

КОРРЕКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ПУЧКУ И КВАЗИБЕТАТРОННЫЙ РЕЖИМ В СИНХРОТРОНЕ НА 300 Мэв

В. П. АНОХИН, В. Н. ЕПОНЕШНИКОВ, Л. Г. КОСИЦЫН

Запуск ускорителя представляет собой самостоятельную и сложную задачу. Подготовкой к осуществлению запуска служат магнитные измерения и настройка магнитного поля, получение требуемых параметров инжектируемого пучка и высокочастотной системы, достижение надежной работы схемы питания электромагнита, вакуумной системы, синхронизации и других узлов ускорителя.

Процесс запуска состоит в подборе начальных условий инжекции, в окончательной коррекции магнитного поля, в подстройке момента включения и параметров высокочастотной системы.

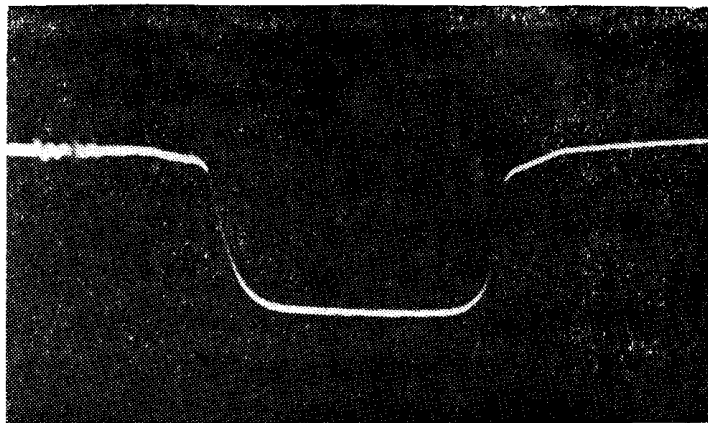


Рис. 1. Сигнал с первого токового флажка

Начальное положение механических регулировок тракта инжекции синхротрона соответствовало геодезическим установкам. Исходные значения электрических параметров системы инжекции соответствовали данным, полученным при настройке тракта инжекции без включения электромагнита.

Как и следовало ожидать, впуск пучка в ускорительную камеру при работе электромагнита удалось осуществить после компенсации магнитного поля рассеяния системой юстировочных катушек на тракте инжекции и подбором напряжения на пластинах инфлектора. Индика-

ция оптимального прохождения пучка через зазор инфлектора осуществлялась по сигналу с первого токового флажка (рис. 1).

Токи в цепях коррекции магнитного поля устанавливались на основании обработки результатов магнитных измерений. Получение первого оборота пучка при данных установках токов коррекции обычно не представляло трудностей. Однако для получения квазибетатронного режима в синхротроне необходима была дополнительная подстройка коррекции магнитного поля. Как бы точно ни производились

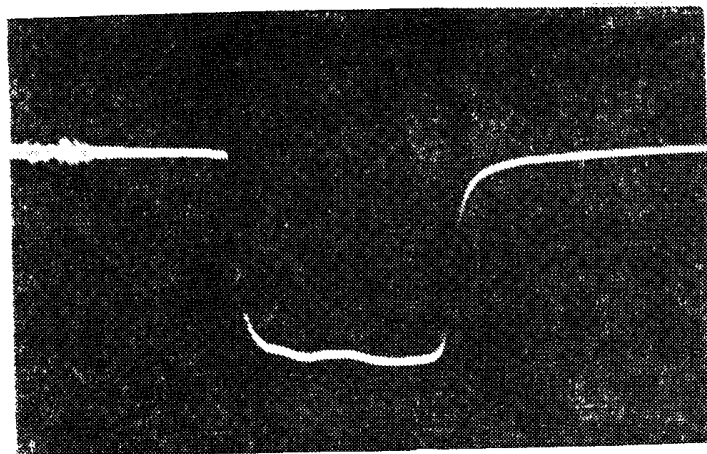


Рис. 2. Сигнал с токового флажка, расположенного в конце первого оборота

магнитные измерения и как бы тщательно ни подбирались токи в цепях коррекции, на той стадии работы нельзя было учесть многие местные нарушения поля, которые сопутствовали постановке вакуумной камеры с многочисленными металлическими фланцами, устройств индикации пучка, инфлектора, высокочастотного резонатора и т. д.

Окончательная коррекция магнитного поля производилась по пучку на основе анализа искажений мгновенной орбиты.

