

**Міністерство освіти і науки України**

**Чернівецький національний університет**

**імені Юрія Федьковича**

**Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук**

**Кафедра електроніки і енергетики**

**Дипломний проект**

**Рівень вищої освіти - перший (бакалавр)**

Виконав:

студент 4 курсу, 432 групи  
спеціальності 153 – “Мікро- та  
наносистемна техніка”

Буджак Микита Сергійович

Керівник:

Доц. Нічий Сергій Васильович

**До захисту допущено:**

**Протокол засідання кафедри № \_\_\_\_**

Від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

зав. кафедри \_\_\_\_\_ проф. Майструк Е. В.

Чернівці – 2023

**Міністерство освіти і науки України**

**Чернівецький національний університет**

**імені Юрія Федьковича**

**Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук**

**Кафедра електроніки і енергетики**

**Пояснювальна записка до дипломного проекту**

**Розробка стенду для виконання лабораторних робіт з дисципліни**

**«Цифрова схемотехніка»**

**Виконав:**

студент 4 курсу, 432 групи  
спеціальності 153 – “Мікро- та  
наносистемна техніка”

**Буджак Микита Сергійович**

**Керівник:**

**Доц. Нічий Сергій Васильович**

**До захисту допущено:**

**Протокол засідання кафедри № \_\_\_\_**

**Від “\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.**

**зав. кафедри \_\_\_\_\_ проф. Майструк Е. В.**

**Чернівці – 2023**

### Анотація

У дипломному проекті було проведено розрахунок та побудова стенду для лабораторних робіт з дисципліни «Цифрова схемотехніка». Була розроблена схема стенду, проведений розрахунок необхідних компонентів та оцінка кошторису проекту.

Дипломний проект містить 2 розділи, список рекомендованої літератури та техніку безпеки. Написаний українською мовою. Містить: 42 сторінки, 28 рисунків, 6 таблиць, а також 1 аркуш формату А1 графічних креслень.

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Буджак				Літ.		Арк.
Перевір.		Нічий						2
Реценз.					ЧНУ 432 гр.			
Н. Контр.		Андрущак						
Затверд.		Нічий						

## Зміст

Вступ.....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ЛАБОРАТОРНІ СТЕНДИ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СХЕМОТЕХНІКИ.....</b>	<b>6</b>
1.1. Огляд рекомендованих лабораторних стендів для вивчення цифрової схемотехніки .....	6
1.2. Огляд пристроїв які вивчаються в курсі цифрової схемотехніки.....	13
<b>РОЗДІЛ 2. Конструкція лабораторного стенду .....</b>	<b>24</b>
2.1. Функціональна схема лабораторного стенду .....	24
2.2. Схема електрична принципова .....	26
2.2.1. Розрахунок блоку живлення.....	29
2.2.2. Схемотехніка контактного блоку .....	30
2.2.3. Розрахунок регулюючого джерела живлення .....	32
2.2.4. Цифровий вольтметр – будова та схемотехніка .....	33
2.3. Економічний розрахунок .....	35
Висновки.....	37
Література .....	Error! Bookmark not defined.
Техніка безпеки.....	Error! Bookmark not defined.

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Цифрова схемотехніка є однією з фундаментальних тем у галузі електроніки та обчислювальної техніки. Це передбачає розробку та аналіз схем, які використовують дискретні сигнали, такі як двійкові цифри (0 і 1), для виконання різноманітних логічних операцій і функцій. Цифрові схеми широко використовуються в комп'ютерах, мікроконтролерах, пристроях шифрування, системах зв'язку.

Щоб зрозуміти та освоїти принципи і концепції цифрової схемотехніки, важливо мати практичний та експериментальний підхід до навчання. Цього можна досягти за допомогою лабораторного стенду, який дозволяє студентам тестувати різні цифрові схеми за допомогою різних функціональних блоків. Функціональний блок — це базовий блок цифрової схеми, який виконує певну функцію, наприклад, логічний вентиль, тригер, лічильник тощо.

Важливість розробки лабораторного стенду для функціональних блоків полягає в наступних аспектах:

- Це надає студентам практичний досвід для вивчення та практики навичок і методів та аналізу роботи цифрових схем в подальшому проектуванні.

- Це полегшує студентам розуміння теоретичних концепцій і принципів цифрової схемотехніки.

- Це дозволяє студентам оцінювати та перевіряти свої результати засвоєних знань та висновків, порівнюючи їх з очікуваними результатами та поведінкою цифрових схем.

Лабораторний стенд використовується для забезпечення роботоздатності електронних схем шляхом імітації вхідних сигналів і спостереження за вихідними сигналами.

Метою даного дипломного проекту є розробка лабораторного стенду який повинен забезпечувати функціонування змінних плат на яких змонтовано функціонально завершенні цифрові пристрої. Він повинен забезпечувати:

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Напругу живлення  $\pm 12\text{В}$ , струм не менше 300 мА
- Генератор регульованої постійної дискретної напруги від 0 В,  $\pm 2$  В до  $\pm 9$  В, струм живлення не менше 100 мА
- Вісім перемикачів
- Цифровий вольтметр
- Світлодіодну індикацію на чотирьох діодах

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 1. ЛАБОРАТОРНІ СТЕНДИ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СХЕМОТЕХНІКИ

### 1.1. Огляд рекомендованих лабораторних стендів для вивчення цифрової схемотехніки

Вибір правильних лабораторних стендів для навчання цифровій електроніці має вагоме значення для надання студентам необхідних навичок і знань у досягненні успіху в цій галузі. Вибираючи лабораторні стенди, слід враховувати кілька критеріїв, щоб переконатися, що вони відповідають потребам студентів і викладачів.

Функціональність є основним критерієм при виборі лабораторних стендів. Вони повинні бути в змозі виконувати необхідні експерименти та демонстрації, а також бути гнучкими та модульними, щоб забезпечити низку різних конфігурацій та застосувань. Довговічність і надійність також є важливими факторами, оскільки лабораторні стенди часто будуть використовуватися студентами. Підставки повинні витримувати таке використання, зберігаючи свою функціональність. Вирішальним фактором при виборі лабораторних стендів також є економічна ефективність. Освітні бюджети часто обмежені, тому важливо вибирати стенди, які пропонують хороше співвідношення ціни та якості. Сумісність із програмними засобами, що використовуються в освіті цифрової електроніки, такими як програмне забезпечення для моделювання та інструменти програмування, також важлива, оскільки це дозволяє бездоганно інтегрувати лабораторні стенди з рештою навчальної програми цифрової електроніки.

На основі цих критеріїв були визначені та рекомендовані такі лабораторні стенди:

#### **НТЦ-02.05**

Навчальний лабораторний стенд призначений для проведення лабораторних робіт. Конструктивно стенд складається з корпусу, в який встановлено електрообладнання, електронні плати, лицьову панель та стільницю інтегрованого робочого столу.

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.1 Лабораторний стенд НТЦ-02.05

У корпусі стенда розміщені:

- блок живлення +12 В (струм 0,5 А), -12 В (струм 0,5 А), +5 В (струм 0,5 А);
- плата операційних підсилювачів;
- плата транзисторних підсилювачів;
- плата керованого тиристорного випрямляча;
- плата генераторів;
- плата логічних елементів;
- 2х-канальний USB-осцилограф;
- плати цифрових приладів:
  - амперметр постійного струму - 1 шт;
  - вольтметр постійного/змінного струму - 1 шт.

										Арк.
										7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ					



На лицьовій панелі стенда зображено електричні схеми об'єктів дослідження. Усі схеми, зображені на панелі, розбиті на групи відповідно до тематики проведених лабораторних робіт. Також на панелі стенда встановлено комутаційні гнізда, табло цифрових приладів, комутаційну апаратуру, а також пристрої управління, що дають змогу змінювати параметри елементів під час проведення лабораторної роботи.

Функціонально лицьова панель стенду розбита на шість блоків:

1. Блок живлення. Блок дає змогу досліджувати потенціометричний стабілізатор, вплив різних пасивних RC- і LC-фільтрів та активного фільтра на біполярному транзисторі на вихідну напругу джерела живлення, тиристорний випрямляч.

2. Блок для дослідження схем на біполярних транзисторах. Блок дає змогу досліджувати класичні типи підсилювачів: однокаскадний (зі спільним емітером), диференціальний, підсилювач потужності та емітерний повторювач (зі спільним колектором). Усі схеми є частинами схеми підсилювача потужності. Вхідним сигналом слугує вихідний сигнал RC-автогенератора на ОП з мостом Віна. Напруга живлення може бути як стабілізованою 12 В, так і регульованою в межах  $0 \div 16$  В.

3. Блок для дослідження схем на основі операційного підсилювача. Блок дає змогу досліджувати на ОП стандартні схеми підсилення (інвертуючого та неінвертуючого підсилювача), повторювача, сумовування, диференціювання, інтегрування, порівняння (компаратор), тригер Шмітта. Вхідними сигналами можуть бути: постійний сигнал з регульованого джерела напруги або сигнал з RC-автогенератора на ОП.

4. Блок для дослідження генераторів сигналів. Блок дає змогу досліджувати: RC-генератор на біполярному транзисторі.

5. Блок для дослідження схем цифрової техніки. Блок дає змогу досліджувати логічні елементи НЕ, І-НЕ, І, синхронний RS-тригер, D-тригер, JK-тригер, Т-тригер на логічних елементах, схеми регістрів, лічильників і

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дешифраторів в інтегральному виконанні, ЦАП із матрицею резисторів, АЦП послідовного наближення.

#### 6. Блок цифрових вимірювальних приладів.

Для проведення лабораторної роботи необхідно зібрати схему об'єкта дослідження за допомогою уніфікованих перемичок, які дають змогу представити схему в наочному вигляді.

