

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
«24» января 2016 г.



МОДУЛЯЦИЯ СИГНАЛА

Методические указания
по выполнению лабораторной работы
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
по курсу «Электромагнитные поля и волны», а также для
студентов других направлений подготовки в области
информационных технологий

Курск 2016

УДК 537.8

Составители: И.Г.Бабанин, А.А.Гуламов, А.Н.Щитов

Рецензент

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры А.М. Потапенко

Модуляция сигнала: методические указания по выполнению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: И.Г.Бабанин, А.А.Гуламов, А.Н.Щитов. Курск, 2016. 19 с.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат краткие теоретические сведения, задания для выполнения работы, примеры в математическом приложении MathCAD и перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, утвержденной УМО по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также рабочей программы дисциплины «Электромагнитные поля и волны».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по курсу «Электромагнитные поля и волны», а также для студентов других направлений подготовки в области информационных технологий в системе высшего образования.

Методические указания подготовлены с использованием материалов Водлазской И.В., Марвина В.Б. Электромагнитные поля и волны. Лабораторный практикум: учеб. пособие; под общ. ред. Марвина Л. А. – Астрахань: изд – во Астраханского ун-та, 2000. – 80 с.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. Уч.-изд. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ. 237 Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1 Цель работы

- изучить основные виды модуляции сигналов.

2 Краткие теоретические сведения

Модуляция – это процесс изменения одного или нескольких параметров несущего сигнала в соответствии с изменением параметров воздействующего сигнала (модулирующего сигнала).

Параметры несущего сигнала, изменяющиеся во времени под воздействием модулирующего сигнала, называются информационными, так как в их изменениях заложена передаваемая информация. Модулированные сигналы различаются по виду несущего сигнала и по модулируемым параметрам. В качестве несущего сигнала в настоящее время широко используются гармонические колебания, периодическая последовательность импульсов, реже – колебания специальной формы, узкополосный случайный процесс.

Гармоническая несущая $s_n(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \psi_0)$, например, характеризуется тремя свободными параметрами: амплитудой, частотой и фазой. Все они могут быть информационными. Изменяя один из них при постоянстве других, получаем три основных вида модуляции: амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ).

Модулированный сигнал при гармонической несущей в общем случае можно представить в виде:

$$s_n(u_m, t) = A(t) \cos \Psi(t) \quad (1)$$

где модулированный сигнал на выходе модулятора зависит от времени и от модулирующего сигнала $u_m(t)$, поэтому и обозначается как функция двух аргументов $s_n(u_m, t)$; $A(t)$ – огибающая сигнала; $\Psi(t)$ – полная фаза.

За интервал времени, в течение которого полная фаза $\Psi(t)$ изменится на 2π , огибающая не успеет сильно измениться и ее можно считать медленно меняющейся.

В модулированном сигнале (1) мгновенная угловая частота есть производная от полной фазы по времени:

$$\omega(t) = d\Psi(t) / dt \quad (2)$$

При определении параметров модулированных сигналов обычно считают, что модулирующий сигнал $u_m(t)$, нормирован, то есть максимальное абсолютное значение равно единице $\max|u_m(t)|=1$. Главная особенность любой модуляции – преобразование спектра модулирующего сигнала. В общем случае происходит расширение спектра, а при гармоническом несущем сигнале – перенос спектра в область около частоты несущего сигнала [1].

2.1 Амплитудная модуляция

При амплитудной модуляции амплитуда несущего колебания изменяется пропорционально мгновенным значениям модулирующего сигнала $u_m(t)$, то есть становится равной

$$A(t) = A_0 + au_m(t) \quad (3)$$

где A_0 – амплитуда несущей; a – коэффициент пропорциональности, выбираемый так, чтобы амплитуда $A(t)$ всегда была положительной. Частота и фаза несущего гармонического колебания при АМ остаются неизменными.

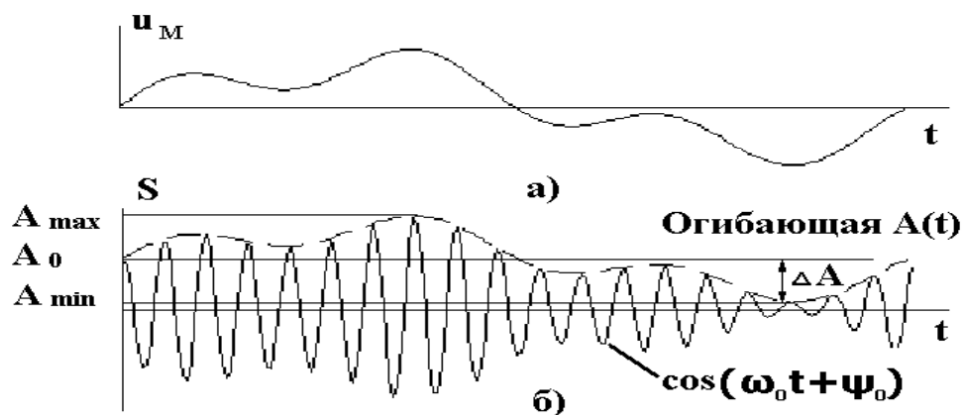


Рисунок 1 – Модулирующий сигнал (а), амплитудно – модулированный сигнал (б)

Временная диаграмма АМ сигнала показана на рисунке 1 (а – модулирующий сигнал, б – амплитудно-модулированный сигнал), из которого видно, что в соответствии с мгновенными значениями $u_m(t)$ амплитуда несущей A_0 увеличивается до значения A_{max} , получая приращение $\Delta A_+ = A_{max} - A_0 = au_{mmax}$, или уменьшается, получая $\Delta A_- = A_{max} - A_0 = au_{mmax}$. Обращает на себя внимание, что амплитуда $A(t)$ повторяет форму модулирующего сигнала $u_m(t)$.

