

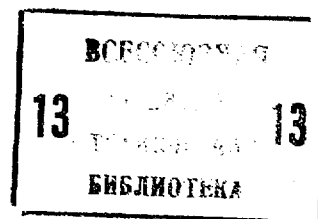


3 (5) G 06 F 7/58

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3606418/18-24
 (22) 16.06.83
 (46) 15.09.84. Бюл. № 34
 (72) Г.П.Лопато, А.Г.Якубенко,
 В.Г.Беляев, Л.И.Еловских, С.Ф.Костюк
 и А.И.Кузьмич
 (71) Минский радиотехнический институт
 (53) 681.325(088.8)
 (56) 1. Авторское свидетельство СССР
 № 667983, кл. G 06 F 7/58.
 2. Авторское свидетельство СССР
 № 767745, кл. G 06 F 7/58.
 3. Авторское свидетельство СССР
 по заявке № 3433038/18-24,
 28.04.82 (прототип).

(54) (57) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА, содержащий генератор импульсов, первый и второй делители частоты, первый сумматор, первый блок памяти, второй сумматор, вход аргумента которого соединен с выходом первого блока памяти, первый регистр памяти, информационный вход которого соединен с выходом второго сумматора, а выход первого регистра памяти является выходом генератора, триггер, вход синхронизации которого объединен с входом обнуления второго сумматора, с входом синхронизации записи первого регистра памяти, со счетным входом второго делителя частоты и соединен с выходом первого делителя частоты, первый и второй счетчики, второй блок памяти, адресный вход которого соединен с выходом кода состояния первого счетчика, а выход второго блока памяти соединен с первым входом первого сумматора, датчик случайных чисел, выход которого соединен с информационным входом второго блока памяти, блок управления, о т -

л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения точности, он содержит второй и третий регистры памяти, третий и четвертый сумматоры и схему сравнения, причем выход второго регистра памяти соединен с входом аргумента третьего сумматора, вход синхронизации суммирования которого соединен с выходом первого делителя частоты, а выход третьего сумматора соединен с вторым входом первого сумматора, выход старшего разряда первого сумматора соединен с входами управления второго и четвертого сумматоров, а выходы остальных разрядов первого сумматора соединены с входом аргумента четвертого сумматора, выход которого соединен с адресным входом первого блока памяти, выход третьего регистра памяти соединен с входами задания коэффициентов пересчета первого и второго счетчиков, выход второго делителя частоты соединен с информационным входом триггера и со счетным входом второго счетчика, выход кода состояния которого соединен с первым входом схемы сравнения, второй вход которой соединен с выходом кода состояния первого счетчика, вход стробирования схемы сравнения соединен с выходом триггера, а выход схемы сравнения соединен с входом управления записью второго блока памяти, выход блока управления соединен с входом синхронизации второго сумматора и со счетным входом первого счетчика, а блок управления содержит триггер, регистр сдвига и элемент И, выход которого соединен с входом синхронизации суммирования второго сумматора и со счетным входом первого счетчика,

выход генератора импульсов соединен со счетным входом первого делителя частоты, с входом "Опрос" датчика случайных чисел, с входом синхронизации регистра сдвига и с первым входом элемента И, второй вход которого соединен с выходом регистра сдвига, вход "Запись" которого соединен с

единичным выходом триггера блока управления, нулевой вход которого соединен с выходом переполнения первого счетчика, выход первого делителя частоты соединен с единичным входом триггера блока управления и с установочным входом регистра сдвига.

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

Известно устройство, содержащее блок формирования случайных временных интервалов, блок источников равномерно распределенных случайных величин, блок источников гармонических сигналов и блок суммирования [1].

Недостатком данного устройства является сложность технической реализации за счет множества источников случайных величин и гармонических сигналов, а при малых аппаратных затратах - низкая точность. Так, например, если данное устройство использовать для формирования случайного процесса при испытаниях изделий на вибрацию на электродинамическом стенде, для обеспечения достаточной точности коррекции амплитудно-частотной характеристики вибростенда количество источников случайных величин и гармонических сигналов должно быть порядка 400-800.

Известно устройство, содержащее генератор импульсов, делитель частоты, датчик случайных чисел и блок памяти [2].

Недостатки устройства - низкая точность и ограниченные функциональные возможности: устройство не позволяет формировать гауссовы узкополосные процессы.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является гене-

2
 ратор случайного процесса, содержащий последовательно соединенные генератор импульсов, первый делитель частоты, первый счетчик, первый сумматор, первый блок памяти, второй сумматор и регистр, выход которого является выходом устройства, второй делитель частоты и триггер, входы которых объединены с входами регистра и второго сумматора и соединены с выходом первого делителя частоты, второй счетчик, первый вход которого объединен с третьим входом второго сумматора и соединен с выходом триггера, второй блок памяти, первый вход которого соединен с первым выходом второго счетчика, а выход - с вторым входом первого сумматора, датчик случайных чисел, выход которого соединен с вторым входом блока памяти, блок управления, первый вход которого объединен с входом датчика случайных чисел, с вторым входом второго счетчика, с четвертым входом второго сумматора и соединен с выходом генератора импульсов, второй вход объединен с вторым входом триггера и соединен с вторым выходом второго счетчика, третий вход соединен с выходом второго делителя частоты, а выход - с третьим входом блока памяти [3].

