

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
«Высшая школа электроники и компьютерных наук»
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ИКТ

_____ С.Н. Даровских

“_____” _____ 2019 г.

Кабельный рефлектометр

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ - Д 11.03.01.2019.231.00 ПЗ

Научный руководитель:

Митяев А.Н. _____

“_____” _____ 2019 г.

Автор работы:

студент группы КЭ-457

Маркович В.А. _____

“_____” _____ 2019 г.

Нормоконтролер:

Спицына В.Д. _____

“_____” _____ 2019 г.

Челябинск 2019

РЕФЕРАТ

Маркович В. А. Кабельный рефлектометр. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2019, 59с. 52 ил., библиогр. список – 6 наим., 2 листа приложений формата А1.

В данной выпускной квалификационной работе описана разработка модели кабельного рефлектометра для сравнения двух методов детектирования расстояния до неравномерностей. Целью работы является создание модели кабельного рефлектометра, позволяющего провести исследование двух методов детектирования расстояния до неравномерностей и доказать преимущество использования метода с коррелятором. В ходе дипломной работы были разработаны различные модели генератора, модель кабельной линии и модель детектора расстояния до неравномерностей.

					<i>ЮУрГУ - Д 11.03.01.2019.231.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разработал</i>		<i>Маркович В.А.</i>			<i>Кабельный рефлектометр</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		<i>Митяев А.Н.</i>				<i>Д</i>	<i>5</i>	<i>59</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицина В.Д.</i>			<i>ЮУрГУ</i> <i>Кафедра ИКТ</i>			
<i>Утв.</i>		<i>Даровских С.Н.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Анализ технического задания.....	8
2 Общие сведения о рефлектометрах для кабельных линий.....	9
2.1 Основы измерений.....	9
2.2 Ограничения в измерениях.....	10
2.2.1 Генератор ступенчатого сигнала как источник ошибок.....	10
2.2.2 Причина потерь и отражений – кабели и коннекторы.....	13
2.3 Методы минимизации воздействия крепежных соединений.....	14
2.4 Генерирование цифрового фильтра	16
2.5 Примеры измерения кабельным рефлектометром.....	18
2.6 Использование очень быстрых граничных скоростей для точных измерений близкорасположенных отражений.....	22
2.7 Выполнение точных измерений для системы дифференциальной передачи.....	24
2.8 Получение 'S' - параметров из измеренных результатов.....	32
2.9 Измерение дифференциальных компонентов и каналов.....	33
3 Модель кабельного рефлектометра.....	38
3.1 Общий алгоритм работы модели.....	38
3.2 Модель генератора.....	39
3.3 Модель кабельной линии.....	47
3.4 Модель детектора расстояния до неравномерностей.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире кабельные рефлектометры получают все более широкое распространение. Вследствие этого встал вопрос об их моделировании с целью проведения оптимизации и различных исследований.

Для проведения исследований и обоснования применения коррелятора при обработке результатов было необходимо и достаточно смоделировать источник сигнала, кабельную линию и детектор расстояния до неравномерностей. Для реализации этих задач был выбран программный пакет Simulink, входящий в пакет прикладных программ MatLab.

В первой главе данной работы описывается теоретическая основа кабельных рефлектометров, а также алгоритмы, используемые при обработке результатов. Во второй главе описывается алгоритм работы модели в целом и алгоритм работы отдельных блоков и подсистем.

1 Анализ технического задания

После анализа выданного технического задания появились следующие задачи:

- необходимо разработать модель способную на практике показать преимущество использования коррелятора при обработке результатов;
- в модели кабельной линии должно быть не менее пяти участков с различной диэлектрической проницаемостью;
- модель нужно разработать в программном продукте, позволяющем моделировать такие сложные системы.

В итоге, была выбрана программа Simulink входящая в пакет прикладных программ MatLab. Эта программа способна смоделировать создание, прохождение сигнала по кабельной линии и отражение его от неравномерностей линии, а также позволяет провести подробный анализ этапов моделирования алгоритма работы кабельных рефлектометров.

2 Общие сведения о рефлектометрах для кабельных линий

2.1 Основы измерений

В теории вся энергия сигнала должна достигнуть детектора и ни один из импульсов не должен отразиться обратно к источнику, пока импульсы идут по передающей линии.

Если входное сопротивление передающего канала и сопротивление оконечного устройства равно выходному сопротивлению источника, то ни один из импульсов не отразится обратно. Но если импульс идущий по каналу столкнется с неоднородностью входного сопротивления, то часть импульса отразится назад.

Кабельный рефлектометр — это устройство, предназначенное для выявления дефектов в кабельных линиях рефлектометрическим (локационным) методом. Концепция достаточно проста. С помощью источника и осциллографа в тестируемое устройство запускается одиночный импульс. Когда происходит разрыв волнового сопротивления, часть импульса отправляется обратно в контрольный осциллограф. Место разрыва определяется путем определения времени, в течение которого отраженная часть импульса приходит обратно на осциллограф (вместе со скоростью распространения импульса в пределах тестируемого устройства). Размер разрыва можно определить, сравнив величину отраженной части импульса с исходным импульсом, посылаемым в кабельную линию. Таким образом, этот метод отражённых импульсов позволяет с легкостью выявить любые изменения входного сопротивления на линии передачи. Данный метод анализа используется для выявления свойств (резистивных, индуктивных или емкостных) каждого разрыва вдоль линии и определения причины ослабления в системе передачи (какими потерями они вызваны последовательными или поперечными). Вся эта информация сразу же отражается на экране осциллографа. Кабельный рефлектометр предоставляет достаточно правдивую информацию о реакции системы передачи, что

существенно отличается от тестирования в фиксированном диапазоне частот, используемом другими рефлектометрами.

Пример структурной схемы, составляющей кабельный рефлектометр, и типовой результат измерений показаны на рисунке 1.

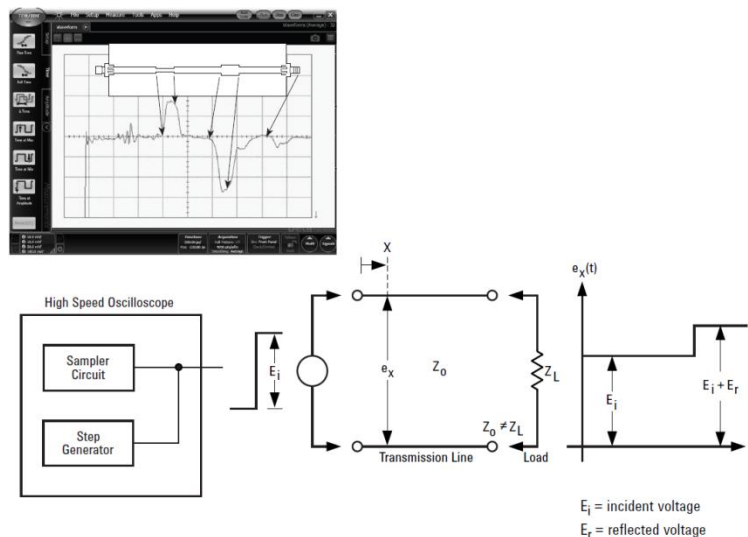


Рисунок 1 – Пример конфигурации оборудования

2.2 Ограничения в измерениях

2.2.1 Генератор ступенчатого сигнала как источник ошибок

Форма входного сигнала шага важна для точных измерений кабельного рефлектометра. Тестируемое устройство реагирует не только на шаг, но и на его изменения, такие как скачки и отклонение от плоскостности

Если скачки являются существенными, то результаты измерений могут быть более сложны для обработки. Прерывания сопротивления наблюдаются при изменении отраженного импульса. При нарушении шага импульса кабельный рефлектометр может неправильно определить неоднородность: как неисправность кабельной линии. Если шаг ровный, значит данные корректны, правильны. Время нарастания этого шага импульса также очень важно. Чтобы определить, как кабельная линия будет реагировать, необходимо

протестировать её при таких параметрах, при каких она будет работать при эксплуатации.

Граничная скорость также важна при использовании кабельного рефлектометра для определения источника разрыва вдоль линии передачи. Полоса частот пропускания осциллографа и время нарастания ступенчатого источника могут ограничивать точность измерений. Время нарастания общей измерительной системы представляет собой совокупное время нарастания осциллографа и генератора ступенчатого сигнала. Его можно приблизительно определить с помощью уравнения 1.

$$t_{r\text{system}} = \sqrt{t_{r\text{step}}^2 + t_{r\text{scope}}^2} . \quad (1)$$

Реальная система имеет конечное время нарастания, которое действует по принципу работы фильтра низких частот. Если измерительная система работает слишком медленно, истинный характер прерывистости может быть скрыт или даже невидим. На самом деле кабельный рефлектометр может проводить измерения слишком быстро и предоставлять измерения, которые фактически нельзя использовать. (Обычно, способность отражения будет варьироваться с изменением граничной скорости в сторону ее увеличения). Данное утверждение просто подтверждается на анализаторе сети при получении значений обратных потерь. При измерении объема отразившегося импульса мы видим, что он зависит от частоты. Так как при увеличении частоты амплитуда отраженной части импульса от неравномерности кабельной линии передачи возрастает.

Обратим внимание на рисунок 2, при измерении со значением 50 Ом адаптера SMA - BNC, что по мере уменьшения времени нарастания входного ступенчатого сигнала, характер отражения от тестируемого устройства при высокой скорости передачи данных становится более очевидным.

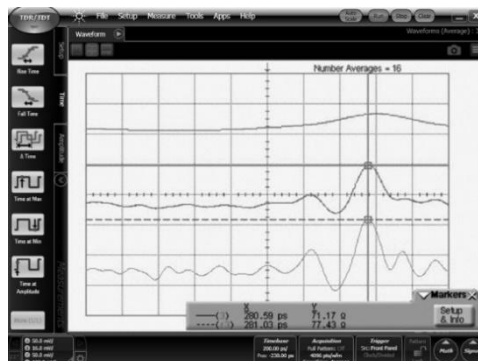


Рисунок 2 – Измерения сигнала с использованием адаптера SMA - BNC

При скорости шага 100 пс при 56 Ом появляется только одно отражение. Когда граничная скорость увеличивается до 35 пс, наблюдается большее количество точек отражения, при этом доминирующее место занимает 71 Ом. При шаговой скорости 20 пс, разрыв сопротивления увеличивается до более чем 77 Ом.

В случае трех измерений, результаты, полученные при использовании времени нарастания ступенчатого входного сигнала при 20пс, не применимы к коннектору, который видит границы, которые всегда медленнее 100 пс в реальном использовании. Таким образом, коннектор может быть приемлем для краев 100 пс, но не для краев 20 пс. С другой стороны, системы, работающие со скоростью передачи данных 10 Гбит/с или выше, будут включать сигналы со временем нарастания ниже 30 пс. Компоненты, используемые для передачи со скоростью 40 Гбит/с могут видеть границы менее 10 пс. Таким образом, кабельный рефлектометр, в котором можно изменять граничную скорость будет оптимальным решением при исследовании разных скоростей передачи данных составляющей кабельной линии.

У целого импульса при анализе полученных результатов, имеется возможность обнаружить и определить тип многочисленных, близко находящихся неисправностей. У кабельного рефлектометра имеется возможность устранения двух близко расположенных разрывов, при условии, что разрывы не более чем половина времени нарастания импульса.

Нарастание мощности кабельного рефлектометра (как источника сигнала, так и осциллографа) по времени составляет менее 10 пс. При исследовании материалов с диэлектрической проницаемостью примерно равной 1, соответствует физическому разделу примерно 1.5 мм. [1] Типовой материал из которого состоят печатные платы имеет диэлектрическую проницаемость в районе 4. Соответственно измеряемая неравномерность/разрыв станет менее 1 мм и это значение может увеличиться при условии, что поля импульса находятся в воздушной среде также, как и диэлектрик платы. Также нужно заметить, что при использовании кабельных линии и коннекторов низкого качества может замедлиться эффективное время нарастания системы, а также ухудшится точность.

2.2.2 Причина потерь и отражений – кабели и коннекторы

Кабели и коннекторы между источником сигнала, тестируемой линией и осциллографом могут очень существенно повлиять на результаты измерений. Несоответствие сопротивлений и неисправности коннекторов добавляют отражения к получаемому сигналу. Это может исказить сигнал и затруднить определение отражений, исходящих от кабельного рефлектометра, а также от других источников.

Кроме того, кабельные линии являются несовершенными проводниками, т.к. они не всегда подходят для работы с высокими частотами. Потери в кабельной линии, которые увеличиваются на более высоких частотах, делают более высоким время нарастания границ импульса по мере приближения к их конечному значению. Таким образом, проблемы, связанные с производительностью источников сигнала, обсуждавшийся выше, сейчас присутствуют из-за кабельных линий.

Рисунок 3 показывает, как кабельные линии и места соединений влияют на результаты измерения кабельного рефлектометра. Самая быстрая форма волны - это отражение шага от цепи короткого замыкания, подключенной

непосредственно к кабельному рефлектометру. (Нужно помнить, что возвращенный импульс от цепи короткого замыкания инвертирует выходной импульс с источника сигнала).

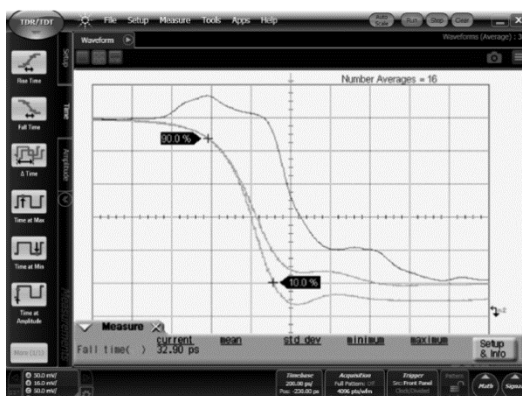


Рисунок 3 – Влияние кабелей и коннекторов на измерения

Второй шаг - это цепь короткого замыкания, которая подключается с помощью высококачественного кабеля длиной 1 метр. А третий шаг - короткое замыкание через дешевые кабельные и SMA - разъемы длиной 0,6 метра. Основной результат данной исследования — это понимание того что кабельные сети могут снизить точность кабельного рефлектометра.

2.3 Методы минимизации воздействия крепежных соединений

Использование кабельного рефлектометра с дистанционной головкой, которая может быть подключена к тестируемому устройству напрямую (без адаптеров или кабелей) поможет свести к минимуму систематические погрешности измерений, но не устранить их полностью. Если для достижения тестируемого устройства необходимы адаптеры, датчики или не коаксиальные кабели, результаты измерений могут искажаться из-за ложных отражений и систематических потерь. Т.к. эти механизмы стационарны и последовательны, то имеется возможность использовать калибровку для очень значительного повышения точности измерений и приведения к минимуму эффектов, вызывающих ошибки.

Один из методов устранения систематических погрешностей измерения - вычитание формы волны. В данном методе идеальная кабельная линия подключается к тестирующему устройству и кабельным рефлектометром регистрируется сигнал. При тестировании последующих кабельных линий, записанный сигнал вычитается из текущего. Наличие каких-либо отличий указывает на отклонение тестируемого устройства от идеала.

Это простая и удобная методика повышения точности, но есть и некоторые существенные ограничения. Во-первых, необходима идеальная кабельная линия. Такой линии не бывает. Во-вторых, все результаты относительны. Не существует простого способа увидеть абсолютную производительность кабельной линии. В конце концов, импульс, поступающий в кабельную линию, может ухудшиться. Даже если этот эффект является одним и тем же для эталонного измерения и для измерения кабельной линии, он серьезно ограничивает производительность кабельного рефлектометра.

