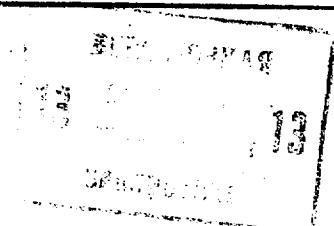




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (61) 1112377
- (21) 3978114/24-24
- (22) 18.11.85
- (46) 30.03.87. Бюл. № 12
- (71) Киевский политехнический институт им. 50-летия Октябрьской социалистической революции
- (72) Г.Н. Потапова и В.С. Гончаренко
- (53) 681.3(088.8)
- (56) Авторское свидетельство СССР № 1112377, кл. G 06 G 7/52, 1982.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗЫ СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА

(57) Изобретение относится к специализированным средствам вычислительной техники, может быть использовано при создании приборов для измерения вероятностных характеристик фаз квазигармонических сигналов и является дополнительным к авт.св. СССР № 1112377. Цель изобретения - расширение функциональных возможностей путем обеспечения возможности измерения спектральной плотности фазы в реальном масштабе времени. Устройство содержит формирователь импульсов, умножитель частоты, элемент задерж-

ки, четыре переключателя, два делителя частоты, первый элемент И, блок регулируемой задержки, два преобразователя фаза - временной интервал, два временных селектора, первый счетчик, первый накапливающий сумматор, блок памяти, первый триггер, формирователь меандровых функций, два реверсивных счетчика, второй счетчик, второй триггер, второй и третий элементы И, два устройства равнозначности, два устройства неравнозначности, два квадратора, второй накапливающий сумматор, коммутатор и блок отображения информации. Наряду с измерением условного и безусловного математического ожидания, среднеквадратических отклонений и их отношений, функции регрессии, нормированных корреляционных функций, функций и плотности распределения вероятностей случайной фазы исследуемого сигнала в диапазоне частот предлагаемое устройство обеспечивает возможность измерения еще одной характеристики - спектральной плотности мощности фазовых флюктуаций и автоматизирует процесс измерения. 2 ил.

(19) **SU** (11) 1300510 **A2**

Изобретение относится к специализированным средствам вычислительной техники, может быть использовано при создании приборов для измерения вероятностных характеристик фаз квазигармонических сигналов и является дополнителем к авт. св. № 1112377.

Целью изобретения является расширение функциональных возможностей путем обеспечения возможности измерения спектральной плотности фазы в реальном масштабе времени.

На фиг. 1 и 2 приведена структурная схема устройства.

Устройство содержит формирователь 1 импульсов, умножитель 2 частоты, элемент 3 задержки, первый переключатель 4, первый делитель 5 частоты, первый элемент И 6, второй делитель 7 частоты, блок 8 регулируемой задержки, второй переключатель 9, два преобразователя 10 и 11 фаза - временной интервал, два временных селектора 12 и 13, первый счетчик 14, первый накапливающий сумматор 15, третий переключатель 16, блок 17 памяти, четвертый переключатель 18, первый триггер 19, формирователь 20 меандровых сигналов, два реверсивных счетчика 21 и 22, второй счетчик 23, блок 24 отображения информации, второй триггер 25, второй элемент И 26, коммутатор 27, третий элемент И 28, два элемента 29 и 30 равнозначности, два элемента 31 и 32 неравнозначности, два квадратора 33 и 34, второй накапливающий сумматор 35.

Устройство работает следующим образом.

При измерении безусловного среднего значения переключатели ставятся в положение "1" (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 3, 1, 3 и 1). Сигнал с исследуемой случайной фазой поступает на первый преобразователь 10 фаза - временной интервал. Сигнал опорной частоты поступает на формирователь 1 импульсов, который формирует короткие импульсы в момент, например, положительный переходов опорного сигнала через нулевое значение. Выходной сигнал первого преобразователя 10 открывает первый временной селектор 12 на время τ_{χ_i} . Интервал времени τ_{χ_i} заполняется

квантуемыми импульсами, поступающими от умножителя 2 частоты. Количество импульсов в пачках n_{χ_i} , формируемых на выходе первого временного селектора 12 в выбранном масштабе, определяет значение фазы в момент t_i , т.е.

$$\varphi_{\chi}(t_i) = K n_{\chi_i}^2,$$

где $K = \frac{360 \cdot F}{f}$ - масштабный коэффициент;

F - частота опорного сигнала;

f - частота следования импульсов с выхода умножителя 2 частоты.

