

Изобретение относится к измерительной технике и может найти применение в процессе промышленных испытаний электромеханических преобразователей энергии.

Известно устройство для измерения угловых скоростей с датчиком, выполненным в виде цилиндрического экрана со скошенной таким образом кромкой, что развертка кромки экрана на плоскость представляет собой прямую линию. Во внутренней полости экрана, на прямой, содержащей его диаметр, на равных расстояниях от краев, расположены два полупроводниковых фотоприемника типа солнечных фотоэлементов. Фотоприемники освещаются двумя лампами, с одинаковой и стабильной интенсивностью излучения, расположенными за Пределами экрана, на одной прямой с фотоприемниками. Цилиндрический экран соединяется с валом испытуемого электродвигателя, при равномерном вращении которого, значения световых потоков, попадающих на фотоприемники, изменяются по линейному закону. На выходах фотоприемников появляется треугольное напряжение, крутизна фронтов которого прямо пропорциональна угловой скорости вращения вала. Выходные напряжения каждого из фотоприемников далее дифференцируются с помощью аналоговых дифференцирующих звеньев и подаются на входы электронного ключа, который управляется логическим устройством таким образом, что на выход ключа поступает продифференцированное напряжение с выхода того фотоприемника, которое не содержит резких перепадов уровня вследствие смены знака первой производной выходного сигнала фотоприемника. Уровень напряжения на выходе ключа будет прямо пропорционален угловой скорости вращения. (Стенд с фотоэлектрическим аналоговым датчиком угловых перемещений. Испытательные приборы и стенды. Экспресс-информация. М.: ВИНТИ, 1981, №25).

Датчик, входящий в состав этого устройства, работает в комплексе с аналоговыми дифференцирующим звеньями, логическим устройством и электронным ключом, то есть он не обладает универсальностью. Применение же аналоговых дифференцирующих звеньев обуславливает высокую, по сравнению с цифровым дифференцированием, погрешность. При цифровом дифференцировании выходного сигнала датчика отпадает необходимость в двух фотоприемниках, а достаточно только одного. Но в этом случае, в те моменты времени, когда выходное напряжение находится около своего максимума или минимума, погрешность дифференцирования будет велика вследствие следующих причин. Около минимумов выходного сигнала, когда световой поток попадающий на фотоприемник мал, значительно проявляется искажение формы сигнала вызванное технологической неточностью выполнения кромки экрана. Кроме того, в максимумах или минимумах выходного напряжения, вследствие конечного быстродействия фотоприемников, происходит сглаживание вершин сигнала, что при дифференцировании приведет к значительному возрастанию погрешности.

Известно устройство, имеющее модулятор в виде цилиндра, внутри которого установлен неподвижный стакан с прямоугольным отверстием в боковой поверхности. Ширина этого отверстия равна ширине отверстий модулятора. Над модулятором, напротив отверстия в стакане, расположен линейный фотоприемник. Внутри стакана установлено зеркало, оптически связывающее источник света с фотоприемником. При вращении модулятора происходит изменение равномерного светового потока, попадающего на фотоприемник. На выходе фотоприемника получаются треугольные импульсы напряжения, крутизна фронтов которых прямо пропорциональна угловой скорости вращения. Путем дифференцирования выходного сигнала можно получить значение напряжения, модуль которого прямо пропорционален угловой скорости вращения (авт. св. СССР № 669291, кл. G01 P 3/46, 1979, №23).

Этому устройству присущи следующие недостатки. Площадь отверстия, через которое световой поток попадает на фотоприемник, нелинейно зависит от угла поворота модулятора. Это приводит к тому, что производная выходного сигнала нелинейно зависит от угловой скорости, что обуславливает возникновению систематической погрешности измерения. Возле максимумов или минимумов треугольного напряжения, из-за ограниченного быстродействия фотоприемников происходит сглаживание вершин, что также приводит к возникновению погрешности в эти моменты времени. Кроме того, около минимумов выходного напряжения будет существенно проявляться погрешность измерения, обусловленная технологической неточностью выполнения элементов модулятора.

Наиболее близким по технической сущности является устройство для измерения угловой скорости, содержащее источник света, фотоприемник, модулятор светового потока связанный с вращающимся валом, и имеющий чередующиеся прозрачные и непрозрачные элементы равной угловой ширины, диафрагму, установленную перед фотоприемником, отверстие которой имеет форму трапеции, дифференцирующее устройство, электрически соединенное с выходом фотоприемника. При вращении модулятора происходит изменение светового потока, падающего через элементы модулятора и диафрагму на фотоприемник. На выходе фотоприемника получают треугольные импульсы напряжения, крутизна фронтов которых прямо пропорциональна угловой скорости вращения. На выходе дифференцирующего устройства получают напряжение, уровень которого прямо пропорционален угловой скорости вращения (авт. св. СССР № 62226, кл. G 01 P 15/00, 1940).

