

СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА МЕТОДАМИ МЕЖКОМПОНЕНТНОЙ ФАЗОВОЙ ОБРАБОТКИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники г. Минск, Республика Беларусь

Кечик Д. А.

Воробьев В. И. – с. н. с. НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР к.т.н., доцент

В области вибрационной диагностики механизмов остро стоит проблема выделения информативных признаков дефектов из виброакустического сигнала и разделения его источников [1]. Главные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики средств автоматической вибродиагностики – низкое отношение сигнал/шум (ОСШ) и нестационарность сигнала. Предлагается алгоритм оценки параметров компонентов полигармонического сигнала. Алгоритм позволяет очистить зашумлённую реализацию от широкополосного шума и разделить узкополосные компоненты. Для очистки от шума используется алгоритм компенсации помех, основанный на переносе частоты с подавлением зеркального канала. Для дальнейшего повышения отношения сигнал/шум (ОСШ) используется аппроксимация очищенного сигнала его квазиполигармоническим приближением с ограничениями в фазовой области.

Основные требования, предъявляемые к цифровым фильтрам – наличие АЧХ, близкой к прямоугольной, сильное затухание в полосе заграждения и малая неравномерность АЧХ в полосах заграждения и пропускания. Построение цифровых фильтров для выделения узкополосных фильтров с указанными требованиями оказывается невозможным без оптимизации по некоторым параметрам взамен ухудшения других [2]. Предлагаемая реализация компенсации помех состоит в переносе сигнала на частоту среза однополосной модуляцией с подавлением зеркального канала. Составляющие, частоты которых были выше частоты среза, являются зеркальным каналом и компенсируются. Спектр ниже частоты среза инвертируется, для восстановления сигнала необходимо снова осуществить перенос на частоту среза. Если задана нижняя частота среза, тогда компенсатор формирует второй сигнал, ограниченный сверху по спектру нижней частотой среза, который вычитается из первого. Компенсация внеполосных помех поясняется рисунком 1.

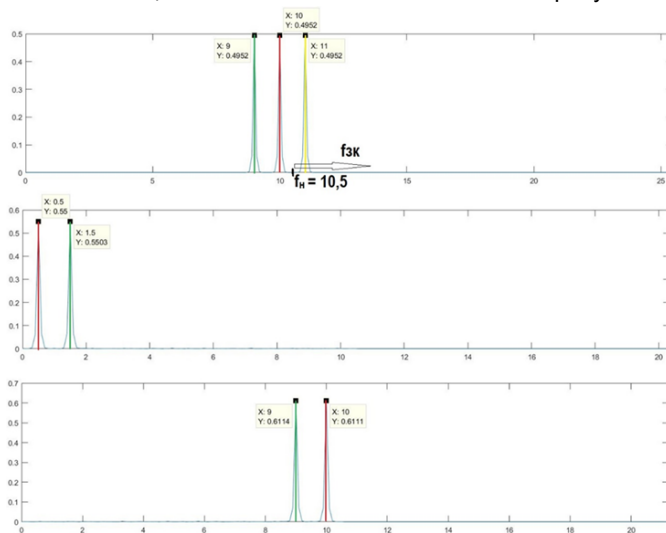


Рисунок 1 – пояснение работы компенсатора

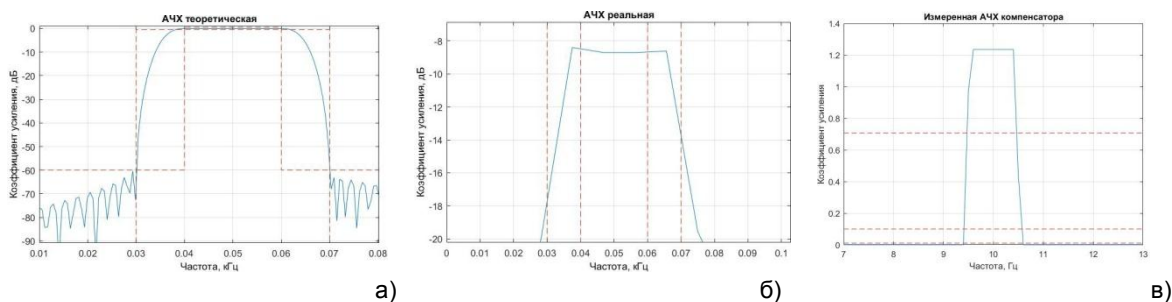


Рисунок 2 – АЧХ полосового фильтра (а, б) и компенсатора помех (в)

