

БЕСКОНТАКТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Сучков Г.М., Донченко А.В., Десятниченко А.В.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков
кафедра «Приборы и методы неразрушающего контроля»

E-mail: ndt@ic.kharkov.ua

Abstract

Suchkov G.M., Donchenko A.V., Desytnichenko A.V. Contactless ultrasonic measuring device of thickness of thin materials and wares. Results of development of units and blocks application are resulted in structure of ultrasonic thickness metter provides an opportunity of measurements of thickness of thin products and materials with electromagnetically-acoustic way.

Общая постановка проблемы. В настоящее время исследованиям и разработкам приборов неразрушающего контроля, основанных на электромагнитно-акустическом способе возбуждения и приема ультразвуковых колебаний, уделяется все большее внимание [1, 2].

При ультразвуковом контроле изделий из материала с высоким коэффициентом электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразования (алюминий и его сплавы, мелкозернистая высококачественная ферромагнитная сталь и т. д.), или изделий из материалов с низким ослаблением ультразвуковых колебаний (фиксируется более 8...10 донных импульсов), или при реализации технологии контроля не требующей высокой производительности (ручной контроль) возможно применение схемы построения дефектоскопа или толщиномера с применением однополярного импульса с регулируемой длительностью. В этом случае [3] необходимо формировать возбуждающий импульс с требуемыми характеристиками. Это возможно выполнить путем изменения амплитуды и (или) длительности возбуждающего ЭМА преобразователь (ЭМАП) импульса тока [4]. По мере уменьшения глубины контролируемого объема изделия следует уменьшать длительность зондирующих импульсов. При этом увеличивается часть энергии импульса в высокочастотной области и, следовательно, увеличится разрешающая способность толщиномера. Дополнительно регулируют амплитуды импульсов тока, возбуждающего ЭМАП, оптимально формируя участок частотного спектра с максимальным распределением энергии в диапазоне, в котором осуществляется прием отраженных из изделия ультразвуковых импульсов [5]. Кроме того, по мере уменьшения толщины изделия целесообразно увеличивать и частоту следования зондирующих импульсов. Такое требование обусловлено дополнительными потерями энергии ультразвуковых импульсов при многократных отражениях на границах контролируемого не толстого изделия [6].

Постановка задач исследования. Ранее для формирования коротких мощных импульсов использовали тиристры [7]. Однако, несмотря на большие коммутируемые токи и быстрое включение, имеют значительное время выключения и, поэтому, не позволяют реализовать разработанные принципы построения ЭМА приборов. Эффективно поставленная задача решается с помощью полевых или IGBT (биполярные с изолированным затвором) транзисторов. Современные полевые и IGBT транзисторы позволяют коммутировать токи до 100 А напряжением до 1200 В с длительностями в доли микросекунд [8]. При этом длительность времен включения и выключения является достаточной. Поэтому необходимо решить задачу построения генераторов толщиномеров на транзисторах полевого типа. Выходные характеристики новых генераторов должны быть согласованы с входными характеристиками ЭМАП.

Второй важной задачей остается создание усилителей с полосовыми характеристиками, высокочувствительных, защищенных от воздействия мощных зондирующих импульсов,

согласованных с выходными характеристиками ЭМАП и с входными цепями следующих узлов толщиномера.

В комплексе генераторы, ЭМАП и предварительные усилители должны обеспечить уровни донных сигналов, достаточные для оценки толщин тонких изделий материалов.

Решение задач и результаты исследований. Традиционная схема построения ГЗИ с управляемым ключом, нагрузкой которого является отдельно-совмещенный ЭМАП, показана на рис. 1а. При воздействии на затвор транзистора VT импульса заданной длительности в возбуждающей катушке L1 формируется ток с такой же длительностью. Регистрация реализации осуществляется приемной катушкой L2.

