

УДК 608.2

## СИНТЕЗ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТА РАДИОВЕЩАНИЯ

Ю.С. БУРШ

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

*Поступила в редакцию 14 октября 2017*

Статья посвящена решению проблемы ускорения измерений амплитудно-частотной характеристики в современных трактах распределения программ радиовещания. Предложенное решение основано на программном синтезе сложного испытательного сигнала, позволяющего увеличить скорость и точность измерений.

*Ключевые слова:* амплитудно-частотная характеристика, аудиотракт, измерение, испытательный сигнал, преобразование Фурье, синтез.

### Введение

В системе радиовещания Республики Беларусь существует множество вариантов реализации трактов распределения программ радиовещания. Как правило, основным источником сигнала является компьютерная рабочая станция, воспроизводящая музыкальный, рекламный, новостной и другие виды эфирных материалов, заранее записанных и хранящихся в цифровом виде. Для воспроизведения используются либо цифро-аналоговый преобразователь, либо цифровой аудиоинтерфейс, подключаемый к цифровому пульту для микширования сигнала компьютера с остальными источниками звуковых сигналов. Для достижения максимального уровня качества необходимо, чтобы аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования проводились минимальное количество раз. В идеальном случае оцифрованный сигнал должен быть преобразован в аналоговый вид только на стороне слушателя. Для этого необходимо иметь инфраструктуру для распространения и обработки сигнала в цифровом виде. На данный момент ни одна из белорусских радиостанций УКВ-ЧМ диапазона не может обеспечить полностью цифровой тракт доставки сигнала до передатчика. Поэтому все радиостанции Беларуси имеют смешанную инфраструктуру, состоящую из цифровых и аналоговых звеньев.

Для определения качественных параметров таких трактов нужно учитывать специфику как цифровых, так и аналоговых звеньев. В настоящее время, для определения качественных показателей аналоговой части тракта, по методикам, описанным в стандарте ГОСТ 32182-2013, требуется прерывать основное вещание для подачи испытательных сигналов на вход тракта. При круглосуточном режиме вещания данные измерения представляется возможным проводить только во время профилактических работ на передающих средствах. На практике такие профилактические работы проводятся два раза в год в период с 9 до 15 часов. Большую часть этого времени оборудование радиотелевизионных передающих центров обесточено.

Таким образом, возникает необходимость ускорить измерения таким образом, чтобы при незаметным для слушателя проведении профилактических работ на передающем оборудовании укладываться в сжатые сроки, либо сделать возможным измерение аналоговых параметров тракта без отключения основного вещания, при этом.

## Теоретический анализ

Методика измерения параметров каналов и трактов звукового вещания регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 32182-2013. Согласно требованиям стандарта, перед началом измерений измерительную аппаратуру соединяют с измерительным каналом, трактом или звеном в соответствии со схемой измерения. Измерение всех параметров, нормируемых стандартом, проводится с помощью сигнала синусоидальной формы с заданной частотой и амплитудой [1, с. 37].

Основные преимущества испытательных синусоидальных сигналов заключаются в том, что, несмотря на наличие в измеряемых объектах элементов реактивного сопротивления, обуславливающих процессы электрического дифференцирования и интегрирования, измерительные синусоидальные сигналы проходят по всем линейным цепям без нарушения своей формы, изменяясь лишь по амплитуде и приобретая те или иные фазовые сдвиги. В нелинейных цепях также имеет место искажение синусоидальных сигналов по форме, используемое для оценки нелинейных искажений. В случае измерения параметров аудиотракта, преимущества синусоидального сигнала становятся недостатками. Нечувствительность сигнала такой формы к линейным искажениям усложняет методику и увеличивает время измерений.

Таким образом, измерения гармоническим сигналом определенных частоты и амплитуды позволяют определить параметры аудиотракта только в одной точке АЧХ, в одной точке ФЧХ и одной точке передаточной характеристики. Для ускорения измерений нужно синтезировать аудиосигнал, позволяющий с помощью быстрого преобразования Фурье получить форму амплитудно-частотной характеристики.

## Методика

Для синтеза испытательных сигналов выбран цифровой метод как наиболее гибкий, легкий в реализации, а также обеспечивающий высокую повторяемость результатов на практике. Для генерации испытательного сигнала принято решение использовать многокомпонентный сигнал, содержащий 2000 синусоидальных компонентов с нулевой начальной фазой и шагом частот 10 Гц. Частота дискретизации для всех последующих расчетов и испытаний была принята равной 48 кГц для соответствия ГОСТ 32182-2013 и совместимости с большинством современных компьютерных аудиокарт и цифровых аудиоинтерфейсов. Элементарные синусоидальные сигналы математически складываются в линейной системе, что практически недостижимо при использовании аналоговых методов обработки нелинейными активными элементами электронных схем. Кроме того, для получения такой суммы сигналов с помощью физических генераторов синусоидального сигнала их понадобилось бы 2000.

