**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**Харьковский национальный университет**

**им. В.Н. Каразина**

**Радиофизический факультет**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ**

**«Затухание ЭМВ при распространении в средах с конечной проводимостью»**

Руководитель:

Колчигин Н.Н.

Студент группы РР-32

Бойко Ю.В.

###### Харьков 2004

**Содержание**

Введение 4

Основная часть 5

1. Вывод уравнений для плоских волн 5

2. Связь характеристик распространения с параметрами среды 9

3. Вычисление затухания в данной среде 14

Список использованной литературы 15

**ЗАДАНИЕ**

1.Изучить общие сведения и формулы.

2.Построить зависимость электрической компоненты поля от глубины проникновения.

3.Вычислить затухание на глубине Н=0,5 м, λ=10 м, в пресной воде (ε=80, σ=10-3 См/м)

## Введение

Распространение электромагнитных волн широко рассматривается в литературе, но в ней большое внимание уделяется распространению волн в диспергирующих средах и законам геометрической оптики. В данной работе рассматривается связь характеристик распространения с параметрами среды и затухание элекромагнитных волн в средах с конечной проводимостью Основная часть

### **1. Вывод уравнений для плоских волн**

Рассмотрим электромагнитный волновой процесс, векторы и которого могут быть представлены в виде

 =(ξ,t), =(ξ,t) (1.1)

Рис. 1.1. Направление распространения плоской волны

Здесь (рис. 1.1.) есть расстояние от начала координатной системы до плоскости


а является постоянным единичным вектором. Так как производные по координатам будут равны и т. д., то

 (1.2)

 (1.3)

Следовательно, для плоской волны уравнения Максвелла принимают вид

 (1.4)

,

Последние два уравнения означают независимость проекций и на направление распространения от координаты ξ, т. е. Eξ =const и Hξ=const в данный момент времени. Исследуем их по­ведение во времени. Для этого второе уравнение (1.4) умножим скалярно на :

Так как

то

и

или , т.е. dHξ = 0, Hξ = const. Для исследования поведения Eξ умножим скалярно первое из уравнений (1.4) на :

Так как , получаем

Прибавим к этому равенству

Следовательно, при конечной σ компонента Eξ экспоненциально убывает со временем, т. е. статическое электрическое поле не может поддерживаться внутри проводника.

Найдем уравнения для и отдельно. Для этого продиффе­ренцируем по t первое из уравнений (1.4)

Найдем из второго из уравнений (1.4), продифференцировав его по ξ:

Получаем

откуда

, так как

Отсюда следует

 (1.6)

Аналогично

 (1.7)

Эти уравнения можно решить методом разделения переменных, идем решение для комплексной амплитуды Е поля , Положив

E=f1(ξ)f2(ξ)

Получаем

 (1.8)

Общее решение для f1 будет

Частное решение для f2 возьмем в виде

Таким образом, решением для будет выражение

Решая уравнение (1.7), получим аналогичное решение для

Подставив эти значения во второе из уравнений (1.4), получим

откуда

Так как ξ в этом равенстве может принимать любые значения, коэффициенты при экспонентах должны равняться нулю:

Поэтому

 (1.9)

Отсюда следует ()=0 (так как ([])=0), т. е. векторы и ортогональны к направлению и друг к другу.


### **2. Связь характеристик распространения с параметрами среды**

Установим связь между р и k. Из (1.8) получим

 (2.1)

Если задана периодичность в пространстве, т. е. k, то р можно найти из уравнения (2.1)

Тогда

где

Распространение возможно, если q действительно. Волновой про­цесс, в котором поверхности равных амплитуд и поверхности рав­ных фаз являются плоскостями, называется плоской волной. Про­стейшим случаем плоской волны является плоская однородная волна. В плоской однородной волне плоскости равных амплитуд совпадают с плоскостями равных фаз. Фазовая скорость такой волны будет равна

Если , то q — мнимое, и распространения нет: существует

пространственная периодичность по ξ и монотонное затухание. На­чальная форма волны не смещается вдоль оси ξ, волновое явление вырождается в диффузию.

Частный случай временной зависимости р = iω. Тогда

 (2.2)

Таким образом, при волновое число k комплексно. Обозначим k=α+iβ, где α — фазовая константа, β — коэффициент затухания. Тогда

 (2.3)

Следовательно, при р=iω имеет место волновой процесс с зату­ханием, если .

Исследуем фазовую скорость волны в среде с конечными ε и σ. Поскольку волновое число комплексно: k=α+iβ, имеем

(2 считаем равным нулю).

В общем случае 1 также комплексно: ,

где α, β, , θ — действительные числа. Отсюда получаем выражение фазовой скорости

Действительно, так как представляет скорость, с которой движется плоскость постоянной фазы

=const

то

откуда

Для определения степени затухания и фазовой скорости нужно вычислить α и β. Из уравнений (2.3) получаем

Введем обозначение



 тогда

или

Здесь нужно оставить знак +, так как α — действительное число

 (2.4)

Аналогично получим для β

 (2.5)

Отсюда находим фазовую скорость

 (2.6)

Зависимость фазовой скорости от частоты сложная: если ε, μ, σ не зависят от частоты, то с увеличением ω фазовая скорость увеличи­вается, т. е. в сложной волне гармоники убегают вперед.

Рассмотрим зависимость поглощения β, определяемого равенством (2.5), от электрических характеристик среды. Член представ­ляет отношение , так как . Следовательно,

Но , поэтому при tgδ<<1

Ограничившись двумя членами разложения, получим

 (2.7)

Следовательно, по поглощению волны можно определить tgδ:

при (единица длины) получаем

Измеряется β в неперах

или в децибелах

где P — мощность.

В случае малых tgδ зависимость β от частоты пренебрежимо мала, так как

В случае tgδ>> 1 формулы (2.4), (2.5) можно упростить и привес­ти к виду

Фазовая скорость


### **3. Вычисление затухания в данной среде**

Электромагнитная волна λ=10м проникает в воду пресного водоема (ε=80, σ=10-3См/м) на глубину 0,5м.

, tgδ<<1

 1/м

, на глубине 0,5 м


##  Список использованной литературы

1. Семенов А.А. Теория электромагнитных волн.-М.: Изд-во МГУ,1968.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны.-М.:Сов.Радио, 1957.
3. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение волн.-М.: Высш.шк., 1992.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах.-М.: Наука ,1973.
5. Тамм И.Е. Основы теории электричества.-М.: Наука, 1989.