

Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

949/2-81

23/11-81

10-80-747

Л.В.Дубовик, В.Д.Инкин, В.П.Николаев,
Т.П.Саенко, А.В.Смирнов

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ
МОДУЛЯТОРОВ УСКОРИТЕЛЯ СИЛУНД

Направлено в ПТЭ

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

В сильноточном линейном индукционном ускорителе СИЛУНД ускоряющее поле создается системой импульсных трансформаторов-генераторов, возбуждаемых прямоугольными импульсами тока наносекундной длительности. Генераторы импульсов - модуляторы состоят из сосредоточенных емкостей, водородного тиратрона и формирующей линии. Всего в ускорителе используется 30 модуляторов^{1/}. Важным параметром, влияющим на качество ускорения, является синхронность срабатывания модуляторов. При использовании водородных тиратронов в генераторах импульсов появляются два вида нестабильностей: а/ периодическая нестабильность зажигания, т.е. изменение времени зажигания тиратрона от импульса к импульсу и б/ аperiodическая - явление постепенного изменения времени зажигания, наблюдаемое в течение длительного промежутка времени. Последняя нестабильность проявляется при установлении теплового режима тиратрона: при его включении в работу и в процессе длительной работы^{2/}.

Заметим, что стабильность срабатывания модуляторов определяет длительность и интенсивность ускоренного пучка, его энергетические характеристики, максимальное значение которых можно получить только при синхронной работе всех генераторов ускоряющего напряжения^{2/}. Периодическая нестабильность импульса напряжения на индукторах ускорителя определяется в основном нестабильностью фронта импульса напряжения на входе в обостряющие линии. Путем индивидуального подбора режимов работы накала генераторов водорода нестабильность может быть доведена до 2 нс^{3/}.

2. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Для управления моментами срабатывания модуляторов ускорителя разработана система автоматического управления на линии с ЭВМ ТРА-1001/i. Структурная схема системы приведена на рис.1, блок-схема исполнительной и измерительной части системы - на рис.2. Исполнительная и измерительная части системы выполнены в стандарте КАМАК и размещены на расстоянии около 100 м от ЭВМ; связь с ЭВМ осуществляется с помощью удлиненной ветви КАМАК^{4/}. Информация о процессе синхронизации представляется с помощью системы отображения информации^{5/}. Временное положение импуль-

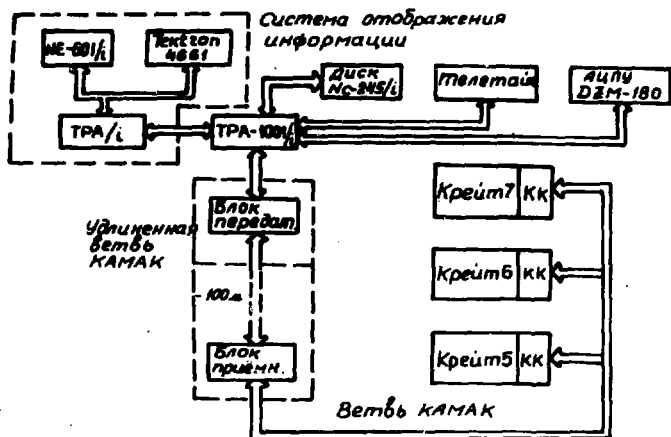


Рис.1. Структурная схема системы.

сов модуляторов относительно опорного импульса, запускающего модуляторы, измеряется шестиканальными преобразователями временных интервалов наносекундного диапазона /6 ВЦП/ ⁶ Диапазон преобразователя 6 ВЦП равен 512 каналам, точность измерения - 1 нс. Временная привязка к импульсам модуляторов ускорителя осуществляется по их переднему фронту посредством интегральных дискриминаторов Д1, Д2 /рис.3/. Экспериментально было установлено, что при выборе величины отношения амплитуд входных импульсов к напряжению порога амплитудного дискриминатора, приблизительно равной 3, погрешность привязки по фронту составляет меньше 1 нс.

Временное положение импульсов модуляторов регулируется управляемыми от ЭВМ блоками наносекундных задержек КЛ002 /Л31÷Л335/ ⁷. В системах управления ускорителями важное значение имеет гибкость обеспечения перехода от режима автоматического управления к ручному. В рассматриваемой системе ручное управление осуществляется блоками задержек 005 ⁸ /Л3'1÷Л3'35/, включенными последовательно с КЛ002. На входы задержек Л31÷Л330

