



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 20.04.81 (21) 3276948/18-24

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 07.11.82. Бюллетень № 41

Дата опубликования описания 07.11.82

(11) 972505

(51) М. Кл.<sup>3</sup>

G 06 F 7/58

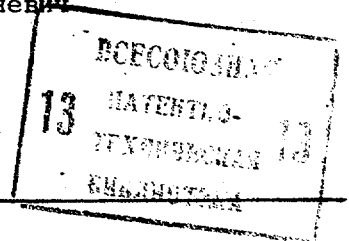
(53) УДК 681.325  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

Э.А.Баканович, В.П.Лозицкий и Ю.В.Корженевич

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт



(54) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

Изобретение относится к вычислительной технике и автоматике и может быть использовано для имитации случайных процессов с заданными и программно-управляемыми характеристиками в вычислительно-моделирующих комплексах для управления испытаниями изделий электронной и другой техники на механические, вибрационные, электрические и другие воздействия, а также при построении моделирующей аппаратуры для исследования и оптимизации структурно сложных систем.

Известен генератор случайных процессов, содержащий один или несколько формирующих фильтров для придания случайному процессу требуемых спектральных свойств [1].

Управление спектральной плотностью мощности случайного процесса на выходе таких генераторов выполняется путем изменения частотной характеристики формирующих фильтров. Однако, с практической точки зрения, проектирование и изготовление формирующих фильтров с перестраиваемой в широком частотном диапазоне характеристикой представляет собой достаточно сложную техническую задачу. Формирующие фильтры, разработанные на основе

аналоговых средств, достаточно просты и нестабильны, однако они не технологичны и их простые конфигурации допускают перестройку частотных свойств в широких диапазонах только механическим путем. Реализация формирующих цепей цифровыми средствами частично лишена этих недостатков, однако расчет параметров формирующих фильтров по известной частотной характеристике достаточно сложен, так как требует выполнения интегральных преобразований. Кроме того, с аппаратурной точки зрения эти устройства оказываются очень емкими при воспроизведении случайных процессов с высокой разрешающей способностью, т.е. при задании большого числа значений спектральной плотности мощности случайного процесса, так как аппаратурные затраты растут пропорционально числу заданных точек значений спектральной характеристики.

Известны также устройства, использующие для формирования выходного случайного процесса множество импульсных потоков, содержащие в своей структуре множество генераторов импульсов, конъюнкторы, дизъюнкторы и некоторые другие вспомогательные

элементы. Процесс на выходе таких генераторов представляет собой последовательность импульсных сигналов определенной формы, следующих через случайные интервалы времени, причем управляемой статистической характеристикой выходного случайного процесса является закон распределения случайных временных интервалов [2].

Недостатком данных устройств являются ограниченные возможности их использования для генерирования случайных процессов с заданными спектральными характеристиками, так как несмотря на однозначную связь спектральных характеристик процесса и функции распределения случайных временных интервалов решить обратную задачу, т.е. определить требуемую функцию распределения случайных временных интервалов по заданной спектральной плотности мощности, оказывается затруднительным как из-за сложности математических преобразований, так и из-за ограниченного класса воспроизводимых спектральных плотностей мощности.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является устройство, содержащее датчик случайных чисел, группу из  $N$  генераторов импульсов, группу из  $N$  триггеров, группу из  $N$  элементов И, элементы ИЛИ, регистр памяти, сумматор, блок памяти, первый и второй счетчики, циклический регистр сдвига, генератор импульсов и соответствующие связи. Данное устройство позволяет получать на выходе случайный процесс с заданными спектральными характеристиками [3].

Основным недостатком этого устройства является невысокая точность воспроизведения заданной спектральной характеристики случайного процесса, так как время вычисления одного значения случайного процесса (шаг дискретизации во времени) составляет

$$\Delta t = N \cdot t_{CA},$$

где  $N$  - число заданных значений спектральной плотности мощности случайного процесса;  $t_{CA}$  - время выполнения операции сложения или вычитания.

Тогда высшая частота  $F_B$  генерируемого процесса определяется соотношением

$$F_B = 1 / (2Nt_{CA}) \quad (1)$$

При практической реализации такого устройства для  $N = 1024$ ,  $F_B = 20$  кГц время сложения должно составлять  $t_{CA} = 25$  нс, что невозможно обеспечить, учитывая время обра-

ния к памяти, временные соотношения при формировании управляющих сигналов, задержки логических элементов.

Вторым существенным недостатком известного устройства являются чрезмерные аппаратные затраты, так как объем используемой аппаратуры растет пропорционально величине  $N$ . Для  $N = 1024$  устройство должно содержать помимо остальных элементов 1024 генератора импульсов, каждый из которых представляет собой сложную логическую схему, арифметический сумматор на 1024 входа и датчик случайных чисел с 1024 выходами. Реализовать такое устройство при жестких требованиях к его габаритам, весу и стоимости не представляется возможным.