Устройство формирует случайный процесс, состоящий из "склеенных" отрезков реализаций, представляющий собой сумму отрезков (наслоений) одной периодической функции (базовой функции процесса) со случайными начальными фазами. Для простоты расчета настройки на формирование случайного процесса с требуемой функцией спектральной плотности (СПМ) в базисе Фурье в качестве базовой функции про-

цесса используется полигармоническая функция с частотами входящих в нее гармонических функций, кратными частоте первой (самой низкочастотной) гармонической функции. При этом функция СПМ формируемого процесса аппроксимируется композицией компонентных функций $(\sin x/x)^2$, сдвинутых по оси частот с равномерным шагом, с весами, пропорциональными амплитудам соответствующих им гармонических функций. Управление количеством наслоений позволяет управлять параметрами закона распределения мгновенных значений амплитуд формируемого процесса. Если запретить запись во второй блок памяти случайных чисел фаз наслоений, устройство позволяет формировать регулярные процессы с произвольной требуемой формой сигнала на периоде.

Недостатками устройства являются низкая точность воспроизведения требуемых функций СПМ, так как количество аппроксимирующих функций не может быть больше $N/2$, где N - количество ячеек первого блока памяти, а также низкая точность задания частот формируемых гармонических процессов и центральных частот узкополосных процессов. При формировании гармонического процесса или случайного узкополосного, когда в функцию СПМ входит одна аппроксимирующая функция, в первый блок памяти записывается период синуса. При этом длительность периода повторения формируемого на выходе устройства гармонического процесса равна $N\Delta T$, абсолютная погрешность задания периода равна $\pm N T_{2\pi\omega} / 2$, где N - количество ячеек первого блока памяти; ΔT - длительность интервала дискретизации формируемого процесса; $T_{2\pi\omega}$ - длительность периода следования импульсов тактового генератора. В результате для высокочастотных процессов, когда длительность периода гармонического сигнала имеет величину одного порядка с $N T_{2\pi\omega}$, относительная погрешность задания требуемого произвольного периода повторения достигает больших значений (до 100%).

Недостатком известного устройства является также то, что случайныеращения процесса происходят один раз в течение цикла формирования и следуют через равные промежутки времени. Формируемый процесс обладает малой

энтропией, отличается простотой временной конструкции, что особенно существенно при формировании узкополосных процессов (процесс состоит из отрезков гармонической функции одной частоты со случайными начальными фазами и амплитудами). Все это сужает область применения устройства и достоверность решения задач с использованием данного устройства.

Цель изобретения - повышение точности формирования процессов.

Поставленная цель достигается тем, что устройство, содержащее генератор импульсов, первый и второй делители частоты, первый сумматор, первый блок памяти, второй сумматор, вход аргумента которого соединен с выходом первого блока памяти, первый регистр памяти, информационный вход которого соединен с выходом второго сумматора, а выход первого регистра памяти является выходом устройства, триггер, вход синхронизации которого объединен с входом обнуления второго сумматора, с входом синхронизации записи первого регистра памяти, со счетным входом второго делителя частоты и соединен с выходом первого делителя частоты, первый и второй счетчики, второй блок памяти, адресный вход которого соединен с выходом кода состояния первого счетчика, а выход второго блока памяти соединен с первым входом сумматора, датчик случайных чисел, выход которого соединен с информационным входом второго блока памяти, блок управления, дополнительно содержит два регистра памяти, два сумматора и схему сравнения, причем выход второго регистра памяти соединен с входом аргумента третьего сумматора, вход синхронизации суммирования которого соединен с выходом первого делителя частоты, а выход третьего сумматора соединен с вторым входом первого сумматора, выход старшего разряда первого сумматора соединен с входами управления второго и четвертого сумматоров, а выходы остальных разрядов первого сумматора соединены с входом аргумента четвертого сумматора, выход которого соединен с адресным входом первого блока памяти, выход третьего регистра памяти соединен с входом задания коэффициентов пересчета первого и второго счетчиков, выход второго делителя частоты соединен с информаци-

онным входом триггера и со счетным входом второго счетчика, выход кода состояния которого соединен с первым входом схемы сравнения, второй вход которой соединен с выходом кода состояния первого счетчика, вход стробирования схемы сравнения соединен с выходом триггера, а выход - с входом управления записью второго блока памяти, выход блока управления соединен с входом синхронизации второго сумматора и со счетным входом первого счетчика, а блок управления содержит триггер, регистр сдвига и элемент И, выход которого соединен с входом синхронизации суммирования второго сумматора и со счетным входом первого счетчика, выход генератора импульсов соединен со счетным входом первого делителя частоты, с входом "Опрос" датчика случайных чисел, с входом синхронизации регистра сдвига и с первым входом элемента И, второй вход которого соединен с выходом регистра сдвига, вход "Запись" которого соединен с единичным выходом триггера блока управления, нулевой вход которого соединен с выходом переполнения первого счетчика, выход первого делителя частоты соединен с единичным входом триггера блока управления и с установочным входом регистра сдвига.

На фиг.1 приведена блок-схема генератора; на фиг.2 - схема блока управления; на фиг.3 и 4 - графики работы генератора.

Генератор содержит генератор 1 импульсов, делитель 2 частоты, сумматоры 3-5, блок 6 памяти, сумматор 7, регистры 8-10 памяти, счетчики 11 и 12, схему 13 сравнения, блок 14 памяти, делитель 15 частоты, триггер 16, датчик 17 случайных чисел, блок 18 управления, состоящий из триггера 19, элемента 20 И и регистра 21 сдвига.

Формируемый устройством случайный процесс представляет собой сумму (композицию) элементарных процессов (назовем их наслоениями), каждый из которых представляет собой последовательность "склеенных" отрезков одной периодической функции (назовем ее базовой функцией процесса) со случайными начальными фазами, изменяющимися последовательно от наслоения в несовпадающие моменты времени.

