

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

з дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітньо-професійної програми
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
всіх форм навчання

Частина 1

Кривий Ріг

2025

Укладачі: Федотов В. О., канд. техн. наук, доцент;
Касаткіна І. В., канд. техн. наук, доцент;
Джура М. І.

Відповідальний за випуск: Федотов В. О., канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: Сінчук О. М., д-р. техн. наук, професор.

Методичні вказівки містять короткі теоретичні відомості, опис експериментальної частини, схеми досліджень, часові діаграми роботи схем, питання для самоконтролю, список рекомендованої літератури.

Розглянуто
на засіданні кафедри
електричної інженерії
Протокол № 10
від 27.02.2025.

Схвалено на вченій раді
електротехнічного
факультету
Протокол № 6
від 28.02.2025.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота № 1 Дослідження характеристик напівпровідникових транзисторів.....	5
Лабораторна робота № 2 Дослідження роботи схем однофазних джерел живлення	8
Лабораторна робота № 3 Дослідження роботи схем стабілізаторів напруги ..	11
Лабораторна робота № 4 Дослідження роботи схем однокаскадних підсилювачів на біполярному транзисторі.....	14
Лабораторна робота № 5 Дослідження роботи схем на основі операційного підсилювача	16
Лабораторна робота № 6 Дослідження роботи ключової схеми транзистора.	22
Лабораторна робота № 7 Дослідження роботи схем мультівібраторів та генераторів прямокутних імпульсів.....	26
Лабораторна робота № 8 Дослідження роботи схем цифрових пристроїв.....	31
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	36

ВСТУП

Електронні пристрої широко використовуються як в промисловості, так і побутовій техніці. Без них неможливо уявити сучасне обладнання для автоматики та телемеханіки, засобів зв'язку, метрології, вимірювальної техніки, медицини побутових приладів та інше

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка» містять короткі теоретичні відомості, опис експериментальних частин для виконання лабораторних робіт, схеми досліджень, часові діаграми роботи схем, питання для самоконтролю та список рекомендованої літератури.

При виконанні лабораторних робіт здобувачі вищої освіти повинні скласти технічний документ у вигляді зошита зі звітами за лабораторними роботами, які складаються з тем та цілей лабораторних робіт, креслень досліджуваних схем, таблиць вимірюваних параметрів, побудованих графіків необхідних залежностей, розрахунків та часових діаграм роботи.

Метою виконання лабораторних робіт є поглиблення теоретичних знань здобувачів вищої освіти, набуття навичок в дослідженнях роботи електронних схем, виконанні розрахунків елементів електроніки, побудові їх характеристик та часових діаграм їх роботи, набуття досвіду роботи зі спеціалізованими приладами.

Лабораторна робота № 1

Тема: Дослідження характеристик напівпровідникових транзисторів

Мета: Дослідити статичні характеристики напівпровідникових біполярних транзисторів та ознайомитись з методикою розрахунків їх параметрів.

1. Дослідження входних характеристик біполярного транзистора.

1.1. Зняти входні статичні характеристики транзистора при підключенні з загальним емітером $I_B = f(U_{BE})$ при $U_{KE} = const$.

На рис. 1.1 наведена схема стенда для дослідження характеристик біполярного транзистора та однокаскадних електронних підсилювачів, а на рис. 1.2 – схема для дослідження статичних характеристик біполярного транзистора при підключенні з загальним емітером.

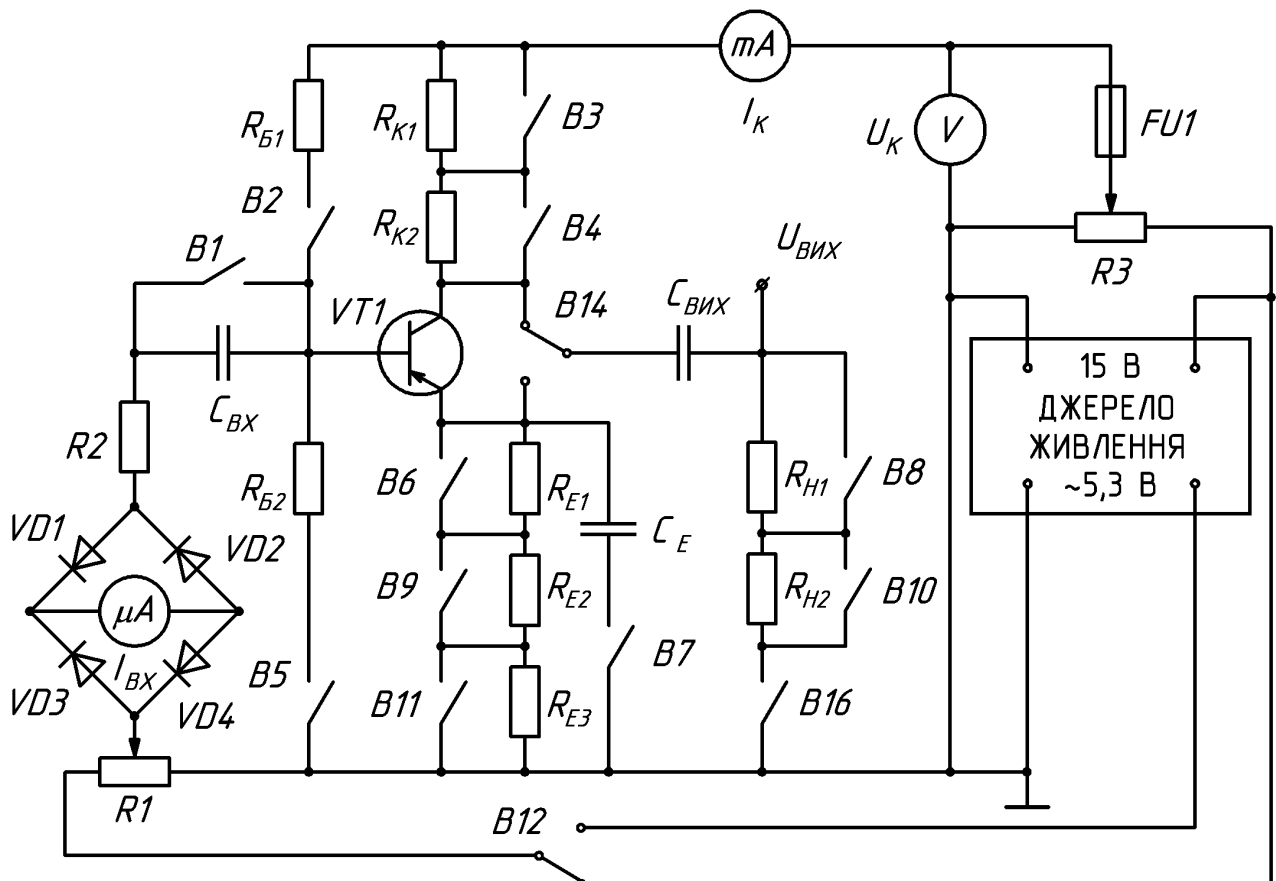


Рисунок 1.1 – Схема для дослідження характеристик біполярного транзистора та однокаскадних електронних підсилювачів

Вхідні статичні характеристики транзистора знімаються для трьох

значень напруги між колектором та емітером U_{KE} , яка задається потенціометром $R11$.

Напруга між базою та емітером U_{BE} змінюється за допомогою потенціометра $R12$.

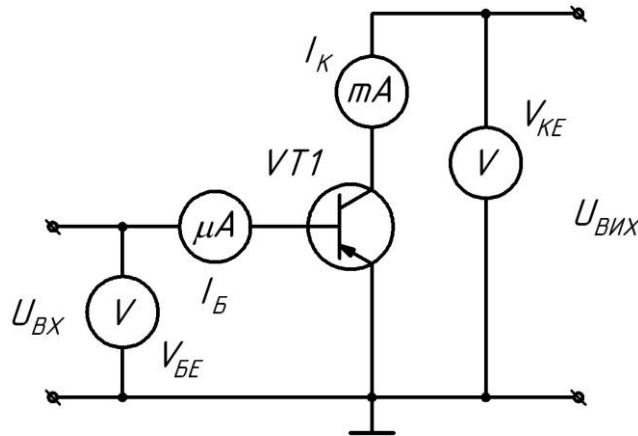


Рисунок 1.2 – Схема для дослідження статичних характеристик біполярного транзистора при підключенні з загальним емітером

В таблицю 1.1 записуються 5-7 значень напруги між базою та емітером U_{BE} та струму I_B бази для побудови вхідних характеристик.

Таблиця 1.1

$U_{BE}, \text{В}$							
$I_B, \mu\text{А}$							

За результатами вимірювань побудувати сімейство статичних вхідних характеристик в прямокутній системі координат.

За допомогою характеристичного трикутника abc (рис. 1.3, а), який будується на вхідних характеристиках біполярного транзистора, можна розрахувати вхідний опір h_{11E} та коефіцієнт зворотного зв'язку h_{12E} .

Вхідний опір:

$$h_{11E} = \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} \text{ при } U_{KE} = \text{const}. \quad (1.1)$$

Для лінійних ділянок вхідних характеристик можна записати:

$$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{\overline{ab}}{\overline{bc}}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по напрузі:

$$h_{12E} = \frac{\partial U_{BE}}{\partial U_{KE}} \text{ при } I_B = \text{const.} \quad (1.2)$$

$$h_{12E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}} = \frac{\overline{ab}}{U_{KE1} - U_{KE0}}.$$

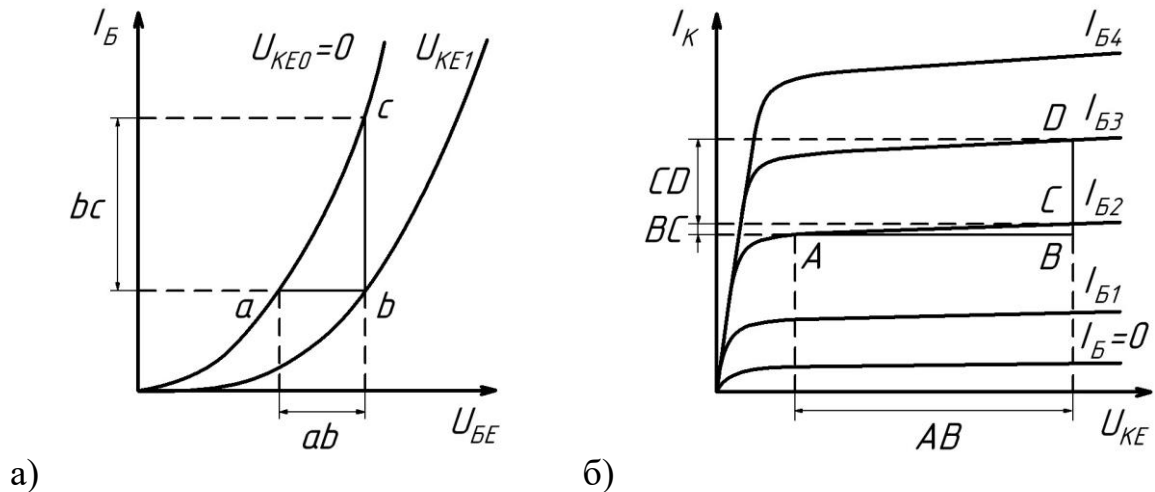


Рисунок 1.3 – Вхідні (а) та вихідні (б) характеристики біполярного транзистора при підключенні з загальним емітером

2. Дослідження вихідних характеристик біполярного транзистора.

