

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВИХ НАПРУГИ ТА СТРУМУ ПРИ РОЗРЯДІ КОНДЕНСАТОРА НА РОЗІМКНЕНУ ЛІНІЮ БЕЗ ВТРАТ

Лободзинський В.Ю., асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки,

Мудрик В.І., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Довгаль М.О., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електропостачання

Вступ. В даний час все більшу уваги проявляється дослідженню та аналізу перехідних процесів в електричних системах. Сучасні наукові розрахунки для різноманітних електричних кіл і систем не можуть виконуватися без вивчення перехідних процесів в цих системах. Операційне обчислення є зручним апаратом аналітичного дослідження перехідних процесів, і ознайомлення з цим апаратом [1,2,3,4].

Мета роботи. Чисельний розрахунок, та дослідження кривих напруги та струму при розряді конденсатора на розімкнену лінію з використанням методу Даламбера з використанням одиничної функції.

Матеріали та результати досліджень. Нехай до лінії без втрат, розімкненої в кінці (рис. 1) в момент $t = 0$ підключається конденсатор C , заряджений до напруги E_{C0} . Визначимо напругу і струм в лінії застосувавши теорему розкладання.

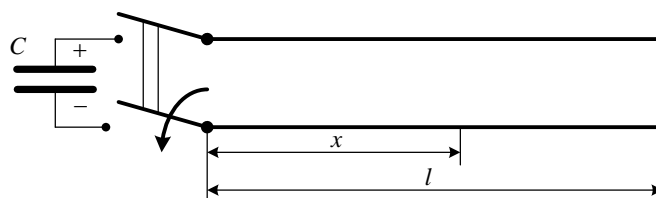


Рисунок 1 – Підключення конденсатора до розімкненої лінії без втрат

Використовуючи методику [5] і припускаючи, що в лінії в початковий момент відсутні струм і напруга, запишемо зображення функцій напруги і струму

$$U(p) = E_{C0} \frac{p \operatorname{ch} p(\tau - \tau_x)}{p \operatorname{ch} p\tau + \alpha \operatorname{sh} p\tau}$$
$$I(p) = \frac{E_{C0}}{p} \frac{p \operatorname{sh} p(\tau - \tau_x)}{p \operatorname{ch} p\tau + \alpha \operatorname{sh} p\tau}$$

де $\alpha = 1/CZ(p)$; C – ємність конденсатора; $Z(p)$ – характеристичний опір лінії в операторній формі; τ – час поширення хвилі зі швидкістю v вздовж всієї лінії; τ_x – час поширення відбитої хвилі зі швидкістю вздовж ділянки лінії

довжиною x ; $\tau - \tau_x$ – час поширення відбитої хвилі від кінця лінії до точки спостереження.

Оригінали цих виразів знайдемо використовуючи спосіб Даламбера за допомогою одиничних функцій. Представимо вирази для напруги та струму як суму геометричної прогресії.

Розклад зображення $U(p)$ в ряд дає

$$U(p) = E_{C0} \frac{p}{p + \alpha} \left[e^{-p\tau_x} + e^{-p(2\tau - \tau_x)} - \frac{p - \alpha}{p + \alpha} e^{-p(2\tau + \tau_x)} - \right. \\ \left. - \frac{p - \alpha}{p + \alpha} e^{-p(4\tau - \tau_x)} + \left(\frac{p - \alpha}{p + \alpha} \right)^2 e^{-p(4\tau + \tau_x)} + \left(\frac{p - \alpha}{p + \alpha} \right)^2 e^{-p(6\tau + \tau_x)} - \dots \right]$$

Аналогічно розклад в ряд зображення струму $I(p)$

$$I(p) = \frac{E_{C0}}{Z_C(p)} \frac{p}{p + \alpha} \left[e^{-p\tau_x} + e^{-p(2\tau - \tau_x)} - \frac{p - \alpha}{p + \alpha} e^{-p(2\tau + \tau_x)} - \dots \right]$$

Вирази для оригіналів:

напруги

$$u = E_{C0} \left[e^{-\alpha(\tau - \tau_x)} \cdot 1(\tau_x) + e^{-\alpha(t - (2\tau - \tau_x))} \cdot 1(2\tau - \tau_x) - \right. \\ \left. - e^{-\alpha(t - (2\tau + \tau_x))} (1 - 2a(t - (2\tau + \tau_x))) \cdot 1(2\tau + \tau_x) - \right. \\ \left. e^{-\alpha(t - (4\tau - \tau_x))} (1 - 2a(t - (4\tau - \tau_x))) \cdot 1(4\tau + \tau_x) + \right. \\ \left. + e^{-\alpha(t - (4\tau + \tau_x))} (1 - 4a(t - (4\tau + \tau_x))) + \right. \\ \left. + 2a^2(t - (4\tau + \tau_x))^2 \cdot 1(4\tau + \tau_x) + \dots \right] \quad (1)$$