Базовая функция процесса задается N дискретными отсчетами, записываемыми в блок памяти 6. Формирование процесса можно представить как последовательность непрерывно следующих циклов, на каждом из которых за r тактов вычисляется один отсчет формируемого процесса путем суммирования с помощью накапливающего сумматора 7 r отсчетов базовой функции, где r - количество наслоений, определяемое записанным в регистр 10 кодом коэффициента пересчета счетчиков 11 и 12. Адреса считываемых на i -ых тактах из блока памяти 6 отсчетов базовой функции формируются путем прибавления к состоянию сумматора 3 кодов случайных фаз наслоений, считываемых из i -ых ячеек блока памяти 14, по адресам, формируемым счетчиком 11, причем суммирование осуществляется по модулю 2^N . Состояние сумматора 3 увеличивается от цикла к циклу на величину p , код которой хранится в регистре 9, суммирование осуществляется по модулю 2^N , при этом на выходе сумматора 3 формируется циклически линейная последовательность кодов. Коды случайных фаз формируются датчиком случайных чисел 17, смена фазы отрезка базовой функции i -го наслоения осуществляется на i -ом такте вычисления некоторого отсчета формируемого процесса записью в i -ю ячейку блока памяти 14 нового случайного числа в момент равенства кодов состояний счетчиков 11 и 12 при единичном состоянии триггера 16.

Особенностью устройства является использование базовых функций с центральной симметрией, а именно полигармонических функций с частотами гармонических функций, кратными частоте первой (самой низкочастотной) с отношением начальных фаз, равным нулю или π . При этом в блок памяти 6 записывается половина периода отсчетов базовой функции. Формирование отсчетов второй половины осуществляется чтением отсчетов первой половины с изменением знаков на противоположные по адресам, равным дополнительным кодам номеров отсчетов второй половины.

Устройство с блоком управления по фиг.1 работает следующим образом.

Учредной цикл формирования процесса начинается после выработки на выходе делителя частоты 2 импульса, по

которому в регистр 8 записывается с выхода сумматора 7 вычисленный на предыдущем цикле отсчет формируемого процесса, накапливающий сумматор 7 обнуляется, к содержимому накапливающего сумматора 3 прибавляется код p с выхода регистра 9, триггер 19 блока управления 18 устанавливается в единичное состояние, разрешающее прохождение через элемент И 20 тактовых импульсов генератора 1 и выработку на выходе блока управления 18 импульсов синхронизации цикла вычислений. Предположим, что емкость блока памяти 6 равна $N = 2^p$, где p - целое число. Тогда период базовой функции процесса состоит из 2^N отсчетов, разрядность сумматоров 3 и 4 равна $p+1$, а разрядность сумматора 5 - p .

На нулевом такте вычисления из нулевой ячейки блока памяти 14 считывается код, задающий случайную фазу отрезка базовой функции нулевого наслоения, и суммируется с кодом состояния сумматора 3. Если в старшем разряде получаемого на выходе сумматора 4 кода номера отсчета базовой функции нуль, указывающий на принадлежность отсчета к первой половине базовой функции, остальные p разрядов номера отсчета проходят без изменения через сумматор 5 на вход адреса блока памяти 6, из блока памяти 6 считывается код отсчета базовой функции, поступающий на вход накапливающего сумматора 7, нуль с выхода старшего разряда сумматора 4 задает режим суммирования накапливающего сумматора 7. Если в старшем разряде полученного на выходе сумматора 4 кода номера отсчета базовой функции единица, указывающая на принадлежность отсчета ко второй половине базовой функции, сумматором 5 вычисляется дополнительный код номера, накапливающий сумматор 7 включается в режим вычитания, что эквивалентно изменению знака считываемого из блока памяти 6 отсчета на противоположный. По поступающему очередному импульсу с выхода блока управления 18 к содержимому накапливающего сумматора 7 прибавляется или вычитается, в зависимости от сформированного номера, код отсчета базовой функции, состояние счетчика 11 увеличивается на единицу. По адресу, определяемому новым состоянием счетчика 11, считывается код, задающий случайную фазу отрезка базовой функции сле-

дующего наслоения, по вычисляемому с помощью сумматоров 4 и 5 новому адресу считывается отсчет отрезка реализации базовой функции следующего наслоения, который в зависимости от значения старшего разряда сумматора 4 с приходом очередного тактового импульса прибавляется к содержимому накапливающего сумматора 7 или вычитается. По каждому импульсу с выхода блока управления 18 состояние счетчика 11 увеличивается, в сумматоре 7 накапливается значение отсчета выходного процесса. Последовательность описанных тактов вычисления сохраняется до тех пор, пока на выходе счетчика 11 не выработается импульс переполнения (при переходе счетчика через максимальное состояние), по которому триггер 19 блока управления 18 устанавливается в нулевое состояние, запрещающее прохождение импульсов через элемент И 20. Счетчик устанавливается в начальное (нулевое) состояние, в котором находится до начала следующего цикла.

