

На правах рукописи

Кузьяев Дамир Рифатович

**МЕТОД И УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ
МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКИ**

11.04.01 (210400.68) – Системы и устройства передачи, приема и
обработки сигналов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра-инженера
по направлению 11.04.01 (210400) «Радиотехника»

Тамбов 2015

Работа выполнена на кафедре «Радиотехника» Тамбовского государственного технического университета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

доктор технических наук,
профессор

Пудовкин Анатолий Петрович

РЕЦЕНЗЕНТ

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
директор компании
«Система безопасности»

Топников Алексей Иванович

Защита диссертации состоится «__» июня 2015 г. в 9:00 на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.116

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «__» июня 2015 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии

Ю.Н. Панасюк

Актуальность темы. Современный мир быстро развивается. Новая техника появляется каждый день благодаря использованию новых технологий, средств и материалов. К таким материалам относятся композиционные многослойные материалы. Они не являются заменой ныне существующих, а лишь дополняют их.

Благодаря композиции разных материалов можно получить экономные, легкие и прочные материалы со специфическими свойствами.

В связи с возрастающим объемом производства многослойных материалов становится актуальной задача совершенствования средств контроля толщины многослойных материалов. Контроль толщины является весьма важной операцией в технологии изготовления изделия, поскольку соответствие реальной толщины требованиям конструкторской и нормативно-технической документации на изделие является наиболее важным с точки зрения обеспечения функционального назначения изделия в целом.

Для оценки качества производства многослойных материалов существует множество методов непрерывного контроля (НК). В настоящее время немыслимо внедрение новых изделий без использования контроля.

Цель диссертационной работы заключается в разработке нового метода и устройства контроля толщины многослойных материалов электронной техники, позволяющий повысить производительность и точность контроля.

Задачи диссертационной работы

1 провести анализ существующих методов и устройств контроля толщины многослойных материалов электронной техники;

2 разработать математическую модель накладного вихретокового преобразователя из 3 катушек;

3 разработать метод неразрушающего контроля толщины многослойных материалов электронной техники;

4 исследовать вихретоковые преобразователи различных конструкций.

Методы исследования. Для решения вышеизложенных задач в работе использованы методы математического моделирования, анализ вихретокового метода контроля толщины многослойных материалов, а также методы моделирования различных мешающих помех на результаты контроля на ЭВМ.

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке нового метода контроля толщины многослойных материалов электронной техники, отличающаяся от существующих тем, что для повышения производительности и точности учитывается вариация зазора между вихретоковым преобразователем и объектом контроля, скорость и температура.

Практическая ценность диссертационной работы состоит в разработке устройства, реализующего предложенный метод контроля толщины многослойных материалов электронной техники.

Апробация работы. Основные научные результаты работы обсуждались и получили положительную оценку на:

- международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах»;

- международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях-27".

Публикации. По теме магистерской диссертации опубликованы 4 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка используемых источников.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении показана актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечены научная новизна, практическая значимость. Дана аннотация работы по главам.

Первый раздел посвящен исследованию современных методов и устройств контроля толщины многослойных материалов электронной техники. Отмечена важность решения проблемы

качества изделий из многослойных материалов, создания и внедрения методов и устройств контроля толщины многослойных материалов.

На основе проведенного исследования современных методов контроля формулируются требования, предъявляемые к методам контроля толщины многослойных материалов.

Во втором разделе приведена общая характеристика вихретокового метода, проведено исследование первичных измерительных вихретоковых преобразователей (ВТП).

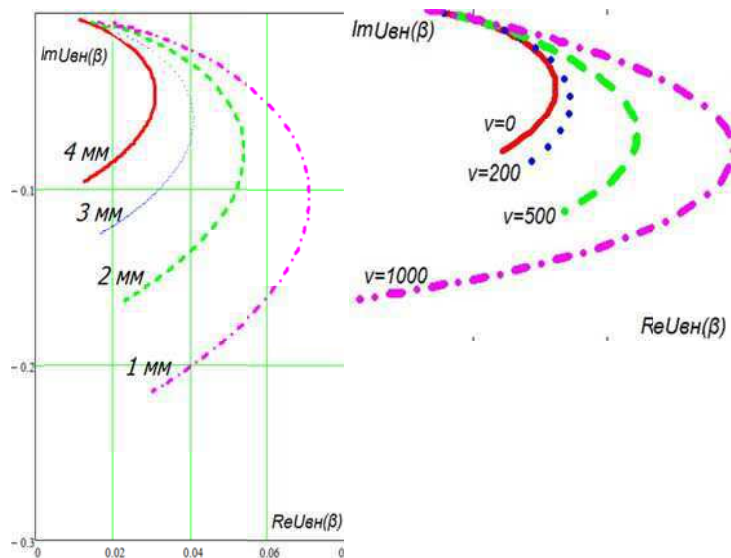
В разделе построена математическая модель ВТП из 3 катушек. Комплексное вносимое напряжение для модели ВТП с тремя катушками определяется по формуле

