

СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ С МЕТОДОМ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ВИДЕОСИГНАЛА ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Фадеева Л.Ю.¹

ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия, (420111, г. Казань, ул. К.Маркса, д.10). E-mail: kai@kstu-kai.ru

Совершенствование диагностического оборудования с повышенными требованиями к основным техническим характеристикам вызывает необходимость в разработке путей улучшения показателей рефлектометрической аппаратуры, что и определяет актуальность темы. Одной из решаемых задач является повышение разрешающей способности аппаратуры при обнаружении дефектов. В данной работе приведено сравнение предложенного нового способа эхолокационной диагностики кабельных линий связи (Пат. РФ 2446407 от 27.03.2012г), который может быть эффективным при обнаружении как одиночных, так и множественных комбинационных дефектов в линиях связи с достаточной точностью для радиотехнических приложений, а именно, для контроля фидеров метрового и декаметрового диапазонов, входящих в состав антенных систем. Использование указанного метода открывает ряд новых возможностей недостижимых или трудно реализуемых существующими средствами.

Ключевые слова: синтезированный сигнал, диагностируемый кабель, место повреждений линий электропередачи и связи, весовая функция, дисперсия, потери в линии.

A COMPARISON OF CONVENTIONAL SENSING CABLE COMMUNICATION LINES WITH THE METHOD FOR SYNTHESIZING THE VIDEO SIGNAL FOR ELECTRONIC APPLICATIONS

Fadeeva L.Y.¹

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI (KNRTU-KAI), Kazan, Russia, (420111, Kazan, K. Marksa str., 10)

Improvement of diagnostic equipment with high demands on the main technical characteristics, causes a need to develop ways to improve the performance of reflectometric apparatus that determines the relevance of the topic. One of the problems is to increase the resolution of hardware defects. In this work the comparison of the proposed new method echolocation diagnostics of cable communication lines (Pat. RF 2446407 on 27.03.2012 g), which can be effective in the detection of both single and multiple matching defects in communication lines with sufficient accuracy for electronic applications, namely for the control of feeders meter and decameter ranges included in the antenna systems. Using this method opens a number of new features inaccessible or difficult-to-implement existing tools.

Keywords: synthesized signal, diagnosed cable, seat damage, power and communication lines, weight function, dispersion, line losses.

Наличие протяженных кабельных линий характерно для ряда радиотехнических приложений, в частности, в составе аппаратуры связи, активной и пассивной радиолокации метрового и декаметрового диапазона волн.

Антенные системы в этих случаях часто представляют собой фазированные антенные решетки, излучающие элементы которых находятся на значительном расстоянии как друг от друга, так и от приемопередающей части системы. Протяженность фидерных линий в указанных системах составляет десятки метров и более. Электрические соединения элементов антенных систем, как правило, осуществляется при помощи коаксиальных кабелей. Для антенных систем, представляющих собой цифровые антенные решетки,

указанные соединения могут осуществляться с использованием линий передачи, характерных для телекоммуникационных приложений, в том числе кабелей типа «скрученная пара».

Для антенных решеток декаметрового и, тем более, метрового диапазонов важную роль играют электрические длины кабельных линий, которые должны выдерживаться с высокой точностью.

Другим типом практических приложений, требующих контроля, являются кабельные сети в составе наземного оборудования перспективных беспилотных авиационных комплексов, развертываемого в пунктах временной дислокации.

В перечисленных случаях в процессе проектирования, производства и эксплуатации требуется осуществлять контроль состояния фидерных (кабельных) линий значительной протяженности. Поскольку электрическую длину кабеля можно определить по значению дальности до «обрыва» на ее конце, определение его местоположения также должно осуществляться при значительной дальности и с довольно высокой точностью.

Существующая аппаратура диагностики кабелей электропередачи и электросвязи, разработанная и серийно производимая, не всегда отвечает требованиям к контролю фидерных линий в составе средств радиолокации, связи и управления. Задача диагностики кабельных линий связи в телекоммуникациях, а также в различных системах управления и контроля также продолжает сохранять актуальность.

Метод синтезированного видеосигнала

К числу новых подходов, создающих предпосылки к созданию более совершенной аппаратуры, относится предложенный метод синтезированного видеосигнала [1, 2, 3]. Его основу составляет использование в качестве зондирующего сигнала последовательно формируемых во времени гармонических колебаний ряда различных частот с последующей совместной обработкой принятых отраженных сигналов.

