

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Кологривов В.А.
Игумнова А.А.

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РАДИОЛОКАТОРА

Методические указания по лабораторной работе в среде функционального моделирования Simulink системы MatLab для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Томск 2020

УДК 621.396.96
ББК 32.95
К611

Рецензент:

Мещеряков А.А., доцент кафедры радиотехнических систем ТУСУР, канд. техн. наук.

Кологривов В. А., Игумнова А. А.

К611 **Модельное исследование нелинейного радиолокатора: методические указания по лабораторной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»** / Кологривов В. А., Игумнова А. А. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2020 – 18 с.

Настоящие учебно-методические указания по лабораторной работе составлены с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО).

Лабораторная работа **«Модельное исследование нелинейного радиолокатора»** посвящена экспериментальному исследованию работы нелинейного радиолокатора в среде Simulink пакета прикладных программ MatLab.

В описании сформулирована цель лабораторной работы, приведены необходимые сведения из теории локации, краткая характеристика среды Simulink пакета прикладных программ MatLab, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки Simulink, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы.

Исследование проводится по функциональной схеме, построенной на основе блоков базовых разделов библиотеки Simulink.

Методические указания содержат описание функциональной модели нелинейного радиолокатора, разработанной в среде Simulink пакета прикладных программ MatLab.

В данном пособии приведены краткие сведения из теории нелинейной локации, краткая характеристика функциональных блоков библиотеки среды Simulink пакета прикладных MatLab, описание функциональной схемы модели, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы.

Одобрено на заседании каф. РТС протокол № 10 от 11.06.2020

УДК 621.396.96
ББК 32.95

© Кологривов В. А., Игумнова А. А., 2020
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ, КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.....	4
2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK	9
2.1 Общая характеристика пакета Simulink.....	9
2.2 Описание используемых блоков библиотеки Simulink.....	10
3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА	13
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ	16
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ, КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Цель работы: изучение структуры и принципа работы нелинейного радиолокатора, разработанной в среде Simulink пакета прикладных программ MatLab, а также исследование работы нелинейного радиолокатора при различных зондирующих сигналах.

Теоретические сведения

В настоящее время процесс съема информации практически невозможен без использования специальных технических средств. К числу таких приборов относятся закладные устройства (ЗУ), предназначенные для перехвата и передачи на удаленные расстояния самой разнообразной информации.

Приборы, предназначенные для поиска и обнаружения закладных устройств, постоянно совершенствуются и используют самые современные достижения науки и техники.

К наиболее сложным и технически совершенным поисковым приборам следует отнести нелинейные локаторы (НЛ). Эти приборы могут обнаруживать различные радиоэлектронные устройства в строительных конструкциях, предметах интерьера, размещенных в различных укрытиях (например, в железобетонных стенах вероятность обнаружения ЗУ составляет 90 – 95%). НЛ обнаруживает нелинейные свойства полупроводниковых приборов (ПП), имеющих в составе любых радиоэлектронных закладных устройств. НЛ может обнаруживать и определять местоположение электронного устройства независимо от того, включено оно или нет.

Принцип действия НЛ близок к принципу работы радиолокационных станций, широко применяемых для дистанционного обнаружения различных объектов.

При работе НЛ излучает высокочастотный гармонический электромагнитный сигнал, который способен проникать сквозь многие материалы, мебель, внутренние перегородки помещений, бетонные стены и полы. При поиске ЗУ речь идет о максимальной глубине обнаружения объектов в маскирующей среде. Оценка данного показателя ведется по уровню отклика, увеличивающегося при приближении к объекту, что позволяет определить местоположение ЗУ. Определение местоположения ЗУ осуществляется путем оценки уровня и пеленга сигнала отклика. Под пеленгом понимается направление, соответствующее максимальному уровню принимаемого сигнала [1]. Излучаемый сигнал отражается от исследуемой поверхности и принимается приемником НЛ. Существенное отличие заключается в том, что если приемник радиолокационной станции принимает отраженный от объекта эхо-сигнал на частоте излучаемого сигнала, то приемник НЛ принимает гармоники, содержащиеся в отраженном сигнале.

Пояснение принципа работы НР проведем по упрощенной функциональной модели, приведенной на рисунке 1.1, поскольку она достаточно наглядна и приближена к Sim-моделям используемым при модельном исследовании.

