

В. А. ЛОШАКОВ, д-р техн. наук; С. М. БОБРИЦКИЙ, В. В. СИДОРОВ, канд. техн. наук

КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ СВЯЗИ

Введение

Качество связи, обеспечиваемое современными цифровыми системами, в значительной степени определяется параметрами трактов распространения сигналов. Поэтому вопросам прецизионного измерения отклонений параметров от заданных значений низкочастотных и высокочастотных трактов распространения и связанных с этим искажений передаваемых сигнала уделяется большое внимание [1, 2]. При этом особое место занимают вопросы анализа искажений речевого потока в средах GSM, VoIP, ISDN PRI и т.п. Для этих целей в настоящее время разработана сложная измерительная аппаратура. Однако на практике использование такой аппаратуры не всегда оправдано из-за избыточности функций, сложности эксплуатации и высокой стоимости. Поэтому создание недорогого компьютерного комплекса обеспечивающего повышенную точность анализа искажений сигналов прошедших тракт связи (в том числе и wave-файлов), допусковый контроль основных параметров каналов связи и автоматическое документирование полученных результатов, актуально.

В статье приводятся результаты разработки измерительного комплекса, в котором используются программно реализованные статистические методы измерения искажений тестового сигнала прошедшего через канал связи, а также прямые и косвенные методы допускового контроля параметров каналов связи.

Особенности статистического подхода к измерению параметров сигнала

В процессе прохождения сигнала $u(t)$ по каналу связи (рис. 1) его параметры неизбежно подвергаются специфическим для данного тракта искажениям.

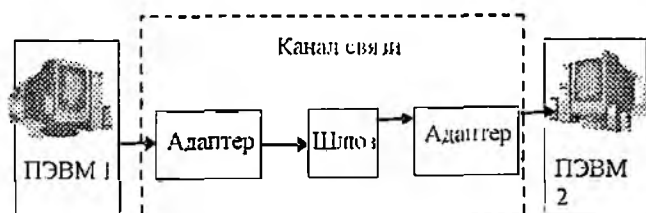


Рис 1

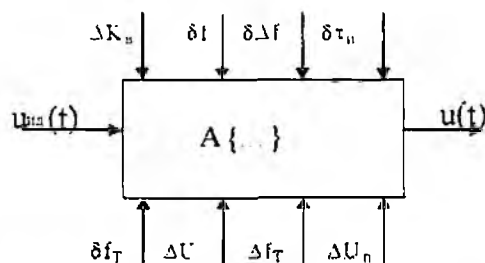


Рис 2

Предположим, что сигнал $u(t)$ есть продукт преобразования (искажения) идеального сигнала $u_{ис}(t)$ при прохождении его через некий цифро-аналоговый тракт A (рис 2). Эти искажения связаны с нестабильностью тактовой частоты δf_T , шумами квантования ΔU и дискретизации Δf_T , шумами питающих напряжений ΔU_n , ошибками восстановления ΔK_B , отклонениями центральной частоты δf изменениями ширины спектра $\delta \Delta f$, фазы $\delta \phi_0$ и группового времени запаздывания $\delta \tau$ передаваемых сигналов в каналах тональной частоты и др.

Таким образом, исследуемый тракт преобразует идеальный (тестовый) сигнал $u_{ис}(t)$ в соответствии с некоторым оператором A

$$u(t) = A\{u_{ис}(t), \Delta K(t), \Delta T(t), \Delta f(t)\}, \quad (1)$$

где $\Delta K(t)$ – функция, характеризующая нестабильности параметров функциональных узлов, $\Delta T(t)$, $\Delta f(t)$ – функции, характеризующие искажения временных и частотных параметров.

Статистическую оценку отличия искаженного сигнала $u(t)$ от идеального $u_{ис}(t)$, т.е. косвенную интегральную оценку уровня искажений, удобно проводить сравнением нормированных автокорреляционной функции (АКФ) идеального и взаимно корреляционной функции (ВКФ) искаженного с идеальным сигналом.

$$\rho_B(\tau) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} u_c(t-\tau) u_{ид}^*(t) dt = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} [u_c(t-\tau) + \Delta u(t-\tau)] u_{ид}^*(t) dt = \rho_A(\tau) + \Delta\rho(\tau), \quad (2)$$

где $E = \int_0^{\tau_c} |u_c(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G_c(\omega)|^2 d\omega$ – энергия идеального сигнала, $\Delta\rho(\tau)$ – разность между ВКФ и АКФ.

