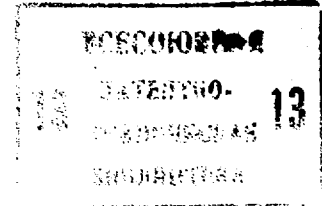




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (21) 3502668/18-24
(22) 10.09.82
(46) 15.02.84. Бюл. № 6
(72) А.Г.Якубенко, Л.И.Еловских,
С.Ф.Костюк и А.И.Кузьмич
(71) Минский радиотехнический ин-
ститут
(53) 681.325(088.8)
(56) 1. Авторское свидетельство СССР
№ 391577, кл. G 06 F 7/58, 1971.
2. Авторское свидетельство СССР
№ 734768, кл. G 06 F 7/58, 1978.
3. Авторское свидетельство СССР
№ 767745, кл. G 06 F 7/58, 1978.
4. Авторское свидетельство СССР
№ 732947, кл. G 06 F 7/58, 1978.
(54)(57) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРО-
ЦЕССА, содержащий генератор импуль-
сов, выход которого соединен с вхо-
дом первого делителя, частоты, дат-
чик случайных чисел, первый блок
памяти, отличающийся тем, что, с целью повышения точности,
он содержит второй делитель
частоты, два накапливающих суммато-
ра, три блока памяти, три преобра-
зователя код-напряжение и формирова-
тель импульсов, выход которого
соединен с входом датчика случайных
чисел и первыми управляющими входа-
ми первого и второго накапливающих
сумматоров, вторые управляющие вхо-
ды которых подключены соответствен-
но к выходам первого и второго дели-
телей частоты, управляющие входы

которых подключены соответственно
к первому и второму выходам первого
блока памяти, третий и четвертый
выходы которого соединены с информа-
ционными входами соответственно
первого и второго накапливающих сум-
маторов, информационный выход ко-
торых соединены с адресными входами
соответственно второго и третьего
блоков памяти, выходы которых сое-
динены с информационными входами
соответственно первого и второго
преобразователей код-напряжение,
первый, второй и третий выходы дат-
чика случайных чисел соединены со-
ответственно с адресным входом пер-
вого блока памяти, установочным
входом первого накапливающего сумма-
тора и адресным входом четвертого
блока памяти, выход которого соеди-
нен с информационным входом третье-
го преобразователя код-напряжение,
выход которого является выходом
генератора, выход первого преобра-
зователя код-напряжение соединен с
управляющим входом второго преобра-
зователя код-напряжение, выход ко-
торого соединен с управляющим вхо-
дом третьего преобразователя код-
напряжение, выход генератора им-
пульсов соединен с входом второго
делителя частоты, выход переноса
второго накапливающего сумматора
соединен с входом формирователя им-
пульсов.

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано при построении имитационно-моделирующей аппаратуры для решения задач исследования и оптимизации структурно-сложных систем для испытаний на вибрационные и другие воздействия.

Известно устройство, содержащее блок генераторов первичного нормального шума, блок формирующих фильтров, сумматор и нелинейный безынерционный преобразователь, позволяющее формирование случайного процесса с произвольной функцией спектральной плотности мощности (СПМ) в фиксированном диапазоне частот [1].

Недостатками устройства являются сложность технической реализации за счет множества генераторов первичного нормального шума и формирующих фильтров; ограниченность частотного диапазона; низкая точность воспроизведения заданной функции спектральной плотности мощности.

Известно устройство, содержащее генератор случайных чисел, группу генераторов импульсов, группу счетных триггеров и группу элементов И, многоходовую схему ИЛИ, регистр, сумматор, блок памяти, два счетчика и циклический регистр сдвига [2].

Недостатками устройства являются низкое быстродействие, так как один отсчет выходного процесса формируется путем последовательного суммирования совокупности коэффициентов, тем большей, чем больше требуется точность; сложность технической реализации при необходимости обеспечения высокой точности, так как при этом устройство содержит большее количество генераторов импульсов, триггеров и элементов И, или низкая точность при малых аппаратурных затратах.

Наиболее близким к предложенному по технической сущности является генератор случайного процесса, содержащий генератор импульсов, делитель частоты, датчик случайных чисел, счетчик, блок памяти. Указанные блоки соединены последовательно, второй вход счетчика соединен с выходом генератора импульсов, выход блока памяти является выходом устройства. Работу устройства можно представить как последовательность циклов, на каждом из которых путем последовательного циклического чтения и информации из блока памяти, начиная со случайного в начале цикла адреса, формируется отрезок реализации процесса.