Целью изобретения является повышение точности воспроизведения заданной спектральной плотности мощности и расширение частотного диапазона формируемого случайного процесса.

Для достижения поставленной цели в генератор случайного процесса, содержащий датчик случайных чисел, первый блок памяти, введены второй и третий блоки памяти, первый, второй и третий коммутаторы, блок умножения, блок быстрого преобразования Фурье, функциональный преобразователь, блок формирования интервалов времени, цифроаналоговый преобразователь и блок управления, содержащий три триггера, три элемента И, счетчик, блок сравнения, генератор тактовых импульсов и регистр памяти, выход которого соединен с первым входом блока сравнения, выход которого соединен с первым входом первого элемента И, выход которого соединен с нулевым входом первого триггера и входом "Сброс" счетчика, выход которого соединен с вторым входом блока сравнения, единичный вход первого триггера объединен с нулевым входом второго триггера, счетным входом третьего триггера и первым входом второго элемента И, второй вход которого подключен к выходу второго триггера, выход первого триггера соединен с первым входом третьего элемента И, выход которого соединен со счетным входом счетчика, выход генератора тактовых импульсов соединен с вторыми входами первого и третьего элемента И, входом генератора является первый вход первого блока памяти, второй вход которого соединен с входом датчика случайных чисел, первым входом блока быстрого преобразования Фурье и выходом третьего элемента И блока управления, единичные входы первого и второго триггеров которого соединены соответственно с пер-

выми выходами блока формирования интервалов времени и блока быстрого преобразования Фурье - выход третьего триггера блока управления соединен с первыми входами первого, второго и третьего коммутаторов, первый и второй входы блока умножения подключены соответственно к выходу первого блока памяти и через функциональный преобразователь - к выходу датчика случайных чисел, а первый и второй выходы блока умножения подключены соответственно к второму и третьему входам блока быстрого преобразования Фурье, второй выход которого соединен с вторым входом первого коммутатора, первый и второй выходы которого соединены с первыми входами соответственно второго и третьего блоков памяти, выходы которых подключены соответственно к второму и третьему входам второго коммутатора, выход которого через цифроаналоговый преобразователь соединен с выходом генератора, вход блока формирования интервалов времени подключен к выходу генератора тактовых импульсов блока управления, второй выход блока формирования интервалов времени соединен с вторым входом третьего коммутатора, первый и второй выходы которого соединены с вторыми входами соответственно третьего и второго блоков памяти.

Использование новых блоков и связей позволяет существенно расширить частотный диапазон формируемых случайных процессов, повысить точность воспроизведения заданной спектральной плотности мощности, уменьшить аппаратные затраты и упростить настройку устройства.

На фиг. 1 представлена структурная схема генератора; на фиг. 2 - схемная реализация блока развертки; на фиг. 3 - схемная реализация блока управления; на фиг. 4 - временная диаграмма работы устройства.

Устройство содержит блоки 1 - 3 памяти, коммутаторы 4 - 6, блок 7 быстрого преобразования Фурье, блок 8 умножения, датчик 9 случайных чисел, функциональный преобразователь 10, блок 11 формирования интервалов времени, цифроаналоговый преобразователь 12, блок 13 управления.

Вход устройства соединен с первым входом первого блока 1 памяти, второй вход которого соединен с входом датчика 9 случайных чисел, третьим входом блока 7 быстрого преобразования Фурье и вторым выходом блока 13 управления, первый и второй входы которого соединены с одноименными выходами блока 7 быстрого преобразования Фурье и блока 11 соответственно, а первый выход блока 13 управле-

ния соединен с вторыми входами первого 4, второго 5 и третьего 6 коммутаторов, первый и второй входы блока 8 умножения подключены соответственно к выходам первого блока 1 памяти и через функциональный преобразователь 10 - к выходу датчика 9 случайных чисел, а первый и второй выходы подключены к одноименным входам блока 7 быстрого преобразования Фурье, второй выход которого соединен с первым входом первого коммутатора 4, первый и второй выходы которого соединены с первыми входами соответственно второго 2 и третьего 3 блоков памяти, выходы которых подключены соответственно к первому и третьему входам второго коммутатора 5, выход которого через цифроаналоговый преобразователь 12 соединен с выходом устройства, причем вход блока 11 подключен к третьему выходу блока 13 управления, а первый выход соединен с первым входом третьего коммутатора 6, первый и второй выходы которого соединены с вторыми входами соответственно третьего 3 и второго 2 блоков памяти.

Рассмотрим основные функции, выполняемые каждым из структурных элементов устройства.

