

ГЕНЕРАТОР УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛОТРОНА ИАЭ им. И.В.КУРЧАТОВА

А.И.Бельков, В.В.Душин, С.Ю.Каров, И.И.Какунов, П.Ю.Комиссаров,  
С.Т.Латушкин, Л.И.Юдин

Институт атомной энергии имени И.В.Курчатова, Москва

Развитие методов ядерно-физических исследований требует постоянной модернизации существующих ускорителей. В этой связи ведутся большие и многолетние работы по созданию новых высокочастотных элементов и генераторов вновь разрабатываемых циклотронов <sup>1/1</sup>. Не менее перспективным представляется использование промышленных широковещательных передатчиков для обеспечения современных требований к высокочастотным устройствам существующих циклотронов. В частности, в ИАЭ им. И.В.Курчатова ранее использовавшийся генератор ГУ-300 <sup>1/2</sup> заменен на генератор, выполненный на основе широковещательного передатчика ПКВ-250 <sup>1/3</sup>. Сравнительные параметры обоих генераторов приведены в таблице I.

Таблица I

Технические характеристики	Генератор	
	ГУ-300	ПКВ-250
Диапазон частот, МГц	8 - 16	4 - 26
Мощность в режиме несущей частоты кВт	300	до 300
Перестройка частоты	ручная	ручная, электромеханическая, автоматическая на 6 фиксированных, заранее выбранных частот
Задающий генератор (возбудитель)	нестабилизированный	синтезатор частот Ч6-31
Число резонансных каскадов	5	2
Охлаждение контуров	водяное	воздушное
Охлаждение ламп	водяное	испарительное
Мощный выпрямитель	тиратронный	тиристорный
Выход	двухтактный	двухтактный

Маломощные каскады передатчика ПКВ-250 выполнены широкополосными. Резонансные двухтактные каскады построены по схеме с общей сеткой - предоконечный на тетродах ГУ-61П, оконечный на триодах ГУ-68П. Использование ламп с испарительным охлаждением и тиристорного выпрямителя в мощном высоковольтном источнике питания существенно повысило надежность передатчика при работе в помещении без кондиционирования.

Для применения передатчика в системе высокочастотного питания циклотрона был выполнен ряд конструктивных и схемных разработок. Из состава передатчика исключены тракт низкой частоты, а также сложные перестраиваемые фильтры в выходном высокочастотном тракте. На освободившемся от низкочастотного тракта месте в ограждении передатчика смонтированы высоковольтные фильтры, что уменьшило объем рабочих помещений, упростило эксплуатацию, повысило безопасность работы с генератором. В отличие от промышленного варианта с воздушным охлаж-

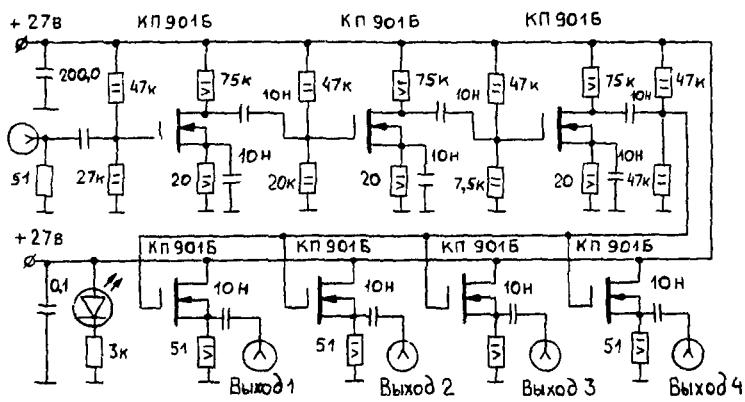


Рис. I. Широкополосный усилитель-размножитель (ШУР).

