

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## «СОГЛАСОВАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ»

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Изучение результатов прохождения известных сигналов на фоне белого шума через согласованный фильтр; сравнение характеристик сигналов на входе и выходе фильтра.

### **КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:**

Борьба с шумами и помехами является одной из наиболее важных задач во многих областях радиотехники. Обеспечить высокую помехоустойчивость систем передачи информации можно разными путями. Например, создают такие устройства для обработки сигналов, которые некоторым наилучшим образом выделяют сигнал, искаженный присутствием помехи. Другой путь заключается в совершенствовании структуры передаваемых сигналов, использовании помехоустойчивых способов кодирования и модуляции. Примерами таких сигналов служат коды Баркера и сигналы с линейной частотной модуляцией. Напомним, что эти сигналы (коды Баркера, сигналы с линейной частотной модуляцией, а также М-последовательности) являются сложными, так как база сигнала В значительно больше единицы:

$$B = \Delta f \Delta t \gg 1 , \quad (*)$$

в то время как для простых сигналов

$$\Delta f \Delta t \approx 1 \quad (**)$$

( $\Delta t$  -длительность импульса;  $\Delta f$  -ширина спектра).

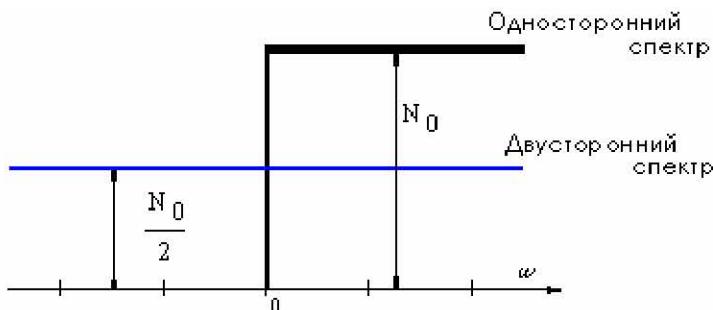
(В частности, для прямоугольного видеоимпульса  $\Delta f \approx \frac{1}{\tau_u}$ ,  $\Delta t = \tau_u$  и,

следовательно, выполняется условие (\*\*)).

Для задачи обнаружения сигналов в шумах наибольшее распространение получил критерий максимума отношения сигнал – помеха на выходе фильтра. Требования к фильтру, максимизирующему отношение сигнал-помеха, можно сформулировать следующим образом. На вход линейного четырехполюсника с постоянными параметрами и передаточной функцией  $K(iw)$  подаётся аддитивная смесь сигнала  $S(t)$  и шума  $n(t)$ . Сигнал полностью известен; это означает, что заданы его форма и положение на оси времени. В качестве модели шума, на фоне которого наблюдается сигнал, обычно берётся так называемый *белый шум*. Под белым шумом понимаем гауссовский случайный процесс  $\xi(t)$  с нулевым математическим ожиданием и дельтаобразной корреляционной функцией. Спектральная плотность белого шума

$$W(w) = \frac{N_0}{2} .$$

Таким образом, графически спектральная плотность белого шума представляет собой неограниченную прямую, параллельную оси частот.



▲ Рис.1

Требуется синтезировать фильтр, обеспечивающий получение на выходе наибольшего возможного отношения пикового значения сигнала к среднеквадратическому значению шума. При этом не ставится условие сохранения формы сигнала, так как для обнаружения его в шумах *форма значения не имеет*.

Таким образом, задача сводится к отысканию оптимальной (в смысле максимума отношения сигнал/шум) передаточной функции  $K(iw)$ .

Решение данной задачи приводит к результату:

$$K(iw) = A \cdot S^*(w) \cdot e^{-iwt_0}$$

**(1) частотный  
коэффициент передачи  
согласованного фильтра**

Полученное соотношение полностью определяет передаточную функцию фильтра, максимизирующую отношение сигнал/помеха. Данное равенство означает, что амплитудно-частотная характеристика согласованного фильтра совпадает с амплитудно-частотным спектром полезного сигнала. Множитель пропорциональности "A" определяет уровень усиления или ослабления, вносимого фильтром.  $S^*(w)$  - функция, комплексно-сопряженная спектральной плотности сигнала  $S(t)$ . Сомножитель  $e^{-iwt_0}$  описывает смещение выходного отклика фильтра по оси времени на величину  $t_0$

( $t_0$  - соответствует моменту окончания импульса).

