

5. Ермолаев В. И., Селезнев И. А., Буй Чьонг Занг. Анализ гидролого-акустических характеристик и расчет звукового поля в Северном регионе Восточного моря Вьетнама // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 10. С. 83–91.

*Bui Truong Giang*

*ANALYSIS AND MODELING OF HYDROACOUSTIC NOISES IN THE REGION OF BEIBU GULF*

*In this article the situation of noises in the region of Beibu Gulf is considered. The choice of model describing these noises is carried out and on its basis the quantitative estimation of noise levels on input of an acoustic antenna for various seasons of the year is made.*

**Beibu Gulf, modeling, hydroacoustic noises, dynamic noises, ship noises, hydroacoustic system, acoustic field**

УДК 620.179

*П. В. Пашков, Г. А. Петров, Т. В. Самойлова*

## **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО- АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

*Надежность является одним из основных показателей, характеризующих качество MLCC-конденсаторов. Наличие технологических дефектов в исходных материалах, возникновение дефектов при сборке и монтаже элементов с различными физическими, химическими и механическими характеристиками приводит к снижению надежности компонентов и ухудшению их технических характеристик. Для обеспечения высокопроизводительного и достоверного контроля MLCC-конденсаторов в условиях поточного производства, специалистами компании «Nordinkraft» была предложена методика контроля, основанная на использовании электромагнитно-акустических преобразователей.*

**MLCC, керамические конденсаторы поверхностного монтажа, резонансный метод контроля, электромагнитно-акустический преобразователь**

В настоящее время практически всё, что окружает человека, связано с электроникой и электронными компонентами: начиная от мобильного телефона, фена, электрочайника и заканчивая высокоточным медицинским диагностическим оборудованием и аэрокосмическими аппаратами.

Конденсатор, наряду с резистором и катушками индуктивности, является одним из наиболее распространенных электронных элементов, формирующих основу любой радиоэлектронной схемы. Количество конденсаторов в современной микросхеме может достигать нескольких сотен тысяч. Крупнейшие мировые компании выпускают свыше 14.5 млрд конденсаторов ежемесячно, более 80 % из которых составляют многослойные керамические конденсаторы поверхностного монтажа (MLCC)<sup>1</sup>.

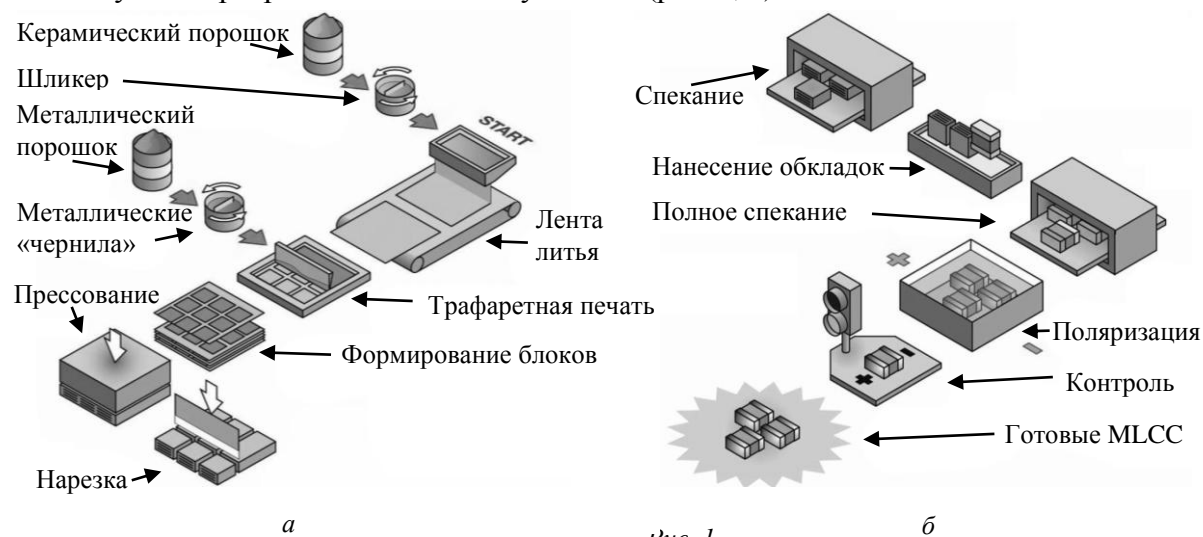
Надежность является одним из основных показателей, характеризующих качество компонентов MLCC. Наличие технологических дефектов в исходных материалах, возникновение дефектов при сборке и монтаже элементов с различными физическими, химическими и механическими характеристиками приводят к снижению надежности конденсаторов и ухудшению их технических характеристик. В современной электронной промышленности в связи с постоянным усложнением изделий и технологических процессов воз-

<sup>1</sup> См.: <http://www.murata.com/products/catalog/pdf/c02e.pdf>.

