

ТЕРМО-НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР НА БАЗЕ МОДУЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ PXI

© 2016 г. А.В. СОСНИН, С.А. АРТИЩЕВ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
e-mail: sosnin.aleksande@mail.ru, 824tusur@mail.ru

В настоящее время в условиях постоянного увеличения объема передаваемой информации повышаются требования к скорости и качеству передачи данных, увеличиваются расстояния между абонентами. Несмотря на широкое распространение беспроводных систем связи, кабельные линии передачи по-прежнему используются во многих сферах. Разумеется, результативность работы таких систем связи во многом предопределяется качеством элементов (кабеля, разъемов, соединителей и т.д.), входящих в тракт, их свойствами и параметрами. В связи с этим существует задача диагностики линий передачи для обнаружения областей повреждения, выявления дефектов, ликвидации неоднородностей. С недавнего времени стали активно изучаться вопросы, касающиеся нелинейной рефлектометрии [1].

Цель данной работы – разработать устройство для обнаружения и локализации дефектов в кабельных линиях передачи по измерению рефлектограммы (сигналов, отраженных от дефектов). Разрабатываемое устройство позволит не только вести контроль целостности линий, но и обнаруживать некачественные контакты.

В работе [2] предложен способ определения диагностических параметров качества электрических контактов в условиях отсутствия сведений об абсолютном значении их сопротивления. Ранее уже предпринимались попытки измерения данным методом, но при этом использовались лабораторные измерительные приборы. Вопросы создания термо-нелинейного рефлектометра в виде законченного устройства еще не рассматривались.

В связи с этим, было разработано устройство, включающее в себя модульную платформу PXI-1033, содержащую три модуля: блок ЦАП ТЕ-5201, блок АЦП PXI-5114 и блок питания PXI-4130.

Генератор сигналов произвольной формы (далее – генератор) предназначен для формирования типовых форм сигналов, электромагнитных колебаний с разными видами модуляции, а также колебаний с произвольной формой. Осциллограф цифровой NI PXI-5114 предназначен для измерений амплитуды и временных свойств электрических сигналов, анализа их формы и используется в структуре модульной контрольно-измерительной аппаратуры с использованием персонального компьютера [3]. Источник питания NI PXI-4130 предназначен для питания на постоянном токе измерительных приборов и другой аппаратуры, требующей высокой точности установки и поддержания напряжения или силы тока при изменениях напряжения сети и сопротивления нагрузки [4].

Для измерения термо-нелинейной рефлектограммы с генератора на объект исследования подается импульс напряжения, а с источника питания подается импульс тока. Осциллограф регистрирует напряжение на объекте исследования. Исходя из этого, была разработана схема электрическая структурная установки для измерения нелинейной рефлектограммы. На рис. 1 приведена структурная схема устройства.

Для проведения измерений было разработано программное обеспечение, через которое происходит управление модулями PXI через ПК, задание настроек генератора,

осциллографа и источника тока. На экране осциллографа (рис. 2), расположенного на лицевой панели отображается тестовый импульс и отклик. В термо-нелинейного рефлектометре используется открытый интерфейс компании National Instruments PXI. Программное обеспечение разрабатывалось в среде программирования LabVIEW.



Рис. 1. Структурная схема устройства. ПК – персональный компьютер; NI PXI-1033 – модульная платформа; TE-5201 – блок ЦАП; NI PXI-5114 – блок АЦП; NI PXI-4130 – источник тока; ЦР – цепь развязки по постоянному току; Н – неоднородность.

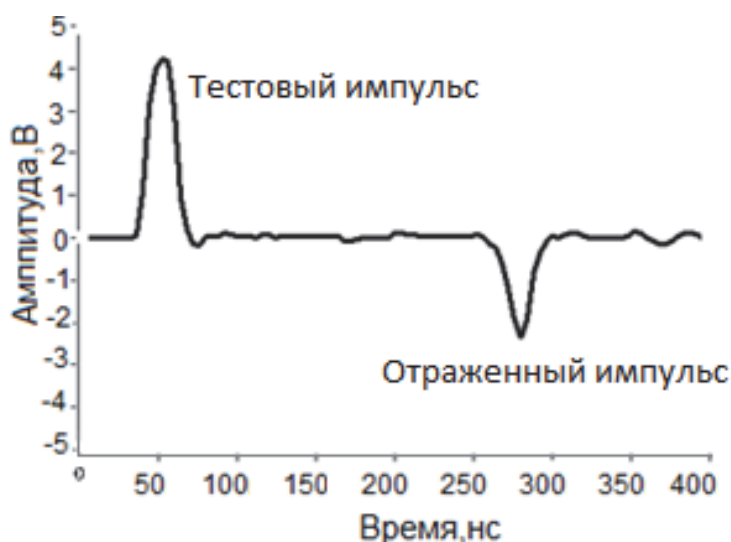


Рис. 2. Экран осциллографа на лицевой панели.