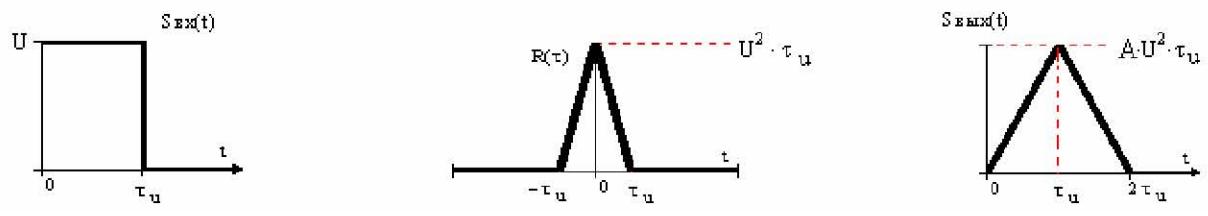
Итак, функция  $K(iw)$ , отвечающая данному условию (1), согласована со спектральными характеристиками сигнала – амплитудной и фазовой. В связи с этим рассматриваемый оптимальный фильтр называют *согласованным*.

Сигнал на выходе согласованного фильтра с точностью до постоянного коэффициента совпадает с корреляционной функцией входного сигнала.

Следовательно, пиковое значение сигнала

$$S_{\text{вых}}(t_0) = A \cdot R(0) = A \cdot E$$

**(2)**



▲ Рис.2 а)

б)

в)

Построение сигнала на выходе фильтра, согласованного с прямоугольным импульсом.  
а) – сигнал на входе; б) – его автокорреляционная функция; в) – сигнал на выходе СФ.

Отношение пика сигнала к среднеквадратическому значению помехи на выходе согласованного фильтра определяется равенством

$$S_{вых}(t_0) / \sigma_{вых} = \sqrt{2 * E / N_0} \quad (3)$$

Таким образом, отношение сигнал-шум на выходе согласованного фильтра определяется *отношением энергии полезного сигнала "E" к спектральной плотности мощности шума "N\_0 / 2"* и не зависит от формы сигнала.

Отметим, что максимальное отношение сигнал-шум на выходе согласованного фильтра достигается в момент окончания сигнала ( $t=t_0$ ).

Коэффициент сжатия, обеспечиваемый согласованным фильтром (для сложных сигналов),

$$K_{сж} = \frac{\tau_u}{\tau_{вых}} \quad (4)$$

### ЗАДАНИЕ

Вам предлагается подробно изучить преобразование двух зашумленных сигналов в согласованном фильтре в соответствии с номером Вашего варианта. **Перед началом выполнения основного задания** Вам рекомендуется изучить работу фильтра, согласованного с **прямоугольным видеоимпульсом**. Вам нужно посмотреть, как меняется выходной сигнал при изменении длительности импульса ( $\tau/2$ ,  $\tau$ ,  $2\tau$ ). Зарисовать осциллограммы для **выходного сигнала**. (Также, здесь можно варьировать такие параметры, как **начальный момент импульса**, **амплитуда импульса**.) Подумайте, как нужно изменить передаточную функцию фильтра, чтобы он был согласован с сигналом данной длительности. Затем можно переходить к **выполнению основного задания**.

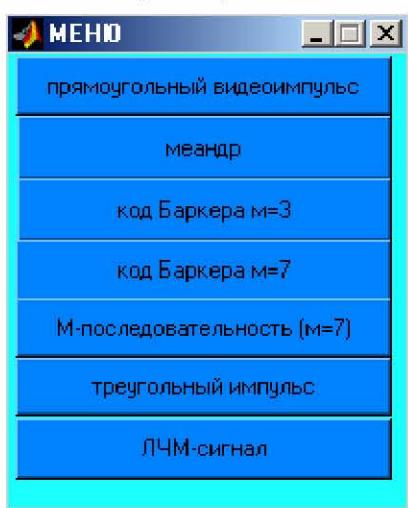
№ ВАРИАНТА	ВИД СИГНАЛА	$\beta$	УРОВЕНЬ ШУМА	АМПЛИТУДА СИГНАЛА	ДЛЯТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА
1	<b>Код Баркера <math>m=3</math></b>	-	0.01 – 0.7	3	6
	<b>меандр</b>	-	0.001 – 0.7	2	9
2	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.1 – 2.5	15	5
	<b>M-последовательность</b>	-	0.23 – 9	10.7	7
3	<b>Код Баркера <math>m=7</math></b>	-	0.03 – 0.5	4	7
	<b>меандр</b>	-	0.01 – 0.5	3.5	8
4	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	0.7	0.0002 – 0.0025	1	10
	<b>M-последовательность</b>	-	0.0007 – 0.05	0.714	14
5	<b>Код Баркера <math>m=3</math></b>	-	0.04 – 2.5	9	7
	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	1	0.011 – 0.05	7	9
6	<b>Код Баркера <math>m=7</math></b>	-	0.1 – 3	8	14
	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	1.2	0.0017 – 0.017	2.5	5.12

