

Импульсно-периодический генератор мощных наносекундных импульсов для уменьшения частоты следования микросгустков пучка циклотрона при время-пролетной спектроскопии нейтронов

Г.Ю. Аленицкий, А.И. Бельков, *В.В. Васильев, С.Ю.Жаров,
С.Т. Латушкин, В.Н.Унежев, Л.И. Юдин
РНЦ КИ, Москва, Россия,
**ИТЭФ, Москва, Россия*

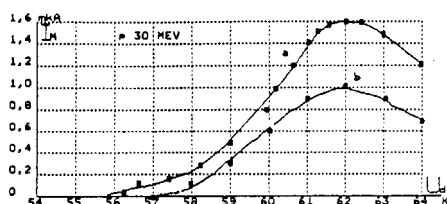
При проведении спектроскопии нейтронов по времени пролета в диапазоне энергий нейтронов 0,5–30 МэВ появилась необходимость уменьшить частоту следования микросгустков протонов с энергией 30 МэВ более чем в 8 раз (10–11 и более). Ранее для уменьшения частоты следования микросгустков использовалась [1] система прореживания с внешним электростатическим дефлектором, установленным в канале транспортировки пучка. Для качественного подавления ненужных микросгустков при использовании старой системы прореживания надо было бы подавать на дефлектор повышенное синусоидальное напряжение до 25 кВ, что потребовало бы серьезной реконструкции контура прореживания. Поэтому для уменьшения частоты следования микросгустков было решено использовать наносекундные импульсы, формируемые импульсно-периодическим резонансным генератором, предложенным нами в работе [2], и сформированные мощные наносекундные импульсы подавать на внутренний выпускной электростатический дефлектор циклотрона, как это предлагалось в [3] и было использовано в [4] при применении синусоидального напряжения. Импульсное напряжение на подзапертом дефлекторе, удаленном от генератора, формируется благодаря многократному отражению в фидере, разомкнутому с обеих сторон: в конце — разомкнутый внутренний электростатический дефлектор циклотрона, а в начале — большое выходное сопротивление лампы оконечного каскада генератора. Двойное время прохождения импульса по линии передачи от дефлектора до лампы дополнительно подбирается равным периоду запускающих импульсов.

Требования к форме и амплитуде импульсов импульсно-периодического генератора мощных наносекундных импульсов (ИПНГ) определяются из простых геометрических соображений. На циклотронной частоте 18 МГц и при существующей модуляционной характеристике дефлектора (рис. 1) необходимо на дефлектор подавать импульсы отрицательной полярности с амплитудой около 6–8 кВ длительностью на уровне 0,9 около 15 нс (угловая протяженность дефлектора примерно 90°). На уровне 0,1 допустима длительность сигнала меньше двух периодов ускоряющего напряжения, т.е. меньше 110 нс.

Очевидно, что в реальной конструкции будут неизбежные отражения от неоднородностей тракта передачи импульсов. Тогда амплитуда открывающих импульсов 6–8 кВ, по существу есть разность между максимальной амплитудой и амплитудой отражений. Необходимая амплитуда открывающих дефлектор импульсов может быть

снижена за счет повышения крутизны модуляционной характеристики (рис. 16) введением по тракту транспортировки коллимирующих пучков диафрагм. Кроме того, ток на мишени из-за ограниченного быстродействия спектрометрической аппаратуры должен быть небольшим (0,1-0,01 мкА), поэтому можно работать в начальной части модуляционной характеристики. Таким образом, амплитуда 4-5 кВ открывающих импульсов уже достаточна для работы. Недостатком работы на начальном участке модуляционной характеристики является то, что ужесточаются требования к величине сетевых пульсаций питания ИПНГ, особенно в режиме манипуляции ускоряющего напряжения. Для обеспечения качественной спектроскопии ИПНГ должен работать на частоте манипуляции 300-500 Гц при скважности не более 5.

Рис. 1: Модуляционная характеристика внутреннего дефлектора циклотрона: а – канал транспортировки пучка открыт полностью; б – канал прикрыт горизонтальными и вертикальными диафрагмами на 50%.



