

ЧАСТОТЫ БЕТАТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЕРЕВАНСКОМ СИНХРОТРОНЕ

С. К. ЕСИН, В. Ц. НИКОГОСЯН, А. Р. ТУМАНЯН

Приведены расчетные значения частот бетатронных колебаний пучка в электронном синхротроне на энергию 6 Гэв. Экспериментально определены зависимости частот бетатронных колебаний от различных параметров и режима работы ускорителя. Измерения частот проведены методом резонансного разрушения ускоряемого пучка при помощи высокочастотного магнитного поля.

По результатам типовых и калибровочных измерений параметров магнитного поля 48 блоков электромагнита Ереванского электронного синхротрона на энергию 6 Гэв [1, 2] рассчитаны ожидаемые частоты бетатронных колебаний. Расчет проведен на ЭВМ по выражениям [3], которые позволяют вычислить поправку к частоте бетатронных колебаний, вызванную отклонением градиента и поля в блоках от проектного значения. Результаты этого расчета для трех значений индукции в электромагните приведены в табл. 1, где M —число бетатронных колебаний на одном обороте.

Таблица 1

B (гс)	66	4000	8000
$M\nu_r$	5,300	5,325	5,310
$M\nu_z$	5,313	5,317	5,319

Для определения поправки к частоте бетатронных колебаний, вызванной отклонением частоты $f_{\text{уск}}$ ускоряющего поля в резонаторах от проектного значения, воспользуемся зависимостью частоты бетатронных колебаний от амплитуды синхротронных колебаний при наличии в магнитном поле квадратичной нелинейности [4]:

$$M\Delta\nu_i = \left(\frac{l}{2\pi}\right)^2 \frac{(-1)^{i-1}}{4\pi} \frac{\Delta p}{p} \int_0^{2\pi M} |\mathcal{P}|^2 \left[\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} \psi + \frac{n}{\rho^2} \right] d\theta. \quad (1)$$

Произведя интегрирование в (1) и подставляя $\frac{\Delta p}{p} = -\frac{1}{\alpha} \frac{\Delta f_{\text{уск}}}{f_{\text{уск}}}$

(α —коэффициент уплотнения орбит), а также измеренные значения квадратичной нелинейности для трех уровней индукции [5], получим простые численные соотношения, приведенные в табл. 2.

Таблица

B (гс)	66	4000	8000
$M\Delta\nu_r$	$+ 208 \frac{\Delta f_{\text{уск.}}}{f_{\text{уск.}}}$	$+ 258 \frac{\Delta f_{\text{уск.}}}{f_{\text{уск.}}}$	$+ 493 \frac{\Delta f_{\text{уск.}}}{f_{\text{уск.}}}$
$M\Delta\nu_z$	$+ 103 \frac{\Delta f_{\text{уск.}}}{f_{\text{уск.}}}$	$+ 80 \frac{\Delta f_{\text{уск.}}}{f_{\text{уск.}}}$	$- 136 \frac{\Delta f_{\text{уск.}}}{f_{\text{уск.}}}$

Для экспериментального определения частот поперечных колебаний было использовано устройство, обеспечивающее резонансную раскачку колебаний высокочастотным магнитным полем [6]. Резонанс имеет место при частотах возмущающей силы

$$f_{r1} = f_0 (nM\nu - k), \quad (2)$$

$$f_{r2} = f_0 (k - nM\nu), \quad (3)$$

где k и n — целые числа.

Погрешность в определении резонансного значения $M\nu$ можно оценить по следующей формуле:

$$\Delta M\nu = \frac{M \left(\frac{l}{2\pi} \right)}{ct}, \quad (4)$$

где M — число периодов магнитной структуры, l — длина одного периода магнитной структуры (измеренная в м), c — скорость света (в м/сек), t — время действия возмущения (в сек).

