

УДК 621.317.2

А. И. ЗАИКО, О. Н. НАГАЕВ

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ТЕОРИИ СИГНАЛОВ

Рассматриваются опыт и перспективы применения, преимущества и отличительные особенности виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ по теории случайных и детерминированных сигналов. Приводятся алгоритмы измерения и оценки их погрешностей. Описывается реализация виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ. *Виртуальный; лабораторные работы; теория сигналов; оценка погрешностей*

Устойчивой тенденцией для естественно-научных дисциплин становится уменьшение объема лабораторных занятий. Одновременно в образовательных стандартах увеличивается количество навыков и умений, которыми должны овладеть студенты. Они разбросаны по различным дисциплинам и курсам, а применяться должны на конкретных лабораторных занятиях и в сжатые сроки. Усложняются эксперименты, увеличивается их длительность и стоимость используемого оборудования. Развиваются современные технологии обучения: дистанционное и открытое образование. Удовлетворить этим требованиям и тенденциям в рамках традиционных образовательных технологий не удастся.

На кафедре теоретических основ электротехники разработаны и в течение семи последних лет используются при изучении и исследовании случайных и детерминированных сигналов виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы, учитывающие указанные факторы.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ВИРТУАЛЬНЫХ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы называются виртуальными потому, что при их выполнении не нужно собирать электрические цепи, измерять токи и напряжения. Все необходимые эксперименты и измерения проведены заранее. При выполнении такой виртуальной лабораторной работы осуществляется имитация эксперимента таким образом, что каждый выполняющий данную работу чувствует се-

бя очевидцем и даже участником эксперимента, как если бы он проводился и обрабатывался одновременно у него на глазах. Такая возможность появилась благодаря развитию компьютерной техники и технологии.

Учебно-исследовательскими лабораторные работы названы потому, что позволяют не только изучить свойства электрических сигналов, но и исследовать влияние параметров алгоритмов измерений (например, шага дискретизации, объема выборки, интервала группирования и т. д.) на достоверность измеряемых характеристик. Такие лабораторные работы позволяют не только получить знания, но и развивают навыки исследователя, учат планировать эксперимент, оценивать достоверность результатов измерений и корректно их обрабатывать.

Использование компьютера позволяет применить к одному и тому же сигналу различные алгоритмы обработки с различными параметрами, а затем сравнить полученные результаты. Компьютер дает возможность сделать процесс обработки сигнала максимально наглядным, удобным для восприятия студента. Все вычисления параметров сигнала, заполнение таблиц, построение графиков осуществляет компьютер, что освобождает студента от рутинной работы и предоставляет время для более полного и глубокого осмысления теоретических закономерностей и полученных зависимостей. Отчет по лабораторной работе формируется студентом на компьютере, а затем распечатывается. Графики, таблицы и рисунки заносятся в отчет автоматически. Студент вводит только комментарии к ним и делает выводы по работе.

Использование виртуальных лабораторных работ позволило избежать применения специализированных приборов для обработки сигналов: осциллографов, спектрометров, коррелометров, характернографов, анализаторов распределений и др. Такие приборы дороги, сложны в эксплуатации, результаты измерений не представляются ими в наглядной форме, параметры и алгоритмы анализа жестко заданы и не могут быть изменены для сравнения получаемых результатов. Такие приборы не позволяют наблюдать процесс накопления статистических данных, динамику изменения вероятностных характеристик сигналов. Они не дают оценку достоверности измеряемых параметров сигналов и, как правило, не позволяют производить эксперименты, измерения и статистическую обработку с разделением во времени. Длительность выполнения лабораторной работы уменьшается из-за отсутствия этапов сборки, проверки схемы, при этом исключается возможность повреждения дорогостоящего оборудования.

Математические программы для персональных компьютеров, осуществляющие статистический анализ: MatLab, MathCad, Mathematica, Maple и др., — не позволяют оцифровывать сигнал и реализуют классические алгоритмы анализа. Они не отображают динамику накопления статистической информации и не наглядны для изучения свойств сигналов. Такие пакеты **не дают оценку достоверности** измеряемых параметров сигналов. Для устранения этих недостатков необходимо создавать в пакетах дополнительные функции. Кроме того, эти пакеты громоздки, содержат большое количество не используемых возможностей. Для работы с ними необходимо предварительно обучать студентов.

Получаемые в процессе выполнения виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ характеристики сигналов сопровождаются указанием их погрешностей. При этом используется 30-летний опыт работы коллектива в области метрологического обеспечения информационно-измерительных систем для испытания аэрокосмической техники. Благодаря этому достоверность результатов измерений превращается из качественной характеристики в количественную и появляется реальная возможность оптимально, с научной точки зрения планировать измерительный эксперимент.

