

# ПОСТРОЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМА СПОСОБА ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПРИЕМА УПРУГИХ ИМПУЛЬСОВ

Г. М. СУЧКОВ

*Приведены итоговые результаты работ по построению приборов для неразрушающего контроля и измерений, а также блок-схемы устройств, позволяющих реализовать ЭМА способ при различных технических, технологических и экономических требованиях.*

*The paper gives the final results of the work on construction of instruments for non-destructive testing and measurements. Block-diagrams of devices are given, which allow implementing various technical, technological and economic requirements.*

Значительными преимуществами перед «мокрыми» методами ультразвукового контроля (УЗ) в сложных условиях эксплуатации — при скоростной дефектоскопии и толщинометрии, контроле загрязненных и горячих металлов, изделий с неэлектропроводными покрытиями и др. обладает ЭМА способ [1–11]. Однако реализовать эти преимущества не позволяет низкая чувствительность и существенная зависимость результатов контроля от расстояния между ЭМА преобразователем и поверхностью изделия. По моему мнению, главным препятствием при практической реализации ЭМА способа является традиционный подход к созданию средств неразрушающего контроля (НК) с применением ЭМА способа. Имеет место проблема, решение которой позволит создать новый класс приборов, дополняющих существующие контактные средства УЗ НК. На основании анализа результатов многолетних исследований [1–19] и практического применения ЭМА способа в промышленности поставленная проблема решена для контроля качества и измерений характеристик изделий. Сформированы основные принципы построения ЭМА дефектоскопов и толщиномеров различного назначения.

При УЗ контроле изделий из материала с высоким коэффициентом ЭМА преобразования (алюминий и его сплавы, мелкозернистая высококачественная ферромагнитная сталь и т. д.), или изделий из материалов с низким ослаблением УЗ колебаний, или при реализации технологии контроля, не требующей высокой производительности (ручной контроль), возможно применение схемы построения дефектоскопа или толщиномера (рис. 1) с применением ударного возбуждения. Однако, как следует из работы [1], характеристики полезных сигналов определяются характеристиками исходного зондирующего сигнала. Поэтому при реализации этой схемы необходимо сформировать исходный возбуждающий импульс. Это можно осуществить двумя путями — регулировкой длительности и амплитуды импульса то-

ка, возбуждающего ЭМА преобразователь. Тогда по мере уменьшения глубины контролируемого объема изделия следует уменьшать длительность зондирующих импульсов. При этом увеличивается часть энергии импульса в высокочастотной области спектра сигнала. Следовательно, увеличивается разрешающая способность дефектоскопа или толщиномера. Дополнительной регулировкой амплитуды импульса тока, возбуждающего ЭМАП, можно оптимально формировать участок частотного спектра с максимальным распределением энергии в диапазоне, в котором осуществляется прием отраженных УЗ импульсов. Кроме того, по мере уменьшения толщины изделия необходимо увеличивать и частоту следования зондирующих импульсов. Такое требование обусловлено дополнительными потерями энергии УЗ импульсов при многократных отражениях на границах контролируемого не толстого изделия.

Прибор НК, выполненный по предложенной схеме (см. рис. 1), работает следующим образом. Синхронизатор 1 вырабатывает импульсы, согласующие работу всех блоков и узлов прибора. Под воздействием синхроимпульса генератор 2 ударного возбуждения формирует импульс напряжения, прикладываемый к входным цепям ЭМАП 3. Длительность импульса тока в ЭМАП 3 фор-

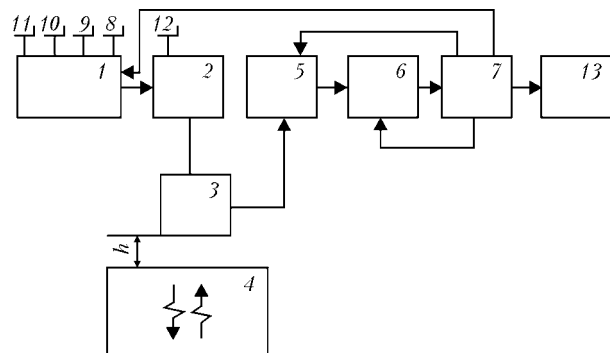


Рис. 1. Упрощенная блок-схема УЗ прибора для контроля ЭМА способом с использованием ударного возбуждения преобразователя ( $h$  — зазор между ЭМАП и изделием)