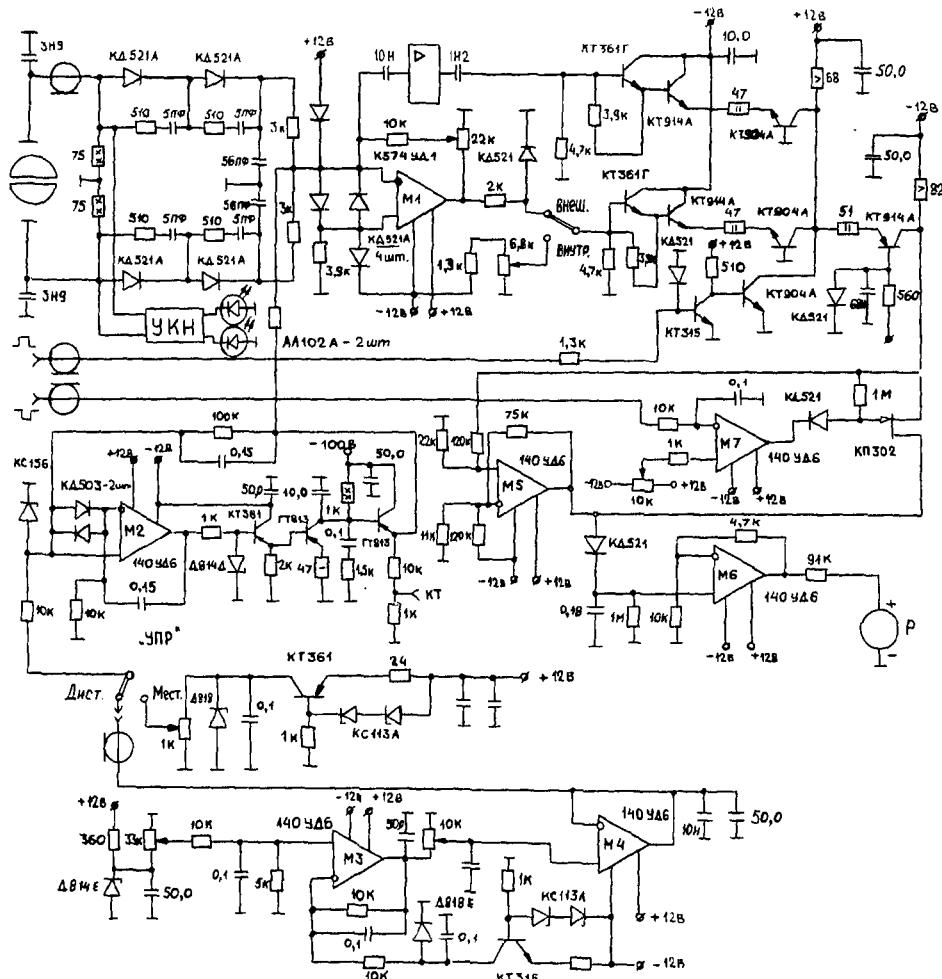


Рис.2. Блок стабилизации и модуляции ускоряющего напряжения.

дением специально разработан и используется малогабаритный водоохлаждаемый пароконденсатор в системе испарительного охлаждения ламп. Это также позволило существенно снизить площадь, занимаемую высокочастотной системой, и повысить надежность. Наконец, разработаны и реализованы эквивалент нагрузки на водоохлаждаемых резисторах УВ-50 мощностью на одно плечо до 200 кВт и простые фидерные коммутаторы, что позволило провести наладку генератора без остановок циклотрона. Для расширения диагностики генератора во все каскады введены высокочастотные датчики напряжения. С целью обеспечения работоспособности генератора в импульсном режиме с длительностью импульса от 100 мкс и больше с широким изменением скважности значительно изменены переходные конденсаторы в предварительном ШПУ. С этой же целью, а также для уменьшения уровня сетевого фона во всех источниках питания, включая высоковольтный, введены дополнительные фильтровые конденсаторы. В качестве возбудителя использован кварцеванный синтезатор частоты Ч6-31 с последующим специально разработанным широкополосным усилителем-размножителем на полевых транзисторах КП 901А (рис.1). Усилитель-размножитель используется для подачи ВЧ-сигнала с синтезатора на генератор, частотомер и системы пикальной диагностики циклотрона. С целью повышения надежности и настройки генератора на 6 фиксированных частот создан дополнительный коммутатор синтезатора.