Оценка достоверности получаемых характеристик осуществляется на основе **комплексного подхода** к определению погрешностей информационно-измерительных си-

стем. Сущность такого подхода заключается в том, что погрешность информационно-измерительной системы рассматривается как единое и неделимое целое, трансформирующееся при изменении режимов измерений, алгоритмов обработки измерительной информации и условий эксплуатации [1]. Применительно к решаемым в лабораторных работах задачам он впервые изложен в [2] и развит затем в [3, 4]. Комплексный подход к определению погрешностей информационно-измерительных систем свободен от суммирования элементарных погрешностей, которое не может быть выполнено корректно.

При подготовке виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ учтен также более чем 20-летний опыт проведения учебно-исследовательских лабораторных работ по ТОЭ [5]. В них также использованы основы статистической теории электрических цепей, которые рассматриваются как раздел курса ТОЭ [6, 7].

Виртуальные лабораторные работы хорошо вписываются в современные технологии обучения и пригодны для использования в дистанционном и открытом образовании [20].

АЛГОРИТМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ

При измерении характеристик цифровым методом сигнал $x(t)$ дискретизируется во времени и квантуется по уровню [8]. Он заменяется дискретной последовательностью x_{ij} , где i — номер отсчета, $i = 1, 2, \dots, n$, а j — номер отметки шкалы, $j = 1, 2, \dots, J$. Измерение характеристик сигнала осуществляется с применением эргодического свойства этого сигнала.

Для построения одномерных плотностей вероятностей отсчеты x_{ij} группируются вокруг центров x_k с интервалом группирования 2δ , и подсчитывается количество отсчетов n_k , удовлетворяющих неравенству

$$x_k - \delta \leq x_{ij} \leq x_k + \delta,$$

где x_k — центр группирования отсчетов x_{ij} .

Частота $\langle P(x_k) \rangle$ появления отметки x_k равна

$$\langle P(x_k) \rangle = \frac{n_k}{n},$$

где n — количество отсчетов.

Уравнение одномерной гистограммы $\langle w_1[X] \rangle$ имеет вид [8, 9]

$$\langle w_1[X] \rangle = \begin{cases} \langle P(x_k) \rangle / (2\delta), & x_k - \delta \leq X \leq x_k + \delta; \\ 0 & \text{— в остальных случаях.} \end{cases}$$

Одномерная гистограмма изображена на рис. 1.

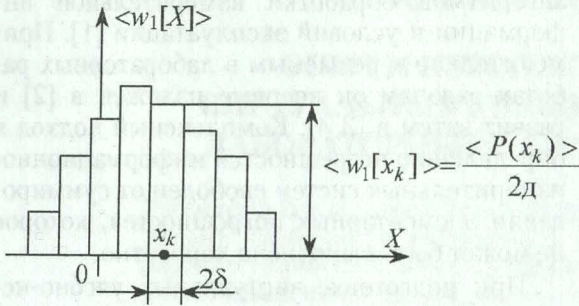


Рис. 1. Гистограмма одномерной плотности распределения вероятностей ($w_1[X]$)

По данным одномерной гистограммы рассчитывают оценки математического ожидания $\langle m_x \rangle_{\text{гист.1}}$, дисперсии $\langle D_x \rangle_{\text{гист.1}}$, коэффициентов асимметрии $\langle k_{\text{ас}} \rangle_{\text{гист.1}}$ и эксцесса $\langle k_{\text{экс}} \rangle_{\text{гист.1}}$ сигнала [14]:

$$\begin{aligned} \langle m_x \rangle_{\text{гист.1}} &= \sum_{k=0}^K x_k \langle P(x_k) \rangle; \\ \langle D_x \rangle_{\text{гист.1}} &= \sum_{k=0}^K (x_k - \langle m_x \rangle_{\text{гист.1}})^2 \langle P(x_k) \rangle; \\ \langle k_{\text{ас}} \rangle_{\text{гист.1}} &= \frac{\sum_{k=0}^K (x_k - \langle m_x \rangle_{\text{гист.1}})^3 \langle P(x_k) \rangle}{\langle D_x \rangle_{\text{гист.1}}^{3/2}}; \\ \langle k_{\text{экс}} \rangle_{\text{гист.1}} &= \frac{\sum_{k=0}^K (x_k - \langle m_x \rangle_{\text{гист.1}})^4 \langle P(x_k) \rangle}{\langle D_x \rangle_{\text{гист.1}}^2} - 3, \end{aligned}$$

где K — количество интервалов группирования.

