

тронных пар, наблюдаемых на мониторе персонального компьютера. Как видно из представленных рисунков, сигнал регистрируется с каждой оптопары с временным сдвигом по оси X и степенью сжатия стенок пищевода по оси Y.

Перистальтика пищевода на 3-ем и 4-ом каналах (рис. 5) оптико-электронного зонда соответствует средней и нижней части грудного отдела исследуемого органа. Заключение исследований — перистальтика пищевода нарушена, т.к. наблюдается хаотичная, нехарактерная для нормы, реакция стенок на данном участке исследуемого органа.

На примере одного из обследованных больных четко подтверждается диагноз дисфагии пищевода,

закрывающийся в недостаточной перистальтической работе стенок на конкретном уровне исследуемого органа. С помощью диаграмм определен участок, обладающий этим функциональным нарушением.

Заключение

Как показали проведенные исследования, разработанный оптико-электронный диагностический комплекс способен четко выявлять функциональные нарушения пищевода и может быть эффективным дополнительным инструментом для регистрации таких патологий, как кардиоспазм и ахалазия кардии, кардиальная грыжа пищеводного отверстия диафрагмы, рефлюкс-эзофагит и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черноусов А.Ф., Богопольский П.М., Курбанов Ф.С. Хирургия пищевода. — М.: Медицина, 2000. — 353 с.
2. Сакс Ф.Ф., Байтингер В.Ф., Медведев М.А., Рыжов А.И. Функциональная морфология пищевода. — М.: Медицина, 1987. — 172 с.

3. Gunther S.V., Votyakov V.F., Grekhov I.S. System for investigation of functional abnormalities of esophagus // Works of the 9th Intern. Scientific and Practical Conf. of Students, Post-graduates and Young Scientists. — Tomsk, 2003. — P. 152–154.

УДК 621.317.757

НЕЛИНЕЙНАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИДЕОИМПУЛЬСНЫХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ

Э.В. Семёнов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: edwardsemyonov@narod.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований по зондированию видеоимпульсными сигналами линии передачи, содержащей линейную и нелинейную неоднородности. Показано, что использованная характеристика нелинейности преобразования сигналов позволяет различать характер неоднородностей (линейная или нелинейная) с применением видеоимпульсных тестовых сигналов и определять расстояние до нелинейной неоднородности.

Введение

Рефлектометрия с применением видеоимпульсных тестовых сигналов позволяет получить информацию о наличии неоднородностей в линии передачи, расстоянии до них и характере их импеданса. При использовании синусоидальных тестовых сигналов исследуют нелинейность преобразования сигналов неоднородностями в линии передачи (в качестве примера приведем прибор для исследования проводных линий «Визир»). Нелинейные свойства проявляют полупроводниковые элементы [1], а также дефекты линии передачи, представляющие собой контакты металл-окисел-металл [2]. Представляет интерес использование видеоимпульсных тестовых сигналов и для исследования нелинейности преобразования сигналов неоднородностями. В [3, 4] рассмотрен метод исследования нелинейности преобразования сигналов объектом, допускающий использование видеоимпульсных тестовых сигналов.

Цель данной статьи — рассмотреть применение метода [3] для исследования нелинейности преобразования сигналов неоднородностями в линии передачи с использованием видеоимпульсных тестовых сигналов.

1. Метод исследования

За основу возьмем метод [3]. Метод включает последовательное воздействие на исследуемый объект двумя тестовыми сигналами $x_1(t)$ и $x_2(t)$, один из которых является линейным преобразованием другого:

$$X_2(\omega) = K_1(\omega)X_1(\omega), \quad (1)$$

где $X_1(\omega)$ и $X_2(\omega)$ — спектры тестовых сигналов, $K_1(\omega)$ — известная или заданная функция. Характеристика нелинейности $\varepsilon(t)$ преобразования сигналов определяется по формуле [3]:

$$\varepsilon(t) = u_1(t) - F^{-1}[K_1^{-1}(\omega)] * u_2(t),$$

где F^{-1} — обратное преобразование Фурье, $u_1(t)$ и $u_2(t)$ — отклики объекта на тестовые сигналы $x_1(t)$ и $x_2(t)$ соответственно, $*$ — символ свертки.