Второй метод калибровки основан на принципе определения характеристик испытательной системы с помощью эталонов точности данный метод способен полностью удалить систематическую реакцию тестовой системы из отклика тестируемого устройства вместо создания огибающей сигнала для вычитания формы волны. Этот процесс обычно называется калибровкой кабельного рефлектометра и представляет собой простой, чрезвычайно эффективный метод для достижения точных результатов с помощью кабельного рефлектометра.

Какой бы ни была методика калибровки, процедура калибрования очень проста и выполняется всего за несколько шагов. Калибровочные измерения, характеризующие испытываемую систему, выполняются при наличии всех кабельных линий и коннекторов, при условии отсутствия тестируемой кабельной линии. Первая часть калибровки устраняет систематические ошибки, вызванные срабатыванием триггера или перекрестными помехами в канале и отражениями от кабелей и разъемов методом измерения отклика с

помощью тестируемого устройства. Частотная характеристика испытательной системы определяется на основе этих измерений.

ESal-модули высокого качества поставляются с эталонными характеристиками. Кабельный рефлектометр при полном процессе калибровки использует эти данные для определения вероятных результатов измерений (какими были бы результаты измерений, если бы они замерялись с помощью идеального кабельного рефлектометра). Любые разногласия между фактическими результатами измерений и ожидаемыми результатами объясняется испытательной системой и корректируется с помощью цифрового фильтра. Поэтому очень важно использовать калибровку очень высокого качества. Если цифровой фильтр исправляет ошибку, найденную в результате повреждения участка, то это может привести к дополнительным ошибкам в системе.

2.4 Моделирование цифрового фильтра

Вторая часть калибровки моделирует набор цифровых фильтров. Данное действие происходит автоматически, без участия пользователя. Цифровые фильтры компенсируют различие частотных характеристик тестовой системы от эталона. После выполнения калибровки, фактический результат замера должен совпадать с ожидаемым. Фильтр устраняет ошибки путем ослабления или усиления и фазового сдвига компонентов частотной характеристики по мере необходимости. Рассмотрим, например, скачки во входном сигнале. Без калибровки частотная характеристика тестируемого устройства будет включать в себя нежелательную реакцию на скачки. Во время калибровки фильтр будет сдвигать фазу и ослаблять частоты, ответственные за скачки, и таким образом корректировать реакцию тестируемого устройства на скачки. Фильтр работает аналогично тому, как исправляются потери в кабеле из-за ослабления высоких частот.

Цифровой фильтр, генерируемый при калибровке, также добавляет возможность регулировки времени срабатывания генератора ступенчатого сигнала кабельным рефлектометром. Таким образом, шаг модуля Keysight кабельного рефлектометра может быть замедлен или ускорен для имитации быстрых или медленных электрических сигналов. В Keysight 86100 заданное пользователем время нарастания определяет полосу пропускания фильтра. Уменьшение полосы пропускания достигается за счет ослабления частот, выходящих за пределы полосы пропускания, представляющей интерес. Увеличение пропускной способности требует большего внимания. Для увеличения полосы пропускания необходимо усилить частотную характеристику, выходящую за пределы исходной -3 дБ. Хотя это и является правильным шагом, важно понимать, что системный шум на этих частотах и на близлежащих высоких частотах также усиливается. Предел, до которого время нарастания реальной системы может быть расширен, определяется уровнем шума. В реальных системах есть точка, за которой амплитуда данных частотной характеристики находится ниже порога шума. [6] Любое дальнейшее увеличение полосы пропускания только добавляет шум, приводящий к сильным помехам результат измерения. Потому что усреднение осциллограмм уменьшает начальный уровень сигнала минимальный уровень шума, усреднение осциллограмм следует использовать при использовании калибровки, в частности при уменьшении времени нарастания ступенчатого генератора. Поскольку усреднение формы волны снижает начальный уровень шумового порога, усреднение формы волны необходимо использовать во время калибровки, особенно при снижении времени нарастания генератора ступенчатого сигнала.

2.5 Примеры измерения кабельным рефлектометром

В следующем примере, на рисунке 4, используется простая печатная плата линии передач, (как с высоким, так и с низким сопротивлением линии передач) Несмотря на то, что дубликат участка линии передач размещается последовательно с первым участком линии передач. В идеале, измерения второй секции линии передач должны совпадать с измерениями первой секции. Однако отражения и затухание первой секции значительно ухудшают качество измерений второй секции, как показано ниже.

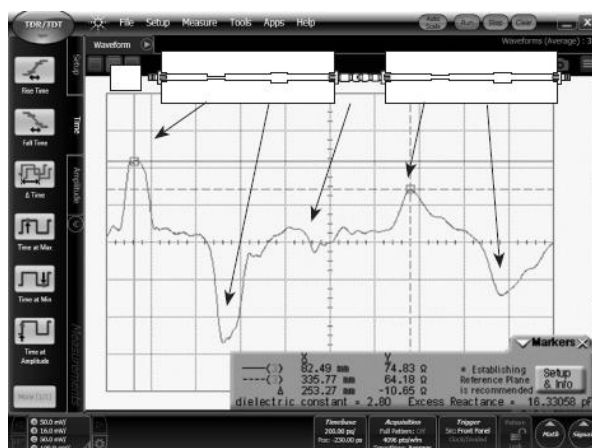


Рисунок 4 – Результат измерений на простой печатной плате линии передач

Цифровой фильтр, генерируемый при калибровке, также добавляет возможность регулировки времени срабатывания генератора ступенчатого сигнала кабельным рефлектометром. Таким образом, шаг модуля Keysight кабельного рефлектометра может быть замедлен или ускорен для имитации быстрых или медленных электрических сигналов. В Keysight 86100 заданное пользователем время нарастания определяет полосу пропускания фильтра. Уменьшение полосы пропускания достигается за счет ослабления частот, выходящих за пределы полосы пропускания, представляющей интерес. Увеличение пропускной способности требует большего внимания. Для увеличения полосы пропускания необходимо усилить частотную характеристику, выходящую за пределы исходной -3 дБ. Хотя это и является правильным шагом, важно понимать, что системный шум на этих частотах и на

близлежащих высоких частотах также усиливается. Предел, до которого время нарастания реальной системы может быть расширен, определяется уровнем шума. В реальных системах есть точка, за которой амплитуда данных частотной характеристики находится ниже порога шума. Любое дальнейшее увеличение полосы пропускания только добавляет шум, приводящий к сильным помехам результат измерения. Потому что усреднение осциллограмм уменьшает начальный уровень сигнала минимальный уровень шума, усреднение осциллограмм следует использовать при использовании калибровки, в частности при уменьшении времени нарастания ступенчатого генератора. Поскольку усреднение формы волны снижает начальный уровень шумового порога, усреднение формы волны необходимо использовать во время калибровки, особенно при снижении времени нарастания генератора ступенчатого сигнала, что показано на рисунках 5 и 6.

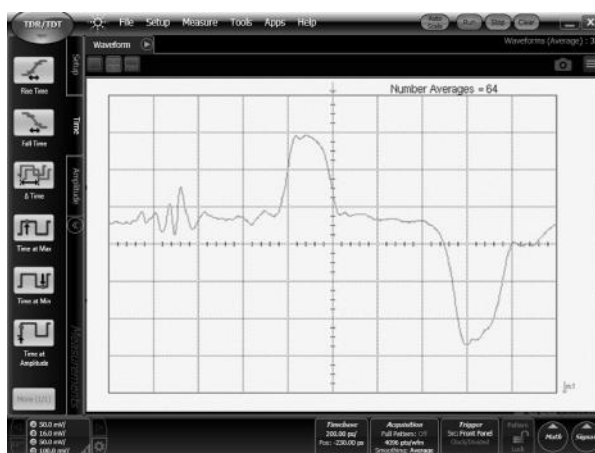


Рисунок 5 - Измерения первого участка линии передачи

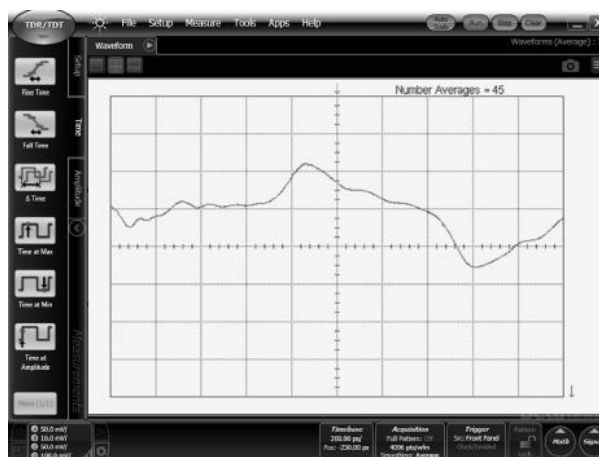


Рисунок 6 - Измерения второго участка линии передачи

Обратите внимание, что вторая секция, хотя и идентична первой, имеет результаты измерений, которые значительно ослаблены и смазаны по сравнению с первой секцией. Затем показано, как кабельные сети и зажимы могут существенно изменить результаты измерений кабельным рефлектометром.

Калибровка может значительно улучшить результаты измерений. При обрыве соединения между двумя участками линии передач, коротким замыканием и согласованной нагрузкой которые могут располагаться на выходе первой секции линии передач. Это становится эталонной платой измерения. После, процедурой калибровки будут скорректированы ошибки измерения, возникшие до этого момента.

После завершения калибровки отображаются результаты измерений для второй платы. Обратите внимание, что эффекты первой платы удаляются двумя способами. Во-первых, отражения от первой линии электропередачи фактически удаляются из результата. Во-вторых, устраняется влияние первой линии электропередач на измерение второй линии электропередач. Результаты измерений второй линии теперь полностью совпадают с прямым измерением линии, показанной на рисунке 1. Пример измерений второй линии показан на рисунке 8.

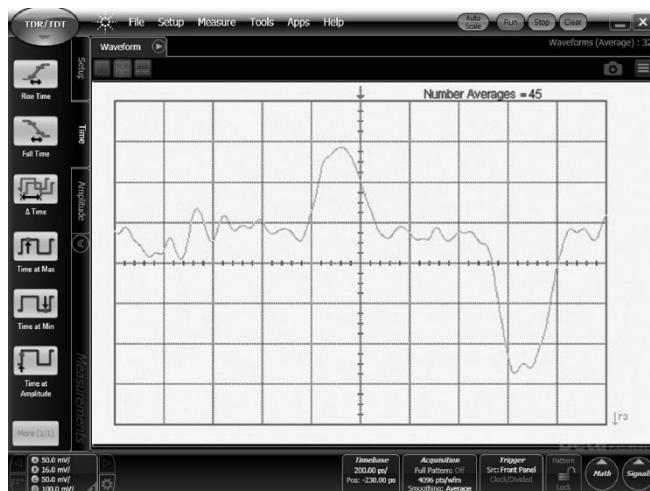


Рисунок 8 – Прямое измерение линии

Калибровка обеспечивает значительное улучшение измерений компонентов, для которых тестируемое устройство не является коаксиальным компонентом. Хорошим примером может служить зондирование печатной платы. Использование кабельного рефлектометра требует определенной формы крепления для перехода от коаксиальной системы к не коаксиальному тестируемому устройству. Адаптеры и приспособления, позволяющие это сделать, маскируют истинную производительность не коаксиального тестируемого устройства. Однако эта проблема значительно упрощается благодаря калибровке. Это достигается, когда с помощью короткого замыкания и согласованной нагрузке можно измерить в исходной среде тестируемого устройства. Например, эталоны калибровки зондов используются для устранения влияния измерительной системы. Например, стандарты начальной калибровки используются для устранения последствий работы измерительной системы.

Вторым преимуществом калибровки является возможность эффективного ускорения или замедления граничной скорости шага кабельным рефлектометром. Результаты непосредственно применимы к тому, как будет использоваться данный компонент.

Калибровка - это удобный метод изучения характеристик импеданса компонентов при различных скоростях передачи сигналов.

Основные преимущества данного вида калибровки:

- устранение отражений внутри испытательной системы и внутри соединений с тестируемым устройством;
- устранение дефектов (скачков и переотражений) в импульсе генератора ступенчатого сигнала;
- контроль за граничной скоростью генератора ступенчатого сигнала;
- компенсация потерь/затухания в кабельной сети испытательной системы.

2.6 Использование очень быстрых граничных скоростей для точных измерений близкорасположенных отражений

При измерениях при помощи кабельного рефлектометра, по мере уменьшения физического разделения между точками отражения, в конечном счете, два отражения сливаются в единое целое. Ограничение на просмотр близко расположенных отражений в основном связано со временем нарастания генератора ступенчатого сигнала и пропускной способностью осциллографа.

Как было сказано ранее, общее правило заключается в том, что отражения должны быть разделены во времени по крайней мере половиной времени нарастания системы TDR, чтобы получить два различных отражения. Для получения интуитивного представления об этом рассмотрим базовую микрополосную линию передачи, где сопротивление изменяется с 50 Ом до 60 Ом, а затем обратно до 50 Ом. Так как на линии, где изменяется импеданс, есть две точки, то там будет две точки отражения. Насколько узкой может быть секция 60 Ом до тех пор, пока два переходных импеданса можно наблюдать по отдельности? Огибающая будет находиться на уровне 50 Ом до тех пор, пока не произойдет переход на 60 Ом. Поскольку импеданс становится выше, отраженное напряжение будет находиться в фазе и прибавляться к уровню 50 Ом. Время, необходимое для достижения полного уровня напряжения в 60 Ом, равно времени нарастания генератора ступенчатого сигнала. Реакция будет оставаться на уровне 60 Ом до тех пор, пока не произойдет переход на уровень 50 Ом. Время, необходимое для полного перехода обратно на уровень 50 Ом (после начала перехода), снова является временем нарастания систем.

По мере сокращения участка линии в 60 Ом, переход с 50 Ом на 60 Ом будет приближаться к переходу с 60 на 50 Ом. Когда начало перехода напряжения на секцию от 60 до 50 Ом приблизительно совпадает с окончанием перехода напряжения на секцию от 50 до 60 Ом, достигается минимальное измеримое расстояние между двумя точками отражения. Если точки отражения

становятся ближе, то форма волны не будет иметь достаточно времени для достижения полной амплитуды и измерение величины импедансов будут ошибочными. Это показано на рисунке 9.

