

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Моделирование работы согласованного фильтра по распознаванию
зашумленных сигналов**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 421 группы
направления 03.03.03 «Радиофизика»
физического факультета
Александрова Юрия Сергеевича

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор

_____ А.В. Шабунин

Зав. кафедрой
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.С. Анищенко

Саратов 2017 год

Введение

Темой курсовой работы является моделирование работы согласованного фильтра по распознаванию зашумленных сигналов. Согласованный фильтр широко используется в системах радиосвязи, системах передачи и в радиолокации в тех случаях, когда достаточно определить наличие или отсутствие сигнала без, непосредственно, выделения самого сигнала из шума.

Предметом исследования работы является прохождение сигнала через зашумлённый канал связи. Так как этот аспект достаточно хорошо изучен, то приоритетной **целью этой работы** стало моделирование прохождения зашумлённого сигнала через фильтр, согласованный с некоторым известным сигналом, то есть сигналом без шума, для последующего применения разработанной модели в лабораторных работах. Конечная программа должна позволять задавать форму импульсного сигнала, моделировать прохождение через зашумлённый канал связи, распознавать наличие исходного сигнала в зашумлённом и определять количество ошибок распознавания сигнала. Так как построенная в ходе работы модель согласованного фильтра предполагает многократное использование, то в цели работы так же входит аккуратный, удобный и понятный интерфейс и возможность регулировки некоторых важных параметров системы.

После создания программы необходимо провести исследование работы фильтра при различных значениях интенсивности шума и для сигналов с узким и широким спектрами. Для выполнения поставленных задач была выбрана среда программирования Labview, которая превосходно подходит для создания компьютерных лабораторных работ и наглядной демонстрации полученных результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Краткие теоретические сведения. Согласованный фильтр является частным случаем оптимального фильтра для канала с абсолютным белым гауссовым шумом и представляет собой линейное устройство с импульсным откликом в виде зеркального отображения сигнала:

$$h(t) = k * s(T - t),$$

Где T- длительность сигнала

k- коэффициент пропорциональности.

Фильтр называется согласованным из-за того, что его структура определённым образом соответствует форме сигнала. Согласованный фильтр как некоторое устройство имеет два входа и один выход. На первый вход подаётся исходный, ” чистый” сигнал без искажений и шума – сигнал, с которым фильтр согласован. На второй вход подаётся сигнал, прошедший через канал связи. На выходе фильтр выдаёт авто корреляционную функцию входного сигнала. Эта функция высчитывается по формуле:

$$r(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(\theta)h(t - \theta)d\theta$$

Где r(t)- реакция фильтра

θ - длительность сигнала

s(θ)- входной сигнал

h(t – θ)- импульсная характеристика

Отношение сигнал- шум или SNR, наряду с шумовыми характеристиками, - ключевой параметр любого радиоприёмного устройства, так как оно является характеристикой чувствительности этого устройства. Поэтому это отношение имеет первостепенную важность для всех устройств от простых радиопередающих до используемых в сотовой и беспроводной связи. Чем больше соотношение сигнала к шуму, тем лучше чувствительность радиоприёмного устройства и тем легче различить наличие сигнала.

Отношение сигнал-шум – это отношение между полезным сигналом и нежелательным шумом. Вычислять это отношение может как отношения мощностей сигнала и шумового сигнала или же как отношения

среднеквадратичных значений амплитуды сигнала и шума. Наиболее часто используется выражение через децибелы.

$$SNR = \frac{P_{\text{сигнала}}}{P_{\text{шума}}}$$

Где P- мощность

$$SNR = \frac{A_{\text{сигнала}}^2}{A_{\text{шума}}^2}$$

Где A- среднеквадратичное значение амплитуды

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{сигнала}}}{P_{\text{шума}}} = 20 \log_{10} \frac{A_{\text{сигнала}}}{A_{\text{шума}}}$$

На отношение сигнал-шум влияют не только уровень сигнала и шума, но и некоторые другие факторы, такие, как пропускная способность приёмника. Чем шире полоса пропускания, тем выше уровень шума, а значит меньше отношение сигнал-шум.