Вимірювання проводяться за допомогою цифрових вимірювальних приладів (амперметра, вольтметра) і 2х-канального USB-осцилографа. На панелі стенда є спеціальні гнізда для під'єднання до вимірювальних входів 2х-канального USB-осцилографа, за допомогою яких є можливість знімати осцилограми сигналів на контрольних точках.

### НТЦ-02.58

Навчальний лабораторний стенд призначено для проведення лабораторних робіт за курсом "Основи цифрової електроніки" в закладах вищої, середньої спеціальної та професійно-технічної освіти.

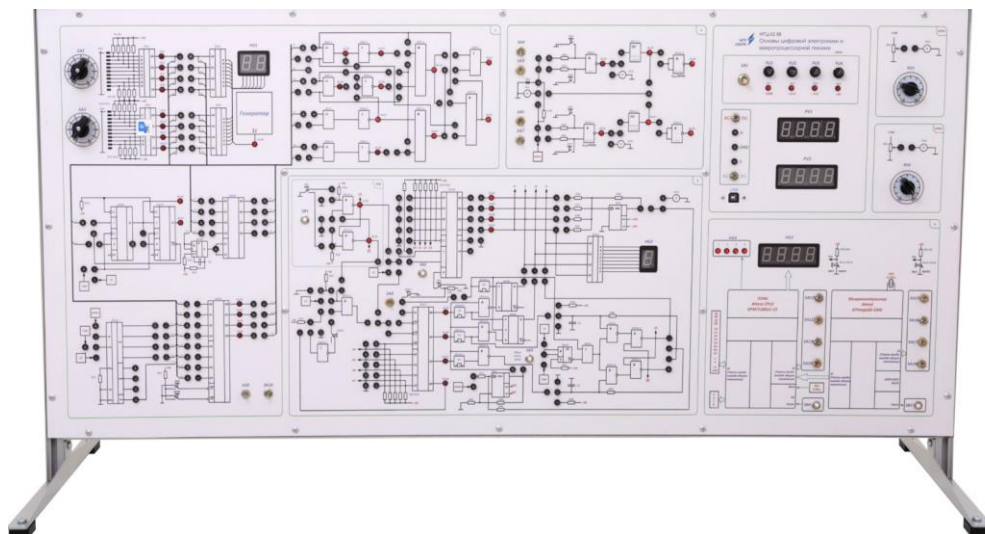


Рис.1.2 Лабораторний стенд НТЦ-02.05

У корпусі стенда розміщені:

- плата блока живлення  $\pm 15$  В (струм 0,5 А), + 5 В (струм 0,5 А);
- плата дешифраторів, драйверів індикації;
- плата дискретної логіки суматорів, компаратора;

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ				

- плата шифраторів, інтегрального аналого-цифрового перетворювача, регістра на D-тригерах;
- плата перетворювачів рівнів (ТТЛ → КМОП, КМОП → ТТЛ), лічильника на JK-тригерах з коефіцієнтом ділення 3/4;
- плата зсувного регістра, лічильник із коефіцієнтом ділення 10;
- плата аналогового-цифрового перетворювача в дискретному виконанні;
- плата мікроконтролера і програмованої логіки;
- цифрові вольтметри.

Функціонально лицьова панель стенду розбита на блоки:

1. Блок шифраторів - дешифраторів. Дає змогу наочно досліджувати роботу шифратора і дешифратора. Для завдання вхідного сигналу шифратора використовується багатопозиційний перемикач. Стан виходів шифратора є вхідним сигналом для перетворювача двійкового коду в код семисегментного індикатора і контролюється світлодіодами.

2. Блок дискретної логіки. Дає змогу збирати схеми напівсуматора, суматора, мультиплексора, демультиплексора і компаратора. Вхідні дані для схем беруться з інтегральних шифраторів. Стан проміжних і вихідних сигналів контролюється за допомогою світлодіодів.

3. Блок базових елементів ТТЛ і КМОН. Дає змогу досліджувати базовий елемент І-НЕ в базисах ТТЛ і КМОН, перетворювачі рівня для узгодження ТТЛ і КМОН схем. Під час дослідження можна регулювати напругу на вході елементів (від 0 до  $U_{ж}$  мікросхеми). Для КМОП можна змінювати безпосередньо напругу живлення ( $U_{ж} = 0 \div 15$  В). Напруга живлення і величини вхідних сигналів змінюються за допомогою потенціометрів, контроль здійснюється за двома цифровими вольтметрами.

4. Блок елементів інтегрального виконання. Дає змогу досліджувати лічильник на базі JK-тригерів з коефіцієнтом рахунку 3, 4, регістр в інтегральному виконанні на базі D-тригерів, цифро-аналоговий перетворювач в інтегральному виконанні.

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Блок цифро-аналогового та аналого-цифрового перетворювача в дискретному виконанні. Дає змогу досліджувати класичні схеми цифро-аналогового та аналого-цифрового (послідовного наближення) перетворювача. У цьому ж блоці досліджуються зсувний регістр, реверсивний лічильник, RS-, синхронний RS-, рахунковий T- тригери.

6. Блок мікроконтролера і програмованої логіки.

7. Блок вольтметрів.

8. Блок запобіжників.

### **KL-310 Advanced Digital Logic Lab**

Лабораторія цифрової логіки KL-310 призначена для студентів та інженерів, які зацікавлені в розробці та тестуванні прототипів схем. Лабораторія включає комбінаційну логіку, послідовну логіку, пам'ять, АЦП/ЦАП, експериментальні схеми та пропонує декілька прикладних схем (ШІМ, таймер, керування двигуном тощо).

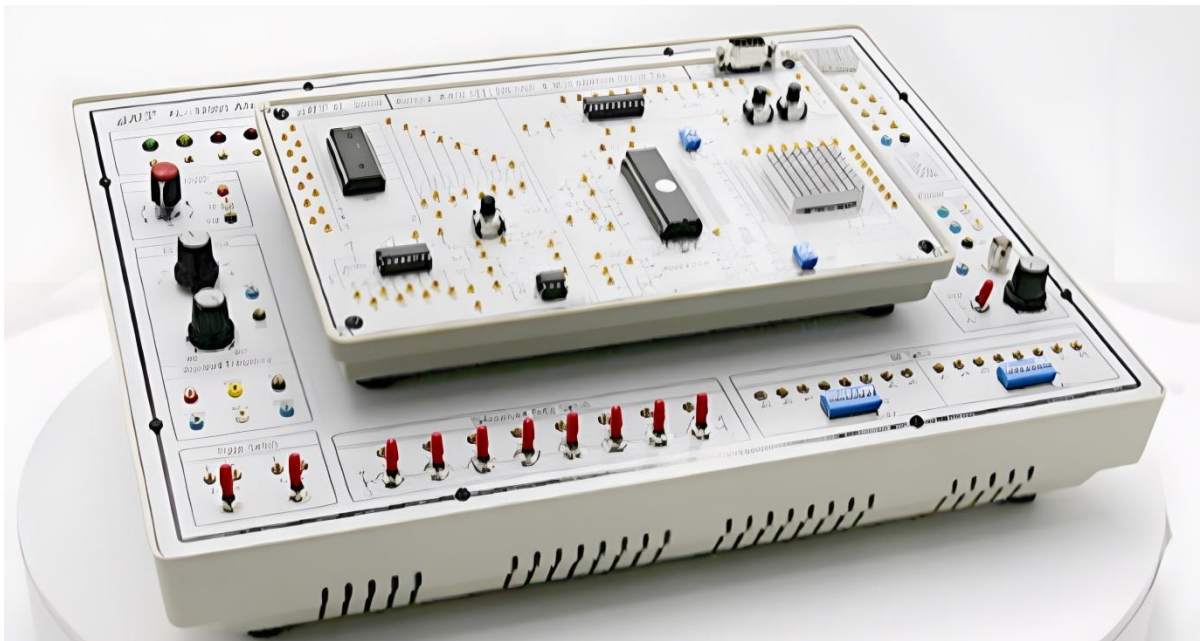


Рис.1.3 KL-310 Advanced Digital Logic Lab

Все необхідне обладнання для проведення експериментів з цифрової логіки, таке як блок живлення, генератор тактових імпульсів, перемикачі, дисплеї, вбудовано в основний блок. Лабораторія має 10 експериментальних модулів.

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Особливості:

1. Весь тренажер повністю розроблений за допомогою логічної схеми FPGA/CPLD. Буферні схеми мають посилений захист для кожного модуля, який живиться від основного блоку через розетку.
2. Охоплює різні рівні експериментів з логічними схемами, починаючи від комбінаційної логіки, послідовної логіки, а також логічної схеми, що взаємодіє з мікроконтролером, і схеми практичного застосування для щоденного використання.
3. Включає різні типи схем АЦП та ЦАП, щоб вивчити різні схеми інтерфейсу між аналоговими та цифровими сигналами.
4. Вбудований 8-канальний мультиплексор в основному блоці для вимірювання декількох цифрових сигналів в режимі реального часу.
5. Кілька режимів роботи з 4-розрядним 7-сегментним дисплеєм (а) режим скануючого дисплея, (b) режим відображення окремих цифр, (c) режим лічильника частоти для вимірювання внутрішньої та зовнішньої синхронізації.
6. Індивідуальний кейс для всіх модулів для зручності зберігання та перенесення.

Список модулів для експериментів:

1. KL-34001 Експеримент з комбінаційною логічною схемою.
2. KL-34002 Експеримент з арифметичною логікою.
3. KL-34003 Експеримент з логічними схемами кодера, дешифратора та мультиплексора.
4. KL-34004 Експеримент з фліп-флопом, послідовною логікою та схемою лічильника.
5. KL-34005 Осцилятор / Імпульс ; Навантаження ; Експеримент зі схемою лічильника.
6. KL-34006 Експеримент зі схемою інтерфейсу пам'яті, матричного світлодіода та ЦАП/АЦП і мікроконтролера.
7. KL-34007 Цифровий та аналоговий таймер, експеримент зі схемою генератора імпульсів.

