

ФОТОМЕТРИЯ В СХЕМЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В. Н. Боркова, В. А. Зубов, А. В. Крайский

УДК 535.853.4

Рассмотрены вопросы измерения интенсивностей спектральных компонент модулированного оптического излучения в методе голографической спектроскопии с использованием нестационарной опорной волны. Показано, что при наблюдении восстановленных полей в первом порядке дифракции характеристика отклика близка к линейной по интенсивности.

В работе рассматриваются фотометрические измерения в схеме спектроскопии оптического диапазона, позволяющей получать разрешение для спектра модуляций оптического излучения, значительно превосходящее ширину спектра лазера и составляющее доли $\mu\text{с}$.

Действие схемы основано на использовании нестационарной опорной волны, которая формируется при повороте фронта плоской волны относительно оси, проходящей через плоскость регистрации сигнала /1,2/. Запись голограмм проводилась на фотоматериале типа ЛОИ-2, на каждой фотопластинке снималась до 14 голограмм.

Первые эксперименты /3,4/ показали, что положение частот в спектре сигналов точно передается на спектрограммах. Вопрос о регистрации распределения интенсивности оставался открытым. В экспериментах, выполненных с сигналами с известным распределением энергии по спектру, о передаче амплитудного распределения можно было судить лишь качественно.

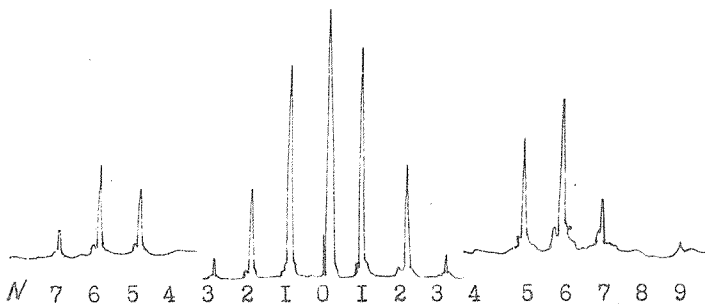
Вопросы фотометрических измерений в такой схеме не являются тривиальными, так как на правильную передачу интенсивности спектральных компонент могут оказывать влияние различные факторы, в частности, нелинейность отклика фотопластинки /5/. Для

определения фотометрических характеристик схемы эксперимент проводился в схеме, несколько модернизированной по сравнению с /3,4/. При восстановлении спектра регистрация выходного сигнала выполнялась фотоэлектрически с записью на двухкоординатном самописце типа ЦС-02. Приемником являлся фотоэлектронный умножитель со щелью,двигающийся в плоскости формирования спектра. Отметим, что приемник является квадратичным, т.е. регистрировалась величина, представляющая собой распределение интенсивности.

Естественно, что для подобных экспериментов нужен хорошо калиброванный по интенсивности спектр. В нашем случае его формировал модулятор, перекрывающий световой пучок с определенной частотой и скважностью. Спектр такого сигнала легко рассчитывается и содержит ряд гармоник. Интенсивность гармоники с номером N по отношению к интенсивности несмещенной компоненты определяется выражением

$$I_p = I_N/I_0 = [\sin(\pi N\tau/T)/(\pi N\tau/T)]^2,$$

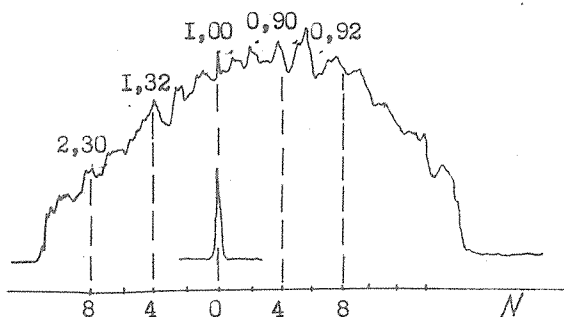
где τ - длительность импульса, T - период прерывания. Такой вариант реализации калиброванного спектра представляется достаточно простым и надежным для исследования амплитудных характеристик схемы. Было проведено несколько серий измерений с частото-



Р и с. 1. Типичное распределение интенсивности в спектре амплитудно модулированного оптического сигнала со скважностью 0,25. По оси абсцисс отложены номера гармоник. Для большей наглядности масштаб для компонент с 4-ой по 9-ую увеличен в 19 раз

той модуляции $I,49$ гц и с различными скважностями. На рис. 1 в качестве примера приведено типичное распределение освещенности в плоскости формирования спектра сигнала со скважностью $0,25$.

Непосредственное сопоставление экспериментальных данных с расчетом осложнено неоднородностью освещенности, к краям спектра наблюдался спад. Это приводит к ослаблению гармоник, лежащих ближе к краю. Для того, чтобы можно было количественно оценить величину ослабления и внести соответствующую коррекцию, на каждой фотопластинке снималась голограмма при среднем положении опорной волны (статическая голограмма). При восстановлении в идеальном случае должна наблюдаться картина спектра δ -функции, т.е. равномерное распределение. Типичное наблюдавшееся распределение приведено на рис. 2. Спектр такого типа использовался для градуировки спектров, которые зарегистрированы на одной с ним фотопластинке. На том же рисунке показан спектр сигнала, полученный при работе схемы в отсутствие модуляции сигнала, т.е. аппаратная функция на несмещенной частоте. Простейший учет ослабления спектральных компонент состоял в том, что вводился поправочный множитель, равный отношению величин компонент градуировочного спектра на несмещенной и на измеряемой частотах. Типичные экспериментальные и расчетные данные для различных



