

Лабораторная работа №5М

Определение длины электромагнитных волн интерференционными методами (интерферометр Майкельсона)

Цель работы: Изучение интерференции и определение длины волны электромагнитных радиоволн сантиметрового диапазона.

Оборудование: генератор СВЧ электромагнитных волн с источником питания, приёмник СВЧ электромагнитных волн с усилителем и громкоговорителем, диэлектрическая пластина, неподвижная плоская металлическая пластина, плоская металлическая пластина на перемещающем механизме с отсчётным устройством, поляризационная решётка, мультиметр.

Теоретическое введение

Интерферометры – приборы, которые используются для точных измерений длины электромагнитных волн в разных диапазонах.

Принцип действия: поток электромагнитного излучения (света, радиоволн и др.) с помощью какой-либо схемы пространственно разделяется на два или большее количество когерентных пучков. Каждый из них проходит различные оптические пути и направляется на экран, создавая интерференционную картину, по которой можно установить разность фаз интерферирующих пучков в данной точке экрана.

Схема интерферометра [1, С. 123] Майкельсона¹ дана на рис. 5М.1.

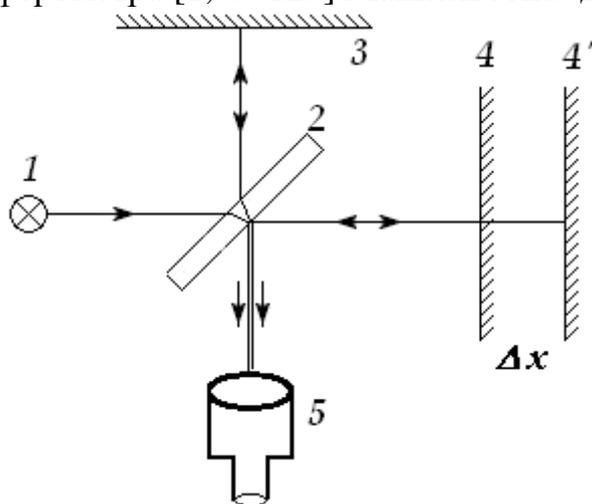


Рис. 5М.1. Схема интерферометра Майкельсона

Излучение распространяется от источника 1. Часть падающего потока отражается от полупрозрачной пластинки 2 в направлении зеркала 3, другая часть проходит сквозь пластинку 2 и распространяется в

¹ Майкельсон Альберт Абрахам (Albert Abraham Michelson) (19.12.1852-09.05.1931) – американский физик. Известен изобретением интерферометра и прецизионными измерениями скорости света. Нобелевская премия по физике в 1907 г.

направлении зеркала 4. Отразившись от зеркал, лучи вновь доходят до пластины 2, и проходят в направлении приёмника 5. При соблюдении условий пространственной и временной когерентности эти лучи будут интерферировать. Результат интерференции зависит от оптической разности хода Δ от пластинки 2 до зеркал.

Усиление или ослабление амплитуды колебаний, регистрируемые приёмником 5, происходят при изменении положения одного из зеркал, например, зеркала 4.

Условие максимумов (или минимумов) имеет вид

$$\Delta = n\Delta r = m\lambda,$$

где n – показатель преломления среды, Δr – геометрическая разность хода, λ – длина волны, m – порядок интерференционных максимумов (минимумов).

Тогда для двух соседних максимумов (минимумов) m и $m+1$ порядков можно записать равенство

$$n\Delta r_1 = m\lambda \text{ и } n\Delta r_2 = (m+1)\lambda.$$

Отсюда получаем

$$\lambda = n(\Delta r_2 - \Delta r_1) = 2n(x_2 - x_1), \quad (5M.1)$$

где $x_2 - x_1$ – минимальное расстояние, на которое необходимо переместить подвижное зеркало 4, чтобы получить усиление (ослабление) колебаний.

Описание установки

Если измерения проводят в видимом диапазоне, то интерференционная картина наблюдается с помощью зрительной трубы.

Для работы в СВЧ-диапазоне используют лабораторную установку (рис. 5M.2), которая состоит из клистронного² генератора электромагнитных волн 1, генерирующего волны частотой $\nu \approx 10^{10}$ Гц. Питание генератора производится от источника I .

Возбуждаемые генератором электромагнитные волны проходят через волновод B и излучаются рупорной антенной P , что обеспечивает высокую направленность излучения. С помощью диэлектрической пластины 2, установленной под углом 45° к направлению распространения волн от генератора, пучок разбивается на два – отражённый и прошедший.

Первый из них отражается от неподвижной металлической пластины 3, а второй от подвижной пластины 4. Эта пластина установлена на перемещающем механизме с отсчётным устройством.

Приёмником электромагнитных волн 5 служит высокочастотный

² К्लитрoн – электровакуумный прибор, в котором преобразование постоянного потока электронов в переменный происходит путём модуляции скоростей электронов электрическим полем СВЧ (при пролёте их сквозь зазор объёмного резонатора) и последующей группировки электронов в сгустки (из-за разности их скоростей) в пространстве дрейфа, свободном от СВЧ поля.

детектор, в котором под действием электромагнитного поля волны возникает электрический ток.

Высокочастотные колебания, модулированные низкой частотой (600 Гц), усиливаются усилителем $У$ и подаются на громкоговоритель $Д$.

