



**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

АО "КОБРА"

Р.В. Коноплев

" июля 20 15 г.

## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

На диссертационную работу Руфова Александра Андреевича на тему: **“Интерполяционные алгоритмы определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений”**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – “Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения”

### **1. Актуальность проведенных исследований**

Определение параметров гармонического сигнала является одним из самых распространенных видов измерений в радиотехнике, технике связи, электронике и системах автоматики. Задачи оперативной оценки частоты и среднеквадратического значения короткого квазипериодического сигнала решаются при построении встроенной в аппаратуру системы контроля, измерений и мониторинга, а также при испытаниях радиоэлектронной аппаратуры, в цифровой осциллографии, звуковой и радиолокации, телеметрии и навигации. Использование амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных колебаний ограниченной длительности предполагает демодуляцию и оценку параметров радиосигнала по нескольким периодам частоты, которая в общем случае неизвестна.

Диссертация Руфова А.А. посвящена важной проблеме определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений. Автор показал, что для решения поставленной задачи можно использовать цифровую обработку сигналов (ЦОС) во временной области, базирующуюся на методах интегрирования, интерполяции, решении систем уравнений, аппроксимации, корреляционном анализе и др.

Результаты исследований, представленные в литературе, показали, что при использовании методов ЦОС в частотной области (алгоритмы БПФ и ДПФ) погрешность определения среднеквадратического значения (СКЗ), частоты и параметров модуляции оказывается на уровне десятков и единиц процентов при объеме выборки 32 и менее.

Учитывая вышесказанное, можно заключить, что поставленная Руфовым Александром Андреевичем задача уменьшения погрешности оценки во временной области параметров радиосигналов во встроенных системах контроля по ограниченному массиву дискретных отсчетов с использованием интерполяционного ряда Котельникова является актуальной для средств и систем связи, а также имеет важное теоретическое и практическое значение для радиотехники.

## **2. Характеристика содержания работы**

Диссертация Руфова Александра Андреевича содержит введение, четыре главы, заключение и приложения.

**Во введении** показана актуальность, научная новизна и практическая значимость, обоснована достоверность полученных результатов, подтверждена апробация работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведена структура диссертации.

**В первой главе** рассмотрены требования к методам, алгоритмам и программным средствам оценки параметров радиосигналов во встроенных системах контроля радиоэлектронной аппаратуры. Автор показал, что для решения поставленной задачи можно комплексы виртуальных приборов, которые обеспечивают высокое быстродействие, точность и достоверность получаемой информации. Автором рассмотрены и выявлены недостатки существующих методов, наиболее пригодных для комплексной обработки ограниченного массива дискретных данных: вычислительные методы решения систем уравнений, методы с использованием дискретного преобразования Фурье и методы интерполяции сигнала рядом Котельникова. По мнению автора диссертации именно последние являются наиболее перспективными методами для решения поставленной задачи, благодаря работе с любым числом отсчетов (целым и дробным на период) и адаптивной интерполяции между ними, работе при наличии высших гармоник и корректном выборе сглаживающей оконной функции.

Для уменьшения погрешности при оценке методической погрешности диссертантом выбран метод сглаживающих оконных функций. Окна с минимальной шириной главного лепестка (прямоугольное, синусоидальное, Ханна и Хэмминга) лучше подходят для определения СКЗ сигнала при его короткой реализации, однако, при обработке модулированных колебаний, лучше использовать скользящее окно (Блэкмана или Наталла).

**Во второй главе** соискателем проанализированы причины возникновения методической погрешности при оценке среднеквадратического значения (СКЗ) гармонического аналогового сигнала методом интегрирования. Диссертант определил границы методической погрешности и дал рекомендации по выбору окна в зависимости от длительности выборки и уровней второй и третьей гармоник сигнала. Полученные результаты легли в основу разработанных автором методик и алгоритмов определения частоты и СКЗ сигнала с использованием интерполяционного преобразования Котельникова.