В АМ сигнале амплитуда $A(t)$ является огибающей высокочастотного заполнения $\cos(\omega_0 t + \psi_0)$.

Для математического описания АМ сигнала в (3) вместо коэффициента пропорциональности a , зависящего от конкретной схемы модулятора, вводится коэффициент модуляции по формуле:

$$M = \Delta A / A_0 \quad (4)$$

то есть коэффициент модуляции равен отношению максимального приращения амплитуды к амплитуде несущего сигнала. Физически M характеризует собой глубину амплитудной модуляции и может изменяться в пределах $0 \leq M \leq 1$.

Подставляя (3) в (1) с учетом введенного коэффициента модуляции M , получаем аналитическое выражение (математическую модель) любого АМ сигнала:

$$S_{AM}(u_M, t) = A_0 [1 + Mu_m(t)] \cos(\omega_0 t + \psi_0) \quad (5)$$

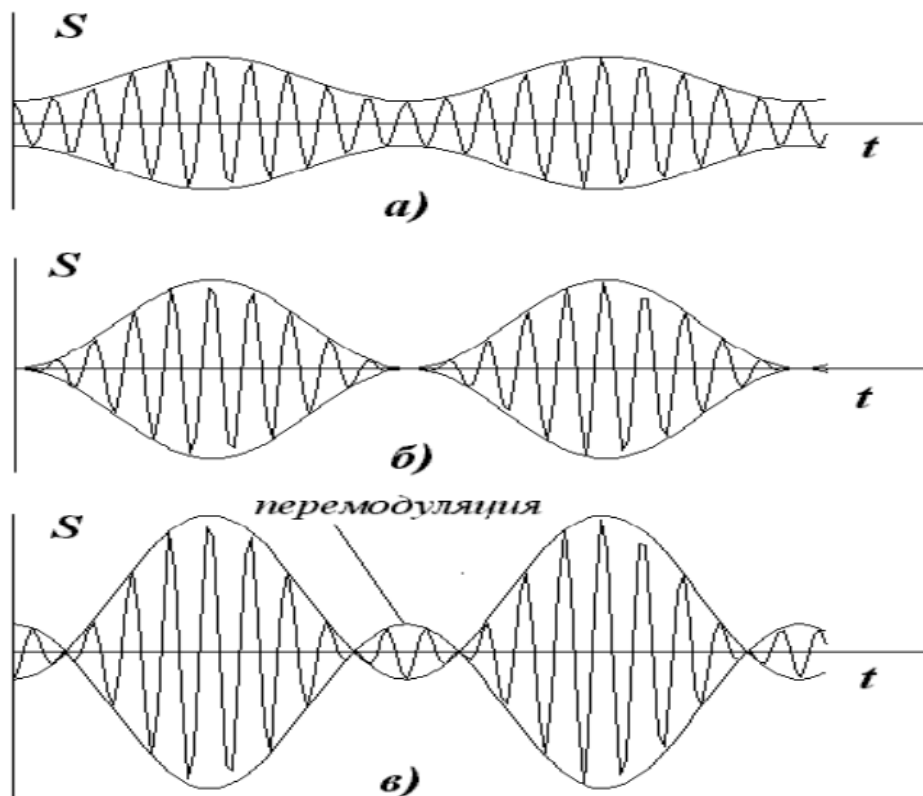


Рисунок 2 – АМ-сигналы при различных глубинах модуляции: а – неглубокая модуляция; б – глубокая модуляция; в – перемодуляция

В простейшем случае модулирующий сигнал $u_m(t)$ является гармоническим колебанием с частотой $\Omega \ll \omega_0$ и начальной фазой Ψ . При этом (6)

$$S_{AM}(u_m, t) = A_0 [1 + M \cos(\Omega t + \Psi)] \cos(w_0 t + \psi_0) \quad (6)$$

представляет собой аналитическое выражение однотонового АМ сигнала. На рисунке 2 показаны временные диаграммы однотонового АМ сигнала при различных значениях коэффициента модуляции M . Легко заметить характерные искажения при перемодуляции (рисунок 2, в), когда форма огибающей перестает повторять форму модулирующего гармонического колебания. Рассмотрим однотоновую амплитудную модуляцию в математическом приложении MathCAD – пример № 1.

Пример №1. Рассмотрим амплитудную модуляцию гармоническим сигналом [1].

