

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АКУСТОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПРОВОЛОК

В. В. МУРАВЬЕВ, Д. В. ЗЛОБИН, А. В. ПЛАТУНОВ

*Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашиникова,
426069, Ижевск, Россия
E-mail: vmuraviev@mail.ru*

Представлены результаты разработки прибора и бесконтактных электромагнитно-акустических преобразователей, с высокой точностью обеспечивающих измерение скорости и амплитуды стержневой волны в тонких проволоках. Преимуществом прибора является возможность оперативной регулировки коэффициента усиления, центральной частоты амплитудно-частотной характеристики, добротности в широком диапазоне, что необходимо при исследовании сигналов с использованием экспериментальных преобразователей.

Ключевые слова: электромагнитно-акустические преобразователи, стержневая волна, стальные проволоки

Построение приборов акустической тензометрии проволок (особенно малого диаметра), с использованием традиционно используемых пьезопреобразователей чрезвычайно сложно ввиду малой площади контакта и сложности надежного закрепления на объекте. Использование бесконтактного электромагнитно-акустического (ЭМА) способа ввода и приема акустических волн позволяет не зависеть от качества акустического контакта, во многом определяющего точность и воспроизводимость метода акустической тензометрии [1—4].

Отличительными особенностями бесконтактных ЭМА-преобразователей являются возможность контроля через воздушный зазор без применения контактных жидкостей, в том числе в условиях высоких температур; отсутствие износа ЭМА-преобразователей; независимость результатов контроля от положения преобразователей относительно поверхности объекта и от наличия на поверхности изделия ржавчины, окалины, краски, загрязнений; возможность возбуждения и приема любых типов волн; локальность приема; низкие значения выходного импеданса; возможность создания широкополосных преобразователей на различные диапазоны частот.

Использование стандартных ультразвуковых (УЗ) дефектоскопов для проведения измерений ЭМА-способом возбуждения-приема волн неоптимально по следующим причинам:

— промышленные УЗ-дефектоскопы ориентированы на работу с пьезопреобразователями, поэтому генерируемый ими зондирующий импульс с высоким возбуждающим напряжением и низким выходным током обладает параметрами, неоптимальными для ЭМА-преобразователей;

— генератор УЗ-дефектоскопа работает в режиме ударного возбуждения, что делает невозможной точную подстройку длительности зондирующего импульса на заданную частоту возбуждения;

— усилитель УЗ-дефектоскопа имеет фиксированный набор резонансных частот и неизменяемое значение добротности амплитудно-частотной характеристики, что во многих случаях является ограничивающим фактором при необходимости их плавной регулировки.

В настоящей работе представлен универсальный прибор для исследований акустоупругих характеристик тонких проволок с возможностью оперативной регулировки в широком

диапазоне длительности зондирующего импульса, коэффициента усиления, добротности и основной частоты амплитудно-частотной характеристики.

При построении универсальной аппаратуры для исследования проволок в широком диапазоне диаметров и рабочих частот следует обеспечить оперативную регулировку параметров, необходимых для получения оптимальной формы выходного сигнала [5—9]. В состав разработанного акустического прибора для исследований входят: генератор зондирующих импульсов (ГЗИ), приемный усилитель (ПУ), излучающий и приемный ЭМА-преобразователи, осциллограф (рис. 1). Схема ГЗИ (рис. 2) состоит из двух функциональных частей: низковольтной, формирующей сигнал, подаваемый на драйвер возбуждения полевых транзисторов DA2, и высоковольтной, обеспечивающей генерацию импульсов тока высокой амплитуды. Формирование импульсов происходит в генераторе, выполненном на микросхеме DD1, представляющей собой четыре элемента ИЛИ-НЕ с триггером Шмитта.

