

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування
рухом поїздів**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**для виконання лабораторних робіт і самостійної роботи
з освітньої компоненти**

***«ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ»***

і *«ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ»*

Частина 1

Харків 2025

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів 01 вересня 2025 р., протокол № 1.

Описано методику вивчення та аналізу принципів побудови сигналізатора заземлення, схем випрямлення, стабілізаторів напруги та застосування цих приладів для залізничної автоматики, безпілотних поїздів.

Методичні вказівки призначені для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальностей G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» і J7 «Залізничний транспорт» усіх форм здобуття освіти, які вивчають курс освітньої компоненти «Електроживлення систем автоматики та робототехніки» і «Електроживлення систем керування рухом поїздів», та інших рівнів вищої освіти і напрямів (програм) підготовки здобувачів освіти, за рішенням лектора.

Укладачі:

доценти А. А. Прилипко,

В. О. Сотник

Рецензент

доц. О. О. Сосунов

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1	
Дослідження параметрів сигналізатора заземлення.....	5
Лабораторна робота 2	
Дослідження схем випрямлення	11
Лабораторна робота 3	
Аналіз роботи стабілізаторів напруги.....	26
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	32
Додаток А.....	34
Додаток Б.....	35
Додаток В.....	38

Вступ

Здобувачі освіти зобов'язані завчасно підготуватися до лабораторного заняття: ознайомитися з інструкцією для виконання роботи, підготувати протокол (заготовку звіту) і самостійно відповісти на запитання, наведені в інструкції. Звіт має містити такі пункти: назва лабораторної роботи, її мета, схема лабораторної установки, таблиці спостережень, а також графіки, діаграми та висновки.

Здобувачі освіти повинні подати викладачу протоколи для перегляду та відповісти на запитання, після чого вони можуть приступати до роботи. Здобувачів освіти, не підготовлених до занять, не допускають до відпрацювання роботи.

Закінчивши дослідну частину роботи, кожен здобувач подає викладачеві для підпису протокол із результатами досліджень. Якщо дані спостережень незадовільні або не були показані керівнику, роботу вважають невиконаною.

Результати вимірювань під час виконання лабораторної роботи мають бути занесені у відповідні таблиці. Усі схеми, таблиці та графіки мають відповідати стандартам [1]. Елементи електричних схем та їхні позначення виконують за допомогою креслярських інструментів або спеціальної лінійки з елементами електричних і функціональних схем, позначення яких відповідають вимогам Держстандартів.

Графіки та векторні діаграми викреслюють у масштабі також за допомогою креслярського приладдя. В одних координатних осях допускають побудову декількох графіків у відповідних масштабах. Для побудови криволінійного графіка необхідно мати не менше п'яти точок.

Наприкінці необхідно зробити висновки з результатів досліджень, у яких показати відповідність даних експериментів теоретичним положенням, а також причини можливих похибок.

Під час експлуатації електрообладнання, виконуючи лабораторні роботи, слід пам'ятати про техніку безпеки.

Лабораторна робота 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІЗАТОРА ЗАЗЕМЛЕННЯ

Мета роботи

Вивчити будову та принцип дії сигналізатора заземлення СЗИ-1 і дослідити його характеристики.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Для гарантування безпеки навченого персоналу та запобігання помилковому спрацюванню виконавчих пристроїв і датчиків кабельні мережі виконують ізольованими від землі. У зв'язку з цим виникає потреба в безперервному контролі стану ізоляції джерел живлення відносно землі.

Нормоване мінімальне значення опору ізоляції одного полюса джерела живлення залежить від його напруги і становить 1 кОм/В. Отже, сумарний струм витоку з обох полюсів на землю не має перевищувати 1 мА.

Для безперервного контролю стану ізоляції застосовують сигналізатори заземлення різних типів. У цій роботі досліджують сигналізатор СЗИ-1 (сигналізатор заземлення індивідуальний), який призначений для контролю одного джерела та, на відміну від сигналізаторів типу СЗ, може бути встановлений у релейних шафах.

СЗИ-1 може бути налаштований за допомогою зовнішніх перемичок для контролю джерел змінної напруги 24 або 220 В, а також постійної напруги 24 В. Для захисту від короткочасних перешкод передбачено затримку спрацювання в межах від 0,9 до 2,2 с. Конструктивно сигналізатор виконаний у корпусі реле типу НМШ.

Принцип дії полягає в безперервному контролі струму витоку з обох полюсів джерела та порівнянні його з допустимим значенням. Із перевищенням порогового значення активується сигналізація (світлова або зі звуковим доповненням), яка фіксує факт погіршення ізоляції та

зберігається навіть після відновлення норми. Скидає індикацію електромеханік СЦБ натисканням кнопки на корпусі сигналізатора.

До складу СЗІ-1 (рисунок А.1) входять понижувальний трансформатор Т, випрямлячі Вп1 і Вп2, вимірювальне коло (резистори $R_1 \dots R_4$ і R), контрольований кабель, контрольний орган КО, формувач затримки ФВЗ, світлодіод VD5, реле увімкнення дистанційної сигналізації РВДС і кнопка скидання SB. Порогове значення встановлюють за допомогою резистора R перед початком експлуатації.

До первинної обмотки трансформатора Т (виводи 72, 82) підключають живлення 220 В, а до виводів 33, 53 — контрольоване джерело. Струм витoku вимірюють міліамперметром, підключеним до контактів 12 і 23 (земля).

1.2 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить:

- сигналізатор заземлення СЗІ-1;
- автотрансформатор ЛАТР;
- трансформатор Т1 типу ПОБС-3;
- вольтметр PV;
- міліамперметр РА;
- тумблер живлення SA;
- магазин опорів (імітація опору витoku R_y).

Міліамперметр вмикають кнопкою SB1 лише під час вимірювання струму витoku.

1.3 Програма виконання роботи

- 1 Ознайомитися з теоретичними відомостями.
- 2 Підготувати заготовку звіту (пункти 1–4).

- 3 Отримати допуск до роботи.
- 4 Ознайомитися з макетом.
- 5 Виконати лабораторну роботу згідно з підпунктом 1.4.
- 6 Записати результати і показати викладачу.
- 7 Побудувати графік залежності $I_y = f(R_y)$.
- 8 Для опорів 5, 25 і 50 кОм розрахувати відносну нестабільність чутливості D за формулою

$$D = \frac{(I_{y \max} - I_{y \min}) / I_{\text{ном}}}{(U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{ном}}},$$

де $U_{\max}$, $U_{\min}$ — максимальне та мінімальне значення напруги контрольованого джерела;

$I_{y \max}$, $I_{y \min}$ — відповідні їм максимальне та мінімальне значення струмів витоку;

$U_{\text{ном}}$ — номінальне значення напруги контрольованого джерела (24 В);

$I_{y \text{ ном}}$ — струм витоку за цієї напруги.

Оформити звіт (пункти 5–7).

1.4 Методика виконання роботи

1 Встановити межі вимірювання: PV — 50 В змінного струму;

РА — 1 мА постійного струму.

2 Встановити опір витоку 99 кОм.

3 Увімкнути макет тумблером SA.

4 За допомогою ЛАТРа встановити 24 В.

5 Зменшуючи опір R_y , визначити момент спрацювання сигналізатора. Після кожної зміни опору робити паузу не менше 3 с. Після спрацювання повернути перемикач назад на одне положення, натиснути кнопку SB, далі регулювати «1000», «100» тощо.