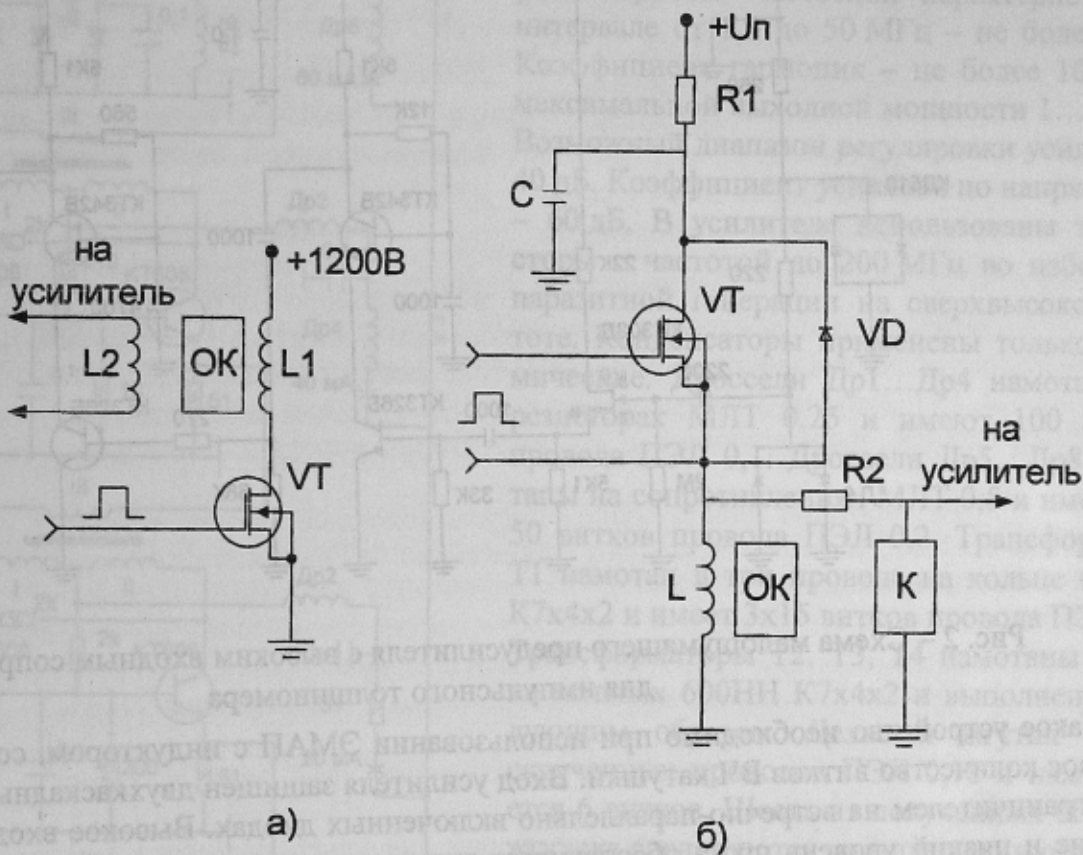


Рис. 1 – Схемы генераторов зондирующих импульсов для питания ЭМАП короткими импульсами тока: а) для возбуждения однополярных импульсов; б) для возбуждения двухполярных импульсов; ОК – объект контроля.

Исследования работы этой схемы позволили установить ряд существенных недостатков. Главным из них является низкий коэффициент ЭМА преобразования, обусловленный однополярностью возбуждающего импульса тока, и широкий спектр возбуждающего сигнала [5]. Устранить отмеченные недостатки возможно путем применения резонансного характера питания возбуждающей катушки ЭМАП, рис. 16. Конденсатор емкостью C вместе с индуктивностью L высокочастотной (ВЧ) катушки ЭМА преобразователя образуют резонансный контур с заданной частотой f . Работает устройство следующим образом. Конденсатор C заряжается до заданного напряжения U_p (регулируемого). После этого на вход транзистора VT поступает импульс длительностью равной $1/2 f$. Транзистор открывается и через ВЧ катушку течет ток разряда конденсатора C . После полного разряда емкости C транзистор в щадящем режиме закрывается и происходит разряд запасенный в индуктивности L энергии через диод VD в емкость C . Таким образом, в ВЧ катушке ЭМАП формируется один период тока с заданной частотой f . Кроме того, происходит процесс рекуперации, т.е. не рассеянная электри-

ческая энергия сохраняется в конденсаторе С. Потери энергии минимальны, а это важно при проектировании портативных толщиномеров с индивидуальными источниками питания. При прохождении зондирующего импульса автоматически открывается электронный ключ К, предохраняя вход усилителя от повреждения. При приеме информационной реализации ключ К закрывается и полезные сигналы поступают на вход усилителя.

Для рассматриваемой разновидности ЭМА толщиномера использованы два типа предварительных усилителей, которые определяют отношение амплитуд полезных сигналов и шума. На рис. 2 показана схема усилителя с высокоомным входом.

