

11. *Säckinger E., Guggenbühl W.* A versatile building block: the CMOS differential difference amplifier // IEEE Journal of Solid State Circuits. – April 1987. – Vol. SC-22, №. 2. – P. 287-294.
12. *Прокопенко Н.Н., Будяков П.С., Серебряков А.И.* Автономные параметры транзисторов базового матричного кристалла АБМК\_1\_3 в условиях радиационных и температурных воздействий // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2012: Сборник трудов / Под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемповского. – М.: ИППМ РАН, 2012. – С. 294-297.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Г. Крутчичинский.

**Серебряков Александр Игоревич** – Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ; e-mail: sashaag@mail.ru; 346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147; тел.: +79034346279; кафедра информационных систем и радиотехники; аспирант.

**Прокопенко Николай Николаевич** – e-mail: prokopenko@sssu.ru; тел.: +79185182266; кафедра информационных систем и радиотехники; д.т.н.; профессор.

**Бутырлагин Николай Владимирович** – e-mail: nbutyrlagin@mail.ru; тел.: +79034320799; кафедра информационных систем и радиотехники; аспирант.

**Serebryakov Alexander Igorevich** – Institute of service and business (branch) Don State Technical University; e-mail: sashaag@mail.ru; 147, Shevchenko, Shakhty, 346500, Russia, phone: +79185056136; the department information systems and radio engineering; postgraduate student.

**Prokopenko Nikolay Nikolaevich** – e-mail: prokopenko@sssu.ru; phone: +79185182266; the department information systems and radio engineering; dr. of eng. sc.; professor.

**Butyrlagin Nikolay Vladimirovich** – e-mail: nbutyrlagin@mail.ru; phone: +79034320799; the department information systems and radio engineering; postgraduate student.

УДК 621.372

**Н.В. Гудкова, Е.А. Жебрун**

### **ПРЕЦИЗИОННОЕ УСТРОЙСТВО ПОДАВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОМЕХ В РЕЧЕВЫХ СИГНАЛАХ**

*В контексте задач цифровой обработки сигналов рассмотрены принципы адаптивной очистки речевых сигналов от периодического зашумления. Приведены примеры алгоритмов фильтрации помехи с источником эталонного сигнала и без источника. Рассмотрены их особенности. Предлагается новый подход, призванный повысить качество фильтрации речевых сигналов от аддитивной периодической помехи на длительном интервале времени для случая, когда нет источника эталонного сигнала помехи. На базе этого подхода разработано одноканальное устройство адаптивной фильтрации, которое имеет ряд преимуществ в сравнении с существующими на сегодняшний день решениями. За счёт особенностей структуры устройства достигается увеличение производительности при практически полном сохранении качества исходного речевого сигнала. Алгоритм адаптации использует математический аппарат оптимальной фильтрации по методу наименьших квадратов (LMS). Система включает в себя адаптивный трансверсальный фильтр, анализатор спектра и блок узкополосных адаптивных режекторных фильтров, которые способны без искажений подавлять узкую полосу сигнала на заданной частоте с минимальными затратами вычислительных ресурсов. Анализатор спектра использует быстрое преобразование Фурье.*

*Цифровая обработка сигналов (ЦОС); адаптивная фильтрация; периодическая помеха; быстрое преобразование Фурье (БПФ).*

N.V. Gudkova, E.A. Zhebrun

### PRECISE DEVICE OF PERIODIC INTERFERENCE SUPPRESSION IN SPEECH SIGNALS

*In the context of digital signal processing tasks discussed the principles of adaptive treatment of speech signals from the periodic noise pollution. Examples of the noise filtering algorithms with a reference signal source and free. Examined their characteristics. We propose a new approach designed to improve the filtering of speech signals from recurring in the long interval of time interference in the case where there is no source reference signal interference. The device of adaptive filtering based on this approach has several advantages compared with existing solutions today. So due to the structural features of the device is achieved by an increase in productivity is almost complete preservation of the quality of the original signal.*

*Digital signal processing (DSP); adaptive filtering; periodic noise; fast Fourier transform (FFT).*

**Введение.** Речевая информация является одним из наиболее распространенных видов информационного общения, как на производственной территории, так и вне её.