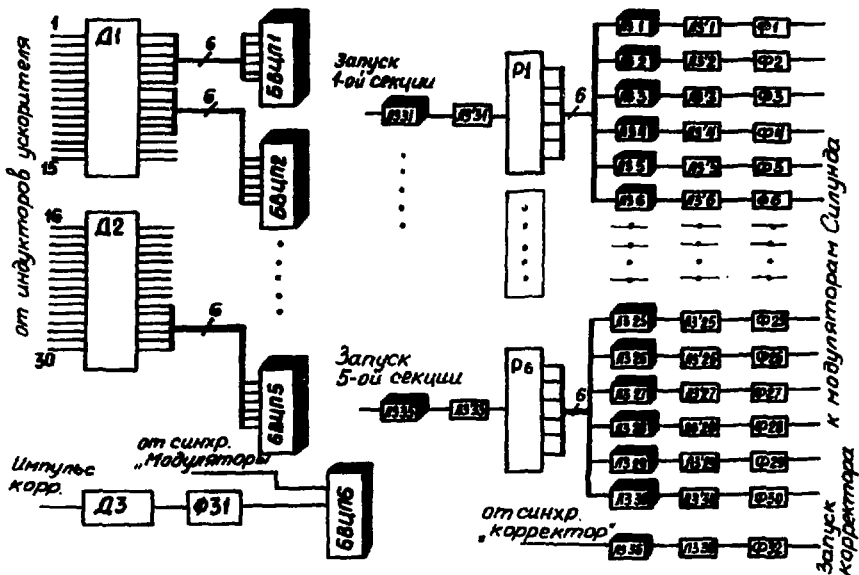


Рис. 2. Блок-схема исполнительной и измерительной части системы.

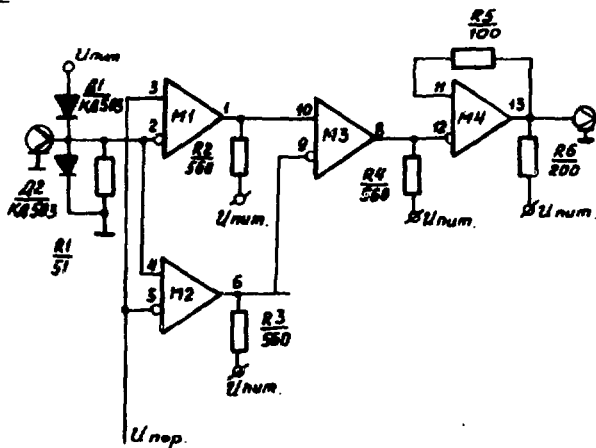


Рис. 3. Схема дискриминатора /M1+M4 - 1ЛП381/.

импульсы поступают с разножителей импульсов P1+P6. Характеристика блока разножителя:

входные сигналы	-	NIM
выходные сигналы	-	NIM
число схем	-	2
число выходов	-	7.

ЛЗ31+ЛЗ35 и ЛЗ¹31-ЛЗ¹35 - блоки задержек, позволяющие осуществить временной сдвиг секций. Импульсы запуска секций поступают от синхронизатора ускорителя. Ф1 Ф30 - усилители-формирователи.

Характеристика блока усилителей-формирователей:

входные сигналы	-	NIM, TTL
выходные сигналы	-	25 В на 50 Ом
число схем	-	6.

Блок 6 ВЦП /см. рис.2/ служит для измерения положения заднего фронта импульса "корректора" ускорителя, привязка к заднему фронту осуществляется формирователем Ф31. Положение импульса корректора регулируется посредством задержки ЛЗ36 /КЛ002/.

Для индикации синхронности срабатывания модуляторов ускорителя используется линейный сумматор импульсов. Минимальная длительность суммарного сигнала получается при совпадении импульсов модуляторов. Измерение длительности суммарных сигналов осуществляется по схеме, приведенной на рис.4. С помощью коммутатора поочередно подключаются импульсы суммарных сигналов. Порог дискриминатора управляется от ЭВМ и устанавливается блоком ЦАП, измерение длительности осуществляется блоком АЦП. Диапазон длительностей суммарных сигналов 40±100 нс.

3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ЭВМ осуществляет автоматическую синхронизацию и стабилизацию временного положения импульсов модуляторов. Синхронизация импульсов модуляторов производится двумя способами: а/ первый заключается в синхронизации по эталонным значениям, когда измеряемая величина сравнивается с эталонной и по результатам сравнения вычисляется поправка к управляемой величине; б/ второй поисковый способ - синхронизация по отклику системы, которым является длительность суммарного сигнала.

В первом случае эталонные значения могут быть получены:

- измерением временного положения импульсов, синхронизованных оператором ускорителя /программа SNET /. Временное положение импульсов определяется по N измерениям, где N оптимально выбрано равным 16;

- поочередным подключением к измерительным каналам импульса эталонного генератора.