мируется регулятором 8, его амплитуда — регулятором 9, а частота следования регулятором 10 синхронизатора 1. Регуляторы 8 и 9 должны иметь участки плавного перехода, так как с их помощью можно осуществлять тонкое согласование выходных цепей генератора 2 с входными цепями ЭМАП 3. Таким путем достигается дополнительное уменьшение «мертвой» зоны, а также улучшается форма зондирующего УЗ импульса и за счет этого разрешающая способность. Регулятор 10 может быть дискретным.

При поступлении импульса тока ЭМА преобразователь 3 возбуждает в контролируемом изделии 4 УЗ импульсы, имеющие параметры, идентичные параметрам возбуждающего импульса тока. Обязательным условием идентичности характеристик импульса тока и УЗ импульса является широкополосность ЭМАП 3. В противном случае возбуждаемый УЗ импульс будет искажен. Измеренные характеристики изделия 4 не будут в полной мере соответствовать действительным. Кроме того, снизится коэффициент преобразования электромагнитной энергии в акустическую. Будет принята только часть излученной энергии. Это приведет к снижению амплитуды сигнала и, соответственно, к понижению чувствительности и точности контроля. Помехозащищенность контроля также будет недостаточной.

Принятые ЭМАП 3 от изделия 4 отраженные импульсы усиливаются широкополосным усилителем 5. Широкополосность усилителя 5 необходима для приема основной части энергии из всего излученного и затем принятого спектра. В то же время, широкополосный усилитель будет принимать помехи во всей рабочей полосе частот, т. е. помехозащищенность может быть недостаточной. Усиленные сигналы поступают в блок 6 обработки информации, а затем в устройство 7 отображения информации и сигнализации. В блоках 6 и 7 может быть применена традиционная технология работы с информационными сигналами.

Толстые изделия, изделия с существенным коэффициентом ослабления упругих импульсов и т. п. контролировать приборами, использующие ударное возбуждение, нецелесообразно.

Как показано в работах [1, 2, 5, 9, 16, 19], повысить эффективность прибора НК позволяет применение возбуждения ЭМАП пакетными импульсами тока. Блок-схема такого прибора для неразрушающего бесконтактного контроля показана на рис. 2. Он особенно эффективен при дефектоскопии теньвым и зеркально-теньвым методами, дефектоскопии эхо-методом объемных изделий с достаточной высотой затуханием, дефектоскопии эхо-методом горячих изделий, дефектоскопии литых материалов, толщинометрии. Он существенно отличается от предыдущего прибора (см. рис. 1). Роль синхронизатора возлагается на блок 6 обработки информации и управления. Добавлен формирователь 1 с регулятором 8 частоты  $f_0$  заполнения пакетного импульса, регулятором 9 длительности  $\tau_n$  пакетного импульса и регулятором 10 частоты  $f_{сл}$  следования пакетных импульсов. Сформированный пакетный импульс уси-

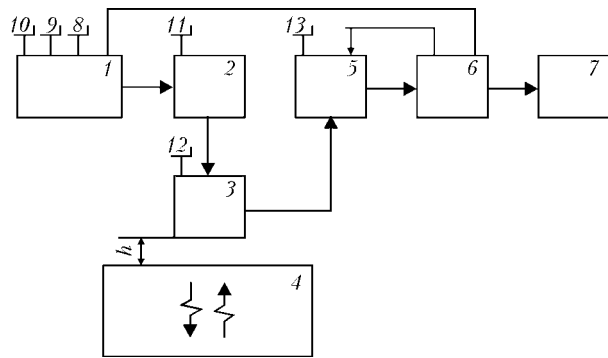


Рис. 2. Упрощенная блок-схема прибора для УЗ контроля ЭМА способом с использованием пакетного возбуждения ультразвуковых колебаний и резонансной фильтрации

ливается генератором 2 зондирующих импульсов до заданной амплитуды, определяемой регулятором 11. Генератор 2 возбуждает в ЭМАП 3 пакетные импульсы тока с заданными частотой заполнения, длительностью, амплитудой и частотой следования зондирующих импульсов. В этом случае ЭМАП 3 должен иметь узкую частотную полосу, или быть резонансным. ЭМАП 3 снабжается регулятором 12 центральной рабочей частоты, соответствующей частоте УЗ колебаний, установленной нормативно-технической документацией (НТД) на контроль. Обычно ее значения устанавливаются дискретно. Для тонкой настройки и согласования выходных характеристик генератора 2 и входных характеристик ЭМАП 3 используют регуляторы 8 и 9.