Для управления модулями были разработаны три подпрограммы:

- подпрограмма для управления генератором и формирования видеоимпульсного сигнала. Генератор вырабатывает тестовые импульсы прямоугольной формы с минимально допустимыми фронтами, длительностью и максимальной амплитудой;
- подпрограмма, имитирующая лицевую панель двухканального осциллографа для отображения и управления параметрами сигналов. На лицевой панели предусмотрены как автоматические, так и ручные настройки осциллографа;
- подпрограмма для управления источником тока. В окне настроек нужно задать значения тока и напряжения, а также их предельные значения.

Сначала для расчета разности использовалась обычная разность двух состояний рефлектограмм (горячей и холодной). Но при этом на результат оказывала влияние нестабильность амплитуд тестовых импульсов. В дальнейшем, был реализован способ определения разностной рефлектограммы с использованием отношения спектров тестовых импульсов, для устранения влияния нестабильности их амплитуд. Для расчета разности использовался модифицированный метод нелинейной рефлекто-

метрии во временной области. Данный метод позволяет компенсировать отклонение одного из тестовых импульсов за счет применения следующего способа вычисления нелинейной рефлектограммы:

$$\varepsilon(t) = u_2(t) - F^{-1} \left[\frac{F[x_1(t)]}{F[x_1(t) + \Delta x(t)]} \cdot F[u_1(t)] \right] \quad (1)$$

где u_1 – отклик во втором канале в холодном состоянии;
 x_1 – тестовый импульс в первом канале в холодном состоянии;
 u_2 – отклик во втором канале в горячем состоянии;
 $x_2 = x_1(t) + \Delta x$ – тестовый импульс в первом канале в горячем состоянии;
 Δx – допустимая нестабильность формы тестового видеоимпульсного сигнала;
 F и F^{-1} – прямое и обратное преобразования Фурье соответственно.
 Под «холодным» и «горячим» состояниями понимаются состояния до и после подачи постоянного тока соответственно.

Для обеспечения большей чувствительности устройства, т.е. чтобы устройство могло регистрировать меньшее изменение сопротивления, источник тока находится в режиме постоянного нагрева. Под «холодным» состоянием понимается такое состояние, при котором источник вырабатывает меньший ток, а под «горячим» – больший.

Для проверки работы устройства были сняты классическая (линейная) и термо-нелинейная рефлектограммы кабеля RG-58, длиной 13 м без неоднородности. Результат измерения представлен на рис. 2.

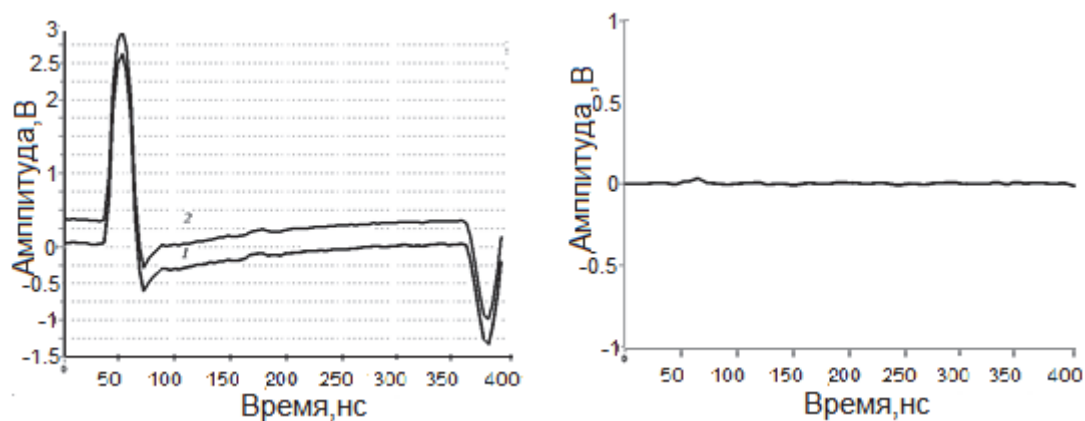


Рис. 3. Линейная и термо-нелинейная рефлектограммы кабеля RG-58 без неоднородности $I_1 = 4$ мА (кривая 1) и $I_2 = 30$ мА (кривая 2).