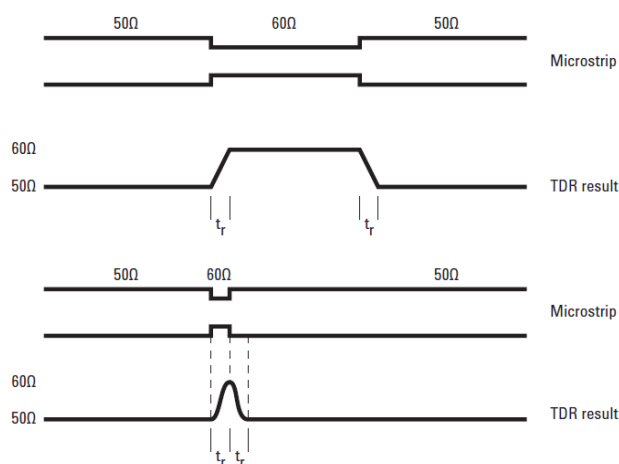


Рисунок 9 – Точки отражения

Таким образом, на дисплее кабельного рефлектометра "время" между двумя точками отражения можно определить, как разницу во времени между шагом первой границы (из-за перехода от 50 до 60 Ом) и шагом второй границы (из-за перехода от 60 до 50 Ом). Это время является, по большому счету, временем нарастания системы. Однако важно отметить, что время, отображаемое в кабельном рефлектометре, указывает на отражения в обратном направлении или, иными словами, на то, сколько времени требуется импульсу, чтобы добраться до места отражения и вернуться из него. Таким образом, указанное выше временное разделение равно времени, затрачиваемому для обоих направлений. Минимальное одностороннее расстояние между точками отражения составляет в этом случае половину времени работы системы. Минимальное физическое расстояние определяется скоростью распространения в среде и временем нарастания системы: где ϵ - диэлектрическая проницаемость системы передачи, а C - скорость света в вакууме.

$$l_{min} = \frac{c \cdot t_{rise}}{2 \cdot \sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

Эффективная полоса пропускания и шаговая скорость системы могут быть увеличены посредством калибровки, как описано выше. Таким образом, благодаря калибровке улучшается разрешение двух событий в кабельном рефлектометре.

2.6 Выполнение точных измерений для системы дифференциальной передачи

По мере увеличения скорости работы системы используются дифференциальные методы передачи для поддержания целостности сигнала. Дифференциальная передача использует две линии передачи, несущие дополнительные сигналы данных. Для того, чтобы охарактеризовать качество дифференциальной линии передач для значений импеданса и разрывов необходима техника стимулирования обоих этапов передачи данных. Кроме того, когда обе линии передач электромагнитно связаны друг с другом, анализ импедансных свойств системы требует некоторой модификации по сравнению с односторонней линией.

Наиболее очевидным методом тестирования дифференциальной линии передач или компонента является использование системы кабельного рефлектометра с дополнительными генераторами ступенчатого сигнала. То есть, в то время как первый генератор ступенчатого сигнала производит нарастающий переход в "положительную" часть системы, а второй генератор производит спадающий переход в "отрицательную" часть системы. Измерения дифференциального сопротивления производятся путем сравнения отраженного дифференциального напряжения с падающим дифференциальным напряжением. (Дифференциальное напряжение определяется как напряжение на двух входных терминалах тестируемого устройства и дифференциальное сопротивление, представляющее собой дифференциальное напряжение, деленное на ток, проходящий через систему.

Обратите внимание, что если система сбалансирована, то ток, проходящий через одну сторону линии, будет таким же, как ток с другой стороны).

Точные дифференциальные измерения кабельным рефлектометром накладывают некоторые критические ограничения. Любая асимметрия в двух частях измерительной системы может привести к дисбалансам или ошибкам в результатах измерений. Асимметрия в дифференциальной системе является одной из основных причин перехода от дифференциального режима к обычному и наоборот. Источники ошибок:

- перекос временной диаграммы сигнала между двумя генераторами ступенчатого сигнала;
- перекос временной диаграммы между двумя приемниками осциллографа;
- различия в шаговых импульсах в двух генераторах, как по амплитуде, так и по общей форме;
- различия в реакции двух приемников осциллографа.

Тщательно продуманное аппаратное обеспечение обеспечивает основу для точных измерений. Кроме того, процесс калибровки, о котором говорилось выше, со всеми его возможностями по устранению систематических ошибок, вызывающих эффекты, был расширен для использования с дифференциальным кабельным рефлектометром. Конечным результатом является высочайшая точность дифференциальных измерений.

Тщательно продуманное аппаратное обеспечение служит основой для точных измерений.

Кроме того, процесс калибровки, о котором говорилось выше, со всеми его возможностями по устранению систематических неисправностей, приводящих к ошибкам, был расширен для использования с дифференциальным TDR. Конечным результатом является высочайшая точность дифференциальных измерений TDR.

Система 86100 кабельного рефлектометра имеет функцию неравномерности как для генератора ступенчатого сигнала, так и для

приемника. Важно понимать, как каждый из них реализуется и какое влияние будет оказываться на результаты измерений. При изучении системы дифференциальной передачи очень важно поддерживать точное соответствие стимулирующих импульсов. Время, в течение которого первый генератор ступенчатого сигнала генерирует импульс, может быть настроено на более поздний или ранний период времени относительно импульса другого генератора ступенчатого сигнала модуля кабельного рефлектометра.

Приемник кабельного рефлектометра также может быть настроен на отбор данных в различное время относительно момента запуска генератора ступенчатого сигнала (который используется для определения того, когда производится отбор сигналов). Таким образом, сигнал, возвращающийся в один канал дифференциального рефлектометра, может быть успешно сдвинут во времени относительно другого канала путем настройки времени, в течение которого он будет получен рефлектометром. Это позволяет эффективно выровнять возвращаемые сигналы, если необходимо устранить перекос системы.

Например, если длина кабеля между двумя генераторами ступенчатого сигнала и тестируемым устройством неодинакова, то эти две ступени(шага) будут поступать в разное время в плоскость тестируемого устройства. Кроме того, отраженные сигналы от тестируемого устройства будут искажены, так как они возвращаются к приемнику кабельного рефлектометра через кабели различной длины. В систему 86100 кабельного рефлектометра встроена функция устранения эффекта перекоса, вызванного длиной пути, ведущего к тестируемому устройству. Одна часть обеспечивает выравнивание шагов на базовой плоскости (для балансировки входного сигнала в тестируемое устройство), а другая устраняет смещение возвращаемых сигналов.

Важно понимать разницу между дифференциальным измерением и простым сравнением двух односторонних измерений. Базовое измерение с одной стороны стимулирует входной сигнал и анализирует то, что

возвращается на этот входной порт. Дифференциальное измерение стимулирует оба порта и анализирует то, что возвращается в оба порта. Критическое различие заключается в том, что при соединении дифференциальных линий передачи, сигнал, поступающий через один порт, может быть отражен обратно в оба порта. Кроме того, на сопротивление линии передачи будет влиять дифференциальный сигнал и связанное с ним сопряжение.

Ниже приведен пример одностороннего измерения дифференциальной линии передач. Две линии этой основной дифференциальной цепи изначально имеют одностороннее полное сопротивление 50 Ом. Линии физически отделены друг от друга, поэтому в этом участке соединение минимальное. Затем две линии соединяются, и ширина обеих огибающих сигналов уменьшается (что приводит к увеличению импеданса с одной стороны). Затем линии расширяются, как показано на рисунке 10.



Рисунок 10 – модель дифференциальной линии

Если каждая часть участка тестируется по отдельности и разделена на конечные участки, результаты рассматриваются как линия 50 Ом, затем как участок 70 Ом и участок 50 Ом, прежде чем они заканчиваются при нагрузке 50 Ом. Результат одинаков для каждого участка.

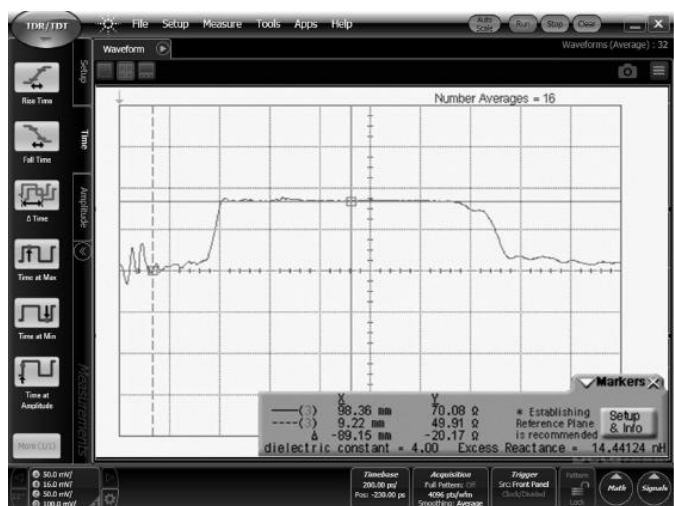


Рисунок 11 – Дифференциальная линия конечного участка

При дифференциальном измерении кабельный рефлектометр объединяет результаты с обоих портов при стимулировании с помощью обоих шагов. Таким образом, сигнал на каждом участке будет представлять собой комбинацию сигнала от обоих генераторов ступенчатого сигнала. В результате дифференциальное сопротивление приближается к 100 Ом, что и было целью разработки линии передач. Сопротивление одного участка линии электропередачи на землю при дифференциальной работе близко к 50 Ом.

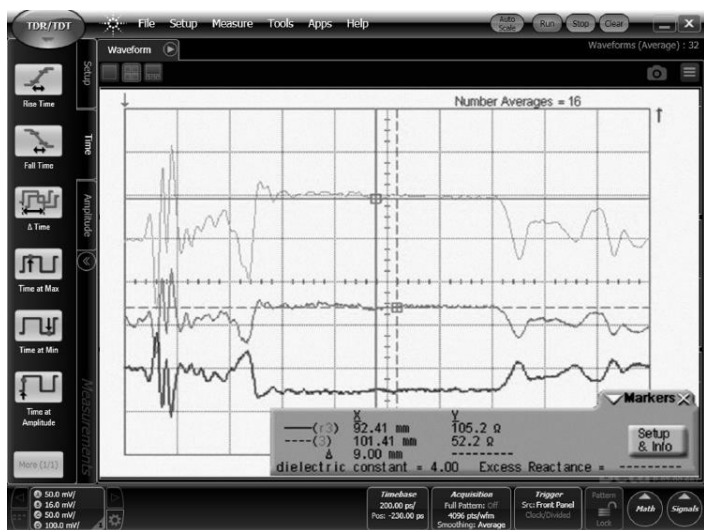


Рисунок 12 – Осциллограмма, показывающая дифференциальные (верхняя линия) и нечетные импедансы (средняя и нижняя линии) дифференциальной линии передачи

Последние шаги по снижению погрешности измерений заключаются в снятии крепежных приспособлений и удалении остаточных aberrаций в импульсах генераторов ступенчатого сигнала. Это достигается в процессе калибровки, о котором говорилось выше. Процедура дифференциальных измерений аналогична процедуре, используемой на конечных участках, за исключением того, что процедура выполняется дважды (один раз для каждого канала). Калибровка также позволяет регулировать время нарастания импульсов для моделирования более быстрого или более медленного сигнала передачи данных.

Преимущества дифференциальной калибровки показаны в приведенном ниже примере на рисунке 13 и 14, в котором неисправности креплений и кабелей затрудняют получение достоверных результатов от тестируемого устройства. Первым делом перед испытанием необходимо устранить перекося в системе. Сначала проверяется отраженный от измерительной плоскости тестируемого устройства сигнал (обрыв цепи или короткое замыкание).

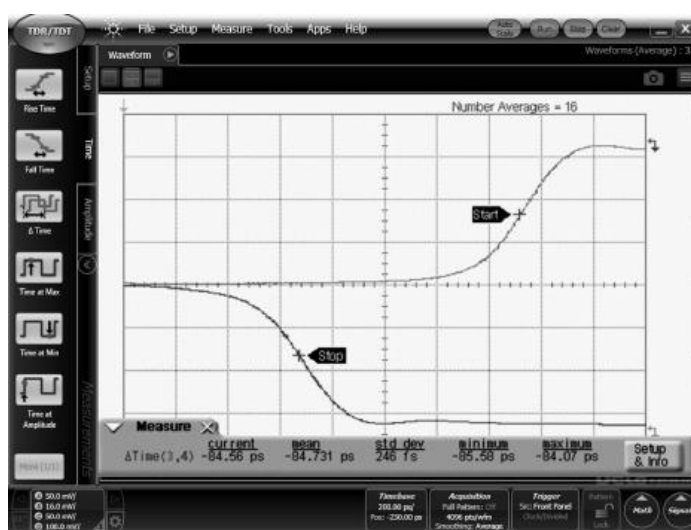


Рисунок 13 – Осциллограмма сигнала до калибровки

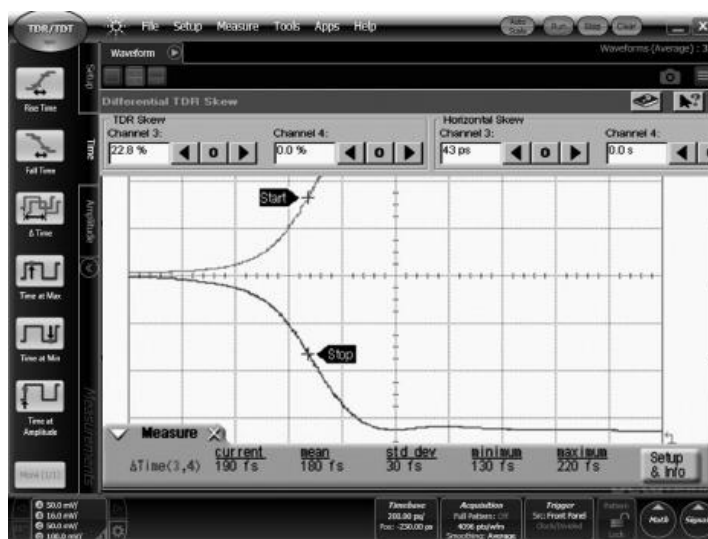


Рисунок 14 – Осциллограмма сигнала после калибровки

Половина перекоса удаляется за счет сдвига времени запуска “позднего” генератора ступенчатого сигнала вперед. Оставшаяся половина удаляется, задерживая время, в которое измеряется поздний сигнал, эффективно позволяя ему догнать ранний сигнал. Обратите внимание, что эти поправки вносятся не для устранения перекоса в ИУ, а в систему, ведущую к ИУ. Посредством задержки времени, в течение которого измеряется поздний сигнал, что позволяет ему быстро догнать ранний сигнал. Обратите внимание, что эти поправки вносятся не для устранения перекоса в тестируемом устройстве, а в систему, ведущую к тестируемому устройству.

Даже при точном выравнивании генераторов ступенчатого сигнала и приемников, крепежные приспособления, ведущие к тестируемому устройству, могут ухудшить как сигналы, так и реакцию тестируемого устройства. Как например, это было сделано намеренно путем добавления дополнительных кабельных сетей и потерь между кабельным рефлектометром и тестируемым устройством. Полученные погрешности измерений показаны на рисунке 15. Сравните результаты измерений дифференциального (верхнего) и нечетного режимов на рисунке. 15 с результатами тех же измерений (без фиксации) на рисунке 12. Вместо дифференциального сопротивления 105 Ом и нечетного сопротивления 52 Ом, показания увеличились до 109 и 54 Ом.

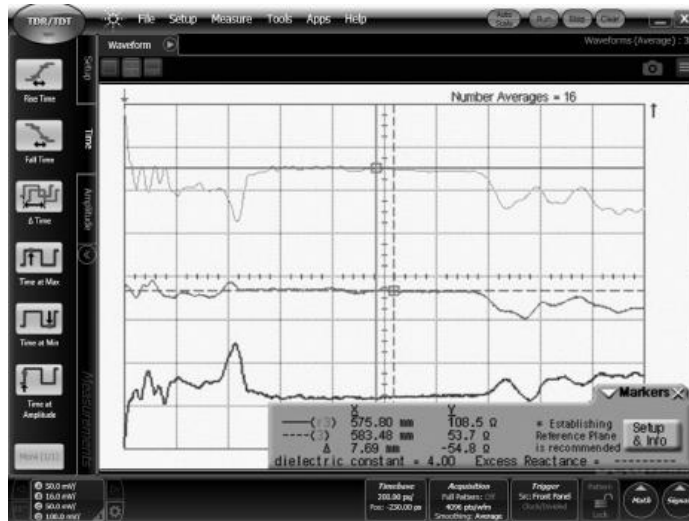


Рисунок 15 – Осциллограмма сигнала с полученными погрешностями измерений

Когда измерение, включающее в себя крепления и потери, повторяется, но ошибки измерения устраняются при калибровке, результаты измерений согласуются с результатами, полученными при отсутствии физического крепления (Рисунки 12 и 16).

