

УДК 621.317

А.Г. Лоцилов, Э.В. Семёнов, Н.Д. Малютин

Экспериментальная установка для исследования характеристик нелинейности СВЧ-цепей в режиме сверхширокополосного импульсного воздействия

Разработана и исследована экспериментальная установка для изучения характеристик нелинейности цепей в режиме воздействия сверхширокополосными пикосекундными импульсами. На основе проведенных экспериментов показана эффективность использования метода нелинейной рефлектометрии для исследования характеристик СВЧ-цепей, содержащих нелинейные включения.

Ключевые слова: сверхширокополосные сигналы, нелинейная рефлектометрия, СВЧ, импульсное воздействие.

Введение

Разработка и создание современных средств измерения характеристик нелинейных цепей в режимах, близких к режимам их функционирования, являются важным направлением в области развития измерительной техники. В настоящее время формируется новый класс средств измерений – векторные нелинейные анализаторы цепей [1]. Наибольших успехов в данной области достигла компания Agilent Technologies, выпустившая на рынок векторный анализатор цепей с возможностью измерения так называемых X -параметров [2] – параметров, отражающих нелинейные свойства цепей при воздействии, близком к гармоническому. Среди отечественных достижений можно отметить разработку способов исследования нелинейных свойств объектов при широкополосном импульсном воздействии [3, 4]. Указанные способы измерений легли в основу разработки цифрового измерительного комплекса [5], а позднее векторного импульсного измерителя характеристик цепей для анализа частотных, временных характеристик цепей, а также характеристик нелинейности [6] в диапазоне частот от постоянного тока до 30 МГц. Выпуск таких устройств налажен в ООО «НПФ Сибтроника», г. Томск [7]. В работе [8] приведен анализ вариантов реализации средств измерений характеристик нелинейности преобразования сверхширокополосных импульсных сигналов в СВЧ-диапазоне.

В настоящей работе представлены результаты разработки экспериментальной установки для исследования характеристик нелинейности СВЧ-цепей с использованием метода нелинейной рефлектометрии [4, 9–10] при длительности фронта тестового воздействия порядка 100 пс и результаты экспериментальных исследований с помощью этой установки.

Описание экспериментальной установки

Структурная схема экспериментальной установки, изображенная на рис. 1, синтезирована исходя из того, что генерация импульсов специальной формы, требуемых для реализации метода [4, 9–10], для длительностей импульсов 100 пс и менее практически невозможна в настоящее время при помощи цифроаналоговых преобразователей. Поэтому для получения таких импульсов используются аналоговые формирователи. Установка позволяет осуществлять воздействие на исследуемое устройство широкополосным тестовым сигналом, производить регистрацию откликов на такое воздействие, передачу данных на управляющий компьютер с последующей обработкой и отображением характеристик нелинейности объекта в соответствии со способом, изложенным в [4].

Экспериментальная установка включает в себя: персональный компьютер; генератор тестовых импульсов Г5-84; формирователь дополнительного перепада напряжения специальной формы; направленный ответвитель-формирователь импульсов; цифровой стробоскопический осциллограф Tektronix 11801В в комплекте со стробоскопическим смесителем SD-24.

Установка функционирует следующим образом. На генераторе импульсов Г5-84 задаются параметры тестового воздействия (прямоугольного импульса): амплитуда, длительность, период следования, задержка относительно синхроимпульса. Устанавливается режим периодической генерации сигнала, который поступает на формирователь дополнительного перепада напряжения. На формирователе из фронта сигнала формируется второй перепад напряжения специальной формы, задержанный относительно первого на некоторое время T . На направленном ответвителе-формирователе импульсов происходит

дифференцирование сигнала, в результате которого исходный сигнал преобразуется в последовательность импульсов, которые поступают на исследуемый объект. Падающая составляющая сигнала поступает на первый канал стробоскопического осциллографа. Сигнал, отраженный от объекта исследований, ответвляется на второй канал стробоскопического осциллографа. Стробоскопический осциллограф осуществляет регистрацию падающих и отраженных импульсов и передает данные на управляющий персональный компьютер.

