

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

1 Проходження імпульсних сигналів через лінійні кола

1.1 Теоретичні відомості

Коло, утворене лінійним резистором і конденсатором називається лінійним RC-колом. Залежно від способу включення елементів R і C розрізняють два кола – інтегруюче та диференціююче (рис. 2.1).

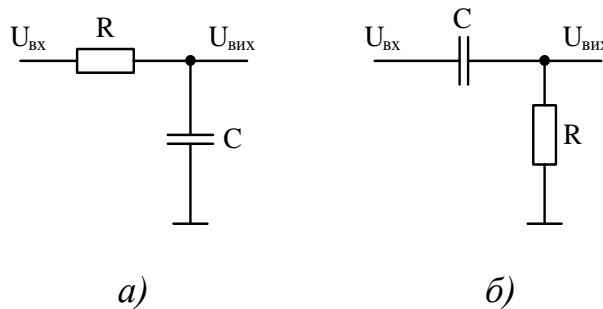


Рисунок 2.1 – Інтегруюче (а) та диференціююче (б) кола

Розглянемо реакцію RC кола при дії імпульсів прямокутної форми. Нехай на вхід RC-кола подається одиночний імпульс прямокутної форми (рис. 2.2). Для знаходження форми сигналу $U_C(t)$, $U_R(t)$ на виході кола використовується метод, котрий полягає в тому, що вхідний прямокутний імпульс розкладають на два елементарні сигнали $U_{ВХ1}(t)$ і $U_{ВХ2}(t)$, що стрибкоподібно змінюються, визначають форму сигналу на виході при дії цих елементарних сигналів і далі методом накладання знаходять шукані сигнали.

На рис. 2.3 наведені побудовані вказаним методом часові діаграми сигналів $U_C(t)$ і $U_R(t)$ при різних співвідношеннях між постійною часу кола τ і тривалістю вхідного імпульсу t_i . З рис. 2.3,а випливає, що при малому в порівнянні з t_i значенні τ форма сигналу на конденсаторі $U_C(t)$ виявляється близькою до форми вхідних імпульсів $U_{ВХ}(t)$.

При $\tau/t_i < 0,03$ тривалість фронту сигналу $U_C(t)$ (дорівнює 3τ) виявляється меншою $t_i/10$ і форма вхідного імпульсу може вважатися практично прямокутною. При збільшенні τ/t_i тривалість фронту сигналу $U_C(t)$ зростає і при $\tau/t_i > 0,3$ сигналів

а $U_C(t)$ не встигає за час t_i зрости до максимального значення. Форма сигналу $U_C(t)$ виявляється при цьому близькою до пилкоподібної. При подальшому збільшенні τ/t_i амплітуда сигналу $U_C(t)$ зменшується.

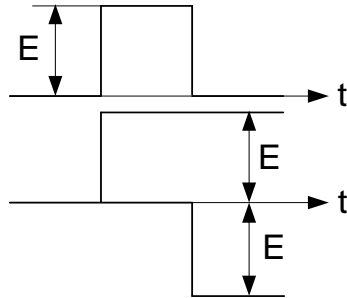
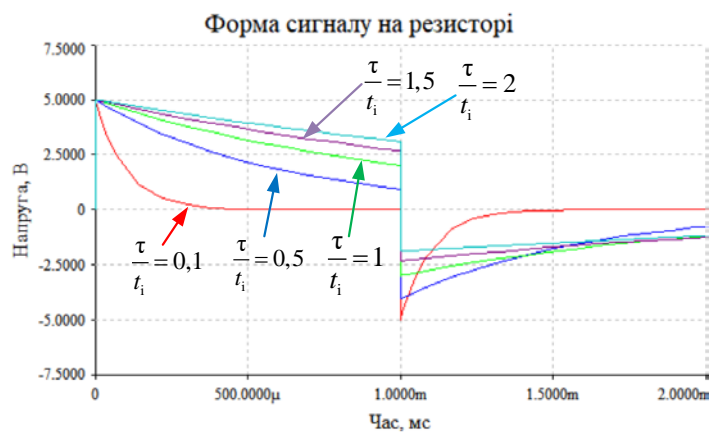
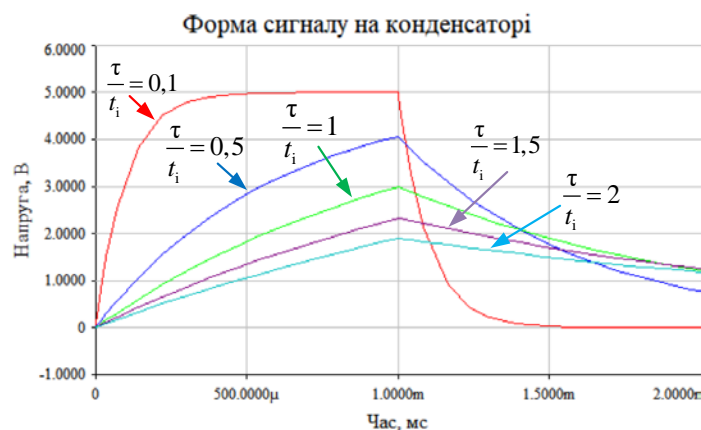


Рисунок 2.2 – Розкладання прямокутного імпульсу на дві стрибкоподібні дії



а)



б)

Рисунок 2.3 – Часові діаграми сигналів на різних елементах RC-кола

З рис. 2.3,б випливає, що при збільшенні відношення τ/t_i форма сигналу на резисторі $U_R(t)$ наближається до форми вхідного сигналу $U_{вх}(t)$ (рис. 2.2).

На рис. 2.4. наведені часові діаграми сигналів на вході та виході диференціюючого (розділового) кола при $\tau/t_i = 10$.

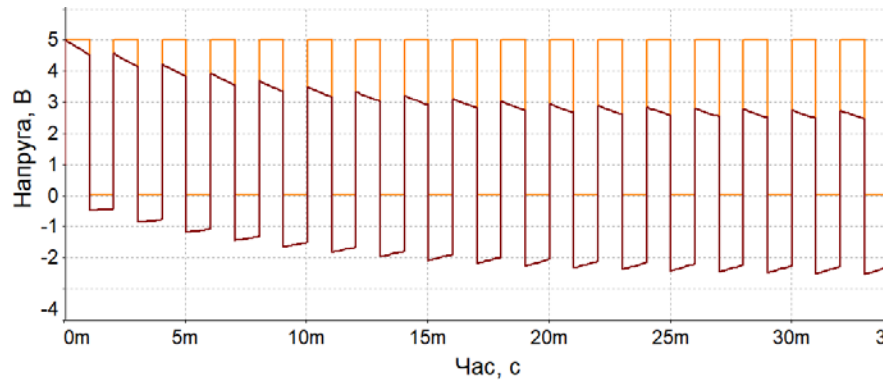


Рисунок 2.4 – Сигнал на виході диференціюючого (розділового) кола при $\tau/t_i = 10$

З рис. 2.4 випливає, що спостерігаються завал вершини імпульсу $U_R(t)$ і негативний викид після його закінчення. Величини завалу і негативного викиду зменшуються при збільшенні відношення τ/t_i . При малих значеннях відношення τ/t_i форма сигналу $U_R(t)$ представляє собою два імпульси загостреної форми, початок яких співпадає за часом з перепадами вхідного сигналу і мають полярність цих перепадів (рис. 2.3,а). Амплітуда імпульсів дорівнює амплітуді E вхідного сигналу (рис. 2.2).

