

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в астрономических и оптических исследованиях поляризованного излучения от протяженных объектов.

Известны способы измерения поляризованного излучения от протяженных объектов, основанные на получении трех или четырех отдельных кадров при различных углах анализатора (0, 60, 120 или 0, 45, 90, 135°). При этом из сумм или разностей кадров можно получить параметры Стокса [1].

Известен способ измерения поляризованного излучения от протяженных объектов, включающий фокусировку, переключение анализатора на заданные позиционные углы с одновременной коммутацией изображения перед фотоприемником на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) с помощью затвора, при этом затвор открыт только при заданном позиционном угле анализатора, с синхронным сдвигом изображения, полученного фотоприемником на заданное число строк, так что при циклическом повторении заданных позиционных углов соответствующие им изображения накапливаются фотоприемником и затем преобразуются в электрический сигнал с последующей обработкой его в электронно-вычислительной машине с целью вычисления степени и направления поляризации для элементов изображения [1].

Соответствующее устройство [1] содержит оптико-механический блок, состоящий из расположенных по ходу луча поворотного блока анализатора, включающего поляризатор и четвертьволновую фазовую пластинку, и затвор, установленный перед фотоприемником на основе ПЗС, причем блок анализатора сопряжен с шаговым двигателем, контроллер управления и вычисления параметров поляризации, а также блок отображения информации в виде видеоконтрольного устройства (ВКУ), при этом выход фотоприемника, шаговый двигатель и затвор через буферные усилители подключены к контроллеру.

Приведенный способ и устройство не обеспечивают достаточного быстродействия в проведении измерений, так как анализ изображения происходит в нескольких (от 2 до 8) выбранных позиционных углах анализатора, что достигается переключением его с помощью шарового двигателя. Последний при этом работает в "старт-стопном" режиме, что ограничивает скорость прохождения заданных позиционных углов вследствие необходимости преодолевать моменты инерции собственного двигателя и его нагрузки, в данном случае - блока анализатора. Кроме того, в данном способе на время переключения с одного позиционного угла к другому необходимо закрывать фотоприемник от исследуемого излучения с помощью затвора, что также приводит к непроизводительным потерям времени и усложняет устройство. Дополнительным недостатком способа и устройства является сложная обработка полученных данных с целью извлечения поляризметрических параметров конкретного объекта кадра, так как в результате экспозиции изображения, полученные в разных позиционных углах анализатора, наложен в кадре друг на друга с заданным сдвигом и при обработке необходимо уметь их разделять, что практически невозможно для достаточно протяженных объектов (в отличие от объектов, размер которых много меньше расстояния сдвига), кроме того, возможно наложение интересных фрагментов изображения друг на друга, что также усложняет их последующее разделение.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является способ измерения параметров поляризации излучения, включающий выделение объекта в поле зрения путем диафрагмирования, фокусировку, гармоническую модуляцию его поляризованной компоненты, преобразование модуляции поляризованной компоненты в модуляцию по интенсивности, преобразование интенсивности излучения в электрический сигнал с помощью фотоприемника с последующим синхронным детектированием гармонических составляющих электрического сигнала путем суммирования на интервале, кратном целому числу периодов модуляции отсчетов, получаемых при накоплении сигнала за следующие друг за другом интервалы, равные полупериодам гармонических составляющих, взятых с текущим знаком [2].

