

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет

Інженерний інститут  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій  
( назва факультету )

Кафедра електронних систем  
( повна назва кафедри )

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Аналіз візуально-біоїчної моделі  
іммерсивного перетворення носійної конструкції  
з комбінованим навігуєм

Виконав: студент \_\_\_\_\_ курсу, групи ЕЛ-18-1-мг  
напряму підготовки (спеціальності)  
6.05.08.02 електронні пристрої та системи  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_ Табурин А.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Крижанка П.В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ Шершов С.А.  
(прізвище та ініціали)

# Запорізький національний університет

## Інженерний інститут

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електронних систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 6.05.08.02 електронні пристрої та системи

(спеціалізація)

171 Електроніка

(спеціалізація)

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕС

" 17 " листопада

20 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Товриши Арсен Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз вихідних даних моделі імунного керування системою керування енергетикою

керівник проекту (роботи) Клименко Тетяна Володимирівна, кафедра, д.м.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вишого навчального закладу від " 08.01.2020 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) Три тижні

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Три вихідні дані: робота човина - 1кВт, вихідна потужність - 100В, діаметр змінного струму - 0,05.095.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначити параметри вихідних даних керування системою керування енергетикою, визначити параметри керування системою керування енергетикою, визначити параметри керування системою керування енергетикою, визначити параметри керування системою керування енергетикою.

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

Обкладинка проекту (А1), Стенограмні дослідження (А1), Схеми керування системою керування енергетикою (А1), Схеми керування системою керування енергетикою (А1), Схеми керування системою керування енергетикою (А1), Схеми керування системою керування енергетикою (А1), Схеми керування системою керування енергетикою (А1), Схеми керування системою керування енергетикою (А1).

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	завдання видані прийняв
1	Клименко Т.В. проф., д.м.н.	<u>[підпис]</u>	<u>Т.В.</u>
2	Клименко Т.В. проф., д.м.н.	<u>[підпис]</u>	<u>Т.В.</u>
3	Клименко Т.В. проф., д.м.н.	<u>[підпис]</u>	<u>Т.В.</u>
4	Клименко Т.В. проф., д.м.н.	<u>[підпис]</u>	<u>Т.В.</u>
5	Клименко Т.В. проф., д.м.н.	<u>[підпис]</u>	<u>Т.В.</u>

7. Дата видачі завдання 02.10.2019

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прийняття
1	Інтерв'ю з керівником проекту	16.10	
2	Визначення об'єкту моделювання	30.10	
3	Визначення параметрів керування	13.11	
4	Визначення моделі керування системою	27.11	
5	Побудова моделі керування системою	11.12	
6	Визначення параметрів керування системою	25.12	
7	Захист проекту	08.01	

Студент

[підпис]

Товриши А.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

[підпис]

Клименко Т.В.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Виконаний аналіз структури, призначення та актуальності використання імпульсних перетворювачів постійної напруги. Розроблені та проаналізовані математична та схемотехнічна моделі імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу, отримані графіки результатів моделювання.

Ключові слова: ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ПОНИЖАЮЧОГО ТИПУ, ТРАНЗИСТОРНИЙ КЛЮЧ, МОДЕЛЮВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ВІЗУАЛЬНО-БЛОЧНА МОДЕЛЬ.

## ABSTRACT

In this paper, we analyze the purpose structure and the relevance of using pulsed DC/DC converters. Mathematical and circuit models of the pulsed step-down type DC/DC converter are developed and analyzed, and the graphs of the simulation results are obtained.

Keywords: DC VOLTAGE STEP-DOWN CONVERTOR, TRANSISTOR KEY, ELECTRICAL MODELING, MATHEMATICAL MODEL, VISUAL BLOCK MODEL.

## АННОТАЦИЯ

Выполнен анализ структуры, назначения и актуальности использования импульсных преобразователей постоянного напряжения. Разработаны и проанализированы математическая и схемотехническая модели импульсного преобразователя постоянного напряжения понижающего типа, получены графики результатов моделирования.

Ключевые слова: ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА, ТРАНЗИСТОРНЫЙ КЛЮЧ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ВИЗУАЛЬНО-БЛОЧНАЯ МОДЕЛЬ.

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 80 стор., 6 табл., 53 рис., 17 джерел.

При моделюванні електротехнічних комплексів виникає проблема значного збільшення часу моделювання з причини того що до складу електротехнічного комплексу входять напівпровідникові перетворювачі електроенергії, які мають постійну часу на два-три порядки меншу за постійну часу основного технологічного процесу. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є застосування усереднених моделей напівпровідникових перетворювачів. Дана робота саме присвячена розробці одного з напівпровідникових перетворювачів — імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу.

ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ  
ПОНИЖАЮЧОГО ТИПУ, ТРАНЗИСТОРНИЙ КЛЮЧ, МОДЕЛЮВАННЯ,  
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ВІЗУАЛЬНО-БЛОЧНА МОДЕЛЬ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ.....	8
1.1 Імпульсний перетворювач постійної напруги як об'єкт моделювання .....	8
1.2 Аналіз існуючих типових схем імпульсного перетворювача постійної напруги та електромагнітні процеси в них.....	10
1.3 Опис схеми та принципу дії імпульсного перетворювача постійної напруги 1-го роду.....	14
1.4 Актуальність використання імпульсних перетворювачів постійної напруги.....	16
1.5 Проблеми моделювання імпульсного перетворювача постійної напруги.....	29
2 ОПИС МОДЕЛІ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ПОНИЖУЮЧОГО ТИПУ.....	31
2.1 Моделі компонентів.....	31
2.1.1 Джерело постійної напруги.....	31
2.1.2 Ключовий елемент.....	32
2.1.5 Навантаження.....	38
2.2 Опис моделі у цілому на базі імпульсного перетворювача постійної напруги.....	40
3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ПОНИЖУЮЧОГО ТИПУ.....	43
3.1 Опис еталонної моделі.....	43
3.2 Реалізація моделі у програмному пакеті Matlab.....	47
3.3 Аналіз результатів моделювання.....	54
4 ВИМОГИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ В	

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ.....	61
4.1 Загальні вимоги безпеки:.....	61
4.2 Вимоги безпеки при виконанні робіт.....	61
4.3 Вимоги безпеки у аварійних ситуаціях.....	62
4.4 Вимоги безпеки після закінчення робіт.....	62
5 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ НА БАЗІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ПОНИЖУЮЧОГО ТИПУ.....	64
5.1 Формуляр проекту.....	64
5.2 Характеристика робіт за проектом.....	65
5.3 Робоча структура проекту — WBS.....	66
5.4 Організаційна структура проекту - OBS.....	68
5.5 Структура затрат проекту — CBS.....	67
5.6 Матриця відповідальності.....	69
5.7 Система кодування проекту.....	70
5.8 STR-каталог.....	72
5.9 Сіткове планування.....	73
5.10 Ймовірнісні характеристики проекту.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....	78

## ВСТУП

Сьогодні, складність та структура розроблюваних електричних схем давно перейшла на “наступний рівень”. Цей рівень визначається нераціональністю виконання розрахунку вручну, тобто на основі особистого досвіду та знання формул та законів для розрахунку.

Для досягнення поставленої задачі по розробці електронного пристрою у теперішній час, існує багато програмних засобів, що дозволяють точно та в менш довгий час виконати розрахунок електричної схеми. Пристрої перетворювальної техніки, що входять у склад цих програмних засобів реалізовані на схемотехнічному рівні. Але використання схемотехнічних моделей пов'язане з значними обчислювальними витратами. Це пояснюється тим, що моделюються процеси з різною інтенсивністю.

Використовуючи спеціальні бібліотеки, можна досягнути суттєвого скорочення часу на моделювання. Такий метод використовує диференціальні рівняння для середніх значень за такт роботи перетворювача, коли моделі на схемотехнічному рівні використовують миттєві значення електричних величин.

Об'єктом дослідження є імпульсний перетворювач постійної напруги понижуючого типу. Предметом дослідження є електромагнітні процеси в імпульсному перетворювачі постійної напруги понижуючого типу та їх математичне моделювання. Метою роботи є розробка моделі перетворювача та підтвердження її адекватності у порівнянні з моделлю схемотехнічного рівня.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

## 1.1 Імпульсний перетворювач постійної напруги як об'єкт моделювання

Імпульсний перетворювач постійної напруги — це перетворювач в якому регулюючий елемент(ключ), працює у імпульсному режимі, тобто періодично відкривається та закривається.

Перетворювачі постійної напруги призначені для зміни значення постійної напруги. Вони служать для живлення навантаження постійною напругою  $U_n$ , що відрізняється за величиною від напруги  $E$  джерела живлення, при цьому іноді необхідно стабілізувати напругу  $U_n$  при зміні напруги джерела живлення і струму навантаження, або змінювати напругу  $U_n$  за певним законом незалежно від напруги  $E$ . Вихідна напруга таких перетворювачів характеризується послідовністю імпульсів прямокутної форми з тривалістю  $t_i$  і паузою  $t_p$ , амплітуда яких близька до напруги харчування  $E$ . Вихідна напруга перетворювача характеризується середнім значенням  $U_n$ .

В основі принципу ІППН лежить ключовий режим роботи, що регулює напівпровідниковий прилад, який здійснює періодичне підключення напруги живлення  $E$  к вихідному ланцюгу перетворювача. Їх здатність регулювати вихідну напругу використовують при побудові регуляторів і стабілізаторів постійної напруги. ІППН широко застосовують також і в електроприводі для управління частотою обертання двигунів постійного струму.[1]

Переваги імпульсного перетворювача постійної напруги:

- високий ККД, що обумовлений малим падінням напруги на регулюючому приладі у відкритому стані і протікання струму в закритому;
- мала маса та габарити(висока питома потужність), що обумовлена відсутністю трансформатора, бо перетворення відбувається за рахунок дроселя та ключей;



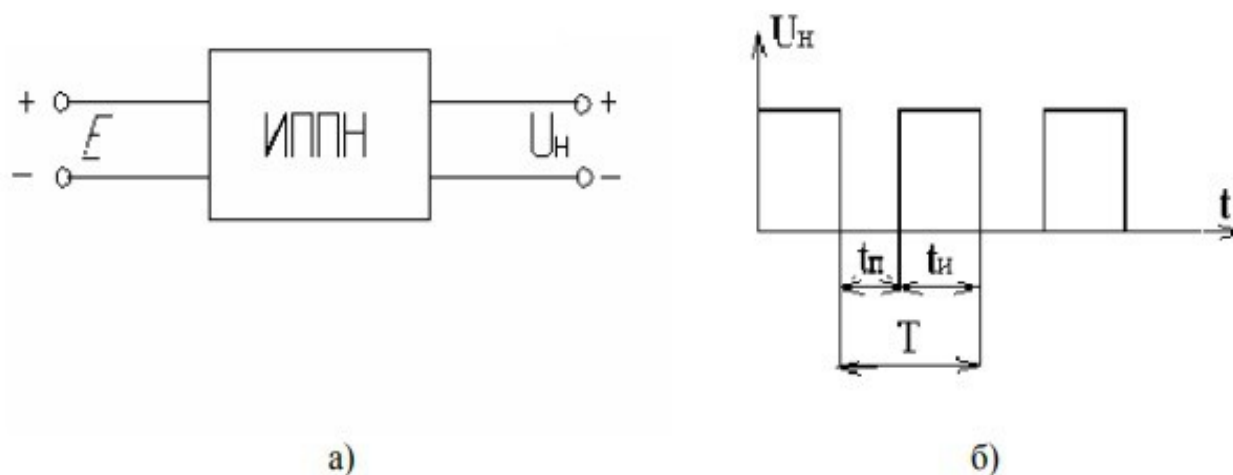


Рисунок 1 — Імпульсний перетворювач постійної напруги(а) та його крива вихідної напруги (б)

Недоліки імпульсного перетворювача постійної напруги:

- імпульсні перешкоди у вхідних і вихідних ланцюгах - як диференціальні (протифазні), так і перешкоди загального вигляду (синфазні перешкоди);
- вхідний негативний диференціальний опір - вхідний струм збільшується при зменшенні вхідної напруги;
- відсутність гальванічної розв'язки, при несправності ключів призводить до появи напруги первинного джерела живлення. Це особливо критично якщо в його ролі виступає мережа 220 В;
- небезпека ураження електричним струмом, як наслідок гальванічної розв'язки;
- великі габарити дроселя на перетворювачах високої потужності ставлять під сумнів доцільність використання цієї топології блоків живлення. При порівнянних масогабаритних показниках можна використовувати вже трансформаторний, гальванічно розв'язаний перетворювач.

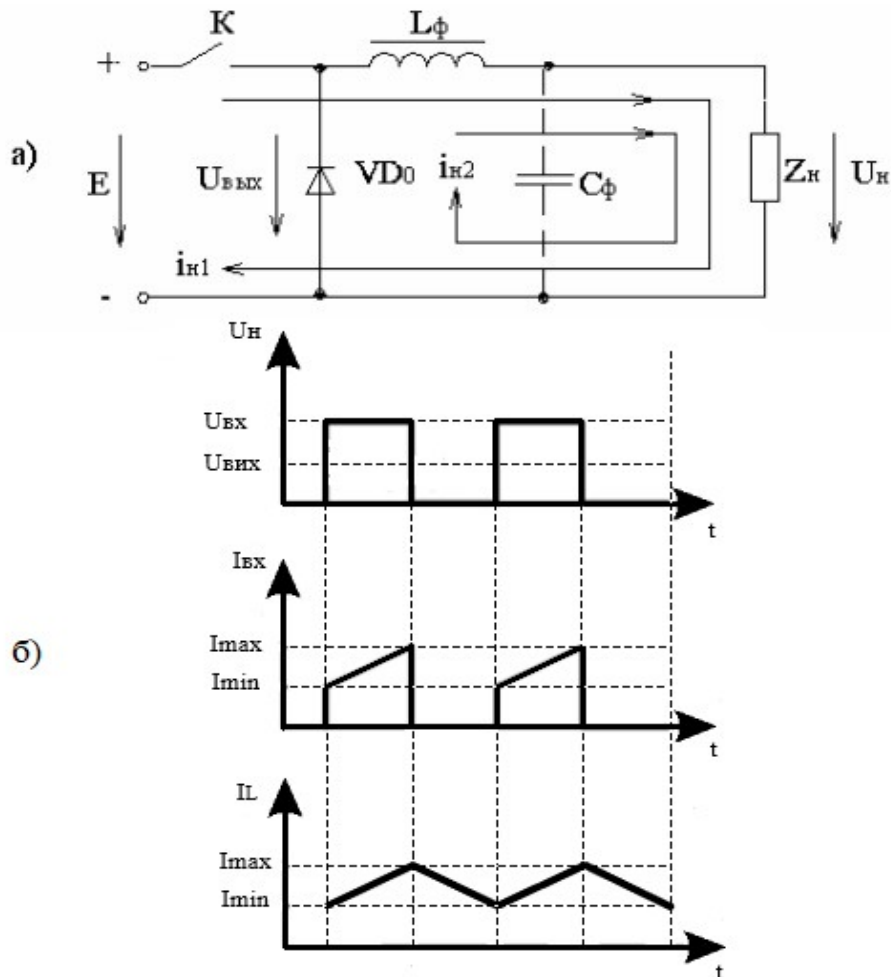


Рисунок 2 — Схема основних ланцюгів ІППН(а) та його часові діаграми(б)

1.2 Аналіз існуючих типових схем імпульсного перетворювача постійної напруги та електромагнітні процеси в них

а) Імпульсний перетворювач постійної напруги понижуючого типу;

Понижаючий перетворювач має послідовно увімкнений ланцюг з комутуючого елементу  $S_1$ , індуктивного накопичувача енергії  $L_1$ , опору навантаження  $R_n$  та, включеного паралельно йому, конденсатора фільтру  $C_1$ . Блокуючий діод  $VD_1$  підключен між точкою з'єднання ключа  $S_1$  з накоплювачем енергії  $L_1$  та загальним проводом.

При відкритому ключі діод закритий, енергія від джерела живлення накопичується у індуктивному накоплювачі енергії. Після того як ключ  $S_1$  буде закритий(розімкнутий), енергія накопичена дроселем  $L_1$ , через діод  $VD_1$

передається у опір навантаження  $R_H$ . Конденсатор  $C1$  згладжує пульсації напруги.

[2]

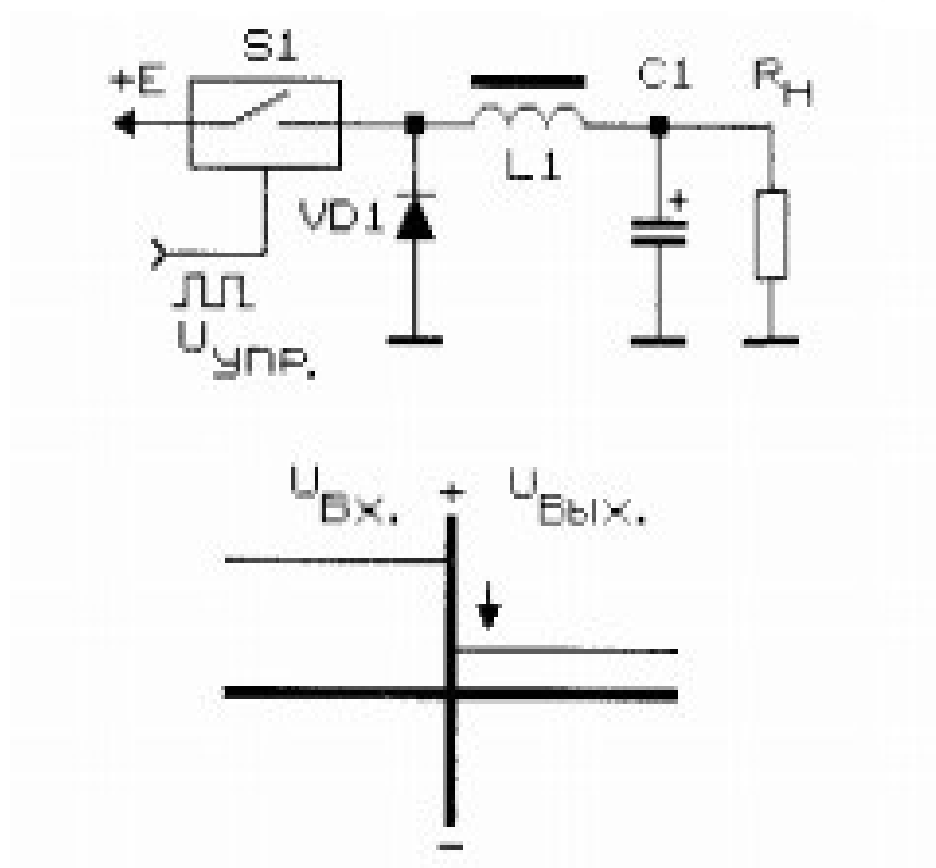


Рисунок 3 — Принцип дії понижуючого імпульсного перетворювача постійної напруги

б) Імпульсний перетворювач постійної напруги підвищуючого типу виконан на тих же основних елементах, але має інше їх поєднання: до джерела живлення підключен послідовний ланцюг з індуктивного накопичувача енергії  $L1$ , діода  $VD1$  та опору навантаження  $R_H$  з паралельно підключеним конденсатором фільтру  $C1$ . Комутуючий елемент  $S1$  увімкнутий між точкою з'єднання накопичувача енергії  $L1$  з діодом  $VD1$  та загальною шиною.

При відкритому ключі струм від джерела живлення протікає через котушку індуктивності в якій запасється енергія. Діод  $VD1$  при цьому закритий, ланцюг навантаження відключений від джерела живлення, ключа

та накопичувача енергії. Напряга та опір навантаження підтримуються завдяки накопиченій енергії на конденсатору фільтру. При розімкненні ключа ЕДС самоіндукції, сумуючись з напругою живлення, накопичена енергія передається до навантаження через відкритий діод VD1. Отримана таким способом вихідна напруга є більшою за напругу живлення.[2]

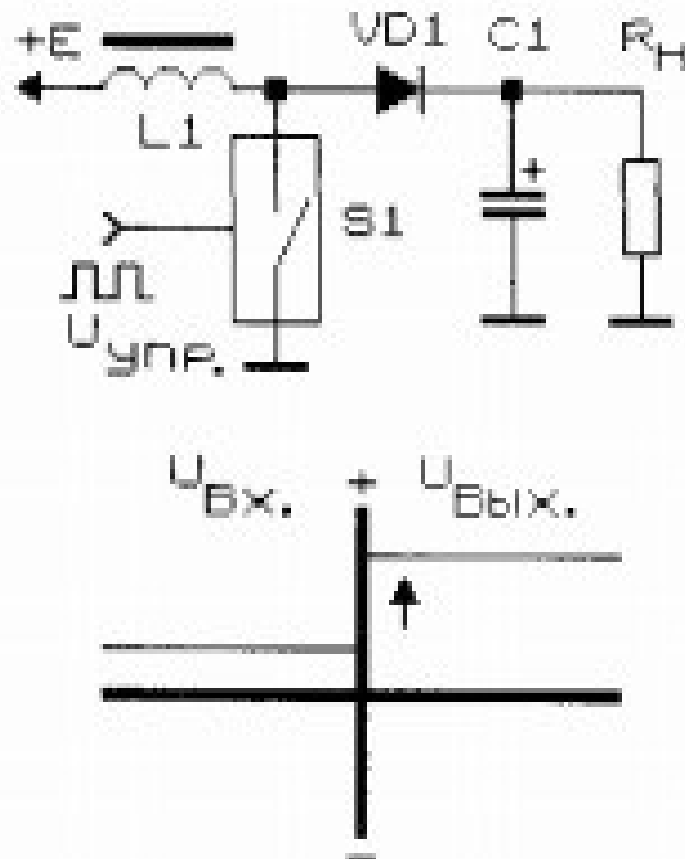


Рисунок 4 — Принцип дії підвищуючого імпульсного перетворювача постійної напруги

в) Імпульсний перетворювач постійної напруги інвертуючого типу

Інвертуючий перетворювач має усі ті ж поєднання основних елементів, але у іншому їх з'єднанні: до джерела живлення підключений послідовний ланцюг з комутуючого елементу  $S1$ , діода  $VD1$  та опору навантаження  $R_H$  з конденсатором фільтру  $C1$ . Індуктивний накопичувач енергії  $L1$  включений між точкою з'єднання комутуючого елементу  $S1$  з діодом  $VD1$  та загальною

ШИНОЮ.

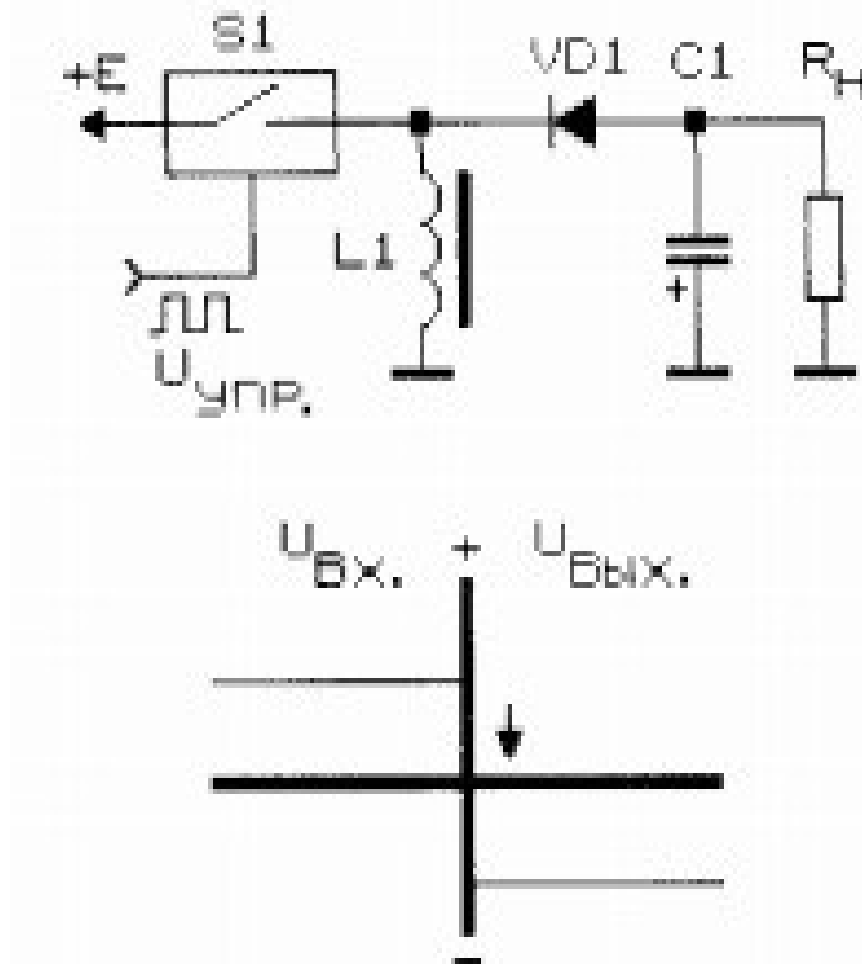


Рисунок 5 — Принцип дії інвертуючого імпульсного перетворювача постійної напруги

Працює перетворювач наступним чином: при замкненні ключа, енергія запасється у індуктивному накопичувачі. Діод  $VD1$  закритий та не пропускає струм від джерела живлення до навантаження. При відключенні ЕДС самоіндукції накопичувача енергії виявляється прикладеної до випрямляча, що містить діод  $VD1$ , опір навантаження  $R_H$  та конденсатор фільтру  $C1$ . Оскільки діод випрямляча пропускає до навантаження тільки імпульси негативної напруги, на вході пристрою формується напруга негативного знаку (інверсне, протилежне по знаку напруги живлення).

