

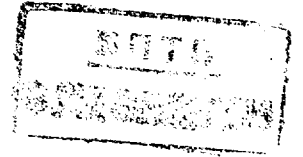


Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 732947



(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 14.11.77 (21) 2543553/18-24

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 05.05.80. Бюллетень № 17

Дата опубликования описания 08.05.80

(51) М. Кл.<sup>2</sup>

G 07 C 15/00

G 06 F 1/02

(53) УДК 681.925

(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

Э. А. Баканович, С. Ф. Костюк, М. А. Орлов  
и А. Г. Якубенко

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

## (54) СТОХАСТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

1  
Изобретение относится к области вычислительной техники, предназначено для моделирования потоков случайных чисел с требуемыми законами распределения, Марковских процессов и может быть использовано при построении вероятностных вычислительных машин, а также в качестве специализированного стохастического блока, подключаемого к вычислительным машинам общего назначения.

Известны устройства для формирования потоков случайных чисел с требуемыми вероятностными характеристиками.

Одно из известных устройств позволяет формировать потоки случайных чисел с требуемыми законами распределения по методу обратных функций. Устройство содержит генератор равномерно распределенных чисел, схему сравнения, блок памяти, генератор тактов, специализированный дешифратор, регистр формирования случайного числа, входные и выходные вентили [1].

Известно устройство [2], позволяющее формировать случайные числа с тре-

2  
буемыми законами распределения по методу условных вероятностей. Устройство содержит многоканальный генератор случайных импульсных токов, схемы И, схему ИЛИ, вероятностный вентиль, регистр формирования случайного числа, схемы И регистра, устройство формирования адреса памяти и генератор-распределитель тактовых импульсов.

Недостатками этих устройств являются их сложность и узкая специализация, так как устройство позволяет формировать только случайные числа с требуемыми законами распределения, но не позволяет формировать более сложные случайные процессы, например Марковские.

Известно также устройство, предназначенное для формирования цепей Маркова и содержащее блок управления, датчик случайных чисел, элементы И, кольцевой счетчик, элементы ИЛИ, регистр, ЗУ, выходной регистр, выходные вентили и сумматор [3]. Это устройство сложно и

позволяет формировать только односвязные Марковские процессы.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является стохастический генератор, содержащий блок управления, генератор равномерно распределенных чисел, вход которого соединен с первым выходом блока управления, блок сравнения, первый вход которого соединен с выходом генератора равномерно распределенных чисел, а второй вход — со вторым выходом блока управления, регистр адреса, разделенный на две части (старшую и младшую), первый вход которого соединен с первым выходом блока сравнения, а второй вход — с пятым выходом блока управления, блок памяти, вход которого соединен с выходом регистра адреса, регистр числа, первый вход которого соединен с выходом блока памяти, а второй вход — с четвертым выходом блока управления, регистр маски, первый вход которого соединен с выходом регистра числа, второй вход — со вторым выходом блока сравнения, третий вход — с третьим выходом блока управления, первый выход соединен с третьим входом блока сравнения, а второй выход — с третьим входом регистра адреса [4].

Устройство позволяет формировать последовательности случайных чисел с требуемыми законами распределений, а также Марковские процессы. При этом реализуется метод обратных функций, основанный на сравнении равномерно распределенных случайных чисел  $\xi$  со значениями  $F(X_i)$  воспроизводимой функции распределения, отыскании интервала, для которого выполняется условие

$$F(X_i) \leq \xi < F(X_{i+1}),$$

и выдаче соответствующего данному интервалу значения  $X_i$ . В устройстве осуществляется логарифмический перебор упорядоченно расположенных  $F(X_i)$ . Основание  $Q$  логарифма перебора может быть разным  $2^n$ , где  $n$  — любое положительное число. При этом в блоке сравнения должно содержаться  $Q-1$  схем сравнения.

Устройство работает следующим образом. Блок управления вырабатывает команду, по которой генератор равномерно распределенных случайных чисел формирует и передает в блок сравнения случайное число  $\xi$ , одновременно через регистр числа и регистр маски из блока памяти в блок сравнения параллельно поступает группа значений  $F(X_i)$ . В результате операции

сравнения в младшую часть регистра адреса поступает код. По этому коду из блока памяти выбирается и подается в блок сравнения очередная группа значений  $F(X_i)$ , после чего содержимое младшей части регистра сдвигается, и записывается следующий результат сравнения. Цикл сравнений длится на  $m \log_2 Q$  тактов (где  $m$  — количество интервалов квантования воспроизводимого закона по области его существования). По коду, полученному в результате цикла сравнений, выбирается ячейка памяти, содержащая  $Q$  значений  $X_i$ , из которой с помощью регистра маски выбирается требуемое значение. При формировании цепей Маркова информация с регистра числа поступает через регистр маски в старшую часть регистра адреса, причем описанный алгоритм функционирования устройства служит для реализации одной строки матрицы, а указанная связь обеспечивает переход от одной строки к другой.