$$U_{вн} = j \cdot \mu_0 \cdot W_в \cdot W_u \cdot \omega \cdot I \cdot R_1 \cdot \pi \cdot \int_0^{\infty} \varphi_{ОК} \cdot e^{-x/h_1} \times J_1 \left(x \cdot \frac{R_в}{R_u} \right) \times J_1 \left(x \cdot \frac{R_u}{R_в} \right) dx - \\ - j \cdot \mu_0 \cdot W_в \cdot W_к \cdot \omega \cdot I \cdot R_2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\infty} \varphi_{ОК} \cdot e^{-x/h_2} \times J_1 \left(x \cdot \frac{R_в}{R_к} \right) \times J_1 \left(x \cdot \frac{R_к}{R_в} \right) dx,$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная постоянная; $W_в, W_u$ – количество витков возбуждающей и измерительной обмотки; $\omega = 2\pi \cdot f$ – круговая частота; f – частота питающего напряжения возбуждающей катушке ВТП; I – тока питающего напряжения возбуждающей катушке ВТП; $R_1 = \sqrt{R_в R_u}$, $R_2 = \sqrt{R_в R_к}$ – эквивалентный радиус ВТП; $R_в, R_u, R_к$ – радиус возбуждающей, измерительной и компенсационной катушки; $\varphi_{ОК}$ – функция влияния ОК; $h_1 = \frac{h_в + h_u}{R_1}$, $h_2 = \frac{h_в + h_к}{R_2}$ – обобщенный

параметр, характеризующий расстояние между центрами обмоток ВТП и поверхностью ОК; $h_в, h_u, h_к$ – расстояния от центра возбуждающей и измерительной катушки до поверхности ОК; $J_1 \left(x \cdot \frac{R_в}{R_u} \right), J_1 \left(x \cdot \frac{R_u}{R_в} \right)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка.

Также в разделе была проведена оценка влияния мешающих факторов на результат контроля.



а

б

Рисунок 1 – Годографы комплексного вносимого напряжения ВТП от обобщенного параметра при разных: величинах зазора между объектом контроля и ВТП (а) и скоростях движения объекта контроля относительно ВТП (б)

Кроме того, в разделе представлен разработанный метод непрерывного контроля толщины слоев многослойного материала электронной техники и структурная схема устройства, реализующего данный метод (рисунок 2).

Устройство, реализующее данный метод, состоит из контролируемого многослойного материала 1, двух идентичных ВТП 2 и 3, двух демодуляторов 4 и 10, двух усилителей 5 и 11, двух АЦП 6 и 12, микропроцессорного устройства 7, двух генераторов синусоидального напряжения 8 и 9, индикатора 13 и бесконтактный измеритель скорости и температуры 14.

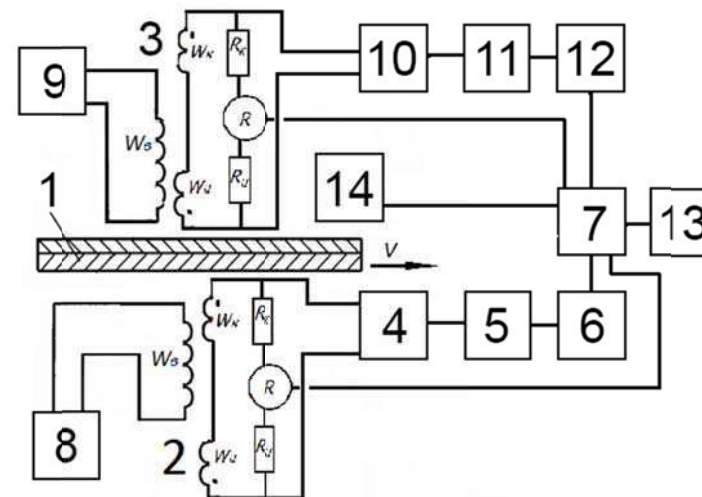


Рисунок 2 – Структурная схема устройства, реализующая метод непрерывного контроля толщины слоев многослойных материалов электронной техники

Метод осуществляется следующим образом.