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

8. KL-34008 Експеримент з регістром послідовного наближення / двосхилим АЦП

9. KL-34009 Клавіатура та дисплей для керування положенням крокового двигуна

10. KL-34010 Точний цифровий таймер годинника

Ці стенди поєднують в собі функціональність, довговічність, гнучкість і простоту використання, що робить їх ідеальним вибором для лабораторій цифрової електроніки. Вибравши один з цих рекомендованих лабораторних стендів, студенти та дослідники можуть забезпечити добре організоване та ефективне середовище для своїх експериментів з цифрової електроніки.

## 1.2. Огляд пристроїв які вивчаються в курсі цифрової схемотехніки

### Тригери

RS тригер: Базовий бістабільний пристрій, який може зберігати один біт інформації. Має два входи (Set і Reset) і два виходи (Q і Q', обернений до Q).

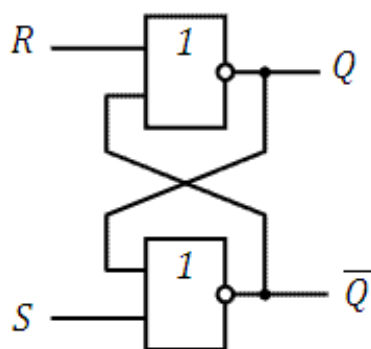


Рис.1.4 RS тригер

t		t+1
S	R	Q
1	0	1
0	1	0
0	0	Q <sub>i</sub>
1	1	X

1.1 Таблиця переходів RS тригера

D тригер: Різновид RS, де входи об'єднані в один вхід даних і присутній вхід керування, який називається входом синхронізації (C).

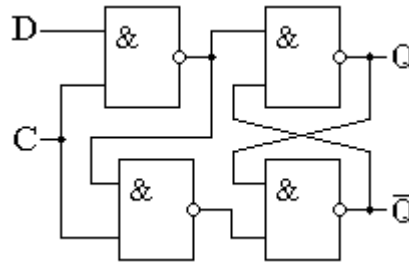


Рис.1.5 D тригер

C	D	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	X	$Q^n$	$Q^n$
1	1	X	1
1	0	X	0

1.2 Таблица переходів D тригера

JK тригер: модифікація RS тригера, яка усуває неоднозначний стан, коли обидва входи мають високий рівень. Має два входи (J і K) і вхід синхронізації.

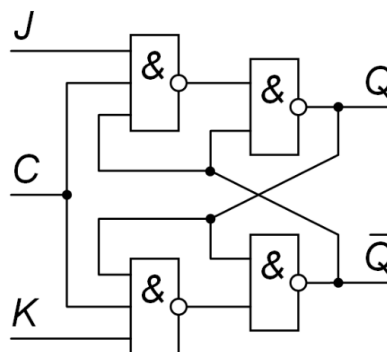


Рис.1.6 JK тригер

$J_t$	$K_t$	$Q_t$	$Q_{t+1}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

1.3 Таблица переходів JK тригера

T триггер (перемикач): Тип JK триггера з входами J і K зв'язаними разом. Він перемикає свій вихідний стан з кожним переднім фронтом тактового сигналу, якщо на вході T високий рівень.

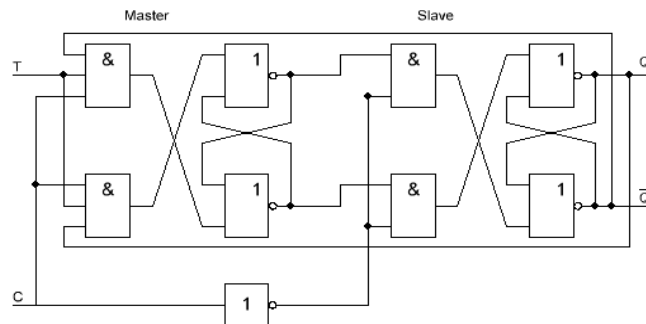


Рис.1.7 T триггер

T	$Q_t$	$Q_{t+1}$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

1.4 Таблиця переходів T триггера

### Мультиплексори, демультиплексори, шифратори та дешифратори

Мультиплексор: Цифровий пристрій, який вибирає один з декількох вхідних сигналів і направляє його на одну вихідну лінію на основі двійкового керуючого сигналу.

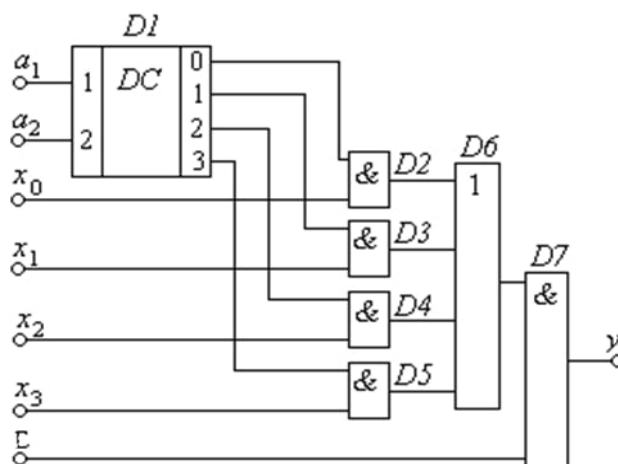


Рис.1.8 Мультиплексор



Демультимплексор: Цифровий пристрій, який виконує зворотну функцію мультимплексора, приймаючи один вхідний сигнал і направляючи його на одну з декількох вихідних ліній на основі двійкового керуючого сигналу.

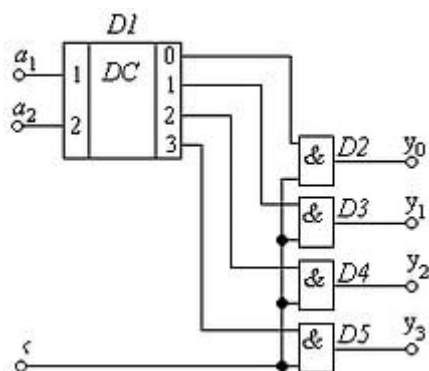


Рис.1.9 Демультимплексор

Шифратор: Цифровий пристрій, який перетворює кілька вхідних сигналів у двійковий код, який представляє активну вхідну лінію.

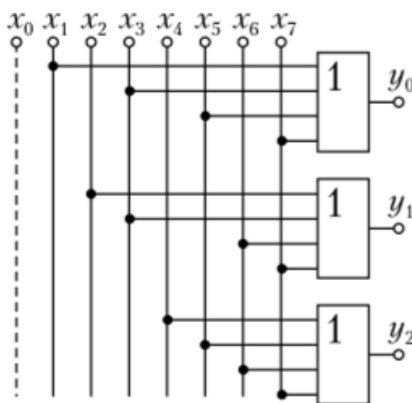


Рис.1.10 Шифратор

Дешифратор: Цифровий пристрій, який перетворює двійковий код у набір вихідних сигналів, де кожен вихід відповідає певному вхідному коду.

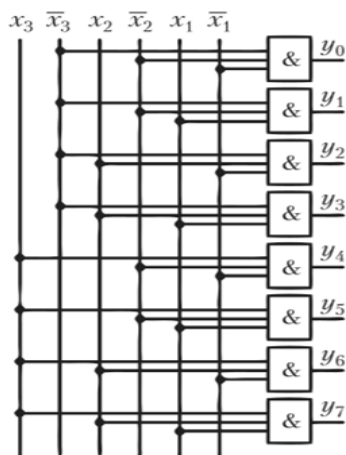


Рис.1.11 Дешифратор

## Лічильники та регістри

Лічильник імпульсів: Простий лічильник, утворений каскадним включенням декількох Т тригерів. Кожен тригер керує тактовим входом наступного.

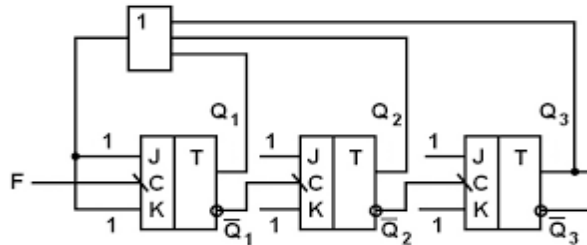


Рис.1.12 Лічильник імпульсів

Синхронний лічильник: Лічильник, в якому всі тригери запускаються одночасно за допомогою загального тактового сигналу.

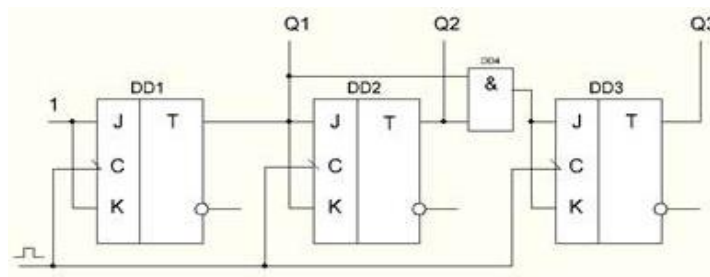


Рис.1.13 Синхронний лічильник

Регістр зсуву: Група послідовно з'єднаних тригерів, де вихід одного тригера з'єднаний з входом наступного. Використовуються для зберігання, зсуву та маніпулювання бітами даних.

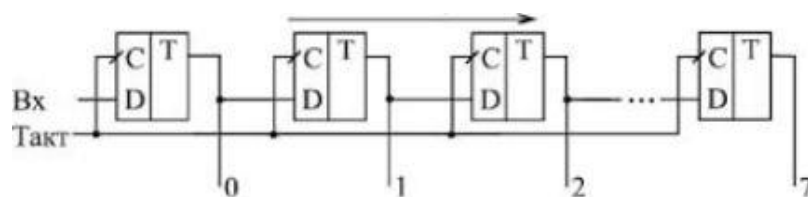


Рис.1.14 Регістри зсуву

## Пристрої пам'яті

ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій): Енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій, що зберігає дані, які можна лише читати, але не записувати.

