

## ГЕНЕРАТОР НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ПИТАНИЯ ИСКРОВЫХ КАМЕР

А. И. АЛИХАНЫАН, А. С. АЛЕКСАНЫАН, Г. А. ВОРОБЬЕВ, Р. Л. КАВАЛОВ,  
В. К. КРОЛЬ, Н. С. РУДЕНКО, В. И. ЦВЕТКОВ

За последние несколько лет в исследованиях взаимодействий элементарных частиц нашли широкое применение искровые камеры. Этот интерес особенно возрос после экспериментов по двухэлектродной искровой камере в магнитном поле [1, 2, 3], а также работам по исследованию искровой камеры в стримерном режиме [4, 5, 6, 7].

Для дальнейшего выяснения характеристик искровых камер возникла необходимость изготовления высоковольтных генераторов, вырабатывающих импульсы с наносекундными фронтами и амплитудами в несколько сот киловольт.

В данной работе приводится описание генератора импульсов с напряжением до 600 кВ с передним фронтом  $\sim 2$  нсек. Генератор состоит из генератора Аркадьева-Маркса (генератор импульсов напряжений—ГИН), накопительного конденсатора и разрядной камеры (наносекундный генератор импульсов напряжений—НГИН), передающей линии к полосковой линии.

На рис. 1 приведена принципиальная схема генератора.

Схема замещения такого генератора представлена на рис. 2.

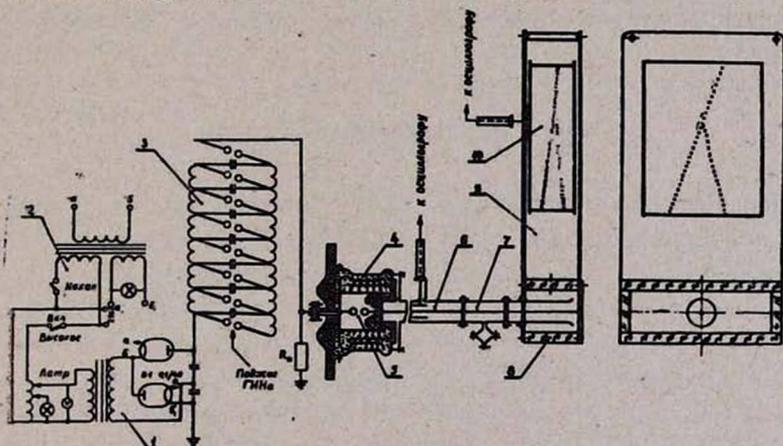


Рис. 1. Принципиальная схема генератора, 1—трансформатор марки НОМ-10, 2—накальный трансформатор, 3—генератор Аркадьева-Маркса, 4—накопительный конденсатор, 5—разрядная камера, 6—передающая линия, 7—срезающий разрядник, 8—согласованный переход от коаксиальной к полосковой линии, 9—полосковая линия, 10—искровая камера.

Контур  $abcd$  имеет минимальную индуктивность, так как все элементы, входящие в него, выполнены коаксиальными. При срабатывании разрядника емкость  $C_T$  будет разряжаться на контур  $abcd$ , выде-

ля на нагрузке с сопротивлением  $\rho$  импульс с крутым фронтом. Так как индуктивность контура  $madn$  во много раз превосходит индуктивность разрядного контура  $abcd$ , то на нагрузку в первый момент основной ток будет давать  $C_g$ , а не ударная емкость генератора Аркадьева-Маркса. Емкость наносекундного генератора заряжается от импульса, вырабатываемого генератором Аркадьева-Маркса. Благодаря импульсной зарядке накопительного конденсатора, возможно использование в нем в качестве диэлектрика жидкости с большой диэлектрической постоянной, имеющей сравнительно большую электропроводность.

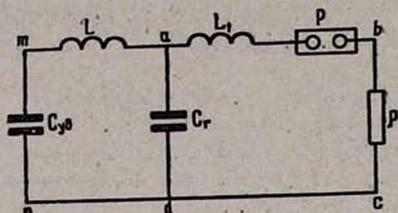


Рис. 2. Схема замещения генератора.