Формируемый устройством процесс представляет собой последовательность "склеенных" отрезков одной

периодической функции со случайными начальными фазами. В блок памяти записывается период полигармонической функции, представляющий собой сумму гармонических функций с частотами, кратными самой низкочастотной гармонической функции, и с определенными соотношениями амплитуд. При этом функция спектральной плотности мощности формируемого процесса аппроксимируется суммой компонентных функций типа $(\sin x/x)^2$ с равной шириной основных лепестков, сдвинутых по частоте с равномерным шагом, с весами, пропорциональными амплитудам соответствующим им гармоник [3].

Недостатком устройства является низкая точность воспроизведения заданных функций спектральной плотности мощности.

Цель изобретения - повышение точности задания функции спектральной плотности мощности формируемого процесса.

Поставленная цель достигается тем, что в известный генератор случайного процесса, содержащий генератор импульсов, выход которого соединен с входом первого делителя частоты, датчик случайных чисел, первый блок памяти, введены второй делитель частоты, два накапливающих сумматора, три блока памяти, три преобразователя код - напряжение и формирователь импульсов, выход которого соединен с входом датчика случайных чисел и первыми управляющими входами первого и второго накапливающих сумматоров, вторые управляющие входы которых подключены соответственно к выходам первого и второго делителей частоты, управляющие входы которых подключены соответственно к первому и второму выходам первого блока памяти, третий и четвертый входы которого соединены с информационными входами соответственно первого и второго накапливающих сумматоров, информационные выходы которых соединены с адресными входами соответственно второго и третьего блоков памяти, выходы которых соединены с информационными входами соответственно первого и второго преобразователей код - напряжение, первый, второй и третий выходы датчика случайных чисел соединены соответственно с адресным входом первого блока памяти, установочным входом первого накапливающего сумматора и адресным входом четвертого блока памяти, выход которого соединен с информационным входом третьего преобразователя код - напряжение, выход которого является выходом генератора, выход первого преобразователя код - напряжение соединен с управ-

ляющим входом второго преобразователя код - напряжение, выход которого соединен с управляющим входом третьего преобразователя код - напряжение, выход генератора импульсов соединен с входом второго делителя частоты, выход переноса второго накапливающего сумматора соединен с входом формирователя импульсов.

Функция СПМ формируемого процесса аппроксимируется композицией компонентных функций с большей концентрацией мощности в основном лепестке по сравнению с компонентной функцией $(\sin x / x)^2$, с произвольной управляемой шириной основного лепестка и с произвольным управляемым положением центров компонентных функций по оси частот, что позволяет выполнить оптимальную аппроксимацию и существенно повысить точность воспроизведения произвольной заданной функции СПМ.

На чертеже представлена структурная схема устройства.

Генератор содержит генератор 1 импульсов, первый делитель 2 частоты, накапливающий сумматор 3, блок 4 памяти, первый 5, второй 6 и третий 7 преобразователи код - напряжение, датчик 8 случайных чисел, блок 9 памяти, накапливающий сумматор 10, блок 11 памяти, второй делитель 12 частоты, формирователь 13 импульсов, и блок 14 памяти.

Генератор 1 импульсов предназначен для формирования опорной последовательности развертки процесса, может быть выполнен на микросхеме 155 АГ 1 по типовой схеме включения, для обеспечения высокой стабильности характеристики формируемого процесса желательно применить генератор на базе кварцевого резонатора. Делители частоты 2 и 10 содержат входы исходной последовательности (1), входы задания коэффициента пересчета (2) и выходы поделенной последовательности, делители частоты могут быть выполнены на микросхемах 589 ХЛ 4, 155 ИЕ 9.

Сумматоры 3 и 10 накапливающего типа. Сумматор 3 содержит выходы синхронизации суммирования (1), аргумента (2), задания кода начального состояния (3), синхронизации установки начального состояния (4) и выход суммы. Сумматор 10 содержит выход суммы (1), выход сигнала переполнения (2) и входы аргумента (1), синхронизации суммирования (2) и установки нулевого состояния.

Одним из вариантов сумматора 10 является накапливающий сумматор, содержащий комбинационный сумматор и регистр, вход первой переменной комбинационного сумматора является входом аргумента накапливающего сум-

матора, выход соединен с входом параллельной записи информации регистра, выход которого соединен с вторым входом комбинационного сумматора и является выходом накапливающего сумматора, вход синхронизации регистра является входом синхронизации суммирования, а вход обнуления регистра - входом обнуления накапливающего сумматора. Комбинационный сумматор может быть выполнен на микросхемах 155 ИМ 3, 155 ИП 3, регистр - 155 ТМ 2, 155 ТМ 8.

