



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

П А Т Е Н Т Н О Е Т О Ч Е Н И Е
С о в е т с к о г о С о ю з а
О П И С А Н И Е
И З О Б Р Е Т Е Н И Я

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 736148

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 03.02.78 (21) 2577092/18-24

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 25.05.80. Бюллетень №19

Дата опубликования описания 28.05.80

(51) М. Кл.²

G 07 C 15/00

G 06 F 1/02

(53) УДК 681.325
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

В. Н. Ярмолик, А. Е. Леусенко, В. Ф. Черепов
и Ю. В. Веселов

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

(54) ГЕНЕРАТОР ШИРОКОПОЛОСНЫХ
СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Изобретение относится к области вычислительной техники и может быть использовано в качестве специализированного блока универсальной электронной вычислительной машины, а также задающей аппаратуры для воспроизведения случайных вибраций при исследовании надежности с помощью вибростендов.

Известные генераторы случайных процессов строятся в основном на аналоговых элементах. Генератор узкополосного нормального шума построен по простейшей аналоговой схеме, состоящей из транзистора, емкости, индуктивности и ряда сопротивлений [1].

В данном генераторе затруднена перестройка полосы генерируемого случайного процесса по частотному диапазону, а в широком диапазоне такая перестройка вообще невозможна. Как и любая аналоговая схема, построенная на реактивных элементах, генератор узкополосного нормального шума отличается нестабильностью своих характеристик.

Аппаратура управления вибрационными установками узкополосной случайной вибрацией отличается громоздкостью структуры. Для реализации такого генератора необходимы большие аппаратурные затраты.

Известен генератор, в котором увеличение стабильности параметров СУВУ-УСВ достигается за счет конструктивных улучшений отдельных узлов аппаратуры [2].

Общим и наиболее существенным недостатком известных устройств является невозможность построения подобных устройств для генерирования инфранизочастотных широкополосных случайных процессов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является цифровой генератор широкополосных случайных процессов на базе нерекурсивного (трансверсального) цифрового фильтра, содержащий регистр сдвига, блоки умножения, сум-

матор, преобразователь "код-аналог" и вибростенд с исследуемым объектом [3].

В данном устройстве входным сигналом является двоичный "белый" шум, который поступает на первый разряд регистра сдвига цифрового нерекурсивного фильтра. По приходу импульсов сдвига информация, хранящаяся в разрядах регистра сдвига, сдвигается на один разряд, при этом содержимое последнего разряда пропадает, а в первый разряд поступает очередное значение двоичной случайной цифры "0" или "1", причем $P(0)=0,5$ и $P(1)=0,5$. Количество разрядов регистра сдвига определяется классом спектральных характеристик, воспроизводимых генератором случайных процессов.

Так, например, для воспроизведения полосовых случайных процессов реальное значение разрядности равняется 10-50. В случае воспроизведения широкополосных случайных процессов количество разрядов регистра сдвига, и, соответственно, блоков умножения в большинстве случаев равняется 10-200. Конкретное значение величины m определяется шириной частотного диапазона и крутизной резонансных всплесков задаваемой частотной характеристики $S(\omega)$. По виду непрерывной спектральной характеристики путем равномерного разбиения по оси частот определяют m -дискретных отсчетов $S_i, i=1, m$, на основании которых, используя преобразование Фурье, определяются m значений весовой функции фильтра $h_i, i=1, m$.

Для получения очередного значения выходного случайного процесса Y_i содержимое m разрядов регистра сдвига умножается на весовые коэффициенты h_i цифрового фильтра в блоках умножения и полученные произведения суммируются в сумматоре. Далее дискретные значения широкополосного случайного процесса поступают на преобразователь "код-аналог" с выхода которого непрерывный случайный процесс воздействует на исследуемый объект.

Цифровой генератор широкополосных случайных процессов на базе нерекурсивного цифрового фильтра отличается чрезвычайно простой структурой. Регистр сдвига реализуется на простейших элементах вычислительной техники, блоки умножения производят умножение на 0 или 1, т.е. по сути дела в сумматор

передается или не передается значение определенного весового коэффициента h_i .

Вторым и наиболее существенным преимуществом цифрового генератора широкополосных случайных процессов на базе нерекурсивного цифрового фильтра является возможность гибкой перестройки вида воспроизводимой спектральной плотности мощности путем задания определенных значений весовых коэффициентов $h_i, i=1, m$. Любая определенной совокупности $h_i, i=1, m$ соответствует определенный вид дискретной спектральной характеристики $S_i, i=1, m$, определяющей форму $S(\omega)$.

