

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2018 г.

1 Цель работы

Изучение интерференции электромагнитных волн миллиметрового диапазона с применением двух оптических интерференционных схем, экспериментальное определение длины волны излучения и показателя преломления диэлектрика

2 В работе используются:

- приёмно-передающая система радиоволн миллиметрового диапазона
- металлические зеркала
- микрометрический винт
- проволочная решётка
- пластина из диэлектрика

3 Теоретические положения

Если в некоторой точке пространства происходит суперпозиция двух когерентных одинаково поляризованных волн с интенсивностями I_1 и I_2 и с разностью фаз φ , то интенсивность I результирующего колебания определяется соотношением

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi \quad (1)$$

Интенсивность максимальна при $\varphi = 2\pi m$, минимальна при $\varphi = (2m + 1)\pi$ ($m = 0, 1, 2, \dots$ - порядок интерференции)

4 Экспериментальная установка

Источником миллиметровых волн является генератор на клистроне — специальной лампе, генерирующей сверхвысокочастотные колебания. Из клистрона энергия волны подается в прямоугольный волновод. Волноводом называется полая металлическая труба, используемая в СВЧ-диапазоне волн для передачи энергии. Клистрон возбуждает в волновод электромагнитную волну, которая распространяется вдоль волновода и с помощью рупорной антенны излучается в пространство. Задача антенны заключается в том, чтобы сделать излучение более направленным. Направленность антенны характеризуют шириной её диаграммы направленности. Чем шире раскрыт рупорной антенны, тем уже её диаграмма направленности.

Отражённое от препятствия электромагнитное излучение, попадая в рупорную антенну приемника, распространяется по волноводу, в котором имеется детектор высокочастотных колебаний, работающий в квадратичном режиме. Поэтому ток детектора пропорционален интенсивности I волны, попадающей в приемную антенну. Сигнал с выхода детектора усиливается и измеряется микровольтметром. Принципиальная схема приёмно-передающего тракта представлена на рис. 1.

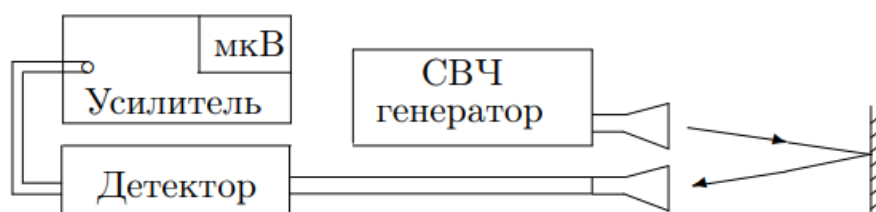


Рис. 1: Приёмно-передающая система СВЧ-диапазона

Применяемый в настоящей работе передатчик излучает линейно поляризованную волну, электрический вектор \mathbf{E} которой перпендикулярен широкой стенке волновода. Приемник также может принимать только линейно поляризованную волну. Для установления связи в системе, изображенной на рис. 1, необходимо, чтобы широкие стенки волноводов передатчика и приемника были параллельны друг другу. Если одну из антенн повернуть относительно луча на некоторый угол α , интенсивность принимаемого сигнала будет изменяться по закону Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (2)$$

4.1 Интерференция радиоволн, отражённых от зеркала и решётки

Схема установки, используемой для этого опыта, приведена на рис. 2.

Металлическое зеркало \mathcal{Z} и проволочная решетка \mathcal{P} устанавливаются на некотором расстоянии d друг от друга с помощью специальных фиксаторов. Приемная и передающая антенны располагаются симметрично, так чтобы в приемник попадала отраженная волна. Волна, излучаемая передающей антенной, частично отражается от решетки, а частично проходит через нее и отражается от зеркала. Зеркало может перемещаться при помощи микрометрического винта.

Между волнами, отраженными от решетки и от зеркала, возникает разность хода, равная

$$\Delta = 2d \cos \theta. \quad (3)$$

При изменении разности хода (при изменении d) интенсивность волны в точке приема изменяется в соответствии с формулой (1)

4.2 Интерферометр Майкельсона

В этом опыте используется установка, моделирующая оптический интерферометр Майкельсона (рис. 3). Зеркала \mathcal{Z}_1 и \mathcal{Z}_2 располагаются перпендикулярно осям передающей и приемной антенн, которые в свою очередь должны быть взаимно перпендикулярны. Решетка \mathcal{P} располагается на пересечении осей под углом 45° к ним. Волна от передающей антенны расщепляется на решетке на две волны, распространяющиеся в направлении зеркал \mathcal{Z}_1 и \mathcal{Z}_2 . После отражения от зеркал обе волны возвращаются к решетке. Каждая из этих волн после вторичного расщепления на решетке \mathcal{P} частично попадает в приемную антенну.

Разность хода возникает вследствие различия в расстояниях l_1 и l_2 между решеткой \mathcal{P} и зеркалами \mathcal{Z}_1 и \mathcal{Z}_2 :

$$\Delta = 2(l_2 - l_1). \quad (4)$$

При изменении длины одного из плеч интерферометра (при перемещении соответствующего зеркала) интенсивность в точке приема изменяется в соответствии с формулой (1).

