

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації
в промисловості і на транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

_____магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Система імпульсно-фазового керування для силових
перетворювачів»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕПА-18мз
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____Дубенець П.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____Розводюк М.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

д.т.н., проф.
В. М. Кутін
“ ___ ” _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Дубенцю Павлу Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система імпульсно-фазового керування для силових перетворювачів
керівник роботи Розводюк М.П., к.т.н., доцент кафедри ЕМСАПТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року № ___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Інформація з Інтернет-джерел, патентів, науково-технічних журналів, монографій, підручників про принципи побудови систем імпульсно-фазового керування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз систем імпульсно-фазового керування. 2. Розробка схеми системи імпульсно-фазового керування. 3. Моделювання роботи системи імпульсно-фазового керування. 4. Практична реалізація розробленої системи імпульсно-фазового керування. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; 2. Класифікація СІФК; 3. Способи побудови СІФК; 4. Розробка СІФК; 5. Компоненти СІФК; 6. Схема електрична принципова; 7. Креслення друкованих плат; 8. Моделювання СІФК в Multisim; 9. Моделювання СІФК в Simulink; 10. Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів; 11. Апробація результатів дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Розводюк М.П., к.т.н., доцент		
Економічна частина	Мельничук Л.М., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., завідувач кафедри, професор		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

(підпис)

Дубенець П.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Розводюк М.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дубенець П.Ю. Система імпульсно-фазового керування для силових перетворювачів. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 91 с. Бібл.: 39. Іл.: 43. Табл.: 10.

В магістерській кваліфікаційній роботі здійснено класифікацію систем імпульсно-фазового керування та аналіз принципів їх побудови.

Запропонована схемна реалізація системи імпульсно-фазового керування для тиристорного регулятора напруги.

Здійснено комп'ютерне моделювання роботи запропонованої системи імпульсно-фазового керування в середовищі Multisim та Simulink.

Розроблені відповідні друковані плати для реалізації системи імпульсно-фазового керування.

Розглянуті питання з охорони праці та економічні питання.

Ключові слова: система імпульсно-фазового керування, силовий перетворювач, тиристорний регулятор напруги, друкована плата, Multisim, Simulink.

АННОТАЦИЯ

Дубенец П.Ю. Система импульсно-фазового управления для силовых преобразователей. Магистерская квалификационная работа – Винница: ВНТУ, 2020. – 91 с. Библ.: 39. Ил.: 43. Табл.: 10.

В магистерской квалификационной работе осуществлена классификация систем импульсно-фазового управления и анализ принципов их построения.

Предложенная схемная реализация системы импульсно-фазового управления для тиристорного регулятора напряжения.

Осуществлено компьютерное моделирование работы предложенной системы импульсно-фазового управления в среде Multisim и Simulink.

Разработаны соответствующие печатные платы для реализации системы импульсно-фазового управления.

Рассмотрены вопросы по охране труда и экономические вопросы.

Ключевые слова: система импульсно-фазового управления, силовой преобразователь, тиристорный регулятор напряжения, печатная плата, Multisim, Simulink.

ABSTRACT

Dubenets P.Yu. Pulse-phase control system for power converters. Master's qualification work. – Vinnitsia: VNTU, 2020. – 91 p. Bibl.: 39. Ill.: 435. Tabl.: 10.

In master's qualification work the classification of impulse-phase control systems and the analysis of principles of their construction were carried out.

The circuit implementation of the pulse-phase control system for the thyristor voltage regulator is proposed.

A computer simulation of the operation of the proposed pulsed-phase control system in Multisim and Simulink environments was performed.

Appropriate circuit boards have been developed to implement the pulse-phase control system.

The issues of labor protection and economic issues are considered.

Keywords: pulse-phase control system, power converter, thyristor voltage regulator, PCB, Multisim, Simulink.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ.....	7
1.1 Аналіз типів СІФК	7
1.2 Аналіз способів побудови СІФК	10
1.3 Висновки	17
2 РОЗРОБКА СХЕМИ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ.....	18
2.1 Принцип побудови СІФК	18
2.2 Математична модель СІФК.....	22
2.3 Вибір схемних рішень.....	25
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ.....	32
3.1 Моделювання роботи СІФК в Multisim	32
3.2 Моделювання роботи СІФК в Simulink	35
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО- ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ.....	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації	46
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	46
5.1.2 Електробезпека.....	47
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	49
5.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення.....	49
5.2.2 Склад повітря робочої зони	50
5.2.3 Виробниче освітлення	51
5.2.4 Виробничий шум.....	52
5.2.5 Виробничі вібрації	54
5.2.6 Психофізіологічні фактори.....	55

5.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	56
5.3.1	Дослідження стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії іонізуючих випромінювань	57
5.3.2	Дослідження стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії електромагнітного імпульсу	60
5.3.3	Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах надзвичайних ситуацій	62
6	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	64
6.1	Капітальні вкладення або витрати на реалізацію проекту.....	64
6.2	Розрахунок експлуатаційних витрат	65
6.3	Розрахунок амортизаційних відрахувань	65
6.4	Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу.....	65
6.5	Розрахунок витрат на силову енергію.....	67
6.6	Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	68
6.7	Інші витрати.....	69
	ВИСНОВКИ.....	71
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72
	Додаток А Технічне завдання	76
	Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	80

ВСТУП

Актуальність роботи. Застосування напівпровідникового перетворювача на основі вентильних елементів з неповною керованістю (тиристорів), що працюють в режимі природної комутації дозволяє здійснити модуляцію мережевої напруги за допомогою нескладної системи управління. Використання системи імпульсно-фазового керування (СІФК) для управління вентилями дозволяє здійснити дію на кут управління вентилями. Це забезпечує можливість підібрати величину напруги живлення, при якій енергетичні, а також механічні показники електропривода будуть оптимальними.

Великий інтерес представляє можливість отримання на фізичній моделі залежність енергетичних показників залежно від частоти основної гармоніки.

В роботі увага сконцентрована на СІФК для тиристорного регулятора напруги.

Окрім керування асинхронним електроприводом дана система може використовуватися як окремий прилад для забезпечення трифазної регульованої напруги, наприклад при проведенні випробувань та налагодженні інших пристроїв.

Ретельне дослідження даної схеми дасть можливість оцінити перспективні галузі її використання.

А тому тема роботи є актуальною.

Мета роботи. Метою роботи є розробка СІФК для керування роботою тиристорного регулятора напруги.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) здійснити аналіз існуючих СІФК та принципи їх побудови;
- 2) розробити схему СІФК, придатну для керування роботою тиристорного регулятора напруги;
- 3) здійснити комп'ютерне моделювання роботи СІФК;
- 4) здійснити практичну реалізацію запропонованої СІФК.

Розв'язанню поставлених задач присвячена дана магістерська кваліфікаційна робота.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси, що протікають в СІФК.

Предметом дослідження є схема СІФК.

Методи дослідження. Для розв'язання й аналізу поставлених задач використані методи: системний підхід, математичне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі отримано такий новий науковий результат:

– запропоновано реалізацію СІФК, яка дозволяє здійснювати керування роботою тиристорного регулятора напруги, має стійкість до завад.

Практичне значення одержаних результатів. Використання одержаних результатів дозволяє спростити виробництво СІФК. Запропонована схема реалізації СІФК дозволяє ефективно використання в лабораторних умовах і для живлення асинхронного електроприводу.

Апробація результатів. Основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на конференціях:

Публікації. Частково матеріали роботи опубліковано в 1 тезах.

Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи. Робота містить 6 розділів, висновки, перелік посилань, 2 додатки. Загальний обсяг 91 сторінка, з яких основний зміст викладений на 75 сторінках друкованого тексту, містить 43 рисунки, 10 таблиць. Перелік посилань складається з 39 найменувань.

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Аналіз типів СІФК

Системи імпульсно-фазового керування (СІФК) повинні вирішувати дві основні задачі [1], [2]:

- 1) визначення величини кута керування залежно від рівня поданої ззовні керуючої напруги;
- 2) формування та підсилення керуючих імпульсів, що подаються до керуючих електродів.

Загальна структура СІФК приведена на рисунку 1.1.

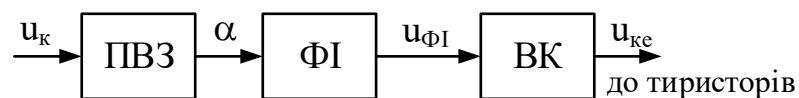


Рисунок 1.1 – Загальна структура СІФК

Першу задачу можна реалізувати з використанням пристрою фазозміщення ПФЗ, а другу – за допомогою формувача імпульсів ФІ та вихідного каскаду ВК.

Останні містять в собі підсилювачі імпульсів та трансформаторні й оптронні розв'язки, призначені для відокремлення СІФК від високовольтної силової частини перетворювача, що забезпечує підвищення надійності системи та створює безпечні умови для проведення налагоджувальних робіт [2].

В даний час розроблена велика кількість СІФК, що відповідають різним вимогам, однак для аналізу їх властивостей немає необхідності розглядання кожної схеми окремо. Усі властивості СІФК визначаються певною сукупністю ознак, що характеризують спосіб її побудови. До числа таких ознак відносяться:

- спосіб відліку кута α ;

- тип синхронізації;
- вид сигналу;
- форма перетворення інформації.

За способом відкривання кута α СІФК поділяють на [3] – [11]:

- одноканальні;
- багатоканальні.

В багатоканальних СІФК відлік кутів α для кожного тиристора виконується в окремому каналі, в одноканальних – в одному каналі для всіх тиристорів. Одно канальна побудова СІФК дозволяє виключити різницю параметрів електричних кіл, що задають витримку часу, що є одним з джерел апаратної похибки кутів α .

За типом синхронізації СІФК розрізняють:

- синхронні;
- асинхронні.

В синхронних СІФК визначення необхідного моменту ввімкнення тиристора виконується шляхом відліку часового інтервалу від моменту переходу через нуль синусоїди на пруги живлячої мережі, в асинхронних – від моменту попереднього ввімкнення тиристора. В асинхронних СІФК синхронізація з мережею служить лише для обмеження кутів α . За принципом дії асинхронні СІФК можуть бути лише одноканальними, синхронні – як одно-, так і багатоканальними.

За видом сигналу, що розгортається, СІФК поділяються на СІФК:

- вертикальної дії (вертикальні);
- інтегруючої дії (інтегруючі), в яких розгортається опорний та керуючий сигнали відповідно [12] – [17].

За формою перетворення інформації СІФК поділяються на:

- аналогові;
- цифрові.

Цифрове виконання СІФК в порівнянні з аналоговим визначає більш високу технологічність виробу, практично відсутність наладки при введенні в

дію, дрейфу сигналів та високу повторюваність дії.

Узагальнена класифікація СІФК вентильними перетворювачами приведена на рисунку 1.2.

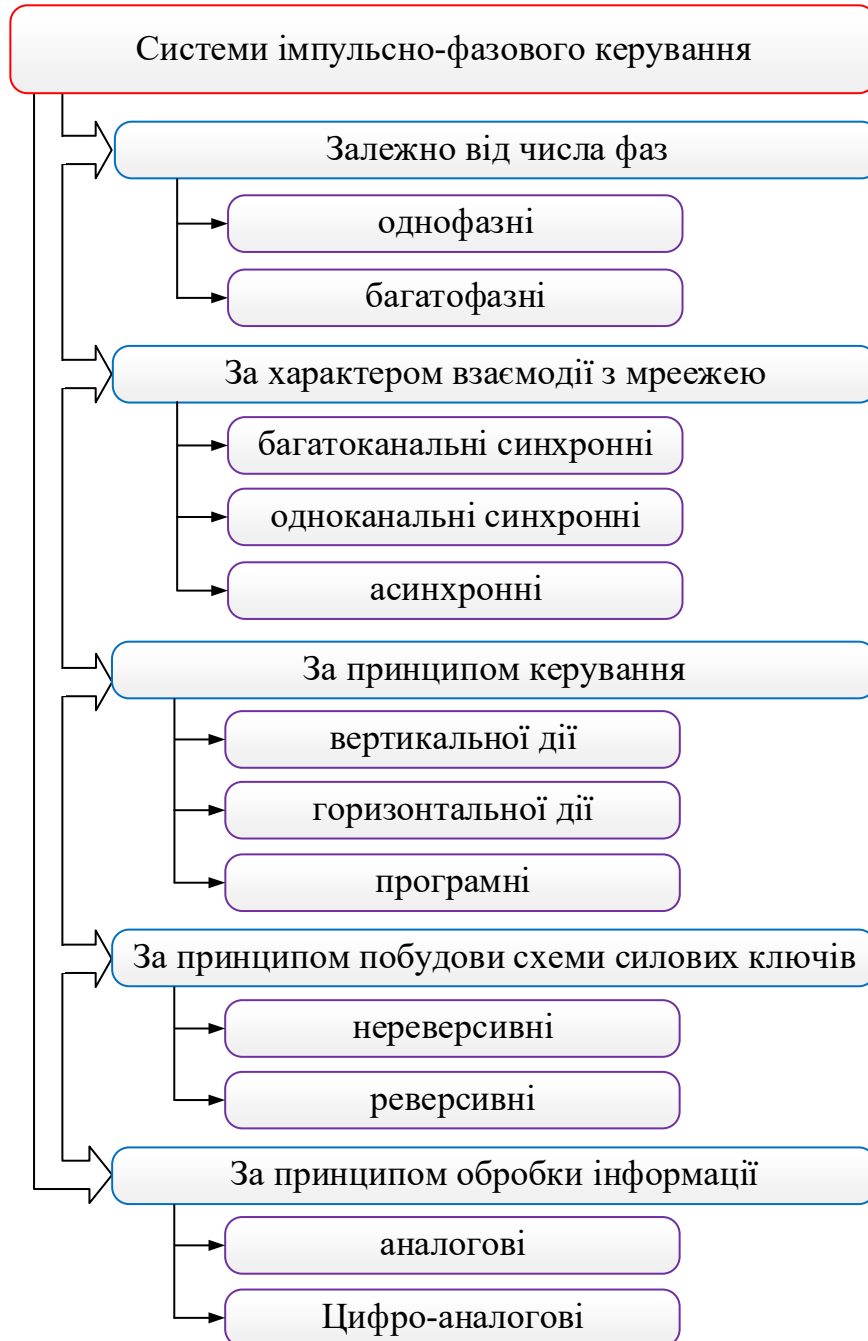


Рисунок 1.2 – Узагальнена класифікація СІФК вентильними перетворювачами

Вимоги системи СІФК ТРН по діапазону зміни кутів α і формуванню імпульсів відкриття можуть бути дотримані будь-яким з перерахованих

типів СІФК при відповідних конструктивних рішеннях. Але не всі вони в достатній мірі відповідають специфічній вимозі мінімальної асиметрії СІФК, яка є наслідком або відмінності елементів схеми, або проникнення завад по каналам управління та синхронізації, або впливу асиметрії мережі живлення. Виконання вимоги щодо забезпечення мінімальної асиметрії кутів α увімкнення тиристорів по фазам ТРН особливо важливо при керування асинхронним електроприводом, оскільки несиметрія трифазної системи синусоїдальних напруг мережі в 2...3,5% призводить до втрат в двигуні на 20...30%. Однак навіть на рівні загальних вимог не викликає сумнівів необхідність прагнути при конструюванні СІФК до мінімально можливої асиметрії кутів α .

1.2 Аналіз способів побудови СІФК

Асиметрія, що виникає внаслідок різниці параметрів елементів схеми, називається апаратною похибкою СІФК. Однією з СІФК, в яких ця похибка усунута, є синхронна багатоканальна СІФК [18], [19], функціональна схема якої в трифазному виконанні зображена на рисунку 1.3.

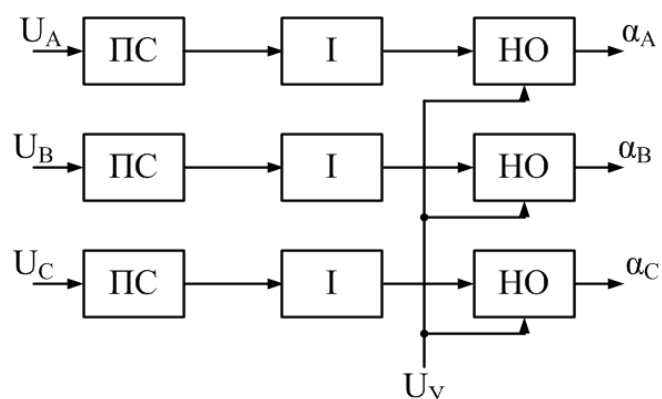


Рисунок 1.3 – Схема синхронної багатоканальної СІФК

Кожний канал даної СІФК містить пристрій синхронізації, інтегратор (І) та нуль-орган (НО). Керуючий сигнал подається одночасно на входи всіх НО. Така СІФК в аналоговому виконанні має джерела можливої асиметрії кутів α .

В цифровому виконанні вихідний сигнал інтегратора відображається рядом цілих чисел; керуючий сигнал також рівний цілому числу i , відповідно, I та HO похибки у відлік кутів α не вносять. Єдине джерело апаратної похибки – ширина імпульсу синхронізації.

Інший варіант реалізації схема синхронної багатоканальної СІФК приведений на рисунку 1.4 [6], на якому приведені позначення: ПС1...ПС3 – пристрої синхронізації; ГОН1...ГОН3 – генератори опорний напруг; К1...К3 – компаратори; ФІ1...ФІ3 – формувачі імпульсів керування силовими ключами; Р – розподільник; ПП – підсилювач потужності.

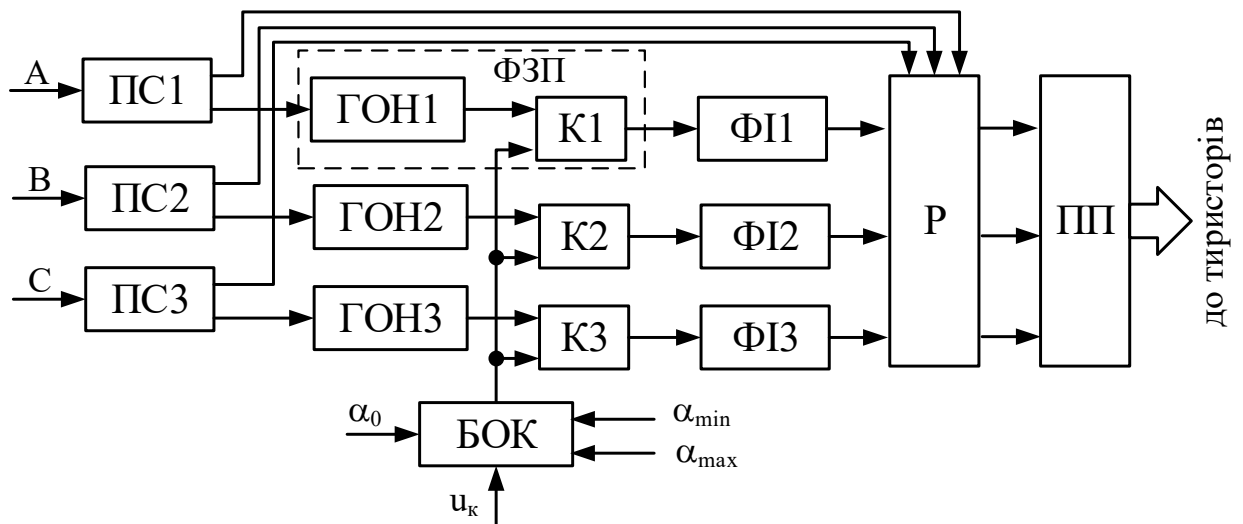


Рисунок 1.4 – Схема синхронної багатоканальної СІФК

Синхронні одноканальні СІФК є двох типів: з тривалістю пилкоподібної напруги на більше $2\pi/m$ і не більше π . Функціональна схема синхронної одноканальної СІФК першого типу представлена на рисунку 1.5.

СІФК містить пристрій синхронізації ПС в кожній фазі, три послідовно з'єднані блоки затримки БЗ і розподільник імпульсів РІ, що зв'язаний з одним з ПС для попередньої установки у вихідне положення. Кожен БЗ здійснює послідовний зсув імпульсів синхронізації пропорційно сигналу керування, але не більше ніж на $2\pi/m$. Кут α дорівнює сумарному значенню зсуву імпульсів синхронізації трьома БЗ. Оскільки фазозсуваючий пристрій являється єдиним

для всіх каналів, то в синхронних одно каналних СІФК даного типу лише одне джерело апаратної похибки відліку кутів α – ширина імпульсу синхронізації. Це справедливо для СІФК як з аналоговою, так і цифровою обробкою інформації.

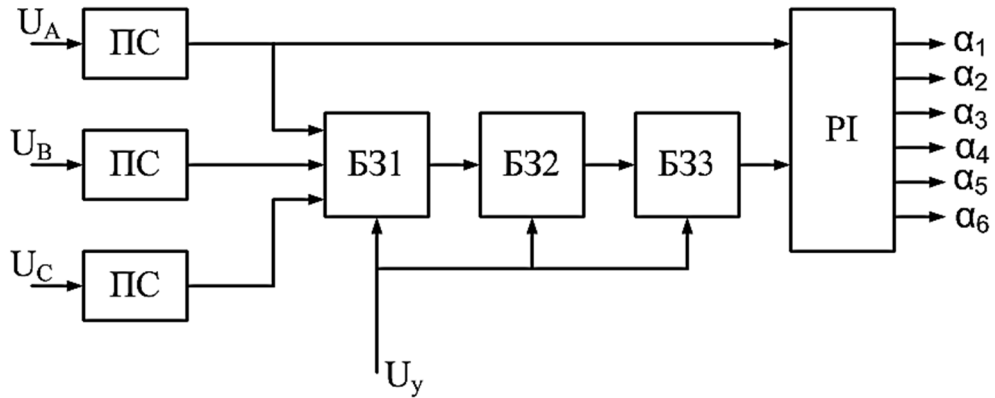


Рисунок 1.5 – Схема синхронної одноканальної СІФК першого типу

Функціональна схема синхронної одноканальної СІФК другого типу приведена на рисунку 1.6.

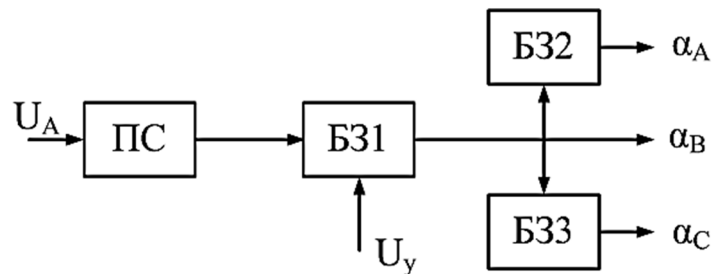


Рисунок 1.6 – Схема синхронної одноканальної СІФК другого типу

СІФК синхронізується від однієї фази, зсув керуючого імпульсу в БЗ1 також виконується тільки для тиристора цієї фази. Керуючі імпульси для двох інших фаз отримуються шляхом затримки імпульсів з виходу БЗ1 в БЗ2 і БЗ3 на електричні кути 120° та 240° відповідно. Система такого типу в аналоговому виконанні має лише одне джерело асиметрії – нестабільність затримок в БЗ2 і БЗ3. В цифровому варіанті цей недолік може бути усунений. Однак синхронна одноканальна СІФК такого типу має найгірші динамічні показники серед усіх

типів СІФК, що розглядаються, і тому в системах автоматичного керування застосовується рідко.

Інша схема реалізації синхронної одноканальної СІФК приведена на рисунку 1.7 [6].

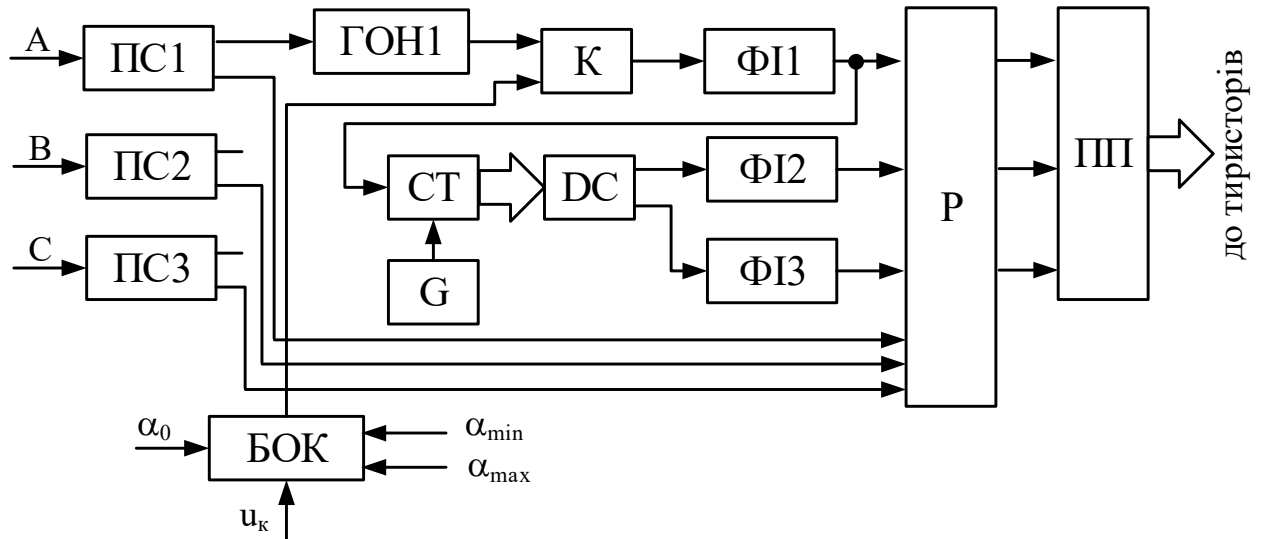


Рисунок 1.7 – Схема синхронної одноканальної СІФК

Імпульси управління в інших каналах формуються за допомогою лічильної схеми, виконаної, наприклад, на основі лічильника СТ, генератора імпульсів G і дешифратора DC. При появи на виході ФІ1 переднього фронту імпульсу лічильник СТ обтулиться і починається рахунок імпульсів з виходу генератора G. При досягненні чисел N_1 , N_2 , що відповідають заданому інтервалу часу, на виході СТ дешифратор DC послідовно запускає ФІ2 та ФІ3 фаз В і С. Задані інтервали часу, що формуються лічильної схемою.

Функціональна схема асинхронної СІФК приведена на рисунку 1.8.

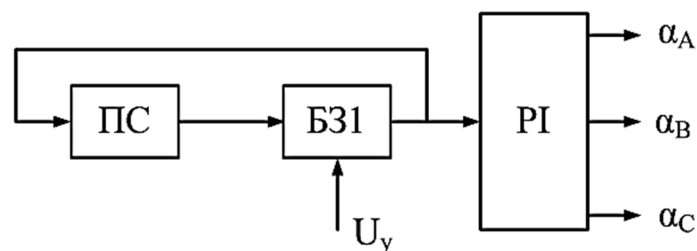


Рисунок 1.8 – Схема асинхронної СІФК

Пристрій синхронізації виконує повернення інтегратора блока БЗ у вихідне положення в момент увімкнення тиристора. Тому затримка ввімкнення наступного тиристора відраховується не від напруги мережі, а від моменту увімкнення попереднього тиристора. Необхідні значення кутів α підтримуються за рахунок від'ємного зворотного зв'язку за однією з вихідних координат перетворювача. Тому асинхронні СІФК не можуть працювати без сигналу зворотного зв'язку і застосовуються лише в замкнутих САК. Синхронні ж можуть працювати як в замкнутих, так і в розімкнутих системах автоматичного керування.

Інша схема реалізації асинхронної СІФК приведена на рисунку 1.9 [6].

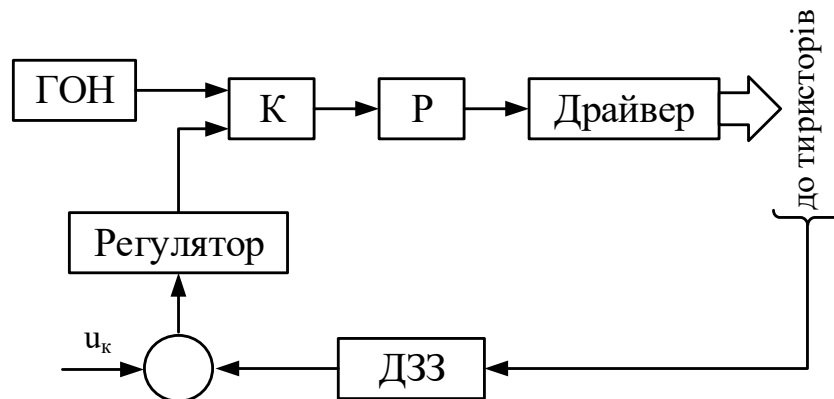


Рисунок 1.9 – Схема асинхронної СІФК

В асинхронних СІФК внаслідок одноканального принципу побудови можна добитися мінімальної асиметрії кутів. Наступне місце займають синхронні цифрові СІФК та синхронна аналогова СІФК, що мають лише по одному джерелу апаратної похибки. Найгіршою з точки зору мінімуму асиметрії кутів α є синхронна аналогова багатоканальна СІФК.