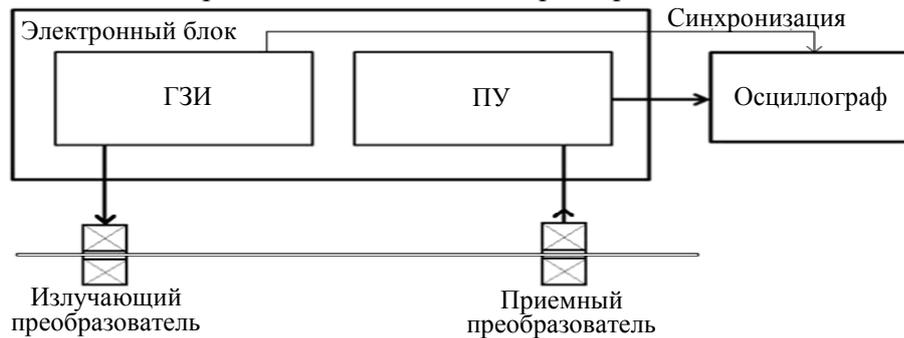


Рис. 1

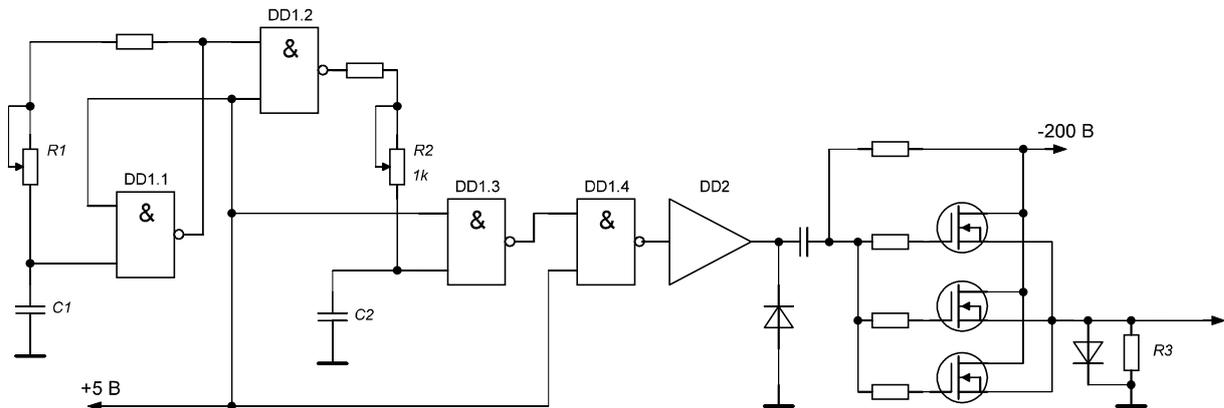


Рис. 2

Зондирующие импульсы формируются следующим образом: вырабатываемая мультивибратором DD1.1 последовательность сигналов определяет частоту следования зондирующих импульсов. Цепочка R2C2 осуществляет регулируемую задержку, определяющую длительность импульсов.

Инвертированные на элементе DD1.2 импульсы складываются с исходными на DD1.3, и после дополнительной инверсии на DD1.4 на выходе генератора формируется последовательность коротких прямоугольных импульсов, частоту и длительность которых можно изменять независимо в пределах, определяемых параметрами цепочек R1C1 (частота повторения) и R2C2 (длительность).

Сформированные импульсы подаются на драйвер — микросхему DD2 (TC4420), осуществляющую управление затворами трех мощных полевых транзисторов, включенных параллельно. Такое включение позволяет добиться более высокой скорости нарастания выходного тока и амплитуды выходного импульса. Диод VD1 предохраняет выход драйвера от импульса высокого напряжения, возникающего в момент включения генератора, VD2 защищает от пробоя полевые транзисторы в случае подключения индуктивной нагрузки. Резистор R3 осу-

щественно электрическое демпфирование нагрузки, а также позволяет подключать к генератору не только индуктивную нагрузку, но и пьезопреобразователи. Пиковая амплитуда импульса тока I_a , вырабатываемого генератором, зависит от длительности выходного импульса $\tau_{и}$.

Помимо возможности регулировки длительности и частоты повторения зондирующих импульсов в широком диапазоне генератор обладает следующими преимуществами: невосприимчивость к короткому замыканию (поскольку генератор работает в режиме источника тока), возможность использования как с ЭМА-преобразователями, так и с пьезопреобразователями.

