Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника» РЛ1

Кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Домашняя задание №1

по дисциплине

«Электродинамика и распространение радиоволн»

Вариант № 12

Выполнил ст. группы РЛ-41

Филимонов С.В.

Доцент Русов Ю.С.

Оценка в баллах_________

Москва, 2022

Задание №1

ГОСТ 18238-72

1. **Линия передачи сверхвысоких частот (**Линия передачи) - Устройство, ограничивающее область распространения электромагнитных колебаний и направляющее поток сверхвысокочастотной электромагнитной энергии в заданном направлении.
2. **Открытая линия передачи -** Линия передачи, поперечное сечение которой не имеет замкнутого проводящего контура, охватывающего область распространения электромагнитной энергии.
3. **Гибридная волна -** Электромагнитная волна, векторы электрического и магнитного полей которой имеют отличные от нуля поперечные и продольные составляющие.
4. **Критическая частота -** Наименьшая частота, при которой возможно распространение данного типа волны в линии передачи
5. **Вносимое ослабление -** десятикратное значение десятичного или половина натурального логарифма отношения мощности падающей волны на выходе при выключении из тракта некоторой его части к мощности падающей волны на том же выходе при включении этой части

ГОСТ 24375-80

1. **Радиосвязь -** электросвязь, осуществляемая посредством радиоволн.
2. **Космическая радиосвязь** - радиосвязь, в которой используется одна или несколько космических радиостанций или один или несколько отражающих спутников, или другие космические объект.
3. **Активная ретрансляция радиосигнала** - ретрансляция радиосигнала, включающая его приём, преобразование, усиление и излучение.

4. **Пассивная ретрансляция радиосигнала** - ретрансляция радиосигнала путём отражения или преломления, или рассеяния радиоволн в устройствах, телах или искусственных средах с целью изменения направления распространения радиоволн.
5. **Область тени** - зона на земной поверхности, окружающая передающую антенну и лежащая за пределами расстояния прямой видимости.

Задание №2

Условие.

Положительный заряд q равномерно распределен по объему шара радиуса a. Определить напряженность электрического поля, электрическую индукцию и скалярный потенциал внутри и вне шара. Диэлектрическая проницаемость материала $\varepsilon a1$, окружающей среды $\varepsilon a2$. Построить зависимости $E(r)$, $D(r)$, (r), указать характерные особенности графиков и причину их появления. Провести проверку граничных условий на границе раздела сред. Исходные данные: a[мм] = 0,029; q[Кл] = 0,6; $\varepsilon a = \varepsilon 0 * \varepsilon r$; $\varepsilon r1$ = 3,2; $\varepsilon r2$ = 1.

Решение.

R = a. Так как у нас есть две разные среды, то для начала обозначим k в зависимости от r,

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ при r > R, $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}$ при r < R.

Дальше в решении будем учитывать просто k, который припостроении графиков надо будет учесть, по зависимости, которая обозначена выше. Найдем для начала напряженность электрического поля и скалярный потенциал внутри и вне шара. Применим теорему Гаусса. Выберем в качестве замкнутый шар радиуса r > R (рис.). Очевидно, что напряженность наповерхности этого шара будет одинакова по величине и направлена по радиусу. Тогда поток напряженности через него будет $E * 4\pi r^2$. Согласно теореме Гаусса

$$E * 4\pi r^2 = 4\pi k q \text{ ,}$$

откуда следует $E(r) = k\frac{q}{r^2}$. Вне шара напряженность поля совпадает с напряженностью заряда, находящегося вцентре, то и потенциал при r > R выразится в виде

$$\varphi(r) = k\frac{q}{r} \text{ .}$$

Чтобы найти напряженность электрического поля внутри шара, выберем вкачестве замкнутой поверхности сферу радиуса r < R с центром в центре шара.Из симметрии ясно, что напряженность поля направлена по радиусу иодинакова по величине на всей поверхности сферы. Из теоремы Гауссаследует $E(r) * 4\pi r^2 = 4\pi k q(r)$,

где q(r) – заряд внутри выбранной поверхности. Введем плотность заряда шара ρ. Тогда

$$q(r) = \rho \frac{4}{3}\pi r^3 \quad \text{и} \quad E(r) = k\frac{q(r)}{r^2} = \frac{4}{3}k\rho\pi r \quad .$$

