



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —
(22) Заявлено 18.10.79 (21) 2830643/18-24
с присоединением заявки № —
(23) Приоритет —
Опубликовано 23.07.81. Бюллетень №27
Дата опубликования описания 23.07.81

(11) 849211

(51) М. Кл.³

G 06 F 7/58
G 07 C 15/00

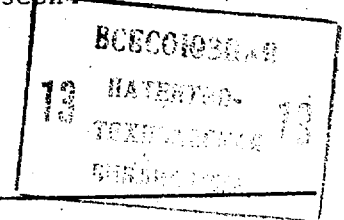
(53) УДК 681.325
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

В.Н. Яролик, А.Е. Леусенко и А.Н. Морозов

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт



(54) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

1

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано в качестве блока специализированной электронной вычислительной машины для получения случайных процессов, в качестве задающей аппаратуры для воспроизведения случайных вибраций при исследовании надежности и правильности функционирования изделий различного назначения с помощью вибростендов.

Известны генераторы случайного процесса, содержащие полосовые фильтры, в которых предусмотрена ручная регулировка уровня выходного сигнала. Генераторы содержат устройства для генерирования случайных процессов, содержащие контур обратной связи.

В этих устройствах случайный процесс с тем или иным видом спектра получается путем задания определяемого уровня выходного сигнала на выходе каждого фильтра с последующим суммированием их на суммирующем устройстве [1].

Однако нестабильность элементов (L, C-элементы) сказывается на стабильности основных характеристик генератора случайных процессов, а при формировании инфранизкочастотных слу-

2

чайных процессов возникают затруднения. Кроме того, процесс задания требуемого вида спектра трудоемкий и длительный.

5 Наиболее близким по технической сущности к изобретению является генератор случайного процесса, содержащий блок тактовых частот, выходы которого соединены с входами мультимплексоров, выходы которых соединены с входами источников шума, и с цифровых фильтров, вторые входы цифровых фильтров соединены с выходами источников шума, а выходы через источники опорного сигнала соединены с входами коммутаторов, другие входы которых объединены с входами мультиплексоров и через дешифраторов соединены с выходами регистров кода, а выходы коммутатора соединены с входами фильтров низких частот, выходы которых подключены к входам сумматора [2].

20 Недостаток известного генератора состоит в методической погрешности задания требуемого спектра, что объясняется кусочно-постоянной аппроксимацией спектральной плотности мощности. Наиболее существенным оказывается влияние кусочно-постоянной.

30

аппроксимации на точность задания спектров при имитации широкополосных случайных вибропроцессов, для которых характерно наличие в спектральной характеристике резонансных всплесков и провалов.

Цель изобретения - повышение точности генератора.

Поставленная цель достигается тем, что в генератор, содержащий блок генераторов тактовых частот, выходы которого соединены с входами группы мультиплексоров соответственно, входы которых объединены с первыми входами соответствующих коммутаторов и подключены к выходам соответствующих дешифраторов, входы которых подключены к выходам соответствующих регистров кода, выходы мультиплексоров соединены с входами соответствующих источников шума и первыми входами соответствующих цифровых фильтров, выходы которых соединены с первыми входами соответствующих источников опорного сигнала, выходы которых соединены с вторыми входами соответствующих коммутаторов, выходы которых соединены с соответствующими входами фильтров низких частот, выходы которых соединены с входами сумматора соответственно, введены первая и вторая группы элементов И, группа элементов ИЛИ-НЕ, группа сумматоров по модулю два, группа элементов задержки, группа вероятностных двоичных элементов и группа триггеров управления, единичные и нулевые выходы которых соединены соответственно с первыми входами элементов И-НЕ группы и элементов И второй группы, выходы которых соединены с первыми входами соответствующих сумматоров по модулю два группы, выходы которых соединены с входами соответствующих цифровых фильтров группы и элементов задержки группы соответственно, выходы которых соединены с вторыми входами соответствующих элементов И второй группы и элементов И-НЕ группы, выходы которых соединены с первыми входами элементов И первой группы, соответственно, выходы которых соединены с вторыми входами соответствующих сумматоров по модулю два группы, выходы источников шума группы соединены с входами вероятностных двоичных элементов группы, соответственно, первые и вторые выходы которых соединены с вторыми входами элементов И первой группы и источников опорного сигнала, соответственно.