2.1. Зняти вхідні статичні характеристики транзистора при підключенні з загальним емітером $I_K = f(U_{KE})$ при $I_B = \text{const}$.

Вихідні статичні характеристики транзистора знімаються для чотирьох значень струму бази I_B . Ці значення виставляються потенціометром $R12$ та підтримуються на обраному рівні протягом виконання спостережень незмінними.

Напруга між колектором та емітером U_{KE} змінюється за допомогою потенціометра $R11$.

В таблицю 1.2 записуються декілька значень напруги між колектором та емітером U_{KE} та струму колектору I_K для побудови вихідних характеристик.

Таблиця 1.2

$U_{KE}, \text{В}$							
I_K, mA							

За результатами вимірювань побудувати сімейство статичних вихідних характеристик в прямокутній системі координат.

За допомогою характеристичного трикутника ABC та відрізка CD , які будуються на вихідних характеристиках біполярного транзистора (рис. 1.3, б), можна розрахувати коефіцієнт передачі базового струму h_{21E} та вихідну провідність транзистора h_{22E} .

Коефіцієнт передачі базового струму:

$$h_{21E} = \frac{\partial I_K}{\partial I_B} \text{ при } U_{KE} = \text{const.} \quad (1.3)$$

Для лінійних ділянок вихідних характеристик:

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{\overline{CD}}{I_{B3} - I_{B2}}.$$

Вихідна провідність транзистору:

$$h_{22E} = \frac{\partial I_K}{\partial U_{KE}} \text{ при } I_B = \text{const.} \quad (1.4)$$

Для лінійних ділянок вихідних характеристик:

$$h_{22E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KE}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{AB}}.$$

Контрольні питання:

1. Пояснить, чим відрізняється напівпровідник від провідників та діелектриків.
2. Що означає термін «власна провідність напівпровідника»?
3. Які типи транзисторів існують?
4. Нарисуйте структуру біполярного транзистора.
5. Нарисуйте вхідну та вихідну характеристики транзистора, підключеного за схемою з загальним емітером.

Лабораторна робота № 2

Тема: Дослідження роботи схем однофазних джерел живлення

Мета: Дослідити роботу схем малопотужних однофазних джерел живлення з різними видами фільтрів.

1. Дослідження роботи схеми однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом.

1.1. Зняти та побудувати зовнішні характеристики $U_d = f(I_d)$ однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом (рис. 2.1) для умов роботи схеми: без фільтрів; з С-фільтром; з L-фільтром; з LC-фільтром.

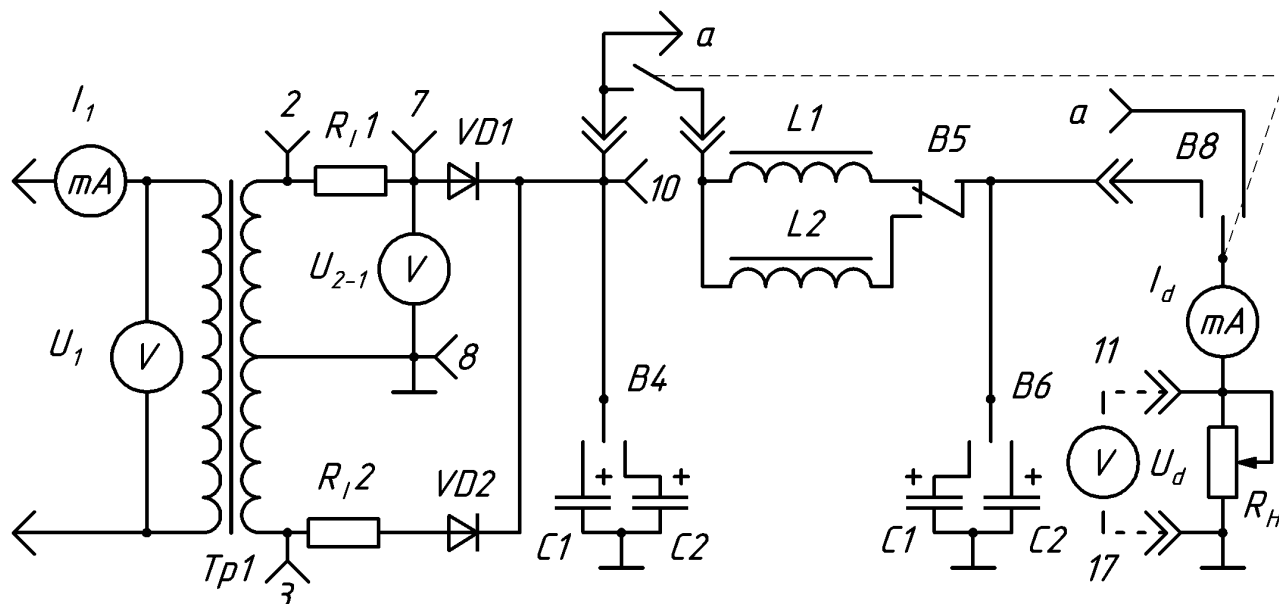


Рисунок 2.1 – Схема для дослідження однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом

В таблицю 2.1 записуються декілька значень струму навантаження I_d та напруги навантаження U_d для побудови зовнішніх характеристик. Таблицю потрібно накреслили для кожної умови роботи випрямляча.

Таблиця 2.1

I_d, mA							
U_d, V							

За результатами вимірювань побудувати в одній системі координат зовнішні характеристики, зняті для умов роботи схеми: без фільтрів; з С-фільтром; з L-фільтром; з LC-фільтром.

1.2. Зняти та накреслити на одному графіці осцилограми випрямленої напруги u_d , напруги на діоді u_{VD1} , прямого струму діода i_{VD1} , струму у першій вторинній обмотці трансформатора i_{2-1} для роботи випрямляча в різних умовах (приклад на рис. 2.2): без фільтрів; з С-фільтром; з L-фільтром; з LC-фільтром.

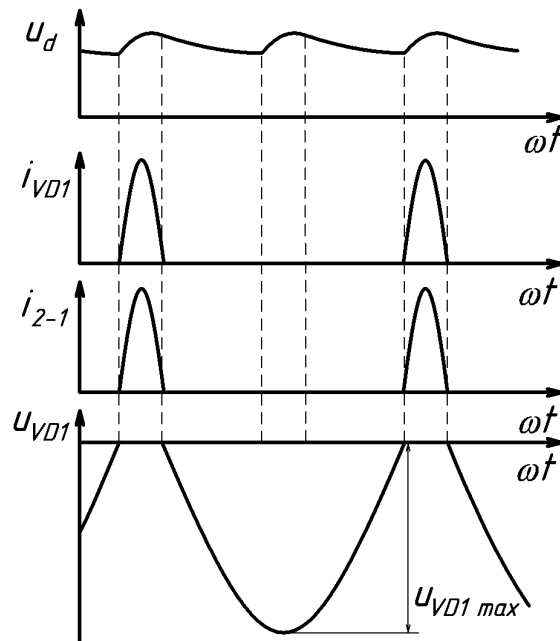


Рисунок 2.2 – Приклад часових діаграм випрямленої наруги u_d , прямого струму діода i_{VD1} , струму у першій вторинній обмотці трансформатора i_{2-1} , напруги на діоді u_{VD1} однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом при роботі з С-фільтром

2. Дослідження роботи схеми однофазного двопівперіодного мостового випрямляча.

2.1. Зняти та побудувати зовнішні характеристики $U_d = f(I_d)$ однофазного двопівперіодного мостового випрямляча (рис. 2.3) для умов роботи схеми: без фільтрів; з С-фільтром; з L-фільтром; з LC-фільтром.

Таблиця 2.2

I_d, mA							
U_d, V							

За результатами вимірювань побудувати в одній системі координат зовнішні характеристики, зняті для різних умов роботи схеми.

2.2. Зняти та накреслити на одному графіці осцилограми випрямленої наруги u_d , напруги на діоді u_{VD3} , прямого струму діода i_{VD3} , струму у вторинній обмотці трансформатора i_2 для роботи однофазного двопівперіодного мостового випрямляча в різних умовах: без фільтрів; з С-фільтром; з L-фільтром; з LC-фільтром.

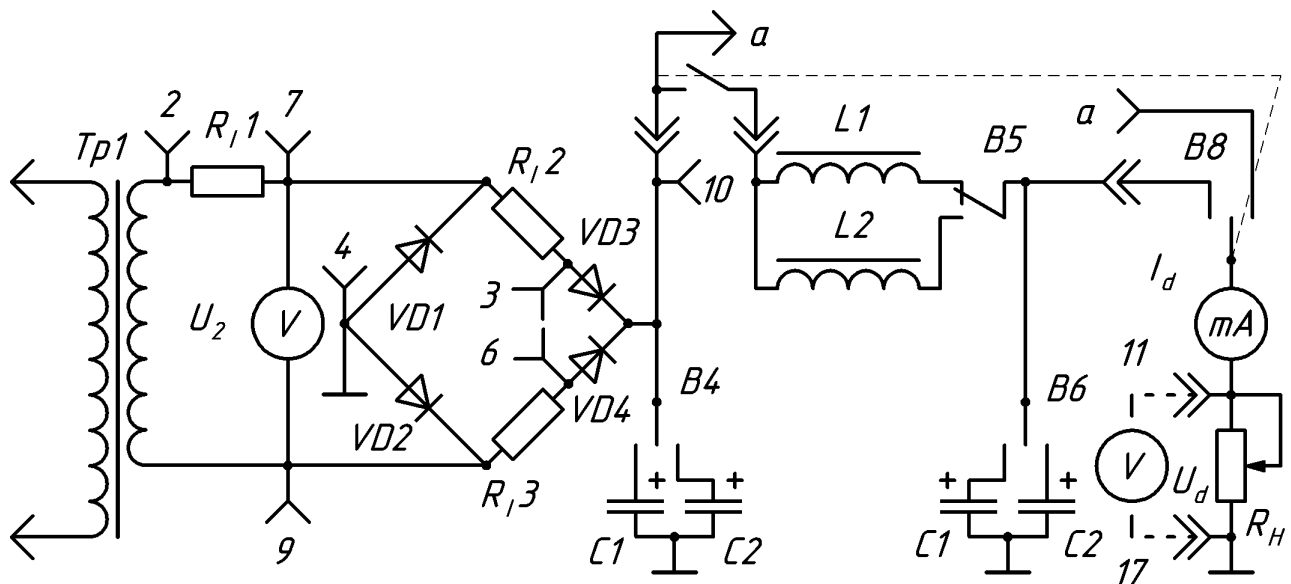


Рисунок 2.3 – Схема для дослідження однофазного мостового двопівперіодного випрямляча

Контрольні питання:

1. Яким вимогам має відповідати джерело електричної енергії, що живить електронні пристрої?

1. Нарисуйте схему однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом та поясніть його роботу.

3. Назвіть основні типи фільтрів, що згладжують.

4. Поясніть, чому індуктивний фільтр краще працює з великим навантаженням, а ємнісним з маленьким навантаженням.

5. Нарисуйте зовнішні характеристики однофазних двопівперіодних випрямлячів з різними типами фільтрів, що згладжують.

Лабораторна робота № 3

Тема: Дослідження роботи схем стабілізаторів напруги

Мета: Дослідити роботу схем параметричних та компенсаційних стабілізаторів напруги.

1. Дослідження роботи схеми параметричного стабілізатора напруги.

Однокаскадний параметричний стабілізатор напруги складається з резистора R_r , що гасить, підключеного послідовно з навантаженням, і стабілітрона, підключеного паралельно навантаженню (рис. 3.1).

