

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 18

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНТЕГРОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА MICROCAP ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Мета роботи:

- навчитися створювати креслення схем, що складаються з пасивних елементів, і проводити їх дослідження в середовищі програми Micro-cap;
- освоїти проведення досліджень в імпульсному режимі;
- навчитися виводити графіки перехідних процесів;
- навчитися визначати параметри перехідних процесів.

3.1. Теоретичні відомості

3.1.1. Формування креслення схеми

Викликаємо програму **Microcap (MC)**. Запуск програми розглянуто у додатку А.

Схема малюється робочому полі основного вікна (вікна редактора схем), що виникає після запуску програми **MC** чи результаті створення нового файлу (меню **File-New**, клавіші **Ctrl+N**) (рис.3.1).

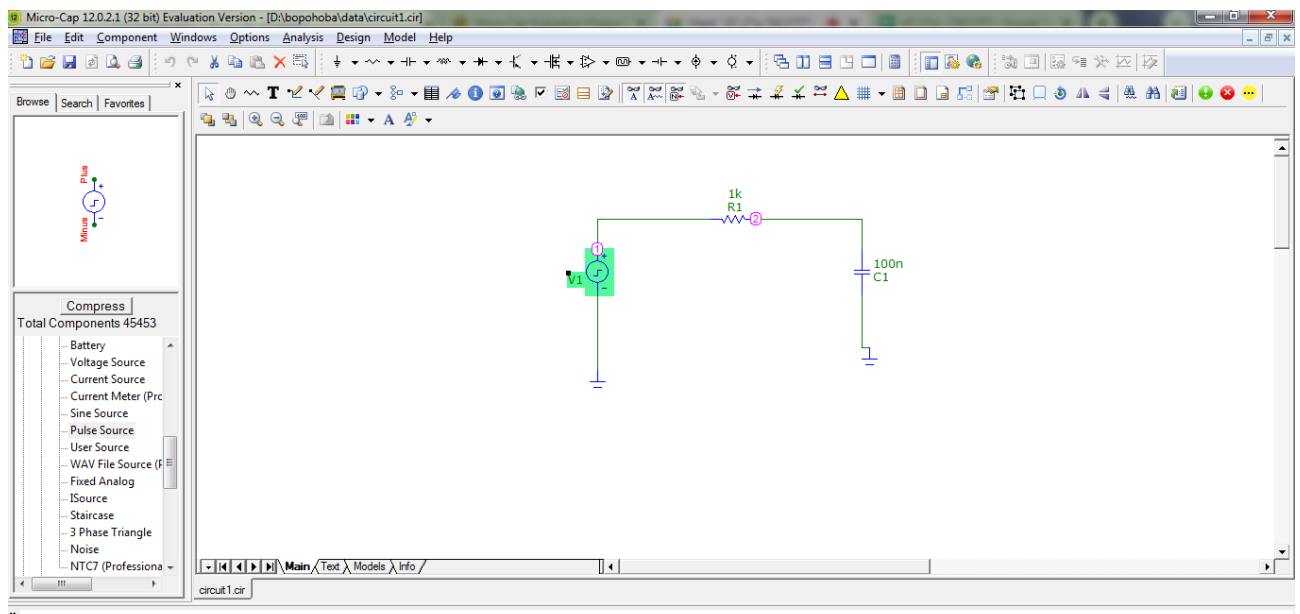



Рисунок 3.1

Для полегшення розташування елементів рекомендується відобразити на екрані координатну сітку, яку можна отримати, поставивши команду **View-Grid** меню **Option**.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 19

Пояснення: Щоб вибрати (задати) меню, піктограму, команду тощо, необхідно навести курсор на зображенні команди, піктограми (кнопки) та натиснути ліву клавішу мишки (ЛКМ). Наприклад, створити координатну сітку можна в результаті наступних дій:

- * Розмістити курсор на слові **Option** лінійки головного меню;
- * Натиснути ЛКМ, що призведе до появи на екрані каскадного меню;
- * Навести курсор на слово **View**;
- * натиснути ЛКМ, що призведе до появи на екрані додаткового меню (підменю)), в якому є слово **Grid**;
- * Розмістити курсор на цьому слові і натиснути ЛКМ.

Піктограма  команди **View-Grid** перебуває у лінійці інструментів, тобто. в одному з двох рядів кнопок інструментів вгорі екрана дисплея (кнопки команд, що найчастіше використовуються) і для створення координатної сітки достатньо розмістити курсор на ній і натиснути ЛКМ. Повторне натискання на піктограму призведе до зникнення сітки.

Виведення на екран елементів схеми (піктограми лінійки інструментів та команди меню **Component**, головного меню вгорі екрана).

Резистор та конденсатор мають піктограми ( ) на лінійці інструментів або вибираються з меню **Component**, розділ **Analog Primitive**, підрозділ **Passive Components** (послідовне натискання ЛКМ при розташуванні курсору на зазначених словах у виникаючих, що розгортаються підменю). Остаточний вибір елемента схеми виходить після натискання кнопки при розміщенні курсора на найменуванні відповідного елемента - це слова **Resistor** чи **Capacitor**. Після цього курсор при його переміщенні по робочому полю набуває зображення обраного елемента, яке не змінюється до вибору іншого елемента (команди). Наприклад, зображення курсора у вигляді резистора буде збережено доти, доки не буде здійснено перемикання на зображення конденсатора. Обраний елемент розміщується на екрані в місці знаходження курсора в результаті натискання ЛКМ. Якщо місцезнаходження було вибрано невдало, то натиснуту кнопку миші *не треба відпускати, поки переміщенням курсору компонент не буде розміщений у потрібному місці екрана*. Також, до відпускання кнопки обраний компонент може бути повернутий на 90° проти годинникової стрілки натисканням правої кнопки мишки. В результаті трьох послідовних клацань відбувається поворот на 270° в один бік, а при продовженні клацань - напрям повороту змінюється на протилежне. **Фіксація** розташування елемента на екрані відбувається внаслідок відпустки лівої кнопки. Як подібний поворот та переміщення можна буде виконати після відпускання кнопки миші, буде описано далі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 20

Після введення елемента на екрані з'являється діалогове вікно атрибутів. Для найпростіших компонентів (резистори та конденсатори) воно має мінімальний набір: позиційне позначення – **PART** та номінальне значення параметра – **Value** (опір резистора або ємність конденсатора). У цьому позиційне позначення присвоюється програмою самостійно. Позначення складається із символу імені компонента (**R** - для резистора та **C** - для конденсатора) та цифри порядкового номера, яка є черговою цифрою натурального ряду (1, 2, 3, тощо). Зазвичай вказується лише номінал параметра елемента у графі **Value** (у цьому рядку вже знаходиться курсор).