Последовательность описанных циклов повторяется, на каждом цикле состояние накапливающего сумматора 3 увеличивается на p , на выходе накапливающего сумматора 3 формируется циклически последовательность линейно изменяющихся в диапазоне от 0 до 2^N кодов. Суммирование по модулю 2^N циклической линейно изменяющейся в диапазоне $0-2^N$ последовательности кодов с постоянным числом обеспечивает сдвиг последовательности. Поэтому на одноименных t -х тактах последовательно выполняемых циклов вычисления процесса на выходе сумматора 4 формируется циклически линейно изменяющиеся последовательности номеров отсчетов базовой функции, каждая из которых имеет сдвиг, определяемый кодом, считываемым t -м такте из блока памяти 14. По этим последовательностям в режиме разделения времени формируются сдвинутые периодические отрезки базовой функции наслоений, соотношения фаз которых определяются кодами записанных в блок памяти 14 случайных чисел. На выходе сумматора 7 получается композиция этих отрезков базовых функций.

Смена фаз наслоений происходит во время вычисления отсчетов формируемого процесса на циклах, следующих пос-

ле выработки на выходе делителя частоты 15 сигнала, по которому триггер 16 устанавливается в единичное состояние, разрешающее работу схемы сравнения.

При равенстве на некотором i -м такте данных циклов состояний счетчиков 11 и 12 на выходе схемы сравнения 13 вырабатывается сигнал, по которому в i -ю ячейку блока памяти 14 записывается новый код случайной фазы с выхода датчика случайных чисел 17. Если коэффициент пересчета делителя частоты 15 задан больше единицы, следующим импульсом с выхода делителя частоты 2, включающим устройство на новый цикл вычислений, триггер 16 устанавливается в нулевое состояние, запрещающее работу схемы сравнения 13 до поступления следующего импульса с выхода делителя частоты 15.

Состояние счетчика 12 увеличивается на единицу при выработке сигнала на выходе делителя частоты 15, состояния счетчика 11 изменяются на каждом цикле от нуля до максимального. При этом, если коэффициент пересчета и разрядности счетчиков 11 и 12 и схемы сравнения 13 равны, смена фаз отрезков базовой функции наслоений происходит последовательно от наслоения к наслоению в соответствии с последовательно циклически изменяющимися состояниями счетчика 12. Количество циклов между сменами фаз определяется коэффициентом пересчета делителя частоты 15. Количество отсчетов отрезков базовой функции наслоений, определяемое циклом полной смены кодов в блоке памяти 14, равно $N^* = r\beta$, где r - коэффициент пересчета счетчика 12; β - коэффициент пересчета делителя частоты 15.

Для увеличения быстродействия предложенного генератора случайных процессов можно организовать конвейерный способ вычислений, для которого рекомендуется использование блока управления по фиг.2. При организации описанного способа вычислений длительность такта вычисления равна сумме шести составляющих: переходных процессов изменения состояния счетчика 11, считывания информации из блока памяти 14, вычисления сумматора 4, образования дополнительного кода сумматором 5, считывания из блока памяти 6, суммирования сумматора 7.

При конвейерном способе вычисления вводятся дополнительно несколько буферных регистров, и указанные операции по формированию отсчета отрезка базовой функции одного наслоения можно выполнять за несколько тактов меньшей длительности, одновременно выполняя различные операции по формированию отсчетов отрезков базовой функции нескольких наслоений.

Например, если в состав блока памяти 14 ввести регистр выходной информации, а в состав блока памяти 6 - регистр выходной информации и регистр адреса, запись информации в которые синхронизировать импульсами с выхода блока управления 18, формирование отсчета отрезка базовой функции одного наслоения будет выполняться за четыре такта, причем на одном такте работы устройства выполняются различные операции по формированию отсчетов отрезков базовой функции четырех наслоений. На i -м такте цикла вычисления будут выполняться следующие операции: переход счетчика 11 в i -е состояние и считывание из блока памяти 14 случайной фазы отрезка базовой функции i -го наслоения; вычисление сумматорами 4 и 5 номера отсчета отрезка базовой функции $i-1$ -го наслоения; считывание из блока памяти 6 кода отсчета отрезка базовой функции $i-2$ -го наслоения; прибавление к содержимому сумматора 7 кода отсчета отрезка базовой функции $i-3$ -го наслоения. При этом сигнал управления операцией сумматора 7 необходимо также передавать по конвейеру с задержкой на два такта, например по дополнительно введенным разрядам буферных регистров адреса и информации блока памяти 6. Поскольку в рассматриваемом примере конвейер состоит из четырех операций, после выработки импульса переполнения счетчика 11 завершения вычисления отсчета формируемого процесса необходимо выполнить еще три такта. Поэтому второй вход элемента И 20 блока управления соединяется с третьим разрядом регистра сдвига 21. В начале цикла триггер 19 и регистр 21 устанавливаются сигналом, поступающим с выхода делителя частоты 2, в единичное состояние. По импульсу переполнения с выхода счетчика 11 триггер 19 устанавливается в нулевое состояние, поступающий с его

выхода логический нуль на вход 2 последовательной записи регистра 21 за три такта сдвигается до третьего разряда регистра 21, после чего прохождение импульсов синхронизации через элемент И 20 запрещается до начала следующего цикла. При выполнении последних тактов вычисления текущего отсчета процесса одновременно по конвейеру выполняются операции по формированию отсчетов отрезков базовых функций первых наслоений следующего отсчета, поэтому применение конвейера вычислений не приводит к увеличению количества тактов цикла, длительность же такта сокращается. Если количество наслоений r меньше количества операций конвейера, на каждом цикле вычисления одновременно выполняются операции по формированию нескольких отсчетов процесса.