Для построения двумерной плотности распределения вероятностей задаются временным сдвигом между коррелируемыми отсчетами сигнала $\tau = \mu T_0$, где T_0 — шаг дискретизации сигнала, $\mu = 1, 2, \dots, M$ — дискретное значение интервала τ , и интервалом группирования 2δ . Затем подсчитывают количество отсчетов n_{kl} , удовлетворяющих неравенствам

$$\begin{aligned} x_k - \delta &\leq x_{ij} \leq x_k + \delta, \\ x_l - \delta &\leq x_{(i+\mu)j} \leq x_l + \delta, \end{aligned}$$

где точка (x_k, x_l) является центром группирования на плоскости X_1, X_2 .

Частота выпадения точки (x_k, x_l)

$$\langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle = \frac{n_{kl}}{n},$$

где n — количество отсчетов.

Уравнение двумерной гистограммы имеет вид [14]

$$\langle w_2[X_1, X_2, \mu] \rangle = \begin{cases} \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle / (2\delta)^2, & x_k - \delta \leq X_1 \leq x_k + \delta, \\ & x_l - \delta \leq X_2 \leq x_l + \delta; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Двумерная гистограмма изображена на рис. 2.

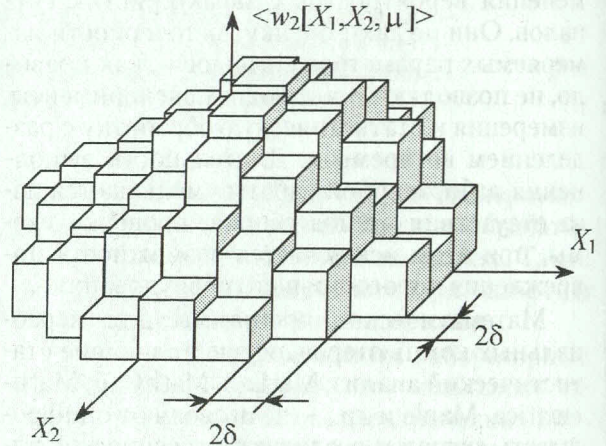


Рис. 2. Гистограмма двумерной плотности распределения вероятностей ($w_2[X_1, X_2, \mu]$)

По данным двумерной гистограммы рассчитывают оценки математического ожидания $\langle m_x \rangle_{\text{гист.2}}$, дисперсии $\langle D_x \rangle_{\text{гист.2}}$, корреляционной $\langle R_x(\mu T_0) \rangle_{\text{гист.2}}$ и ковариационной $\langle B_x(\mu T_0) \rangle_{\text{гист.2}}$ функций сигнала [14]:

$$\begin{aligned} \langle m_x \rangle_{\text{гист.2}} &= \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K x_k \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle \\ &= \sum_{l=1}^K \sum_{k=1}^K x_l \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle D_x \rangle_{\text{гист.2}} &= \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K (x_k - \langle m_x \rangle_{\text{гист.2}})^2 \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle = \\ &= \sum_{l=1}^K \sum_{k=1}^K (x_l - \langle m_x \rangle_{\text{гист.2}})^2 \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle R_x(\mu T_0) \rangle_{\text{гист.2}} &= \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K (x_k - \langle m_x \rangle_{\text{гист.2}}) \times \\ &\quad \times (x_l - \langle m_x \rangle_{\text{гист.2}}) \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle; \end{aligned}$$

$$\langle B_x(\mu T_0) \rangle_{\text{гист.2}} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K x_k x_l \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle,$$

где K — количество интервалов группирования по каждому измерению двумерной гистограммы.

Погрешности оценок, рассчитанных по данным одномерной и двумерной гистограмм, определяются как:

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{гист.1}} &= \langle m_x \rangle_{\text{гист.1}} - m_x; \\ \Delta D_{\text{гист.1}} &= \langle D_x \rangle_{\text{гист.1}} - D_x; \\ \Delta k_{\text{ас гист.1}} &= \langle k_{\text{ас}} \rangle_{\text{гист.1}} - k_{\text{ас}}; \\ \Delta k_{\text{экс гист.1}} &= \langle k_{\text{экс}} \rangle_{\text{гист.1}} - k_{\text{экс}}; \\ \Delta m_{\text{гист.2}} &= \langle m_x \rangle_{\text{гист.2}} - m_x; \\ \Delta D_{\text{гист.2}} &= \langle D_x \rangle_{\text{гист.2}} - D_x; \\ \Delta R_{\text{гист.2}} &= \langle R_x(\mu T_0) \rangle_{\text{гист.2}} - R_x(\mu T_0); \\ \Delta B_{\text{гист.2}} &= \langle B_x(\mu T_0) \rangle_{\text{гист.2}} - B_x(\mu T_0), \end{aligned}$$