### 1.3 Опис схеми та принципу дії імпульсного перетворювача постійної напруги з пониженням напруги

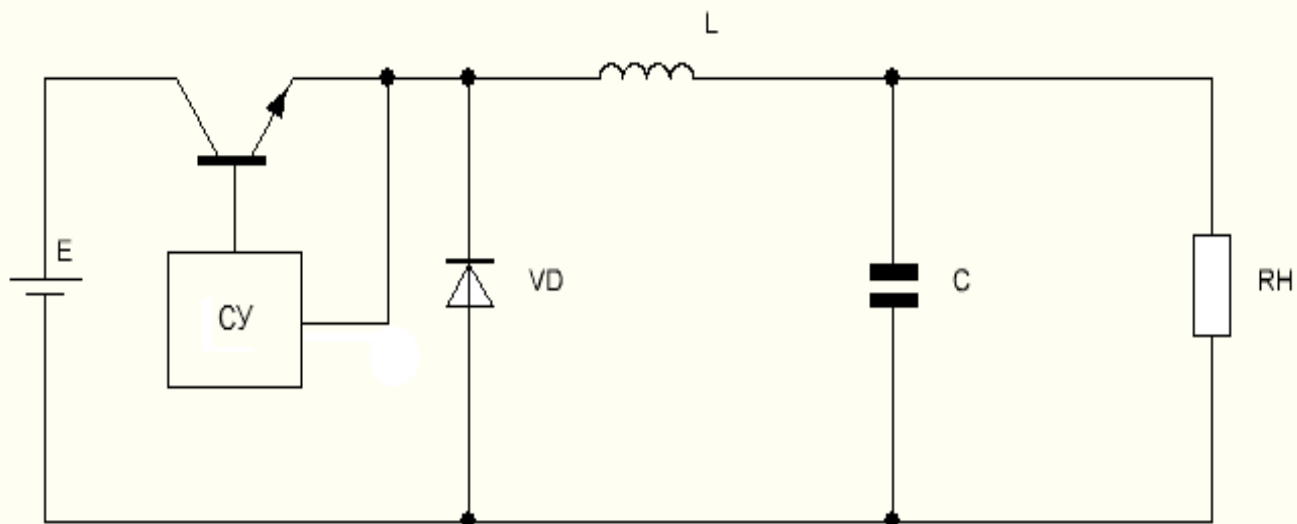


Рисунок 6 — Типова схема імпульсного перетворювача постійної напруги 1-го роду

Для зниження постійної напруги з мінімальними втратами і отриманням стабілізованого виходу застосовується наступний підхід. Постійна напруга перетворюється в імпульси змінної заповненості. Далі ці імпульси пропускаються через котушку індуктивності. Енергія накопичується на накопичувальному конденсаторі. Зворотній зв'язок стежить за стабільністю вихідної напруги і для цього регулює скважність імпульсів.

Принцип роботи понижуючого перетворювача напруги заснований на властивості котушки індуктивності (дроселя) накопичувати енергію. Накопичення енергії проявляється в тому, що сила струму через котушку індуктивності як би має інерцію. Тобто вона не може змінитися миттєво. Якщо до котушки прикласти напругу, то сила струму буде поступово наростати, якщо докласти зворотню напругу, то сила струму буде поступово

спадати.

На схемі видно, що система управління, в залежності від напруги на конденсаторі, замикає та розмикає силовий ключ. Причому, чим вища напруга на конденсаторі, тим менший час на який замикається ключ, тобто менший коефіцієнт заповнення(більша скважність). Якщо напруга на конденсаторі перевищує деяку, то ключ взагалі перестає замикатися поки напруга не знизиться.

Коли силовий ключ замкнутий, струм йде через дросель, оминаючи діод. При цьому до котушки індуктивності прикладена напруга, що рівна різниці між вхідною та вихідною напругою. Струм через котушку підвищується пропорційно напрузі, що прикладена до котушки, та часу на який замикається ключ. Котушка накопичує енергію. Протікаючий струм заряджає конденсатор.

Коли силовий ключ розімкнутий, струм йде через діод. До котушки індуктивності прикладена вихідна напруга з протилежним знаком. Струм через котушку зменшується пропорційно напрузі, що прикладена до котушки та часу за який ключ розімкнутий. Протікаючий струм як і раніше заряджає конденсатор.

Коли конденсатор зарядиться, ключ перестає замикатися та зарядка конденсатора припиняється. Ключ знову почне замикатися коли конденсатор трохи розрядиться через нагрівку.

Втрати енергії безпосередньо залежать від відношення вхідної і вихідної напруг. Так понижуючий перетворювач теоретично може сформувати великий вихідний струм при малій напрузі з невеликого вхідного струму, але великої напруги, але доведеться переривати великий струм при великому напруженні, що гарантує високі комутаційні втрати. Так що понижуючі перетворювачі застосовуються, якщо вхідна напруга в 1.5 - 4 рази більше вихідної, але їх намагаються не застосовувати при більшій різниці.

У такому перетворювачі немає трансформатора. Це, з одного боку,

добре, так як немає проблем з паразитною індуктивністю витоку - головним обмежувачем потужності імпульсних перетворювачів. Так що понижуючий перетворювач може бути розроблений практично на будь-яку потужність. Але, з іншого боку, погано, так як немає гальванічний розв'язки вхідного і вихідного ланцюгів.

#### 1.4 Актуальність використання імпульсних перетворювачів постійної напруги

Високі темпи розвитку сонячної енергетики в західних країнах дозволяють стверджувати, що сонячна енергетика скоро стане одним з головних джерел електроенергії. Для ефективного перетворення постійної напруги одного значення у інше, схеми сонячних електростанцій побудовані на основі імпульсних перетворювачів постійної напруги, як понижуючого, так і підвищуючого типів. Імпульсні перетворювачі постійної напруги П1 та П2, що виконані по класичним схемам, забезпечують стабілізацію вихідної напруги електростанції на шині Ш2. Імпульсний перетворювач П2 використовується у якості зарядного пристрою акумуляторних батарей.[3]

Силові високочастотні перетворювачі постійної напруги широко використовуються в сучасних джерелах живлення. Постійне вдосконалення характеристик ключових і пасивних елементів (MOSFET і IGBT транзисторів, які в даний час домінують, силових конденсаторів, матеріалів магнітопроводів для дроселів і трансформаторів і ін.), Які використовуються в подібного роду джерелах живлення, а також розвиток схемотехніки дозволяє істотно підняти частоту роботи перетворювача, не знижуючи ефективності. Це призводить до серйозного зменшення маси і габаритів блоків, які працюють на високій частоті. Теоретичні розрахунки повністю підтверджуються на практиці як при моделюванні, так і в результаті проведення натурних експериментів.[4]



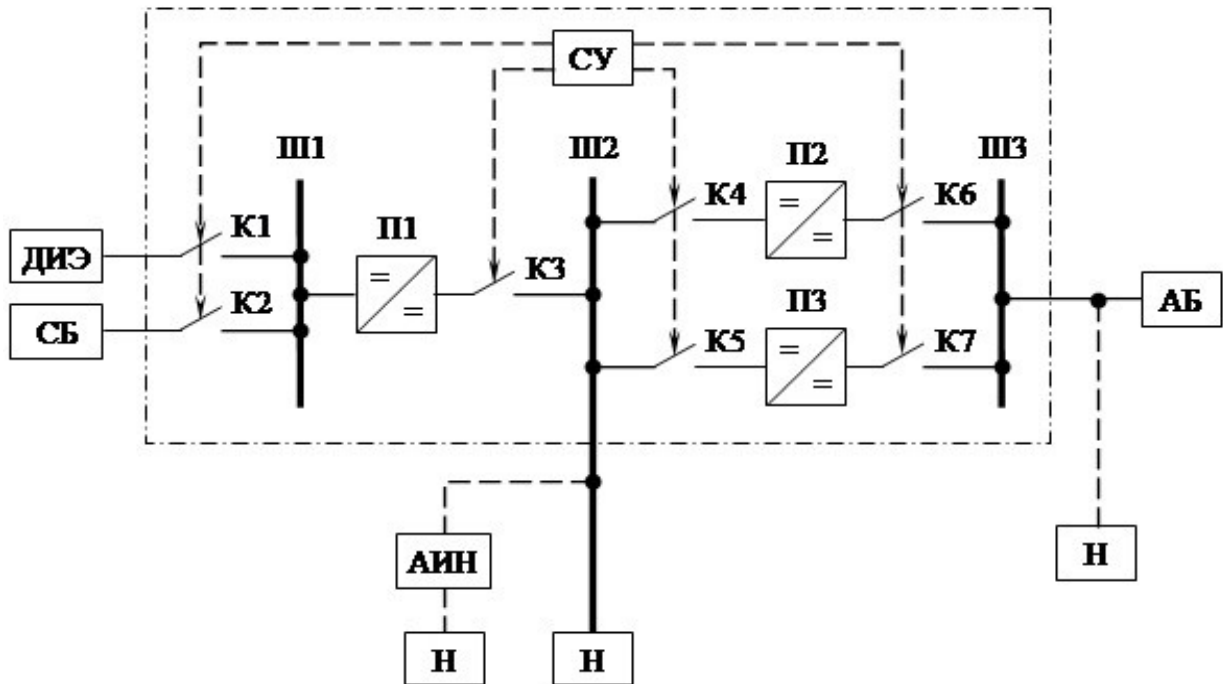


Рисунок 7 — Функціональна схема АСЕ з стабілізованою вихідною напругою

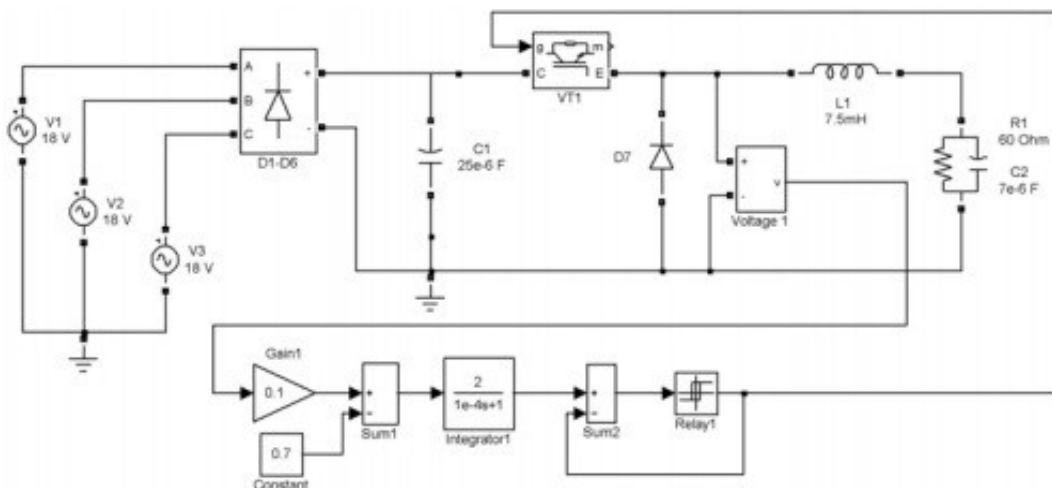


Рисунок 8 — Модель перетворювача постійної напруги понижуючого типу

Досягнення останніх десятиліть в області перетворювальної техніки дали відчутний поштовх розвитку нових напрямків у альтернативній енергетиці. Зміни доторкнулись насамперед, нових можливостей в управлінні енергетичними потоками в трактах перетворення енергії при одночасному зниженні питомої вартості перетворювальних пристроїв.

Метою даної роботи є розробка методики узгодження діапазонів вхідної та вихідної напруги ІППН, у складі електрообладнання ВЕУ з змінною швидкістю обертання вלאу вітротурбіни, з використанням графоаналітичного методу.

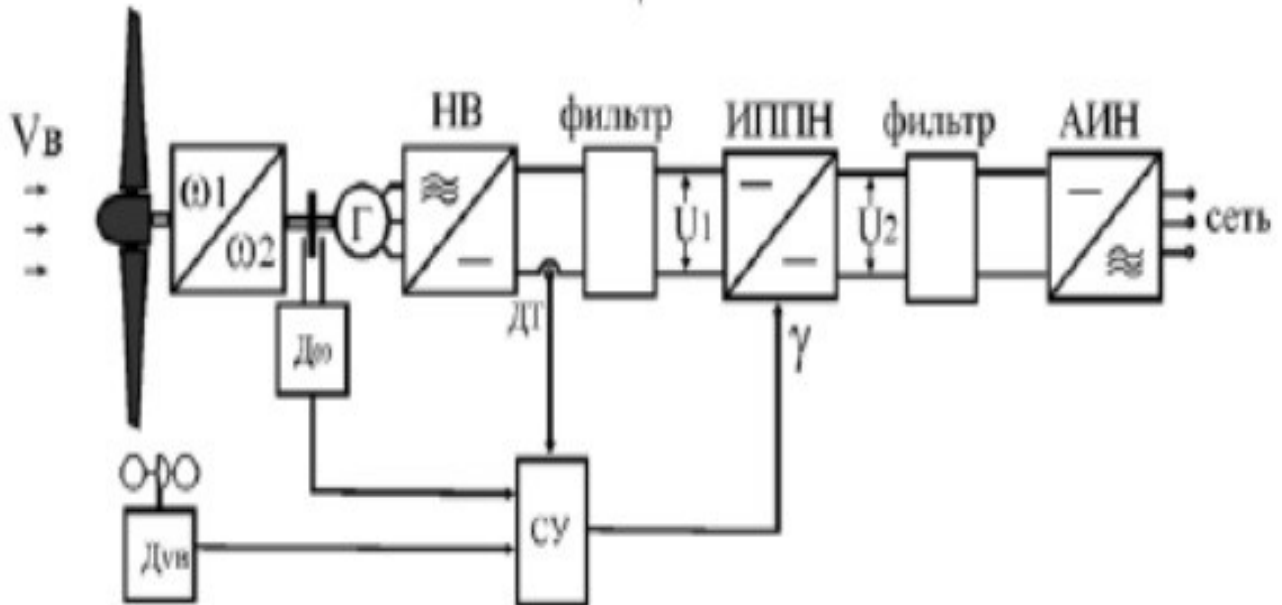


Рисунок 9 — Електромеханічна система ВЕУ з змінною швидкістю обертання вітротурбіни

В ході досліджень доведено, що запропонована графічна інтерпретація діапазонів зміни напруги імпульсного перетворювача постійної напруги у складі елеметромеханічної системи ВЕУ, яка дозволяє наглядно представити проблему узгодження режимів роботи обладнання. За допомогою графоаналітичного методу узгодження, визначені області “гарантованої керованості”, області “не отпирання”, а також область “не запирання”. Такий підхід може бути використаний для перетворювачів постійної напруги всіх типів.[5]

Виснаження традиційних джерел енергії, нерівномірний розподіл їх містознаходжень, зростаюча екологічна небезпека визивають необхідність у використанні нетрадиційних джерел енергії, серед яких значна частка належить до вітроенергетики.

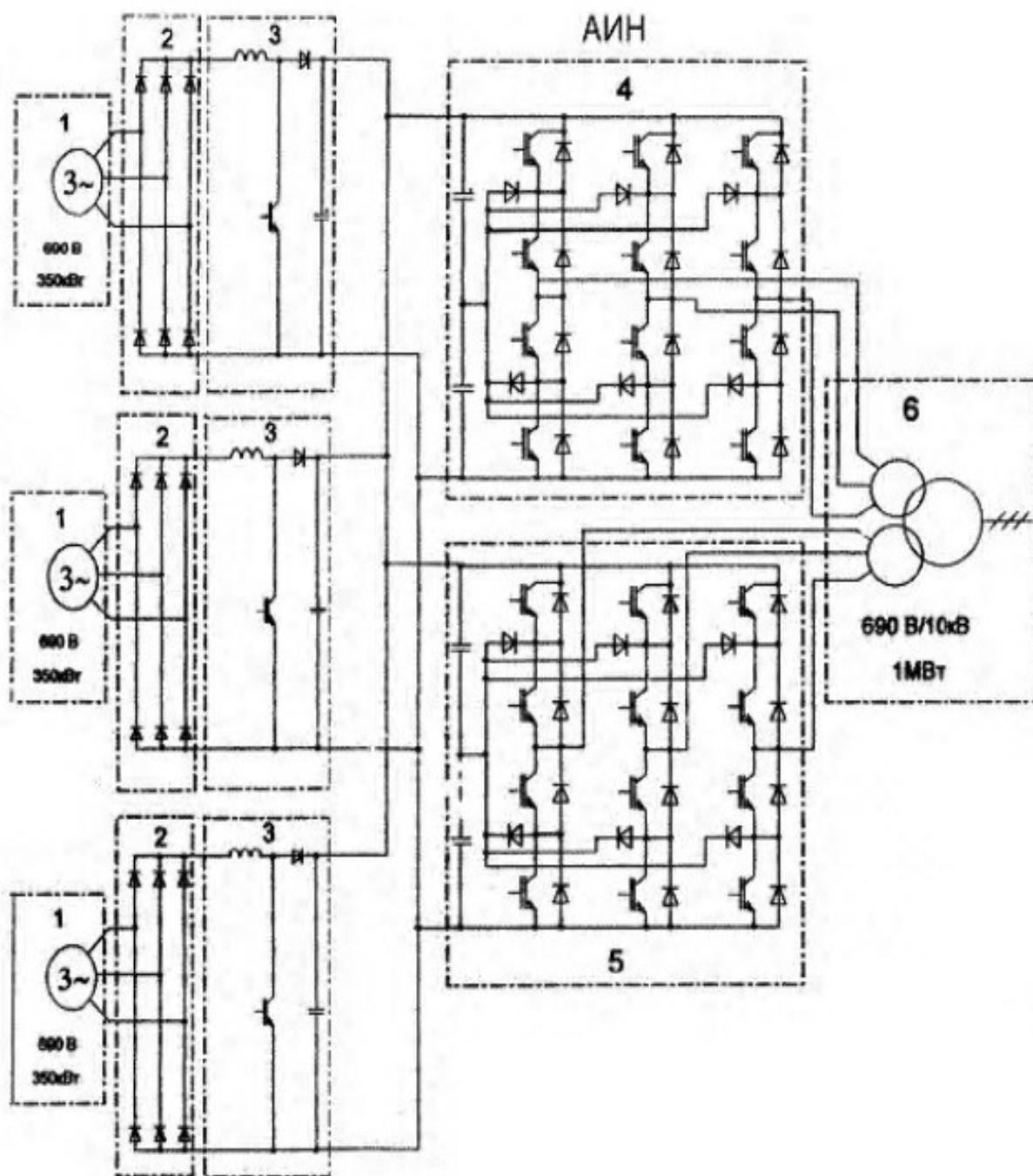


Рисунок 10 — Спрощена електрична схема перетворювача частоти вітрової енергетичної установки з аеродинамічною мультиплікацією

Усі признаки, необхідні для розвитку вітроенергетики, притаманні Україні, обґрунтований потенціал якої становить 16 Гвт.

Дослідження показали, що паралельне включення випрямлячів приводить до подорожчання допоміжних перетворювачів частоти, так як при зниженні обертів знижується напруга генератора та потрібна установка

ІППН. У випадку використання веденого мережею інвертора без ІППН знижується коефіцієнт потужності до 0,4 — 0,5, та в зв'язку з цим підвищується у два рази встановлена потужність ВМІ. Для роботи ВЕУ в автономному режимі необхідно використання перетворювачів з автономним інвертором напруги.

Найбільш раціональною була признана схема з трирівневим інвертором та імпульсним перетворювачем постійної напруги.

Розглянуті у статті технічні рішення показують можливість суттєвого підвищення ефективності перетворення енергії, а також можливість підвищення одиничної потужності ВЕУ АМ.[6]

Широке розповсюдження у техніці отримали імпульсні перетворювачі постійної напруги понижуючого типу, топологія яких використовується у широкому класі перетворювальних пристроїв — вентильних перетворювачів змінної структури. Одним з перспективних методів управління є розривне управління на ковзних режимах, можливості якого були вперше продемонстровані у системах з змінною структурою С.В. Емельяновим та В.І. Уткіним. Такі системи мають ряд привабливих властивостей: низькою чутливістю до зовнішніх обурень, зміни параметрів об'єкту управління, можливістю створювати оптимальні траєкторії рухів у перехідних режимах. Метою роботи є синтез управління імпульсним перетворювачем на ковзних режимах.

Такий метод управління імпульсним перетворювачем постійної напруги забезпечує стабілізацію вихідної напруги, інваріативність до обурень зі сторони первинного джерела живлення, аперіодичний характер перехідних процесів при зміні навантаження та заданню у широких межах, підвищення швидкодії у перехідних режимах за рахунок нелінійності поверхні ковзання та її адаптації до зміни параметрів навантаження та завдання.[7]

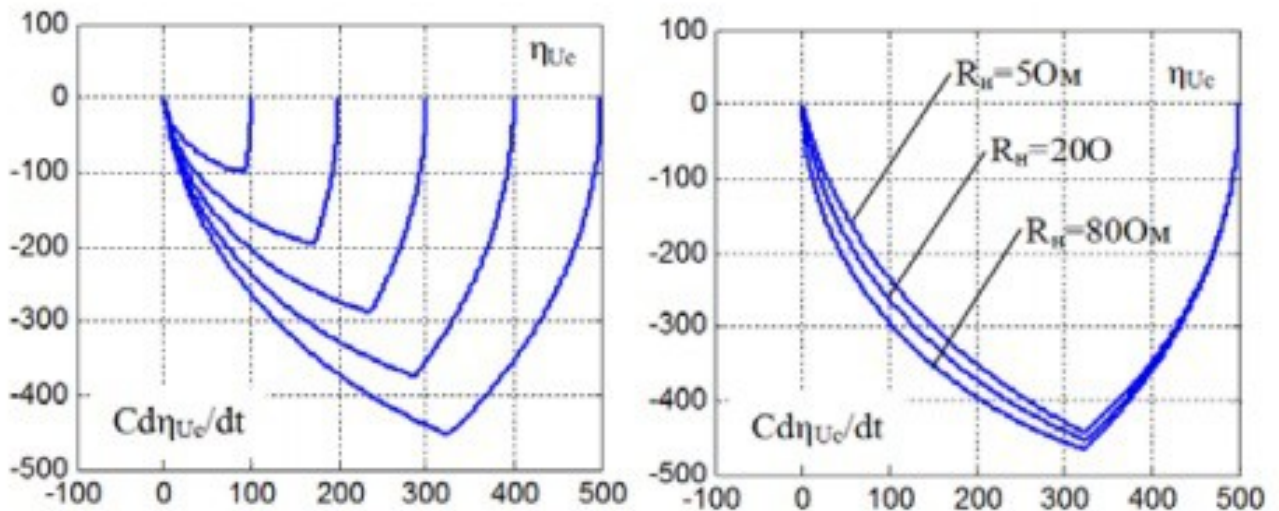


Рисунок 11 — Автоматичне налаштування поверхні ковзання при зміні завдання або параметрів нагривки

Перспективним методом сейсмозвідувальних робіт з метою пошуку родовищ вуглеводневої сировини слід визнати кодоімпульсний. У порівнянні з широко застосовуваними вібраційним, імпульсним і тим що використовує вибухи він має кілька переваг. Як і при імпульсній сейсмозвідці, джерела сигналів в цьому методі застосовуються значно менш потужні, ніж при вібраційному. Крім того, при їх виробництві допускається нижчий рівень технології машинобудування, що значно знижує собівартість сейсмоджерел. В сумі цих двох чинників кодоімпульсні сейсмоджерела мають у багато разів меншу вартість, ніж вібраційні. Застосований в перших експериментальних зразках кодоімпульсних сейсмоджерел, заряд накопичувача через дросель обумовлював великі розміри і вартість цього дроселя. Також було складно реалізувати підтримку стабільного значення максимальної напруги на накопичувачі.