Плотность заряда равна полному заряду, деленному на объем шара

$$\rho = \frac{3q}{4\pi R^3} \; .$$

Для напряженности поля внутри шара получим

$$E = k\frac{q}{R^3}r \; .$$

Найдем потенциал внутри шара

$$\varphi(r) = -\int_{\infty}^{R} k\frac{q}{r^2}\mathrm{dr} - \int_{R}^{r} k\frac{q}{R^3}\mathrm{rdr} \quad .$$

Первый интеграл имеет смысл работы по переносу единичного положительногозаряда из бесконечности до поверхности шара и равен $\frac{kq}{R}$. Второй член будет равен $-\int_{R}^{r} k\frac{q}{R^3}\mathrm{rdr} = -k\frac{q}{R^3}\frac{r^2}{2} + k\frac{qr^2}{2R^3}$. Значение потенциала внутри шара определится выражением

$$\varphi(r) = \frac{3}{2}k\frac{q}{R} - k\frac{qr^2}{2R^3} .$$

И так подведем итог напряженность электрического поля и скалярный потенциал внутри и вне шара.

$E = k\frac{q}{r^2}$ при r > R, $E = k\frac{q}{R^3}r$ при r < R , и

$\varphi = k\frac{q}{r}$ при r > R, $\varphi = \frac{3}{2}k\frac{q}{R} - k\frac{qr^2}{2R^3}$ при r < R

Теперь найдем электрическую индукцию

$$D = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_0 E + \kappa\varepsilon_0 E = \varepsilon_0(1+\kappa)E = \varepsilon_0\varepsilon E$$

Тогда

$D = \varepsilon_0 E$ при r > R, $D = \varepsilon_0\varepsilon E$ при r < R.

Построим графики для полученных функций:

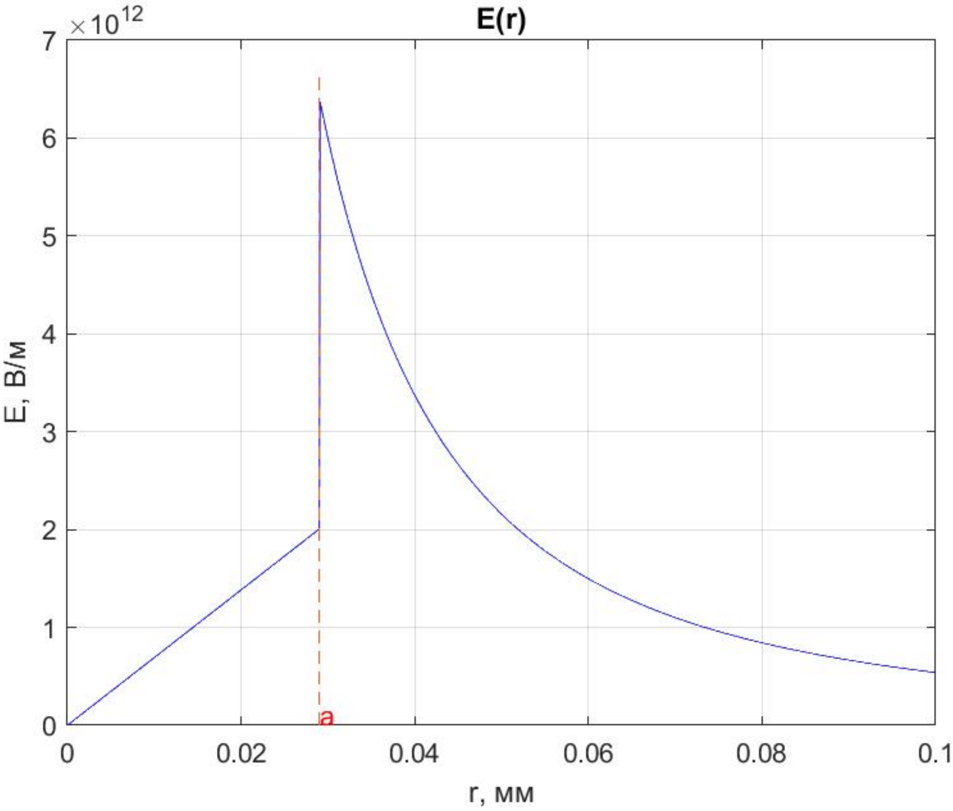

График 1. E(r)