Усилитель выполнен по двухкаскадной схеме (рис. 3). Диоды VD1, VD2 обеспечивают защиту от воздействия высокого напряжения зондирующих импульсов на входной каскад, VT1 — повторитель, служащий для повышения входного сопротивления. VT2, VT3 образуют дифференциальный каскад, нагрузкой которого является резонансный контур, образованный катушкой L1 и варикапом VD3 (BB132), емкость которого управляется напряжением, снимаемым с потенциометра R1, что позволяет избежать применения конденсаторов переменной емкости. Второй каскад усиления образован транзисторами VT5, VT6 и по структуре аналогичен первому.

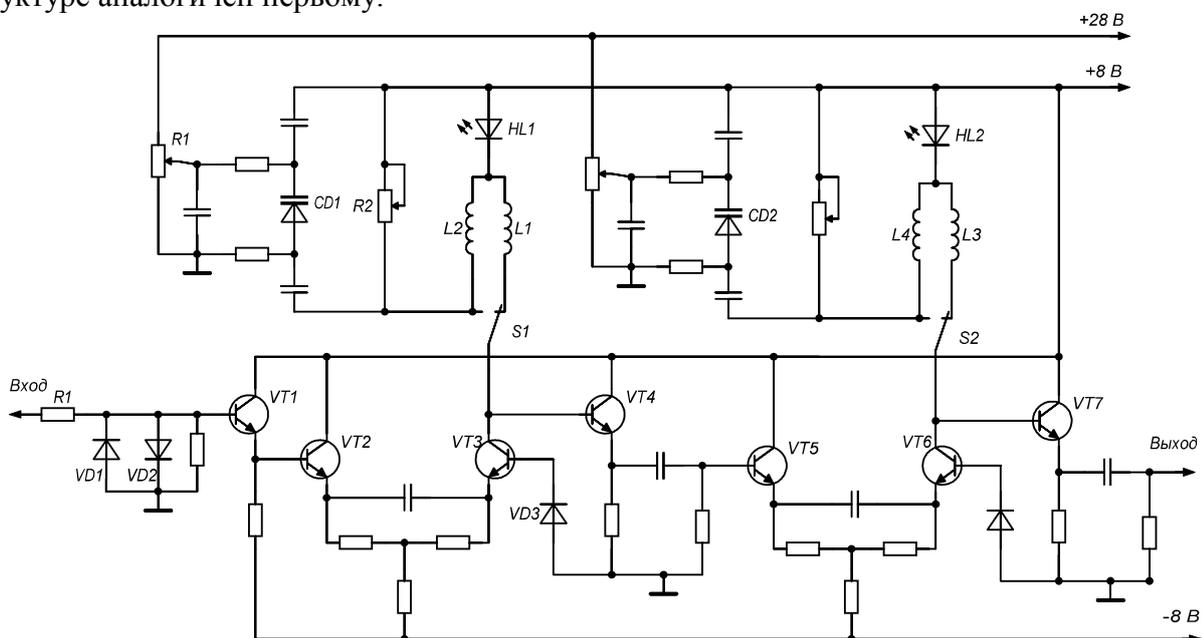


Рис. 3

С помощью переключателя S1 задается частотный диапазон усилителя (1—6, 6—18 МГц). Указанные границы диапазонов могут быть изменены подбором номиналов катушек индуктивности L1—L2. Транзистор VT7 образует эмиттерный повторитель, обеспечивающий низкое выходное сопротивление усилителя. Переменным сопротивлением R2 осуществляется регулировка добротности колебательного контура. В качестве усилительных элементов применены ВЧ-транзисторы 2SC2901 (VT2, VT3, VT6, VT7), в эмиттерных повторителях использованы транзисторы BF199. Уровень шума усилителя, приведенный к входу, — 6 мкВ, коэффициент усиления по напряжению — 70 дБ.

Преимуществом этой схемы является возможность оперативной регулировки коэффициента усиления, центральной частоты амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) без применения конденсаторов переменной емкости, добротности в широком диапазоне, что необходимо при исследовании сигналов с использованием экспериментальных бесконтактных ЭМА-преобразователей. Основные технические характеристики электронного блока представлены ниже.

