

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ Й НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

“ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОНІКА”

Одеса - 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ Й НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

“ ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОНІКА ”

для студентів 3 курсу факультету комп'ютерних наук

Затверджено
на засіданні методичної комісії
факультету КН
протокол № ____ від _____ 2014р.

Одеса – 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ Й НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

“ ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОНІКА ”

для студентів 3 курсу факультету комп'ютерних наук
Напрямок підготовки - Комп'ютерні науки

"Затверджено"
на засіданні методичної комісії
факультету КН
протокол №__ від ____ 2014р.
Декан
_____ Коваленко Л.Б.

"Затверджено"
на засіданні кафедри АСМНС
протокол №__ від ____ 2014р.
Зав. каф. АСМНС
_____ Перелигін Б.В.

Збірник методичних вказівок до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технічна електроніка ” призначений для студентів 3 курсу денної форми навчання за спеціальністю “Комп’ютерні науки”.

Укладач: доцент Лавріненко Ю.В., асист. Бучинська І.В. - Одеса: ОДЕКУ, 2014. – 60 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1

«Здобуття навичок роботи з програмою моделювання Electronics Workbench».....	5
Лабораторна робота №2	

«Дослідження операційних підсилювачів».....	20
Лабораторна робота № 3	

«Дослідження тригера та мультівібратора на логічних елементах».....	29
Лабораторна робота № 4	

«Аналіз роботи аналого-цифрового перетворювача».....	41
Список використаної літератури.....	59

ВСТУП

Дисципліна “Технічна електроніка” є вибірковою дисципліною підготовки бакалаврів за напрямком “Комп'ютерні науки”, шифр 6.050101.

Мета дисципліни - підготовка фахівців із систем моніторингу навколишнього середовища в області інформаційних управляючих систем і технологій.

Завдання дисципліни полягає у формуванні теоретичних знань і практичних навичок, що забезпечують можливість розуміти й аналізувати процеси в електронних пристроях систем обробки інформації.

Загальний обсяг навчального часу доводиться на вивчення дисципліни становить 108 годин, з яких лекції - 34 години, лабораторні заняття - 17 годин, самостійна робота студентів - 57 годин.

Дисципліна “Технічна електроніка” базується на вивченні таких дисциплін, як: “Фізика”, “Вища математика”, “Електротехніка й електроніка” і знайомить майбутніх фахівців з елементною базою сучасних систем обробки інформації.

У свою чергу, вона є основою для вивчення дисципліни: “Комп'ютерна схемотехніка й архітектура комп'ютерів”.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні здобути:
знання:

- призначення й класифікації елементів і приладів технічної електроніки;
 - принципів побудови й роботи елементів сучасних радіоелектронних апаратів;
 - типових схемотехнічних рішень щодо схем на операційних підсилювачах і логічних елементах;
 - основ аналізу базових елементів і пристроїв, що становлять сучасні інформаційні системи;
 - елементну базу й методику синтезу цифрових пристроїв;
- уміння:
- вибирати й використати базові елементи радіоелектронних апаратів;
 - використовувати основні методи аналізу й синтезу електронних систем обробки інформації;
 - здійснювати необхідні розрахунки;
 - використовувати комп'ютерне моделювання електронних елементів і пристроїв для дослідження їхньої роботи.

Дисципліною передбачена форма поточного контролю - проведення модульних контрольних робіт і підсумкового контролю - залік.

Лабораторна робота №1

«Здобуття навичок роботи з програмою моделювання Electronics Workbench»

Мета роботи – ознайомитися з програмою Electronics Workbench і навчитися моделювати та аналізувати електричні схеми.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час проведення лабораторної роботи студент повинен:

знати:

- призначення й класифікації елементів і приладів технічної електроніки;
- принципи побудови й роботи елементів сучасних радіоелектронних апаратів;

уміти:

- вибирати й використати базові елементи радіоелектронних апаратів;
- використовувати основні методи аналізу й синтезу електронних систем обробки інформації.

Теоретичні відомості. Програма *Electronics Workbench (EWB)* призначена для моделювання аналогових, цифрових і цифро-аналогових схем різного ступеня складності. Наявні в програмі бібліотеки містять у собі великий набір широко розповсюджених електронних компонентів (резистори, конденсатори, діоди, транзистори, мікросхеми та ін.).

Наявність приладів дозволяє робити виміри різних величин, задавати вхідні впливи, будувати графіки. Всі прилади (амперметр, вольтметр, осцилограф і ін.) зображуються в максимально наближеному до реального вигляді, тому працювати з ними просто й зручно.

У загальному випадку процес створення моделі електричної схеми починається з розміщення на робочому полі електронних компонентів з бібліотек програми. Для відкриття каталогу потрібної бібліотеки необхідно підвести курсор миші до відповідної піктограми на панелі вибору компонентів і інструментів і клацнути ліву клавішу миші. При цьому відкривається вікно із зображенням наявних в обраній піктограмі електронних компонентів або вимірювальних приладів (рис. 1.1). На рис. 1.1 відкрите поле пасивних компонентів.

Після вибору необхідного компонента й наведення на його зображення стрілки миші, необхідно натиснути ліву клавішу миші й, не відпускаючи її, перетягнути зображення елемента на робоче поле.

Елемент при цьому буде виділений червоними кольорами, що свідчить про його активний стан. Для зняття активного стану, необхідно один раз натиснути лівою клавішею миші, забравши курсор із зображення елемента. Для створення активного стану елемента, необхідно навести на нього курсор миші, і зробити два натискання лівою клавішею. В активному стані елемента, при підведенні курсору миші знизу зображення елемента, виникає зображення руки із вказівним пальцем, спрямованим на елемент. У цій ситуації дворазове натискання лівої клавіші миші приводить до розкриття діалогового вікна параметрів елемента, з можливістю їхнього детального редагування для деяких елементів (клавіша Edit).



Робоче поле

Рисунок 1.1 – Панель електронних компонентів

Після розміщення необхідних компонентів виробляється з'єднання їхніх виводів провідниками. При цьому необхідно враховувати, що до виводу компонента можна підключити тільки один провідник. Для виконання підключення (з'єднання) курсор миші підводять до виводу компонента й, після появи чорної точки, натискається ліва клавіша миші й провідник, що з'являється при цьому, простягається до виводу іншого компонента, до появи на ньому такої ж чорної точки, після чого кнопка миші відпускається й з'єднання готове. При необхідності з'єднання більше двох виводів, з бібліотеки компонентів використовується чорна точка (символ з'єднання), що переноситься на раніше встановлений провідник. Після установки точки до неї можна підключити ще два провідники. У загальному випадку точка має 4 входи, під кутами 90° один до одного. Якщо з'єднання потрібно розірвати, курсор підводить до одного з виводу компонента або точки з'єднання, і, з появою зображення чорної точки, натискається ліва клавіша миші, провідник ставиться на вільне місце робочого поля, після чого клавіша відпускається й з'єднання розірване.

Слід відзначити, що прокладка сполучних провідників виробляється автоматично, за ортогональними напрямками. Якщо необхідно перемістити окремий сегмент провідника, до нього підводять курсор, натискається ліва клавіша й, після появи у вертикальній або горизонтальній площині подвійного курсору, здійснюються потрібні переміщення. Підключення до схеми контрольно-вимірювальних приладів робиться аналогічно.

Система меню програми EWB

Основну, центральну частину вікна програми займає робоча область, в якій збирається й тестується електронна схема. Над робочою областю перебуває панель кнопок. За допомогою кнопок, наявних на цій панелі, можна змінювати вміст вікна набору компонентів. Зображення на кнопках показують, які типи компонентів з'являться в наборі при натисканні відповідної кнопки. Праворуч у цьому ж ряді розташований перемикач, що дозволяє включати й виключати зібрану схему. Перемикання здійснюється за допомогою натискання мишею на перемикачі. Над іконками приладів розташовано меню. Головне меню програми (рис. 1.2) містить у собі:



Рисунок 1.2 – Меню програми EWB

Меню File

Меню *File* (рис. 1.3) призначений для завантаження й запису файлів, отримання твердої копії обраних для печатки складових частин схеми, а також для імпорту/експорту файлів у форматах інших систем моделювання й програм розробки друкованих плат.

Перші чотири команди цього меню: *New (Ctrl+N)*, *Open (Ctrl+O)*, *Save (Ctrl+S)*, *Save As...* – типові для Windows команди роботи з файлами й тому пояснення не потрібні.

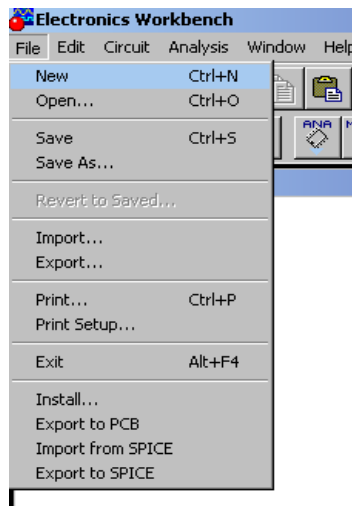


Рисунок 1.3 – Меню File

Інші команди мають таке призначення:

- *Revert to Saved* – стирання всіх змін, внесених у поточному сеансі редагування й відновлення схеми в первісному вигляді;
- *Print...* (*Ctrl+P*) – вибір даних для виводу на принтер;
- *Print Setup...* – налаштування принтера;
- *Exit* (*Alt+F4*) – вихід з програми;
- *Install...* – установка додаткових програм.
- *Import/Export* – вставка з/вставка у файл зі схемою іншого формату.

Меню Edit

Меню Edit (рис. 1.4) дозволяє виконувати команди редагування схем і копіювання екрана:

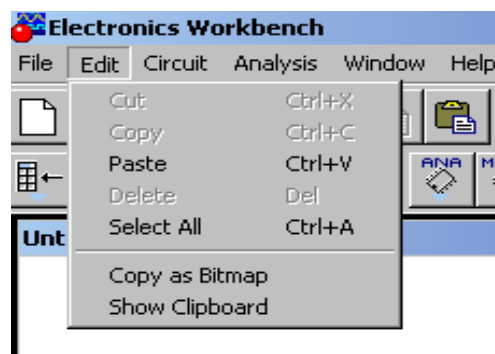


Рисунок 1.4 – Меню Edit

Призначення команд:

- *Cut* (*Ctrl+X*) – стирання (вирізання) виділеної частини схеми зі збереженням її в буфері обміну (Clipboard). Виділені компоненти забарвлюються в червоний колір;

- *Copy (Ctrl+C)* – копіювання виділеної частини схеми в буфер обміну;
- *Paste (Ctrl+V)* – вставка вмісту буфера обміну на робоче поле програми;
- *Delete (Del)* – стирання виділеної частини схеми;
- *Select All (Ctrl+A)* – виділення всієї схеми;
- *Copy as Bitmap (Ctrl+I)* – команда перетворення курсору миші в хрестик, яким за правилом прямокутника можна виділити потрібну частину екрана, після відпускання лівої кнопки миші виділена частина копіюється в буфер обміну, а далі його вміст може бути імпортований у будь-який додаток Windows. Копіювання всього екрана проводиться натисканням клавіші *Print Screen*: копіювання активної в цей момент частини екрана, наприклад, діалогового вікна - комбінацією *Alt+Print Screen*. Команда дуже зручна при підготовці звітів з моделювання, наприклад, при оформленні лабораторних робіт;

Show Clipboard - показати вміст буфера обміну.

Меню Circuit

Меню *Circuit* (рис. 1.5) використовується для підготовки схем до роботи.

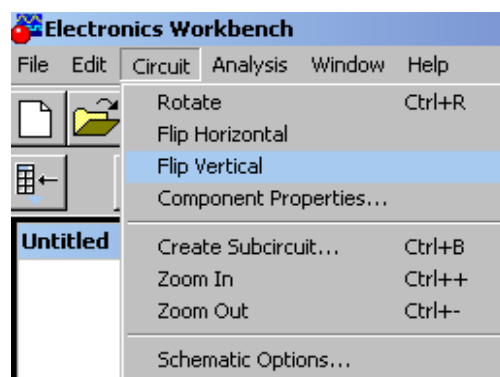


Рисунок 1.5 – Меню Circuit

Призначення команд:

- *Rotate (Ctrl+R)* – обертання виділеного компонента; більшість компонентів повертаються проти часової стрілки на 90° при кожному виконанні команди; для вимірювальних приладів (амперметр, вольтметр і ін.) міняються місцями клеми підключення. Команда найчастіше використовується при підготовці схем. У готовій схемі користуватися командою недоцільно, оскільки це призводить до плутанини – у такому випадку компоненти потрібно спочатку відключити від приєднаних ланцюгів, а потім обертати;
- *Flip Horizontal* – повороти схеми в горизонтальному напрямку;
- *Flip Vertical* – повороти схеми у вертикальному напрямку;

- *Component Properties* – виклик меню властивостей елемента.
- *Creat Subcircuit* – перетворення попередньо виділеної частини схеми в підсхему. Виділена частина схеми повинна бути розташована таким чином, щоб у виділену область не потрапили зайві проведення й компоненти;
- *Zoom In* – збільшення масштабу зображення виділеної підсхеми;
- *Zoom Out* – зменшення масштабу зображення виділеної підсхеми;
- *Schematic Options* – виклик вікна, у якому виставляються наступні параметри відображення схеми на екран:

1) підменю Grid – Show grid – показати сітку для зручності рисування схеми (за замовчуванням ця опція виключена). Опція активна тільки при включеній опції Use grid (використати сітку);

2) підменю Show/Hide – Show labels – показати позиційні позначення компонентів, наприклад, C1, C2 для конденсаторів; – Show models – показати імена моделей компонентів, наприклад, типів транзисторів; – Show values – показати номінали компонентів, наприклад, опір резистора;

3) підменю Fonts – Set label font – вибір типу шрифту, розміру і написання для міток елементів; Set value font – вибір типу шрифту, розміру і написання для значень параметрів елементів;

4) підменю Wiring – прокладка й організація взаємного з'єднання провідників, автоматичне видалення не використаних провідників;

5) підменю Printing – масштабування інформації, виводиться на принтер.

Меню Analysis

Перші три команди – *Activate (CTRL+G)*, *Stop (CTRL+T)*, *Pause (F9)* призначені для запуску на аналіз зібраної схеми, зупинки аналізу, паузи в ньому (рис. 1.6).

- *Analysis Options (CTRL+Y)* – набір команд для установки параметрів моделювання;

- *DC Operating Point* – установка для розрахунку режиму за постійним струмом (статистичний режим);

- *AC Frequency* – розрахунки частотних характеристик;

- *Transient* – налаштування параметрів режиму аналізу перехідних процесів;

- *Fourier* – проведення спектрального аналізу Фур'є;

- *Monte Carlo* – статистичний аналіз методом Монте-Карло;

- *Display Graphs* – цією командою на екран викликаються результати виконання моделювання. Якщо виконувалося кілька команд моделювання, то в даному вікні вони будуть накопичуватися й відображатися у вигляді

окремих закладок. Одночасно вивід інформації проходить також і на основні вимірювання приладів.

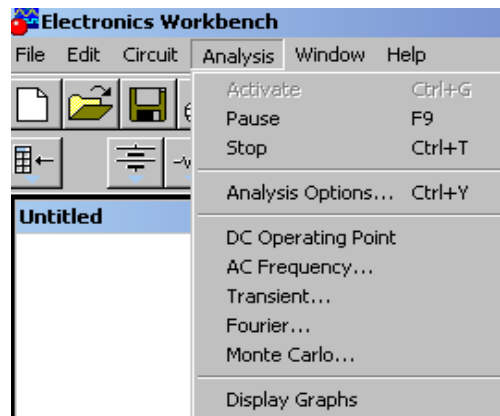


Рисунок 1.6 – Меню Analysis

Меню Window

Меню Window містить такі команди (рис. 1.7):

- *Arrange (CTRL+W)* – упорядкування інформації в робочому вікні EXCEL шляхом перезапису екрана, при цьому виправляються перекручування зображень компонентів і провідників;
- *Circuit* – вивід схеми на передній план;
- *Description (CTRL+D)* – вивід на передній план опису схеми, якщо він є, або вікно-ярлик для його підготовки (тільки англійською мовою).

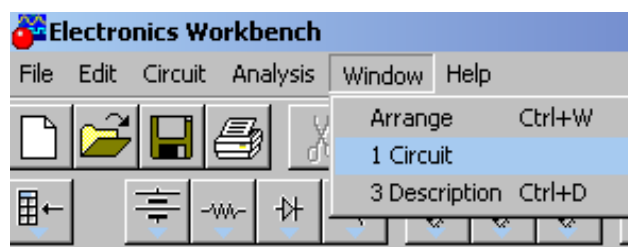


Рисунок 1.7 - Меню Window

Меню Help

Меню Help побудовано стандартним для Windows способом. Воно містить загальні відомості про всі команди, бібліотечні компоненти й вимірювальні прилади, а також відомості про саму програму.

Відзначимо, що для отримання довідки за бібліотечними компонентами необхідно відзначити на схемі натисканням миші (він висвітлиться червоним кольором) і потім натиснути клавішу F1.

Панель інструментів

На рис. 1.8 зображена панель інструментів програми EWB. Вона містить дві основні частини.

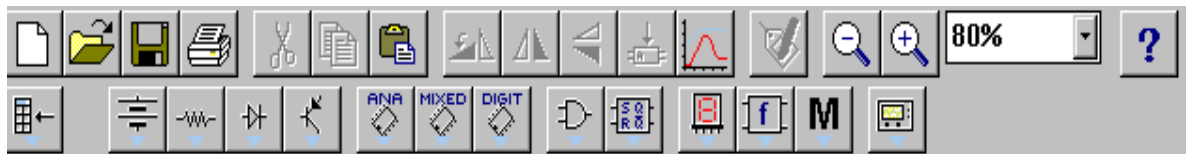


Рисунок 1.8 – Панель інструментів

Верхня лінійка іконок панелі являє собою швидкий доступ до деяких пунктів меню програми. Перелічимо їх послідовно:

- створити нову сторінку;
- відкрити папку;
- зберегти файл;
- роздрукувати дану сторінку;
- вирізати;
- копіювати в буфер обміну;
- вставити з буфера обміну;
- повернути на 90° проти часової стрілки;
- розгорнути за горизонталлю;
- розгорнути за вертикаллю;
- створити підсхему;
- показати результати виконання моделювання схеми;
- показати меню властивостей елемента схеми;
- зменшити масштаб;
- збільшити масштаб;
- вибрати масштаб відображення сторінки;
- допомога.

