

Рис. 1. – Структурная схема двухчастотного вихретокового толщиномера

Результаты испытаний опытного образца толщиномера показали, что в указанном диапазоне изменений влияющих параметров абсолютная погрешность измерения толщины стенки не превышает (0,2...0,3) мм. Без использования отстройки от мешающих факторов (например, от изменений электропроводности при изменении температуры в указанном диапазоне), погрешность измерения возрастает на порядок.

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА 2X2 С РАСШИРЕННОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ СО СПЕКТРОМ В ДИАПАЗОНЕ 0.01-2 ГГц В ЗАДАЧАХ БЕСКОНТАКТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И СРЕД

Балзовский Евгений Владимирович, Буянов Юрий Иннокентьевич, Кошелев Владимир Ильич, Некрасов Эдуард Сергеевич

Институт сильноточной электроники СО РАН

Кошелев Владимир Ильич, д.ф.-м.н.

koshelev@lhfe.hcei.tsc.ru

Локационные системы малого радиуса действия, основанные на зондировании короткими сверхширокополосными (СШП) импульсами или СШП радиосигналами, применяются в геолокации, в задачах поиска объектов за диэлектрическими преградами (стенами, завалами) или скрытых в толще диэлектрической среды – пустоты, трещины в автодорогах и инженерных сооружениях или спрятанные в земле предметы [1, 2]. Потери в зондируемой среде увеличиваются с ростом частоты, поэтому для увеличения глубины зондирования необходимо использовать сигналы, спектр которых смещен в область низких частот и занимает полосу 0,01–2 ГГц. Для работы вблизи границы с диэлектрической средой разрабатываются специализированные СШП антенны [3], обеспечивающие эффективное возбуждение электромагнитного импульса в среде [4]. Требования к СШП приемной антенне иные: она должна регистрировать с минимальными искажениями временную форму отраженного от объектов. При объединении в антенную решетку антенные элементы должны быть электрически малыми, иметь постоянный фазовый центр, должно сохраняться положение максимума диаграммы направленности в диапазоне частот, занимаемых спектром регистрируемых импульсов. Наиболее полно этим требованиям соответствуют активные дипольные антенны. Для уменьшения частотной зависимости импеданса диполя используется рассогласованный режим, в этом случае нагрузкой диполя является активный четырехполюсник с емкостным характером импеданса [5, 6]. Такие антенны позволяют регистрировать короткие СШП импульсы наносекундной длительности с малыми искажениями [7] и могут быть объединены в синфазную или сканирующую решетку. В сканирующей приемной антенной решетке сложение сигналов от каждого антенного элемента может быть реализовано с использованием программируемых линий задержки [8]. В данной работе для отработки конструкции и измерения характеристик антенной решетки из 2x2 использовано синфазное сложение сигналов. Ниже представлена конструкция макета четырехканальной антенной решетки и результаты измерения СШП импульсов.

Внешний вид приемной антенной решетки приведен на рис. 1а. Фидерные линии прикрыты объемным поглощающим материалом для уменьшения влияния отражения от расположенной снизу печатной платы СШП сумматора. Расстояние между центрами диполей равно 68 мм. Активный диполь выполнен печатным способом на стеклотекстолите размером 60×27×1 мм, состоит из секционированных плеч (1 на рис. 1б), в разрыве которых установлены резисторы 200 Ом для уменьшения частотной зависимости импеданса диполя, к которым присоединен активный четырехполосник (3) с симметричным входом и несимметричным выходом. Электрическая схема четырехполосника приведена в работе [3], он содержит два полевых транзистора ATF38143 Avago с цепями смещения и частотной коррекции. В качестве симметризатора использован широкополосный ферритовый трансформатор Masom ETC1-1-13 (4 на рис. 2). Каждый диполь оснащен разъемом типа SMA. Отдельным проводом подается питание 3 В, потребляемый ток 25 мА.