Можно привести множество примеров ситуаций, в которых качественная связь необходима, но сильная зашумленность не позволяет передать слушателю различимый речевой сигнал – слова и фразы «тонут» в сильном шуме. Это могут быть работы в производственном цехе какого-либо завода, на взлетно-посадочной площадке или в машинном отсеке корабля, а также регистрация, анализ и обработка аудиоинформации при проведении мероприятий по организации информационной безопасности. Во всех этих случаях обычно возникает необходимость обработки аудио сигналов с целью повышения их качества и разборчивости. Таким образом, проблема снижения уровня шумов с целью восстановления смысла сообщений для многих практических ситуаций крайне актуальна.

Для эффективного устранения искажений речевого сигнала необходимо, чтобы устройство, выполняющее эту функцию, постоянно отслеживало изменения характеристик помех во времени и постоянно корректировало свою импульсную характеристику в соответствии с этими изменениями. Такими возможностями обладают современные системы, использующие адаптивную фильтрацию с целью выделения помехи с последующей ее компенсацией в смеси полезного сигнала и помехи [1]. В статье рассматриваются вопросы разработки адаптивных устройств этого класса.

#### **Одноканальные и двухканальные устройства адаптивной фильтрации.**

Во многих случаях зашумленный речевой сигнал ЗРС представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала и периодической помехи  $d_k = m_k + v_k$ . По способу обработки таких сигналов различают одноканальные и двухканальные устройства адаптивной фильтрации. Упрощенные блок-схемы одно- и двухканального устройств показаны на рис. 1,2.

В обоих вариантах адаптивная фильтрация осуществляется по одной и той же процедуре. В цифровом адаптивном фильтре на каждом периоде дискретизации производится вычисление  $L$  проекций  $w_i$  вектора весовых коэффициентов  $W$  и вычисление свертки  $W$  с входным сигналом. В результате этого на  $k$ -ый момент времени для исходного сигнала  $x_k$  определяется значение выходного сигнала  $e_k$ , где компенсируется составляющая помехи  $v_k$ .

Подстройка (адаптация к внешним условиям) вектора  $W$  осуществляется на принципах оптимизации по критерию минимума среднеквадратического значения выходного сигнала. При получении вычислительного алгоритма адаптации используется математический аппарат оптимальной фильтрации. Сходимость алгоритма осуществляется по методу наименьших квадратов (LMS) [1].