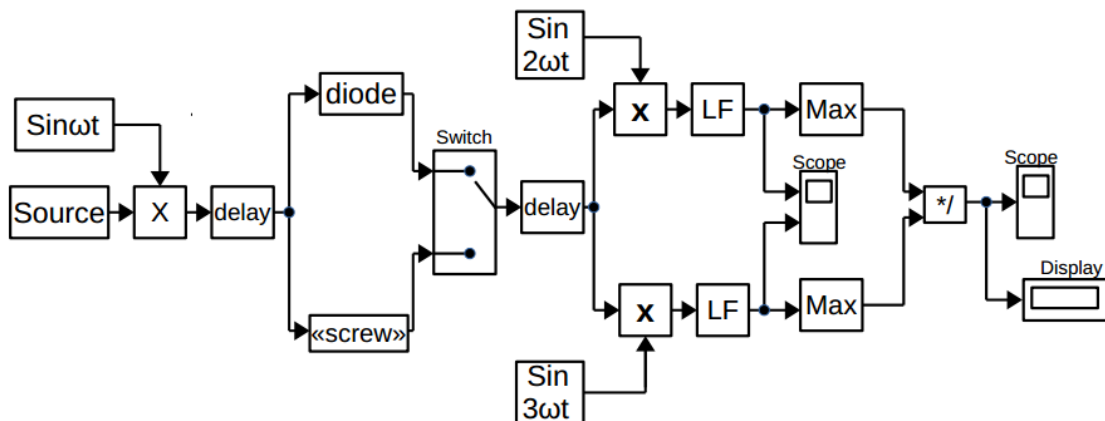


Рисунок 1.1– Функциональная модель нелинейного локатора

Источник вырабатывает необходимой формы импульсы. Далее они модулируют несущую частоту, т.е. частоту, с которой сигнал способен проникнуть через плотную среду. Затем сигнал поступает в модель канала распространения. Канал распространения состоит из двух блоков задержки, которые имитируют прохождение сигнала до цели и обратный путь. В модель также входят два блока, имитирующие цели – полупроводниковый прибор и МОМ-соединение. После канала распространения сигнал попадает в приемную часть. Прием ведется на двух частотах 2-ой и 3-ей гармониках. Сигнал принимается методом синхронного детектирования (или методом прямого преобразования). Принятый сигнал перемножается с опорным и их смесь проходит низкочастотную фильтрацию. На последнем этапе схема принятия решений определяет отношение между амплитудами сигналов 2-ой и 3-ей гармоник. По полученному результату можно определить через какую цель прошел сигнал.

Появление в отраженном сигнале гармоник обусловлено нелинейностью вольтамперных характеристик ПП, входящих в состав ЗУ. В результате нелинейного преобразования гармонического электромагнитного сигнала, индуцируемого в элементах схемы ЗУ высокочастотным полем локатора, он перестает быть гармоническим, и в спектре отраженного сигнала, кроме основной частоты f , появляются ее гармоники с частотами $2f$, $3f$ и т. д. Так как амплитуда гармоник резко убывает с увеличением ее номера, то при работе НЛ используют обычно 2-ю и 3-ю гармоники. При этом амплитуды гармоник полностью зависят от характера нелинейности электронных компонентов, входящих в состав ЗУ, и мощности излученного электромагнитного поля. Для нелинейного локатора, анализирующего 2-ые и 3-и гармоники, очень важно, чтобы приемные тракты были хорошо частотно изолированы и не влияли друг на друга, были откалиброваны и не оказывали взаимного влияния на работу друг друга.

Это свойство используется для дифференциации обнаруженных объектов, т.к. наличие нелинейности вольтамперной характеристики присуще не только для ПП радиоэлектронных средств, но и для контактов между металлическими предметами с пленкой окислов на поверхности, так называемых МОМ-переходов (металл-окисел-металл), например, ржавых прутьев в железобетонных плитах домов, которые приводят к появлению ложных сигналов. Поэтому выявление 2-й и 3-й гармоник в отраженном сигнале не является достаточным условием обнаружения ЗУ [2].

Для полупроводниковых приборов вольтамперная характеристика описывается несимметричной кривой (рисунок 1.2). Для МОМ-переходов эта кривая не предсказуема и, тем не менее, с определенной долей погрешности вольтамперную характеристику МОМ-переходов в большинстве случаев можно считать достаточно симметричной (рисунок 1.3).

