



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 734768

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 15.12.77 (21) 2556185/18-24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 15.05.80. Бюллетень № 18

Дата опубликования описания 16.05.80

(51) М. Кл.<sup>2</sup>

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

(53) УДК 681.325  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

Э. А. Баканович, С. Ф. Костюк, В. И. Новиков  
и А. Г. Якубенко

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

## (54) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

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

Известны генераторы, использующие один формирующий фильтр, которые содержат генератор исходного случайного процесса, спектральные свойства которого известны и нормированы. Управление спектральной плотностью мощности случайного процесса на выходе таких генераторов выполняется изменением частотной характеристики формирующего фильтра. Такое управление с математической точки зрения является достаточно простым, так как спектральная плотность мощности случайного процесса на выходе генератора определяется произведением спектральной плотности мощности исходного случайного процесса и квадрата модуля частотной характеристики формирующего фильтра [1].

Однако проектирование и изготовление формирующих фильтров с перестраиваемой в широких пределах частотной характеристикой технически сложно. Формирующие фильтры, проектируемые на основе аналоговых средств (емкостей и индуктивностей), нетехнологичны и, как правило, их простые конфигурации допускают перестройку частотных свойств в широких пределах только механическим путем. Цифровой же фильтр требует выполнения операций умножения и суммирования и представляет собой вычислительное устройство, высокая точность и быстродействие которого требует существенных аппаратурных затрат. Кроме того, расчет параметров формирующего фильтра по известной частотной характеристике 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.

Управление спектральной плотностью мощности случайного процесса на выходе таких генераторов основано на том, что спектральные плотности суммируются при суммировании независимых случайных процессов. Если при этом спектральные плотности мощности указанных случайных процессов отличны друг от друга (например сдвигом по оси частот), а суммирование выполняется с определенными детерминированными или вероятностными весами, то их изменение приводит к изменению спектральной плотности мощности выходного случайного процесса. Методика расчета параметров настройки указанных генераторов оказывается проще чем для генераторов, содержащих один формирующий фильтр [2].

Однако с точки зрения аппаратных затрат, рассматриваемый вариант является более емким.

Известны также генераторы, использующие для формирования выходного случайного процесса множество импульсных потоков. Такие устройства содержат в своей структуре множество генераторов импульсов, элементы И, ИЛИ и некоторые другие вспомогательные элементы, причем общим для их структуры является то, что выходы генераторов подключены к входам элементов И, выходы которых подключены (непосредственно или через другие логические элементы) к входам элемента ИЛИ. Процесс на выходе генераторов представляет собой последовательность импульсных сигналов определенной формы, следующих через случайные интервалы времени, причем регулируемой статической характеристикой выходного случайного процесса является закон распределения случайных временных интервалов [3].

Известно, что вариация закона распределения случайных временных интервалов между импульсами приводит к изменению спектральных свойств процесса на выходе генератора. Названный класс генераторов случайных процессов отличает простота технической реализации, так как в своей структуре они содержат достаточно простые и в небольшом количестве логические элементы, а также простота расчета параметров настройки для формирования процесса с заданной функцией распределения случайных временных интервалов, форма которой не имеет принципиальных ограничений.

Однако выполнить обратный расчет, т.е. вычислить требуемую функцию распре-

деления случайных временных интервалов по заданной спектральной плотности мощности, оказывается затруднительно как из-за сложности математических преобразований, так и из-за ограниченного класса воспроизводимых спектральных плотностей мощности.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является генератор случайного процесса, содержащий элемент ИЛИ, входы которого соединены с выходами группы элементов И, первые входы которых соединены с выходами циклического регистра сдвига, вход которого соединен с выходом генератора импульсов [4].

Недостаток этого генератора — ограниченный класс воспроизводимых функций спектральной плотности мощности.

Цель изобретения — расширение функциональных возможностей генератора за счет формирования случайных процессов с произвольной спектральной плотностью мощности формируемого процесса.