Более того, все статистические характеристики такого генератора легко определяются и с течением времени не изменяются.

В процессе работы цифрового генератора широкополосных случайных процессов при исследовании объекта на случайные воздействия стоит задача поддержания строго определенных условий испытаний соответствующих некоторому реальному режиму работы объекта, т.е. в данном случае стоит задача поддержания случайного процесса с неизменной спектральной плотностью $S(\omega)$.

С целью поддержания определенного вида $S(\omega)$, в настоящее время строятся сложные системы вибростендов с полосовыми формирующими и анализирующими фильтрами.

Существенным недостатком цифрового генератора широкополосных случайных процессов является низкая точность задания спектральных характеристик случайного процесса на выходе исследуемого объекта, а также их временная нестабильность в процессе испытаний изделий, связанная с механическими изменениями, происходящими в объекте и вибростенде. Так как вибростенд и исследуемый объект имеют определенный вид амплитудно-частотной характеристики $W(\omega)$, спектральная плотность на выходе будет иметь вид $A(\omega)=S(\omega) \cdot W(\omega)$, а не требуемый условиями испытания вид $S(\omega)$.

Цель изобретения - увеличение точности и стабильности поддержания заданной спектральной плотности мощности.

Для достижения поставленной цели в генератор широкополосных случайных процессов, содержащий регистр сдвига,

выходы которого соединены с первыми входами блоков умножения соответственно, выходы которых через сумматор и преобразователь "код-напряжение" подключены ко входу функционального преобразователя, введены счетчик, регистр динамической памяти, группа сумматоров, первая и вторая группа элементов И, группа элементов НЕ, блок элементов НЕ и преобразователь "аналог-код", первый вход которого соединен с выходом функционального преобразователя, второй вход преобразователя "аналог-код" объединен со входом счетчика, с первыми входами группы сумматоров и со входом "сдвиг" регистра сдвига, а выход преобразователя "аналог-код" подключен ко входу блока элементов НЕ и к первым входам первой группы элементов И, выходы которых соединены со вторыми входами группы сумматоров соответственно, а вторые входы первой группы элементов И объединены с первыми входами блоков умножения и группы элементов НЕ соответственно, выходы которых подключены к первым входам второй группы элементов И соответственно, вторые входы которых подключены к выходу блока элементов НЕ, а выходы второй группы элементов И соединены с третьими входами группы сумматоров соответственно, выходы которых соединены со вторыми входами блоков умножения соответственно, а четвертые входы группы сумматоров соединены с выходами регистра динамической памяти соответственно, первые входы которых подключены к выходу счетчика, а вторые входы регистра динамической памяти являются входами генератора.

На чертеже приведена блок-схема генератора.

Генератор широкополосных случайных процессов состоит из m -разрядного регистра 1 сдвига, блоков 2 умножения, сумматора 3, преобразователя 4 "код-напряжение", функционального преобразователя 5, преобразователя 6 "аналог-код", блока 7 элементов НЕ группы элементов НЕ 8, первой группы элементов И 9, второй группы элементов И 10, группы сумматоров 11, регистров 12 динамической памяти, двоичного счетчика 13. Единичные выходы регистра 1 сдвига подключены ко входам блоков 2 умножения, входам элементов НЕ 8 и ко входам первой группы элементов И 9.

Выходы блоков 2 умножения подключены ко входам сумматора 3, к выходу которого последовательно подключены преобразователь 4 "код-напряжение", функциональный преобразователь 5 и преобразователь 6 "аналог-код". Выход преобразователя 6 "аналог-код" подключен на вход блока 7 элементов НЕ и на вторые входы первой группы элементов И 9. На первые входы второй группы элементов И 10 подключены выходы элементов НЕ 8, а на вторые - выход блока 7. К первым входам сумматоров 11 подключены выходы первой группы элементов И 9, ко вторым - выходы второй группы элементов И 10, а к третьим - вход счетчика 13, выходы же сумматоров 11 подключены ко вторым входам блоков 2 умножения. Входы преобразователя 6 "аналог-код" и счетчика 13 подключены к шине сдвигающих импульсов регистра 1 сдвига. Кроме того, выход счетчика 13 подключен к управляющим входам регистров 12 динамической памяти, выходы которых подключены к четвертым входам сумматоров 11. Входной "белый" шум X_{ℓ} поступает на первый разряд 1 регистра сдвига. Весовая характеристика устройства, соответствующая требуемой спектральной плотности мощности в виде дискретных отсчетов h_i , $i = 1, m$ заносится в регистры 12 динамической памяти.