6 Зі спрацюванням сигналізатора перевірити збереження індикації зі зменшенням і збільшенням опору витоку (кнопку скидання SB не натискати). Записати результат у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати спостережень

Номер	Операція	Результат
1	Опір R_y , за якого спрацювує сигналізатор	
2	Зменшення опору R_y	
3	Збільшення опору R_y	

7 Змінюючи опір витоку в межах від 5 до 50 кОм із кроком 5 кОм, зняти залежність струму витоку I_y від цього опору. Результати спостережень записати в таблицю 1.2.

8 Повторити вимірювання для напруги 21 і 27 В.

9 Вимкнути лабораторну установку з мережі.

Таблиця 1.2 – Результати спостережень

Напруга джерела, В	Опір витоку, кОм									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
21										
24										
27										

1.5 Зміст звіту

- 1 Назва і мета.
- 2 Схеми СЗИ-1 і СЗИ-2 (вклеєні або накреслені).
- 3 Відповіді на контрольні запитання.

- 4 Скласти таблиці 1.1 і 1.2.
- 5 Заповнити таблиці 1.1 і 1.2.
- 6 Графіки залежностей $I_y = f(R_y)$.
- 7 Розрахунок нестабільності чутливості D.

Контрольні запитання для звіту

- 1 Які типи сигналізаторів заземлення існують? Які їхні відмінності?
- 2 Характеристики сигналізаторів: рід струму джерела живлення, що контролюють, затримка часу увімкнення.
- 3 Яке призначення всіх елементів сигналізаторів СЗИ-1 і СЗИ-2?
- 4 Для чого призначений третій вивід первинної обмотки трансформатора Т?
- 5 Яка буде структурна схема для розглянутих сигналізаторів заземлення СЗИ-1 і СЗИ-2?

Контрольні запитання для допуску до роботи

- 1 Які особливості роботи пристроїв СЦБ викликають необхідність ізолювати джерела їхнього живлення від землі?
- 2 Який вигляд має схема заміщення кабельної мережі?
- 3 Які відмінності вимірювальних кіл для контролю джерел змінної та постійної напруг?
- 4 Чому схема сигналізатора СЗИ-1 і СЗИ-2 має два діодні мости?
- 5 Як працює контрольний орган КО?
- 6 Для чого необхідно використовувати формувач затримки часу ФВЗ?
- 7 Як працює формувач затримки часу ФВЗ?
- 8 Чому для приєднання до вимірювального кола використовують декілька резисторів?

Контрольні запитання для захисту роботи

- 1 Чому міліамперметр РА не приєднують до схеми контролю заземлення постійно, а тільки на час вимірювання струму?
- 2 Як буде працювати схема сигналізатора з постійно увімкненим міліамперметром?
- 3 Як буде працювати схема сигналізатора зі зниженням ізоляції між полюсом контрольованого джерела та землею?
- 4 Як буде працювати схема сигналізатора зі зниженням ізоляції між полюсами контрольованого джерела без сполучення з землею?
- 5 Які зміни необхідно зробити у схемі приєднання сигналізатора, щоб він не реагував на перемикання фідерів живлення, якщо контрольоване джерело має протяжну кабельну мережу?
- 6 Які зміни необхідно зробити у схемі контролю стану заземлення, якщо контрольоване джерело має протяжну кабельну мережу?
- 7 Які зміни необхідно зробити у схемі контролю заземлення, якщо навантаження контрольованого джерела вмикають до нього короткочасно (менше 0,9 с)?
- 8 Які способи відшукування місць зниження ізоляції польових кабелів і внутрішньопостової кабельної мережі вам відомі?

Лабораторна робота 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ВИПРЯМЛЕННЯ

Мета роботи

Дослідження однофазних і трифазних схем випрямлячів і їхніх вихідних характеристик, а також залежності вихідних характеристик від характеру навантаження.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Для живлення релейних та електронних пристроїв робототехнічних систем, а також заряджання акумуляторних батарей роботів необхідно використовувати електричну енергію постійного струму. Вторинним джерелом (перетворювачем) постійного струму є випрямляч – основний пристрій у робототехніці, який перетворює змінний струм у постійний. Випрямляч складається з таких вузлів:

- трансформатора, який використовують для підвищення або зниження напруги мережі до потрібної величини, усунення гальванічного зв'язку між джерелом змінного струму та апаратурою, а в окремих випадках для зміни кількості фаз напруги (замість трансформатора можна використовувати конденсатор);
- схеми випрямлення, яка містить один або кілька вентилів із однобічною провідністю струму та виконує основну функцію випрямляча – перетворення змінного струму в постійний (перетворення біполярного сигналу в однополярний);
- фільтра згладжування, який зменшує пульсацію випрямленої напруги до припустимого рівня.

Схеми випрямлення класифікують:

- 1) за типом застосовуваних вентилів: напівпровідникові з керованими та некерованими вентилями;

- 2) кількістю фаз напруги живильної мережі: одно- і трифазні;
- 3) кількістю фаз напруги вторинної обмотки трансформатора: одно-, дво-, три-, шести- і багатофазні;
- 4) кількістю використовуваних півперіодів напруги: одно- і двонапівперіодні;
- 5) кількістю плечей і груп вентилів.

Режим роботи кожного вузла випрямляча залежить від схеми та режиму роботи інших вузлів. Наприклад, режим роботи вентилів у схемі випрямлення значною мірою визначений фільтром згладжування та характером опору навантаження. Такий взаємозв'язок умов роботи окремих вузлів зумовлює необхідність розглядати всі процеси в окремих частинах випрямляча спільно або для кожного вузла окремо за конкретних заданих умов.

2.2 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка включає комп'ютер із програмою моделювання роботи електронних схем Electronics Workbench.

Методика роботи в Electronics Workbench (EWB 5.12):

- створення електричної принципової схеми;
- підключення вимірювальних приладів і налаштування їхніх режимів;
- запуск моделювання, аналіз та оцінювання результатів;
- документування схеми та результатів.

Після запуску програми відкривається робоче поле з лінійкою елементів, меню компонентів і приладів, головним меню та перемикачем живлення. Керують за допомогою миші. Головне меню включає такі пункти: File (Файл), Edit (Редагування), Circuit (Схема), Window (Вікно),

Help (Довідка). Для вибору команди чи елемента необхідно навести курсор на потрібну позицію та натиснути ліву кнопку миші.

1 Складання схеми. Схему створюють, розміщуючи елементи з лінійок компонентів (у лівій колонці або через меню Window). Елемент вибирають курсором, фіксують лівою кнопкою миші, переміщують у робоче поле та відпускають кнопку. Аналогічно додають прилади. Для зручності передбачено сітку (вмикають у Circuit → Preferences: Show grid — показувати сітку, Use grid — використовувати сітку, Show labels — показувати мітки, Show values — показувати значення, Show models — показувати моделі). Режими налаштовують, активуючи відповідні опції та підтверджуючи кнопкою Accept.

Для видалення елемента натиснути Delete на клавіатурі; вибрати Edit → Cut або Edit → Delete; перемістити елемент назад у лінійку.

Групу елементів виділяють, окреслюючи їх прямокутником за допомогою миші. Для скасування виділення натиснути лівою кнопкою у вільній зоні.

З'єднання елементів виконують, підводячи курсор до виводів (з'являється маркер), натискаючи ліву кнопку миші та проводячи лінію до іншого виводу. Для з'єднання кількох виводів використовують з'єднувач із лінійки Passive. Колір ліній можна змінити, двічі натиснувши на лінію та вибравши потрібний колір. Для встановлення параметрів елемента двічі натиснути на нього.

Із повторенням фрагментів схеми створюють підсхеми: виділяють групу елементів, у меню Circuit вибирають Subcircuit, задають ім'я та натискають Copy from Circuit. Підсхема зберігається в лінійці Custom.

