

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

**Дипломна робота на здобуття освітнього
ступеню «Бакалавр»**

**Дослідження перехідних процесів
в лінійних динамічних колах
(віртуальні лабораторні роботи)**

Виконавець: Чорний Микола Станіславович
Керівник: Роздоловський Юрій Михайлович

Кривий Ріг 2021

Актуальність

Перехідні процеси становлять основу роботи багатьох пристроїв, зокрема, радіонавігаційного та радіолокаційного обладнання повітряних суден і в цьому розумінні є бажаними. Використання подібних режимів дає змогу формувати сигнали (коливання) різної форми, необхідні для конкретних практичних застосувань. З іншого боку, вони спричиняють зниження швидкодії апаратури, зумовленою інерційністю її елементів, тому дослідження перехідних процесів в ЛДК є актуальною темою.

Мета, об'єкт дослідження, процес, задача аналізу

Метою виконання дипломної роботи є розроблення віртуальних лабораторних робіт на основі схемотехнічного моделювання за допомогою програмного середовища Multisim.

Об'єкт дослідження – лінійні динамічні кола (ЛДК) з постійними параметрами, зокрема, інтегрувальні та диференціювальні послідовні RC –, RL – кола першого порядку.

Задача аналізу: відомі вхідний вплив (дія) на систему, її структура (схема) і параметри; необхідно знайти коливання на виході системи (відгук).

Віртуальний лабораторний практикум - являє собою один з видів проведення лабораторних занять, які прогресивно розвиваються, суть якого полягає в заміні реального лабораторного дослідження на схемотехнічне моделювання досліджуваних фізичних процесів.

Конкретне експериментальне дослідження перехідного процесу ґрунтується на схемотехнічному моделюванні. Найбільш зручними для моделювання є два пакети програм – Orcad та NI Multisim.

В дипломній роботі розглядається важливий окремий випадок: система є лінійною, динамічною з постійними параметрами, а вхідна дія - детермінований сигнал. Зокрема, досліджуються класичне послідовне інтегровальне RC - коло першого порядку та диференціальне RL - коло другого порядку, схемотехнічне моделювання яких здійснюється за допомогою програмного середовища Multisim.

Методи розрахунку і дослідження перехідних процесів в ЛДК

Широко розповсюдженими методами розрахунку і дослідження перехідних процесів в ЛДК є: спектральний, класичний, метод інтегралу згортки (інтегралу Дюамеля); операторний метод.

В дипломній роботі розглядається класичний метод аналізу перехідних процесів, перевагою якого є відносна простота, та наглядність відображення результатів експериментальних досліджень.

Перехідний процес

Перехідним називають режим переходу динамічного кола від одного усталеного режиму до іншого.

Теоретично перехідний процес продовжується нескінченно довго, але практично можна вважати, що він закінчується, коли перехідні струм і напруга на елементах кола досягають усталених значень за час, який називають *тривалістю перехідного процесу*.

Класичний метод аналізу перехідних процесів в лінійних динамічних колах (ЛДК) полягає у складанні диференціального рівняння, що описує стан кола, розв'язанні цього рівняння і фізичного трактування розв'язку. Зазвичай процеси в ЛДК описуються диференціальним рівнянням n -го порядку:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) =$$

$$= b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx(t)}{dt} + b_0 x(t),$$

