



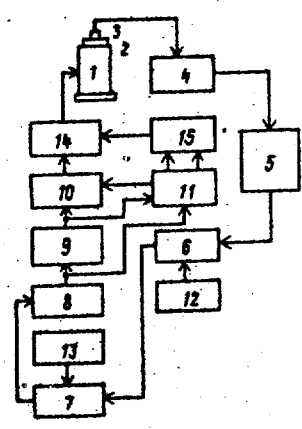
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГИИТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 4276339/24-24
- (22) 06.07.87
- (46) 28.02.89. Бюл. № 8
- (71) Минский радиотехнический институт
- (72) А.Н.Морозевич, А.И.Шемаров и В.А.Федосенко
- (53) 681.325 (088.8)
- (56) Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1978. Изд. 4-е, с. 606.
- Патент США № 3848115, кл. G 01 N 29/00, 1974.
- (54) УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫМИ ВИБРАЦИЯМИ
- (57) Изобретение относится к автоматическому регулированию и управлению, в частности к системам управления экспериментальными установками, предназначено для испытаний различных конструкций, приборов и машин на электродинамическом вибрационном

стенде полигармонической и случайной вибрацией. С целью повышения точности испытаний за счет устранения амплитудной модуляции формируемого вибросигнала в систему управления случайными вибрациями, содержащую вибрационную аппаратуру 1 с закрепленным на ней изделием, аналого-цифровой преобразователь 4, процессор 5 и компаратор 6 спектральной плотности мощности, блок 12 хранения эталонных значений спектральной плотности мощности, генератор 13 случайного сигнала, умножитель 7, преобразователь 8 из частотной области во временную, формирователь 9 случайной функции, формирователь 11 временных интервалов, цифроаналоговый преобразователь 14, дополнительно введены управляемый аттенюатор 14 и генератор 15 демодулирующих функций, а в формирователь 11 введен компаратор, анализирующий на равенство нулю. 1 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

(19) SU (11) 1462137 A1

Изобретение относится к автоматическому регулированию и управлению, в частности к системам управления экспериментальными установками, предназначенно для испытаний различных конструкций, приборов и машин на электродинамическом вибрационном стенде полигармонической и случайной вибрацией.

Цель изобретения - повышение точности испытаний за счет устранения амплитудной модуляции формируемого вибросигнала.

На фиг.1 представлена структурная схема системы управления случайными вибрациями; на фиг.2 - пример реализации блока наложения окон; на фиг.3 пример реализации генератора демодулирующих функций; на фиг.4 - пример реализации цифрового аттенюатора; на фиг.5 - графическая диаграмма формирования выходного сигнала из коротких периодических реализаций.

Система управления случайными вибрациями (фиг.1) содержит последовательно соединенные вибрационную аппаратуру 1 с закрепленным на ней изделием 2, вибродатчик 3, аналого-цифровой преобразователь 4, процессор спектральной плотности мощности, компаратор 6 спектральной плотности мощности, умножитель 7, преобразователь 8 сигнала из частотной области во временную, формирователь 9 случайной функции, цифроаналоговый преобразователь 10 с коммутатором, формирователь 11 временных интервалов, блок 12 хранения эталонных значений спектральной плотности мощности, генератор 13 случайного сигнала, управляемый аттенюатор 14 и генератор демодулирующих функций.

Формирователь 11 (фиг.2) содержит коммутатор 16, первый 17 и второй 18 блоки памяти, первый 19 и второй 20 блоки формирования амплитуды, сумматор 21, генератор 22 функций и компаратор 23.

Генератор 15 демодулирующих функций (фиг.3) содержит счетчик 24 и блок 25 памяти.

