

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ КОРРЕКЦИИ
МЕДИАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЙСТРЕКА

Э. Д. Артемьева, Е. М. Мороз.

В. Е. Писарев, К. Н. Шорин

УДК 621.384.612

Описан расчет методом зеркальных изображений и результаты экспериментальных исследований в синхротроне ФИАН магнитных характеристик системы коррекции медианной поверхности. Учтены: наклон полюсов магнита, магнитная проницаемость, величина зазора между полюсами и корректирующими витками; получено хорошее согласие с экспериментом.

Медианная поверхность — одна из наиболее чувствительных к возмущениям магнитных характеристик слабофокусирующего ускорителя любого типа, в том числе и в особенности, рейстрека /1/. Коррекция искажений медианной поверхности осуществляется, как правило, с помощью полюсных витков /2/. Несмотря на большой опыт использования полюсных витков в ускорителях, в научной литературе до недавнего времени отсутствовали методы расчета магнитных полей, создаваемых токами в полюсных витках, учитывающие одновременно все основные особенности конструкций и режимов работы полюсных обмоток, что затрудняло решение некоторых задач формирования управляющего магнитного поля ускорителей.

В работе /3/ авторов методом зеркальных изображений в двумерном приближении для синхротрона-рейстрека ФИАН проведен расчет полей, создаваемых элементами систем коррекции вертикальной H_z составляющей магнитного поля, ответственной за движение частиц в горизонтальной плоскости. Указанный расчет проведен с учетом наклона $\pm \alpha$ полюсов, величины μ относительной магнитной проницаемости и наличия зазора величиной a между полюсами и полюсными витками.

В настоящей работе аналогичным методом проведен расчет магнитных полей, создаваемых элементами систем коррекции горизонтальной H_x составляющей управляющего поля, ответственной за ме-

дланную поверхность и вертикальное движение частиц. Соответствующий элемент системы коррекции состоит из двух, верхнего и нижнего, полюсных витков, имеющих одну и ту же горизонтальную (радиальную) координату x_B , отсчитанную от центра рабочей области ($x = 0$). Токи в витках элемента равны по величине и антипараллельны. Магнитной характеристикой такого элемента далее называется зависимость $H_r(x)$ в средней плоскости зазора магнита ускорителя при определенной величине тока и фиксировании различных x_B, μ, d .

Как и в работе /3/, поперечное сечение проводников, образующих витки, предполагается точечным, угол α округлен до ближайшей целой доли 180° .

В соответствии с требованиями метода зеркальных изображений и согласно /3/, искомое поле H_r предполагается идентичным сумме полей, создаваемых в отсутствии ферромагнетика каждым из совокупности J/α (для $d = 0$) или $2J/\alpha$ (для $d \neq 0$) токов в витках и их изображений. Для синхротрона на 680 Мэв ($\alpha \sim 2 \cdot 10^{-2}$) в расчет вошли 158 (для $d = 0$) и 2 x 158 (для $d \neq 0$) токов и изображений.

Все учитываемые токи размещаются как и в /3/ на окружности, проходящей через центры витков, по краям секторов с углом раствора 2α . Величины J токов по мере удаления от средней плоскости зазора ускорителя уменьшаются при переходе из N в $N + 1$ сектор так, что

$$J_{N+1} = J_N \frac{\mu - 1}{\mu + 1},$$

а их знаки чередуются.

Входящая в численный расчет радиальная ΔH_N составляющая поля в средней плоскости зазора магнита, создаваемая одним из токов или изображений, составляет