На фиг. 1 приведена структурная схема генератора случайного процесса; на фиг. 2, 3а и 5а - функциональные схемы блоков генератора; на фиг. 3б, 3в, 5б и 5а - временные диаграммы; на фиг. 4, 6 и 7 - зависимости частотных характеристик.

Генератор содержит блок 1 генераторов тактовых частот, m мультиплексоров 2, m источников 3 шума, m цифровых фильтров 4, m источников 5 опорного сигнала m коммутаторов 6, m дешифраторов 7, m регистров 8 кода n фильтров 9 низких частот, сумматор 10, m вероятностных двоичных элементов 11 группы, m элементов 12 И первой группы, m сумматоров 13 по модулю два, m элементов 14 И второй группы, m элементов 15 И-НЕ группы, m элементов 16 задержки группы и m триггеров 17 управления группы.

В блоке 1 тактовых частот генерируется сетка центральных частот, обеспечивающая перекрытие заданного частотного диапазона, и подается на входы мультиплексоров 2, которые в соответствии с сигналами, поступающими на его вход с дешифраторов коммутации на входы источников 3 шума и цифровых фильтров 4 требуемые частоты, которые определяются кодами, занесенными на регистры 8 кодов, выходы которых подключены к входам дешифраторов, с выходов которых решающий сигнал поступает на первые входы m коммутаторов 6. Сигналы с равномерным спектром с выходов m источников 3 шума поступают на входы m вероятностных двоичных элементов 11, где осуществляется изменение вероятности появления единицы на выходе в каждом канале. Выходные сигналы с элементов 11, проходя через элементы 12 И первой группы и сумматоры 13 по модулю два, поступает на входы цифровых фильтров 4. Кроме того, управляющие сигналы с m вероятностных двоичных элементов 11 поступают на входы m источников 5 опорного сигнала, на вторые входы которых подключены выходы m цифровых фильтров 4, а выходы источников 5 подключены к вторым входам m коммутаторов 6.

Выходы m сумматоров 13 подключены к входам m элементов 16 задержки, выходы которых подключены к вторым входам элементов 15 И-НЕ и элементов 14 И второй группы, а на первые входы m элементов 15 И-НЕ и элементов 14 И подключены нулевые и единичные входы m триггеров 17 управления, соответственно. Выходы m элементов 15 И-НЕ подключены к вторым входам m элементов 12 И первой группы, а выходы элементов 14 И подключены к вторым входам m сумматоров 13, n выходов m коммутаторов 6 соединены i -ми входами n фильтров 9 низких частот, выходы которых подключены к входам сумматора 10.

Блоки 1-10 выполняют аналогичные функции, как и подобные блоки в известном генераторе. Вероятностный двоичный элемент 11 представляет собой устройство, позволяющее генерировать бинарные последовательности

с изменяемыми вероятностями появления "1". Причем, в данном случае элемент 11 позволяет регулировать вероятность появления "1" в широких пределах от 0 до 1. Структурно подобное устройство реализуется по известным типовым схемам. Элементы 12-15 выполняют функции двухвходовых схем И, сумматора по модулю два, И и И-НЕ, соответственно, а элемент 16 задержки выполняет функцию задержки информации на один такт (фиг.2).

Устройство работает следующим образом.

Для получения заданной спектральной плотности мощности на регистры 8 кодов заносятся коды частот таким образом, что более широкополосные фильтры находятся на участках с малым изменением спектральной плотности, а более узкополосные - на резонансных всплесках и провалах. Код тактовой частоты определяет центральную частоту фильтра. Блок генераторов тактовых частот 1 генерирует полную сетку частот, предусматривающую любую перекомбинацию фильтров с различной полосой пропускания.

Все тактовые частоты с блока 1 подаются на мультиплексоры 2. Дешифраторы 7 в соответствии с кодом, занесенным в регистр 8, дают разрешение на прохождение на входы источников 3 шума и фильтров 4 определенной тактовой частоты. Коды регистров 8 не повторяются. Всего тактовых частот n , а одновременно набранных кодов $m \ll n$.

