

О.О. Дробахин, А.В. Доронин, В.Г. Короткая

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ МИКРОВОЛНОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ

Аннотация. Путем численного моделирования подтверждена возможность повышения точности измерений микроволновым измерителем вибраций на основе калибровки детекторов с помощью нейронной сети по данным, полученным при перемещении подвижного короткозамыкающего поршня.

Ключевые слова. Интерференционный измеритель вибраций, нейронная сеть, вольт-амперная характеристика

Введение. Разработка средств измерения параметров механических перемещений и вибраций остается актуальной научно-технической задачей. Микроволновые методы обладают рядом достоинств, в частности, они обеспечивают безынерционность и бесконтактность измерений. Последнее в условиях термических нагрузок объекта либо помещения его в агрессивную среду является решающим обстоятельством в пользу выбора микроволновых методов.

Анализ публикаций. Наиболее популярным из микроволновых методов измерения параметров движения является интерференционный метод [1]. По сути, согласно этому подходу измерение параметров вибрации объекта СВЧ методами сводится к измерению фазы соответствующего коэффициента отражения объекта, расположенного в свободном пространстве. Традиционно для измерения комплексного коэффициента отражения на одной частоте применяется четырехзондовый измеритель [2], который может рассматриваться как устройство, реализующее интерференционный метод. Возможным также является использование трехзондового измерителя [3].

Постановка задачи. Обработка согласно указанным методам предусматривает квадратичность детекторов, подключенных к зондам. В общем случае характеристики детекторов не известны, применение нейросетевых технологий позволяет учесть такую характери-

стику и пересчитать результаты измерений так, чтобы была реализована квадратичная характеристика. В данных может присутствовать аддитивный шум. Автоматизация измерений предусматривает использование аналого-цифрового преобразования, поэтому важным для практической реализации является определения минимальной необходимой разрядности АЦП.

Цель исследований. Повышение точности оценивания параметров перемещения контролируемого элемента на основе применения нейросетевых технологий для компенсации неквадратичности характеристик детекторов и наличия аддитивного шума в микроволновых измерителях вибраций интерференционного типа.

Основная часть. Влияние отклонения характеристик от квадратичных было исследовано для двух случаев: зависимости вольт-амперной характеристика диодов в виде зависимости из двух прямых с точкой излома, отличающейся для каждого из диодов, и характеристики, описываемой выражением:

$$U_{\text{mod}} = \left[[U \cdot k]^2 + \alpha^2 \right]^\beta - \alpha^{2\beta} \quad (1)$$

Параметры модели (1) для каждого из детекторов были равны следующим значениям: для α – 100, 10, 5, 1, а β – 1/16, 1/8, 1/2, 3, соответственно. Такие зависимости вольт-амперных характеристик детекторов привели к полной потере возможности определения координаты z исследуемого объекта. Этот факт иллюстрируется рис. 1 для четырехзондового измерителя.

Для корректировки характеристики детектора была применена математическая модель трехслойной нейронной сети, имеющей 1 нейрон во входном слое и 1 нейрон в выходном слое. Число нейронов во внутреннем (скрытом) слое определялось исходя из рекомендаций по обеспечению аппроксимации с применением нейросетевых технологий, представленных в [4], и качества функционирования натренированной математической модели нейронной сети. Передаточная функция активации нейронов входного и скрытого слоев сигмоидальная (S – функция), для выходного слоя – линейная.

Тестирование полученных моделей осуществлялось на данных, лежащих в том же числовом диапазоне значений, что и набор данных для тренировки, но взятых с меньшим шагом. Проверялась работоспособность натренированной математической модели нейронной сети

на точках, не входивших в состав данных для тренировки. Зная характер поведения данных для тренировки можно судить об удачном варианте подбора весовых коэффициентов и смещений, а также о качестве работы полученной нейронной сети. Наилучшие результаты показала нейронная сеть, имеющая 11 нейронов в скрытом слое и на-тренированная в соответствии с алгоритмом масштабируемых сопряженных градиентов. Следует отметить, что весовые коэффициенты и смещения для совокупности моделей нейронных сетей, обеспечивающих эффективное проведение калибровки, для одной и той же характеристики, но различных вариантах тренировки не принимают одинаковые значения. Изменение значений для одной и той же структуры нейронной сети не влияет на качество проведения операции калибровки. Построенные модели характеристик детекторов позволили эффективно оценивать местоположения объекта, причем при изменении расстояния в пределах от 17 до 27 см. максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений для четырехзондового измерителя составило 0,185 см.; модуль среднего отклонения – 0,078 см. Аналогичные параметры для трехзондового измерителя были соответственно 0,186 и 0,078 см.