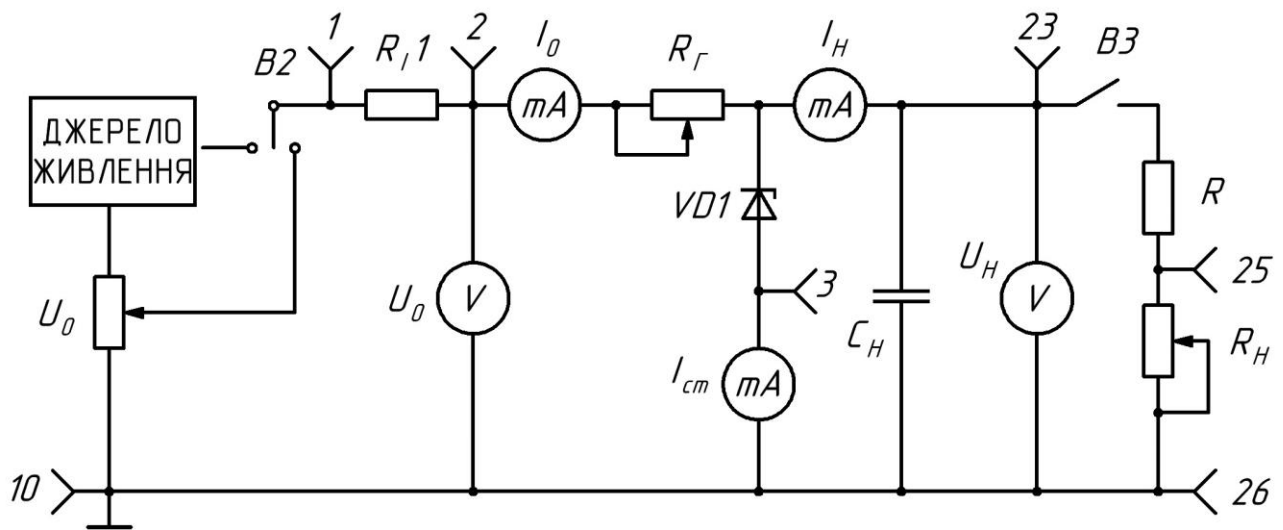


Рисунок 3.1 – Схема для дослідження параметричного стабілізатора напруги

1.1. Зняти та побудувати зовнішню характеристику параметричного стабілізатора $U_H = f(I_H)$ при $U_0 = \text{const}$.

Таблиця 3.1

I_H, mA							
U_H, V							

В таблицю 3.1 записуються декілька значень струму навантаження I_H та напруги навантаження U_H для побудови зовнішніх характеристик.

1.2. Визначити ступінь впливу вхідної напруги $U_H = f(U_0)$ при $R_H = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

1.3. Визначити ступінь впливу зміни значення резистора R_r , що гасить, $U_H = f(R_r)$ при $U_0 = \text{const}$ та $R_H = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

1.4. Визначити ступінь впливу зміни значення опору навантаження R_H , $U_H = f(R_H)$ при $U_0 = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

2. Дослідження роботи схеми компенсаційного стабілізатора напруги з послідовним підключенням транзистора, що регулює.

Схема компенсаційного стабілізатора напруги з послідовним підключенням транзистора, що регулює, представлена на рис. 3.2. Вона складається зі складового транзистора, що регулює, $VT2$, $VT3$, підсилювача постійного струму $VT4$, джерела опорної напруги $VD2$, $R4$ та дільника напруги R_o , R'_o , R''_o .

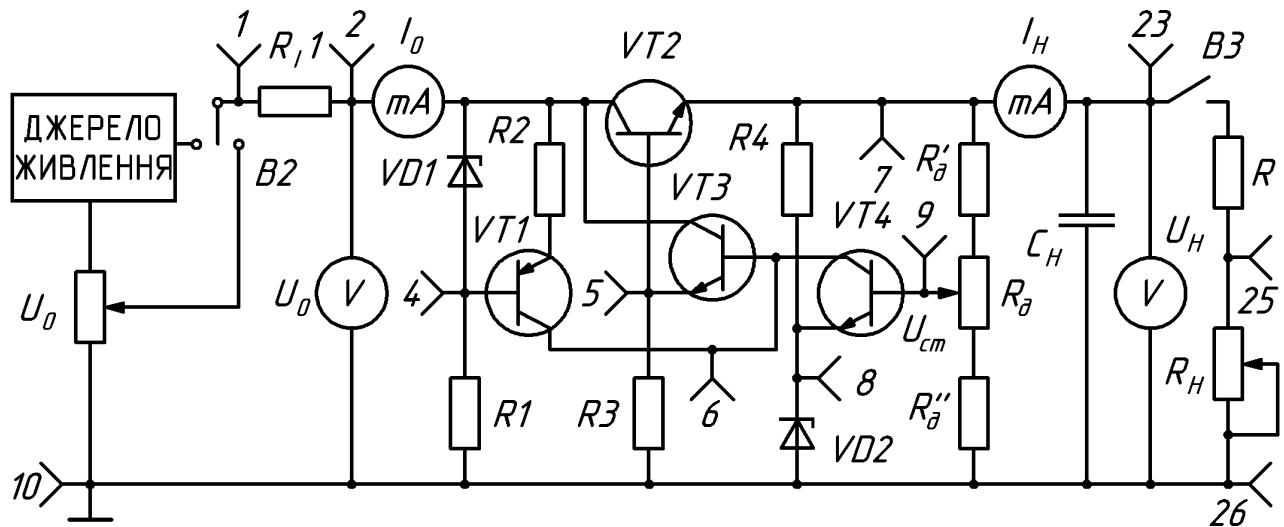


Рисунок 3.2 – Схема для дослідження компенсаційного стабілізатора напруги

2.1. Зняти та побудувати зовнішню характеристику параметричного стабілізатора $U_H = f(I_H)$ при $U_0 = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

2.2. Визначити ступінь впливу вхідної напруги $U_H = f(U_0)$ при $R_H = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

2.3. Визначити ступінь впливу зміни значення резистора дільника, що порівнює, $U_H = f(R_o)$ при $U_0 = \text{const}$ та $R_H = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

2.4. Визначити ступінь впливу зміни значення опору навантаження R_H , $U_H = f(R_H)$ при $U_0 = \text{const}$, для чого записати дані до таблиці та побудувати залежність.

Контрольні питання:

1. Намалюйте вольт-амперну характеристику стабілітрона, вкажіть на ній область стабілізації напруги.
2. Що показує коефіцієнт стабілізації стабілізатора?
3. Як вибираються баластний опір та стабілітрон для параметричного

стабілізатора напруги?

4. Які типи компенсаційних стабілізаторів напруги? У чому їх переваги та недоліки?

5. Чим відрізняються компенсаційні стабілізатори напруги від параметричних стабілізаторів напруги?

Лабораторна робота № 4

Тема: Дослідження роботи схем однокаскадних підсилювачів на біполярному транзисторі

Мета: Дослідити роботу схем однокаскадних підсилювачів на біполярному транзисторі з загальним емітером та з загальним колектором.

1. Дослідження роботи одиночного каскаду підсилювача на біполярному транзисторі з загальним емітером.

1.1. Використовуючи стенд, схема якого зображена на рис. 1.1, зняти та побудувати амплітудну характеристику одиночного каскаду підсилювача на біполярному транзисторі з загальним емітером (рис. 4.1) $U_{вих} = f(U_{вх})$ для різних значень опорів в ланцюзі колектору R_{K1} , R_{K2} , $R_{K1} + R_{K2}$, а також різних опорів навантаження R_{H1} , R_{H2} , $R_{H1} + R_{H2}$.

В таблицю 4.1 записуються декілька значень амплітуди вхідної $U_{вх}$ та вихідної напруги $U_{вих}$. Таблиці будуються для кожної умови роботи схеми.

Таблиця 4.1

$U_{вх}, В$							
$U_{вих}, В$							
K							

За результатами вимірювань побудувати в одній системі координат амплітудні характеристики, зняті для різних умов роботи схеми.

1.2. Накреслити форму вихідної напруги при сигналі, відповідному появі видимих спотворень. При виконанні досліду потрібно відмітити точки при $U_{вх} = 0$ та точку максимального значення напруги $U_{вх max}$, при якій підсилення відбувається без видимих спотворень.

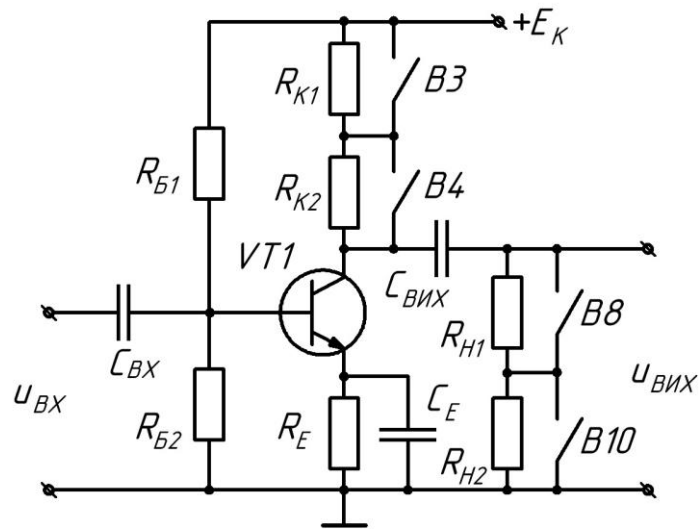


Рисунок 4.1 – Схема для дослідження одиночного каскаду підсилювача на біполярному транзисторі з загальним емітером

2. Дослідження роботи одиночного каскаду підсилювача на біполярному транзисторі з загальним колектором (рис. 4.2).

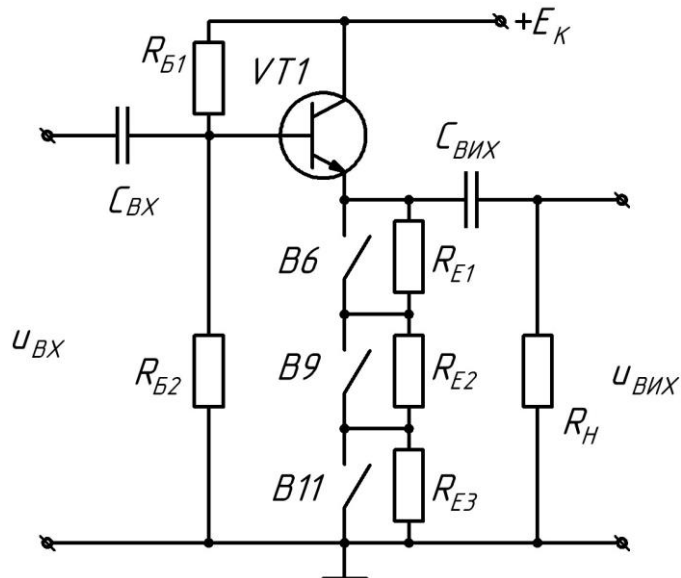


Рисунок 4.2 – Схема для дослідження одиночного каскаду підсилювача на біполярному транзисторі з загальним колектором

2.1. Зняти та побудувати амплітудну характеристику $U_{VИХ} = f(U_{BX})$ для різних значень опорів в ланцюзі емітера R_{E1} , R_{E2} , $R_{E2} + R_{E3}$.

Побудувати таблиці для кожної умови роботи схеми.

За результатами вимірювань побудувати в одній системі координат

амплітудні характеристики, зняті для різних умов роботи схеми.