Для достижения поставленной цели генератор содержит группу генераторов импульсов, датчик случайных чисел, группу триггеров, регистр памяти, сумматор, блок памяти, первый счетчик, второй счетчик, причем первые входы триггеров соединены с выходами группы генераторов импульсов соответственно, вторые входы триггеров соединены с выходами датчика случайных чисел, а выходы триггеров соединены со вторыми входами группы элементов И, вход датчика случайных чисел соединен с выходом второго счетчика, вход которого соединен с первым входом первого счетчика, первым входом сумматора, первым входом регистра памяти и подключен к  $n$ -му выходу циклического регистра сдвига, второй вход первого счетчика соединен со входом циклического регистра сдвига, а выход первого счетчика соединен со входом блока памяти, второй и третий входы сумматора соединены соответственно с выходом элемента ИЛИ и выходом блока памяти, выход сумматора соединен со вторым входом регистра памяти, выход которого является выходом генератора.

Использование новых блоков и связей позволяет получать процесс на выходе генератора в виде последовательности случайных чисел с заданными спектральными свойствами. В отличие от известного форма функции спектральной плотности мощности не зависит от частот генератора импульсов и определяется исключительно на-

бором кодов, хранящихся в запоминающем устройстве и может быть произвольной. Указанное свойство устройство приобрело благодаря введению в его структуру триггеров, сумматора, запоминающего устройства, регистра и первого счетчика, а простота методики расчета параметров настройки определяется введением в структуру генератора датчика случайных чисел и второго счетчика.

На чертеже приведена структурная схема устройства.

Устройство содержит датчик 1 случайных чисел, группу из  $N$  генераторов 2 (2-1, ..., 2- $N$ ) импульсов, группу из  $N$  триггеров 3 (3-1, ..., 3- $N$ ), группу из  $N$  элементов И 4 (4-1, ..., 4- $N$ ), элемент ИЛИ 5, регистр 6 памяти, сумматор 7, блок 8 памяти, первый счетчик 9, циклический регистр 10 сдвига, генератор 11 импульсов, второй счетчик 12. Выходы 1, ...,  $N$  датчика 1 случайных чисел соединены со вторыми входами триггеров 3-1, ..., 3- $N$  соответственно, а первые входы триггеров соединены с выходами генераторов 2-1, ..., 2- $N$  соответственно. Первые входы элементов И 4-1, ..., 4- $N$  соединены с выходами 1, ...,  $N$  циклического регистра 10 сдвига, вторые входы - с выходами триггеров 3-1, ..., 3- $N$  соответственно, а выходы - со входами 1, ...,  $N$  элемента ИЛИ 5 соответственно. Выход элемента ИЛИ 5 соединен со вторым входом сумматора 7, первый вход которого соединен с первым входом регистра 6 памяти, первым входом первого счетчика 9, входом второго счетчика 12 и подключен к выходу циклического регистра сдвига. Выход второго счетчика 12 соединен со входом датчика 1 случайных чисел, выход генератора 11 импульсов соединен со входом циклического регистра 10 сдвига и вторым входом первого счетчика 9. Вход и выход блока 8 памяти соединен с выходом первого счетчика 9 и третьим входом сумматора 7 соответственно.

Выход сумматора 7 соединен со вторым входом регистра 6 памяти, выход которого является выходом генератора случайного процесса.

Устройство работает следующим образом.

Датчик 1 случайных чисел на выходах 1, ...,  $N$  формирует равномерно распределенное случайное число по сигналу, поступающему на его вход. Генераторы импульсов 2-1, ..., 2- $N$  непрерывно формируют

импульсные последовательности с частотами  $2\omega_1, \dots, 2\omega_N$  соответственно. Триггеры 3-1, ..., 3- $N$  выполняют счет импульсных сигналов, поступающих на их первые входы, при этом на выходах триггеров присутствуют сигналы меандровой формы с частотами  $\omega_1, \dots, \omega_N$ . Вторые входы триггеров являются установочными, появление сигналов на которых вызывает их переключение в соответствующее состояние. Элементы И 4-1, ..., 4- $N$  выполняют логическую операцию И над сигналами, поступающими на их входы. Элемент ИЛИ 5 выполняет логическую операцию ИЛИ над сигналами, поступающими на его входы. Регистр 6 памяти выполняет операцию приема и хранения кода, поступающего на его второй вход при появлении сигнала на его первом входе. Сумматор 7 выполняет суммирование и вычитание кодов. Операция суммирования или вычитания выполняется над содержимым сумматора (кодом хранимым в сумматоре) и кодом, поступающим на его третий вход.