Р и с. 2. Распределение освещенности в типичном градуировочном спектре и аппаратная функция на несмещенной частоте. По оси абсцисс отложены номера гармоник. Цифры указывают поправочные множители для некоторых гармоник спектра, приведенного на рис. 1

скажностью модуляции приведены в табл. I (значения интенсивностей гармоник нормированы на интенсивность нулевой компоненты, для каждой скажности приведены интенсивности гармоник расчетные I_p и экспериментальные для положительных частот $I_{пр}$ и отрицательных $I_{лев}$). Из таблицы видно, что поведение спектра передается верно: не появляются гармоники с номерами $N = T/t$, при скажности 0,25 на шестой гармонике появляется максимум, величины интенсивностей гармоник также передается достаточно верно. Интенсивности гармоник с небольшими номерами передается хорошо, по мере увеличения номера согласие ухудшается, причем для стояковых и антистояковых компонент несимметрично. Однако соотношение между близкими компонентами передается лучше: отношения $I_{пр}/I_p$ и $I_{лев}/I_p$ меняются плавно. Анализ погрешностей, характеризующий отклонение от расчетных значений, показывает, что результаты содержат некоторую систематическую ошибку, так как преобладают отклонения одного знака. Эта погрешность может быть оценена как среднее арифметическое отклонение от расчетных значений. Для трех спектров, приведенных в табл. I, эти значения соответственно равны -0,005, -0,003 и -0,035. Наряду с систематической ошибкой полученные результаты содержат случайную погрешность (разброс точек вблизи среднего значения), которая может быть оценена по диапазону изменения генеральной дисперсии σ , рассчитанному по распределению Пирсона с вероятностью 0,98. Соответствующие диапазоны равны $0,008 < \sigma < 0,017$, $0,006 < \sigma < 0,011$ и $0,026 < \sigma < 0,059$. Хотя погрешности и не слишком велики, можно указать некоторые причины их возникновения. Одна из причин может быть связана с упрощенным учетом ослабления дальних гармоник. Дело в том, что при смещении опорной волны от среднего положения распределение освещенности на голограмме меняется - перемещается максимум и уменьшается его величина. Однако если бы это была единственная причина, то для гармоник с номером N для всех скажностей отношения $I_{пр}/I_p$ и $I_{лев}/I_p$ были бы одинаковы. Другой причиной отличий может быть неточностью установки и изготовления модулятора, представляющего собой диск с прорезями, которая хотя и вносит погрешность, но не связана с характеристиками слема.

Достаточно хорошие передачи спектра и распределения интенсивностей могут быть объяснены естественными для голографичес-

Таблица I.

Сквад- ность	Номер гараж- ники	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.5	I _p	1,00	0,41	0,00	0,045	0,00	0,016	0,00	0,0083	0,00	0,005	0,00		
	I _{np}	1,00	0,40	0,00	0,044	0,00	0,018	0,00	0,0050	0,00	0,0028	0,00		
	I _{лев}	1,00	0,36	0,00	0,025	0,00	0,008	0,00	0,0025	0,00	0,0016	0,00		
	I _{np} /I _p	1,00	0,98	-	0,98	-	1,11	-	0,60	-	0,56	-		
	I _{лев} /I _p	1,00	0,88	-	0,55	-	0,49	-	0,30	-	0,32	-		
0.25	I _p	1,00	0,81	0,41	0,090	0,00	0,032	0,043	0,017	0,00	0,010	0,016	0,0067	0,00
	I _{np}	1,00	0,80	0,39	0,094	0,00	0,022	0,030	0,011	0,00	0,0031	0,0028	0,0030	0,00
	I _{лев}	1,00	0,83	0,41	0,098	0,00	0,025	0,038	0,014	0,00	0,0052	0,013	0,0065	0,00
	I _{np} /I _p	1,00	0,99	0,96	1,04	-	0,67	0,68	0,66	-	0,31	0,17	0,45	-
	I _{лев} /I _p	1,00	1,03	1,00	1,09	-	0,79	0,88	0,89	-	0,52	0,78	0,99	-
0,125	I _p	1,00	0,95	0,81	0,62	0,41	0,22	0,091	0,019	0,00				
	I _{np}	1,00	0,95	0,80	0,57	0,33	0,16	0,075	0,017	0,00				
	I _{лев}	1,00	0,90	0,75	0,56	0,28	0,20	0,069	0,019	0,00				
	I _{np} /I _p	1,00	1,00	0,99	0,93	0,81	0,74	0,82	0,86	-				
	I _{лев} /I _p	1,00	0,95	0,93	0,92	0,70	0,88	0,76	0,97	-				

ной регистрации обстоятельствами /5/. В рассматриваемой схеме световое поле содержит достаточно большую постоянную составляющую, обусловленную действием опорной волны и спектральными компонентами сигнальной волны, не регистрируемыми на выбранном элементе фотоматериала. Модуляция светового поля, содержащая полезную информацию, является малой. Запись информации реализуется в пределах небольшого участка световой характеристики фотоматериала, который можно считать линейным.

Поступила в редакцию
30 ноября 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. И. Кузнецова, Письма в ЖЭТФ, 13, 443 (1971).
2. В. А. Зубов, Краткие сообщения по физике ФИАН № 7, 17 (1972).
3. В. Н. Боркова, В. А. Зубов, А. В. Крайский, Квантовая электроника, 7, № 10, 2192 (1980).
4. В. А. Зубов, А. В. Крайский, Препринт ФИАН № 200, М., 1981 г.
5. Дж. Гудмен, Введение в Фурье-оптику. Изд. "Мир", М., 1970 г.