



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗобрЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 752305

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 09.01.78 (21) 2568078/18-24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 30.07.80. Бюллетень № 28

Дата опубликования описания 30.07.80

(51) М. Кл.³

G 06 F 1/02
G 07 C 15/00

(53) УДК 681.325
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

А. Г. Байдун, Л. Д. Мельников, Л. И. Еловских,
Э. А. Баканович, В. И. Новиков и С. Ф. Костюк

(71) Заявитель

(54) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

1
Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано при построении имитационно-моделирующей аппаратуры для решения задач исследования и оптимизации структурно-сложных систем.

Известные генераторы случайных процессов по совокупности существенных признаков могут быть сгруппированы в два класса. К первому классу относятся генераторы, содержащие в своей структуре один или несколько формирующих фильтров для придания случайному процессу требуемых спектральных свойств.

Известны генераторы, использующие один формирующий фильтр, содержащие генератор исходного случайного процесса, спектральные свойства которого известны и нормированы [1].

Управление спектральной плотностью мощности случайного процесса выполняют изменением частотной характеристики формирующих фильтров. С математической точки зрения такое управление является достаточно простым, так как спектральная плотность мощности выходного случайного процесса определяется произведением квадрата модуля частотной ха-

2
рактеристики формирующего фильтра и спектральной плотности мощности исходного случайного процесса. Однако, с практической точки зрения, проектирование и изготовление формирующих фильтров с перестраиваемой в широких пределах частотной характеристикой представляет собой достаточно трудную техническую задачу. Формирующие фильтры, проектируемые на основе аналоговых средств (емкостей и индуктивностей), достаточно просты и стабильны, однако допускают перестройку частотных свойств в широких пределах только механическим путем и не допускают прямого цифрового управления. Реализация формирующих фильтров цифровыми методами частично лишена этих недостатков и допускает прямое цифровое управление частотной характеристикой. Однако цифровой фильтр требует выполнения нескольких операций умножения и суммирования для формирования текущего отсчета выходного случайного процесса, что существенно оказывается на уменьшении быстродействия программно управляемых генераторов. Кроме того, расчет параметров формирующих фильтров

достаточно сложен, так как требует выполнения интегральных преобразований.

Генераторы случайных процессов, использующие несколько формирующих фильтров, содержат дополнительно в своей структуре несколько генераторов исходных случайных процессов и блок суммирования с заданными весами [2].

Управление спектральной плотностью мощности случайного процесса в таких генераторах основано на том, что при суммировании независимых случайных процессов спектральные плотности их мощности суммируются. А так как суммирование случайных процессов производится с определенными весами, то их вариация приводит к изменению спектральной плотности мощности процесса на выходе генератора. Указанные генераторы допускают прямое цифровое управление спектральными свойствами, однако требуют выполнения операций умножения исходных случайных процессов на весовые коэффициенты и суммирование полученных результатов. Следовательно, ввиду необходимости вычисления суммы произведений, для формирования одного отсчета генераторы, содержащие несколько формирующих фильтров, эквивалентны по быстродействию генератором, содержащим один формирующий фильтр.

К другому классу можно отнести генераторы, использующие для формирования выходного случайного процесса множество случайных импульсных потоков (6—11). Такие устройства содержат в своей структуре множество генераторов импульсов, конъюнкторы, дизъюнкторы и другие вспомогательные элементы, выполняющие над множеством исходных случайных процессов только логические операции, в связи с чем обладают высоким быстродействием. Однако выходной процесс представляет собой поток импульсов фиксированной формы, следующих через случайные интервалы времени. Управляемой статистической характеристикой потока является функция распределения случайного временного интервала между импульсами, вариация которой приводит к изменению спектральных свойств процесса на выходе генератора [3].

К недостаткам известных генераторов можно отнести ограниченность класса воспроизводимых спектральных плотностей мощности, а также сложность методики расчета параметров их настройки по заданной спектральной плотности мощности, так как их целевое назначение — моделирование случайных событий.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности является генератор, предназначенный для формирования случайного процесса с заданным многомерным распределителем, которое в конечном итоге определяет

его спектральные свойства. Эта цель достигается тем, что он содержит блок генераторов, включающий множество генераторов нормальных случайных процессов, статистический коммутатор и выходной блок, предназначенный для преобразования сигналов к дискретной форме. Так как выходной блок выполняет лишь вспомогательные функции типа информационных преобразований, то существенными признаками противопоставляемого устройства являются наличие статистического коммутатора и блока генераторов, выходы которого соединены с входами статистического коммутатора. Принцип действия генератора основан на том, что для формирования текущего отсчета выходного случайного процесса случайным образом выбирают один (и только один) из выходов блока генераторов и умножают значение сигнала на определенный коэффициент [4].