Недостатки этого устройства следующие. Около минимумов выходного напряжения значительно проявляется погрешность, обусловленная технологической неточностью выполнения элементов модулятора и диафрагмы. Около максимумов и минимумов происходит сглаживание вершин сигнала вследствие конечного быстродействия фотоприемников, что приводит к возникновению значительной погрешности измерения в эти моменты времени. При трапецевидной форме отверстий модулятора, площадь отверстия, через которое свет попадает на фотоприемник, нелинейно зависит от угла поворота вала, что приведет к нелинейной зависимости производной выходного сигнала фотоприемника от угловой скорости, что в свою очередь приведет к возникновению систематической погрешности измерения.

В основу изобретения поставлена задача создания датчика угловой скорости, в котором путем введения второго линейного фотоприемника, изменения формы отверстий диафрагмы, введения четырех компараторов напряжения, одного четырехходового элемента ИЛИ, одного четырехходового элемента ИЛИ-НЕ, одного трехходового элемента ИЛИ-НЕ, двухчетырёхходовых элементов ИЛИ-НЕ,

имеющих один инверсный вход, двух двухходовых элементов И-НЕ, одного элемента НЕ, одного счетного триггера, одного аналогового коммутатора, двух источников опорного напряжения, одного формирователя сигнала "Сброс", схемы запуска объекта обеспечивается увеличение точности первичного преобразования угловой скорости в крутизну фронтов выходного сигнала датчика, и за счет этого увеличивается точность измерения угловой скорости вращения.

Поставленная задача решается тем, что в датчике угловой скорости содержащем источник света, модулятор светового потока в виде диска в котором выполнены прозрачные и непрозрачные элементы равной угловой ширины, линейный фотоприемник, диафрагму, установленную перед фотоприемником согласно изобретению в него введен второй фотоприемник, сдвинутый относительно первого по отношению к центру модулятора на угол, который в полтора раза больше угловой ширины прозрачных и непрозрачных элементов модулятора, отверстия диафрагмы имеют форму, ограниченную радиусами модулятора и концентрическими окружностями, центр которых совпадает с центром модулятора и имеющие ту же угловую ширину, что и элементы модулятора, а также введены четыре компаратора напряжения, один четырехходовый элемент ИЛИ, один четырехходовый элемент ИЛИ-НЕ, один трехходовый элемент ИЛИ-НЕ, два четырехходовых элемента ИЛИ-НЕ, имеющих один инверсный вход, два двухходовых элемента И-НЕ, один элемент НЕ, один счетный триггер, один аналоговый коммутатор, два источника опорного напряжения, один формирователь сигнала "Сброс", схема запуска объекта, которые соединены следующим образом. Выход первого источника опорного напряжения присоединен к инвертирующим входам первого и второго компараторов напряжения. Выход второго источника опорного напряжения присоединен к прямым входам третьего и четвертого компараторов напряжения. Выход первого линейного фотоприемника присоединен к прямому входу первого компаратора и инверсному входу четвертого компаратора и ко второму входу аналогового коммутатора, выход второго линейного фотоприемника присоединен к прямому входу второго компаратора и инверсному входу третьего компаратора и первому входу аналогового коммутатора. Выходы четырех компараторов присоединены ко входам четырехходового логического элемента ИЛИ, входам четырехходового логического элемента ИЛИ-НЕ, входам первого и второго четырехходовых элементов ИЛИ-НЕ с одним инверсным входом, причем к инверсным входам присоединены выходы второго и третьего компараторов. Выход элемента ИЛИ присоединен к тактовому входу счетного триггера, прямой выход которого присоединен к управляющему входу аналогового коммутатора. Выходы четырехходового элемента ИЛИ-НЕ, первого и второго четырехходовых элементов ИЛИ-НЕ, имеющих один инверсный вход, присоединены ко входам трехходового элемента ИЛИ-НЕ, выход которого присоединен ко входу элемента НЕ и ко входу первого двухходового элемента И-НЕ. Выход элемента НЕ присоединен ко входу второго двухходового элемента И-НЕ. К свободным входам первого и второго двухходовых элементов И-НЕ присоединен выход формирователя сигнала "Сброс", который присоединен также ко входу схемы запуска объекта, выход которой соединен с цепями коммутации питания объекта измерения. Выход первого элемента И-НЕ присоединен ко входу сброса счетного триггера, выход второго элемента И-НЕ присоединен к установочному входу счетного триггера.

Путем коммутации выходных сигналов фотоприемников к выходу датчика подключается выходной сигнал того фотоприемника, который не находится вблизи своего максимума или минимума, так как возле максимумов и минимумов выходных сигналов фотоприемников погрешность измерения возрастает вследствие ограниченного быстродействия фотоприемников и технологической неточности выполнения элементов модулятора и диафрагмы. Такое схемно-конструктивное решение позволяет исключить влияние вышеуказанных факторов на точность измерения.