растает значение методов неразрушающего контроля (НК) материалов и изделий на различных стадиях их обработки и изготовления.

Выбор эффективных систем неразрушающего контроля компонентов MLCC должен выполняться на базе предварительно полученной информации о типе и размерах объекта контроля; требованиях к качеству объекта; вероятностях образования различных дефектов в объекте; потенциальной опасности дефектов; физических характеристиках материала, из которого изготавливают объекты контроля, и дефектах, обуславливающих возможности методов НК.

MLCC представляет собой структуру с чередующимися тонкими слоями металлических обкладок и диэлектрика. Количество слоев в конденсаторе может достигать до нескольких сотен, в зависимости от требуемого значения емкости. На рис. 1 поэтапно представлен процесс промышленного изготовления MLCC-конденсаторов [1]. Керамический порошок смешивают с растворителем, содержащим связующее вещество, предназначенное для соединения равномерно рассредоточенных в растворе частиц керамики. Смесь разливают слоем толщиной в несколько сотых долей миллиметра на ленту и высушивают. Аналогично изготавливают тончайшие металлические пластины. Керамическая пленка затем режется на квадратные пластины размером 15...20 см; на каждую методом печатного монтажа наносится несколько тысяч обкладок через специальный трафарет, задающий их конфигурацию. Далее 30–60 пластин спрессовывают между несколькими слоями таких же пластин, на которые обкладки не наносились (рис. 1, а). Полученные заготовки конденсаторов обжигаются в печи с медленным нагревом до 1000...1400 °С. Для нанесения обкладок на уже готовый конденсатор используется серебряно-палладиевая суспензия (рис. 1, б).



Из анализа технологии производства MLCC-конденсаторов можно сделать вывод, что наиболее вероятным дефектом внутренней структуры конденсатора является расслоение между слоями обкладок и диэлектрика вследствие их недостаточного спекания между собой.

Для контроля многослойных структур на дефекты типа расслоений разработан целый комплекс акустических методов неразрушающего контроля: импедансный, велосиметрический метод свободных колебаний, акустико-топографический, метод годографов и мн. др. [2]. Эти методы позволяют контролировать практически все типы многослойных структур, что реализуется, однако, в основном только как выборочный контроль, который

не может обеспечить высокое качество и производительность контроля серийного производства [3]. В задачах непрерывного контроля в зависимости от метода возникают проблемы при создании надежного акустического контакта, обеспечении высокой чувствительности контроля, обеспечении необходимых габаритов оборудования.

Для обеспечения высокопроизводительного и достоверного контроля MLCC-конденсаторов в условиях поточного производства специалистами компании «Nordinkraft» была предложена методика контроля, основанная на использовании электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) [5].

Суть методики заключается в следующем: исследуемый конденсатор рассматривается как пластина определенной толщины, собранная из нечетного числа упругих однородных слоев постоянной толщины. В симметрично расположенных относительно ее срединной плоскости слоях физико-механические и геометрические параметры одинаковы. Эта симметрия позволяет существенно упростить задачу о колебаниях многослойной системы вплоть до элементарных методов, где исследуемый конденсатор может быть представлен однородной пластиной с собственным набором резонансных частот. С помощью ЭМАП в исследуемом конденсаторе благодаря эффекту магнитоупругости возбуждаются упругие колебания. Прием упругих колебаний основан на эффекте магнитоупругости и электродинамического взаимодействия с материалом конденсатора.

Резонанс в пластине возникает в случае, когда толщина пластины равна целому числу полуволн в ее материале. Если конденсатор не содержит внутренних дефектов, то, возбуждая в нем ультразвук с частотой, равной резонансной частоте конденсатора, на экране осциллографа будет отображаться отклик в виде продолжительного по времени гармонического сигнала (рис. 2, а). При наличии дефектов в виде расслоения резонансные частоты дефектного и бездефектного конденсаторов (при прочих равных условиях) будут различны, поскольку отличаются их механические свойства, добротность колебательной системы снижается и меняется спектральный состав принимаемых колебаний. В данном случае на экране осциллографа будет отображаться сигнал значительно слабее по амплитуде (рис. 2, б). Имея один бездефектный конденсатор в качестве эталона, можно выделить из партии конденсаторы, содержащие внутренние дефекты, путем сравнения амплитуд и формы принимаемых сигналов.