Так как указанные функции выполняет статистический коммутатор, то в своей структуре он должен содержать устройство умножения текущего значения сигнала на заданный коэффициент, запоминающее устройство для хранения коэффициентов и вероятностей $1, N$ -плюсник с управляемыми вероятностями выбора выходов блока генераторов.

Кроме того, упомянутый принцип действия может быть реализован только при условии, что процессы на выходах блока генераторов должны иметь в общем случае отличные друг от друга и регулируемые статистические свойства.

При реализации генератора средствами аналоговой вычислительной техники перечисленные выше требования к функционированию его элементов не налагают принципиальных ограничений на его быстродействие, так как операции умножения (деления) и суммирования не требуют временных затрат и могут выполняться, например, при помощи потенциометров (деление) или более сложных резистивных схем (суммирование).

Однако такой путь не является эффективным, когда речь идет о создании генераторов случайных процессов, управляемых от ЭВМ. Необходимость создания таких генераторов определяется прежде всего тем, что их использование в качестве узлов и подсистем в сложных имитационно-моделирующих комплексах с элементами автоматизации статистического эксперимента требует обеспечения возможности программного управления статистическими свойствами случайного процесса. Несмотря на то, что программное (цифровое) управление обладает рядом преимуществ перед аналоговым, сформулированное требование является принципиальным, так как в конечном итоге определяет эффективность практического ис-

пользования генераторов случайных процессов. Испытание изделий электронной промышленности на воздействие случайных факторов требует применения генераторов случайных процессов, которые являются электрическими аналогами исследуемых воздействий. Причем, если генератор случайного процесса обладает возможностью программного управления от ЭВМ, то процесс испытаний может быть автоматизирован, т.е. задание режимов испытаний, вариация режимов и анализ результата выполняются по специальным программам, хранимым в управляющей ЭВМ. Это приводит к повышению информативности испытаний, производительности испытательного оборудования и, в конечном итоге, к повышению качества выпускаемой продукции.

С целью программного управления, реализация известного устройства средствами цифровой техники принципиально возможна, однако ведет к уменьшению быстродействия устройства в целом, по следующим причинам: формирование нормальных случайных процессов с заданными статистическими свойствами требует выполнения над некоторым исходным случайным процессом как минимум двух арифметических операций: умножения (получение заданной дисперсии) и сложения (получение заданного математического ожидания); преобразование нормального случайного процесса статистическим коммутатором требует выполнения операции умножения.

Таким образом, для вычисления текущего значения выходного случайного процесса выполнение как минимум двух операций умножения, реализация которых средствами цифровой техники требует значительных временных затрат. Вследствие этого можно утверждать, что рассматриваемое устройство при реализации программного управления обладает пониженным быстродействием.

Цель изобретения — повышение быстродействия генератора при реализации программного управления спектральными свойствами процесса.

Для достижения поставленной цели в генератор случайного процесса, содержащий статистический коммутатор и блок генераторов, выходы которого соединены со входами статистического коммутатора соответственно, введен сумматор, входы которого соединены с выходами статистического коммутатора соответственно, а выход сумматора является выходом генератора.

Кроме того, статистический коммутатор содержит датчик случайных чисел и ключи, причем выходы датчика случайных чисел соединены с первыми входами соответствующих

ключей, вторые входы ключей, являются входами статистического коммутатора, а их выходы — выходами статистического коммутатора.

Кроме того, блок генераторов содержит генераторы гармонических колебаний, выходы которых являются выходами блока генераторов, а выход первого генератора гармонического колебания соединен со входами остальных генераторов гармонических колебаний.

Предлагаемое устройство обладает повышенным быстродействием за счет того, что для формирования текущего значения выходного случайного процесса не требуется выполнения операций умножения. Высокое быстродействие определяется так же тем, что часть устройства может быть реализована средствами аналоговой техники, а часть (датчик случайных чисел) — цифровыми методами, вследствие того, что в предлагаемом устройстве спектральные свойства выходного процесса определяются законом распределения случайных чисел на выходе датчика, управляющего работой ключевых схем.

Таким образом, введение сумматора в структуру генератора случайного процесса, позволяет заменить операцию умножения процесса на выходе блока генераторов операцией подключения или отключения его ко входу сумматора.

Кроме того, благодаря введению сумматора и указанным особенностям функционирования статистического коммутатора оказывается возможным повысить быстродействие блока генераторов за счет использования генераторов гармонических колебаний, схемотехника построения которых достаточно хорошо изучена и не имеет принципиальных ограничений по быстродействию.