Далее "белый шум" с выходов источника 3 шума под действием синхронизирующих импульсов тактовой частоты поступает на вход вероятностных двоичных элементов 11, которые регулируют вероятность появления единицы на первых выходах элементов 12 И (фиг. 1 и 2). В зависимости от вида спектральной плотности мощности в каждой полосе, формируемой цифровым фильтром 4, триггеры 17 управления устанавливаются в единичное или нулевое состояние. В случае, если спектральная плотность мощности в данной конкретной полосе имеет выпуклый вид, триггер управления устанавливается в нулевое состояние. В этом случае функциональная схема (фиг.2) автоматически преобразуется в схему, изображенную на фиг. 3а. В случае, если спектральная плотность мощности имеет вогнутый вид, триггер управления устанавливается в единичное состояние. В этом случае схема, показанная на фиг.2, повторяет работу схемы, приведенной на фиг.6.

Рассмотрим случай, когда необходимо воспроизвести выпуклый вид спектральной плотности мощности в данной

частотной полосе. В этом случае совокупность элементов 12-17 (фиг.2) структурной схемы путем фиксирования на триггере 17 управления нулевого состояния преобразуется в схему, приведенную на фиг.3а. На вход элемента И (фиг.3а) с выхода вероятностного двоичного элемента 11 поступает случайная последовательность независимых случайных двоичных цифр x_k с вероятностью $P(x_k=1)=P$, где $k = 1, 2, 3, \dots$

Входная последовательность x_k (фиг. 4б) преобразуется в последовательность z_k (фиг. 3в) таким образом, что в новой последовательности отсутствуют следующие друг за другом единицы. Энергия низкочастотных и высокочастотных составляющих уменьшается. При этом возрастает амплитуда составляющих, имеющих частоту $1/2T$. Особенно сильно возрастает амплитуда составляющей с частотой $1/2T$ и близких ей составляющих при $P(x_k=1) \rightarrow 1$. Аналитически алгоритм преобразования последовательности независимых случайных двоичных цифр x_k в последовательность z_k (фиг. 3б, в) описывается выражением

$$z_k = \begin{cases} x_k, & z_{k-1} = 0; \\ 0, & z_{k-1} = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Корреляционная функция последовательности z_k определяется выражением

$$R(m) = P(z_k = 1, z_{k+m} = 1). \quad (2)$$

Учитывая, что $P(x_k = 1) = P$ и $P(z_k = 1) =$

$$= P(z_{k+m-1} = 0, z_k = 1) + P(z_{k+m-1} = 1, z_k = 1),$$

и преобразуя выражение (2), получают

$$R(m) = P \cdot R(m-1) + P \cdot P(z_k = 1). \quad (3)$$

Значение $P(z_k = 1)$ получается по следующей зависимости:

$$P(z_k = 1) = P - (1-P^2) \cdot (P^2 + P^3 + 2P^4 + 2P^5 + 3P^6 + 3P^7 + \dots) = P/(1+P). \quad (4)$$

Для нахождения корреляционной функции $R(m)$ решают неоднородное разностное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами (5) при начальных условиях $R(0) = P/(1+P)$

$$R(m) + P \cdot R(m-1) = P^2/(1+P). \quad (5)$$

Применяя преобразование Лорана к уравнению (5) и используя теорему опережения, окончательно получают

$$R(m) = (-P)^{|m|} \frac{P}{(1+P)^2} + \frac{P^2}{(1+P)^2}. \quad (6)$$

Спектральная плотность мощности случайной последовательности z_k отличается от спектральной плотности мощности входной последовательности x_k на множитель $w(f)$, который определяется следующим образом:

$$W(f) = \frac{p}{(1+p)^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} (-p)^{|m|} e^{j2\pi m T f} + \frac{p}{(1+p)^2} \sum_{m=0}^{\infty} (-p)^m e^{j2\pi m T f} + \frac{p}{(1+p)^2} \sum_{m=0}^{\infty} (-p)^m e^{-j2\pi m T f} = \frac{p(1-p)}{(1+p)[(1+p)^2 - 4p \sin^2 \pi T f]} \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что используя на входе элементов 12 дельта-модулированную импульсную последовательность x_k , имеющую равномерный спектр на выходе преобразователя, состоящего из элементов 12-17, при нулевом состоянии триггера 17 управления получается случайный процесс z_k с изменяемой спектральной плотностью мощности, имеющей выпуклый вид спектра (фиг.4). Используя последовательность x_k , поступающую с вероятностного двоичного элемента 11, можно генерировать узкополосные случайные процессы с изменяемой формой спектральной плотности, при этом форма изменяется за счет изменения вероятности входной последовательности x_k .