На фиг.1 схематично изображен датчик угловой скорости; на фиг.2 - разрез А-А на фиг.1; на фиг.3 - функциональная схема датчика угловой скорости; на фиг.4 - чертежи и временная диаграмма, поясняющая возникновение погрешностей измерения, которые устраняются в изобретении; на фиг.5 - временные диаграммы напряжений в точках, указанных на фиг.4, поясняющие работу датчика.

Датчик угловой скорости содержит вал 1 (фиг.1), на который насажен модулятор 2 (фиг.1, 2) в виде диска с чередующимися прозрачными и непрозрачными элементами равной угловой ширины. За модулятором 2 (фиг.1) со стороны вала 1 располагается диафрагма 3, за которой установлены два фотодиода 4, которые входят в состав линейных фотоприемников. Элементы линейных фотоприемников и остальные электронные элементы датчика установлены на плате 5. Источник света 6 с конденсорной линзой установлен перед модулятором 2.

Диафрагма 3 имеет вид пластины (фиг.2) с двумя отверстиями 7, сдвинутыми между собой на угол, равный полтора угла α элементов модулятора 2, относительно его центра, конфигурация которых определяется радиусами модулятора 2 и концентрическими окружностями, с радиусами R_1 и R_2 , центр которых совпадает с центром модулятора. Угловая ширина отверстий диафрагмы равна угловой ширине элементов модулятора. Модулятор 2 (фиг.1) перпендикулярно соединен с валом 1 таким образом, что ось вращения вала 1 проходит через его центр. Диафрагма 3 закреплена перед фотодиодами 4 параллельно модулятору 2. Выход 8 первого линейного фотоприемника 9 (фиг.3) присоединен к прямому входу 10 первого компаратора 11 и к инверсному входу 12 четвертого компаратора 13. Выход 14 второго линейного фотоприемника 15 присоединен к прямому входу 16 второго компаратора 17 и к инверсному входу 18 третьего компаратора 19. Выход 20 первого источника опорного напряжения 21 присоединен к инверсному входу 22 первого компаратора 11 и к инверсному входу 23 второго компаратора 17. Выход 24 второго источника опорного напряжения 25 присоединен к прямому входу 26 третьего компаратора 19 и прямому входу 27 четвертого компаратора 13. Выход 28 первого компаратора 11 присоединен ко входу 29 четырехходового логического элемента ИЛИ 30. Выход 31 второго компаратора 17 присоединен ко входу 32 четырехходового логического элемента ИЛИ 30. Выход 33 третьего компаратора 19 присоединен ко входу 34 четырехходового логического элемента ИЛИ 30. Выход 35 четвертого компаратора 13 присоединен ко входу 36 четырехходового логического элемента ИЛИ 30. Выход 37 четырехходового элемента ИЛИ 30 присоединен ко входу 38 счетного триггера 39, прямой выход 40 которого присоединен к управляющему входу

41 аналогового коммутатора 42. Выход 8 первого линейного фотоприемника 9 присоединен ко второму входу 43 аналогового коммутатора 42. Выход 14 второго линейного фотоприемника 15 присоединен к первому входу 44 аналогового коммутатора 42. Выход 45 аналогового коммутатора 42 является выходом датчика. Выходы 28, 31, 33, 35 соответственно первого, второго, третьего и четвертого компараторов 11, 17, 19, 13 присоединены соответственно ко входам 46, 47, 48, 49 четырехвходового логического элемента ПЛИНЕ 50, входам 51, 52, 53, 54 первого четырехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 55 с одним инверсным входом, вход 52 которого является инверсным, входам 56, 57, 58, 59 второго четырехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 60 с одним инверсным входом, вход 58 которого является инверсным. Выход 61 четырехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 50, выход 62 первого четырехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 55 с одним инверсным входом, выход 63 второго четырехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 60 с одним инверсным входом присоединены соответственно ко входам 64, 65, 66 трехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 67. Выход 68 трехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ 67 присоединен ко входу 69 логического элемента НЕ 70 и ко входу 71 первого двухвходового логического элемента И-НЕ 72. Выход 73 логического элемента НЕ 70 присоединен ко входу 74 второго двухвходового логического элемента И-НЕ 75. Выход 76 второго двухвходового логического элемента И-НЕ 75 присоединен к инверсному входу 77 счетного триггера 39, который является установочным входом счетного триггера 39. Выход 78 первого двухвходового логического элемента И-НЕ 72 присоединен к инверсному входу 79 счетного триггера 39, который является входом сброса. Выход 80 формирователя сигнала "Сброс" 81 присоединен ко входу 82 первого двухвходового логического элемента И-НЕ 72, входу 83 второго двухвходового логического элемента И-НЕ 75, входу 84 схемы запуска объекта 85 выход 86 которой присоединен к цепям коммутации питания объекта измерения.

