

УДК 629.12.05:594.647

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ФИЛЬТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА НА РЕЗУЛЬТАТ ИХ ФАЗОВОЙ ОБРАБОТКИ

В.И. ВОРОБЬЁВ, И.Г. ДАВЫДОВ, В.В. ПЕТРОВ, С.А. МИГАЛЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 17 апреля 2008

Исследовалась эффективность межкомпонентной фазовой обработки полигармонических сигналов в зависимости от выбранного типа фильтра. Показано, что межкомпонентную фазовую обработку целесообразно проводить с использованием фильтров, имеющих короткую переходную характеристику и равномерную амплитудно-частотную характеристику в полосе пропускания.

Ключевые слова: межкомпонентная фазовая обработка, фильтрация, выбор фильтра.

Введение

Одним из перспективных методов анализа межкомпонентных связей для сверхширокополосных полигармонических сигналов является оценка разностей фаз кратночастотных спектральных составляющих с рациональным отношением частот [1, 2].

Применение этого метода на практике выявило необходимость изучения влияния выбора типов фильтров на определение разностей фаз кратночастотных компонент. Особое значение имеет временной интервал достоверности анализа сигнала, поскольку данный метод может быть использован для анализа моделей вокализованных звуков речи, которые являются сравнительно кратковременными.

Описание метода

Вокализованный звук $s(t)$ можно представить в виде суммы колебаний на частоте основного тона и обертонов:

$$s_k(t) = \sum_{p=1}^{p=N} a_{kp}(t) \cos(2\pi F_{k0} p t + \varphi_{kp}(t)), \quad k = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где N — число выбранных для анализа квазигармонических составляющих; $a_{kp}(t)$ и $\varphi_{kp}(t)$ — медленно меняющиеся амплитуда и фаза p -й квазигармонической составляющей для k -й реализации; F_{k0} — частота основного тона в k -й реализации; M — количество реализаций.

Полная фаза квазигармонического колебания в k -й реализации звука $s(t)$ равна

$$\Psi_{kp}(t) = 2\pi F_{k0} p t + \varphi_{kp}(t), \quad p = \overline{1, N}, \quad k = \overline{1, M}. \quad (2)$$

Разность фаз между колебанием с частотой основного тона и p -й квазигармонической составляющей определяется следующим образом. Полная фаза квазигармонического сигнала $\psi_{kp}(t)$ делится на p и результат вычитается из полной фазы $\psi_{k1}(t)$. Определенная таким образом разность фаз $\Delta\psi_{k1}^p$ не содержит линейно нарастающих слагаемых:

$$\Delta\psi_{k1}^p = \varphi_{k1}(t) - \frac{\varphi_{k1}(t)}{p}, \quad p = \overline{1, N}, \quad k = \overline{1, M}. \quad (3)$$

Взаимное компенсирование линейно нарастающих составляющих возможно лишь в том случае, если функции $\varphi_{k1}(t)$ и $\varphi_{kp}(t)$ непрерывны. Для выполнения этого условия необходимо произвести процедуру "сшивания", заключающуюся в устранении разрывов первого рода путем прибавления или вычитания из значения фазы в данной точке величины 2π .

В общем случае, при фазовой межкомпонентной обработке p -й и q -й квазигармонической составляющими, разность фаз запишется в виде:

$$\Delta\psi_{kp}^q = \varphi_{kp}(t) - p \frac{\varphi_{kq}(t)}{q}, \quad p = \overline{2, N}, \quad q = \overline{3, N}, \quad k = \overline{1, M}. \quad (4)$$

Постановка задачи и условия проведения экспериментов

Для оценки влияния типов используемых фильтров на определение разностей фаз кратноточастотных компонент были сформированы следующие модели полигармонических сигналов.

1) Бигармонический сигнал (170 Гц и 340 Гц) с заданной разностью фаз 67° длительностью 150 мс (примерная длительность вокализованного звука).

2) Бигармонический сигнал (170 Гц и 340 Гц) с заданной разностью фаз 67° длительностью 2 с.

3) Сумма двух ЛЧМ сигналов длительностью 150 мс. Начальная частота первого ЛЧМ сигнала — 160 Гц, максимальная частота — 180 Гц, параметры второго — в два раза больше. Разность фаз 67° .

4) Сумма двух ЛЧМ сигналов длительностью 2 с. Начальная частота первого ЛЧМ сигнала — 160 Гц, максимальная частота — 180 Гц, параметры второго — в два раза больше. Разность фаз 67° .

