

# Малоба́ритный генератор высоковольтных импульсов для вводного электростатического инфлектора протонного синхротрона ИТЭФ

В.П. Заводов, А.Д. Мильяченко

*Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия*

Описывается генератор высоковольтных квазипрямоугольных импульсов (ГВИ) с амплитудой до 16 кВ, работающий на емкостную нагрузку ( $C = 400$  пФ). Длительность переднего фронта 20 мкс, длительность заднего фронта 150 нс. Отличительная особенность конструкции — использование в качестве повышающего трансформатора автомобильной катушки зажигания.

## Введение

Разработка новой системы питания вводного инфлектора была инициирована строительством второго кольца в туннеле протонного синхротрона по программе создания комплекса для ускорения ионов. Потребовалось освободить место в туннеле, которое занимала прежняя система питания инфлектора, включавшая в себя громоздкие рентгеновские выпрямители типа УВ-50-50 [1].

Для упрощения задачи создания компактного надежного ГВИ была увеличена в два раза длина инфлектора, что вдвое снизило рабочее напряжение (до 15 кВ) и позволило использовать в качестве разрядного устройства один тиратрон типа ТГИ 325/16.

## Схема и функционирование ГВИ

Принципиальная схема системы питания вводного инфлектора представлена на рис. 1. Система включает в себя регулируемый источник напряжения (на схеме не показан) и двухканальный ГВИ, обеспечивающий симметричное импульсное напряжение на пластинах инфлектора. Каждый модуль ГВИ содержит зарядный резистор и накопительную емкость, тиристорный ключ, повышающий трансформатор, высоковольтный вентиль и водородный тиратрон в качестве разрядного ключа для формирования короткого заднего фронта высоковольтного импульса. Кроме этого, к выходу ГВИ подключены измерительные делители — резистивный высокоомный для наблюдения за общей формой импульса и измерения амплитуды и емкостно-резистивный компенсированный делитель для наблюдения быстрых процессов в зоне короткого фронта импульса.

Накопительная емкость  $C_1$  через зарядный резистор  $R_1$  заряжается до выходного напряжения регулируемого источника напряжения (ИН). Синхроимпульс СТАРТ открывает тиристор  $VS_1$ . Емкость  $C_1$  разряжается по цепи  $C_1$ ,  $VS_1$ , первичная обмотка повышающего трансформатора. Формируемый в первичной обмотке импульс напряжения трансформируется во вторичную повышающую обмотку. Высоковольтный импульс вторичной обмотки через вентиль, образованный выпрямительными столбами  $VD_3$ – $VD_4$ , и резистор  $R_6$  заряжает емкость пластины инфлектора ( $C_n$ ).

После разряда  $C_1$  вентиль  $VD_3$ – $VD_4$  запирается и  $C_n$  начинает разряжаться через последовательно включенные резисторы  $R_7$ ,  $R_8$  и  $R_9$ . Таким образом формируется вершина высоковольтного импульса. Для  $C_n = 400$  пФ и  $(R_7 + R_8 + R_9) = 40$  МОм постоянная времени спада равна 16 мс, а период обра-

ния протонов при инъекции равен приблизительно 4 мкс и относительный спад напряжения инфлектора за время инъекции пучка не превышает 0,025 %.

Задний фронт высоковольтного импульса формируется тиратроном ТГИ 325/16, который срабатывает с приходом на сетку импульса СБРОС. Емкость инфлектора  $C_n$  разряжается через тиратрон и резистор  $R_6$ , предназначенный для обеспечения аperiodического режима разряда. Длительность сброса напряжения не превышает 150 нс.

### **Компоненты устройства, управление, конструкция**

Одним из основных узлов ГВИ является повышающий трансформатор. Мы использовали в таком качестве автомобильную катушку зажигания типа Б-117А. Это стандартное устройство массового производства, обладающее высокой надежностью и большим сроком службы при наших рабочих напряжениях (до 15 кВ).

Регулируемый источник напряжения (ИН) выполнен по схеме управляемого непрерывного стабилизатора напряжения с проходным транзистором типа КТ809 и сравнивающим усилителем на микросхеме 140УД7. Диапазон выходных напряжений ИН – от нуля до 250 В. Управляющее напряжение на вход управления ИН, задающее в конечном счете напряжение на пластинах инфлектора, подается с ЦАП, который получает цифровую уставку из АСУ ускорителя. Один источник напряжения обеспечивает зарядку накопительных емкостей в двух каналах ГВИ — для положительной и отрицательной пластин инфлектора. ГВИ позволяет получать импульсы напряжения на выходе в диапазоне 2,5 – 16 кВ, что определяется характеристиками используемого тиратрона.