Работает датчик следующим образом. Фотодиоды 4 (фиг.1), входящие в состав линейных фотоприемников, расположены за диафрагмой 3 так, что через отверстия диафрагмы 7 (фиг.2) свет попадает на фоточувствительный слой фотодиодов 4 (фиг.1) имеющий форму отверстий 7 (фиг.2) диафрагмы 3. При вращении вала 1, вращается и модулятор 2. В результате чего прозрачные и непрозрачные элементы модулятора 2 перекрывают отверстия диафрагмы 3. При вышеуказанной форме отверстий диафрагмы 3, площадь заштрихованного на фиг.2 отверстия, через которое свет при вращении попадает на фоточувствительный слой фотодиодов 4, линейно зависит от угла поворота вала 1 и определяется выражением

$$S = \frac{\psi}{2} \cdot (R_1^2 - R_2^2), \quad (1)$$

где S - площадь отверстия, через которое свет попадает на фоточувствительный слой фотодиодов 4; ψ - угол между гранью прозрачного элемента модулятора 2 и гранью отверстия диафрагмы 3 (в радианах); R_1 - больший радиус окружности, ограничивающей отверстие диафрагмы 3; R_2 - меньший радиус окружности, ограничивающей отверстие диафрагмы 3.

Выходное напряжение линейного фотоприемника прямо пропорционально световому потоку, который прямо пропорционален площади отверстия, через которое свет попадает на фоточувствительный слой фотодиода (Микроэлектронные фотоприемные устройства (М.Д. Аксененко, М.Л. Баранчиков, О.В. Смолин. - М.: Энергоатомиздат, 1984. С.208) определяется выражением

$$U_{\phi} = k \cdot \frac{\psi}{2} \cdot (R_1^2 - R_2^2), \quad (2)$$

где U_{ϕ} - выходное напряжение линейного фотоприемника;

k - коэффициент пропорциональности.

Из выражения (2) легко получить выражение для угловой скорости вращения

$$\omega = \frac{d\psi}{dt} = \frac{2}{k \cdot (R_1^2 - R_2^2)} \cdot \frac{dU_{\phi}}{dt}. \quad (3)$$

Таким образом, по крутизне фронтов выходного напряжения линейного фотоприемника 9 или 15 можно судить о мгновенной угловой скорости вращения вала 1.

При использовании одного фотоприемника возникают погрешности, обусловленные следующим. При малых площадях отверстия, через которое свет попадает на фоточувствительный слой фотодиодов (фиг.4, а), погрешность изготовления отверстий диафрагмы 3 и элементов модулятора 2 обуславливает возникновение дополнительной площади отверстия, через которое свет попадает на фоточувствительный слой фотодиодов, которая соизмерима с полезной площадью, что значительно сказывается на точности преобразования угловой скорости в информативный параметр сигнала. При больших площадях отверстий, через которое свет попадает на фоточувствительный слой фотодиодов, вышеописанное явление проявляется значительно меньше (фиг.4 б), т.е.

$$\frac{\Delta S}{S_1} > \frac{\Delta S}{S_2}. \quad (4)$$

Погрешность, обусловленная этим фактором сильно проявляется около минимумов треугольных импульсов напряжения на выходе фотоприемника.

Кроме того, в максимумах и минимумах треугольных импульсов напряжения происходит сглаживание вершин импульсов вследствие конечного быстродействия фотоприемников и их высокой инерционности при выходе из затенения. На фиг.4 с показан минимум треугольного напряжения фотоприемника. Сплошной линией изображен реальный случай, пунктирной - идеальный. Возникающая при этом относительная погрешность, возникающая при цифровом дифференцировании выходного сигнала определяется выражением

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta U_1}{\Delta t} - \frac{\Delta U_2}{\Delta t}}{\frac{\Delta U_1}{\Delta t}} = 1 - \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} . \quad (5)$$

Таким образом, для исключения проявления двух вышеуказанных погрешностей, необходимо снимать измерительную информацию с выхода того фотоприемника, выходной сигнал которого не находится возле своего максимума или минимума.

Отверстия диафрагмы 3 (фиг.2) сдвинуты друг относительно друга на полтора угла а прозрачных и непрозрачных элементов модулятора 2. При вращении вала 1 датчика на выходе каждого из линейных фотоприемников 9 или 15 появляются импульсы напряжения $U_{\phi 1}$ и $U_{\phi 2}$ соответственно, по форме близкие к треугольной (фиг.5 а, б). Так как отверстия диафрагмы 3 сдвинуты друг относительно друга на такой угол, выходные сигналы каждого из фотоприемников 9 и 15 сдвинуты во времени один относительно другого так, что когда выходной сигнал одного находится в максимуме или минимуме, другой фотоприемник освещен наполовину и наоборот.

