



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

КАВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4758663/21

(22) 24.11.89

(46) 30.01.92. Бюл. № 4

(71) Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений

(72) В.Е. Тетерятников

(53) 621.317.77 (088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР

№ 1348744, кл. G 01 R 25/00, 1986.

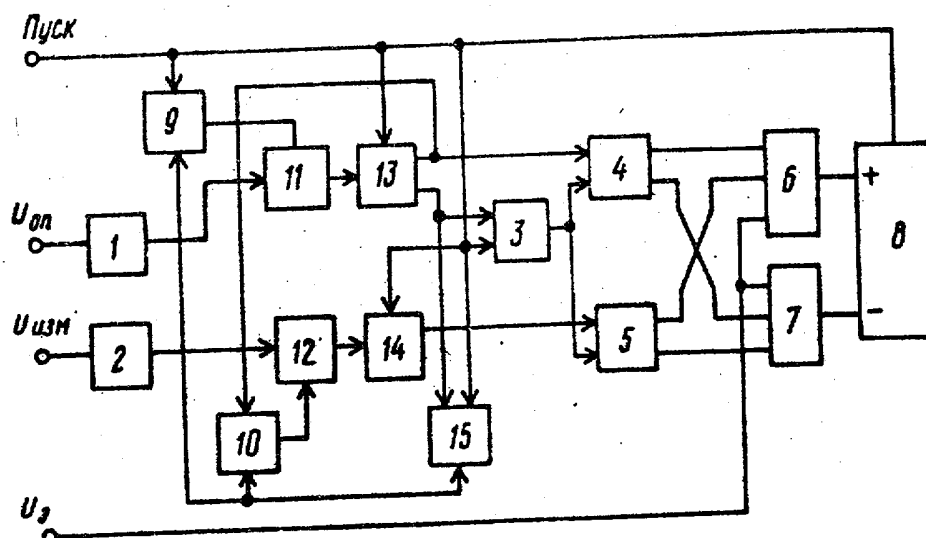
Авторское свидетельство СССР

№ 1112309, кл. G 01 R 25/00, 1983.

(54) ЦИФРОВОЙ ФАЗОМЕТР СРЕДНЕГО СДВИГА ФАЗ МЕЖДУ СИГНАЛАМИ С ИЗВЕСТНЫМ ЧАСТОТНЫМ СДВИГОМ

(57) Изобретение может быть использовано в радионавигационных системах для изме-

рения средней фазы между опорным и флуктуирующим измерительным сигналами с известным частотным сдвигом, в частности при измерениях угловых положений объекта. Цель изобретения – расширение области применения за счет обеспечения измерения среднего значения сдвига фаз между опорным и флуктуирующим измерительным сигналами с известным частотным сдвигом и расширения диапазона измеряемых фазовых сдвигов. Цифровой фазометр содержит формирователи 1 и 2, элемент ИЛИ 3, триггеры 4, 5, 9 и 10, элементы И 6, 7, 11 и 12, реверсивный счетчик 8, делители 14 и 13 частоты и счетчик 15 числа усреднений, 2 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в радионавигационных системах для измерения среднего значения фазы между опорным и флуктуирующим измерительным сигналами с известным частотным сдвигом, в частности при угловых измерениях положения движущегося объекта.

Различие частот между опорными и измерительными сигналами может быть обусловлено, например, наличием частотного доплеровского сдвига, величина которого в пределах мерного интервала известна и изменяется мало.

Известно устройство, позволяющее измерять оптимальный сдвиг фаз между опорным флуктуирующим измерительным сигналом с частотным сдвигом. В этом устройстве с помощью сложных арифметических узлов производится раздельная обработка опорного измерительного сигнала, а результаты измерений обрабатываются по сложному алгоритму вычислений.

Известен преобразователь фаза-код, содержащий два усилителя ограничителя, два переключателя, два формирователя импульсов, триггер преобразования разности фаз в интервал времени, семь элементов И, три элемента задержки, три элемента ИЛИ, три триггера, времязадающий блок и генератор импульсов.