Устройство позволяет моделировать различные законы распределений, (где  $e$  — разрядность старшей части регистра адреса). Информация о законах располагается в  $2^e$  областях памяти. Выбор требуемого закона осуществляется соответствующей адресацией с помощью старшей части регистра адреса.

Недостатком устройства является большая погрешность воспроизведения участков плотностей распределений с малыми приращениями вероятностей, что ограничивает класс моделируемых с требуемой точностью законов. Этот недостаток обусловлен следующим: максимальная абсолютная погрешность задания вероятностей постоянна —  $2^{-K}$  (где  $K$  — разрядность схем сравнения), поэтому, если относительная погрешность  $\delta_i = 2^{-K} / \Delta P_i$  участков с большими значениями  $\Delta P_i$  будет достаточно малой (меньше заданной), то для участков с малыми приращениями эта погрешность значительна. Так, например, для участков с  $\Delta P_i$  порядка  $2^{-K}$ , погрешность достигает 100%. Повышение точности воспроизведения требует увеличения разрядности схем сравнения, блока памяти, т.е. увеличения объема оборудования.

В устройстве невозможно программное управление, варьирование при постоянных объеме памяти и разрядности старшей и младшей частей регистра числом моделируемых законов распределения и разрядностью формируемых случайных чисел,

связностью цепей Маркова и числом их состояний.

В то время, как для различных задач требуется моделировать разное количество законов распределений с разной разрядностью формируемых случайных чисел, цепи Маркова различной связности с различным числом состояний.

Кроме того, техническая реализация устройства сложна, так как требуется блок управления, вырабатывающий последовательность сигналов, обеспечивающих функционирование устройства.

Целью изобретения является повышение точности воспроизведения законов распределения, расширение функциональных возможностей (обеспечение возможности программного управления, варьирования при постоянном объеме памяти числом моделируемых законов и разрядностью генерируемых случайных чисел, связностью марковской цепи и числом ее состояний) и упрощение технической реализации.

Для достижения поставленной цели предложенный генератор содержит генератор тактовых импульсов, регистр сдвига, три элемента И, два блока элементов НЕ, блок элементов И, коммутатор и элемент НЕ. Выход генератора тактовых импульсов соединен с первыми входами регистра сдвига, первого и второго элементов И. Второй вход регистра сдвига соединен со вторым входом регистра адреса и с выходом третьего элемента И, первым входом регистра адреса и с выходом третьего элемента И, первым вход которого является входом "Пуск" генератора, а второй вход соединен со входом элемента НЕ и вторым выходом регистра адреса. Выход элемента НЕ соединен со вторым входом второго элемента И, выход которого соединен с третьим входом регистра адреса. Выход регистра сдвига соединен со вторым входом первого элемента И, выход которого соединен со вторым входом генератора равномерно распределенных случайных чисел. Вход первого блока элементов НЕ соединен со вторым выходом генератора равномерно распределенных случайных чисел, а выход — со входом блока элементов И, выход которого соединен со входом шифратора. Выход последнего соединен с первым входом второго блока элементов НЕ, второй вход которого соединен с третьим выходом генератора равномерно распределенных случайных чисел. Выход второго блока элементов НЕ соединен с первым входом коммутатора, вто-

рой вход которого соединен с четвертым выходом генератора равномерно распределенных случайных чисел, а выход коммутатора — с третьим входом блока сравнения.

Это позволяет повысить точность воспроизведения законов за счет преобразования исходных равномерно распределенных чисел. Преобразованное число состоит из двух частей, первая (старшая) часть содержит  $P$  разрядов, вторая (младшая) —  $m$  разрядов. Первый разряд старшей части равен первому разряду исходного числа, остальные разряды старшей части указывают, сколько подряд разрядов исходного числа, начиная со второго, приняло значение, равное первому. Причем, если первый разряд равен единице, это число берется в прямом коде, в противном случае — в инверсном. Если в исходном числе количество старших разрядов, принявших подряд равное значение, больше либо равно  $2^{P-1}$  (включая старший разряд), в старшую часть необразованного числа подаются в зависимости от значения первого разряда все единицы либо нули, а в младшую часть —  $m$  разрядов исходного числа, расположенных после  $2^{P-1}$  старших разрядов. Если количество старших разрядов, принявших подряд равное значение меньше  $2^{P-1}$ , в младшую часть преобразованного числа подаются  $m$  разрядов исходного числа, расположенные после первого разряда, принявшего неравное значение. Первый принявший неравное значение разряд в младшую часть преобразованного числа не включается, поскольку в данном случае его значение всегда противоположно значению первого разряда и, следовательно, его введение не дает дополнительной информации.

