

Система управления, защиты и контроля модулятора клистрона 5045 и клистронного поста

П.А.Бак, К.В.Губин, И.В.Казарезов, В.К.Овчар, А.М.Резаков, Ю.Ф.Токарев,
А.Г.Чупыра, Б.С.Эстрин, В.Д.Юдин
Институт ядерной физики им.Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

В Институте ядерной физики СО РАН в рамках ускорительного комплекса ВЭПП-5 разрабатывается инжекционный комплекс, составной частью которого является форинжектор. Форинжектор предназначен для формирования и ускорения электронных и позитронных пучков. Его основу составляют: электронная пушка на энергию 200 кэВ, система группирования пучка, линейный ускоритель электронов на энергию 300 МэВ, изохронная магнитная система для поворота 300-МэВ пучка на 180 градусов, конверсионная система и линейный ускоритель электронов и позитронов на энергию 510 МэВ.

Линейные ускорители состоят из набора ускоряющих модулей. Основными элементами модуля являются : клистрон 5045 10-см диапазона производства научного центра SLAC (США), модулятор клистрона, система умножения СВЧ-мощности, волноводная система и ускоряющие секции на бегущей волне. Ниже уточнены особенности конструктивного исполнения модулятора и клистрона и их системы управления, защиты и контроля.

1. Клистрон 5045

Клистрон 5045 используется в качестве усилителя СВЧ-мощности для ускоряющих секций. Собственно клистрон состоит из диодной электронной пушки, 6 резонаторов с трубками дрейфа и коллектора. Вывод СВЧ-мощности осуществляется через волновод с двумя СВЧ-окнами, температуру которых можно контролировать с помощью встроенных в окна термодпар. В волновод встроен узел для вакуумной откачки. В состав клистронного прибора входят также импульсный трансформатор с масляным баком и фокусирующий соленоид. Тело клистрона и фокусирующий соленоид монтируются на баке. Основные параметры клистрона приведены в табл. 1.

Таблица 1: Параметры клистрона.

1.	Рабочая частота	2856 МГц
2.	Импульсная мощность	67 МВт
3.	Длительность СВЧ-импульса	3.5 мкс
4.	Частота повторения до	180 Гц
5.	Усиление по мощности	53 ÷ 57%
6.	КПД	43 ÷ 47%
7.	Анодное напряжение	350 кВ
8.	Анодный ток	400 А
9.	Коэффициент трансформации импульсного трансформатора	1:15

2. Модулятор клистрона 5045

Высокое напряжение для первичной обмотки импульсного трансформатора клистрона формируется в модуляторе, который состоит из высоковольтного выпрямителя, зарядного дросселя, формирующей линии и тиратронного коммутатора. На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема модулятора для питания клистрона 5045.

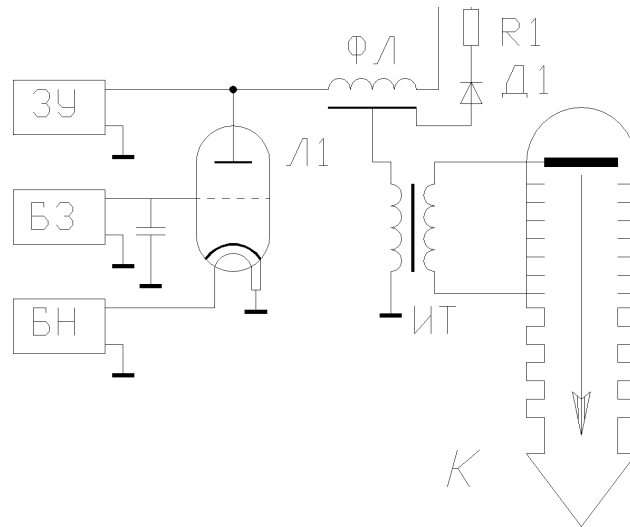


Рис. 1: Блок-схема модулятора.