Импульсы с выхода первого временного селектора 12 импульсов поступают на вход первого счетчика 14, на вход начальной установки которого поступает код с выхода блока 17 памяти (в этом режиме работы - нуль).

Таким образом, первый счетчик 14 подсчитывает количество импульсов $K \cdot n_{\chi_i}$ в течение каждого периода опорного сигнала (одного такта измерения). В конце каждого такого периода осуществляется перезапись кода числа $K \cdot n_{\chi_i}$ из первого счетчика 14 в первый накапливающий сумматор 15 по команде, поступающей с первого элемента И 6. В результате отношение числа V импульсов, накопленных в первом накапливающем сумматоре 15 за интервал измерения $T_{изм}$, к числу выборок N является оценкой математического ожидания случайной фазы сигнала.

$$m^*(\varphi_{\chi}) = V/N = \sum_{i=1}^N K \cdot n_{\chi_i} / N.$$

Общее число выборок N задается вторым делителем 7 частоты. С появлением на выходе второго делителя 7 частоты сигнала переполнения на входе первого элемента И 6 появляется запрещающий потенциал. На этом цикл измерения заканчивается и значение оценки математического ожидания поступает в блок 17 памяти.

Величины среднеквадратических отклонений измеряются в положении "2" переключателей (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 4, 2, 4, 3). При этом импульсы,

образующиеся на выходе первого временного селектора 12, поступают в первый счетчик 14, в который перед каждым измерением в дополнительном коде вводится значение оценки математического ожидания по команде управляющего сигнала "считывание" в блоке 17 памяти. При этом код разности, формируемый в первом счетчике 14 и пропорциональный значению приращения фазы $\Delta\varphi_x(t_i) = \varphi_x(t_i) - \varphi_x^*(t_i)$, поступает в первый накапливающий сумматор 15. Суммирование выполняется без учета знака разности (контакт 4 третьего переключателя 16 разомкнут). По истечении N_1 выборок в сумматоре накапливается число $A = 2\beta N_1 \sigma^*(\varphi_x)$ (коэффициент β определяется законом распределения вероятностей).

Если теперь на вход первого преобразователя 10 фаза - временной интервал подать напряжение реализации второго случайного процесса и цикл измерения повторить, предварительно выставив коэффициент пересчета второго делителя 7 частоты, равным $N_2 = 10^6 N_1 / A$, то в сумматоре получаем непосредственно отношение оценок среднеквадратических отклонений процессов, т.е. $\sigma^*(\varphi_x)$ и $\sigma^*(\varphi_y)$.

При измерении условного математического ожидания переключатели ставятся в положение "4" (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 6, 3, 5 и 5), а на преобразователи 10 и 11 фаза - временной интервал подключают сигналы с исследуемыми стационарно связанными случайными фазами. Сигнал опорной частоты поступает на формирователь 1 импульсов. Выходные сигналы преобразователей 10 и 11 открывают временные селекторы 12 и 13 на время \hat{t}_x и \hat{t}_y , которые заполняются квантуемыми импульсами, поступающими с умножителя 2 частоты. Количество импульсов в пачках p_x и p_y в выбранном масштабе определяет значения фазы в момент времени $\varphi_x(t_i) = K \cdot p_x$ и $\varphi_y(t_i) = K \cdot p_x$ соответственно.

Импульсы с выхода первого временного селектора 12 поступают на вход первого счетчика 14, на вход начальной установки которого поступает с блока 17 памяти перед каждым тактом измерения код нуля (т.е. после запи-

си кода, равного $K \cdot p_x$, в первый накапливающий сумматор 15 первый счетчик 14 сбрасывается в "0"). Импульсы с выхода второго временного селектора 13 поступают на нулевой вход триггера 19 непосредственно, а на единичный вход триггера 19 - через первый делитель 5 частоты. Коэффициент деления K_d первого делителя 5 частоты выбирается в соответствии с выбранным уровнем анализа, относительно которого определяется условное математическое ожидание.