Функция $\Delta\rho(\tau)$ или ее дискретное представление $\Delta\rho(i)$ может быть принята за интегральный показатель качества передачи сигналов. При этом для количественной оценки искажений сигналов в каналах связи удобно использовать ее среднеквадратическое значение – среднеквадратическую ошибку (СКО) [3, 4]

$$\varepsilon_{\Delta\rho}^2 = \frac{1}{N} \sum_i (\Delta\rho(i))^2. \quad (3)$$

На практике часто необходимо знать не конкретные величины искажений, а то, не выйдут ли они за допуск. Статистический подход позволяет оперативно ответить на данный вопрос путем сравнения АКФ тестового (пунктирная линия на рис. 3) и ВКФ исследуемого с тестовым сигналами (сплошная линия на рис. 3).

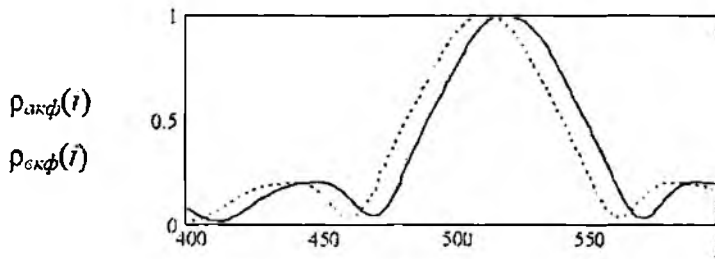


Рис. 3

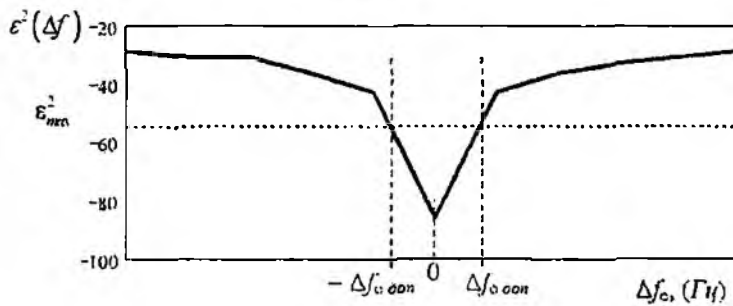


Рис. 4

С помощью выражения (3) отдельно рассчитываются зависимость СКО от величины отклонения соответствующего параметра передаваемого сигнала.

Вид функции $\varepsilon^2(\Delta f)$, например для отклонений центральной частоты, представлен на рис. 4. На этом же рисунке пунктирной линией обозначены максимально допустимые значения отклонения центральной частоты $\pm\Delta f_{\text{доп}}$ и нормированная среднеквадратическая ошибка $\varepsilon_{\text{max}}^2$, которая характеризует уровень максимального среднеквадратического отклонения и представляет собой верхнюю границу поля допуска

Алгоритмы работы измерительного комплекса

Алгоритмы работы рассмотрим на примере измерения параметров тестового ЛЧМ сигнала, прошедшего через исследуемый тракт. Измерительный комплекс должен определять степень расхождения этих сигналов. Требуемая точность измерения определяется коэффициентом точности $K_T = \Delta_\varepsilon / \delta_\varepsilon$, $\Delta_\varepsilon = \delta_\varepsilon / \delta_u \geq 3$, где Δ_ε и δ_ε – допустимое и среднеквадратическое значения поля допуска параметра формируемого сигнала, Δ_u и δ_u – допустимый предел и среднеквадратическое значение ошибки измерений параметра [5]

Входными данными при реализации алгоритма *прямых измерений* является массив мгновенных значения исследуемого сигнала прошедшего через исследуемый тракт

В верхней части рис. 5 представлена временная реализация тестового сигнала (ЛЧМ колебания) прошедшего исследуемый тракт. Точность измерения временных параметров определяется частотой дискретизации (тактовой частотой работы АЦП). В зависимости от исследуемого тракта выбирается тактовая частота АЦП и соответственно точность измерения временных параметров. В нижней части рис. 5 представлен спектр сигнала прошедшего через исследуе-

мый тракт. В программе реализован алгоритм дискретного преобразования Фурье. Временной диапазон анализа выбирается в верхней части рис. 5 установкой курсора начала и конца импульса. Частотный диапазон устанавливается на панели анализатора спектра. Точность определяется установкой шага по частоте.