Каждая ступень генератора Аркадьева-Маркса заряжается от выпрямительной установки до необходимого напряжения. При поджиге тригatronа генератор срабатывает и заряжает емкость  $C_g$ , на которой происходит увеличение напряжения за счет колебательного характера процесса зарядки в 1,7 раза относительно выходного напряжения ГИНа. При срабатывании коммутирующего разрядника наносекундного генератора импульс напряжения с фронтом  $2 \cdot 10^{-9}$  сек через передающую линию поступает на полосковую линию, на разомкнутом конце которой удваивается по амплитуде. Аналогичный генератор описан в работе [8].

Ниже приводится более подробное описание основных узлов генератора.

### Генератор Аркадьева-Маркса

Генератор Аркадьева-Маркса (ГИН) состоит из 7 ступеней и собран на конденсаторах типа КБГ-П-30-0,1. Общее напряжение генератора составляет 210 кВ, емкость в ударе — 12 500 пФ. Для повышения частоты срабатывания ГИНа и уменьшения активных потерь заряд конденсаторов осуществляется через индуктивности.

Выпрямительное устройство — двухполупериодное, состоит из высоковольтного трансформатора НОМ-10 и кенотронов типа В1-0,1-40. Шаровые разрядники расположены на двух винипластовых стойках, на которых размещены и зарядные индуктивности. Одна из стоек может вращаться, что позволяет изменять межэлектродное расстояние разрядников ГИНа. Для обеспечения стабильности их срабатывания при максимальном раздвигании электродов диаметр шаров был выбран 20 мм. Разрядники взаимно подсвечивают друг друга. Разрядное сопротивление составляет 1,5 ком (слабый раствор NaCl). При большем разрядном сопротивлении длительность импульса ГИНа становится большой и жидкость в конденсаторе  $C_p$  пробивается.

Запуск генератора Аркадьева-Маркса осуществляется триггером, собранным на лампе ТГИ 1-150/10.

### Накопительный конденсатор и разрядная камера наносекундного генератора

Для получения фронтов  $\sim 2$  нсек накопительный конденсатор Сг и разрядный контур, представляющие собой наносекундный генератор (НГИН), должны иметь малую собственную индуктивность.

Исходя из конструктивных соображений, а также для уменьшения паразитных емкостей и индуктивностей, разрядная камера размещена коаксиально внутри накопительного конденсатора Сг.

Конденсатор Сг выполнен из двух коаксиальных цилиндрических обкладок. Зазор между обкладками равен 2,5 см и заполнен глицерином ( $\epsilon = 39,1$ ). При диаметре внутренней обкладки 15 см и длине 13 см емкость конденсатора  $\sim 1000$  пф.

Длина конденсатора Сг критична и должна быть меньше удвоенной длительности фронта импульса, так как в противном случае при коротких фронтах отражения, возникающие в емкости Сг, искажали бы вершину импульса.

Коммутирующий искровой разрядник, через который накопительный конденсатор разряжается на линию, работает в атмосфере азота.

Величина давления в разрядной камере определялась экспериментально. Минимальная длительность переднего фронта получается при давлении  $\sim 11$  атм. Однако окончательное давление было принято равным 16 атм для предотвращения перекрытия по поверхности изолятора, находящегося в разрядной камере, при максимальном напряжении генератора.

Благодаря наличию уплотнений расстояние между электродами разрядника может регулироваться без нарушения давления в разрядной камере.

Длительность фронта импульса не меняется с изменением расстояния между электродами, так как происходит пропорциональное изменение напряжения срабатывания разрядника. Этим регулируется амплитуда генерируемого импульса.

На рис. 3 приведены осциллограммы, показывающие процесс зарядки накопительной емкости от ГИНа. На осциллограмме показан импульс на выходе зарядного ГИНа с подключением накопительной емкости—(а) и без—(б). Амплитуда первого колебания в 1,7 раза превосходит напряжение, даваемое зарядным ГИНОм.

### Передающая линия

Передающая коаксиальная линия выполнена из латунной трубы и стержня, диаметром 80 и 8 мм соответственно. В качестве диэлектрика использовано трансформаторное масло ( $\epsilon = 2,2$ ). При временах  $\sim 10^{-8}$  сек трансформаторное масло имеет более высокую электриче-

скую прочность [9]. Волновое сопротивление передающей линии равно 86 ом. Длина линии—4 м—выбиралась из соображений, чтобы импульс с максимальной длительностью 40 нсек на нагрузке генератора не искажался отраженными импульсами от другого конца линии.