Щодо швидкодії СІФК вертикальної дії, то в даний час існує ряд рішень, що дозволяють і в одноканальних синхронних, і в асинхронних СІФК досягнути граничних характеристик, якими володіють багатоканальні синхронні СІФК вертикальної дії.

Інтегруючі СІФК за принципом своєї дії не можуть забезпечити граничну швидкодію. Але саме завдяки своїм інтегруючим властивостям такі СІФК є набагато більш завадостійкими по каналу управління ніж СІФК вертикальної дії

Цифрова СІФК перетворювача напруги (рисунок 1.10) складається з наступних блоків [20]:

- блоку синхронізації БС;
- таймера відбиття фази зміщення імпульсів ТВФ;
- аналого-цифрового перетворювача АЦП.

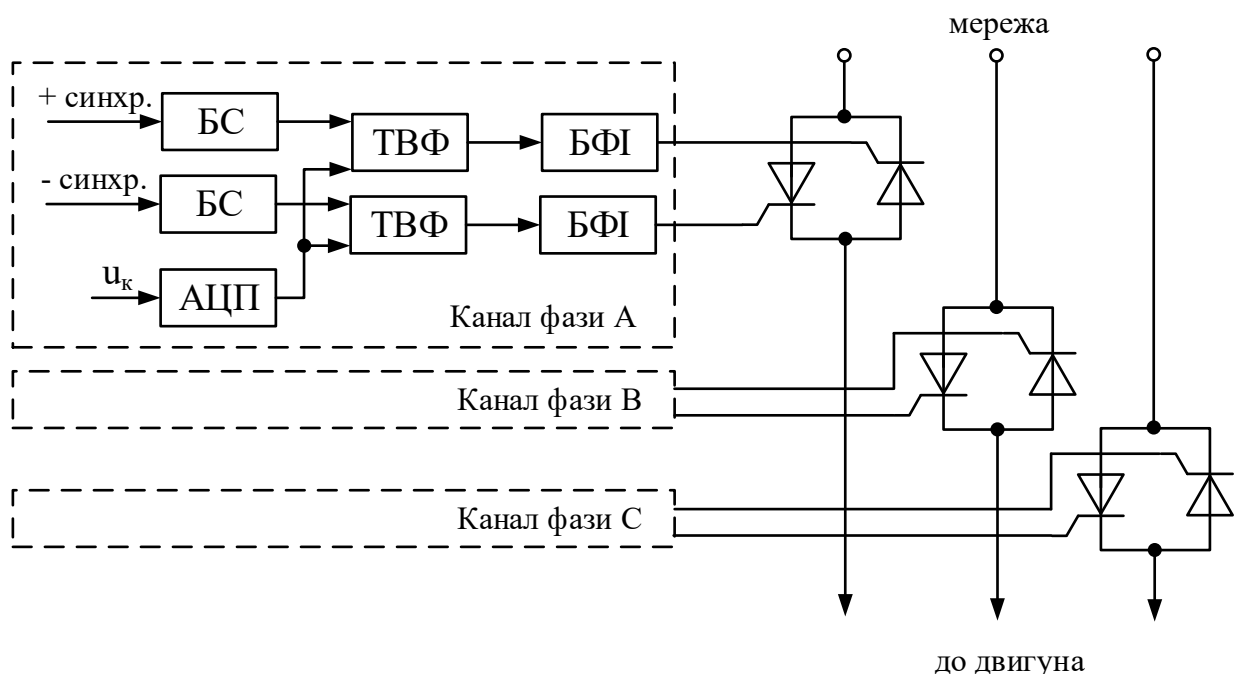


Рисунок 1.10 – Схема СІФК з фазним управлінням імпульсів відмикання

Схема БС, ведена мережею електроживлення, виділяє точку початку часу відліку відповідно в додатній і від'ємній напівхвилях фазної напруги і дозволяє відбиття інтервалу відліку фази для зміщення імпульсів управління.

Задання на необхідний рівень вихідної напруги перетворювача визначається кодом оцифрування напруги на вході АЦП, який далі подається на входи завантаження реверсивного лічильника ТВФ.

Внаслідок інкрементування коду в лічильнику ТВФ до нульового рівня відбувається формування керуючого імпульсу. Через малі тривалості останнього відкриття тиристорів перетворювача не завжди гарантовано. Тому БФІ виконує функцію розширення імпульсу й узгодження його потужності з потужністю елемента управління.

Регулювання амплітуди вихідної напруги можна реалізувати й з використанням широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [20]. Такий підхід, як правило, реалізують на базі транзисторних ключів.

В цьому випадку система СІФК дещо відрізняється від попередньої, оскільки працює з повністю керованими ключами. Схема такої СІФК представлена на рисунку 1.11.

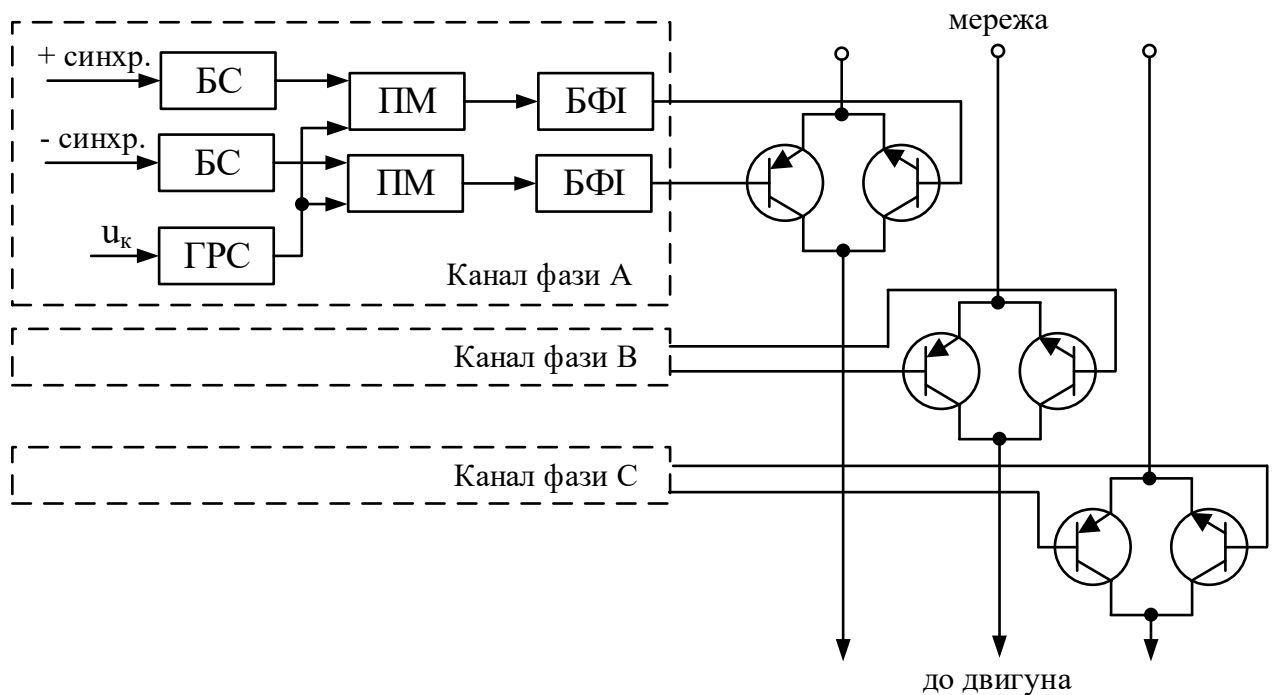


Рисунок 1.11 – Схема СІФК з широтно-імпульсним керуванням

На рисунку 1.11 введені такі позначення : БС – блок синхронізації; ГРС – генератор регульованої скважності імпульсів; ПМ – пристрій модуляції сигналів управління; БФІ – блок формування імпульсів.

Принципово амплітуда напруг для обох випадків визначається однаково: її величина пропорційна площі інтервалів відкриття ключів.

ШІМ з СІФК в порівнянні з фазними схемами простіша і має більшу надійність. В іншому – обидві системи управління можна вважати рівноцінними.

1.3 Висновки

З аналізу видно, що, якщо в СІФК вертикальної дії імпульсна завада зменшує напругу управління настільки, що u_y стає меншою u_n в цей момент часу, то відбувається помилкове спрацювання СІФК під дією завади. В інтегруючій СІФК аналогічна проблема практично не вносить похибки, оскільки її середнє значення досить незначне порівняно зі середнім значенням u_y на інтервалі від 0 до α (див. рисунок 1.5). Відповідно, інтегруючі СІФК характеризуються значно меншою асиметрією кутів α при дії періодичних імпульсних завад по каналу управління, ніж СІФК вертикальної дії.

2 РОЗРОБКА СХЕМИ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ

2.1 Принцип побудови СІФК

Розробку аналогово-цифрової СІФК доцільно почати з аналізу принципу побудови цифрового фазозміщуючого пристрою. Вираз для визначення кутів управління в синхронних СІФК має вигляд [10]:

$$\alpha_1 = \theta_1 - \frac{(i-1) \cdot 2\pi}{m - \theta_0}, \quad (2.1)$$

де θ_1 – кут подачі i -го імпульсу управління;

θ_0 – кут випередження початку відліку відносно нульового значення кута α .

Виходячи з цієї формули, для цифрового фазозміщуючого пристрою синхронних багатоканальних СІФК в усталеному режимі можна записати співвідношення [21], [22]:

$$\alpha = T_\tau N - \theta_0, \quad (2.2)$$

де N – код, що задає кут α ;

T_τ – період тактових імпульсів задаючого генератора системи управління.

При управлінні системою СІФК ТРН доводиться оперувати неперервними величинами (струм, напруга), що при використанні класичних принципів побудови цифрових СІФК призводить до появи додаткової операції – перетворення аналогового сигналу в код. Ця операція здійснюється пристроями, що по складності перевищують саму СІФК. Точність усієї системи управління в цьому випадку буде визначатися точністю перетворення аналог – код. Але зі співвідношення (2.2) видно, що керувати кутом α можливо не лише зміною N , що здійснюється при цифровому управлінні, але і зміною T_τ . Це забезпечує інший підхід до побудови цифрової СІФК, що легко поєднується з аналоговими регуляторами системи управління. Такій підхід

полягає в завданні постійної кількості N в кожному каналі СІФК і зміні періоду тактових імпульсів, що призводить до відповідної зміни кута α . перетворення аналогового сигналу в період тактових імпульсів відбувається з похибкою того ж порядку, що і похибка перетворення в код, а схема перетворювача напруги в період тактових імпульсів є лише частиною схеми перетворення напруга – код. Крім того вказаний принцип побудови призводить до значного спрощення цифрової частини СІФК при зберіганні більшості переваг, властивих цифровим СІФК, в тому числі мінімальної асиметрії керуючих імпульсів, що зумовлена апаратною похибкою [23] – [26].

Функціональна схема СІФК, побудована в трифазному варіанті з використанням вказаного підходу представлена на рисунку 2.1, а діаграми сигналів у ній – на рисунку 2.2.

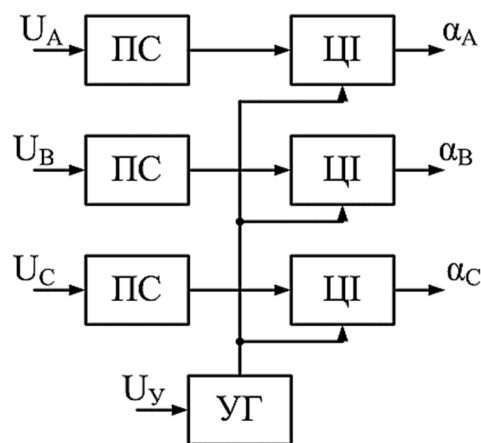


Рисунок 2.1 – Схема трифазної аналогово-цифрової СІФК

Система імпульсно-фазового керування складається з пристроїв синхронізації ПС та фазозміщуючих пристроїв на базі цифрових інтеграторів ЦІ в кожному каналі, а також спільного для всіх каналів керованого генератора УГ, що виконує перетворення аналогового вхідного сигналу u_y в період T_τ тактових імпульсів.

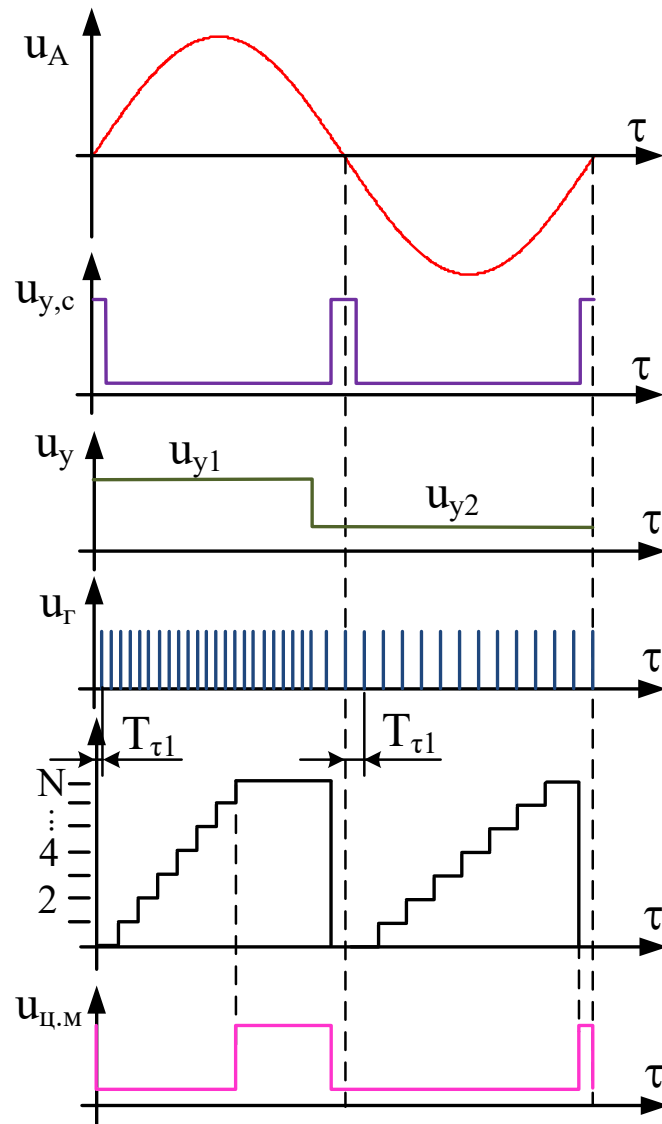


Рисунок 2.2 – Діаграми сигналів аналогово-цифрової трифазної СІФК

Цифровий інтегратор є найпростішим двійковим лічильником послідовного типу. Після закінчення дії імпульсу синхронізації в лічильнику ЦІ починає рости число, що записується імпульсами, які надходять з УГ, причому швидкість запису пропорційна періоду T_{τ} . В момент приходу N -го тактового імпульсу подається сигнал заборони на подальше надходження тактових імпульсів і командний сигнал на ввімкнення тиристора. Записаний код N і, відповідно, сигнал на ввімкнення тиристора зберігаються до приходу наступного імпульсу синхронізації.

В якості УГ можуть використовуватися будь-які з відомих імпульсних

перетворювачів, що задовольняють вимогам електричного узгодження з іншою частиною СІФК і володіють необхідним діапазоном перетворення та чутливістю. Вказані характеристики визначаються з загального для цифрових СІФК виразу (2.2), звідки отримуємо формулу для визначення періоду T_τ в функції необхідного кута управління [22]:

$$T_\tau = \frac{\alpha + \theta_0}{N}. \quad (2.3)$$

З (2.3) видно, що при $\theta_0 = 0$, $\lim_{\alpha \rightarrow 0} T_\tau(\alpha) = 0$, тобто при зменшенні необхідного кута α період тактових імпульсів прямує до нуля. Отже для СІФК з $\alpha_{\min} = 0$ необхідно застосовувати управління з обов'язковою умовою $\theta_0 \neq 0$.

Необхідні мінімальні та максимальні значення T_τ визначаються з (2.3) за умови $\alpha = \alpha_{\min}$ і α_{\max} відповідно, а діапазон D_τ зміни періоду залежить від співвідношення кутів θ_0 , α_{\min} , α_{\max} [6]:

$$D_\tau = \frac{\alpha_{\max} + \theta_0}{\alpha_{\min} + \theta_0}. \quad (2.4)$$

Обмеження кутів α в СІФК забезпечується обмеженням періоду УГ в межах від $T_{\tau \min}$ до $T_{\tau \max}$ при значеннях управляючої дії, що виходить за межі діапазону регулювання. За умови що пристрої синхронізації не вносять похибки в роботу СІФК, абсолютна похибка відліку кута α за рахунок дискретизації визначається величиною [6]:

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha + \theta_0}{N}. \quad (2.5)$$

Дана величина є функцією кута α . Відносна похибка при управлінні з $\theta_0 = 0$ дорівнює [22]:

$$\delta\alpha = \frac{1}{N}. \quad (2.6)$$

Похибка СІФК в кожному каналі не є постійною. В зв'язку з тим, що частоти УГ і мережі не синхронізовані, ця похибка змінюється за періодичним законом з амплітудою $\delta\alpha$ і періодом, що визначається не кратністю частот УГ і мережі.

Якщо порівняти дану СІФК з аналоговими за принципом побудови, то очевидна її ідентичність аналоговій СІФК інтегруючого типу, причому роль опорного сигналу виконує постійний код N , а розгортається сигнал T_τ прямо пропорційний u_y .

Слід відмітити, що УГ необхідно виконувати з лінійним перетворенням керуючого сигналу саме в період, а не в частоту тактових імпульсів, оскільки лише в цьому випадку згідно (2.2) отримаємо інтегруючу СІФК з лінійною статичною характеристикою.

2.2 Математична модель СІФК

Комутаційні функції F_{ij} , які відображають стан перетворювача і визначають номер структури силового кола, визначаються гармонічною знакозмінною функцією $f_{ij}(t)$ синуса або косинуса [27].

Математичний опис комутаційних функцій в цьому випадку, при формуванні математичної моделі перетворювача можна представити за допомогою сигнальних функцій [27]:

$$f_{ij}(t) = \text{sign}[\sin(\omega t)] \quad (2.7)$$

або

$$f_{ij}(t) = \text{sign}[\cos(\omega t)]. \quad (2.8)$$

При переході до відносних одиниць, вирази (2.7) та (2.8) можна представити як

$$f_{ij}(t) = \text{sign}[\sin(t)], \quad (2.9)$$

$$f_{ij}(t) = \text{sign}[\cos(t)]. \quad (2.10)$$

Вектор-функцію $\bar{f}(t)$ при трифазній напрузі мережі живлення може бути представлена у вигляді [27]:

$$\bar{f}(t) = \begin{pmatrix} f_{ia} \\ f_{ib} \\ f_{ic} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{sign}[\sin(t)] \\ \text{sign}[\sin(t - \Delta t)] \\ \text{sign}[\sin(t + \Delta t)] \end{pmatrix}, \quad (2.11)$$

де Δ – кут зсуву за фазою в часі фазних напруг:

$$\Delta = \frac{2\pi}{3}. \quad (2.12)$$

Комутаційні функції можуть бути записаними у вигляді [27]:

$$f_1(t) = \frac{1}{2} \text{sign}[\sin(t) + 1], \quad (2.13)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{2} \text{sign}[\sin(t) - 1]. \quad (2.14)$$

Математичну модель СІФК можна сформулювати на основі рівнянь, що описують перетворення інформації про миттєві поточні значення змінних стану ключів силового кола напівпровідникового перетворювача в сигнал керування [27].

Стан ідеального ключа визначається комутаційною функцією $f(t)$, значення якої змінюється відносно логічних умов функціонування силового кола перетворювача в різних режимах роботи. Тому необхідна інформація про сигнали управління і опорні сигнали, поточні значення змінних станів силового кола.

Логічні умови, що визначають комутаційні функції, можна привести до нерівностей $\varphi \geq 0$ та $\varphi < 0$ відносно знакозмінної функції $\varphi(t)$.

Зміна значення комутаційної функції $f(t)$ відбувається стрибком на межі виконання нерівності в моменти перемикання ідеальних ключів.

Математична модель комутаційних функцій можна представити у вигляді сигнальних функцій [27]:

$$\begin{cases} f(t) = \text{sign}\varphi(t), \\ f(t) = \text{sign}\varphi(t) + 1, \\ f(t) = \text{sign}\varphi(t) - 1, \\ f(t) = \frac{1}{2} \text{sign}\varphi(t) - 1. \end{cases} \quad (2.15)$$

Системи з широтно-імпульсною модуляцією можна представити логічною функцією:

$$\varphi(t) = u_k(t) - u_{оп}(t) \quad (2.16)$$

або

$$\varphi(t) = u_6(t) + u_{оп}(t), \quad (2.17)$$

де $u_k(t)$ – напруга керування;

$u_{оп}(t)$ – опорна напруга.

Виходячи з таких міркувань, в загальному випадку математичну модель СІФК можна представити у вигляді:

1) напруги $u_{оп}(t)$, що має симетричну пилкоподібну форму на виході генератора опорного сигналу, яку можна представити у вигляді ряду Фур'є [27]:

$$u_{оп}(t) = 8 \cdot \frac{U_{моп}}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t \right); \quad (2.18)$$

2) напруги сигналу керування $u_k(t)$, яка може мати постійне значення $u_k(t) = \text{const}$, або може бути представлена тригонометричними синусо-косинусними функціями [27]:

$$u_k(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.19)$$

в яких значення початкової фази φ визначає момент включення силового ключа;

3) знакозмінної функції (2.17);

4) дискретного сигналу на виході з нуля-органу, який можна представити, скориставшись сигнальною функцією у вигляді [27]:

$$f(t) = \text{sign}\varphi(t); \quad (2.20)$$

5) сигналу керування ідеальними ключами:

$$f(t) = \text{sign}\varphi(t) + 1, \quad (2.21)$$

$$f(t) = \text{sign}\varphi(t) - 1. \quad (2.22)$$

Напругу на виході модулятора можна представити у вигляді [27]:

$$u_m(t) = (f_1(t) + f_2(t)) \cdot \frac{U_{\pi}}{2}. \quad (2.23)$$

2.3 Вибір схемних рішень

З урахуванням вимог до діапазону зміни кута α , є можливість різної побудови цифрової частини СІФК. Але в будь-якому варіанті базовим є спеціалізований цифровий інтегратор, функціональна схема якого приведена на рисунку 2.3.

Елемент D1 здійснює формування вузького синхронізуючого імпульсу $u_{y,c}$, що встановлює лічильник D3 у вихідне положення при переході крізь нуль синусоїди напруги мережі живлення. Елемент D2 здійснює заборону проходження на вхід D3 тактових імпульсів після надходження N-го імпульсу, зберігаючи таким чином команду на увімкнення тиристора на виході ЦІ до надходження наступного синхроімпульсу.

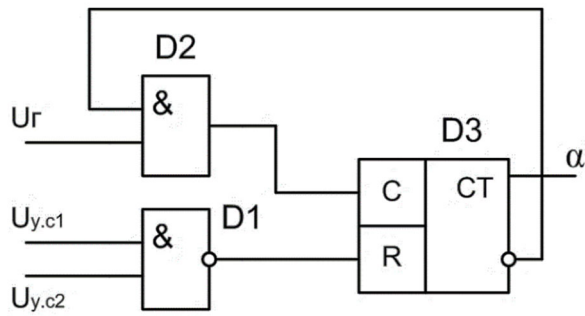


Рисунок 2.3 – Схема цифрового інтегратора

На рисунку 2.4 показана принципова схема фазозміщувального пристрою аналого-цифрової СІФК, призначеного для управління кутами увімкнення двох зустрічно-паралельних тиристорів.

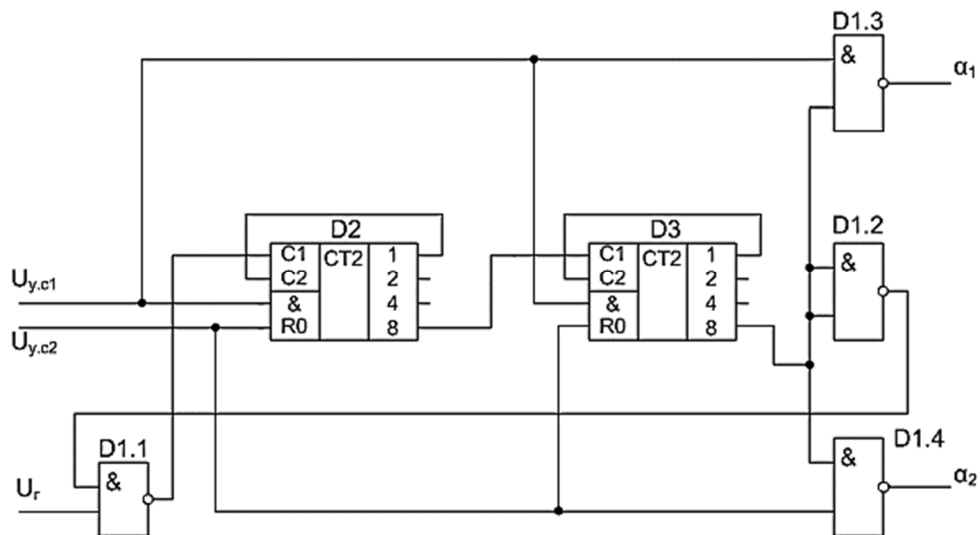


Рисунок 2.4 – Схема фазозміщувального пристрою СІФК

В даному СІФК введені один ЦІ та два логічні елементи D1.3 та D1.4, що призначені для подачі сигналу на увімкнення того тиристора, анодна напруга на якому додатна. При активно-індуктивному навантаженні ТРН кут $\alpha_{\min} \neq 0$, тому можлива синхронізація безпосередньо від напруги відповідної фази. Діаграми сигналів синхронізації приведені на рисунку 2.5. Дана система забезпечує управління в діапазоні кутів від α_{\min} до 180° , а також незалежність роботи трифазної схеми СІФК від порядку чергування фаз [21].

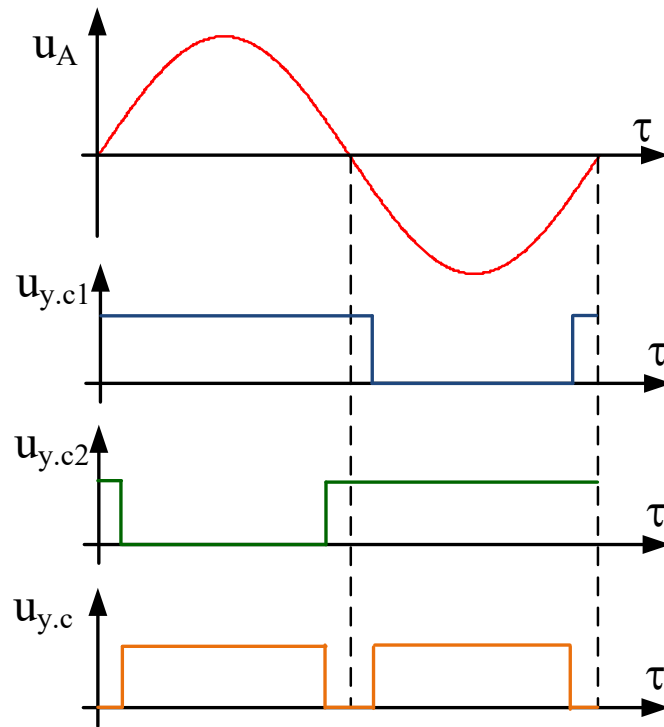


Рисунок 2.5 – Діаграми сигналів синхронізації

Вузол синхронізації у відповідності до свого функціонального призначення повинен забезпечувати фазозміщувальний пристрій опорними сигналами, відносно яких зсувається фаза імпульсів управління. В перших напівпровідникових СІФК використовувалися вузли синхронізації на основі діодних ключів. В даний час такі схеми майже не використовуються. Більш досконалими є схеми на основі транзисторних ключів. Оскільки кола управління повинні бути потенціально відокремлені від силових і зі сторони вузла синхронізації, то найбільш поширеними є транзисторні ключі з трансформаторним входом. Одна з таких схем приведена на рисунку 2.6, а діаграми вхідних та вихідних сигналів – на рисунку 2.7. Увімкнений паралельно переходу емітер-база транзистора діод призначений для активного закривання транзистора в додатній півперіод. Транзисторний ключ вносить похибку $\Delta\tau$ у визначення нульового значення моменту переходу напруги мережі через нуль, оскільки входить в насичення при деякому пороговому значення напруги $u_{п}$.

