

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

107/2-81

12/1-81

P10-80-623

В.Н.Аносов, Ю.Н.Денисов, В.А.Саенко,
А.В.Калмыков, З.Н.Шишлянникова

СИСТЕМА НА БАЗЕ ЭВМ ЕС-1010
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ФАЗОЙ ПРОЛЕТА ПУЧКА
КОЛЬЦЕВОГО ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

1980

В работе описывается система автоматического управления фазой пролета /САУФП/ пучка на кольцевом изохронном циклотроне Лаборатории ядерных проблем /1/.

1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САУФП

На рис.1 приведена блок-схема САУФП. САУФП включает в себя:

- 1/ устройство для автоматического измерения фазы пролета /УАИФП/,
- 2/ ЭВМ ЕС-1010 с устройством связи с объектами /УСО/,
- 3/ блок для автоматической установки и измерения токов коррекции в обмотках магнитной системы циклотрона /БАУИТК/.

Устройство для автоматического измерения фазы пролета

Устройство для автоматического измерения фазы пролета сгустка на изохронном циклотроне Лаборатории ядерных проблем по структуре аналогично устройству, задействованному на циклотроне У-120М /3/. В качестве фазовых датчиков используются равномерно распределенные по радиусу 12 пар индуктивных пикап-электродов. Подавление наводки от ускоряющего напряжения осуществляется сумматорами, на входы каждого из которых подаются

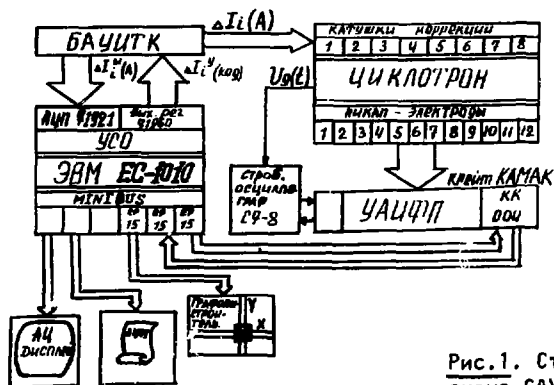


Рис.1. Структурная схема САУФП.

сигналы с пары пикап-электродов. Выходы сумматоров коммутируются на одном из входов стробоскопического осциллографа, на другой вход которого подается сигнал от дуанта.

Управление синхронизацией осциллографа как в непрерывном, так и в импульсном режимах работы циклотрона, коммутацию фазовых датчиков на входе осциллографа, преобразование аналоговой информации в цифровую осуществляют два блока, выполненные в стандарте КАМАК. Обмен информацией между ЭВМ ЕС-1010 и контроллером крейта КК004^{1/4} в процессе автоматического измерения фазы пролета производится через две интерфейсные платы Ер-15, входящие в комплект оборудования ЭВМ ЕС-1010.

Поскольку измеренная на i -том радиусе фаза пролета складывается из истинного значения ϕ_i и систематической ошибки измерения ϕ_ℓ , обусловленной фазовыми сдвигами в трактах измерения, т.е. $\phi_{i\ell} = \phi_i + \phi_\ell$, то необходимо перед началом работы с УАИФП прокалибровать пикап-электроды с помощью предлагаемой методики^{1/5}.

Даются приращения тока $\pm \Delta I_j$ к току I_{j0} в некоторую j -тую корректирующую обмотку, после чего измеряется фаза $\phi_{1\ell}$ на i -том радиусе при токе $(I_{j0} + \Delta I_j)$ и фаза $\phi_{2\ell}$ при токе $(I_{j0} - \Delta I_j)$.

Используя соотношения:

$$\sin \phi_1 = \sin \phi_0 + G_{ij} \cdot \Delta I_j \quad /1/$$

$$\sin \phi_2 = \sin \phi_0 - G_{ij} \cdot \Delta I_j ,$$

где

$$\phi_1 = \phi_{1\ell} - \phi_\ell , \quad \phi_2 = \phi_{2\ell} - \phi_\ell , \quad \phi_0 = \phi_{0\ell} - \phi_\ell ,$$

можно получить выражения для ϕ_ℓ :

$$\phi_\ell = \arctg \frac{2 \sin \phi_{0\ell} - \sin \phi_{1\ell} - \sin \phi_{2\ell}}{2 \cos \phi_{0\ell} - \cos \phi_{1\ell} - \cos \phi_{2\ell}} . \quad /2/$$

При проведении абсолютной калибровки следует учитывать, что ошибка калибровки уменьшается с увеличением разности $(\phi_i - \phi_j)$, однако в то же время сдвиги фаз не должны достигать значений, при которых происходят заметные искажения формы сгустка, поскольку это может привести к значительным погрешностям при калибровке.