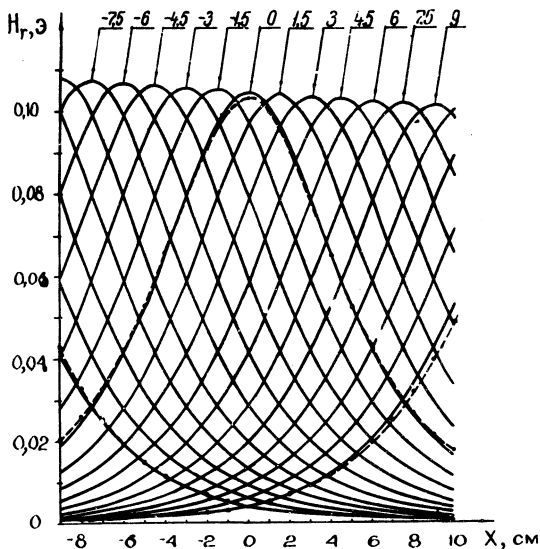
$$\Delta H_N = 0,2h_N J_N / [h_N^2 + (x - x_N)^2],$$

где J_N - величина тока или изображения в A , h_N - его удаление от средней плоскости зазора в см, x_N - соответствующая горизонтальная координата тока или изображения в см.

Суммирование ΔH_N по всем токам и изображениям для каждой из 98 пар верхнего и нижнего антипараллельных токов в витках, образующих элементы систем коррекции синхротрона на 680 Мэв,

для любых x в пределах рабочей области ± 15 см в данной работе выполнено с помощью ЭВМ МИР-1.

Магнитные характеристики обмоток, составленных из нескольких элементов систем коррекции, получаются затем, аналогично /4/.

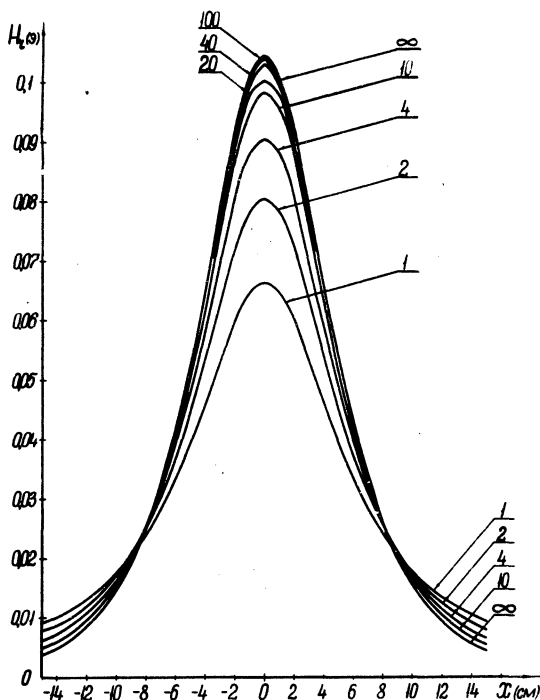


Р и с. 1. Фрагмент семейства магнитных характеристик элементов систем коррекции медианной поверхности синхротрона ФИАН. Соответствующие полюсные витки размещены с шагом 1,5 см. Сплошные кривые - расчет при $\mu = \infty$, $d = 0$, пунктирные - эксперимент в близких условиях: $\mu \sim 150$, $d \sim 0,5$ см

суммированием заданных таблицей магнитных характеристик отдельных элементов.

На рис.1 приведены магнитные характеристики $H_T(x)$, вычисленные при $\mu = \infty$ и $d = c$ для каждого пятого элемента системы коррекции. Цифры на кривых в центральной области указывают координаты x_B витков. Пунктирными кривыми на рисунке нанесены магнитные характеристики одного центрального и двух крайних (1 и 98 витки полюсной обмотки) элементов системы, полученные в синхротроне экспериментально. Различие между расчетными и эксперимен-

тальными значениями H_x , достигавшие нескольких процентов на краях области $\Delta x \sim 10$ см, является следствием пренебрежения влиянием краев полюсов. Отличие результатов в максимуме характерис-