Предложенное устройство можно эффективно использовать для формирования регулярных процессов, для чего необходимо запретить запись случайных кодов в блок памяти 14 и задать коэффициент пересчета счетчика 11 равным единице. Если при этом отключить цепь управления сумматорами 5 и 7 от выхода старшего разряда сумматора 4 и подать на нее постоянный логический уровень, устройство позволяет формировать регулярные процессы с произвольной формой сигнала на периоде, описываемом последовательностью кодов, записанных в блок памяти 6. При подключенной цепи управления сумматорами 5 и 7 устройство позволяет формировать периодические процессы с центральной симметрией формы, например полигармонические процессы с соотношениями фаз гармоник, равными нулю или π . При формировании гармонических воздействий возможность управления шагом p изменения состояний сумматора 3 обеспечивает возможность высокой точности задания частоты воздействия и оперативную перестройку с высокой точностью частоты воздействия без изменения содержимого блока памяти 6 формы воздействия. Это позволяет эффективно использовать устройство в составе автоматизированных систем испытаний (моделирования) для формирования гармонических воздействий с качающейся частотой.

Как говорилось выше, вследствие симметрии используемых базовых функ-

ций для формирования отсчетов второй половины базовой функции используются отсчеты первой половины с номерами, равными дополнительным кодам номеров второй половины, причем знаки отсчетов меняются на противоположные. При этом записываемые в блок памяти 6 отсчеты половины периода базовой функции следует вычислять в точках $T_{доп} \cdot m/2N$, где $m = 0, N-1$ — номер отсчета, $T_{доп}$ — длительность периода базовой функции, N — емкость блока памяти 6. На фиг. 4 приведен график одного периода базовой функции, на котором отмечены указанные точки вычисления отсчетов для случая $N=8$. В первой строчке под графиком написаны двоичные номера отсчетов, во второй строчке — формируемые на выходе сумматора 5 адреса чтения отсчетов из блока памяти 6, причем знак перед кодом адреса указывает операцию, задаваемую сумматору 7. Если в блок памяти 6 записать отсчеты половины периода базовой функции, вычисленные в точках $T_{доп}(2m+1)/2N$, $m = 0, N-1$, формирование адресов чтения отсчетов второй половины осуществляется инвертированием разрядов кода номера, следующих за старшим, старший разряд, как и в первом случае управляет операцией сумматора. Сказанное иллюстрируется фиг. 5, на которой приведен график периода базовой функции с отмеченными точками вычисления отсчетов, строки двоичных кодов имеют тот же смысл, что и на фиг. 4. При построении сумматора 5 на элементах типа 155ИПЗ можно использовать любой из указанных способов вычисления отсчетов базовой функции, так как микросхема 155ИПЗ обеспечивает выполнение и операции образования дополнительного кода, и операции инвертирования. Если использовать только второй способ вычисления, для построения сумматора 5 можно использовать блок двухвходовых элементов сумматора по модулю 2 в качестве управляемых инверторов, что является с точки зрения технической реализации более простым, однако при использовании первого способа вычисления отсчетов базовой функции можно более эффективно использовать устройство при расчете настройки на широкополосный процесс алгоритма быстрого преобразования Фурье.

При рассмотрении работы устройства предполагалось, что коэффициенты

пересчета и разрядности счетчиков 11 и 12 равны. Это не обязательно. С целью расширения возможностей устройства по управлению параметрами распределения амплитуд процесса разрядность счетчика 11 можно сделать больше разрядности счетчика 12 и схемы сравнения 13. Например, счетчик 11 можно сделать составным из двух счетчиков с независимым управлением коэффициентами пересчета. Первая часть такого счетчика имеет разрядность, равную разрядности счетчика 12 и схемы сравнения 13, коэффициент пересчета ее задается равным коэффициенту пересчета счетчика 12 и определяет количество моментов смены фаз наложений. Выход второй части соединяется только с адресным входом блока памяти 14, коэффициент пересчета ее определяет количество наслоений, в которых изменяются фазы на одном цикле вычисления отсчета формируемого процесса. Использование такого варианта построения счетчика 11 обеспечивает большие возможности задания количества наслоений и управления вследствие этого параметрами распределения амплитуд формируемого процесса.

При рассмотрении работы устройства предполагалось использование счетчиков 11 и 12, считывающих в прямом направлении, (направление их счета не принципиально для работы устройства, можно использовать реверсивные счетчики). Кроме того, предполагалось, что триггер 16 D-типа и содержит второй D-вход и вход синхронизации записи состояния по D-входу. Можно использовать триггер 16 RS-типа, содержащий первый вход обнуления и второй вход установки единичного состояния.

Таким образом, на выходе устройства формируется процесс, представляющий собой сумму элементарных процессов, состоящих из последовательности "склеенных" отрезков базовой функции со случайными начальными фазами, изменяющимися последовательно от одного элементарного процесса к другому через равные промежутки времени. Количество элементарных процессов определяется задаваемым коэффициентом пересчета счетчика 11, количество отсчетов, через которые изменяются фазы отрезков базовой функции элементарных процессов, определяется произведением

коэффициентов пересчета счетчика 12 и делителя частоты 15, длительность интервалов дискретизации формируемого процесса равна произведению длительности периода следования импульсов генератора 1 на коэффициент пересчета делителя частоты 2.

При формировании случайных широкополосных процессов целесообразно задавать шаг изменения состояний сумматора 3 /p/ равным единице. Функция спектральной плотности мощности формируемого случайного широкополосного процесса имеет вид

$$G(\omega) = V \sum_{k=-M}^M \frac{A_k^2}{4} \left[\frac{\sin \frac{N^* \Delta T}{2} (\omega + k\omega_1)}{\frac{N^* \Delta T}{2} (\omega + k\omega_1)} \right]^2, \quad (1)$$

где A_k - амплитуда гармонических функций базовой функции процесса;
 M - количество гармонических функций, образующих базовую функцию;
 N^* - количество отсчетов отрезков базовой функции наслоений;
 ω_1 - частота первой гармонической функции;
 ΔT - длительность периода дискретизации формируемого процесса;

V - количество наслоений.