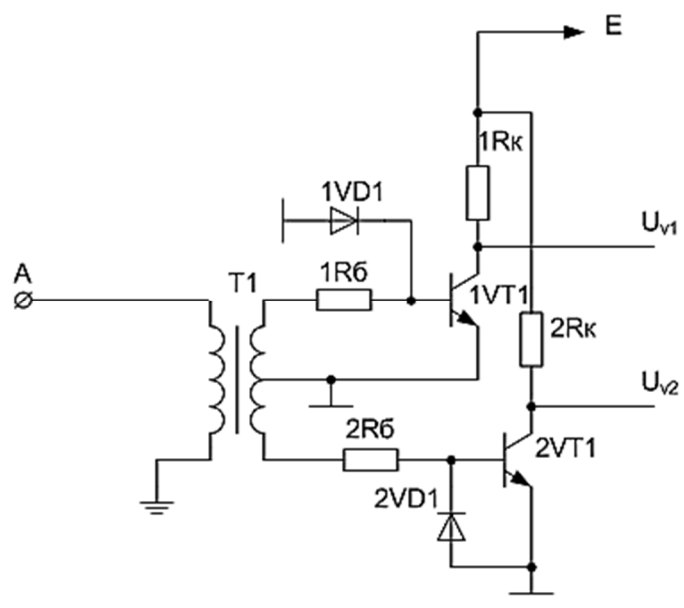


Рисунок 2.6 – Схема транзисторного ключа

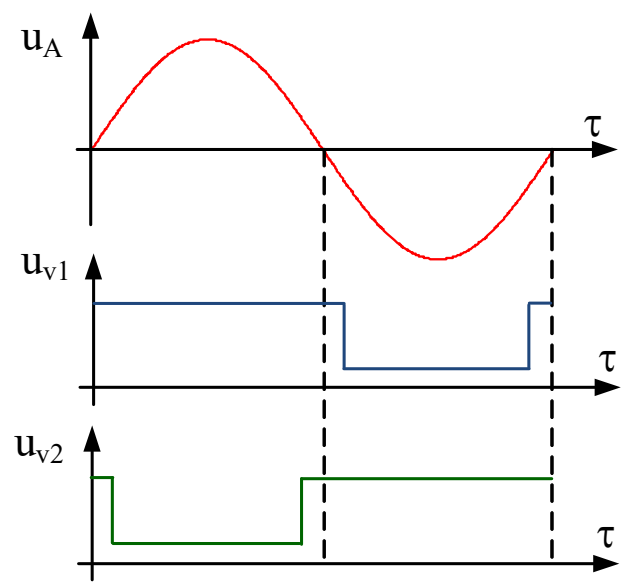


Рисунок 2.7 – Діаграми сигналів на вході та виході ключа

Наявність похибки у визначення нульового значення напруги мережі живлення призводить до ефекту перекриття одиничних сигналів u_{v1} , u_{v2} на виході транзисторних ключів синхронізації для протифазних транзисторів. Цей ефект дозволяє достатньо просто на одному логічному елементі I отримати вузький імпульс синхронізації, необхідний у випадку, коли зсув фази імпульсів управління для протифазних тиристорів відбувається в одному

каналі.

Як видно з приведених схем, розглянутий принцип дозволяє створювати прості цифрові СІФК з високими метрологічними характеристиками, що задовольняють різним вимогам, які визначаються схемою силової частини ТРН і навантаженням.

Вимоги до СІФК полягають в забезпеченні необхідного діапазону зміни кутів α , формуванні імпульсів відкривання тиристорів та забезпеченні достатньої симетрії кутів вмикання тиристорів в різних фазах. Крім того, СІФК повинна бути стійкою до завад для забезпечення стабільної роботи ТРН і разом з тим достатньо швидкодіючою для забезпечення заданих динамічних режимів.

Для виконання своїх функцій СІФК повинна містити три основні вузли:

- вузол синхронізації;
- фазозсуваючий пристрій;
- формувачі імпульсів струму керування тиристорів.

Вузол синхронізації і фазозсуваючий пристрій повинні забезпечувати керування кутом α Формувачі імпульсів струму керування тиристорів повинні забезпечувати надійне увімкнення тиристорів в задані моменти часу.

Діапазон зміни кутів α визначається їх максимальним і мінімальним значеннями. За умови зміни α до повного закриття тиристорів, його максимальне значення визначається типом ТРН. Відлік кутів α здійснюється відповідно до фазних напруг.

Проте при з'єднанні обмоток асинхронного двигуна в зірку без нульового проводу або в трикутник, тиристори фактично комутують лінійні напруги, тому для ТПН-6Т максимальне значення кута складає 150° , а для ТПН-3ТЗД і несиметричних – 210° .

Найменше значення α співпадає з мінімальним еквівалентним фазовим кутом φ_{\min} , що відповідає режимам асинхронного двигуна, близьким до номінальних.

Наприклад, для асинхронного двигуна серії 4А φ_{\min} близький до 20° .

Найбільші значення φ_{\min} відповідають режиму холостого ходу і для асинхронного двигуна цієї серії доходять до 87° . У розімкнених системах керування значення α_{\min} встановлюється рівним φ_{\min} , а включення тиристорів при зменшенні навантаження асинхронного двигуна забезпечується схемами пристроїв формування імпульсів керування.

При управлінні асинхронним двигуном, формувачі імпульсів керування, окрім необхідної для тиристорів даного типу амплітуди, повинні забезпечити і тривалість імпульсу струму керування, достатню для наростання струму навантаження до струму включення тиристора, приблизно рівного триразовому паспортному значенню його струму виключення.

При комутації кіл асинхронного двигуна необхідна тривалість імпульсів струму керування може досягати 300 мкс. Крім того, повинне забезпечуватися надійне включення тиристорів при зміні φ у вказаному діапазоні.

Ці вимоги задовольняються шляхом формування або «широких» імпульсів струму керування, тривалістю не менше 70° , або серії «вузьких» імпульсів тривалістю не менше 300 мкс кожен. Тривалість серії також повинна бути не менше 70° .

З урахуванням вище сказаного була розроблена своя система імпульсно-фазового керування силовим модулем тиристорного регулятора напруги.

Живлення СІФК здійснюється відповідно до схеми, приведеної на рисунку 2.8.

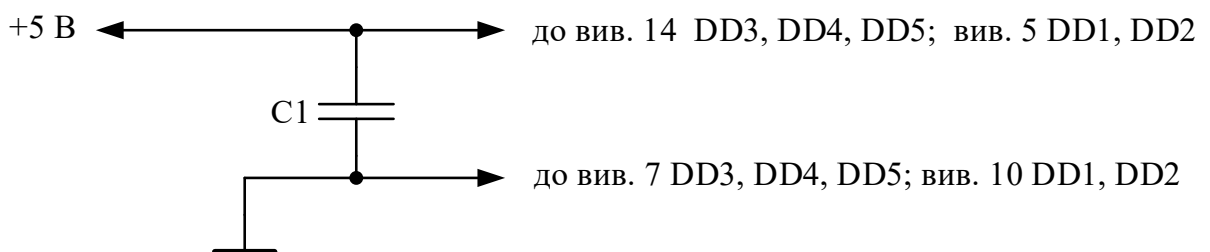


Рисунок 2.8 – Живлення СІФК

Принципова схема СІФК представлена на рисунку 2.9.

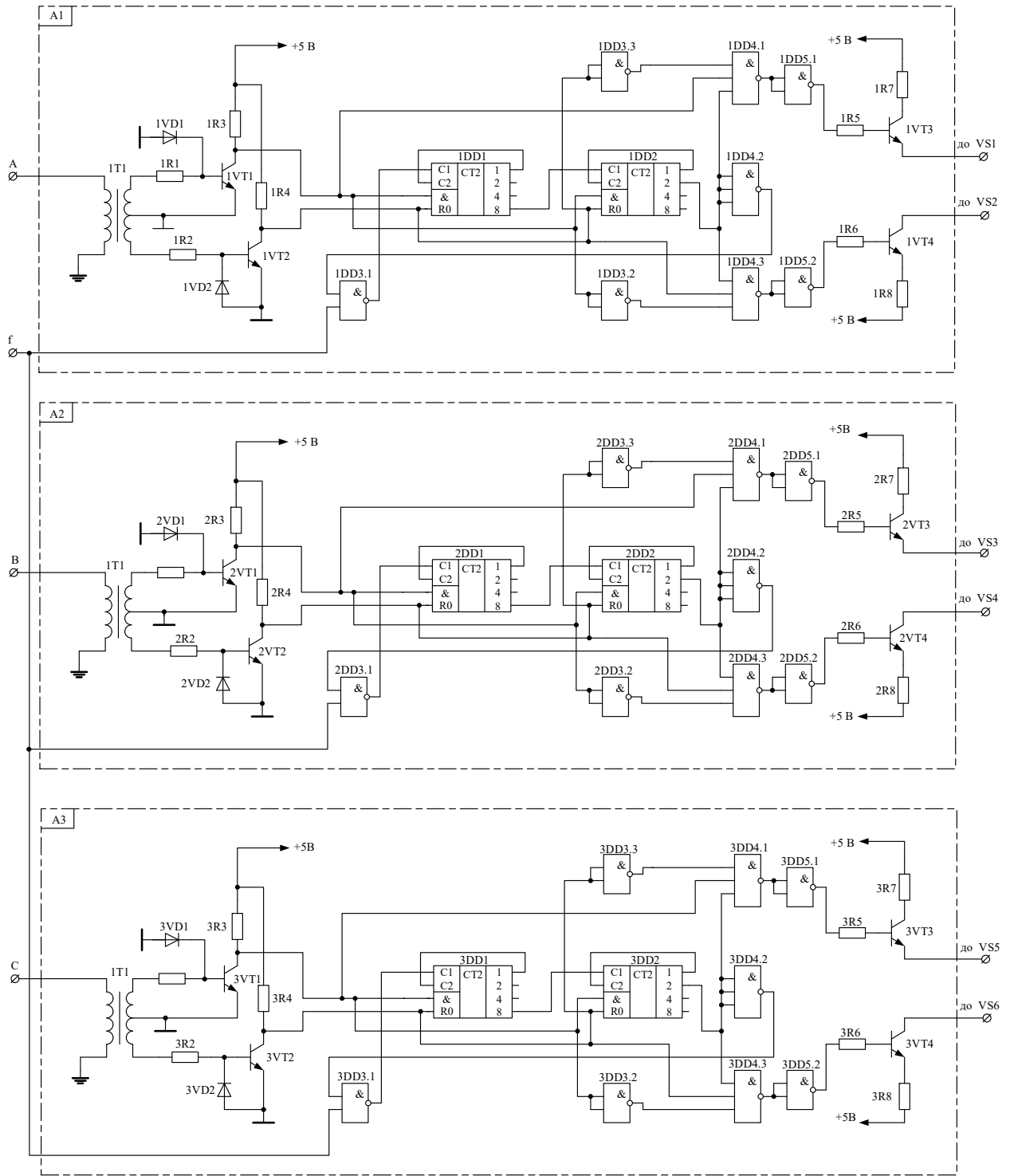


Рисунок 2.9 – Принципова схема СІФК

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ

Сьогодні відпрацювання схемних рішень СІФК на стадії проектування і налагодження може бути виконана за допомогою різних програмних продуктів. До них можна віднести програмні продукти Multisim та Simulink (Matlab) [20], [28] – [31].

3.1 Моделювання роботи СІФК в Multisim

Виконаємо моделювання розробленої системи імпульсно-фазового керування за допомогою пакету програм Multisim. Враховуючи розглянутий в попередніх розділах вибір структури та елементів СІФК, отримаємо наступну схему, зображену на рисунку 3.1.

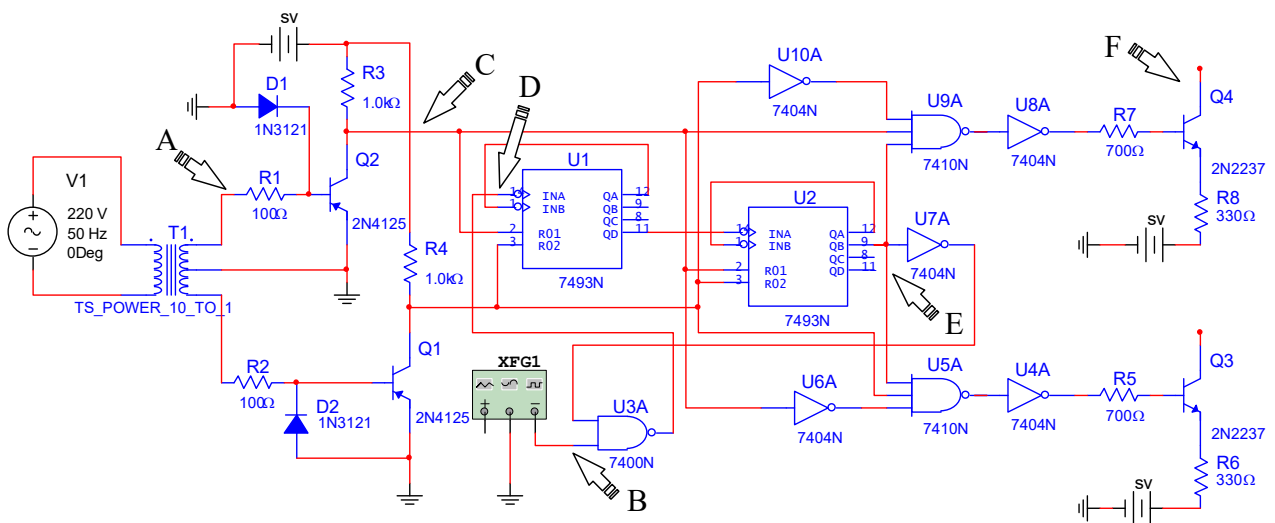


Рисунок 3.1 – Схема для моделювання СІФК в середовищі Multisim

Дану схему можна умовно розбити на три частини: вузол синхронізації, цифровий інтегратор і силові ключі.

Вузол синхронізації призначений для узгодження моменту відкриття тиристора з началом періоду. Він складається з понижуючого трансформатора,

який має середню точку, і двох каскадів на транзисторах, що працюють в ключовому режимі, і які формують сигнали синхронізації.

Цифровий інтегратор зібраний на двох лічильниках з додатковими елементами АБО-НІ і разом з двома аналогічними елементами представляє собою фазозміщувальний пристрій, що є перетворювачем керуючого сигналу в кут управління. Два додаткових елемента АБО-НІ є комутуючими і призначені для подачі сигналу на включення того тиристора, анодна напруга на якому додатна.

Силкові ключі зібрані на двох транзисторах і призначені для комутації тиристорів.

В результаті моделювання отримаємо наступні часові діаграми, приведені на рисунках 3.2 – 3.6.

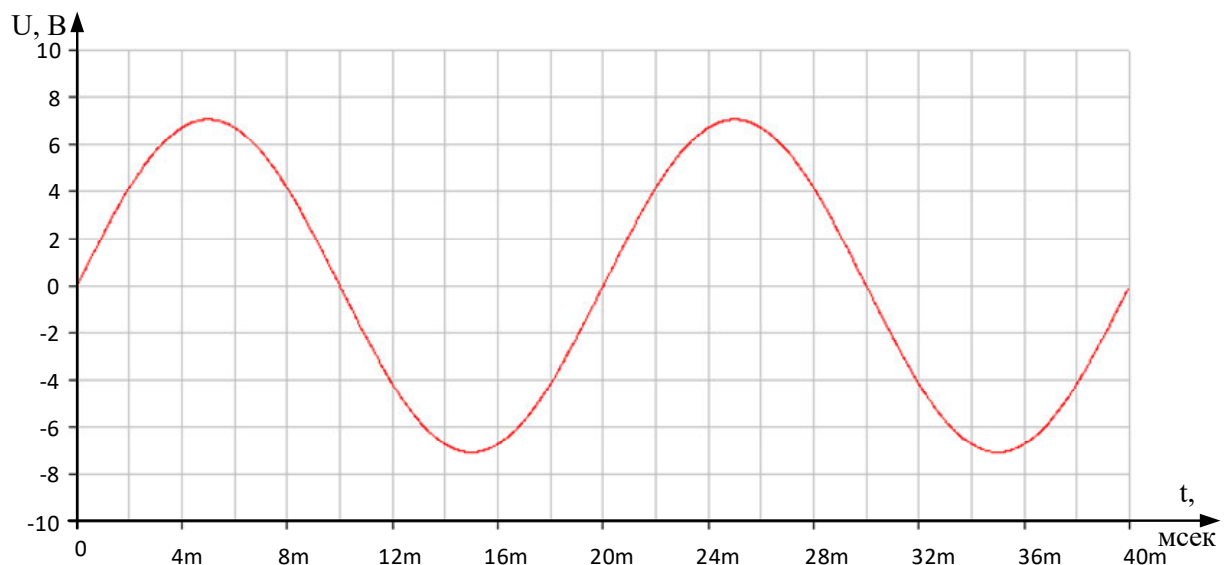


Рисунок 3.2 – Сигнал на вході ключа (точка А)

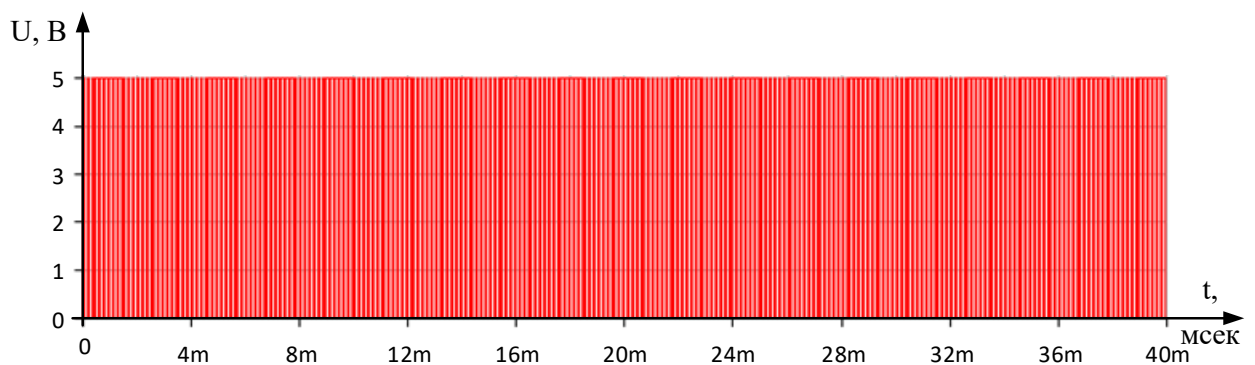


Рисунок 3.3 – Сигнал тактового генератора (точка В)

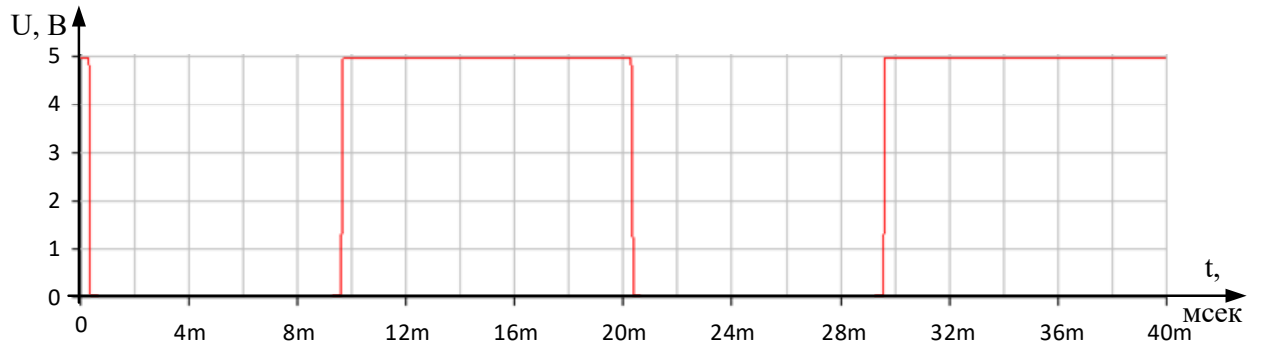


Рисунок 3.4 – Сигнал на виході ключа (точка С)

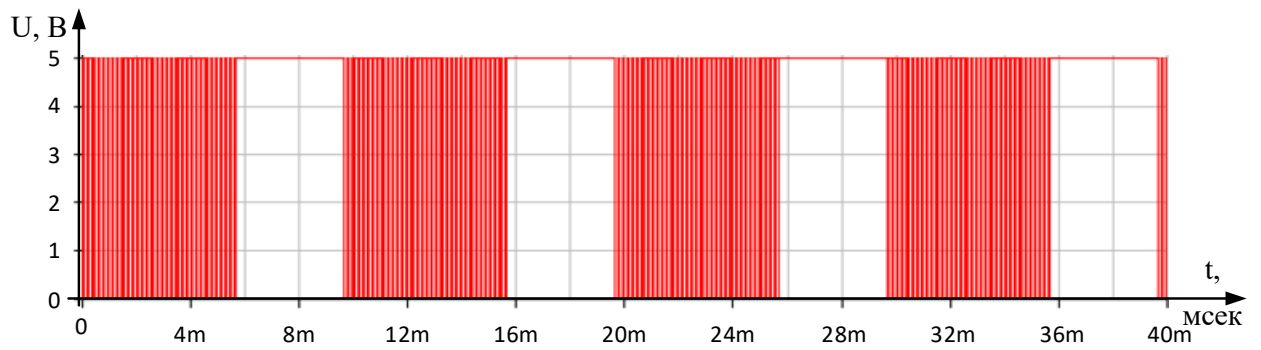


Рисунок 3.5 – Сигнал на вході лічильника (точка D)

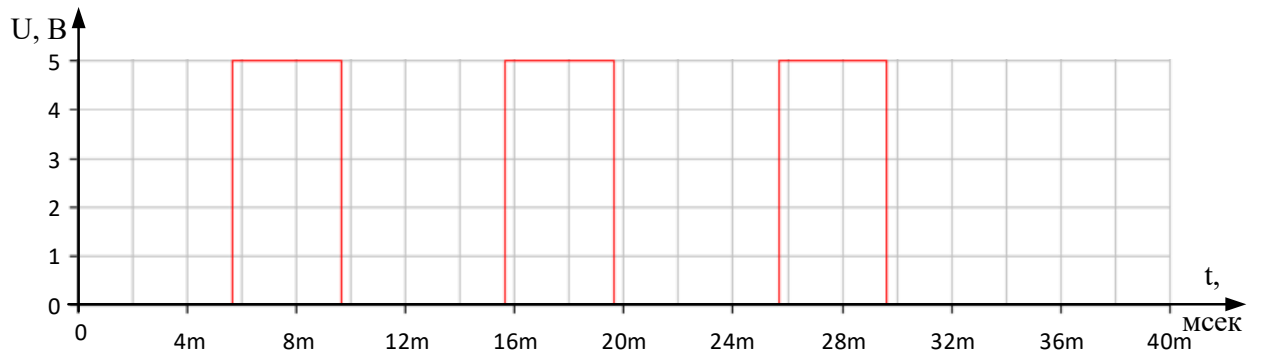


Рисунок 3.6 – Сигнал на виході лічильника (точка E)

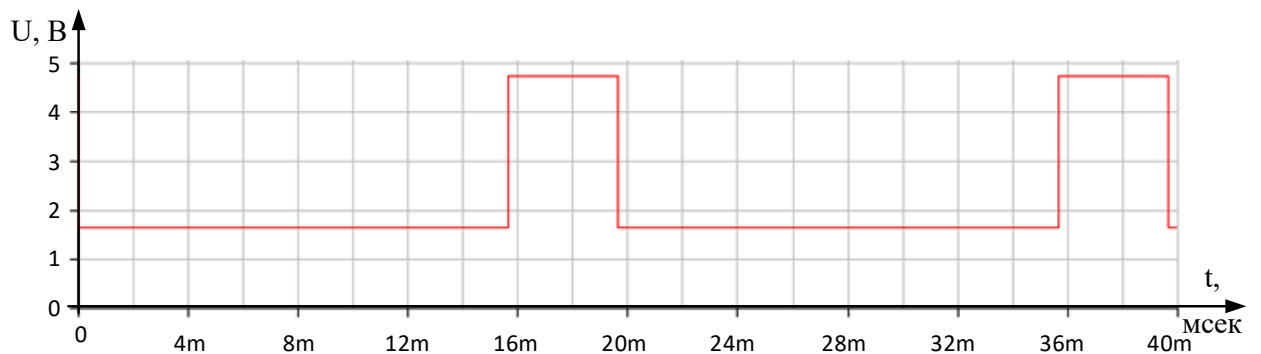


Рисунок 3.7 – Сигнал керування тиристором (точка F)

3.2 Моделювання роботи СІФК в Simulink

Модель СІФК в Simulink приведена на рисунку 3.8.

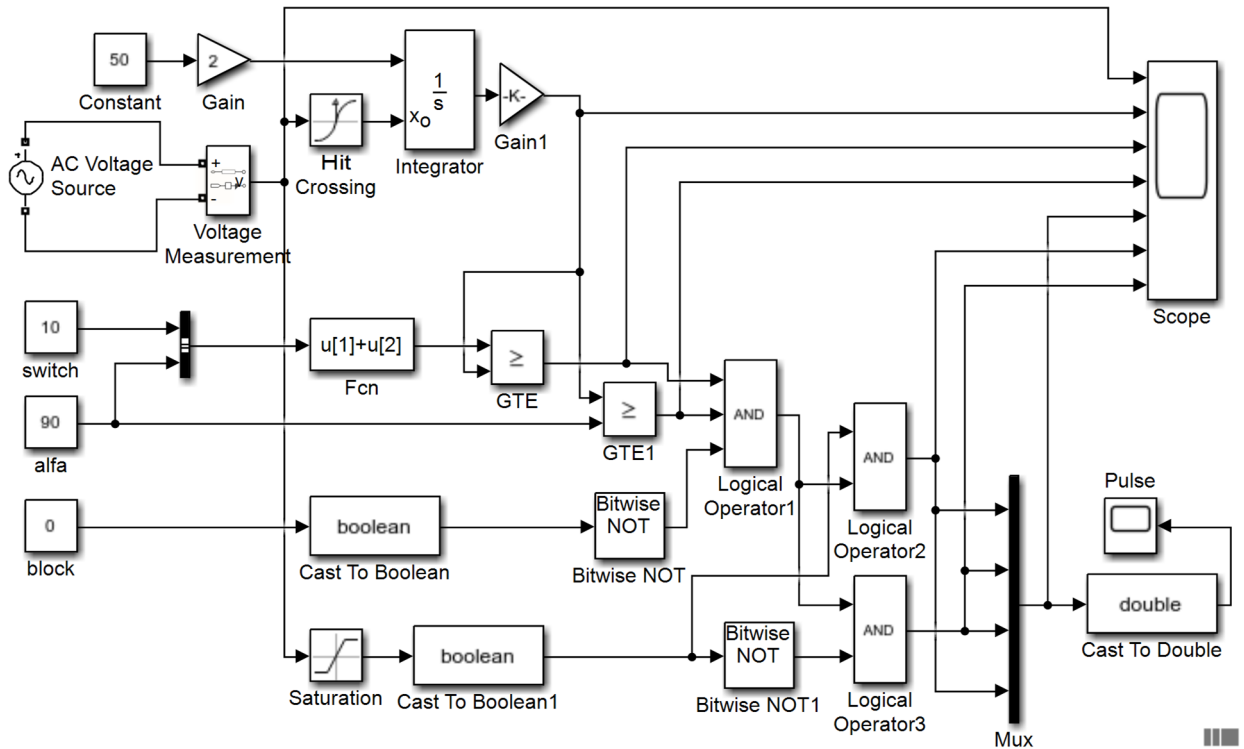


Рисунок 3.8 – Модель СІФК в Simulink

На схему подається синусоїдальна напруга у вигляді рисунка 3.9.