Учтем, что генератор тестовых сигналов вносит искажения, и фактически полученные на его выходе сигналы $x_1(t)$ и $x_2(t)$ отличаются от требуемых тестовых сигналов $x_1^*(t)$ и $x_2^*(t)$. Если генератор вносит только линейные искажения сигналов, то

$$X_1(\omega) = H_1(\omega)X_1^*(\omega); X_2(\omega) = H_2(\omega)X_2^*(\omega), \quad (2)$$

где $X_1^*(\omega)$ и $X_2^*(\omega)$ — спектры сигналов $x_1^*(t)$ и $x_2^*(t)$ соответственно, $H_1(\omega)$ — функция, определяющая линейные искажения тестовых сигналов генератором. Из (1) и (2) следует, что $K_1(\omega) = X_2(\omega)/X_1(\omega) = X_2^*(\omega)/X_1^*(\omega)$. В этом случае $K_1(\omega)$ удобно отыскивать как отношение спектров требуемых тестовых сигналов. Регистрировать фактически полученные тестовые сигналы не обязательно. Если же генератор вносит нелинейные искажения воспроизводимых сигналов, то в общем случае $X_2(\omega)/X_1(\omega) \neq X_2^*(\omega)/X_1^*(\omega)$. В этом случае $K_1(\omega)$ нельзя искать как отношение спектров $X_2^*(\omega)$ и $X_1^*(\omega)$. В связи с этим будем регистрировать фактически полученные тестовые сигналы и отыскивать $K_1(\omega)$ как отношение их спектров. Тестовые сигналы и отклики исследуемой линии передачи регистрировались одним каналом приемника, а их разделение осуществлялось стробированием по времени.

В качестве тестового сигнала $x_1^*(t)$ использовался прямоугольный видеопульс длительностью 4,3 нс. Второй тестовый сигнал должен отличаться от первого по форме или амплитуде [3]. Для того чтобы не уменьшать энергию сигнала $x_2^*(t)$ по сравнению с энергией сигнала $x_1^*(t)$, получим сигнал $x_2^*(t)$ преобразованием сигнала $x_1^*(t)$ при помощи фазового корректора. Ограничимся фазовым корректором второго порядка. Это позволит выполнять данное преобразование при помощи как цифровых, так и аналоговых корректоров¹ [5] (в данном исследовании использовался цифровой корректор). Передаточная функция фазового корректора второго порядка выглядит следующим образом [5]:

$$H(j\omega) = \frac{(j\omega)^2 - \frac{\omega_0}{m}j\omega + \omega_0^2}{(j\omega)^2 + \frac{\omega_0}{m}j\omega + \omega_0^2},$$

где ω_0 — частота, для которой $\arg[H(j\omega_0)] = -\pi$, m — коэффициент крутизны фазовой характеристики. Диапазон значений параметров m и ω_0 , при которых формы первого и второго тестовых сигналов существенно различаются, достаточно широк. Было принято, что $m=1/2$ и $\omega_0/(2\pi)=14,6$ МГц.

2. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка включала цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который использовался в качестве генератора тестовых сигналов. Частота дискретизации ЦАП составляла 235 МГц, номинальное выходное сопротивление генератора было 75 Ом. Амплитуда тестового сигнала $x_1(t)$ на выходе генератора составляла 0,25 В. Выходной сигнал генера-

тора подавался на параллельно соединенные вход приемника и вход исследуемой линии передачи с неоднородностями. В качестве приемника использовался осциллограф Tektronix TDS1012 (входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 20 пФ). Частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя осциллографа составляла 1 ГГц.

Исследуемая линия передачи (рис. 1) включала два каскадно соединенных отрезка коаксиального кабеля РК75-4-15 (волновое сопротивление 75 Ом) длиной 15 м и 10 м, поглощающую оконечную нагрузку R1 сопротивлением 75 Ом, диод Шоттки VD1 BAT46 (нелинейная неоднородность), включенный согласно рис. 1 на расстоянии 15 м от генератора, и конденсатор C1 емкостью 18 пФ (линейная неоднородность), включенный параллельно резистору R1. Емкость конденсатора была выбрана так, чтобы отклик данной неоднородности мало отличался от отклика неоднородности в виде диода Шоттки. Это позволило проверить возможность различения характера неоднородностей (линейная или нелинейная) по характеристике нелинейности при одинаковых откликах неоднородностей на импульсный тестовый сигнал.

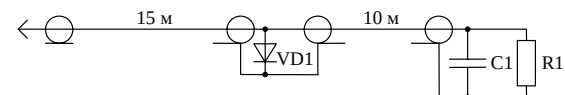


Рис. 1. Исследуемая линия передачи с линейной и нелинейной неоднородностями

3. Результаты эксперимента и их анализ

Результаты эксперимента приведены на рис. 2. Слева приведены тестовые сигналы ($x_1(t)$ — кривая 1, $x_2(t)$ — кривая 2). Справа приведены отклик $u_1(t)$ исследуемой линии передачи на сигнал $x_1(t)$ (кривая 3) и характеристика нелинейности $\varepsilon(t)$ (кривая 4). В отклике линии передачи вначале наблюдается отклик от нелинейной неоднородности, а затем от линейной (нелинейная неоднородность находится ближе к началу линии, чем линейная).