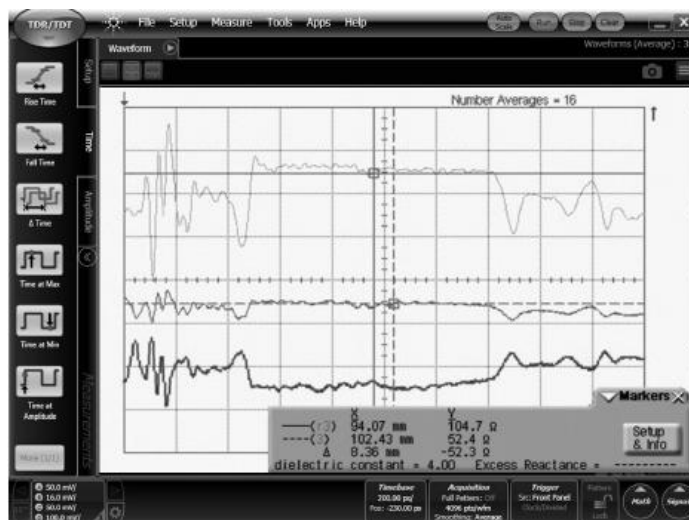


Рисунок 16 – Осциллограмма сигнала с исправленными погрешностями измерений

Откалиброванная измерительная система обеспечивает наивысшую точность дифференциальных измерений, даже при наличии неисправных механизмов.

Процесс калибровки и методы измерения одинаково применимы для измерений в обычном режиме, когда два генератора ступенчатого сигнала имеют одинаковые полярности, основанные на калибровочных стандартах мер согласованной нагрузки и мер короткого замыкания, которые предоставляются для выполнения калибровки. Измерения тестируемого устройства, которые требуют перехода от коаксиальной кабельной разводки кабельного рефлектометра к не коаксиальному типу кабеля (например, зондирование на печатной плате), значительно выигрывают от этого при условии, что обеспечивается согласованной нагрузкой и коротким замыканием соответствующего типа.

2.7 Получение 'S' - параметров из измеренных результатов

Важное значение для понимания поведения компонентов может быть достигнуто с помощью анализа частотной области в дополнение к определению характеристик во временной области. Например, общее измерение заключается в определении количества сигнала, который отражается обратно от компонента в определенном диапазоне частот, возможно, в диапазоне кГц через гГц диапазон. Результаты частотной характеристики часто дают важное представление о том, почему компоненты ведут себя определенным образом. Резонансы легко обнаружить, и общая производительность может быть напрямую связана со специфическим поведением цепи. Расширенным моделям компонентов могут способствовать измерения в частотной области. Усовершенствованные модели компонентов могут быть упрощены за счет измерений в частотной области.

Такие измерения обычно называются "S" (scattering - рассеяние) параметрами и используются в РЧ и СВЧ диапазонах уже десятки лет. Общим инструментом, используемым для получения S-параметров, является анализатор сети, в котором генератор синусоидальных сигналов варьируется по частоте в пределах интересующего диапазона. Приемник, настроенный на частоту генератора сигнала, используется для мониторинга сигнала (отраженного или переданного) от тестируемого устройства. Компоненты могут быть одно- и двухпортовыми (только вход или выход) или двухпортовыми (вход и выход). В случае двухпортового компонента, мы рассматриваем передачу и отражение сигнала в обоих портах. Таким образом, для компонента с двумя портами имеются две пары отражений и измерений передачи и, следовательно, четыре S-параметра. Пример конфигурации показан на рисунке 17.

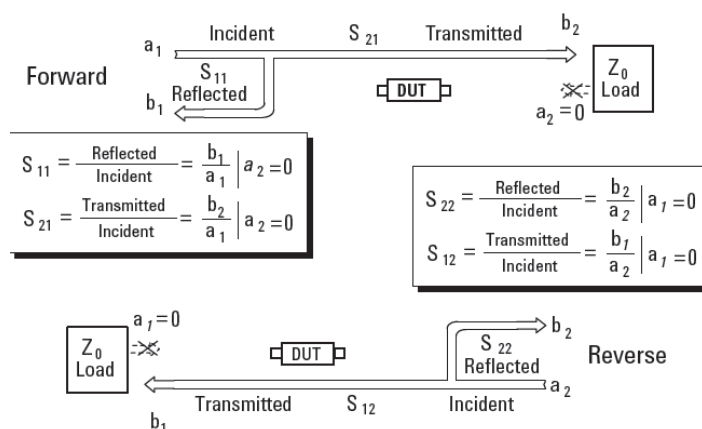


Рисунок 17 – Модель "S" параметров для двухпортового устройства

2.8 Измерение дифференциальных компонентов и каналов

Дифференциальный компонент с положительным и отрицательным входом и выходом добавляет два порта к вышеприведенному примеру и еще четыре S-параметра. Однако дифференциальные каналы могут соединяться со своими дополнительными каналами, удваивая 8 S-параметров до 16. Следует

отметить, что сигналы и реакция на эти измерения все еще являются фактически односторонними. То есть стимулируется только один порт и измеряется один порт для получения каждого из S-параметров. Обозначение параметра S состоит в следующем: S "out/in". Таким образом, S₂₁ - это сигнал, наблюдаемый в порту 2, с входным сигналом в порту 1. В следующем примере для дифференциальной цепи одна пара портов отмечена портами 1 и 3, другая пара портов 2 и 4. Ниже, на рисунке 18, показаны 16 возможных конфигураций измерений и некоторые физические интерпретации.

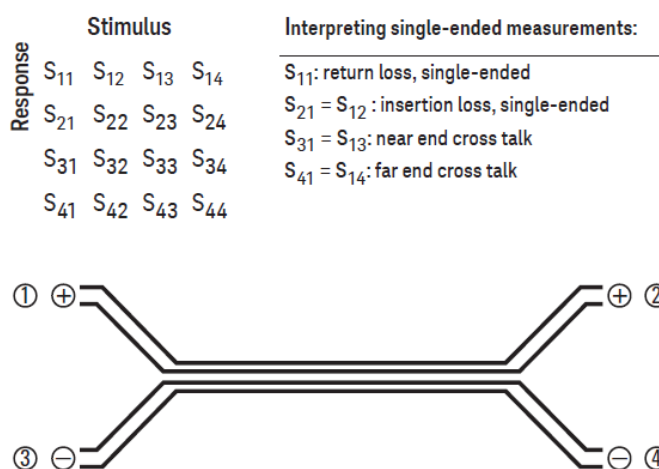


Рисунок 18 - 16 возможных конфигураций измерений и некоторые физические интерпретации

В конечном счете, дифференциальная цепь может работать как в дифференциальном, так и в общем режиме, а реакция может измеряться в дифференциальном или общем режиме. Таким образом, полный набор S-параметров для двухпортового дифференциального компонента, включая конфигурации одностороннего, дифференциального, общего и смешанного режимов, имеет 32 уникальных S-параметра.

Важно понимать, что обеспечивает различная конфигурация измерения дифференциального и общего режимов. Обозначение дифференциального параметра S немного отличается от обозначения с одиночным. Он по-прежнему следует формату S "Out-in". В 1-ом порту имеются как положительные, так и

отрицательные участки дифференциального входа, также, как и в 2-ом порту, как и показано на рисунках 19 и 20.



Рисунок 19 – Модель с дифференциальным S параметром

		Stimulus				
		Differential signal		Common signal		
		Port 1	Port 2	Port 1	Port 2	
Response	Differential signal	Port 2	S_{DD11}	S_{DD12}	S_{DC11}	S_{DC12}
		Port 1	S_{DD21}	S_{DD22}	S_{DC21}	S_{DC22}
	Common signal	Port 2	S_{CD11}	S_{CD12}	S_{CC11}	S_{CC12}
		Port 1	S_{CD21}	S_{CD22}	S_{CC21}	S_{CC22}

Рисунок 20 – S параметры смешанного режима

Таким образом, S_{DD11} отображает отраженный дифференциальный сигнал при дифференциальной стимуляции. Аналогичным образом, S_{DD21} отображает дифференциальный выход (на дифференциальном порту 2), когда дифференциальный сигнал поступает на дифференциальный порт 1. Таким образом, в 16-элементную матрицу дифференциальных S-параметров входят четыре основных квадранта, как показано на рисунке 19. Верхний левый квадрант представляет собой измерение дифференциальной передачи и отражения сигнала для устройства с двумя дифференциальными портами (обычно дифференциальный вход и выход) при стимулировании при помощи дифференциальных сигналов. Аналогичным образом, нижний правый квадрант

обеспечивает общую эффективность передачи и отражения, когда два портовых устройства стимулируются сигналами общего режима.

Параметры смешанного режима (комбинации дифференциального и общего режимов сигнала или реакции) предоставляют важную информацию о том, как может происходить преобразование одного режима в другой, что в свою очередь дает представление о том, как компоненты и каналы могут излучать или быть чувствительны к излучаемым сигналам. Например, нижний левый квадрант показывает, как дифференциальные входные сигналы преобразуются в сигналы обычного режима. SCD21 является мерой того, как дифференциальный вход в порт 1 воспринимается в качестве сигнала обычного режима в порту 2 (см. Рисунок 20). Общие сигналы в режимах с большей вероятностью вызовут излучение, чем дифференциальный сигнал, поэтому квадрант SCD полезен для решения таких проблем. Правый верхний квадрант (SDC) показывает, как обычные сигналы преобразуются в дифференциальные сигналы. Дифференциальные системы предназначены для снижения восприимчивости к ложным сигналам, не допуская ничего общего с обеими частями дифференциальной системы. Но если ложные сигналы в обычном режиме преобразуются в дифференциальные сигналы, то они больше не отвергаются. Поэтому измерения в квадранте ШУРС полезны для решения проблем восприимчивости к ложным сигналам. Например, SDC21 показывает, как сигнал, обычный для первого порта, преобразуется в дифференциальный сигнал и наблюдается в порту 2. Хотя анализатор сети непосредственно подходит для генерирования S-параметров частотной области, рефлектометр 86100 может быть настроен на получение результатов S-параметров в частотном диапазоне в дополнение к обычным измерениям с помощью TDR-датчика. В зависимости от конфигурации прибора может быть получен полный набор или его часть из 32 различных S-параметров. Полная и тщательная оценка характеристик компонента теперь возможна как в частотной, так и во временной области с помощью одного прибора.

3 Модель кабельного рефлектометра

3.1 Общий алгоритм работы модели

Общий вид модели приведён на плакате. Данная модель представляет собой генератор, кабельную линию и приемник.

Блоки и подсистемы входящие в состав модели обеспечивают создание сигнала, его модуляцию, прохождение по маршруту и демодуляцию.

Исследование кабельной линии происходит по следующему алгоритму – генератор формирует одиночный импульс и посылает его по кабелю. Если на пути этого сигнала окажутся дефекты, неоднородности, неполадки и т.д., то электрический импульс отразится в обратную сторону.

3.2 Модель Генератора

Модель Генератора – это отправная точка сигнала. Тут сигнал создаётся и модулируется. Виды моделей генератора представлены ниже.

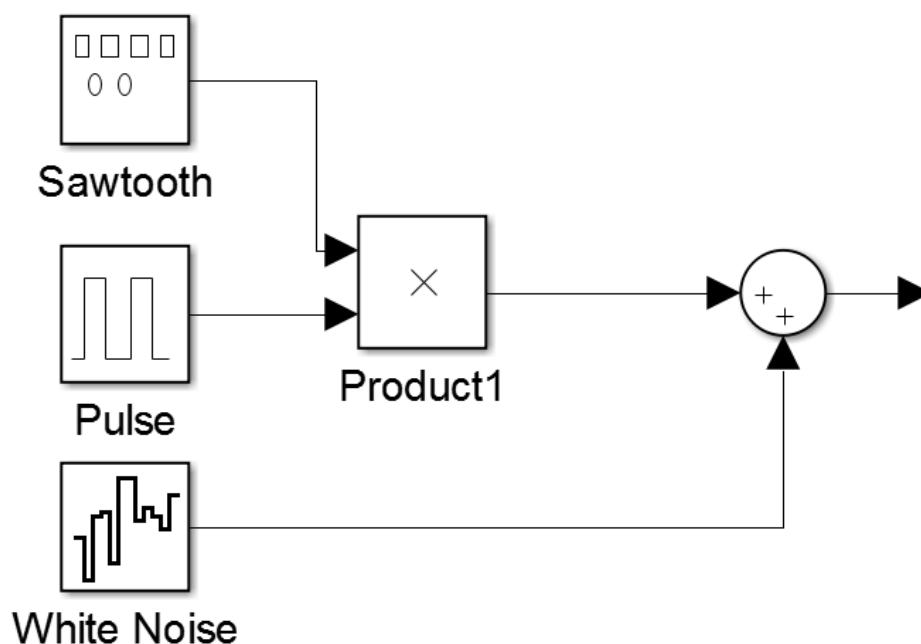


Рисунок 22 – Вид модели генератора в модели с использованием обратного пилообразного импульса

Рассмотрим составляющие данной модели подробнее

Модель генератора состоит из следующих блоков:

- блок Sawtooth (источник периодического пилообразного сигнала);
- блок Pulse (источник импульсного сигнала);
- блок White Noise (источник белого шума);
- блок Product1 (перемножитель сигналов);
- блок Сумматор (сложение перемноженных сигналов с белым шумом);

Параметры работы каждого блока показаны на рисунках 23 - 25.