Измерения характеристик приемных антенн проведены во временной области с использованием набора генераторов коротких СШП импульсов и комбинированных антенн [9], оптимизированных для эффективного излучения импульсов с различными спектрами. ТЕМ-антенна с размерами 120×50 см и высотой раскрыва 8 см являлась эталонной при измерении формы импульсов: напряжение на выходе ТЕМ-антенны пропорционально напряженности падающего поля, а действующая длина в широком диапазоне не зависит от частоты, и равна половине высоты раскрыва. Спектр импульсов, излученных комбинированными антеннами занимает полосу частот 10 МГц–4,3 ГГц (по уровню 0,1 от максимума). На рис. 2 представлены временные формы импульсов напряжения на выходе приемной антенной решетки (кривые 1). Кривые 2 соответствуют импульсам на выходе приемной ТЕМ-антенны. Для количественной оценки искажения временной формы импульсов, вычислялось среднеквадратическое отклонение σ формы импульса напряжения $U(t)$ на выходе антенной решетки и напряжения $V(t)$ на выходе эталонной антенны. При возбуждении комбинированных антенн биполярными импульсами длительностью 1 нс, 2 нс и 3,5 нс (рис. 2а-в, соответственно) σ не превышает величины 16%. При возбуждении комбинированной антенны биполярными импульсами длительностью 0,5 нс σ не превышает величины 20% (рис. 2г). Действующая длина антенной решетки равна 0,3 см.

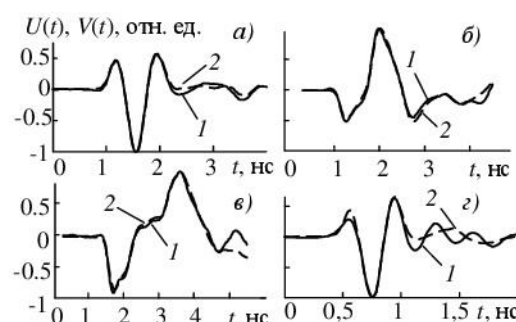
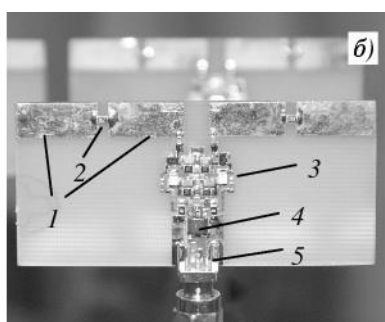
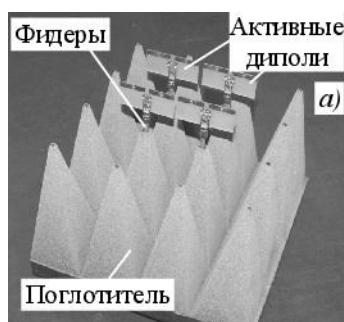


Рис. 1. Внешний вид антенной решетки (а) и активного диполя (б)

Рис. 2. Зарегистрированные импульсы

В результате проведенных исследований разработана и исследована активная дипольная приемная антенная решетка 2×2, предназначенная для регистрации СШП импульсов со спектром в диапазоне частот 0,01–2 ГГц. Проведено тестирование антенной решетки с помощью воздействия короткими СШП импульсами длительностью 1–3,5 нс. Временная форма импульсов напряжения на выходе разработанной антенной решетки и на выходе эталонной ТЕМ-антенны различаются не более, чем на 16% по среднеквадратическому критерию. При воздействии субнаносекундными импульсами, у которых верхняя частота в спектре превышает 4 ГГц, искажение формы импульсов не превышает 20% по сравнению с ТЕМ-антенной. Дальнейшая работа будет направлена на разработку антенной решетки с большим количеством элементов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №16-19-10081.