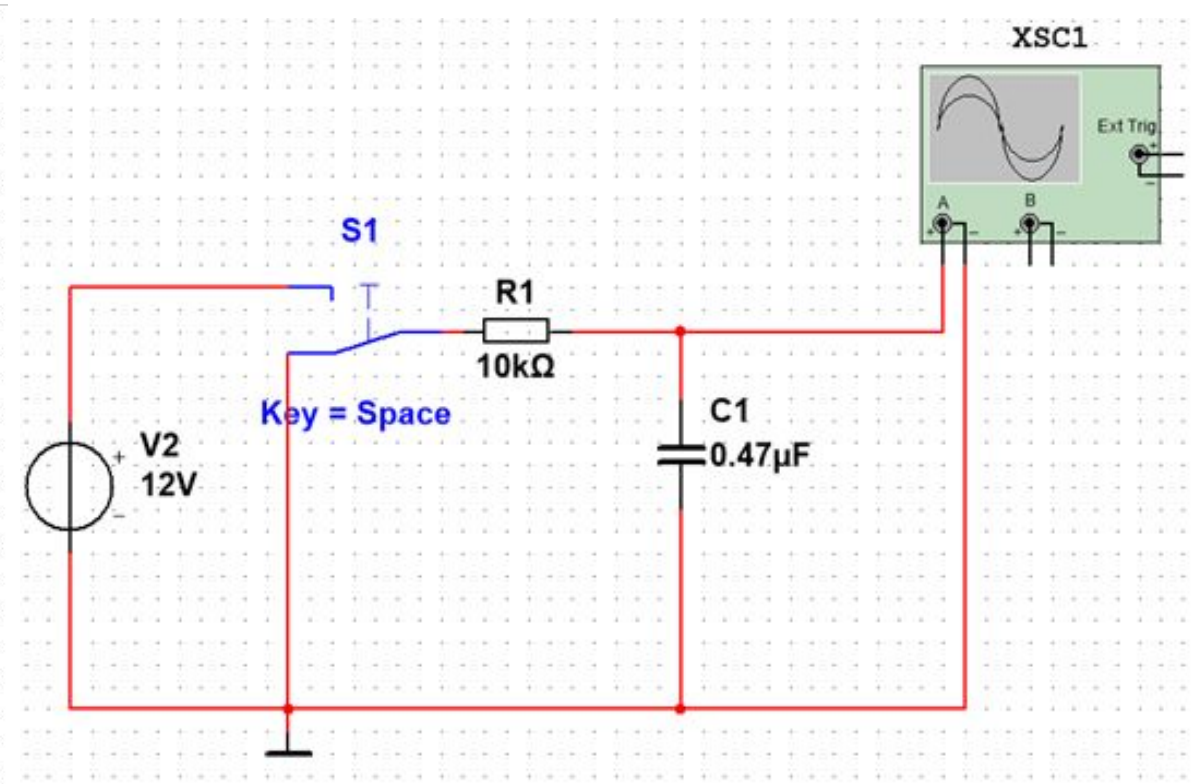
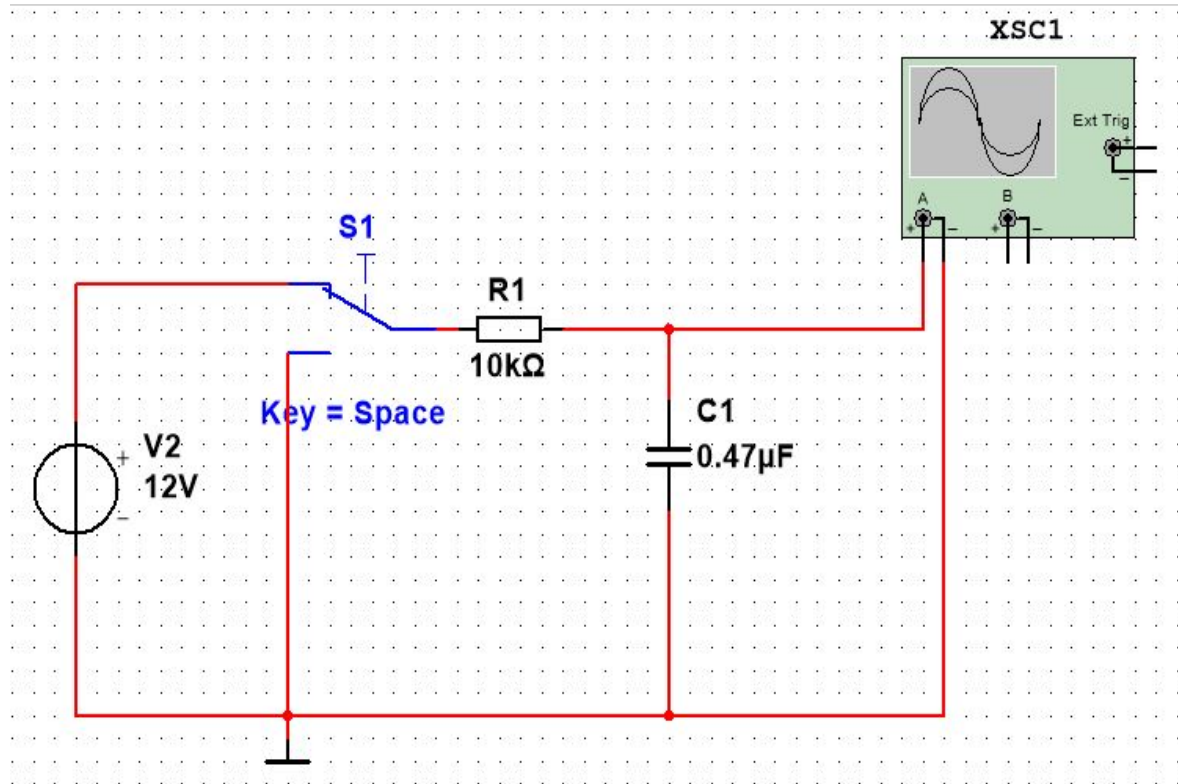
де n – порядок рівняння, що є і порядком динамічного кола; m – коефіцієнти, які визначаються параметрами елементів кола; $y(t)$ - шукана реакція кола;