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ				

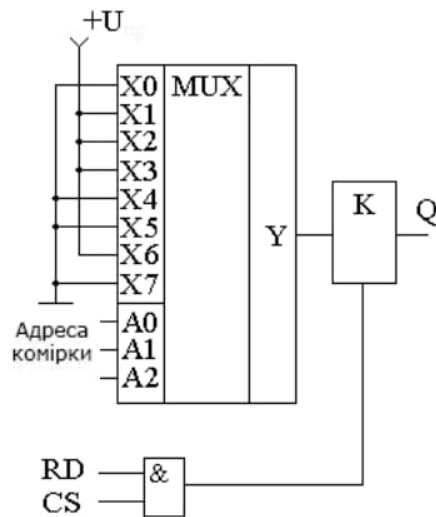


Рис.1.15 Схема постійного запам'ятовуючого пристрою побудованого на мультиплексорі

ОЗП (оперативно запам'ятовуючий пристрій): Пристрій зберігання даних, який дозволяє читати і записувати дані. Існує два основних типи: SRAM (статична оперативна пам'ять) і DRAM (динамічна оперативна пам'ять).

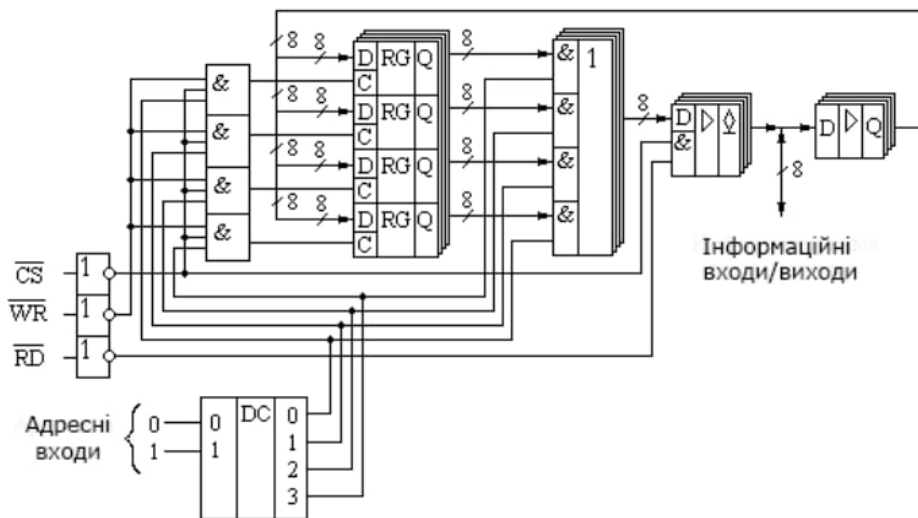


Рис.1.16 Структурна схема ОЗП

РПЗП (репрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій): запам'ятовуючий пристрій, постійна пам'ять, яка допускає перезапис (програмування) і в яку для запису інформації використовується електронний пристрій-програмактор.

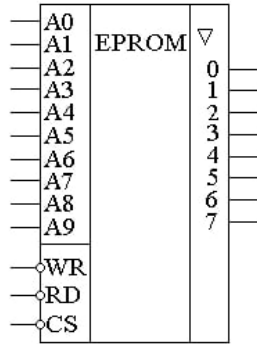


Рис.1.17 Умовно-графічне позначення РПЗП

### Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі

АЦП (аналого-цифровий перетворювач): Цифровий пристрій, який перетворює аналоговий сигнал у дискретне цифрове представлення.

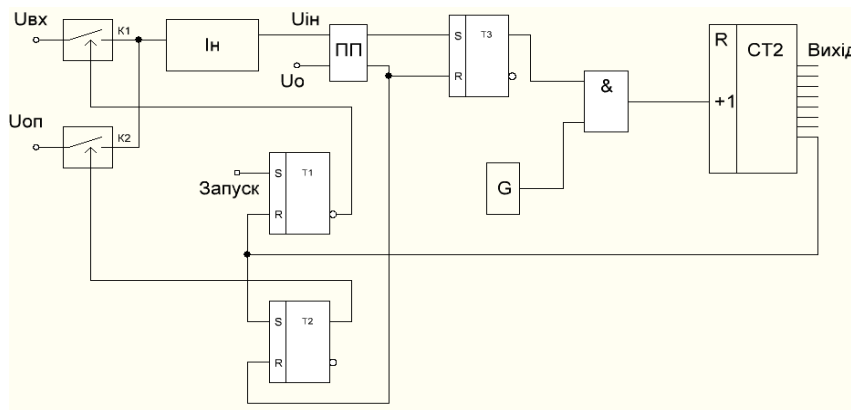


Рис.1.18 Функціональна схема АЦП з подвійним інтегруванням

ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач): Цифровий пристрій, який перетворює дискретне цифрове представлення в аналоговий сигнал.

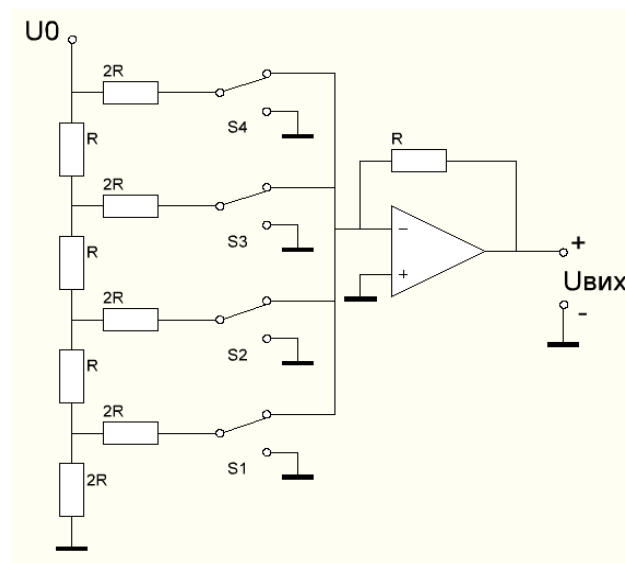


Рис.1.19 Схема ЦАП із сумуванням струмів із використанням матриці R-2R

### 1.3. Концепція побудови схемотехніки лабораторних стендів

У галузі електроприладобудування концепція побудови схемотехніки лабораторних стендів та принципи їх роботи мають вагомe значення для розуміння і проектування ефективних експериментальних установок. Лабораторні стенди необхідні для тестування, аналізу та валідації різних електричних пристроїв, компонентів і систем. Будуть розглянуті ключові аспекти схемотехніки та принципи роботи лабораторних стендів.

#### Проектування та компоування схеми

Проектування та компоування схем є критично важливими аспектами інженерії електричних пристроїв, оскільки вони визначають продуктивність, ефективність та надійність системи. Процес складається з кількох етапів, включаючи розробку схеми, вибір компонентів і фізичне компоування.

Першим кроком у проектуванні схеми є створення схеми, яка є візуальним представленням електричних з'єднань і компонентів у схемі. Це передбачає вибір відповідних компонентів і визначення їх взаємозв'язків на основі бажаної функціональності та вимог до продуктивності. Для створення та аналізу схеми інженери використовують спеціалізовані програмні інструменти, симулятори та програми для захоплення схем.

Вибір правильних компонентів для схеми має вирішальне значення для забезпечення оптимальної продуктивності та надійності. Фактори, які слід враховувати при виборі компонентів, включають електричні характеристики, допуски, температурні коефіцієнти та ефекти старіння. Інженери також повинні враховувати доступність і вартість компонентів, а також будь-які потенційні проблеми сумісності з іншими частинами системи.

Після того, як схема завершена, наступним кроком є створення фізичного макета схеми. Це передбачає розміщення компонентів на друкованій платі або іншій підкладці та визначення маршруту електричних з'єднань між ними. Схема повинна бути оптимізована з точки зору цілісності сигналу, розподілу потужності, терморегуляції та технологічності. Інженери використовують спеціалізовані програмні інструменти, такі як програми для розкладки

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

друкованих плат і симулятори електромагнітних полів, для проектування та аналізу фізичної схеми.

Перш ніж переходити до етапу створення прототипу, важливо перевірити дизайн схеми за допомогою моделювання та аналізу. Це допомагає виявити будь-які потенційні проблеми або помилки в дизайні, такі як проблеми з цілісністю сигналу, теплові точки або електромагнітні перешкоди. Верифікація дизайну також гарантує, що схема відповідає бажаним технічним характеристикам і відповідає відповідним галузевим стандартам.

### **Макетування та прототипування**

Макетування та прототипування є важливими етапами в розробці електричних пристроїв, оскільки вони дозволяють інженерам тестувати та вдосконалювати свої схеми перед тим, як перейти до остаточної виробничої версії.

Макетна плата - це багаторазова безпаяльна платформа, яка використовується для створення і тестування прототипів схем. Вона складається з сітки взаємопов'язаних отворів, в які можна вставляти компоненти і перемички для створення електричних з'єднань. Макетна плата дозволяє інженерам швидко і легко збирати і модифікувати схеми, що робить її ідеальним інструментом для тестування та ітерацій над проектами.

Після того, як схема зібрана на макетній платі, її можна протестувати за допомогою різного тестового обладнання, наприклад, мультиметрів, осцилографів і генераторів функцій. Це дозволяє перевірити функціональність і продуктивність схеми, а також виявити і вирішити будь-які проблеми або помилки. Тестування може включати вимірювання електричних параметрів, таких як напруга, струм і опір, а також аналіз форми сигналу і частотної характеристики.

Макетування дозволяє швидко ітераційно змінювати схеми, оскільки компоненти та з'єднання можна легко додавати, видаляти або модифікувати. Це дозволяє експериментувати з різними значеннями компонентів, конфігураціями і топологіями, щоб оптимізувати продуктивність, ефективність і надійність

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

схеми. Ітерації також можуть включати в себе доопрацювання схеми та фізичного макета на основі результатів тестування макетної плати.