Недостатком известного устройства является амплитудная модуляция генерируемого случайного сигнала. Временная реализация формируется в формирователе 11 из коротких реализаций, причем в качестве короткой реализации могут быть использованы как единст-

венная выборка, поступающая с выхода преобразования 8 из частотной области во временную, так и реализации, получаемые из одной выборки преобразования 8 из частотной области во временную путем придания ей случайной фазы в формирователе 9. Непосредственная стыковка коротких реализаций с вероятностью, стремящейся к единице, приводит к разрывам первого рода генерируемой функции и всех ее производных. Для устранения этого недостатка применяют операцию наложения окон. Данная операция (это функция формирователя 11) заключается в том, что две короткие реализации умножают на окно (например, на функцию синуса), сдвигают их друг относительно друга на половину отсчетов и суммируют (фиг.5). Однако, в этом случае происходят искажения из-за возникновения амплитудной модуляции.

Пример. Рассмотрим первый случай, когда на вход формирователя 11 поступает выборка из преобразователя 8 из частотной области во временную. В этом случае происходит сопряжение отдельных реализаций, представляющих собой периодический сигнал. Допустим, что период N_c такого сигнала в кратное число раз меньше периода N выборки, т.е. $N = k \cdot N_c$, где k - целое число. Для упрощения доказательства примем $N = 2N_c$.

Пусть даны три одинаковых коротких реализации A_n, B_n, C_n , причем B_n сдвинута относительно A_n на половину отсчетов, а C_n - на целый период:

$$A_n = \begin{cases} \sum_{i=0}^{M-1} a_i \sin\left(\frac{W \cdot i \cdot n}{N} + \varphi_{a_i}\right), & \text{где } n = \overline{0, N-1} \\ 0, & \text{где } n = \overline{N, 2N-1} \end{cases}$$

$$B_n = \begin{cases} A_n - \frac{N}{2}, & \text{где } n = \overline{N/2, N/2+N} \\ 0, & \text{где } n = \overline{0, N, 2N-1, \frac{N}{2}+N, 2N-1} \end{cases}$$

$$C_n = \begin{cases} A_n - N, & \text{где } n = \overline{N, 2N-1} \\ 0, & \text{где } n = \overline{0, N-1} \end{cases}$$

где i - номер гармоники;

n - номер отсчета временной реализации;

M - число гармоник.

На каждую из функций накладываем окно (например окно Хэннинга первого порядка). Получаем функции A'_n (фиг.5а), B'_n (фиг.5б), C'_n (фиг.5в):

$$A_n' = A_n \cdot \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n; \quad (1)$$

$$B_n' = B_n \cdot \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n; \quad (2)$$

$$C_n' = C_n \cdot \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n. \quad (3)$$

Сигнал D_n' , генерируемый на выходе устройства 11 наложения окон, может быть представлен отрезком реализации

$$\left[\frac{N}{2}, \frac{N}{2} + N - 1 \right];$$

$$D_n' = \begin{cases} A_n' + B_n', & \text{где } n = \overline{N/2, N-1} \\ B_n' + C_n', & \text{где } n = \overline{N, N+N/2-1}. \end{cases}$$

После подстановки получим:

$$D_n' = \begin{cases} A_n' \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n + A_{n-\frac{N}{2}} \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \frac{\hat{\omega}}{2} \right), & \text{где } n = \overline{N/2, N-1} \\ A_{n-\frac{N}{2}} \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \frac{\hat{\omega}}{2} \right) + A_{n-N} \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \hat{\omega} \right), & \text{где } n = \overline{N, N+N/2-1}. \end{cases}$$

где $n = \overline{N, N+N/2-1}$.