Пропоноване рішення системи електроживлення наведено на рисунку 12. Схема містить обмотку  $Y$  двигуна зворотно поступального руху, накопичувальну батарею електричних конденсаторів  $C_p$ , комутатор струму обмотки на напівпровідникових ключах  $VS1 - VS4$  і зарядний пристрій, що

містить випрямляч і імпульсний перетворювач постійної напруги (ІППН). Ємність накопичувача становить кілька міліфарад, напруга на ньому 1000 В.

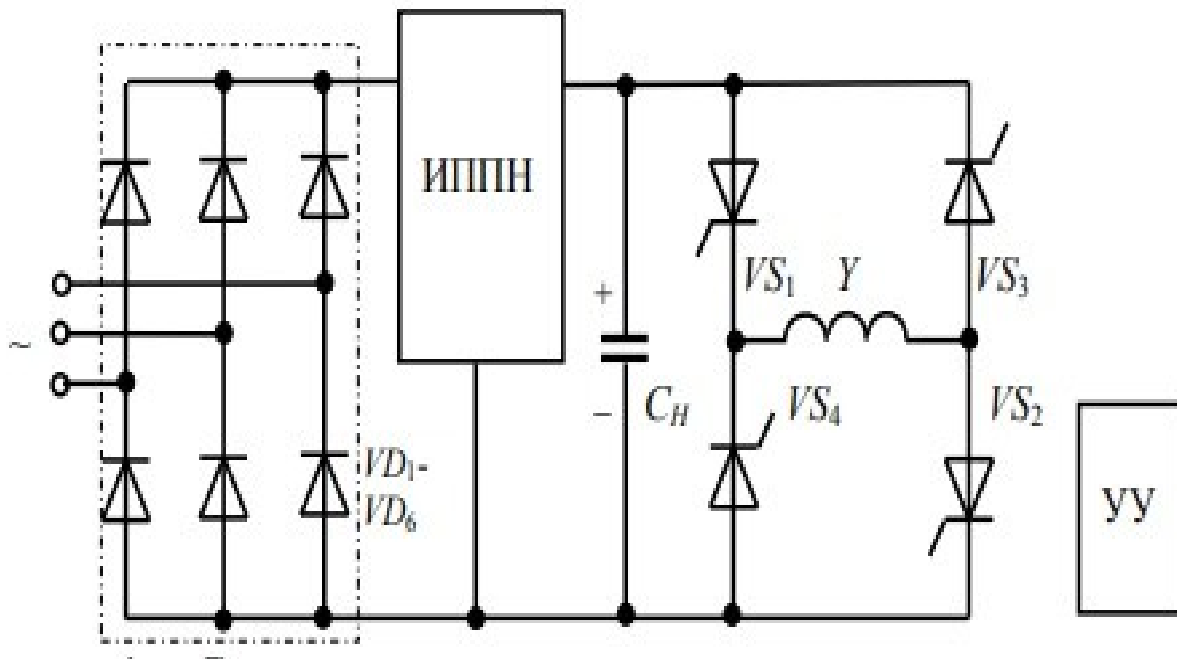


Рисунок 12 — Схема системи електроживлення кодоімпульсного сейсмоджерела

Схема надає кілька варіантів режиму роботи з формуванням імпульсів струму різної форми. Ключами VS1 - VS4 у неї можуть бути тиристри або IGBT — транзистори.[8]

Метод сейсмозвідки з використанням кодоімпульсних джерел сейсмічних сигналів є перспективним при розвідці родовищ нафти і газу.

Одним із проблемних кроків при проектуванні кодоімпульсного сейсмоджерела є розробка системи його електроживлення. Заряд накопичувача через дросель при зазначених параметрах обумовлює великі розміри і вартість цього дроселя. Також виявляється складним підтримання стабільного значення максимальної напруги на накопичувачі. Використання, як в імпульсних сейсмоджерелах, схем подвійників напруги неможливо через велику частоти повторення процесів заряду.

Рекомендоване рішення зазначеної проблеми заряду досягається

застосуванням імпульсного перетворювача постійної напруги. Однак схема перетворювача понижуючого типу (1-го роду) може забезпечити заряд накопичувача лише до величини вхідної напруги. У разі застосування перетворювача підвищуючого типу (2-го роду) є можливість заряду до потрібної величини напруги, але немає можливості обмежити струм заряду накопичувача при напрузі на ньому, меншому вхідного. Необхідний результат може бути отриманий об'єднанням в одному пристрої схем понижуючого і підвищуючого перетворювачів постійної напруги.

Наведена на рис.13 схема здійснює заряд накопичувача енергії  $C_n$  від нуля до величини напруги на виході трифазного мостового випрямляча VD1 — VD6 перетворювачем понижуючого типу на елементах VT1, VD7, L, а від неї до заданих 1000 В - перетворювачем підвищуючого типу на елементах VT2, VD8, L. При цьому на першому інтервалі VT2 вимкнений, а на другому інтервалі VT1 постійно включений.[9]

У системах силової електроніки, зокрема в імпульсних системах автоматичного регулювання (САР) струму малої та середньої потужності, знаходять широке застосування імпульсні перетворювачі постійної напруги (ІППН). При цьому, як показує практика, перевага віддається ІППН, побудованим на базі транзисторних широтно-імпульсних перетворювачів (ШІП). Однією з перспективних областей застосування ШІП є потужні САР струму програмованої форми для установок нестационарного електролізу, здатні формувати в навантаженні імпульси струму довільної форми. Принципи побудови таких САР і технічні вимоги до них розглянуті в роботі. Як приклад розглядається одномодульна САР струму, що складається з одноконтурної системи управління з регулятором струму (РС), що формує пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон управління, реверсивного ШІП, що здійснює комутацію ланцюга фільтра з навантаженням по несиметричному закону, і одноланкового індуктивно-ємнісного фільтра, що згладжує (LC -фільтра).[10]

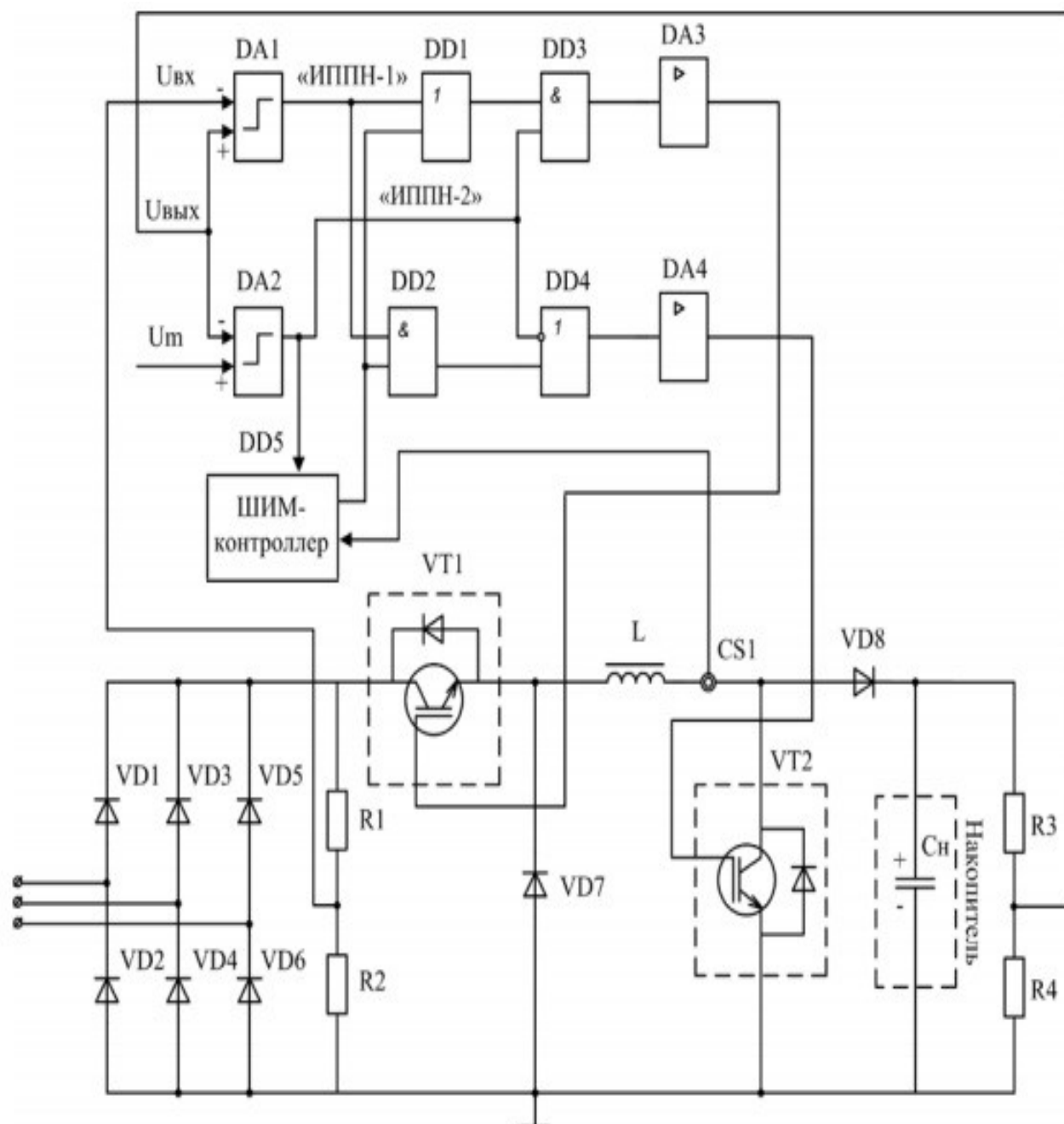


Рисунок 13 — Схема пристрою для заряду конденсаторного накопичувача з системою управління



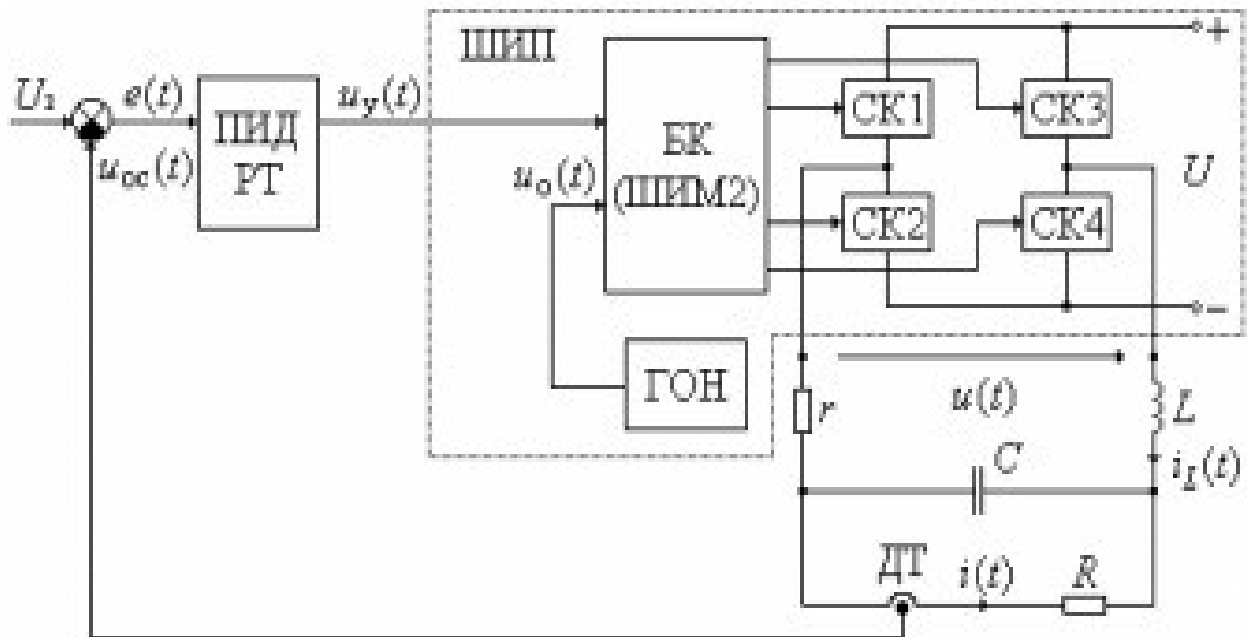


Рисунок 14 — Структурна схема досліджуваної САР

Живлення більшості електронних схем здійснюється джерелами постійної напруги, причому в переважній більшості випадків стабілізованого. В основному в джерелах живлення використовуються імпульсні стабілізатори, що забезпечують високі значення коефіцієнта корисної дії, можливість отримання значного вихідного струму і ефективність при великій різниці між значеннями вхідної і вихідної напруг. Метою даної роботи є розробка математичної моделі стабілізації вихідної напруги імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу (ШПН ПТ, далі — чопер) з цифровим процесором (ЦП) і дослідження всієї замкнутої системи з негативним зворотним зв'язком (ОЗ) за допомогою MATLAB.

Стабілізація вихідної напруги досягається регулюванням за допомогою зворотного зв'язку величини коефіцієнта заповнення чопера. Розвиток

напівпровідникових технологій дозволяє створити цифровий зворотний зв'язок, який є конкурентом аналогової. Цифрова складова понижуючого перетворювача може бути реалізована як однієї мікросхемою, так і складатися з окремих мікросхем.

Чоппер з цифровим процесором має низку переваг і недоліків в порівнянні з аналоговим перетворювачем напруги. Наприклад, програмованість створює можливість змінювати величину вихідної напруги без заміни елементної бази в колі зворотного зв'язку. В чопперу для розрахунку коефіцієнта загасання потрібна передавальна функція, яка виводиться на підставі математичної моделі силової схеми.

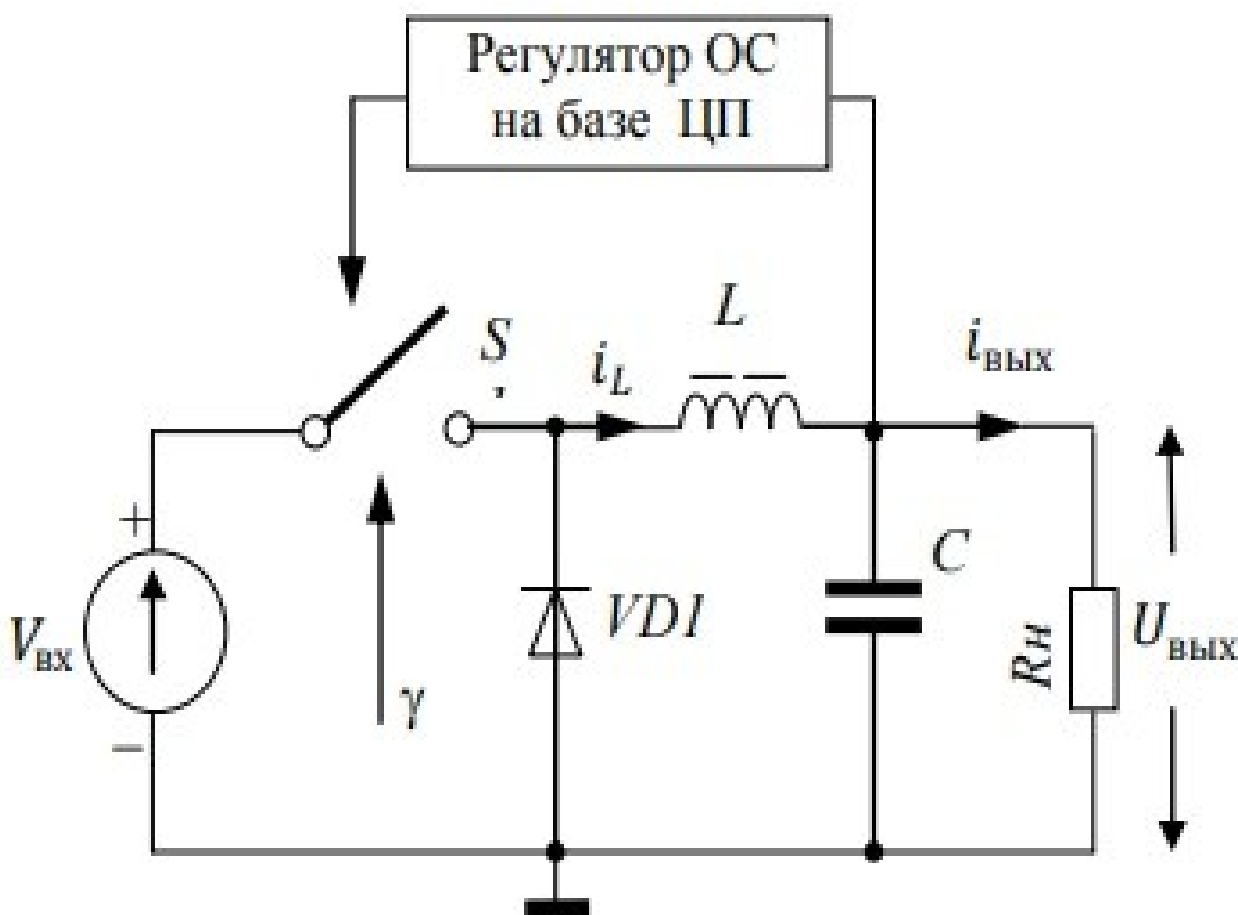


Рисунок 15 — Схема найпростішого чоппера

В ході досліджень, що описані у статті[11], отримано передавальні функції чопера з розімкненою і замкнутою одновимірною системою управління. Розроблено метод розрахунку коефіцієнта загасання чопера за допомогою пакета аналізу Control System Toolbox системи MATLAB. Результати аналізу перехідних характеристик вихідного напруги дозволяють рекомендувати застосування цифрового процесора в чопперу з метою стабілізації вихідної напруги[11].

В сучасних автоматизованих електроприводах виробничого обладнання, що використовується в різних галузях промисловості, включаючи текстильну і легку, для безпосереднього управління частотою обертання і електромагнітним моментом електродвигуна при його потужності від декількох сотень ват до 100 кВт використовуються транзисторні імпульсні перетворювачі постійної напруги (ІППН) з широтно-імпульсним або релейним регулюванням вихідної напруги. При роботі ІППН через неідеальність його силових елементів в ньому відбувається дисипація споживаної від випрямляча електроенергії, що негативно відбивається на енергетичних показниках автоматизованого електроприводу. Зниження трудомісткості, підвищення точності і ступеня достовірності визначення потужності втрат і інших енергетичних показників ІППН дозволяє його комп'ютерне схемотехнічне моделювання.

Для безпосереднього вимірювання основних параметрів електричних ланцюгів в середовищі NI Multisim призначені вольтметр (Voltmeter), амперметр (Ammeter), мультиметр (Multimeter), ватметр (Wattmeter), а також вимірювальний датчик або зонд (Measurement Probe). Метою роботи є вивчення можливості використання зазначених приладів для визначення енергетичних показників модельованих ІППН. Для перевірки достовірності показань віртуальних приладів в якості об'єкта з імпульсним споживанням постійного струму обраний понижуючий імпульсний регулятор постійної напруги (ІРПН) з резистивної навантаженням.

Таблиця 1 — Результати вимірювань[12]

## Результаты измерений и расчетов токов ИРПН

Условия измерений			Результаты измерений				Результаты расчетов		
$D$	$I_{L \min}$	$I_{L \max}$	$I_{dc}$	$I_{ac}$	$I_{(dc)}$	$I_{(rms)}$	$I_{п.ср}$	$I_{п}$	$I_{rms}$
0,2	1,118	2,694	0,388	0,801	0,388	0,890	0,388	0,889	0,890
0,2	0	1,502	0,153	0,363	0,153	0,393	0,150	0,388	0,394
0,5	2,140	4,490	1,670	1,736	1,670	2,410	1,658	2,393	2,408
0,5	0	2,354	0,602	0,772	0,602	0,979	0,589	0,961	0,979
0,8	0,600	2,117	1,100	0,678	1,100	1,300	1,087	1,277	1,292
0,8	0	1,478	0,610	0,490	0,610	0,783	0,591	0,763	0,783

## Результаты измерений и расчетов потребляемой мощности ИРПН

Условия измерений			Результаты измерений				Результаты расчетов			
$D$	$I_{L \min}$	$I_{L \max}$	$I_{(dc)}$	$I_{(rms)}$	$P_{п}$	$\lambda$	$I_{п.ср}$	$I_{п}$	$P_{п}$	$\lambda$
0,2	1,118	2,694	0,388	0,890	11,64	0,436	0,388	0,889	11,64	0,436
0,5	2,140	4,490	1,670	2,410	50,00	0,693	1,658	2,393	50,10	0,693
0,8	0,600	2,117	1,100	1,300	33,10	0,852	1,087	1,277	32,61	0,851

З аналізу даних табл.1, що виміряні вимірювальним зондом середні і діючі значення споживаного ИРПН струму практично не відрізняються від їх розрахункових значень. Такий же висновок можна зробити для виміряного ваттметром середнього значення споживаної ИРПН потужності, його коефіцієнта потужності, а також для середнього значення споживаного струму, виміряного амперметром в режимі вимірювання DC. З цього випливає, що в середовищі NI Multisim віртуальні електровимірювальні прилади при моделюванні ИРПН дають достовірні свідчення, дозволяють

визначити їх енергетичні показники без проведення складних математичних розрахунків і скоротити час на їх проектування[12].

### 1.5 Проблеми моделювання імпульсного перетворювача постійної напруги

Створення моделей силової частини електротехнічних комплексів є основою для процедури синтезу системи управління, де силове обладнання виступає в якості компоненти об'єкта управління. Більш ніж 80 відсотків трудомісткості синтезу автоматизованих систем управління припадає саме на етап створення математичної моделі об'єкта управління.

Одним з основних шляхів скорочення часу на синтез і налагодження математичної моделі є використання способів побудови моделі із застосуванням бібліотек компонент системи.

Невід'ємною частиною бібліотек компонентів для моделювання електротехнічного комплексу виступають моделі напівпровідникових перетворювачів енергії.

Пристрої перетворювальної техніки, які входять до складу комплексу, в моделях найбільш часто реалізовані на схемотехнічному рівні. Використання таких моделей пов'язане зі значними обчислювальними витратами у зв'язку з тим, що моделювання піддаються процеси з істотно різною інтенсивністю.

Скорочення часу для даних систем може бути досягнуто на шляху застосування математичного опису роботи напівпровідникових перетворювачів в усереднених змінних. Суть його полягає у формуванні системи диференціальних рівнянь не для миттєвих значень електричних величин, а для середніх значень за такт роботи напівпровідникового перетворювача. Зазначене подання значно скорочує кількість ітерацій, при чисельному рішенні системи диференціальних рівнянь, для процесів протікають з різною інтенсивністю.

Вихідним описом пристрою при розробці цих моделей є так звана “імпульсна модель”. Перехід від неї до “структурної моделі” здійснюється шляхом заміни ключових елементів на пропорційні ланки. Величина їх коефіцієнтів пропорційності прирівнюється коефіцієнту заповнення ключа. [14]

У роботі [15] розглянутий метод синтезу математичної моделі електротехнічного комплексу у формі візуально-блочної моделі ВБМ. Модель будується з використанням бібліотеки компонентів, сформованої на основі запропонованого принципу декомпозиції об'єкта моделювання, заснованого на його представленні в формі схеми енергетичного тракту.[14]

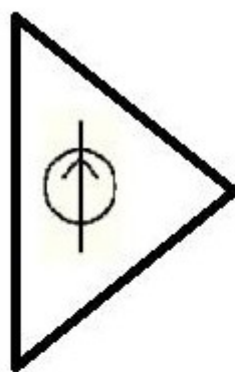
У бібліотеці візуально-блочного моделювання, яке було розглянуто у [15], відсутній елемент, що описує роботу імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу. Дана модель повинна бути реалізована в усереднених змінних стану. Важливим аспектом застосування даної моделі є її адекватність, з точки зору точності відтворення властивостей реального пристрою.