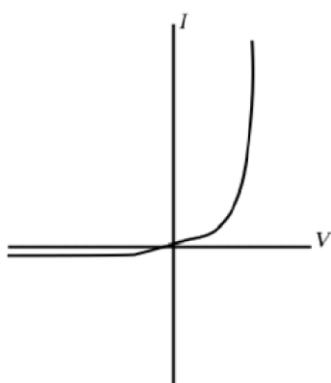


Рисунок 1.2 – Вольтамперная характеристика полупроводникового прибора

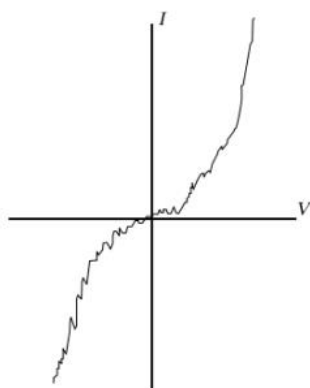


Рисунок 1.3 – Вольтамперная характеристика МОМ-переходов

Уровень «чистоты» соединения, а значит и селекции сигналов от ПП и МОМ-переходов проявляется в различии значений, принимаемых НЛ сигналов гармоник. Так, при облучении НЛ ПП-прибора, возникает сильный сигнал 2-й и слабый сигнал 3-й гармоник. МОМ-переходов ведет себя иначе, имеет слабый сигнал на 2-й и сильный на 3-й гармонике. Объяснение этому факту следующее: если радиоимпульсы попадают на ВАХ ПП-прибора, то отраженный сигнал получается несимметрично ограниченным или даже однополярным, а при попадании на МОМ переход отраженный сигнал оказывается биполярным, т.е. симметрично ограниченным. Из преобразования Фурье известно, что симметрично ограниченные биполярные сигналы содержат в спектре, в основном, нечетные гармоники, а несимметрично ограниченные и однополярные кроме нечетных гармоник содержат и четные. А вторая гармоника, как правило, больше третьей. Таким образом, сравнительный анализ уровней 2-й и 3-й гармоник позволяет оператору провести селекцию их источников.

Большинство моделей НЛ используют непрерывное излучение, то есть излучают сигнал, который непрерывен во времени и занимает узкую полосу частот. Однако есть НЛ, работающие в импульсном режиме, что обеспечивает такое преимущество как малое потребление энергии аккумуляторных батарей, так как при значительных по величине зондирующих импульсах и большой скважности среднее значение потребляемой мощности оказывается ниже, чем при непрерывном режиме. Длительность зондирующего импульса и

скважность определяются расстоянием до лоцируемого объекта. В работе будут рассмотрены импульсные НЛ.

Основными параметрами НЛ являются:

- мощность и частота зондирующего излучения передатчика;
- режим работы;
- чувствительность приемника;
- направленные свойства антенной системы;
- точность устройств индикации;
- эргономические характеристики приборов.

Большое значение для работы НЛ имеет глубина исследуемого материала, которая зависит от характеристики проникающей способности излучающей волны, в свою очередь зависящей от частоты и мощности НЛ. С точки зрения выбора частоты НЛ имеются два условия. С одной стороны, в силу увеличения затухания с повышением частоты электромагнитной волны в среде распространения уровень мощности преобразованного отраженного сигнала снижается, что заставляет снижать частоту НЛ. Но, с другой стороны, для излучений с более низкой частотой ухудшаются возможности НЛ по точной локализации места нахождения ЗУ, так как при приемлемых для помещений размерах антенны расширяется диаграмма направленности антенны НЛ. Отметим еще один параметр НЛ, от которого зависят его частотные характеристики. А именно: чем выше частота излучения прибора, тем меньше геометрические размеры антенной системы НЛ, тем удобнее работа с прибором.

Рассмотрим влияние мощности на работу НЛ. Очевидно, что чем выше мощность излучения локатора, тем глубже проникает электромагнитная волна и тем больше вероятность и дальность обнаружения помещенной в укрытие закладки. Но, с другой стороны, с учетом того, что работа НЛ осуществляется в диапазоне сверхвысоких частот (680 – 1000 МГц), что может оказывать неблагоприятное воздействие на организм оператора.

Также мощность излучения НЛ в значительной степени определяет коэффициент преобразования энергии зондирующего сигнала в энергию высших гармоник. С увеличением мощности излучения увеличивается уровень переизлученного сигнала. Вместе с тем повышение мощности улучшает характеристики НЛ, но увеличение мощности, скажем до 10 Вт, приводит к увеличению опасного воздействия на оператора. Поэтому для решения задач увеличения дальности действия НЛ и эффективного осуществления работы прибора по локализации ЗУ в современных видах НЛ применяют режимы с непрерывным и импульсным излучением. Так, средняя мощность НЛ непрерывного излучения составляет от 0,3 Вт до 3 Вт. Пиковая мощность импульсных НЛ составляет от 150 Вт до 400 Вт, т.е. почти на 30 дБ превышает мощность приборов непрерывного излучения. Учитывая, что эффективность преобразования определяется не средней мощностью излучения, а ее пиковым значением, дальность действия локаторов, работающих в импульсном режиме, оказывается выше, чем у приборов, работающих с непрерывным излучением (при прочих равных условиях). Другими словами, эффективность нелинейного преобразования, на котором основана НР, определяется пиковым значением мощности, что объясняет эффективность импульсного режима.