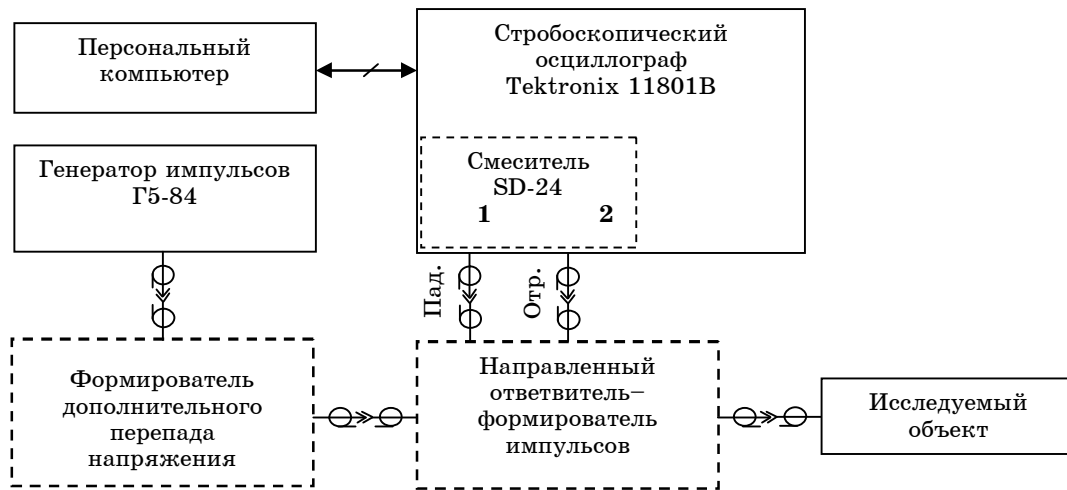


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

На рис. 2 приведены примеры эюр напряжений на входах/выходах функциональных устройств, входящих в экспериментальную установку. Представленные эюры напряжений соответствуют режиму на измерительном входе/выходе установки, близкому к согласованному.

Как показано на рис. 2, исходным воздействием является перепад напряжения (кривая 1), вырабатываемый генератором импульсов Г5-84 (длительность импульса при этом много больше окна наблюдения). После обработки сигнала формирователем дополнительного перепада напряжения амплитуда сигнала увеличивается более чем в два раза (кривая 2), на фронте сигнала возникают характерный выброс и осцилляции. Направленный ответвитель-формирователь выполняет несколько функций, среди них: дифференцирование исходного сигнала (кривая 3); выделение сигнала, отраженного от исследуемого устройства (кривая 4); передача исходного воздействия с минимально возможными искажениями на первый канал стробоскопического осциллографа (кривая 2).

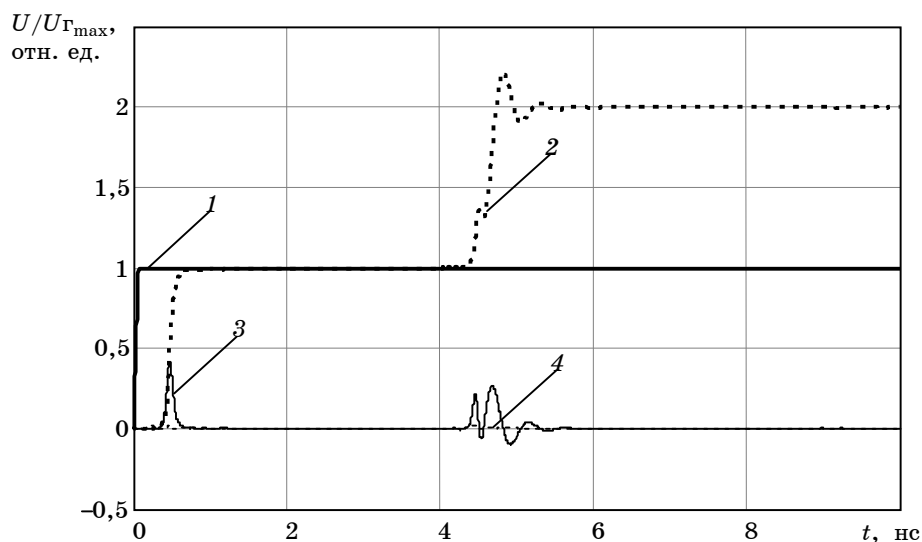


Рис. 2. Эюры напряжений: 1 – форма сигнала на выходе генератора Г5-84; 2 – сигнал на выходе устройства формирования перепадов напряжений; 3 – сигнал, поступающий в нагрузку; 4 – сигнал, отраженный от нагрузки

Рассмотренные устройства формирования и обработки сигналов определяют важные метрологические характеристики измерительной установки: динамический диапазон измерений, полосу рабочих частот, дальность обнаружения отклика объекта и др. Вопросы проектирования таких устройств рассмотрены в работе [11].

Экспериментальные исследования

На рис. 3 приведена фотография разработанной экспериментальной установки. Были проведены экспериментальные исследования разработанной установки с использованием двух тестовых нагрузок: нелинейной нагрузки, представляющей собой параллельное включение СВЧ-диода Шотки HSMS-8202 (использовался один диод из сборки) и чип-резистора сопротивлением 51 Ом, и линейной нагрузки – чип-резистора сопротивлением 38,3 Ом. Для обоих двухполюсников были измерены линейные и нелинейные рефлектограммы.



Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования характеристик нелинейности методом нелинейной рефлектометрии

На рис. 4 приведены рефлектограммы нагрузок, измеренные традиционным способом.

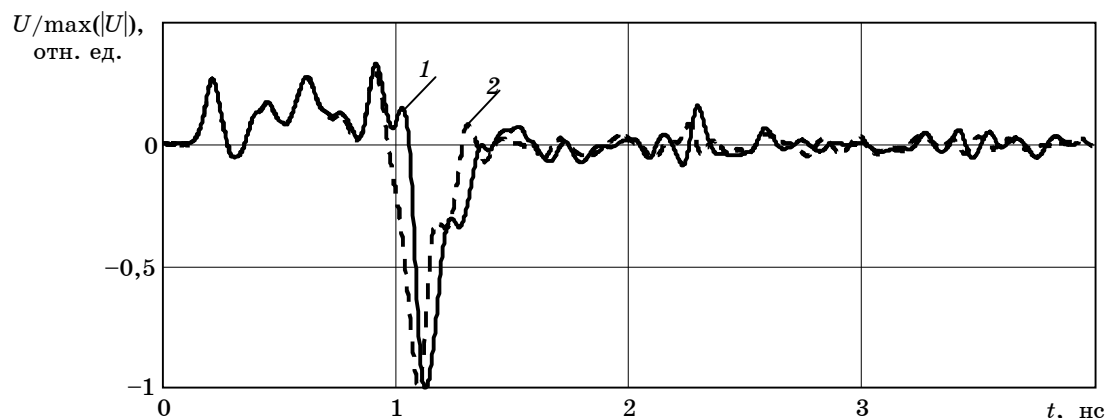


Рис. 4. Рефлектограммы тестовых нагрузок, измеренные традиционным способом:
1 – линейная нагрузка; 2 – нелинейная нагрузка

Как видно из рис. 4, измеренные рефлектограммы линейного (кривая 1) и нелинейного (кривая 2) объектов слабо различимы по форме и характеризуют понижение сопро-

тивления тракта в точке включения двухполюсника. Сравнение характеристик не позволяет судить о нелинейных свойствах какой-либо из нагрузок.

На рис. 5 приведены нелинейные рефлектограммы, полученные путем обработки откликов объектов на импульсное воздействие парой импульсов в соответствии со способом [4].

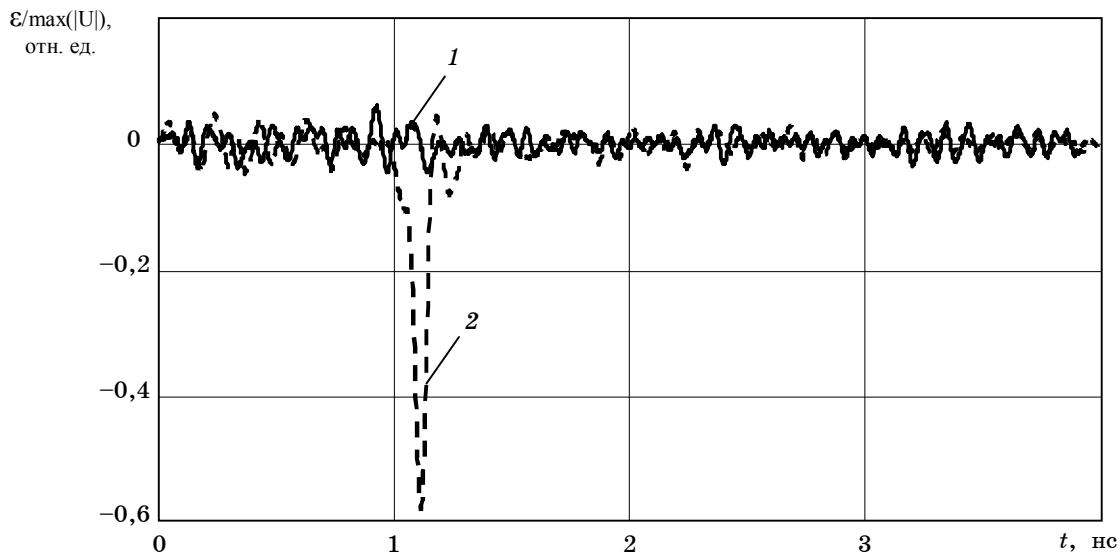


Рис. 5. Нелинейные рефлектограммы тестовых нагрузок:
1 –линейная нагрузка; 2 –нелинейная нагрузка

Как видно из рис. 5, результаты, полученные методом нелинейной рефлектометрии, позволяют различать линейный и нелинейный объекты. Нелинейная рефлектограмма нагрузки, включающей диод Шоттки (кривая 2), имеет ярко выраженный экстремум в окрестности 1,1 нс, тогда как в рефлектограмме линейного объекта (кривая 1) выраженного экстремума не наблюдается. Положение экстремума на оси времени соответствует точке включения нелинейного элемента, о чем можно судить из рис. 4 (кривая 2).

