

АНАЛИЗАТОР СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

В. И. Калашников, О. А. Сальников, Е. М. Ляховицкий

Разработанный лабораторией электро моделирования Харьковского политехнического института анализатор случайных процессов АСП—1 является лабораторной специализированной вычислительной машиной, предназначенной для вычисления основных статистических характеристик инфранизкочастотных стационарных случайных функций, записанных с объекта или модели объекта на магнитную ленту.

Для определения статистических характеристик случайного процесса в устройстве используется следующая математическая обработка записи $x(t) = x_0(t) + m_x$:

1. Вычисление соотношений для интегральной функции распределения вероятности:

$$F(y) = T\Phi(P\{x(t) \geq y\}).$$

2. Автокорреляционная функция находится в виде суммы

$$-k_{xx}(\tau) + k_{xx}(0) = \frac{1}{2} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [(x_0(t) + m_x) - (x_0(t - \tau) + m_x)]^2 dt.$$

3. Математическое ожидание определяется как среднее значение за период наблюдения

$$m_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x_0(t) + m_x] dt.$$

4. Дисперсия или среднеквадратичное отклонение выделяется из выражения

$$k_{xx}(0) \pm m_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x_0(t) \pm m_x]^2 dt.$$

5. Для получения взаимной корреляционной функции используется возвышение разности двух процессов в квадрат:

$$\begin{aligned} -k_{xy}(\tau) + \left[k_{xx}(0) + k_{yy}(0) + \frac{m_x^2 + m_y^2}{3} - m_x m_y \right] = \\ = \frac{1}{3} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \{ [x_0(t) + m_x] - [y_0(t - \tau) + m_y] \}^2 dt. \end{aligned}$$

В приведенных формулах

$x(t)$ — случайный процесс;

$x_0(t)$ — центрированный случайный процесс;

m_x — математическое ожидание;

- $F(y)$ — интегральная функция распределения вероятности;
 y — значение уровня;
 $P[x(t) \geq y]$ — вероятность превышения случайным процессом уровня;
 T — время измерения;
 $k_{xx}(\tau)$ — автокорреляционная функция;
 $k_{xy}(\tau)$ — взаимная корреляционная функция.

Технические характеристики АСП-1

1. Прибор производит математическую обработку инфранизкочастотных стационарных случайных функций, имеющих частотный диапазон от 0 до 200 гц. В случае применения случайного узла перезаписи частотный диапазон неограничен. Узел перезаписи применяется, когда частотный диапазон исследуемого процесса лежит в пределах от 0 до 0,1 гц и от 50 гц до максимальной в спектре осциллограммы.

2. Прибор позволяет вычислять следующие статистические характеристики:

- а) взаимную корреляционную функцию двух стационарных случайных процессов;
- б) автокорреляционную функцию;
- в) дисперсию (среднеквадратичное отклонение);
- г) математическое ожидание (среднее значение);
- д) интегральную функцию распределения вероятности случайного процесса.

3. Погрешность вычислений: -

- а) при цифровом считывании 2,5—3,5 %;
- б) при считывании по вольтметру или самописцу 4—5 %.

Теоретическая погрешность предложенного метода вычисления 1,5 %.

4. Запись подлежащих обработке процессов осуществляется по двум равнозначным входам на две дорожки магнитной ленты. Входное сопротивление прибора 10 000 ом/вольт. Переключатель пределов позволяет записывать случайные процессы с амплитудой 5, 10, 25, 50 и 100 в.

5. Запись производится на двух скоростях:

- а) 528 мм/сек (для диапазона 0—200 гц);
- б) 52,8 мм/сек (для диапазона 0—20 гц).

6. Максимальное время задержки при вычислении составляет 2 сек.

7. Время вычисления одной точки кратно 5 сек и лежит в диапазоне 5—40 сек.

8. Дискретность задержки $\Delta\tau = 0,0025; 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1$ сек.

9. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока 220 в. Мощность 300 ватт.

10. Габариты прибора 552 × 440 × 360 мм.

11. Вес 40 кг.

Описание АСП-1

Анализатор случайных процессов объединяет в себе системы записи и воспроизведения случайных процессов на магнитную ленту, механическую линию задержки, электронную схему цифровой обработки воспроизводимой записи, включающую в себя девятиразрядное арифметическое устройство, систему индикации и регистрации, схему управления автоматической работой и ряд вспомогательных узлов.