3. Для каскаду з загальним емітером визначити графічно режим спокою, який забезпечує синусоїдальну вихідну напругу з амплітудою 1 В при $R_H = 1 \text{ кОм}$.

Характеристики транзистора МП42А взяти із довідника, прийняти $E_K = 12 \text{ В}$, $R_K = 2 \text{ кОм}$, $R_E = 1 \text{ кОм}$.

Мінімальне значення напруги на колекторі U_{Kmin} , яке відповідає початку лінійної ділянки вихідних характеристик, визначити по характеристикам.

Контрольні питання:

1. Які класи каскадів підсилення існують та чим вони відрізняються?
2. Як обирається положення точки спокою каскаду підсилення класу А?
3. Яка різниця між параметрами підсилювачів напруги, струму та потужності?
4. Чому коефіцієнт підсилення по напрузі каскаду підсилювача з загальним емітером менше одиниці?
5. Поясніть призначення елементів схеми каскаду підсилення з загальним емітером.

Лабораторна робота № 5

Тема: Дослідження роботи схем на основі операційного підсилювача

Мета: Дослідити роботу схем на основі операційного підсилювача.

1. Дослідження роботи інвертуючого підсилювача.

Інвертуючий підсилювач змінює знак вихідного сигналу відносно вхідного и являє собою операційний підсилювач (ОП), охоплений по входу, що інвертує, паралельним негативним зворотним зв'язком по напрузі за допомогою резистора (рис. 5.1).

При дуже великому коефіцієнті посилення по напрузі без зворотного зв'язку ($K_{UOP} \rightarrow \infty$), якщо сигнал подається на вхід через резистор $R1$, то результуючий коефіцієнт посилення ОП визначається лише параметрами

пасивної частини, що входить до ланцюга зворотного зв'язку.

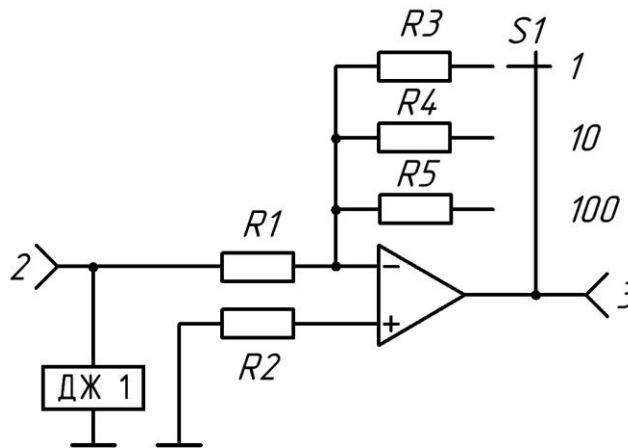


Рисунок 5.1 – Схема інвертуючого підсилювача на базі ОП

Так як $I_{BX} = I_{33}$, то

$$\frac{U_{BX} - U_0}{R1} = - \frac{U_{BHX} - U_0}{R_{33}}. \quad (5.1)$$

Однак $U_0 = 0$.

Отже:

$$\frac{U_{BHX}}{U_{BX}} = K = - \frac{R_{33}}{R1}. \quad (5.2)$$

Коефіцієнт підсилення K не залежить від дрейфу нуля підсилювача постійного струму, що входить до ОП.

При $R_{33} = R1$, коли $K = -1$, ОП працює як ідеальний повторювач, що інвертує.

Якщо у схемі інвертуючого підсилювача виключити резистор $R1$ ($R1 = 0$), то:

$$I_{BX} = I_{33} = \frac{U_{BHX}}{R_{33}}, \quad (5.3)$$

звідки $U_{BHX} = I_{BX} R_{33}$.

ОП виконує роль перетворювача струму в напругу з малим вхідним та вихідним опором.

1.1. Зняти та побудувати передавальну характеристику інвертуючого підсилювача, залежність $U_{BHX} = f(U_{BX})$ для трьох значень коефіцієнта

передачі в діапазоні від -3 В до +3 В.

В таблицю 5.1 записуються декілька значень напруги U_{BX} та напруги U_{BIX} для побудови передавальних характеристик для трьох значень коефіцієнта передачі.

Таблиця 5.1

$U_{BX}, \text{В}$							
$U_{BIX}, \text{В}$							

1.2. За передавальною характеристикою визначити:

- коефіцієнт посилення, як тангенс кута нахилу характеристики;
- розбаланс (значення U_{BIX} при $U_{BX} = 0$);
- напругу зміщення нуля $U_{3M} = U_{BX}$ при $U_{BIX} = 0$.

2. Дослідження роботи неінвертуючого підсилювача.

Неінвертуючий підсилювач містить послідовний негативний зворотний зв'язок по напрузі (R_{33} , $R1$). Вхідний сигнал подається на неінвертуючий вхід ОП (рис. 5.2).

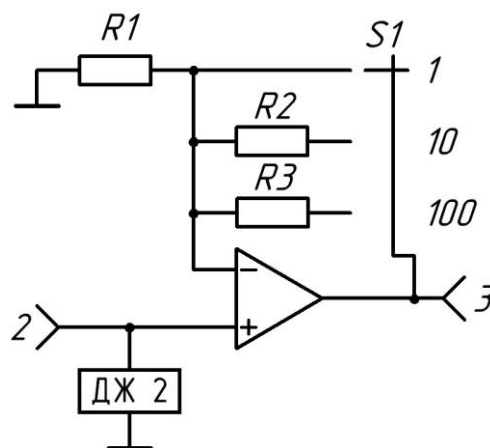


Рисунок 5.2 – Схема неінвертуючого підсилювача на основі ОП

Коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача на основі ОП:

$$K = 1 + \frac{R_{33}}{R1} > 1. \quad (5.4)$$

При $R_{33} = 0$ та $R1 = \infty$ неінвертуючий підсилювач працює як ідеальний повторювач з $K = 1$.

2.1. Зняти та побудувати передавальну характеристику неінвертуючого підсилювача, залежність $U_{BIX} = f(U_{BX})$ для трьох значень коефіцієнта

передачі в діапазоні від -3 В до +3 В.

2.2. За передавальною характеристикою визначити:

- коефіцієнт посилення, як тангенс кута нахилу характеристики;
- розбаланс (значення $U_{ВІХ}$ при $U_{ВХ} = 0$);
- напругу зміщення нуля $U_{ЗМ} = U_{ВХ}$ при $U_{ВІХ} = 0$.

2.3. Порівняти знайдені параметри для інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів.

3. Дослідження роботи суматора.

Суматор зазвичай виконується як інвертуючий підсилювач на основі ОП (рис. 5.3) з числом паралельних гілок на вході, що дорівнює кількості сумованих аналогових сигналів (рис. 5.3). Вихідна напруга суматора:

$$U_{ВІХ} = - \left[\frac{R_{33}}{R_1} U_1 + \frac{R_{33}}{R_2} U_2 + \dots + \frac{R_{33}}{R_n} U_n \right]. \quad (5.5)$$

Підсумовування проводиться з відповідним ваговим коефіцієнтом R_{33}/R_n при U_n .

Якщо $R_{33} = R_1 = R_2 = \dots = R_n \ll R_{ВХ ОП}$, то $U_{ВІХ} = -[U_1 + U_2 + \dots + U_n]$.

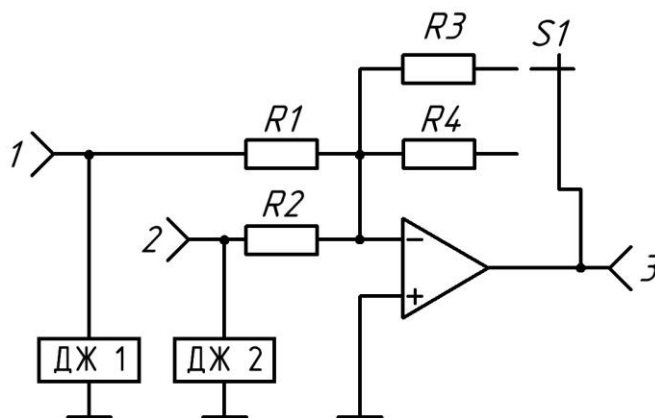


Рисунок 5.3 – Схема суматора на основі ОП

3.1. Зняти та побудувати залежність $U_{ВІХ} = f(U_{ДЖ1} + U_{ДЖ2})$ суматора для різних значень масштабу підсилення для $U_{ДЖ1} = \pm 1$ В та змінюючи $U_{ДЖ2}$ в діапазоні від -3 В до +3 В.

3.2. Зняти та побудувати залежність $U_{ВІХ} = f(U_{ДЖ1} + U_{ДЖ2})$ суматора для різних значень масштабу підсилення для $U_{ДЖ2} = \pm 1$ В та змінюючи $U_{ДЖ1}$ в діапазоні від -3 В до +3 В.

4. Дослідження роботи компаратора.

Компаратор – це пристрій, що здійснює порівняння двох аналогових величин (напруг) на входах ОП і генерує на виході логічні (цифрові) рівні: «1» – якщо різниця вхідних сигналів менша за напругу спрацьовування компаратора, або «0» – якщо ця різниця більша (рис. 5.4).

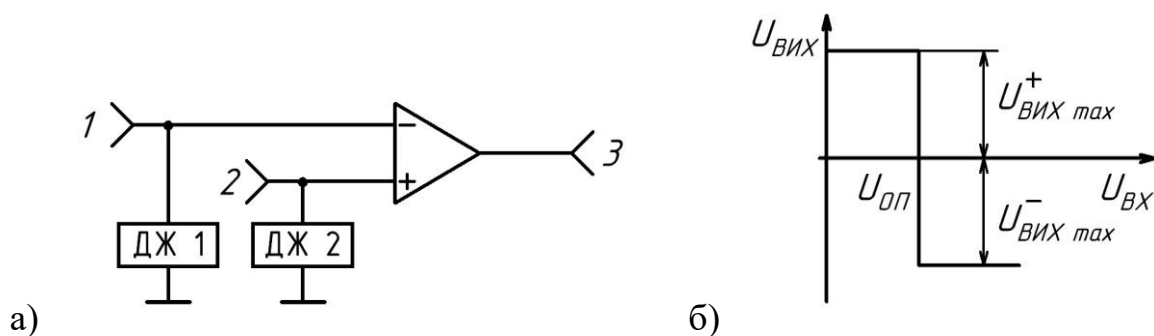


Рисунок 5.4 – Схема (а) та передавальна характеристика (б) компаратора на основі операційного підсилювача

Зазвичай на один вхід компаратора подається досліджувана напруга (сигнал) $U_{ВХ}$, інший вхід – опорна напруга $U_{оп}$.

Так як перемикання відбувається при $U_{ВХ} - U_{оп} = 0$, то компаратор іноді називають нуль-органом.

Основні характеристики компаратора:

- чутливість – напруга, на яку необхідно перевищити опорну, щоб вихідна напруга досягла порога спрацьовування цифрової схеми – навантаження компаратора;

- швидкодія – проміжок часу від початку порівняння до моменту, коли вихідна напруга досягне порога спрацьовування цифрової схеми на виході;

- навантажувальна здатність – кількість цифрових інтегральних схем, які можна підключити до виходу компаратора (коефіцієнт розгалуження по виходу).

Компаратор застосовується як порогове пристрій в схемах автоматики, для квантування сигналу в аналого-цифрових перетворювачах. Його можна використовувати в автогенераторах, дискримінаторах амплітуди імпульсів, пікових детекторах та ін.