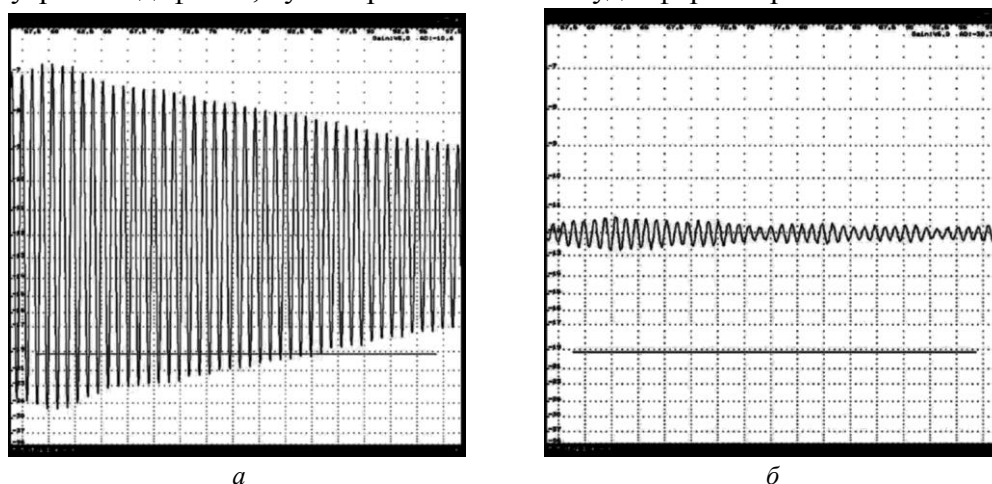


Рис. 2

Для проверки предложенной методики был разработан экспериментальный стенд, схематическое изображение которого представлено на рис. 3.

Для проведения эксперимента использовались стандартные конденсаторы поверхностного монтажа, произведенные на предприятиях Японии. Конденсаторы были объедине-

ны в группы по типоразмеру и номиналу. Кроме того, каждый конденсатор был заранее проверен на наличие внутренних дефектов методами проникающего излучения. Таким образом, в распоряжении имелись группы различных по типоразмерам конденсаторов, разделенных на «бездефектные» и «дефектные» внутри каждой группы.

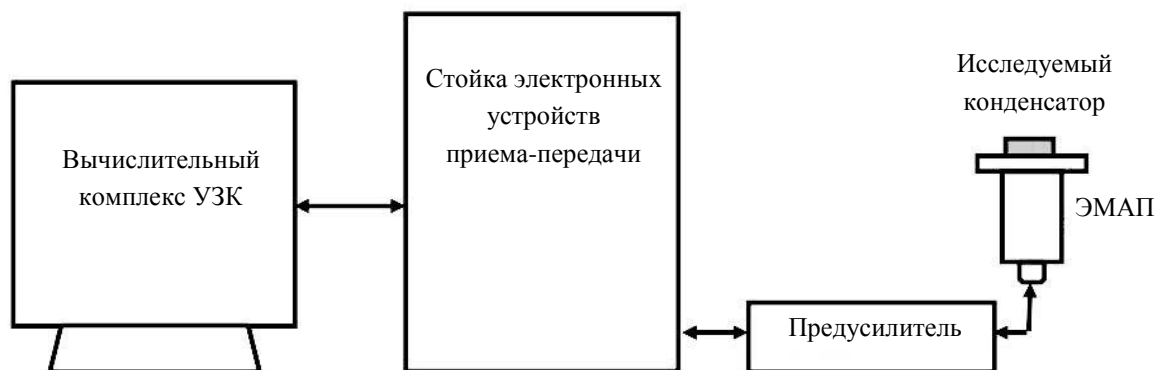


Рис. 3

Исследуемый «бездефектный» конденсатор помещался в рабочую зону электромагнитно-акустического преобразователя с помощью диамагнитного пинцета и ориентировался таким образом, чтобы пластины обкладок ориентировались вдоль витков катушки. Путем изменения частоты заполнения зондирующего импульса находилась одна из резонансных частот тестируемого конденсатора. Принимаемые ЭМАП колебания фиксировались на экране компьютера. Затем процедура повторялась, но для конденсатора, содержащего «расслоение», частота заполнения зондирующего импульса при этом оставалась неизменной. Подобные измерения проводились для каждого «дефектного» и «бездефектного» конденсаторов в группе. После получения интересных сигналов проводилось подробное исследование их характеристик, для получения информативных параметров оценки качества компонентов MLCC.

