

6. Кодирование информации (двоичные коды) / Н. Т. Березюк, А. Г. Андрущенко, С. С. Мощицкий и др. – Харьков : Выща шк., 1978. – 252 с.

7. *Information Theory and Practice of Error Control Codes*. – М. : Мир, 1986. – 576 с.

A. A. Simushin, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University

A. N. Kopysov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

I. Z. Klimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

The Development of Cycle Synchronization System for a Chanel with Burst Errors

A construction of cycle synchronization systems using block interleaving is considered. The efficiency estimation of markers on the basis of M-sequence is executed.

Keywords: cycle synchronization, coding, interleaving

Получено: 24.03.11

УДК 620.179.16

✉ : . KljbZd , кандидат технических наук, доцент;
 □ < Ijyobg , заведующий лабораториями;
 Ижевский государственный технический университет
 К : . Hfnoh\ , инженер;
 ООО «ЛДЦ МИБС – Ижевск»
 □ ; . ijfth\ , учебный мастер
 Ижевский государственный технический университет

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПРИЕМА, РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ*

Кnhfmebhzu ljZgby d mgbjkZevghc bgnhifZpbhggh -baffblevghc kklf_ , ijZagZ -
 qgghc ey bZghklbdb gZiyggh -hijfbjhZgghh b kljndlmjghh khklygby wedljihhly -
 sbo hfdlh\ wedljhfZgblgh -Zdmklbqkdbf flhfh . IjklZegu kljndlmjgZy kofZ kklfu
 b hkghgu_ _ ehdb , hkiqbZxsb_ hafngb_ , ijb_ , jkljZpbx b hfZhldm Zdmklbqkdbo
 kbZeh\ \ mkehbyo kemqZcguo wedljhfZgblguo ihfo . Ijhbtky hibkZgb_ kipbZebabjhZgghh
 ijhZffghh hkiqgby .

Ключевые слова: электромагнитно-акустические преобразователи, скорость ультразвука, аппаратно-программное обеспечение

Введение

Развитие методов неразрушающего контроля с использованием бесконтактных электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей обусловлено рядом существенных эксплуатационных достоинств, в частности: возможностью контроля через воздушный зазор без применения контактных жидкостей, в том числе в условиях высоких температур; отсутствием износа ЭМА преобразователей; независимо-

© Стрижак В. А., Пряхин А. В., Обухов С. А., Ефремов А. Б., 2011

* Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы Министерства образования и науки Российской Федерации «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» (регистрационный номер 2.1.2/12069).

стью результатов контроля от перекосов преобразователей относительно поверхности объекта и от наличия на поверхности изделия ржавчины, окалины, краски, загрязнений; возможностью возбуждения и приема нескольких частот упругих колебаний и любых типов волн, в том числе поперечных с горизонтальной поляризацией, которые практически невозможно возбудить и принять контактным способом. К недостаткам ЭМА преобразователей необходимо отнести низкий коэффициент преобразования, определяемый как отношение амплитуды электрического эхо-импульса к амплитуде электрического импульса, возбужденного ЭМА преобразователем [1]. Согласно физическим закономерностям ЭМА преобразования при электродинамическом механизме повышение эффективности ЭМА преобразователей возможно за счет увеличения величины поля постоянного подмагничивания, в частности, с использованием импульсного поляризующего магнитного поля в зоне возбуждения акустических импульсов, повышения амплитуды возбуждающего сигнала и увеличения чувствительности приемного тракта.

Процесс разработки информационно-измерительной системы с ЭМА преобразователем направлен на решение трех основных задач: формирование оптимизированного зондирующего сигнала с заданными параметрами; возбуждение и прием сигнала с оптимальной полосой пропускания; обработка информационного сигнала [2, 3].

