

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Карпенкова Андрея Сергеевича

на диссертацию Руфова Александра Андреевича «Интерполяционные алгоритмы определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Руфова Александра Андреевича посвящена решению задачи определения параметров радиосигналов по ограниченному массиву дискретных значений во временной области с использованием интерполяционного ряда Котельникова. Задачи оперативной оценки частоты и среднеквадратического значения (СКЗ) короткого периодического сигнала решаются при построении встроенной в аппаратуру системы контроля, а также при испытаниях радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в цифровой осциллографии, телеметрии и навигации. Использование амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных колебаний ограниченной длительности предполагает демодуляцию и оценку параметров радиосигнала по нескольким периодам частоты. В современную РЭА встроены вычислительные средства для цифровой обработки сигналов (ЦОС), а также для контроля работоспособности. Технологии виртуальных приборов (ВП) определяют главный вектор решения специализированных задач встроенного контроля РЭА - всё большее число задач решается не на аппаратном, а на алгоритмическом и программном уровне.

Соискатель анализирует известные методы ЦОС в частотной и во временной области, поставив перед собой задачу оценки параметров сигнала по короткой выборке за несколько периодов сигнала при малом числе отсчетов

на период. Результаты исследований показали, что при этих условиях погрешность определения параметров в частотной области методами по Фурье резко возрастает по сравнению с методами интерполяции по Котельникову. Не случайно в осциллографии для восстановления и оценки параметров сигнала все чаще применяют алгоритмы с интерполяцией  $\sin(x)/x$ . Однако, детального анализа факторов, определяющих методические погрешности нет, что не позволяет определить границы целесообразного использования функций  $\sin(x)/x$  в задачах ЦОС.

Поэтому, *целью исследований* Руфова А.А. стала «разработка методик и алгоритмов определения совокупности параметров радиосигнала во встроенных системах контроля путем цифровой обработки во временной области ограниченного массива дискретных значений».

Все вышеизложенное позволяет считать тему диссертационной работы Руфова Александра Андреевича актуальной.

### **Структура диссертации**

Диссертация изложена на 144 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 104 наименований и приложения, в котором приведены акты внедрения и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В первой главе рассмотрены возможности ЦОС, а также требования к методам, алгоритмам и программным средствам оценки параметров радиосигналов во встроенных системах контроля (ВСК) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Проведен аналитический обзор основных методов определения параметров радиосигналов. Сформулированы задачи уменьшения величины погрешности при определении частоты и среднеквадратического значения (СКЗ) радиосигнала во временной области с использованием методов интерполяции, интегрирования и сглаживающих оконных функций (ОФ).

Во второй главе разработаны методики и алгоритмы определения по короткой выборке параметров гармонического сигнала во временной

области, основанные на цифровой обработке массива данных мгновенных значений, с использованием интерполяционного ряда Котельникова. Для сокращения программного кода осуществлено объединение разработанных алгоритмов оценки частоты и СКЗ радиосигнала, в которых использованы методы сглаживающих оконных функций фиксированной длительности, принципы интегрирования, усреднения и многоуровневого интерполирования при оценке частоты. Применено полунатурное имитационное моделирование, при котором имитируется измеряемый сигнал с искажениями или без них (формируется выборка, которая должна получаться на выходе АЦП). Измерительная часть реализует работу встроенной системы контроля в соответствии с разработанными алгоритмами.

В третьей главе предложены 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 и демодуляции сигнала по СКЗ. Для повышения быстродействия и сокращения программного кода осуществлено объединение разработанных алгоритмов оценки параметров модуляции, в которых использованы методы скользящих оконных функций, принципы интегрирования, одноуровневого и многоуровневого интерполирования при оценке несущей и модулирующей частот.

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.

В заключении приведены основные результаты исследований.

## Новизна научных положений

Научная новизна состоит в разработанных методиках и интерполяционных алгоритмах оценки параметров радиосигналов по ограниченному массиву дискретных значений с использованием временного сглаживающего окна, методов интерполяции, интегрирования, многоуровневой и одноуровневой интерполяции и усреднения. Данные алгоритмы легли в основу созданных автором программ, позволяющих 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. Для повышения быстродействия и сокращения программного кода было осуществлено объединение алгоритмов определения частоты и СКЗ гармонического сигнала во временной области.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

1. Разработаны алгоритмы определения во временной области параметров гармонического сигнала по малой выборке, позволяющие оценить СКЗ и частоту сигнала с приемлемой методической погрешностью от сотых долей до 1%.

2. Разработаны алгоритмы определения во временной области параметров амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных сигналов по малой выборке, позволяющие оценить СКЗ и частоты несущего и модулирующего сигнала с приемлемой методической погрешностью от сотых долей до 1%.

3. Объединение алгоритмов определения СКЗ, коэффициента АМ, несущей и модулирующей частот амплитудно-модулированного и амплитудно-манипулированного сигналов позволило сократить общий программный код и повысить общее быстродействие.

4. Создан комплекс программ для моделирования и оптимизации параметров ЦОС при исследованиях и инженерных расчетах параметров радиосигналов по ограниченному массиву данных, позволяющий выбирать

временное сглаживающее окно, частоту дискретизации, объем выборочных данных и коэффициент интерполяции.

Можно констатировать, что все научные положения, выводы и рекомендации в диссертации Руфова Александра Андреевича «Интерполяционные алгоритмы определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений» новы и имеют теоретическую и практическую ценность.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и их достоверность**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и их достоверность подтверждаются корректным применением математического аппарата и результатами имитационного полунатурного моделирования, достаточным числом научных публикаций, свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, обсуждением диссертации на различных Международных и Российских научно-технических конференциях.

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В 4 главе недостаточно подробно описана методика имитационного полунатурного моделирования.
2. Недостаточно подробно рассмотрена зависимость точности определения параметров амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных сигналов по малой выборке влияющих факторов от различных шумов и помех.
3. По тексту диссертации есть помарки и опечатки.

### **Выводы**

Диссертация А.А. Руфова "Интерполяционные алгоритмы определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений" является законченной научной работой. Диссертация соответствует п. 4 пас-

порту специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

В диссертации решена актуальная задача, имеющая значение для систем связи, а именно: уменьшение погрешности определения параметров радиосигнала в условиях искажений по ограниченному массиву дискретных значений во временной области с использованием интерполяционного преобразования Котельникова. Диссертационная работа удовлетворяет критериям, изложенным в п.9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа "Интерполяционные алгоритмы определения параметров радиосигнала по ограниченному массиву дискретных значений" оценивается положительно, а ее автор Руфов Александр Андреевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Заведующий кафедрой «Автоматика и управление»

канд. техн. наук

601910, г. Ковров, ул. Маяковского, 19

ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А.Дегтярева»

тел. (49232)5-66-60, e-mail: [aiu@dksta.ru](mailto:aiu@dksta.ru)



Карпенков Андрей Сергеевич

Подпись канд. техн. наук Карпенкова А.С. заверяю:  
Начальник отдела кадров



Пустовалова Н.Г.