Функция СПМ, как и в прототипе, задается композицией компонентных функций $(\sin x/x)^2$. Так как для задания гармонической функции по теореме Котельникова требуется минимум два отсчета на период, в устройстве-прототипе при емкости блока памяти для хранения полигармонической функции, равной N , количество гармонических функций, образующих базовую функцию процесса, и соответствующее им количество функций аппроксимации СПМ не может быть больше $N/2$. В предложенном устройстве вследствие использования свойств симметрии базовых функций количество аппроксимирующих функций при том же объеме памяти в два раза больше и может достигать величины N . Таким образом, при равных объемах блоков памяти управления формой функции СПМ формируемых процессов предложенного устройства и прототипа количество компонентных функций аппроксимации функции СПМ в предложенном устройстве в два раза больше по сравнению с прототипом, т.е. предложенное устройство отличается более высокой

точностью. При одинаковой точности воспроизведения в предложенном устройстве требуется в два раза меньше информации управления формой функции СПМ по сравнению с прототипом, что является немаловажным фактором при необходимости частной перенастройки устройства, расширяющим его функциональные возможности в составе автоматизированных систем.

Возможность управления значением шага p изменения состояний накапливающего сумматора позволяет значительно повысить по сравнению с прототипом точность задания центральной частоты формируемых случайных узкополосных процессов высокой добротности, код функции СПМ задается одной компонентной функцией $(\sin x/x)^2$, а базовая функция состоит из одной гармонической функции, половина периода которой записывается в блок памяти 6. В этом случае длительность периода повторения отрезков гармонических функций наслоений, определяющая значение центральной частоты полосы формируемого узкополосного процесса, определяется соотношением:

$$T = \frac{2N\Delta T}{p} = \frac{2N \cdot k \cdot T_{ген}}{p} \quad (2)$$

где N - емкость блока памяти 6;
 k - коэффициент пересчета делителя частоты 2;
 $T_{ген}$ - длительность периода следования импульсов генератора 1;
 p - шаг изменения состояний сумматора 3.

Варьируя значения параметров k и p , можно найти пару их значений, обеспечивающих наибольшую точность задания требуемой величины T .

Возможность управления значением шага изменения состояний сумматора 3 расширяет функциональные возможности предложенного устройства при необходимости оперативной смены параметров формируемого узкополосного процесса, например при использовании устройства для формирования узкополосного процесса с качающейся частотой при испытаниях на вибрацию. В этом случае для перехода от одной частоты к другой достаточно изменить значения параметров k и p . Информация в блоке памяти 6 не меняется, в нем постоянно хранятся отсчеты половины

периода синуса, поэтому для упрощения настройки устройства на формирование узкополосных процессов высокой добротности, а также гармонических воздействий можно рекомендовать введение в состав блока памяти 6 постоянного запоминающего устройства, в котором записана последовательность N кодов задания половины периода синуса. При этом все параметры узкополосного процесса задаются четырьмя кодами: значения k и p определяют центральную частоту полосы, количество наслоений Γ определяет параметры закона распределения амплитуд; управления добротностью полосы осуществляется изменением β -количества отсчетов, через которые меняются фазы отрезков базовых функций.

Изменения количества наслоений при выполнении условия постоянства количества отсчетов N^* , через которые происходит смена фаз отрезков базовых функций наслоений, не приводит к изменению формы функции СПМ формируемого процесса. Количество наслоений влияет на вид закона распределения амплитуд процесса, причем особенно существенно при формировании узкополосных процессов, когда функция СПМ задается одной или несколькими компонентными функциями. В общем случае закон распределения амплитуд формируемого процесса определяется Γ -кратной сверткой закона распределения базовой функции. Так как формируемый процесс представляет собой сумму статически независимых функций, происходит нормализация его закона распределения. Причем распределение тем ближе к нормальному, чем больше количество наслоений.

При формировании узкополосных процессов, функция СПМ которых задается одной компонентной функцией, при задании $\Gamma = 1$ распределение амплитуд имеет вид арксинуса, с увеличением количества наслоений распределение "вытягивается" в центре и при $\Gamma = 10$ становится практически нормальным. При формировании широкополосного случайного процесса, когда количество компонентных функций аппроксимации СПМ больше 20 и все гармонические функции, образующие базовую функцию процесса, имеют нулевые фазы, форма закона распределения при $\Gamma = 1$ близка к форме нормального закона распределения, одна-

ко, в отличие от нормального имеет на краях подъема и ряд дополнительных перегибов. В данном случае достаточно задание двух наслоений, чтобы обеспечить соответствие распределения нормальному, что является важным фактором при решении ряда задач статистического моделирования.

С изменением в формируемом процессе количества наслоений в α раз пропорционально изменяется область существования и дисперсия формируемого процесса. Если с изменением количества наслоений осуществлять нормирование процесса по амплитуде, для чего необходимо умножать амплитуды процесса на величину $1/\alpha$, управление количеством наслоений позволяет изменять дисперсию процесса без изменения области его существования. Если при изменении количества наслоений нормирований процесс по дисперсии, что обеспечивается умножением амплитуд на величину $\sqrt{1/\alpha}$, управление количеством наслоений обеспечивает возможность управления границами области существования формируемого процесса без изменения дисперсии (мощности). Указанные операции масштабирования амплитуд формируемых процессов могут выполняться либо с помощью дополнительных блоков, подключаемых к выходу устройства, либо масштабированием базовой функции процесса.