В такой же форме представлены и коды вероятностей, хранимые в памяти устройства. Сравнение случайных чисел и кодов вероятностей, представленных в описанной форме, производится с помощью известных схем сравнения двоичных чисел. При этом увеличение разрядности сравниваемых кодов на  $P-1$  позволяет уменьшить максимальную погрешность задания вероятностей, в кодах которых при их двоичном представлении  $K$  старших разрядов подряд, начиная со второго, приняло значение, равное первому, в  $2^{K+1}$  раз при  $K < 2^{P-1}$  и в  $2^{P-1}$  раз, при  $K \geq 2^{P-1}$  ( $k=0,1,2,\dots,m$ , где  $m$  исходная разрядность сравниваемых кодов). В prototype указанное повышение точности пот-

ребовало бы введения дополнительно  $2^{P-1}$  разрядов.

Преобразование исходных равномерно распределенных чисел осуществляется первым блоком элементов НЕ, блоком эле- 5 ментов И, шифратором, вторым блоком элементов НЕ и коммутатором. Разрядность генератора равномерно распределенных случайных чисел равна  $2^{P-1} + m$ . Так как преобразуются случайные равномерно распределенные числа, каждый из разрядов которых является независимым, младшая часть преобразованного числа является случайным равномерно распре- 10 деленным числом, не зависящим от значения старшей части. Поэтому для формирования этой части числа можно взять (как это делается в устройстве)  $m$  разрядов исходного случайного числа, а формирование старшей части производить по 20 остальным  $2^{P-1}$  разрядам. Для получения максимальной точности воспроизведения при постоянной разрядности кодов вероятностей следует выбирать для каждого закона минимально необходимое значение  $P$ . Коммутатор обеспечивает возможность варьирования разрядностью первой и второй части преобразованного числа.

Повышение точности воспроизведения законов осуществляется методологически.

При методе обратных функций для формирования одного выходного случайного числа требуется одно исходное случайное число. Это и определяет его достоин- 35 ства, так как получение высокостабильных некоррелированных случайных чисел с помощью генераторов случайных чисел, использующих в качестве исходного некоторый случайный физический процесс, ра- 40 ботающих на достаточно высоких частотах, требует больших затрат оборудования. Известен метод условных вероятностей обладающий по сравнению с методом обратных функций, при равной разрядности 45 исходных случайных чисел, более высокой точностью воспроизведения определенного класса законов. Этот метод требует большего расхода исходных случайных чисел (одно исходное случайное число на форми- 50 рование одного разряда выходного числа). Это приводит либо к уменьшению быстродействия, по сравнению с первым методом, либо к дополнительным затратам 55 оборудования.

Известен метод, являющийся комбинацией двух выше указанных. Сущность его состоит в следующем: генерируется пер-

вое исходное число, по которому определяется, в какую половину, либо четверть, либо восьмую часть и т.д. области существования моделируемого закона попадает значение формируемого случайного числа, т.е. формируется один либо два, либо три и т.д. разряда номера интервала квантования (выходного числа), генерируется второе исходное случайное число и уже по условному закону распределения на найденном интервале формируется следующая группа разрядов номера интервала квантования (выходного числа) и т.д. Количество разрядов, формируемых по одному исходному случайному числу, может быть любым. Методы обратных функций и условных вероятностей являются частными случаями этого метода, когда по одному исходному случайному числу формируются все разряды выходного числа, и когда один разряд формируется по одному числу.

Данное устройство позволяет реализовать три этих метода. Они отличаются один от другого методикой расчета кодов, хранимых в памяти, и программой опроса генератора исходных случайных чисел. Требуемая программа опроса генератора равномерно распределенных случайных чисел формируется с помощью регистра сдвига и первой схемы И. Возможность реализации этих трех методов позволяет выбирать метод, обеспечивающий наибольшую точность, и выбирать между точностью воспроизведения и быстродействием.