Если количество импульсов в пачке на выходе второго временного селектора 13 равно коэффициенту деления первого делителя 5 частоты ($p_{y_i} = K_d$), то на выходе первого делителя 5 частоты появляется импульс, поступающий на вход триггера 19, на выходе которого формируется разрешающий потенциал. С приходом импульса с выхода формирователя 1 импульсов на выходе первого элемента И 6 появляется импульс, разрешающий поступление кода первого счетчика 14 в первый накапливающий сумматор 15. Импульс с выхода элемента 3 задержки устанавливает в исходное (нулевое) положение первый делитель 5 частоты и первый счетчик 14 сигналом с выхода блока 17 памяти. В исходное состояние триггер 19 возвращается первым импульсом умножения частоты, проходящим через второй временной селектор 13 в следующем такте работы.

Если $p_{y_i} < K_d$, то на выходе первого делителя 5 частоты импульс не появляется и перезаписи кода с первого счетчика 14 в первый накапливающий сумматор 15 не происходит. Первый счетчик 14 и первый делитель 5 частоты в конце цикла измерения устанавливаются в исходное (нулевое) положение. Если $p_{y_i} = K_d + 1$, то на выходе первого делителя 5 частоты появляется импульс, который приводит к тому, что на выходе триггера 19 появляется разрешающий потенциал для первого элемента И 6. Однако импульс, порядковый номер которого равен $p_{y_i} = K_d + 1$, с выхода второго временного селектора 13 возвращает триггер 19 в исходное состояние еще до появления очередного импульса с выхода элемента 3 задержки, т.е. в данном случае перезаписи кода с пер-

вого счетчика 14 в первый накапливающий сумматор 15 также не происходит.

Отношение числа импульсов, накопленных в первом накапливающем сумматоре 15 за интервал измерения, к числу выборок N_c пропорционально оценке определенного условного математического ожидания

$$m^* \left[\varphi_x(t) / \varphi_y = \varphi_g \right] = C / N_c = \sum_{i=1}^{N_c} K \cdot n_{x_i} / N_c$$

Изменяя коэффициент деления первого делителя 5 частоты; можно изменить функцию регрессии случайной фазы сигнала. Коэффициент деления первого делителя 5 частоты устанавливается согласно коду; образуемому во втором счетчике 23 по команде, поступающей с выхода элемента 3 задержки.

При измерении функции корреляции переключатели находятся в положении "3" (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 5, 6, 1 и 4), в результате чего включается блок 8 регулируемой задержки. Исследуемый сигнал $x(t)$ подключается к входам обоих преобразователей 10 и 11 фаза - временной интервал, а в делителе 5 частоты устанавливается коэффициент деления K_g в соответствии с выбранным уровнем анализа, оптимальное (в смысле минимума продолжительности измерения), значение для нормального закона распределения случайной фазы равно $m(\varphi) \pm 1,41\sigma(\varphi)$. В блоке 8 регулируемой задержки устанавливается начальное значение аргумента функции корреляции $\rho_{\varphi_x}(\tau)$.

Устройство в этом режиме работает принципиально также, как и при измерении условного математического ожидания. Но поскольку перезапись кода с первого счетчика 14 в первый накапливающий сумматор 15 производится только при наличии сигнала с выхода блока 8 регулируемой задержки на третьем входе первого элемента И 6, то устройство определяет условное среднее значение фазы исследуемого сигнала $\varphi_x(t + \tau)$ относительно моментов выполнения условий $\varphi_x(t_i) = K \cdot n_{x_i} = \varphi_g = K \cdot K_g$.

Центрирование значений фазы исследуемого сигнала выполняется следующим образом.

Перед каждым измерением в первом счетчике 14 устанавливается код среднего значения, как при измерении среднеквадратического отклонения, но суммирование в первом накапливающем сумматоре 15 выполняется с учетом знака кода $\Delta\varphi_i(t_i + \tau)$ в соответствии с подготовительным управляющим сигналом на входе первого накапливающего сумматора 15 с подвижного контакта третьего переключателя 16.

