

**РЕГУЛИРОВКА ЗАДЕРЖКИ ПОЯВЛЕНИЯ ИСКРЫ  
ПОТЕНЦИАЛОМ ДОБАВОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРОМЕЖУТКЕ**

Г. С. КОРШУНОВ, Г. А. МЕСЯЦ

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института ядерной физики, электроники и автоматики при ТПИ)

В высоковольтных наносекундных импульсных устройствах необходимо иметь регулируемое время задержки появления искры  $t_3$  в промежутке относительно момента прихода импульса напряжения (например, срезающие устройства [1]) или иметь постоянным это время при изменении амплитуды импульса (заострители [2]). Если величина фототока с катода достаточна, чтобы устранить статистическую составляющую времени  $t_3$ , то при равномерном поле в промежутке для прямоугольного импульса напряжения при стримерном пробое [3, 4]

$$t_3 = \frac{1}{p} f\left(\frac{U_a}{p\delta}\right), \quad (1)$$

в для линейного фронта длиной  $t_\phi$  с медленным нарастанием, когда коэффициент импульса близок к 1.

$$t_3 = \frac{t_\phi}{U_a} U_{пр}(p\delta). \quad (2)$$

Здесь  $f$  — функция, которая зависит от сорта газа;  $p$  — давление;  $\delta$  — длина промежутка;  $U_a$  — амплитуда импульса;  $U_{пр.}(p\delta)$  — статическое пробивное напряжение, которое зависит от произведения  $p\delta$  (кривая Пашена).

Из (1) и (2) следует, что при неизменных параметрах импульса время  $t_3$  можно регулировать величинами  $p$  и  $\delta$ . Для отпаянных устройств эти методы непригодны для регулировки  $t_3$ . В настоящей работе рассматривается метод регулировки величины  $t_3$  при неизменных  $p$  и  $\delta$  потенциалом добавочного среднего электрода в промежутке.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 1, а. При поступлении импульса  $U(t)$  разность потенциалов на первом промежутке составит  $U(t) - U_0$ . Если  $R_0 \gg R_1 + R_2$ , то после пробоя промежутка  $\delta_1$  средний электрод заряжается до потенциала  $U(t)$ , что обеспечивает пробой промежутка  $\delta_2$ . Обозначим статические пробивные напряжения промежутков через  $U_{пр.1.}$  и  $U_{пр.2.}$  Величина  $U_0$  не должна превышать статического пробивного напряжения наиболее короткого промежутка, чтобы не вызывать его самопроизвольного пробоя.

Рассмотрим на примерах, как выбирается соотношение между  $\delta_1$  и  $\delta_2$  в зависимости от условий регулировки. Так как при данном давлении связь между  $U_{пр}$  и  $\delta$  однозначна (кривая Пашена), то для

определения соотношения между  $\delta_1$  и  $\delta_2$  достаточно установить соотношение между  $U_{пр.1}$  и  $U_{пр.2}$ . Пусть при неизменной амплитуде пря-