где $\Delta m_{\text{гист.1}}$, $\Delta D_{\text{гист.1}}$, $\Delta k_{\text{ас гист.1}}$, $\Delta k_{\text{экс гист.1}}$ — погрешности математического ожидания, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса соответственно, рассчитанных по одномерной гистограмме, построенной с определенными значениями числа отсчетов, шага дискретизации и интервала группирования данных; $\Delta m_{\text{гист.2}}$, $\Delta D_{\text{гист.2}}$, $\Delta R_{\text{гист.2}}$, $\Delta B_{\text{гист.2}}$ — погрешности математического ожидания, дисперсии, корреляционной и ковариационной функций сигнала соответственно, рассчитанных по двумерной гистограмме, построенной с определенными значениями числа отсчетов, шага дискретизации, интервала группирования и временного сдвига между коррелируемыми отсчетами; m_x , D_x , $R_x(\mu T_0)$, $B_x(\mu T_0)$, $k_{\text{ас}}$, $k_{\text{экс}}$ — действительные значения математического ожидания, дисперсии, корреляционной и ковариационной функций, коэффициентов асимметрии и эксцесса соответственно, рассчитанные по всем отсчетам сигнала и по оригинальным алгоритмам [10–13] с учетом коррелированности отсчетов при наименьших погрешности квантования и шаге дискретизации, а также максимальной длительности реализации.

По погрешностям оценок можно судить о точности построенных гистограмм и сравнивать их между собой.

ВЫБОР ВРЕМЕНИ ИЗМЕРЕНИЯ

При построении гистограммы сигнала для определения момента окончания изме-

рения предлагается контролировать среднеквадратичное отклонение изменения частоты столбцов гистограммы. Если такое отклонение меньше определенного, наперед заданного значения в течение нескольких периодов его расчета, то принимается решение об окончании измерения. Период расчета может быть выбран произвольно, но для минимизации времени измерения среднеквадратическое отклонение нужно рассчитывать после обработки каждого поступившего отсчета сигнала [15, 16].

Для одномерных гистограмм среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\text{гист.1}}$ определяется как [15]

$$\sigma_{\text{гист.1}} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (\Delta \langle P(x_k) \rangle_n)^2},$$

где $\Delta \langle P(x_k) \rangle_n = \langle P(x_k) \rangle_n - \langle P(x_k) \rangle_{n-1}$ — разность частотей k -го столбца одномерной гистограммы n и $(n-1)$ -го расчета $\sigma_{\text{гист.1}}$; $\langle P(x_k) \rangle_n$ — частота k -го столбца одномерной гистограммы при n -м расчете $\sigma_{\text{гист.1}}$; $\langle P(x_k) \rangle_{n-1}$ — частота k -го столбца одномерной гистограммы при $(n-1)$ -м расчете $\sigma_{\text{гист.1}}$.

Для двумерных гистограмм среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\text{гист.2}}$ определяется как [16]

$$\sigma_{\text{гист.2}} = \sqrt{\frac{1}{K^2} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{K-1} (\Delta \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle_n)^2},$$

где $\Delta \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle_n = \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle_n - \langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle_{n-1}$ — разность частотей kl -го столбца двумерной гистограммы n и $(n-1)$ -го расчета $\sigma_{\text{гист.2}}$; $\langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle_n$ — частота kl -го столбца двумерной гистограммы при n -м расчете $\sigma_{\text{гист.2}}$; $\langle P(x_k, x_l, \mu) \rangle_{n-1}$ — частота kl -го столбца двумерной гистограммы при $(n-1)$ -м расчете $\sigma_{\text{гист.2}}$.

РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Случайный или детерминированный сигнал предварительно оцифровывается с помощью устройства аналогового ввода для персонального компьютера и сохраняется в памяти ЭВМ. Сигнал также может генерироваться программно. При выполнении виртуальной учебно-исследовательской лабораторной работы отсчеты сигнала извлекаются из памяти компьютера, всесторонне и многократно анализируются различными методами.

Разработаны и используются пять виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ:

1. Непараметрическое исследование электрических сигналов.
2. Исследование одномерных плотностей распределения вероятностей электрических сигналов.
3. Исследование двумерных плотностей распределения вероятностей электрических сигналов.
4. Исследование моментных характеристик электрических сигналов.
5. Исследование спектральных характеристик электрических сигналов.

Работы организованы по классической форме. После выбора требуемой лабораторной работы студенту предлагается заполнить титульный лист отчета к ней. Далее главное меню на выбор предлагает один из этапов лабораторной работы: изучение теоретических сведений, изучение схемы эксперимента, изучение рабочего задания, выполнение эксперимента, оформление отчета, список рекомендуемой литературы. При выполнении работы в любой момент можно перейти к нужному этапу.

Изучение и анализ сигналов максимально визуализированы, результаты расчетов приводятся в виде таблиц, двумерных и трехмерных графиков, которые можно легко занести в отчет простым нажатием соответствующей кнопки интерфейса программы. В любой момент времени можно просмотреть формируемый отчет выбором соответствующего пункта главного меню. По окончании выполнения лабораторной работы студент вносит в отчет поясняющие надписи к рисункам, графикам и таблицам, делает выводы по работе и распечатывает отчет. Лабораторные работы позволяют наглядно показать, как неправильный выбор параметров алгоритмов измерения влияет на его результат.