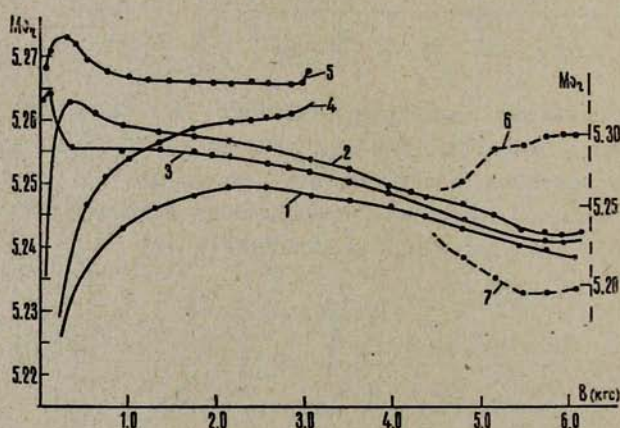


Рис. 1

Возбуждающее магнитное поле создавалось ферритовым магнитом, имеющим обмотку с числом витков 20. Азимутальная длина магнита — 40 см. Неоднородность поля магнита такова, что радиальная

составляющая напряженности магнитного поля равна $H_z = 0,2 H_x$ (в основном, за счет краевых полей). При мощности питающего генератора в 8 кВт вертикальная составляющая напряженности поля H_z равна 40 э.

Генератор возбуждающего тока был сконструирован таким образом, чтобы перекрыть диапазон частот 100–1100 кГц. Это позволяло возбуждать резонансы с различными номерами n . Оконечный каскад генератора, построенный на лампах ГУ-80, работал в импульсном режиме. Длительность генерируемой пачки ВЧ колебаний регулировалась в пределах 50–500 мксек.

Магнит был установлен в прямолинейном промежутке между фокусирующими полублоками. Оконечный каскад генератора ВЧ тока располагался в подвале кольцевого туннеля синхротрона, а задающий генератор — на главном пульте управления.

На рис. 1 представлены результаты измерения M_{ν_r} . Кривая 1 соответствует случаю отсутствия какой-либо коррекции градиента

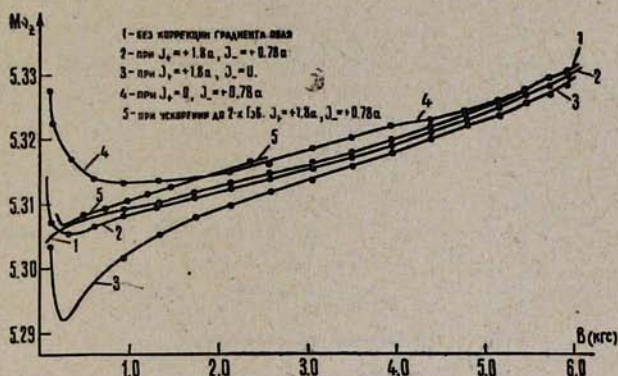


Рис. 2

поля. Расчетные значения M_{ν_r} , приведенные в табл. 1, отличаются от соответствующих значений кривой 1 примерно на постоянную величину. Кривая 2 показывает изменение M_{ν_r} по циклу ускорения при питании полюсных градиентных обмоток [7] токами $J_+ = +1,8a$ и $J_- = 0$, а кривая 3 — $J_+ = +1,8a$ и $J_- = +0,78a$ (J_+ и J_- — токи в обмотках, расположенных соответственно в фокусирующей и дефокусирующей частях магнита). Расчетные значения поправок к частотам бетатронных колебаний при питании градиентных обмоток постоянным током и с учетом данных калибровки обмоток определяются выражениями

$$\Delta M_{\nu_r} = (0,13 J_+ - 0,05 J_-) \frac{66}{B}, \quad (5)$$

$$\Delta M_{\nu_s} = (0,11 J_- - 0,06 J_+) \frac{66}{B}. \quad (6)$$

При питании квадрупольных линз, расположенных в шести прямолинейных промежутках между фокусирующими полублоками, импульсным током с амплитудой $J_{A+} = +80$ а изменение частоты бетатронных колебаний описывается кривой 6, а при токе $J_{A+} = -80$ а — кривой 7. Расчетные значения поправок к частотам бетатронных колебаний при питании квадрупольных линз импульсным током вычисляются по формулам

$$\Delta M_{y_r} = 0,346 \cdot 10^{-2} \frac{J_{A+}(a)}{E(\Gamma_{Эв})}, \quad (7)$$

$$\Delta M_{y_z} = 0,108 \cdot 10^{-2} \frac{J_{A+}(a)}{E(\Gamma_{Эв})}. \quad (8)$$