Позначення номіналу елемента необхідно проводити на основі правил подання чисел у **МС**, які наведені у таблиці 3.1.

Зображення "землі" знаходяться з піктограми і або за послідовністю команд: **Component-Analog Primitive-Connectors-Ground**. Дії оператора при виведенні зображення землі такі самі, як і при виведенні резистора та конденсатора.

Таблиця 3.1

10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^5	10^9	10^{12}
фемпто	піко	нано	мікро	мілі	кіло	мега	гіга	тера
F/f	P/p	N/n	U/u	M/m	K/k	MEG/ meg	G/g	T/t

Джерело прямокутного імпульсного сигналу знаходиться послідовністю команд: **Component Analog Primitive-Waveform Sources-Pulse source**. Розміщення зображення джерела на екрані такі самі, як і під час виведення резистора і конденсатора. Після його введення на екран з'являється діалогове вікно атрибутів, яке подібне до вікна атрибутів для найпростіших компонентів (резистори та конденсатори). У ньому має мінімальний набір атрибутів: **Name**, у вікні навпроти якого записано слово **MODEL**, і навіть **Value**, у вікні якого розташовується позиційний курсор (рис.3.2).

Пояснюється це тим, що у програмі **МС** все елементи мають свої моделі, зокрема є модель джерела прямокутного імпульсного сигналу. Необхідно вибрати курсором миші одну з моделей джерела з набору, наведеного в правому виділеному вікні вікна атрибутів.

Потрібно клацнути мишею на моделі **IMPULS** (або **PULS**). Вибране слово з'явиться у вікні **Value** та у нижньому вікні у вигляді рядка **MODEL = IMPULS**. Рядком вище буде наведено позиційне позначення **PART = V1** (літера **V** присвоюється всім незалежним джерелам напруги). На рисунку 3.2 наведено вікно атрибутів імпульсного джерела сигналів моделі **PULS**.

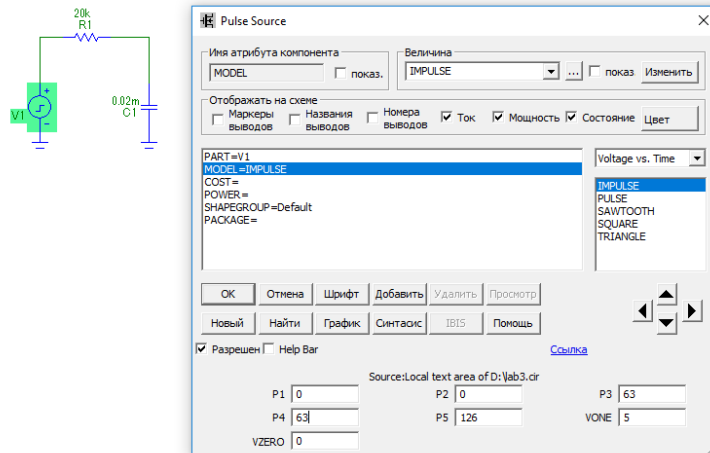


Рисунок 3.2, а

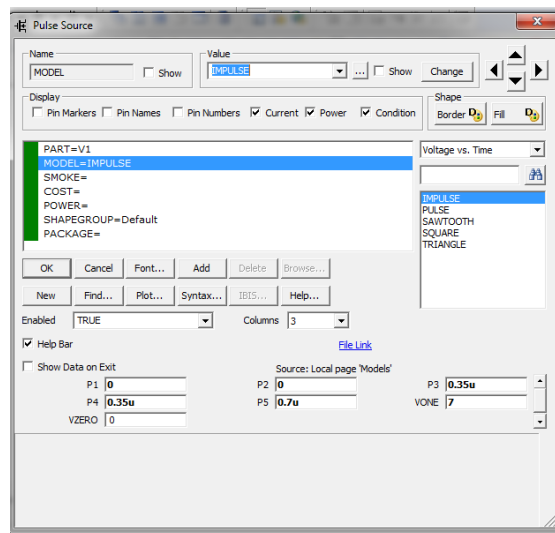


Рисунок 3.2, б

На рисунку 3.3, показано форму періодичного імпульсного сигналу, з позначеннями параметрів, що використовуються при завданні моделі. Розшифровка цих позначень та їх розмірність (використовувані одиниці виміру) дано у таблиці 3.2.

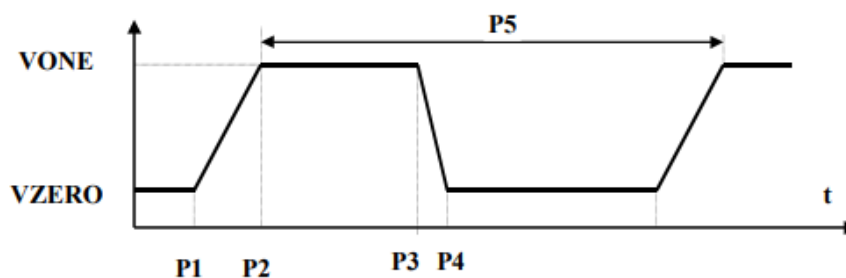


Рисунок 3.3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 22

Таблиця 3.2

Позначення	Параметр	Розмірність	Значення за замовченням
VZERO	Початкове значення	В	0
VONE	Максимальне значення	В	5
P1	Початок переднього фронту (підйом)	с	10^{-7}
P2	Кінець переднього фронту, підйому (початок вершини імпульсу)	с	$1,1 \cdot 10^{-7}$
P3	Кінець вершини імпульсу (початок заднього фронту, зрізу)	с	$5 \cdot 10^{-7}$
P4	Кінець заднього фронту (зрізу)	с	$5,1 \cdot 10^{-7}$
P5	Період повторення	с	10^{-6}