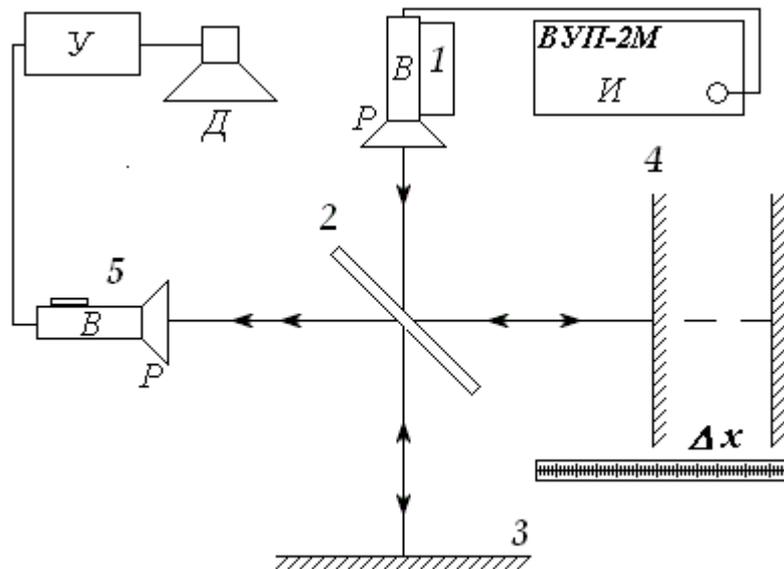


Рис. 5М.2. Схема лабораторной установки



Рис. 5М.3. Общий вид установки



Рис. 5М.4. Фото отсчётного устройства

Методика выполнения работы

Подготовка к работе

1. Подключить к сети 220 В источник I и усилитель U и дать им прогреться в течение 5 минут.
2. Выдержать соосность элементов установки по вертикали и горизонтали. Провести настройку интерферометра путём последовательных малых поворотов элементов 2, 3, 4 вокруг оси и добиться максимального по величине сигнала на выходе усилителя.

Для более точной установки приборов рекомендуется нарисовать на рабочем столе крест, используя карандаш и линейку 1 м (имеется в аудитории), а также провести линию, составляющую 45° с нужной осью, для установки диэлектрической пластины.

I. Определение длины волны по методу Майкельсона

1. По шкале отсчётного устройства, определить координаты 4-х положений металлической пластины 4, соответствующих минимальным уровням принимаемого сигнала. Результаты внести в таблицу 1.
2. Выполнить п. 1 ещё для двух положений перемещающего механизма, изменяя расстояние от пластины 2 до него в пределах $0,25 \div 0,50$ м.
3. Определить длину волны по формуле (5М.1), считая $n = 1$.
4. Вычислить среднее значение $\bar{\lambda}$.
5. Оценить абсолютную и относительную погрешности.
6. Сравнить с паспортным значением длины волны генератора.

II. Поляризация электромагнитных волн

1. Расположить источник I и усилитель U так, чтобы между краями рупоров было расстояние $15 \div 20$ см.



Рис. 5М.5. Решётка



Рис. 5М.6. Мультиметр

2. Поместить между ними по центру поляризационную решётку (рис. 5М.5), так, чтобы её металлические прутья были горизонтальными.
3. Подключить вольтметр (мультиметр) к выходу усилителя, как показано на рисунке 5М.6, установив предел переменного напряжения на 2 В или 20 В (выбрать оптимальный).
4. Поворачивая решётку вокруг горизонтальной оси с шагом 10° от 0 до 90° , записывать в таблицу 2 угол α и показания вольтметра. Показания прибора достаточно нестабильны, поэтому фиксировать некоторое среднее значение для каждого угла.
5. Отнормировать напряжение на максимальное по формуле $U_{\text{отн}} = \frac{U_i}{U_{\text{max}}}$.
6. Построить графики зависимости $U_{\text{отн}} = f_1(\alpha)$, $f_2(\alpha) = \cos^2 \alpha$ и сравнить их. Убедиться в выполнении закона Малюса.



Рис. 5М.7. Общий вид установки

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему интерферометра Майкельсона и расскажите о принципе его действия.
2. Назовите области применения интерферометров.
3. На какое расстояние необходимо сместить зеркало интерферометра Майкельсона, чтобы на выходе интерферометра на его оптической оси светлая полоса сменилась тёмной полосой (интенсивность света изменилась от максимального до минимального значения)?
4. Какие изменения претерпевает картина интерференционных полос на выходе интерферометра Майкельсона, когда одно зеркало интерферометра смещается, и разность хода волн увеличивается или уменьшается?

Лабораторная работа № 5М. Лист отчёта
Определение длины электромагнитных волн интерференционными методами
(интерферометр Майкельсона)

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

Погрешности измерительных приборов. α _____ %

Измерительный прибор	ω – цена деления	$\Delta_{\text{окр}}$ – округления	$\Delta_{\text{пр}}$ – приборная	$\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная	Единицы измерения
Перемещ. устр-во	0,05				мм

I. Определение длины волны по методу Майкельсона

Таблица 1

	расст.	координаты минимумов			
	см	x_1 , мм	x_2 , мм	x_3 , мм	x_4 , мм
1 опыт					
2 опыт					
3 опыт					

	$x_2 - x_1$, мм	$x_3 - x_2$, мм	$x_4 - x_3$, мм	$\langle x_i - x_j \rangle$, мм	λ , мм	$\Delta\lambda$, мм
1 опыт						
2 опыт						
3 опыт						

Сравнение результатов $\lambda = \text{_____} \pm \text{_____}$ мм, $\varepsilon_\lambda = \text{_____}\%$.
 по паспорту прибора: $\lambda = \text{_____} \pm \text{_____}$ мм, $\varepsilon_\lambda = \text{_____}\%$.

II. Поляризация электромагнитных волн

Таблица 2

α	U , В	$U_{\text{отн}}$	$\cos^2 \alpha$	Место для графика
0°				
10°				
20°				
30°				
40°				
50°				
60°				
70°				
80°				
90°				