Після того, як дизайн схеми завершено і ретельно протестовано на макетній платі, його можна перенести на більш постійну і надійну платформу, таку як друкована плата.

### **Вибір та пошук компонентів**

Першим кроком у виборі компонентів є визначення необхідних електричних характеристик для кожного компонента, таких як опір, ємність, індуктивність, номінальна напруга і номінальний струм. Ці характеристики повинні базуватися на бажаній функціональності та вимогах до продуктивності схеми, а також на будь-яких відповідних галузевих стандартах або нормативних вимогах.

При виборі компонентів потрібно враховувати допуски на компоненти і температурні коефіцієнти. Допуски вказують на допустимі відхилення значення компонента, в той час як температурні коефіцієнти описують, як значення компонента змінюється в залежності від температури. Вибір компонентів з жорсткими допусками і низькими температурними коефіцієнтами може допомогти забезпечити стабільну продуктивність і мінімізувати вплив факторів навколишнього середовища на схему.

Деякі компоненти, такі як електролітичні конденсатори та певні типи резисторів, можуть з часом деградувати через ефекти старіння. Інженери повинні враховувати очікуваний термін служби електричного пристрою і вибирати компоненти, які збережуть свою продуктивність і надійність протягом цього періоду.

Важливо переконатися, що вибрані компоненти сумісні. Це може включати перевірку на наявність потенційних проблем, таких як термічна сумісність, механічне припасування та електромагнітні перешкоди.

Після того, як відповідні компоненти визначені, вони повинні бути отримані від надійних постачальників. Це передбачає дослідження та оцінку потенційних постачальників на основі таких факторів, як якість продукції,

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доступність, ціна та час виконання замовлення. Інженери також повинні враховувати довгострокову доступність компонентів, оскільки проблеми з постачанням можуть призвести до затримок або збільшення витрат у майбутньому.

### **Складання та пайка**

Після завершення проектування схеми та вибору компонентів починається процес складання. Це передбачає перенесення схеми компонентів і маршрутизації з макетної плати на друковану плату, а також пайку компонентів на місці. Правильна техніка паяння та використання відповідного паяльного обладнання мають важливе значення для забезпечення міцних, надійних з'єднань і мінімізації ризику пошкодження компонентів або підкладки. Порівняно з макетними платами, друковані плати забезпечують кращу цілісність сигналів, терморегуляцію та механічну стабільність, що робить їх більш придатними для кінцевого виробництва та довготривалого використання.

### **Документація та технічне обслуговування**

Належне документування схеми лабораторного стенду, специфікацій компонентів і процедур випробувань має важливе значення для забезпечення повторюваності і надійності майбутніх експериментів. Ця документація повинна бути чіткою, стислою і легко доступною для інших інженерів або техніків, яким може знадобитися використовувати або обслуговувати стенд. Регулярне технічне обслуговування, таке як очищення, калібрування і заміна компонентів, також має вирішальне значення для забезпечення довгострокової функціональності і продуктивності лабораторного стенду.

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



## РОЗДІЛ 2. Конструкція лабораторного стенду

### 2.1. Функціональна схема лабораторного стенду

Функціональна схема лабораторного стенду складається з декількох елементів, які з'єднані між собою. Блок живлення забезпечує необхідну напругу і силу струму в ланцюзі. Цифровий вольтметр вимірює напругу на тестовій платі, яка вставляється в контактний блок. Вольтметр працює за допомогою інтегруючого АЦП, який перетворює аналоговий вхідний сигнал в цифровий вихідний сигнал. Чотири ключі розрядів А і розрядів Б використовуються для введення двійкових кодів у тестову схему. Клавiші перемикання контактної плати і вольтметра дозволяють змінювати з'єднання між тестовою платою і цифровим вольтметром. Блок двійкової індикації відображає вихідний сигнал функціонального блоку у двійковій формі.

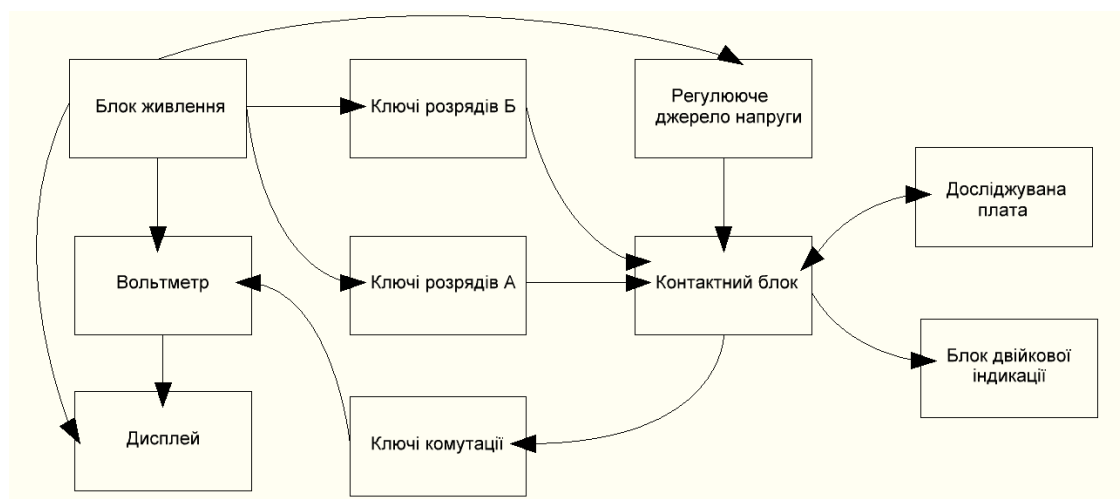


Рис.2.1 Функціональна схема пристрою

#### Блок живлення

Трансформаторне джерело живлення працює в лабораторному стенді шляхом перетворення напруги мережі (220 В змінного струму) в більш низьку напругу (18 В змінного струму) за допомогою трансформатора. Трансформатор - це пристрій, який передає електричну енергію з одного кола в інше за допомогою електромагнітної індукції. Він складається з двох або більше котушок дроту, намотаних навколо спільного осердя. Коли змінний струм протікає через одну котушку (первинну), він створює в осерді змінне магнітне поле, яке індукуює напругу в іншій котушці (вторинній). Співвідношення

						ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
							24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

кількості витків у первинній і вторинній котушках визначає співвідношення вхідної і вихідної напруги.

На виході трансформатора все одно виходить змінний струм, який може не підходити для деяких пристроїв, що потребують постійного струму. Тому блок живлення також включає в себе випрямляч і фільтр для перетворення змінного струму в постійний. Випрямляч - це схема, яка використовує діоди, щоб дозволити струму текти тільки в одному напрямку. Фільтр - це схема, яка використовує конденсатори для згладжування пульсуючого постійного струму і зменшення пульсацій напруги.

Блок живлення може також мати регулятор для підтримки постійної вихідної напруги незалежно від коливань вхідної напруги або струму навантаження. Регулятор - це схема, яка використовує транзистори або інтегральні мікросхеми для керування вихідною напругою шляхом регулювання опору або частоти перемикачів.

### **Цифровий вольтметр**

Цифровий вольтметр у лабораторному стенді працює шляхом перетворення вхідної напруги в цифровий код за допомогою інтегруючого АЦП. АЦП інтегрування - це тип аналого-цифрового перетворювача, який використовує інтегратор для перетворення вхідної напруги в частоту, а потім вимірює частоту за допомогою лічильника.

Базова схема інтегруючого АЦП складається з інтегратора, перемикача для вибору між вимірюваною та опорною напругою, таймера, який визначає, як довго інтегрувати невідоме, і вимірює, скільки часу зайняло інтегрування опорної напруги, компаратора для виявлення перетину нуля.

### **Регулююче джерело напруги**

За допомогою регулюючого джерела напруги ми можемо регулювати вихідну напругу від 0, -2/+2 до -9/+9 вольт і подавати її на досліджувану плату. Це дозволяє тестувати продуктивність плати при різних рівнях напруги і спостерігати за її поведінкою. Регульоване джерело напруги гарантує, що

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідна напруга буде стабільною і точною, незалежно від коливань вхідної напруги або змін струму навантаження.

### Контактний блок

Схема контактної плати в лабораторному стенді складається з контактів, які забезпечують підключення тестової плати до джерела живлення, цифрового вольтметра, ключів розрядів А і розрядів Б, а також вихід до блоку двійкової індикації. Кожне гніздо на контактній платі підключається до певного вузла в електричному ланцюзі компонентів цифрової схеми, що тестуються. Виводи можуть бути підключені до вхідних і вихідних сигналів або інших вузлів у схемі. Схема контактної плати створена для забезпечення безпечної та надійної платформи для тестування та аналізу компонентів цифрової схеми.

## 2.2. Схема електрична принципова

Електрична принципова схема блоку живлення та цифрового вольтметра з дисплеєм лабораторного стенду зображена на рис.2.4.