Временная структура процесса, формируемого предложенным устройством, значительно отличается от структуры процесса, формируемого прототипом. При формировании узкополосного процесса, задаваемого одной компонентной функцией, процесс, формируемый прототипом, представляет собой отрезки синуса одинаковой частоты со случайными отрезками амплитудами и фазами. Процесс, формируемый предложенным устройством, в данном случае при небольшом количестве наслоений, также состоит из отрезков гармонической функции со случайными амплитудами и фазами, однако частота изменения амплитуд и фаз в $\sqrt{\alpha}$ раз больше, если количество наслоений таково, что смена фаз происходит через интервалы, меньшие периода базовой гармонической функции, во временной структуре процесса уже нельзя выделить никаких отрезков гармонической функции. В случайном процессе лю-

бого типа, формируемом прототипом, случайные изменения происходят в моменты изменения фаз отрезков реализации и следуют через регулярные промежутки времени достаточно большой длительности, причем в моменты изменения фаз возникают разрывы, резкие перепады случайной амплитуды. Если сравнить процессы с одинаковыми спектральными и вероятностными характеристиками, формируемые прототипом и предложенным устройством, количество моментов случайных изменений процесса в $\sqrt{\alpha}$ раз больше, максимальная амплитуда разрывов в $\sqrt{\alpha}$ раз меньше. При задании коэффициента пересчета делителя частоты 15 равным единице случайные изменения присутствуют в каждом отсчете формируемого процесса.

Сравним структуры формируемого предложенным устройством случайного процесса со структурой процесса, формируемого способом цифровой фильтрации потока случайных чисел с помощью цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр). В цифровом КИХ-фильтре осуществляется свертка входной бесконечной последовательности случайных кодов с последовательностью из N коэффициентов. При этом формируемый процесс представляет собой сумму N элементарных процессов, каждый из которых представляет собой последовательность "склеенных" отрезков одной функции, образованной последовательностью коэффициентов, у которых в отличие от отрезков элементарных процессов предложенного устройства случайными являются не фазы, а амплитуды. Причем если расчет коэффициентов фильтра выполнить методом взвешивания с использованием прямоугольного окна, последовательность коэффициентов фильтра, как и базовая функция процесса, формируемого предложенным устройством, представляет собой полигармоническую функцию. Таким образом, случайный процесс, формируемый цифровым КИХ-фильтром, представляет собой композицию элементарных процессов с амплитудной модуляцией отрезков базовой функции, а в предложенном устройстве — с фазовой модуляцией. По сравнению с генераторами случайных процессов на базе цифровых КИХ-фильтров предложенное устройство отличается потенциально более высоким быстродействием, так как не

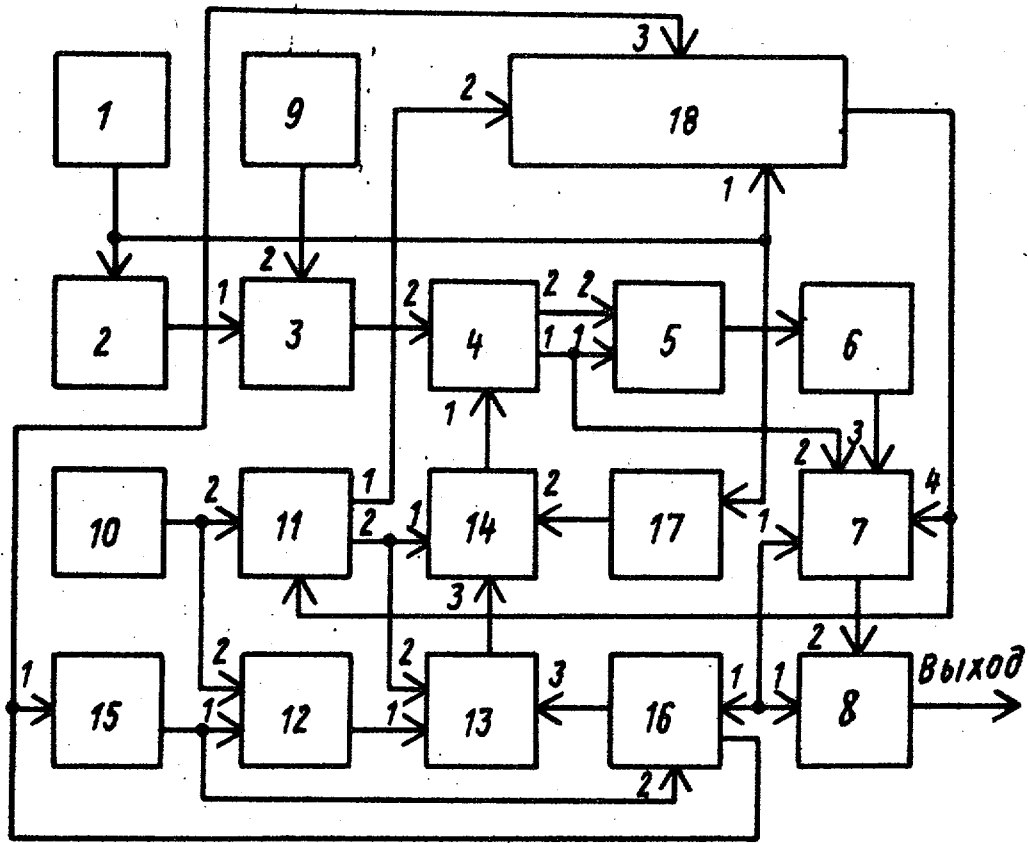
требует выполнения операций умножения, и более широкими возможностями.