К виртуальным учебно-исследовательским лабораторным работам выпущены методические указания [14]. Программа для ЭВМ, реализующая эти лабораторные работы, зарегистрирована в РОСПАТЕНТе [17].

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Целью лабораторной работы является исследование детерминированных и случайных сигналов, изучение непараметрических методов анализа основных свойств случайных сигналов.

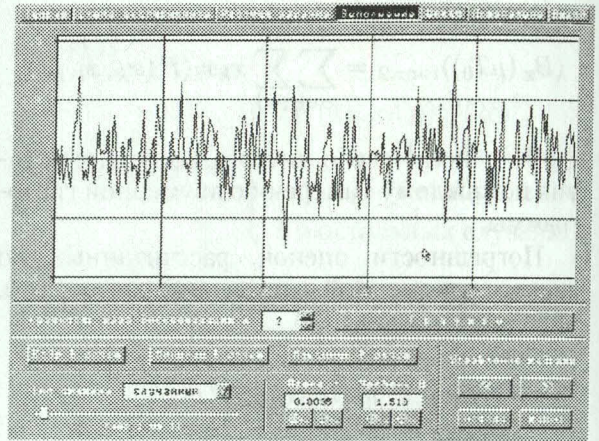


Рис. 3. Виртуальный цифровой осциллограф

На виртуальном цифровом осциллографе, показанном на рис. 3, по кадрам (отрезкам сигнала определенной длительности) отображается сигнал. С помощью специального маркера можно получить уровень сигнала и время от начала измерения для любой точки сигнала. Для удобства просмотра сигнала на осциллографе изменяется масштаб по времени и уровню. Изменение шага дискретизации позволяет изучить его влияние на осциллограмму сигнала и проверить теорему отсчетов. Виртуальный цифровой осциллограф позволяет определить максимальное и минимальное значения сигнала при различном шаге дискретизации. По этим данным студентами рассчитываются размах и центр сигнала. Максимумы и минимумы сигнала на каждом кадре и осциллограмму кадра сигнала можно занести в отчет. С помощью специального указателя можно переместиться по времени в любую точку сигнала. Существует возможность выбора сигнала между случайным и детерминированным. По результатам проделанной лабораторной работы строятся графики зависимости центра и размаха сигнала от кратности шага дискретизации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Целью работы является исследование одномерных плотностей распределения вероятностей эргодического случайного и детерминированного сигналов, изучение влияния на их оценки интервала группирования, шага дискретизации и длительности реализации.

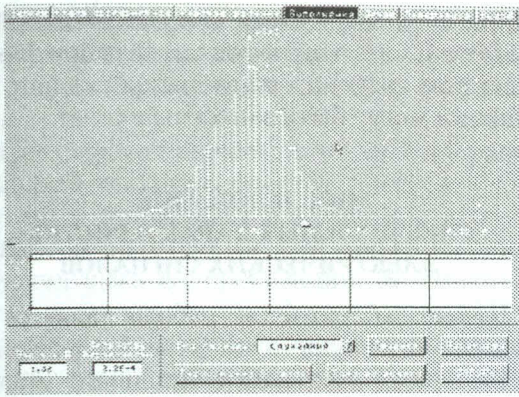


Рис. 4. Виртуальный прибор для измерения одномерной плотности распределения вероятностей

На виртуальном приборе, изображенном на рис. 4, осуществляется построение одномерной гистограммы сигнала при различных значениях числа отсчетов, шага дискретизации, интервала группирования данных. При построении гистограммы отображается ее изменение по мере накопления числа отсчетов. Интервал группирования, для которого просматривается динамика построения гистограммы, может быть выбран из восьми возможных. После построения гистограммы все восемь гистограмм с различными интервалами группирования могут быть сравнены между собой качественно (визуально) и количественно. Для количественного сравнения для каждой гистограммы рассчитываются значения математического ожидания, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса и их погрешностей. Для наглядности рассчитанные характеристики и их погрешности приводятся в виде таблиц, двумерных и трехмерных графиков. Анализ погрешностей позволяет выбрать наилучшие параметры для измерения одномерной плотности распределения вероятностей. Двумерные графики погрешностей расчета математического ожидания, дисперсии, коэффициента асимметрии и эксцесса приводятся в зависимости от интервала группирования данных. Трехмерные графики погрешностей расчета математического ожидания и дисперсии приводятся в зависимости от числа отсчетов и интервала группирования данных при различных значениях шага дискретизации. Все графики, таблица и гистограмма заносятся в отчет.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Целью лабораторной работы является исследование двумерных плотностей распреде-

ления вероятностей эргодического случайного и синусоидального детерминированного сигналов, изучение влияния на их оценки и оценки ковариационной функции интервала группирования, шага дискретизации, длительности реализации и временного сдвига между коррелируемыми отсчетами сигнала.