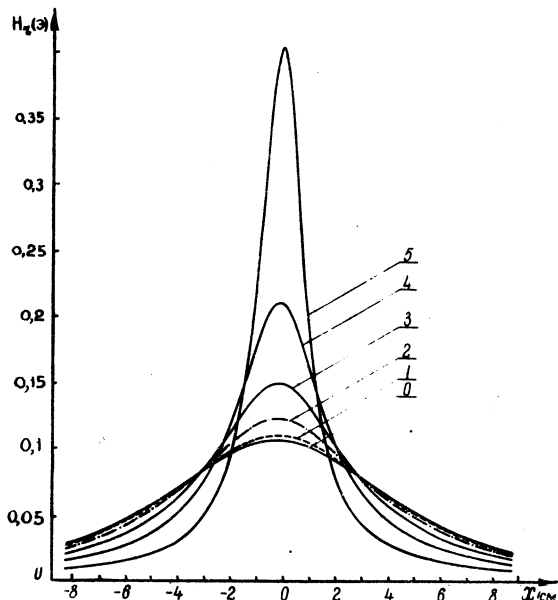
Р и с.2. Влияния магнитной проницаемости μ материала магнитопровода при $d = 0$ на магнитные характеристики пары витков в центре рабочей области. Величины μ даны цифрами возле кривых

тики на $\sim 1\%$ соответствует влиянию конечной величины μ , составившей в опыте $\mu \sim 150$ /3/.

На рис.2 приведены результаты исследования влияния величины μ , изменяющейся от 1 до ∞ , на магнитные характеристики центрального (при $x = 0$) элемента системы коррекции. Величины μ даны цифрами возле кривых. При $\mu > 100$ результат мало отличается от $\mu = \infty$.

Зависимость H_Y от μ для значений x , совпадающих с горизонтальной координатой x_B витка, и при $d = 0$ может быть описана также соотношением

$$H_Y = \frac{0,2J}{h} \frac{\mu}{1 + \frac{2}{\mu} (\mu - 1)},$$



Р и с.3. Влияние зазора d между полюсом и витками при $\mu = \infty$ на магнитные характеристики пары витков в центре рабочей области. Величины d в см указаны цифрами возле кривых

полученным путем сопоставления вариантов расчета методом зеркальных изображений с соответствующими результатами, полученными методом конформных отображений. Здесь $2h$ - величина зазора магнита при $x = x_B$. Соотношение справедливо с точностью 1%.

На рис.3 для элемента систем коррекции, находящегося также в центре рабочей области, приведен результат исследований влияния зазора d при $\mu = \infty$. Цифрами у кривых указаны величины d в см. Видно, что величины d от 0 до 1 см не оказывают еще существенного влияния на исследуемые магнитные характеристики.

Разработанная для ЭВМ МИР-I программа описываемого расчета позволяет получить семейство кривых $H_x(x)$, аналогичных рис. I, для любых μ и при любом размещении в зазоре элементов системы коррекции.

Аналогичное рис. I семейство кривых было исследовано в синхротроне ФИАН экспериментально при $\mu \sim 150$ и $d \sim 0,5$. Эксперимент подтвердил правильность учета наклона α полюсов. Для области ± 9 см соответствующий спад амплитуд магнитных характеристик в эксперименте составил $\sim 6,1\%$ при расчетной (рис. I) величине спада $\sim 6,2\%$. Расхождение абсолютных значений H_x поля в расчете и эксперименте в центральной части рабочей области ($\Delta x = 10$ см) находится в пределах ошибки измерений ($\sim 1\%$), для $|x| > 5$ расхождение увеличивается (влияние краев полюсов), не превышая в области $\Delta x = 20$ см нескольких процентов, что подтверждает пригодность описанного метода расчета для решения большинства задач формирования медленной поверхности слабофокусирующих ускорителей.

Поступила в редакцию
20 декабря 1974 года.

Л и т е р а т у р а

1. М. С. Рабинович. Труды ФИАН, 10, 23 (1958).
2. J. P. Blewett, M. H. Blewett, W. H. Moore, L. W. Smith. Rev. Sci. Instr., 24, 773 (1953).
3. З. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, К. Н. Шорин. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 25 (1971).
4. З. Л. Артемьева, Е. М. Мороз, К. Н. Шорин. Препринт ФИАН № 134, 1972 г.