Таким образом, предложенное устройство позволяет формировать случайные процессы с управляемыми спектральными и вероятностными характеристиками и регулярные процессы с произвольной формой сигнала на периоде. При задании соответствующего количества компонентных функций, максимальное количество которых определяется емкостью памяти для хранения отсчетов базовой функции, устройство обеспечивает практически любую требуемую точность воспроизведения произвольной функции спектральной плотности мощности, причем увеличение точности задания спектра не влечет уменьшения быстродействия. Если при формировании процесса количество наслоений невелико, устройство отличается высоким быстродействием, так как для формирования одного отсчета процесса требуется выполнение небольшого количества операций чтения памяти и суммирования.

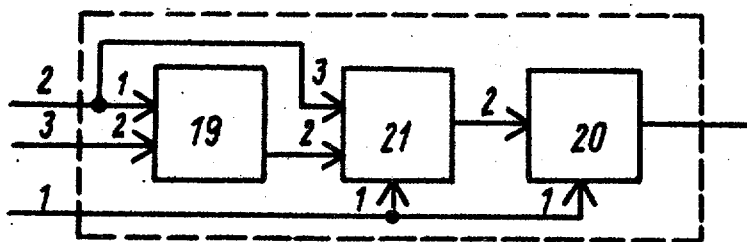
Из серийно выпускаемых специализированных устройств формирования случайных процессов предложенное устройство можно сравнить с генератором случайного процесса установки СУВУ-ШСВ 3, позволяющим формировать случайные процессы с произвольной функцией спектральной плотности мощности в диапазоне частот 5-2000 Гц. В отличие от предложенного устройства, данный генератор не позволяет управлять вероятностными характеристиками случайных процессов, не позволяет формировать периодические процессы. Предложенное устройство дает возможность формировать процессы в диапазоне частот от нуля до нескольких мегагерц. Разработанное и изготовленное на базе предложенного изобретения специализированное устройство формирования вибропроцессов "Поток-7" отличается от генераторов случайных

процессов установки СУВУ-ШСВ 3 приблизительно в 10 раз меньшими габаритами и весом и обеспечивает в 8-10 раз большую точность воспроизведения требуемых функций СПМ.

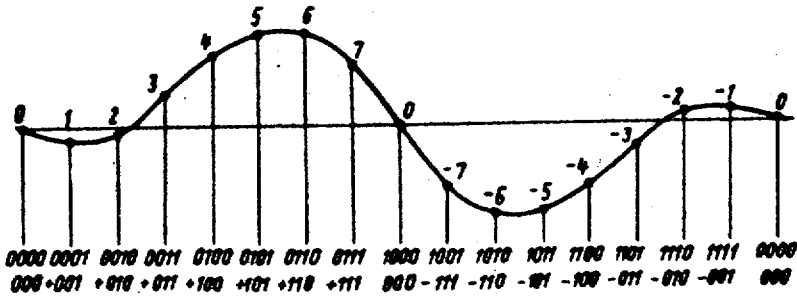
В качестве базового образца взята ЭВМ СМ-1800, вариант 50/40 в, состав которой входит устройство связи с объектом. Используя алгоритм функционирования предложенного устройства, с помощью данной ЭВМ можно формировать псевдослучайный процесс со структурой, аналогичной структуре процесса, формируемого предложенным устройством, причем в данном случае оба варианта обеспечивают потенциально одинаковую точность формирования процессов и обладают одинаковыми функциональными возможностями управления параметрами процессов. Однако формируемый ЭВМ процесс является псевдослучайным и имеет период повторения, а при решении задач моделирования и исследования сложных систем применение псевдослучайных процессов в ряде случаев недопустимо. Анализ времени выполнения операций ЭВМ СМ-1800 показывает, что быстродействие ее при формировании псевдослучайных процессов в 10^3-10^4 раз меньше быстродействия предложенного устройства, выполненного на интегральных схемах ТТЛ серий (в зависимости от количества наслоений). Стоимость базового образца составляет 50 тыс.руб. Стоимость разработанного и изготовленного на базе данного изобретения специализированного вычислительного устройства для формирования вибропроцессов "Поток-7", ориентированного на использование в составе автоматизированной системы испытаний, составила 4,5 тыс.руб, причем "Поток-7" отличается от ЭВМ СМ-1800 приблизительно в 15 раз меньшими габаритами и весом, меньшими эксплуатационными затратами.



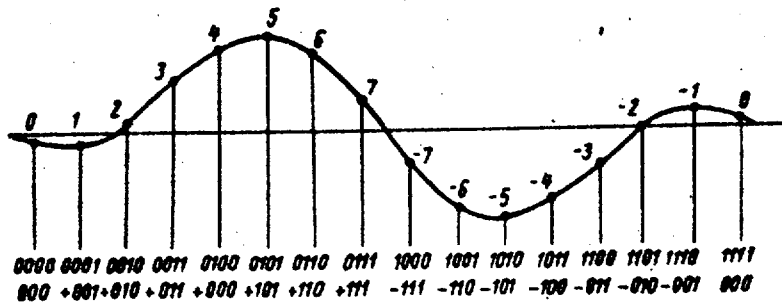
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Составитель А.Карасов

Редактор М.Циткина Техред М.Тепер

Корректор М.Шароши

Заказ 6620/40

Тираж 698

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

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

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