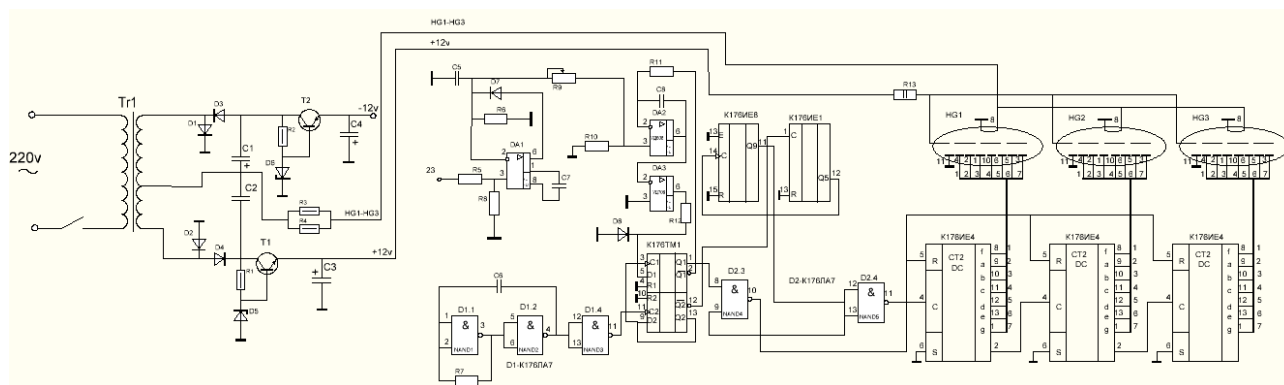


Рис.2.4 Електрична принципова схема стенду

На схемі бачимо блок живлення що забезпечує необхідну напругу та струм для роботи цифрового вольтметра, дисплею, досліджуваних плат.

Трансформатор Tr1 це понижувальний трансформатор, в якому кількість витків первинної обмотки перевищує витки вторинної. Як понижувальний пристрій, цей трансформатор перетворює енергію високої напруги в енергію великого струму.

Дріт більшого перерізу, що використовується у вторинній обмотці, необхідний через зменшення опору. Первинна обмотка, яка не повинна

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ				

проводити такий великий струм, може бути виготовлена з дроту меншого перерізу.

Діоди D1, D6 та конденсатори C4, C6 являють собою схему яка є подвосним випрямлячем напруги, верхнє плече якого випрямляє негативну напівхвилю, нижнє - позитивну.

Конденсатори C3, C7 виконують функцію фільтра для накопичення заряду і забезпечення низькоомного шляху для компонента постійного струму на виході. Конденсаторний фільтр може зменшити пульсації напруги, але не усунути їх повністю. Він також погано регулює навантаження і може викликати великі пускові струми.

Послідовні транзисторні стабілізатори напруги VT1 та VT2 використовують механізм зворотного зв'язку для порівняння вихідної напруги з опорною напругою і відповідного налаштування транзистора. Опорна напруга забезпечена стабілітронами D3 та D8 відповідно.

Схема цифрового вольтметра включає в себе: вхідний формувач, інтегратор, компаратор, генератор тактових імпульсів, дільник частоти, лічильник тактових імпульсів, комутатор, лічильник дільник та дисплей. На структурній схемі (Рис.2.5) послідовно показано як елементи пов'язані між собою.

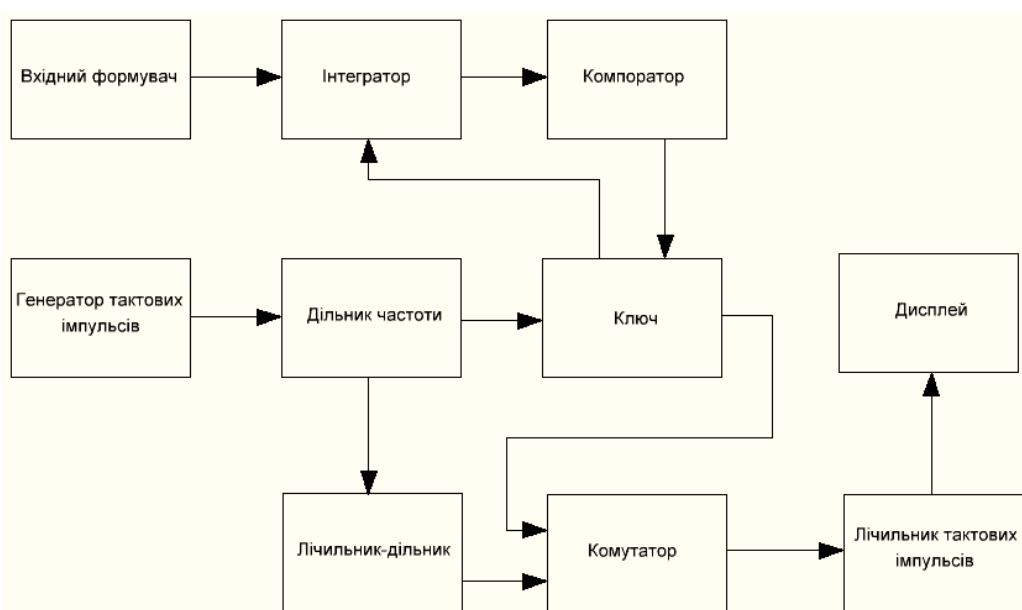


Рис.2.5 Структурна схема цифрового вольтметра

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Основна функція вхідного формувача на основі операційного підсилювача УД608 (DA1) - збільшити вхідний опір вольтметра, щоб він міг вимірювати напругу, не споживаючи значного струму з вимірюваного кола. Це зменшує ефект навантаження і підвищує точність вимірювання.

В основі інтегратора лежить операційний підсилювач УД608 (DA2). Якщо на вхід подається постійна вхідна напруга, на виході утворюється напруга, яка зростає з рівномірною швидкістю і має полярність, протилежну до вхідної напруги. Вихідна напруга інтегратора порівнюється з фіксованою напругою внутрішнього опорного джерела за допомогою компаратора УД708 (DA3). Коли вихідна напруга досягає цього рівня, компаратор виробляє вихідний імпульс.

Мікросхема D1-K176JA7 містить по чотири двовхідні базові елементи І з інверсією вихідного сигналу. Три з яких D1.1, D1.2, D1.4 використовуються в якості генератора тактових імпульсів.

Мікросхема K176TM1 містить два D – тригери. D-тригер - це тип цифрового пристрою, який можна використовувати для ділення частоти вхідного сигналу на два. Він має вхід даних (D) і вхід синхронізації (C), який керує передачею даних на вихід (Q). Коли вхід синхронізації переходить з низького рівня на високий, вихід Q стає рівним входу даних D. Це означає, що тригер буде перемикає свій стан на кожному передньому фронті тактового сигналу, виробляючи вихідний сигнал, який має половину частоти вхідного сигналу.

Мікросхеми K176IE1 – шестирозрядний двійковий лічильник-дільник та K176IE8 – десятковий лічильник-дільник, використовуються дільників тактових імпульсів.

D2-K176JA7 використовується як комутатор дільника частоти K176TM1 та лічильника тактових імпульсів.

Лічильник на основі трьох мікросхем K176IE4 в цифровому вольтметрі - це компонент, який підраховує кількість імпульсів, згенерованих аналого-

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цифровим перетворювачем, і видає результат на дисплей HG1-HG3 який відображається у вигляді цифрового значення.

### 2.2.1. Розрахунок блоку живлення

Блок живлення розраховується з вимоги, що він повинен забезпечити живлення:

- Функціональних блоків зі струмом споживання  $\sim 200$  мА
- Блоку АЦП лабораторного стенду зі струмом споживання 100 мА
- Регулюємого джерела напруги зі струмом споживання 100 мА

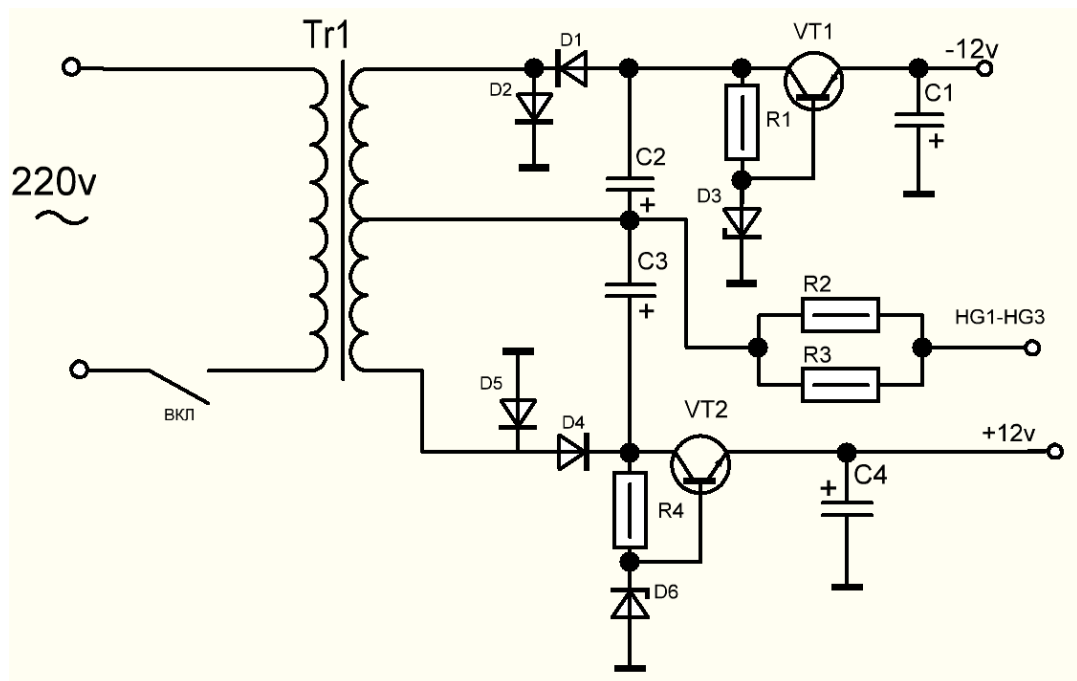


Рис.2.4 Електрична принципова схема блоку живлення

Загальний споживаний струм сягає 400 мА для цього задовільняє понижуючий трансформатор ТС-10-4. ТС-10-4 - це трансформатор потужністю 10 Вт, з двома первинними і двома вторинними обмотками. Він може мати різні комбінації напруг і струмів залежно від того, як підключені обмотки. Наприклад, первинні обмотки можуть бути підключені паралельно для вхідної напруги, або послідовно. Вторинні обмотки також можуть бути підключені різними способами, наприклад, послідовно, паралельно або з центральним виводом. Підключення має бути виконано правильно, щоб уникнути короткого замикання або зміни фази. В данному випадку в трансформаторі підключили

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ				

первинні обмотки паралельно, а вторинні послідовно що дало на виході напругу 18 В, та струм  $\sim 1$  А.

