

На сегодняшний день используется 2 метода изготовления элементов проводящего рисунка печатных плат и их слоев: на основе субтрактивных методов с использованием фольгированных диэлектриков (узор выполняется методом удаления лишних частиц фольги); на основе аддитивного метода с использованием нефольгированных диэлектриков (медь наносится на подготовленную маску).

Показателями уровня производства печатных плат являются: ширина проводников; расстояние между проводниками (зазоры); диаметр переходных отверстий и др.

Платы, изготовленные аддитивным методом, имеют высокую разрешающую способность (проводники шириной до 0,1 мм), затраты на производство таких плат снижаются на 30 % по сравнению с субтрактивными методами, экономятся медь, химикаты для травления и улучшается экологическая обстановка на предприятиях. Однако применение аддитивного метода в массовом производстве ограничено низкой производительностью процесса химической металлизации, интенсивным воздействием электролитов на диэлектрик, недостаточной адгезией проводников.

Существует связь производственных участков различных цехов печатных плат. Типовой технологический процесс с использованием полуаддитивного метода таков: нарезка заготовок слоев МПП (многослойных печатных плат), получение рисунка схемы слоев, травление меди с пробельных мест, удаление маски, образование базовых отверстий, прессование слоев МПП; образование металлизированных отверстий; химическая очистка отверстий; химическая металлизация отверстий; гальваническая металлизация платы; получение рисунка схемы; гальваническая металлизация рисунка; нанесение металлорезиста на рисунок; удаление маски; травление меди с пробельных мест; оплавление металлорезиста; обработка платы по контуру; маркировка платы, нанесение защитного покрытия; окончательный контроль платы.

Печатные платы применяются практически во всех отраслях народного хозяйства, и потребность в них постоянно возрастает. Опережающие темпы развития микроэлектроники требуют непрерывного повышения их технического уровня, который определяется ростом плотности монтажа электрорадиоизделий, повышения требований к надежности, увеличением частоты следования импульсов. Обеспечение этих требований зависит от достижений в области конструирования и развития технологии производства печатных плат.

#### Литература

1. Пирогова, Е. В. Проектирование и технология печатных плат / Е. В. Пирогова. – М.: Форум, Инфра-М, 2005. – 560 с.

УДК 534.6.08

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА

Магистрант гр. 51315022 Якутович А. А., аспирант Киндрук А. Н.

Д-р техн. наук, доцент Степаненко Д. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Задачей исследования являлась разработка методики моделирования процессов формирования и обработки сигналов при измерении скорости звука эхо-импульсным методом, основанной на применении программ Comsol Multiphysics и MathCad. Создание подобной методики является актуальной научно-педагогической задачей, решение которой позволит повысить качество усвоения студентами учебных дисциплин, связанных с изучением ультразвуковых методов неразрушающего контроля и медицинской диагностики. Выбор программы Comsol Multiphysics обусловлен наличием в ней специализированных модулей для решения задач акустики и моделирования распространения упругих волн.

В качестве примера рассмотрена осесимметричная модель цилиндрического образца из конструкционной стали размерами  $\varnothing 60 \times 30$  мм. На участке верхней поверхности образца диаметром 20 мм задавалось граничное условие Prescribed Velocity (заданная колебательная скорость), имитирующее взаимодействие с ультразвуковым преобразователем. Зависимость колебательной

скорости от времени описывалась синусоидальным сигналом с амплитудой 1 м/с и частотой  $f_0 = 1,5$  МГц, промодулированным гауссовой огибающей с положением максимума  $t_0 = 2T_0$  и полушириной  $\text{FWHM} = T_0(\ln(2))^{1/2}$ , где  $T_0 = 1/f_0$  – период синусоидального сигнала. Максимальный размер конечных элементов задавался равным  $2\lambda/3$ , где  $\lambda$  – длина волны. При использовании конечных элементов с функциями формы 2-го порядка максимальный размер элементов не должен превышать  $\lambda/6$ , однако в рассматриваемом случае используются функции формы 4-го порядка, что позволяет увеличить размер элементов. Динамический анализ (Time Dependent Study) производился с помощью явного решателя (модуль Elastic Waves, Time Explicit).

Как предсказывает теория, при отражении импульса от донной поверхности образца происходит его инверсия (изменение фазы на  $180^\circ$ ) (рис. 1).

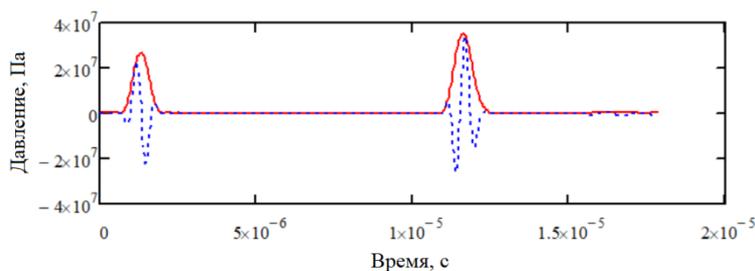


Рис. 1. Расчетная форма импульсов давления и их огибающих

Увеличение давления в эхоимпульсе объясняется интерференцией, падающей и отраженной волн на поверхности преобразователя. В приборах ультразвукового контроля выделяется огибающая эхоимпульса с помощью квадратурного детектирования. Эта операция была смоделирована в программе MathCad путем умножения импульса на опорные гармонические сигналы с последующей фильтрацией. Огибающая рассчитывалась по формуле  $2((I(t))^2 + (Q(t))^2)^{1/2}$ , где  $I(t)$  и  $Q(t)$  – выходные сигналы фильтров синфазного и квадратурного каналов. Скорость звука рассчитывалась по задержке времени  $\Delta t$  между максимумами огибающих зондирующего и отраженного импульсов и составила 5840 м/с, что хорошо согласуется с теоретическим значением для бесконечного изотропного образца, составляющим 5860 м/с.

Таким образом, разработана методика моделирования эхо-импульсного метода измерения скорости звука, которая может найти применение в учебном процессе для повышения качества усвоения студентами дисциплин, связанных с изучением акустических методов неразрушающего контроля и медицинской диагностики.

УДК 534

### АВТОСАМПЛЕР

Студент гр. 11307119 Ларионов Н. П.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Автосамплер (автоматический пробоотборник) обычно представляет собой устройство, которое соединено с аналитическим прибором, периодически предоставляющим образцы для анализа. Автосамплер можно также понимать как устройство, которое периодически собирает пробы из большого источника проб, например, из атмосферы или озера.

Автосамплеры позволяют значительно повысить производительность и точность во многих медицинских анализах и подготовках проб и поэтому широко используются в лабораториях. Область применения устройства: медицинские лаборатории, научные центры.

Назначения устройства: проведение отборов проб и их доставки в устройство анализа. Автосамплер сочетает в себе автоматический пробоотборник и дозатор, который работает в 3-х измерениях пространства. Он обеспечивает все необходимое для ввода стандартных жидких образцов, паровой фазы и твердофазной микроэкстракции. Переключение между типами вводимых