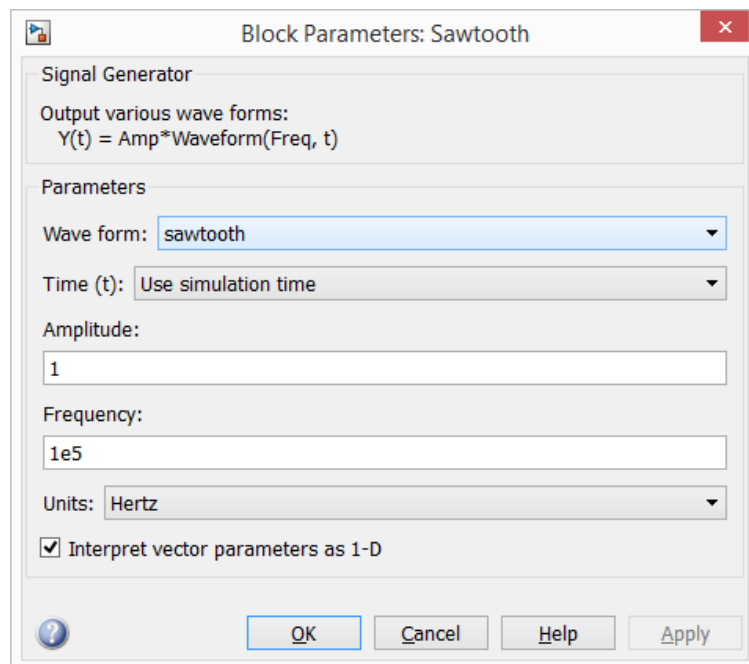


Рисунок 23 – Параметры блока Sawtooth

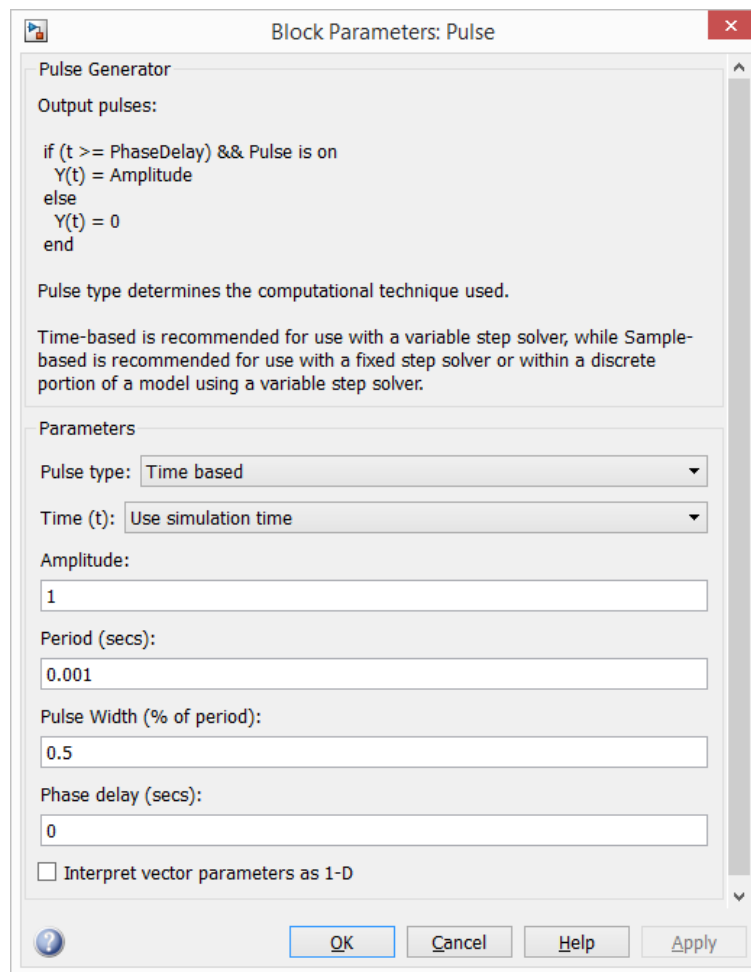


Рисунок 24 – Параметры блока Pulse

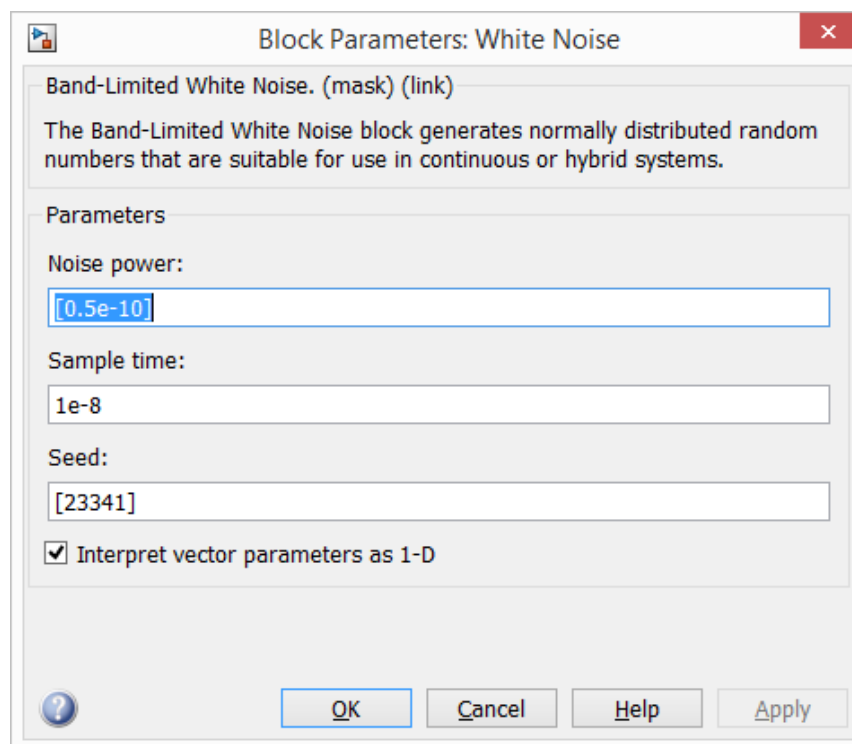


Рисунок 25 - Параметры блока White Noise

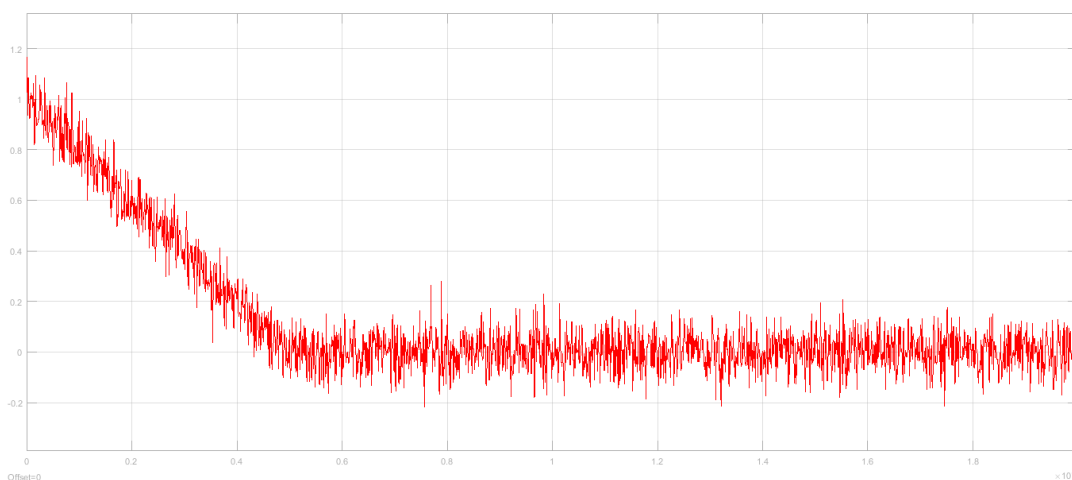


Рисунок 26 - Результат работы модели

Параметры блоков Pulse и White Noise одинаковы для каждой модели.

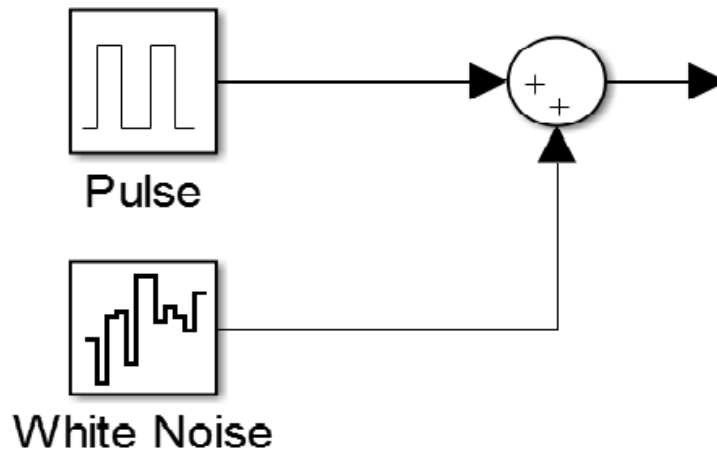


Рисунок 27 – Вид модели генератора в модели с использованием прямоугольного импульса

Рассмотрим составляющие данной модели подробнее

Модель генератора состоит из следующих блоков:

- блок Pulse (источник импульсного сигнала);
- блок White Noise (источник белого шума);
- блок Сумматор (сложение перемноженных сигналов с белым шумом);

Результат работы модели показан на рисунке 28.

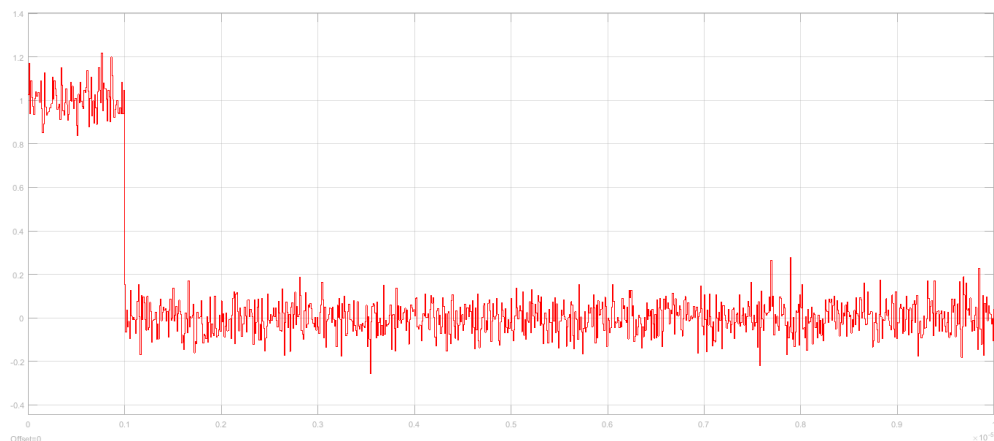


Рисунок 28 - Результат работы модели

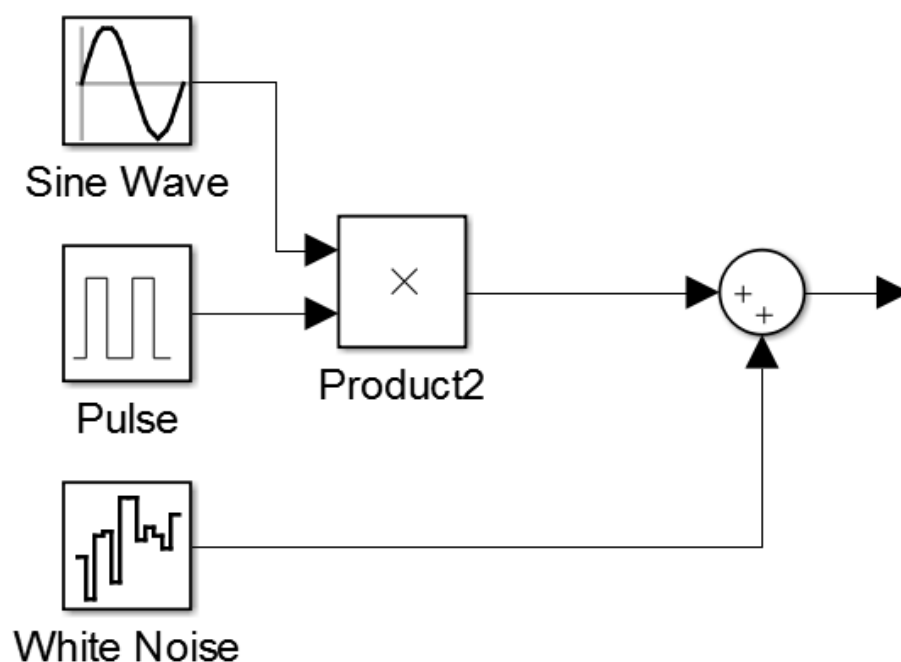


Рисунок 29 – Вид модели генератора в модели с использованием синусоидального импульса

Рассмотрим составляющие данной модели подробнее

Модель генератора состоит из следующих блоков:

- блок Sine Wave (источник синусоидального сигнала);
- блок Pulse (источник импульсного сигнала);
- блок White Noise (источник белого шума);
- блок Product2 (перемножитель сигналов);
- блок Сумматор (сложение перемноженных сигналов с белым шумом);

Параметры работы блока Sine Wave представлены на рисунке 30.

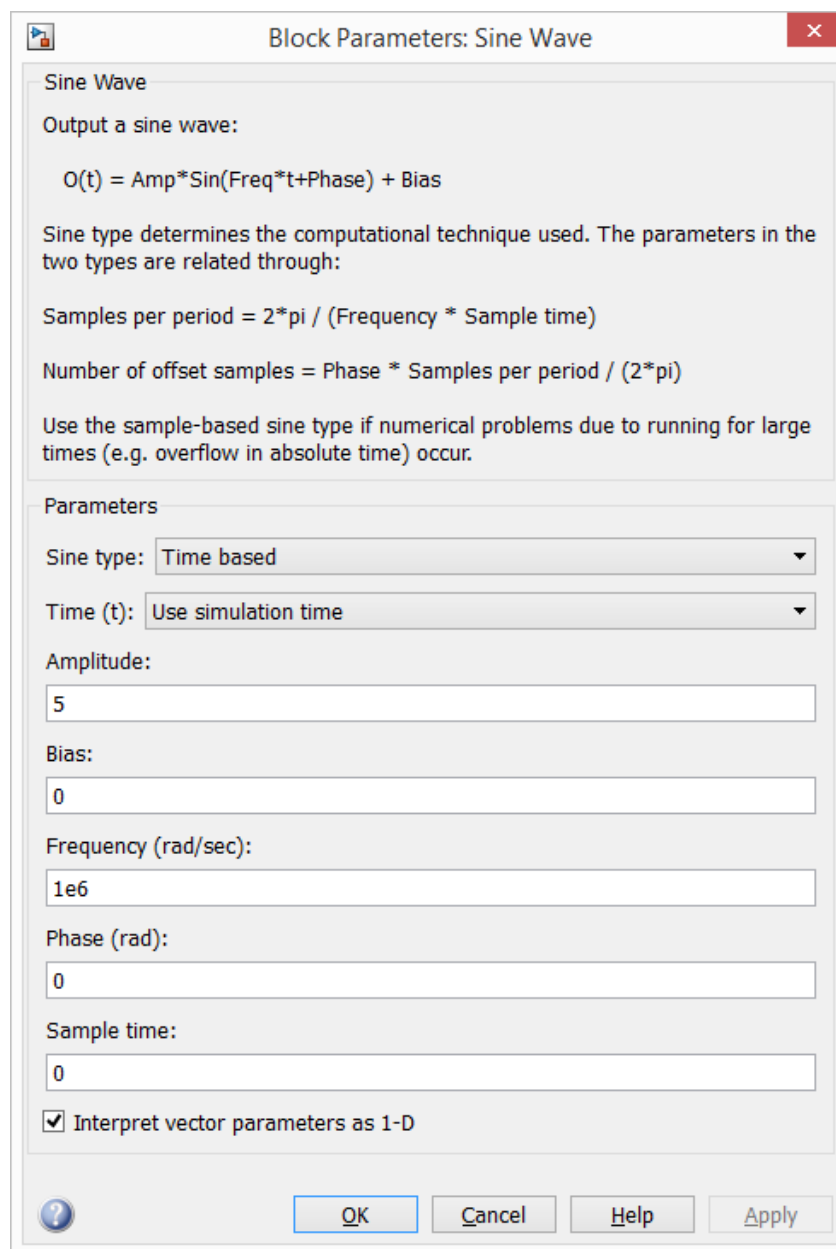


Рисунок 30 - Параметры работы блока Sine Wave

Результат работы модели показан на рисунке 31.

