студентов III курса
направления 09.03.02
очной формы обучения*

Москва-2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования
воздушного транспорта**

А.Л. Горбунов, Л.В. Гродзицкий

ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторных работ

*для студентов III курса
направления 09.03.02
очной формы обучения*

Москва - 2016

ББК 6ф6.5

Г 67

Рецензент канд. техн. наук, проф. Яманов Д.Н.

Горбунов А.Л., Гродзицкий Л.В.

Г 67 Теория информации и кодирования: пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2016. – 20 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Теория информации и кодирования» по Учебному плану для студентов III курса специальности 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 13.01.2016 г. и методического совета 13.01.2016 г.

Лабораторная работа № 2

Тема: Исследование спектральных характеристик детерминированных периодических сигналов

Цели лабораторной работы

1. Формирование умений и навыков по исследованию спектральных характеристик детерминированных периодических сигналов с использованием пакета прикладных программ Mathcad (далее Mathcad).
2. Формирование навыков проведения анализа процессов и обобщения результатов исследования.

1. Краткие теоретические сведения

Ошибки, возникающие при передаче данных, приводят к необходимости использования специального кодирования, позволяющего их выявлять и исправлять. Поэтому при изучении помехоустойчивого кодирования важно понимание механизмов организации носителей информации – сигналов, изменяющихся физических величин, отображающих передаваемые данные.

Все многообразие сигналов, используемых в информационных системах, делят на две основные группы: *детерминированные сигналы* и *случайные сигналы*. Детерминированные сигналы характеризуются тем, что в любые моменты времени их значения являются известными величинами. Сигналы, значения которых в любые моменты времени могут быть определены только с некоторой вероятностью, называется случайными. Деление сигналов на детерминированные и случайные является условным, поскольку идеальных детерминированных сигналов в природе не

существует. Любой реальный сигнал случаен в силу воздействия на него многочисленных случайных факторов.

Но исследование детерминированных сигналов весьма важно, поскольку выводы, полученные в результате исследований детерминированных сигналов, могут быть во многих случаях распространены на случайные сигналы.

Так как в информационных системах применяются преимущественно электрические средства передачи сообщений (проводные и радиосредства), то ограничимся рассмотрением электрических сигналов. Электрические сигналы становятся носителями информации при определенном воздействии (модуляции) на один или несколько их параметров. Такие параметры принято называть *информативными* или *кодowymi*.

В зависимости от методов анализа информационных систем применяются те или иные способы представления сигналов. К основным из них следует отнести:

- представление сигнала в виде некоторой функции времени $x(t)$;
- представление сигнала в виде некоторой функции частоты $x(\omega)$;
- представление сигнала в операторной форме $x(p)$.

Одной из разновидностей детерминированных сигналов являются *периодические* сигналы.

Периодический сигнал представляется функцией времени, удовлетворяющей следующему условию:

$$f(t) = f(t + T), \quad (1)$$

где t – любой момент времени на интервале $-\infty \leq t \leq +\infty$, T – период функции.

Простейшим и наиболее распространенным периодическим сигналом является гармонический сигнал, описываемый во временной плоскости синусоидальной функцией времени:

$$f(t) = A \sin(\omega t + \varphi). \quad (2)$$

Гармоническая функция (2) во временной плоскости полностью определяется своими основными параметрами: амплитудой A , угловой (круговой) частотой $\omega = \frac{2\pi}{T}$, начальной фазой φ . Форма записи (2) представляет собой, так называемую, временную форму представления сигнала.

Графически временную форму представления гармонической функции можно изобразить так, как показано на рисунке 1 (здесь $\varphi = 0$).

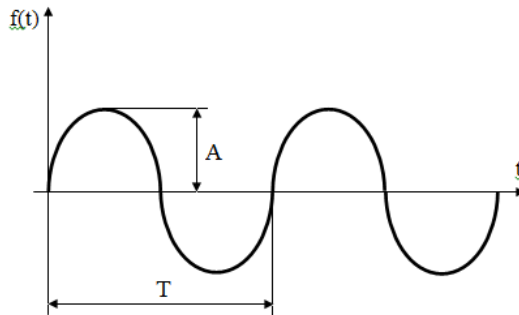


Рис. 1. Простейший периодический сигнал – гармонический сигнал. Функция времени

Указание основных параметров, образующих спектр гармонической функции, является ее *частотным представлением*.