Нижня лінійка іконок являє собою набір бібліотечних компонентів програми. Розглянемо деякі з них, які будуть потрібні нам для подальшого виконання лабораторних робіт.

Компоненти Electronics Workbench

Для операцій з компонентами призначена панель компонентів, що складається з піктограм полів компонентів. Натисканням мишею на одній з піктограм полів компонентів можна відкрити відповідне поле компонентів.

Всі компоненти можна умовно розбити на наступні групи:

- базові компоненти;
- джерела;

- лінійні компоненти;
- ключі;
- нелінійні компоненти;
- індикатори;
- логічні компоненти;
- вузли комбінаційного типу;
- вузли послідовного типу;
- гібридні компоненти.

Розглянемо основні компоненти, які необхідні для виконання лабораторних робіт.

Базові елементи

Заземлення



Компонент "заземлення" має нульову напругу й у такий спосіб забезпечує вихідну точку для відліку потенціалів.

Не всі схеми мають потребу в заземленні для моделювання, однак, будь-яка схема, що містить:

- операційний підсилювач;
- трансформатор;
- кероване джерело;
- осцилограф;

повинна бути обов'язково заземлена, інакше прилади не будуть робити виміри або їхні показання виявляться неправильними.

З'єднуючий вузол



Вузол застосовується для з'єднання провідників і створення контрольних точок. До кожного вузла може приєднуватися не більше чотирьох провідників.

Після того, як схема зібрана, можна вставити додаткові вузли для підключення приладів.

Джерела

Всі джерела в EWB ідеальні. Внутрішній опір ідеального джерела напруги дорівнює нулю, тому його вихідна напруга не залежить від навантаження. Ідеальне джерело струму має нескінченно великий внутрішній опір, тому його струм не залежить від опору навантаження.



Джерела постійної напруги

Електрорушійна сила джерела постійної напруги або батареї вимірюється у Вольтах і задаються похідними величинами (від мкВ до кВ). Коро-

ткою жирною рисою в зображенні батареї позначається вивід, що має негативний потенціал стосовно іншого виводу.

Для завдання параметрів джерела напруги на робочому полі необхідно натиснути на нього двічі мишкою. З'явиться діалогове вікно Battery Properties (рис. 1.9). Після установки основних параметрів натисніть на кнопку OK.

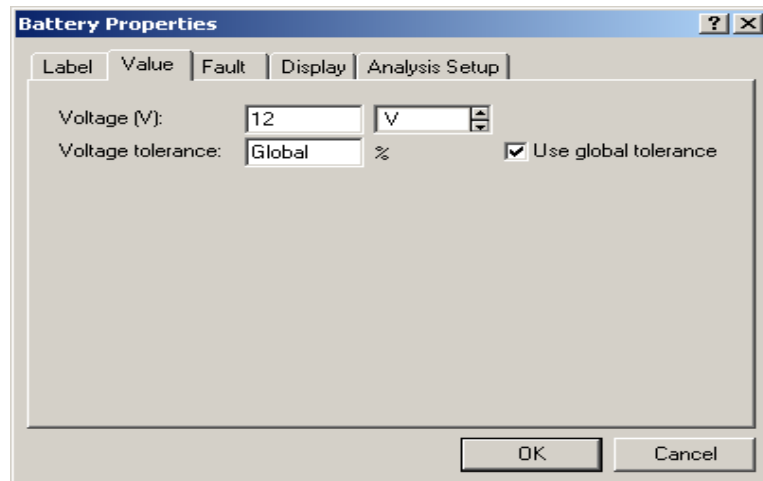


Рисунок 1.9 – Параметри джерела постійної напруги

Джерело напруги +5В

Використовуючи це джерело напруги, можна встановлювати фіксований потенціал вузла 5 В або рівень логічної одиниці. Джерело застосовується для моделювання цифрових мікросхем.



Джерело сигналу

За допомогою цього джерела встановлюють рівень логічної одиниці у вузлі схеми.



Генератор тактових імпульсів

Генератор виробляє послідовність прямокутних імпульсів. Можна регулювати амплітуду імпульсів, коефіцієнт заповнення та частоту проходження імпульсів. Відлік амплітуди імпульсів генератора виробляється від виводу, протилежного виводу "+".



Лінійні елементи

Резистор



Опір резистора вимірюється в Омах і задається похідними величинами (від Ом до МОм). Для завдання параметрів резистора на робочому полі необхідно натиснути на нього двічі мишею. З'явиться діалогове вікно Resistor Properties (рис. 1.10).

Після установки основних параметрів натисніть на кнопку ОК.



Конденсатори

Аналогічно резисторам, конденсатори також широко поширені в електронній техніці. В EWB конденсатори представлені трьома типами: постійні (охоплюють практично всі конденсатори), електролітичні. Значення ємності для всіх типів може бути встановлене у Ф.

Принцип дії конденсаторів заснований на здатності накопичувати на обкладках електричні заряди при додатку між ними напруги. Кількісною мірою здатності накопичувати електричні заряди є ємність конденсатора. У найпростішому випадку конденсатор являє собою дві металеві пластини, розділені шаром діелектрика.

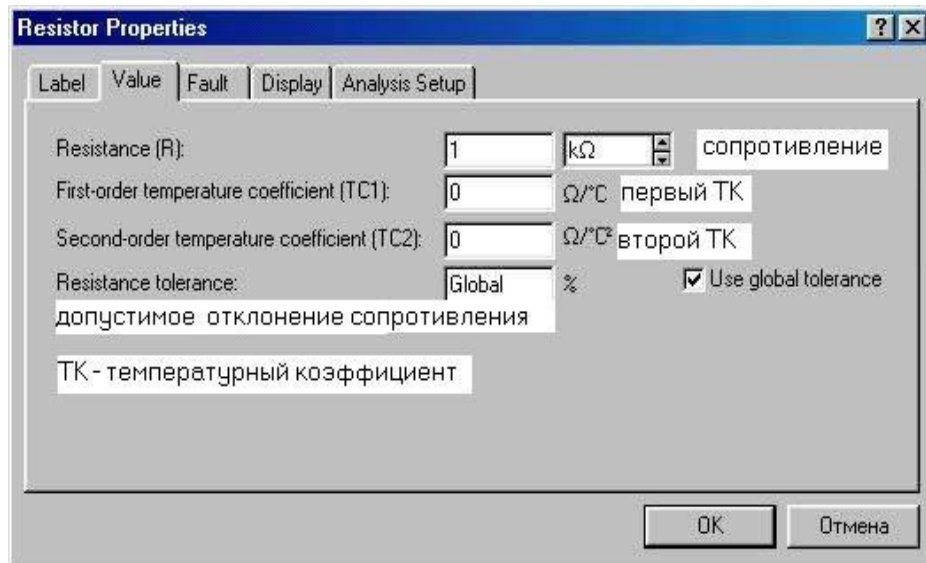
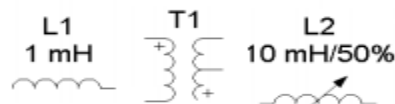


Рисунок 1.10 – Параметри резисторів



Індуктивні елементи

До індуктивних елементів належить котушка індуктивності, підстроювана котушка індуктивності й трансформатор.

Котушки індуктивності мають властивість чинити реактивний опір змінному струму при незначному опорі постійному струму. Разом з конденсаторами вони використовуються для створення фільтрів, що здійснюють частотну селекцію електричних сигналів, а так само для створення

елементів затримки сигналів і запам'ятовуючий елементів, здійснення зв'язку між ланцюгами через магнітний потік і т.д. На відміну від резисторів і конденсаторів вони не є стандартизованими виробами, а виготовляються для конкретної мети і мають такі параметри, які необхідні для здійснення тих або інших перетворень електричних сигналів, струмів і напруги.

Параметри котушок індуктивності й підстроюваної індуктивності, що задаються за допомогою діалогових вікон, аналогічні вікнам для резисторів і конденсаторів (використовується клавіша <L>). У діалоговому вікні установки параметрів лінійних трансформаторів задаються: коефіцієнт трансформації N, індуктивність розсіювання LE, індуктивність первинної обмотки LM, опір первинної (RP) і вторинної (RS) обмотки.

Доступ до вікна завдання параметрів трансформатора стає можливим після натискання на кнопку Edit діалогового вікна Transformer Properties.

[R]x1 k Ω /50%

Змінний резистор



Положення движка змінного резистора встановлюється за допомогою спеціального елемента – стрілки-движка. У діалоговому вікні, що з'являється після подвійного натискання мишею на зображенні резистора, можна встановити опір, початкове положення движка (у відсотках) і крок збільшення (також у відсотках). Є можливість змінювати положення движка за допомогою клавіш-ключів.

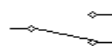
Використовувані клавіші-ключі:

- букви від A до Z;
- цифри від 0 до 9;
- клавіша Enter на клавіатурі;
- клавіша пробіл [Space].

Для зміни положення движка необхідно натиснути клавішу-ключ. Для збільшення значення положення движка необхідно одночасно натиснути [Shift] і клавішу-ключ, для зменшення - клавішу-ключ.

Приклад: движок встановлений в положенні 45%, крок збільшення - 5%, клавіша-ключ - пробіл [Space]. Натисканням клавіші [Space] положення движка стає рівним 40%. При кожному наступному натисканні на клавішу [Space] значення зменшується на 5%. Якщо натиснути [Space] + [Shift], то положення движка потенціометра збільшиться на 5%.

[Space]



Ключ, керований клавішею

Ключі можуть бути замкнуті або розімкнуті за допомогою керуючих клавіш на клавіатурі. Ім'я керуючої клавіші можна ввести з клавіатури в діалоговому вікні, що з'являється після подвійного натискання мишею на зображенні ключа.

Приклад: якщо необхідно, щоб стан ключа змінювався клавішею 'пробіл' [Space], то варто ввести слово «Space» у діалогове вікно натиснути ОК.

Використовувані клавіші-ключі:

- букви від A до Z;
- цифри від 0 до 9;
- клавіша Enter на клавіатурі;
- клавіша пробіл [Space].

Слід зазначити, що для різних елементів необхідно використати різні клавіші-ключі.

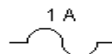
Нелінійні елементи

10 W 12 V



Лампа накаливання

Лампа накаливання – елемент, що перетворює електроенергію у світлову енергію. Вона характеризується двома параметрами: максимальною потужністю P_{\max} і максимальною напругою V_{\max} . Максимальна потужність може мати величину в діапазоні від мВт до кВт, максимальна напруга – в діапазоні від мВ до кВ. При напрузі на лампі більшій V_{\max} (у цей момент потужність, що виділяється в лампі, перевищує P_{\max}) вона перегорає. При цьому змінюється зображення лампи (обривається нитка) і провідність її дорівнює нулю.



Запобіжник

Запобіжник розриває коло, якщо струм у ньому перевищує максимальний струм I_{\max} . Значення I_{\max} може мати величину в діапазоні від мА до кА. У схемах, де використовується джерело змінного струму, I_{\max} є максимально миттєвим, а не діючим значенням струму.

Індикатори й вимірювальні прилади

200 Hz



Гудок

Гудок призначений для видачі звукового сигналу на спікер комп'ютера. Після установки елемента на робоче поле, можна задати основні параметри гудка. Для цього необхідно натиснути двічі на елемент і з'явиться діалогове вікно налаштування параметрів.

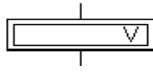
Амперметр



Амперметр призначений для вимірювання струму в колі електричної схеми. Внутрішній опір амперметра дорівнює нулю. Після установки елемента на робоче поле можна задати основні параметри амперметра. Для

цього необхідно натиснути двічі на елемент і з'явиться діалогове вікно налаштування параметрів.

Вольтметр



Вольтметр призначений для виміру напруги в електричному коліі. Внутрішній опір вольтметра дорівнює нескінченності. Після установки елемента на робоче поле можна задати основні параметри вольтметра. Для цього необхідно натиснути двічі на елемент і з'явиться діалогове вікно налаштування параметрів.

Устаткування й апаратура:

Комп'ютер, програми комп'ютерного моделювання Electronics Workbench.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричну схему з резисторами, зображену на рис. 1.11.
2. Поміняти положення движка змінного резистора за допомогою клавішей-клавіш.
3. Записати показання амперметрів та вольтметра для 8 позицій движка.
4. Зібрати електричну схему включення лампи (рис. 1.12).
5. Підібрати номінали елементів (джерело напруги, резистор) для лампи 100mw, 12v і пояснити свій вибір, використовуючи показання вольтметра та амперметра.
6. Визначити номінали джерела напруги й резистора при яких лампа перегорає.
7. Зібрати електричну схему включення гудка (рис. 1.13).
8. Підібрати номінали елементів (джерело напруги, гудок і резистор) і пояснити свій вибір, використовуючи показання вольтметра й амперметра.

Зміст звіту

1. Постановка завдання.
2. Електричні схеми, показання приладів і параметри підібраних елементів.
3. Опис елементів, використаних в електричних схемах.
4. Результати дослідження.

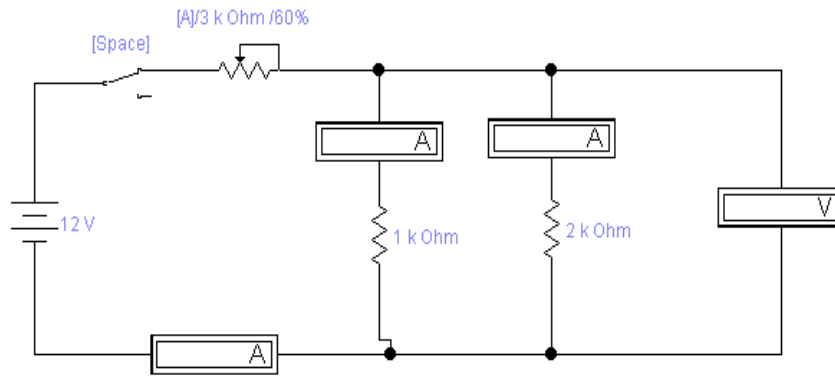


Рисунок 1.11 – Електрична схема з резисторами

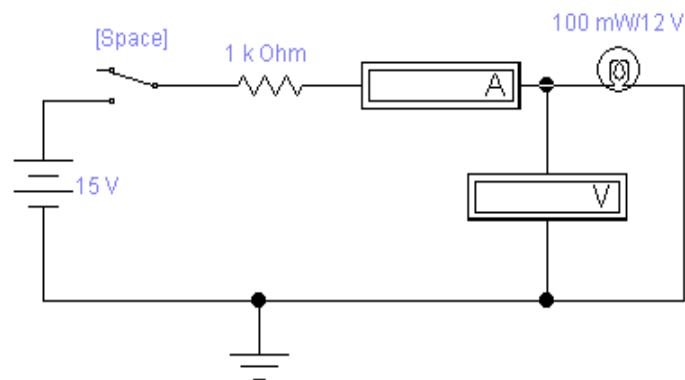


Рисунок 1.12 – Електрична схема включення лампи

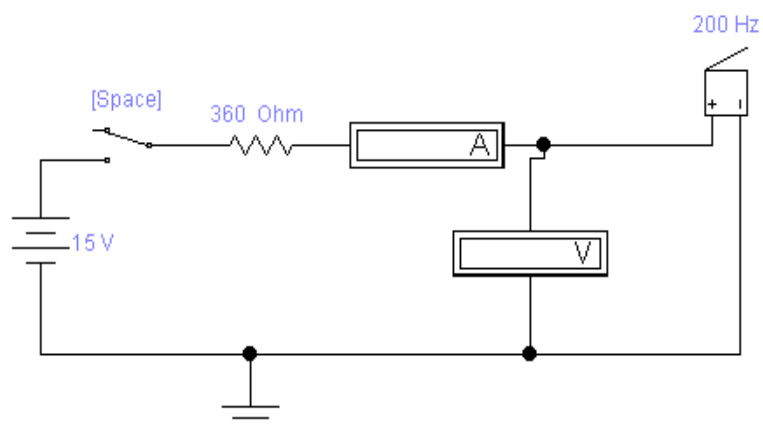


Рисунок 1.13 – Електрична схема включення гудка

Відповісти усно на наступні питання

1. Призначення програми Electronics Workbench.
2. Із чого починається процес створення моделі електричної схеми?
3. Як установити електронний компонент на робоче поле?
4. Скільки провідників можна підключити до виводу компонента?
5. Для чого призначений компонент "заземлення"?
6. Чому дорівнює внутрішній опір ідеального джерела напруги?
7. Чому дорівнює внутрішній опір ідеального джерела струму?
8. У яких одиницях вимірюється опір резистора?
9. Для чого призначені резистори?
10. Який елемент, перетворить електроенергію у світлову енергію?
11. Що робить запобіжник, якщо струм у колі перевищує максимальний струм?
12. Для чого призначений амперметр?
13. Для чого призначений вольтметр?
14. Чому дорівнює внутрішній опір вольтметра?
15. Чому дорівнює внутрішній опір амперметра?

Лабораторна робота №2

«Дослідження операційних підсилювачів»

Мета роботи – ознайомиться з моделлю операційного підсилювача (ОП) і дослідити параметри ОП: напруги зсуву, амплітудно-частотна характеристика (АЧХ), фазочастотна характеристика (ФЧХ) і швидкості наростання вихідної напруги.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час проведення лабораторної роботи студент повинен:

знати:

- призначення й класифікації елементів технічної електроніки;
- типові схемотехнічні рішення щодо схем на операційних підсилювачах і логічних елементах;
- основи аналізу базових елементів і пристроїв, що становлять сучасні інформаційні системи;

уміти:

- вибирати й використати базові елементи радіоелектронних апаратур;

- використовувати основні методи аналізу й синтезу електронних систем обробки інформації,
- здійснювати необхідні розрахунки;
- використовувати комп'ютерне моделювання електронних елементів і пристроїв для дослідження їхньої роботи

Теоретичні відомості. Операційний підсилювач (ОП) - це підсилювач постійного струму з більшим коефіцієнтом підсилення, що має диференціальний вхід і один загальний вихід. ОП - це аналогова інтегральна схема, яка постачається 5 виводами. Два виводи ОП використовуються в якості входних, один - є вихідним, а ще два використовують для підключення джерела живлення. Умовно-графічне зображення ОП представлено на рис. 2.1.