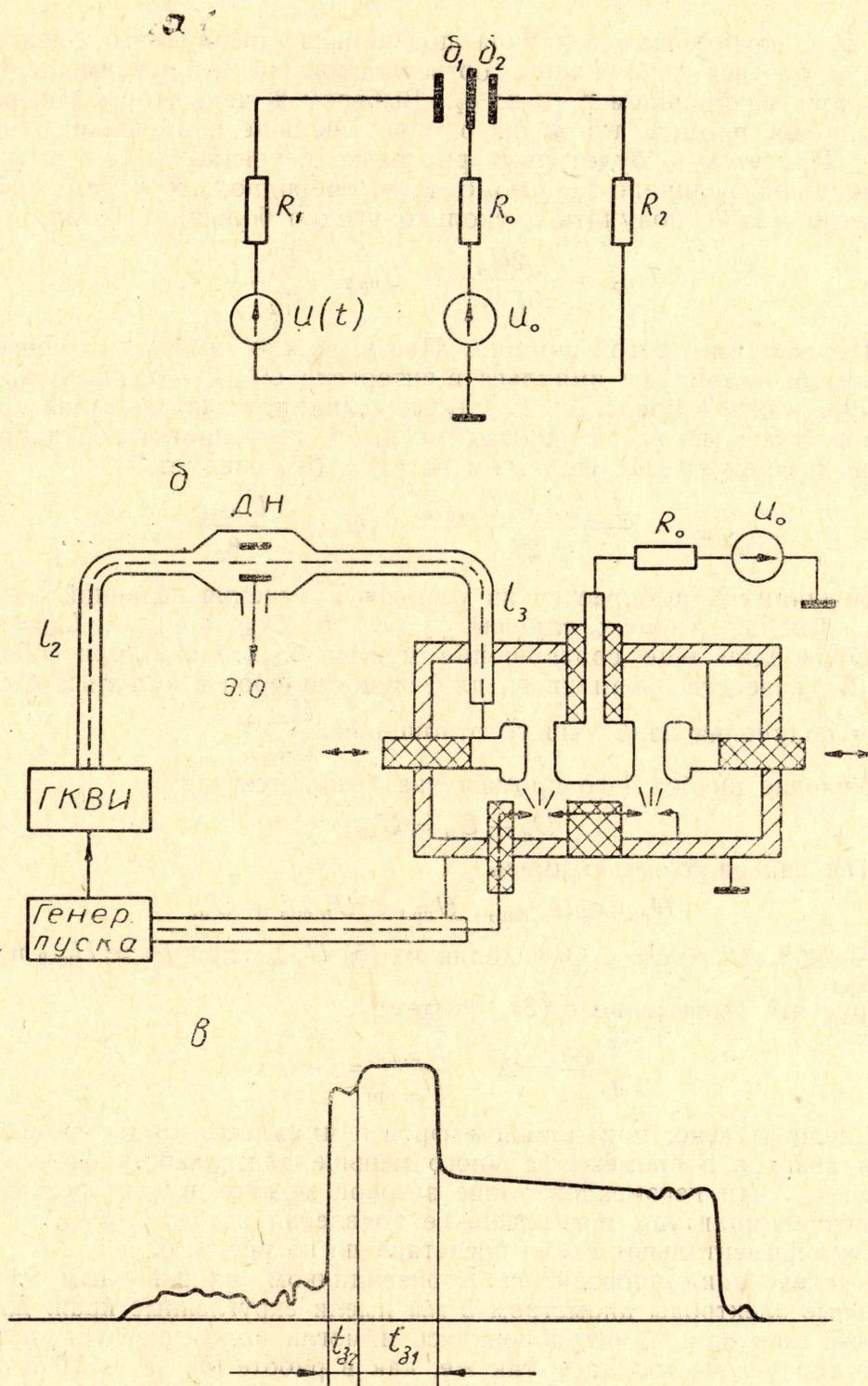


Рис. 1. а—Принципиальная схема, б—схема эксперимента

моугольного импульса  $U_a$  необходимо обеспечить некоторый интервал задержки.

Перенапряжения на промежутках  $\delta_1$  и  $\delta_2$  запишутся так:

$$\beta_1 = \frac{U_a + U_0}{U_{\text{пр.1}}}, \quad \beta_1' = \frac{U_a - U_0}{U_{\text{пр.1}}}, \quad \beta_2 = \frac{U_a}{U_{\text{пр.2}}}, \quad (3)$$

где  $U_0$  — наибольшая величина потенциала добавочного электрода,  $\beta_1$ ,  $\beta_1'$  и  $\beta_2$  — перенапряжения, соответственно, на  $\delta_1$  при наименьшем  $t_3$ , на  $\delta_1$  при наибольшем  $t_3$  и на  $\delta_2$ . Выберем  $\beta_2$  так, чтобы запаздывание пробоя промежутка  $\delta_2$  было много меньше наименьшей величины  $t_3$ . При этом  $\beta_1$  будет примерно равно перенапряжению на  $\delta_1$  при наименьшей величине  $t_3$ . Кроме того, очевидно, что  $\beta_1' \approx 1$ , так как при этом можно получить  $t_3$  сколько угодно большим. Тогда

$$U_{\text{пр.1}} = \frac{2U_a}{\beta_1 + 1}, \quad U_{\text{пр.2}} = \frac{U_a}{\beta_2}. \quad (3')$$

Рассмотрим другой пример. Пусть нужно иметь  $t_3 = \text{const}$  при изменении амплитуды импульса в интервале  $U_{a.\text{max}} \div U_{a.\text{min}}$ . Если пренебречь, как и в предыдущем случае, влиянием запаздывания пробоя промежутка  $\delta_2$  на  $t_3$ , то необходимо иметь постоянным перенапряжение на промежутке  $\delta_1$ . При этом из (3) и (3') следует:

$$U_{\text{пр.1}} = \frac{U_{a.\text{max}} + U_{a.\text{min}}}{2\beta_1}, \quad U_{\text{пр.2}} = \frac{U_{a.\text{min}}}{\beta_2}. \quad (4)$$

Величина  $\beta_1$  выбирается из условия получения заданной задержки  $t_3$ . Так как в обоих случаях  $\beta_2 > \beta_1$ , то  $U_{\text{пр.2}} < U_{\text{пр.1}}$  и  $U_0 \approx U_{\text{пр.2}}$ .