2 Підключення приладів. Прилади додають аналогічно елементам, мінімізуючи довжину з'єднувальних ліній. Для налаштування приладу двічі натиснути на нього, щоб відкрити панель керування, задати режим та підключити до схеми, з'єднуючи входи/виходи аналогічно елементам.

3 Запуск моделювання. Моделювання активують, натиснувши на перемикач живлення у правому верхньому куті. Результати аналізують за показаннями приладів.

4 Документування. Для друкування схеми чи результатів вибирають File → Print (або Ctrl+P), у діалоговому вікні позначають потрібні об'єкти і натискають Print. Рекомендовано зберігати результати після завершення роботи чи перед виходом із програми. Нижче наведено основні світові клавіші.

Меню File

1 Команди цього меню: New, Open..., Save, Save as..., Print..., Print Setup... – типові для Windows команди роботи з файлами.

2 Revert to Saved... – відновлення схеми до вигляду, що вона мала в момент останнього збереження.

3 Import... – перетворення нестандартних файлів схем (розширення .net або .cir) до стандартного вигляду Electronics Workbench.

4 Export... – зберігає файл схеми з одним із таких розширень: .net, .scr, .cmp, .cir, .plc.

5 Install... – установлення додаткових компонентів Electronics Workbench із гнучких дисків.

Меню Edit

1 Cut, Copy, Paste, Delete, Select All – відповідно стирання, копіювання, вставляння і витирання виділеної частини схеми.

2 Copy as Bitmap – копіювання растрового зображення елементів у буфер обміну і використання його в текстових процесорах.

3 Show Clipboard – показати вміст буфера обміну.

Меню Circuit

1 Rotate – поворот елемента схеми на 90 градусів (проти годинної стрілки).

2 Flip Horizontal/ Flip Vertical – дзеркальне відображення елемента схеми по горизонталі/вертикалі.

- 3 Component Properties... – властивості компонента.
- 4 Create Subcircuit – створення субсхем.
- 5 Zoom In, Zoom Out – збільшення або зменшення рисунка.
- 6 Schematic Options – опції особливостей побудови схеми.

Меню Analysis

- 1 Activate – активізувати роботу схеми.
- 2 Pause – пауза.
- 3 Stop – припинення роботи схеми.
- 4 Analysis Option – набір команд для установлення параметрів моделювання. Відповідно до рисунка 1.2, вікно має п'ять опцій, кожна з яких дає змогу задавати необхідні параметри для задач моделювання.

Меню Window

- 1 Arrange – акуратне розташування всіх відкритих вікон.
- 2 Circuit – виведення зображення схеми на передній план.
- 3 Description – відкриття вікна опису схеми. Якщо вікно опису вже відкрито, переносить його на передній план. У вікні опису можна надрукувати коментарі для схеми.

2.3 Програма виконання лабораторної роботи

1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом, наведеним у конспекті лекцій, навчальних посібниках і підручниках [2-5].

2 Підготувати заготовку звіту відповідно до пунктів 1–6.

3 Накреслити і підписати у звіті п'ять схем випрямлення, показаних на рисунку Б.1. Червоним олівцем або ручкою позначити шлях струму для позитивного півперіоду, а синім – для негативного півперіоду.

4 Накреслити, як приєднані до навантаження ємність, індуктивність і акумуляторна батарея для вказаної за завданням (таблиця 2.1) схеми випрямляча.

Таблиця 2.1 – Завдання для виконання індивідуального завдання

Варіант	Схема випрямлення для дослідження характеру навантаження	Середнє значення випрямленої напруги U_0 , В	Опір навантаження R_H , O_M	Коефіцієнт пульсації K_n
1	однофазна, однопівперіодна	12	50	0,1
2	однофазна, двопівперіодна	16	50	0,1
3	однофазна, мостова	20	50	0,1
4	трифазна, однопівперіодна	24	50	0,1
5	трифазна, мостова	60	50	0,1
6	однофазна, однопівперіодна	16	100	0,05
7	однофазна, двопівперіодна	20	100	0,05
8	однофазна, мостова	24	100	0,05
9	трифазна, однопівперіодна	200	200	0,05
10	трифазна, мостова	24	150	0,05
11	однофазна, однопівперіодна	24	200	0,2
12	однофазна, двопівперіодна	12	150	0,2
13	однофазна, мостова	12	200	0,2
14	трифазна, однопівперіодна	60	100	0,2
15	трифазна, мостова	200	100	0,2

5 Розрахувати діюче значення напруги на вході п'яти схем випрямлення за відсутності вихідної ємності для заданого середнього значення випрямленої напруги (таблиця 2.1) за формулами, наведеними в таблиці Б.1. Результати обчислень записати в таблицю 2.2.

6 Для п'яти схем випрямлення розрахувати вихідну ємність.

1) розрахувати параметр (A) за формулою

$$A = \frac{\pi R_{\phi}}{m R_H},$$

де m – кількість фаз;

r_{ϕ} – опір фази випрямляча, обирається

R_H – опір навантаження (таблиця 2.1);

2) визначити параметр (H) за графіком залежності від параметра (A), показаним на рисунку Б.3;

3) розрахувати вихідну ємність за формулою

$$C_{\text{вих}} = \frac{H}{r_{\phi} \cdot K_{\pi}},$$

де K_{π} – заданий коефіцієнт пульсації (таблиця 2.1).

Результати обчислень записати в таблицю 2.2.

7 Розрахувати діюче значення напруги на вході п'яти схем випрямлення за наявності вихідної ємності за формулами, наведеними в таблиці Б.1. Параметр (B) визначають за графіком залежності від параметра (A), показаним на рисунку Б.4. Результати обчислень записати в таблицю 2.2.

8 Отримати допуск для виконання лабораторної роботи.

9 Ознайомитися з правилами роботи в програмі моделювання електронних схем Electronics Workbench.

10 Виконати лабораторну роботу відповідно до методики, описаної в пункті 2.4.

11 Записати результати спостережень за першою частиною, накреслити часові діаграми для кожної схеми випрямлення, побудувати діаграму залежностей U_0 , U_2 , K_{π} і $C_{\text{вих}}$ від схеми випрямлення та показати викладачу.

12 Записати результати спостережень за другою частиною, розрахувати коефіцієнт пульсації K_n , побудувати графіки залежностей:

$$U_1 = f(R_1), U_1 = f(C_1), U_1 = f(L_1), U_{обр} = f(R_1), U_{обр} = f(C_1), U_{обр} = f(L_1),$$

$$K_n = f(R_1), K_n = f(C_1), K_n = f(L_1),$$

де U_1 – середнє значення випрямленої напруги, що вимірюють із навантаженням, R_1 – опір навантаження, L_1 та C_1 – вихідна індуктивність і ємність, і показати викладачу.

13 Завершити оформлення звіту відповідно до пунктів 7–10.

14 Захистити лабораторну роботу.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків

Параметр	Схема випрямлення				
	однофазна			трифазна	
	однопів- періодна	двопів- періодна	мостова	однопів- періодна	мостова
Діюче значення напруги на вході схем випрямлення U_2 , В					
Параметр «А»					
Параметр «Н»					
Вихідна ємність $C_{вих}$, мкФ					
Параметр «В»					
Діюче значення напруги на вході схем випрямлення U_2 з урахуванням $C_{вих}$, В					

2.4 Методика виконання роботи

Частина перша

1 На робочому столі відкрити папку «Електроживлення систем автоматики». Відкрити п'ять файлів за допомогою таких ярликів (встановити покажчик миші на відповідний ярлик і двічі натиснути ліву клавішу миші):

- «Випрямляч_1ф_1п» (схема однофазного однопівперіодного випрямляча);
- «Випрямляч_1ф_2п» (схема однофазного двопівперіодного випрямляча);
- «Випрямляч_1ф_мост» (схема однофазного мостового випрямляча);
- «Випрямляч_3ф_1п» (схема трифазного однопівперіодного випрямляча);
- «Випрямляч_3ф_мост» (схема трифазного мостового випрямляча).