4.1. Зняти та побудувати передавальні характеристики компаратора, для чого, для декількох точок діапазону вхідної напруги, контролюючи значення U_{BX} за допомогою виносного цифрового вольтметра з точністю до третього знаку після коми, визначити різницю між напругами на неінвертуючому та інвертуючому входах ОП, при якій відбувається інвертування знаку вихідної напруги. Опорна напруга подається зазвичай на неінвертуючий вхід ОП.

4.2. Подати на інвертуючий вхід ОП напругу від одного з джерел змінної напруги, змінюючи постійну напругу на неінвертуючому вході в межах $-3\text{ В} \dots +3\text{ В}$, дослідити та накреслити осцилограми вихідної напруги.

5. Дослідження роботи тригера Шмітта.

Тригер Шмітта або пороговий пристрій виконується на ОП з великим позитивним зворотним зв'язком (рис. 5.5), що здійснюється за допомогою ділника $R2/R3$ ($R2/R4$). Така схема має передавальну характеристику у вигляді прямокутної петлі гістерезису.

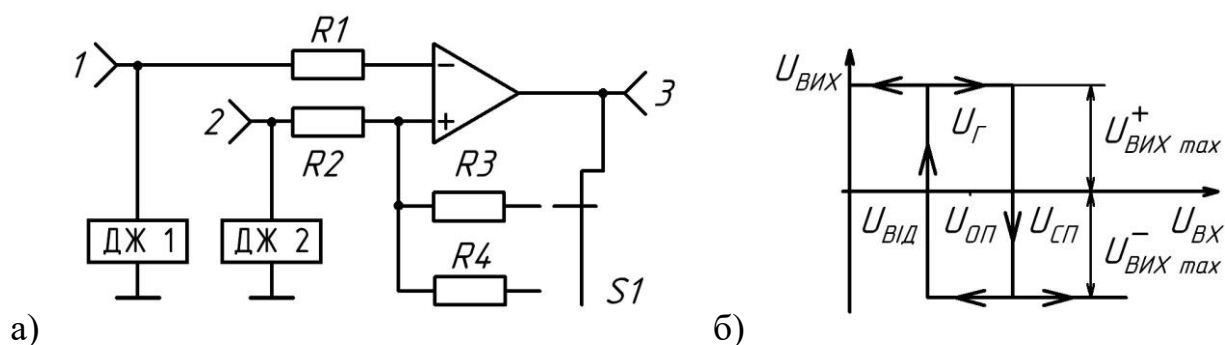


Рисунок 5.5 – Схема (а) та передавальна характеристика (б) тригера Шмітта на основі операційного підсилювача

Перемикання у стан $U_{ВИХ}^-$ відбувається при досягненні вхідної напруги $U_{ВХ}$ напруги (порога) спрацьовування $U_{СП}$, а переключення в стан $U_{ВИХ}^+$ при зниженні напруги $U_{ВХ}$ до напруги (порога) відпускання $U_{ВІД}$.

Якщо диференційна складова напруги між входами $U_0 = 0$, тоді:

$$U_{СП} = U_{ОП} + \frac{U_{ВИХ}^+ - U_{ОП}}{R2 + R3} R2, \quad (5.6)$$

$$U_{ВІД} = U_{ОП} - \frac{U_{ВИХ}^- + U_{ОП}}{R2 + R3} R2. \quad (5.7)$$

Ширина петлі гістерезису визначається із виразу (при підключенні

дільника $R2/R3$):

$$U_{\Gamma} = U_{СП} - U_{ВД} = \frac{R2}{R2 + R3} [U_{ВІХ\ max}^{+} + U_{ВІХ\ max}^{-}]. \quad (5.8)$$

5.1. Зняти та побудувати передавальні характеристики тригерів Шмітта для різних значень напруги $U_{ОП}$ (включаючи 0 В) та опору в ланцюзі позитивного зворотного зв'язка ($R2/R3$, $R2/R4$), для чого, контролюючи значення $U_{ВХ}$ за допомогою виносного цифрового вольтметра, визначити при яких значеннях напруги спрацювання $U_{СП}$ та напруги відпускання $U_{ВД}$ відбувається перемикання вихідної напруги із стану $U_{ВІХ\ max}^{+}$ в стан $U_{ВІХ\ max}^{-}$ та навпаки.

Контрольні питання:

1. Чому коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача має негативне значення?
2. Поясніть, що таке негативний зворотний зв'язок по напрузі.
3. Чому дорівнює коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача на основі ОП?
4. Чим відрізняється компаратор від тригера Шмітта?
5. Яким чином можна розрахувати напругу спрацювання та напругу відпускання тригера Шмітта?

Лабораторна робота № 6

Тема: Дослідження роботи ключової схеми транзистора

Мета: Дослідити роботу ключової схеми на біполярному транзисторі та визначити її параметри.

1. Дослідження статичних характеристик та параметрів ключового транзисторного каскаду.

1.1. Зняти та побудувати передавальні характеристики ключового транзисторного каскаду (рис. 6.1) $U_{ВІХ} = f(U_{ВХ})$ при різних умовах.

В таблицю 6.1 заносяться значення вхідної напруги $U_{ВІХ}$, вихідної напруги

U_{BX} та струму бази I_B . Дослід проводиться при напрузі джерела живлення E_K , яка вибирається в межах 6...8 В та постійно контролюється.

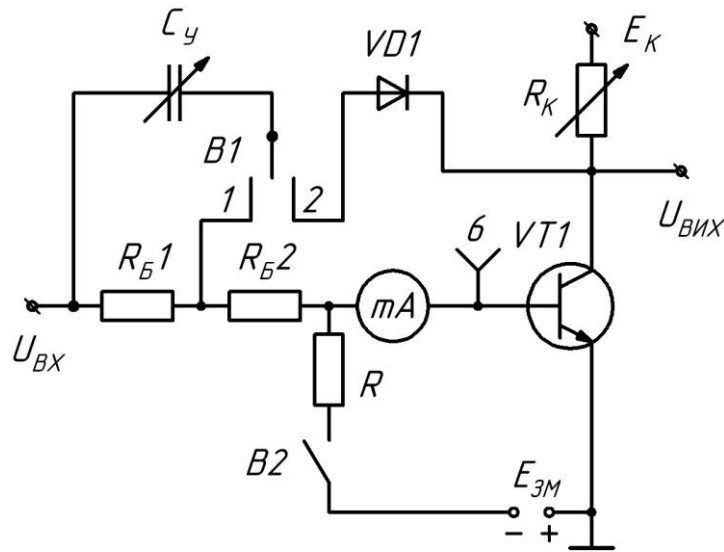


Рисунок 6.1 – Електрична схема стенду для дослідження характеристик транзистора

При $E_{3M} = 0$ В знімаються наступні характеристики:

- при максимальних значеннях опорів в ланцюзі колектору $R_K = \max$ та навантаження $R_H = \max$;
- при опорі в ланцюзі колектору в середньому положенні $R_K = \text{ср}$, а опорі навантаження в максимальному положенні $R_H = \max$;
- при опорі в ланцюзі колектору в максимальному положенні $R_K = \max$, а опорі навантаження в середньому положенні $R_H = \text{ср}$.

Досліди повторюються для значення $E_{3M} \neq 0$ В.

1.2. Побудувати пряму та звернену передавальні характеристики (рис. 6.2).

Для кожної з передавальних характеристик за допомогою її зверненої характеристики визначити:

- рівні логічного нуля на вході U_{BX}^0 та на виході U_{BIX}^0 ;
- рівні логічного одиниці на вході U_{BX}^1 та на виході U_{BIX}^1 ;
- логічний перепад для вхідних сигналів $U_{Л BX} = U_{BX}^1 - U_{BX}^0$;
- логічний перепад для вихідних сигналів $U_{Л BIX} = U_{BIX}^1 - U_{BIX}^0$;

- напруга перемикання U_{Π} ;
- перешкодостійкість для позитивної ΔU_{Π}^{+} і негативної перешкод ΔU_{Π}^{-} ;
- мінімально допустимий логічний перепад ΔU_{Π} .

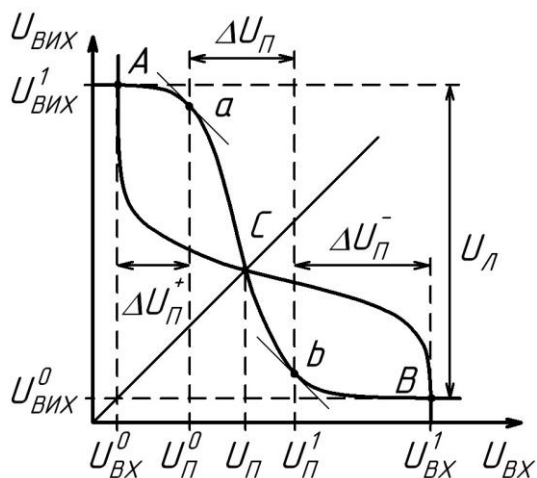


Рисунок 6.2 – Прямі та зворотні передавальні характеристики ключового транзисторного каскаду

Таблиця 6.1

	$E_{3M} = 0$									$E_{3M} =$								
	$R_K = \max$ $R_H = \max$			$R_K = \text{ср}$ $R_H = \max$			$R_K = \max$ $R_H = \text{ср}$			$R_K = \max$ $R_H = \max$			$R_K = \text{ср}$ $R_H = \max$			$R_K = \max$ $R_H = \text{ср}$		
	$U_{вх}$	$U_{вих}$	I_{ϕ}	$U_{вх}$	$U_{вих}$	I_{ϕ}	$U_{вх}$	$U_{вих}$	I_{ϕ}	$U_{вх}$	$U_{вих}$	I_{ϕ}	$U_{вх}$	$U_{вих}$	I_{ϕ}	$U_{вх}$	$U_{вих}$	I_{ϕ}
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
U_{BX}^0																		
U_{BX}^1																		
$U_{ВІХ}^0$																		
$U_{ВІХ}^1$																		
$U_{Л ВХ}$																		
$U_{Л ВІХ}$																		
U_{Π}																		
ΔU_{Π}^{+}																		
ΔU_{Π}^{-}																		
ΔU_{Π}																		

На рис. 6.2 дотичні лінії в точках a , b та лінія OC необхідно креслити під нахилом 45° .

2. Дослідження динамічних характеристик транзисторного ключового каскаду.

Дослід проводиться при постійній напрузі джерела живлення E_K , яка вибирається в межах $6 \dots 10$ В та постійно контролюється.

Встановити на виході генератора необхідну форму імпульсів, амплітуду та частоту їх проходження. Форма імпульсів контролюється за допомогою осцилографа, який підключається до бази та колектору транзистора, а також до навантаження.

Накреслити осцилограми, які показують:

- вплив ємності C_Y на роботу ключа;
- вплив діода $VD1$ на роботу ключа;
- вплив навантаження R_K на роботу ключа;
- вплив величини E_{3M} на роботу ключа.

Контрольні питання:

1. Дайте опис режимам роботи біполярного транзистора в електронних ключах?

2. Яка величина напруги між колектором та емітером насиченого транзистора?

3. Яка величина напруги між колектором та емітером транзистора в стані відсічення?

4. Які існують способи підвищення швидкодії електронних ключів на біполярних транзисторних?

4. Як впливають додаткові елементи в схемі транзисторного ключа на його динамічні характеристики?

5. Поясніть, яким чином будується передавальна характеристика ключового транзисторного каскаду та визначаються параметри?

Лабораторна робота № 7

Тема: Дослідження роботи схем мультивібраторів та генераторів прямокутних імпульсів

Мета: Дослідити роботу схем мультивібраторів та генераторів прямокутних імпульсів та визначити їх параметри.