Разработан и реализован ряд схем для управления, стабилизации и контроля работы генератора. Наличие широкополосных каскадов в маломощной части ВЧ-тракта позволило создать простые быстродействующие узлы импульсной модуляции, защиты и стабилизации ускоряющего напряжения. Регулирование выходного ВЧ-напряжения осуществляется подачей отрицательного напряжения от 0 до -10 В через среднюю точку широкополосного входного трансформатора на первые сетки тетродов 6Э6П в предварительном ШПУ. Блок стабилизации и модуляции ускоряющего напряжения (рис.2) выполнен на транзисторах и микросхемах, размещен на пульте генератора. Управление этим блоком осуществляется с пульта циклотрона подачей необходимого постоянного опорного напряжения и импульса манипуляции с блока синхронизации импульсного режима /2/. С целью дополнительного повышения стабильности ускоряющего напряжения, расширения полосы тракта стабилизации и снижения влияния наводок на измерительных цепях предельно сокращена длина тракта обратной связи, созданы широкополосные датчики ускоряющего напряжения и источник опорного напряжения до 100 В, введен дополнительный высокочастотный канал в цепи усилителя ошибки. Коэффициент стабилизации ускоряющего напряжения 50.

Разработана и реализована схема для оперативного визуального и электрического контроля настройки высокочастотного контура циклотрона на нижнюю (противофазную) или верхнюю (синфазную) частоту связи двухкуантных резонаторов (рис.3). Это не только упрощает настройку за счет исключения ошибок, но и дает возможность безошибочно перестраивать циклотрон при автоматизации перестройки.

Постоянный контроль добротности резонансного контура циклотрона осуществляется измерителем добротности на основе частотомера Ч3-54 (рис.4). Фактически он измеряет число периодов затухающих колебаний в контуре циклотрона после окончания высокочастотного импульса возбуждения контура между уровнями 0,9 - 0,1 от амплитуды ускоряющего напряжения. Оперативный контроль добротности позволяет следить за медленными изменениями качества элементов контура циклотрона.

Разработано и создано устройство для оперативного контроля смещения дувантов в процессе работы циклотрона. Устройство (рис.5) включает в себя газовый

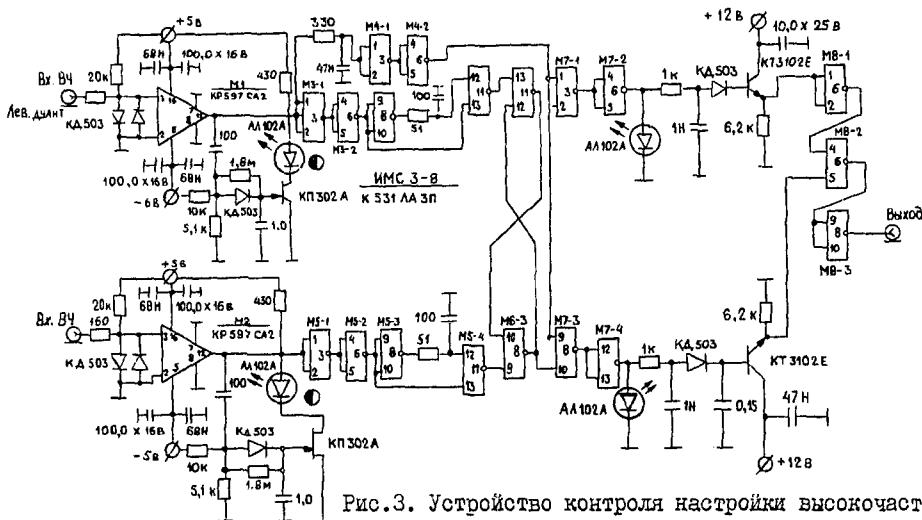


Рис.3. Устройство контроля настройки высокочастотного контура циклотрона (УКН).

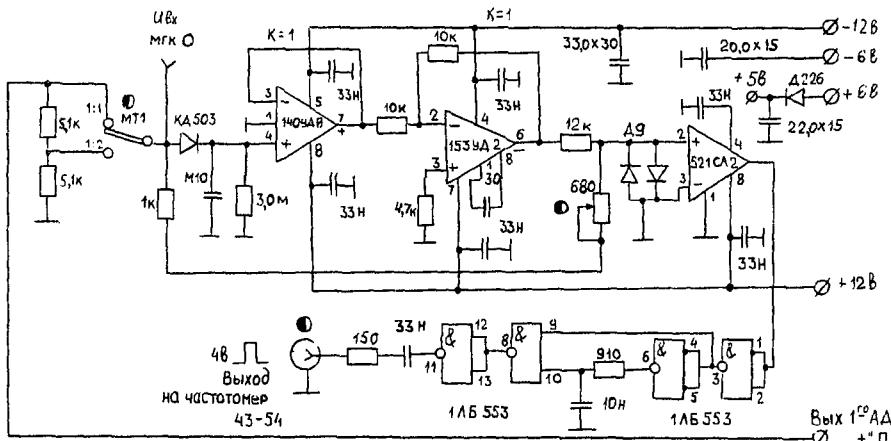


Рис.4. Устройство контроля добротности резонансного контура циклотрона.