АСП-1 имеет пять режимов работы.

1. Запись на две дорожки магнитной ленты двух или одного случайного процесса (двух — для вычисления взаимной корреляционной функции).
2. Вычисление взаимной и автокорреляционной функции.
3. Вычисление дисперсии для любого из двух записанных процессов.
4. Вычисление математического ожидания.
5. Вычисление интегральной функции распределения вероятности любого из двух процессов.

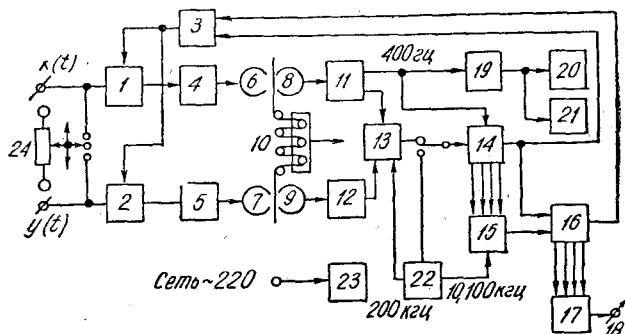


Рис. 1. Блок-схема АСП-1:

1, 2 — широко-импульсные модуляторы; 3 — схема управления модуляторами; 4, 5 — усилители записи; 6, 7 — головки для магнитной записи широко-модулированных сигналов; 8, 9 — головки воспроизведения; 10 — электромеханическая задержка, рассчитанная на 2 сек; 11, 12 — усилители воспроизведения и формирования; 13 — схема формирования импульсных последовательностей; 14 — счётчик импульсов; 15 — блок умножения; 16 — блок интегрирования (накопитель приращений); 17 — преобразователь чисел в напряжение; 18 — регистрирующий прибор; 19 — схема контроля меток времени; 20 — схема управления двигателями Лентопрайжи; 21 — схема управления двигателем электромеханической задержки; 22 — высокочастотный узел с кварцевым генератором; 23 — блок питания прибора; 24 — потенциометр задания уровня при вычислении интегральной функции распределения вероятности.

Рассмотрим взаимодействие электронных и электромеханических блоков АСП-1 при осуществлении любого из режимов работы. Полная блок-схема прибора приведена на рис. 1.

Запись процессов

В зависимости от того, какую корреляционную функцию необходимо вычислить, записывают на две дорожки либо разные случайные процессы, либо одинаковые.

На входы схемы управления модуляторами 3 поступают две последовательности импульсов с частотой 400 и 0,2 гц, образованные путем деления частоты 200 кГц, стабилизированной кварцем. Деление осуществляется счетчиком 14 и накопителем 16 вычислительной части прибора.

Последовательность с частотой 0,2 гц препятствует появлению на выходе модулятора каждого 2000-го импульса. Этот такт, не несущий в себе полезной информации, используется затем для автоматизации работы прибора в режиме вычисления.

Вычисление взаимной и автокорреляционной функции

Импульсы с головкой воспроизведения 8, 9 каналов после усиления и формирования блоками 11 и 12 поступают на входе схемы заполнения временных интервалов короткими импульсами с частотой следования 200 кГц. Работа схемы заполнения 13 и счетчика организована таким образом, что на множитель 15 подается модуль величины $|x - y|$. Это

число, возведенное множителем в квадрат; переносится в накопитель, где суммируется с результатами предыдущих тактов. В конце вычисления каждого значения корреляционной функции результат с последних десяти разрядов преобразуется в напряжение и запоминается на время вычисления в следующей точке корреляционной функции. Время вычисления устанавливается переключателем в схеме контроля 21 в зависимости от частотного спектра случайного процесса.

Вычисление интегральной функции распределения вероятности

Вычисление интегральной функции распределения вероятности заключается в определении времени превышения случайным процессом фиксированных уровней, задаваемых в виде напряжения на входе одного из модуляторов. Преобразованные импульсы уровня поступают на вход схемы заполнения вместо отключенного второго канала воспроизведения.

Каждое перевыполнение счетчика свидетельствует о переходе случайным процессом определенного уровня. Число переполнений, отмеченное накопителем, дает значение интегральной функции в точке, соответствующей этому уровню. Необходимые значения уровней напряжения устанавливаются шаговым двигателем. Движок потенциометра 24 закреплен на подвижной каретке, а сам потенциометр закреплен на панели узла задержки 10.