Расширение функциональных возможностей и упрощение устройства достигается тем, что для управления функционированием устройства используется выход старшего разряда регистра адреса, который представляет собой единый, не разделенный (как в прототипе) на две части регистр сдвига. Перед началом цикла формирования случайного числа в регистр адреса заносится единица, положение которой относительно старшего разряда определяет разрядность формируемого числа, и код номера требуемого закона. На каждом такте работы устройства содержимое регистра сдвигается, а в младшие разряды заносится двоичный код, поступающий из блока сравнения. Это обеспечивает формирование адреса выбора следующих кодов из блока памяти. Количество разрядов, на которое сдвигается содержимое регистра адреса, и разрядность поступающего из блока сравнения

кода равны  $\alpha$ , где  $\alpha$  — основание логарифма перебора. Сдвиг единицы в старший разряд регистра адреса означает окончание цикла генерации. При этом останавливается процесс формирования случайного числа, и разрешается повторное занесение кодов исходного состояния в регистр адреса и в сдвиговый регистр формирования программы, опроса генератора равномерно распределенных случайных чисел.

Структурная схема устройства приведена на чертеже.

Устройство содержит генератор 1 тактовых импульсов, регистр 2 сдвига, первый элемент 3 И, генератор 4 равномерно распределенных случайных чисел, первый блок 5 элементов НЕ, блок 6 элементов И, шифратор 7, второй блок 8 элементов НЕ, коммутатор 9, элемент НЕ 10, второй 11 и третий 12 элементы И, регистр 13 адреса, блок 14 памяти и блок 15 сравнения.

Выход генератора 1 соединен с первым входом регистра 2, вторым входом элемента 3 и первым входом элемента 11. Второй вход регистра 2 соединен с выходом элемента 12, а выход — с первым входом элемента 3, выход которого соединен со входом генератора 4. Первый выход генератора 4 соединен с первым входом блока 8 элементов НЕ, второй выход — со входом блока 5 элементов НЕ, третий выход — со вторым входом коммутатора, а четвертый выход — со вторым входом блока 15 сравнения. Выход блока 5 элементов НЕ соединен со входом блока 6 элементов И, выход которого соединен со входом шифратора 7. Выход шифратора 7 соединен со вторым входом блока 8 элементов НЕ, выход которого соединен с первым входом коммутатора 9. Выход коммутатора 9 соединен с первым входом блока 15 сравнения. Вход элемента НЕ 10 соединен со вторым выходом регистра 13 адреса, а выход — со вторым входом элемента 11 И, выход которого соединен со вторым входом регистра 13 адреса. Первый вход элемента 12 И соединен со вторым выходом регистра 13 адреса, а выход — со вторым входом регистра 2 сдвига и третьим входом регистра 13 адреса. Первый вход регистра 13 адреса соединен с выходом блока 15 сравнения, а выход — со входом блока 14 памяти, выход которого соединен с третьим входом блока 15 сравнения.

Рассмотрим работу устройства при реализации логарифмического перебора по основанию 2. В этом случае блок сравнения содержит одну схему сравнения, регистр 13 обеспечивает сдвиг на один разряд. Количество разрядов регистра 13 равно  $e$ . Количество ячеек блока памяти равно  $2^e$ . Рассмотрим случай моделирования одного дискретного распределения с максимальным для объема памяти  $2^e$  значением  $n^e=2$ , т.е. случай генерирования  $e$  разрядных случайных двоичных чисел.

Устройство работает следующим образом.

В исходном состоянии в старшем разряде регистра 13 — единица. На первый вход элемента 12 поступает разрешающий потенциал, на второй вход элемента 11 с выхода элемента НЕ 10 — запрещающий потенциал.

Цикл генерации начинается при поступлении на второй вход элемента 12 импульса запроса. По входам параллельной записи в регистр 2 заносится код, задающий требуемую программу опроса генератора 4 в младший разряд регистра 13 заносится единица, во все остальные разряды — нули (т.е. начальный адрес). По этому адресу из блока 14 памяти считывается код  $P_1$ , определяющий вероятность попадания формируемой случайной величины в первую либо вторую половину области ее существования. В блоке сравнения считанный код вероятности сравнивается со случайным числом. Если случайное число меньше кода вероятности, на выходе блока сравнения — нулевой потенциал. Это означает, что первый разряд формируемого случайного числа принял значение, равное нулю. В противном случае на выходе блока сравнения — единичный потенциал (первый разряд формируемого случайного числа принял значение, равное единице).

При поступлении на командный вход сдвига регистра 13 импульса генератора 1 единица из младшего разряда регистра сдвигается в следующий разряд, а в младший разряд по входу последовательной записи заносится результат операции сравнения.

По сформированному в регистре 13 новому адресу из блока памяти считывается следующий код вероятности  $P_2^0$ , определяющий вероятность попадания формируемой случайной величины в первую либо вторую четверть области существования, если сформированный первый разряд при-

нял значение, равное нулю, либо код вероятности  $P_2^1$ , определяющий вероятность попадания в третью либо четвертую четверть области существования, если сформированный первый разряд принял значение равное единице. Производится сравнение считанного кода и случайного числа, содержимое регистра 13 сдвигается, и в младший разряд записывается результат операции сравнения.