В задачах структуроскопии и толщинометрии, основанных на точном измерении времени распространения упругих волн в объекте контроля [4–6] (отклонение скорости не более 1 %), использование ЭМА преобразования выдвигает ряд дополнительных требований к информационно-измерительной системе, в частности, высокой точности определения времени (при широкой полосе частот приемного тракта) в условиях случайных электромагнитных помех и малых амплитуд регистрируемых сигналов. В связи с этим к информационно-измерительной системе с использованием ЭМА преобразователя предъявляются следующие технические требования:

- 1) генерация ударных импульсов с длительностью не более 200 нс для возбуждения ЭМА преобразователя на частотах 1–5 МГц;
- 2) усиление сигнала с ЭМА преобразователя на 60–80 дБ в широкой полосе частот (не менее $3 F_R$ по уровню 6 дБ);
- 3) высокоскоростная регистрация сигналов в память персонального компьютера;
- 4) общая синхронизация системы с частотой питающей сети с целью исключения внесения сетевых помех;
- 5) подавление случайных промышленных помех методом усреднения по множеству реализаций;
- 6) программная обработка зарегистрированного сигнала с возможностью фильтрации, сохранения, загрузки из архива, совмещения двух сигналов при анализе на одной временной оси.

В статье представлены результаты разработки информационно-измерительной системы, реализующей ЭМА метод контроля, удовлетворяющей сформулированным техническим требованиям, и пример ее использования для контроля напряженно-деформированного состояния обода железнодорожного колеса.

Структурная схема системы

В структурной схеме информационно-измерительной системы (рис. 1) могут быть выделены следующие блоки: ЭМА преобразователь индуктивностью L ; блок генератора и усиления (БГУ); персональный компьютер (ПК) с установленной пла-

той аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Генератор блока БГУ синхронно с фазой питающего напряжения вырабатывает зондирующий импульс, поступающий на ЭМА излучатель. Одновременно с зондирующим импульсом вырабатывается сигнал синхронизации для запуска платы АЦП на регистрацию. ЭМА преобразователь работает в совмещенном режиме (излучение – прием). В объекте контроля с помощью ЭМА излучателя возбуждаются короткие акустические импульсы, которые после распространения по объекту контроля и многократного преотражения от противоположной поверхности регистрируются ЭМА приемником, преобразующим акустические колебания в электрические импульсы. Сигнал с ЭМА преобразователя усиливается, фильтруется, ограничивается, буферизуется и поступает на плату АЦП ПК. В ЭВМ производится последующая обработка сигнала с использованием специализированного программного обеспечения (ПО).

Блок питания, кроме обеспечения всех компонентов схемы питающими напряжениями, имеет выход синхроимпульсов частотой 50 Гц и выход высоковольтного напряжения U для зондирующего импульса.

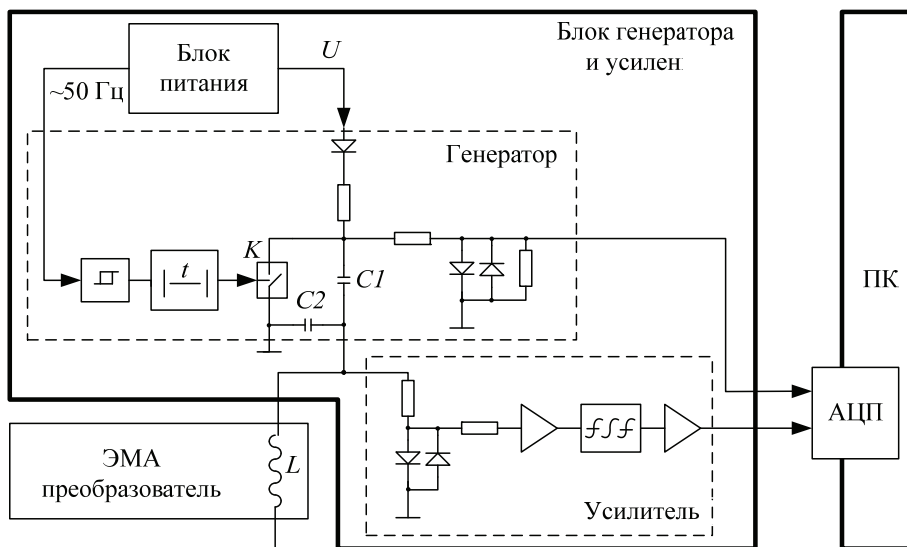


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы

Генератор зондирующих импульсов

Современные средства управления осветительными приборами, силовыми электродвигателями и другими мощными промышленными потребителями генерируют в питающую сеть большое количество высокочастотных помех, синхронных с питающим напряжением. Наличие помех, мешающих реализации эффективного приема сигнала с ЭМА преобразователя, вызванных работой устройств от силовой сети, необходимость их локализации на временной оси и исключения их из регистрируемого сигнала требуют наличия в системе средств синхронизации с питающим напряжением.