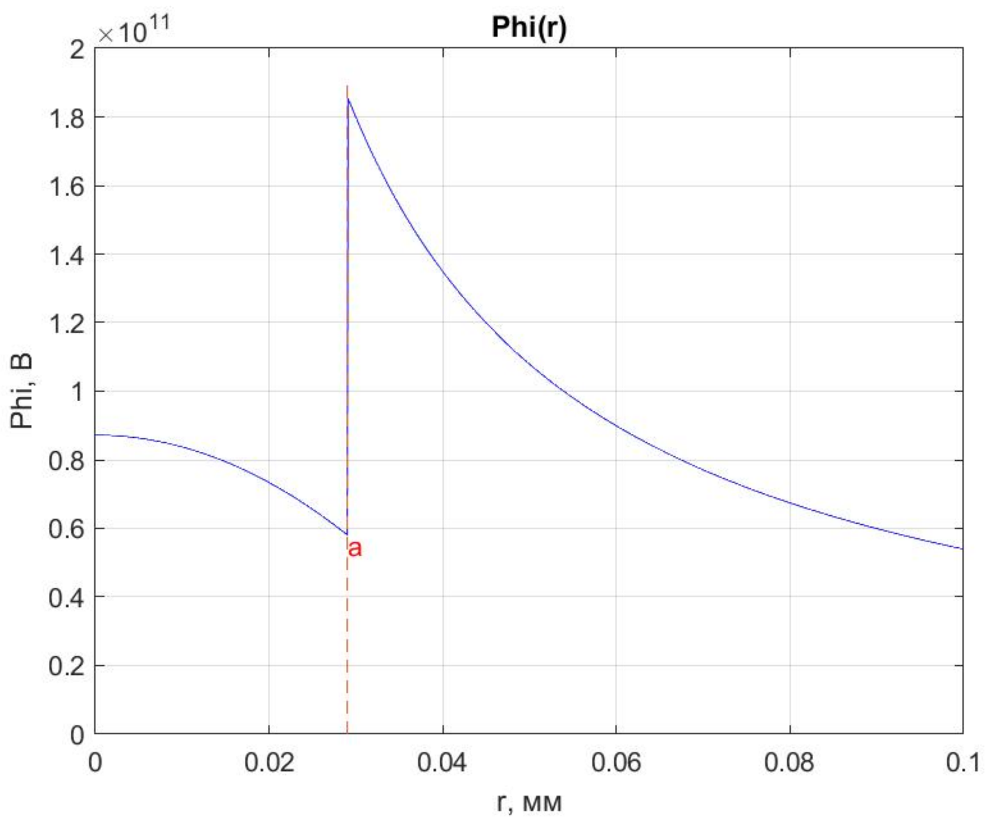

График 2. φ(r)