Импульс, поступающий с формирователя 1 импульсов, записывается в блок 8 регулируемой задержки при наличии на его втором управляющем входе разрешающего сигнала, который поступает с триггера 19. Записанная информация перемещается в блоке 8 регулируемой задержки сигналом, поступающим с элемента 3 задержки на первый управляющий вход блока 8 регулируемой задержки, и через интервал времени τ , равный аргументу при определении функции корреляции, появляется на выходе блока 8; разрешая перезапись кода с первого счетчика 14 в первый накапливающий сумматор 15. Значение интервала корреляции τ устанавливается в блоке 8 регулируемой задержки сигналом, поступающим на его первый информационный вход с выхода второго делителя 7 частоты. Дискретность изменения интервала τ определяется сигналом, поступающим на первый управляющий вход блока 8 регулируемой задержки с выхода элемента 3 задержки.

Отношение числа L импульсов, накопленных в первом накапливающем сумматоре 15 за интервал измерения $T_{изм}$, к числу выборок N_c пропорционально оценке нормированной функции корреляции исследуемой случайной фазы $\varphi_x(t)$ при данном значении τ .

Если на входы устройства в этом режиме измерения подключить два сигнала $x(t)$ и $y(t)$ стационарно связанными флюктуирующими фазами, то за интервал $T_{изм}$ получаем оценку произведения нормированной функции взаимной корреляции на отношение среднеквадратических отклонений первого и второго случайных процессов $\varphi_x(t)$ и $\varphi_y(t)$.

$$L = \frac{\sigma_{\varphi_y}}{\sigma_{\varphi_x}} \rho_{\varphi_{xy}}^*(\tau) \quad \text{и}$$

$$P_{\varphi_{xy}}(\varepsilon) = L \frac{\sigma_{\varphi_x}}{\sigma_{\varphi_y}}$$

В пятом положении всех переключателей (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 1, 4, 5 и 6) получаем оценку плотности вероятности распределения случайной фазы сигнала. При этом сигнал с исследуемой случайной фазой подключается на вход второго преобразователя 11 фаза - временной интервал. Формируемые на выходе второго временного селектора 13 пакки импульсов n_x ; в выбранном масштабе определяют значения фазы в момент времени t_i , $\varphi_x(t_i) = K \cdot n_x$.

Импульсы с выхода второго временного селектора 13 поступают на нулевой вход триггера 19 непосредственно, а на единичный вход триггера 19 - через первый делитель 5 частоты. Коэффициент деления первого делителя 5 частоты выбирается в соответствии с выбранным уровнем анализа плотности вероятности. Интервал анализа $\Delta\varphi$ равняется интервалу дискретизации случайной фазы, т.е. $\Delta\varphi = 360 F/f$.

Дальше измерение выполняется также, как и при определении условного математического ожидания (или функции регрессии) за исключением того, что импульсы на вход первого счетчика 14 поступают с формирователя 1 импульсов (первый неподвижный контакт переключателя 4).

Таким образом, первый накапливающий сумматор 15 фиксирует число n наступления события $\varphi_g - \Delta\varphi \leq \varphi_x(t) \leq \varphi_g + \Delta\varphi$, где $\varphi_g = K \cdot K_g$, $\varphi_x(t) = K \cdot n_x$.

Через интервал $T_{изм}$ в первом накапливающем сумматоре 15 формируется код, пропорциональный оценке плотности вероятности случайной фазы сигнала при заданном уровне анализа

$$W^*(\varphi_x) = \frac{1}{\Delta\varphi} \cdot \frac{h}{N_h} = \frac{h}{KN_h}$$

Для получения оценки функции распределения все переключатели ставятся в положение "6" (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 2, 5, 7 и 7). Устройство работает в этом режиме аналогично, только перезапись кода с первого счетчи-

ка 14 выполняется по команде с первого элемента И 6 при появлении сигнала переполнения на выходе первого делителя 5 частоты.