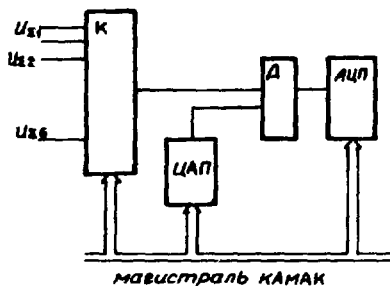


Рис. 4. Блок-схема подсистемы измерения длительности.

Эталонные значения могут быть изменены оператором. В виде файлов они хранятся на НМД, причем в комментариях к ним имеется информация о дате получения, фамилии оператора и т.д. /10/.

Особенностью реализованного алгоритма синхронизации является его параллельность. Измерения производятся по 31 каналу во время каждого цикла работы ускорителя, что существенно увеличивает оперативность управления. Блок-схема алгоритма показана на рис. 5. Алгоритм осуществляет

проверку стабильности измерений. При величине дисперсии больше критической канал исключается из управления в данном цикле. Если дисперсия меньше критической, то вычисляется

$$\text{DELTA} = \text{ETAL} - \text{ТЕК}.$$

В случае, если величина DELTA удовлетворяет условию

$$D_H < \text{DELTA} < D_B,$$

где D_H определяется точностью измерений, D_B соответствует случайному выбросу, то значению задержки присваивается новое значение:

$$\text{DELAY} = \text{DELAY} + \text{DELTA}.$$

С помощью этого алгоритма можно провести первоначальную настройку модуляторов, а также стабилизацию их срабатывания в процессе работы ускорителя. Программа SINH реализует данный алгоритм для 31 канала системы. Однако часто наличие большого числа измерительных точек нежелательно; кроме того, задержка сигналов по измерительным кабелям и коэффициенты преобразований различны, в результате чего требуется тщательная калибровка и хранение калибровочных кривых измерительных каналов. Для устранения этих трудностей был разработан способ синхронизации модуляторов по секциям, а также секций между собой, который по длительности суммарных сигналов секций и общего суммарного сигнала осуществляет поиск минимумов длительностей суммарных сигналов.

Поиск осуществляется поэтапно комплексом программ. Для каждой секции находим значения задержек, соответствующие мини-

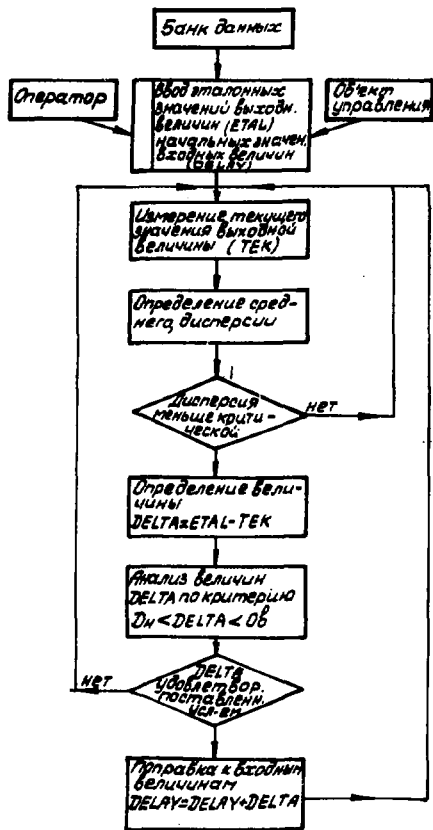


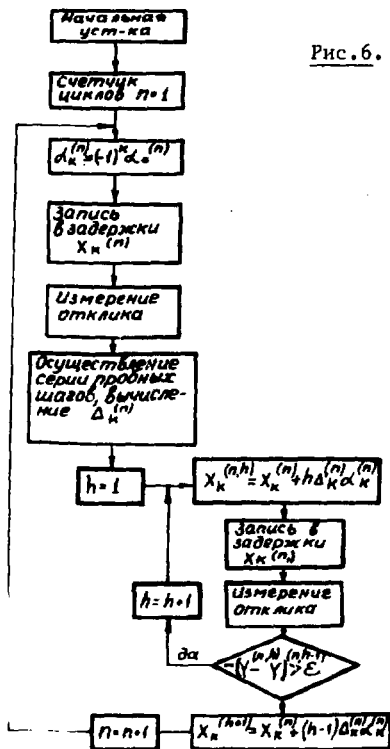
Рис.5. Блок-схема программы SINH.

муду длительности суммарного сигнала данной секции /программа MIND /. Варьируя значения задержек секций, получаем минимум длительности общего суммарного сигнала /программа SETU /. Во всех поисковых программах реализован детерминированный алгоритм "прямого поиска" /9/. Блок-схема алгоритма показана на рис.6, где X_k^n - значение K -й входной величины в n -м цикле поиска; α_k^n - масштаб шага k -й входной величины в n -м цикле поиска; h_n - коэффициент ускорения шагов; Λ_k - матрица откликов системы на пробное воздействие.