2 Для однофазних схем випрямлення встановити значення діючої напруги U_2 , а для трифазних – максимальне значення напруги $U_2 \cdot \sqrt{2}$ (таблиця 2.2). Для цього встановити покажчик миші на генератор сигналу U_1 , двічі натиснути ліву клавішу миші, у вікні властивостей записати необхідне значення напруги (voltage) і натиснути кнопку «ОК».

3 Встановити заданий опір навантаження R_H (таблиця 2.1). Для цього встановити покажчик миші на резистор R_1 , двічі натиснути ліву клавішу миші, у вікні властивостей записати необхідне значення опору (resistance) і натиснути кнопку «ОК».

4 Встановити значення $L_1 = 0$ і $C_1 = 0$ аналогічно, як це робили в пунктах 2 і 3 (для L_1 – inductance 0 Н (генрі); для C_1 0 μF – capacitance μF (мікрофард)).

5 Щоб запустити симулятор, натиснути F5 на клавіатурі. Записати показання вихідної напруги U_1 і таблицю 2.3. Стати покажчиком миші на XSC1 (осцилограф) і двічі натиснути ліву клавішу. Зарисувати осцилограму (синім кольором позначений вхідний змінний сигнал, а червоним – сигнал на виході випрямляча). За допомогою осцилографа виміряти амплітуду напруги пульсації U_m і записати в таблицю 2.3. Стати покажчиком миші на XSC2 (осцилограф) і двічі натиснути ліву клавішу. За допомогою цього осцилографа виміряти максимальну зворотну напругу на діоді $U_{обр}$ і записати в таблицю 2.3. Натиснути F5 для зупинки симулятора.

6 Пункти 2-5 виконати для кожної схеми випрямлення.

7 Закрити всі відкриті файли.

Таблиця 2.3 – Результати спостережень

Параметр	Схема випрямлення				
	однофазна			трифазна	
	однопів-періодна	двопів-періодна	мостова	однопів-періодна	мостова
Вихідна ємність $C_{вих} = 0$ мкФ					
Середня випрямлена напруга U_1 , В					
Максимальне значення напруги пульсації U_m , В					
Максимальна зворотна напруга на діоді $U_{обр}$					
Вихідна ємність $C_{вих}$, згідно із розрахунками					
Середня випрямлена напруга U_1 , В					
Максимальне значення напруги пульсації U_m , В					
Максимальна зворотна напруга на діоді $U_{обр}$					

Частина друга

8 На робочому столі відкрити папку «Електроживлення систем автоматики». Відкрити один файл за допомогою ярлика, що відповідає завданню (таблиця 2.1).

9 Виконати пункти 2–5 для схеми випрямлення відповідно до завдання (таблиця 2.1). Результати вимірювань записати в таблицю 2.4.

10 Натиснути F5 для зупинки симулятора. Встановити (за умови $L1 = 0$) значення $C1 = 50 \text{ uF}$ і натиснути F5 для повторного запуску симулятора. Виконати пункт 5 і результати вимірів записати в таблицю 2.4.

11 Повторити пункт 10, змінивши $C1$ від 50 uF до 500 uF (крок зміни 50 uF). За будь-якої зміни значення $C1$ необхідно зупиняти симулятор, а після зміни параметра повторно запускати симулятор. Нарисувати осцилограму для $C1 = 250 \text{ uF}$.

12 Натиснути F5 для зупинки симулятора. Встановити (для $C1 = 0$) значення $L1 = 100 \text{ mH}$ і натиснути F5 для повторного запуску симулятора. Виконати пункт 5 і результати вимірів записати в таблицю 2.5.

13 Повторити пункт 12, змінивши $L1$ від 100 mH до 1000 mH (крок зміни 100 mH). За будь-якої зміни значення $L1$ необхідно зупиняти симулятор, а після зміни параметра повторно запускати симулятор. Нарисувати осцилограму для $L1 = 500 \text{ mH}$.

14 Натиснути F5 для зупинки симулятора. Встановити (для $L1 = 0$) значення $C1$, що дорівнює значенню вихідної ємності з таблиці 2.2 для відповідної схеми. Встановити значення $R1 = 10 \text{ Ohm}$ і натиснути F5 для повторного запуску симулятора. Виконати пункт 5 і результати вимірів записати в таблицю 2.6.

15 Повторити пункт 14, змінивши $R1$ від 50 Ohm до 500 Ohm (крок зміни 50 Ohm). За будь-якої зміни значення $R1$ необхідно зупиняти симулятор, а після зміни параметра повторно запускати симулятор.

16 Закрити всі відкриті файли.

17 Розрахувати коефіцієнт пульсації K_p , результати розрахунків записати в таблиці 2.4-2.6.

Таблиця 2.4 – Результати спостережень

Параметр	Вихідна ємність C1, мкФ										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Середня випрямлена напруга U_1 , В											
Максимальне значення напруги пульсації U_m , В											
Максимальна зворотна напруга на діоді $U_{обр}$											
Коефіцієнт пульсації K_n											

Таблиця 2.5 – Результати спостережень

Параметр	Вихідна індуктивність L1, мГн										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Середня випрямлена напруга U_1 , В											
Максимальне значення напруги пульсації U_m , В											
Максимальна зворотна напруга на діоді $U_{обр}$											
Коефіцієнт пульсації K_n											

Таблиця 2.6 – Результати спостережень

Параметр	Навантаження R_1 , Ом (вихідна ємність $C_{\text{вих}}$ (C1), згідно з розрахунками)										
	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Середня випрямлена напруга U_1 , В											
Максимальне значення напруги пульсації U_m , В											
Максимальна зворотна напруга на діоді $U_{\text{обр}}$											
Коефіцієнт пульсації K_n											

Зміст звіту

- 1 Назва і мета роботи.
- 2 Письмові відповіді на контрольні запитання для підготовки звіту.
- 3 Накреслені принципові схеми випрямлячів.
- 4 Записані розрахунки параметрів схем випрямлення та результати обчислень у таблиці 2.2.
- 5 Накреслені шаблони діаграм кожної схеми випрямлення (рисунок Б.2).
- 6 Таблиці 2.3-2.6 для запису результатів спостережень.
- 7 Результати спостережень, записані в таблицях 2.3-2.6.
- 8 Накреслені часові діаграми, отримані під час дослідження, для кожної схеми випрямлення.
- 9 Побудована діаграма отриманих залежностей U_0 , U_2 , K_n і $C_{\text{вих}}$ від схеми випрямлення.

10 Побудовані графіки отриманих залежностей

$U_1 = f(R_1), U_1 = f(C_1), U_1 = f(L_1), U_{обр} = f(R_1), U_{обр} = f(C_1), U_{обр} = f(L_1),$
 $K_n = f(R_1), K_n = f(C_1), K_n = f(L_1).$

Контрольні запитання для підготовки звіту

1 Для чого використовують випрямлячі в пристроях робототехнічних систем?

2 Із яких вузлів складається випрямляч? Яке їхнє призначення?

3 За якими ознаками класифікують схеми випрямлення?

4 Якими параметри мають випрямлячі? Як їх розраховують?

5 Які напівпровідникові пристрої використовують як вентиля? Вказати їхні параметри та накреслити вольт-амперні характеристики.

6 Навіщо використовують керовані випрямлячі?