Длительность сигнала была принята равной 10 с. Форма сигнала представлена на рис. 1.

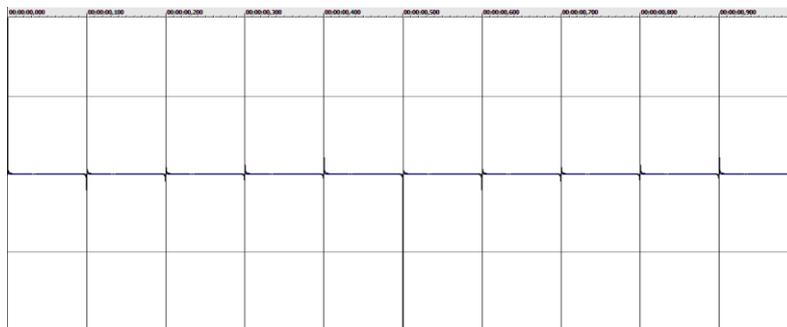


Рис. 1. Форма сигнала, синтезированного цифровым методом и отображаемого программой SoundForge

Для изучения спектрального состава данного сигнала можно использовать встроенный в SoundForge анализатор спектра, использующий прямое преобразование Фурье для получения амплитуд спектральных компонент. Для достижения наибольшего разрешения по частоте, был выбран метод построения по 65536 точкам. Состав спектра синтезированного многокомпонентного сигнала показан на рис. 2.

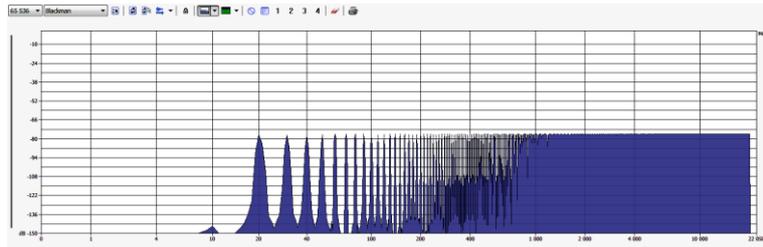


Рис. 2. Спектр синтезированного сигнала длительностью 10 с

### Экспериментальная часть

Для проверки пригодности сигнала с нулевой начальной фазой компонент для измерения АЧХ и ФЧХ в качестве исследуемого тракта использовалась модель тракта на основе цифровой эквализации, встроенный в программу SoundForge. После применения данной обработки к испытательному сигналу исследованы изменения его спектрального состава. На рис. 3, *а* показаны настройки эквалайзера, а на рис. 3, *б* – спектр испытательного сигнала после воздействия эквалайзера.

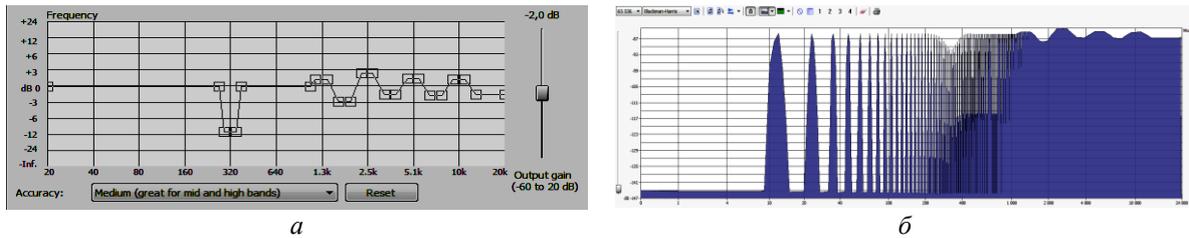


Рис. 3. Эквализация: *а* – настройка графического эквалайзера; *б* – спектр синтезированного сигнала после обработки эквалайзером

На рис. 4 показаны результаты анализа АЧХ и ФЧХ полученные с помощью программы MathCad. Графики точно показывают все искажения АЧХ и ФЧХ, внесенные алгоритмом частотной обработки. На прямоугольных графиках ФЧХ пунктирной красной линией показана АЧХ, с целью отображения взаимосвязи между этими двумя графиками. Зеленая пунктирная линия на графике показывает частоту 15 кГц, максимальную для аудиосигналов УКВ-ЧМ вещания.