Цикл сравнений длится  $e$  тактов. После  $e-1$ -го сдвига единица из младшего разряда регистра 13 сдвигается в старший. В остальных разрядах регистра находится  $e-1$  разрядов сформированного случайного числа, младший разряд находится на выходе схемы сравнения. Сдвиг единицы в старший разряд регистра 13 говорит об окончании цикла генерации. Поступление импульсов генератора 1 через элемент 11 на командный вход сдвига регистра 13 запрещается низким потенциалом с выхода элемента НЕ 10. Разрешается поступление через элемент 12 импульса запроса на командные входы параллельной записи регистров 2 и 13 (разрешается повторный цикл генерации).

Одновременно со сдвигом на каждом такте содержимого регистра 13 сдвигается содержимое регистра 2. На элементе 3 производится стробирование импульсами сдвига состояния старшего разряда регистра 2. Это обеспечивает получение требуемой программы опроса генератора 4.

Преобразование равномерно распределенных случайных чисел осуществляется следующим образом.  $2^{p-1} - 1$  разрядов

генератора 4 подсоединены ко входам блока 5 элементов НЕ. Старший разряд генератора 4 управляет блоками 5 и 7 элементов НЕ. При равенстве значения старшего разряда единице через блок 5 передается прямой код, в противном случае - инверсный. В блоке 6 элементов И производится анализ числа разрядов, принявших значение, равное единице следовательно, принявших значение, равное старшему, и формируется унитарный код этого числа. Шифратор 7 преобразует унитарный код в двоичный. При равенстве единицы старшего разряда генератора 4 этот код передается через блок 7 в прямом коде, в противном случае - в инверсном коде.

С помощью коммутатора 9 путем переконмутации разрядов с выхода блока 8 и генератора 4 задается количество разрядов  $P$  старшей части преобразованного числа. Выходы коммутатора соединены со старшими входами схемы сравнения. Младшие разряды схемы сравнения соединены с остальными выходами генератора 4.

Размещение кодов вероятностей в ячейках блока памяти для описанного случая при  $e=5$  показано в таблице 1. Слева в каждой клетке таблицы указывается обозначение кода вероятности, справа - адрес ячейки. Нумерация адресов памяти начинается с нуля. Нижний индекс в обозначении кода вероятности указывает номер такта, на котором считывается код, верхние индексы - результат, полученный на предыдущих тактах.

Таблица 1

$P_1-1$															
$P_2^0-2$						$P_2^1-3$									
$P_3^0-4$				$P_3^1-5$				$P_3^2-6$				$P_3^3-7$			
$P_4^0-8$		$P_4^1-9$		$P_4^2-10$		$P_4^3-11$		$P_4^4-12$		$P_4^5-13$		$P_4^6-14$		$P_4^7-15$	
$P_5^0-16$	$P_5^1-17$	$P_5^2-18$	$P_5^3-19$	$P_5^4-20$	$P_5^5-21$	$P_5^6-22$	$P_5^7-23$	$P_5^8-24$	$P_5^9-25$	$P_5^{10}-26$	$P_5^{11}-27$	$P_5^{12}-28$	$P_5^{13}-29$	$P_5^{14}-30$	$P_5^{15}-31$

Размещение кодов вероятности при моделировании двух законов распределений четырехразрядных случайных чисел для  $e=5$  показано в таблице 2. Второй нижний индекс в обозначении кодов вероятности указывает на номер закона, к которому принадлежит данный код. Информация о первом законе расположена в ячейках 2,4,5, 8-9, 16-23, информация о втором законе - в ячейках 3,6,7,12-15,

24-31. Запрос на генерацию случайных чисел требуемого закона осуществляется занесением в начале каждого цикла генерации в регистр 13 первого адреса массива информации этого закона. Для показанного примера при генерации случайных чисел первого закона распределения в регистр 13 заносится код двойки, при генерации случайных чисел второго закона - код тройки. Формирование четырехраз-

рядных случайных чисел происходит за четыре такта. По окончании цикла генерации в старшем разряде регистра 13 находится единица, в следующем разряде - нуль либо единица, указывающие

номер моделируемого распределения, в трех остальных разрядах - три старших разряда сформированного случайного числа, младший разряд случайного числа находится на выходе схемы сравнения.