С помощью средств пакета Matlab 7.0 синтезировались полосовые фильтры четырех типов: фильтр Баттерворта 3-го порядка; фильтр Чебышева 1-го рода 3-го порядка; фильтр Чебышева 2-го рода 3-го порядка; эллиптический фильтр.

Фильтры имели следующие параметры.

1) Для фильтра Баттерворта: средняя частота — 170 Гц, полоса пропускания — по 10 Гц в каждую сторону от средней частоты, границы полосы задерживания — по 40 Гц в каждую сторону от средней частоты; минимально необходимое затухание в полосе задерживания — -25 дБ.

2) Для фильтра Чебышева 1-го рода: средняя частота — 170 Гц, полоса пропускания — по 10 Гц в каждую сторону от средней частоты, границы полосы задерживания — по 30 Гц в каждую сторону от средней частоты; уровень пульсаций АЧХ в полосе пропускания — 1 дБ; минимально необходимое затухание в полосе задерживания — -25 дБ.

3) Для фильтра Чебышева 2-го рода: средняя частота — 170 Гц, полоса пропускания — по 10 Гц в каждую сторону от средней частоты, границы полосы задерживания — по 30 Гц в каждую сторону от средней частоты; минимально необходимое затухание в полосе задерживания — -25 дБ.

4) Для эллиптического фильтра: средняя частота — 170 Гц, полоса пропускания — по 10 Гц в каждую сторону от средней частоты, границы полосы задерживания — по 20 Гц в каждую сторону от средней частоты; минимально необходимое затухание в полосе задерживания — -30 дБ.

Для фильтрации составляющих с частотами в 2 раза (340 Гц) выше синтезируются фильтры, граничные частоты которых в 2 раза превышали значения вышеприведенных параметров.

Далее проведена фильтрация вышеприведенных сигналов синтезированными фильтрами.

Для сравнения, двумя методами определены фазы выходных сигналов: с помощью преобразования Гильберта и методом "аналогового фазометра". Метод "аналогового фазометра" заключается в следующем: определяется промежуток времени Δt между моментами, когда выходные сигналы фильтров пересекают ноль из отрицательной полуплоскости в положительную, который затем пересчитывается в разность фаз:

$$\Delta \Psi_{k1}^p = 2\pi \frac{\Delta t}{T_{k1}}, \quad (5)$$

где $T_{k1}=1/F_{k0}$ — период колебания с частотой основного тона.

По (3) была определена разность фаз кратночастотных квазигармонических компонент.

Применение метода аналогового фазометра для анализа разности фаз сигналов, полученных фильтрацией суммы ЛЧМ сигналов, нецелесообразно, поскольку при наличии начального сдвига фаз между сигналами к моменту пересечения нуля сигналом с большей частотой его частота получит набег и не будет выполнено условие вычисления разности фаз *кратночастотных* компонент.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 в качестве примера приведены два сигнала, полученные путем фильтрации эллиптическими фильтрами исходного бигармонического сигнала длительностью 150 мс. Отчетливо видны переходные процессы, возникающие в результате "раскачки" фильтра. Это приводит к первому условию, которое необходимо поставить перед выбором фильтра: он должен иметь короткую переходную характеристику, за счет чего увеличивается временной интервал, на котором мы можем достоверно анализировать разность фаз кратночастотных компонент. Все приведенные рисунки подтверждают поставленное условие. Особенно это заметно на рис. 4, где анализируется "произвольный" сигнал — сумма ЛЧМ сигналов — на анализируемом интервале нигде не встречается участок, где разность фаз имела бы постоянное заданное нами значение.

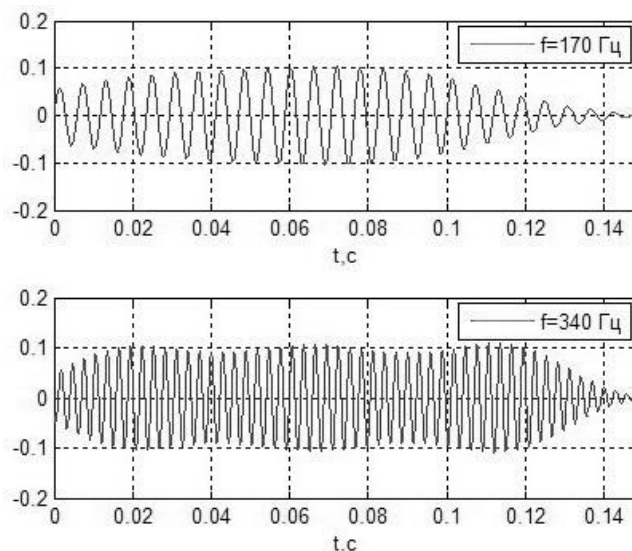


Рис. 1. Сигналы, полученные после фильтрации бигармонического сигнала эллиптическими фильтрами

