

## Лабораторна робота 7

### ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИВІБРАТОРА

#### Мета заняття

1. Вивчення принципів побудови та особливостей функціонування генераторів імпульсів. Дослідження властивостей автоколивального мультівібратора та генератора напруги, що лінійно змінюється, впливу параметрів елементів схеми на вид та характеристики вихідних сигналів..

2. Прищеплення навичок побудови, налагоджування та експериментального дослідження функціонування генераторів імпульсів на операційних підсилювачах за допомогою програмного забезпечення Electronics Workbench.

#### Стислі теоретичні відомості

Генератором електричних коливань називається пристрій, що перетворює енергію джерела постійного струму в енергію змінного струму потрібної форми. В залежності від форми вихідної напруги розрізняють генератори гармонічних коливань та генератори негармонічних коливань (імпульсні або релаксаційні генератори).

Незалежно від форми вихідної напруги всі генератори можуть функціонувати в одному з двох режимів: режимі автоколивань (автогенератори); режимі запуску зовнішніми імпульсами (загальмовані або очікуючі генератори).

Мультівібратор (від латинського слова *multim* – багато та *vibro* – коливаю) – релаксаційний генератор імпульсів майже прямокутної форми, виконаний у вигляді підсилювального пристрою з ланцюгом позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ).

Зокрема, як підсилювач можна використовувати й операційний підсилювач (ОП). Схема мультівібратора на ОП наведена на рис. 1. У даному випадку ОП охоплений двома ланцюгами зворотного зв'язку:

позитивним зворотним зв'язком з коефіцієнтом передачі  $b_{ПЗЗ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  та

негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) з  $b_{НЗЗ} = \frac{1_2}{R \cdot R_C + 1}$

Розглянемо процеси, що відбуваються в схемі. Припустимо, що конденсатор  $C$  в момент часу  $t_0$ , коли на схему було подано напругу живлення, знаходився в повністю розрядженому стані. Завдяки тому, що

підсилювач охоплений ланцюгом ПЗЗ, а напруга на його вході, що інвертує дорівнює нулю, ОП з рівною імовірністю може встановитися в кожне з двох його максимально можливих напруг.

Допустимо,  $u_{Вих1} = U_{Вих\ max}$ . Тоді вхідна напруга ОП прийме значення  $U_{ВхОП} = U_{Вх\ i} - U_{Вх\ n} = -b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max} < 0$ , що підтвердить позитивну полярність його вихідної напруги. Після появи на виході ОП напруги позитивної полярності  $U_{Вих\ max}$  починається процес заряду конденсатора  $C$ . Напруга на вході підсилювача, що інвертує, почне підвищуватися. Цей процес іде з постійного часу заряду  $\tau = RC$  і супроводжується збільшенням вхідної напруги ОП. Отже, стан схеми буде квазистійким.