Рассмотрим второй случай, когда необходимо воспроизвести вогнутый вид спектральной плотности мощности в определенной частотной полосе. В этом случае совокупность элементов 12-17 (фиг. 1 и 2) путем фиксирования на триггере 17 управления единицы преобразуется в схему, приведенную на фиг. 5а. На вход сумматора по модулю два (фиг. 5а) с выхода вероятностного двоичного элемента 11 поступает случайная последовательность независимых случайных двоичных цифр x_k .

Входная последовательность x_k (фиг.5б) преобразуется в последовательность z_k (фиг.5в). Аналитически алгоритм преобразования независимых случайных двоичных цифр x_k в последовательность z_k (фиг.5) описывается выражением

$$z_k = \begin{cases} x_k, & z_{k-1} = 1 \\ \bar{x}_k, & z_{k-1} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Корреляционная функция последовательности z_k (8) определяется выражением (2)

Учитывая, что

$$P(z_k = 1) = P(z_{k-1} = 0, x_k = 1) + P(z_{k-1} = 1, x_k = 0) = (1-p) \cdot p + p(1-p) = 0,5,$$

и преобразуя выражение (2) получают

$$R(m) = (1-2p)R(m-1) = \frac{1}{2} p. \quad (9)$$

Для нахождения корреляционной функции $R(m)$, решают неоднородное разностное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами (9). В результате получают

$$R(m) = \frac{1}{4} (1-2p)^{|m|} + \frac{1}{4}. \quad (10)$$

Спектральная плотность мощности случайной последовательности z_k отличается от спектральной плотности мощности входной последовательности x_k на множитель $w(f)$, который определяется следующим образом:

$$W(f) = \frac{p(1-p)}{p^2 + (1-2p) \sin^2 \pi T f} \quad (11)$$

Выражение (11) показывает, что используя на входе элементов 12 дельта-модулированную импульсную последовательность x_k , имеющую равномерный спектр, при единичном состоянии триггера 17 получается случайный процесс z_k с изменяемой спектральной плотностью мощности, имеющей вогнутый вид спектра (фиг.6).

Таким образом, изменяя вероятность появления двоичных символов x_k на выходах m двоичных вероятностных элементов 11 при соответствующих состояниях m триггеров 17 управления на выходах сумматоров 13 получают случайные процессы с изменяемой формой, имеющей или выпуклый или вогнутый вид (фиг.4 и 6).

Далее выходные процессы с m сумматоров 13 поступают на входы m цифровых фильтров 4, где происходит полосовая фильтрация входных цифровых процессов. Цифровые фильтры 4 выделяют полосу частотных составляющих из исходного процесса с центральной частотой, равной $1/2T$, а так как для каждого фильтра тактовая частота отлична, в результате на выходе цифровых фильтров получают случайные процессы, частотные составляющие которых лежат строго в определенных непересекающихся частотных диапазонах. В данном случае оказывается возможным аппроксимировать частотные составляющие в каждом диапазоне не только кусочно-постоянные как в известном генераторе, а и нелинейным образом путем изменения вероятности $P(x_k = 1) = P$ в элементах 11.

При измерении вероятности P в m элементах 11 на выходах m цифровых фильтров 4 изменяется общий уровень сигнала. Сигнал управления, поступающий с выхода элементов 11 на второй вход источников 5 опорного сигнала, регулирует понижение или повышение уровня на выходах цифровых фильтров 4. В случае необходимости воспроизведения равномерных участков

спектральной характеристики с постоянным уровнем триггер 17 управления устанавливается в единичное значение и на выходе элемента 11 устанавливается $P(x_k=1)=0,5$.

Источники 5 опорного сигнала изменяют уровни выходного сигнала в соответствии с видом спектра задаваемого случайного процесса. Выходной сигнал с выходов источников 5 поступает на вход того или иного фильтра 9 низких частот. Функцию коммутации осуществляют коммутаторы 6, которые в соответствии с кодами, находящимися в регистрах 8, и соответственно сигналом на выходе дешифратора, подключают выход источников 5 к тому или иному фильтру 9 низких частот.

