

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НАСТРОЙКИ СИСАМОВ НА ЗАДАННУЮ ДЛИНУ ВОЛНЫ В МАКСИМУМЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СВЕТА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ

П. Ф. Паршин и В. М. Архипов

Рассмотрено, какие дополнительные юстировочные перемещения зеркал и дифракционных решеток необходимо выполнять в СИСАМах, собранных на интерферометрах Майкельсона, Сондерса и Саньяка. Авторы считают, что из этих трех интерферометров для создания СИСАМов наиболее удачна схема интерферометра Сондерса, так как она позволяет наиболее просто реализовать динамическую перестройку СИСАМа при регистрации спектров.

Наиболее эффективна работа СИСАМа, когда дифрагированные лучи, идущие вблизи оптической оси, отражаются от дифракционных решеток

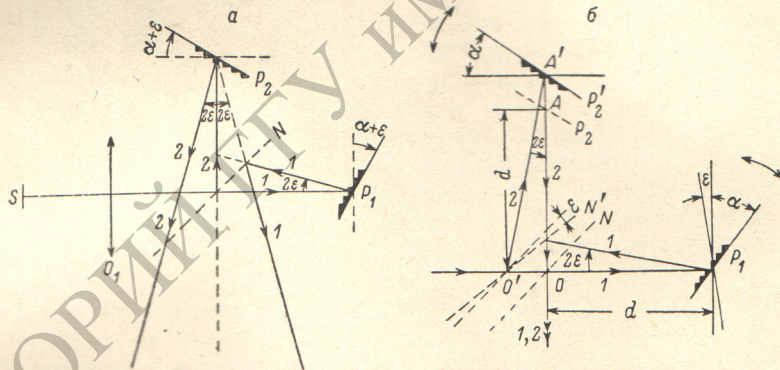


Рис. 1. Ход лучей в СИСАМе П. Конна [1].

α и β — расходимость лучей при повороте дифракционных решеток и их сведение при юстировке.

при угле блеска. В этом случае при прочих равных условиях пропускание прибора максимально.

Обратимся к схеме рис. 1, а, в которой зеркала, как это сделано в [1], заменены на профилированные отражательные дифракционные решетки, у которых грани штрихов составляют с плоскостью решетки угол α . При установке решеток под двугранным углом к плоскостям, перпендикулярно к главным лучам 1, 2 и плоскости чертежа, оба дифрагированных луча будут идти обратно по тем же путям в максимуме отражения. Обычно при сканировании решетки повернуты на угол $\alpha + \epsilon$. Это приводит к расходимости лучей, как это изображено на чертеже.

Рассмотрим, при каких условиях вблизи оптической оси будут интерферировать лучи с таким углом дифракции. При выполнении перемещений решеток из P_2 в P'_2 (рис. 1, б) и светоделителя из O в O' на отрезки AA' и OO' с поворотом светоделителя вокруг своей оси на угол ϵ в положение N' между собой будут интерферировать с одинаковой фазой только лучи

1 и 2. Для этих лучей углы падения на решетки и дифракции будут: $i = \alpha + \epsilon$ и $i' = \alpha - \epsilon$, где угол ϵ , вообще говоря, может быть далеко не малым.

Из уравнения дифракционной решетки

$$\sin i + \sin i' = \frac{k\lambda_k}{d} \quad (1)$$

найдем при $\epsilon = \alpha$

$$\sin 2\alpha = \frac{k\lambda_k}{d}, \quad (2)$$

где k — порядок дифракции, d — постоянная дифракционной решетки.

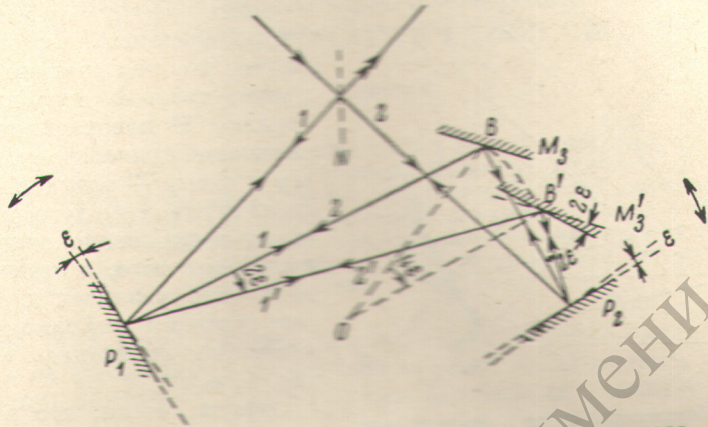


Рис. 2. Компенсирующее перемильное зеркало в СИСАМе [Р].