У нижній частині вікна атрибутів є параметри імпульсних послідовностей, що виробляються. При першому введенні в схему імпульсного джерела в них проставлено значення, що відповідають "Значення за замовчуванням". При використанні моделі **IMPULS** – частота 1 МГц (прийнята за умовчанням), амплітуда – 10^9 В, п'єдестал – 0 В. Імпульси починають дію відразу після запуску ($P1 = 0$), тривалість вершини імпульсів дорівнює 1000 пікосекунд (10^{-9} с). Імпульси прямокутні ($P2 = P1$; $P4 = P3$).

У моделі імпульсного сигналу **PULS** виробляється періодичний сигнал також із частотою 1 МГц ($f = 1/P5 = 1/10^{-6} = 1$ МГц), амплітудою 5 В з початковим рівнем (підставою, п'єдесталом) 0 В, тривалістю переднього та заднього фронтів 10^{-8} сек.. Починатиметься перший імпульс буде через 0,1 мкс після включення генератора.

Наведені величини необхідно або прийняти (кнопка **OK** або клавіша **Enter**), або уточнити, а потім прийняти (можна зробити уточнення відповідно до однієї форми імпульсного сигналу). Завдання значень параметрів сигналу необхідно проводити на основі правил подання чисел у **МС**, які наведені у таблиці 3.1.

Коригування схеми. При створенні складних схем виведені на екран елементи часто не утворюють необхідну схему. Зазвичай їх необхідно перемістити, повернути, утворити з'єднання тощо. Для цього необхідно перейти в режим "Вибір режиму", клацнувши мишкою на піктограмі (або натиснувши клавіші **Ctrl+E**, або вибравши команди **Option-Mode-Select**), курсор набуває вигляду стрілки з піктограми.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 23

Поєднати курсор із зображенням об'єкта, клацнути ЛКМ й, не відпускаючи клавіші, здійснити буксирування в потрібне місце екрану. Об'єктом може бути не тільки пасивний або активний елемент, але і його текстові написи (атрибути), наприклад, умовне позначення (виділений об'єкт міститься в кольоровому полі). Тому можна "відбуксувати" позначення на велику відстань щодо розташування елемента (наприклад, рис.3.4).

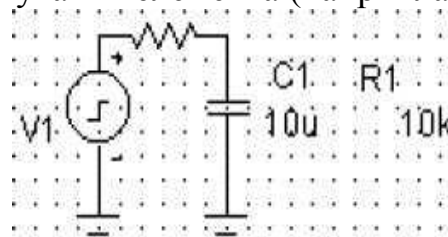


Рисунок 3.4. Приклад результату переміщення текстових написів резистора

При натисканні стрілкою на елементі в кольорову зону полягає не тільки елемент, але і його атрибути, як би вони далеко не розташовувалися. Під час переміщення їхнє взаємне становище не змінюється. Після переміщення можна здійснити дискретні повороти зображення на 90° , 180° , 270° за допомогою правої клавіші миші при лівій натиснутій. *Повороти здійснюються без зміни положення написів.* При виділенні елемента стають активними піктограми (), за допомогою яких також можна робити окремі повороти елемента E та його атрибутів .

Ці операції (переміщення та повороти), а також повороти навколо осей (горизонтальної та вертикальної) можна здійснити, уклавши зображення об'єкта/об'єктів у ящик. Для цього необхідно клацнути мишкою на будь-якому вільному місці екрану і не відпускаючи ЛКМ протягнути курсор по екрану. На екрані з'явиться зображення у вигляді чорної рамки. Всі зображення об'єктів, що потрапили в поле прямокутника (навіть частково, наприклад, частина виведення резистора) будуть вважатися поміщеними в ящик і з ними можна проводити переміщення. Відмінність в порівнянні з поворотом, описаним вище, полягає в тому, що одночасно із зображенням об'єкта змінюється положення та написів, як би далеко вони не були б віддалені від об'єкта/об'єктів в результаті попередніх переміщень.




Примітка: Виділивши об'єкт (клацнувши на його зображенні або уклавши в "скриньку") можна:

- стерти його без занесення (піктограма , клавіша **Delete**, команда **Edit - Clear**) або із занесенням у буфер обміну (піктограма , **Ctrl+X**; **Edit - Cut**)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 24

- просто скопіювати (піктограма , **Ctrl + C**; **Edit-Copy**).

Створення з'єднань. Режим введення провідників із прямокутним вигином включається клацанням миші по піктограмі (команди **Options-Mode-Wire**, клавіші **Ctrl+W**). Початок провідника відзначається клацанням миші на виведенні компонента. Не відпускаючи **ЛКМ**, провідник наносять на креслення. Якщо курсор рухається горизонтально чи вертикалі, то прокладається прямолінійний провідник. Якщо він рухається під кутом, утворюється один вигин під кутом 90°. Відпускання клавіші фіксує закінчення лінії.

На рис.3.5 наведено результат з'єднання конденсаторів **C1** та **C2**, які розмістили не на одному рівні. При з'єднанні верхніх вузлів була використана піктограма , а нижніх -  (утворення лівої частини сходинки) і  (формування нижньої горизонтальної частини з'єднання).

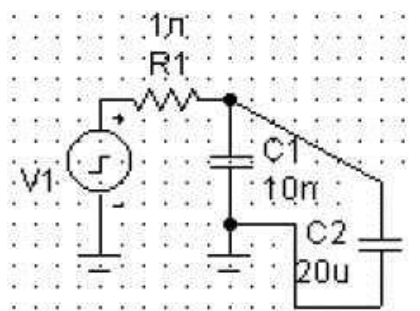


Рисунок 3.5. Проведення з'єднань

З'єднання, що не сподобалося, можна відразу ж після нанесення стерти, натиснувши клавішу **Delete**. Якщо стерти з'єднання стало необхідно після виконання інших операцій, необхідно перейти в режим вибору і виконати описані вище дії (див. примітку попереднього пункту). При цьому стирання з'єднань, що мають вигин у 90°, часто виконується в два прийоми: спочатку пропадає одна частина, на яку був поміщений курсор (наприклад, горизонтальна), а потім друга (після наведення на неї курсору).