На чертеже приведена структурная схема генератора случайного процесса.

Устройство включает блок 1 генераторов, статистический коммутатор 2, сумматор 3, ключи 4 (4-1, ..., 4-N), датчик 5 случайных чисел и генераторы 1-1, ..., 1-N гармонических колебаний.

Выходы генераторов 1-1, ..., 1-N гармонических колебаний соединены со вторыми входами ключей 4-1, ..., 4-N схем соответственно. Первые входы ключей 4-1, ..., 4-N соединены соответственно с выходами 1, ..., N датчика 5 случайных чисел. Выходы ключей 4-1, ..., 4-N, являясь выходами статистического коммутатора 2, соединены со входами 1, ..., N сумматора 3 соответственно. Генераторы 1-1, ..., 1-N гармонических колебаний блока 1 генераторов функционально связаны таким образом, что выход генератора гармонических колебаний

1-1 соединен со входами остальных генераторов 1-2, ..., 1-N.

Названные блоки выполняют следующие функции.

Блок генераторов 1 непрерывно формирует на своих выходах множество исходных процессов. В зависимости от конкретного исполнения этого блока, исходные процессы на его выходах могут быть либо случайными, либо представлять собой гармонические колебания с заданными частотами и фиксированными фазовыми соотношениями.

В последнем случае он содержит генераторы гармонических колебаний 1-1, ..., 1-N, формирующие на своих выходах гармонические колебания с заданными частотами. Требуемые фазовые соотношения колебаний поддерживаются благодаря соединению выхода генератора 1-1 со входами синхронизации остальных генераторов 1-2, ..., 1-N.

Статистический коммутатор 2 предназначен для периодического подключения ко входам сумматора случайного числа выходов блока 1 генераторов с заданными вероятностями подключения каждого из них. При этом подключение (если оно выполняется) происходит в прямой или инверсной форме (сигнал с выхода блока генераторов инвертируется или не инвертируется) случайным образом с равной вероятностью.

Указанные функции реализуются с помощью ключей 4 и датчика 5 случайных чисел. В соответствии со значением случайного сигнала, поступающего на первый вход ключа она "пропускает" или "не пропускает" на выход сигнал, поступающий на ее второй вход. При этом передача сигнала выполняется либо с инвертированием, либо без инвертирования с равной вероятностью. Описанный принцип действия позволяет синтезировать ключевую схему и, в соответствии с этим, более детально она не рассматривается.

Датчик 5 случайных чисел периодически через заданные интервалы времени формирует независимые случайные числа с управляемыми вероятностями появления сигнала на каждом из его выходов.

Сумматор 3 выполняет арифметическое суммирование величин, поступающих на его входы. Функционирование устройства происходит следующим образом. После формирования очередного нового случайного числа датчиком 5 случайных чисел, оно поступает на первые входы ключевых схем и, соответственно, управляет подключением нового случайного числа выходов блока генераторов по соответствующим входам сумматора. Одновременно с этим выполняется равновероятный выбор ключевы-

ми схемами прямой или инверсной передачи сигналов.

После выполнения этих действий в течение заданного интервала времени τ никаких переключений в схеме не происходит до формирования нового случайного числа.

Спектральные свойства случайного процесса на выходе генератора определяются вероятностями появления сигналов на выходах датчика случайных чисел, т.е. в конечном итоге настройкой датчика случайных чисел на формирование случайных двоичных сигналов с заданными статистическими свойствами. Известно большое число различных датчиков случайных чисел с программным управлением. В предлагаемой структуре может быть использован любой из них без дополнительных ограничений.

Связь между спектральной плотностью мощности случайного процесса на выходе генератора случайного процесса и вероятностями появления единицы на соответствующих выходах датчика случайных чисел оказывается наиболее простой, если предположить, что частоты гармонических колебаний на выходах блока генераторов кратны величине ω_0 ($\omega_n = n\omega_0$), а интервал времени τ между моментами формирования новых случайных чисел датчиком задан, исходя из величины ω_0

$$\tau = 2\pi / \omega_0$$

Кроме того, гармонические колебания на выходах блока 1 генераторов находятся в определенных фазовых соотношениях (начальная фаза каждого гармонического колебания равна $\pi/4$).