Для випадку імпульсів, що періодично повторюються, з достатньо тривалою паузою між ними, коли перехідні процеси в RC-колі, викликані дією попереднього імпульсу, встигають практично закінчитися до моменту приходу подальшого імпульсу, можна використовувати підхід, використаний вище. У випадку, якщо постійна часу кола τ співставна або перевищує паузу між імпульсами, картина процесів відрізняється від розглянутої вище.

Припустимо, що у момент $t = 0$ до RC-кола підключається джерело сигналу прямокутної форми (рис. 2.5, червона крива). Нехай сигнал $U_C(t) = 0$ при $t < 0$, а величина τ значно перевищує період T повторення імпульсів. Під час першого імпульсу конденсатор C заряджається до деякої напруги. У паузі між першим і

другим імпульсами конденсатор розряджається, проте на початок другого імпульсу він не встигає розрядитися повністю і на ньому залишається деяка напруга $U_C(t)$. Під час другого імпульсу конденсатор знову заряджається, але до більшого значення, чим під час першого імпульсу, а в паузі знов розряджається не повністю. Приріст сигналу на конденсаторі ΔU_k за час k -го імпульсу дорівнює

$$\Delta U_k = (E - U_{Ck-1})(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}}),$$

де U_{Ck-1} – напруга на конденсаторі після закінчення $(k-1)$ -го періоду. Якщо, $\tau/t_i \ll 1$, то формула може бути переписана в наступному наближеному вигляді:

$$\Delta U_k = (E - U_{Ck-1}) \frac{t_i}{\tau}.$$

За час паузи між k та $k+1$ імпульсами конденсатор розряджається на величину, що може бути розрахована за формулою

$$\Delta U_{pk} = (U_{Ck-1} + \Delta U_k)(1 - e^{-\frac{T-t_i}{\tau}}) \approx (U_{Ck-1} + \Delta U_k) \frac{T-t_i}{\tau}.$$

На початку процесу після включення генератора вхідної сигналу величина сигналу на конденсаторі U_{Ck-1} мала і приріст сигналу ΔU_k перевищує спад ΔU_{pk} . Тому від періоду до періоду напруга на конденсаторі зростає (рис. 2.5, темна крива).

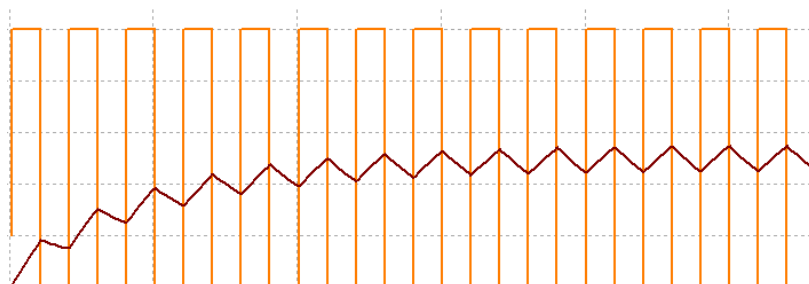


Рисунок 2.5 – Часові діаграми сигналів на вході та виході інтегруючого кола

Проте з часом по мірі зростання сигналу на конденсаторі U_{Ck-1} різниця між сигналами $E - U_{Ck-1}$ і величина ΔU_k зменшуються, а значення ΔU_{pk} зростає. Внаслідок цього після закінчення певного часу в колі встановлюється динамічна рівновага, при якій приріст сигналу ΔU_k під час заряду дорівнює спаду ΔU_{pk} під час розряду. Середнє значення сигналу на конденсаторі в сталому режимі дорівнює постійній складовій вхідного сигналу $U_{вх}$ (рис. 2.5).

Розділові кола призначені для розділення постійної і змінної складової. Форма сигналу на виході такого кола повторює форму вхідного сигналу, але постійна складова вихідного сигналу дорівнює нулю (рис. 2.4, темна крива). Вхідні сигнали можуть бути двох видів:

- без постійної складової (рис. 2.6);
- з постійною складовою (рис. 2.7).

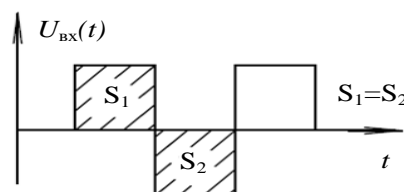


Рисунок 2.6 – Сигнал без постійної складової

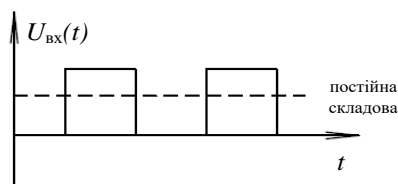


Рисунок 2.7 – Сигнал з постійною складовою

Постійна складова – це площа під кривою, що описує сигнал. Головною умовою при розділенні сигналу є те, що площі, обмежені позитивними і негативними імпульсами повинні бути рівні (рис. 2.4).

1.2 Моделювання пристроїв за допомогою програми NI Multisim

Розглянемо принцип моделювання за допомогою програми NI Multisim на прикладі моделювання інтегруючого та диференціюючого RC-кола.

Для того, щоб змодельувати потрібну модель, необхідно розмістити елементи схеми на робочому аркуші. Для розміщення елемента досить клацнути лівою кнопкою “миші” на піктограмі потрібної бібліотеки (рис. 2.8) або через меню Place/Component вибрати необхідний елемент. За замовчуванням панель компонентів відображається у вікні програми.



Рисунок 2.8 – Фрагмент робочого вікна програми з бібліотеками елементів

Для того, щоб побачити результати моделювання, необхідно скористатися осцилографом. Для розміщення осцилографа досить клацнути лівою кнопкою “миші” на піктограмі осцилографа на панелі приладів (рис. 2.9).