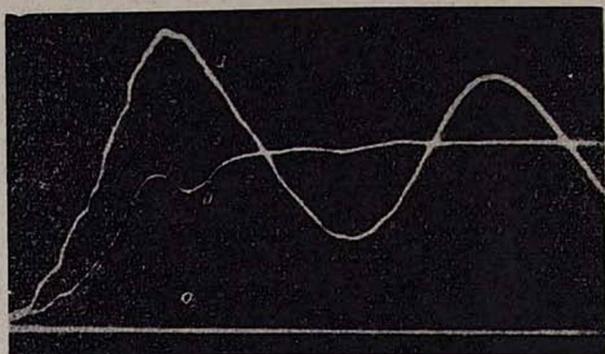


Рис. 3. Осциллограмма зарядки накопительной емкости от ГИНа с подключением накопительной емкости (а) и без—(б).

На конце линии в специальном патрубке помещен емкостный делитель напряжения для осциллографического наблюдения формы импульса. Делитель изготовлен из медной фольги толщиной 0,5 мм, которая изолирована от внешней трубы тонким слоем бумажно-масляной изоляции. Постоянная времени данного делителя равна  $\tau=25$  нсек, что в 3,6 раза меньше постоянной спада импульса генератора. Таким образом, на осциллографе импульс будет наблюдаться с более крутым

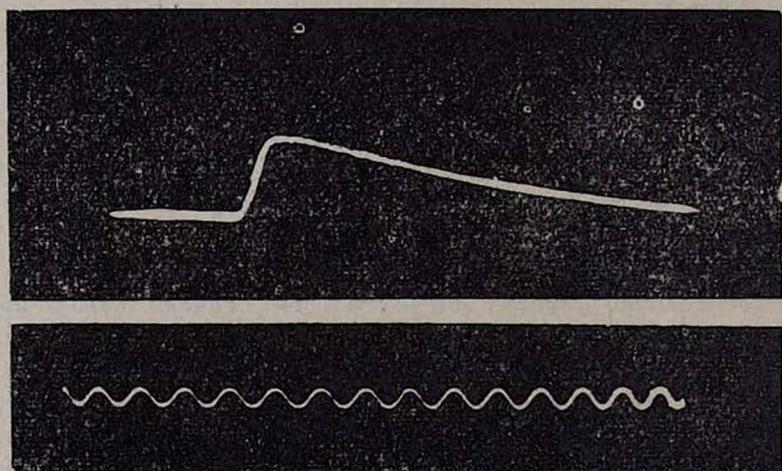


Рис. 4. Осциллограмма импульса напряжения, выдаваемого генератором с накопительной емкостью.

спадом, чем он есть в действительности, но с неискаженным передним фронтом.

На рис. 4 приведена осциллограмма напряжения, выдаваемого генератором с накопительной емкостью. Период градуировочных колебаний 2 нсек.

### Полосковая линия и коаксиально-полосковый переход

Искровая камера состоит из стеклянной коробки размерами  $20 \times 40 \times 80$  см, наполненной неоном до давления 760 мм Hg. Эта камера помещалась в плоско-параллельной полосковой линии, представляющей собой две симметричные пластины из дюралюминия. Расстояние между ними и ширина выбиралась таким образом, чтобы волновое сопротивление равнялось 86 ом.

Для неискаженной передачи формы импульса с сохранением переднего фронта и амплитуды необходим согласованный переход от коаксиальной передающей линии к полосковой. Известно несколько типов согласованных переходов. Одним из них является переход под пря-