Предположим, что период функций равен $N/2$, т.е. $A_n = A_{n-N/2}$. Тогда

$$D_n' = \begin{cases} 2A_n \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \frac{\hat{\omega}}{4} \right) \cos \frac{\hat{\omega}}{4}, & \text{где } n = \overline{N/2, N-1} \\ 2A_n \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \frac{3\hat{\omega}}{4} \right) \cos \frac{\hat{\omega}}{4}, & \text{где } n = \overline{N, N+N/2-1} \end{cases}$$

Учитывая, что $\cos \frac{\hat{\omega}}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, получим

$$D_n' = \begin{cases} \sqrt{2} A_n \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \frac{\hat{\omega}}{4} \right), & \text{где } n = \overline{N/2, N-1} \\ \sqrt{2} A_n \sin \left(\frac{\hat{\omega}}{N} n - \frac{3\hat{\omega}}{4} \right), & \text{где } n = \overline{N, N+N/2-1} \end{cases}$$

т.е. получаем выходной процесс, модулируемый функцией синуса (фиг. 5г, линия 1).

Полная мощность такого сигнала равна

$$P_D' = \frac{1}{N} \sum_{n=N/2}^{N-N/2-1} A_n^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=N/2}^{N-N/2-1} A_n^2 \left| \sin \frac{2\hat{\omega}}{N} n \right|.$$

Таким образом, получаем постоянную составляющую мощности и составляющую, модулированную синусом удвоенной частоты.

Рассмотрим теперь второй случай, когда на вход формирователя 11 подаются с выхода формирователя 9 случайные реализации A_n, B_n, C_n , распределенные по нормальному закону:

$$A_n = \begin{cases} \sum_{i=0}^{M-1} a_i \sin \left(\frac{W \cdot i \cdot n}{N} + \varphi_{a_i} \right), & \text{где } n = \overline{0, N-1} \\ 0, & \text{где } n = \overline{N, 2N-1} \end{cases}$$

$$B_n = \begin{cases} \sum_{i=0}^{M-1} b_i \sin \left(\frac{W \cdot i \cdot n}{N} + \varphi_{b_i} \right), & \text{где } n = \overline{\frac{N}{2}, N + \frac{N}{2} - 1} \\ 0, & \text{где } n = \overline{0, \frac{N}{2} - 1, \frac{N}{2} + N, 2N-1} \end{cases}$$

$$C_n = \begin{cases} \sum_{i=0}^{M-1} c_i \sin \left(\frac{W \cdot i \cdot n}{N} + \varphi_{c_i} \right), & \text{где } n = \overline{N, 2N-1} \\ 0, & \text{где } n = \overline{0, N-1} \end{cases}$$

Предположим, что их полные активные мощности равны:

$$P_A = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n^2, \quad P_B = \frac{1}{N} \sum_{n=N/2}^{N+N/2-1} B_n^2,$$

$$P_C = \frac{1}{N} \sum_{n=N}^{2N-1} C_n^2,$$

$$P_A = P_B = P_C$$

После наложения окна получаем модулированные функции:

$$A_n' = A_n \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n,$$

$$B_n' = B_n \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n,$$

$$C_n' = C_n \sin \frac{\hat{\omega}}{N} n.$$

Тогда их активные мощности станут равными:

$$P_A' = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n^2 \sin^2 \frac{\hat{\omega}}{N} n,$$

$$P_B' = \frac{1}{N} \sum_{n=N/2}^{N+N/2-1} B_n^2 \sin^2 \frac{\hat{\omega}}{N} n,$$

$$P_C' = \frac{1}{N} \sum_{n=N}^{2N-1} C_n^2 \sin^2 \frac{\hat{\omega}}{N} n.$$

При достаточно большом N активная мощность за период приблизительно равна удвоенной активной мощности за полпериода:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n^2 \approx \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N/2-1} X_n^2;$$

$$P' = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n^2 \sin^2 \alpha_n \approx \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N/2-1} X_n^2 \sin^2 \alpha_n.$$

Тогда результирующий случайный процесс D_n' на отрезке $\left[\frac{N}{2}; N + \frac{N}{2} - 1 \right]$ равен:

$$D_n = \begin{cases} A_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n\right) + B_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n - \frac{\hat{n}}{2}\right), & \text{где } n = \frac{N}{2}, N-1 \\ B_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n - \frac{\hat{n}}{2}\right) + C_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n - \hat{n}\right), & \text{где } n = N, N + \frac{N}{2} - 1. \end{cases}$$

