

## ТИПОВОЙ РАСЧЕТ ПО КУРСУ “ЭЛЕКТРОДИНАМИКА”, поток ЭР-16, 4 семестр

### Часть 1. Плоские волны (сдача на 8 неделе)

Плоская электромагнитная волна с линейной поляризацией распространяется в среде с потерями вдоль одной из декартовых осей (см. таблицу) в сторону увеличения координаты. В таблице заданы: относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды  $\epsilon$  и  $\mu$ , частота  $f_1$ , значения тангенса угла потерь на частотах  $f_1$  и  $f_2$  –  $\text{tg}\delta_1$  и  $\text{tg}\delta_2$ . Для различных вариантов в начале координат заданы: а) начальная фаза колебаний проекции вектора  $\vec{E}$  или вектора  $\vec{H}$  на некоторую ось, например  $\varphi_{EX}(0) = -20^\circ$  или  $\varphi_{HY}(0) = \pi/3$ ; б) на частоте  $f_1$  средняя плотность мощности потерь  $P_{\text{ср}}$  или средняя плотность потока мощности  $\Pi_{\text{ср}}$  или средняя плотность энергии электрического поля  $w_{\text{эср}}$  или средняя плотность энергии магнитного поля  $w_{\text{мср}}$ . Выполните следующее задание.

1. Найдите удельную проводимость среды и частоту  $f_2$ , считая приближенно, что проводимость среды от частоты не зависит.
2. Рассчитайте и постройте частотные зависимости коэффициента фазы, коэффициента ослабления, длины волны и фазовой скорости по точным формулам (жирная линия) в диапазоне частот, в котором тангенс угла потерь изменяется в пределах от 0.02 до 50. Используйте логарифмический масштаб по оси частот. На этих же графиках постройте кривые, полученные: а) по приближенным формулам для среды с малыми потерями (тонкая линия, в диапазоне, где  $\text{tg}\delta=0,02..1$ ); б) по приближенным формулам для хорошо проводящей (металлоподобной) среды (тонкая штриховая линия, в диапазоне, где  $\text{tg}\delta=1..50$ ). По графикам определите частотные диапазоны, в которых приближенные формулы дают погрешность не выше 5%. Запишите эти диапазоны.
3. Для частот  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$  рассчитайте и сведите в таблицу значения коэффициента фазы, коэффициента ослабления, длины волны, модуля и фазы характеристического сопротивления среды. Получите общие формулы (для Вашего случая) и формулы с конкретными числовыми параметрами (на частотах  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$ ) для зависимостей комплексных амплитуд векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  и плотности потока мощности от пространственной координаты и для зависимостей мгновенных значений векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  от пространственной координаты и от времени. Для частот  $f_1$  и  $f_2$  рассчитайте и постройте зависимости амплитуды и мгновенных (при  $t=0$ ) значений проекций векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  а также модуля вектора  $\vec{P}_{\text{ср}}$  от пространственной координаты распространения волны в пределах от 0 до  $1,5\lambda$ . **Примечание.** Графики для амплитуды совместите с графиками для мгновенных значений. Для каждой частоты все графики приведите на одной странице один под другим в одинаковом масштабе по горизонтали.
4. Проанализируйте полученные результаты и представьте выводы: о влиянии частоты и  $\text{tg}\delta$  на исследуемые характеристики и графики; о том, в каком направлении график для мгновенных значений  $\vec{H}$  сдвинут относительно графика для  $\vec{E}$  в пространстве и в каком направлении – во времени; обоснуйте формулу для величины затухания поля на расстоянии  $\lambda$  через тангенс угла потерь, найдите эту величину для  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  и сравните с графиками п.3).

## Часть 2. Отражение и преломление плоских волн (сдача на 11 неделе)

Плоская электромагнитная волна падает из среды с параметрами  $\epsilon$  и  $\mu$  на плоскую границу раздела с воздухом **или** из воздуха на плоскую границу раздела со средой с параметрами  $\epsilon$  и  $\mu$  (см. таблицу). Потери в среде отсутствуют. Плотность потока мощности в падающей волне такая же, как в части 1 данного ТР для плоской волны в начале координат на частоте  $f_1$ . Выполните следующее задание.

1. Найдите углы Брюстера и полного внутреннего отражения для случая перпендикулярной поляризации и для случая параллельной поляризации (если эти углы существуют).
2. Запишите исходные формулы и рассчитайте коэффициенты отражения и преломления по вектору  $\vec{E}$ , амплитуды **векторов (но не проекций!)**  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и модуля вектора  $\vec{P}_{CP}$  в падающей, отраженной и преломленной волне для случая нормального падения и для падения под углом  $15^\circ$  для обеих поляризаций падающей волны. Результаты сведите в таблицу.
3. Запишите исходные формулы и рассчитайте зависимости коэффициентов отражения и преломления (отдельный график для фазы, отдельный – для модуля) от угла падения (в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , или, при наличии  $\varphi_{ПО}$  от  $0^\circ$  до  $3\varphi_{ПО}$  – для коэффициента отражения). На каждом графике приведите кривые для случая перпендикулярной поляризации и для случая параллельной поляризации.
4. Сделайте рисунок, **выведите** и запишите исходные формулы и рассчитайте зависимости амплитуды векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  для случая нормального падения от координаты  $z$ , которая изменяется в направлении нормали к поверхности раздела сред. На графиках используйте область изменения  $z$ :  $z \in (-1,5\lambda; 1,5\lambda)$ . Учтите, что поле в первой среде является суперпозицией падающей и отраженной волн. **При выводе:** 1) задайтесь поляризацией падающей волны (для ясности рекомендуется перпендикулярная поляризация); 2) на рисунке изобразите оси координат, вектора поля и Пойнтинга в падающей, отраженной и преломленной волнах при нормальном падении; 3) запишите формулы для комплексных амплитуд проекций векторов поля в падающей, отраженной (при  $z < 0$ ) и преломленной волны (при  $z > 0$ ). При этом в формулах должны использоваться коэффициенты отражения и преломления по вектору  $\vec{E}$  а также характеристические сопротивления сред; 4) запишите формулы для расчета амплитуд проекций векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  при  $z < 0$  и при  $z > 0$ .
5. Проанализируйте полученные результаты и представьте выводы: о возможности существования  $\varphi_B$ ,  $\varphi_{ПО}$ , о влиянии угла падения и поляризации на исследуемые характеристики, о влиянии фазовых соотношений при интерференции волн в п.4 (покажите, что положение максимумов амплитуды соответствует разности фаз, кратной четному числу  $\pi$ , а минимумов – нечетному числу  $\pi$ ).