Основными средствами индикации формы и положения пучка на первых оборотах служили подвижные флуоресцирующие сетки и теневые экраны [1]. Наблюдение пучка производилось визуально. Исследованию движения пучка в ускорительной камере предшествовала настройка фокусирующей системы тракта инжекции на получение оптимального сигнала с токового флажка, расположенного в конце первого оборота (рис. 2). Затем пучок коллимировался, и включалась система отсечки. Для надежной индикации отдельных оборотов пучка необходимо было установить размеры щели коллиматора 2 мм по горизонтали и 4 мм по вертикали. Длительность отсечки составляла 0,2 мксек. При этом размеры пучка на сетках не превышали 10—15 мм.

Оценка искажений орбиты по первым двум-трем оборотам производилась на основе метода исключения свободных колебаний [2]. Составляющие свободных радиальных колебаний пучка в синхротроне на первых двух оборотах приведены на рис. 3. Мгновенная орбита параллельна горизонтальной оси Θ . Несовпадение первого и второго оборотов пучка на азимуте a вызывается ошибкой в угле инжекции, на азимуте b — несоответствием между моментом инжекции и моментом прохождения мгновенной орбиты через радиальную координату инфлектора. Эти два азимута были главными пунктами наблюдения за пучком на данном этапе настройки ускорителя. Подбором угла инжекции ам-

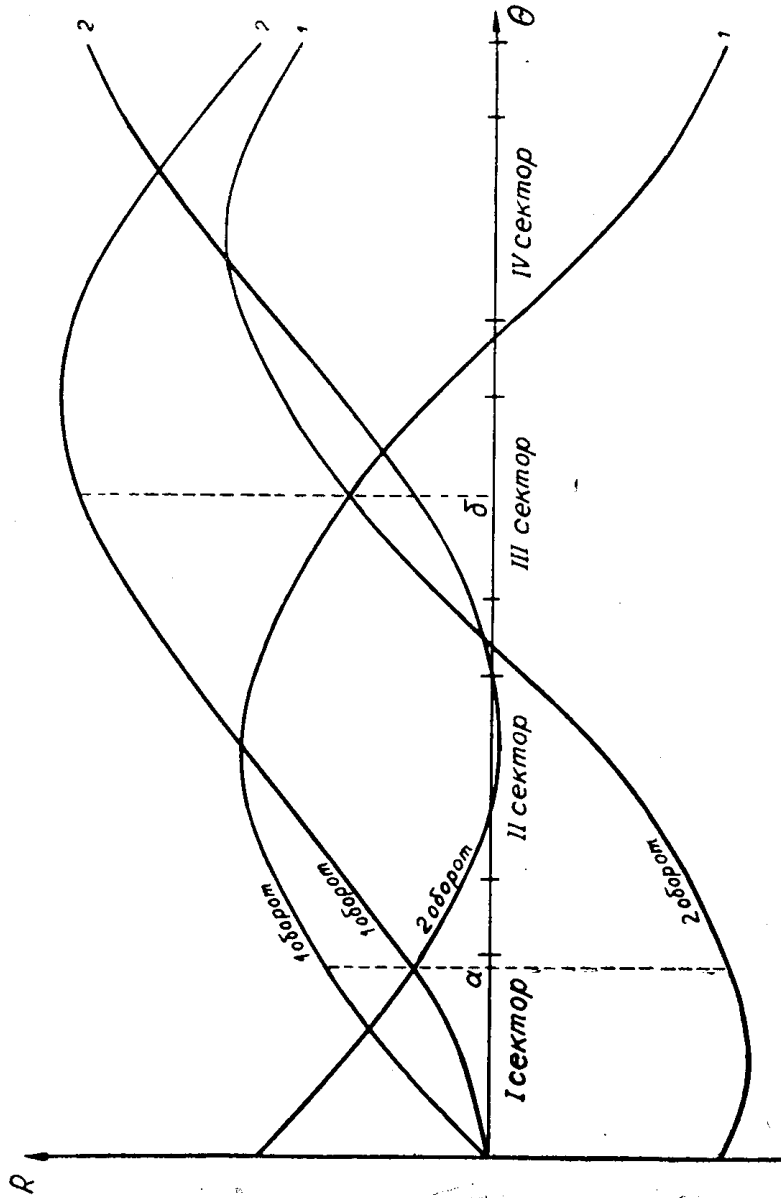


Рис. 3. Составляющие свободных радиальных колебаний:
 1 — вызванная отклонением угла инжекции от оптимального;
 2 — обусловленная несовпадением момента инжекции и момента прохождения мгновенной орбитой радиальной координаты инфлектора

плитуды составляющих свободных колебаний пучка сводились до величин, близких к нулю. В этом случае первые два-три оборота пучка фактически сливались, и траектории электронов были близки к мгновенной орбите. Эффект сжатия орбит ($\sim 0,7$ мм/об) не принимался во внимание.

