

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук

Исакевича Валерия Викторовича

на диссертацию Аль Рубеи Мохаммеда Абдалаббаса Тавфика

“Разработка и исследование интерполяционных алгоритмов оценки

отклонения частоты гармонического сигнала”, представленную

на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

“2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций”

### Актуальность темы диссертации

Современные устройства телекоммуникаций (УТК) становятся все более сложными, они содержат в своей структуре средства встроенного контроля основных технических характеристик, среди которых, как правило, присутствует частота гармонического сигнала, которую необходимо измерять в реальном времени с заданной погрешностью от  $10^{-9}$  до  $10^{-2}$ .

Диссертация “Разработка и исследование интерполяционных алгоритмов оценки отклонения частоты гармонического сигнала” посвящена важной научно-технической задаче развития базы вычислительных методов оценки частоты сигнала в УТК. Совершенствование УТК требует гибкости встраиваемых средств контроля и мониторинга. Соискатель справедливо полагает, что достичь желаемого можно на основе методологии виртуальных приборов, которые унифицированы на аппаратном и программно-алгоритмическом уровне. На основе компьютерных технологий достигается существенное снижение стоимости аппаратных средств контроля, что в современных условиях конкуренции и борьбы за рынки сбыта чрезвычайно важно.

### Содержание диссертации

*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. Поставлена задача развития алгоритмов путем моделирования и модернизации уравнения интерполяции.

*В первой главе* проведен аналитический обзор основных методов определения частоты, сформулированы задачи уменьшения величины погрешности. Анализируется состояние и пути развития алгоритмических методов измерения отклонения частоты гармонического сигнала по его спектру. Рассмотрены алгоритмы интерполяции по двум и трем компонентам спектра, предложен перспективный алгоритм спектрально-весаого метода.

*Во второй главе* разработаны методики и алгоритмы определения по короткой выборке параметров гармонического сигнала, основанные на цифровой обработке массива данных мгновенных значений. 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* приведены результаты моделирования алгоритма оценки отклонения частоты гармонического сигнала спектрально-весаого методом.

Исследовано влияние вида оконной функции, объема выборки и числа спектральных линий на погрешность оценки частоты, а также применение окна Кайзера для определения частоты гармонического сигнала спектрально-весаого методом. Исследовано влияние аддитивного шума на величину методической погрешности оценки частоты, влияние порядка начального момента на погрешность.

*В четвертой главе* приведено описание интерактивной компьютерной программы «Оценка отклонения частоты гармонического сигнала спектрально-весаого методом». Приведен «Комплексный алгоритм оценки уровня и частоты гармонического сигнала на базе преобразования Фурье».

Представлена «Методика выбора оконной функции» и «Методика проектирования встроенной системы контроля отклонения частоты передатчика радиостанции УКВ».

В приложениях представлены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы, дипломы, сертификаты, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Научная новизна и практическая значимость** диссертационной работы состоит в развитии алгоритмических методов определения частоты гармонического сигнала:

1. Предложено и экспериментально доказано, что методику оценки начального момента случайной величины с выбором его порядка следует использовать для определения энергетического центра спектра.
2. Созданы программные средства оценки методической погрешности определения частоты по дискретным отсчетам, которые позволяют оптимизировать выбор оконной функции и параметров цифровой обработки: число спектральных линий, число отсчетов, отношение частоты сигнала к частоте дискретизации  $F_c/F_d$ , порядок начального момента.
3. Созданный пакет компьютерных программ позволил методами моделирования создать для разных оконных функций библиотеку рекомендаций с указанием достижимых границ минимальной методической погрешности.
4. Разработан алгоритм определения положения центра спектра «Спектрально-весовым методом» по двум наибольшим составляющим спектра для окна Кайзера ( $\beta=2$ ), вносящий меньшие методические погрешности, чем известные алгоритмы Ли и Джайна.
5. Исследованы алгоритмы определения положения центра спектра путем интерполяции по трем компонентам для окна Блекман-Харриса,



вносящий меньшие методические погрешности, чем известные алгоритмы Якобсена, Динга, Воглеведе.

