

ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

Г. П. Мхеидзе, М. Д. Райзер

В последние годы достигнут значительный прогресс в развитии генераторов мощных электронных пучков. Генераторы такого типа работают в диапазоне энергий ускоренных электронов от сотен кэв до десяти Мэв, импульсные токи электронов достигают десятков и сотен тысяч ампер /1,2,3/. В настоящей работе описан генератор электронных пучков с импульсным током ~ 20 ка длительностью ~ 20 нсек и энергией электронов ~ 600 кэв.

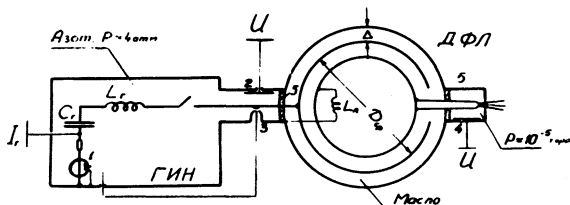
Принципиальная схема установки приведена на рис. 1. Генератор импульсного напряжения (ГИН) заряжает двойную формирующую линию (ДФЛ). В момент, когда напряжение на ДФЛ достигает максимального значения, происходит пробой разрядника 3. В этот момент прекращается процесс зарядки ДФЛ, и далее ГИН работает в режиме короткого замыкания. Разрядник 3 является также коммутирующим элементом для линии, которая нагружена на вакуумный диод с автоэмиссионным катодом. Амплитуда импульса на катоде равна величине напряжения, до которого заряжается ДФЛ. Под действием больших градиентов электрического поля катод эмиттирует электроны, которые ускоряются электрическим полем.

ДФЛ связана с камерами, в которых размещены коммутирующий разрядник и автоэмиссионный катод, проходными изоляторами 5 из оргстекла. Напряжение, до которого заряжалось ДФЛ, и импульс напряжения на катоде измерялись емкостными делителями 2 и 4.

В качестве генератора импульсного напряжения используется конденсаторный ударный контур по схеме Маркса, который помещен в бак и находится в атмосфере азота при давлении 4 атм. Диаметр бака 90 см, длина — 240 см. ГИИ собран из 22 конденсаторов ИМ 50/0,1, объединенных в 11 секций (в каждой секции два последовательно соединенных конденсатора). Запуск ГИИа осуществляется

тригatronным поджигом первого разрядного промежутка. Параметры ГИНа: ударная емкость $C_T \approx 5000$ пф, индуктивность $L_T \approx 2,8$ мкГн, волновое сопротивление $\rho \approx 24$ ом. При импульсном напряжении 800 кв удельная энергоемкость системы составляет $\sim 1,5$ Дж/дм³.

Энергия, запасенная в конденсаторном ударном контуре, используется для зарядки двойной формирующей линии. ДФЛ составлена из



Р и с. 1. Принципиальная схема установки.

двух параллельно соединенных двойных полосковых линий, погруженных в касторовое масло ($\epsilon = 4$). Полосковые линии выполнены в виде полуколец, и вся конструкция образует "бочку" диаметром 115 см и высотой 60 см. Параметры ДФЛ: ширина полосы - 25 см, толщина - 4 см, зазор - 4 см, длина линии $l = \pi D/2 \approx 150$ см ($\tau \approx 20$ нсек), емкость $C_L \approx 2000$ пф и волновое сопротивление $\rho \approx 21$ ом.

Формирующая линия заряжается до напряжения

$$U_{ДФЛ} = \frac{U_T}{\beta} \left\{ \left[1 - \left(1 - \frac{\alpha\beta}{2} \right) \cos\omega_1 t \right] + \frac{\alpha\beta}{4} (1 + \cos\omega_2 t) \right\}, \quad (1)$$

где $\beta = 1 + C_L/C_T$; $\alpha = L_L/L_T$; L_L - величина шунтирующей индуктивности (рис. 1), которая необходима для зарядки линии, и

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{2}{L_L C_L} (1 \mp \sqrt{1 - \alpha\beta}). \quad (2)$$

В процессе зарядки на индуктивности L_L , т.е. на катоде, величина напряжения равна

$$U_L = U_T \frac{\alpha}{2} (\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t). \quad (3)$$

Коммутирующий разрядник 3 должен срабатывать в момент времени, когда напряжение $U_{\text{ДФЛ}}$ достигает максимального значения. При указанных выше параметрах ГИНа и ДФЛ и $\alpha \approx 0,3$ ($L_d = 0,8$ мкГн) формирующая линия за время $t = \pi/\omega_1$ может быть заряжена до $U_{\text{ДФЛ}} \approx 1,35 U_r$, и при этом $U_L \approx 0,03 U_r$. Измерения посредством емкостных датчиков 2 и 4 показали, что время зарядки линии $\sim 0,3$ мксек, и при $U_r \approx 600$ кв линия заряжалась до напряжения $U_{\text{ДФЛ}} \approx 750$ кв и при этом $U_L \approx 50$ кв.