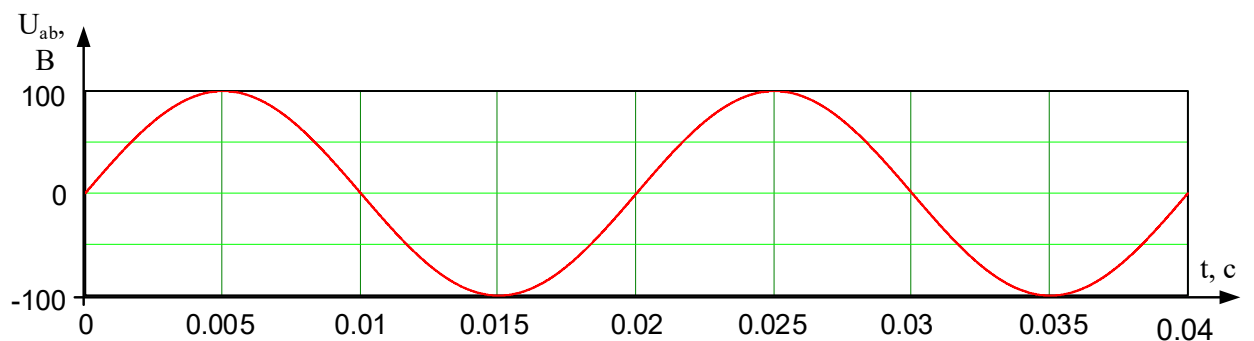


Рисунок 3.9 – Вхідний сигнал

Інтегратор встановлюється в вихідний нульовий стан сигналом переходу напруги синхронізації через нуль. За час половини періоду напруги

синхронізації вихідна напруга інтегратора досягає 1 В, оскільки коефіцієнт підсилення блоку Gain складає 2.

Далі черговим переходом напруги синхронізації через нуль, інтегратор встановлюється в початковий стан і починається черговий процес лінійного наростання вихідної напруги на виході.

Для забезпечення можливості введення кута управління α (alfa) в градусах, вихідна напруга інтегратора підсилюється в 180 разів. Отримаємо вихідну пилоподібну напругу генератора (рисунок 3.10).

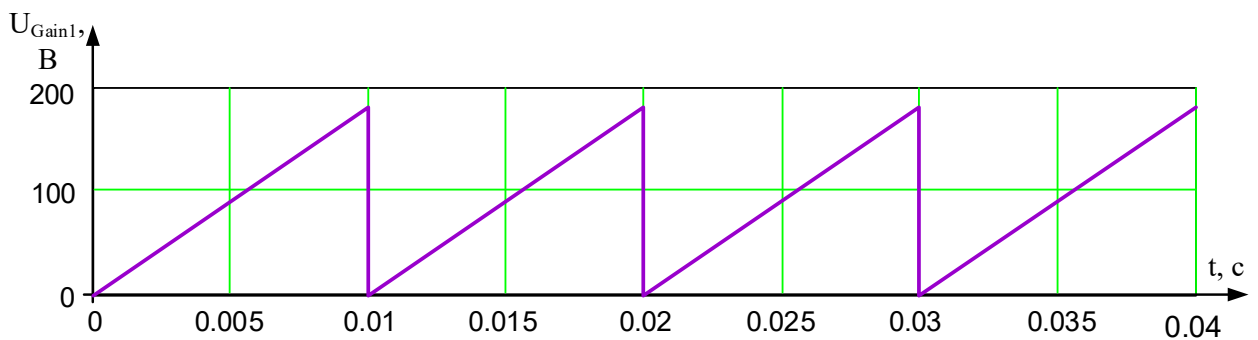


Рисунок 3.10 – Сигнал на виході блоку Gain1

Для формування імпульсного сигналу заданої тривалості switch використовується Logical Operator1. На перший вхід Logical Operator1 подається результат тимчасового порівняння сумарної напруги alfa і switch, а на другий – лише напруги alfa. При чому, напруга генератора в порівнянні з першою схемою порівняння GTE1 (рисунок 3.11) подана на перший вхід схеми порівняння GTE2 (рисунок 3.12).

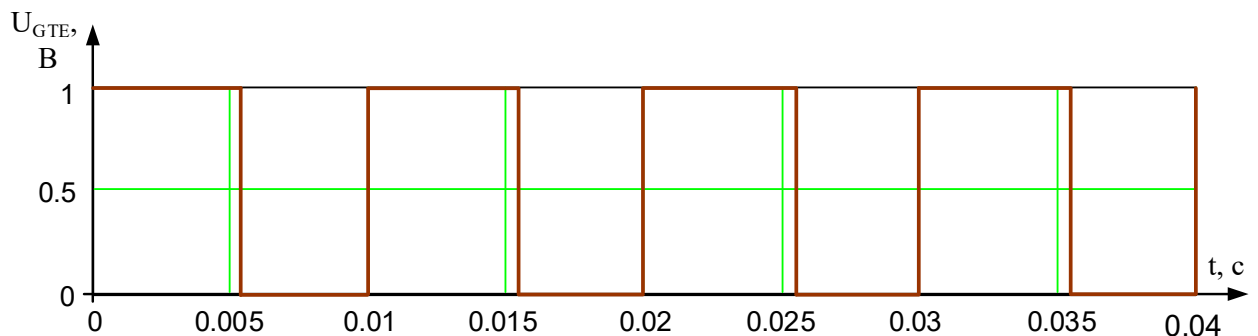


Рисунок 3.11 – Сигнал на виході блоку GTE

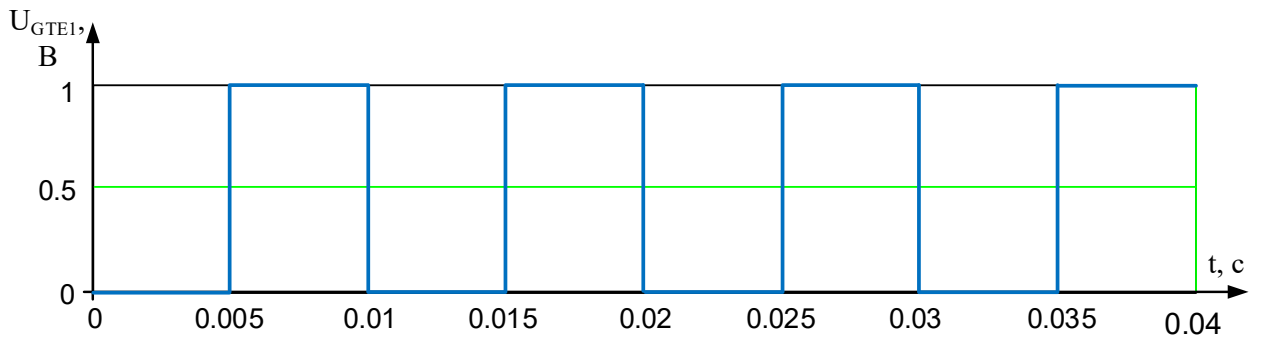


Рисунок 3.12 – Сигнал на виході блоку GTE1

Сигнали з виходу блоку Logical Operator2 приведені на рисунку 3.13, а з виходу блоку Logical Operator3 – на рисунку 3.14.

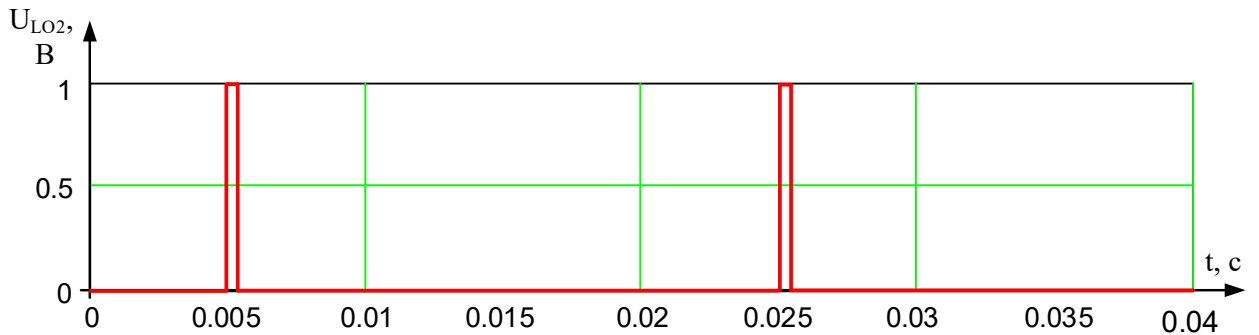


Рисунок 3.13 – Сигнал на виході блоку Logical Operator2

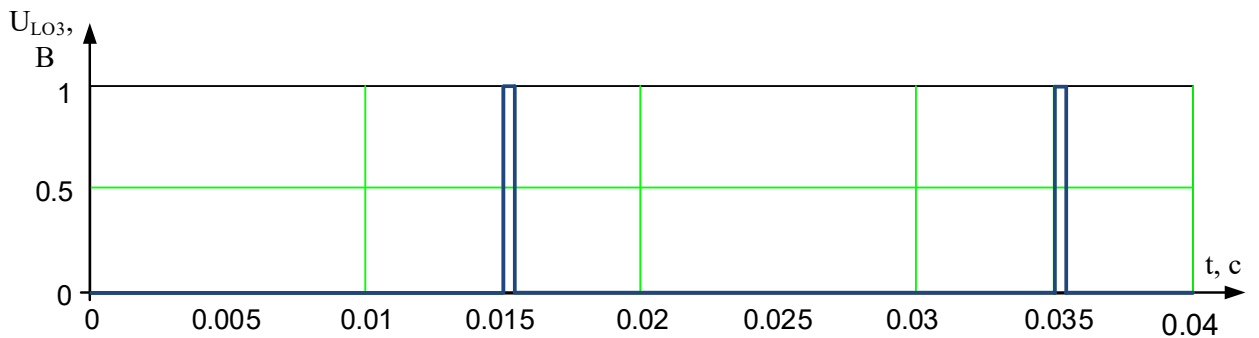


Рисунок 3.14 – Сигнал на виході блоку Logical Operator3

Така схема комутації входів схем порівняння дозволяє вирішити дві задачі: отримати фазовий зсув імпульсу управління і сформувати імпульс необхідної тривалості. На третій вхід Logical Operator1 через інвертор подається сигнал блокування СІФК у вигляді напруги в один вольт. На час

блокування всі сигнали Pulse відсутні (рисунок 3.15) і перетворювач не керується.

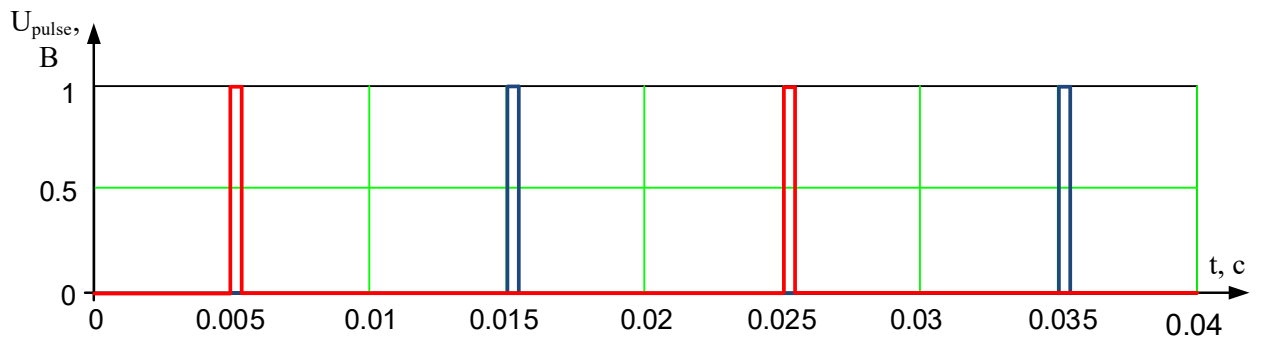


Рисунок 3.13 – Сигнал на осцилографі Pulse

На приведених діаграмах (див. рис. 3.9 – 3.15) представлений процес формування кута управління $\alpha = 90$ градусів.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ

В процесі розробки принципів схем було виконано ряд друкованих плат для СІФК, плата формувача імпульсів, а також кросс-плата, які представлені на рисунках 4.1 – 4.9.