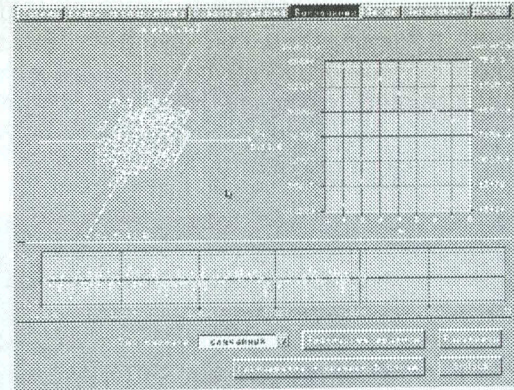


Рис. 5. Виртуальный прибор для измерения двумерной плотности распределения вероятностей

На виртуальном приборе, внешний вид которого приведен на рис. 5, осуществляется построение двумерной гистограммы при различных значениях числа отсчетов, шага дискретизации, интервала группирования данных и временного сдвига между коррелируемыми отсчетами сигнала. Отображается изменение гистограммы по мере накопления числа отсчетов. Интервал группирования, для которого просматривается динамика построения двумерной гистограммы, может быть выбран из восьми возможных. По данным гистограммы рассчитывается значение ковариационной функции при временном сдвиге между коррелируемыми отсчетами сигнала, использованными для построения гистограммы. Находится оценка погрешности ковариационной функции. После построения нескольких гистограмм с различными значениями временного сдвига между коррелируемыми отсчетами сигнала формируются графики ковариационной функции и её погрешности.

Строятся трехмерные графики погрешности ковариационной функции в зависимости от числа отсчетов и временного сдвига между коррелируемыми отсчетами сигнала при фиксированном значении шага дискретизации, от шага дискретизации и временного сдвига между коррелируемыми отсчетами сигнала при фиксированном значении числа отсчетов. Графики погрешностей позволяют выбрать наилучшие параметры алгоритма

измерения двумерной плотности распределения вероятностей. Все графики и гистограмма заносятся в отчет.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОМЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Целью лабораторной работы является исследование математического ожидания, дисперсии и корреляционной функции эргодического случайного и синусоидального детерминированного сигналов, изучение влияния на их оценки шага дискретизации во времени и длительности реализации.

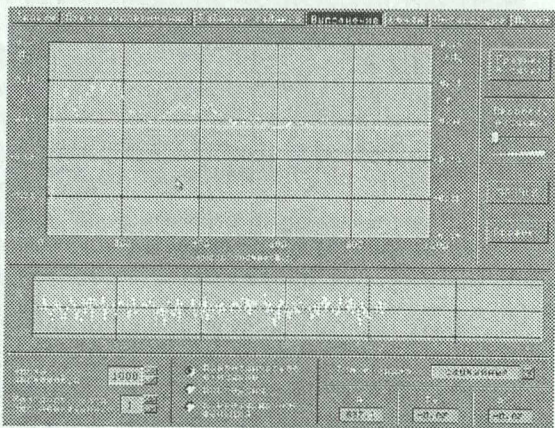


Рис. 6. Виртуальный прибор для исследования моментных характеристик

На виртуальном приборе (см. рис. 6) выполняется построение графиков математического ожидания, дисперсии и их погрешностей в зависимости от числа отсчетов при различных значениях шага дискретизации. При этом можно наблюдать динамику изменения этих характеристик и их погрешностей по мере накопления статистической информации. График корреляционной функции и ее погрешности строится для различных значений временного сдвига между коррелируемыми отсчетами сигнала при разных значениях числа отсчетов и шага дискретизации. С помощью специального маркера можно получить точные значения измеряемой характеристики в любой точке графика. Для наглядности регулируется скорость построения графиков.

Строятся трехмерные графики погрешностей математического ожидания и дисперсии в зависимости от шага дискретизации и числа отсчетов, трехмерные графики погрешностей корреляционной функции в зависимости от временного сдвига между коррелируемыми отсчетами и шага дискретизации при фиксированном значении числа отсчетов, от вре-

менного сдвига между коррелируемыми отсчетами и числа отсчетов сигнала при фиксированном значении шага дискретизации. Все графики могут быть занесены в отчет.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Целью лабораторной работы является исследование текущего спектра реализации и спектральной плотности мощности стационарного случайного сигнала, изучение влияния на их оценки шага дискретизации и длительности реализации, сравнение их со спектральными характеристиками синусоидального детерминированного сигнала.