Виводи ОП діляться на входні, вихідні й виводи, що не несуть функціональне навантаження, до яких підключаються ланцюги напруги живлення й елементи, що забезпечують нормальну роботу ОП. Входи показують ліворуч, вихід - праворуч.

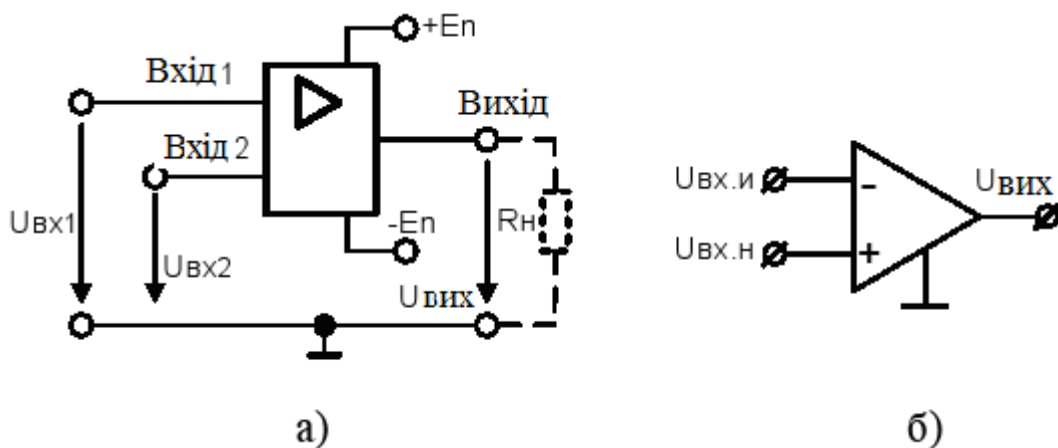


Рисунок 2.1 – Умовно-графічне зображення ОП:
а - у вигляді інтегральної схеми; б - спрощене зображення

Більшість ОП мають один несиметричний вихід і два входи, симетричних стосовно загального проведення. Прямі входи й виходи позначають лініями, приєднаними до контуру графічного зображення ОП без яких-небудь знаків, а з кружками в місці приєднання інверсні входи й виходи. Прямий вхід ще називають неінвертувальним, тому що фаза вихідного сигналу збігається з фазою сигналу, поданого на його вхід. Інший вхід називають інвертувальним, тому що фаза вихідного сигналу зрушена на 180° щодо вхідного сигналу (на середніх частотах і при чисто активному навантаженні). Тому входи роблять на вихідну напругу рівно в кількісному відношенні впливу (протилежні за знаком). Якщо до входів прикладені синфазні, діючі

одночасно, однакові за величиною й фазою щодо загального проведення сигнали, то їхній вплив буде взаємно скомпенсований, і вихід буде мати нульовий потенціал. Завдяки цьому параметру, ОП мало чутливий до змін напруги живлення, температур й інших зовнішніх факторів. Напруга на виході ОП повинна бути лише в тому випадку, коли на його входах діють різні за рівнем і фазою сигнали. Вихідна напруга пропорційна різниці рівнів вхідних сигналів, яку називають диференціальним сигналом. Вихідна напруга ОП вимірюється відносно загального провідника.

Для забезпечення можливості роботи ОП як з позитивними, так і негативними вхідними сигналами, необхідна двополярна живильна напруга. При двополярному живленні постійна напруга на несиметричному виході відсутня за умови, що постійної напруги на вході ОП немає.

Наявність розглянутих виводів необхідна для функціонування ОП. До допоміжних відносяться: виводи з мітками FC - для приєднання кола, що коректує АЧХ ОП, виводи NC - для підключення елементів балансування за постійним струмом (установки нуля на виході ОП), а також вивід металевого корпусу для з'єднання із загальним провідником.

ОП створені для використання в схемах з глибоким негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) так, щоб параметри пристроїв визначалися переважно параметрами кола НЗЗ. Такий ОП за своїми характеристиками повинен бути наближений до ідеального. З ідеальним ОП звичайно пов'язують такі властивості: нескінченно великий коефіцієнт підсилення в нескінченно великій смузі пропускання, нескінченний вхідний і нульовий вихідний опір. Крім того, підсилювач не повинен мати статичних помилок, що змінюються від температури й часу.

Як і всі електронні прилади, операційні підсилювачі характеризуються своїми параметрами – основними показниками, за якими вибирають той або інший прилад для застосування в реальній схемі.

Параметри ОП можна розділити за такими групами.

Вхідні параметри, зумовлені властивостями вхідного диференціального каскаду:

- напруга зсуву нуля $U_{см}$, значення якого визначається не ідентичністю напруги $U_{бс0}$ транзисторів вхідного диференціального каскаду, і його температурний дрейф $\Delta U_{см}/\Delta T$;

- вхідний струм що інвертує $I_{-вх}$ і входу, що не інвертує, $I_{+вх}$, а також середній $I_{вх.ср}$ і різницевий $I_{вх.різн}$ вхідний струм (струм баз транзисторів у режимі спокою вхідного диференціального каскаду) і температурний дрейф різницевого вхідного струму $\Delta I_{вх.різн}/\Delta T$;

- максимальна вхідна диференціальна $U_{вх.диф\ max}$ і синфазна $U_{вх.сс\ max}$

напруга;

- вхідний диференціальний опір $R_{\text{вх.ОП}}$, тобто опір між входами ОП для малого диференціального вхідного сигналу, при якому зберігається лінійність вихідної напруги;

- вхідний синфазний опір $R_{\text{вх.сф}}$, тобто опір, який дорівнює відношенню напруги, поданої на обидва входи ОП, до струму входів.

Передавні параметри:

- коефіцієнт підсилення за напругою $K_{\text{ОП}}$, зумовлений відношенням зміни вихідної напруги до того, що викликало ці зміни в диференціальному вхідному сигналі $K_{\text{ОП}} = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх.диф}}$;

- коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу $K_{\text{осс}}$, зумовлений відношенням коефіцієнта підсилення диференціального сигналу в схемі на ОП до коефіцієнта підсилення синфазного сигналу $K_{\text{осс}} = K_{\text{ОП}}/K_{\text{ОП.сс}}$. Він характеризує здатність послабляти сигнали, прикладені до обох входів одночасно;

- гранична частота $f_{\text{гр}}$ – частота, на якій коефіцієнт підсилення зменшується в рази стосовно максимального значення коефіцієнта підсилення. Ця частота відповідає зменшенню коефіцієнта підсилення на -3дБ при завданні коефіцієнта підсилення в логарифмічному масштабі.

- частота одиничного зусилля f_1 , тобто частота, при якій $K_{\text{ОП}}=1$. Гранична частота $f_{\text{гр}}$, частота одиничного зусилля f_1 і коефіцієнт підсилення за напругою $K_{\text{ОП}}$ для ОП із внутрішньою корекцією пов'язані співвідношенням $f_1 = f_{\text{гр}}K_{\text{ОП}}$.

- запас стійкості за фазою на частоті одиничного посилення $\varphi_{\text{зап}}$, характеризує стійкість ОП. $\varphi_{\text{зап}} = 180^\circ - |\varphi_1|$, де φ_1 – фазовий зсув на частоті f_1 . Позитивний запас стійкості за фазою є показником стійкості ОП. Для отримання максимально швидкого відгуку на імпульсний вхідний сигнал і одночасно виключення дзвону або нестійкості бажано мати запас стійкості за фазою порядку 45° .

Вихідні параметри, зумовлені властивостями вихідного каскаду ОП:

- вихідний опір $R_{\text{вих}}$;

- максимальний вихідний струм $I_{\text{вих.мах}}$, вимірюваний при максимальній вихідній напрузі, або мінімальний опір навантаження $R_{\text{н.мін}}$;

- максимальна вихідна напруга в діапазоні лінійного посилення. Для більшості типів ОП величина $U_{\text{вих.мах}} = (E_{\text{п}} - 2)V$, що становить приблизно 12-13В.

Перехідні параметри:

- швидкість наростання вихідної напруги $VU_{\text{вих}}$ – максимальна швидкість зміни в часі напруги на виході ОП (В/мкс) при подачі на вхід великого сигналу;

– час установлення вихідної напруги $t_{уст}$ – час, за який вихідна напруга досягає свого стаціонарного значення із заданою точністю.

Порядок виконання роботи

Проведення лабораторної роботи здійснюється двома етапами:

- 1) створення схеми в середовищі EWB;
- 2) моделювання й аналіз схем.

2.1 Створити модель ОП в середовищі Electronics Workbench відповідно до варіанта завдання табл. 2.1. Для цього натиснути два рази клав'ішею вказівки миші на зображенні ОП й вибрати у вікні, що з'явилося, *3 -Terminal Opamp Properties* у розділі *Library бібліотеку default*, а потім у розділі *Model* - тип ОП *ideal*. Вибрати послідовно клав'ішею вказівки миші кнопки *Copy* і *Paste*, записати латинськими буквами у вікні, що з'явилося, тип ОП відповідно до варіанта завдання й наниснути кнопку ОК. У результаті в розділі *Model* додасться новий тип ОП. Для коректування його параметрів натиснути кнопку *Edit* і встановити значення параметрів *Input offset voltage [VOS]* (напруга зсуву $U_{см}$), *Input resistance [RI]* (вхідний опір $R_{вх}$), *Open-loop gain [A]* (коефіцієнт підсилення K_y), *Slew rate [SR]* (швидкість наростання вихідної напруги $VU_{вих}$), *Unity-gain bandwidth [FU]* (частота одиничного посилення f_1) і *Output resistance [RO]* (вихідний опір $R_{вих}$) відповідно до табл. 2.1. Значення інших параметрів залишити без зміни.

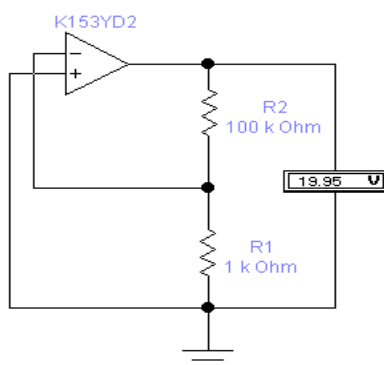


Рисунок 2.2 – Приклад побудови моделі в середовищі EWB

2.2 Виміряти вихідну напругу ($U_{вих}$) ОП й занести в таблицю для наступних значень R_1 і R_2 , наведених у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця вхідних даних

R_1 , кОм	R_2 , кОм	$U_{вих}$, В	$U_{см}$, мВ
-------------	-------------	---------------	---------------

1	10	19,56	5
1	100	19,95	5

2.3 Зібрати схему для дослідження АЧХ і ФЧХ ОП, включеної за схемою повторювача напруги, відповідно до рис. 2.3.

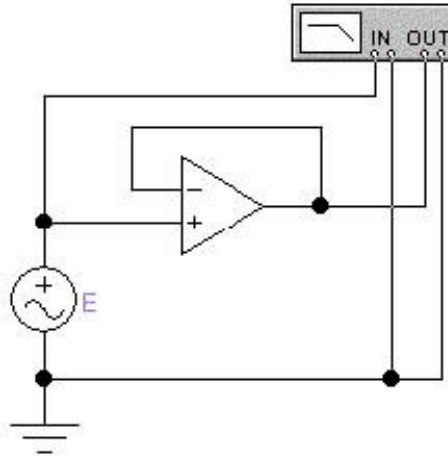


Рисунок 2.3 – Схема повторювача напруги

2.4 Установити напругу джерела ЕДС $E=1$ В і частоту $f=1$ МГц.

2.5 Установити *Bode Plotter* в режим *Magnitude*. За вертикальною та горизонтальною осями вибрати логарифмічний масштаб (*Log*).

2.6 Отримати АЧХ ОП на екрані *Bode Plotter*.

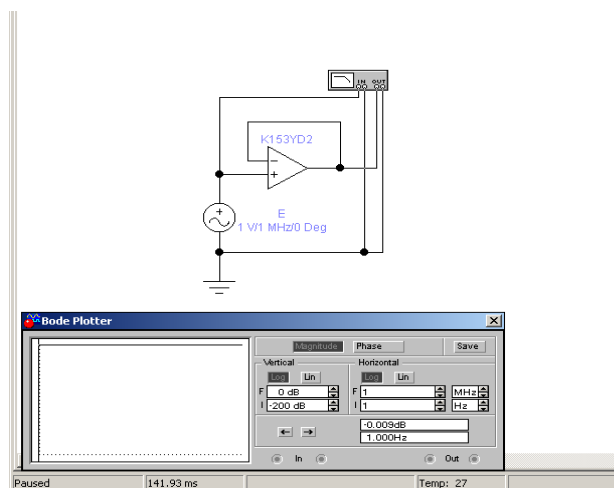


Рисунок 2.4 – Результат моделювання в режимі *Magnitude*

2.7 Установити *Bode Plotter* в режим *Phase* рис. 2.4. За вертикальною та горизонтальною осями вибрати логарифмічний масштаб (*Log*).

2.8 Отримати ФЧХ ОП на екрані *Bode Plotter*.

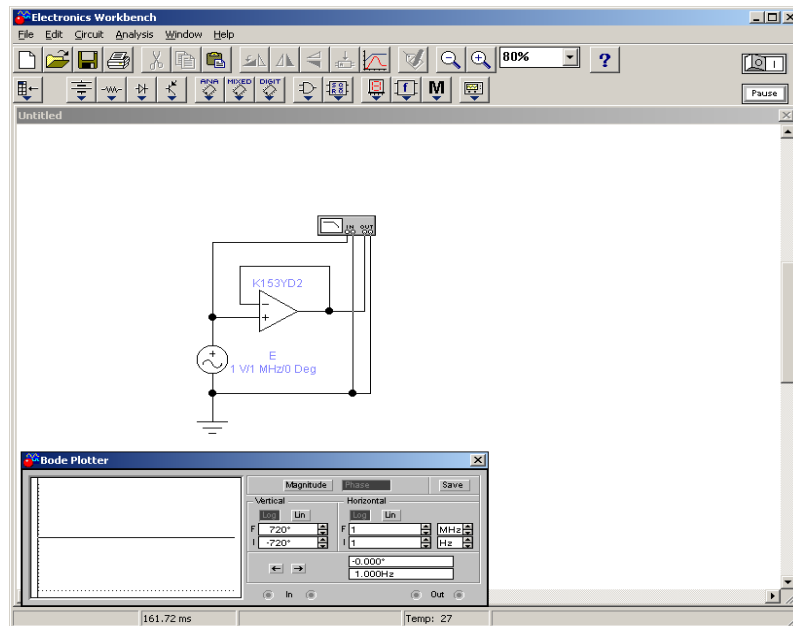


Рисунок 2.5 – Результат моделювання в режимі *Phase*

2.9 Зібрати схему інвертувального підсилювача на ОП відповідно до рис. 2.5 й дослідити вплив опору навантаження R_3 на величину вихідної напруги ОП.

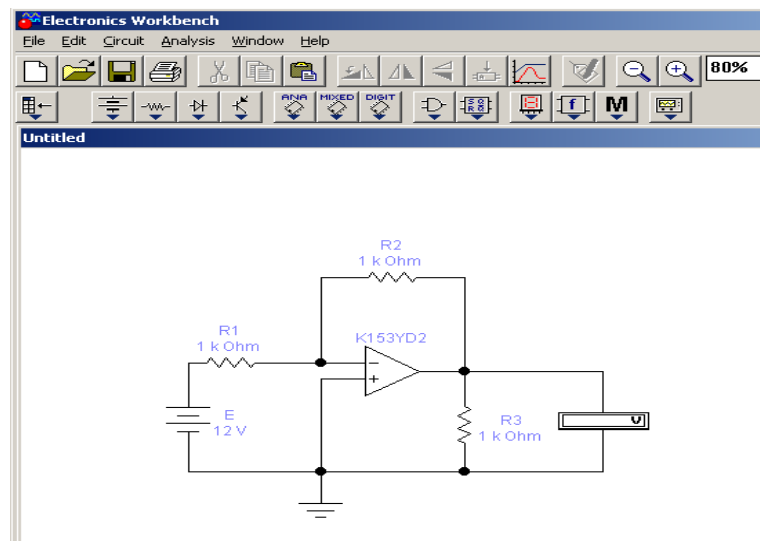


Рисунок 2.6 – Схема інвертувального підсилювача на ОП

2.10 Послідовно встановлюючи різні значення резисторів, виміряти вихідну напругу ОП $U_{\text{вих}}$.

2.11 Зібрати схему інвертувального підсилювача відповідно до рис. 2.6 дослідження перехідних параметрів ОП.

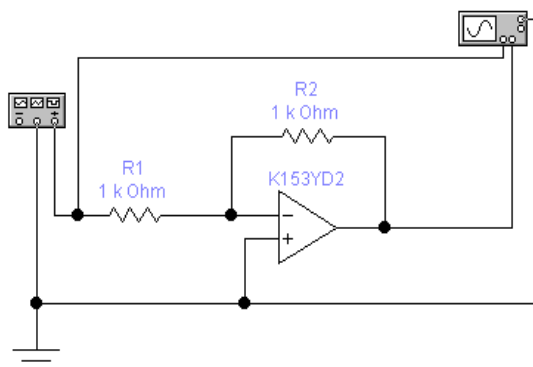


Рисунок 2.7 – Схема дослідження перехідних параметрів ОП

2.12 Послідовно встановлюючи значення резистора R2, вихідну напругу U_{Γ} й частоту f_{Γ} генератора імпульсів відповідно до табл. 2.2, зарисувати відповідні осцилограми (рис. 2.7) й визначити час установлення ОП $t_{уст}$ з точністю 5%.