Количество блоков 2 умножения, элементов НЕ 8, сумматоров 11, регистров 12 динамической памяти, а также количество элементов И 9 и 10 в первой и второй группах равняется количеству разрядов регистра 1 сдвига, равному m , которое, в свою очередь, определяется в процессе проектирования цифрового генератора в зависимости от класса воспроизводимых характеристик случайных процессов. Разрядность преобразователей "код-напряжение" 4 и "аналог-код" 6 определяется разрядностью коэффициентов весовой функции h_i , $i = 1, m$, равной n . Аналогично разрядность регистров 12 динамической памяти и количество элементов И 9 и 10 равняется n ($n = 08..16$). Разрядность сумматоров 11 и счетчика 13 определяется точностью оценки взаимокорреляционной функции R_{xy} .

Рассмотрим основные функции вновь введенных структурных блоков. Преобразователь 6 "аналог-код" служит для преобразования аналоговой информации в цифровую. Частота преобразований

определяется тактовой частотой работы устройства.

Блок 7 элементов НЕ служит для преобразования цифровой информации в обратный код. Элементы НЕ 8 служат для инверсии выходных значений разрядов регистра сдвига. Первая и вторая группы элементов И 9 и 10 служат для передачи на сумматоры прямого или обратного кода двоичной информации. Сумматоры 11 осуществляют операцию суммирования прямых и обратных кодов. Регистры 12 динамической памяти 12 служат для хранения весовых коэффициентов. Счетчик 13 предназначен для счета импульсов сдвига до величины N .

Функционирование устройства происходит следующим образом.

Перед началом работы в регистры 12 динамической памяти и блоки 2 умножения заносятся значения весовой характеристики h_i , $i = \overline{1, m}$, которой соответствует требуемый вид $S(\omega)$. На вход первого разряда регистра 1 сдвига поступают значения равновероятной некоррелированной двоичной цифры $X\ell = 0$ или 1, где $P(0) = 0,5$ и $P(1) = 0,5$, причем запись значения $X\ell$ в первый разряд и сдвиг информации в регистре осуществляется по приходу импульсов сдвига на управляющие входы. В блоках 2 умножения весовые коэффициенты h_i , $i = \overline{1, m}$ умножаются на +1, если значение соответствующего разряда регистра 1 сдвига равняется 1 и на -1, если 0. Умноженные на +1 или -1 значения коэффициентов суммируются на сумматоре 3, на выходе которого получаем дискретные отсчеты $Y\ell$ случайного процесса, которые затем на преобразователе 4 "код-напряжение" преобразуются в аналоговую форму и подаются на функциональный преобразователь 5. Необходимо заметить, что этот блок имеет такие устройства, как усилители мощности, преобразователи электрических колебаний в механические и наоборот. Преобразователь 6 "аналог-код" преобразует аналоговый сигнал в дискретную последовательность отсчетов случайного процесса $Y\ell$. Причем на выходе блока 6 получается прямой код отсчета случайного процесса, а на выходе блока 7 - инверсный код $Y\ell$.

Далее, в зависимости от значений i -го разряда регистра 1 сдвига в i -ый сумматор 11 заносится прямой или инверсный код $Y\ell$. В случае, когда

$X_i = 1$, в i -ый сумматор добавляется $Y\ell$, так как разрешающий потенциал поступает с i -го разряда на i -ую сборку элементов И 9 первой группы.

В тех случаях, когда $X_i = 0$ в i -ый сумматор добавляется инверсный код $Y\ell$ (т.е. вычитается $Y\ell$), так как через i -ый элемент НЕ подается разрешающий потенциал на i -ую сборку элементов И 10 второй группы. В течение N тактов работы генератора описанный выше процесс повторяется. Таким образом, после окончания N тактов в i -ом сумматоре накопится следующая сумма:

$$\sum_{\ell=0}^N X\ell + i \cdot Y\ell,$$

где $i = \overline{1, m}$ - номер сумматора 11.

Путем обычного сдвига суммы в сумматорах 11, учитывая, что $N = 2^V$, $V = 1, 2, 3, \dots$, получаем:

$$R_{xy}(i) = \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^N X\ell + i Y\ell$$

$$\text{или } R_{xy}(i) = h'_i$$

Другими словами, в сумматорах получены весовые коэффициенты $h'_i \neq h_i$ так как они соответствуют спектральной плотности мощности $S(\omega) \cdot W(\omega)$, где $W(\omega) \neq 1$ для реальных случаев. Для того, чтобы получить на выходе требуемый вид $S(\omega)$, необходимо итерационно изменить коэффициенты в блоках 2 умножения. Для чего после получения на сумматорах 11 значений h'_i по управляющему сигналу, поступающему из счетчиков 13, с коэффициентом пересчета N на сумматоры 11 из регистров динамической памяти подаются значения h_i . В результате простейших операций на сумматорах 11 получаются величины $(h_i - h'_i) / 2$, которые поступают на вторые входы блоков 2 умножения, где в результате сложения получаются новые значения весовых коэффициентов $g'_i = h_i + (h_i - h'_i) / 2$.