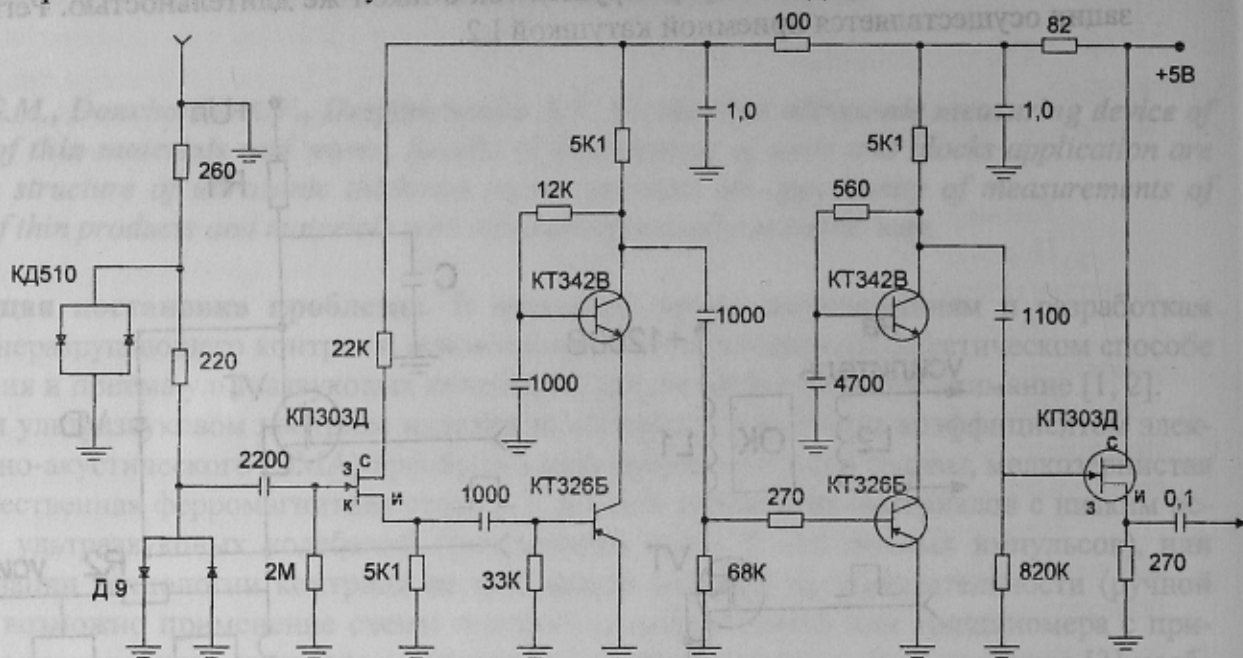


Рис. 2 – Схема малошумящего предусилителя с высоким входным сопротивлением для импульсного толщиномера

Такое устройство необходимо при использовании ЭМАП с индуктором, содержащим большое количество витков ВЧ катушки. Вход усилителя защищен двухкаскадным устройством – ограничителем на встречно-параллельно включенных диодах. Высокое входное сопротивление и низкий уровень шума обеспечивает включение на входе усилителя полевого транзистора по схеме повторителя напряжения. Полевой транзистор обладает малым временем восстановления после прохождения мощного зондирующего импульса. Этот эффект обусловлен малым временем рассасывания не основных носителей. Дальнейшее усиление напряжения обеспечивают два каскада усиления, в котором транзисторы включены по каскадной схеме. На выходе предварительного усилителя установлен истоковый повторитель для согласования с последующими блоками толщиномера. Питает устройство от источника напряжением 5...15 В. Полоса пропускания усилителя на уровне 0,7 находится в интервале 0,8...4,3 МГц. Коэффициент усиления – 60 дБ. Динамический диапазон – 42 дБ. Этот усилитель целесообразно использовать при формировании возбуждающего импульса длительностью в 2...3 периода частоты ультразвуковых колебаний (УЗК).

При формировании возбуждающего импульса длительностью 0,5...1 периода частоты УЗК, спектр которого является значительным, необходимо использовать усилитель с широкой полосой пропускания.