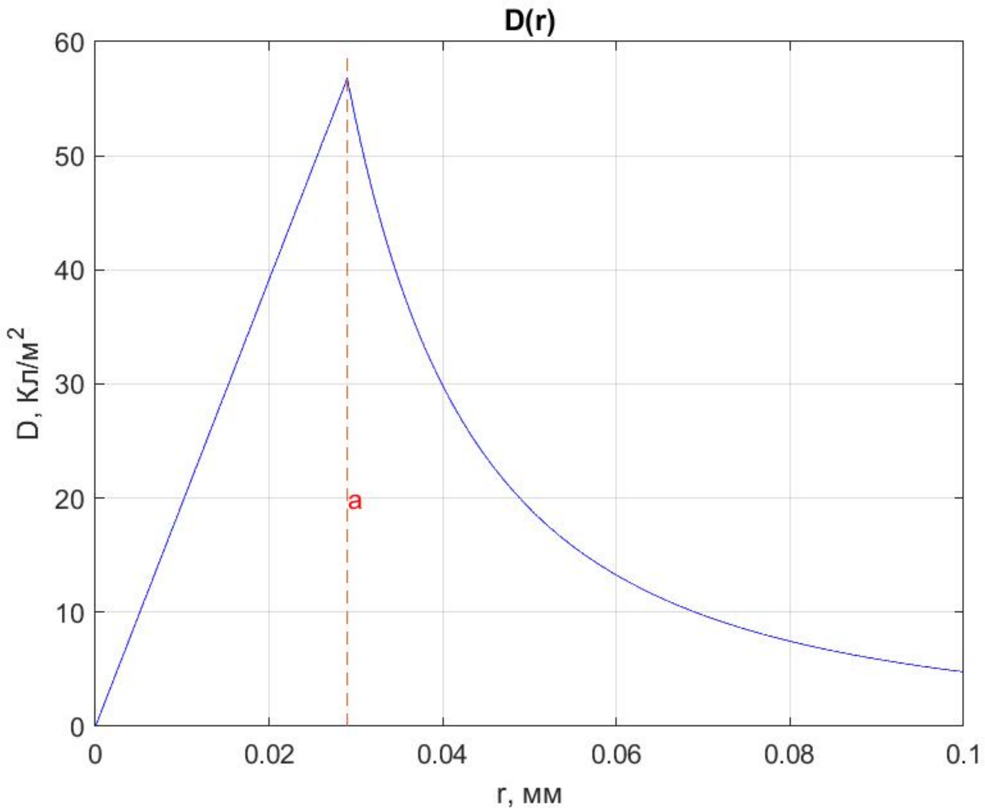

График 3. D(r)

Задание № 3

Условие.

По бесконечно длинному цилиндрическому проводнику радиуса *a* протекает постоянный ток *I*, равномерно распределенный по площади поперечного сечения. Построить зависимости напряженности и индукции магнитного поля *H(r)* и *B(r)*, создаваемого этим током в однородной среде с μr = 1. Исходные данные: *I*[A] = 0,1·N+M, *a*[мм] = 2+0,1·N.

Решение.

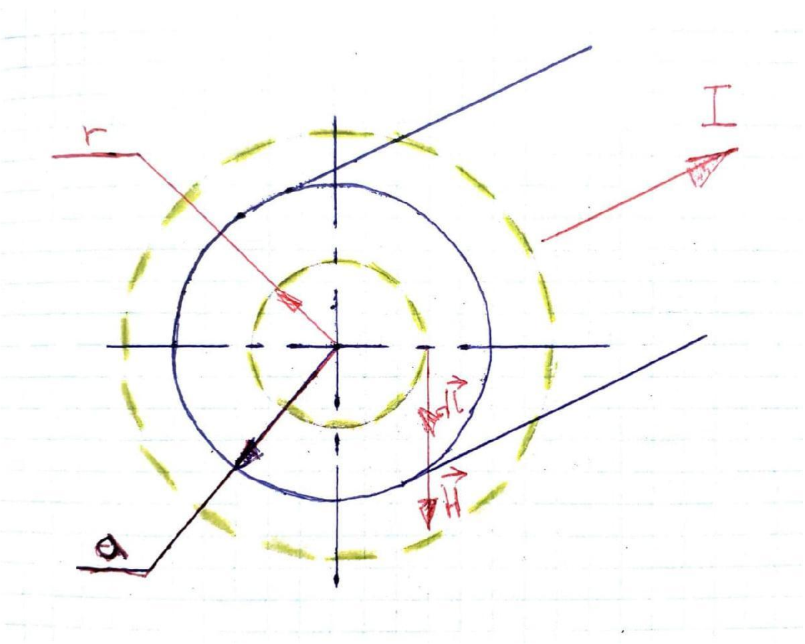

Рис.1 общая схема

Учтем первое уравнение Максвелла

$$\oint_L \vec{H}\, d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial}{\partial t}\vec{D}\right) d\vec{S},$$

Пусть по бесконечно длинному цилиндрическому проводу радиуса *R* протекает постоянный ток I . Возьмем окружность за контур L т.к. она обладает осевой симметрией(поле по модулю будет одинаковым). А так же центр совпадает с центром поперечного сечения в результате

$$H = const.$$

Так как $\vec{H}$ направлен по касательной, то при выборе такого контура $\vec{H} || \vec{D}$. Тогда из первого уравнения Максвелла следует, что $\vec{H} d\vec{l} = Hdl$ и $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \oint_L Hdl$, тогда

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \oint_L Hdl = H(r) \oint_L dl = H(r) 2\pi r,$$

где $H(r)$ - не зависит от L. И так теперь мы имеем два случая:

1. $\frac{\partial}{\partial t} D = 0$, так как ток постоянный и поле соответственно тоже постоянно.
2. $\int_S \vec{J} d\vec{S} = JdS$, т. к. $\vec{J} || d\vec{S}$, то плотность тока считается постоянной, так как ток постоянный и распределенно равномерно, то ток протекает $\perp$ поперечену сечению провода. Тогда

$$J = \frac{I}{S(a)} = \frac{I}{\pi a^2}.$$

Для случая 1 $r \le a$, тогда

$$\int_S \vec{J} d\vec{S} = J \int_S dS * \frac{I}{\pi a^2} \Longrightarrow \pi r^2 = \frac{I}{a^2} r^2,$$

тогда из первого уравнения Максвелла следует, что

$$H(r) 2\pi r = \frac{I}{a^2} r^2 \Longrightarrow H(r) = \frac{Ir}{2\pi a^2},$$

а так же, так как $\vec{B} = \mu(r) \vec{H}$, то

$$B(r) = \frac{Ir\mu(r)}{2\pi a^2}.$$

Тогда для случая 2 $r \ge a$, будет

$$\int_S \vec{J} d\vec{S} = I,$$

тогда

$$H(r)2\pi r = I \Longrightarrow H(r) = \frac{I}{2\pi r},$$

а так же, так как $\vec{B} = \mu(r)\vec{H}$, то

$$B(r) = \frac{I\mu(r)}{2\pi r}.$$

Итак подведем итог

$H = \frac{I}{2\pi r}$ при r > R, $H = \frac{Ir}{2\pi a^2}$ при r < R , и

$B = \frac{I\mu(r)}{2\pi r}$ при r > R, $B = \frac{Ir\mu(r)}{2\pi a^2}$ при r < R.

Построим графики для полученных функций:

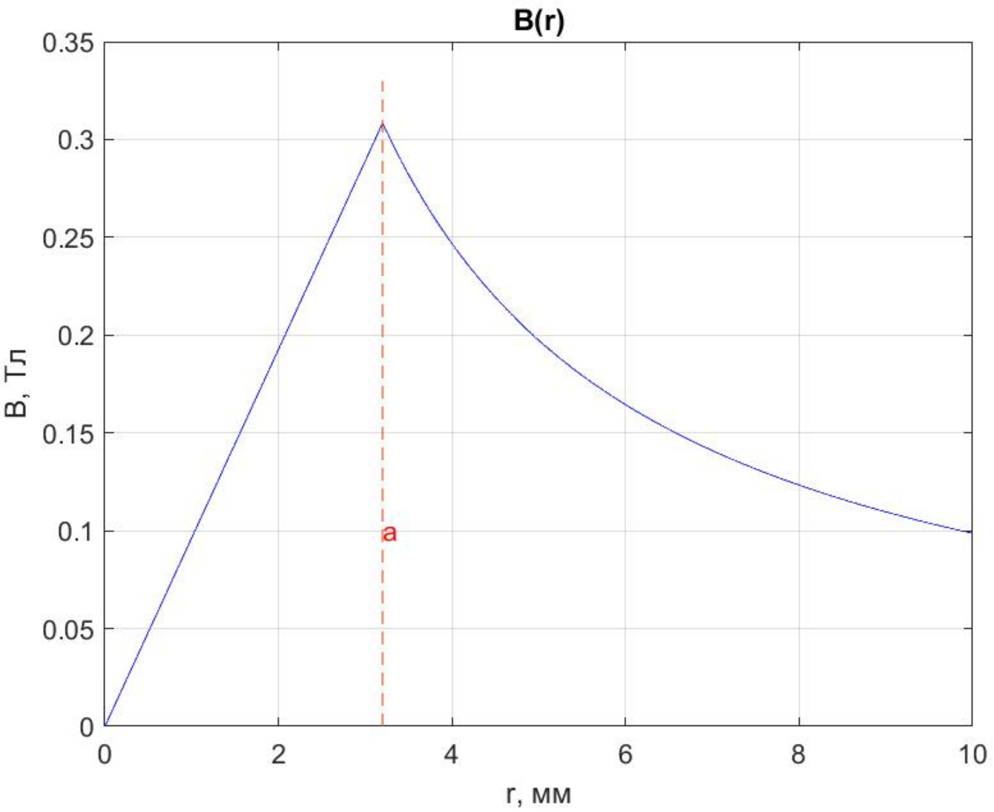

График 1. H(r)