Заключение. В результате работы были впервые получены нелинейные рефлектограммы СВЧ цепей при воздействии сверхширокополосным тестовым сигналом с фронтами длительностью порядка 100 пс. Показано, что применение метода нелинейной рефлектометрии при исследовании характеристик СВЧ-цепей позволяет выделить и локализовать во времени отклики объектов, осуществляющих нелинейное преобразование сигналов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации Постановления 218 Правительства РФ.

Работа поддержана грантом в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П453) и Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 09-08-99041).

Литература

1. Van den Broeck T. Calibrated vectorial nonlinear-network analyzers / T. Van den Broeck, J. Verspecht // Microwave Symposium Digest: IEEE MTT-S International. – 1994. – Vol. 2. – P. 1069–1072.
2. Verspecht, J. Polyharmonic Distortion Modeling / J. Verspecht, D.E. Root // IEEE Microwave Magazine. – 2006. June – Vol. 7, Issue 3. – P. 44–57.
3. Пат. 2227921 РФ, МПК⁷ G01R23/16, G01S13/00. Способ исследования нелинейных свойств объекта / Э.В. Семёнов (РФ). – № 2002123629; заявл. 04.09.2002; опубл. 27.04.2004; Бюл. – № 12 (III ч.) – 1 с.
4. Пат. 2263929 РФ, МПК⁷ G01S13/00. Способ исследования нелинейности преобразования сигналов объектом / Э.В. Семенов (РФ). – № 2004110640; заявл. 07.04.2004.; опубл. 11.10.2005; Бюл. – № 31. – 1 с.
5. Лоцилов А.Г. Цифровой измерительный комплекс для измерения частотных и импульсных характеристик четырехполюсников / А.Г. Лоцилов, Э.В. Семенов, Н.Д. Малютин // Известия Том/ политех/ ун-та. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – Т. 309, № 8. – С. 37–42.

6. Векторный импульсный измеритель характеристик цепей и проводных систем / А.А. Бомбизов, А.А. Ладур, А.Г. Лоцилов и др. // Приборы. – 2007. – № 9. – С. 28–31.
7. Векторный импульсный измеритель характеристик цепей Р4-И-01 / ООО «Научно-производственная фирма Сибтроника» – Электрон. текстовые дан. и граф. дан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sibtronika.ru/product/hardware/r4-i-01.php> (дата обращения: 20.09.2010).
8. Средства измерений характеристик нелинейности преобразования сверхширокополосных импульсных сигналов в СВЧ-диапазоне / А.Г. Лоцилов, Э.В. Семёнов, А.П. Павлов, Н.Д. Малютин // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрымКo '2010): матер. 20 Междунар. конф., Севастополь, Украина, 13–17 сентября 2010 г. – Севастополь: Вебер, 2010. – Т. 2. – С. 977–978.
9. Семенов Э.В. Нелинейная рефлектометрия с применением видеоимпульсных тестовых сигналов // Изв. Том. политех. ун-та. – 2006. – Т. 309, № 3. – С. 153–155.
10. Семенов Э.В. Использование разности сверток тестовых сигналов и откликов объекта для исследования нелинейности преобразования сверхширокополосных сигналов / Э.В. Семенов, А.В. Семенов // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52, № 4. – С. 480–485.
11. Разработка устройств обработки сверхширокополосных импульсных сигналов для исследования нелинейных свойств объектов методом нелинейной рефлектометрии / А.Г. Лоцилов, Э.В. Семёнов, Н.Д. Малютин и др. // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 166–170.

Лоцилов Антон Геннадьевич

Канд. техн. наук, директор НПФ «Сибтроника»
Тел.: (382-2) 25-33-60
Эл. почта: yogl@mail.ru

Семёнов Эдуард Валерьевич

Канд. техн. наук, доцент каф. радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа
Эл. почта: edwardsemyonov@narod.ru

Малютин Николай Дмитриевич

Д-р техн. наук, начальник научного управления ТУСУРа
Эл. почта: ndm@main.tusur.ru

Loshchilov A.G., Semyonov E.V., Maliutin N.D.

Experimental installation for analysis of nonlinear characteristics of microwave circuits in UWB pulse impact mode

Experimental setup for analysis the characteristics of nonlinear circuits on picosecond pulse excitation was designed. Experimental investigations of setup were produced. The efficiency method of nonlinear reflectometry for the analysis of microwave circuits containing nonlinear elements is shown.

Keywords: UWB signals, nonlinear reflectometry, microwave, pulse excitation.