

**Телекоммуникации**  
**Лабораторная работа №2**  
**Исследование методов аналоговой модуляции**

**Цель работы:** реализовать модели амплитудной, частотной и фазовой модуляции аналоговых сигналов; исследовать влияние параметров каждого вида модуляции на вид модулированного сигнала и на возможность демодуляции; исследовать спектры модулированных сигналов.

**Задание на выполнение лабораторной работы**

1. Подготовка к выполнению лабораторной работы.
  - 1.1. Запустить Mathworks Simulink. Выбрать создание новой модели (Blank Model). Открыть палитру компонентов (View → Library Browser).
  - 1.2. В каждой из трех моделей (для амплитудной, частотной и фазовой модуляции), которые будут реализованы в ходе работы, установить длительность моделирования равную одной секунде (поле ввода на панели).
2. Исследование амплитудной модуляции.
  - 2.1. Создать следующую схему двухсторонней амплитудной модуляции (сохранить модель с именем файла lab\_modulation\_am.slx), согласно рис. 1, используя следующие блоки:
    - Product (умножение), Scope (график), Mux (объединение сигналов в один), Sum (сумматор), Constant (константа);  
(*Simulink → Commonly Used Blocks*)
    - Abs (модуль);  
(*Simulink → Math Operations*)
    - Lowpass (пользовательская функция);  
(*DSP System Toolbox → Filtering → Filter Design*)
    - Sine Wave (генератор синусоидального сигнала), Out (выход модели).  
(*Simulink → Sources u Simulink → Sink*)

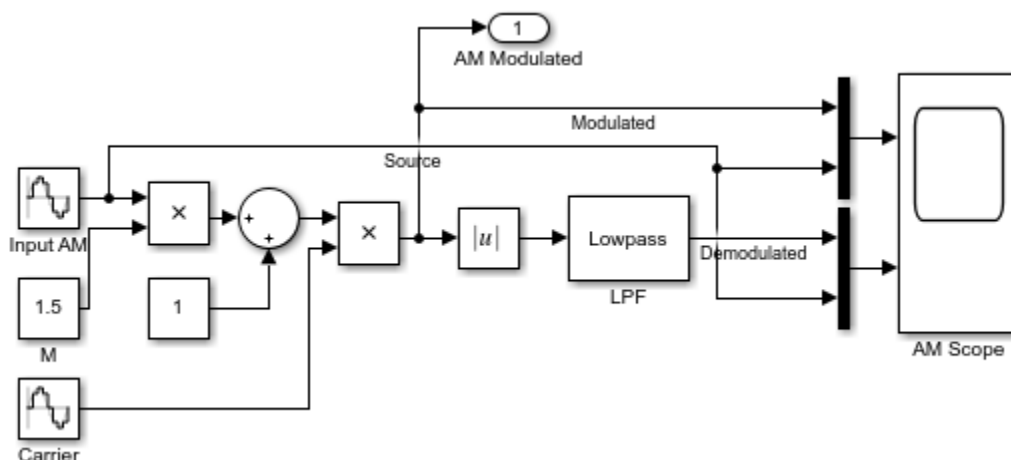


Рис. 1: Схема моделирования амплитудной модуляции

2.2. Подписать (текст под каждым компонентом) блоки модели, проводники (сигналы) согласно рис. 1.

*(для того, чтобы показать/скрыть названия блоков модели, можно кликнув правой кнопкой мыши по блоку, открыв контекстное меню, выбрать соответствующую опцию в разделе Format → Show Block Name)*

2.3. Настроить следующие параметры указанных ниже блоков, для этого дважды кликнуть на нужный элемент, после чего ввести соответствующие значения в нужные поля:

*(используем двойной клик для открытия окна параметров компонента модели)*

- Input AM:

- Sine type = Time based
- Time (t) = use simulation time
- Amplitude = 1
- Bias = 0
- Frequency =  $2 \cdot 2 \cdot \pi$
- Phase = 0
- Sampling Time = 0.0001

- Carrier:

- Sine type = Time based
- Time (t) = use simulation time
- Amplitude = 1
- Bias = 0
- Frequency =  $100 \cdot 2 \cdot \pi$
- Phase = 0
- Sampling Time = 0.0001

- LPF:

- Filter Type = FIR
- Passband edge frequency (Hz) = 0.1
- Stopband edge frequency (Hz) = 100
- Maximum passband ripple (dB) = 0.1
- Minimum stopband attenuation (dB) = 80
- Inherit sample rate from input = true