Кривая 4 (без коррекции градиента поля) и кривая 5 ($J_+ = +1,8$ а, $J_- = +0,78$ а) на рис. 1 характеризуют изменение частот бетатрон-

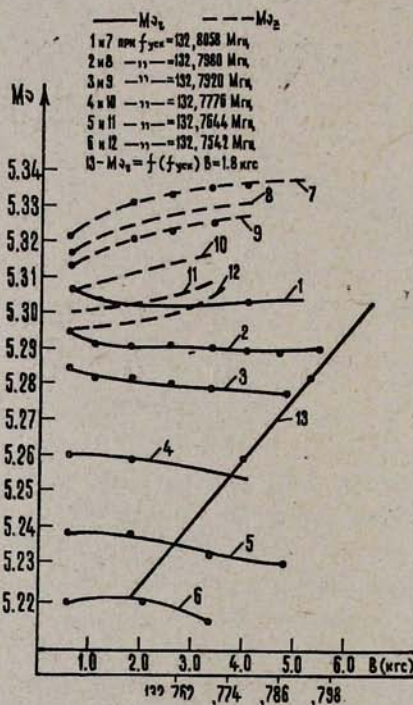


Рис. 3

ных колебаний при ускорении частиц до конечной энергии, равной 2 ГэВ. В этом режиме скорость роста напряженности магнитного поля в средней части цикла ускорения почти в два раза меньше скорости поля при ускорении до 4,5 ГэВ, а скорость поля при инжекции в обоих режимах одинакова. Это приводит к сдвигу частот радиальных колебаний (в среднем $\Delta M_{y_r} = 0,012$).

Характерные кривые изменения частот вертикальных бетатронных колебаний при некоторых режимах работы синхротрона приведены на рис. 2. Эти кривые достаточно хорошо совпадают с расчетными значениями, приведенными в табл. 1.

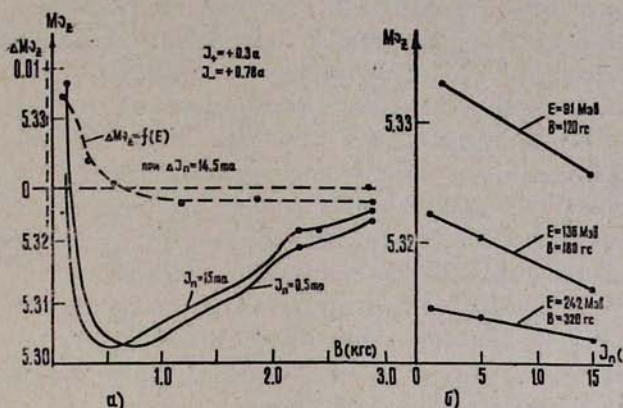


Рис. 4

Поведение частот бетатронных колебаний при изменении частоты ускоряющего поля в резонаторах дают кривые на рис. 3. Изменения $M_{\nu z}$ в достаточной степени соответствуют расчетным значениям, определенным по выражениям табл. 2. Точность определения M_{ν} во всех измерениях составляла $\Delta M_{\nu} \lesssim 0,001$ при времени действия возмущающего поля $100 + 500$ мсек.

