

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-85-424

Г.В.Долбилов, Н.И.Лебедев, С.В.Узлов,
А.А.Фатеев, Б.Г.Шинов

**СИСТЕМА СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ
РЕЗОНАНСНОЙ ЗАРЯДКИ МОДУЛЯТОРОВ
УСКОРИТЕЛЯ СИЛУНД-20**

Направлено в "ПТЭ".

1985

ВВЕДЕНИЕ

При разработке зарядного устройства модуляторов линейного ускорения СИЛУНД-20^{1/1} учитывались некоторые факторы, обусловленные конкретной существующей схемой высоковольтного питания и схемой модулятора. Основные из них:

1. В качестве источника высоковольтного напряжения используется агрегат ВТМ 35/70, обладающий большим внутренним сопротивлением $R_{вн} \sim 2 \text{ кОм}$ и встроенным дросселем, индуктивность которого при номинальном токе $L \sim 1 \text{ Гн}$.
2. Модулятор - генератор импульсов ускоряющего напряжения - выполнен по схеме с усилением мощности. Усиление мощности осуществляется путем временного сжатия энергии /уменьшение длительности импульса при сохранении его энергии/. Применение схем сжатия позволило увеличить мощность модулятора до $P \sim 600 \text{ МВт}$ в импульсе / $I = 35 \text{ кА}$, $U = 17 \text{ кВ}$ / при использовании одного коммутатора /тиратрон ТГИ1-2500/50/. Недостатком схем сжатия является сильная зависимость задержки импульсов на нагрузке /индукторы ускорителя/ от величины зарядного напряжения на накопительной емкости модулятора $\Delta t_3 \sim 20 \text{ нс}$ при изменении $\Delta U_3 / U_3 \sim 1\%$ в рабочем диапазоне /20 ÷ 25 кВ/ зарядных напряжений.
3. При использовании резонансного способа запитки накопительных конденсаторов зарядный ток может быть использован для размагничивания цепей сжатия схемы модулятора.

Разработанная стабилизированная система резонансной зарядки модуляторов ускорителя СИЛУНД-20 решает, в первую очередь, проблему наносекундной синхронизации импульсов ускоряющего напряжения с другими технологическими устройствами установки, а также является этапной работой на пути создания автоматизированной системы управления коллективного ускорителя тяжелых ионов КУТИ-2^{1/2}.

СХЕМА РЕЗОНАНСНОЙ ЗАРЯДКИ И РЕГУЛИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

Упрощенная схема силовой части устройства резонансной зарядки представлена на рис.1. Стабилизация напряжения осуществляется на основной накопительной емкости $C_H = 21 \text{ мкФ}$ следующим образом. За 20 мс до срабатывания модуляторов подается запуск на тиристорный коммутатор T_1 и начинается зарядка емкости C_H от

АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ

Территориально электронная аппаратура управления и силовая часть системы находятся на расстоянии ~ 200 м друг от друга. Непосредственно силовая часть системы резонансной зарядки и ускоритель в целом являются источником сильных электромагнитных наводок, поэтому при разработке аппаратуры управления особое внимание уделялось помехозащищенности и развязке силовых и измерительных цепей.

Структурная схема аппаратуры управления представлена на рис.3. Зарядное напряжение на накопительной емкости C_n через высоковольтный делитель напряжения $ДН / K_{дел} = 3500/$ подается на дифференциальный передатчик ДП. Для снижения уровня помех, возникающих при коммутации мощных токов на земляных контурах электрофизических установок, аналоговый сигнал снимается с предпоследнего плеча делителя. Дифференциальный передатчик, состоящий из двух повторителей напряжения на операционных и транзисторных усилителях мощности, через линию связи /скрученная экранированная пара/ подключен к дифференциальному приемнику. Схемное построение передатчика и приемника для снижения уровня синфазных помех разработано согласно рекомендациям ^{/4/}. Дополнительно, поскольку существует гальваническая связь силовых и измерительных цепей, непосредственно за передатчиком установлена индуктивная развязка, представляющая собой обмотку линии связи на ферритовом сердечнике размерами 250x170x25. Такие развязки особенно эффективны для ослабления высокочастотных составляющих импульсных помех.