ВТП состоит из 3 катушек: возбуждающей W_b и двух измерительных (измерительная W_u и компенсационная W_k). Возбуждающая катушка ВТП питается переменным напряжением на фиксированной частоте от генератора синусоидальных напряжений 8. Частота питания выбирается такой, чтобы эффективная глубина проникновения вихревых токов была меньше, чем толщина измеряемого слоя. Синусоидальное напряжение действующее в возбуждающей катушке создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в проводящем слое многослойного материала. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на вторичные катушки.

На вторичных (измерительных) катушках наводится некоторое напряжение, которое зависит как от толщины измеряемого слоя, так и от помех, и от наводимого напряжения возбуждающей катушки. Измерительные катушки идентичны по параметрам и включены последовательно встречно. Поэтому можно считать, что

результатирующее напряжение равно их разнице. При отсутствии объекта контроля оно равно нулю.

Результатирующий сигнал с ВТП 2 и 3 подается на демодулятор 4 и 10, на выходе которого создается выпрямленное напряжение. Выпрямленный и усиленный сигнал усилителем 5 и 11 оцифровывается в АЦП 6 и 12, затем сигналы подается на входы микропроцессорного устройства 7, где и определяется толщина контролируемого слоя.

Кроме того, устройство реализует способ уменьшения влияния вариации зазора между многослойным материалом и ВТП за счет балансировки измерительной $W_{и}$ и компенсационной $W_{к}$ катушки.

Измерительная и компенсационная катушка подсоединены к резисторам $R_{и}$ и $R_{к}$ соответственно. С использованием цифрового переменного резистора R выбирается требуемый уровень падения напряжения на одной из катушек. Цифровой переменный резистор управляется микропроцессорным устройством 7 и может менять сопротивление для обеспечения баланса.

Третий раздел посвящен исследованию вихрековых преобразователей. Исследовались четыре типа катушек (ВТП).

- 1 Обычная круглая катушка «ОБ».
- 2 Круглая катушка с двойным проводом «ДП».
- 3 Катушка квадратной формы с намоткой восьмерка «В».
- 4 Катушка квадратной формы с намоткой двойная восьмерка «ДВ».

Было проведено исследование по влиянию зазора между ВТП и объектом контроля на результат контроля. Определена лучшая область для контроля – зазор между объектом контроля и ВТП от 0 до 2 мм. Также при зазоре до 2 мм на результаты ВТП влияют только параметры объекта контроля (толщина, и др.). В то время, как при зазоре от 2 мм на результаты ВТП влияют также мешающие факторы. На рисунке 3 показан график зависимости выходного напряжения LC-контура при изменении зазора между ВТП и объектом контроля. В качестве объектов контроля использовались: сталь толщиной 2,5 мм (ОК-1); сталь толщиной 1 мм (ОК-4);

текстолит фольгированный толщиной 1,55 мм (ОК-4); алюминий толщиной 1,7 мм (ОК-6).

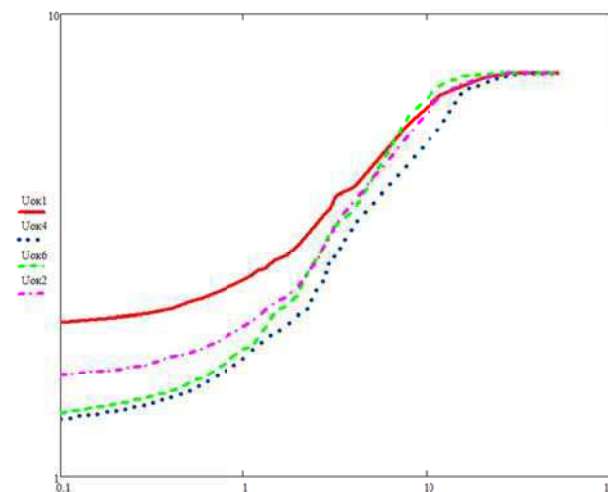


Рисунок 3 – График зависимости напряжения на ВТП (В) от величины зазора (мм) между ВТП и объектом контроля для различных объектов контроля