1. Дослідження роботи симетричного мультивібратора з колекторно-базовими зв'язками.

1.1. Зняти та накреслити осцилограми роботи симетричного мультивібратора з колекторно-базовими зв'язками (рис. 7.1) при різних значеннях напруги $E_{ЗМ}$, опору резисторів R_B та ємності конденсаторів C_B . Напругу колекторного джерела живлення встановити на рівні $E_K = 8...10$ В, напругу зміщення $E_{ЗМ} = 5$ В.

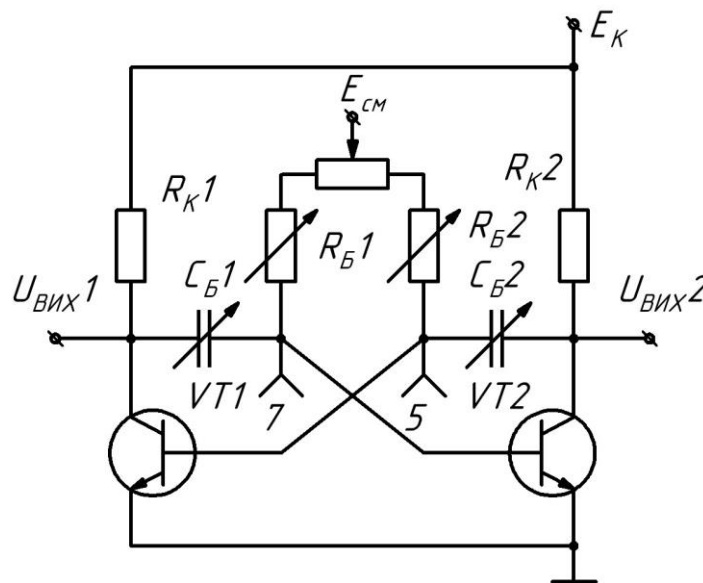


Рисунок 7.1 – Електрична схема стенду для дослідження роботи мультивібратора на біполярних транзисторах

Для кожної умови роботи схеми визначити (рис. 7.2):

- тривалість імпульсу t_I ;
- тривалість паузи t_{II} ;
- тривалість фронту t_{Φ} ;
- тривалість зрізу t_3 ;

- період слідування імпульсів T ;
- частоту імпульсів $f = 1/T$.

В таблицю 7.1 записуються визначені параметри осцилограм роботи симетричного мультівібратора з колекторно-базовими зв'язками при різних умовах.

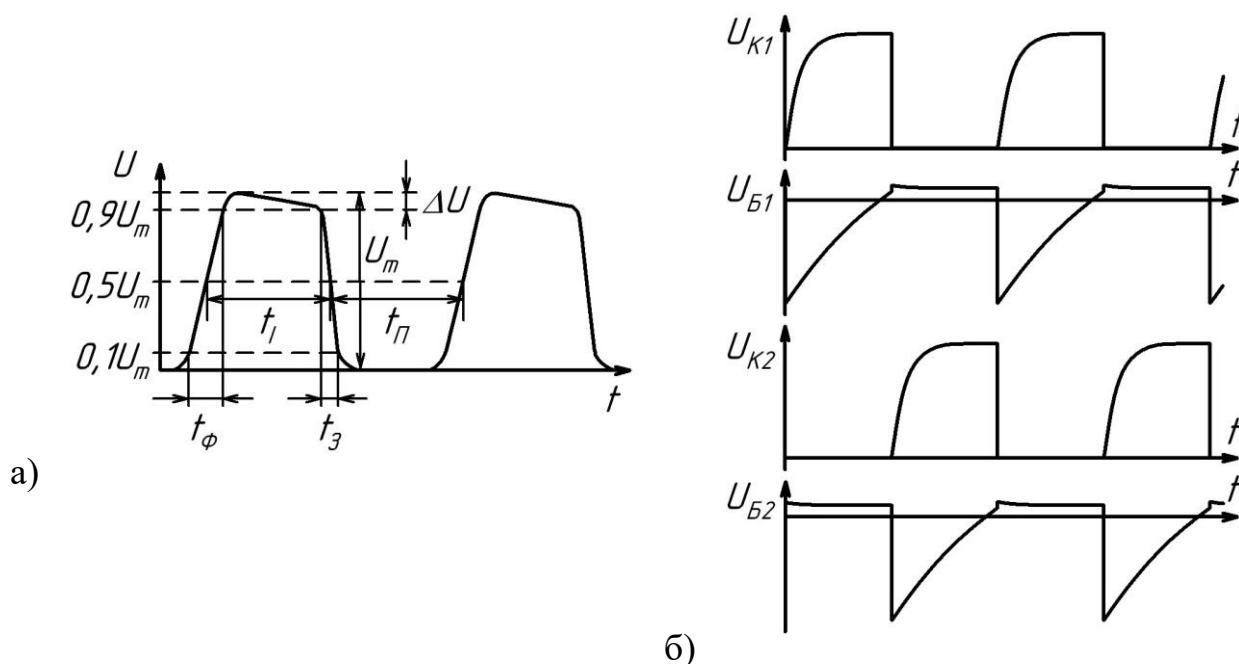


Рисунок 7.2 – Параметри імпульсів (а) та осцилограми роботи (б) мультівібратора на біполярних транзисторах

Для симетричного мультівібратора тривалість імпульсу, паузи та період:

$$t_I = t_{II} = \ln 2 \cdot C_B R_B, \quad T = \ln 2 \cdot 2 C_B R_B. \quad (7.1)$$

Таблиця 7.1

	$E_{3M} =$		$E_{3M} =$		$E_{3M} =$	
R_B	макс.	макс.	макс.	макс.	ср.	ср.
$C_B, \text{мкФ}$	0,15	0,015	0,15	0,015	0,15	0,015
$t_I, \text{с}$						
$t_{II}, \text{с}$						
$t_\phi, \text{с}$						
$t_3, \text{с}$						
$T, \text{с}$						
$f, \text{Гц}$						

Тривалість переднього та заднього фронтів імпульсу:

$$t_\phi \approx 3 C_B R_K, \quad t_3 = \tau_{h21e} + C_K R_K, \quad (7.2)$$

де τ_{h21e} – середній час переміщення носіїв заряду вздовж бази для схеми з загальним емітером, C_K – ємність колекторного переходу транзистора.

При розрахунку схеми мультівібратора використовують наступні співвідношення.

Напруга живлення схеми:

$$E_K \geq (1,1 \dots 1,2) U_m, \quad (7.3)$$

Транзистор обирається за умовами:

$$U_{KE \max} \geq 2E_K, \quad (7.4)$$

$$f_{h21e} \geq 0,7 f. \quad (7.5)$$

Опори R_K та R_B :

$$\frac{E_K}{I_{K \max}} \leq R_K \leq \frac{(0,05 \dots 0,1)E_K}{I_{KB3}}, \quad (7.6)$$

$$R_B \leq h_{21e} R_K, \quad (7.7)$$

$$R_K < R_B / 4, \quad (7.8)$$

де $I_{K \max}$ – максимально допустимий струм колектору; I_{KB3} – максимально допустимий зворотний струм колектору; h_{21e} – статичний коефіцієнт передачі струму транзистора для схем з загальним емітером.

2. Дослідження роботи мультівібратора з коригуючими діодами.

2.1. Зняти та накреслити осцилограми роботи симетричного мультівібратора з коригуючими діодами (рис. 7.3) при $E_K = 10$ В та при різних значеннях $E_{3M} = 5 \dots 8$ В і порівняти з осцилограмами роботи мультівібратора з колекторно-базовими зв'язками.

3. Дослідження роботи загальмованого мультівібратора з емітерним зв'язком.

3.1. Зняти та накреслити осцилограми загальмованого мультівібратора з емітерним зв'язком (рис. 7.4) для різних значень конденсатора C_B .

Для кожної значення конденсатора C_B визначити параметри імпульсів на виході загальмованого мультівібратора:

- тривалість імпульсу t_I ;
- тривалість фронту t_ϕ ;

– тривалість зрізу t_3 .

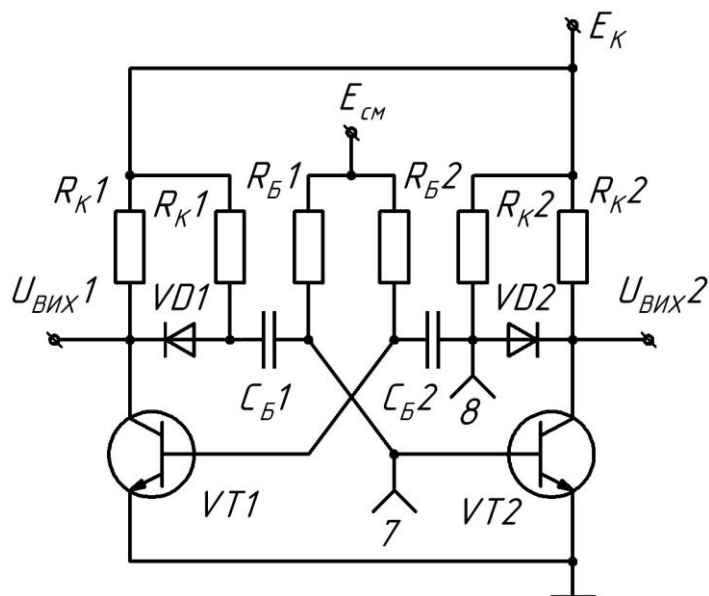


Рисунок 7.3 – Електрична схема стенду для дослідження роботи мультивібратора на біполярних транзисторах з коригуючими діодами

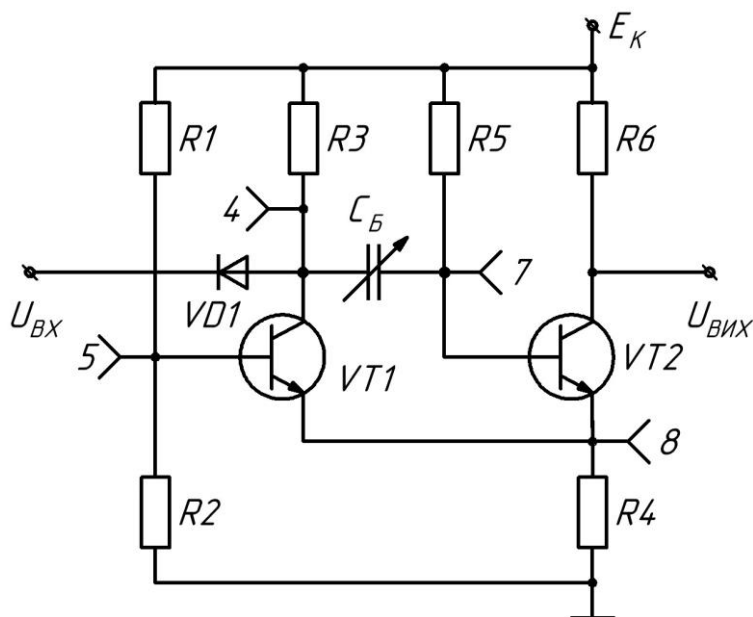


Рисунок 7.4 – Електрична схема стенду для дослідження роботи загальмованого мультивібратора з емітерним зв'язком

4. Дослідження роботи мультивібратора на базі ОП.