$x(t)$ – діючий сигнал.
Повна реакція ЛДК $y(t)$, як розв'язок рівняння, є сумою двох складових:

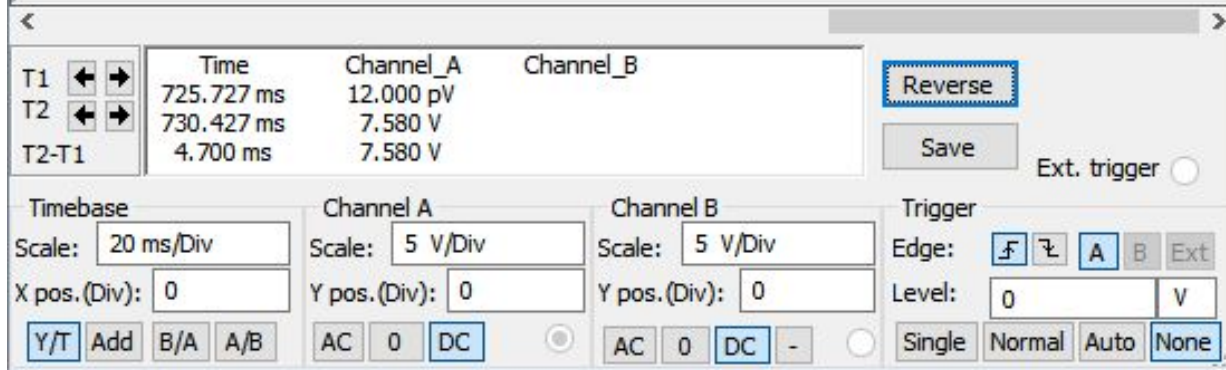
$$y(t) = y_{BM}(t) + y_{BL}(t),$$

де $y_{BM}(t)$ – вимушена складова; $y_{BL}(t)$ – вільна складова.