Управление видом выполняемой операции осуществляется сигналом, поступающим на его второй вход, причем при наличии сигнала выполняется суммирование, а при отсутствии - вычитание. Первый вход сумматора предназначен для установки его содержимого в исходное (нулевое) состояние по соответствующему сигналу.

Блок 8 памяти предназначен для хранения и выдачи на его выход предварительно записанных в него двоичных кодов при подаче сигналов, соответствующих коду адреса на его вход. Первый счетчик 9 выполняет счет сигналов, поступающих на его второй вход. На его выходе при этом присутствуют двоичные коды числа импульсов, поступивших на его вход. Первый вход счетчика предназначен для установки его в исходное (нулевое) состояние.

Циклический регистр 10 сдвига по сигналу, поступающему на его вход, выполняет сдвиг хранимого в нем двоичного кода, все разряды в котором нулевые за исключением одного. На выходах 1, ...,  $N$  циклического регистра 10 сдвига присутствуют сигналы, соответствующие хранимому в нем двоичному коду. Генератор 11 импульсов непрерывно формирует импульсную последовательность с частотой  $2N\omega_N$ . Второй счетчик 12 выполняет счет сигналов, поступающих на его вход. На выходе счетчика 12 появляется каждый  $M$ -ый входной сигнал, где  $M$  - коэффициент пересчета.

Процесс функционирования устройства для наглядности удобно разбить на такты, шаги и циклы, причем 1 цикл включает в себя несколько шагов, а 1 шаг несколько тактов. Устройство выполняет один такт работы по сигналу на выходе генератора 11 импульсов. Этот сигнал, поступающий на второй вход первого счетчика 9, вызывает передачу кода его состояния в блок 8 памяти, на выходе которого появляется соответствующий двоичный код, поступающий на сумматор. По окончании сигнала на выходе генератора 11 импульсов происходит сдвиг кода в циклическом регистре 10 сдвига и увеличении кода состояния счетчика 9 на единицу. Один шаг включает выполнение  $N$  тактов, причем начало шага характеризуется наличием сигнала на первом выходе циклического регистра 10 сдвига, а конец шага — на его  $N$ -ом выходе. Выполнение очередного шага заканчивается с окончанием сигнала на  $N$ -ом выходе циклического регистра сдвига, при этом содержимое второго счетчика 12 увеличивается на единицу, в регистр 6 записывается код, хранящийся в сумматоре, содержимое сумматора устанавливается в нулевое состояние и в первый счетчик 9 записывается нулевой код. Один цикл включает в себя выполнение  $M-2N$  шагов работы устройства и заканчивается появлением сигнала на выходе второго счетчика 12, который вызывает появление очередного случайного числа на выходах генератора случайных чисел, устанавливающего триггеры 3-1, ..., 3- $N$  в случайные равновероятные состояния.

Рассмотрим вид сигналов на выходах триггеров 3-1, ..., 3- $N$  в течение длительности цикла. Так как в начале цикла  $n$ -й триггер устанавливается в состояние  $H$  (0 или 1) с равной вероятностью, а в течение длительности цикла триггер перерасчитывает импульсы, поступающие с выхода соответствующего генератора, то меандровый сигнал на его выходе определяется следующим соотношением

$$x_n(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sign} [\sin(\omega_n t + \psi_n)] & H=1 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{sign} [\sin(\omega_n t + \psi_n)] & H=0, \end{cases}$$

$$\operatorname{sign}(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0, \end{cases}$$

где  $\psi_n$  — величина, определяемая фазовым состоянием  $n$ -го генератора 2 импульсов. Так как частота генератора 11 импульсов

в  $2N$  раз больше максимальной частоты переключения триггеров, то время выполнения одного шага равно половине периода минимальной длительности сигнала на выходе триггера 3- $N$ . В связи с этим можно условно рассматривать триггеры 3-1, ..., 3- $N$  как находящиеся в статическом состоянии за время выполнения одного шага. Рассмотрим более подробно выполнение одного шага с момента времени появления сигнала на выходе 1 циклического регистра сдвига.