Пределы регулировки длительности зондирующего импульса, τ_n , мкс	0,2—2
Амплитуда выходного тока генератора в зависимости от длительности зондирующего импульса I_a , А	8—60
Пределы регулировки рабочей частоты зондирующего импульса, f_p , МГц	0,5—4
Коэффициент усиления k , дБ	70
Пределы регулировки частоты работы усилителя, f_y , МГц	0,7—10
Собственный уровень шума, $U_{ш}$, мкВ	6

Разработаны бесконтактные ЭМА-преобразователи двух типов. Односекционный ЭМА-преобразователь проходного типа (рис. 4, а) включает в себя излучающую обмотку 1, размещенную на несущем полимерном конусе 2 внутри экранированного корпуса 3. Использование экрана позволило увеличить отношение сигнал/шум. Снижению шумов также способствовало уменьшение емкостной составляющей за счет уменьшения длины кабеля. Наилучшие результаты были достигнуты при выносе первого каскада усилителя в отдельный предусилительный блок и его размещении в непосредственной близости с ЭМА-преобразователем. Для повышения эффекта ЭМА-преобразования в конструкции закреплен постоянный магнит М [10, 11].

Многосекционный преобразователь (рис. 4, б) также содержит катушку 1 на несущем полимерном каркасе 2 и постоянный магнит М. Отличительной чертой ЭМА-преобразователя многосекционного типа является наличие нескольких одинаковых последовательно соединенных одноосных обмоток. Периодичность размещения секций на каркасе выбрана исходя из значения длины акустической волны; увеличение амплитуды импульса достигнуто за счет интерференции волн, возбуждаемой каждой из обмоток. Таким образом, многосекционный ЭМА-преобразователь позволяет обеспечить повышение амплитуды и отношения сигнал/шум.

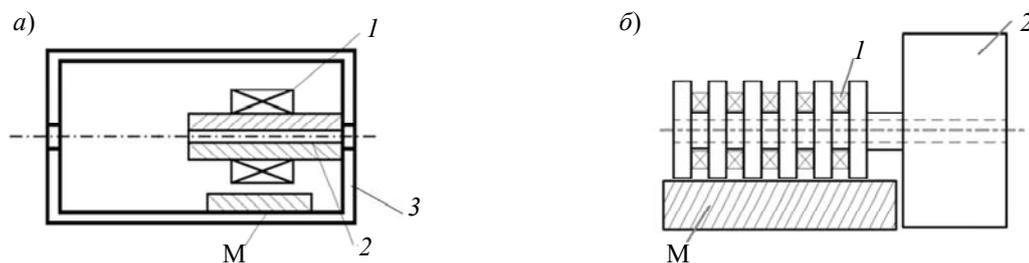


Рис. 4

Технические характеристики разработанного прибора обеспечивают акустические исследования материалов и изделий с требуемой точностью. Преимуществом прибора является возможность оперативной регулировки коэффициента усиления, центральной частоты амплитудно-частотной характеристики, добротности в широком диапазоне, что необходимо при исследовании сигналов с использованием экспериментальных преобразователей. Предусмотрена регулировка длительности и частоты повторения зондирующих импульсов в широком диапазоне.

Генератор невосприимчив к короткому замыканию (поскольку работает в режиме источника тока) и обладает возможностью использования как с ЭМА-преобразователями, так и с пьезопреобразователями.