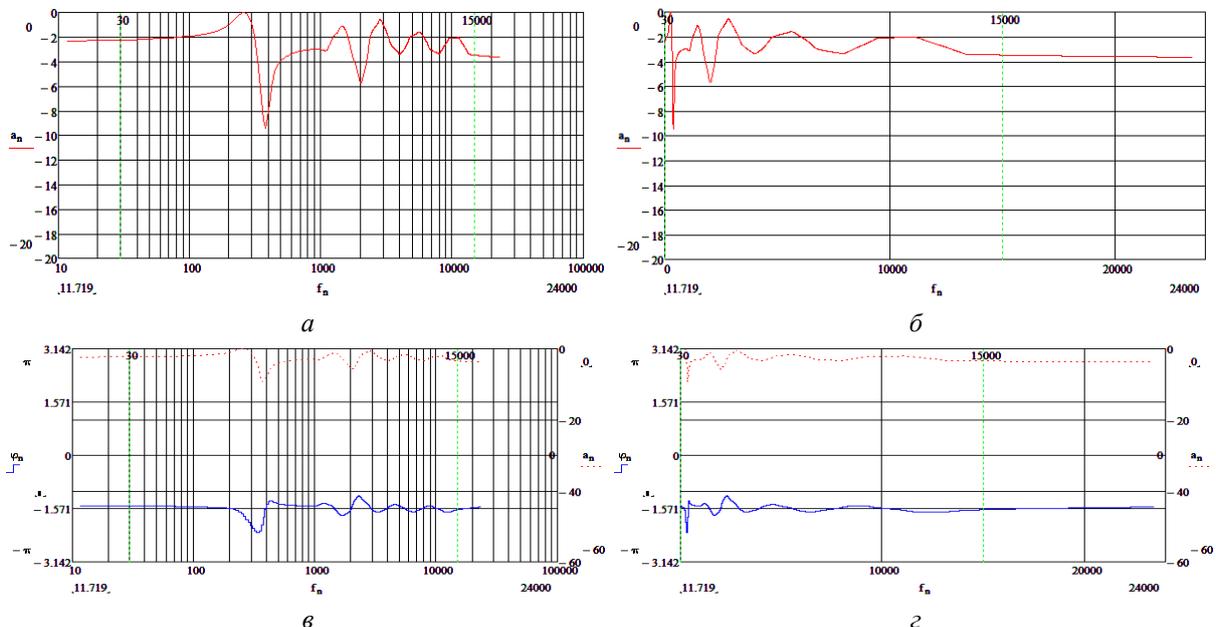


Рис. 4. Графики, построенные с помощью программы MathCad: *а* – АЧХ по логарифмической шкале частот; *б* – АЧХ по линейной шкале частот; *в* – ФЧХ по логарифмической шкале частот; *г* – ФЧХ по линейной шкале частот

## Заключение

Установлено, что синтезированный многокомпонентный испытательный сигнал с нулевой начальной фазой составляющих его компонент может быть использован для определения АЧХ и ФЧХ испытуемого тракта. Преимущества измерений, проводимых с помощью данного сигнала, по сравнению с другими существующими методами измерений следующие.

1. Возможность определять на практике сочетание АЧХ и ФЧХ за одну процедуру измерений.

2. Уменьшение времени измерения АЧХ тракта с нескольких часов до 10 с.

3. Высокая детализация результатов измерений. Результатом измерений является значения АЧХ и ФЧХ в 2000 точках всего слышимого диапазона частот, изменяющиеся с равномерным шагом.

4. Возможность организации полностью автоматизированных измерений с высокой скоростью и автоматической отбраковкой.

5. Возможность автоматизации процесса получения коэффициентов настройки цифрового фильтра, корректирующего искажения АЧХ и ФЧХ тракта.

7. Возможность масштабирования диапазона частот и шага сетки частот синтезированного испытательного сигнала для исследования любых трактов передачи.

## SYNTHESIS OF TEST SIGNALS FOR ACCELERATED MEASUREMENTS OF AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE BROADCASTING TRACK

Y.S. BURSH

### Abstract

The article is devoted to the solution of the problem of acceleration of amplitude-frequency characteristic measurements in the modern distribution paths of radio broadcasting programs. The proposed solution is based on the program synthesis of a complex test signal, which allows to increase the speed and accuracy of measurements.

*Keywords:* Fourier transform, amplitude-frequency characteristic, measurement, test signal, synthesis.

### Список литературы

1. ГОСТ 32182–2013 Каналы и тракты звукового вещания по распределению и обмену программами. Типовые структуры. Основные параметры. Методы измерений. Термины и определения М., 2013.