Если на пути одного из лучей поставить пластинку толщиной d_0 с диэлектрической проницаемостью ε , разность хода изменится на величину $2d_0(n-1)$, где $n = \sqrt{\varepsilon}$ — показатель преломления вещества, из которого сделана пластинка. Это приводит к изменению интенсивности в точке приема. Пусть в точке приема до внесения пластинки наблюдался интерференционный максимум. Для того чтобы получить тот же максимум при наличии пластинки, нужно зеркало свободного плеча интерферометра (плеча, в котором нет пластинки) отодвинуть на расстояние Δx_0 , определяемое выражением

$$\Delta x_0 = d_0(n - 1). \quad (5)$$

Зная Δx_0 , можно определить показатель преломления.

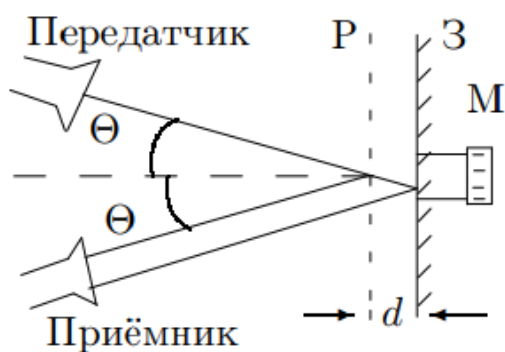


Рис. 2: Интерференция волн СВЧ в плоскопараллельной пластине

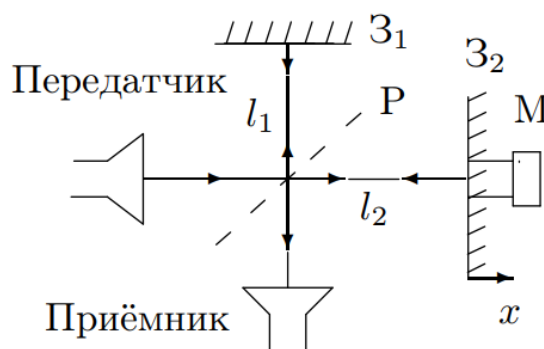


Рис. 3: Интерферометр Майкельсона на СВЧ

5 Ход работы

5.1 Проверка закона Малюса

1. Расположим рупоры как показано на рис. 2, настроим установку на максимум интенсивности методом последовательных приближений.

2. Снимем зависимость уровня сигнала I от угла поворота α приёмной антенны относительно луча, убедимся, что излучаемая электромагнитная волна линейно поляризована
3. Построим графики зависимости уровня сигнала I от $\cos^2 \alpha$, убедимся в справедливости закона Малюса (2)

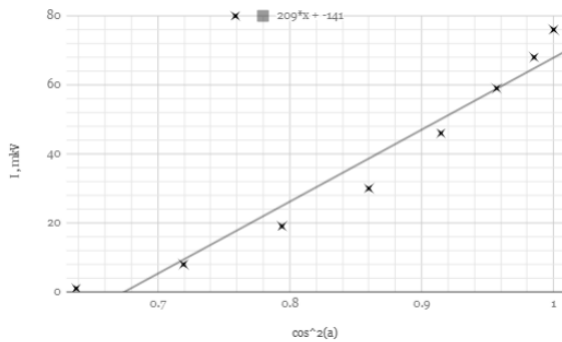


Рис. 4: Зависимость I от $\cos^2 \alpha$, уменьшение угла

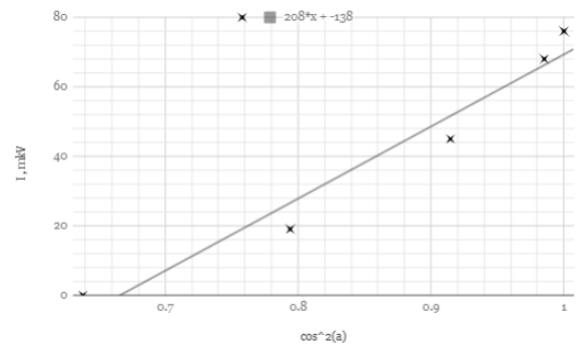


Рис. 5: Зависимость I от $\cos^2 \alpha$, увеличение угла

5.2 Интерференция волн, отражённых от зеркала и решётки

1. Закрепим на фиксаторах перед зеркалом металлическую решётку, убедимся, что при перемещении зеркала уровень сигнала в точке приёма изменяется
2. Снимем зависимость интенсивности I от координаты x подвижного зеркала. Построим график зависимости $I(x)$