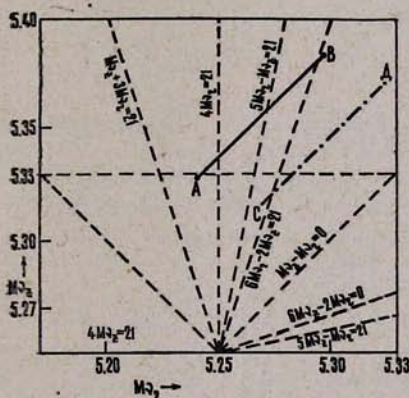


Рис. 5

Согласно теоретическим представлениям частота вертикальных бетатронных колебаний должна смещаться из-за взаимодействия пространственного заряда со стенками вакуумной камеры и полюсами магнита. Это утверждение было подвергнуто экспериментальной проверке. На рис. 4 представлены кривые изменения частоты вертикальных колебаний в зависимости от интенсивности и энергии ускоряемо-

го пучка. Измерения частот проведены в режиме ускорения частиц до конечной энергии, равной 2 Гэв. Из рисунка видно, что при малых энергиях зависимость частоты вертикальных колебаний от величины тока ускоряемого пучка достаточно линейна (прямые на рис. 46).

Рабочая точка на диаграмме бетатронных колебаний в конце цикла ускорения находится в точке А (при режиме ускорения частиц до конечной энергии 4,5 Гэв, а точка С—при режиме ускорения до 2 Гэв, рис. 5). При выводе электронов синхротрона число радиальных бетатронных колебаний смещается к значению 5,333 с помощью импульса тока в квадрупольных линзах, упомянутых выше. При этом рабочая точка пересекает несколько линий различных резонансов, что может привести к уменьшению эффективности вывода пучка, неравномерности растяжки или нежелательному увеличению эмиттанса.

В связи с вышесказанным представляется целесообразным в дальнейшем подвижкой фокусирующих полублоков от центра, а дефокусирующих полублоков к центру ускорителя на одинаковую величину 2 мм выбрать более удобную исходную точку В на диаграмме устойчивости.

В заключение авторы выражают благодарность Ю. Ф. Орлову за обсуждение результатов и интерес к работе, Г. А. Кошедяну за наладку оборудования и помощь в работе, Л. О. Карапетяну за изготовление генератора, В. И. Коваленко и А. А. Маркарян за помощь в работе.

Ереванский физический
институт

Поступила 7. VIII. 1972

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю. Г. Агбалян, А. И. Алиханян и др. Труды международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1963, Атомиздат, М., 1964, стр. 235.
2. С. К. Есин, А. Р. Туманян и др. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, том 1, стр. 200, Атомиздат, 1970.
3. С. К. Есин, Автореферат диссертации, Дубна, 1970.
4. Ю. Ф. Орлов. ПТЭ, № 2 (1959).
5. Б. Н. Жуков. Сб. Электрофизическая аппаратура, вып. 7, Атомиздат, М., 1969.
6. С. К. Есин. Изв. АН АрмССР, Физика, 3, 342 (1968).
7. О. А. Гусев и др. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, том 1, стр. 221, Атомиздат, 1970.

ԲԵՏԱՏՐՈՆԱՅԻՆ ՏԱՏԱՆՄԱՆ ՀԱՃԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՐԵՎԱՆԻ
ՄԻՆԻՐՈՏՐՈՆՈՒՄ

Ս. Կ. ԵՍԻՆ, Վ. Ց. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ, Ա. Ռ. ԲՈՒՄԱՆՅԱՆ

Բերված են 6 Գէվ էներգիայով էլեկտրոնային սինխրոտրոնում փնջի բետատրոնային տատանման հաճախության հաշվարկային նշանակությունները, ֆորմականորեն որոշված է.

մի րե տատրոնային տատանման հաճախության կախվածությունը արագացուցիչի տարրեր
պայմաններից և աշխատանքային ռեժիմներից: Հաճախության չափումը կատարված է
արագացվող փնջի ռեզոնանսային քայքայման մեթոդով, բարձր հաճախության մագնիսական
դաշտի օգնությամբ:

BETATRON OSCILLATION FREQUENCIES AT YEREVAN SYNCHROTRON

S. K. YESIN, V. S. NIKOGOSSIAN, A. R. TUMANIAN

The calculated values of betatron oscillation frequencies at 6 GeV electron syn-
chrotron are given. The dependences of the frequencies on different parameters and
regime of operation of synchrotron were measured. The method of measurement was
a resonance destruction of accelerated beam by means of RF magnetic field.