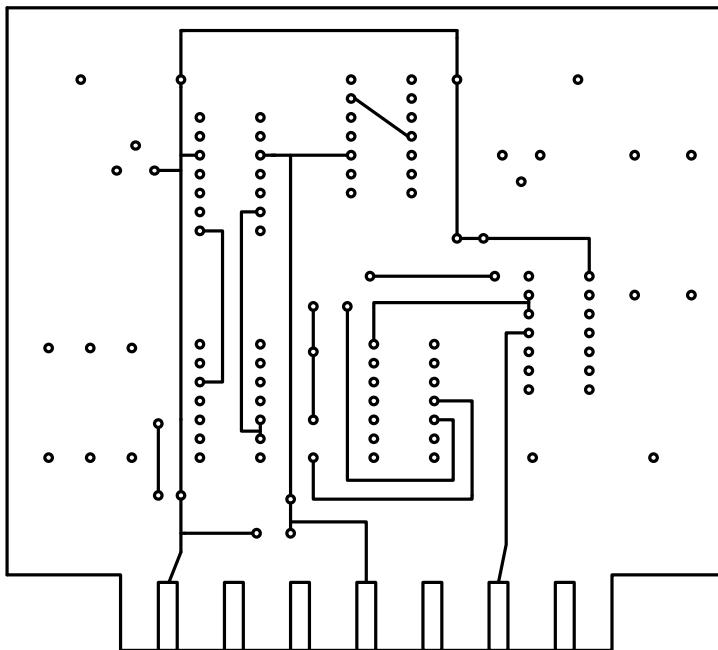


Рисунок 4.1 – Друкована плата СІФК, вигляд зверху

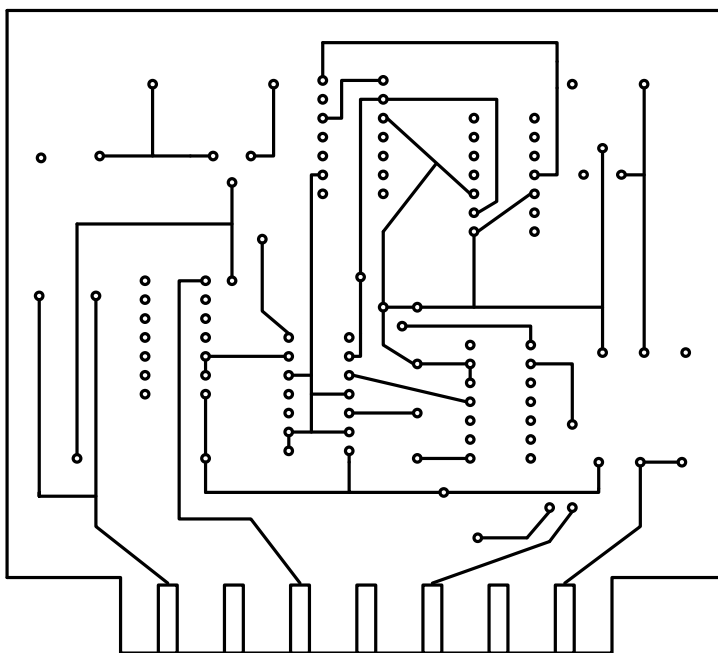


Рисунок 4.23 – Друкована плата СІФК, вигляд знизу

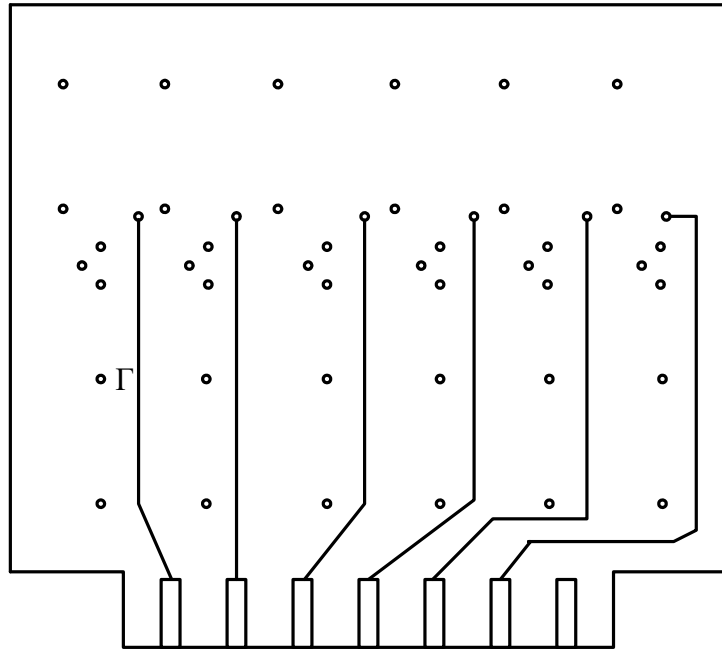


Рисунок 4.3 – Друкована плата формувача імпульсів, вигляд зверху

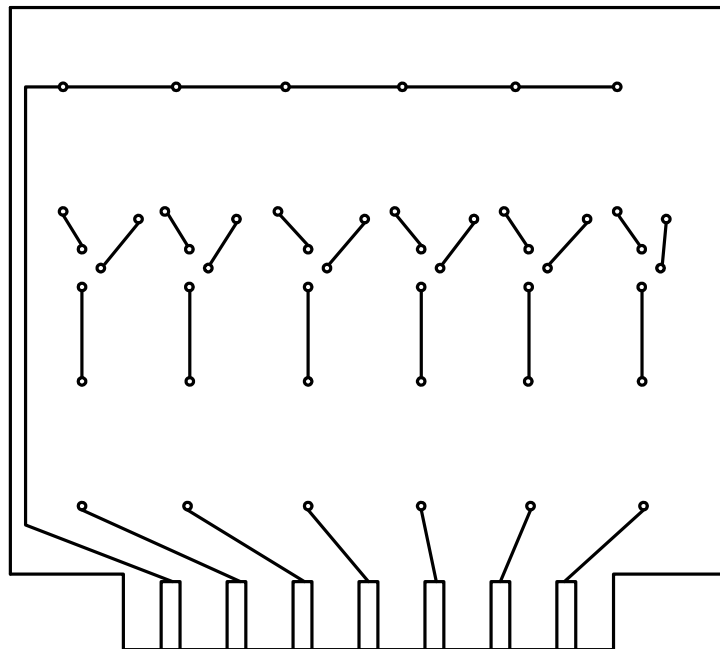


Рисунок 4.4 – Друкована плата формувача імпульсів, вигляд знизу

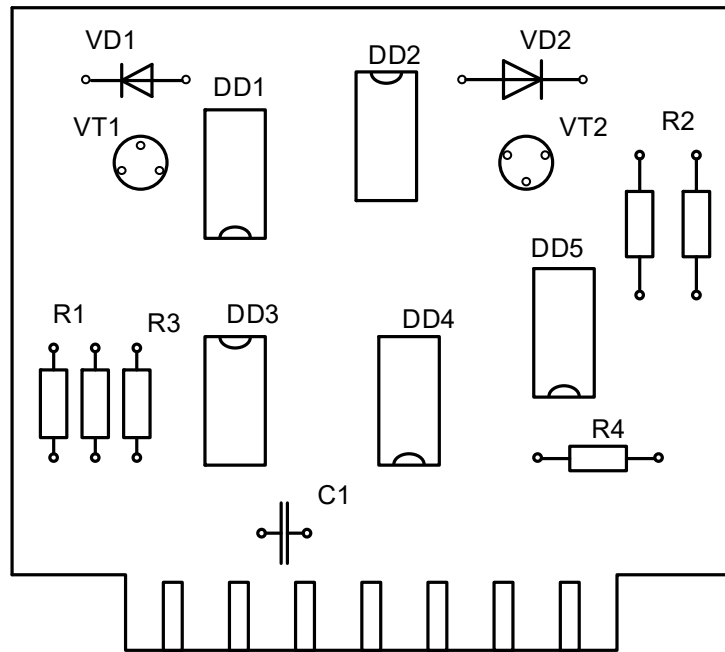


Рисунок 4.5 – Розміщення елементів на платі СІФК

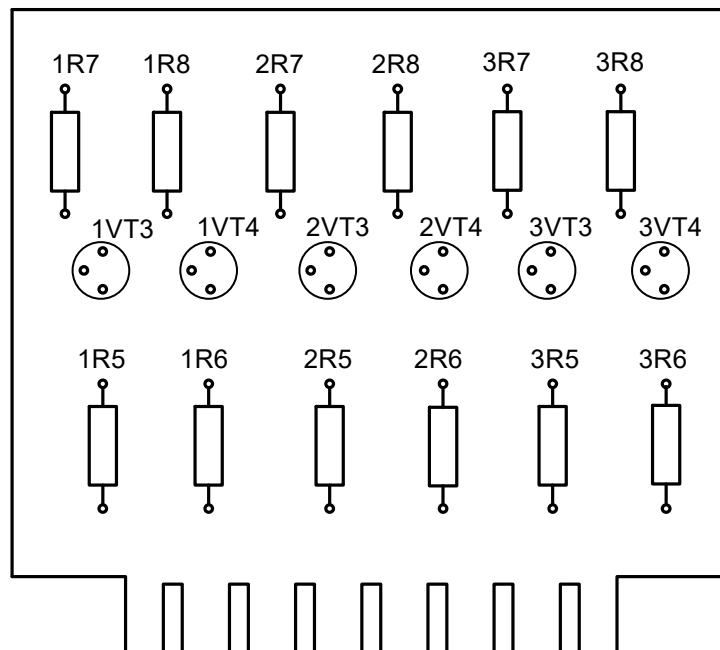


Рисунок 4.6 – Розміщення елементів на платі формувача імпульсів

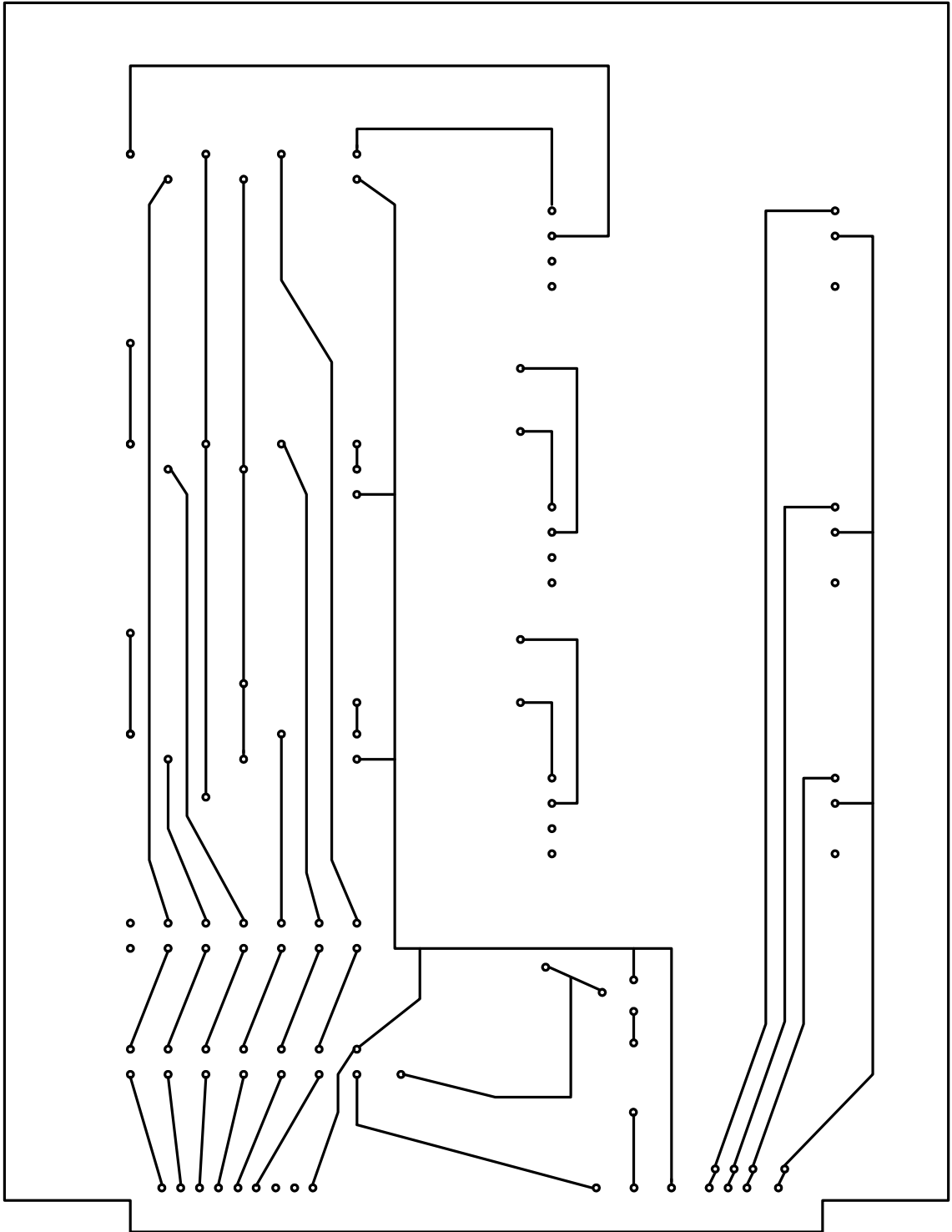


Рисунок 4.7 – Кросс-плата, вигляд зверху

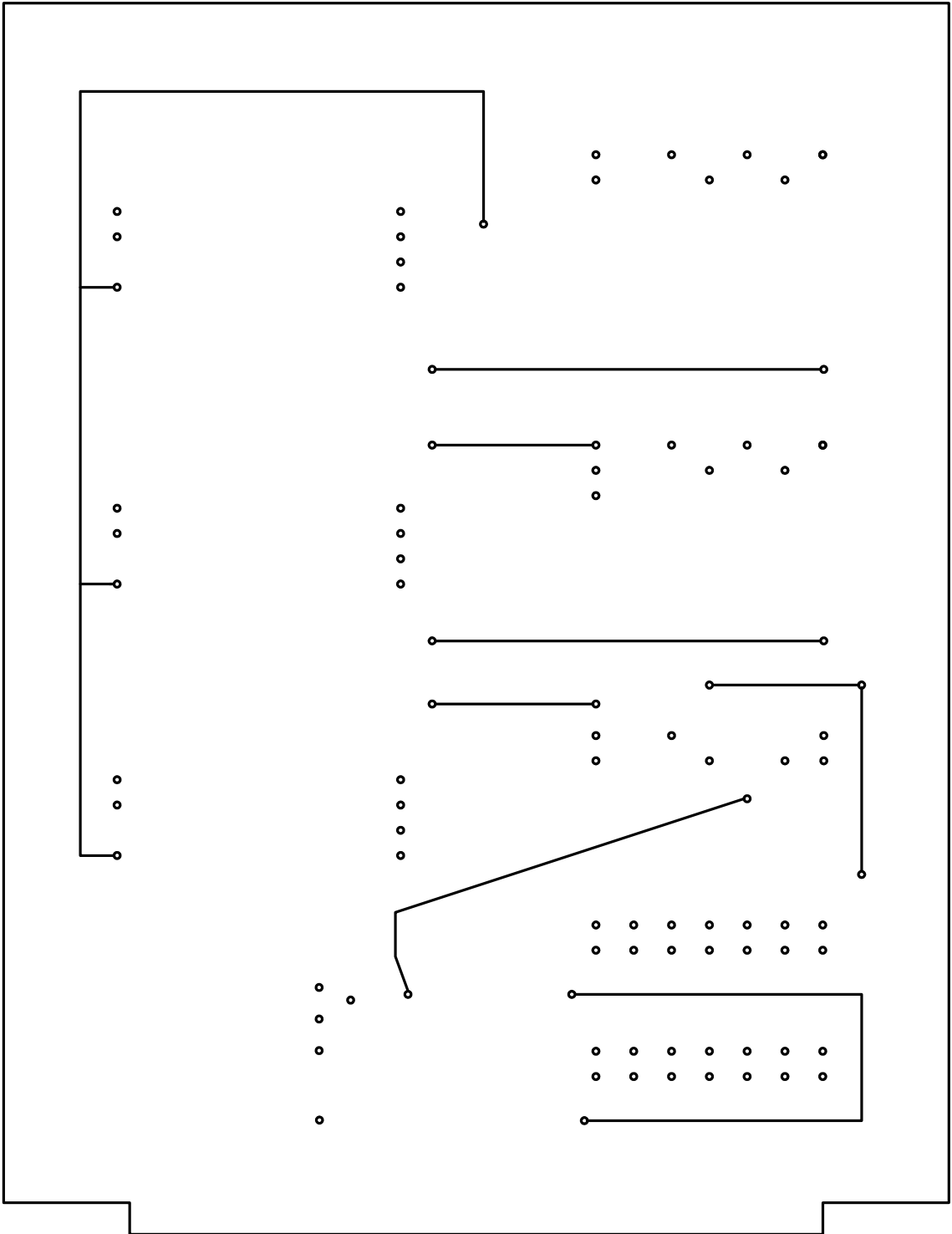


Рисунок 4.8 – Кросс-плата, вигляд знизу

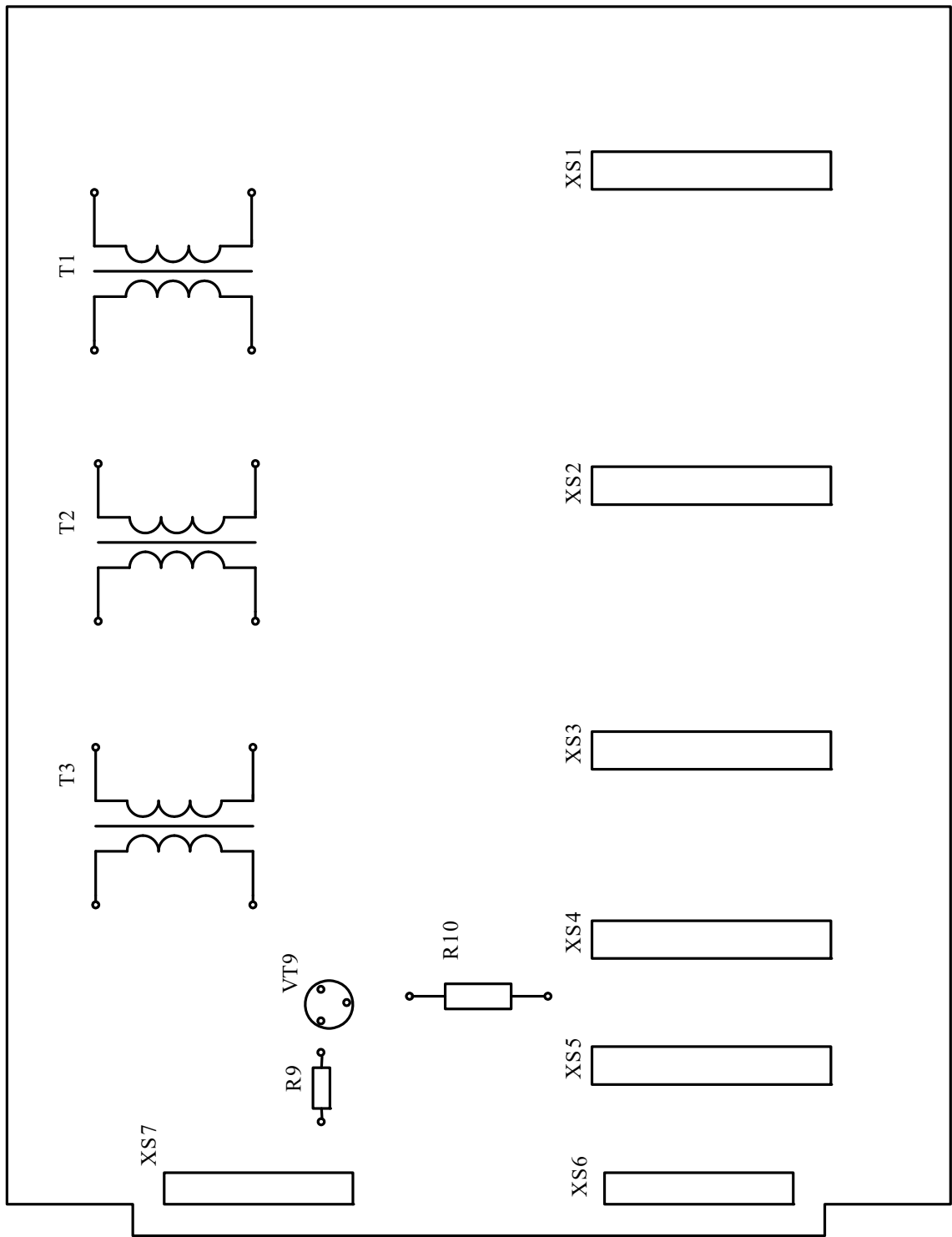


Рисунок 4.9 – Кросс-плата, розміщення елементів

СІФК складається з трьох однакових блоків, кожний з яких управляє однією фазою. Будь-який з блоків умовно можна розбити на три частини: синхронізація, цифровий інтегратор і силові ключі. Вузол синхронізації служить для узгодження моменту відкриття тиристора з початком періоду. Фазна напруга подається на понижувальний трансформатор Т1, який знижує

напругу до напруги, необхідної для нормальної роботи транзисторів, а також він служить як гальванічна розв'язка.

У даній схемі використовується трансформатор, який має вторинну обмотку з середньою точкою, яка з'єднується із загальним виводом схеми імпульсно-фазового керування. З двох інших виводів вторинної обмотки трансформатора зніматимуться напруги, зсунуті одна відносно одної одного на 180° відносно середньої точки. Напруга з цих виводів подається на базу транзисторів VT1, VT2 типу 2N4125, через струмообмежуючі опори R1, R2. На колектор цих транзисторів поступає постійна напруга +5 В через струмообмежуючі опори R3, R4, що захищають перехід колектор-емітер від пробую. Емітер цих транзисторів підключений до загального виводу схеми.

Даний транзистор працює в ключовому режимі і з колектора цього транзистора знімається сигнал синхронізації. Діоди VD1, VD2 включені паралельно переходу емітер-база і служать для активного замикання транзисторів.

Транзисторний ключ вносить похибку τ у визначення нульового значення моменту переходу напруги мережі через нуль, оскільки входить в насичення при деякому пороговому значенні напруги.

Дані синхроімпульси поступають на вхід установки лічильника DD1, встановлюючи його в нульовий стан, при цьому частота задання, проходячи через елемент І-НІ DD3.1, поступає на рахунковий вхід лічильника, формуючи зростаюче число на його виході.

У момент приходу n-го тактового імпульсу з елементу DD4.2 приходить сигнал заборони на подальше надходження задаючої частоти, а також сигнал з виходу 2 лічильника DD2, командний сигнал на включення тиристора, який формується на логічних елементах DD5.1, DD5.2 і на силових ключах, виконаних на транзисторах VT3, VT4. Записаний код і, отже, сигнал на включення тиристорів, зберігається до приходу наступного синхроімпульсу. Робота інших двох блоків ідентична.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випусковій магістерській роботі розробляється система імпульсно-фазового керування для силових перетворювачів.

На оперативно-ремонтний персонал, який здійснює експлуатацію, діагностування стану та оперативний ремонт силового обладнання та засобів РЗ та А, зокрема перетворювачів частоти, за ГОСТ 12.0.003-74 впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1) фізичні:

- машини та механізми, що рухаються;
- незахищені елементи виробничого обладнання, що рухаються;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень вологості повітря;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- нестача природного освітлення;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищена швидкість руху повітря;

2) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервовопсихічні перенавантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Приміщення, в якому здійснюється діагностика силового обладнання, має загальну площу 85,75 м² і висоту стелі 3,2 м. У приміщенні знаходиться

4 стенди для перевірки. Схема робочого приміщення зображена на рисунку 5.1.

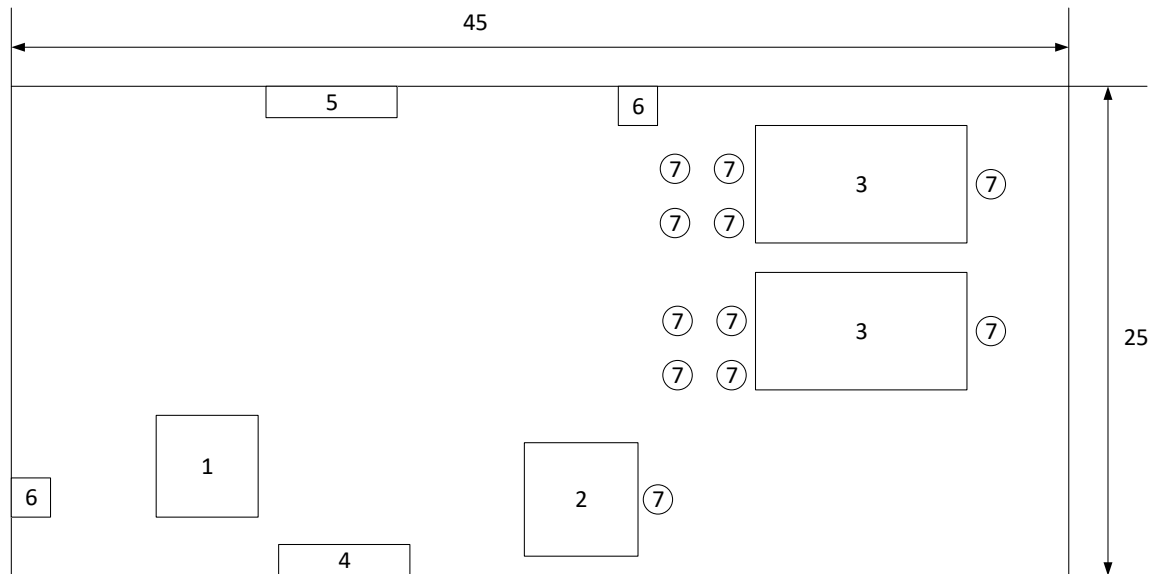


Рисунок 5.1 – Схема робочого приміщення

Умовні позначення на рисунку 5.1: 1 – сушильна шафа; 2, 3 – стенди для перевірки параметрів силового електрообладнання; 4 – вентилятор; 5 – шафа для паперів; 6 – місце для аптечки і умивання; 7 – робочі місця.

Розташування сушильної шафи здійснено подалі від основних місць роботи персоналу, через негативний вплив на працівників та запиленості. Більшість робочого часу оперативно-ремонтний персонал знаходиться біля стендів діагностики двигунів.

5.1.2 Електробезпека

Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин,

використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Приміщення в якому розташовані стенди повинно бути сухим, світлим і теплим а також забезпечене роздягальною з вішалками для одягу.

Площа робочих приміщень повинна бути така, щоб на одного працюючого припадало не менше 4,5 м².

Стіни робочих приміщень мають бути світлих відтінків, а стеля повинна бути пофарбована в білий колір.

Не правильне поводження з електрообладнанням і джерелами електричної енергії може призвести до враження електричним струмом і виходу приборів з ладу, тому:

- не проводити будь-яких втручань, як відкриття руками, так і за допомогою інструмента і сторонніх предметів в електрообладнання при встановлених на контактний провід струмоприймачів. Це стосується не лише електрообладнання 550 В, але і електрообладнання 24 В;

- не допускати струми витоку більше 0,003 А. Контроль струмів витоку проводять щодня міліамперметром або спеціальним пристроєм для вимірювання стану електроізоляції;

- ретельно слідкувати, щоб не виникали обриви проводів і інші порушення цілісності електричних кіл.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99.

Мікроклімат приміщення характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Роботи відносяться до категорії Пб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією становлять – до 140-174Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Допустима	Допустима		
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Пб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При здійсненні діагностики виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в боксі і знаходяться в повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення:

– застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення.

Підприємство знаходиться у Вінницькій області, система природного освітлення приміщення відноситься до бокової. Характеристика робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». При боковому освітленні КПО(ен) = 0,9%.

Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

$$e_N = e_n \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де m_N – коефіцієнт світлового клімату ($m_N = 0,9$).

Суміщене:

$$e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 (\%).$$

Природне освітлення приміщення для проведення техогляду одностороннє і здійснюється через вікна, які орієнтовані на схід.

Штучне освітлення.

Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення відіграє важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні занесені до таблиці 5.3.

Для освітлення вибираємо світильники прямого світла ЛПО-02 з двома люмінесцентними лампами. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 5.3 – Норми освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк	
						Штучне освітлення	
						Комбіноване	Загальне
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	IV	в	Середній, малий	Середній, темний	450	200

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум.

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Відповідно до рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 10\lg(I/I_0) = 10\lg(p/p_0) = 10\lg(U/U_0), \quad (5.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

p – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість ($U_0 = 5 \dots 10$ м/с);

P_0 – нульове значення звукового тиску (умовно прийняте $P_0 = 210$ Па).

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення рівня шуму до допустимого в боксі двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці).

Допустимі рівні вібрації на постійних місцях приведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:										
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-

В таблиці 5.5 чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10-2, знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Класи умов праці за показниками важкості праці.

Загальні енергозатрати організму (кг/м):

– зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт);

– при регіональному навантаженні (для чоловіків) - 12 000(40);

– при загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – 40000(80);

– маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

– при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук) – до 60000;

– при регіональному навантаженні (участь рук та плечового суглоба) – до 30000.

Статичне навантаження (кг/с):

– двома руками (чоловіки) – до 70000;

– за участю м'язів тулуба та ніг – до 200000.

Робоча поза – періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни.

Нахил тулуба:

– вимушені нахили протягом зміни – 150 разів;

– переміщення у просторі (переходи задля технологічного процесу) – більше 12.

Класи умов праці за показниками напруженості праці.

Інтелектуальні навантаження:

– зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

– сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

– розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

- зосередження (%за зміну) - до 50;
- щільність сигналів (звукові за 1 год) - до 150;
- навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80;
- навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

- ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;
- ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

- тривалість робочого дня - більше 8 год;
- змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Основна частина енергії ЕМІ витрачається на передачу поступального руху електронам і іонам, які утворилися в результаті іонізації. Виробляється подальша іонізація, яка також призводить до утворення полів і струмів. Виникаючі в результаті цього електричні і магнітні поля являють собою електромагнітний імпульс (ЕМІ). Приймачі енергії ЕМІ – тіла, що проводять електричний струм: всі повітряні і підземні лінії зв'язку, лінії керування, сигналізації, електропередачі, металеві щогли і опори, повітряні і підземні антенні пристрої, наземні і підземні трубопроводи, металеві дахи та інші конструкції, виготовлені з металу.

В системи імпульсно-фазового керування найбільш чутливим до дії іонізуючого випромінювання є тиристорний перетворювач напруги. В апаратурі системи керування радіація викликає оборотні і необоротні процеси, внаслідок яких можуть бути порушення роботи елементів схеми, що приведе до пошкодження апаратури. В елементній базі системи керування внаслідок дії іонізуючих випромінювань можлива зміна всіх електричних та експлуатаційних характеристик, залежних від проходження процесу іонізації і порушення структури матеріалів.

Ступінь ураження системи керування від ЕМІ залежить в основному від амплітуди наведеного імпульсу напруги чи струму та електричної міцності обладнання. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем, викликає коротке замикання в пристроях. Найчастіше отримують пошкодження вхідні кола електронних пристроїв. Таким чином для стійкої роботи системи імпульсно-фазового керування вкрай необхідним є провести дослідження стійкості її до впливу іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи системи, що розробляється, приймається допустима доза $D_{\text{доп}}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{\text{гр}}$ (P/Год), при яких система буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{гр}}$ і для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані данні заносимо в таблицю 5.6.

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи системи системи імпульсно-фазового керування в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 5.6, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{\text{гр}}=10^5 P$ є операційна плата.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз

Елементи системи електроприводу		Д _{гр1} , Р	Д _{гр} , Р
Блок живлення	Мікросхема К90УД2	10 ⁵	10 ⁵
	Діод КД523Б	10 ⁵	
	Резистори СПЗ	10 ⁵	
	Мікро перемикач	10 ⁷	
Блок управління	Мікросхема КР1533ЛА5	10 ⁷	10 ⁷
	Транзистори типу МЛТ	10 ⁷	
	Мікросхема К195КТП2П	10 ⁵	
Операційна панель	Управляюча мікрозбірка	10 ⁸	10 ⁶
	Кнопкові перемикачі	10 ⁶	
	Сенсорна панель	10 ⁷	

Визначаємо можливу дозу опромінення D_M за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{1\max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{k_{\text{осл}}}, \quad (5.3)$$

де $P_{1\max}$ – максимальне значення рівня радіації ($P_{1\max} = 6,72$ Р/год);

t_k – час наробки на відказ ($t_k = 26280$ год);

t_n – час початку опромінення ($t_n = 1$ год);

$k_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації будинком ($k_{\text{осл}} = 1$).

$$D_M = \frac{2 \cdot 6,72 \cdot (\sqrt{26280} - \sqrt{1})}{1} = 2170,8 \text{ (Р)}.$$

Порівнюючи граничне значення дози опромінення з можливою, ми бачимо, що

$$D_{\text{гр}} > D_M (10^4 > 2170,8).$$

Отже, можна зробити висновок, що дана система імпульсно-фазового керування є не стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання.

Визначимо допустимий час роботи системи блока живлення $t_{д1}$ в заданих умовах за формулою:

$$t_{д} = \left(\frac{D_{гр} \cdot k_{осл} + 2 \cdot P_{1max} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1max}} \right)^2, \quad (5.4)$$

$$t_{д1} = \left(\frac{10^5 \cdot 1 + 2 \cdot 6,7 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,7} \right)^2 = 556 \cdot 10^5 \text{ (год)}.$$

Визначимо допустимий час роботи блок управління системи $t_{д2}$ в заданих умовах за формулою:

$$t_{д2} = \left(\frac{10^7 \cdot 1 + 2 \cdot 6,7 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,7} \right)^2 = 556 \cdot 10^9 \text{ (год)}.$$

Визначимо допустимий час роботи системи операційної плати $t_{д3}$ в заданих умовах за формулою:

$$t_{д3} = \left(\frac{10^8 \cdot 1 + 2 \cdot 6,7 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,7} \right)^2 = 556 \cdot 10^{10} \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення елементної бази $D_m = 2170,8 \text{ Р}$, а $D_{гр} = 10^5 \text{ Р}$. Отже, система імпульсно-фазового керування є не стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить для блока живлення $557 \cdot 10^5$ год, для блока управління $556 \cdot 10^9$ год, і для операційної плати $556 \cdot 10^{10}$ год.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії електромагнітного імпульсу

При оцінці впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначитися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 380 В, а кола управління – постійної 24 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи для обох мереж живлення. Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot L_{\Gamma}, \quad (5.5)$$

де $E_{\text{в}}$ – величина електромагнітного імпульсу ($E_{\text{в}} = 9,92$ кВ/м);

L_{Γ} – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи, м.

$$U_{\Gamma} = 9,92 \cdot 4 = 36,8 \text{ (кВ/м)}.$$

$$U_{\text{в}} = E_{\text{в}} \cdot L_{\text{в}}, \quad (5.6)$$

де $E_{\text{в}}$ – величина електромагнітного імпульсу, кВ/м;

$L_{\text{в}}$ – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи, м.

$$U_{\text{в}} = 9,2 \cdot 3 = 27,6 \text{ (кВ/м)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.7)$$

де N – відсоток допуску.

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 380$ В):

$$U_{\text{доп}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot (\pm 5) = \frac{399}{361}.$$

Для кола управління ($U_{ж} = 24 \text{ В}$):

$$U_{\text{доп}} = 24 + \frac{24}{100} \cdot (\pm 5) = \frac{25,2}{22,8}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{ж} = 380 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{361}{25500}\right) = -36,98 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{361}{34000}\right) = -39,48 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{ж} = 24 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{22,8}{25500}\right) = -60,97 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{22,8}{34000}\right) = -63,47 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки для обох мереж живлення $K_{\text{БВ}} < 40 \text{ дБ}$, $K_{\text{БГ}} < 40 \text{ дБ}$, то периферійне обладнання не буде працювати стійко. Зведемо отримані результати в таблицю 5.7.

Для підвищення стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування слід застосувати екранування.

Таблиця 5.7 – Результати обчислення стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах дії ЕМІ

Напруга живлення	$L_B, \text{м}$	$L_T, \text{м}$	K_{BB}	K_{BT}	Стійкість
Силове коло 380 В	3	4	-36,98	-39,48	нестійка
Коло управління 24 В	3	4	-60,97	-63,47	нестійка

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи імпульсно-фазового керування в умовах надзвичайних ситуацій

Робота системи імпульсно-фазового керування під дією іонізуючих випромінювань досить стійка, але для підвищення стійкості роботи електроприводу можна застосувати вибіркове екранування систем керування і електроніки електроприводу до $K_{осл}=7$.

Для захисту від ЕМІ розрахуємо необхідний екран. Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} + K_{\text{Бмін}}, \quad (5.8)$$

де $K_{\text{Бном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{\text{Бном}} = 40 \text{дБ}$);

$K_{\text{Бмін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 380 \text{ В}$):

$$A_{380\text{В}} = 40 + 36,98 = 76,98 (\text{дБ}).$$

Для кола управління ($U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$):

$$A_{24\text{В}} = 40 + 60,97 = 100,97 (\text{дБ}).$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою

$$t = \frac{A}{5,2\sqrt{f}}, \quad (5.9)$$

де A – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже, для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{380В} = \frac{76,98}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}..$$

Для обладнання кола управління товщина екрану:

$$t_{24В} = \frac{100,97}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,16 \text{ (см)}.$$

Отже після проведених розрахунків визначено, що робота системи імпульсно-фазового керування стійка при заданому рівні радіації 6,72 Р/год. До дії ЕМІ система системи імпульсно-фазового керування виявилась нестійкою. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 9,92 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії випромінювання є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини) шляхом вдосконалення схемоустаткування РЕА. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали радіотехнічні схеми на період впливу ЕМІ.

Отже, при екрануванні системи екраном товщиною не менше ніж 1,2 мм зі сталі, система керування електроприводом буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Капітальні вкладення або витрати на реалізацію проекту

Капітальні вкладення включають всі витрати, пов'язані з реалізацією проекту. До них відносяться витрати на придбання технологій і обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження, на розробку проекту по заміні технологій і обладнання. Якщо у підприємства не вистачає власних коштів на цю заміну, воно може взяти кредит в банку. В цьому випадку капітальні витрати називаються інвестиціями.

В таблиці 6.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на модернізацію силового перетворювача.

Таблиця 6.1 – Капітальні витрати на електроустаткування базового та нового варіантів

Найменування обладнання	Кошторисна вартість	
	Базовий варіант	Новий варіант
Міст постійного струму	8345	6365
Інвертор	3200	2560
Допоміжне обладнання	2100	1540
Всього	13645	10465
Витрати на транспортування (10%)	1365	1047
Витрати на монтажні роботи (10%)	1365	1047
Всього капітальні вкладення	16375	12559

Витрати на доставку визначаються виходячи з маси вантажу, відстані і тарифу залізничних перевезень 1т. вантажу на відстань 1 км. Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом на основі нормативів вартості монтажних робіт. Аналогічно визначають витрати на

налагоджувальні роботи. Для укрупнених розрахунків ці види витрат можуть прийматися рівними 13 % від вартості обладнання.

6.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік.

Витрати на експлуатацію включають в себе витрати на обслуговування і ремонт, амортизаційні відрахування, вартість споживаної електроенергії, вартість втрат електроенергії та інші.

6.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування по першому та другому варіантах (при нормі амортизаційних відрахувань 10 %):

$$C_{a\delta} = 16375 \cdot 0,1 = 1638 \text{ (грн.)},$$

$$C_{an} = 12559 \cdot 0,1 = 1256 \text{ (грн.)}.$$

6.4 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$C_3 = C_{30} + C_{зд}, \quad (6.1)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$C_{зд}$ – додаткова заробітна плата.

$$C_{\text{зо}} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta,$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N=1$ чол);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1=22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт ($K_б=2,03$, $K_н=2,33$);

K_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c=1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$ для базового варіанту, $\beta = 0,85$ для нового варіанту);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (6.2)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ($\varepsilon = 0,283$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 250$ 1/рік);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 1$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 8$ год),

$$\Phi = 0,283 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 8 = 566 \text{ (год/рік)}.$$

$$C_{\text{зо б}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,03 \cdot 566 \cdot 1 \cdot 1 = 25278 \text{ (грн)},$$

$$C_{\text{зо н}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 566 \cdot 1 \cdot 0,85 = 24661 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата $C_{\text{зд}}$ становить 10% від основної заробітної плати. $C_{\text{зд}}$ для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$C_{\text{зд б}} = 25278 \cdot 0,1 = 2528 \text{ (грн)},$$

$$C_{\text{зд н}} = 24661 \cdot 0,1 = 2466 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок заробітної плати приведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок заробітної плати

Показник	Базовий варіант	Новий варіант
Основна заробітна плата $C_{зо}$, грн.	25278	24661
Додаткова заробітна плата $C_{зд}$, грн.	2528	2466
Всього	27806	27127

6.5 Розрахунок витрат на силову енергію

Витрати на споживану електроенергію визначаються для кожного елемента по кожному варіанту за формулою:

$$C = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi_{\text{эф}} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3 \cdot B, \quad (6.3)$$

де $\Phi_{\text{эф}}$ – ефективний фонд часу роботи ($\Phi_{\text{эф}} = 566$ годин);

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю);

P – установлена потужність ($P=11$ кВт);

B – вартість електроенергії.

Вартість складає $B=2,75$ грн/кВт·год відповідно до тарифів на електроенергію ПАТ АК «Вінницяобленерго» на 1 травня 2020 року.

Коефіцієнт корисної дії для обох варіантів обчислений як добуток коефіцієнтів корисної дії моста постійного струму та інвертора. Для першого варіанту коефіцієнт корисної дії буде дорівнювати 82 %, для другого – 90 %. Коефіцієнт використання за часом приймемо рівним 0,7 в обох варіантах, а коефіцієнт використання за потужністю по базовому варіанту дорівнює 0,72, а по новому варіанту – 0,78.

Витрати на електроенергію по двох варіантах складуть:

$$C_{\text{еб}} = \frac{11}{0,82} \cdot 566 \cdot 0,7 \cdot 0,72 \cdot 2,75 = 10523 \text{ (грн)}.$$

$$C_{\text{ен}} = \frac{11}{0,9} \cdot 566 \cdot 0,7 \cdot 0,78 \cdot 2,75 = 10387 \text{ (грн)}.$$

6.6 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників – ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт.

Базовий варіант:

$$C_{\text{зо}} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}}, \quad (6.4)$$

$$C_{\text{зо б}} = 22 \cdot 1,602 \cdot 150 = 5287 \text{ (грн)},$$

$$C_{\text{зо н}} = 22 \cdot 1,602 \cdot 134 = 4723 \text{ (грн)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат на основну заробітну плату, тобто – для базового варіанту:

$$5287 \cdot 15\% = 793 \text{ (грн)};$$

– для нового варіанту:

$$4723 \cdot 15\% = 708 \text{ (грн)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт складають:

$$C_{\text{прб}} = 5287 + 793 = 6080 \text{ (грн)},$$

$$C_{\text{прн}} = 4723 + 708 = 5431 \text{ (грн)}.$$

6.7 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати, тобто:

$$C_{\text{інб}} = (1638+27806+6429+6080) \cdot 0,05 = 2098 \text{ (грн)},$$

$$C_{\text{інн}} = (1256+27127+6346+5431) \cdot 0,05 = 2008 \text{ (грн)}.$$

Експлуатаційні витрати приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Базовий варіант	Новий варіант
Амортизаційні відрахування S_a , грн	1638	1256
Заробітна плата $S_{зп}$ обслуговуючого персоналу, грн.	27806	27127
Витрати на електроенергію S_e , грн	10 523	10 387
Витрати на поточний ремонт $S_{пр}$, грн	6080	5431
Інші витрати $S_{ін}$, грн.	2098	2008
Всього експлуатаційні витрати S , грн	44051	42168

Оскільки ми здійснюємо розрахунок ефективності модернізованої системи при впровадженні, тому необхідно порівнювати капітальні витрати, капітальні вкладення та експлуатаційні витрати, використовуючи відносні показники.