На рис. 2 представлена схема выходного каскада ИПНГ с трактом передачи открывающих импульсов к нагрузке. Для сокращения объема работы было решено ИПНГ в основном построить на базе ВЧ-генератора ОПАЛ (до 20 кВт, до 10 МГц), ранее применявшегося для прореживания пучка по дополнительному дефлектору. При этом использованы система УВС генератора, высоковольтные источники питания, системы охлаждения, выходной тетрод ГУ-39Б и ВЧ-фидер 75 Ом (70/20 мм) длиной около 30 м. Тетрод в ИПНГ работает в режиме отсечки, что практически исключает проблемы самовозбуждения. Анодное питание 9 кВ подается через безжелезный дроссель 250 мкН. Дроссель намотан на фторопластовых трубах \varnothing 75 мм, длиной 500 мм и позволяет работать со средним током до 1 А.

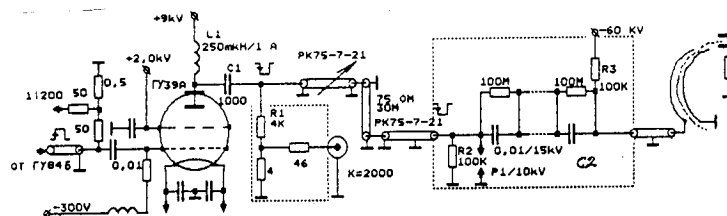


Рис. 2: Схема выходного каскада ИПНГ.

Переходы лампа – фидер, фидер – ввод в циклотрон осуществляются кабелем РК75-7-21 через плавные переходы. Подбор частоты производится переключением отрезков кабеля необходимой длины. Разделительный конденсатор С2 на 70 кВ выполнен из 5 последовательно включенных конденсаторов ФГТИ 0,01 мкф/15кВ и выравнивающих резисторов КЭВ2 100 МОм. Через резистор R3 подается на дефлектор напряжение — 60 кВ. Резистор R2 и разрядник P1 защищают схему от перенапряжений при пробое дефлектора. Ввод в циклотрон питания на дефлектор осуществляется через согласованный 75-Ом шток и вакуумный ввод. Они с разделительным конденсатором С2 и кабелем помещены в специальный согласующий экран с плавными переходами от малого диаметра к большому с соблюдением волнового сопротивления 75 Ом.

Контролировать форму и амплитуду импульса на дефлекторе при такой структуре генератора можно и в выходном каскаде генератора. Резистор широкополосного делителя R1 1:2000 в то же время выполняет роль поглотителя. Для уменьшения добротности тракта передачи импульсов сопротивление выбирается величиной несколько кОм.

Нами использовались две конструкции широкополосного делителя: одна набиралась из высокоомных резисторов ТВО 20 100 кОм; другая конструкция представляет собой изолированную трубу с электродами и с проточной дистиллированной водой из системы охлаждения ГУ-39Б.

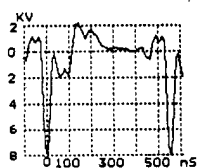


Рис. 3: Оциллограмма импульсов ИПНГ делителя 1:2000.

На рис. 3 представлена оциллограмма импульса с широкополосного делителя при следующих параметрах системы: частота повторения $f_c/11 = 1,625$ МГц (период 615,4 нс); 2 кВ/дел; 100 нс/дел; 1 лампа ГУ-39Б; $E_a = 9$ кВ.

На рис. 4а,б представлена схема усилителя тракта управления выходным каскадом. Линейка импульсных усилителей-формирователей состоит из 6 каскадов. Первые три каскада выполнены на мощных полевых транзисторах, а выходные на широкополосных лампах ГУ-84Б. Каскады соединяются через инверторы-трансформаторы на отрезках кабеля РК50-1-21, намотанные на ферритовых кольцах 2000 НМ. Все каскады выполнены по аналогичным схемам с параллельной подачей питания через безжелезные дроссели и с межкаскадными разделительными конденсаторами, поскольку скважность последовательности запускающих импульсов достаточно велика — больше 5.

