

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ПІД'ЄДНАННЯ ОСЦИЛОГРАФА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ІМПУЛЬСІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

**В.О. Бржезицький, В.В. Козюра**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

[brzhezitsky@mail.ru](mailto:brzhezitsky@mail.ru); [volodvay8@gmail.com](mailto:volodvay8@gmail.com)

Проведено дослідження з використанням математичного моделювання впливу електричних параметрів схеми під'єднання осцилографа на перехідні характеристики вимірювальної системи імпульсів високої напруги. Результати досліджень можуть бути використані при створенні вимірювальних систем імпульсів високої напруги, зокрема при проектуванні під'єднання осцилографа до високовольтного подільника напруги з метою оптимального вибору елементів схеми. Показано, що у схемі під'єднання осцилографа найбільший вплив на показники точності вимірювальної системи імпульсів високої напруги здійснюють опори  $R_{c1}$ ,  $R_{c2}$  та ємність конденсатора узгодження  $C_2$  по схемі Burch. Бібл. 6, рис. 4.

**Ключові слова:** вимірювальні системи високовольтних імпульсів, перехідні характеристики, ємнісно-омічні подільники напруги, осцилограф.

При високовольтних вимірюваннях найважливішою характеристикою [1, 2] вимірювальної системи є її точність, вимоги до показників якої викладені в сучасних стандартах [3, 4]. Важливою частиною розробки високовольтної вимірювальної системи є вибір осцилографа та його схеми під'єднання. При цьому виникає питання: в якій мірі окремі параметри осцилографа та схеми його підключення впливають на характеристики вимірювальної системи імпульсів високої напруги та на які характеристики необхідно звернути особливу увагу при виборі та проектуванні вимірювальної системи.

Методологічно робота побудована на дослідженні впливу осцилографа та параметрів схеми його підключення на перехідні характеристики вимірювальної системи високовольтних імпульсів (ВСВІ).

Розглянемо поширений ємнісно-омічний подільник напруги, під'єднаний до осцилографа за допомогою кабелю. На рис. 1 показана розрахункова схема такої вимірювальної системи. Узгодження підключення осцилографа проводилося згідно з рекомендаціями [6] за схемою Burch [5].

Математичне моделювання перехідних процесів у такій схемі проводилося на ПЕОМ за методикою, викладеною в [1, 2]. Параметри подільника та ступінчатого імпульсу високої напруги згідно з [1, 2] були вибрані такими: фронт ступінчатого імпульсу складає  $\tau = 3 \cdot 10^{-9}$  с, напруга  $U_{BH} = 1000$  кВ, номінальний коефіцієнт ділення напруги ВСВІ дорівнював  $K = 2 \cdot 10^4$ , елементи високовольтного плеча  $R_1 = 300$  МОм та  $C_1 = 50$  пФ, довжина кабелю  $l_{\text{каб}} = 50$  м. Опори  $R_{c1}$  та  $R_{c2}$  вибиралися рівними хвильовому опору кабелю, який становив 75 Ом. Ємність осцилографа  $C_3 = 40$  пФ, опір  $R_3 = 1$  МОм. Розрахункова ємність кабелю за [1, 2]  $C_K = 3851.7$  пФ.

Для зменшення спотворення форми і параметрів імпульсу необхідно, щоб коефіцієнти ділення за опорами і ємностями були однаковими [6] і дорівнювали  $K$ . Тому ємність  $C_0$  та опір  $R_0$  у загальному вигляді були розраховані за формулами

$$C_0 = C_1 \left( \frac{K}{2} - 1 \right) = 0.49995 \text{ мкФ}, \quad R_0 = \frac{R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_{c1} + R_1 \cdot R_K + R_1 \cdot R_{c1}}{K \cdot R_3 - R_1 - R_3 - R_{c1} - R_K - R_{c1}} = 15231.88 \text{ Ом}, \quad (1,2)$$

де  $R_K = 1$  Ом – опір кабелю під'єднання осцилографа.

Згідно з [5] ємність  $C_2$  обираємо як

$$C_2 = C_1 + C_0 - C_K - C_3. \quad (3)$$

За еталонний рівень згідно з рекомендаціями [4] було прийнято значення перехідної характеристики, яке вона досягає в момент часу  $t = 2 \cdot \tau_\phi$  (де  $\tau_\phi = 1.2$  мкс для грозового імпульсу).

