

## ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Г. А. МЕСЯЦ

Емкостный делитель, встроенный в кабель, используется для регистрации высоковольтных импульсов с длительностью фронта  $10^{-9}$  сек [1], [2], [3]. Однако в известной нам литературе [4], [5], [6] и др. нет анализа работы таких делителей. Схематически конструкция делителя приведена на рис. 1.

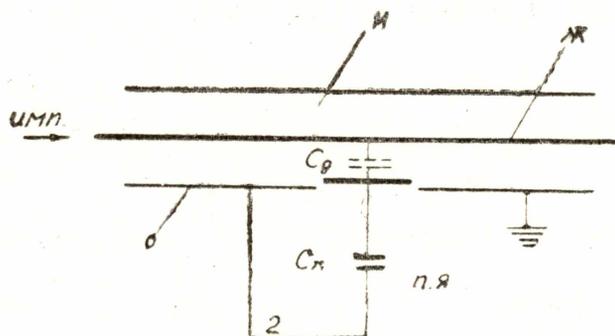


Рис. 1. Устройство разрядника; *и* — изоляция кабеля, *ж* — жила, *о* — оплетка.

На полиэтиленовую изоляцию кабеля накладывается металлическая пластина, которая образует емкость  $C_d$  с жилой кабеля. Второй емкостью является собственная емкость пластин осциллографа  $C_n$ . Коэффициент деления такого делителя определяется из выражения

$$K = \frac{C_n + C_d}{C_d} \quad (1)$$

Рассчитаем, при каких условиях такой делитель будет воспроизводить минимальный фронт при допустимых искажениях.

Схема замещения делителя представлена на рис. 2. Здесь емкость  $C = \frac{C_n}{K}$ ,  $R$  — волновое сопротивление кабеля, индуктивность  $L = L_n + L_b$ , где  $L_n$  — индуктивность подводящих проводников 1 и 2

(рис. 1),  $L_0$  — собственная индуктивность вводов трубки. Пусть  $L = k_L \cdot L_0$ , где  $k_L \gg 1$  — коэффициент индуктивности. Предполагаем, что напряжение на фронте импульса изменяется по закону

$$U_n = 1 - e^{-at}, \quad (2)$$

Так как для получения высоковольтных импульсов с фронтом порядка  $10^{-9}$  сек чаще всего используют искровой разрядник, а характеристика коммутации разрядника близка к экспоненте [4]. Длительность фронта импульса  $t_\phi$ , определяемая между значениями 0 и 0,9, составит

$$t_\phi = \frac{2,3}{a}. \quad (3)$$

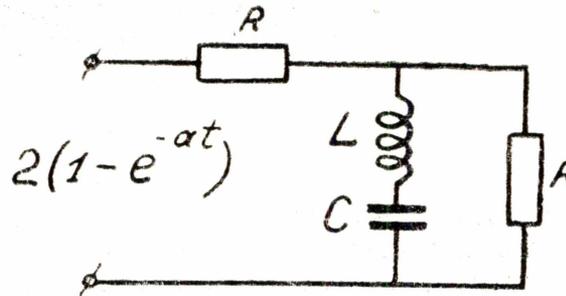


Рис. 2. Схема замещения.

Напряжение на пластинах осциллографа в операторной форме запишется так:

$$U_{osci}(p) = \frac{1}{K_g} \cdot \frac{2a}{(p+a)(2LCp^2 + RCp + 2)}. \quad (4)$$

Введением нового оператора  $p' = \frac{p}{a}$  сократим число независимых параметров уравнения (4) с 4 до 2. При этом получим

$$U_{osci}(p') = \frac{1}{K} \cdot \frac{2}{(p'+1)(2Bbp'^2 + Bp' + 2)}, \quad (5)$$

где  $B = aRC$ ,  $b = a \frac{L}{R}$ .

Для случая колебательного заряда емкости  $C$  получим

$$U_{osci}(x) = \frac{1}{K_g} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{Bb - \frac{B}{2} + 1} \cdot e^{-x} - \frac{Bb - \frac{B}{2}}{\left(Bb - \frac{B}{2} + 1\right) \sin \varphi} \cdot e^{-\frac{x}{4b}} \cdot \sin(\omega x + \varphi) \right], \quad (6)$$

$$\text{где } \omega = \sqrt{\frac{1}{Bb} - \frac{1}{16b^2}}; \quad \sin \varphi = \frac{\omega \left( bB - \frac{B}{2} \right)}{\sqrt{Bb - \frac{B}{2} + 1}}; \quad x = at.$$

Ошибка  $F$ , вносимая делителем:

$$F = \frac{1}{K} (1 - e^{-x}) - U_{ocu} = \frac{1}{K_g} \left[ -\frac{Bb - \frac{B}{2}}{1 + Bb - \frac{B}{2}} e^{-x} + \frac{Bb - \frac{B}{2}}{1 + Bb - \frac{B}{2}} \cdot e^{-\frac{x}{4b}} \sin(\omega x + \varphi) \right]. \quad (7)$$

Величина  $F$  меняется во времени, причем при  $t=0$ ,  $F=0$ . Из уравнения следует, что искажения, вносимые делителем, будут малыми, если будет малой величина

$$m = Bb - \frac{B}{2} \ll 1 \quad (8)$$

и амплитуда синусоиды

$$A = \frac{Bb - \frac{B}{2}}{\left( Bb - \frac{B}{2} + 1 \right) \sin \varphi} \ll 1. \quad (9)$$

При соблюдении (8) условие (9) запишется:

$$\frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}}{\sqrt{16 - \alpha}} \ll 1, \quad (10)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{B}{b}.$$

Таким образом, выбором соответствующих величин  $m$  и  $\alpha$  можно получить малые искажения фронта импульса.