Определим еще соотношение между  $U_{\text{пр.1}}$  и  $U_{\text{пр.2}}$  при соблюдении (2), равенства времени  $t_3$ , длительности фронта импульса  $t_\phi$  и условия получения наибольшего отношения  $\frac{U_{a.\text{max}}}{U_{a.\text{min}}}$ .

Условие пробоя 1-го промежутка запишется так:

$$U_a - U_0 = U_{\text{пр.1}}. \quad (5)$$

Так как необходимо иметь

$$U_{\text{пр.2}} \leq U_{a.\text{min}}, \quad U_{\text{пр.1}} \leq U_{a.\text{min}} + U_0, \quad (6)$$

то  $\frac{U_{\text{пр.2}}}{U_{\text{пр.1}}} < 1$ ,  $U_0 \approx U_{\text{пр.2}}$ . Определяя из (5)  $U_{a.\text{max}}$  при  $U_0 \approx U_{\text{пр.2}}$  и комбинируя это выражение с (6), найдем:

$$\frac{U_{\text{пр.1}}}{U_{\text{пр.2}}} = 2, \quad \frac{U_{a.\text{max}}}{U_{a.\text{min}}} = 3. \quad (7)$$

Следовательно, при длинном фронте импульса, когда время развития разряда в промежутке много меньше длительности фронта импульса  $t_\phi$ , при неизменной длине зазоров можно иметь трехкратное изменение амплитуды при задержке появления искры  $t_3 \approx t_\phi$ .

Экспериментальная схема представлена на рис. 1, б.

Исследования проводились с разрядником, наполненным азотом. Стальные электроды диаметром 8 мм имели скругленные края. Длины промежутков  $\delta_1$  и  $\delta_2$  регулировались и могли подсвечиваться искрой. Подсветка осуществлялась так же, как в работе [5], за  $\sim 70$  нсек до прихода импульса на исследуемый разрядник. Напряжение поджигающего импульса распределяется по поджигающим промежуткам (с электродами остриё — остриё) и вызывает пробой одного из них, после чего автоматически пробивается другой.

При фиксированной величине  $\delta_1$  и  $\delta_2$  исследуемые импульсы имели положительную полярность, длительность 300 нсек и длительность

фронта 0,7 нсек. Использовались осциллографы С1-14 и ОК-19М с разрешением соответственно  $10^{-10}$  сек и  $10^{-9}$  сек.

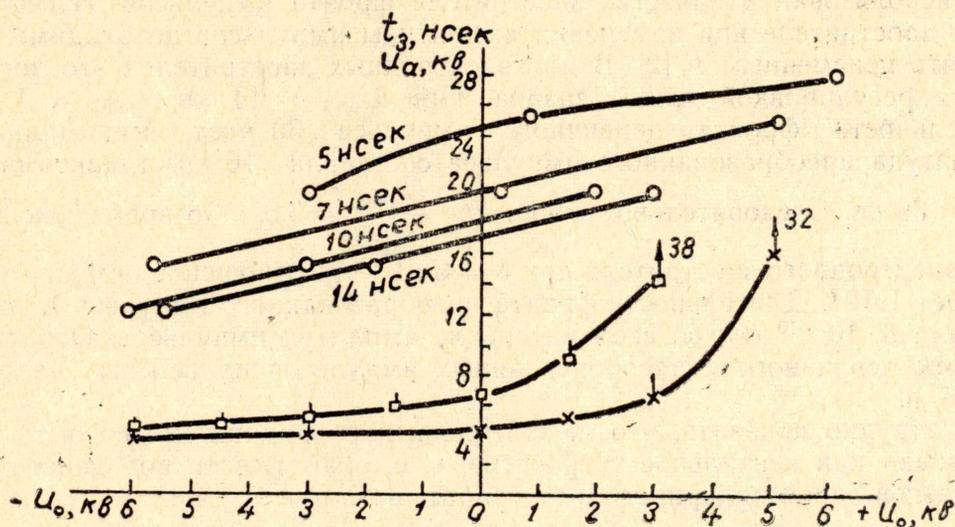


Рис. 2. Зависимости  $t_3 (U_0)$  для  $U_a=20$  кв,  $\blacksquare$  —  $p=6$  атм,  $\times$  —  $p=11$  атм; зависимости  $U_a (U_0)$  для  $t_3=5, 7, 10, 14$  нсек.