Таблиця 2.2 – Таблиця вхідних даних

R1, кОм	R2, кОм	U_{Γ} , В	f_{Γ} , кГц	$t_{уст}$, мкс	$VU_{вих}$, В/мкс
10	100	0,5	10	0	нескінченність
10	10	5,0	10	0	нескінченність

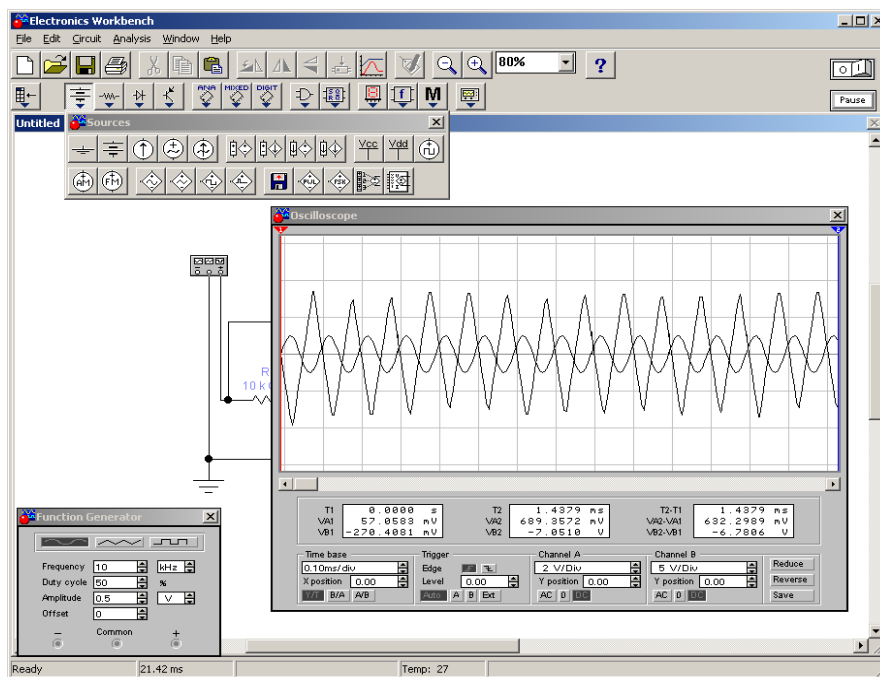


Рисунок 2.8 – Результат дослідження ОП

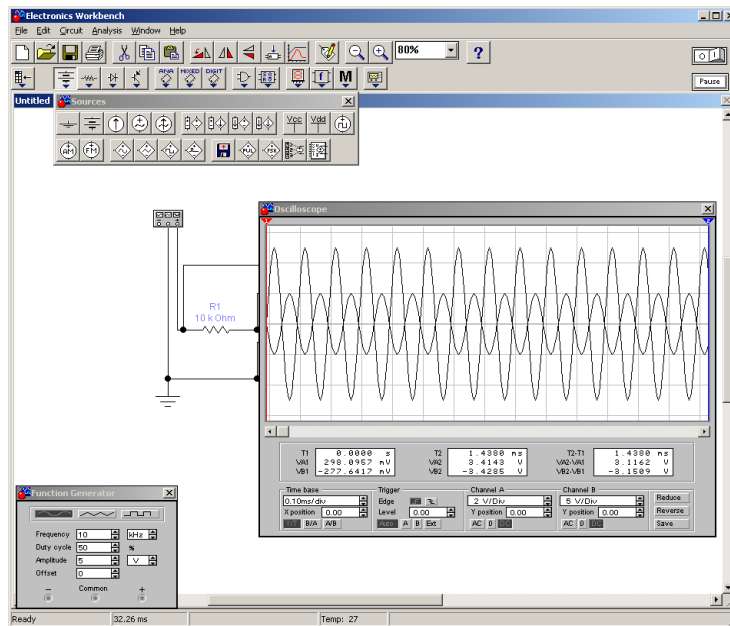


Рисунок 2.9 – Результат дослідження ОП $t_{уст}$ з точністю 5%.

Устаткування й апаратура:

Комп'ютер, програми комп'ютерного моделювання Electronics Workbench.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- схеми експериментів;
- тимчасові діаграми;
- висновки за результатами експериментів.

Відповісти усно на наступні питання

1. Дайте визначення операційного підсилювача?
2. Які бувають входи/виходи у ОП?
3. Перерахуйте основні входні параметри ОП?
4. Перерахуйте основні вихідні параметри ОП?
5. Де в EWB знаходиться ОП?
6. Який вигляд має ОП?

Лабораторна робота № 3

«Дослідження тригера та мультивібратора на логічних елементах»

Мета роботи: визначення, вивчення й аналіз схем тригерів і мультивібраторів на логічних елементах.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час проведення лабораторної роботи студент повинен:

знати:

- призначення й класифікація елементів і приладів технічної електроніки;
- відомості про пасивні компоненти електронних пристроїв, напівпровідникових приладів, елементи інтегральних мікросхем, базові логічні елементи цифрових інтегральних схем;
- основи аналізу базових елементів і пристроїв, що становлять сучасні інформаційні системи;

уміти:

- вибирати й використовувати базові елементи радіоелектронних апаратур;
- використовувати основні методи аналізу й синтезу електронних систем обробки інформації;
- здійснювати необхідні розрахунки;
- використовувати комп'ютерне моделювання електронних елементів і пристроїв для дослідження їхньої роботи;
- дослідження електронних пристроїв і логічних елементів за допомогою програми комп'ютерного моделювання Electronics Workbench.

Загальні теоретичні відомості. Відомості про тригери. Тригер – це великий клас електронних пристроїв, які мають здатність перебувати в одному з двох стійких станах і чергувати їх під впливом зовнішніх сигналів. Тригери – це елементи з пам'яттю. Їхній стан залежить не тільки від сигналів, прикладених до входу в цей момент часу, але й від сигналів, що впливали на нього раніше.

У загальному вигляді тригер (рис. 3.1) може містити такі входи й виходи: має два виходи: прямий, який позначається Q , і інверсний, який позначається як \overline{Q} . Стан тригера визначається за прямим виходом. Тригер перебуває в стані «1», якщо на прямому виході рівень логічної одиниці, й у стані «0», якщо на прямому виході рівень логічного нуля. Стан виходів завжди протилежний: ($Q=1 \ \overline{Q}=0$) і ($Q=0 \ \overline{Q}=1$). Забороненою комбінацією є $Q=\overline{Q}$. У цьому випадку стан тригера не визначено.

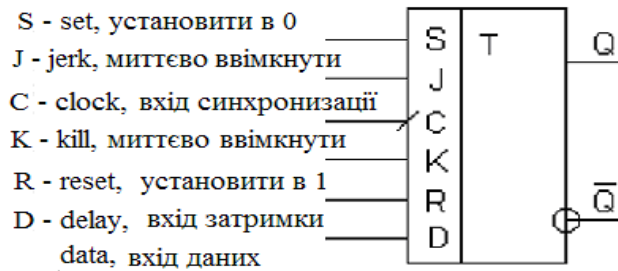


Рисунок 3.1 – Загальний вид тригера

Залежно від властивостей, числа й призначення входів тригери поділяють на такі види:

1. *RS-тригери* з роздільною установкою в 1 і 0.
2. *D-тригери* (інші назви – тригер затримки, тригер даних)
3. Універсальні *JK-тригери*
4. *T-тригери* (рахункові тригери)

При наявності входу С тригер називають синхронним, а при його відсутності – асинхронним. Зміна стану асинхронного тригера відбувається відразу ж після відповідної зміни потенціалів на його інформаційних входах. У синхронному тригері зміна стану може відбутися тільки в присутності відповідного сигналу на вході С. Вхід синхронізації може бути імпульсним або потенційним. У першому випадку вплив інформаційних входів проявляється тільки в момент зміни потенціалу на вході С, тобто при переході його від 1 до 0 або від 0 до 1. У другому випадку вплив інформаційних входів проявляється увесь час дії на вході С активного потенціалу.

Робота тригерів визначається таблицею станів.

Наприклад, *T*-тригер перемикається з одного стану в інший тільки за відповідним фронтом інформаційного сигналу на вході синхронізації (рис. 3.2).

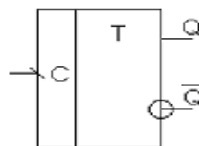


Рисунок 3.2 – Вхід синхронізації Т-тригера

Із приходом 1 на вхід *T*, тригер змінює свій стан на протилежний. Крім того, *T*-тригер може мати один керуючий вхід – *T*-вхід (рис. 3.3). Сигнали на цьому вході дозволяють (якщо $T=1$) або забороняють (якщо $T=0$) спрацювання тригера від фронтів імпульсів, що приходить на тактовий вхід.

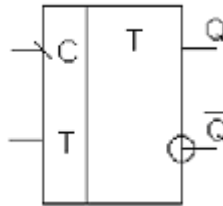


Рисунок 3.3 – Керуючий вхід Т-тригера

Для Т-тригера на рис. 3.2 таблиця 3.1 станів має вигляд:

Таблиця 3.1 - Таблиця станів Т-тригера з входом синхронізації

С	Q	Примітка
1	0	Зберігання
┐	1	Інверсія
0	1	Зберігання
┌	1	Зберігання
┐	0	Інверсія
0	0	Зберігання

Для Т-тригера на рис. 3.3 таблиця 3.2 станів має вигляд:

Таблиця 3.2 - Таблиця станів Т-тригера з керуючим входом

T	C	Q	Примітка
0	*	0	Зберігання
1	┐	1	Інверсія
1	0	1	Зберігання
1	┌	1	Зберігання
1	┐	0	Інверсія
1	0	0	Зберігання

Примітка: * – байдужний стан входу

Відомості про мультивібратори. *Мультивібратор* – релаксаційний генератор сигналів електричних прямокутних коливань із короткими фронтами. Полема, тому що в спектрі коливань мультивібратора присутні безліч гармонік – на відміну від генератора синусоїдальних коливань («моновібратора»). Уперше мультивібратор був описаний Іклзом і Джорданом в 1918 році.

Мультивібратор є одним з найпоширеніших генераторів імпульсів прямокутної форми, що являє собою двокаскадний резистивний підсилювач з глибоким позитивним зворотним зв'язком. В електронній техніці використовуються всілякі варіанти схем мультивібраторів, які розрізняються між собою за типом використовуваних елементів (лампові, транзисторні, тиристорні, мікроелектронні й так далі), за режимом роботи (автоколивальні, що чекають синхронізації), за видами зв'язку між підсилювальними елементами, за способам регулювання тривалості й частоти генерованих імпульсів і так далі.

Наведена схема мультивібратора (рис. 3.4) на двох транзисторах зараз майже не застосовується, тому що має погані частотні властивості й не дуже круті фронти, що обмежує частоту його генерації до одиниць МГц. На більш високих частотах обидва транзистори закриваються й для відновлення роботи пристрій треба перезапускати, що в багатьох випадках неприйнятно.

Існують три типи схем мультивібратора залежно від режиму роботи:

- *нестабільний, або автоколивальний*: схема мимовільно переходить із одного стану в інший. При цьому не обов'язковий сигнал синхронізації, якщо не потрібен захват частоти;

- *моностабільний*: один зі станів є стабільним, але інший стан хитливий (перехідний). Мультивібратор на якийсь час, зумовлений параметрами його компонентів, переходить у нестійкий стан під дією запускаючого імпульсу. Потім вертається в стійкий стани до приходу чергового запускаючого імпульсу. Такі мультивібратори використовуються для формування імпульсу з фіксованою тривалістю, що не залежить від тривалості запускаючого імпульсу. Такий тип мультивібраторів іноді, в літературі, називають одновібратори або мультивібратори, що чекають.

- *бістабільний*: схема стійка в будь-якому стані. Схема може бути переключена з одного стану в інший за допомогою зовнішніх імпульсів. Такі пристрої називають тригерами, «мультивібратор» не зовсім коректно, тому що двозначно.

Віднесення мультивібратора до класу автогенераторів виправдано лише при автоколивальному режимі його роботи. У режимі мультивібратор, який чекає, виробляє імпульси тільки тоді, коли на його вхід надходять си-

нхронізує сигнали. Режим синхронізації відрізняється від автоколивально-го тим, що в цьому режимі за допомогою зовнішнього керуючого (синхронізуючого) коливання вдається підбудувати частоту коливань мульти-вібратора під частоту синхронізуючої напруги або зробити кратній їй (захват частоти) для автоколивальних мультивібраторів.

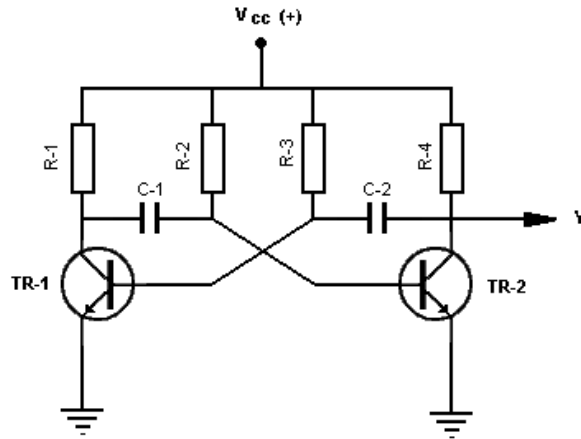


Рисунок 3.4 – Принципова схема «класичного» найпростішого транзисторного мультивібратора

Мультивібратор Шмітта. Катоди/емітери 2-ух приладів з'єднані разом і заземлені через загальний резистор. Аноди/колектори підключені до живильної шини, кожний через свій резистор. Сітка/база першого приладу підключена до схеми АПЧ (змінюючи напругу на ній, можна змінити частоту) Сітка/база другого приладу підключена через конденсатор до анода першого, а також заземлена через резистор, часто змінного ("частота рядків"). Ці резистори і конденсатори формують RC- коло.

Ця вкрай проста схема використовується (з 1 лампою "подвійний тріод") як, генератор, що задає рядкового розгорнення в декількох поколіннях радянських телевізорів. Також в неї був доданий коливальний контур в анодному колі, для підвищення стабільності роботи.

Симетричний мультивібратор. Симетричним мультивібратор називають попарні рівності опорів резисторів R1 і R4, R2 і R3, ємностей конденсаторів C1 і C2, а також параметрів транзисторів Q1 і Q2.

Симетричний мультивібратор генерує прямокутні коливання з шпаруватістю 2 типів «меандр», тобто сигнал, протягом періоду якого тривалість імпульсу й тривалість паузи однакова.

Симетричний мультивібратор за «класичною» схемою рис. 3.4 широко використовується для навчальних і демонстраційних цілей у якості найпростішого пристрою генератора електричних коливань. Роботу цієї схеми легко зрозуміти й вона очевидна, а також не потребує для своєї реалізації

незручних індуктивностей і трансформаторів.

Мультивібратор, який чекає. Моностабільний мультивібратор.

Різновид мультивібратора, який чекає, що має один стабільний стан і один нестійкий. При надходженні перемикаючого імпульсу моностабільний мультивібратор (рис. 3.5) перемикається в нестійкий стан на період часу (для схеми на рисунку), а потім вертається в *стійкий стан*. Іноді також називається одновібратором.

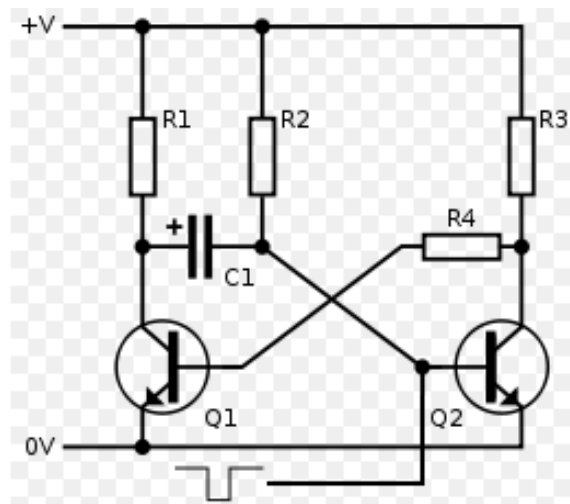


Рисунок 3.5 – Моностабільний мультивібратор

Одновібратори застосовуються для перетворення форми імпульсів у розширниках імпульсів.

Мультивібратор на ОП. Конденсатор C і резистори $R1$, $R2$ утворюють інтегруюче RC - коло: при заряді конденсатора відкритий діод $V1$, струм проходить через $R1$, при розряді - відкритий $V2$, струм іде через $R2$. Джерелами напруги E є вхідне коло ОП. Компаратор виконаний на ОП з позитивним зворотнім зв'язком через коло $R3R4$. При перемиканні компаратора на його виході відбувається комутація кіл заряду й розряду конденсатора C , тобто ОП виконує відразу кілька функцій: джерела напруг розряду й заряду конденсатора, компаратора і ключа.

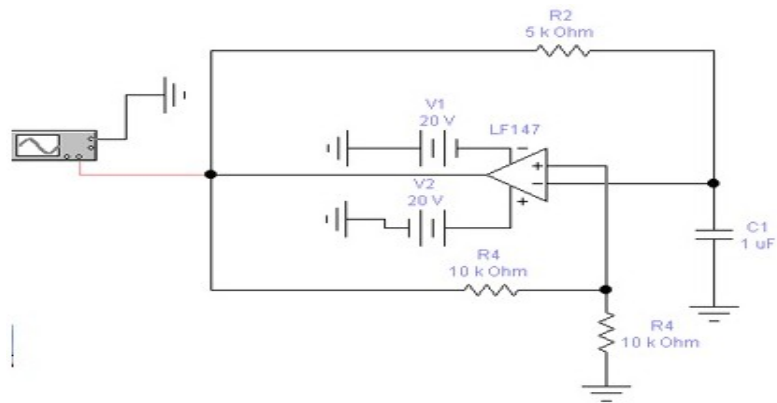


Рисунок 3.7 – Мультивібратор на ОП

Устаткування й апаратура:

Комп'ютер, програми комп'ютерного моделювання Electronics Workbench.