Известно соответствующее устройство для измерения параметров поляризации излучения, содержащее оптико-механический модулятор, состоящий из расположенных по ходу луча параллельно друг другу объектива, фазовой пластинки, установленной с возможностью непрерывного вращения, и неподвижного поляризатора, блок управления, включающий постоянное запоминающее устройство, к каждому из двух выходов которого последовательно подключены цифроаналоговый преобразователь, усилитель синхронного двигателя и одна из обмоток возбуждения синхронного двигателя, который соединен с фазовой пластинкой оптико-механического модулятора, блок фотоприемника, перед которым установлена диафрагма, а на выходе включен усилитель, компаратор, счетчик, последовательно подключенные к выходу усилителя блока фотоприемника блок обработки информации, содержащий арифметико-логический и запоминающий узлы, выход арифметико-логического узла подключен к информационному входу запоминающего узла, выход которого является выходом устройства и одновременно подключен к одному из информационных входов арифметико-логического узла, блок отображения информации, также подключенный к выходу запоминающего узла, и блок синхронизации, подключенный к постоянному запоминающему устройству блока управления, к блоку синхронизации подключены управляющий вход арифметико-логического узла и адресный вход запоминающего узла, другой информационный вход арифметико-логического узла подключен к выходу счетчика, управляющий вход последнего подключен к блоку синхронизации [2].

Так как данный способ и устройство рассчитаны на применение одноканального фотоприемника, например, фотоэлектронного умножителя, то для измерения параметров поляризации излучения от протяженных объектов необходимо механически просканировать выбранное поле зрения. В астрономических наблюдениях это можно сделать перемещением телескопа с установленным на нем рассматриваемым устройством. Кроме того, для каждого элемента изображения, вырезаемого диафрагмой, необходимо выполнить полный цикл измерения по приведенному способу, включающий анализ излучения в течение времени, кратного периоду гармонической модуляции поляризованной компоненты излучения, что соответствует времени полуоборота фазовой пластинки T_{η} . Таким способом для анализа изображения, расположенного на N элементов, потребуется времени не менее (без учета непроизводительных затрат времени, связанных с механическим сканированием)

$$T_{\text{Amin}} = NT_{\eta}, \quad (1)$$

что ограничивает возможное быстроедействие данного способа и устройства. Кроме того, для построения изображения в поляризметрических параметрах необходимо измеренные значения этих параметров сопровождать их относительными координатами в плоскости исследуемого изображения, что трудно осуществимо в рассматриваемом способе и дополнительно усложняет обработку полученной таким образом информации.

Задачей изобретения является повышение быстрогодействия и упрощение обработки результатов измерения параметров поляризации излучения от протяженных объектов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе измерения параметров поляризации излучения от протяженных объектов, включающем фокусировку излучения от этих объектов, гармоническую модуляцию его поляризованной компоненты, преобразование модуляции поляризованной компоненты в модуляцию по интенсивности, преобразование интенсивности излучения в электрический сигнал с помощью фотоприемника с последующим синхронным детектированием гармонических составляющих электрического сигнала путем суммирования на интервале, кратном целому числу периодов модуляции отсчетов, получаемых при накоплении сигнала за следующие друг за другом интервалы, равные полупериодам гармонических составляющих, взятых с текущим знаком, согласно изобретению, излучение преобразуется в электрический сигнал телевизионным методом путем покадрового накопления изображения с последующим построчным считыванием с помощью панорамного фотоприемника, с дискретизацией каждой строки на элементы изображения путем аналого-цифрового преобразования с последующим определением параметров поляризации для каждого из них, при этом период следования кадров равен четверти периода гармонической составляющей максимальной частоты, дополнительно определяется фазовый сдвиг гармонической составляющей для каждого элемента изображения и производится коррекция соответствующего ему отсчета. Поставленная цель достигается также тем, что в устройстве для измерения параметров поляризации излучения от протяженных объектов, содержащее оптико-механический модулятор, состоящий из расположенных по ходу луча параллельно друг другу объектива, фазовой пластинки, установленной с возможностью непрерывного вращения, и неподвижного поляризатора, блок управления, включающий постоянное запоминающее устройство, к каждому из двух выходов которого последовательно подключены цифроаналоговый преобразователь, усилитель синхронного двигателя и одна из обмоток возбуждения синхронного двигателя, который соединен с фазовой пластинкой оптико-механического модулятора, блок фотоприемника, на выходе которого включен усилитель, блок обработки информации, содержащий арифметико-логический и запоминающий узлы, выход арифметико-логического узла подключен к информационному входу запоминающего узла, выход которого является выходом устройства и одновременно подключен к одному из информационных входов арифметико-логического узла, блок отображения информации, также подключенный к выходу запоминающего узла, и блок синхронизации, подключенный к постоянному запоминающему устройству (ПЗУ) блока управления, к блоку синхронизации подключены управляющий вход арифметико-логического узла и адресный вход запоминающего узла, а также входы синхронизации блока фотоприемника и блока отображения информации, согласно изобретению, блок фотоприемника выполнен в виде телевизионной передающей камеры, а блок отображения информации - в виде телевизионного видеоконтрольного устройства (ВКУ) дополнительно, в блок обработки информации введены аналого-цифровой преобразователь и умножитель, так, что выход умножителя подключен к другому информационному входу арифметико-логического узла, выход аналого-цифрового преобразователя соединен с одним из выходов умножителя, другой выход которого подключен к постоянному запоминающему устройству блока управления, при этом информационный вход аналого-цифрового преобразователя соединен с выходом усилителя телевизионной передающей камеры, а его тактовый вход - с блоком Синхронизации.