Определим величину ошибки  $F$  при заданной погрешности  $\Delta x$  в длине фронта импульса

$$F = 0,1 - e^{-(x_{\phi} \pm \Delta x)}. \quad (11)$$

При погрешности  $\pm 10\%$  величина  $\Delta x = 0,23$  и ошибка  $F = +0,02 - 0,026$ . Для того, чтобы искажения были малыми, необходимо уменьшать амплитуду наложенных колебаний. Влияние колебаний будет незначительным, если будет мала амплитуда  $A$ . Пусть

$$A = \frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}}{\sqrt{m+1} \cdot \sqrt{16-\alpha}} = 0,1. \quad (12)$$

Фактически амплитуда будет меньше в  $e^{\frac{x}{4b}}$  раз.

Так как  $m \ll 1$ ,  $\alpha z \ll 16$ , то уравнение (12) упростится и примет вид

$$\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m} = 0,4. \quad (12')$$

Из (12') определим  $m = f(\alpha)$

$$m = 0,01 - 0,05\sqrt{\alpha}. \quad (13)$$

При значениях  $m$ , рассчитанных по (13), первый член выражения (7) для ошибки  $F$  будет много меньше второго, поэтому

$$F \approx \frac{1}{4} (\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}) e^{-\frac{x}{4b}} \sin(\omega t + \varphi). \quad (14)$$

При значениях  $\alpha \geq 0,04$  максимальное значение  $F$  при  $x = x_{\phi} \pm \Delta x$  лежит в пределах, указанных для  $\Delta x = \pm 10\%$ .

Таким образом, условие (13) при высказанных выше соображениях является необходимым и достаточным, чтобы погрешность в регистрируемом фронте импульсов не превышала 10%, а амплитуда колебаний на фронте была меньше 10%.

Из уравнения (8) определим длительность фронта  $t_{\phi}$  в зависимости от  $m$  и  $\alpha$ , учитывая (3)

$$t_{\phi} = \frac{9,2 R C_n}{K(1 + \sqrt{1 + 16m\alpha})}. \quad (15)$$

Вместо  $m$  подставим его значения из (13)

$$t_{\phi} = \frac{9,2 C_n}{K(1 + \sqrt{1 + 0,16\alpha - 0,8\alpha\sqrt{\alpha}})}. \quad (15')$$

Выразим  $\alpha$  через коэффициент деления  $K$ , волновое сопротивление кабеля  $R$  и параметры электронно-лучевой трубки.

$$\text{Так как } B = a \cdot \frac{R C_n}{K}, \quad b = a \cdot \frac{\kappa_L \cdot L_a}{R} \quad \text{и} \quad L_a = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C_n},$$

где  $f_0$  — резонансная частота отклоняющей системы трубки, то

$$\alpha = \frac{4\pi^2 R^2 C_n^2 f_0^2}{K \kappa_L}. \quad (16)$$

Подставляя  $\alpha$  в (15'), получим зависимость минимального фронта импульса, который может быть зарегистрирован данным делителем без существенных искажений от всех параметров регистрирующей системы.

В качестве примера рассчитаем  $t_{\phi}$  для трубки 13-ЛО-5А и кабеля с волновым сопротивлением 75 ом.

Для этой трубки  $f_0 = 600 \cdot 10^6$  гц,  $C_n = 5 \cdot 10^{-12}$  ф. При тщательной компоновке устройства можно получить  $\kappa_L \approx 1$ .

Подставляя все эти величины в (16), получим

$$\alpha \approx \frac{2}{K_g}.$$

Таким образом, для данной трубки и кабеля  $t_{\phi}$  зависит только от коэффициента деления  $K_g$ . Зависимость  $t_{\phi}$  от  $K_g$  приведена на рис. 3.

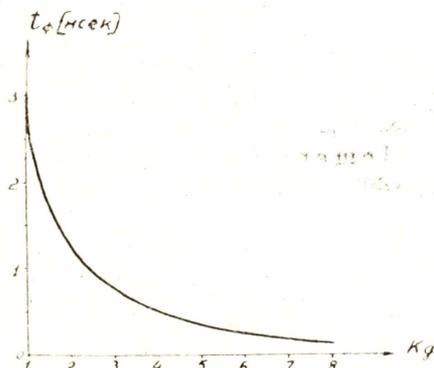


Рис. 3. Зависимость длительности фронта импульса от коэффициента деления.

Из графика рис. 3 следует, что теоретически при больших  $K_g$  можно регистрировать импульсы с фронтом менее  $10^{-9}$  сек. Практически минимальная величина  $t_{\phi}$  будет ограничиваться временем пролета электрона в поле отклоняющих пластин трубки [4].

Таким образом, в результате расчетов доказано, что емкостный делитель, встроенный в кабель, может воспроизводить без существенных искажений импульсы с длительностью фронта  $10^{-9}$  сек.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. C. Fletcher, „Rev. Sci. Instr.“ 20 № 12, p. 124, 1949.
2. Н. А. Протопопов, В. М. Кульгавчук. ПТЭ, №1, 1960.
3. Г. А. Месяц. „Труды III межвузовской конференции по электронным ускорителям“, г. Томск, 1961.
4. И. С. Стекольников. „Импульсная осциллография и ее применение“, Из-во АН СССР, 1949.
5. Б. Геллер, А. Веверка. „Волновые процессы в электрических машинах“, Госэнергоиздат, 1960.
6. И. Льюис, Ф. Уэлс. Миллимикросекундная импульсная техника, Из-во иностранной литературы, 1956.