7 Чим відрізняються керовані випрямлячі від некерованих?

Контрольні запитання для допуску до роботи

1 Яке призначення перетворювачів?

2 Для чого використовують трансформатор у схемах випрямлячів?

3 Чи можна замість трансформатора використовувати конденсатор? Які функції він може виконувати?

4 Чому у схемах випрямлячів використовують діоди і тиристори?

5 Чим відрізняється діод від тиристора?

6 Які основні характеристики та параметри діодів?

7 Які основні характеристики та параметри тиристорів?

8 Для чого використовують фільтри згладжування?

9 Які фільтри (низькочастотні, високочастотні чи смугові) використовують як згладжувальні та чому?

10 Як приєднана вихідна ємність (конденсатор) до випрямляча та навантаження?

11 Як приєднана вихідна індуктивність (дросель) до випрямляча та навантаження?

12 Як приєднана акумуляторна батарея до випрямляча та навантаження?

Контрольні запитання для захисту роботи

1 Як залежить вихідна напруга випрямляча від схеми випрямлення?

2 Як залежить зворотна напруга, прикладена до діода, від схеми випрямлення?

3 Як залежить ємність фільтра згладжування від схеми випрямлення?

4 Чому однофазні однопівперіодні схеми випрямлення не використовують у пристроях живлення?

5 Які недоліки однофазних двопівперіодних схем випрямлення?

6 Чому однопівперіодні схеми випрямлення підмагнічують трансформатор?

7 Які переваги та недоліки однофазної мостової схеми випрямлення?

8 Які переваги та недоліки трифазної мостової схеми випрямлення?

9 Які переваги трифазних схем випрямлення порівняно з однофазними?

10 Коли використовують паралельне та послідовне включення вентилів?

11 Як залежить вихідна напруга та коефіцієнт пульсації від зміни вихідної ємності?

12 Як залежить вихідна напруга та коефіцієнт пульсації від зміни вихідної індуктивності?

13 Як залежить вихідна напруга та коефіцієнт пульсації від зміни опору навантаження?

14 Чи можна використовувати акумуляторну батарею як фільтр згладжування та чому?

Лабораторна робота 3

АНАЛІЗ РОБОТИ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ

Мета роботи

Ознайомитися з будовою та принципами функціонування параметричних і компенсаційних стабілізаторів напруги, а також дослідити, як їхні вихідні параметри залежать від вхідної напруги та опору навантаження.

3.1 Теоретичні основи

Стабілізатор напруги — це електронний пристрій, призначений для автоматичного підтримання стабільної вихідної напруги на навантаженні з високою точністю, незважаючи на зміни зовнішніх умов, таких як коливання вхідної напруги чи струму навантаження. Навіть із застосуванням згладжувальних фільтрів у схемах випрямлення напруга на навантаженні може бути нестабільною через флуктуації вхідної напруги або зміну струму в навантаженні. Для забезпечення сталої напруги використовують стабілізатори, які поділяють на два типи залежно від місця їх підключення: стабілізація постійної (після випрямляча) або змінної напруги (перед випрямлячем). Існують два основні підходи для стабілізації.

Параметрична стабілізація. Використовує компоненти з нелінійною вольт-амперною характеристикою, такі як стабілітрони, транзистори чи електронні лампи. Стабілізації досягають завдяки зміні параметрів (наприклад опору) цих елементів у відповідь на зміну вхідної напруги чи струму.

Є конструктивна відмінність між звичайним діодом і стабілітроном.

1 Звичайний діод і пробій.

Звичайний діод (наприклад кремнієвий) не призначений для роботи в

області пробою. Якщо на нього подати надто високу зворотну напругу, відбудеться:

- електричний пробій (наприклад лавинний);
- струм різко зростає;
- теплова енергія пошкодить кристал, структуру рп-переходу;
- діод вийде з ладу.

У звичайних діодів пробій — це аварійний режим.

2 Стабілітрон і зворотній пробій.

Стабілітрон (інакше — діод Зенера) спеціально виготовляють таким, щоб стабільно працював за зворотного пробою:

- він має точно визначену напругу пробою (наприклад 5.1 В, 12 В тощо);
- його рп-перехід легований і сконструйований для контролю над лавинним або зенерівським пробоем;
- із досягненням цієї напруги стабілітрон не руйнується, а просто починає проводити струм у зворотному напрямку, підтримуючи постійну напругу.

Це його нормальний режим роботи, тому він не може бути пошкоджений.

Компенсаційна стабілізація. Базована на системі зворотного зв'язку, яка порівнює поточну вихідну напругу із заданим еталонним значенням та корегує її за допомогою регулюючого елемента, щоб усунути відхилення. Такі стабілізатори можуть бути послідовними або паралельними.

3.2 Обладнання для роботи

Лабораторна установка включає комп'ютер із програмним забезпеченням Electronics Workbench для моделювання електронних схем.

3.3 Порядок виконання роботи

- 1 Вивчити теоретичний матеріал за лекційними конспектами та літературою [2, 5-8].
- 2 Підготувати шаблон звіту за пунктами 1–4.
- 3 Накреслити і підписати схеми параметричного та компенсаційного стабілізаторів у звіті.
- 4 Пройти перевірку знань для допуску до роботи.
- 5 Ознайомитися з інтерфейсом і принципами роботи Electronics Workbench.
- 6 Виконати експеримент за методикою, викладеною в пункті 3.4.
- 7 Зафіксувати результати вимірювань і подати їх викладачу.
- 8 На основі отриманих даних побудувати графіки залежностей $U_{\text{вих}} = f(V_{\text{вх}})$ і $U_{\text{вих}} = f(R_{\text{наб}})$, де $V_{\text{вх}}$ — вхідна напруга, В, $U_{\text{вих}}$ — вихідна напруга на навантаженні, В, $R_{\text{наб}}$ — опір навантаження, Ом.
- 9 Завершити оформлення звіту за пунктами 5, 6.
- 10 Захистити результати роботи.

3.4 Методика виконання експерименту

- 1 У папці «Електроживлення систем автоматики» відкрити файли «Стабілізатор_параметричний» (схема параметричного стабілізатора); «Стабілізатор_компенсаційний» (схема компенсаційного стабілізатора).

Для відкриття файлу двічі натиснути на відповідний ярлик.

- 2 Встановити вхідну напругу $V_{\text{вх}} = 100$ В.

Двічі натиснути на генератор $V_{\text{вх}}$, відкрити вікно налаштувань.

У полі «Voltage» вказати 100 В і підтвердити, натиснувши «ОК».

- 3 Встановити опір навантаження $R_{\text{наб}} = 200$ Ом.

Двічі натиснути на елемент $R_{\text{наб}}$, відкрити вікно налаштувань.

У полі «Resistance» вказати 200 Ом і натиснути «ОК».

4 Активувати симуляцію клавішею F5, записати значення вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ в таблицю 3.1, зупинити симуляцію (F5).

5 Повторити пункт 4, змінюючи $V_{\text{вх}}$ від 100 до 260 В із кроком 20 В. Перед зміною параметра зупиняти симуляцію, вводити нове значення та запускати її знову.

6 Відкрити осцилограф (XSC1), двічі натиснувши на нього. Зберегти осцилограму для $V_{\text{вх}} = 220 \text{ В}$, $R_{\text{нав}} = 200 \text{ Ом}$.

Синій сигнал — напруга після випрямляча, червоний — напруга на виході стабілізатора.

7 Встановити $V_{\text{вх}} = 220 \text{ В}$, $R_{\text{нав}} = 20 \text{ Ом}$.