Обычно прибегают к графическому изображению спектра. Для этого по оси абсцисс наносят частоты, а по оси ординат – амплитуды и фазы. Для удобства и наглядности вычерчивают два графика, представляющие амплитудный и фазовый спектры (амплитудную и фазовую характеристику) соответственно. Так, для гармонического сигнала амплитудный и фазовый спектры выразятся в точки, но для повышения наглядности принято из этих точек на ось абсцисс опускать перпендикуляр, который изображает так называемую спектральную линию (рис. 2).

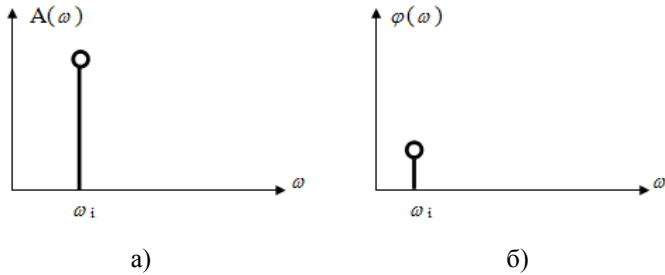


Рис. 2. Спектральное графическое представление амплитудного (а) и фазового (б) спектров гармонического сигнала

Произвольная периодическая функция, удовлетворяющая условиям Дирихле (функция $x(t)$ должна быть ограниченной, кусочно-непрерывной и иметь на протяжении периода конечное число экстремальных значений), может быть представлена в общем случае в виде бесконечной суммы гармонических составляющих (гармоник) – рядом Фурье. Известны две формы разложения функций в ряд Фурье: тригонометрическая и комплексная.

Тригонометрическая форма разложения функции в ряд Фурье выражается в виде:

$$x(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\omega_0 t - \varphi_k), \quad (3)$$

где $\frac{A_0}{2}$ – постоянная составляющая функции $x(t)$, $A_k \cos(k\omega_0 t - \varphi_k)$ – k -я гармоническая составляющая (гармоника), A_k , $k\omega_0$, φ_k – амплитуда, частота и начальная фаза k -й гармонической составляющей соответственно, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ – угловая частота основной (первой гармоники), T – период изменения функции $x(t)$.

В математическом отношении, удобнее оперировать комплексной формой ряда Фурье, представляемой в виде:

$$x(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k \cdot e^{jk\omega_0 t}, \quad (4)$$

где j – мнимая единица, $C_k = A_k \cdot e^{-j\varphi_k}$ – комплексная амплитуда гармонической составляющей с угловой частотой $\omega_k = k\omega_0$.

Суммы, определяемые выражениями (3) и (4), будут тождественными при выполнении условий:

$$C_{-k} = C_k; \quad \varphi_{-k} = \varphi_k; \quad \varphi_0 = 0. \quad (5)$$

При этом модуль комплексной амплитуды будет равен амплитуде соответствующей гармонической составляющей, а аргумент будет равен начальной фазе составляющей.

Комплексная амплитуда определяется через функцию $x(t)$ следующим образом:

$$C_k = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) \cdot e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (6)$$

Совокупность амплитуд и соответствующих частот гармоник принято называть *спектром амплитуд сигнала*. Совокупность начальных фаз и соответствующих частот гармоник называют *спектром фаз сигнала*.

Спектр амплитуд и спектр фаз однозначно определяют сигнал. Однако, для многих практических задач достаточно ограничиться рассмотрением только спектра амплитуд.

На рисунке 3 даны графические изображения спектра амплитуд и спектра фаз периодического сигнала. Отдельные спектральные составляющие в графическом изображении спектра называются *спектральными линиями*.

Характерной особенностью спектра периодического сигнала является его прерывистость (дискретность). Расстояние между соседними спектральными линиями одинаковое и равно угловой частоте основной гармоники.