Мультивібратор в автоколивальному режимі виконує функції генератора прямокутних імпульсів. Основою симетричного мультивібратора служить

тригер Шмітта на ОП (рис. 7.5, а), який виконує функцію порівняння напруг позитивного та негативного зворотних зв'язків на неінвертуючому та інвертуючому входах ОП відповідно. Ланцюг, який задає час, складається з конденсатора $C1$ та резистора $R1$ ($\tau = R1 \cdot C1$) і включений в контур негативного зворотного зв'язку.

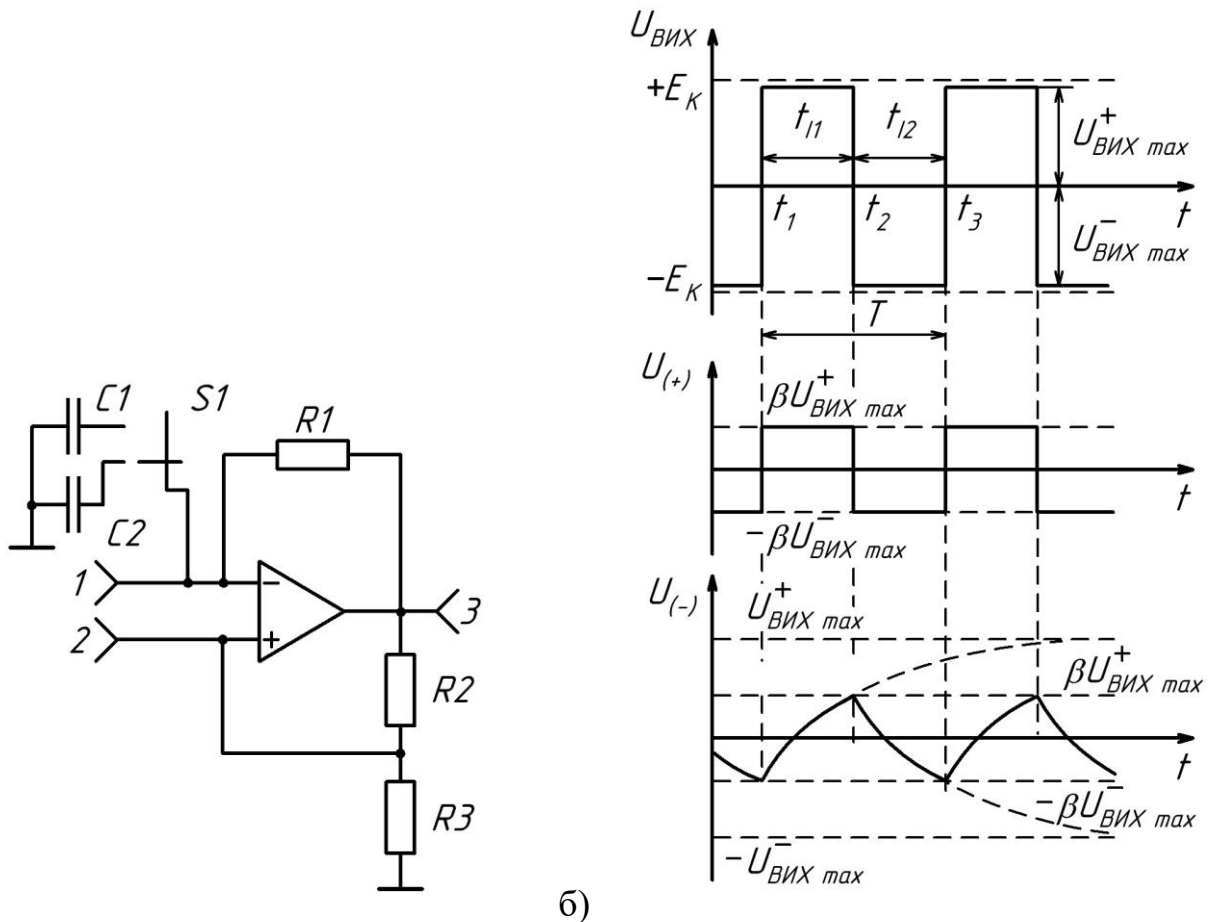


Рисунок 7.5 – Схема (а) та часові діаграми роботи (б) мультивібратора на основі операційного підсилювача

Діаграми роботи мультивібратора наведені на рис. 7.5, б.

Тривалість імпульсу та частота проходження імпульсів симетричного мультивібратора можна визначити наступним чином:

$$t_I = \tau \ln \frac{\beta U_{вих\ max}^- + U_{вих\ max}^+}{U_{вих\ max}^+ - \beta U_{вих\ max}^-}, \quad (7.9)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t_I} = \frac{1}{2\tau \ln \frac{\beta U_{вих\ max}^- + U_{вих\ max}^+}{U_{вих\ max}^+ - \beta U_{вих\ max}^-}}. \quad (7.10)$$

Якщо $U_{BHX\ max}^+ = U_{BHX\ max}^-$, тоді:

$$t_I = \tau \ln(1 + 2 R_3/R_2), \quad (7.11)$$

$$f = \frac{1}{2\tau \ln(1 + 2 R_3/R_2)}. \quad (7.12)$$

4.1. Накреслити осцилограми напруг мультівібратора на базі ОП в контрольних точках для різних значень конденсатора в контурі негативного зворотного зв'язку.

Контрольні питання:

1. Які параметри схеми мультівібратора визначають тривалість періоду коливань?
2. Які параметри схеми мультівібратора визначають тривалість фронту імпульсу?
3. Чим визначається період коливань симетричного мультівібратора з колекторно-базовими зв'язками?
4. Які електронні пристрої називаються одновібраторами та для чого вони використовуються?
5. Якими параметрами схеми мультівібратора на основі операційного підсилювача визначається частота генерованих коливань?

Лабораторна робота № 8

Тема: Дослідження роботи схем цифрових пристроїв

Мета: Дослідити роботу схем тригерів, регістрів та лічильників.

1. Дослідження роботи схем тригерів.

На основі базових логічних елементів (рис. 8.1) будуються схеми тригерів, лічильників, регістрів, шифраторів, дешифраторів та перетворювачів кодів.

Тригер – електронний пристрій (рис. 8.2), що має два стійкі стани і, який здатний стрибком переходити з одного стану в інший під впливом зовнішнього імпульсу, має здатність довго перебувати в одному з двох стійких станів і

чергувати їх під впливом зовнішніх сигналів.

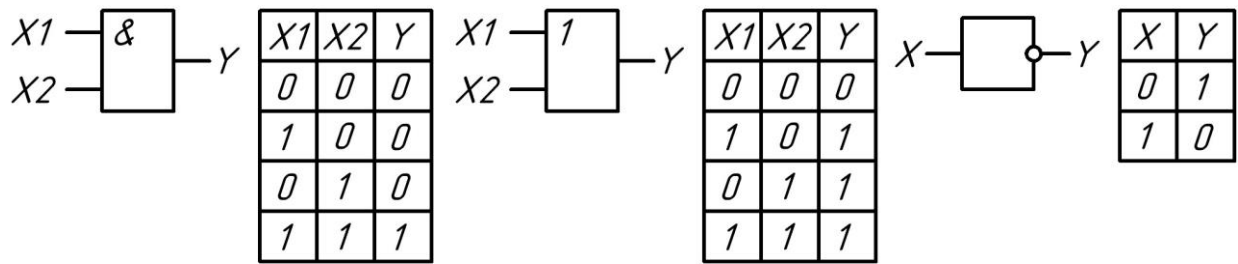


Рисунок 8.1 – Базові логічні елементи «І», «АБО», «НІ» та їх таблиці істинності

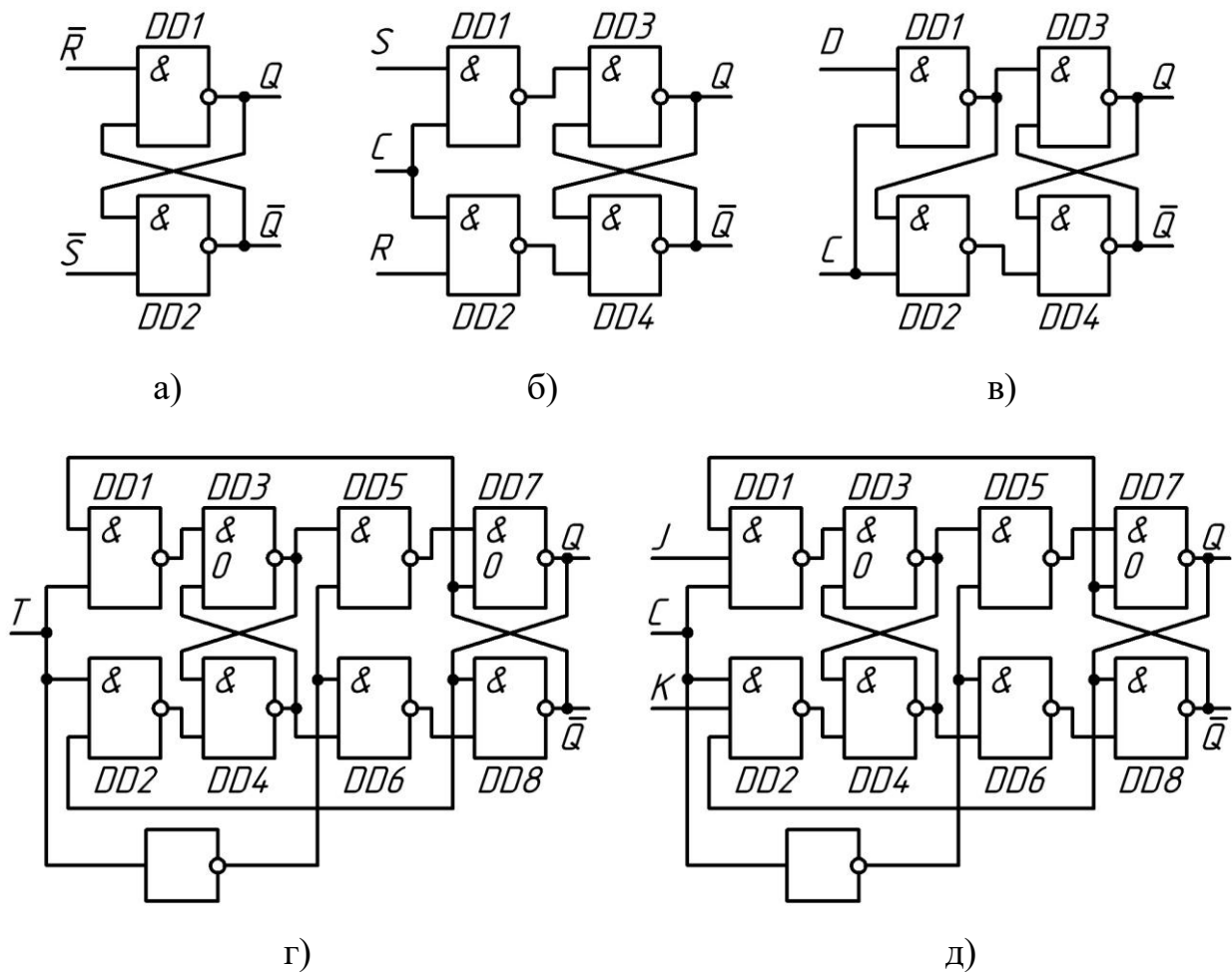


Рисунок 8.2 – Схеми тригерів на логічних елементах

RS-тригер – асинхронний тригер, який зберігає свій попередній стан при неактивному стані на обох входах і змінює свій стан при подачі на один з його входів активного рівня.

D-тригер – електронний пристрій, який запам'ятовує стан входу і видає його на вихід.