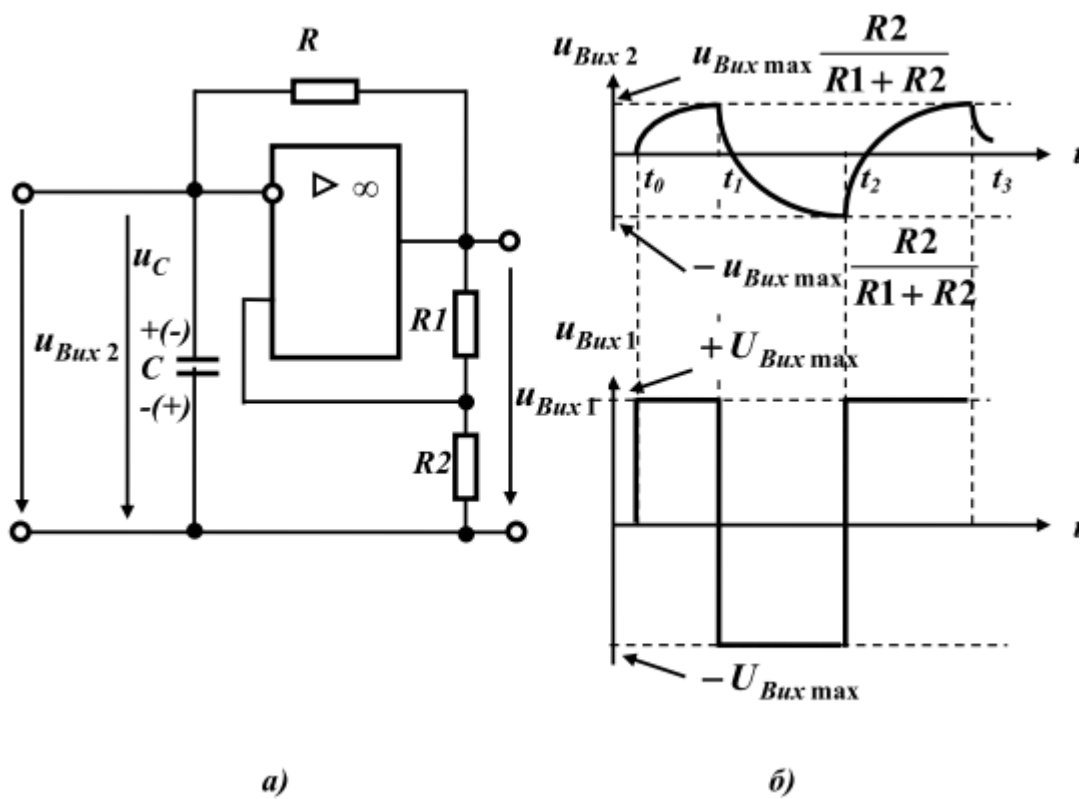


Рис. 1. Принцип роботи мультивібратора на ОП:  
а) функціональна схема; б) часові діаграми роботи

У момент, коли напруга, що інвертує, на вході досягне значення  $U_{Вх\ i} = b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$  (при цьому  $U_{ВхОП} = 0$ ), вихідна напруга підсилювача змінить свою полярність, зменшившись до  $u_{Вих1} = -U_{Вих\ max}$ . Напруга на вході, що не інвертує, зменшиться до  $U_{Вх\ n} = -b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max}$ , а вхідна напруга підсилювача збільшиться до  $U_{ВхОП} = 2b_{ПЗЗ} U_{Вих\ max} > 0$ .

Новий стан схеми також буде квазістійким. Зміна полярності вихідної напруги ОП викличе перезаряд конденсатора  $C$ . Внаслідок цього з часом вхідна напруга підсилувача  $U_{\text{ВхОП}}$  буде зменшуватися, і в момент, коли  $U_{\text{ВхОП}} = 0$  ( $U_{\text{Вх}i} = -b_{\text{ПЗЗ}} U_{\text{Вих max}}$ ), відбудеться чергове перемикання схеми й процес повториться.

Таким чином, на виході ОП буде формуватися змінна напруга  $u_{\text{Вих1}}$  прямокутної форми (рис. 1, б). Форма напруги на конденсаторі  $u_{\text{Вих2}}$ , яка складена з початкових ділянок експонентних процесів його перезаряду, буде наближатися до трикутного.

Із сказаного можна зробити два висновки:

- щодо вихідної напруги **ОП** ( $u_{\text{Вих1}}$ ) схему можна розглядати як мультівібратор, який працює в режимі автоколивань;
- щодо напруги на конденсаторі **C** ( $u_{\text{Вих2}}$ ) схема є генератором пилкоподібної напруги (напруги що лінійно змінюється).

Для визначення залежності частоти вихідної напруги розглянутої схеми від параметрів її елементів запишемо вираз для перезаряду конденсатора  $C$ :

$$u_C(t) = u_{C \text{ вільн}} + u_{C \text{ змуш}} = U_{C0} e^{-\frac{1}{RC}} + U_{\text{Вих max}} (1 - e^{-\frac{1}{RC}})$$

де  $u_{C \text{ вільн}}$  й  $u_{C \text{ змуш}}$  – вільна й змушена складові процесу перезаряду конденсатора  $C$ ;

$U_{C0}$  – напруга на конденсаторі в початковий момент часу ( $t = t_0$ ).

Відповідно до наведених часових діаграм маємо: для моменту  $t_1$   $U_{C0} = b_{\text{ПЗЗ}} U_{\text{Вих max}}$ , для моменту часу  $t_2$  –  $U_C = b_{\text{ПЗЗ}} U_{\text{Вих max}}$ . Підставляючи ці значення напруг у вираз для  $u_C(t)$  і розв'язуючи його відносно частоти вихідної напруги, знаходимо період і частоту коливань мультівібратора:

$$T = 2(t_2 - t_1) = 2RC \ln\left(1 + 2\frac{R1}{R2}\right),$$

$$f_0 = \frac{1}{2(t_2 - t_1)} = \frac{1}{2RC \ln\left(1 + 2\frac{R1}{R2}\right)}.$$

Як видно з отриманих виразів, для збільшення частоти вихідної напруги необхідно зменшувати як постійну часу ланцюга негативного зворотного зв'язку  $\tau$ , так і коефіцієнт передачі ланцюга позитивного зворотного зв'язку ( $b_{\text{ПЗЗ}}$ ). Останнє автоматично приводить до зменшення амплітуди вихідної напруги  $u_{\text{Вих2}}$ .