На виртуальном приборе (рис. 7) осуществляется построение энергетического спектра сигнала прямым и косвенным методом. Прямой метод — с использованием преобразования Фурье сигнала, косвенный метод — с использованием преобразования Фурье ковариационной функции сигнала.

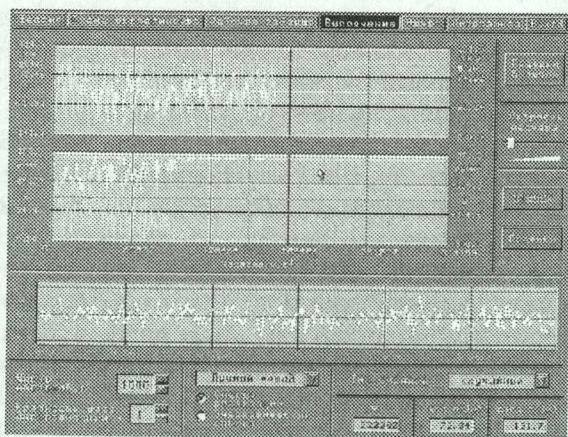


Рис. 7. Виртуальный прибор для исследования спектральных характеристик

При расчете энергетического спектра прямым методом строятся графики модуля, фазы текущего спектра и их погрешностей, затем строится график энергетического спектра и его погрешности. При расчете энергетического спектра косвенным методом строится график ковариационной функции сигнала и ее погрешности, затем строится график энергетического спектра и его погрешности. Эти графики строятся для различных значений числа отсчетов при определенном шаге дискретизации.

Погрешности измерения находятся относительно характеристик, рассчитанных по

всей длительности реализации при минимальном шаге дискретизации. Для наглядности скорость построения графиков регулируется.

Трехмерные графики погрешностей расчета модуля текущего спектра, энергетического спектра приводятся в зависимости от частоты и числа отсчетов при фиксированном значении шага дискретизации, от частоты и шага дискретизации при фиксированном числе отсчетов, трехмерные графики погрешностей ковариационной функции в зависимости от временного сдвига между коррелируемыми отсчетами и числа отсчетов при фиксированном значении шага дискретизации, от временного сдвига между коррелируемыми отсчетами и шага дискретизации при фиксированном значении числа отсчетов. Все графики можно занести в отчет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используемые на кафедре ТОЭ в течение последних семи лет виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы зарекомендовали себя как удобную и перспективную альтернативу существующим классическим лабораторным работам.

Использование компьютера позволяет автоматизировать процесс обучения и исследования, сделать его наглядным. Появляется гибкость в применении алгоритмов и их параметров. Важной особенностью виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ является оценка погрешностей получаемых характеристик, что позволяет оптимально выбирать алгоритмы и их параметры, корректно планировать измерительный эксперимент. Такие лабораторные работы развивают у студента исследовательские навыки, обучают правильно обрабатывать результаты экспериментов. Применение виртуальных лабораторных работ позволяет отказаться от использования часто дорогостоящего, сложного в эксплуатации оборудования, исключается возможность его повреждения.

Виртуальные лабораторные работы хорошо подходят для использования в открытом и дистанционном образовании. Ознакомиться с рекламным роликом лабораторных работ можно на сайте дистанционного обучения УГАТУ <http://www.ugatu.ac.ru/ddo/www.htm> в разделе «Учебные курсы».

Виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы не раз апробировались на всероссийских и международных конференциях, конкурсах, получили российское и

международное признание [18–21]. В 1998 и 1999 гг. их авторы становились призерами конкурса Республики Башкортостан «На лучшую работу по метрологии, стандартизации и сертификации». В 1999 г. они были отмечены по итогам международной конференции «Интеллектуальные системы управления и обработки информации» [4], а в 2001 г. — международной конференции «XXVII Гагаринские чтения» [19].

В качестве дальнейшего развития виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ предполагается их реализация с использованием современных графических, мультимедийных и сетевых возможностей. Разрабатываются новые оригинальные алгоритмы измерения, исследование которых стало продолжением виртуальных лабораторных работ. Планируется применение виртуальных лабораторных работ для открытого и дистанционного образования.