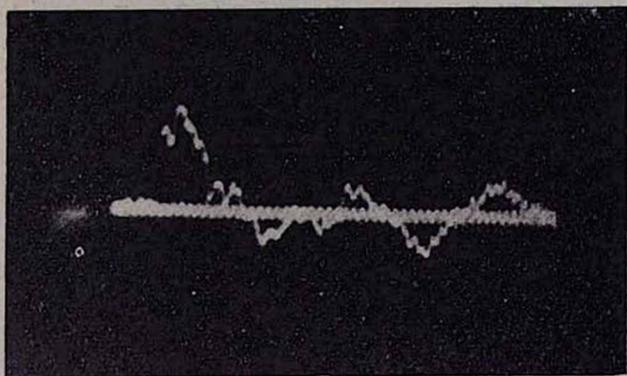
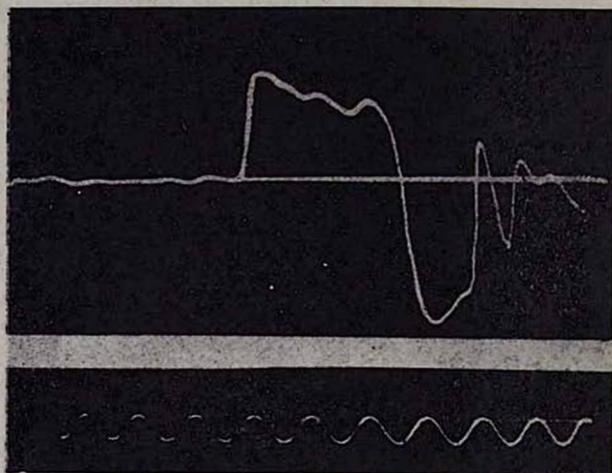
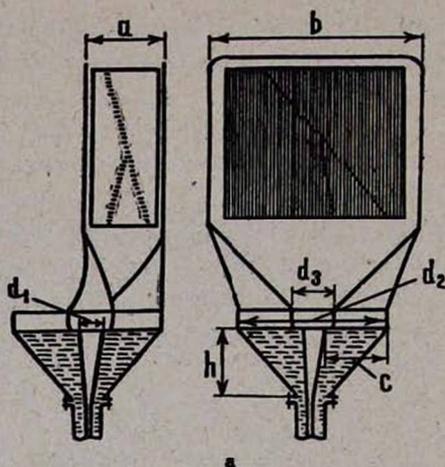


Рис. 5. Осциллограмма импульса напряжения с переходом под прямым углом.

мым углом (угол между полосковой и коаксиальной линией равен  $90^\circ$ ) (рис. 1). На рис. 5 приведена осциллограмма импульса напряжения с переходом под прямым углом. На рис. 6 (а) приведен плавный переход от коаксиальной передающей линии к полосковой. Он состоит из участка коаксиальной конической линии и участка, представляющего собой плавную развертку конической линии в полосковую. Задаваясь высотой конической линии  $h=25$  см и расстоянием между внутренним и наружным конусами  $s=20$  см, по табулированным данным [10] определяли углы для внутреннего и внешнего конусов ( $\rho_1=6^\circ 41'$  и  $\theta_2=29^\circ$ ). При этом  $d_1=6$  см и  $d_2=35$  см. На рис. 6 (б) приведена осциллограмма импульса напряжения с плавным переходом. Из рис. 5 и 6 (б) видно, что форма импульса передается удовлетворительно обоими типами переходов. Необходимо отметить, что переход под прямым углом прост в изготовлении и занимает меньше места.



6

Рис. 6. Плавный переход от коаксиальной передающей линии к полосковой (а) и осциллограмма импульса напряжения (б).

В одном электроде полосковой линии имеется прямоугольное окно, затянутое металлической сеткой для фотографирования частиц в искровой камере вдоль приложенного электрического поля. На другом электроде находится емкостный делитель, с помощью которого и осциллографов ОК-19М2 или И-2-7 снимается осциллограмма высоковольтного импульса.

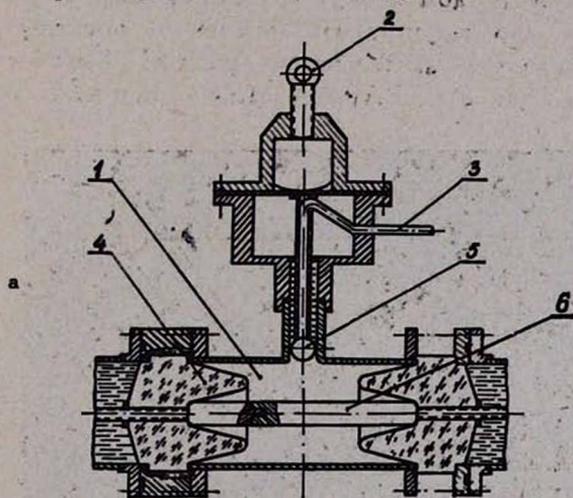
#### Устройства, регулирующие длительность высоковольтного импульса

Для формирования в искровой камере стримерных следов частиц (длиной несколько мм) высоковольтный импульс необходимо обрывать через определенный интервал времени. Обрыв длительности высоковольтного импульса производили следующими способами:

1. С помощью шарового воздушного шунтирующего разрядника, закрепленного непосредственно на полосковой линии [5, 6, 7].