Отримані вирази справедливі для припущення що  $U_{\text{Вих max}} = \left| -U_{\text{Вих max}} \right|$  період і значення  $b_{\text{ПЗЗ}}$  і  $\tau$  не залежать від полярності вихідної напруги. Як

правило, в реальних ОП умова  $U_{Вих\ max} = |-U_{Вих\ max}|$  не виконується. До того ж в ряді випадків необхідно мати або прямокутну напругу, для якої тривалість імпульсів не рівняється тривалості пауз, або трикутну напругу з різними за абсолютними величинами значеннями похідної на різних інтервалах.

Отримати такі результати можна шляхом відповідної зміни значень  $\tau$  і  $b_{ПЗЗ}$ . В якості прикладу на рис. 2 а, б приведені схеми генераторів з різними для позитивних і негативних значень вихідної напруги ОП  $\tau$  і  $b_{ПЗЗ}$ .

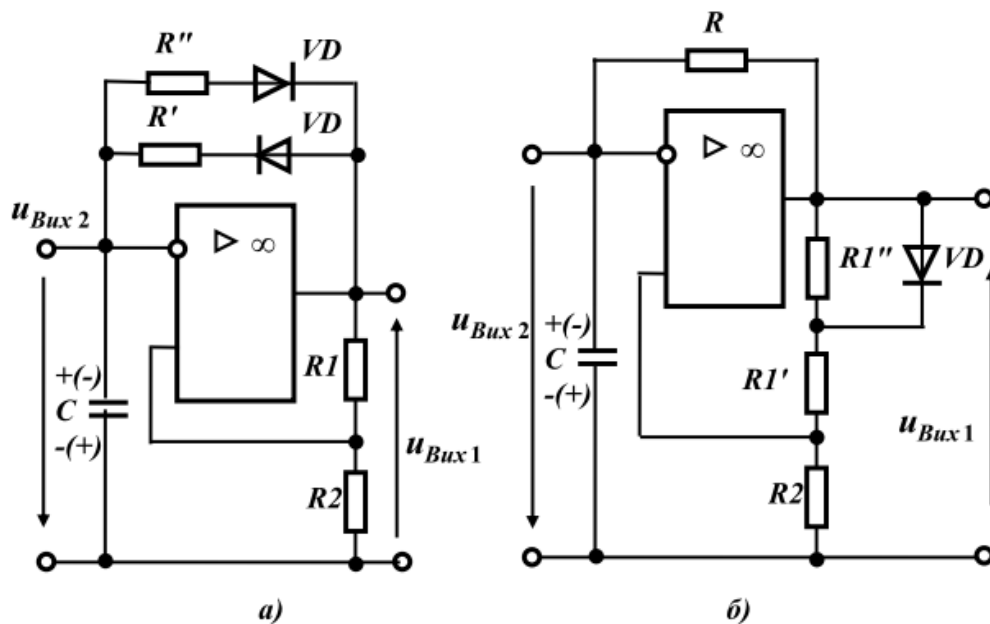


Рис. 2. Схеми генераторів на ОП зі змінними коефіцієнтами передачі ланцюга НЗЗ (а) та ПЗЗ (б)

### Рекомендації щодо підготовки до заняття

Лабораторне заняття передбачає наявність твердих знань теорії побудови та функціонування генераторів імпульсів, призначення всіх елементів схеми, їх вплив на характеристики вихідного сигналу.

Необхідно знати фізичні принципи що лежать в основі функціонування автоколивальних та загальмованих мультивібраторів, побудованих на різній елементній базі.

### Питання для самоконтролю:

1. Пояснити шляхи струму заряду та розряду конденсатора в автоколивальному мультивібраторі.
2. Пояснити принцип отримання імпульсних сигналів з різною тривалістю імпульсів та періодом?

## Програма заняття

1. Відповідно до заданого варіанту (табл. 1) побудувати автоколивальний мультивібратор на операційному підсилювачі. Визначити теоретичним, а потім експериментальним методами частоту вихідних імпульсів.

2. Оцінити похибку розрахунків та вплив величини опору резистору зворотного зв'язку на параметри імпульсів вихідного сигналу. Для цього змінити на 50 % один з параметрів RC-ланцюга і виконати експериментальні дослідження спочатку для R, потім – для C. Порівняти результати і зробити висновки.