В этом устройстве разность фаз выходных сигналов преобразуется в интервал времени, который квантуется по времени и формируется в код счетчиком импульсов, при этом число импульсов, поступающих на вход счетчика, пропорционально фазе

$$\varphi = \Delta\varphi + 360^\circ$$

Данное устройство обеспечивает измерение сдвига фаз между сигналами одной частоты при флуктуациях фазы в пределах $\pm 180^\circ$.

Однако это устройство не может работать с входными измерительными сигналами, имеющими сдвиг по частоте, так как в этом случае дополнительный сдвиг фазы между ними за мерный интервал времени может превысить несколько периодов опорного сигнала, что не предусмотрено в известном устройстве.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является устройство, содержащее первый и второй формирователи импульсов, первый и второй триггер, первый и второй элементы И, элемент ИЛИ и реверсивный счетчик импульсов, входы которого соединены с выходами элементов И, причем первые входы последних соединены соответственно с инверс-

ным и прямым выходами первого триггера, вторые входы элементов И соединены с клеммой калиброванного временного интервала, а третьи – с клеммой генератора счетных импульсов, при этом выход первого формирователя импульсов соединен с первым входом первого триггера, входы элемента ИЛИ соединены с выходом первого и второго формирователей импульсов, а его выход – с входом второго триггера, выход которого соединен с четвертыми входами обоих элементов И, при этом выход второго формирователя импульсов соединен с вторым входом первого триггера.

В данном устройстве за счет усреднения результатов измерений повышается точность измерения фазового сдвига при флуктуациях фазы вблизи нулевого фазового сдвига, но как и во втором аналоге, не обеспечивается измерение сдвига фаз при наличии частотного сдвига в измерительном сигнале.

Цель изобретения – расширение области применения за счет обеспечения измерения среднего значения сдвига фаз между сигналами с известным частотным сдвигом и расширение диапазона измеренных фазовых сдвигов.

Указанная цель достигается тем, что в цифровой фазометр, содержащий первый и второй формирователи импульсов входных сигналов, элемент ИЛИ, первый и второй триггеры, первый и второй элементы И и реверсивный счетчик импульсов, входы которого соединены с выходами элементов И, причем первые входы последних соединены соответственно с инверсным и прямым выходами первого триггера, второй вход первого элемента И соединен с прямым выходом второго триггера, а третьи входы элементов И соединены с клеммой генератора эталонного сигнала, введены третий и четвертый триггеры, третий и четвертый элементы И, два делителя частоты $(2\Pi+1)$ входных сигналов, где $\Pi = 1, 2, 3, \dots$ – число периодов сдвига между опорным и измерительными сигналами поделенной частоты, и счетчик числа усреднений, при этом выход первого формирователя импульсов соединен с первым входом третьего элемента И, выход которого соединен со счетным входом делителя частоты опорного сигнала, первый выход которого соединен с нулевым установленным входом первого триггера и с единичным установочным входом четвертого триггера, выход которого соединен с вторым входом четвертого элемента И, первый вход которого соединен с выходом второго формирователя импульсов, а его выход соединен со счетным входом делителя частоты

измерительного сигнала, выход которого соединен с нулевым установочным входом второго триггера, единичный установочный вход которого соединен с единичным установочным входом первого триггера и с выходом элемента ИЛИ, первый вход которого соединен с вторым выходом делителя частоты опорного сигнала и с входом счетчика числа усреднений, выход которого соединен с нулевыми установочными входами третьего и четвертого триггеров, а второй вход элемента ИЛИ соединен со сбросовыми входами делителя частоты опорного сигнала, реверсивного счетчика импульсов, счетчика числа усреднений, с единичными установочными входами всех разрядов делителя частоты измерительного сигнала и с клеммой сигнала "Пуск".

На фиг.1 представлена структурная схема устройства; на фиг.2 – временные диаграммы работы устройства.

