

антенн слабо зависят от расстояния до диэлектрического слоя при высоте расположения антенн 100–300 мм над слоем. При указанных расстояниях КСВН антенн увеличивается до величины не более чем 2,5 в диапазонах частот 1,5–1,8 ГГц и 2,6–2,9 ГГц. В градациях серого цвета на рис. 2 показана картина распределения модуля электрического поля на частоте 2 ГГц. Расчеты показали, что на частотах 1–2,5 ГГц вдоль верхней границы раздела воздух-диэлектрик возбуждается поверхностная волна, которая приводит к паразитному излучению в верхнее полупространство под углом 30–50 градусов к поверхности диэлектрической пластины с интенсивностью до 0,5 от максимальной интенсивности волны, излучаемой в нижнее полупространство.

Расчет взаимного влияния элементов решетки проведен при наличии диэлектрического слоя. Частотная зависимость модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ от антенного элемента 1 (рис. 2) к элементу 2 и $|S_{31}|$ к элементу 3 приведена на рис. 3. Наибольшее влияние друг на друга оказывают соседние элементы, например 1 и 2, а также 1 и 4. При наличии диэлектрического слоя $|S_{21}|$ имеет выраженный максимум в диапазоне частот 1,5–1,8 ГГц, точное положение максимума зависит от расстояния между антенной решеткой и слоем. Если в численной модели задать свойства диэлектрического слоя, соответствующие воздуху (аналогично отсутствию диэлектрика), то уровень взаимодействия между элементами 1 и 2 в этом диапазоне уменьшается на 6–8 дБ. Влияние поля излучения элемента 1 на элемент 3 и более дальние значительно меньше. Можно предположить, что применение объемного поглощающего материала позволит уменьшить взаимное влияние элементов антенных решеток.

Разработана и исследована сверхширокополосная антенная решетка, предназначенная для использования в радаре подповерхностного зондирования. Антенные элементы согласованы с 50-омным фидерным трактом в полосе 0,8–4 ГГц, имеют выраженные направленные свойства. Несмотря на близкое расположение элементов в решетке, уровень взаимного влияния элементов не является критическим. Разработанная антенная решетка может быть использована как при возбуждении короткими СШП импульсами, так и при частотном сканировании в диапазоне 0,8–3 ГГц.

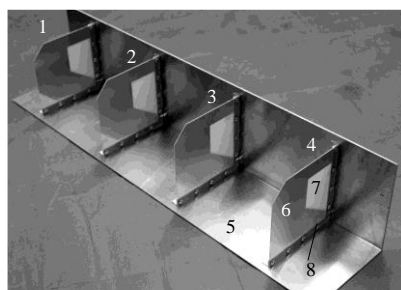


Рис. 1. Антенная решетка

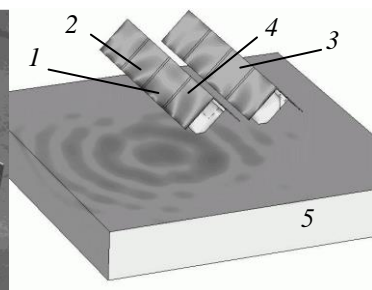


Рис. 2 Зондирование слоя

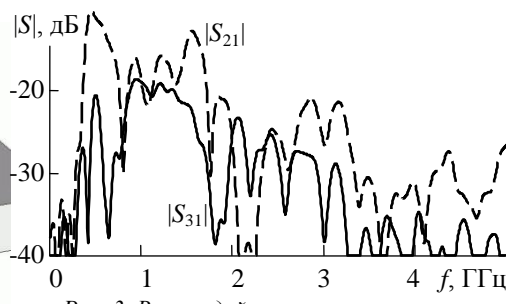


Рис. 3. Взаимодействие антенных элементов

Список литературы:

- [1] Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. *Радиоволновая томография: достижения и перспективы*. Томск: НТЛ, 2014. 262 с.
- [2] Shipilov S.E., Satarov R.N., Fedyanin I.S., Balzovsky E.V., Yakubov V.P. // *MATEC Web of Conferences*, 2016. Vol. 79. Article No. 01079. P. 1.
- [3] Satarov R.N., Kuzmenko I.Y., Muksunov T.R., et. al. // *Rus. Phys. J.* 2013. V. 55. No. 8. P. 884.
- [4] Беличенко В.П., Буянов Ю.И., Кошелев В.И. *Сверхширокополосные импульсные радиосистемы*. Новосибирск: Наука, 2015. 483 с.
- [5] Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Люлякин А.П. *Планарная СШП антенна для связи и радиолокации //24-я Международная Крымская конференция СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии*. Севастополь, 2014. Том I. С. 547.
- [6] Balzovsky E.V., Buyanov Y.I. // *MATEC Web of Conferences*, 2016. Vol. 79. Article No. 01036. P. 1.

ВИХРЕТОКОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Белянков Василий Юрьевич, Гольдштейн Александр Ефремович
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 Гольдштейн Александр Ефремович
 vasyatpu@gmail.com

Легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ) используются в компоновке буровой колонны и применяются при глубоких, сверхглубоких, горизонтальных и наклонных бурильных работах. ЛБТ согласно ГОСТ 23786-79 и в соответствии с ISO 15546-2011 классифицируются по конструкции, виду прочности и термостойкости. Изготавливаются из сплава алюминия Д16Т способом прямого гидравлического горячего прессования. Выбор материала и метода изготовления обеспечивают трубе качества, которые оптимизируют буровые работы, при этом увеличивая износостойкость и эффективность всей колонны. Преимуществами этих труб являются небольшой вес, высокий коэффициент плавучести в буровом растворе, коррозионная стойкость в агрессивных средах (сероводород и углекислый газ), более высокая по сравнению со стальными бурильными трубами гибкость, облегчающая вписываемость труб в сильно искривленные участки ствола, виброгасящие свойства, немагнитность материала, что требуется для проведения инклинометрии скважин.

В процессе эксплуатации бурильных труб вследствие механического и коррозионно-механического изнашивания происходит уменьшение толщины стенки и, как следствие, потеря прочностных характеристик труб. Для ЛБТ труб этот процесс значительно ускоряется при работе в твердых породах и наличии щелочной и кислотной среды.

Для своевременного определения опасного утонения стенки и обеспечения безаварийной работы очень важен периодический эксплуатационный контроль толщины стенки бурильных труб. В настоящее время в соответствии с нормативными документами контроль толщины стенки ЛБТ труб производится с использованием акустического метода контроля, имеющего известные недостатки, связанные с высокой трудоемкостью и низкой производительностью контроля.

В настоящей работе предлагается техническая реализация вихретокового метода контроля толщины стенки ЛБТ труб, который может рассматриваться как альтернативный метод, свободный от указанных недостатков.

Наибольшее применение для решения задачи вихретоковой толщинометрии нашли накладные вихретоковые преобразователи (ВТП), достоинствами которых являются их универсальность, возможность контроля объектов плоской, цилиндрической, и сложной форм с односторонним доступом к объекту контроля, локальность, позволяющая обеспечить высокую разрешающую способность и точность определения зоны дефекта при сканировании поверхности объекта контроля.

Сложность решения задачи измерения толщины стенки электропроводящих труб с использованием накладного ВТП обусловлена возможным существенным изменением в реальных условиях контроля толщины стенки зазора между ВТП и поверхностью контролируемой трубы, а также удельной электрической проводимости материала трубы и существенным влиянием этих факторов на информативные параметры сигнала ВТП.

Фактически, задача измерения толщины стенки электропроводящих труб заключается в нахождении функциональной зависимости информативных параметров сигнала накладного ВТП от измеряемого параметра трубы - толщины стенки t с отстройкой от влияния на результаты измерения изменений в широких диапазонах зазора между ВТП и поверхностью контролируемой трубы h и удельной электрической проводимости материала трубы σ .

Наиболее эффективным способом отстройки от влияния на результаты вихретокового контроля одновременно нескольких влияющих параметров является использование многочастотного возбуждения вихревых токов.

На рисунке 1 показана структурная схема предлагаемого вихретокового толщиномера, реализующего двухчастотный метод контроля. Толщиномер содержит два генератора 1 и 2 гармонических сигналов частот f_1 и f_2 , схему синхронизации 3, сумматор 4, ВТП с возбуждающей 5, измерительной 6 и компенсационной 7 обмотками, вычитающее устройство 8, амплитудно-фазовые детекторы 9 - 12, интегрирующие дискретизаторы 13 - 16 вычислительный блок 17 и устройство индикации 18.

Особенностью предлагаемого толщиномера является то, что в объекте контроля осуществляется возбуждение вихревых токов двух синхронизированных частот. Такое возбуждение дает возможность осуществить качественное разделение сигналов ВТП, обусловленных каждой в отдельности частотной составляющей вихревых токов. Ранее эффективность такого решения была показана на примере его использования в вихретоковом дефектоскопе с разночастотным магнитным полем.

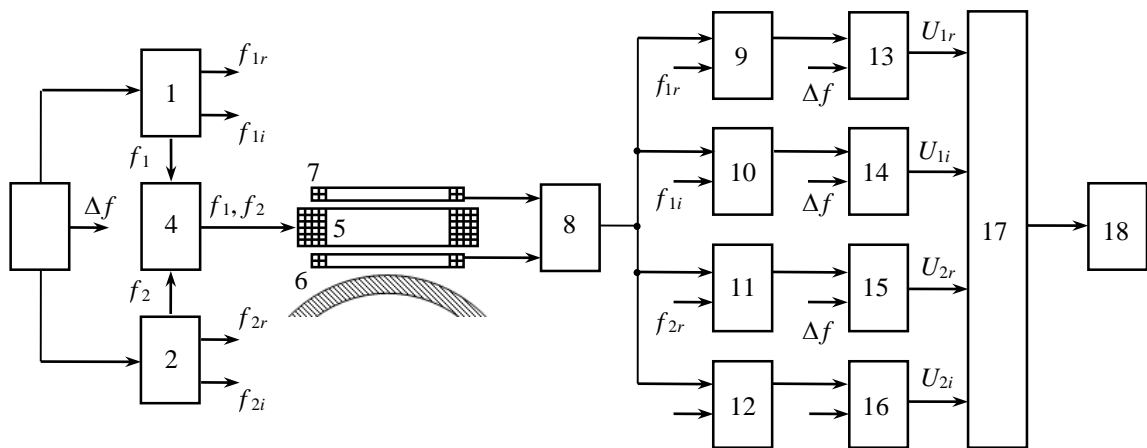


Рис. 1. – Структурная схема двухчастотного вихретокового толщиномера

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.