Задачи оценки частоты основной гармоники сигнала дискретизированного сигнала основаны на методе многоуровневой интерполяции по полученным промежуточным отсчетам. Автор подробно рассмотрел влияние различных параметров (число дискретных отсчетов, коэффициент деления) на величину методической погрешности и установил, что смещение исследуемых фронтов в центральную область сигнала позволяет уменьшить влияние искажений на краях, особенно сильно проявляющихся при малой выборке.

В задачах оценки СКЗ дискретизированного гармонического сигнала соискателем использован метод оконных функций, благодаря которому существенно снижается погрешность и уменьшается время интегрирования даже при малом числе отсчетов. Подробно обоснованы способы приближения величины погрешности оценки СКЗ к ее методическому значению (число дискретных отсчетов и промежуточных между ними) и рассмотрено влияние других параметров: вида оконной функции, точности определения весового коэффициента, значения начальной фазы и интервала оценки.

Для повышения быстродействия диссертант разработал единый алгоритм оценки параметров гармонического сигнала, который может быть использован в виртуальном приборе. Выполненное автором объединение алгоритмов позволяет оценивать параметры гармонического сигнала во временной области по ограниченной выборке, когда погрешность при использовании методов Фурье достигает десятков и единиц процента.

**В третьей главе** автор привел разработанные методики и алгоритмы определения параметров амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных колебаний во временной области, основанные на цифровой обработке массива данных мгновенных значений с использованием интерполяционного преобразования Котельникова.

Задачи оценки частоты несущего сигнала и уменьшения величины методической погрешности основаны на методе одноуровневой двухступенчатой интерполяции: функцией  $\sin(x)/x$  и линейной внутри интервала, расположенного на пересечении линии нуля. Автор подробно обосновал выбор данного способа и исследовал зависимость погрешности от объема выборки, длительности сигнала и величины коэффициента деления.

Оценка коэффициента (глубины) амплитудной модуляции основана на методе скользящих оконных функций, которые позволяют сгладить участки восстановленного сигнала на краях и получить более точную информацию по всем исследуемым характеристикам. Соискатель дал общие рекомендации по выбору ширины оконной функции и привел их границы с минимальными значениями погрешностей. Диссертант рассмотрел влияние различных параметров: вида оконной функции, объема выборки, коэффициента деления и длительности сигнала.

В задачах оценки частоты модулирующего сигнала для уменьшения величины методической погрешности автором использован метод многоуровневой интерполяции по полученным точкам на линии СКЗ относительно его среднего значения. Диссертантом подробно исследовано влияние числа дискретных отсчетов, величины коэффициента деления и

длительности. Автором установлено, что смещение исследуемых фронтов в центральную область позволяет уменьшить влияние искажений на краях восстановленного сигнала, особенно сильно проявляющихся при малом числе отсчетов.

Для повышения быстродействия диссертант разработал единый алгоритм оценки параметров модулированных по амплитуде сигналов, который может быть использован в виртуальном приборе.

**В четвертой главе** рассматриваются моделирующие программы, реализующие описанные в главах 2 и 3 алгоритмы. Программы позволяют выбирать временное сглаживающее окно, интервал интегрирования, объем выборочных данных, начальные фазы оцениваемых 1-й, 2-й и 3-й гармоник, частоту дискретизации и параметры скользящего окна в зависимости от определяемых параметров. Приведены скриншоты разработанных программ, описание их структуры и оболочки. Разработанные автором программные средства предоставляют широкие возможности выбора параметров и представления информации в численном и графическом видах.

**В приложении** приведены акты внедрения результатов диссертационного исследования, а также свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **3. Научная новизна**

Научная новизна состоит в разработке методик и создании алгоритмов цифровой обработки ограниченного массива дискретных отсчетов в задачах определения параметров аналоговых радиосигналов во временной области:

1. Разработана методика и алгоритм оценки среднеквадратического значения аналогового гармонического сигнала с использованием метода сглаживающих оконных функций.