Далее в течение следующих N тактов процесс повторяется вновь, но уже с новыми весовыми коэффициентами g'_i , в результате чего получаем очередные новые значения g_i . Доказано, что и итерационный процесс есть сходящийся процесс. Таким образом, после нескольких шагов итерации получаем весовые коэффициенты g_i , которым соответствует спектральная плотность мощности $S(\omega) /$

$W(\omega)$. Следовательно, в установившемся режиме на выходе получаем спектральную плотность мощности, равную

$$\frac{S(\omega)}{W(\omega)} \cdot W(\omega) = S(\omega),$$

которую и необходимо было получить. В этом случае $R_{xy}(t) = H_1$, т.е. коррекция не осуществляется. В процессе работы устройства возможны различного рода механические повреждения в исследуемом объекте и блоке Б, что влечет за собой изменение $n(\omega)$. Изменение $W(\omega)$ приводит к изменению выходной спектральной плотности, т.е. на выходе имеем

$A(\omega) \neq S(\omega)$, и, соответственно, коэффициенты $H_1 \neq H_2$, что инициирует коррекцию. Этот факт говорит о временной стабильности работы устройства, которое реагирует на любое отклонение от заданного режима.

Импульсы сдвига, поступающие на регистр 1 сдвига, сумматоры 11 и двоичный счетчик 13 синхронизируют работу всего устройства.

Еданием генератора управление осуществляется на основании оценок во временной области, а не в частотной.

Такой подход влечет за собой ряд существенных преимуществ. Во-первых, нет необходимости в сложных спектральных анализаторах, реализация которых требует построения, по меньшей мере, специализированного вычислителя. Во-вторых, упрощается алгоритм управления, оцениваются и корректируются только весовые коэффициенты.

Введение новых блоков в цифровой генератор широкополосных случайных процессов позволило осуществить управление заданными характеристиками, что увеличило точность и стабильность поддержания требуемой спектральной плотности мощности.

Увеличение точности обусловлено, тем, что введение обратной связи позволило избежать влияния амплитудно-частотной характеристики $W(\omega)$ блока Б на требуемый вид спектра $S(\omega)$ за счет итерационного процесса установления весовых коэффициентов g_i . Аналитическое же определение $W(\omega)$ практически для всех объектов невозможно. Более того, процесс проведения виброиспытаний $W(\omega)$ может менять свой вид, причем законы изменения случайны.

Временная стабильность поддержания требуемой спектральной плотности обуслав-

ливается постоянной работой итерационной коррекции весовых коэффициентов.

Следует отметить, что по качественным показателям данной генератор, значительно превосходит прототип, а дополнительное оборудование составит незначительный объем.

Поэтому конкретная реализация подобного устройства позволит получить высокие технико-экономические показатели.