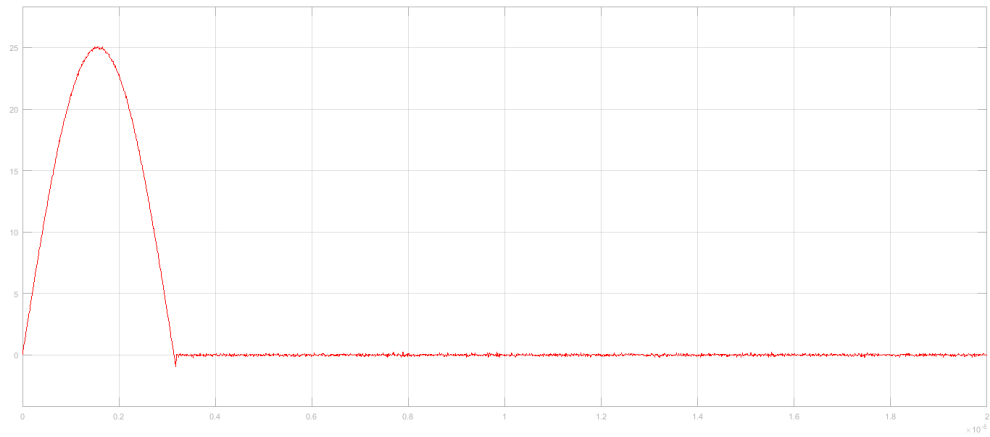


Рисунок 31 - Результат работы модели

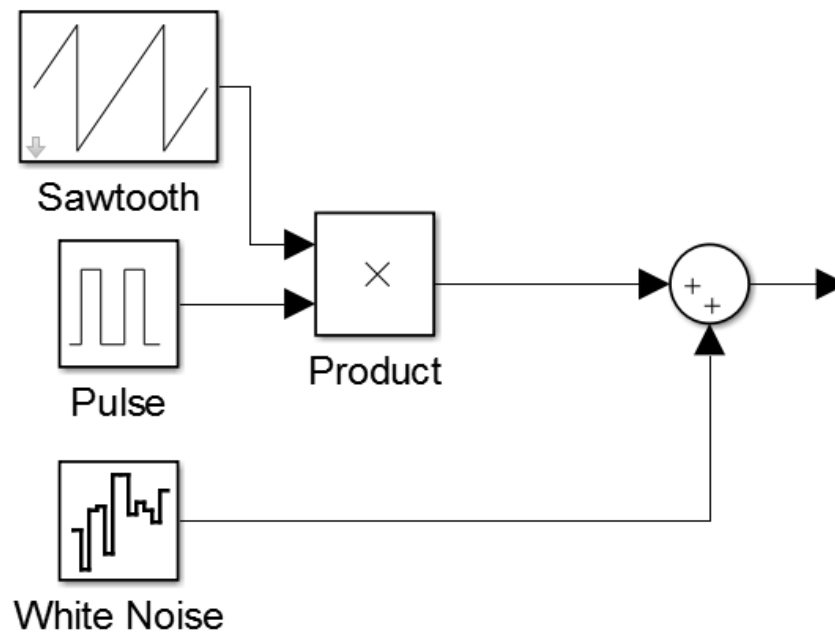


Рисунок 32 – Вид модели генератора в модели с использованием прямого пилообразного импульса

Рассмотрим составляющие данной модели подробнее

Модель генератора состоит из следующих блоков:

- блок Sawtooth (источник периодического пилообразного сигнала);
- блок Pulse (источник импульсного сигнала);

- блок White Noise (источник белого шума);
- блок Product (перемножитель сигналов);
- блок Сумматор (сложение перемноженных сигналов с белым шумом);

Параметры работы блока Sawtooth представлены на рисунке 33.

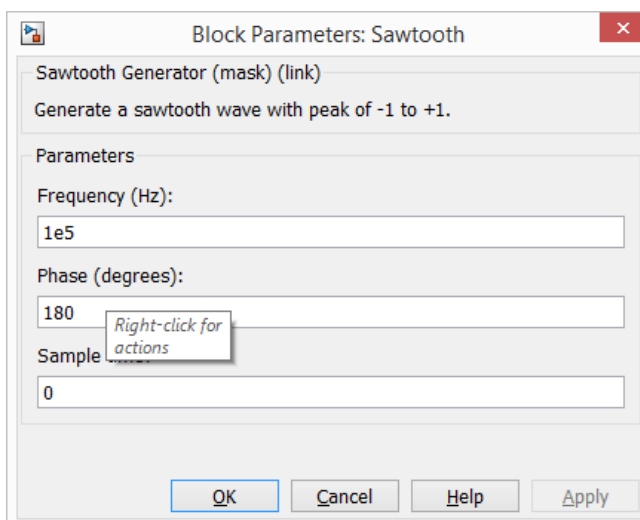


Рисунок 33 – Параметры блока Sawtooth

Результат работы модели показан на рисунке 34.

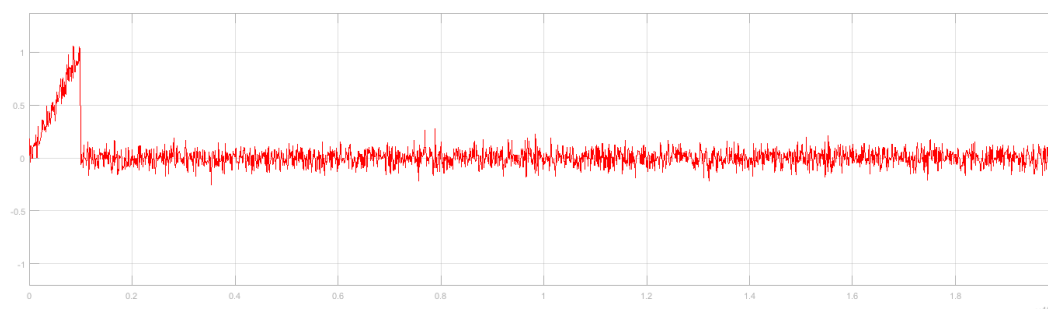


Рисунок 34 - Результат работы модели

3.3 Модель кабельной линии

Кабельная линия состоит из 5 соединенных между собой участков с разной диэлектрической проницаемостью длиной 100м. На концах участков имеются

неоднородности, которые создают помехи при передаче сигнала. Вид кабельной линии показан на рисунке 35.

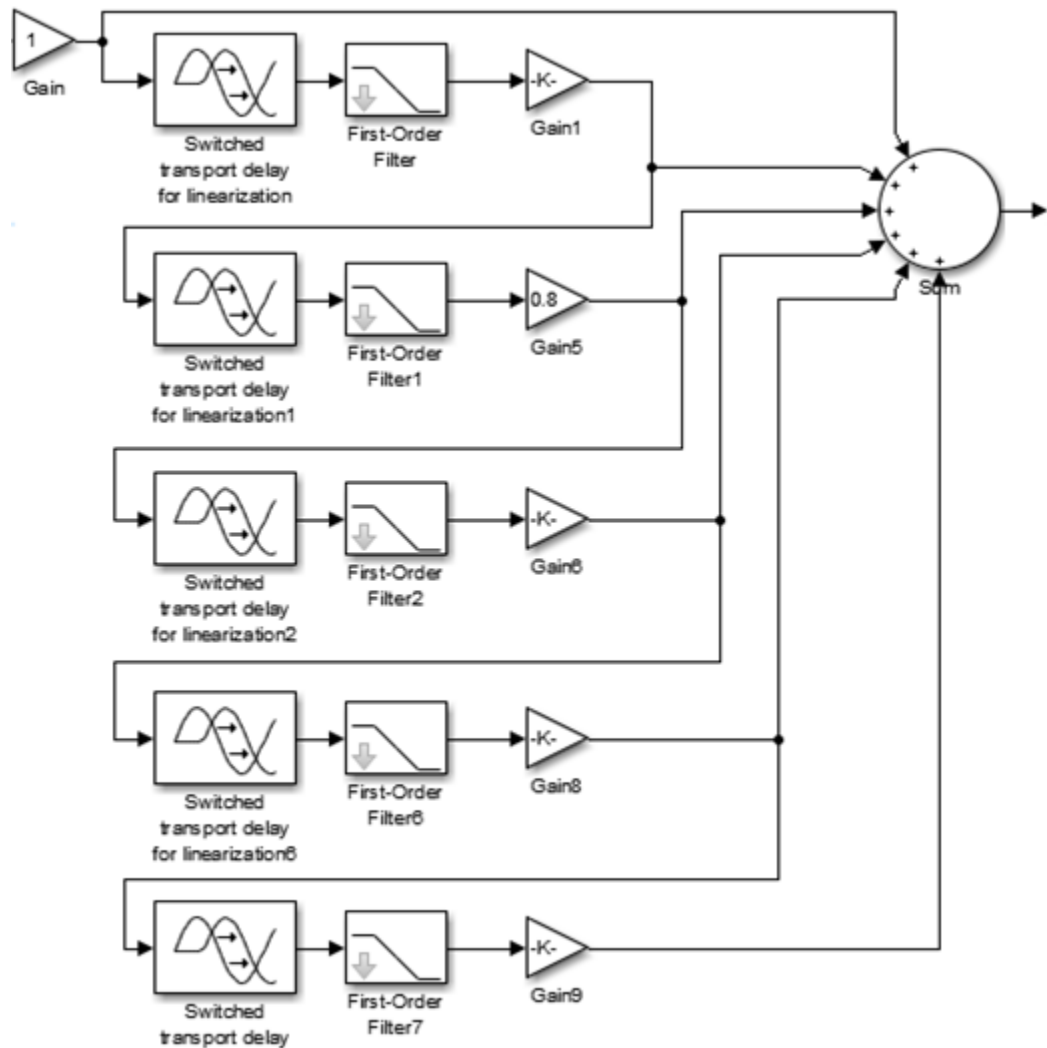


Рисунок 35 – Модель кабельной линии

Рассмотрим составляющие данной модели подробнее

Модель кабельной линии состоит из следующих блоков:

- блок Gain (коэффициент отражения);
- блок Switched transport delay (блок задержки);
- блок First – Oder Filter (ФНЧ 1 порядка);

- блок Сумматор (сложение сигналов, проходящих по разным участкам линии);

Выходные сигналы, формируемые моделью показаны на рисунках 36 – 39.

