

Электродинамика и распространение радиоволн

Семинар 8

Русов Юрий Сергеевич

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА В НЕОГРАНИЧЕННЫХ СРЕДАХ

1. Провести работу над ошибками в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.
2. Решить предлагаемые задачи, используя исходные данные для своего варианта. Вариант задания определяется следующими параметрами: М – номер группы (1 для РЛ1-41, 2 для РЛ1-42, 3 для РЛ1-43, 4 для РЛ1-44, 5 для РЛ1-49, 6 для РЛ6-41, 7 для РЛ6-49), N – порядковый номер студента в списке группы.

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

1. Отсутствует указание размерности в итоговых результатах.

Например, при записи выражения для мгновенного значения напряженности электрического поля после подстановки исходных численных данных должна быть указана размерность получаемой величины.

$$E_m \cos(\omega t - \beta z)$$

После подстановки численных данных

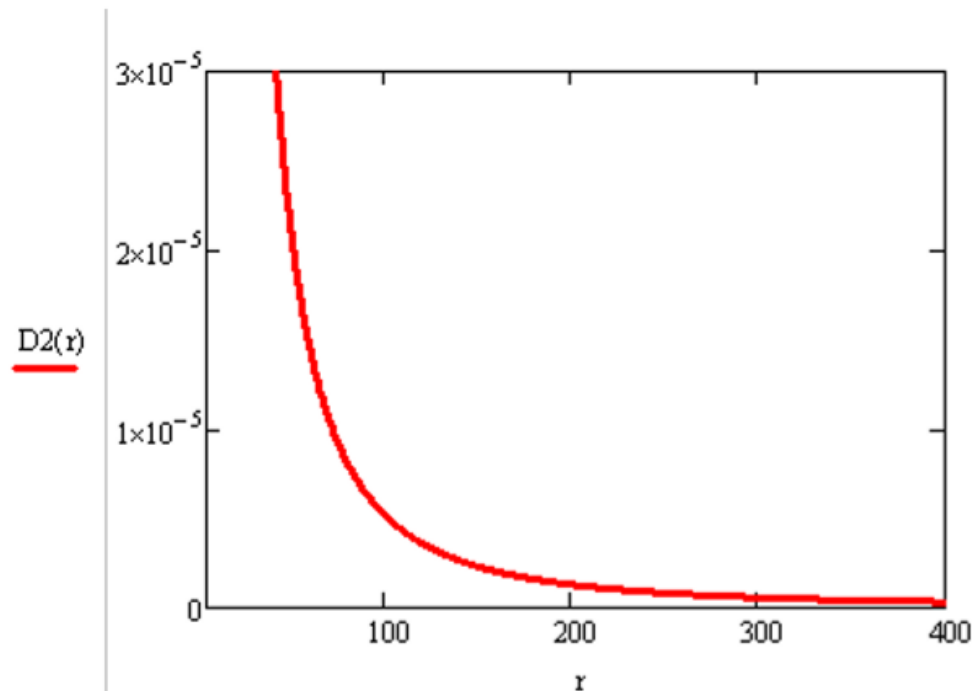
$$E(t, z) = 100 \cos(200t - 50z) \text{ В/м.}$$

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

2. Отсутствуют обозначения и размерности величин на осях графиков.