Для порівняння капітальних вкладень використовуємо відносну економію капітальних вкладень, що розраховується по наступній формулі:

$$Л_k = \frac{K_6 - K_n}{K_6} \cdot 100\%, \quad (6.5)$$

$$Л_k = \frac{16375 - 12559}{16378} \cdot 100\% = 23(\%).$$

При порівнянні експлуатаційних витрат використовуємо показник відносної економії (зменшення) витрат:

$$Л_e = \frac{C_6 - C_n}{C_6} \cdot 100\%, \quad (6.6)$$

$$Л_e = \frac{44051 - 42168}{44051} \cdot 100\% = 4,3(\%).$$

Різниця зведених витрат за порівнюваними варіантами характеризує економічний ефект від реалізації кращого. Річний економічний ефект від здійснення окремого привабливого заходу, що обумовлює зниження собівартості продукції або потребує додаткових капітальних вкладень, розраховується за формулою:

$$EE = (C_6 + E_6 K_6) - (C_n + E_n K_n), \quad (6.7)$$

$$EE = (44051 + 0,2 \cdot 16375) - (42168 + 0,2 \cdot 12559) = 2646(\text{грн}).$$

З результатів виконаних розрахунків можна зробити висновок, що модернізація існуючої системи силового перетворювача є економічно виправданою. При цьому досягається економія річних експлуатаційних витрат на рівні 4,3%. Це, перш за все, пояснюється тим, що нова система значно зменшує витрати на обслуговування та ремонт. Це підтверджує правильність вибору варіанту модернізації та економічну доцільність впровадження даного технічного рішення.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи отримано такі результати.

Розроблено та досліджено систему імпульсно-фазового керування тиристорним регулятором напруги. Порівняння показало, що така схема є найбільш ефективною для використання в лабораторних умовах і для живлення асинхронного електроприводу. Стійкість до завад є також однією з основних переваг даної схеми, оскільки в перспективі вона може використовуватися в умовах лабораторії автоматизованого електроприводу, де здійснюються часті вмикання та вимикання мережі, що, в свою чергу призводить до створення імпульсних завад. Використання широко розповсюджених елементів дає змогу спростити виробництво системи.

Розглянуті питання з охорони праці та здійснено економічний розрахунок по даній розробці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Епифанов А.Д. Электроника: учебное пособие: в 2 кн. КН2 / А.Д. Епифанов, О.Н. Шпак, А.Г. Черных. – 2-е изд., испр. и доп. – Иркутск: Иркутск. гос. аграрный ун-т, 2016. – 212 с.
2. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник / М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 229 с.
3. Малинин Г.В. СИФУ с автоматической синхронизацией / Г.В. Малинин, А.Г. Сергеев // Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной электронике», Брянск, 24-25 октября 2019 г. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2019. – С. 107-110.
4. Дудкин М.М. Тиристорный регулятор напряжения с адаптивной интегрирующей системой управления для плавного пуска асинхронных электродвигателей / М.М. Дудкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – Том 14, № 2. – С. 36-43.
5. Качалов А.В. Синхронизация системы импульсно-фазового управления вентильных преобразователей на базе интегрирующего развертывающего преобразователя / А.В. Качалов // Вестник ЮУрГУ. – 2014. – №14. С. 40-46.
6. Гельман М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
7. Карнаухов Н.Ф. Методические указания к проведению лабораторной работы «Импульсно-фазовое управление тиристорным преобразователем» / Н.Ф. Карнаухов, М.Н. Филимонов. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2012. – 13 с.
8. Козлова Л.Е. Разработка и исследование систем замкнутого асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с нейросетевым

наблюдателем скорости. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10174>

9. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії : навч. посібник / О.О. Шавьолкін. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 403 с.

10. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: базовые основы: учеб. пособие для СПО / И.И. Алиев. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 291 с.

11. Дунаев М.П.. Силовая электроника: конспект лекций / М.П. Дунаев. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 57 с.

12. Системы импульсно-фазового управления (СИФУ). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poznayka.org/s12444t1.html>

13. Система - импульсно-фазовое управление. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id427251p4.html>

14. Элементная база и схемотехника устройств силовой электроники – системы управления полупроводниковыми преобразователями. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/knigi/raznoe/elementnaya-baza-i-shemotehnika-ustroystv-silovoy-elektroniki-6.html>

15. Системы импульсно-фазового управления. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techshape.ru/sheoms-738-1.html>

16. Система импульсно-фазового управления. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2248659C2/ru>

17. Система импульсно-фазового управления тиристорным выпрямителем и фазосдвигающее устройство в его составе. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poleznayamodel.ru/model/12/128949.html>

18. Проектирование электрической схемы блока СИФУ электропривода. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.informaticspoint.ru/forpois-435-1.html>

19. Выбор СИФУ. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.su/14_24972_vibor-sifu.html
20. Бородай В.А. Моделирование систем импульсно-фазового управления преобразовательных устройств / В.А. Бородай, А.Р. Ковалёв, В.А. Чередник // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2015. – Вип. 94. – С. 64-69. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geta_2015_94_14
21. Иванушкин В.А. Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов: монография / В.А. Иванушкин, Ф.Н. Сарапулов. – Щецин: ЩТУ, 2000. – 310 с.
22. Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 448 с.
23. Метод импульсно-фазового управления тиристорами. Основные требования, предъявляемые к системам управления. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.org/10-124153.html>
24. Исследование системы импульсно-фазового управления тиристорами. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/3-77626.html>
25. Полупроводниковые выпрямители – системы управления преобразователями на тиристорах. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/knigi/rzia/poluprovodnikovye-vypryamiteli-11.html>
26. Система импульсно-фазового управления. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/239/2396683.html>
27. Аристов А.В. Математическое моделирование в электромеханике / А.В. Аристов, Л.К. Бурулько, Л.А. Паюк. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 155 с.
28. Цабенко М.В. Моделирование системы тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель / М.В. Цабенко, С.П. Стороженко, О.В. Ключев. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi->

bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Znpddtu_2015_1_22.pdf

29. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терехин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.

30. Терёхин В.Б. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учебное пособие / В.Б. Терёхин, Ю.Н. Дементьев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 307 с.

31. Терёхин В.Б. Разработка моделей элементов и систем автоматизированного электропривода в среде Matlab: учебное пособие / В.Б. Терёхин – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 511 с.

32. Ткачук К.Я. Справочник по охране труда на промышленном предприятии / К.Я. Ткачук, Ф.И. Иванчук, Р.С. Сбарно, Л.Г. Степанов. – К.: Техника, 1991. – 285 с.

33. Васильчук М.В. Безпека життєдіяльності. Нормативні документи для навчальних закладів / М.В. Васильчук, упоряд. Ю.В. Бадюк, 2010. – 1024 с.

34. Нові нормативні акти у сфері охорони праці // Довідник спеціаліста з охорони праці. – 2012. – № 3. – С. 4-7; № 4. – С. 6-9.

35. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст], 2007. - 216 с.

36. Типове положення про службу пожежної безпеки: затверджено наказом МНС України від 29 вересня 2003 р. № 369 // Охорона праці і пожежна безпека. – 2012. – N 5. – С. 24-27.

37. Сердюк В.Р. Збірник законодавчих та нормативних актів з питань охорони праці / В.Р. Сердюк. – Вінниця : Континент-ПРИМ, 1995. – 231 с.

38. Основи охорони праці. Підручник. / К. Н. Ткачук та ін. За редакцією К.Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2003. – 472 с.

39. Кобилянський О. В. Охорона праці в електроенергетиці. Довідник / О.В. Кобилянський. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 165 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф.

_____ В. М. Кутін

“ ___ ” _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**СИСТЕМА ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ
ДЛЯ СИЛОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

08-16.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи

_____ Розводюк М.П., к.т.н., доцент.

“ ___ ” _____ 2020 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18мз

_____ Дубенець П.Ю.

“ ___ ” _____ 2020 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування дослідження – «Система імпульсно-фазового керування для силових перетворювачів».

Скорочене найменування розробки – «СІФК для силових перетворювачів».

Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Система імпульсно-фазового керування призначена для керування тиристорним регулятором напруги.

Може бути використана для електроприводу типу ТРН-АД, а також для лабораторних досліджень.

4 Вимоги до розробки

Система імпульсно-фазового керування повинна бути простою в реалізації з використанням доступної елементної бази.

Комплектація розробки

Пояснювальна записка, принципова схема системи імпульсно-фазового керування структура з наявним переліком елементів. Наявність результатів комп'ютерного моделювання.

6 Технічні характеристики

Можливість керувати тиристорним регулятором напруги, використання в лабораторних дослідженнях.

7 Джерела розробки

1. Гельман М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
2. Терёхин В.Б. Разработка моделей элементов и систем автоматизированного электропривода в среде Matlab: учебное пособие / В.Б. Терёхин – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 511 с.
3. Аристов А.В. Математическое моделирование в электромеханике / А.В. Аристов, Л.К. Бурулько, Л.А. Паюк. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 155 с.

8 Елементна база

Трансформатор, транзистори, діоди, резистори, цифрові мікросхеми, діоди, провідники, кабелі та інші складові одиниці виробництва України чи країн Євросоюзу.

9 Конструктивне виконання

Система імпульсно-фазового керування виготовляється окремими блоками для кожної фази, закріплених на кросс-платі. Дана конструкція розміщується у корпусі, який виконано у відповідності до вимог електробезпеки у пило та вологозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Система імпульсно-фазового керування тиристорним регулятором напруги виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід, повинні відповідати правилам влаштування електроустановок.

11 Технічне обслуговування

Технічне обслуговування здійснюється обслуговуючим персоналом. Технічний огляд пристрою здійснюється не менше одного разу на місяць. Складні ремонтні роботи здійснюються інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

9 Живлення

Живлення системи імпульсно-фазового керування виконується від стабілізованого джерела з напругою 5 В.

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

Об'єкт, предмет, мета й задачі дослідження

Об'єкт дослідження: процеси, що протікають в СІФК.

Предмет дослідження: схема СІФК.

Мета роботи: розробка СІФК для керування роботою тиристорного регулятора напруги.

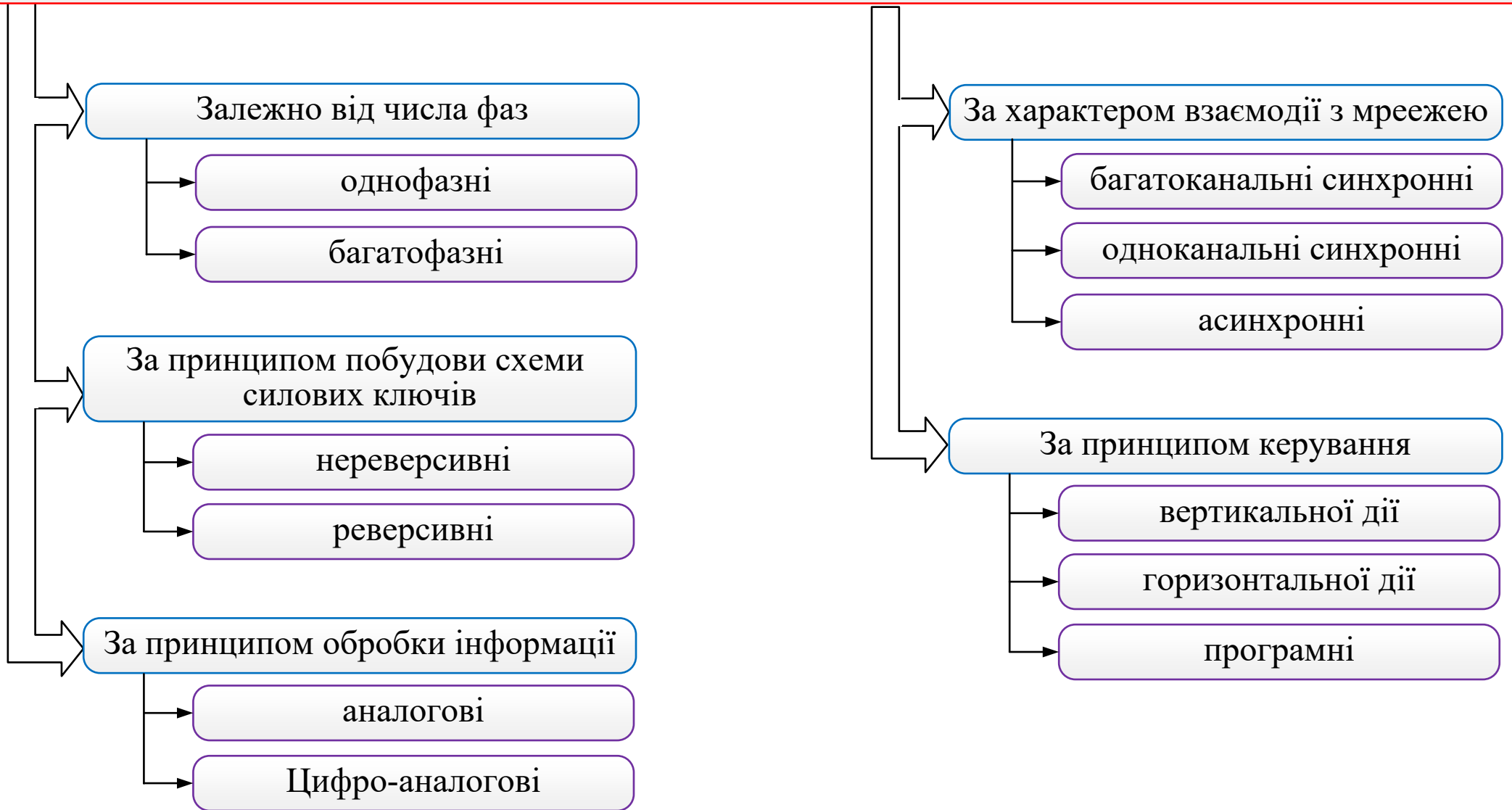
Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- здійснити аналіз існуючих СІФК та принципи їх побудови;
- розробити схему СІФК, придатну для керування роботою тиристорного регулятора напруги;
- здійснити комп'ютерне моделювання роботи СІФК;
- здійснити практичну реалізацію запропонованої СІФК.

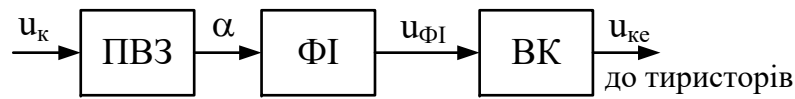
Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота

Класифікація СІФК

Системи імпульсно-фазового керування



Способи побудови СІФК



Загальна структура СІФК

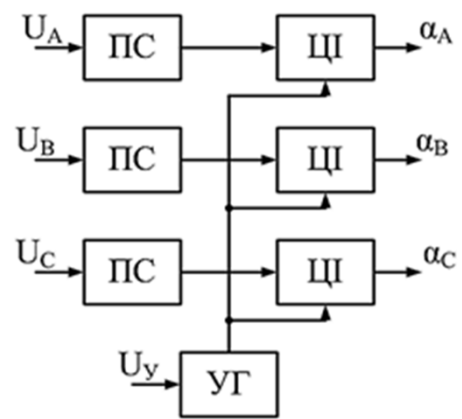


Схема синхронної багатоканальної СІФК

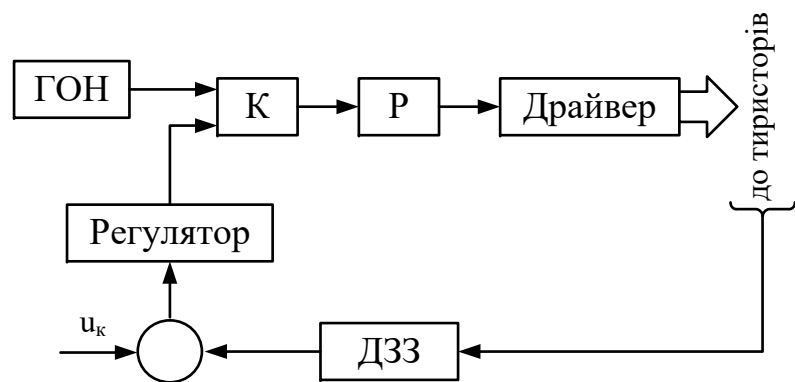


Схема асинхронної СІФК

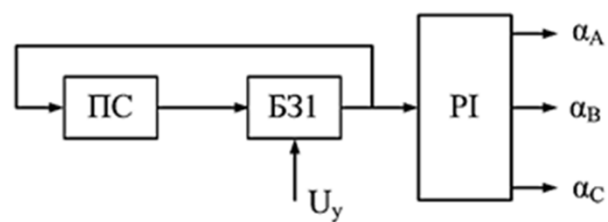


Схема асинхронної СІФК

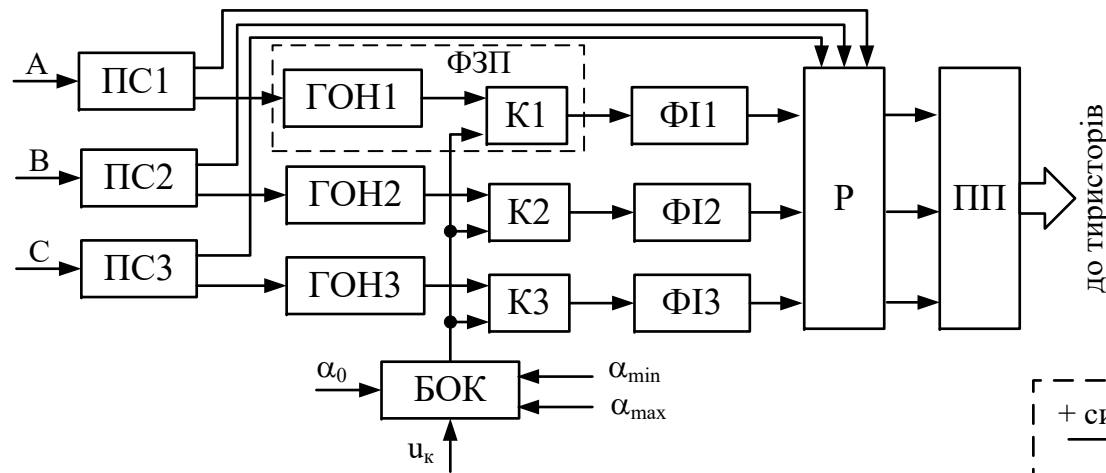


Схема синхронної багатоканальної СІФК

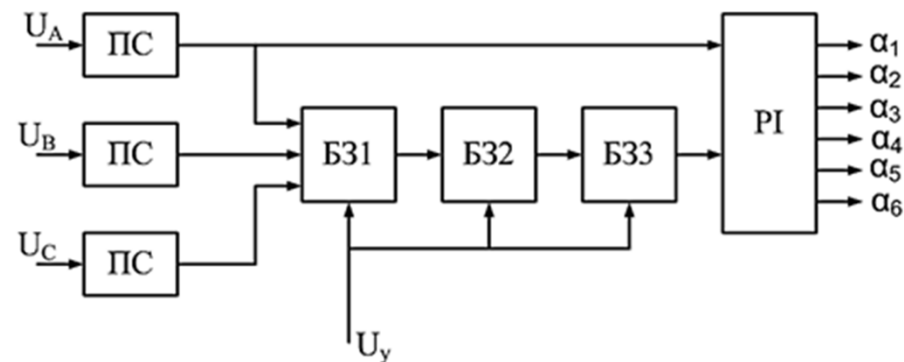


Схема синхронної одноканальної СІФК першого типу

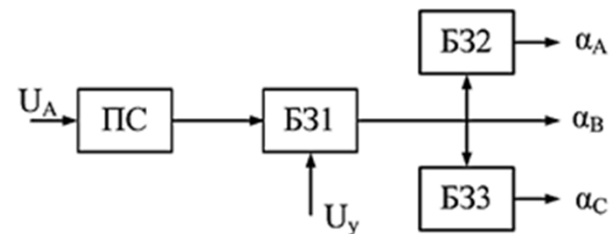


Схема синхронної одноканальної СІФК другого типу

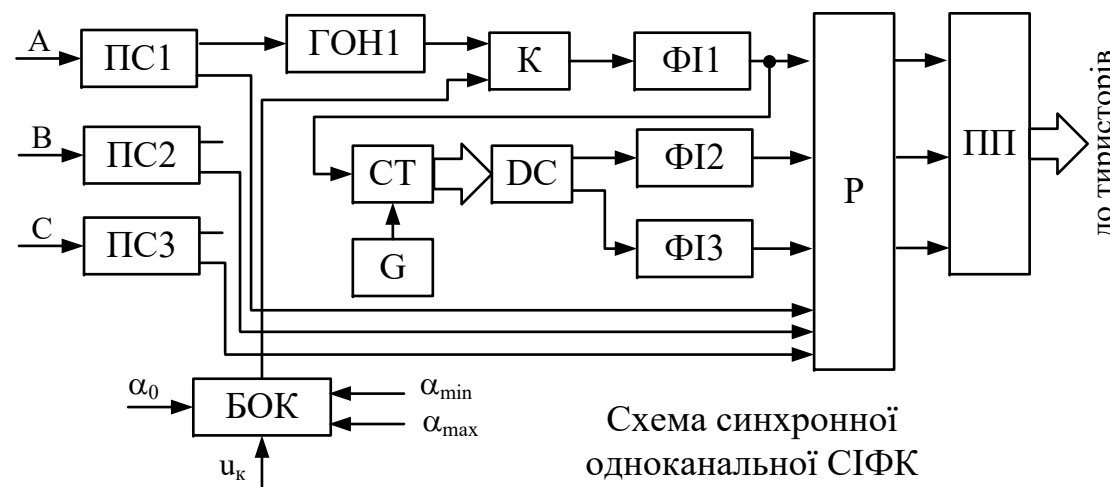


Схема синхронної одноканальної СІФК

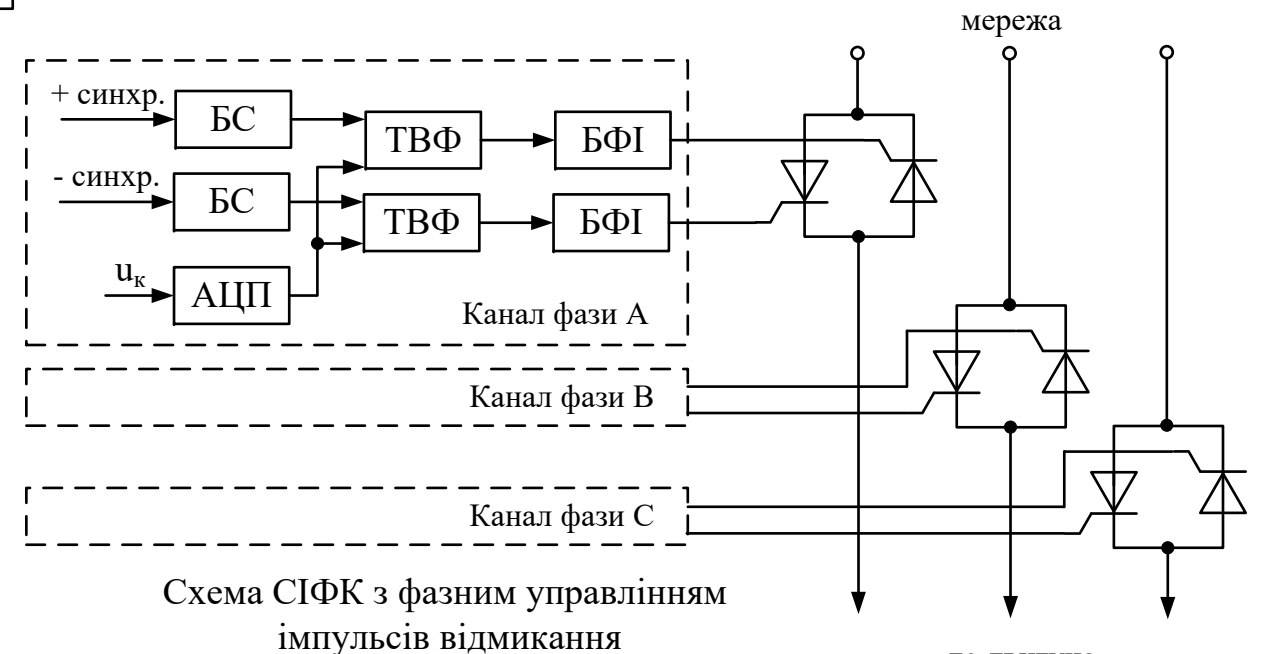


Схема СІФК з фазним управлінням імпульсів відмикання

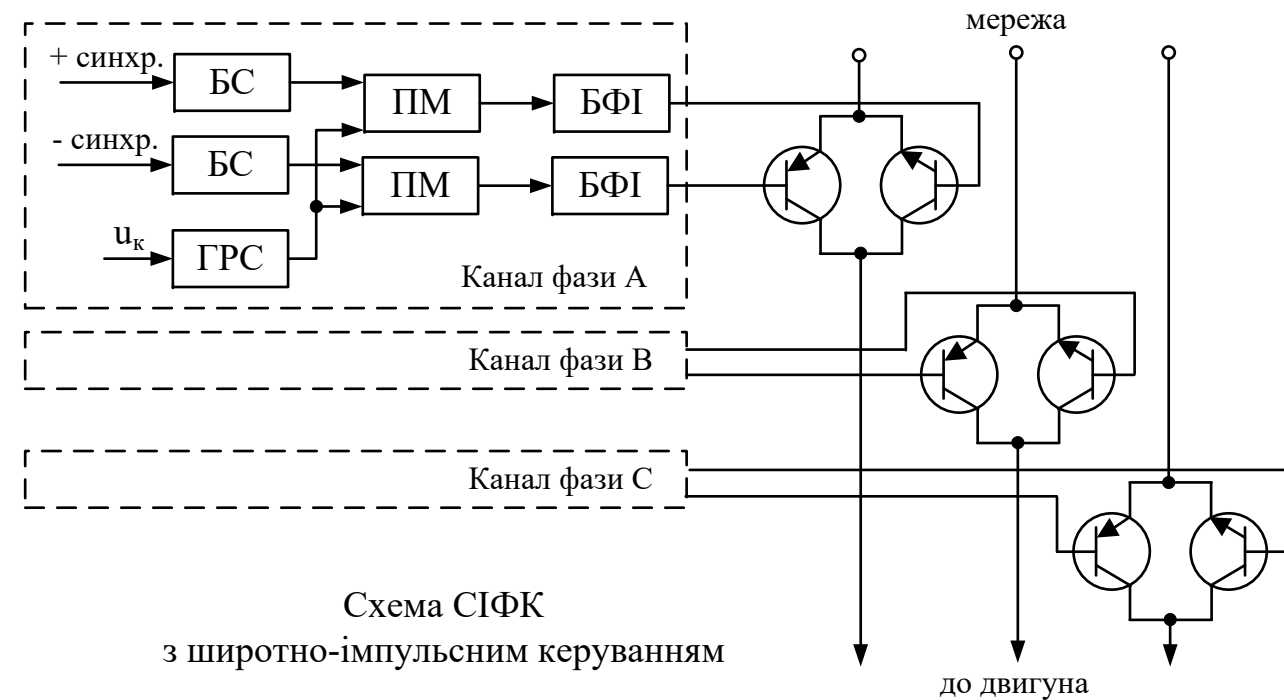


Схема СІФК з широтно-імпульсним керуванням

Розробка СІФК

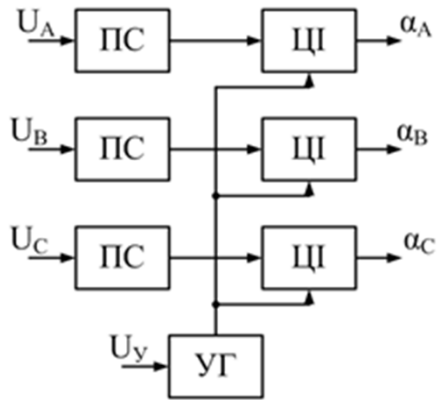
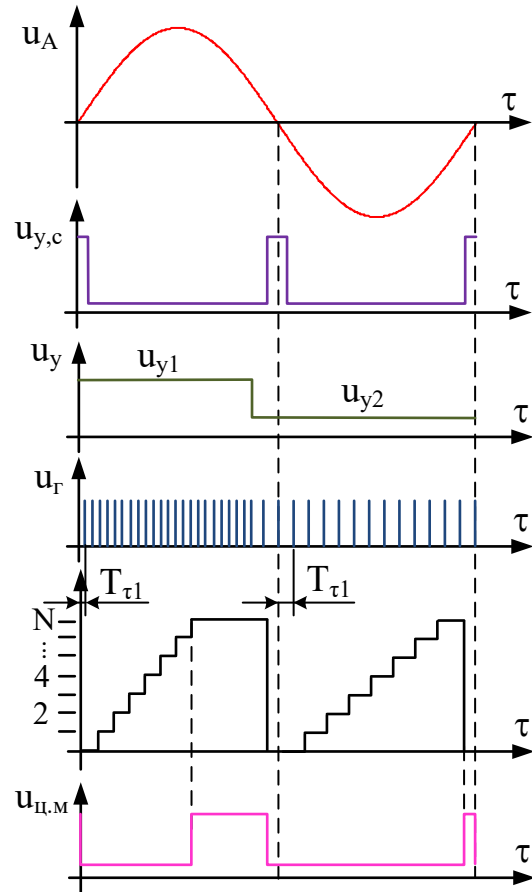
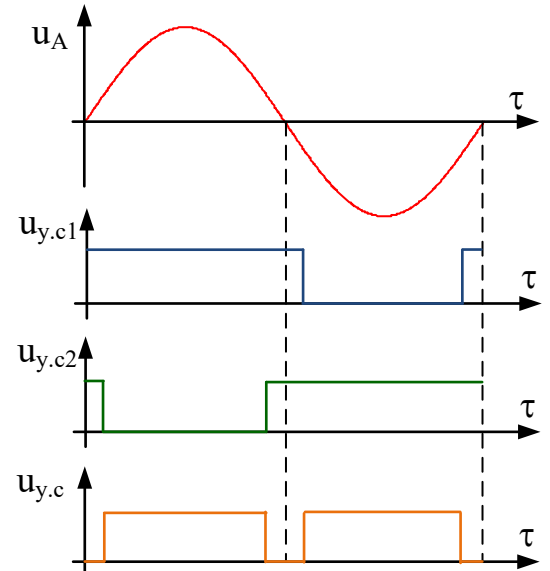