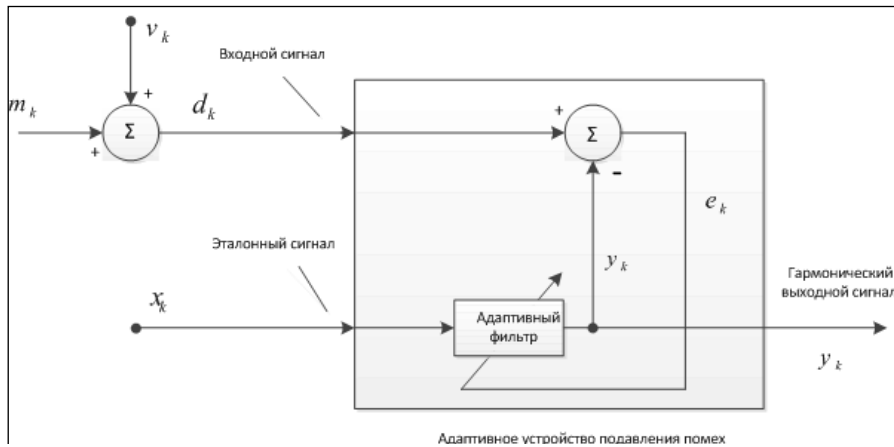


Рис. 1. Схема двухканального устройства с АТФ

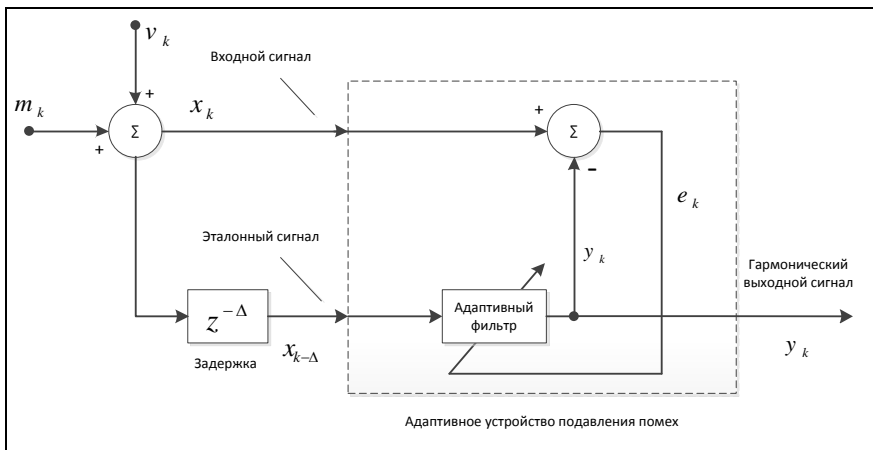


Рис. 2. Схема одноканального устройства с АТФ (устройство предсказания)

Принципиальное отличие вариантов обработки заключается в формировании входных сигналов, которые используются в последующей вычислительной процедуре. В одноканальном варианте оба входных сигнала (основной и опорный) формируются из одного входного сигнала, при этом исходный входной сигнал является основным, а опорный формируется из исходного с помощью временной задержки. В двухканальном варианте основной и опорный сигналы реально существуют и непосредственно используются в последующей вычислительной процедуре. Сама же вычислительная процедура для обоих вариантов одинакова и имеет вид [4]:

$$w_{k+1,i} = w_{k,i} + 2\mu x_{k,i} \cdot e_k \tag{1}$$

где  $k = 1, 2, 3, \dots$  – текущее дискретное время (каждый момент времени отстоит от следующего момента на период дискретизации  $T_d$ );  $i = 1, 2, 3, \dots, L$  – порядковый номер проекции вектора  $W$ ,  $\mu$  – коэффициент сходимости алгоритма адаптации.

В соответствии с этим алгоритмом за каждый период дискретизации  $T_d$  на следующий  $k+1$ -й момент дискретного времени вычисляется  $L$  коэффициентов линейного предсказания ( $L$  проекций вектора  $W$ ). С помощью коэффициента адаптации  $\mu$  регулируется скорость сходимости алгоритма и, в конечном счете, скорость слежения за изменениями характеристик помех.

Предсказанные значения проекций вектора  $W$  используется в процессоре адаптивного трансверсального фильтра для вычисления оценки значения помехи  $v_k$  и значения скомпенсированного (выходного) сигнала  $e_k$ :

$$y_k = w_{1,k}x_{k-1} + \dots + w_{i,k}x_{k-i} + \dots + w_{L,k}x_{k-1};$$

$$e_k = d_k - y_k = m_k + v_k - y_k.$$
(2)

Следует подчеркнуть, что при наличии соответствующего сигнала в опорном канале в двухканальной схеме можно с той или иной эффективностью скомпенсировать практически любые аддитивные шумы, тогда как в одноканальной схеме при неудачном выборе скорости адаптации, которая регулируется с помощью параметра  $\mu$ , можно не только скомпенсировать помеху, но и значительно исказить речевой сигнал.

**Модифицированное устройство адаптивной фильтрации.** В [2] представлена компьютерная программа, реализующая одноканальное адаптивное устройство предсказания в режиме реального времени. Основной её функцией является разделение сигнала звукового диапазона на периодическую и непериодическую составляющие. Проведенные эксперименты показали, что для обеспечения хорошего качества звука на выходе, а также высокой точности разделения периодической и непериодической составляющих, необходимо использовать очень большое число весовых коэффициентов и величину задержки в адаптивном устройстве. Это, в свою очередь, может стать причиной серьёзных требований к быстродействию процессора, осуществляющего цифровую обработку сигналов.