7	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.03 – 4	12	5
	<b>меандр</b>	-	0.012 – 3.5	6	10
8	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	1	0.0001 – 0.008	1.4	5
	<b>М-последовательность</b>	-	0.001 – 0.07	1	7
9	<b>Код Баркера m=7</b>	-	0.0005 – 0.31	2	16
	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.003 – 0.7	4	8
10	<b>Код Баркера m=3</b>	-	0.002 – 0.5	3	9
	<b>М-последовательность</b>	-	0.019 – 0.9	5.4	5
11	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	2	0.015 – 0.15	8	5
	<b>меандр</b>	-	0.001 – 1.35	5	8
12	<b>Код Баркера m=3</b>	-	0.0001 – 0.06	1	16
	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.0001 – 0.12	1.6	10
13	<b>Код Баркера m=7</b>	-	0.016 – 5	7	11
	<b>М-последовательность</b>	-	0.044 – 9	11	7
14	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	1.5	0.001 – 0.1	9	10
	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.0016 – 5	10	9
15	<b>Код Баркера m=3</b>	-	0.02 – 6	6	8
	<b>меандр</b>	-	0.01 – 1	4	12
16	<b>Код Баркера m=7</b>	-	0.005 – 1	3	7
	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	2	0.0001 – 0.01	2.1	10
17	<b>Код Баркера m=3</b>	-	0.002 – 0.5	2	9
	<b>М-последовательность</b>	-	0.002 – 1.5	3	6
18	<b>Код Баркера m=3</b>	-	0.01 – 2.2	7	10
	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.0016 – 2	5	14
19	<b>Код Баркера m=7</b>	-	0.006 – 0.7	3.5	14
	<b>М-последовательность</b>	-	0.01 – 3.3	7	7
20	<b>ЛЧМ-сигнал</b>	0.9	0.013 – 0.13	12	5

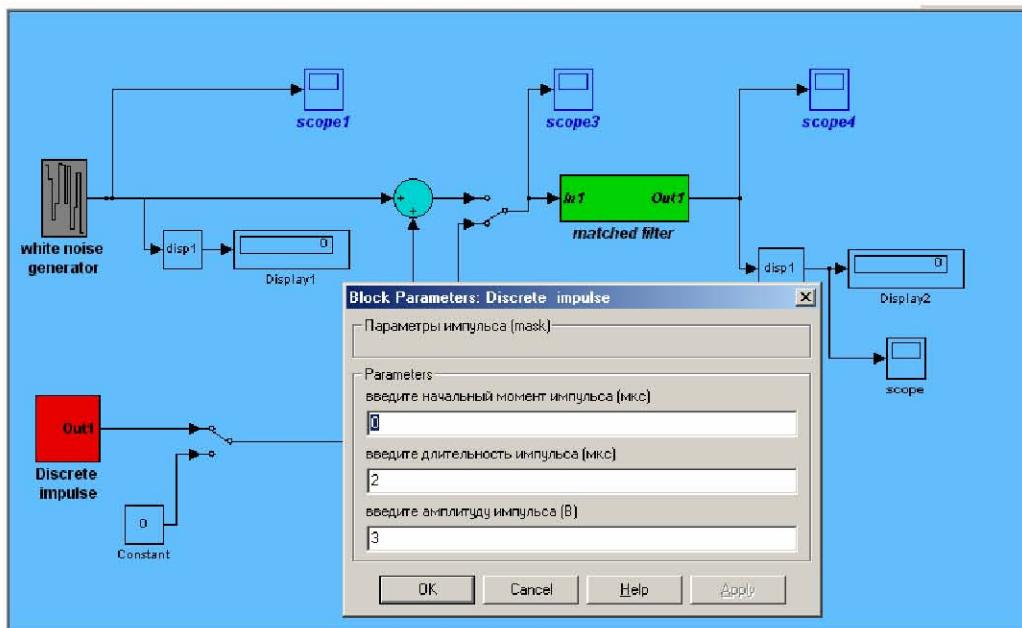
	<b>Код Баркера m=3</b>	-	0.02 – 0.9	5	12
21	<b>Треугольный импульс</b>	-	0.01 – 2	6	9
	<b>меандр</b>	-	0.003 – 1	3	18