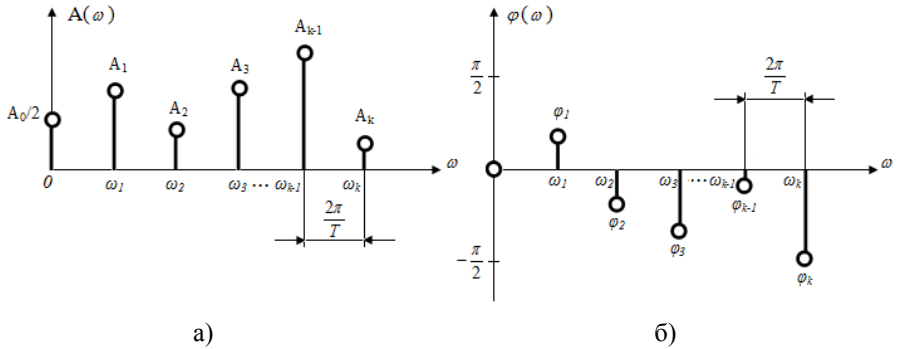


Рис. 3. – Графическое представление спектра амплитуд (а) и спектра фаз (б) произвольного периодического сигнала

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Пусть сигналы представлены следующим образом:

$u_1(t)$ - сигнал 1 – периодическая последовательность прямоугольных импульсов с параметрами, приведенными в таблице 1 (изображен на рис. 4);

$u_2(t)$ - сигнал 2 – периодическая последовательность прямоугольных импульсов с параметрами, приведенными в таблице 2 (изображен на рис. 4);

$u_3(t)$ - сигнал 3 – периодическая последовательность косинусоидальных импульсов с параметрами, приведенными в таблице 1 (изображен на рис. 5);

$u_4(t)$ - сигнал 4 - периодическая последовательность косинусоидальных импульсов с параметрами, приведенными в таблице 2 (изображен на рис. 5).

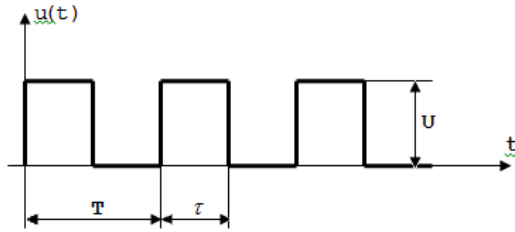


Рис. 4. Временное представление сигналов 1 и 2

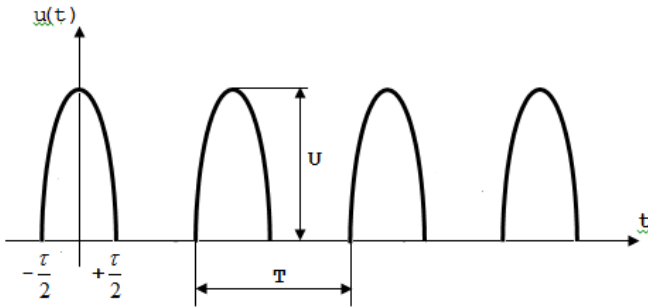


Рис. 5. Временное представление сигналов 3 и 4

Таблица 1 – Исходные данные для сигналов 1, 3

| вар. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| U, В | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 11 | 12 | 13 |
| τ , с | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,11 |
| T, с | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,2 | 0,22 |

Таблица 2 – Исходные данные для сигналов 2, 4

| вар. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| U, В | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 11 | 12 | 13 |
| τ , с | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,11 |
| T, с | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,16 | 0,2 | 0,24 | 0,28 | 0,32 | 0,36 | 0,4 | 0,44 |

Согласно индивидуальному варианту задания, определяемому преподавателем, используя Mathcad, выполнить:

1. Вычислить амплитуды гармонических составляющих спектра сигналов 1, 2, 3, 4 от ω_0 до $k\omega_0=10\omega_0$.
2. Построить графики спектра амплитуд для всех сигналов (функция $A(\omega)$).
3. Вычислить практическую ширину спектра F (число составляющих, входящих в спектр) сигналов 1, 2, 3, 4, если требуется учесть постоянную и гармонические составляющие сигналов, содержащиеся в сумме не менее 95% общей мощности сигнала.
4. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.
5. Подготовить отчет о выполнении лабораторной работы.