Кроме того, на основе экспериментальных исследований четырех типов ВТП определено, что каждый тип катушек эффективен для определенной частоты (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты эксперимента по определению максимального резонансного напряжения при различных резонансных частотах

Название ВТП	ОБ	ДП	В	ДВ
Напряжение, В	12,75	6,8	7,2	4
Частота, кГц	205	610	900	1300

В работе выявлено, что ВТП с формой обычная катушка «ОБ» дает широкие возможности. Она легка в производстве, более чувствительна и имеет высокое выходное напряжение в резонансе, 12,75 В при входном 1 В. ВТП «В» и «ДВ» хоть и имеют низкое выходное напряжение, но показали свое преимущество при контроле, когда нужно сфокусироваться на узкой области. «В»

имеет сконцентрированный контроль в виде “линии”, «ДВ» – “точки”. Преимуществом ВТП «ДП» является плавность характеристики при изменении зазора между ВТП и объектом контроля.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В диссертации на основе анализа существующих методов контроля толщины, выполненного теоретического и экспериментального исследования была решена актуальная научно-практическая задача — повышение производительности и точности контроля толщины многослойных материалов электронной техники. На основании проведенных исследований получены следующие научные результаты:

1 Анализ показал, что существующие методов и устройства контроля толщины многослойных материалов не достаточно эффективны и для решения поставленных задач необходима разработка нового метода контроля толщины многослойных материалов электронной техники.

2 Разработана математическая модель вихретокового преобразователя, состоящего из трех катушек и проведено ее сравнение с математической моделью вихретокового преобразователя, состоящего из двух катушек.

3 Проведен анализ мешающих помех при вихретоковом контроле толщины. Построена математическая модель влияния скорости движения объекта на результат контроля.

4 Разработан метод непрерывного контроля толщины слоев многослойного материала электронной техники и устройство реализующее предложенный метод. Разработанный метод и устройство позволит обеспечить бесконтактный, неразрушающий и непрерывный контроль толщины, что позволит не менее чем в 2 раза повысить производительность контроля. Также в работе решена задача увеличения точности контроля толщины многослойных материалов электронной техники. Повышение точности контроля обеспечивается использованием: вихретокового преобразователя из 3 катушек, тем самым обеспечивается отстройка

от вариации зазора между ВТП и объектом контроля; бесконтактного измерителя скорости движения объекта контроля и его температуры, при этом точность контроля увеличится на 30-40%.

5 Проведено исследование по определению влияния геометрических параметров катушек (ВТП) на чувствительность, линейность выходной характеристики и диапазон измеряемых толщин разных материалов для этого было изготовлены 4 типа катушек. Построена на экспериментальных измерениях компьютерная модель распространения электромагнитного поля катушки с намоткой "восьмерка" и "двойная восьмерка". Проведен анализ по влиянию зазора между вихретоковым преобразователем и объектом контроля на индуктивность и напряжение при контроле различных материалов. Определена эффективная частота контроля для каждого изготовленного типа ВТП.

Материал диссертации представлен публикациями:

1 Кузьяев, Д.Р. Системы высокоскоростного радиодоступа [Текст] / Д.Р. Кузьяев, А.П. Пудовкин; отв. ред. Т.И. Чернышова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: первая международная конференция с элементами научной школы. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2014. – с. 288-290.

2 Кузьяев, Д.Р. Метод контроля сплошности соединения слоев многослойных материалов [Текст] / Д.Р. Кузьяев; отв. ред. Т.И. Чернышова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: первая международная конференция с элементами научной школы. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2014. – с. 290-292.

3 Кузьяев, Д.Р. Исследование влияния скорости движения объекта при контроле вихретоковыми преобразователями [Текст] / Д.Р. Кузьяев, А.П. Пудовкин; отв. ред. Т.И. Чернышова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: вторая международная конференция с

элементами научной школы. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов: Першин Р.В., 2015. – с.338-340

4 Кузяев, Д.Р. Математическая модель вихретокового преобразователя [Текст] / Д.Р. Кузяев, А.П. Пудовкин; отв. ред. Т.И. Чернышова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: вторая международная конференция с элементами научной школы. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов: Першин Р.В., 2015. – с.340-342