Формула изобретения

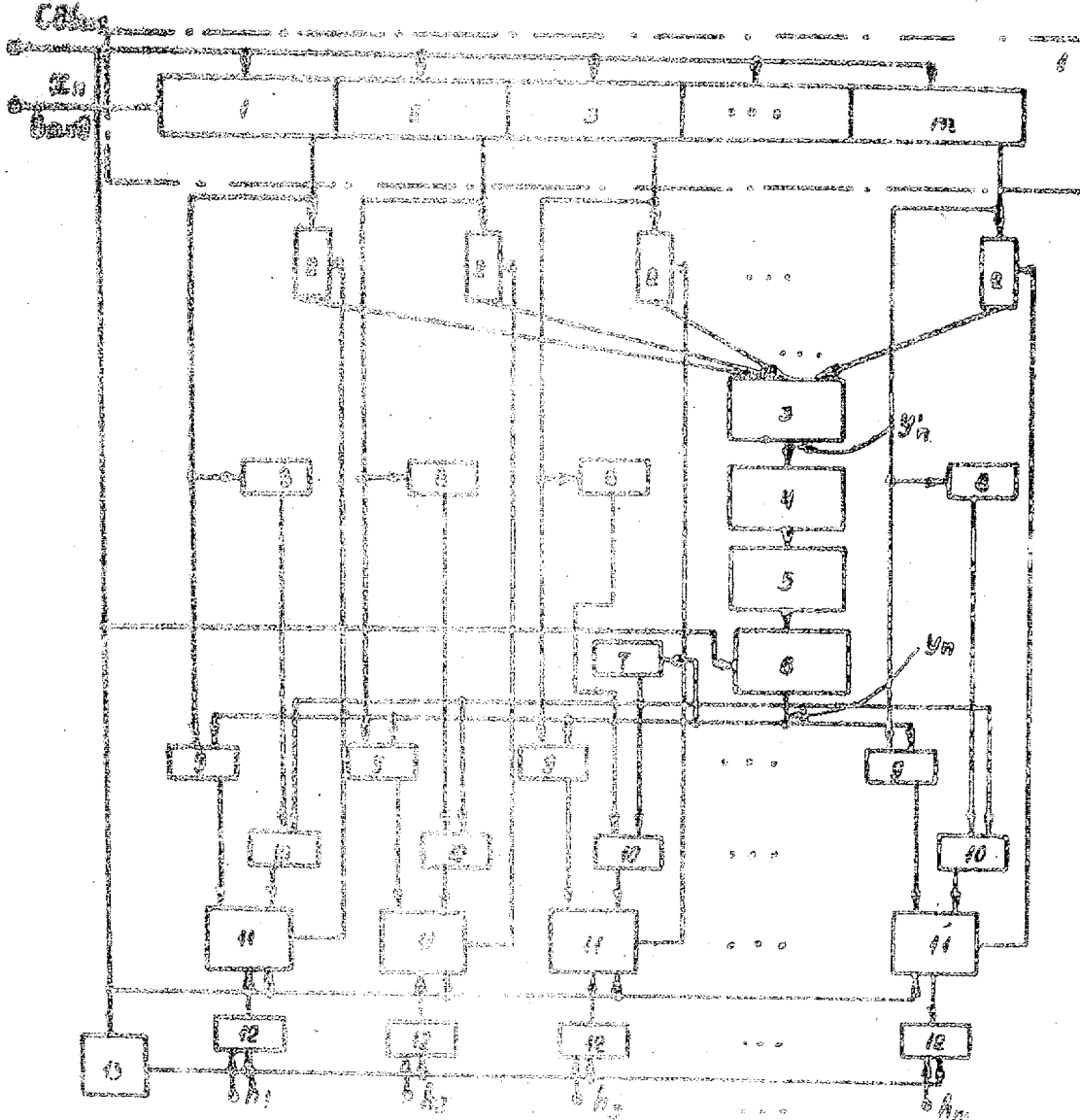
15 Генератор широкополосных случайных процессов, содержащий регистр сдвига, выходы которого соединены с первыми входами блоков умножения соответственно, выходы которых через сумматор и преобразователь "код-напряжение" под-
20 ключены ко входу функционального преобразователя, с тем, что, с целью повышения точности генератора, он содержит счетчик, регистр динамической памяти, группу сумматоров, первую и вторую группу элементов И,
25 группу элементов НЕ, блок элементов НЕ и преобразователь "аналог-код", первый вход которого соединен с выходом функционального преобразователя, второй вход преобразователя "аналог-код" объединен со входом счетчика, с первыми
30 входами группы сумматоров и со входом "сдвиг" регистра сдвига, а выход преобразователя "аналог-код" подключен ко входу блока элементов НЕ и к первым входам первой группы элементов И, вы-
35 ходы которых соединены со вторыми входами группы сумматоров соответственно, а вторые входы первой группы элементов И соединены с первыми входами блоков умножения и группы элементов
40 НЕ соответственно, выходы которых подключены к первым входам второй группы элементов И соответственно, вто-
45 рые входы которых подключены к выходу блока элементов НЕ, а выходы второй группы элементов И соединены с третьими входами группы сумматоров соответственно, выходы которых соединены со вторыми
50 входами блоков умножения соответственно, а четвертые входы группы сумматоров соединены с выходами регистра динамической памяти соответственно, первые входы которых подключены к выходу
55 счетчика, а вторые входы регистра динамической памяти являются входами генератора.

Источники информации,
принятые во внимание при экспертизе

1. Авторское свидетельство СССР
№ 376864, кл. Н 03 В 29/00,
1972.

2. Кузнецов А. А. Выбросные
питания элементов и устройств автомати-
ки, М., "Энергия", 1976.

3. Данилов Б. С., Штейнбок М. Г.
5 Однополосная передача цифровых сигналов
М., "Связь", 1974 (прототип).



Составитель А. Карасов

Редактор В. Зарванская Техред С. Лазова Корректор В. Сявилькая

Заказ 2281/9 Тираж 641 Подписное

ЦНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Финанс ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4