Применение бесконтактного ЭМА-способа ввода и приема упругих волн позволяет не зависеть от качества акустического контакта и существенно повысить точность, воспроизводимость и достоверность акустических измерений. Многосекционный ЭМА-преобразователь позволяет обеспечить повышение амплитуды и отношения сигнал/шум.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №15-19-00051).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббакумов К. Е., Степаненко Н. В. Моделирование электроакустического тракта теневого метода ультразвукового контроля при использовании бесконтактных датчиков // Изв. СПбГЭУ „ЛЭТИ“. 2013. № 8. С. 67—72.
2. Буденков Г. А., Недзвецкая О. В., Лебедева Т. Н. Новая прогрессивная технология дефектоскопии протяженных объектов металлургической и нефтедобывающей промышленности // Тяжелое машиностроение. 2004. № 11. С. 18.
3. Буденков Г. А., Недзвецкая О. В., Буденков Б. А., Лебедева Т. Н., Злобин Д. В. Акустическая дефектоскопия прутков с использованием многократных отражений // Дефектоскопия. 2004. № 8. С. 50—55.
4. Муравьева О. В., Стрижак В. А., Пряхин А. В. Влияние регулярных перепадов сечения на контролепригодность прутка при контроле акустическим волноводным методом // Дефектоскопия. 2014. № 4. С. 41—49.
5. Злобин Д. В., Муравьева О. В. Особенности построения аппаратуры электромагнитно-акустической дефектоскопии пруткового проката с использованием стержневых волн // Вестн. ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. 2012. № 4 (56). С. 99—104.
6. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Додэка-XXI, 2005. 528 с.
7. Ежков Ю. А. Справочник по схемотехнике усилителей. М.: ИП РадоСофт, 2002. 272 с.
8. Воронкова Л. В., Качанов В. К., Сеницын А. А. Аппаратура для ультразвукового контроля изделий из чугуна // Контроль. Диагностика. 2016. № 7. С. 33—42.
9. Качанов В. К., Карташев В. Г., Соколов И. В., Воронкова Л. В., Концов Р. В., Сеницын А. А. Выбор параметров пространственно-временной обработки сигналов при ультразвуковой структуроскопии чугунных изложниц, подвергшихся термоциклированию // Дефектоскопия. 2016. № 6. С. 42—50.
10. Муравьева О. В., Муравьев В. В., Кокорина Е. Н., Стерхов В. Д., Малютин Д. В. Оптимизация систем подмагничивания проходных электромагнитно-акустических преобразователей объемных волн для неразрушающего контроля пруткового проката // Датчики и системы. 2013. № 2 (165). С. 2—9.
11. Алехин С. Г., Самокрутов А. А., Бобров В. Т., Бобров С. В., Сергеев К. Л. Моделирование магнитных систем ЭМА-преобразователей для возбуждения ультразвуковых волн // Контроль. Диагностика. 2013. № 7. С. 12—18.

Сведения об авторах

- Виталий Васильевич Муравьев** — д-р техн. наук, профессор; ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, кафедра приборов и методов измерений; заведующий кафедрой; E-mail: vmuraviev@mail.ru
- Денис Владимирович Злобин** — канд. техн. наук, доцент; ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, кафедра приборов и методов измерений; E-mail: sined2@mail.ru
- Андрей Валерьевич Платунов** — канд. техн. наук; ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, экзаменационный центр по неразрушающему контролю; E-mail: uosp@mail.ru

Рекомендована кафедрой
приборов и методов измерений

Поступила в редакцию
21.03.17 г.

Ссылка для цитирования: Муравьев В. В., Злобин Д. В., Платунов А. В. Прибор для исследований акустоупругих характеристик тонких проволок // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 6. С. 572—577.

DEVICE FOR STUDIES ON ACOUSTIC-ELASTIC CHARACTERISTICS OF THIN WIRES

V. V. Muraviev, D. V. Zlobin, A. V. Platunov*Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
426069, Izhevsk, Russia
E-mail: vmuraviev@mail.ru*

Results of development of an instrument and non-contact electromagnetic acoustic transducers providing high-accurate measurement of speed and amplitudes of core waves in thin wires are presented. The advantages of the model is reported to be the possibility of quick adjustment of gain, center frequency, amplitude-frequency characteristic, and the quality factor in a wide range that is necessary in the study of signals using pilot converters.

Keywords: electromagnetic acoustic transducers, core wave, steel wires

Data on authors

- Vitaly V. Muraviev** — Dr. Sci., Professor; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Department of Quality Control Instruments and Techniques; Head of the Department; E-mail: vmuraviev@mail.ru
- Denis V. Zlobin** — PhD, Associate Professor; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Department of Quality Control Instruments and Techniques; E-mail: sined2@mail.ru
- Andrey V. Platunov** — PhD; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Examination Center for Non-destructive Testing; E-mail: uosp@mail.ru

For citation: Muraviev V. V., Zlobin D. V., Platunov A. V. Device for studies on acoustic-elastic characteristics of thin wires. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 6. P. 572—577 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-6-572-577