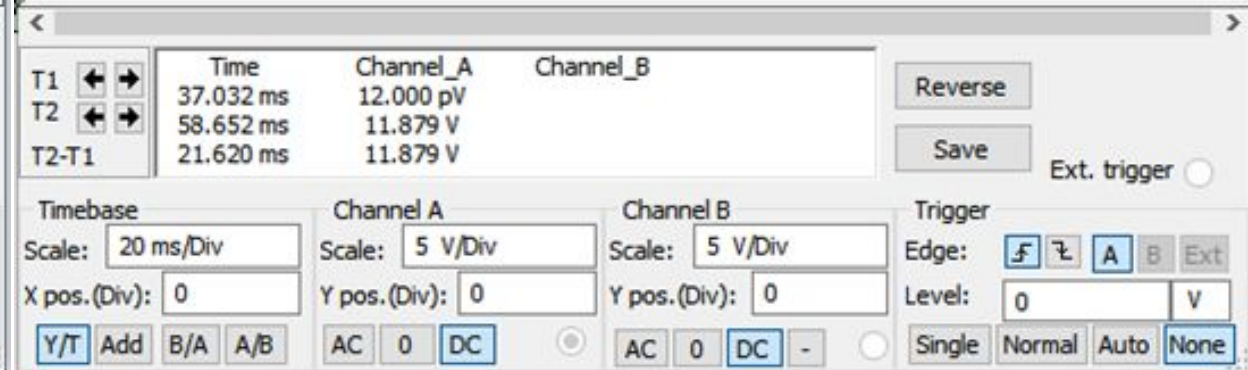
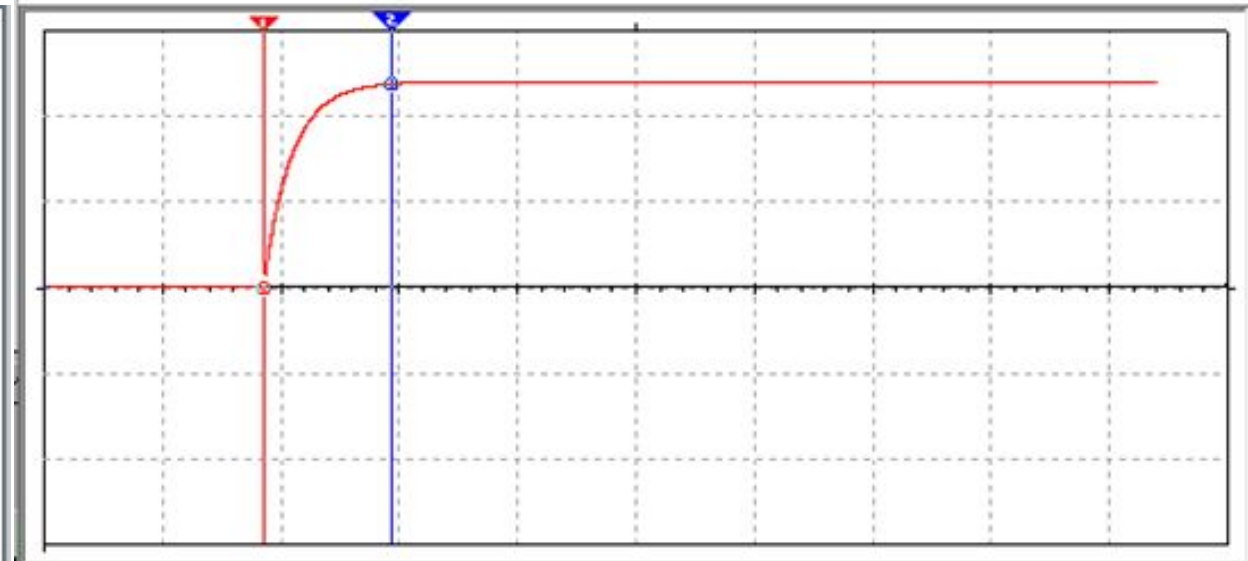
Схеми для визначення вимушених і вільних складових перехідного процесу