Цифровой фазометр среднего сдвига фаз между сигналами с известным частотным сдвигом содержит первый и второй формирователи 1 и 2 импульсов, элемент ИЛИ 3, первый и второй триггеры 4 и 5, первый и второй элементы И 6 и 7, реверсивный счетчик 8 импульсов, входы которого соединены с выходами первого и второго элементов И 6 и 7, причем первые входы последних соединены соответственно с инверсным и прямым выходами первого триггера 4, второй вход первого элемента И 6 соединен с прямым выходом второго триггера 5, а третьи входы элементов И 6 и 7 соединены с клеммой генератора эталонного сигнала, третий и четвертый триггеры 9 и 10, третий и четвертый элементы И 11 и 12, делитель 13 частоты опорного сигнала, делитель 14 частоты измерительного сигнала и счетчик 15 числа усреднений, при этом выход первого формирователя 1 импульсов соединен с первым входом третьего элемента И 11, выход которого соединен со счетным входом делителя 13 частоты опорного сигнала, первый выход которого соединен с нулевым установочным входом первого триггера 4 и с единичным установочным входом четвертого триггера 10, выход которого соединен с вторым входом четвертого элемента И 12, первый вход которого соединен с выходом второго формирователя 2 импульсов, а его выход соединен со счетным входом делителя 14 частоты измерительного сигнала, выход которого соединен с нулевым установочным входом второго триггера 5, единичный установочный вход которого соединен с единичным установочным входом первого триггера 4 и с выходом элемен-

та ИЛИ 3, первый вход которого соединен с вторым выходом делителя 13 частоты опорного сигнала и с входом счетчика 15 числа усреднений, выход которого соединен с нулевыми установочными входами третьего и четвертого триггеров 9 и 10. Второй вход элемента ИЛИ 3 соединен со сбросовыми входами делителя 13 частоты опорного сигнала, реверсивного счетчика 8 импульсов, счетчика 15 числа усреднений, а также с единичным установочным входом третьего триггера 9 и с единичными установочными входами всех разрядов делителя 14 частоты измерительного сигнала и с клеммой сигнала "Пуск".

Устройство работает следующим образом.

Входной опорный сигнал с помощью первого формирователя 1 импульсов, третьего элемента И 11 и делителя 13 частоты опорного сигнала преобразуется в импульсную последовательность поделенной в $(2П+1)$ раза частоты, где $П$ – число периодов сдвига между опорным и измерительным сигналами поделенной частоты. Аналогично измерительный входной сигнал с помощью второго формирователя 2 импульсов, четвертого элемента И 12 и делителя 14 частоты преобразуется в импульсную последовательность также поделенной в $(2П+1)$ раза частоты, но со сдвигом на $П$ периодов входного опорного сигнала относительно импульсной последовательности опорного сигнала поделенной частоты.

В течение мерного интервала времени, кратного $(2П+1)$ периодом опорного сигнала, формируемого счетчиком 15 числа усреднений, производится формирование временных интервалов сдвига между импульсами опорного и измерительного сигналов поделенной в $(2П+1)$ раза частоты, вычитание из каждого сформированного временного интервала сдвига эталонного временного интервала, равного $П$ периодам входного опорного сигнала, и квантование полученных разностных временных интервалов сигналом эталонной частоты.

Процесс измерений среднего сдвига фаз начинается с приходом сигнала "Пуск" (фиг.2а), устанавливающего устройство в исходное состояние, при котором делитель 13 частоты, счетчик 15 числа усреднений и реверсивный счетчик 8 импульсов устанавливаются в нулевое состояние, а делитель 14 частоты измерительного сигнала и третий триггер 9 устанавливаются в единичное состояние. Кроме этого сигнал "Пуск", пройдя через элемент ИЛИ 3, устанавливает первый и второй триггеры 4 и 5 в единичное состояние, формируя на их выходах начало

соответственно вычитающего и измерительного временных интервалов (фиг. 2е, и, момент t_1).