8 Запустити симуляцію (F5), записати $U_{\text{вих}}$ в таблицю 3.2, зупинити симуляцію (F5).

9 Повторити пункт 8, змінюючи $R_{\text{нав}}$ від 20 до 200 Ом із кроком 20 Ом. Перед зміною зупиняти симуляцію, вводити нове значення та запускати її знову.

10 Виконати пункти 2–9 для обох типів стабілізаторів.

11 Закрити всі файли після завершення.

Таблиця 3.1 – Результати спостережень

Найменування параметрів	Вхідна напруга V_1 , В (Навантаження $R_2=200$, Ом)									
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	
Параметричний стабілізатор										
Значення вихідної напруги U_1 , В										
Компенсаційний стабілізатор										
Значення вихідної напруги U_1 , В										

Таблиця 3.2 – Результати спостережень

Найменування параметрів	Навантаження R2, Ом (вхідна напруга V1=220 В)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Параметричний стабілізатор										
Значення вихідної напруги U1, В										
Компенсаційний стабілізатор										
Значення вихідної напруги U1, В										

Вимоги щодо звіту

- 1 Назва роботи і її мета.
- 2 Відповіді на контрольні запитання для підготовки звіту.
- 3 Схеми обох стабілізаторів із позначеннями.
- 4 Порожні таблиці 3.1 та 3.2 для внесення даних.
- 5 Заповнені таблиці з результатами вимірювань.
- 6 Графіки залежностей $U_{\text{вих}} = f(V_{\text{вх}})$ і $U_{\text{вих}} = f(R_{\text{нав}})$.

Запитання для підготовки звіту

- 1 Яке призначення стабілізаторів напруги?
- 2 Які параметри характеризують роботу стабілізаторів і як їх визначають?
- 3 Які компоненти застосовують у параметричних стабілізаторах?
- 4 Опишіть характеристики стабілітронів.
- 5 Як працює параметричний стабілізатор?
- 6 У чому суть роботи компенсаційного стабілізатора?
- 7 Які елементи входять до складу компенсаційного стабілізатора? Які їхні функції?

Запитання для допуску до роботи

- 1 Що таке стабілізатор напруги? Де його застосовують?
- 2 Яка основна мета стабілізаторів: зменшення пульсацій чи підтримання сталої напруги?
- 3 У чому різниця між стабілізаторами змінної та постійної напруги?
- 4 Чим відрізняються параметричні стабілізатори від компенсаційних?
- 5 Які бувають типи компенсаційних стабілізаторів?
- 6 У чому відмінність діода від стабілітрона?
- 7 На вольт-амперній характеристиці стабілітрона вкажіть робочу зону.
- 8 Як правильно підключити стабілізатор до схеми?

Запитання для захисту роботи

- 1 Як вихідна напруга параметричного стабілізатора залежить від вхідної?
- 2 Як вихідна напруга компенсаційного стабілізатора залежить від вхідної?
- 3 Як впливає зміна опору навантаження на вихідну напругу параметричного стабілізатора?
- 4 Як впливає зміна опору навантаження на вихідну напругу компенсаційного стабілізатора?
- 5 Поясніть принцип роботи параметричного стабілізатора за схемою та характеристикою стабілітрона.
- 6 Поясніть роботу компенсаційного стабілізатора послідовного типу за схемою.
- 7 Які переваги та недоліки параметричних стабілізаторів?
- 8 Які переваги та недоліки компенсаційних стабілізаторів?
- 9 Чому звичайний діод із деякою зверненою напругою пробивається, а стабілітрон залишається непошкодженим?

Список літератури

Основна

1 Коновалов Є. В., Козар Л. М. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до викладення та оформлення: метод. посіб. з додержання вимог нормоконтролю у студ. навч. звітності. Вид. 2-ге, перероб. і доп. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 38 с.

2 Гаврилук В. І., Сиченко В. Г., Сердюк Т. М. Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку: монографія. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2016. 196 с.

4 Правила улаштування електроустановок. Вид. 3-тє, перероб. і доп. Київ: Мінпаливенерго України, 2010. 736 с.

5 ДСТУ 3465-96. Системи електропостачальні загального призначення. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт, 1997. 18 с.

6 Правила технічної експлуатації залізниць України: наказ № 258 від 25.07.2006 р.; зареєстр. в Міністерстві Юстиції України 25.10.2006 р. за № 1143/13017. Київ: Мінпаливенерго України, 2006. URL: <http://zakon.rada.gov.ua>.

7 ЦШ – 0042. Пристроїв сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування: Наказ № 347-ЦЗ від 26.04.2006 р. Київ: Міністерство транспорту, 2006. URL: <http://zakon.rada.gov.ua>.

8 Інструкція з технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦЕ-0033: затв. Наказом Укрзалізниці від 09.02.2012 р. № 048-Ц. На заміну ЦЕ-0002. Київ, 2012. 53 с.

9 ЦШ-0060. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування: Наказ № 090-ЦЗ від 07.10.2009 р. Київ: Міністерство транспорту, 2009. URL: <http://zakon.rada.gov.ua>.

Допоміжна

1 Панченко С. В., Бойнік А. Б., Прилипка А. А. Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи, виконання графічно-розрахункової роботи для студентів денної форми навчання та для виконання контрольної роботи 2 з дисципліни «Електроживлення систем автоматики». Харків: УкрДУЗТ, 2015. 38 с.

2 Панченко С. В., Бойнік А. Б., Прилипка А. А. Методичні вказівки та завдання до практичних занять, дипломного проектування і курсового проекту: метод. вказівки та завдання до практ. занять, дипломного проектування і курсового проекту з дисципліни «Електроживлення систем автоматики». Харків: УкрДУЗТ, 2017. 47 с.