Полная активная мощность равна:

$$P_D' = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{N} \sum_{n=N/2}^{N-1} (A_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n\right) + B_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n - \frac{\hat{n}}{2}\right))^2 + \right. \\ \left. + \frac{2}{N} \sum_{n=N}^{N+\frac{N}{2}-1} (B_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n - \frac{\hat{n}}{2}\right) + C_n \sin\left(\frac{\hat{n}}{N}n - \hat{n}\right))^2 \right) \approx \\ \approx \frac{1}{N} \sum_{n=\frac{N}{2}}^{N+\frac{N}{2}-1} B_n^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=\frac{N}{2}}^{N+\frac{N}{2}-1} A_n B_n \sin \frac{2\hat{n}}{N}n.$$

Таким образом, получаем постоянную составляющую мощности и ее случайную составляющую, модулированную, как и для периодического сигнала синусом удвоенной частоты.

Следовательно, для устранения модуляции генерируемого случайного или полигармонического сигнала, сформированный из коротких реализаций с помощью наложения окон сигнал необходимо умножить на демодулирующую функцию, вид которой однозначно определяется функцией окна. Так, для приведенного выше частного случая с окном

Хэннинга первого порядка каждые $\frac{N}{2}$ отсчетов выходного сигнала необходимо перемножить с функцией вида $1/(\sqrt{2}/\sin(\frac{\hat{n}}{N}n + \frac{\hat{n}}{4}))$, $n=0, N/2-1$ (фиг. 5, линия 2).

Система работает следующим образом.

Сигнал, генерируемый вибрационной аппаратурой 1, возбуждает в закрепленном на ней изделии 2 виброколебания, преобразуемые вибродатчиком 3 в электрический сигнал, поступающий на вход аналого-цифрового преобразователя 4. Преобразованный с помощью преобразователя 4 в цифровую форму сигнал поступает в процессор 5 спектральной плотности мощности, где происходит преобразование сигнала из временной области представления в частотную с помощью; например, алгоритма быстрого преобразования Фурье; вычисляется спектральная плотность мощности сигнала, снимаемого с изделия. Вычисленная спектральная плотность мощности сравнивается в компа-

раторе 6 с эталонным значением, поступающим из блока 12 хранения эталонных значений спектральной плотности мощности. Результат сравнения перемножается в умножителе 7 со случайным сигналом, генерируемым генератором 13 случайного сигнала. Результат умножения преобразуется во временную область представления в преобразователе 8 из частотной области во временную, с помощью, например, алгоритма обратного быстрого преобразования Фурье.

При проведении испытаний на полигармоническую вибрацию короткая реализация, получаемая на выходе преобразователя 8, поступает в формирователь 8, где из этой короткой реализации формируется посредством наложения окон непрерывный сигнал.

В случае проведения испытаний на случайную вибрацию короткая реализация с выхода преобразователя 8 поступает в формирователь 9, где из одной короткой реализации формируется множество реализаций путем придания исходной реализации случайной фазы. Сформированные реализации поступают в формирователь 11, где с помощью окон происходит сопряжение этих коротких реализаций в непрерывный случайный сигнал. В этом случае выход формирователя 9 рандомизации отключается от цифроаналогового преобразователя 10.

Сформированный в формирователе 11 полигармонический или случайный сигнал преобразуется с помощью цифроаналогового преобразователя 10 в аналоговую форму и поступает на информационный вход управляемого аттенюатора 14, на управляющий вход которого поступает из генератора 15 демодулирующих функций функция, изменяющая коэффициент передачи аттенюатора 14 таким образом, чтобы устранить амплитудную модуляцию сформированного сигнала. Сигнал с выхода аттенюатора 15 управляет вибрационной аппаратурой 1. Периодически преобразователь 8 подает скорректированную выборку

информации, которая заменяет ранее хранившуюся в формирователе реализацию, и позволяет генерировать скорректированные серии управляющих выборок формирователя 9 в случае испытаний на случайную вибрацию или же формировать полигармонический сигнал из новой единственной короткой реализации в случае испытаний на полигармоническую вибрацию.