После этого через открытый третий элемент И 11 на счетный вход делителя 13 частоты опорного сигнала поступают опорные импульсы с выхода первого формирователя 1 импульсов (фиг.2б) и после подсчета П импульсов на его первом выходе сформируется импульс (фиг.2г), который устанавливает первый триггер 4 в нулевое состояние, формируя на его выходе конец вычитающего временного интервала (фиг.2е, момент t_1), и в единичное состояние четвертый триггер 10, который открывает четвертый элемент И 12 прохождения через него измерительных импульсов (фиг.2ж), сформированных вторым формирователем 2 импульсов.

Первый измерительный импульс (фиг.2з) с выхода элемента И 12 после сквозного прохода через делитель 14 частоты измерительного сигнала устанавливает второй триггер 5 в нулевое состояние, формируя на его выходе конец измерительного временного интервала (фиг.2и, момент t_2).

После формирования вычитающего временного интервала с помощью первого и второго триггеров 4 и 5 и функционально связанных с ними первого и второго элементов И 6 и 7, формируется разностный временной интервал (фиг.2к,л), равный разности между измерительным и вычитающим временными интервалами, который квантуется по времени сигналом эталонной частоты, поступающим на третьи входы этих элементов И 6 и 7.

На первые два входа первого элемента И 6 поступают напряжения, сформированные на инверсном выходе первого триггера 4 и прямом выходе второго триггера 5 соответственно, а на первые два входа второго элемента И 7 поступают напряжения, сформированные на прямом выходе первого триггера 4 и инверсном выходе второго триггера 5.

При этом на выходах первого и второго элементов И 6 и 7 формируются пакеты импульсов эталонной частоты, пропорциональные величине разностных временных интервалов, причем на выходе первого элемента И 6 формируется пакет импульсов (фиг.2к) при положительном значении разностного временного интервала, т.е. когда измерительный импульс запаздывает относительно соответствующего ему опорного импульса, а на выходе второго элемента И 7 формируется пакет импульсов (фиг.2л) при опережении измерительного импульса.

Сформированные пакеты импульсов с выхода первого или второго элементов И 6 и 7 поступают соответственно на суммирующий или вычитающий входы реверсивного счетчика 8 импульсов, в котором производится накопление числа входных импульсов.

С приходом сигнала "Пуск" на выходе первого триггера 4 формируется вычитающий временной интервал, равный временному сдвигу между сигналом "Пуск" (фиг.2е, момент t_0) и первым опорным импульсом (момент t_1). Аналогично формируется измерительный временной интервал между сигналом "Пуск" и первым измерительным импульсом (фиг.2и, момент t_2).

Последующие формирования вычитающих и измерительных временных интервалов будут производиться через каждые $(2П+1)$ периодов опорного сигнала. При этом начало вычитающего временного интервала формируется в момент появления импульса на первом выходе делителя 13 частоты, а конец этого временного интервала формируется в момент появления импульса на втором выходе этого делителя частоты. Аналогично в момент появления импульса на первом выходе первого делителя 13 частоты формируется начало измерительного временного интервала, конец которого формируется в момент появления импульса на выходе второго делителя 14 частоты.

После подсчета m импульсов опорного сигнала поделенной в $(2П+1)$ раза частоты на выходе счетчика 15 числа усреднений сформируется импульс (фиг.2м), который установит третий и четвертый триггеры 9 и 10 в нулевое состояние и запретит прохождение выходных импульсов первого и второго формирователей 1 и 2 импульсов через третий и четвертый элементы И 11 и 12 на входы первого и второго делителей 13 и 14 частоты. На этом цикл измерений прекращается до следующего появления сигнала "Пуск", период следования которого должен превышать $m(2П+1)$ периодов опорного сигнала.

В результате, за мерный интервал времени в реверсивном счетчике 8 импульсов накопится число N , равное сумме двух слагаемых N_1 и N_2 , причем первое слагаемое N_1 пропорционально величине средней фазы, а второе слагаемое N_2 — величине дополнительного фазового сдвига, обусловленного наличием частотного сдвига между входными сигналами, который при постоянном частотном сдвиге имеет постоянное значение и может быть определен из выражения (1)

$$N_2 = \frac{T_i - T_o}{T_s} \cdot \frac{m(m-1)}{2} \cdot K =$$

$$= \left(f_s \frac{\Delta f}{f_o f_s} \right) \cdot \left(K \frac{m(m-1)}{2} \right), \quad (1)$$

где m — число усреднений; $K = (2\Pi + 1)$ — коэффициент деления частоты; T_i, f_i — период и частота измерительного сигнала; T_o, f_o — период и частота опорного сигнала; T_s, f_s — период и частота эталонного сигнала.