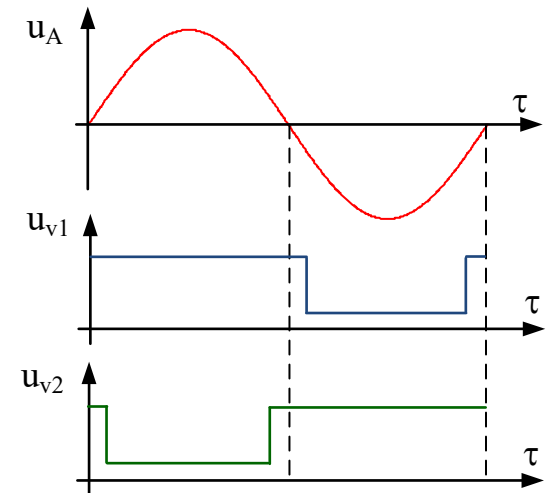
Схема трифазної аналогово-цифрової СІФК



Діаграми сигналів аналогово-цифрової СІФК



Діаграми сигналів синхронізації



Діаграми сигналів на вході та виході ключа

Компоненти СІФК

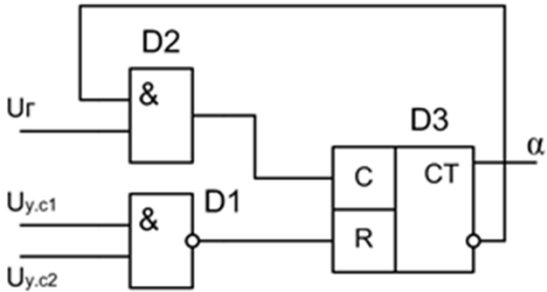


Схема цифрового інтегратора

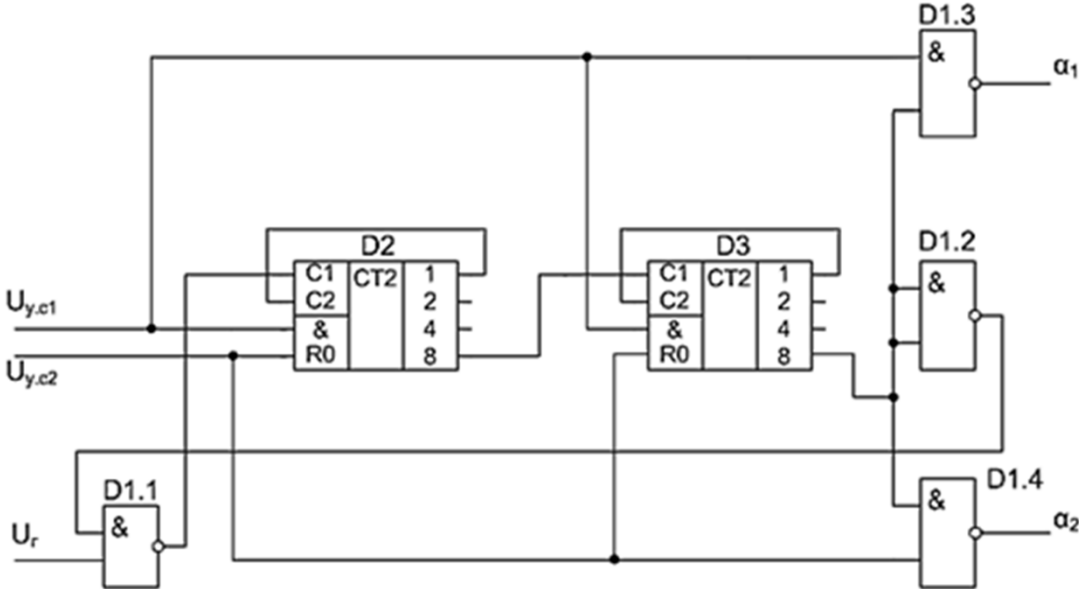


Схема фазозміщувального пристрою

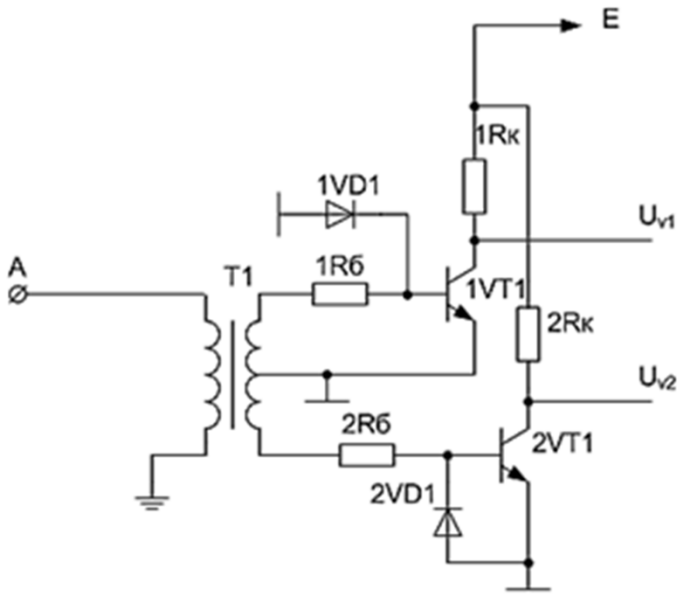
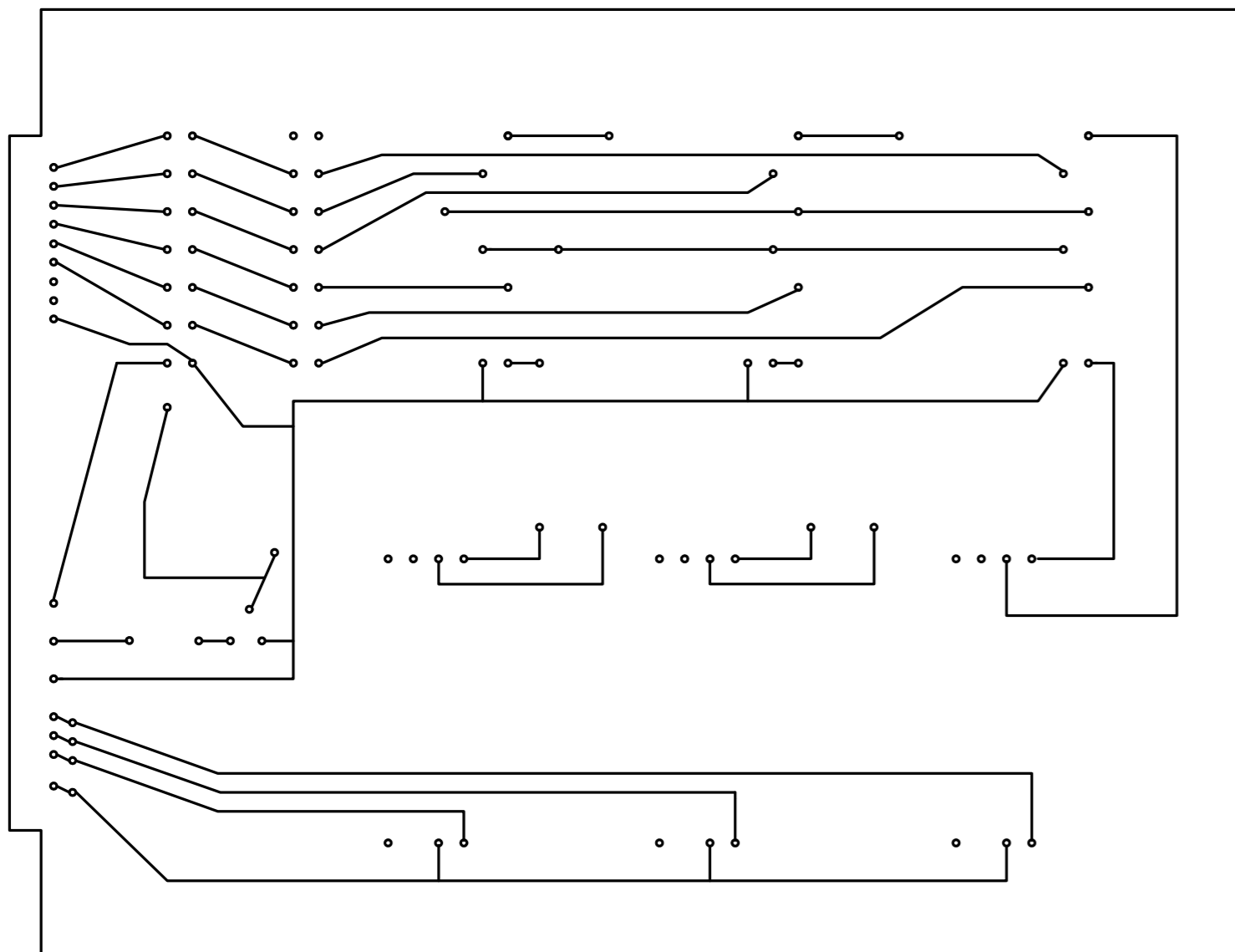
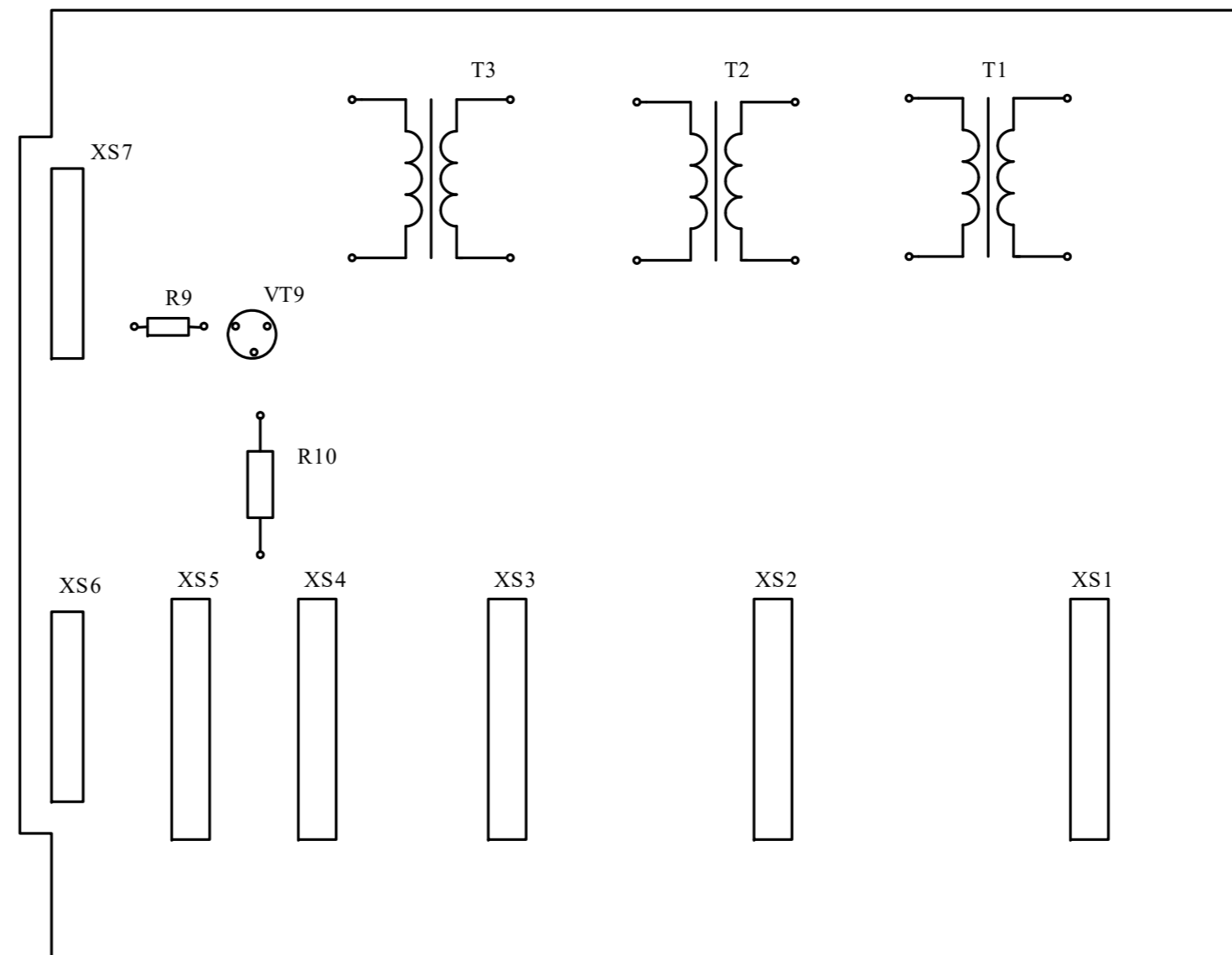


Схема транзисторного ключа

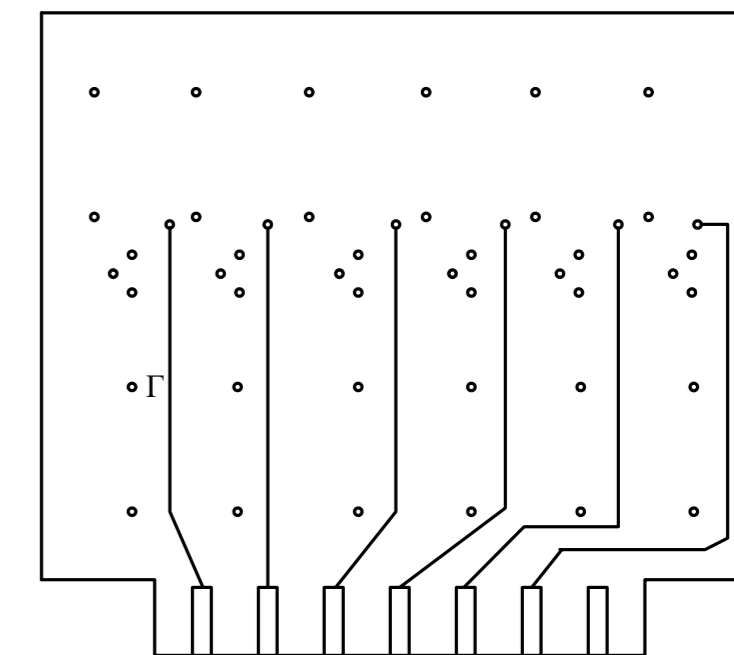
Креслення друкованих плат



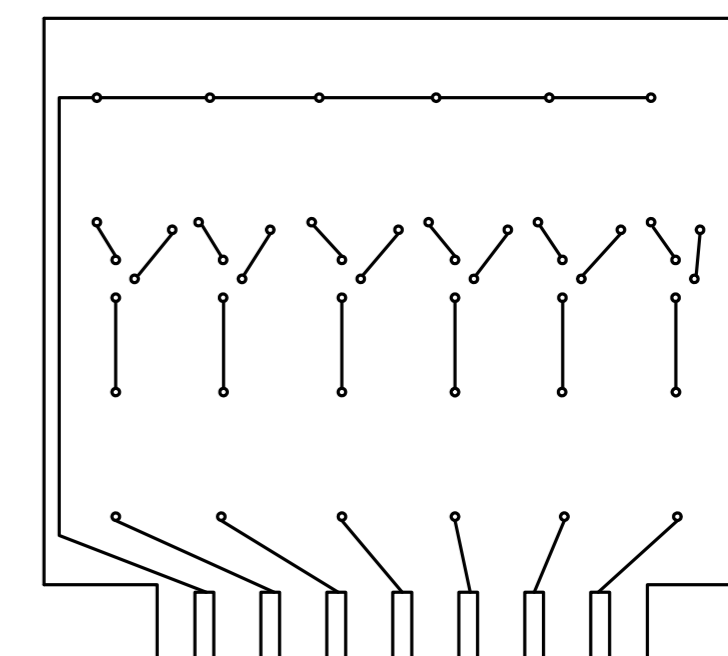
Кросс-плата, вигляд зверху



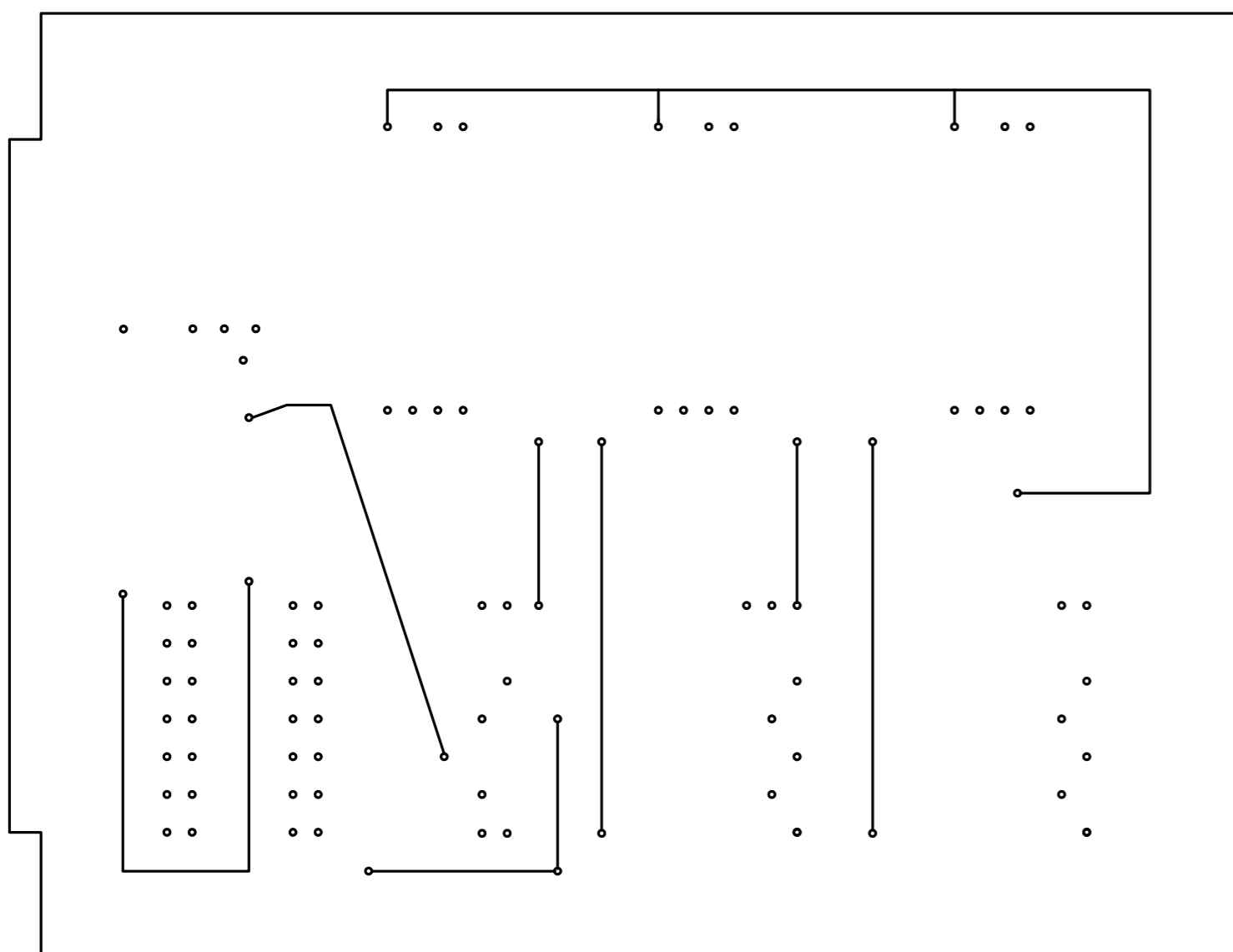
Кросс-плата, розміщення елементів



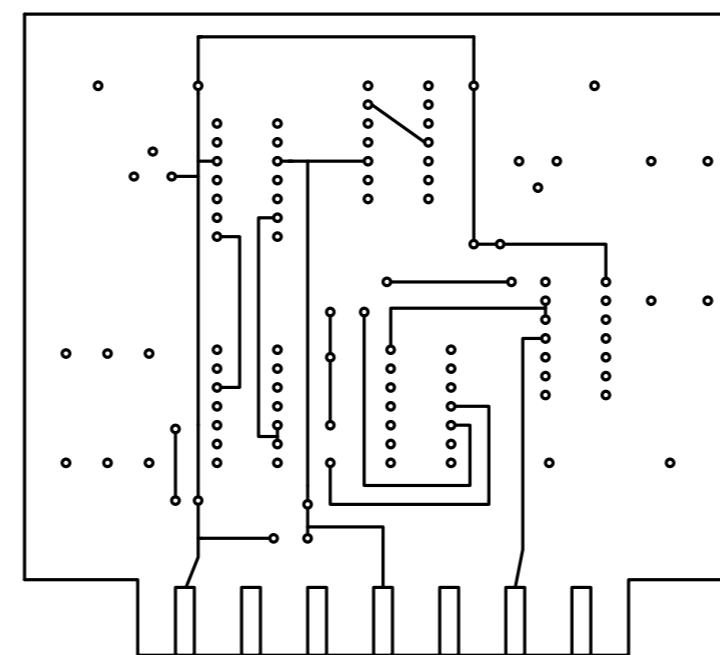
Плата формувача імпульсів, вигляд зверху