Згідно з проведеними дослідженнями характеристики ВСВІ можуть суттєво залежати від її вихідного демпферного опору. При зменшенні демпферного опору (до 50%) збільшується викид перехідної характеристики  $\beta$  (до 10%) та зменшується час реакції до 34% (а при його збільшенні – навпаки). Тобто, вибір значення демпферного опору може бути оптимізованим. Його необхідно обирати, виходячи з параметрів елементів схеми узгодження та довжини і характеристик кабелю [1]. У нашому випадку оптимізоване значення демпферного опору  $R_d = 100$  Ом [1].

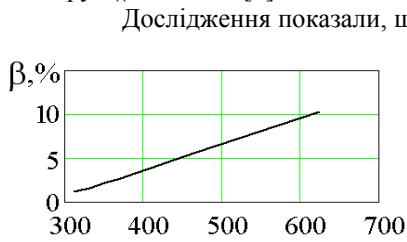


Рис. 2

Дослідження показали, що індуктивність під'єднання осцилографа до кабелю  $L_{m4}$  практично не впливає на еталонний рівень напруги, несуттєво впливає на час реакції ( $<0,3\%$ ), але в той же час суттєво впливає на викид  $\beta$  перехідної характеристики. При значеннях індуктивності під'єднання  $L_{m4}$  більше 450 нГн викид перехідної характеристики  $\beta$  перевищує нормоване значення 5% (рис. 2).

Збільшення опору осцилографа від розрахункового навіть у декілька разів (за умови, що його початкове значення  $\geq 0,5$  МОм) практично не впливає на характеристики вимірювальної системи: час реакції змінюється до  $\pm 0,5\%$ , еталонний рівень напруги – до  $\pm 0,01\%$ , викид перехідної характеристики  $\beta$  – до  $\pm 0,001\%$ .

Дослідження впливу паразитних індуктивностей з'єднання ( $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ,  $L_{m3}$ ) показало, що їхній вплив несуттєвий на еталонний рівень напруги ( $<0,002\%$ ) та на викид ( $<0,19\%$ ). Максимальний вплив спостерігається з боку  $L_{m3}$  на час реакції: збільшення  $L_{m3}$  з 32 нГн до 64 нГн викликає зменшення  $\tau_p$  на 1,5%, що є малим, порівняно з впливом інших величин. Тому у подальшому індуктивності  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ,  $L_{m3}$  вважалися сталими.

Проаналізувавши вплив узгоджувачих опорів  $R_{c1}$  та  $R_{c2}$  на перехідні характеристики ВСВІ, бачимо, що навіть невелике відхилення їхніх параметрів від номінальних значень на  $\pm 4\%$  обумовлює зміну часу реакції вимірювальної системи у 2 рази (рис. 3, а) і еталонного рівня напруги на 4,5% (рис. 3, б).

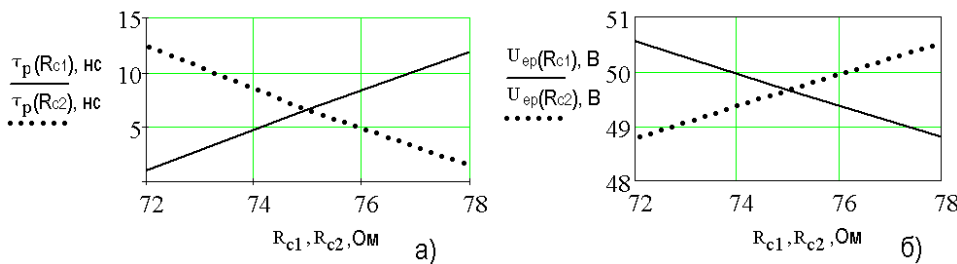


Рис. 3

Визначено, що ємність конденсатора узгодження  $C_2$  за схемою Burch суттєво впливає на характеристики вимірювальної системи, зокрема на еталонний рівень напруги та час реакції (рис. 4). Тому її величина та оптимальний вибір (поряд з  $R_{c1}$ ,  $R_{c2}$ ) є першочерговою задачею при побудові системи узгодження осцилографа з високовольтним подільником напруги.

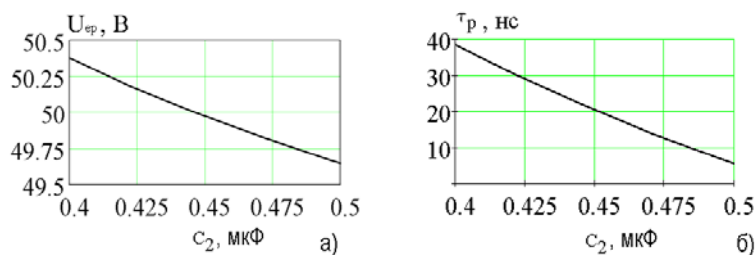


Рис. 4

### Висновки

1. Дослідження показали, що найбільший вплив на характеристики вимірювальної системи при підключенні осцилографа обумовлений значенням ємності конденсатора узгодження  $C_2$  за схемою Burch та узгоджувачими опорами  $R_{c1}$  та  $R_{c2}$ .