струму

$$i = \frac{E_{C0}}{Z_C(p)} \left[e^{-\alpha(\tau - \tau_x)} \cdot 1(\tau_x) + e^{-\alpha(t - (2\tau - \tau_x))} \cdot 1(2\tau - \tau_x) - \right. \\ \left. - e^{-\alpha(t - (2\tau + \tau_x))} (1 - 2a(t - (2\tau + \tau_x))) \cdot 1(2\tau + \tau_x) - \right. \\ \left. e^{-\alpha(t - (4\tau - \tau_x))} (1 - 2a(t - (4\tau - \tau_x))) \cdot 1(4\tau + \tau_x) + \right. \\ \left. + e^{-\alpha(t - (4\tau + \tau_x))} (1 - 4a(t - (4\tau + \tau_x))) + \right. \\ \left. + 2a^2(t - (4\tau + \tau_x))^2 \cdot 1(4\tau + \tau_x) + \dots \right] \quad (2)$$

За отриманими виразами (1) і (2) за допомогою програми MathCAD побудуємо криві зміни в часі напруги і струму при розряді конденсатора ємністю $C = 0.5$ мкФ на ідеальну розімкнену кабельну лінію довжиною $l = 0.8$ км. (рис. 2).

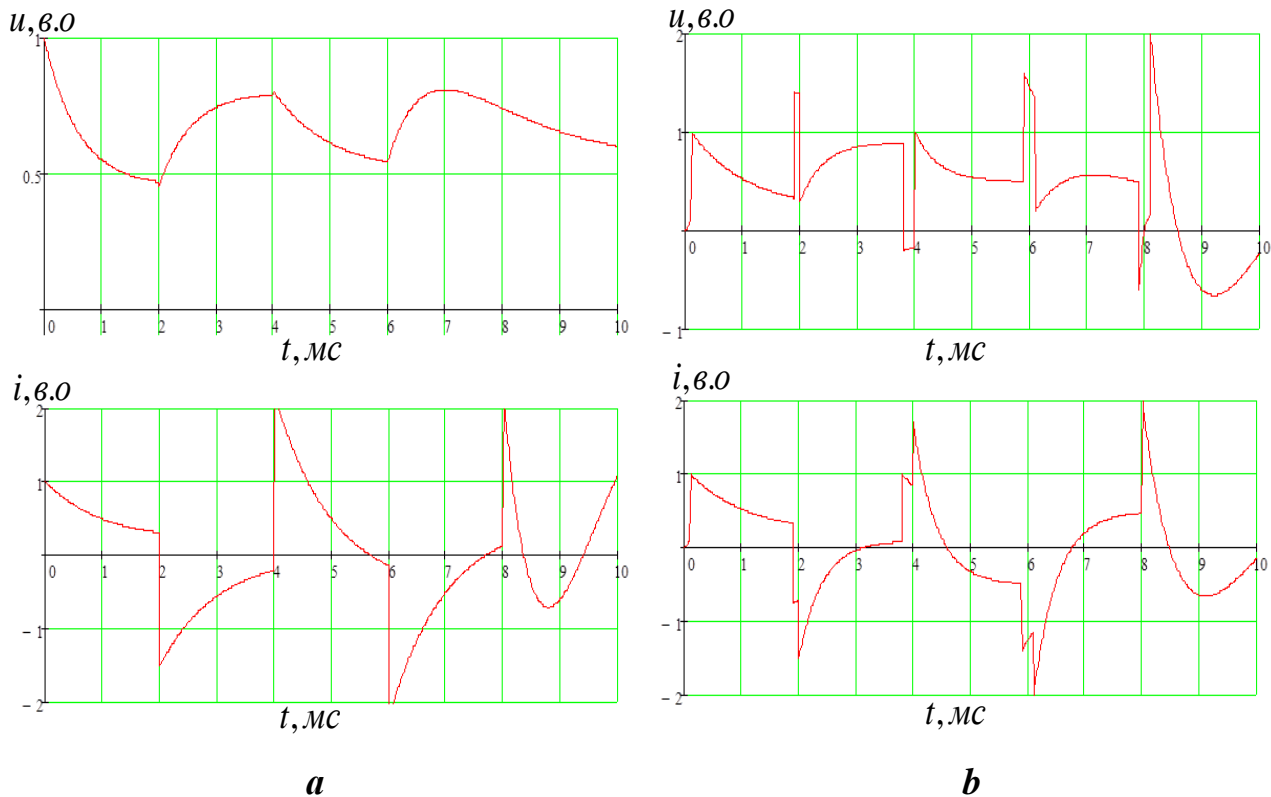


Рисунок 2 – Епюри напруги і струму в точках спостереження $x = 0$ (a); $x = l/10$ (b)

Висновок. Коливання напруги і струму при розряді конденсатора на розімкнену лінію без втрат носять складний нестационарний характер. Накопичена в ємності електрична енергія повертається назад в лінію, тобто відсутність втрат в лінії не дозволяє зарядити конденсатор, оскільки процес у колі не встановлюється.

Перелік посилань

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи /Учебник для ВТУЗов. – М.: Высшая школа, 1984. – 559с.
2. Круг К.А. Основы электротехники. – Л.: ОНТИ, 1936. – 888с.
3. Lobodzinskiy, V., Tsyban, Y. The investigation of wave process during propagation of plate voltage pulse on three-phase performance cable line. 1st Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2017 - Proceedings, с. 448-451.
4. Лободзинський В.Ю. Аналіз перенапруг та струмів однорідної довгої лінії при несиметричних коротких замиканнях. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. №2 (108), 2017. – С. 38–44.
5. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. Гинзбург С.Г. Высшая школа. – 1967. – 387 С.