## 2 ОПИС МОДЕЛІ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ З ПОНИЖЕННЯМ НАПРУГИ

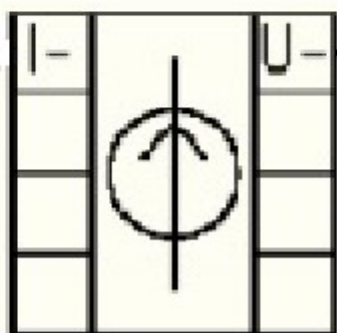
### 2.1 Моделі компонентів

#### 2.1.1 Джерело постійної напруги

Джерело постійної напруги — елемент електричного кола, на зажимах якого напруга не залежить від струму, що протікає через джерело і дорівнює його ЕРС.



а)



б)

Рисунок 16 — Джерело постійної напруги: а) позначення на схемі енергетичного тракту; б) позначення у візуально-блочній моделі

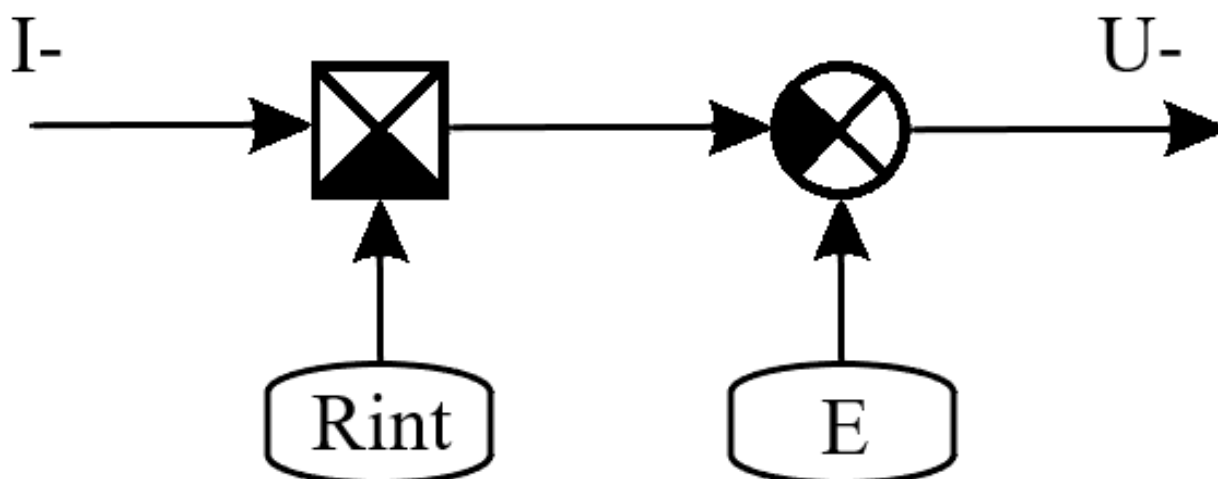


Рисунок 17 — Візуальна модель джерела постійної напруги

Даний елемент призначений для живлення схеми імпульсного перетворювача постійної напруги. Параметр  $R_{int}$  визначає нахил вольтамперної характеристики джерела постійної напруги.

Вхідною величиною с точки зору причинно-наслідкових зв'язків є струм на вході джерела. Вихідною величиною є напруга на виході джерела.

Напруга на виході джерела подається на вхід наступного елемента — транзисторного ключа.

### 2.1.2 Ключовий елемент

Транзисторний ключ — струмовий ключ, виконаний на одному або декількох транзисторах, що працюють в ключовому режимі. Зміна електропровідності транзистора, що обумовлює перемикання струму в навантаженні, забезпечується подачею на його керуючий електрод керуючої напруги певної полярності і рівня.

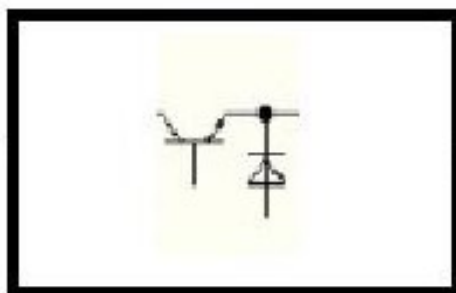
Діодний ключ — некерований струмовий ключ, який використовується для комутації електричних сигналів.

Транзисторний ключовий елемент виконує перетворення вхідної напруги з джерела постійної напруги у напругу, що прикладається до

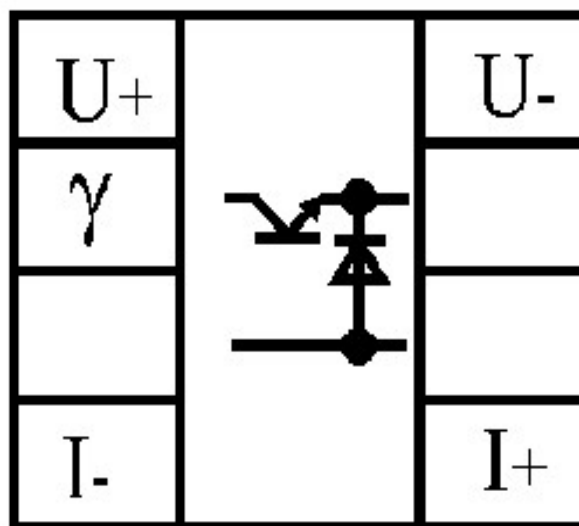


індуктивного накопичувача зі сторони вхідного джерела енергії, відповідно до коефіцієнта заповнення відкритого стану транзистору  $\gamma$ .

Дане перетворення виконується у напрямку “прямого” причинно-наслідкового зв'язку.



a)



б)

Рисунок 18 — Транзисторний та діодний ключові елементи: а) позначення на схемі енергетичного тракту; б) позначення у візуально-блочній моделі

Для зворотнього причинно-наслідкового зв'язку цей блок перетворює вихідний струм індуктивного накопичувача у вхідний струм перетворювача для даного блоку.

Діодний ключ виконує блокуючу функцію, він підключений до точки між з'єднанням транзисторного ключа та індуктивного накопичувача в зворотньому напрямку. При вимкненні транзисторного ключа, діодний ключ забезпечує комутацію в перетворювачі.

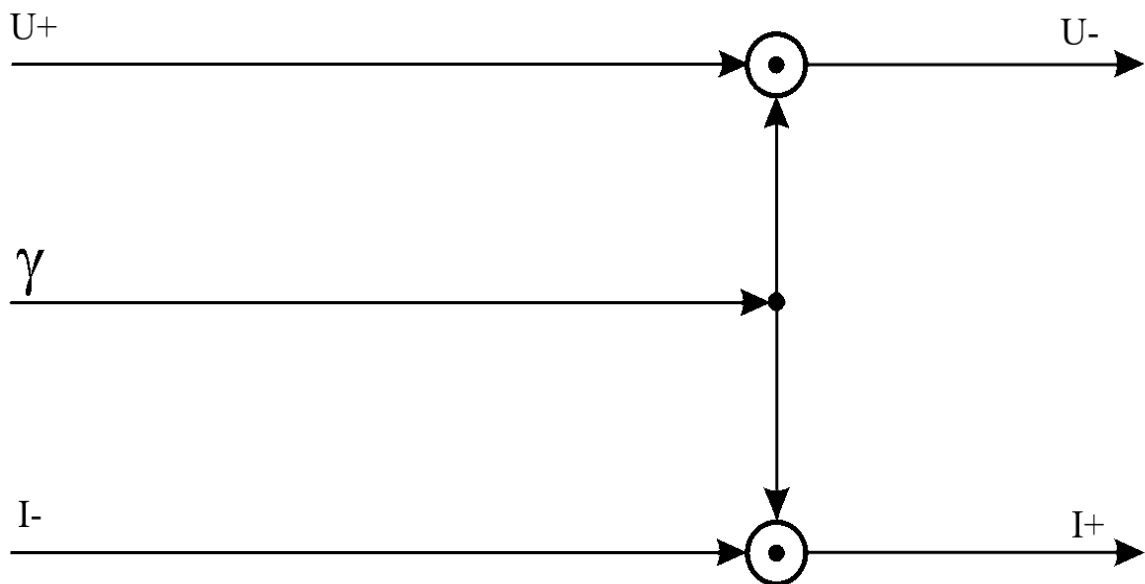


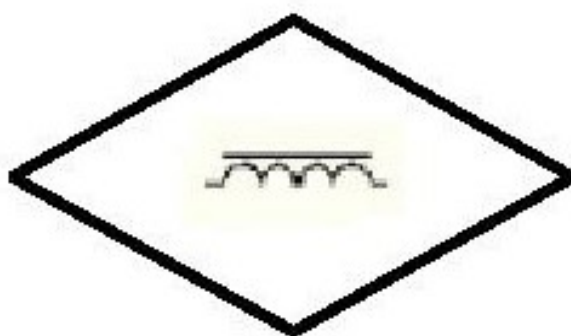
Рисунок 19 — Візуальна модель ключового елемента

Вхідними величинами з точки зору причинно-наслідкового зв'язку є вхідна напруга транзисторного ключа від джерела постійної напруги, вихідний струм на вході ключа та коефіцієнт заповнення транзисторного ключа. Вихідними величинами є напруга та струм на виході ключового елемента.

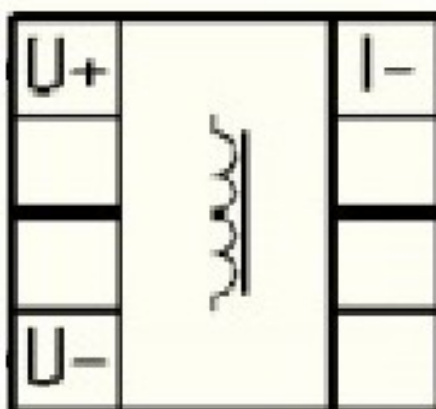
### 2.1.3 Індуктивний накопичувач

Котушка індуктивності - індуктивна котушка, що є елементом коливального контуру і призначена для використання її добротності.

При замкнутому транзисторному ключі, індуктивний накопичувач заряджається від джерела постійної напруги.



а)



б)

Рисунок 20 — Індуктивний накопичувач: а) позначення на схемі енергетичного тракту; б) позначення у візуально-блочній моделі

Через індуктивність протікає зростаючий струм до того моменту як транзисторний ключ буде розімкнутий. Енергія, що запасена у індуктивності, поступово підвищується по мірі підвищення величини протікаючого струму. Після досягнення необхідного запасу енергії транзисторний ключ вимикає джерело постійної напруги і навантаження  $R$  живиться від індуктивного накопичувача. Після чого проходить розряд на навантаження енергії, що була накопичена в котушці індуктивності.

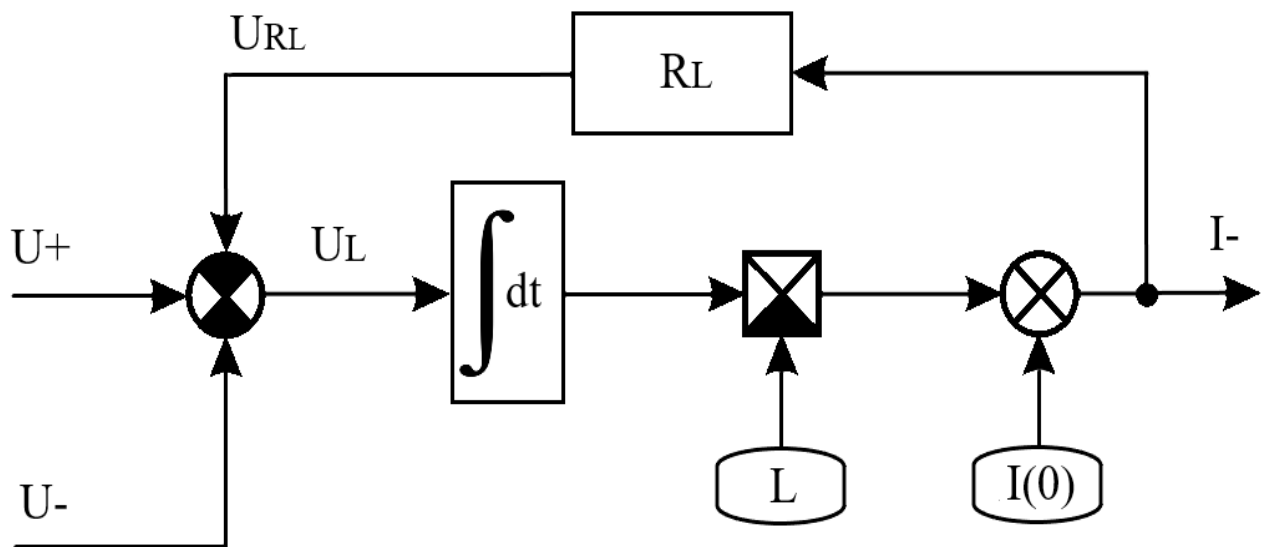


Рисунок 21 — Візуальна модель індуктивного накопичувача

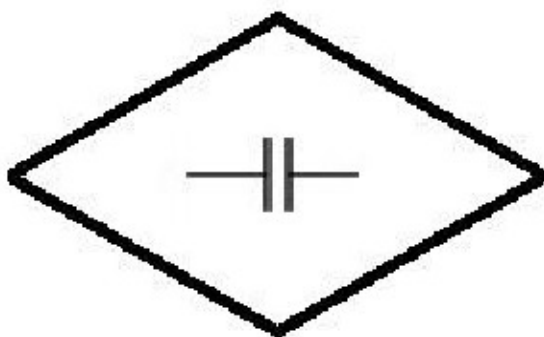
Розрахунок має інтегральну форму, при якій враховується індуктивність накопичувача  $L$ , початковий струм  $I_{(0)}$  через неї та втрати, які представляє собою параметр  $R_L$ .

Вхідними величинами з точки зору причинно-наслідкового зв'язку є вхідна напруга та вихідна напруга відповідно. Вихідною величиною є струм через індуктивність.

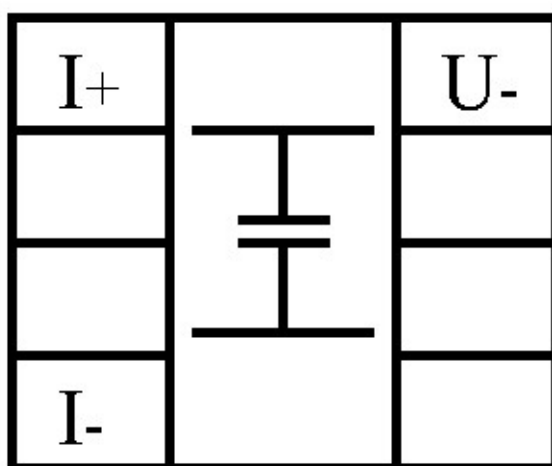
### 2.1.4 Ємнісний накопичувач

Конденсатор - система з двох чи більш електродів(обкладок), які розділені діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розміром обкладок. Така система має взаємну електричну ємність и здатна зберігати електричний заряд. Конденсатор є пасивним електронним компонентом і широко застосовується в електронних схемах для блокування постійного струму, пропускаючи змінний струм.

Конденсатор в даній схемі виконує функцію згладжування пульсацій напруги. Він ввімкнутий параллельно відносно навантаження, та послідовно, до виходу індуктивного накопичувача.



a)



б)

Рисунок 22 — Ємнісний накопичувач: а) позначення на схемі енергетичного тракту; б) позначення у візуально-блочній моделі

При замкнутому ключовому елементі, конденсатор заряджається. При розімкненні транзисторного ключа конденсатор продовжує заряджатися від енергії, що була накопичена в котушці індуктивності. При повторному замкненні ключового елементу, котушка знов починає накопичувати енергію, а конденсатор в той же час починає розряджатися у навантаження.

Розрахунок має інтегральну форму, при якій враховується ємність конденсатора  $C$ , та початкову напругу на ємності  $U(0)$ .

Вхідними величинами з точки зору причинно-наслідкового зв'язку є струм заряду та струм розряду ємності відповідно. Вихідною величиною є напруга на ємності.

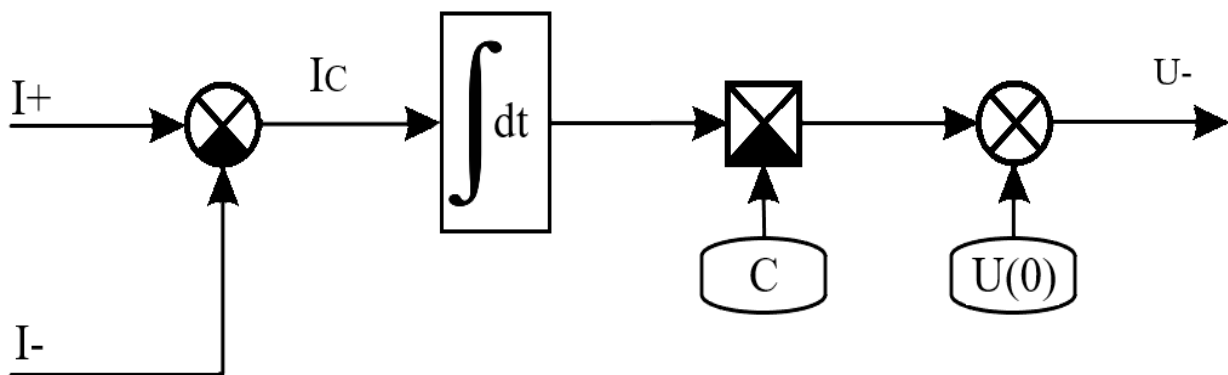


Рисунок 23 — Візуальна модель ємнісного накопичувача

### 2.1.5 Навантаження

Навантаження — споживач електричної енергії у ланцюзі.

В схемі імпульсного перетворювача постійної напруги навантаження є приймачем енергії. Коли транзисторний ключ замкнутий, навантаження живиться від ємнісного накопичувача, а в той час, коли ключовий елемент розімкнутий, навантаження живиться від індуктивного накопичувача.

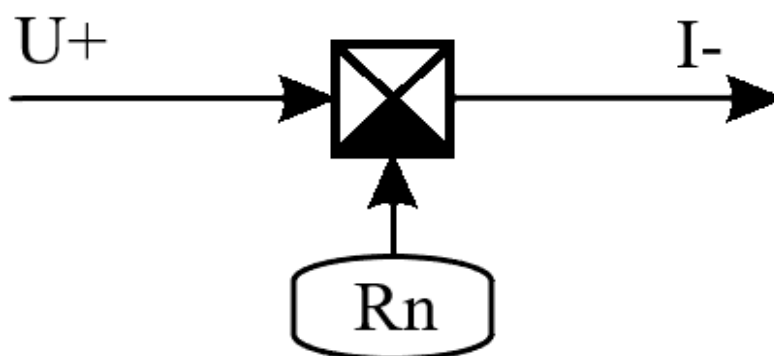
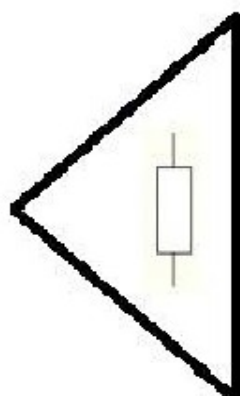
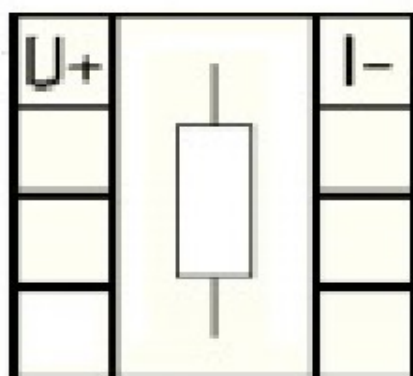


Рисунок 24 — Візуальна модель навантаження  
 Параметр  $R_n$  визначає величину електричного опору навантаження.



а)



б)

Рисунок 25 - Навантаження: а) позначення на схемі енергетичного тракту; б) позначення у візуально-блочній моделі

Вхідною величиною з точки зору причинно-наслідкового зв'язку є напруга яка подається від імпульсного перетворювача постійної напруги на вхід навантаження. Вихідною величиною є струм через навантаження.

## 2.2 Опис моделі у цілому на базі імпульсного перетворювача постійної напруги

Модель складається з п'яти блоків:

- джерело енергії;
- перетворювач енергії;
- індуктивний накопичувач;
- ємність для згладжування;
- приймач енергії.

Енергетичний тракт представляє собою двоканальну структуру. Обов'язковими елементами такої системи завжди є джерело та приймач енергії.

Джерело енергії є елементом енергетичного тракту, що перетворює потік енергії який приходить з поза системи. В свою чергу, приймач енергії перетворює потоки енергії всередині електротехнічного комплексу у потоки енергії, що належить несистемі. Обидва ці елементи виступають у ролі посередника між електротехнічним комплексом та зовнішнім середовищем.

Елемент перетворення відображає функцію зміни форми енергетичного потоку, в якому, при цьому, не відбувається розгалуження потоку енергії.

Накопичувальний елемент відображає функцію накопичення енергії. Для електротехнічного комплексу цей елемент може бути пов'язаний: з інерційною масою що обертається, пружнім зв'язком на скручування для обертального руху; інерційною масою, пружнім зв'язком при поступальному русі; електричною ємністю і індуктивним накопичувачем для електромагнітних процесів; теплоємністю для термодинамічних процесів, і т.д.

Доцільним є відображення в структурі тільки енергетичних функцій,



що стосуються основного призначення елементів електротехнічного комплексу. Другорядні ж функції (втрати, паразитні ємності і індуктивності, і т.д.), в цьому випадку потрібно включати всередину елемента структури.

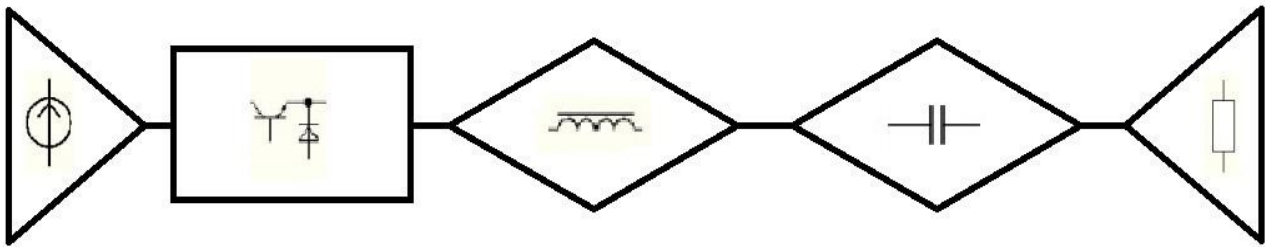


Рисунок 26 — Схема енергетичного тракту імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу

Наступним етапом в синтезу моделі імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу, є заміна елементів схеми енергетичного тракту відповідними моделями із бібліотеки візуально-блочної моделі ВБМ.

Елементи ВБМ розміщуються в тих же позиціях, що й елементи схеми енергетичного тракту. Після розміщення елементів схеми проводиться їх з'єднання у вигляді спрямованих відрізків. Спочатку вводяться прямі причинно-наслідкові зв'язки, а потім замикаються зворотні зв'язки. Також у схемі присутні входні величини, такий як коефіцієнт заповнення відкритого стану транзистору.

Джерело постійної напруги в даній схемі послідовно з'єднано з транзисторним ключем та загальною шиною. Вхідною величиною цього блоку є вихідний струм по зворотньому зв'язку з транзисторного ключа, а вихідною напруга, яка подається на вхід наступного елемента.

Наступним елементом після джерела є транзисторний ключ. Вхідною величиною цього блоку є вхідна напруга з джерела живлення, коефіцієнт заповнення транзисторного ключа  $\gamma$  та вихідний струм індуктивного накопичувача, що даний блок перетворює у вхідний струм перетворювача.

До виходу транзисторного ключа послідовно під'єднаний індуктивний накопичувач, а між ними, зворотно підключений діодний ключ.

Вхідними величинами блоку індуктивного накопичувача є вихідна напруга транзисторного ключа та напруга на ємності. Вихідною величиною є вихідний струм через індуктивність.

Наступним елементом є згладжувальна ємність, що в свою чергу під'єднана до виходу індуктивного накопичувача.

Вхідними величинами є вихідний струм індуктивного накопичувача та вихідний струм навантаження. Вихідною величиною є напруга на ємності.