При первоначальной настройке СИСАМа на угол α соответствующая длина волны, при которой имела место селективная интерференция, находилась из аналогичного уравнения

$$2 \sin \alpha = \frac{k\lambda_k}{d}. \quad (3)$$

Теперь из (1) и (3) найдем выражение, описывающее относительное изменение длины волны в зависимости от угла поворота ϵ

$$\lambda'_k = \lambda_k \cos \epsilon. \quad (4)$$

Отсюда следует, что максимальное значение длины волны достигается в максимуме концентрации при $\epsilon = 0$, а затем ее значения уменьшаются. Если полевая диафрагма системы имеет размеры L , то

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{1 + 2 \frac{L}{d}} \approx \frac{L}{4d}, \quad (5)$$

$$\lambda'_{\min} = \lambda_k \cos \epsilon_{\max}.$$

Таким образом, при непрерывной перестройке интерферометра возможно получить в условиях максимальной эффективности спектр в интервале $\lambda_{\min} \leq \lambda' \leq \lambda_k$.

Рассмотрим теперь схему СИСАМа [2, 3], полученную в результате замены в интерферометре Сондерса (рис. 2) зеркал на дифракционные решетки P_1 и P_2 . Эти решетки взяты с такими же характеристиками, как и в СИСАМе II. Контра, изображенном на рис. 2. Уравнение дифракции при первоначальной настройке представим в виде

$$\sin 2\alpha = \frac{k\lambda_k}{d}. \quad (6)$$

Значение новой длины волны селективной интерференции представимо формулой, учитывающей интерференцию в максимуме коэффициента отражения дифракционной решетки

$$\lambda'_k = \lambda_k \frac{\cos(\alpha + \varepsilon)}{\cos \alpha}. \quad (7)$$

Но теперь допустимый максимальный угол ε_{\max} непосредственно не связан с полевой диафрагмой, а, как видно из чертежа, определяется предельными возможностями смещения зеркала M по дуге окружности BB' , допустимыми конструкцией прибора. Эта окружность проходит через оси вращения дифракционных решеток и центр поворота зеркала. Радиус окружности равен половине расстояния между осями поворота дифракционных решеток. Очевидно, что при вращении решеток против часовой стрелки следует зеркало M поворачивать в противоположную сторону. При этом его центр — точка B — должен перемещаться по дуге окружности также в противоположную сторону. Кроме того, в этой схеме существенно различен диапазон углов поворота дифракционных решеток по сравнению со схемой

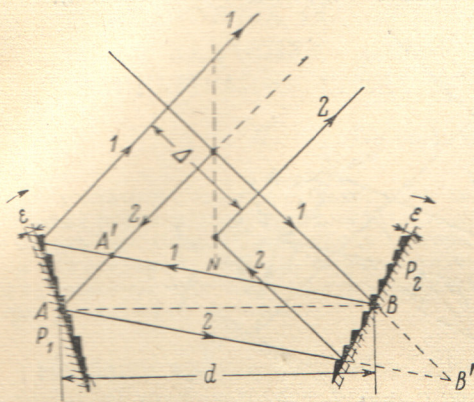


Рис. 3. Компенсирующие перемещения в СИСАМе, полученном заменой зеркал дифракционными решетками в интерферометре Саньяка.

рис. 1, а.

Предположим, что в приборе допустимо изменять ε в интервале $-\varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1$, где ε_1 определяется конструкцией прибора. Тогда

$$\lambda_k (\cos \varepsilon_1 - \operatorname{tg} \alpha \sin \varepsilon_1) \leq \lambda'_k \leq \lambda_k (\cos \varepsilon_1 + \operatorname{tg} \alpha \sin \varepsilon_1). \quad (8)$$

Эта формула показывает, что возможно симметричное изменение по длинам волн внутри области сканирования.

Наконец, нам осталось провести анализ возможности создания СИСАМа на основе интерферометра Саньяка. В отличие от двух предыдущих в этом интерферометре (рис. 3) при повороте дифракционных решеток P_1 и P_2 не возникает угловая расходимость лучей, но происходит их параллельное смещение. На практике действительно не наблюдается расходимость лучей, но происходит виньетирование светового потока при вращении дифракционных решеток. Поэтому без применения компенсирующих смещений AA' или BB' такая система не является светосильной и потому пока не используется при создании СИСАМов.

Однако при создании мобильной оптической системы, в которой одновременно с вращением решеток предусмотрено их компенсирующее перемещение, новый СИСАМ будет иметь определенные преимущества.

В заключение можно сказать, что наиболее проста настройка СИСАМа на максимум угла блеска дифракционных решеток во второй схеме. В действительности только в ней реализуются наиболее простые зависимости, определяющие закон движения оборачивающего зеркала. Целесообразно поэтому ее использовать особенно при работе в высоких порядках дифракции.

Литература

- [1] П. Жакино. Усп. физ. наук, 78, 123, 1962.
- [2] В. М. Архипов. Опт. и спектр., 12, 446, 1962.
- [3] П. Ф. Паршин, В. М. Архипов. Опт. и спектр., 44, 578, 1978.

Поступило в Редакцию 15 июля 1975 г.
В окончательной редакции 17 декабря 1977 г.