Розшифрування «гарячих клавіш» наведено у таблиці 3.3.

3.1.2. Дослідження перехідних показників схеми.

Попередньо, натиснувши піктограму “ (команда **Option - View - Note Numbers**), забезпечте введення номерів вузлів (з'єднань елементів). Необхідно пам'ятати, що послідовність номерів визначається послідовністю введення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 25

елементів. Наприклад, якщо при створенні креслення першим на екран був поміщений конденсатор, точка його з'єднання з резистором матиме номер 1. Точки заземлення не нумеруються. Приклад показаний на рисунку 3.6.

Таблиця 3.3. Функціональні клавіші Microcap

F1	виклик меню допомоги Help
F2	початок моделювання після вибору одного з видів аналізу в меню Run
F3	вихід з режимів AC , DC або Transient Analysis і повернення в вікно схем Schematic Editor . У вікні схем натискання клавіші F3 повторює пошук об'єкту
F4	відображення вікна графіків результатів аналізу (наприклад, якщо було відкрито вікно текстового вихідного файлу)
Ctrl+F4	закриття активного вікна
F5	відображення текстового вихідного файлу у вікні Numeric Output
F6	повернення до вихідного масштабу в обраному вікні графіків
Ctrl+F6	циклічне перемикавання відкритих вікон
F7	перемикавання в режим Scale масштабування фрагмента графіка на весь екран
F8	перемикавання в режим електронного курсору Cursor вимірювання координат графіків
F9	очищення вікна графіків в режимі Probe і виклик вікна завдання параметрів Analysis Limits в режимі аналізу характеристик
Ctrl+F9	видалення всіх графіків
F10	відкриття вікна Properties (властивості)
F11	відкриття вікна зміни параметрів Parameter Stepping (в режимі Transient Analysis)
F12	виклик редактора змінних стану State Variables Editor (в режимі Transient Analysis)

Перейдіть у режим аналізу перехідних процесів, вибираючи у меню **Analysis** аналіз виду **Transient Analysis** (команда **Analysis-Transient Analysis**, клавіші **Alt+1**). Після переходу на цей режим програма МС самостійно перевіряє правильність складання схеми. За наявності помилок виводиться інформаційне повідомлення, у якому вказано виявлені помилки. За відсутності помилок відкривається вікно завдання параметрів моделювання **Transient Analysis Limits**. Приклад показаний на рисунку 3.7.

Опануйте роботу в режимі **Transient Analysis**, використовуючи таку послідовність:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 26

- уточніть найменування вузлів у вікнах **Y Expression** відповідно до отриманих номерів вузлів;
- визначте часовий інтервал горизонтальної розгортки графіків **Time Range**. Надалі активізуйте вікно опцій **Auto Scale Range**, надаючи програмі самостійно встановлювати масштаб по осі ординат;
- створіть два графіки, вказавши у вікні **P** цифру 2 замість 1. Виберіть будь-який колір із запропонованих клацанням на колірній піктограмі, розташованій ліворуч від вікон виведення напруги певного вузла;
- запустіть процес моделювання, натиснувши команду Run (клавіша F2, піктограм \wedge);

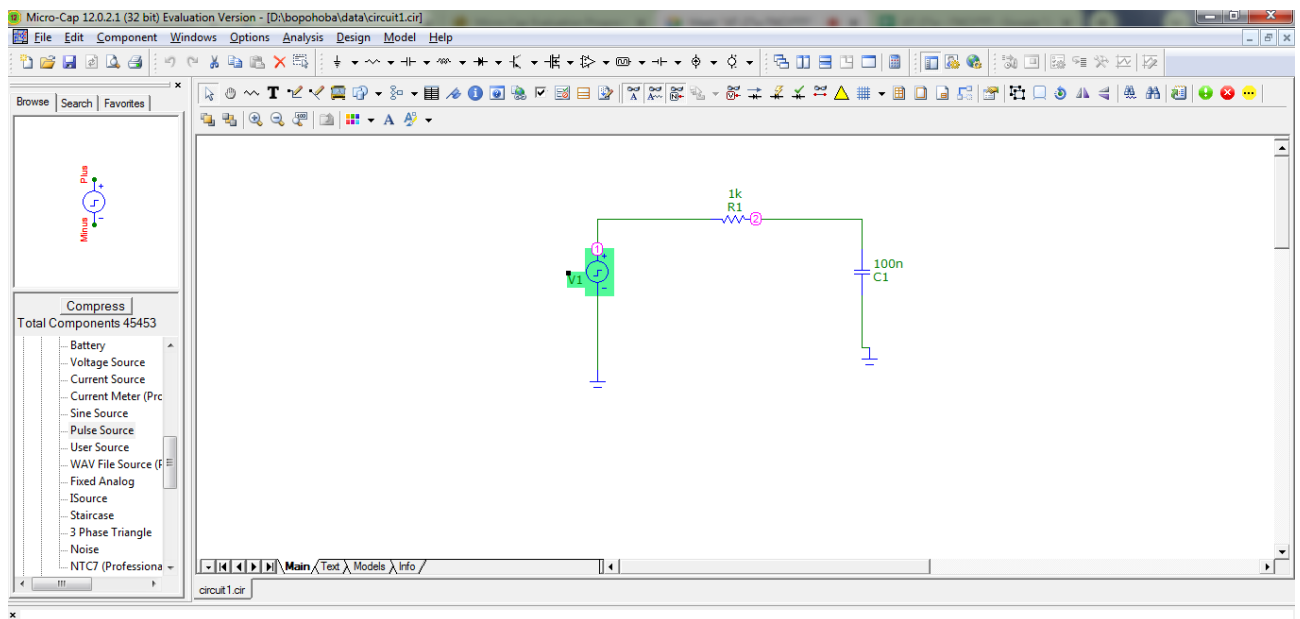


Рисунок 3.6.