Останнім елементом ВБМ є навантаження, тобто приймач енергії. Воно включене паралельно конденсатору. Вхідною величиною є вихідна напруга конденсатора, а вихідною — вихідний струм.

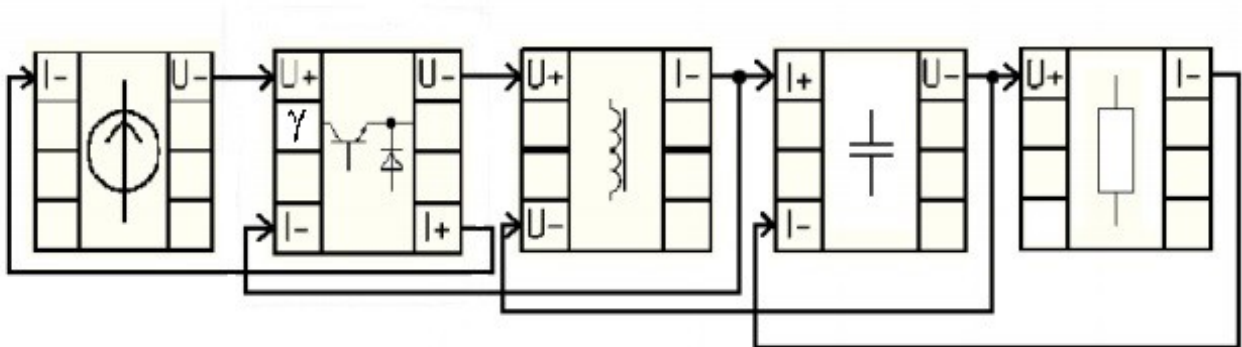


Рисунок 27 — Схема візуально-блокової моделі імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ З ПОНИЖЕННЯМ НАПРУГИ

#### 3.1 Опис еталонної моделі

За допомогою візуальної моделі джерела постійної напруги, зображеної на рис.18, виводимо формулу для обчислення напруги джерела:

$$U^- = E - \frac{I^-}{R_{INT.}} \quad (1)$$

де:

- $U^-$  — вихідна напруга джерела постійної напруги;
- $E$  – номінальна напруга джерела постійної напруги;
- $I^-$  — вихідний струм з транзисторного ключа, що подається на вхід джерела;
- $R_{int}$  – внутрішній опір джерела постійної напруги.

Наступним кроком є знаходження формули для обчислення вихідних напруги та сили струму транзисторного ключа, що можна знайти за допомогою візуальної моделі транзисторного ключа, що зображений на рис.20:

$$U^- = \gamma \cdot U^+ \quad (2)$$

де:

- $U^-$  — вихідна напруга ключового елемента;
- $\gamma$  – коефіцієнт заповнення транзисторного ключа;
- $U^+$  — вхідна напруга, що подається на ключ з джерела постійної напруги.

Виводимо формулу вихідної сили струму транзисторного ключа:

$$\begin{aligned} U_2 &= \gamma \cdot U_1 \\ I_1 &= \gamma \cdot I_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Кінцева формула має наступний вигляд:

$$I^+ = \gamma + I \quad (4)$$

де:

- $I^+$  — вихідна сила струму транзисторного ключа, що подається на вхід джерела постійної напруги;
- $I$  — сила струму через індуктивність, що подається на вхід ключа.

Для управління коефіцієнтом заповнення транзисторного ключа необхідно синтезувати систему управління для нього. Доцільним буде ввести ПІД-регулятор.

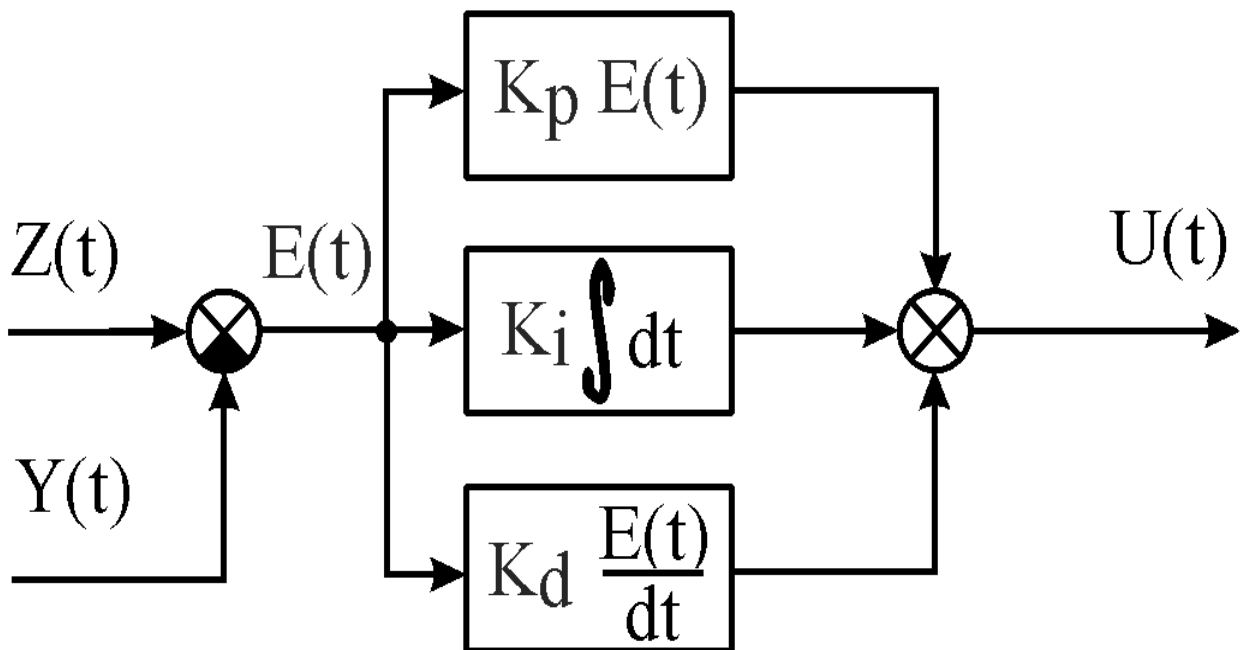


Рисунок 29 — Візуальна модель ПІД-регулятора

На візуальній моделі зображена система управління на основі ПД-регулятора яка використовує зворотній зв'язок.

Даний блок управляє величиною  $U(t)$ , що в свою чергу подається на ключовий елемент і є коефіцієнтом заповнення транзисторного ключа  $\gamma$ .

За допомогою візуальної моделі ПД-регулятора зображеної на рис.29, знаходимо формулу що описує даний блок:

$$U(t) = K_p \cdot E(t) + K_i \cdot \int E(t) \cdot dt + K_d \cdot \frac{dE(t)}{dt} \quad (5)$$

а

$$E(t) = Z(t) - Y(t) \quad (6)$$

де:

- $E(t)$  – помилка, що подається на вхід ПД-регулятора;
- $Z(t)$  – задане значення  $U(t)$ ;
- $Y(t)$  – значення напруги на виході імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу;
- $K_p$  – коефіцієнт підсилення пропорційної складової регулятора;
- $K_i$  – коефіцієнт підсилення інтегруючої складової;
- $K_d$  – коефіцієнт підсилення складової диференціювання.

Використовуючи візуальну модель індуктивного накопичувача зображену на рис.22, знаходимо формулу сили струму через індуктивність:

$$L \frac{di}{dt} = U^+ - U_R - U^- \quad (7)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L} \cdot (U^+ - U_R - U^-) \quad (8)$$

$$\int di = \frac{1}{L} \int (U^+ - U_R - U^-) dt \quad (9)$$

Кінцева формула має наступний вигляд:

$$I = \frac{1}{L} \int U^+ - U_R - U^- dt + I_{(0)} \quad (10)$$

де:

- $L$  – індуктивність накопичувача;
- $I$  - струм через індуктивність;
- $U^+$  — напруга, що подається з ключового елемента;
- $U^-$  — напруга на виході імпульсного перетворювача;
- $U_R$  – втрати в індуктивному накопичувачі;
- $I_{(0)}$  – початковий струм через індуктивність.

Наступним етапом є знаходження формули для опису блоку ємнісного накопичувача. Використовуючи візуальну модель що зображена на рис.24, виводимо формулу:

$$I_c = I^+ - I^- \quad (11)$$

$$C \cdot \frac{dU^-}{dt} = I^+ - I^- \quad (12)$$

$$\frac{dU^-}{dt} = \frac{1}{C} \cdot (I^+ - I^-) \quad (13)$$

$$\int dU^- = \frac{1}{C} \int (I^+ - I^-) dt \quad (14)$$

Кінцева формула має наступний вигляд:

$$U = \frac{1}{C} \int (I^+ - I^-) dt + U_{(0)} \quad (15)$$

де:

- $C$  – ємність накопичувача;
- $I_c$  – сила струму ємнісного накопичувача;
- $I^+$  - сила струму заряду конденсатора;
- $I^-$  - сила струму розряду конденсатора;
- $U^-$  - напруга на ємності;
- $U_{(0)}$  – початкова напруга на ємності.

Останнім кроком, використовуючи візуальну модель зображену на рис.25, є опис блоку навантаження:

$$I = \frac{U^+}{R_n} \quad (16)$$

де:

- $I$  - сила струму через навантаження;
- $U^+$  - напруга, що подається від імпульсного перетворювача постійної напруги на вхід навантаження;
- $R_n$  – внутрішній опір навантаження.

### 3.2 Реалізація моделі у програмному пакеті Matlab

За допомогою розроблених схем енергетичного тракту, візуально-блочної моделі та виведених формул розрахунку складових блоків досліджуваного імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу, необхідно розробити модель об'єкту у програмного пакеті Matlab, використовуючи бібліотеку Simulink.

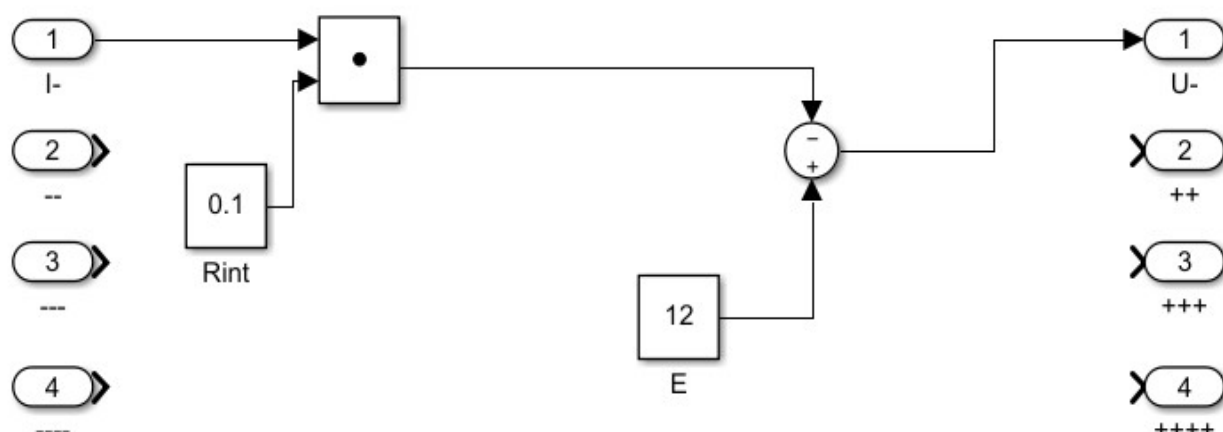


Рисунок 29 — Модель джерела постійної напруги у пакеті Matlab

Вище зображена модель повністю відповідає моделі на рис.18, та побудована за формулою (1).

Параметри номінальної напруги джерела  $E$  та внутрішній опір цього джерела постійної напруги  $R_{int}$  задаються довільно.

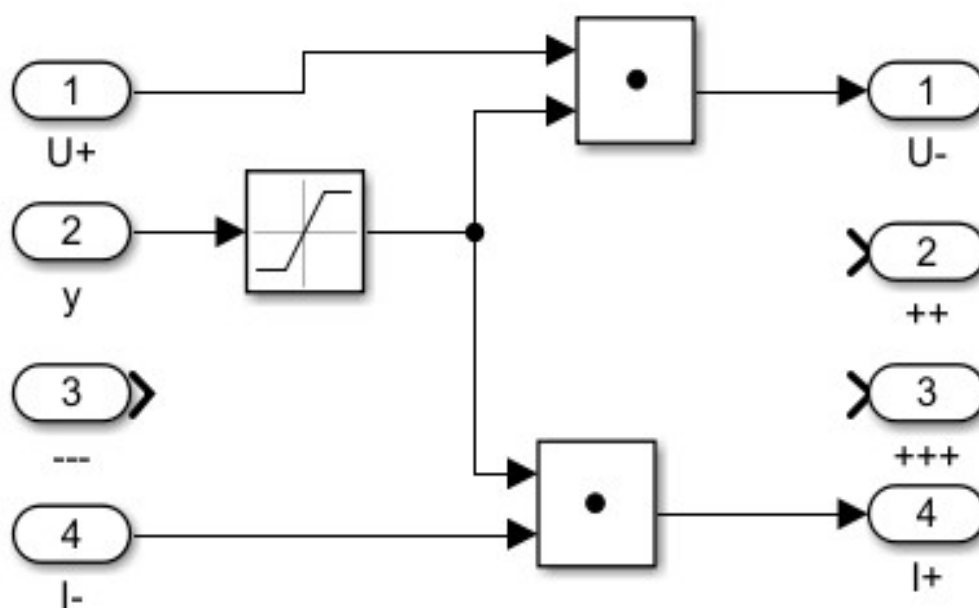
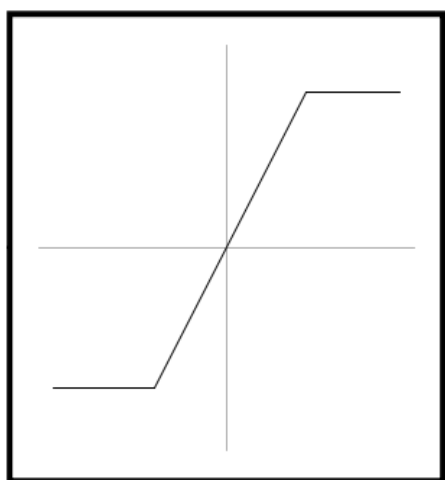


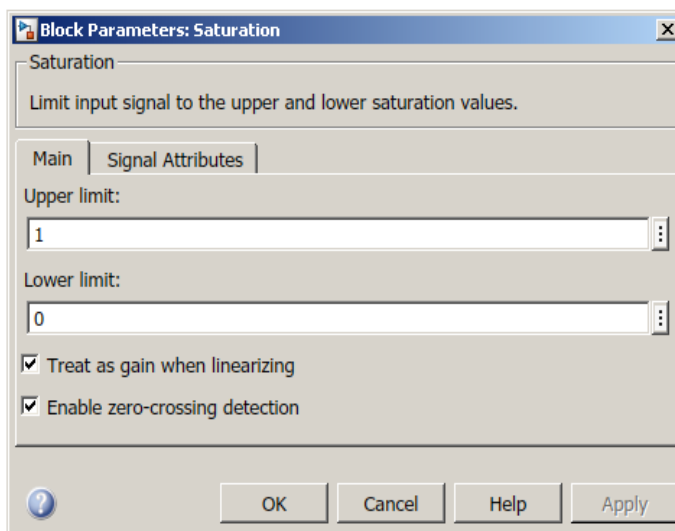
Рисунок 30 — Модель транзисторного ключа у пакеті Matlab



Блок “Saturation” виконує функцію обмеження величини вхідного сигналу.



а)



б)

Рисунок 31 — Блок “Saturation”: а) графічне позначення; б) параметри функціонального блоку

Так як коефіцієнт заповнення транзисторного ключа  $\gamma$  не може перевищувати 1 та бути менше 0 треба ввести обмеження по величині цього сигналу. Для цього необхідно встановити параметр “Upper limit” у значення “1”, а параметр “Lower limit” у “0”.

Відповідно до рис.28 та формули (5), розроблено систему управління коефіцієнтом заповнення транзисторного ключа  $\gamma$ .

Коефіцієнти підсилення пропорційної P, інтегруючої I та складової диференціювання D розташовані зверху вниз відповідно на рис.34.

Вони відтворенні за допомогою функціонального блоку “Gain”. Призначення цього блоку — множити вхідний сигнал на постійний коефіцієнт. Ці коефіцієнти P, I та D були взяті довільно.

Параметр  $Z(t)$  задається користувачем.

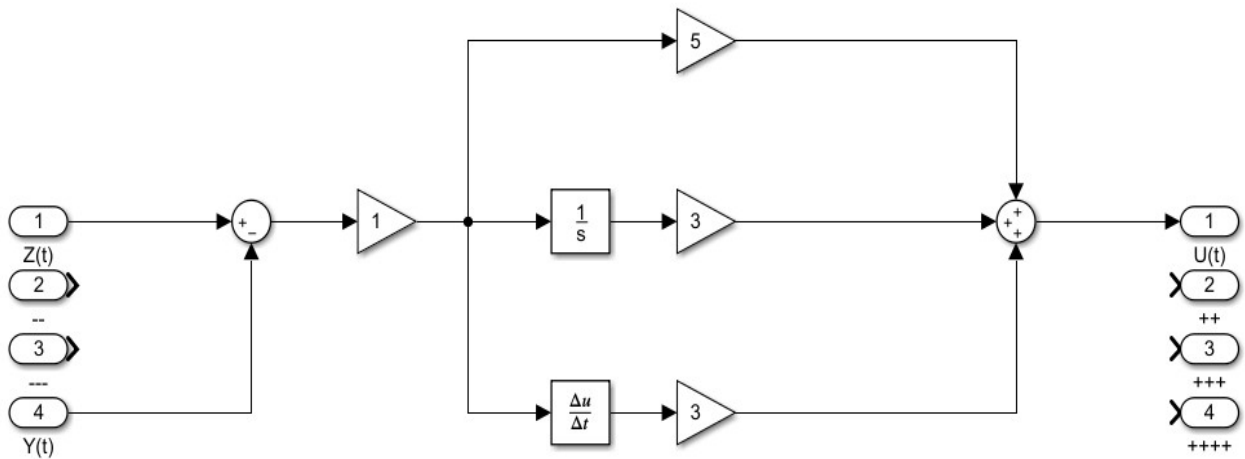


Рисунок 32 — Модель ПІД-регулятора у пакеті Matlab

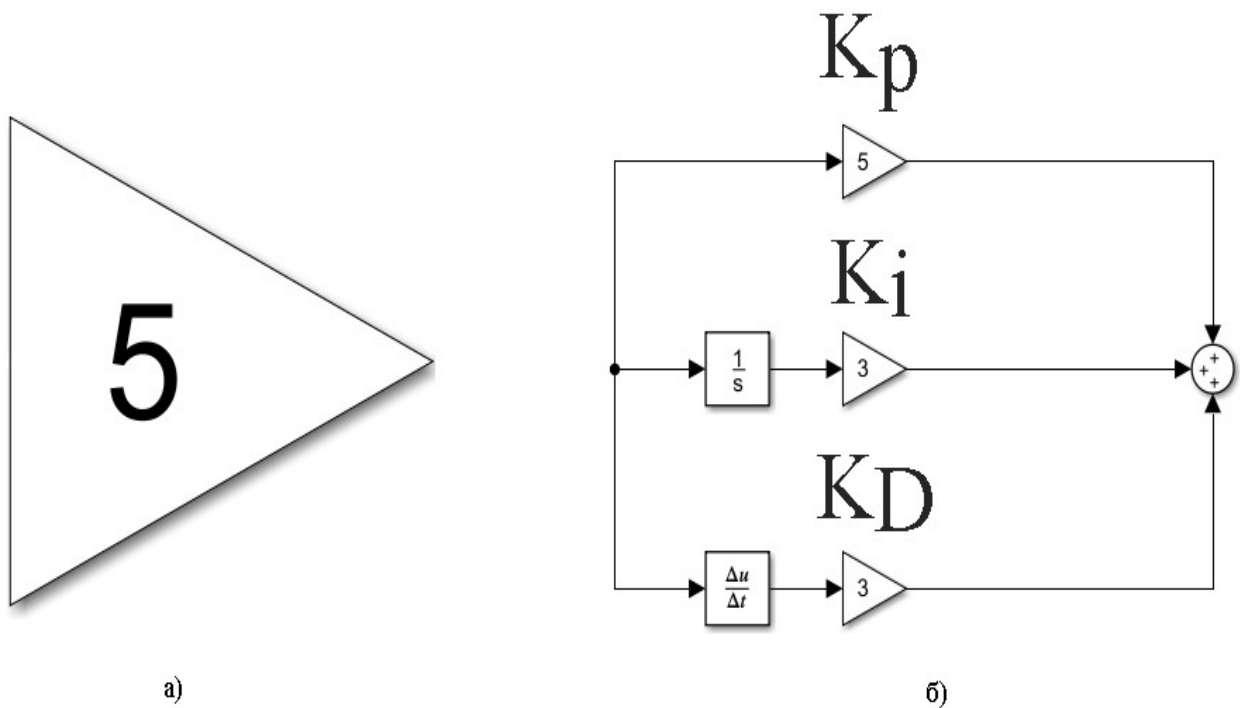


Рисунок 33 — Блок “Gain”: а) графічне позначення; б) коефіцієнти підсилення відповідно кожного блоку

Використовуючи візуальну модель на рис.21 та формули (10), синтезовано блок індуктивного накопичувача який має наступний вигляд:

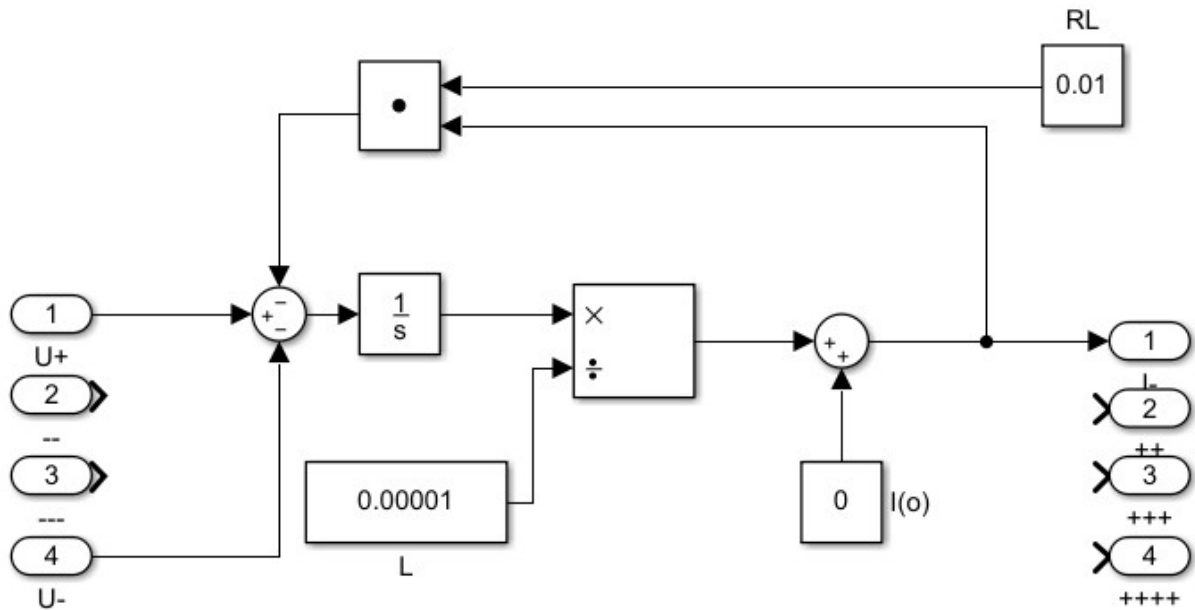


Рисунок 34 — Модель індуктивного накопичувача у пакеті Matlab

Параметри індуктивності накопичувача  $L$ , початкової сили струму в індуктивності  $I_{(0)}$  та втрати в накопичувачі  $R_L$  задаються довільно.

