

УДК 621.314

Ю.Э. Паэрэнд, доц., канд. техн. наук; О.И. Захожай, аспирант

Донбасский горно-металлургический институт

94204, Проспект Ленина 16, г. Алчевск, Украина

E-mail: paerand@mail.ru, zoi@bk.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛЯРИЗАЦИИ СОСТАВНЫХ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Рассматриваются вопросы поиска оптимальных значений технологических параметров для построения базы знаний экспертных систем автоматизированного управления технологическим процессом пайки составных пьезокерамических преобразователей.

В современной технике при изготовлении различных устройств широко применяется пьезоэлектрическая керамика. В чистом виде пьезокерамика используется не так часто. Для построения различных устройств обычно применяется составной пьезокерамический преобразователь, который представляет собой пьезокерамический элемент, находящийся в жесткой механической связи с другим материалом – резонатором. В случае применения металлического резонатора, соединение, как правило, осуществляют при помощи пайки. Характеристики составных пьезокерамических преобразователей существенно зависят от технологических параметров их изготовления, а прогресс в области вычислительной техники и появление современных информационных технологий делают возможным усовершенствование технологических процессов и перевод их на качественно новый уровень. Поэтому оптимизация технологического процесса пайки составных пьезокерамических преобразователей с применением современных информационных технологий является актуальным.

Одной из основных характеристик составных пьезокерамических преобразователей является его пьезоактивность. Для обеспечения высокой пьезоактивности составных пьезокерамических преобразователей необходимо обеспечить высокий уровень поляризации доменной структуры пьезокерамического элемента. Для этих целей в [1] указывается на возможность применения временного совмещения процесса пайки составного пьезокерамического преобразователя и процесса поляризации пьезокерамического элемента. Однако при повышенных температурах есть опасность возникновения пробоя пьезокерамической структуры. Для исключения возможности пробоя, поляризацию пьезокерамического элемента можно проводить на этапе остывания составного пьезокерамического преобразователя по специальному алгоритму, позволяющему снять ограничение на применение серебро-содержащего припоя, а также увеличить степень поляризации и разброс параметров составных пьезокерамических преобразователей [1].

Сущность упомянутого выше алгоритма заключается в контроле тока утечки в процессе поляризации пьезокерамического материала на этапе остывания после пайки. К пьезокерамическому материалу прикладывается напряжение поляризации по величине, достаточной для переориентации доменной структуры пьезокерамического материала. Под действием этого напряжения происходит нарастание тока утечки через структуру составного пьезокерамического преобразователя. При достижении током утечки предпробивного значения величина напряжения поляризации скачком уменьшается до заранее установленного тестового уровня и в этот момент происходит релаксация свободных зарядов в пьезокерамической структуре. По изменению величины тока утечки на этом участке можно судить об интенсивности процесса релаксации. После снижения тока утечки напряжение поляризации снова повышается до начального уровня. Эти процессы циклически повторяются в течение всего этапа поляризации.

Однако сложность промышленного использования такого алгоритма управления технологическими параметрами связана с необходимостью определения величин пробивного напряжения и соответствующего тока утечки пьезокерамического элемента для различных типоразмеров пьезокерамических преобразователей и партий пьезокерамического материала. Для исключения этого недостатка и адаптации алгоритма под различные условия производства в работе [2] предложено применить экспертную систему, в базу знаний которой заносятся значения технологических параметров, соответствующих разновидностям изготавливаемых составных пьезокерамических преобразователей.

Таким образом, для построения автоматизированной системы управления технологическим процессом пайки составных пьезокерамических преобразователей необходимо рассмотреть вопрос поиска оптимальных значений технологических параметров, которые будут заноситься в базу знаний экспертной системы и обеспечивать высокую пьезоактивность изготавливаемых преобразователей. Причем, процесс поиска должен поддаваться алгоритмизации для применения в интеллектуальной системе. Авторами статьи были проведены исследования в этом направлении, результаты которых кратко рассмотрены ниже.

В результате теоретического анализа и экспериментального исследования было определено, что для оптимизации технологических параметров удобнее использовать эмпирический подход, а именно – аппарат математического планирования эксперимента. Оценку пьезоактивности изготавливаемых составных пьезокерамических преобразователей предлагается проводить по величине относительного резонансного промежутка.

Известно [3], что для определения относительного резонансного промежутка необходимо определить частоты резонанса и антирезонанса со-

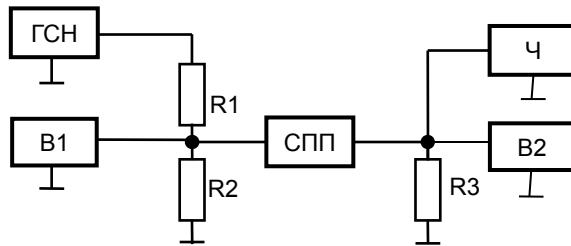


Рисунок 1 – Схема измерения частот резонанса и антирезонанса составных пьезокерамических преобразователей: ГСН - регулируемый генератор синусоидального напряжения; В1 - вольтметр, регистрирующий уровень выходного напряжения генератора; СПП - составной пьезокерамический преобразователь; Ч - частотомер; В2 - вольтметр, регистрирующий уровень выходного сигнала составного пьезокерамического преобразователя

ставных пьезокерамических преобразователей. На рисунке 1 изображена схема экспериментальной установки для определения частот резонанса и антирезонанса. Такая схема соответствует требованиям, указанным в нормативном документе [4].

Применение такой схемы измерения позволяет определить значения частот резонанса и антирезонанса в точках минимума и максимума частотной зависимости проводимости составного пьезокерамического преобразователя. На рисунке 2 показан вид такой зависимости.