Накапливающий сумматор 3 содержит вход начальной установки в произвольное состояние, в качестве которого может быть использован описанный выше накапливающий сумматор при условии использования регистра с установочными разрядами R- и S- входами (на микросхемах 155 ТМ 2). При этом накапливающий сумматор 3 дополнительно содержит схему управления записью информации в регистр, соединяемую с R- и S- входами. Каждый разряд схемы управления записью содержит два двухвходовых элемента И-НЕ, первые входы первых элементов И-НЕ являются входом задания начального состояния накапливающего сумматора, выходы первых элементов И-НЕ соединены с первыми входами вторых элементов И-НЕ и с S- входами триггеров регистра, выходы вторых элементов И-НЕ соединены с R- входами триггеров регистра, вторые входы всех элементов И-НЕ соединены и являются входом синхронизации записи начального состояния накапливающего сумматора. Для построения схемы управления записью можно использовать микросхемы 155 ЛА 3.

Блоки памяти 4, 9, 11 и 14 содержат входы адреса и выходы информации (состояние блоков памяти во время формирования процесса не изменяется, поэтому входы записи информации не показаны) и могут быть выполнены на микросхемах памяти 155 РУ 2, 541 РУ 1 и др.

Преобразователь код - напряжение 5 содержит вход преобразуемого кода и выход напряжения. Преобразователи код - напряжение 6 и 7 помимо выхода и входов 2 кодов содержат входы 1 опорного напряжения. Для построения преобразователей код - напряжение существует ряд интегральных преобразователей и операционных усилителей различного быстродействия и точности, например интегральные схемы 572 ПА 1 и 544 УД 1, включенные по типовой схеме.

Формирователь импульсов 13 предназначен для выработки импульса по возникновению на выходе сумматора 10 сигнала переполнения, может быть выполнен на микросхеме 155 АГ 3.

Датчик случайных чисел 8 предназначен для формирования трех потоков случайных чисел: случайные числа по входу 2 равномерно распределены, числа, поступающие на выходы 1 и 3, имеют распределения, вычисляемые исходя из требуемых характеристик формируемого процесса. В качестве датчика случайных чисел может быть использовано устройство, позволяющее формирование множества потоков случайных чисел с произвольными требуемыми законами распределения.

Сущность генерации предложенным устройством случайного процесса заключается в формировании примыкающих отрезков гармонических функций с огибающей произвольной требуемой формы, со случайно изменяющейся от отрезка к отрезку начальной фазой, частотой, длительностью и амплитудой. Формирование отрезка гармонической функции осуществляется путем преобразования в напряжение электрического сигнала преобразователем 5 циклически считываемой из блока памяти 4 последовательности кодов, описывающих один период синуса. Длительность периода дискретизации формируемого отрезка определяется длительностью периода следования на выходе делителя частоты 2. Линейно-циклически изменяющиеся адреса чтения отсчетов гармонической функции формируются накапливающим сумматором 3 путем суммирования постоянного в течение длительности отрезка гармонической функции числа. Задание случайной начальной фазы отрезка гармонической функции осуществляется записью в начале формирования отрезка в сумматор 3 случайного числа. С помощью преобразователя 6 осуществляется модуляция отрезка гармонической функции последовательностью кодов огибающей, записанной в блоке памяти 11, адреса чтения блока памяти линейно изменяются с постоянным шагом для каждого формируемого отрезка гармонической функции и формируются сумматором 10, причем частота смены адресов определяется частотой следования импульсов на выходе делителя частоты 12. С помощью преобразователя код - напряжение 7 осуществляется формирование случайной отрезка к отрезку амплитуды, пропорциональной считываемым по случайным адресам кодам из блока памяти 14.