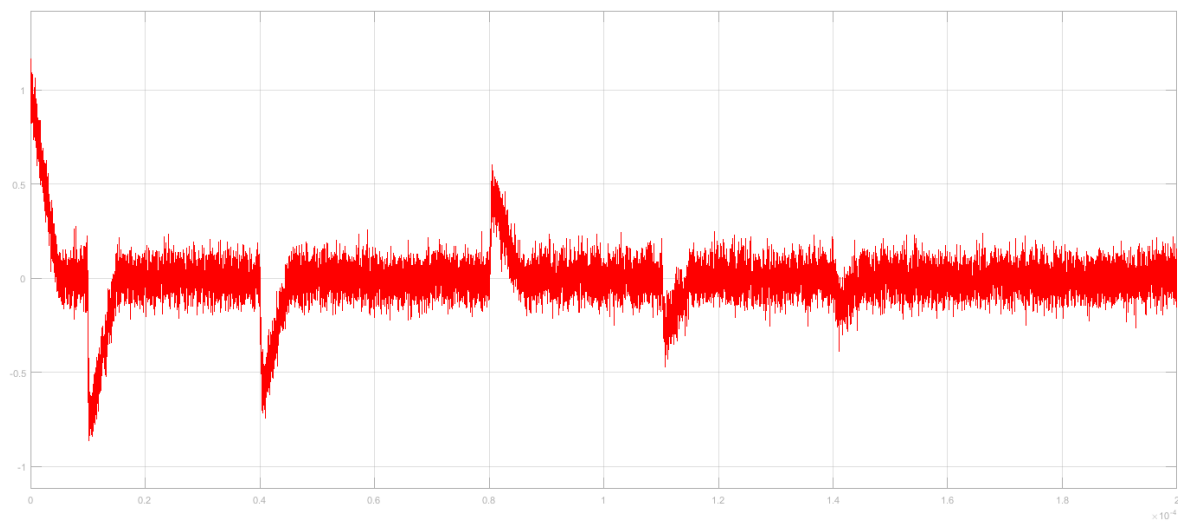


Рисунок 36 – Результат работы модели при подаче обратного пилообразного импульса

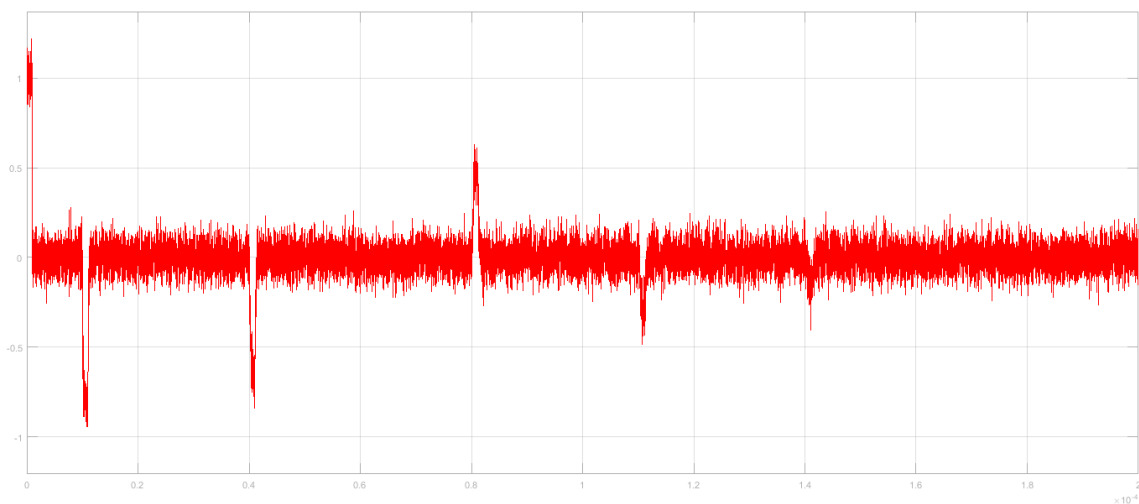


Рисунок 37 – Результат работы модели при подаче прямоугольного импульса

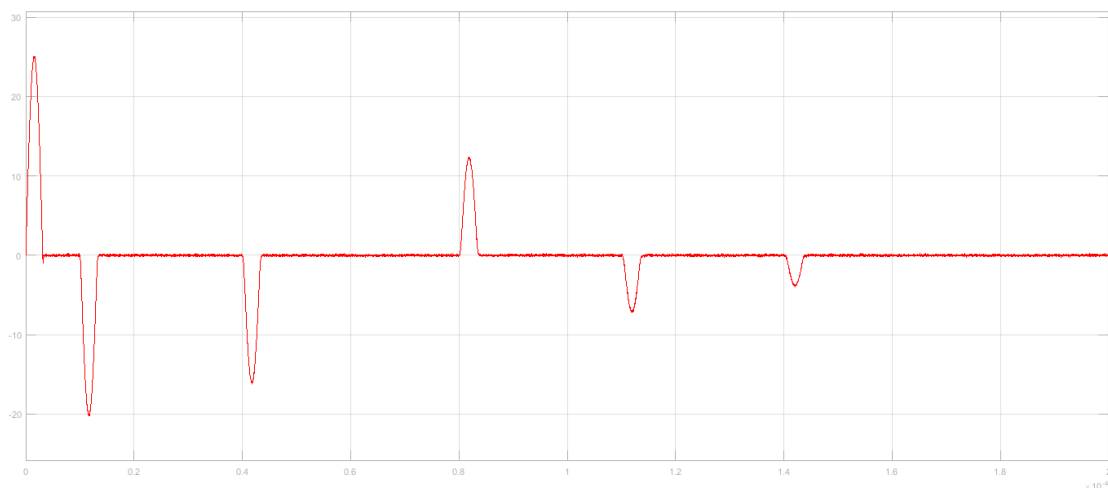


Рисунок 38 – Результат работы модели при подаче синусоидального импульса

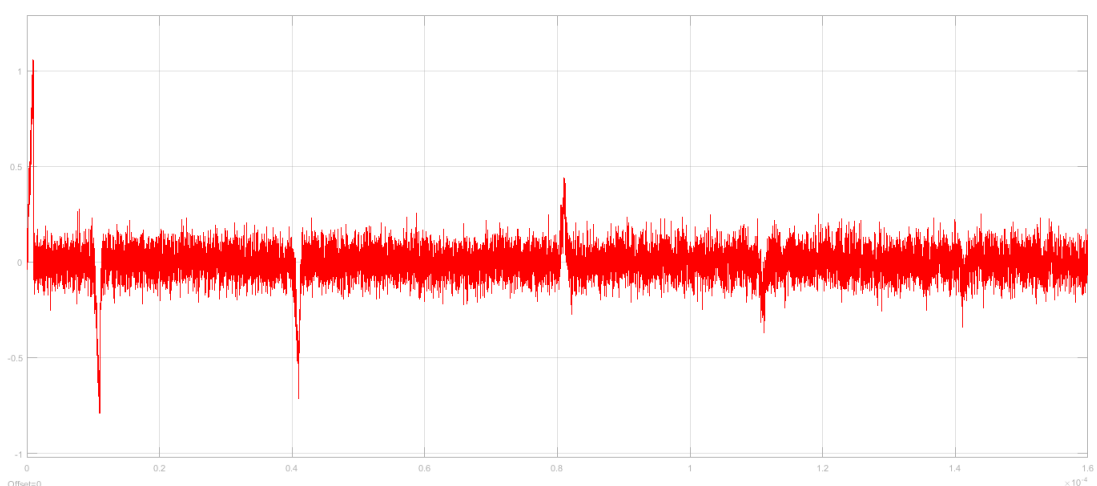


Рисунок 39 – Результат работы модели при подаче прямого пилообразного импульса

3.4 Модель детектора расстояния до неравномерностей

Детектор расстояния до неравномерностей состоит из линии задержки, коррелятора и компаратора. Сигналы с модели кабельной линии и линии задержки поступают на коррелятор. Далее после корреляции сигнал поступает на компаратор где производится его сравнение с постоянным порогом. Модель показана на рисунке 40.

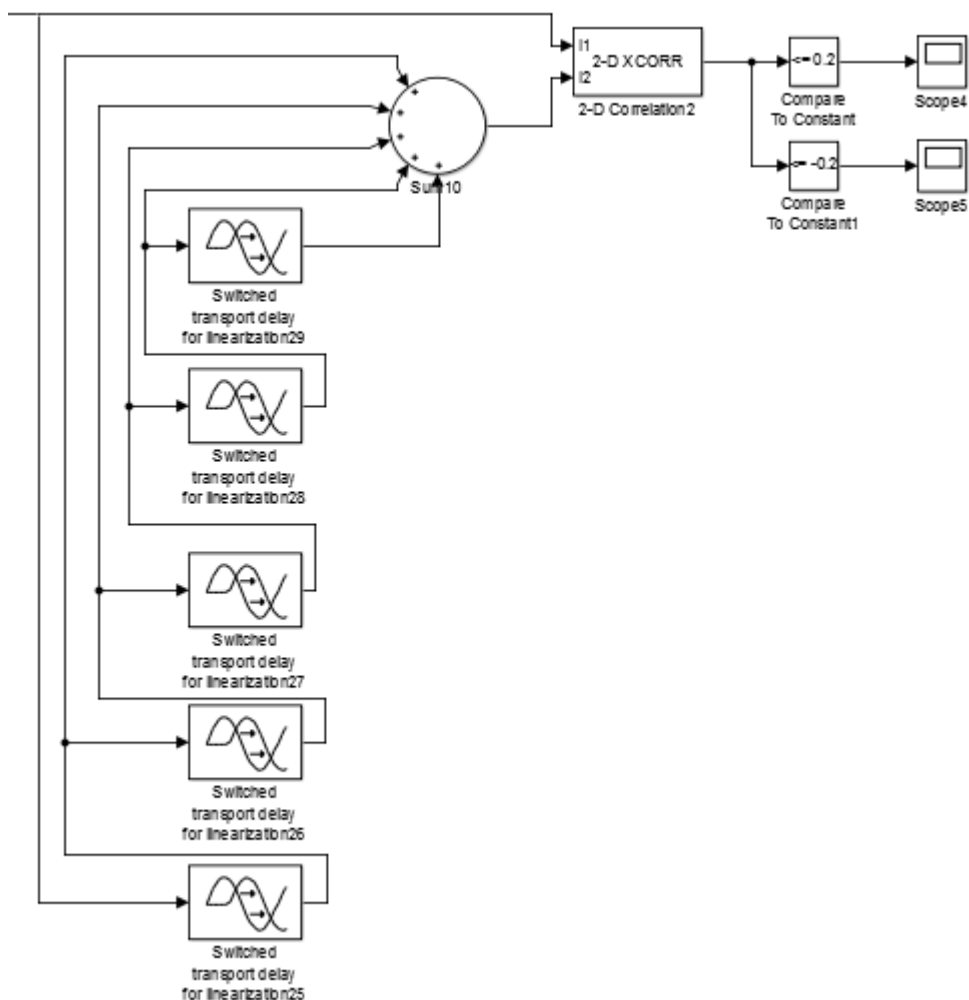


Рисунок 40 – Модель детектора расстояния до неравномерностей

Рассмотрим составляющие данной модели подробнее

Модель детектора расстояния состоит из следующих блоков:

- блок Switched transport delay (блок задержки);
- блок 2-D Correlation (блок корреляции);
- блок Compare to constant (блок компаратора)
- блок Сумматор (сложение сигналов, проходящих по разным участкам линии);

На рисунке 41 показано что уверенное детектирование сигнала происходит в момент третьего отклика.

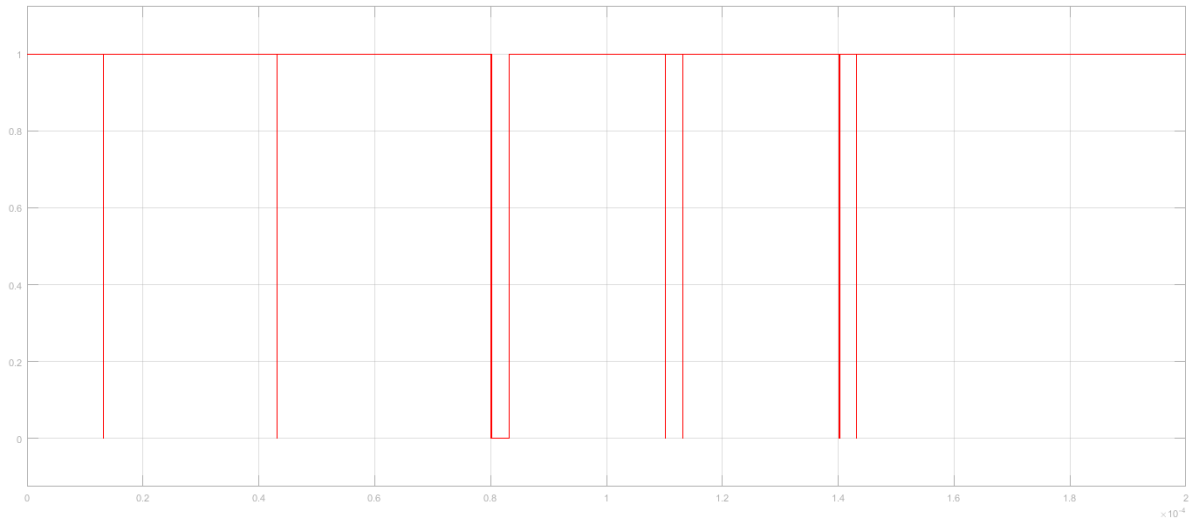


Рисунок 41 – Сравнение с положительным порогом синусоидального сигнала

Для отбрасывания ложных сигналов компаратора применим ФНЧ, результат показан на рисунке 42.

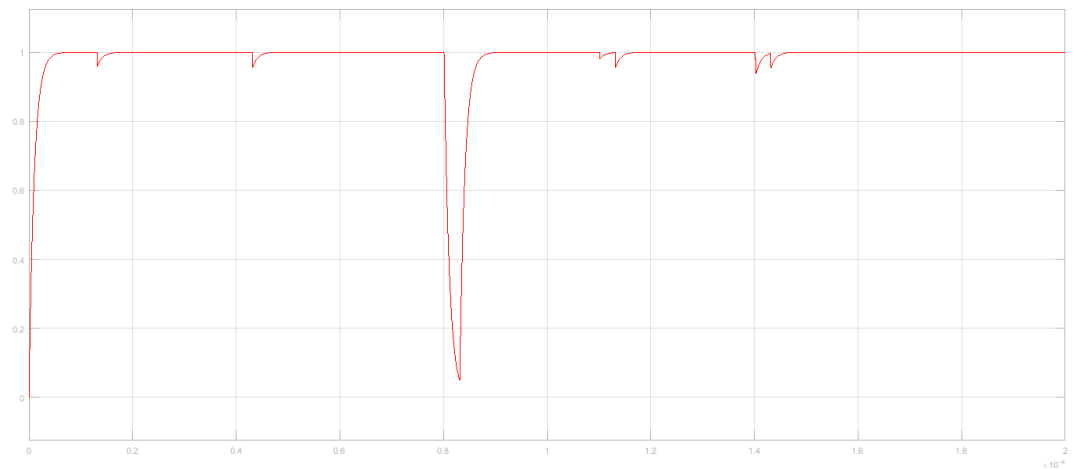


Рисунок 42 – Отбрасывание ложных сигналов компаратора при сравнении с положительным порогом синусоидального сигнала

На рисунке 43 показано что уверенное детектирование сигнала происходит в моменты первого, второго, четвертого и пятого откликов.

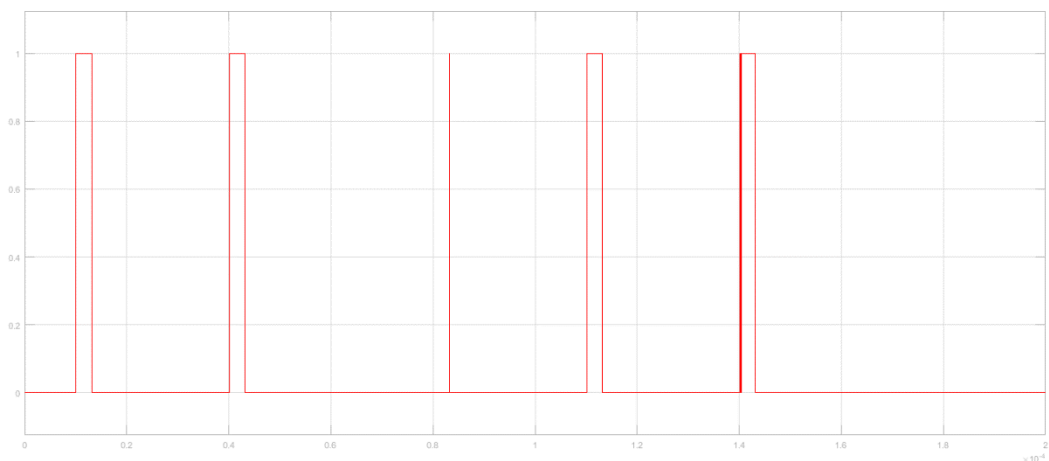


Рисунок 43 – Сравнение с отрицательным порогом синусоидального сигнала

Для отбрасывания ложных сигналов компаратора применим ФНЧ, результат показан на рисунке 44.

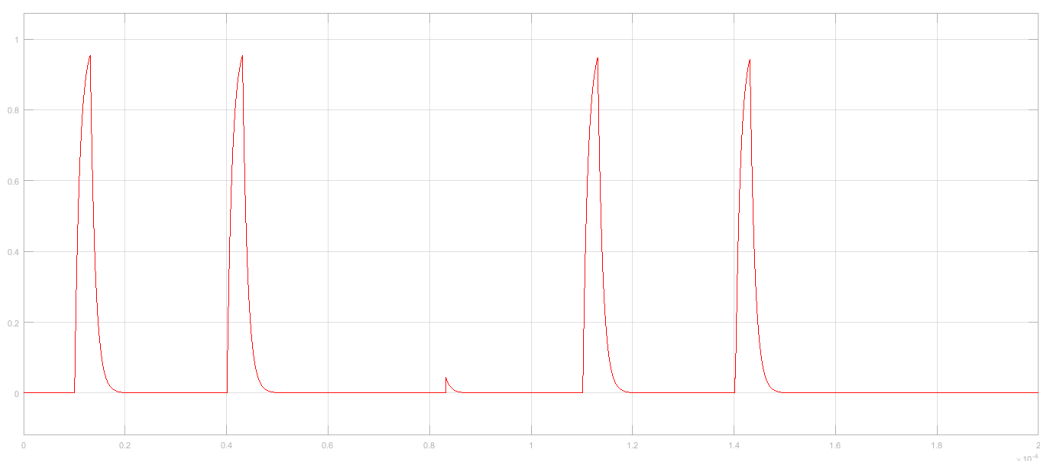


Рисунок 44 – Отбрасывание ложных сигналов компаратора при сравнении с отрицательным порогом синусоидального сигнала

На рисунке 45 показано что уверенное детектирование сигнала происходит в моменты первого, второго и третьего откликов.

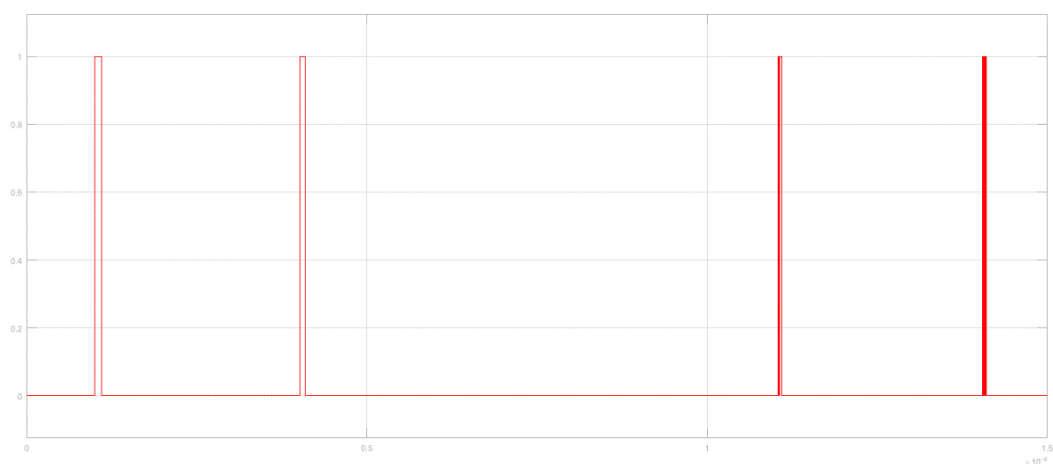


Рисунок 45 – Сравнение с отрицательным порогом прямоугольного сигнала

Для отбрасывания ложных сигналов компаратора применим ФНЧ, результат показан на рисунке 46.