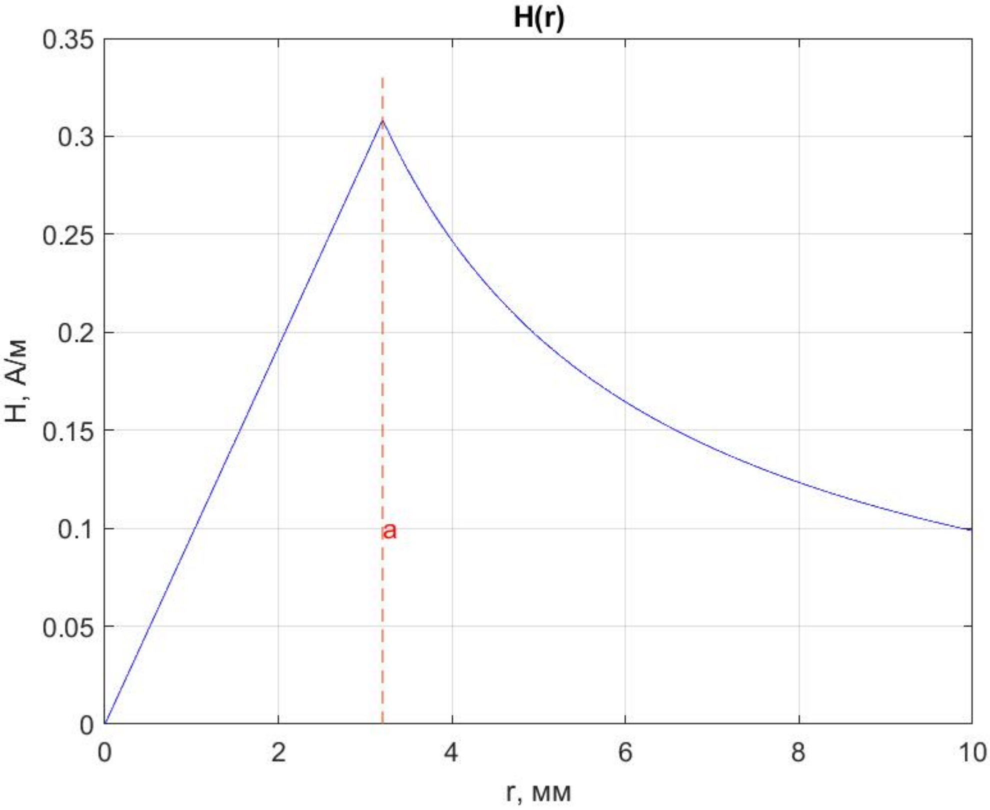

График 2. B(r)

Задание № 4

Условие.

Плоская монохроматическая линейно поляризованная электромагнитная волна распространяется в неограниченном пространстве без потерь. Диэлектрическая проницаемость среды – *εa*, магнитная проницаемость среды – *μa*, амплитуда напряженности электрического поля – *Em*, частота – *f*. Записать выражения для мгновенных значений напряженностей электрического и магнитного полей плоской электромагнитной волны. Определить основные параметры волны. Исходные данные*: εa* = *ε0 εr; εr* = 2+N/10; *μa= μ0*μr; μr* = 1+N/10; *Em*[мВ/м] = 50+N; *f* [Гц] = (M+N/20)*10^9 .

Решение.

Рассмотрим плоскую электромагнитную волну с линейной поляризацией, которая распространяется в бесконечной и однородной среде. В этом случае из общего уравнения для плоской электромагнитной волны имеем:

$$\begin{cases} E_x(z,t) = E_m \cos(\omega t - kz) \\ H_x(z,t) = H_m \cos(\omega t - kz) \end{cases}$$

Средой без потерь называют среду, в которой отсутствуют потери энергии при распространении электромагнитной волны. Для такой среды

$$k = \omega \sqrt{\varepsilon_a \mu_a}.$$

В таком случеа изобразим на рис. 1 мгновенную картину полей плоской электромагнитной волны в среде без потерь.