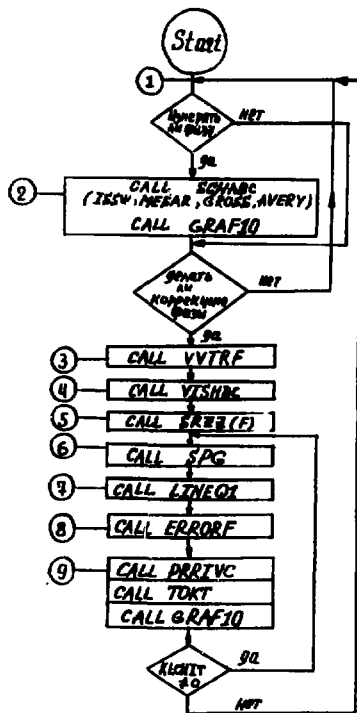


Рис.2. Блок-схема пакета программ для автоматического измерения и коррекции фазы пролета.

Блок автоматической установки и измерения токов коррекции

Автоматическая установка токов в корректирующих катушках и измерения установленных значений производится с помощью блока БАУИТК, включающего в себя следующие устройства: цифро-аналоговые преобразователи на 10 разрядов, управляемые источники тока на максимальный ток 1,5 А, 10-разрядные АЦП из УСО ЕС-1010, служащие для измерения установленных в катушках токов.

ЭВМ ЕС-1010 с устройством связи с объектами

Управляющая ЭВМ ЕС-1010 в системе автоматического управления фазой пролета выполняет следующие функции: а/ управляет УАИФП; б/ вычисляет расхождения между измеренными значениями фазы на каждом пикапе и значениями, которые требуется получить в соответствии с заданным распределением фазы вдоль радиуса; в/ рассчитывает корректирующие добавки токов и управляет их установкой и измерением на БАУИТК через блоки УСО 71960 /выходные регистры/, 71921 /АЦП на 10 разрядов/, входящие в комплект оборудования ЭВМ ЕС-1010.

2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САУФП

На рис.2 приведена блок-схема, поясняющая работу пакета программ для САУФП. Рассмотрим назначение отдельных программ пакета:

1. KORFRAC - главная программа, координирующая работу всего пакета.

где $g_j(r)$ - магнитное поле на радиусе r от одного витка j -той катушки с током I А.

Функция $g_j(r)$ рассчитывается по формуле [8]:

$$g_j(r, h) = \frac{0,4\pi I w}{R_j} \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{(1 + \frac{r}{R})^2 + (\frac{h}{R})^2}} [F_0(a) + \frac{1 - (\frac{r}{R_j})^2 - (\frac{h}{R_j})^2}{(1 - \frac{r}{R_j})^2 + (\frac{h}{R_j})^2} E_0(a)].$$

Коэффициенты G_{ij} , полученные путем непосредственных измерений на циклотроне, отличались максимально на 20% от расчетных коэффициентов. В данной работе при решении матрицы /3/ для вычисления корректирующих токовых добавок использовались расчетные коэффициенты.

Подпрограмма SRZZ вызывает подпрограмму F для вычисления $g_j(r)$.

6. SPG - подпрограмма, выполняющая расчет коэффициентов и правой части матрицы /3/.
7. LINEG1 - подпрограмма обращения матрицы /3/ для отыскания корректирующих токовых добавок ΔI .
8. ERRORF - подпрограмма вычисления ошибок коррекции фазы, обусловленных несовместностью исходной системы уравнений, связывающих фазу с полем.
9. PRRIVC - вычисляет суммарные токи в катушках коррекции I_{Σ}^k , рассчитывает коэффициенты регуляризации α_k по формуле /4/ и вызывает пакет ТОКТ.
10. ТОКТ - пакет подпрограмм для автоматической установки корректирующих токов и выполнения контрольных измерений установленных значений токов.
 - а/ TASKT - устанавливает токи в катушках грубой коррекции;
 - б/ DISDAT - производит распечатку таблицы скорректированных токов для нескольких итераций при коррекции фазы;
 - в/ MESRT - измеряет установленные токи в катушках коррекции.
 Установка от ЭВМ требуемого тока в j -той катушке коррекции производится с помощью алгоритма итерационного типа, обеспечивающего точность установок тока $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ при линейности преобразования кода в ток $\sim 1\%$.
11. GRAF10 - пакет программ, используемый для вывода на графопостроитель D РП-3М /рабочее поле 576x814 мм/ следующих зависимостей:
 - а/ $U_{\Sigma pi}(t)$ - сигналы с пикап-электродов,
 - б/ $\phi(r)$ - зависимость фазы пролета вдоль радиуса,
 - в/ $I_j(r)$ - распределение токов в катушках до и после коррекции и т.д.

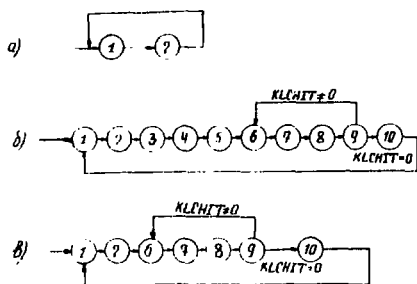


Рис.3. Типичные варианты использования пакета программ для задач измерения и коррекции фазовой зависимости вдоль радиуса ускорителя.

коэффициентов a_k не входят в допустимый диапазон токов источников питания корректирующих обмоток.