2.1 Необходимые расчетные формулы

2.1.1 Модуль комплексной амплитуды спектральной составляющей сигналов, представленных в виде последовательности прямоугольных импульсов, рассчитывается по формуле:

$$A_k = \left| \frac{2U\tau \sin \frac{k\omega_0\tau}{2}}{T \frac{k\omega_0\tau}{2}} \right|. \quad (7)$$

Величина постоянной составляющей для прямоугольных импульсов:

$$A_0 \sim U\tau/T. \quad (8)$$

Частота первой гармоники: $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$. (9)

Суммарная мощность сигнала:

$$P_0 = R \left(\left(\frac{A_0}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} A_k^2 \right), \quad (10)$$

где $R = 1 \text{ Ом}$.

2.1.2 Модуль комплексной амплитуды спектральной составляющей сигналов, представленных в виде последовательности косинусоидальных импульсов, рассчитывается по формуле:

$$A_k = \left| \frac{2U}{\pi k^2 - 1} \cos \frac{k\omega_0 \tau}{2} \right| \quad (11)$$

Остальные характеристики рассчитываются по формулам (8), (9), (10).

3. Содержание отчета

Отчет должен включать в себя:

1. Титульный лист с указанием дисциплины и темы лабораторной работы.
2. Цель проведения лабораторной работы.
3. Основные теоретические сведения, включая расчетные формулы, необходимые для выполнения индивидуального задания.
4. Задание на выполнение лабораторной работы (что необходимо выполнить).
5. Номер варианта задания, а также соответствующие необходимые исходные данные (графики временных функций сигналов и выписки из таблиц 1, 2).
6. Расчет амплитуд гармонических составляющих спектров сигналов (Mathcad-листинг расчетов).
7. Графики спектров амплитуд сигналов (Mathcad-листинги).
8. Расчет практической ширины спектра F для каждого сигнала (Mathcad-листинг расчетов).
9. Краткие выводы по результатам проведенных исследований в рамках данной лабораторной работы.

Лабораторная работа №3

Тема: Исследование характеристик помехоустойчивости методов первичного кодирования каналов

Цели лабораторной работы

1. Формирование и совершенствование навыков по исследованию первичного кодирования каналов систем передачи информации на примере исследования характеристик модулированных гармонических сигналов с использованием пакета прикладных программ Mathcad (далее Mathcad).

2. Формирование навыков проведения анализа процессов и обобщения результатов исследования.

1. Краткие теоритические сведения

Передача информации в авиационных системах связи часто осуществляется по радиоканалам, при этом возникает необходимость в первичном кодировании канала – наложении информационной составляющей на несущую радиосигнала – обычно называемом модуляцией.

Различают три основных вида модуляции гармонических колебаний: амплитудную, частотную и фазовую. Изменение амплитуды некоторого высокочастотного гармонического колебания по закону передаваемого сигнала (обычно низкочастотного) называется амплитудной модуляцией (АМ). Результирующее колебание в этом случае становится амплитудно-модулированным. Изменение частоты и фазы некоторого высокочастотного гармонического колебания по закону передаваемого сигнала называется угловой модуляцией, подразделяющейся на частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ) модуляции.

1.1 Амплитудно-модулированные сигналы

Пусть модулирующий (передаваемый) сигнал представляет собой гармоническое колебание низкой частоты (модуляция одним тоном):

$$u_u(t) = U_u \cdot \cos(\Omega t + \theta_0), \quad (12)$$

где U_u – амплитуда сигнала, Ω – угловая частота сигнала, θ_0 – начальная фаза сигнала.