В предлагаемом способе и устройстве для его реализации преобразование излучения в электрический сигнал осуществляется телевизионным методом с частотой кадров, синхронной частоте гармонической модуляции с последующим синхронным детектированием сигнала с каждого элемента кадра с учетом фазового сдвига гармонической составляющей для данного элемента, что позволяет автоматически определять параметры поляризации для всех элементов кадра за время равное длительности периода гармонической модуляции и позволяет значительно увеличить скорость измерений и упростить их обработку.

На чертеже представлена блок-схема предлагаемого устройства для измерения параметров поляризации излучения от протяженных объектов.

Предлагаемое устройство состоит из оптико-механического модулятора 1, включающего расположенные по ходу луча параллельно друг другу объектива 1, вращающейся фазовой пластинки 2 и неподвижного поляризатора 3. Фазовая пластинка механически связана с синхронным двигателем 4 блока управления 11. В блок управления 11 входят также ПЗУ 5, к каждому из двух выходов которого последовательно подключены по цифроаналоговому преобразователю (ЦАП) 6-1, 6-2, усилителю синхронного двигателя 7-1, 7-2 и одной из обмоток синхронного двигателя 4. За оптико-механическим модулятором установлен блок фотоприемника III - ТПК с усилителем 8 на выходе. Выход усилителя 8 подключен ко входу АЦП 9 блока обработки информации IV. Выход АЦП подключен к одному из входов умножителя 10, другой вход которого подключен к ПЗУ 5. Выход умножителя 10 соединен с одним из информационных входов арифметико-логического узла (АЛУ) 11, выход которого, в свою очередь, подключен к информационному входу запоминающего узла (ЗУ) 12. Выход последнего является выходом устройства и, кроме того, подключен к другому информационному входу АЛУ 11 и блоку отображения информации VI в виде телевизионного ВКУ. Блок синхронизации V подключен ко входам синхронизации ТПК III, ВКУ VI и адресному входу ЗУ 12, а также к ПЗУ 5, тактовому входу АЦП 9 и управляющему входу АЛУ 11.

Устройство работает следующим образом.

Поток излучения от исследуемых объектов фокусируется с помощью объектива 1 на чувствительную площадку фотоприемника, установленного в ТПК III. Предварительно осуществляется модуляция поляризованной компоненты излучения. Возможна модуляция путем непрерывного вращения одного из

поляризующих элементов, либо модуляция состояния поляризации по азимуту и(или) фазе с помощью электро-, пьезо- и магнитооптических элементов, к которым прикладывается гармонически изменяющийся модулирующий сигнал [5]. Если затем излучения проходит через анализатор, то модуляция по поляризации преобразуется в модуляцию по интенсивности, результат которой можно представить в виде ряда Фурье [6].

$$J^I = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (2)$$

где α_0 , a_n и b_n – коэффициенты ряда Фурье и определяются поляризационными параметрами исследуемого излучения и используемых поляризационных устройств;

ω – частота модуляции.