При этом длина стримеров в искровой камере нестабильна и меняется от 2 мм до десятка и более мм.

2. С помощью шунтирующей камеры, разряд в которой инициируется самой регистрируемой частью [7]. Изменяя давление и состав



6

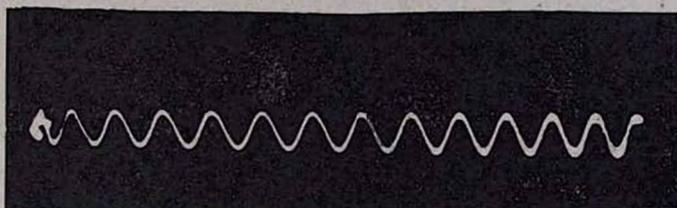
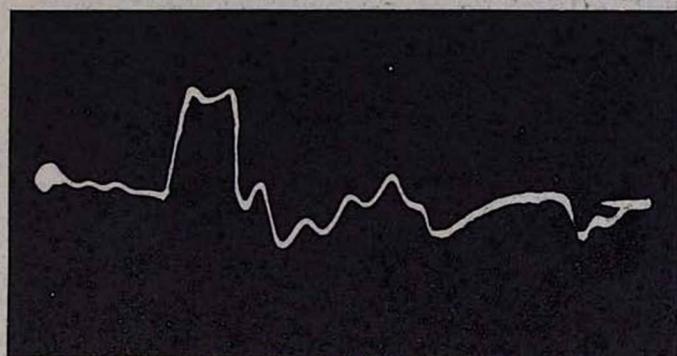
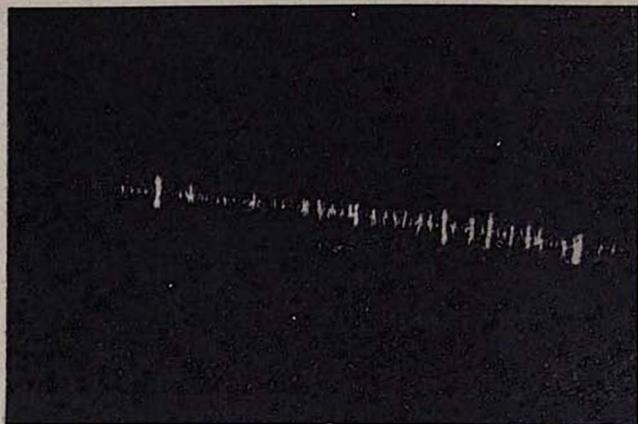


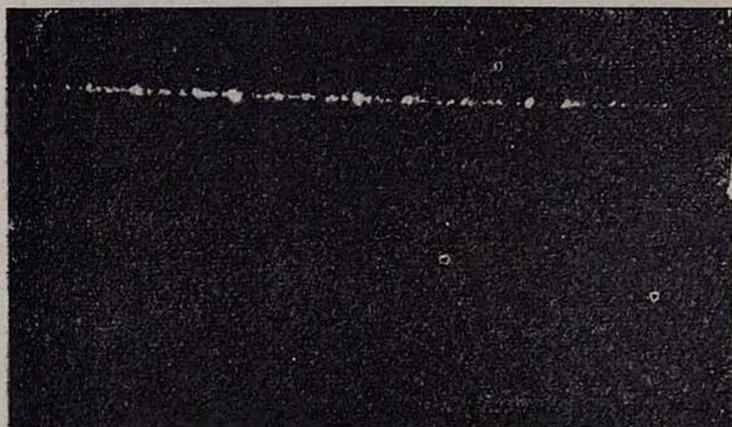
Рис. 7. Схема управляемого срезающего разрядника под давлением (а) и осциллограмма импульса напряжения (б).

газа в шунтирующей камере, можно регулировать длительность высоковольтного импульса от 5 до 30 нсек.

