

Электродинамика и распространение радиоволн

Семинар 9

Русов Юрий Сергеевич

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред

Плоская электромагнитная волна падает нормально из вакуума на границу раздела со средой, имеющей параметры $\epsilon_{r2}=81$, $\mu_{r2}=1$, $\sigma_2=0,1$ См/м.

Определить комплексные коэффициенты отражения и преломления на частоте $f=100$ МГц.

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред

Решение.

Используем формулы Френеля

$$\left. \begin{aligned} \dot{\Gamma}_E &= \frac{Z_{02} \cos \theta - Z_{01} \cos \vartheta_n}{Z_{02} \cos \theta + Z_{01} \cos \vartheta_n}, \\ \dot{P}_E &= \frac{2Z_{02} \cos \theta}{Z_{02} \cos \theta + Z_{01} \cos \vartheta_n}. \end{aligned} \right\}$$

С учетом того, что волна падает по нормали к границе раздела, угол падения будет равен нулю. Угол преломления по законам Снеллиуса также будет нулевой.

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред

Запишем выражение для коэффициента отражения, определяемого по напряженности электрического поля

$$\dot{\Gamma}_E = \frac{Z_{c2} - Z_{c1}}{Z_{c2} + Z_{c1}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\tilde{\epsilon}_a}} - \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}}{\sqrt{\frac{\mu_0}{\tilde{\epsilon}_a}} + \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}};$$
$$\tilde{\epsilon}_a = \epsilon_a - i \frac{\sigma}{\omega} = \epsilon_a' - i \epsilon_a'';$$
$$\operatorname{tg} \delta_{\exists} = \frac{\epsilon_a''}{\epsilon_a'} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r}.$$

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред

Проведем вычисления

$$\dot{\Gamma}_E = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_{r2}} \sqrt{(1 - itg\delta_3)}}{1 + \sqrt{\epsilon_{r2}} \sqrt{(1 - itg\delta_3)}};$$

$$tg\delta_3 = \frac{0,1 * 36\pi}{2\pi * 10^8 10^{-9} 81} = \frac{2}{9} < 1$$

Возьмем приближенное значение для корня

$$\sqrt{(1 - itg\delta_3)} \approx 1 - 0,5itg\delta_3.$$

Тогда после подстановки этого приближенного выражения в формулу для коэффициента отражения

$$\dot{\Gamma}_E = -\frac{8 + i}{10 - i} = 0,8e^{-i0,025}$$

$$\dot{P}_E = \frac{2 * Z_{c2}}{Z_{c2} + Z_{c1}} = 1 + \dot{\Gamma}_E = \frac{2 - 2i}{10 - i}.$$

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред

При наклонном падении плоской электромагнитной волны на плоскую границу раздела с параметрами $\epsilon_{r1}=2$, $\mu_{r1}=1$, $\epsilon_{r2}=5$, $\mu_{r2}=1$ угол преломления составляет 30° . Чему равен угол отражения?

Решение.

Согласно закону Снеллиуса углы преломления и падения связаны соотношением

$$\frac{\sin \vartheta_{\text{п}}}{\sin \theta} = \frac{k_{(1)}}{k_{(2)}} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}\mu_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r2}\mu_{r2}}} = \frac{n_1}{n_2} = n_{12},$$

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред

Тогда

$$\begin{aligned}\theta &= \arcsin \left(\sqrt{\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}}} \sin \vartheta_{\text{п}} \right) = \\ &= \arcsin \left(\sqrt{\frac{5}{2}} \sin 30^\circ \right) = 52,2^\circ\end{aligned}$$

Угол отражения согласно первому закону Снеллиуса равен углу падения.

Задание для самостоятельного решения

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 РЛ1-49, 5 для РЛ6-41, 6 для РЛ6-49),

Н – порядковый номер студента в списке группы.

Задание для самостоятельного решения

1. Плоская электромагнитная волна падает нормально из вакуума на границу раздела со средой, имеющей параметры $\epsilon_{r2}=10+N$, $\mu_{r2}=1$, $\sigma_2=M \cdot 0,01$ См/м.

Определить комплексные коэффициенты отражения и преломления на частоте $f=N \cdot 100$ МГц.

2. При наклонном падении плоской электромагнитной волны на плоскую границу раздела сред с параметрами $\epsilon_{r1}=2$, $\mu_{r1}=1$, $\epsilon_{r2}=2+M$, $\mu_{r2}=1$ угол преломления составляет 20° .
Определить угол отражения.

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.