Так как этому предшествует наличие сигнала на выходе  $N$  циклического регистра сдвига, то счетчик 9 и сумматор 7 находятся в нулевом состоянии. Так как сигнал присутствует только на первом выходе циклического регистра сдвига, то на выходе элемента ИЛИ 5 присутствует сигнал, соответствующий состоянию триггера 3-1. Появление очередного сигнала на выходе генератора 11 импульсов вызывает передачу нулевого кода из счетчика 9 в запоминающее устройство 8. В соответствии с этим адресом из соответствующей ячейки запоминающего устройства на вход сумматора поступает код  $A_1$ . При этом код  $A_1$  суммируется или вычитается из содержимого сумматора  $S$  в зависимости от состояния триггера  $T_1$ . Таким образом, за один такт работы устройства выполняется операция

$$S = A_1 f_1(t) \quad f_1(t) = \begin{cases} +1 & x_1(t) = 1 \\ -1 & x_2(t) = 0 \end{cases}$$

На втором такте работы устройства аналогичная операция выполняется над кодом  $A_2$  из запоминающего устройства и состоянием  $x_2(t)$  триггера 3-2.

$$S = S + A_2 f_2(t) = A_1 f_1(t) + A_2 f_2(t)$$

и так далее.

Таким образом, за время выполнения одного шага в сумматоре 7 накапливается сумма

$$S = \sum_{n=1}^N f_n(t) A_n$$

и по окончании шага она записывается в регистр 6.

После выполнения  $2N$  шагов цикл завершается установкой триггеров 3-1, ..., 3- $N$  в новое случайное состояние. При выполнении одного цикла на выходе генератора присутствует сигнал  $F(t)$  вида

$$F(t) = \sum_{n=1}^N (-1)^{H_n} A_n \operatorname{sign} [\sin(\omega_n t + \psi_n)]$$

Если случайные события на выходах датчика случайных чисел статистически независимы между собой, частоты генераторов кратны  $\omega_0$  ( $\omega_n = n\omega_0$ ) и длительность цикла равна  $2\pi/\omega_0$ , что достигается заданием частоты генератора 11 импульсов равной  $2N^2\omega_0$ , то спектральная плотность мощности случайного процесса на выходе генератора определяется соотношением

$$\tilde{G}(\omega) = \sum_{n=1}^N \frac{b\pi^3 A_n^2}{\omega_0} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k^2 \left[ \frac{\sin\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \pi k n\right)}{\frac{\omega}{\omega_0} - \pi k n} \right]^2 \quad (1)$$

где

$$C_k = \frac{\sin \frac{\pi k}{2}}{\frac{\pi k}{2}}$$

Методика расчета коэффициентов  $A_n$  оказывается наиболее простой, если потребовать совпадение функции  $\tilde{G}(\omega)$  и заданной  $G(\omega)$  в точках  $r\omega_0$ . В этом случае приведенное соотношение принимает вид

$$G(r\omega_0) = \sum_{n=1}^N \frac{b\pi^3}{\omega_0} A_n^2 P\left[\frac{r}{n}\right], \quad (2)$$

где  $P\left[\frac{r}{n}\right]$  - функция равная  $C_k^2$ , если  $k = \frac{r}{n}$  целое число, и равная нулю в противном случае.

Отыскание  $A_n$  в соответствии с данным соотношением выполняется достаточно просто методом подстановки, начиная с  $A_1$ . Действительно при  $r=1$

$$G(\omega_0) = \frac{b\pi^3}{\omega_0} A_1^2 C_1^2$$

и может быть вычислено  $A_1$ , при  $r=2$

$$G(2\omega_0) = \frac{b\pi^3}{\omega_0} (A_1^2 C_2^2 + C_1^2 A_2^2)$$

и известном  $A_1$  вычисляется  $A_2$  и так далее.

Рассмотрим вероятность формирования случайного процесса с произвольной спектральной плотностью мощности с помощью предлагаемого генератора. Так как соотношение (1) дает однозначную методику вычисления величин  $A_n$ , то можно утверждать что для любого набора  $G(r\omega_0)$  могут быть найдены требуемые параметры настройки генератора. С физической точки зрения результирующая спектральная плотность мощности случайного процесса представляет собой композицию сдвинутых по оси частот функций вида  $[\sin x/x]^2$  с весами  $A_n^2$ , что позволяет их вариацией получать любые формы спектральных функций.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет формировать случайный процесс с произвольной (заданной) спектральной плотностью мощности, причем методика расчета параметров настройки генератора является достаточно простой и сводится к выполнению арифметических операций.