Формирование нового отрезка начинается после выработки формирователем 13 импульса, по которому в накапливающий сумматор 3 записывается случайное равномерно распределенное число с выхода 2 датчика случайных чисел 8, чем обеспечивается задание случайной равномерно распределенной

начальной фазы, сумматор 10 устанавливается в нулевое состояние, на выходы 1 и 3 датчика случайных чисел поступает пара новых случайных чисел. Из блока памяти 9 по адресу, определяемому кодом случайного числа с выхода 1 датчика случайных чисел 8, считываются четыре кода. Коды с выходов 3 и 4 определяют частоту и шаг изменения адресов чтения отсчетов синуса из блока памяти 4 и, следовательно, частоту ω_k формируемого отрезка гармонической функции. Последовательно циклически считываемой начиная со случайного адреса последовательности кодов из блока памяти 4 на выходе преобразователя код - напряжение 5 формируется электрический сигнал отрезка гармонической функции, поступающей на вход 1 опорного напряжения преобразователя код - напряжение 6. Коды с выходов 1 и 2 блока памяти 9 определяют шаг изменения и длительность интервалов изменения адресов чтения из блока памяти 11 кодов огибающей. Коды из блока памяти 11 поступают на вход 2 преобразователя код - напряжение 6, на выходе преобразователя 6 получается сигнал, поступающий на вход 1 опорного напряжения с амплитудой, пропорциональной коду на входе 2. Коды из блока памяти 11 читаются последовательно начиная с нулевой ячейки с момента начала формирования отрезка гармонической функции по линейно изменяющимся с постоянным шагом адресам, при этом на выходе преобразователя код - напряжение 6 формируется отрезок гармонической функции с огибающей амплитуды, определяемой последовательностью кодов, записываемой в блок памяти 11. Сигнал с выхода преобразователя код - напряжение 6 проходит на выход устройства через преобразователь код - напряжение 7 с амплитудой, пропорциональной считываемому из блока памяти 14 коду по постоянному для данного отрезка адресу, но случайно изменяющемуся от отрезка к отрезку. Формирование отрезка гармонической функции заканчивается после прохождения сумматором 10 последовательности состояний от нулевого до максимального и выработки на его входе 2 сигнала переполнения, по которому формирователь импульсов 13 вырабатывает новый импульс, запускающий устройство на генерацию следующего отрезка.

Частота ω_k , связанная с ней длительность T_k отрезков гармонических функций, принимают 11 произвольных требуемых значений, задаваемых записанными в блок памяти 9 кодами, с вероятностями, определяемыми законом

распределения чисел на выходе 1 датчика случайных чисел 8.

$$\omega_k = 2\pi \Delta N_k^r / (\Delta T_k^r N^r),$$

$$T_k = \Delta T_k^o N^o / \Delta N_k^o, \\ k=0, M-1$$

где N^r - количество отсчетов задания периода синуса, записанного в блок памяти 4 (емкость блока памяти 4);

ΔN_k^r - шаг изменения адресов чтения отсчетов синуса при формировании k -го отрезка гармонической функции;

ΔT_k^r - интервал дискретизации k -го отрезка гармонической функции;

N^o - количество отсчетов задания огибающей функции (емкость блока памяти 11);

ΔN_k^o - шаг изменения адресов чтения отсчетов огибающей функции при формировании k -го отрезка гармонической функции;

ΔT_k^o - интервал изменения адресов чтения отсчетов огибающей функции при формировании k -го отрезка гармонической функции;

M - емкость блока памяти 9.

Пиковая амплитуда отрезков гармонических функций принимает L произвольных значений, задаваемых кодами, записанными в блок памяти 14 (L - объем блока памяти 14), с вероятностями, определяемыми законом распределения чисел на выходе 3 датчика случайных чисел 8.

Каждому отрезку гармонической функции с частотой ω_k и длительностью T_k , появляющемуся в формируемом процессе с вероятностью P_k , в спектральной области соответствует компонентная функция, форма которой определяется преобразованием Фурье огибающей функции отрезка, положение на оси частот - частотой ω_k , ширина - длительностью T_k , амплитуда (вес) - вероятностью P_k и дисперсией амплитуды $D[A]$ отрезка гармонической функции. Огибающая функция выделяет из непрерывного сигнала отрезок гармонической функции в соответствии с принятой в теории спектрального анализа и цифровой фильтрации терминологией, огибающая функция называется временным окном, причем в предложенном устройстве также можно успешно использовать хорошо изученные в теории спектрального анализа и цифровой фильтрации окна Бартлета, Парзена и др. При этом компонентные функции, аппроксимирующие функции СПМ формируемого процесса, имеют главный лепесток с большой концентрацией мощности и

множество боковых лепестков с небольшой быстро убывающей амплитудой.

Можно применять и прямоугольное окно (т.е. во все ячейки блока памяти 11 записывается постоянный код).