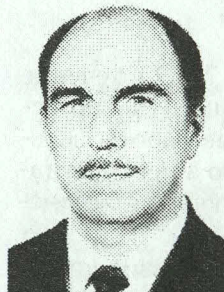
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Заико А. И.** Точность аналоговых линейных измерительных каналов ИИС. М.: Изд-во стандартов, 1987. 136 с.
2. **Заико А. И.** К определению погрешностей статистических измерительных систем // Метрология. 1986. № 4. С. 11–19.
3. **Заико А. И.** Теория точности алгоритмов для интеллектуальных статистических измерений // Сб. докл. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям SCM'98. СПб., 1998. Т. 2. С. 47–50.
4. **Нагаев О. Н.** Измерение плотности распределения вероятностей случайных сигналов // Интеллектуальные системы управления и обработки информации: Тез. докл. междунар. мол. науч.-техн. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. С. 167.
5. **Методические указания к проведению учебно-исследовательских лабораторных работ по теоретическим основам электротехники / Сост. А. И. Заико.** Уфа: Уфимск. авиац. ин-т, 1977. 16 с.
6. **Бессонов Л. А.** Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. 10-е изд. М.: Гардарики, 1999. 630 с.
7. **Заико А. И.** Основы статистической теории электрических цепей: Учеб. пособие. Уфа: Уфимск. авиац. ин-т, 1977. 90 с.
8. **Заико А. И.** Измерение плотности вероятности эргодических случайных сигналов цифровым методом // Метрология. 1999. № 1. С. 21–27.
9. **Заико А. И.** Теория точности статистических и спектральных измерений // Вестник УГАТУ. 2000. № 2. С. 175–182.

10. **А.с. 1136188** СССР, МКИ G06C 7/52. Устройство для определения математического ожидания / А.И. Заико (СССР). № 3558258/24-24; Заявл. 28.02.83; Опубл. 23.01.85. Бюл. № 3.
11. **А.с. 1300511** СССР, МКИ G06R 7/52. Устройство для определения математического ожидания / А.И. Заико (СССР). № 3981593/24-24; Заявл. 25.11.85; Опубл. 30.03.87. Бюл. № 12.
12. **А.с. 1142849** СССР, МКИ G06G 7/52. Устройство для вычисления дисперсии случайных сигналов / А.И. Заико (СССР). № 3558259/24-24; Заявл. 28.02.83; Опубл. 28.02.85. Бюл. № 4.
13. **А.с. 1084809** СССР, МКИ G06F 15/336. Автокоррелометр / А.И. Заико (СССР). № 3471270/18-24; Заявл. 16.07.82; Опубл. 07.04.84. Бюл. № 13.
14. **Электрические сигналы:** Методические указания к выполнению виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ по курсу «Основы стохастической теории электрических цепей» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. А.И. Заико. Уфа: УГАТУ, 2001. 35 с.
15. **Пат. 2249851** РФ, МКИ G 06 F 17/18. Устройство для измерения распределений случайных процессов / А.И. Заико, О.Н. Нагаев (РФ). № 2003116960/09; Заявл. 06.06.2003; Опубл. 10.04.2005; Бюл. № 10.
16. **Пат. 2253892** РФ, МКИ G 06 F 17/18. Устройство для измерения двумерных распределений случайных процессов / А.И. Заико, О.Н. Нагаев (РФ). № 2003127480/09; Заявл. 10.09.2003; Опубл. 10.06.2005; Бюл. № 16.
17. **Свид. 2000610581.** Анализатор случайных сигналов АСС-3 / А.И. Заико, О.Н. Нагаев (РФ). Зарег. 06.07.00. Бюл. РосПатента, 2000. № 4 (33). С. 13–14.
18. **Заико А.И., Нагаев О.Н.** Виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы по теории случайных сигналов // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик-2000»: Матер. XII науч.-техн. конф. с участием зарубежн. специалистов. М.: Московск. гос. ин-т электрон. и мат., 2000. С. 290–291.
19. **Заико Н.А., Нагаев О.Н.** Комплекс виртуальных учебно-исследовательских лабораторных работ по теории сигналов // XXVII Гагаринские чтения: Тез. докл. междунар. молодёжн. науч. конф. М.: Изд-во МАТИ, 2001. Т. 6. С. 50–51.
20. **Заико А.И.** Виртуальные учебно-исследовательские лабораторные работы // Современные технологии обучения: Матер. VI междунар. конф. СПб.: С.-Петербургск. гос. электротехн. ун-т, 2000. Ч. 1. С. 136–138.
21. **Zaiko A. I., Zaiko N. A.** Accuracy of statistic and spectral measurements // Metrology in the 3rd Millennium: Proc. of XVII IMEKO World Cong. Dubrovnik, Croatia, June 22–27, 2003. TC8. P. 1275–1279.

ОБ АВТОРАХ

Заико Александр Иванович, проф. каф. теоретич. основ электротехники. Дипл. инж. электронной тех-ки (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по информац.-измерит. системам (ЛЭТИ, 1990). Заслуж. изобретатель РБ. Иссл. в обл. метрологич. обеспечения, анализа и синтеза информац.-измерит. систем.



Нагаев Олег Наилевич, соиск. уч. степ. на каф. ТОЭ. Магистр техн. и технол. по напр. «Электроника и микроэлектроника» (УГАТУ, 2001). Иссл. в обл. информац.-измер. систем.