Использование указанного метода открывает ряд новых возможностей, а именно устранение мертвой зоны, присущей импульсным методам рефлектометрии.

Одним из достоинств предложенного способа эхолокационной диагностики линий передачи является отсутствие «мертвой зоны», т.е. области вблизи начала линии, в которой обнаружение дефекта невозможно. Для традиционных рефлектометров импульсного типа протяженность «мертвой зоны» соответствует нескольким значениям длительности зондирующего импульса, включая длительность переходного процесса («звон»). При использовании предложенного метода «мертвая зона» отсутствует, если используется идеальный направленный ответитель (НО). В любых реальных НО в канал отраженной волны попадает часть энергии падающей волны. В предлагаемом методе вместо «измерения»

амплитуды отраженной волны, регистрируется сумма комплексных амплитуд отраженной волны и частично прошедшей падающей волны.

Влияние дисперсии и затухания в линии на точность определения дефекта в линии

Наличие затухания в линии передачи приводит к снижению амплитуды синтезированного сигнала и тем самым ограничивает максимально достижимое значение дальности обнаружения дефекта. Нами предлагается оптимальный вариант обработки с весовой функцией $K(f, x) = e^{-j2\alpha(f)x}$, обеспечивающей максимально возможную дальность обнаружения при заданных энергетических показателях приемопередающей аппаратуры. При использовании весовой обработки, оптимальной по критерию «дальность обнаружения» имеем заметный выигрыш (рис. 4), который будет тем больший, чем больше коэффициент затухания в линии передачи и расстояние до дефекта.

Сравнение метода синтезированного сигнала со случаем импульсной рефлектометрии с реальным зондирующим сигналом при равных значениях ширины используемой полосы частот

Осуществить полное сравнение традиционного зондирования видеоимпульсом с методом синтезированного видеосигнала не представляется возможным, т.к. для этого необходимо иметь детальные данные о частотной зависимости коэффициента затухания и дисперсии для конкретного случая. Однако для предварительного рассмотрения возможно принять следующее:

- при зондировании традиционным видеоимпульсом спектр сигнала имеет вид, показанный на рис.1 и начинается с нулевой частоты, а для синтезированного сигнала с равномерной весовой функцией спектр сигнала занимает некоторую полосу частот.

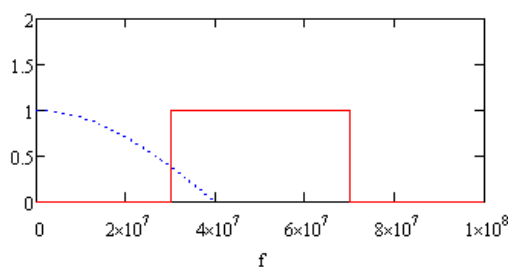


Рис.1. Спектры зондирующих сигналов с равной шириной полосы частот

С ростом частоты возрастает влияние потерь в линии, на низких частотах появляются искажения сигнала вследствие дисперсии.

Наличие заметной дисперсии приводит к проигрышу варианта зондирования видеосигналом по сравнению с методом синтезированного импульса при малых потерях в линии передачи (рис. 2).

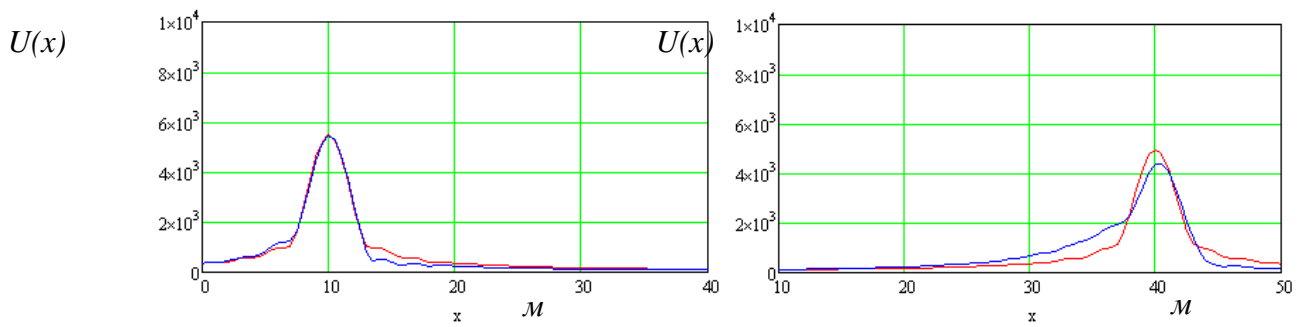


Рис.2. Сравнение принятых сигналов при зондировании видеоимпульсом и синтезированным видеосигналом для дефекта, находящегося на расстоянии 10м и 40м от начала линии