За время $T_{изм}$ в первом накапливающем сумматоре 15 формируется код, пропорциональный оценке функции распределения

$$F_1(\varphi_x) = P[\varphi_x(t) \geq \varphi_g];$$

$$F^*(\varphi_x) = \frac{d}{N_g}$$

где d - число импульсов, соответствующих случаям,

Для получения оценки спектральной плотности случайной фазы сигнала все переключатели устанавливаются в положение "7" (подвижные контакты переключателей 4, 9, 16 и 18 замкнуты соответственно с неподвижными контактами 7, 7, 2 и 2). Процесс измерения состоит из двух циклов. Во время первого цикла производится измерение среднего значения фазы исследуемого сигнала, а во втором - оценка спектральной плотности. Измерение среднего значения фазы выполняется аналогично описанному. С появлением на выходе второго делителя 7 частоты сигнала переполнения первый цикл измерения заканчивается. В следующем цикле измерения оценка математического ожидания случайной фазы сигнала используется для центрирования значений фазы исследуемого сигнала. Значение оценки математического ожидания поступает в блок 17 памяти и на выходе второго элемента И 26 появляется импульс, который устанавливает второй триггер 25 в единичное состояние. При этом на выходе третьего элемента И 28 появляется решающий потенциал.

Во втором цикле измерения спектральной плотности $G_{\varphi_x}(\Omega)$ перед каждым тактом измерения в первый счетчик 14 в дополнительном коде вводится значение оценки математического ожидания с блока 17 памяти по команде управляющего сигнала "Считывание", т.е. в счетчике 14 сравнивается текущее значение фазы $\varphi_x(t)$ с ее средним значением. При этом, в зависимости от того $\varphi_x(t) > m(\varphi_x)$ или $\varphi_x(t) < m(\varphi_x)$, на входе третьего элемента И 28, связанного с пер-

вым счетчиком 14, появляется нуль или единица. Сигнал (нуль или единица) с выхода третьего элемента И 28 поступает одновременно на первые входы элементов 29 и 30 равнозначности и элементов 31 и 32 неравнозначности, на вторые входы первых элементов 29 и 31 равнозначности и неравнозначности поступает сигнал с прямого выхода формирователя 20 меандровых функций, т.е. $\text{sgn}[\cos \varphi; t]$, а на вторые входы вторых элементов 30 и 32 равнозначности и неравнозначности поступает сигнал с инверсного выхода формирователя 20 меандровых функций $\text{sgn}[\sin \varphi; t]$. При совпадении нулей или единиц на выходах элементов 29 и 30 равнозначности появляется единица, при несовпадении - единица появляется на выходах элементов 31 и 32 неравнозначности. Выходные сигналы с элементов равнозначности 29 и 30 и неравнозначности 31 и 32 поступают на реверсивные счетчики 21 и 22. При появлении сигнала переполнения на выходе второго делителя 7 частоты реверсивные счетчики 21 и 22 зафиксировывают разность числа совпадений и несовпадений, код которой затем возводится в квадрат квадраторами 33 и 34 и поступает во второй накапливающий сумматор 35. На выходе формирователя 20 меандровых функций устанавливается новое значение частоты φ и начинается определение следующей ординаты спектральной плотности $G_{\varphi}(\varphi)$. Количество измеренных ординат спектральной плотности определяется объемом второго счетчика 23. При появлении на его выходе сигнала переполнения второй триггер 25 устанавливается в нулевое состояние. На этом второй цикл измерения спектральной плотности $G_{\varphi}(\varphi)$ оканчивается.

Результат измерения вероятностной характеристики поступает через коммутатор 27, управляемый вторым триггером 25, при измерении спектральной плотности фазы с второго накапливающего сумматора 35, а при измерении других вероятностных характеристик - с первого накапливающего сумматора 15 на информационный вход устройства 24 отображения информации. Значение аргумента измеряемой вероятностной характеристики (уровня анализа, частоты и др.) поступает с

разрядных выходов второго счетчика 23 на вход задания аргумента устройства 24 отображения информации.