Как правило, выбор конкретного способа модуляции обусловлен стремлением упростить обработку выражения (2) с целью извлечения интересующих параметров, а это обычно связано с уменьшением количества членов ряда (2) до минимально необходимого [6]. В любом случае, так как интересующее число параметров поляризации конечно (четыре параметра Стокса, либо какое-то число из 16-ти элементов матрицы рассеяния и т.п.), то конечным должно быть и необходимое для их определения количество коэффициентов ряда (2).

В предлагаемом устройстве также как и в прототипе, модуляция осуществляется путем непрерывного вращения фазовой пластинки 2 и интенсивность потока после прохождения неподвижного поляризатора 3 описывается выражением (2):

$$J^I(\varphi, \tau) = 1/2(a_{11}J + a_{12}Q + a_{13}U + a_{14}V) \quad (3)$$

где ω – угол между осью неподвижного поляризатора и текущим положением оси фазовой пластинки;

τ – фазовый сдвиг пластинки;

$$a_{11} = 1;$$

$$a_{12} = 1/2[(1 + \cos \tau + \cos 4\varphi (1 - \cos \tau));$$

$$a_{13} = 1/2(1 - \cos \tau) \sin 4\varphi ;$$

$$a_{14} = -\sin \tau \sin 2\varphi ;$$

J, Q, U, V – параметры стокса измеряемого излучения.

Пусть, например, $\tau = 90^\circ$ (для четвертьволновой пластинки). Тогда:

$$J^I = \frac{1}{2}[(J + \frac{Q}{2}) + \frac{Q}{2} \cos 4\omega t + \frac{U}{2} \sin 4\omega t - V \sin 2\omega t], \quad (4)$$

т.е. имеем ряд вида (2), состоящий из четырех необходимых членов.

Следующая операция – интегрирование функции (4) за четверть периода гармонической составляющей максимальной частоты, в рассматриваемом случае период модуляции

$$T_n = \frac{1}{2\omega} \quad (5)$$

и, следовательно, интервалов интегрирования – восемь. Таким образом, отсчет с каждого участка интегрирования равен

$$J_k = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} J^I \alpha \omega t, \quad (6)$$

где $k = 1, 2, \dots, 8$;

α_1 и α_2 – начальный и конечный углы участка интегрирования. В нашем случае интервалы равны

$$0 + \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{8} + \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}, \dots, \frac{7\pi}{8} + \pi. \quad (7)$$

В соответствии с предлагаемым способом интегрирования на указанных интервалах осуществляется путем кадрового накопления изображения с помощью панорамного фотоприемника, установленного в ТПК III. Это осуществляется при взаимной синхронизации частот кадровой развертки и гармонической модуляции: частота кадров должна составлять в данном случае восьмую часть периода модуляции. Затем, в течение прямого хода кадровой развертки, осуществляется построчное считывание накопленного изображения путем формирования соответствующих сигналов развертки и управления для ТПК III.

Затем происходит усиление сигнала в усилителе 8 и дискретизация каждой строки на элементы изображения с помощью АЦП 9. В результате, в течение прямого хода кадра, мы получаем последовательность отсчетов с каждого элемента изображения, каждый из которых равен интегралу с соответствующего интервала исходного сигнала (4).

Предположим, что условие начальной фазировки соответствует некоторому первому элементу изображения, т.е. ось фазовой пластинки совпадает с осью неподвижного поляризатора в момент считывания сигнала с указанного элемента. Тогда для всех следующих за ним элементов ось фазовой пластинки будет повернута от начального положения на некоторый угол:

$$\varphi = i \omega t_d. \quad (8)$$

где номер элемента $i = 1, 2, \dots, N$;

t_d - период дискретизации изображения.