За формулою (15) та візуальною моделлю на рис.23, розроблений блок ємнісного накопичувача у пакеті Matlab:

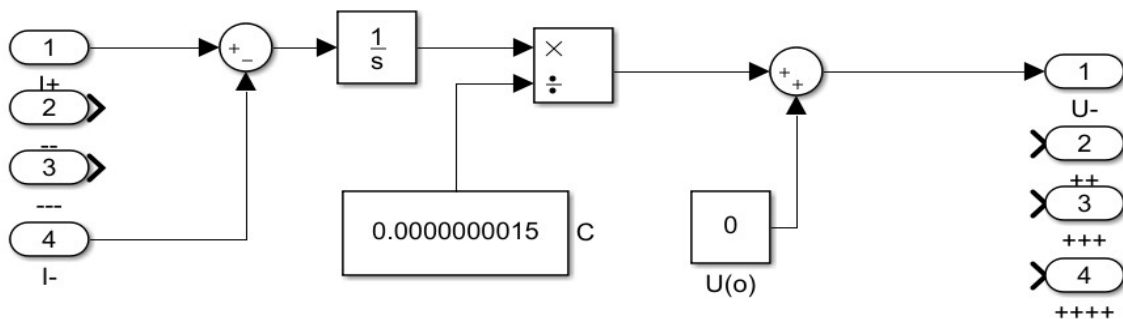


Рисунок 35 — Модель ємнісного накопичувача у пакеті Matlab

Параметри ємності накопичувача  $C$  та початкової напруги на ємності  $U_{(0)}$  обрані довільно.

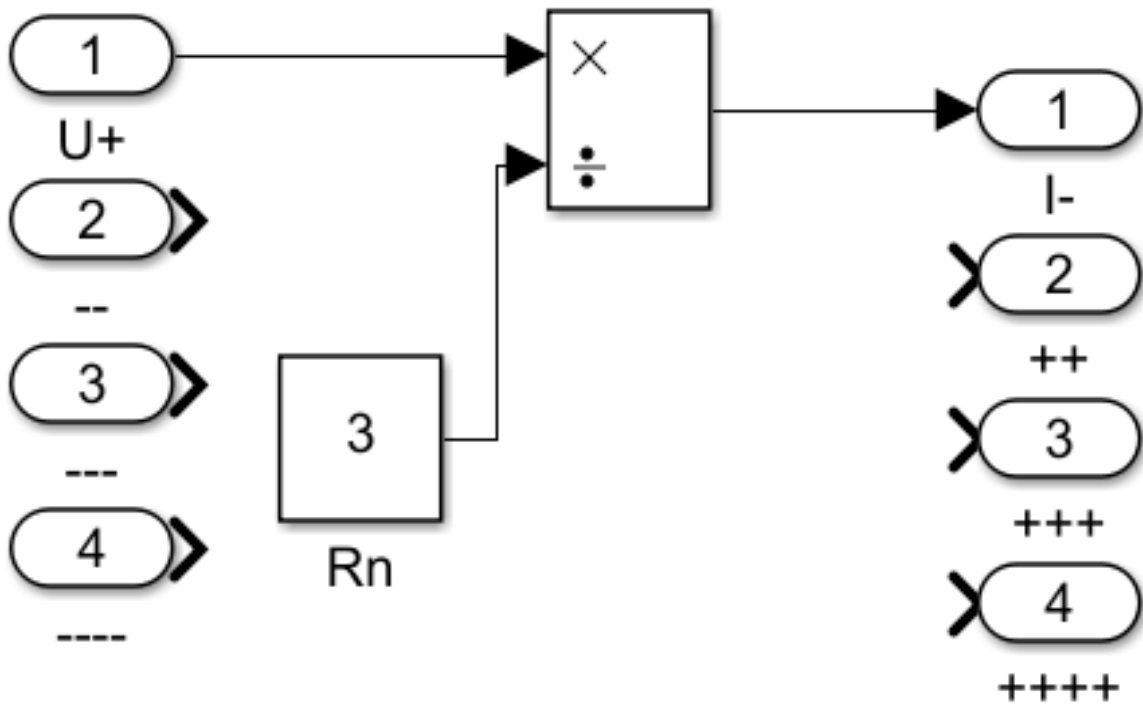


Рисунок 36 — Модель навантаження у пакеті Matlab

Останній блок розроблюваної моделі зображений на рис.36. Внутрішній опір навантаження  $R_n$  обирається довільно.

Для подальшого моделювання на виході моделі імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу встановлюється функціональний блок “Scope”.

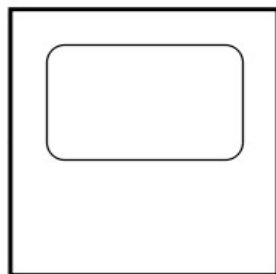


Рисунок 37 — Блок “Scope” - графічне позначення

Блок необхідний для побудови графіків досліджуваних сигналів у функції часу. Він дозволяє спостерігати за зміною сигналів у процесі моделювання.

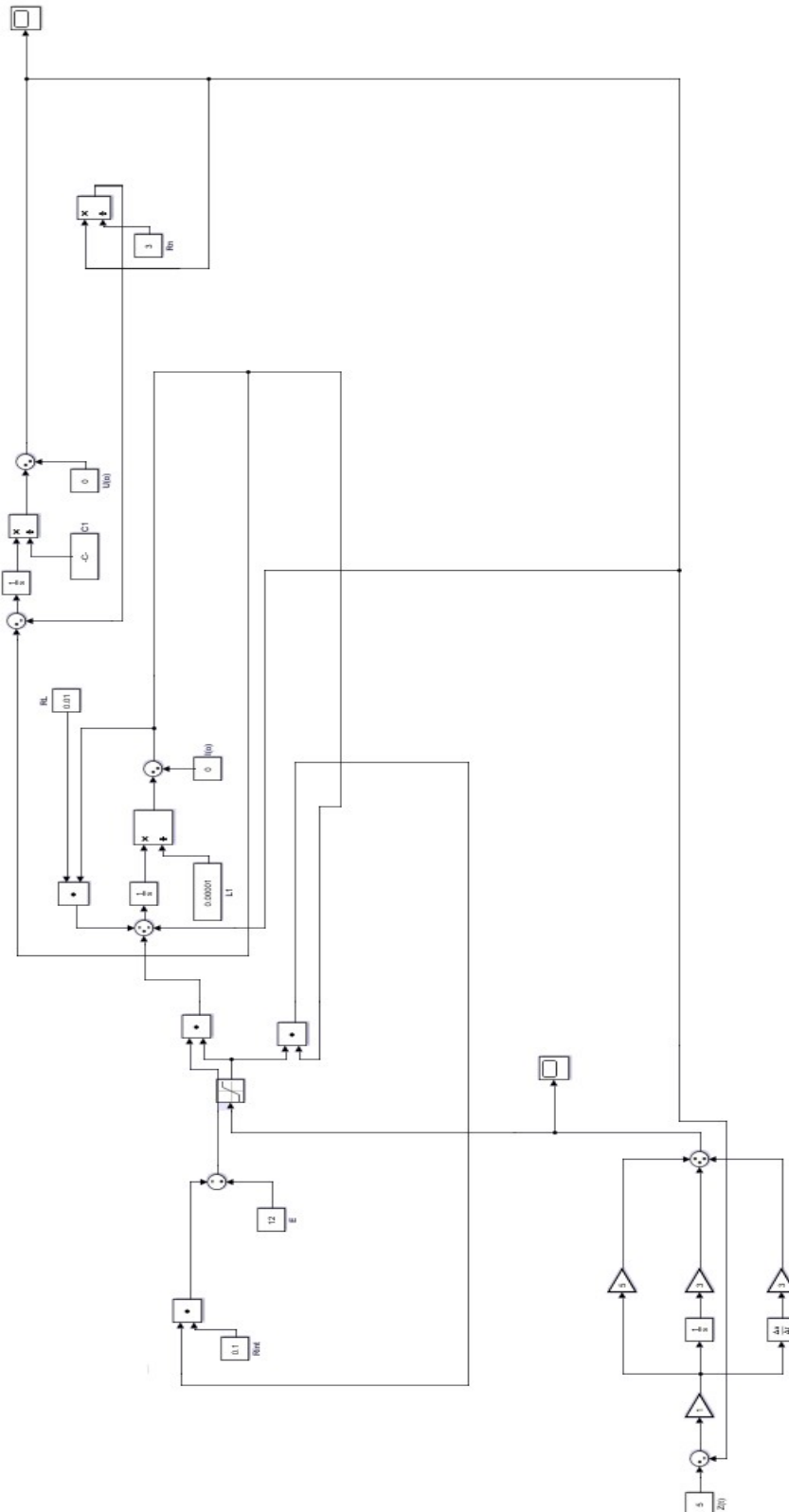


Рисунок 38 — Загальний вид моделі у пакеті Matlab

Для зручності необхідно об'єднати всі блоки у підсистемі. Отримуємо вигляд зображений на наступному рисунку.

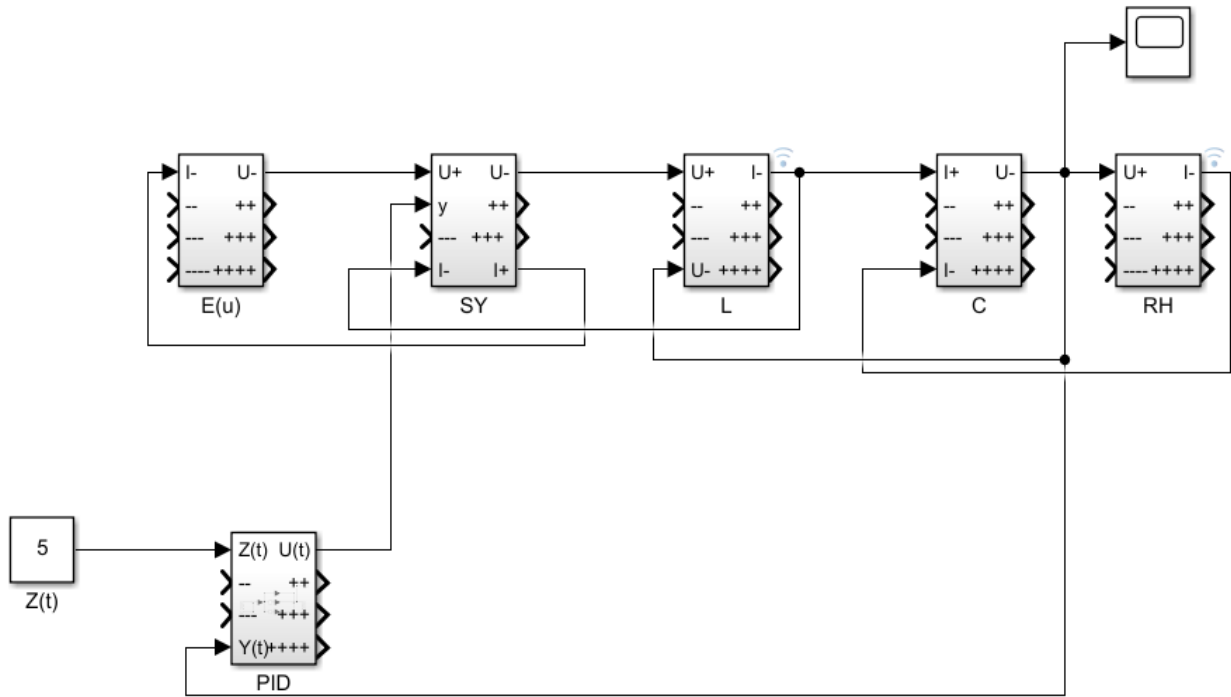


Рисунок 39 — Модель імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу у програмному пакеті Matlab

### 3.3 Аналіз результатів моделювання

Для підтвердження доцільності використання математичного опису при побудові моделей перетворювальної техніки замість використання бібліотек компонентів системи на схемотехнічному рівні необхідно створити ідентичну модель, але для цього необхідно використати схемотехнічні компоненти бібліотек Matlab.

Додаткову модель необхідно підключити паралельно до джерела живлення до якого підключена розроблювана раніше математична модель імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу та подати на ключові елементи обох моделей однаковий коефіцієнт заповнення транзисторного ключа. Саме після цього можна порівняти отримані результати на виході обох моделей.

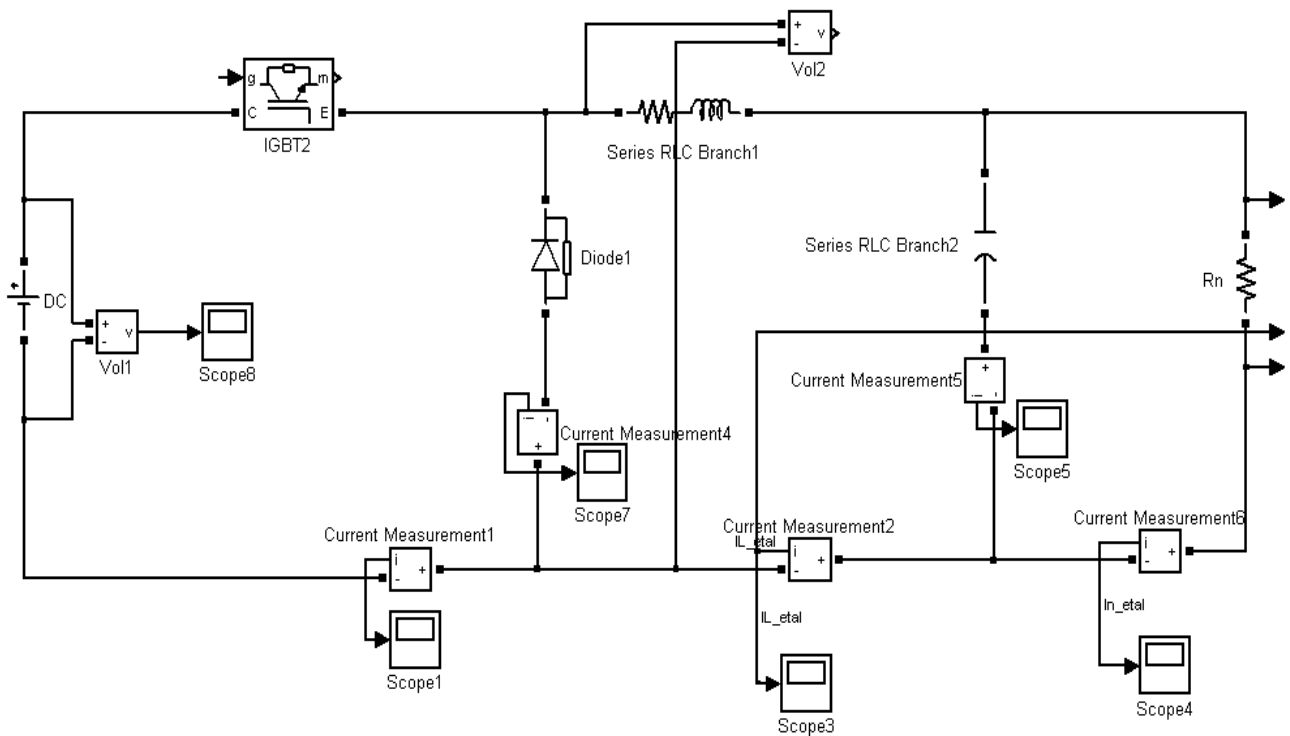


Рисунок 40 — Модель імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу на схемотехнічному рівні

Елементи моделі зображеної на рис. 40 відповідні наступним функціональним блокам пристрою:

- джерело постійної напруги — елемент “DC”;
- ключовий елемент — елемент “IGBT2”;
- індуктивний накопичувач - елемент “Series RLC Branch1”;
- ємнісний фільтр - елемент “Series RLC Branch2”;
- навантаження — елемент “Rn”.

Блоки “Current Measurement” відповідають за вимірювання миттєвого струму через блок або лінію до якого вони під'єднані.

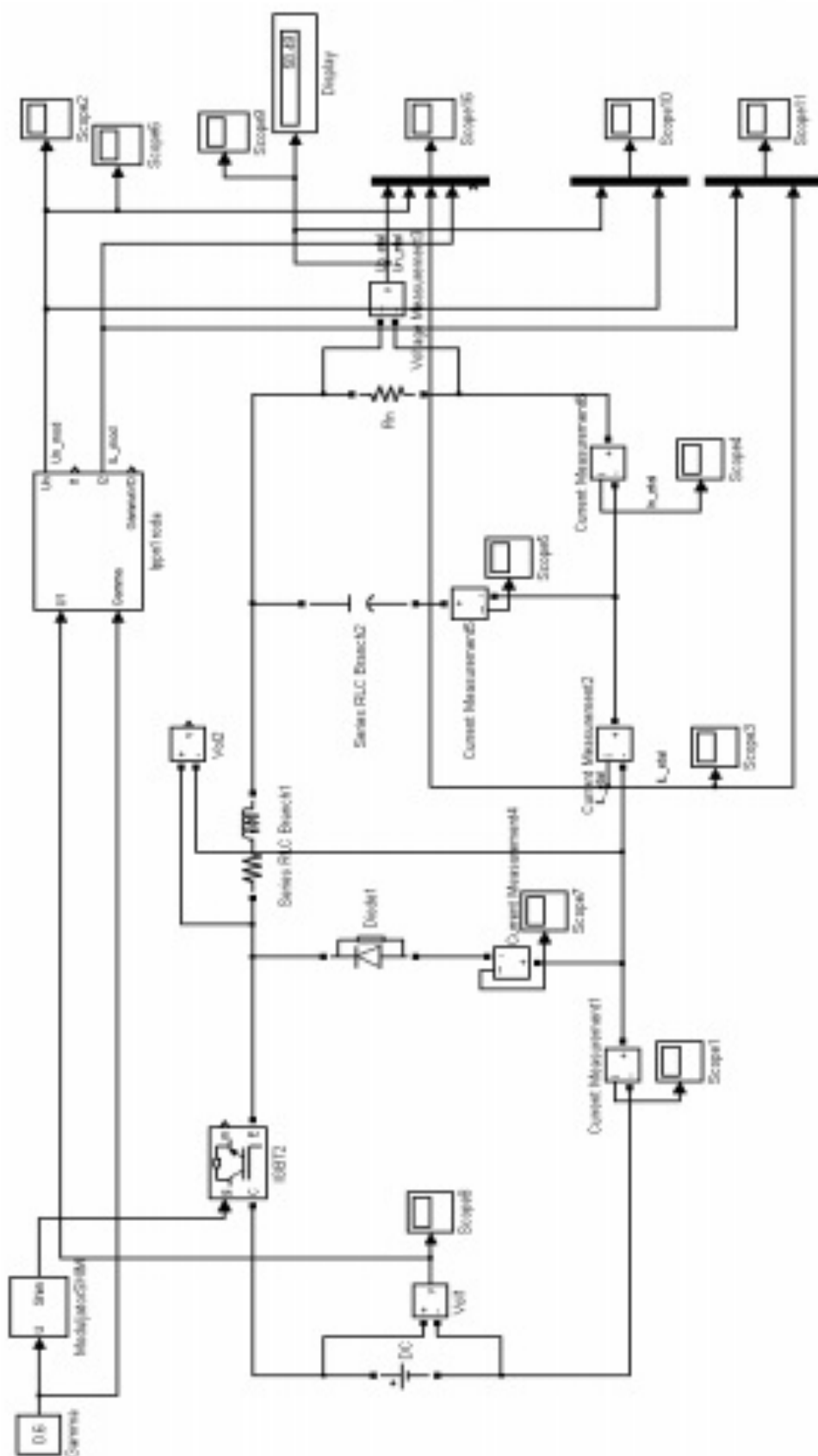


Рисунок 41 — Об'єднана модель



Блоки “Voltage Measurement”, або скорочено “Vol”, відповідають за вимірювання миттєвої напруги між двома електричними вузлами до якого вони підключені.

Елемент “Ippn1 roda” є математичною моделлю досліджуваного пристрою, що об'єднаний у підсистему для зручності.

З рис.41 можна побачити що обидві моделі під'єднані до одного джерела живлення та мають на вході ключових елементів однакові коефіцієнти заповнення транзисторного ключа.

З осцилографа “Score2” отримуємо графік напруги на навантаженні математичної моделі перетворювача у функції часу, а з “Score9” - графік на навантаженні схмотехнічної моделі.

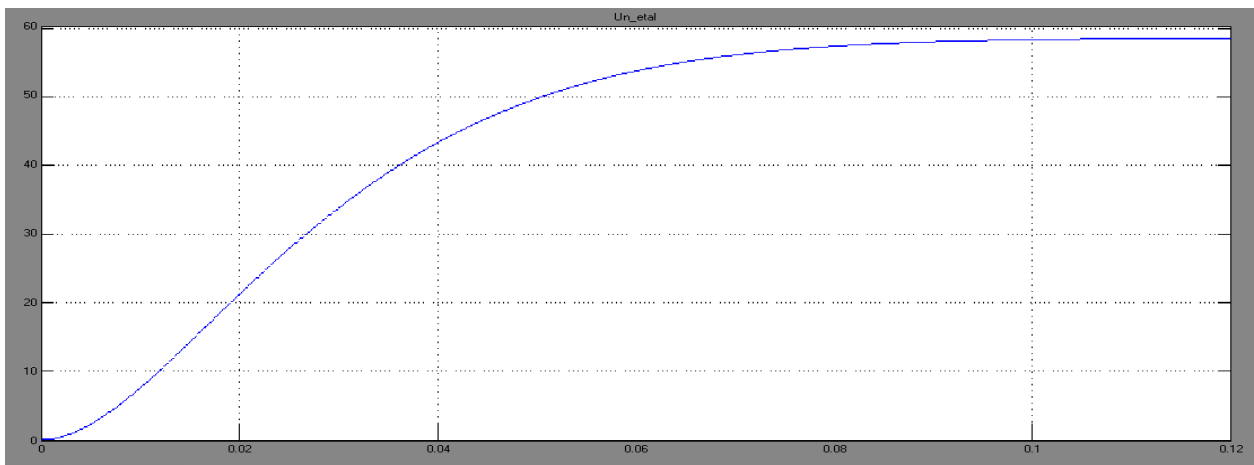


Рисунок 42 — Напруга на навантаженні математичної моделі

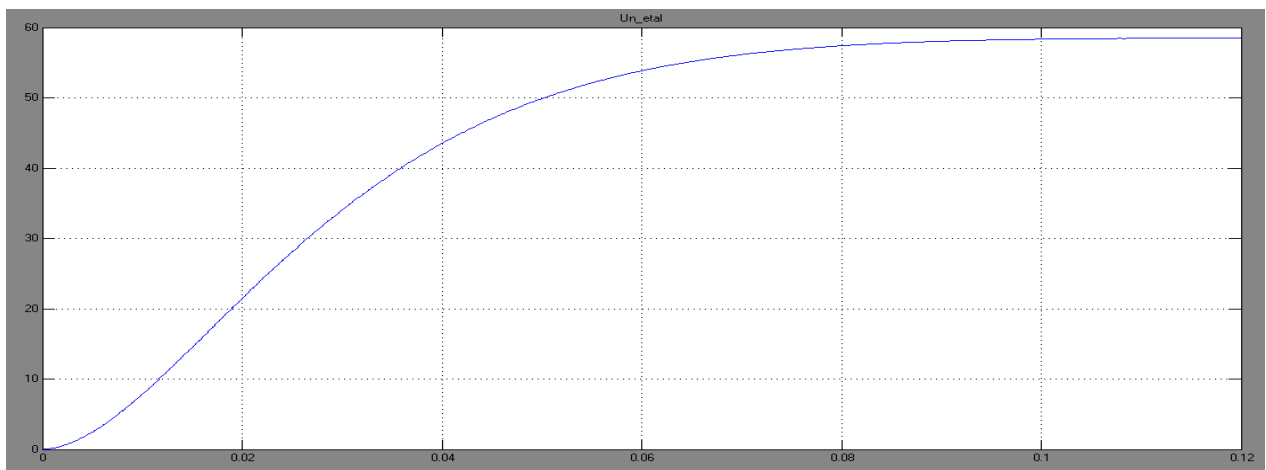


Рисунок 43 — Напруга на навантаженні схмотехнічної моделі  $U(t)$

Використовуючи “Score10” отримуємо графік струму індуктивного

накопичувача математичної моделі перетворювача у функції часу, а з “Score3” - графік струму схемотехнічної моделі.