В случае реализации формирователя 11, как показано на фиг.2, выборка либо с выхода преобразователя 8, либо с выхода формирователя 9 (фиг.1) через коммутатор 16 записывается в первый 17 и второй 18 блоки памяти. Информация с выхода блока 17 памяти поступает в блок 19 формирования амплитуды, а с выхода блока 18 памяти - в блок 20 формирования амплитуды. Амплитудой сигналов, поступивших в блоки 19 и 20, управляет генератор 23 функций, генерирующий функцию, определяемую видом накладываемого окна. Для рассмотренного выше примера с окном Хэннинга первого порядка модулирующая функция будет иметь вид $\sin \frac{\pi}{N} n$, $n=0, N-1$. Причем в блоки 19 и 20 формирования амплитуды модулирующие функции с первого и второго выходов генератора 23 функций поступают с разными фазами (в рассматриваемом примере на второй вход блока 20 поступает функция, сдвинутая по фазе на 90° относительно функции, поступающей на второй вход блока 19). Блоки 19 и 20 могут быть умножителями, которые перемножают сигнал из блоков 17 и 18 памяти на сигнал из генератора 23 функций.

Функции, полученные в результате умножения в блоках 19 и 20, определяются соответственно выражением (1) и (2) для начального момента времени и поступают соответственно на первый и второй входы сумматора 22, где они суммируются, образуя непрерывный сигнал, как показано на фиг.5.

Синхронизация работы формирователя 11 осуществляется тактовыми сигналами, поступающими на его синхровход 11. На выходе компаратора 24 появляется сигнал в случае перехода модулирующей функции через ноль на первом выходе генератора 23 функций. Этим сигналом, поступающим на второй выход формирователя 11, происходит пер-

воначальная установка генератора 15 демодулирующих функций (фиг.1) для синхронизации его работы с работой формирователя 11.

Работа формирователя 11 (фиг.2) поясняется графической диаграммой, приведенной на фиг.5. Сигналы, показанные на фиг.5, представлены в аналоговой форме, в то время как формирователь 11 оперирует с цифровой информацией.

Управляющий сигнал, генерируемый формирователем 11, формируется из одной выборки, поступающей из преобразователя 8 (фиг.1) или из серии выборок, полученных из формирователя 9. На фиг.5 показан первый случай, когда управляющий сигнал формируется из серии выборок, полученных путем многократного повторения единственной выборки с периодом N , причем каждая последующая выборка сдвинута на полпериода относительно предыдущей. Для сглаживания стыков между выборками каждую выборку перемножают с функцией (например, функция синуса), поступающей из генератора 23 функций (фиг.2), получая огибающую (линия 3), показанную на фиг.5. Затем серия выборок складывается по описанному правилу, образуя выходной сигнал (фиг.5, линия 1).

При использовании окна Хэннинга первого порядка модулирующая выходной сигнал функция на отрезке $\left[\frac{N}{2}, N + \frac{N}{2} - 1 \right]$ будет иметь вид, показанный на фиг.5 (линия 2).

Аналогично формируется управляющий сигнал - в случае поступления серии выборок из формирователя 9 (фиг.1).

Амплитуда модулированного выходного сигнала, поступающего в аттенюатор 14 с выхода цифроаналогового преобразователя 10 (фиг.1), изменяется под управлением генератора 15 демодулирующих функций таким образом, чтобы устранить амплитудную модуляцию. Тем самым повышается точность формирования выбросигнала, а, следовательно, и точность испытаний.