Первый блок 1 памяти предназначен для приема с его первого входа и хранения коэффициентов  $P_F(K)$ , определяемых из соотношения

$$P_F(K) = \sqrt{\frac{G(K\Delta f)}{T}}, \quad K = 0, 1, \dots, N_1,$$

где  $G(f)$  - заданная спектральная плотность мощности генерируемого случайного процесса;

$N$  - число заданных значений спектральной плотности мощности;

$N'$  - число точек в одной реализации случайного процесса  $N' = 2^m = 2, 4, 8, \dots$

$T$  - длина одной реализации ( $T = N' \Delta t$ );

$\Delta f$  - шаг дискретизации в частотной области ( $\Delta f = 1/T$ ).

Последовательное считывание хранимой информации из блока 1 памяти осуществляется по импульсам, поступающим на его второй вход.

Блоки 2 и 3 памяти совершенно идентичны по структуре и предназначены для хранения  $N'$  вещественных значений  $Y(K)$ ,  $K = 0, 1, 2, \dots, N'$  - 1 одной реализации случайного процесса, записываемой с первого входа.

Последовательное считывание информации осуществляется по импульсам, поступающим на их вторые входы.

Коммутаторы 4 и 6 предназначены для коммутации информации, поступающей на первый вход, на первый или

второй выход в зависимости от управляющего сигнала на втором входе. При этом при нулевом логическом сигнале информация передается на первый выход, а при единичном логическом уровне - на второй выход.

Коммутатор 5 обеспечивает коммутацию информации, поступающей на первый и третий входы, на выход в зависимости от управляющего сигнала на втором выходе, причем при нулевом управляющем сигнале на втором входе информация передается с третьего входа на выход. Соответственно при единичном логическом уровне на втором входе коммутатора информация передается с первого его входа на выход.

Блок 7 быстрого преобразования Фурье предназначен для реализации одного из известных алгоритмов обратного быстрого преобразования Фурье над входными случайными комплексными числами, поступающими на первый и второй входы. Запись информации осуществляется по импульсам, поступающим на третий вход блока быстрого преобразования Фурье. Информация за  $N'/2$  тактов с первого и второго входов соответственно записывается в ячейки  $X_0(i)$  и  $X_0(N'-1)$  внутренней памяти блока быстрого преобразования Фурье, причем  $i = 1, 2, \dots, N'/2 - 1$ , где  $i$  - номер такта. В нулевом ( $i=0$ ) такте информация записывается соответственно в ячейки  $X_0(0)$  и  $X_0(N'/2)$ . Действительные части результата реализации алгоритма обратного быстрого преобразования Фурье передаются на второй выход, при этом по окончании обработки одной реализации на первый выход выдается импульс конца преобразования.

В качестве блока быстрого преобразования Фурье может быть использовано без каких-либо ограничений любое известное устройство для реализации быстрого преобразования Фурье.

Датчик 9 случайных чисел предназначен для выдачи на выход по каждому входному импульсу целого случайного числа  $P(K)$ , ( $K$  - номер такта), равномерно распределенного на интервале  $0 - (N'-1)$ .

Функциональный преобразователь 10 обеспечивает формирование на своем выходе комплексной величины

$$\cos \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right] - j \sin \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right]$$

Блок 8 умножения предназначен для выполнения операции умножения действительных чисел  $R_F(K)$  и комплексных чисел

$$\cos \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right] - j \sin \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right]$$

поступающих соответственно на первый и второй входы, причем во всех тактах кроме нулевого на первый выход блока 8 умножения результат передается без изменения, т.е.

$$P_F(K) \cdot \cos \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right] - j P_F(K) \cdot \sin \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right]$$

а на второй его выход в комплексно-сопряженном виде

$$P_F(K) \cdot \cos \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right] + j P_F(K) \cdot \sin \left[ \frac{2\pi\beta(K)}{N'} \right]$$

В нулевом такте операция умножения не выполняется и на первый выход передается коэффициент  $P_F(0)$ , поступающий на первый вход блока, на второй выход выдается двоичный код нуля.

Блок 11 развертки предназначен для формирования на первом выходе периодической последовательности импульсов с периодом следования  $\Delta t$ . По прохождении на первый выход каждые  $N'$  импульсов на втором выходе формируется импульс конца развертки реализации. Цифроаналоговый преобразователь 12 предназначен для представления входного дискретного случайного процесса в аналоговой форме.

Блок 11 и блок 13 управления имеют особенности функционирования. Примеры их схемной реализации приведены соответственно на фиг. 2 и фиг. 3.

Блок 11 развертки содержит счетчики 14 и 15 накапливающего типа, регистры 16 и 17 памяти, схемы 18 и 19 сравнения, элементы И 20 и 21. Счетчик 14, регистр 16, схема 18 сравнения и элемент И 20 предназначены для формирования на первом выходе регулярной последовательности импульсов с управляемым интервалом между ними  $\Delta t$ . На выход блока развертки поступают опорные регулярные импульсы с интервалом  $\tau$ . В регистре 16 хранится двоичный код  $K$  масштаба развертки, причем счетчик 14 и регистр 16 имеют одинаковую разрядность. По каждому импульсу на первом входе блока развертки счетчик 14 увеличивает свое состояние на единицу.