Список литературы:

- [1] Daniels D. J. *Ground-penetrating radar – 2nd ed. The Institution of electrical engineers, London, UK. 2004. 734 p.*
- [2] Sachs J. *Handbook of ultra-wideband short-range sensing. Wiley, Weinheim, Germany. 2012. 824 p.*
- [3] *Ultra-wideband RF system engineerin / edited by Thomas Zwick. Cambridge University Press, UK. 2013. 186 p.*
- [4] Сахацкий В.Д. // *Вестник ХНАДУ. 2015. Вып. 71. С. 125.*
- [5] Буянов Ю.И., Смирнов В.П. *Активные антенны. Томск: изд-во Томского пед. инст. 1976. 90 с.*
- [6] Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И. // *Изв. вузов. Физика. 2007. Т. 50. №5. С. 82.*
- [7] Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И., Некрасов Э.С. // *26-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телеком. технологии» (КрыМиКо '2016).: материалы конф. Севастополь, 2016. Т. 5. С. 912.*
- [8] Balzovsky E.V., Buyanov Y.I., Koshelev V.I., and Nekrasov E.S. // *Review of Scientific Instruments, 2016, vol. 87, no. 3, 034703.*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ ПРИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОМ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Бобров Алексей Леонидович

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

E-mail: beaver@stu.ru

Акустико-эмиссионный (АЭ) контроль металлических изделий и конструкций зарекомендовал себя как надежный метод выявления развивающихся дефектов, что позволяет вовремя предотвратить последующие разрушения объектов. Однако, продолжающиеся деградировать дефектные участки в процессе нагружения и АЭ контроля чаще всего не идентифицируются как дефекты конкретного типа (усталостные трещины, пластически деформируемые участки, участки поврежденные коррозией и т.п.).

Распознавание типа дефекта имеет важнейшее значение при контроле, так как критерии оценки состояния объектов всегда исходят из определенных причин и формы выявленных отклонений. Однако, если доступ к участку с дефектом ограничен или даже невозможен, определить тип дефекта другим методом неразрушающего контроля затруднителен. Для таких случаев необходимо распознавать процесс разрушения по параметрам сигналов АЭ. Проблема использования потоковых параметров АЭ (суммарный счет, суммарная энергия, средняя энергия и т. п.) в том, что для разных источников они имеют разные закономерности [1, 2]. Кроме того такие процессы как развитие усталостных трещин или пластические деформации на разных этапах развития формируются различными микропроцессами [3].

Поэтому выделение из потока АЭ информации критериев, которые позволят определять были проведены теоретические исследования и эксперименты по растяжению образцов из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с концентраторами [4, 5], которые показали, что используя корреляционный анализ можно существенно продвинуться в вопросе идентификации различных источников АЭ сигналов. Так небольшие изменения координат и направленности источников, присущие трещинам и упругой деформации в локальной области концентратора фактически не влияют на вид волнового пакета регистрируемых сигналов АЭ или искажают его слабо. По результатам исследований в качестве критериев распознавания источников АЭ использовали:

- средний коэффициент взаимной корреляции сигналов, приходящих на один преобразователь в разные моменты времени испытаний k_{ij} ;
- коэффициент взаимной корреляции максимума амплитуды сигналов, приходящих на разные приемники каждого акта АЭ k_U ;
- долю сигналов АЭ, несущих большую энергию в потоке всех сигналов от источника k_{sc} .

Характерные особенности поведения этих параметров для разных типов источников АЭ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии распознавания источника

Тип источника	Характерные значения параметров источника		
	k_{ij}	k_U	k_{sc}
Упругая деформация (локальный источник)	>0,5	<0,5	<0,2
Упругая деформация (распределенный источник)	<0,5	<0,5	<0,2
Пластическая деформация	<0,5	0,5-0,9	0,2-0,8
Усталостная трещина (зарождение)	>0,5	>0,5	<0,2
Усталостная трещина (стабильный рост)	0,2-0,8	>0,9	0,2-0,8
Усталостная трещина (ускоренный рост)	0,2-0,9	>0,9	0,8-1
Деградация дефектной структуры	<0,4	<0,3	0,2-0,8

Таким образом, появляется возможность идентификации разных развивающихся источников АЭ в зависимости от определяемых значений введенных коэффициентов k_{ij} , k_U и k_{sc} . На основе приведенных в таблице значений коэффициентов k_{ij} , k_U и k_{sc} можно построить алгоритм идентификации каждого из