На рис. 3 показаны данные, характеризующие выигрыш (отношение амплитуд результирующего отраженного сигнала) для синтезированного и «обычного».

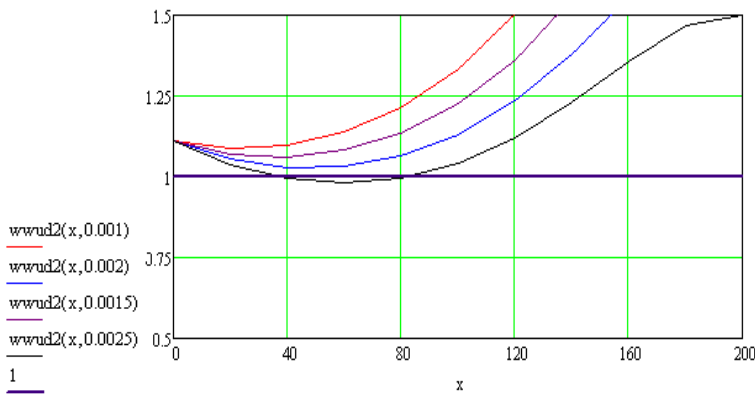


Рис.3 Выигрыш в зависимости от расстояния при различных значениях коэффициента затухания

Таким образом, метод синтезированного видеоимпульса обеспечивает выигрыш по амплитуде отклика, величина которого зависит от коэффициента затухания и дисперсии. При малых затухании и (или) дальности – практически всегда, при выраженной дисперсии – либо всегда, либо при малой или значительной дальности (рис. 3).

Выше приведенные данные относились к случаям использования равномерной весовой функции. Использование оптимальной весовой функции позволяет обеспечить дополнительный выигрыш [3].

При сравнении данных амплитуд синтезированного сигнала при различных дальностях до дефекта при использовании равномерной весовой функции и оптимальной по критерию дальности, амплитуда отклика при оптимальной весовой функции всегда превышает значение для равномерной, а выигрыш тем больше, чем выше коэффициент затухания и больше расстояние до дефекта.

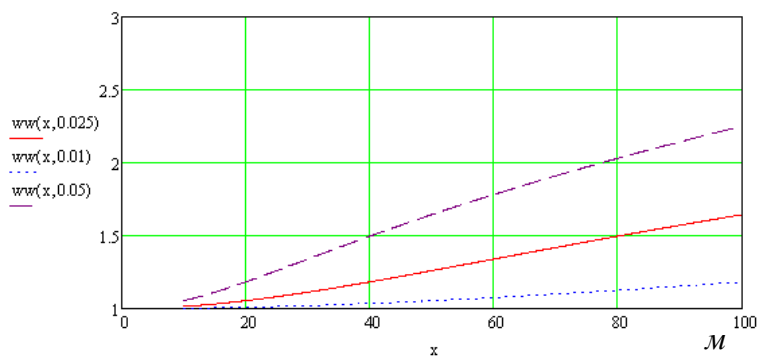


Рис. 4. Выигрыш от использования оптимальной весовой функции

Таким образом, можно отметить:

- использование оптимальной весовой функции дает значительный эффект: амплитуда выходного отклика возрастает на больших дальностях в 1.5...2.2 раза и более;
- использование синтезированного сигнала при прочих равных условиях обеспечивает выигрыш порядка 5...10% при малых расстояниях и коэффициенте затухания.

Можно предположить, что в действительности выигрыш будет большим за счет устранения частотных искажений вследствие дисперсии, как показано выше, в 1.5 и более раза. Для получения конкретных оценок следует иметь детальную информацию о коэффициенте затухания в линии и дисперсии в полосе частот не менее [0...100-200] МГц.