Таблица 2

P <sub>11</sub> -2								P <sub>12</sub> -3							
P <sub>21</sub> <sup>0</sup> -4				P <sub>21</sub> <sup>1</sup> -5				P <sub>22</sub> <sup>0</sup> -6				P <sub>22</sub> <sup>1</sup> -7			
P <sub>31</sub> <sup>00</sup> -8		P <sub>31</sub> <sup>01</sup> -9		P <sub>31</sub> <sup>10</sup> -10		P <sub>31</sub> <sup>11</sup> -11		P <sub>32</sub> <sup>00</sup> -12		P <sub>32</sub> <sup>01</sup> -13		P <sub>32</sub> <sup>10</sup> -14		P <sub>32</sub> <sup>11</sup> -15	
P <sub>41</sub> <sup>000</sup> -16	P <sub>41</sub> <sup>001</sup> -17	P <sub>41</sub> <sup>010</sup> -18	P <sub>41</sub> <sup>011</sup> -19	P <sub>41</sub> <sup>100</sup> -20	P <sub>41</sub> <sup>101</sup> -21	P <sub>41</sub> <sup>110</sup> -22	P <sub>41</sub> <sup>111</sup> -23	P <sub>42</sub> <sup>000</sup> -24	P <sub>42</sub> <sup>001</sup> -25	P <sub>42</sub> <sup>010</sup> -26	P <sub>42</sub> <sup>011</sup> -27	P <sub>42</sub> <sup>100</sup> -28	P <sub>42</sub> <sup>101</sup> -29	P <sub>42</sub> <sup>110</sup> -30	P <sub>42</sub> <sup>111</sup> -31

В таблице 3 показано размещение кодов вероятности при моделировании трех законов распределения: одного закона распределения четырехразрядных случайных чисел и двух законов распределения трехразрядных случайных чисел  $e=5$ . Массив информации о первом законе расположен в ячейках 2,4,5,8-11,16-23, информация о втором законе - в ячейках 6-12, 13, 24-29, информация о третьем законе в ячейках 7,14,15,28-31. Запрос на генерацию случайных чисел требуемого закона осуществляется занесением в начале каждого цикла генерации начального адреса соответствующего массива. Младший

разряд сформированного случайного числа находится всегда на выходе схемы сравнения, старшие разряды - в младших разрядах регистра 13. Формирование трехразрядных случайных чисел, происходит за три такта.

В общем случае количество тактов формирования случайного числа равно его разрядности. Максимальная разрядность формируемых случайных чисел и количество моделируемых законов распределений случайных чисел требуемой разрядности определяются значением  $e$ , т.е. разрядностью регистра 13 и объемом памяти устройства

Таблица 3

P <sub>11</sub> -2								P <sub>12</sub> -3							
P <sub>21</sub> <sup>0</sup> -4				P <sub>21</sub> <sup>1</sup> -5				P <sub>22</sub> <sup>0</sup> -6				P <sub>22</sub> <sup>1</sup> -7			
P <sub>31</sub> <sup>00</sup> -8		P <sub>31</sub> <sup>01</sup> -9		P <sub>31</sub> <sup>10</sup> -10		P <sub>31</sub> <sup>11</sup> -11		P <sub>32</sub> <sup>00</sup> -12		P <sub>32</sub> <sup>01</sup> -13		P <sub>32</sub> <sup>10</sup> -14		P <sub>32</sub> <sup>11</sup> -15	
P <sub>41</sub> <sup>000</sup> -16	P <sub>41</sub> <sup>001</sup> -17	P <sub>41</sub> <sup>010</sup> -18	P <sub>41</sub> <sup>011</sup> -19	P <sub>41</sub> <sup>100</sup> -20	P <sub>41</sub> <sup>101</sup> -21	P <sub>41</sub> <sup>110</sup> -22	P <sub>41</sub> <sup>111</sup> -23	P <sub>42</sub> <sup>000</sup> -24	P <sub>42</sub> <sup>001</sup> -25	P <sub>42</sub> <sup>010</sup> -26	P <sub>42</sub> <sup>011</sup> -27	P <sub>42</sub> <sup>100</sup> -28	P <sub>42</sub> <sup>101</sup> -29	P <sub>42</sub> <sup>110</sup> -30	P <sub>42</sub> <sup>111</sup> -31

В таблице 4 показано размещение кодов вероятностей переходов при моделировании односвязной цепи Маркова, описываемой матрицей вероятностей переходов типа  $P_{ij}$  ( $i, j = 0, 1, 2, 3$ ),  $e=5$ . Верхний индекс в обозначении кодов вероятностей указывает номер состояния, из которого указывает номер состояния, из которого переходит цепь. Нижние индексы указывают, в какое состояние с данной вероятностью должна перейти цепь. Так, например,  $P_{0,1}^1$  - вероятность того, что цепь перейдет в состояние с номером 0 либо 1, если она находилась в состоянии 1,  $P_0^1$  - вероятность того, что цепь перейдет в состояние 0, если она находилась в состоянии 1 и при розыгрыше вероятностей на предыдущем такте определилось, что цепь должна перейти в состояние с номером 0 либо 1.

