ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 38
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Цель работы: изучение свойств электромагнитных волн и методов их индикации.

Теоретическое введение

Максвелл теоретически доказал (основываясь на работах Ампера и Фарадея), что между электрическим и магнитным полем существует теснейшая связь, что наглядно отображено в системе уравнений Максвелла. Всякое изменение магнитного поля вызывает появление в пространстве изменяющегося электрического поля (закон Фарадея). Аналогично, при всяком изменении электрического поля в окружающем пространстве появляется изменяющееся магнитное поле. В отличие от поля неподвижных зарядов, силовые линии электрического поля, связанного с изменяющимся магнитным, замкнуты.

Взаимосвязанные переменные электрическое и магнитное поле образуют в совокупности электромагнитное поле. Такое объединение двух полей в одно оправдано тем, что переменное электрическое поле и переменное магнитное поле не могут существовать порознь, и существуют только вместе, взаимно обуславливая друг друга.

Если в какой-либо точке пространства возникает быстроизменяющееся электрическое поле, то одновременно с ним также возникает и магнитное, и эти взаимообусловленные изменения магнитного поля распространяются в пространстве со скоростью света. Существует точная количественная теория этих процессов – электродинамика, основанная на уравнениях Максвелла.

Процесс периодически изменяющегося электромагнитного поля представляет собой волновой процесс – электромагнитные волны.

Электромагнитная волна (рис. 1) характеризуется вектором Е электрической напряженности и вектором Н – магнитной напряженности. Из уравнений электродинамики следует, что векторы напряженности электрического и магнитного полей в электромагнитной волне перпендикулярны друг другу и направлению распространения, т.е. к скорости υ.Эти три вектора связаны «правилом буравчика» : направление υ совпадает с направлением поступательного движения буравчика, если его рукоятка вращается в направлении от Е к Н.

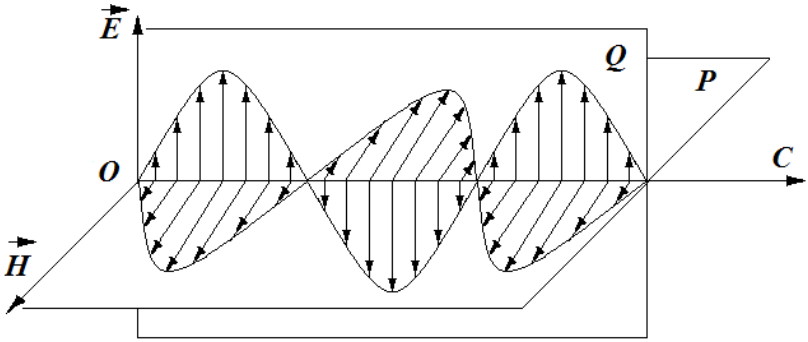


Рис. 1

Пусть в точке «0» электрическое поле изменяется по гармоническому закону $\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega t$. Электромагнитное поле распространяется с конечной скоростью υ, так что колебание в точке с координатой «x» будет запаздывать относительно точки «0» на время распространения возмущения $\tau = x/\upsilon$. Следовательно, колебания электрического поля в точке «x» будут

$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega(t - \tau)$, или

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega(t - x/\upsilon). \qquad (1)$$

В бегущей электромагнитной волне напряженность поля в точке «0»:

$\vec{H} = \vec{H}_0 \sin \omega t$, а в точке «x» :

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \sin \omega(t - x/\upsilon). \qquad (2)$$

Формулы (1) и (2) выражают закон изменения электрического и магнитного полей в плоской волне, распространяющейся в положительном направлении оси X. Они называются уравнениями волны. Эти уравнения, кроме всего прочего отражают тот факт, что колебания векторов E и H происходят в одной фазе.

Если волна распространяется в противоположном направлении, то уравнения волны будут:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega(t + x/\upsilon),$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \sin \omega(t + x/\upsilon). \qquad (3)$$

Расстояние между двумя точками, колебания в которых отличаются по фазе на 2π, называют длиной электромагнитной волны

и обозначают греческой буквой λ. Длина волны равна расстоянию, на которое она распространяется за время одного периода колебаний, т.е. $\lambda = \upsilon T$. График бегущей электромагнитной волны представлен на рисунке 1.

Оборудование

В данной работе источником электромагнитных волн является клистронный генератор К – 19. Подробное описание клистрона содержится в книге: Портис А., Физическая лаборатория. – Москва.: Наука, 1978, - 148 с.

В работе используются два индикатора электромагнитного поля – зонд и рупор. Зонд является наиболее простым приемником электромагнитных волн. Он представляет собой кремниевый детектор включенный в разрыв полуволнового диполя. Концы зонда присоединяются к гальванометру. Принципиальная схема зонда изображена на рисунке 2. Нетрудно заметить, что эта схема представляет собой цепь однополупериодного выпрямителя.

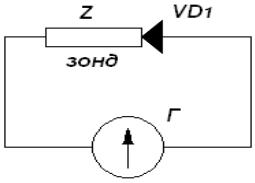


Рис.2

Приемный рупор принципиально устроен так же, как и зонд, только детектор вставляется в отверстие волновода.