3. С помощью управляемого срезающего двухэлектродного разрядника под давлением (азот,  $p=16$  атм). Схематическое устройство двухэлектродного разрядника в коаксиальном исполнении показано на рис. 7 (а). Разрядник устанавливается непосредственно перед полосковой линией. Стержень 6 является высоковольтным электродом разрядника. Вторым электродом служит подвижной шар 5, выполненный в виде тригатрона. Предварительная подсветка промежутка искрой устраняет статистическое запаздывание разряда. Была снята зависимость стабильности длительности обрезаемого импульса от времени



а



б

Рис. 8. Фотография частиц космического излучения перпендикулярно электрическому полю (а) и параллельно— (б).

среза (от перенапряжения). При получении импульсов меньшей длительности разрядный промежуток уменьшается, следовательно, перенапряжение на промежутке увеличивается. Разброс во времени срабатывания разрядника составляет;  $10 \pm 0$ ;  $13 \pm 1$ ,  $23 \pm 4$ ;  $35 \pm 12$  нсек (ос-

циллограф ОК-19М2). Длительность заднего фронта импульса при этом составляет 2 нсек, рис. 7 (б).

### Обсуждение

В отличие от сконструированных ранее высоковольтных генераторов данный генератор обладает рядом преимуществ, необходимых для исследования характеристик искровой камеры, работающей в стримерном режиме, а именно: на полосковую линию, где помещены искровые камеры, подается сравнительно большая мощность (разряжается 1000 лф), а также с хорошей точностью регулируется длительность высоковольтного импульса (с помощью двухэлектродного разрядника). Генератор запускается импульсом со схемы совпадения, регистрирующей частицы космического излучения, прошедшие через телескоп счетчиков, расположенных над и под камерой. След в камере фотографировался в двух проекциях объективами 1:1,5 (вдоль поля) и 1:15 (перпендикулярно полю) на фотопленку чувствительностью 1300 единиц ГОСТ.

Одновременно производилось фотографирование осциллограмм высоковольтного импульса на ИК, с помощью ОК-19М2.

В одной серии экспериментов на конце полосковой линии ставилось согласующее сопротивление. При этом напряженность поля в искровой камере уменьшалась вдвое. В основном исследования проводились при разомкнутом конце полосковой линии. Получены следующие результаты:

1. Применяя различные типы срезающих устройств, установили, что наилучшим, в смысле стабильности длительности обрезаемого импульса во времени и заднего фронта, оказался двухэлектродный разрядник под давлением. Этот разрядник работает стабильно и стримеры треков частиц имеют разброс от 2 до 6 м.

Шунтирующая камера работает стабильно в течение нескольких сот прохождений частиц, после чего рабочий газ портится, так как основная доля мощности подаваемого высоковольтного импульса выделяется в ней. После этого шунтирующая камера работает нестабильно.

2. Необходимо отметить, что стримеры от одиночных частиц, проходящих по вертикали, неодинаково яркие по длине трека. Яркость постепенно уменьшается сверху вниз. Очевидно, это обусловливается неоднородностью электрического поля в ИК в результате отражений от разомкнутого конца полосковой линии. Этот эффект не наблюдается при прохождении нескольких частиц.

Сравнивая яркость стримеров от одиночных частиц и ливней, мы пришли к выводу, что во втором случае стримеры более яркие (~2 раза).

Объяснить это явление можно, по всей видимости, следующим образом: когда через искровую камеру проходят одновременно несколько частиц, происходит следующее:

а) высоковольтный импульс, подаваемый на полосковую линию подсаживается и происходит выравнивание поля по всей камере,

б) имеется некоторая подсветка частиц друг другом, которая влияет на яркость треков.

3. В имеющихся в настоящее время искровых камерах яркость стримера недостаточна и поэтому при фотографировании приходится применять очень светосильные объективы  $\sim 1,5$ , что делает невозможным фотографирование камер больших объемов.

Для выяснения влияния напряженности электрического поля на яркость стримера на искровую камеру подавали импульсы напряженностью 10, 15, 20, 25 кв/см. При этом соблюдалось условие, чтобы длина стримера при всех исследованиях была одинакова. Полученная зависимость показывает, что при линейном возрастании напряженности поля яркость стримера увеличивается нелинейно, что не противоречит работе [11]. Необходимо отметить и то обстоятельство, что при больших напряженностях  $\sim 20$  кв/см и выше скорость стримера возрастает, и требования к длительности и стабилизации высоковольтного импульса становятся очень критичными.

В заключение хотелось поблагодарить Б. А. Долгошеина за обсуждения и помощь при выполнении данной работы, а также Л. А. Жирову, Н. Х. Арутюняна и американских коллег В. К. Фишер и Г. Фишер, приложивших много усилий при проведении экспериментов.

