

ПАССИВНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

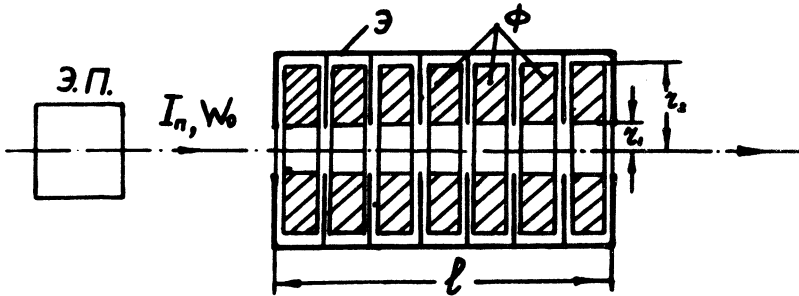
Ю. А. Башмаков, К. А. Беловинцев,
Е. Г. Бессонов, Я. А. Ваздик, П. А. Черенков

В последние годы наблюдается все возрастающий интерес к разработке и сооружению сильноточных ускорителей заряженных частиц и, в частности, к разработке линейных индукционных ускорителей (ИЛУС). Ускорители этого типа позволяют получать импульсные значения токов ускоренных частиц порядка сотен ампер /1-5/. Характерной особенностью ИЛУСа является наличие многочисленных, распределенных по всей его длине обмоток возбуждения, на которые импульсно подается высокое напряжение от источников питания, также распределенных вдоль ускорителя.

В настоящей работе рассмотрен индукционный линейный ускоритель, ускоряющая структура которого не требует источников питания. Ниже мы будем называть его пассивным индукционным линейным ускорителем (ПИЛУС). Принципиальная схема такого ускорителя показана на рис. 1. На этом рисунке Э.П. - управляемая электронная пушка, Э - проводящий цилиндрический экран, Ф - ферромагнитные кольца.

Пучок частиц из электронной пушки, проходя вдоль оси ускорителя, затрачивает свою энергию на создание магнитного поля в ферромагнитных кольцах. При быстром уменьшении тока пучка энергия магнитного поля, запасенная в ферромагнитных кольцах, будет переходить в энергию электрического поля. Это поле может быть использовано для ускорения заряженных частиц.

Введем следующие обозначения: r_1, r_2 - соответственно внутренний и наружный радиус ферромагнитных колец; l - длина ускоряющей структуры; B - индукция магнитного поля; B_s - индукция, соответствующая насыщению ферромагнетика; μ, ϵ - максимальная магнитная и электрическая проницаемость ферромагнетика; W_0 - энергия частиц пучка электронной пушки; e - заряд электрона; c - скорость света. Если



Р и с. 1. Принципиальная схема ПИЛУСа.

ток пучка нарастает, то вдоль оси ускорителя будет индуцироваться тормозящее вихревое электрическое поле с напряженностью

$$E_T = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_{r_1}^{r_2} B(r) dr. \quad (1)$$

Очевидно, что для прохождения пучка сквозь всю ускоряющую структуру необходимо выполнение неравенства

$$W_0 > e \int_0^l E_T dl. \quad (2)$$

Если индукция магнитного поля нарастает линейно от 0 до B_s , то из уравнений (1) и (2) легко получить выражение для минимального времени установления ин-

дукции B_s в сердечнике

$$\tau_H = eB_s(r_2 - r_1)l/cW_0 \quad (3)$$

Величина тока пучка I_s , необходимая для насыщения ферромагнетика, определяется выражением

$$I_s = cB_s r_2 / 2\mu. \quad (4)$$

При быстром выключении тока электронов запасенная в сердечнике энергия магнитного поля начнет перекачиваться в энергию ускоряющего электрического поля. В данном случае каждый элемент ускоряющей структуры будет аналогичен ВЧ-резонатору, заполненному ферромагнетиком и возбужденному на волне E_{010} . Период свободной перекачки энергии при условии $r_1 \ll r_2$ будет определяться выражением

$$T = 2,62\sqrt{\mu} r_2 / c, \quad (5)$$

а максимальная величина напряженности ускоряющего электрического поля будет равна

$$E_M = \frac{2\pi}{cT} B_s r_2. \quad (6)$$

Таким образом, через промежуток времени $T/4$ после выключения тока вдоль оси структуры установится вихревое поле с напряженностью E_M , в котором можно осуществлять ускорение частиц.

Возможен и другой режим работы ПИЛУСа, когда задний фронт импульса тока изменяется таким образом, что индукция магнитного поля убывает за время τ_c по линейному закону, причем $\tau_c > T/2\pi$.

В этом случае напряженность ускоряющего поля будет определяться выражением (1), а энергия, приобретаемая частицами будет равна

$$W = eB_s(r_2 - r_1)l/c\tau_c. \quad (7)$$

Варьируя величину τ_c , можно плавно и в широком интервале регулировать энергию ускоренных частиц.

Уравнения (1)–(7) определяют основные характеристики пассивного индукционного линейного ускорителя.

В заключение заметим, что в рассматриваемом ускорителе используется, по-существу, коллективный метод ускорения, основанный на излучении Черенкова /8,7/. В случае сильно протяженных пучков, двигающихся вдоль оси ферродиеlectricкой трубы, имеющих линейно спадающую плотность вдоль направления движения и резко обрывающихся в противоположном направлении, как мы убедились выше (случай $\tau_H \gg T$, $\tau_c \ll T/2\pi$), возникающее излучение приводит к появлению постоянного по длине пучка слабого тормозящего поля, которое за пучком переходит в гармонически изменяющееся электромагнитное поле большой величины. В этом поле и предлагается ускорять пучки других частиц. Ускоритель такого типа можно назвать также самоиндукционным /8,9/, так как в режиме работы $\tau_c > T/2\pi$ в нем происходит ускорение частиц при помощи э.д.с. самоиндукции, возникающей в индуктивности при уменьшении протекающего по ней тока.

Поступила в редакцию
22 февраля 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. N. C. Christofilos et al. Международная конференция по ускорителям, Дубна, 1963 г., стр. 1073. М., Атомиздат., 1963 г.
2. А. И. Анацкий и др. Атомная энергия, 21, 439 (1966).
3. А. И. Павловский и др. Атомная энергия, 28, 432 (1970).
4. W. Jach, Beal et al. IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-16, N 3, 294 (1969).
5. Л. Н. Казанский и др. Атомная энергия, 30, 27 (1971).

6. Б. М. Болотовский. УФН, 75, 295 (1961).
7. Миллиметровые и субмиллиметровые радиоволны. Сб. переводов, М., И.Л., 1959 г.
8. М. С. Рабинович. Труды всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, том. П, Москва, 1968 г.
9. Г. А. Аскарьян. Атомная энергия, 6, 658 (1959).