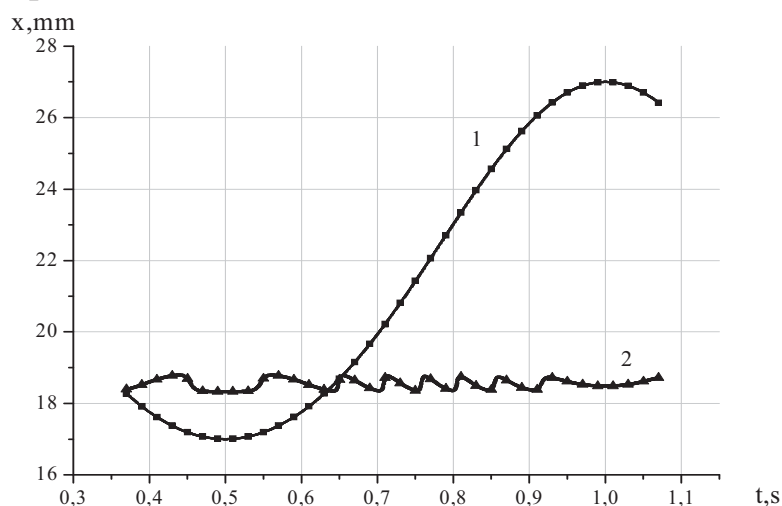


Рисунок 1 – Оценки текущего местоположения контролируемого объекта с использованием системы линейных уравнений для четырехзондового измерителя без применения калибровки: кривая 1 – эталонные значения местоположения, кривая 2 – результаты оценки

В условиях применения многозондового измерителя параметров вибраций невозможно проводить перемещения зонда, поэтому стандартная методика калибровки, которая применяется в волновод-

ных измерительных линиях, неприменима. В этом случае возможность калибровки базируется на использовании результатов измерений для подвижного короткозамыкающего поршня. Такой поршень в идеале имеет коэффициент отражения равный единице. Для реальных ситуаций модуль коэффициента отражения принимает значения несколько меньшие, кроме того, вследствие изменения контакта между волноводом и подвижной частью могут наблюдаться осцилляции значения коэффициента отражения. Для моделирования поведения коэффициента отражения поршня была принята зависимость вида

$$r(e) = 0,95 + 0,5 \sin \frac{4\pi}{\lambda} l \quad (2)$$

где l – расстояние, на которое перемещают подвижный короткозамыкающий поршень.

Для идеального квадратичного детектора в случае проведения калибровки на подвижный короткозамыкающий поршень предполагается справедливость зависимости

$$U_m = k_m \left| 1 + r(l) \cdot \exp \left[i \left[\frac{4 \cdot \pi}{\lambda} \cdot l \right] \right] \right|^2 \quad (3)$$

При отклонении вольт-амперных характеристик от идеальных квадратичных зависимостей были использованы ранее рассмотренные модели. Путем численного моделирования были исследованы возможности применения нейросетевых технологий для осуществления калибровки для случая использования короткозамыкающего поршня. Топология создаваемых математических моделей нейронных сетей была аналогична сетям, рассмотренным ранее. Весовые коэффициенты и смещения, как и для предыдущего случая, приобретали несопадающие значения при проведении серии тренировок.

Использование нейросетевых технологий для проведения калибровки детекторов и в этом случае позволило в целом получить существенное повышение точности. Максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений для четырехзондового измерителя составило 0,15 см.; модуль среднего отклонения – $6,6 \cdot 10^{-3}$ см. Для трехзондового измерителя соответствующие значения были – 0,35 и $1,9 \cdot 10^{-2}$ см. Следует отметить некоторый рост среднего значения погрешности определения местоположения по сравнению со случаем проведения классической калибровки, однако максимальные значения погрешности сохранились.

Было проведено исследование влияния наличия аддитивного гауссового шума на точность определения параметров перемещения объектов при использовании нейросетевых технологий для проведения калибровки детекторов, имеющих вольт-амперную характеристику в виде ломаной зависимости. Усреднение было проведено по десяти реализациям шума. Наличие шума оценивалось по отношению сигнал/ шум. Были рассмотрены значения отношения 12, 8, 5 дБ. При этом для четырехзондового измерителя был получен следующий ряд максимальных отклонений оценок от точных значений 0,17, 0,20, 0,60 см, для средних значений были получены оценки $1,1 \cdot 10^{-2}$, $2,2 \cdot 10^{-2}$, $4 \cdot 10^{-2}$ см. Аналогичные значения для трехзондового измерителя составили 0,39, 0,59, 2,21 и $2,5 \cdot 10^{-2}$, $4,1 \cdot 10^{-2}$, 0,60 см соответственно.

Для оценки необходимой разрядности АЦП была проведена серия численных экспериментов по усечению числа разрядов. Такое усечение сопровождается появлением в обрабатываемых данных соответствующего шума. Зависимость оценки местоположения носит пороговый характер. Для четырехзондового измерителя удовлетворительные результаты наблюдались начиная с 4 разрядов, для трехзондового измерителя – с 5 разрядов.

Выводы. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность применения нейросетевых технологий для проведения калибровки детекторов при использовании трехзондовых волноводных СВЧ датчиков перемещений, было обеспечено повышение точности определения местоположений отражателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоволновой измеритель параметров вибраций / Д. Ф. Руденко, А. И. Волковец, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин, О. О. Герасименко, А. Б. Дзисяк // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии : 15-я Международная конференция, 12 – 16 сентября, 2005 г., Севастополь : материалы конференции. – Севастополь : Вебер, 2005. – С. 829 – 830.
2. Бондаренко И.К., Дейнега К.А., Маграчев З.А. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. – М.: Сов. Радио, 1969. – 301 с.
3. Drobakhin O.O., Karlov V.A. Holographic Approach to Microwave Measurement // Proceedings of 16-th International Symposium on Electromagnetic Theory – Thessaloniki, Greece, 1998. – V. 1. – pp. 109-111.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

Получено 15.01.2011г.