Что приводит к сдвигу на такой же фазовый угол соответствующих интервалов интегрирования:

$$\varphi + (\varphi + \frac{\pi}{8}), (\varphi + \frac{\pi}{8}) + (\varphi + \frac{\pi}{4}), \dots, \\ (\varphi + \frac{7\pi}{8}) + (\varphi + \pi), \quad (9)$$

а интенсивность для произвольного i -го элемента изображения на выходе модулятора будет иметь вид:

$$J_i = \frac{1}{2}[(J + \frac{Q}{2}) + \frac{Q}{2} \cos 4(\omega t + \varphi) + \\ + \frac{U}{2} \sin 4(\omega t + \varphi) - V \sin 2(\omega t + \varphi)] \quad (10)$$

Следовательно, при последовательном считывании восьми кадров в течение периода модуляции для некоторого i -го элемента изображения на выходе АЦП 9 будут получены восемь отсчетов, величина которых определяется из (6) и (10), с учетом (9):

$$\begin{aligned} J_{1i} &= 1/2(J_{11i} + Q/2 J_{12i} + U/2 J_{13i} - J_{14i}V), \\ J_{11i} &= (J + Q/2) \pi / 8; \\ J_{2i} &= 1/2(J_{11i} - Q/2 J_{13i} + U/2 J_{12i} - J_{24i}V), \\ J_{12i} &= 1/4(\cos 4\varphi - \sin 4\varphi); \\ J_{3i} &= 1/2(J_{11i} - Q/2 J_{12i} - U/2 J_{13i} - J_{34i}V), \\ J_{13i} &= 1/4(\sin 4\varphi + \cos 4\varphi); \\ J_{4i} &= 1/2(J_{11i} + Q/2 J_{13i} - U/2 J_{12i} - J_{44i}V), \\ J_{14i} &= 1/2[\cos 2\varphi - \cos(2\varphi + \pi/4)]; \\ J_{5i} &= 1/2(J_{11i} + Q/2 J_{12i} + U/2 J_{13i} + J_{14i}V), \\ J_{24i} &= 1/2[\sin 2\varphi + \cos(2\varphi + \pi/4)]; \\ J_{6i} &= 1/2(J_{11i} - Q/2 J_{13i} + U/2 J_{12i} + J_{24i}V), \\ J_{34i} &= 1/2[\sin(2\varphi + \pi/4) - \sin 2\varphi]; \\ J_{7i} &= 1/2(J_{11i} - Q/2 J_{12i} - U/2 J_{13i} + J_{34i}V), \\ J_{44i} &= 1/2[\cos 2\varphi - \sin(2\varphi + \pi/4)]; \\ J_{8i} &= 1/2(J_{11i} + Q/2 J_{13i} - U/2 J_{12i} + J_{44i}V). \end{aligned} \quad (11)$$

Решив уравнение (11) относительно J, Q, U и V получим выражение, описывающее процесс синхронного детектирования сигнала с i -го элемента, реализованный согласно способу в предлагаемом устройстве:

$$\begin{aligned} J_i &= 2/\pi \{ (J_{1i} + J_{5i})[2/\pi - (\cos 4\varphi - \\ &- \sin 4\varphi)] + (J_{2i} + J_{6i})[2/\pi + (\cos 4\varphi + \\ &+ \sin 4\varphi)] + (J_{3i} + J_{7i})[2/\pi + (\cos 4\varphi - \\ &- \sin 4\varphi)] + (J_{4i} + J_{8i})[2/\pi - (\cos 4\varphi + \\ &+ \sin 4\varphi)] \}; \\ Q_i &= 2[(J_{1i} - J_{3i} + J_{5i} - J_{7i})(\cos 4\varphi - \sin 4\varphi) - \\ &- (J_{2i} - J_{4i} + J_{6i} - J_{8i})(\cos 4\varphi + \sin 4\varphi)]; \\ U_i &= 2[(J_{1i} - J_{3i} + J_{5i} - J_{7i})(\cos 4\varphi + \\ &+ \sin 4\varphi) + (J_{2i} - J_{4i} + J_{6i} - J_{8i}) \times \\ &\times (\cos 4\varphi - \sin 4\varphi)]; \\ V_i &= \frac{1}{\cos 2\varphi} (J_{5i} + J_{6i} + J_{7i} + J_{8i} - \\ &- J_{1i} - J_{2i} - J_{3i} - J_{4i}). \end{aligned} \quad (12)$$