В кейте с электронной аппаратурой управления выделенный разностный сигнал с дифференциального приемника подается на прямой вход сравнивающего устройства КОМП. На второй вход поступает опорный сигнал с цифроаналогового преобразователя ЦАП. 12-разрядный ЦАП, разработанный на базе микросхемы К572ПА2А, управляется по магистрали КАМАК. К особенностям цифроаналогового преобразователя следует отнести разделение по времени циклов записи данных с магистрали КАМАК в первый регистр микросхемы К572ПА2А и по внешнему запуску во второй регистр. Такой режим необходим для синхронизации изменения опорного напряжения стабилизации с временным циклом работы ускорителя и сохраняет предыдущее значение порога на время работы силовой части зарядного устройства

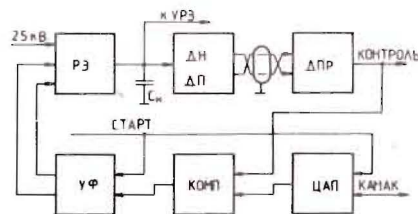


Рис.3. Структурная схема аппаратуры управления.

в целом. При равенстве опорного и сигнала напряжения на накопительной емкости C_n компаратор КОМП вырабатывает импульс запуска для формирователя управляющих импульсов коммутирующих элементов УФ.

Усилители-формирователи вырабатывают пусковые сигналы для мощных цепей системы стабилизации. Для запуска высоковольтного тиристорного столба формируется серия определенной длительности разнополярных импульсов с амплитудой $\sim +24$ В. Разнополярный сигнал упрощает конструктивное исполнение развязывающих трансформаторов запуска, позволяет формировать пусковые сигналы для тиристоров практически любой длительности, а это повышает надежность включения коммутатора, особенно при небольших токах коммутации. При этом на каждом управляющем электроде тиристора в высоковольтном столбе установлен выпрямительный мостик.

АППАРАТУРА ИЗМЕРЕНИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Измерение характеристик системы стабилизации и калибровка электронной аппаратуры проводились на базе многомашинного комплекса СМ ЭВМ. Операционная система RSX-IIIS на микро-ЭВМ, пакет программ КАМАК и другие сервисные возможности многомашинного комплекса ^{/5/} позволяют оперативно и эффективно использовать вычислительные возможности ЭВМ. Рабочая программа измерения основных характеристик системы настройки и тестирования электронных блоков системы написаны полностью на языке фортран, а для отображения графической информации использован пакет СМ ГРАФОР ^{/6/}.

Электронная аппаратура КАМАК, подключенная к периферийной микро-ЭВМ МERA-60-10, включает в себя цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи, интерфейсы представления графической информации и другие блоки.

Для иллюстрации работы системы стабилизации на рис.4-6 представлены результаты измерения зарядного напряжения питания модуляторов ускорителя СИЛУНД-20. По оси "X" отмечено число срабатываний ускорителя, по оси "Y" - процентное значение нестабильности зарядного напряжения относительно среднего за этот интервал. Программно имеется возможность изменения масштаба по оси "Y", поэтому при выводе информации коэффициент протоколируется на рисунке. На рис.4 при отключенной системе стабилизации проиллюстрирована нестабильность зарядного напряжения модуляторов, вызванная срабатыванием мощных импульсных систем адгезатора. Значение коэффициента шкалы "Y" равно 2.00, что соответствует масштабу $\pm 2\%$; на рис.5 - то же при работающем адгезаторе и включенной системе стабилизации. Отдельные "выбросы" на графике составляют $\sim 0,05\%$ и соответствуют ширине 1 канала АЦП. Рис.6 иллюстрирует возможность управления высоким напряжением путем изменения уровня опорного сигнала с помощью ЦАПа.