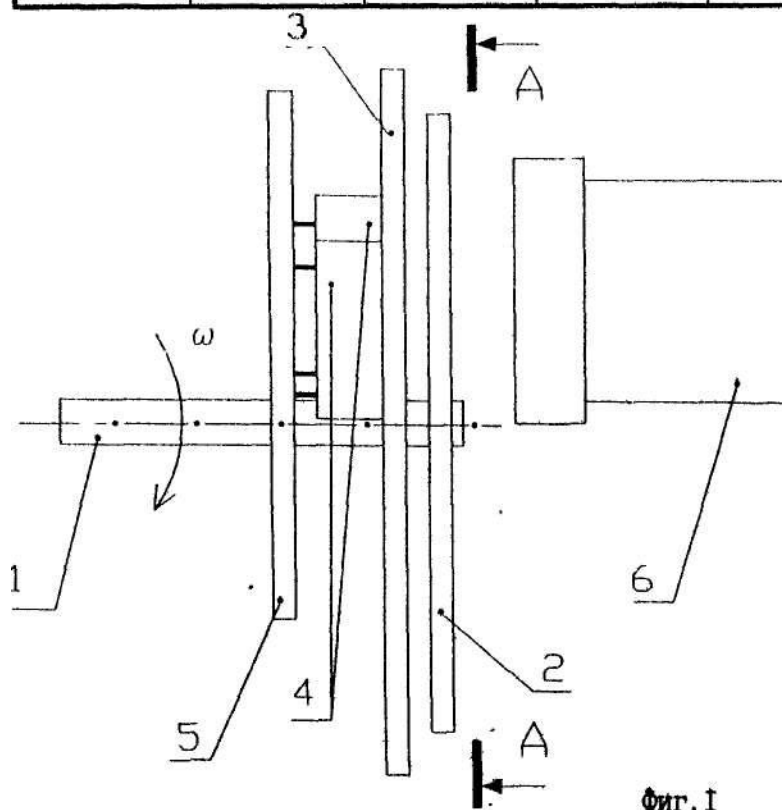
Перед началом измерения, модулятор 2 располагается относительно диафрагмы 3 случайно. Как видно из фиг.5, при соответствующем подборе значений напряжений источников опорного напряжения 21 и 25 соответственно U_{n1} и U_{n2} , определяющих околominiмумную или околوماксимумную область выходных сигналов фотоприемников 9 и 15, возможны следующие два состояния их выходных сигналов перед началом измерений: ни один из выходных сигналов фотоприемников 9 или 15 не находится на уровне соответствующем нахождению выходного сигнала около своего максимума или минимума; один из выходных сигналов фотоприемников 9 или 15 находится на уровне соответствующем нахождению выходного сигнала около своего максимума или минимума. В таблице приведены все возможные значения выходных напряжений всех компараторов (В - высокий уровень, Н - низкий уровень) перед началом измерений. Высокий уровень, как видно из фиг.5 свидетельствует о нахождении выходного сигнала соответствующего фотоприемника в своей околominiмумной или околوماксимумной области. В двух нижних строках таблицы знаком "+" отмечен тот фотоприемник, выходной сигнал которого при приведенном состоянии*не находится в своей околominiмумной или околوماксимумной области.

После включения источника освещения с конденсорной линзой 6, формирователем сигнала "Сброс" 81 (фиг.3) формируется сигнал "Сброс", который представляет собой импульс напряжения уровня логической единицы, который подается на входы 82 и 83 элементов И-НЕ 72 и И-НЕ 75 (фиг.3). По заднему фронту сигнала "Сброс" срабатывает схема запуска объекта 85. Перед началом измерения необходимо на выход датчика подать сигнал с выхода того фотоприемника 9 или 15, выходной сигнал которого не находится в своей околوماксимумной или околominiмумной области. Для этой предустановки служат элементы (фиг.3) ИЛИ-НЕ 50, ИЛИ-НЕ 55, ИЛИ-НЕ 60, ПЛИНЕ 67, НЕ 70, И-НЕ 75, И-НЕ 72, формирователь сигнала "Сброс". Когда компараторы находятся в состояниях 1, 3 либо 5 (см. таблицу), на выходе 68 элемента ИЛИ-НЕ 67 появляется уровень логического нуля. При этом, во время действия сигнала "Сброс", на выходе 76 двухвходового элемента И-НЕ 75 появится уровень логического нуля, а на выходе 78 двухвходового элемента И-НЕ 72 -уровень логической единицы. Счетный триггер 39 установится в единицу и к выходу датчика будет подключен выходной сигнал

