**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.