6. Моделирование показало, что алгоритм определения частоты «Спектрально-весовым методом» при работе с любым числом спектральных линий и использовании универсального окна Кайзера вносит минимальные значения МСП:

- при отношении сигнал/шум равном 30 (дБ) для 16 отсчетов и 3-х компонент МСП на уровне  $10^{-3}$ , а для 512 отсчетов и 5-и компонент - МСП на уровне  $10^{-7}$ ;
- при увеличении отношения сигнал/шум для большего числа учитываемых компонент спектра, числа отсчетов и периодов сигнала достижимыми становятся МСП на уровне  $10^{-8} \dots 10^{-10}$ ;
- графики МСП имеют пологие, близкие к нулевому уровню зоны рабочих частот сигнала, в которых можно на порядок снизить МСП.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации подтверждены представлением полученных результатов на научных конференциях, а также компьютерным моделированием, демонстрирующим эффективность предложенных алгоритмов и методов определения отклонения частоты гармонического сигнала.

#### Публикации по работе

По материалам диссертаций опубликовано 25 работ; из них 6 докладов на международных конференциях (три доклада в журнале AIP Conf., индексируемом SCOPUS), одна статья в журнале Ирака и 11 статей в журналах, рекомендованных ВАК; получены четыре свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Результаты работы внедрены на кафедре Радиотехники и радиосистем ВлГУ в учебный процесс по дисциплине «Встраиваемые системы контроля РЭС», а также в учебный процесс Технического университета Аль-Фурат Аль-

Аусат и будут использоваться студентами Технического института Наджафа, факультета коммуникационных технологий Ирака.

### **Список замечаний:**

1. Не понятно, почему рассмотренные в диссертации алгоритмы диссертант предлагает использовать во встраиваемых системах контроля частоты, а не в автономных приборах.
2. Если окно Кайзера является наилучшим, то зачем приводятся границы методической погрешности для других окон.
3. В диссертации очень много графиков и таблиц, часть которых без достаточного пояснения.
4. Не достаточно подробно рассмотрено влияние шумов.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

С поставленными задачами автор справился. Созданные программы моделирования позволили оценить возможности известных и предлагаемых методов и алгоритмов. Была проделана очень большая и весьма полезная работа, результаты которой могут быть использованы для оптимизации режимов обработки данных в задачах измерений, контроля, испытаний и мониторинга частоты в телекоммуникационных устройствах.

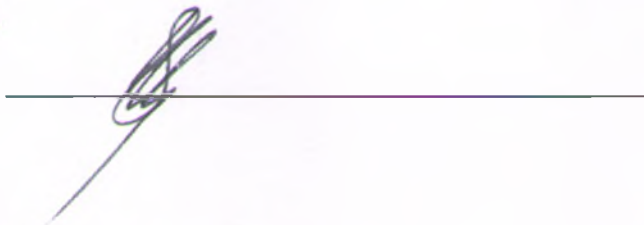
В целом работа соответствует установленным критериям и требованиям к кандидатским диссертациям. Основные научные положения обоснованы теоретически, а также подтверждены методами имитационного моделирования, они апробированы на конференциях. Диссертация представляет собой завершённое научное исследование, она хорошо оформлена, основные ее результаты и положения опубликованы в рекомендуемых ВАК изданиях.

Автореферат соответствует требованиям, основным идеям и выводам диссертации, он правильно и полно отражает ее содержание.

Считаю, что диссертация “Разработка и исследование интерполяционных алгоритмов оценки отклонения частоты гармонического

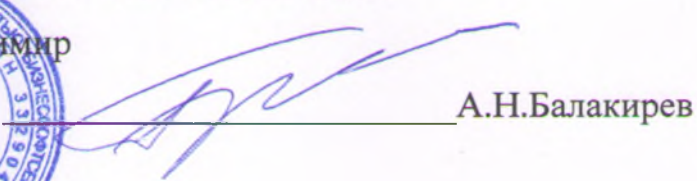
сигнала” соответствует требованиям ВАК и «Положениям о порядке присуждения ученых степеней». В ней изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значимый вклад в развитие радиоэлектронной промышленности. Таким образом, диссертационная работа “Разработка и исследование интерполяционных алгоритмов оценки отклонения частоты гармонического сигнала” удовлетворяет требованиям ВАК, (пп. 1, 2 и 20) а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 “Системы, сети и устройства телекоммуникаций”.

Исакевич Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент,  
директор по развитию Общества с ограниченной ответственностью  
«БизнесСофтСервис», г. Владимир.



*Подпись Исакевич В.В. заверяю*

Директор Общества с ограниченной ответственностью  
«БизнесСофтСервис», г. Владимир



А.Н.Балакирев