#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Генератор случайного процесса, содержащий элемент ИЛИ, входы которого соединены с выходами группы элементов И, первые входы которых соединены с выходами циклического регистра сдвига, вход которого соединен с выходом генератора импульсов, отличающийся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей генератора за счет формирования случайных процессов с произвольной спектральной плотностью мощности, он содержит группу генераторов импульсов, датчик случайных чисел, группу триггеров, регистр памяти, сумматор, блок памяти, первый и второй счетчики, причем первые входы триггеров соединены с выходами группы генераторов импульсов, соответственно, вторые входы триггеров соединены с выходами датчика случайных чисел, а выходы триггеров соединены со вторыми входами группы элементов И, вход датчика случайных чисел соединен с выходом второго счетчика, вход которого соединен с первым входом первого счетчика, первым входом сумматора, первым входом регистра памяти и подключен к И-му выходу циклического регистра сдвига, второй вход первого счетчика соединен со входом циклического регистра сдвига, а выход первого счетчика соединен со входом блока памяти, второй и третий входы сумматора соединены соответственно с выходом элемента ИЛИ и выходом блока памяти, выход сумматора соединен со вторым входом регистра памяти, выход которого является выходом генератора.

#### Источники информации,

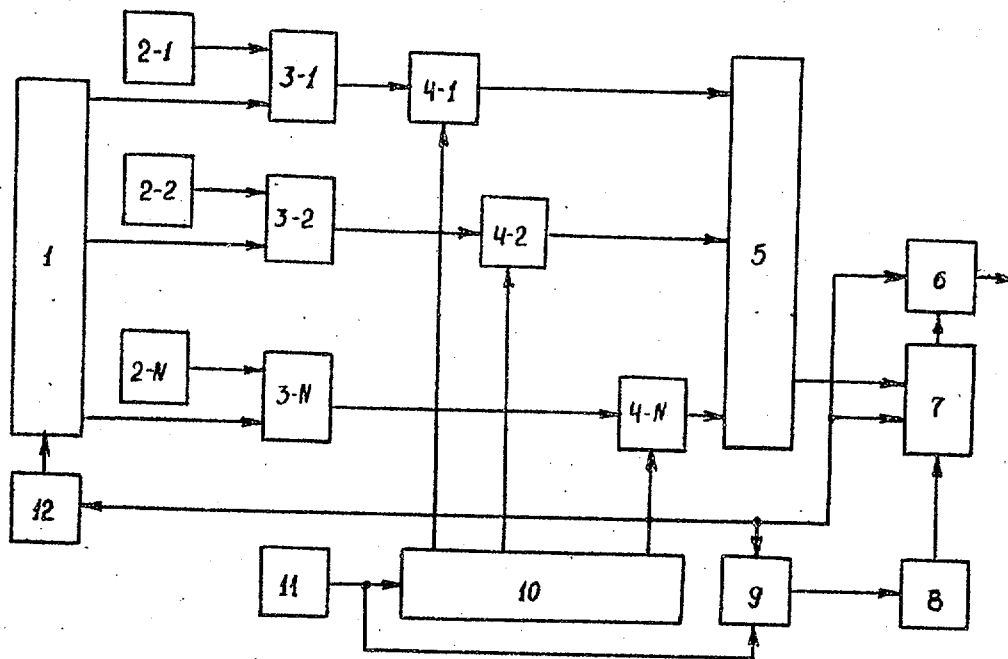
принятые во внимание при экспертизе

1. Бобнев М. П. Генерирование случайных сигналов и измерение их параметров. М., "Энергия", 1966.

2. Авторское свидетельство СССР № 391577, кл. G 06 F 1/02, 1972.

3. Авторское свидетельство СССР № 308431, кл. G 06 F 1/02, 1970.

4. Авторское свидетельство СССР № 312253, кл. G 06 F 1/02, 1970 (прототип).



Составитель А. Карасов  
 Редактор А. Мотыль Техред М. Петко Корректор Е. Папп  
 Заказ 2229/15 Тираж 641 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