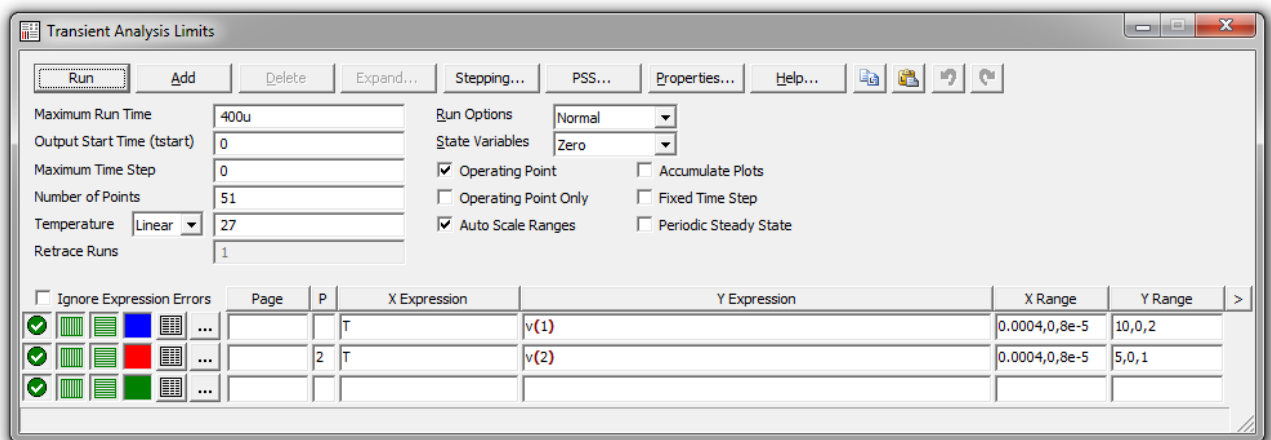


Рисунок 3.7.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 27

- введіть графік напруги на конденсаторі, вказавши у вікні **Y Expression** запис **V(1,2)** або **V(2,1)**. Переконайтеся за результатами моделювання (команда **Run**), що зміна послідовності цифр призводить до зміни полярності напруги, що виводиться. Найбільш зручно це зробити, розмістивши ці криві на одному графіку, використовуючи різні кольори кривих. Ви можете створити для цих залежностей окреме вікно, клацнувши на команді **Add**. Непотрібні вікна забираються клацанням на команді **Delete**, виділивши рядок, який слід видалити;

- послідовно кілька разів поміняйте тривалість аналізу (вікно **Time Range**) і досягайте того, щоб максимально були добре помітні хід цікавих для Вас залежностей, залишаючи при цьому тільки одну з них (непотрібні графіки прибрати - команда **Delete**). Для наочності, використовуючи діапазон зміни величини ординат, встановіть прийнятний масштаб;


- вимкніть опції **Auto Scale Range** і вкажіть у вікні **Y Range** дві цифри, перша з яких відповідає максимальному, а друга, що написана через кому, мінімальному значенню змінної по осі **Y**. Якщо мінімальне значення (друга цифра) дорівнює нулю, його можна опустити


Примітка.


1. Якщо у вікні **Y Expression** вікна завдання параметрів моделювання стоїть запис з одним числом у дужках (наприклад, **V(1)**), то на графіках буде показано напругу у вказаному вузлі щодо землі. Щоб зобразити різницю потенціалів між двома вузлами, необхідно в дужках через кому вказати номери вузлів (наприклад, **V(1,2)**)

2. Якщо після входження в режим аналізу (**Alt+I**) та побудови хоча б одного графіка необхідно змінити режим аналізу - виклик вікна завдання режимів (вікно **Transient Analysis Limits**) можна здійснити натисканням клавіші **F9** з наступним внесенням змін. Повернутися у вікно схеми – натисніть клавішу **F3** або закрийте вікно (кнопка X).

Засвойте вимірювання координат графіків у режимі **Transient Analysis**, використовуючи такі піктограми:

 - знаходження максимумів і мінімумів із зазначенням їх значень і пожежень по осі **X** ;




 - вказівка координат фіксованої точки ;

 - відображення відстані по осі **X** між двома точками ;

 – розтяжка виділеного діапазону по осі **X** (клавіша **F7**);

 - додавання горизонтальної розмірної лінії;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 28

-  - пошук точки на графіку, що відповідає заданому значенню горизонтальної координати;
-  - пошук точки на графіку, що відповідає заданому значенню вертикальної координати.
-  - вказівка координат маркера, що переміщується за вибраним графіком рухом курсора.