Генератор возбуждения выполнен по релаксационной схеме и работает в режиме синхронизации от питающей сети (50 Гц). Модуль синхронизации выполнен на

интегральном компараторе. По выделенному компаратором фронту питающей сети одновибратор на микросхеме формирует запускающий импульс длительностью t , который усиливается по току и поступает на силовой ключ K . До срабатывания ключа K конденсатор $K1$ находится под напряжением $U = +600$ В. В момент замыкания ключа K верхняя обкладка конденсатора соединяется с обратным проводом ЭМА преобразователя. Происходит передача энергии с конденсатора $K1$ в ЭМА преобразователь индуктивностью L . Омическое сопротивление датчика не вносит в колебательную систему существенного вклада в силу своей малости. При реактивном сопротивлении датчика Z в цепи протекает ток $I = U/Z$. За время t включения ключа K в ЭМА преобразователе обеспечивается запас энергии $W = tLI^2/2$. При размыкании ключа K конденсатор $K1$ отключается от ЭМА преобразователя, и запасенная энергия в ЭМА преобразователе расходуется в колебательной системе, образованной индуктивностью ЭМА преобразователя L и емкостью $K2$. Конденсатор $K2$ настраивается на рабочую частоту ЭМА преобразователя с учетом емкости подводящего кабеля. Запасенная в контуре $LC2$ энергия позволяет получить на ЭМА преобразователе зондирующий импульс ударного возбуждения значительной амплитуды $U_{\text{зонд}} \approx 1,5$ кВ. Временная диаграмма зондирующего импульса на ЭМА преобразователе приведена на рис. 2.

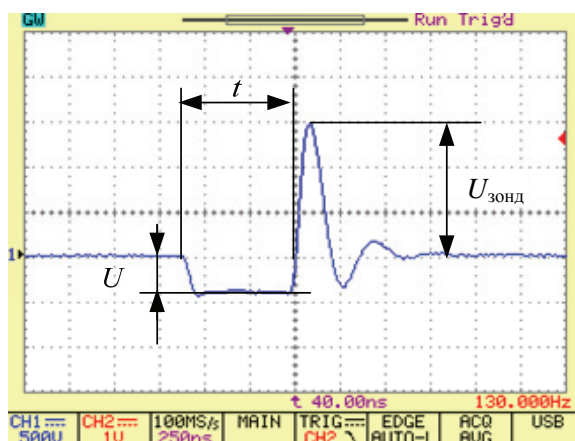


Рис. 2. Зондирующий импульс на ЭМА преобразователе

Усилитель

Усилитель информационно-измерительной системы выполнен в экранированном корпусе и расположен в непосредственной близости от разъема для подключения ЭМА преобразователя в блоке БГУ. Входной каскад усилителя-фильтра выполнен на ультравысокочастотном малощумящем операционном усилителе ОРА843 с незначительным коэффициентом усиления по напряжению. Вход усилителя защищен от зондирующего импульса парой встречно включенных импульсных диодов. Второй каскад усилителя-фильтра выполнен на ультравысокочастотном малощумящем операционном усилителе ОРА847 с высоким коэффициентом усиления по напряжению и, как следствие этого, с естественным ограничением полосы пропускания по высоким частотам. Фильтрация осуществляется фильтром Бесселя четвертого порядка с частотой среза 0,8 МГц по уровню -3 дБ. Оконечный

каскад усилителя-фильтра собран на интегральном высокочастотном буферном драйвере 50-омной линии. Суммарный коэффициент усиления составляет 8 000. Уровень шумов, приведенный к входу усилителя, составил 50 мкВ в рабочей полосе частот. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) разработанного усилителя приведена на рис. 3.