Для повышения качества фильтрации в данной работе предлагается модифицированное устройство подавления периодических помех [3], показанное на рис. 3.

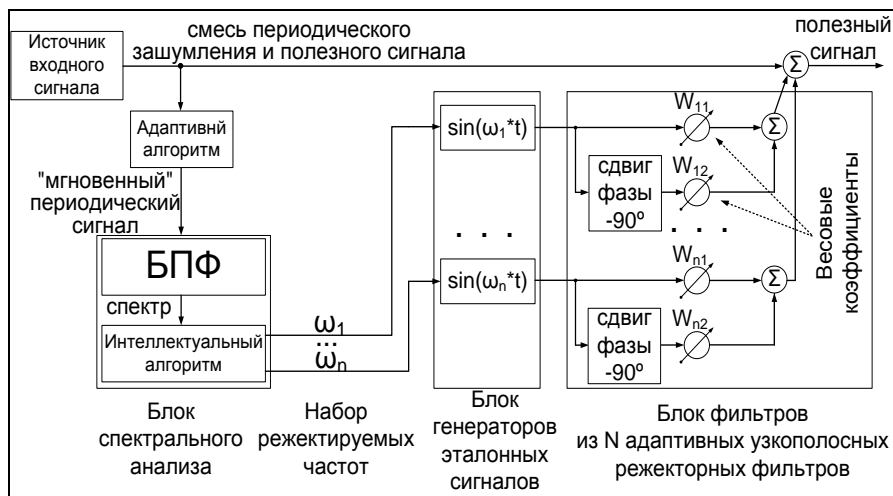


Рис. 3. Модифицированное устройство подавления периодических помех

Подстройка (адаптация к внешним условиям) вектора весовых коэффициентов  $W$  базируется на принципах оптимизации по критерию минимума средне-квадратического значения выходного сигнала. При получении вычислительного алгоритма адаптации используется математический аппарат оптимальной фильтрации. Сходимость алгоритма осуществляется по методу наименьших квадратов (LMS) [4].

Система включает в себя адаптивный трансверсальный фильтр, анализатор спектра и блок узкополосных адаптивных режекторных фильтров (АРФ), которые способны без искажений подавлять узкую полосу сигнала на заданной частоте с минимальными затратами вычислительных ресурсов [5].

Анализатор спектра использует быстрое преобразование Фурье для определения точных значений частот гармоник. Гармоники, которые остаются постоянными на некотором промежутке времени, удаляются при помощи блока АРФ. Настройка каждого такого фильтра осуществляется в реальном времени автоматически на основе интеллектуального анализа частотных характеристик периодической помехи.

Количество анализов, которые необходимо проводить в единицу времени, зависит от природы фильтруемого сигнала и требуемой степени фильтрации. Например, для случая, когда и полезный (непериодический на длительном интервале времени) сигнал и периодическая помеха имеют сравнительно одинаковую амплитуду и могут накладываться друг на друга в частотной области, нужно брать для анализа целый ряд идущих подряд спектров. Если большая их часть выявляет неизменную амплитуду на одной и той же частоте, то такая частота должна быть заглушена через один из узкополосных фильтров.

**Заключение.** Компьютерное моделирование устройства показало, что основное преимущество предлагаемого подхода заключается в быстродействии алгоритма фильтрации, т.к. в данном случае адаптивному трансверсальному фильтру не нужны большая длина и задержка, а БПФ может оперировать с достаточно небольшим количеством временных отчётов. Выходной сигнал получается из входного сигнала непосредственно, проходя только блок адаптивных режекторных фильтров, которые с высокой точностью и без задержки подавляют периодическую помеху. Таким образом, выходной сигнал имеет минимум искажений.