Модулируемый сигнал (несущая) пусть также представляет собой гармоническое колебание, но более высокой частоты ω_0 ($\omega_0 \gg \Omega$):

$$u_n(t) = U_n \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (13)$$

где U_n – амплитуда несущего сигнала, ω_0 – его угловая частота, φ_0 – его начальная фаза.

В общем виде, амплитудно-модулированное колебание можно представить следующим образом:

$$u_{AM}(t) = (U_n + k_{AM} \cdot u_u(t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (14)$$

где U_n – амплитуда несущего колебания в отсутствие модуляции, ω_0 – «несущая» частота, φ_0 – начальная фаза, k_{AM} – коэффициент пропорциональности, $U(t)$ – огибающая модулированного колебания.

Если удовлетворится условие такое, что $U_n = U_u = U_0$, то АМ колебание будет иметь вид (частный случай):

$$u_{AM}(t) = u_n(t) + u_n(t) \cdot u_u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{U_0 \cdot M}{2} \cdot \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \theta_0) + \frac{U_0 \cdot M}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0 - \theta_0), \quad (15)$$

где M – индекс модуляции.

Следует отметить, что амплитудная модуляция, как и любая другая – это не просто суммирование гармонических колебаний двух частот Ω и ω_0 , а гораздо более сложный процесс (рис. 6).

В процессе модуляции появляются новые гармонические составляющие, следовательно, этот процесс связан с преобразованием спектра частот.

В частном случае амплитудной модуляции одним тоном Ω , ширина спектра АМ-сигнала составит 2Ω .

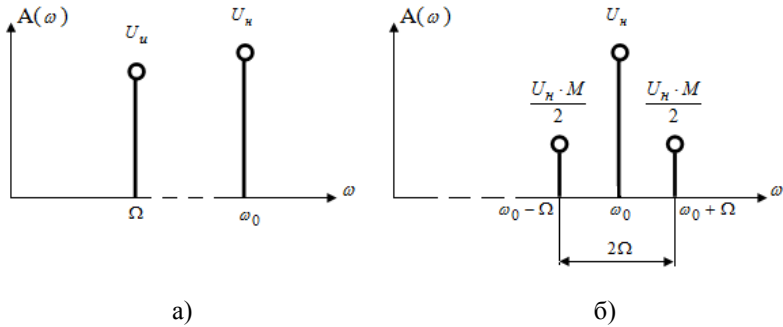


Рис. 6. Спектры амплитуд сигналов до модуляции (а) и после модуляции (б)

Рассмотрим простейшую ситуацию с передачей цифрового сигнала представленного двоичным кодом, обозначив цифровой модулированный сигнал как $s(t)$. При амплитудной модуляции для двоичного кода одному состоянию (логическая единица «1») соответствует наличие несущей, а второму (логический ноль «0») — её отсутствие. Тогда, если использовать синусоидальное колебание и положить $U_n = 1$, $\varphi_0 = 0$:

$$s_{AM}(t) = \begin{cases} \sin \omega_0 t, & t_i \leq t \leq T, \quad \text{для "1"} \\ 0 & \text{для "0"} \end{cases} \quad (16)$$

где $t_i = nT$, $n = 0, 1, 2, \dots$

1.2 Сигналы с угловой модуляцией

Пусть модулирующий (передаваемый) сигнал представляет собой гармоническое колебание низкой частоты (см. формулу (1)).

Модулируемый сигнал пусть также представляет собой гармоническое колебание, но с более высокой частотой ω_0 (см. формулу (2)).

1.2.1. В общем виде, частотно-модулированное колебание можно представить следующим образом:

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_H \cdot \cos(\omega_0 t + k_{\text{ЧМ}} \cdot \int u_u(t) dt + \varphi_0), \quad (17)$$

где U_H – амплитуда несущего колебания в отсутствие модуляции, ω_0 – «несущая» частота, φ_0 – начальная фаза, $k_{\text{ЧМ}}$ – коэффициент пропорциональности, $u_u(t)$ – передаваемый сигнал.

