

Глава 1

Развитие электродинамической теории рассеяния в интересах исследования вторичного излучения радиолокационных целей

Математическое моделирование вторичного излучения воздушных и наземных радиолокационных объектов, требует развития и уточнения некоторых принципов и методов прикладной электродинамики. Это даст возможность получить аппарат, позволяющий исследовать задачи рассеяния электромагнитных волн при таких усложняющих факторах, как наличие радиопоглощающих покрытий в сочетании с разнесенным приемом, импульсное, в частности, сверхширокополосное зондирование, влияние подстилающей поверхности и др.

В этой главе излагаются обобщения таких важных принципов электродинамики как интегральная лемма Лоренца и принцип зеркальных изображений на ситуации, связанные с наличием в пространстве неоднородностей различных типов или полей, отвечающих неодинаковым материальным заполнениям пространства. На основе этих обобщений, представляющих и самостоятельный научный интерес, оказывается возможным получение специальных интегральных уравнений, позволяющих исследовать влияние поглощающих покрытий и других слоистых структур, а также подстилающей поверхности на вторичное излучение радиолокационных целей.

Другой круг вопросов, рассматриваемых в этой главе, дает, в конечном счете, развитие метода стационарной фазы и физической оптики с практическими выходами в задачи радиолокации при нестационарном зондировании и разнесенном приеме.

Кроме того, в этой главе содержатся новые результаты, относящиеся к связи эффективных поверхностей рассеяния трехмерных ЭПР с ЭПР соответствующих двумерных моделей, что представляет несомненный интерес в вычислительном плане.

1.1. Обобщение интегральной леммы Лоренца на случай полей, отвечающих неодинаковым материальным заполнениям области

Эффективным средством исследования и численного решения ряда практически важных задач прикладной электродинамики и радиолокации оказываются интегральные представления, в которых основное и вспомогательное поля могут соответствовать различным и, в общем случае, неоднородным заполнениям некоторых областей пространства, что делает целесообразным при построении таких представлений использование надлежащим образом обобщенной леммы Лоренца.

В данном разделе дано такое обобщение леммы Лоренца [9], с помощью которого, например, могут быть построены и исследованы интегральные представления полей, дающие поправки, которые вносят диэлектрические и радиопоглощающие неоднородности внешней среды в поле, дифрагированное на системе металлических рассеивателей (п. 1.2).

Пусть в области V при ее заполнении изотропной, но неоднородной (вообще говоря) средой с проницаемостями $\varepsilon_1(x)$, $\mu_1(x)$ и при наличии в ней сторонних электрических токов с плотностью $\vec{J}_1^e(x)$ возникает поле $\vec{E}_1(x)$, $\vec{H}_1(x)$, а проницаемостям $\varepsilon_2(x)$, $\mu_2(x)$ и сторонним токам $\vec{J}_2^e(x)$ отвечает (возможно при

других граничных условиях) поле $\vec{E}_2(x)$, $\vec{H}_2(x)$. Таким образом, в области V

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E}_\alpha &= j \omega \mu_\alpha \vec{H}_\alpha, \quad ^1 \\ \operatorname{rot} \vec{H}_\alpha &= -j \omega \varepsilon_\alpha \vec{E}_\alpha + \vec{J}_\alpha^e, \quad \alpha = 1, 2. \end{aligned} \quad (1.1)$$

При обычных предположениях о гладкости входящих в (1.1) функций в области V вплоть до ее граничной поверхности L из (1.1) вытекает равенство