Средний фазовый сдвиг определяется из выражения (2)

$$\varphi = 2\pi \frac{f_o}{f_s} \cdot \frac{N - N_2}{m}, \quad (2)$$

где $2\pi \frac{f_o}{f_s}$ — дискрет отсчета, выраженный в радианах.

Предельно допустимый частотный сдвиг Δf зависит от числа усреднений m и интервала измерения и может быть определен из выражения (3)

$$\Delta f = \frac{\Pi}{K} \cdot \frac{f_o}{m} = \frac{\Pi}{2\Pi + 1} \cdot \frac{f_o}{K} \approx 0,4 \frac{f_o}{m}, \quad (3)$$

При этом интервал измерения должен превышать $m(2\Pi + 1)$ периодов опорного сигнала.

Устройство может быть реализовано на типовых микросхемах например на микросхемах например на микросхемах серии 133, 533: формирователи 1 и 2 импульсов на микросхеме 533ТЛ2; элемент ИЛИ 3 — на микросхеме 533ЛА3; триггеры 4, 5, 9 и 10 — на микросхеме 533ТМ2; элементы И 6, 7 и 11, 12 — на микросхеме 533ЛА3; реверсивный счетчик 8 — на микросхеме 133ИЕ7; делители 13 и 14 частоты — на микросхеме 133ИР1, используемый в режиме кольцевого сдвигового регистра; счетчик 15 числа усреднений — на микросхеме 133ИЕ7.

Измерение среднего сдвига фаз между сигналами с частотным сдвигом является одной из основных операций в фазометрических системах при определении углового положения движущегося объекта.

Предлагаемое устройство с помощью простых технических средств и операций позволяет производить измерение среднего сдвига фаз между сигналами с частотным сдвигом, обеспечивая при этом высокую точность и надежность измерений.

Инструментальная погрешность устройства, определяемая соотношением частот опорного и эталонного сигналов, при применении современных высокочастотных элементов (микросхем) может составить пренебрежительно малую величину по сравнению с флуктуационной погрешностью, которая в предлагаемом устройстве за счет усреднения измерений уменьшается в $\sqrt{m}$ раз. Кроме этого, за счет исключения совпа-

дения опорного и измерительного сигналов, устройство обеспечивает достоверность измерений при совпадении импульсов опорного и измерительного сигналов.

Предлагаемое устройство можно использовать для визуального контроля среднего сдвига фаз. Для этого необходимо из содержимого в реверсивном счетчике 8 вычесть известное расчетное число N_2 и результат разделить на число усреднений. В этом случае сигналом "Пуск" в реверсивный счетчик 8 вводится дополнительное число, равное $2^P - 1 - N_2$, где P — число разрядов реверсивного счетчика, а для обеспечения простого процесса деления число усреднений выбирается равным 2^M , где M — целое число и результат измерения снимается, начиная с $(M+1)$ -го разряда реверсивного счетчика.