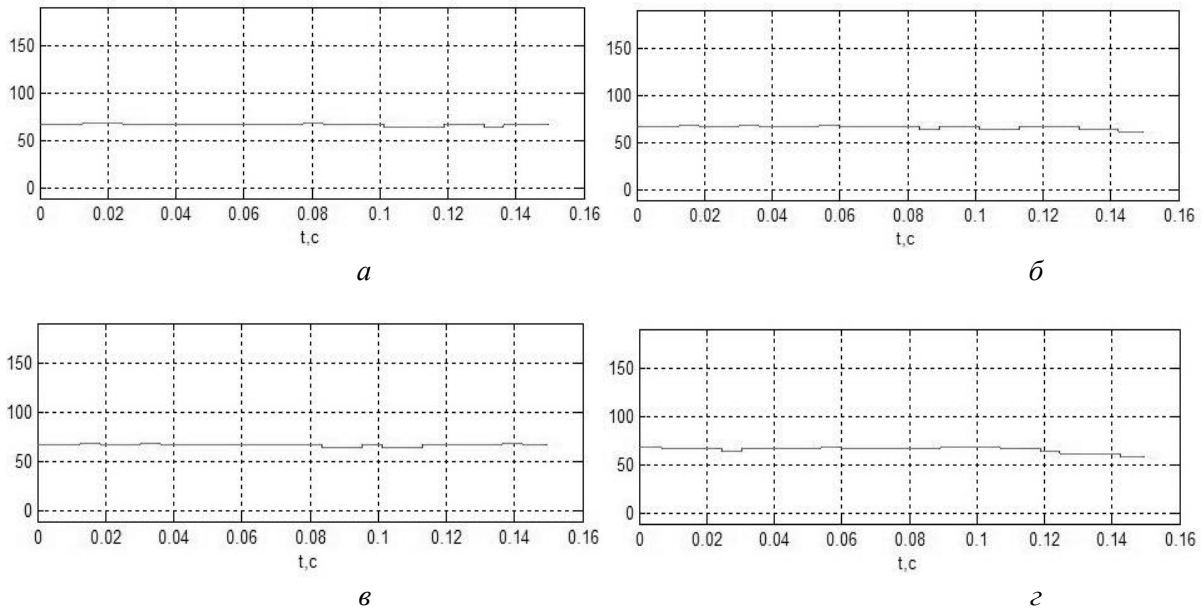


Рис. 2. Разность фаз, определенная методом аналогового фазометра между квазигармоническими сигналами длительностью 150 мс, полученными в результате фильтрации бигармонического сигнала: *a* — фильтром Баттерворта; *б* — эллиптическим фильтром; *в* — фильтром Чебышева 1-го рода; *г* — фильтром Чебышева 2-го рода