фотоприемника 9, выходной сигнал которого не находится около своего минимума или максимума. При любых других состояниях на выходах компараторов к выходу датчика будет подключен сигнал с выхода фотоприемника 15, выходной сигнал которого не будет находится около своего минимума или максимума. По заднему фронту сигнала "Сброс" срабатывает схема запуска объекта 85 и запускается объект, угловую скорость которого необходимо измерить. При отсутствии сигнала "Сброс" напряжение на входах 77 и 79 триггера 39 всегда будет уровня логической единицы и не будет влиять на состояние счетного триггера 39, При вращении вала 1, появляющиеся на выходе фотоприемников треугольные импульсы напряжения сравниваются с напряжениями источников опорного напряжения 21 и 25 соответственно U_{n1} и U_{n2} . При совпадении, на выходе одного из компараторов появляется импульс положительной полярности (фиг.5 с, d, e, t). Его длительность равна длительности нахождения уровня выходного напряжения линейного фотоприемника выше уровня U_{n1} либо ниже уровня U_{n2} . Выходные импульсы каждого из компараторов подаются на входы 29, 32, 34, 36 элемента ИЛИ 30, с выхода которого эти импульсы (фиг.5 д) подаются на тактовый вход 38 счетного триггера 39, который изменяет свое состояние по переднему фронту этих импульсов. Значения уровней напряжений U_{n1} и U_{n2} надо выбирать исходя из того, чтобы не происходило "наложение" выходных импульсов разных компараторов друг на друга. Счетный триггер 39, изменяя свое состояние, последовательно подключает выходные сигналы двух линейных фотоприемников 9 и 15 к выходу датчика с помощью аналогового коммутатора 42, то есть на выход датчика поступает выходной сигнал того фотоприемника, выходной сигнал которого не находится возле своего минимума или максимума. На выходе датчика формируется сигнал сложной формы (фиг.5h, показан жирной линией), крутизна фронтов которого прямо пропорциональна угловой скорости вращения. Путем последующего дифференцирования выходного сигнала датчика определяется значение измеряемой угловой скорости.

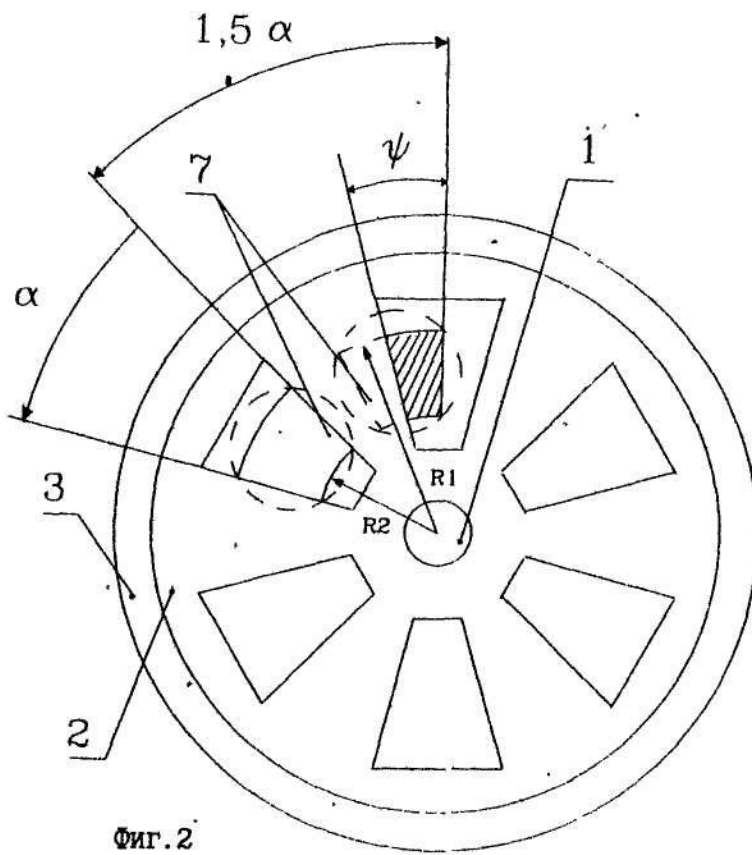
Таблица возможных значений выходных напряжений компараторов

Компаратор	Напряжение на фиг. 3	Номер состояния				
		1	2	3	4	5
11	U_{k1}	H	B	H	H	H
17	U_{k2}	H	H	H	H	B
19	U_{k3}	H	H	B	H	H
13	U_{k4}	H	H	H	B	H
Фотоприемник	9	+	-	+	-	+
	15	+	+	-	+	-