Т-тригер – (лічильний тригер) перемикається по кожному імпульсу на вході в протилежний стан.

JK-тригер працює так само як RS-тригер, з одним лише винятком – при подачі логічної одиниці на обидва входи J і K стан виходу тригера змінюється на протилежне.

На рис. 8.2 представлені схеми тригерів на логічних елементах: RS-тригер (а), синхронний RS-тригер (б), синхронний D-тригер (в), Т-тригер (г), синхронний JK-тригер (д).

1.1. Дослідити роботу схем тригерів на логічних елементах, накреслити їх таблиці істинності та часові діаграми роботи.

2. Дослідження роботи схем лічильників.

Лічильник імпульсів – це послідовний цифровий пристрій (рис. 8.3), що забезпечує зберігання слова інформації і виконання над ним мікрооперації рахунку, що полягає в зміні значення числа в лічильнику на 1.

За способом організації ланцюгів перенесення інформації між розрядами розрізняють лічильники з послідовним, наскрізним та паралельним перенесенням.

Лічильники класифікують за такими ознаками:

- способом кодування – позиційні та непозиційні;
- модулем лічби – двійкові, десяткові, з довільним постійним або змінним (програмованим) модулем;
- напрямком лічби – прості (підсумовуючі, віднімальні) і реверсивні;
- способом організації міжрозрядних зв'язків – з послідовним, наскрізним, паралельним і комбінованим переносом (позиною);
- типом використовуваних тригерів.

2.1. Дослідити роботу схем лічильників імпульсів, накреслити часові діаграми їх роботи.

3. Дослідження роботи схем регістрів.

Регістр – це логічний пристрій, що використовується для зберігання n-розрядних двійкових чисел і виконання перетворень над ними. Регістр є

впорядкованою послідовністю тригерів, число яких відповідає числу розрядів у слові (рис. 8.4). З кожним регістром зазвичай пов'язаний комбінаційний цифровий пристрій, за допомогою якого забезпечується виконання деяких операцій над словами.

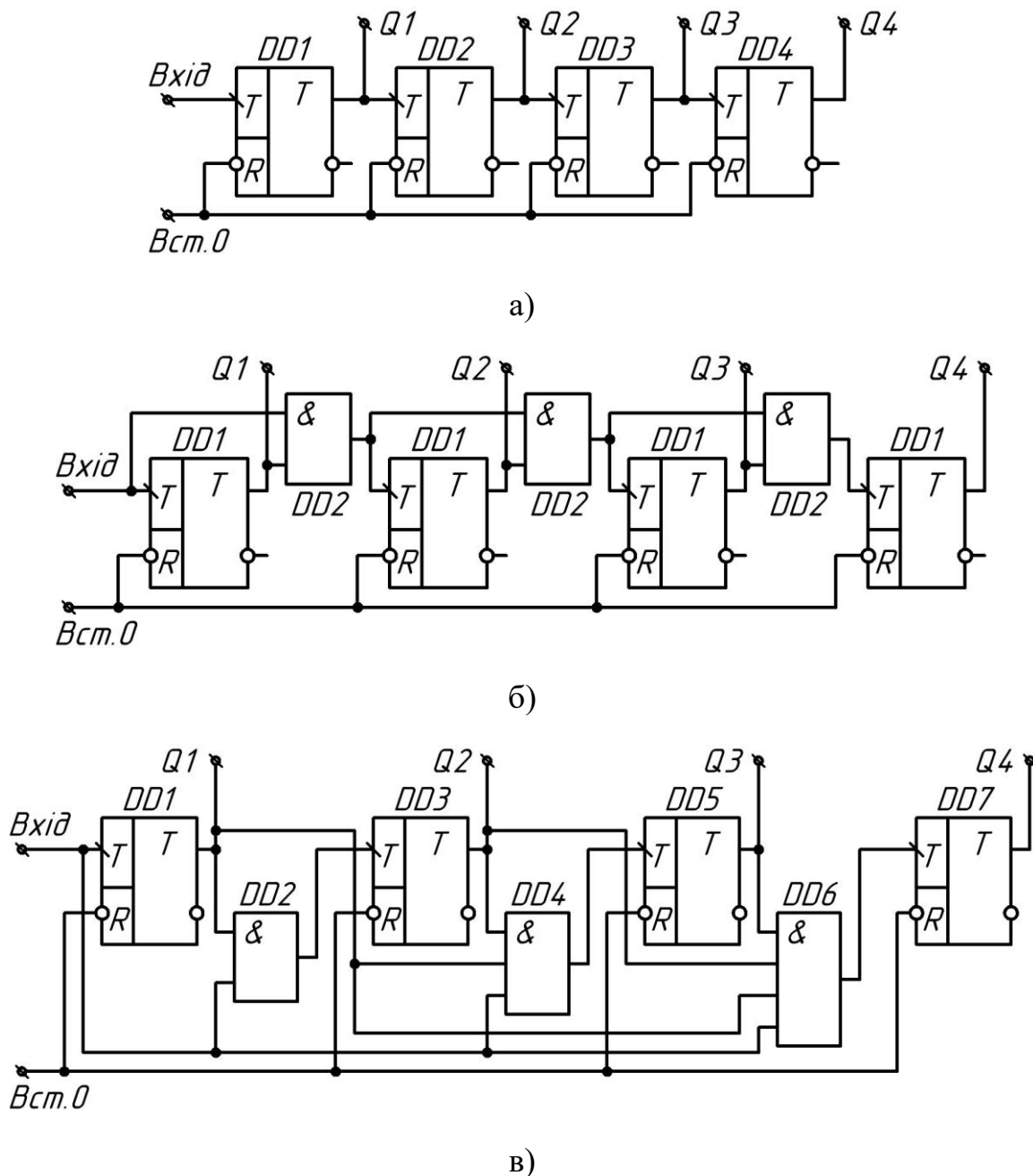


Рисунок 8.3 – Схеми лічильників імпульсів з послідовним переносом (а), паралельним переносом (б), наскрізним переносом (в)

За функціональною ознакою регістри поділяють на дві великі групи:

- регістри зберігання, що виконують лише одну основну функцію;
- регістри зсуву, що виконують, крім зберігання, зсув інформації вздовж

регістру.

Серед регістрів регістри зсуву виділяють реверсивні регістри, що дозволяють зрушувати інформацію в обидві сторони.

За способом запису та зчитування даних розрізняють: послідовні, паралельні та комбіновані регістри.

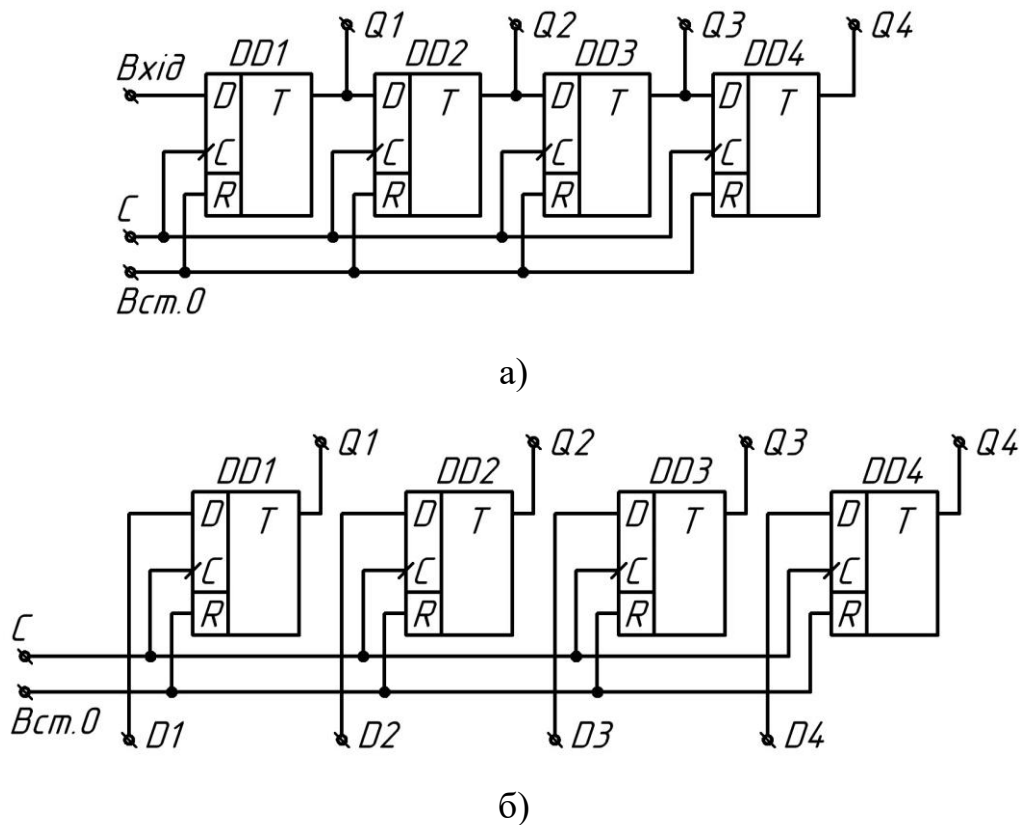


Рисунок 8.4 – Схеми регістрів односпрямованого зсуву (а), паралельного (б)

3.1. Дослідити роботу схем регістрів, накреслити часові діаграми їх роботи.

Контрольні питання:

1. Наведіть умовне графічне позначення основних логічних блоків та їх таблиць істинності.
2. На які типи діляться тригери за функціональною ознакою?
3. Поясніть роботу двотактного тригера.
4. Чим відрізняються двійкові та двійково-десяткові лічильники імпульсів?
5. Які типи електронних регістрів існують?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка : підручник / ред. А. Г. Сосков. Київ : Каравела, 2023. 536 с.
2. Матвієнко М. П. Промислова електроніка : підручник. Київ : Ліра-К, 2021. 423 с.
3. Дудикевич В. Б., Кеньо Г. В., Петрович І. В. Електроніка та мікросхемотехніка : навч. посіб. Львів : НУ «Львів. Політехніка», 2010. Ч. 1 : Електроніка. 204 с.
4. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / ред. А. Г. Сосков. 2-ге вид. Київ : Каравела, 2009. 416 с.
5. Мілих В. І., Шавьолкін О. О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / ред. В. І. Мілих. 2-ге вид. Київ : Каравела, 2008. 688 с.
6. Островерхов М. Я., Сенько В. І., Чибеліс В. І. Промислова електроніка. Напівпровідникові перетворювачі змінної напруги в постійну : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2021. 341 с.
7. Матвієнко М. П. Проектування цифрових пристроїв : підручник. Київ : Ліра-К, 2024. 362 с.
8. Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко та ін. ; ред. Т. О. Терещенко. 2-ге вид. перероб. та допов. Київ : Політехніка, Кондор, 2018. 440 с.
9. Огородник К. В., Книш Б. П. Мікропроцесорна техніка : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2018. 106 с.
10. Мікропроцесорна техніка : навч. посіб. / В. В. Ткачов та ін. Дніпропетровськ : Нац. гірн. ун-т, 2012. 188 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Електроніка та мікропроцесорна техніка»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітньо-професійної програми
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
всіх форм навчання
Частина 1

Укладачі: Федотов В. О., канд. техн. наук, доцент;
Касаткіна І. В., канд. техн. наук, доцент;
Джура М. І.

Реєстраційний № 599

Підписано до друку 20.03.2025

Формат	А5	
Обсяг	37	стор.

Видавничий центр КНУ, вул. Віталія Матусевича, 11,
м. Кривий Ріг