Регистрация сигнала в широкой полосе частот необходима для снижения частотных искажений регистрируемых сигналов. Крутой фронт импульса позволяет минимизировать погрешность определения времени.

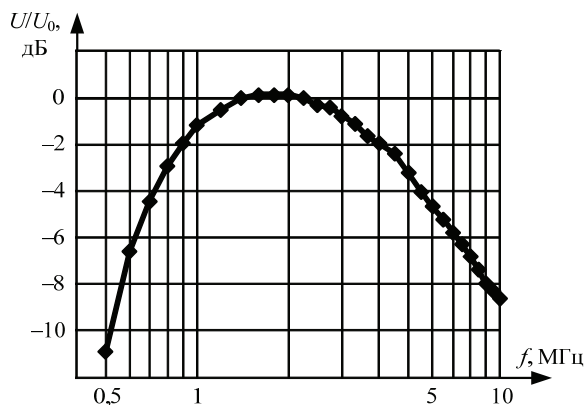


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика канала усиления

Плата регистрации

Плата АЦП ЗАО «Руднев-Шилиев» подключена по системной шине PCI компьютера и работает в режиме Bus Master. Плата АЦП содержит два синхронных канала регистрации с защитой по входу 150 В и частотой регистрации 100 МГц на каждый канал. Регистрация данных производится с разрешением по амплитуде 8 бит во внутренний буфер объемом 2 МБ. Диапазоны шкал входного напряжения (± 25 В; $\pm 12,5$ В; ± 5 В; $\pm 2,5$ В; $\pm 1,25$ В; $\pm 0,625$ В; $\pm 0,25$ В; $\pm 0,125$ В) совместно с каналом усиления позволяют регистрировать сигналы в нескольких динамических диапазонах. Общий объем регистрируемой информации с учетом 2-канальной регистрации составляет 6,1 МБ.

В частности, при регистрации 20 отражений на объекте контроля толщиной 0,15 м при скорости ультразвуковой волны 3 200 м/с измеряемое время составляет 1 875 мкс, при этом объем зарегистрированных данных при частоте дискретизации 100 МГц составит 188 тыс. отсчетов. На данной частоте дискретизации современные устройства регистрации обеспечивают разрешение по амплитуде в 8 бит.

Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) информационно-измерительной системы синхронизирует процесс регистрации с работой генератора зондирующих импульсов и производит первичную обработку зарегистрированных сигналов. Пользователь через оконный интерфейс программы управляет коэффициентами усиления платы АЦП и конфигурирует систему регистрации в соответствии с задачами эксперимента.

В условиях низкого коэффициента преобразования ЭМА преобразователя при широкой полосе пропускания усилителя ($0,6 \div 6$ МГц по уровню -6 дБ) в регист-

рируемом сигнале присутствует широкий спектр разнообразных электрических шумов и помех. С целью отстройки от влияния шумов и повышения разрешающей способности во временной области используются цифровая фильтрация и усреднение многократно зарегистрированного сигнала (от 1 до 32 шагов). Использование усреднения позволило снизить уровень шумов в 4 раза.

Алгоритм работы программного обеспечения, обеспечивающего управление информационно-измерительной системой, состоит из следующих шагов:

- 1) генератор вырабатывает зондирующий импульс с частотой повторения 50 Гц;
- 2) плата АЦП ожидает синхроимпульс с генератора, при появлении которого производится регистрация сигнала с учетом установленной шкалы входного напряжения и заданного временного интервала регистрации;
- 3) данные фильтруются, отображаются на экране ЭВМ и при необходимости записываются в файл;
- 4) если задана многократная регистрация данных, то пункт 2 повторяется заданное количество раз; при многократной регистрации данных результаты усредняются.

Программное обеспечение стенда разработано на языке Delphi и опробовано под операционной системой WinXP и Win7. Окно программы (рис. 4) состоит из меню, рабочего окна с тремя группами управляющих элементов («Режим работы», «Вид», «Запуск»), окна «Описание» и строки состояния. Действие программы аналогично работе электронного осциллографа. Программа позволяет управлять параметрами канала регистрации, синхронизироваться с входящими сигналами во времени, производить первичную обработку сигналов (фильтрацию, усреднение, удаление постоянной составляющей).