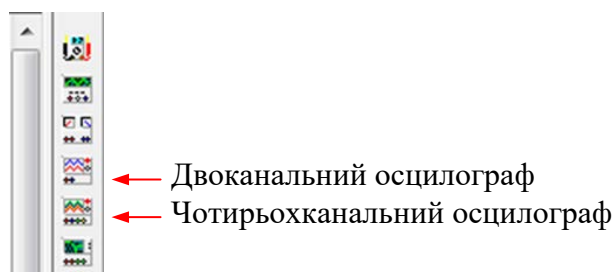


Рисунок 2.9 – Фрагмент панелі приладів

Проведемо дослідження інтегруючого RC-кола, модель якого наведена на рис. 2.10.

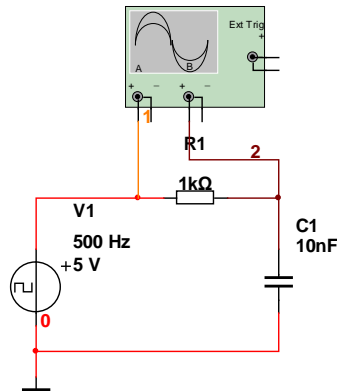


Рисунок 2.10 – Модель для дослідження інтегруючого RC-кола

Для того, щоб змінити параметри елементів, необхідно двічі клацнути на зображення елемента лівою кнопкою “миші”. У вікні, що відкрилося, можна встановити потрібні параметри елемента (рис. 2.11).

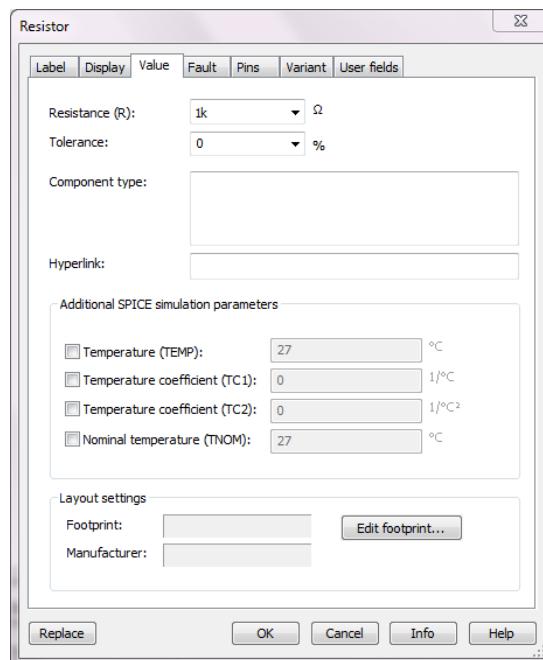


Рисунок 2.11 – Вікно налаштування параметрів елемента

Для того, щоб змінити колір проводу, необхідно клацнути на його зображення правою кнопкою “миші” і в меню, що відкрилося, вибрати пункт Color Segment (рис. 2.12). Зміна кольору проводу підключеного до осцилографа здійснюється з метою більшої інформативності часових діаграм на осцилограмі.

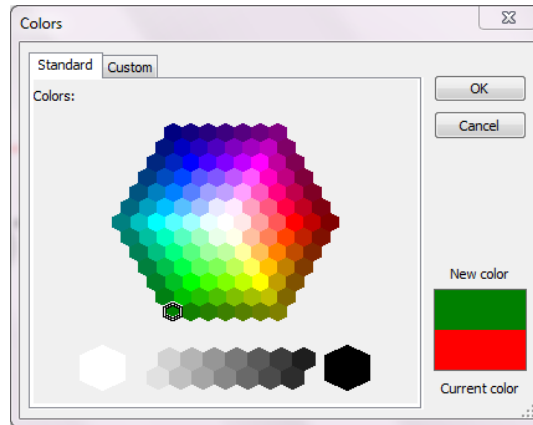


Рисунок 2.12 – Зміна кольору проводу

Для того, щоб запустити моделювання, необхідно натиснути на значок піктограми із зображенням зеленого трикутника (рис. 2.13) або на вимикач, розташований у правій верхній частині робочого вікна програми, або через меню Simulate викликати команду Run.



Рисунок 2.13 – Запуск моделювання електричних кіл в програмі NI Multisim

Після запуску моделювання необхідно два рази клацнути на зображення осцилографа лівою кнопкою “миші” для того, щоб подивитися результати моделювання (рис. 2.14). Щоб часові діаграми відображалися на білому фоні необхідно у вікні осцилографа натиснути на кнопку Reverse.

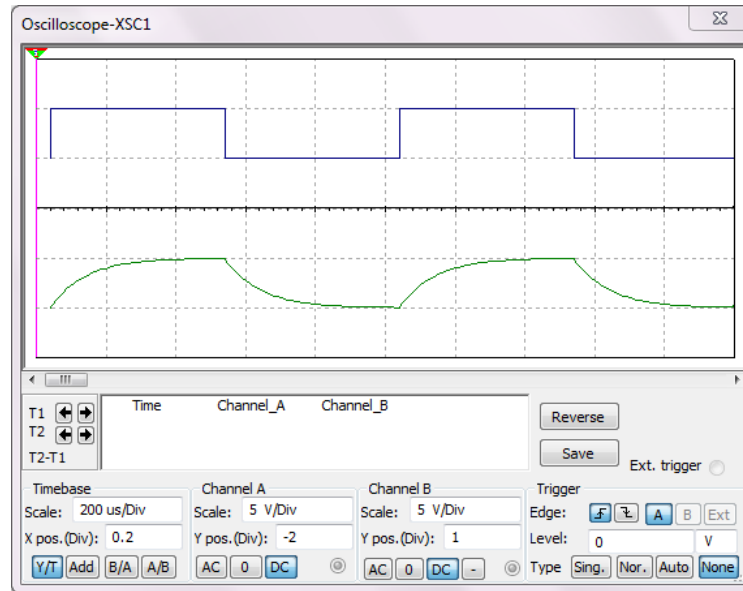
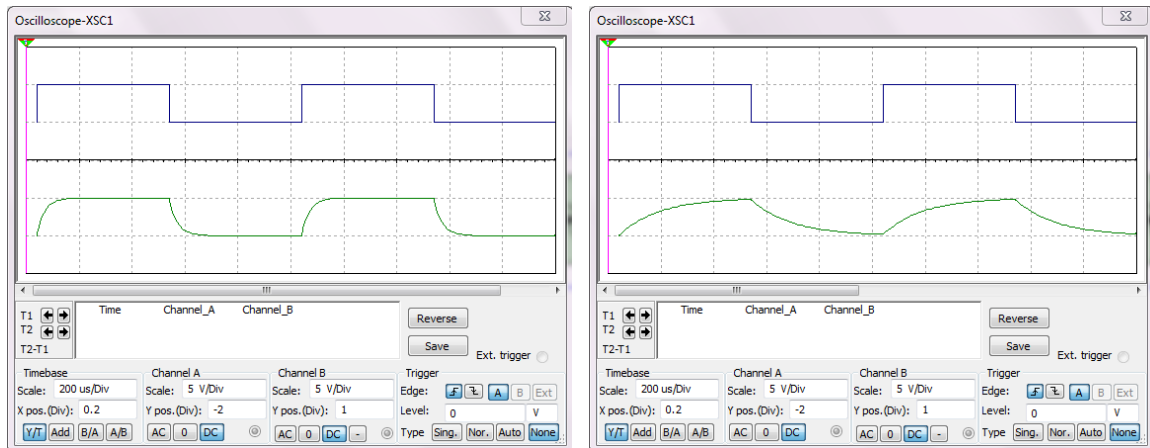