Дано:

Амплитуда модулируемого сигнала $A_0 := 1$

Различные коэффициенты АМ:

- нормальная АМ $M_1 := 0.5$

- 100% АМ $M_2 := 1$

- перемодуляция $M_3 := 1.5$

Частота и начальная фаза модулирующего сигнала:

$\Omega := 1, \Psi := \pi$

Частота модулируемого сигнала $w_0 := 15$

Начальная фаза модулируемого сигнала $\psi_0 := \pi$

Рассматриваемый промежуток времени:

$t := 0.05..13$

Аналитические выражения однотонового АМ сигнала:

$$S_{1AM}(t) := A_0 \cdot (1 + M_1 \cdot \cos(\Omega \cdot t + \Psi)) \cdot \cos(w_0 \cdot t + \psi_0)$$

$$S_{2AM}(t) := A_0 \cdot (1 + M_2 \cdot \cos(\Omega \cdot t + \Psi)) \cdot \cos(w_0 \cdot t + \psi_0)$$

$$S_{3AM}(t) := A_0 \cdot (1 + M_3 \cdot \cos(\Omega \cdot t + \Psi)) \cdot \cos(w_0 \cdot t + \psi_0)$$

Решение:

Соответствующие временные диаграммы:

- нормальная амплитудная модуляция;

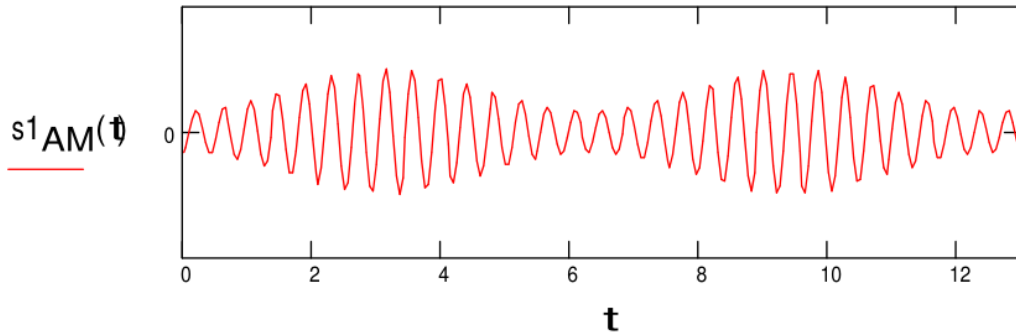


Рисунок 3 – Нормальная амплитудная модуляция

- 100% амплитудная модуляция;

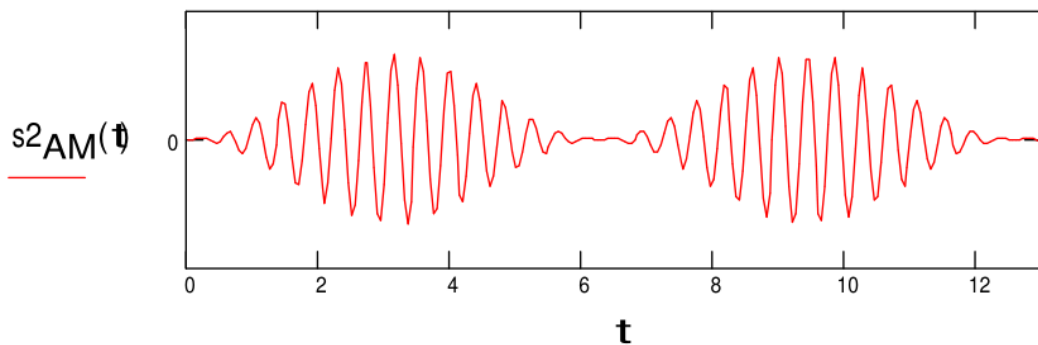


Рисунок 4 – 100% амплитудная модуляция

- перемодуляция сигнала;

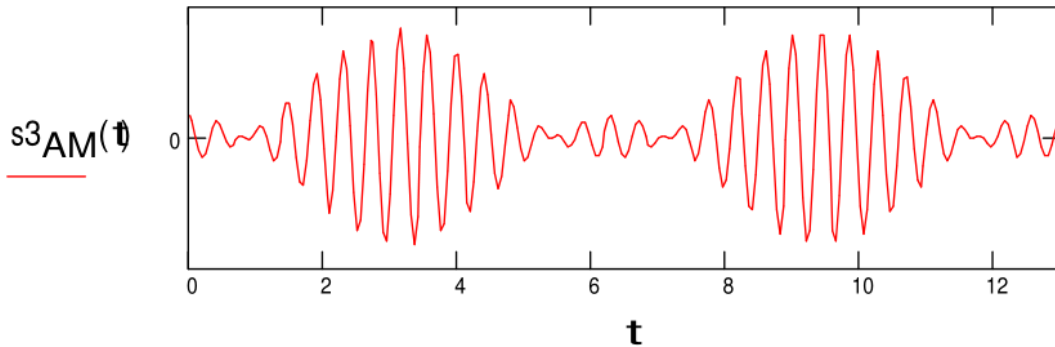


Рисунок 5 – Перемодуляция сигнала

2.2 Фазовая и частотная модуляции гармонического несущего сигнала

$$\Psi(t) = w_0 t + \psi_0 + \Delta\varphi_D u_m(t) \quad (7)$$

где $\Delta\varphi_D$ – коэффициент пропорциональности, называемый (от латинского *deviatio* – отклонение). Физический смысл этого коэффициента поясняется на рисунке 6, где изображены

модулирующий сигнал а) и полная фаза ФМ сигнала б). С увеличением сигнала $u_m(t)$ полная фаза $\Psi(t)$ растет во времени быстрее, чем по линейному закону. При значениях сигнала $u_m(t) < 0$ происходит спад скорости роста $\Psi(t)$. Абсолютная величина отклонения фазы от линейной.

