

НАНОСЕКУНДНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА КОЛЬЦЕВЫХ ЛИНИЯХ

А. И. Павловский, В. С. Босаевичи.

А. С. Гончаров

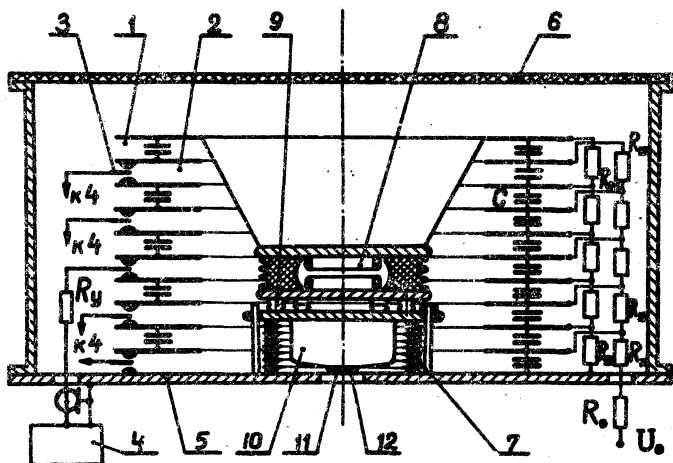
УДК 621.373

Описан генератор, состоящий из 10 кольцевых искусственных линий и 5 коммутаторов, размещенных в высоковольтных зазорах активных линий. Генератор позволяет получать электронные пучки с током до $5 \cdot 10^4$ а в импульсе длительностью на полуволсте $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ сек.

Трансформирующие схемы генераторов с перезарядкой активных колебательных контуров /1/ позволяют формировать высоковольтные импульсы при сравнительно невысоком зарядном напряжении. ^{ж)} Для увеличения электропрочности целесообразно сокращать длительность процесса перезарядки. В предельном случае активные колебательные контуры работают в режиме линий с распределенными параметрами. Малоиндуктивная коаксиальная геометрия контура нагрузки реализуется, если генератор образован кольцевыми линиями. В замкнутой активной кольцевой линии токовая волна распространяется в обе стороны от коммутатора. Выходное напряжение генератора за фронтом токовой волны составляет $nU_0/2$, где n - полное число линий, U_0 - зарядное напряжение. Отражение волны от диаметрально противоположного коммутатору конца кольцевой линии приводит к изменению направления электрического поля в высоковольтном зазоре каждого активного колебательного контура. Линии перезаряжаются полностью за время, соответствующее пробегу волны по длине их окружности. Длительность процесса перезарядки кольцевой линии с радиальным разрезом у коммутатора вдвое больше, чем замкну-

ж) Сообщение о результатах настоящей работы сделано на Всесоюзной конференции "Разработка и практическое применение электронных ускорителей", г. Томск, 5-7 сентября 1972 г.

той. Нагрузка подключается в максимуме выходного напряжения U_0 . Для повышения к.п.д. устройства желательнее, чтобы время разряда последовательно соединенных линий через нагрузку было существенно меньше времени перезарядки активных линий. Мощность кольцевого



Р и с. 1. Схема генератора на кольцевых линиях: I - пассивная линия; 2 - активная линия; 3 - управляющий электрод коммутатора активной линии; 4 - стартовый коммутатор; 5 - металлический экран; 6 - диэлектрическая пластина; 7 - ускорительная трубка; 8 - разрядник-обостритель; 9 - подвижное соединение; 10 - катодный электрод; 11 - катод; 12 - анод.

генератора при той же схеме коммутации превышает мощность генератора на полосковых линиях с нагрузкой на удаленном от коммутаторов конце в $\sim 2\pi r_{cp}/\Delta r$ раз, где r_{cp} - средний радиус кольцевой линии, Δr - ее радиальный размер.