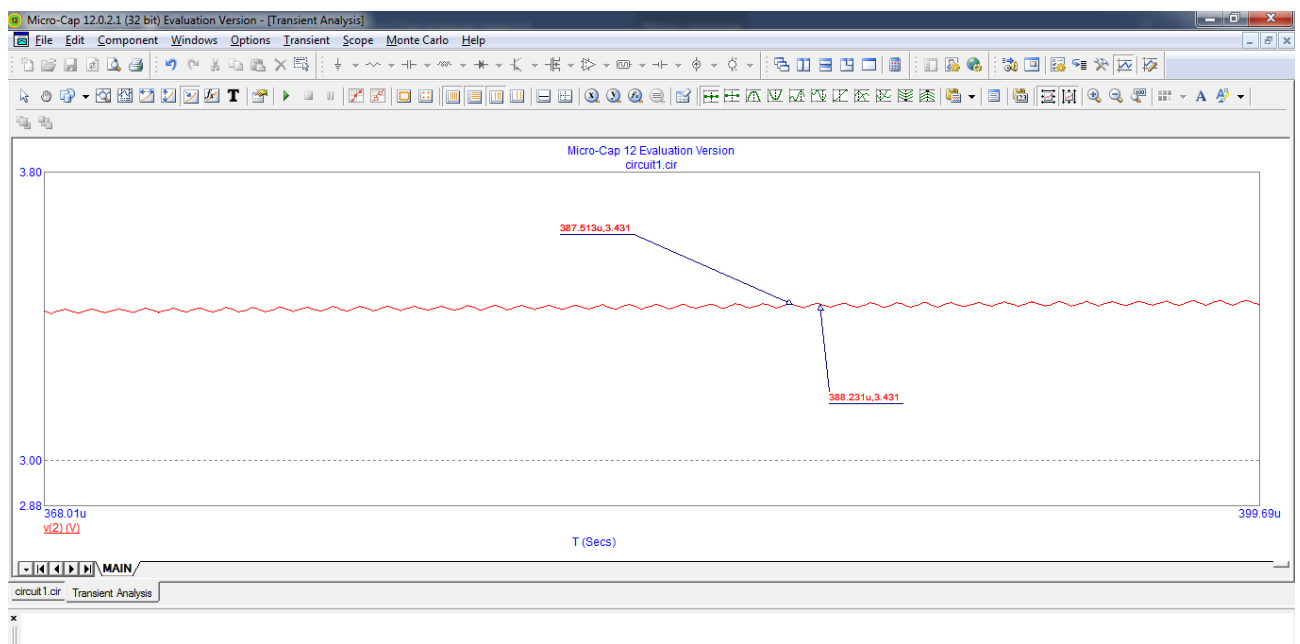
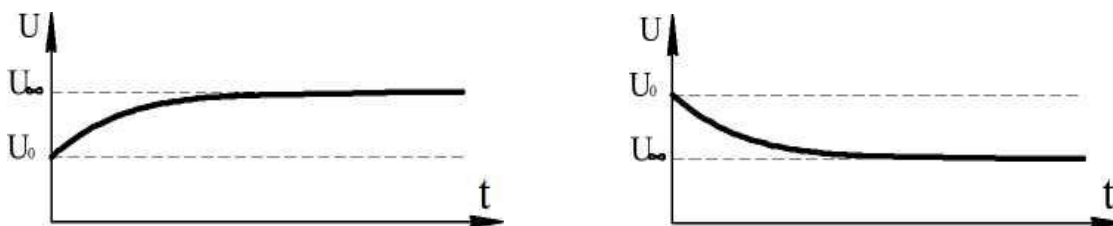


Рисунок 3.8. Приклад введення позначень

3.1.3. Пояснення до визначення характеристик процесів перезаряджання.

Експоненційна функція може бути двох видів: «наростаючою» (рисунок 3.9,а) та «спадаючою» (рисунок 3.9,б)



а)

б)

Рисунок 3.9 Приклади експоненційних функцій.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 29

Наростання напруги згідно з експоненційною функцією описується виразом:

$$u(t) = U_0 + \Delta U_1 \left(1 - e^{-t/\tau}\right) \quad (3.1)$$

А спад:

$$u(t) = \Delta U_2 e^{-t/\tau}, \quad (3.2)$$

де $u(t)$ – зміна від часу вимірювальної напруги;

t – час;

τ – стала часу експоненти;

ΔU - - перепад вимірюваної величини (напруги), причому

$$\Delta U_1 = U_\infty - U_0, \quad \Delta U_2 = U_0 - U_\infty, \quad (3.3)$$

де U_0 – напруга при $t = 0$ (початкове значення);

U_∞ - напруга при $t = \infty$ (кінцеве значення)

Практичне визначення значення U ж провадиться наступним чином:

- Завданням часового інтервалу горизонтальної розгортки графіків **Time Range** (рисунок 3.7), домогтися отримання режиму (див. малюнки 3.10 та 3.11).

- Виміряти по осі U в однакових точках двох останніх імпульсів. Якщо різниця між показаннями не перевищує 1%, то за U ж приймається останнє з цих значень (із округленням до третього знака після коми).

- Якщо різниця перевищує 1%, потрібно збільшити часовий інтервал горизонтальної розгортки та повторити попередній пункт.

Якщо відомі ΔU та значення вимірюваної величини в певний момент часу t_i , то постійна часу τ може бути знайдена з одного з виразів (3.4) - при «наростаючому» експоненті і (3.5) - при «спадаючою» :

$$\tau = \frac{-t_1}{\ln\left(1 - \frac{u(t_1) - U_0}{U_\infty - U_0}\right)} \quad (3.4)$$

$$\tau = \frac{-t_1}{\ln\left(\frac{u(t_1) - U_\infty}{U_0 - U_\infty}\right)} \quad (3.5)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 30