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

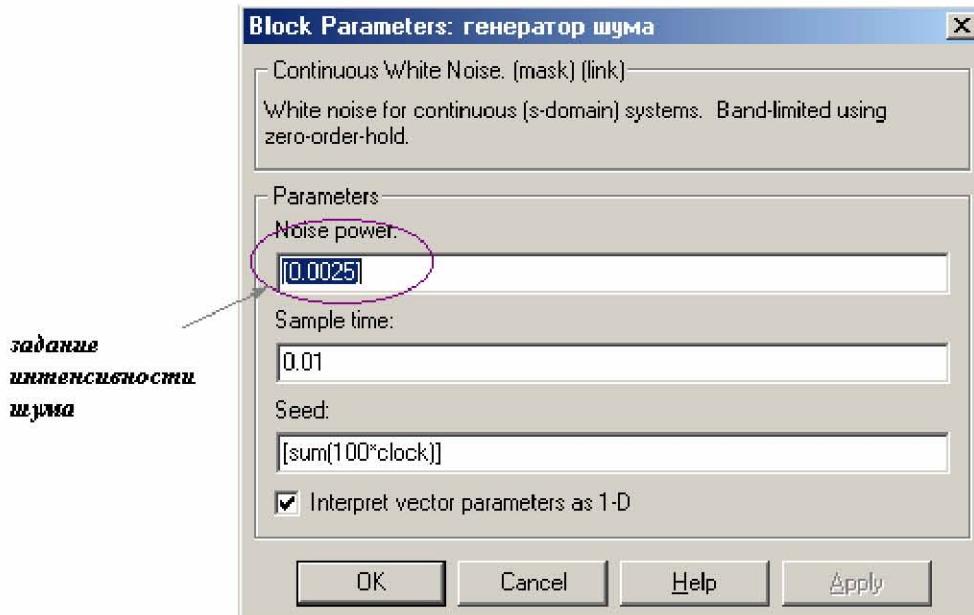
- Запустите пакет **MATLAB**;
- В командном окне (Command Window) наберите **lab12** и нажмите **Enter**;
- В появившемся **меню** нажмите кнопку, соответствующую выбранному Вами входному сигналу. (См. рис.3);
- Для того, чтобы внести изменения каких-либо параметров (амплитуды сигнала, скорости линейного изменения частоты внутри импульса ( $\beta$ ), уровня шума) нужно дважды щёлкнуть левой клавишей мыши по соответствующему блоку, после чего появится меню. [См. рис.4, рис.5];
- Теперь можно запустить модель, нажав кнопку **Start Simulation** (см. рис.6);