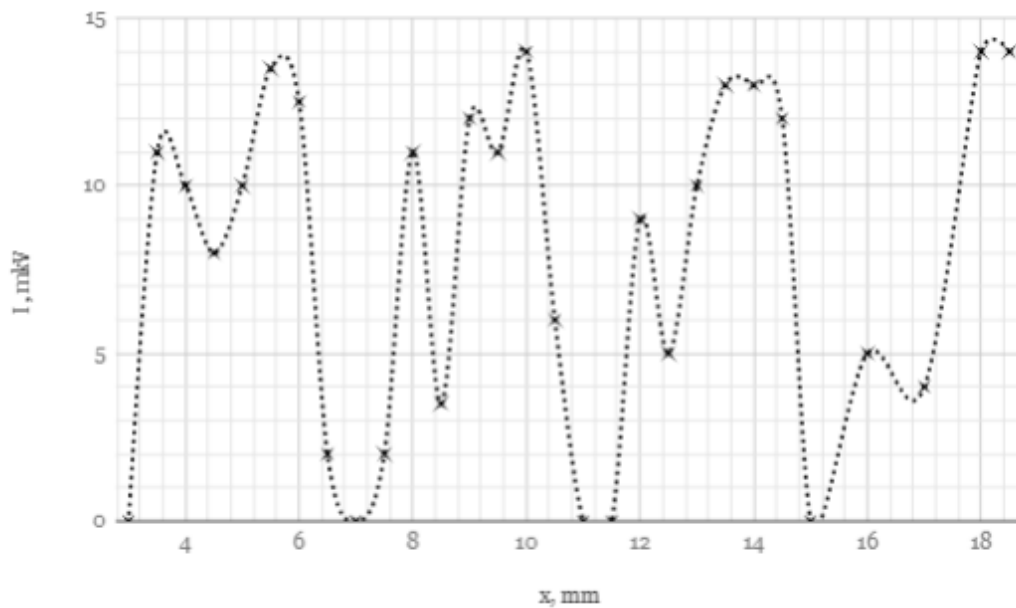


Рис. 6: График зависимости интенсивности сигнала от координаты подвижного зеркала

Длина волны, определённая по этому графику — $\lambda_1 = 8.167 \text{ мм}$.

Длина волны по частотогенератору: $\lambda_0 = 8.333 \text{ мм}$ (частота 36 ГГц).

5.3 Интерферометр Майкельсона

1. Соберём схему интерферометра Майкельсона согласно рис. 3, настроим установку на максимум сигнала.

2. Перемещая подвижное зеркало 32, снимем зависимость координаты x_m в точке интерференционного максимума от номера максимума m , построим график зависимости $x_m = f(m)$

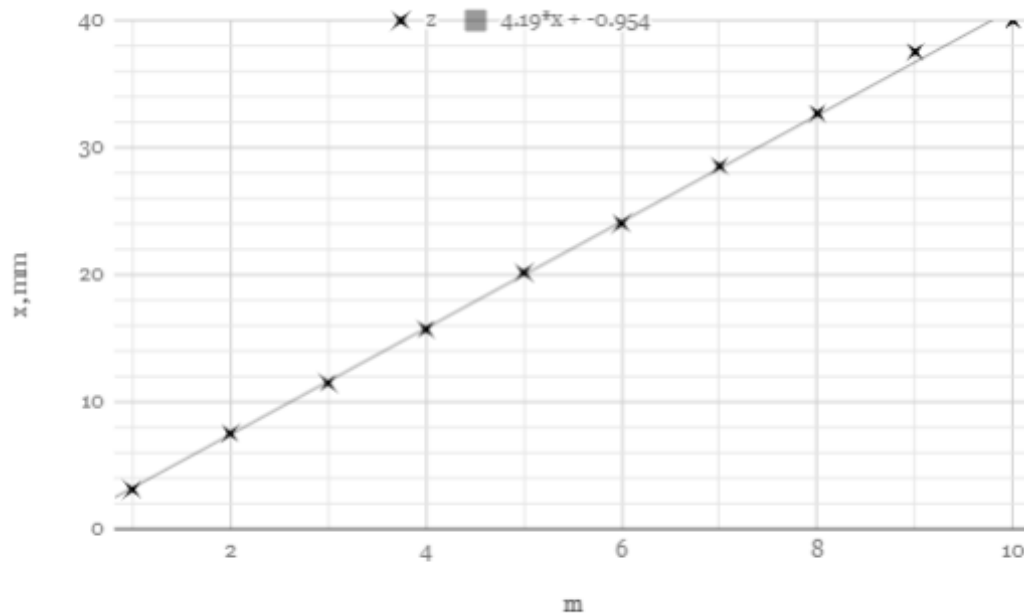


Рис. 7: График зависимости координаты подвижного зеркала от номера интерференционного максимума

По графику определим длину волны: $\lambda_2 = 8.38$ мм

3. Поместим перед подвижным зеркалом 32 тефлоновую пластину толщиной 3.25 мм. Смещение интерференционного максимума от прежнего положения составляет 9 мм. По формуле (5) определим показатель преломления тефлона: $n_1 = 1.36$. Табличное значение: $n_0 = 1.4$

6 Вывод

В ходе работы была изучена интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона с помощью оптических схем. Несколькими способами определена длина волны:

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= 8.333 \text{ мм (частотогенератор)} \\ \lambda_1 &= 8.167 \text{ мм (интерференция с решёткой)} \\ \lambda_2 &= 8.38 \text{ мм (интерферометр Майкельсона)}\end{aligned}$$

Также был определен показатель преломления тефлона:

$$n_{th} = 1.4 \quad n_{ex} = 1.36$$