Главным ограничением является количество гармоник, которые необходимо подавить. Именно от этого зависит требуемое количество АРФ, присутствующих в системе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Simon Haykin*. Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 2002, ISBN 0-13-048434-2.
2. *Жебрун Е.А., Золотарёв А.В., Луговский С.В.* Адаптивное подавление помех в акустических сигналах // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления». – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. – Т. 1. – С. 147-150.
3. *Н.В. Гудкова, Е.А. Жебрун, А.В. Золотарев, Г.А. Свизев.* Прецизионное устройство шумочистки речевых сигналов в реальном масштабе времени. Радиоэлектронные средства передачи и приёма сигналов и визуализации информации // Материалы Первой Всероссийской конференции. – М.: Изд-во РНТОРЭС им. А.С.Попова, 2011. – С. 14-17.
4. *Уидроу Б., Стирнз С.* Адаптивная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1989.
5. *Гудкова Н.* Цифровой прецизионный узкополосный фильтр // Современная электроника. – 2010. – № 7. – С. 76-79.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Прокопенко Н.Н.

**Гудкова Наталья Васильевна** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: tala\_gud@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44; тел.: +78634371689; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

**Жебрун Евгений Андреевич** – e-mail: JackJK@mail.ru; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

**Gudkova Natalya Vasilyevna** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: tala\_gud@mail.ru; 44, Nekrasovsky Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Zhebrun Eugeniю Andreevich** – e-mail: JackJK@mail.ru; the department of automatic control systems; postgraduate student.

УДК 621.396.6.-027.31

**В.А. Сергеев, В.В. Ершов, Д.К. Подымало, А.А. Черторийский**  
**УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ОБЛУЧАТЕЛИ**  
**ДЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ\***

*Приведено описание и результаты экспериментального исследования технических характеристик экспериментального образца ультрафиолетового (УФ) светодиодного облучателя для отверждения композитных материалов на основе полиэфирных смол. В качестве источников УФ-излучения в серийно выпускаемом оборудовании для УФ-отверждения композитных материалов используются ртутные лампы, недостатки которых хорошо известны: низкий (порядка 0,5 %) КПД; малый (порядка 2 тыс. ч) срок службы; большое выделение тепла и озона; трудности с утилизацией. Современные УФ-светодиоды имеют ресурс более 20 тыс. ч, узкий спектр излучения, не требуют специальной утилизации и их применение взамен ртутных ламп обеспечивает повышение энергоэффективности, срока службы и экологической безопасности оборудования. УФ светодиодный облучатель включает 12 блоков излучателей общей площадью засветки 1,5 кв. м с питанием от одного источника напряжения и микропроцессорным блоком управления. Особенностью представленного образца облучателя является отсутствие принудительных систем охлаждения. Это достигается применением специального импульсного режима работы светодиодов. Представленный образец УФ светодиодного облучателя имеет расширенные функциональные возможности и может быть использован как экспериментальная установка для исследования режимов отверждения композитных материалов.*

*Ультрафиолетовое излучение; светодиодный облучатель; отверждение; композитные материалы.*

**V.A. Sergeev, V.V. Ershov, D.K. Podymalo, A.A. Tchertoriysky**  
**ULTRA-VIOLET LIGHT EMMITING DIODES IRRADIATOR**  
**FOR COMPOSITE MATERIALS CURING**

*The description and results of a pilot study of technical characteristics of an experimental sample of ultra-violet (UV) light-emitting diodes (LED) irradiator for an curing of composite materials on the basis of polyester resins is provided. As sources of UV-radiation in serially let out equipment for UV-curing composite materials are used the mercury lamps which shortcomings are well-known: low (about 0,5 %) efficiency; small (about 2 000 hours) service life; big allocation of heat and ozone; difficulties with utilization. Modern UV LEDs have a resource more than 20 000 hours, a narrow range of radiation, don't demand special utilization and their application instead of mercury lamps provides increase of energy efficiency, service life and ecological safety of the equipment. UV LED irradiator turns on 12 blocks of irradiators with a total area of flare of 1,5 sq. m with one voltage source and the microprocessor control unit. Feature of the presented sample of an irradiator is*

---

\* Работа выполнена при поддержке Фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере по проекту №18377 в рамках программы «Старт-12».