Тестирование новой методики обнаружения и определения местоположения дефекта

Методика обнаружения и определения местоположения дефекта протестирована в НИИ ПРЭФЖС (прикладной электродинамики, фотоники и живых систем) КНИТУ – КАИ с использованием векторного анализатора цепей Rohde&Schwarz FSH8, обладающий диапазоном частот от 100 кГц до 8 ГГц. Оборудование при проведении тестирования состояло из указанного анализатора и персонального компьютера Eee PC Seashellseries, а также отрезка коаксиального кабеля РК-50-4-11 длиной 20 м.

Цели тестирования: проверка работы программного обеспечения, выбор полосы частот, исходя из конкретных требований (длины соединительных кабелей не превышают 30 м.); выбор весовых функций, исходя из требований эффективного обнаружения дефектов.

Эксперимент проводился на коаксиальном кабеле РК-50-4-11 длиной 20 м. Тестировалось три варианта дефектов в кабеле, а именно:

- 1) отрезок кабеля длиной 20 м, разомкнутый на конце;
- 2) в кабеле 20 м введено частичное повреждение оболочки на расстоянии 1,5 м от конца кабеля;
- 3) в кабеле 20 м введено полное повреждение (разрыв) оболочки экрана на расстоянии 1,5 м от конца кабеля.

Тестирование проводилось в полосе частот [100...200] МГц, с шагом по частоте 1.588235 МГц. Значение числа точек в задаваемой полосе частот устанавливается прибором Rohde&Schwarz FSH8 автоматически, чем и вызвано используемое значение шага по частоте. Измеренные данные импортировались в ПК, где формировались в виде массивов в программе Mathcad.

Выбор параметров осуществлялся для кабеля длиной 20 м, разомкнутого на конце. В процессе подбора установлено, что при использовании постоянной весовой функции боковые лепестки синтезированного сигнала имеют уровень порядка -11 дБ, что неприемлемо с точки зрения выявления частичных повреждений.

Обработка проводилась с использованием весовой функции, исходя из компромисса между расширением главного «пика» и уровнем боковых лепестков.

На рис. 5 показан результат обработки синтезированным сигналом, соответствующем кабелю длиной 20 м с частичным и полным разрушением оболочки на расстоянии 1,5 м от конца кабеля в полосе частот [100...200] МГц.

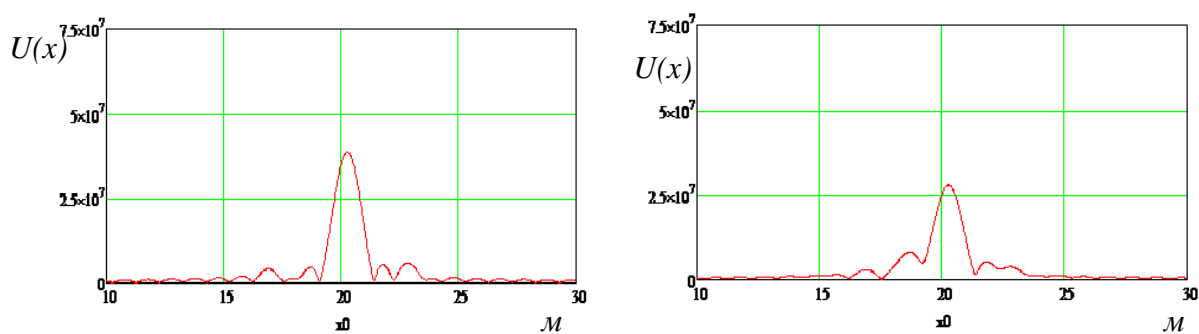


Рис. 5. Кабель длиной 20 м, разомкнутый на конце и с поврежденной оболочкой.

Полоса частот [100...200] МГц

Влияние реактивности дефекта на точность определения его в линии передачи

В случаях дефекта, который можно представить эквивалентной схемой в виде сосредоточенного активного сопротивления, а также короткого замыкания или обрыва, положение максимума синтезированного сигнала в точности соответствует его положению вдоль линии передачи. В общем случае дефект может иметь характер комплексной нагрузки, включенной параллельно или последовательно в линию передачи.

Форма синтезированного сигнала в этих случаях может быть получена с использованием матричной модели.