Таблиця 1 Варіанти до виконання завдання

| № варіанту | C, мкФ | R <sub>1</sub> , кОм | R <sub>2</sub> , кОм | R <sub>3</sub> , кОм | R <sub>4</sub> , кОм |
|------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1          | 1      | 0,6                  | 1                    | 10                   | 10                   |
| 2          | 0,9    | 0,5                  | 0,5                  | 10                   | 15                   |
| 3          | 1      | 1                    | 1                    | 9                    | 10                   |
| 4          | 0,95   | 1                    | 0,6                  | 5                    | 8                    |
| 5          | 0,9    | 0,5                  | 1                    | 10                   | 13                   |
| 6          | 1      | 0,6                  | 0,5                  | 6                    | 7                    |
| 7          | 0,96   | 1                    | 0,5                  | 9                    | 11                   |
| 8          | 0,91   | 0,6                  | 0,9                  | 5                    | 10                   |
| 9          | 0,98   | 0,7                  | 0,6                  | 10                   | 12                   |
| 10         | 0,95   | 0,5                  | 0,7                  | 9                    | 9                    |
| 11         | 1      | 0,7                  | 0,7                  | 5                    | 8                    |
| 12         | 0,9    | 0,8                  | 0,7                  | 8                    | 8                    |
| 13         | 0,93   | 0,5                  | 0,7                  | 7                    | 10                   |
| 14         | 0,96   | 0,8                  | 0,8                  | 11                   | 10                   |
| 15         | 0,91   | 1                    | 0,8                  | 5                    | 10                   |
| 16         | 0,99   | 0,5                  | 1                    | 10                   | 12                   |
| 17         | 0,95   | 0,9                  | 0,9                  | 9                    | 9                    |
| 18         | 0,92   | 1                    | 0,9                  | 5                    | 8                    |
| 19         | 0,97   | 0,6                  | 1                    | 8                    | 8                    |
| 20         | 1      | 0,5                  | 0,5                  | 7                    | 10                   |
| 21         | 0,93   | 1                    | 0,6                  | 11                   | 10                   |

|    |      |     |     |    |    |
|----|------|-----|-----|----|----|
| 22 | 0,94 | 0,9 | 1   | 10 | 10 |
| 23 | 1    | 1   | 1   | 10 | 15 |
| 24 | 0,94 | 0,5 | 0,7 | 9  | 10 |
| 25 | 0,92 | 1   | 0,5 | 5  | 8  |
| 26 | 1    | 1   | 1   | 10 | 13 |
| 27 | 0,5  | 0,7 | 0,8 | 6  | 7  |
| 28 | 1    | 0,5 | 1   | 9  | 11 |
| 29 | 0,95 | 1   | 0,8 | 10 | 10 |
| 30 | 0,96 | 0,9 | 0,5 | 8  | 9  |

### **Зміст звіту**

1. Результати моделювання роботи автоколивального мультівібратора на операційному підсилювачі з результатами теоретичного та експериментального визначення параметрів імпульсів вихідного сигналу.

2. Висновки, в яких відобразити результати досліджень, а також призначення та вплив елементів схеми на параметри вихідних сигналів.

### **Контрольні запитання**

1. Дати визначення мультівібратора.
2. Пояснити вплив елементів схеми на параметри імпульсів.
3. Дати характеристику автоколивальному мультівібратору.
4. Привести схему автоколивального (загальмованого) мультівібратора на логічних елементах, пояснити принцип їх роботи.

### **Довідкові дані**

#### **Варіант виконання завдання**

Приклад виконання завдання представлений на рис. 3.

Схема передбачає за допомогою перемикача включення в зворотне кола додаткового резистора для зміни опору зворотного зв'язку, тобто вносяться зміни до параметрів НЗЗ. Цей перемикач та діод утворюють різні шляхи для струму заряду та розряду конденсатора, внаслідок чого вихідний сигнал перестає бути меандром, тобто таким, у якого тривалість імпульсу та паузи між ними однакові.

За допомогою двох різних осцилограм, які демонструють форму вихідного сигналу в залежності від стану перемикача в ланцюзі зворотного зв'язку, можна наочно продемонструвати, яким чином параметри вихідного імпульсу залежать від параметрів елементів схеми.

На рисунку приведені результати визначення періоду вихідних імпульсів теоретичним та експериментальним методами, а також розрахунки похибки визначення.