На выходе суммирующего устройства получается результирующий случайный процесс с заданным спектром. Пример воспроизводимого процесса с требуемым спектром показан на фиг. 7.

Набор кодов тактовых частот и установка триггеров 17 производится вручную, однако эту функцию можно возложить на управляющую программу ЭВМ. В этом случае программа распределения фильтров по частотному диапазону выполняется автоматически. Используя данный подход для реализации генератора случайного процесса, оказывается возможным в процессе его работы оперативно изменять вид спектральной плотности мощности.

Изобретение позволяет осуществлять более точное задание требуемого вида спектра, что достигается введением нелинейной аппроксимации. Это влечет за собой возможность более точной коррекции резонансных выбросов и провалов. С меньшим набором цифровых фильтров оказывается возможной аппроксимация более сложных спектральных характеристик.

Таким образом, расширение функциональных возможностей устройства осуществляется за счет возможности воспроизведения процессов с более сложным видом спектра.

Предлагаемое устройство отличается простотой технической реализации и сравнительно небольшими аппаратными затратами. Все блоки реализуются с использованием типовых элементов вычислительной техники, например, интегральных схем серии 155.

Экономический эффект от применения изобретения определяется более точным заданием необходимых условий виброиспытаний, что позволит получить более полную информацию о надежности отдельных узлов испытываемого изделия и предотвратить выпуск бракованных изделий.

Формула изобретения

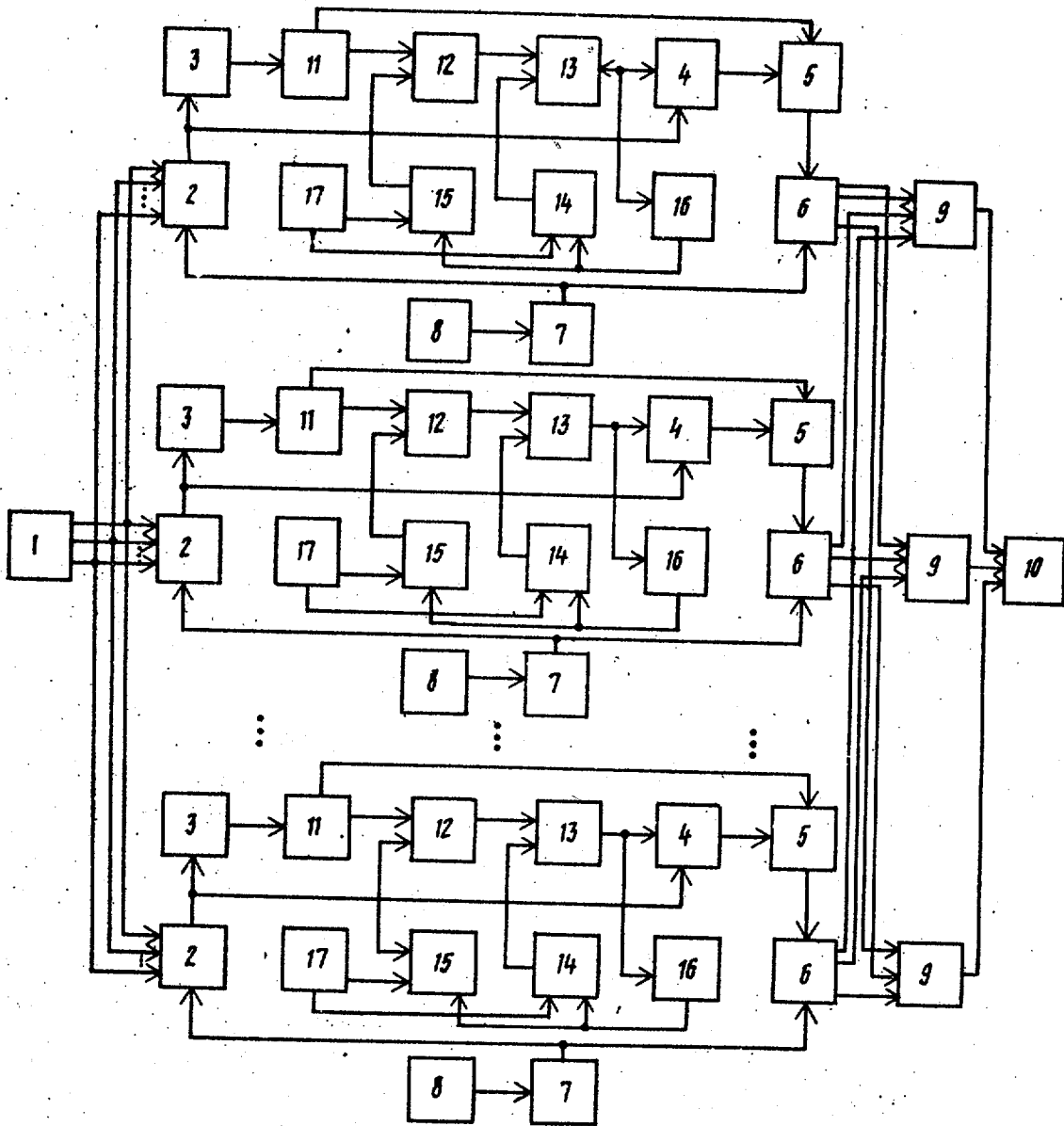