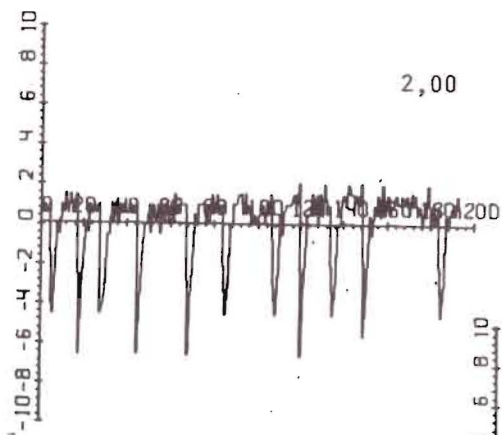


Рис.4. Результаты измерения зарядного напряжения с отключенной стабилизацией.

Рис.5. Результаты измерения зарядного напряжения с включенной стабилизацией.

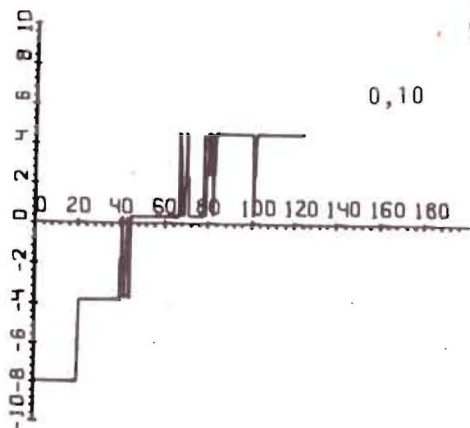
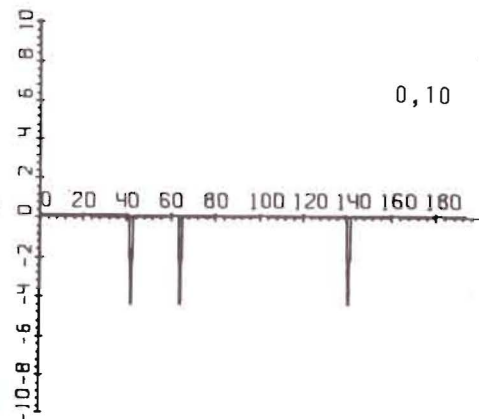


Рис.6. Результаты измерения зарядного напряжения при включенной стабилизации и управлении ее уровнем с помощью ЦАПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система стабилизированной резонансной зарядки модуляторов ускорителя СИЛУНД-20 эксплуатируется на установке более года. Относительная нестабильность зарядного напряжения модуляторов в рабочем диапазоне $20 \div 25$ кВ не превышает 0,1%, что позволяет произвести синхронизацию временного положения ускоряющих импульсов на индукторах с другими технологическими системами с точностью ± 1 нс.

Электронная аппаратура управления системой в полном объеме будет подключена к АСУ КУТИ-20.

Использованный способ ограничения зарядного напряжения коммутирующими элементами и электронная аппаратура управления могут быть применены для стабилизации и управления зарядных напряжений всех основных импульсных систем ускорителя СИЛУНД-20.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилов Г.В. и др. В кн.: "Коллективные методы ускорения". ОИЯИ, Д9-82-664, Дубна, 1982, с.101.
2. Александров В.С. и др. В кн.: "Ускорительный комплекс тяжелых ионов в ОИЯИ". ОИЯИ, Р9-83-613, Дубна, 1983, с.54.
3. Беляев А.П. и др. ОИЯИ, 9-10313, Дубна, 1976.
4. Гальперин М.В. ПТЭ, 1980, 4, с.7.
5. Бейлин М.В. и др. Препринт ИЯФ, 82-72, СО АН СССР, Новосибирск, 1982.
6. Бобылева Л.В. и др. ОИЯИ, 10-83-297, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 мая 1985 года.