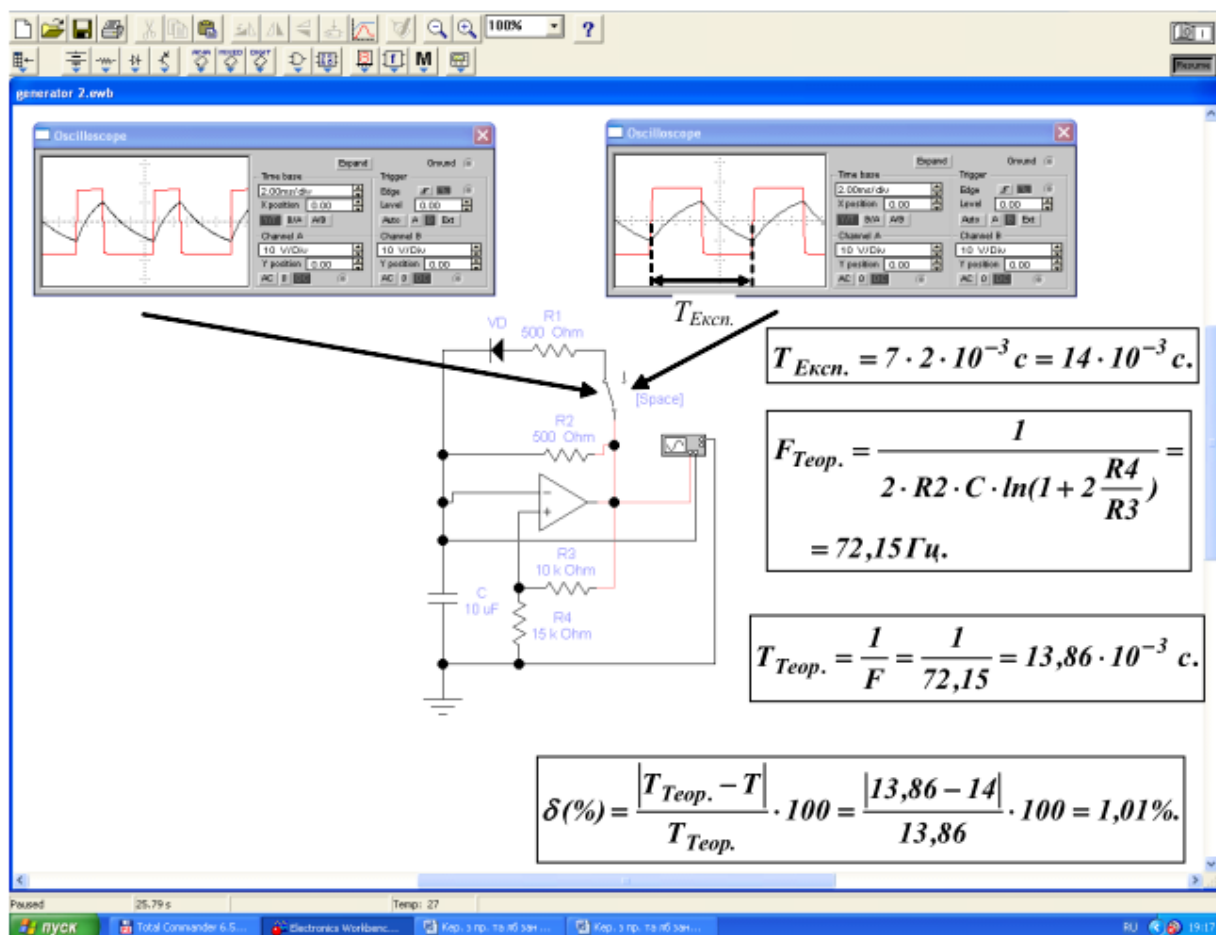


Рис. 3. Приклад виконання завдання

### Осцилограф

Осцилограф, імітований програмою Workbench, є аналогом двопроменевого осцилографа, що запам'ятовує, і має дві модифікації: просту і розширену (рис. 4). Розширена модифікація за своїми можливостями наближається до кращих цифрових осцилографів, котрий запам'ятовують. Через те, що розширена модель займає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження схеми простою моделлю, а для докладного дослідження процесів використовувати розширену модель. Осцилограф можна підключити до вже включеної схеми або під час роботи

схеми переставити виводи до інших точок схеми - зображення на екрані осцилографа зміниться автоматично.