Пример **неправильного оформления**

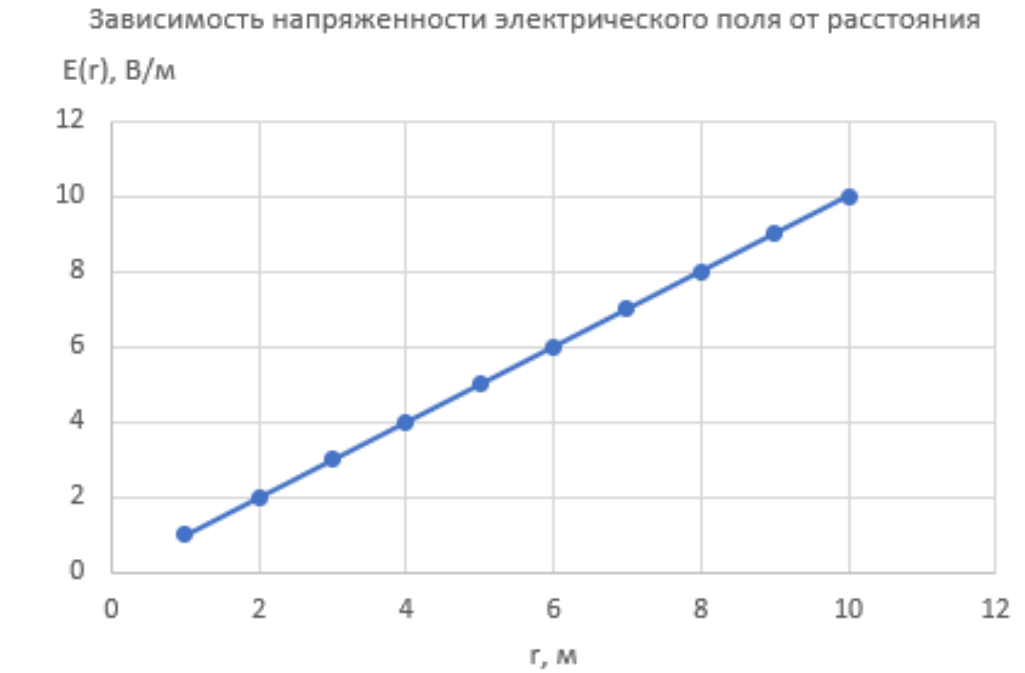


Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

2. Отсутствуют обозначения и размерности величин на осях графиков.

Пример правильного оформления



Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Неверное решение задачи 5 Д31.

Нет записи итоговых выражений для напряженностей после подстановки исходных данных.

7). Выражения для мгновенных значений:

$$\overline{E}(z, t) = \operatorname{Re} \left\{ \dot{\vec{E}}(z, t) \right\},$$

$$\overline{H}(z, t) = \operatorname{Re} \left\{ \dot{\vec{H}}(z, t) \right\}.$$

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Неверное решение задачи 5 ДЗ1.

В записи итоговых выражений для мгновенных значений напряженностей электрического и магнитного полей присутствуют мнимые единицы.

Мгновенные значения полей - действительные величины. Мнимых единиц тут быть не может!

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Неверное решение задачи 5 Д31.

Пример **правильной записи**

$$\vec{E}(z, t) = \overline{x_0} \cdot 1,74 \cdot e^{-0,39z} \cos(6,28 \cdot 10^6 t - 0,405 \cdot z) \left[\frac{\text{В}}{\text{м}} \right];$$

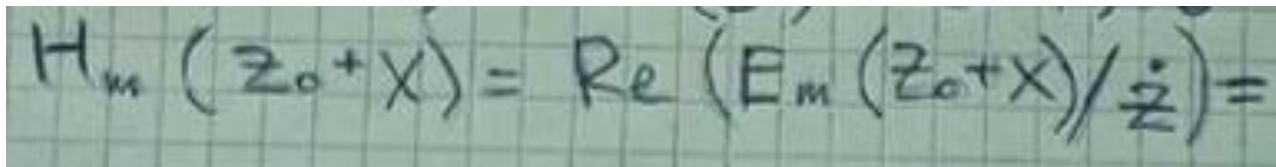
$$\vec{H}(z, t) = \overline{y_0} \cdot 0,02 \cdot e^{-0,39z} \cos(6,28 \cdot 10^6 t - 0,405 \cdot z - 0,77) \left[\frac{\text{А}}{\text{м}} \right].$$

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Неверное решение задачи 2 КР1.