2. При підключенні осцилографа необхідно забезпечувати індуктивність його під'єднання менше 450 нГн (для нормованого значення викиду перехідної характеристики).

1. Бржезицький В.А., Кондра Б.Н., Козюра В.В., Маслюченко И.М. Переходные характеристики измерительных систем высокого напряжения // Технічна електродинаміка. – №3. – 2002. – С. 51–55.
2. Бржезицький В.О., Козюра В.В. Особливості перехідних характеристик вимірювальних систем високовольтних імпульсів при значній довжині кабельного приєднання // Технічна електродинаміка. – №3. – 2012. – С. 131–132.
3. ГОСТ 17512-82. – Москва: ИПК. Издательство стандартов, 2003.
4. IEC 60060-2: 2010. High-voltage test techniques. – Part 2. Measuring systems.
5. Burch F.P. On Potential Dividers for Cathode ray Oscillographs // Phil.Mag. – 1932. – Vol.13. – № 86.
6. Рябов Б.М. Измерение высоких импульсных напряжений. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 124 с.

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

**В.А.Бржезицкий, В.В.Козюра**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.**

[brzhezitsky@mail.ru](mailto:brzhezitsky@mail.ru); [volodvav8@gmail.com](mailto:volodvav8@gmail.com)

*Проведено исследование с использованием математического моделирования влияния электрических параметров схемы подключения осциллографа на переходные характеристики измерительной системы импульсов высокого напряжения. Результаты исследований могут использоваться при создании измерительных систем импульсов высокого напряжения, в частности, при проектировании схемы подключения осциллографа к высоковольтному делителю напряжения для оптимального выбора элементов. Показано, что в схеме подключения осциллографа наибольшее влияние на показатели точности измерительной системы наблюдается со стороны сопротивлений  $R_{c1}$  и  $R_{c2}$ , а также согласующего конденсатора  $C_2$  по схеме Burch. Библиограф. 6, рис. 4.*

**Ключевые слова:** измерительные системы высоковольтных импульсов, переходные характеристики, емкостно-омические делители, осциллограф.

## INFLUENCE OF OSCILLOSCOPE CONNECTION SCHEME ELECTRICAL PARAMETERS ON CHARACTERISTICS OF HIGH-VOLTAGE IMPULSE MEASURING SYSTEMS

**V.O.Brzhezitskyi, V.V.Kozyura**

**National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”,  
pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.**

[brzhezitsky@mail.ru](mailto:brzhezitsky@mail.ru); [volodvav8@gmail.com](mailto:volodvav8@gmail.com)

*Conducted research, using mathematical modeling, of oscilloscope connection scheme electrical parameters influence on transient response characteristics of high-voltage impulse measuring system. The results obtained can be used in high-voltage impulse measuring systems creating, in particular, for designing the circuit connecting the oscilloscope to a high-voltage divider for selecting the optimum of elements. It is shown that in the scheme of connection of the oscilloscope the greatest effect on the accuracy of the measuring system is observed on the part of resistors  $R_{c1}$  and  $R_{c2}$ , as well as the Burch scheme matching capacitor  $C_2$ . References 6, figures 4.*

**Key words:** high-voltage impulse measuring system, transient characteristics, capacitive-potentiometer-type divider, oscilloscope.

1. Brzhezitskii V.A., Kondra B.N., Kozyura V.V., Masliuchenko I.N. Transient characteristics of high voltage measuring systems // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2002. – №3. – Pp. 51–55. (Rus)
2. Brzhezitskyi V.O., Kozyura V.V. Features of transient characteristics of high-voltage impulse measuring systems at long cable connection length // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – №3. – Pp. 131–132. (Ukr)
3. GOST 17512-82. – Moskva: IPK. Izdatelstvo standartov, 2003. (Rus)
4. IEC 60060-2: 2010. High-voltage test techniques. – Part 2. Measuring systems.
5. Burch F.P. On Potential Dividers for Cathode ray Oscillographs // Phil.Mag. – 1932. – Vol. 13. – № 86.
6. Riabov B.M. Impulse high voltage measurements. – Leningrad: Energoatomizdat, 1983. – 124 p.

Надійшла 17.02.2014