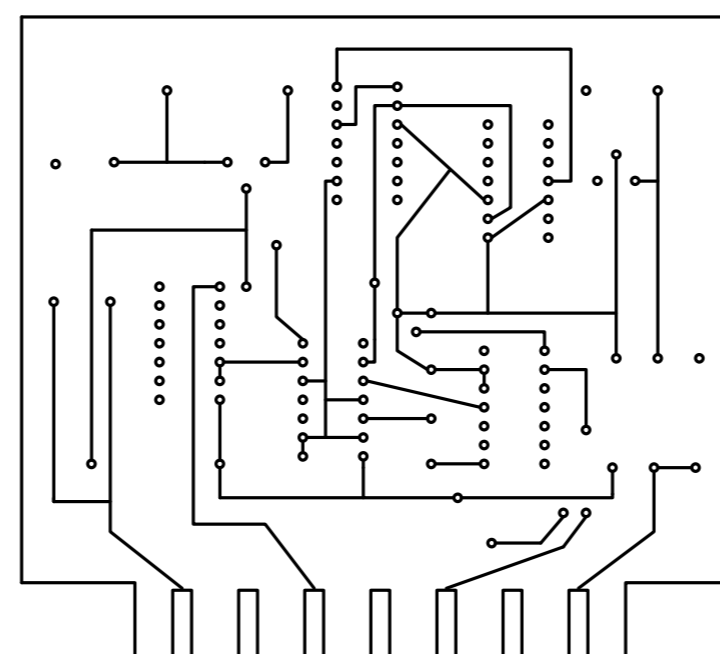
Плата формувача імпульсів, вигляд знизу



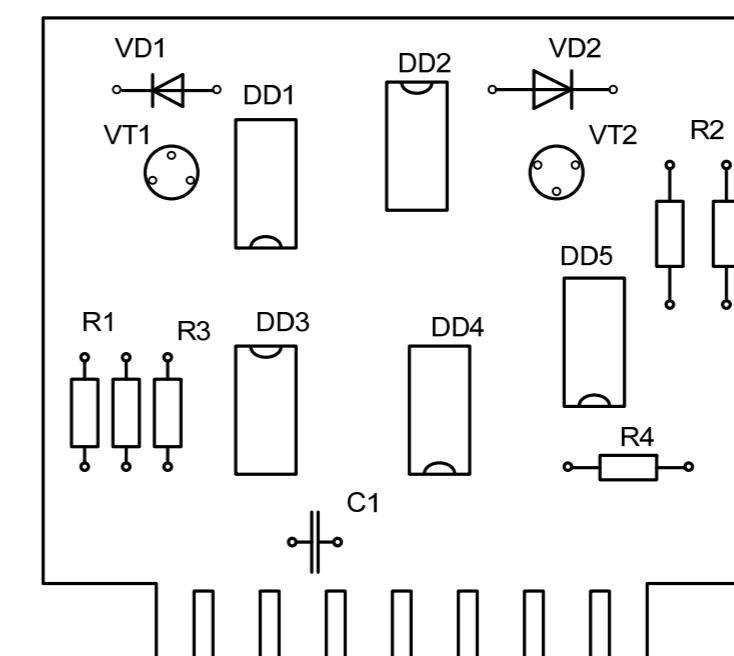
Кросс-плата, вигляд знизу



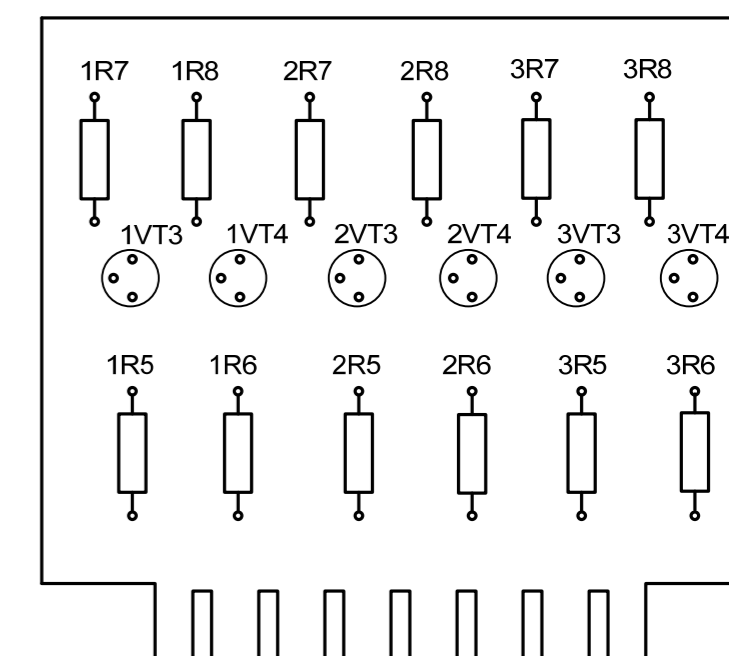
Плата СІФК, вигляд зверху



Плата СІФК, вигляд знизу



Плата СІФК, розміщення елементів



Плата формувача імпульсів, розміщення елементів

Моделювання СІФК в Multisim

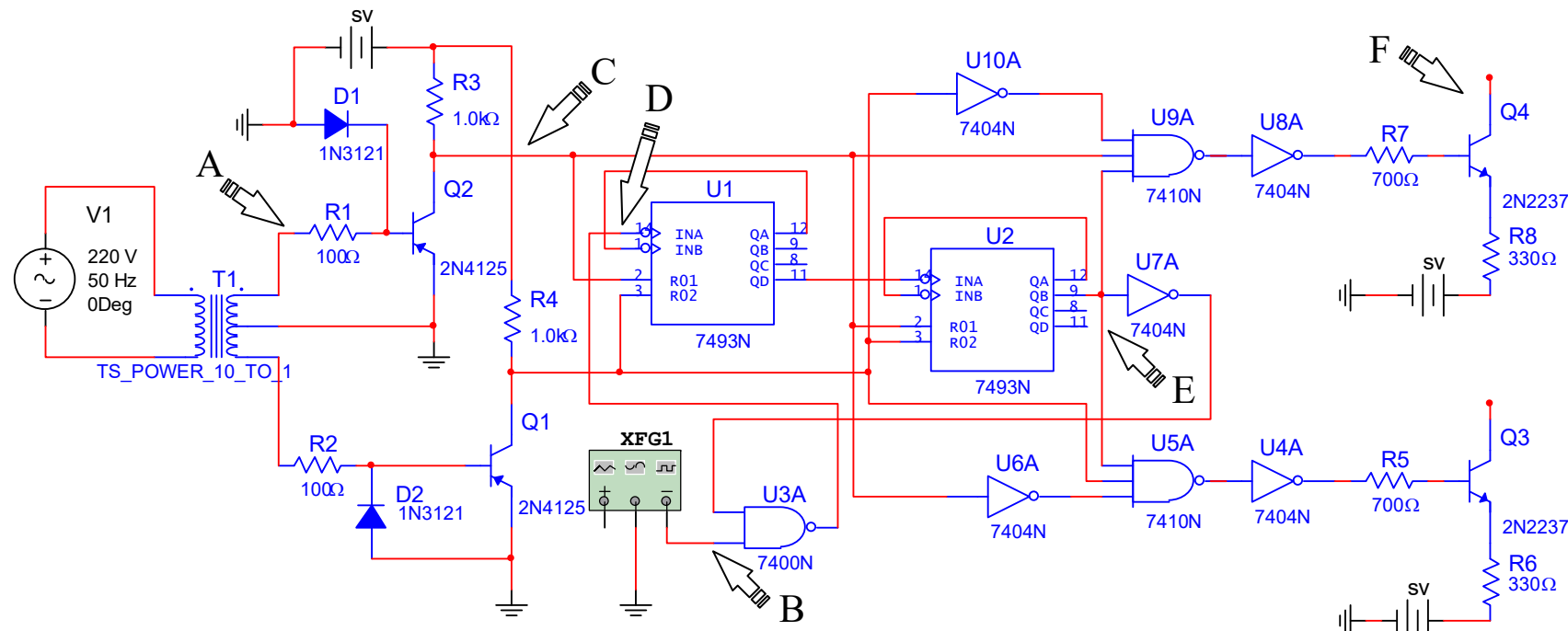
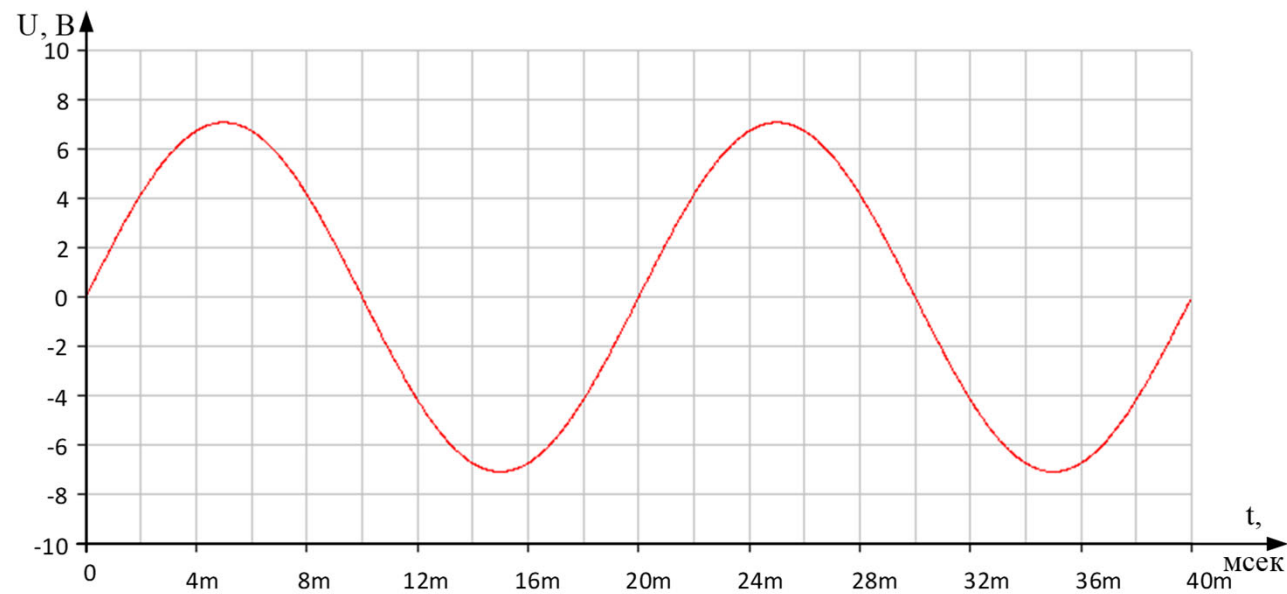
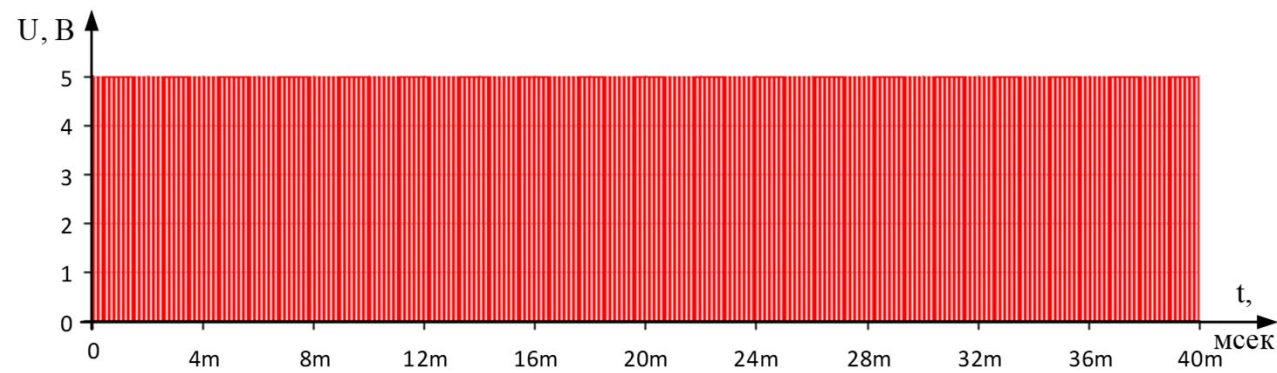


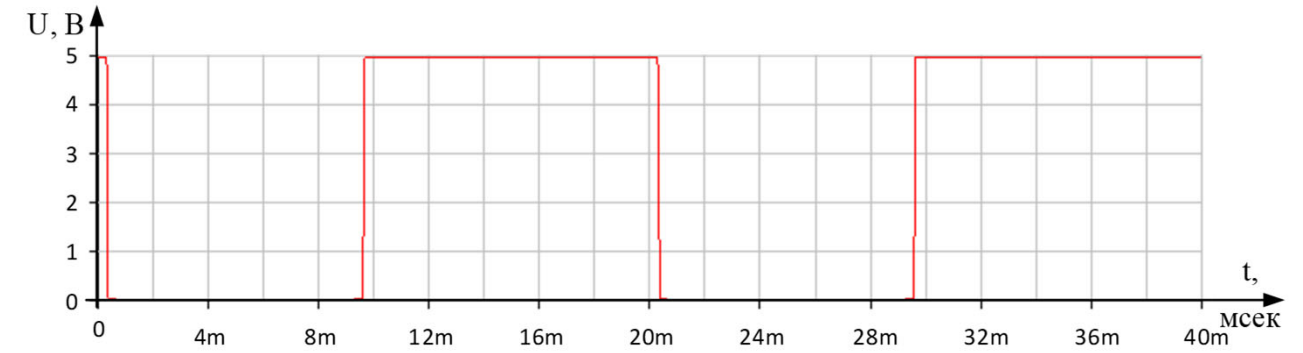
Схема для моделювання в середовищі Multisim



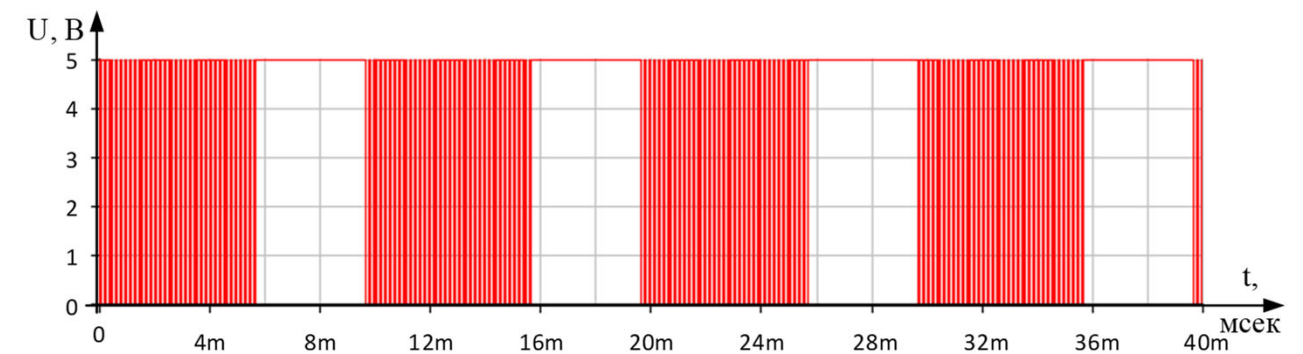
Сигнал на вході ключа (точка А)



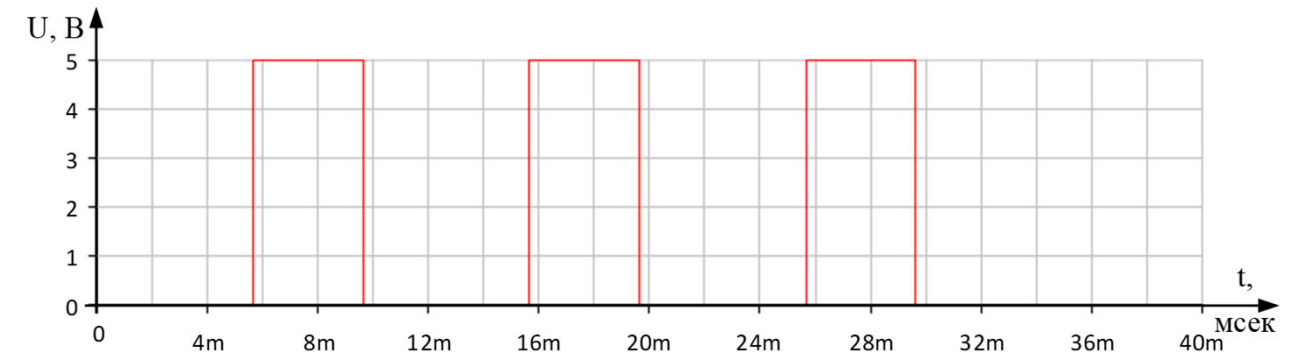
Сигнал тактового генератора (точка В)



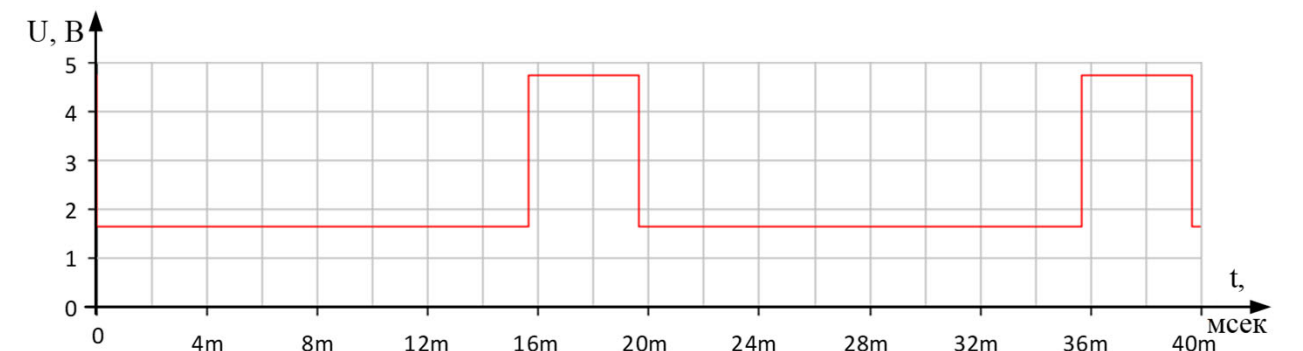
Сигнал на виході ключа (точка С)



Сигнал на вході лічильника (точка D)

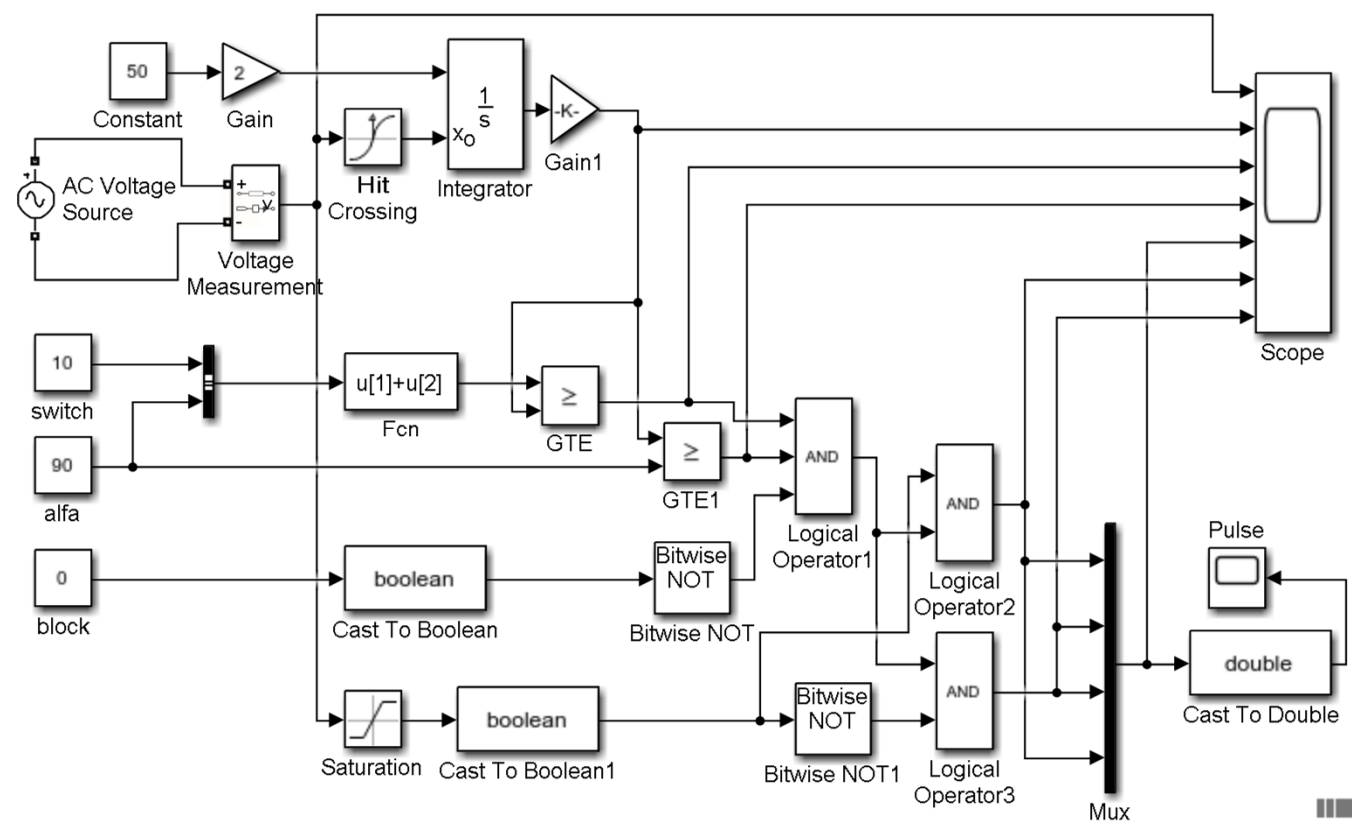


Сигнал на виході лічильника (точка Е)

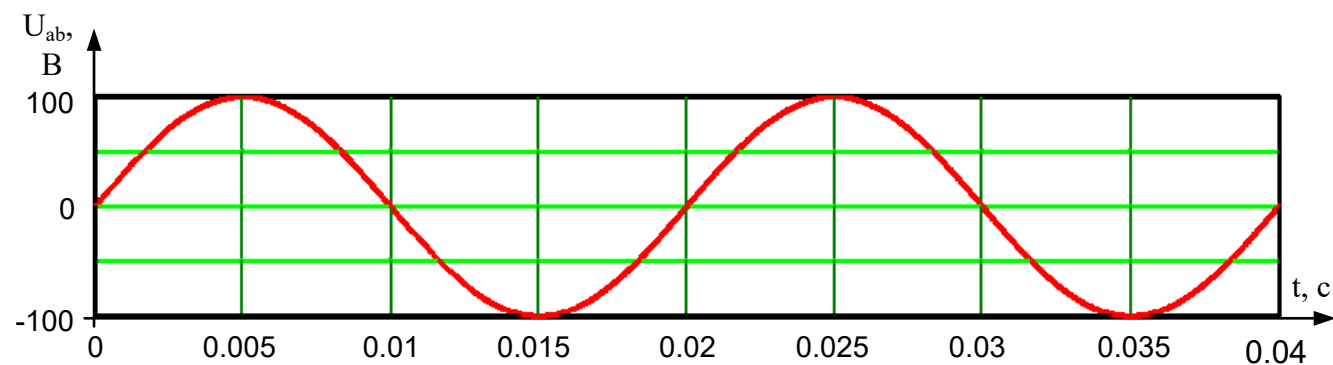


Сигнал керування тиристором (точка F)

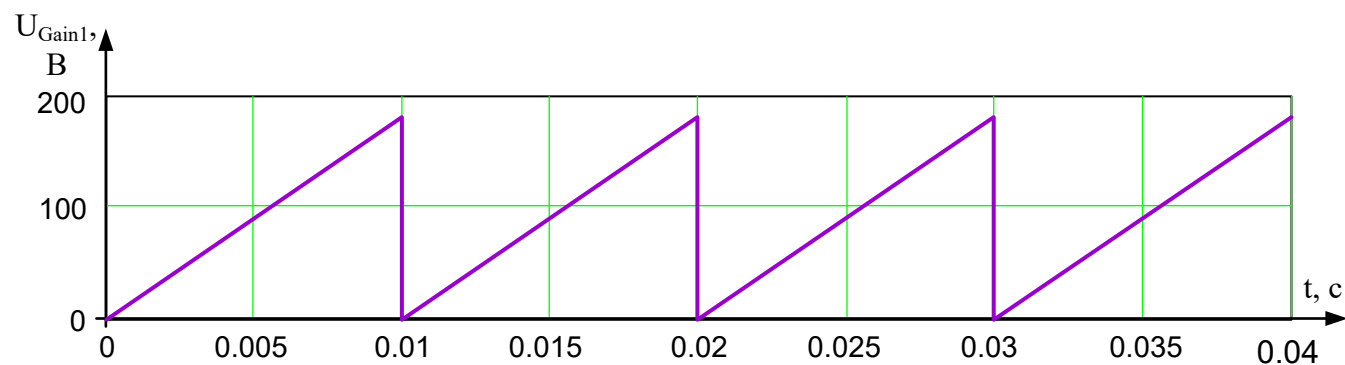
Моделювання СІФК в Simulink



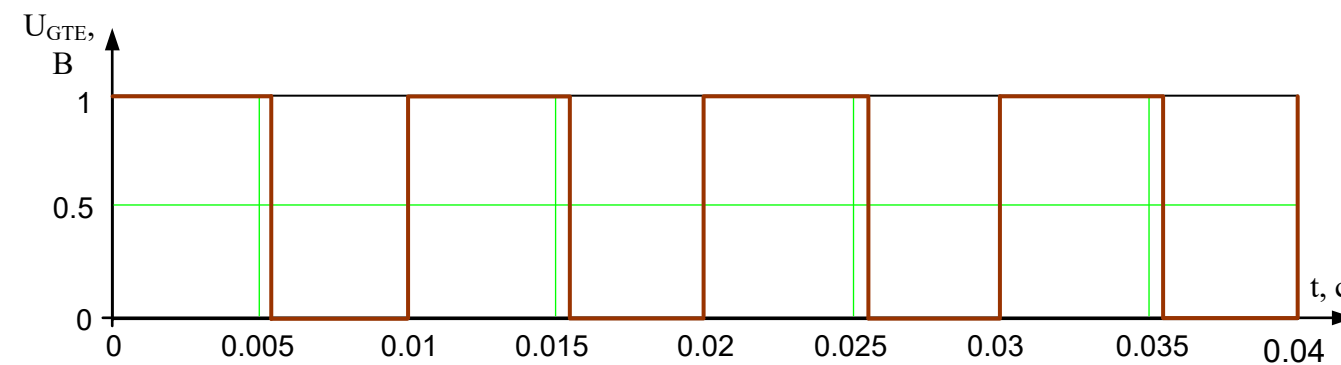
Модеь СІФК в Simulink



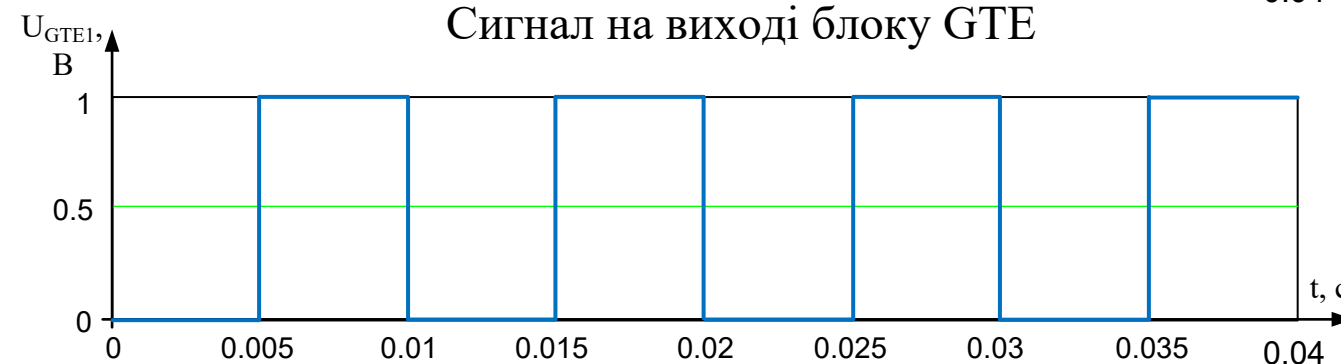
Вхідний сигнал



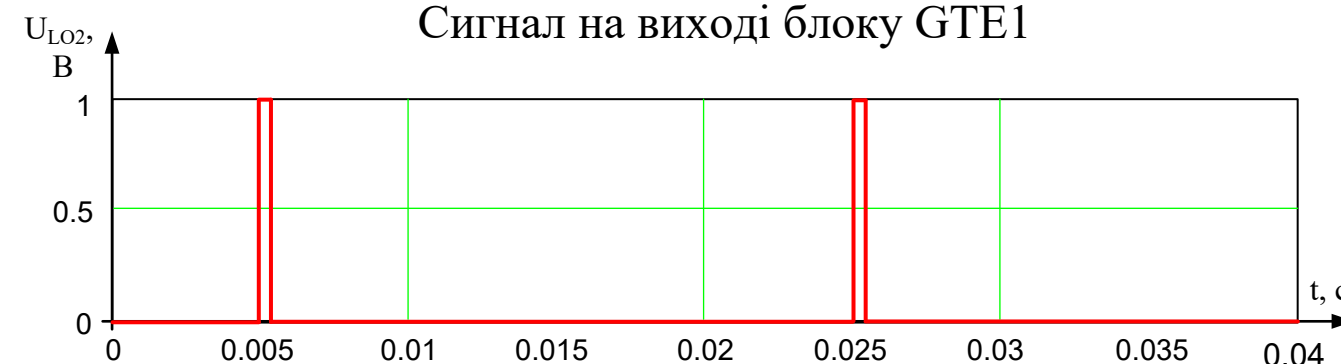
Сигнал на виході блоку Gain1



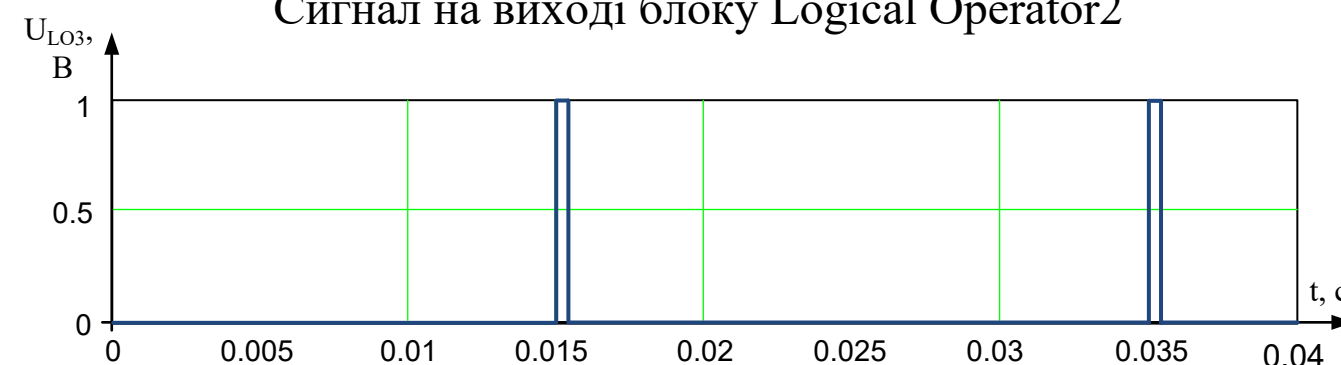
Сигнал на виході блоку GTE



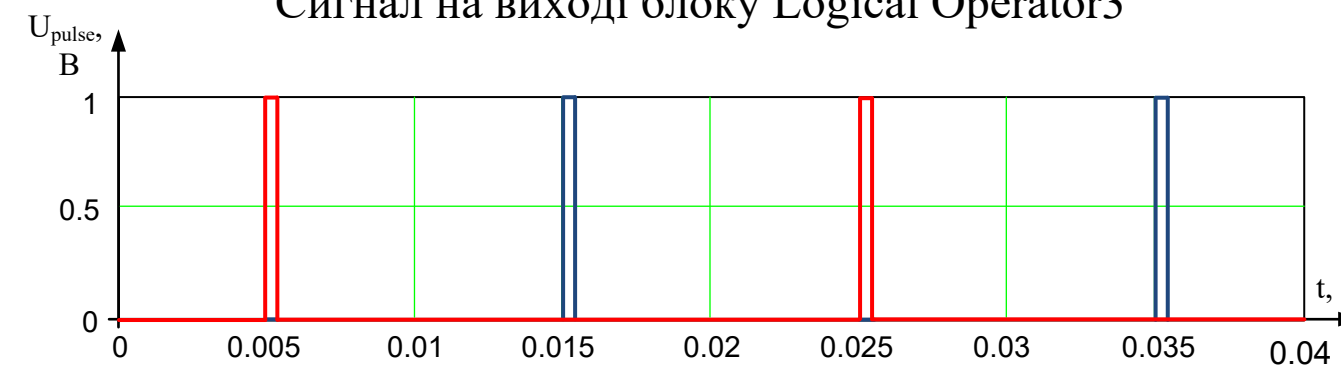
Сигнал на виході блоку GTE1



Сигнал на виході блоку Logical Operator2



Сигнал на виході блоку Logical Operator3



Сигнал на осцилографі Pulse

Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано реалізацію СІФК, яка дозволяє здійснювати керування роботою тиристорного регулятора напруги, має стійкість до завад.

Практичне значення одержаних результатів:

- використання одержаних результатів дозволяє спростити виробництво СІФК. Запропонована схема реалізації СІФК дозволяє ефективне використання в лабораторних умовах і для живлення асинхронного електроприводу.

Апробація результатів дослідження

Матеріали обговорювалися на:

XLIX Науково-технічній конференції підрозділів
Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ),
м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 11-20 березня 2020 р.

За результатами дослідження опубліковано:

Розводюк М.П. Система імпульсно-фазового керування для силових перетворювачів /
М.П. Розводюк, **П.Ю. Дубенець** // Тези доповідей XLIX Науково-технічної конференції підрозділів
Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ), м. Вінниця, Вінницький
національний технічний університет, 11-20 березня 2020 р. – Режим доступу:
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2020/paper/view/9823>