Вычисление дисперсии и математического ожидания

Для определения дисперсии двуполярный случайный процесс восстанавливается тем, что в схеме заполнения вычитается вспомогательная величина, добавление которой было необходимо для однополярной записи.

Счетчиком выделяется модуль чисел, которые затем возводятся в квадрат и суммируются накопителем. Результат преобразуется в напряжение блока 17 и фиксируется самописцем 18.

При вычислении математического ожидания образованные счетчиком числа поступают непосредственно в накопитель, где суммируются с предыдущими результатами. В конце вычисления прибором регистрируется сумма математического ожидания и известного вспомогательного уровня.

Для представления о техническом устройстве АСП-1 ниже дается краткое описание особенностей функционирования основных электронных и электромеханических узлов.

а) Широотно-импульсный модулятор (рис. 1, блоки 1, 2).

Широотно-импульсный модулятор предназначен для преобразования напряжения входного сигнала в импульсы с частотой повторения 400 гц, модулированные по длительности.

Широотно-импульсная модуляция позволяет избавиться от нелинейных искажений, вносимых магнитной лентой при амплитудной модуляции, и обладает простотой декодирования при обработке информации цифровым методом по сравнению с частотной модуляцией. Модулятор состоит из двух одинаковых каналов (по числу записываемых дорожек).

Работа модулятора основана на линейном разряде емкости, заряженной до значения напряжения на входе, в моменты времени, определяемые тактирующими импульсами.

б) Устройство записи и воспроизведения (рис. 1, блоки 4—12).

Устройство записи преобразует последовательность импульсов, полученную с выхода модулятора, в перепады индукции разной полярности намагничивания, записанные на ферромагнитную пленку.

Проходя мимо щели головки воспроизведения, эти скачки индукции наводят в обмотке головки э. д. с. в виде импульсов разной полярности. Эти импульсы с выхода усилителя воспроизведения подаются на схемы формирования. Схема обеспечивает нормальную работу как при прямом, так и при обратном движении ленты. С выхода узла воспроизведения импульсы подаются на узел, преобразующий их в цифровую величину, пропорциональную модулю разности случайных процессов.

в) Схема формирования импульсных последовательностей (блок 13).

Задающим элементом данного узла по каждому каналу являются восстанавливающие триггеры. Задача этих триггеров состоит в том, чтобы восстановить первоначальную форму импульсов записи.

С разноименных плеч триггеров импульсы поступают на ключи, на вторые входы которых подаются импульсы с частотой 200 кГц. Формируются две последовательности коротких импульсов, сдвинутые одна относительно другой на полпериода. Эти две последовательности накладываются друг на друга при помощи схемы (ИЛИ) и суммируются счетчиком. Максимальная скорость счета составляет, таким образом, 400 кГц. Считывание со счетчика происходит с частотой тактового импульса 400 Гц.

г) Множительное устройство (блок 15).

Для возвышения в квадрат в приборе используется девятиразрядное множительное устройство с накапливающим сумматором. Устройство выполнено на феррит-транзисторных ячейках и имеет два сдвигающих регистра, в которые одновременно записываются параллельным кодом одинаковые числа. Накапливающий регистр суммирует все частичные произведения.

д) Узел интегрирования и регистрации.

Интегрирование осуществляется двоичным счетчиком с переменным количеством разрядов. Десять последних разрядов служат для регистрации результатов вычислений: визуально (в виде двоичного числа) и по вольтметру или самописцу (в виде уровня напряжения). В режиме записи последние десять разрядов служат в качестве делителя частоты 400 Гц в 2000 раз для получения импульсов меток времени через каждые 5 сек. Для преобразования числа двоичного счетчика в напряжения используется пассивная электрическая цепь с переключением на реле.

е) Узел лентопротяжного механизма и электромеханической задержки.

Узел состоит из лентопротяжного механизма с устройством управления и механизмом задержки. Лентопротяжный механизм приводится в движение тремя двигателями. Имеется возможность изменения скорости движения в десять раз и подключения к ведущему валу источника вращения при помощи муфты, выведенной через заднюю стенку прибора, что позволяет воспроизводить записи процессов с частотным диапазоном от нуля до 20 Гц (для записи с моделирующих устройств) и для воспроизведения осциллограмм.

Механизм задержки состоит из каретки и двух приводных двигателей. Один из них — шагового типа, управляется специальной схемой и служит для точной установки задержки путем изменения положения каретки. Другой двигатель служит для возвращения каретки в исходное положение перед началом вычисления.