1.2.2. Фазово-модулированное колебание в общем виде представляется следующим образом:

$$u_{\text{ФМ}}(t) = U_H \cdot \cos(\omega_0 t + k_{\text{ФМ}} \cdot u_u(t) + \varphi_0), \quad (18)$$

где U_H – амплитуда несущего колебания в отсутствие модуляции, ω_0 – «несущая» частота, φ_0 – начальная фаза, $k_{\text{ФМ}}$ – коэффициент пропорциональности, $u_u(t)$ – передаваемый сигнал.

1.2.3. Выражение для колебания, модулированного по частоте или фазе сигналом с одним тоном (см. формулу (1)), примет вид (частный случай):

$$\begin{aligned} u_{\text{УМ}}(t) &= U_H \cdot \cos(\omega_0 t + M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0) + \varphi_0) = \\ &= U_H \cdot \cos(M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - \\ &- U_H \cdot \sin(M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0)) \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (19)$$

где M – индекс модуляции.

При условии, что $M \ll 1$, выражение (19) можно упростить, произведя замену (1-й замечательный предел):

$$\begin{cases} \sin(M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0)) \cong M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0) \\ \cos(M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0)) \cong 1 \end{cases}, \quad (20)$$

Таким образом, выражение (19) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} u_{\text{УМ}}(t) &\cong U_H \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - U_H \cdot M \cdot \sin(\Omega t + \theta_0) \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \cong \\ &\cong U_H \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - \frac{U_H \cdot M}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + (\varphi_0 - \theta_0)) + \\ &+ \frac{U_H \cdot M}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + (\varphi_0 + \theta_0)) \end{aligned} \quad (21)$$

Сравнивая выражения (21) и (15), можно заключить, что спектр колебания, модулированного по частоте или фазе одним тоном, при малых значениях индекса модуляции M состоит, как и спектр амплитудно-

модулированного колебания (см. рис. 1б), из несущей частоты ω_0 и двух боковых частот $\omega_0 + \Omega$ и $\omega_0 - \Omega$. Отличие заключается в сдвиге фазы колебания нижней боковой частоты (гармоника с частотой $\omega_0 - \Omega$) на 180° относительно его положения при амплитудной модуляции.

Для простейшего случая передачи модулированным сигналом двоичного кода с допущениями по аналогии с (16) соответственно имеем выражения (22) – ЧМ и (23) – ФМ :

$$s_{\text{ЧМ}}(t) = \begin{cases} \sin \omega_0 t, & t_i \leq t \leq T, \quad \text{для "1"} \\ \sin k \omega_0 t, & t_j \leq t \leq T, \quad \text{для "0"} \end{cases} \quad (22)$$

где $i \neq j$, k – коэффициент смещения несущей; фаза несущей может быть случайной, если она определена, говорят о когерентной ЧМ,

$$s_{\text{ФМ}}(t) = \begin{cases} \sin \left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{m} \right), & t_i \leq t \leq T, \quad \text{для "1"} \\ \sin \left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{n} \right), & t_j \leq t \leq T, \quad \text{для "0"} \end{cases} \quad (23)$$

где $m \neq n = 1, 2, \dots$

1.3 Помехоустойчивость передачи двоичного кода можно оценить по «расстоянию» D между значениями сигналов $s_1(t)$ (для «1») и $s_2(t)$ (для «0»), которое соответствует площади серых областей на рис. 7.

$$D = \int_{t_i}^{t_i+T} |s_1(t) - s_2(t)| dt \quad . \quad (24)$$

Чем больше D , тем меньше вероятность совершения ошибки идентификации принятого значения двоичного кода.