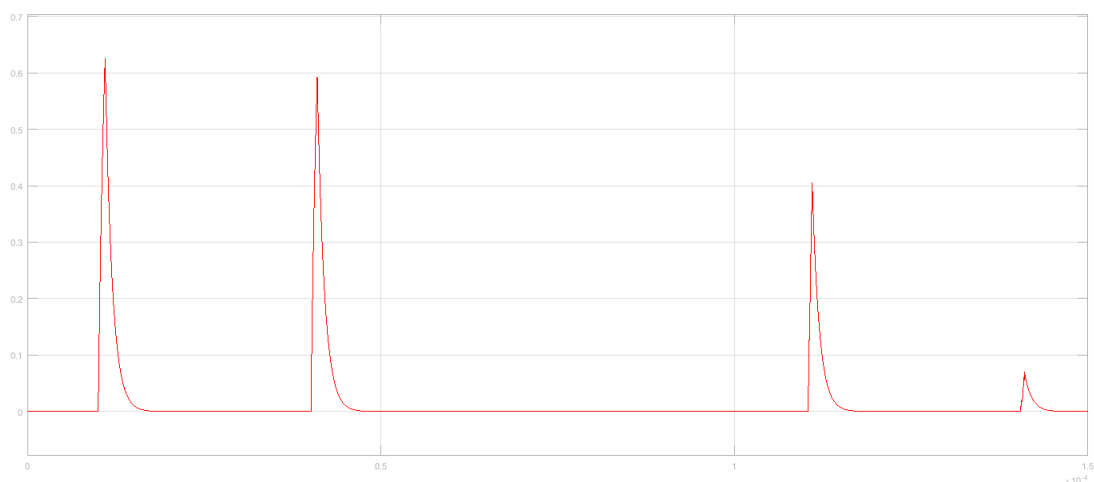


Рисунок 46 – Отбрасывание ложных сигналов компаратора при сравнении с отрицательным порогом прямоугольного сигнала

На рисунке 47 показано что уверенное детектирование сигнала происходит только в момент первого отклика.

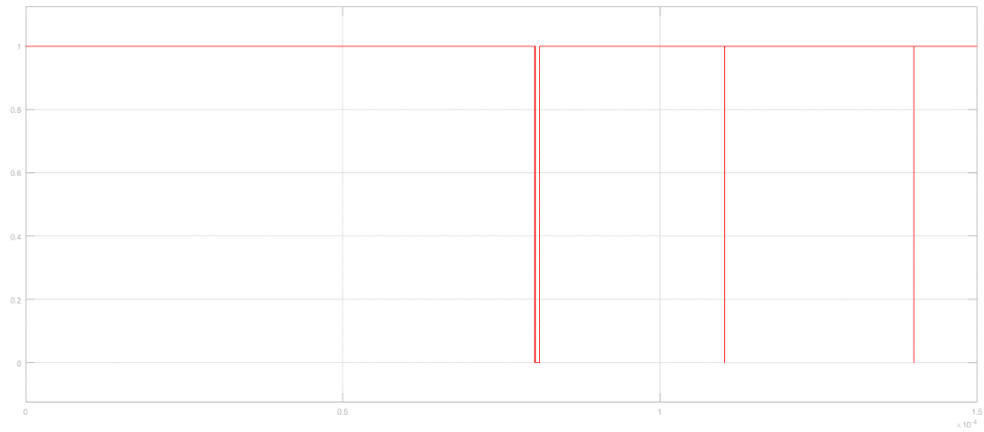


Рисунок 47 – сравнение с положительным порогом синусоидального сигнала

Для отбрасывания ложных сигналов компаратора применим ФНЧ, результат показан на рисунке 48.

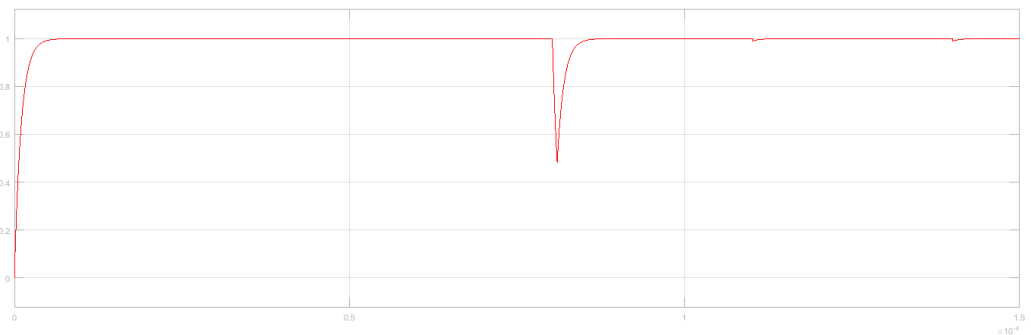


Рисунок 48 – отбрасывание ложных сигналов компаратора при сравнении с положительным порогом прямоугольного сигнала

С остальными сигналами исследование проводится также, как и с синусоидальным и прямоугольным сигналами.

Добавим несколько ложных отметок в линию задержки, результат показан на рисунке 49.

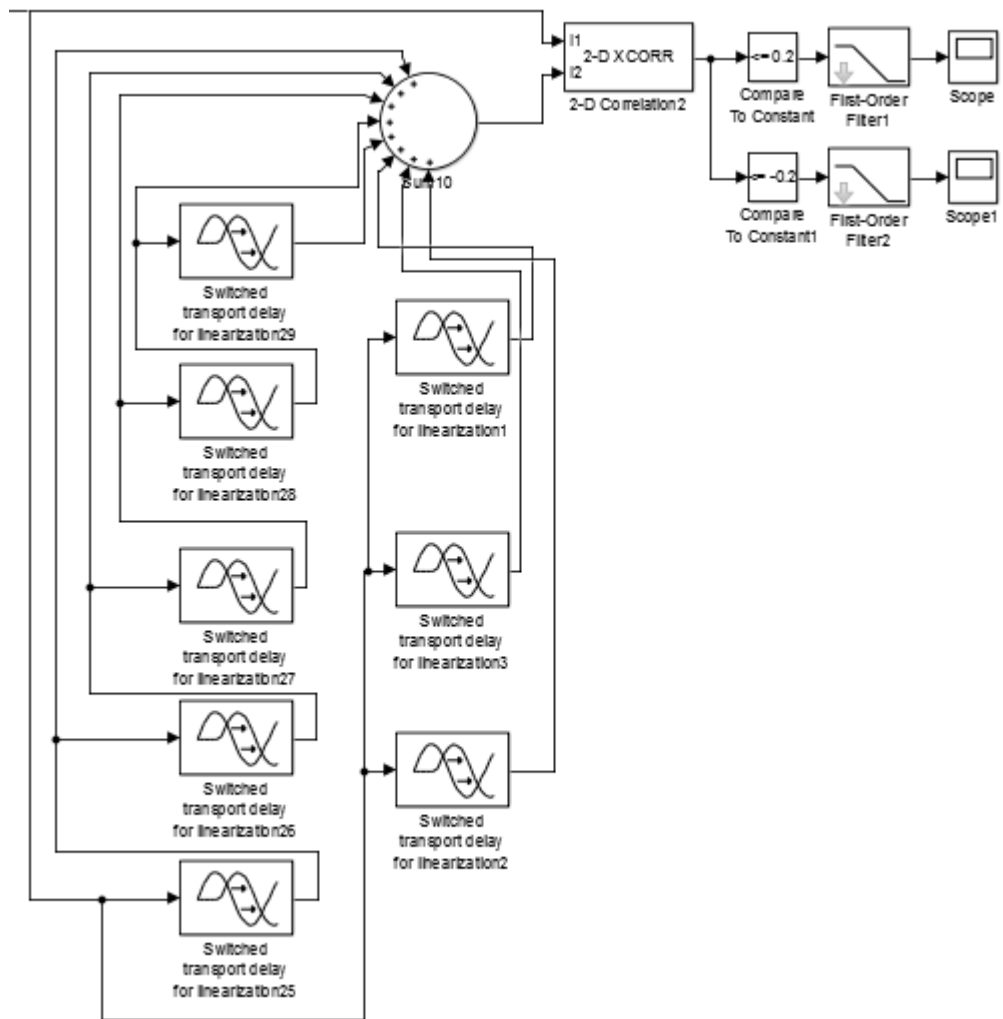


Рисунок 49 – модель детектора расстояния до неравномерностей с добавлением нескольких ложных элементов задержки

На рисунке 50 можно увидеть, как уверенно детектируется сигнал на отметках 1,2,4,5. На месте третьей отметки появляются ложные срабатывания компаратора. Это становится возможным только благодаря тому, что значения ложных характеристик времени задержки находятся рядом с истинными. Если бы временная характеристика ложной отметки значительно отличалась от отметки истинной, то на графике мы бы ее не увидели.

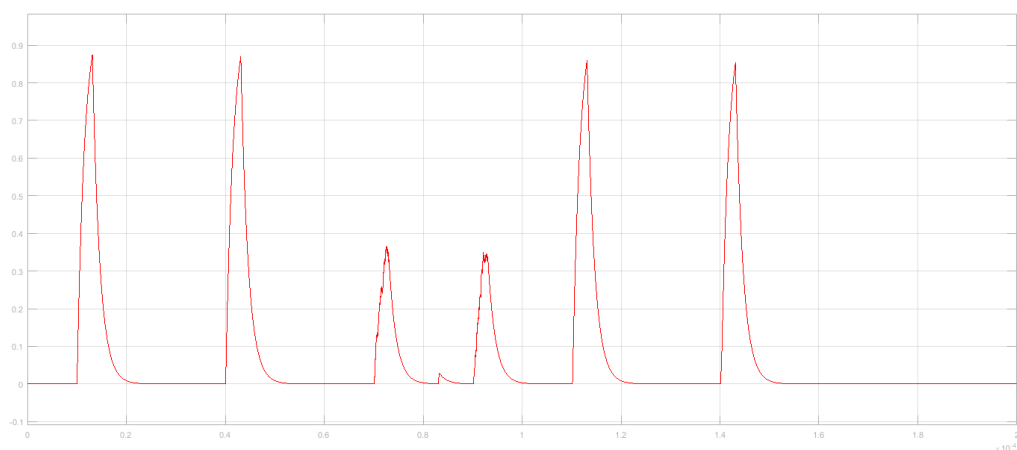


Рисунок 50 – Появление ложных отметок при отбрасывании ложных сигналов компаратора

На рисунке 51 показан результат работы модели без использования детектора расстояния до неравномерностей и без использования коррелятора.

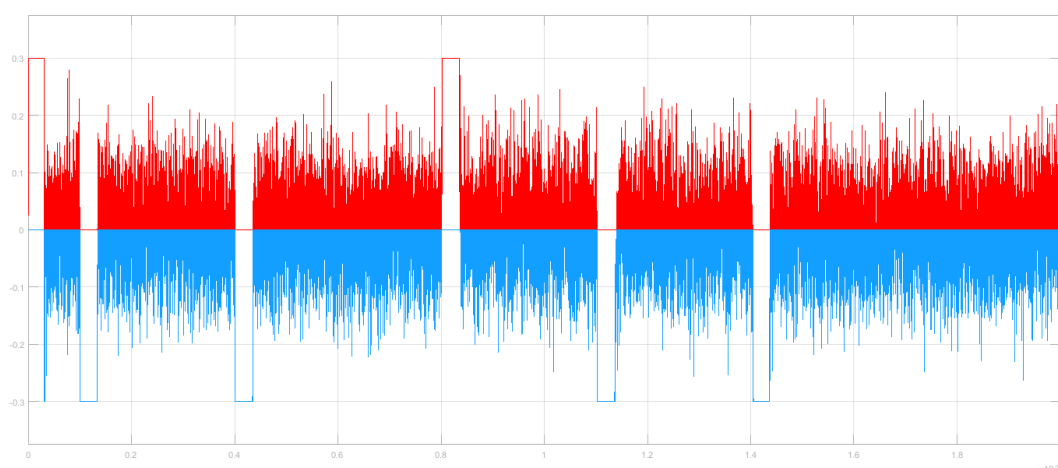


Рисунок 51 – сравнение с положительным и отрицательным порогом синусоидального сигнала без использования коррелятора

Для отбрасывания ложных сигналов компаратора применим ФНЧ, результат показан на рисунке 52.

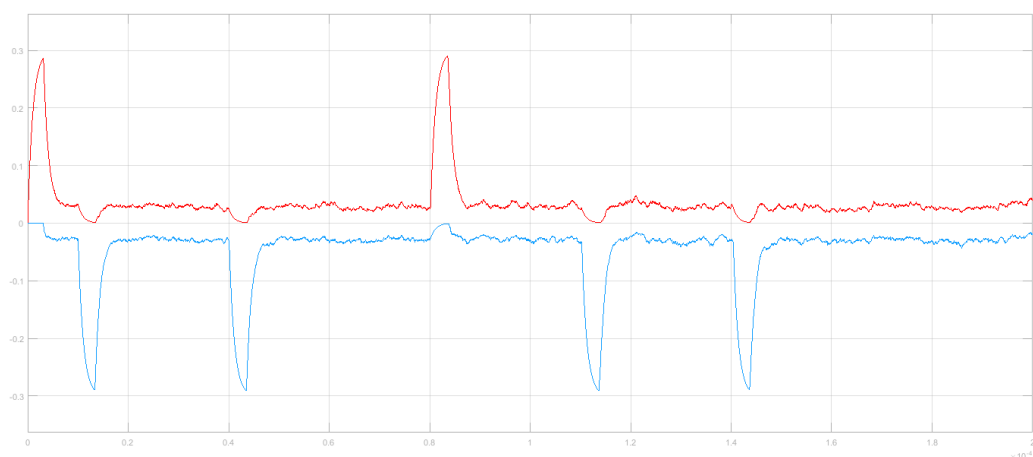


Рисунок 52 – отбрасывание ложных сигналов компаратора при сравнении с положительным и отрицательным порогами синусоидального сигнала без использования коррелятора

Вывод: Разработанная модель кабельного рефлектометра обладает способностью определять места повреждения в кабельной линии, а также обнаружить наличие неоднородностей. Модель с коррелятором позволяет использовать более длинные зондирующие импульсы, что упрощает схему без ухудшения точности. Это позволяет говорить о модели как об отвечающей заданным требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе стояла задача моделирования кабельной линии и сравнению двух методов детектирования расстояния до повреждения.

Созданная модель соответствует заданным требованиям. В состав модели входит модель генератора, также присутствует модель детектора расстояния до неравномерностей. Также в работе представлены этапы и особенности применения корреляционного метода детектирования расстояния до неравномерностей, одним из достоинств которого является возможность применения более длинных зондирующих импульсов, что позволяет упростить схему модели без ухудшения точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. William H. Hayt Jr.: Electromagnetic Engineering, Ch 4.5 “The potential field of a system of charges”, McGraw-Hill, 2001.
2. Ramo, Whinery, and Van Duzer: Fields and Waves in Communication Electronics, Ch 3.04 “Superposition”, JohnWiley and Sons.
3. Keysight Technologies: High Precision Time Domain Reflectometry (TDR).: USA, 2017.
4. Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов, Москва: ДМК-Пресс, 2008.
5. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике, Москва: СОЛОН-Пресс, 2011.
6. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. Москва: СОЛОН-Пресс, 2007.