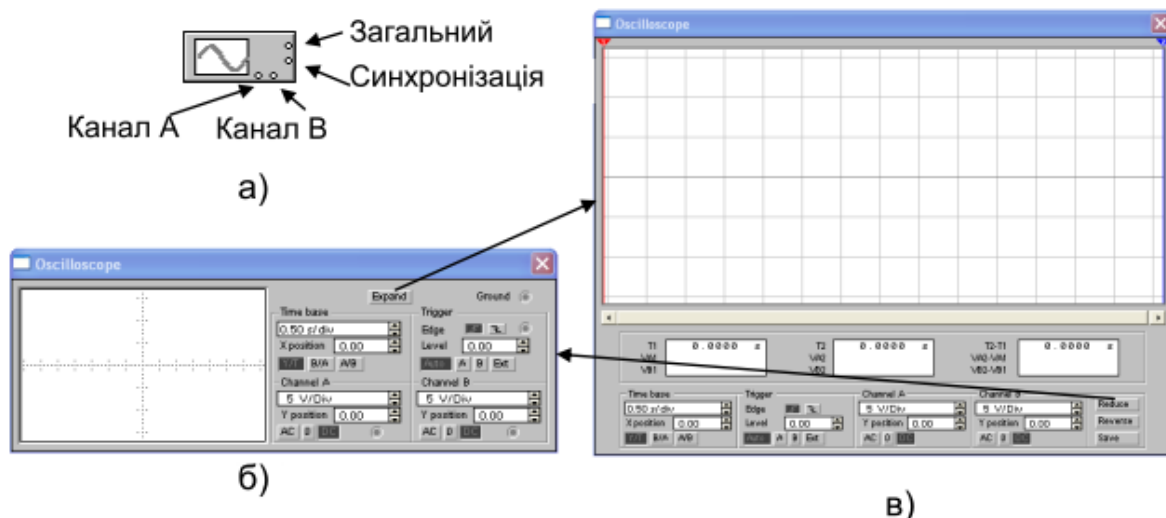


Рис. 4. Осцилограф: а) зменшене зображення; б) проста модифікація; в) розширена модифікація.

У ході аналізу роботи схеми нерідко виникає необхідність уповільнити процес моделювання, щоб на екрані осцилографа було зручно візуально сприймати інформацію. Це необхідно, наприклад, при дослідженні перехідних процесів або коли в ході експерименту потрібно перемкнути ключ в певний момент. Для цього потрібно збільшити кількість розрахункових крапок на цикл. Це можна зробити, вибравши пункт **Analysis Options** в меню **Circuit** і встановивши в рядку **Time domain points per cycle** необхідне значення (зазвичай достатньо 5000 крапок). За умовчанням кількість крапок рівняється 100.

Полегшити аналіз осцилограм може включення режиму **Pause after each screen** (Пауза після кожного екрану). У цьому режимі розрахунок схеми зупиняється після того, як промінь осцилографа проходить весь екран. Це часто буває необхідним при завадах з синхронізацією зображення на екрані осцилографа. Щоб продовжити розрахунок схеми, необхідно вибрати пункт **Resume** (Продовжити) меню **Circuit** або натиснути клавішу **F9** на клавіатурі. Зупинити процес розрахунку схеми у будь-який момент часу можна натисненням клавіші **F9** або вибором пункту **Pause** (Пауза) в меню **Circuit**. Продовжити розрахунок можна повторним натисненням клавіші **F9** або вибором пункту **Resume** меню **Circuit**. Натиснення кнопки "Пуск" у правому верхньому кутку екрану припиняє моделювання схеми.

На схему виводиться зменшене зображення осцилографа (рис. 4,а), загальне для обох модифікацій. На цьому зображенні є чотири входи:



- верхній правий вхід – загальний вхід;
- нижній правий – вхід синхронізації (його призначення буде розглянутий нижче);
- лівий і правий входи є відповідно входом каналу А (channel A) і входом каналу В (channel B).

Загальний вхід називають так тому, що потенціал на цьому вході є загальною крапкою, щодо якої осцилограф вимірює напругу. Зазвичай цей вивід заземляють, щоб осцилограф вимірював напругу щодо нуля. Тому на панелі осцилографа цей вивід позначений як "**Gground**".

Подвійним клацанням миші по зменшеному зображенню відкривається зображення передньої панелі простої моделі осцилографа з кнопками управління, інформаційними полями і екраном (рис.4, б).

Налагоджування осцилографу.

Для проведення вимірювань осцилограф потрібно налагодити, для чого слід задати наступні параметри:

- розташування висей, за якими відкладається сигнал;
- потрібний масштаб розгортки за висями;
- зсув початку координат за висями;
- режим роботи по входу (закритий або відкритий);
- режим синхронізації (внутрішній або зовнішній).

Налагоджування осцилографу проводиться за допомогою полів управління, розташованих на панелі управління.

*Панель управління.*

Панель управління має загальний для обох модифікацій осцилографа вигляд і розділена на чотири поля управління:

- поле управління горизонтальною розгорткою (масштабом часу) (**Time base**);
- поле управління синхронізацією (запуском) (**Trigger**);
- поле управління каналом А (**Channel A**);
- поле управління каналом В (**Channel B**);

Управління масштабом часу (**Time base**).

Поле управління горизонтальною розгорткою (масштабом часу) служить для завдання масштабу горизонтальній висі осцилографу при спостереженні напруги на входах каналів А і В залежно від часу.