В целом передающие устройства локаторов, генерирующие зондирующий сигнал, характеризуются следующими основными тактико-техническими характеристиками:

- режимом работы (непрерывным или импульсным);
- пределами регулирования выходной мощности;
- частотой непрерывного излучения; частотой следования и длительностью радиоимпульса.

Максимальная дальность действия НЛ во многом определяется чувствительностью приемника. В целом качество приемного устройства, регистрирующего переизлученные электромагнитные сигналы, отражается следующими показателями:

- частотами настройки на регистрируемые гармоники (2-ю и 3-ю);
- реальной чувствительностью при определенном соотношении сигнал/шум;
- пределами регулирования чувствительности.

Основными параметрами антенной системы, излучающей зондирующие сигналы и принимающей переотраженные излучения на частотах высших гармоник, являются:

- коэффициент направленного действия;
- ширина главного лепестка диаграммы направленности по уровню половинной мощности;
- уровень подавления задних лепестков диаграммы направленности;
- коэффициент эллиптичности (для антенн с круговой поляризацией).

При использовании в НР одной антенны на передачу и прием существуют определенные проблемы, связанные с обеспечением их широкополосности.

Тактико-технические показатели НЛ во многом определяются качеством устройств индикации режимов работы и параметров сигналов. Большинство современных НЛ оборудованы многосегментными (дисплейными) светодиодными индикаторами и звуковыми сигнализаторами переменного тона. Для повышения точности идентификации объекта в НРЛ предусматриваются режимы приема на частотах 2-й и 3-й гармоник зондирующего излучения, а также предусмотрен режим приема и прослушивания сигналов, транслируемых ЗУ за пределы обследуемого помещения. Эргономические характеристики включают прежде всего массогабаритные показатели и удобство использования НЛ.

2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK

Пакет *Simulink* разрабатывается компанией *Mathworks* (www.mathworks.com) и распространяется в составе математического пакета *MatLab*. Пакет основан на графическом интерфейсе и является типичным средством визуально ориентированного программирования. Он обладает обширной библиотекой готовых блоков с модифицируемыми параметрами для построения моделей рассматриваемых систем и наглядными средствами визуализации результатов моделирования [3].

2.1 Общая характеристика пакета Simulink

Для запуска системы **Simulink** необходимо предварительно выполнить запуск системы **MatLab**. После открытия командного окна системы **MatLab** нужно запустить систему **Simulink**. Это можно сделать одним из трех способов:

- нажать кнопку (**Simulink**) на панели инструментов системы **MatLab**;
- в строке командного окна **MatLab** напечатать **Simulink** и нажать клавишу **Enter**;
- выполнить опцию **Open** в меню **File** и открыть файл модели (**mdl**-файл).

Последний способ предпочтителен при запуске уже готовой и отлаженной модели, когда требуется лишь провести моделирование и не нужно добавлять новые блоки в модель. При применении двух первых способов открывается окно обозревателя библиотеки блоков (**Simulink Library Browser**).

На рисунке 2.1 выведена библиотека системы **Simulink** и показаны ее разделы. Основная библиотека системы содержит следующие разделы:

- **Continuous** – блоки аналоговых элементов;
- **Discontinuous** – блоки нелинейных элементов;
- **Discrete** – блоки дискретных элементов;
- **Look-Up Tables** – блоки таблиц;
- **Math Operations** – блоки элементов, определяющие математические операции;
- **Model Verification** – блоки проверки свойств сигнала;
- **Model-Wide Utilities** – раздел дополнительных утилит;
- **Port&Subsystems** – порты и подсистемы;
- **Signal Attributes** – блоки задания свойств сигналов;
- **Signal Routing** – блоки маршрутизации сигналов;
- **Sinks** – блоки приема и отображения сигналов;
- **Sources** – блоки источников сигнала;
- **User-Defined Function** – функции, определяемые пользователем.