При выполнении указанных условий спектральная плотность мощности случайного процесса на выходе устройства определяется следующим соотношением:

$$\tilde{G}(\omega) = \sum_{n=1}^N \frac{P_n \tau}{4} [sa(\omega - n\omega_0) + sa(\omega + n\omega_0)]$$

где

$$sa(x) = \left[\frac{\sin \frac{x\tau}{2}}{\frac{x\tau}{2}} \right]^2$$

Исходя из данного соотношения, нетрудно рассчитывать такие вероятности P_k появления сигналов на соответствующих выходах датчика случайных чисел, что воспроизводимая функция $\tilde{G}(\omega)$ будет совпадать с заданной $G(\omega)$ в точках $k\omega_0$. Названные вероятности рассчитываются в соответствии со следующим соотношением $P_k = 4G(k\omega_0)/\tau$ и являются исходными данными для расчета параметров настройки датчика случайных чисел.

Таким образом, помимо высокого быстродействия при реализации программного управления, предлагаемый генератор отличается также

простота математических операций при расчете вероятностей настройки P_k на формирование процесса с заданными свойствами.

Ввиду того, что все расчеты, связанные с настройкой программно-управляемых устройств реализует управляющая ЭВМ, то простота математических операций позволяет сократить затраты машинного времени на расчет и увеличить число сопрягаемых с ЭВМ генераторов без существенного увеличения времени их обслуживания.

Формула изобретения

1. Генератор случайного процесса, содержащий статистический коммутатор и блок генераторов, выходы которого соединены со входами статистического коммутатора соответственно, отличающийся тем, что, с целью повышения быстродействия генератора, он содержит сумматор, входы которого соединены с выходами статистического коммутатора соответственно, а выход сумматора является выходом генератора.

2. Генератор по п. 1, отличающийся тем, что статистический коммутатор со-

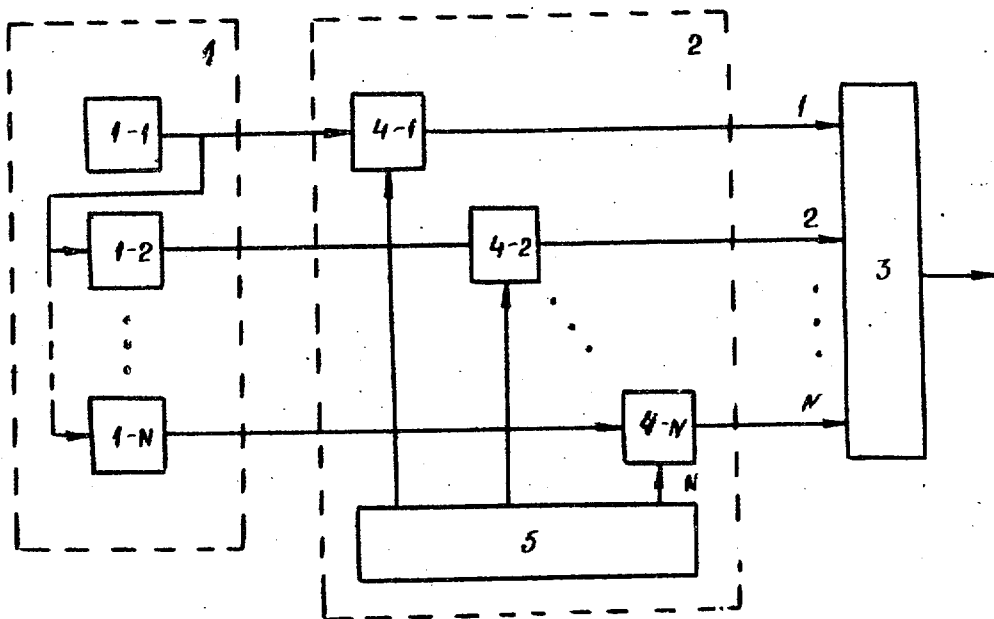
держит датчик случайных чисел и ключи, причем выходы датчика случайных чисел соединены с первыми входами соответствующих ключей, вторые входы ключей являются входами статистического коммутатора, а их выходы — выходами статистического коммутатора.

3. Генератор по п. 1, отличающийся тем, что блок генераторов содержит генераторы гармонических колебаний, выходы которых являются выходами блока генераторов, а выход первого генератора гармонического колебания соединен со входами остальных генераторов гармонических колебаний.

Источники информации,

принятые во внимание при экспертизе

1. Бобнев М. П. Генерирование случайных сигналов, М., "Энергия", 1971.
2. Авторское свидетельство СССР № 391577, кл. G 06 F 1/02, 1971.
3. Авторское свидетельство СССР № 312253, кл. G 06 F 1/02, 1969.
4. Авторское свидетельство СССР № 391576, кл. G 06 F 1/02, 1971 (прототип).



Редактор А. Долиннич

Составитель А. Карасов

Техред Ж. Кастелевич

Корректор Н. Григорук

Заказ 4743/6

Тираж 751

Подписное

ЦНИИПИ 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