Амплитуда напряженности магнитного поля получена взятием действительной части, как в примере **неправильного решения**


$$H_m(z_0 + X) = \operatorname{Re} \left(E_m(z_0 + X) / \dot{z} \right) =$$

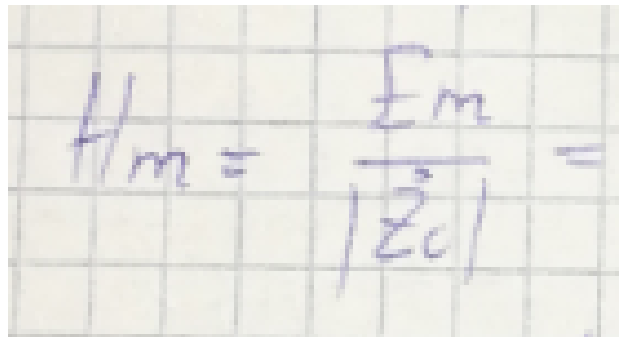
Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Неверное решение задачи 2 КР1.

Здесь амплитудное значение находится как модуль комплексной амплитуды (**модуль**, а не **действительная часть!**)

Пример **правильного** решения



A photograph of a handwritten formula on a grid background. The formula is $H_m = \frac{\varepsilon_m}{|Z_c|} =$. The handwriting is in purple ink.

$$H_m = \frac{\varepsilon_m}{|Z_c|} =$$

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Нет подстановки исходных численных данных в итоговое выражение

Пример **неправильного представления решения**

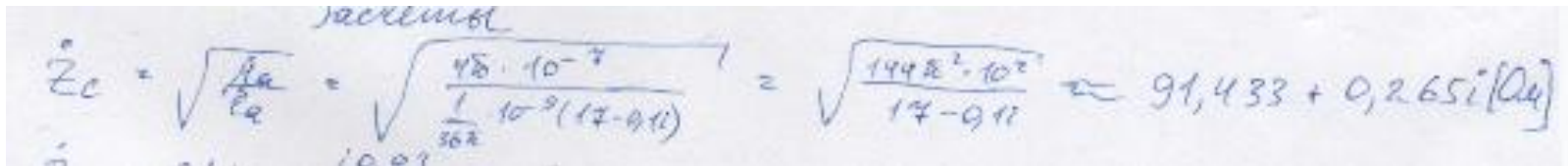
$$H_m = E_m \sqrt{\frac{\mu_0 \mu}{\epsilon_0 \epsilon}} = 0,065 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Типовые ошибки

Наиболее часто допускаемые ошибки в домашнем задании №1 и контрольной работе №1.

3. Нет подстановки исходных численных данных в итоговое выражение

Пример **правильного представления решения**



Handwritten calculation for Z_c showing the substitution of numerical values into the formula. The formula is $Z_c = \sqrt{\frac{R_a}{R_g}}$. The values substituted are $R_a = 48 \cdot 10^{-3}$ and $R_g = \frac{1}{362} \cdot 10^{-3} (17 - 9.1)$. The final result is $Z_c = 91,433 + 0,265i [\Omega]$.

$$Z_c = \sqrt{\frac{R_a}{R_g}} = \sqrt{\frac{48 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{362} \cdot 10^{-3} (17 - 9.1)}} = \sqrt{\frac{144 \cdot 10^2 \cdot 10^2}{17 - 9.1}} \approx 91,433 + 0,265i [\Omega]$$

Типовые ошибки

Примеры **неправильного** решения:

Мнимая единица в записи мгновенных значений, которые являются действительными величинами

$$\begin{cases} \vec{E}(z, t) = \vec{x}_0 * 3.08 * \cos(1.0053 * 10^7 * t - (0.9165 - 0.8683i)z) \frac{\text{В}}{\text{м}}, \\ \vec{H}(z, t) = \vec{y}_0 * 0.0342 * \cos(1.0053 * 10^7 * t - (0.9165 - 0.8683i)z) \frac{\text{А}}{\text{м}}. \end{cases}$$

Типовые ошибки

Примеры **неправильного** решения:

Мнимая единица в записи мгновенных значений, которые являются действительными величинами

$$\begin{aligned}\bar{E}(z,t) &= \bar{X}_0 \cdot 0,75 e^{-0,104 z} \cos(2,153 \cdot 10^6 t - 0,107 i z) \\ \bar{H}(z,t) &= \bar{Y}_0 \cdot 0,01008 e^{-0,104 z} \cos(2,153 \cdot 10^6 t - 0,107 i z - 0,77152)\end{aligned}$$

Типовые ошибки

Примеры **неправильного** решения:

Не указаны размерности величин


$$\vec{E}(t, z) = 0.82 e^{-11.08 \cdot 10^{-2} z} \cos(2.51 \cdot 10^6 t - 11.39 \cdot 10^{-2} z) \vec{x}_0$$

$$\vec{H}(t, z) = 0.01 e^{-11.08 \cdot 10^{-2} z} \cos(2.51 \cdot 10^6 t - 11.39 \cdot 10^{-2} z - 0.77) \vec{y}_0$$

Типовые ошибки

Примеры **неправильного** решения:

Встречались неправильные численные результаты. Например, фазовые сдвиги более 1 радиана – результат неправильных расчетов.

$$\begin{cases} \vec{E}(z, t) = \overline{x}_0 \cdot 2.15 \cdot e^{-0.534z} \cos(6.912 \cdot 10^6 t - 0.513 \cdot z) \left[\frac{\text{В}}{\text{м}} \right]; \\ \vec{H}(z, t) = \overline{y}_0 \cdot 0,0182 \cdot e^{-0.534z} \cos(6.912 \cdot 10^6 t - 0.534 \cdot z - 1.47) \left[\frac{\text{А}}{\text{м}} \right]. \end{cases}$$


Типовые ошибки

Примеры **неправильного** решения:

Неправильно записана полная фаза в мгновенных значениях полей

Ответ:

$$\begin{cases} \bar{E}(z,t) = \bar{X}_0 \cdot 0,88 e^{-0,142z} \cdot \cos(3,1416 \cdot 10^6 t \cdot 0,146z) \left[\frac{B}{m} \right] \\ \bar{H}(z,t) = \bar{Y}_0 \cdot 0,013 e^{-0,142z} \cdot \cos(3,1416 \cdot 10^6 t \cdot 0,146z - 0,772) \left[\frac{A}{m} \right] \end{cases}$$

Типовые ошибки

Пример правильного представления решения

$$w = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 4.398 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right];$$

$$\widetilde{\varepsilon}_a = 3.54 \cdot 10^{-11} - 1.137 \cdot 10^{-9}i \left[\frac{\Phi}{\text{м}} \right];$$

$$\widetilde{\mu}_a = 8.796 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\Gamma_{\text{н}}}{\text{м}} \right];$$

$$\begin{aligned} \dot{k} &= 4.398 \cdot 10^6 \sqrt{(3.54 \cdot 10^{-11} - 1.137 \cdot 10^{-9}i) \cdot 8.796 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 0.316 - 0.306i \left[\frac{\text{рад}}{\text{м}} \right]; \end{aligned}$$

$$\dot{Z} = 63.15 + 61.21i \text{ [Ом]};$$

$$\dot{H}_m = \frac{1.63}{63.15 + 61.21i} = 0.013 - 0.0129i \left[\frac{\text{А}}{\text{м}} \right]$$

Типовые ошибки

Пример правильного представления решения
(продолжение)

$$\begin{aligned}\dot{\vec{E}}(z, t) &= \overline{x_0} \cdot 1.63 \cdot e^{i(4.398 \cdot 10^6 t - 0.306 z - 0.316 i z)} = \\ &= \overline{x_0} \cdot 1.63 \cdot e^{-0.306 z} e^{i 4.398 \cdot 10^6 t} e^{-i 0.316 \cdot z} \left[\frac{\text{В}}{\text{М}} \right];\end{aligned}$$

$$\alpha = 0.306 \left[\frac{\text{рад}}{\text{м}} \right];$$

$$\beta = 0.316 \left[\frac{\text{рад}}{\text{м}} \right];$$

$$\dot{\vec{H}}(z, t) = \overline{y_0} \cdot 0.018 e^{-i 44.78 (\text{град})} e^{-0.306 z} e^{i 4.398 \cdot 10^6 t} e^{-i 0.316 \cdot z} \left[\frac{\text{А}}{\text{М}} \right];$$