Порядок виконання роботи

1. Дослідження *RS-тригера* на елементах I-НЕ.

а) зберіть схему, зображену на рис. 3.8. Увімкніть схему. Послідовно подайте на схему такі сигнали:

$S=1, R=0$;

$S=1, R=1$;

$S=0, R=1$;

$S=1, R=1$;

$S=0, R=0$.

Переконайтесь в тому, що:

- при $S=1, R=0$ тригер встановлюється в стан, при якому вихід $Q=0$;
- при переході до $S=\overline{Q}=1$ тригер зберігає колишнє значення виходу $Q=0$;
- при $S=0, R=1$, тригер встановлюється в стан, при якому $Q=1$;
- при переході до $S=1, R=1$ колишнє значення виходу $Q=1$ зберігається.

б) за результатами експерименту заповніть табл. 3.3 станів.

Таблиця 3.3 - Таблиця станів

S	R	Q

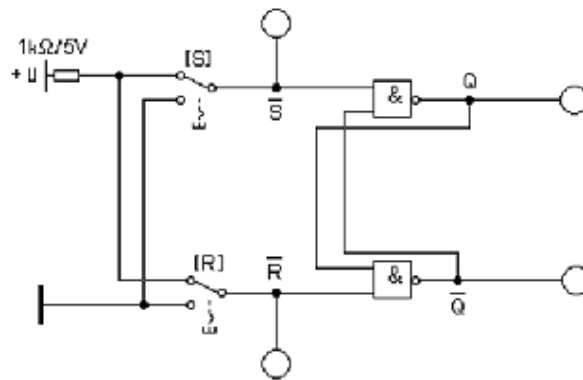


Рисунок 3.8 – *RS-тригера* на елементах І-НІ

2. Дослідження *RS-тригера* на елементах АЛЕ-НІ.

а) зберіть схему, зображену на рис. 3.9. Увімкніть схему.

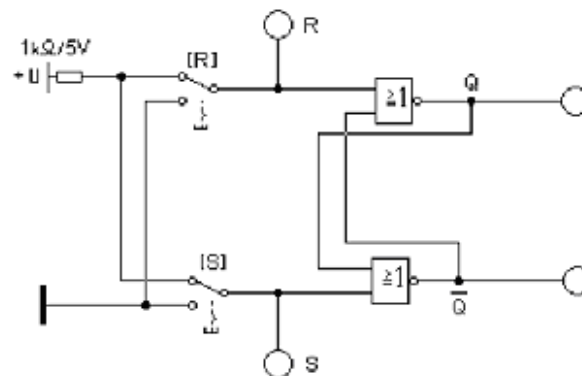


Рисунок 3.9 – *RS-тригера* на елементах АЛЕ-НІ

Послідовно подайте на схему такі сигнали:

$S=0, R=1$;

$S=0, R=0$;

$S=1, R=0$;

$S=0, R=0$;

$S=1, R=1$.

Переконаєтеся в тому, що:

- при $S=0, R=1$ тригер встановлюється в стан $Q=0$;
- при переході до $S=0, R=0$ тригер зберігає колишній стан виходу ($Q=0$);
- при $S=1, R=0$ тригер встановлюється в стан $Q=1$;
- при переході до $S=0, R=0$ тригер зберігає колишній стан виходу $Q=1$.

б) За результатами експерименту заповніть табл. 3.3 станів.

3. Дослідження *JK-тригера*.

а) зберіть схему, зображену на рис.3.10. Увімкніть схему. Переконає-

теся в тому, що:

- при $R=1, S=0$ тригер встановлюється в $Q=1$ незалежно від стану інших входів;
- при $R=0, S=1$ тригер встановлюється в $Q=0$ незалежно від стану інших входів.

• укажіть якому *RS-тригеру* відповідає таблиця станів *JK* тригера для *RS-входів*.

б) встановіть $S=R=1$ і складіть таблицю станів для входів J, K і C .

Вказівка: початковий стан тригера $Q=1$ установити короткочасною подачею сигналу $S=0$ і сигналу $R=0$ для отримання $Q=0$. Перехід тригера в стан, зумовлений входами J і K , відбувається тільки по негативному фронту імпульсу на рахунковому вході C сформованому відповідним ключем.

в) складіть і замалюйте тимчасові діаграми роботи тригера для всіх можливих комбінацій Q, J, K .

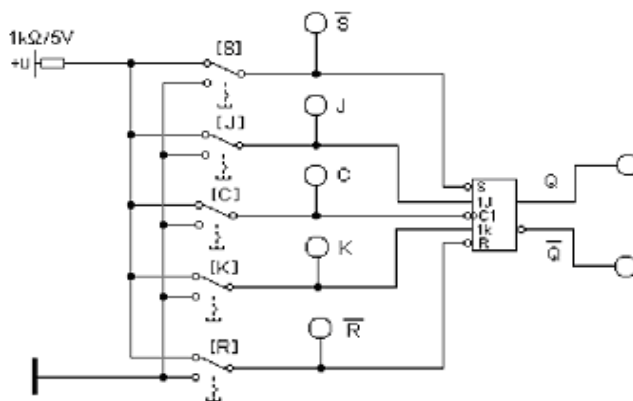


Рисунок 3.10 – *JK-тригера*

4. Дослідження *JK-тригера* в рахунковому режимі.

а) зберіть схему, зображену на рис. 3.11. Увімкніть схему. Змінюючи стан входу $[C]$ відповідним ключем, замалюйте діаграми роботи тригера в рахунковому режимі.

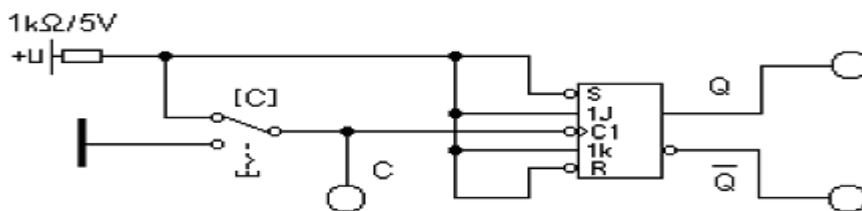


Рисунок 3.11 – *JK-тригера* в рахунковому режимі

5. Дослідження *D-тригера*.

а) зберіть схему, зображену на рис. 3.12. Увімкніть схему, переконає-

теся в тому, що:

- при $R=1$, $S=0$ тригер встановлюється в $Q=1$ незалежно від стану інших входів;
- при $R=0$, $S=1$ тригер встановлюється в $Q=0$ незалежно від стану інших входів.

б) встановіть $S=R=1$, складіть таблицю станів для входів D і C .

в) складіть тимчасові діаграми роботи тригера для всіх можливих комбінацій Q , D , C

6. Дослідження роботи *D*-тригера в рахунковому режимі.

а) зберіть схему, зображену на рис. 3.13. Подаючи на рахунковий вхід C тактові імпульси за допомогою ключа $[C]$ і визначаючи стан виходів тригера за допомогою пробників, складіть і замалуйте тимчасові діаграми роботи тригера в рахунковому режимі.

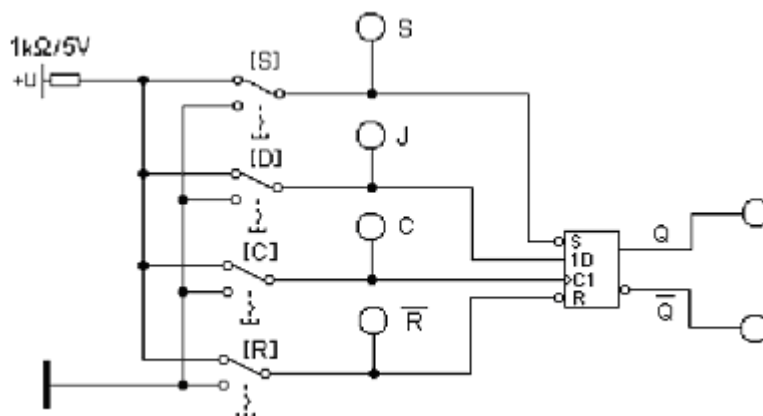


Рисунок 3.12 – *D*-тригер

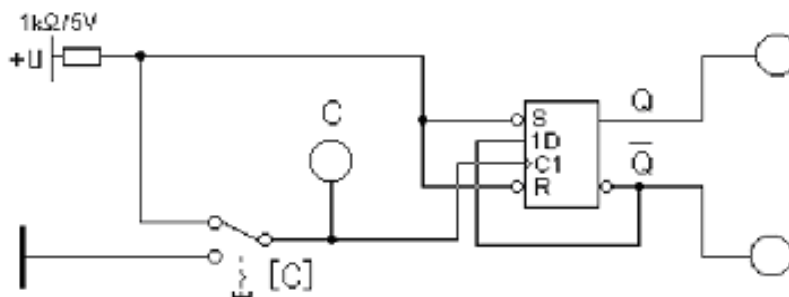


Рисунок 3.13 – *D*-тригера в рахунковому режимі

7. Дослідження роботи мультивібратора в автоколебальному режимі.

Використовуючи програму Electronics Workbench, скласти схему мультівібратора, що працює в автоколивальному режимі (рис. 3.14), використовуючи стандартні елементи програми.

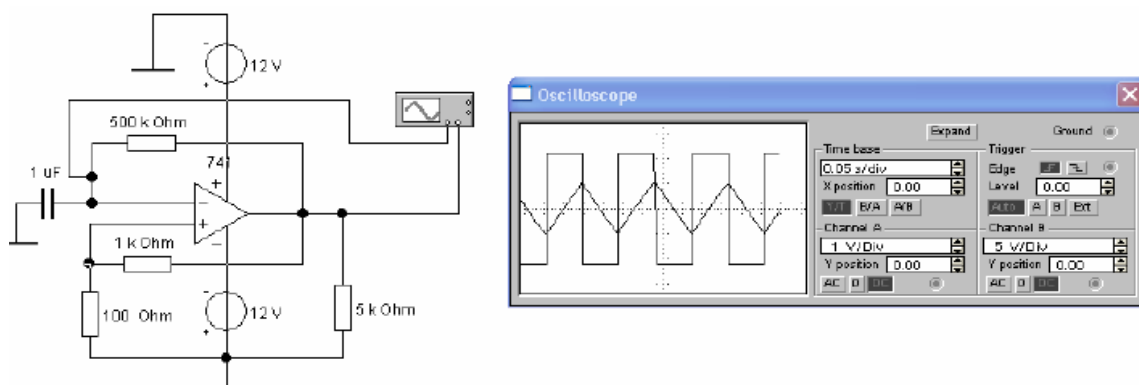


Рисунок 3.14 – Схема мультівібратора, що працює в автоколивальному режимі

Дослідити роботу схеми мультівібратора, встановивши значення й параметри елементів, зазначених на рис. 3.14

Для осцилографа Oscilloscope значення встановлюються такими, щоб зручно було спостерігати форми сигналів у контрольних точках схеми.

Визначити величину тривалості сигналу на виході мультівібратора, змінюючи опір резистора в колі негативної ОС ОП від 500 до 1000 кОм й при зміні ємності конденсатора від 1 до 2 мкФ.

8. Дослідити роботу мультівібратора в режимі чекання .

Використовуючи програму Electronics Workbench, скласти схему мультівібратора, що працює в режимі чекання (рис. 3.15), використовуючи стандартні елементи програми.

Дослідити роботу схеми мультівібратора, установивши значення й параметри елементів, зазначених на рис. 3.15

Змінюючи опір резистора в колі негативного зворотного зв'язку ОП 100 кОм й змінюючи ємність конденсатора в межах 0,5 - 2 мкФ, визначити величину тривалості сигналу мультівібратора.

Замалювати сигнали на виходах схем мультівібраторів, працюючих в автоколивальному і режимах чекання.

У звіті представити результати всіх проведених дослідів.

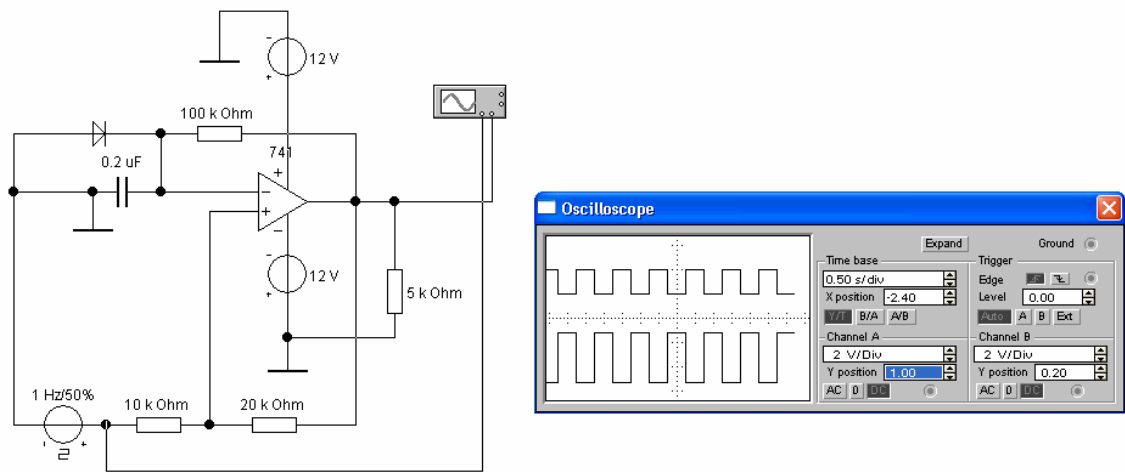


Рисунок 3.15 – Схема мультивібратора, що працює в режимі, що чекає

Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен мати:

- схеми експериментів;
- таблиці станів тригерів;
- часові діаграми;
- висновки за результатами експериментів.

Відповіді усно на наступні питання

1. Чи є елементом пам'яті вимикач настільної лампи?
2. Якщо продовжити попереднє питання, то як можна охарактеризувати:
 - а) кнопковий вимикач (один раз натиснув – лампа горить; другий раз натиснув – лампа згасла);
 - б) клавішний коромисло-перемикач: натиснув на одне плече – лампа засвітилася або продовжує світити; натиснув на інше плече – згасла. Аналогія з якими видами тригерів напрошується?
3. Чим відрізняється робота *RS* - тригера з прямими входами від роботи *RS* - тригера з інверсними входами?
4. Чому комбінація сигналів 11 на входах *RS-тригера* називається «забороненою»?
5. У чому принципова різниця роботи синхронних тригерів від асинхронних?
6. Який пріоритет інформаційних і настановних входів у синхронних

тригерах?

7. Чому *JK-тригер* при $J=K=1$ не перетворюється на автогенератор?

8. Чому *T-тригер* отримав назву рахункового? Яке число імпульсів він може порахувати?

9. Як працює *D-тригер*, якщо $D = Q$?

Лабораторна робота № 4

«Аналіз роботи аналого-цифрового перетворювача»

Мета роботи: ознайомиться й навчиться аналізувати схеми аналого-цифрового перетворювача.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час проведення лабораторної роботи студент повинен:

знати:

- принципи побудови й роботи елементів сучасних радіоелектронних апаратур;
- елементну базу й методику синтезу цифрових пристроїв;
- про мультівібратори в інтегральному виконанні, спеціальні підсилювачі в інтегральному виконанні, компаратори й стабілізатори напруги, перетворювачі інформації, датчики;

уміти:

- вибирати й використовувати базові елементи радіоелектронних апаратур;
- використовувати основні методи аналізу й синтезу електронних систем обробки інформації;
- здійснювати необхідні розрахунки;
- використовувати комп'ютерне моделювання електронних елементів і пристроїв для дослідження їхньої роботи
- дослідження електронних пристроїв і логічних елементів за допомогою програми комп'ютерного моделювання Electronics Workbench

Теоретичні відомості. Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) і цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) застосовуються в інформаційно-вимірвальних системах, у технічному зв'язку, у цифровому телебаченні, у побутовій техніці й т.п.

ЦАП з ваговими резисторами. Цифро-аналогові перетворювачі використовуються для перетворення цифрового коду на аналоговий сигнал, наприклад, для управління в автоматичних системах виконавчими органами (електродвигунами, електромагнітами й т.п.).

Найбільш простий ЦАП з ваговими резисторами (рис. 4.1) складається із двох вузлів: резистивної схеми (матриці) на резисторах $R1...R4$ і підсумовуючий підсилювачі (ОП ОУ з резистором зворотного зв'язка R_o). Опорна напруга U_{on} (3 В) підключається до резисторів матриці перемикачами D, C, B і A, які управляються однойменними клавішами клавіатури й імітуючи перетворений код. Вихідну напругу U_o виміряє мультиметр. Такий ЦАП ставиться до пристроїв прямого перетворення.

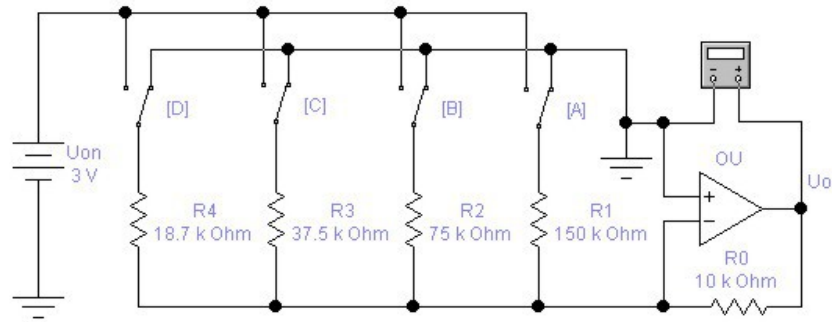


Рисунок 4.1 – ЦАП з ваговими резисторами

Якщо всі перемикачі замкнуті на "землю", як показано на рис. 4.1, то напруга на вході й виході ОП дорівнює 0 В. Припустимо тепер, що перемикач A встановлений у положенні, що відповідає логічній 1. Тоді на вхід О1 через резистор $R1$ подається напруга 3 В. Розрахуємо для цього випадку коефіцієнт підсилення напруги за формулою: $DO = R_o/R1 = 10000/150000 = 0,066$. Звідси отримуємо, що вихідна напруга $U_o = 0,066 \cdot 3 = 0,2$ В відповідає двійковій комбінації 0001 на виході ЦАП.