*(поставить галочку)*

- AM Scope

- в меню графика выбрать отображение двух вертикально расположенных графика (View → Layout, а затем соответствующий вариант расположения);
- поставить галочку для отображение легенды (View → Legend)

2.4. Провести моделирование созданной модели амплитудной модуляции (нажать зеленый значок на панели) при различных значениях параметра Constant Value блока

$M$  (коэффициент модуляции). В качестве значений коэффициента модуляции взять  $m = \{0, 0.5, 1.0, 1.5\}$ . В каждом случае сохранить вид графиков, получаемых в АМ Scope. Сделать выводы о влиянии коэффициента модуляции  $m$  на вид модулированного сигнала и возможность его демодуляции.

- 2.5. (БОНУС - 2) Реализовать алгоритм метода синхронного детектирования для демодуляции. Провести моделирование при  $m = 1$  и при различных значениях частоты несущего сигнала демодулятора (только демодулятора), а именно 95, 99, 100. Сделать выводы о влиянии на качество демодуляции величины отклонения частоты несущего сигнала демодулятора от частоты, заложенной при модуляции.

Примечание. Под алгоритмом понимается добавление в схему в Simulink блоков, реализующих математику метода синхронного детектирования, который рассматривался на лекциях.

### 3. Исследование частотной модуляции.

- 3.1. По аналогии с предыдущим пунктом задания, создать следующую схему частотной модуляции (сохранить модель с именем файла `lab_modulation_fm.slx`), согласно рис. 2, используя следующие дополнительные компоненты:

- Cumulative Sum (поточечное интегрирование);  
(*DSP System Toolbox* → *Math Functions* → *Math Operations*)
- Fcn (пользовательская функция);  
(*Simulink* → *User Defined Function*)
- FM Demodulator Passband (демодулятор).  
(*Communications System Toolbox* → *Modulation* → *Analog Passband Modulation*)

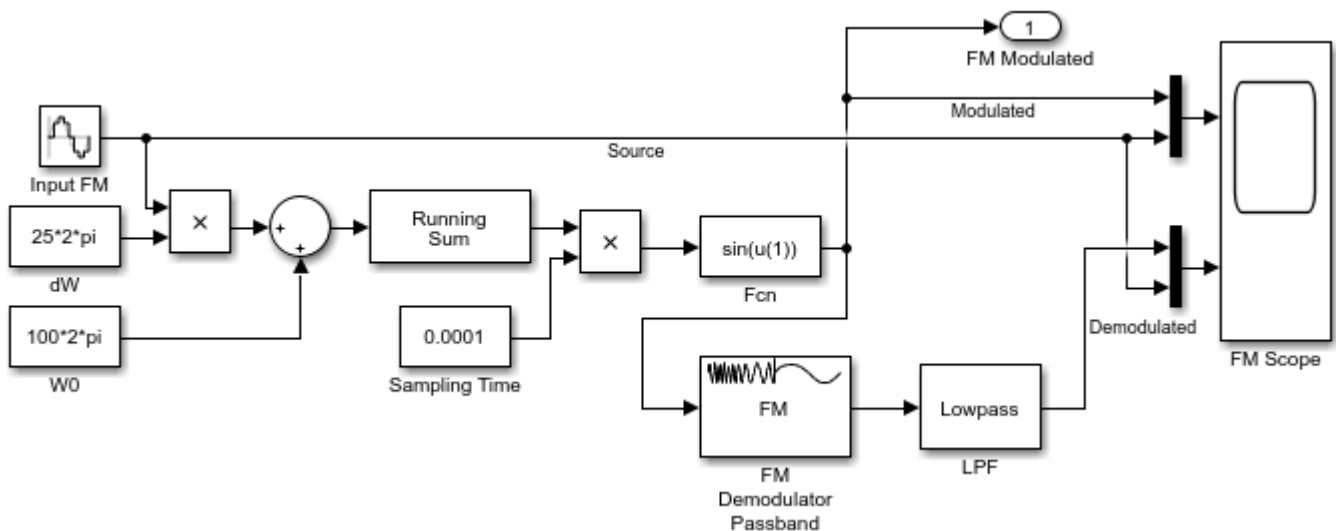


Рис. 2: Схема моделирования частотной модуляции

- 3.2. По аналогии с предыдущим пунктом задания, подписать блоки модели и проводники согласно рис. 2, и настроить следующие параметры указанных блоков модели:

