# АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ СТАБИЛЬНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В БЛОКАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЕРЕВАНСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО СИНХРОТРОНА

## С. К. ЕСИН, Ю. Л. МИЛОВАНОВ, В. Н. МИНЯЕВ, А. Р. ТУМАНЯН

Дано описание аппаратуры, позволяющей быстро обнаружить отклонения от нормы магнитных полей в отдельных блоках электромагнита. Приведены примеры эффективного использования аппаратуры при возникновении аномальных искажений поля.

Достижение необходимой симметрии магнитных полей в блоках электромагнита кольцевого ускорителя с жестокой фокусировкой представляет собою существенную долю всей программы пуско-наладочных работ. Контроль за этой симметрией в период систематической эксплуатации ускорителя также имеет большое значение для четкого понимания оператором тех или иных изменений в режиме ускорителя. Наиболее важно контролировать состояние магнитного поля вблизи момента инжекции частиц, когда относительные ошибки поля особенно велики.

Система питания электромагнита Ереванского синхротрона представляет собою резонансный контур из 16 ячеек с подпиткой постоян-



 $R_{yt}$  — сояротналенне актнаных утечек  $C_{k}$  — компенсирующие емкости  $C_{yt}$  — емкости кабелей

#### Рис. 1.

ным током. Упрощенная схема контура электромагнита показана на рис. 1. Изменение поля в кольцевом электромагните во времени можно записать как

$$H = H_{-} - H_{-} \cos 2\pi ft,$$

где H\_ — постоянная составляющая поля,

Н\_ – амплитуда переменной составляющей поля,

$$\frac{H_{=}}{H_{-}} = k \approx 0,95,$$
  
f = 47,35 иg - собственная частота резонансного контура.

Ввиду наличия паразитных активных и емкостных утечек в цепи электромагнита возникают дополнительные токи, величина и фаза которых в момент инжекции ( $H_{\rm HHW} = 66 \ spcm$ ) определяются величинами  $R_{\rm yr}$ ,  $C_{\rm yr}$  и отношением  $k = \frac{H_{-}}{H_{-}}$ . Наложение этих токов на основной ток электромагнита приводит к тому, что в разных блоках магнитное поле проходит через нулевое значение в разные моменты времени.

Система контроля магнитного поля, описываемая в настоящей работе, имеет 48 пермаллоевых датчиков с размером сердечника 0, 0022  $\cdot 0,1 \cdot 10$  мм. Сигнальная обмотка состоит из 560 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,02 мм. В диапазоне скоростей магнитного поля  $10^5 \div 10^7$ эрстед/сек датчики выдают сигнал с амплитудой  $50 \div 150$  мв и длительностью  $5 \div 2$  мксек. Датчики установлены по одному в каждом из 48 блоков электромагнита вне рабочей области магнитного поля (см. рис. 2), но с таким расчетом, чтобы поле в месте их установки было приблизительно равно. полю на равновесной орбите. Обмотка подпитки на датчиках отсутствует и, следовательно, они выдают импульс в момент перехода поля через нуль. Так как сдвиг фазы между H=0 и  $H=H_{\rm HDK}$ . составляет менее 3°, то по смещению импульса датчика во времени  $\Delta t$  относительно импульса датчика, принятого за опорный, можно определить искажение поля в данном блоке в момент инжекции:

$$\Delta H = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta t \cdot \sqrt{H_{\perp}^2 - (H_{\perp} - H_{\rm HHK})^2}$$

Необходимо отметить, что на уровне поля инжекции имеются сравнительно большие отличия полей в различных точках магнитного зазора (и тем более в рассеянных полях). Однако стабильность показаний в месте расположения датчика оказалась весьма высокой. Поэтому описываемое здесь устройство обеспечивает обнаружение отклонений порядка 0, 15% относительно однажды зафиксированного распределения поля.



## Электронная аппаратура

Для увеличения отношения сигнала к помехам предварительные усилители на полупроводниковых триодах с коэффициентом усиления 5 (см. рис. 5) устанавливаются непосредственно возле пермаллоевых дат чиков в кольцевом туннеле ускорителя. Выход эмиттерного повторителя согласован на кабель с волновым сопротивлением 100 ом длиною порядка 120 метров. При работе электромагнита в цепях питания предусилителей наводилась помеха порядка 15 в с частотой резонансного

261

контура магнита. Форма усиленных импульсов при этом существенно искажалась так, что последующая схема формирования выдавала два импульса вместо одного. Чтобы устранить влияние этой помехи, в каждый предусилитель была включена развязка  $R_{\phi} = 210 \text{ ом}$ ,



 $C_{\phi} = 20000 \, \text{мк}\phi$ , а напряжение для питания предусилителей было взято непосредственно из резонансного контура. При этом величина помехи снизилась до 300 мв.