З урахуванням споживаного струму підібрані діоди Д226 в якості випрямляючих діодів D1, D2, D3, D4.

Резистори R3, R4 вираховалися із значень струму 50 мА для накалу вакуумних індикаторів, тоді:

$$R_3 = R_4 = \frac{9 \text{ В}}{0,05 \text{ А}} = 180 \text{ Ом}$$

Для збільшення яскравості оберемо опір 160 Ом

Ємності конденсаторів C1, C2, C3, C4 вибрані по 500 мкФ що забезпечити достатнє згладжування для змінного струму.

Для спрощення монтажу вибираємо транзистори КТ816 та КТ817 які заббезпечують стабільну роботу до 3 А.

Для отримання напруги  $\pm 12$  В, в транзисторному стабілізаторі напруги використовуємо стабілітрон КС213 з наступними параметрами:

$$\text{Напруга стабілізації: } U_{\text{стаб}} = 12,3 \div 13,7 \text{ В}$$

$$\text{Струм стабілізації: } I_{\text{стаб}} = 4 \text{ мА}$$

Враховуючи що на базі транзисторів напруга 12 В, на резисторах R1, R2 падає по 6 В, отже опір:

$$R1 = R2 = \frac{6 \text{ В}}{0,004 \text{ А}} = 1500 \text{ Ом} = 1,5 \text{ кОм}$$

### 2.2.2. Схемотехніка контактного блоку

На зображенні (Рис 2.5) показано електрично принципову схему контактного блоку.

					ДП 153.432.01 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

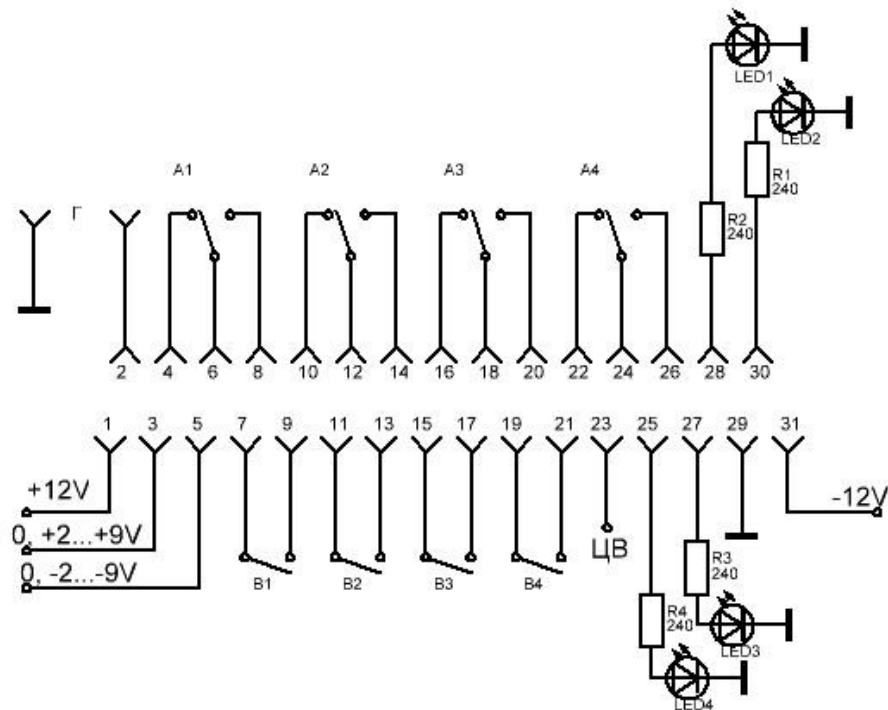


Рис.2.5 Електрична принципова схема контактної плати

Є вісім перемикачів, розташованих у два ряди по чотири, позначених як А1, А2, А3, А4 входи 4 - 26 верхнього ряду і В1, В2, В3, В4 входи 7 – 21 нижнього ряду. Входи 1 та 31 подають на досліджувану плату напругу +12 В та -12 В відповідно. Входи 3 і 5 під'єднанні до регулюючого джерела напруги, з якого можна подавати на плату дискретну постійну напругу 0 В та від +2 В до +9 В та від -2 В до -9 В відповідно.

З правого боку є вхід 23, позначений як "ЦВ", який підключається до цифрового вольтметра, що вимірює і відображає вихідну напругу досліджуваних плат. Також з правого боку є чотири гнізда 28, 30, 25, 27. Ці роз'єми підключені до чотирьох світлодіодів, які показують вихідні значення досліджуваних плат у двійковій формі.

Розрахунок резисторів R1-R4:

Норма струму для світіння світлодіодів  $\sim 8 \div 20$  мА, візьмемо 10 мА.

На світлодіод та резистор буде подаватись напруга 5 В, спад на світлодіоді 2,5 В, отже на резисторі падатиме 2,5 В:

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



$$R1 = R2 = R3 = R4 = \frac{2,5 \text{ В}}{0,01 \text{ А}} = 250 \text{ Ом}$$

Беремо по 240 Ом.

### 2.2.3. Розрахунок регулюючого джерела живлення

На зображенні (Рис 2.6) показано електрично принципову схему регулюючого джерела живлення.

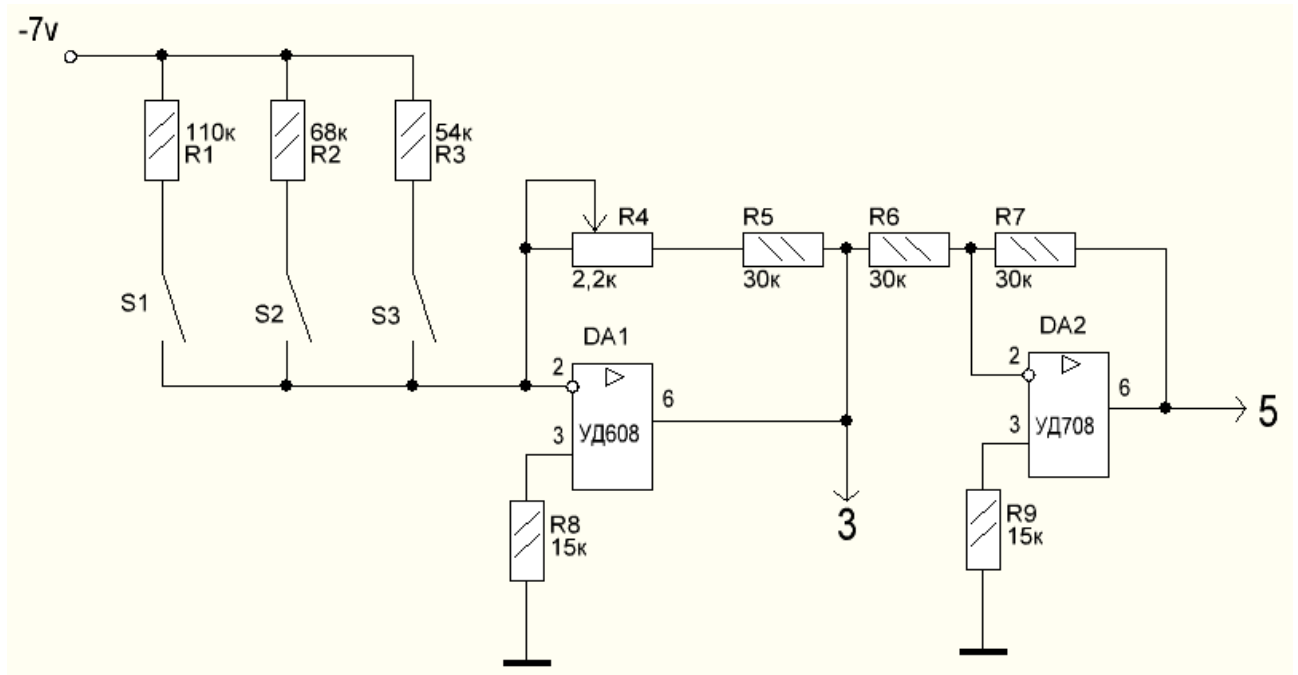


Рис.2.6 Електрична принципова схема регулюючого джерела живлення

Джерело живлення повинно забезпечувати  $\pm 2, 3, 4$  В. Враховуючі що для операційного підсилювача максимальний струм не перевищує 10 мА, то номінали резисторів для їх живлення вибираємо з умови:

$$\frac{12 \text{ В}}{0,01 \text{ А}} = 1200 \text{ Ом} = 1,2 \text{ кОм}$$

Не менше 15 кОм, вибрали значення резистора  $R5 = 30 \text{ кОм}$ , і налаштуємо опір змінного резистора  $R5 = 2,2 \text{ кОм}$ .

Резистори  $R6, R7$  розраховуються з умови, що УД708 працює як інвертор з коефіцієнтом підсилення рівному одиниці, тому номінали беремо по 30 кОм.

Розрахуємо резистори  $R1, R2, R3$ .

При замиканні ключа S1 має подаватись +2 В на виході ОП (DA1) до якого на вхід подається напруга -7 В, та -2 В на виході ОП (DA2) із цієї умови розрахуємо R1:

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R5}{R1}$$

$$R1 = \frac{30 \text{ кОм} \cdot 7 \text{ В}}{2 \text{ В}} = 105 \text{ кОм}$$

Вибираємо найближчий номінал 110 кОм

Так само розраховуємо резистори R2, R3 для вихідних напруг 3 В, 4 В відповідно при замиканні ключів S2, S3:

$$R2 = \frac{30 \text{ кОм} \cdot 7 \text{ В}}{3 \text{ В}} = 70 \text{ кОм}$$

Вибираємо найближчий номінал 68 кОм.

$$R3 = \frac{30 \text{ кОм} \cdot 7 \text{ В}}{4 \text{ В}} = 52,5 \text{ кОм}$$

Вибираємо найближчий номінал 54 кОм.