Рисунок 2.14 – Вікно осцилографа з часовими діаграмами на вході та виході інтегруючого RC-кола

На часові діаграми RC-кіл при дії імпульсних сигналів впливає постійна часу кола. Залежно від її значення час заряду конденсатора відрізнятиметься, а відповідно і часові діаграми будуть різні.

На рис. 2.15 наведені часові діаграми роботи інтегруючого RC-кола з різним значенням постійної часу кола. У обох випадках тривалість вхідного імпульсу складає 500 мкс. На рис. 2.15,а наведені часові діаграми інтегруючого RC-кола з постійною часу рівною 33 мкс, а на рис. 2.15,б – з постійною часу рівною 150 мкс.

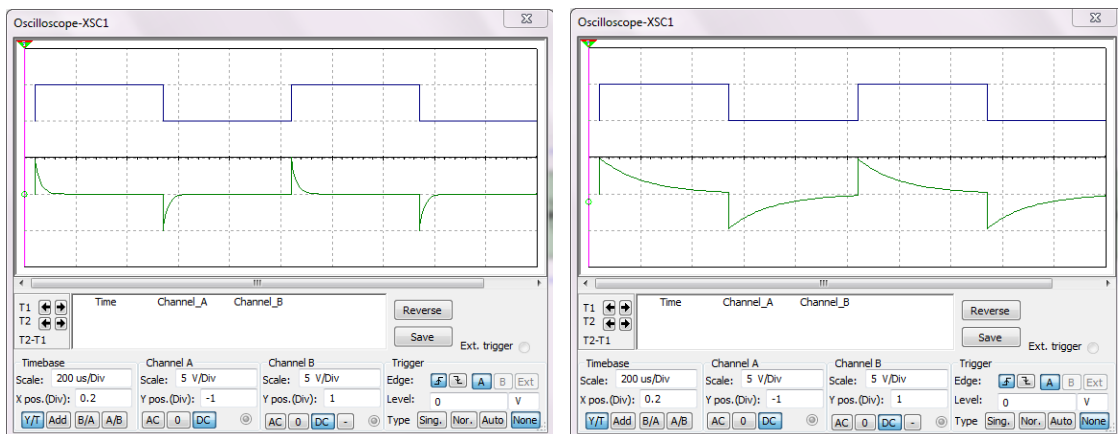


а)

б)

Рисунок 2.15 – Часові діаграми сигналів на виході інтегруючого RC-кола з постійною часу 33 мкс (а) та 150 мкс (б) при тривалості вхідного сигналу

На рис. 2.16 наведені часові діаграми роботи диференціюючого RC-кола з різним значенням постійної часу кола. У обох випадках тривалість імпульсу складає 500 мкс. На рис. 2.16,а наведені часові діаграми диференціюючого RC- кола з постійною часу, яка дорівнює 19,8 мкс. На рис. 2.18,б наведені часові діаграми диференціюючого RC-кола з постійною часу рівною 165 мкс.

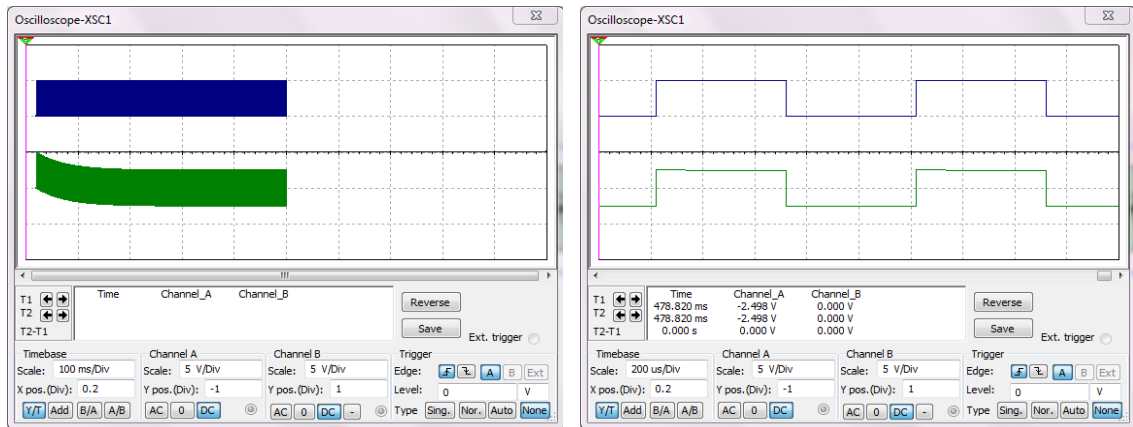


а)

б)

Рисунок 2.16 – Часові діаграми сигналів на виході диференціюючого RC-кола з постійною часу 19.8 мкс (а) та 165 мкс (б) при тривалості вхідного сигналу 500 мкс

На рис. 2.17 наведені часові діаграми роботи розділового кола. На цих діаграмах "0" на виході зміщений на одну поділку вниз, а "0" на вході – на одну поділку вгору відносно нульової осі осцилографа. З рис. 2.17,а видно, що сигнал на виході не має постійної складової після встановлення динамічної рівноваги (час встановлення приблизно дорівнює 150 мс).