- Input FM:

- Sine type = Time based
- Time (t) = use simulation time
- Amplitude = 1
- Bias = 0
- Frequency =  $2 \cdot 2 \cdot \pi$
- Phase = 0
- Sampling Time = 0.0001
- dW (Constant):
  - Constant Value =  $25 \cdot 2 \cdot \pi$
- Cumulative Sum:
  - Sum input along = Channels (running sum)
  - Input processing = Elements as channels (sample based)
  - Reset port = None
- W0 (Constant):
  - Constant Value =  $100 \cdot 2 \cdot \pi$
- FM Demodulator Passband:
  - Carrier frequency (Hz) = 100
  - Initial phase (rad) = 0
  - Frequency deviation (Hz) = 25
  - Hilbert transform filter order (must be even) = 100
- Sampling Time (Constant):
  - Constant Value = 0.0001
- Fcn:
  - Expression =  $\sin(u(1))$
- LPF:
  - Filter Type = FIR
  - Passband edge frequency (Hz) = 0.1
  - Stopband edge frequency (Hz) = 100
  - Maximum passband ripple (dB) = 0.1
  - Minimum stopband attenuation (dB) = 80
  - Inherit sample rate from input = true

*(поставить галочку)*
- FM Scope
 

*(настраивается аналогично AM Scope)*

3.3. Провести моделирование созданной модели частотной модуляции при различных значениях девиации частоты  $\Delta\omega = \{25, 50, 75, 100\}$  Гц. В каждом случае сохранить вид графиков, получаемых в FM Scope. Сделать выводы и влиянии величины девиации частоты  $\Delta\omega$  на вид модулированного сигнала и возможность его демодуляции.

Примечание. При изменении блока с девиацией частоты, требуется также изменить параметр Frequency Deviation в блоке FM Demodulator Passband (согласовать приемник и передатчик).

3.4. (БОНУС - 2) Реализовать алгоритм метода синхронного детектирования для демодуляции. Провести моделирование при  $\Delta\omega = 50$  Гц и при различных значениях частоты несущего сигнала демодулятора (только демодулятора), а именно 95, 99, 100. Сделать выводы о влиянии на качество демодуляции величины отклонения частоты несущего сигнала демодулятора от частоты, заложенной при модуляции.

Примечание. Под алгоритмом понимается добавление в схему в Simulink блоков, реализующих математику метода синхронного детектирования, который рассматривался на лекциях.

#### 4. Исследование фазовой модуляции.

4.1. По аналогии с предыдущим пунктом задания, создать следующую схему фазовой модуляции (сохранить модель с именем файла `lab_modulation_pm.slx`), согласно рис. 3, используя следующие дополнительные блоки:

- Digital Clock;  
(*Simulink  $\rightarrow$  Sources*)
- PM Demodulator Passband.  
(*Communications System Toolbox  $\rightarrow$  Modulation  $\rightarrow$  Analog Passband Modulation*)