Генератор случайного процесса, содержащий блок генераторов тактовых частот, выходы которого соединены с входами мультиплексоров соответственно, входы которых объединены с первыми входами соответствующих коммутаторов и подключены к выходам соответствующих дешифраторов, входы которых подключены к выходам соответствующих регистров кода, выходы мультиплексоров соединены с входами соответствующих источников шума и первыми входами соответствующих цифровых фильтров, выходы которых соединены с первыми входами соответствующих источников опорного сигнала, выходы которых соединены с вторыми входами соответствующих коммутаторов, выходы которых соединены с соответствующими входами фильтров низких частот, выходы которых соединены с входами сумматора соответственно, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, он содержит первую и вторую группы элементов И, группу элементов И-НЕ, группу сумматоров по модулю два, группу элементов задержки, группу вероятностных двоичных элементов и группу триггеров управления, единичные и нулевые выходы которых соединены соответственно с первыми входами элементов И-НЕ группы и элементов И второй группы, выходы которых соединены с первыми входами сумматоров по модулю два группы, выходы которых соединены с входами соответствующих цифровых фильтров группы и элементов задержки группы, выходы которых соединены с вторыми входами соответствующих элементов И второй группы и элементов И-НЕ группы, выходы которых соединены с первыми входами элементов И первой группы, соответственно, выходы которых соединены с вторыми входами сумматоров по модулю два группы, выходы источников шума группы соединены с входами вероятностных двоичных элементов группы, соответственно, первые и вторые выходы которых соединены с вторыми входами элементов И первой группы и источников опорного сигнала, соответственно.