При остановке программы поиска будет восстановлено лучшее значение суммарного сигнала за несколько циклов, так как реализованный алгоритм обладает памятью и сохраняет наилучшие результаты, полученные за время пробных шагов. Массив значений задержек располагается в общем поле памяти; доступ к ним допускается для любой из программ настройки, поэтому синхронизацию можно производить гибко, используя комбинацию алгоритмов /а/ и /б/.

Как уже говорилось выше, уровень дискриминации при измерении длительности управляется от ЭВМ, его может по своему усмотрению задавать оператор, участвующий в настройке в качестве советчика. Для более точной настройки по максимальному перекрытию плоских вершин импульсов, соответствует получению

Рис. 6. Блок-схема программы MIND.



максимальной плоской вершины суммарного сигнала, после настройки по минимуму длительности на уровне 0,1 от амплитуды можно перейти к настройке по максимуму на уровне 0,9 от амплитуды /такая настройка осуществляется при различных длительностях и фронтах ускоряющих импульсов/. На рис.7а представлен суммарный сигнал модуляторов до настройки, на рис.7б - после автоматической настройки; измерения производились системой измерения формы импульса¹¹/по оси абсцисс - время в наносекундах, по оси ординат - амплитуда в кодах АЦП/.

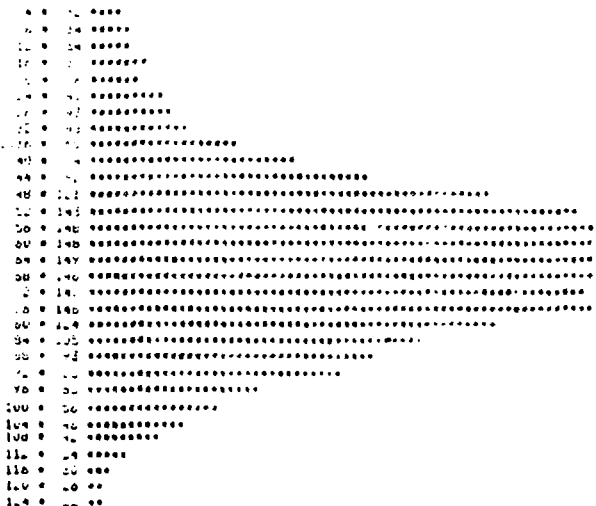
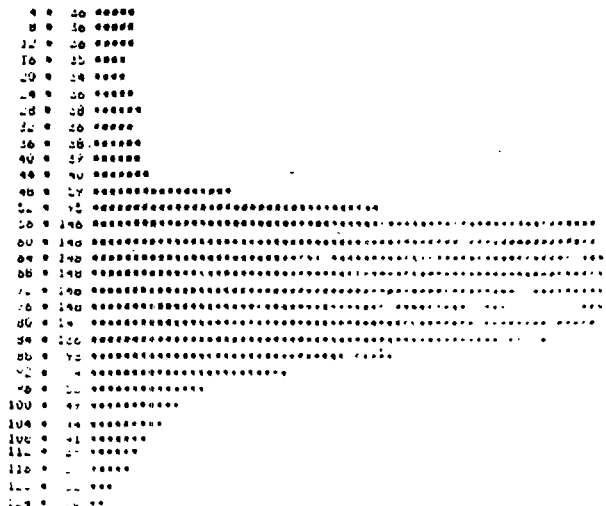


Рис.7. Форма импульса суммарного сигнала: а/ до настройки; б/ после настройки.

4. ВЫВОДЫ

Использование данной системы для автоматической синхронизации импульсов модуляторов позволяет освободить операторов ускорителя от трудоемкой и длительной процедуры синхронизации модуляторов при помощи осциллографа.

Стабилизация временного положения импульсов модуляторов практически устранила аperiodическую нестабильность их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
2. Вахрушин Ю.П. и др. Линейные индукционные ускорители. Атомиздат, М., 1978.
3. Беляев А.П. и др. ОИЯИ, Р9-10313, Дубна, 1976.
4. Инкин В.Д. и др. ПТЭ, 1979, №4, с.106-108.
5. Ангелов А.Х. и др. ОИЯИ, 10-9968, Дубна, 1976.
6. Басиладзе С.Г. и др. ОИЯИ, 13-8609, Дубна, 1975.
7. Гребенюк В.М. и др. ОИЯИ, 10-9085, Дубна, 1975.
8. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, 13-6369, Дубна, 1974.
9. Химмельбесу Д. Анализ процессов статистическими методами. "Мир", М., 1973.
10. Инкин В.Д. и др. ОИЯИ, 10-12875, Дубна, 1979.
11. Инкин В.Д. и др. ОИЯИ, 10-80-154, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 ноября 1980 года.