Таким образом, проведя серию экспериментов с различными значениями технологических параметров и оценив величину относительного резонансного промежутка, можно определить при каких значениях обеспечивается максимальная пьезоактивность.

Для минимизации необходимого количества опытов проводилось математическое планирование эксперимента по методу Бокса-Уилсона.

Описанный подход к оптимизации технологических параметров был проведен на примере составных пьезокерамических преобразователей для канальных электромеханических фильтров на частоту 128 кГц, имеющего размеры металлической подложки 11,6×3×1,4мм и пьезокерамического элемента 2,4×3,8×0,3мм.

В соответствии с алгоритмом [1] в качестве входных факторов оптимизации x_1 и x_2 были приняты:

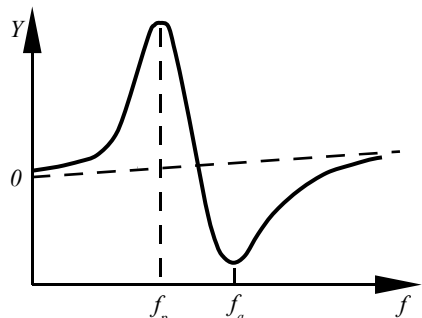


Рисунок 2 – Зависимость проводимости составного пьезокерамического преобразователя от частоты

1) максимальное значение тока утечки, при котором происходит скачкообразное уменьшение поляризующего напряжения;

2) амплитуда импульсов напряжения поляризации.

Начальные значения входных факторов оптимизации были определены экспериментально. При температуре, равной 320°C, производилось измерение значений пробивного напряжения и тока утечки пьезокерамической структуры. Для того, чтобы обеспечить необходимый интервал варьирования, начальные значения входных факторов не должны быть меньше измеренных максимально допустимых. Для заданной конструкции составных пьезокерамических преобразователей начальные значения входных факторов были определены на уровне

1) $x_1=450$ мкА; интервал варьирования 5мкА; 2) $x_2=300$ В; интервал варьирования 20В.

Эксперименты проводились для групп пьезокерамических преобразователей по 20 штук в каждой. После проведения четырех экспериментов вблизи начальных значений входных факторов проводилась оценка воспроизводимости по критерию Кохрена

$$G = \frac{s_{i \text{ макс}}^2}{\sum_{i=1}^n s_i^2},$$

где n – количество групп опытов; s_i^2 – дисперсия в i -ой точке, определяемая по формуле

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_i)^2}{m - 1},$$

где m – количество параллельных опытов; y_{ji} – отклик j -го параллельного опыта; $\bar{y}_i$ – средний отклик в данном опыте.

Полученное значение коэффициента Кохрена дало возможность сделать вывод, что для данного случая можно признать гипотезу об однородности дисперсий и определить дисперсию воспроизводимости как среднее арифметическое значение всех дисперсий. В результате было получено значение $1,7831 \cdot 10^{-9}$.

Проведение серии из четырех экспериментов вблизи начальной точки позволило определить коэффициенты регрессии для уравнения вида

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{12} x_1 x_2,$$

где y – функция отклика (относительный резонансный промежуток); x_1, x_2 – факторы оптимизации; a_0, a_1, a_2, a_{12} – коэффициенты регрессии.

Оценка значимости коэффициентов регрессии показала, что в указанном уравнении регрессии коэффициент a_{12} , учитывающий взаимосвязь выбранных факторов, незначителен, а соответственно, им можно пренебречь. Таким образом, окончательное уравнение регрессии примет вид

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2.$$

Полученное уравнение регрессии позволило спланировать дальнейшие эксперименты, направленные на определение оптимального значения выбранных факторов, соответствующих максимальной относительной ширине резонансного промежутка, а следовательно, и максимальной пьезоактивности. После ряда экспериментов было определено, что для составного пьезокерамического преобразователя заданной конфигурации при использовании предлагаемого алгоритма можно обеспечить увеличение относительного резонансного промежутка на 6%, а разброс параметров может быть снижен на 12% по сравнению с традиционным способом поляризации постоянным напряжением. Полученный эффект был достигнут при следующих значениях входных факторов:

1) $I_{\text{ут}}^{\text{макс}} = 475 \text{ мкА}$; 2) $U_{\text{пол}}^{\text{макс}} = 470 \text{ В}$.

Аналогично, оптимальные значения технологических параметров могут быть определены для составных пьезокерамических преобразователей других типоразмеров и конфигураций. Совокупность таких параметров позволяет сформировать базу знаний экспертной системы автоматизированного управления, применение которой в условиях промышленного производства позволяет не только повысить пьезоактивность пьезопреобразователей, но и увеличить гибкость адаптации системы к различным условиям производства и под различную номенклатуру изготавливаемых изделий.

Библиографический список

1. Паэранд Ю.Е. Система автоматизированного управления пайкой составных пьезокерамических преобразователей / Ю.Э. Паэранд, О.И. Захожай // Вісн. Східно-укр. нац. ун-ту ім. В. Даля. — Луганск, 2003. — № 6. — С. 197 – 202.
2. Захожай О.И. Экспертная система управления технологическим процессом пайки составных пьезокерамических преобразователей / О.И. Захожай // Тр. Одесск. политехн. ун-та: Науч. и практ. сб. по техн. и естетств. наукам. — Одесса, 2003. — Вып. №1(19). — С. 166–169.
3. Джонсон Р. Механические фильтры в электронике: Пер. с англ. / Р. Джонсон. — М.: Мир, 1986. — 496 с.
4. ГОСТ 12370-80. Материалы пьезокерамические. Методы испытаний. — Введ. 01.07.81. УДК 621.315.434.001.4:006.354 Группа Э19. — 30 с.

Поступила в редакцию 10.10.2003 г.