Источники информации,

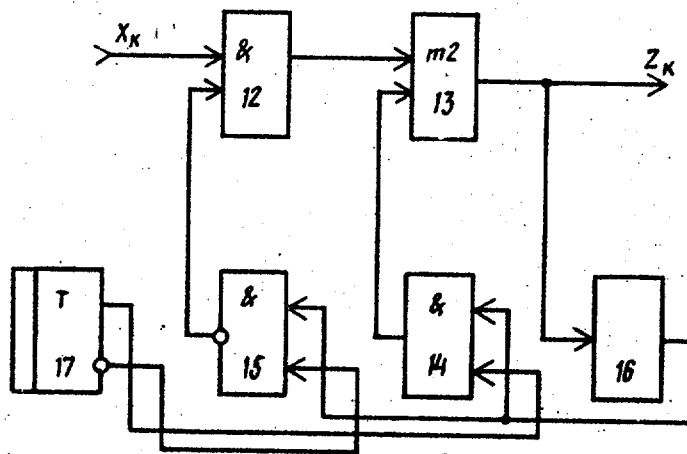
принятые во внимание при экспертизе

1. Коваль В.Т. Задающая аппаратура для воспроизведения случайных вибраций при исследовании надежности. - "Вестник машиностроения", 1970.

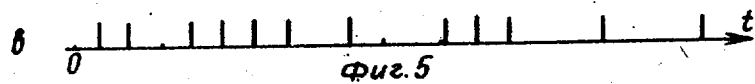
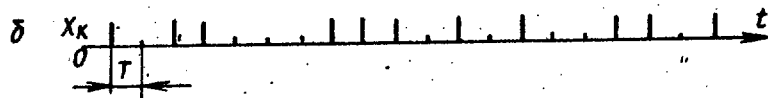
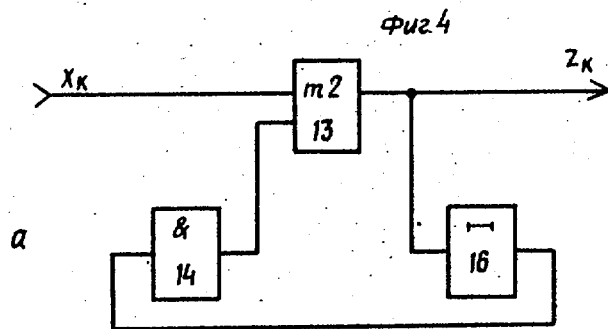
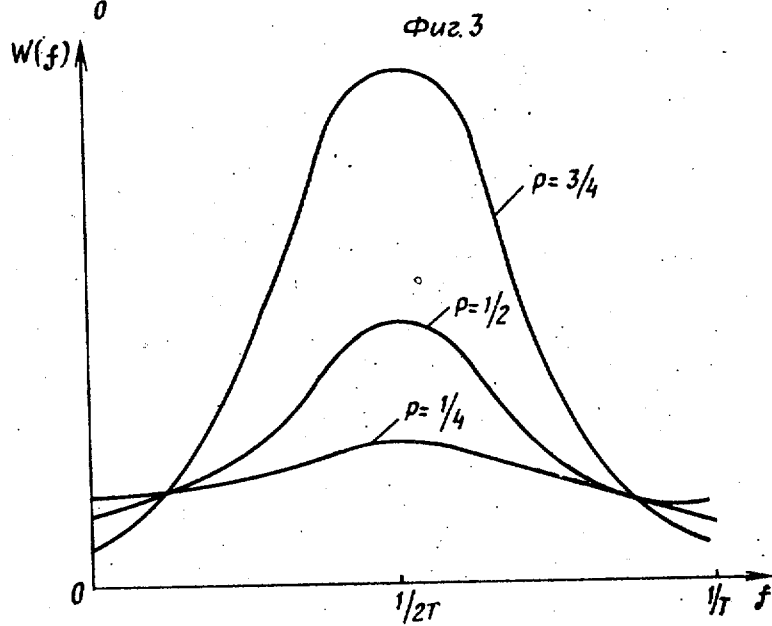
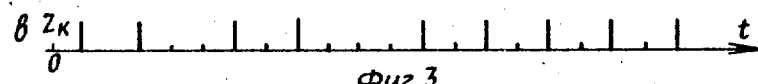
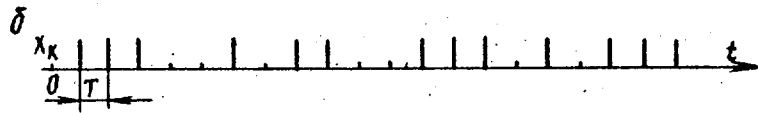
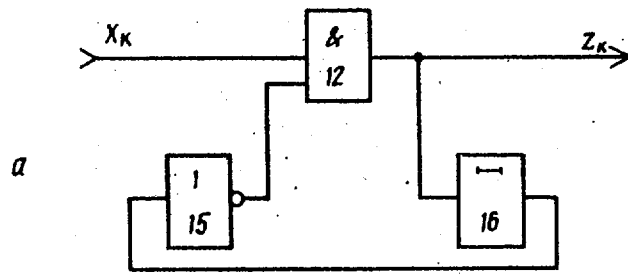
2. Авторское свидетельство СССР № 631961, кл. G 06 F 1/02, 1977 (прототип)