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \left[-(\vec{E}_1 \times \mu_2 \vec{H}_2) + (\vec{E}_2 \times \mu_1 \vec{H}_1) \right] &= j \omega (\varepsilon_1 \mu_1 - \varepsilon_2 \mu_2) \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 + \\ &+ [\mu_2 \vec{J}_2^e + (\vec{\nabla} \mu_2 \times \vec{H}_2)] \cdot \vec{E}_1 - [\mu_1 \vec{J}_1^e + (\vec{\nabla} \mu_1 \times \vec{H}_1)] \cdot \vec{E}_2. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Отсюда, в силу теоремы Остроградского-Гаусса [10],

$$\begin{aligned} \int_L [\mu_2 \vec{E}_1^T \cdot \vec{H}_2^\perp - \mu_1 \vec{E}_2^T \cdot \vec{H}_1^\perp] dS &= j \omega \int_V (\varepsilon_1 \mu_1 - \varepsilon_2 \mu_2) \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 dV + \\ &+ \int_V \left\{ [\mu_2 \vec{J}_2^e + (\vec{\nabla} \mu_2 \times \vec{H}_2)] \cdot \vec{E}_1 - [\mu_1 \vec{J}_1^e + (\vec{\nabla} \mu_1 \times \vec{H}_1)] \cdot \vec{E}_2 \right\} dV. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Здесь символы вида \vec{A}^T , \vec{B}^\perp имеют следующий смысл:

$$\vec{A}^T = \vec{A} - \vec{n} (\vec{n} \cdot \vec{A}), \quad \vec{B}^\perp = \vec{n} \times \vec{B}, \quad (1.4)$$

причем \vec{n} – орт внешней нормали к V .

Отметим, что формула (1.3) при $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 = \text{const}$, $\mu_2 = \mu_1 = \text{const}$ переходит в обычное интегральное соотношение Лоренца.

Из соотношения (1.3) путем замены

¹ Везде в монографии временная зависимость полей предполагается вида $\exp(-j\omega t)$

$$\vec{E}_\alpha \leftrightarrow \vec{H}_\alpha, \quad \vec{J}_\alpha^e \leftrightarrow -\vec{J}_\alpha^m, \quad \varepsilon_\alpha \leftrightarrow \mu_\alpha \quad (\alpha = 1, 2)$$

выводится равенство, справедливое для полей, возбуждаемых магнитными токами.

$$\int_L \left[\varepsilon_2 \vec{E}_2^T \cdot \vec{H}_1^\perp - \varepsilon_1 \vec{E}_1^T \cdot \vec{H}_2^\perp \right] dS = j\omega \int_V (\varepsilon_1 \mu_1 - \varepsilon_2 \mu_2) \vec{H}_1 \cdot \vec{H}_2 dV + \\ + \int_V \left\{ \left[\varepsilon_2 \vec{J}_2^m - (\vec{\nabla} \varepsilon_2 \times \vec{E}_2) \right] \cdot \vec{H}_1 - \left[\varepsilon_1 \vec{J}_1^m - (\vec{\nabla} \varepsilon_1 \times \vec{E}_1) \right] \cdot \vec{H}_2 \right\} dV. \quad (1.3')$$

Формулы типа (1.3) и являются обобщением известной леммы Лоренца [4, 10] на случай неоднородных сред и полей, соответствующих двум различным материальным заполнениям рассматриваемой области V .

Если область V бесконечна, то (как и в обычной лемме Лоренца) для справедливости соотношений (1.3), (1.3') достаточно потребовать, чтобы сторонние токи были распределены лишь в какой-то конечной области, а поля удовлетворяли условиям излучения [4, 10].

Другая форма обобщения леммы Лоренца была получена в более поздних работах [11, 12].

1.2. Применение обобщенной леммы Лоренца к получению интегральных представлений возмущений, вносимых во вторичное излучение радиопрозрачными и поглощающими слоистыми структурами

Примем, что L есть совокупность поверхностей, ограничивающих извне идеально проводящие рассеиватели $V_1^+, V_2^+, \dots, V_M^+$, а во внешней области V , характеризуемой проницаемостями $\varepsilon(x)$, $\mu(x)$, задано распределение сторонних электрических токов с плотностью $\vec{J}^e(x)$ или, что равносильно, эквивалентных магнит-