Коммутирующий разрядник работает в атмосфере азота при давлении 4 атм в двух режимах — самопробоя и тригатронного поджига. В режиме самопробоя момент времени коммутации регулируется расстоянием между электродами. Тригатронный поджиг осуществляется следующим образом: с токонесущего провода ГИНа снимается импульс напряжения посредством трансформатора с ферритовым сердечником I (см. рис. 1), работающим в режиме насыщения. Импульс напряжения (~ 20 кв) через кабель задержки подается на тригатронный поджиг коммутирующего разрядника. Момент времени коммутации регулируется длиной кабеля задержки.

В качестве автоэмиссионного катода использовался диск из нержавеющей стали диаметром 30 мм и толщиной 3 мм с десятью сквозными отверстиями диаметром 2 мм. Давление в катодной камере $\sim 10^{-5}$ мм рт. ст. Расстояние катод — анод равно 10 мм. Анод — титановая фольга или сетка из нержавеющей стали с размером ячейки $1,0 \times 1,0$ мм².

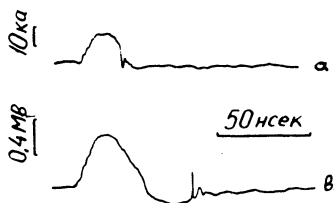
Ток пучка электронов измерялся непосредственно за анодом шунтовым сопротивлением в коаксиальном исполнении (постоянная времени ≤ 4 нсек). Энергия потока электронов измерялась калориметром, энергия электронов — магнитным анализатором.

На рис. 2 приведены типичные осциллограммы напряжения на катоде и тока пучка при $U_r \approx 600$ кв и сетчатом аноде. Максимальная амплитуда тока равна ~ 17 ка и ширина импульса тока на полувысоте ~ 20 нсек. В этом режиме полная энергия потока электронов, измеренная калориметром, равна ~ 200 дж.

Измерения магнитным анализатором показали наличие двух групп ускоренных частиц: одна группа имеет энергию $\epsilon_1 \approx 600$ кэв (ширина спектра ± 60 кэв), вторая — $\epsilon_2 \approx 80$ кэв (ширина спектра ± 20 кэв). Измерения тока пучка за анодом из титановой фольги

толщиной 50 мк показали, что ток электронов с энергией $\epsilon_2 \approx 80$ кэв составляет $\sim 12\%$ от полного тока пучка электронов.

Выше указывалось, что при $U_r = 600$ кв формирующая линия заряжается до $U_{ДФЛ} \approx 750$ кэв. Однако, энергия электронов $\epsilon_1 \approx 600$ кэв. Такое расхождение экспериментальных данных можно объ-



Р и с. 2. а) Ток пучка электронов;
в) напряжение на катоде.

яснить, по-видимому, большим сопротивлением коммутирующего разрядника. Поскольку коммутация осуществляется за малые времена (≤ 10 нсек), то оценить сопротивление канала разряда в газе при большом давлении можно по теории Брагинского /4/

$$R = 185p^{1/3}l/[I(t)]^{2/3}t, \quad (4)$$

где R - в омах, p - в атм, $I(t)$ - в ка, t - в нсек и l - длина разрядного промежутка в см. В условиях данного эксперимента при $l = 3,5$ см сопротивление канала разряда ≈ 10 см, и на нем может быть падение напряжения $\Delta U \approx 150-200$ кв.

Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют однозначно объяснить появление второй группы ускоренных электронов с энергией $\epsilon_2 \approx 80$ кэв.

Авторы благодарны М. С. Рабиновичу и А. А. Рухадзе за интерес к работе, Р. А. Латыпову за участие в конструировании установки, В. В. Блинову, В. И. Пулину, Г. В. Самышеву, В. П. Соловьеву и Л. Э. Цоппу за помощь при наладке установки.

Поступила в редакцию
29 декабря 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. T. Martin et al. IEEE Trans. on Nuclear Sci., NS-16, 59 (1969).
2. О. П. Печерский и др. ДАН СССР, 192, 1266 (1970).
3. Е. А. Абрамян и др. ДАН СССР, 192, 761 (1970).
4. С. И. Брагинский. ЖЭТФ, 34, 1548 (1958).