Исследовалась модель наносекундного генератора на кольцевых искусственных линиях (рис. 1), которые образованы конденсаторами К15-10, размещенными между замкнутыми кольцевыми пластинами (внешний диаметр 740 мм, внутренний - 460 мм, высоковольтный зазор 36 мм). Генератор состоит из 10 линий, заряжаемых от источника постоянного напряжения до $U_0 \leq 50$ кв. В цепь зарядки входят резисторы $R_{11} - R_{15}$, $R_{21} - R_{25}$ и R_0 для защиты выпрямителя от импульс-

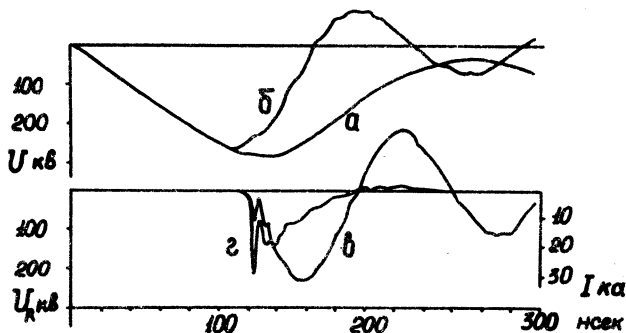
ного напряжения. Пассивные линии I содержат девять конденсаторов, в высоковольтном зазоре активных линий 2 вместо одного из конденсаторов располагаются одинаковые управляемые газонаполненные (азот, до 10 атм) коммутаторы (всего 5 шт.), работающие по принципу "возмущения поля". Управляющий электрод 3 коммутатора — плоская пластинка шириной 5 мм и толщиной 0,8 мм вводится радиально через изолятор из капролона. Потенциал управляющего электрода соответствует половине зарядного напряжения. Точность срабатывания не хуже ± 10 нсек. Сжатый газ подается по общей магистрали.

Стартовые импульсы напряжения формируются кабельным генератором, состоящим из стартового газонаполненного коммутатора 4, который одновременно закорачивает пять кабельных линий равной длины. Каждая кабельная линия присоединена к управляющему электроду соответствующего коммутатора через резистор R_y , образующий высоковольтный омический делитель совместно с волновым сопротивлением кабеля для импульсного напряжения генератора. Использовался также параллельный запуск коммутаторов с помощью одной формирующей кабельной линии. Управляющие электроды при этом разделены последовательно соединенными резисторами.

Генератор размещен в металлическом экране 5 (диаметр 100 см, высота 50 см), заполненном трансформаторным маслом. Один из торцов экрана 6 выполнен из диэлектрика. Нагрузка — секционированная ускорительная трубка 7 — подключена к генератору через газонаполненный разрядник — обостритель 8 с кольцевыми электродами внешним диаметром 116 мм и подвижное соединение 9. Рабочий зазор обострителя ~ 14 мм. Кольца изолятора ускорительной трубки изготовлены из оргстекла, угол наклона внутренней конусообразной поверхности 40° . Внутренний диаметр металлических колец трубки 206 мм, внешний 280 мм; высота изолятора трубки 95 мм. К металлическим кольцам присоединен резистивный делитель 100 ом, шунтирующий емкость трубки. Кроме электропрочности, делитель необходим для уменьшения амплитуды предимпульса, отрицательно влияющего на работу катода. Катодный электрод 10 имеет диаметр 174 мм, на его плоской центральной части закрепляется катод 11 диаметром 50 мм. В испытаниях игольчатого катода и катода, имеющего прикатодный изолятор /2/, применялся конусообразный электрод. Анод — танталовая фольга 12.

Индуктивность контура нагрузки $9 \cdot 10^{-8}$ гн, волновое сопротивление 4,3 ом.

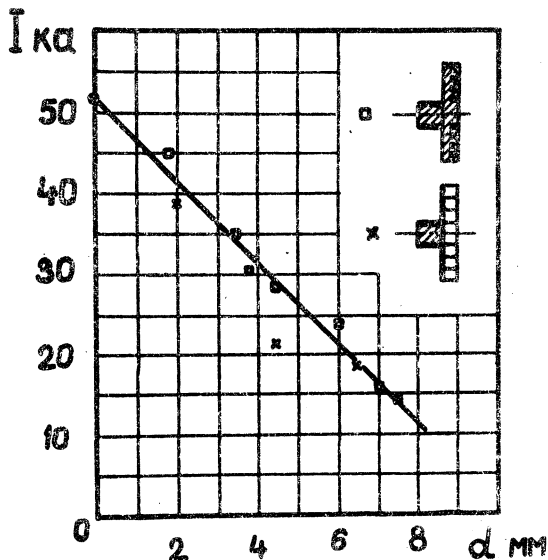
На рис. 2,а приведена осциллограмма импульса напряжения генератора в режиме холостого хода при $U_0 = 35$ кв. Длительность одного импульса по основанию $2,7 \cdot 10^{-7}$ сек. Амплитуда напряжения