Подамо тепер на входи ЦАП двійкову комбінацію 0010: для цього встановимо перемикач B в положенні, що відповідає логічній одиниці, тим самим подамо на ОП через резистор $R2$ напругу 3 В. Для коефіцієнта підсилення в цьому випадку отримуємо $DO = R_o/R2 = 10000/75000 = 0,133$. Помноживши цей коефіцієнт підсилення на величину вхідної напруги, знайдемо, що вихідна напруга дорівнює 0,4 В.

Таким чином, при переході до кожного чергового двійкового числа, імітованому ключами, вихідна напруга ЦАП збільшується на 0,2 В. Це забезпечується за рахунок збільшення Коефіцієнта підсилення напруги ОП при підключенні різних за опором резисторів. Якби в схемі на рис. 4.1 ми підключили тільки один резистор $R4$ (за допомогою перемикача D), то тим самим установили б коефіцієнт підсилення $DO = 10000/18700 = 0,535$: при цьому вихідна напруга ОП складе близько 1,6 В. Якщо всі перемикачі в схемі на рис.

4.1 встановлені в положенні, що відповідають логічним одиницям, вихідна напруга ОП дорівнює $U_{on} = 3V$, оскільки коефіцієнт передачі в цьому випадку дорівнює 1.

Схема ЦАП на рис. 4.1 має два недоліки: по-перше, у ній опір резисторів змінюються в широких межах, по-друге, точність перетворення невисока через вплив кінцевого опору транзисторних ключів у відкритому й закритому станах.

ЦАП сходового типу. Схема ЦАП такого типу (рис. 4.2) складається з резистивної матриці R-2R, що нагадує сходи, і підсумовуючого підсилювача. Перевага використання матриці полягає в тому, що в ній використовуються резистори тільки двох номіналів. Опір кожного з резисторів $R_1...R_5$ дорівнює 20 кОм, а резисторів $R_6...R_8$, R_0 – 10 кОм. Відзначимо, що опір горизонтально розташованих резисторів "сходів" рівно в 2 рази більше опорів вертикальних.

ЦАП сходового типу аналогічний ЦАП з ваговими резисторами. У розглянутому прикладі схеми використовуються опорна напруга 3,75 В. Перехід до кожної наступної двійкової послідовності на входах приводить до збільшення аналогового вихідного сигналу на 0,25 В. Опорна напруга обрана рівним 3,75 В з міркування зручності сполучення з ІМС сімейства ТТЛ при заміні ключів А...D такими ІМС.

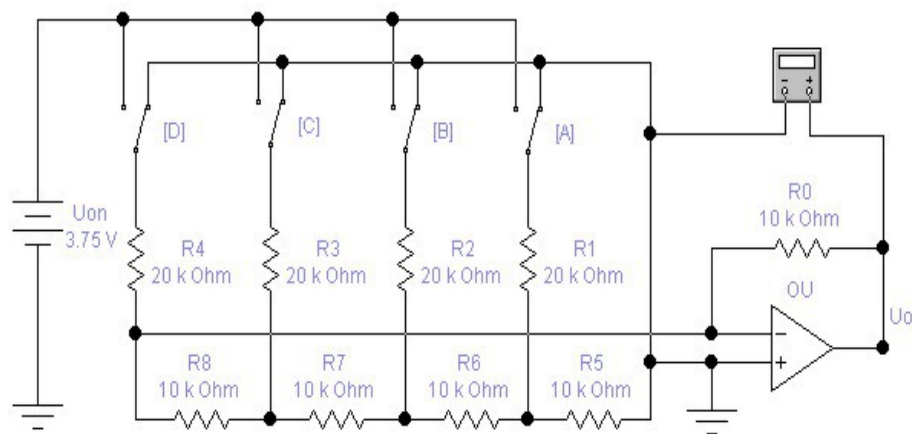


Рисунок 4.2 – ЦАП сходового типу

Вихідна напруга ЦАП на рис. 4.2 визначається за формулою:

$$U_o = U_{on} R_0 [S_1 2^{n-1} + S_2 2^{n-2} + \dots + S_i 2^{n-i} + S_n] / R^{2n}, \quad (4.1)$$

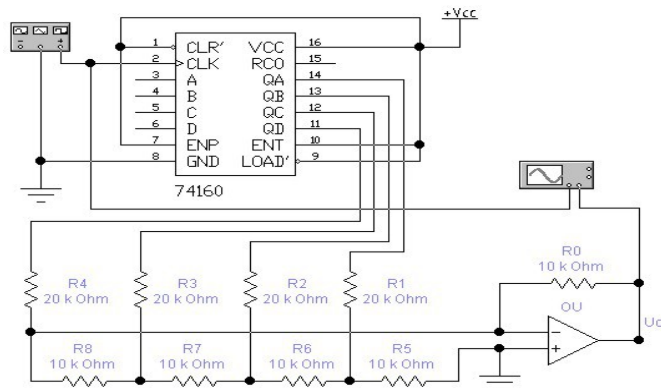
де S_i – значення цифрового сигналу (0 або 1) на i -му вході;

n – число розрядів перетворення (для схеми на рис. 4.2 $n = 4$);

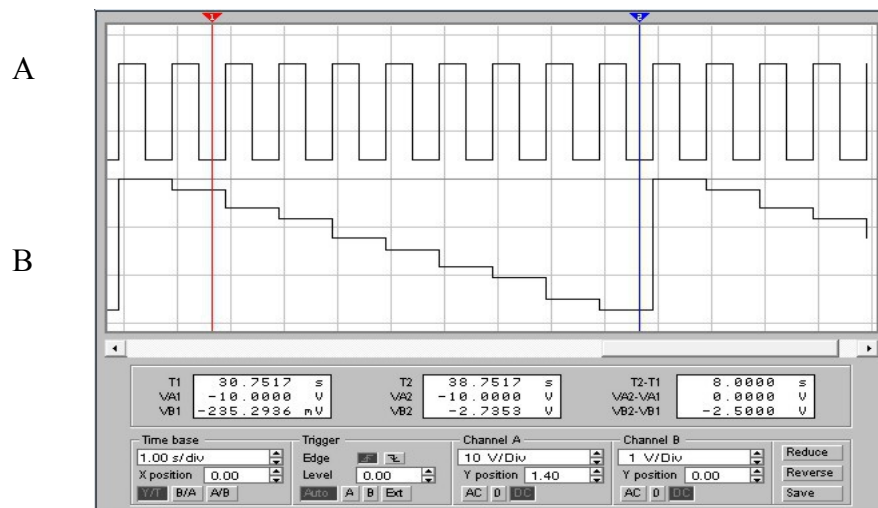
R – опір резистора матриці $R-2R$ ($R = 10$ кОм для схеми на рис. 4.2).

Варіант ЦАП з використанням як комутуючий пристрій двоїчно-десятькового лічильника 74160 показаний на рис. 4.3, *а*.

З порівняння ЦАП на рис. 4.2 і 4.3 видно, що в другому відсутнє джерело опорної напруги: його роль виконує сам лічильник-комутатор. Еквівалентне значення U_{on} можна отримати на основі формули (4.1) і результатів осцилографічних вимірювань, показаних на рис. 4.3,б. Зокрема, максимальна вихідна напруга ЦАП $VB2 = -2,8125$ В, мінімальне – $VB1 = -0,3125$ В, їхня різниця – $VB2 - VB1 = -2,45$ В.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Чотирирозрядний ЦАП сходового типу:

а – схема на базі лічильника 74160; *б*– осцилограма сигналів на його рахунковому вході (А) і виході ЦАП (В)

АЦП прямого перетворення. АЦП прямого перетворення є найбільш простими й часто вбудовуються безпосередньо в датчики. Основним функ-

ціональним елементом таких АЦП є перетворювач електричної величини (струму, напруги, опору, ємності й ін.) у часовий інтервал або частоту. Прикладами таких перетворювачів може служити розглянутий нижче перетворювач постійної позитивної напруги в частоту (рис. 4.4 б). Для перетворення часового інтервалу або частоти в цифровий код, що по суті є кінцевим завданням будь-якого АЦП, виконується ЕОМ у випадку АСУ або додатковим пристроєм у випадку автономного АЦП. Приклади такого пристрою, що здійснює перетворення часового інтервалу в код, показаний на рис. 4.4 а. В цьому пристрої часовий інтервал задається програмним ключем Т, що імітує, наприклад, визначальну кількість імпульсів, що надходять на чотирирозрядний лічильник з генератора опорної частоти U_s . Розглянутий пристрій по суті є частотоміром. Якщо перетворена величина прямопропорційна періоду, то відповідно додатковий пристрій повинен забезпечити перетворення періоду в код.

Перетворювач на рис. 4.4 б виконаний на двох ОП: підсилювач OU_1 використовується в інтеграторі, а OU_2 – у регенеративному компараторі з гістерезисом. Коли вихідна напруга компаратора U_f має максимальне позитивне значення U_1 , діод VD зміщений у зворотному напрямку й напруга U_s на виході OU_1 (див. осцилограми на рис. 4.4 в) зменшується за лінійним законом зі швидкістю, зумовленою амплітудою вхідного позитивного сигналу U_i , доти, поки не досягне значення $U_1 R_1 / R_2$. У цей момент компаратор перемикається. У інший стан, при якому напруга на його виході дорівнює максимальному негативному значенню U_2 , при цьому діод VD відкривається й вихідна напруга інтегратора швидко наростає до значення $U_2 R_1 / R_2$, після чого компаратор вертається в початковий стан і цикл повторюється.

Оскільки час наростання вихідної напруги інтегратора значно менший за час спаду, який обернено пропорційно до амплітуди вхідного сигналу частота циклів повторення F буде прямопропорційна вхідній напрузі. Нехтуючи власним часом перемикавання компаратора, можна записати такий вираз для частоти вихідних імпульсів:

$$F = U_i \cdot R_3 / [R_1 \cdot C R_4 (U_1 - U_2)] \approx 1000 \cdot U_i. \quad (4.2)$$

Насправді розмах напруги U_s на виході OU_1 трохи більше величини $(R_1 / R_2)(U_1 - U_2)$ через відмінного від нуля значення часу перемикавання компаратора, а частота відповідно менше значення, яке визначається виразом (4.2), причому ця розбіжність буде особливо значною при великих амплітудах вхідного сигналу.

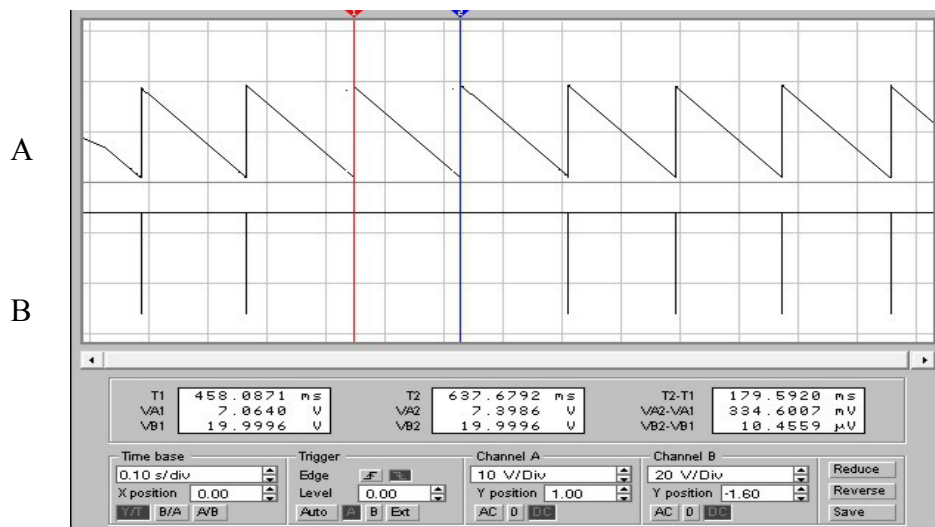
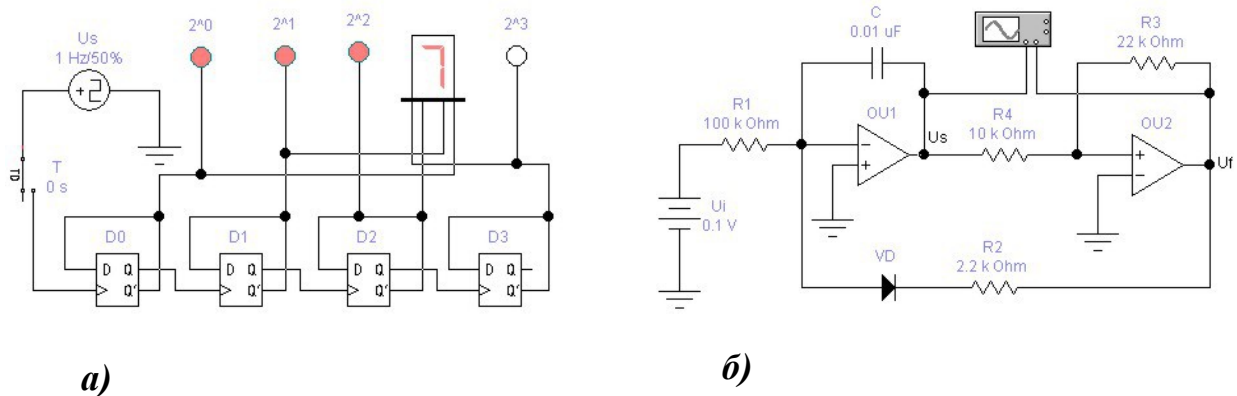


Рисунок 4.4 – АЦП прямого перетворення:
а – схема на базі лічильника; б – схема на базі ОП; в – осцилограма сигналів на виході інтегратора (В) і компаратора (А)

З зазначеними на рис. 4.4 б номіналами елементів схема повинна забезпечувати лінійність перетворення не гірше $\pm 1\%$ в діапазоні зміни входних напруг 20 мВ...10 В, при цьому частота вихідних імпульсів F повинна змінюватися від 20 Гц до 10 кГц.

Перетворювач на інтегральному таймері. Інтегральні таймери є найбільш яскравими представниками пристроїв змішаного типу, з них найбільш популярним є таймер NE555. З огляду на його широке застосування в різних апаратурах промислового й побутового призначення, розглянемо основні характеристики й особливості застосування NE555.

Функціональна схема таймера та його графічне позначення в програмі EWB показана на рис. 4.5. Таймер має два компаратори на OU_1 і OU_2 , RS-тригер, що інвертує підсилювач потужності UM , транзистори VT_1 , VT_2 для кола розряду й примусового скидання відповідно. Внутрішній резистивний

a) This circuit diagram shows a control system for a motor (UM). It features two comparators, OU1 and OU2, which compare input signals (pins 5 and 2) with reference voltages (pins 1 and 4) established by a 5 kΩ resistor network. The outputs of the comparators control a relay (R) and a transistor (VT1) through a 555 timer (pin 8). The transistor VT1 drives the motor UM. A second transistor (VT2) is also shown, connected to the 555 timer's output (pin 7) and the motor's supply (pin 3).

б) This diagram illustrates the pin configuration for a 555 timer IC. The pins are numbered 1 through 8, corresponding to the labels on the IC: 1 (GND), 2 (TRI), 3 (OUT), 4 (RES), 5 (CON), 6 (THR), 7 (DIS), and 8 (VCC).

Напруга живлення таймера $U_{cc} = 5 \dots 16,5$ В, струм навантаження (вивід 7) – 200 мА, що дозволяє керувати безпосередньо лампочками або електромагнітними реле. Вихідний опір близько 10 Ом як для низького, так і для високого рівнів вихідної напруги. Запуск таймера здійснюється подачею на вивід 2 напруги меншій за $U_{cc}/3$ (це коло звичайно називають тригерним входом). При високій напрузі на виведенні 2 станом виходу таймера можна управляти за допомогою компаратора OU1 по виведенню 6, що називається зазвичай пороговим входом. Вхідний струм, що втікає в OU₁ (вивід 6) і витікає з OU₂ (вивід 2), не перевищує 0,5 мкА. Для скидання таймера, тобто встановлення на його виході низької напруги незалежно від напруги на виводах 2 і 6 використовується вивід 4. Якщо напруга на цьому виводі менше 0,4 В, напруга на виході дорівнює 0,1...0,2 В, а при напрузі більше 1 В коло скидання виключений і не впливає на роботу таймера. Крім низькоомного виходу (вивід 3) таймер має й допоміжний високоомний вихід (вивід 7, колектор транзистора VT1), що звичайно використовується для організації зворотного зв'язка з виходу на входи (виводи 2 і 6) таймери. Припустима зміна напруги на виводах 2, 4, 6 і 7 перебуває в межах 0...16,5 В. У таймері є доступ через вивід 5 до входів внутрішніх компараторів, на які подані граничні напруги. Цей вивід від резистивного дільника дозволяє змінювати граничні напруги компараторів при постійній напрузі живлення й тим самим додатково управляти роботою таймера. Щоб уникнути впливу зовнішніх перешкод і пульсації напруги живлення на точність роботи таймера, рекомендується шунтувати виведення 5 конденсатором ємністю 0,01 мкФ.

Тимчасові параметри таймера незначно залежать від змін U_{cc} і температури й повністю визначаються компараторами й технологією їхнього виготовлення. У таймерах, виготовлених за КМОП-технологією, що відрізняються гіршим узгодженням параметрів парних транзисторів, залежність характеристик від U_{cc} і температури значно вище, ніж у таймерах, виготовлених за біполярною технологією.

Щоб параметри часовизначального RC - кола не впливали на точність формування часових інтервалів, необхідно обмежити діапазон зміни опору R і ємності C . Максимальний опір R визначається вхідним струмом I_i компараторів. Для формування стійких часових інтервалів досить вибрати максимальний опір R з умови $R_{max} < U_{cc}/I_i$; при $U_{cc} = 10 \text{ В}$ і $I_i = 0,5 \text{ мкА}$ $R_{max} = 20 \text{ МОм}$. При включенні таймера за схемою мультівібратора, коли виводи 2 і 6 об'єднані, таймер зберігає працездатність при $R > R_{max}$, при цьому не рекомендується використовувати часовизначальні резистори з опором $R > 10 \text{ МОм}$.