Программное обеспечение предоставляет пользователю возможность подробно рассмотреть участок сигнала, измерить амплитуду и время для выбранной точки, измерить разницу амплитуд и расстояние по временной оси для двух выбранных точек, рассчитать коэффициент затухания по двум выбранным точкам, управлять параметрами регистрации и навигации по файлам.

Предусмотрена возможность совместного анализа двух независимых зарегистрированных сигналов путем совмещения на одной временной оси.

Разработанная система использована для реализации ЭМА метода оценки внутренних напряжений в ободьях цельнокатаных колес по методике контроля, описанной в [6]. В рабочем поле программы (рис. 4) представлена эхограмма многократных отражений (в количестве 25 отражений), полученная при прозвучивании по ширине обода (0,13 м) поперечными волнами с взаимноперпендикулярной поляризацией (скорость 3 200 м/с). На нижней шкале отображается расстояние, пройденное акустическим импульсом с учетом введенной в программу скорости ультразвука.

Элементы эхограммы, совмещенные на одной временной оси, развернуты в районе 3-го (рис. 5, Z) и 10-го донных отражений (рис. 5, □). По мере увеличения номера донного отражения возрастает разница во времени прихода фронта импульса ($t_3 = 0,03$ мкс, $t_{10} = 0,08$ мкс). На третьем отражении сигнал находится в ограничении по амплитуде.