Наличие частотной зависимости (в простейшем случае сосредоточенного дефекта – сопротивления $R+jX(f)$) приводит к некоторому смещению определяемого положения дефекта.

Приведенные расчетные данные показывают:

- как при емкостном, так и индуктивном характере сопротивления дефекта заметного смещения его положения не происходит, причем, величина смещения оказывается наибольшей для слабо отражающих дефектов;

- при коэффициентах отражения от дефекта порядка 0.1..0.15 смещение положения максимума синтезированного сигнала не превышает 2.5 % от ширины «пика», что, как правило, не является существенным.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что комплексный характер сопротивления в эквивалентной схеме сосредоточенного дефекта не оказывает существенного влияния на обнаружение и определение его координаты в линии передачи.

Устранение откликов вследствие переотражений

Вследствие переотражений электромагнитных волн между нерегулярностями в структуре синтезированного видеосигнала возникают локальные отклики. Эти отклики вызваны реально существующими физическими процессами и не могут быть устранены путем выбора весовой функции или использования подобных принципов обработки. Тем не менее, для ряда случаев можно применить алгоритмическую обработку, позволяющую устранить указанные негативные проявления. В основу предлагаемых алгоритмов могут быть положены два очевидных свойства:

- в случае двух нерегулярностей, расположенных на расстоянии L_N друг от друга, все фантомные отклики локализуются на больших дальностях, причем периодически с шагом $2L_N$;

- в случае второй нерегулярности с коэффициентом отражения, близким по модулю к единице (обрыв или короткое замыкание), все фантомные отклики после наибольшего из реальных, имеют меньшие амплитуды.

Нами[4] был разработан алгоритм и программа для поиска и подавления фантомных откликов по признаку периодичности на основе полученной рефлектограммы с фантомными откликами. На последнем этапе можно избавиться от боковых лепестков методом известным, как «аппаратурное подавление боковых лепестков диаграммы направленности». Сначала получают функцию, образованную в результате умножения функции отклика на весовую функцию антисимметричную относительно центральной частоты. Далее производится вычитание полученной функции из первоначального отклика.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие заключения:

Предложенный новый метод диагностики линий передачи, основанный на использовании зондирующего сигнала в виде набора квазигармонических сигналов и последующей когерентной весовой обработки измеренных коэффициентов отражения на

входе [1], позволяет улучшить ряд технических показателей рефлектометрической аппаратуры, а именно:

- устранить негативное влияние потерь в линиях передачи и дисперсии на показатели точности и разрешающей способности;
- повысить точность определения местоположения дефекта путем использования синтезирования сигнала;
- ослабить влияние боковых лепестков в структуре синтезированного сигнала путем рационального выбора весовой обработки;
- устранить отклики, возникающие вследствие переотражений в линии передачи

Список литературы

1. Седельников Ю.Е., Фадеева Л.Ю. Способ определения места повреждения линий электропередачи и связи и устройство для его осуществления: Патент на изобретение №2446407 Российская Федерация, МПК G01R 31/11. №2010129157/28; заявл. 13.07.2010; опубл. 27.03.2012, Бюл. №9 (II ч.). – С.369.
2. Фадеева Л.Ю. Метод синтезирования видеосигнала в задачах диагностики дефектов линий электропередачи и связи / Ю.Е. Седельников, Л.Ю. Фадеева // Контроль. Диагностика. – 2013. – №8. – С.55-60.
3. Фадеева Л.Ю. Диагностика кабельных линий связи методом синтезированного видеоимпульса / Ю.Е. Седельников, Л.Ю. Фадеева // Т-Сomm – Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – №5. – С.12-15.
4. Фадеева Л.Ю. Модификации метода синтезирования видеосигнала в задачах диагностики дефектов линий электропередачи и связи / Л.Ю. Фадеева, Б.Р. Шагиахметов // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования». – Тамбов, 2014. – С.135.
5. Фадеева Л.Ю. Метод синтезирования видеосигнала в задачах неразрушающего контроля/ Л.Ю. Фадеева, А.С. Хасанов // Тезисы докладов XV Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» т.1. – Казань, 2014. – С.183.

Рецензенты:

Морозов Г.А., д.т.н., профессор, директор Казанского филиала ФГОБУ ВПО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Казань;

Ильин Г.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиоэлектронных и квантовых устройств Института радиоэлектроники и телекоммуникаций Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань.