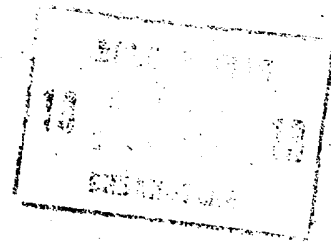




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(61) 763807
(21) 3579023/24-21
(22) 15.04.83
(46) 07.07.85. Бюл. № 25
(72) В.И.Емельяненко и В.А.Липатов,
(71) Специальное конструкторско-технологическое бюро с опытным производством при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени государственном университете им.В.И.Ленина и Белорусский ордена Трудового Красного Знамени государственный университет им.В.И.Ленина
(53) 621.317(088.8)
(56) 1. Авторское свидетельство СССР № 763807, кл. G 01 R 23/10, 1980.
(54)(57) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ по авт.св. № 763807, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения частоты, дополнительно определяют временные интервалы $\Delta T_1^i, \Delta T_1^u$ между передними (или задними) фронтами импульсов измеряемой и эталонной частот, образующих импульсы совпадений, выделенные в качестве начальных границ соответственно первого и второго мерных интервалов, временные интервалы $\Delta T_3^i, \Delta T_3^u$ между передними (или задними) фронтами импульсов измеряемой и эталонной частот, образующих импульсы совпадений, выделенные в качестве конечных границ соответственно первого и второго мерных интервалов, а также временные интервалы $\Delta T_2^i, \Delta T_2^u$ между передними (или задними) фронта-

ми импульсов измеряемой и эталонной частот, образующих импульсы совпадений, которые следуют непосредственно за импульсами совпадений (или предшествуют импульсам совпадений), принятыми в качестве начальных границ соответственно первого и второго мерных интервалов, и неизвестную частоту определяют по формуле

$$f_x = \frac{1}{|T_0^u - T_0^i|} \left| \frac{m^u}{N_{om}^u + \sigma T^u / \Delta T^u} - \frac{m^i}{N_{om}^i + \sigma T^i / \Delta T^i} \right|$$

где T_0^i, T_0^u - периоды следования импульсов соответственно первой и второй эталонных последовательностей;
 m^i - число пакетов импульсов совпадений в первом мерном интервале;
 m^u - число пакетов импульсов совпадений во втором мерном интервале;
 N_{om}^i - число периодов первой эталонной последовательности в первом мерном интервале;
 N_{om}^u - число периодов второй эталонной последовательности во втором мерном интервале;

$$\Delta T^i = |\Delta T_2^i - \Delta T_1^i|; \quad \Delta T^u = |\Delta T_2^u - \Delta T_1^u|;$$

$$\sigma T^i = \Delta T_3^i - \Delta T_1^i; \quad \sigma T^u = \Delta T_3^u - \Delta T_1^u.$$

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано при измерении частоты электрических колебаний.

По основному авт.св. № 763807 известен способ измерения частоты, заключающийся в формировании первой последовательности пакетов импульсов совпадений, образованной совпадением импульсов первой эталонной и исследуемой последовательностей, формировании второй последовательности пакетов импульсов совпадений, образованной совпадением импульсов второй эталонной и исследуемой последовательностей, формировании первого мерного интервала посредством выделения в качестве его начальной границы импульса в произвольном пакете первой последовательности пакетов импульсов совпадений, а в качестве конечной границы - аналогичного по порядку следования импульса в одном из последующих пакетов первой последовательности пакетов импульсов совпадений, формировании второго мерного интервала посредством выделения в качестве его начальной границы импульса в произвольном пакете второй последовательности пакетов импульсов совпадений, а в качестве конечной границы - аналогичного по порядку следования импульса в одном из последующих пакетов второй последовательности пакетов импульсов совпадений, подсчете числа периодов первой эталонной последовательности и числа пакетов первой последовательности пакетов импульсов совпадений в первом мерном интервале, подсчете числа периодов второй эталонной последовательности и числа пакетов второй последовательности пакетов импульсов совпадений во втором мерном интервале, расчете неизвестной частоты по полученным данным [1].

Однако известный способ допускает значительные погрешности измерения частоты. Это объясняется тем, что совпадающие импульсы имеют конечную длительность, а способ допускает формирование границ мерных интервалов по импульсам сравниваемых последовательностей, совпадающих не в одинаковых фазах. Вследствие этого в каждом из мерных интервалов укладывается не целое число периодов одной из сравниваемых последователь-

ностей, в то время как результат измерений определяется по целому числу.

Цель изобретения - повышение точности измерения частоты.

Поставленная цель достигается тем, что согласно способу измерения частоты дополнительно определяют временные интервалы $\Delta T_1^I, \Delta T_1^{II}$ между передними (или задними) фронтами импульсов измеряемой и эталонной частот, образующих импульсы совпадений, выделение в качестве начальных границ соответственно первого и второго мерных интервалов, временные интервалы $\Delta T_2^I, \Delta T_2^{II}$ между передними (или задними) фронтами импульсов измеряемой и эталонной частот, образующих импульсы совпадений, выделенные в качестве конечных границ соответственно первого и второго мерных интервалов, а также временные интервалы $\Delta T_3^I, \Delta T_3^{II}$ между передними (или задними) фронтами импульсов измеряемой и эталонной частот, образующих импульсы совпадений, которые следуют непосредственно за импульсами совпадений (или предшествующие импульсам совпадений), принятыми в качестве начальных границ соответственно первого и второго мерных интервалов, и неизвестную частоту определяют по формуле

$$\varepsilon_x = \frac{1}{|T_0^I - T_0^{II}|} \left| \frac{m^{II}}{N_{om}^{II} + \frac{\sigma T^{II}}{\Delta T^{II}}} - \frac{m^I}{N_{om}^I + \frac{\sigma T^I}{\Delta T^I}} \right|$$

где T_0^I, T_0^{II} - периоды следования импульсов первой и второй эталонных последовательностей;

m^I - число пакетов импульсов совпадений в первом мерном интервале;

m^{II} - число пакетов импульсов совпадений во втором мерном интервале;

N_{om}^I - число периодов эталонной последовательности в первом мерном интервале;

N_{om}^{II} - число периодов второй эталонной последовательности во втором мерном интервале;

$$\Delta T^I = \Delta T_2^I - \Delta T_1^I / ; \quad \sigma T^I = \Delta T_3^I - \Delta T_1^I ; \\ \Delta T^{II} = \Delta T_2^{II} - \Delta T_1^{II} / ; \quad \sigma T^{II} = \Delta T_3^{II} - \Delta T_1^{II} .$$

На фиг. 1 представлены последовательности импульсов; на фиг. 2 - схема устройства для реализации способа; на фиг. 3 - пример реализации блока выделения первого импульса; на фиг. 4 - временные диаграммы, поясняющие работу устройства.

Способ осуществляют следующим образом.

Сравнивают во времени исследуемую последовательность, импульсы которой следуют с периодом T_x неизвестной частоты f_x и имеют длительность τ_x (фиг. 1б, д), с первой эталонной последовательностью, импульсы которой следуют с периодом T_0' и имеют длительность τ_0' (фиг. 1а). Формируют первую последовательность пакетов импульсов совпадений, образованную совпадениями импульсов первой эталонной и исследуемой последовательностей (фиг. 1в). Аналогичным образом сравнивают во времени исследуемую последовательность импульсов (фиг. 1б, д) со второй эталонной последовательностью, импульсы которой следуют с периодом T_0'' и имеют длительность τ_0'' (фиг. 1г). Формируют вторую последовательность пакетов импульсов совпадений, образованную совпадениями импульсов второй эталонной и исследуемой последовательностей (фиг. 1е).

В предлагаемом способе, как в известном, используются близкие значения периодов T_0' , T_0'' эталонных частот, таких, что

$$|T_0' - T_0''| < \frac{T_x}{2},$$

а длительность импульсов исследуемой и эталонной последовательностей удовлетворяет условиям

$$\tau_x + \tau_0' \leq \frac{T_x}{2},$$

$$\tau_x + \tau_0' \geq T_0' - K T_x /;$$

$$\tau_x + \tau_0'' \leq \frac{T_x}{2},$$

$$\tau_x + \tau_0'' \geq T_0'' - K T_x /,$$

где K - коэффициент кратности периода T_x периодам T_0' , T_0'' , характеризующий ближайšie к f_x гармоники K/T_0' , K/T_0'' эталонных частот. При выполнении указанных условий импульсы совпадений сгруппированы в пакеты (фиг. 1в, е).

Формируют первый мерный интервал по импульсам совпадений первой после-

довательности пакетов импульсов совпадений, причем в качестве его начальной границы выделяют импульс в некотором произвольном пакете импульсов совпадений, принятым за нулевой, а в качестве конечной границы выделяют аналогичный по порядку импульс в m' -м относительно нулевого пакете импульсов совпадений. Формируют второй мерный интервал по импульсам совпадений второй последовательности, причем в качестве его начальной границы выделяют заданный по порядку импульс в некотором произвольном пакете импульсов совпадений, принятым за нулевой, а в качестве конечной границы выделяют аналогичный по порядку импульс в m'' -м относительно нулевого пакете импульсов совпадений.

Подсчитывают число T_{om}' периодов T_0' первой эталонной последовательности в первом мерном интервале. Подсчитывают число T_{om}'' периодов T_0'' второй эталонной последовательности во втором мерном интервале. Для импульсов совпадений первой последовательности определяют временной интервал $\Delta T_1'$ между передними (или задними) фронтами импульсов первой эталонной и исследуемой последовательностей, которые образуют импульс совпадений, выделенный в качестве начальной границы первого мерного интервала; временной интервал $\Delta T_2'$ между передними (или задними) фронтами импульсов первой эталонной и исследуемой последовательностей, которые образуют импульс совпадений, следующий (или предшествующий) непосредственно за импульсом, выделенным в качестве начальной границы первого мерного интервала; временной интервал $\Delta T_3'$ между передними (или задними) фронтами импульсов первой эталонной и исследуемой последовательностей, которые образуют импульс совпадений, выделенный в качестве начальной границы второго мерного интервала. Для импульсов совпадений определяют: временной интервал $\Delta T_4''$ между передними (или задними) фронтами импульсов второй эталонной и исследуемой последовательностей, которые образуют импульс совпадений, выделенный в качестве начальной границы второго мерного интервала; временной интервал $\Delta T_2''$ между передними (или задними) фронтами импульсов второй эта-

лонной и исследуемой последовательностей, которые образуют импульс совпадений, следующий (или предшествующий) непосредственно за импульсом, выделенным в качестве начальной границы второго мерного интервала; временной интервал $\Delta T_3''$ между передними (или задними) фронтами импульсов второй эталонной и исследуемой последовательностей, которые образуют импульс совпадений выделенный в качестве конечной границы второго мерного интервала. Определяют разности интервалов $\Delta T^I = \Delta T_2^I - \Delta T_1^I$; $\sigma T^I = \Delta T_3^I - \Delta T_1^I$; $\Delta T^{II} = \Delta T_2^{II} - \Delta T_1^{II}$; $\sigma T^{II} = \Delta T_3^{II} - \Delta T_1^{II}$. Неизвестную частоту f_x определяют с помощью следующего расчетного соотношения:

$$f_x = \frac{1}{|T_0'' - T_0^I|} \left| \frac{m''}{N_{0m}'' + \frac{\sigma T^{II}}{\Delta T^{II}}} - \frac{m^I}{N_{0m}^I + \frac{\sigma T^I}{\Delta T^I}} \right|$$

Можно измерить непосредственно не интервалы $\Delta T_1^I, \Delta T_2^I, \Delta T_3^I, \Delta T_1^{II}, \Delta T_2^{II}, \Delta T_3^{II}$ между фронтами импульсов сравниваемых последовательностей, а интервалы $\Delta t_1^I, \Delta t_2^I, \Delta t_3^I, \Delta t_1^{II}, \Delta t_2^{II}, \Delta t_3^{II}$, дополняющие указанные до периода T_x неизвестной частоты, т.е. интервалы между передними (или задними) фронтами соответствующих импульсов совпадений и ближайших с ним импульсов измеряемой частоты:

$$\begin{aligned} \Delta t_1^I &= T_x - \Delta T_1^I; & \Delta t_1^{II} &= T_x - \Delta T_1^{II}; \\ \Delta t_2^I &= T_x - \Delta T_2^I; & \Delta t_2^{II} &= T_x - \Delta T_2^{II}; \\ \Delta t_3^I &= T_x - \Delta T_3^I; & \Delta t_3^{II} &= T_x - \Delta T_3^{II}. \end{aligned}$$

При этом значения $\Delta T^I, \Delta T^{II}, \sigma T^I, \sigma T^{II}$, определяющие поправки, запишутся в виде

$$\begin{aligned} \sigma T^I &= \Delta t_1^I - \Delta t_3^I; & \Delta T^I &= \Delta t_1^I - \Delta t_2^I / 2; \\ \sigma T^{II} &= \Delta t_2^{II} - \Delta t_3^{II}; & \Delta T^{II} &= \Delta t_1^{II} - \Delta t_2^{II} / 2. \end{aligned}$$

Указанные действия позволяют уменьшить динамический диапазон измерения интервалов, что дает возможность с большей точностью получать значения поправок.

Устройство (фиг. 2а, б) содержит формирователь 1 импульсов, элемент И 2, генераторы 3 и 4 эталонных частот, измеритель 5 временного интервала, блок 6 выделения первого импульса пакета, состоящий из регистра 7, счетчика 8, блока 9 сравнения кодов и ключа 10, коммутаторы 11 и 12, триггеры 13-17, ключи 18-20, счетчики 21-23, дешифратор 24, регистры 25-28 сдвига, устройство 29 управления коммутатором, блок 30 вычислений.

Устройство работает следующим образом.

В исходном состоянии все счетчики и триггеры 14-17 обнулены, триггер 13 установлен в единичное состояние, соответствующее открытому состоянию ключа 18, ключи 19 и 20 закрыты, коммутатор 11 находится в состоянии, соответствующем прохождению через него импульсов генератора 3 эталонной частоты. На первый вход элемента И 2 поступают импульсы, сформированные формирователем 1 из сигнала измеряемой частоты (фиг. 3б). На второй вход элемента 2 поступают импульсы с генератора 3 в первом цикле измерения и с генератора 4 во втором цикле (фиг. 3а). При этом на выходе элемента И 2 в первом цикле измерений формируется первая последовательность пакетов импульсов совпадений (фиг. 3в). Блок 6 выделяет первый импульс каждого пакета (фиг. 3г). Эти импульсы поступают на импульсные входы триггера 18 и счетчика 21. По первому импульсу первого пакета, прошедшему через открытый ключ 18, происходит установка триггера 14 в единичное состояние (фиг. 3д), переброс триггера 16 в единичное состояние (по переднему фронту, фиг. 3е) и триггера 13 в нулевое состояние (по заднему фронту). При этом ключ 18 закрывается, запрещая прохождение импульсов, а управляемые триггерами 14 и 16 ключи 20 и 19 открываются и счетчики 23 и 22 начинают подсчет импульсов, поступающих на импульсные входы через открытые ключи. Счетчик 22 осуществляет подсчет импульсов эталонной частоты, счетчик 23 подсчитывает импульсы совпадений с выхода элемента И 2, а счетчик 21 подсчитывает первые импульсы пакетов совпадений. Измеритель 5 временного интервала работает в старт-стопном режиме, т.е. его запуск осуществляется по переднему фронту импульса на его первом входе, а останов - по переднему фронту импульса на его втором входе.

По заднему фронту первого импульса совпадений первого пакета, поступившего на импульсный вход счетчика 23, последний устанавливается в единичное состояние. При этом с первого выхода дешифратора 24 на управляемый вход регистра 27 поступает управляющее напряжение (фиг. 3и). По заднему

фронту второго импульса совпадений первого пакета счетчик 23 установится во второе состояние. При этом на втором выходе дешифратора 24 появляется управляющее напряжение, а на первом выходе исчезает (фиг.3 к,и). Сформированный описанным образом на первом выходе дешифратора 24 управляющий импульс своим задним фронтом осуществляет запись в регистр 27 измеренного измерителем 5 значения временного интервала $\Delta t_1'$, границы которого образованы передним фронтом первого импульса первого пакета первой последовательности пакетов импульсов совпадений и передним фронтом, следующего непосредственно за ним, импульса измеряемой частоты (фиг.3). Положительный перепад напряжения, возникающий на втором выходе дешифратора 24 (фиг.3к), поступает на счетные входы триггеров 14 и 17 и перебрасывает их: триггер 14 - в нулевое, а триггер 17 - в единичное состояние (фиг.3д,к). При этом закрывается ключ 20, прекращая дальнейшее поступление импульсов совпадений первого пакета на импульсный вход счетчика 23 (фиг.3з). По третьему импульсу совпадений первого пакета, поступающего на установочный вход нуля триггера 17, происходит переброс последнего в нулевое состояние. Таким образом, на управляющем входе регистра 26 был сформирован импульс (фиг.3к), по заднему фронту которого осуществляется запись в регистр 26 измеренного измерителем 5 значения временного интервала $\Delta t_2'$, границы которого образованы передним фронтом второго импульса совпадений первой последовательности пакетов импульсов совпадений и передним фронтом следующего за ним импульса измеряемой частоты (фиг.3). В дальнейшем счетчик 22 продолжает подсчет импульсов эталонной частоты, поступающих на его импульсный вход через открытый ключ 19, а счетчик 18 подсчитывает первые импульсы пакетов первой последовательности пакетов импульсов совпадений, выделяемые блоком 6. После того, как счетчик 21 установится в заданное m -е состояние, осуществляемое по заднему фронту первого импульса m -го пакета первой последовательности пакетов импульсов совпадений, на его выходе появляется уп-

равляющее напряжение, которое поступает на установочный вход единицы триггера 13. При этом триггер 13 устанавливается в единичное состояние, открывая управляемый им ключ 18. (На фиг.3 представлена диаграмма, соответствующая заданному значению $m=1$). Первый импульс $(m+1)$ -го пакета первой последовательности пакетов импульсов совпадений поступает через открытый ключ 18 на счетные входы триггеров 13 и 16 и установочный вход единицы триггера 14. По переднему фронту этого импульса происходит переброс триггера 14 в единичное состояние (фиг.3д), а триггера 16 - в нулевое (фиг.3е). При этом управляемый триггером 16 ключ 19 закрывается, запрещая дальнейшее поступление импульсов генератора 3 на импульсный вход счетчика 22, а управляемый триггером 14 ключ 20 открывается, пропуская первый импульс $(m+1)$ -го пакета первой последовательности пакетов импульсов совпадений на импульсный вход счетчика 23. По заднему фронту этого импульса счетчик 23 устанавливается в третье состояние. При этом на третьем выходе дешифратора 24 появляется управляющее напряжение (фиг.3л). По заднему фронту второго импульса совпадений $(m+1)$ -го пакета счетчик 23 устанавливается в четвертое состояние. При этом на четвертом выходе дешифратора 24 появляется управляющее напряжение (фиг.3м); а на третьем выходе исчезает (фиг.3л). По заднему фронту сформированного на третьем выходе дешифратора 24 импульса осуществляется запись в регистр 28 измеренного измерителем 5 значения временного интервала $\Delta t_3'$, границы которого образованы передним фронтом первого импульса $(m+1)$ -го пакета первой последовательности пакетов импульсов совпадений и передним фронтом, следующего непосредственно за ним, импульса измеряемой частоты (фиг.3). Этим импульсом осуществляется запись подсчитанного счетчиком 22 числа импульсов эталонной частоты генератора 3 в интервале между передними импульсами первого и $(m+1)$ -го пакетов первой последовательности пакетов импульсов совпадений. Появившееся на четвертом выходе дешифратора 24 управляющее напряжение поступает на устано-

вочные входы нуля счетчиков 21-23, триггера 14 и счетный вход триггера 15. При этом происходит установка счетчиков 21-23 и триггера 14 в нулевое состояние и переворот триггера 15 в единичное состояние (фиг.3ж). По единичному состоянию триггера 15 на выход коммутатора 11 пропускаются импульсы эталонной частоты генератора 4.

С этого момента начинается второй цикл измерения, аналогичный первому и отличающийся от него тем, что на выход коммутатора 11 поступают импульсы эталонной частоты генератора 4, а на выходе элемента И 2 формируется вторая последовательность пакетов импульсов совпадений (фиг.3в).

К концу второго цикла измерений в регистр 27 дополнительно заносится значение временного интервала $\Delta t_1''$, границы которого образованы передним фронтом первого импульса первого пакета второй последовательности пакетов импульсов совпадений и передним фронтом, следующего непосредственно за ним, импульса измеряемой частоты (фиг.3). В регистр 26 дополнительно заносится значение временного интервала $\Delta t_2''$, границы которого образованы передним фронтом первого пакета второй последовательности пакетов импульсов совпадений и передним фронтом, следующего непосредственно за ним, импульса измеряемой частоты (фиг.3). В регистр 28 дополнительно заносится значение временного интервала $\Delta t_3''$, границы которого образованы передним фронтом первого импульса $(m+1)$ -го пакета второй последовательности пакетов импульсов совпадений и передним фронтом, следующего непосредственно за ним, импульса измеряемой частоты (фиг.3). В регистр 25 дополнительно заносится число импульсов эталонной частоты генератора 4, подсчитанного в интервале между первыми импульсами первого и $(m+1)$ -го пакетов второй последовательности пакетов импульсов совпадений. При появлении к концу второго цикла на четвертом выходе дешифратора 24 управляющего напряже-

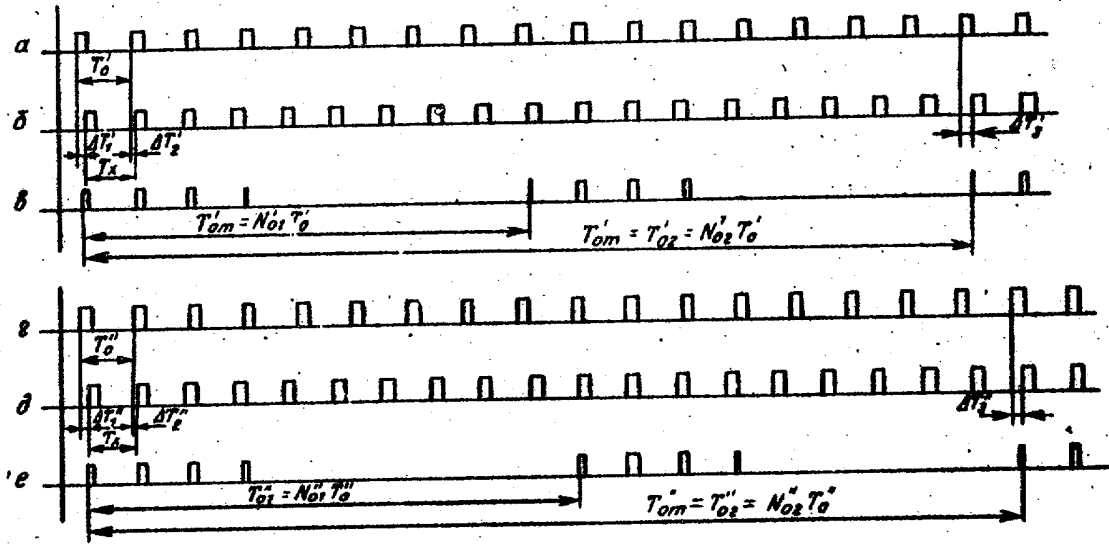
ния (фиг.3м) происходит переброс триггера 15 в нулевое состояние. По заднему фронту импульсов, сформированного на выходе триггера 15 (фиг.3ж) происходит запуск устройства 29 управления коммутатором, под действием управляющих сигналов которого коммутатор 12 осуществляет последовательное подключение своих информационных каналов к входу блока 30 вычислений. После занесения информации с регистров 25-28 сдвига в блок 30, последний осуществляет расчет неизвестной частоты f_x .

