

УДК 621.372.542+004.89

Ю.Э. Паэрэнд, доц., канд. техн. наук

А.П. Калашников

Донбасский горно-металлургический институт

пр. Ленина 16, г. Алчевск, Украина, 94204

paerand@mail.ru, kalashnikovap@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАСТРОЙКИ РЕЗОНАТОРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Рассматривается возможность автоматизации процесса настройки резонаторов электромеханических фильтров с использованием искусственных нейронных сетей.

Одним из приоритетных направлений Национальной программы развития электроники Украины является разработка прогрессивного технологического оборудования, обеспечивающего автоматизацию процесса производства. Спецификой технологии производства большинства компонентов электронной техники является необходимость настройки технических параметров в процессе производства.

Одним из самых ответственных этапов изготовления электромеханических фильтров (ЭМФ), предназначенных для фильтрации аналоговых сигналов, является настройка резонансных частот его элементов [1]. Несмотря на попытки исключить настройку в процессе сборки, для определенных конструкций устранить эту операцию не представляется возможным. Это связано с особенностями конструкции и технологии процесса их изготовления.

Известные способы настройки основаны на изменении параметров элементов электромеханического фильтра путем последовательной настройки элементов системы и связей между ними [2]. Настройка производится как до, так и после окончания процесса сборки ЭМФ. Наиболее сложной является настройка после сборки. В процессе этой настройки осуществляется изменение параметров, определяющих частоту каждого элемента фильтра, при исключении влияния на него соседних элементов путем демпфирования. Необходимость демпфирования связана с тем, что элементы, связанные с резонатором, существенно влияют на данные измерений и не позволяют прямо определить резонансную частоту ЭМФ. При изготовлении ЭМФ демпфирование приводит к увеличению трудоемкости изготовления и возможности его механического повреждения.

В работах [2,3] рассмотрены основные причины разброса резонансных частот резонаторов ЭМФ. Этими причинами являются разброс физико-химических свойств используемого при изготовлении материала, а также отклонения его геометрических размеров. Как правило, величины

этих отклонений выходят за допустимые пределы и требуют последующей настройки.

В предлагаемой работе представлены результаты технологических аспектов настройки ЭМФ, предназначенного для выделения сигнала на центральной частоте 131 кГц с полосой пропускания 200 Гц. Конструкция данного ЭМФ изображена на рисунке 1 и представляет собой систему из двух механически связанных между собой металлических резонаторов и пьезо-керамических преобразователей.

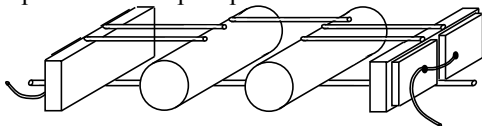


Рисунок 1 – Двухрезонаторный
электромеханический фильтр

На рисунке 2 изображена электрическая схема замещения двухрезонаторного ЭМФ.

Расчет элементов электрической схемы замещения проводился с использованием

следующих параметров элементов ЭМФ:

- механическая добротность резонаторов составляет 30000;
- механическая добротность преобразователей равна 1500;
- резонансный промежуток преобразователя равен 600 Гц;
- статическая емкость преобразователя составляет 500 пФ.

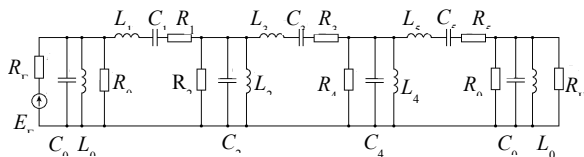


Рисунок 2 – Электрическая схема замещения ЭМФ

На рисунке 3 изображены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) рассматриваемого ЭМФ рассчитанные с использованием программы PSpice для различных отклонений резонансных частот резонаторов.

Кривая 1 соответствует АЧХ идеально настроенного фильтра.

АЧХ, изображенная на кривой 3, характеризует состояние системы при расстройке обоих резонаторов на частоты ниже номинальной. Такое состояние связано с особенностями технологического процесса настройки, связанными с возможностью изменения частоты в процессе настройки только в сторону увеличения. Представленная характеристика соответствует отклонению резонансных частот резонаторов: одного на 400 Гц, а второго на 200 Гц.

АЧХ, представленная на кривой 2, характеризует состояние системы при расстройке только одного из резонаторов на частоту ниже номинальной на величину 200 Гц.

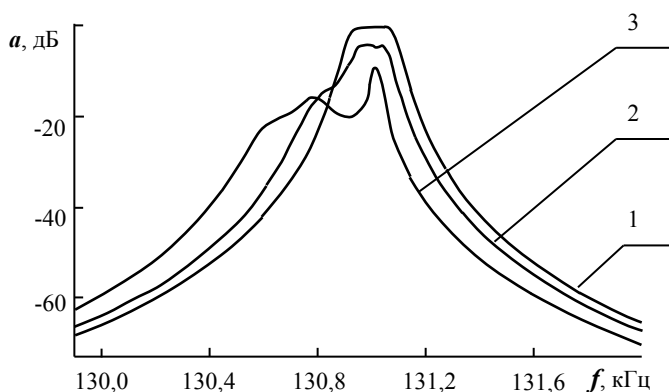


Рисунок 3 – Амплитудно-частотные характеристики ЭМФ

Авторами предлагается алгоритм настройки путем задания необходимого воздействия, направленного на уменьшение отклонения резонансной частоты резонаторов от номинальной, с учетом предварительной оценки чувствительности амплитудно-частотной характеристики фильтра после поэлементного воздействия на каждый резонатор.

Оценка влияния расстройки резонансных частот резонаторов на АЧХ ЭМФ показала следующие характерные особенности.