Наиболее информативным параметром контроля является амплитуда принимаемых сигналов. Для примера, разница по амплитуде между «дефектным» (рис. 4, б) и «бездефектным» (рис. 4, а) конденсаторами составила 13 дБ. Следовательно, оценивая разницу амплитуд полученных сигналов, можно принимать решение о качестве тестируемых конденсаторов.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать вывод о перспективности применения предложенной методики для задач поточного непрерывного контроля MLCC-конденсаторов поверхностного монтажа. Предложенная методика обладает рядом существенных преимуществ:

1. Процесс контроля теоретически может занимать несколько миллисекунд; достаточно одного зондирующего импульса для получения отклика от исследуемого конденсатора.

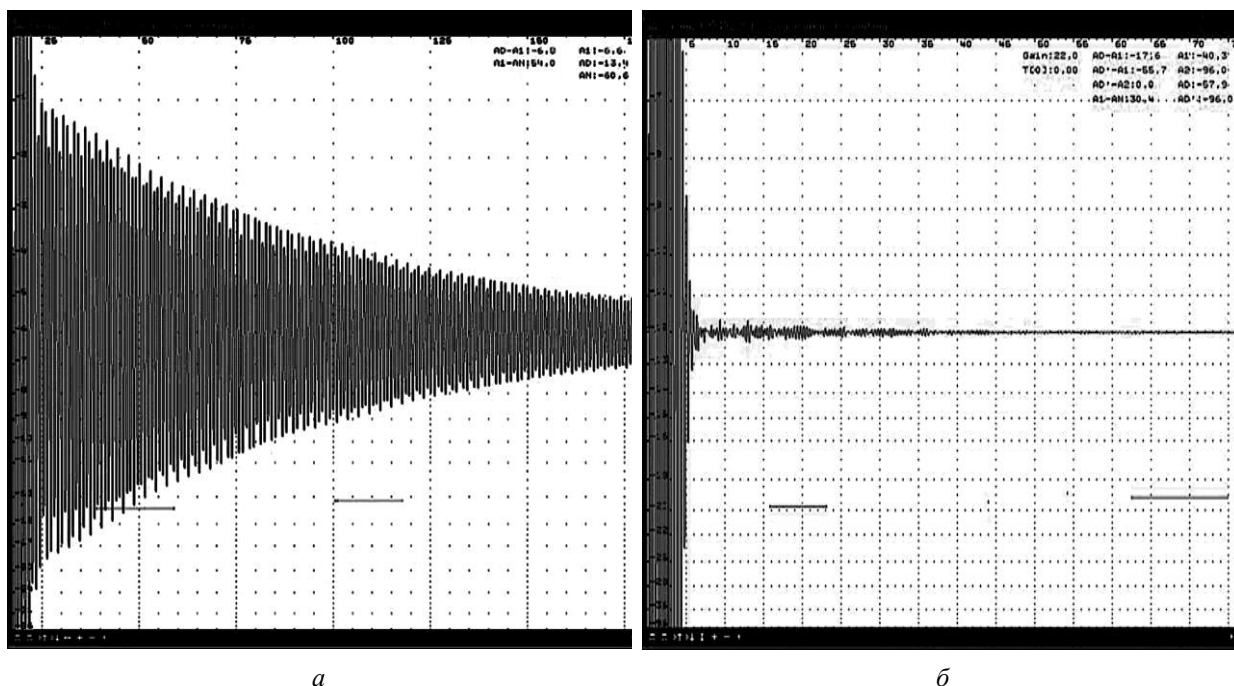


Рис. 4

2. Отсутствует необходимость применения какой-либо контактной жидкости, что исключает все связанные с этим трудности.

3. Предложенная методика обладает высокой чувствительностью: даже незначительный внутренний дефект может существенно повлиять на резонанс тестируемого конденсатора.