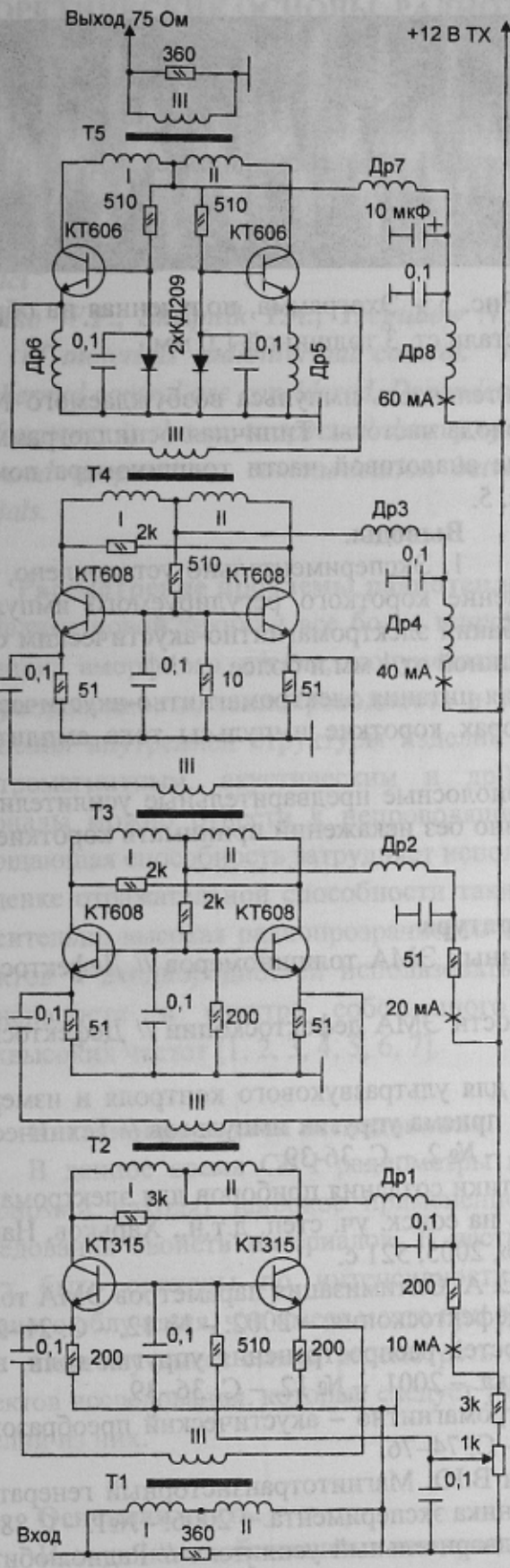


Рис. 3 – Принципиальная электрическая схема широкополосного усилителя для ЭМА толщиномера.

Широкополосный трансформаторный предварительный усилитель, рис. 3 [9], выполнен на двухтактных транзисторных каскадах по схеме с общей базой.

Благодаря этому удалось получить достаточный коэффициент усиления при высокой линейности и малой склонности к самовозбуждению (при правильном монтаже и хорошей экранировке входных цепей). Неравномерность частотной характеристики в интервале от 1,5 до 50 МГц – не более 6 дБ. Коэффициент гармоник – не более 10% при максимальной выходной мощности 1...1,5 Вт. Возможный диапазон регулировки усиления – 40 дБ. Коэффициент усиления по напряжению – 60 дБ. В усилителе использованы транзисторы с частотой до 200 МГц во избежание паразитной генерации на сверхвысокой частоте. Конденсаторы применены только керамические. Дроссели Др1...Др4 намотаны на резисторах МЛТ 0,25 и имеют 100 витков провода ПЭЛ 0,1. Дроссели Др5...Др8 намотаны на сопротивлениях МЛТ 0,5 и имеют по 50 витков провода ПЭЛ 0,2. Трансформатор Т1 намотан в три провода на кольце 600НН К7х4х2 и имеет 3х15 витков провода ПЭВ 0,1. Трансформаторы Т2, Т3, Т4 намотаны также на кольцах 600НН К7х4х2 и выполнены следующим образом. Делается жгутик из 12 скрученных проводов ПЭЛ 0,18 и наматывается 6 витков. Шесть из полученных обмоток жгутика соединяются параллельно и образуют обмотку III. Оставшиеся шесть – соединяют последовательно с отводом от середины, и образуют обмотки I и II. Трансформатор Т5 намотан на двух сложенных вместе кольцах 600НН К7х4х2 в три скрученных провода ПЭВ 0,25 и имеет 3х10 витков. Усилитель размещается на плате размером 150х50 мм из двустороннего стеклотекстолита. Одна сторона должна быть общим проводом. Наладка усилителя сводится к подбору начальных токов транзисторов.

Внешний вид разработанного толщиномера показан на рис. 4. При измерениях применялся раздельно-совмещенный ЭМАП с ВЧ катушкой, содержащей 20 витков провода ПЭТВ-0,2 мм, с рабочей зоной 4х6 мм². Индукция постоянного магнитного поля в технологическом зазоре 1 мм равна 0,6 Тл [10].