5. При этом аппроксимирующая компонентная функция имеет вид $(\sin x/x)^2$, функция СПМ формируемого процесса определяется соотношением

$$10 \quad G(\omega) = D[A] \sum_{k=-M}^M \frac{P_k}{4} \left[\frac{\sin \frac{T_k}{2}(\omega - \omega_k)}{\frac{T_k}{2}(\omega - \omega_k)} \right]^2 \left| \frac{\sin \frac{\Delta T_k \omega}{2}}{\frac{\Delta T_k \omega}{2}} \right|;$$

$$T_{-k} = T_k; \Delta T_{-k} = \Delta T_k; \omega_{-k} = -\omega_k;$$

15 Множитель $\left| \sin \left(\frac{\Delta T_k \omega}{2} \right) / \frac{\Delta T_k \omega}{2} \right|$ обус-

ловлен эффектом дискретизации формируемого процесса. Функция $(\sin x/x)^2$

20 имеет боковые лепестки с достаточно большой медленно спадающей амплитудой, амплитуда первого бокового лепестка составляет 4,7% от амплитуды главного лепестка. Если применять

одно из простейших окон - треугольное, компонентная аппроксимирующая функция имеет вид $(\sin x/x)$, функция СПМ процесса определяется соотношением

$$30 \quad G(\omega) = D[A] \sum_{k=-M}^M \frac{P_k}{4} \left[\frac{\sin \frac{T_k}{4}(\omega - \omega_k)}{\frac{T_k}{4}(\omega - \omega_k)} \right]^4 \left| \frac{\sin \frac{\Delta T_k \omega}{2}}{\frac{\Delta T_k \omega}{2}} \right|;$$

35 Компонентная функция $(\sin x/x)^4$ отличается от $(\sin x/x)^2$ значительно большей скоростью убывания амплитуды боковых лепестков и большей концентрацией мощности в основном лепестке.

40 Применение окон, обеспечивающих высокую концентрацию мощности в основном лепестке аппроксимирующей функции, дает наиболее ощутимый результат повышения точности воспроизведения функций СПМ сложной конструкции, содержащих высокочастотные всплески и провалы. При плавных функциях СПМ большую точность аппроксимации можно получить при применении

50 Предложенное устройство позволяет формировать не только случайных, но и регулярных процессов с произвольной формой сигнала на периоде повторения, для чего необходимо запретить работу датчика случайных чисел 8. Для формирования чистого гармонического процесса в данном случае в блоке памяти 4 должен быть записан период синуса, а в блоке памяти 11 - постоянный код. В блок памяти 11 можно записать любую требуемую последовательность кодов, поэтому устройство может формировать гармонический сигнал с амплитудной модуляцией любой требуемой периодической функцией.

65

Для формирования периодического процесса с произвольной формой сигнала на периоде последовательность отсчетов задания период сигнала записывается в блок памяти 4 или 11, при этом с выхода другого блока памяти во время формирования процесса должен поступать постоянный код, что обеспечивается, например, записью во все ячейки постоянного числа.

Предложенное устройство обеспечивает высокую точность воспроизведения произвольных функций спектральных плоскостей мощности, особенно при необходимости формирования процессов с наличием в функции СПМ высокочастотных всплесков и провалов. В последнем случае плавные участки функции СПМ аппроксимируются компонентными функциями с большой шириной основного лепестка, участки, содержащие всплески и провалы, аппроксимируются компонентными функциями с узкой полосой, причем, чем больше добротность всплеска или провала, тем уже задается ширина основного лепестка аппроксимирующих компонентных функций. В устройстве-прототипе аппроксимация функций СПМ осуществляется композицией компонентных функций с постоянными соотношениями ширины их фрагментов, концентрирующих основную мощность. Поэтому, например, устройство-прототип не позволяет формирование случайных процессов с всплесками и провалами в спектре с добротностью, большей добротности основных лепестков соответствующих аппроксимирующих функций $(\sin x/x)^2$. Кроме того, вследствие достаточно большой концентрации мощности в боковых лепестках, формирование процессов с высокочастотными провалами в спектре прототипом затруднительно. В предложенном устройстве в данном случае возможно применение временного окна, дающего компонентные функции высокой прямоугельности и концентрации мощности в основном лепестке. Возможность задания в предложенном устройстве как длительности интервала дискретизации, так и шага изменения адресов чтения отсчетов гармонической функции обеспечивает высокую точность задания значений частот отрезков гармонических функций и, следовательно, центральных частот компонентных функций, что особенно существенно в области высоких частот; в предложенном устройстве можно выбирать значения ΔT_k^T и ΔN_k^T , обеспечивающие наибольшую точность задания ω_k . Аналогично, с целью повышения точности задания длительностей отрезков гармонических функций в предложенном устрой-

стве управляются частота и шаг изменения адресов чтения отсчетов окна.