3. Производится автоматическая стабилизация заданной зависимости фазы пролета вдоль радиуса /рис.3в/.

Оператор ЭВМ может устанавливать рассмотренные режимы с помощью диалога на дисплее, а также соответствующих клавиш на регистре DATA пульта ЭВМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

САУФП в варианте, изображенном на рис.1, была задействована на электронном циклотроне Лаборатории ядерных проблем в конце 1979 года. Результаты коррекции фазы приведены на рис.4,5. На рис.4 показано, как из исходной фазовой зависимости $\phi^{ИСХ}(\Gamma)$ с максимальным разбросом фазы $+30^\circ$ получается зависимость с разбросом фаз $+3^\circ$, причем примечательно, что точность $+3^\circ$ достигается уже при 4-й коррекции и при последующих коррекциях, т.е. 5-й, 6-й, 7-й, остается неизменной.

На рис.5 показывается процесс формирования из исходной фазовой зависимости вида $\phi^{ИСХ}(\Gamma) = \phi_0 = \text{const}$ зависимости сложного вида, т.е. задача, обратная той, решение которой иллюстрирует рис.4. За две итерации точность приближения к заданному закону составила $+7^\circ$.

Пакет программ, блок-схема которого изображена на рис.2, предназначен для работы в следующих типичных режимах /рис.3/:

1. Производится только изменение фазы /рис.3а/. Измерение фазы может осуществляться как в режиме однократного измерения, так и в режиме накопления, когда фаза получается путем отыскания среднего значения среди полученных в нескольких последовательных измерениях.

2. Выполняется однократная коррекция измеренной фазы для достижения заданного закона ее распределения вдоль радиуса /рис.3б/. Цепочка из подпрограмм 6-9 может вызываться несколько раз в случае, если рассчитываемые токовые добавки даже с учетом

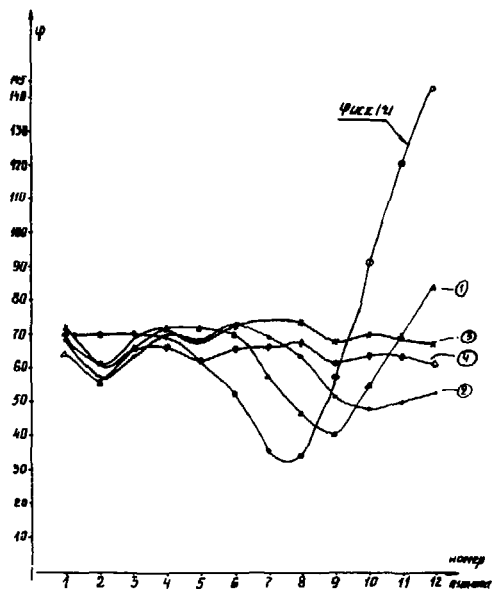


Рис. 4. Коррекция фазы для достижения заданного закона ее распределения вдоль радиуса:
 $\phi(r) = \phi_0 = \text{const.}$

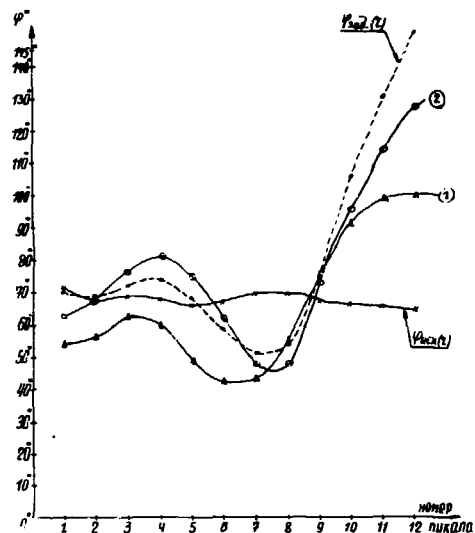


Рис. 5. Коррекция исходной фазы типа $\phi(r) = \phi_0 = \text{const}$ для достижения заданной зависимости сложного вида: $\phi_{\text{зад}}(r)$.

Один цикл коррекции фазы в импульсном режиме работы ускорителя занимает время 50 с при времени измерения фазы на всех 12 пикап-электродах 48 с /без накопления/.

В заключение авторы благодарят проф. В.П.Дмитриевского за поддержку работы, М.Ф.Шабашова за проведение измерений, Д.Л.Новикова за помощь в экспериментах на электронном циклотроне и Х.Круга за полезные замечания и помощь в наладке системы питания корректирующих обмоток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов В.Н. и др. ОИЯИ, Р9-3787, Дубна, 1968.
2. Аносов В.Н. и др. ОИЯИ, Р9-9144, Дубна, 1975.
3. Денисов Ю.Н. и др. ОИЯИ, Р9-11204, Дубна, 1978.
4. Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-8754, Дубна, 1975.
5. Чигак М. ОИЯИ, 9-10463, Дубна, 1977.
6. Данилов В.И. и др. ОИЯИ, Р-702, Дубна, 1961.
7. Аносов В.Н., Шишлянникова З.Н. ОИЯИ, 10-12287, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 сентября 1980 года.