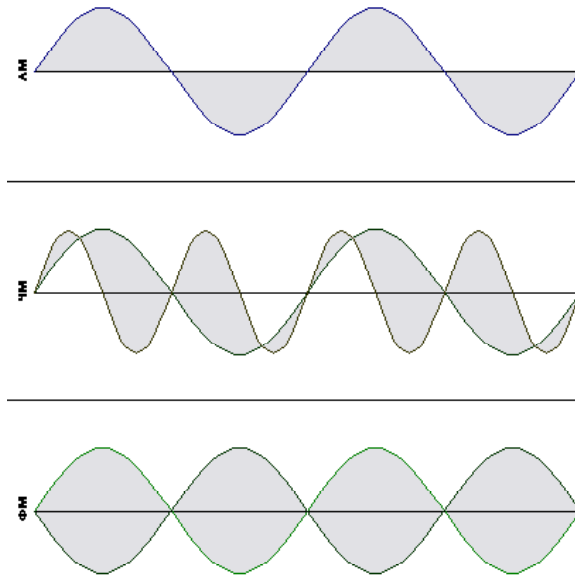


Рис. 7. Расстояние между сигналами, соответствующими двоичным «1» и «0» при различных типах модуляции

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Пусть модулирующий (передаваемый) сигнал представляет собой двоичный код, а модулируемый сигнал – синусоиду с угловой частотой ω_0 (соответствующей обычной частоте f_0), амплитудой равной единице и нулевой фазой:

$$u_n(t) = \sin \omega_0 t .$$

2.1 Сравнение помехоустойчивости АМ, ЧМ и ФМ сигналов.

Согласно индивидуальному варианту задания, определяемому преподавателем (см. таблицу 1), используя Mathcad, выполнить:

2.1.1 Рассчитать значения и построить график для 2 периодов АМ-сигнала (формула (16)).

2.1.2 Рассчитать значения и построить график для 2 периодов ЧМ-сигнала (формула (22)), полагая k равным начальному значению интервала, указанного в табл. 1.

2.1.3 Рассчитать значения и построить график для 2 периодов ФМ-сигнала (формула (23)), полагая $n=1$, а m равным конечному значению интервала, указанного в табл. 1.

2.1.4 Рассчитать расстояние D (формула (24)) для АМ, ЧМ и ФМ сигналов.

2.1.5 Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

2.2 Исследование помехоустойчивости ЧМ и ФМ сигналов при различных параметрах модуляции.

2.2.1 Варьируя значение k в пределах, указанных в табл. 1 с шагом 0,1, рассчитать расстояние D для ЧМ сигнала и построить график зависимости D от k .

2.2.2 Полагая $n=1$ и варьируя значение m в пределах, указанных в табл. 1 с шагом 0,1, рассчитать расстояние D для ФМ сигнала и построить график зависимости D от m .

2.2.3 Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Таблица 1 – Исходные данные

| Вар. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| f_0 , кГц | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Интервал варьирования k | 2-3 | 3-4 | 2-3 | 3-4 | 2-3 | 3-4 | 2-3 | 3-4 | 2-3 | 3-4 | 2-3 |
| Интервал варьирования m | 2-3 | 2-4 | 2-4 | 2-3 | 2-3 | 2-4 | 2-4 | 2-3 | 2-3 | 2-4 | 2-4 |

3. Содержание отчета

Отчет должен включать в себя:

1. Титульный лист с указанием дисциплины и темы лабораторной работы.
2. Цель проведения лабораторной работы.
3. Задание на выполнение лабораторной работы (что необходимо выполнить).
4. Номер варианта задания, а также соответствующие необходимые исходные данные.
5. Результаты расчетов и графики по п.п. 2.1.1 -2.1.4 (Mathcad-листинги исследований).
6. Результаты расчетов и графики по п. 2.2.1 – 2.2.2 (Mathcad-листинги исследований).
7. Краткие выводы по каждому из пунктов исследований и общие выводы по проведенным исследованиям.

Литература

1. Фельдбаум А.А. и др. Теоретические основы связи и управления. Изд. физмат. литературы,- М.: 1963.-932 с.
2. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Монография. — 4-е изд. — М.: Физматгиз, 1962. — 236 с.
3. Бронштейн И.Н. , Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука,-1986.-544с.
4. Березкин Е.Ф. Основы теории информации и кодирования. Москва: МИФИ, - 2010.

Подписано в печать 23.03.2016 г.

Печать офсетная
1,16 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 51

0,87уч.-изд. л.
Тираж 60 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
Редакционно-издательские услуги ООО «Имидж-студия Арина»
127051 Москва, М. Сухаревская пл., д. 2/4 стр.1