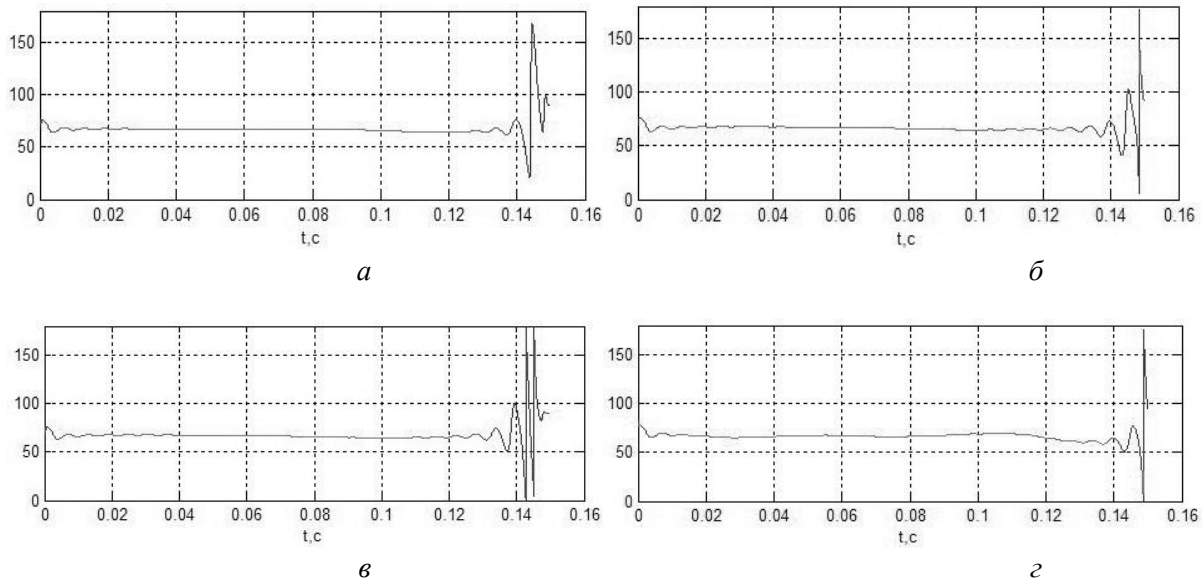


Рис. 3. Разность фаз, определенная с помощью преобразования Гильберта между квазигармоническими сигналами длительностью 150 мс, полученными в результате фильтрации бигармонического сигнала: *a* — фильтром Баттерворта; *б* — эллиптическим фильтром; *в* — фильтром Чебышева 1-го рода; *г* — фильтром Чебышева 2-го рода

Рис. 5, на котором для наглядности увеличен интервал анализа, позволяет поставить еще одно условие: фильтр, используемый для выделения из анализируемого сигнала квазигармонических компонент должен иметь равномерную амплитудно-частотную характеристику в полосе пропускания, поскольку, как видно из графиков выходных сигналов эллиптического фильтра и фильтра Чебышева 1-го рода, наличие пульсаций в полосе пропускания приводит к неравномерности разности фаз кратнoчастотных компонент.

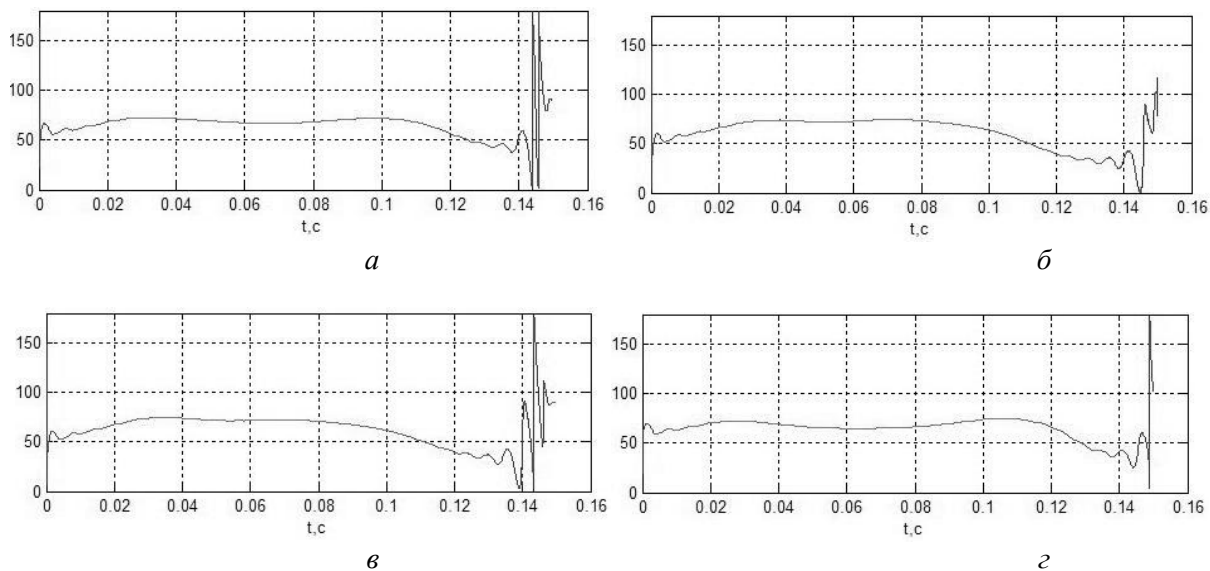


Рис. 4. Разность фаз, определенная с помощью преобразования Гильберта между квазигармоническими сигналами длительностью 150 мс, полученными в результате фильтрации суммы ЛЧМ сигналов: *а* — фильтром Баттерворта; *б* — эллиптическим фильтром; *в* — фильтром Чебышева 1-го рода; *г* — фильтром Чебышева 2-го рода