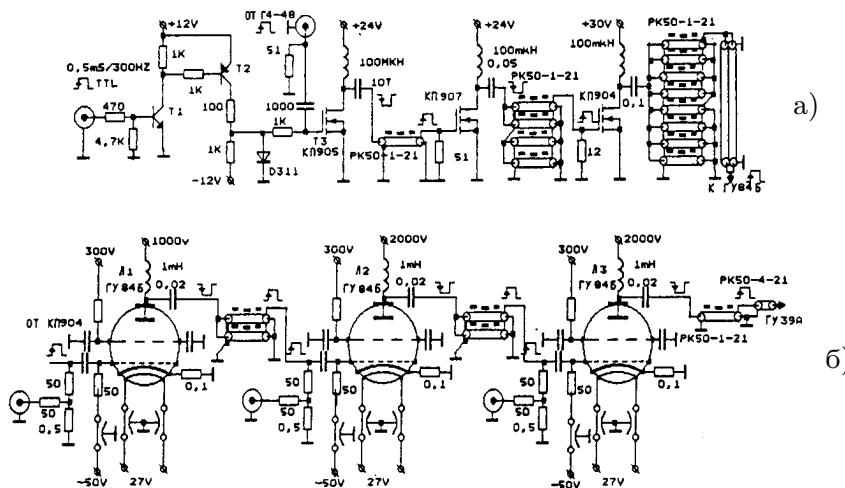


Рис. 4: Схема предварительного усилителя ИПНГ.

На входе предварительного усилителя установлен манипулятор на транзисторах Т1 и Т2. Он необходим для настройки генератора на нужную частоту при работе от настроенного задающего генератора.

Несмотря на то, что выходная лампа и тракт запуска работают в ключевом режиме, обеспечить предельный режим работы выходных каскадов без излишнего усложнения удастся лишь при макроимпульсной манипуляции со скважностью не меньше 4–5. Но такой режим вполне согласуется с возможностями циклотрона, который на

частоте 18 МГц устойчиво работает только в режиме импульсной манипуляции со скважностью не менее 4. Импульсный манипулятор позволяет также не уменьшать рабочую скважность ИПНГ из-за того, что на формирователь опорных импульсов (ФОИ) (делитель частоты) системы спектрометра подаются радиоимпульсы с резонатора циклотрона, и из-за высокой добротности резонатора пачки импульсов ИПНГ расширяются на 100 мкс на каждом фронте, что весьма заметно при высоких частотах манипуляции.

Настройка режима прореживания проводилась по схеме, представленной на рис. 5. Предварительный осциллографический контроль прореживания осуществлялся с помощью гибридного малощумящего усилителя тока ВГ-1, установленного рядом с мишенью для повышения чувствительности. В качестве перестраиваемой линии задержки и задатчика длительности импульса ИПНГ были применены генераторы Г5-48.

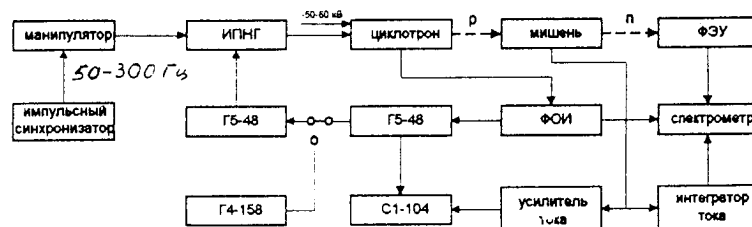


Рис. 5: Структурная схема настройки режима прореживания микросгустков.

Окончательный контроль прохождения нерабочих микросгустков проводился на временном спектрометре нейтронов и составил менее 1% по гамма-пикам при энергии налетающих протонов 30 МэВ (рис. 6), что позволило получить рабочие спектры.

В заключение следует отметить, что мощный наносекундный импульсно-периодический генератор позволяет уменьшать частоту микросгустков циклотрона по его электростатическому дефлектору с достаточным качеством на порядок и более. Рассмотренное в настоящей работе устройство нам представляется более простым по сравнению со схемой предложенной в работе [5].

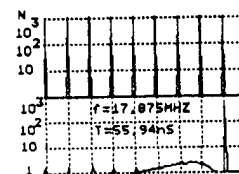


Рис. 6: Гамма-спектр при времяпролетной спектроскопии.

Литература

- [1] Н.И.Веников, С.Т.Латушкин и др. ПТЭ, 1975, №3, с. 22.
- [2] А.И.Брюханов, И.Г.Ларин, С.Т.Латушкин и др. // ПТЭ, 1981, №5, с. 104.
- [3] В.С.Панасюк. // Атомная энергия. 1957, том 3, с. 47-50.
- [4] Н.С.Бирюков, Б.В.Журавлев, Н.Н.Краснов и др. // ПТЭ, 1970, №5, с.26.
- [5] Бельский, Дегтярев и др. ПТЭ, 1995, №1, с.89.