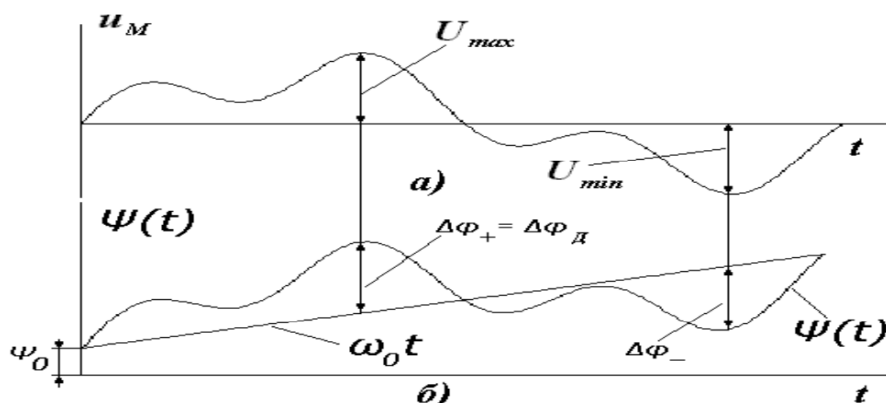


Рисунок 6 – Модулирующий сигнал (а) и полная фаза ФМ сигнала (б)

наибольшая, когда $u_m(t)$ достигает экстремальных значений. На рисунке 6, б отмечено максимальное отклонение фазы вверх $\Delta\phi_+$ и вниз $\Delta\phi_-$. Наибольшее отклонение фазы от линейной и является девиацией фазы $\Delta\phi_D$ при ФМ. В примере на рисунке 6 $\Delta\phi_D = \Delta\phi_+$. Измеряется $\Delta\phi_D$ в радианах и может принимать значение от единиц до десятков тысяч радиан.

Подставляя (7) в (1), получаем аналитическое выражение (математическую модель) ФМ сигнала:

$$S_{\text{ФМ}}(u_m, t) = A_0 \cos \left[\omega_0 t + \psi_0 + \Delta\phi_D u_m(t) \right] \quad (8)$$

При частотной модуляции отклонение частоты модулированного сигнала от ω_0 изменяется пропорционально мгновенным значениям модулирующего сигнала $u_m(t)$

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_D u_m(t) \quad (9)$$

где $\Delta\omega_D$ – коэффициент пропорциональности.

По аналогии с ФМ коэффициент $\Delta\omega_D$ называют девиацией частоты и она равна наибольшему отклонению частоты модулированного сигнала от значения частоты несущей ω_0 . Изменение частоты ЧМ сигнала графически показано на рисунке 7 (а – модулирующий сигнал, б – изменение мгновенной частоты), где

отмечена девиация частоты $\Delta\omega_D$, соответствующая наибольшему отклонению частоты вниз $\Delta\omega_D = \Delta\omega -$ поскольку $\Delta\omega_+ < \Delta\omega_-$. Как и при ФМ, в выражении (9) величина $u_m(t)$ нормирована, то есть $|u_m(t)| \leq 1$.

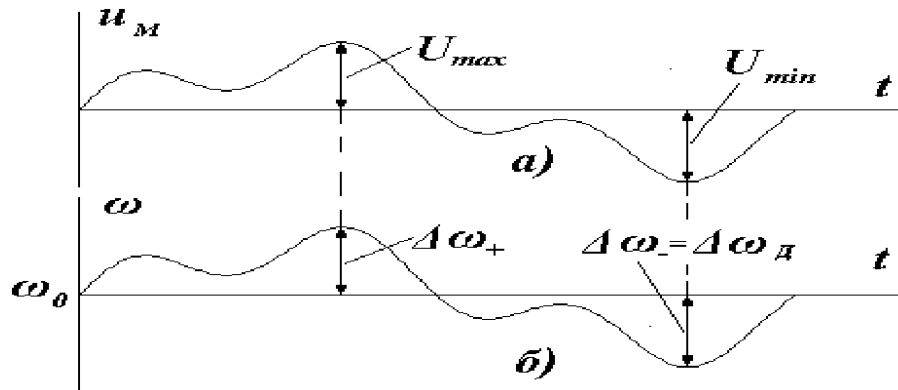


Рисунок 7 – Изменение частоты ЧМ сигнала: а – модулирующий сигнал; б – изменение мгновенной частоты

Девиация частоты является одним из главных параметров частотных модуляторов и может принимать значения от единиц герц до сотен мегагерц в модуляторах различного назначения. Однако всегда необходимо, чтобы выполнялось условие $\Delta\omega_D \ll \omega_0$.

Полную фазу ЧМ сигнала с частотой (9) согласно (2) находим путем интегрирования, то есть:

$$\Psi_{ЧМ}(t) = \int w(t) dt = \int [w_0 + \Delta w_D u_m(t)] dt = w_0 t + \Delta w_D \int u_m(t) dt + \psi_0,$$

где ψ_0 можно рассматривать как постоянную интегрирования. Тогда аналитическое выражение (математическая модель) ЧМ сигнала запишется в виде:

$$S_{ЧМ}(t) = A_0 \cos \left[w_0 t + \psi_0 + \Delta\omega_D \int u_m(t) dt \right] \quad (10)$$

Поскольку $u_m(t)$ входит в это выражение под знаком интеграла, ЧМ часто называют интегральным видом модуляции.