Работа узла начинается после нажатия кнопки «пуск» и идет определенными циклами до тех пор, пока не будет использован весь диапазон задержек в две секунды. Величина шагов и количество циклов работы может регулироваться с помощью специального переключателя.

Устройство управления лентопротяжным механизмом осуществляет включение, выключение и реверс ведущего двигателя с перераспределением моментов двигателей подмотки. Устройство управления шаговым двигателем обеспечивает поворот вала двигателя на строго определенный угол.

Для того чтобы можно было исследовать процессы с самым различным спектром частот, разработана приставка к прибору, позволяющая переписывать на магнитную ленту осциллограммы, использовать бумажные ленты самописцев и др.

Работа прибора полностью автоматизирована. Специальная схема производит подсчет пропущенных при записи импульсов и вырабатывает команды ввода задержки (или изменения уровня напряжения), реверса и остановки лентопротяжного механизма. Оператор должен выбрать необходимый участок ленты, задать время вычисления и шаг изменения задержки, а затем нажать кнопку «пуск».

ж) Конструктивное исполнение АСП-1 (рис. 2).

Конструктивно АСП-1 размещен в корпусе магнитофона МАГ-8ПМ. Большинство деталей лентопротяжного механизма также заимствовано от магнитофона МАГ-8ПМ. Вся электро-механическая часть размещена под панелью лентопротяжного механизма и крепится к нему.

Электронная часть в виде четырех модульных блоков расположена внутри на боковых и передней стенках АСП-1. Электронная схема прибора разбита на 25 различных подсхем, каждая из которых собрана полностью на полупроводниковых приборах, ферритах и других малогабаритных деталях на платах размером 70×80 и 70×35 с применением печатного монтажа. Всего в приборе около 70 плат.

Лентопротяжная панель имеет несколько ручек управления электро-механической системой. Основные же органы управления расположены на передней панели АСП-1: два переключателя режима работ, делители входного сигнала, переключатели установки времени вычислений (от 5 до 40 сек через каждые 5 сек) и величины шага задержки.

Минимум органов управления делает прибор крайне простым в обращении.

Экспериментальная проверка работы АСП-1

Для проверки правильности и точности работы анализатора случайных процессов были использованы стандартные сигналы, статистические характеристики которых известны. В качестве стандартных были использованы сигналы синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы.

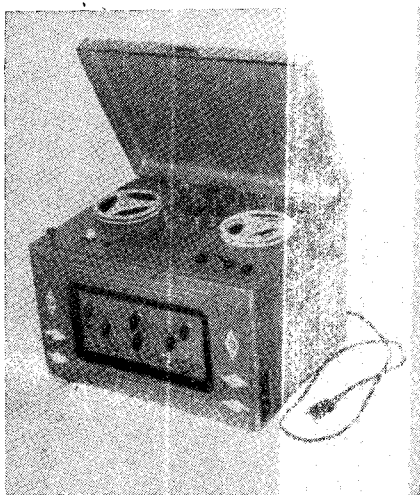


Рис. 2. Общий вид прибора.