Для выполнения поставленных задач, то есть создание модели согласованного фильтра, среда графического программирования Labview наиболее подходит и выделяется множеством достоинств, по сравнению с аналогами. Labview является самой понятной и простой средой для выполнения множества разнообразных задач в областях физики и математики, так как изначально эта среда разрабатывалась специально для инженеров и учёных. К этим задачам относятся математические операции начиная с самых простых и заканчивая операциями интегрирования и дифференцирования, моделирование сигналов и последующая работа с ними, возможность работы с реальными сигналами и наглядная демонстрация полученных результатов, возможность программирования с использованием языка Matlab и использование уже готовых виртуальных приборов.

Интерфейс программы состоит из двух окон: первое окно- фронтальная панель отображает результаты всех действий, сделанных в программе, а во втором окне, блок диаграмме, задаются все команды, нужные для выполнения поставленной цели.

Основной частью исследуемой системы является согласованный фильтр. Для его моделирования используется реакции фильтра, которая представляет собой интеграл свёртки входного сигнала и импульсной характеристики сигнала, который согласует фильтр.

После прохождения сигнала через согласованный фильтр, необходимо найти отношение сигнал шум для выходного сигнала, то есть, по своей сути, для АКФ. После установления критического значения отношения сигнал-шум, необходимо будет подсчитать ошибку возникающую в результате распознавания ложного сигнала и глушение нужного сигнала. Для этого необходимо в случайном порядке подавать искомый сигнал и нулевой и суммировать сколько раз на выходе фильтр ошибся:

$$\sigma = \frac{n}{N} \quad (2.1)$$

Где n- число ошибок из N результатов.

Результаты проведенных исследований.

В задаче моделирования фильтра было поставлено несколько условий - это задание импульсных сигналов, которые будут проходить через фильтр, зашумление сигнала перед подачей его в согласованный фильтр, прохождение зашумлённого сигнала через фильтр, распознавание сигнала в шуме и подсчёт ошибки распознавания.

Для наглядного рассмотрения всех свойств согласованного фильтра лучше всего подходят для рассмотрения два типа сигналов- это прямоугольный импульс и сигнал с линейной частотной модуляцией или ЛЧМ сигнал.

Первый тип, прямоугольный импульс, хорошо подходит в качестве сигнала с узким спектром и является наглядной, так как обладает “простой”, треугольной функцией на выходе согласованного фильтра. Амплитуда импульса всегда равна 1, ширина определяется как десятая часть от всей реализации, а задержка определяется случайный образом при запуске программы.

Второй тип, ЛЧМ-сигнал, позволяет провести исследование согласованного фильтра относительно рабочей полосы частот, так как рабочая

полоса частот ЛЧМ- сигнала расширяется при увеличении разницы между несущей и модулирующей частотами. Данные реализации были получены в ходе работы. Частота несущей по умолчанию выставлена равной 0.1, а ручка на фронтальной панели задаёт значение, которое прибавится к несущей частоте. Также в работе была сделана возможность задавать собственный импульсный код из 10 символов, который можно исследовать, как и первые два сигнала.

Для моделирования работы согласованного фильтра необходимо, чтобы входной сигнал подвергался шумовому воздействию. Для этого к исходному сигналу прибавляется белый гауссов шум, интенсивность которого можно регулировать на фронтальной панели Labview.

При прохождении $s(\theta)$ через фильтр на выходе получается автокорреляционная функция сдвинутая на длительность сигнала.

Для распознавания сигнала подсчитывается и сравнивается с критическим значением отношение сигнала к шуму. Если это отношение меньше критического, то считается, что сигнал в шуме отсутствует, а если больше- то сигнал присутствует.

На фронтальной панели Labview присутствует возможность задавать критическое значение SNR для проведения исследований и определения оптимального значения.

При увеличении интенсивности шума значение SNR будет падать, часть шумовых сигналов будет проходить критическое значение и приниматься за истинный сигнал, а часть истинных сигналов, в силу их зашумлённости, будут глушиться фильтром. Поэтому для определения оптимального значения критического SNR находится ошибка распознавания.

Для подсчёта ошибки распознавания в работы было добавлено устройство, при включении которого прибор случайным образом подаёт на вход либо заданный сигнал, либо нулевой. Таким образом, это позволяет определять сколько раз из заданного количества итераций, фильтр неверно определил наличие сигнала. Данная ошибка была разделена для удобства и наглядности на две: первая показывает сколько раз шумовой сигнал принимался за истинный, а вторая – сколько раз истинный сигнал глушился фильтром. Обе ошибки считаются как отношение ошибочных результатов к общему числу результатов. На фронтальной панели Labview, после прохождения всех итераций, выводится обе описанные выше ошибки и их суммарная ошибка в процентах.