Фиг. 1

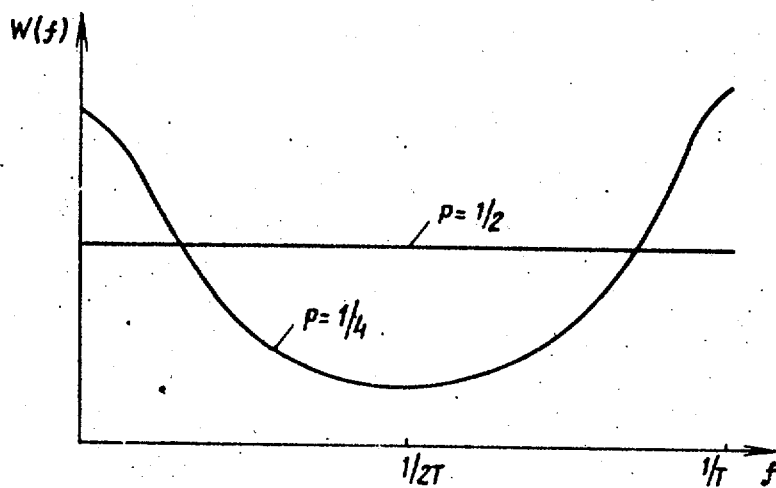


Фиг. 2

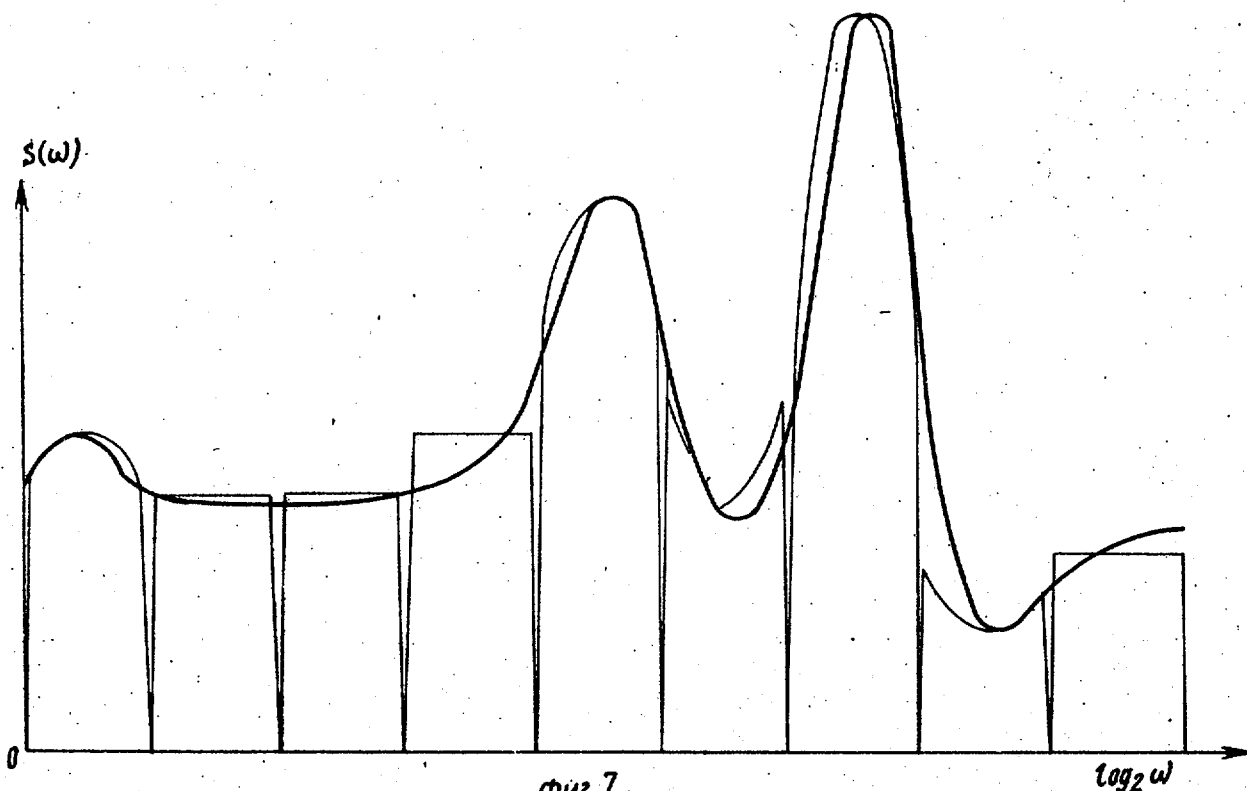


Фиг. 4

Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

Редактор Г. Кацалап Составитель А. Карасов Корректор Г. Решетник
 Техред А. Ач

Заказ 6094/63

Тираж 745

Подписное

ВНИПИ 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