4. Существует возможность полной автоматизации процесса контроля, что полностью исключит влияние «человеческого фактора».

В дальнейшем планируется создание испытательного стенда для проверки производительности предполагаемых систем контроля. Также существует необходимость разработки дополнительных методов оценки результатов контроля, механических свойств исследуемых конденсаторов, а также условий проведения измерения. Авторами планируется разработка математической модели, описывающей колебания многослойных структур с целью последующего сравнения расчетных и измеренных показаний, и разработка рекомендаций к проведению контроля MLCC-конденсаторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новая технология MLCC для производства керамических конденсаторов. Соджи Тсубота // Компоненты и технологии. 2009. № 6.
2. Ермолов И. Н., Ланге. Ю. В. Неразрушающий контроль: Справ.: В 7 т. Т. 3: Ультразвуковой контроль / под общ. ред. В. В. Клюева. М., 2004.
3. Ultrasonic testing of multilayer ceramic capacitors. United States Patent App. № 408, 420. Inventor: Gordon R. Love. Assignee: Union Carbide Corporation. New York, N. Y. Feb. 22, 1977.
4. Vorrichtung zum Testen von elektronischen Bauteilen mit mindestens einer eingebetteten, metallhaltigen Schicht, Verfahren, und Verwendung eines elektromagnetischakustischen Wandlers. Detsches Patent- und Markenamt DE 10 2011 009 915 A1, Int Cl.: G01R 31/265. Erfinder: Kirikov Andrej, Pashkov Pavel, Durnov Fedor, Smirnov Alexey, Anmelder: Nordinkraft AG, 71296, Heimsheim, DE. 2012. 08. 02.

*Reliability is one of the main characteristics of the MLCC quality. All the modern developed methods of capacitor nondestructive testing, had one disadvantage: impossibility of fast and reliable testing strait into the production line. The following article describes new methodic of MLCC testing by means of electromagnetic-acoustic transducers. Described method base on the cooperation of the resonance properties of the defective and non-defective capacitors. By using introduced methodic it is able to provide on-line fast speed testing of produced components.*

**MLCC, ceramic capacitors, resonance method, electromagnetic-acoustic transducer**

УДК 534.232

*Б. Г. Степанов, А. В. Теплякова*

## **К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ФАЗИРОВАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ СЕКЦИЙ ПЬЕЗОСТЕРЖНЯ**

*Для стержневых гидроакустических преобразователей, пьезостержень которых разделен на части, возбуждаемые различными по амплитуде и фазе электрическими напряжениями, путем выбора критерия оптимизации показана возможность формирования широкополосных (до 2–3 октав) равномерных амплитудно-частотных и линейных фазочастотных характеристик излучения.*

**Стержневой преобразователь, широкополосность, частотная характеристика, оптимизация параметров**

В работах [1] и [2] рассматривалась возможность управления амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ) стержневых преобразователей, пьезостержень которых разделен на две части, возбуждаемые различными по амплитуде и фазе электрическими напряжениями  $U_i = U_{im}e^{j\varphi_i}$ , где  $U_{im}$  и  $\varphi_i$  – амплитуда и фаза;  $i = 1, 2$ . В зависимости от поставленной задачи: компенсации тыльного излучения или формирования широкополосного равномерного излучения с линейной фазочастотной характеристикой (ФЧХ) в рабочей полосе частот, определялись необходимые для их реализации частотные зависимости отношения амплитуд  $U_{2m}/U_{1m}$  и разности фаз  $\Delta\varphi_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$  электрических напряжений. При этом собственные значения амплитуд и фаз возбуждающих электрических напряжений зависят от выбора одного из них, принятого в качестве базового. В связи с этим определенный интерес вызывает поиск других возможных решений, а также обоснование достаточности выбора минимального числа частей (секций) пьезостержня, обеспечивающих заданные АЧХ и ФЧХ излучения. Задачу будем решать на базе расчетной модели (рис. 1) стержневого преобразователя в виде пьезостержня, электрически разделенного на  $n$  частей (секций), армированного стяжкой и нагруженного своими торцами на произвольные входные импедансы  $Z_V$  и  $Z_W$ . Предполагается, что каждая  $i$ -я секция пьезостержня содержит не менее двух параллельно включенных пьезокерамических шайб и возбуждается электрическим напряжением  $U_i = U_{im}e^{j\varphi_i}$ .