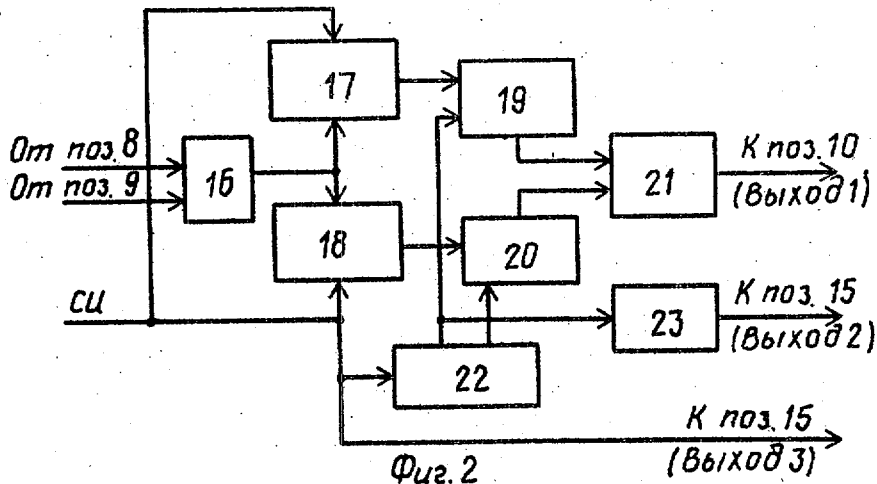
Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

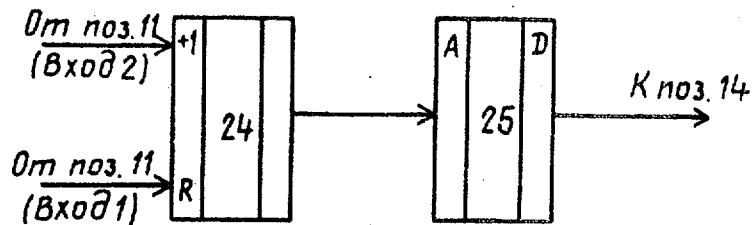
1. Устройство управления случайными вибрациями, содержащее аналогово-цифровой преобразователь, процес-

сор спектральной плотности мощности, компаратор спектральной плотности мощности, умножитель, преобразователь сигнала из частотной области во временную, формирователь случайной функции, цифроаналоговый преобразователь, формирователь временных интервалов, блок хранения эталонных значений спектральной плотности мощности, генератор случайного сигнала, информационный вход аналого-цифрового преобразователя соединен с измерительным входом устройства, выход аналого-цифрового преобразователя соединен с информационным входом процессора спектральной плотности мощности, выход которого соединен с первым входом компаратора спектральной плотности мощности, второй вход которого соединен с выходом блока хранения эталонных значений спектральной плотности мощности, а выход соединен с первым входом умножителя, второй вход которого соединен с выходом генератора случайного сигнала, выход умножителя соединен с входом преобразователя сигнала из частотной области во временную, выход которого соединен с первыми входами формирователя случайной функции и формирователя временных интервалов, второй вход которого соединен с выходом формирователя случайной функции и информационным входом цифроаналогового преобразователя, тактирующий вход которого соединен с первым выходом формирователя временных интервалов, отличается тем, что, с целью повышения точности испытаний за счет устранения амплитудной модуляции формируемого вибросигнала, в устройство введены управляемый аттенюатор и генератор

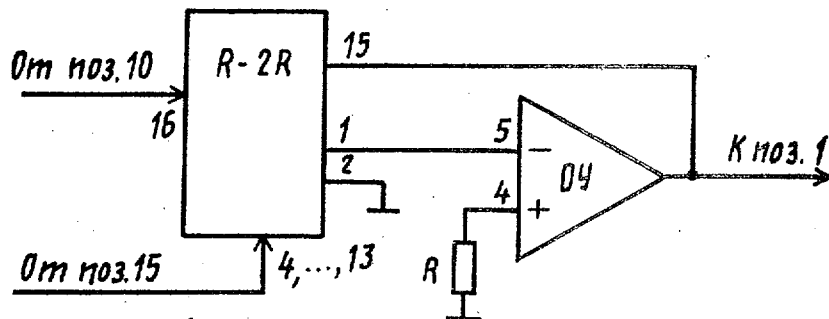
демодулирующих функций, первый и второй входы которого соединены с вторым и третьим выходами формирователя временных интервалов, выход генератора демодулирующих функций соединен с управляющим входом управляемого аттенюатора, информационный вход которого соединен с выходом цифроаналогового преобразователя, а выход цифрового аттенюатора соединен с выходом управляющего воздействия устройства.