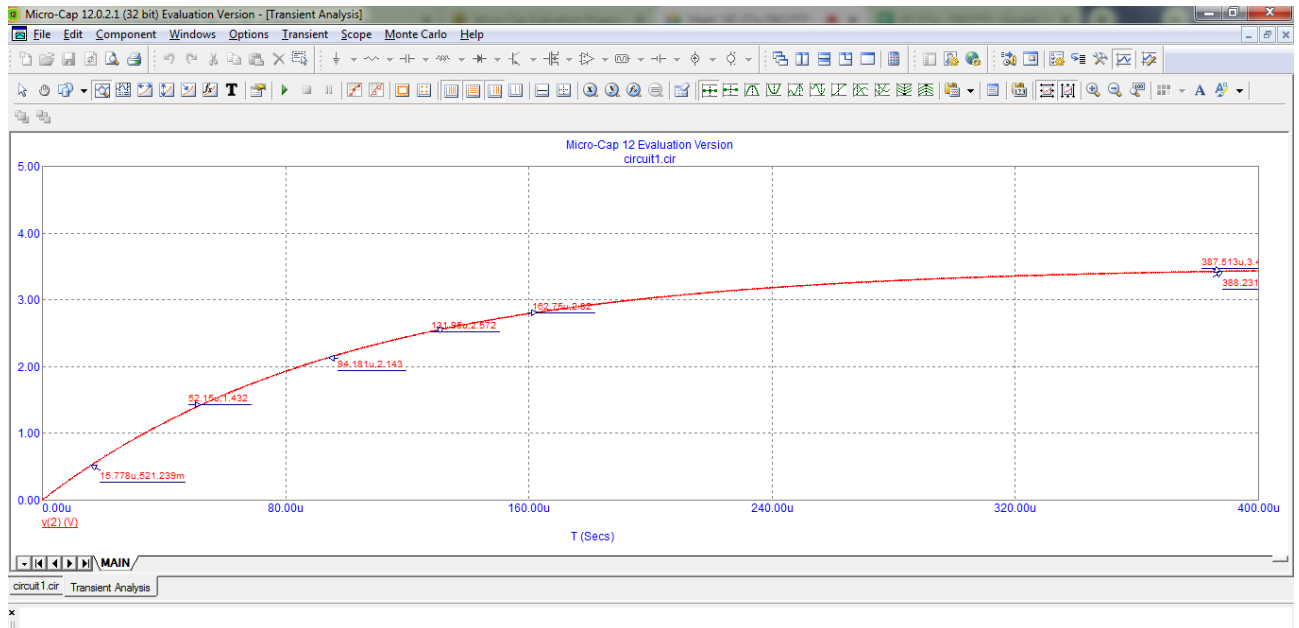


Рисунок 3.10

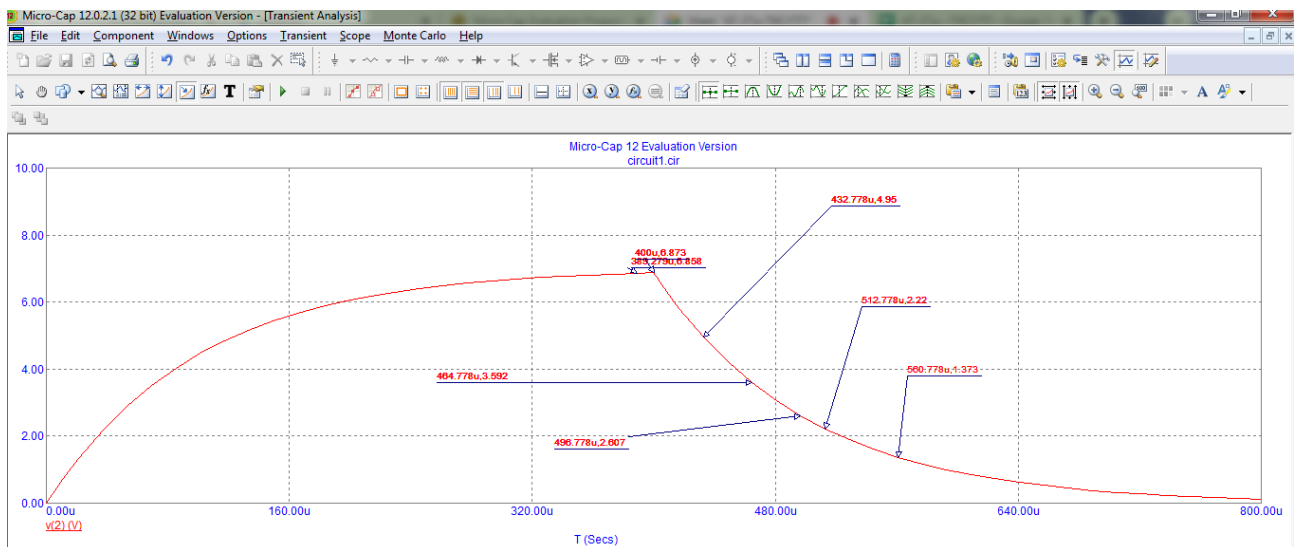


Рисунок 3.11

3.2 Виконання роботи

1. Намалювати на новоствореному робочому полі ланцюг, який зображений на рис. 3.12, з параметрами (атрибутами) елементів що наведені у табл. 3.4 (номер варіанту згідно зі списком у журналі групи).
 2. Освоїти методи завдання імпульсного режиму роботи та отримання перехідних характеристик.
 3. Змінюючи тривалість часу аналізу, отримати зображення усталеного режиму заряду ємності конденсатора.
- Вважаючи, що криві, що зображують зміну напруги, описуються експоненціальною функцією, визначити показник експоненти за графіками

зміни напруги на конденсаторі. Приклад наростаючої експоненти на рисунку 3.12.
4.

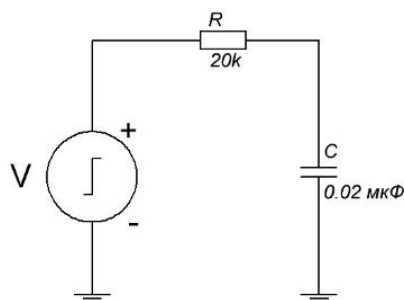


Рисунок 3.12

Таблиця 3.4.

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опір резистора, кОм	15	10	20	15	3	5	30	1	1	1
Емність конденсатора, мкФ	0,001	0,01	0,01	0,02	0,001	0,04	0,01	0,1	0,1	0,1
Частота імпульсів, МГц	5	1	0,2	0,25	8	0,5	0,25	1	4	1,5
Амплітуда імпульсів, В	10	5	5	4	5	5	10	10	3	7
Варіанти	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Опір резистора, кОм	15	2	20	15	3	2	10	2	7	12
Емність конденсатора, мкФ	0,001	0,01	0,04	0,02	0,033	0,02	0,02	0,05	0,7	0,08
Частота імпульсів, МГц	5	5	0,1	0,2	1	2	0,5	1	3	0,6
Амплітуда імпульсів, В	10	10	10	4	4	4	4	4	4	4
Варіанти	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Опір резистора, кОм	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Емність конденсатора, мкФ	0,03	0,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,0	0,0	0,9	0,2
Частота імпульсів, МГц	1	2	3	4	5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Амплітуда імпульсів, В	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Варіанти	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Опір резистора, кОм	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Емність конденсатора, мкФ	0,05	0,3	0,0	0,0	0,7	0,6	0,0	0,1	0,7	0,5
Частота імпульсів, МГц	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	1,8	2	2,5	3
Амплітуда імпульсів, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

У вихідній імпульсній послідовності:

- напруга п'єдесталу дорівнює 0 В;
- форма імпульсу - меандр (тривалість імпульсу дорівнює тривалості паузи);
- тривалість фронтів дорівнює нулю.