На рис. 2 представлены зависимости  $t_3 (U_0)$  для амплитуды  $U_a=20$  кв при давлении азота 6 и 11 ат и  $U_{пр.1}=14$  кв.,  $U_{пр.2}=7$  кв. Из-за малой величины зазоров  $\delta_1$  и  $\delta_2$  устранить полностью статистическую составляющую времени  $t_3$  не удавалось. При  $p=1$  ат она устраняется полностью. На рис. 2 кривые проведены через точки наименьших из наблюдаемых  $t_3$  (из 15 отсчетов). На рис. 2 приведены также зависимости  $U_a (U_0)$  при различных  $t_3$  для давления азота 6 ат. Так как запаздывание пробоя  $\delta_2$ , много меньше, чем  $\delta_1$ , то в соответствии с (1) экспериментальные точки лежат на прямых линиях. При больших отрицательных значениях потенциала среднего электрода время  $t_3$  слабо уменьшается с ростом этого потенциала. Это объясняется тем, что составляющая  $t_3$  обусловленная пробоем  $\delta_2$ , остается неизменной и вносит существенный вклад в  $t_3$  при значительном уменьшении составляю-

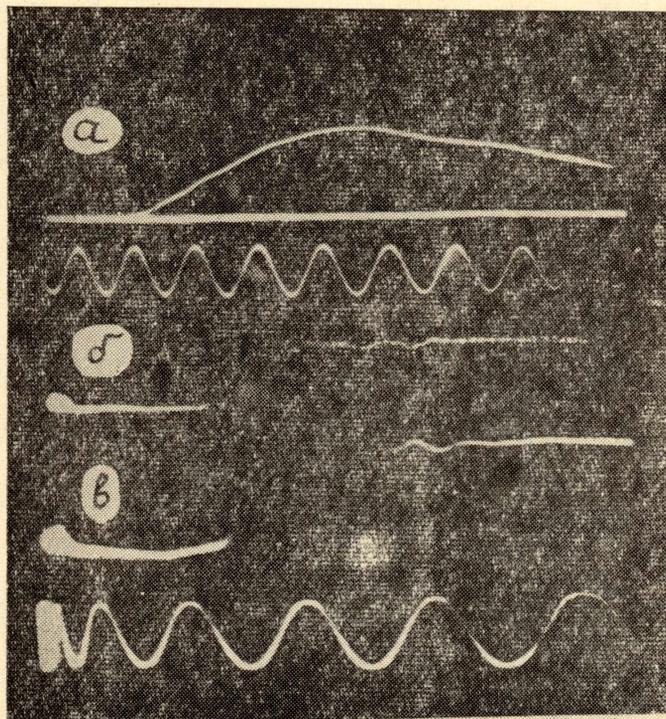


Рис. 3. Осциллограммы импульсов: а—первичный (период калибровочных колебаний  $T = 10$  нсек); б, в преобразованные, при  $U_a = 10$  и 36 кв, соответственно, ( $T_k = 2$  нсек). Импульс при  $U_a = 36$  кв снят с ослабителем в 15 дцб.

щей  $t_3$ , обусловленной пробоем  $\delta_1$ . Поэтому линейный ход зависимостей  $U_a$  от  $U_0$  при  $t_3 = 5$  нсек нарушается.

Разрядник с добавочным электродом под давлением азота 11 ат был использован в качестве заострителя фронта импульсов. Известно, что в заострителе при изменении амплитуды импульсов необходимо сохранять неизменным  $t_3$  [2]. В двухэлектродных заострителях это достигается регулировкой длины зазора. При  $U_{пр.1} = 14$  кВ,  $U_{пр.2} = 7$  кВ, длительности фронта первичного импульса 30 нсек, минимальная амплитуда преобразованного импульса составила 10 кВ, а максимальная — 36 кВ. Следовательно, отношение  $\frac{U_{amax}}{U_{amin}} = 3,6$ , в то время как для

двухэлектродного заострителя при  $\delta = \text{Const}$  это отношение немного превышает 1 [2]. Длительность фронта преобразованного импульса не превышала  $8 \cdot 10^{-10}$  сек во всем интервале амплитуд импульсов. Осциллограммы первичного и преобразованных импульсов приведены на рис. 3, а, б, в.

Нетрудно показать, что рассмотренный разрядник может быть использован как вентильное устройство, т. е. срабатывать под действием импульсов одной полярности и не срабатывать при другой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Месяц. Труды III Межвузовской конференции по электронным ускорителям. Изд-во ТГУ. 1961.
2. Г. А. Месяц. ЖТФ, т. 35, № 3, 1965.
3. С. Браун. Элементарные процессы в плазме газового разряда. Госатомиздат, стр. 249, 1961.
4. Д. Мик, Д. Крэгс. Электрический пробой газов. ИЛ. 1961.
5. Г. А. Месяц, Ю. П. Усов, Г. С. Коршунов. Радиотехника и электроника, № 5, 1964.