Далее будут описаны все функции доступные на фронтальной панели прибора. Описание ведётся с лева на право и сверху вниз.

Меню “signal type” позволяет пользователю выбирать тип исследуемого сигнала- прямоугольный импульс, ЛЧМ сигнал или собственный сигнал. Каждая панель в “Custom properties” задаёт одну точку для собственного сигнала, всего 10 точек.

Переключатель “Random signal process” позволяет включать и выключать случайную подачу нулевого и импульсного сигналов, необходимую для подсчёта ошибок.

Рукоять “Frequency width” позволяет регулировать разность частот ЛЧМ сигнала и ширину его спектра.

Рукоять “Noise amplitude” регулирует интенсивность шума.

Индикатор “SNR” показывает отношение сигнал шум на выходе фильтра в децибелах.

Переключатель “Error counting” включает и выключает прохождение программы через N итераций, необходимые для подсчёта ошибок.

Панель “Number of iterations” позволяет задавать число итераций N.

Индикатор “ Iteration number” показывает номер текущей итерации.

Панель “Threshold value SNR” позволяет устанавливать критическое значение SNR.

Индикатор “ Noise transmission ” показывает ошибку принятия шумового сигнала за истинный.

Индикатор “ Signal suppression ” показывает ошибку глушения истинного сигнала фильтром.

Между двумя индикаторами показывается суммарная ошибка в процентах.

Графический индикатор “Transmitter Signal” выводит на экран исходный сигнал без шумового воздействия.

Графический индикатор “Transmitter Signal Spectrum” показывает спектр исходного сигнала.

Графический индикатор “Noised Signal” выводит зашумлённый сигнал.

Графический индикатор “Noised Signal Spectrum” показывает спектр зашумлённого сигнала.

Графический индикатор “ Output of matched filter ” выводит сигнал, полученный на выходе согласованного фильтра.

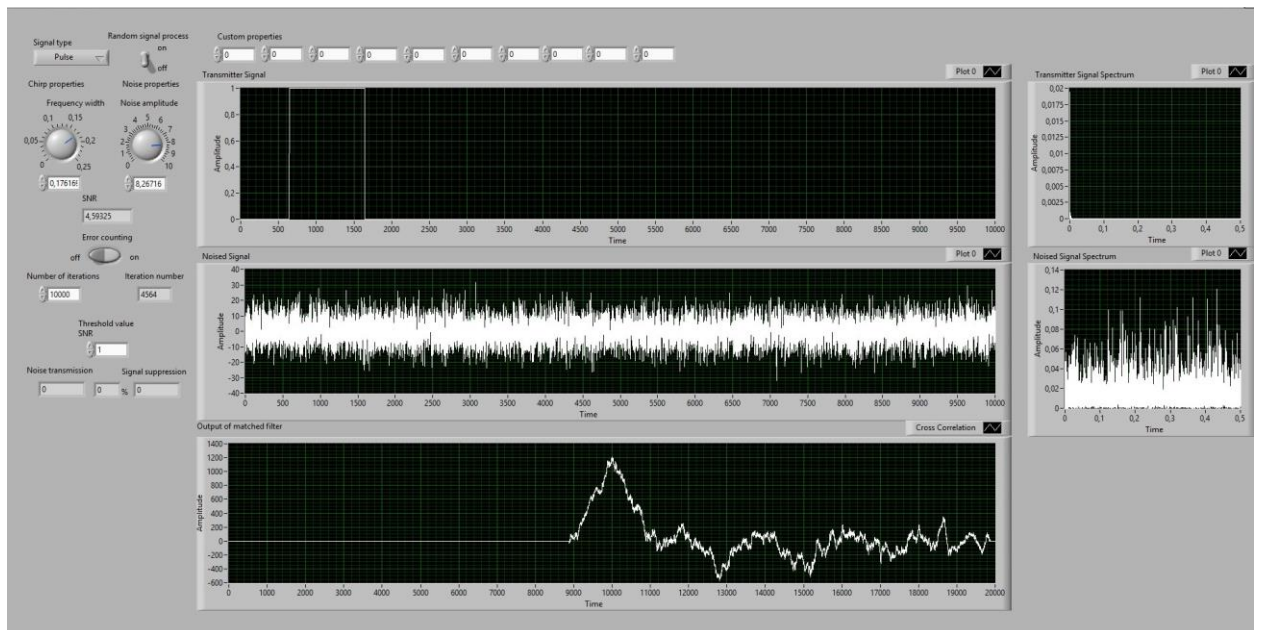


Рисунок 1

Таким образом, сделанная лабораторная установка позволяет проводить исследование согласованного фильтра в нескольких направлениях.