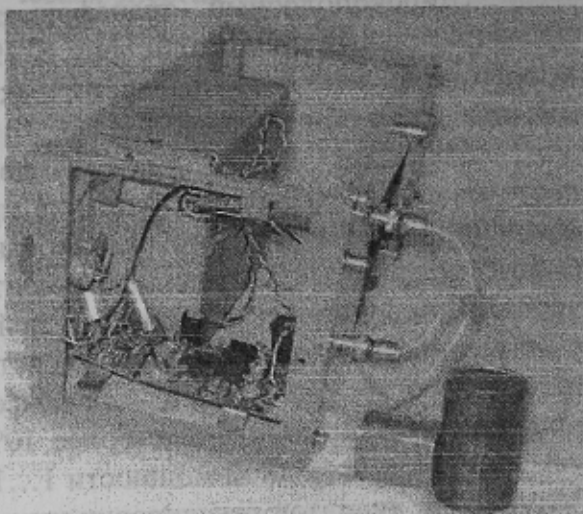


Рис. 4 – Рабочий макет ЭМА толщиномера с регулировкой длительности зондирующего импульса.

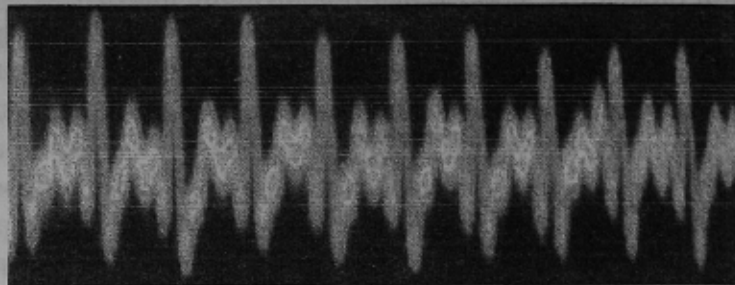


Рис. 5 – Эхограмма, полученная на образце из стали ст. 3 толщиной 1,0 мм.

Длительность импульса возбуждаемого тока – 0,5 периода частоты. Типичная осциллограмма на выходе аналоговой части толщиномера показана на рис. 5.

Выводы.

1. Экспериментально установлено, что применение короткого регулируемого импульса при возбуждении и приеме ультразвуковых колебаний электромагнитно-акустическим способом позволяет эффективно измерять изделия толщиной от 1 мм и более.
2. Разработаны мощные генераторы для питания электромагнитно-акустических преобразователей, формирующие в их индукторах короткие импульсы тока амплитудой до 100 А.
3. Разработаны малошумящие широкополосные предварительные усилители с полосой до 50 МГц, которые позволяют эффективно без искажений принимать короткие ультразвуковые импульсы.

Литература

1. Сучков Г.М. Возможности современных ЭМА толщиномеров // Дефектоскопия. - 2004. - №12. - С. 16-25
2. Сучков Г.М. Современные возможности ЭМА дефектоскопии // Дефектоскопия. - 2005. - №12. - С. 24-39.
3. Сучков Г.М. Построение приборов для ультразвукового контроля и измерений с использованием ЭМА способа возбуждения и приема упругих импульсов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 2. – С. 36-39.
4. Сучков Г.М. Развитие теории и практики создания приборов для электромагнитно-акустического контроля металлоизделий. Дис. на соиск. уч. степ. д.т.н., Харьков, Нац. техн. ун-т «Харьковский политехнический институт», 2005, 521 с.
5. Себко В. П., Сучков Г.М., Алексеев Е. А. Оптимизация параметров ЭМА толщиномеров для контроля тонкостенных изделий // Дефектоскопия. – 2002. – № 12. – С. 21–28.
6. Сучков Г.М. Исследование особенностей распространения упругих волн, возбуждаемых ЭМА способом // Контроль. Диагностика. – 2001. – № 12. – С. 36–39.
7. Жуков В.К., Ольшанский В.П. Электромагнитно – акустический преобразовательный модуль // Дефектоскопия. – 1985. – № 12. – С. 74–76.
8. Иванов Е.В., Мокшунов С.И., Хомич В.Ю. Магнитотранзисторный генератор для питания лазера на парах меди // Приборы и техника эксперимента. – 2006. - №1. – С.88-90.
9. Журавский В. Широкополосный предварительный усилитель // Радиолучитель. – 1997. – № 11. – С. 36.
10. Сучков Г.М. Принципы формирования поляризуемого магнитного поля в рабочей зоне ЭМАП // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2005. - № 36. - С. 123-130.