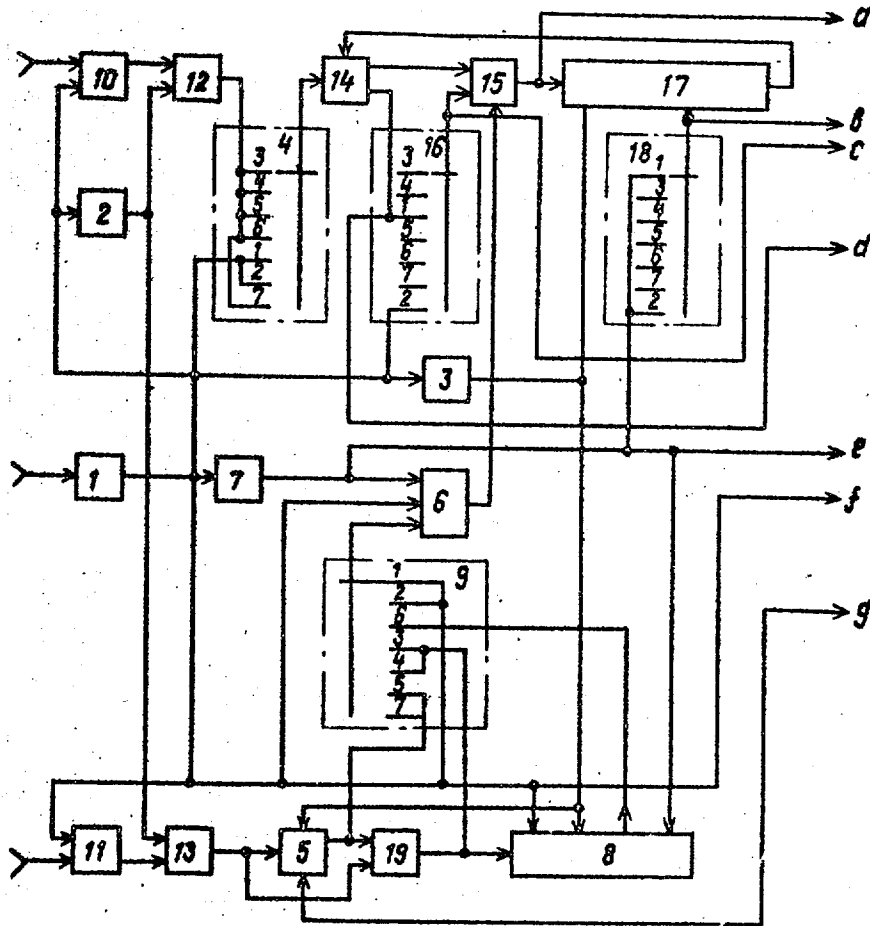
Таким образом, предложенное устройство наряду с измерением условного и безусловного математического ожидания, среднеквадратических отклонений и их отношений, функции регрессии, нормированных корреляционных функций, функции и плотности распределения вероятностей случайной фазы исследуемого сигнала в диапазоне частот позволяет измерять спектральную плотность мощности фазовых флуктуаций и автоматизировать процесс измерения и отображения информации.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