Таблица 4

P <sub>01</sub> <sup>0</sup> -4		P <sub>01</sub> <sup>1</sup> -5		P <sub>01</sub> <sup>2</sup> -6		P <sub>01</sub> <sup>3</sup> -7	
P <sub>0</sub> <sup>0</sup> -8	P <sub>0</sub> <sup>0</sup> -9	P <sub>0</sub> <sup>1</sup> -10	P <sub>0</sub> <sup>1</sup> -11	P <sub>0</sub> <sup>2</sup> -12	P <sub>0</sub> <sup>2</sup> -13	P <sub>0</sub> <sup>3</sup> -14	P <sub>0</sub> <sup>3</sup> -15

При моделировании указанной цепи Маркова устройство работает следующим образом. В начале периода генерации цепи в младшие два разряда регистра 13 (четвертый и пятый при  $e=5$ ) заносится номер начального состояния цепи, в третий разряд - единица, в первый и второй - нули. На первом такте извлекается код, определяющий вероятность перехода в младшие состояния -  $P_{0,1}^1$ , и происходит сравнение со случайным числом. По импульсу с генератора 1 производится сдвиг содержимого регистра 13 с записью в младший разряд результата сравнения. На втором такте извлекается код

вероятности  $P_0^1$  либо  $P_2^1$ , производится сравнение со случайным числом, содержимое регистра 13 сдвигается, а в его младший разряд заносится результат второго сравнения. За два такта единица из третьего разряда регистра 13 сдвигается в первый разряд. Это говорит об окончании цикла формирования перехода. Сформированный код номера состояния процесса находится в четвертом и пятом разрядах регистра 13. При запуске устройства на следующий цикл формирования перехода необходимо значение четвертого и пятого разрядов регистра 13 оставить без изменения, в третий разряд записать единицу, а в первый и второй разряды - нули.

В таблице 5 показано размещение кодов вероятностей при генерировании двухсвязного Марковского процесса, описываемого матрицей вероятностей переходов  $P_{ij}$ ,  $\ell=7$ . Первый верхний индекс в обозначении кодов вероятностей -  $i$ , второй -  $j$ . Функционирует устройство аналогично вышеописанному случаю. Формируемые коды состояния процесса по окончании каждого цикла формирования перехода находятся в шестом и седьмом разрядах регистра 13. При запуске на каждый новый цикл необходимо значение четвертого - седьмого разрядов регистра 13 оставлять без изменения, в третий разряд заносить единицу, а в первый и второй разряды - нули.

Таблица 5

$P_{0,1}^{00}-16$		$P_{0,1}^{01}-17$		$P_{0,1}^{02}-18$		$P_{0,1}^{03}-19$		$P_{0,1}^{10}-20$		$P_{0,1}^{11}-21$		$P_{0,1}^{12}-22$		$P_{0,1}^{13}-23$	
$P_0^{00}-32$	$P_2^{00}-33$	$P_0^{01}-34$	$P_2^{01}-35$	$P_0^{02}-36$	$P_2^{02}-37$	$P_0^{03}-38$	$P_2^{03}-39$	$P_0^{10}-40$	$P_2^{10}-41$	$P_0^{11}-42$	$P_2^{11}-43$	$P_0^{12}-44$	$P_2^{12}-45$	$P_0^{13}-46$	$P_2^{13}-47$
$P_{0,1}^{20}-24$		$P_{0,1}^{21}-25$		$P_{0,1}^{22}-26$		$P_{0,1}^{23}-27$		$P_{0,1}^{30}-28$		$P_{0,1}^{31}-29$		$P_{0,1}^{32}-30$		$P_{0,1}^{33}-31$	
$P_0^{20}-48$	$P_2^{20}-49$	$P_0^{21}-50$	$P_2^{21}-51$	$P_0^{22}-52$	$P_2^{22}-53$	$P_0^{23}-54$	$P_2^{23}-55$	$P_0^{30}-56$	$P_2^{30}-57$	$P_0^{31}-58$	$P_2^{31}-59$	$P_0^{32}-60$	$P_2^{32}-61$	$P_0^{33}-62$	$P_2^{33}-63$

При достаточно большом значении возможно последовательное моделирование нескольких Марковских процессов и законов распределений. При этом необходимо обеспечить хранение необходимых текущих предыдущих состояний Марковского процесса.

Запросы на генерацию случайных чисел требуемого распределения осуществляются занесением перед циклом генерации начального адреса соответствующего массива информации. При запросе на формирование перехода Марковского процесса задается начальный адрес требуемого массива в соответствии с предыдущими состояниями этого процесса.