Формула изобретения

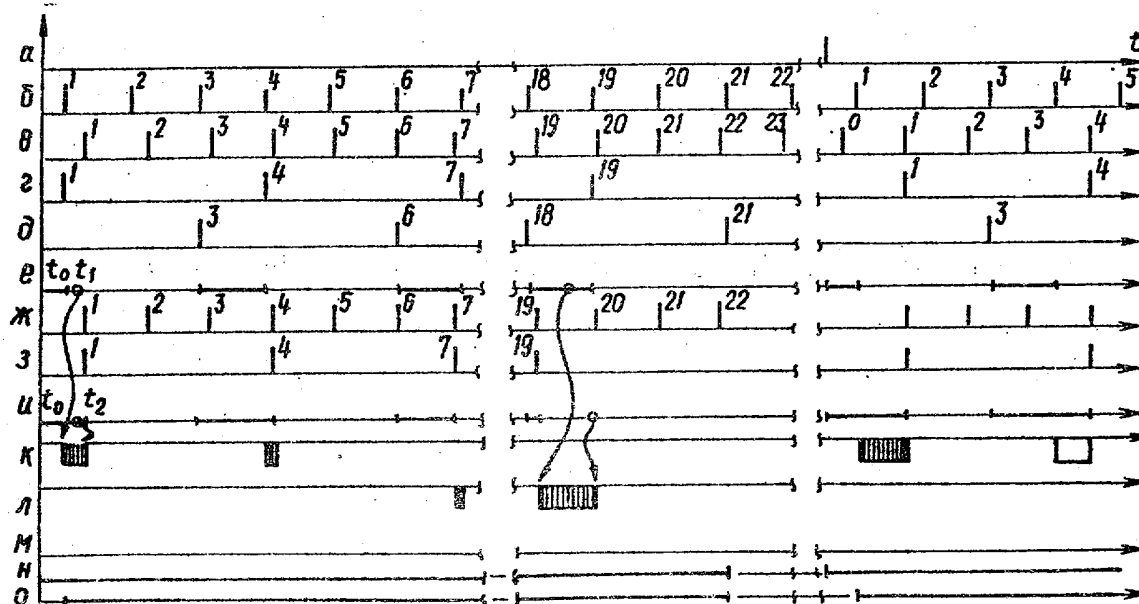
Цифровой фазометр среднего сдвига фаз между сигналами с известным частотным сдвигом, содержащий первый и второй формирователи импульсов, элемент ИЛИ, первый и второй триггеры, первый и второй элементы И и реверсивный счетчик импульсов, входы которого соединены соответственно с выходами элементов И, причем первые входы последних соединены соответственно с инверсным и прямыми выходами первого триггера, второй вход первого элемента И соединен с прямым выходом второго триггера, а третий вход первого элемента И и второй вход второго элемента И соединены с клеммой генератора эталонного сигнала, при этом входы первого и второго формирователей импульсов соединены с клеммами соответственно опорного и измерительного входных сигналов, отличающийся тем, что, с целью расширения области применения за счет обеспечения измерения среднего значения сдвига фаз между сигналами с известным частотным сдвигом и расширения диапазона измеряемых фазовых сдвигов, в него введены третий и четвертый триггеры, третий и четвертый элементы И, два делителя частоты $(2\Pi + 1)$, где $\Pi = 1, 2, 3, \dots$, — число периодов сдвига между опорным и измерительным сигналами поделенной частоты, и счетчик числа усреднений, при этом третий вход второго элемента И соединен с инверсным выходом второго триггера, выход первого формирователя импульсов соединен с первым входом третьего элемента И, выход которого соединен со счетным входом первого делителя частоты, первый выход которого соединен с нулевым установочным входом первого триггера и с единичным установочным входом четвертого триггера, выход ко-

торого соединен с первым входом четвертого элемента И, второй вход которого соединен с выходом второго формирователя импульсов, а его выход соединен со счетным входом второго делителя частоты, выход которого соединен с нулевым установочным входом второго триггера, единичный установочный вход которого соединен с единичным установочным входом первого триггера и с выходом элемента ИЛИ, первый вход которого соединен с вторым выходом первого делителя частоты и с входом счетчика числа

5

10

усреднений, выход которого соединен с нулевыми установочными входами третьего и четвертого триггеров, а второй вход элемента ИЛИ соединен с входами сброса первого делителя частоты сигнала, реверсивного счетчика импульсов, счетчика числа усреднений, с единичным установочным входом третьего триггера, с единичными установочными входами всех разрядов второго делителя частоты и с клеммой сигнала "Пуск", при этом второй вход третьего элемента И соединен с выходом третьего триггера.



Фиг. 2

Редактор Ю. Серета

Составитель В. Тетерятников

Техред М.Моргентал

Корректор Н. Ревская

Заказ 422

Тираж

Подписное

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

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