Осцилограми визначення вимушених складових перехідного процесу

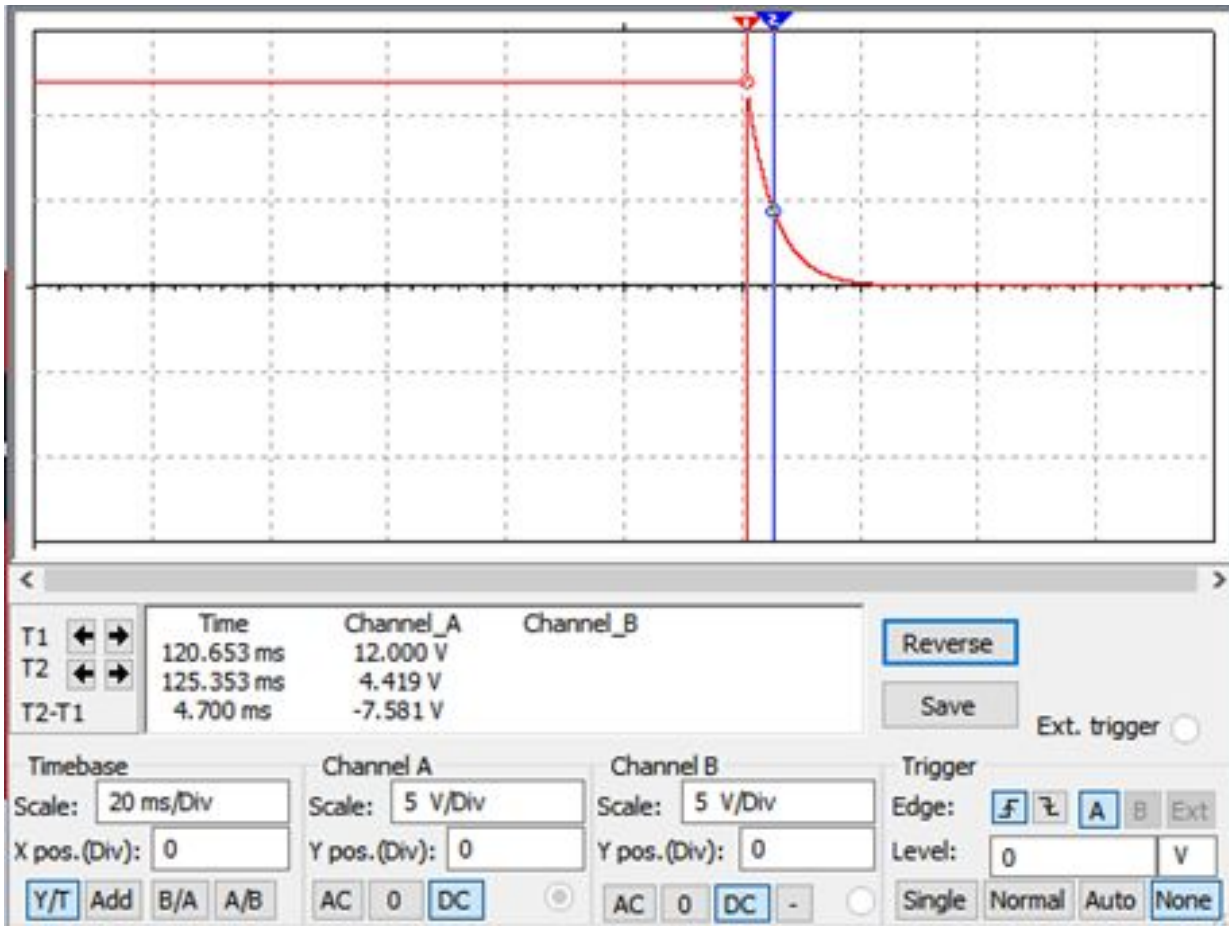


Значення напруги за час $t = \tau$

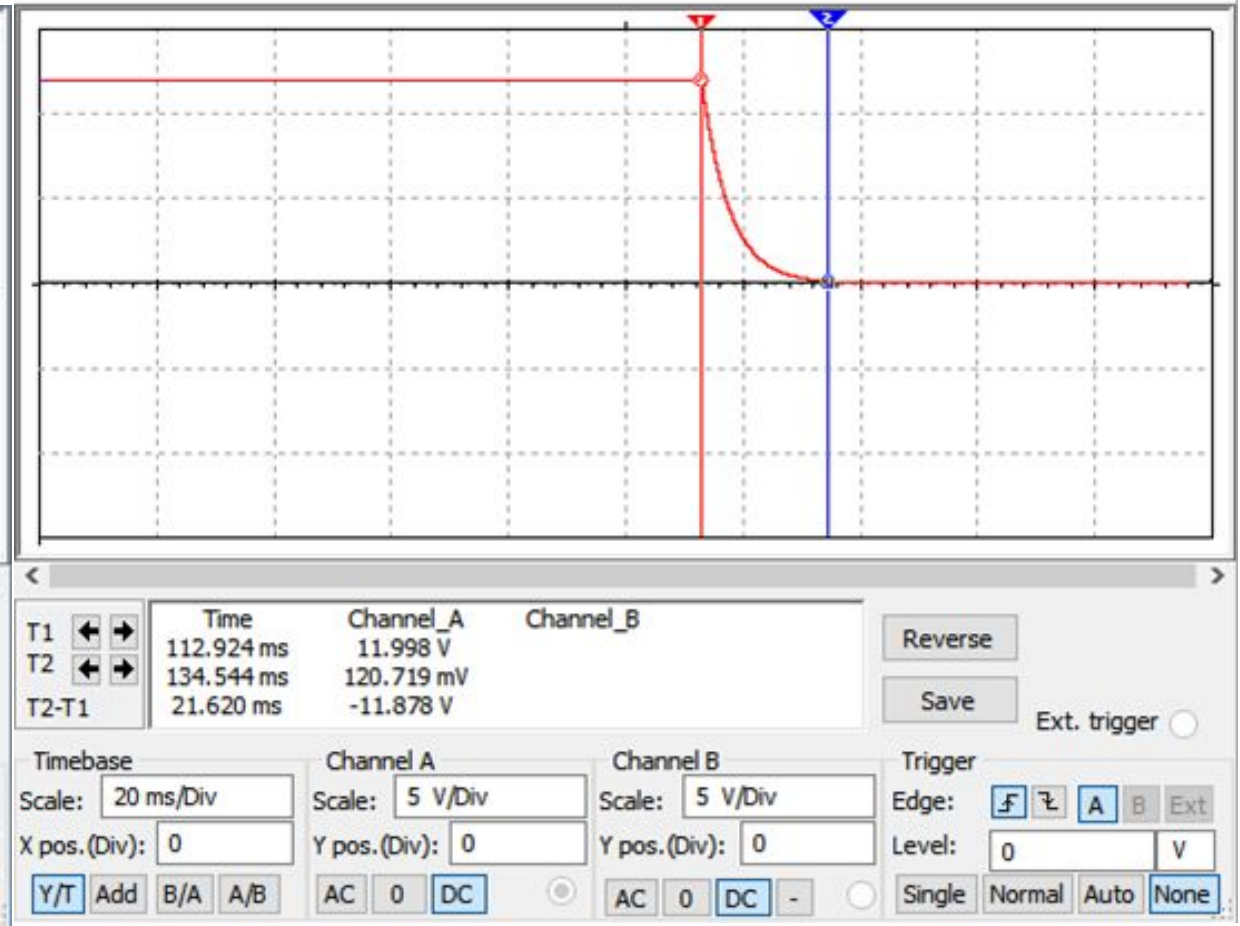


Значення напруги за час $t = 4,6\tau$

Осцилограми визначення вільних складових перехідного процесу



Значення напруги за час $t = \tau$



Значення напруги за час $t = 4,6\tau$

Таблиці порівнянь розрахункових та експериментальних значень.