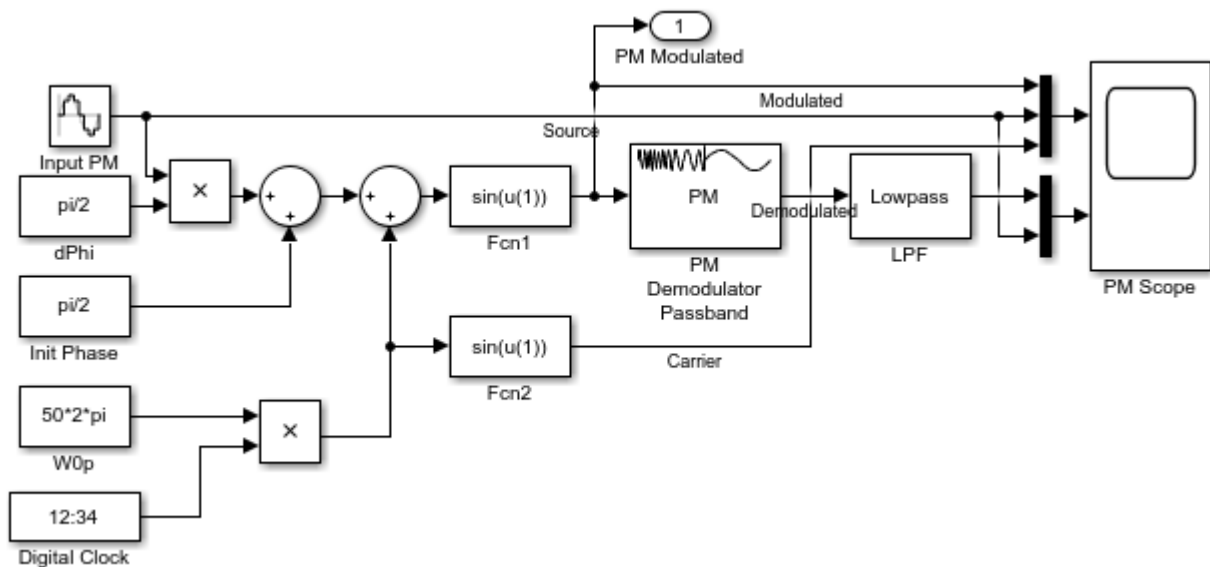


Рис. 3: Схема моделирования фазовой модуляции

4.2. По аналогии с предыдущим пунктом задания, подписать элементы модели согласно подписям на рис. 3 и проводники, показав где какой сигнал проходит. Настроить следующие параметры определенных компонентов модели, для чего дважды кликнуть на нужный элемент, после этого ввести соответствующие значения параметров в нужные поля, согласно списку:

- Input PM:
  - Sine type = Time based
  - Time (t) = use simulation time

- Amplitude = 1
- Bias = 0
- Frequency =  $2 \cdot 2 \cdot \pi$
- Phase = 0
- Sampling Time = 0.0001
- dPhi (Constant):
  - Constant Value =  $\pi/4$
- Init Phase (Constant):
  - Constant Value =  $\pi/2$
- W0p (Constant):
  - Constant Value =  $50 \cdot 2 \cdot \pi$
- Digital Clock:
  - Sample Time = 0.0001
- Fnc1 и Fnc2:
  - Expression =  $\sin(u(1))$
- LPF:
  - Filter Type = FIR
  - Passband edge frequency (Hz) = 0.1
  - Stopband edge frequency (Hz) = 100
  - Maximum passband ripple (dB) = 0.1
  - Minimum stopband attenuation (dB) = 80
  - Inherit sample rate from input = true
  - (поставить галочку)*
- PM Demodulator Passband:
  - Carrier frequency (Hz) = 50
  - Initial Phase (rad) = 0
  - Phase Deviation (rad) =  $\pi/4$
  - Hilbert transform filter order (must be even) = 100
- PM Scope
  - (настраивается аналогично AM Scope)*

4.3. Провести моделирование созданной модели фазовой модуляции при различных значениях девиации фазы  $\Delta\varphi = \{\pi, \pi/2, \pi/4\}$  радиан. В каждом случае сохранить вид графиков, получаемых в PM Scope. Сделать выводы о влиянии величины девиации фазы  $\Delta\varphi$  на вид модулированного сигнала и возможность его демодуляции.

Примечание. При изменении блока с девиацией фазы, требуется также изменить параметр Phase Deviation в блоке демодулятора.

## 5. Анализ амплитудных спектров модулированных сигналов.

5.1. Создать скрипт в Mathworks MATLAB с именем lab\_modulation.m в котором реализовать моделирование схем, созданных в Mathworks Simulink, а также получение

выходных сигналов. Другими словами, необходимо создать скрипт, который будет запускать процесс моделирования созданной в Simulink схемы, получать с нее выходные сигналы.

Примечание. Описание данного механизма моделирования приведено в конце задания.

- 5.2. Используя созданный скрипт, провести моделирование трех моделей (каждая соответствует одной из трех рассматриваемых видов модуляции), установив в исследуемого параметра (коэффициент модуляции, девиация частоты, девиация фазы) - наилучшее, т.е. обеспечивающие наилучшее качество передачи (учитывая практические аспекты). По полученным в результате моделирования модулированным сигналам построить три амплитудных односторонних спектра в Mathworks MATLAB на одном графике.
- 5.3. Сделать выводы о характере амплитудных спектров модулированных сигналов.
6. (БОНУС - 2) Исследование влияния помех в виде постоянной составляющей на демодуляцию сигнала.
  - 6.1. Реализовать в схеме каждого вида модуляции (механизм демодуляции не обязательно должен быть свой) добавление помехи к модулированному сигналу (т.е. постоянной составляющей). Провести моделирование каждой схемы с критическим параметром модуляции (например при коэффициенте модуляции равном 1 в случае амплитудной модуляции). Величину постоянной составляющей подобрать самостоятельно, которая наилучшим образом будет показывать характер изменений.
  - 6.2. Сделать выводы о влиянии постоянной помехи в модулированном сигнале на качество демодуляции.
7. (БОНУС - 4) Исследование влияния случайной помехи на демодуляцию сигнала.
  - 7.1. Реализовать в схеме каждого вида модуляции (механизм демодуляции не обязательно должен быть свой) добавление случайной помехи к модулированному сигналу (т.е. шума). Провести моделирование каждой схемы с критическим параметром модуляции (например при коэффициенте модуляции равном 1 в случае амплитудной модуляции). Добавляемый (аддитивный) шум должен иметь нормальное распределение, нулевое математическое ожидание и дисперсию равную 0.01. Значение дисперсии изначально взять 0.01, а затем подобрать самостоятельно так, чтобы наилучшим образом на графиках проявлялась проблема точной демодуляции.
  - 7.2. Сделать выводы о влиянии случайной помехи в модулированном сигнале на качество демодуляции.