В изделии 4 возбуждаются УЗ импульсы с параметрами, соответствующими параметрам тока, питающего преобразователь 3. Принятые от изделия 4 УЗ импульсы усиливаются узкополосным или резонансным усилителем 5. В результате узкополосные ЭМАП 2 и усилитель 5 существенно ограничивают прохождение помех и шумов на блок 6 обработки информации и управления. Соотношение сигнал/шум по сравнению с предыдущим вариантом (см. рис. 1) повышается. Для согласования параметров усилителя 5 и характеристик принятого пакетного импульса усилитель также должен быть снабжен регулятором 13 резонансной частоты (центральной частоты принимаемой полосы) сигнала. После усиления принятый сигнал поступает в блок 6 обработки информации и управления и затем в устройство 7 отображения информации и сигнализации.

Узкополосное возбуждение и прием УЗ импульсов описанным прибором УЗ бесконтактного контроля приводит к исключению из спектра высокочастотных компонент спектра. Принятый сигнал искажается. Результаты измерений могут иметь погрешность выше необходимой. Не всегда может быть получено достаточное превышение полезного сигнала над шумом.

Устранить недостатки описанных выше приборов НК (см. рис. 1 и 2) можно за счет построения широкополосных устройств, не искажающих информационный сигнал (рис. 3). Так же, как и в предыдущем случае, дефектоскоп или тол-

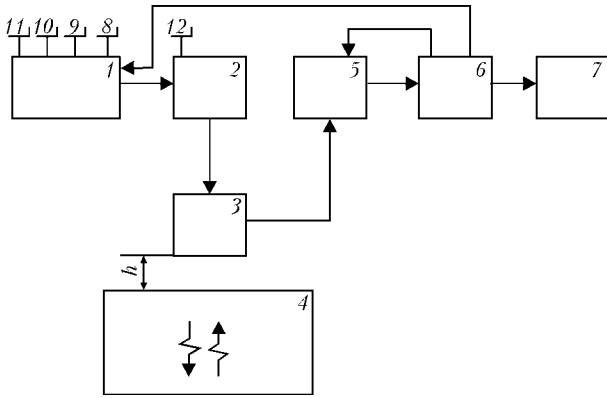


Рис. 3. Упрощенная блок-схема прибора для УЗ контроля ЭМА способом с использованием пакетного возбуждения УЗ колебаний и линейно частотной фильтрации

щиномер снабжен формирователем 1 с регулятором 8 частоты  $f_0$  заполнения пакетного импульса, регулятором 9 длительности  $\tau_{\text{и}}$  пакетного импульса и регулятором 10 частоты  $f_{\text{сл}}$  следования пакетных импульсов. Дополнительно формирователь 1 снабжен плавным регулятором 11 длительности последнего в пакете импульса заполнения. С его помощью заметно уменьшается величина «мертвой» зоны. Сформированный пакетный импульс усиливается генератором 2 зондирующих импульсов до заданной амплитуды, определяемой регулятором 12. Генератор 2 возбуждает в ЭМАП 3 пакетные импульсы тока с частотой, соответствующей частоте УЗ колебаний, установленной НТД на контроль, заданными длительностью, амплитудой и частотой следования зондирующих импульсов. Пакетный импульс имеет огибающую, близкую к прямоугольной. В этом случае ЭМАП 3 должен иметь частотную полосу, соответствующую частотной полосе возбуждаемого импульса тока. Для тонкой настройки и согласования выходных характеристик генератора 2 и входных характеристик ЭМАП 3 используют регуляторы 8, 9 и 11.