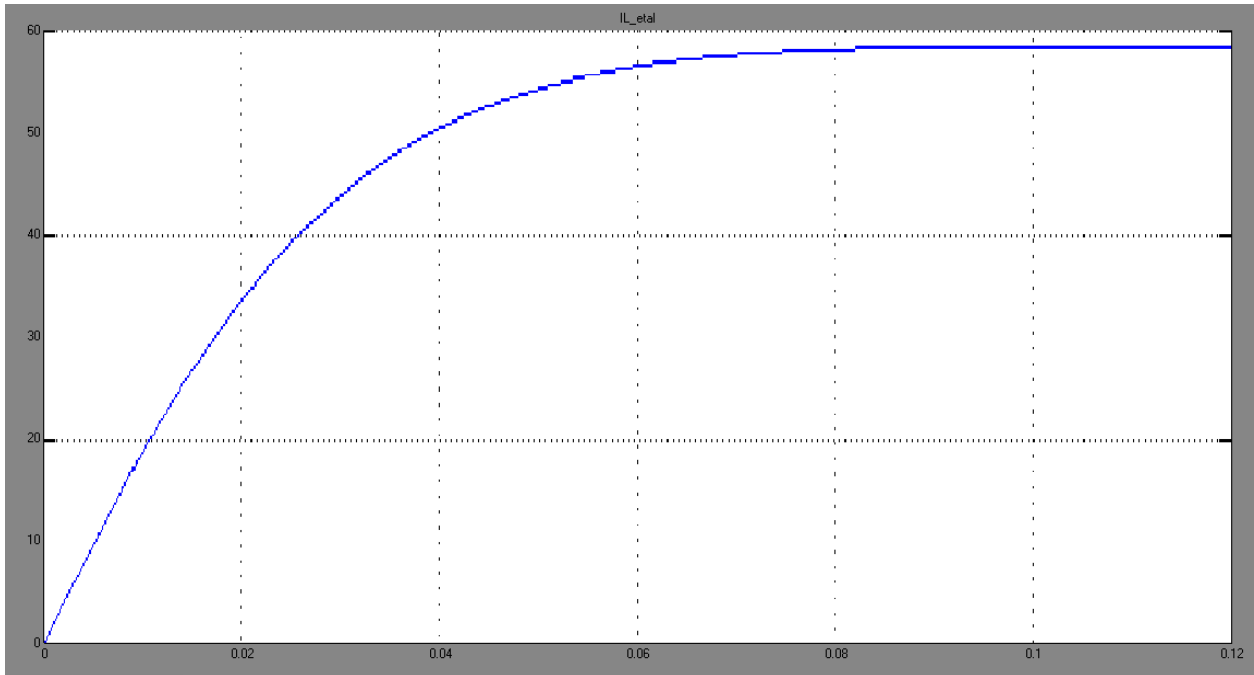


Рисунок 44 — Струм через індуктивний накопичувач математичної моделі

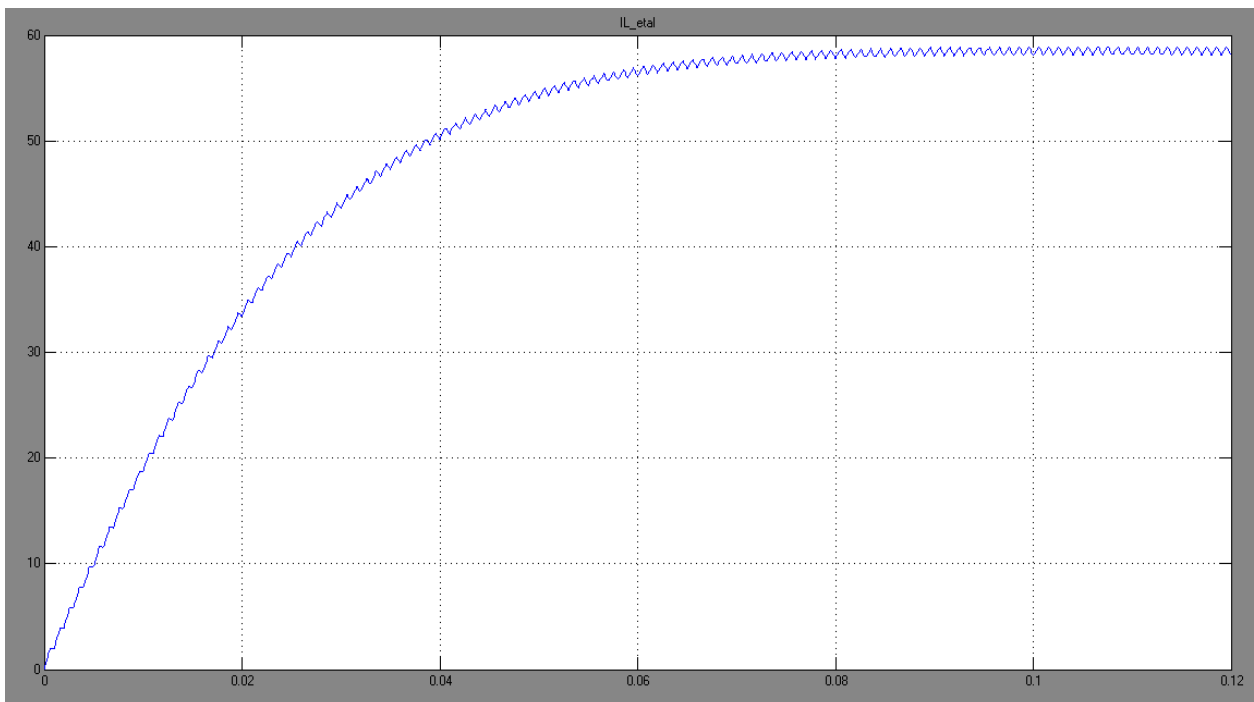


Рисунок 45 — Струм через індуктивний накопичувач схемотехнічної моделі

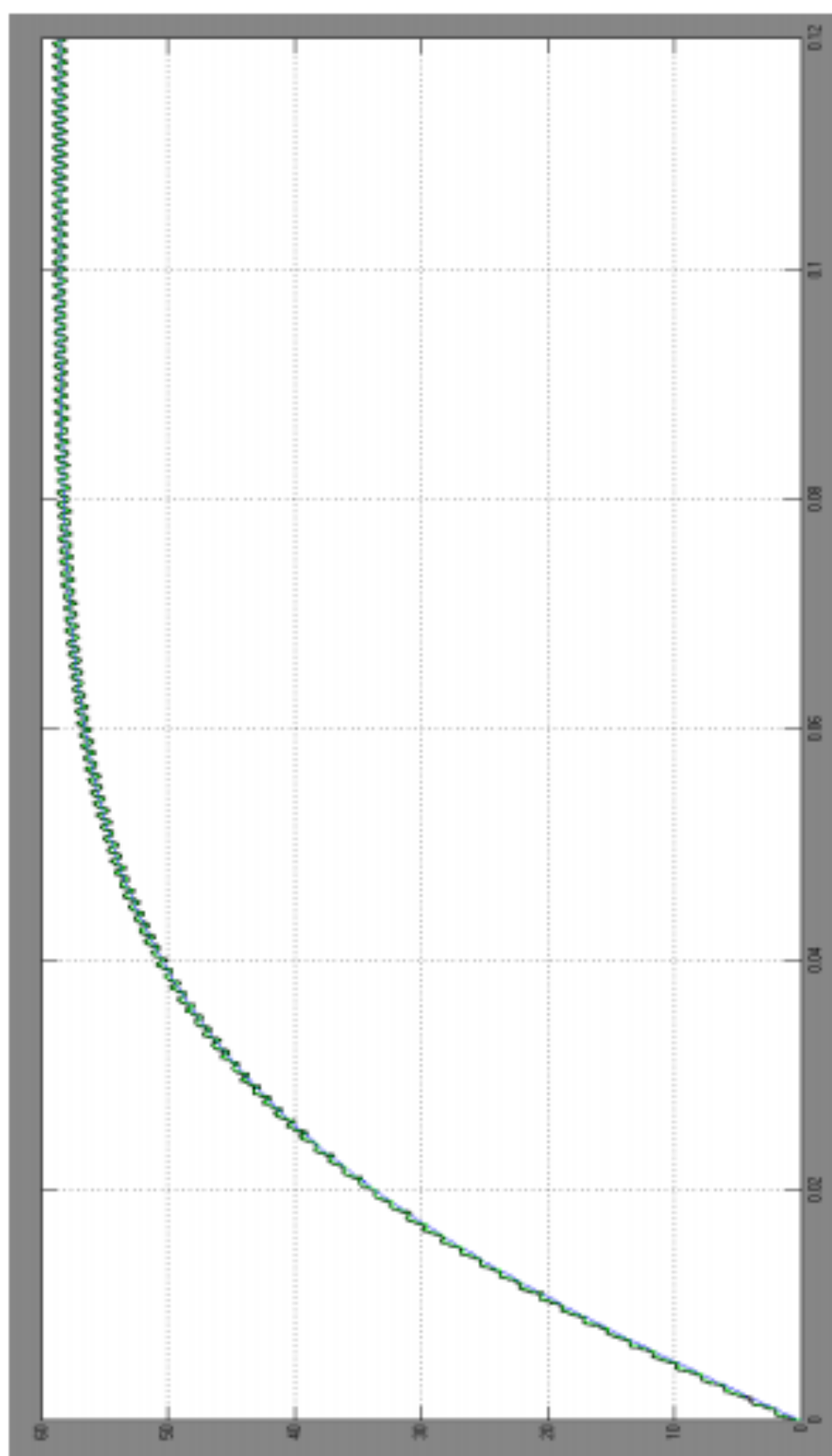


Рисунок 46 — Графік порівняння струму індуктивного накопичувача

Порівнюючи графіки напруги на навантаженні обох моделей, що зображені на рис. 42 та рис.43 відповідно, можна сказати що вони є ідентичними.

Що стосується струму через індуктивний накопичувач, на рис. 45 видно “зубоподібний” графік. Це пояснюється комутацією ключого елемента. Кожному “зубчику” відповідає комутація транзисторного ключа. Проте приймаючи до уваги графік струму через індуктивний накопичувач математичної моделі на рис.44 та порівняння струмів на рис.46, можна зробити висновок — струм індуктивних накопичувачів в обох моделях є однаковим.

Математична модель є повністю ідентична моделі на схемотехнічному рівні, тому її можна вважати адекватною. Перевагою цієї моделі є менший час моделювання процесів, в той час коли моделювання на схемотехнічному рівні проходить в рази довше.

## 4 ВИМОГИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

При роботі в електротехнічній лабораторії для уникнення нещасних випадків, передчасного виходу з ладу приборів та електрообладнання, працівник при виконанні робіт повинен строго дотримуватись наступних правил:

### 4.1 Загальні вимоги безпеки:

а) Приступаючи до виконання робіт, працівник повинен ознайомитися з правилами внутрішнього розпорядку і техніки безпеки;

б) Працівник повинен не тільки строго виконувати ці правила, а й вимагати неухильного виконання їх від інших працівників;

в) Після ознайомлення з правилами внутрішнього розпорядку та інструктажу по техніці безпеки працівник повинен розписатися у відповідному журналі;

г) Під час роботи у лабораторії категорично забороняється приносити з собою речі та предмети, що захаращують робочі місця, що в свою чергу спричиняють виникнення умов, які можуть призвести до порушення правил техніки безпеки;

д) Приступаючи до роботи у лабораторії, працівники діляться на бригади;

е) Працівник допускається до роботи тільки з дозволу завідуючого відділенням.

### 4.2 Вимоги безпеки при виконанні робіт

а) Збір електричних кіл дозволяється виконувати з'єднувальними дротами при вимкненій напрузі в суворій відповідності зі схемою, забезпечуючи при цьому надійність електричних контактів та всіх роз'ємних з'єднань;

б) Приступаючи до збору електричного кола, необхідно переконатися в

тому, що до кола не подана напруга;

в) При зборі електричного кола необхідно слідкувати за тим щоб з'єднувальні дроти не перегиналися та не скручувалися у петлі. Прилади та електрообладнання розташовують так, щоб ними було зручно користуватися;

г) Подача напруги на електричне коло дозволяється тільки після перевірки його правильності;

д) Включення електричного кола(під напругою) дозволяється тільки після перевірки його правильності;

е) При виявленні несправностей в електричному колі необхідно негайно відключити його від мережі живлення;

є) Переключення та виправлення у електричному колі дозволяється тільки при відключеній напрузі живлення;

ж) Забороняється торкатися пальцями до оголених струмоведучих частин електричного кола, що знаходяться під напругою;

з) При роботі з конденсаторами треба пам'ятати що на їх зажимах, відключених від мережі, деякий час зберігається електричних заряд, що може бути причиною ураження електричним струмом.

#### 4.3 Вимоги безпеки у аварійних ситуаціях

а) При виявленні пошкоджень електричного обладнання та приладів, а також при появі диму, спецефічного запаху або іскріння, необхідно негайно вимкнути напругу живлення;

б) У випадку ураження людини електричним струмом необхідно негайно знеструмити коло, вимкнув напругу живлення. При втраті свідомості та зупинці дихання необхідно негайно звільнити потерпілого від одягу, що стискає та роботи штучне дихання до прибуття лікаря;

#### 4.4 Вимоги безпеки після закінчення робіт

а) Після виконання робіт необхідно вимкнути напругу живлення, розібрати досліджуване електричне коло та привести у порядок робоче місце;

б) Повідомити завідуючого про закінчення робіт, а також про помічені

недоліки та несправності, що були виявлені у ході проведення робіт.

**5 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ДЖЕРЕЛ  
ЖИВЛЕННЯ НА БАЗІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ  
НАПРУГИ З ПОНИЖЕННЯМ НАПРУГИ**

**5.1 Формуляр проекту**

Мета та основні параметри проекту зафіксовані у спеціальному формулярі.

Таблиця 2 — Формуляр проекту

<b>Формуляр проекту</b>	
Завдання	№ проекту <u>  I  </u> Дата замовлення <u>  01.05.2019  </u> Назва проекту <u>  Створення виробництва джерел живлення на базі імпульсних перетворювачів понижуючого типу роду  </u> _____ _____ – Замовник ППП <u>  Гавриш Артем Михайлович  </u> Адреса <u>  м. Запоріжжя, пр. Леніна 229  </u> Контактна особа ППП <u>  Гавриш Артем Михайлович  </u> Тел. і факс <u>  777-77-77  </u>
Договірна ціна	Усього <u>  50000  </u> грн. План оплати <u>  попередня оплата - 50%  </u> Додаткові умови <u>  -  </u>
Строки	Початок <u>  01.05.2019  </u> кінець <u>  14.01.2020  </u> Проміжні строки <u>  -  </u>
Партнери	Кооперація <u>  -  </u> Субпідрядники <u>  фірма "Смарт"  </u> Завдання <u>  Створення зразка джерела живлення  </u>
Персонал	Керівник <u>  Іванов І.І.  </u> Заступник <u>  Петров П.І.  </u> Співробітники <u>  Сидоров І.П., Сидоров В.П.,  </u>
Проект	Скорочена назва <u>  "Факторі"  </u> Цілі <u>  Створення виробництва  </u> Критичні строки 1. <u>  24.12.2019  </u> (завершення пробного запуску)_



## Продовження таблиці 2

Проект	Критичні строки 2. <u>14.01.2020</u> (завершення проекту)
--------	---

## 5.2 Характеристика робіт за проектом

Наступна таблиця характеризує необхідні роботи за проектом, визначає їх кодівий номер, назву, роботи які потрібно виконати для досягнення наступної цілі та тривалість цих робіт.

Таблиця 3 — Характеристика робіт за проектом

<b>Характеристика робіт за проектом</b>			
<b>Код роботи</b>	<b>Назва чи зміст роботи</b>	<b>Безпосередньо попередня робота</b>	<b>Тривалість, діб</b>
<b>1.1.1</b>	Дослідження характеристик та функцій об'єкту	-	<b>10</b>
<b>1.1.2</b>	Дослідження існуючих варіантів створення виробництва	-	<b>5</b>
<b>1.1.3</b>	Формування основних нормативних вимог до виробництва	-	<b>5</b>
<b>1.1.4</b>	Підготовка технічного звіту	<b>1.1.1, 1.1.2, 1.1.3</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1</b>	Визначення вимог до структури виробництва	<b>1.1.4</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2</b>	Визначення вимог до обладнання на виробництві	<b>1.1.4</b>	<b>5</b>
<b>1.2.3</b>	Визначення вимог до матеріалів та сировини	<b>1.1.4</b>	<b>3</b>
<b>1.2.4</b>	Визначення вимог до персоналу та технічного обслуговування	<b>1.1.4</b>	<b>3</b>
<b>1.2.5</b>	Визначення вимог до безпеки та охорони праці на виробництві	<b>1.1.4</b>	<b>5</b>
<b>1.2.6</b>	Дослідження ринку збуту та аналіз орієнтації на споживача	<b>1.1.4</b>	<b>5</b>

## Продовження таблиці 3

<b>1.3.1</b>	Проектування структури виробництва	<b>1.2.1;1.2.4;1.2.5</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	Пошук відповідного обладнання на ринку	<b>1.3.1</b>	<b>10</b>
<b>1.3.3</b>	Пошук відповідного постачальника матеріалів та сировини на ринку	<b>1.3.2</b>	<b>5</b>
<b>1.3.4</b>	Пошук потенційних споживачів	<b>1.3.3</b>	<b>15</b>
<b>1.4.1</b>	Підготовка приміщення до початку організації виробництва	<b>1.3.4</b>	<b>20</b>
<b>1.4.2</b>	Закупівля відповідного обладнання	<b>1.4.1</b>	<b>20</b>
<b>1.4.3</b>	Закупівля відповідних матеріалів та сировини	<b>1.4.2</b>	<b>5</b>
<b>1.4.4</b>	Розробка інструкцій з техніки безпеки та організація безпеки праці на виробництві	<b>1.4.3</b>	<b>15</b>
<b>1.4.5</b>	Наймання кваліфікованих кадрів	<b>1.4.4</b>	<b>10</b>
<b>1.5.1</b>	Навчання адміністративного персоналу	<b>1.4.5</b>	<b>10</b>
<b>1.5.2</b>	Навчання оперативного персоналу	<b>1.4.5</b>	<b>30</b>
<b>1.5.3</b>	Навчання експлуатаційного персоналу	<b>1.4.5</b>	<b>20</b>
<b>1.6.1</b>	Пробний запуск виробництва	<b>1.5.1;1.5.2;1.5.3</b>	<b>10</b>
<b>1.6.2</b>	Усунення недоліків у роботі на виробництві	<b>1.6.1</b>	<b>10</b>
<b>1.6.3</b>	Запуск виробництва	<b>1.6.2</b>	<b>10</b>

## 5.3 Робоча структура проекту — WBS

В результаті декомпозиції робіт, була створена Work Breakdown Structure. Вона визначає об'єм робіт, виконання яких призводить до досягнення мети проекту.

Вона використовує дані з характеристики робіт за проектом, що знаходяться у таблиці 2.

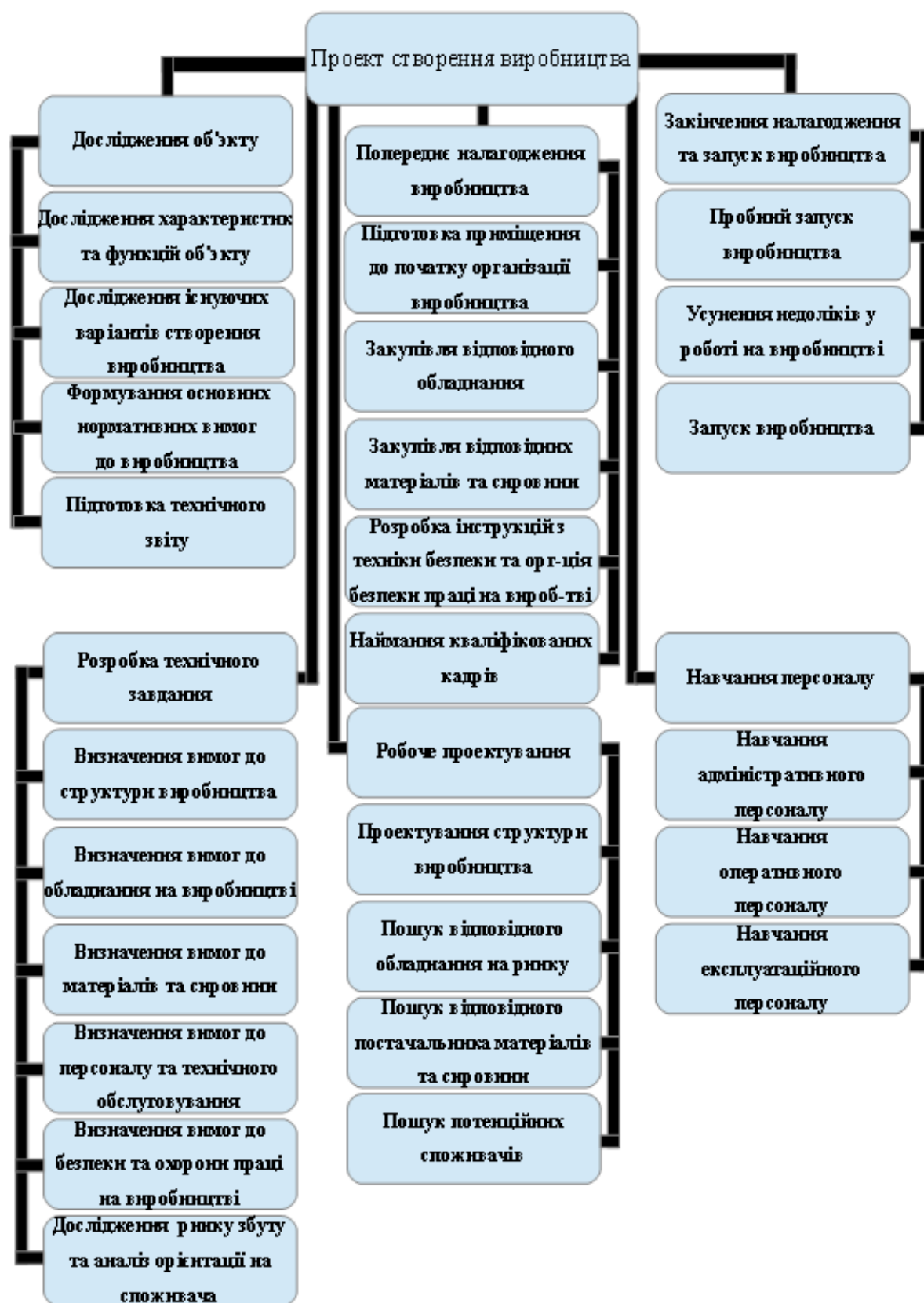


Рисунок 47 — Робоча структура проекту

#### 5.4 Організаційна структура проекту - OBS

Для визначення виконавців проекту та встановлення системи підпорядкованості була створена Organization Breakdown Structure, що визначається структурою проектної організації та має вигляд ієрархічної системи.