Управляющие работой ГВИ синхроимпульсы СТАРТ и СБРОС вырабатываются системой синхронизации процесса инъекции. Блоки этой системы управляются из АСУ ускорителя.

Конструктивно устройство разделено на две части. Блок ИН и блоки тиристорных ключей размещены в одном каркасе и вынесены к стене кольцевого зала синхротрона за местную радиационную защиту. Это сделано для уменьшения скорости деградации полупроводниковых компонентов устройства из-за радиационного облучения. Высоковольтная часть каждого из двух каналов ГВИ, включающая в себя повышающий трансформатор, высоковольтный вентиль, тиратрон с накальным трансформатором и измерительные делители, смонтирована в виде модуля, размещенного в винипластовой трубе.

Главное конструктивное отличие модуля ГВИ для генерации импульса отрицательной полярности — накальный трансформатор с межобмоточной изоляцией на полное рабочее напряжение ГВИ.

Габариты модуля:

диаметр – 250 мм,

высота – 570 мм.

Масса модуля около 10 кг.

Такие малые габариты модулей ГВИ позволяют размещать их в непосредственной близости от вводов инфлектора — прямо в промежутке между магнитными блоками.

### **Заключение**

Представленная в докладе система питания вводного инфлектора работает на протонном синхротроне ИТЭФ более 5 лет по 4000 часов в год, и за это время не было аварийных отказов. Трудоемкость профилактического обслуживания невелика. Это можно объяснить тем, что тиратроны работают в очень легком режиме. Емкость нагрузки, которую тиратрон разряжает в каждом рабочем импульсе, равна всего 400 пФ. Другое положительное качество системы с быстрым импульсным зарядом заключается в том, что высокое напряжение присутствует в системе лишь в течение примерно 200 мкс за двухсекундный период работы синхротрона. Это существенно снижает скорость загрязнения изоляторов и вероятность пробоев. Более чем на порядок по сравнению с системой предыдущего поколения снижено энергопотребление.

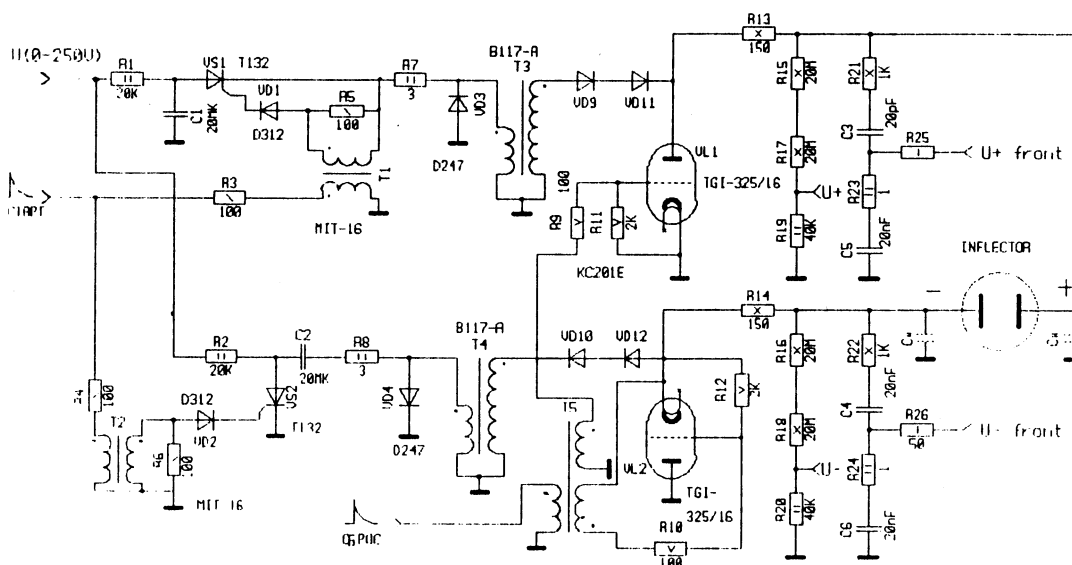


Рис. 1. Система импульсного питания вводного инфлектора.

### Литература

1. Барабаш Л.З., Крыжановский О.И., Лебедев П.И. Источники питания импульсного инфлектора протонного синхротрона. Препринт ИТЭФ, Москва, 1969, № 664.
2. Бреусова Л.Н., Вагин Л.Н., Фогельсон Т.Б. Импульсные водородные тиратроны. – М.: Советское радио, 1974.