Доклады Академии наук СССР
1955. Том 101, № 6

ФИЗИКА

В. Г. БРОВЧЕНКО, Б. М. ГОХБЕРГ и В. М. МОРОЗОВ

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ ИОНОВ, УСКОРЯЕМЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ

(Представлено академиком А. П. Александровым 17 XI 1954)

Исследование многих ядерных реакций требует работы с потоком ускоренных частиц (ионов) с точно заданной энергией. Одним из лучших источников таких ионных пучков является высоковольтный электростатический генератор, так как его напряжение может быть задано и стабилизировано с высокой точностью, а разброс ускоренных частиц по энергии в принципе значительно меньше, чем в ускорителях других типов.

Для установившегося режима работы электростатического генератора, когда потенциал высоковольтного электрода не меняется, имеет место следующее уравнение баланса токов:

$$i_з = i_и + i_с + i_к + i_п,$$

где $i_з$ — ток зарядки, подносимый лентой; $i_и$ — ток ускоренных ионов; $i_с$, $i_к$, $i_п$ — соответственно, токи утечки через делитель напряжения, корону и ток паразитных потерь.

При изменении величины любой из составляющих тока будет меняться напряжение, развиваемое генератором.

Для восстановления напряжения, развиваемого генератором, при его стабилизации также можно пользоваться воздействием на какую-либо компоненту тока. В существующих системах стабилизации для восстановления напряжения используют различные системы, например: изменение тока зарядки ленты, изменение тока утечки специально введенной короны, либо изменение введенного в систему токов электронного тока i_e, посылаемого электронной пушкой через ускорительную трубку на высоковольтный электрод.

Сигналом об отклонении напряжения, развиваемого генератором, от заданной величины может служить: изменение тока утечки через потенциометр, показания роторного вольтметра (измеряющего напряженность поля между высоковольтным электродом и баком генератора) либо отклонение пучка ускоренных ионов в поперечном электрическом или магнитном поле.

Система стабилизации восстанавливает величину напряжения не до исходного значения V_0, а до значения, отличающегося от него на величину ΔV. При применении практически безинерционных систем стабилизации, т. е. таких, у которых время срабатывания значительно меньше постоянной времени высоковольтного электрода (из-за большой емкости высоковольтного электрода), процесс перехода к новому значению напряжения протекает по экспоненте без перерегулирований. При применении таких безинерционных систем может быть достигнута гораздо более высокая стабильность напряжения.

Анализируя работу отдельных элементов систем стабилизации, мы остановились на системе, в которой сигналом об отклонении напряжения,

развиваемого генератором, служит изменение траектории ионного пучка в постоянном магнитном поле, а восстановление напряжения производится соответствующим изменением тока, посылаемого электронной пушкой на высоковольтный электрод. Эта система обладает малым временем срабатывания и может считаться практически безинерционной.

Принципиальная схема построенной нами системы стабилизации приведена на рис. 1. Ускоренный пучок ионов отклоняется в постоянном магнитном поле и на выходе из магнита проходит через горизонтальную щель, образованную двумя изолированными друг от друга молибденовыми пластинами. В постоянном хорошо стабилизированном магнитном поле напряженности H радиус траектории ρ ионов определенного сорта определяется их энергией, т. е. (если пренебречь начальным разбросом энергии ионов в ионном источнике) напряжением генератора V_0:

$$V_0 = \frac{e}{2c^2}\frac{(H\rho)^2}{m}.$$

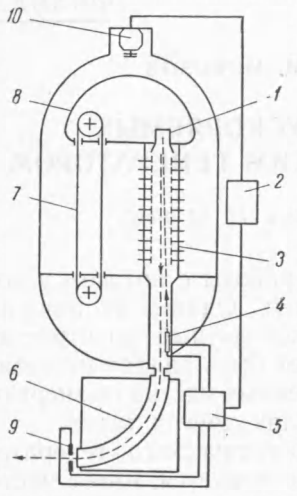


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизации напряжения высоковольтного электростатического генератора. *1* — ионный источник, *2* — релейная схема, *3* — ускорительная трубка, *4* — электронная пушка, *5* — усилитель, *6* — магнит, *7* — ремень, *8* — высоковольтный электрод, *9* — щелевой датчик, *10* — роторный вольтметр

При фиксированных местоположениях щели, направлении и точке входа ионного пучка в магнит прохождение пучка ионов через щель возможно (если H постоянно) только при напряжении генератора, равном V_0. При изменении этого напряжения пучок ионов отклоняется от центра щели, и часть ионов попадает на одну из образующих ее пластин. Появляющийся при этом на пластинах щели сигнал усиливается усилителем и подается на управляющий электрод электронной пушки, вызывая соответствующее изменение электронного тока (посылаемого пушкой на высоковольтный электрод генератора).

Как указывалось в статье ([1]), на выходе из генератора (у входа в магнит) ионный пучок имеет размеры ~ 1 мм. После отклонения пучка в магнитном поле на выходе из магнита сечение пучка эллиптическое и имеет в горизонтальном направлении размер $\sim 1{,}5$ мм, а в вертикальном $< 0{,}5$ мм. Щель щелевого прибора в большинстве случаев имела ширину $\sim 1{,}5$ мм, таким образом, весь пучок ионов проходит через щель, и только небольшая его доля (несколько процентов) попадает на стенки щели, что является достаточным для получения надежного сигнала в системе стабилизации.

Стабильность напряжения генератора проверена экспериментально. При колебаниях напряжения несколько меняется местоположение пучка в щели, а также и угол выхода пучка из щелевого прибора. В наших опытах выходящий из магнита пучок далее пропускался через 4-метровую трубу ($l = 4$ мм). При работе системы стабилизации наблюдаемые колебания в смещении пучка Δx (на выходе из этой 4-метровой трубы) не превышали 0,5 мм. Следовательно, степень стабильности напряжения ускорителя

$$\frac{\Delta V}{V_0}\,\% = 2\,\frac{\Delta x}{l}\,100\,\% < 2\,\frac{0{,}5}{4000}\,100\,\% = 0{,}025\,\%.$$

Многократные измерения порога ряда реакций, проводившиеся нами, дают разброс отдельных измерений в пределах 250—400 в, что хорошо согласуется с приведенной выше оценкой стабильности генератора.

Система стабилизации не в состоянии бороться со случайными пробоями, которые иногда могут быть в генераторе. При пробое напряжение резко падает и ионный пучок уходит из щели датчика. В ускорительной трубке наряду с рабочим ионным пучком находится еще несколько «паразитных» с различными e/m. При восстановлении напряжения в щель первым попадает тот пучок, ионы которого имеют наименьшее значение величины e/m. Система стабилизации «схватывает» этот пучок, т. е. начинает стабилизировать напряжение, при котором он проходит через щель. Для автоматизации возврата в щель необходимого пучка нами используется роторный вольтметр в сочетании с простой релейной схемой. При падении напряжения генератора ниже определенного значения реле по сигналу от роторного вольтметра подает в схему напряжение, запирающее пушку. Система стабилизации находится в выключенном состоянии до тех пор, пока роторный вольтметр не просигнализирует о восстановлении напряжения. Такая автоматизация практически интересна при работе при напряжениях, близких к предельным напряжениям генератора, когда имеют место сравнительно частые пробои.

Институт физических проблем им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР

Поступило
15 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. В. Баев, П. Е. Воротников и др., ДАН, **101**, № 4 (1955).