Часовий масштаб задається в **c/інт** (інт. – інтервал), **мс/інт**, **мкс/інт**, **нс/інт** (**s/div**, **ms/div**, **ms/div**, **ns/div** відповідно). Величина одного інтервалу може бути встановлена від **0,1 нс** до **1с**. Масштаб може дискретно зменшуватися на один крок в більший або менший бік при клацанні мишею на відповідній кнопці, що розташована праворуч від поля управління

горизонтальною розгорткою. Щоб отримати зручне для спостереження зображення на екрані осцилографа, необхідно встановити масштаб часу так, щоб ціна двох інтервалів на горизонтальній осі приблизно була рівна величині, зворотно пропорційній частоті досліджуваного сигналу, тобто складала б період сигналу.

Наприклад, якщо необхідно досліджувати сигнал з частотою **1 KHz**, то треба встановити масштаб часу рівним **0.05 ms**.

За допомогою кнопок, що розташовані в полі рядка **X Position**, можна дискретно зрушувати початок осцилограми по горизонтальній вісі. У цьому ж полі розташовано три кнопки: **Y/T**, **A/B**, **B/A**, що дозволяють задавати вид залежності сигналів, які відображаються. При натисненні на кнопку **Y/T** по вертикальній вісі відкладається напруга, по горизонтальній вісі - час, при натисненні на кнопку **A/B** по вертикальній вісі відкладається амплітуда напруги на вході каналу **A**, по горизонтальній вісі - каналу **B** і при натисненні на кнопку **B/A** навпаки. При цьому масштаб вісів визначається установками відповідних каналів. У режимах **A/B** і **B/A** можна спостерігати частотні і фазові зсуви (фігури Ліссажу), петлі гістерезису, вольтамперні характеристики і т. п.

#### *Управління каналами A і B (Channel A, Channel B).*

Дві нижні частини панелі осцилографа є полями управління відображенням сигналів, поданих на входи каналів **A** і **B** відповідно. Верхнє вікно в полі дозволяє управляти масштабом вісі напруги, що відображається, по вертикальній або горизонтальній вісі. Ціна інтервалу (ділення) може дискретно встановлюватися від **10mv/div** до **5 Kv/div**. Масштаб для кожної вісі встановлюється окремо. Щоб отримати зручне для роботи зображення на екрані осцилографа, перед початком експерименту необхідно встановити масштаб, відповідний очікуваній напрузі.

Наприклад, при подачі на вхід змінного сигналу амплітудою **3** вольти необхідно встановити масштаб вертикальної вісі **Y** рівний **1 V/div**.

Нижче розташоване поле, яке дозволяє дискретно зсувати вісь **X** вгору або вниз. Для того, щоб розвести зображення від каналів **A** і **B**, необхідно користуватися зсувами по вісі **Y (Y Position)** для одного або двох каналів. Три нижні кнопки реалізують різні режими роботи входу осцилографа. Режим роботи осцилографа з закритим входом встановлюється натисненням на кнопку **AC**. У цьому режимі на вхід не пропускається постійна складова сигналу. При натисненні на кнопку **DC** осцилограф переходить в режим з відкритим входом. У цьому режимі на вхід осцилографа пропускається як постійна, так і змінна складова сигналу. При натисненні на кнопку **OC** вхід

осцилографа з'єднується із загальним входом осцилографа, що дозволяє визначити положення нульової відмітки за віссю Y.

#### *Управління синхронізацією (Trigger).*

Верхнє праве поле управління **Trigger** визначає момент початку відображення осцилограми на екрані осцилографа. Кнопки в рядку **Edge** задають момент запуску осцилограми за фронтом або за спадом імпульсу на вході синхронізації.

Поле **Level** дозволяє задавати рівень, при перевищенні якого відбувається запуск осцилограми. Значення рівня можна зсовувати в сторону збільшення або зменшення.

Осцилограф має чотири режими синхронізації:

– автоматичний режим (**Auto**) - запуск осцилограми проводиться автоматично при підключенні осцилографа до схеми або при її включенні. Коли "промінь" доходить до кінця екрану, осцилограма знову прописується з початку екрану (новий екран).

– режими запуску по входу "**A**" або "**B**", в яких сигналом що запускає є сигнал, який поступає на відповідний вхід.

– режим "Зовнішній запуск" (**Ext - external**). В цьому випадку сигналом запуску є сигнал, що подається на вхід синхронізації.

У випадку, коли сигнал не відображається або сигнал слабкий, необхідно натиснути кнопку **Auto**.