Математическое моделирование и испытание по тестовому сигналу показали, что прямые методы позволяют измерять с требуемой высокой точностью только запаздывание в тракте и неравномерность АЧХ выходного сигнала. При малых изменениях других параметров метод прямых измерений не обеспечивает необходимой повышенной точности. Это обусловило использование косвенных статистических методов для измерения малых изменений параметров тракта.

В основу *косвенного метода* положена статистическая оценка разности идеального (тестового) и измеряемого сигналов на выходе дифференцирующего четырехполосника (ДЧ). Сигнал на выходе ДЧ

$$U_{ДЧ}(t) = \cos(\beta t - t + \omega_0 t_2 + \beta t_2^2),$$

где t_2 — время задержки (см. рис. 6) несет информацию о скорости изменения частоты β и значении центральной частоты ω_0 . При программной реализации ДЧ находим $U_{ДЧ}(i)$ и $U_{ДЧР}(i)$ (для идеального и реального сигналов) и функцию рассогласования

$$\Delta p(i) = U_{ДЧР}(i) - U_{ДЧ}(i), \quad (4)$$

где $U_{ДЧ}(i)$ — дискретный сигнал биений идеального сигнала (рис. 6), $U_{ДЧР}(i)$ — дискретный сигнал биений реального сигнала. По соотношению (3) находим среднеквадратическую ошибку. Пример измеренной АЧХ тракта приведен на рис. 6.