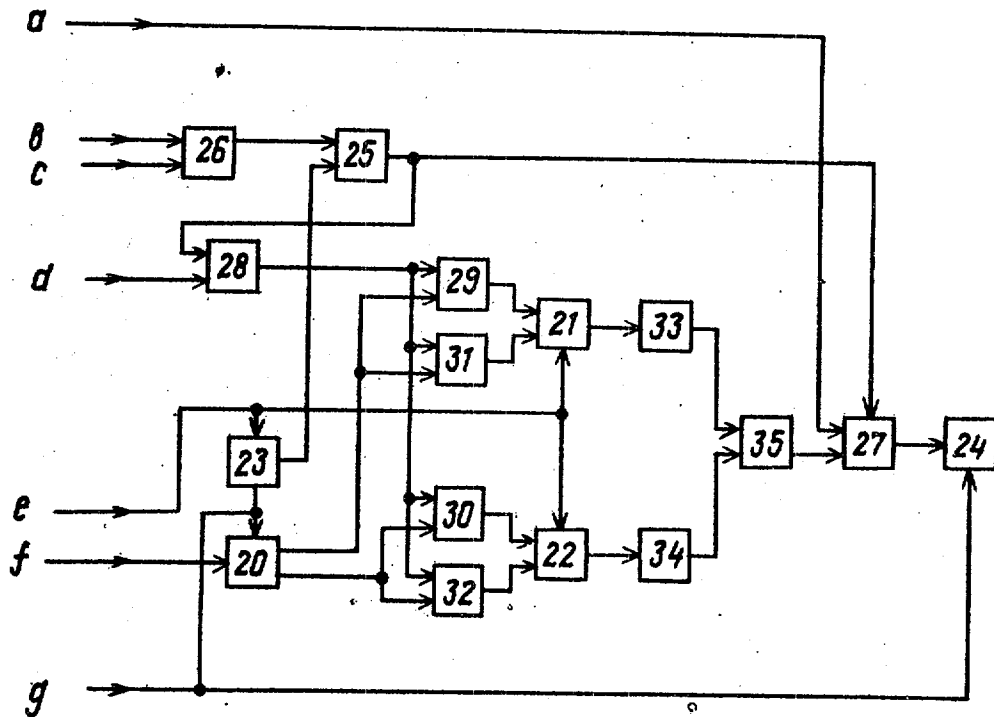
20 Устройство для определения вероятностных характеристик фазы случайного процесса по авт.св. № 1112377, отличающееся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей устройства путем обеспечения возможности измерения спектральной плотности фазы в реальном масштабе времени, в него введены формирователь меандровых сигналов, второй и третий элемент И, второй триггер, первый и второй элементы равнозначности, первый и второй элементы неравнозначности, первый и второй реверсивные счетчики, первый и второй квадраторы, второй накапливающий сумматор, второй счетчик, коммутатор, блок отображения информации, причем шестой и седьмой неподвижные контакты первого переключателя соединены между собой, второй неподвижный контакт третьего переключателя соединен с входом элемента задержки и с импульсным входом формирователя меандровых сигналов, второй неподвижный контакт четвертого переключателя соединен с первым неподвижным контактом четвертого переключателя, с входами считывания результата первого и второго реверсивных счетчиков и с счетным входом второго счетчика, разрядные выходы которого соединены с входом задания частоты формирователя меандровых сигналов, с входом задания коэффициента деления первого делителя частоты и с входом задания аргумента блока отображения информации, выход сигнала переполнения второго счетчика соединен с

входом установки в "0" второго триггера, вход установки в "1" которого соединен с выходом второго элемента И, первый и второй входы которого соединены соответственно с подвижными контактами третьего и четвертого переключателей, выход второго триггера соединен с управляющим входом коммутатора и с первым входом третьего элемента И; второй вход которого соединен с первым неподвижным контактом третьего переключателя, а выход соединен с первыми входами первого, второго элементов равнозначности, первого, второго элементов неравнозначности, вторые входы первого элемента равнозначности и первого элемента неравнозначности соединены с прямым выходом формирователя меандровых сигналов, вторые входы второго элемента равнозначности и второго элемента неравнозначности соединены с инверсным выходом

формирователя меандровых сигналов, выходы первого элемента равнозначности и первого элемента неравнозначности соединены соответственно с суммирующим и вычитающим входами первого реверсивного счетчика, выходы второго элемента равнозначности и второго элемента неравнозначности соединены соответственно с суммирующим и вычитающим входами второго реверсивного счетчика, выходы первого и второго реверсивных счетчиков соединены соответственно через первый и второй квадраторы с первым и вторым входами второго накапливающего сумматора, выход которого соединен с первым информационным входом коммутатора, второй информационный вход которого соединен с выходом первого накапливающего сумматора, выход коммутатора соединен с информационным входом блока отображения информации.



Фиг. 1



Фиг. 2

Редактор М. Келемеш Составитель В. Орлов Корректор М. Самборская
 Техред И. Попович

Заказ 1152/50 Тираж 673 Подписное

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

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4