

## ПРОСТОЙ ГИБРИДНЫЙ ОНДУЛЯТОР С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В.И. Алексеев, К.А. Беловинцев, Е.Г. Бессонов, А.В. Серов

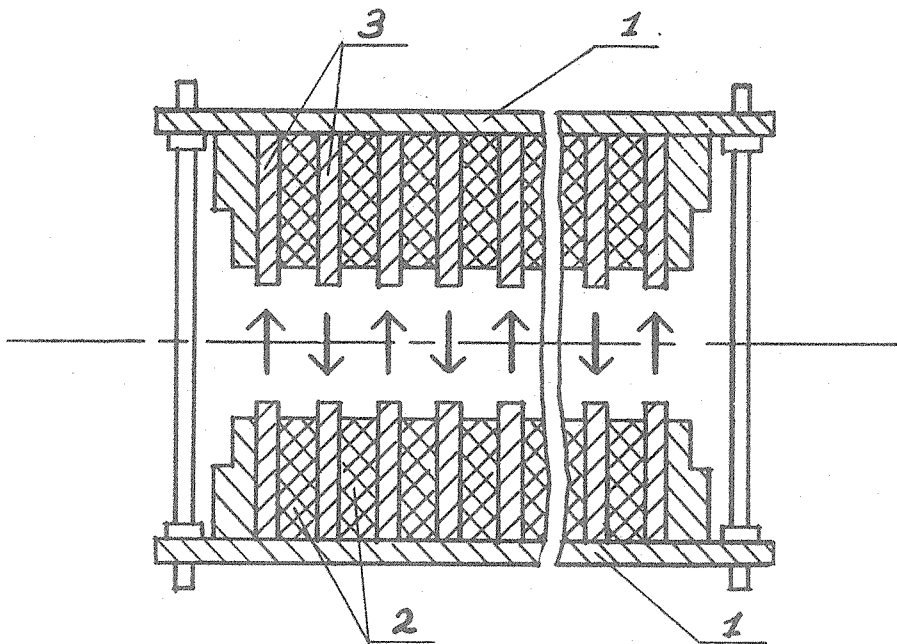
УДК 538.561

*Описана конструкция гибридного ондулятора с высокой степенью концентрации магнитного поля. Приведены результаты магнитных измерений.*

В источниках спонтанного и индуцированного ондуляторного излучения (лазерах на свободных электронах) в последнее время начинают широко внедряться ондуляторы, использующие постоянные магниты с высокой ( $\sim 10^4$  Э) коэрцитивной силой [1-3]. Так в гибридных ондуляторах магнитное поле создается последовательно расположенными друг за другом постоянными магнитами чередующейся полярности. Между магнитами устанавливаются пластины из магнитомягкой стали с высокой индукцией насыщения. Магнитные потоки постоянных магнитов концентрируются в пластинах и выходят нормально к оси ондулятора, создавая вдоль этой оси требуемое знакопередающееся магнитное поле. Помимо концентрации магнитного поля стальные пластины (полюса) обеспечивают уменьшение случайных отклонений поля ондулятора от выбранного закона изменения вдоль его оси. В настоящей работе описаны конструктивные особенности и магнитные характеристики гибридного ондулятора, созданного в лаборатории фотомезонных процессов ФИАН и предназначенного для исследования спонтанного и индуцированного ондуляторного излучения релятивистских электронных пучков от имеющихся в лаборатории ускорителей [4].

Конструкция ондулятора показана на рис. 1. Ондулятор состоит из двух одинаковых модулей, установленных один над другим с возможностью плавного вертикального перемещения одного модуля относительно другого. В качестве постоянных магнитов ондулятора использованы оксидно-барьерные магниты, применяемые в магниторазрядных вакуумных насосах. Размер магнитов 120 x 80 x 16 мм. Период магнитного поля ондулятора  $\lambda_0 = 42$  мм, число периодов  $K = 25$ . Длина ондулятора 105 см.

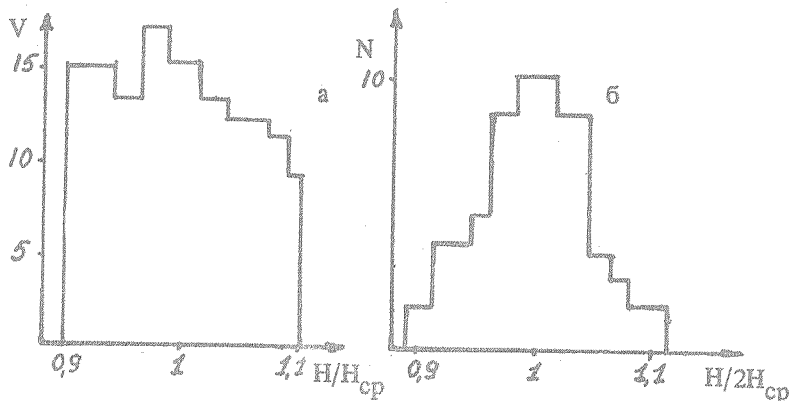
На выверенной плоскости основания 1 закреплены чередующиеся пос-



