Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 2

ФИЗИКА

Г. В. ГОРЛОВ, Б. М. ГОХБЕРГ, В. М. МОРОЗОВ и Г. А. ОТРОЩЕНКО

МАЛЫЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР В СЖАТОМ ГАЗЕ

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

Одновременно с постройкой сравнительно большого электростатического генератора на 3 Мв (описанного в предыдущей статье [1]) нами был построен малый электростатический генератор.

Задачи, которые мы ставили перед собой при постройке малого генератора, заключались в следующем:

1. Испытание и улучшение конструкций отдельных узлов генератора с перенесением опыта этой работы на большой генератор.
2. Исследование наиболее ответственных узлов генератора и выяснение причин, лимитирующих величину напряжения, развиваемого генератором.
3. Доведение конструкций, лимитирующих напряжение генератора, до взаимно согласованных размеров с целью создать компактный генератор с высоким напряжением при малых габаритах.

Не приводя подробного описания генератора, укажем только, что он как бы повторяет верхнюю треть большого генератора, описанного в статье [1].

Бак генератора состоит из плоского дна и съемного колпака (колпак весит всего 0,5 т и поднимается обычными талями), бак рассчитан на давление 8 ати. Внутри бака на трех опорах установлена стальная плита, на которой смонтирован генератор. Высоковольтный электрод (полусфера диаметром 700 мм) установлен на вертикальной опорной колонне, собранной из металлических дисков (диаметром 700 мм), соединенных фарфоровыми изоляторами. Бесконечная лента из прорезиненного перкаля (шириной 300 мм) установлена на двух роликах. Нижний ролик, установленный под стальной плитой, приводится в движение асинхронным двигателем. От верхнего ролика (внутри высоковольтного электрода) приводится в малогабаритный 600-периодный генератор (на 400 ва), обеспечивающий питание ионного источника. В качестве источника ионов мы используем разработанный в нашей лаборатории высокочастотный источник, который при расходе газа 1—2 см³/час дает суммарный ионный ток ~ 100 μа при 80% атомарных ионов. Через нижнюю плиту бака генератора выпущен патрубок от ускорительной трубки, через который производится откачка трубки и выпуск пучка ускоренных частиц. Откачка трубки осуществляется 500-литровым масляным диффузионным насосом. На выходе из генератора пучок ускоренных ионов направлен вертикально вниз. Для разделения ионный пучок пропускается через поперечное магнитное поле. Для этой цели используется 90-градусный магнит; радиус кривизны траектории отклоняемых ионов равен 720 мм.

Описание отдельных узлов генератора

Ускорительная трубка. Из опыта нашей работы, а также из описаний, приведенных в зарубежной литературе, следует, что одним из

наиболее опасных моментов в работе трубки является разряд по ее внутренней поверхности. Влияние этого вредного фактора существенно уменьшается, если ускоряющие электроды сделаны в виде воронок, входящих одна в другую, что обеспечивает экранировку внутренней поверхности изолятора трубки от ионного пучка. В нашей трубке при высоте фарфорового изолятора 28—30 мм высота воронок была равна 45 мм. В целом ускорительная трубка состоит из 40 ускорительных элементов, склеенных клеем БФ-4 в три секции. Соединения секций друг с другом, выпускным патрубком и источником ионов осуществляются при помощи фланцев на резиновых уплотнениях.

Распределение потенциалов и предохранительные разрядники. Распределение потенциалов по опорной колонке и ускорительной трубке осуществляется при помощи потенциометра, собранного из высокоомных сопротивлений. Так как число элементов ускорительной трубки в два раза больше числа распределительных дисков в опорной колонне, сопротивления располагаются от дисков к промежуточным электродам трубки, а электроды, находящиеся против дисков, соединены с ними.

В начале нашей работы параллельно сопротивлениям были установлены коронирующие зазоры, которые в случае выхода из строя какого-либо сопротивления устраняли опасность местных перенапряжений; однако позднее после получения надежных сопротивлений мы смогли снять коронирующие острия (и тем самым несколько разгрузить работу токонесущей ленты). При максимальном напряжении генератора ток по потенциометру составляет около 100 μа.