## 2.2.4. Цифровий вольтметр – будова та схемотехніка

На зображенні (Рис 2.7) показано електрично принципову схему цифрового вольтметра.

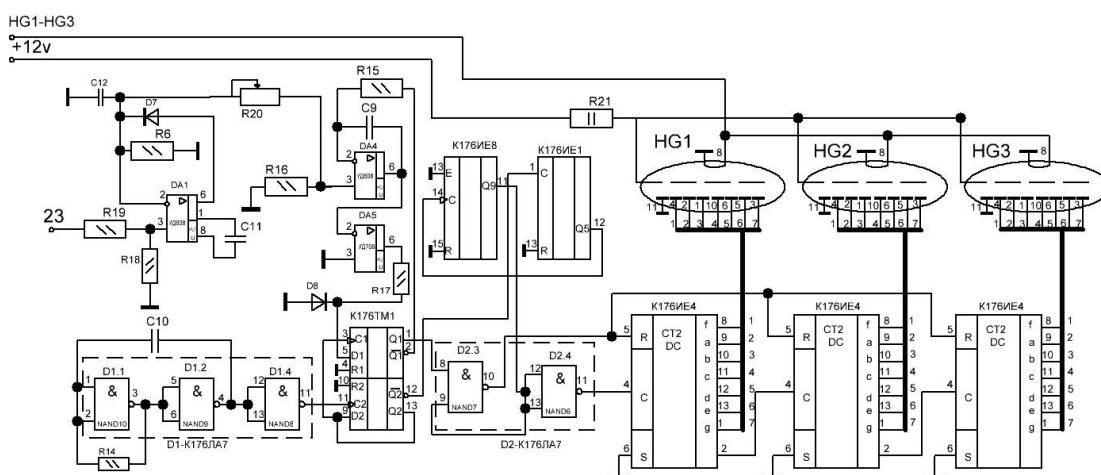


Рис.2.7 Електрична принципова схема цифрового вольтметра

Інтегруюче АЦП цифрового вольтметра працює наступним чином:

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ				

Перетворення відбувається у дві фази: фаза розгону, коли на вхід інтегратора подається вимірювана напруга, і фаза спаду, коли на вхід інтегратора подається відома опорна напруга. Під час фази розгону перемикач вибирає вимірювану напругу як вхід інтегратора. Під час фази спаду перемикач вибирає опорну напругу як вхід інтегратора. Під час цієї фази вимірюється час, за який вихід інтегратора повертається до нуля.

Для того, щоб опорна напруга зменшувала напругу інтегратора, опорна напруга повинна мати полярність, протилежну до полярності вхідної напруги. У більшості випадків для додатних вхідних напруг це означає, що опорна напруга буде від'ємною.

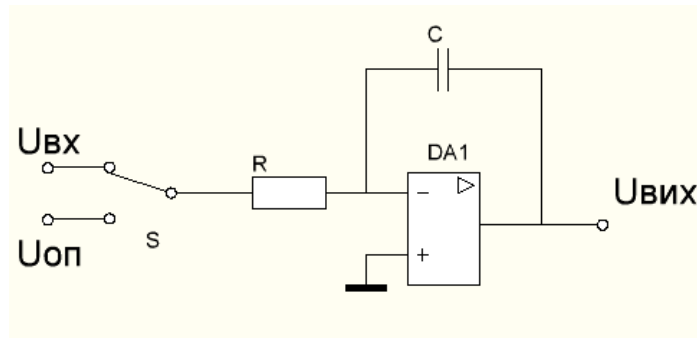


Рис.2.2 Базовий інтегратор двосхилого інтегруючого АЦП

Базове рівняння для напруги виходу інтегратора (за умови постійного входу) має вигляд:

$$U_{\text{вих}} = -\frac{U_{\text{вх}}}{RC} t_{\text{ін}} + U_0$$

$U_0$  – постійна напруга

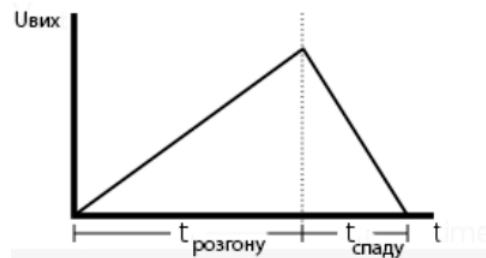


Рис.2.3 Вихідна напруга інтегратора в базовому двосхилому інтегруючому АЦП

Припускаючи, що початкова напруга інтегратора на початку кожного перетворення дорівнює нулю і що напруга інтегратора в кінці періоду спаду

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 153.432.01 ПЗ				

буде нульовою, ми маємо наступні два рівняння, які описують вихід інтегратора протягом двох фаз перетворення:

$$U_{\text{розг}} = -\frac{U_{\text{вх}}}{RC} t_{\text{розг}}$$

$$U_{\text{спад}} = -\frac{U_{\text{оп}}}{RC} t_{\text{спад}}$$

$$U_{\text{розг}} + U_{\text{спад}} = 0$$

Ці два рівняння можна об'єднати і розв'язати для  $U_{\text{вх}}$  невідомої вхідної напруги:

$$U_{\text{вх}} = -U_{\text{оп}} \frac{t_{\text{розг}}}{t_{\text{спад}}}$$

З рівняння стає очевидною одна з переваг інтегруючого АЦП: вимірювання не залежить від значень елементів схеми (R і C). Це не означає, однак, що значення R і C не мають значення при проектуванні інтегруючого АЦП.

У лічильнику буде записаний двійковий код числа, який можна визначити за формулою:

$$N = \frac{U_{\text{вх}} \cdot t_{\text{розг}}}{U_{\text{оп}} \cdot \tau_T} = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{оп}}} \cdot 2^n$$

де  $n$  – кількість розрядів лічильника.

### 2.3. Економічний розрахунок

Техніко-економічна оцінка пристрою має вирішальне значення для проектування та розрахунків лабораторного стенду. Економічні розрахунки необхідні через важливість розробки. У цьому розділі ми оцінимо вартість компонентів стенду. Собівартість будь-якого електронного виробу залежить від матеріалів, обладнання та трудовитрат на виготовлення деталей. Таблиця 2.1 показує розрахунок вартості основних та допоміжних матеріалів для виготовлення приладу.

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріал	Одиниця	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Каніфоль	гр	10	0,64	6,4
Текстоліт	мм	1,5*400*160	50	50
Припій	гр	10	2,77	27,7
Провід	см	100	0,15	15
Флюс	гр	50	0,2	10
Разом				109,1
Транспортно-заготівельні витрати (9,4%)				10,26
Разом				119,36

Таб 2.1 Розрахунок вартості основних та допоміжних матеріалів

Таблиця 2.2 показує розрахунок вартості комплектуючих матеріалів, які витрачаються для приладу.

Найменування матеріалів	Норма витрат	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Конденсатори			
500 мкФ	4	2	8
120 мкФ	1	1	1
1 мкФ	2	0,5	1
330 нФ	1	1	1
Мікросхеми			
K176JA7	2	6	12
K176IE8	1	8	8
K176IE1	1	6	6
K176IE4	3	10	30
K176TM1	1	5	5
Операційні підсилювачі			
УД608	3	12	36
УД708	2	10	20
Трансформатори			
ТС-10-4	1	40	40
Транзистори			
КТ816Г	1	13	13
КТ817Г	1	18	18

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 153.432.01 ПЗ

Арк.

36

Завершення таблиці 2.2

Найменування матеріалів	Норма витрат	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Резистори			
1,5 кОм	2	1	2
160 Ом	2	0,5	1
150 кОм	1	2	2
75 кОм	2	2	4
200 кОм	1	2,5	2,5
54 кОм	1	1	1
68 кОм	1	1,5	1,5
24 кОм	1	1	1
36 кОм	1	1	1
110 кОм	1	2	2
15 кОм	1	1	1
30 кОм	3	1	3
Світлодіоди			
3 мм	4	4	16
Діоди			
Д226В	4	4	16
КД503	3	2	6
КС168	2	4,5	9
Індикатори			
ІВ-6	3	28	84
Разом			331
Транспортно-заготівельні витрати (9,4%)			31,1
Разом			362,1

Таб 2.2 Розрахунок вартості комплектуючих матеріалів

Отже матеріальні витрати становитимуть:

$$119,36 \text{ грн} + 362,1 \text{ грн} = 481,46 \text{ грн.}$$

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

В даній дипломній роботі у першому розділі було розглянуто рекомендовані стенди для вивчення цифрової схемотехніки та їх характеристики. Були перераховані та описані пристрої які вивчаються в дисципліні «Цифрова схемотехніка». Пояснена концепція побудови схемотехніки лабораторних стендів.

У другому розділі описується конструкція розробленого стенду для лабораторних робіт. Представлена функціональна схема пристрою яка відображає з'єднання елементів стенду між собою, розповідається про блок живлення, цифровий вольтметр, регулююче джерело напруги та контактний блок. Наведено електрично принципову схему стенду, перераховані структурні елементи та їх компоненти. Зображено структурну схему цифрового вольтметра, та описано роботу елементів схеми. Було визначено яким вимогам має відповідати блок живлення та був проведений відповідний розрахунок компонентів. На електричній принциповій схемі контактного блоку було показано яким чином комутуються входи, та розраховані світлодіоди блоку індикації. Була наведена електрична принципова схема регулюючого джерела живлення та проведено розрахунок основних компонентів. Було розглянуто будову та схемотехніку цифрового вольтметра та роботу інтегруючого АЦП.

Провели економічний розрахунок пристрою, собівартість якого становила 481,46 грн.

					<b>ДП 153.432.01 ПЗ</b>	Арк.
						<b>38</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		