Вимушений режим

t/τ	1	2	2,3	4,6	6,9
u_{Cp}, B	7,585	10,376	10,796	11,889	11,988
u_{Ce}, B	7,580	10,374	10,793	11,879	11,988
u_{Cp}/E	0,632	0,864	0,9	0,99	0,999

$$u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}).$$

$$u_{Cp}(t) = 12 B(1 - e^{-1}) = 7,585 B;$$

$$u_{Cp}(t)/E = 0,632.$$

$$u_{Cp}(t) = 12B(1 - e^{-4,6t/\tau}) = 0,99E = 11,88 B;$$

$$u_{Cp}(t)/E = 0,99.$$

Вільний режим

t/τ	1	2	2,3	4,6	6,9
u_{Cp}, B	4,415	1,631	1,2	0,12	0,012
u_{Ce}, B	4,419	1,627	1,208	0,121	0,012
u_{Cp}/E	0,368	0,136	0,1	0,01	0,001

$$u'_{Cp}(t) = Ee^{-t/RC} = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u'_{Cp}(t) = 12e^{-1} = \frac{12}{e} = 4,415;$$

$$u'_{Cp}(t)/E = 4,415/12 = 0,368 = e.$$

$$u'_{Cp}(t) = 12e^{-4,6} = 0,12;$$

$$u'_{Cp}(t)/E = 0,12/12 = 0,01.$$

Висновки з роботи.

1. Результати експериментальних досліджень на базі схемотехнічної моделі класичного послідовного RC - кола першого порядку підтверджують теоретичні розрахунки. 2. Із аналізу перехідного процесу в RC - колі виходить, що за час, який дорівнює постійній часу кола, напруга в процесі заряду конденсатора збільшується до значення

$$u_c(\tau) = 0,632E,$$

а напруга в процесі розряду конденсатора зменшується до значення $u'_c(\tau) = 0,368E$. Тобто

постійна часу кола - це час, за який вільна складова перехідної реакції кола першого порядку змінюється у e разів відносно її початкового значення.

3. Дослідження перехідного процесу в RC - колі свідчить, що процес заряду (розряду) конденсатора продовжується нескінченно, і лише при $t \rightarrow \infty$, коло переходить до стаціонарного режиму.

В інженерній діяльності користуються різними критеріями практичної тривалості перехідного процесу $t_{\text{пер}}$. Наприклад, в техніці сильних струмів вона приймається рівною $t_{\text{пер}} = (5 \dots 6)\tau$.

В радіотехніці вільні процеси вважають закінченими при $t > 4,6\tau$, коли $u_c(t) > 0,99E$ або $u_c(t) < 0,01E$ тобто *тривалість перехідного процесу становить $t_{\text{пер}} = 4,6\tau$.*

Основні результати дипломної роботи

- У роботі проаналізовано основні види лабораторних практикумів їх особливості, а також розкрито основні методи дослідження ЛДК, та встановлені задачі аналізу і синтезу лінійних систем.
- За допомогою комп'ютерного моделювання в програмному середовищі Multisim було розроблено принципові схеми, на яких наочно демонструється перехідні процеси зумовлені переходом від одного усталеного режиму роботи до іншого.
- Віртуальні схеми, отримані при моделюванні, відповідають реальним схемам і дозволяють виконувати вимірювання, знімати осцилограми і як наслідок досліджувати перехідні процеси в ЛДК.
- Результати експериментальних досліджень на базі схемотехнічних моделей класичного послідовного інтегровального RC та диференціувального RL - кола першого порядку підтверджують теоретичні дані та розрахунки.
- Викладені правила роботи у лабораторії, котрі передбачають всі умови для безпечного виконання лабораторних робіт з позиції безпеки життєдіяльності людини.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