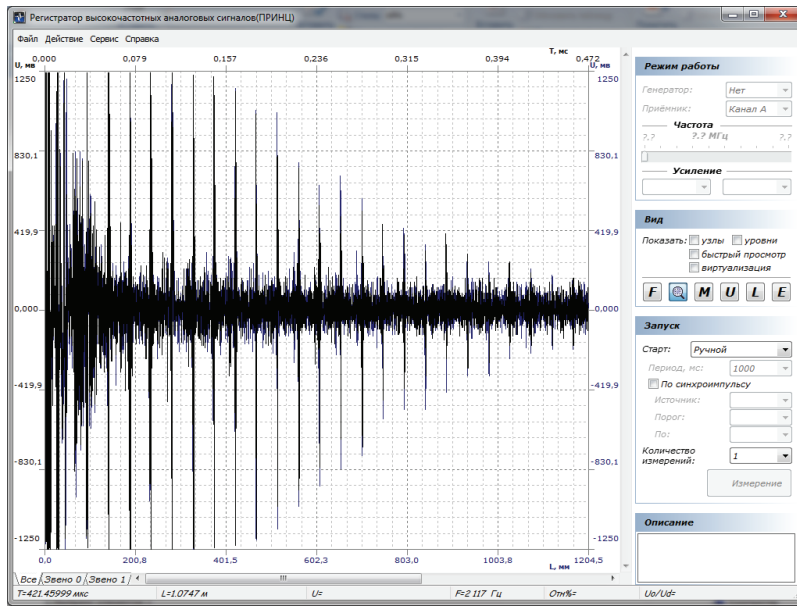


Рис. 4. Интерфейс программы регистрации

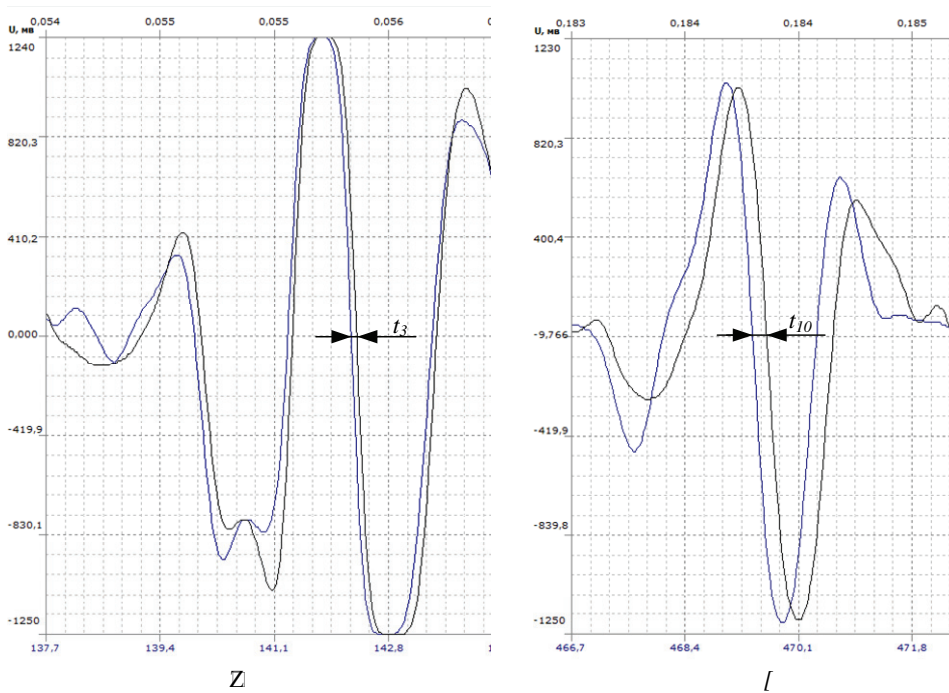


Рис. 5. Осциллограммы сигнала, развернутые в районе 3-го донного отражения (Z), 10-го донного отражения (I)

Выводы

Таким образом, разработанная информационно-измерительная система обеспечивает возможность эффективного возбуждения ЭМА преобразователя зондирующим импульсом амплитудой до 1,5 кВ; широкополосного усиления ЭМА сигналов при коэффициенте усиления до 80 дБ и уровне шумов 50 мкВ в рабочей полосе частот; цифровой регистрации по двум синхронным каналам с частотой регистрации 100 МГц на каждый канал и с разрешением по амплитуде 8 бит. Программное обеспечение адаптировано к возможности проведения измерения параметров регистрируемых сигналов (амплитуда и время для выбранной точки, расстояние по амплитудной и временной осям для двух выбранных точек, коэффициент затухания по двум выбранным точкам).

Разработанная система может быть использована при решении ряда задач структуроскопии, толщинометрии, дефектоскопии ЭМА методами, основанных на точном измерении времени распространения упругих волн в объекте контроля.

Список литературы

1. *Иванов И. С., ДжибгднЗ Н. С.* Влияние химического состава и температуры металлов на эффективность электромагнитно-акустического преобразования // Дефектоскопия. – 2009. – № 4. – С. 40–49.
2. *КмдднЗ Ф., бгдднЗ : . С.* Реальная чувствительность ЭМА приборов // Дефектоскопия. – 2007. – № 6. – С. 43–50.
3. Повышение чувствительности ЭМА приборов / Г. М. Сучков, А. В. Донченко, А. В. Десятниченко и др. // Дефектоскопия. – 2008. – № 2. – С. 15–22.
4. Контроль качества пруткового проката электромагнитно-акустическим методом / Г. А. Буденков, М. В. Татаркина, А. В. Лукин и др. // Дефектоскопия. – 2009. – № 4. – С. 50–60.
5. *Бибг К. В., Вевык\ J. К.* О возможности использования параметров ЭМАП для оценки предела упругости и остаточных деформаций ферромагнитных материалов // Дефектоскопия. – 2010. – С. 83–90.
6. Электромагнитно-акустический метод контроля остаточных напряжений в ободьях вагонных колес / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак и др. // Дефектоскопия. – 2011. – № 7.

V. A. Strizhak, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

A. V. Pryakhin, Laboratories Chief, Izhevsk State Technical University

S. A. Obukhov, Engineer, LLC «MDC MIBS – Izhevsk»

A. B. Efremov, Laboratory Master, Izhevsk State Technical University

The information and measuring system for excitation, detection, registration and processing of signals from electromagnetic-acoustic transducers

The requirements to universal information and measuring system, designed for diagnosis of stress strain and structural state of conductive objects by means of an electromagnetic acoustic method, are formulated. The system structural scheme and its main blocks, providing excitation, detection and processing of acoustic pulses with presence of stochastic electromagnetic interference, are described. The article contains description of the specialized software.

Keywords: electromagnetic-acoustic transducers, ultrasound velocity, software/hardware

Получено: 10.05.11