1. Смещение резонансных частот двух резонаторов на величину более 70 Гц приводит к значительному искажению АЧХ, выражающегося в увеличении вносимого затухания и появлению большой неравномерности в полосе пропускания.

2. Смещение резонансной частоты только одного резонатора также приводит к искажению АЧХ, выражающегося в увеличении вносимого затухания. При этом вершина АЧХ имеет характерный плоский участок, увеличивающийся при уменьшении величины отклонения резонансной частоты резонатора от номинальной.

С учетом указанных выше особенностей предлагается следующий алгоритм настройки.

Производится измерение АЧХ до настройки и после воздействия на каждый резонатор. Полученные результаты анализируются с целью определения величины вносимого затухания и степени неравномерности АЧХ в полосе пропускания. Результаты анализа являются входными данными для искусственной нейронной сети, предназначенной для определения требуемой величины воздействия на резонаторы.

С учетом рекомендаций, изложенных в [4], была создана искусственная нейронная сеть. Обучение искусственной нейронной сети и анализ результатов ее работы был проведен с использованием пакета математического моделирования MATLAB 6.1. В ходе проведенных исследований была получена трехслойная искусственная нейронная сеть наиболее точно решающая поставленную задачу. В скрытом слое данная сеть содержит 11 элементов. Входной вектор состоит из 6 элементов, которые представляет собой нормированные значения вносимого затухания и степени неравномерности АЧХ в полосе пропускания. Выходной вектор состоит из 2 элементов и представляет собой нормированные значения требуемого изменения частоты каждого резонатора, необходимые для обеспечения требуемого АЧХ ЭМФ. Для обучения искусственной нейронной сети использовался массив входных векторов из ста элементов, представляющий собой набор параметров АЧХ ЭМФ при различных отклонениях резонансных частот резонаторов. В созданной нейронной сети в первом и втором слоях использовалась передаточная функция *logsig*, а в выходном слое передаточная функция *purelin*. В качестве обучающего алгоритма был выбран алгоритм Levenberg-Marquardt (*trainlm*). Это позволило провести достаточно быстрое обучение нейронной сети, однако потребовало много машинных ресурсов. В качестве оценки адекватности работы обучающейся нейронной сети вычисляется сумма квадратичных отклонений выходов сети от эталонов. Значение отклонения, при котором обучение будет считаться законченным, было принято равным 0,01. На рисунке 4 изображен график зависимости суммарной величины квадратичных отклонений выходов искусственной нейронной сети от эталонов в зависимости от номера цикла обучения.

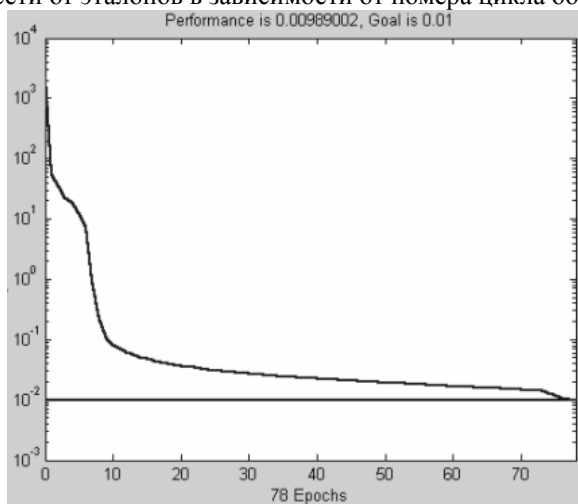


Рисунок 4 – Графиком зависимости оценки функционирования искусственной нейронной сети от номера цикла обучения

После окончания процесса обучения искусственной нейронной сети было проведено исследование степени достоверности результатов вычислений сети на тестовом массиве входных векторов. Исследования качества работы обученной искусственной нейронной сети при работе с указанными данными показали следующие результаты. В зависимости от конкретной частотной чувствительности отдельно взятого элемента ЭМФ и величины начального частотного отклонения, его погрешность резонансной частоты составляет от 0,0022 до 0,0066%. Такие значения погрешности резонансной частоты после настройки удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качеству настройки ЭМФ.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать вывод, что при создании систем автоматического управления процессом настройки резонаторов электромеханических фильтров целесообразно использование искусственных нейронных сетей. Это позволяет упростить алгоритм настройки ЭМФ при сохранении качества конечного изделия в целом, а также уменьшить требования, предъявляемые к вычислительным ресурсам системы управления.

Дальнейшим направлением исследований предполагается создание экспертной системы управления процессом настройки ЭМФ в целом на основе исследуемой искусственной нейронной сети. Кроме этого, необходимы дальнейшие исследования, направленные на получение оптимальной структуры искусственной нейронной сети для указанной выше системы управления, и ее обучение на основании реальных данных процесса настройки ЭМФ разных типов.

Библиографический список

1. Джонсон Р. Механические фильтры в электронике: Пер. с англ. / Р. Джонсон. — М.: Мир, 1986. - 406 с.
2. Паэранд Ю. Э. Автоматическая настройка частоты электромеханических фильтров с помощью лазера / Ю.Э. Паэранд, Ю.С. Денищик, И.В. Нагай // Тр. четвертой науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии». — 2003: Одесса, 2003. — С. 227.
3. Паэранд Ю. Э. Влияние производственных погрешностей на коэффициент связи между резонаторами канального электромеханического фильтра / Ю.Э. Паэранд, Ю.К. Кациман // Электронная техника. Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты. - 1990. - Вып. 2(79). - С. 47-50.
4. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. — 2-е изд., стереотип. — М.: Горячая линия - Телеком, 2002. — 382 с.

Поступила в редакцию 10.10.2003 г.