Для определения оптимального значения критического SNR необходимо провести анализ ошибки при варьировании значения критического SNR. После этого были построены два графика, рисунки 2 и 3, для прямоугольного импульса и ЛЧМ сигнала соответственно. На каждом графике определялась точка пересечения двух ошибок, значение SNR в этой точке и принималось за оптимальное. Для прямоугольного импульса это значение составило 3.4, а для ЛЧМ сигнала с шириной полосы 0.05- 1.85. Исследования проводились при амплитуде шума равной 5.

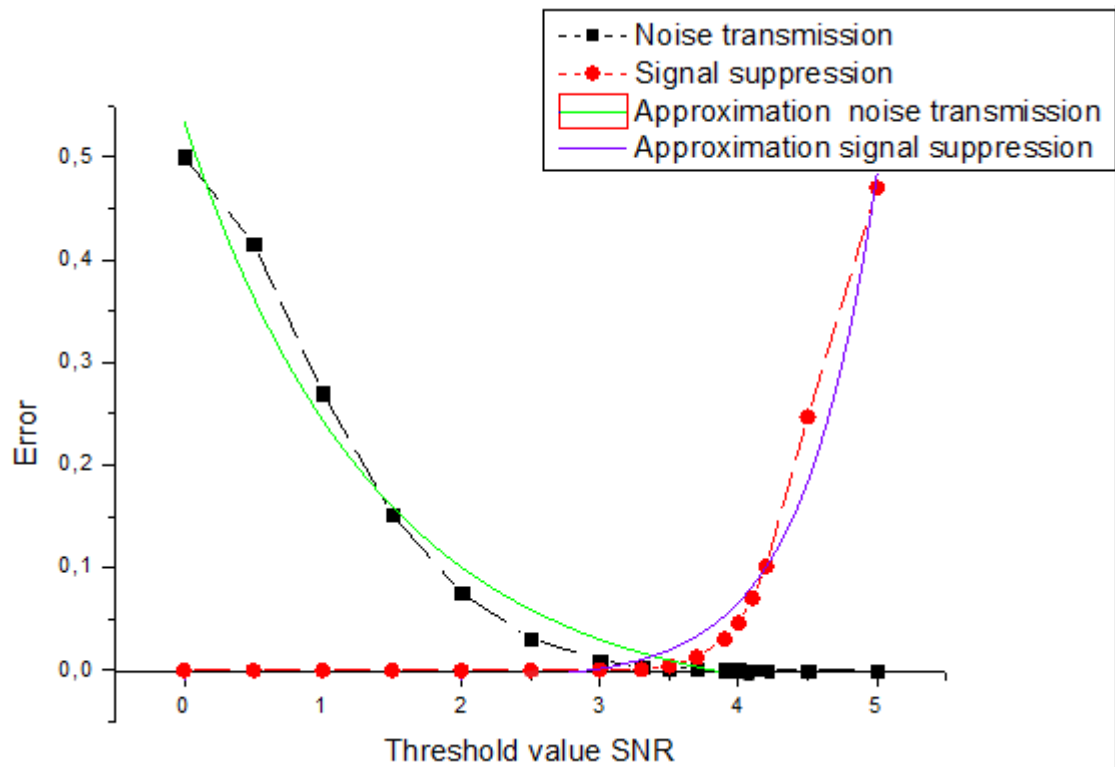


Рисунок 2 Для прямоугольного импульса

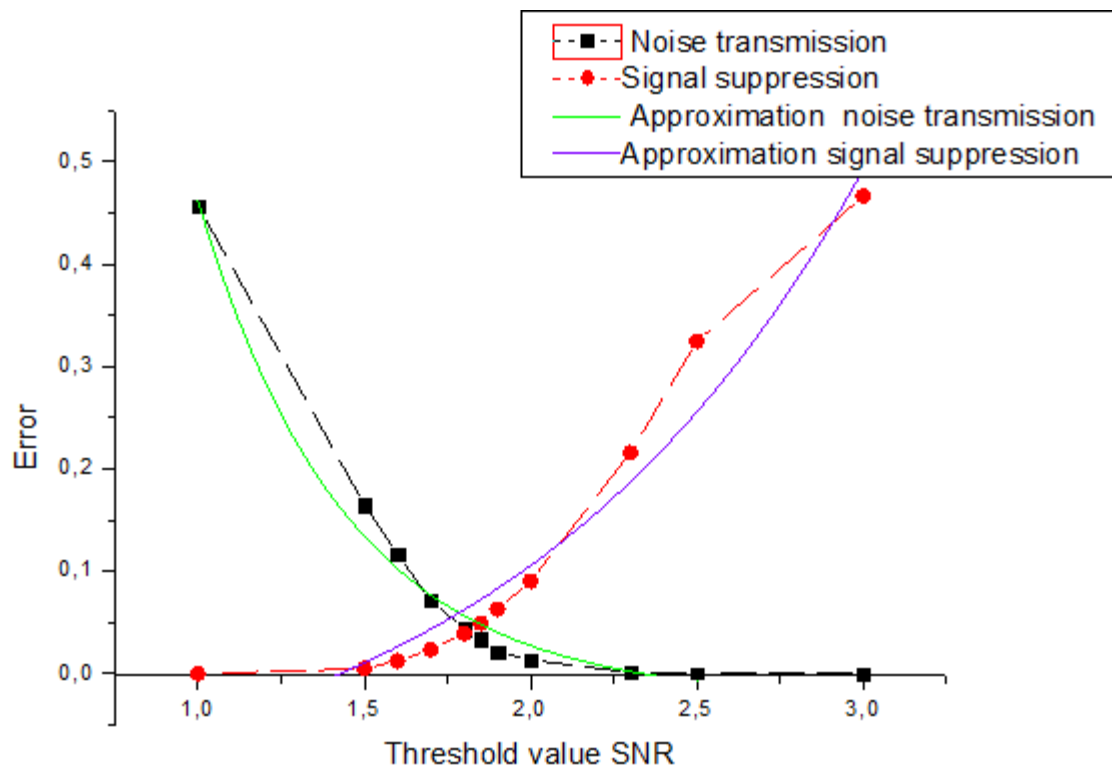


Рисунок 3 Для ЛЧМ сигнала

Определение оптимального значения SNR позволяет исследовать зависимости ошибки от среднеквадратичного отклонения шума и от ширины рабочей полосы частот.

Одной из задач работы ставилось провести исследование о том, как увеличение среднеквадратичного отклонения шума повлияет на детектирующую способность фильтра. Исследование проводилось в диапазонах среднеквадратичного отклонения шума от 0 до 10 с интервалом 0.5. Данные исследования показаны на рисунках 4 и 5. Проанализировав полученный результат, можно увидеть, что ошибка начинает существенно возрастать после прохождения через значение среднеквадратичного отклонения шума равного 6. То есть детектирование разумно вести в диапазоне от 0 до 5-5, так как после этого ошибка существенно возрастает, что крайне нежелательно в реальных устройствах.