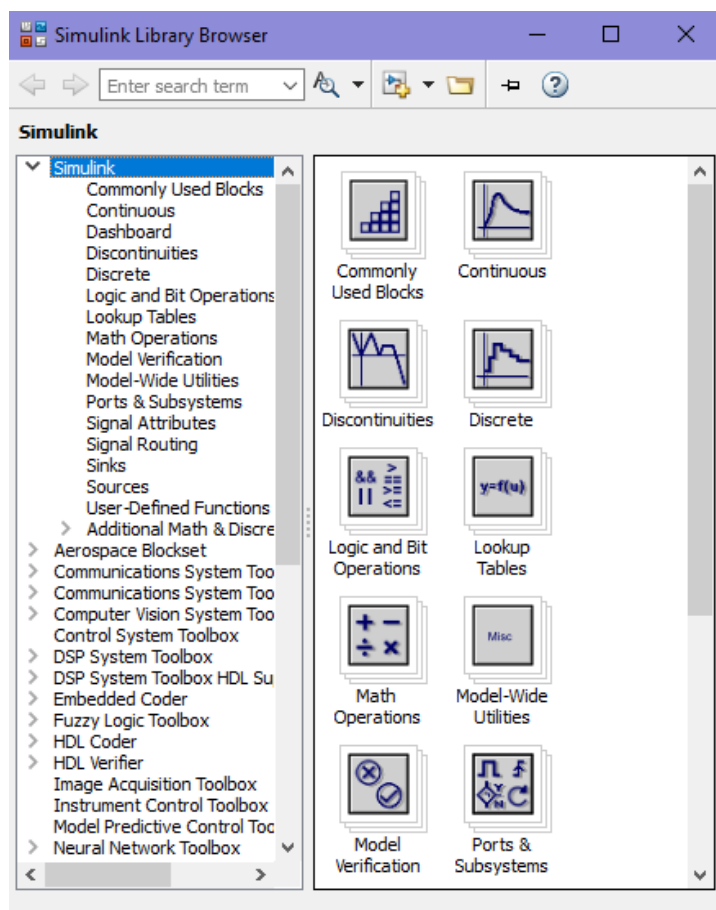


Рисунок 2.1 – Библиотека блоков **Simulink Library Browser**

При работе элементы разделов библиотек "перетаскивают" в рабочую область удержанием левой кнопки мыши на соответствующих изображениях. Для соединения элементов достаточно указать курсором мыши на начало соединения и затем при нажатии левой кнопки мыши протянуть соединение в его конец.

При двойном щелчке левой кнопки мыши на выделенном блоке всплывает меню, в котором задаются параметры блоков.

Работа *Simulink* происходит на фоне открытого окна системы *MatLab*, закрытие которого приведёт к выходу из *Simulink*.

2.2 Описание используемых блоков библиотеки Simulink

Ниже описаны основные блоки базовых разделов библиотеки *Simulink*, используемые в функциональной схеме:



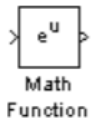
Источник пилообразного сигнала **Repeating Sequence** – формирует периодический пилообразный сигнал, заданной амплитуды и периода.



Источник прямоугольного импульсного сигнала **Pulse Generator** – формирует прямоугольные импульсы, заданной амплитуды, периода и скважности.



Блок **Product** – выполняет мультиплексирование или разделение сигналов.



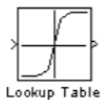
Блок вычисления математических функций **Math Function** – выполняет вычисление некоторых математических функций, которые можно выбрать из списка.



Блок усилителя **Gain** – выполняет умножение входного сигнала на константу.



Блок фиксированной задержки сигнала **Transport Delay** – При выполнении моделирования значение сигнала и соответствующее ему модельное время сохраняются во внутреннем буфере блока Transport Delay. По истечении времени задержки значение сигнала, извлекается из буфера и передается на выход блока. В том случае, если шаги модельного времени не совпадают со значениями моментов времени для записанного в буфер сигнала, блок Transport Delay выполняет аппроксимацию выходного сигнала. Если начального значения объема памяти буфера не хватит для хранения задержанного сигнала, Simulink автоматически выделит дополнительную память. После завершения моделирования в командном окне MATLAB появится сообщение с указанием нужного размера буфера.



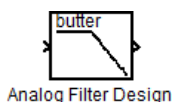
Блок одномерной таблицы **Look-Up Table** – задает в табличной форме функцию одной переменной. Таблицу можно задавать в виде дискретных значений входного и выходного сигнала (например, вектор входных значений [0 1 2 5], а вектор выходных значений [-5 - 10 3 100]) или в виде непрерывного диапазона или вычисляемого выражения (например, вектор входных значений равен [-5:5], а вектор выходных значений равен $\tanh([-5:5])$). Если входной сигнал не совпадает ни с одним из элементов вектора входных значений, то блок выполняет линейную интерполяцию между двумя ближайшими к нему элементами или линейную экстраполяцию по двум крайним элементам.



Блок **Manual Switch** выполняет переключение входных сигналов по команде пользователя. Командой на переключение является двойной щелчок левой клавишей “мыши” на изображении блока. При этом изображение блока изменяется, показывая, какой входной сигнал в данный момент проходит на выход блока. Переключение блока можно выполнять как до начала моделирования, так и в процессе расчета.



Источник синусоидального сигнала **Sine Wave** – формирует синусоидальный сигнал с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением.