В изделии 4 возбуждаются УЗ импульсы с параметрами, соответствующими параметрам тока, питающего ЭМАП 3. Принятые от изделия 4 УЗ импульсы усиливаются линейно-частотным усилителем 5, имеющим частотную полосу не на много

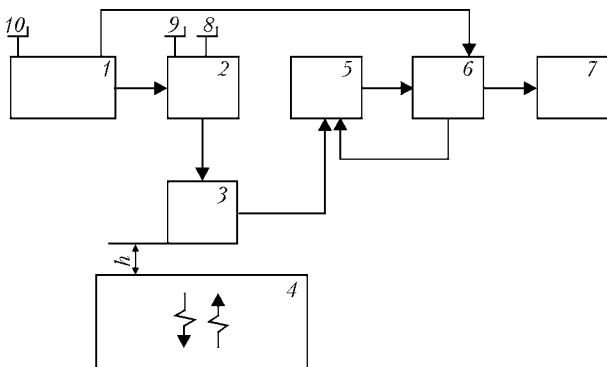


Рис. 4. Упрощенная блок-схема прибора для УЗ контроля ЭМА способом с оптимальной фильтрацией



Рис. 5. Двухпроцессорный ЭМА толщиномер для измерений по «черновой» поверхности или по лакокрасочному покрытию толщиной до 3 мм, в котором реализованы линейно-частотная и оптимальная фильтрации

(приблизительно на 10...20 %) превышающую полосу возбуждаемого импульса. Это необходимо, так как в процессе распространения и отражений в изделии УЗ импульс обретает более широкую частотную полосу. В результате принимается практически вся энергия информационного сигнала и существенно ограничивается прием помех и шумов. Сохранение формы информационного сигнала в сравнении с предыдущим вариантом (см. рис. 2) позволяет повысить разрешающую способность и точность измерений. После усиления принятый сигнал поступает в блок 6 обработки информации и управления и затем в устройство 7 отображения информации и сигнализации.

Во всех описанных выше случаях построения приборов УЗ бесконтактного контроля используются сигналы с произведением его полосы частот на длительность, примерно равным единице. Как показано в работе [19], для существенного увеличения сигнал/шум необходимо выбирать исходный вид информационного сигнала с произведением его полосы частот на длительность, много большим единице, т. е. формировать оптимальный сигнал. Блок-схема, реализующая оптимальное возбуждение и прием УЗ импульсов, показана на рис. 4.

В приборе формирователь 1 содержит регулятор 8 частоты заполнения пакета, регулятор 9 длительности пакета, регулятор 10 частоты следования зондирующих импульсов и переключатель 11 кода (вида) исходного информационного сигнала. Выберем, например, фазокодированный вид оптимального сигнала – тринадцатипозиционный код Баркера. Сформированный оптимальный сигнал усиливается широкополосным генератором 2 зондирующих импульсов до величины, определяемой регулятором 12. Генератор зондирующих импульсов 2 возбуждает в широкополосном ЭМАП 3 импульсы тока. Ширина частотной полосы ЭМАП 3 в режиме возбуждения и приема УЗ импульсов должна быть немногим больше полосы сформированного оптимального сигнала. Принятые из ЭМАП 3 информационные импульсы усиливаются полосовым усилителем 5 также с полосой пропускания, немногим большей ширины по-



лосы оптимального сигнала. Далее оптимальный фильтр 6, настроенный на сформированный сигнал, сжимает информационный импульс. Для выбранного кода Баркера, полученная в результате корреляционная функция будет иметь максимум, в 13 раз превышающий амплитуды принятого ЭМАП сигнала. При этом корреляционный пик будет сдвинут на время задержки оптимального фильтра, который является известной постоянной величиной. Уровень шума после оптимальной фильтрации также уменьшается. Затем полученный сигнал обрабатывается в блоке 7 обработки информации и управления и поступает на устройство 13 отображения информации и сигнализации. Полученный в результате информационный сигнал существенно превосходит по своим характеристикам сигналы, полученные с помощью приборов НК, выполненными согласно блок-схемам, показанным на рис. 1–3.

Описанные блок-схемы имеют функциональное назначение и могут быть реализованы в цифровом виде [18]. Их аналоговая реализация оптимальна при высокой производительности контроля и скоростной обработке информации [17]. Цифровая обработка предпочтительнее в ручных дефектоскопах, структуроскопах и толщиномерах (рис. 5). Возможно также создание устройств на комбинированных принципах. Окончательное решение о структуре прибора неразрушающего ЭМА контроля необходимо принимать с учетом технических и экономических условий, а также в соответствии с существующими на предприятиях-изготовителях технологиями производства изделий.