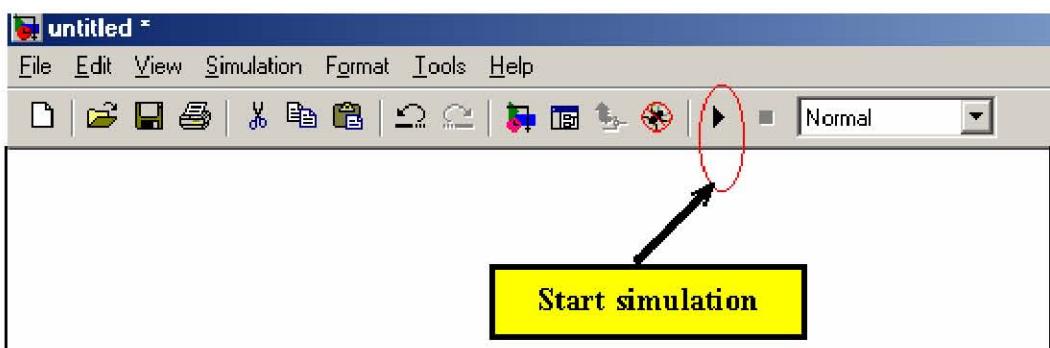
▲ Рис.3



▲ Рис.4

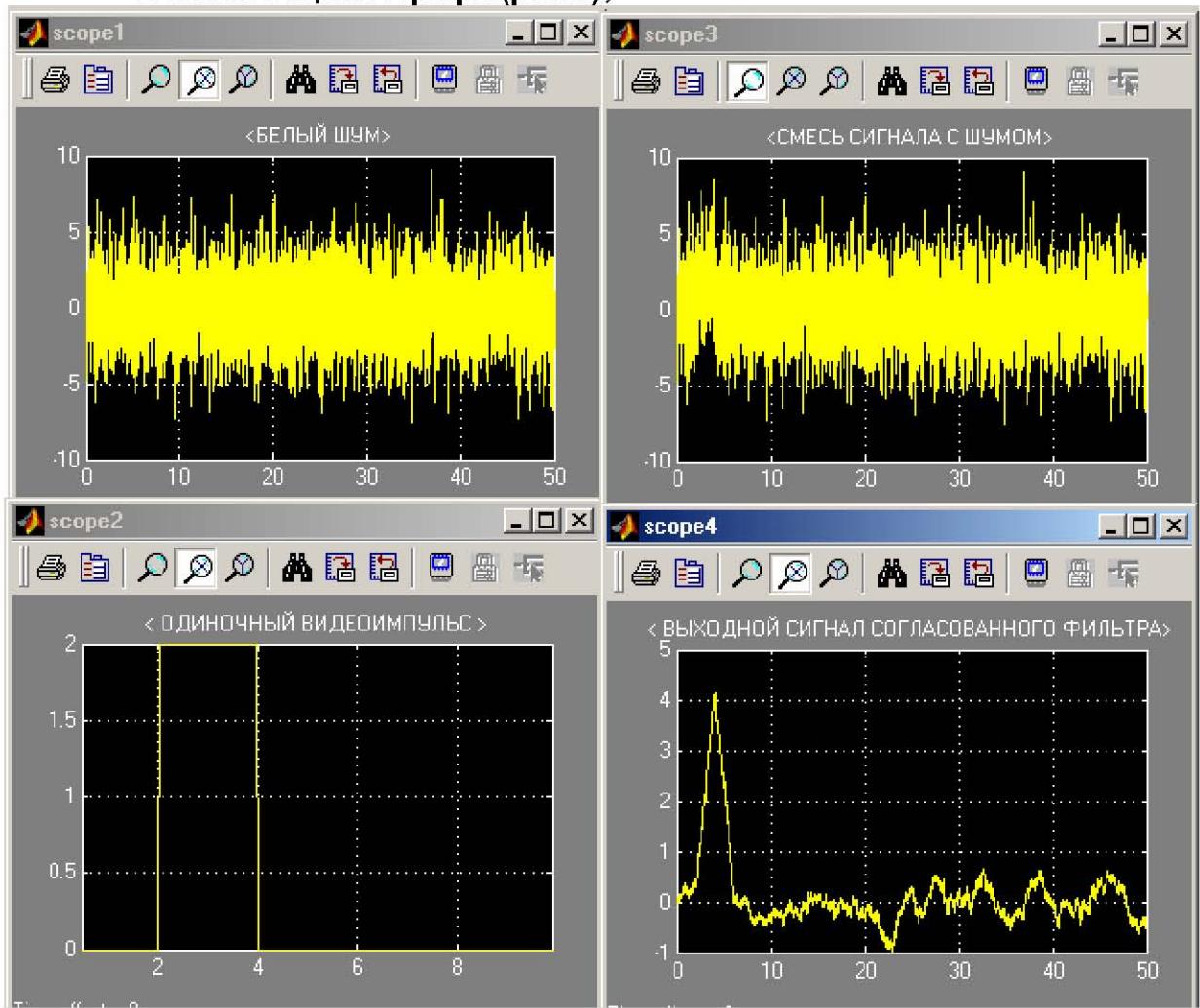


▲ Рис.5



▲ Рис.6

- В процессе работы можно наблюдать входной и выходной сигналы в окнах осциллографа (рис.6);