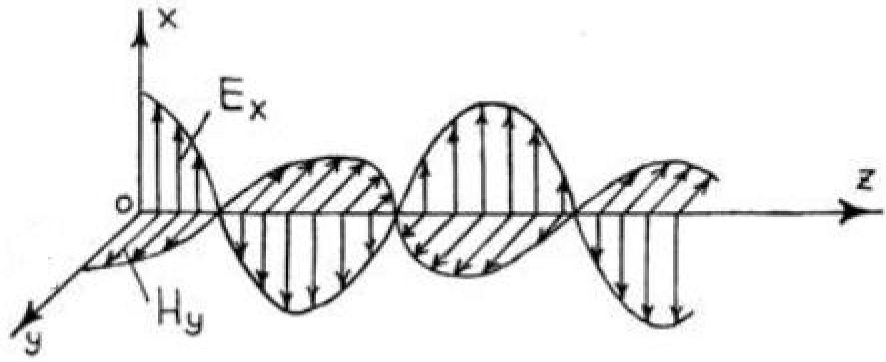

Рис.1 – Плоская электромагнитная волна в среде без потерь

Коэффициент E_m нам известен, найдем H_m

$$H_m = \frac{E_m}{Z_c},$$

где Z_c - это коэффициент пропорциональности между составляющими электрического и магнитного поля равен характеристическому (волновому) сопротивлению среды

$$Z_c = \frac{\omega\mu_a}{k} = \frac{\omega\mu_a}{\omega\sqrt{\varepsilon_a\mu_a}} = \sqrt{\frac{\mu_0\mu}{\varepsilon_0\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}},$$

тогда Z_c = 311,616. Теперь найдем H_m, оно будет равно H_m = 0,199 мА/м. Определим ω и *k,*

$$\omega = 2\pi\nu,$$

тогда $\omega = 3,52 * 10^{10}$ рад/с, а k = 310,51 м^(-1). Так же найдем другие характерстики волны: период, длину волны и фазовой скоростью. Период находится из формулы

$$T = \frac{1}{\nu},$$

где $T \approx 1,8 * 10^{-10}$ с. Длина волны следует из

$$k = \omega\sqrt{\varepsilon_a\mu_a} = \frac{2\pi}{\lambda} \Longrightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k},$$

λ = 0,02 м. Рассмотрим основные характеристики плоской электромагнитной волны на примере составляющей электрического поля волны:

$$E_x(z,t) = E_m \cos(\omega t - kz),$$

в нем $(\omega t - kz)$ – есть фаза волны, которая зависит от времени t и от пространственной координаты z. Геометрическое место точек, в которых электромагнитное поле имеет одинаковую фазу ($(\omega t - kz)$ = const), называется фазовым или волновым фронтом волны. Для плоской электромагнитной волны фронт волны представляет собой плоскость z = const. Скорость перемещения фазового фронта называется фазовой скоростью V_ϕ волны. Определим V_ϕ плоской электромагнитной волны, для чего зафиксируем фазу поля $(\omega t - kz)$ = const и продифференцировав ее по времени, получим

$$\omega - k\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}z = 0.$$

Тогда отсюда можно получить

$$V_\phi = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}z = \frac{\omega}{k} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{\varepsilon_a\mu_a}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}},$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \approx 3 * 10^8$ м/с - скорость света. А $V_\phi \approx 1,1331 * 10^8$ м/с. Дисперсией называется зависимость фазовой скорости от частоты. Как следует из уравнения для V_ϕ плоская электромагнитная волна в среде без потерь не обладает дисперсией.

Построим графики для полученных функций:

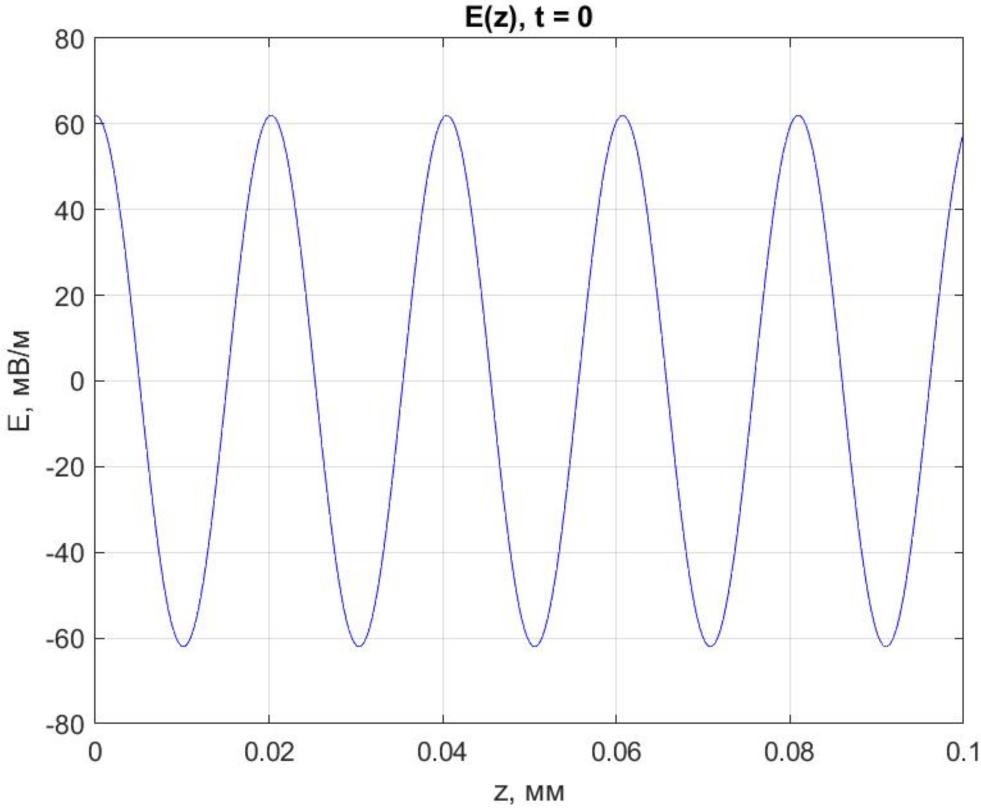

График 1. E(z), t = 0

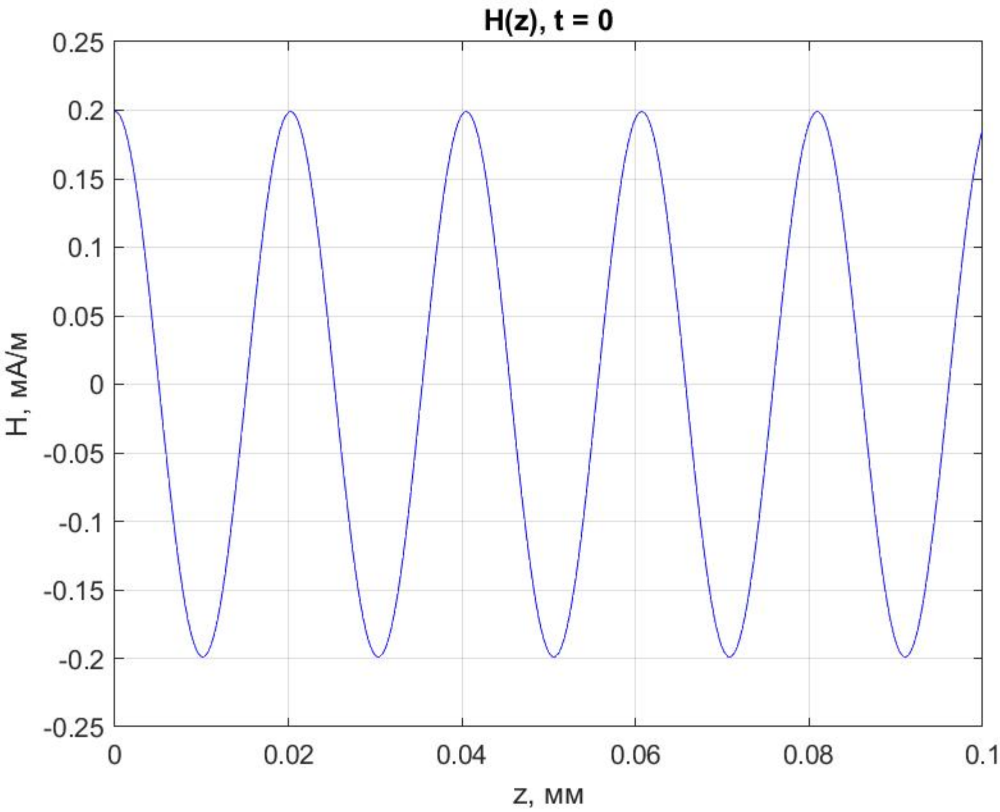

График 2. H(z), t = 0

Задание № 5