1. Себко В. П., Сучков Г. М., Алексеев Е. А. Оптимизация параметров ЭМА толщиномеров для контроля тонкостенных изделий // Дефектоскопия. — 2002. — № 12. — С. 21–28.
2. Экспериментальное исследование чувствительности ЭМА преобразователей при дефектоскопии эхо методом объемными сдвиговыми волнами / Г. М. Сучков и др. // Там же. — 2000. — № 2. — С. 12–16.
3. Сучков Г. М. О главном преимуществе ЭМА способа // Там же. — 2000. — № 10. — С. 67–70.
4. Сучков Г. М. Определение сечения рассеяния сдвиговых линейно поляризованных ультразвуковых колебаний с произвольной ориентацией вектора поляризации на длинном круговом цилиндрическом дефекте // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 2. — С. 3–9.

5. Исследование несплошностей в листах / Г. М. Сучков, И. В. Михайлова, А. И. Савон и др. // Дефектоскопия. — 2001. — № 3. — С. 83–87.
6. Сучков Г. М. Исследование особенностей распространения поверхностных волн при контроле ЭМА способом // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 3. — С. 33–35.
7. Экспериментальные исследования нового способа бесконтактной ультразвуковой дефектоскопии труб эхометодом / Г. М. Сучков и др. // Дефектоскопия. — 1999. — № 11. — С. 77–80.
8. Сучков Г. М. Исследование особенностей распространения упругих волн, возбуждаемых ЭМА способом // Контроль. Диагностика. — 2001. — № 12. — С. 36–39.
9. Сучков Г. М. Исследование ЭМА способом выявляемости плоскостенных отражателей в образцах из различных материалов // Там же. — 2002. — № 5. — С. 50–51.
10. Себко В. П., Сучков Г. М., Горкунов Б. М. Новый способ обнаружения дефектов металлов с помощью электромагнитно-акустических преобразователей / Вест. Нац. техн. ун-та «ХПИ» // Сб. научн. тр. «Электроэнергетика и преобразовательная техника». — 2003. — Т. 1. — С. 54–58.
11. Сучков Г. М. О практической применимости ЭМА преобразователей для дефектоскопии поверхности изделий сложной формы эхометодом // Дефектоскопия. — 1999. — № 10. — С. 15–19.
12. Себко В. П., Сучков Г. М. Электромагнитно-акустический способ неразрушающего контроля. Часть 1. Эффект ЭМА преобразования // Укр. метролог. журн. — 2003. — № 1. — С. 35–38.
13. Сучков Г. М. Высокочувствительный электромагнитно-акустический преобразователь // Контроль. Диагностика. — 2001. — № 10. — С. 30–32.
14. Сучков Г. М. Разработка и внедрение технологии сплошного автоматического обнаружения дефектов макроструктуры объемно-закаленных рельсов бесконтактным ультразвуковым методом. — Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Харьков: ХАДИ, 1988. — 22 с.
15. Сучков Г. М. Разработка технологии и аппаратуры для ЭМА толщиномеров // Контроль. Диагностика. — 2001. — № 11. — С. 38–39.
16. Себко В. П., Сучков Г. М., Горкунов Б. М. Электромагнитно-акустический способ неразрушающего контроля. Часть 2. Электромагнитно-акустические преобразователи // Укр. метролог. журн. — 2003. — № 2. — С. 35–38.
17. Ваврив Д. М., Сучков Г. М. Способ обработки информации при скоростном неразрушающем контроле // Дефектоскопия. — 2001. — № 8. — С. 50–52.
18. Создание электромагнитно-акустического толщиномера для контроля тонкостенных труб / Д. М. Ваврив, Г. М. Сучков, В. В. Виноградов и др. // Там же. — 2002. — № 10. — С. 7–13.
19. Сучков Г. М. Обработка информации. Возможности корреляционного анализа при толщинометрии ЭМА способом // Контроль. Диагностика. — 2002. — № 8. — С. 37–40.

Нац. техн. ун-т Украины «ХПИ»,  
Харьков

Поступила в редакцию  
15.04.2004