Analog Filter Design – блок аналогового фильтра заданного метода проектирования и типа из подраздела *Filter Design*; подраздела *Filtering*, раздела *DSP Blockset*. Назначение: аналоговая фильтрация низкочастотных составляющих спектра входного сигнала. Параметры блока: *Design method* – метод проектирования, выбирается из списка: *Butterworth* – фильтр Баттерворта; *Chebyshev I* – фильтр Чебышева 1-го рода; *Chebyshev II* – фильтр Чебышева 2-го рода; *Elliptic* – фильтр эллиптический; *Bessel* – фильтр Бесселя. *Filter type* – тип фильтра, выбирается из списка: *Lowpass* – нижних частот; *Highpass* – верхних частот; *Bandpass* – полосно-пропускающий; *Bandstop* – полосно-заграждающий. Далее для каждого метода проектирования и типа фильтра

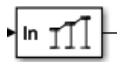
выдается свой список параметров. Так для фильтра Баттерворта типа нижних частот параметрами являются: *Filter order* – порядок фильтра; *Passband edge frequency (rads/sec)* – нижняя граничная частота (радиан в секунду). Для других методик проектирования и типов фильтров определяемые параметры очевидны.



Блок экстраполятора нулевого порядка ***ZeroOrder Hold*** – Блок выполняет дискретизацию входного сигнала по времени с величиной шага дискретизации по времени *Sample time*. Блок фиксирует значение входного сигнала в начале интервала квантования и поддерживает на выходе это значение до окончания интервала квантования. Затем выходной сигнал изменяется скачком до величины входного сигнала на следующем шаге квантования.



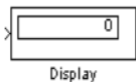
Блок ***Averaging Power Spectral Density*** производит построение графика усредненной мощности входного сигнала.



Блок ***Maximum*** определяет максимальное значение входного сигнала в заданном диапазоне или на отрезке времени.



Осциллограф ***Scope*** – строит графики исследуемых сигналов как функцию времени.



Цифровой дисплей ***Display*** – отображает значение сигнала в виде числа.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

На рисунке 3.1 приведена схема функциональной Sim-модели нелинейного лоатора.

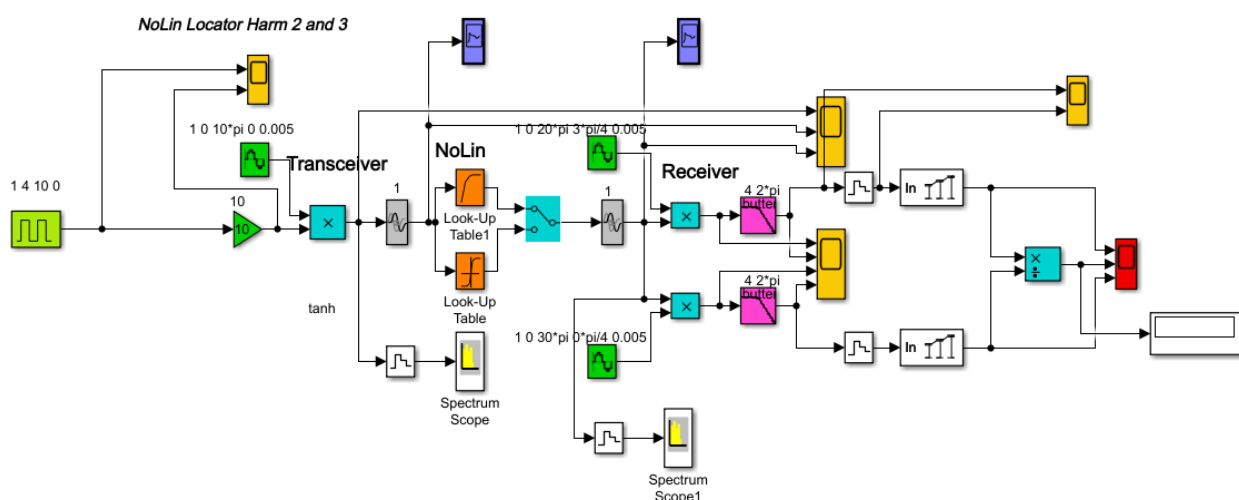


Рисунок 3.1 – Функциональная модель нелинейного радиолокатора

Источником сигнала является блок **Pulse Generator**. Данный блок генерирует прямоугольные импульсы. Затем сигнал проходит усиление (блок **Gain**). Далее сигнал помещается на несущую частоту путем умножения на синусоиду (блок **Sine Wave**). Данная операция необходима для обеспечения эффективного излучения малоразмерными антеннами и увеличения проникающей способности. Для обеспечения эффективного излучения элементы антенны должны быть соизмеримы хотя бы с четвертью длины волны радиосигнала. Далее сигнал поступает в блок **Transport Delay**, имитирующий прохождение сигнала через пространство. Для имитации целей используется блок **Look-Up Table**. Какая цель будет симитирована зависит от того, какая функция задана в блоках. В схеме расположены две имитации цели: полупроводник и MOM-соединение («ржавый болт»). Для выбора того, через какую цель пройдет сигнал, в схему включен ручной переключатель (**Manual Switch**). Для определенности MOM-соединение имитируется функцией $\text{Tanh}(x)$, а полупроводниковый элемент положительной частью функции $\text{Tanh}(x)$. Затем сигнал снова проходит через блок задержки (**Delay**) и поступает в приёмник.