$$\vec{E}(z, t) = \overline{x_0} \cdot 1.63 \cdot e^{-0.306 z} \cos(4.398 \cdot 10^6 t - 0.316 \cdot z) \left[\frac{\text{В}}{\text{М}} \right];$$

$$\vec{H}(z, t) = \overline{y_0} \cdot 0,018 \cdot e^{-0.306 z} \cos(4.398 \cdot 10^6 t - 0.316 \cdot z - 0,781) \left[\frac{\text{А}}{\text{М}} \right].$$

Ответ:

$$\begin{cases} \vec{E}(z, t) = \overline{x_0} \cdot 1.63 \cdot e^{-0.306 z} \cos(4.398 \cdot 10^6 t - 0.316 \cdot z) \left[\frac{\text{В}}{\text{М}} \right]; \\ \vec{H}(z, t) = \overline{y_0} \cdot 0,018 \cdot e^{-0.306 z} \cos(4.398 \cdot 10^6 t - 0.316 \cdot z - 0,781) \left[\frac{\text{А}}{\text{М}} \right]. \end{cases}$$

Задание для самостоятельного решения

В диэлектрике с параметрами ε_a , μ_a , σ вдоль оси z распространяется электромагнитная волна, имеющая линейную поляризацию по x и частоту f . Напряженность электрического поля в точке $z=0$ в момент времени $t=0$ равна E_m . Записать выражения для мгновенных значений электрического и магнитного поля.

Задание для самостоятельного решения

Исходные данные: $\varepsilon_a = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$; $\varepsilon_r = (3+N)/2$;

$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu_r$; $\mu_r = (M+N)/2$;

$E_m[\text{В/м}] = 0,07 \cdot M + 0,2 \cdot N$;

$f[\text{МГц}] = (N+2)/10$;

$\sigma[\text{См/м}] = N \cdot 10^{-3}$.

Вариант задания определяется следующими параметрами: М – номер группы (1 для РЛ1-41, 2 для РЛ1-42, 3 для РЛ1-43, 4 для РЛ1-44, 5 для РЛ1-49, 6 для РЛ6-41, 7 для РЛ6-49), N – порядковый номер студента в списке группы.

Задание для самостоятельного решения

5.12. Определить характеристическое сопротивление металла с удельной электрической проводимостью $6 \cdot 10^7$ См/м и относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$ на частотах 10 кГц и 1 МГц.

5.20. Определить толщину медного экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в 10^4 раза на частотах 50 Гц и 50 МГц.

5.21. Определить толщину экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в 10^4 раза на частоте 50 Гц, если он выполнен из материала с $\sigma = 5 \cdot 10^7$ См/м и $\mu = 900$. Сравнить полученный результат с ответом к предыдущей задаче.

5.31. Однородная плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Вектор Пойнтинга волны лежит в плоскости x, z и образует угол φ с осью z .

Найти расстояние вдоль оси z , на котором фаза волны изменится на 360° , если частота колебаний равна 100 МГц, а угол $\varphi = 60^\circ$.

Основная литература по дисциплине

1. Голубева Н.С., Митрохин В.Н. Основы радиоэлектроники сверхвысоких частот: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 486 с. ISBN 5-7038-2740-X. Режим доступа: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/205/book1163.html>
2. Кугушев А.М., Голубева Н.С., Митрохин В.Н. Основы радиоэлектроники. Электродинамика и распространение радиоволн. Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 368 с.

Дополнительные учебные материалы

1. Сборник задач по курсу «Электродинамика и распространение радиоволн»: учеб. пособие / Баскаков С.И., Карташев В.Г., Лобов Г.Д., Филатова Е.А., Штыков В.В.; Под ред. С.И. Баскакова. М.: Высшая школа, 1981. 208 с.