Описанная работа устройства измерения частоты периодически повторяется.

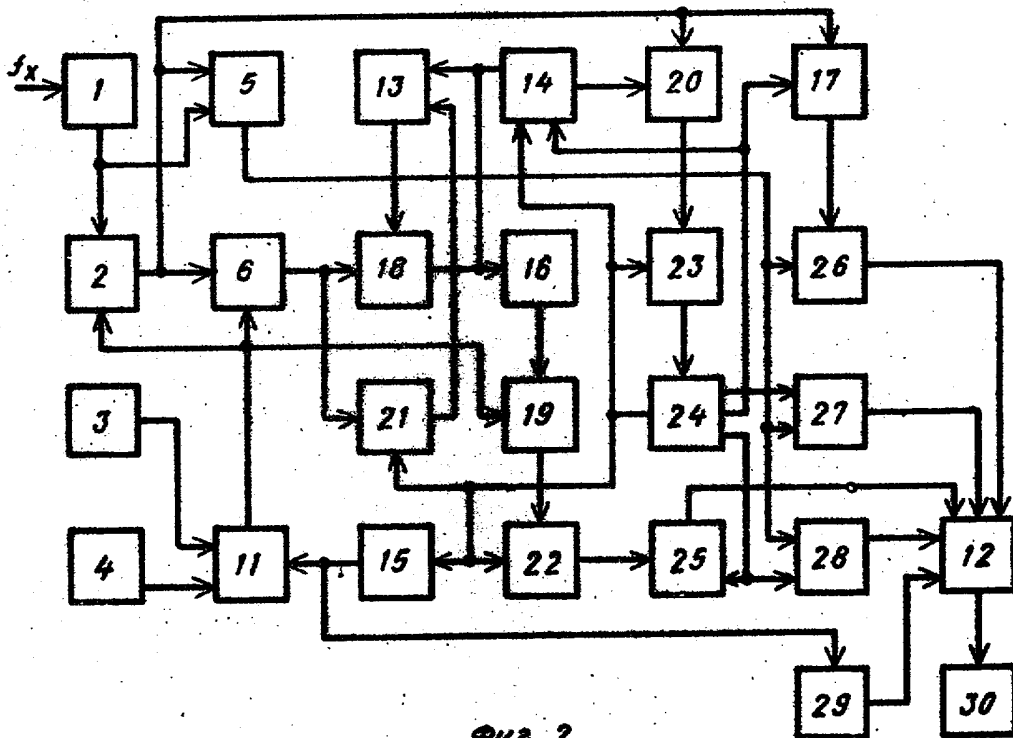
Функционирование блока 6 выделения первого импульса пакета осуществляется следующим образом. Счетчик 8 подсчитывает поступающие на его импульсный вход импульсы с генератора эталонной частоты между моментами прихода импульсов на управляющие входы счетчика 8, регистра 7 и импульсный вход ключа 10 с выхода элемента И 2, после чего эта информация заносится в регистр 7. В момент прихода импульса на управляющий вход счетчика 8, его состояние фиксируется. Блок 9 сравнения кодов сравнивает код счетчика 8 и код регистра 7, в котором хранится результат предыдущего показания счетчика. Если в этот момент времени код счетчика 8 больше кода регистра 7, то блок 9 открывает ключ 10 и пропускает импульс, поступающий в этот момент на его импульсный вход.