Максимальное число состояний Марковского процесса, максимальная связность процесса с необходимым числом состояний, количество последовательно моделируемых процессов и законов распределений с требуемыми параметрами, т.е. возможности устройства определяются значением - разрядностью регистра 13 и объемом памяти устройства.

Технико-экономическая эффективность изобретения определяется повышением точности моделирования распределений случайных чисел Марковских процессов, расширением функциональных возможностей, обеспечением возможности программного управления, варьирования при постоянном

объеме памяти числом моделируемых законов и разрядностью формируемых случайных чисел, связностью цепей Маркова и числом их состояний и упрощением и удешевлением устройства.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Стохастический генератор, содержащий регистр адреса, блок памяти, вход которого соединен с первым выходом регистра адреса, блок сравнения, первый вход которого соединен с выходом блока памяти, а выход - с первым входом регистра адреса, генератор равномерно распределенных случайных чисел, первый выход которого соединен со вторым входом блока сравнения, отличающийся тем, что, с целью повышения точности работы генератора, он содержит генератор тактовых импульсов, регистр сдвига, три элемента И, два блока элементов НЕ, блок элементов И, коммутатор, элемент НЕ, причем выход генератора тактовых импульсов соединен с первым входом регистра сдвига, первым входом первого элемента И и первым входом второго элемента И, второй вход регистра сдвига соединен со вторым входом регистра адреса и с выходом третьего элемента И, первый вход которого является входом

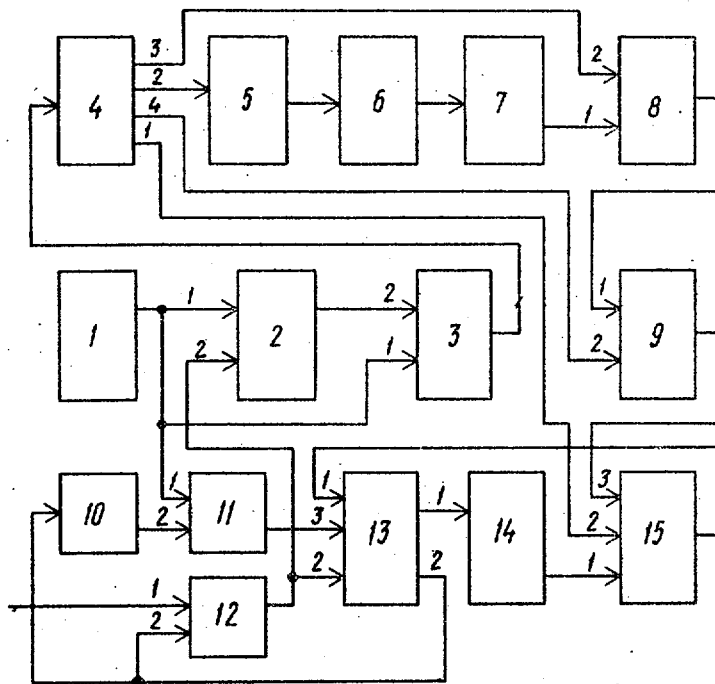


"Пуск" генератора, а второй вход соединен со входом элемента НЕ и вторым выходом регистра адреса, выход элемента НЕ соединен со вторым входом второго элемента И, выход которого соединен с третьим входом регистра адреса, выход регистра сдвига соединен со вторым входом первого элемента И, выход которого соединен со входом генератора равномерно распределенных случайных чисел, вход первого блока элементов НЕ соединен со вторым выходом генератора равномерно распределенных случайных чисел, а выход первого блока элементов НЕ соединен со входом блока элементов И, выход которого соединен со входом шифратора, выход которого соединен с первым входом второго блока элемента НЕ, второй вход которого соединен с третьим выходом генератора

равномерно распределенных случайных чисел, а выход второго блока элементов НЕ соединен с первым входом коммутатора, второй вход которого соединен с четвертым выходом генератора равномерно распределенных случайных чисел, а выход коммутатора соединен с третьим входом блока сравнения.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Авторское свидетельство СССР № 378826, кл. G 06 F 1/02, 1973.
2. Авторское свидетельство СССР № 430368, кл. G 06 F 1/02, 1974.
3. Авторское свидетельство СССР № 485439, кл. G 06 F 1/02, 1975.
4. Авторское свидетельство СССР № 488212, кл. G 06 F 15/20, 1975 (прототип).



Составитель А. Карасов

Редактор Л. Утехина      Техред Ж. Кастелевич      Корректор Ю. Макаренко

Заказ 1741/41

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