ДОДАТОК А

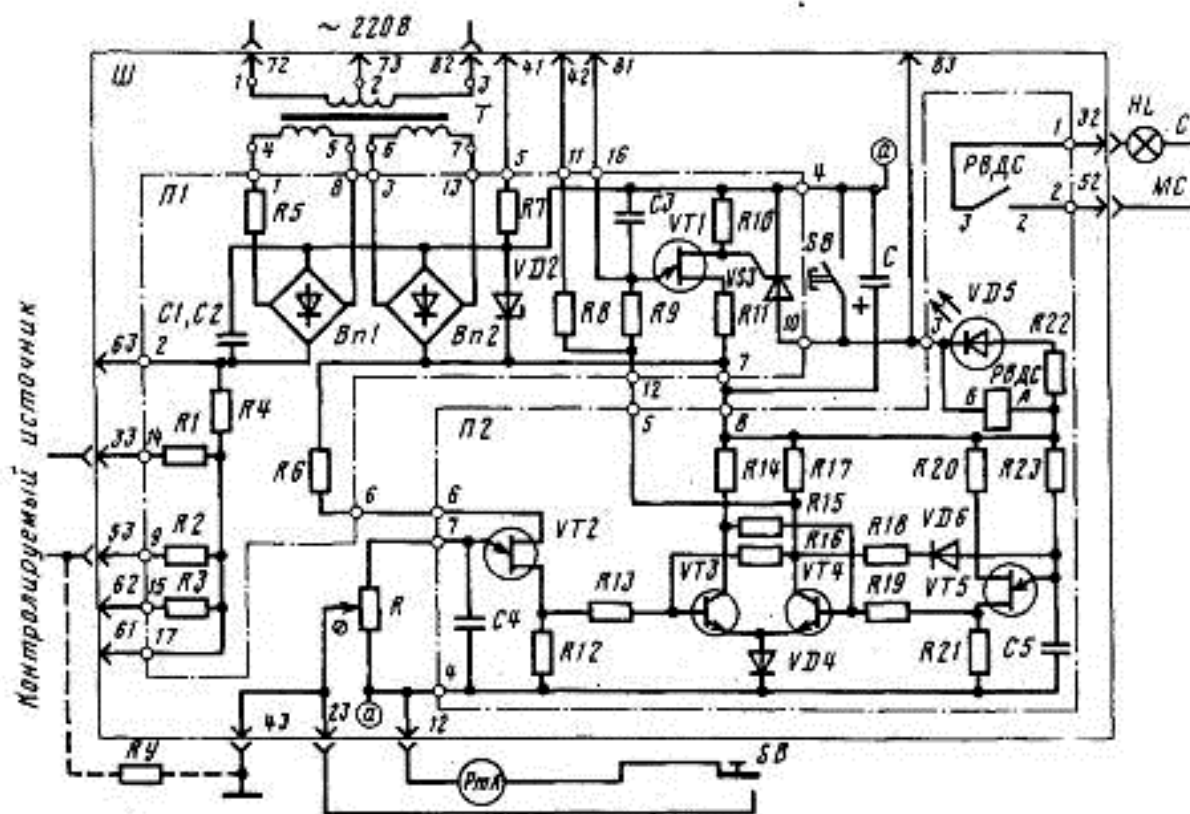


Рисунок А.1 – Принципова схема СЗИ-1

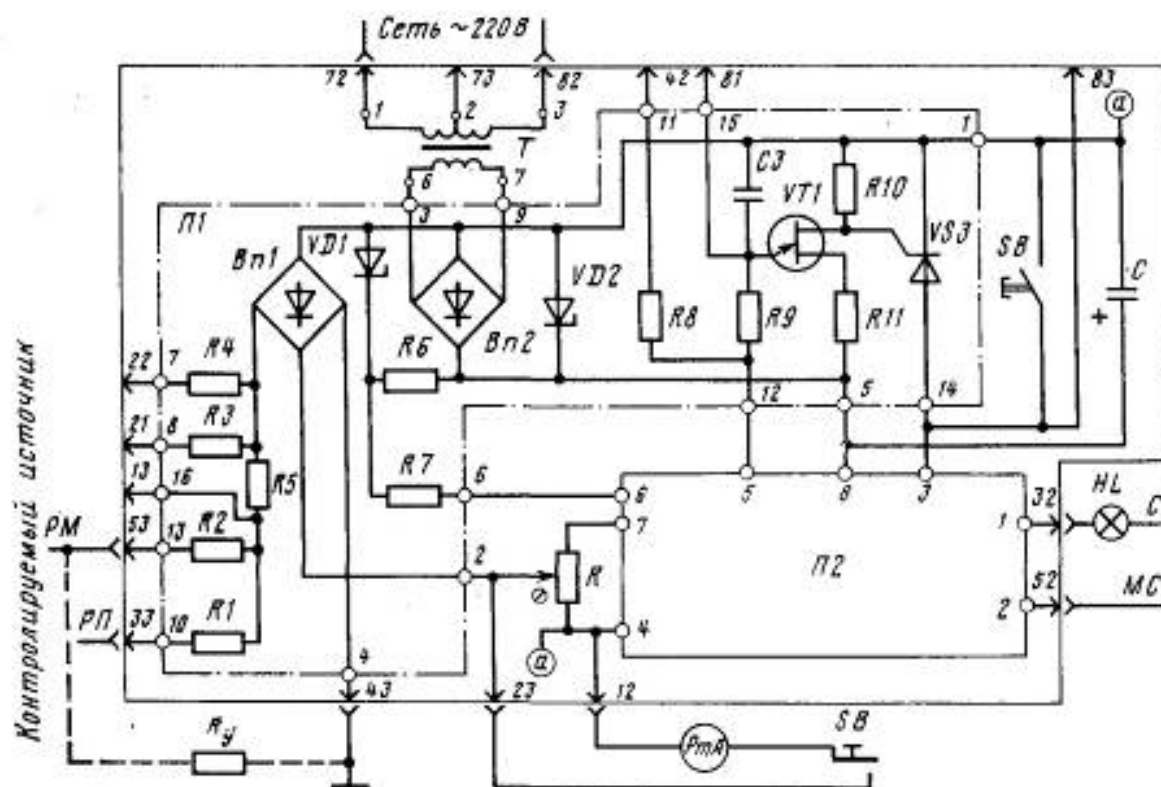


Рисунок А.2 – Принципова схема СЗИ-2

ДОДАТОК Б

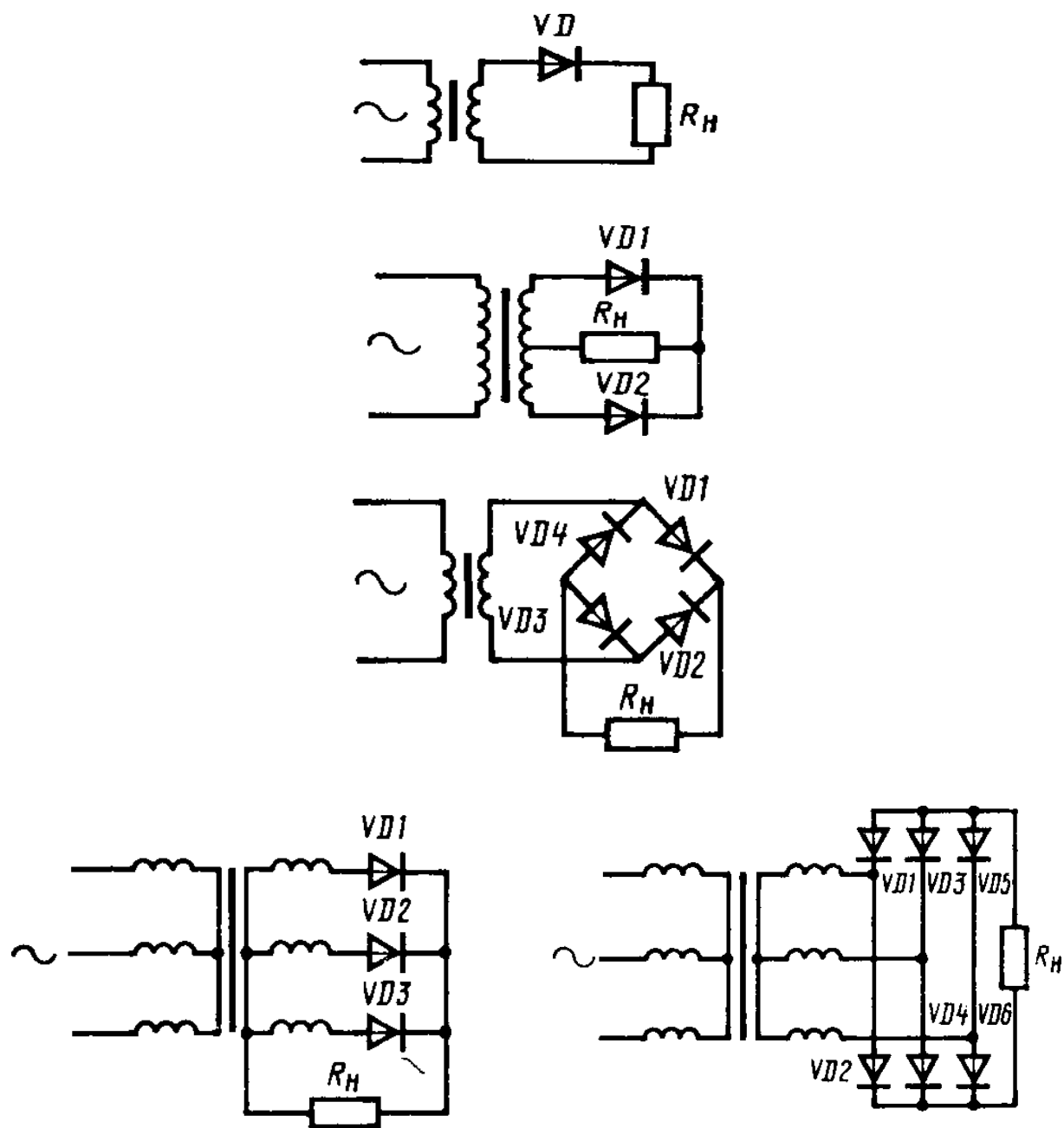


Рисунок Б.1 – Схеми випрямлення



Часова діаграма напруги на вході схеми випрямляча



Часова діаграма напруги на виході схеми випрямляча

Рисунок Б.2 – Шаблон для часової діаграми

Таблиця Б.1 – Розрахункові відношення для схем випрямлення

Параметр	Схема випрямлення				
	однофазна			трифазна	
	однопів- періодна	двопів- періодна	мостова	однопів- періодна	мостова
Діюче значення напруги на вході схем випрям- лення U_2 , В	$2,22 \cdot U_0$	$1,11 \cdot U_0$	$1,11 \cdot U_0$	$0,85 \cdot U_0$	$0,43 \cdot U_0$
Діюче значення напруги на вході схем випрям- лення U_2 , з урахуванням $S_{вих}$, В	$B \cdot U_0$			$\approx 0,85 \cdot U_0$	$\approx 0,43 \cdot U_0$