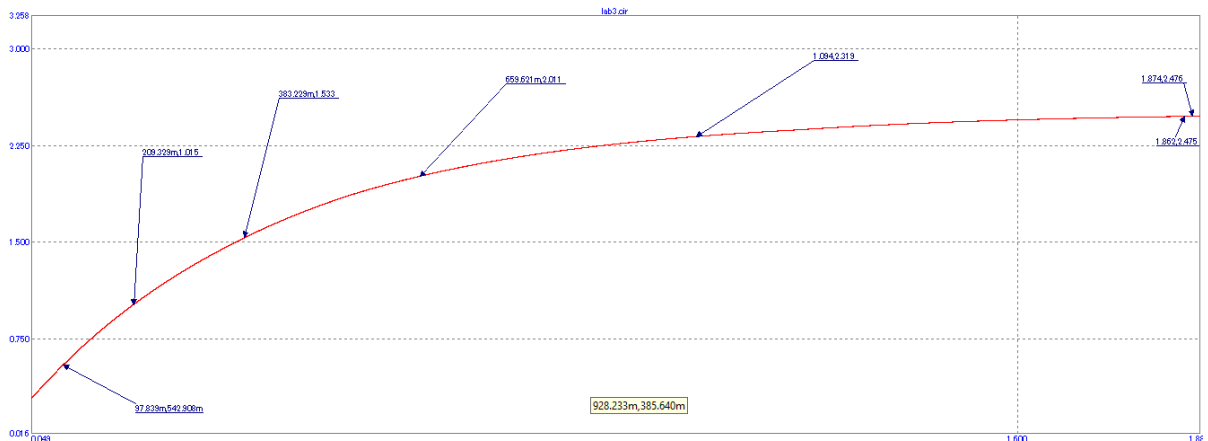


Рисунок 3.12

5. Внести у таблицю результатів та розрахувати практичне значення сталої RC-ланцюга для графіка зарядки конденсатора (приклад - табл.3.4). При розрахунку використовуйте не менше п'яти експериментальних значення функції.

Таблиця 3.4

Наименование / Номера отсчетов	1	2	3	4	5
1. Время (t_i), мкс	4,66	6,52	9,52	12,54	17,58
2. Величина напряжения (u_i), В	0,99	1,265	1,61	1,85	2,12
3. Относительное изменение напряжения ($u_i / \Delta U$)	0,47	0,52	0,663	0,761	0,872
$(1 - u_i / \Delta U)$	0,53	0,48	0,337	0,239	0,128
$\ln(1 - u_i / \Delta U)$	-0,635	-0,653	-1,09	-1,43	-2,06
τ , мкс	7,74	10	8,73	8,77	8,53
τ_{cp} , мкс	8,75				

6. Змінюючи тривалість часу аналізу, частоту і тривалість імпульсу, отримати зображення процесу розряду конденсатора за час одного імпульсу. Приклад спадаючої експоненти на рисунку 3.13 .

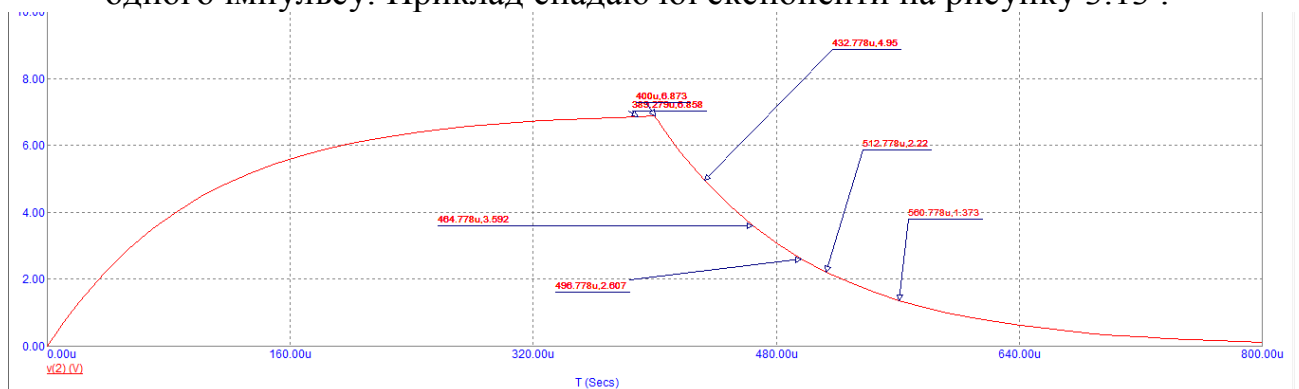


Рисунок 3.13

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 33

7. Визначити показник спадаючої експоненти аналогічно п.5.
8. Розрахувати теоретичне значення сталої RC-ланцюга $\tau_{\text{теор}} = R \cdot C$ та порівняти його значення з отриманими практичним шляхом.
9. Зняти графіки напруг на елементах схеми при різних параметрах ланцюгів і джерела сигналу (згідно вказівок викладача).
10. Зробити висновки по роботі і оформити звіт.

3.3 Контрольні питання

1. Для чого призначена система Мігросар?
2. Які основні можливості системи Мігросар?
3. Як відкрити новий файл, або завантажити старий?
4. Як зберегти файл? Як надати йому нове ім'я?
5. Які способи уведення схемних компонентів Вам відомі? Покажіть, як це робиться на практиці.
6. Як надати конкретні значення параметрам (атрибутам) компонентів?
7. Як змінити (відредагувати) схему й атрибути окремих компонентів?
8. Як об'єднати окремі схеми або їхні фрагменти в нову загальну схему?
9. Як вивести на екран і виключити номери вузлів, позиційні позначення й імена компонентів, супровідні тексти?
10. Як змінити колір графіків