Из (12) видно, что в соответствии с предлагаемым способом для определения параметров поляризации каждый отсчет с элемента изображения необходимо корректировать с учетом предварительно определенного фазового сдвига φ . Как ранее указывалось, в данном устройстве этот фазовый сдвиг для i -го элемента изображения задается автоматически блоком управления 11. Это оказалось возможно благодаря тому, что скорость вращения, а, следовательно, и текущее положение фазовой пластинки относительно начального положения, задается путем формирования синусоидального напряжения питания синхронного двигателя из кодов значений этого напряжения, считываемых из ПЗУ 5 по синхроимпульсам с общего блока синхронизации V. В это же ПЗУ 5 дополнительно защиты предварительно рассчитанные коэффициенты коррекции, такие как, например, в выражении (12). По мере поступления синхроимпульсов блока синхронизации V на выходах ПЗУ 5 формируются коды синусоиды, затем они преобразуются в соответствующие напряжения питания с помощью ЦАП 6-1, 6-2, усиливаются в усилителях 7-1, 7-2 и, таким образом, задают положение фазовой пластинки, а так как это происходит синхронно с частотой кадров, строк и отсчетов АЦП 9, то каждому элементу в момент его считывания автоматически соответствует и требуемый коэффициент коррекции, считываемый в этот же момент из ПЗУ 5 и подаваемый на другой вход умножителя 10. Скорректированные отсчеты с выхода умножителя 10 поступают для дальнейшей обработки на один из входов АЛУ 11, где происходит суммирование или вычитание текущего отсчета с ранее полученным результатом в соответствии

с (12), В результате за восемь кадров с выхода АПУ 11 в ЗУ 12 будут занесены измеренные значения параметров Стокса для всех элементов изображения.

Для увеличения соотношения "сигнал/шум", а, следовательно, и точности можно производить накопление результата в течение заданного времени, что необходимо, например, при измерении поляризации излучения от слабых объектов в астрономических наблюдениях. При этом время накопления будет кратно числу периодов модуляции.

С выхода ЗУ 12 полученный результат подается на вход блока отображения информации VI, выполненного в виде ВКО, где оператор контролирует процесс измерения по телевизионному изображению протяженных объектов непосредственно в параметрах Стокса.

Использование предлагаемого устройства, реализующего заявляемый способ измерения параметров поляризации от протяженных объектов, позволяет провести анализ всех N элементов изображения в течение периода модуляции, т.е.

$$T_A = T_n, \quad (13)$$

что, как минимум, в N раз меньше чем в прототипе (1) и тем самым повысить быстродействие. Кроме того, достигается упрощение обработки результатов измерения за счет того, что в предлагаемом техническом решении получение параметров поляризации для всех элементов изображения выполняется автоматически с возможностью прямой индикации на экране ВКУ измеряемых величин, численные значения которых синхронно с разверткой изображения поступают на выход предлагаемого устройства. Такая оперативность получения информации, как правило, приводит к повышению качества получаемой информации: ее точности и наглядности. Так, известно, что при астрономических наблюдениях на точность измерения параметров поляризации влияет временная нестабильность прозрачности атмосферы [1]. Значительно ослабить это влияние можно путем увеличения скорости измерений, что и обеспечивает в предлагаемом техническом решении. Увеличение быстродействия с одновременным применением панорамного фотоприемника дает возможность исследовать динамику измеряемых параметров во времени и пространстве кадра.