Мінімальний опір R визначається максимально припустимим струмом, що протікає через транзистор VT_1 таймера при його насиченні. Хоча припустимий вихідний струм встановлюють як правило на рівні 100 мА , не рекомендується використовувати малі опори R у сполученні з більшими ємностями C . Пояснюється це тим, що при розряді конденсатора великої ємності транзистор VT_1 переходить у режим насичення через кінцевий час, протягом якого він перебуває в активному режимі при напрузі колектор-емітер $U_{ке} = U_{cc}/2$, і при R_{min} він може вийти з ладу через велику потужність, що розсіюється на ньому. Тому при формуванні малих часових інтервалів рекомендується обмежитися значенням $R_{min} = 1 \text{ кОм}$ й вибрати виходячи з цього ємність C . Якщо ж таймер застосовується в схемі, де $C < 100 \text{ пФ}$, то опір R може бути зменшений до 150 Ом .

Мінімальна ємність часовизначального конденсатора C повинна бути значно більше змін ємності виводів 2, 6 і 7, що залежить від напруги на них. Оскільки ці зміни при перезарядженні C не перевищують декількох пікофарад, при формуванні точних часових інтервалів доцільно вибрати $C < 100 \text{ пФ}$. Можна застосовувати конденсатори C як завгодно великої ємності, якщо їхній струм витоку малий. Фактично ж, чим більше ємність конденсатора, тим більше його струм витоку; для нормальної роботи таймера необхідно, щоб цей струм не перевищував зарядний струм через резистор R . Для формування точних ($< 1\%$) часових інтервалів струм витоку через I_c повинен бути більше ніж на два порядки менше зарядного струму.

Вихідний підсилювач, що інвертує, таймера УМ працює в режимі АВ, внаслідок чого на перехідній характеристиці виникає "полиця" тривалістю

10...20 нс при напрузі 1,5 В. Якщо таймер навантажений на швидкодіючі ТТЛ-схеми, то наявність такої "полиці" неприпустимо, тому що вона може викликати помилкове спрацювання логічного елемента. Для усунення цього недоліку необхідно вихід таймера зашунтувати конденсатором ємністю близько 100 пФ.

Перетворювачі на інтегральних таймерах відрізняються досить широким частотним діапазоном. Так, при включенні таймера за схемою самозбудного мультивібратора можна отримати лінійний перетворювач напруги в частоту, що змінюється від 10 Гц до 10 кГц, причому цей діапазон може бути легко пересунутий у будь-яку сторону заміною одного з елементів схеми. На жаль, модель таймера NE555 у програмі EWB далека від досконалості й не дозволяє це реалізувати. Попереднє дослідження перетворювача, схема якого наведена на рис. 4.6, показало, що перетворена напруга повинна бути більше напруги живлення U_{cc} . Крім того, модель не працює при відсутності додаткового опору в колі розряду інтегруючого конденсатора (транзистор VT_1), тому опір його заряду складений з опорів двох резисторів – R і R' .

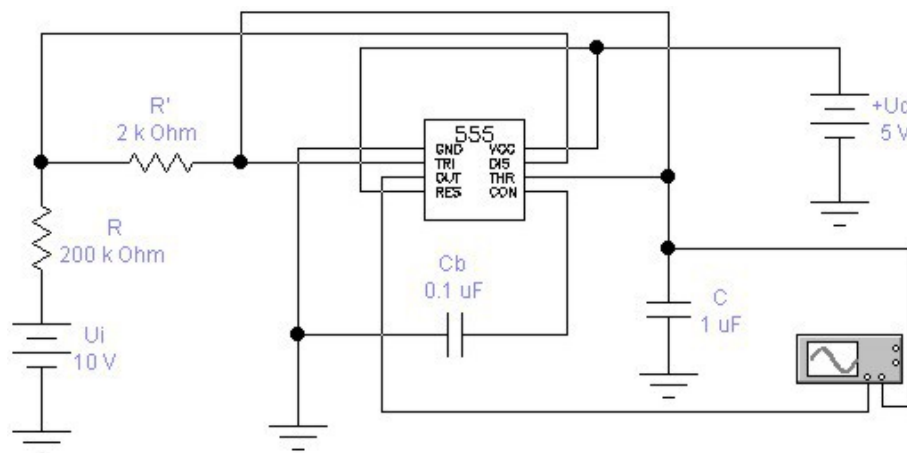


Рисунок 4.6 – Перетворювач напруга-частота на таймері NE555

У схемі на рис. 4.6 використане пасивне інтегруюче RC - коло, оскільки переслідувалася тільки мета перевірки її працездатності. Для підвищення лінійності перетворювача на вході практичного аналога такої схеми використовується перетворювач напруга-струм (стабілізатор струму).

Осцилограми сигналів на виході OUT мікросхеми й конденсатора C показані на рис. 4.7.

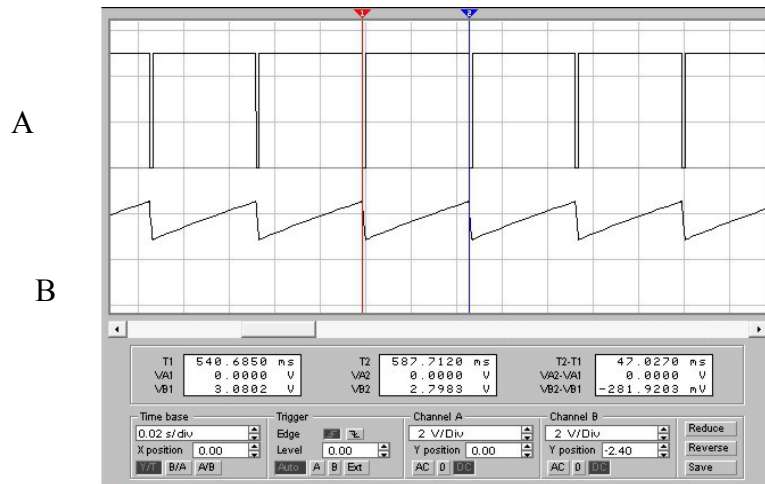


Рисунок 4.7 – Осцилограми на виході таймера(A) і інтегруючого конденсатора (B)

Бібліотечні ЦАП і АЦП. У бібліотеці програми EWB перетворювачі представлені 8-розрядними ЦАП і АЦП.

Схема включення бібліотечного ЦАП (рис. 4.8) містить властивий ЦАП (DAC V), два джерела опорної напруги $+U_{op}$ і $-U_{op}$, генератор слова й осцилограф.

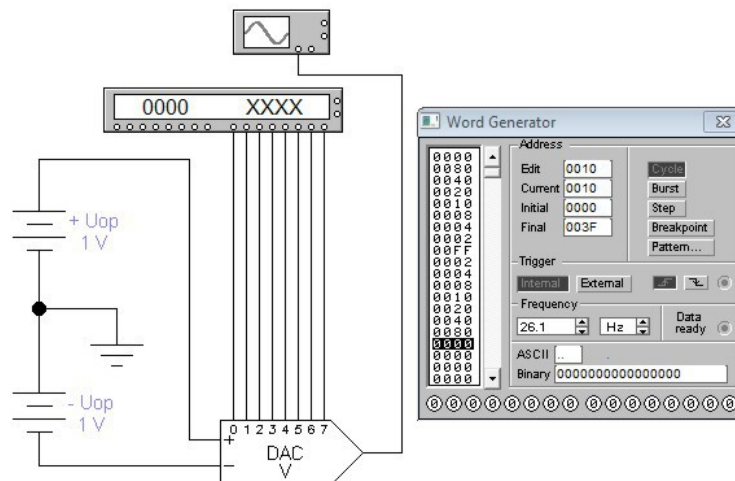


Рисунок 4.8 – Схема включення бібліотечного ЦАП з установками генератора слова для його випробування

Вихідна напруга ЦАП визначається виразом:

$$U_o = D[(+U_{op}) + (-U_{op})]/256,$$

де D – десятковий еквівалент вхідного двійкового коду (наприклад, при вхідному коді 00000011 $D = 3$).

Задаючи відповідні кодові комбінації на виході генератора слова, можна за допомогою осцилографа виміряти максимальну вихідну напругу ЦАП, а також мінімальну, відповідну найменшому розряду й визначальній розв'язній здатності ЦАП. Нумерація розрядів показана на графічному значку ЦАП, осцилограма вихідного сигналу при зазначених на рис. 4.8 кодових комбінаціях на рис. 4.9.

Для ЦАП з опорними джерелами струму $+I_{op}$, $-I_{op}$ струм прямого й інверсного виходу визначається відповідно формулами:

$$I_o = D[(+I_{op}) + (-I_{op})]/256; I_o' = 255[(+I_{op}) + (-I_{op})]/256 - I_o.$$

Схема включення бібліотечного АЦП (рис. 4.10) містить властивість АЦП (ADC), джерела опорної напруги, генератор слова для синхронізації і управління виходом АЦП, функціональний генератор як джерело вхідного сигналу U_i , логічний аналізатор, перетворювач двійковий код-код ASCII і осцилограф.

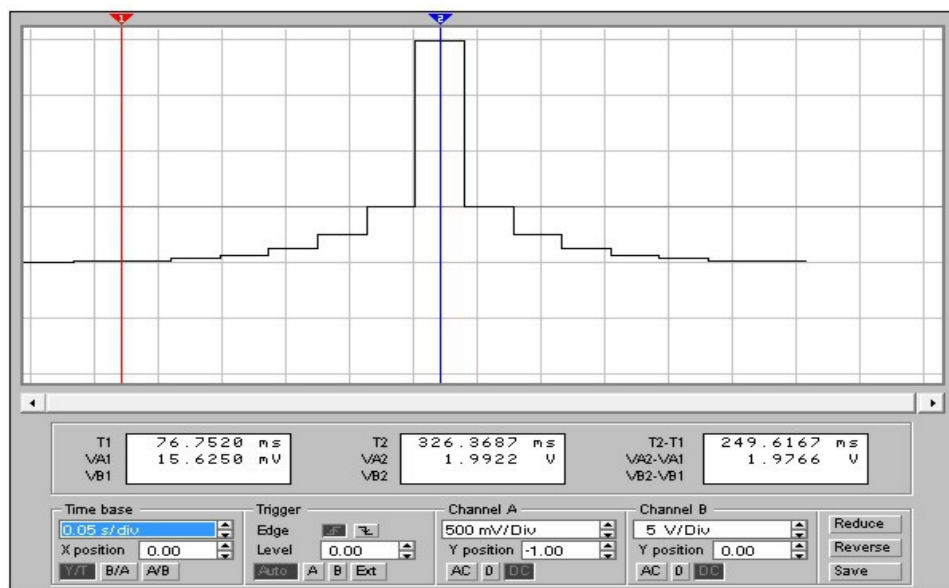


Рисунок 4.9 – Осцилограма вихідної напруги ЦАП

Призначення виводів АЦП: VIN – вхід для джерела перетвореного сигналу; V_{REF+}, V_{REF-} – вхід для джерел опорної напруги; SOC – вхід синхронізації; OE – дозвіл на видачу двійкової комбінації на виходи D0...D7; EOC – сигнал готовності даних (наприклад, при видачі даних на ЕОМ).

Для заданого значення вхідної напруги U_i, зафіксованого, наприклад, за допомогою пристрою вибірки і зберігання, десятковий еквівалент двійкового коду на виході АЦП визначається виразом:

$$D = 256U_i / [(+U_{op}) + (-U_{op})].$$

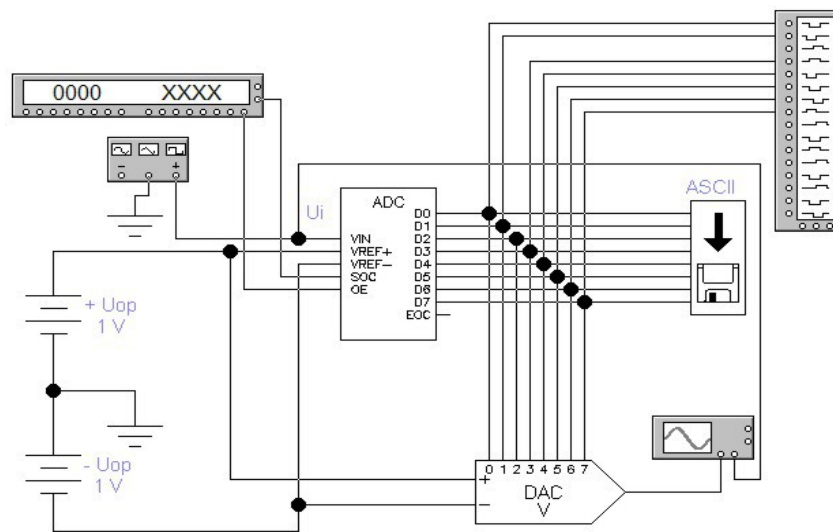


Рисунок 4.10 – Схема включення бібліотечного АЦП

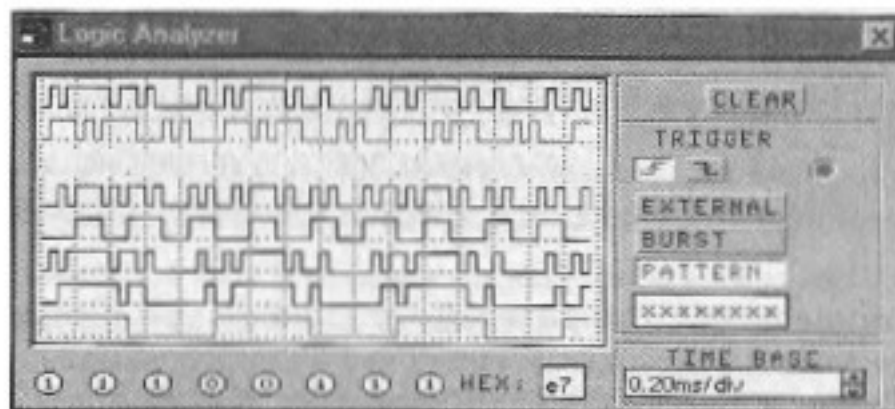


Рисунок 4.11 – Осцилограми вихідного сигналу АЦП на екрані логічного аналізатора

Пристрій ASCII дозволяє записати дані в текстовий файл. Після подвійного кліку за його зображенням викликає стандартне діалогове вікно, у якому вказується ім'я файла. За замовчуванням у меню пропонується ім'я схемного файла з розширенням .txt.

Отримані дані з АЦП можна аналізувати за допомогою логічного аналізатора й осцилографа. Дані на екрані логічного аналізатора при перетворенні синусоїдального сигналу напругою 1 В і частотою 1 кГц показані на рис. 4.11.

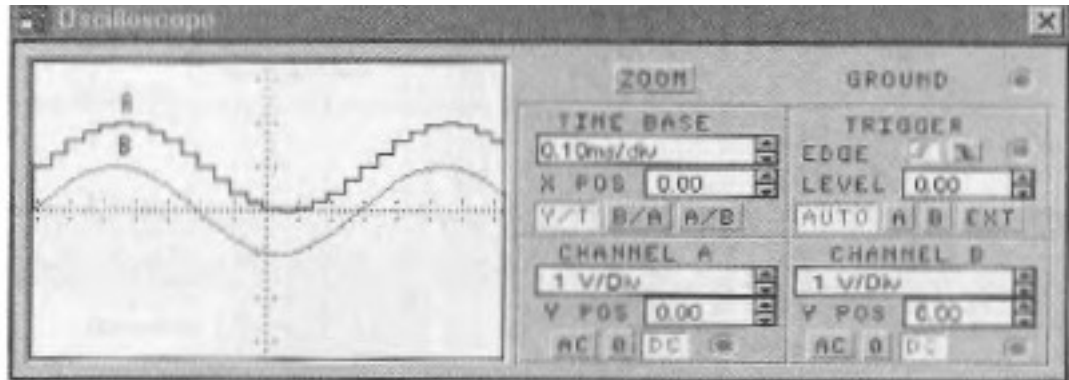


Рисунок 4.12 – Осцилограми вихідного сигналу ЦАП і вхідного АЦП

Початкова ділянка даних на рис. 4.11 після їхнього перетворення в аналоговий сигнал за допомогою ЦАП показана у вигляді осцилограми на рис. 4.12.

Перетворювач на управляючих джерелах. Джерела напруги із програми EWB, управляючі напругою, які можуть бути використані в перетворювачах напруга-частота, показані на рис. 4.13.