2. Разработан единый алгоритм определения частоты основной гармоники и среднеквадратического значения дискретизированного гармонического сигнала во временной области с использованием методов интегрирования, усреднения, многоуровневой интерполяции и оконных функций сглаживания.

3. Разработана методика и создан единый алгоритм оценки параметров дискретизированных амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных сигналов с использованием методов демодуляции по СКЗ, скользящего окна, интерполяции, усреднения, интегрирования и многоуровневой двухступенчатой интерполяции.

### **4. Практическая значимость работы**

1. Разработанный алгоритм оценки СКЗ гармонического сигнала позволил по 6 дискретным отсчетам обеспечить оценку СКЗ за 1.5 периода сигнала с методической погрешностью (0,05...0,23)%. При этом алгоритм с использованием БПФ не позволяет оценить СКЗ.

2. Разработанный алгоритм определения частоты гармонического сигнала во временной области с использованием метода многоуровневой

интерполяции по сравнению с методом дискретного счета позволил снизить методическую погрешность оценки частоты более чем 10 раз.

3. Объединение алгоритмов оценки параметров сигналов во временной области на основе интерполяционного ряда Котельникова и выбора сглаживающей оконной функции позволило сократить общий программный код по сравнению с суммой отдельных кодов и повысить общее быстродействие.

4. Разработан комплекс программ для моделирования и оптимизации параметров ЦОС при исследованиях и инженерных расчетах параметров радиосигналов по ограниченной выборке.

### **5. Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Предложенные методы и алгоритмы могут быть использованы в различных задачах экспериментальных исследований, как в учебном процессе, так и в промышленности на этапах проектирования, производства и эксплуатации. Полученные в ходе исследования результаты рекомендуется использовать при создании систем встроенного контроля радиоаппаратуры, для повышения быстродействия и точности средств контроля и мониторинга параметров разрабатываемой радиоаппаратуры.

### **6. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается результатами имитационного полунатурного моделирования, демонстрирующими эффективность предложенных методик и алгоритмов оценки параметров радиосигналов по ограниченному числу дискретных отсчетов, а также совпадением результатов моделирования с результатами, известными из литературы. Теория построена на известных и проверяемых данных, она согласуется с опубликованными экспериментальными данными.

### **7. Автореферат и публикации**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Основные результаты диссертационной работы полно отражены в 20 публикациях, среди которых имеются 5 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и 5 тезисов докладов научно-технических конференций и семинаров различного уровня.

### **8. Замечания по работе**

При рассмотрении диссертации были выявлены следующие недостатки:

1. В диссертации отсутствует анализ работоспособности алгоритмов в условиях шумов и помех.
2. В параграфах 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.3 алгоритмы можно было сократить, а их полные версии привести в приложении.
3. Цифры на рисунках 2.11, 2.13, 2.15, 3.8-3.15 имеют трудночитаемый размер.

## 9. Выводы

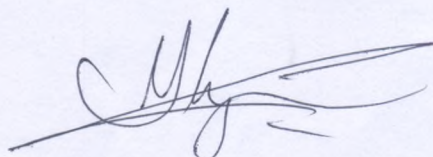
Несмотря на указанные недостатки можно утверждать, что результаты диссертации обладают новизной, достоверностью, хорошо обоснованы и апробированы, автором продемонстрировано владение современными методами теоретического анализа и эксперимента, а автореферат достаточно полно отражает сущность диссертации.

Диссертационная работа Руфова Александра Андреевича **“Интерполяционные алгоритмы определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений”** является законченной и целостной научной работой, в которой автором получено решение актуальной научной и практической задачи уменьшения величины погрешности при оценке параметров радиосигнала во временной области по ограниченному массиву дискретных значений.

Диссертация удовлетворяет требованиям пункта 9 “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Руфов Александр Андреевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – “Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения”.

Отзыв обсужден на заседании научно-технического совета акционерного общества “Конструкторское опытное бюро радиоаппаратуры” (АО “КОБРА”), протокол № 12 от “30” июня 2015 г.

Ведущий специалист  
АО “КОБРА”, к.т.н.



С.И. Кучин