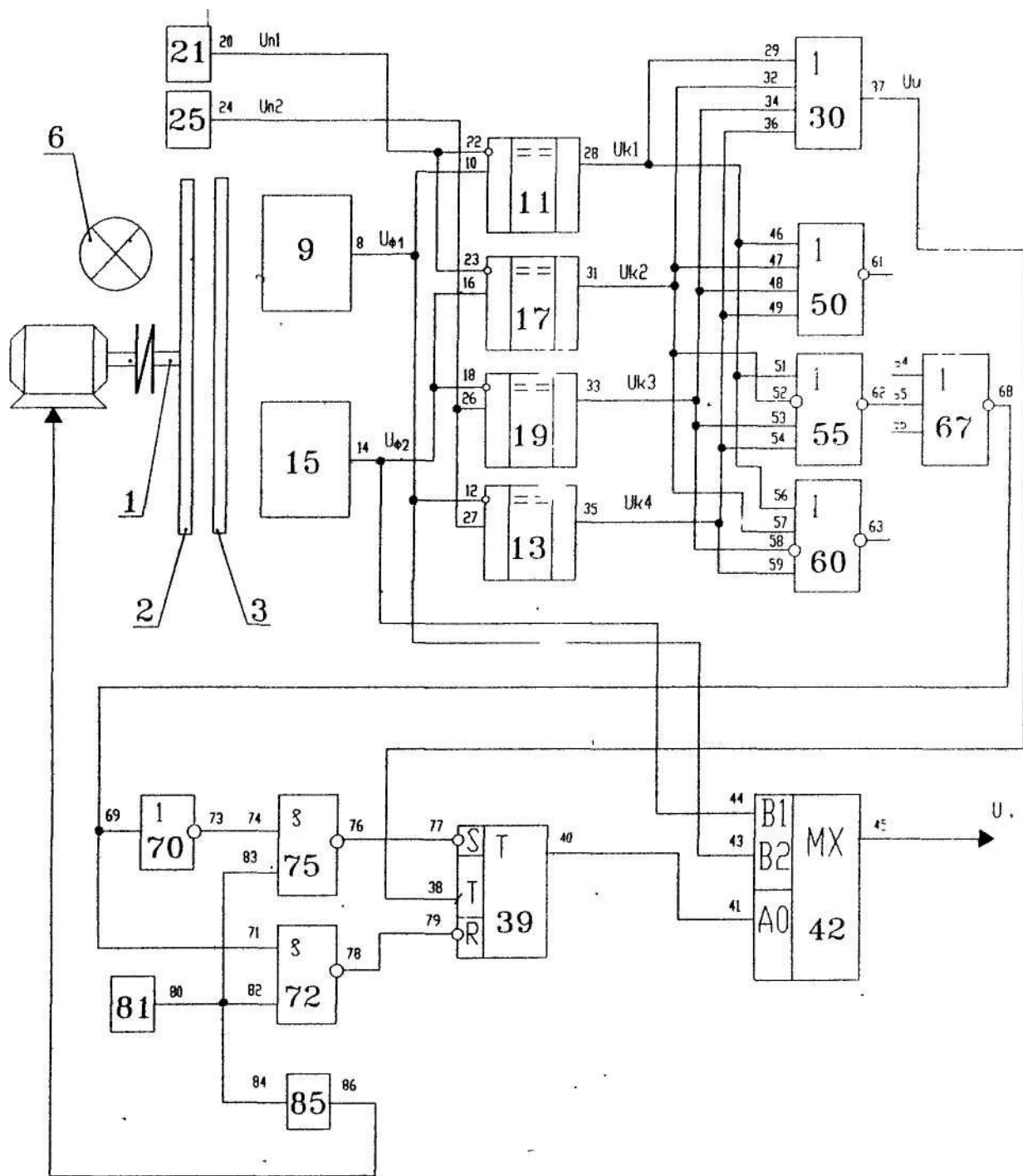


Фиг. 1

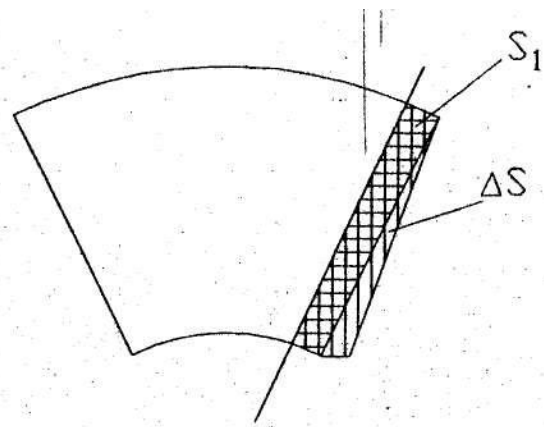
A-A



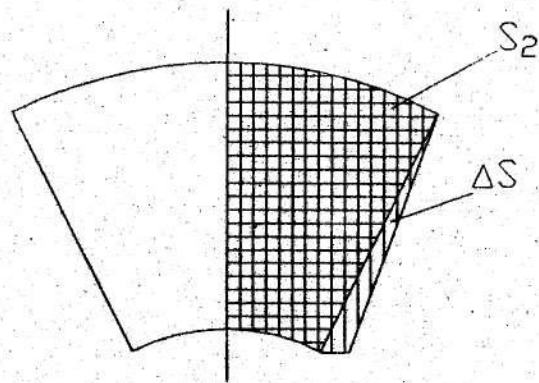