#### *Розширена модифікація осцилографа.*

Натиснення клавіші **Expand** на панелі простої моделі відкриває вікно розширеної моделі осцилографа. Панель розширеної моделі осцилографа на відміну від простої моделі розташована під екраном і доповнена трьома інформаційними табло, на які виводяться результати вимірювань. Крім того, безпосередньо під екраном знаходиться лінійка прокрутки, що дозволяє спостерігати будь-який часовий відрізок процесу від моменту включення до моменту виключення схеми. По суті, розширена модель осцилографа – це абсолютно інший прилад, що дозволяє набагато зручніше і більш точно проводити чисельний аналіз процесів. На екрані осцилографа розташовано два курсори, що позначаються 1 (червоний) і 2 (синій), за допомогою яких можна зміряти миттєві значення напруги в будь-якій точці осцилограми. Для цього необхідно просто перетягнути мишею курсори за трикутники в їх верхній частині в необхідне положення. Координати точок перетину першого курсору з осцилограмами відображаються на лівому табло, координати другого курсору - на середньому табло. На правому табло відображаються

значення різниць між відповідними координатами першого і другого курсорів. Результати вимірювань, отримані за допомогою розширеної моделі осцилографа, можна записати у файл. Для цього необхідно скористуватися кнопкою **Save (Зберегти)** і в діалоговому вікні ввести ім'я файла. Цьому файлу привласнюється розширення **\*.scp**. Він є текстовим файлом в ASCII кодах, в якому записані дані про значення напруги в точках підключення осцилографа через інтервал часу, рівний масштабу горизонтальної розгортки.

Щоб повернутися до колишнього зображення осцилографа, необхідно натиснути клавішу **Reduce**, розташовану в правому нижньому кутку.

## ДОДАТОК А

### РЯДИ НОМІНАЛЬНИХ ОПОРІВ (ЄМНОСТЕЙ) ТА ЇХ ДОПУСКІВ

Номинальний опір (ємність) – значення опору резистора (ємності конденсатора), на які розрахований відповідний виріб і яке на ньому позначене або вказане у нормативній документації, що супроводжує його. Номинальні значення опорів (ємностей), які випускає вітчизняна промисловість та зарубіжні фірми, стандартизовані і зведені у сім рядів: E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192. Для конденсаторів значної ємності (більш 1...10 мкФ) номінали можуть встановлюватись поза рядів E і залежати від типу конденсатора.

Ряди E являють собою десяткові ряди геометричної прогресії із знаменником прогресії, що дорівнює  $q^{1/N}$ , де N – номер ряду. Цифра після букви E (номер ряду) вказує кількість номінальних величин у кожному десятковому інтервалі. Наприклад, ряд E6 містить шість значень номінальних опорів (ємностей) у кожній декаді, які відповідають числам 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 або числам, які отримані шляхом ділення або множення цих чисел на  $10^n$ , де n – ціле додатне або від’ємне число. Значення номінальних чисел для рядів, які найбільш використовуються, наведені у табл. А1.

Таблиця А.1.

| E3  | E6  | E12 | E24 | E3  | E6  | E12 | E24 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |     | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
|     |     |     | 1,1 |     |     |     | 3,6 |
|     |     | 1,2 | 1,2 |     |     | 3,9 | 3,9 |
|     |     |     | 1,3 |     |     |     | 4,3 |
|     | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
|     |     |     | 1,6 |     |     |     | 5,1 |
|     |     | 1,8 | 1,8 |     |     | 5,6 | 5,6 |
|     |     |     | 2,0 |     |     |     | 6,2 |
| 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |     | 6,8 | 6,8 | 6,8 |
|     |     |     | 2,4 |     |     |     | 7,5 |
|     |     | 2,7 | 2,7 |     |     | 8,2 | 8,2 |
|     |     |     | 3,0 |     |     |     | 9,1 |

Фактичні значення опорів (ємностей) можуть відрізнятися від номінальних у межах допустимих відхилень. Ряд допустимих відхилень також нормований. Допуски на номінали опору наводяться у відсотках і обираються у відповідності з рядом:

$\pm 0,001$ ;  $\pm 0,002$ ;  $\pm 0,005$ ;  $\pm 0,01$ ;  $\pm 0,02$ ;  $\pm 0,05$ ;  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 2,0$ ;  $\pm 5,0$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $\pm 30$ .

Для резисторів ряду E3 допуск  $\pm 30\%$ ; E6 –  $\pm 20\%$ ; E12 –  $\pm 10\%$ ; E24 –  $\pm 5\%$

Допуски на номінали ємностей конденсаторів вказуються у відсотках і обираються із ряду:

$\pm 0,1; \pm 0,25; \pm 0,5; \pm 1; \pm 2; \pm 10; \pm 20; \pm 30; 0 + 50;$   
 $-10 + 30; -10 + 50; -10 + 100; -20 + 50; -20 + 80.$

Величина допуску, яка використовується, визначається не лише рядом номіналів (рядом E), а також і типом конденсатора. Для конденсаторів із номінальними ємностями нижче 10 пФ відхилення, які допускаються, вказуються у абсолютних значеннях:  $\pm 0,1; \pm 0,25; \pm 0,5$  та  $\pm 1$  пФ.