В процессе настройки возможны случайные перенапряжения и пробои в генераторе. Это ведет к распространению ударной волны напряжения как по опорной колонке, так и по трубке. Чтобы предохранить изоляторы этих систем от пробоев, были установлены предохранительные шаровые разрядники (по три пары вблизи каждого изолятора между распределительными дисками колонны и по две пары между электродами трубки). Зазор в разрядниках обеспечивает надежную работу без пробоев при рабочих напряжениях (запас в зазоре 50—100%).

Система ленты, транспортирующей заряд. В работе ленточных электростатических генераторов наиболее слабым местом является система самой ленты. Довольно часто мы наблюдали продольные пробои по ленте. Особенностью этих продольных пробоев является то, что пробой идет по перкалевой основе; при этом разрывается и обугливается волокно перкаля на большой длине (десятки сантиметров), а наружный резиновый слой не нарушается (за исключением начала и конца канала разряда).

При работе с обычной зарядкой ленты (при помощи коронирующей щетки) электрическое поле внутри ремня, т. е. там, где находится перкалевая основа, направлено от высоковольтного электрода к заземленной опоре; это направление совпадает с направлением волокна в перкале.

Мы изменили ориентировку поля внутри ленты. Заряжая ленту от зарядной щетки с внешней стороны зарядом положительного знака, мы одновременно обеспечиваем посадку на тыльную сторону ленты меньшего отрицательного заряда, т. е. создаем значительную поперечную составляющую электрического поля. Установка этого устройства существенно снизила появление продольных разрядов и позволила поднять рабочее напряжение генератора.

Газовая изоляция; использование элегаза. В первоначальных опытах, работая с азотом, сжатым до давлений 8 ати, удалось поднять напряжение генератора лишь до 1 Мв, и при этом начинались пробои между высоковольтным электродом и баком (величина газового зазора $\approx$ 140 мм). Используя высокую электрическую прочность элегаза SF_6, мы вели работу по повышению напряжения электростатического

генератора, заполняя бак смесью азот — элегаз. Имея в своем распоряжении ограниченное количество элегаза, мы использовали смеси с малым содержанием элегаза. Характерной особенностью пробоя в смеси азот — элегаз является малое снижение пробивной прочности элегаза при добавке азота и, наоборот, резкое увеличение прочности азота при малых добавках элегаза.

Добавляя несколько процентов элегаза к азоту, мы подавили пробои между высоковольтным электродом и баком; при этом были выявлены наиболее слабые места в генераторе. Первоначально длина опорной колонны и ускорительной трубки была 1000 мм, и верхний предел напряжения определялся разрядами в ускорительной трубке и по ленте. Установка новых электродов в трубке (в виде воронок) полностью устранила разряды в трубке. Устройство, обеспечивающее создание поперечного поля в транспортирующей ленте, позволило поднять напряжение генератора до 1,5 Мв. Учитывая, что при этих напряжениях пробои с высоковольтного электрода на бак отсутствовали, мы решили еще выше поднять напряжение генератора, несколько удлинив опорную колонну. В настоящее время высота опорной колонны (и трубки) равна 1250 мм. Используя смесь азота с элегазом при содержании элегаза до 3,5 объемн. %, мы довели напряжение генератора до 1,9 Мв, что отвечает электрическому полю у высоковольтного электрода 190 кв/см и градиенту по опорной колонне 1,5 Мв/м), причем это напряжение лимитируется началом пробоев по прорезиненной ленте, а не пробоями между высоковольтным электродом и баком генератора.

Результаты испытания работы генератора

Построен, испытан и находится в эксплуатации малый электростатический генератор со следующими параметрами: диаметр бака 1000 мм, высота бака 2600 мм, высота ускорительной трубки 1250 мм. Генератор при давлении 8 ати в смеси азот — элегаз (3,5 объемн. % элегаза) развивает напряжение до 1,9 Мв. Длительные измерения на генераторе производились на напряжении 1,6—1,7 Мв.

Хорошая фокусировка ионного пучка позволила на выходе из генератора получить пучок диаметром менее 1 мм. Сила тока ионного пучка на выходе из генератора до 100 μа.

Система стабилизации напряжения генератора позволяет поддерживать постоянство энергии ускоренных ионов с точностью 0,02—0,03%.

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

Поступило
15 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

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