Фиг. 2



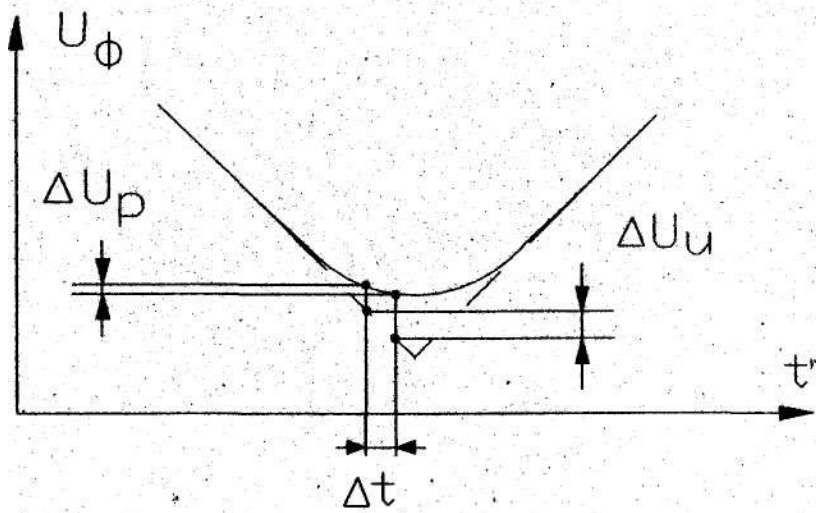
Фиг. 3



a)

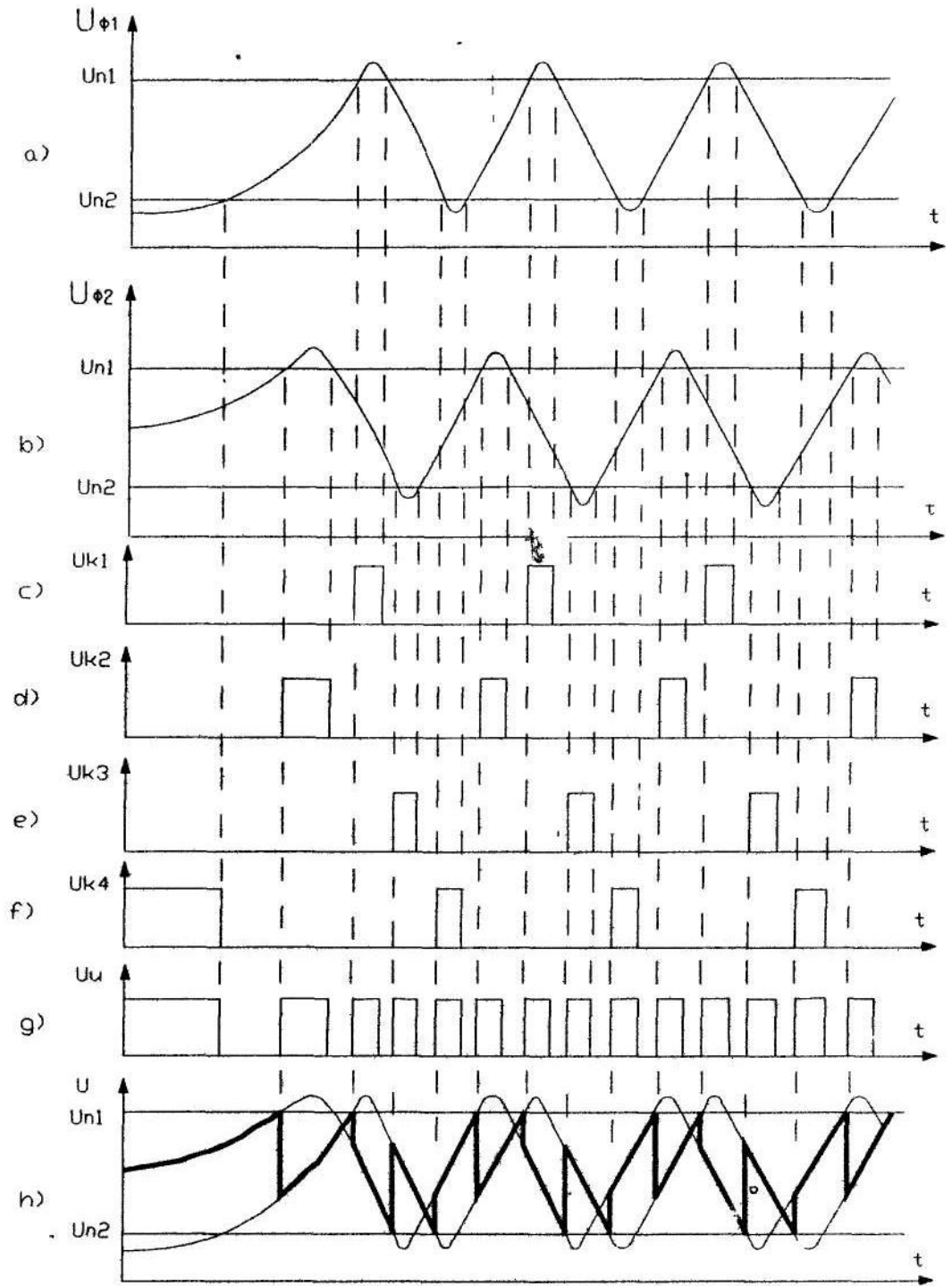


b)



c)

Фиг.4



Фиг. 5-