лазер, свет которого отражается от вогнутого сферического зеркала, устанавливаемого на контролируемом дуанте, фокусирующую линзу, оптическое окно, коллиматор и экран. Изображение отраженного пятна на экране посредством промышленной телевизионной установки представляется оператору. Это позволяет контролировать смещение дуанта по вертикали и горизонтали. Макетные измерения показали, что при базе 6 м и смещении объекта на  $\pm 0,1$  мм, отраженное пятно диаметром 10 мм на экране смещается на  $\pm 4$  мм. Т.о., оператор может по ходу работы корректировать смещение дуанта с разрешением 0,1 мм. Запланирована автоматизация контроля и коррекции смещения дуантов посредством микропроцессорной контрольно-управляющей аппаратуры.

На базе ранее проведенных работ /4/ подготовлена микропроцессорная станция для первой очереди автоматизации управления и контроля высокочастотного тракта циклотрона. Она позволяет автоматически по произвольной программе перестраивать весь тракт генератора на любую частоту. Для этой цели используют-

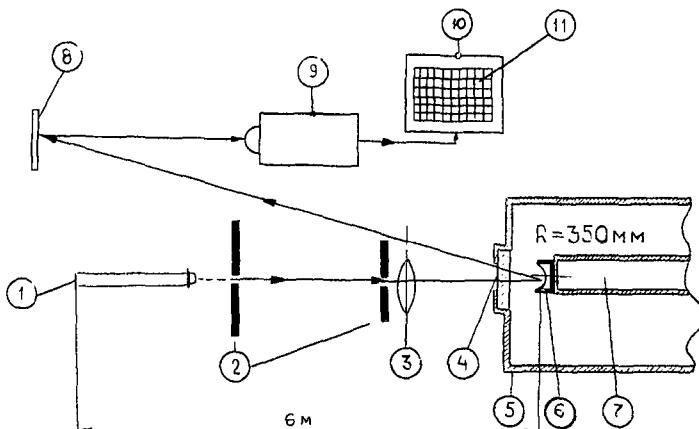


Рис. 5. Устройство для оперативного контроля смещения дуантов в процессе работы циклотрона. I - лазер Лг-78, 2 - коллиматор, 3 - линза, 4 - окно, 5 - вакуумная камера циклотрона, 6 - вогнутое медное зеркало, 7 - дуант, 8 - экран, 9 - ПТУ, 10 - телевизор на пульте циклотрона, II - изображение луча лазера.

ся цифроанalogовые и аналого-цифровые преобразователи, сопряженные с электромеханическими приводами перестраиваемых элементов ВЧ-генератора. Проведенные испытания подтвердили работоспособность выбранного варианта системы автоматизированной перестройки.

Ввод в эксплуатацию нового ВЧ-генератора с указанными изменениями и дополнительными устройствами управления и контроля существенно повысил надежность и качество работы циклотрона, упростил и сократил до нескольких минут перестройку высокочастотного тракта, обеспечил увеличение стабильности ускоряющего напряжения. Наличие электромеханического привода управления целями перестройки частоты и высоковольтного анодного выпрямителя с тиристорным управлением обеспечивает развитие широкой автоматизации управления и плавной перестройки частоты генератора, а значит, и энергии ускоряемых частиц.

Эксплуатация генератора в течение нескольких лет подтвердила его высокие качества. Подобная модернизация представляется целесообразной для ряда отечественных циклотронов, работающих с регулированием энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малышев И.Ф. и др. Труды УГ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОНИИ, Дубна, 1982, т.1, с.127-133
2. Веников Н.И. и др. Препринт ИАЭ-2942, Москва, 1978.
3. Ильина Н.Н. Радиовещательные передающие устройства. - М.: Связь, 1980, с.184.
4. Комиссаров П.Ю., Кузнецов М.В., Латушкин С.Т. и др. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Прим. микропроц. техники при автоматизации технологич. процессов производства и в системах автоматич. регулирования". М.: Минэлектротехпром, 1985, с.33.