а)

б)

Рисунок 2.17 – Часові діаграми сигналів на вході та виході розділового кола

Для автоматичного вимірювання форми сигналів при зміні параметрів елементів треба скористатись аналізом Parameter Sweep (рис. 2.18)

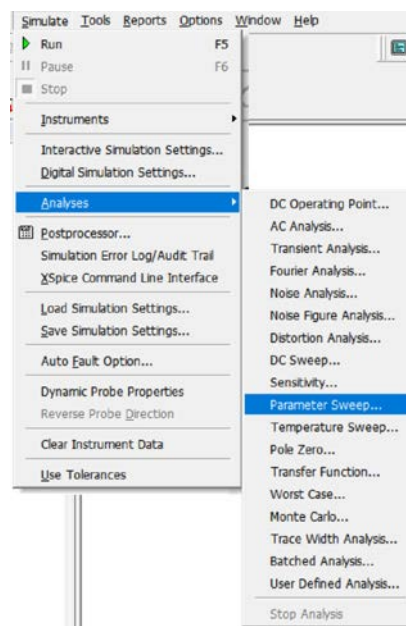


Рисунок 2.18 – Вибір аналізу Parameter Sweep

Після вибору аналізу **Parameter Sweep** відкривається вікно налаштування (рис. 2.19) на вкладинці **Analysis Parameters**.

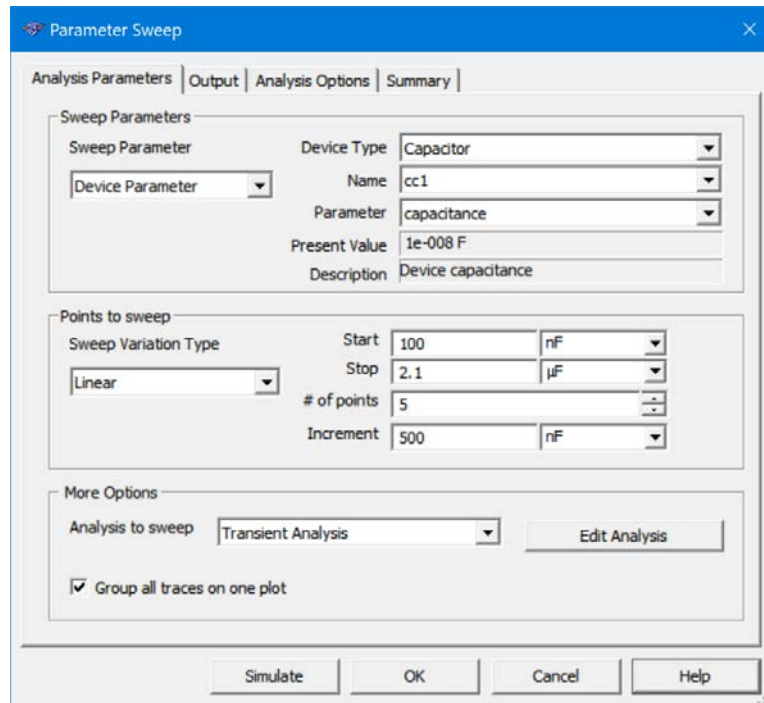


Рисунок 2.19 – Вкладка Analysis Parameters

Для аналізу треба обрати або зміну опору резистора, або зміну ємності конденсатора. На рис. 1.19 для аналізу обрано зміну ємності конденсатора C1. У віконці **Start** задається початкове значення ємності, а у віконці **Stop** – кінцеве значення. Потім необхідно задати або кількість точок у віконці **# of points**, або крок зміни ємності у віконці **Increment**.

Після цього необхідно задати час аналізу, натиснувши кнопку **Edit Analysis**. У вікні що відкривається (рис. 2.20) треба задати час аналізу, що дорівнює періоду вхідного сигналу. Для сигналу з частотою 500 Гц цей час становить 2 мс (0,002 с).

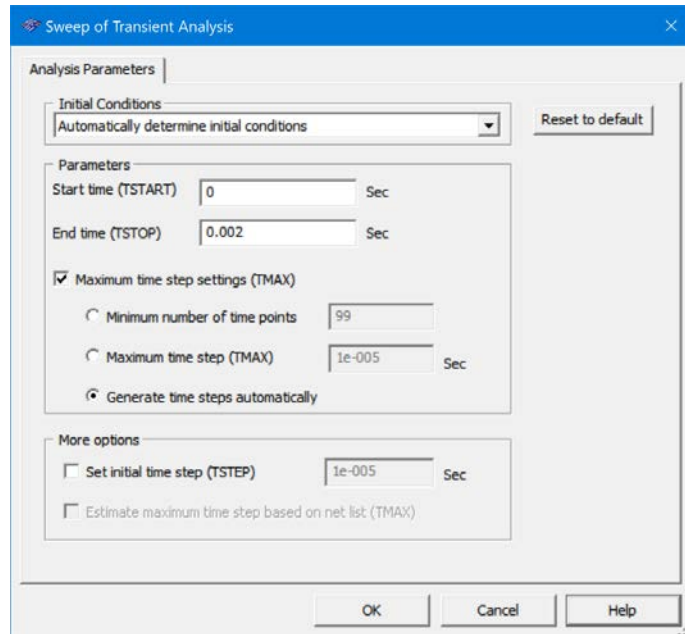


Рисунок 2.20 – Встановлення часу аналізу 0,002 с для вхідного сигналу частотою 500 Гц (тривалість періоду 2 мс)

Після вводу значення часу у віконці End Time (рис. 2.20) треба натиснути кнопку ОК і перейти на вкладинку **Output** (рис. 2.21) і обрати напругу у точці 2 (рис. 2.10). Після цього натиснути кнопку **Simulate**.

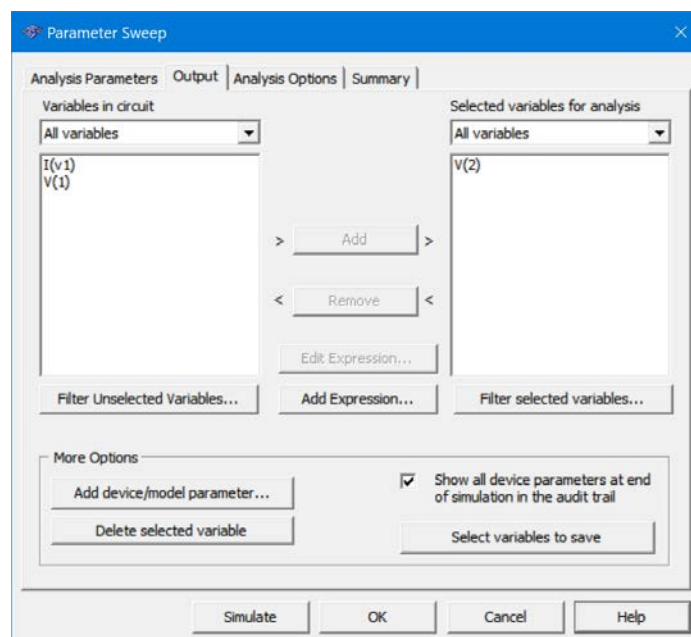


Рисунок 2.21 – Вибір точки аналізу на вкладинці Simulate

Результат аналізу вводиться у вікні **Grapher** (рис. 2.22).