Приемник реализован как синхронный детектор. Сначала принятый сигнал перемножается с опорным (блок **Sine Wave**), а затем происходит низкочастотная фильтрация (блок **Analog Filter Design**). Так как принцип нелинейной локации основан, в данном случае, на выделении 2-ой и 3-ей гармоник в принятом сигнале, в приемнике ведется параллельная обработка данных гармоник (опорным сигналом выступает сигнал на частоте $2f$, а в соседнем плече ведется обработка сигнала на частоте $3f$). После обработки принятые сигналы поступают в схему принятия решений (блоки **Zero Order Hold**, **Maximum**, **Product**). Блок **Maximum** определяет максимальное значение входного сигнала в заданном диапазоне или на отрезке времени. Для удобства оператора в модели реализовано вычисление отношения амплитуд откликов на 2-ой и 3-ей гармониках, результаты вычислений выводятся на дисплей (**Display**). По полученным результатам оператор определяет через какую из целей прошел сигнал.

Для схем с использованием Рэлеевских и Гауссовских импульсов для формирования применяется генератор пилообразных импульсов. Пилообразные импульсы изменяются по

форме и амплитуде с помощью блоков *Product, Math Function, Gain* и на выходе мы получаем импульсы либо Гауссовской либо Рэлеевской формы (рисунок 3.2).

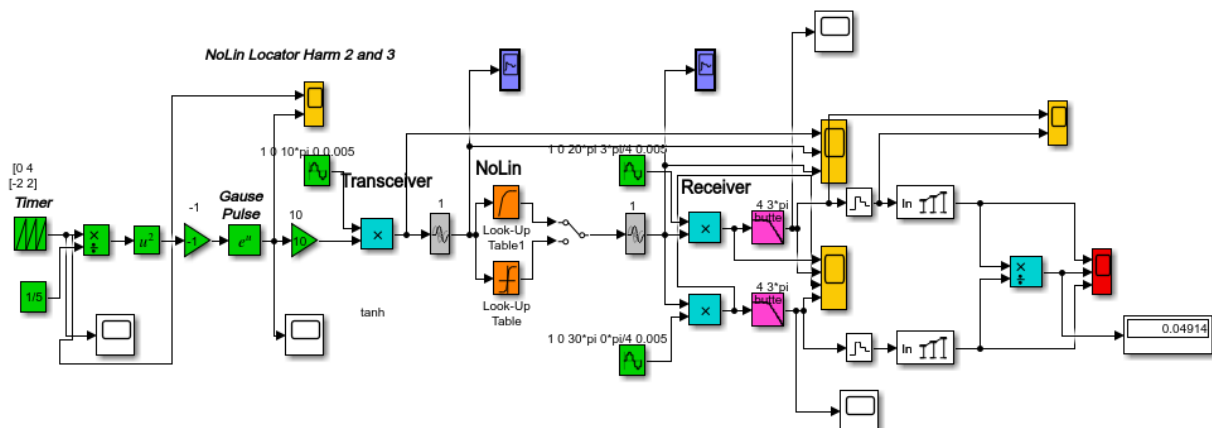


Рисунок 3.2 – Схема нелинейного радиолокатора с использованием Гауссовских импульсов

Гауссовский импульс является широкополосным сигналом. Ширина полосы определяется длительностью сигнала, центральная частота обратно пропорциональна длительности импульса. Мощность такого сигнала распределена в широком диапазоне частот, поэтому плотность мощности мала и сравнима с шумом. В таком виде они используются в сверхширокополосной радиосвязи. Сверхширокополосные сигналы обладают большей проникающей способностью. В нелинейной радиолокации излучаются импульсы повышенной мощности [4].

Ширину спектра можно изменять с помощью изменения длительности импульса. Данная операция необходима для того, чтобы не создавать помех в соседних каналах.

Гауссовский импульс описывается выражением 3.1:

$$S_{ИГ}(t) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma}} * exp * \left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3.1)$$

где A – коэффициент амплитуды, принимается равным единице; σ – коэффициент формы; π – постоянная равная 3,14159.