После поступления  $K$ -го импульса в счетчике 14 устанавливается двоичный код  $B$ , а на выходе схемы сравнения 18 появляется уровень логической единицы, разрешающий по второму входу прохождение через элемент И 20 очередного  $K+1$  импульса. Проходя на первый выход блока развертки этот импульс сбрасывает счетчик 14 в нулевое состояние. Описанная последовательность операций циклически повторяется в течение всего времени работы устройства.

Таким образом, на первый выход блока развертки передается каждый

$K + 1$  импульс, длительность временного интервала между ними составляет  $\Delta t = K\tau$ . Изменяя содержимое регистра 16, можно управлять интервалом времени  $\Delta t$ .

Работа второй части схемы аналогична первой за тем лишь исключением, что в регистр 17 записывается код  $N'$ , а входными импульсами являются импульсы на первом выходе блока развертки. Таким образом, счетчик 15, регистр 17, схема 19 сравнения и элемент И 21 пересчитывают по модулю  $N'$  импульсы на первом выходе блока развертки.

Блок 13 управления содержит регистр 22 памяти, блок 23 сравнения, элементы И 24-26, генератор 27 тактовых импульсов, счетчик 28, триггеры 29 - 31. Тактовый генератор 27 предназначен для общей синхронизации работы всего устройства и формирует регулярные импульсы с временным интервалом  $\tau$  между ними. Эти импульсы непосредственно передаются на третий выход блока управления. В начале каждого цикла работы устройства (под циклом понимается длина  $T$  одной реализации) триггер 29 находится в единичном состоянии и разрешает прохождение импульсов с выхода генератора 27 через элемент И 26 на первый вход счетчика 28, который увеличивает свое состояние на единицу по каждому импульсу на первом входе. В начале цикла счетчик 28 находится в нулевом состоянии. Поэтому после прохождения через элемент И 26  $N'/2-1$  импульсов в счетчике 28 устанавливается двоичный код  $N'/2-1$ , так как в регистре 22 постоянно записан также код  $N'/2-1$ , то на выходе блока 23 сравнения появляется уровень логической единицы. Поэтому следующий  $N'/2$  импульс проходит через элемент И 24 и по вторым входам сбрасывает счетчик 28 и триггер 29 в нулевое состояние, запрещая прохождение последующих импульсов через элемент И 26. Триггер 29 остается в нулевом состоянии до тех пор, пока на второй вход блока управления не поступит импульс конца развертки. При поступлении этого сигнала триггер 29 переходит в единичное состояние, разрешая формирование на втором выходе новой серии из  $N'/2$  импульсов, а триггер 31 перебрасывается в противоположное состояние, так как он работает в счетном режиме.

Триггер 30 и элемент И 25 предназначены для выявления сбойной ситуации в устройстве, которая заключается в том, что сигнал конца преобразования на первом входе поступает позже сигнала конца развертки (на втором входе).

В начале цикла триггер 30 находится в единичном состоянии. Сброс триггера 30, в нулевое состояние осуществляется по импульсам, поступающим на первый вход, а установление в единичное состояние по каждому импульсу - на втором входе. Поэтому, если после начала цикла первым поступает импульс конца преобразования (триггер 30 находится в единичном состоянии), то он проходит через элемент И 25, сигнализируя об ошибке, и подтверждает единичное состояние триггера 30.

5 Реализация генератора базируется на следующем положении.

15 На выходе алгоритма обратного быстрого преобразования Фурье формируется массив случайных вещественных чисел с заданным спектром мощности Фурье (случайная реализация  $Y_i = y(i \Delta t)$ ,  $i = 0, 1, \dots, N'-1$ ), если исходный массив случайных комплексных коэффициентов спектра  $X_0(i)$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, N'-1$  имеет вид

$$20 \quad X_0(i) = \begin{cases} P_F(i) \cos \psi(i) - j P_F(i) \sin \psi(i), & \text{при } i = 1, 2, \dots, N'/2-1 \\ P_F(N'-i) \cos \psi(N'-i) + j P_F(N'-i) \sin \psi(N'-i) & \text{при } i = N'(2+1), \dots, N'-1 \\ P_F(i), & \text{при } i = 0 \\ 0 & \text{при } i = N'/2 \end{cases} \quad (2)$$

30 где  $P_F(i) = \sqrt{\frac{G(i \Delta f)}{T}}$ ,  $i = 0, 1, \dots, N'/2-1$ ,

35  $G(f)$  - заданная спектральная плотность мощности;  
 $\psi(i)$  -  $i$ -я случайная фаза, равномерно распределенная на интервале  $(0, 2\pi)$ .