Формирующая линия ФЛ заряжается от высоковольтного стабилизированного зарядного устройства ЗУ до напряжения 47 кВ. ЗУ питается от сети 3×380 В через тиристорный регулятор напряжения. При подаче запускающего импульса от блока запуска БЗ тиратрон Л1 отпирается и формирующая линия коммутируется на первичную обмотку импульсного трансформатора ИТ с коэффициентом трансформации, равным 1:15. Питание накала и генератора водорода тиратрона осуществляется от автономных стабилизированных источников питания БН. Для защиты модулятора и клистрона при возможных пробоях в системе предусматривается цепь клипперного диода Д1 с гасящим сопротивлением R1. Основные параметры модулятора представлены в табл. 2.

Таблица 2: Параметры модулятора.

1.	Зарядное напряжение формирующей линии	47 кВ
2.	Импульсное напряжение на выходе ФЛ	23.5 кВ
3.	Импульсный ток тиратронов	6.3 кА
4.	Анодное напряжение тиратрона	47 кВ
5.	Длительность импульса (по уровню 0.5)	5.5 мкс
6.	Длительность вершины импульса (по уровню 0.99)	3.5 мкс
7.	Частота повторения до	50 Гц
8.	КПД модулятора	~ 84%

3. Система управления, контроля и защиты

Для успешной эксплуатации клистрона и модулятора необходима надежная система управления, защиты и диагностики, объединяющая весь комплекс систем, связанных с обеспечением работоспособности клистрона и модулятора. Такая система была разработана и изготовлена в Институте ядерной физики.

При создании системы использовались как типовые институтские разработки — КАМАК модули и блоки питания в стандарте “Вишня” — так и специально разработанные радиоблоки. Электроника для управления, защиты и контроля модулятора и клистрона размещается в двух радиостойках стандарта “Вишня”. Вид относительного расположения радиостоек и модулятора с клистроном изображен на рис. 2.

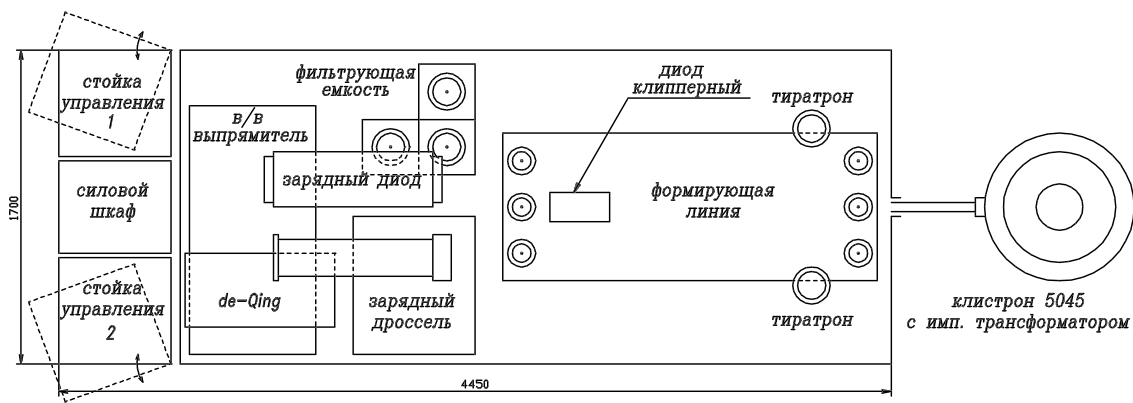


Рис. 2: Конструктивное расположение радиостоек.

Верхние этажи радиостоек занимают КАМАК-крейты. В крейтах расположены: интеллектуальный крейт-контроллер, интерфейс локальной вычислительной сети, генератор временных интервалов, быстрые и медленные АЦП, ПКС, управляющие регистры и сборщики двоичных состояний. На остальных этажах размещены радиоблоки, выполненные в стандарте "Вишня". В радиостойке 1 расположены: блок блокировок и сигнализации, блок согласования, блок быстрой защиты, блок управления тиристорным регулятором, блок стабилизации накала тиратронов, блок формирования импульсов для запуска тиратронов, блок реле для управления включением/выключением высокого напряжения, цепей накалов и фокусирующего магнита и блок стрелочных приборов. В радиостойке 2 расположены: комплект блоков питания накала клистрона, комплект блоков для питания фокусирующего магнита, блок питания вакуумного насоса клистрона.