Предложенное устройство обеспечивает возможность независимого задания спектральных характеристик и закона распределения амплитуд гармоник или закона распределения мгновенных значений процесса. Обеспечение возможности задания требуемых спектральных и вероятностных характеристик обуславливает высокую адекватность формируемых воздействий при исследовании реальных объектов реальными воздействиями, что повышает точность и достоверность получаемых при моделировании или испытаниях результатов.

Предложенный генератор обладает высоким быстродействием. На один формируемый отсчет выходного процесса требуется выполнения одной операции чтения памяти. Устройство позволяет формирование случайных процессов в широком диапазоне частот с большой шириной спектра.

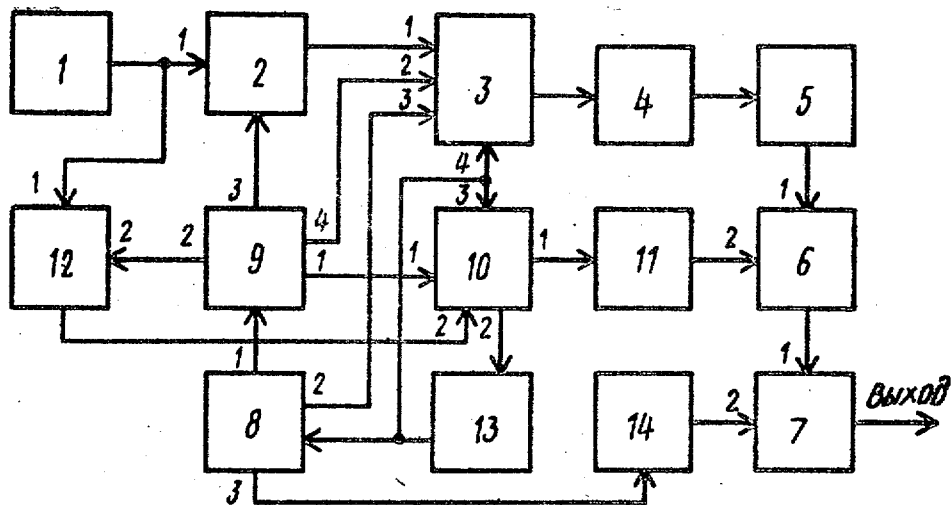
По сравнению с серийно выпускаемыми генераторами, например с генератором случайных процессов установки СУВУ-ШСВЗ, предложенный обладает всеми преимуществами, изложенными выше. Генератор случайных процессов установки СУВУ-ШСВЗ содержит 120 формирующих фильтров с фиксированными амплитудно-частотными характеристиками, при этом нельзя формировать процессы с провалами и всплесками в спектре с шириной, меньшей ширины полосы пропускания соответствующих фильтров. Кроме того, диапазон частот установки СУВУ-ШСВЗ 5 Гц - 2 кГц, установка не позволяет изменения закона распределения формируемого процесса. Генератор установки СУВУ-ШСВЗ имеет вес и габариты приблизительно в 10 раз больше предложенного генератора.

В качестве базового образца принята мини-ЭВМ СМ 1800 вариант СМ 50/40, в состав которой входит преобразователь код - напряжение. С помощью данной ЭВМ можно формировать псевдослучайный процесс, используя алгоритм функционирования предложенного устройства. При этом и базовый образец и предложенное устройство обладают одинаковой точностью. Однако при программной реализации частота формируемого ЭВМ процесса значительно меньше по сравнению с частотой процесса, формируемого предложенным устройством (в 40-50 раз). Стоимость данного варианта ЭВМ СМ 1800 50 тыс.руб., ориентировочная стоимость предложенного устройства 4 тыс.руб.

Применение данного генератора случайных процессов в составе авто-

матризованных испытательных систем и имитационно-моделирующих комплексов расширяет класс задач, решаемых в реальном масштабе времени, управляющая ЭВМ системы комплекса осво-

бождается от решения задачи формирования случайных процессов и может выполнять в это время ряд других действий, связанных с решаемой задачей.



Редактор Л.Веселовская Составитель А.Карасов
 Техред Л.Микеш Корректор И.Эрдейи

Заказ 331/48

Тираж 699

Подписное

ВНИПИ Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4