Упражнение 1

Цель: Показать, что излучение рупора является электромагнитной волной. Определить длину волны и частоту колебаний генератора.

Доказательством того, что излучение представляет собой волновой процесс, является его способность создать интерференционную картину.

«Совершенно бесполезно говорить о волне, пока не зафиксированы, по крайне мере, два максимума» М.Борн.

Получить интерференционную картину можно отражением потока излучения от металлических поверхностей. В нашей установке электромагнитные волны, отраженные от металлической пластины, интерферируют с падающими волнами, в результате чего образуются стоячие электромагнитные волны. Электрический и магнитный векторы подчиняются на границе раздела двух сред различным

пограничным условиям. На поверхности металлической пластины электрическое поле всегда равно нулю, следовательно на поверхности пластины расположен узел электрического поля E. Магнитное поле наоборот имеет на пластине максимум. Значит здесь расположена пучность вектора H. Поэтому при образовании стоячей волны пучности электрического поля совпадают с узлами магнитного поля и наоборот. График стоячей электромагнитной волны представлен на рисунке 3.

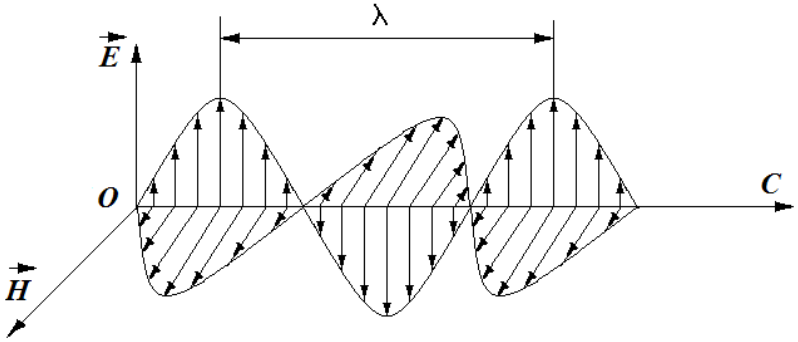


Рис.3

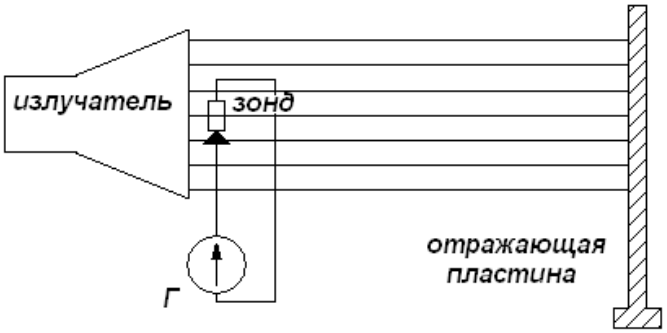


Рис. 4

Порядок выполнения упражнения 1

1. Включить питание установки.
2. Установить металлическую пластину нормально к оси излучателя на расстоянии 40 см.
3. Установить лимб излучателя на 45°.
4. Установить измерительный зонд в крайне левое положение на оптической скамье, снять с него экран.
5. Подсоединить зонд к гальванометру.

6. Перемещая зонд вправо оси излучателя зафиксировать положение 5 максимумов интенсивности электрической напряженности по показаниям гальванометра. Найти расстояние между соседними максимумами и взять среднее расстояние. Расстояние между соседними пучностями в стоячей волне, как известно равно $\lambda/2$ (рис. 3).
7. Рассчитать частоту электромагнитных колебания клистронного генератора.
8. Отсоединить зонд от гальванометра, снять со скамьи зонд и металлическую пластину. Надеть на зонд экран.

Упражнение 2

Цель: Измерение диаграммы направленности рупорного излучателя в горизонтальной плоскости.

Под диаграммой направленности излучателя понимают график в полярных координатах изменения потока энергии электромагнитной волны в точке «Р», в зависимости от угла поворота излучателя в заданной плоскости. Рупорные излучатели имеют диаграмму направленности с одним преимущественным направлением расходования волны.

Порядок выполнения упражнения 2

1. Поставить излучатель и приемный рупор по одной прямой так, чтобы оси приемного рупора и излучателя совпадали, а указатели на лимбах установить на 45°.
2. Подсоединить приемный рупор к гальванометру.
3. Поворачивая излучатель вправо, зафиксировать показания гальванометра через каждые 2° (за начало отчета принять 45°). Поворачивать излучатель следует до тех пор, пока стрелка гальванометра установиться на ноль, после чего вернуть излучатель в исходное положение.
4. Поворачивая излучатель влево, сделать измерения, указанные в пункте В.
5. Построить для полярных координат график зависимости интенсивности электромагнитной волны от угла поворота излучателя в горизонтальной плоскости.

При построении подобного года диаграмм длина соответствующего радиуса – вектора берется численно равной интенсивности волны. В данной работе измеряемая величина тока i прямо пропорционально

интенсивности волны, поэтому длины радиус – векторов можно брать численно равными соответствующим величинам тока (форма диаграмм от этого не измениться).

Примерный вид участка диаграммы приведен на рис. 5.