При модуляции одним тоном $u_m(t) = \cos(\Omega t + \Psi)$ с учетом того, что $\cos ax = (1/a) \sin ax$ из (10) и (8) получаем, что аналитические выражения ФМ и ЧМ сигналов по форме записи имеют совершенно одинаковый вид:

$$\begin{aligned} S_{ФМ}(u_m, t) &= A_0 \cos \left[w_0 t + \psi_0 + m_{ФМ} \cos(\Omega t + \Psi) \right]; \\ S_{ЧМ}(u_m, t) &= A_0 \cos \left[w_0 t + \psi_0 + m_{ЧМ} \sin(\Omega t + \Psi) \right]; \end{aligned}$$

где m – индекс модуляции. Отличие только в порядке вычисления индекса и фазы модулирующего колебания. При ФМ индекс модуляции $m_{\text{ФМ}}$ – величина, равная девиации фазы модулированного сигнала при гармоническом модулирующем сигнале $u_m(t)$, т.е. $m_{\text{ФМ}} = \Delta\varphi_d$. При ЧМ индекс модуляции $m_{\text{ЧМ}}$ – отношение девиации частоты модулированного сигнала $\Delta\omega_d = 2\pi\Delta f_d$ к частоте модулирующего гармонического сигнала $\Omega = 2\pi F$, то есть $M_{\text{ЧМ}} = \Delta\omega_d / \Omega = \Delta f_d / F$.

Следовательно, индекс частотной модуляции является амплитудой отклонения фазы, измеренной в радианах.

При гармоническом модулирующем сигнале временные диаграммы ФМ и ЧМ имеют совершенно одинаковый вид (рисунок 8). Отличить их можно, только сравнив изменение мгновенной фазы модулированного сигнала с законом изменения модулирующего колебания.

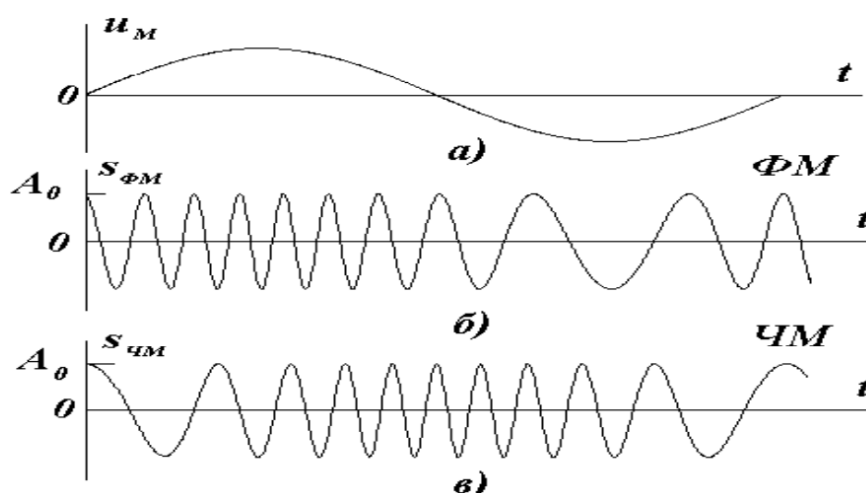


Рисунок 8 – Временные и спектральные диаграммы процесса формирования: ФМ и ЧМ модулирующего сигнала

Рассмотрим фазовую и частотную модуляцию в математическом приложении MathCAD – пример № 2.

Пример № 2. Рассмотрим фазовую и частотную однтональную модуляцию [1].

Дано:

Индекс фазовой модуляции $m_{\text{ФМ}} := 10$

Индекс частотной модуляции $m_{\text{ЧМ}} := 10$

Аналитическое выражение однтонального ФМ сигнала:

$$S_{\Phi M}(t) := A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \psi_0 + m_{\Phi M} \cdot \cos(\Omega \cdot t + \Psi))$$

Аналитическое выражение однотонового ЧМ сигнала:

$$S_{\Psi M}(t) := A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \psi_0 + m_{\Psi M} \cdot \sin(\Omega \cdot t + \Psi))$$

Решение:

Соответствующие временные диаграммы ФМ и ЧМ сигналов:

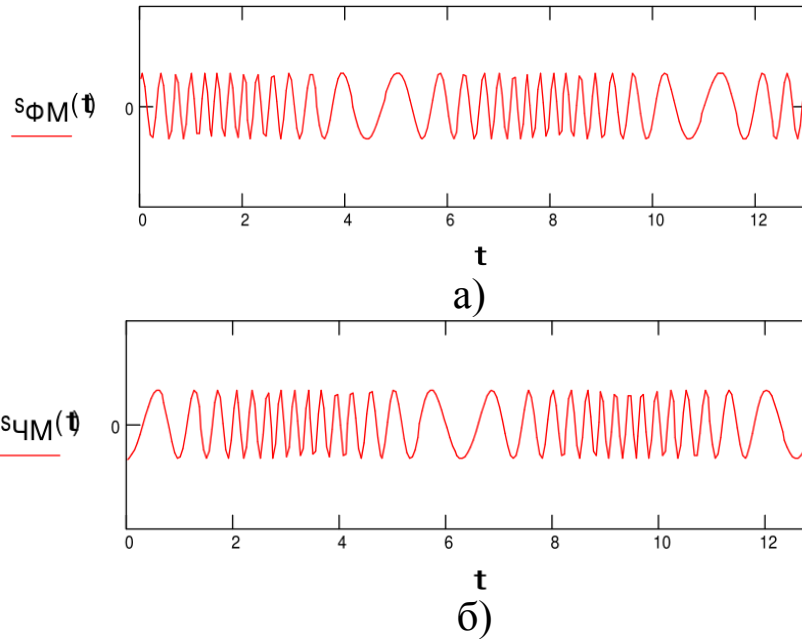


Рисунок 9 – Временные диаграммы сигналов: а – ЧМ сигнал; б – ФМ сигнал

2.3 Дискретная модуляция гармонического несущего сигнала

Дискретная модуляция является частным случаем модуляции гармонического несущего сигнала, когда модулирующий сигнал $u_m(t)$ дискретный.