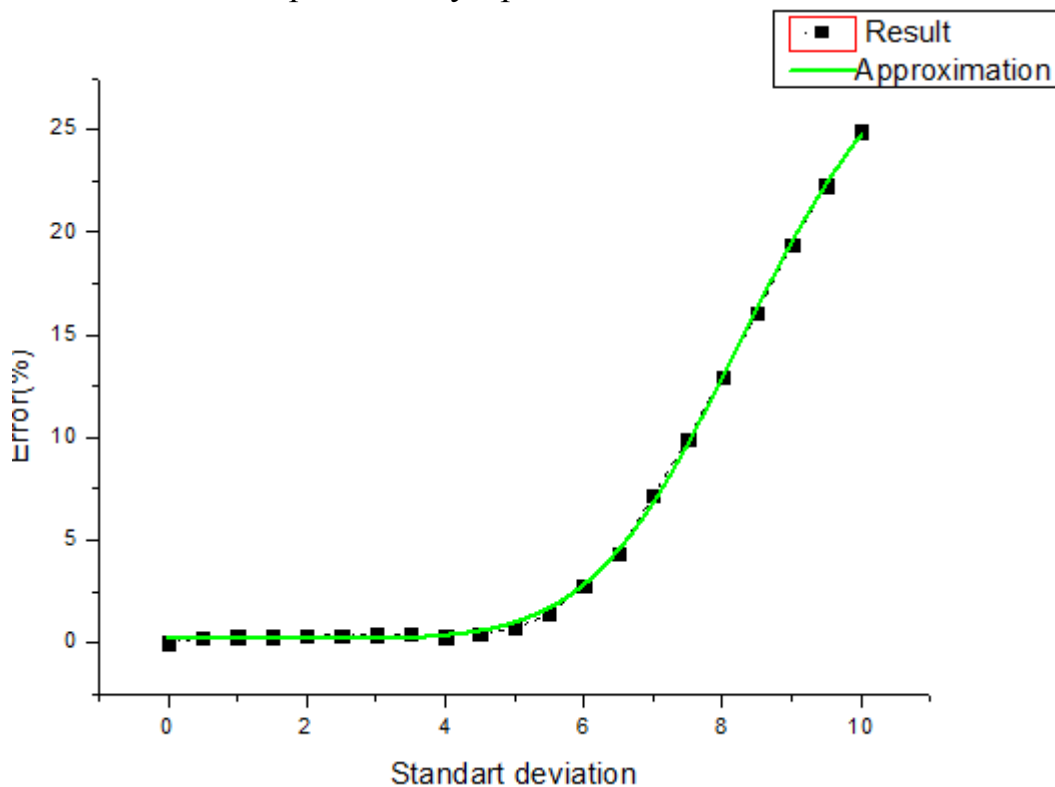


Рисунок 4 Зависимость ошибки от среднеквадратичного отклонения шума для прямоугольного импульсного сигнала.

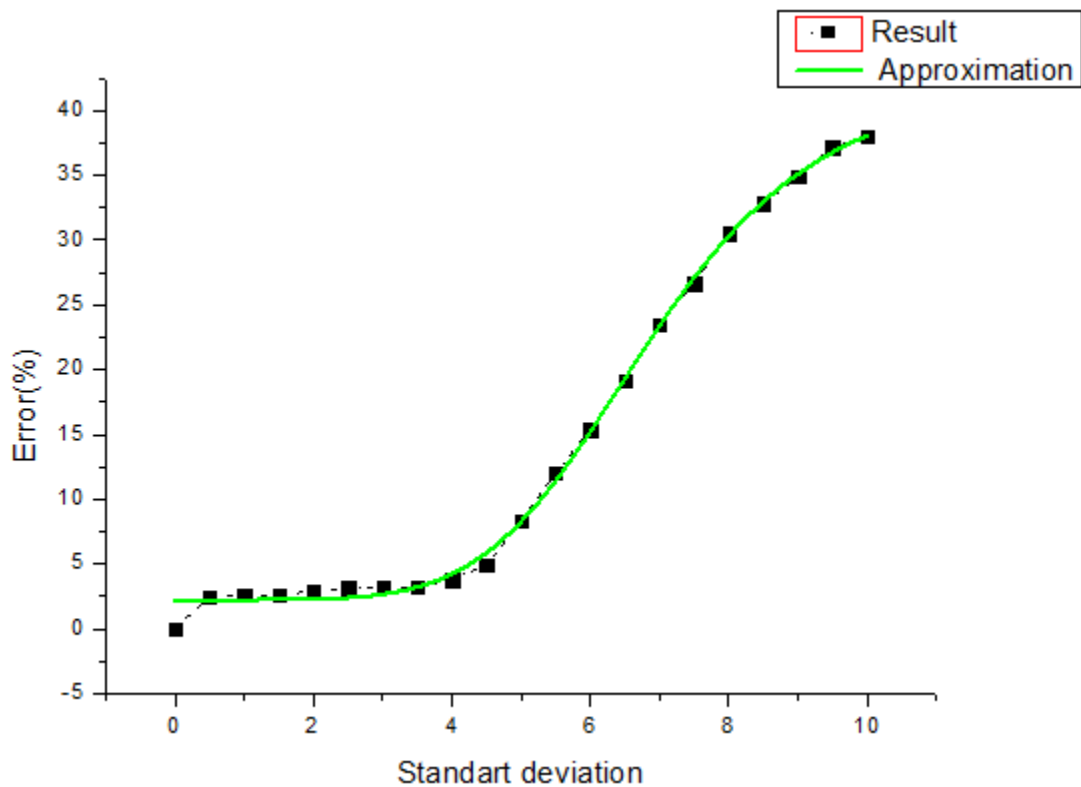


Рисунок 5 Зависимость ошибки от среднеквадратичного отклонения шума для импульсного ЛЧМ сигнала.