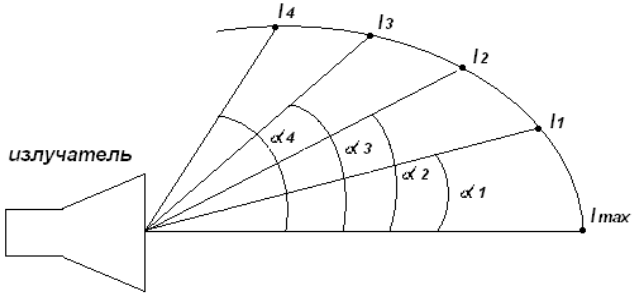


Рис. 5

Упражнение 3

Цель: Проверка закона отражения электромагнитных волн.

Порядок выполнения упражнения 3

1. Поставить в соответствующее гнездо металлическую пластину и установить антенны генератора и приемника на угол 10°. Убедиться, что есть прием электромагнитных волн. Изменив угол одной из антенн на 5°, убедиться, что прием ослаб.
2. Заменить проводящую пластину из диэлектрика и повторить эксперимент. Сделать выводы.

Упражнение 4

Цель: Изучение поляризации волны рупорного излучателя.

Электромагнитная волна называется плосокполяризованной, если колебания вектора E происходят только в одной плоскости (рис. 6). Колебания вектора магнитной напряженности H будут происходить в плоскости, перпендикулярной к плоскости колебаний вектора электромагнитной напряженности. Плоскость колебаний вектора H называется плоскостью поляризации.

В этой части работы следует убедиться, что излучатель формирует плоскополяризованную электромагнитную волну и определить плоскость поляризации.

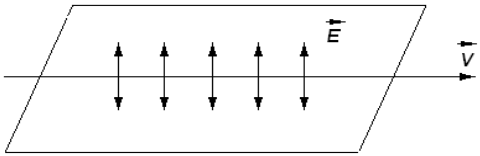
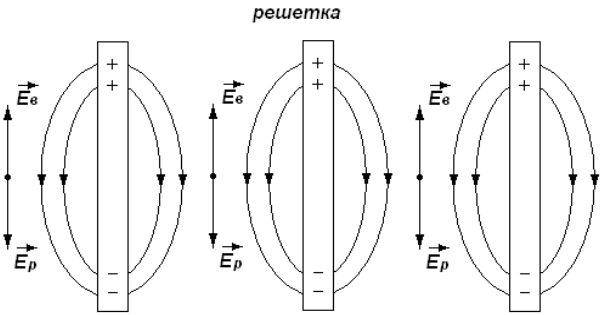


Рис. 6

Когда стержни поляризационной решетки параллельны электрическому полю в волне, то под действием электрического поля волны происходит перераспределение заряда вдоль стержней решетки и создается большое встречное поле, компенсирующее поле волны (рис. 7). При такой ориентации волна не проходит сквозь решетку. Другими словами, стержни решетки играют роль дипольных отражателей. Волна отражается от решетки.



$\vec{E}_в$ - электрическое поле волны,

$\vec{E}_р$ - электрическое поле, возникающее в результате поляризации решетки.

Рис. 7

Если же стрежни решетки перпендикулярны электрическому полю волны, то происходит перераспределение заряда поперек стержня (рис. 8), и добавочное электромагнитное поле невелико.

При такой ориентации волна свободно проходит через решетку. Ориентируя решетку различным образом и измеряя интенсивность проходящей волны, можно сделать вывод о ее поляризации.

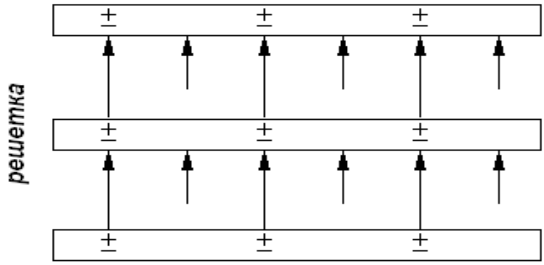


Рис. 8

Порядок выполнения упражнения 4

1. Установить излучатель и рупор приемника на 45°. Между излучателем и рупорным приемником электромагнитных волн расположить поляризационную решетку. Шкалу совместить с «0».
2. Поворачивая решетку через каждые 15° поворота фиксировать показания гальванометра. Таким образом поворачивать решетку до 180°.
3. Из полученных экспериментальных данных сделать вывод.
4. По окончании работы выключить питание установки.

Контрольные вопросы

1. Что называется электромагнитным полем, электромагнитной волной?
2. В чем состоит отличие электрического поля, создаваемого переменным магнитным полем от поля, создаваемого неподвижными электрическим зарядами?
3. Чем отличается стоячая электромагнитная волна от бегущей?
4. Какие опыты подтверждают поперечный характер электромагнитных волн?
5. Как можно измерить длину электромагнитной волны?
6. В чем проявляется поляризация электромагнитной волны?

Список рекомендуемой литературы

1. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука. 1985. §§ 237, 239, 240, 241.
2. Савельев И.В. Курс обшей физики. - М.: Наука. 1978, т.2 §§ 105, 106, 109.