Вследствие того, что интервалы между импульсами совпадений, входящими в один пакет, равны периоду $T_0'(T_0'')$ эталонной частоты, а между пакетами больше или равны $2T_0'(2T_0'')$, через ключ 10 будут пропускаться только первые импульсы пакетов.

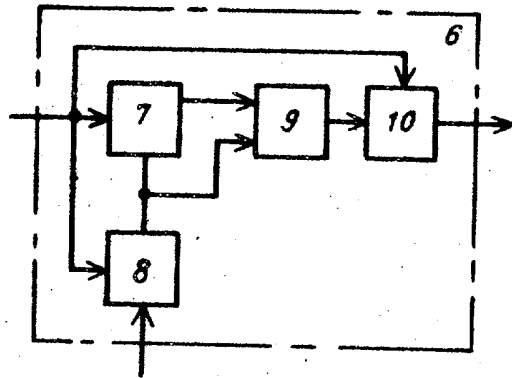
За счет того, что в предлагаемом способе обеспечивается возможность включения в расчетное соотношение более точных значений N_m' , N_m'' , характеризующих интервалы между границами отрезков совпадений, точность измерений предлагаемым способом повышается.



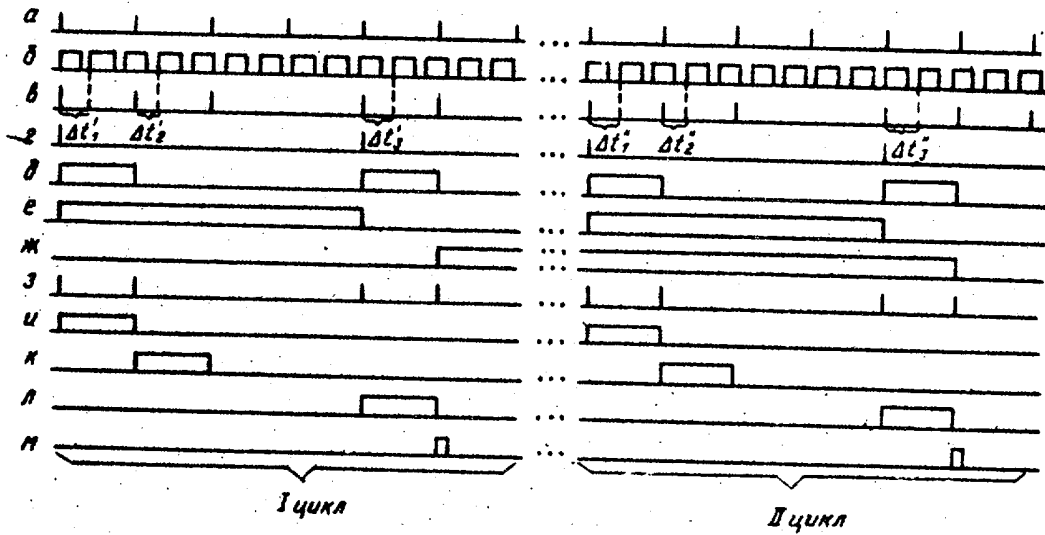
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Составитель В.Новоселов
 Редактор Н.Данкулич Техред И.Асталаш
 Корректор А.Обручар

Заказ 4305/39 Тираж 748 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