Для исследования зависимости суммарной ошибки от рабочей полосы частот был использован ЛЧМ сигнал, увеличивая или уменьшая разность между частотами которого можно варьировать рабочую полосу частот. В ходе исследования был получен результат, показанный на рисунке 6.

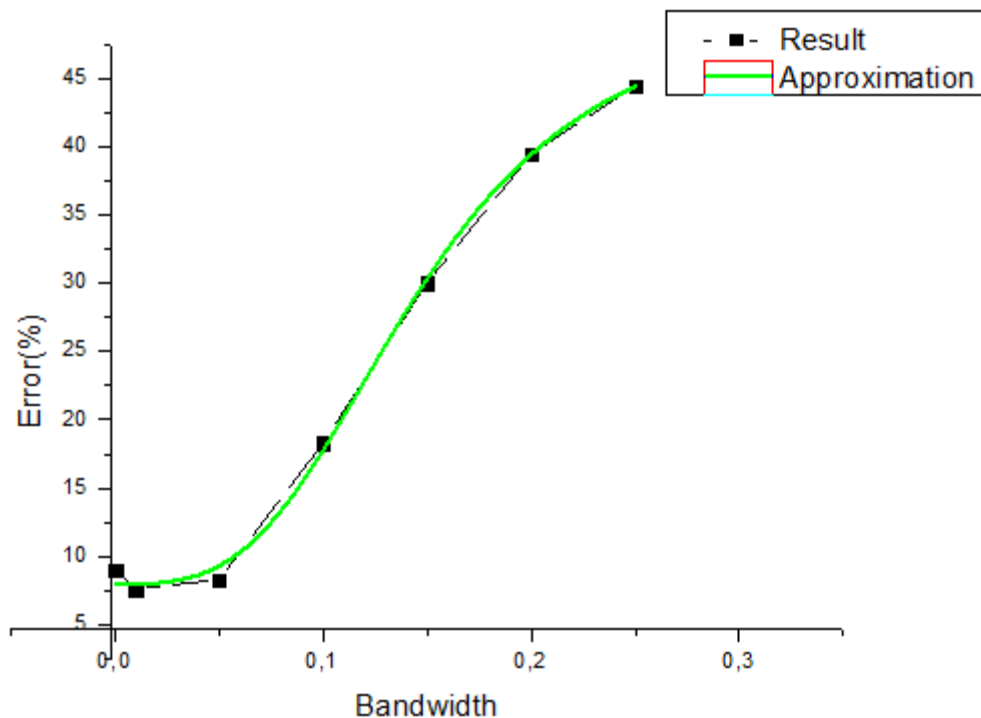


Рисунок 6 Зависимость ошибки от ширины полосы частот

Эти данные подтверждают теоретические высказывания о том, что с увеличением ширины рабочей полосы увеличивается шум в канале и уменьшается SNR, что приводит к увеличению числа ошибок, связанных с глушением сигнала в силу его сильной зашумлённости.

Заключение

В ходе работы необходимо было создать лабораторную работу по моделированию работы согласованного фильтра и провести исследование этого фильтра по нескольким критериям.

В результате работы была создана Labview-программа, которая позволяет пользователю исследовать работу согласованного фильтра и задавать множественные условия, такие как задание формы и параметров сигнала, регулирование среднеквадратичного отклонения шумового воздействия, случайное чередование исходного и нулевого сигналов, задание количества итераций и критического значения SNR для подсчёта ошибок. После выполнения программа выдаёт наглядные графические результаты входных и выходных сигналов и подсчитывает значение SNR и ошибки распознавания сигналов.

После проведения исследований работы согласованного фильтра была получена зависимость суммарной ошибки от ширины рабочей полосы частот, найдено оптимальное значение критического SNR, при котором ошибки глушения сигнала и прохождения шумового сигнала пересекаются и дают наименьшую суммарную ошибку и построена зависимость суммарной ошибки от среднеквадратичного отклонения шума.

Сделанная программа позволит пользователю проводить все описанные выше исследования самостоятельно с целью изучения и понимания работы согласованного фильтра.