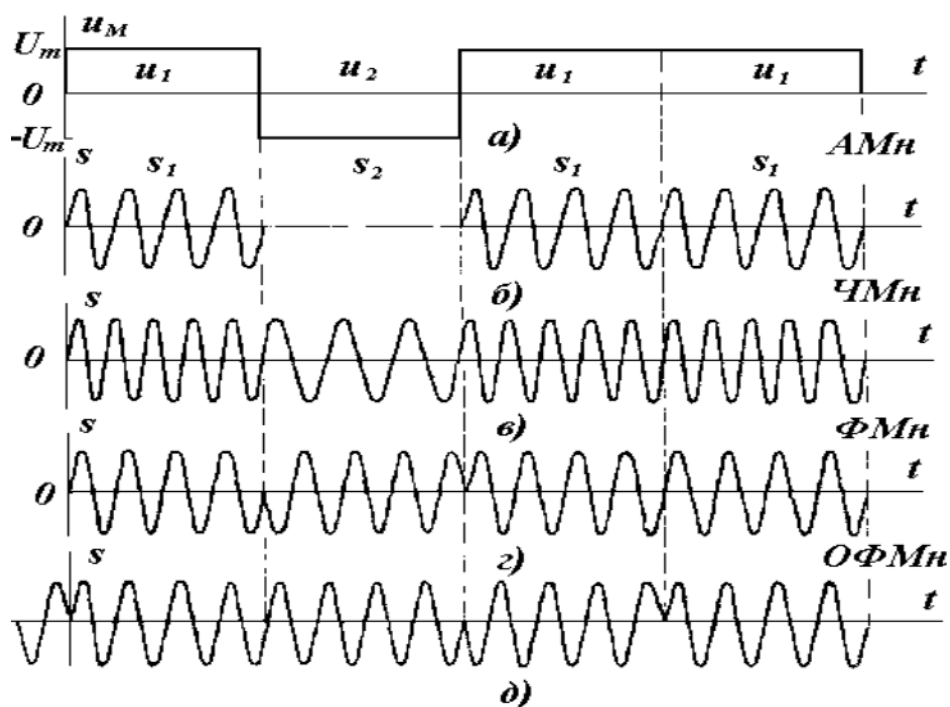


Рисунок 10 – Временные и спектральные диаграммы модулированных сигналов различных видов дискретной двоичной модуляции

Управляя с помощью первичного сигнала параметрами гармонической несущей, можно получить соответственно амплитудную (АМн), частотную (ЧМн) и фазовую (ФМн) манипуляции.

При двоичном коде первичный сигнал принимает два значения – $u_1(t) = U_m$ и $u_2 = -U_m$, которые соответствуют символам вторичного алфавита 1 и 0.

Модулированный сигнал при этом также будет принимать два значения – $s_1(t)$ и $s_2(t)$. На рисунке 10 приведены временные диаграммы различных видов модуляции. При АМн (рисунок 10, б) первичному сигналу $u_1(t)$ соответствует передача несущего колебания в течение t и (посылка), сигналу $u_2(t)$ – отсутствие колебания (пауза), поэтому часто АМн называют манипуляцией с пассивной паузой. При ЧМн (рисунок 10, в) несущее колебание с частотой $w_1 = w_0 + \Delta w_D$ соответствует сигналу $u_1(t)$, а колебание с частотой $w(t) = w_0 + \Delta w_D$ – сигналу $u_2(t)$. Обычно разнос частот ($w_2 - w_1$) выбирают таким, чтобы спектры сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ мало перекрывались. При ФМн (рисунок 10, г) девиация фазы $\Delta\phi_D$ выбрана равной $\pi/2$, так как при этом обеспечивается наибольшее

различие между сигналами $s_1(t)$ и $s_2(t)$, которые являются противоположными. В связи с этим при ФМн фаза несущей меняется на 180° при каждом переходе от $u_1(t)$ и $u_2(t)$ и наоборот.

В настоящее время наряду с ФМн широко применяется относительная фазовая модуляция (ОФМн, (рисунок 10, д)). Фаза несущего колебания в ОФМн изменяется на 180° при передаче символов 1 (сигнал u_1) и остается неизменной при передаче символов 0 (сигнал u_2).

Рассмотрим модуляцию дискретным сигналом в математическом приложении MathCAD – пример № 3.

Пример № 3. Рассмотрим амплитудную, фазовую и частотную модуляцию дискретного сигнала [1].