Ереванский физический институт

Поступила 7.III.1968

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. И. *Alkhanian*, Loeb Lecture Notes, Harvard University (1965).
2. А. И. *Алиханян*, Сб. „Вопросы физики элементарных частиц“, Изд. АН АрмССР, 553 (1963).
3. А. И. *Алиханян*, Сб. „Вопросы физики элементарных частиц“, Изд. АН АрмССР, 651 (1965).
4. Б. А. *Долгошеин*, Сб. „Вопросы физики элементарных частиц“, Изд. АН АрмССР, 503 (1964).
5. Б. А. *Долгошеин*, Б. И. *Лучков*, ЖЭТФ, 46, № 1 (1964).
6. Г. *Чиковани*, В. *Ройнишвили*, В. *Михайлов*, ЖЭТФ, 46, № 4 (1964).
7. А. С. *Алексамян*, Б. А. *Долгошеин*, Б. И. *Лучков* и др. „Физика элементарных частиц“, Атомиздат, 69 (1966).
8. Г. А. *Воробьев*, Н. С. *Руденко*, ПТЭ, № 1 (1965).
9. Н. С. *Руденко*, В. И. *Цветков*, ЖТФ, 35, 1840 (1965).
10. Х. *Мейнке*, Ф. *Гундлах*, Радиотехнический справочник, т. 1, ГЭИ (1960).
11. F. *Bulos*, A. *Boyerski*, R. *Diebold*, A. *Odian*, B. *Richter*, F. *Villa*, SLAC-Pub. 140, sept. (1965).

#### ՆԱՆՈՒՂԱՅՐԿՅԱՆԱՅԻՆ ԻՄՊՈՒԼՍՆԵՐԻ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ ԿԱՅԾԱՅԻՆ ԽՅԻԿՆԵՐԻ ՍՆՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա. Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆ, Ա. Ս. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ, Գ. Ա. ՎՈՐՈՅՆՈՎ, Ռ. Լ. ԿԱՎԱԼՈՎ,  
Վ. Կ. ԿՐՈՂ, Ե. Ս. ՌՈՒԻՆԵԿՈ, Վ. Ի. ՏՎԵՏԿՈՎ

Քերտվում է մինչև 600 կվ լարում և 2 նանոլայրկյան առաջնային ճախատ ունեցող իմպուլսային գեներատորի նկարագրությունը, որը բաղկացած է Արկադև-Մարքսի գեներատորից,

կուտակման կոնդենսատորից, լիցքաթափման խցիկից, փոխանցման գծից և շերտավոր գծից որտեղ տեղավորվում են կայծային խցիկները:

Գններատորը ունի համեմատաբար մեծ հզորություն (լիցքավորվում է 1000 պիկոֆարադ) և մեծ ճշտությամբ կարգավորում է բարձրավոլտ իմպուլսի երկարությունը հատուկ երկէլեկտրոդային լիցքաթափման սարքով, որն անհրաժեշտ է կայծային խցիկի բնութագրերի ուսումնասիրման համար:

Կայծային խցին տրվող լարումը ունեցել է 10—25 կվ/սմ լարվածություն: Մեծ լարվածությունների դեպքում ստրիմերների արագությունը մեծանում է, բարձրավոլտ իմպուլսների երկարության ու լարման մեծությունների հաստատուն մնալու պահանջը դառնում է կրիտիկական:

## A NANOSECOND PULSE GENERATOR FOR SPARK CHAMBER

A. I. ALIKHANIAN, A. S. ALEXANIAN, G. A. VOROBIOV, R. L. KAVALOV  
V. K. KROLL, N. S. RUDENKO and V. I. TSVETKOV

A pulse generator giving pulses up to 698 kV with a rise time of 2 nsec  $t$  is described. It includes a Marx generator, an accumulation capacitor, a discharge chamber, a transfer line, and a strip line where the spark chambers are installed.

The generator is powerful (the discharge capacity is 1000 pF) and the pulse length can be changed with a good accuracy by a spacial two-electrode discharger.

The spark chamber was supplied with pulses of 10—25 kV/cm electric field strength. At high strength the streamer velocity rises and the requirements to the pulse length and to the stabilization of high voltage pulse become critical.