40 Формируемый случайный процесс на выходе устройства представляет собой последовательность реализаций длительностью  $T = N' \Delta t$  каждая, причем в устройстве одновременно одна реализация передается на выход устройства с помощью блока 11, коммутаторов 5 и 6 и цифроаналогового преобразователя 12, а новая реализация формируется с помощью блока 1 памяти, датчика 9 случайных чисел, функционального преобразователя 10, блока 8 умножения, блока 7 быстрого преобразования Фурье. Для хранения текущей (передаваемой на выход) реализации и новой (формируемой) реализации предназначены блоки 2 и 3 памяти. 45  
Согласование одновременного формирования новой и передачи на выход текущей реализаций случайного процесса осуществляется с помощью блока 13 50 управления.

60 Перед началом работы устройства в блок 1 памяти с первого входа записываются коэффициенты  $P_F(K)$   $K = 65$   $= 0, 1, 2, \dots, N'/2-1$ . В исходном состоя-

нии на первом выходе блока 13 управления установлен (момент времени  $t_1$ ) единичный логический уровень. По этому уровню коммутаторы 4 и 6 передают информацию с первого входа на второй выход. Начиная с момента времени  $t_1$  на первом выходе блока 11 формируется  $N'$  тактовых импульсов с интервалом следования  $\Delta t$ . По этим импульсам из блока 2 памяти на выход устройства передается текущая реализация, хранящаяся в нем. Одновременно с этим формируется новая реализация и загружается в блок 3 памяти. Для этого, начиная с момента времени  $t_1$  блок 13 управления выдает на второй выход  $N'/2$  тактовых импульса (на временной диаграмме они не показаны), по которым во внутреннюю память блока 7 быстрого преобразования Фурье записывается исходный случайный комплексный массив коэффициентов  $X_0(i)$  в соответствии с формулой (2), причем по каждому импульсу блок 1 памяти последовательно выдает коэффициенты  $P_F(k)$  ( $k$  - номер такта). Одновременно на второй вход блока умножения с выхода блока 13 тригонометрических функций выданы комплексные случайные константы

$$\cos(\varphi_k) - j \sin(\varphi_k) = \cos\left[\frac{2\pi\beta(k)}{N'}\right] - j \sin\left[\frac{2\pi\beta(k)}{N'}\right],$$

где  $\beta(k)$  - двоичное случайное число, равномерно распределенное на интервале  $0 - (N'-1)$ , и поступающее с выхода датчика 9 случайных чисел.

Блок умножения 8 осуществляет перемножение этих величин.

Во всех тактах, кроме нулевого, на первый выход блока умножения результат передается без изменения

$$P_F(k) \cos\left[\frac{2\pi\beta(k)}{N'}\right] - j P_F(k) \sin\left[\frac{2\pi\beta(k)}{N'}\right]$$

а на второй - в комплексно сопряженной форме

$$P_F(k) \cos\left[\frac{2\pi\beta(k)}{N'}\right] + j P_F(k) \sin\left[\frac{2\pi\beta(k)}{N'}\right]$$

В нулевом такте на первый выход блока умножения передается коэффициент  $P_F(0)$  без перемножения, а на второй выход - значение нуля. После этого блок 7 быстрого преобразования Фурье реализует один из известных алгоритмов и выдает на второй выход массива случайных вещественных чисел, т.е. новую случайную реализацию. Время формирования одной реализации случайного процесса оценивается соотношением

$$T_\Phi = T_\gamma + T_{\text{обф}}$$

где  $T_\gamma$  - время, необходимое для загрузки исходного случайного массива ( $T_\gamma = N'/2 t_y$ );  
 $T_{\text{обф}}$  - время накопления одного обратного быстрого преобразования Фурье;  
 $t_y$  - время накопления одного умножения.

В общем случае

$$t_{\text{обф}} = t_y \frac{N'}{2} \log_2 N' + t_{\text{сА}} N' \log_2 N'$$

Тогда

$$T_\Phi = t_y \frac{N'}{2} (\log_2 N' + 1) + t_{\text{сА}} N' \log_2 N' \quad (3)$$

Следовательно, по истечении времени  $T_\Phi$  блок 7 быстрого преобразования Фурье выдает на первый выход сигнал окончания преобразования (момент времени  $t_2$ ). Полученная новая реализация через коммутатор 4 записывается в блок 3 памяти. После этого формирующая часть устройства ожидает окончания развертывания текущей реализации (момента времени  $t_3$ ), когда последняя точка текущей реализации передается на выход устройства.

При поступлении с выхода блока 11 импульса окончания развертывания текущей реализации блок 13 управления изменяет логический уровень на первом выходе на противоположный. В следующем цикле приведенная процедура повторяется с тем отличием, что на выход устройства передается реализация, хранящаяся в блоке 3 памяти, а новая реализация записывается в блок 2 памяти.

В дальнейшем в начале каждого цикла коммутация входов и выходов блоков 2 и 3 памяти изменяется (из-за изменения логического уровня на первом выходе блока 13 управления на противоположный), обеспечивая, таким образом, одновременное формирование новой реализации и передачу на выход устройства значений текущей реализации.