Дано:

Модулирующий сигнал: $u(t) := [(t < 4) + (t > 8) \cdot (t < 13)] \cdot 2 - 1$

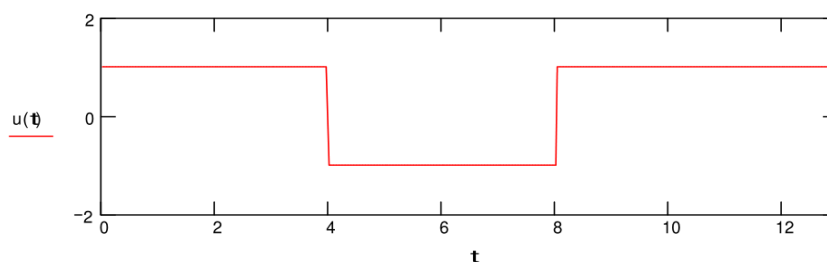


Рисунок 11 – Модулирующий сигнал, описываемый выражением:

$$u(t) := [(t < 4) + (t > 8) \cdot (t < 13)] \cdot 2 - 1$$

Аналитические выражения: $S_{AMн}(t) = A_0(1 + M_2 u(t)) \cos(\omega_0 t + \psi_0)$

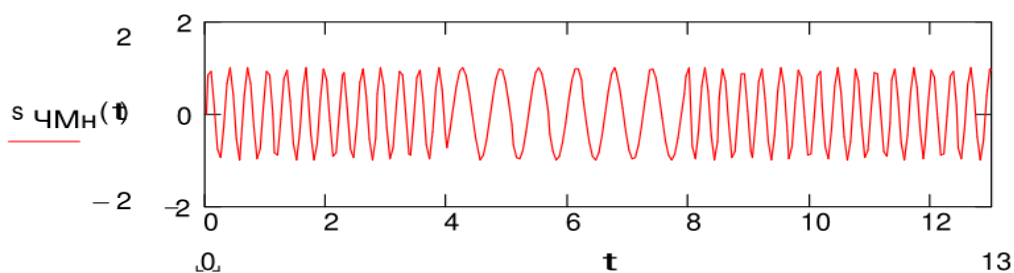
$$S_{ЧМн}(t) = [A_0 \cos(5 + u(t)\omega_0)t + 3 / 2\psi_0]$$

$$S_{ФМн}(t) = A_0 [0,315\omega_0 t + 3 / 2\psi_0 u(t)]$$

$$S_{ОФМн}(t) = A_0 \cos[0,315\omega_0 t - 5 / 2\psi_0 u(t)]$$

Решение:

Соответствующие временные диаграммы:



а)

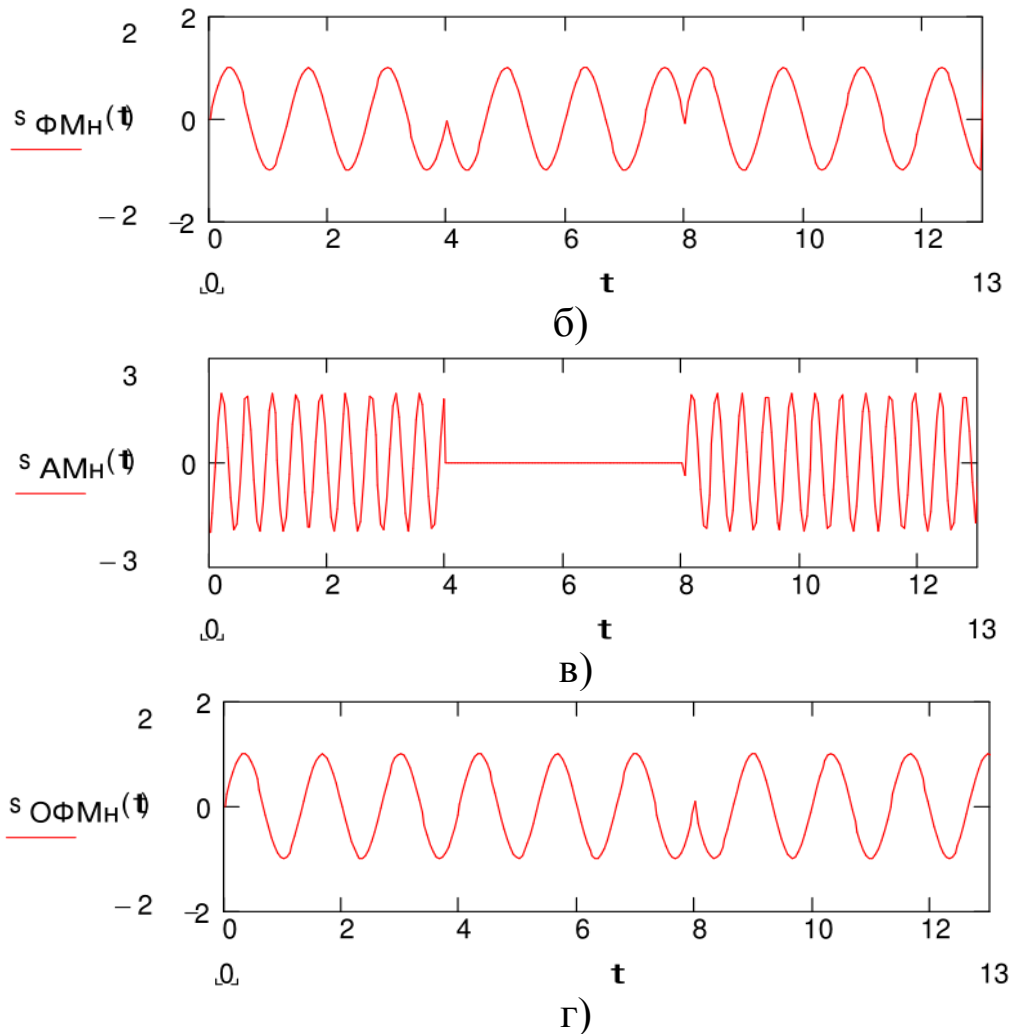


Рисунок 12 – Временные диаграммы сигналов: а – ЧМ сигнал, б – ФМ сигнал, в – АМ сигнал, г – ОФМ сигнал