▲ Рис.6

- ⇒ Не забывайте, что при внесении каких-либо изменений в модель (изменение длительности импульса, интенсивности шума и т.п.) каждый раз нужно **заново запускать** модель с новыми параметрами.
- ⇒ Графики могут быть неправильно масштабированы, для приведения их кциальному виду нужно: установить курсор на график, щелкнуть правой клавишей мыши и в контекстном меню выбрать «**Autoscale**»

**ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОСНОВНОГО ЗАДАНИЯ ОСУЩЕСТВИТЕ СЛЕДУЮЩЕЕ:**

- ⇒ Изобразите структуру согласованного фильтра (см. схему модели);
- ⇒ Запишите выражения для коэффициента передачи согласованного фильтра (для исследуемого Вами сигнала);

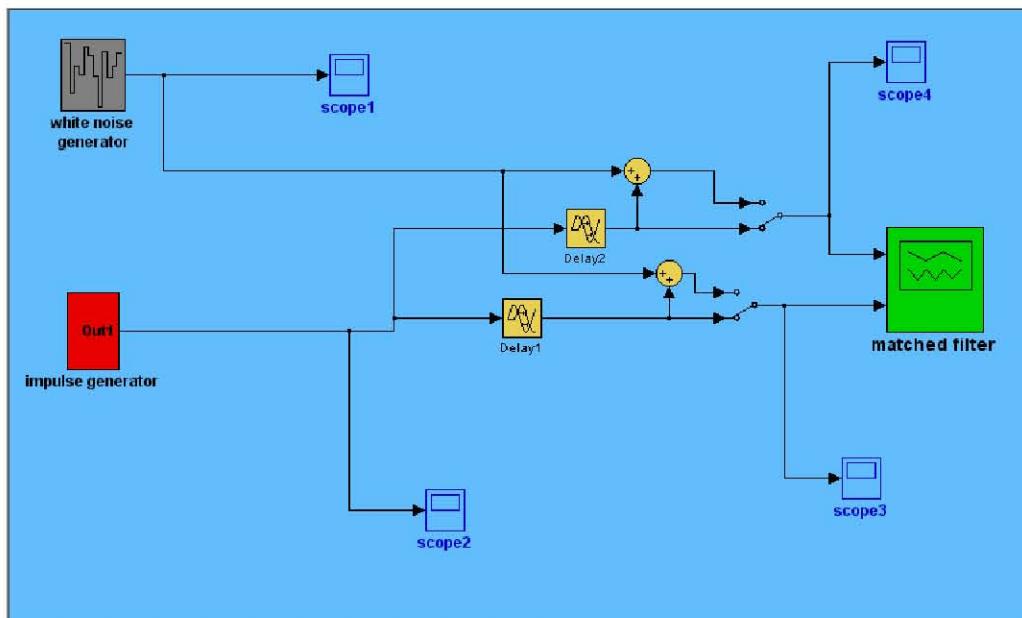
- ⇒ Подайте на вход фильтра сигнал без шума (следите за положением переключателя);
  - ⇒ Зарисуйте осцилограммы входного и выходного сигналов;
  - ⇒ Подайте на вход согласованного фильтра сумму сигнала и стационарного белого гауссова шума. Зарисуйте выходные осцилограммы для 2-ух значений шума (сигнал на фоне сильного и слабого шумов);
  - ⇒ Постройте (по 10 значениям из указанного в таблице диапазона) зависимость отношения сигнал/шум на выходе фильтра от отношения сигнал/шум на входе фильтра;
- (Значения дисперсии шума Вам укажут блоки “Display1”, “Display2” – см. рис. 4)**

$q_{in} = \sqrt{S^2 / \sigma_{in}^2}$  - отношение сигнал/шум на входе фильтра;

$q_{out} = \sqrt{E / \sigma_{out}^2}$  - отношение сигнал/шум на выходе фильтра;

- ⇒ Используя формулу (2), определите пик сжатого сигнала. Сравните со значением на осцилограмме;
- ⇒ Для сложных сигналов определить коэффициент сжатия [формула (4)];
- ⇒ Проанализируйте полученные результаты.