С выхода предусилителя импульс поступает на схему формирования (рис. 3). Первый каскад на лампе 6Ж9П усиливает сигнал до 5*в*, затем импульс обрезается, чтобы не пропустить наводки на кабель и затухающие колебания, образовашиеся в<sub>з</sub>контуре датчика. После двойного дифференцирования и усиления с двусторонним ограничением схема формирует импульс длительностью 0,1 *мксек*, привязанный к вершине исходного импульса с точностью не хуже 0,05 *мксек*. Через диодную схему смешения импульсы от опорного датчика (блок электромагнита № 5) и от датчика в измеряемом блоке подаются на осциллограф для отсчета

5AOK-CXEMA CHCTEMЫ KOHTPOAS



Рис. 4.

временного сдвига импульсов. Полный цикл измерений во всех 48 блоках электромагнита занимает около 5 *мин* без необходимости перерыва в работе ускорителя.

#### Результаты измерений

На первом этапе пуско-наладочных работ ускорение производилось в таком режиме: 30% по переменному току и без подпитки постоянным током. В таком режиме производная магнитного поля по времени в момент инжекции точно такая же, как и при нормальном цикле ускорителя. При этом влияние емкостных утечек контура минимально,



#### PHc. 5.

так как емкостный ток сдвинут на 90° относительно напряжения на резонансном контуре. Распределение магнитного поля в блоках, соответствующее этому режиму, показано на рис. ба. По оси ординат отложен сдвиг импульсов во времени (1 мксек.  $\rightarrow 0,4$  эрст  $\rightarrow 0,6^{0}/_{0}$ ). Поскольку активные утечки по обессоленной воде, охлаждающей обмотки блоков, невелики, то отличия показаний для отдельных блоков оказались также небольшими. В этом режиме удалось легко получить ускорение электронов до энергии порядка 1 Гэв.

При переходе к номинальному режиму некоторое не время удавалось получить ускорение, так как появились большие искажения от емкостных токов в момент инжекции. Поскольку резонансный кон-





тур электромагнита имеет заземление в средней точке первой резонансной ячейки, через которое протекает суммарный емкостный ток, то в распределении поля (рис. 66) появился скачок от блока № 48 к блоку № 1, равный около 10% по полю. 264

После подключения компенсирующих емкостей  $C_k$  (рис. 1) удалось устранить этот скачок. В дальнейшем, по предложению К. Садояна, влияние токов утечки было устранено введением надежной изоляции корпусов конденсаторных батарей и экранов кабеля и выравниванием их потенциала по отношению к земле.

Типичный разброс показаний датчиков, соответствующий работе ускорителя в режиме магнитного поля  $H_{max} = 7950$  эрстед при циркулирующем токе электронов 5ма, показан на рис. 6в.

Рис. бг иллюстрирует случай, когда по датчикам поля было обнаружено аварийное замыкание в цепях полюсной обмотки, корректирующей градиент фокусирующих полублоков. На этом рисунке отложена разница между нормальным распределением поля и случаем, когда в отдельных блоках (на которых располагалась градиентная обмотка) были зарегистрированы отклонения порядка 2%

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. А. И. Алиханян, Ю. Ф. Орлов и др. Проектное задание на сооружение электронного кольцевого ускорителя ФИАН АрмССР, Ереван (1959).

2. Электрофизическая аппаратура, Сборник статей, Выпуск 1, Госатомиздат (1963). 3. Электрофизическая аппаратура. Сборник статей. Выпуск 2, Атомиздат (1964).

### ՆՐԵՎԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՍԻՆԽՐՈՏՐՈՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԻ ԲԼՈԿՆԵՐՈՒՄ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՍՏՈՒԳՄԱՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ

Ս. Կ. ԵՍԻՆ, ՅՈՒ. Լ. ՄԻԼՈՎԱՆՈՎ, Վ. Ն. ՄԻՆՅԱՑԵՎ, Ա. Ռ. ԹՈՒՄԱՆՑԱՆ

Տրված է էլեկտրամագնիսի տարբեր բլոկներում մազնիսական դաշտի նորմայից ունեցած շեղումները արագ հայտնաբերող սարքավորման նկարադիրը։ Բերված են մագնիսական գաշտի չնախատեսված շեղումների հայտնաբերման համար սարքավորման էֆեկտիվ օգտագործմանօրինակներ։

## CONTROL SYSTEM OF STABILITY OF THE MAGNETIC FIELD IN YEREVAN ELECTRON SYNCHROTRON ELECTROMAGNET BLOKS

## S. K. YESIN, YU. L. MILOVANOV, V. N. MINYAEV and A. R. TOOMANIAN

The system described permits us to expose deviations of the magnetic field in the blocks of the synchrotron magnet. Some examples of such diagnostics are given-The system consists of picking strips and electronic circuit.