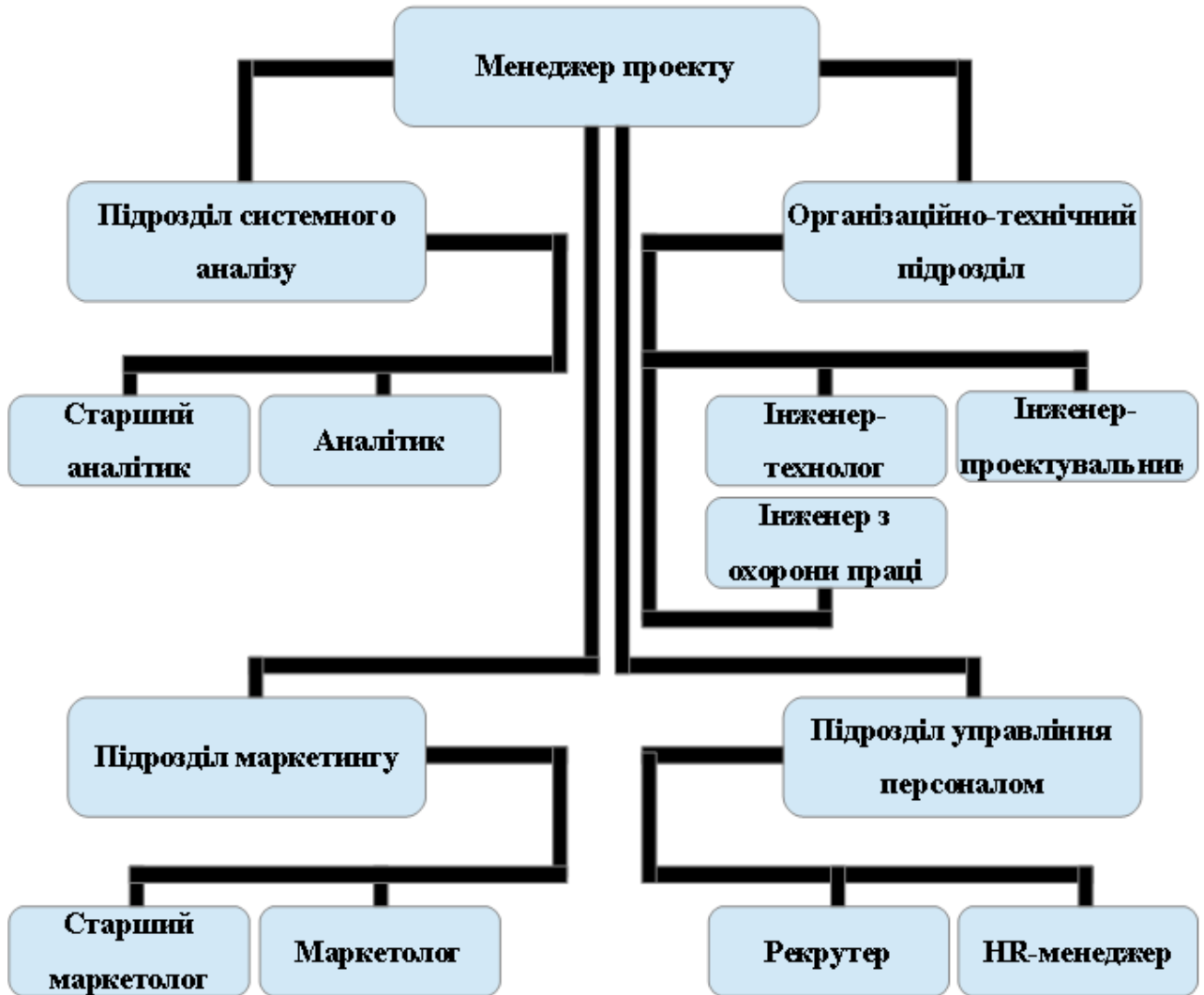


Рисунок 48 — Організаційна структура проекту

#### 5.5 Структура затрат проекту — CBS

В результаті декомпозиції загальних витрат на проект була побудована Cost Breakdown Structure що наведена на наступному рисунку.



## Продовження таблиці 4

Матриця відповідальності																									
Виконавці	Роботи																								
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6
Інженер з охорони праці																									
Старший маркетолог																									
Маркетолог																									
Рекрутер																									
HR-менеджер																									
<p>p - первинна відповідальність      s - вторинна відповідальність      + - виконавець</p>																									

## 5.7 Система кодування проекту

Для структуривання проекту та встановлення взаємовідносин між WBS та OBS необхідно ввести систему кодування. Нижче вказана форма структури коду.

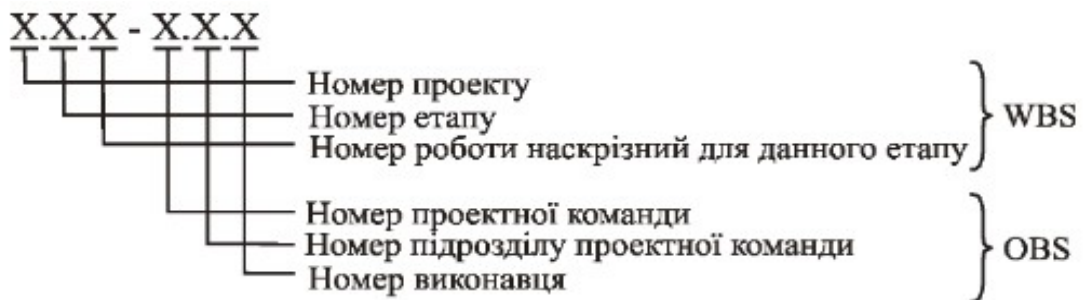


Рисунок 50 — Форма структури коду

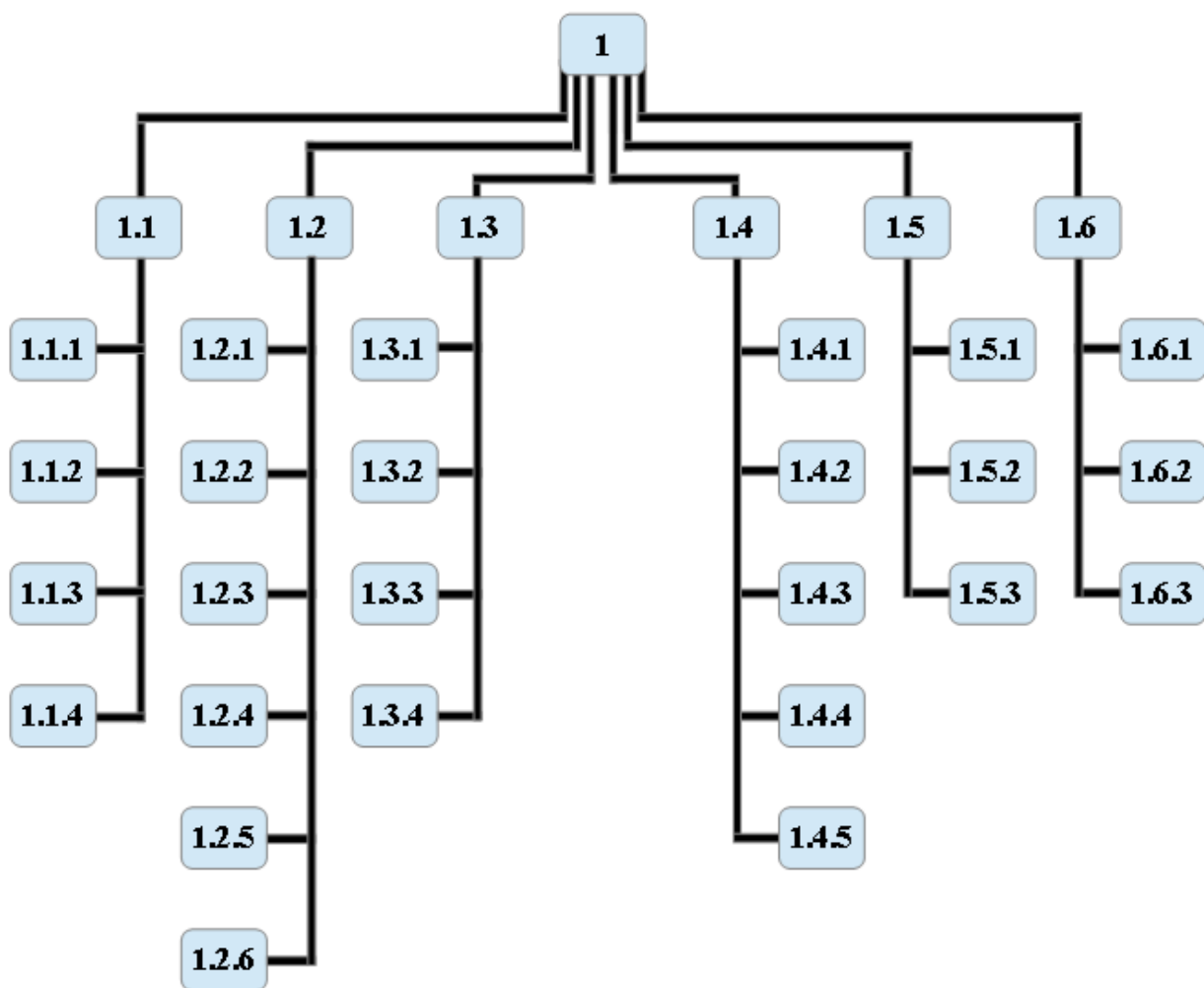


Рисунок 51 — WBS

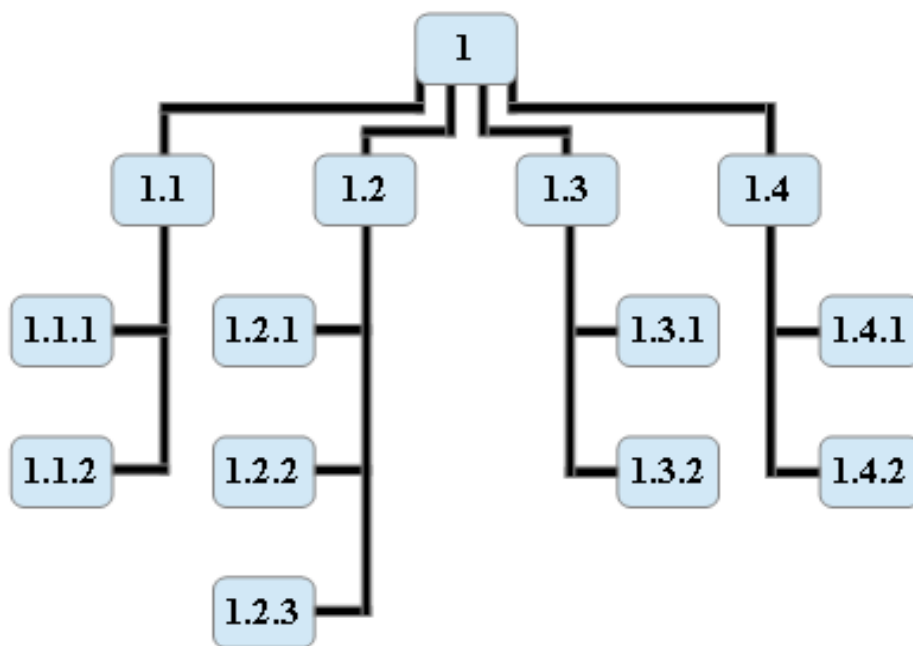


Рисунок 52 — OBS

## 5.8 CTR-каталог

Наступним кроком після створення системи кодування є реалізація словника що визначає елементи та гарантує розуміння усім залученим до проекту змісту і значення елементів WBS і OBS.

Таблиця 5 — CTR-каталог

№	Код роботи	Зміст роботи	Тривалість, дні	Необхідні ресурси
1	1.1.1-1.1.2	Дослідження характеристик та функцій об'єкту	10	Аналітики 2 особи
2	1.1.2-1.1.2	Дослідження існуючих варіантів створення виробництва	5	Аналітики 2 особи
3	1.1.3-1.1.2	Формування основних нормативних вимог до виробництва	5	Аналітики 2 особи
4	1.1.4-1.1.2	Підготовка технічного звіту	3	Аналітики 2 особи
5	1.2.1-1.1.2	Визначення вимог до структури виробництва	5	Аналітики 2 особи
6	1.2.2-1.2.1	Визначення вимог до обладнання на виробництві	5	Аналітик 1 особа Інженер-технолог 1 особа
7	1.2.3-1.2.1	Визначення вимог до матеріалів та сировини	3	Аналітик 1 особа Інженер-технолог 1 особа
8	1.2.4-1.2.1	Визначення вимог до персоналу та технічного обслуговування	3	Аналітик 1 особа Інженер-технолог 1 особа
9	1.2.5-1.2.3	Визначення вимог до безпеки та охорони праці на виробництві	5	Аналітик 1 особа Інженер з охорони праці 1 особа
10	1.2.6-1.3.2	Дослідження ринку збуту та аналіз орієнтації на споживача	5	Аналітик 1 особа Маркетологи 2 особи
11	1.3.1-1.2.2	Проектування структури виробництва	15	Інженер-проектувальник 1 особа



## Продовження таблиці 5

№	Код роботи	Зміст роботи	Тривалість, дні	Необхідні ресурси
12	1.3.2-1.3.2	Пошук відповідного обладнання на ринку	10	Маркетологи 2 особи
13	1.3.3-1.3.2	Пошук відповідного постачальника матеріалів та сировини на ринку	5	Маркетологи 2 особи
14	1.3.4-1.3.2	Пошук потенційних споживачів	15	Маркетологи 2 особи
15	1.4.1-1.2.1	Підготовка приміщення до початку організації виробництва	20	Інженер-технолог 1 особа
16	1.4.2-1.3.2	Закупівля відповідного обладнання	20	Маркетологи 2 особи
17	1.4.3-1.3.2	Закупівля відповідних матеріалів та сировини	5	Маркетологи 2 особи
18	1.4.4-1.2.3	Розробка інструкцій з техніки безпеки та організація безпеки праці на виробництві	15	Інженер з охорони праці 1 особа
19	1.4.5-1.4.1	Наймання кваліфікованих кадрів	10	Рекрутер 1 особа
20	1.5.1-1.4.2	Навчання адміністративного персоналу	10	HR-менеджер 1 особа
21	1.5.2-1.4.2	Навчання оперативного персоналу	30	HR-менеджер 1 особа
22	1.5.3-1.4.2	Навчання експлуатаційного персоналу	20	HR-менеджер 1 особа
23	1.6.1-	Пробний запуск виробництва	10	Інженер-технолог 1 особа
24	1.6.2-1.2.1	Усунення недоліків у роботі на виробництві	10	Інженер-технолог 1 особа
25	1.6.3-1.2.1	Запуск виробництва	10	Інженер-технолог 1 особа

## 5.9 Сіткове планування

Після реалізації CTR-каталогу необхідно графічно подати роботи проекту. Один з можливих варіантів рішення цієї задачі — побудова стрільчатого графіку, що повністю відображає послідовність дій та їх взаємозв'язок.

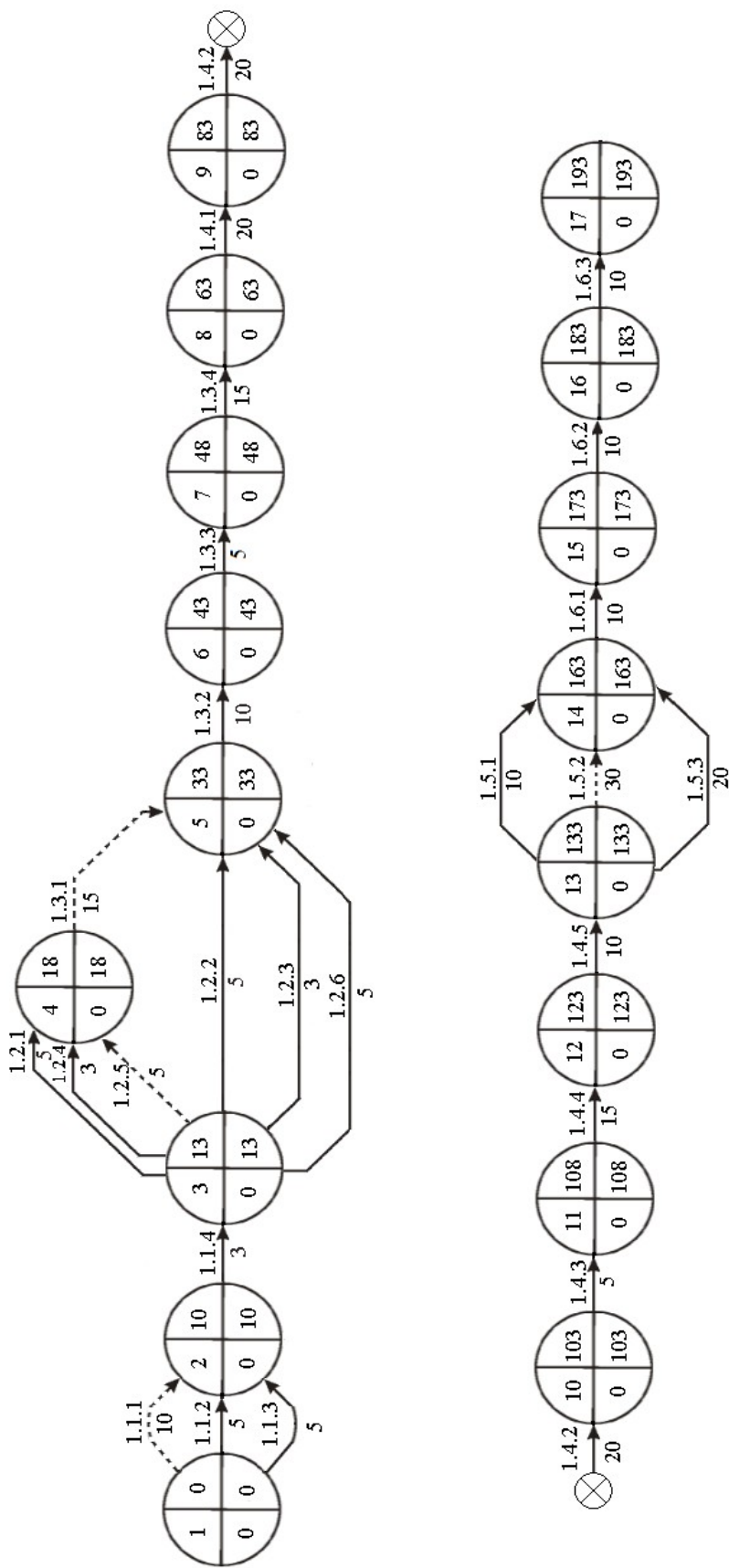


Рисунок 53 — Стрільчатий графік

### 5.10 Ймовірнісні характеристики проекту

При визначенні загального терміну виконання проекту потрібно враховувати імовірнісний характер визначення термінів виконання робіт. Тому останнім кроком в реалізації проекту є розрахунок тривалості проекту з урахуванням часу.

Для початку необхідно визначити три оцінки для кожної  $i$ -ї роботи, що входять до критичного шляху, за допомогою експертної оцінки:

- $a_i$  – оптимістичний прогноз тривалості  $i$ -ї роботи;
- $b_i$  – песимістичний прогноз тривалості  $i$ -ї роботи;
- $m_i$  – найбільш ймовірний прогноз тривалості  $i$ -ї роботи,

Далі розраховуємо математичне очікування кожної роботи за допомогою формули:

$$t_i = \frac{a_i + 4 \cdot m_i + b_i}{6} \quad (17)$$

Наступним кроком розраховуємо дисперсію тривалості:

$$\sigma_i^2 = \left( \frac{b_i - a_i}{6} \right)^2 \quad (18)$$

Далі визначаємо математичне очікування проекту:

$$t = \sum t_i \quad (19)$$

А стандартне відхилення терміну виконання проекту визначається:

$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2} \quad (20)$$

При цьому ймовірність виконання проекту  $F = 0,5$ . Тоді велечина  $\phi$ :

$$\phi = F - 0,5 = 0,9 - 0,5 = 0,4 \quad (21)$$

Далі, по таблиці нормального розподілу визначаємо що  $z = 1,29$ .

Останнім кроком є розрахунок необхідного терміну виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90% за наступной формулою:

$$o = z \cdot \sigma + t = 1,29 \cdot 5,1 + 152,17 = 159 \text{ дiб} \quad (22)$$

Результати розрахунків наведені у таблиці нижче.

Таблиця 6 — Розрахунок тривалості проекту з урахуванням часу

Код роботи	$a_i$	$m_i$	$b_i$	$\sigma_i^2$	$t_i$
1.1.1	7	10	15	1,78	10,3
1.1.4	2	3	5	0,25	3,17
1.2.1	4	5	7	0,25	5,17
1.3.1	12	15	18	1,00	15
1.3.3	3	5	10	1,36	5,5
1.3.4	10	15	20	2,78	15,0
1.4.1	15	20	25	2,78	20
1.4.2	15	20	30	6,25	20,83
1.4.4	10	15	20	2,78	15
1.4.5	7	10	14	1,36	10
1.6.1	9	10	15	1,00	10,7
1.6.2	8	10	20	4,00	11,3
1.6.3	8	10	12	0,44	10,0
				$\sigma$	$t$
				5.1	152.17

## ВИСНОВКИ

У ході роботи було виконано:

-синтезовано модель імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу на схемотехнічному та математичному рівнях;

-перевірено адекватність математичної моделі;

-отримані графіки перехідних процесів пристрою;

-згадані вимоги з охорони праці при роботі в електротехнічній лабораторії;

-розроблений проект виробництва джерел живлення на базі імпульсних перетворювачів постійної напруги понижуючого типу.

Порівнюючи отримані результати моделювання можна зробити висновок що моделі є ідентичними, з цього витікає що усереднена модель є адекватною. Використовуючи цей метод можна досягти значного скорочення часу на моделювання електротехнічних комплексів що містять в собі напівпровідникові перетворювачі.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Бар В. І. Курс лекцій «Основи перетворювальної техніки». Предмет: Електроніка. ВНЗ: ТГУ.
2. Шустов М.А. Практична схемотехніка. Книга 3. Перетворювачі напруги - М.: Альтекс-А, 2002.
3. Охоткін Г.П., Серебрянніков А.В. Основні принципи побудови автономних сонячних електростанцій. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/6/53.pdf>.
4. Шамрін А.М., Буркин Є.Ю., Кожум'як О.А. Імпульсний перетворювач постійної напруги понижуючого типу з параметричною стабілізацією вихідної напруги // VI Міжнародна науково-практична конференція «ЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ І СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ» Частина 1., - с.29.
5. Алексієвський Д.Г., Андієнко П.Д., Туришев К.О., Панкова О.О., Визначення робочої області ІППН у складі електромеханічної системи ВЕУ зі змінною швидкістю обертання. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/v/opredelenie-rabochey-oblasti-ippn-v-sostave-elektromehanicheskoy-sistemy-veu-s-peremennoy-skorostyu-vrascheniya>
6. Немудрий І.Ю., Підвищення ефективності перетворення енергії в вітроелектричних установках з аеродинамічною мультиплікацією. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/v/povyshenie-effektivnosti-preobrazovaniya-energii-v-vetroelektricheskikh-ustanovkakh-s-aerodinamicheskoy-multiplikatsiey>
7. Скурятін Ю.В., Фомін А.І., Управління імпульсними перетворювачами на ковзких режимах у базисі енергії. [Електронний ресурс], Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/121896/29-Skur%D1%96atin.pdf?sequence=1>

8. Качалов С.Є., Певчев В.П., Івашин В.В., Кодоімпульсне сейсмоджерело та система його електроживлення. - с.47 [Електронний ресурс], Режим доступу: <http://elib.tyuiu.ru/wp-content/uploads/data/2017/10/13/Geonature.pdf>

9. Качалов С.Є., Певчев В.П., Кудінов А.К., Система управління пристроєм заряду конденсаторного накопичувача енергії кодоімпульсного сейсмоджерела., - с.241 [Електронний ресурс], Режим доступу: <http://elib.tyuiu.ru/wp-content/uploads/data/2017/10/13/Geonature.pdf>

10. Осіпов Д.В., Програмний комплекс для аналізу стійкості систем автоматичного регулювання струму з широтно-імпульсними перетворювачами., с.198 [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://electronxray.com/files/uvidet\\_nevidimoe\\_1-1.pdf#page=198](https://electronxray.com/files/uvidet_nevidimoe_1-1.pdf#page=198)

11. Алавердян А.С., Кіракосян Г.Г., Петросян Р.П., Хачатрян Г.Г., Чопер з системою управління на основі цифрового процесору., [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://innovative.polytechnic.am/files/publication\\_article/1/15398689301535.pdf](https://innovative.polytechnic.am/files/publication_article/1/15398689301535.pdf)

12. Соловьєв В.А., Оцінка можливості використання віртуальних електровимірювальних приладів при моделюванні в середовищі NI MULTISIM імпульсних перетворювачів постійної напруги., - с.127 [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://kosygin-rgu.ru/filemanag/Uploads/onti/2016-10-10/%D0%A7%D0%90%D0%A1%D0%A2%D0%AC\\_3.pdf](https://kosygin-rgu.ru/filemanag/Uploads/onti/2016-10-10/%D0%A7%D0%90%D0%A1%D0%A2%D0%AC_3.pdf)

13. Алексієвський Д.Г., Панкова О.О., Хрестін Р.М., Синтез моделей електротехнічних комплексів., Стаття з наукового журналу.

14. Алексієвський Д.Г., Панкова О.О. , Туришев К.О., Візуально-блокова модель імпульсного перетворювача постійної напруги інвертуючого типу., Стаття з наукового журналу.

15. Алексієвський Д.Г., Порядок синтезу моделей електротехнічних комплексів., Стаття з наукового журналу.

16. Карпов В.Е., ПД-управління не у суворому вигляді., - [Електронний ресурс], Режим доступу: [http://robofob.ru/materials/articles/pages/Karpov\\_mobline1.pdf](http://robofob.ru/materials/articles/pages/Karpov_mobline1.pdf)

17. Алексієвський Д.Г., Методичні вказівки до проведення практичних занять та самостійної роботи з дисципліни “Моделі та методи управління проектами”., Запоріжжя — 2010.