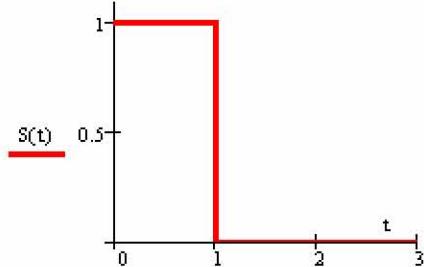
#### ВИД СХЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЧМ-СИГНАЛА.



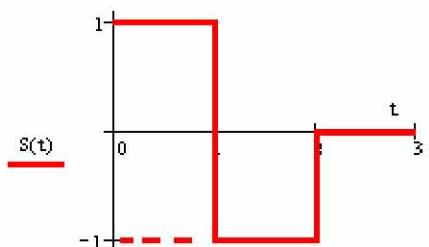
▲ Рис.5

## МОДЕЛИ СИГНАЛОВ.

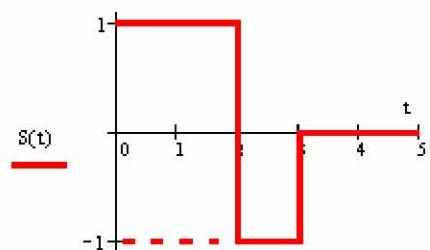
### (1) ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ВИДЕОИМПУЛЬС



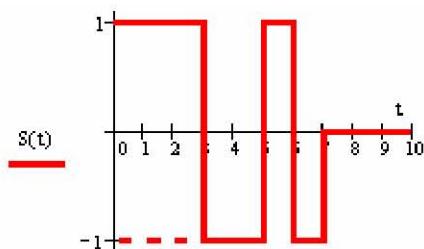
### (2) МЕАНДР



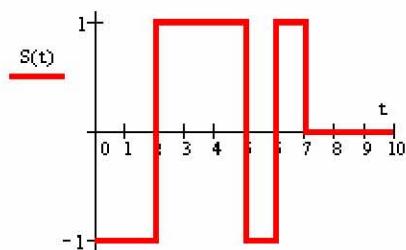
### (3) КОД БАРКЕРА (число позиций $m=3$ )



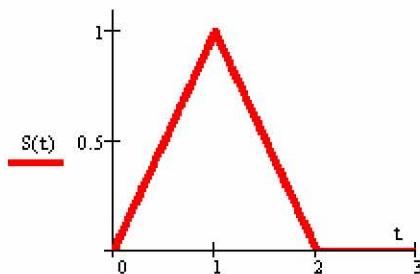
### (4) КОД БАРКЕРА (число позиций $m=7$ )



### (5) М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ (число позиций $m=7$ )



#### (6) ТРЕУГОЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС



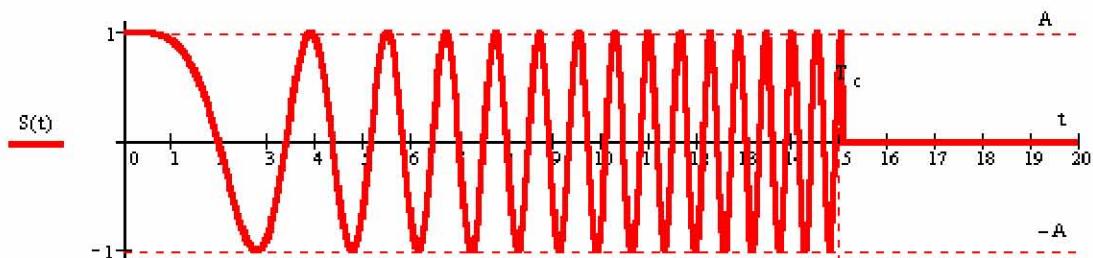
#### (7) ЛЧМ ИМПУЛЬС (импульс с линейной частотной модуляцией)

$$S(t) = A \cos(\omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2})$$

А-амплитуда ЛЧМ сигнала;

$\omega_0$  -несущая частота;

$\beta$  - скорость линейного изменения частоты внутри импульса;



#### ЛИТЕРАТУРА:

1. С. И. Баскаков “Радиотехнические цепи и сигналы”, Москва «Высшая школа» 2000
2. И. С. Гоноровский “Радиотехнические цепи и сигналы”, Москва «Радио и связь» 1986
3. Ю. Г. Сосулин “Теоретические основы радиолокации и радионавигации” учебное пособие для высших учебных заведений, Москва «Радио и связь» 1992