## **Варианты сохранения графиков в Score в графические файлы**

1. В меню Score выбираем пункт меню File → Copy to Clipboard и затем вставляем картинку в любой графический редактор (черного фона не будет).
2. В меню Score выбираем пункт меню File → Print to Figure и затем уже в окне Figure выбираем пункт меню File → Save As и выбрав нужный формат сохраняем картинку (черный фон у области графика останется, если в фигуре не менять).
3. В меню Score выбираем пункт меню View → Style и устанавливаем нужные цвета.

### Примечание по настройке всех графиков в Score.

В открытом Score выбираем пункт меню View → Configuration Options, после чего обязательно подписываем все оси, согласно требованиям в отчете. Поскольку графика два, то чтобы подписать YLabel у каждого на вкладке Display нужно выбрать Active Display с соответствующим номером.



## Запуск моделирования и анализ данных из скрипта

Использование Simulink позволяет упростить процесс создания сложных моделей, состоящих из большого числа различных подсистем. При этом, процесс исследования этих систем с такой реализацией модели несколько усложняется, т.к., как правило, исследование заключается в изменении каких-то параметров системы и наблюдение за тем, как система работает. В сложных моделях в Simulink процесс изменения параметров весьма сложен и на него тратится много времени.

Для решения сложностей, связанных с модификацией модели в Simulink, можно использовать подход при котором в Simulink создается структура модели с параметрами задаваемыми по умолчанию, а настройка параметров модели для исследования, запуск процесса моделирования, получение и анализ данных осуществляется в скрипте MATLAB.

Для реализации этого подхода есть несколько способов. Первый заключается во включении в модель блоков Out, которые являются выходами системы. Сигналы, которые поступают на эти блоки после завершения процесса моделирования сохраняются в рабочей памяти (Wrokspace) MATLAB в переменной `yout`, также как и вектор соответствующих значений времени `tout`. В общем виде скрипт, который реализует этот подход выглядит следующим образом:

```
open('model');  
set_param( ... );  
sim('model');
```

Функция `open()` открывает модель с именем “model” (сохраненной с расширением .slx) в Simulink. Без открытия модели описанный выше подход работать не будет. Функция `set_param()` позволяет настраивать параметры модели и ее подсистем. Для получения текущих значений параметров или всего списка параметров какого-то объекта можно использовать функцию `get_param()`. Функция `sim()` реализует непосредственное моделирование модели с именем “model”.

Переменная `yout` имеет сложную структуру, где обращение к данным можно осуществить следующим образом, где `l` указывает на номер порта выхода в модели Simulink:

```
yout{1}.Values.Data
```

Результатом будет сигнал в виде вектора-столбца (для скалярного случая) и матрица-столбец в векторном случае (многомерный сигнал). Вектор времени можно получить либо в переменной `tout`, либо используя:

```
yout{1}.Values.Time
```

Существуют и другие способы решения описанной выше задачи. Каждый обладает своими достоинствами и недостатками.

### **Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы**

1. Как влияет величина коэффициента модуляции на вид модулированного сигнала и на возможность демодуляции?
2. Как влияет величина девиации частоты на вид модулированного сигнала и на возможность демодуляции?
3. Как влияет величина девиация фазы на вид модулированного сигнала и на возможность демодуляции?
4. В чем достоинства и недостатки амплитудной модуляции?
5. В чем заключается метод двухпериодного детектора в качестве демодуляции амплитудно-модулированного сигнала и частотно-модулированного сигнала?