Анализ искажения мгновенной орбиты указал на наличие первой гармонической составляющей неоднородности магнитного поля. Амплитуда искажения мгновенной орбиты достигала 2 см. Регулировкой тока в цепи соответствующей коррекции поля удалось уменьшить радиальные искажения орбиты в четыре раза.

Устранение вертикальных колебаний пучка потребовало более детального изучения закономерностей его движения. Подбор начальных условий инжекции пучка в вертикальной плоскости производился также по методу исключения свободных колебаний. При этом использовались механическая регулировка тракта инжекции в вертикальной плоскости и подстройка тока в катушке вертикальной юстировки пучка. Было обнаружено, что компенсация искажений мгновенной орбиты в вертикальной плоскости на радиусе инжекции по совмещенным двум оборотам недостаточна. При движении пучка от внешнего края рабочей

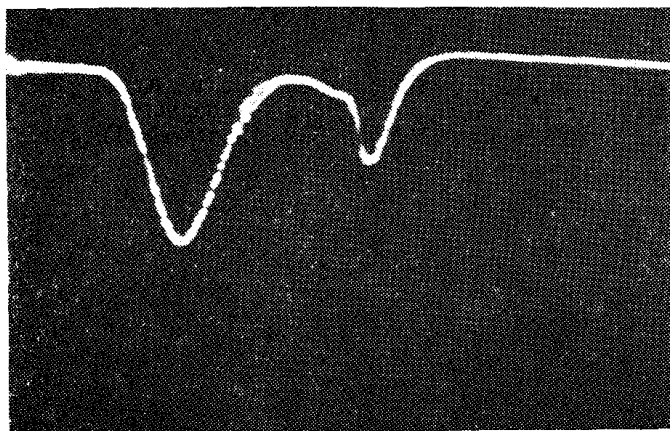


Рис. 4. Сигнал с кристалла при наличии квазибетатронного режима

области магнитного поля к внутреннему краю амплитуда вертикальных колебаний достигла 1,5 см. Этот факт указывал на неравномерность искажений средней плоскости магнитного поля вдоль радиуса. Для детального исследования топографии средней магнитной плоскости был применен следующий метод. Момент инжекции выбирался так, чтобы мгновенная орбита совпадала с равновесной. При этом пучок, испытывая радиальные колебания, на первых трех оборотах фактически зондировал всю рабочую область. Анализ пространственных траекторий частиц позволил сделать вывод, что основной причиной вертикальных колебаний пучка являются искажения средней магнитной плоскости на прямолинейных участках ускорителя, причем основной вклад в амплитуду колебаний вносил прямолинейный участок, содержащий резонатор. Устранить вертикальные колебания пучка удалось после изменения конструкции катушек, компенсирующих радиальную составляющую магнитного поля на прямолинейных участках. Сосредоточенные катушки были заменены распределенными. Закон радиального распределения витков катушек подбирался на макете. В результате принятых мер амплитуда вертикальных колебаний пучка была уменьшена до 3 мм.

Тщательная коррекция магнитного поля явилась предпосылкой для получения квазибетатронного режима. Расчетная длительность квазибетатронного режима в синхротроне составляет 4,4 *мксек*. За это время электроны совершают в камере около 140 оборотов. Для индикации квазибетатронного режима служит кристалл NaI(Tl) с фотоумножителем и внутренняя β -мишень [1]. Сначала момент инъекции выбирался таким, чтобы пучок попадал на β -мишень на первом обороте. Затем регулировкой момента инъекции первый оборот пучка отводился от β -мишени. В этом случае сигнал с β -мишени отставал по времени от момента инъекции, что говорило о наличии циркуляции частиц. Расчетная длительность квазибетатронного режима достигалась тонким подбором момента инъекции и угла влета. Сигнал с кристалла при наличии квазибетатронного режима приведен на рис. 4. Первый пик соответствует моменту инъекции, второй — концу квазибетатронного режима.

Эффективность захвата частиц в квазибетатронный режим оценивалась сравнением осциллограмм с первого токового флажка и с β -мишени. При токе инъекции 40 *ма* коэффициент захвата составлял 10%.

Получение квазибетатронного режима является важным этапом, предшествующим включению высокочастотной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Анохин, Л. Г. Косицын. Система индикации пучка и излучения в электронном синхротроне на 300 Мэв. Настоящий сборник.
 2. Ускоритель электронов на 680 Мэв. Сборник статей, Госатомиздат, 1962.
-