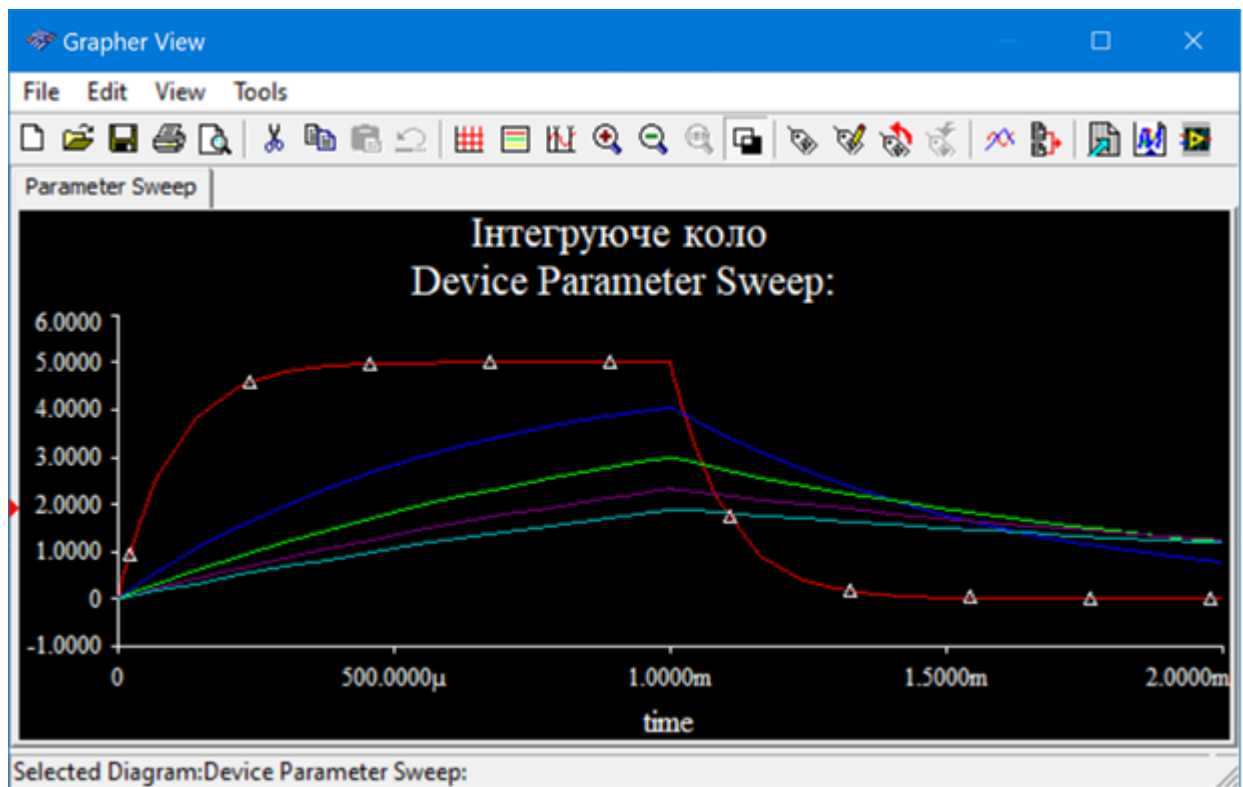


Рисунок 2.22 – Результат аналізу зміни ємності інтегруючого кола

Залишається тільки оформити належним чином результати аналізу. Для цього в першу чергу потрібно змінити чорний фон на білий, натиснувши на кнопку з білим та чорним прямокутниками. Знаходячись у полі графіків натиснути праву кнопку "миші" і зняти відмітку на пункті **Show/Hide Select Marks** (рис. 2.23).

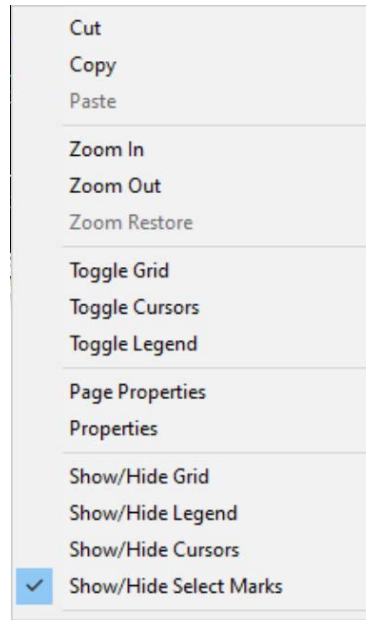


Рисунок 2.23 – Випадаюче меню вікна Grapher

Включити сітку можна натиснувши кнопку з сіткою на зображенні. Результат цих дій наведено на рис. 2.24.

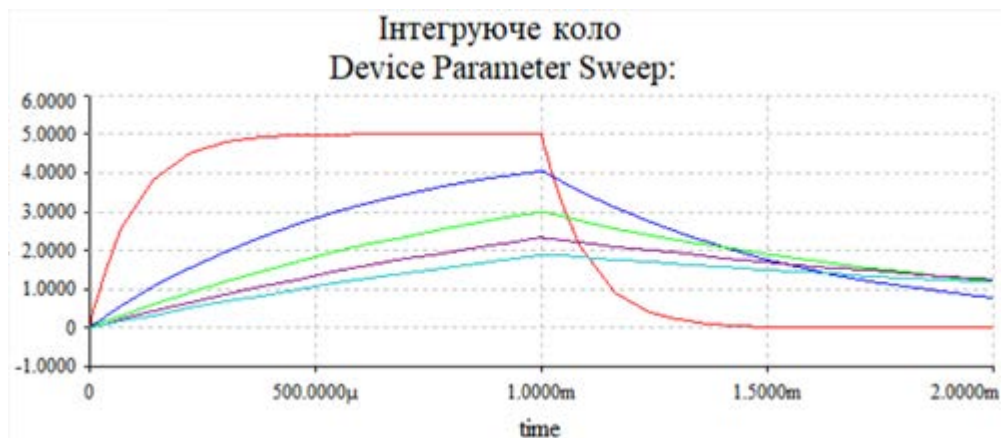


Рисунок 2.24 – Відображення графіків на світлому фоні з сіткою

Залишилось тільки змінити написи на осях та у шапці вікна. Для цього знов у полі графіка натиснути праву кнопку "миші" і обрати пункт Properties, У вікні що відкриється (рис. 2.25) замінити англійські назви на українські.