На рисунке 2 приведены АЧХ полосового КИХ фильтра минимального порядка, построенного стандартным средством пакета MATLAB. На рисунке 2 а) изображена теоретически рассчитанная АЧХ фильтра, на рисунке 2 б) – оценённая средствами пакета MATLAB. На рисунке 2 в) АЧХ компенсатора помех при заданной полосе фильтрации [9,5; 10,5] Гц.

При высокой зашумлённости исходной реализации остаточный шум в полосе сигнала может вносить сильные искажения. В обработке речевых сигналов данное явление называется «музыкальный шум», и он может сильно ухудшить качество и разборчивость речевых сигналов [3]. Для дальнейшего повышения ОСШ и улучшения качества предлагается алгоритм, оценивающий параметры гармонических составляющих с ограничениями на их непрерывность.

В работе [4] предложен метод оценки параметров квазигармонических составляющих, состоящий подбора значений мгновенных амплитуды и фазы. Параметры подбираются так, чтобы приближать очищенный сигнал с наименьшей ошибкой, но в то же время получать максимально сглаженные во времени функции мгновенных параметров. Плавное изменение во времени фазы обусловлено физической природой источников колебаний [3]. Предлагаемый алгоритм обеспечивает очистку от шума используя не только ограничения на гладкость амплитуды и фазы, но и временных инвариантов фаз. Существуют линейные комбинации фаз, инвариантные ко сдвигам по времени и частоте, которые сохраняются постоянными для гармоник сигнала. Впервые эти величины использовались в работе [5] для исследования дисперсии ультразвука в металлах, широко применялись для исследования фазозависимых процессов в акустике, анализа и очистки от шума речевых и вибрационных сигналов [3]. Фазы наиболее выраженных гармоник и постоянные межкомпонентные фазовые соотношения позволяют восстановить фазы высших гармоник и очистить их от шума [3].

Очистка от шума при помощи компенсатор помех и ограничений параметров гармоник требует оценки частот компонентов, что получается при помощи алгоритма IRAPT [6]. Алгоритм основан на поиске периодичностей на временных окнах в предварительно выделенных частотных каналах. Алгоритм оптимален для зашумлённых сигналов и быстрых изменений частоты. Период оценивается при помощи нормированной кросскорреляционной функции. Разбиение на частотные каналы производится ДПФ-модулированным банком фильтров.

Алгоритм был проверен на базе речевых сигналов из работы [3] при различных отношениях сигнал/шум. Качество очищенного сигнала было оценено по критерию минимума среднеквадратичной ошибки. Сопоставление с традиционно используемыми методами, такими как максимум апостериорной вероятности показало, что данное направление остаётся перспективным для дальнейших исследований.

Список использованных источников:

1. Кечик, Д.А. Способ выделения информативных составляющих вибрационного сигнала методами межкомпонентной фазовой обработки / Д.А. Кечик. – 2017.
2. Гудкова, Н. Цифровой прецизионный узкополосный фильтр / Н. Гудкова // Современная электроника. – 2010. – № 7. – С. 76–79.
3. Barysenka, S.Y. Single-channel speech enhancement using inter-component phase relations / S.Y. Barysenka, V.I. Vorobiov, P. Mowlae // Speech Communication. – 2018. – Vol. 99. – P. 144-160.
4. Митянок, В.В. Применение фазового анализа звуков речи для распознавания человека по его голосу / В.В. Митянок, Н.В. Коновалова // Техническая акустика. – 2013. – Т. 13.
5. Зверев, В.А. Модуляционный метод измерения дисперсии ультразвука / В.А. Зверев // Доклады Академии наук СССР. – 1953. – Т. 4. – С. 791-794.
6. Instantaneous pitch estimation based on RAPT framework // Elsevier ; ред. А. Petrovsky, М. Vashkevich, Е. Azarov. – Amsterdam ; New York.