2. Устройство по п.1, отличается тем, что формирователь временных интервалов содержит первый и второй блоки памяти, первый и второй блоки формирования амплитуды, сумматор, генератор функций, коммутатор, первый и второй входы которого являются первым и вторым входами формирователя, а выход соединен с информационными входами первого и второго блоков памяти, выходы которых подключены к первым входам соответственно первого и второго блоков формирования амплитуды, выходы которых соединены соответственно с первым и вторым входами сумматора, выход которого соединен с первым выходом формирователя, синхровход которого соединен с третьим выходом формирователя и с тактовыми выходами первого и второго блоков памяти и генератора функций, первый выход которого соединен с вторым выходом первого блока формирования амплитуды, а второй выход - с вторым входом второго блока формирования амплитуды, компаратор, вход которого соединен с первым выходом генератора функций, а выход соединен с вторым выходом формирователя.

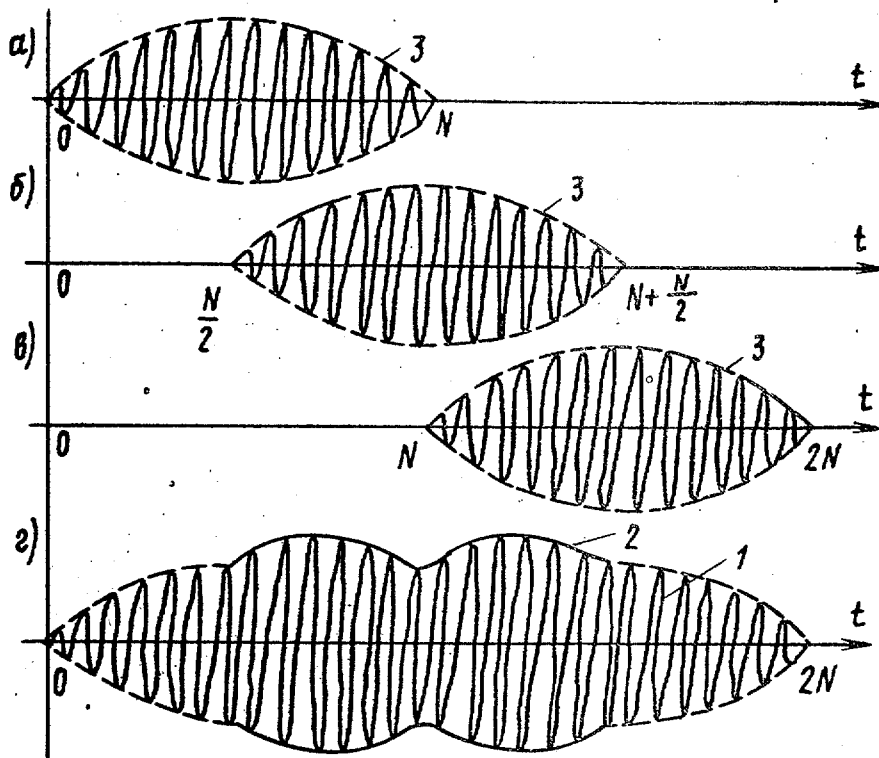




Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Составитель В. Куленкамл

Редактор И. Сегляник Техред М. Ходанич

Корректор Л. Патай

Заказ 663/38

Тираж 788

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101