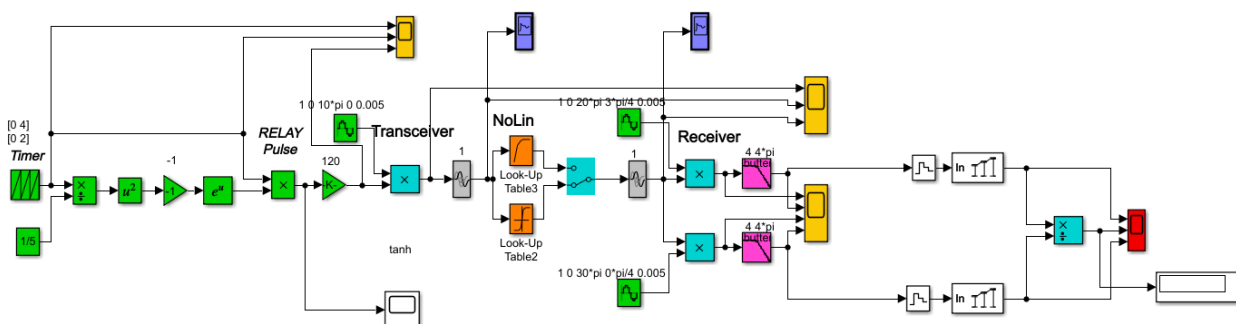


Рисунок 3.3 – Схема нелинейного радиолокатора с использованием Рэлеевских импульсов

Спектральная плотность Рэлеевского импульса описывается экспоненциальной функцией. Также в спектре отсутствуют боковые лепестки.

Временной форме импульса Рэля соответствует выражение 3.2:

$$S(t) = \frac{4\pi t}{\sigma^2} * \exp\left(-\frac{2\pi t^2}{\sigma^2}\right), \quad (3.2)$$

где σ – коэффициент формы импульса; π – постоянная равная 3,14159.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Перед допуском к работе дать ответы на контрольные вопросы.

Исследование проводится для двух типов объектов: закладное устройство (нелинейность) и «болт». В ходе выполнения данной лабораторной работы требуется выполнить следующие пункты:

1. Собрать три Sim-модели нелинейного радиолокатора (см. рис. 3.1) с использованием генератора прямоугольных импульсов, Гауссовских импульсов и Рэлеевских.
2. В каждой модели, изменяя полосу в блоке *Analog Filter Design*, определить оптимальную полосу фильтра низких частот по отношению амплитуд откликов 2-ой и 3-ей гармоник. Заполнить таблицу 4.1.
3. Результаты работы локатора для каждого вида воздействия при оптимальной полосе внести в таблицу 4.2. Дать интерпретацию полученным результатам и сделать соответствующие выводы.
4. Составить отчёт по проделанной работе.

Таблица 4.1 – Результаты измерений для схем с использованием различных зондирующих сигналов (прямоугольных, Гауссовских, Рэлеевских импульсов)

Полоса фильтра	Нелинейность (закладка) Амплитуда отклика	«Болт» Амплитуда отклика
π		
2π		
3π		
4π		
5π		

Таблица 4.2 – Сравнительная таблица

Вид импульса	Полоса фильтра	Нелинейность (закладка) Амплитуда отклика	Полоса фильтра	«Болт» Амплитуда отклика
Гауссовский импульс				
Рэлеевский импульс				
Прямоугольный импульс				

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип работы нелинейного радиолокатора?
2. Как влияет мощность излучения локатора на работу НЛ?
3. Пояснить, как реализуются ПП-нелинейность и МОМ-соединение (нелинейность, «болт») в Sim-модели.
4. Для чего применяется импульсный режим?
5. Особенности непрерывного режима.
6. Какой способ приема реализован в приемниках?
7. Какие опорные частоты используются в приемниках?
8. Как определяются полосы пропускания фильтров приемников?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Щербаков Г. Н. К оценке фундаментальных пределов в нелинейной радиолокации / Щербаков Г. Н. Шлыков Ю.А., Николаев А. В. [и др.] // Спецтехника и связь. – 2008. – №2 – С. 21-25.
2. Обзор технологии нелинейной локации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=255&lvl=04.01.02>
3. Дьяконов В.П. MatLab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Сер. Библиотека профессионала. / В.П. Дьяконов - М.: СОЛОН-Пресс, 2005.- 576 с.
4. Овсянникова В.Н. Модельное исследование многоканальной сверхширокополосной радиосвязи на основе временного и кодового разделения каналов (выпускная квалификационная работа) / В.Н. Овсянникова – Томск, ТУСУР, 2019. – 79 с.