Для правильной работы генератора необходимо, чтобы новая реализация случайного процесса формировалась раньше, чем разворачивалась во времени текущая, т.е. необходимо, чтобы выполнялось условие  $T_\Phi \leq T$  (при невыполнении условия в блоке 13 управления фиксируется сигнал ошибки).

Подставляя значение  $T_\Phi$  из формулы (3), получим

$$t_y \frac{N'}{2} (\log_2 N' + 1) + t_{\text{сА}} N' \log_2 N' \leq N' t_{\text{сА}} \quad (4)$$

Тогда, используя соотношение  $F_B = 1/2 \Delta t$ , выражение для оценки высшей частоты  $F_B$  формируемого случайного процесса можно привести к виду

$$F_B = \frac{1}{t_y (\log_2 N' + 1) + 2 t_{\text{сА}} \log_2 N'} \quad (5)$$

Отношение высших частот предлагаемого устройства и известного составляет

$$\frac{N' t_{CA}}{(\log_2 N' + 1) t_y + 2 t_{CA} \log_2 N'} \quad (6)$$

При практической реализации устройства для  $N' = 2^N = 1024$  для соотношения  $t_y = 5 t_{CA}$  высшая частота генерируемого процесса увеличивается в 14 раз.

Аналогичным образом, фиксируя значение высшей частоты  $F_B$ , отношение максимального числа задаваемых значений  $N$  формируемого случайного процесса для предлагаемого устройства и для известного составляет

$$\left[ \frac{1 - t_y F_B}{(t_y + 2 t_{CA}) F_B} \right] F_B t_{CA}^2 \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что максимальное число задаваемых значений спектральной характеристики генерируемого случайного процесса для предлагаемого устройства выше, чем для известного. Для  $F_B = 20$  кГц,  $t_{CA} = 0,5$  мкс,  $t_y = 5 t_{CA} = 2,5$  мкс выражение (7) принимает значение 243,5.

Таким образом предлагаемое устройство позволяет повысить точность воспроизведения заданной спектральной плотности мощности генерируемого случайного процесса.

Еще одним преимуществом предлагаемого генератора является упрощение его настройки. Воспроизводимая генератором спектральная плотность мощности формируемого процесса  $G(f)$  совпадает с заданной  $G(f)$  в точках  $K \Delta f$ ,  $K = 0, 1, 2, \dots, N'/2 - 1$ . Загружаемые в блок 1 памяти коэффициенты  $P_F(K)$  рассчитываются по формуле

$$P_F(K) = \sqrt{\frac{G(K \Delta f)}{T}}$$

что проще, чем в выражении (3).

Настройка генератора осуществляется в следующей последовательности. Исходя из заданной спектральной плотности мощности  $G(f)$  и требований к точности формируемого процесса, выбирается высшая частота  $F_B$  и количество  $N$  задаваемых коэффициентов спектра мощности. По известным  $F_B$  и  $N' = 2N$  определяется  $\Delta f$  и  $T$  в соответствии с выражением

$$\Delta f = \frac{F_B}{N} = \frac{1}{T}$$

Затем в блок 1 памяти загружаются настроечные коэффициенты  $P_F(K)$  и устанавливается шаг дискретизации по времени  $\Delta t = T/N$ .

Таким образом, технико-экономическая эффективность предлагаемого устройства по сравнению с известным и

базовым объектом заключается в повышении точности, расширения частотного диапазона формируемых случайных процессов и упрощении настройки устройства. Кроме того, по отношению к базовому объекту технико-экономическая эффективность устройства заключается еще в возможности его программного управления.

#### Формула изобретения

Генератор случайного процесса, содержащий датчик случайных чисел, первый блок памяти, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, он содержит второй и третий блоки памяти, первый, второй и третий коммутаторы, блок умножения, блок быстрого преобразования Фурье, функциональный преобразователь, блок формирования интервалов времени, цифро-аналоговый преобразователь и блок управления, содержащий три триггера, три элемента И, счетчик, блок сравнения, генератор тактовых импульсов и регистр памяти, выход которого соединен с первым входом блока сравнения, выход которого соединен с первым входом первого элемента И, выход которого соединен с нулевым входом первого триггера и входом "Сброс" счетчика, выход которого соединен с вторым входом блока сравнения, единичный вход первого триггера объединен с нулевым входом второго триггера, счетным входом третьего триггера и первым входом второго элемента И, второй вход которого подключен к выходу второго триггера, выход первого триггера соединен с первым входом третьего элемента И, выход которого соединен со счетным входом счетчика, выход генератора тактовых импульсов соединен с вторыми входами первого и третьего элементов И, входом генератора является первый вход первого блока памяти, второй вход которого соединен с входом датчика случайных чисел, первым входом блока быстрого преобразования Фурье и выходом третьего элемента И блока управления, единичные входы первого и второго триггеров которого соединены соответственно с первыми выходами блока формирования интервалов времени и блока быстрого преобразования Фурье, выход третьего триггера блока управления соединен с первыми входами первого, второго и третьего коммутаторов, первый и второй входы блока умножения подключены соответственно к выходу первого блока памяти и через функциональный преобразователь - к выходу датчика случайных чисел, а первый и второй входы блока умножения подключены соответственно к вто-