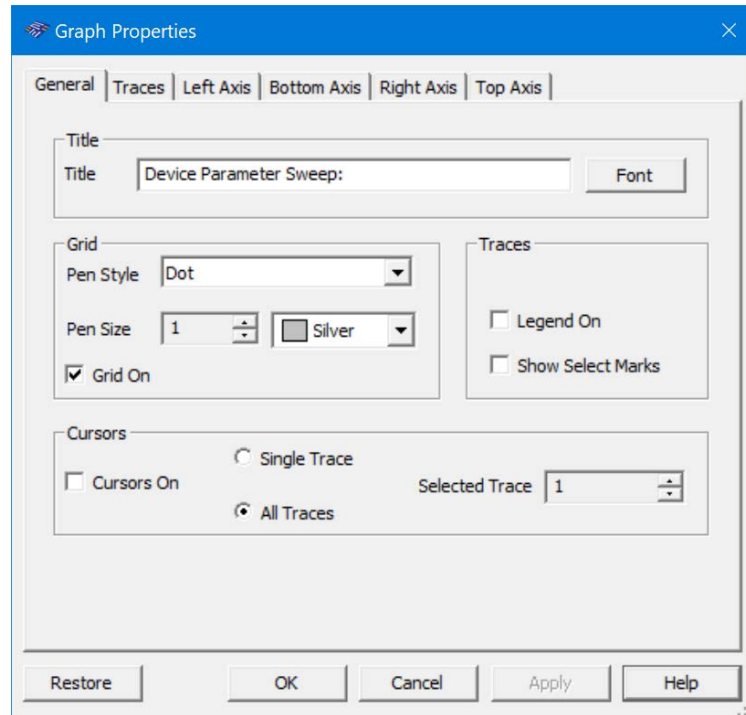


Рисунок 2.25 – Вікно властивостей Grapher

На вкладці General замість Device Parameter Sweep написати Залежність форми сигналу на C1 від значення його ємності. На вкладці Left Axis вписати Напруга, В. На вкладці Bottom Axis – Час, с. На рис. 2.26. наведено результат виконаних дій.

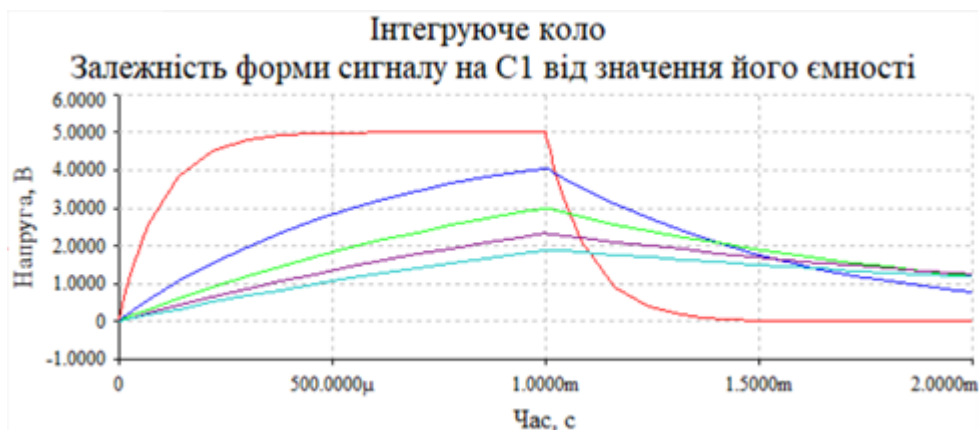


Рисунок 2.26 – Налаштоване вікно Grapher

Напис у верхньому рядку відповідає назві файлу моделі **Інтегруюче коло**. При необхідності можна змінити колір графіків та товщину ліній на вкладці **Traces**.

Для відображення значення ємності для кожного графіку потрібно натиснути кнопку Show/Hide Legend (правіше кнопки з сіточкою). На екран виводиться ще одне вікно у якому відображається колір графіка та значення ємності (рис. 2.27).

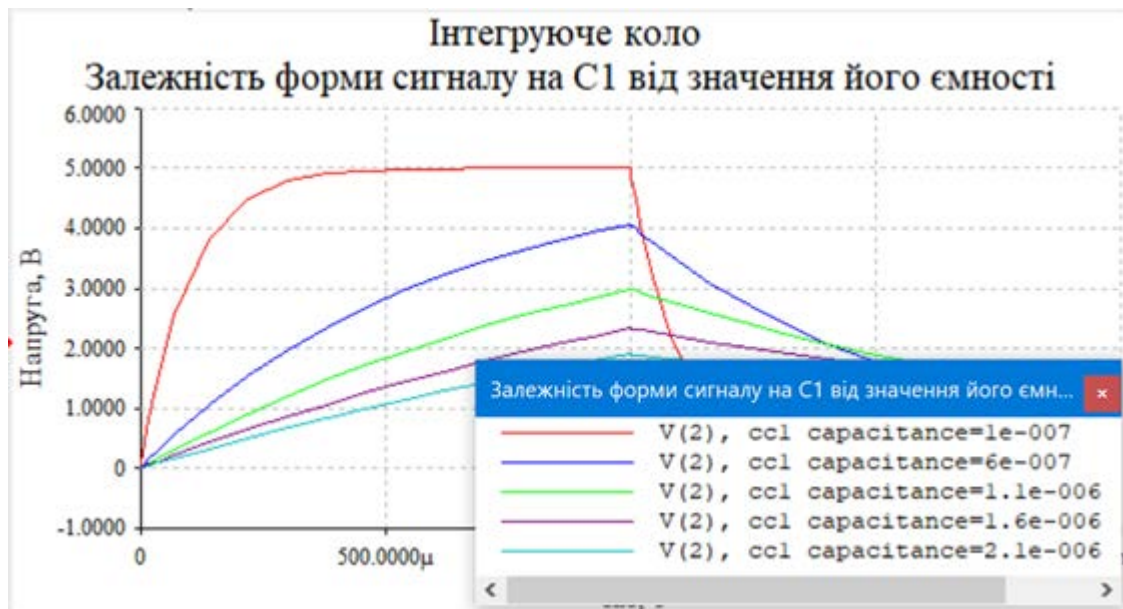


Рисунок 2.27 – Результат аналізу форми напруги на конденсаторі інтегруючого кола при зміні його ємності

1.3 Мета роботи

Дослідити зміну параметрів імпульсних сигналів при проходженні через RC-кола від характеристик цих кіл.