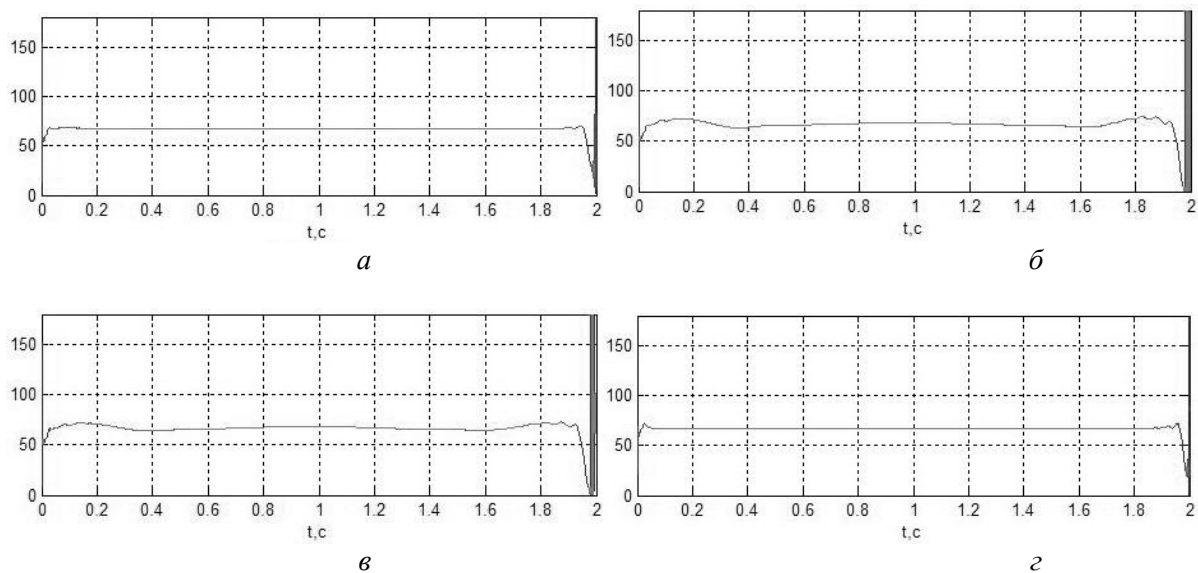


Рис. 5. Разность фаз, определенная с помощью преобразования Гильберта между квазигармоническими сигналами длительностью 2 с, полученными в результате фильтрации суммы ЛЧМ сигналов: *а* — фильтром Баттерворта; *б* — эллиптическим фильтром; *в* — фильтром Чебышева 1-го рода; *г* — фильтром Чебышева 2-го рода

Выводы

Межкомпонентную фазовую обработку целесообразно проводить с использованием фильтров, имеющих короткую переходную характеристику и равномерную амплитудно-частотную характеристику в полосе пропускания. В проведенных экспериментах наиболее удачно эти свойства проявились у фильтра Баттерворта.

Прямое применение метода "аналогового фазометра" для оценки разности фаз кратнo-частотных компонент ограничено случаями анализа сверхширокополосных и полигармонических сигналов, когда частота квазигармонического сигнала на интервале анализа изменяется

незначительно. Значительное изменение частоты сигнала приводит к тому, что анализ проводится не для кратнoчастотных компонент.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF INFLUENCE OF WAYS OF THE FILTRATION OF COMPONENTS OF THE POLYHARMONIOUS SIGNAL ON RESULT OF THEIR PHASE PROCESSING

V.I. VOROBYEV, I.G. DAVYDOV, V.V. PETROV, S.A. MIGALEVICH

Abstract

Efficiency of intercomponental phase processing of polyharmonic signals depending on the chosen type of the filter is investigated. It is shown, that intercomponental phase processing is expedient for spending with use of the filters having the short transitive characteristic and the uniform peak-frequency characteristic in a pass-band.

Литература

1. Воробьев В.И., Давыдов Г.В., Шамгин Ю.В. // Докл. БГУИР. 2006. Т. 4, № 2. С. 64–68
2. Воробьев В.И. // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика. Сб. трудов XIX сессии Российского акустического общества. Т. III. М., 2007. С. 46–49.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. СПб., 2006 г.