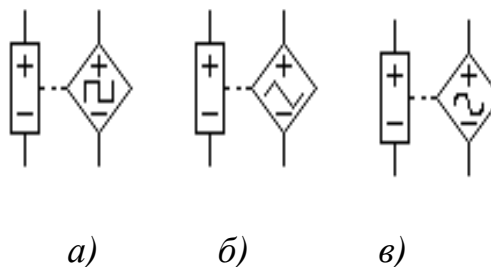
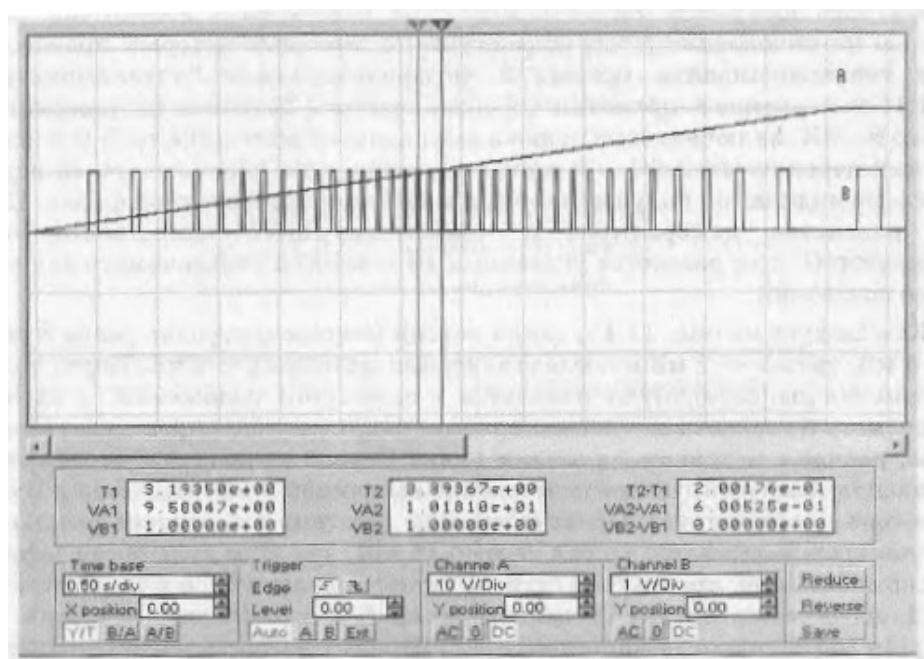
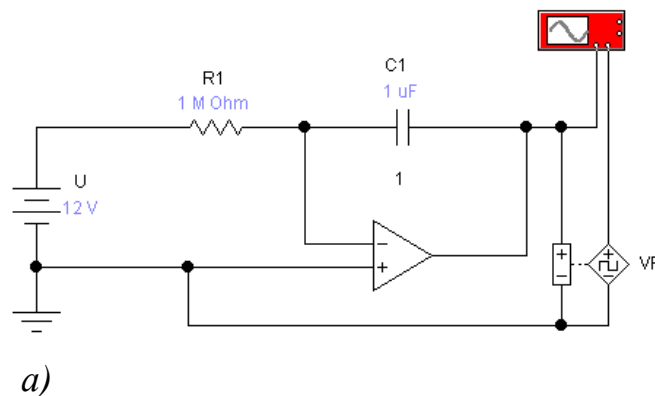


Рисунок 4.13 – ІНУН: *а* – з вихідною напругою прямокутної; *б* – трикутної; *в* – синусоїдальної форми

Всі три джерела мають практично однаковий набір параметрів. Наприклад, діалогове вікно джерела з вихідним сигналом прямокутної форми містить дві закладки з наступним набором параметрів, що редагують: нижній $L = 0$ В і верхній $H = 1$ В рівні прямокутному імпульсу, тобто задається послідовність імпульсів позитивної полярності з амплітудою 1 В; коефіцієнт заповнення $D = 0,2$; тривалість переднього $TR = 1e-09$ с і заднього $TF = 1e-09$ із фронтів; параметр $N = 3$ визначає кількість точок, у яких заданий вхідний напрузі в рядках параметрів $C1...C5$ ($C1 = 0$ В, $C2 = 10$ В, $C3 = 20$ В, $C4 = C5 = 0$ В) буде відповідати задана частота в рядках параметрів $F1...F5$ ($F1 = 1$ Гц, $F2 = 10$ Гц, $F3 = F4 = F5 = 1$ Гц), тобто задаються ділянки з різним коефіцієнтом перетворення (Гц/В).

Схема включення з вихідною напругою прямокутної форми показана на рис. 4.14 а. Крім властивій ІНУН VF схема містить джерело лінійно-змінної (пилкоподібної) напруги на інтеграторі (елементи ОП1, R1 і C1) постійної напруги U.



б)

Рисунок 4.14 – Схема а – включення ІНУН з вихідною напругою прямокутної форми; б– осцилограми його вхідного (А) і вихідного (В) сигналів

Осцилограми сигналів на вході й виході ІНУН, параметри якого встановлені відповідно до наведених вище даних, показані на рис. 4.14 б, звідки видно, що при вхідній напрузі близько 10 В (результати вимірів у рядках VA_1 і VA_2 індикаторних вікон) тривалість двох періодів імпульсної послідовності становить близько 200 мс (результати вимірів у рядку T2-T1 індикаторного вікна), тобто частота імпульсів відповідає встановленим значенням параметрів C2 і F2 у діалоговому вікні. Отже, коефіцієнт перетворення становить 1 Гц/В.

АЦП врівноважуючого типу. Задовго до появи сучасних АЦП у вимірювальній техніці вже використовували аналогічні пристрої (так звані потенціометри), що дозволяли отримувати цифровий відлік вимірюваної величини з досить високою точністю до положення ручок управління, за допомогою яких вироблялося ручне врівноважування схеми. У чотирирозрядному «потенціометрі» на рис. 4.15 вимірювана напруга U_x прирівнюється з спадом напруги на резисторах $R \dots 8R$, що включають у коло каліброваного джерела струму I_s за допомогою здвоєних перемикачів 1...3; друга половина цих перемикачів використовується в схемі індикації отриманого коду у двійковій і десятковій формі. Індикатором рівності вимірювальної й компенсуючої напруги служить гальванометр G: при рівності зазначених напруг гальванометр буде мати нульові показання.

Як видно з рис. 4.15, найперший (старший) рівень дорівнює 8 мВ, другий – 4 мВ, третій – 2 мВ і останній (самий молодший) – 1 мВ. Перед урівноважуванням всі перемикачі перебувають у замкнутому положенні, і нуль-орган (гальванометр G) показує, що вимірювана напруга U_x перевищує компенсуючу, що дорівнює у вихідному стані 0. Першою включається перший рівень, що включає компенсуючу напругу, величиною 8 мВ.

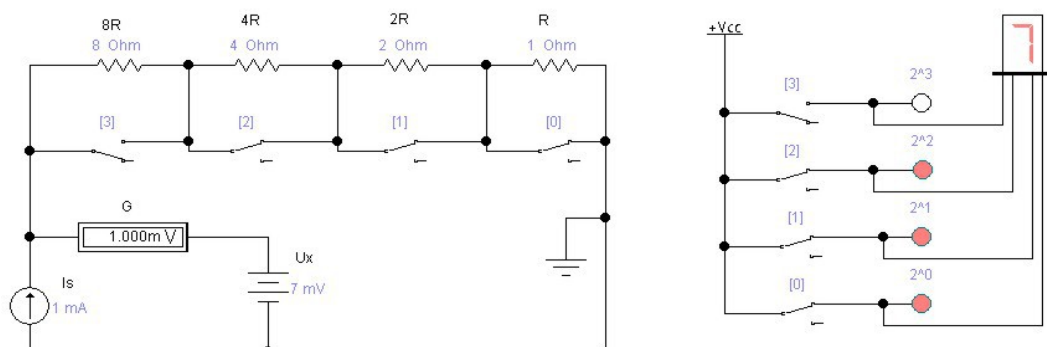


Рисунок 4.15 – Спрощена схема чотирирозрядного АЦП

Оскільки $U_x < 8$ мВ, при цьому нуль-орган зафіксує перекомпенсацію, тому цей рівень вимикається. На другому кроці включається другий рівень (4 мВ), при цьому нуль-орган зафіксує недокомпенсацію, тому цей рівень залишається включеним й до нього перемикачем 1 додається третій рівень величиною 2 мВ. Однак і в цьому випадку нуль-орган зафіксує недокомпенсацію. Тому на третьому кроці ключем 0 додається четвертий рівень величиною 1 мВ, після чого нуль-органом фіксується нульовий результат, що відповідає рівності вимірюваного й напруг, що компенсує. При цьому на виході "перетворювача" отримуємо двійковий код 0111 і його десятиковий еквівалент 7. Розглянутий алгоритм перетворення називається *порозрядним урівноважуванням*.

Можливий і інший спосіб урівноважування, при якому цей процес починається із четвертого рівня (1 мВ). Якщо при цьому фіксується недокомпенсація, то перемикач 0 вимикається й перемикачем 1 включається третій рівень (2 мВ). При недокомпенсації перемикачем 0 додатково підключає четвертий рівень, що в сумі дає 3 мВ. При недокомпенсації четвертий і третій рівні вимикаються й перемикачем 2 включається третій рівень (4 мВ). Далі по черзі підключаються четвертий і третій рівень, що забезпечує збільшення компенсуючої напруги, на кожному кроці урівноважування на величину одного кванта, рівного в нашому випадку 1 мВ. Урівноважування закінчується, коли при черговому додаванні одного кванта до компенсуючої напруги, остання стає більше вимірюваної. Розглянутий метод перетворення отримав назву методу *послідовного рахунку* або *перетворення, що розгортає*.

АЦП типу, що розгортає, може бути реалізований також з використанням як джерело компенсуючої напруги, прецизійного ГПН. Схема шести розрядного АЦП у такому виконанні містить (рис. 4.16 а) шести розрядний лічильник на тригерах D0...D5, двовходовий елемент І U, генератор опорної частоти U_s , компаратор на ОП1 і ГПН на ОП2 з елементами R, C и U. Для узгодження вихідного сигналу компаратора з логічним елементом І позитивна напруга насичення ОП1 дорівнює +5 В, негативна – 0 В.

Перемикач X використовується для оперативного контролю сигналів на виході компаратора й елемента І (осцилограми А на рис. 4.16 б, в). Швидкість зміни вихідної напруги ГПН (осцилограми В на рис. 4.16 б, в) дорівнює $v = U/RC = 1/10^6 \cdot 10^{-6} = 1$ В/с. У момент пуску АЦП (початок моделювання) під дією перетвореної напруги U_x на виході компаратора формується сигнал

логічної одиниці (осцилограма А на рис. 4.16 б), в результаті чого на вхід лічильника через схему І починають надходити імпульси з джерела однополярних імпульсів U_s (осцилограма А на рис. 4.16 в). Одночасно запускається й ГПН, вихідна напруга якого $U_g = v \cdot t$, починаючи з моменту $t_1 = 0$, безупинно рівняється з U_x . Коли в момент часу $t = t_2$, U_g досягає значення U_x , спрацьовує компаратор, у результаті чого на його виході формується сигнал логічного нуля, схема І блокується й надходження імпульсів на лічильник припиняється. Проміжок часу, протягом якого імпульси від джерела U_s надходили на вхід лічильника із частотою проходження $F = 10$ Гц, дорівнює $\Delta t = t_2 - t_1 = U_x/v$. Зареєстроване лічильником за цей час число імпульсів $N = F \cdot \Delta t = 10 \cdot 2,5/1 = 25$ збігається з показаннями індикаторів $2^0 + 2^3 + 2^4 = 25$.

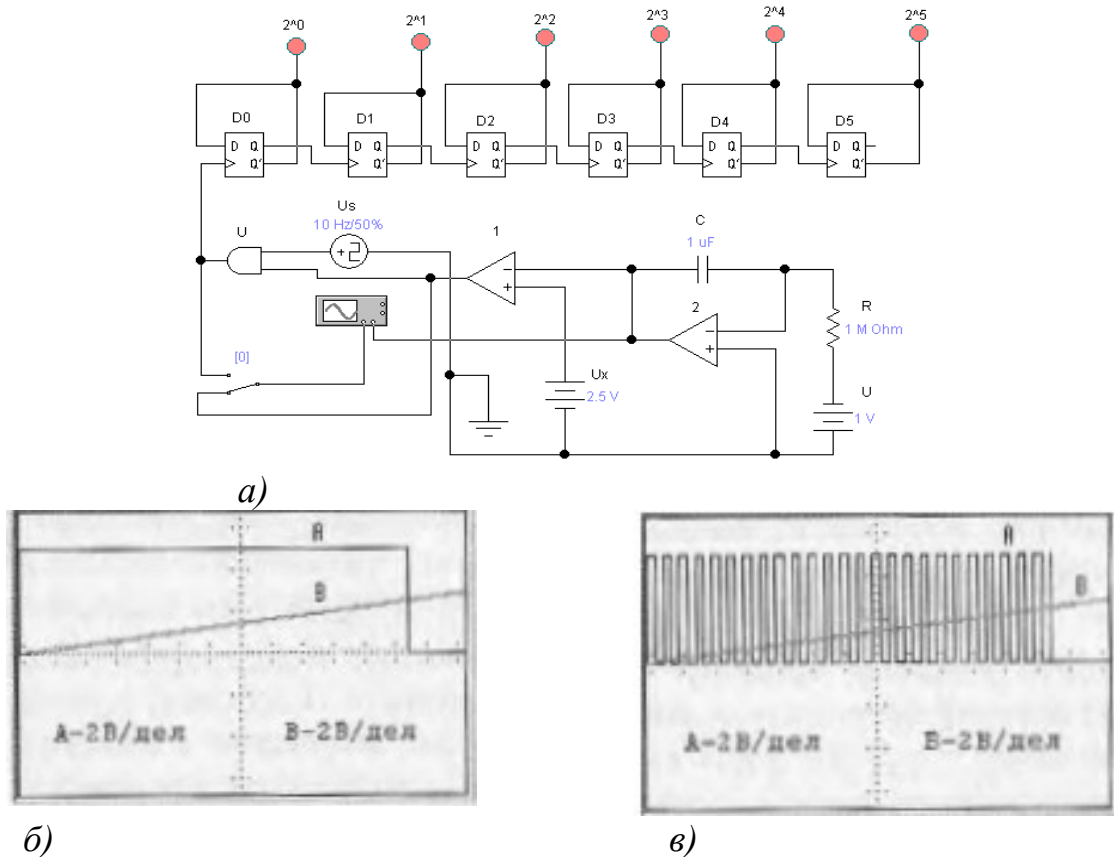


Рисунок 4.16 – Схема АЦП із ГПН (а) і осцилограми його сигналів (б, в)

Устаткування й апаратура:

Комп'ютер, програми комп'ютерного моделювання Electronics Workbench.

Порядок виконання роботи

1. Розрахуйте коефіцієнт підсилення напруги ОП і вихідної напруги ЦАП у схемі на рис. 4.1 для випадку, коли в положенні, що відповідає логі-

чній одиниці, встановлений тільки перемикач С. Результати розрахунку перевірте на моделі.

2. Замініть перемикачі А, В, С, D програмними перемикачами (реле часу), що імітують послідовно в часі з інтервалом 5 з появи кодових комбінацій 0001, 0011, 0111 і 1111.

3. За допомогою формули (4.1) розрахуйте вихідну напругу ЦАП на рис. 4.1 для всіх 16 комбінацій перемикачів А, В, С, D і порівняйте отримані результати з результатами моделювання.

4. Замініть перемикачі А, В, С, D у схемі на рис. 4.2 програмними перемикачами, що імітують послідовно в часі з інтервалом 5 із проявом кодових комбінацій 0001, 0010, 0100 і 1000.

5. Використовуючи формулу (4.1) і результати моделювання, розрахуйте еквівалентну напругу U_{on} для схеми на рис. 4.3 а.

6. Перевірте працездатність схеми на рис. 4.4, б і дослідіть залежність частоти вихідного сигналу від вхідної напруги в діапазоні 20 мВ...10 В. Перевірте справедливність формули (4.2).

7. Перевірте працездатність схеми перетворювача на рис. 4.6 при $U_i = 4...40$ В з оцінкою лінійності перетворення в цьому діапазоні.

8. Використовуючи дані на рис. 4.8 і 4.9, встановіть, яким кодовим комбінаціям генератора слова відповідають рівні вихідної напруги ЦАП у точках установки візирних лінійок на осцилограмі рис. 4.9. Визначити розв'язну здатність ЦАП (ціну молодшого розряду – МР).

9. Складіть схему для випробування ЦАП з опорними джерелами струму.

10. Проведіть випробування схеми перетворювача на рис. 4.14 а при значеннях параметрів F1, F2, і F3, збільшених в 10 і 100 разів у порівнянні з розглянутим випадком. Визначити мінімальну вхідну напругу, при якій не лінійність перетворення не перевищує 10%.

11. Керуючись даними, визначити основні характеристики АЦП на рис. 4.16 а.

12. В АЦП на рис. 4.16 а обнуління (скидання) лічильника здійснюється програмою автоматично в момент пуску. Яким образом це може бути реалізоване в практичній конструкції АЦП аналогічного типу? Розробіть схему обнуління лічильника перед кожним циклом перетворення й проведіть її випробування.

Зміст звіту

1. Електричні схеми, показання приладів і параметри підібраних елементів.

2. Опис елементів, використаних в електричних схемах.
3. Результати дослідження.

Відповіді усно на контрольні питання

1. За яким законом вибираються опори в ЦАП з ваговими резисторами?
2. Отримайте вираз для розрахунку вихідної напруги ЦАП у загальному вигляді й перевірте його на моделі.
3. Чим відрізняється ЦАП сходового типу від ЦАП з ваговими резисторами? До якого типу ЦАП він відноситься?
4. Що є АЦП прямого перетворення, у яких пристроях його доцільно використовувати?
5. Які додаткові пристрої необхідно підключити до схеми на рис.4.4б, щоб отримати цифровий відлік вимірюваної напруги?
6. Що з себе представляють інтегральні таймери й чому вони так називаються?
8. Чим викликана популярність інтегрального таймера NE555?
9. Проведіть аналіз і випробування перетворювача напруга-частота й мультивібратора на NE555.
10. Чи використовується ЦАП у складі бібліотечного АЦП?
11. Проведіть якісний порівняльний аналіз осцилограм на рис. 4.11 і 4.12.
12. Проведіть порівняльний аналіз даних на рис. 4.11 і даних, зареєстрованих у текстовому файлі.
13. Ознайомтеся зі схемою включення в АЦП бібліотечного ЦАП DAC I, а також із застосуванням бібліотечних АЦП і ЦАП в імпульсно-кодовому, використовуваному в цифрових системах зв'язку.
14. Охарактеризуйте два способи перетворення, що врівноважує, і проведіть їхній порівняльний аналіз за тривалістю процесу зрівноважування.

Список використаної літератури

1. Електронна лабораторія на IBM PC. Програма Electronics Workbench і її застосування Автор: Карлащук В.И. Видавництво: Солон-Р Рік видання : 1999 Сторінок: 506, Мова: російський.

Збірник методичних вказівок до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технічна електроніка ” призначений для студентів 3 курсу денної форми навчання за спеціальністю “Комп’ютерні науки”.

Укладач: доцент Лавріненко Ю.В., асист. Бучинська І.В. - Одеса: ОДЕКУ, 2014. – 60 с.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
85016, Одеса, Львівська, 15