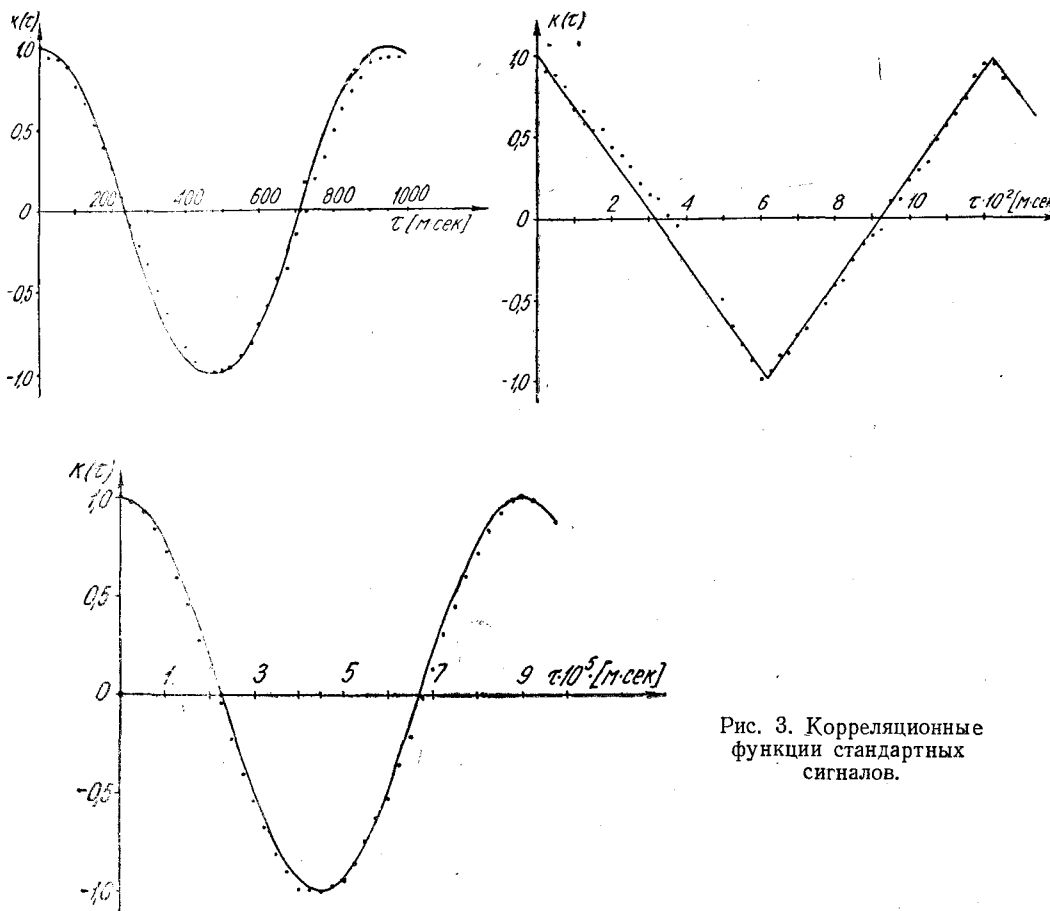
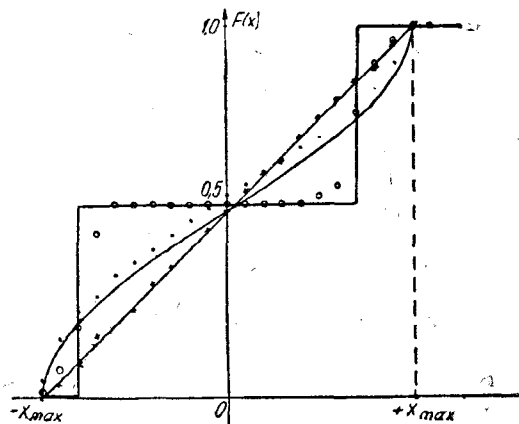


Рис. 3. Корреляционные функции стандартных сигналов.

Рис. 4. Интегральные функции распределения стандартных сигналов.



Вид корреляционных функций для этих сигналов приведен на рис. 3 (а, б, в), вид интегральных функций распределения — на рис. 4 (а, б, в), общий вид корреляционной функции при прохождении беглого шума через звено второго порядка показан на рис. 5.

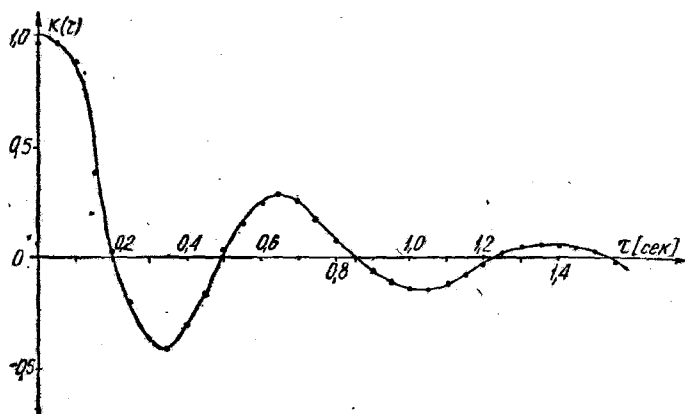


Рис. 5. Вид корреляционной функции звена 2-го порядка при возмущении беглым шумом.

В заключение можно отметить, что описанный анализатор случайных функций является, по существу, первым малогабаритным универсальным прибором для обработки инфранизкочастотных статистических сигналов.

Малые размеры и простота в обращении позволяют практически использовать этот прибор непосредственно возле исследуемых объектов, ускоряя тем самым получение статистических кривых с достаточной для практического применения точностью.