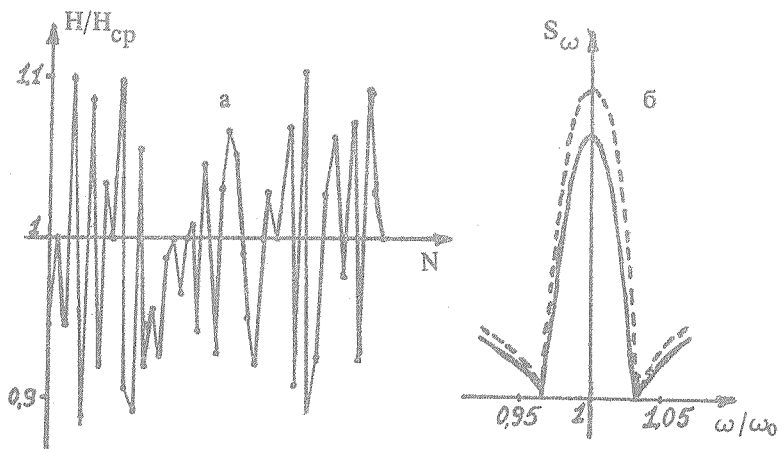
Р и с. 1. Схема конструкции гибридного ондулятора

тоянные магниты 2 и стальные пластины 3. Магниты подобраны таким образом, чтобы разброс магнитного поля в них не превышал  $\pm 10\%$  от среднего значения, равного  $\sim 350$  Э. На рис. 2(а) показано распределение магнитов по величине отклонения в них магнитного поля от среднего значения. При сборке ондулятора постоянные магниты группировались так, чтобы суммарная величина магнитного поля двух магнитов, расположенных по разные стороны стальной пластины, была близка к  $2H_{\text{ср}}$ . На рис. 2(б) показано распределение полюсов по величине  $H/2H_{\text{ср}}$ . Видно, что оно близко к гауссовскому распределению.

После сборки ондулятора были проведены магнитные измерения. При изменении зазора ондулятора в пределах 15 – 55 мм величина магнитного поля изменялась примерно по экспоненциальному закону в пределах  $1,7 \cdot 10^3 - 10^2$  Э. На рис. 3(а) показано распределение магнитного поля вдоль оси ондулятора. По измеренному распределению был рассчитан спектр магнитного поля, показанный на рис. 3(б). Пунктиром на рис. 3(б) показан спектр идеального ондулятора, у которого период и амплитуда магнитного поля пос-



Р и с. 2. а) Зависимость числа магнитов от величины магнитного поля. б) Зависимость числа полюсов, сгруппированных из магнитов, от величины магнитного поля



Р и с. 3. а) Распределение магнитного поля вдоль оси ондулятора. б) Спектр распределения магнитного поля вдоль оси ондулятора

тояны, а само поле меняется по синусоидальному закону. Видно, что спектр магнитного поля близок к идеальному, что говорит о хороших рабочих характеристиках ондулятора.

Важное достоинство данной конструкции ондулятора заключается в том, что из-за большого отношения длины к толщине стальных пластин и из-за выбора оптимального соотношения между толщинами магнитных и стальных пластин получена высокая степень концентрации ( $\sim 6$ ) магнитного поля в зазоре ондулятора. Кроме того, несмотря на значительный разброс поля в магнитах, сформирован закон изменения магнитного поля вдоль оси ондулятора, близкий к идеальному. Конструкция позволяет формировать поле, меняющееся вдоль оси по заданному закону. Помимо того, можно изменять величину магнитного поля каждого элемента периодичности, используя магнитные шунты, расположенные снаружи.

Использование постоянных магнитов исключает необходимость высокоточной высокостабильной системы питания ондулятора и охлаждения его обмоток. Конструкция ондулятора проста, технологична и не требует значительных затрат на ее изготовление.

В настоящее время ондулятор установлен на тракте транспортировки выведенного из микротрона электронного пучка с энергией 7,0 МэВ. Разработана программа исследований характеристик спонтанного ондуляторного излучения с целью изучения возможностей создания на этой основе лазера на свободных электронах.

Авторы благодарят Д.Ф. Алферова за помощь в проведении магнитных измерений.

Поступила в редакцию 10 ноября 1983 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A.S. Artamonov et al., Nucl. Instr. and Meth., 177, 247 (1980).
2. Н.А. Винокуров и др., Труды УП Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 г.
3. G. Broun, H. Winick, R. Eisenberger, Nucl. Instr. and Meth., 204, 543 (1983).
4. Д.Ф. Алферов и др., ЖТФ, 53, 270 (1983).