рому и третьему входам блока быстрого преобразования Фурье, второй выход которого соединен с вторым входом первого коммутатора, первый и второй выходы которого соединены с первыми входами соответственно второго и третьего блоков памяти, выходы которых подключены соответственно к второму и третьему входам второго коммутатора, выход которого через цифроаналоговый преобразователь соединен с выходом генератора, вход блока формирования интервалов времени подключен к выходу генератора тактовых импульсов блока управления, второй выход блока

формирования интервалов времени соединен с вторым входом третьего коммутатора, первый и второй выходы которого соединены с вторыми входами соответственно третьего и второго блоков памяти.

5

Источники информации,

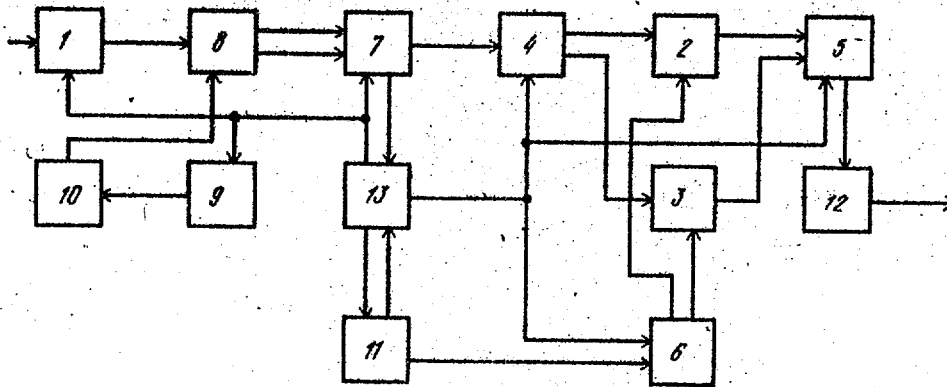
принятые во внимание при экспертизе

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

10 2. Авторское свидетельство СССР № 370717, кл. G 06 F 7/58, 1971.

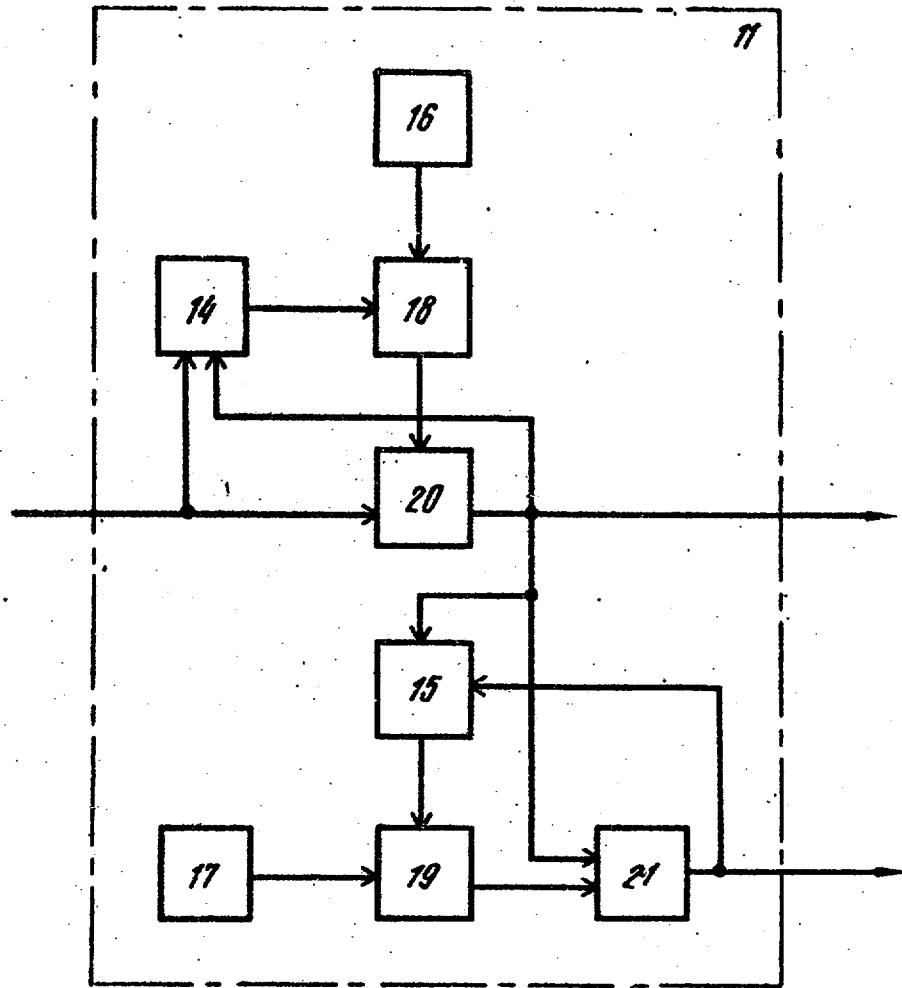
3. Авторское свидетельство СССР № 734768, кл. G 06 F 7/58, 1980.

