

УДК 539.12.01

DOI: 10.17223/00213411/62/6/109

К.В. ЖУКОВСКИЙ

ГЕНЕРАЦИЯ ГАРМОНИК ОИ В ОНДУЛЯТОРАХ С МУЛЬТИПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Исследуется ондуляторное излучение (ОИ) некоторых эллиптических ондуляторов с мультипериодическими магнитными полями $\sin\text{-}\sin\text{-}$ и $\sin\text{-}\cos\text{-}$ конфигурации, а также ОИ плоского и спирального ондулятора в присутствии дополнительных гармоник магнитного поля; изучается влияние третьей гармоники поля на ОИ. Получены точные аналитические выражения для спектра и интенсивности ОИ в терминах обобщенных специальных функций типа Бесселя; выведены соответствующие коэффициенты Бесселя. Сравнение полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными для реальных устройств и проведенные численные симуляции показали хорошее соответствие аналитическим формулам, что подтверждает справедливость последних. Показана возможность генерации сильной пятой гармоники ОИ, индуцированной третьей гармоникой поля ондулятора. В лазерах на свободных электронах (ЛСЭ) этот эффект приводит к генерации мощной пятой гармоники когерентного излучения на фоне слабой третьей гармоники. В спиральном ондуляторе с третьей гармоникой поля получаются большие значения коэффициентов Бесселя для пятой гармоники ОИ; это позволяет использовать такой ондулятор в качестве группирователя электронов на длине волны пятой гармоники в каскадном ЛСЭ с усилением высших гармоник. Проведено моделирование соответствующего ЛСЭ.

Ключевые слова: ондуляторное излучение, генерация гармоник, лазер на свободных электронах, двухчастотный ондулятор.

Введение

Ондуляторное излучение происходит от релятивистских электронов, движущихся вдоль оси ондулятора в пространственно-периодическом магнитном поле и испытывающих малые поперечные отклонения от оси. Физическая природа ОИ сходна с природой синхротронного излучения (СИ); в отличие от СИ, спектр которого квазинепрерывен в диапазоне от радио- до рентгеновского излучения, ОИ обладает более высокой направленностью и узким спектром, в котором обычно присутствуют всего несколько гармоник. ОИ было предсказано Гинзбургом [1] и открыто Мотцом [2]. Теория СИ и ОИ хорошо разработана и описана в литературе (см., например, [3–7]). Интерес к ОИ в последние годы вызван, прежде всего, развитием лазеров на свободных электронах, хотя спонтанное ОИ также привлекает внимание ученых. В ЛСЭ используется либо резонаторная многопроходная схема генерации когерентного ОИ, где излучение заключено между зеркалами на двух концах ондулятора и взаимодействует с электронами на многих проходах, либо однопроходная схема, где формирование микробанчей электронов на длинах волн гармоник ОИ происходит за один проход излучения в длинном ондуляторе. Описание этих процессов изложено с разной степенью сложности [8–11].

Резонансные длины волн гармоник ОИ описываются ондуляторным уравнением

$$\lambda_n = \frac{\lambda_u}{2n\gamma^2} \left(1 + \gamma^2 \langle \psi^2 \rangle + \gamma^2 \theta^2 \right), \quad \gamma^2 \langle \psi^2 \rangle = k_{\text{eff}}^2, \quad (1)$$

где λ_u – период ондулятора; k_{eff} – эффективный ондуляторный параметр; $\langle \psi^2 \rangle$ – средний квадратичный угол отклонения скорости электрона от оси; θ – угол от оси в направлении на наблюдателя; n – номер гармоники ОИ; γ – релятивистский фактор электронов. Для плоского ондулятора $k_{\text{eff}}^2 = k^2/2$, $k = \frac{eH}{mc^2} \frac{\lambda_u}{2\pi}$. Для ондулятора с двумя разными рядами магнитов формула (1) по существу не меняется, а учёт двух независимых линеек магнитов, например по x и y , производится заменой $k_{\text{eff}}^2 = (k_x^2 + k_y^2)/2$, $k_{x,y} = \frac{eH_{x,y}}{mc^2} \frac{\lambda_{u;x,y}}{2\pi}$, где e – заряд электрона, m – его масса, c – скорость света, $H_{x,y}$ – напряженности магнитных полей в ондуляторе. В спиральном ондуляторе $H_x = H_y$, периоды λ_u по x и y равны друг другу, и в идеале он излучает на оси только основную гармонику.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>