Р и с. 2. Осциллограммы: а - напряжение генератора в режиме холостого хода; б - напряжение на кольцевых линиях при включении нагрузки через обостритель; в - электронный ток; г - ускоряющее напряжение диода $U_R = IR(t)$. $U_0 = 35$ кв, метки - 20 нсек/дел

260 кв меньше номинальной на 25%, что обусловлено потерями в активных линиях и токами утечки в зарядных и управляющих резисторах. Рис. 2,б иллюстрирует форму импульса напряжения на кольцевых линиях при включении нагрузки через обостритель. Делитель расположен с внешней стороны линий напротив коммутаторов. На рис. 2,в, г показаны осциллограммы импульсов электронного тока и ускоряющего напряжения. Ток измерялся с помощью пояса Роговского, охватывающего анод. Регистрируемый импульс напряжения на трубке (делитель размещен вплотную к ее изолятору) с точностью $\sim 10\%$ соответствует активной составляющей напряжения на аноде. Длительность фронта импульса ускоряющего напряжения $2 \cdot 10^{-9}$ сек, амплитуда 220 кв, длительность на полувысоте $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ сек, величина предимпульса $\leq 5\%$ от амплитудной. Измеренная с помощью магнитного анализатора граничная энергия спектра электронов 220 кэв. Форма импульса рентгеновского излучения подобна форме импульса ускоряющего напряжения.

Диаметр фокусного пятна для катода с цилиндрическим прикатодным изолятором 3 мм. Структура пучка, эмитируемого катодом (диаметр 50 мм) в виде 4 концентрических цилиндров из танталовой фольги 50 мк или катода тех же размеров из вольфрама с 4 концентри-



Р и с. 3. Зависимость анодного тока от межэлектродного расстояния для двух катодов диаметром 50 мм. $U_0 = 35$ кв

ческими пазами, заполненными эпоксидным компаундом /3/, повторяет конфигурацию эмитирующих кромок катода, причем во втором случае зоны эмиссии совпадают с границей металл-диэлектрик. На рис. 3 приведен график зависимости амплитуды анодного тока от межэлектродного расстояния d . Ток изменяется от 50 кА до 10 кА в интервале $d = 0 \div 10$ мм. Случай $d = 0$ относится к короткозамкнутому диоду. Полный пучок с трубчатого катода диаметром 15 мм схлопывается в пределах диода при достаточно малом (~ 5 мм) межэлектродном расстоянии. На рентгеновских изображениях пучков, сформированных в диоде с эмитирующими фольгами или катодом с концентрическими диэлектрическими включениями, отчетливо прослеживаются пер-

пендикулярные к эмитирующим кромкам периодические неоднородности плотности тока. При схлопывании пучков изображение имеет радиальную лучистую структуру с существенным уплотнением в центре. Характерный размер неоднородностей составляет несколько миллиметров при $d \sim 5$ мм.

Проверена возможность изменения времени перезарядки активных линий с помощью сосредоточенной индуктивности (виток, $1,8 \cdot 10^{-7}$ гн), включенной последовательно высоковольтным электродам коммутаторов. Длительность первого импульса напряжения генератора по основанию в режиме холостого хода возросла до $6,6 \cdot 10^{-7}$ сек. Параметры установки повысились на $10 + 15\%$.

Дальнейшее улучшение характеристик таких генераторов может заключаться в уменьшении индуктивности контура нагрузки, применении многоканальных обострителей, а также повышении удельной и полной энергоемкости линий.

Поступила в редакцию
12 октября 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. R. A. Fitch, V. T. S. Howell. Proc. IEE , 111, N4, 849 (1964).
2. А. И. Павловский, В. С. Босамыкин, В. С. Никольский. Доклад на Всесоюзной научной конференции по разработке и практическому применению электронных ускорителей, 5-7 сентября 1972 г., г. Томск.
3. K. R. Prestwich. IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-18, N3, (2), 493 (1971).