Управление работой модулятора можно осуществлять как в ручном режиме, так и с помощью ЭВМ. Ручной режим удобен при наладочных работах. В таком режиме используется ручной ПКС. В соответствии с сигналом ПКС блок управления тиристорного регулятора устанавливает напряжение на выходе высоковольтного выпрямителя. Синхроимпульс для запуска тиратронов берется от внешнего запускающего устройства. Всю информацию о параметрах работы модулятора и клистрона можно получить с помощью обычного осциллографа, блока стрелочных приборов и светодиодной индикации блока блокировок и сигнализации и блока быстрой защиты.

Управление работой модулятора и клистрона от ЭВМ построено на использовании интеллектуального крейт-контроллера. Рабочая программа в крейт-контроллер загружается через локальную вычислительную сеть из сервера, расположенного в пультовой инжекционного комплекса. Оператор, находясь в пультовой, может управлять уровнем выходного напряжения выпрямителя и осуществлять контроль за состоянием блокировок и рабочими параметрами модулятора и клистрона, визуализация которых производится на мониторах пульта управления.

Основные функции контроля и защиты модулятора и клистрона несут на себе блок блокировок и сигнализации, блок согласования и блок быстрой защиты. В блок блокировок и сигнализации приходит информация о состоянии блокировок, контролирующих давление воды в системах охлаждения основных узлов модулятора и клистрона, уровень вакуума клистрона, готовность блоков питания фокусирующего магнита, накалов тиратронов и клистрона, положение штанг, РМБ, дверей модулятора и линейного ускорителя. В случае нормального состояния этих блокировок блок дает разрешение на включение высокого напряжения. В случае отсутствия нормального состояния какой-либо из блокировок блок отображает эту информацию с помощью светодиодной индикации на своей передней панели и выдает запрет на включение высокого. Информация о состоянии блокировок может быть прочитана оператором в пультовой.

Блок согласования преобразует уровни сигналов, приходящих из измерительных цепей модулятора и клистрона, чтобы обеспечить их приемлемые значения для блока быстрой защиты, АЦП и обычного осциллографа.

Основной функцией блока быстрой защиты является превентивная защита модулятора и клистрона при отклонениях от нормального режима работы.

Блок диагностирует следующие отклонения:

- 1) превышение тока сети в тиристорном регуляторе напряжения;
- 2) превышение напряжения на выходе высоковольтного выпрямителя;
- 3) превышение напряжения на формирующей линии;
- 4) превышение тока заряда линии;
- 5) превышение тока клипперного диода;
- 6) превышение импульсного тока тиратронов;
- 7) превышение заданного уровня температуры в контролируемых точках модулятора;
- 8) превышение импульсного напряжения на клистроне;
- 9) превышение импульсного тока пучка клистрона;
- 10) снижение импульсного тока пучка клистрона ниже заданного;
- 11) резкий скачок вакуума в волноводе между клистроном и секцией;
- 12) превышение температуры керамических СВЧ-окон клистрона;
- 13) превышение допустимого значения разности температур воды на входе и выходе клистрона;
- 14) превышение допустимого уровня отраженной от волновода СВЧ-мощности;
- 15) отклонение тока фокусирующего магнита от номинального значения;
- 16) отклонение тока размагничивания от номинального значения.

Блок быстрой защиты может блокировать тиристорный регулятор, снимать запуски тиратронов и вызывать выключение высокого напряжения. Реакция блока зависит от конкретного отклонения. Информация о любом отклонении отображается с помощью светодиодной индикации на передней панели блока, а также может быть прочитана оператором в пультовой.

Заключение

Созданная система управления, защиты и контроля модулятора клистрона 5045 и клистронного поста надежно работает в клистронной галерее инжекционного комплекса в течение последних нескольких лет. Она легко вписалась в общую систему управления, защиты и контроля инжекционного комплекса, позволила осуществить переход на автономный режим работы модулятора и клистрона и на режим автоматической тренировки секций линейного ускорителя.