15

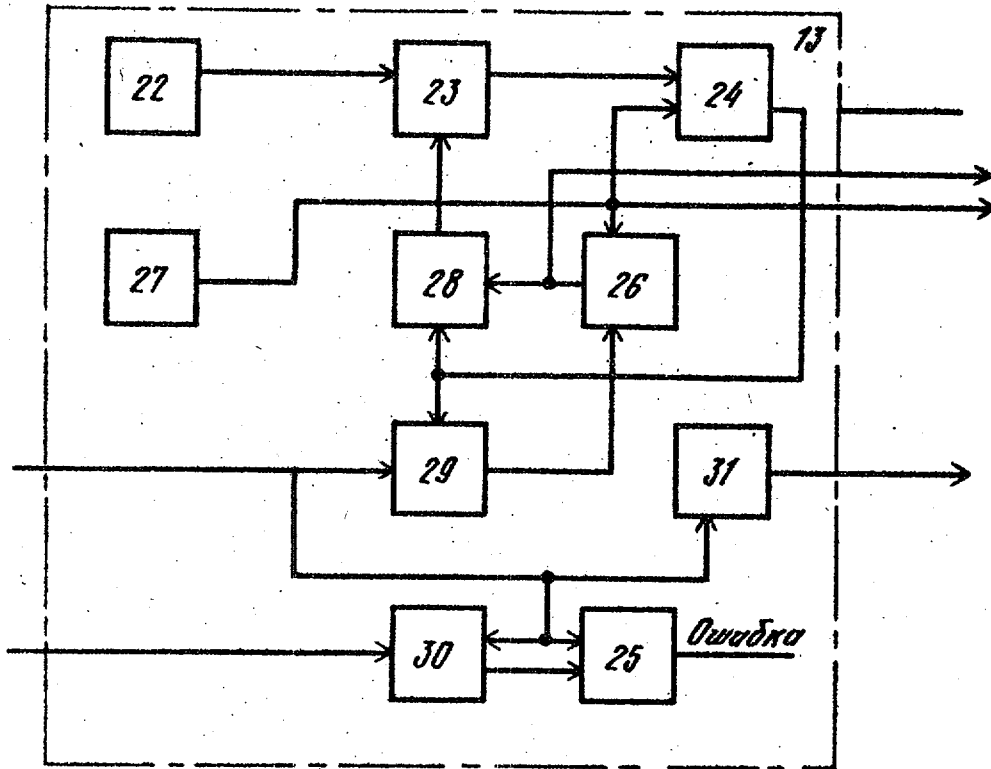


Фиг. 1

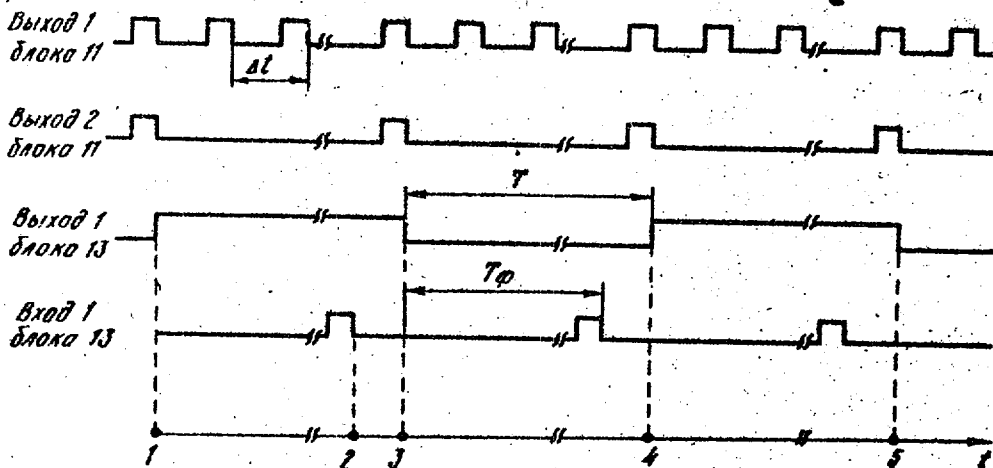




Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Составитель А. Карасов  
 Редактор А. Козориз Техред Т. Маточка Корректор М. Демчик

Заказ 8518/41 Тираж 731 Подписное  
 ВНИИПИ 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