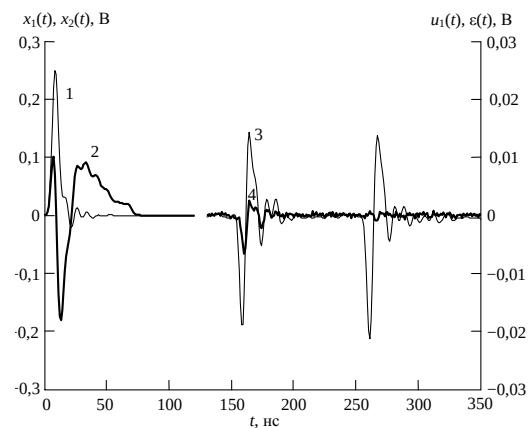


Рис. 2. Тестовые сигналы ($x_1(t)$ — кривая 1, $x_2(t)$ — кривая 2), отклик $u_1(t)$ исследуемой линии передачи на сигнал $x_1(t)$ (кривая 3) и характеристика нелинейности $\varepsilon(t)$ (кривая 4)

¹ В используемом диапазоне частот аналоговые пассивные фазовые корректоры реализуемы как на элементах с сосредоточенными параметрами [5], так и на связанных линиях [6–8].

В окрестности отклика от нелинейной неоднородности наблюдается экстремум характеристики нелинейности $\varepsilon(t)$. Представляется, что точность, с которой полученная характеристика нелинейности отражает нелинейность преобразования сигналов неоднородностями, ограничивается в основном нелинейностью приемника (т.е. вносимыми приемником дополнительными нелинейными искажениями регистрируемых сигналов)². Это утверждение основано на том, что в окрестности отклика от линейной неоднородности, рис. 2, наблюдается незначительно превышающий уровень шума экстремум $\varepsilon(t)$. Этот экстремум характеризует нелинейность преобразования сигналов приемником, если не предполагать нелинейности преобразования сигналов линейной неоднородностью.

Выводы

Рассмотренная характеристика нелинейности, полученная с использованием видеоимпульсных

тестовых сигналов для линии передачи, содержащей линейную и нелинейную неоднородности, имеет экстремум в окрестности отклика от нелинейной неоднородности. В остальной части отклика линии передачи (в том числе и в окрестности отклика от линейной неоднородности) существенного превышения характеристики нелинейности над уровнем шума не наблюдается. Различение характера неоднородностей (линейная или нелинейная) с применением упомянутой характеристики нелинейности возможно. Такая возможность сохраняется и в том случае, если отклики неоднородностей на тестовый сигнал $x_1(t)$ неразличимо сходные (как это имеет место в проведенном эксперименте). Экстремум характеристики нелинейности локализован во времени, что обеспечивает возможность определения расстояния до нелинейной неоднородности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (грант Президента РФ № МК-1702.2004.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернигоров Н.С. Процесс нелинейного преобразования и рассеяния электромагнитного поля электрически нелинейными объектами // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т. 42. – № 10. – С. 1181–1185.
2. Штейншлейгер В.Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами // Успехи физических наук. – 1984. – Т. 142. – Вып. 1. – С. 131–145.
3. Семёнов Э.В. Исследование нелинейности преобразования детерминированных сверхширокополосных сигналов путем линейного комбинирования откликов объекта на линейно зависимые тестовые сигналы // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 4. – С. 18–21.
4. Семёнов Э.В. Сопоставление методов сверхширокополосной нелинейной локации, использующих один и несколько зондирующих импульсов // Радиолокационное исследование природных сред: Труды XXIII Всеросс. симп. – Санкт-Петербург, 2005. – Вып. 5. – С. 305–310.
5. Кисель В.А. Аналоговые и цифровые корректоры: Справочник. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
6. Семёнов Э.В., Малютин Н.Д., Маничкин А.Н. Фазовое звено с характеристиками функционального антипода С-секции // Радиотехника. – 2001. – № 5. – С. 32–35.
7. Семёнов Э.В., Малютин Н.Д. Широкополосные корректоры группового времени запаздывания на основе спиралеобразных связанных линий // Радиотехника. – 1998. – № 2. – С. 50–53.
8. Семёнов Э.В. Фазовые фильтры на основе связанных линий и их применение для аналоговой обработки широкополосных сигналов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 1998. – 22 с.

² Нелинейные искажения сигналов в генераторе допустимы, т.к. регистрируются фактически полученные тестовые сигналы и $K_1(\omega)$ отыскивается как отношение их спектров.