Для устранения появившейся постоянной составляющей можно воспользоваться закрытым входом осциллографа.

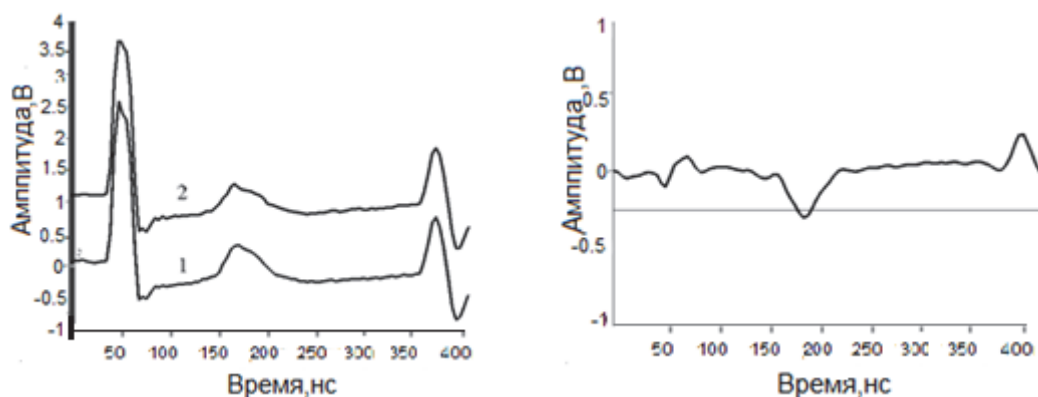


Рис. 4. Линейная и термо-нелинейная рефлектограммы кабеля RG-58 с диодом, установленным в кабеле на расстоянии 13 м от точки подключения.

Далее в кабеле размещался диод. Последовательно размещение диода в цепи центрального проводника кабеля позволяет смоделировать дефект в виде некачественного контакта. Особенность такой неоднородности заключается в том, что ее активное сопротивление может незначительно изменяться под воздействием постоянного электрического тока.

Для того чтобы NI PXI-4130 работал как источник тока, нужно задать напряжение, при котором источник будет вырабатывать нужный ток, в противном случае модуль будет работать как источник напряжения. Для данной модели максимальное значение напряжения соответствует 20 В, при этом может вырабатываться ток до 110 мА. Эксперименты проводились при постепенном увеличении токов.

Значение амплитуды характеристики нелинейности превысило заданный порог, значит можно говорить о том, что при разности токов около 20 мА появляется отклик. По всему выше сказанному можно сделать вывод, что отклик появляется при изменении сопротивления на 22,8 Ом или при разности токов в 20 мА.

Таблица 1

Основные параметры устройства

Параметр	Значение
Амплитуда тестовых импульсов, В	до 8
Длительность импульсов, нс	от 18
Регистрация отраженных сигналов, мВ	от 50
Шаг регулировки по напряжению, мВ	от 0.1
Шаг регулировки по току, А	от 0,005
Минимальное расстояние для регистрации, м	≈5
Максимальное расстояние для регистрации, м	≈350

С помощью полученного программно-аппаратного комплекса были проведены эксперименты по обнаружению нелинейной неоднородности (диода) в кабельной линии передач. В результате были зарегистрированы соответствующие рефлектограммы, что подтверждает работоспособность разработанного программного обеспечения. На следующем этапе работы необходимо провести экспериментальные исследования с использованием кабельной линии с реальными физическими дефектами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.577.21.0188 от 27.10.2015 г., идентификатор RFMEFI57715X0188.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов Э.В. Нелинейная рефлектометрия с применением видеоимпульсных тестовых сигналов // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 307, № 3. с. 153–155.
2. Артищев С.А., Семенов Э.В. Диагностика качества электрических контактов методом нелинейной видеоимпульсной рефлектометрии с учетом термоэлектрических эффектов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 9. с. 60-65.
3. Госреестр [Электронный ресурс] // Осциллографы цифровые PXI-5114 – 3 с. URL: <http://pdf.reestr.si.ru/file/45247-10.pdf>
4. Госреестр [Электронный ресурс] // Источники питания программируемые модульные NI PXI-4110, NI PXI-4130 – 7 с. URL: <http://pdf.reestr.si.ru/file/44246-10.pdf>