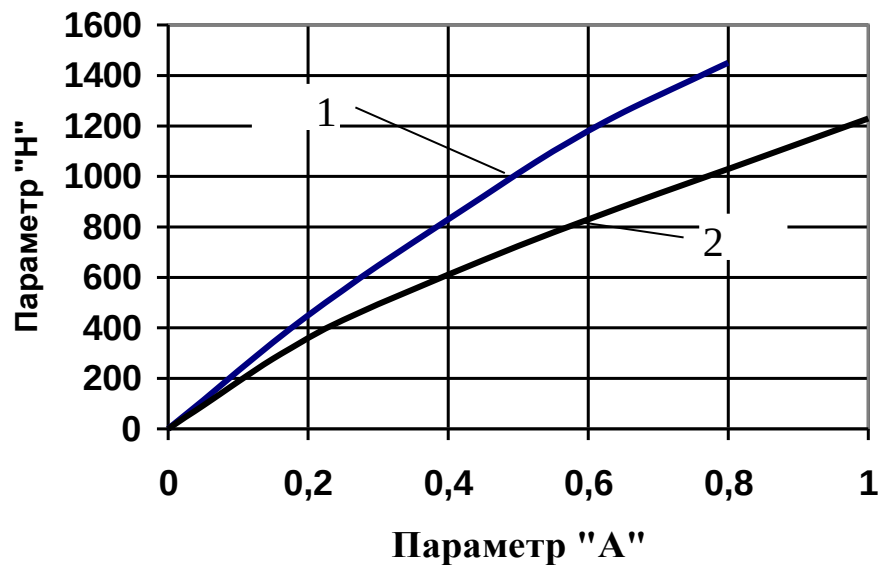


Рисунок Б.3 – Графік залежності параметрів «Н» від «А»
(1 – для однопівперіодних схем, 2 – для інших схем)

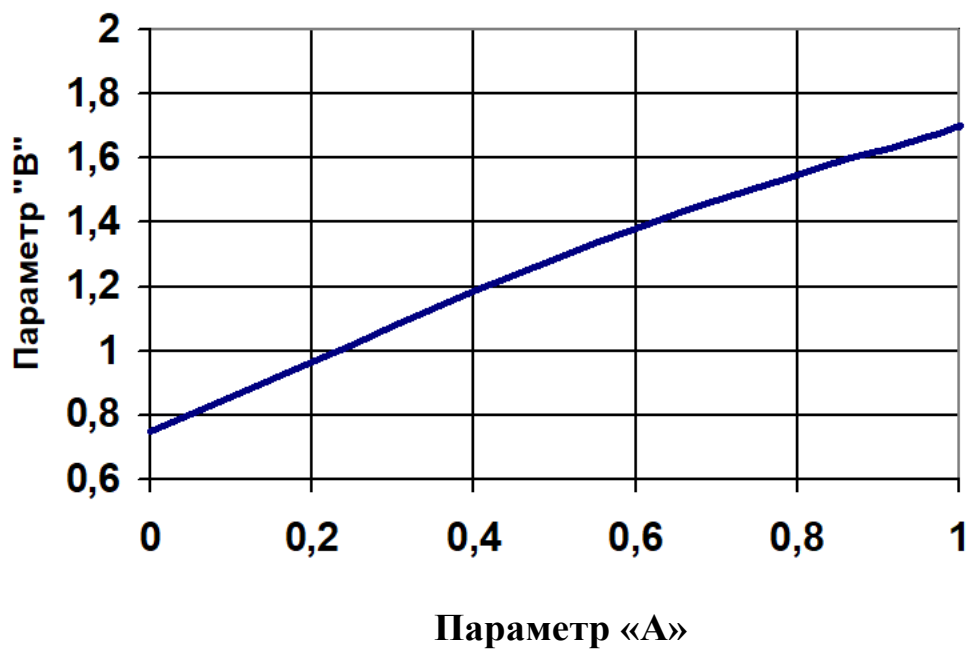


Рисунок Б.4 – Графік залежності параметрів «В» від «А»

ДОДАТОК В

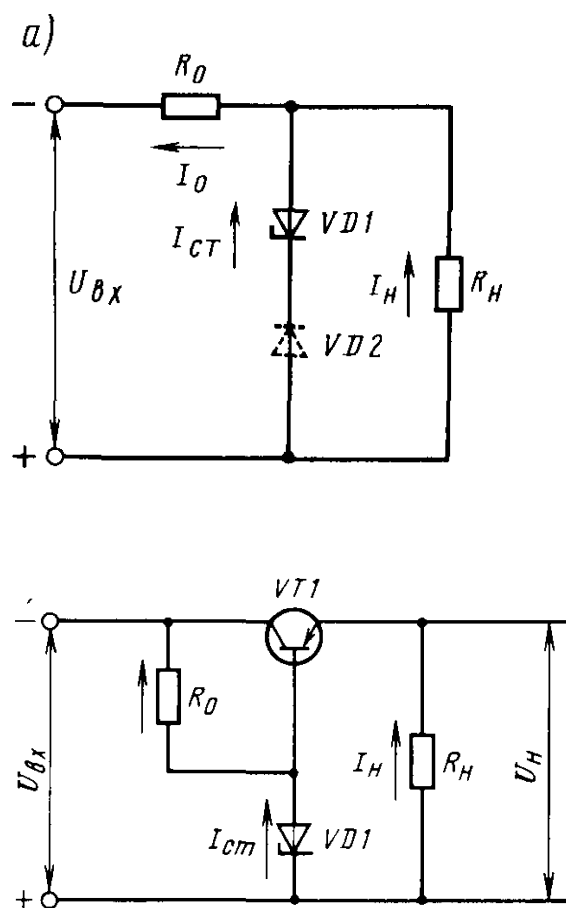


Рисунок В.1 – Схема стабілізаторів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторних робіт і самостійної роботи
з освітньої компоненти

*«ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ТА РОБОТОТЕХНІКИ»
і «ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ»*

Частина 1

Відповідальний за випуск Прилипко А. А.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 13.10.2025 р.

Умовн. друк. арк. 2,25. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.