1.4 Домашнє завдання

1. Вивчити роботу лінійних RC-кіл.
2. Звернути увагу на відмінності функціонування розділових та диференціюючих кіл.
3. Ознайомитись з методикою аналізу Parameter Sweep та правилами

оформлення результатів вимірювання.

4. Ознайомитись з правилами роботи з осцилографом.

1.5 Завдання та порядок виконання роботи

1. Для вивчення принципу роботи інтегруючого і диференціюючого кіл, зібрати модель, наведену на рис. 2.28, і встановити параметри елементів у відповідності з даними з табл. 1. Номер варіанту співпадає з номером у списку групи.

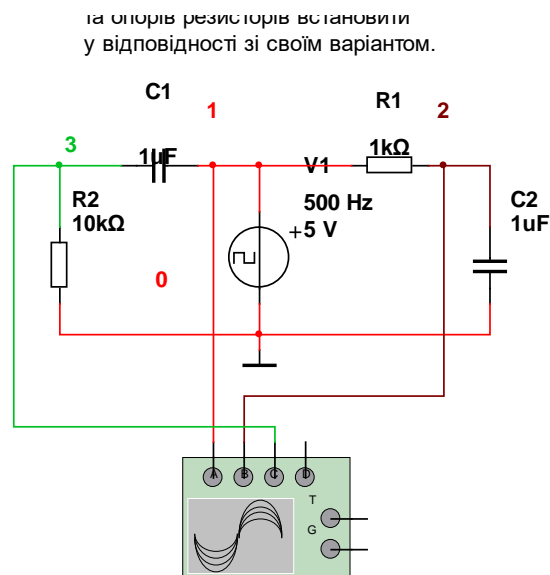


Рисунок 2.28 – Модель для дослідження інтегруючого та диференціюючого кіл

Для створення моделі необхідно розрахувати тривалість періоду вхідного сигналу і значення опору резисторів R1 та R2 для випадку коли відношення постійної часу до тривалості імпульсу $\tau/t_i = 1$.

Кількість точок аналізу задається довільно але не менше 5.

2. Для вивчення принципу роботи диференціюючого кола з підключеним до джерела живлення резистором створити і дослідити модель, наведену на рис. 2.29. Встановити постійну часу кола, що відповідає відношенню $\tau/t_i = 1$, у відповідності з табл. 1. За допомогою осцилографа дослідити часові діаграми роботи

диференціюючого кола з підключеним до джерела живлення резистором. Пояснити отримані часові діаграми.

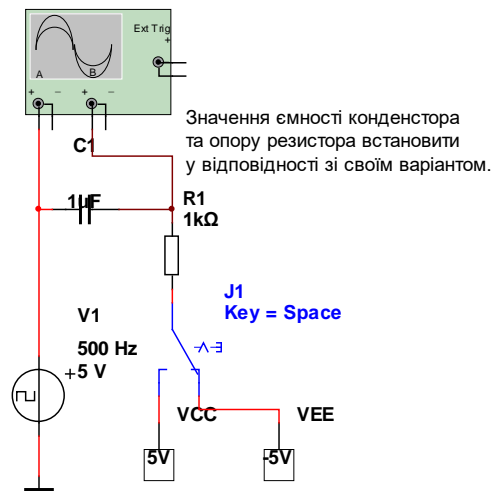


Рисунок 2.29 – Модель диференціюючого кола з підключеним до джерела живлення резистором

3. Виміряти тривалість фронту та спаду на виході інтегруючого кола при встановленні $\tau/t_i = 1$ (у відповідності з табл. 1). Вимірювання тривалості здійснюється курсорами осцилографа між точками що відповідають рівням вихідного сигналу 0,05 та 0,95 від максимального значення (тобто для заданих параметрів для рівнів 0,25 та 4,75 В). Для вимірювань використати модель наведену на рис. 2.28.

4. Виміряти тривалість імпульсу на рівні 2,5 В на виході диференціюючого кола при встановленні $\tau/t_i = 1$ (у відповідності з табл. 1). Вимірювання тривалості здійснюється курсорами осцилографа між точками що відповідають рівням вихідного сигналу 2,5 В. Для вимірювань використати модель з рис. 2.28.

1.6 Контрольні запитання

1. Чим відрізняється диференціююче та розділове кола?
2. Як виразити час заряду конденсатора через параметри елементів RC-кола?

3. Намалювати часові діаграми, що ілюструють роботу RC кола кожного типу.
4. Як впливають параметри елементів на постійну часу кола?
5. Як постійна часу кола впливає на часові діаграми RC-кола?
6. Яка умова повинна виконуватися, щоб диференціююче коло було розділове?
7. Пояснити вплив підключеного до джерела живлення резистора на часові діаграми роботи диференціюючого та розділового кола.

Таблиця 2.1 – Параметри для дослідження інтегруючого та диференціюючого кіл

№ вар.	Частота вхідного сигналу f_{BX} , кГц	Тривалість імпульсу	Відношення τ/t_i	Значення ємності С1 та С2, мкФ	Який елемент змінювати
1.	2	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,33	С
2.	4	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,22	R
3.	5	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,15	С
4.	7	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,12	R
5.	8	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,1	С
6.	10	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,082	R
7.	12	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,075	С
8.	14	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,068	R
9.	16	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,062	С
10.	18	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,056	R
11.	20	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,047	С
12.	22	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,043	R
13.	25	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,039	С
14.	28	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,033	R
15.	32	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,03	С
16.	34	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,027	R
17.	36	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,022	С
18.	40	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,018	R
19.	44	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,016	С
20.	48	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,013	R
21.	50	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,01	С
22.	54	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,0082	R
23.	58	$1/2f_{BX}$	0,1...20	0,0075	С
24.	60	$1/2f_{BX}$	0,2...15	0,0068	R
25.	65	$1/2f_{BX}$	0,05...10	0,0051	С

1.7 Звіт про виконання лабораторної роботи

У звіті треба вказати результати вимірювань.

Параметри які необхідно виміряти:

- тривалість фронту для інтегруючого кола при $\tau/t_i = 1$;
- тривалість спаду для інтегруючого кола при $\tau/t_i = 1$;
- мінімальний рівень сигналу;
- максимальний рівень сигналу;
- тривалість імпульсу на рівні 0,5 від максимального значення (для диференціюючого кола при $\tau/t_i = 1$).

У звіті навести розрахунки постійних часу для диференціюючих та інтегруючих кіл і виміряні для кожної постійної часу параметри. Навести моделі і результати кожного вимірювання у вигляді скріншотів і потім записати ці параметри у тексті.

Пояснити яке повинне бути співвідношення між періодом слідування вхідного сигналу і постійною часу щоб диференціююче коло можна було вважати розділовим.