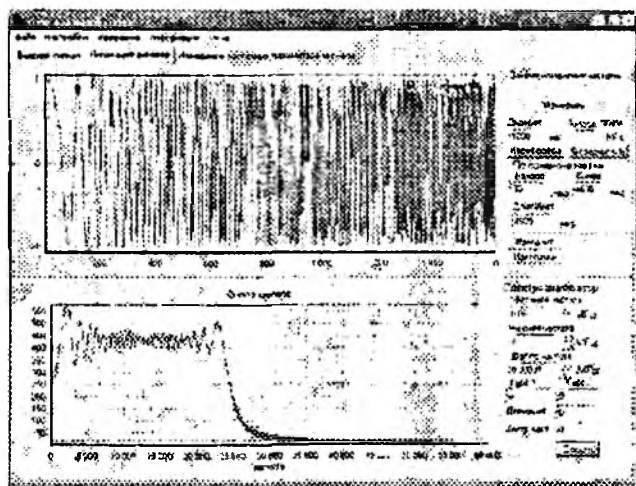


Рис 5

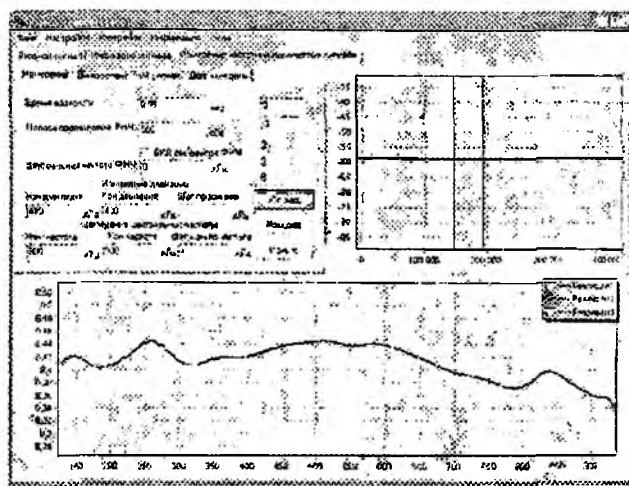


Рис 6

Измерительный комплекс состоит из аппаратной и программной частей (рис. 7). Аппаратная часть (штриховая линия) выполняет функции интерфейса между каналом связи и программной частью комплекса. Аппаратная часть состоит из согласующего усилителя, АЦП, буферного ОЗУ, блока синхронизации и системы ФАПЧ, выполняющей (в случае необходимости формирования тестового сигнала в заданном диапазоне частот) функции высокоэффективного преобразующего активного следящего фильтра опорного колебания с выхода звуковой карты. При исследовании, например, каналов связи тональной частоты нет необходимости преобразования сигнала на высокую частоту. В этом случае достаточно сформировать тестовый сигнал на выходе звукового канала ПЭВМ1 и принять звуковой сигнал на входе звукового канала ПЭВМ2 (см. рис. 1, 7).

Программа позволяет измерять временные и частотные параметры тестового сигнала, прошедшего исследуемый тракт. С использованием программно реализованного анализатора спектра грубо анализируется спектр тестового сигнала, прошедшего исследуемый тракт. Более точный анализ искажений тестового сигнала проводится косвенным методом дифференцирующего четырехполосника. Встроенный программный имитатор сигналов позволяет

имитировать практически любые тестовые сигналы. С помощью этих сигналов проводится также тестирование измерительного комплекса. Предусмотрена также возможность анализа wave-файлов с ранее записанными реализациями тестовых сигналов на выходе исследуемого канала связи

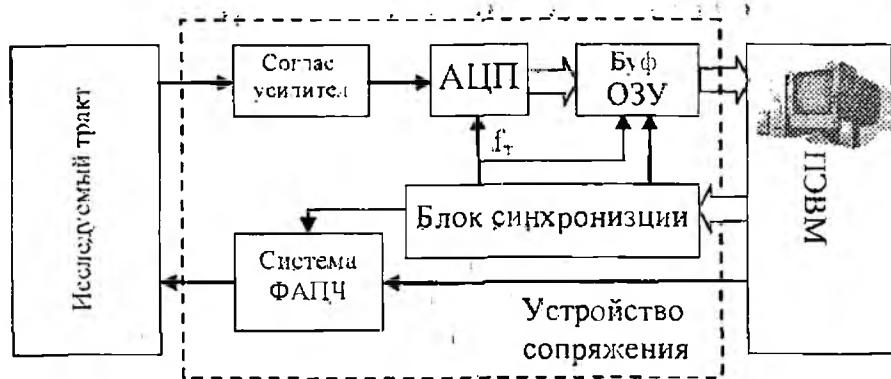


Рис 7

Программная часть измерительного комплекса реализована с использованием объектно-ориентированного языка программирования под операционную систему Windows и имеет удобный интерфейс взаимодействия измерительного комплекса с пользователем.

Выводы

1. Предложенный измерительный комплекс позволяет заменить сложные измерительные стенды при обеспечении повышенной точности измерений.
2. Прямые методы измерения целесообразно использовать для измерения искажений спектров тестовых сигналов (АЧХ трактов), а также времени группового запаздывания.
3. Повышение точности обеспечивается за счет использования косвенных методов измерений путем накопления статистической информации о структуре тестового сигнала прошедшего канал связи.
4. Испытания подтвердили возможность осуществления как допускового контроля каналов связи по совокупности параметров, так и измерений с заданной точностью отдельных параметров сигналов и каналов связи.

Список литературы: 1. *Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Справочник.* Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с. 2. *Ф. В. Кушнир* и др. *Измерения в технике связи.* М.: Связь, 1976. 462 с. 3. *Фалькович С. Е.* Оценка параметров сигналов. М.: Сов. радио, 1970. 336 с. 4. *Кондратьев С. Л., Карпин Ю. В.* О корреляционной оценке качества канала связи. *Радиотехника* 1972. Т. 27. № 3. С. 93–95. 5. *Батулин Н. Г.* и др. *Измерения параметров линейно-частотно-модулированных сигналов и их нестабильностей.* Ярославль: Изд-во ООО «Торговая фирма НОРД», 2004. 176 с.

Харьковский национальный университет радиотехники

Поступила в редколлегию 07.10.2008