3 Задание на лабораторную работу

1) Рассмотреть при многотональном модулирующем сигнале, содержащем три или более гармоник разной частоты:

- а) амплитудную модуляцию;
- б) фазовую модуляцию;
- в) частотную модуляцию.

2) Рассмотреть при дискретном модулирующем сигнале, содержащем три импульса различной длины:

- а) амплитудную манипуляцию;
- б) фазовую манипуляцию;
- в) частотную манипуляцию;
- г) относительную фазовую манипуляцию.

3) Рассмотреть разложение в ряд Фурье:

- а) АМ сигнал при однотональном модулирующем сигнале;
- б) АМ сигнал при дискретном модулирующем сигнале;
- в) ФМ сигнал при однотональном модулирующем сигнале;
- г) ЧМ сигнал при однотональном модулирующем сигнале.

4 Требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы

Отчёт должен быть оформлен с помощью редактора MS Word, версии 97 и выше (.doc, .rtf).

Параметры страницы:

- верхнее поле- 2 см;
- нижнее поле- 2 см;
- левое поле- 3 см;
- правое поле- 1 см;
- переплет- 0 см;
- размер бумаги А4;
- различать колонтитулы первой страницы.

Шрифт текста Times New Roman, 14 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1,5 см. Номер страницы внизу, по центру, 14 пунктов.

Несложные формулы должны быть набраны с клавиатуры и с использованием команды «Вставка→Символ». Сложные формулы должны быть набраны в редакторе MathType 6.0 Equation.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- название предмета, номер и название лабораторной работы;
- фамилию и инициалы автора, номер группы;
- фамилию и инициалы преподавателя;
- цель работы;
- перечень используемого оборудования;
- последовательность действий проведения исследований;
- вывод о проделанной работе;
- ответы на вопросы п. 5;
- дату выполнения и личную подпись.

Результаты различных измерений необходимо представить в виде нескольких самостоятельных таблиц и графиков. Каждая таблица и каждый график должны иметь свой заголовок и исходные данные эксперимента.

При выполнении численных расчетов надо записать формулу определяемой величины, сделать соответствующую численную подстановку и произвести вычисления.

Пример оформления отчёта представлен в приложении 1.

5 Примерный перечень вопросов для защиты лабораторной работы

1. Дайте определение модуляции сигнала.
2. Изобразите модулирующий сигнал при амплитудной модуляции.
3. Что такое фазовая и частотная модуляции гармонического несущего сигнала?
4. Дайте определение перемодуляции сигнала?
5. Запишите аналитические выражения моделирующего сигнала.

6 Список использованных источников

- 1) Водолазская И. В., Марвин В. Б. Электромагнитные поля и волны. Лабораторный практикум: учеб. пособие; под общ. ред. Марвина Л. А. – Астрахань: изд – во Астраханского ун-та, 2000. – 80 с.

Приложение 1

Пример оформления отчёта по лабораторной работе

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

Отчёт по выполнению лабораторной работы

по курсу «Электромагнитные поля и волны»

на тему «Модуляция сигнала»

Выполнил:

студент группы ИТ-216

Иванов И. И.

«__»_____2016

(подпись)

Проверил:

преподаватель

Петров П. П.

«__»_____2016

(подпись)

1 Цель работы

Ознакомиться ...

2 Структурная схема макета и перечень используемого оборудования

Структурная схема лабораторного макета для проведения исследований спектров сигналов представлена на рисунке 2.1.

Рисунок 2.1 – Структурная схема лабораторного макета

Перечень используемого оборудования:

- лабораторный стенд «Радиоприёмные устройства» (1 к-т);
- сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного радиоприёмника АМ сигналов» (1 к-т);
- осциллограф типа С1-96 (1 к-т);
- милливольтметр переменного напряжения типа ДТ-820В (1 к-т).

3 Последовательность проведения и результаты лабораторных исследований

3.1 Снятие амплитудно-частотной характеристики входной цепи

Результаты снятия зависимости напряжения на выходе входной цепи от частоты генератора, при фиксированном напряжении на входе, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – АЧХ входной цепи

Частота генератора, кГц				
Напряжение на выходе входной цепи $U_{\text{вых}}$, мВ при $U_{\text{вх}}=500$ мВ				

Продолжение таблицы 1

Нормированное напряжение на выходе входной цепи, $U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$.				
---	--	--	--	--

4 Ответы на контрольные вопросы

Вопрос №1. Какие основные функции радиоприёмных устройств?

Ответ:

Вопрос №2. Перечислите основные электрические характеристики радиоприемников.

Ответ:

5 Вывод о проделанной работе

В ходе выполнения лабораторной работы ознакомился с ...